

Федеральное агентство по образованию

Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»

Академия электротехнических наук Российской Федерации

СБОРНИК НАУЧНЫХ ТРУДОВ

Международной научно-технической конференции

«СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИИ»

(XVI Бенардосовские чтения)

*К 130-летию изобретения электродуговой сварки
Н.Н. Бенардосом*

1-3 июня

I том
Электроэнергетика

Иваново 2011

В I томе сборника научно-технической конференции отражены результаты научных исследований в области теории и практики электротехники и электротехнологии; электроэнергетических систем; рассмотрены вопросы надежности, эффективности и диагностики электрооборудования станций и энергосистем; вопросы техногенной безопасности в энергетике.

Редакционная коллегия:

Тарарыкин С.В., ректор, д.т.н., профессор, - председатель
Тютиков В.В., проректор по НР, д.т.н., профессор,
Мошкарин А.В., зав. каф. ТЭС, д.т.н., профессор
Назарычев А.Н., зав. каф. ЭСДЭ, д.т.н., профессор
Митькин Ю.А., зав. каф. ТЭВН, д.т.н., профессор
Полетаев В.А., зав. каф. ТАМ, д.т.н., профессор
Косяков С.В., зав. каф. ПОКС, д.т.н., профессор
Колибаба В.И., зав. каф. экономики и организации предприятия
Клюнина С.В., нач. УИУНЛ

ISBN 978-5-89482-726-1
ный

© □ ГОУВПО «Ивановский государственный
энергетический университет
имени В.И. Ленина», 2011.

СЕКЦИЯ «ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИИ»

УДК 621.365.52.004

Л.С. ЗИМИН, д.т.н., профессор, зав. кафедрой,
А.М. ЩЕЛОЧКОВА, магистрант
(СамГТУ) г. Самара

Индукционный нагрев на промышленной частоте

При индукционном нагреве в настоящее время широко используют ток промышленной частоты, когда физические и геометрические параметры заготовок позволяют получать приемлемый КПД. В этом случае, особенно при эксплуатации мощных установок, необходимо стремиться к равномерной загрузке всех фаз сети электроснабжения. Существуют два возможных пути: первый - создавать однофазные установки кратные числу фаз и в ходе эксплуатации четким графиком работы обеспечивать их равномерную загрузку; второй — использовать установки, питающиеся одновременно от трех фаз при соединении катушек индукторов в звезду, треугольник или открытый треугольник. Но здесь надо иметь в виду, что, если в электрических машинах обмотки всех фаз расположены вполне симметрично, то при индукционном нагреве три отдельных индуктора трёхфазной индукционной установки расположены по одной оси, что вызывает пространственную асимметрию. Электрически это сказывается в разной взаимоиндуктивности индукторов даже при их одинаковом исполнении. Пространственная асимметрия приводит к тому, что при одинаковом конструктивном исполнении катушек токи и мощности, потребляемые из сети, оказываются разными. Следует учитывать, что мощность, потребляемая каждой отдельной катушкой из сети, не равна сумме мощностей, расходуемых в самой катушке в виде потерь, и в располагаемой в ней заготовке, т.к. в рассматриваемой системе происходит перераспределение энергии между индуктивно связанными элементами.

Трёхфазные индукторы для индукционных нагревательных установок имеют некоторые преимущества по сравнению с однофазными, в отношении симметрирования нагрузки сети и возможности разнообразного распределения передачи тепла вдоль оси заготовок по сравнению с одним индуктором. Однако, в трёхфазной индукционной нагревательной установке три однофазных индуктора расположены соосно, поэтому возникает пространственная асимметрия. Электрически это сказывается в разной взаимоиндукции соседних и крайних индукторов даже при их одинаковом исполнении. По условиям нагрева отдельные индукторы трёх фаз должны примыкать друг к другу как можно плотнее. Однако, при этом усиливается взаимное индуктивное влияние отдельных индукторов друг на друга, относительная величина которого зависит от отношения взаи-

моиндукции к собственному полному сопротивлению отдельных индукторов. Это отношение и, следовательно, взаимное влияние в общем будет тем больше, чем больше отношение диаметра к длине отдельных индукторов.

Вследствие взаимного индуктивного влияния отдельных катушек, КПД, удельный расход реактивной мощности, а также асимметрия нагрузки сети зависят от схемы соединения отдельных индукторов. От этой схемы соединения зависит также, без учёта конструктивных особенностей, картина аксиальной напряженности поля вдоль оси индуктора.

Известно, что хотя отдельные катушки выполнены совершенно одинаковыми и подключены на одинаковое напряжение, токи в катушках сильно отличаются друг от друга и в особенности заметно различное потребление активной мощности отдельными катушками. Причиной этому является тот факт, что между катушками имеет место дополнительный обмен мощностью. Благодаря этому для баланса мощности отдельных катушек, наряду с тепловыми потерями в меди катушек и мощностью, индуцированной в заготовке, следует учитывать обмен мощностью с сетью и индуктивный обмен мощностью с другими катушками.

Как показывают измерения, аксиальное поле в катушке с трёхфазным подключением, не является равномерным по длине даже внутри катушки. В местах стыка поле имеет очень глубокие впадины. Виной этому является сдвиг фаз потоков трёх отдельных катушек.

Если пренебречь взаимным влиянием отдельных катушек, то этот сдвиг фаз был бы равен 120° , благодаря взаимному влиянию эта величина несколько изменяется.

Абсолютное значение аксиальной силы поля в месте стыка получается из векторного среднего значения потока соседних катушек и при сдвиге фаз в 120° достигает только 50% от величины поля в середине катушки.

Этот провал будет меньше, если уменьшить сдвиг фаз пространственно соседних потоков. При трёхфазной катушке это может быть осуществлено очень просто переключением концов средней катушке при обратно симметричной схеме.

У трёхфазной катушки к этому влиянию концов всей катушки добавляется влияние стыков двух соседних фаз и именно тем больше, чем больше сдвиг фаз по времени полей соприкасающихся частей катушек. При таком рассмотрении однофазная катушка представляет собой идеальный граничный случай отдельных катушек, поля которых по времени имеют ту же фазу. Такая катушка должна иметь наивысший КПД при равных геометрических размерах. Для трёхфазных катушек эта одинаковость фаз по времени недостижима, так как это свойственно только однофазным катушкам. Однако, и в этом случае следует стремиться к возможно большему выравниванию фаз по времени. Таким образом, с точки зрения этих соображений следует предпочесть несимметричную схему.

Следует также обратить внимание на то, что эффективное активное сопротивление индуктора может зависеть от формы поля. Как известно, эффективное активное сопротивление на переменном токе часто значительно больше, чем активное сопротивление на постоянном токе. Вытеснение тока, вызывающее этот эффект, обуславливает в равномерном поле катушки вытеснение тока на сторону проводника, находящуюся внутри катушки. На конце катушки, где поле в области обмотки проходит не параллельно оси катушки, а получает радиальную составляющую, при соответствующем профиле обмоточной меди, могут возникнуть дополнительные потери от вытеснения тока.

Такие краевые явления, кроме концов всего индуктора, возникают также и в местах стыка отдельных катушек и опять тем сильнее, чем больше сдвиг фаз по времени соседних потоков. Таким образом, стремление сделать потери из-за вытеснения тока возможно малыми, приводит к тому, что приходится стремиться к возможно малому сдвигу фаз по времени у соседних потоков.

Трёхфазные индукторы имеют также то преимущество, что отдельные катушки могут включаться порознь, что даёт возможность получать с одинаковыми катушками различные аксиальные плотности мощности и соответствующее распределение температуры. Остающаяся некоторая асимметрия сети в большинстве случаев может быть компенсирована соответствующей схемой соединения катушек. Однако, следует иметь в виду что потребление мощности отдельной катушкой из сети, не находится в прямой зависимости от мощности, индуктированной этой катушкой в садке. В значительной степени потребление мощности из сети зависит от взаимного перекачивания мощности между отдельными катушками.

УДК 621.365

А.И. ДАНИЛУШКИН, д.т.н., профессор,
А.В. КОЖЕМЯКИН,
С.В. КНЯЗЕВ, аспиранты
(СамГТУ) г. Самара

Исследование электротепловых процессов в методическом индукционном нагревателе

При нагреве массивных заготовок в методическом индукционном нагревателе наряду с температурным перепадом по сечению нагреваемого изделия имеет место неравномерное температурное распределение по длине заготовки вследствие значительного перепада температур торцевых поверхностей контактирующих заготовок, что может привести к существенному отклонению температурного распределения заготовки,

находящейся на выходе из индуктора. Для оценки температурного распределения по длине заготовки необходимо решать двумерную тепловую задачу, которая позволит определить распределение температуры как по длине, так и по радиусу. Используя известные методы решения электромагнитной задачи, в работе получены выражения для функции распределения мощности внутренних источников тепла, которые затем используются для решения тепловой задачи.

Полное моделирование процесса индукционного нагрева требует совместного решения электромагнитной задачи для всей системы, внутренней электротепловой задачи и задачи внешнего теплообмена. Для решения этих задач необходимо знание характера электромагнитных и тепловых процессов и средств их количественного описания (моделирования).

В настоящей работе исследуются электротепловые процессы в системе «индуктор – металл» с целью качественной оценки характера распределения внутренних источников тепла и температуры по объему цилиндрической заготовки для каждой n -ой заготовки, находящейся внутри индуктора

При решении любой сложной системы принимается ряд общих и специфических допущений, корректность которых зависит от конкретной системы. К общим допущениям при решении электромагнитной задачи можно отнести: отсутствие запаздывания электромагнитной волны в воздухе; расчет установившихся электромагнитных процессов для величин, меняющихся по гармоническому закону; однозначность зависимости магнитной проницаемости от напряженности магнитного поля; магнитная проницаемость считается действительной величиной.

При решении нелинейных уравнений электромагнитного поля основную кривую намагничивания аппроксимируют аналитическими выражениями, которые, с одной стороны, должны достаточно точно описывать эту кривую, а с другой - допускать интегрирование системы уравнений поля в удобном для расчетов виде. Наибольшее распространение получила параболическая зависимость. Однако, сложная структура исследуемой системы «индуктор – нагреваемое изделие», содержащая ряд конструктивных элементов с различными физическими свойствами, не позволяет с достаточной для практики точностью использовать аналитические методы решения.

Численный расчет электромагнитных полей в сложной составной структуре тел, содержащей ферромагнитные участки магнитной цепи, стальные конструктивные элементы и ферромагнитную загрузку, производился с помощью программного комплекса ELCUT 5.2 Professional [1]. Расчет производился в два этапа. На первом этапе электромагнитная задача решалась как задача нестационарного магнитного поля, которая позволяет рассчитывать поле, возбужденное токами произвольной формы и анализировать переходные процессы. В качестве исходных данных

вводятся: свойства сред, источники поля, распределенные и сосредоточенные токи, кривые намагничивания ферромагнитных материалов, граничные условия и др. Основными расчетными параметрами являются изменяющиеся во времени магнитный потенциал, магнитная индукция, напряженность поля, токи, энергия магнитного поля, силы Лоренца, моменты, собственные и взаимные индуктивности и потокосцепление.

Задача расчета нестационарного магнитного поля представляет собой общий случай расчета магнитного и электрического полей, вызванных переменными токами (синусоидальные, импульсные и др.), постоянными магнитами, или внешним магнитным полем, в линейной и нелинейной (ферромагнитной) среде, с учетом вихревых токов (поверхностный эффект).

Однако, полученные результаты являются промежуточными и не позволяют определить интегральные характеристики устройства, необходимые для проектирования. Для расчета интегральных параметров индукционной системы, полученные дифференциальные результаты далее использовались как исходные данные в аналогичной геометрии задачи расчета стационарного магнитного поля переменных токов. Интегральными параметрами при расчетах стационарного магнитного поля переменных токов являются такие величины, как полный электрический ток (с его сторонней и вихревой компонентами), электрическое напряжение, мощность тепловыделения (омические потери), вектор Пойнтинга, индукция магнитного поля, напряженность магнитного поля, магнитные силы и их моменты, комплексное сопротивление (импеданс), индуктивность.

Анализ стационарного магнитного поля переменных токов состоит в расчете электрического и магнитного полей, возбужденных приложенными переменными (синусоидально изменяющимися во времени) токами или внешним переменным полем. Изменение поля во времени предполагается синусоидальным.

Задача формулируется как дифференциальное уравнение в частных производных относительно комплексной амплитуды векторного магнитного потенциала. Вектор магнитной индукции предполагается лежащим в плоскости модели, в то время как вектор плотности электрического тока и векторный магнитный потенциал ортогональны к нему.

Полученные в результате расчета электромагнитной задачи внутренние источники тепла используются далее при решении задачи расчета температурного поля заготовки.

Решение тепловой задачи выполнено методом конечных элементов (МКЭ), который дает возможность достаточно точно учитывать все нелинейности путем изменения всех нелинейных величин с каждым шагом по времени, а также задать сложную геометрию нагреваемого изделия.

Тепловая задача в процессе исследования формулируется как задача расчета температурного поля, обусловленного электромагнитными источниками тепла в заготовке [2, 3]. Геометрическая модель заготовки

соответствует геометрии электромагнитной задачи. Разбиение на блоки производилось таким образом, чтобы была обеспечена полная аналогия моделей обеих задач для передачи данных из электромагнитной задачи в тепловую. При построении сетки конечных элементов задавался автоматический шаг дискретизации.

Литература

1. ELCUT. Моделирование двумерных полей методом конечных элементов. Руководство пользователя. Версия 5.7. С-Пб.: Производственный кооператив TOP, 2009.
2. **Лыков А.В.** Теплообмен (Справочник) М.: Энергия, 1978. —480 с.
3. **Немков В.С., Демидович В.Б.** Теория и расчет устройств индукционного нагрева. – Л.: Энергоатомиздат, 1988. – 280 с.

УДК 621.3:517.951

В.Н. МЕЩЕРЯКОВ., д.т.н., профессор,
С.С. ТИТОВ, аспирант
(ЛГТУ) г. Липецк

Комплекс оборудования для симметричного индукционного нагрева металлоизделий шарообразной формы

1. Вводная информация

Создание комплексов оборудования непрерывного действия, обеспечивающего симметричный на заданную глубину поверхностный нагрев, например под термообработку металлических шаров исключительно актуально для ряда отраслей промышленности, в частности в массовых производствах мелющих тел для горно – обогатительных фабрик и цементных заводов, шариков подшипников качения.

Более всего этой востребованной промышленностью совокупности параметров нагрева отвечает индукционный способ с прямым и высокоскоростным превращением электрической энергии в тепловую, отличающийся простотой регулирования температуры и глубины прогрева, что позволяет получать после закалки и отпуска оптимальное сочетание высокой поверхностной твердости изделий с относительно пластичной сердцевиной (ударная стойкость).

Однако, при всех известных достоинствах этого способа применимость его с обеспечением требуемой симметричности нагрева в настоящее время ограничена в мировой практике преимущественно изделиями непрерывного сечения или близкого к таковому.

В настоящей работе анализируются технические решения в зарегистрированных в последние годы отечественных изобретениях, направленных на решение обозначенной проблемы. Заметим: проблемы, не нашедшей к настоящему времени научно – технического разрешения в мировой практике.

Общей в рассматриваемых изобретениях идеей технического решения поставленной задачи является конфигурация индуктора ТВЧ, направляющий желоб которого (или профиль замкнутого сечения) изогнут в пространственную спираль с вертикальной осью симметрии.

Кинематика движения шарика в спиральном индукторе (свободное скатывание) характеризуется двухмерным, а в другом случае, при переменной кривизне витков спирали - трёхмерным побуждением к изменению направления его оси собственного вращения от входа в индуктор, до выхода из него, что предопределяет возможность создания установок ТВЧ непрерывного действия, обеспечивающих равномерное по плотности взаимодействие всей поверхности скатывающегося шара с электромагнитным полем в индукторе и, соответственно, достижение искомого симметричного нагрева на заданную глубину – скоростного и потому высокоэнергoeffективного, без окисления и обезуглероживания.

2. Направления проведённых авторами исследований в плане теоретического обеспечения создания электротехнического оборудования согласно концепции, очерченной во вводной части

2.1. Сравнительный анализ двух вариантов конфигурации пространственных спиралей, по которым изогнуты направляющие профили:

- цилиндрическая (рис.1.);
- вписанная в поверхность однополостного гиперболоида, или другую поверхность второго порядка (рис.2.).

Оба варианта защищены патентами РФ на изобретения (№2316603 - 2008 г.; №2370550 - 2009 г.).

2.2. Сравнительный анализ трёх вариантов очертаний поперечных сечений направляющих профилей: корытообразного (II), кольцевого (труба) и прямоугольного.

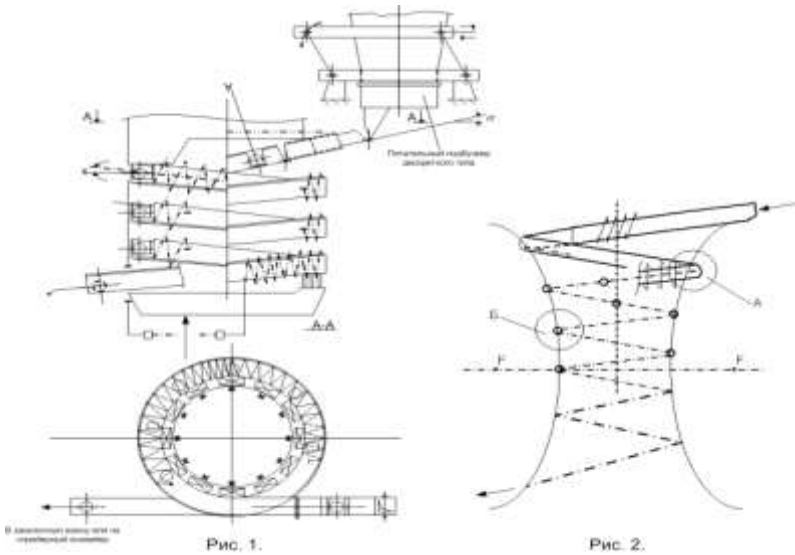


Рис. 1, 2. Конфигурации пространственных спиралей индукторов.

3. Сравнение вариантов геометрических конфигураций спиральных индукторов

Преимущества гиперболоидных индукторов согласно рис.2., вытекающие из переменной кривизны витков их спиральных направляющих профилей, очевидны: изменение направления осей собственного вращения скатывающихся шаров в трёх координатах - X, Y и Z, в отличие от двумерного в цилиндрических по рис.1, плюс двукратное опрокидывание направления осей вращения – от горизонтального вначале, до поворота на 90^0 в фокальной зоне, и обратно ниже фокальной плоскости, до выхода из индуктора.

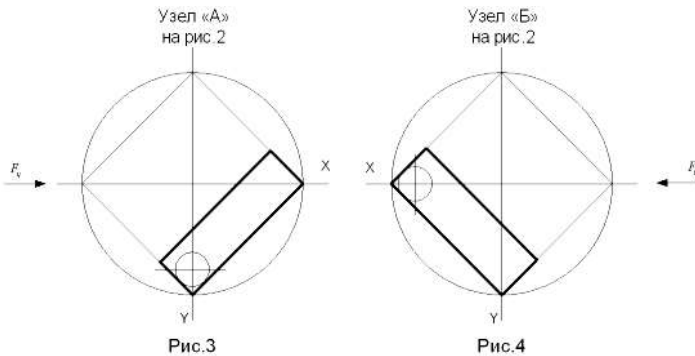
Иллюстрации раскрытых характерных узлов «А» и «Б» на рис.2. приводятся в разделе 4.

4. Сравнительный анализ вариантов очертаний поперечных сечений направляющих профилей

Обозначенные в пункте 2.2. варианты были исследованы графо – аналитическим методом наложения механики – математического сопровождения качения шаров на развёртки соответствующих направляющих профилей по их характерным участкам. В итоге корытообразное (П) сечение признано неприемлемым ввиду его одноколейности, а из двухколейных исключено кольцевое по результатам физико – математического

исследования на предмет влияния на движение шаров магнитного поля в индукторе (неизбежность вращательных вибраций в движущихся шарах относительно их центров масс). Оптимальным сечением является прямоугольное, с двумя клиновидными колеями согласно рис.3. и рис.4.

Алгоритмом условия симметричного нагрева является равенство $\sum t_X = \sum t_Y$, где $\sum t_X$ - суммарное время качения шара с горизонтальным направлением оси собственного вращения в координате X (узел «А» на рис.3.); t_Y - время качения с направлением оси вращения, повернутым на 90^0 в оси Y (узел «Б» на рис.4.).



$F_{ц}$ - вектора действия центробежных сил. В тонких линиях – построение прямоугольного сечения вычлениением из вписанного в окружность квадрата. В характерных узлах «А» и «Б» показано на n – ном (эн – ном) витке выше фокальной плоскости выкатывание шара из клиновидной колеи в оси Y в колею по оси X под действием возросшей центробежной силы с поворотом оси вращения на 90^0 . На i – том витке ниже фокальной плоскости произойдёт обратный процесс – скатывание шара в первоначальную колею вследствие уменьшающейся кривизны витков спирали (то самое «двойное опрокидывание» направления оси вращения шара).

Литература

1. **Слухоцкий А.Е.** Индукторы – М.: Машиностроение, Ленинградское отделение, 1989 – 67с.
2. **Фогель А.А.** Промышленное применение токов высокой частоты – М.: Машиностроение, 1965 – 77с.
3. **Явленский А.К., Явленский К.Н.** Теория динамики и диагностики систем трения качения, Л.:изд – во ЛГУ, 1978 – 184с.

УДК 621.324

А.А. БАЗАРОВ, д.т.н., доцент,
 Р.Р. ЛАТЫПОВ Р.Р., к.т.н., доцент,
 С.В. СТЕПАНОВ инженер, И.О.ЩЕПИН, аспирант
 (СамГТУ) г. Самара

Оптимальное проектирование конструкции индукционного нагревателя зубцовой зоны дисков турбокомпрессоров

Рассматриваемая задача одновременного индукционного нагрева нескольких зубцов диска турбокомпрессора для термической обработки [1] характеризуется наличием ферромагнитной среды, сложной формой зубцов и необходимостью учета оттока тепла в массивный диск. Все это приводит к необходимости совместного решения задач оптимального проектирования и синтеза управления. Процесс термоупрочнения состоит из двух этапов: нагрев, обеспечивающий равномерное распределение температуры в нескольких зубцах и прилегающей области полотна диска с целью снятия остаточных напряжений; кратковременное охлаждение поверхности с большой интенсивностью и затем остывание в естественных условиях.

При оптимальном проектировании конструкции нагревателя в качестве параметров рассматриваются пространственное распределение мощности, зависящее от частоты источника питания и уровня мощности, а также расположение и форма каждого витка индуктора.

Для решения задач расчета электромагнитных и тепловых процессов в проектируемой индукционной системе используются конечно-элементные модели [2, 3]. Электромагнитная задача решается с учетом кривой намагничивания для материала диска. В тепловой задаче учитывается зависимость свойств материала. Кроме того, с целью повышения точности модели электромагнитных и тепловых процессов объединены в связанную модель. Это позволяет повысить точность расчетов и предопределяет использование численных методов оптимизации конструкции.

Целью задачи проектирования является создание индуктора, способного обеспечить локальный нагрев фрагмента диска, что позволит сэкономить на энергозатратах. При этом в качестве критерия качества выступает минимум расхода энергии

$$\int_0^{t_f} P dt \rightarrow \min \quad (1)$$

при обеспечении ограничения на функцию распределения внутренних источников тепла в заготовке

$$|w(x) - w_3(x)| < \varepsilon \quad (2)$$

Задача проектирования является многошаговой, так как заранее неизвестно, какой должна быть функция распределения внутренних источников тепла, что вызвано неоднозначностью связи результирующего температурного поля после нагрева и видом этой функции. Корректировка функции осуществляется путем проверки на модели теплового процесса каждого промежуточного оптимального варианта конструкции.

Результаты расчета электромагнитного поля и распределения внутренних источников тепловыделения хорошо оценивать с помощью стандартных средств программы для каждого из интересующих участков поверхности.

В задаче синтеза управления для тепловой модели заранее задается число интервалов управления, на каждом из которых оговариваются некоторые параметры: коэффициент конвективного теплообмена с окружающей средой (воздух или жидкость), наличие внутренних источников. Целью для задачи синтеза является минимизация расхода энергии (1) при ограничении на отклонение распределений температуры на всей траектории движения от заданной временной функции

$$\left| T(x, y, z, t) - T_3(t) \right| < \varepsilon \quad (3)$$

Анализ результатов расчетов температурных распределений позволяет произвести коррекцию таких параметров как уровень мощности и длительности интервалов управления. В качестве процедуры поиска оптимальных параметров выбран численный метод Нелдера-Мида. Несмотря на необходимость использования ручной обработки результатов и дополнительных вычислений в математическом пакете Mathcad, в целом, процедура удобна и эффективна. После достижения приемлемых результатов системы управления производится переход к очередному шагу задачи оптимального проектирования. Таким образом, комплексная оптимизация конструктивных и режимных параметров представляет собой двухуровневую задачу с встроенными итерационными процедурами поиска оптимальных вариантов. Выбор наилучшего решения производится в результате анализа всех рассмотренных вариантов.

Литература

1. **Базаров А.А., Данилушкин А.И., Головачев А.Л.** Расчет и анализ устройств электронагрева для термопластического упрочнения дисков турбин. Труды Всероссийской науч. техн. конференции «Актуальные проблемы энергосберегающих электротехнологий». Екатеринбург. 19-21 апреля 2006 г. с.52-56
2. **Демирчян К.С., Солнышкин Н.И.** Расчет трехмерных магнитных полей методом конечных элементов // Изв. АН СССР: Энергетика и транспорт. – 1975. - № 5. – с. 39-49.
3. **Сегерлинд Л.** Применение метода конечных элементов.–М.: Мир, 1979. 392 с.

Технологический источник тока для микроплазменного оксидирования

Разработка новых экологически чистых технологий нанесения высокоэффективных и надежных покрытий для защиты и упрочнения металлических изделий, бесспорно, является сегодня одной из самых актуальных задач современной науки и техники в связи с ужесточением условий эксплуатации, агрессивности применяемых технологических сред и соответственным повышением требований к конструкционным материалам. Микроплазменное оксидирование - сравнительно новый вид поверхностной обработки и упрочнения главным образом металлических материалов берет свое начало от традиционного анодирования и относится к электрохимическим процессам. Микроплазменное оксидирование (МПО) позволяет получать многофункциональные керамикоподобные покрытия с уникальным комплексом свойств, обладающих износостойкостью, коррозионной стойкостью, теплостойкостью.

Типовая установка для МПО состоит из гальванической ванны, технологического источника тока, системы охлаждения электролита и системы вентиляции. Важнейшим фактором, влияющим на протекание процесса микродугового оксидирования, и соответственно на свойства формируемых покрытий, является изменение условий поляризации: формы и частоты следования импульсов, силы поляризующего тока, напряжения в ванне и других параметров. На основании этого, основным элементом установки, влияющим на свойства формируемых покрытий, является технологический источник тока (ТИТ).

Обзор схемотехнических вариантов технологических источников тока [1-4] позволил выделить основные типы построения: конденсаторные, с удвоением напряжения, тиристорно-конденсаторные и тиристорные [4]. Первые, построенные на пассивной элементной базе, обладают узким диапазоном регулирования параметров процесса. Тиристорные ТИТ позволяют в достаточно широком диапазоне производить регулировку электрических параметров процесса посредством изменения угла отпирания, а применение системы управления позволяет автоматизировать процесс МПО.

Обзор зарубежных источников [2, 3] выделил несколько вариантов реализации ТИТ, построенных на основе быстродействующих полупроводниковых полностью управляемых ключей. Общими недостатками, присутствующими всем представленным выше вариантам является отсутствие возможности формирования покрытий с заданным набором свойств, а также

низкий коэффициент мощности и высокий уровень высших гармоник, возвращаемых в питающую сеть.

Обобщение информации о наработанных технологических режимах формирования МПО-покрытий подтверждает необходимость разработки интеллектуального технологического источника тока, который обеспечивает широкий набор свойств получаемых покрытий.

В настоящий момент на кафедре «Электрические и электронные аппараты» ЮРГТУ (НПИ) разработан и изготовлен опытный образец ТИТ [5], построенный на основе трехфазного тиристорного инверторного преобразователя, который прошел испытания в одной из лабораторий химико-технологического факультета ЮРГТУ (НПИ). В результате испытаний были получены оптически селективные и черные оксидные пленки на алюминии и его сплавах. Особенностью данного ТИТ является наличие микропроцессорной системы управления с программным обеспечением, позволяющими задавать требуемый режим МПО, а также производить мониторинг и протоколирование процесса микроплазменного оксидирования.

С учетом анализа параметров существующих ТИТ для МПО сформулированы требования к новому источнику тока, выполнение которых обеспечит формирование покрытий методом МПО с заданным набором физико-химических свойств. К основным из этих требований относятся:

- обеспечение биполярного режима выходного напряжения;
- независимое задание анодного и катодного напряжений;
- реализация требуемых режимов, обеспечивающих поддержание заданных параметров процесса;
- возможность программного задания режимов или последовательности режимов;
- косвенное определение плотности электролита расчетным путем в режиме реального времени;
- изменение параметров режима МПО от температуры электролита;
- мониторинг и протоколирование процесса;
- программное задание требуемого режима МПО.

Одним из немаловажных требований к источнику питания также является компенсация реактивной потребляемой мощности и снижение уровня высших гармоник, возвращаемых в сеть, что обусловлено ужесточением требований электромагнитной совместимости технических средств. На основе этих требований разработана структурно-функциональная схема интеллектуального ТИТ (рис. 1), где ККМ – корректор коэффициента мощности, РАН – регулятор анодного напряжения, РКН – регулятор катодного напряжения, МПБУ – микропроцессорный блок управления, U – выходное напряжение, I – выходной ток, T – температура электролита, ПЭВМ – персональная электронно-вычислительная машина.

Входящий в состав ТИТ корректор коэффициента мощности - ККМ обеспечивает компенсацию реактивной мощности, снижение уровня высших гармоник и повышение входного напряжения до 900В. Для реали-

защи независимого задания значений анодного и катодного напряжений в ТИТ входят блоки РАН и РКН. Инверторный преобразователь позволяет формировать на выходе ТИТ биполярные импульсы напряжения заданной длительности.

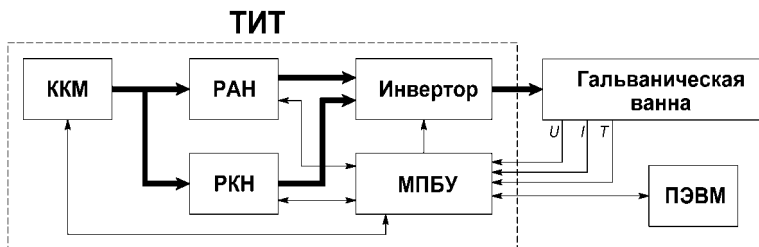


Рис. 1. Структурно-функциональная схема ТИТ

Особенностью предлагаемого ТИТ является наличие микропроцессорного блока управления, который осуществляет управление всеми модулями, задает требуемый режим работы в целом, обеспечивает связь с ПЭВМ для реализации мониторинга процесса и его протоколирования. Программное обеспечение МПБУ осуществляет управление процессом МПО с учетом данных о температуре электролита, выходных тока и напряжения, а также значения плотности электролита, полученной расчетным путем в режиме реального времени.

В задачи программного обеспечения ПЭВМ входит реализация пользовательского интерфейса, задание необходимого режима работы ТИТ путем задания параметров покрытия и мониторинг процесса МПО с возможностью вывода данных в виде графической информации, а также протоколирование процесса для возможности просмотра параметров процесса в автономном режиме.

Литература

1. **Суминов И. В., Эпельфельд А.В. Людин В.Б.** и др. Микродуговое оксидирование (теория, технология, оборудование) / М.: ЭКОМЕТ, 2005. – 352 с.
2. **Patent EP2045367A1 (C25D11/04 2006.01).** Method for anodically oxidizing aluminum alloy and power supply for anodically oxidizing aluminum alloy / Odajima Hiromichi, Hayashi Kazuo Sano-shi, Koyama Yuji; 05.07.2007.
3. **Patent US2010/0243457A1 (B32B15/04 2006.01, C25D11/04 2006.01).** Anodic oxid coating and anodizing oxidation method / Masahiro Fujita, Tomoharu Yamamoto, Hiroomi Tanaka; 17.05.2005.
4. **Патент RU75393U1 (C25D11/02 2006.01).** Устройство для микродугового оксидирования вентильных металлов. / Мизрах Енис Аврумович, Копылов Евгений Алексеевич; 10.08.2008.
5. **Павленко А.В., Большенко А.В., Пузин В.С., Васюков И.В.** Источник питания для устройств микродугового оксидирования / Изв. вузов. Сев. – Кавк. регион. Техн. науки. – 2011, №1 – С. 69-73.

Разработка СВЧ плазмотрона атмосферного давления

В последние десятилетия СВЧ-плазма высокого давления востребована в перспективных направлениях науки, таких как: водородная энергетика, плазмохимия, космическая энергетика, источники света на основе СВЧ-разряда, осаждение пленок, генерация наноматериалов и ядерная энергетика [1, 2, 3]. Достоинства безэлектродной неравновесной СВЧ-плазмы состоят в отсутствие загрязнения плазмы материалами электродов и в возможности получения плазмы в газах при повышенных давлениях. Новыми областями применения плазмтронов являются пищевая промышленность.

Создание устройств для генерации СВЧ-плазмы является актуальной задачей. Традиционно СВЧ-плазмтроны работающие при атмосферном давлении, выполненные на основе волноводной рабочей камеры, имеют СВЧ-мощность больше 1 кВт [3]. Работы по созданию СВЧ-плазмтронов проводятся в России: ИТ СО РАН [4], ФГУП МРТИ [5], ИОФ РАН [6]. В последние годы появился ряд работ посвященных созданию СВЧ-плазмтронов на основе магнетронных генераторов непрерывного режима используемых в бытовых микроволновых печах с СВЧ-мощностью не более 1кВт [4]. Плазмтроны с малой мощностью разрабатываются на основе резонаторных рабочих камер, в которых можно при минимальной мощности питания обеспечить высокое значение напряженности электрического поля для эффективного поджига и горения разряда. Высокие напряженности электрических полей достигаются в резонаторных рабочих камерах с волной E и TEM типов или с применением штыревых структур.

Разработка СВЧ-плазмтронов разных типов ведется с начала 60-г прошлого века [3] с использованием генераторов большой средней мощности на основании волноводных и резонаторных структур. В плазмтронах с мощностью менее 1 кВт самостоятельный поджиг разряда при атмосферном давлении невозможен, требуется введение инициаторов. При создании рабочих камер плазмтрона желательно использовать резонаторы с большей напряженностью электрического поля и высокой добротностью. По нашим оценкам наиболее оптимальным резонатором для плазмтронов является цилиндрический резонатор со штыревой системой.

С использованием современных численных методов расчета резонансных структур выполнен расчет ЭДХ резонатора со штырём, размещенным соосно резонатору. Для выравнивания значений напряженности электрического поля на оси резонатора и предотвращения пробоя вне оси рассматривались несколько форм штырей: конусообразная, цилиндри-

дрическая с прямым срезом угла, цилиндрическая со скругленными краями. Последний штырь дает лучшие результаты, так как поперечные и продольные значения напряженности электрического поля на оси и на краях штыря отличаются не более чем на 10%. Параметр напряженности электрического поля на оси в области штыря достигал значения $\xi=8,5$ (Ом)^{0,5}/см. Такое значение параметра напряженности электрического поля позволит получить эффективно горящий разряд при СВЧ мощности менее 1 кВт.

Выполнены расчеты и оптимизация размеров штыревой вставки в резонатор на рабочей частоте 2450 МГц. В центре штыревой вставки предусмотрено отверстие диаметром 10 мм для размещения кварцевой разрядной трубки. Методом резонатора аналога с использованием численных данных проведен расчет коэффициента связи резонатора с прямоугольным волноводом сечением 72×20 мм на основной волне. Окно связи размещалось на цилиндрическом корпусе в районе штыря. Рассчитаны коэффициенты связи для ширины окна в диапазоне от 20 мм до 40 мм. Для обеспечения эффективной передачи СВЧ-энергии горящему разряду резонатор должен быть пересвязан с волноводом. Оптимальная ширина окна связи выбирается экспериментально при работе плазматрона на высоком уровне мощности.

С учетом производственной базы лаборатории "СВЧ-энергетика" НИЯУ МИФИ разработана разъемная конструкция СВЧ-плазмотрона, которая упрощает и делает удобным процесс настройки и экспериментального исследования устройства. В рабочей камере плазмотрона предусмотрены отверстия для кварцевой трубки. Выполнена аналитическая оценка СВЧ-мощности, которая излучается из отверстия диаметром 10 мм в крышке плазмотрона. Показано, что даже при толщине крышки 4,0 мм плотность потока СВЧ-мощности не превысит установленной нормы безопасности 10 мкВт/см². Для подачи плазмообразующего газа предусмотрена система продувки с использованием бытового безмасляного компрессора с резистивным объемом 24 л и максимальным давлением 8 атмосфер. Данная система позволяет регулировать расход воздуха от 1,0 л/с до 3,5 л/с. Для размещения индуктивного зонда при измерении ЭДХ резонатора и для наблюдения за характером движения плазмоида предусмотрен ряд отверстий в боковой стенке резонатора. В качестве питающего СВЧ-генератора использовался магнетронный генератор М-105-1 с частотой 2450 МГц и мощностью до 600 Вт. Высоковольтный источник питания магнетона собран по двухполупериодичной схеме выпрямления напряжения с двумя выпрямительными мостами и питается от однофазной сети переменного тока 220 В, 50 Гц. Контроль и регулировка мощности осуществляется по току на аноде магнетрона. Для передачи мощности от СВЧ-генератора в резонатор изготовлен волноводный переход прямоугольного сечения от волновода 72×34 мм к 72×20 мм.

На штатной измерительной установке по методу четырехполюсника с использованием перестраиваемого генератора Г4-79, электронно-счетного частотомера ЧЗ-66 и гетеродинного анализатора спектра Ч4-27 выполнены экспериментальные исследования характеристик и настройка изготовленной рабочей камеры. При помощи панорамного измерителя КСВН Р2-86 производилась измерение и настройка окна связи резонатора с волноводным трактом. Настроенный резонатор имел следующие параметры: резонансная частота 2449,3 МГц, коэффициент связи 5 и нагруженная добротность 1200.

Выполнено экспериментальное исследование и наладка плазматрона на высоком уровне мощности. Устойчивая работа плазматрона достигалась введением системы стабилизации частоты питающего магнетрона самой резонаторной нагрузкой [1]. Для поджога разряда в кварцевой трубке используются выдуваемые металлические проволочки 0,1 мм и длиной 2-5 мм. В результате образовывался плазменный факел высотой до 35 мм. Выполнено измерение температуры факела. Исследовалась электромагнитная совместимость плазматрона с использованием измерителя плотности потока энергии ПЗ-19. Измеренная плотность потока энергии не превысила 8,2 мкВт/см², что соответствует всем принятым нормам для микроволновых печей.

Разработанный плазматрон используется для исследования процессов бактерицидной обработки упаковочной тары. Такие работы проводятся совместно с ВНИИ Консервной и овощесушильной промышленности РАСХН. Выполнены предварительные эксперименты по обработке зараженной поверхности, показавшие перспективность плазменного метода бактерицидной обработки упаковочной тары.

Литература

1. **Диденко А.Н.** СВЧ-энергетика: теория и практика. – М.:Наука, 2003. 448 с.
2. **Яфаров Р.К.** Физика СВЧ вакуумно-плазменных нанотехнологий. - М.:ФИЗМАТЛИТ, 2009. 216 с.
3. **Дресвин С.В.** ВЧ- и СВЧ-плазмотроны // Новосибирск.: Наука. 1992. 319 с.
4. **Буров В.Ф., Стрижко Ю.В.** СВЧ-плазматрон со свободно парящим плазмодом // Сб. докл. VI Всероссийской конференции «Горение твердого топлива» 8-10 ноября 2006, – Новосибирск: ИТ СО РАН, 2006.
5. **Есаков И.И., Лавров П.Б., Раваев А.А., Ходатаев К.В. Вихревой СВЧ плазматрон атмосферного давления** // Сб. докл. «XXXVII Международная конференция по физике плазмы и управляемому термоядерному синтезу» 8-12 февраля 2010, - Звенигород, 2010.
6. **Антонов А.В., Власов Д.В., Лукина Н.А., Сергейчев К.Ф.** Определение газовой температуры при пиролизе углеводов в плазменном факеле СВЧ-горелки // Прикл. физика, 2006, № 6. С. 121-126.

УДК 621.314

В.Д. СЕМЁНОВ, к.т.н., профессор,
 А.В. ХРАМЦОВ, аспирант, А.С. УРЮПОВ,
 О.В. КЛАКОВИЧ., Д.Ю. ДЕМЧЕНКО, студенты
 (ТУСУР) г. Томск

Бестрансформаторный формирователь асимметричного синусоидального тока для электрохимических технологий

Исследование электрохимических процессов, протекающих при применении нестационарных токов различной формы, в частности асимметричного синусоидального, и разработка промышленных технологий на их основе является актуальной задачей современной науки [1,2]. Асимметричный синусоидальный ток в частности применяют для получения нанодисперсных порошков металлов [3] и оксидов металлов [4], и для электрохимической активации жидкостей затворения цементных систем [5].

Для формирования асимметричного синусоидального тока в основном используются трансформаторные формирователи, краткий обзор которых проведен в [6]. Простейшая схема трансформаторного формирователя асимметричного синусоидального тока и диаграмма тока на нагрузке представлена на рис. 1. Асимметричный синусоидальный ток в трансформаторных формирователях получается за счет применения вторичных обмоток с разным числом витков (5,6) и вентильных элементов (3, 4), позволяющих осуществлять дополнительное регулирование симметрии выходного сигнала.

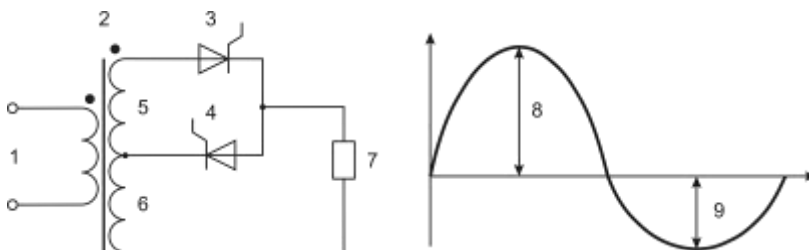


Рис. 1. Схема трансформаторного формирователя:
 1 – входной сигнал, 2 – трансформатор, 3, 4 – вентили (полупроводниковые тиристоры), 5 – полуобмотка трансформатора с числом витков w_1 , 6 – полуобмотка трансформатора с числом витков w_2 (при чем $w_2 < w_1$), 7 – нагрузка, 8 – амплитуда положительной полуволны тока, 9 – амплитуда отрицательной полуволны тока.

Основным недостатком трансформаторных формирователей является ограниченность их применения при формировании выходного сигнала различной частоты. Для этого приходится рассчитывать трансформатор либо на высокие частоты сигнала (свыше 400 Гц), либо на низкие (от 2 Гц). В общем случае, попытка рассчитать и изготовить трансформатор на широкий спектр частот приводит к увеличению его массогабаритных характеристик и к удорожанию конструкции формирователя. Кроме этого, трансформатор в таком формирователе работает с постоянным подмагничиванием и потребляет несимметричный по полупериодам ток, что также приводит к увеличению его массогабаритных характеристик.

На наш взгляд, наиболее выгодной является бестрансформаторная схема формирователя, в которой формирование асимметричного синусоидального тока происходит при помощи дополнительной стойки инвертора, работающей в режиме ШИМ [7]. Схема такого формирователя представлена на рис. 2.

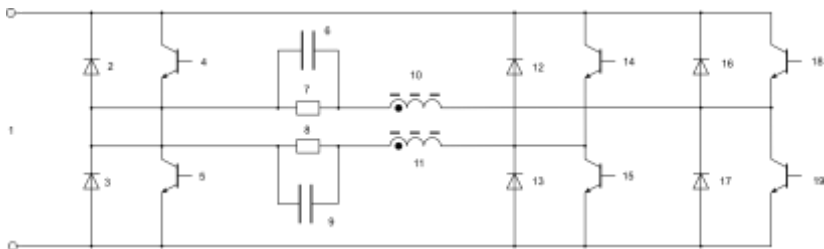


Рис. 2. Схема бестрансформаторного формирователя асимметричного синусоидального тока:

1 – входной сигнал, 2,3,12,13,16,17 – диоды, 4,5,14,15,18,19 – транзисторные ключи, 10,11 – дроссели фильтра, 6,9 – конденсаторы фильтра, 7,8 – нагрузки.

В качестве входного сигнала 1 в данной схеме используется постоянный ток. Стойки инвертора (транзисторы 14,15,18,19 и диоды 12,13,16,17) работают в режиме ШИМ и формируют синусоидальный ток заданной частоты. Дополнительная третья стойка транзисторов (транзисторы 4,5 и диоды 2,3) также работает в режиме ШИМ и формирует заданную асимметрию обратной полуволны. Демодуляция сигнала происходит по средствам фильтров, образованных дросселями 10,11 и конденсаторами 6,9 соответственно. Представленная на рисунке 2 схема позволяет подключать к ней сразу две нагрузки (7,8) (электрохимические аппараты), что является ее дополнительным преимуществом. Схема обеспечивает равномерное потребление тока от питающей сети, как на положительном, так и на отрицательном такте работы.

Рассмотренный выше бестрансформаторный формирователь, можно назвать универсальным, так как он позволяет формировать асимметрич-

ный синусоидальный ток с широким диапазоном частот (от единиц герц до единиц килогерц). При соответствующем расчёте элементов фильтров и алгоритмах управления ключами, он также способен выдавать на нагрузку постоянный ток заданной величины. Такие характеристики формирователя позволяют использовать его в лабораторных исследованиях электрохимических процессов на нестационарных токах, где важно использование как постоянного тока, так и переменных токов с широким спектром частот.

Литература

1. **Е. Ю. Никифоров, А. Б. Килимник.** Закономерности электрохимического поведения металлов при наложении переменного тока. – Вестник ТГТУ. Том 15. №3. 2009. С. 604 – 614.
2. **Килимник А. Б.** Научные основы экологически чистых электрохимических процессов синтеза органических соединений на переменном токе: моногр. /А. Б. Килимник, Е. Э. Дегтярева. – Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. Ун-та, 2008. – 116 с.
3. **Патент на полезную модель РФ № 93713.** Установка для получения нанодисперсного порошка металлов из природного сырья / А. М. Бекназарова, С. В. Образцов, В. Д. Семенов, Г. Д. Семенова, Ю. С. Саркисов. Оpubл. 10.05.2010. Бюл. №13.
4. **Патент на полезную модель РФ № 88593.** Установка для получения нанодисперсного порошка оксидов металлов из природного сырья / А. М. Бекназарова, С. В. Образцов, В. Д. Семенов, Г. Д. Семенова, Ю. С. Саркисов. Оpubл. 20.11.2009. Бюл. №32.
5. **В. Д. Семенов, Г. Д. Семенова, А. Н. Павлова, Ю. С. Саркисов.** Электрохимически активированная вода в технологии цементных систем: моногр. под ред. проф., д-ра техн. наук Ю. С. Саркисова. – Томск: Томский гос. ун-т систем управления и радиоэлектроники, 2007. – 251 с.
6. **Маканков К. В., Новокшенов Ю. С., Семенов В. Д.** «Обзор трансформаторных формирователей асимметричного синусоидального напряжения». Научная сессия ТУСУР-2007: материалы докладов Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. В пяти частях, часть 4, стр. 66-69.
7. **Патент на полезную модель РФ №99669.** Источник питания асимметричного тока или напряжения / В. Д. Семенов, В. В. Русанов, В. А. Федотов, А. С. Урюпов. Оpubл. 20.11.2010. Бюл. №32.

УДК 621.365.5

А.Н. ГОЛУБЕВ, д.т.н., профессор,
В.А. МАРТЫНОВ, д.т.н., профессор,
М.Г. МАРКОВ, к.т.н., доцент, М.С. САЙКИН, к.т.н., доцент,
Л.Б. КОРЮКИН
(ИГЭУ)

Повышение износоустойчивости устройств и механизмов

Повышение износоустойчивости и долговечности различных устройств и механизмов является одной из важнейших задач, которую необходимо решать при их создании. При этом современный уровень развития электротехнологии определяет возможность применения как новых способов упрочнения деталей машин, так и оптимизацию уже известных. На кафедре «Теоретические основы электротехники и электротехнологии» (ТОЭЭ) исследования в данной области осуществляются в следующих основных направлениях:

- моделирование и оптимизация процесса индукционного нагрева на основе совместного расчета взаимосвязанных электромагнитного и теплового полей;
- магнитно-импульсная обработка материалов (МИО);
- разработка герметизаторов на основе магнитной наножидкости (МНЖГ).

Индукционная закалка является в настоящее время одним из основных и наиболее эффективных способов упрочнения поверхностных слоев деталей машин. Несмотря на длительную практику ее применения, возможности ее совершенствования далеко не исчерпаны. Это касается, в первую очередь, создания новых типов источников питания установок индукционной закалки, в качестве которых во многих случаях до сих пор используются электромашинные генераторы. Кроме того, большие резервы повышения эффективности этого метода заключаются в возможности совершенствования конструкций индукторов и оптимизации собственно режимов закалки. Последнее становится особенно актуальным в связи с постоянно повышающимися требованиями к усталостной прочности и твердости закаливаемых изделий. Существующие методы проектирования установок индукционной закалки, и в частности ее основных элементов - индукторов, обычно основаны на применении грубых приближенных методик, опирающихся на экспериментальные данные. Поскольку на самом деле зависимости между термическими и энергетическими параметрами технологического процесса не выражаются в простой форме, такой подход не позволяет получить оптимальные параметры конструкций индукторов и режимов закалки. В этой связи была разработана методика и реализующий ее программный модуль расчета индукторов и режимов индукционной закалки дорожек качения опорно-поворотных

устройств (ОПУ) автомобильных кранов. Необходимость разработки методики возникла в связи с новыми требованиями к глубине закалки и конфигурации закалочной зоны зубчатых венцов и колец ОПУ. До недавнего времени требовалась закалка на глубину порядка 2,5 мм. Согласно новым требованиям к чистоте рабочих поверхностей деталей необходимая глубина поверхностной закалки должна составлять 4...6 мм. При этом толщина закаливаемого слоя в пределах закаливаемого участка должна меняться не более чем на 20 %. Кроме того, недопустим перегрев на кромках деталей.

Основой разработанной методики являются точные математические модели электромагнитных и тепловых процессов индукционной закалки. Закаливаемая область рассматривается как кусочно-однородная среда. Для расчета квазистационарного электромагнитного поля в области индуктора и в зоне закалки в каждом однородном участке используются уравнения типа Гельмгольца в линейном приближении. Возможность кусочно-однородной линеаризации электромагнитной задачи возникает в силу того, что, во-первых, в каждой из однородных зон магнитное поле меняется по пространству достаточно медленно и поэтому магнитную проницаемость в пределах каждой из подобластей можно считать постоянной, и, во-вторых, электромагнитные процессы устанавливаются гораздо быстрее тепловых.

Для расчета теплового поля используется нестационарное нелинейное уравнение теплопроводности, в котором учитывается зависимость удельной теплопроводности и теплоемкости от температуры.

Реализующий данную методику расчетный модуль, разработанный с использованием программного комплекса EICut, включает в себя восемь основных окон:

- главное окно, содержащее меню выбора типа индуктора, текстовое поле, а также ряд кнопок, при помощи которых можно вызвать все остальные окна программы;
- четыре окна создания задачи, соответствующие четырем типам индукторов;
- окно расчёта величины закалочного тока;
- окно совместного расчёта электромагнитной и тепловой задач;
- окно построения графиков зависимости температуры от времени.

В области МИО материалов на кафедре ТОЭЭ создана установка, позволяющая варьировать в широких пределах режимы и параметры процесса обработки.

Основные характеристики установки для МИО:

- напряжение питания – 220/380 В;
- диаметр рабочего пространства – от 10 до 175 мм;
- рабочий диапазон изменение магнитной индукции – 0,1...1 Тл;
- режимы намагничивания:
- переменным током частоты 50 Гц;

- постоянным током;
- пульсирующим однополярным током;
- пульсирующим двуполярным током;
- единичными однополярными импульсами регулируемой длительности (от 40 мс до 5 с с паузами между импульсами от 0 до 5 с);
- пакетами однополярных импульсов регулируемой длительности (число импульсов в пакете - от 1 до 15);
- возможность подключения различных измерительных приборов для контроля за протеканием технологического процесса с последующей обработкой результатов измерений на ЭВМ.

Полученные результаты показали, что разработанная методика МИО позволяет существенно повысить износоустойчивость режущего инструмента, в частности дорогостоящих фрез (до 40%). При этом экономичность метода по сравнению с другими способами упрочнения, например на установке «Булат», существенно выше, в том числе и в отношении энергетических затрат.

МНЖГ предназначены для герметизации валов, совершающих вращательное или возвратно - вращательное движение между средами с перепадом давлений или средами, содержащими различные вещества, для предотвращения их перемешивания. Герметизируемой средой может являться вакуум с различной степенью разрежения, инертные газы, пары и жидкости. Принцип действия МНЖГ основан на удержании магнитной наножидкости (МНЖ) в рабочем зазоре пондеромоторной силой, которая возникает при взаимодействии магнитного момента единичного объёма МНЖ с неоднородным магнитным полем, создаваемым постоянных магнитов, изготовленных на основе сплавов самарий-кобальт или неодим-железо-бор.

Основными преимуществами МНЖГ перед традиционными уплотнениями являются: практически абсолютная герметичность, малый собственный момент трения, отсутствие износа, высокая долговечность и простота технического обслуживания.

МНЖ представляет собой коллоидный раствор частиц магнетита в жидкости-носителе. Жидкость-носитель должна быть инертна по отношению к герметизируемой среде и не разрушаться под её воздействием. Большое разнообразие МНЖ позволяет использовать МНЖГ для герметизации валов вакуумной арматуры и узлов специального назначения, химических и биологических реакторов, электротехнологического и энергетического оборудования. МНЖГ обладают высокой надёжностью, просты в обслуживании и эксплуатации, не опасны для персонала и не наносят вред окружающей среде.

МНЖГ имеют следующие эксплуатационные характеристики:

- линейная скорость на поверхности вала в длительном режиме, м/с: от 0 до 15;
- критический перепад давлений, МПа: от 0,05 до 0,50;

- диаметры герметизируемых валов, мм: от 12 до 1500;
- наработка на отказ, тыс. час.: от 5 до 70;
- срок службы, тыс. час.: 120.

Конструкции герметизаторов на основе магнитных наножидкостей с увеличенным ресурсом работы защищены охранными документами России, а разработка отмечена золотой медалью Женевского салона 2009 года.

УДК 621.791

К.В. КУЛИКОВ, к.т.н., доцент,
А.В. ШЕРИХОВ, студент
(ИГЭУ)

Применение средств MathCad для расчета выпрямителей

Современные электротехнологические установки требуют все больших мощностей. Для минимизации массогабаритных показателей используют, в основном, инверторные структуры преобразователей. Силовая часть источников питания выполняется в виде выпрямительных схем с пульсностью больше трех. Это позволяет уменьшить габариты низкочастотного фильтра. Шести- и двенадцатипульсные схемы могут рассматриваться как комбинация основных трехпульсных групп, которые работают независимо одна от другой и питаются от соответствующим образом сдвинутых по фазе трехфазных источников. Современные методы моделирования выпрямителей позволяют с помощью аппарата h-функций [Л.1] установить, какими должны быть фазы входных напряжений, и построить диаграммы проводимости ключей.

В качестве примера рассмотрим трехпульсную схему выпрямителя, который присоединен к источнику переменного тока с частотой $f_{вх}$ и управляется таким образом, чтобы получить напряжение в звене постоянного тока. Исходные данные: Входная частота: $f_{вх} = 50$ Гц; Угловая частота: $\omega_{вх} = 2 \cdot \pi \cdot f_{вх} \cdot c^{-1}$; Амплитуда напряжения: $U_{вх.m} = 220\sqrt{2}$ В.

Модель трёхфазной сети выглядит следующим образом:

$$U_{вх.i}(t) = U_{вх.m} \cdot \begin{pmatrix} \sin(\omega_{вх} \cdot t) \\ \sin(\omega_{вх} \cdot t - 2\pi/3) \\ \sin(\omega_{вх} \cdot t - 4\pi/3) \end{pmatrix} \quad \begin{aligned} U_{вх.1}(t) &= U_{вх.m} \cdot \sin(\omega_{вх} \cdot t); \\ U_{вх.2}(t) &= U_{вх.m} \cdot \sin(\omega_{вх} \cdot t - 2\pi/3); \\ U_{вх.3}(t) &= U_{вх.m} \cdot \sin(\omega_{вх} \cdot t - 4\pi/3). \end{aligned}$$

Уравнения модели работы силовых ключей в h-функциях будут выглядеть следующим образом:

$$h_{10}(t) = \frac{1}{2} + \sum_{i=1}^k \left[\frac{2}{\pi(2 \cdot i - 1)} \cdot \sin[(2 \cdot i - 1)\omega_{ex} \cdot t] \right];$$

$$h_{20}(t) = \frac{1}{2} + \sum_{i=1}^k \left[\frac{2}{\pi(2 \cdot i - 1)} \cdot \sin[(2 \cdot i - 1)(\omega_{ex} \cdot t - \frac{2\pi}{3})] \right];$$

$$h_{30}(t) = \frac{1}{2} + \sum_{i=1}^k \left[\frac{2}{\pi(2 \cdot i - 1)} \cdot \sin[(2 \cdot i - 1)(\omega_{ex} \cdot t - \frac{4\pi}{3})] \right].$$

На рис.1 представлены результаты данного моделирования. 1 - соответствует открытому состоянию вентиля, 0 - соответствует закрытому состоянию вентиля.

На рис.2 показана эпюра напряжения в звене постоянного тока при активной нагрузке. Масштаб рисунка выбран таким образом, чтобы рассмотреть пульсирующую составляющую.

Выходное напряжение в звене постоянного тока определено следующим выражением:

$$U_0(t) = (h_{10}(t) \cdot h_{20}(t) \cdot h_{30}(t)) \cdot \begin{pmatrix} U_{ex.1}(t) \\ U_{ex.2}(t) \\ U_{ex.3}(t) \end{pmatrix}$$

или

$$U_0(t) = U_{ex.m.} \cdot \left[\frac{1}{2} + \sum_{i=1}^k \left[\frac{2}{\pi(2 \cdot i - 1)} \cdot \sin[(2 \cdot i - 1)(\omega_{ex} \cdot t)] \right] \right] \cdot \sin(\omega_{ex} \cdot t) +$$

$$+ \left[\frac{1}{2} + \sum_{i=1}^k \left[\frac{2}{\pi(2 \cdot i - 1)} \cdot \sin[(2 \cdot i - 1)(\omega_{ex} \cdot t - \frac{2\pi}{3})] \right] \right] \cdot \sin(\omega_{ex} \cdot t - 2\pi/3) +$$

$$+ \left[\frac{1}{2} + \sum_{i=1}^k \left[\frac{2}{\pi(2 \cdot i - 1)} \cdot \sin[(2 \cdot i - 1)(\omega_{ex} \cdot t - \frac{4\pi}{3})] \right] \right] \cdot \sin(\omega_{ex} \cdot t - 4\pi/3)]$$

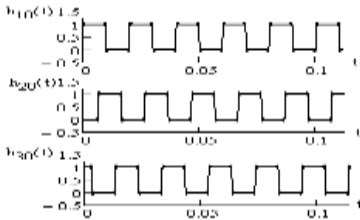


Рис. 1

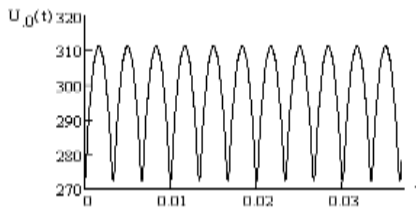


Рис. 2

С увеличением количества фаз выпрямителя до шести (шестипульсные схемы) эпюра выходного напряжения в звене постоянного тока принимает вид, показанный на рис. 3.

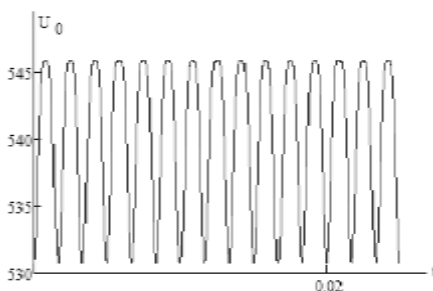


Рис. 3

Выводы: Аппарат Н-функций пригоден для анализа процессов, происходящих в силовых низкочастотных выпрямителях электротехнологических установок.

Литература

1. Джюджи Л., Пелли Б. Силовые полупроводниковые преобразователи частоты. Теория, характеристики, применение/ Перевод с английского Е. А. Болдырева. – М.: Энергоатомиздат, 1983.

УДК 537.212; 537.222.2.001.24

А.Н. МИТИН
(МЭИ (ТУ))

Расчёт электрического поля в воздухе вблизи поверхности диэлектрического барьера

При исследовании механизмов развития разряда вдоль поверхности твёрдого диэлектрика (барьера) встаёт вопрос о влиянии характеристик его поверхности на электрофизические процессы в приповерхностном слое воздуха, например, на возможность автоэлектронной эмиссии. Роль поверхности барьера, характеризуемая степенью её шероховатости и зернистости, известна по имеющимся экспериментальным данным [1]. Изображения поверхностного разряда, полученные с помощью CCD-камеры для барьеров одного химического состава (ситалла), но имеющих разную шероховатость поверхности (определённую в [2] как разность высоты выступов и впадин на профиле поверхности), показали существенное различие структуры и интенсивности поверхностного разряда. Объяснение возможных причин аналогичного различия экспериментальных данных, приводимое в [3], основано на анализе коэффициента вторичной эмиссии электронов с поверхности барьера от её шероховатости и зернистости. Однако, в [3] нет расчётного подтверждения высказанного предположения.

Целью работы было расчетное определение влияния структуры поверхности на распределение электрического поля E вблизи границы воздух-поверхность барьера.

Расчёт поля по силовой линии, вдоль которой возможно образование стримерного канала, проводимый в [4], показал, что вблизи поверхности диэлектрика нормальная составляющая напряженности поля намного превышает тангенциальную составляющую. Этот результат позволяет в качестве приближения для выявления влияния структуры поверхности на распределение поля вблизи границы диэлектрического барьера использовать модель, представленную на рис.1, в которой твёрдый диэлектрик и воздушный промежуток заключены между плоскими электродами.

Рассматриваемая модель строится для поверхности диэлектрического барьера из ситалла с диэлектрической проницаемостью ϵ равной 9. В модели принято, что между плоскими электродами располагается твёрдый диэлектрический барьер и воздушный промежуток. Граница раздела строилась по данным, полученным с помощью микроскопа OLYMPUS LEXT при увеличении 1×100 . Расчёт проводился для двух типов поверхности барьера из ситалла марки C50: с шероховатой ($S=0,2-0,4$ мкм, $\Delta=15-20$ мкм) и гладкой структурой ($S=20-40$ нм, $\Delta=5-10$ мкм).

Геометрические размеры в расчётной модели подобраны таким образом, что расстояние между электродами, по крайней мере, в 10 раз превышает максимальное значение шероховатости, которая для керамики составляет 0,5 мкм, а для ситалла 0,02 мкм. Ширина моделируемой области над поверхностью выступов на барьере составляет 25,6 мкм. Расстояние от впадины до нижнего электрода равно 25,5 мкм. Разность потенциалов между электродами при моделировании принята равной 1 В.

Расчёт напряжённости электрического поля E в модели проводился по программе BETAFields v1.4 [5], предназначенной для расчётов электрических полей в плоских и аксиально-симметричных электродных системах. На рис.2 представлены результаты расчёта E вблизи отдельных выступов на поверхностях, соответствующих ситаллу с разной шероховатостью и зернистостью.



Рис. 1. Характеристики поверхности барьера: S – шероховатость, Δ – зернистость

В случае большей шероховатости (рис. 2а) E локально усиливается лишь в небольшой области вблизи поверхности выступов. Размер этой области соизмерим с шероховатостью поверхности, и составляет порядка 0,2 мкм. Наибольшее значение E вблизи выступов в модели примерно в 4 раза превы-

шает среднюю напряженность поля в воздушной части рассматриваемой модели, составляющую около 2,8 В/мм.

Для поверхности с более гладкой структурой (рис. 2б) также имеет место локальное усиление поля вблизи выступов. Оно почти в 5 раз превышает среднюю напряженность поля в воздушном промежутке модели, а размер области с высоким значением E составляет около 0,02 мкм, что соизмеримо с шероховатостью рассматриваемой поверхности. Уменьшение зернистости создаёт более равномерное распределению поля, что обусловлено взаимным влиянием соседних выступов.

Кроме этого следует отметить, что E вблизи выступа почти в 10 раз выше, чем во впадине, этот результат характерен для обеих поверхностей и означает, что усиление поля имеет локальный характер.

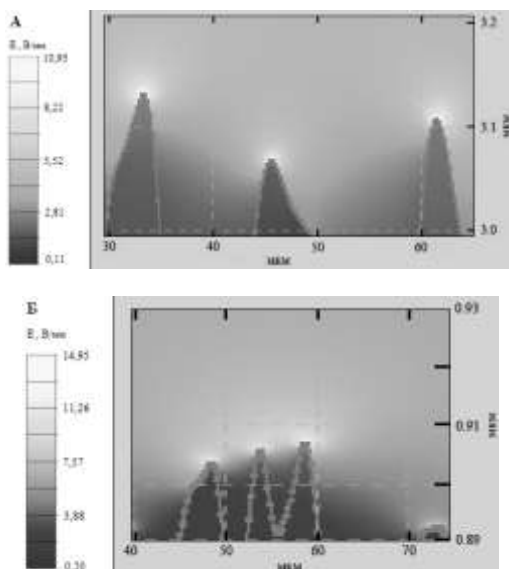


Рис. 2. Электрическое поле вблизи границы поверхности раздела воздух-барьер: А – на примере шероховатой поверхности, Б – на примере гладкой поверхности

Выводы:

1) Расчёт показал существенное (в 4-5 раз) усиление поля вблизи выступов на поверхности барьера, что может повлиять на физические процессы, идущие у поверхности (например, процессы вторичной эмиссии электронов). Однако влияние выступов на распределение поля распространяется вглубь промежутка на расстояние, не превышающее значение степени шероховатости поверхности.

2) По расчёту напряженность поля во впадине в обоих рассмотренных случаях более чем в 10 раз меньше напряженности поля у выступов. Поэтому можно считать, что поле в области впадин слабо влияет на процессы у поверхности.

Работа выполнена по проекту № 2.1.2/13478 в рамках ФЦП Минобразования РФ.

Литература

1. **M.V.Sokolova, K.V.Kozlov, S.A.Krivov, L.A.Maslova, A.N.Mitin, P.A.Tatarenko, V.G.Samoilovich.** Contributed Papers of 12th International Symposium on High Pressure Low Temperature Plasma Chemistry HAKONE XII, pp. 84-88
2. **M. Sokolova, L. Hulka, G. Pietsch.** Plasma Processes and Polymers 2005, v.2, P. 162-169
3. **Suharyanto, Y. Yamano, S. Kobayashi.** IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, vol. 14, no. 3, 2007, pp. 620-626
4. **Кривов С.А., Соколова М.В., Ларин В.С.,** Черненко Л.Л. Егорова М.А. Письма в ЖТФ, т.36, вып. 3, 2010.
5. <http://facts-plus.com/BETAFields>. Разработчик В.С. Ларин

УДК 621.365.5

В.А. МАРТЫНОВ, д.т.н., профессор,
С.И. РЕППИЕВ, студент
(ИГЭУ)

Автоматизированная методика расчета и конструирования сварочных трансформаторов для дуговой и контактной сварки

Трансформатор – это узел, который имеется в каждой сварочной машине. Трансформатор отделяет сварочную цепь от силовой сети, понижает напряжение сети до значения, необходимого для сварки, самостоятельно или в комплексе с дополнительными устройствами обеспечивает регулирование сварочного тока.

В связи со сложностью и требованиями к качеству разрабатываемых сварочных машин их отдельные узлы требуют тщательной проработки. В этих условиях наиболее целесообразным и даже необходимым является использование ЭВМ для проектирования одного из главных узлов машины - сварочного трансформатора.

В техническое задание на расчет сварочного трансформатора входят следующие величины: сетевое напряжение, номинальный сварочный ток, продолжительность включения, требуемая глубина регулирования сварочного тока, материал и исполнение обмоток, класс изоляции, тип охлаждения и другие параметры. Конструирование и расчет сварочных трансформаторов ведется методом последовательных приближений,

поскольку на первых этапах всегда приходится задаваться некоторыми величинами, уточняя их в дальнейшем.

Данная работа включает в себя разработку алгоритмов проектирования и программ расчета сварочных трансформаторов для аппаратов ручной дуговой сварки и машин контактной сварки. Использование данных программ позволит отказаться от долгих рутинных расчетов и сосредоточить основное внимание на создании оптимальной конструкции трансформатора, обеспечивающей требуемые характеристики.

Программа для расчета сварочного трансформатора для ручной дуговой сварки позволяет спроектировать трансформатор с магнитным шунтом или с подвижными обмотками. В начале расчета вводятся исходные данные из технического задания на трансформатор: номинальный сварочный ток, продолжительность нагрузки, номинальное напряжение питающей сети, пределы регулирования сварочного тока. Также из меню необходимо выбрать конструкцию магнитной системы, марку стали, вид системы охлаждения, а также материал и класс изоляции обмоток.

После ввода данных открывается основное окно программы (рис. 1).



Рис. 1 Основная форма расчета

Здесь показаны пункты, по которым происходит расчет, а также можно воспользоваться приложением, которое содержит в себе табличные данные, необходимые для расчета. При вводе некорректных или не соответствующих требованиям ГОСТа величин расчет не будет продолжен, а пользователь получит уведомление с требованием внести коррективы.

В результате расчета определяются геометрические размеры катушек и сердечника, масса материалов, потери в катушках, также производится проверка двух крайних режимов работы трансформатора: при номинальном и пониженном на 10% напряжении, проверка на устойчивость по максимальной полезной мощности, а также проверка по допустимой температуре нагрева в режиме заданного режима сварки. При несоответствии фактических сварочных токов заданным более чем на 10% программа предложит внести коррективы в соответствующие пункты и повторить расчет. В результате расчета есть возможность посмотреть эскиз спроектированного сварочного трансформатора (рис. 2).

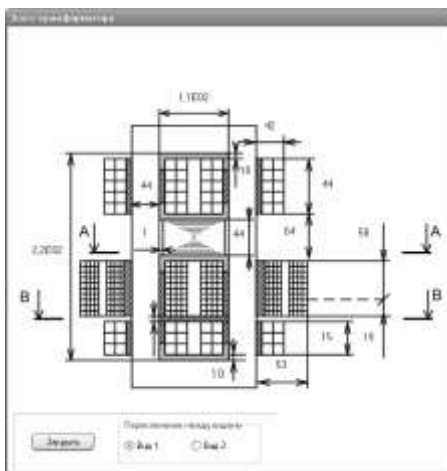


Рис. 2 Эскиз активной зоны спроектированного трансформатора с магнитным шунтом

При создании программы для расчета сварочного трансформатора для контактной сварки использовался тот же подход, что и для ручной дуговой. Также как и для трансформатора ручной дуговой сварки, пользователю необходимо выбрать материал обмоток и сердечника, продолжительность включения, класс изоляции и тип охлаждения, а также номинальное, минимальное и максимальное напряжение холостого хода, схему секционирования обмоток трансформатора ориентировочное число ступеней трансформатора, номинальную ступень работы (рис. 3).

В результате расчета для свариваемых деталей, принятых за номинальные, рассчитываются параметры режима сварки. В зависимости от того, к какой группе по нормируемым техническим требованиям относится машина, определяются: требуемая глубина регулирования вторичного напряжения, шаг нарастания по ступеням, рассчитываются сечения токо-

ведущих частей, по конструктивным размерам контура рассчитываются его электрические параметры, активное и индуктивное сопротивление. Также происходит расчет потерь трансформатора и его тепловой расчет, задачей которого является определение температуры наиболее нагретых катушек первичной обмотки трансформатора и расход воды, при котором нагрев катушек остается в допустимых пределах.

Расчет трансформатора для контактной сварки

Введите исходные данные для расчета

Номинальный вторичный ток: 36000 А

Вторичное напряжение холостого хода на первой ступени: 6.0 В

Вторичное напряжение холостого хода на последней ступени: 11.5 В

Число ступеней регулирования вторичного напряжения: 2

Номинальная ступень: 7

Номинальное напряжение первичной обмотки: 100 В

Частота тока: 50 Гц Продолжительность включения: 50 %

Выборная схема соединения обмоток: последовательно-параллельно

Число обмоток: 3

Тип магнитопровода: Броневой (выбирается из прямоугольных пластин)

Конструкция магнитопровода: Двухобмоточный

Марка стали магнитопровода: J431 Толщина листа стали: 0.3 мм

Исполнение первичной обмотки: Дисковое

Материал обмоток: Медь/Медь

Охлаждение обмоток: Водяная

Класс изоляции обмоток: H

Коэффициент полезности: 0.8 Число витков вторичной обмотки: 1

Плотность тока первичной обмотки: 5 А/м²

Плотность тока вторичной обмотки: 8 А/м² Далее

Рис. 3. Окно ввода исходных данных расчета трансформатора для контактной сварки

Таким образом, автоматизированная методика расчета сварочных трансформаторов для ручной дуговой и контактной сварки позволяет в режиме диалога при небольших затратах времени произвести расчет ряда вариантов трансформаторов, отличающихся своим исполнением, и выбрать оптимальный вариант по массогабаритным и экономическим показателям.

Алгоритм обработки данных трёхкоординатного датчика положения

Датчики, дающие информацию о положении объекта, широко используются в системах автоматического управления самых различных отраслей промышленности. Примерами являются системы автоматики в станкостроении, в роботизированных комплексах, в транспортных системах и т.п. Чаще всего проблема получения информации решается установкой датчиков по отдельным координатам и последующей независимой или последовательной обработкой координатных перемещений. Однако, установка датчиков на отдельные координатные направления в ряде случаев затруднительна или невозможна. Примерами могут служить тренажёры и анализаторы деятельности человека различных видов, требующие регистрации точности движения рук по заданным траекториям с необходимой скоростью и позиционирования их в пространстве. При этом датчик положения должен обладать простотой и надёжностью работы.

Поэтому актуальной является задача создания датчиков многокоординатных перемещений. При этом они должны обладать простотой и надёжностью работы в самых различных условиях, необходимой точностью, как в статике, так и в динамике анализируемого объекта.

Сопоставление способов получения информации о положении объекта над некоторой базовой поверхностью показало, что наиболее адекватным в этом случае является использование принципа взаимоиנדукции магнитно-связанных катушек. Известно, что наведенная от одной катушки в другой электродвижущая сила зависит от коэффициента взаимоиנדукции, который, в свою очередь, является функцией взаимного расположения двух катушек. При этом позволяет большую свободу перемещений и, в то же время, остается информативным поле вне катушки, индукция которого является более ярко выраженной функцией удаления от катушки индуктивности.

Конструкцией датчика, удовлетворяющего указанным требованиям, является построение его на основе магнитно-связанных катушек, одна из которых является источником переменного магнитного поля. Другие катушки, распределённые по двум координатам анализируемого пространства в виде электромагнитной матрицы, дают информацию об удалении от источника по величине индуктируемой ЭДС. При этом, в связи с распределением катушек, возможно разделение получаемой информации по трём координатам.

Датчик для определения объекта 1 имеет укрепленный на конце источник электромагнитного поля 2. Электромагнитная матрица 3 исполь-

зуется для определения положения источник электромагнитного поля над панелью 4 по поперечному (X), продольному положению (Y) и по высоте (H).

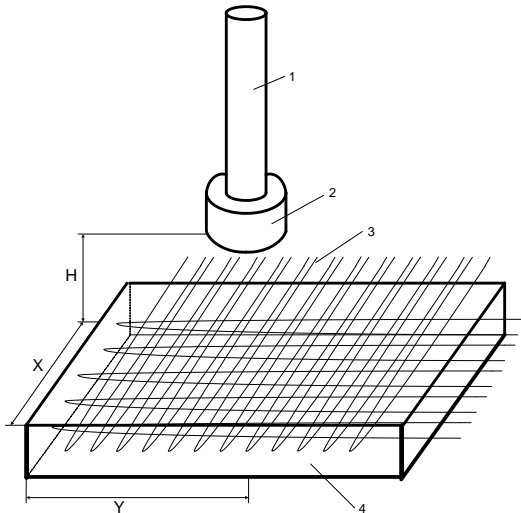


Рис. 1. Устройство трёхкоординатного датчика

Одной из проблем обработки данных о положении источника переменного магнитного поля является его неравномерность и, как следствие, нелинейная зависимость индукции в различных точках анализируемого пространства от координат. Поэтому при разработке индукционного датчика была поставлена и решена задача разработки алгоритма, связывающего наведённые ЭДС в катушках с координатами источника переменного магнитного поля.

На рис. 2 показан пример осциллограммы измеренных напряжений катушек электромагнитной матрицы. При этом известны координаты каждой из катушек (например, X_1 , X_2 , X_3) и измеренное на них напряжение (U_1 , U_2 , U_3).

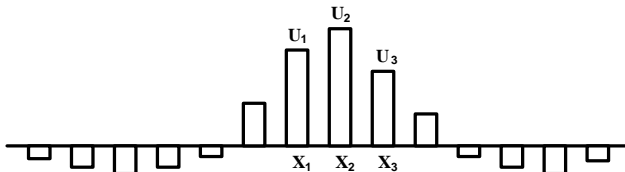


Рис. 2. Распределение напряжений на катушках матрицы

Моделирование с помощью программы ELCUT позволило сделать вывод о параболическом распределении нормальной составляющей индукции и, следовательно, наведённых ЭДС в катушках электромагнитной матрицы. При этом выражения для смещённого источника электромагнитного поля относительно центра параболы имеет вид.

$$U = U_m - K(X - X_0),$$

где U_m – максимальное значение параболы;

X_0 – координаты центра параболы по оси X ;

K – коэффициент параболической зависимости.

Структура программы обработки данных, полученных с электромагнитной матрицы, представлена на рис. 4.

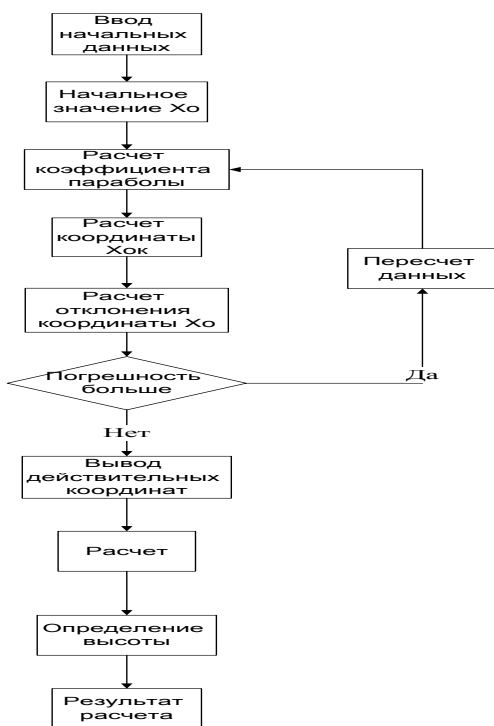


Рис. 4. Структура программы обработки данных

Разработанный алгоритм получения информации о положении источника поля над поверхностью свариваемого изделия, основанный на решении алгебраических уравнений, достаточно прост и позволяет рассчитывать необходимые параметры в режиме реального времени.

Моделирование m -фазного синхронного электропривода с использованием комплекса EICUT

Одной из актуальных задач, возникающих при создании современных электроприводов (ЭП) переменного тока, является снижение уровня шумов и вибраций исполнительного двигателя. Помимо механических составляющих, шумы и вибрации обусловлены магнитными силами, изменяющимися во времени и пространстве [1] и являющимися функциями конфигурации магнитного поля в воздушном зазоре машины, в частности синхронного двигателя (СД)

Эффективным способом улучшения спектрального состава поля в зазоре двигателя переменного тока является переход на исполнение его статорной обмотки с увеличенным числом фаз, что не вызывает технических проблем при использовании автономного инвертора и определяет дополнительное улучшение целого спектра других технико-экономических характеристик ЭП [2]. Одним из подходов к всестороннему исследованию данного вопроса является имитационное моделирование на ЭВМ. Исследование виброшумовых характеристик синхронного ЭП на ЭВМ требует наличия корректного математического описания m -фазного СД с произвольной формой питающих напряжений. В данной работе для расчета поля в зазоре многофазного СД был использован программный комплекс EICut, позволяющий достаточно удобно на основе заложенных в него средств учитывать реальную геометрию рабочих частей машины. При этом моделирование самой системы автоматического управления ЭП осуществляется в среде MatLAB (пакет SimuLink).

Уравнения переменных состояния для всех фаз СД в соответствии со вторым законом Кирхгофа могут быть представлены следующим образом:

$$\frac{d[\psi]}{dt} = [u] - [R][i], \quad (1)$$

где $[\psi] = [L][i]$ - матрица-столбец мгновенных потокосцеплений; $[u]$ - матрица-столбец мгновенных напряжений фаз, определяемых САУ синхронным ЭП [2]; $[R]$ - матрица активных сопротивлений фаз; $[i]$ - матрица-столбец мгновенных токов фаз [3].

С учетом нелинейности характеристики магнитопровода запишем:

$$\frac{d[\psi]}{dt} = [L] \frac{d[i]}{dt} + \frac{d[L]}{dt} [i],$$

откуда на основании (1)

$$\frac{d[i]}{dt} = [L]^{-1} \left([U] - [R][i] - \frac{d[L]}{dt} [i] \right),$$

или, учитывая, что

$$\frac{d[L]}{dt} = \frac{d[L]d\alpha}{d\alpha dt} = \omega \frac{d[L]}{d\alpha},$$

где α - угол поворота ротора, $\omega = d\alpha/dt$ – угловая частота его вращения,

$$\frac{d[i]}{dt} = [L]^{-1} \left([U] - [R][i] - \omega \frac{d[L]}{d\alpha} [i] \right) \quad (2)$$

В уравнении (2)

$$[L] = \begin{bmatrix} L_1 & M_{12} & M_{13} & \dots & M_{1n} \\ M_{21} & L_2 & M_{23} & \dots & M_{2n} \\ M_{31} & M_{32} & L_3 & \dots & M_{3n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ M_{n1} & M_{n2} & M_{n3} & \dots & L_n \end{bmatrix}.$$

Алгоритм расчета следующий.

1. Осуществляется разбиение элементов модели СД в среде EICut на блоки с целью присвоения каждому из них итерационно рассчитываемого значения относительной магнитной проницаемости μ , после чего для всех зон задаются значения μ на начальном участке зависимости $B(H)$.

2. Задаются поочередно малые (соответствующие начальному участку зависимости $B(H)$) значения токов матрицы $[i]$ и поочередно определяются с помощью средств EICut соответствующие им столбцы матрицы $[L]$, учитывая при этом, что $M_{ik} = M_{ki}$.

3. Для полученной матрицы $[L]$ при $[I(0)] = [0]$ интегрируется уравнение (2), в результате чего определяются элементы матрицы $[i]$ на 1-м шаге расчета.

4. Для полученных токов $[i]$ итерационным методом определяются значения μ во всех зонах модели СД, созданной в среде EICut. Это реализуется на основе проверки соответствия значений относительной магнитной проницаемости μ и магнитной напряженности H с использованием магнитной характеристики $\mu(H)$.

5. Для найденных значений μ производится новый расчет элементов матрицы $[L]$.

6. Осуществляется поворот ротора на некоторый заданный угол $\Delta\alpha$ и для значений токов $[i]$ п. 4 алгоритма определяются по столбцам элементы матрицы $[L^{\Delta\alpha}]$ для этого угла. Тогда численное значение производной в (2)

$$\frac{d[L]}{d\alpha} \approx \frac{[L^{\Delta\alpha}] - [L]}{\Delta\alpha}.$$

7. Интегрируется уравнение (2), в результате чего определяются новые значения токов $[i]$, и так далее.

В случае m -фазного СД с постоянными магнитами для потокоцеплений фаз статора можно записать:

$$[\psi] = [L][i] + [\psi_n],$$

где $[\psi_n]$ - составляющие потокоцеплений от постоянных магнитов.

Тогда уравнение (1) можно записать в виде

$$\frac{d[\psi]}{dt} = [L] \frac{d[i]}{dt} + \frac{d[L]}{dt} [i] + \frac{d[\psi_n]}{dt} = [u] - [R][i],$$

откуда

$$\frac{d[i]}{dt} = [L]^{-1} \left([U] - [R][i] - \omega \frac{d[L]}{d\alpha} [i] - \omega \frac{d[\psi_n]}{d\alpha} \right),$$

где $d[\psi]/d\alpha$ определяется при $\mu = const$.

Приведенные выше уравнения дополняются уравнением движения

$$M - M_c = J \frac{d\omega}{dt},$$

определяющим угол поворота ротора СД.

Литература

1. **Ананьев С.С., Голубев А.Н.** Асинхронный электропривод с улучшенными виброшумовыми характеристиками: научное издание/ ГОУВПО ИГЭУ. Иваново, 2009. – 160 с.
2. **Голубев А.Н., Лапин А.А.** Многофазный синхронный регулируемый электропривод: научное издание/ ГОУВПО ИГЭУ. Иваново, 2008. – 156 с.
3. **Мартынов В.А.** Современные модели и методы расчета нелинейных электромеханических устройств: научное издание/ ГОУВПО ИГЭУ. - Иваново, 2000. – 140 с.

Расчет входного фильтра матричного преобразователя частоты

В настоящее время существует два класса преобразователей частоты: непосредственные и со звеном постоянного тока. Наиболее распространенные преобразователи частоты со звеном постоянного тока. Они имеют ряд существенных недостатков, связанных с наличием электролитического конденсатора в звене постоянного тока, который требует определенных условий эксплуатации и периодической замены. Для указанных преобразователей частоты также актуальна проблема повышения качества потребляемой энергии, энергетической эффективности и надежности. Альтернативой для преобразователей частоты со звеном постоянного тока является новый тип непосредственных преобразователей частоты – матричные преобразователи, которые не содержат в своем составе ненадежных элементов и характеризуется более высоким качеством потребляемой энергии [1].

При проектировании матричного преобразователя частоты требуется решить две специфические задачи: выбор алгоритма управления силовой частью матричного преобразователя и расчет входного фильтра, обеспечивающего заданный коэффициент мощности при минимальных массогабаритных показателях.

На сегодняшний день существуют несколько алгоритмов управления силовой частью матричного преобразователя: базовый метод управления; метод Вентурини; метод Роя; пространственно-векторная модуляция [1].

Входной фильтр матричного преобразователя служит для улучшения качества потребляемой энергии, однако до сих пор отсутствует обобщенная методика его расчета, независимая от вида модуляции. В общем случае параметры фильтра определяются следующими факторами: тип нагрузки; мощность нагрузки; частота коммутации ключей; вид модуляции.

Нагрузка влияет на параметры фильтра, следующим образом: – при большой нагрузке, требуются большая емкость конденсатора и малая индуктивность дросселя фильтра;

– при малой нагрузке требуется большая индуктивность дросселя и малая емкость конденсатора.

Поэтому для обеспечения наилучшего качества потребляемого из сети тока нужно использовать фильтр, рассчитанный на реальную нагрузку преобразователя.

Очевидно, что для расчета фильтра матричного преобразователя частоты по заданному коэффициенту гармоник требуется предварительно рассчитать спектральный состав входного тока. Спектральный состав тока в матричном преобразователе частоты достаточно сложен и в аналитическом виде не выражается. Коэффициент гармоник включает в себя все паразитные гармоники, что сильно усложняет задачу. Таким образом, требуется создание методики автоматизированного расчета входного фильтра по заданному коэффициенту гармоник.

В основе предлагаемой методики расчета лежит многомерная оптимизация с ограничениями. Целевая функция имеет следующий вид [2]:

$$Y(L, C) = |K_z(L, C) - K_{z\text{ mex}}|,$$

где $K_z(L, C)$ – коэффициент гармоник на входе фильтра, зависящий от емкости конденсатора фильтра C и индуктивности дросселя фильтра L ; $K_{z\text{ mex}}$ – требуемый коэффициент гармоник. Зависимость коэффициента гармоник от параметров оптимизации имеет следующий вид:

$$K_z(L, C) = \sqrt{\left(\sum_{n=1}^J MA[n] \cdot W(MA[n], L, C) \right)^2 + \sum_{n=J}^N (MA[n] \cdot W(MF[n], L, C))^2}$$

где N – количество гармоник, используемых при расчете; MF – массив, содержащий значения частот; MA – массив, содержащий относительные амплитуды гармоник; J – индекс гармоники с частотой полезного сигнала; $W(p, L, C)$ – амплитудно-частотная характеристика (АЧХ), определяемая как:

$$W(p, L, C) = \text{abs} \left(\frac{R_n + L_n p}{p^3 \cdot L \cdot L_n \cdot C \cdot R_n + p^2 \cdot L_n \cdot C \cdot R_n - (L + L_n) p + R_n} \right),$$

где R_n – величина активного сопротивления нагрузки; L_n – индуктивность нагрузки.

При поиске минимума целевой функции используются следующие ограничения:

- допустимый диапазон коэффициента гармоник входного тока;
- допустимый выброс АЧХ на резонансной частоте;
- допустимое минимальное значение АЧХ на частоте полезного сигнала;
- допустимые диапазоны емкости конденсатора фильтра и индуктивности дросселя фильтра.

Для поиска минимума целевой функции используется метод наискорейшего спуска. На каждой итерации определяется направление градиента и в этом направлении делается несколько шагов. На каждом шаге вычисляются значение целевой функции, максимум АЧХ, и значение

коэффициента передачи фильтра на частоте полезного сигнала. Если полученные данные удовлетворяют большей части введенных ограничений (диапазон величин емкости конденсатора и индуктивности дросселя фильтра; допустимый диапазон коэффициента гармоник входного тока), то полученные значения L и C принимаются за очередное приближение. Итерации повторяются до тех пор, пока не выполнится условие завершения работы алгоритма градиентного метода или не будет исчерпан заданный лимит итераций. Предварительное вычисление спектра входного тока осуществляется с помощью имитационного моделирования, которое запускается из основной программы.

Описанный выше метод позволяет достаточно быстро находить параметры входного фильтра, при рациональном выборе числа гармоник, используемых при расчете.

Проверка правильности работы была проведена на имитационной модели с применением достоверных моделей силовых ключей в среде MatLab Simulink. В качестве примера была рассмотрена система с параметрами: $R_H=1$ Ом, $L_H=0.8$ Гн, $K_{emex}=10$ %, $f_k=10$ кГц. В результате расчета получены следующие значения индуктивности и емкости: $C=1000$ мкФ; $L=1,6$ мГн.

Анализ результатов моделирования преобразователя показал, что фильтр, рассчитанный при помощи данного метода, позволяет получить заданный коэффициент гармоник потребляемого тока с приемлемой точностью.

Литература

1. **Huber, L.** Space Vector Modulated Three-Phase to Three-Phase Matrix Converter with Input Power Factor Correction / L. Huber, D. Brorovic / IEEE Trans. Ind. Applicat., 1995. – Vol. 31. – N6. – P. 1234–1246.
2. **Андрянов, А. И.** Транзисторные преобразователи напряжения: Анализ и расчет: учеб. пособие / А. И. Андрянов. – Брянск: БГТУ, 2010 – 276с.

УДК 621. 316.925; 621.314.22

В.Н. ГРЕЧУХИН, к.т.н., доцент,
А.В. НАУМОВ, инженер, Д.А. ЛЕБЕДЕВ, инженер,
Е.Н.ТИМОФЕЕВ, инженер, И.В. ТИМОФЕЕВА, к.т.н.,
С.Е. ТРУБАЧЁВ, инженер, В.К. СЛЫШАЛОВ, д.т.н., профессор,
В.Д. ЛЕБЕДЕВ, к.т.н., доцент, И.В. ЛАЗАРЕВ, аспирант
(ИГЭУ)

Новые разработки цифровых трансформаторов тока и напряжения 110 – 750 кВ на базовых физических законах с оптоволоконным интерфейсом – основа повышения точности АИИС КУЭ оптового рынка

Аннотация. Рассмотрены вопросы повышения точности АИИС КУЭ оптового рынка электроэнергии на линиях межсистемных связей (110) 220-750 кВ. Показано, что только повышением точности микропроцессорных (МП) счетчиков электрической энергии вопрос не решается.

Нужен системный подход с анализом метрологических свойств первичного и вторичного оборудования, создающего информационный поток от первичного провода до МП счетчиков.

В погрешности учета электроэнергии в сетях (110) 220-750 кВ вносят свой вклад погрешности высоковольтных измерительных трансформаторов тока (ТТ) и напряжения (ТН), вторичные аналоговые цепи тока 1 А (5 А), напряжения 100 В ($100/\sqrt{3}$ В), нагрузка ТТ и ТН, погрешности промежуточных ТТ и ТН в составе МП счетчиков.

Показано, что, используя производственную базу заводов - изготовителей традиционных трансформаторов тока и напряжения 110 – 750 кВ, интеллектуальный потенциал конструкторов, достижения микроэлектроники и оптоэлектроники, исключая промежуточные ТТ и ТН, вторичные цепи, снижая нагрузку можно создать комбинированные цифровые ТТ и ТН повышенной точности с передачей цифровой информации о мгновенных значениях тока и напряжения с первичного провода по оптоволокну на щит, на микропроцессор счетчика.

При этом цифровом подходе, как показано в стандарте IEC 60044-8, точность учёта электроэнергии повышается в 2 раза при прочих равных условиях.

Дополнительно учитывая, что снижение нагрузки измерительных трансформаторов уменьшает их погрешность, можно повысить точность АИИС КУЭ оптового рынка электроэнергии в 3-4 раза.

Отметим, что цифровые ТТ и ТН одновременно обеспечивают взрывобезопасность, имеют меньший вес и стоимость.

Введение

Техническая основа денежных расчетов в электроэнергетике это показания счетчиков. Расчеты между субъектами оптового рынка электро-

энергии происходят на основании коммерческого учета перетоков энергии по высоковольтным линиям (110) 220-750 кВ. Высокий класс точности счётчиков при этом является необходимым, но недостаточным условием достоверности учёта. Оценка реальной точности АИИС КУЭ оптового рынка и выявление путей её повышения требует рассмотрения метрологических свойства всех элементов информационной цепочки от первичных высоковольтных проводов ЛЭП до трехфазных счетчиков на щите управления.

1. Точность традиционной системы коммерческого учета электроэнергии с микропроцессорными счетчиками

Элементы информационной цепочки, вносящие свой вклад в бюджет погрешностей АИИС КУЭ:

- традиционные высоковольтные измерительные трансформаторы тока 110 – 750 кВ вносят погрешность в соответствии с классом точности 0.5, 0.2, 0.2s;
- традиционные высоковольтные измерительные трансформаторы напряжения 110 – 750 кВ вносят погрешность в соответствии с классом точности 0.5, 0.2;
- вторичные аналоговые цепи тока 1 А (5 А) и напряжения 100 В ($100/\sqrt{3}$ В) и нагрузка ТТ и ТН вносят суммарную погрешность как минимум 0.1%, но чаще больше (до 0.5%);
- промежуточные ТТ и ТН в составе МП счетчиков вносят погрешность в соответствии с классом точности 0.2.

В целом следует констатировать, что погрешность современных систем коммерческого учета электроэнергии с микропроцессорными счетчиками составляет 0.7% в лучшем случае, а, чаще всего и хуже, по нашим оценкам до 2%. На рис.1. приведена структура традиционной измерительной системы из стандарта IEC 60044-8 [1], иллюстрирующая этот факт.

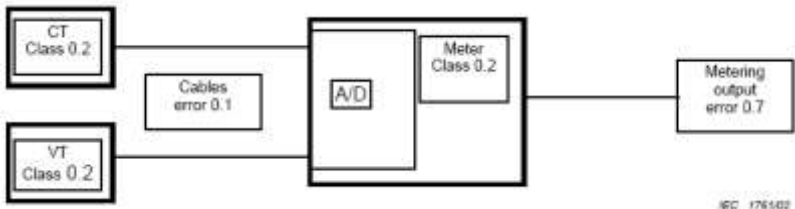


Рис. 1. Традиционная измерительная система [1]: погрешность обусловлена стандартными высоковольтными трансформаторами тока и напряжения (0.2s, 0.2), аналоговыми вторичными цепями (0.1), промежуточными трансформаторами тока, напряжения (0.2) на входе аналого-цифрового преобразователя в составе микропроцессорного счетчика, полная погрешность АИИС КУЭ достигает 0.7%.

Анализ физических факторов, влияющих на полную погрешность АИИС КУЭ, показывает, что основные источники погрешности это высоковольтные измерительные и промежуточные ТТ и ТН, при этом существенного уменьшения погрешностей ожидать не приходится, даже используя аморфные и нанокристаллические магнитопроводы.

2. Точность электронной системы коммерческого учета электроэнергии с оптоволоконным интерфейсом и микропроцессорным счетчиком

Рассмотрим бюджет погрешностей АИИС КУЭ при использовании высоковольтных электронных ТТ и ТН с цифровыми выходами таких же классов точности как в предыдущем примере. На рис.2. приведена структура измерительной системы из стандарта IEC 60044-8 [1] в этом случае. Цифровые данные транспортируются по оптоволокну на терминал и доставляются по отдельным оптоволоконкам на микропроцессоры счётчика, РЗА, ПА и др. Микропроцессор счётчика погрешностей не вносит, т.к. просто считает по цифровым данным, при условии, что точность (разрядность МП) в вычислениях была выбрана верной. Получаем, что погрешность АИИС КУЭ при использовании высоковольтных электронных ТТ и ТН с цифровыми выходами составляет 0.4%. Это почти в два раза лучше, чем в аналоговом случае.

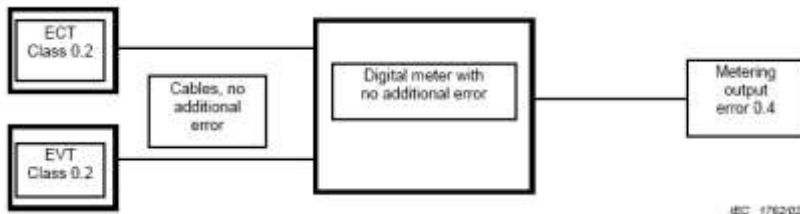


Рис. 2. Измерительная система с ЭТТ и ЭТН [1]: погрешность обусловлена цифровыми высоковольтными трансформаторами тока и напряжения (0.2s, 0.2), цифровые данные подаются по оптоволокну непосредственно на микропроцессор счетчика и погрешностей не вносят, полная погрешность АИИС КУЭ составляет 0.4%.

3. Дополнительное повышение точности АИИС КУЭ оптового рынка с использованием цифровых трансформаторов тока и напряжения 110 – 750 кВ с оптоволоконным интерфейсом

Следуя А.Д. Дроздову надо признать, что нет более точного способа измерения переменного тока, чем электромагнитный способ. Метрологические службы субъектов РФ оснащены серийными эталонными ТТ класса точности 0.01%!. Для высоковольтных ТТ традиционной конструкции (рис.3) этот класс точности недостижим, т.к. в окне магнитопровода кроме

обмоток необходимо разместить высоковольтную изоляцию и, вследствие этого, увеличивается средняя длина магнитной силовой линии, что ухудшает точность ТТ и не позволяет оптимально заполнить окно обмотками.

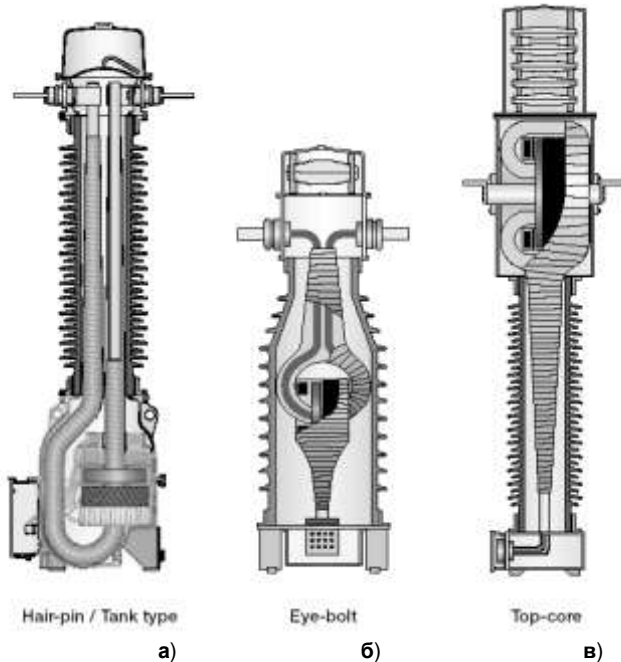


Рис. 3. Конструкции высоковольтных электромагнитных трансформаторов тока (систематизация концерна АВВ) с нижним расположением магнитопроводов (а), с расположением магнитопроводов в средней части изолятора (б), с верхним расположением магнитопроводов (в)

Анализ формул для токовой (1) и угловой (2) погрешностей ТТ [2] показывает, что к снижению погрешностей приводит уменьшение l_m – длины средней магнитной силовой линии, z_2 – вторичной нагрузки, угла потерь. Из формул (1,2) следует, что увеличение сечения магнитопровода также приводит к снижению погрешностей.

$$f_n = \frac{33.8 l_m z_2^{0.6} \cdot I_{2n}^{1.2}}{\left(\frac{I_1}{I_{1n}}\right)^{0.4} \cdot f^{0.6} \cdot F_{1n}^{1.6} \cdot S_m^{0.6}} \cdot 100 \sin(\phi + \alpha) \quad (1)$$

$$\delta = \frac{1193321mz2^{0.6} \cdot I2n^{1.2}}{\left(\frac{II}{II_n}\right)^{0.4} \cdot f^{0.6} \cdot F1n^{1.6} \cdot Sm^{0.6}} \cdot \cos(\phi + \alpha) \quad (2)$$

Выполнена разработка и изготовление малогабаритных ТТ с использованием нанокристаллического магнитопровода и указанных выше способов уменьшения токовой и угловой погрешностей. На рис.4. приведены результаты поверки ТТ в сравнении с классом точности 0.1 по стандарту [1] и с классом точности 0.1s по рекомендациям [3].

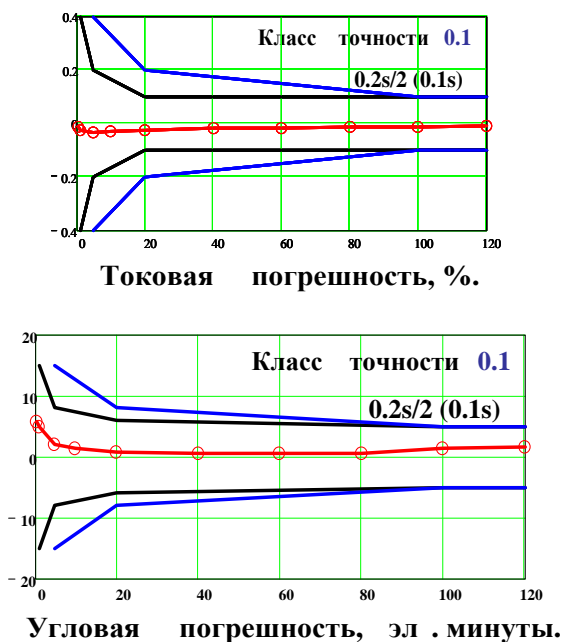


Рис.4. Сертификат № 232, ТТ 1000/1 при нагрузке 1.25 ВА, косинус фи 0.8

Анализ результатов поверки разработанного ТТ (рис. 4) показывает, что обеспечивается класс точности 0.1s и есть перспектива для получения класса 0.05.

Это достигнуто за счет:

- размещения ТТ на высоковольтном проводе в верхнем фланце ЦТТН;
- радикальным снижением вторичной нагрузки с созданием наиболее благоприятного режима работы ТТ;
- преобразованием аналогового тока в цифровой код непосредственно в верхнем фланце ЦТТН;
- исключения высоковольтной изоляции между первичной и вторичной обмотками ТТ, с обеспечением оптоволоконной высоковольтной изоляции между верхним и нижним фланцами ЦТТН.

Таким образом, используя малогабаритный ТТ и цифровой подход, где цифровой поток измерительной информации рождается на первичном проводе, можно достигнуть погрешности АИИС КУЭ на уровне 0.3%.

Дальнейшее повышение точности коммерческого учета электроэнергии на оптовом рынке до 0.2% можно достигнуть, выполнив цифровой ТТ и ТН на базе ТН с разомкнутым магнитопроводом одного из заводов – изготовителей.

В целом, используя цифровой подход, можно повысить точность АИИС КУЭ оптового рынка электроэнергии в 3-4 раза.

На рис. 5 показана структура комплекта ЦТТН, где датчики тока, напряжения и блок преобразования в цифровой код находятся на высоком потенциале, информационный обмен осуществляется по оптоволокну с терминалом на щите, с которого информационный обмен производится с нужными вторичными системами по стандарту IEC 61850-9-2LE [4] с дополнением [3].

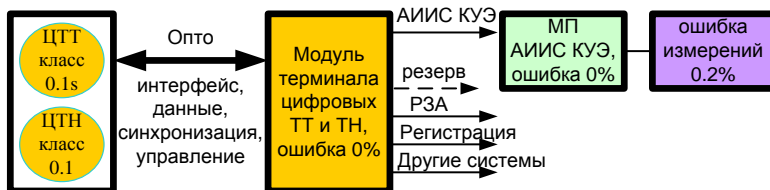


Рис 5. Измерительная система с ЦТТН: погрешность обусловлена цифровыми высоковольтными трансформаторами тока и напряжения (0.1s, 0.1), цифровые данные подаются по оптоволокну непосредственно на микропроцессор счетчика и погрешностей не вносят, полная погрешность АИИС КУЭ составляет 0.2%

Выводы

- Погрешность современных систем коммерческого учета электроэнергии с микропроцессорными счетчиками составляет 0.7% в лучшем случае, а, чаще всего и хуже, по нашим оценкам до 2%.
- Погрешность может быть уменьшена примерно в 2 раза исключением вторичных аналоговых цепей тока 1 А (5 А), напряжения 100 В

($100/\sqrt{3}$ В), промежуточных ТТ и ТН в составе МП счетчиков, преобразуя в цифру сигналы высоковольтных измерительных ТТ и ТН на ОРУ и передавая по оптоволокну на микропроцессор счетчика.

- Цифровой подход, где цифровой поток измерительной информации рождается на первичном проводе, транспортируется по оптоволокну на терминал и доставляется по отдельным оптоволокну на микропроцессоры счётчика, РЗА, ПА и др., позволяет повысить точность АИИС КУЭ в 3-4 раза.

Литература

1. ГОСТ Р 60044-8, Трансформаторы измерительные, часть 8, электронные трансформаторы тока, М, стандартинформ, 2009.
2. В.В. Афанасьев и др., Трансформаторы тока, Л, Энергия, 1980, 334 с.
3. Implementation Guideline for Digital Interface to Instrument Transformers using IEC 61850-9-2, UCA International Users Group 10604 Candler Falls Court Raleigh, NC 27614.
4. INTERNATIONAL STANDARD IEC 61850-9-2 Communication networks and systems in substations – Part 9-2: Specific Communication Service Mapping (SCSM) – Sampled values over ISO/IEC 8802-3 First edition 2004-04.

УДК 621.315.2.016.2

В.Д. ЛЕБЕДЕВ к.т.н., доцент,
В.В. КОРОЛЬКОВ, аспирант,
В.В. МОЖУХИНА, магистрант, ТИМОФЕЕВА К.А., студент
(ИГЭУ)

Разработка и исследование математической и имитационной моделей для определения и прогнозирования пропускной способности кабельной линии из сшитого полиэтилена в режиме реального времени

Интенсивное развитие потребления электроэнергии, особенно в крупных городах - центрах потребления электроэнергии, привело к активному внедрению кабельных линий электропередачи. В условиях повышенной нагрузки и при авариях в крупных городах возникает необходимость оперативной передачи мощности по кабельным линиям (КЛ).

Тепловой режим определяет экономичность, эксплуатационную надежность и фактический срок службы КЛ, который определяется способом прокладки кабелей, условиями теплоотвода, схемой заземления экранов, наличием или отсутствием транспозиции экранов, количеством

рядом расположенных цепей, наличием внешних источников тепла и локальных специфических мест с худшими условиями теплоотвода и т.д.

Для эффективной эксплуатации КЛ необходимо осуществлять мониторинг КЛ с целью получения информации о фактических тепловых условиях эксплуатации КЛ (для оперативного изменения токовой нагрузки и их остаточного ресурса).

Современные методы мониторинга основаны на применении оптоэлектронных устройств, оптоволоконна (распределенного температурного датчика), встроенного непосредственно в силовую кабель в месте расположения экрана либо прикрепленного к кабелю снаружи. При этом результаты постоянного контроля температуры на поверхности кабеля вдоль трассы КЛ записываются в электронную базу данных.

Несмотря на то, что измеряется температура оболочки кабеля с высокой точностью, температура жилы кабеля может значительно превышать температуру оболочки. Это обусловлено теплофизическими свойствами материалов кабельной линии и окружающей среды (грунт, бетон, воздух и т.д.). С целью выполнения превентивных мер по созданию оптимальных токовых нагрузок КЛ, обеспечивающих непрерывность электроснабжения потребителей и снижение вероятности возникновения аварийных событий необходимо прогнозирование температуры кабеля.

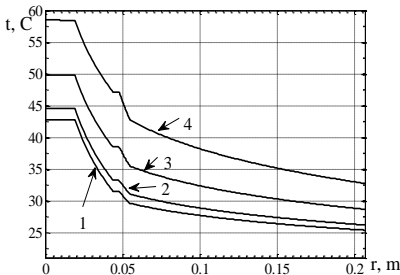


Рис. 1. Распределение температуры в сечении кабеля и окружающем пространстве при токах в экране: 1) $I_{\text{э}} = 0$ А; 2) $I_{\text{э}} = 200$ А, 3) $I_{\text{э}} = 400$ А, 4)

ных областей в сечении кабеля с учетом граничных условий третьего рода можно представить в виде кусочно-заданной функции температурного поля в цилиндрических координатах $t(r)$. На примере кабеля производства компании АББ с учетом тепловых свойств материалов, из которых состоит этот кабель, получена имитационная модель, при помощи которой построены графики распределения температурного поля в сечении КЛ и окружающем пространстве при различных токах в экране кабеля, ток в жиле принят неизменным для всех рассмотренных случаев - 1000А (рис. 1).

На основании вышесказанного для исследования тепловых режимов КЛ авторами были разработаны математические и имитационные модели высоковольтного экранированного кабеля с изоляцией из сшитого полиэтилена. Температурное поле в сечении кабеля определяется в соответствии с теорией теплопроводности, используя дифференциальное уравнение Фурье. Его решение в стационарном режиме для установившегося температурного поля и характерных

Для определения переходных процессов в температурном поле кабеля была разработана динамическая модель кабельной линии путем построения электрической схемы замещения (рис. 2). Здесь источники тока J и $J1$ замещают температурный напор, создаваемый током, протекающим по жиле и экрану кабеля, активные сопротивления $R1...R9$ – тепловые сопротивления тепловому потоку, емкости $C1..C9$ – теплоемкости материалов кабеля, и окружающей среды (грунта). Источник E имитирует температуру окружающей среды.

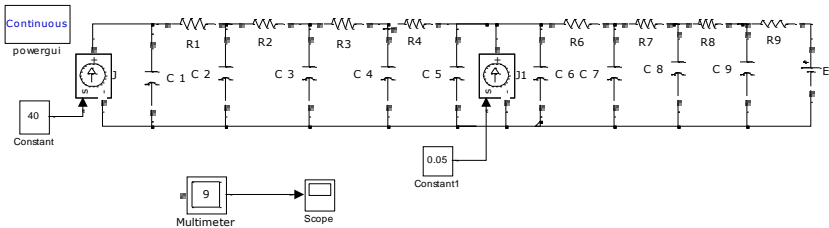


Рис. 2. Электрическая схема замещения тепловой модели КЛ

При ступенчатом включении кабеля под нагрузку на модели были получены графики изменения температуры характерных точек сечения КЛ во времени (рис. 3).

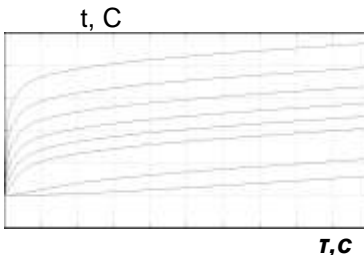


Рис. 4. Графики изменения температуры характерных точек сечения КЛ при ступенчатом изменении нагрузки

Выводы:

- 1) по результатам работы статической модели теплового режима кабеля видно, что при организации мониторинга температуры экрана или поверхности КЛ необходимо выполнить расчет самой жилы, т.к. при резком увеличении токовой нагрузки градиент температур будет еще больше, чем показано на рис. 2. При этом расчет установившегося температурного поля кабеля, зная его тепловые характеристики, условия окружающей среды и прокладки, позволяет избавиться от необходимости решать дифференциальное уравнение теплопроводности, что значительно ускоряет процесс анализа и прогнозирования рабочих режимов работы КЛ, особенно это существенно для длинных КЛ с переменчивыми условиями прокладки по длине линии;
- 2) динамическая модель теплового режима работы КЛ позволила проанализировать и спрогнозировать ее работу в переходных режимах, особенно это актуально для аварийных и послеаварийных режимов рабо-

ты, которые характеризуются переходными процессами более высокой частоты по сравнению с частотой опроса температуры КЛ современными оптическими системами температурного мониторинга (порядка одного измерения температуры вдоль всей длины кабеля в течение нескольких минут).

Литература

1. Дмитриев М.В. Заземление экранов однофазных силовых кабелей 6–500 кВ. СПб.: Изд-во «НИВА», 2008, 104 с.
2. Кузнецов Д.В., Попова Ю.С., Халилов Ф.Х., Шилина Н.А. К вопросу об эксплуатации силовых кабелей высокого напряжения с изоляцией из сшитого полиэтилена // «Электро», №3, 2009г., Стр. 30-33
3. Гольдштейн В.Г., Лысенкова И.С., Уколова Т.В., Шлиц Л.В. О проблемах эксплуатации кабелей 6-110 кВ из полимерной изоляции // РАДИОЭЛЕКТРОНИКА, ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ЭНЕРГЕТИКА: Шестнадцатая Междунар. науч.-техн. Конф. студентов и аспирантов: Тез. докл. В 3 т. Т.3 М.: Издательский дом МЭИ, 2010. – 538с., Стр. 364-366
4. Титков В.В. К оценке теплового режима трехфазной линии из СПЭ-кабеля // «Кабель-news», №10 (октябрь), 2009г., Стр.47-51.

УДК. 621,314; 621,382

В.А. БАРАНОВ, аспирант,
В.Д. ЛЕБЕДЕВ, к.т.н., доцент
(ИГЭУ)

Моделирование паразитных параметров импульсного трансформатора

Импульсные преобразователи напряжения получили широкое распространение в современной технике благодаря высокому КПД и относительно малым массогабаритным показателям. Однако процессы коммутации силовых ключевых элементов могут порождать мощные электромагнитные помехи, как распространяющиеся по проводам, так и излучаемые в эфир. Поэтому обеспечение электромагнитной совместимости (ЭМС) является одной из основных проблем конструирования импульсных источников питания [1].

Большой популярностью пользуются однотактные преобразователи. К ним относятся схемы обратных преобразователей (рис. 1), получившие распространение в источниках питания малой и средней мощности, и прямоходовые преобразователи по схеме «косой мост», применяемые в источниках питания большой мощности (импульсные источники сварочного тока, блоки питания промышленных газовых лазеров). Их отличают простота схемотехнических решений и способов управления, высокая надежность, достаточно высокий КПД.

Настоящее исследование касается обратного (flyback) преобразователя с трансформатором, который отличается простотой схемотехники (см. рис. 1) и широким диапазоном регулирования. Недостатками его являются относительно большая материалоемкость и сложность изготовления трансформатора с немагнитным зазором.

В ходе экспериментальных исследований прототипа импульсного преобразователя была выявлена конструктивно обусловленная возможность генерации электромагнитных помех высокой интенсивности, которая не обнаруживается без применения специального оборудования (анализатора спектра или тестового приемника), поскольку не влияет на работу собственно преобразователя, но способна вызвать сбои в близко расположенных приборах и схемах. В настоящей статье рассматривается механизм возникновения помех и метод борьбы с ними.

Силовой трансформатор рассматриваемого преобразователя имеет ферритовый магнитопровод с зазором и содержит первичную и вторичную обмотки. Первичная обмотка состоит из одного слоя, вторичная – из трех идентичных слоев, первичная обмотка намотана поверх вторичной.

Было решено промоделировать трансформатор с точки зрения паразитных параметров. Подходящая для этих целей методика построения модели изложена в [2]. Согласно ей была построена схема модели трансформатора, общий вид, которой представлен на рис. 2. Параметры схемы были определены путем расчетов на основании данных о геометрии обмоток трансформатора.

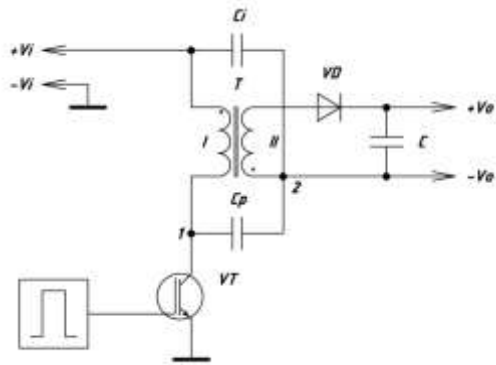


Рис. 1. Упрощенная схема обратного преобразователя

В результате моделирования было установлено, что ток высокочастотной помехи порождается процессом коммутации силового ключа и протекает через межобмоточную емкость трансформатора (C_p на рис. 1). Также моделирование показало, что существенно уменьшить величину этого тока может определенный способ подключения начал и концов обмоток в схеме преобразователя, а также использование дополнительных шунтирующих конденсаторов (C_i на рис. 1).

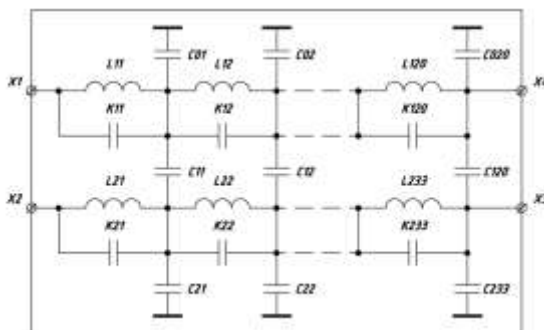


Рис. 2. Схема модели трансформатора

Предлагаемая методика построения модели трансформатора может быть полезна при конструировании трансформаторов мощных импульсных источников питания с низким уровнем излучаемых помех. Построение модели и собственно моделирование могут быть автоматизированы, что позволит сократить время разработки источников питания и значительно ускорить адаптацию их конструкции к требованиям электромагнитной совместимости.

Литература

1. Уильямс Т. ЭМС для разработчиков продукции. М.: Издательский Дом «Технологии», 2003.
2. Вороненко В.И., Желонин В.А. Формирование расчетной схемы трансформатора для программы EMTP-RV на основе результатов расчета программы VLN // Электро. 2009. № 5.

Моделирование волн тока и напряжения в трехфазной воздушной ЛЭП 110 кВ

Исследование волновых процессов в длинных линиях лежит в основе большого количества задач, как основных по передаче энергии, так и задач, направленных на повышение качества энергии (снижение гармонических составляющих), задач передачи информационных сигналов, исследования волн возникающих во время аварийных и переходных режимов.

Несмотря на немалое количество публикаций (наиболее интересными из них авторы считают [1-8]) по данной теме, исследования остаются актуальными. Развитие вычислительной техники и компьютерных программ открываются возможности для получения более точных моделей, например, с учётом в продольных и поперечных параметрах влияния опор, провисание проводов между ними, наличия поверхностных эффектов, как в проводах, так и в земле, учёт витой структуры проводов и неоднородностей электрических свойств грунта, особенно в зонах вечной мерзлоты.

В теории волновых процессов существуют два основных направления исследований - это методы расчётов в частотной и временной областях. Каждое из указанных направлений имеет характерные особенности, определяющие их достоинства и недостатки.

Установившиеся процессы с периодически изменяющимися токами и напряжениями удобно описывать в частотной области, причём для многопроводных систем используется, например, теория волновых каналов. Гораздо сложнее, на основе моделирования в частотной области, исследовать переходные процессы, для этого используются, например, решения с помощью интеграла Фурье.

Моделирование переходных процессов гораздо легче выполнять во временной области, однако в этом случае сложно учесть зависимости параметров линий от частоты.

Численные методы расчёта (конечных разностей или метод сеток, метод конечных элементов) подходят как для моделирования в частотном, так и во временном пространстве.

Программа COMSOL Multiphysics, в основе которой лежит метод конечных элементов, позволяет осуществлять моделирование обоих методов. Примеры моделей, выполненные В.Е.Шмелевым и Е.Е. Дудниковым [1], показывают эффективность использования программы для моделирования процессов в длинных линиях.

В нашем случае, разработаны модели трехфазной воздушной линии электропередачи напряжением 110 кВ в пространственно-частотной и пространственно-временной постановках.

В качестве исходных данных были взяты:

- опора ЛЭП типа ПС35/110ПУ-2.110.Т;
- провода типа АС-185/24 (диаметр провода – 17,6 мм, электрическое сопротивление – 0,1001 Ом/км);
- линейный подвесной стержневой цельнолитый полимерный (кремнийорганический) изолятор ЛК 120/110-И-2 СП;
- трехфазный источник синусоидальной ЭДС 110 кВ.

Расчет ведется исходя из следующих допущений: длина проводов настолько велика по сравнению с расстоянием между ними, что поле можно считать плоскопараллельным; диаметры проводов малы по сравнению с расстояниями между их осями и с высотой их подвеса.

Первичные параметры линии, в первом приближении, определяются с применением метода зеркальных изображений. При описанных выше допущениях телеграфные уравнения, описывающие электромагнитные процессы в линии, примут следующий вид:

$$\left\{ \begin{array}{l} -\frac{d}{dx}[U(x, t)] = [R_0] \cdot [I(x, t)] + [L_0] \frac{d}{dt}[I(x, t)]; \\ -\frac{d}{dx}[I(x, t)] = [G_0] \cdot [U(x, t)] + [C_0] \frac{d}{dt}[U(x, t)], \end{array} \right. \quad 1)$$

где $[U(x, t)]$ - матрица-столбец напряжений между проводами линии и общим проводником, $[I(x, t)]$ - матрица-столбец токов в проводах линии, $[R_0]$ - диагональная матрица собственных сопротивлений проводов на единицу длины, $[G_0]$ - квадратная матрица поперечных проводимостей на единицу длины, $[L_0]$ - квадратная матрица собственных и взаимных индуктивностей проводов линии на единицу длины, $[C_0]$ - квадратная матрица собственных и взаимных емкостей на единицу длины.

Графики, полученные на пространственно-временных моделях, представлены на рис.1, 2 для частот 50 и 500 Гц.

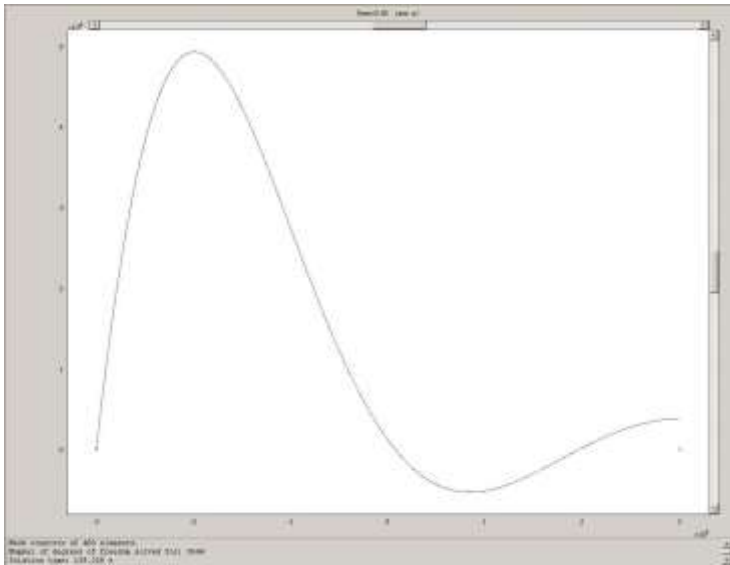


Рис. 1. График переходного процесса на частоте 50Гц

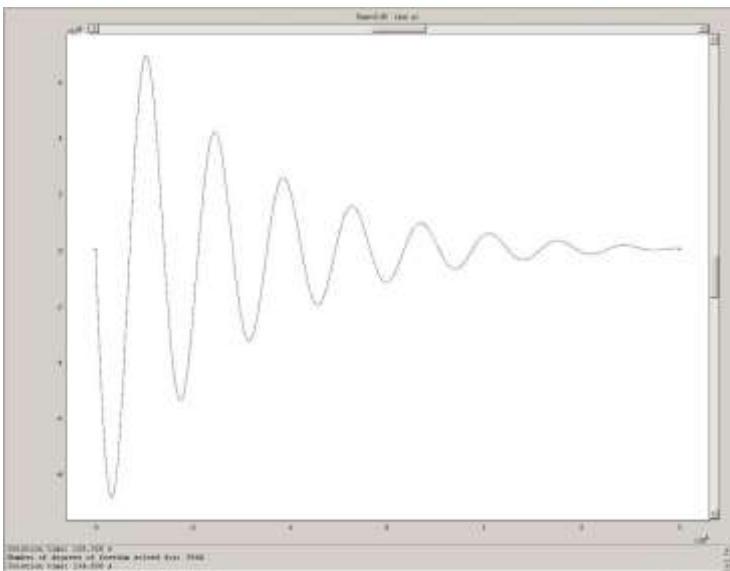


Рис. 2. График переходного процесса на частоте 500Гц

Модели длинных линий составленные в системе COMSOL Multiphysics обладают наглядностью и позволяют использовать их в учебных целях.

Литература

1. **В.Е. Шмелев, Е.Е. Дудников.** Моделирование волны тока и напряжения в простейшей разветвленной электрической сети // III науч. конф. «Проектирование инженерных и научных приложений в среде Matlab» Санкт-Петербург. 2007. с. 399-410.
2. **М.В.Костенко, Л.С.Перельман, Ю.П. Шкарин.** "Волновые процессы и электрические помехи в многопроводных линиях высокого напряжения. М., Энергия, 1973 272 С.
3. **J.R. Carson.** Wave propagation in overhead wires with ground return // BSTJ. V. 5. №4. 1926. P. 31-37.
4. **Г.А. Гринберг, Б.Э. Бонштедт.** Основы точной теории волнового поля линий передачи//Журнал технической физики Т.24 вып.1 - 1954 г. с. 65-95.
5. **М.В.Булатников, К.П.Кадомская, С.А.Кандаков, Ю.А.Лавров.** Определение первичных продольных параметров воздушных и подземных линий электропередачи на основе расчета электромагнитного поля
6. **Г.А. Большанин, Л.Ю. Большанина, Е.Г. Марьясова.** Распределение гармонических составляющих электрической энергии пониженного качества вдоль несимметричного участка трехфазной ВЛЭП трехпроводного исполнения.// Электро № 2 /2010 стр. 20-25.
7. Power system transients: parameter determination / editor, Juan A. Martinez-Velasco. p. 632.
8. **В.Г. Гольдштейн, Н.В. Сайдова, А.К. Танаев.** Уточнённая математическая модель поверхностного эффекта в многослойной земле // Вестн. Самар. гос. техн. ун-та. Сер. Физико–математические науки. 2003. №19 с. 129-133.

УДК 621.383

А.В. ПУЧЕНКИН, аспирант
НГТУ (г. Нижний Новгород)

Регулятор точки максимальной мощности для солнечных батарей

Применение альтернативных источников питания, таких как солнечные батареи является всё более актуальной задачей в контексте увеличения надежности, и возобновляемости электропитания. Однако их применение связано с определенными трудностями, которые необходимо учитывать при проектировании преобразователя.

Разработка высокоэффективного способа преобразования для солнечных батарей является достаточно важной задачей, поскольку сами солнечные батареи производят сравнительно малое количество энергии. Для различных регионов России значения солнечной постоянной может варьироваться, однако преимущественно имеет сравнительно низкие

значения¹. При этом КПД самих фотоэлементов выпускаемых в общественное потребление колеблется в диапазоне от 10 до 25%.

Для обеспечения эффективности системы в течение всего времени работы солнечные батареи должны быть правильным образом нагружены. Только в этом случае батареи будут работать в точке максимума своей мощности. При этом пик электропотребления приходится именно на вечерние часы. Кроме того, мощность электростанции может резко и неожиданно колебаться из-за смены погоды. При этом избыток энергии, выделенной на солнечных элементах в течение дня необходимо запастись в аккумуляторах, для поддержания эффективности системы. Поэтому большинство высокоэффективных преобразователей солнечной энергии снабжаются демпфирующей системой.

Точка максимальной мощности солнечной батареи изменяется с изменением освещённости (рисунок 1). Для систем достаточно больших для того, чтобы судить о дополнительных потерях, отслеживающее устройство для точки максимальной мощности постоянно определяет мгновенную мощность путём непрерывного измерения напряжения и тока (и т.о. передачу мощности) и использует эту информацию для динамической подстройки нагрузки, таким образом всегда достигается максимальная выходная мощность, независимо от изменений в освещении.

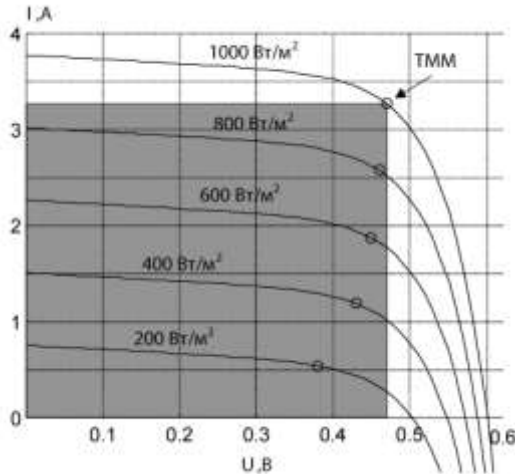


Рис. 1. Вольт-амперные характеристики фотоэлементов для различных уровней освещенности

¹Для нижнего Новгорода солнечная постоянная имеет значение порядка $250 \text{ Вт}^*\text{ч/м}^2$

Регулятор точки максимальной мощности (РТММ) может быть построен различными способами, и часто его выбор зависит от типа нагрузки. Как правило, задачей РТММ является создание такого выходного напряжения при котором, рабочая точка системы будет соответствовать точке максимальной мощности.

В автономных системах использующих солнечную энергию необходимо иметь систему накопительных элементов (на ионисторах или аккумуляторных батареях). При этом накопительная система будет использоваться для передачи в неё излишков мощности, выделяемых блоком солнечных батарей, или же компенсировать недостаток мощности. Например ночью, когда солнечные батареи не работают, нагрузка сможет питаться от емкостных накопителей. Номинальное напряжение аккумуляторов при полном заряде может быть близко к точке максимальной мощности аккумуляторных батарей, однако это маловероятно на восходе, когда батареи частично разряжены. Благодаря РТММ заряд может начаться и при низшем напряжении (рис. 2).

Когда аккумуляторные батареи в автономной системе заполнены и производство энергии фотогальваническими системами превышает потребление на нагрузке, РТММ больше не может обеспечивать точку максимальной мощности солнечным батареям. В этом случае РТММ должен сдвигать рабочую точку системы в соответствии с требуемой нагрузкой. (или в качестве альтернативы можно не изменять точку максимальной мощности, а излишки энергии выделять на дополнительной резистивной нагрузке)

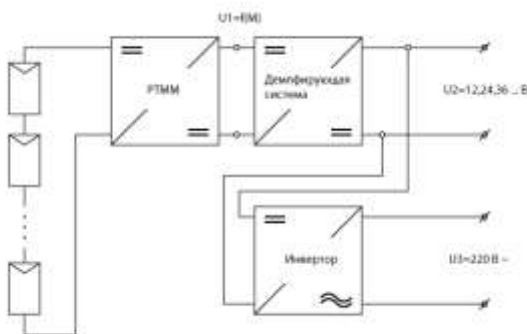


Рис. 2. Функциональная схема системы с применением РТММ и демпфирующей системой

В фотогальванических системах сопряженных с сетью, сеть обычно представляется аккумулятором с практически бесконечной мощностью. Сеть всегда может поглотить избыток выделяемой на солнечных элементах мощности, и может поддерживать нагрузку питанием во время спада

мощности (например ночью) Аккумуляторы в данном случае только для защиты от отключения сети. РТММ в системах, сопряженных с сетью всегда может работать в точке максимальной мощности за исключением случаев, когда сеть недоступна, а аккумуляторные батареи полностью заряжены.

Для проектирования системы управления РТММ обычно используют нелинейные алгоритмы, позволяющие находить точку максимальной мощности в любой момент времени независимо от условий работы преобразователя.

Выводы

Применение РТММ в преобразователях солнечной энергии может существенно увеличить производительность системы, а также задавать при необходимости определённые уровни напряжения и тока. В автономных системах это потребует наличия блока аккумуляторов, что может увеличить общую стоимость преобразователя.

УДК 621.383

А.В. ПУЧЕНКИН, аспирант
(НГТУ) г. Нижний Новгород

Эффекты несоответствия и затенения при использовании массива солнечных элементов

Помимо необходимости обеспечения работы блока солнечных батарей в точке максимальной мощности, большое влияние на эффективность работы солнечных батарей может оказать эффект несоответствия.

Фотоэлементы имеют относительно низкое напряжение (0.5 В), поэтому их практически всегда соединяют последовательно для получения подходящего напряжения. В этом случае напряжение будет суммироваться, а ток будет определяться током худшего элемента. Когда батареи имеют одни и те же характеристики и одинаково освещены, они ведут себя как одна солнечная батарея, но с большим напряжением. Однако сами модули обладают различными характеристиками, могут иметь различную температуру, или быть освещены не одинаково. Поэтому вольт-амперные характеристики у различных солнечных батарей будут немного отличаться. Поскольку в такой цепи течет один ток, некоторые батареи не смогут достигнуть максимума своей мощности. Это явление называется эффектом несоответствия.

Крайний случай несоответствия приводит к феномену, называемому эффект горячего пятна. Он подвергает опасности фотоэлементы под действием этого феномена. Предположим, что один из фотоэлементов в последовательной цепи затенен на 75% своей площади. Это приведет к

несоответствию элементов, а ток КЗ и его мощность затененного фотоэлемента снижается на 75%. В худшем случае затененный фотоэлемент оказывается под действием обратного напряжения, и вместо производства начинает рассеивать мощность. При этом данный элемент значительно нагревается и, достигнув 130 °С, начинает необратимо уничтожаться.

Традиционные солнечные инверторы осуществляют поиск точки максимальной мощности для всего массива солнечных элементов (рис. 1). В таких инверторах ток, регулируемый инвертором, течет последовательно через все панели. Однако поскольку разные модули имеют различные ВАХ, и соответственно точки максимальной мощности, эта архитектура приведет к тому, что некоторые модули не достигнут точки максимальной мощности, что приведет к потерям энергии.

Альтернативной архитектурой системы может быть децентрализованная система с интегрированным модулем контроля в каждую солнечную батарею (рис. 2). Такая система будет дороже предыдущей, однако позволит существенно снизить потери, связанные с эффектом несоответствия и затенения.

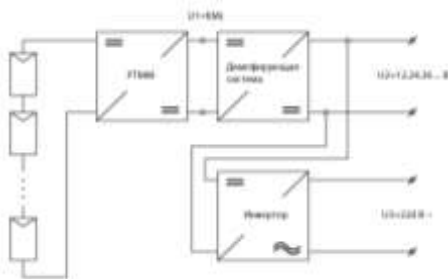


Рис. 1. Централизованная система

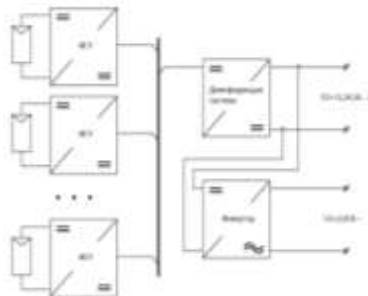


Рис. 2. Децентрализованная система

В централизованной системе при затенении всего 30% поверхности одного фотоэлемента он начинает рассеивать мощность, в то время как в децентрализованной системе такой же фотоэлемент продолжает производить 70% своей номинальной мощности (рис. 3).

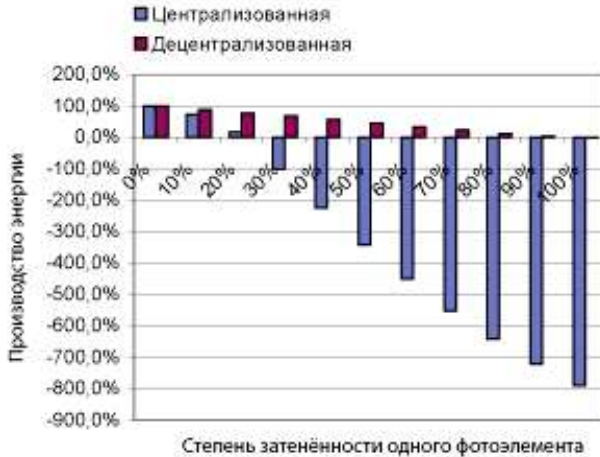


Рис. 3. Производство энергии одним затененным фотоэлементом

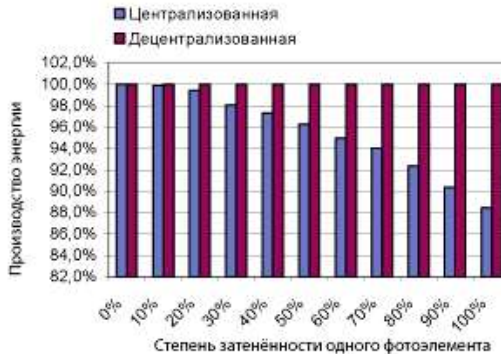


Рис. 4. Производство энергии каждым из незатененных фотоэлементов

В децентрализованной системе фотоэлементы работают независимо друг от друга. В такой системе и затененные и незатененные фотоэлементы всегда смогут достигнуть точки своей максимальной мощности (рисунок 4).

Потери, связанные с несоответствием в децентрализованной системе ограничены затененной частью системы, и в худшем случае для одного элемента составят 4.2%. В централизованной системе затененные фотоэлементы будут оказывать влияние на остальные. В худшем случае зате-

ненный фотоэлемент будет потреблять порядка 790% своей номинальной мощности, а остальные фотоэлементы смогут производить только 88.4% мощности. Таким образом, общая производительность централизованной системы составит 51.8%

Заключение

Применение децентрализованных систем, и интегрированных в солнечную батарею регуляторов точки максимальной мощности может существенно снизить негативное влияния эффекта несоответствия фотоэлементов, однако стоимость такой системы будет превышать стоимость централизованных систем и поэтому их применение не носит широкого распространения и может быть актуально в автономных системах и системах требующих повышенной надежности.

УДК 621.313

А.С. КОБЕЛЕВ, к.т.н., начальник расчетно-теоретического сектора
(ОАО «НИПТИЭМ») г. Владимир
Л.Н. МАКАРОВ, д.т.н., генеральный конструктор
(ООО «РУСЭЛПРОМ») г. Москва

Выбор внешнего диаметра сердечника статора для энергоэффективных асинхронных двигателей

В настоящее время продолжает сохраняться разгармонизация увязки мощности к габаритным и присоединительным размерам между странами Евросоюза (увязка CENELEC или увязка ГОСТ Р51689 II) и странами постсоветского пространства (так называемая увязка СЭВ или ГОСТ Р51689 I).

Организационно рассогласованная увязка СЭВ в СССР принята при создании серии 4А, и была вызвана желанием получить в тех же габаритах номинальную мощность на одну–две ступени больше, чем в увязке CENELEC. При этом активных материалов на электромагнитное ядро уходило не намного меньше, поскольку машинную постоянную не обманешь, и сердечники становились длиннее. Заметим, что начиная с определенной длины машина начинает работать «на собственные нужды», и дальнейшее увеличение КПД при допустимой кратности пускового тока K_p становится чрезвычайно сложным (анализ данного вопроса будет изложен в отдельной публикации). Разумеется, переход на новую увязку сопровождался многочисленными оптимизационными расчетами [1], однако КПД в исследуемых вариантах не превышал современный стандартный уровень IE1. Переход от серии 4А к серии АИР еще более уменьшил внешний диаметр статора D_{as} , см. таблицу 1, в которой представлены внешние диаметры ряда фирм, а номинальная мощность указана для

$2p=4$ (представлена старшая мощность). Итак, рассогласование увязок было оправдано для уровня КПД, соответствующего стандартной энергоэффективности IE1 по IEC 60034–30. Однако оно оказалось неудачным в современной ситуации, для обеспечения высокой IE2 и высшей энергоэффективности IE3 габаритов 80–132, а также 180. Для габаритов 160 и 200–250 существуют проблемы при переходе к высшей энергоэффективности IE3; вопрос о IE2 решается удовлетворительно [2]. По-видимому, решение о переходе от диаметра 313 мм, 4А, к диаметру 295 мм, АИР, (габарит 180) оказалось самым неудачным: машина габарита 180 получила статус «тяжелой», «неудобной» и, как правило, не обеспечивала даже декларируемый КПД IE1. Вместе с тем, уменьшение диаметра позволило увеличить высоту нижних ребер станины и несколько улучшить охлаждение: при неизменном диаметре D_{as} превышение температуры обмотки Θ_{cu} снижается на 2–5 °С.

Обратимся к таблице 1. Рассмотрим несколько позиций для диаметров серии 5А (увязка СЭВ) и диаметров, принятых фирмой АВВ (увязка IEC). Так, для габарита 80 мм $D_{as_ABB} \approx D_{as_5A}$. При этом старшая мощность $2p=4$ увязки IEC в два (!) раза меньше, чем в увязке СЭВ. Этим объясняется фатальная трудность получения машин IE3 габарита 80 мм увязки СЭВ. Мощность 1,5 кВт у АВВ реализована на D_{as} , большем соответствующего диаметра СЭВ на 15 %. Причем, зарубежными разработчиками обсуждается возможность дальнейшего увеличения D_{as} увязки IEC младших габаритов для обеспечения энергоэффективности IE3. Для габарита 132 мм также $D_{as_ABB} \approx D_{as_5A}$. При этом старшая мощность $2p=4$ увязки IEC в 1,5 раза меньше, чем в увязке СЭВ. Этим объясняется чрезвычайное удорожание машин IE3 габарита 132 мм увязки СЭВ, см. таблицу 3. Мощность 11 кВт кВт АВВ реализована на D_{as} , большем соответствующего диаметра СЭВ на 14 %. Несмотря на то, что подобная тенденция присутствует и на габаритах 180, 200, 250, 280, за счет электромагнитной оптимизации в габаритах 250, 280 удается получить удовлетворительные решения для класса IE3. Последний тезис опосредованно подтверждают сами зарубежные фирмы, выполняя в близких к СЭВ диаметрах габаритов 315, 355 мм двигатели повышенной мощности. Причем фирма SIEMENS достигает в габарите 315 мм номинальной мощности 315 кВт, т.е. на две ступени больше, чем в увязке СЭВ! (Возможность выполнить в габарите двигатель повышенной мощности гарантированно обеспечивает выполнение в данном габарите двигателя высокой энергоэффективности).

Таблица 1. Габариты, внешние диаметры и номинальные мощности увязок ИЕС и СЭВ

H, мм	D _{ас} , мм						P _н , кВт	
	4А	5А	АИР	VEM	ИЕС	АВВ	СЭВ	ИЕС
80	131	131	132		120	130	1,5	0,75
90	149		150		135	150	2,2	1,5
100	168		163		150	168	4,0	3,0
112	191	191	184	176	170	185	5,5	4,0
132	225	225	215	206	200	221	11	7,5
160	273	260	260	255	240	256	18,5	15
180	313	295	295	288	270	287	30	22
200	349	327	327	322	300	323	45	30
225	392	368	368	362	340	364	55	45
250	437	427	437	410	375	410	90	55
280	520	490	490	465	420	460	132	90
315	520	530	530	520	500	520	200	200
355	590	590	600	600	580	600	315	355

Наглядную связь между $D_{ас}$ и КПД дает таблица 2. В ней также представлены старшие мощности для $2p=4$. Рассмотрим несколько позиций. Так, для габарита 80 мм увязки ИЕС стандартного класса энергоэффективности IE1 необходимым является КПД 72,1 %, в то время как для увязки СЭВ требуется КПД 77,2 % (!); для IE3 82,5 % и 85,3 % соответственно. Для габарита 132 ИЕС стандартного класса энергоэффективности IE1 необходимым является КПД 86,0 %, в то время как для увязки СЭВ требуется КПД 87,6 %; для IE3 90,4 % и 91,4 % соответственно. С учетом вышеотмеченной близости диаметров $D_{ас}$ увязок СЭВ и ИЕС зарубежных фирм становится ясной сложность обеспечения высоких показателей энергоэффективности младших и средних габаритов по СЭВ. Для старших габаритов, начиная с 225 мм, разница в КПД между увязками ИЕС и СЭВ может быть «выбрана» за счет электромагнитной оптимизации без значительного удорожания решений для IE3.

Таблица 2. Габариты, внешние диаметры и КПД увязок ИЕС и СЭВ

H, мм	Rн, увязка СЭВ	D _{ас} , 5А	Rн, увязка ИЕС	D _{ас} , АВВ	IE1	EFF2	IE2	EFF1	IE3
80		-	0,75	130	72,1	-	79,6	-	82,5
	1,5	131	-	-	77,2	78,5	82,5	85,0	85,3
112		-	4,0	185	83,1	84,2	86,6	88,3	88,6
	5,5	191	-	-	84,7	85,4	87,0	89,2	89,6
132	-	-	7,5	221	86,0	87,0	88,7	90,1	90,4
	11,0	225	-	-	87,6	88,4	89,8	91,0	91,4
160	-	-	15	256	88,7	89,4	90,6	91,8	92,1
	18,5	260	-	-	89,3	90,0	91,2	92,2	92,6
180	-	-	22	287	89,9	90,5	91,6	92,6	93,0
	30,0	295	-	-	90,7	91,4	92,3	93,2	93,6
200	-	-	30	323	90,7	91,4	92,3	93,2	93,6
	45,0	327	-	-	91,7	92,5	93,1	93,9	94,2
225	-	-	45,0	364	91,7	92,5	93,1	93,9	94,2
	55,0	368	-	-	92,1	93,0	93,5	94,2	94,6
250	-	-	55,0	410	92,1	93,0	93,5	94,2	94,6
	90,0	427	-	-	93,0	93,9	94,2	95,0	95,2
280	-	-	90,0	460	93,0	93,9	94,2	95,0	95,2
	132,0	490	-	-	93,5	-	94,7	-	95,6
315	-	-	200	520	94,0	-	95,1	-	96,0
	200	530	-	-	94,0	-	95,1	-	96,0

Проанализируем таблицу 3. Выпускаемый типоразмер АИРМ132S4 соответствует стандартному классу энергоэффективности IE1. Реализация энергоэффективности IE3 в диаметре D_{ас} возможна только при крайне дорогом технологическом мероприятии – изготовлении клетки ротора из медного сплава; дополнительно требуется применение более дорогой стали 2412. Удорожание машины – на 75 %. При реализации энергоэффективности IE3 в «удобной» увязке ИЕС не требуется применение заливки медью и более дорогой стали. Удорожание машины – всего на 39 %, что ниже достигаемого зарубежными фирмами (около 50–60 %). Выпускаемый типоразмер АИРМ132M4 не соответствует даже стандартному классу IE1. Реализация энергоэффективности IE3 в диаметре D_{ас} возможна также только при выполнении клетки ротора из медного сплава; дополнительно требуется применение более дорогой стали 2412. Удорожание машины – на 85 %. При реализации энергоэффективности IE3 в «удобной» увязке ИЕС не требуется применение заливки медью. Удорожание машины всего на 32 %.

Таблица 3. Себестоимость электромагнитного ядра типоразмеров 2=4 габарита 132 мм для разных уровней энергоэффективности

Типоразмер	$D_{ас}$, мм	L_s , мм	Сост, %	Примечания
АИРМ132S4 (IE1)	225	115	100	2212
7АVER132S4ie3	225	135	175	Cu, 2412
7АVEС160S4ie3	260	120	139	2212
АИРМ132M4 (IE1-)	225	160	100	2212
7АVER132M4ie3	225	200	185	Cu, 2412
7АVEС160M4ie3	260	140	132	2412

Возникает вопрос: насколько могут быть увеличены внешние диаметры сердечников при сохранении увязки СЭВ? Очевидно, такое увеличение ограничивается практически полным изъятием зазора между неоребранным низом станины и уровнем поверхности, на которой крепятся лапы двигателя исполнения IM10XX. По нашим оценкам возможные увеличения диаметров $\Delta D_{ас}$ таковы:

H , мм	112	132	160	180	200	225	250	280	315
$\Delta D_{ас}$, мм	3	5	14	17	20	25	13	10	25

Таблица иллюстрирует, что в проблемных габаритах 112 и 132 мм потенциал увеличения диаметров слишком мал, а вот в 180 мм – достаточно высок (по сути, это возврат к диаметру серии 4А).

Выводы.

Реализация асинхронных двигателей класса энергоэффективности premium (IE3) младших габаритов, а также габарита 180 мм в увязке СЭВ (ГОСТ Р51689 I) сопряжена с чрезмерным удорожанием стоимости электромагнитного ядра. Для габарита 180 мм целесообразно вернуться к внешнему диаметру серии 4А.

До обязательного перехода на IE3 (2015 г.) еще есть достаточно времени, поэтому в электромашиностроительном сообществе целесообразно инициировать переход к единой Европейской увязке CENELEC.

Литература

1. **Гурин Я.С., Кузнецов Б.И.** Проектирование серий электрических машин. - М.: «Энергия». 1979.
2. **Кобелев А.С. Макаров Л.Н.** Особенности разработки активных частей асинхронных электродвигателей класса энергоэффективности «premium» / Сборник научных трудов IV Международной научно-технической конференции ЕЕССЕС–2011. Екатеринбург. УрФУ. 2011. С. 32–38.

Достижения ИЭС им. Е.О. Патона в области защитных покрытий

Защита деталей машин и металлоконструкций от коррозии и износа, повышение долговечности машин и механизмов относятся к числу важнейших интернациональных проблем. Около 30 % ежегодной выплавки металла либо теряются безвозвратно в виде продуктов коррозии и износа, либо обращаются в металлолом. Эксплуатационные расходы приближаются к стоимости самого оборудования.

В связи с вышесказанным технически и экономически целесообразно реализовать новый подход к выбору материалов. Механическая прочность детали гарантируется за счет применения одного материала, а сопротивление воздействию внешних факторов (коррозии, износу и др.) обеспечивается локальным формированием на ее поверхности тонких слоев со специальными функциональными свойствами. В результате обеспечивается повышенная долговечность детали. При этом возможно создание изделий с уникальным сочетанием свойств, недостижимым при использовании традиционных конструкционных материалов, например, жаропрочность и жаростойкость, аморфное состояние поверхности деталей различной конфигурации и размеров и др.

Эти методы могут быть разделены на две основные группы - модифицирование поверхности и нанесение покрытий. В первом случае изменение свойств поверхности осуществляется за счет изменения структурного состояния поверхностных слоев материала детали (аморфизация, создание метастабильных структур и др.) или его легирования. Во втором - на поверхности формируется слой с иным, отличным от основного материала, составом.

Среди разнообразных технологий нанесения защитных покрытий за последнее время интенсивное развитие получила группа газотермических методов, к которым относят плазменное, газопламенное и детонационное напыление, электродуговую металлизацию, а также (в определенной мере) и лазерное напыление. В их основе лежит единый принцип формирования защитного слоя из дискретных частиц материала, нагретых и ускоренных струей высокотемпературного газа. Одной из тенденций в развитии оборудования для газотермического напыления является создание установок с высокой производительностью по напыляемому материалу, а также переход к использованию более дешевых и недефицитных газов. В ИЭС им.Е.О.Патона разработана установка «Киев-7» с плазмотронами мощностью 40 и 80 кВт, работающих на смеси воздуха с углеводородными газами. Производительность такой установки по металлическим сплавам достигает 25 кг/ч, по оксиду алюминия - 10 кг/ч. В дальнейшем на базе этой установки ИЭС совместно с Институтом газа НАНУ была создана установка

сверхзвукового воздушно-газового плазменного напыления (СВГПН) «Киев-С». Электрическая мощность этой установки достигает 160 кВт, а производительность при напылении металлических сплавов и карбид вольфрама - кобальтовых сплавов – 40...50 кг/ч.

Благодаря особенностям структуры плазменных струй при использовании воздушно-газовой смеси обеспечивается повышенная экономичность этого метода по сравнению с традиционными, использующими аргон или азот. Качество сверхзвуковых плазменных покрытий, получаемых на установке «Киев-С», не уступает широко распространенной сейчас технологии сверхзвукового газоплазменного напыления (Джет-Коут, СДС и др.), имея преимущество в удельном расходе энергии на единицу покрытия. В результате сотрудничества двух институтов НАН Украины - Института электросварки им. Е.О. Патона и Института сверхтвердых материалов - создана серия детонационных установок семейства «Перун».

За последнее время в ИЭС им. Е.О. Патона разработаны такие новые методы нанесения покрытий, как микроплазменное напыление и гибридный лазерно-плазменный метод. Микроплазменное напыление отличается от существующих плазменных методов использованием ламинарной плазменной струи малой мощности (1-2 кВт), позволяющей сократить диаметр пятна напыления до 1-3 мм. Это обеспечивает высокую локальность зоны формирования покрытия. Разработано и изготавливается оборудование для микроплазменного напыления МПН-004. Разработана технология получения микроплазменных биокерамических покрытий с высокой степенью кристалличности и возможностью формирования текстуры. Использование микроплазменного распыления Тi-проволоки обеспечило возможность формирования Тi-покрытий с управляемой мультимодальной пористостью, которые нашли успешное применение в качестве покрытий на медицинских эндопротезах.

На основе результатов исследований взаимодействия лазерного излучения с дуговым разрядом разработан интегрированный лазерно-дуговой плазматрон, в котором реализуется соосное взаимодействие луча CO₂-лазера со струей Ag-плазмы. Поглощение энергии лазера в Ag-плазме ведет к появлению неравновесности в объеме струи, что позволяет реализовать в ней газофазные процессы (в т.ч. для синтеза тугоплавких соединений) при атмосферном давлении в открытой среде. В этих условиях становится возможным при подаче в зону струи смесей CH₄+N₂ формирование в качестве продуктов процесса алмаза и алмазоподобного углерода. Обработка такой струей поверхности Тi-сплава позволила повысить ее твердость до 30-35 ГПа в условиях нагрева основы 200-300°C.

ИЭС им.Е.О Патона разработаны способы нанесения покрытий с аморфной структурой методами газоплазменного, плазменного и детонационного напыления. Разработаны порошки 12 сплавов на никелевой и железной основе серии «АМОТЕК» для нанесения аморфных покрытий, которые характеризуются высокой прочностью сцепления с основой, повышенной твердостью, износостойкостью, коррозионной стойкостью, а также магнитомякими свойствами. Уровень

свойств покрытий с аморфной структурой в 1,5-3,0 раза выше, чем у покрытий такого же состава, но в кристаллическом состоянии.

Были разработаны материалы для нанесения металлополимерных покрытий, которые представляют собой механические смеси порошков полимеров (полиэтилен, лавсан, эпоксидные смолы и др.) с металлами и сплавами (алюминием, железными и никелевыми аморфизующимися сплавами). Свойства таких композиционных покрытий по стойкости к износу и коррозии превосходят свойства полимерных и металлических покрытий, взятых в отдельности.

В последнее время активно разрабатывается новый тип материалов для газотермического напыления - порошковые проволоки. Комбинация металлической оболочки с различными наполнителями (ферросплавы, карбиды, оксиды и др.) позволяет значительно расширить возможности проволочного напыления как в части составов и назначения получаемых покрытий, так и их качества. К числу покрытий с новой структурой относятся покрытия, содержащие наноразмерные фазы, наличие которых повышает служебные свойства покрытий. Такие покрытия получены путем термообработки аморфизированных газотермических покрытий, при которой распад аморфной фазы ведет к выделению наноразмерных включений, например боридов железа. Другой путь формирования нанокompозитных покрытий состоит в использовании для напыления композиционных порошков, содержащих наноразмерный компонент (например TiCN), полученных методом механического легирования.

Квазикристаллический тип структуры газотермических покрытий придает им комплекс необычных свойств, в частности сочетание теплопроводности на уровне оксидов (ZrO_2) с коэффициентом термического расширения металла и др. Исследование процесса формирования квазикристаллических и аппроксимантных фаз при газотермическом напылении сплавов на основе AlCuFe позволило разработать основы технологии получения таких покрытий. Порошки для их напыления получены как путем газового распыления расплава, так и механического легирования.

Антикоррозионные покрытия. Объем металлопродукции с антикоррозионными покрытиями, нанесенными газотермическими методами (газопламенным напылением и электродуговой металлизацией) в настоящее время достигает 2...5 % всего количества металлопроката с металлическими покрытиями. Этот метод наиболее экономичен в случае защиты крупных металлоконструкций - металлоконструкции мостов, эстакад, туннелей, трубопроводов, гидросооружений речных и морских судов, горнорудных и сельскохозяйственных сооружений и т.п. Другим видом антикоррозионных газотермических покрытий являются полимерные и металлополимерные покрытия. Их применение в условиях химических и лакокрасочных производств обеспечивает эффективную защиту деталей насосов, реакторов и других видов оборудования

Газотермическое напыление позволяет решить проблему защиты от высокотемпературной коррозии в условиях воздействия агрессивных продуктов сгорания твердого, жидкого и газообразного топлива в соединении с абразивным воздействием частиц зольных остатков. ИЭС им.Е.О.Патона НАН Украины со-

зданы материалы и комплект оборудования для нанесения газотермических покрытий, а также разработана технология газотермического напыления покрытий с целью восстановления и защиты от износа и коррозии узлов и деталей энергоблоков тепловых электростанций.

Износостойкие покрытия. Газотермические покрытия являются эффективным способом защиты поверхностей от различных видов износа. По своему сопротивлению износу и коррозии они не уступают гальваническому хрому В то же время технология газотермического напыления является экологически гораздо более безопасной по сравнению с электрохимическими технологиями (хромирование, кадмирование и т.п.).

Другим направлением в области покрытий, развиваемым в ИЭС им. Е.О. Патона, является нанесение карбидных покрытий в расплаве солей. Процесс не требует защитных сред, проводится при атмосферном давлении в расплаве с рабочей температурой 800...1200 °С, длительность выдержки составляет 0,5...3,0 ч. Технология позволяет совмещать безокислительный нагрев под закалку с процессом карбидообразования. Исходные материалы используются многократно. Технология экологически чистая, вредные газовыделения и сливные отходы отсутствуют. Процесс предназначен для упрочнения деталей машин, работающих в условиях трения и износа, в том числе при наличии ударных нагрузок, а также режущего, гибочного, вытяжного, прессоштампового и лезвийного инструмента. Покрытие из карбида ванадия характеризуется пониженным коэффициентом трения и в ряде случаев может эффективно эксплуатироваться без смазки. Покрытия на основе карбида хрома отличаются повышенной жаростойкостью, что позволяет эффективно применять их для защиты деталей форм литья под давлением цветных металлов (латуни, алюминиевых сплавов).

В настоящее время в ИЭС развивается новое направление в области защитных покрытий с формированием слоев, обладающих нанокompозитной и наноразмерной структурами, что обеспечивает повышение их служебных свойств. Покрытия получают путем газотермического напыления нанокompозитных порошков, изготовленных методом механического легирования, а также методом магнетронного напыления.

Подсекция «ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ»

УДК 621.384.617

Г.В. БЕЛЯЕВ, ст. преподаватель,
В.Ф. ВОРОБЬЕВ, к.т.н., доцент, зав. кафедрой,
М.В. ПРУСАКОВ, к.т.н., зав. лабораторией,
Ю.М. СТЕПАНОВА, аспирант
(ИГЭУ)

Зондовые исследования параметров импульсной плазмы экспериментального ускорителя ионов

Рабочий цикл экспериментального ускорителя ионов включает этап образования плазмы в межэлектродном пространстве (генерации заряженных частиц) и этап ускорения частиц. Оба эти этапа реализуются за счёт подачи на электродную систему импульсов высокого напряжения. Для повышения эффективности работы данного ускорителя ионов необходимо знать параметры плазмы, образующейся в процессе работы установки. Среди наиболее важных параметров необходимо выделить степень ионизации плазмы образующейся на этапе генерации заряженных частиц (накачки). Так увеличение степени ионизации при накачке ведёт к увеличению количества ионов, внедряемых в обрабатываемую поверхность, улучшая качество приповерхностного слоя.

Повышение степени ионизации плазмы в данном экспериментальном ускорителе осуществляется за счёт использования импульсного высокого напряжения. Однако, амплитуда импульсов напряжения, подаваемых на электродную систему, сильно ограничена её геометрическими размерами. Например, напряжение слишком большой амплитуды приводит к переходу тлеющего разряда в дуговую форму. Избежать перехода разряда в дуговую форму можно сокращая длину импульса напряжения. Таким образом, необходимо подобрать такие параметры (длительность и амплитуда) импульса при которых можно будет подойти вплотную к преддуговой фазе разряда, когда процессы ионизации наиболее интенсивны.

Исследование степени ионизации плазмы проводилось с применением ленгмюровского метода одиночного зонда в атмосфере азота или аргона. Этот метод позволяет исследовать плазму, помещая в неё цилиндрический зонд, который при проведении экспериментов помещался в плазму на глубину 10 мм. На зонд подавался измерительный косоугольный импульсный сигнал. В это же время на электродную систему подавалось напряжение амплитудой 50 кВ с длинно импульса t_i изменяющейся в пределах от 1 до 50 мкс.

Плазма, окружающая зонд, имеет свой потенциал, поэтому возникала разность потенциалов между зондом и плазмой. Возникающая разность потенциалов инициирует протекание тока через зонд. Полученные зави-

симости тока зонда от напряжения, подаваемого на него, использовались для построения вольтамперной характеристики (ВАХ) зонда. Характер изменения ВАХ зонда определяется током, протекающим через зонд, и имеет две составляющие: ионную и электронную. Обработка ионной ветви тока на зонд позволяет определить концентрацию ионов [1], рассчитать их общее количество и степень ионизации плазмы в межэлектродной системе.

$$C_{и} = n_{и}/n_{0},$$

где $n_{и}$ – количество ионов; n_{0} – количество нейтральных частиц во всём объёме межэлектродного пространства.

Полученные зависимости $C_{и}$ от $t_{и}$ для азота и аргона представлены на рис.1. Из зависимостей следует, что оптимальной длиной для импульса накачки является $t_{и}$ равное 49 мкс. Далее следует переход в контрагированную дуговую неуправляемую форму газового разряда. Степени ионизации, полученные для азота и аргона, сильно отличаются друг от друга. Молекулы азота имеют меньший потенциал ионизации по сравнению с аргоном, поэтому при одинаковых параметрах импульса накачки для азота была достигнута степень ионизации 0,52, а для аргона 0,38.

По результатам зондовых исследований были оптимизированы параметры импульса накачки плазмы экспериментального ускорителя ионов. Применение импульса с полученными параметрами позволило на порядки повысить дозу облучения поверхности обрабатываемого материала с 10^{13} до 10^{17} ион/см².

Для апробации эффективности работы установки была произведена обработка двух идентичных ножовочных полотен ускоренными ионами азота и аргона. В качестве одного из параметров характеризующих состояние поверхности образца была принята его микротвёрдость.

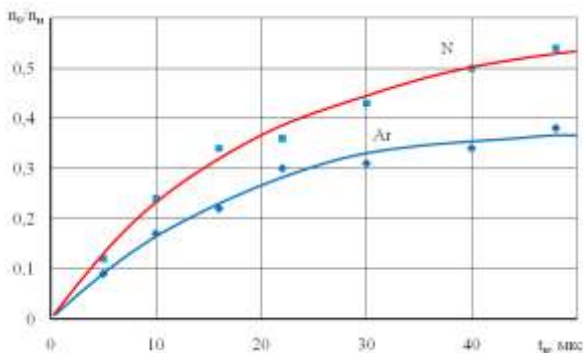


Рис. 1. Зависимость степени ионизации газа $n_{и}/n_{0}$ при напряжении накачки 50 кВ от длины импульса $t_{и}$

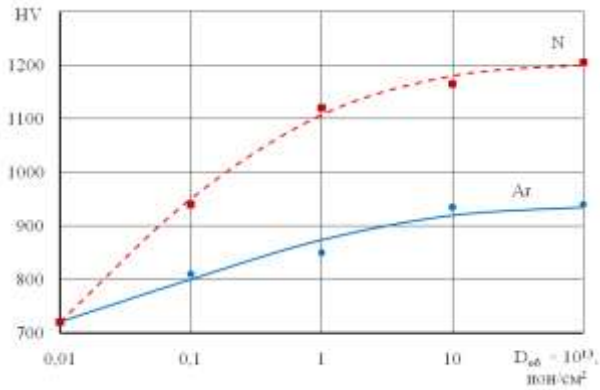


Рис. 2. Функция изменения микротвёрдости поверхности инструментальной стали от дозы облучения

Начальное значение микротвёрдости ножовочного полотна составляло 700 HV. Образцы подвергались дозам облучения в диапазоне от 10^{11} до 10^{15} ион/см². Исследование микротвёрдости обработанных образцов показало, что этот параметр в значительной степени изменился после бомбардировки ионами.

Особенно высокие показатели микротвёрдости были получены при обработке ионами азота с дозой облучения 10^{15} ион/см². Дальнейшее повышение дозы облучения практически не влияло на значение микротвёрдости, так как был достигнут предел растворимости вещества на данной глубине материала.

Литература

1. Каган Ю.М., Перель В.И., Зондовые методы исследования плазмы// Успехи физических наук, 1963, Т LXXXI, вып. 3 – С. 411 – 426.

С.В. ВОРОБЬЕВ, студент,
Ю.М. СТЕПАНОВА, аспирант,
Г.В. БЕЛЯЕВ, старший преподаватель,
В.Ф. ВОРОБЬЕВ, к.т.н., доцент, зав. кафедрой (ИГЭУ)

Рекомендации к восстановлению распределения электрического поля при моделировании разряда в газах методом крупных частиц

В последние годы при моделировании разрядных процессов в газах часто используется метод макрочастиц [2, 3]. Метод основан на решениях уравнений движения частиц, Больцмана и Пуассона. В численной модели метода вся совокупность компонентов (нейтральных частиц, ионов, электронов и др.) в разрядном промежутке разделяется на ансамбли с одинаковыми свойствами, и анализ разрядных процессов ведется для этих объединенных групп. Для плоскопараллельного поля ансамбли представляются плоскостями с частицами - «облаками», параллельными электродам. Плотность частиц на «облаке», его скорость и направление движения выбираются из начальных условий, с учетом сохранения принятого закона распределения составляющих газовой смеси по скоростям.

В плоскопараллельной электродной системе в пространстве между электродом и «облаком», между соседними «облаками» поле будет равномерным, и напряженность этого поля будет величиной постоянной. При переходе через заряженный слой напряженность электрического поля будет претерпевать скачек, зависящий от плотности заряда на «облаке» [1]:

$$E_i = \frac{\sigma_i}{\epsilon_0}. \quad (1)$$

Напряженность электрического поля на поверхности катода в этом случае рассчитывается по формуле:

$$E_1 = \frac{U}{L} - \sum_{i=1}^n \frac{\sigma_i}{\epsilon_0} \left(1 - \frac{x_i}{L}\right), \quad (2)$$

где L – длина разрядного промежутка,
 U – напряжение, приложенное к электродам;
 σ_i – плотность заряда на i -ом «облаке»;
 x_i – расстояние от катода до i -ого «облаке».

На всех остальных участках ($j \geq 2$) напряженность электрического поля рассчитывается по формуле:

$$E_j = E_1 + \sum_{i=1}^{j-1} \frac{\sigma_i}{\epsilon_0}. \quad (3)$$

Таким образом, замена реального распределения сосредоточенными зарядами на «облаках» приводит к искажению электрическое поле в разрядном промежутке и, следовательно, к неточностям расчета.

С помощью математического аппарата необходимо разработать рекомендации по восстановлению распределения электрического поля с учетом физических представлений о процессах развития разряда.

При восстановлении поля необходимо проверять условие равенства интеграла от распределения напряженности электрического поля по всей длине промежутка величине разности потенциалов приложенной к электродам.

Для получения более точных результатов восстановления следует отдельно рассматривать функции распределения поля от зарядов одного знака, поскольку функции выделенных распределений являются монотонными. Для получения восстановленной картины поля на основе метода суперпозиции суммируются распределения от положительных и отрицательных зарядов.

Поиск функции, аппроксимирующей распределение поля, ограничивается областью гладких функций, так как заряд одного знака может привести к возрастанию или убыванию распределения поля.

Рассмотрим простейшую плоскопараллельную электродную систему длиной 1 метр с объемным зарядом, распределенным вдоль промежутка в зависимости от координаты по закону $\sigma = x \cdot 10^{-6} \text{ Кл/м}^3$.

В соответствии с методом макрочастиц разрядный промежуток разбивается на определенное число участков. Объемный заряд, расположенный на каждом из участков, стягивается на соответствующее заряженное «облако», расположенное в центре участка.

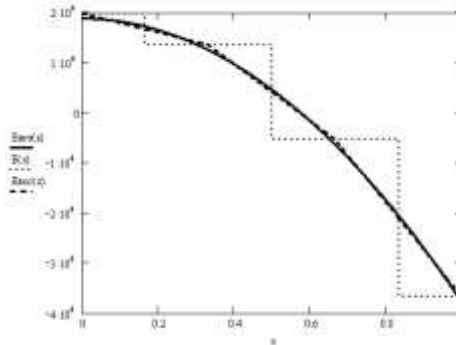


Рис. 1. Реальное распределение напряженности электрического поля $E_{ист}(x)$, распределение, полученное с помощью стягивания заряда на «облака» $E(x)$, и восстановленное распределение напряженности $E_{вос}(x)$ при использовании 3 «облаков»

Для восстановления распределения поля предлагается воспользоваться кусочно-линейной аппроксимацией. В этом случае восстановлен-

ным распределением напряженности поля будет линия, соединяющая серединки «ступенек» графика напряженности, полученного при стягивании заряда на облака. На рисунке 1 показано реальное распределение напряженности электрического поля $E_{ист}(x)$, распределение, полученное с помощью стягивания заряда на «облака» $E(x)$, и восстановленное распределение при кусочно-линейной аппроксимации $E_{вос}(x)$.

В качестве критерия оценки ошибки, возникающей при использовании «облаков», выберем среднеквадратичное отклонение полученного распределения напряженности поля от реального распределения отнесенное к модулю изменения истинной напряженности:

$$D = \frac{1}{L} \cdot \frac{\sqrt{\int_0^L (E(x) - E_{ист}(x))^2 dx}}{\int_0^L |E_{ист}(x)| dx} . \quad (4)$$

Зависимости среднеквадратичного отклонения напряженности поля D от количества «облаков» N представлена на рис. 2.

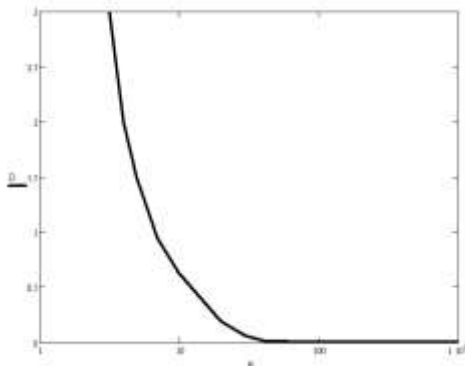


Рис . 2. Логарифмическая зависимость среднеквадратичного отклонения напряженности поля D от количества «облаков»

Из рисунка 2 видно, что использование кусочно-линейной аппроксимации дает отклонение менее 2 % при использовании 100 «облаков».

Литература

1. **Бессонов** Л.А. Теоретические основы электротехники.– М.: Высш. школа, 1978.– 528 с.
2. **Хокни** Р., Иствуд Дж. Численное моделирование методом частиц: Пер. с англ. – М.: Мир, 1987.-640 с.
3. **Воробьев** В.Ф., Беляев Г.В., Крайков А.Н. Моделирование процессов формирования электрического разряда в газах методом крупных частиц Вестник ИГЭУ, №4, 2006. – с. 80-82.

Влияние несимметрии сети и нагрузки на перенапряжения в электрических сетях 6–35 кВ

Весьма важной проблемой для электрических сетей средних классов напряжения является выбор режима работы нейтрали. Она должна решаться индивидуально применительно к каждой электрической сети с целью обеспечения заданных надежности и параметров электроснабжения, и с учетом расходов, связанных с этим обеспечением.

Как показывает опыт эксплуатации этих электрических сетей, наиболее частыми видами нарушения нормальной работы сети являются однофазное замыкание на землю, обрыв фазы.

Однофазные повреждения в сети, как правило, сопровождаются разнообразными внутренними перенапряжениями. Наиболее опасными в сетях с дугогасящими реакторами (ДГР) являются резонансные перенапряжения на высших гармониках, различные феррорезонансные явления и перенапряжения, приводящие к повреждениям изоляции в различных точках электрически связанной сети.

Длительное существование дуговых замыканий на землю представляет опасность и для ОПН, установленных в сети, так как многократное протекание токов через ОПН, работающих в режиме ограничения дуговых перенапряжений, может привести к перегреву нелинейных резисторов и их разрушению. Поэтому в рассматриваемых электрических сетях, оснащенных нелинейными ограничителями перенапряжений, целесообразно: существенно ограничить поиск поврежденного присоединения, в частности, путем применения селективных защит от однофазных замыканий на землю; обеспечить в сетях с ДГР резонансную настройку реакторов при любом изменении емкостного тока сети на землю.

В связи с вышесказанным представляет интерес некоторый анализ перенапряжений в электрических сетях средних классов напряжения, возникающих при однофазных повреждениях и различных режимах работы нейтрали, выполненный на физической модели сети [1], которая эквивалентна воздушной сети 35 кВ с емкостным током 14,8 А. Модель позволяет имитировать обрыв фазы, причем доля оставшейся в работе фазы m может изменяться от 0,1 до 1. В качестве нагрузки использовался трехфазный трансформатор с соединением обмотки треугольник – звезда. К вторичной обмотке, соединенной в звезду, подключалась активная нагрузка, составляющая 50 % мощности трансформатора. При проведении исследований трансформатор подключался до и после места повреждения. Исследование перенапряжений выполнено применительно к трем способам

заземления нейтрали источника питания: нейтраль изолирована, нейтраль заземлена через ДГР, нейтраль заземлена через резистор.

Анализируя результаты проведенного исследования, можно отметить следующее.

Увеличение несимметрии сети вызванное обрывом фазы, оказывает существенное влияние на значение напряжения на фазах и нейтрали.

При изолированной нейтрали уменьшение m от 1 до 0,1 увеличивает напряжение на поврежденной фазе до $1,5 U_{\phi}$, а на нейтрали до $0,5 U_{\phi}$. Подключение нагрузки до места обрыва фазы практически не влияет на фазные напряжения и напряжение на нейтрали с увеличением степени несимметрии сети, тогда как подключение нагрузки после места обрыва фазы немного повышает напряжение на одной из здоровых фаз и на нейтрали.

Перенапряжения, вызванные несимметрией, при наличии ДГР в нейтрали выше, чем при его отсутствии. В частности, изменение m от 1 до 0,1 при резонансной настройке ДГР (до обрыва) напряжение на одной из "здоровых" фаз может повыситься до $2,2 U_{\phi}$, а на нейтрали – до $0,8 U_{\phi}$. Подключение нагрузки не оказывает влияния на значения напряжений.

При заземлении нейтрали через резистор влияние несимметрии на значения напряжений на фазах и нейтрали такое же как, и при изолированной нейтрали. При подключении нагрузки и наличии резистора в нейтрали значения перенапряжений несколько снижаются (с 1,44 до $1,33 U_{\phi}$ при $m=0,1$). Место подключения нагрузки на значения перенапряжений не влияет.

Таким образом, при заземлении нейтрали через ДГР настроенный в резонанс возникновение большой несимметрии в сети (обрыв фазы) может привести к существенным перенапряжениям (более $2,22 U_{\phi}$) чего не наблюдается при изолированной нейтрали или заземленной через резистор.

При дуговых однофазных замыканиях на землю (ОЗЗ) и $m=0,1$ в сети с изолированной нейтралью возникают высокие перенапряжения (более $4 U_{\phi}$ при однократном дуговом замыкании и более $6 U_{\phi}$ при повторных замыканиях). Подключение нагрузки, особенно за местом обрыва фазы, способствует снижению перенапряжений (до $3,7 U_{\phi}$ при $m=0,1$ и однократном ОЗЗ).

Включение в нейтраль ДГР с резонансной настройкой приводит к существенному снижению перенапряжений при ОЗЗ и больших несимметриях сети. В частности, изменение m от 1 до 0,1 привело к росту напряжения на одной из здоровых фаз с $(2,2 - 2,3) U_{\phi}$ до $(2,6 - 2,65) U_{\phi}$, что существенно ниже кратности перенапряжений при дуговых замыканиях в сети с изолированной нейтралью в несимметричном режиме. При настройке реактора с перекомпенсацией увеличение m приводит к некоторому снижению перенапряжений, а при недокомпенсации к их росту. Нагрузка, включенная до обрыва фазы, не оказывает влияния на крат-

ность перенапряжений, но подключение нагрузки после обрыва может несколько повысить кратность перенапряжения не только на одной из здоровых фаз (до $3U_{\phi}$ при $m=0,1$ и настройке ДГР близкой к резонансу), но и на поврежденной фазе (с 1,4 до $2,3U_{\phi}$ при $m=0,5$).

При ОЗЗ и резисторе, включенном в нейтраль, наличие или отсутствие нагрузки в любом месте линии не влияет на кратность перенапряжений. При изменении m от 1 до 0,1 кратность перенапряжений на здоровых фазах изменялась от $2,25U_{\phi}$ до $2,6U_{\phi}$. Повторные замыкания фазы на землю кратность перенапряжений не изменяют.

Выводы.

1. Проведенные исследования еще раз подтвердили тезис: применение ДГР эффективно, если идеально симметризовать сеть; автоматизировать подстройку индуктивности ДГР к резонансному значению как в нормальном режиме, так и в режиме ОЗЗ к изменяющимся в широких пределах параметрам сети; обеспечить компенсацию не только основной, но и высших гармонических составляющих токов ОЗЗ.

2. В условиях эксплуатации выполнение вышеприведенных условий трудновыполнимо, поэтому при небольших токах замыкания на землю (до 50 А) и наличии резервирования электроснабжения следует отдавать предпочтение заземлению нейтрали через резистор так как в этом случае:

- перенапряжения при ОЗЗ значительно ниже, чем при изолированной нейтрали;
- перенапряжения, вызванные несимметрией сети (без ОЗЗ) значительно ниже, чем при включенном в нейтрали ДГР;
- отсутствуют феррорезонансные явления при ОЗЗ;
- облегчается поиск поврежденного участка сети.

3. При исследовании перенапряжений на моделях целесообразно учитывать нагрузку, включенную после места повреждения фазы по направлению со стороны источника питания.

Литература

1. **Исследование** перенапряжений на модели электрической сети 6 – 35 кВ при однофазных замыканиях на землю в несимметричных режимах / С.Н.Горячкин // "Высоковольтные техника и электротехнология": сб. научн. тр. вып.3. – Иванов. 2003. – 141 с.

Анализ влияния влагосодержания трансформаторного масла на электрофизические характеристики изоляции силовых трансформаторов в эксплуатации

Трансформатор является сложной технической системой, в которую входит множество связанных между собой подсистем, таких как внутренняя изоляция, система охлаждения, газовая защита, переключающие устройства, система удаления влаги и т.д. В процессе эксплуатации в этих подсистемах развиваются различные дефекты, в результате чего нарушается нормальная работа трансформатора.

Были проведены исследования для определения особенностей изменения параметров маслосодержащей изоляции трансформаторов в эксплуатации. На примере силовых трансформаторов Костромской ГРЭС, Ростовских и Череповецких электрических сетей была создана база данных, включающая в себя результаты эксплуатационных испытаний изоляции трансформаторов в течение длительного времени их работы. На этой основе проведён анализ закономерностей изменения параметров изоляции трансформаторов в зависимости от влагосодержания трансформаторного масла.

В качестве результатов эксплуатационных испытаний рассматривались такие контролируемые параметры как тангенс угла диэлектрических потерь $\operatorname{tg}\delta$, электрическое сопротивление изоляции $R_{\text{из}}$, коэффициент абсорбции изоляции $K_{\text{абс}}$, влажность трансформаторного масла $S_{\text{м}}$, пробивное напряжение масла $U_{\text{пр}}$ в стандартном маслопробойнике и др. [1].

Влагосодержание как один из важных показателей состояния масла в соответствии с нормативными документами контролируется в процессе эксплуатации. Увеличение влагосодержания масла возможно при попадании атмосферной влаги в масло, из-за неисправности или отсутствия осушителей у трансформаторов со свободным дыханием, а также из-за засасывания влажного воздуха или дождевой воды в масло у трансформаторов с принудительной системой охлаждения при ее негерметичности.

С целью более эффективного выявления особенностей изменения параметров маслосодержащей изоляции силовых трансформаторов в эксплуатации при её увлажнении данные эксплуатационных испытаний были представлены в виде диаграмм.

Проведённый анализ показал, что снижение пробивного напряжения для масла из трансформатора 110 кВ происходит вследствие увлажнения

трансформаторного масла (табл. 1) и увеличивается при полной замене масла.

Увеличение влагосодержания трансформаторного масла у трансформатора привело к снижению электрической прочности масла и качества изоляции трансформатора в целом.

Таблица 1. Изменение качества трансформаторного масла

Дата отбора	Влагосодержание	$U_{пр}$, кВ	Примечание
27.03.00	нет	70	Замена масла
22.04.04	есть	25,8	контроль
25.05.04	есть	20	контроль
28.05.04	есть	23	контроль
22.06.04	есть	35,6	контроль
24.06.04	нет	68	Замена масла

На основе анализа результатов эксплуатационных испытаний изоляции трансформаторов 220 кВ на рис. 1 и 2 представлены соответственно зависимости пробивного напряжения трансформаторного масла в стандартном маслоробойнике от влагосодержания масла $U_{пр}(C_m)$ и коэффициента абсорбции изоляции от влагосодержания масла $K_{абс}(C_m)$.

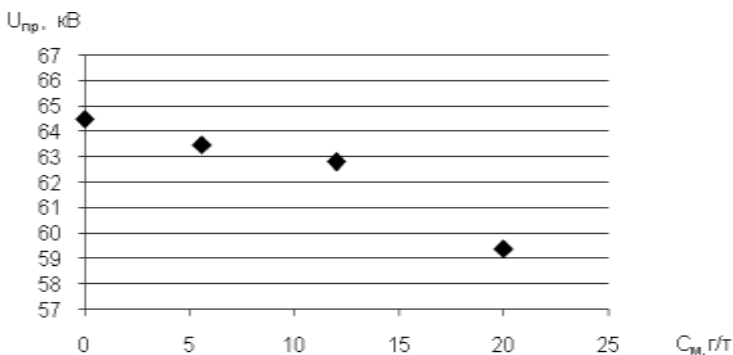


Рис. 1. Изменение пробивного напряжения трансформаторного масла в стандартном маслоробойнике для трансформатора 220 кВ в зависимости от влагосодержания масла

Из приведённых на рис. 1 и 2 данных следует, что:

- отмечается корреляция пробивного напряжения $U_{пр}$ трансформаторного масла в стандартном маслоробойнике от влагосодержания масла при C_m больше 10 г/т;
- отмечается наличие корреляционной зависимости коэффициента абсорбции $K_{абс}$ для внутренней изоляции силового маслонаполненного

трансформатора от влагосодержания масла в диапазоне значений C_M более, чем 6 – 7 г/т;

– не наблюдается корреляции коэффициента абсорбции $K_{абс}$ внутренней изоляции при влагосодержании масла C_M в диапазоне 0 – 7 г/т, также не отмечается корреляции пробивного напряжения $U_{пр}$ трансформаторного масла при влагосодержании $C_M = 0 – 4$ г/т.

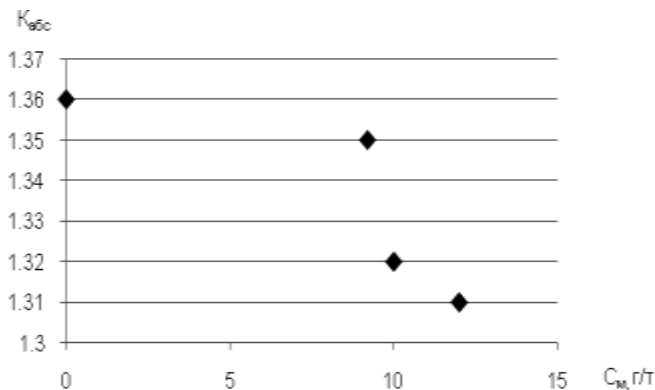


Рис. 2. Изменение коэффициента абсорбции изоляции для трансформатора 220 кВ в зависимости от влагосодержания масла

При значениях влагосодержания масла C_M от 0 до 12 г/т не отмечается корреляции тангенса угла диэлектрических потерь $tg\delta$ внутренней изоляции от влагосодержания масла;

Не просматривается также однозначная корреляция между электрофизическими характеристиками внутренней изоляции силовых трансформаторов $tg\delta$ и $K_{абс}$.

Приведенный краткий обзор результатов проведенного анализа изменения основных электрофизических характеристик внутренней изоляции силовых трансформаторов в эксплуатации показал, что в большинстве случаев ухудшение качества изоляции происходит постепенно. Следовательно, если правильно поставить работу по проверке состояния изоляции трансформаторов, возникающие дефекты можно выявить до того момента, когда будет превышена какая-то критическая точка. Тогда можно будет своевременно вывести трансформатор в ремонт, предотвратив возникновение повреждения или отказа, не допустить недоотпуск электроэнергии, снизить время и расходы на ремонт трансформатора.

Литература

1. **Объем** и нормы испытаний электрооборудования / Под общ. ред. Б.А. Алексеева, Ф.Л. Когана, Л.Г. Мамиконянца. - 6-е изд., с изм. и доп. - М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2004.

УДК 621.314.21: 621.3.048

О.С.МЕЛЬНИКОВА, аспирант,
Л.С.ТАРУТИНА, магистрант,
Ю.А.МИТЬКИН, д.т.н., профессор
(ИГЭУ)

Особенности влияния технических параметров силовых трансформаторов на электрическую прочность жидкой изоляции

Технические параметры трансформаторов задаются структурой электрической сети, для работы в которой предназначены силовые трансформаторы. Основным параметром электрической сети является напряжение электрического тока, которое выбирается в зависимости от мощности, которую нужно передать от электросети потребителям, и протяженностью линий электропередачи.

В связи с этим основными характеристиками трансформатора являются напряжение обмоток и мощность, передаваемая трансформатором. В настоящее время освоены номинальное напряжение до 1150 кВ. При этом мощности силовых трансформаторов достигают значений 8000000 кВА [1].

С ростом номинального напряжения повышаются требования к изоляции электрооборудования. Это обусловлено тем, что при переходе на более высокие ступени номинального напряжения в значительной мере возрастают габариты, масса и стоимость трансформаторов. Для эффективного решения этих вопросов на практике уменьшают изоляционные расстояния, что приводит к повышению рабочих напряженностей электрического поля. В силу этого для обеспечения заданного уровня электрической прочности изоляции трансформатора её качество соответственно повышается. Подтверждением этого является тот факт, что в соответствии с нормативными документами [2] пробивные напряжения трансформаторного масла в стандартном маслопробойнике устанавливаются с учетом класса номинального напряжения (табл. 1).

Таблица 1. Пробивные напряжения трансформаторного масла для электрооборудования различных классов напряжения [2]

Категория электрооборудования	Масло, предназначенное к заливке в электрооборудование	Масло после заливки в электрооборудование
до 15 кВ включительно	–	20
до 35 кВ включительно	–	25
от 60 до 150 кВ включительно	40	35
от 220 до 500 кВ включительно	50	45
750 кВ	60	55

Отсюда следует, что с ростом класса напряжения пробивное напряжение трансформаторного масла в соответствии с нормами увеличивается.

Однако при заданном классе номинального напряжения мощность трансформаторов изменяется в широком диапазоне (табл. 2)

Таблица 2. **Мощности силовых трансформаторов при различных классах напряжения**

Класс напряжения, кВ	Мощность силового трансформатора, кВА
110	630000; 500000; 400000; 250000; 125000; 100000; 80000; 63000; 40000; 25000; ...
220	630000; 500000; 400000; 250000; 125000; 100000; 80000; 63000; 40000; 25000; ...
330	1000000; 630000; 500000; 400000; 250000; 125000; 100000; 63000; 40000; 25000; ...
500	630000; 500000; 400000; 250000; 125000; 100000; 80000; 63000; 40000; 25000; ...
750	417000; 250000; 125000; 100000; 80000; 63000; 40000; 25000; ...

Увеличение мощности трансформаторов при заданном номинальном напряжении влечет за собой увеличение габаритов трансформаторов и соответственно объема трансформаторного масла. В этом случае важно отметить, что увеличение объема масла приводит к снижению электрической прочности масла. Это явление обусловлено статистической природой формирования предпробивных процессов в трансформаторном масле. Так, вероятность того, что образец, состоящий из m одинаковых элементов объема, пробьётся при напряжении U определяется по формуле

$$F(m, U) = 1 - [1 - F(1, U)]^m$$

где $F(1, U)$ – вероятность пробоя одного из m элементов объема при напряжении U .

В силовых трансформаторах объем масла составляет десятки тонн, что обуславливает увеличение объема масла в действующих трансформаторах по сравнению с объемом масла в стандартном маслопробойнике (величина m) до значений порядка 10^4 .

При увеличении значений m функция $F(m, U)$ смещается в область меньших значений пробивных напряжений (рис. 1), а при больших значениях m она сдвигается в область отрицательных значений, что противоречит физическим соображениям формирования пробоя масла и не может быть в действительности.

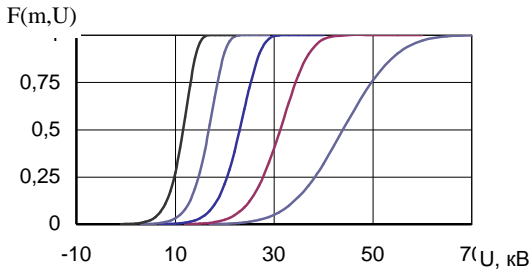


Рис. 1. Функция распределения пробивных напряжений при различных относительных объемах масла m ($m = V_m/V_1$; $V_1 = 0,4$ л):
 1 – 1; 2 – 10; 3 – 10^2 ; 4 – 10^3 ; 5 – 10^4

Приведённые результаты свидетельствуют о том, что при проектировании изоляции силовых трансформаторов и в процессе их эксплуатации на энергетических предприятиях необходимо учитывать влияние мощности трансформатора на электрическую прочность трансформаторного масла и вводить соответствующие коррективы на качество масла с учетом не только класса номинального напряжения, но и мощности трансформатора.

Литература

1. **ГОСТ 9680-77.** Трансформаторы силовые мощностью 0,01 кВА и более. Ряд номинальных мощностей.
2. **Объем** и нормы испытаний электрооборудования / Под общ. ред. Б.А. Алексева, Ф.Л. Когана, Л.Г. Мамиконянца. - 6-е изд., с изм. и доп. - М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2004.

Прогнозирование пробивного напряжения трансформаторного масла по ограниченному числу эксплуатационных испытаний

Для повышения надёжности маслонаполненного оборудования, особенно с большим сроком эксплуатации, важно иметь представление о возможном изменении пробивного напряжения масла в промежутке времени до следующего испытания.

Имеющиеся подходы прогнозирования трудно применить для случаев с небольшим числом эксплуатационных испытаний, что имеет место в системе контроля электрической прочности трансформаторного масла. В соответствии с техническим регламентом пробивное напряжение масла для различных классов напряжения определяется один раз в 2 – 4 года. Кроме того, ставится задача повысить уровень эксплуатации и постепенно увеличивать время между испытаниями пробивного напряжения масла. Всё это обуславливает ограничение числа экспериментальных данных. Особенно это остро проявляется на начальном этапе работы маслонаполненного оборудования, а также в случае замены масла в оборудовании в процессе эксплуатации.

С учётом этого важно разработать методику прогнозирования изменения пробивного напряжения с учётом ограниченного числа эксплуатационных испытаний.

Общее уравнение, характеризующее изменение пробивного напряжения U_{np} в соответствии с методом постепенного накопления повреждений имеет вид:

$$-\frac{dU_{np}}{dt} = f(U_{np}, q(t)). \quad (1)$$

Левая часть уравнения (1) представляет собой скорость изменения пробивного напряжения во времени. Правая часть есть функция меры повреждений U_{np} и вектора нагрузки $q(t)$. Функция $q(t)$ включает в себя следующие воздействующие факторы: электрофизические, физико-химические, температурные и др. Они оказывают влияние на снижение электрической прочности трансформаторного масла в процессе его эксплуатации.

Основной проблемой здесь является выявление вида функции $q(t)$. В общем случае аналитическое решение этой проблемы затруднительно, так как имеет место большое количество взаимосвязанных влияющих факторов. Поэтому при разработке метода прогнозирования целесооб-

разно использовать полуэмпирический подход с привлечением результатов анализа физических процессов, имеющих место в изоляции, а также данных эксплуатации.

С учётом имеющихся процессов постепенного накопления повреждений в МНО и выявленной на основе анализа эксплуатационных испытаний особенности плавного спада пробивного напряжения в эксплуатации показано, что на ограниченном отрезке времени, на котором осуществляется прогнозирование (время упреждения T_y), можно применить кусочно-линейную аппроксимацию тренда для изменения пробивного напряжения, которая применяется каждый раз на разных отрезках времени с учётом выбранного времени упреждения.

Тогда имеем выражение:

$$U_{\text{пр}} = U_{\text{пр},0} \left(1 - k_u \cdot \frac{t}{T_y} \right), \quad (2)$$

где при начальном условии $t = 0$, $U_{\text{пр}} = U_{\text{пр},0}$; k_u – постоянный коэффициент, определяемый по результатам экспериментальных испытаний.

При этом на каждом из отрезков времени, включая и первый, по результатам экспериментальных испытаний с применением метода наименьших квадратов определяются параметры $U_{\text{пр},0i}$ и k_{ui} . В этом случае параметр $U_{\text{пр},0i}$ представляет собой эффективное начальное ($t = 0$) значение пробивного напряжения, которое определяет тренд изменения $U_{\text{пр}}$ на заданном отрезке времени.

Для повышения точности прогнозирования изменения пробивного напряжения разработана методика определения параметров тренда (2) с применением метода группового учёта аргументов (МГУА) [1]. Здесь следует учесть, что на прогнозируемом участке времени поведение тренда изменения пробивного напряжения в большей степени определяется значениями пробивного напряжения для моментов времени, близко расположенных к времени прогнозирования. Для учёта этого фактора экспериментальные данные пробивного напряжения следует учитывать с использованием весовых коэффициентов, значения которых должны увеличиваться по мере приближения времени наблюдения к участку прогнозирования.

Далее производится аппроксимация экспериментальных данных расчётным трендом по методу наименьших квадратов. В результате определению подлежат всего три постоянных коэффициента

При практической реализации разработанного метода прогнозирования следует также учесть особенности, имеющие место в начальной области работы маслонаполненного оборудования, когда идёт накопление экспериментальных данных. На этом участке число опытов должно быть не менее 2–3, весовой коэффициент здесь принимается равным единице. Область прогнозирования при этом выбирается фактически равной длительности начального участка. На последующих областях применяется общая методика прогнозирования изменения пробивного

напряжения. Аналогично следует поступать при прогнозировании изменения пробивного напряжения масла после его частичной или полной замены в эксплуатации.

На рисунке представлено изменение и прогноз среднего пробивного напряжения трансформаторного масла для силового трансформатора напряжением 110 кВ по предложенной методике.

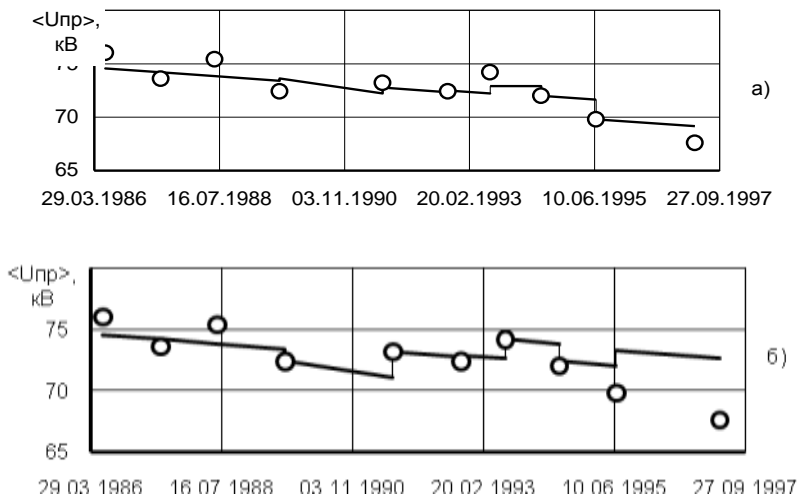


Рис. Изменение и прогноз среднего пробивного напряжения трансформаторного масла из трансформатора ТДЦ-125000/110 в эксплуатации при: а) – $k_a(t)$; б) – $k_b=1$

Из полученных результатов следует, что предложенный метод прогнозирования параметров электрической прочности масла с применением кусочно-линейного тренда позволяет обеспечить прогноз средних пробивных напряжений с погрешностью до 2,63% при дифференцированном учёте результатов эксплуатационных испытаний – $k_b(t)$. При весовом коэффициенте $k_b = 1$ максимальная погрешность прогноза возрастает до 7,43%.

Литература

1. Ивахненко А.Г. Долгосрочное прогнозирование и управление сложными системами. Киев.: Техніка, 1975. 312 с.

Применение нейронных сетей при проведении хроматографического анализа газов, растворенных в трансформаторном масле

Срок службы высоковольтного маслонаполненного оборудования в основном определяется состоянием изоляции и, как показывает опыт эксплуатации, составляет десятки лет. Для обоснованного продления срока службы такого оборудования необходимо создание эффективных методов оценки его технического состояния.

Одним из эффективных методов оценки состояния изоляции, в частности масла, является газовая хроматография, позволяющая определять состав путем выделения всех или нескольких компонентов в концентрационные зоны или отличные от тех, в которых они первоначально присутствовали, независимо от природы силы или сил, вызывающих перемещение вещества. При проведении хроматографического анализа оператору представляется хромаграмма, по которой и производится анализ содержащихся газов в масле. При этом в соответствии с методикой проведения хроматографического анализа газов, растворенных в трансформаторном масле, определяется наличие развивающегося дефекта в изоляции.

В условиях эксплуатации, как правило, обработка хромаграмм производится вручную. При этом один из вариантов определения дефекта в соответствии с РД 153-34.0-46.302-00 – определение графическим способом развивающихся в трансформаторах дефектов по результатам АРГ.

В данной работе предлагается использовать для интерпретации результатов хроматографического анализа растворенных газов компьютерные программы на основе искусственных нейронных сетей. Искусственная нейронная сеть – это упрощенная модель биологической нейронной сети. У нейронных сетей много важных свойств (нелинейность, адаптивность, отказоустойчивость, масштабируемость, универсальность и т.д.), но ключевое из них – это способность к обучению. Обучение нейронной сети в первую очередь заключается в изменении "силы" синаптических связей между нейронами (весов). Такое изменение реализуется двумя классами алгоритмов обучения: "с учителем" и "без учителя". На сегодняшний день нейронные сети являются одним из приоритетных направлений исследований в области искусственного интеллекта. Схема нейронной сети для интерпретации результатов хроматографического анализа растворенных газов представлена на рис. 1.

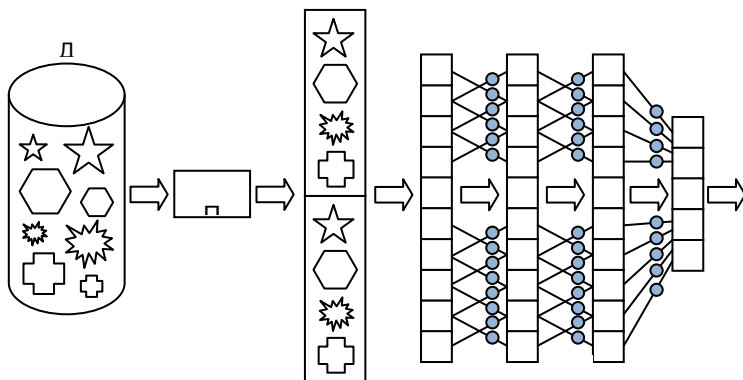


Рис. 1. Схема нейронной сети для хроматографического анализа

Разрабатываемая компьютерная программа предполагает реализацию следующих направлений:

- прогнозирование изменения концентрации отдельных газов в эксплуатации по результатам эксплуатационного мониторинга;
- определение вида дефекта, путем построения графиков дефектов и сравнения их с характерными графиками для различных дефектов.

Основными задачами при разработке программ, реализующих нейросетевые алгоритмы, являются подготовка достаточного объема экспериментальных данных, выбор оптимальной структуры нейронной сети и проведение ее обучения.

Подготовленные экспериментальные данные сводятся в общую базу данных, используемую при обучении нейронной сети. При этом необходимо согласование параметров данных из базы с входными параметрами рецепторного слоя. Для повышения качества обучения нейросети выборка данных из базы должна производиться с учетом принципа чередования прогнозируемых значений по обучающей выборке (шейкер-сортировка). Реализация указанных задач возможна при введении блока предобработки обучающей выборки (БП на рис.1).

Известно, что однослойные нейронные сети имеют некоторые ограничения при обучении (в частности проблема делимости). Для преодоления ограничений при выборе структуры нейронной сети следует ориентироваться на многослойные нейронные сети, сети на основе радиальных базисных функций или на машины опорных векторов.

Оптимальным, для решаемой задачи, является выбор трехслойной нейронной сети, обучаемой с помощью алгоритма обратного распространения ошибки. Это алгоритм обучения с учителем, основанный на кор-

рекции ошибок и являющийся обобщением алгоритма адаптивной фильтрации (минимизации среднеквадратической ошибки).

Трехслойная нейронная сеть реализуется на нейронах с нелинейной функцией активации (как правило, сигмоидальной), имеющих высокую степень связности, реализуемой посредством синаптических соединений. Нейроны скрытых слоев позволяют извлечь наиболее важные признаки из входного образа (вектора).

Обучение методом обратного распространения ошибки предполагает два прохода по всем слоям сети: прямого и обратного. При прямом проходе входной вектор из базы подается на рецепторный слой (слой R на рис.1), после чего распространяется по всем ассоциативным слоям сети (слои A_1 и A_2). Реакция сети на входной образ формируется на эффекторном слое (слой E на рис.1). Во время прямого прохода все синаптические веса сети (G_n, G_m, G_k на рис.1) фиксированы. При обратном проходе формируется сигнал ошибки, как разность реакции сети и экспертного значения из базы ("учителя"), на основе которого корректируются все синаптические веса нейронной сети, в направлении, обратном направлению синаптических связей.

Подстройка синаптических весов производится до максимального приближения выходного сигнала реакции сети к желаемому экспертному значению "учителя". После обучения нейронная сеть, из-за способности к обобщению, может использоваться для получения обоснованных результатов на основании данных, которые не встречались в процессе обучения. Эффекторный слой сети для решаемой задачи настраивается таким образом, чтобы выходной сигнал мог показать количество растворенных газов, их характерные соотношения, характер развивающегося дефекта и прогнозируемое изменение концентрации характерных газов до следующего анализа.

Разработка и исследование магнитожидкостных герметизаторов для элегазовых коммутационных аппаратов

Электрические аппараты высокого напряжения с элегазовой изоляцией имеют преимущества перед другими типами аппаратов по габаритам и массе. Наиболее полно преимущества элегазовых аппаратов проявляются в комплектных распределительных устройствах (КРУЭ), где все элементы – выключатель, разъединители, короткозамыкатели, трансформаторы тока и напряжения имеют элегазовую изоляцию. В настоящее время выпускаются КРУЭ на 110-500 кВ и отдельно стоящие выключатели на 110-750 кВ. В электрических аппаратах элегаз используется при давлении 0,3-0,7 МПа, срок эксплуатации без ревизии и ремонта составляет не менее 10 лет. Поэтому элегазовые аппараты должны обладать высокой герметичностью. В настоящее время для отечественных аппаратов нормируемая утечка в год составляет 1%, а для некоторых зарубежных – 0,5%.

В высоковольтных коммутационных аппаратах передача движения от привода к контактной системе осуществляется посредством возвратно-вращающегося вала или возвратно-поступательно движущегося (ВПД) штока. Обеспечение надежности узла герметизации вала (штока) представляет собой сложную задачу из-за больших скоростей движения контактной системы, сезонных колебаниях температуры и большом ресурсе работы.

Обычно в узлах герметизации в качестве уплотнителей используются резиновые кольца, сальники и их комбинации. Для снижения сил трения и нагрузки на привод движения, повышения ресурса работы уплотнительного узла и уровня его герметичности следует использовать уплотнения, основанные на бесконтактном принципе.

Создание качественно нового материала – магнитной жидкости (МЖ) привело к появлению магнитожидкостных герметизаторов (МЖГ), которые условно относятся к бесконтактным уплотнениям с уплотнителем из магнитной жидкости, удерживаемым в активной зоне магнитным полем. Классический МЖГ (рис. 1, а) состоит из аксиально намагниченного кольцевого постоянного магнита 3 и примыкающих к нему с торцов двух полюсных приставок 4, установленных в немагнитном корпусе 2 и охватывающих вал 1 с рабочим зазором. Полюсные приставки и вал изготавливаются из магнитомягкого материала. В целях создания в рабочем зазоре градиентного магнитного поля зазор выполняется неравномерным, зубчатым. Под воздействием магнитного поля МЖ образует в рабочем зазоре кольцеобразные магнитожидкостные уплотнители 5 по числу зубцов полюсных приставок. Каждый

магнитожидкостный уплотнитель способен удерживать определенный перепад давлений. Максимальный перепад давлений, удерживаемый МЖГ, пропорционален числу отдельных уплотнителей. Такие герметизаторы обладают высокой герметичностью (натекание не хуже 10^{-6} Па·м³/с), низкими уровнями жидкостного трения и сопротивления вращению вала, достаточно большим ресурсом работы при температурах от -100°C до +120°C.

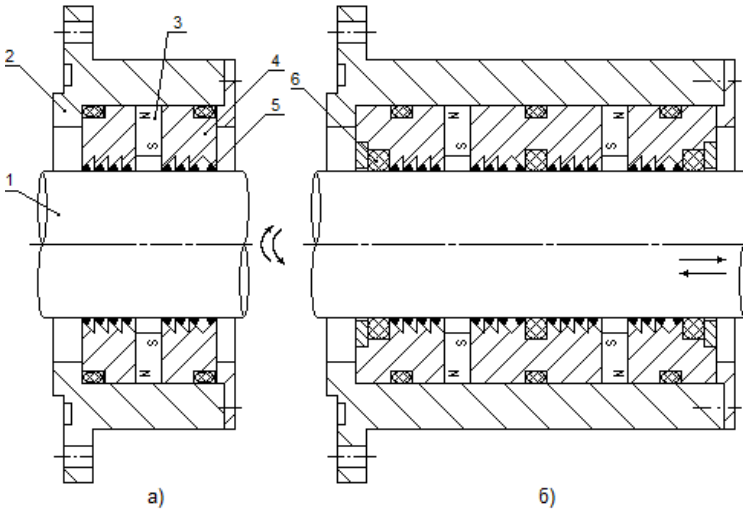


Рис. 1. а) – классический МЖГ, б) – традиционный МЖГ:
 1 – вал; 2 – корпус из немагнитного материала; 3 – постоянный магнит;
 4 – полюсная приставка; 5 – магнитожидкостный уплотнитель;
 6 – резиновое кольцо

Разработанные конструкции МЖГ могут быть использованы в элегазовых выключателях, где от них по герметичности и температуре требуются параметры несколько ниже достигнутых. МЖ в выключателях в основном будет работать в статическом режиме, не испытывая непрерывного гидродинамического течения и нагрева. В элегазовых аппаратах с вводом вращения для привода контактов применение МЖГ вместо резиновых колец позволяет заменить граничное трение жидкостным, что будет способствовать уменьшению момента трения. Проведенные испытания выключателя ВЭГ-35 с МЖГ ввода вращения подтвердили целесообразность использования данного типа герметизаторов. Однако возрастают габариты узла герметизации, а также появляются повышенные требования к точности изготовления и сборки узлов привода движения.

Во многих конструкциях элегазовых выключателей управление контактами осуществляется с помощью штока, совершающего ВГД со скоро-

стью до 10 м/с и амплитудой 0,2 м. Однако условия работы МЖГ при ВПД штоке настолько отличаются от условий работы при вращающемся вале, что использование их классической конструкции для вводов ВПД успеха не имело. Недостаточно были изучены физика процессов в МЖГ при ВПД штока и их влияние на работу магнитожидкостного уплотнителя.

В ИГЭУ были разработаны и испытаны две конструкции МЖГ для ВПД штока привода контактов элегазового выключателя. В первой конструкции в корпусе полюса между съемными стальными зубцами расположены фторопластовые шайбы, обеспечивающие работу МЖГ при поступательном движении штока. Исследования показали, что шайбы незначительно увеличивают силу сопротивления движению. Однако конструкция сборного полюса получилась более сложной, чем в классическом МЖГ. Возникли трудности в обеспечении необходимой равномерности рабочего зазора между штоком и зубцами. Вторая конструкция МЖГ (рис. 1, б) отличалась от классической тем, что в каждой полюсной приставке было установлено резиновое кольцо б, ограничивающее натекание газа при движении штока. Контактное давление резины на шток в этом комбинированном уплотнении значительно меньше, чем в традиционном резиновом уплотнителе. Исследования показали, что обе конструкции МЖГ обладают примерно одинаковой герметичностью. При неподвижном штоке герметичность была не хуже 10^{-8} Па·м³/с, а при движении штока – не хуже 10^{-5} Па·м³/с. Установлено, что после динамического режима МЖГ восстанавливает уровень герметичности до 10^{-8} Па·м³/с. Это показывает, что при большой скорости движения штока герметичность обеспечивается фторопластовыми шайбами или резиновыми кольцами, контактные поверхности которых обильно смазаны МЖ. Расчет показывает, что в реальном элегазовом выключателе из-за утечки через МЖГ давление уменьшится не более чем на 0,1% в год. Таким образом, разработанные и исследованные конструкции МЖГ по герметичности и ресурсу отвечают требованиям элегазовых выключателей.

В ЛенПО «Электроаппарат» испытаны макетные образцы МЖГ на специальном стенде для исследования герметизирующих устройств элегазовых выключателей. Уровень герметичности определялся галогенным течеискателем, позволяющим измерять натекание элегаза с точностью до $2 \cdot 10^{-12}$ Па·м³/с. Испытания проводились в течение года. За это время выполнено 1000 циклов ВПД штока. В статике герметичность была не ниже 10^{-8} Па·м³/с, в динамике - 10^{-5} Па·м³/с. Установлено, что после динамического режима МЖГ в течение нескольких секунд восстанавливает уровень герметичности до 10^{-8} Па·м³/с. Испытания МЖГ в условиях близких к реальным также показали, что соответствуют требованиям элегазовых коммутационных аппаратов по герметичности и ресурсу работы.

УДК 621.328: 666.015.45

Ю.А. МИТЬКИН, д.т.н., профессор,
А.В. ВИХАРЕВ, к.т.н., доцент, А.М. СОКОЛОВ, к.т.н., доцент,
М.Е. ТИХОВ, к.т.н., доцент, А.В. КИРИЛЕНКО, студент
(ИГЭУ)

Разработка и исследование схемных и конструктивных решений для полупроводниковых источников питания электротехнологических и высоковольтных испытательных установок

На основании анализа перспективных направлений применения источников питания, выполненных на основе транзисторных преобразователей напряжения, разработаны ТУ на создание таких источников для использования в составе электротехнологических установок различного назначения и в установках высокого напряжения, предназначенных для профилактических испытаний изоляции электроэнергетического оборудования.

Разработаны варианты схемных и конструктивных решений источников питания на основе транзисторных преобразователей напряжения для электротехнологических установок по электротепловой обработке бетона и испытательных установок для профилактических испытаний изоляции высоковольтного оборудования повышенным постоянным (знакопеременным) напряжением. Выполнены теоретические исследования влияния на важнейшие показатели таких источников (вес, размеры и стоимость в расчёте на кВт мощности) различных факторов (параметры используемых транзисторов или модульных сборок, мощность источника питания, частота выходного напряжения).

Изготовлен и испытан управляемый транзисторный преобразователь напряжения мощностью 5 кВт с частотой выходного напряжения 10-15 кГц. Такой преобразователь представляет собой унифицированный блок, который без каких-либо переделок может быть использован в источниках питания различного назначения (электротехнологические установки, высоковольтные испытательные установки, лазерные установки и др.). Путем включения таких блоков на параллельную работу может быть получен источник питания любой мощности и выходного напряжения.

Выполнены исследования некоторых схемных решений источников питания различного назначения, выполненных на основе унифицированного блока, как в лабораторных, так и в производственных условиях. Полученные результаты свидетельствуют о высоких показателях источников питания на основе мощных транзисторных преобразователей напряжения. Разработаны рекомендации по их дальнейшему совершенствованию и практическому применению.

Применение АТР-ЕМТР для анализа перенапряжений при замыканиях в электрических сетях с компенсированной нейтралью

В настоящее время существует большое количество программных комплексов для инженерно-технических расчетов и моделирования. Некоторые из них стали общепризнанными стандартами (Mathcad, ANSYS, Comsol Multiphysics, NI Multisim, MatLab, Simulink) [1].

Однако существует также большое количество бесплатных аналогов, которые при этом, не уступают в функциональности и точности, обеспечены технической поддержкой со стороны многочисленных научно-технических сообществ [2], и вполне могут применяться в учебных целях.

К их числу относится некоммерческая версия программы расчета электромагнитных переходных процессов ЕМТР (ElectroMagnetic Transient Program) [3] – АТР (Alternative Transient Program).

Региональные отделения пользователей АТР находятся по всему миру: в Европе, Японии, в Северной и Южной Америке. Стать авторизованным пользователем достаточно просто. Для этого необходимо заполнить форму лицензионного соглашения и стать членом Европейской группы пользователей (EEUG, <http://www.eeug.org>).

Получив лицензию, ее владелец получает право бесплатно скачивать обновленные версии программы и получать техническую поддержку. Студентам предоставляется временная лицензия, ограниченная рамками конкретного курса. Она выдается преподавателем, являющимся авторизованным пользователем АТР.

Возможности АТР-ЕМТР заключаются в моделировании сложных электроэнергетических сетей и системы управления произвольной структуры. ЕМТР используется для анализа коммутационных и грозовых перенапряжений, исследования координации изоляции, изучения проблем качества электроэнергии и электромагнитной совместимости.

Проведение расчета осуществляется с помощью программы АТРDraw, являющейся графическим интерфейсом АТР-ЕМТР, с использованием стандартных компонентов электрических сетей. Пользователь на экране из стандартных блоков создает модель устройства и осуществляет расчеты.

При этом, в отличие от классических способов моделирования, пользователю не нужно досконально изучать язык программирования и численные методы математики, а достаточно знаний той предметной области, в которой он работает.

Модуль ATPDraw позволяет создавать схемы замещения электрических цепей и электроэнергетических сетей (рис. 1) с использованием элементов, представляемых в графическом изображении (трансформатор, выключатель, источник, разрядник, воздушные и кабельные линии и т.д.).

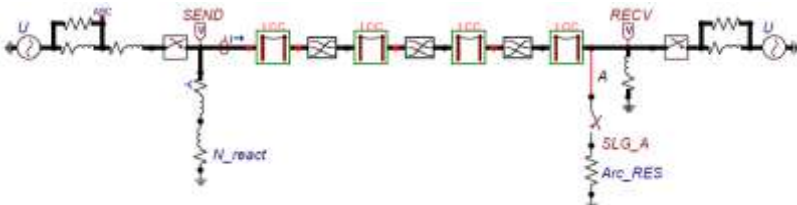


Рис.1. Схема, моделирующая процессы замыкания в ЛЭП (ATP-EMTP)

На основе построенной схемы электрической цепи создается входной файл для программы ATP, запуск которой возможен непосредственно из данной графической среды разработки. Визуализация данных, полученных в результате расчета, происходит с использованием внешних программ, специально созданных для построения графиков сигналов, рассчитанных программой ATP-EMTP (PlotXY).

Аналогичную задачу можно решить, используя программу- Simulink. Программа Simulink является приложением к коммерческому пакету MATLAB. При моделировании с использованием Simulink также реализуется принцип визуального программирования (рис. 2).

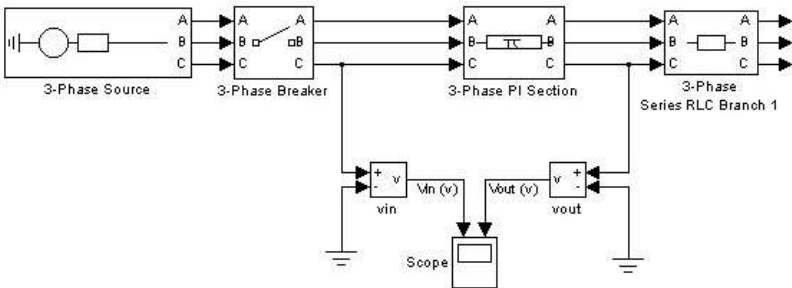


Рис.2. Схема, моделирующая процессы в ЛЭП (MatLab/Simulink)

Simulink является достаточно самостоятельным инструментом MATLAB и при работе с ним совсем не требуется знать сам MATLAB и остальные его приложения. С другой стороны доступ к функциям MATLAB и другим его инструментам остается открытым и их можно использовать в Simulink. Часть входящих в состав пакетов имеет инструменты, встраива-

емые в Simulink. Имеются также дополнительные библиотеки блоков для разных областей применения (например, Power System Blockset – моделирование электротехнических устройств, Digital Signal Processing Blockset – набор блоков для разработки цифровых устройств и т.д).

При работе с Simulink, как и в ATP-EMTP, пользователь имеет возможность модернизировать компоненты, создавать свои собственные, а также составлять новые библиотеки блоков.

При моделировании пользователь может выбирать метод решения дифференциальных уравнений, что является важным отличием от ATP-EMTP. В ходе моделирования имеется возможность следить за процессами, происходящими в системе. Для этого используются специальные устройства наблюдения, входящие в состав Simulink [4,5].

Программы расчета ATP-EMTP и MatLab/Simulink являются удобными и мощными инструментами для анализа электромагнитных переходных процессов в электрических сетях любой степени сложности.

Опыт освоения пользователями программы ATP показывает, что достаточно нескольких занятий для овладения основными навыками работы. Отсутствие русифицированного интерфейса не является недостатком этой программы, так как ее прямой конкурент MatLab/Simulink также не локализован.

Выбор программы ATP-EMTP для исследования процессов при замыканиях в сетях с компенсированной нейтралью обусловлен не только основным ее преимуществом – бесплатного получения лицензии, но и функциональными возможностями, не уступающими MatLab/Simulink.

Литература

1. **Гаврилов Л.П.** Расчет и моделирование линейных электрических цепей с применением ПК. – М.: Солон-пресс. 2009.
2. <http://www.emtp.com>.
3. **Вестник МГТУ.** Том 12, №1.-Москва. 2009. –С. 107-112.
4. **Черных И.В.** Моделирование электротехнических устройств в MATLAB, SPSystems и Simulink. – СПб.: Питер. 2008.
5. **Дьяконов В.П.** MATLAB и Simulink в электроэнергетике. Справочник. – М.: Горячая Линия – Телеком. 2009.

Контроль частичных разрядов в изоляции высоковольтного оборудования в условиях эксплуатации

В современных условиях, когда значительная часть основного силового оборудования выработало свой ресурс, а средства на его замену отсутствуют, возрастает актуальность способов контроля и оценки технического состояния оборудования, позволяющих максимально обоснованно принимать решение о возможности дальнейшей эксплуатации подобных технических средств. Для контроля состояния высоковольтных изоляционных конструкций более полувека назад предложен ряд способов (электрический, электромагнитный, акустический, оптический), базирующихся на регистрации характеристик частичных разрядов (ЧР) в изоляции.

Наиболее перспективным, в силу максимальной чувствительности и информативности, является электрический способ контроля и регистрации ЧР. Он позволяет выявлять дефекты изоляции на самых ранних стадиях возникновения, отслеживать динамику их развития и оценивать текущее состояние изоляции.

Измерение электрических сигналов, сопутствующих частичным разрядам, при испытаниях высоковольтного оборудования и в нашей стране, и за рубежом является одним из основных способов контроля состояния изоляции, проводимого в высоковольтных заводских и испытательных лабораториях [1]. Однако для контроля оборудования на действующих энергообъектах, измерение ЧР электрическим способом пока применяется редко из-за проблем с регистрацией сигналов ЧР на фоне значительных электромагнитных помех. Частичное решение задачи оценки состояния изоляции высоковольтного оборудования достигается реализацией менее чувствительных, чем электрический, способов контроля ЧР. Чаще всего при регистрации ЧР в условиях эксплуатации в настоящее время используется или акустический способ, или комбинация акустического и электрического способов [2], при этом уровень регистрируемых разрядов может существенно превышать уровень начальных ЧР. Недостатком этого способа контроля является также высокая стоимость и трудоемкость исполнения, так как в данном случае требуется установка нескольких акустических датчиков и организация нескольких каналов регистрации сигналов, содержащих информацию о кажущемся заряде и месте нахождения ЧР.

Значительно менее затратными способами регистрации частичных разрядов на фоне помех являются способы, базирующиеся на селекции сигналов ЧР. К ним относятся: частотный способ, основанный на оптимизации выбора частотного диапазона с максимальным соотношением

сигнал/помеха; способ регистрации сигналов в определенные интервалы времени, синхронизированные с фазой напряжения на объекте контроля (фазовая селекция); способ, основанный на анализе амплитудно-фазовых диаграмм; способ сравнения двух сигналов, формируемых в измерительном контуре, – при наличии высокого напряжения на контролируемом объекте и при его отсутствии (способ вычитания фона); амплитудный способ, основывающийся на сравнении результатов текущего и предыдущего контролей на одном и том же объекте; способ селекции по форме сигнала ЧР, позволяющий на основании сравнения осциллограммы зарегистрированного сигнала с шаблонами импульсов помех и ЧР не только отделить полезный сигнал от помехи, но даже определить локализацию дефекта [3].

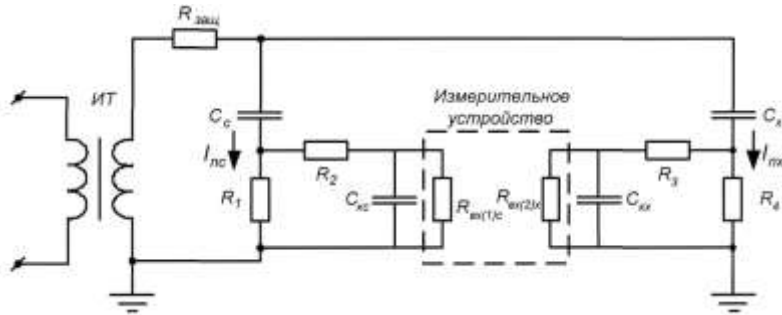
Развитие и совершенствование средств измерения, разработка микропроцессорных информационно-измерительных комплексов позволяет расширить не только диапазоны измеряемых величин, но и возможности анализа и обработки полученных результатов. Результаты испытаний, полученные в «полевых» условиях на действующих энергообъектах в дальнейшем могут быть обработаны как на аппаратном, так и на программном уровнях для выявления существующих закономерностей, в том числе и для устранения из состава измеренного сигнала электромагнитных помех.

В данном контексте, из ранее рассмотренных способов селекции частичных разрядов, наиболее перспективными в плане дальнейшего развития являются способ селекции по форме сигнала ЧР и способ вычитания фона.

В предлагаемой работе проводится анализ возможности реализации мостовой схемы контроля и регистрации характеристик ЧР, при этом канал регистрации вычитаемого фона организуется с использованием емкостных датчиков, устанавливаемых в непосредственной близости к объекту контроля, но гальванически не связанным с ним [4].

В мостовой схеме контроля и измерения характеристик ЧР фазы сигналов помех, формируемых в основном канале регистрации и в канале регистрации электромагнитного фона помех совпадают, а фазы импульсных напряжений, создаваемых токами частичных разрядов сдвинуты на 180° (см. рисунок).

Указанное различие фазовых характеристик измеряемых сигналов позволяет идентифицировать сигналы ЧР на фоне значительно превышающих их импульсных помех как программными средствами, так и с использованием дифференциальных измерительных устройств.



В рассматриваемом случае регистрация самого сигнала осуществляется цифровым электронным осциллографом типа Bordo B-421 при этом на экране монитора отображаются две временные характеристики, снимаемые с каждого из плеч мостовой схемы. На этих характеристиках импульсы помех совпадают по фазе и при расшифровке исключаются оператором из дальнейшего анализа, а импульсы от токов ЧР противофазны. Характеристики этих импульсов содержат информацию и о кажущемся заряде ЧР и о токе частичных разрядов, то есть ту информацию, без которой невозможна правильная интерпретация результатов измерения.

Литература

1. Сви П.М., Методы и средства диагностики оборудования высокого напряжения: Энергоатомиздат, 1992. 128 с.
2. Система контроля изоляции по характеристикам частичных разрядов СКИ-3 / О.А. Белявский, Р.М. Идиатуллин, А.Ф. Курбатова // Сб. материалов семинара, 19-23 апреля 2004 г. в г. Санкт-Петербург. СПб. ПЭИпк, 2005. С.123-128.
3. Методы селекции сигналов частичных разрядов в изоляции силовых трансформаторов / Д.В. Максудов, Е.М. Федосов // Вестник УГАТУ, Энергетика, электротехнические комплексы и системы, Уфа, УГАТУ, 2009, С.138-143
4. А.с. № 1772766. Устройство для измерения параметров разрядов в электрических машинах и аппаратах с экранированным токопроводом, Ковязин Л.В., Савельев В.А., Словесный С.А., Бюллетень изобретений, № 40, 1992.

СЕКЦИЯ «ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ»

УДК 621.321.925

Н.Б. ИЛЬЧЕВ, к.т.н., доцент,
А.И. КУЛЕШОВ, к.т.н., доцент,
Е.Н. ИЛЬЧЕВА, аспирант
(ИГЭУ)

Использование технико-экономической модели для задач проектирования и эксплуатации электрической сети

При реализации системы компьютерного проектирования развития электросетевых районов используется информационная модель, включающая техническое описание сети. На основе такой модели решаются задачи расчета электрической сети: расчеты установившихся режимов, токов коротких замыканий, устойчивости. Однако для принятия технических решений такая модель должна быть дополнена экономическими или стоимостными показателями оборудования. При традиционном проектировании проведение технико-экономических расчетов является обязательной процедурой в принятия проектного решения и является трудоемкой. Автоматизация этой процедуры оправдана по двум причинам: во-первых, это ведет к снижению общих трудозатрат на проектирование, а во-вторых, появляется возможность выполнения оптимизации технико-экономических показателей с применением формальных алгоритмов.

В качестве экономических показателей модели рассматриваются: капитальные затраты, эксплуатационные издержки, дисконтированные затраты, чистый дисконтированный доход.

При этом капитальные затраты можно формировать на основе классов оборудования с использованием их укрупненных показателей стоимости. Для оценки постоянной части капитальных затрат следует вводить понятия «подстанция» и «электростанция», применительно к участкам модели сети, а численные значения определять на основе анализа состава оборудования, входящего в подстанцию. Эксплуатационные издержки на текущий ремонт и обслуживания определяются на основе капитальных вложений с использованием нормы отчисления, определенной для каждого класса оборудования. Эксплуатационные издержки, связанные с покрытием технических потерь электроэнергии, определяются по результатам расчета установившихся режимов максимальных нагрузок и по оценочному значению времени максимальных потерь, которое может рассматриваться либо как нормативная величина для соответ-

ствующего района, либо вычисляться по совокупности графиков электропотребления.

Величины «дисконтированные затраты» или «чистый дисконтированный доход» являются вычисляемыми и могут рассматриваться как целевые функции от конфигурации сети, от режима работы, от варианта распределения нагрузок по агрегатам и т.п.

При реализации стоимостной модели в составе информационной модели электрической сети с одной стороны появляется возможность формирования проектных документов, касающихся технико-экономических показателей (ТЭП) сети и технико-экономического сравнения вариантов, а с другой стороны открываются возможности формальной оптимизации ТЭП с использованием методов упорядоченного перебора (например, метода ветвей и границ), или поисковых методов оптимизации, таких как покоординатного спуска или деформируемого многогранника.

Необходимо отметить, что технико-экономическая функциональность программы важна не только для проектных организаций, но и в эксплуатации, при реализации так называемых «умных» сетей (Smart Grids).

УДК 621.311.1.003

В.Ю. ВУКОЛОВ, инженер,
Б.В. ПАПКОВ, д.т.н., профессор
(НГТУ им. П.Е. Алексеева)

Оценка достоверности результатов расчета нагрузочных потерь электроэнергии

Отличительной особенностью расчета потерь электроэнергии при ее передаче по электрическим сетям в современных условиях является крайне ограниченный объем необходимой исходной информации при низкой ее достоверности. Поэтому используемые методы расчета потерь мощности и электроэнергии должны быть в максимальной степени адаптированы к имеющимся в условиях эксплуатации сетей схемным и режимным параметрам.

Согласно существующей Инструкции [1], для расчета нормативов потерь при известных схемах сетей применяются принципиально отличающиеся методы: оперативных расчетов и средних нагрузок, а также их модификации (метод расчетных суток и метод числа часов наибольших потерь мощности). С другой стороны, предусмотрены специальные оценочные методы, определяющие порядок расчета нормативов потерь электроэнергии в сетях напряжением 0,4 кВ: метод оценки потерь по обобщенной информации о схемах и нагрузках сети и метод с использованием измеренных значений потерь напряжений. Однако они рекомендуются к применению только при отсутствии возможности расчета

нормативов на основе более точных подходов. Поэтому целесообразно исследовать факторы, определяющие достоверность расчета потерь электроэнергии на основе первых двух методов.

Исходная информация, необходимая для проведения расчета включает: напряжение в центре питания ($U_{ЦП}$), активную и реактивную мощность нагрузки (P_n , Q_n), эквивалентное активное сопротивление сети ($R_{ЭКВ}$), квадрат коэффициента формы графика нагрузки (k_f^2), конфигурацию электрической сети с указанием положения коммутационных аппаратов.

В качестве примера оценки величины нагрузочных потерь на суточном интервале рассматривается предприятие легкой промышленности, получающее питание от одного ЦП ($U_{НОМ\ сети}=6\text{ кВ}$) при известном типовом графике нагрузки рабочего дня. Максимальная активная мощность нагрузки потребителя равна $P_n=0,5\text{ МВт}$. Реактивная мощность нагрузки вычисляется с учетом предельного значения коэффициента реактивной мощности, определяемого согласно Порядку [2] для сетей 6-20 кВ ($\text{tg}\varphi = 0,4$; $Q_n = P_n \cdot \text{tg}\varphi = 0,5 \cdot 0,4 = 0,2\text{ Мвар}$). Результаты расчета представлены в табл. 1 (строка 1).

Однако в реальных условиях эксплуатации сетей имеют место различные погрешности, которые обуславливают возможные отклонения полученных результатов. Произведем оценку интервалов отклонения расчетного значения нагрузочных потерь электроэнергии. Точность измерения мощности нагрузки определяется погрешностью измерительного канала (принимая равной максимально допустимому классу точности измерительной аппаратуры $\pm 2\%$). Напряжение ЦП рассматриваем для режима максимальных ($U_{ЦП} = 1,05 \cdot U_{НОМ\ сети}$) и минимальных нагрузок ($U_{ЦП} = 1,0 U_{НОМ\ сети}$). Величина $R_{ЭКВ}$ определяется динамикой изменения положения коммутационной аппаратуры за расчетный период. В качестве диапазона изменения $R_{ЭКВ}$ выбираем величину $(0,95 - 1,0)R_{ЭКВ}$. Квадрат коэффициента формы определяем расчетным путем [1]. При отсутствии информации о графике нагрузки или измеренных достоверных значений реактивной мощности, инструкция [1] позволяет принимать $k_{ф\text{ станд}}^2 = 1,33$, $\cos\varphi = 0,85$. В соответствии с этой информацией проведен расчет потерь электроэнергии по известным алгоритмам [1]. Результаты его представлены в табл.1.

Анализ полученных данных показывает, что отсутствие учета реактивной мощности нагрузки приводит к значительному искажению нагрузочных потерь (завышение в 1,9 – 2,1 раз): из дальнейшей выборки их целесообразно исключить. Результаты полученных расчетов представляют значения случайной величины нагрузочных потерь. Поэтому требуется статистическая оценка ее числовых характеристик: математического ожидания $M(x)$ и среднего квадратического отклонения $\sigma(x)$, считая все рассмотренные способы расчета потерь равновероятными. Тогда $M(\Delta P) = 500,277\text{ кВт}\cdot\text{ч}$, $\sigma(\Delta P) = 23,023\text{ кВт}\cdot\text{ч}$

Таблица 1. Результаты расчета нагрузочных потерь электроэнергии в исследуемой модели

Исходные данные для расчета потерь	Нагрузочные потери электроэнергии (ΔP , кВт·ч)	
	Метод оперативных расчетов	Метод средних нагрузок
Исходная конфигурация сети ($P_n = 0,5$ МВт; $Q_n = 0,2$ Мвар; $U_{\text{цп}} = 6,3$ кВ, $R_{\text{экв}} = 5$ Ом, $k_{\text{ф}}^2 = 1,133$)	490,9365	478,3751
Погрешность приборов учета -2%	471,4954	459,4314
Погрешность приборов учета +2%	510,7703	497,7014
Режим минимальных нагрузок ($U_{\text{цп}} = 6,0$ кВ)	563,1243	548,7158
$R_{\text{экв}} = 4,75$ Ом	466,3897	454,4563
Отсутствие данных о графике нагрузки ($k_{\text{ф.станд}}^2 = 1,33$)	-	561,6457

Считая в первом приближении закон распределения нагрузочных потерь электроэнергии в зависимости от исходной схемной и режимной информации нормальным, определены доверительные интервалы оценки математического ожидания нагрузочных потерь при известном среднеквадратическом отклонении. Объем выборки $n = 11$, доверительная вероятность $\gamma = 0,95$. При этом точность оценки

$$\delta = \frac{t\sigma}{\sqrt{n}} = \frac{1,96 \times 23,023}{\sqrt{11}} = 22,881 \text{ кВт}\cdot\text{ч}, \quad 1)$$

где $t = 1,96$ для нормального закона распределения. Таким образом, доверительный интервал результатов расчета нагрузочных потерь электроэнергии составляет ($M - \delta = 500,277 - 23,023 = 477,254$; $M + \delta = 500,277 + 23,023 = 523,300$) кВт·ч. или $\pm 4,57$ % от математического ожидания величины потерь.

Если рассматривать расчет потерь электроэнергии при неизменной конфигурации сети и измеренных значениях активной и реактивной нагрузки, границы доверительного интервала сокращаются до $\pm 2,81$ %, что составляет $\pm 14,058$ кВт·ч. Полученные результаты означают, что при неизменных схемных параметрах и наличии полного объема исходной режимной информации за расчетный период в случае, когда погрешность измерительных комплексов не выходит за границы класса точности, независимо от выбранного метода расчета нагрузочных потерь их значение не будет превышать допустимую инженерную погрешность расчета 5% с доверительной вероятностью $\gamma = 0,95$. Проведение аналогичных расчетов для предприятий других отраслей промышленности при различных вариантах нагрузки полностью подтверждают полученные результаты.

Вывод:

Для повышения достоверности результатов расчета нагрузочных потерь необходима оценка доверительной информации и доверительного интервала.

Литература

1. **Инструкция** по организации в Министерстве энергетики Российской Федерации работы по расчету и обоснованию нормативов технологических потерь электроэнергии при ее передаче по электрическим сетям", утвержденной приказом Министерства энергетики РФ от 30 декабря 2008 г. № 326.
2. **Порядок** расчета значений соотношения потребления активной и реактивной мощности для отдельных энергопринимающих устройств (групп энергопринимающих устройств) потребителей электрической энергии, применяемых для определения обязательств сторон в договорах об оказании услуг по передаче электрической энергии (договоры энергоснабжения). Утвержден приказом Минпромэнерго России №49 от 22.02.2007 г.

УДК 621.321.11

И.И. БАНДУРИН, ассистент
(ППИ)

Математическая модель, позволяющая построить систему оперативного обслуживания электрических сетей 35-110 кВ с заданным средним временем обслуживания

Основные фонды ЕЭС России наполовину физически и морально изношены, во многих районах едва справляются с максимумами нагрузки потребителей, а новая структура хозяйственного управления затрудняет сохранение технологической целостности системы, а особенно ее эффективное и надежное развитие [5]. Одним из главных путей видения выхода из сложившейся ситуации является инновационное преобразование электроэнергетики на базе новой концепции, получившей за рубежом название Smart Grid, интерпретированное в различных переводах, в основном как «интеллектуальная (умная) сеть (энергосистема)» [4].

Развитие методов оптимизации и способов управления системой оперативного обслуживания (ОО) электрических сетей (ЭС) является одной из важнейших задач, которую нужно решить для обеспечения клиенто-ориентированного подхода в рамках концепции Smart Grid.

Разработана математическая модель и алгоритм, позволяющие построить систему ОО ЭС 35–110 кВ с заданным средним временем обслуживания требования.

Для определения оптимального вида системы ОО подстанции (ПС) необходимо знать оптимальное количество требований обслуживаемых ДЭ, «ДЭ на дому», ОВБ и устройствами ТМиА.

В качестве неизвестных переменных плана обслуживания примем следующие:

$n_{дэ_i}$ – количество требований выполняемых ДЭ на i -ой ПС;

$n_{дэ_на_дому_i}$ – количество требований выполняемых «ДЭ на дому» на i -ой ПС;

$n_{овб_{i,j}}$ – количество требований выполняемых на i -ой ПС j -ой бригадой ОВБ;

$n_{тмиа_i}$ – количество требований выполняемых устройствами ТМиА на i -ой ПС.

Введем индикаторные переменные $x_{дэ_i}$, $x_{дэ_на_дому_i}$, $x_{овб_{i,j}}$, $x_{тмиа_i}$ плана обслуживания в математическую модель следующим образом: если ДЭ, «ДЭ на дому», ОВБ или устройства ТМиА обслуживают хотя бы одно требование на i -ой ПС, то соответствующая переменная плана обслуживания равна 1, в противном случае она равна 0. Целевые функции по минимуму ежемесячных затрат на систему ОО ЭС 35-110 кВ, с учетом ущерба и/или затрат на создание обслуживающих приборов (ОП) могут быть получены аналогично, согласно таблице №1, приведенной в [1].

В общем случае требования не являются одинаковыми. Поэтому, а также и для того, чтобы использовать методы булева линейного программирования, представим переменные плана обслуживания $n_{дэ_i}$, $n_{дэ_на_дому_i}$ и $n_{овб_{i,j}}$ через сумму двоичных переменных ξ . Для этого введем двоичные переменные таким образом, чтобы их сумма была равна количеству требований обслуживаемых ОП $n_{тр_об}$:

$$n_{тр_об_i} = \sum_{l=1}^{n_{тр_i}} \xi_{i,l} ,$$

где l – номер требования на ПС, $n_{тр}$ – количество всех обслуживаемых требований на i -ой ПС.

На целевые функции по сравнению, с предыдущими математическими моделями [1-3] было введено дополнительное ограничение на максимально допустимое время обслуживания требования.

Для каждой заданной средней продолжительности аварийного отключения разработанная математическая модель и алгоритм позволяют выбрать оптимальную систему ОО ЭС 35–110 кВ.

Математическая модель учитывает характеристики ОП, таких как автоматика, телемеханика и оперативный персонал, это позволяет обеспечить надежность электроснабжения потребителей 1 и 2 категории, а также повысить эффективность работы системы ОО ЭС 35–110 кВ.

Литература

1. **Бандурин И.И.** Математические модели оптимальной структуры оперативного обслуживания электрических сетей/ И.И. Бандурин, А.П. Васильев // Вестник ИГЭУ – Иваново, 2010. – №2 – С. 47–53.
2. **Бандурин И.И.** Оптимизация структуры оперативного обслуживания электрических сетей/ И.И. Бандурин, А.П. Васильев // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Наука и образование–№2 – СПб, 2010. – №10 – С. 71-75.
3. **Бандурин И.И.** Управление структурой оперативного обслуживания электрических сетей / Управление большими системами. Специальный выпуск 30.1 "Сетевые модели в управлении". М.: ИПУ РАН, 2010. С. 252-273.
4. **Дорофеев В.В..** Активно–адаптивная сеть – новое качество ЕЭС России/ В.В. Дорофеев, А.А. Макаров // Энергоэксперт, № 4, 2009, с. 28–31.
5. **Кобец Б.Б.** SmartGrid как концепция инновационного развития электроэнергетики за рубежом / Б.Б. Кобец, И.О. Волкова, В.Р. Окорочков // Энергоэксперт, № 2, 2010, с. 52–58.

УДК 621.311

Н.А. ОГЕРЕЛЫШЕВ, к.т.н., доцент,
А.А. БРАТОЛЮБОВ, к.т.н., доцент
(ИГЭУ)

О наведенном напряжении на отключенных ВЛ в переходных режимах ЭЭС

Отключенные и выведенные в ремонт воздушные линии электропередачи (ВЛ) могут находиться под наведенным относительно земли напряжением, вызванным влиянием проходящих рядом других ВЛ. При этом появляется опасность поражения электрическим током ремонтного персонала. Существующие правила [1] предписывают в сетевых предприятиях иметь перечень таких линий, которые после отключения могут находиться под опасным наведенным напряжением, для того, чтобы при проведении работ на них предусмотреть соответствующие меры безопасности. Однако при выявлении таких линий принимаются во внимание лишь установившиеся режимы работы влияющих линий.

В работе показано, что кроме учитываемых обычно нормальных установившихся режимов ВЛ, влияющих на ремонтируемые воздушные линии электропередачи, целесообразно рассматривать и всевозможные переходные режимы, включая и режимы с коротким замыканием (КЗ).

Для решения этой задачи требуется достаточно полное описание физических процессов, связанных с наведением напряжения на отключенных для ремонта ВЛ. На рис.1 представлена структурная схема моделирования с помощью программы SIMULINK переходных процессов в двухцепной ВЛ, одна из цепей которой выведена в ремонт, а режим второй цепи подвержен возмущающим воздействиям. Рассматривается ВЛ–110

кВ протяженностью 60 км. Вторая цепь этой передачи являлась влияющей линией. Она осуществляла связь источника с приемной системой. Обе цепи подвешены на общих опорах типа СК–1. При моделировании учитывалась распределенность параметров по длине линии, а также транспозиция обеих цепей, выполненных проводами марки АС–185/43. Находящаяся в работе цепь была нагружена мощностью 25 МВт с последующим набросом мощности до 50 МВт и далее однофазным КЗ в приемной системе, отключаемым защитой через 0,16 с.

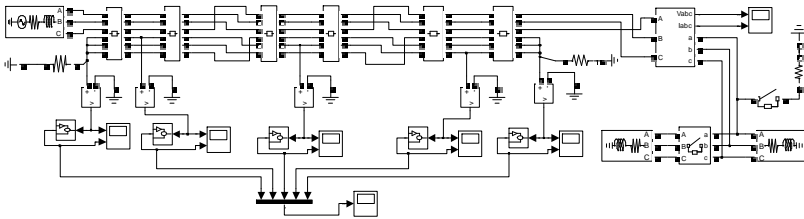


Рис.1. Структурная схема моделирования

На рис. 2 приведен характер изменения токов фаз влияющей ВЛ, а на рис. 3 приведены графики изменения во времени наведенного напряжения в средней точке одной из фаз отключенной и заземленной по концам цепи (мгновенное значение – вверх, действующее – вниз). Видно, что перечисленные возмущения сопровождаются переходными процессами в ремонтируемой цепи линии, связанными с увеличением наведенного напряжения, включающего в себя высокочастотные составляющие. Действующее значение этого напряжения в переходных режимах достигает 4 кВ, а в установившихся – 56 и 110 В (при нагрузках соответственно 25 МВт и 50 МВт).

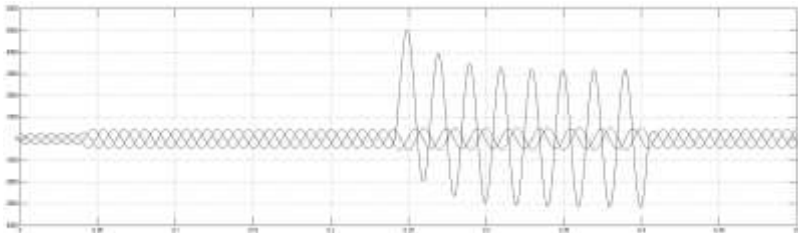


Рис.2. Характер изменения токов фаз влияющей ВЛ

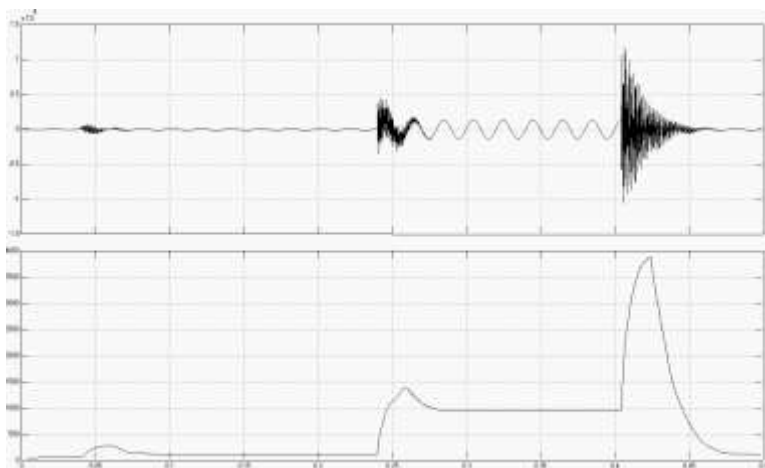


Рис.3. Графики изменения наведенного напряжения в ремонтируемой и заземленной ВЛ при набросе нагрузки влияющей ВЛ с последующим КЗ в приемной системе и его отключением

Видно, что наведенное напряжение при переходных процессах на порядок больше, чем в установившихся режимах. Поэтому, если в установившихся режимах наведенное напряжение может оставаться в допустимых пределах (до 25 В) и такие линии могут даже не попасть в перечень ВЛ с наведенным напряжением, то в переходных режимах существует вероятность наведения более высокого напряжения, длительность воздействия которого хотя и ограничена (рис.3), однако угроза поражения персонала существует. Так, в соответствии с [2, табл.3] предельно допустимое значение напряжения прикосновения составляет 500 В при продолжительности воздействия до 0,1 с. Из анализа переходного процесса (рис.3) следует, что наибольшие значения наведенного напряжения наблюдаются относительно непродолжительно в моменты коммутаций: наброса нагрузки, возникновения КЗ, отключения КЗ, при этом отключение КЗ является наиболее опасным. Продолжительность экстремальных значений наведенного напряжения составляет порядка 0,05 с, поэтому их величина в соответствии с [2] должна быть ограничена 500 В. Аналогичные требования предъявляют и международные стандарты [3].

Полученные результаты показывают необходимость учета переходных процессов для оценки возможных наведенных напряжений на ремонтируемых ВЛ.

Литература

1. **Межотраслевые** правила по охране труда (правила безопасности) при эксплуатации электроустановок. ПОТ Р М-016-2001, РД 153-34.0-03.150-00 / Министерство труда и социального развития РФ, Министерство энергетики. РФ. – М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2001.– 192 с.
2. **ГОСТ 12.1.038-82.** Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов. Переиздание (июнь 2001 г.) с Изменением № 1.
3. **МЭК 60479-10.**

УДК 621.316.72

А.И. ФЕДОТОВ, д.т.н., профессор,
А.Р. АХМЕТШИН, аспирант
(КГЭУ) г. Казань

Использование вольтодобавочных трансформаторов типа ТВМГ для улучшения показателей качества электроэнергии в распределительных сетях 0,4 кВ

Для электросетевых компаний соблюдение нормативного уровня напряжения [1] является актуальной проблемой. На производстве и в быту используется ряд электроприборов, в состав которых входят элементы, крайне чувствительные к отклонениям напряжения от допустимых значений. Сбой в их работе может обусловить выход из строя оборудования или расстройство технологических процессов. В свою очередь, это приводит к экономическим потерям для электросетевых компаний, так как потребитель вправе потребовать не только замену вышедшего из строя оборудования, но и денежные средства от недоотпуска продукции [2]. Линии электропередачи (ЛЭП), спроектированные по нормам электропотребления более чем десятилетней давности, уже не обладают требуемой пропускной способностью. В результате напряжение у потребителей снижается за допустимый уровень.

В настоящее время появилось новое отечественное электрооборудование, позволяющее решить проблему обеспечения нормативных показателей качества электроэнергии у потребителей распределительных сетей. К таковому можно отнести вольтодобавочные трансформаторы типа ТВМГ, выпускаемые компанией ООО «СКЭ-Электро» и предназначенные к установке в сетях напряжением 0,4 кВ.

Ниже в статье рассматривается целесообразность их применения и приводится экономическая оценка в сравнении с реконструкцией ЛЭП.

Основное предназначение трансформаторов ТВМГ:

- автономное регулирование напряжения на каждой фазе;
- компенсация несимметрии фазных напряжений при несимметричных нагрузках [3].

Для определения экономической эффективности установки в сети 0,4 кВ вольтодобавочных устройств в качестве примера рассмотрен существующий участок ЛЭП на 0,4 кВ с низким качеством напряжения в конце линии. На участке 1-34 (рис. 1) используется провод марки А-35; на отпайках провод А-25. Длина линии от трансформаторной подстанции (ТП) до опоры № 34 составляет 1,45 км, общая длина 2,7 км. Цифрами по всей протяженности ЛЭП обозначаются номера опор, среднее расстояние между которыми 41 м. Ток в каждой фазе на стороне 0,4 кВ ТП в часы максимума не превышает 60 А. На рис. 2 приведена диаграмма изменения напряжения в течение суток.

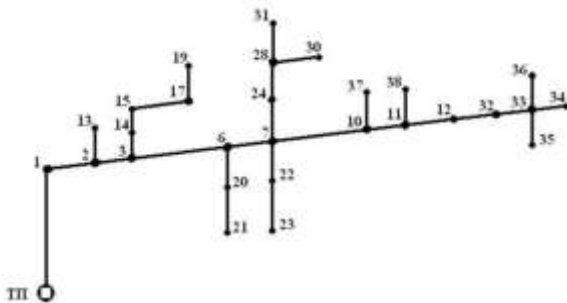


Рис. 1. Принципиальная схема ЛЭП от ТП до опоры 34

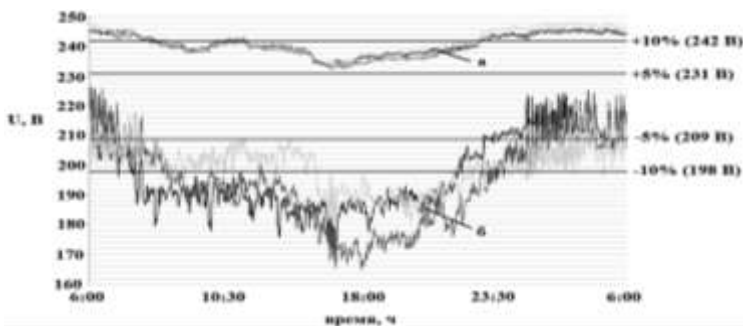


Рис. 2. Изменение напряжения на ТП и у потребителя за сутки:
а – напряжение на ТП; б – напряжение у наиболее удаленного потребителя, опора 34)

Анализ диаграммы (рис. 2) показывает, что на ТП напряжение завышено, а в конце фидера напряжение занижено. По результатам расчетов отклонение напряжения от номинального значения составляет 21 %. Таким образом, отклонение напряжения в часы максимума у потребителей превышает в два раза предельно допустимое значение [1].

Соотношения напряжений показывает, что как регулирование напряжения в центре питания, так и изменение коэффициента трансформации у трансформа-

тора ТП не позволяет обеспечить одновременно отклонения напряжения в допустимом диапазоне на шинах 0,4 кВ ТП и у удаленных потребителей. Рассмотрим следующие варианты повышения напряжения: замена провода и установка вольтодобавочных трансформаторов типа ТВМГ.

По рис. 3 можно определить экономическую целесообразность установки ТВМГ. При вариации параметров сети и нагрузки, как видно из рис. 3, установка одного ТВМГ целесообразна на фидерах, превышающих длину 0,8 км, установка двух ТВМГ – 1,7 км, установка трех ТВМГ – 2,5 км.

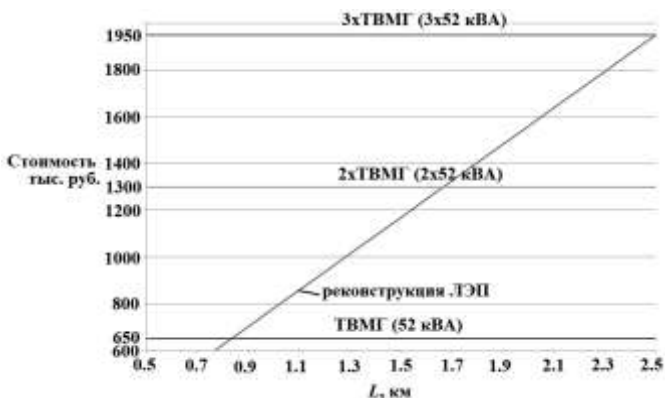


Рис. 3. Стоимость реконструкции ВЛ и стоимость установки ТВМГ

Средняя стоимость реконструкции ЛЭП на напряжение 0,4 кВ для Республики Татарстан равна 780 тыс. руб. за 1 км. Стоимость вольтодобавочных трансформаторов типа ТВМГ по данным производителя составляет 650 тыс. руб.

Выводы:

Использование современных устройств продольного регулирования напряжения в сетях 0,4 кВ позволяет во многих случаях отказаться от дорогостоящей реконструкции ВЛ и обеспечить требуемый уровень напряжения у потребителей районных распределительных электрических сетей.

Литература

1. **ГОСТ 13109.** Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения
2. **Герасименко А.А.** Передача и распределение электрической энергии: Учебное пособие / А.А. Герасименко, В.Т. Федин. - Ростов-н/Д.: Феникс; Красноярск: Издательские проекты, 2006. - 720 с.
3. **Сайт** компании ООО “СКЭ – ЭЛЕКТРО”. URL: <http://www.ske-electro.ru> (дата обращения: 02.03.11).

УДК 621.3

С.Г. СИНИЧКИН, к.т.н., профессор,
С.А. КУДРЯВЦЕВ, к.т.н., доцент,
(НГТУ им. Р.Е. Алексеева),
С.В. КУЛИКОВ, нач. НТК АСУ и ВУ, И.В. ГУСЕВ, нач. НИС 31210
(ФГУП "ФНПЦ НИИИС им. Ю.Е. Седакова")

Портрет работоспособного состояния системы управления как эталон при её диагностировании

При отказах сложных систем управления (ССУ) оборудованием даже специалистам высокой квалификации требуется много времени на поиск причины отказа. Поэтому минимизация временных затрат на установление причины отказа всегда является актуальной задачей, а ее практические решения обеспечивают повышение эксплуатационной надежности ССУ и сокращение материального ущерба от простоя технологического оборудования. В этой связи представляет значительный интерес разработка методов и технических средств, способствующих решению данной задачи.

При диагностировании ССУ первоначально выполняется оценка её работоспособности, а в случае отрицательного результата решается вторая составляющая диагностирования – локализация отказа и установление причины.

Одним из эффективных методов диагностирования является метод сравнения реакции объекта диагностирования и модели. Однако основная трудность в реализации данного метода заключается в составлении математической модели процессов, протекающих в контролируемом объекте. При этом на практике приходится использовать различного рода допущения и упрощения, что в конечном итоге приводит к значительным расхождениям модели и реального объекта. Такая методика может быть использована для относительно несложных объектов. Применение её для целей диагностирования ССУ оказывается крайне затруднительным.

Учитывая значительные трудности составления математических моделей объектов диагностирования, ниже предлагается более практичный подход к решению задачи диагностирования и обнаружения отказов, который заключается в следующем.

Любой объект, в том числе и система управления технологическим процессом, после изготовления проходят наладку, испытания и сдачу заказчику по акту. На этом этапе заведомо можно говорить о работоспособном состоянии системы. Порядок работы системы в этом состоянии должен быть записан в память компьютера и будет представлять портрет работоспособного состояния системы (ПРСС). Далее при диагностировании системы управления ПРСС будет использован в качестве модели для сравнения с портретом текущего

состояния системы (ПТСС). При этом могут быть успешно решены две основные задачи диагностирования: проверка работоспособного состояния системы (по факту совпадения ПРСС и ПТСС), а в случае возникновения отказа - установление его причины (локализация отказа) по месту расхождения ПРСС и ПТСС.

Ниже рассматриваются некоторые конкретные варианты практической реализации описанного подхода.

1. Метод сравнения циклограмм

Для автоматизации контроля технического состояния системы управления СУ представляет интерес регистрация последовательности срабатывания электрических элементов СУ во времени, т.е. запись циклограммы работающей СУ.

Такая циклограмма может быть использована для:

- описания работы элементов системы с помощью логических уравнений и составления по ним управляющей программы;
- отработки и проверки работы управляющих программ для СУ с программируемыми контроллерами (СУ ПЛК);
- наладки СУ в процессе модернизации;
- диагностирования сложных СУ и установления причины отказа в случае нарушения их работоспособности.

В Нижегородском государственном техническом университете разработан комплекс аппаратно-программных средств для регистрации циклограмм работы, диагностирования и наладки СУ технологическим оборудованием [1]. Комплекс позволяет сократить время поиска дефектов, проследить правильность работы элементов системы при их обслуживании и наладке. Структура комплекса показана на рис. 1.

Его основу составляет устройство регистрации, в состав которого входят нормализаторы сигналов, способные работать в широком диапазоне входных сигналов по напряжению (от 10 до 250В) и роду тока (постоянный и переменный).

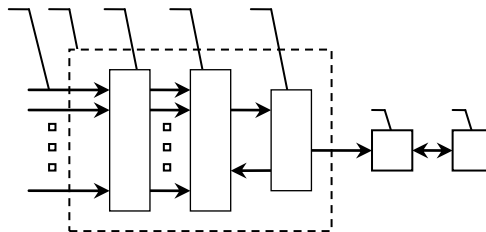


Рис. 1. Общая структура комплекса:

- 1 - входные сигналы; 2 - устройство регистрации (УР); 3 - схема нормализации входных сигналов (НС); 4 - коммутатор входных сигналов (КВС);
- 5 - устройство управления коммутатором (УУК); 6 - персональный компьютер;
- 7 - программное обеспечение

Выходными элементами нормализаторов являются оптроны с фототранзисторами, которые включены в диагональ вертикальных и горизонтальных шин матрицы, считывание сигналов которых обеспечивается коммутатором. Такое построение обеспечивает гальваническую развязку и упрощает управление считыванием большого числа сигналов (до 160).

Программная часть комплекса должна обеспечить выполнение функций формирования циклограмм работы элементов СУ, их анализа, сравнения с исходной и вывода сообщений об ошибках.

Циклограмма работоспособной СУ является исходной и служит эталоном. При возникновении отказа в СУ записывается новая циклограмма – текущая. Сравнение текущей и исходной циклограмм дает возможность легко установить, какой элемент СУ явился причиной нарушения заданной алгоритмом последовательности работы элементов СУ.

2. Метод идентификации

Задача определения работоспособного состояния СУ может успешно решаться на основе методов идентификации. Идентификация динамических объектов заключается в определении параметров или характеристик этих объектов по результатам измерения их выходных и входных сигналов.

Метод является одним из вариантов реализации принципа сравнения ПРСС и ПТСС. Он наиболее подходит для программных средств реализации алгоритмов управления, к которым относятся программируемые контролеры (ПЛК). В этом случае требуется построить ПРСС на основе информации о взаимном состоянии пар “вход-выход” системы управления для последующего диагностирования в режиме сравнения с ПТСС. Достоинством метода является возможность использования канала связи ПЛК с компьютером и записи состояний входов и выходов ПЛК, контроль которых в современных ПЛК предусмотрен.

Таким образом, использование портрета работоспособного состояния системы управления обеспечивает значительное снижение трудоемкости разработки системы диагностирования (в частности, исключается громоздкая и трудоемкая процедура составления математической модели процессов в системе), повышение точности оценки состояния системы и установления места отказа.

Литература

1. Синичкин С.Г. Диагностирование дискретных систем управления методом маскирования циклограмм. - Методы и средства технической диагностики: Сборник научных статей. Вып. XXIII / Мар. гос. ун-т. - Йошкар-Ола, 2006. - 256с.

А.Л. КУЛИКОВ, д.т.н., директор,
А.А. ПЕТРУХИН, к.т.н., гл. специалист,
А.С. СВЕЧНИКОВ, инженер
(Филиал ОАО «ФСК ЕЭС» Нижегородское ПМЭС) г. Нижний Новгород

Использование активного зондирования для обнаружения гололёдообразования и диагностики линий электропередачи

Диагностика электрических сетей является важной задачей. Её решение позволит в кратчайшие сроки принимать предупредительные меры по предотвращению возможных аварий, что в свою очередь приведёт к существенной экономии трудовых и финансовых ресурсов. Перспективной и важной задачей диагностики является обнаружение гололёда на линиях электропередачи (ЛЭП). Эта проблема особенно актуальна в южных регионах Российской Федерации [1].

Современными средствами диагностики ЛЭП являются тепловизоры, проведение ультразвуковых, вибро- и других испытаний состояния опор, а так же фундаментов воздушных линий (ВЛ). Однако, полностью достоверные сведения, по-прежнему формируются с учетом пеших обходов ВЛ [1].

Существующие средства определения мест повреждения (ОМП) ЛЭП, работа которых основана на активном зондировании, могут быть применены для обнаружения гололёда. Известны различные методы по обнаружению гололёдообразования. При этом используются различные информационные признаки: соотношение отраженных сигналов на разных частотах, увеличение времени приёма отражённого импульса и др. Основные достоинства дистанционного метода связаны с отсутствием необходимости организации специального выделенного канала сбора информации.

Авторами предлагается способ обнаружения гололёдных образований, предполагающий излучение сложных импульсных частотно-модулированных сигналов, например вида рис. 1 [2].

Рассмотрим влияние на высокочастотные параметры внутритросовых трактов ЛЭП, как наиболее подверженных воздействию гололёдно-изморозевых отложений. В частности, дополнительное затухание внутритросового тракта, обусловленное влиянием гололёда существенно зависит от частоты сигнала, распространяющегося по анализируемому участку ЛЭП, а также от температуры окружающей среды, в том числе определяющей разновидности гололёдных отложений. Зависимость дополнительного затухания от частоты носит явно выраженный нелинейный характер и может быть охарактеризована графиками на рис. 2 [3].

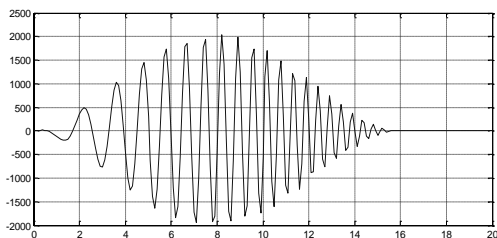


Рис. 1 Временная зависимость ЛЧМ сигнала

Если в ЛЭП излучается широкополосный зондирующий импульсный сигнал (сигнал с время-частотной модуляцией (рис.1)) в пределах полосы пропускания высокочастотного присоединения (около 1 МГц), то проходя участок ЛЭП, имеющий гололёдно-изморозевые отложения, этот зондирующий сигнал приобретает дополнительное затухание, неравномерное в пределах его полосы излучения.

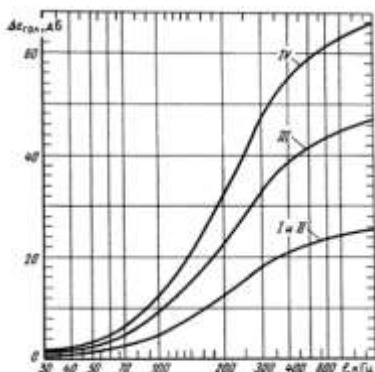


Рис. 2 Частотная зависимость прироста затухания внутритросового тракта от гололёда: I-IV – районы по гололёду.

Такое неравномерное дополнительное затухание эквивалентно дополнительной частотной модуляции широкополосного зондирующего сигнала и связано с прохождением последней зоны (участка) гололёдообразования. Причём, характер модуляции (т.е. величина затухания на отдельных частотах) будет определяться температурой окружающего воздуха, а также толщиной стенки гололёда.

Для обнаружения модуляции применяется множественная согласованная фильтрация и проводится спектральный анализ повышенной разрешающей способности.

Отличием разработанного метода от известных подходов является повышенная чувствительность, что позволяет определить не только размеры отдельных участков гололёдообразования ЛЭП, но в перспективе и толщину стенки гололёда на этих участках (табл.1).

Таблица 1. Нормативная толщина стенки гололеда на проводах ВЛ

Район по гололёду	Нормативная толщина стенки гололёда, мм, с повторяемостью	
	Один раз в 5 лет	Один раз в 10 лет
I	5	5
II	5	10
III	10	15
IV	15	20
Особый	20 и более	22 и более

Указанный способ предлагается осуществить на базе автоматического локационного искателя мест повреждений – АЛИМП (рис. 3).



Рис.3 Рефлектометр АЛИМП

Прибор АЛИМП подключается к ВЧ присоединению и отсоединяет существующее оборудование ВЧ связи на время зондирования ВЛ (рис. 4). Время отключения не превышает 27–30 мс, и не оказывает отрицательного

воздействия на их работу. Никакого дополнительного оборудования кроме персонального компьютера не требуется [4].

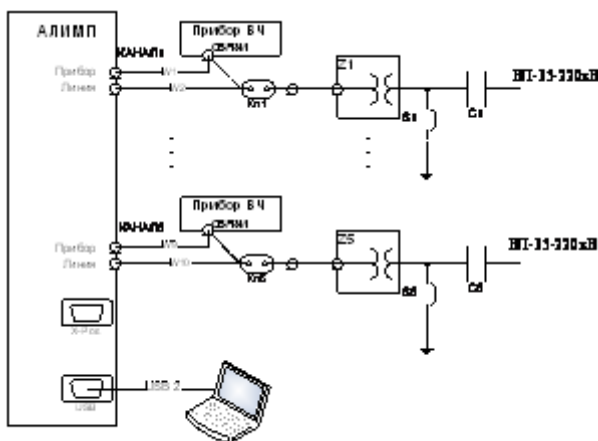


Рис. 4 Схема подключения прибора АЛИМП

Таким образом, описанный способ может найти широкое применение в магистральных и распределительных сетях на основе существующих приборов АЛИМП.

Литература

1. **Левченко И.И.**, Засыпкин А.С., Аллилуев А.А., Сацук Е.И. Диагностика, реконструкция и эксплуатация воздушных линий электропередачи в гололёдных районах. – М.: Издательский дом МЭИ, 2007.
2. **Куликов А.Л.** Патент № 2409882 «Способ обнаружения гололёдных образований на проводах и грозозащитных тросах линий электропередачи», опубл. 20.01.2011, Бюл. № 2, H02G7/16.
3. **Ишкин В.Х.**, Цитвер И.И. Высокочастотная связь по линиям электропередачи 330 - 750 кВ. – М.: Энергоатомиздат, 1981.
4. **Куликов А.Л.**, Мисриханов М.Ш., Петрухин А.А. Определение мест поврежденных ЛЭП 6-35 кВ методами активного зондирования. – М.: Энергоатомиздат, 2009.

УДК 621.321

А.Л. КУЛИКОВ, д.т.н.,
В.А. ФАЛЬШИНА, магистрант
(НГТУ им. П. Е. Алексеева)

О подходах к упрощенной цифровой фильтрации сигналов электроэнергетических систем

Использование цифровой техники в электроэнергетических системах позволяет решать множество задач обработки сигналов токов и напряжения. К таким задачам можно отнести электрические измерения, релейную защиту, автоматику, управление электроустановками. Обработку сигналов можно производить как в реальном масштабе времени (устройства управления, автоматики, защиты, измерительные приборы), так и в нереальном (устройства ОМП по параметрам аварийных режимов). Отличие состоит в размерах рассматриваемого временного окна и, как следствие, в точности измерения входных сигналов. Благодаря тому, что токи и напряжения электрической сети носят гармонический характер, дискретное преобразование Фурье (ДФФ) представляет собой наиболее популярный метод их спектрального анализа.

$$\begin{aligned} y(n) &= \frac{2}{N} \sum_{i=n-N+1}^n x(i) \cdot \cos\left(\frac{2\pi i}{N}\right); \\ y_{\perp}(n) &= \frac{2}{N} \sum_{i=n-N+1}^n x(i) \cdot \sin\left(\frac{2\pi i}{N}\right), \end{aligned} \quad (1)$$

где $y(n)$ и $y_{\perp}(n)$ – выходные сигналы косинусной и синусной частей алгоритма Фурье соответственно; $x(i)$ – входной дискретный сигнал тока или напряжения; N – число отсчётов на период основной частоты.

Известно, что Эрмитово свойство ДПФ означает двойную избыточность [1], т.к. оно является комплексным преобразованием, использующим N -комплексных значений. Цель статьи состоит в поиске вариантов фильтрации сигналов токов и напряжений, имеющих характеристики, аналогичные ДПФ, но требующих меньше вычислительных затрат.

Целесообразно применение вместо ДПФ дискретное преобразование Хартли (ДПХ) [1]

$$H(n) = \frac{1}{N} \sum_{i=n-N+1}^n x(i) \cdot \text{cas}\left(\frac{2\pi i}{N}\right). \quad (2)$$

Используя функцию $\text{cas}(\alpha) = \cos(\alpha) + \sin(\alpha)$, ДПХ имеет однозначную связь с ДПФ

$$\dot{y}(n) = y(n) + jy_{\perp}(n) = \frac{H(n) + H(-n)}{2} - j \frac{H(n) - H(-n)}{2}. \quad (3)$$

Свойство функции cas :

$$\text{cas}(\alpha + \beta) = \cos(\beta)\text{cas}(\alpha) + \sin(\beta)\text{cas}(-\alpha) \quad (4)$$

позволяет реализовать упрощенные фильтры ортогональных составляющих с применением квадратурных фильтров (рис. 1).

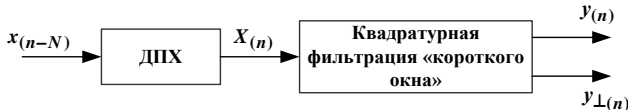


Рис. 1. Сочетание ДПХ с квадратурной фильтрацией «короткого окна»

Наиболее оптимальными являются ДПХ в сочетании с двух-

$$\begin{aligned} y(n) &= \frac{1}{2} \left[\left(1 + \text{ctg}\left(\frac{2\pi}{N}\right)\right) X(n) - \sin^{-1}\left(\frac{2\pi}{N}\right) X(n-1) \right]; \\ y_{\perp}(n) &= \frac{1}{2} \left[\left(1 - \text{ctg}\left(\frac{2\pi}{N}\right)\right) X(n) + \sin^{-1}\left(\frac{2\pi}{N}\right) X(n-1) \right], \end{aligned} \quad (5)$$

и трёхвыборочными алгоритмами квадратурных фильтров

$$y(n) = \left[\frac{1}{2} \sin^{-1} \left(\frac{2\pi}{N} \right) (-X(n-2) + X(n)) + X(n-1) \right] \frac{1}{2}; \quad (6)$$

$$y_{\perp}(n) = \left[\frac{1}{2} \sin^{-1} \left(\frac{2\pi}{N} \right) (X(n-2) - X(n)) + X(n-1) \right] \frac{1}{2}.$$

Однако реализованные фильтры несколько уступают существующим по фильтрации.

Дополнительно проведены исследования по совместному применению этих квадратурных фильтров в сочетании с синусным и косинусным фильтрами (1). Наибольший интерес представляет использование синусного фильтра с квадратурными фильтрами. При этом свойство \sin

$$\sin(\alpha - \beta) = \sin(\alpha) \cdot \cos(\beta) - \sin(\beta) \cdot \cos(\alpha). \quad (7)$$

позволило получить более оптимальные квадратурные фильтры с точки зрения объёма вычислений. Математическое выражение для синусного фильтра в сочетании с квадратурным фильтром двух выборок приобретает вид:

$$y_{\perp}(n) = \frac{2}{N} \sum_{i=n-(N-1)}^n x_i \cdot \sin \left(\frac{2\pi i}{N} \right); \quad (8)$$

$$y(n) = \operatorname{ctg} \left(\frac{2\pi}{N} \right) \cdot y_{\perp}(n) - \sin^{-1} \left(\frac{2\pi}{N} \right) y_{\perp}(n-1),$$

а для трёхвыборочного алгоритма $y(n)$ имеет форму

$$y(n) = \frac{y_{\perp}(n) \left(\cos \left(\frac{2\pi}{N} \right) + \cos \left(\frac{4\pi}{N} \right) \right) - y_{\perp}(n-1) - y_{\perp}(n-2)}{\sin \left(\frac{2\pi}{N} \right) + \sin \left(\frac{4\pi}{N} \right)}. \quad (9)$$

При этом АЧХ предложенных фильтров не уступают по частотным характеристикам фильтрам на основе ДПФ, а в некоторых случаях имеет улучшенные характеристики. Важно, что также сохраняются переходные характеристики. Время переходного процесса в фильтре не превышает 0,02 сек. (рис. 2).

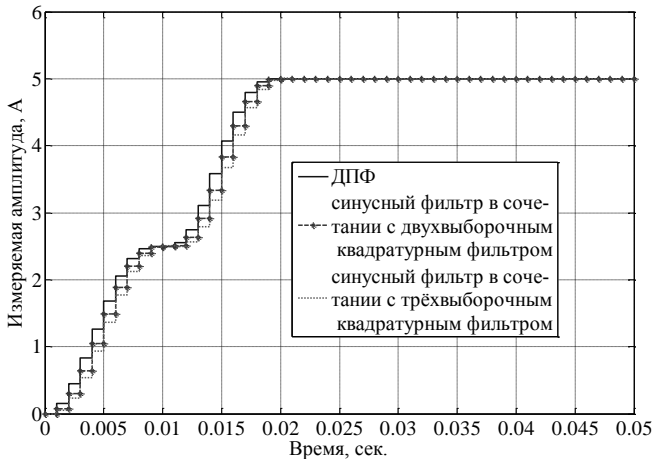


Рис. 2. Переходные характеристики при подаче сигнала амплитуды 5 ампер промышленной частоты (N=20)

В некоторых алгоритмах наряду с основной используют кратные гармоники [2 - 4]. Предлагаемую упрощенную цифровую фильтрацию можно реализовать и для выделения этих кратных гармоник.

Выводы:

Упрощенные методы фильтрации по сравнению с ДПФ:

1. требуют в 2 раза меньшее число математических операций;
2. являются более быстродействующими;
3. имеют аналогичные частотные и динамические свойства;
4. универсальны, т.е. можно их реализовать для фильтрации и цифровой обработки сигналов промышленной частоты, кратных гармоник и других задач фильтрации.

Литература

1. Брейсуэлл Р. Преобразование Хартли: Пер. с англ. – М.: Мир, 1990.
2. Чернобровов Н.В., Семенов В.А. Релейная защита энергетических систем: Учеб. пособие для техникумов. – М.: Энергоатомиздат, 2007.
3. Шнеерсон Э.М. Цифровая релейная защита. – М.: Энергоатомиздат, 2007.
4. Кискачи В.М. Защита генераторов энергоблоков от замыканий на землю в обмотке статора. – Электричество, 1975.

Влияние отклонения частоты на расчёт действующего значения токов и напряжений

Введение. Одним из важнейших показателей качества электрической энергии и важнейшим параметром режима энергосистемы является частота. Частота в энергосистеме определяется балансом вырабатываемой и потребляемой активной мощности. При нарушении баланса мощности частота изменяется.

При отклонении частоты от номинальной (50 Гц) происходит увеличение погрешности определения действующих значений контролируемых величин (токов, напряжений и т.д.).

Постановка задачи. Анализ разных алгоритмов нахождения действующего значения при отклонении частоты от номинальной.

Действующее значение можно определять различными способами:

1) нахождение действующего значения по классическому алгоритму Фурье;

2) нахождение действующего значения по быстрому преобразованию Фурье;

3) нахождение действующего значения по среднеквадратичному значению;

4) нахождение действующего значения по быстрому среднеквадратичному значению (за полпериода $T/2$);

5) нахождение действующего значения по средневыпрямленному значению;

6) нахождение действующего значения по быстрому средневыпрямленному значению (за полпериода $T/2$).

Моделирование. Для нахождения погрешности вычисления действующего значения при отклонении частоты, необходимо задать опорный сигнал. С этой целью формируется синусоидальный сигнал частотой $f_0 = 50$ Гц

$$i(t) = 1 \cdot \sqrt{2} \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot f_0 \cdot t) . \quad (1)$$

Далее моделируется синусоидальный сигнал при отклонении частоты от номинальной, рассматривается отклонение от 45 Гц до 55 Гц. Формируется матрица анализируемых сигналов. Каждый столбец матрицы соответствует сигналу с определённой частотой.

Далее производится расчёт действующих значений по разным алгоритмам и производится определение относительной погрешности по выражению:

$$\Delta_i = \left| \frac{I_{\text{опор},i} - I_{\text{тек},i}}{I_{\text{опор},i}} \right| \cdot 100, \quad (2)$$

где: $I_{\text{опор},i}$ – действующее значение опорного сигнала, вычисленное по алгоритму «i»;

– $I_{\text{тек},i}$ – действующее значение сигнала текущей частоты, вычисленное по алгоритму «i»;

– индекс «i» может принимать значение от 0 до 5 («i» = 0 соответствует классическому алгоритму Фурье; «i» = 1 соответствует быстрому алгоритму Фурье за полпериода $T/2$; «i» = 2 соответствует среднеквадратичному значению; «i» = 3 соответствует среднеквадратичному значению за полпериода $T/2$; «i» = 4 соответствует средневывпрямленному значению; «i» = 5 соответствует средневывпрямленному значению за полпериода $T/2$).

В результате моделирования получаем матрицу погрешностей.

Как следует из полученных результатов, изменение частоты по-разному влияет на алгоритмы определения действующего значения. При этом, характер изменения погрешности схож для всех анализируемых алгоритмов, но значения при одной и той же частоте отличаются на порядок, например, при частоте 48 Гц (что соответствует отклонению от номинальной на 2 Гц) погрешность действующего значения по алгоритму 5 составляет 3,8%, по алгоритму 1 – 2,1%, по алгоритму 3 – 2,3% (рис. 1,а).

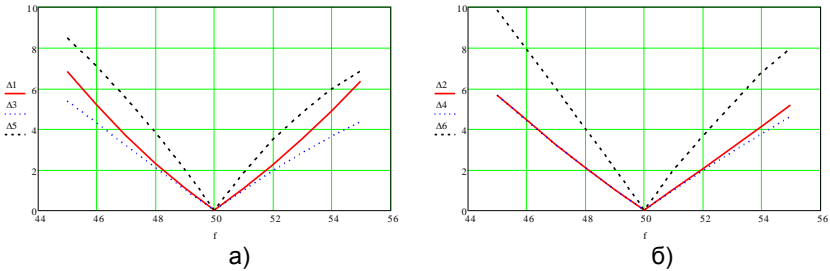


Рис. 1. Зависимость погрешности вычисления действующего значения от частоты
 f: а) по способам 1, 2, 5; б) по способам 2, 4, 6

На рис. 1,а: Δ_1 – относительная погрешность классического алгоритма Фурье; Δ_3 – относительная погрешность среднеквадратичного алгоритма; Δ_5 – относительная погрешность средневывпрямленного алгоритма. На рис. 1,б: Δ_2 – относительная погрешность алгоритма Фурье на полпериоде; Δ_4 – относительная погрешность среднеквадратичного алгоритма на полпериоде; Δ_6 – относительная погрешность средневывпрямленного алгоритма на полпериоде.

Как следует из рис. 1 наименьшая погрешность при отклонении частоты от номинальной наблюдается у среднеквадратичного алгоритма на периоде и полпериоде (способы 3 и 4).

Выводы:

1. Согласно полученным результатам наименьшая погрешность при вычислении действующего значения, при отклонении частоты соответствует среднеквадратичному алгоритму.

2. Учитывая тот факт, что на измерительные органы релейной защиты накладывается такой критерий, как быстродействие, то существенное преимущество имеет алгоритм нахождения действующего значения по среднеквадратичному алгоритму за полпериода $T/2$.

3. Измерительные органы микропроцессорной релейной защиты позволяют использовать различные алгоритмы нахождения действующего значения. Выбор алгоритма будет зависеть от требований, предъявляемых к измерительному органу. И, если встанет вопрос о более точном измерении действующего значения при отклонении частоты от номинальной, то наиболее приемлемым алгоритмом является алгоритм по среднеквадратичному значению.

Литература

1. **Шнеерсон Э.М.** Цифровая релейная защита. – М: Энергоатомиздат, 2007. – 549 с.
2. **Федосеев А.М., Федосеев М.А.** Релейная защита электроэнергетических систем: Учебник для вузов. М: Энергоатомиздат, 1992. – 528 с.

УДК 621.311

В.В. КУРМАК, аспирант
(ИГЭУ)

Выбор мест установки регистраторов СМПП с использованием метода выявления точек минимального напряжения в электроэнергетической системе

Введение. Обеспечение надежного электроснабжения предприятий является важной задачей энергетики крупных промышленных регионов. одной из составных частей этой задачи является проблема максимального использования пропускной способности линий электропередач.

Пропускную способность сети характеризует максимально допустимый переток (МДП) мощности, который зависит от режима сети. Нормативный МДП определяется расчетным путем при наихудших условиях, и именно на эту величину ориентируется диспетчер при ведении режима.

Реальная величина МДП в текущий момент времени может превышать нормативную величину, в этом случае пропускная способность сети используется не в полном объеме.

Применение синхронизированных векторных измерений текущих параметров режима ЭЭС в составе системы мониторинга переходных режимов (СМПР) позволяет выполнять оценку МДП в режиме реального времени.

Одной из задач, решаемых в рамках работ по развитию СМПР в ОЭС Урала [1] являлась расстановка регистраторов СМПР. Для уточнения мест установки регистраторов СМПР применялась методика выявления точек минимального напряжения (ТМН).

Эта методика является продолжением идей изложенных в [2]. Она основывается на учёте характерных особенностей распределения напряжения вдоль линий электропередач и позволяет выявить наличие и местоположение «слабых» участков электроэнергетической системы, а именно, тех участков, текущий режим работы которых определяет устойчивость энергосистемы.

В настоящей работе приведено краткое описание методики, основные понятия и определения, продемонстрированы результаты ее применения.

Использование ТМН для определения «слабых участков» сети.

Пусть некоторая линия ограничена узлами с напряжениями \dot{U}_1, \dot{U}_2 . Изменение напряжения вдоль линии зависит от величин и угла относительного поворота векторов \dot{U}_1, \dot{U}_2 и имеет вид:

$$\dot{U}_x = (1-x)\dot{U}_1 + x\dot{U}_2,$$

где x – относительное электрическое расстояние от начала каждого участка.

Распределение модуля квадрата напряжения вдоль линии является параболой. Решая уравнение $\partial(|\dot{U}(x)|^2)/\partial x = 0$, получим положение вершины параболы, т.е. точку минимума x_{\min} квадрата модуля напряжения вдоль линии. Если $x_{\min} \in [0; 1]$, то эта точка лежит в пределах линии электропередачи. Такую точку будем далее называть точкой минимального напряжения.

Если при этом выполняется дополнительное условие, а именно, реактивная мощность с обоих концов стекает в линию, то будем называть такую точку «значимой точкой минимального напряжения». Наличие на линии электропередачи значимой точки минимального напряжения является предвестником возникновения электрического центра качания.

Чтобы контролировать ситуацию, необходимо в режиме реального времени следить за изменением относительного угла и минимального напряжения на линиях с ТМН.

Более подробное описание методики можно найти в [3], где в частности показано, что выявление ТМН на «слабых» участках сети возможно задолго до приближения режима к потере устойчивости. Это представляет эффективный механизм для контроля состояния всей энергосистемы. Выявление «слабых» линий легко автоматизировать, используя информацию о векторах напряжений и токов в узлах электроэнергетической системы, которую можно получать от регистраторов СМГР в реальном времени или при численном расчёте режима на стадии проектирования.

Использование изложенного позволяет выполнить анализ состояния линий электропередачи и выявить «слабые» участки линий, подлежащих контролю средствами СМГР.

Критерии мест установки регистраторов СМГР и их расстановка с учетом слабых линий. В 2008–2009 гг. на технической базе СМГР была разработана, реализована и введена в эксплуатацию система мониторинга запасов устойчивости в северных районах Тюменской области [4]. Дальнейшим развитием стал системный проект СМГР ОЭС Урала, выполненный в 2009-2010 гг. [1].

В соответствии с целями развития СМГР регистраторы должны устанавливаться на линиях, изменение режима работы которых влияет на устойчивость энергосистемы. Количество таких линий велико для любой рассматриваемой энергосистемы. Вместе с тем, объем ресурсов для решения задачи СМГР ограничен. Поэтому встает задача целесообразного ограничения количества устанавливаемых регистраторов СМГР и оптимизации их размещения по узлам и линиям энергосистемы.

В качестве критериев необходимости установки регистратора СМГР выступали нормативные критерии и контрольные критерии. Нормативные критерии (НК) определяются [5] – регистраторы СМГР должны устанавливаться на связях с электрическими станциями мощностью от 900 МВт и высоковольтными ПС 500 кВ. Контролируемые критерии (КК) в соответствии с [6] обуславливают необходимость установки регистраторов СМГР по сторонам контролируемых сечений.

Количество объектов отвечающих данным требованиям велико. Для уменьшения их количества был проведен анализ аварийных режимов с выявлением ТМН. Так как регистраторы СМГР должны контролировать наиболее слабые и, следовательно, опасные участки сети, использование такого подхода в наибольшей степени соответствует методологии, заложенной в основе самой системы мониторинга состояния перетоков мощности средствами СМГР. Применение в качестве дополнительного критерия наличие ТМН дает возможность сократить необходимое количество регистраторов СМГР.

Порядок решения вопроса о необходимости установки регистратора СМПР отображен в табл. 1.

Таблица 1. Решение о необходимости установки регистратора

Выполнение критерия			Установка регистратора
НК	КК	ТМН	
Да	Да	Да	Да
Да	Нет	Да	Да
Да	Да	Нет	Да
Да	Нет	Нет	Нет
Нет	Да	Да	Да
Нет	Нет	Да	Нет
Нет	Да	Нет	Нет
Нет	Нет	Нет	Нет

В результате проекта по СМПР ОЭС Урала получено, что для выполнения нормативных и контрольных критериев необходима установка 100-150 регистраторов. Оптимизация технического решения с использованием изложенного метода позволила ограничиться 29 регистраторами СМПР, при сохранении качества мониторинга.

Литература

1. **Развитие** системы мониторинга переходных режимов (СМПР) в ЕЭС для оценки тяжести режима. Системный проект развития СМПР в операционной зоне ОДУ Урала. – М.: ОАО «Институт «Энергосетьпроект». 2010.
2. **Наровлянский В.Г.** Современные методы и технические средства контроля и предотвращения асинхронного режима электроэнергетической системы. - М.: Энергоатомиздат, 2004.
3. **Курмак В.В., Наровлянский В.Г.** Выявление точек минимального напряжения для определения опасных сечений электроэнергетической системы. – Электрические станции. - 2011 (в печати).
4. **Система** мониторинга запасов устойчивости (СМЗУ) в северных районах Тюменской области (СРТО). Системный проект. – М.: ОАО «Институт «Энергосетьпроект», 2008 г.
5. **Автоматическое** противоаварийное управление режимами энергосистем. Противоаварийная автоматика энергосистем. Условия организации процесса. Условия создания объекта. Нормы и требования. Стандарт организации. СТО 59012820.29.240.008-2008. – М.: ОАО «СО ЕЭС», 2008.
6. **Инструкция** по режимам работы электрической сети 500 кВ ОЭС Урала. – Екатеринбург: ОАО «СО ЕЭС», 2009.

В.А. ШУИН, д.т.н., профессор,
 Е.С. ШАГУРИНА, аспирант,
 О.А. САРБЕЕВА, аспирант (ИГЭУ)
 А.Л. КУЛИКОВ, д.т.н., директор,
 А.А. ПЕТРУХИН, к.т.н., гл. спец.
 (Филиал ОАО «ФСК ЕЭС» – Нижегородское ПМЭС)

Исследование способа выполнения централизованной микропроцессорной системы сигнализации однофазных замыканий на землю в сетях 6-10 кВ

Введение. Применение микропроцессорной элементной базы и современных методов цифровой обработки сигналов позволяет существенно повысить техническое совершенство направленных устройств защиты от однофазных замыканий на землю (ОЗЗ), основанных на использовании фазных соотношений электрических величин переходного процесса и установившегося режима замыкания на землю. В ИГЭУ и Нижегородским ПМЭС – филиале ОАО «ФСК ЕЭС» совместно разрабатывается централизованная микропроцессорная система селективной сигнализации ОЗЗ и диагностики изоляции электрических сетей 6-10 кВ по способу [1].

Функционально-структурная схема централизованной системы селективной сигнализации ОЗЗ и диагностики состояния изоляции сети. Упрощенная функционально-логическая схема устройства, реализующего способ [1], приведена на рис. 1.



Рис. 1. Функционально-логическая схема направленного устройства сигнализации ОЗЗ по способу [1]

Алгоритм работы направленного устройства селективной сигнализации ОЗЗ основан на вычислении временной взаимной корреляционной функции совокупности мгновенных значений тока нулевой последовательности $i_0(t)$ и производной напряжения нулевой последовательности $u_0(t)$

$$J_3 = \max_{0 < \tau < t_n} \int_0^{t_n} i_0(t + \tau) \cdot \frac{-du_0(t)}{dt} dt, \quad (1)$$

где t_n - время наблюдения переходного процесса ОЗЗ.

Устройство включает: первый 1 и второй 2 аналого-цифровой преобразователь (АЦП), дифференциатор 3 (вычислитель производной), коррелятор 4, первую 5, вторую 7 и третью 9 схемы сравнения, блок памяти 6, первый 8 и второй 10 счетчики и дешифратор 11.

Исследования алгоритмов функционирования направленной защиты от ОЗЗ по способу [1]. Исследования алгоритмов функционирования направленной защиты от ОЗЗ по способу [1] включали:

- исследования на комплексной математической модели «электрическая сеть 6-10 кВ – устройство защиты от ОЗЗ» в системе Matlab;
- экспериментальные исследования с применением специально разработанного испытательного микропроцессорного комплекса и тестовых сигналов, имитирующих различные разновидности ОЗЗ, полученных на модели сети 6-10 кВ в системе Matlab;
- экспериментальные исследования отладочного прототипа устройства защиты на физической модели сети 6 кВ.

Испытательный комплекс включает два персональных компьютера и отладочный прототип устройства защиты, выполненный на базе микропроцессорного набора типа TMDXOSKL137BET (рис. 2).

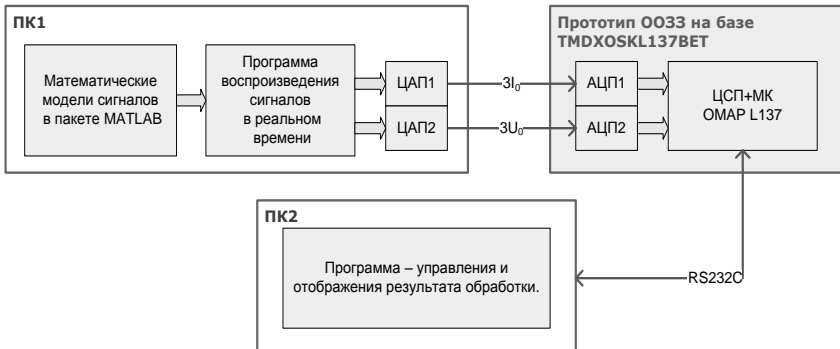


Рис. 2. Структура комплекса для испытаний алгоритмов функционирования отладочного прототипа устройства сигнализации ОЗЗ по способу [1]

Структурная схема испытаний опытного образца устройства защиты от ОЗЗ на физической модели кабельной сети 6 кВ приведена на рис. 3.

Физическая модель радиальной трехфазной электрической сети выполнена на напряжении 220 В и содержит несколько трехфазных кабельных линий, выполненных в виде цепочечных схем из трехфазных блоков

для учета распределенного характера их параметров. На кабельных линиях установлены трансформаторы тока нулевой последовательности (ТТНП) типа ТЗЛМ и ТЗРЛ. Для получения бросков переходных токов, близких по амплитуде к броскам переходных токов при ОЗЗ в реальных сетях использовалось увеличенное число витков первичной обмотки ТТНП. В процессе испытаний на физической модели кабельной сети 6 кВ имитировались внутренние и внешние однократные, перемежающиеся и устойчивые ОЗЗ (ОЗЗ-1 и ОЗЗ-2, рис. 3).

Проведенные на отладочном комплексе испытания с использованием тестовых сигналов, полученных на модели электрической сети 6-10 кВ в системе моделирования Matlab, подтвердили работоспособность алгоритмов устройства защиты от ОЗЗ, выполненного по способу [1].

Испытания опытного образца на физической модели кабельной сети, т.е. в условиях функционирования, близких к условиям в реальных сетях, также подтвердили работоспособность и высокую эффективность функционирования при внутренних и внешних повреждениях разработанных алгоритмов функционирования защиты от ОЗЗ по способу [1] и реализующего эти алгоритмы программного обеспечения.

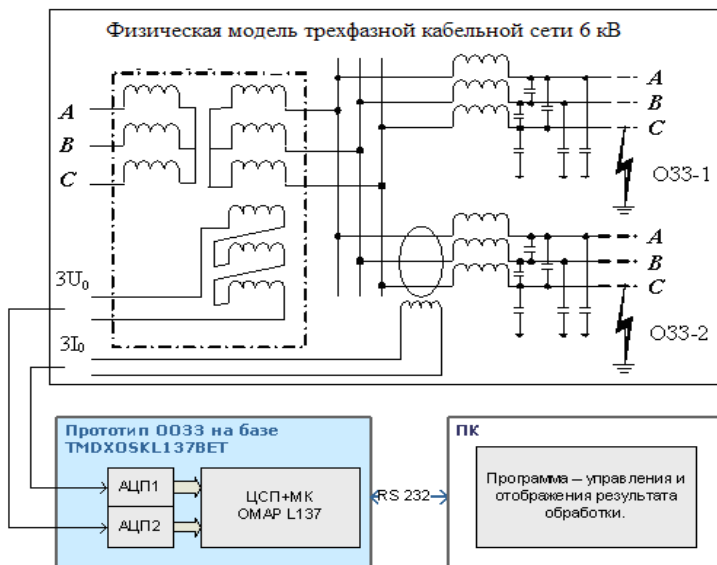


Рис. 3. Структурная схема испытаний опытного образца устройства защиты от ОЗЗ по способу [1] на физической модели трехфазной кабельной сети 6 кВ

Заключение. Исследования алгоритмов функционирования микропроцессорной защиты от ОЗЗ по способу [1], выполненные на математической

модели и испытания разработанного отладочного образца защиты с использованием тестовых сигналов переходных токов и напряжения нулевой последовательности при различных разновидностях ОЗЗ (однократных пробоях, неустойчивых дуговых и устойчивых повреждениях), полученных в системе моделирования Matlab, а также испытания на физической модели трехфазной кабельной сети подтвердили работоспособность и высокую эффективность ее функционирования.

Литература

1. Патент на изобретение № 2402131 (РФ). Способ диагностики и направленной защиты от однофазных замыканий на землю в электрических сетях / А.Л. Куликов, В.А. Шуин., А.А. Петрухин. – Приоритет изобретения от 03.08.2009 г.

УДК 621.316.925

О.А. САРБЕЕВА, аспирант (ИГЭУ)

Особенности функционирования микропроцессорных токовых защит при дуговых перемежающихся замыканиях на землю в сетях 6-10 кВ

Введение. В электрических сетях 6-10 кВ, работающих с изолированной нейтралью или заземлением нейтрали через резистор, в качестве защиты от однофазных замыканий на землю (ОЗЗ), как правило, применяются токовые защиты нулевой последовательности (ТЗНП), основанные на использовании составляющих промышленной частоты. Существенное влияние на устойчивость функционирования ТЗНП оказывают токи переходных процессов при пробое изоляции, достигающие наибольших значений при дуговых перемежающихся повреждениях.

Влияние токов электромагнитных переходных процессов на функционирование ТЗНП учитывается при выборе тока срабатывания $I_{0\text{ с.з.}}$:

$$I_{0\text{ с.з.}} \geq K_{\text{отс}} K_{\text{пер}} I_{\text{С собс}}, \quad (1)$$

где $K_{\text{отс}}$ – коэффициент отстройки; $I_{\text{С собс}}$ – собственный емкостный ток ОЗЗ защищаемого присоединения; $K_{\text{пер}}$ – коэффициент, учитывающий влияние переходных процессов.

Значение $K_{\text{пер}}$ зависит от принципа выполнения (алгоритма функционирования) измерительного органа тока (ИОТ) ТЗНП и по существующим методикам принимается для ИОТ, выполненных на электромеханической базе 4-5 (Сирота И.М.), для ИОТ на электронной и микропроцессорной базе – 2-3.

Из (1) следует, что при больших значениях коэффициента $K_{\text{пер}}$ чувствительность защиты и область ее применимости значительно уменьшаются. Исследования, выполненные в ИГЭУ, показали, что для исполнений ТЗНП на электромеханической и микроэлектронной базе, значения $K_{\text{пер}}$ могут быть уменьшены по сравнению с рекомендуемыми в 2-3 раза [1]. В настоящее

время на вновь сооружаемых и реконструируемых объектах распределительных сетей 6-10 кВ и систем электроснабжения, как правило, применяются только микропроцессорные устройства РЗА. Поэтому представляет интерес исследование особенностей функционирования микропроцессорных исполнений ТЗНП при дугowych перемежающихся ОЗЗ.

Метод исследования динамической устойчивости микропроцессорных ТЗНП при дугowych перемежающихся ОЗЗ. При дугowych перемежающихся ОЗЗ амплитуда переходных токов нулевой последовательности в кабельных сетях 6-10 кВ может достигать сотен и даже тысяч Ампер, среднеквадратичное значение переходного тока может в 10 - 15 раз превышать среднеквадратичное значение установившегося тока ОЗЗ [2]. В воздушных сетях значения амплитудные и соответственно среднеквадратичные значения переходных токов при ОЗЗ несколько меньше. Практически все известные исполнения микропроцессорных ТЗНП основаны на измерении и оценке среднеквадратичного значения контролируемого тока на интервале времени наблюдения (времени срабатывания). Влияние токов переходного процесса на функционирование микропроцессорных ТЗНП зависит не только от значений переходных токов, но числа выборок АЦП за период, наличия предварительной (как правило, аналоговой) фильтрации высокочастотных составляющих, АЧХ фильтров и других особенностей алгоритмов функционирования микропроцессорных ТЗНП, являющихся коммерческой тайной фирм-разработчиков. Поэтому применение метода математического моделирования для исследования динамических режимов работы существующих исполнений микропроцессорных ТЗНП невозможно. Поэтому для исследования динамических режимов функционирования микропроцессорных ТЗНП использовался метод физико-математического имитационного моделирования с использованием программно-аппаратного комплекса типа РЕТОМ и тестовых осциллограмм в COMTRADE-формате, полученных на математической модели электрической сети 6-10 кВ в системе Matlab для наиболее тяжелых условий функционирования защиты при внешних ОЗЗ.

Структурная схема для физико-математического моделирования динамических режимов работы ТЗНП приведена на рис. 1.

Для определения минимальных значений коэффициента $K_{пер}$, обеспечивающих устойчивость несрабатываний ТЗНП при внешних дугowych перемежающихся ОЗЗ, по выражению (1) при $K_{пер} = 1$ определялся минимальный ток срабатывания $I_{0.c.з.мин}$, затем на вход ИОТ подавался расчетный тестовый сигнал общей длительностью ~ 1 с, и ток срабатывания ТЗНП увеличивался до обеспечения устойчивых несрабатываний защиты.

Расчетное значение $K_{пер}$, обеспечивающее устойчивые несрабатывания ТЗНП, определялось по формуле

$$K_{пер} = \frac{I_{0.c.з.}}{I_{0.c.з.мин}} . \quad (2)$$

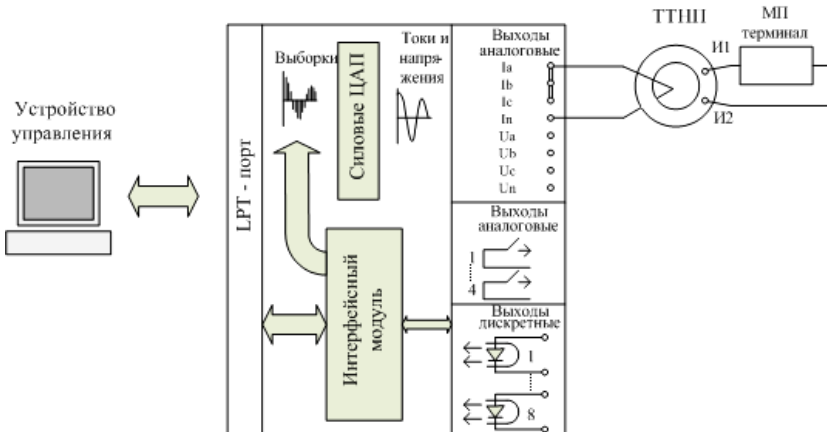


Рис. 1. Структурная схема системы для физико-математического моделирования динамических режимов функционирования ТЗНП

Результаты исследований и их оценка. Экспериментальная оценка условий обеспечения динамической устойчивости несрабатываний при внешних дуговых перемежающихся ОЗЗ была выполнена для ТЗНП в микропроцессорных терминалах РЗА типа SPAC 801/01, БМРЗ-100 и MiCOM P145. В таблице приведены полученные на основе экспериментальных замеров минимальные значения коэффициента $K_{пер}$, обеспечивающие устойчивые несрабатывания ТЗНП при дуговых перемежающихся ОЗЗ для наиболее тяжелых расчетных условий.

Таблица. **Результаты исследований МП ТЗНП в кабельных сетях 6-10 кВ с изолированной нейтралью**

Тип МП терминала	Значения $K_{пер}$		
	По существующей методике расчета	Для перемежающегося ОЗЗ по теории Петерсена	Для перемежающегося ОЗЗ по теории Петерса и Слепяна
SPAC 801.01	2-2,5	0,5 – 3,5	0,92 – 2
БМРЗ-100	2-2,5	0,2 – 1,15	0,7 – 1,05
Micom P145	2-2,5	0,6 - 1	0,7 – 1,3

Наиболее эффективными следует считать исполнения ТЗНП, для которых $K_{пер} \approx 1$, т.к. при этом обеспечивается требуемая степень отстройки от внешних дуговых прерывистых ОЗЗ и наименьшее заглубление защиты при внутренних устойчивых и дуговых прерывистых повреждениях. Из данных, приведенных в таблице, можно видеть, что исследованные ис-

полнения микропроцессорных ТЗНП различных фирм-производителей не в полной мере удовлетворяют этому требованию.

Выводы

1. Микропроцессорные исполнения ТЗНП различных фирм-производителей обеспечивают различную динамическую устойчивость функционирования при дугowych перемежающихся ОЗЗ.

2. Исследованные исполнения микропроцессорных ТЗНП не соответствуют сформулированному выше критерию оптимальности $K_{пер} \approx 1$.

Литература

1. **Шуин В.А.**, Сарбеева О.А., Чугрова Е.С. Влияние электромагнитных переходных процессов на функционирование токовых защит от замыканий на землю в электрических сетях 6-10 кВ // Вестник ИГЭУ, 2009, Вып. 4. – С. 84-91.

2. **Шуин В.А.**, Сарбеева О.А., Чугрова Е.С. Информационные параметры электрических величин переходного процесса при замыканиях на землю и особенности их использования в защитах электрических сетей 6-10 кВ // Вестник ИГЭУ, 2011, Вып. 1.

УДК 621.316.925

О.А. САРБЕЕВА, аспирант
(ИГЭУ)

Исследование динамической устойчивости цифровых алгоритмов токовой защиты от однофазных замыканий на землю в сетях 6-10 кВ

Введение. В микропроцессорных терминалах релейной защиты и автоматики (РЗА), предназначенных для применения в электрических сетях 6 – 10 кВ, работающих с изолированной нейтралью или с резистивным заземлением нейтрали, в качестве защиты от однофазных замыканий на землю (ОЗЗ), как правило, предусматриваются токовые защиты нулевой последовательности (ТЗНП), реагирующие на интегральные значения (среднеквадратичное, средневыпрямленное) тока нулевой последовательности в защищаемом присоединении. На устойчивость функционирования (отстроенность от внешних ОЗЗ, чувствительность при внутренних ОЗЗ) цифровых исполнений ТЗНП, как и ТЗНП с измерительными органами тока на электромеханической или микроэлектронной элементной базе, существенное влияние могут оказывать электромагнитные переходные процессы, возникающие при дугowych перемежающихся замыканиях на землю. Устойчивость функционирования устройств релейной защиты в условиях влияния электромагнитных переходных процессов принято называть динамической устойчивостью [1]. Оптимальными с точки зрения динамической устойчивости функционирования цифровых

ТЗНП являются алгоритмы, обеспечивающие наименьшую зависимость измеряемой величины на интервале времени наблюдения (времени срабатывания защиты) от переходных токов при дуговых перемежающихся ОЗЗ. Степень указанной зависимости зависит от особенностей алгоритмов их функционирования цифровой ТЗНП, в частности, вида используемого для действия защиты интегрального значения тока (среднеквадратичное или средневыпрямленное), частоты выборок АЦП, наличия или отсутствия предварительной аналоговой фильтрации, АЧХ используемых для аналоговой фильтрации фильтров и др. Исследование указанных вопросов является актуальным для создания исполнений цифровых ТЗНП, обладающих повышенной динамической устойчивостью функционирования.

Метод исследования. Для исследования эффективности цифровых алгоритмов ТЗНП использовалось математическое моделирование на ЭВМ в системе Matlab. Разработанная модель включала участок электрической сети 6-10 кВ (трехфазный генерирующий источник питания, линии с распределенными параметрами, ключ, имитирующий дуговые перемежающиеся ОЗЗ в заданной точке электрической сети), измерительные блоки для вычисления среднеквадратичного и средневыпрямленного значений контролируемого тока, а также модели трансформаторов тока нулевой последовательности (ТТНП) и трансформатора напряжения (ТН) для подключения модели измерительной части цифровой ТЗНП.

Результаты исследований. Исследования на математической модели показали, что на степень влияния переходных токов на измеренные интегральные значения тока нулевой последовательности при дуговом перемежающемся ОЗЗ наибольшее влияние оказывают следующие факторы:

- наличие или отсутствие предварительной аналоговой фильтрации входного тока Zi_0 ;
- АЧХ фильтра, используемого для предварительной фильтрации;
- величина временного сдвига момента пробоя изоляции по отношению к моменту выборки АЦП мгновенного значения переходного тока, имеющая случайный характер.

Анализ показал, что число выборок за период промышленной частоты при $N = 20 \dots 80$ существенного влияния на измеренное значение воздействующей величины не оказывает.

На основе проведенных исследований установлено, что средневыпрямленное значение тока Zi_0 за счет влияния переходных токов возрастает в значительно меньшей степени, чем среднеквадратичное значение. Это означает, что ТЗНП, реагирующие на средневыпрямленное значение тока Zi_0 , в большей степени отстроены от влияния переходных процессов при ОЗЗ, чем ТЗНП, реагирующие на среднеквадратичное значение контролируемого тока.

Ограничить влияние переходных токов на устойчивость функционирования ТЗНП как при внешних, так и при внутренних дуговых перемежаю-

щихся ОЗЗ можно с помощью входных аналоговых фильтров низших частот (ФНЧ).

Установлено, что применение ФНЧ с частотой среза около 500 Гц позволяет ограничить средневыпрямленное значение переходного тока при дуговом перемежающемся ОЗЗ до значений, не превышающих средневыпрямленное значение установившегося тока замыкания на землю, т.е. обеспечивает эффективную отстройку от влияния токов переходного процесса при внешних повреждениях.

Для получения аналогового эффекта для ТЗНП, основанной на использовании среднеквадратичных (эффективных) значений контролируемого тока, необходимо применение ФНЧ с частотой среза около 300 Гц.

Влияние временного сдвига τ между моментом возникновения ОЗЗ (пробоя изоляции) и моментом выборки АЦП мгновенного значения тока Z_{i0} на измеренное интегральное значение тока нулевой последовательности на интервале времени наблюдения (времени срабатывания защиты) иллюстрирует рис. 1. Из рис. 1 можно видеть, что среднеквадратичное значение тока Z_{i0} существенно зависит от временного сдвига τ и при изменении значения τ в пределах нескольких десятков микросекунд может изменяться более чем в 10 раз. Для исключения влияния на измеренное значение времени наблюдения переходного процесса время срабатывания цифрового измерительного органа ТЗНП должно быть не меньше 30...40 мс (рис. 1). Применение предварительной аналоговой фильтрации тока Z_{i0} при указанных выше параметрах АЧХ фильтра позволяет практически исключить влияние временного сдвига τ на измеряемое защитой среднеквадратичное или средневыпрямленное значение тока Z_{i0} при дуговых перемежающихся ОЗЗ, развивающихся как по теории Петерсена, так и по теории Петерса и Слепяна.

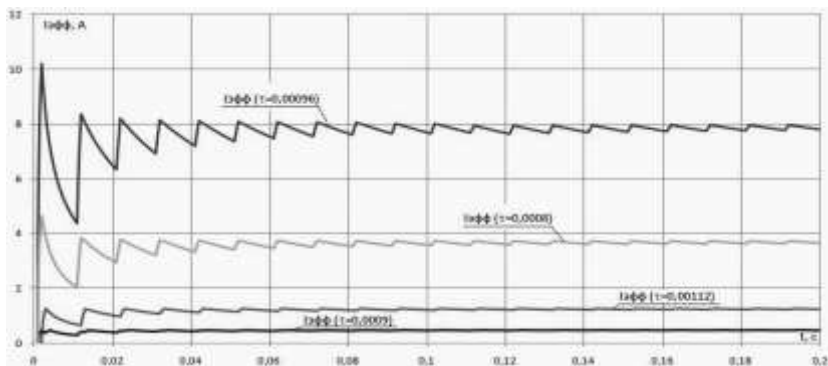


Рис. 1. Зависимости среднеквадратичного значения тока Z_{i0} при отсутствии предварительной фильтрации входного сигнала (число выборок $N = 20$)

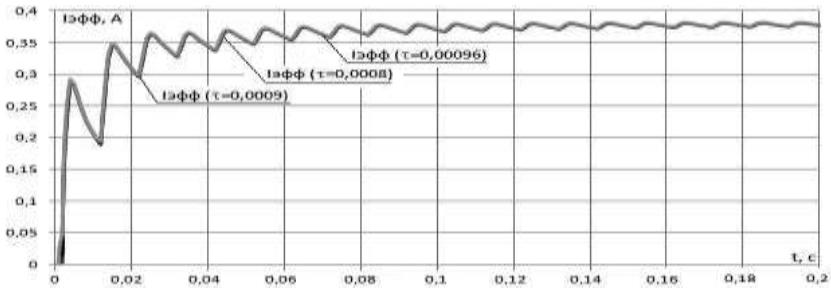


Рис. 2. Зависимость среднеквадратичного значения тока Zi_0 при использовании предварительной фильтрации входного сигнала (число выборок $N = 20$)

Выводы:

1. На динамическую устойчивость функционирования цифровых ТЗНП при дуговых перемежающихся ОЗЗ существенное влияние оказывает не число выборок за период промышленной частоты, а случайная величина временного сдвига момента пробоя изоляции по отношению к моменту выборки АЦП мгновенного значения переходного тока Zi_0 .

2. Применение предварительной аналоговой фильтрации входного тока Zi_0 с использованием ФНЧ с частотой среза 300...500 Гц при времени срабатывания защиты не менее 30...40 мс позволяет практически исключить влияние на замер указанного случайного значения временного сдвига по п. 1.

3. Алгоритмы цифровых ТЗНП, основанные на измерении средневывярямленного значения контролируемого тока Zi_0 позволяют обеспечить большую устойчивость функционирования при дуговых перемежающихся ОЗЗ.

Литература

1. Шнеерсон Э.М. Цифровая релейная защита. – М: Энергоатомиздат, 2007. – 549 с.

Исследование алгоритмов направленных защит от однофазных замыканий на землю, основанных на использовании переходных процессов

Введение. Технически наиболее совершенное решение в части устройств защиты от однофазных замыканий на землю (ОЗЗ) в электрических сетях 6-10 кВ позволяют получить направленные комбинированные устройства, основанные на использовании фазовых соотношений электрических величин переходного процесса и установившегося режима замыкания на землю. Такие устройства обеспечивают возможность фиксации кратковременных самоустраняющихся пробоев изоляции и использование информации о них в целях диагностики состояния изоляции элементов сети, высокую устойчивость функционирования при наиболее опасных дуговых перемежающихся ОЗЗ, а также непрерывность действия при устойчивых повреждениях, необходимую для поиска поврежденного элемента методом оперативных переключений в сети. Поэтому совершенствование принципов выполнения подобных устройств представляет актуальную задачу.

Фазовые соотношения электрических величин переходного процесса и способы их контроля при выполнении направленных защит от ОЗЗ. Для установившегося режима ОЗЗ в сетях радиальной конфигурации справедливы следующие соотношения между напряжением нулевой последовательности $u_0(t)$ и токами нулевой последовательности в неповрежденном $i_{0\text{неп}}(t)$ и в поврежденном $i_{0\text{пов}}(t)$ присоединениях:

$$3i_{0\text{неп}} \approx 3C_{0\text{неп}} \frac{du_0}{dt}; \quad (1)$$

$$3i_{0\text{пов}} \approx -\sum_k 3C_{0k\text{неп}} \frac{du_0}{dt} = -\sum_k 3(C_{0\Sigma} - C_{0\text{пов}}) \frac{du_0}{dt}, \quad (2)$$

где $C_{0\text{неп}}$ и $C_{0\text{пов}}$ – емкость фазы на землю неповрежденного k -го и поврежденного присоединения; $C_{0\Sigma}$ – суммарная емкость фазы сети на землю.

В [1, 2] с учетом соотношений (1) и (2) показано, что в направленных защитах от ОЗЗ, основанных на использовании начальных фазовых соотношений электрических величин переходного процесса, в качестве поляризирующей величины целесообразно использовать не напряжение $u_0(t)$, а производную du_0/dt .

Для определения направления (знака) мощности нулевой последовательности переходного процесса в импульсных устройствах защит от ОЗЗ используются два основных подхода, основанных соответственно:

1) на фиксации знака мгновенной мощности нулевой последовательности в момент пробоя изоляции фазы сети на землю по соотношению начальных знаков переходного тока $i_0(t)$ и поляризующей величины: $u_0(t)$, du_0/dt [1-3 и др.];

2) на определении знака среднего значения мощности нулевой последовательности на интервале времени существования переходного тока $i_0(t)$.

Недостатком первого подхода является возможность искажения результатов мгновенной фиксации знака мощности и отказа функционирования устройства защиты за счет влияния импульсных помех во вторичных цепях тока и напряжения и угловых погрешностей трансформаторов тока нулевой последовательности (ТТНП).

Второй подход в принципе позволяет обеспечить более высокую устойчивость функционирования защиты при внутренних и при внешних ОЗЗ в условиях влияния импульсных помех, шумов, угловых погрешностей ТТНП.

Непрерывный контроль знака среднего значения мощности нулевой последовательности в переходном режиме ОЗЗ может быть реализован на основе алгоритмов, описываемых следующими соотношениями:

$$J_1 = \int_0^{t_n} i_0(t) \cdot \frac{-du_0(t)}{dt} dt ; \quad (3)$$

$$J_2 = \int_0^{t_n} \text{sign}(i_0(t)) \cdot \text{sign}\left(\frac{-du_0(t)}{dt}\right) dt ; \quad (4)$$

$$J_3 = \max_{0 < \tau < t_n} \int_0^{t_n} i_0(t + \tau) \cdot \frac{-du_0(t)}{dt} dt , \quad (5)$$

где t_n - время наблюдения переходного процесса ОЗЗ.

Из уравнений (1) и (2) следует, что значение интегральной величины $J_1 - J_3$ в (3) – (5) для поврежденного присоединения всегда отрицательно, а для всех неповрежденных присоединений положительно.

Способ, основанный на вычислении интегральной величины J_2 по (4) используется в направленном устройстве защиты от ОЗЗ типа «Спектр», разработанном в ИГЭУ [1, 2].

Значение интегральной величины J_3 по (5) соответствует временной взаимной корреляционной функции совокупности мгновенных значений тока нулевой последовательности и скорости нарастания (производной) напряжения нулевой последовательности при выбранном параметре t_n .

Для оценки чувствительности к влиянию фазовых погрешностей на математических моделях «электрическая сеть – устройство защиты от ОЗЗ по способу 1 (2, 3)», выполненных в системе моделирования Matlab, были выполнены расчеты отношения «сигнал / помеха» $K_{СП}$. Для способа 1:

$$K_{1С/П}(t_c) = \frac{J_{1С}}{J_{1Н}} = \frac{\int_0^{t_n} \left[i_0^{(+)}(t+t_c) \cdot \frac{-du_0^{(+)}(t)}{dt} + i_0^{(-)}(t+t_c) \cdot \frac{-du_0^{(-)}(t)}{dt} \right] dt}{-\int_0^{t_n} \left[i_0^{(+)}(t+t_c) \cdot \frac{-du_0^{(-)}(t)}{dt} + i_0^{(-)}(t+t_c) \cdot \frac{-du_0^{(+)}(t)}{dt} \right] dt}, \quad (6)$$

где $J_{1С}$ - интеграл, соответствующий моментам совпадения знаков полу- волн тока $i_0(t)$ и производной du_0/dt , $J_{1Н}$ - интеграл, соответствующий моментам несовпадения знаков полуволн $i_0(t)$ и производной du_0/dt ; t_c – временной сдвиг сигнала тока $i_0(t)$, учитывающий влияние угловых погрешностей ТТНП. Для способов 2 и 3, основанных на оценке интегральных величин J_2 и J_3 по (4) и (5) отношение «сигнал / помеха» $K_{С/П}$ определялось аналогично.

На рис. 1 приведены зависимости отношения «сигнал / помеха» $K_{С/П}$ от значения t_c .

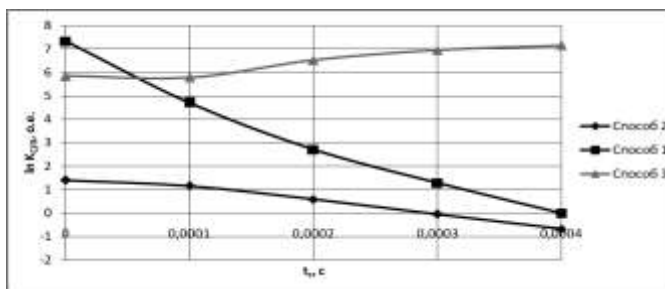


Рис. 1. Зависимости отношения «сигнал / помеха» $K_{С/П}$ от значения t_c для способов 1, 2 и 3

Из данных, приведенных на рис. 1, можно видеть, что в отличие от способов 1 и 2 способ, основанный на вычислении взаимной корреляционной функции [4], в наибольшей степени обеспечивает нечувствительность направленной защиты от ОЗЗ к влиянию фазовых сдвигов между сравниваемыми величинами, обусловленными угловыми погрешностями ТТНП. Исследования на комплексных математических моделях «электрическая сеть – устройство защиты от ОЗЗ», показали также, что выполнение защиты от ОЗЗ по способу 3 обеспечивает повышение устойчивости функционирования в условиях влияния шумов и импульсных помех.

Выводы:

1. Технически наиболее совершенное решение в части устройств защиты и селективной сигнализации ОЗЗ позволяют получить направленные комбинированные устройства, основанные на использовании фазовых соотношений электрических величин переходного процесса и установленного режима замыкания на землю.

2. Наиболее эффективным по соотношению «сигнал/помеха» способом выполнения направленной защиты от ОЗЗ, реагирующей на переходный процесс, является способ, основанный на вычислении временной взаимной корреляционной функции совокупности мгновенных значений тока нулевой последовательности и скорости нарастания (производной) напряжения нулевой последовательности.

Литература

1. **Шуин В.А.**, Гусенков А.В. Защиты от замыканий на землю в электрических сетях 6-10 кВ. – М.: НТФ «Энергопрогресс», 2001.
2. **Шуин В.А.** Теория и практическая реализация защит от однофазных замыканий на землю, основанных на использовании переходных процессов, в электрических сетях 3-35 кВ / Дисс. ... докт. техн. наук. – М.: ВНИИЭ, 1994.
3. **Лачугин В.Ф.** Направленная импульсная защита от замыканий на землю // Энергетик. – 1997, № 9. С. 21.
4. **Способ** диагностики и направленной защиты от однофазных замыканий на землю в электрических сетях: пат. 2402131 Рос. Федерация. / А.Л. Куликов, В.А Шуин., А.А. Петрухин; заявители и патентообладатели А.Л. Куликов, В.А Шуин., А.А. Петрухин – Приоритет изобретения от 03.08.2009 г.

УДК 621.31

Ю.А. РЫЛОВ, к.т.н., профессор,
 А.И. ФЕДОТОВ, д.т.н., профессор,
 Г.В. ВАГАПОВ, к.т.н., доцент, А.Г. ЛАТИПОВ, аспирант
 (КГЭУ)

Исследование зависимости параметров высших гармоник от места возникновения ОЗЗ

Вопросам определения мест возникновения однофазных замыканий на землю (ОЗЗ) посвящено значительное количество исследовательских работ и их результаты отражены во многих публикациях. Однако данная проблема окончательно не решена и имеет место при эксплуатации систем электроснабжения, в особенности, воздушных линий электропередачи (ЛЭП) 6 - 10 кВ. Так ОЗЗ являются одними из распространенных повреждений на данных ЛЭП, что приводит к ухудшению режима работы всех присоединений, а в перспективе грозит перерастаи в многофазное замыкание, которое отключается устройствами релейной защиты [1]. В результате многократно повышается вероятность перерыва электро-снабжения, и соответственно экономических потерь, как у потребителей, так и поставщиков электроэнергии. Следовательно, проблема своевременного распознавания появления ОЗЗ, а также определения места его возникновения не теряет своей актуальности.

Часть исследователей предлагает в качестве определяющего признака наличия ОЗЗ использовать появление высших гармоник (ВГ) в

распределительной сети [1, 2]. Поскольку процесс горения дуги является нестационарным, то он инициирует появление ВГ в сети. Известно, что ЛЭП обладает как индуктивным сопротивлением, так и емкостной проводимостью. Данный факт позволяет сделать вывод о возможном наличии резонансных явлений на некоторых из ВГ. А поскольку от расположения места ОЗЗ на линии меняются и ее резонансные характеристики, то следует ожидать определенной зависимости частоты резонанса ВГ от места ОЗЗ.

Для определения степени влияния ОЗЗ на гармонический состав напряжения была составлена модель воздушной ЛЭП, представленная на рис. 1. Моделирование производилось в среде пакета Simulink системы Matlab. В модели к энергосистеме подключена трехфазная воздушная ЛЭП, которая представлена двумя последовательно соединенными линиями с распределенными параметрами. Разделение ЛЭП на два участка было произведено для возможности изменения расстояния до места возникновения ОЗЗ вдоль длины линии. Моделирование замыкания на землю осуществлялось с помощью нескольких ключей, на рис. 1 – ключи 1, 2 и 3. Для управления ключами в схему добавлены таймеры для регулирования времени и периодичности срабатывания.

Анализ литературных источников показал, что существует несколько подходов к моделированию замыкания, а именно, моделирование с помощью ключей и с помощью источника тока. По мнению авторов, моделирование с помощью ключей адекватно отражает физические процессы, происходящие при реальном замыкании, хотя и оно не лишено недостатков, например, такого как: зависимость характера ВГ от периодичности работы ключей.

Для устранения последнего в ходе моделирования варьировалось время срабатывания и количество работы ключей в течение одного периода ($t = 0,02$ с), что позволяет имитировать хаотичность процесса ОЗЗ на этапе его появления в реальной воздушной ЛЭП. Данная особенность проводимого исследования позволит выявлять ОЗЗ на раннем этапе его появления в отличие от большинства существующих систем релейной защиты, реагирующих преимущественно на установившееся замыкание.

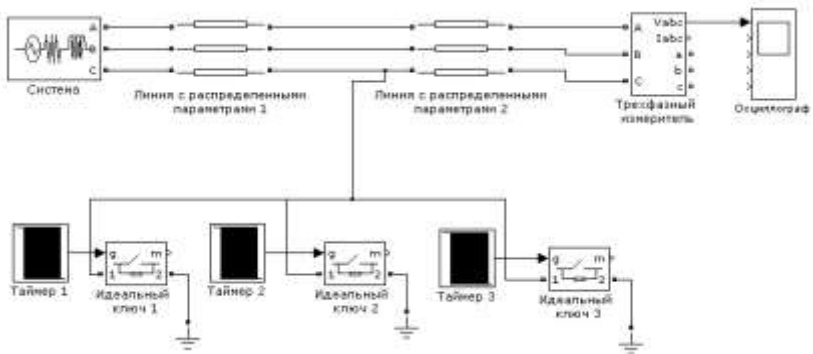


Рис. 1. Модель воздушной ЛЭП

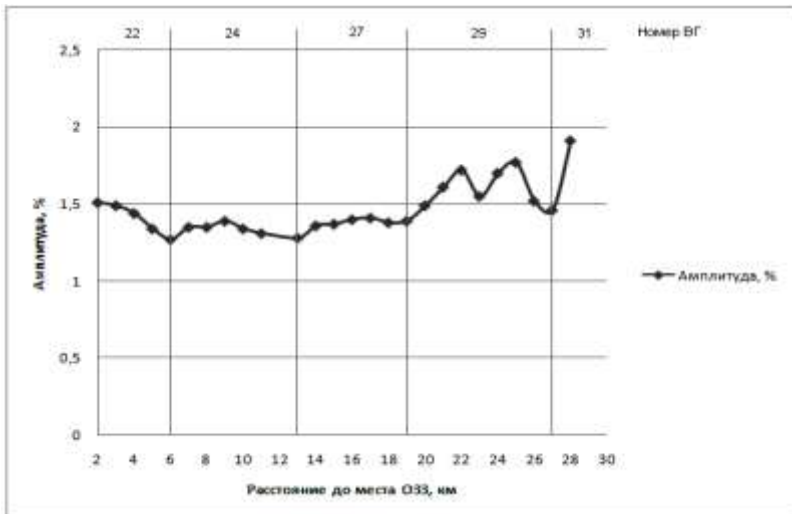


Рис. 2. Зависимость номера ВГ и амплитуды от места ОЗЗ

По результатам моделирования были составлены зависимости наличия и характера ВГ от различных возмущающих факторов, в качестве которых рассматриваются: марка и сечение проводов ЛЭП; место появления ОЗЗ; разветвленность схемы; место установки трехфазного измерителя. На рис. 2 в качестве примера представлен график изменения порядкового номера ВГ и амплитуды от места возникновения ОЗЗ,

где показано, что с увеличением расстояния до места ОЗЗ происходит увеличение порядкового номера ВГ.

Выводы:

1. Появление ВГ предоставляет возможность выявлять ОЗЗ на ранних этапах его появления.
2. Анализ ВГ указывает участок ЛЭП, где произошло замыкание.

Литература

1. **Токовые** защиты от замыканий на землю. Исследование динамических режимов функционирования / В. Шуин, О. Сарбеева, Е. Чугрова // Новости электротехники. – 2010. - № 2.
2. **Замыкание** на землю в линиях электропередачи 6-35 кВ. Особенности возникновения и приборы защиты / А. Шалин // Новости электротехники. – 2010. - № 3.

УДК 621.316.925

В.А. ШУИН, д.т.н., профессор,
Е.А. МУРЗИНА, студент
(ИГЭУ)

Максимальные перенапряжения при дуговых перемежающихся замыканиях на землю в кабельных сетях 6-10 кВ

Введение. В настоящее время существуют три основные теории возникновения максимальных перенапряжений при дуговых перемежающихся однофазных замыканиях на землю (ОЗЗ) в электрических сетях среднего напряжения (6÷35 кВ), работающих с изолированной нейтралью или с заземлением нейтрали через высокоомное сопротивление: Петерсена В., Петерса Дж. и Слепяна Х. и Белякова Н.Н. [1, 2 и др]. Согласно теории Петерсена, предложенной в 1916 г., зажигания дуги происходят каждый полупериод промышленной частоты при максимальных напряжениях на поврежденной фазе, а гашения дуги – при первом прохождении переходного тока замыкания через нулевые значения. В 1923 г. Дж. Петерс и Х. Слепян предложили другую теорию, принципиально отличную от теории Петерсена. В соответствии с их теорией принимается, что зажигания дуги происходят при максимальных напряжениях на поврежденной фазе, а гашения – при прохождении емкостного тока промышленной частоты через нулевые значения.

Согласно теории Белякова Н.Н., дуга может погаснуть как при первом, так как любом последующем переходе через нуль свободной составляющей тока замыкания. Попытка гашения заканчивается удачно, если высокочастотный максимум восстанавливающегося напряжения (пик гашения) не превышает определенного критического значения. В соот-

ветствии с теорией Белякова Н.Н. для возникновения максимальных перенапряжений не требуется повторных зажиганий дуги, поэтому достаточно рассмотреть один цикл «гашение – зажигание». В этом цикле гашение должно происходить в момент максимума ЭДС поврежденной фазы и при максимально допустимой для гашения крутизне тока, а последующее зажигание должно несколько опережать максимум напряжения (угол зажигания $\approx 68^\circ$ [3]).

В [3] принимается, что максимальные перенапряжения возникают на отстающей неповрежденной («здоровой») фазе. Исследования перенапряжений при дугowych перемежающихся ОЗЗ, выполненные в ИГЭУ на математических моделях электрических сетей 6-35 кВ, показали [4], что максимальные перенапряжения при повторных зажиганиях дуги возникают, как правило, на опережающей неповрежденной фазе (например, рис. 1). В связи с этим представляет интерес оценка влияния момента повторного зажигания дуги (угла зажигания ψ_3), а также других параметров сети на перенапряжения как на отстающей, так и на опережающей неповрежденной фазе с использованием более полных математических моделей сети, чем принятые в исследованиях Белякова Н.Н. [3].

Метод исследования. В качестве метода исследования использовалось математическое моделирование с применением программного комплекса MATLAB. Исследования перенапряжений проводились для модели электрической сети с изолированной нейтралью с номинальным напряжением $U_{ном} = 6$ кВ. Модель включала трехфазный источник питания, кабельную линию с распределенными параметрами, в конце которой имитировались дуговые ОЗЗ, неповрежденную часть сети, эквивалентированную емкостями и проводимостями фаз на землю и между фазами. При моделировании варьировались параметры сети (суммарный емкостный ток сети $I_{C\Sigma} = 5...25$ А, ток трехфазного КЗ на шинах $I_k = 5...20$ кА (определяющий индуктивность источника питания), удаленность места пробоя от шин $l_3 = 0...5$ км, угол зажигания дуги $\psi_3 = 65...115^\circ$).

Результаты исследований. Анализ результатов вычислительных экспериментов, выполненных на математической модели кабельной сети 6 кВ, показал, что с уменьшением угла зажигания ψ_3 по отношению к моменту максимума напряжения на поврежденной фазе «А» ($\psi_3 = 90^\circ$) перенапряжения на отстающей неповрежденной фазе «В» увеличиваются и при значениях $\psi_3 \approx 65^\circ...70^\circ$ достигают максимума. Величина перенапряжений на опережающей неповрежденной фазе «С» при этом уменьшается, однако максимальное значение перенапряжений на фазе «С» остается большим, чем на фазе «В». При увеличении значения угла зажигания ψ_3 по отношению к моменту максимума напряжения на поврежденной фазе «А» ($\psi_3 = 90^\circ$) перенапряжения на отстающей фазе «В» уменьшаются, а на опережающей фазе «С» увеличиваются и достигают максимума при значениях $\psi_3 \approx 105...110^\circ$ (например, рис. 2).

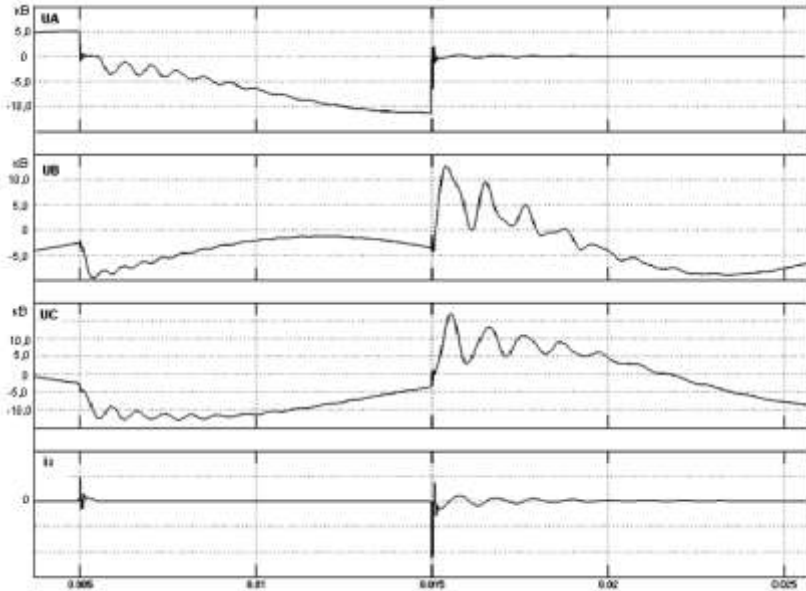


Рис. 1. Перенапряжения на неповрежденных фазах «В» и «С» при дуговом прерывистом ОЗЗ на фазе «А» в сети 6 кВ с $I_{CЗ} = 20$ А

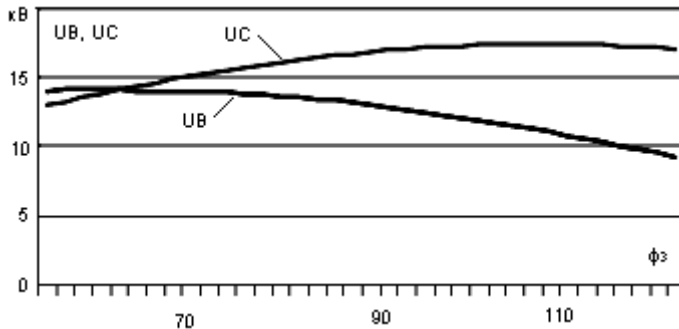


Рис. 2. Зависимости максимальных напряжений на неповрежденных фазах «В» и «С» от угла зажигания $\psi_з$ (сеть 6 кВ с $I_{CЗ} = 20$ А, $I_k = 5...20$ кА)

Таким образом, максимальные перенапряжения при дуговых перемежающихся ОЗЗ возникают не отстающей, а на опережающей неповрежденной фазе при угле зажигания $\psi_з \approx 105...110^\circ$.

Анализ на математической модели сети 6 кВ показал, что параметры сети (суммарный емкостный ток $I_{C\Sigma}$, ток трехфазного КЗ на шинах I_k , удаленность места пробоя от шин l_3) на указанный характер зависимости максимальных перенапряжений на неповрежденных фазах от угла зажигания существенного влияния не оказывают, однако влияют на максимальные значения перенапряжений: перенапряжения увеличиваются при увеличении $I_{C\Sigma}$ и уменьшении индуктивности источника питания (т.е. тока I_k) и удаленности l_3 точки ОЗЗ от шин.

Выводы:

1. Максимальные перенапряжения при дуговых перемежающихся ОЗЗ возникают на опережающей неповрежденной фазе при углах зажигания $\psi_3 \approx 105...110^\circ$.
2. Перенапряжения увеличиваются при увеличении $I_{C\Sigma}$ и уменьшении индуктивности источника питания и удаленности l_3 точки ОЗЗ от шин.

Литература

1. Лихачев Ф.А. Замыкания на землю в сетях с изолированной нейтралью и с компенсацией емкостных токов. М.: Энергия. – 1971.
2. Сиротинский Л.И. Техника высоких напряжений. Волновые процессы и внутреннее перенапряжения в электрических системах. – М.: Госэнергоиздат, 1959.
3. Беляков Н.Н. Исследование перенапряжений при дуговых замыканиях на землю в сетях 6 и 10 кВ // Электрические станции, 1957, № 5.
4. Шуин В.А. Расчет перенапряжений при дуговых прерывистых замыканиях на землю. Зависимость от режима заземления нейтрали // Новости электротехники, 2009, № 4 (58).

УДК 621.311.925:681.3

И.Е. ИВАНОВ, аспирант,
А.Ю. МУРЗИН, к.т.н., доцент
(ИГЭУ)

**Исследование моделей воздушных линий
электропередачи в программном комплексе АТР-ЕМТР
в целях релейной защиты**

Одним из основных свойств релейной защиты (РЗ) электроэнергетических систем (ЭЭС) является устойчивость ее функционирования в реальных условиях (в нормальных режимах и в условиях электромагнитных переходных процессов, вызванных короткими замыканиями (КЗ) и различными коммутациями).

В целях обеспечения указанного свойства разработчикам устройств РЗ (УРЗ), а также проектировщикам, использующим данные устройства на электроэнергетических объектах (ЭЭО), необходимо решить следующие актуальные задачи:

1) точное определение параметров защищаемого ЭЭО для корректного расчёта и задания параметров срабатывания УРЗ;

2) адекватное моделирование комплексной системы «ЭЭО – УРЗ» с целью исследования поведения УРЗ с рассчитанными уставками в различных режимах защищаемого ЭЭО и ЭЭС в целом.

Среди ЭЭО особое место занимают воздушные линии электропередачи (ЛЭП) значительной протяжённости (т.н. «длинные» ЛЭП). Точный учет распределенности параметров модели воздушной ЛЭП, зависимость параметров от частоты переходного тока при моделировании ЛЭП, корректность задания значений параметров, используемых алгоритмами работы УРЗ, в общем случае определяют эффективность функционирования устройств защиты.

Верхней границей частотного спектра переходных процессов согласно [1] может достигать 3 кГц при КЗ и 20 кГц при коммутационных перенапряжениях. Поэтому пренебрежение частотной зависимостью продольных параметров ЛЭП (активное и индуктивное сопротивления), традиционно определяемых для частоты 50 Гц, делает модель, а соответственно, и результаты расчётов более «грубыми».

В работе выполнен сравнительный анализ моделей воздушных ЛЭП, представленных в комплексе АТР-ЕМТР, и сделаны выводы относительно возможностей их использования для решения указанных выше задач.

Литература

1. **Juan A. Martinez-Velasco.** Parameter determination for electromagnetic transient analysis in power systems, in Power system transients: parameter determination, Chapter 1, Juan A. Martinez-Velasco (Eds.): CRC Press, 2010.

УДК 621.316

О.А. БУШУЕВА, к.т.н., профессор,
Е.В. ТЮТИКОВА, ассистент
(ИГЭУ)

Компенсация реактивной мощности в сетях коммунально-бытовых потребителей

Среди многочисленных факторов, оказывающих влияние на эффективность работы электрических сетей, одно из приоритетных мест занимает компенсация реактивной мощности (КРМ). Многие считают, что из-за относительно коротких фидеров и небольшой присоединенной мощности многочисленных потребителей проблемы компенсации реактивной мощности для городских низковольтных распределительных сетей не существует [1]. Однако, инструментальные исследования, проведенные в

системах электроснабжения жилых домов различной этажности микрорайона Южное Тушино г. Москвы, показали, что значения коэффициентов мощности на вводах домов находятся в пределах 0,75-0,92.

Интенсивный рост потребления электроэнергии в жилищном секторе, высокая плотность городской коммунально-бытовой нагрузки, наличие в перетоках мощности реактивной составляющей приводит к значительным потерям электроэнергии и ограничению возможности присоединения к сетям новых потребителей. Применение устройств компенсации реактивной мощности (УКРМ) в сетях коммунально-бытовых потребителей может существенно повысить эффективность работы городских электрических сетей.

Однако, неравномерность потребления активной и реактивной мощности по отдельным фазам затрудняет применение в городских распределительных сетях традиционных для промышленных сетей УКРМ.

На сегодняшний день на рынке УКРМ представлены устройства с пофазной компенсацией реактивной мощности производств Испании (CIRCUTOR), Германии (BELUK), Чехии (BMR), Австрии (BENEDIKT), России (Русэлм) и др. Они укомплектованы однофазными конденсаторными батареями и специализированными управляющими контроллерами или силовыми тиристорными интеллектуальными модулями [2].

Был проведен анализ таких УКРМ с целью выявления наилучшего способа пофазной компенсации в сетях коммунально-бытовых потребителей с несимметричной нагрузкой.

Литература

1. Шишкин С.А. Реактивная мощность потребителей и сетевые потери электроэнергии // Энергосбережение, № 4, 2004.
2. Jungwirth P. Power factor correction on site // EPCOS COMPONENTS №4. 2005.

УДК 621.316

О.А. БУШУЕВА к.т.н., профессор,
А.В. КОНОВАЛОВ, к.т.н., доцент, (ИГЭУ)
П.В. КУКУШКИН, инженер, (ХМАО Югра)

Энергосбережение в системах наружного освещения населенных пунктов Ханты-Мансийского автономного округа

В настоящее время на нужды наружного освещения Югры годовой расход электроэнергии составляет 55 млн. кВт·ч, что соответствует стоимости электроэнергии 100 млн. рублей. Учитывая ежегодный рост тарифов на электрическую энергию, к 2020 году ее стоимость увеличится в 3 раза. Внедрение энергосберегающих светодиодных светильников на территории всего региона позволит не только значительно сократить

расход электроэнергии на освещение, но и продлить срок службы электрических сетей [1].

Проведен анализ существующего состояния наружного освещения в населенных пунктах Югры, в результате которого выявлено, что общее количество световых точек составляет 85 тыс. штук. из них более трети штук это светильники с устаревшими ртутными лампами ДРЛ, а остальные - светильники с лампами ДНаТ. Износ светильников с лампами ДНаТ составляет 35 %, так как они появились в системе наружного освещения еще в конце прошлого десятилетия. Годовая стоимость обслуживания одного светильника с лампами ДРЛ составляет 4 тыс. руб., а с лампами ДНаТ – 3 тыс. руб. Общая протяженность сетей наружного освещения превышает 11 тыс. км, их износ 40% и к 2015 г. планируется заменить 1,2 тыс. км этих сетей.

Разработан проект переоснащения систем наружного освещения населенных пунктов автономного округа на современные энергосберегающие светодиодные светильники. Проведено сравнение характеристик различных светодиодных светильников по световой отдаче ламп, по среднему сроку службы, по стоимости от разных производителей. Проведена оценка эффективности переоснащения существующих систем наружного освещения на системы со светодиодными светильниками типа ZERS. Получены зависимости изменения суммарных затрат по годам до 2015 г.

Рассмотрена возможность организации сборочного производства светодиодных светильников в г. Сургуте, являющимся крупнейшим транспортным узлом на территории автономного округа, что позволит снизить затраты на транспортировку готовой продукции. Предложенный проект вошел в состав региональной программы по энергосбережению.

Литература

1. Полищук А.А., Туркин А.И. Перспективы применения светильников со светодиодами для энергосберегающего освещения. Энергосбережение, 2008.

УДК 621.316.06

Г.В. ЧЕКАН, аспирант
(ИГЭУ)

Влияние коммутационной аппаратуры на показатели надежности районной сети

Ранее в статье [2] рассматривалась замкнутая распределительная районная сеть с номинальным напряжением 35 кВ. Данная сеть расположена в Ильинском районе Ивановской области и включает в себя четыре подстанции: Аньково, Игрищи, Северная и Крапивново, объединенные воздушными линиями электропередачи в замкнутую сеть.

Для нее был проведен предварительный расчет показателей надежности без учета коммутационного оборудования [2].

С использованием программного комплекса MathCAD и показателей надежности из [1], были получены следующие результаты.

Работоспособное состояние всей рассматриваемой сети:

$$K_{\Gamma} = 0,999754253 .$$

Вероятность полного отказа данной сети:

$$Q = 1 - K_{\Gamma} = 1 - 0,999754253 = 2,45747 \cdot 10^{-4} .$$

Среднее время наработки до первого отказа:

$$T_{\text{Ocp}} = \frac{K_{\Gamma}}{1 - K_{\Gamma}} \cdot T_{\text{Bcp}} . \quad (1)$$

Для рассматриваемой сети оно составило (1):

$$T_{\text{Ocp}} = \frac{0,999754253}{1 - 0,999754253} \cdot 3,743 = 1,738 \text{ года},$$

где $T_{\text{Bcp}} = 3,743 \text{ ч}$ – среднее время восстановления элементов рассматриваемой сети.

Однако были проведены дополнительные, более подробные расчеты, включающие основное коммутационное оборудование.

В этом случае были получены следующие результаты.

Полностью работоспособное состояние всей рассматриваемой сети с учетом основного коммутационного оборудования:

$$K_{\Gamma_{\text{КОМ}}} = 0,999512083 .$$

Вероятность отказа данной сети с учётом основного коммутационного оборудования:

$$Q_{\text{КОМ}} = 1 - K_{\Gamma_{\text{КОМ}}} = 1 - 0,999512083 = 4,87917 \cdot 10^{-4} .$$

Среднее время наработки до первого отказ для рассматриваемой сети с учетом основного коммутационного оборудования (1):

$$T_{\text{Ocp,КОМ}} = \frac{K_{\Gamma_{\text{КОМ}}}}{1 - K_{\Gamma_{\text{КОМ}}}} \cdot T_{\text{Bcp,КОМ}} = \frac{0,999512083}{1 - 0,999512083} \cdot 5,13 = 1,2 \text{ года},$$

где $T_{\text{Bcp,КОМ}} = 5,13 \text{ ч}$ – среднее время восстановления элементов рассматриваемой сети с учетом основного коммутационного оборудования.

Погрешность расчета среднего времени наработки до первого отказа:

$$\Delta T_{\text{Ocp}} = \frac{T_{\text{Ocp}} - T_{\text{Ocp,КОМ}}}{T_{\text{Ocp}}} \cdot 100\% . \quad (2)$$

Оценка погрешности расчета среднего времени наработки до первого отказа для рассматриваемой сети составила (2):

$$\Delta T_{\text{Ocp}} = \frac{T_{\text{Ocp}} - T_{\text{Ocp,КОМ}}}{T_{\text{Ocp}}} \cdot 100\% = \frac{1,738 - 1,2}{1,738} \cdot 100\% = 30,96\% .$$

Выводы:

1. Установлено, что при проведении предварительных расчетов показателей надежности электрической сети можно не учитывать коммутационное оборудование.

2. Учет коммутационного оборудования электрической сети необходим для повышения точности расчета показателей надежности.

Литература

1. **Электротехнический** справочник: В 4 т. Т. 3. Производство, передача и распределение электрической энергии / Под общ. ред. профессоров МЭИ В.Г. Герасимова [и др.]. – 9-е изд., стер. – М.: Издательство МЭИ, 2004. – 964 с.

2. **Чекан Г.В.** Математическая модель для оценки показателей надежности замкнутой распределительной электрической сети / Г.В. Чекан // Вестник СамГТУ. Серия "Технические науки". - 2010. - №4(27). - С. 242-245.

УДК 621.316.1

Г.В. ЧЕКАН, аспирант
(ИГЭУ)

Анализ способов описания функционирования распределительных электрических сетей с позиции надежности

Вопрос разработки методики для оценки надежности распределительных электрических сетей является актуальным. С целью выбора наилучшего способа описания функционирования электрических сетей, был проведен их анализ.

Были рассмотрены следующие способы [1]:

- 1) структурная схема;
- 2) функции алгебры логики;
- 3) граф переходов и состояний;
- 4) дифференциальные и алгебраические уравнения;
- 5) интегральные уравнения.

Было выявлено, что достоинством первого способа является высокая наглядность. Однако не ясно ремонтируемая система или нет, равнонадежны ли показанные элементы, какова дисциплина обслуживания системы, если она ремонтируемая и т.д. Данные недостатки требуют дополнительного описания условий функционирования, то есть структурная схема не является математической моделью системы, а лишь выступает в роли ее упрощенной иллюстрации.

Функции алгебры логики рассматривают систему как совокупность двоичных переменных. Данный способ описания – есть полноценная математическая модель. Однако она так же не позволяет рассматривать

сложные схемы распределительных электрических сетей в виду значительного роста сложности расчетов с увеличением объема схемы.

Граф переходов и состояний описывает систему, как совокупность узлов (состояний) и ветвей (путей перехода из одного состояния в другое). По виду графа можно сразу оценить все возможные состояния системы, число ремонтных бригад и дисциплину обслуживания, способы восстановления. В графе содержится вся информация о функционировании системы.

Общие важные свойства графов [1]:

1. Граф переходов и состояний полностью описывает функционирование восстанавливаемой системы, как системы массового обслуживания. Вид графа зависит от структурной схемы системы, надежности и ремонтпригодности элементов, а так же дисциплины обслуживания. На основании этого свойства можно утверждать, что все количественные характеристики надежности восстанавливаемой системы могут быть определены непосредственно из графа переходов и состояний системы.

2. Число узлов графа может быть больше или меньше возможного числа состояний восстанавливаемой системы. Это объясняется тем, что граф описывает поведение системы совместно с функционированием обслуживающего органа, то есть он описывает функционирование системы массового обслуживания.

3. Граф, не содержащий поглощающих состояний, описывает поведение восстанавливаемой системы при неограниченном ремонте, то есть описывает поведение системы, функционирующей бесконечно долго.

Дифференциальные и алгебраические уравнения, как правило, составляются с использованием графа переходов и состояний. Решая эти уравнения можно найти любую количественную характеристику рассматриваемой системы. Однако данный способ описания функционирования распределительных электрических сетей имеет ряд существенных недостатков. Он не обладает наглядностью и требует громоздких вычислений при определении количественных характеристик даже сравнительно простых схем. Анализ надежности сложных схем (сотни уравнений) вызывает серьезные трудности.

Интегральные уравнения позволяют работать с исходными данными, имеющими любые законы распределения. Описание функционирования системы с произвольными законами распределения времени до отказа и времени восстановления элементов состоит из следующих этапов [1]:

1. Определяются все состояния системы и переходы между ними.
2. Для каждого состояния определяется вектор состояний элементов системы.
3. Вводится неизвестная функция, соответствующая каждому состоянию системы.
4. Составляется система интегральных уравнений.

Установлено, что это самый универсальный метод описания функционирования. Однако даже для простых графов получаются громоздкие выражения, а решение системы интегральных уравнений, даже с использованием ЭВМ, довольно трудоемкая задача. Поэтому данный способ описания функционирования не нашел, в настоящее время, широкого практического применения.

Анализируя достоинства и недостатки всех способов описания функционирования рассмотренных выше можно сделать следующие выводы:

1. Граф переходов и состояний является наиболее универсальным способом описания функционирования распределительных электрических сетей.

2. Интегральные, дифференциальные и алгебраические уравнения сами по себе не могут выступать как наглядный способ описания функционирования распределительных электрических сетей, однако, как было отмечено выше, они могут эффективно дополнять граф переходов и состояний.

3. Область применения функций алгебры логики – сравнительно простые расчеты, а структурная схема может выступать лишь дополнением к другим, более совершенным способам описания функционирования.

Литература

1. **Половко А.М.**, Гуров С.В. Основы теории надежности. – 2-е изд., перераб. и доп. СПб.: БХВ – Петербург, 2006. – 704с.

А.Ф. СОРОКИН, к.т.н., доцент,
А.П. МОГИЛЕНКО, к.т.н.,
Т.Ю. МИНГАЛЕВА, инженер
(ИГЭУ)

Расчет деформации импульсов перенапряжений при распространении вдоль проводов ЛЭП

В основу расчета положен ранее предложенный метод определения тока молнии при прямом ударе в горизонтальный провод. При поражении молнией одного из проводов многопроводной линии электропередачи на соседних фазах и грозозащитных тросах наводятся заряды, которые влияют на потенциал пораженного провода и интенсивность ионизационных процессов вокруг него. Предлагается методика, позволяющая определить параметры импульса перенапряжения на воздушной линии электропередачи (ВЛЭП) в месте поражения молнией одного из проводов многопроводной системы и на любом удалении от него.

В результате стримерной короны форма импульсов при движении деформируется - максимальное напряжение снижается, а фронт удлиняется. Стримеры, распространяющиеся со скоростью $v_{стр}$, переносят часть заряда провода в окружающее пространство и вокруг провода формируется объемный заряд. Внедрение заряда происходит в основном за счет перемещения электронов в каналах стримеров и продолжается до тех пор, пока существует разность потенциалов между проводом и кончиками стримеров. Принимается, что внедренный стримерами объемный заряд концентрируется на поверхности цилиндра, соосным с проводом. Радиус цилиндра равен длине стримеров.

В расчетах определяется заряд, который внедряется в окружающее пространство в месте удара молнии и на всех участках провода при распространении импульса перенапряжения численно через малые интервалы времени Δt . Решение задачи проводится по уравнению баланса изменения энергии электромагнитной волны на каждом отдельном участке провода ВЛЭП при внедрении объемного заряда $q_{внij}$ за расчетный интервал времени Δt и энергии, расходуемой на внедрение этого заряда. Работа, связанная с перемещением этого заряда, зависит от напряженности поля вдоль канала развивающегося стримера – E .

Собственные потенциальные коэффициенты объемного заряда, внедренного вокруг провода, рассчитываются как для металлического цилиндра над землей с соответствующими радиусами. Однако такое представление вступает в противоречие с теоремой Гаусса. Поэтому

предлагается рассчитывать потенциальные коэффициенты объемного заряда с поправочным коэффициентом - K .

Поэтапное решение уравнения баланса энергий для различных участков провода позволяет получить распределение тока и напряжения вдоль пораженной линии. В процессе расчета учитывалось, что по мере удлинения стримеров и переноса заряда провода в окружающее пространство напряженность поля на границе зоны ионизации и вдоль каналов стримеров уменьшается.

Результаты расчетов формы распространяющихся импульсов сопоставлены с литературными данными, полученными в результате экспериментальных исследований. Наилучшее согласование расчетных и экспериментальных данных наблюдается при снижении емкости объемного заряда $K = 7$. Проведен анализ влияния конструкции ВЛЭП на интенсивность искажения импульсов грозových перенапряжений.

УДК 621.316.925

В.А. ШУИН, д.т.н., профессор,
А.И. КУЛЕШОВ, к.т.н., доцент,
М. АЛЬ ХОМИДИ, маг.
(ИГЭУ)

Математическая модель для исследования режимной надежности электроэнергетической системы Республики Йемен

Введение. Режимная надежность функционирования – одно из основных свойств электроэнергетических систем (ЭЭС). Режимная надежность ЭЭС обеспечивается соответствующим ведением режимов и управлением развитием энергосистемы за счет формирования структуры, выбора средств автоматического и оперативного управления ЭЭС [1].

На рис. 1 приведена структура генерирующей части и системообразующей сети ЭЭС Республики Йемен.

Основной системообразующей сетью ЭЭС Республики Йемен является электрическая сеть напряжением 132 кВ. В структуру генерирующей части ЭЭС входят 3 ТЭС (Раскатнип, Алмаха и Хисва) с установленной мощностью $P_{Г} = 125 \dots 160$ МВт, 3 дизельные электростанции – ДЭС (Алхали, Сана, Таиз) с $P_{Г} = 14 \dots 100$ МВт и новая парогазовая электростанция Сафер с установленной на данном этапе мощностью $P_{Г} = 240$ МВт, связанная с электрической сетью 132 кВ через подстанцию Сана двумя ВЛ-400 кВ.

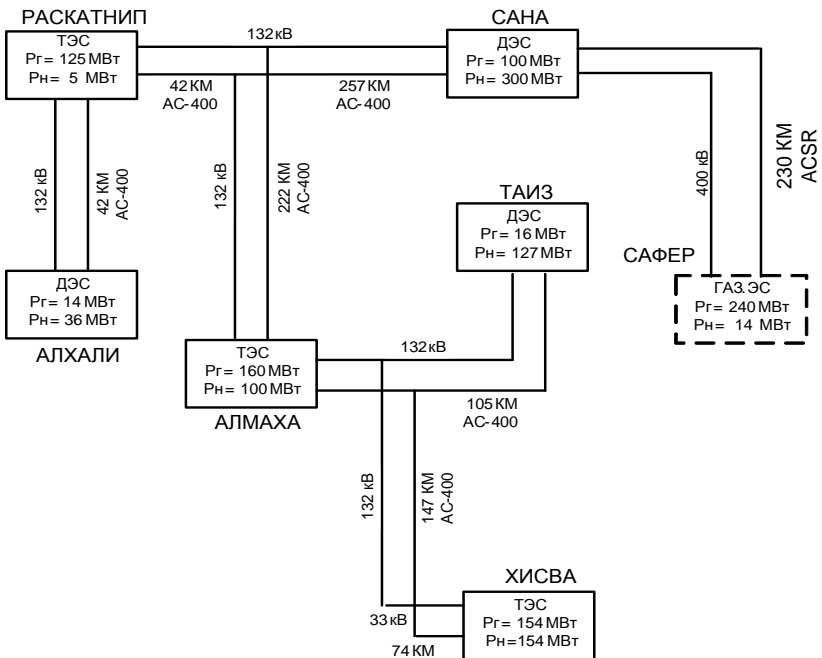


Рис. 1. Схема связей между электростанциями Республики Йемен

Особенностями ЭЭС Республики Йемен являются:

- большая протяженность (до 250 и более километров) воздушных линий (ВЛ) электропередачи основной системообразующей сети 132 кВ;
- относительно небольшая мощность и ограниченное число электростанций в структуре генерирующей части ЭЭС;
- прогнозируемый быстрый рост мощности нагрузок в городах Республики Йемен (прежде всего, в узлах Сана, Хисва, Таиз – рис. 1);
- в перспективе до 2025 г. увеличение потребляемой активной мощности в основном будет покрываться за счет увеличения P_g ЭС Сафер.

Указанные особенности создают возможность перегрузки связей по сечениям, возникновения недопустимых отклонения напряжения в узлах, нарушения статической устойчивости, уменьшающих режимную и оперативную надежность ЭЭС. Поэтому исследование режимов работы ЭЭС Республики Йемен является в целях разработки методов и средств повышения ее режимной надежности является актуальной задачей.

Наиболее эффективным методом решения указанной задачи является математическое моделирование. Для разработки математической модели ЭЭС Республики Йемен в данной работе применен программный

комплекс «Энергия», предназначенный для расчета и анализа установившихся режимов работы ЭЭС [2].

При разработке математической модели ЭЭС Республики Йемен использованы реальные исходные данные по режимам работы электростанций и параметрам элементов электрических сетей 132 и 400 кВ. Для проверки адекватности и достоверности расчетов режимов ЭЭС с использованием разработанной модели была осуществлена ее настройка по параметрам реального режима на определенную дату 2010 г. Сравнение реальных данных и расчетных величин перетоков мощности по ВЛ сети 132 кВ и напряжений в узлах подтвердило достоверность и достаточную точность результатов расчета режимов с использованием разработанной модели: расхождение расчетных и реальных значений перетоков мощности и напряжений в узлах не превышает 5%.

Литература

1. **Методы** и модели исследования надежности электроэнергетических систем / Н.А. Манов, М.В. Хохлов, Ю.Я. Чукуреев и др. – Сыктывкар, 2010 (Коминаучный центр УрО РАН).
2. **Кулешов А.И.**, Прахин Б.Я. Расчет и анализ установившихся режимов электроэнергетических систем на персональных компьютерах: Учеб. пособие / Ивановск. гос. энерг. ун-т. – Иваново, 2005.

СЕКЦИЯ «НАДЕЖНОСТЬ, ЭФФЕКТИВНОСТЬ И ДИАГНОСТИКА ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ СТАНЦИЙ И ЭНЕРГОСИСТЕМ»

УДК 621.311.2

А.Н. НАЗАРЫЧЕВ, д.т.н., профессор
(ИГЭУ),
Е.В. БРОДИН, инженер, (НПО ИТ),
А.Ю. БЛУДОВ, инженер, (Новая Энергетика)

Разработка комплекса непрерывного контроля параметров воздействия эксплуатационных факторов на электрооборудование

Надежность и эффективность работы электрооборудования систем энергетики определяется его техническим состоянием, которое может быть установлено с помощью различных технических средств и методов диагностики, путем непосредственного или косвенного измерения физических величин и параметров, характеризующих его работоспособность.

В процессе эксплуатации электрооборудования электрических станций, подстанций и сетей происходит ухудшение его технического состояния под действием физико-химических процессов износа и старения, что приводит к снижению показателей эффективности работы и возрастанию вероятности отказа. Значение показателей технического состояния должны находиться в установленных границах, заданных нормативными документами, в течении всего срока службы электрооборудования. Для поддержания нормативно-технических показателей на необходимом уровне используется система плано-предупредительных ремонтов, которая предполагает проведения технического обслуживания и ремонта в строго регламентированные сроки по типовым нормативам, установленным для каждого электрооборудования [1].

Все эксплуатационные факторы воздействующие на электрооборудование, по своей физической природе могут быть условно подразделены на четыре группы:

- тепловые (связанные с нагревом узлов электрооборудования);
- электрические (связанные с изменением напряженности внешнего и внутреннего электрического поля электрооборудования);
- механические (связанные с механическим износом);
- химические (связанные с химическими процессами, протекающими в материалах электрооборудования).

Использование непрерывного контроля позволяет применить новый подход к обслуживанию электрооборудования, в основе которого лежит непрерывный анализ текущего состояния, производить обслуживание в тот момент, когда технические параметры или характеристики оборудования выходят за пределы заданных значений. Это полностью соответ-

ствуется тенденция во всем мире перехода от плановой системы обслуживания к предупредительной. Данный принцип позволяет исключить аварийные ситуации и соответственно повысить надежность работы, реально увеличить срок службы электрооборудования и снизить текущие и эксплуатационные расходы.

Для системы предупредительного технического обслуживания необходима непрерывная, достоверная информация, как о текущих состояниях, так и о динамике изменения эксплуатационных характеристик.

В качестве устройства для сбора, обработки, хранения и передачи данной информации был разработан беспроводной комплекс контроля параметров воздействия эксплуатационных факторов на электрооборудование. Комплекс состоит из следующих приборов:

- базовая станция;
- датчик контроля температурно – влажностного режима;
- датчик контроля вибрации;
- датчик контроля сухих контактов (положение выключателя, срабатывание защит);
- датчик контроля тока и напряжения.

Данный вариант построения комплекса обладает следующими преимуществами:

- удобство в эксплуатации;
- более высокая надежность, за счет отсутствия соединительных разъемов;
- высокая гибкость (схема расположения датчиков не лимитируется длинами кабелей);
- возможность вводить в состав комплекса новые типы датчиков, без аппаратной доработки существующих приборов.

Связь между базовой станцией и беспроводными датчиками осуществляется в диапазоне 433 МГц. Дальность связи между базовой станцией и беспроводным датчиком - не менее 50 метров. Каждый датчик имеет уникальный адрес в диапазоне 1–255. Передача данных осуществляется по принципу запрос – ответ. Таким образом, каждая базовая станция может обслуживать до 255 беспроводных датчиков. Данные от беспроводных датчиков, полученные базовой станцией, могут быть переданы в диспетчерский пункт через GSM/GPRS канал, либо накапливаться в базовой станции в режиме автономной регистрации. Кроме того, базовую станцию можно использовать в качестве контроллера, формирующего сигнал «аварийная ситуация», с выдачей его на исполнительные органы объекта, в случае выхода параметров за пределы допуска.

Беспроводные датчики могут осуществлять предварительную обработку измеренных величин, с целью минимизации передаваемой от них на базовую станцию информации.

Датчики устанавливаются на объект с помощью магнитного крепления, выполненного на основе редкоземельных магнитов.

Комплекс обладает следующими характеристиками:

- дальность связи между базовой станцией и беспроводным датчиком: не менее 50 м;
- время автономной работы беспроводных датчиков: не менее 20 суток;
- масса беспроводных датчиков: не более 250 г;
- частотный диапазон: 433 МГц;
- выходная мощность радиопередающих устройств: не более 10 мВт;
- возможность работы комплекса как в автономном режиме, так и с выдчей данных на внешнюю систему.

Разработанный комплекс контроля воздействия эксплуатационных факторов на электрооборудование позволяет определять техническое состояние электрооборудования с учетом воздействия тепловых и электрических факторов, а при минимальной доработке и механических и химических.

Литература

1. **Назарычев А.Н., Андреев Д.А.** Методы и математические модели комплексной оценки технического состояния электрооборудования / Иван. гос. энерг. ун-т. - Иваново, 2005. - 224 с.

УДК 621.313

В.А. САВЕЛЬЕВ, д.т.н., профессор
(ИГЭУ),
Е.С. НАЗАРОВА, инженер
(ЗАО ЭнергоПроект, г. Санкт-Петербург)

Исследование колебательных процессов на автономной электростанции с мощными дизель-генераторами

Около 70 % территории России расположено в труднодоступных районах, где проживает 18 % населения. В этих районах для электроснабжения используются в основном дизельные электрические станции (ДС) малой и средней мощности. Дизельные станции сжигают десятки тысяч тонн дизельного топлива в год. Его стоимость составляет более 600 \$ за тонну, а цена отпускаемой электроэнергии достигает 25 руб./кВт·ч.

На таких станциях могут параллельно работать дизель-генераторы (ДГ) имеющие различные параметры, характеристики и системы автоматического регулирования. На ДЭС с тихоходными ДГ большой мощности (10—20 МВт) могут возникать низкочастотные колебательные процессы, обусловленные совпадением оборотной частоты дизеля с собственной частотой колебаний ротора генератора. Это в свою очередь приводит к колебаниям электромагнитной мощности и напряжения на шинах стан-

ции. В настоящее время колебания снижают за счет увеличения массы, т.е. механической инерционной постоянной, что значительно утяжеляет и удорожает конструкцию генератора.

Для исследования данной проблемы была разработана эквивалентная схема и компьютерная модель автономной ДС общей мощностью 100 МВт состоящей из ДГ мощностью от 2,1 до 18 МВт каждый. Численные эксперименты выполнялись в среде объектно-ориентированного программирования Dymola. На рис. 1 приведены изменения электромагнитного момента $M_3(t)$ ДГ для разных инерционных постоянных времени T_j .

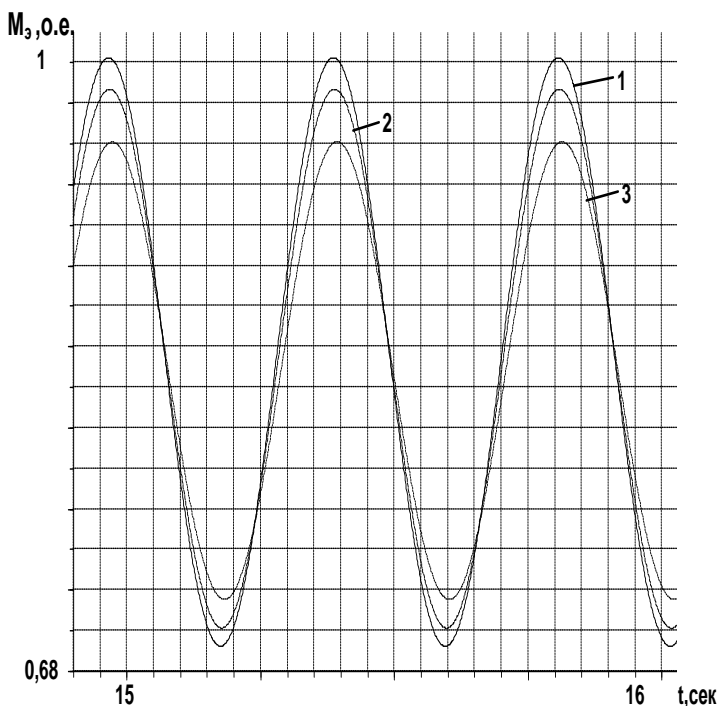


Рис. 1. Влияние инерционной постоянной времени дизель-генератора на его электромагнитный момент: 1 – $T_j = 4,78$ с; 2 – $T_j = 4,78$ с; 3 – $T_j = 5,3$ с

Количественная оценка полученных данных показала возможность уменьшения амплитуды электромагнитного момента ДГ примерно на 25-30% при увеличении его электромагнитной постоянной времени на 10%. Результаты исследований показали также, что могут возникать значи-

тельные амплитуды колебаний электромагнитной мощности генераторов. Для их устранения на следующем этапе исследовалось эффективность ввода дополнительного сигнала в систему возбуждения пропорционального производной тока статора генератора. График рис. 2 иллюстрирует влияние сигнала управления, пропорционального производной статорного тока на электромагнитный момент дизель-генератора $M_3(t)$.

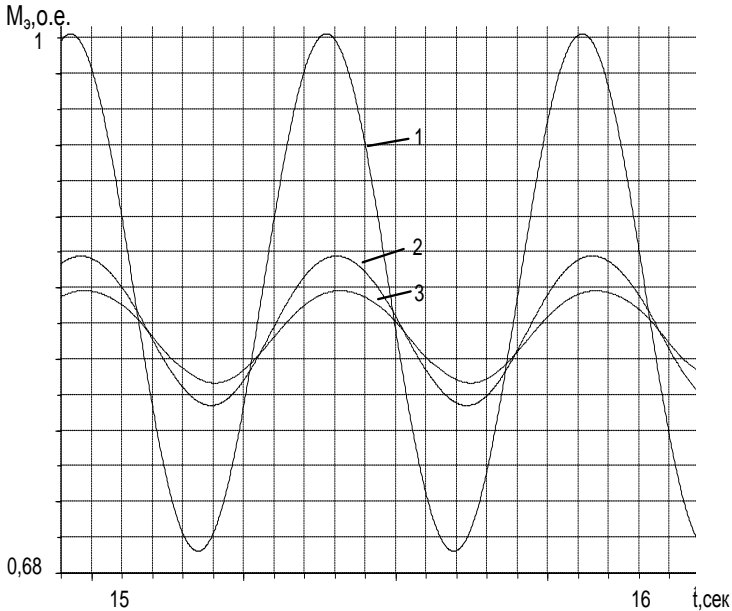


Рис. 2. Влияние сигнала управления, пропорционального производной статорного тока на электромагнитный момент дизель-генератора:
1- $K_{is}=0$; 2 - $K_{is}=10$ ед.; 3- $K_{is}=20$ ед.

Применение в системе возбуждения канала управления по производной тока статора со значениями порядка $-10-20$ ед. обеспечивает уменьшение амплитуды электромагнитного момента до 70%. Однако сигналы регулирования возбуждения, обеспечивающие заметное подавление колебаний электромагнитной мощности генератора, приводят к недопустимому возрастанию колебаний напряжения на шинах электростанции.

Для определения возможностей подавления указанных выше колебаний и обеспечения заданных уровней напряжения был выполнен анализ частот колебаний и степень демпфирования в установившихся режимах работы, а также влияние настроек системы регулирования возбуждения генератора. Установлено, что подавление колебаний возможно

за счет оптимизации конструкции демпферной системы генератора и использования дополнительных сигналов управления для регулирования тока возбуждения.

Разработаны рекомендации по настройке системы регулирования возбуждения и применению в них дополнительных каналов регулирования синхронного генератора с приводом от тихоходного дизеля, предназначенного для установки на автономной многоагрегатной дизельной электростанции.

На основе анализа полученных результатов, характеризующих недопустимые амплитуды колебаний электромагнитной мощности генераторов, проведено исследование эффективности дополнительных сигналов управления возбуждением (в частности, сигнала управления, пропорционального производной статорного тока генератора), обеспечивающих подавление колебательных процессов. График рис. 2 иллюстрирует влияние сигнала управления, пропорционального производной статорного тока на электромагнитный момент дизель-генератора $M_0(t)$. Применение в системе возбуждения канала управления по производной тока статора за значениями порядка $-10-20$ ед. обеспечивает уменьшение амплитуды электромагнитного момента до 70%. Однако в ходе выполнения исследований было выяснено, что сигналы регулирования возбуждения, обеспечивающие заметное подавление колебаний электромагнитной мощности генератора, приводят к недопустимому возрастанию колебаний напряжения на шинах электростанции. Следовательно, выбор значений коэффициентов регулирования должен являться результатом оптимизации параметров системы регулирования.

В результате выполнения работы разработаны рекомендации по исполнению системы регулирования возбуждения и применению дополнительных каналов регулирования синхронного генератора с приводом от тихоходного дизеля, предназначенного для установки в автономной многоагрегатной системе энергоснабжения.

А.Ю. ХРЕННИКОВ, д.т.н., профессор
Р.В. МАЖУРИН, гл. эксперт
ОАО «Федеральная Сетевая компания
Единой Энергетической Системы», г. Москва

Анализ причин аварийности высоковольтных трансформаторов тока и напряжения в электрических сетях и предлагаемые мероприятия по ее снижению

В свете событий последних лет и даже месяцев мы можем повсеместно наблюдать ряд глобальных изменений, связанных с природными явлениями, последствия которых не лучшим образом сказываются на состоянии объектов электроэнергетики, и при этом нет никаких гарантий, что в будущем влияние этих факторов снизится. В частности, участились отказы оборудования по причине воздействия нерасчетных тепловых нагрузок наряду с большим процентом его износа. Так, в филиалах ОАО «ФСК ЕЭС» МЭС в связи с длительным периодом аномально высоких температур 2010 года произошел ряд повреждений измерительных трансформаторов тока и напряжения. Максимальные температуры в центральных и южных регионах России летом 2010 года достигали значений до + 34,2 градусов в тени и до +42 градусов на солнце. Анализ повреждений ТТ и ТН также указывает на их подверженность воздействию повышенной температуры. Максимум аварийности ТТ и ТН приходится на период с мая по сентябрь и хорошо коррелируется со среднегодовым графиком температуры .

Также участились случаи негативного влияния низких температур на данное оборудование. Наиболее типичное – уход масла из его полости, обусловленный негерметичностью соединений, которая появляется вследствие эффекта теплового расширения в совокупности с естественной изношенностью уплотнений. Но данный вид дефекта в большинстве случаев заблаговременно обнаруживается персоналом с принятием соответствующих мер и не приводит к аварийным ситуациям. Не лишним будет упомянуть про применение современного элегазового оборудования, в том числе зарубежных фирм. Данное оборудование стало устанавливаться сравнительно недавно, но при этом уже имеется ряд прецедентов, связанным со снижением давления элегаза вследствие потери герметичности в условиях низких температур.

Наибольшую долю в списке технических причин повреждения ТТ составляют пробой изоляции (52%), межвитковые замыкания (32%).

Среди конструктивных недостатков высоковольтного измерительного оборудования следует, прежде всего, отметить следующее:

- ТРН (ТФРМ): из-за недостаточной герметизации, происходит постепенное увлажнение изоляции, приводящее к увеличению диэлектрических потерь. При резком изменении температуры может происходить выделение растворенного воздуха в свободную газовую фазу в виде пузырьков, в которых развиваются критические частичные разряды, приводящие к пробоям бумажно-масляной изоляции. Возможен и другой механизм пробоя, связанный с переходом влаги из увлажненной бумаги в масло при резком изменении температуры. При этом возможно выделение влаги в свободное состояние, и развитие критических частичных разрядов. Как правило, оба указанных механизма развиваются одновременно;

- ТФУМ, ТФКН: слабым местом является узел крепления U-образной обмотки, что при воздействиях внешних коротких замыканий от динамических усилий приводит к деформации твердой изоляции и последующему развитию частичных разрядов, ускоряющих износ изоляции в указанных местах;

- ТФН, ТФЗМ: повреждения, как правило, связаны с общим старением изоляции вследствие длительного срока эксплуатации [1, 2].

Вместе с тем, аварии трансформаторов тока и напряжения приводят к весьма тяжелым последствиям. Практически всегда имеют место факты возгорания. Также, при аварии, ввиду большого радиуса разлета осколков, нередко повреждается соседнее оборудование [3-8].

На основании приведенного анализа, в целях предотвращения повреждений измерительных трансформаторов тока и напряжения предлагаются следующие мероприятия по снижению числа их отказов:

1. Обеспечить учащенный контроль в расширенном, по сравнению с «объем и нормы испытаний электрооборудования» Рд 34.45-54.300-97 объеме, измерительных трансформаторов тока и напряжения с длительным (более 20 лет) сроком эксплуатации или с характеристиками, превышающими или близкими к предельным значениям, перед ремонтной компанией и особыми периодами эксплуатации [3-7].

2. Организовать тепловизионный контроль Тт и Тн не реже 2-х раз в год, а в период аномально высоких температур не реже 1-го раз в месяц. Конкретно для данного оборудования тепловизионное обследование необходимо проводить в ночное время, не ранее, чем спустя 2 часа после захода солнца. Это связано с тем, что трансформаторы тока и напряжения имеют различные коэффициенты поглощения теплового излучения. Для последующего сравнения необходимо сохранять все термограммы, в том числе оборудования, на котором дефекты не обнаружены.

3. Проводить для всех Тт (Тн) начиная с класса напряжения 110 кВ и выше контроль состояния трансформаторного масла в объеме сокращенного химического анализа, дополнительно выполнять анализ масла на влагосодержание. выполнять хроматографический анализ масла (харг) в том числе кислорода и азота. при харг и анализе влагосодержания в обязательном порядке фиксировать температуру масла при отборе.

4. Проводить для ТТ, начиная с класса напряжения 110 кВ и выше, находящимися в эксплуатации 20 и более лет, измерение тангенса угла диэлектрических потерь ($\text{tg}\delta$) тремя измерениями, с применением испытательного напряжения 1 кВ, 5 кВ, 10 кВ. Это обусловлено тем, что применяемые сертифицированные испытательные комплексы (например, установка «Тангенс-2000»), как правило, не позволяют применить испытательное напряжение выше 10 кВ, а в некоторых случаях его недостаточно для выявления дефекта. В случае трех измерений на «здоровом» ТТ значение $\text{tg}\delta$ будет постоянным (разница показаний прибора будет в тысячных долях процента вследствие его погрешности), а если ТТ имеет дефект изоляции, то значение $\text{tg}\delta$ может изменяться на порядок и более. Само по себе изменение значения $\text{tg}\delta$ не повод браковать оборудование, тем более, если его значение укладывается в нормы, но это повод для проведения испытаний в полном объеме по РД 34.45-54.300-97, а также других руководящих документов. Также, при производстве данного вида испытаний, необходимо приведение температуры

5. Проводить для ТТ, начиная с класса напряжения 110 кВ и выше, снятие характеристики намагничивания для выявления наличия короткозамкнутых витков.

6. Проводить для ТН, начиная с класса напряжения 110 кВ и выше, измерения сопротивления первичной и вторичных обмоток.

7. Организовать при превышении нормативов по влагосодержанию и газосодержанию масла, или при пониженном пробивном напряжении, испытания в полном объеме по РД 34.45-54.300-97. После комплексного анализа результатов испытаний ввод в работу осуществлять с разрешения технического руководителя предприятия. Также следует уделить особое внимание процессу отбора масла на анализ – применяемая технология, оборудование, тара, сроки хранения масла до момента анализа и т.д.

8. Проводить контроль интенсивности частичных разрядов в изоляции ТТ начиная с класса напряжения 330 кВ и выше (электрическим или акустическим методом) [1-5].

9. Для трансформаторов напряжения дополнительно необходимо выполнение следующих мероприятий:

- отключение при превышении напряжения на вторичных обмотках на 15% от номинального или при наличии небаланса 15% между фазами, свидетельствующем о развивающемся дефекте;

- анализ схем подстанций с целью выявления возможных феррорезонансных перенапряжений и разработки специальных мероприятий по их предотвращению.

10. Производить введение в работу после длительного хранения трансформаторов тока типа ТФРМ 330-750 кВ только после выполнения требований циркуляра Ц-03-200Ц (Э) РАО «ЕЭС России» «Об испытаниях

трансформаторов тока ТФРМ 330-750 кВ перед вводом в эксплуатацию после длительного хранения» от 23 октября 2001 г.

11. Вносить соответствующие корректировки в целевые программы замены ТТ и ТН, выработавших нормативный срок службы и имеющих тенденцию к ухудшению характеристик.

12. Вести единую информационную базу по статистике отказов вновь устанавливаемого оборудования с разработкой мероприятий по их предупреждению.

Литература

1. **Гречко О.Н.**, Курбатова А.Ф. Опыт диагностики маслонаполненных измерительных трансформаторов 110-750 кВ//Сборник докладов научно-технического семинара "Методы и средства оценки состояния энергетического оборудования", Выпуск 20. ПЭИПК, С.-Петербург - 2002 г., с. 167-173.
2. **Гречко О.Н.**, Курбатова А.Ф. Проблемы эксплуатационной диагностики состояния маслонаполненных измерительных трансформаторов 110-750 кВ//Сборник докладов научно-технического семинара "Методы и средства оценки состояния энергетического оборудования", Выпуск 11. ПЭИПК, Екатеринбург-С.-Петербург - 2000 г., с. 329-336.
3. **Сви П. М.** Методы и средства диагностики оборудования высокого напряжения - М.: Энергоатомиздат, 1992. С.20.
4. **Голоднов Ю. М.** Контроль за состоянием трансформаторов - М.: Энергоатомиздат, 1988. С. 7-36.
5. **Хренников А.Ю.**, Чичинский М.И. Рекомендации по расследованию технологических нарушений, диагностике и выявлению повреждений маслонаполненных силовых и измерительных трансформаторов// М: - ИПК госслужбы. – 2008. - 38 с.
6. **Бузаев В.В.**, Сапожников Ю.М., Дарьян Л.А. Уточнение коэффициентов растворимости, содержащихся в трансформаторных маслах газов, используемых для оценки состояния высоковольтного маслонаполненного электрооборудования//Электрические станции - № 12. - 2006.
7. **Хренников А.Ю.**, Гольдштейн В.Г. Техническая диагностика, повреждаемость и ресурсы силовых и измерительных трансформаторов и реакторов// Монография, Энергоатомиздат, М. -2007., 286 с., ил.
8. **Хренников А.Ю.**, Гольдштейн В.Г., Назарычев А.Н. Диагностические модели для оценки технического состояния электрооборудования электростанций и подстанций //Промышленная энергетика, 2010, № 10.

Оценка риска возникновения феррорезонанса в ремонте состоянии схем энергообъектов

Требования надежного электроснабжения потребителей определяют необходимость исследования режимов работы электрических систем, приводящих к повреждению электрооборудования на электрических станциях и подстанциях и недоотпуску электроэнергии, с целью разработки мероприятий по их предотвращению и ликвидации. Одной из причин возникновения таких режимов являются феррорезонансные явления.

Феррорезонансные явления возникают в результате взаимодействия нелинейных индуктивностей намагничивания магнитопроводов трансформаторов с емкостями электрооборудования распределительных устройств. Они появляются в электроустановках при оперативных переключениях, неполнофазных включениях и перемежающихся дуговых замыканиях на землю. При протекании феррорезонансных явлений возникают длительные перенапряжения на шинах распределительных устройств, опасные для разрядников и ограничителей перенапряжений, и токовые перегрузки обмоток электромагнитных трансформаторов, под действием которых повреждается изоляция, и образуются межвитковые замыкания. Это приводит к взрывам измерительных трансформаторов и пожарам в распределительных устройствах электрических станций и подстанций.

В электрических цепях при последовательном или параллельном соединении нелинейной катушки индуктивности и емкостного элемента при плавном изменении напряжения или тока источника питания наблюдается явление скачкообразного изменения соответственно тока в цепи или напряжения на элементах цепи. В электротехнике такие явления называются феррорезонансными [1, 2].

В разветвленных цепях с различной схемой соединения нелинейных катушек и конденсаторов возникают более сложные явления, которые невозможно рассматривать отдельно как феррорезонанс напряжений или токов. В общем случае феррорезонансные явления характеризуются скачкообразным переходом из режима сильного насыщения сердечника ферромагнитной катушки индуктивности в слабонасыщенный режим или наоборот. При этом возникают скачки напряжения и тока в обмотке нелинейной катушки. Если обмотка катушки не рассчитана на работу в режиме сильного насыщения, то перенапряжения и протекание через обмотку токов, превышающих предельно допустимый ток, могут привести к тепловому разрушению изоляции обмотки и витковым замыканиям.

В электроэнергетике феррорезонансные явления, возникающие в электрических сетях при образовании схем с электромагнитными трансформаторами и емкостями сети. Такие явления характеризуются длительными перенапряжениями и токовыми перегрузками обмоток трансформаторов, что обусловлено скачкообразным насыщением магнитопроводов. Так как измерительные трансформаторы не рассчитаны на длительную работу в режиме сильного насыщения, то происходит их повреждение. Возникающие при этом перенапряжения также опасны для измерительного оборудования и средств защиты силового оборудования.

В настоящее время разработано достаточно большое количество мер предотвращения феррорезонансных режимов для нормального состояния схем распределительных устройств энергообъектов.

Однако при ремонтном состоянии схем электрических соединений могут возникать условия возникновения феррорезонанса. На основе анализа ремонтных режимов для различных схем электрических соединений получен и оценен риск повреждения измерительных трансформаторов.

Проведенные исследования будут способствовать обеспечению надежности и безопасности распределительных устройств электростанций и подстанций.

Литература

1. **Зевеке Г.В.**, Ионкин П.А., Нетушил А.В., Страхов С.В. Основы теории цепей. - М.: Энергоатомиздат, 1989. - 528с.
2. **Бессонов Л.А.** Нелинейные электрические цепи. - М.: Высшая школа, 1977. - 343с.

УДК 621.311

А.В. ПАСКАЗЧИКОВ, к.т.н., доцент
(ИГЭУ)

Проектирование заземляющего устройства электроустановок по напряжению прикосновения

Заземляющие устройства распределительных устройств на напряжения 110 кВ и выше следует выполнять с соблюдением требований либо к их сопротивлению, либо к напряжению прикосновения, а также с соблюдением соответствующих требований к конструктивному выполнению и к ограничению напряжения на заземляющем устройстве [1, п.1.7.88]. Наиболее часто используется расчёт заземляющего устройства с применением напряжения прикосновения. Регламентируются предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов, протекающих через тело человека (табл. 1) [2]. В той редакции ГОСТ уменьшены допустимые значения напряжений на человеке по сравнению с предыдущей редакцией.

Таблица 1. Предельно допустимые напряжения прикосновения

Продолжительность воздействия, с	0,01-0,08	0,2	0,3	0,5	0,7	0,8	1,0	>1
Допустимое напряжение прикосновения, В	550	160	135	105	85	75	60	20

Определение напряжения прикосновения на человеке производится по выражению

$$U_{\text{пр}} = K_{\text{п}} I_{\text{з}} R_{\text{з}}, \quad (1)$$

где $K_{\text{п}}$ – коэффициент прикосновения, $I_{\text{з}}$ – ток однофазного короткого замыкания на землю, $R_{\text{з}}$ – сопротивление заземляющего устройства. При этом $K_{\text{п}}$ равно

$$K_{\text{п}} = \alpha \beta, \quad (2)$$

где α – коэффициент распределения потенциала по поверхности земли, β – коэффициент, учитывающий напряжение на человеке [3].

Коэффициент α при отсутствии вертикальных заземлителей рассчитывается по выражению (3), а при использовании вертикальных заземлителей по выражению (4)

$$\alpha = \frac{\rho_{\text{э}}}{R_{\text{з}} \sqrt{S}} 0,22 L g \left(0,88 \sqrt{\frac{S}{dt}} \right) \left(\frac{b}{\sqrt{S}} \right)^{0,6}, \quad (3)$$

$$\alpha = M \left(\frac{a \sqrt{S}}{l L} \right)^{0,45}, \quad (4)$$

где b – ширина модельной ячейки, $\rho_{\text{э}}$ – эквивалентное удельное сопротивление земли, S – площадь заземляющего устройства, d – диаметр горизонтальных заземлителей, t – глубина заложения горизонтальных заземлителей, M – отношение удельного сопротивления верхнего слоя грунта к удельному сопротивлению нижнего слоя грунта, a – расстояние между вертикальными заземлителями, l – длина вертикального заземлителя, L – длина всех горизонтальных заземлителей.

Коэффициент β определяется по выражению

$$\beta = \frac{1000}{1000 + 16h \frac{\rho_{\text{п}}}{\rho_{\text{ст}}} + R_{\text{ст}}}, \quad (5)$$

где $h_{\text{п}}$ – толщина поверхностного слоя грунта; $\rho_{\text{п}}$ – удельное сопротивление поверхностного слоя грунта; $R_{\text{ст}}$ – сопротивление растеканию тока от ступни человека в землю.

При выполнении заземляющего устройства по величине напряжения прикосновения вертикальные заземлители требуется устанавливать только в местах размещения молниеотводов [1].

Нормируются два значения напряжения прикосновения.

Первое значение напряжения прикосновения определяется по времени срабатывания основной защиты. Если расчётное значение $U_{\text{пр}}$ по выражению (1) окажется больше допустимой величины, то принимаются меры для уменьшения сопротивления заземляющего устройства. Учитываются естественные заземляющие устройства, затем при необходимости увеличивают число горизонтальных полос, а потом дополнительно размещают по периметру заземляющего устройства вертикальные заземлители [4]. Расстояние между вертикальными заземлителями может приниматься по отношению к их длине от 0,5 до 4. При числе ячеек модельного заземляющего устройства с равномерным расположением полос больше 10 применение вертикальных заземлителей становится нецелесообразным [5].

Второе значение $U_{\text{пр}}$ нормируется в местах обслуживания оборудования и определяется по времени срабатывания резервной защиты. В этом случае допустимое напряжение прикосновения на человеке будет равно 20 В (см. табл. 1). Если расчётное значение $U_{\text{пр}}$ по выражению (1) окажется больше допустимой величины, то принимаются меры для его уменьшения. Для этого рекомендуется уменьшить коэффициент β путём увеличения сопротивления поверхностного слоя грунта. Производится подсыпка гравия или асфальтирование в местах обслуживания. Этим способом в большинстве случаев удаётся обеспечить необходимую величину напряжения $U_{\text{пр}}$.

Вертикальные заземлители, расположенные в местах установки молниеотводов, можно учесть как совокупность одиночных заземлителей подключённых к горизонтальным полосам [6].

Выводы

По нормативным документам не требуется выполнение заземляющего устройства с вертикальными заземлителями расположенными по его периметру, хотя, как правило, они устанавливаются при проектировании.

На уменьшение напряжения прикосновения в местах обслуживания оборудования на распределительном устройстве меньше влияет увеличение длины горизонтальных заземлителей, чем повышение удельного сопротивления поверхностного слоя грунта путём насыпки гравия в данных местах.

Литература

1. **Правила** устройства электроустановок / Министерство энергетики Российской Федерации. – 7-е изд. – М. 2000 г.
2. **ГОСТ 12.1.038-2001**. Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновений. – М.: Изд-во стандартов, 2001.
3. **Электрическая** часть станций и подстанций: учеб. для вузов/ А. А. Васильев и др.; под ред. А. А. Васильева. – 3-изд., перераб. и доп. – М.: Энергоиздат, 1990. – 576 с.
4. **Руководящие** указания по проектированию заземляющих устройств электрических станций и подстанций 3 – 750 кВ переменного тока / Министерство энергетики и электрофикации СССР; Энергосетьпроект. – М., 1987 (№12740ТМ – Т1).
5. **Рябкова** Е.Я. Заземления в электроустановках высокого напряжения. – М.: Энергия, 1978 – 224 с.
6. **Карякин** Р.Н.Заземляющие устройства электроустановок. Справочник. – М.: Энергосервис, 2002 – 375 с.

УДК 621.314.222.6045.064.1

В.А. СТЕПАНЕНКОВ, инженер
ОАО «Федеральная сетевая компания
Единой энергетической системы», (г. Москва)

Инновационные решения. Цифровые подстанции

Энергетика Российской Федерации является динамичной и постоянно развивающейся отраслью хозяйства. Осуществляется ввод новых генерирующих мощностей, подключение потребителей, увеличение объемов и числа зарубежных потребителей электроэнергии. Тем самым электрическая сеть укрупняется, а процесс управления распределением электроэнергии становится все более сложным.

С целью «упрощения» процесса передачи и распределения электроэнергии, а также повышения надежности сети и безопасности, как в эксплуатации оборудования ПС, так и при выполнении различного рода ремонтных работ необходим переход от типовых подстанций к цифровым.

В отличие от традиционных энергообъектов, на подстанции нового поколения организация потоков информации при решении задач мониторинга, анализа и управления осуществляется в цифровой форме. Это обеспечивает высокую точность и единообразие всех измерений. Автоматизация позволяет снизить влияние человеческого фактора на работу сети, повысить ее надежность и снизить потери при транспортировке электроэнергии. Также в числе основных преимуществ подобных энергообъектов снижение себестоимости, сокращение объема технического обслуживания и затрат на эксплуатацию.

Цифровая ПС (далее ЦПС) есть симбиоз используемого типового оборудования и новейших достижений цифровой техники. ЦПС укомплектована интеллектуальным вторичным оборудованием, работающим на

едином стандартном протоколе обмена информацией – IEC 61850. В частности, на подстанции установлены высоковольтные цифровые измерительные оптические трансформаторы тока напряжения, многофункциональные приборы измерений и учета, станционная шина и шина процесса, система синхронизации, новая система отображения и управления подстанцией (SCADA). Применение волоконно-оптических кабелей позволяет отказаться от использования дорогостоящих медных проводов и повысить надежность соединений.

Основные характеристики ЦПС:

1. Интеллектуальное первичное оборудование (электронные трансформаторы, интеллектуальные выключатели, онлайнный контроль ремонтного положения).

2. Сетевое вторичное оборудование (сеть MMS уровня для управления подстанцией).

3. Модули объектов оборудования (первичного оборудования, вторичного оборудования, связи).

Для сбора, передачи и обработки информации на ЦПС используются только цифровые сигналы. Для этого применяются волоконно-оптические кабели, обеспечивающие идеальную гальваническую развязку.

Использование цифрового кодирования позволяет:

- уменьшить количество проводов в сети связи
- реализовать функции проверки и исправления ошибок
- исключить появление дополнительных погрешностей
- повысить ЭМС оборудования

Преимущества ЦПС:

1. Упрощение вторичных присоединений (замена большого числа электрических кабелей меньшим количеством ОВ кабеля)

2. Повышение качества измерений (осуществляется передача и обработка цифровых сигналов без дополнительных погрешностей)

3. Повышение надежности передачи информации

4. Проверка CRC, самоконтроль каналов связи

5. Исчезают проблемы насыщения трансформаторов тока (ТТ), обрыва цепей ТТ, феррорезонанса

6. Отпадает необходимость в обслуживании кабелей связи

7. Отсутствует электрическая связь между первичным и вторичным оборудованием

8. Единая информационная платформа (интегрированы системы мониторинга, ТМ, РЗ и ПА, РПН, КРМ и т.п.)

9. Уменьшение размеров централизованных диспетчерских помещений на подстанции (миниатюризация, унификация и гибкость конфигурирования вторичного оборудования).

Используемый в качестве единого стандарт МЭК 61850 позволяет осуществить: стандартизацию и унификацию технологических процессов на подстанции, осуществить переход от аналоговых цепей к дискретным,

увеличение интеллектуальной составляющей в оборудовании подстанции, создание единого информационного пространства подстанции, обеспечение информационной безопасности подстанции.

Вместе с тем опыта построения и эксплуатации ЦПС на территории России практически нет и первым шагом в этом направлении является введение в эксплуатацию первого комплекса экспериментальной цифровой подстанции. Основное назначение – отработка различных инновационных технологий перед их внедрением в работу на действующих энергообъектах ЕНЭС.

Разработка цифровой подстанции ОАО «ФСК ЕЭС» осуществляется в рамках реализации проекта по созданию интеллектуальной электрической сети, который позволит существенно повысить надежность электропитания потребителей, а также снизить энергопотери и расход энергоресурсов.

Литература

1. **HardFiber** – шина процесса согласно МЭК 61850. Брошюра GE Multilink. http://www.gedigitalenergy.com/products/brochures/HardFiber_ru.pdf
2. **Русский перевод** (компания «Комплексные энергетические решения»): Протокол МЭК 61850. Коммуникационные сети и системы подстанций. Общий обзор для пользователей. http://hodjent.narod.ru/DOWNLOAD/IEC_61850.pdf
3. **Сайт** компании ОАО «ФСК ЕЭС» <http://www.fsk-ees.ru>

УДК 621.316

О.Н. КАЛАЧЕВА, к.т.н., доцент
(ИГЭУ)

Исследование режимов нейтрали электрических сетей на компьютерной модели

Современные программные средства персональных компьютеров, например такие, как программа схемотехнического моделирования Electronics Work Bench (EWB), позволяют значительно повысить качество обучения студентов и переподготовку персонала предприятий электроэнергетики на факультете повышения квалификации. При этом процесс обучения приобретает характер научного исследования с предварительной разработкой модели и последующего изучения на ней большого многообразия возможных в эксплуатации режимов. Эти программные средства создают иллюзию физического моделирования, что упрощает усвоение студентами изучаемых режимов сети, так как процесс проведения вычислительного эксперимента на “физической модели” становится простым и наглядным.

Для изучения способов заземления нейтрали сети используется модель, схема которой приведена на рис.1. На схеме переменные ЭДС (E1, E2, E3) моделируют фазные ЭДС источника сети (генератора; трехфаз-

ной обмотки трансформатора). Индуктивности L_1, L_2, L_3 , активные сопротивления R_1, R_2, R_3 и емкости C_A, C_B, C_C моделируют параметры электрически связанной сети от источника до нагрузки, которая, в свою очередь, моделируется с помощью ввода в модель L_4, L_5, L_6 и R_4, R_5, R_6 , так как характер нагрузки обычно активно-индуктивный.

Обучаемым будет предложено по справочной литературе самим определить численные значения настраиваемых параметров модели сети, которые будут зависеть от номинального напряжения сети, протяженности линий электрически связанной сети, вида линий (воздушные или кабельные) и др. для одной конфигурации сети, а также изменить настройку параметров модели в случае изменения конфигурации сети, например при отключении одной или нескольких линий, подключенных к системе шин распределительного устройства. Этот вид работы также носит исследовательский характер и дает студентам знания о конкретных значениях удельных параметров различных сетей различного номинального напряжения и зависимости результирующих параметров модели от конфигурации сети.

Для вариации способов заземления нейтрали, эксплуатационных режимов сети, а также режимов настройки дугогасящего реактора в схему введены дополнительные элементы и несколько переключателей. Дугогасящий реактор в нейтрали представлен в виде трех индуктивностей L_7, L_8, L_9 , причем индуктивность L_7 и L_9 величиной меньше 5% от L_8 . Индуктивности L_7, L_8, L_9 совместно с переключателями K_1, K_2, K_3 позволяют смоделировать и исследовать следующие режимы:

- незаземленная нейтраль сети (переключатель K_1 – отключен);
- глухозаземленная нейтраль сети (переключатель K_1 – отключен, K_8 – включен);
- компенсированная нейтраль с резонансной настройкой компенсации емкостных токов замыкания на землю (ЗНЗ). Переключатели K_1 и K_2 включены, параметры L_8 и L_9 суммарно настроены в резонанс с соответствующими емкостными параметрами C_A и C_B ;
- режим перекомпенсации емкостных токов ЗНЗ (размыкается переключатель K_2 , а K_1 и K_3 остаются в предыдущем положении);
- режим недокомпенсации емкостных токов ЗНЗ (замыкаются переключатели K_2 и K_3 ; K_1 замкнут).

Вышеназванные режимы исследуются как при нормальном режиме электрической сети, так и при однофазном ЗНЗ в фазе С, которое моделируется включением ключа K_7 в комбинации со всеми режимами. Причем, изменением настройки величины активного сопротивления R_7 (имитация смещения ползунка 1 на переменном резисторе) можно задавать различные значения переходного сопротивления в месте повреждения изоляции фазы С на землю. Также можно “устроить” чисто-металлическое короткое замыкание, включив ключ K_9 и закоротив переходное сопротивление в месте замыкания R_7 .

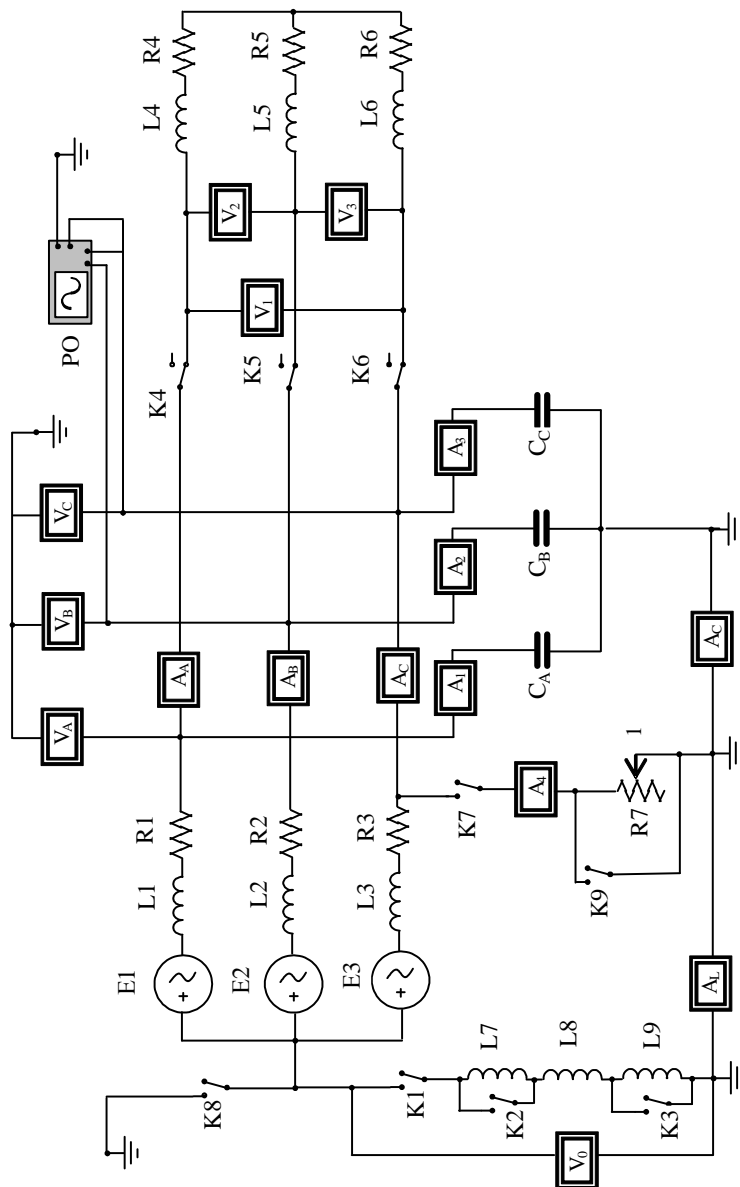


Рис. 1. Модель электрической сети для изучения режимов нейтралей

Ключи К4, К5 и К6 предназначены для имитации режимов продольной несимметрии (обрыва фазного провода; недовключения полюса выключателя) с целью изучения влияния этих эксплуатационных случаев на режимные параметры сети (токи и напряжения).

Для контроля режимных параметров сети в схеме модели установлены контрольно-измерительные приборы амперметры, вольтметры и осциллограф (О). Они должны быть настроены на род тока – “переменный”, на частоту сети – 50 Гц и на соответствующие входные сопротивления (малые – для амперметров; большие – для вольтметров).

По вольтметру V_0 осуществляется контроль напряжения смещения нейтрали сети, а по вольтметрам V_A, V_B, V_C и V_1, V_2, V_3 – контроль фазных и линейных напряжений соответственно.

Амперметры A_A, A_B, A_C и A_1, A_2, A_3 измеряют соответственно фазные токи и емкостные токи каждой фазы на землю. Амперметр A_4 показывает ток в месте замыкания на землю, причем по амперметрам A_L и A_C имеется возможность отдельно контролировать индуктивную и емкостную составляющие тока замыкания.

Осциллограф О имеет возможность записи и последующего анализа двух контролируемых величин напряжения относительно земли, подаваемых на два входа. При изучении данного вопроса интерес представляет контроль изменения фазного напряжения на двух неповрежденных фазах во всех исследуемых режимах на предмет уточнения кратности возможных перенапряжений как в установившихся, так и в переходных режимах сети. Для этого осциллограф подключается к схеме так, как показано на рис.1.

Таким образом рассмотренная компьютерная модель со всеми установленными ключами и приборами представляет собой современный инструмент для изучения режимов нейтралей электрических сетей.

УДК 621.321

В.М. ЛАПШИН, к.т.н., доцент
(ИГЭУ)

Уточнение характеристик эквивалентного электродвигателя собственных нужд

Режим короткого замыкания (КЗ) в электрических цепях системы собственных нужд электрических станций имеет ряд особенностей, связанных с положением расчетной точки КЗ по отношению к источникам энергии, определяющим величину тока КЗ и процесс его изменения во времени.

При КЗ в электрических цепях системы собственных нужд расчетные точки являются удаленными по отношению к синхронным генераторам электростанции и источникам энергии прилегающей к электростанции

части электроэнергетической системы. В то же время расчетные точки КЗ приближены к группе электродвигателей (преимущественно асинхронных с короткозамкнутым ротором), используемых в качестве привода рабочих машин (механизмов) собственных нужд.

Именно с этим явлением связаны определенные трудности как при расчете ТКЗ (особенно токов подпитки места короткого замыкания от группы параллельно включенных электродвигателей), так и при определении термического действия ТКЗ на коммутационные аппараты и токоведущие части в цепи с коротким замыканием.

Основными нормативными документами, регламентирующими методы расчета режима КЗ и его последствий, являются государственные (национальные) стандарты, введенные в действие Федеральным агентством по техническому регулированию и метрологии в 2007 году [1, 2].

С учетом изложенного особый интерес представляет расчетная точка КЗ на зажимах электродвигателя собственных нужд.

Нормативными документами [1, 2] вводятся определенные упрощения, позволяющие облегчить и определение величины тока КЗ, и его термическое действие на элементы электрической цепи в системе собственных нужд, но сохраняющие приемлемую точность расчетов при решении конкретных задач: проверке отключающей способности коммутационных аппаратов, термической стойкости аппаратов и проводников.

К указанным упрощениям относятся следующие:

- эффект теплового спада рекомендуется учитывать только при определении минимального значения тока КЗ (для расчета уставок релейной защиты);

- в качестве расчетной точки КЗ рекомендуется принимать такую точку на расчетной схеме, при КЗ в которой проводник или аппарат подвергаются наибольшему термическому воздействию, то есть в начале кабельной линии;

- при расчетной продолжительности КЗ до 1 секунды процесс нагрева проводника рекомендуется считать адиабатическим, то есть без отдачи тепла в окружающую среду.

Но даже при наличии столь серьезных упрощений и методы расчета ТКЗ, и методы определения греющего импульса ТКЗ – интеграла Джоуля в системе собственных нужд электростанций остаются трудоемкими и сложными. Это, прежде всего, касается тока подпитки от группы асинхронных двигателей и определения интеграла Джоуля именно от этих токов.

Введенные в действие национальные стандарты предлагают к использованию графоаналитические методы определения ТКЗ и интеграла Джоуля к моменту отключения тока КЗ. В сочетании с довольно сложными расчетными выражениями и большим количеством электродвигателей собственных нужд, участвующих в процессе подпитки места КЗ, расчет без применения специальных программных продуктов и ЭВМ становится проблемным.

Именно по этой причине специалисты уже многие годы используют понятие эквивалентного асинхронного электродвигателя собственных нужд, заменяющего в указанных расчетах группу электродвигателей, параллельно включенных на рассматриваемую секцию распределительного устройства 6 кВ.

Еще в 1975 году в первом издании Руководящих указаний по расчету токов КЗ были рекомендованы для использования в практических расчетах параметры эквивалентного асинхронного электродвигателя 6 кВ. Наибольший интерес представляют постоянные времени затухания токов подпитки:

- постоянная времени затухания периодической составляющей тока КЗ – 0,07 с;
- постоянная времени затухания аperiodической составляющей тока КЗ – 0,04 с.

Рекомендованные характеристики эквивалентного двигателя до настоящего времени широко используются в расчетной практике.

Следует отметить, что за прошедшие годы многое изменилось и в конструкции асинхронных электродвигателей, и в их характеристиках. Изменения потребовали уточнения модели эквивалентного электродвигателя и его эквивалентных характеристик.

Практика расчетов показывает, что уточнения, прежде всего, требуют значения постоянных времени затухания периодической и аperiodической составляющих тока КЗ от эквивалентного двигателя и связанного с ними значения ударного тока. Тем более это актуально в условиях внедрения в практику быстродействующих релейных защит и высоковольтных выключателей.

В работе специалистов Санкт-Петербургского технического университета [3] на основе анализа характеристик асинхронных двигателей в системе собственных нужд АЭС предложены следующие значения постоянных времени для использования в практических расчетах:

- постоянная времени затухания периодического тока КЗ: 0,07 с для ТЭС; 0,09 с для АЭС с реактором РБМК-1000; 0,1 с для АЭС с реактором ВВЭР-1000;
- постоянная времени затухания аperiodического тока КЗ: 0,04 с для ТЭС; 0,053 с для АЭС с реактором РБМК-1000; 0,067 с для АЭС с реактором ВВЭР-1000.

Очевидно, что уточнения требуются и для электростанций типа ТЭС.

В этой связи интерес представляет тот факт, что двигатели в режиме КЗ подпитывают место КЗ через собственные кабели разного сечения и значительной длины. Учет сопротивления кабеля (и индуктивного, и активного), несомненно, повлияет на соотношение результирующих индуктивных и активных сопротивлений цепи двигатель – кабель, а значит на величину постоянной времени затухания аperiodического тока и ударного коэффициента.

Следует отметить, что индуктивное сопротивление кабеля мало зависит от величины сечения токоведущей жилы, в то время, как зависимость активного сопротивления кабеля от сечения значительна. В этой связи целесообразно проводить анализ для достаточно узкого спектра сечений, удовлетворяющих условиям термической стойкости кабельных линий в системе собственных нужд электростанций с трансформаторами собственных нужд (ТСН) различной мощности.

Вполне обоснованно можно считать, что и рабочие, и резервные ТСН при принятой в нашей энергетике схеме электроснабжения электродвигателей собственных нужд подключены со стороны высшего напряжения к так называемой «системе бесконечной мощности». В этом случае величина тока КЗ за ТСН определяется исключительно его параметрами.

Исходя из этого допущения в [3] определены и представлены термически стойкие сечения кабельных линий с бумажной пропитанной изоляцией при КЗ за ТСН мощностью от 25 до 63 МВА:

- мощность ТСН, МВА	25	32	40	63
- минимальное сечение				
- кабеля, мм ²	70	70	120	185

Таблица 1. Сопротивление жил кабелей с бумажной изоляцией

Сечение, мм ²	Активное сопротивление, Ом/км	Индуктивное сопротивление, Ом/км
70	0,326	0,078
120	0,258	0,076
185	0,167	0,073

Значение постоянной времени затухания аperiodической составляющей тока подпитки места КЗ от асинхронного двигателя определяется по выражению:

$$T_a = \frac{X_d''}{\omega R_d}, \quad (1)$$

где X_d'' - индуктивное сверхпереходное сопротивление двигателя; ω - угловая частота вращения; R_d - активное сопротивление двигателя.

Если рассмотреть эквивалентную цепь двигатель-кабель, то выражение для T_a примет следующий вид:

$$T_a = \frac{(X_d'' + X_{\text{каб}})}{\omega(R_d + R_{\text{каб}})}, \quad (2)$$

где $X_{\text{каб}}$ - индуктивное сопротивление рассматриваемого кабеля; $R_{\text{каб}}$ - активное сопротивление того же кабеля.

На кафедре проводятся объемные расчеты для групп двигателей собственных нужд электрических станций разного типа с блоками мощностью от 100 до 1000 МВт. Эквивалентирование параметров отдельных двигателей вместе с питающими кабелями даст ряд практических предложений по характеристикам эквивалентного двигателя собственных нужд.

В качестве иллюстрации приводятся результаты расчетов по двигателю типа ДАЗО-15-49-10 мощностью 630 кВт, питаемому кабелем 6 кВ длиной 200 метров:

- постоянная времени затухания аperiodического тока КЗ двигателя без учета параметров кабеля - $T_a = 0,058$ с,

- с учетом сопротивлений питающего кабеля - $T_a = 0,05$ с.

В данном конкретном случае налицо существенное уменьшение величины постоянной времени затухания аperiodического тока. В общем случае очевидна зависимость этой тенденции от сечения и длины питающих кабелей.

Литература

1. **ГОСТ Р 52735-2007.** Короткие замыкания в электроустановках. Методы расчета в электроустановках переменного тока напряжением свыше 1 кВ.
2. **ГОСТ Р 52736-2007.** Короткие замыкания в электроустановках. Методы расчета электродинамического и термического действия тока короткого замыкания.
3. **Обеспечение** невозгораемости и термической стойкости кабелей при воздействии тока короткого замыкания. Часть 1, 2, 3: Учебное пособие / А.К.Черновец, К.Н.Семенов, А.А.Лапидус. – СПб., ПЭИПК, 2004.

УДК 621.311.4

Е.А. КИРЕЕВ, инженер
(ОАО «РусГидро»)

А.Н. НАЗАРЫЧЕВ, д.т.н., профессор,
А.С. АСТАШОВ, аспирант
(ИГЭУ)

Основные аспекты расчета физического износа электрооборудования гидроэлектростанций

Несмотря на различные достижения в области науки, эксплуатация электрооборудования продолжает базироваться на планово-предупредительных ремонтах, включая элементы инструментальных обследований, технических аудитов и современной диагностики. Данные мероприятия остаются актуальными и в гидроэнергетике. Существует тенденция повсеместного применения инновационных технологических автоматизированных систем, позволяющих производить ремонт электрооборудования по его состоянию [1].

На сегодняшний день существует много разработок в области диагностирования и определения остаточного ресурса электрооборудования. Все они построены на различных математических моделях, основанных на некоторых допущениях.

Для определения остаточного ресурса электрооборудования в гидроэнергетике используется бальная система значений. Основные принципы оценки физического состояния электрооборудования объектов гидроэнергетики представлены ниже.

Основное технологическое электрооборудование разбивается на некоторые составные части, которые несут определенную функциональную нагрузку. Эти составные элементы экспертно получены исходя из вида анализируемого объекта и их значимости в технологическом процессе при выработке электроэнергии.

Каждой отдельной части присваивается свой балл в зависимости от ее реального физического износа. Чем больше выработан ресурс электрооборудования, тем выше ставится бальная оценка. Для наиболее точного определения состояния электрооборудования баллы проставляются эксплуатационным персоналом. Одновременно для простоты и удобства оценки физического износа электрооборудования эксплуатационным персоналом существует четкая граница соотношения между каждым баллом и состоянием электрооборудования.

Для определения физического износа электрооборудования необходимо провести линию соотношения между баллами составных частей. Для этой цели устанавливаются коэффициенты значимости составных частей, также полученные экспертным путем на основе ответственности каждого элемента системы в технологической цепочке. Сумма коэффициентов значимости должна равняться 1.

Для получения итогового балла каждой составной части коэффициент значимости составной части перемножается с соответствующим проставленным баллом. После чего, сложив итоговые баллы составных частей, получается показатель «х», который характеризует состояние электрооборудования, его физический износ. Подробный пример представлен в табл. 1.

Определяя физический износ электрооборудования на данный момент с учетом статистических кривых вероятностей отказа, появляется возможность нахождения критических точек работы электрооборудования и внесения поправок в планируемую программу ремонтов и реконструкции объектов гидроэнергетики.

Таблица 1. Пример определения физического износа гидрогенератора

Составные части гидрогенератора	Коэффициент значимости составной части	Присваиваемые баллы	Итоговый балл составной части
1. Обмотка статора	0,1	1	0,1
2. Обмотка возбуждения	0,1	2	0,2
3. Демпферная обмотка	0,1	3	0,3
4. Электротехническая сталь статора	0,1	4	0,4
5. Полюса ротора	0,1	5	0,5
6. Стальные конструкции статора	0,1	6	0,6
7. Стальные конструкции ротора	0,1	7	0,7
8. Система возбуждения	0,1	8	0,8
...
и т.д.	и т.д.	и т.д.	и т.д.
Итого:	1	-	x

Исходя из представленного материала, можно выделить следующие преимущества и недостатки определения физического состояния электрооборудования:

1) Преимущества:

- затрагиваются основные ответственные узлы электрооборудования;
- универсальность применения данного метода к конкретному виду электрооборудования;
- повсеместное распространение данного метода на разные группы электрооборудования посредством экспертной разбивки анализируемого объекта на составные части;
- простой алгоритм вычисления возможных отказов электрооборудования.

2) Недостатки:

- сложность выделения составных частей электрооборудования и присваивания им коэффициента значимости;
- субъективность экспертной оценки физического износа электрооборудования;
- сложность прогнозирования отказов в виду отсутствия статистической базы для современного электрооборудования;
- не учитывается влияние факторов окружающей среды.

Таким образом, применение данной методики для определения физического состояния электрооборудования гидроэнергетики создает реальную (но отчасти субъективную) отправную точку для прогнозирования возможного износа объекта, но не учитывает влияние дополнительных

различных факторов (в том числе природных), которые могут создать положительный или отрицательный эффект при расчете выработанного ресурса электрооборудования.

Литература

1. **Назарычев А.Н.**, Андреев Д.А. Методы и математические модели комплексной оценки технического состояния электрооборудования / Иван. гос. энерг. ун-т. – Иваново, 2005. – 224 с.

УДК 621.313

А.Н. НАЗАРЫЧЕВ, д.т.н., профессор,
Е.М. НОВОСЕЛОВ, аспирант,
И.Н. СУЛЫНЕНКОВ, ассистент,
А.А. СКОРОБОГАТОВ, к.т.н, доцент
(ИГЭУ)

Целесообразность контроля состояния стержней обмотки ротора электродвигателя в режиме пуска

В настоящее время в быту и в промышленности используется огромное количество электродвигателей, основная масса которых является асинхронными. Асинхронный двигатель является достаточно надежным и простым по конструкции устройством. Однако, ввиду того, что данный тип двигателей распространен повсеместно и используется очень широко, то нередко случаи отказов.

Как показывает практика, у асинхронных двигателей с тяжелыми условиями пуска часто бывают отказы, вызванные повреждением обмотки ротора - "беличья клетка". На начальной стадии обрыв стержней ротора незначительно сказывается на эксплуатационных характеристиках электродвигателя и может быть обнаружен не сразу. При обрыве стержня нагрузка перераспределяется на исправные проводники. Основная нагрузка ложится на стержни, соседствующие с оборванным. Таким образом, обрыв одного проводника, в конечном итоге чаще всего приводит к повреждению и других стержней. Со временем оборванный стержень может отогнуться и повредить обмотку статора, что приведет к фатальным последствиям для двигателя (рис. 1).



Рис. 1. Фотография поврежденной обмотки ротора

Чем больший ток протекает по обмотке ротора, тем ярче проявляются диагностические признаки обрыва стержней. При эксплуатации электродвигателя наибольший ток в обмотке ротора протекает во время пуска, поэтому для определения обрывов стержней целесообразнее всего использовать именно этот режим.

Для доказательства этого утверждения был проведен ряд экспериментов на ненагруженном асинхронном двигателе мощностью 250 Вт. Для измерения магнитного поля в воздушном зазоре двигателя, на зубце статора был установлен индуктивный датчик. На рис. 2 показан график изменения ЭДС в датчике при исправной обмотке ротора, на рис. 3 - при обрыве одного стержня.

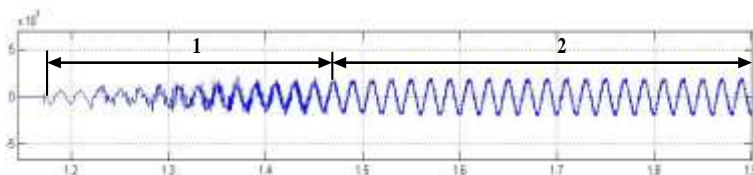


Рис.2. ЭДС датчика в случае исправной обмотки ротора:
1 - режим пуска; 2 – установившийся режим

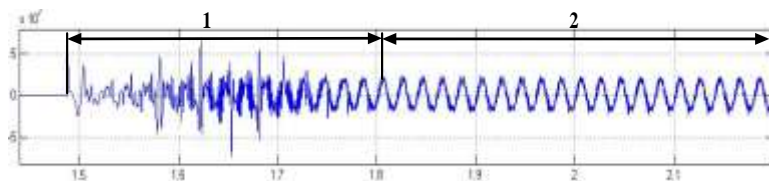


Рис. 3. ЭДС датчика при обрыве одного стержня обмотки ротора:
1 - режим пуска; 2 – установившийся режим

Как видно из рис.3, при имеющемся обрыве одного стержня обмотки ротора в пусковом режиме двигателя наблюдаются значительные пульсации ЭДС электромагнитного датчика, которые становятся незаметными при переходе двигателя в установившейся режим. Данные пики вызваны прохождением поврежденного стержня обмотки ротора вблизи датчика и чередуются с частотой равной частоте вращения ротора.

Таким образом, пуск двигателя является, своего рода, тестовым режимом, во время которого признаки обрыва стержней проявляются наиболее явно даже у низковольтных и маломощных электродвигателей, работающих на холостом ходу. Поэтому можно сделать вывод, что диагностику обрывов стержней обмотки ротора целесообразно проводить в пусковом режиме электродвигателей.

УДК 621.314.222.6045.064.1

А.В. ТИМЧЕНКО, инженер,
(ОАО «ПО КХ г. Тольятти», ПК «Горэлектросеть»)
А.Ю. ХРЕННИКОВ, д.т.н., профессор
(ОАО «Федеральная сетевая компания
Единой энергетической системы») г. Москва

Совершенствование метода оценки технических рисков для электрооборудования 6, 10, 35, 110 кВ электростанций и подстанций

Российская Федерация является одним из крупнейших в мире производителей электроэнергии. На территории РФ, в различных субъектах, находятся тысячи предприятий, специализирующихся в сфере производства, передачи и сбыта электроэнергии и данная отрасль нуждается в изменениях, направленных на обновление основных фондов и реконструкцию действующего оборудования. Но здесь приходится сталкиваться с такой проблемой, как нехватка инвестиций. В современных экономических условиях именно инвестиции и эффективность их использования являются

основой развития энергетической отрасли. Происходящие в российской энергетике масштабные изменения обусловили появление рисков, без учёта которых невозможна эффективная деятельность электроэнергетических компаний. Необходимо иметь возможность противостоять тем непредсказуемым ситуациям, которые одинаково сопровождают и поставщиков энергии, и транзитёров, и потребителей. И важно, если не избежать рисков, то минимизировать вероятность их возникновения.

Риск в широком смысле слова – это характеристика ситуации, имеющей неопределённость исхода, при обязательном наличии неблагоприятных последствий. Риск предполагает неуверенность, либо невозможность получения достоверного знания о благоприятном исходе в заданных внешних обстоятельствах.

Одними из главных для российской энергетики являются технические (производственные) риски. Они наиболее значимы и именно им следует уделить наибольшее внимание. В настоящее время существует проблема оценки технических рисков при инвестировании в сферу производства, передачи и сбыта электроэнергии.

Технические риски охватывают широкий спектр составляющих, таких как недоотпуск, выплаты возмещения ущерба потребителям, стоимость повреждённого оборудования, затраты на его восстановление, последствия из-за ошибок персонала и др. Оценка возможных рисков позволяет вычислить вероятность отказа, среднегодовую стоимость жизненного цикла, оптимальный срок замены, а так же проанализировать риски в денежном выражении.

Примерами рисков в части эксплуатации и технического обслуживания и ремонта (ТОиР) оборудования по результатам технического аудита могут являться следующие ситуации:

- не ведется мониторинг состояния маслонаполненного оборудования (или оно эксплуатируется с нарушением требований НТД) ;
- высокий физический и моральный износ коммутационной аппаратуры (например, масляных выключателей) ;
- физический износ эксплуатации с нарушением требований НТД аккумуляторных батарей на ПС;
- на ПС здания насосных пожаротушения имеют недопустимый физический износ, частично залиты водой;
- кабельные линии эксплуатируются с нарушением требований НТД;
- годовое планирование и обеспечение ремонтов оборудования ПС ведется не в соответствии с его техническим состоянием, требованиями НТД и РД, а исходя из объема финансирования;
- допускается длительная эксплуатация оборудования с недопустимыми дефектами.

В зависимости от величины ущерба в электроэнергетике выделяют следующие группы рисков.

Небольшие (мелкие) риски, как правило, таковыми считаются отказы и сбои в работе оборудования, которые обычно не влекут за собой каких-либо серьезных последствий, а также износ и поломка мелких и часто изнашивающихся частей.

Средние по величине риски убытков, в основном, это поломка машин, механизмов и оборудования, небольшие возгорания.

К крупным рискам следует отнести выход из строя дорогостоящего силового оборудования (трансформаторного оборудования, генераторов, выключателей), а также небольшой пожар, взрыв, повреждение оборудования посторонними предметами. Именно они способны причинить весомый ущерб предприятию, а порой даже вызвать длительный простой.

Катастрофические риски для электростанций, трансформаторных подстанций и линий электропередач это, как правило, крупная поломка, сопровождающаяся взрывом и пожаром, крупные стихийные бедствия, террористические акты.

Основными причинами отказов электрооборудования сетей 6,10,35,110 кВ являются:

1. конструктивные ошибки при изготовлении электроустановок на заводах-изготовителях;
2. дефекты в конкретных узлах электрооборудования;
3. попадание посторонних частиц внутрь маслонаполненного оборудования;
4. старение изоляции из-за длительной эксплуатации;
5. электродинамическое воздействие токов КЗ;
6. воздействие человеческого фактора, ошибки персонала;
7. неправильная эксплуатация электрооборудования с отклонениями от требований НТД.

Для оптимизации ремонтных программ необходимо производить оценку фактического состояния силового электрооборудования, что на сегодняшний день является сложной и актуальной задачей. Большая часть электрического оборудования 6,10,35,110 кВ подстанций передачи и распределения электроэнергии выработала свой ресурс, но продолжает эксплуатироваться. Но это не означает, что на электростанциях эксплуатируется оборудование, не удовлетворяющее требованиям безопасности и надёжности. Продление ресурса (срока службы) оборудования обосновывается на основании результатов комплексных обследований и диагностики.

В повседневной жизни вероятность и существенность технических рисков оцениваются на основе накопленного опыта, после чего принимается решение о том, стоит или не стоит управлять риском, и каким образом это делать. Для оценки технических рисков необходимо определить все типы рисков для всего электрооборудования подстанций, составить исчерпывающий перечень, источники этих рисков и моменты их возникновения. А оценив риски, разработать меры по сокращению этих рисков и минимизировать потери, которые они могут вызвать. Снижение рисков

достигается с помощью контроля технического состояния и повышения надёжности функционирования действующего оборудования, реконструкции имеющихся объектов, а также технического перевооружения основных фондов в целом, а также проведением обучающих программ обслуживающего персонала.

Литература

1. Хренников А.Ю., Гольдштейн В.Г. Техническая диагностика, повреждаемость и ресурсы силовых и измерительных трансформаторов и реакторов. – Москва, 2007.
2. Хренников А.Ю. Комплексное диагностическое моделирование параметров технического состояния силового трансформаторно-реакторного электрооборудования// Дис. на соиск. учен. степ. докт. техн. наук. Самар. гос. тех. унт.– Самара, 2009.
3. Хренников А.Ю. , Гольдштейн В.Г., Назарычев А.Н. Диагностические модели для оценки технического состояния электрооборудования электростанций и подстанций//Промышленная энергетика, 2010,№10.
4. Хренников А.Ю. Электродинамическая стойкость силовых трансформаторов – условие безаварийной работы//Энергетик. - №5 – 2009, с.31-32.
5. Хренников А.Ю. Метод оценки состояния обмоток силовых трансформаторов по значению сопротивления КЗ// Промышленная энергетика, 2010, № 2. - с.16-21.
6. Хренников А.Ю., Гольдштейн В.Г. Основные дефекты и повреждения трансформаторов (реакторов) и классификация видов воздействий, ведущих к их появлению// Промышленная энергетика, 2008, № 11. -с.17-21.

УДК 621.315.1:621.316.925.2

А. Ю. ХРЕННИКОВ, д.т.н., профессор
П. С. РАДИН, инженер
ОАО «Федеральная Сетевая компания Единой Энергетической Системы»
МЭС Востока (г. Москва)

Анализ влияния угла защиты грозотроса на грозоупорность линии с использованием результатов лазерного сканирования

Грозоупорность воздушных линий электропередач (ВЛ) 220-500 кВ зависит от целого ряда параметров в числе которых и величина угла защиты грозозащитным тросом фазных проводов (УЗ); ряд авторов в своих работах [5], [6] поднимал вопрос о поражаемости ВЛ разрядами молнии при недостаточной величине УЗ.

Используя материалы лазерного сканирования (ЛС) ВЛ 220-500 кВ филиала ОАО «ФСК ЕЭС» МЭС Востока был проведён анализ влияния угла защиты грозотроса на грозоупорность линий. Анализ проводился в три этапа:

1. Были рассчитаны углы защиты (УЗ) грозотросом фазных проводов в сечении опоры и в середине пролёта по линиям 220 кВ Лондоко-Ургал, Амурская-Короли(т), Тында-Сковородино.

2. Построена диаграмма УЗ по всей длине линий.

3. На диаграмму УЗ наложены координаты мест разряда молний приведшие к отключениям ВЛ за период 2007-2010 гг.

Расчёт УЗ проводился по следующим формулам:

$$\Delta_{A(BC)} = \tan^{-1} \cdot \frac{K_{A(BC)}}{h_G - h_{A(BC)}}, \quad (1)$$

$$\Delta_{A(BC)} = \tan^{-1} \cdot \frac{K_{A(BC)}}{\left(\frac{h_{G1}}{2} + \frac{h_{G2}}{2} - L_G\right) - \left(\frac{h_{A(BC)1}}{2} + \frac{h_{A(BC)2}}{2} - L_{A(BC)}\right)}, \quad (2)$$

где: $\Delta_{A(BC)}$ - УЗ провода фазы A(B,C); $K_{A(BC)}$ - расстояние по горизонтали от точки подвески провода фазы A(B,C) до точки подвески грозотроса; h_G - абсолютная высота точки подвески грозотроса в сечении опоры; h_{G1} - абсолютная высота точки подвески грозотроса в начале пролёта; h_{G2} - абсолютная высота точки подвески грозотроса в конце пролёта; $h_{A(B,C)}$ - абсолютная высота точки подвески провода фазы A(B,C) в сечении опоры; $h_{A(B,C)1}$ - абсолютная высота точки подвески провода фазы A(B,C) в начале пролёта; $h_{A(B,C)2}$ - абсолютная высота точки подвески провода фазы A(B,C) в конце пролёта; L_G - стрела провеса грозотроса; $L_{A(B,C)}$ - стрела провеса провода фазы A(B,C).

По формуле (1) рассчитывались УЗ в сечении опоры, по формуле (2) рассчитывались УЗ в середине пролёта. Из данных ЛС использовались следующие данные: абсолютные высоты точек подвески и стрелы провеса фазных проводов и грозотросов; типы опор. Расстояния по горизонтали от точек подвески фазных проводов до точек подвески грозотроса были определены из [1], [2].

Диаграмма УЗ с наложением координат мест разряда молний приведена на рис. 1.

Где 1, 3 – диаграммы УЗ по длине линии Лондоко-Ургал и Амурская-Короли(т) соответственно (по вертикали указаны номера опор, по горизонтали величина УЗ); 2, 3 – расчётные участки разрядов молнии.

Определение места повреждения (разряд молнии, вызвавший отключение линии) рассчитывается ориентировочно с погрешностью 5% от длины линии поэтому на рисунке 1 места разрядов молний показаны протяжёнными зонами (участками).

Выводы:

1. Дополнительная обработка результатов ЛС ВЛ 220-500 кВ ОАО «ФСК ЕЭС» возможна и необходима в целях повышения грозоупорности ВЛ.

2. По результатам расчетов можно сделать вывод, что грозовые отключения линии Лондоко-Ургал вызваны участками с УЗ превышающим

30° ; что теоретически согласуется с данными приведёнными в [5] (увеличение УЗ до 45° увеличивает вероятность прорыва молнии через тросовую защиту в 8 раз).

3. Поражение анкерных опор (УЗ 35-45°) ВЛ Тында-Сковородино на участке оп.254-269 согласуется с фактом поражения анкерных опор ВЛ 1150 кВ "Экибастуз – Кокчетав" из-за прорыва молний через тросовую защиту [6].

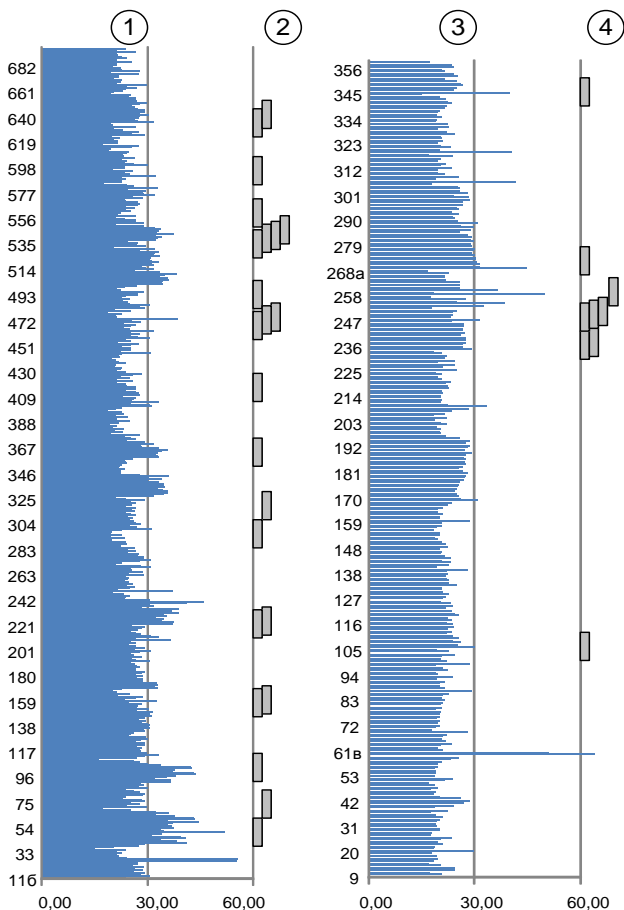


Рис. 1

Перспективным направлением использования результатов ЛС при анализе грозоупорности линий является возможное уточнение представлений о прорыве молнии через тросовую защиту и о поражаемости молнией защищаемых объектов [7-8].

Литература

1. **Каталог** унифицированных и типовых опор, т.3.
2. **Каталог** унифицированных и типовых опор, т.5.
3. **Правила** устройства электроустановок, изд. 7.
4. **Бошнякович А. Д.** Механический расчёт проводов и тросов линий электропередачи, Энергия, 1971.
5. **Юриков П. А.** Защита линий электропередачи от грозových перенапряжений, Энергоатомиздат, 1983.
6. **Проблемы** грозозащиты ВЛ СВН и УВН переменного и постоянного тока Новикова А. Н., ОАО "НИИПТ", Мезгин В. А., Кыргызский научно-технический центр по энергетике "Энергия", Чичинский М. И., ОАО "ФСК ЕЭС".
7. **Хренников А. Ю.**, Гольдштейн В. Г., Складчиков А. А. Анализ состояния воздушных линий электропередачи 6 – 500 кВ Самарского региона //Электрические станции. 2010. – №5. –С. 42-48.
8. **Куликов А. Л.**, Мисриханов М. Ш. Введение в методы цифровой релейной защиты высоковольтных ЛЭП. Учебное пособие. Энергоатомиздат, М:2007.

УДК 621.315.1:621.316.925.2

А.Ю. ХРЕННИКОВ, д.т.н., профессор

П.С. РАДИН, инженер

(ОАО «Федеральная Сетевая компания Единой Энергетической Системы», МЭС Востока) г. Москва

Использование оптического кабеля, встроенного в грозозащитный трос, для определения мест повреждений воздушных линий при грозových перенапряжениях

Решение задачи определения с высокой точностью места повреждения (ОМП) воздушных линий электропередач (ВЛ) при грозových перенапряжениях имеет большое значение в электроэнергетике.

В настоящее время ОМП ВЛ определяется с помощью приборов типа ИМФ, Бреслер работающим на принципе фиксации аварийных осциллограмм [1]. Недостаток данной аппаратуры – погрешность ОМП порядка 5% от длины линии, что влечёт за собой большие затраты ресурсов, поскольку согласно нормативных документов необходимо в обязательном порядке осуществлять обход и осмотр ВЛ после любого отключения (послеаварийный обход) [2].

В настоящее время на двух линиях 500 кВ ОАО «ФСК ЕЭС» Тихорецк-Кубанская и Волгодонская АЭС – Невинномысск контроль плавки гололёда осуществляется с использованием аппаратуры типа СРКТ (система распределённого контроля температуры). Аппаратура СРКТ подключается к ОКГТ (оптический кабель встроенный в грозозащитный трос) и работает по принципу рефлектометра; при нагреве оптоволокна увеличивается комбинационное рассеяние света и значение температуры и место рассчитывается из соотношений между интенсивностями основного сигнала, антистоксовых и стоксовых компонент света [3].

По схожему принципу работают системы мониторинга кабельных линий – параллельно жилам в оплётку кабеля интегрируется оптоволокно и, в дальнейшем, с его помощью проводят тепловой мониторинг кабельной линии [4] (при снижении изоляционных характеристик происходит увеличение тока утечки и соответственно повышение температуры изоляции кабельной линии). Аналогичная аппаратура монтируется на кабельной линии СПЭ 220 кВ Зелёный угол-Русская, которая необходима для электроснабжения объектов на саммите АТЭС (Азиатско-Тихоокеанский форум экономического сотрудничества) в 2012 г.

Основное количество грозовых отключений линий происходит в летний период, когда аппаратура типа СРКТ простаивает (плавка гололёда производится в зимний период). Перспективным направлением использования аппаратуры типа СРКТ является определение места повреждения (ОМП) воздушной линии (ВЛ) электропередачи при разряде молнии в грозотрос (опору) ВЛ и перекрытии линейной изоляции. Целесообразно определять ОМП ВЛ основываясь на эффекте разогрева ОКГТ током молнии в точке разряда.

Использование аппаратуры типа СРКТ для ОМП ВЛ при грозовых перенапряжениях позволит решить следующие вопросы:

1. Значительное снижение затрат на послеаварийные обходы в связи с уменьшением зоны обхода с десятков километров до 2-3 пролётов.
2. Улучшение качества обходов и выявление мест повреждения – уменьшение зоны возможного повреждения позволит проводить предметные верховые осмотры с чёткой фиксацией места повреждения (перекрытия).
3. Уменьшение объёма работы по расчёту ОМП (в настоящее время во всех случаях отключений пересчёт данных полученных от аппаратуры типа ИМФ, Бреслер производится специалистами служб РЗА).
4. Позволит на новом уровне проводить исследование разрядов молнии в ВЛ и будет способствовать уточнению влияния различных факторов на грозоупорность ВЛ.
5. Позволит выявлять конкретные участки («узкие» места) на ВЛ с пониженной грозоупорностью и проводить специальные мероприятия для снижения количества отключений ВЛ от грозовых перенапряжений.

Литература

1. **Куликов А.Л.**, Мисриханов М.Ш. Введение в методы цифровой релейной защиты высоковольтных ЛЭП. Учебное пособие. Энергоатомиздат, М:2007.
2. **Хренников А.Ю.**, Гольдштейн В.Г., Складчиков А.А. Анализ состояния воздушных линий электропередачи 6-500 кВ Самарского региона //Электрические станции. 2010. - 5. -С. 42-48.
3. **Система** распределённого контроля температуры оптических волокон, Богданова А.И., Гринштейн М.Л. ОАО «Союзтехэнерго», Механошин Б.И., Родионов В.Н., Рожков А. А. ОАО «ФСК ЕЭС», Энергетик 10/2010.
4. **Новые** возможности применения оптоволокна в электроэнергетике, А. Якунин ЗАО «АББ Москабель», Новости электротехники 2 (50) 2008.

УДК 621.312.004.67

И.А. НАЗАРЫЧЕВ, инженер
(ИГЭУ)

Разработки технических регламентов для различных стратегий ремонта электрооборудования

Принятый Закон о техническом регулировании предусматривает государственное регулирование в сфере безопасности, при этом качество, свойства, конструкции и другие характеристики технических объектов становятся рыночными категориями. Обязательные минимальные требования в сфере безопасности устанавливаются законодательными актами – техническими регламентами.

С учетом текущего технического состояния (ТС) оборудования электроэнергетики, характеризующегося высокой степенью износа (более 50%), важной составляющей обеспечения надежности и безопасности энергообъектов является разработка технических регламентов по техническому обслуживанию и ремонту (ТОиР) электрооборудования (ЭО). Учитывая актуальность регулирования проведения ТОиР ЭО, можно сказать, что разработка ремонтной документации должна войти в технические регламенты, национальные стандарты, стандарты организаций и в местные правила и инструкции, создаваемые для конкретного технического объекта.

Для обеспечения надежности и безопасности функционирования объектов электроэнергетики необходимо совершенствовать систему ТОиР, приводя ее в соответствие с современными экономическими условиями.

Действующая система планово-предупредительных ремонтов (ППР) не учитывает фактическое техническое состояние ЭО и не обеспечивает принятия эффективных решений в области энергоремонта. Поэтому, целесообразно перейти к системе ремонта, предполагающей определе-

ние собственной стратегии ремонта для конкретной единицы оборудования или энергообъекта, с учетом его технического состояния и особенностей эксплуатации. Такой подход вполне соответствует отраслевому стандарту СО 34.04.181-2003 «Правила организации технического обслуживания и ремонта оборудования, зданий и сооружений электростанций и сетей».

Стратегия ремонта оборудования в первую очередь определяется периодичностью проведения ремонтных мероприятий и их объемом. Выбор периодичности проведения ремонтов целесообразно осуществлять на основе минимума целевой функции затрат, которая в общем в виде может быть записана следующим образом [1]:

$$Z(t) = C_p \frac{T_{cn} - t}{t} + (1 - f(t) + kf(t)) C_{ав} Q(t) + C_d f(t) + Z_{ТО}, \quad 1)$$

где $Z_{ТО}$, C_d , C_p , $C_{ав}$ – средние стоимости технического обслуживания, диагностирования, планового и аварийного ремонтов ЭО; $f(t)$ – вероятность проведения диагностирования к моменту времени t ; k – вероятность достоверной оценки технического состояния ЭО, предшествующего аварийному переходу ЭО в предельное состояние; T_{cn} – срок службы ЭО; t – периодичность ремонтов. Вероятность $Q(t) = 1 - e^{-\lambda_0 t} e^{-\lambda' t^2}$ – эксплуатационная вероятность отказа ЭО к моменту времени t ; где λ_0 – базисная интенсивность отказов; λ' – удельный прирост интенсивности износных отказов за счет сработки ресурса ЭО.

Выражение (1) в значительной мере определяется вероятностью f ($0 < f < 1$). Если $f = 0$, то выражение (1) характеризует затраты на эксплуатацию ЭО по стратегии ППР. Если $f = 1$, то выражение (1) характеризует затраты на эксплуатацию ЭО, выполняемую по стратегии ремонта с учетом технического состояния (СТС). Стратегия аварийных ремонтов (САР) характеризуется отсутствием плановых ремонтов и технической диагностики (ТД) $f(t) = 0$.

Используя модель (1), были получены промежуточные конкурирующие стратегии (ПКС). Для этого в модель введены признаки классификации $M = \langle W_1, W_2 \rangle$, учитывающие характер отказов ЭО и вид стратегии ТОиР. При этом признак $W_1 = \{0, 1, 2\}$ учитывает характер проявления отказов, а признак $W_2 = \{0, 1, 2, 3\}$ – вид стратегии ТОиР. Учет признаков позволяет дать классификацию всех возможных стратегий ТОиР. В символах принятой классификации общая модель (1) запишется как $M = \langle 2, 2 \rangle$.

Разработанные на приведенном принципе выражения, позволяют выбрать межремонтные периоды ЭО для различных стратегий. Дифференцируя целевую функцию $Z(t)$ относительно t при постоянных значениях входящих в нее параметров и решая полученное выражение для $dZ/dt = 0$,

получаем выражение минимума затрат, соответствующее оптимальному межремонтному периоду $t_{\text{опт}}$.

Оптимизация межремонтного периода ($t_{\text{опт}}$), выполненная для различных сочетаний исходных данных, стратегий ТОиР и видов ЭО, позволила получить для ЭО различных типов и классов напряжения графики функций $t_{\text{опт}} = F(\lambda', \lambda_0, f, k, T_{\text{сл}}, C_P/C_{\text{ав}})$ и $Z(t)$.

Таким образом, предложенная классификация стратегий ТОиР и их целевые функции позволяют получить параметры ремонтного цикла для наиболее целесообразной стратегии ТОиР в конкретных условиях эксплуатации, а также определить оптимальные сроки проведения ремонтов.

Применение разработанной методики при разработке нормативно-правовой базы закона о техническом регулировании позволит эффективно решать задачи обеспечения надежности и безопасности работы ЭО электростанций и подстанций.

УДК 614.842:621.311

А.Н. НАЗАРЫЧЕВ, д.т.н., профессор (ИГЭУ),
С.Н. ЖИВОТЯГИНА, к.х.н.,
(ИВИ ГПС МЧС) г. Иваново

Оценка и причины возникновения пожаров в электроустановках на объектах энергетики

В последние годы количество пожаров, возникших при эксплуатации электроустановок, увеличивается. Поэтому перед работниками государственной противопожарной службы ставятся задачи качественного улучшения надзорных и профилактических функций в области пожаро- и взрывобезопасного применения электроустановок. Одним из главных условий повышения результативности пожарно-профилактической работы в этой области является изучение причин возникновения пожаров, а также соблюдение нормативно-технических требований, обеспечивающих пожаро- и взрывобезопасное применение электроустановок в различных условиях.

Современное развитие электроэнергетики приводит к значительному увеличению количества и номенклатуры электротехнического оборудования, токоведущих частей, электрических приборов и аппаратов, предназначенных для производства, передачи, распределения и преобразования электрической энергии.

Технологические нарушения в работе электрооборудования могут приводить к пожарам, сопровождающимся существенным экономическим ущербом. Причинами таких пожарам наряду с эксплуатационными воз-

действиями и дефектами при монтаже и транспортировке является износ оборудования, доля которого в общем количестве пожаров, сопровождающихся экономическим ущербом, непрерывно растет.

Порядка 65 % всех инцидентов на предприятиях ФСК происходит на оборудовании подстанций. Основными причинами нарушений являются дефекты изготовления и монтажа оборудования, ошибки при проектировании (в общей сложности 38%), а также физический износ оборудования (31%) и недостатки эксплуатации (19%), в том числе техническое обслуживание и ремонт.

Основное количество отказов и пожаров электрооборудования связано с повреждением изоляции оборудования и контактных соединений, а также с эксплуатационными воздействиями. Поэтому изоляции и контактным соединениям необходимо уделять наибольшее внимание при оценке технического состояния электрооборудования и оценке пожарной опасности. Важно отметить, что эксплуатационные факторы в основном являются толчком к переходу изношенного или дефектного оборудования в предельное состояние, характеризующееся невозможностью дальнейшей эксплуатации электрооборудования по техническим и экономическим причинам. В связи с переходом энергетики к рыночной экономике электрооборудование вынуждено работать в режимах с переменной и резко переменной нагрузкой. Часть оборудования не предназначено для этого. Поэтому для предотвращения отказов и пожаров электрооборудования и сохранения его в работе необходимо иметь возможность оценить воздействие эксплуатационных факторов различной физической природы на его техническое состояние. Для этого стоит использовать современные приборы контроля и технической диагностики.

Большое количество отказов электрооборудования сопровождавшихся пожаром, связано с низким уровнем эксплуатации, технического обслуживания и ремонта, несоблюдением периодичностей и объемов выполнения ремонтных и профилактических работ. В некоторых случаях это обусловлено рядом объективных причин, таких как отсутствие денежных средств, запасных частей (для устаревшего и снятого с производства оборудования) и т.д. Также причинами отказов являются недостатки или элементарное отсутствие на предприятиях системы контроля старения и износа оборудования. Существующие на предприятиях сегодня устаревшие методы диагностики, как правило, неспособны интегрально оценить техническое состояние электрооборудование. Операции диагностирования позволяют выявить отдельные дефекты электрооборудования или сборочных единиц, что, несомненно, является важным фактором с позиции обеспечения пожарной безопасности электроустановок. Однако для организации системы пожаробезопасной эксплуатации электрооборудования необходимо решить комплекс задач по определению допустимых сроков эксплуатации оборудования, проведению технического перевооружения и реконструкции объектов энергетики, управлению режимами

работы, по разработке и внедрению современных методов и технических средств интегральной оценки уровня технического состояния, выявления дефектов на ранней стадии их развития, прогнозированию показателей надежности электрооборудования с учетом воздействия на него эксплуатационных факторов.

В комплекс методов контроля состояния ТТ входят измерения емкости, тангенса угла диэлектрических потерь и сопротивления изоляции, обследования с помощью тепловизора, а также контроль давления азота в ТТ с азотной подушкой. Особенно эффективным считается применение газохроматографического анализа масла ТТ.

Анализ основных причины и мест возникновения технологических нарушений электрооборудования с целью предупреждения пожаров от электроустановок и определения объектов, требующих наиболее пристального внимания при проведении обследований и контроле технического состояния показал, что старение основных фондов и, следовательно, снижение эксплуатационной надежности электрооборудования и энергообъектов, представляют одну из серьезнейших проблем для энергетики России. Если не остановить этот процесс, то электроэнергетическая система может потерять свою работоспособность из-за возникновения непредсказуемых массовых повреждений электрооборудования, которые могут приводить к превращению локальных инцидентов в тяжелые общесистемные аварии. Решением столь важной задачи является контроль технического состояния оборудования, на основании которого осуществляется достоверное прогнозирование надежности эксплуатируемых объектов и своевременное предупреждение аварийных ситуаций и технологических нарушений путем проведения технического обслуживания и ремонта.

Своевременный контроль технического состояния электрооборудования посредством учета количества коммутаций тока определенной величины и количества операций приводом позволит оценить техническое состояние и предотвратить аварийные ситуации и снизить количество пожаров от электроустановок на энергетических объектах.

Литература

1. **Правила** устройств электроустановок. – 7-е изд. – М.: Издательство НЦ ЭНАС, 2003. – 656 с.
2. **Правила** технической эксплуатации электроустановок потребителей (ПТЭЭП). – М.: Издательство НЦ «ЭНАС», 2003.
3. **ГОСТ 12.1.004-91.** Пожарная безопасность. Общие требования.
4. **ГОСТ Р 50571.1-93.** Электроустановки зданий. Основные положения . Правила эксплуатации электроустановок потребителей. -5-е изд., перераб. и доп.-М: Энергоиздат, 1992 г.
5. **Черкасов В.Н.,** Костарев Н.П. Пожарная безопасность электроустановок: Учебник. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2002. – 377 с.

6. Боков Г.В., Клепикова Т.Н., Профилактика пожаров в электрических сетях зданий по-прежнему считается одной из наиболее важных задач в области пожарной безопасности // «Пожарная безопасность» №1, 2006 г. С. 1 – 4.

7. Назарычев А.Н., Андреев Д.А., Таджибаев А.И. Справочник инженера по наладке, совершенствованию технологии и эксплуатации электрических станций и сетей. Централизованное и автономное электроснабжение объектов, цехов, промыслов, предприятий и промышленных комплексов / Под редакцией А.Н. Назарычева. – М.: «Инфра-Инженерия», 2006. – 928 с.

УДК 621.316

Е.И. ГРАЧЕВА, к.т.н., доцент,
А.В. ШАГИДУЛЛИН, магистр,
А.В. ШАГИДУЛЛИНА, аспирант
(КГЭУ) г. Казань

Исследование показателей надежности автоматических выключателей

Для анализа показателей надежности в режимах эксплуатации на промышленном предприятии в работе находилось $N_0 = 283$ однотипных автоматических выключателя ВА-51, на номинальные токи $I_{ном} = 10, 16, 25, 63, 80$ А, отказы фиксировались через каждые 2 года.

Автоматы подключены к компрессорам, насосам и вентиляторам, имеющим длительные режимы работы.

Табл.1 Исходные данные и результаты расчетов

Номер i -го интервала	Кол-во циклов, z	Δt_i , ч	$n(\Delta t_i)$, шт.	$\hat{P}(t)$	$\hat{\lambda}(t)$, $1/ч$
1	3000	0-17520	50	0,823	$2,450 \cdot 10^{-5}$
2	2500	17520-35040	41	0,678	1,101
3	2000	35040-52560	33	0,562	1,073
4	2000	52560-70080	18	0,498	0,685
5	2500	70080-87600	16	0,442	0,687
6	2200	87600-105120	14	0,392	0,677
7	2100	105120-122640	15	0,339	0,827
8	2000	122640-140160	10	0,304	0,627
9	2000	140160-157680	10	0,269	0,705
10	2000	157680-175200	10	0,233	0,804

Вероятность безотказной работы - это вероятность того, что в пределах заданной наработки отказ объекта не возникает. На практике этот показатель определяется статистической оценкой:

$$\hat{P}(t) = \frac{N_0 - n(t)}{N_0}, \quad (1)$$

где N_0 - число однотипных объектов (элементов), поставленных на испытания (находящихся под контролем); $n(t)$ - число отказавших объектов за время t .

Статистическая оценка интенсивности отказов имеет вид:

$$\hat{\lambda}(t) = \frac{n(\Delta t_i)}{N_{cp} \cdot \Delta t_i}, \quad (2)$$

где $n(\Delta t_i)$ - число отказов однотипных объектов на интервале Δt_i , для которого определяется $\hat{\lambda}(t)$; N_{cp} - число работоспособных объектов в середине интервала Δt_i .

Построим гистограмму длительности отключений по статистическим данным.

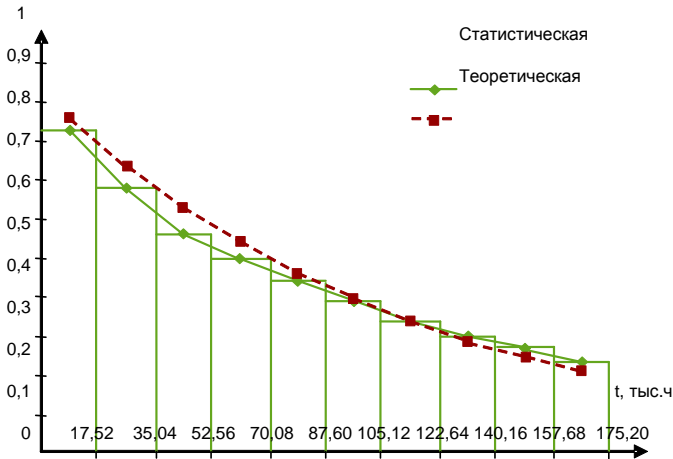


Рис.1. Гистограмма длительности отключений

По виду гистограммы выдвигаем гипотезу о предполагаемом законе распределения случайной величины и определяем его параметры.

Предположим, что в нашем случае случайные величины распределяются по экспоненциальному закону.

Вероятность безотказной работы при экспоненциальном распределении определяется:

$$P(t) = e^{-\lambda t} \approx e^{-t/T_{cp}} \quad (3)$$

По известным данным $T_{cp} = 13$ лет = 113880 ч строим теоретическую кривую.

Проверка по критериям Колмогорова и Пирсона показала, что выборочные данные вероятности безотказной работы соответствуют экспоненциальному закону распределения, согласуется с фактическими данными.

Основной особенностью оценки показателей надежности по статистическим данным является ограниченность статистического материала для точного определения характеристик. В условиях ограниченного числа опытов любое значение искомого показателя всегда будет содержать элемент случайности.

Литература

1. **Китушин В.Г.** Надежность энергетических систем. М.: Высш. шк., 1984. 19 с.
2. **Хорольский В.Я., Таранов М.А.** Надежность электроснабжения. Ростов-на-Дону: Terra Принт. 2007.
3. **Дулин В.А.** Методы исследования надежности низковольтных аппаратов. М.: Энергия, 1970. 60 с.
4. **Венцель Е.С., Овчаров Л.А.** Теория случайных процессов и ее инженерные приложения. Уч. пособие для ВУЗов. – М.: Высш. шк., 2000.
5. **Волков Н. Г.** Надежность электроснабжения. Учеб. пособие / Том. политех. ун-т. – Томск, 2003.
6. **Гук Ю.Б.** Теория надежности в электроэнергетике. – Л.: Энергоатомиздат, 1990.
7. **Гук Ю.Б.** Теория и расчет надежности в системах электроснабжения. – М.: Энергия, 1970.
8. **Дружинин Г.В.** Надёжность автоматизированных производственных систем - 4-е изд., перераб. и доп. - М.: Энергоатомиздат, 1986.
9. **Зорин В.В., Тисленко В.В.** Надежность систем электроснабжения. – К.: Высш. шк., 1984.
10. **Калявин В.П., Рыбаков Л.М.** Надежность и диагностика электроустановок: Учебное пособие. /Мар.гос.ун-т.- Йошкар-Ола.- 2000.
11. **Половко А.М., Гуров С.В.** Основы теории надежности. – Санкт-Петербург: «БХВ-Петербург», 2006.
12. **Проектирование** электрических аппаратов под ред. Александрова Г.Н. Л.: Энергоатомиздат, 1985.
13. **Фокин Ю.А.** Вероятностные методы в расчетах надежности электрических систем. – М.: МЭИ, 1983.
14. **Фокин Ю.А., Туфанов В.А.** Оценка надежности систем электроснабжения. – М.: Энергоатомиздат, 1981.

А.А. ГОРДИЛОВСКИЙ, к.т.н., доцент,
В.А. ЧЕРНОВ, к.т.н., доцент,
И.В. ПЯТИБРАТОВ, к.т.н., доцент,
С.Ю. ЯКУНЕНКОВ, студент
(филиал ГОУВПО «МЭИ (ТУ)», г. Смоленск)

Оценка состояния изоляции трансформаторов в энергосистемах

Согласно имеющимся в современной технической литературе статистическим данным выход из строя силовых трансформаторов, происходящий по причине пробоя изоляции обмоток, составляет более 70% от общего числа отказов. Для решения данной проблемы в настоящее время используются различные методы оценки состояния изоляции. Периодическое обследование силовых трансформаторов, проводимое с использованием современных методов оценки состояния их изоляционных промежутков, способно стать не только источником достоверной информации о развивающихся в изоляции процессах, но и надежным средством профилактики отказов.

В последние 10–15 лет разработаны новые электрические методы диагностики, которые считаются более совершенными и информативными по сравнению с классическими (традиционными), такими, как измерение: сопротивления изоляции ($R_{из.}$), значения емкости изоляционного промежутка, тангенса угла диэлектрических потерь ($tg \delta$), значения тока утечки ($I_{ут.}$).

К новым методам сегодня относят методы, связанные с измерением значения индекса поляризации ($PI = R_{при\ t=600\ сек} / R_{при\ t=60\ сек}$), коэффициента диэлектрической абсорбции ($DAR = R_{при\ t=60\ сек} / R_{при\ t=30\ сек}$), коэффициента диэлектрического разряда ($DD = I_{при\ t=60\ сек} / U * C_{из.}$), значения времени релаксации ($\tau = R_{из.} * C_{из.}$), значения возвратного напряжения и др. В основе этих методов лежит контроль скорости спадания токов поляризации/деполяризации во времени. Данные подходы считаются перспективными, так как позволяют обеспечить инженерные службы надежным и эффективным инструментарием при оценке состояния изоляции электротехнического оборудования. Именно методы, основанные на измерении токов поляризации, обеспечивают получение количественных оценок перечисленных параметров, что позволяет с большей степенью достоверности оценить состояние изоляционных промежутков находящегося в эксплуатации электротехнического оборудования. Однако результат каждого отдельного вида тестирования дает собственное видение дальнейшей перспективы относительно состояния inspected объекта. Совокупность результатов комбинации нескольких одновременно используемых видов тестирования приводит к плохо интерпретируемой картине дальнейшего прогноза.

Все это связано с тем, что при вычислении значения контролируемого параметра в каждом отдельном виде тестирования используются только отдельные точечные значения функции спадаания поляризационного тока со временем или узкие временные интервалы ее. Эти точечные значения, как правило, связаны с развитием только отдельных «элементарных» процессов поляризации, преобладающих на данном интервале времени, и не затрагивают всю их совокупность. Отмеченный недостаток в значительной степени преодолен в методе контроля состояния изоляционных промежутков, разработанным на кафедре теоретических основ электротехники филиала ГОУВПО «МЭИ (ТУ)» в г. Смоленске.

В соответствии с данным методом оценка состояния изоляционного промежутка формируется на основе изучения всей совокупности процессов поляризации (деполяризации), протекающих в контролируемом промежутке, помещенном в электрическое поле. Отличительной особенностью метода является выделение части временного спектра тока абсорбции $I(t)$, которая содержит всю необходимую информацию о состоянии изоляционного промежутка, а также ее представление в координатах $[t^*I(t)=f(t)]$, что является удобным для интерпретации и анализа.

Выходным параметром выступает максимум функции $[t^*I(t)]_{\max}$, числовые значения которой действительно формируются всеми видами поляризации, развивающимися в выбранном временном интервале. Поэтому значение максимума $[t^*I(t)]_{\max}$ и его положение на временной оси определяют состояние изоляционного промежутка и степень изношенности входящих в его состав материалов. Величина $[t^*I(t)]_{\max}$ хорошо коррелирует с остальными известными параметрами и поэтому в рассматриваемом методе приобретает смысл некоторого обобщенного параметра, которому присваивается наименование «Обобщенный индекс поляризации» – Total Polarization Index (TPI), а зависимость $t^*I(t)=f(t)$ отражает весь спектр развивающихся процессов диэлектрической абсорбции.

Аппаратурное обеспечение метода базируется на использовании единого измерительно-вычислительного комплекса, снабженного необходимым программным обеспечением. Контрольно-измерительное устройство со встроенным микропроцессорным управлением позволяет измерять сопротивление изоляции исследуемого промежутка с погрешностью не более 5%. Встроенный источник питания с возможностью плавного регулирования выходного напряжения делает устройство контроля автономным, мобильным и достаточно удобным для практического использования в условиях полевых испытаний.

Для облегчения интерпретации результатов контроля в рассматриваемом методе используется специально сконструированная диаграмма, входными параметрами которой являются значения TPI и PI. Данная диаграмма позволяет установить положение контролируемого промежутка на шкале баллов, представленной рядом семантических чисел: хорошее, удовлетворительное, состаренное и т.д., и, тем самым, сформиро-

вать представление о степени старения материалов изоляционного промежутка (рис. 1).

Таким образом, существующие подходы к оценке состояния изоляционных промежутков работающего энергетического оборудования, несмотря на их довольно широкий спектр, не в состоянии обеспечить однозначность получаемых оценок. Использование обобщенного индекса поляризации (ТРІ), как интегральной характеристики процессов поляризации, развивающихся в объеме контролируемого промежутка, позволяет получать более достоверную информацию о состоянии объекта и обеспечить требуемую однозначность получаемых оценок.

Метод оценки состояния изоляционных промежутков прошел многократную практическую проверку при испытаниях изоляции более чем 70 высоковольтных трех- и двухобмоточных силовых трансформаторов большой мощности (16000-40000 кВА), установленных на подстанциях филиалов компании ОАО «МРСК Центра» - «Смоленскэнерго» и «Брянскэнерго».

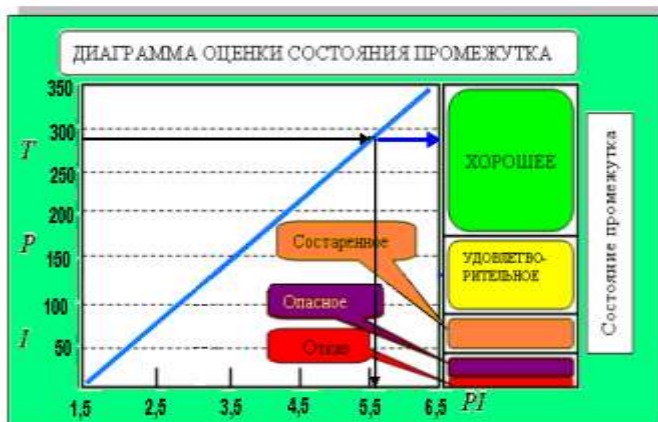


Рис. 1. Диаграмма оценки состояния изоляционных промежутков силовых трансформаторов

Успешные результаты обследования 4-х заводских трансформаторных подстанций ОАО "Завод КДМ им. М.И. Калинина" (г. Смоленск), на каждой из которых было установлено по 2 двухобмоточных трансформатора с номинальной мощностью 630 кВА и напряжением 6/0,4 кВ, проведенного в 2009 году, позволяют расширить область применения метода на аналогичные силовые трансформаторы средней мощности, которые в настоящее время чрезвычайно широко распространены в системах внутривозовского электроснабжения промышленных предприятий, а также в энергосистемах коммунального хозяйства муниципальных образований Российской Федерации.

Постановка задачи оптимизации срока службы энергоблока АЭС

Оптимизация срока службы энергоблока АЭС - задача многокритериальная, ее решение зависит от того, какие критерии выбраны при постановке задачи. В настоящей работе оптимизация срока службы энергоблока АЭС рассматривается как задача сокращения эксплуатационных затрат, связанных с техническим обслуживанием и ремонтом (ТОиР) систем и оборудования АЭС, за счет выбора оптимальных стратегий ремонтных воздействий или за счет оптимизации ремонтного цикла оборудования АЭС при безусловном соблюдении требований к безопасности атомных станций.

Задача оптимизации срока службы ЭБ АЭС сформулирована следующим образом:

- стоимость ТОиР \rightarrow минимум;
- затраты времени на ТОиР \rightarrow минимум;
- надежность удовлетворяет критерию предельного состояния системы или оборудования АЭС.

В основу решения задачи оптимизации срока службы ЭБ АЭС положен анализ показателей эффективности ТОиР АЭС [1].

Процедура анализа оборудования АЭС на предмет целесообразности изменения стратегии обслуживания или межремонтного периода или изменения категории ремонта оборудования включает следующие шаги:

1. Выбор оборудования или элемента системы.
2. Анализ показателей эффективности технического обслуживания и ремонта. Выявление закономерностей.
3. Моделирование показателей эффективности технического обслуживания и ремонта для различных вариантов ремонтных циклов ТОиР (на основании выявленных закономерностей и имеющихся ограничений).
4. Сравнение смоделированных вариантов ремонтных циклов ТОиР с существующим ремонтным циклом ТОиР. Сравнение происходит на основании средних экономических и средних временных затрат на ТОиР при сохранении показателей надежности в установленных пределах (см. табл. 1).
5. Выработка рекомендаций о целесообразности или нецелесообразности дальнейших шагов по анализу возможности изменения ремонтного цикла или стратегии обслуживания.

Примечание: решение о целесообразности изменения стратегии обслуживания с регламентной на стратегию обслуживания по техническому

состоянию принимается при выявлении N ремонтных циклов, не хуже существующего.

Таблица 1. Ремонтный цикл и показатели для его оценки

	Ремонтный цикл	Средняя стоимость ТОиР	Средние временные затраты на ТОиР
№ 0	T→C→T→C→K	\bar{P}_0	\bar{T}_0
№ 1	T→C→T→T→K	P_1	\bar{T}_1
....			
№ n	T→T→C→T→T→K	\bar{P}_n	\bar{T}_n

Примечание: T – текущий ремонт; C – средний ремонт; K – капитальный ремонт; № 0 – существующий вариант ремонтного цикла; “→” – межремонтный период в каждом случае индивидуальный.

$$\bar{P}_i = \frac{\sum P_j}{T_{RC}}, \quad (1)$$

где P_j – стоимость j-го ТОиР (T, C, K), T_{RC} – время выполнения ремонтного цикла.

$$\bar{T}_i = \frac{\sum T_j}{T_{RC}}, \quad (2)$$

где T_j – среднее время, затрачиваемое на проведение ТОиР (T, C, K), T_{RC} – время выполнения ремонтного цикла.

Литература

1. **Руководящий документ** (РД ЭО 0069 – 97): Правила организации технического обслуживания и ремонта систем и оборудования атомных станций/ Мин-во РФ по атомной энергии; концерн «Росэнергоатом». – М.: Изд-во УНПЦ «Энергомаш», 1999.
2. **Вентцель Е.С.** Исследование операций. – М.: Сов. радио, 1972.
3. **Штойер Р.** Многокритериальная оптимизация. Теория, вычисления и приложения. – М.: Радио и связь, 1992.

Методы оценки состояния изоляции статоров ЭГПА

Задача достоверного определения технического состояния газоперекачивающих агрегатов (ГПА), является одной из важнейших, определяющей надёжную и безопасную эксплуатацию компрессорных станций (КС), и единой системы газоснабжения (ЕСГ). Для решения этой задачи используются автоматизированные системы определения технического состояния ГПА, основанные на принципах вибродиагностики, термографии, трибодиагностики, которые предназначены для определения технического состояния механических узлов ГПА. Методы достоверного определения состояния электрической части высоковольтных приводных двигателей для электроприводных ГПА (ЭГПА), в настоящее время развиты в значительно меньшей степени. Состояние изоляции статоров таких электродвигателей на КС определяется высоковольтными испытаниями, измерением сопротивления изоляции и коэффициента абсорбции. По статистике [1,2], наибольшее количество отказов связано с короткими замыканиями в обмотке статора. Пробой изоляции статора СТД-12500-2 (10кВ) приводит к выводу в ремонт всего агрегата на время, превышающее среднюю годовую наработку ЭГПА в 1,5 – 2 раза, а стоимость ремонта соизмерима с приобретением нового статора.

В [3] утверждается, что если изоляция выдержала напряжение, значительно превышающее номинальное, то она будет работоспособна на протяжении заданного ресурса. В условиях реальной эксплуатации изоляция подвергается механическим, тепловым, электрическим, химическим воздействиям и ее состояние может существенно измениться за короткий интервал времени. Измерения сопротивления изоляции и коэффициента абсорбции мегомметром, могут выявить только грубые дефекты или поверхностное увлажнение обмотки. По этим данным невозможно определить вид дефекта и стадию его развития, предпринять меры по восстановлению изоляции. Наиболее информативным методом [3], является проведение высоковольтных испытаний выпрямленным напряжением с контролем тока утечки и коэффициента нелинейности. Но он также имеет ряд недостатков, не позволяющих заблаговременно проводить работы по восстановлению изоляции обмотки.

В соответствии с [4] для определения состояния изоляции статора приводных электродвигателей используются высоковольтные испытания напряжением промышленной частоты с измерением характеристик частичных разрядов (ЧР). Основные проблемы метода, заключаются в отсутствии экспериментально подтвержденных нормативов, однозначно

характеризующих состояние изоляции и невозможность отследить изменение её состояния путем построения трендов характеристик. Диагностика более 90 электродвигателей на КС ООО «Газпром трансгаз Нижний Новгород» показала, что у некоторых двигателей прошедших тест, пробой изоляции наступал через 2 – 3 тыс. часов наработки.

Контроль состояния изоляции электрических машин большой мощности методом измерения характеристик ЧР (особенно в режиме постоянного мониторинга), во всем мире признан одним из самых эффективных и достоверных [5]. Основным недостатком большинства подобных систем, реализованных на этом методе – отсутствие понятных норм, позволяющих адекватно идентифицировать состояние изоляции.

С целью получения достоверной информации о состоянии изоляции электродвигателей ЭГПА на одной из КС ООО «Газпром трансгаз Нижний Новгород» была установлена система постоянного мониторинга TGA-B фирмы IRIS POWER. Отличительной особенностью систем контроля изоляции IRIS, является наличие большой базы данных составленной на основе более 100 000 измерений характеристик ЧР генераторов и электродвигателей. В табл. 1 приведён фрагмент базы данных для электрических машин двух классов напряжения с воздушным охлаждением и емкостными датчиками ЧР с указанием максимальной амплитуды повторяющихся импульсов ЧР Q_m , мВ и корреляции (%) с базой данных.

Таблица 1

Уровень износа изоляции	Корреляция с базой данных, %	6 – 9 кВ (Q_m мВ)	10 – 12 кВ (Q_m мВ)
Незначительный	25	26	29
Низкий	50	70	74
Обычный	75	152	181
Умеренный	90	273	382
Высокий	95	375	563

Сейчас уже после первого измерения можно идентифицировать состояние изоляции и в дальнейшем отслеживать его изменение. На рис.1 приведены результаты сравнительного анализа уровней ЧР на 4 ЭГПА откуда видно, что состояние изоляции ЭГПА №4, значительно хуже, чем трех других.

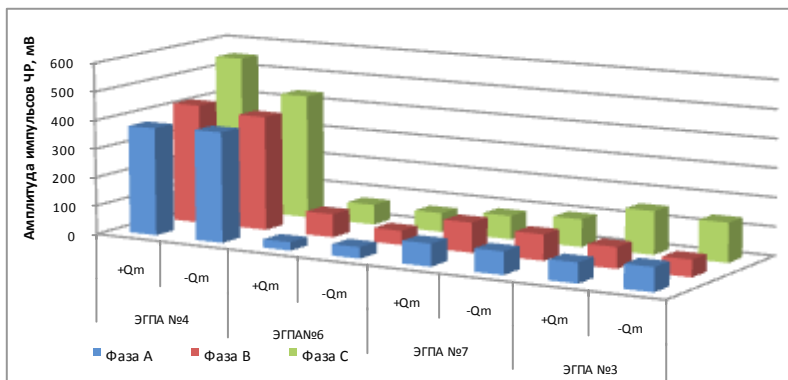


Рис. 1. Результаты измерений максимальной амплитуды импульсов ЧР: -Q_m, +Q_m - амплитуды импульсов при отрицательной и положительной полярности питающего напряжения, мВ

Для более точного определения состояния изоляции необходимо иметь ретроспективные данные о режимах работы электродвигателя. В дополнение к системе контроля изоляции IRIS разработан алгоритм, позволяющий, используя основные параметры работы электродвигателя, анализировать причины увеличения разрядной активности в обмотке статора. Это позволит предотвращать режимы работы, приводящие к ускоренной выработке ресурса изоляции статора.

Выводы:

1. Проведенный анализ используемых методов определения состояния изоляции и статистика отказов статоров, показывают, что в настоящее время отсутствуют достоверные методы определения состояния изоляции приводных электродвигателей ЭГПА в условиях действующих КС.
2. Наиболее эффективной системой контроля изоляции, является измерение характеристик частичных разрядов в режиме on-line.
3. Для более достоверного определения состояния изоляции, необходимо выполнять анализ основных параметров работы приводного электродвигателя и ЭГПА в целом.
4. Разработанный алгоритм анализа рабочих режимов ЭГПА, позволят не только делать выводы о состоянии изоляции по характеристикам ЧР, но и предотвращать режимы его работы, увеличивающие скорость выработки ресурса изоляции.

Литература

1. **Бабичев С.А., Папков Б.В.** Надежность приводных электродвигателей газоперекачивающих агрегатов // Труды XVII Всероссийской конференции Неразрушающий контроль и техническая диагностика. – Н.Новгород, 2007, с. 495 – 496.
2. **А.Б. Добрынин., С.П. Петров, Ф.Х. Халилов, А.И. Таджикибаев** // Обеспечение безаварийной работы электродвигателей при режимных возмущениях питающей сети. – Санкт-Петербург, 2000г.
3. **Объемы и нормы** испытаний электрооборудования // РД 34.45-51.300 – 97, Москва, Издательство НЦ ЭНАС, 2004 с. 39 – 42
4. **Методика** по техническому диагностированию электропривода газоперекачивающих агрегатов // СТО ГАЗПРОМ 2-2.3-289-2009.- Москва, 2009, с. 35 – 36.
5. **Greg C. Stone, Edward A. Boulter, Ian Culbert, Husseine Dhirani.** Electrical insulation for rotating machines. Design, Evaluation, Aging, Testing, and Repair //IEEE Press on Power Engineering. - 445 Hoes Lane Piscataway (USA), NJ 08854, 2004, pp 235 – 282.

УДК 621.315.6

В.А. ЧЕРНЫШЕВ, д.т.н., профессор,
Е.В. ЗЕНОВА, к.т.н., доцент,
В.А. ЧЕРНОВ, к.т.н., доцент,
М.А. КИСЛЯКОВ, научный сотрудник
Филиал ГОУВПО «МЭИ (ТУ)», г. Смоленск

Исследование поляризационных процессов как способ оценки состояния изоляции силовых трансформаторов

В настоящее время существует большое количество методов контроля состояния высоковольтных трансформаторов, так и не обеспечивших широкого внедрения профилактического контроля повсеместно. В каждом таком методе используется своя физическая модель, раскрывающая характер энергетического воздействия определенного вида на объект контроля и свои принципиально различные подходы аппаратурного оформления. Таких энергетических воздействий оказывается довольно много: это волны электрического перенапряжения, термические пики, области повышенных температур, процессы, связанные с развитием частичных разрядов, импульсные механические нагрузки, звуковые и ультразвуковые колебания, процессы старения и многое другое.

Большое разнообразие методов контроля, сложность диагностического оборудования, отсутствие хорошо разработанных методик контроля и скудность базы исходных данных справочного характера не позволяют иметь единое информационное поле, обеспечивающего создание унифицированной методики достоверной оценки состояния работающего электротехнического устройства.

В предлагаемой ниже методике оценки состояния принято во внимание утверждение: *“The life of a transformer is limited to the life of its solid insulation”* – Thomas A. Prevorst. (Время жизни трансформатора определяется временем жизни его твердой изоляции). А в качестве основной исходной предпосылки в работе эксплуатируется представление о том, что все энергетические процессы, развивающиеся в объеме контролируемого объекта, фиксируются твердой изоляцией в виде некоторой совокупности разного рода нарушений, накопление которых в изоляционной системе приводит к изменению свойств и параметров изоляционной конструкции трансформатора. В этом смысле изоляционная конструкция обладает как бы «памятью». Она оказывается способной накапливать и сохранять информацию о всех критических энергетических воздействиях, имевших место ранее. Действительно, если в объеме работающего трансформатора имеют место частичные разряды заметной интенсивности или вибрация пластин магнитопровода из-за низкого уровня его прессовки, то свойства его изоляционной системы будут существенно отличаться от свойств изоляционной системы трансформатора, в котором такие процессы исключены или сведены к минимуму.

В данной методике используется накопленный опыт, связанный с изучением природы поляризационных процессов, которые могут развиваться в изоляционных системах сложного энергетического оборудования. Интенсивность и вид поляризационных процессов зависят не только от особенностей изоляционной конструкции, но и являются очень чувствительными даже к малейшим нарушениям, возникающим в объеме материалов, обеспечивающих требуемый уровень надежности работы изоляционного промежутка. Выходным параметром в данном случае является плотность тока абсорбции, величина которого действительно зависит от степени загрязнения работающих в промежутке материалов низкомолекулярными продуктами деструкции полимерных цепей целлюлозы в присутствии избыточного количества влаги.

Большое количество дефектов, различных по своему химическому составу и строению, каждый из которых вносит свой вклад в общую величину плотности абсорбционного тока и проявляется при определенных условиях, приводит к тому, что контролируемая величина плотности абсорбционного тока представляется суммой некоторой совокупности «элементарных» токов. Каждый из элементарных токов обусловлен только присущим ему процессом поляризации. В результате выходной параметр представляется в виде некоторого временного спектра поляризационного тока. Вид спектра, форма отдельных его компонентов и положение их на временной оси несут в себе основную информацию о состоянии изоляционного промежутка.

Для количественной характеристики состояния изоляционного промежутка обычно используется довольно обширный набор единич-

ных показателей. Кроме общеизвестных показателей (сопротивление изоляции $R_{из.}$, тангенс угла диэлектрических потерь $\tan \delta$, величина тока утечки $I_{ут.}$ и др.), к ним сегодня относят: индекс поляризации – PI, коэффициент диэлектрической абсорбции – DAR, коэффициент диэлектрического разряда – DD, величину возвратного напряжения – RVM и др. Однако, перечисленные выше показатели по своей физической природе скорее относятся к статическим параметрам, которые характеризуют процесс электропереноса только в некоторые конвенционно установленные моменты времени. Поэтому даже тщательный контроль этих параметров не отражает всех особенностей поведения поляризационного спектра. Информация, полученная таким образом, оказывается неполной.

На рис. 1 схематично показана физическая сущность основных параметров, значения которых обычно используют для оценки состояния контролируемых промежутков, в сопоставлении с параметром $[t^*I(t)]_{max} = TPI$, получившим в работе название *Total Polarization Index – Обобщенный индекс поляризации*.

Не трудно видеть, что основные характеристики предлагаемого параметра контроля жестко не связаны с конвенционно установленными моментами времени ($t_1 = 30$ сек; $t_2 = 60$ сек; $t_3 = 600$ сек и т.д.). В результате величина TPI ее положение на временной оси более полно раскрывают характерные черты поведения поляризационного спектра во времени, т.е. обладает большей информативностью.

Описанная методика входит в комплексную программу оценки состояния изоляционных промежутков, которая успешно применяется в течение 6 лет для диагностики силовых трансформаторов работающих в энергетических сетях.

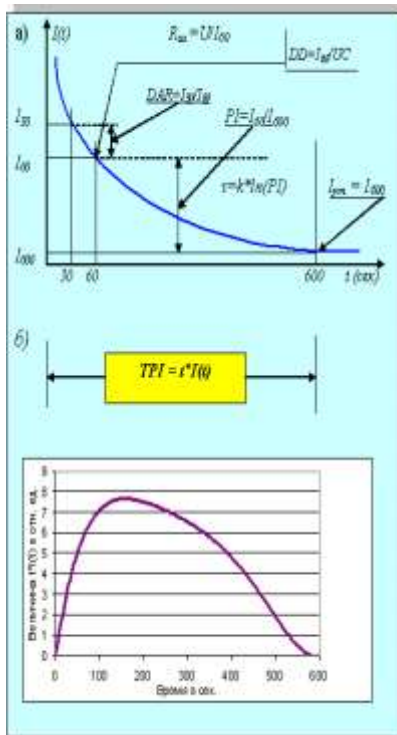


Рис. 1. Физическая сущность основных параметров, используемых для оценки состояния контролируемых изоляционных промежутков

Литература

1. **В.А. Чернышев**, В.А. Чернов, М.А. Кисляков. Оценка состояния изоляции силовых трансформаторов на основе исследования поляризационных процессов. «Электрика», № 6, 2009 г.

УДК 621.311-52

А.С. ПИСАРЕНКО, инженер
(ЗАО «Монитор Электрик») г. Москва
В.С. МАРКОВ, к.т.н., доцент,
Е.Е. ПИСАРЕНКО, бакалавр
(МЭИ (ТУ)), г. Смоленск

Применение режимного тренажёра диспетчера при подготовке специалистов электроэнергетического профиля

Современные компьютерные технологии предоставляют огромные возможности для развития процесса образования. Применение современных специализированных программных комплексов, при решении задач подготовки высококвалифицированных кадров в высших учебных заведениях (ВУЗ), позволяет не только вести процесс обучения наиболее продуктивно и качественно, но и приблизить обучаемого к рабочему процессу, который его ждёт в дальнейшем. Одним из таких программных комплексов является режимный тренажёр диспетчера (РТД) «Финист», разработанный специалистами компании «Монитор Электрик», г. Пятигорск. В настоящее время данный тренажёр используется во всех филиалах Системного оператора Единой энергетической системы (СО ЕЭС) России с целью обучения и проверки знаний по ведению и управлению режимами энергосистем, предотвращению и ликвидации аварийных ситуаций.

Внедрение данного программного комплекса в образовательный процесс может быть осуществлено в качестве дополнительного программного продукта (инструмента) для проведения лабораторных занятий и выполнения курсовых проектов по специальным дисциплинам, входящим в учебные планы ВУЗов электроэнергетического профиля.

Рассмотрим возможности использования РТД «Финист» в профильных учебных дисциплинах, в которых его применение может быть наиболее эффективно.

Электромеханические переходные процессы

В основу РТД «Финист» положена динамическая модель электроэнергетической системы (ЭЭС). Это означает, что тренажёр воспроизводит не только установившиеся режимы между коммутациями или иными возмущениями, но и переходные процессы, представляя ЭЭС живой моделью [1]. Благодаря этому тренажёр предоставляет широкие возможности для изучения студентами поведения ЭЭС при различных возмущениях в ней, приводящих к возникновению переходных процессов:

- изучение поведения ЭЭС при переходных процессах, связанных с глубокими отклонениями частоты и напряжения от номинальных значений в результате возмущений типа включение/отключение мощных нагрузок или генерирующих мощностей;
- изучение поведения ЭЭС при несинхронной работе её фрагментов с последующим их объединением при помощи колонки синхронизации.

Лабораторные работы по данной дисциплине могут быть реализованы на основе расчетной модели ЭЭС, в состав которой должны быть включены мощные узлы генерации и нагрузки, воздействуя на которые возможно управление ходом переходного процесса в ЭЭС. Модель ЭЭС формируется таким образом, что имеется возможность разделения её на несколько независимых (работающих несинхронно) “островов”. В качестве одного из пунктов задания, студенту может быть предложено самостоятельно разделить ЭЭС на острова (с целью ликвидации режима асинхронного хода генераторов), а затем, воздействуя на узлы нагрузки/генерации различных островов, добиться возможности их синхронного объединения. Контроль условий синхронизма осуществляется с использованием колонки синхронизации и с запретом объединения несинхронно работающих островов (включение соответствующих коммутационных аппаратов) при разнице частот, а так же модулях и фазах напряжений больше значений, установленных преподавателем.

Вышеизложенный подход к проведению лабораторных работ (в режиме реального времени и на реальной схеме ЭЭС, которая может включать несколько десятков подстанций и 3-4 крупные станции) позволит развить у студентов навыки работы специалистов диспетчерских организаций электроэнергетических систем, тем самым повысив уровень их подготовки к дальнейшей трудовой деятельности.

Электрическая часть объектов электроэнергетических систем (станций и подстанций)

При изучении данной дисциплины тренажёр может быть использован как инструмент, с помощью которого студент имеет возможность наглядно изучить модели энергообъектов, их связи в единую энергосистему и принципы действия устройств релейной защиты и автоматики при различных аварийных ситуациях. А именно:

- ознакомиться с различными вариантами главных схем станций и подстанций различного класса напряжения и состава оборудования;
- рассмотреть варианты применения типовых и не типовых схем распределительных устройств (РУ) станций и подстанций, способов подключения к ним основного электрооборудования: генера-

торов, силовых трансформаторов, устройств компенсации реактивной мощности;

- усвоить принципы построения схем собственных нужд подстанций и электростанций различных типов (КЭС, ТЭЦ, АЭС, ГЭС) разного уровня надёжности, состава и способов подключения основного и резервного оборудования;
- изучить основные правила проведения оперативных переключений на аппаратах РУ при выводе в ремонт электрооборудования электроэнергетических систем и вводе его в работу после ремонта;
- ознакомиться с принципами работы релейных защит и автоматики при повреждениях или коротких замыканиях в различных элементах электрической сети путём воздействия на коммутационные аппараты и узлы генерации/нагрузки.

Для реализации этих задач требуется создание набора мнемосхем (аналог диспетчерского щита) ЭЭС в целом и отдельных её объектов. Что может быть реализовано средствами специализированного графического редактора TOPAZ Graphics. На этих мнемосхемах должно отображаться всё разнообразие применяемых в электроэнергетической практике главных схем, схем РУ и схем собственных нужд станций и подстанций различного типа и класса напряжения.

Электроэнергетические системы и сети

Используя тренажёр в рамках данной дисциплины, студент может решать широкий спектр сетевых задач, а именно:

- формирование расчётной модели заданной электрической сети с последующим расчётом потокораспределения в ней;
- выбор параметров устройств компенсации реактивной мощности и режимов их работы для обеспечения минимума потерь электрической энергии в сети;
- выбор положений регулировочных ответвлений устройств регулирования напряжения трансформаторов в различных режимах работы сети (минимальных и максимальных нагрузок, послеаварийном, ремонтном и т.д.) с целью обеспечения требуемого уровня напряжения у потребителей.

Считаем, что на базе учебной версии тренажёра «Финист» возможна разработка качественно новой дисциплины направленной на подготовку специалистов к работе диспетчерами в подразделениях ОАО «СО ЕЭС». В рамках данной дисциплины в качестве практических занятий перед студентом могут быть поставлены задачи сохранения устойчивой работы ЭЭС при различных возмущениях в ней (имитациях различных аварий, нарушениях нормальной работы), а так же обеспечения поддержания контролируемых параметров режима в допустимой области. В учебном

тренажере источниками внешних возмущений могут являться команды преподавателя или команды автоматически исполняемого сценария (файл, хранящий амплитуды и время возникновения возмущений, имитирующих повреждение, формируется отдельно и может быть изменён по мере необходимости). Таким образом, достигается варьирование уровня развития аварии и, соответственно, уровня сложности задания для проверяемого.

Кроме того, в учебном процессе могут использоваться такие возможности РТД «Финист», как оценка действий проверяемого. Это позволяет проверяющему лицу (преподавателю) вносить в ходе тренировки ремарки, выставлять баллы за конкретные действия. По итогам проверки формируется протокол в форме, аналогичной той, которую имеет протокол тренировки оперативного персонала энергосистем. Другой важной особенностью тренажёра является формирование набора интегральных показателей эффективности предпринятых в ходе проверки действий (например, длительность перерывов питания, отклонения основных показателей качества электроэнергии).

В заключение необходимо отметить тот факт, что РТД «Финист» был использован авторами данной статьи на кафедре Электроэнергетических систем в Смоленском филиале Московского Энергетического института для создания расчётной модели электроэнергетической системы. Источником энергии в ней принята крупная конденсационная станция установленной мощностью 1000 МВт, выдающая электроэнергию в сети класса 500 и 220 кВ. Моделируемая ЭЭС представляет собой магистральную сеть напряжением 220, 110 кВ и имеет связи с энергообъединением более высокого уровня по линиям электропередач 500 кВ. Средствами TOPAZ Graphics был создан аналог современного диспетчерского щита для данной ЭЭС с выводом на него всех режимных параметров и параметров состояния оборудования. Данная модель позволила в режиме реального времени следить за состоянием ЭЭС при различных возмущениях и имитации аварийных режимов в ЭЭС. Управление режимом осуществляется путём воздействия на уровни генерации активной мощности и уставки АРВ по напряжению на энергоблоках станции, на уровни потребления электроэнергии и на состояние коммутационных аппаратов. Данная работа была одобрена на учебно-методическом семинаре кафедры.

Литература

1. **«Финист»**. Режимный тренажёр диспетчера. Т.3. Математическая модель. ЗАО «Монитор электрик», – Пятигорск, 2010. – 73 с.

Анализ самозапуска и ресинхронизации синхронных двигателей

В системах промышленного электроснабжения и транспорта нефтепродуктов в последнее время находят применение устройства быстрого действующего включения резерва (БАВР), которые обеспечивают распознавание возникшей в сети аварии и ускоренное переключение аварийной секции с синхронной нагрузкой на резервную секцию шин распределительного устройства. Это позволяет уменьшить последствия нарушения технологических процессов при потерях и восстановлении питания. Разработка алгоритмов работы БАВР требует учета не только построение логики регистрации короткого замыкания (КЗ), возникшего во внешней сети электроснабжения, но и оценки способности синхронного двигателя (СД) втянуться в синхронизм после восстановления питания, когда провалы напряжения воздействуют не только на режим статорной обмотки СД, но и на режим работы обмотки возбуждения.

Для анализа работы синхронной двигательной нагрузки при провалах напряжения была составлена модель синхронного двигателя СТД-8000 мощностью 8000 кВт со статической системой возбуждения типа ТЕ8-320/115 и модель защиты двигателя от асинхронного хода.

Модель двигателя учитывает наличие обмотки возбуждения, статорной обмотки и успокоительных обмоток по поперечной и продольной оси двигателя.

Модель защиты от асинхронного хода построена с учетом рекомендаций ПУЭ [1] и «Режимы работы, релейная защита и автоматика синхронных электродвигателей» [2], и действует при увеличении тока в статорной обмотке двигателя в 1,3-1,4 сверх номинального в течение 5 с и имеет выдержку на возврат равную 2 с.

Нагрузка двигателя составляет 0,7 от номинальной нагрузки и имеет момент сопротивления независящий от скорости вращения.

В работе исследуется режим самозапуска синхронного двигателя получающего питание с шин распределительного устройства, на которых моделируются провалы напряжения различной глубины и длительности.

По результатам моделирования построены кривые, приведенные на рис. 1. Данные кривые отражают влияние провала напряжения определенной длительности и глубины на самозапуск и ресинхронизацию двигателя после восстановления питания.

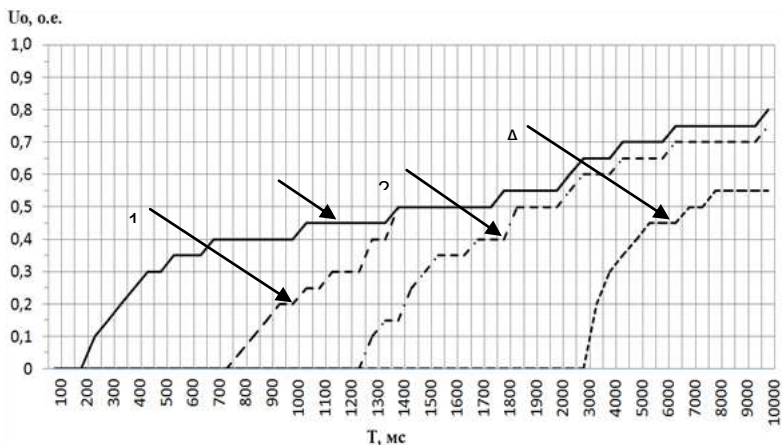


Рис. 1. Зоны устойчивости синхронного двигателя STD-8000 при провалах напряжения

Анализ полученных результатов показывает о наличии пяти различных зон влияния провала напряжения на самозапуск и ресинхронизацию синхронных двигателей без гашения поля возбуждения:

зона I – зона, ограниченная кривой V и осью остаточного напряжения U_0 (рис. 1). В этой зоне после восстановления питания происходит успешная ресинхронизация двигателя, при этом ротор не проворачивается относительно поля статора машины;

зона II – зона, ограниченная кривыми V1 и V (рис. 1). В этой зоне осуществляется успешная ресинхронизация двигателя, но при этом ротор машины проворачивается относительно поля статора от 1 до 3 раз;

зона III – зона, ограниченная кривыми V2 и V1 (рис. 1). В этой зоне имеются точки, в которых происходит успешная ресинхронизация двигателя, но при этом ротор машины может совершить относительно поля статора от 2 до 7 полных оборотов, а также точки, в которых срабатывает защита от асинхронного хода;

зона IV – зона, ограниченная кривыми VA и V2 (рис. 1). При любых провалах напряжения, соответствующих данной зоне, двигатель ресинхронизируется, но во всех случаях срабатывает защита от асинхронного хода;

зона V – зона, находящаяся справа от кривой VA (рис. 1). В этой зоне двигатель не ресинхронизируется и наступает асинхронный режим.

Полученные графики (рис.1.) показывают, что при потерях питания, соответствующих зонам I, II, III успешная ресинхронизация синхронного двигателя осуществляется без гашения поля возбуждения, что позволяет

не переводить ее в асинхронный ход для последующей ресинхронизацией с предварительным гашением поля.

Полученные кривые позволяют количественно и качественно охарактеризовать пределы устойчивости машины при провалах напряжения, возникающих в системах внешнего электроснабжения. Поэтому они могут быть использованы при настройке схем защит от потери питания и коротких замыканий во внешней сети.

Литература

1. **Правила** устройства электроустановок, 7-е издание. – СПб.:ДЕАН. 2005.
2. **Слодарж М.И.** Режимы работы, релейная защита и автоматика синхронных электродвигателей. - М.:Энергия. 1977.

УДК 621.311

В.А. ШАХНИН, д.т.н., профессор,
О.И. МОНОГАРОВ, инженер
(ВлГУ) г. Владимир

Повышение достоверности интродиагностики устройства РПН силовых трансформаторов методом токовых диаграмм

Одним из способов регулирования напряжения в электрических сетях является выбор ответвлений на обмотках силовых трансформаторов. Регулирование напряжения за счет изменения числа витков при отключенной нагрузке не обеспечивает требуемой оперативности регулирования и надёжности электроснабжения. В связи с этим высоковольтные трансформаторы снабжаются специальными коммутаторами, обеспечивающими переключение ответвлений обмоток без отключения нагрузки. Их принято называть регуляторами напряжения под нагрузкой (РПН). На территории Владимирской области около 85% силовых трансформаторов классов 35...750 кВ оборудованы устройствами РПН. Регулятор напряжения является одним из важных и в то же время одним из самых ненадёжных узлов в силовом трансформаторе. К числу основных неисправностей РПН относятся повреждения контактов из-за искрения, перегрева, оплавления и выгорания. Выход из строя РПН приводит к аварии всего трансформатора, который является наиболее дорогим элементом любой электрической подстанции.

В настоящее время в России и за рубежом диагностику РПН осуществляют, главным образом, традиционным методом со вскрытием бака и сливом трансформаторного масла [1]. Такой метод диагностики не отвечает современным требованиям экологической безопасности, является ресурсо- и энергоёмким. Возможные при этом нарушения технологии откачки и последующей заливки масла приводят к загрязнению окружа-

ющей среды, ухудшают свойства масла, снижают сопротивление изоляции бакелитового цилиндра бака РПН и сопротивление изоляции обмоток трансформатора в целом. Таким образом, разработка эффективных экологически безопасных, ресурсо- и энергосберегающих, способов диагностирования маслonaполненного высоковольтного оборудования является, безусловно, актуальной задачей. Для её решения целесообразно привлечения методов неразрушающего контроля и интродиагностики, которые широко применяются в других отраслях техники. В данном случае интродиагностика означает контроль комплекса параметров РПН силовых трансформаторов без вскрытия их баков и слива масла.

В нашей стране большинство высоковольтных силовых трансформаторов оборудовано РПН с токоограничивающими резисторами. Например, на подстанциях Владимирэнерго около 90% трансформаторов класса 110 кВ имеют регуляторы такого типа марок РС, РНОА и РНТА. Главным образом это трансформаторы Тольяттинского и Запорожского трансформаторных заводов типа ТРДН, ТДТН, ТДН и ТМН. При традиционной диагностике со сливом масла стабилизированный источник постоянного напряжения с цифровым регистратором тока подключается между выводом нейтрали и началом регулировочной обмотки. В процессе переключения РПН с одной отпайки на другую, смежную, регистрируется диаграмма изменения тока. Параметры этой кривой являются паспортными данными переключателя, поэтому отклонения от них свидетельствуют о нарушении регулировок контактной системы РПН.

При диагностике без вскрытия бака РПН начало регулировочной обмотки, оказывается недоступной для подключения источника постоянного напряжения, поэтому он подключается между высоковольтным вводом фазы и нейтралью трансформатора. В этом случае из-за влияния индуктивности основной обмотки фазы характер изменения тока РПН существенно изменяется. Теоретически анализ диаграммы для определения состояния контактора РПН базируется на очевидных свойствах этой кривой. Действительно, пять характерных интервалов кривой соответствуют основным установившимся и переходным режимам электрической цепи переключателя. На анализе диаграмм переключения основаны методы интродиагностики РПН, разработанные в Инженерном центре «Чувашэнерго» под руководством проф. Г.М. Михеева [2]. Эти методы и соответствующая аппаратура в настоящее время начинают применяться на подстанциях магистральных сетей России и ряда региональных энергосистем.

К сожалению, достоверность интродиагностики пока существенно ниже, чем у диагностики традиционными методами. Это в первую очередь касается быстродействующих РПН типа РНОА, которыми оборудуются мощные автотрансформаторы узловых подстанций. Исследования, проведённые на РПН типа РНОА одной из фаз автотрансформатора АТДЦТН-200000/220/6, показали, что упомянутые выше характерные интервалы на диаграммах переключения РПН становятся слабовыраженными из-за влияния большой индуктивности обмотки

высокого напряжения автотрансформатора. Кроме того, информативность диаграмм существенно снижается под влиянием электромагнитных наводок и помех иной природы, характерных для мощных подстанций. В ВлГУ проводятся исследования, направленные на повышение достоверности интродиагностики высоковольтных силовых трансформаторов [3]. Наличие компьютера в составе диагностического комплекса позволяет перейти от детерминистского подхода в решении задачи шумоподавления к статистическому с использованием методов оптимальной фильтрации. Математическую основу предлагаемого метода повышения точности измерения составляет аппарат калмановского рекуррентного оценивания. Процедура Калмана используется для получения оптимальных оценок приращений тока РПН.

Отличительная особенность предлагаемого метода состоит в том, что нелинейная математическая модель, описывающая зависимость между током РПН и индуктивностью основной обмотки фазы трансформатора заменяется набором локальных линейных моделей. Алгоритм фильтрации Калмана формируется для линейного участка. При последовательном переходе с участка на участок изменяются лишь некоторые коэффициенты фильтра.

Литература

1. **Алексеев Б.А.** Контроль состояния (диагностика) крупных силовых трансформаторов. – М.: НЦ ЭНАС. 2002. 169 с.
2. **Михеев Г.М.** Цифровая диагностика высоковольтного оборудования – М.: Изд. дом «Додэка-XXI». 2008. 304 с.
3. **Шахнин В.А.** Принципы гибкой автоматизации неразрушающего контроля в электроэнергетике // Автоматизация и современные технологии. 2008. №12. С. 27-30.

УДК 621.313

А.М. ШУРЫГИН, к.т.н., доцент,
М.Н. ШУРЫГИН, к.т.н., профессор
(ИГЭУ)

Применение метода взаимной нагрузки при испытаниях синхронных машин

В общем случае при испытаниях по методу взаимной нагрузки две электрические машины, подключенные к внешнему источнику энергии, соединяются между собой механически и электрически. Одна из машин работает в режиме генератора, другая – в режиме двигателя. В этом случае расход энергии при испытаниях определяется лишь суммарными потерями в обеих испытываемых машинах и составляет (10–20)% мощности одной испытываемой машины. Последнее обстоятельство является важным достоинством метода взаимной нагрузки, поскольку позволяет существенно экономить энергию при испытаниях.

Две синхронные машины, механически не связанные между собой, при изменении токов возбуждения могут быть нагружены лишь реактив-

ным током. При механической связи возможно регулирование активной мощности.

Для нагрузки машин активным током необходимо создать угол рассогласования их роторов относительно поля якоря – угол нагрузки Θ . Если поле ротора синхронной машины опережает поле якоря на угол Θ , то машина работает генератором и нагружается активным током. Если поле ротора отстает от поля якоря на угол Θ , то машина работает двигателем и потребляет активный ток от генератора. Угол нагрузки можно создать различными способами: механическим разворотом вокруг оси ротора одного из статоров синхронных машин на угол Θ путем поворота его с помощью специального устройства, разворотом ротора одной из машин на угол Θ путем перемонтажа соединительной муфты. Эти приемы неудобны в практике испытаний, поскольку предполагают остановку синхронных машин для перемонтажа. Кроме того, при перемонтаже в центровке машины может появиться эксцентриситет, что вызовет дополнительный периодический изгиб вала и переменную нагрузку подшипника. При определенном количестве циклов нагружения вал и подшипник за счет усталости металла могут оказаться в аварийной ситуации.

Учитывая, что в синхронном генераторе пространственная и временная векторные диаграммы МДС совпадают, угол Θ можно изменить за счет временного сдвига напряжений, приложенных к статорам синхронных машин, с помощью индукционного фазовращателя. Недостатком индукционного фазовращателя, выполненного на базе асинхронной машины с фазным ротором, является низкий КПД и $\cos\varphi$, обусловленные воздушным зазором, а также заметное изменение напряжения на вторичных зажимах под нагрузкой [1].

Во всех рассмотренных способах потери в синхронных машинах покрываются либо за счет первичной сети, либо за счет дополнительного двигателя, имеющего мощность, примерно равную мощности потерь обеих синхронных машин. Коэффициент мощности в этом случае регулируется изменением тока возбуждения испытываемых машин.

Для создания угла нагрузки Θ можно применить синхронную машину с продольно-поперечным возбуждением или асинхронизированную синхронную машину, которые имеют на роторе не однофазную обмотку возбуждения постоянного тока, а двух- или трехфазную обмотку возбуждения. Путем регулирования в этих обмотках составляющих тока возбуждения можно плавно поворачивать результирующее поле ротора, регулируя тем самым угол Θ [2]. Недостаток этого способа заключается в том, что требуется специальная технологическая синхронная машина, использование которой снижает производительность испытаний в два раза по сравнению с рассмотренными ранее способами.

Литература

1. **Якимов, В.В.** Испытания и надежность электрических машин : учеб. пособие / В.В. Якимов. – Горький : ГГУ, 1985. – 62 с.
2. **Жерве, Г.К.** Промышленные испытания электрических машин / Г.К. Жерве. – Л.: Энергия, 1984. – 408 с.

УДК 621.311

Д.А. АНДРЕЕВ, к.т.н., гл. технолог
(ОАО «Зарубежэнергопроект») г. Иваново
Т.А. ЖУЛИНА, ведущий инженер
(ООО «Новая энергетика»)

Применение современного программного обеспечения для комплексного проектирования электрической части объектов энергетики

Проектные организации в условиях растущей конкуренции стремятся максимально снизить собственные издержки за счет оптимизации проектной деятельности и формализации процессов выпуска проектной документации. Поэтому современные тенденции в области проектирования электроэнергетических объектов характеризуются активным внедрением специализированного программного обеспечения как отечественного, так и зарубежного производства. К сожалению, отечественное программное обеспечение, не смотря на свое разнообразие (CSoft, МЭИ, ИГЭУ и др. организации) не позволяет в полной мере перекрыть все потребности проектных организаций, занимающихся комплексным проектированием энергообъектов, особенно в области генерации.

Комплексное проектирование энергообъектов, в особенности электростанций, подразумевает выполнение все строительной, тепломеханической, электрической и др. частей проекта. При этом взаимодействие привлекаемых к работам специалистам различных направлений осуществляется на всех стадиях выполнения проекта, т.е. от получения технического задания и сбора исходных данных для проектирования и заканчивая авторским надзором и выполнением документации «AS BUILT». Каждая специальность нуждается в определенном комплексе программных продуктов для решения проектных задач, в том числе для выполнения расчетов, графической части, планирования работ, взаимодействия с поставщиками оборудования и т.д. Дополнительно к этому необходима четкая координация проектной документации всех специальностей для исключения различного рода коллизий между проектными решениями подразделений проектной организации.

В настоящее время на российском рынке присутствуют несколько крупных производителей (Intergraph, AVEVA и др.) программного обеспечения, предназначенного для решения вышеуказанных задач. Одним из таких программных продуктов является SmartPlant Enterprise компании Intergraph [1].

Это мощная масштабируемая система, которая интегрируется на все стадии процесса проектирования электростанции. В российской практике проектирования наиболее часто используются следующие модули данной системы.

SP3D (3D-моделирование и визуализация). Выполнено на базе модуля. Используется для выполнения полномасштабной трехмерной модели электростанции, включая строительную, архитектурную, тепломеханическую, электрическую и прочие части. Все оборудование, коммуникации, строительные конструкции вносятся в полноразмерную трехмерную модель, что позволяет отследить все коллизии и сделать компоновку объекта оптимальной в каждом конкретном случае. На базе трехмерной модели посредством срезов выполняются плоские чертежи, которые после небольшой ручной доработки отправляются Заказчику в качестве проектной документации. С точки зрения электрической части – это прежде всего компоновки электрооборудования, планы заземления, кабельное хозяйство (в основном планы кабельных трасс).

SP P&ID (piping and instrumentation diagram). Модуль для разработки технологических схем, информация с которых частично является исходными данными для проектирования электротехнической части (в основном информация по приводам технологического оборудования, требующим электроснабжения).

SP Foundation. Модуль, предназначенный для организации системы менеджмента инженерной информации и процессов управления проектом.

SP Electrical. Модель предназначен для проектирования систем электроснабжения, включает все инструменты для выполнения некоторых простейших электротехнических расчетов (подсчет нагрузок и т.п.), а также схем электрических соединений. Использование этого модуля при проектировании электрической части станций показало, что его возможностей явно не достаточно, чтобы перекрыть все потребности даже при выполнении схем электрических соединений. Например, есть немалое количество трудностей при выполнении принципиальных схем, что делает невозможным их полное автоматизированное выполнение и вынуждает отказаться от их выполнения в этом программном продукте. Аналогичная ситуация со схемами для оборудования средних и высоких классов напряжения. Из имеющегося опыта SP Electrical вполне пригоден для выполнения схем присоединений щитов (не принципиальных схем) переменного тока ниже 1 кВ. Возможно при более глубоком внедрении данного продукта обозначенные проблемы удастся решить. Однако, на сегодняшний день, если предыдущие 3 компонента подтвердили свою актуальность и необходимость применения, показав хорошие результаты и возможности, то SP Electrical явно нуждается в совершенствовании. В связи с этим на данный момент кажется целесообразным ограничить поле его использования схемами до 1 кВ, а для оставшихся задач использовать альтернативные специализированные программные продукты (например, E-plan [3]) или классические подходы к выпуску проектной документации (AutoCAD + специализированные надстройки).

Как уже отмечалось выше, SP Electrical не пригоден для выполнения сложных электротехнических расчетов, однако, при этом он обладает значительными возможностями по организации баз данных по использу-

емому электрооборудованию. Поэтому целесообразно использовать накопленную в нем информацию в качестве исходных данных для выполнения различных расчетных задач. В этом случае применяемые расчетные программы должны иметь качественный интерфейс передачи данных из SP Electrical и обратно. Немногие программные продукты даже зарубежного производства обладают такими возможностями.

Программный комплекс Etap [2] включает в себя множество модулей для выполнения практически всего спектра электротехнических расчетов, в том числе модуль обмена информацией с SP Electrical:

- Базовый комплект с проверкой и выбором оборудования и кабелей;
- Расчет токов короткого замыкания;
- Расчет воздействия дуги;
- Расчет установившихся режимов;
- Расчет самозапуска электродвигателей;
- Координация устройств защиты и последовательности работы;
- Подземные кабельные системы прокладки/кабельная канализация;
- Расчет сети заземления;
- Выбор трансформаторов;
- Расчет установившихся режимов на постоянном токе;
- Расчет токов короткого замыкания в сети постоянного тока
- Выбор аккумуляторных батарей и зарядных устройств;
- Расчет переходных процессов;
- Анализ динамических моделей на усмотрение пользователя;
- **Интерфейс SPEL;**
- и др.

Etap базируется на американских и европейских стандартах. Принимая во внимание унификацию нормативной базы с учетом международных стандартов, применение Etap для проектирования российских объектов вполне обосновано. В настоящее время начаты работы по адаптации и русификации данного продукта ведущими российскими проектными и научными организациями.

Таким образом, совместное использование SP Enterprise и Etap позволяет создать интегрированную систему автоматизированного проектирования электрической части объектов генерации.

Литература

1. www.intergraph.com
2. www.etap.com
3. www.eplan-russia.ru
4. www.zep.ru

Оценка технического состояния электроустановок на основе расчета параметрического ресурса

Согласно теории катастроф [1] результат любого явления или процесса, в том числе процесса изменения технического состояния (ТС) оборудования, определяется внутренними и внешними факторами, зависимость между которыми не всегда очевидна. ТС электроустановки (ЭУ), как сложной системы, определяется некоторым множеством внутренних параметров I , которые изменяются в процессе эксплуатации под воздействием множества внешних факторов E .

Катастрофой является предельное состояние ЭУ или оборудования входящего в нее.

Совокупность значений внутренних факторов I_j определяет точку в пространстве состояний оборудования, которая характеризует ТС оборудования в конкретный момент времени t или при определенной наработке g . Так как, согласно [2], понятие наработки в данном случае является более общим, момент времени t можно рассматривать как частный случай определенной наработки g , измеренной во временных единицах.

Параметр I_j следует включать в множество I в случае, если он определяет конструкцию оборудования, обладает свойством монотонного изменения в зависимости от наработки g , а также имеет некоторое предельное значение, при достижении которого наблюдается переход оборудования в предельное состояние. Множество I включает в себя N_I подмножеств, каждое из которых содержит бесконечное количество значений параметров I_j . Множество I характеризует внутренне ТС оборудования.

Множество E включает в себя N_E подмножеств, каждое из которых содержит бесконечное количество значений параметров E_j . Множество E характеризует внешнее воздействие на оборудование, т.е. воздействие эксплуатационных факторов.

На этапе проектирования ЭУ определяется ее назначение и множество номинальных параметров P , значения которых соответствуют ее предполагаемым режимам режима работы в рамках глобальной технической системы, реализующей технологический процесс. Отклонение режима работы от номинального за пределы допустимых отклонений параметров множества P приводит к немедленной и определенной катастрофе – выходу оборудования из строя. В общем случае множество P принадлежит множеству E . Множество E также как и множество P является ограниченным

Допустимые значения $I_{j\text{доп}}$ параметров I_j также определяются на стадии проектирования ЭУ. При достижении параметра I_j значения пределы $I_{j\text{доп}}$ оборудование переходит в состояние, когда предельное состояние или катастрофа может наступить или не наступить в зависимости от

предыстории, в том числе и по другим параметрам из множества I . Выход значения параметра I_j за пределы $I_{j\text{доп}}$ означает переход в предельное состояние, т.е. состоявшуюся катастрофу.

Отношение $I_j/I_{j\text{доп}}$ характеризует параметрический ресурс оборудования R_{pj} по параметру I_j . Таким образом, множество R_p характеризует внутреннее ТС ЭУ. Множество допустимых значений параметрического ресурса $R_{p\text{доп}}=1$ о.е. характеризует и ограничивает пространство состояний оборудования, при которых оно является работоспособным.

Не исключено, что изменение одного внутреннего параметра системы ведет к изменению остальных. Поэтому изменение R_{pj} может привести к изменению другого параметра из множества R_p . При этом остаточная область работоспособных состояний при каждом изменении какого либо параметра R_{pj} сужается.

Установлено [2], что изменение ТС оборудования зависит от воздействия на него эксплуатационных факторов. В связи с этим множество E неминуемо оказывает влияние на множество R_p . Так как R_p зависит от наработки τ , то при наступлении предельного состояния, т.е. когда один или несколько параметров множества R_p достигают своих допустимых значений, наступает неработоспособное (предельное) состояние оборудование. К этому моменту оборудование срабатывает свой фактический ресурс R_f .

Таким образом, фактический сработанный ресурс R_f отражает момент наработки τ , когда множество R_p становится тождественным одному из возможных множеств предельных состояний, которые представляют собой различные варианты значений параметрического ресурса R_{pj} , причем хотя бы для одного выполняется условие $R_{pj}=R_{p\text{доп}}$.

Рассмотрев отображение множества I на множество E , теория катастроф дает возможность оценить корреляцию указанных множеств и определить наиболее общие сценарии развития катастрофы и перехода оборудование в предельное состояние.

Согласно элементарной теории катастроф (при для функций одной или двух переменных и числа управляющих параметров, не превышающих 5) таких сценариев всего 7, что вполне приемлемо для большинства ЭУ, при условии выделения наиболее значимых факторов, влияющих на ТС.

Литература

1. Арнольд В.И. Теория катастроф «Современные проблемы математики. Фундаментальные направления. Т.5 (Итоги науки и техники. ВИНТИ АН СССР)». М., 1985, 219-277.
2. Назарычев А.Н., Андреев Д.А. Методы и математические модели комплексной оценки технического состояния электрооборудования / Иван. гос. энерг. ун-т. – Иваново, 2005. – 224 с.

Проектирование и оптимизации низковольтной распределительной сети собственных нужд станций и подстанций

При проектировании низковольтной распределительной сети приходится решать достаточно широкий круг взаимосвязанных задач. Это разработка конфигурации сети с точки зрения обеспечения необходимого уровня надежности, определение расчетных нагрузок элементов сети и выбор оборудования по расчетному току, расчеты потерь напряжения и выбор параметров для обеспечения допустимых потерь напряжения в нормальных режимах и при пусках двигателей. Расчет токов коротких замыканий, выбор и проверка оборудования по стойкости электродинамическому и термическому действию токов короткого замыкания, расчет минимальных токов коротких замыканий и проверка чувствительности защитных аппаратов и выбор их уставок. Одним из решений по ограничению токов короткого замыкания, обеспечению чувствительности защитных аппаратов, согласованию уставок или обеспечению допустимости потерь напряжения является изменение структуры сети. То есть задача проектирования распределительной сети является комплексной, многоплановой итерационной и требующей оптимизации, как структурной, так и параметрической.

На электрической станции большинство электроприемников имеет длительный режим работы и можно предположить, что применение экономического критерия позволит получить лучшие показатели сети при увеличенных сечениях жил кабелей. В системе собственных нужд ТЭС проектировщикам часто приходится выбирать проводники не по допустимому току, а по условиям термической стойкости или невозгоранию при коротких замыканиях, что приводит к существенному увеличению сечения проводников. В этом случае оптимизация структуры сети совместно с минимизацией приведенных затрат может позволить получить существенно лучшие решения, чем традиционно применяются в настоящее время без оптимизации.

При моделировании электрической сети в программном комплексе EnergyCS Электрика применяется объектный подход к моделированию сети. То есть в основе моделирования сети лежит информационная модель в которой рассматриваются все элементы сети в их функциональной и конструктивной взаимосвязи. При таком моделировании сети становится возможным в одной модели рассматривать разноплановые наборы свойств элементов. Так, например, автоматические выключатели – это не только устройства, которые должны быть учтены в расчете ТКЗ и потерь напряжения, но это и коммутационные устройства, это и защитные устройства, которые позволяют определить

время отключения участка сети в зависимости от тока, но это и устройство со своей стоимостью, одновременно это устройство, от которого зависит надежность сети и имеющее известный параметр потока отказов, время восстановления, частоту плановых отключений и время планового отключения.

В рамках развития программного комплекса EnergyCS, для получения оптимальных решений предполагается реализовать поисковые методы оптимизации, а в качестве целевой функции может рассматриваться приведенные или дисконтированные затраты с учетом надежности.

УДК 621.311.1:519.2

Н.А. КОПЫТОВА, аспирант каф. ЭПП
(КГЭУ) г. Казань

Выявление величины наиболее значимых факторов, определяющих эквивалентное сопротивление радиальных цеховых сетей

В условиях рыночной экономики возрастают требования к точности учета потерь электроэнергии при планировании, контроле и анализе технико-экономических показателей работы промышленных предприятий.

В связи с этим актуальным является разработка методики определения потерь электроэнергии с учетом наиболее значимых факторов, влияющих на точность расчета потерь электроэнергии в радиальных сетях низкого напряжения.

Нагрузочные потери ΔW_n электроэнергии в элементе трехфазной сети сопротивлением R находят по выражению

$$\Delta W_n = 3R \int_0^T I^2(t) dt, \quad (1)$$

где $I(t)$ – полный ток в элементе в момент времени t .

Точное определение потерь электроэнергии за интервал времени T возможно при известных значениях параметра R и функции времени $I(t)$ на всем интервале.

Известно, что сопротивление проводника зависит от его температуры

$$R = \frac{\rho}{s} \cdot \ell [1 + 0,004(\theta - 20)] + \sum r_k, \quad (2)$$

где ρ – удельное электрическое сопротивление проводника мОм·м;

ℓ – длина проводника, м; s – поперечное сечение проводника, мм²;

θ – температура нагрева проводника, °С; $\sum r_k$ – сумма сопротивлений

автоматических выключателей, установленных на линии.

На погрешность определения потерь электроэнергии в цеховых сетях оказывает влияние ряд факторов, а именно (для радиальных сетей): а) средняя длина линий l ; б) протяженность сети (суммарная длина линий l_{Σ}); в) сечение линии s ; г) средневзвешенный коэффициент загрузки k_3^2 ; д) температура окружающей среды θ_0 ; е) количество коммутационных аппаратов на линии, каждый из которых имеет собственное сопротивление контактов r_k и т.д.

На основе анализа 218 схем цехового электроснабжения были получены подробные данные о том, при каких значениях упомянутых факторов погрешность определения потерь электроэнергии не будет превышать 2% , если при расчете эквивалентного сопротивления сети не учитывать сопротивления контактов коммутационных аппаратов и температуру окружающей среды. В таблице 1 показан фрагмент полученных результатов, приведенный для радиальных линий, на которых установлен 1 или 2 коммутационных аппарата, соответственно. Таблица показывает, что например, сопротивление контактов одного коммутационного аппарата и температуру окружающей среды можно не учитывать на радиальной линии с алюминиевой жилой сечением $2,5 \text{ мм}^2$, если ее длина составляет больше 65 м, коэффициент загрузки $k_3^2 \geq 0,8$, при температуре окружающей среды 20°C и т.д.

Таблица 1. Величина наиболее значимых факторов, определяющих эквивалентное сопротивление радиальных цеховых сетей

Сечение, мм^2	1 коммутационный аппарат на линии		2 коммутационных аппарата на линии	
	L, м	k_3^2	L, м	k_3^2
2,5	65	0,8	210	0,8
4	80	0,8	250	0,8
6	95	0,8	320	0,8
10	100	0,8	350	0,8
16	120	0,8	430	0,8
25	140	0,8	470	0,8
35	150	0,8	500	0,8
50	180	0,8	610	0,8
70	180	0,8	620	0,8
95	210	0,8	710	0,8
120	210	0,8	720	0,8
150	270	0,8	910	0,8
185	330	0,8	1000	0,8
240	340	0,8	1000	0,8

Выводы. С увеличением сечения линии растет и длина линии, больше которой можно не учитывать сопротивления контактов коммутационных

аппаратов, установленных на линии. Такую закономерность можно объяснить тем, что изначально сопротивление контактов коммутационных аппаратов больше чем удельное эквивалентное сопротивление самой линии, т.е. приходится «нарастить» длину у линии, чтобы влиянием сопротивления контактов выключателей можно было пренебречь.

Каждый коммутационный аппарат вносит свою погрешность при определении эквивалентного сопротивления, и поскольку сопротивления контактов коммутационных аппаратов складываются, то и погрешность суммируется, а следовательно, растет и критическое значение длины линии, выше которого сопротивлением контактов коммутационных аппаратов можно пренебречь.

Литература

1. Железко Ю.С. Выбор мероприятий по снижению потерь электроэнергии в электрических сетях. – М.: Энергоатомиздат, 1989.
2. Грачева Е.И., Наумов О.В. Расчет сопротивления стягивания контактных соединений. Проблемы энергетики, 2007, №1-2.

УДК 62131(1075.8)

В.А. САВЕЛЬЕВ, д.т.н., профессор
(ИГЭУ)

Задачи модернизации электроэнергетики России до 2020 г. и новые технологии ее реализации

Темпы развития народного хозяйства России декларируются ростом ВВП на 8-10% в год и соответствующим ему ростом потребления. Реальное их соотношение приведено на рис 1. Для сравнения производство электрической энергии в 2010 году составляло в России 7200, в Казахстане 4900, в Украине 4100 и в Белоруссии 3600 кВт* час/чел.

Согласно прогнозам рост производства электрической энергии в ближайшие годы будет составлять 0,35-0,6 %, а рост потребления тепловой энергии 0,9-1,1 %.

Чтобы обеспечить такой прирост электроэнергетика (ЭЭ) страны должна опережать развитие других отраслей с темпом 12-15% в год. Это потребует в ближайшие 10 лет создания энергетических мощностей, равных вводу, достигнутому за предыдущие 80 лет. Реальное развитие ЭЭ такими темпами вызывает серьезные опасения поскольку сегодня ситуация в отрасли такова:

- срок службы оборудования подстанций ЕНЭС РФ составляет 12,5% - до 20 лет; 17,5% - 21-30 лет; 30% - 40 лет; 15% более 40 лет;

- срок службы оборудования в распределительном электросетевом комплексе: 40,6% в пределах нормативного срока; 7,4% выработало два и более сроков; 52% выработало нормативный срок эксплуатации;

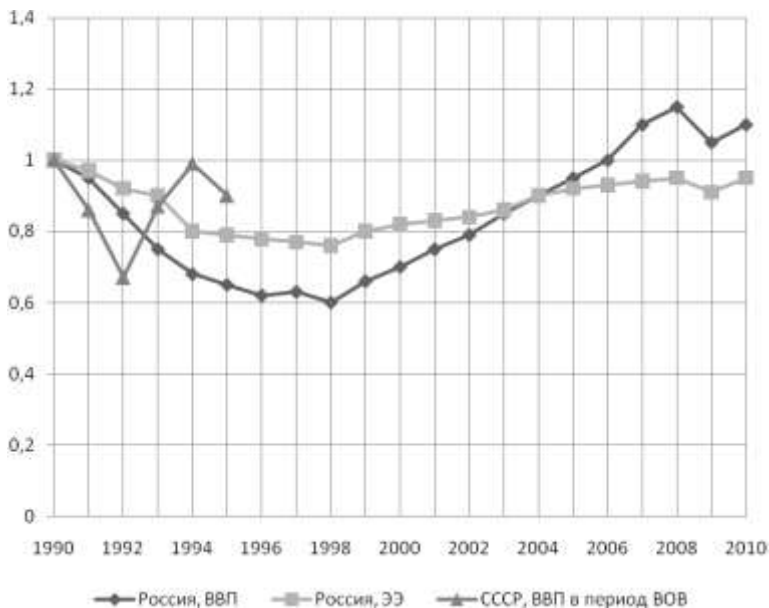


Рис. 1. Динамика изменения ВВП и потребления электрической энергии в РФ и ВВП в СССР в 1940-1945гг

- приближается период полной изношенности металла котлов, турбогенераторов и турбин;

- очень мал ввод новых генерирующих мощностей. Так, например, за 1990-2005 в России было введено лишь 4 тыс. МВт, тогда как в США-240 ,а в Китае 295 тыс. МВт;

- качественно изменилось потребление электроэнергии. Так, если в Москве в 1990 году соотношение между промышленностью и ЖКХ составляло соотношение 50/50, то в 2005 году оно было 80/20 в пользу ЖКХ;

- рост тарифов на энергоресурсы становится угрожающим для экономического развития страны. Проблема роста тарифов связана с тем, что в энергетике осталась монополия. Региональные сети и сбытовые компании остаются неэффективными и непрозрачными.

Реформы и реструктуризация энергетики обострили и проблемы региональной энергетики. Это обусловлено:

- возрастанием роли регионов в формировании собственной энергетической политики, которая призвана обеспечить необходимые условия для социально-экономического развития территории за счет перехода к энергоэффективным технологиям;

- необходимостью обеспечения надежности энергоснабжения потребителей в новых более сложных и нестабильных условиях.

На рис 2 в качестве примера приведены результаты отражающие уровень ЭБ Центрального федерального округа в 2007 году. На нем по оси абсцисс отложены удельные веса индикаторов, находящихся в нормальном состоянии, по оси ординат – то же, но индикаторов, находящихся в кризисном состоянии. Относительно границ расположены области К - кризисного, ПК – предкризисного и Н – приемлемого состояния.

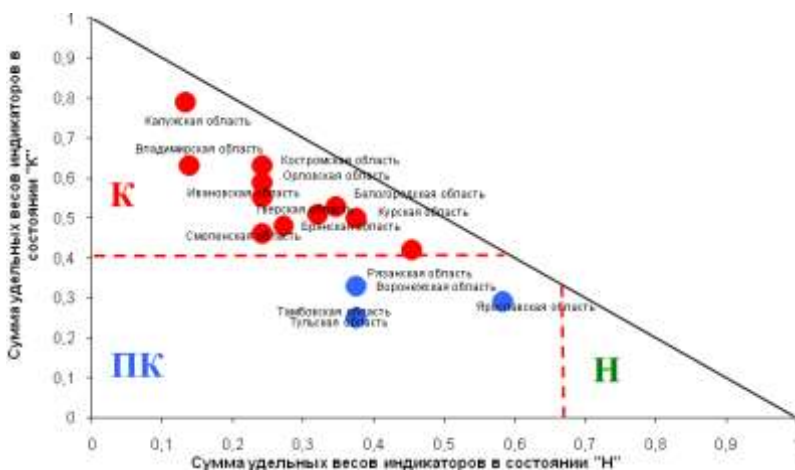


Рис. 2. Качественная оценка ЭБ Центрального федерального округа в 2007 г.

Из рис. 2 видно, что большинство субъектов расположено в области кризисных значений. Высок износ ОПФ в энергетике, низка обеспеченность собственным топливом и чрезвычайно высока доля природного газа. Только четыре области: Воронежская, Тамбовская, Тульская и Ярославская располагаются в зоне предкризисных состояний,

Ученые и опытные специалисты с первых шагов реформирования энергетики указывали на ошибочность принятого к практической реализации ее варианта. Что реализуемый вариант реформирования неэффективен опубликовано много работ, см., например, статьи в еженедельнике «Аргументы и факты» №6,13,19 за 2010г и № 1 за 2011г. Это подтверждает Московская авария в 2005 г , авария на Саяно-Шушенской ГЭС в 2009г и растущие объемы недоотпуска электроэнергии от технологических

нарушений за последние годы. Для успешной работы рынка нет главного условия - значительного вращающегося резерва и больших пропускных способностей ЛЭП.

Сегодня государство предпринимает меры по восстановлению вертикали энергетики. Так Президент РФ Д. Медведев потребовал от правительства не допустить годового роста тарифов на электроэнергию выше, чем 10% для населения и 15% для предприятий. Разрабатывается новая Программа масштабной модернизации отрасли, основанная на новых технологиях и достаточных объемах инвестиций.

До 2020 г. Программа предусматривает повышение энергетической безопасности страны и ее регионов, значительное обновление электроэнергетической отрасли, преодоление нарастающего технологического отставания, морального и физического старения основных фондов, повышение надежности энергоснабжения и на этой основе снижение тарифов на электроэнергию и тепло. Для этого Программа предусматривает решение следующих задач: снизить удельный расход топлива на ТЭС с 332,7 до 300 т. у.т./ кВт-ч, потери в ЕНЭС с 4,6 до 3,5 % и в распределительных сетях – с 8,9 до 6,5 %. Вывести из эксплуатации на ТЭС и АЭС изношенного оборудования общей мощности 22451МВт (на ТЭС – 18751 МВт и на АЭС – 3700 МВт). Ввести на ТЭС – 70641 МВт, на АЭС – 18980 МВт, на ГЭС – 11530 МВт и возобновляемых источников энергии(ВИЭ) – 3340 МВт. Увеличить установленную мощность ТЭС на основе ГТУ с 6600 до 51772 МВт. Повысить КПД новых ПГУ до 50 %, угольных ТЭС до 38 % и АЭС до 34 %. Оптимизировать структуру и состав генерации и увеличить долю маневренных ГТУ. Освоить перспективные технологии и новое энергетическое оборудование.

Основной стержень модернизации отрасли - использование серийного отечественного (лицензионного) оборудования и типовых проектов для снижения сроков модернизации и минимизации затрат.

Программа предусматривает несколько направлений:

«Совершенствование структуры управления электроэнергетикой России». Ее задача-создание системы оптимального управления развитием и функционированием отрасли, обеспечивающей минимизацию затрат. Она включает в себя: доработку и создание системы единых правил модели рынка мощности, единых коммерческих и технологических правил минимизирующих затраты на развитие и функционирование электроэнергетики с учетом требований надежности и экологии; системы стандартов, мониторинга, прогнозирования и оплаты услуг по обеспечению надежности работы энергосистем и ЕЭС России в целом. Создание инвестиционного фонда развития электроэнергетики и ее энергетической безопасности.

«Разработка и освоение инновационных технологий и оборудования для модернизации», а именно: создание угольного энергоблока мощностью 660 МВт на сверхкритические параметры пара; высокоэффективных газовых турбин мощностью 65/75; 110/120; 160/170 и 270-350МВт и

первой отечественной энергетической установки с комбинированным парогазовым циклом и газификацией угля; освоение котлов с циркулирующим кипящим слоем для блока 330 МВт. Сооружение опытно-промышленной Дагестанской ГеоТЭС мощностью 10 МВт и ВЭС мощностью 60 МВт в Красноярском крае. Разработка и создание демонстрационной зоны с использованием технологий Smart Grid; сверхпроводящей кабельной линии длиной 1,5 км с передачей мощности на генераторном напряжении более 70 МВА, сверхпроводящего токоограничителя на напряжения 20 и 110 кВ, сверхпроводящего трансформатора с сердечником из наноструктурированной аморфной стали мощностью до 1000 кВА и сверхпроводящего накопителя и энергетических батарей. Создание базового статического устройства FASTS-второго поколения; управляемого устройства продольной компенсации и фазоповоротного устройства для связи ОЭС Урала и Сибири. Сооружение Забайкальского преобразовательного комплекса несинхронной связи ОЭС Сибири и Востока. (вставка). Внедрение асинхронизированных компенсаторов реактивной мощности АСК 2*100 МВАр.

«*Совершенствование системы технологического управления*». Оно касается: средств повышения наблюдаемости ЕЭС и развитием интеллектуальной системы управления в ЕЭС и ОЭС с применением WAMS-технологий; систем защиты и автоматики, диагностирования технологического оборудования электростанций и сетей; АСУ ТП подстанций и АИИС (АСКУЭ); единой технологической сети связи электроэнергетики.

Экономический эффект ожидаемый от реализации Программы состоит из следующих составляющих: отраслевые эффекты в электроэнергетике, в угольной и газовой отраслях, в энергомашиностроении, в электротехнической и в энергостроительной промышленности. Снижение тарифов на электроэнергию у потребителе. Интегральный эффект от изменения динамики ВВП. Предотвращение ущербов экономике страны от недоотпуска электроэнергии и от выброса парниковых газов.

УДК 621.314

В.К. КОЗЛОВ, д.ф.-м.н., профессор,
И.Н. ЛИЗУНОВ (КГЭУ) г. Казань

Оптоэлектронный прибор для определения местных коронных разрядов на электрооборудовании

В электроэнергетике *надежность* электроснабжения является одной из самых важных характеристик работы, которая определяет в свою очередь множество параметров электроэнергетических систем и сетей, в том числе стоимость оборудования, ремонтных и эксплуатационных расходов.

Существенно снизить затраты на обеспечение работоспособности, продлить срок службы дорогостоящего энергетического оборудования на предприятиях, и соответственно повысить *надежность* позволяет *техническая диагностика*.

С помощью *технической диагностики* можно выявить дефекты оборудования (в том числе скрытые) на ранних стадиях и предотвращать возникновение аварий и ненормальных режимов работы. Кроме того, *техническая диагностика* позволяет наиболее эффективно и экономично спланировать ремонтные и профилактические работы на электрооборудовании (ЭО), объективно обосновывать проведение модернизации и технической политики на предприятиях [1,2].

Местная корона (местный коронный разряд) обычно связана с местным дефектом, который при соответствующих условиях может стать или уже является причинной различного рода неполадок, или даже отключения всей электроустановки (ЭУ). Детектирование таких разрядов (как один из видов *технической диагностики* ЭО) может повысить надежность электроснабжения и уменьшить потери на корону [3].

Оптический способ детектирования коронных разрядов на ЭО является самым распространенным и эффективным способом *технической диагностики*, связанным с определением точек местных корон на ЭО.

Предложенный оптоэлектронный способ детектирования основан на оптической и дополнительной электронной обработке излучения от коронных разрядов на ЭО, работающих на стандартной промышленной частоте 50 Гц. Такое решение позволяет детектировать коронный разряд на ЭО, в том числе и в светлое время суток, при полной солнечной засветке, с приемлемой чувствительностью.

Для выявления работоспособности предложенного способа и определения его эффективности разработан и собран макет оптоэлектронного прибора, предназначенный для детектирования корон по предложенному способу, и состоящий соответственно из оптической и электронной части.

Работа оптической части макета основана на оптической фильтрации жесткого УФ излучения от коронных разрядов с помощью стандартного УФ-фотодиода с полосой пропускания от 200 до 400 нм. Поскольку в т.н. солнечно-слепом диапазоне (230-290 нм) на поверхности Земли отсутствует излучение от солнца, УФ-фотодиод помимо шумовой засветки (диапазон жесткого УФ) фиксирует оптическое излучение, сопровождающее «горение» корон на ЭО. В качестве фоточувствительного элемента в макете использован общедоступный и относительно недорогой УФ-фотодиод TW30SX, фирмы Sander Electronic® (Германия).

Выделение полезного сигнала от УФ-фотодиода с высоким показателем сигнал/шум осуществляется в электронной части макета. Электронная часть макета состоит из аналоговой и цифровой подсистем.

Используя особенности и периодичность возникновения всплеск местных коронных разрядов биполярного режима, аналоговая подсистема

ма электронной части прибора выделяет и усиливает первую 100-Гц гармонику спектра электрического сигнала с УФ-фотодиода, на который попадает излучение от короны.

В цифровой подсистеме электронной части осуществляется дополнительная цифровая обработка сигнала, заключающаяся в оцифровке входного сигнала, дополнительной фильтрации посредством подпрограммы цифрового нерекурсивного фильтра ($f_0=100$ Гц) и вывода действующего значения 100-Гц гармоники на жидкокристаллический индикатор. Для этого разработана и записана в микроконтроллер цифровой подсистемы соответствующая ассемблер-программа.

Лабораторные испытания макета проводились с помощью установки «Игла-плоскость». В результате лабораторных испытаний выявлено, что макет прибора действительно позволяет зафиксировать местную корону с эффективностью, зависящей от напряжения на коронирующем элементе, расстояния до коронирующего элемента, и условий окружающей среды (температура, влажность, давление, потоки воздуха и т.д.).

Натурные испытания макета оптоэлектронного прибора были проведены на следующих объектах: ОРУ и подходы к ним на ТЭЦ 2 и ТЭЦ 3 ОАО «Генерирующая компания» и ТГК-16 (РТ), подстанции «Киндери», «Аэропорт», «Магистральная» ОАО «Сетевая компания» (РТ).

Натурные испытания в реальных условиях, на действующих электроэнергетических объектах показали, что макет оптоэлектронного прибора позволяет зафиксировать местную корону на действующих ЭУ, как в темное, так и в светлое время суток с приемлемой чувствительностью.

Выводы:

1. Предложенный оптоэлектронный способ детектирования коронных разрядов на ЭО является работоспособным и эффективным.
2. Макет оптоэлектронного прибора, разработанный согласно предложенному способу, позволяет выявлять точки местных коронных разрядов на действующих ЭУ с приемлемой чувствительностью, в том числе и в светлое время суток.

Литература

1. Пархоменко П.П. Основы технической диагностики. М., Энергия, 1976, 460 с.
2. Биргер И.А. Техническая диагностика. М., Машиностроение, 1978, 240 с.
3. Левитов В.И. Корона переменного тока. М., Энергия, 1975, 280 с.

Диагностирование судовых электроэнергетических установок

Современные судовые электроэнергетические установки (СЭЭУ) представляют собой сложные технические системы предназначенные для обеспечения движения судна, а также снабжения энергией различных его механизмов, что определяет необходимость поддержания высокого уровня их надежности.

В настоящее время, ввиду недостаточности полного решения вопросов диагностирования СЭЭУ, их техническое обслуживание и ремонт требуют специалистов высокой квалификации, имеющих необходимые навыки проверки, настройки сложных систем, поиска и устранения дефектов в них.

Задача качественного техобслуживания усложняется разнообразием СЭЭУ, проектируемые различными изготовителями, имеющих различную элементную базу и конструктивное исполнение, а специфическая для флота частая сменяемость судового персонала не способствует накоплению и передаче опыта эксплуатации.

Повышение конструктивной сложности систем при прочих равных условиях неизбежно ведет к снижению их надежности и эффективности выполнения ими заданных функций. Противоречие между ростом сложности технических систем и снижением их надежности приводит к необходимости разработки эффективных методов контроля и диагностики их состояния. Реализация мероприятий по повышению надежности за счет обеспечения контролепригодности и диагностируемости связана с дополнительными затратами.

В этих условиях диагностирование СЭЭУ представляет для персонала судна сложную техническую задачу.

Указанные особенности состояния технической эксплуатации СЭЭУ доказывают актуальность разработки методов и средств диагностирования как одного из факторов, повышающих ремонтпригодность находящихся в эксплуатации СЭЭУ, которая определяется не только конструктивными характеристиками СЭЭУ, но и принятой системой технического обслуживания, квалификацией судовых специалистов, качеством эксплуатационной документации.

Обзор работ в области диагностики технических средств показал отсутствие общего подхода к построению эффективных моделей и алгоритмов диагностирования, причин возникновения отказов и анализа предаварийных ситуаций в объектах. В результате формулируются постановки задач исследования: разработка моделей и алгоритмов синтеза

процедур диагностирования структурно-сложных объектов, оптимизирующих объем обрабатываемой диагностической информации с целью принятия решений по управлению объектом.

Несмотря на отмеченные успехи в области разработки методов и средств диагностирования судовых технических средств и средств автоматизации, научно-техническая задача организации диагностирования СЭЭУ, как сложной системы, в условиях эксплуатации остается нерешенной. Организация диагностирования СЭЭУ в условиях эксплуатации предполагает наличие следующих элементов: алгоритмов, программных и аппаратурных средств диагностирования, диагностической документации, методик обучения эксплуатационного персонала диагностированию СЭЭУ.

Совокупность указанных элементов определяет содержание диагностического обеспечения (ДО) автоматизированных СЭЭУ. Состояние ДО электроэнергетических систем не всегда удовлетворяет требованиям их эффективной эксплуатации ввиду недостаточного развития алгоритмов, программных и аппаратурных средств диагностирования, поставки на суда конструкторской документации вместо эксплуатационной, отсутствие методик подготовки персонала диагностированию СЭЭУ.

Отсутствие ДО или отдельных его элементов существенно повышает трудоемкость технического обслуживания, а в отдельных случаях вынуждает судовой персонал отключать неисправные средства автоматизации до прихода судна в базовый порт, что вызывает дополнительную нагрузку вахтенного персонала и снижает надежность электроснабжения судна.

Рациональное диагностическое обеспечение можно организовать только на стадии проектирования СЭЭУ при их совместной разработке и распределении задач диагностирования между программными, аппаратурными средствами и деятельностью эксплуатационного персонала.

Снижение трудозатрат на освоение, выполнение технического обслуживания эксплуатируемых и поступающих в эксплуатацию новых СЭЭУ, способствует предварительное обучение диагностированию и периодическая переподготовка эксплуатационного персонала на тренажерах, отражающих современное состояние и перспективу развития СЭЭУ, поскольку более половины работ по техобслуживанию выполняет судовой экипаж.

Литература

1. Баранов А.П., Раимов М.М. Моделирование судового электрооборудования и средств автоматизации. – СПб.: Элмор, 1997. – 232 с.
2. Калявин В.П., Мозгалецкий А.В. Технические средства диагностирования. – Л.: Судостроение, 1984. – 208 с.
3. Мозгалецкий А.В., Волынский В.И., Гаскаров Д.В. Техническая диагностика судовой автоматики. – Л.: Судостроение, 1972. – 224 с.
4. Мозгалецкий А.В., Калявин В.П. Системы диагностирования судового оборудования: Учеб. пособие. – Л.: Судостроение, 1987. – 224 с.
5. Мозгалецкий А.В., Гаскаров Д.В. Техническая диагностика: Учеб. пособие для вузов. – М.: Высшая школа, 1975. – 207 с.

УДК 523.2

П.Г. КОЛПАХЧЬЯН, д.т.н.,
Б.Н. ЛОБОВ, д.т.н., доцент
Л.И. ЛАВРОНОВА, ассистент
(ЮРГТУ (НПИ)) г. Новочеркасск

Энергосберегающая система регулирования групповым приводом насосных агрегатов

Системы водоснабжения и водоотведения являются одной из наиболее важных составляющих инфраструктуры коммунального хозяйства РФ. Их надежное функционирование имеет большое значение для экономики государства. Ключевым элементом систем водоснабжения и водоотведения являются насосные станции. От их бесперебойной работы во многом зависит надежность водоснабжения потребителей производственной и коммунальной сферы. Технический уровень оснащения насосных станций, степень их интеграции в общую информационную систему управления коммунальным хозяйством во многом определяют качество водоснабжения потребителей.

Основным элементом насосной станции является насос – устройство для транспортировки жидкостей. В настоящее время часто используют нерегулируемые приводы из-за низкой стоимости и простоты использования.

Наиболее распространенными способами регулирования подачи воды насосными агрегатами являются так называемое байпасирование, дросселирование и изменение количества работающих в одной напорной линии насосов, при этом асинхронные двигатели (АД) насосов подключаются к электрической сети напрямую через автоматические выключатели и контакторы. Их недостатком является неэффективное использование насосных агрегатов, значительный перерасход электроэнергии. Несколько лучшие результаты могут быть получены с помощью способа, при котором происходит включение и выключение насоса, однако и он не лишен недостатков. Основным из них является появление гидроударов при включении насоса, часть потребляемой электроэнергии расходуется непроизводительно. Одним из способов улучшить показатели насосных систем является применение насосных станций с параллельно работающими насосами.

Системы нерегулируемого привода, применяемого на насосных станциях, имеют целый ряд недостатков, таких как невозможность точного поддержания давления на выходе, значительные токи и колебания момента АД в процессе пуска и, как следствие, появление гидроударов.

Использование частотного регулирования АД позволяет обеспечить точное поддержание давления, снизить влияние пусковых токов двигателя на питающую сеть, устранить колебания момента в процессе пуска и

возникающие в этом режиме гидроудары, сократить расход электроэнергии. К недостаткам применения преобразователей для регулирования АД следует отнести повышенный уровень потерь в двигателе и, как следствие, их большой нагрев, повышенные требования к изоляции. Поэтому при питании от преобразователя АД может быть нагружен в среднем только до 90 – 95% процентов от мощности, реализуемой при питании от источника синусоидального напряжения.

На насосных станциях водоканала, как правило, устанавливаются несколько параллельно работающих насосных агрегатов. Применение для каждого из них регулируемого асинхронного привода с преобразователем в большинстве случаев является неоправданно дорогим. Поэтому в большинстве случаев стараются ограничиться одним преобразователем, а остальные двигатели подключаются непосредственно к питающей сети и работают в нерегулируемом режиме. В этом случае решается только задача точного поддержания давления, а остальные негативные факторы, присущие нерегулируемому приводу остаются.

Одной из основных проблем группового привода насосных агрегатов является необходимость обеспечения плавного, частотно-регулируемого пуска АД. При использовании в составе системы одного преобразователя при этом возникает необходимость переключения уже вращающегося двигателя напрямую к сети и переход к пуску и, при необходимости, к регулированию следующего двигателя. Синхронизация напряжения питающей сети и напряжения на выходе преобразователя. Невыполнение этого условия приведет к возникновению нежелательных переходных процессов способных вывести из строя оборудования насосной станции, срабатывание защитных устройств и другим нежелательным последствиям.

Для решения представленных выше проблем предлагается подход, обеспечивающий поочередный плавный пуск каждого из двигателей и переключение их на сеть. При этом можно использовать устройство синхронизации инвертора с сетью с использованием способа защищенного патентом. В этом случае при сохранении всех преимуществ частотно-регулируемого привода насосов будут устранены негативные последствия прямого пуска АД. Кроме того, снижение потерь у двигателей, питаемых непосредственно от сети, по сравнению с питанием от преобразователя, улучшает их тепловой режим, увеличивает КПД системы и показатели энергосбережения.

Для уменьшения вредного влияния переходных процессов, при таком переключении требуется синхронизация с сетью. Для этого необходимо измерение сетевого напряжения и измерение или вычисление основной гармоники напряжения на выходе инвертора с помощью измерительных трансформаторов. При использовании для управления АД принципов векторного регулирования процесс синхронизации выполняется в два этапа. Сначала путем воздействия на задание потокосцепления выпол-

няется выравнивание амплитуд основной гармоники напряжения на выходе инвертора и напряжения сети. При этом регулирование давления не прерывается. Затем, изменяя задание частоты вращения двигателя, обеспечивается равенство частот этих напряжений и их синхронизация по фазе.

Данный способ осуществляется с помощью системы, структура которой показана на рисунке 1. Она состоит из двух трехфазных измерительных трансформаторов (Т1 и Т2), двух датчиков напряжения (ДН), подключенных к их вторичным обмоткам и измеряющих линейное или фазное напряжение, двух амплитудных (АД) и двух фазовых дискриминаторов (ДФ), элемента сравнения величин сигналов с выходов амплитудных дискриминаторов, регулятора величины выходного напряжения (автономный инвертор напряжения регулятор амплитуды АИН РА), элемента сравнения величины сигналов с выхода фазовых дискриминаторов, регулятора фазы выходного напряжения (автономный инвертор напряжения регулятор фазы АИН РФ). Разница сигналов с выходов амплитудных дискриминаторов подается на вход порогового элемента (ПЭ), который после снижения разницы амплитуд напряжения до заданной величины включает регулятор фазы. Сигналы с выхода регуляторов амплитуды и фазы подаются на вход системы автоматического регулирования (САР).

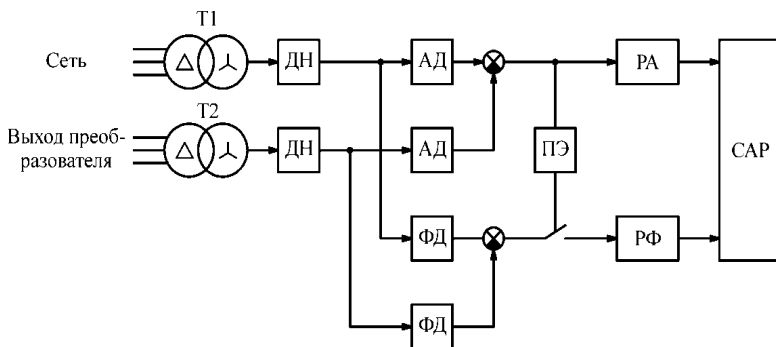


Рис. 1. Структурная схема устройства реализующего способ синхронизации автономного инвертора напряжения с сетью

Для выравнивания частоты напряжения на выходе АИН и напряжения сети необходимо воздействовать на значение частоты вращения АД. При этом контур регулирования технологического параметра отключается и значение частоты вращения АД формируется регулятором выходной частоты АИН, обеспечивающим равенство частот основной гармоники выходного напряжения АИН и сети и совпадение фаз этих напряжений.

Совокупность примененных технических решений позволяет обеспечить экономию электроэнергии, снизить эксплуатационные затраты на содержание инфраструктуры водопроводной или канализационной сети. На примере городской системы водоснабжения на базе которой проводились испытания макетного образца рассчитана экономия электроэнергии при использовании разработанного блока управления насосными агрегатами и снижение эксплуатационных затрат на содержание инфраструктуры водопроводной сети. По результатам расчета экономия электроэнергии составляет не меньше 20%.

Литература

1. **Белов М.П., Новиков В.А., Рассудов Л.Н.** Автоматизированный электропривод типовых производственных механизмов и технологических комплексов. – М.: Издательский центр «Академия», 2004. – 576с.
2. **Ключев В.И., Терехов В.М.** Электропривод и автоматизация общепромышленных механизмов. – М.: Энергия, 1980.

СЕКЦИЯ «ТЕХНОГЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ В ЭНЕРГЕТИКЕ: ЧЕЛОВЕК, ТЕХНИКА, ОКРУЖАЮЩАЯ СРЕДА»

УДК 614.8.084:001

А.К. СОКОЛОВ, д.т.н., профессор,
Г.В. ПОПОВ, д.т.н., профессор
(ИГЭУ)

Об использовании термина «безопасность жизнедеятельности» и выборе обобщенного условия безопасности труда

Безопасность жизнедеятельности сравнительно "молодая" научная дисциплина, которая в значительной степени использует знания других научных дисциплин.

Некоторые проблемы становления безопасности жизнедеятельности как науки сформулированы в [1]. В докладе предлагается подход к систематизации научной дисциплины и формулировки основного закона безопасности жизнедеятельности в техносфере.

Область безопасности жизнедеятельности как науки, пока еще не определена и вряд ли когда-нибудь она стабилизируется, т.к. трудно найти область знаний, которая не касалась бы вопросов безопасности жизнедеятельности. От вирусов, микроорганизмов и элементарных частиц, до процессов, происходящих в солнечной системе и галактиках, все имеет отношение к безопасности человека и человечества. По этой причине термин "безопасность жизнедеятельности" является слишком общим. Между тем в настоящее время известно множество учебников, учебных пособий и дисциплин с названием "Безопасность жизнедеятельности (БЖД)", хотя в них рассматриваются частные вопросы безопасности или безопасность в определенной сфере деятельности (см. например, [2, 3]).

На наш взгляд, **некорректно использовать термин "безопасность жизнедеятельности (БЖД)" без указания конкретной области жизнедеятельности.** Более правильно использовать наименования подразделов науки: "БЖД в техносфере", "БЖД в энергетике (теплоэнергетике, электроэнергетике)", "БЖД в машиностроении" и т.д. Кстати такие наименования в некоторых случаях уже применяются, например, профиль подготовки бакалавров 280701 «Безопасность жизнедеятельности в техносфере».

Термин "безопасность жизнедеятельности" приблизительно начал использоваться с 1991 г. вместо названия учебной дисциплины "Охрана труда", который в настоящее время считается устаревшим [3].

Понятие "жизнедеятельность" не точно соответствует сути проблем, которые изучаются при подготовке специалистов по обеспечению безопасности на

производстве. По словарю В.И. Даля "Жизнедеятельность, почти то же: силы, животворящие плоть, прах, сила орудная, животная и растительная". В "Толковом словаре русского языка" С. Ожегова и Н.Ю.Шведовой существительное "жизнедеятельность" никак не поясняется, и отмечается, что первая часть сложных слов со значением ЖИЗНЕ...обозначает "относящийся к жизни". В энциклопедическом словаре Ф.А. Брокгауза и И.А. Ефрона указано, что жизнедеятельность – проявление энергии или жизненной силы.

Таким образом, "жизнедеятельность" характеризует жизнь вообще, а не трудовую (хозяйственную) деятельность на технических объектах.

Термин "техносфера", который используется в наименовании профиля подготовки бакалавров «Безопасность жизнедеятельности в техносфере», обозначает часть биосферы, преобразованная людьми с помощью прямого или косвенного воздействия технических средств своим материальным и социально-экономическим потребностям (район города, или промышленной зоны, производственная или бытовая среда) [4]. Следовательно, этот термин является также слишком общим для обозначения области деятельности инженера (бакалавра) по обеспечению безопасности людей во время их **трудовой деятельности**, которая (область) не включает район города и бытовую среду.

Более конкретное название разделов науки и направлений подготовки специалистов можно сформулировать из известного определения: "*Состояние условий труда, при котором исключено недопустимое воздействие на работающих опасных и вредных производственных факторов, называется безопасностью труда*" [3]" (уточнение "**недопустимое**" добавлено нами).

По нашему мнению, термин **безопасность труда** с уточнением сферы деятельности будет более конкретно отражать смысл направлений подготовки специалистов и учебных дисциплин. Кстати материалы по безопасности жизнедеятельности в учебном пособии [3] описаны в разделе, названном именно "Безопасность труда".

Значительная часть учебных (научных) дисциплин базируется на основополагающих законах (условиях). Такие законы определяют ключевые понятия, без которых невозможно понимание областей знаний учебных дисциплин. Например, закон Ома – для электротехники, законы Стефана-Больцмана, Фурье, Ньютона – для теплопередачи.

В качестве обобщающего закона, а точнее условия безопасности труда, можно принять условие:

$$Y_B = \bigwedge U_i = U_1 \wedge U_2 \wedge U_3 \wedge \dots \wedge U_n \text{ или} \\ Y_B = U_1 \text{ "И" } U_2 \text{ "И" } U_3 \text{ "И" } \dots \text{ "И" } U_n, \quad (1)$$

где \wedge – знак логического умножения "И", n – количество условий безопасности, U_i – условие безопасности:

$$H_{нп,i} \leq P_i \leq H_{вп,i}, \text{ или} \quad (2)$$

$$H_{нп,i} \leq P_i, \text{ или} \quad (3)$$

$$P_i \leq H_{вп,i}, \text{ или} \quad (4)$$

$$P_i = H_{вп,i}, \quad (5)$$

где P_i – значения (уровни) параметров, характеризующий условия труда и его безопасность; $H_{нп,i}$, $H_{вп,i}$ – нижние и верхние нормативные значения (уровни) параметров P_i , установленными техническими регламентами, ГОСТами, сводами правил, санитарными нормами и другими документами.

Условия труда и безопасность будут отвечать нормативным требованиям, если $У_Б = \text{"ИСТИНА"}$, что соответствует выполнению (истинности) условия $i=1$ и условия $i=2$, и условия $i=3$ и т.д.

Параметры P_i в общем случае характеризуют:

- микроклимат (температура, относительная влажность, скорость воздуха в рабочей зоне, интенсивность теплового излучения);
- концентрации кислорода, вредных веществ в воздухе рабочей зоны;
- уровни шума и вибрации;
- параметры световой среды;
- напряженности электрических и магнитных полей и время воздействия;
- энергетическая экспозиция лазерного излучения;
- индивидуальная эффективная доза ионизирующего излучения;
- ток через человека, время его воздействия и напряжение прикосновения;
- совокупность размеров зоны защиты молниеотвода;
- давление в сосуде;
- концентрации пожаровзрывоопасных веществ;
- опасные факторы пожара и время эвакуации;
- совокупность величин, характеризующих вероятность механического травмирования при столкновении с движущимися или неподвижными объектами;
- вероятность травмирования (заболевания) в случае чрезвычайной ситуации и др.

Названные условия и параметры в значительной степени в общем виде определяют ключевое условие безопасности, структуру и область компетенций специалиста по безопасности труда. Конкретизацию условий безопасности целесообразно рассматривать по следующей схеме:

- характеристика параметра P_i и особенностей его воздействия;
- нормативные пределы параметра ($H_{нп,i}$, $H_{вп,i}$);
- способы, методы, мероприятия, обеспечивающие условия безопасности (2)...(5).

Литература

1. **Соколов А.К.**, Попов Г.В., Назаров Д.Е. О некоторых проблемах становления безопасности жизнедеятельности как науки // Тезисы докладов Международ. науч.-техн. конф. "Состояние и перспективы развития электротехнологии" (XII Бенардосовские чтения. 1-3 июня. II Том. Изд. ИЭГУ. Иваново.– 2005. – С. 172.

2. **Безопасность** жизнедеятельности. Уч. для вузов/ С.В. Белов, А.В. Ильницкая, А.В. Козьяков и др.; Под общ. ред. С.В. Белова. – М.: Высш. шк. 1999. – 448 с.
3. **Экология и безопасность жизнедеятельности**: Учеб. пособие для вузов/ Д.А. Кривошеин, Л.А. Муравей, Н.Н. Роева и др.; под ред. Л.А. Муравья. –М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2002.–447 с.
4. **Орлов А.И.,** Федосеев В.Н. Менеджмент в техносфере.– М.: Изд. центр "Академия", 2003. – 384 с.

УДК 658.356

Л.В. ВИНОГРАДОВА, к.т.н., доцент,
О.К. ЖУРАВЛЕВ, студент
(ИГЭУ)

Анализ и разработка мероприятий по улучшению пожарной безопасности на Костромской ГРЭС

Одной из наиболее крупных и экономичных тепловых электростанций России Костромской ГРЭС. Общая мощность, достигаемая станцией при стопроцентной эксплуатации, составляет 3600 МВт. На станции работают 8 энергоблоков мощностью по 300 МВт и один блок мощностью 1200 МВт, аналогов которого в России и Европе нет.

Блоки мощностью 300 МВт каждый с газомазутными котлоагрегатами паропроизводительностью 950 т/ч и блок мощностью 1200 МВт с газомазутными котлоагрегатами паропроизводительностью 3950 т/ч.

На территории Костромской ГРЭС зарегистрировано несколько опасных производственных объектов: площадка главного корпуса ГРЭС; топливное хозяйство; система газопотребления; площадка подсобного хозяйства; административное здание; участок транспортирования опасных веществ, что накладывает особую ответственность на службу эксплуатации.

Станция работает на газомазуте, поэтому обеспечению пожарной безопасности на объекте уделяется повышенное внимание.

При пожарах может наблюдаться воздействие на людей следующих опасных факторов: открытого огня и искр; повышенной температуры воздуха, оборудования и т.п., токсичных продуктов горения или термического разложения; дыма и как следствие — снижения видимости; пониженной концентрации кислорода; обрушения конструкций, элементов оборудования и зданий; взрыва; высокого напряжения.

Комплекс работ по технике безопасности на предприятии направлен на создание системы организационных мероприятий и технических средств, предназначенных для предотвращения воздействия на работающих опасных производственных факторов при эксплуатации и ремонте оборудования станции. Средства защиты, приспособления и инструмент, применяемые при обслуживании оборудования своевременно осматриваются и проходят испытания в соответствии с действующими нормативными актами по охране труда.

Несмотря на то, что на станции не было пожаров с 1987 г., предприятие вкладывает значительные средства для повышения пожарной безопасности объекта. В связи с этим необходимы альтернативные решения для уменьшения затрат на пожарную безопасность и повышение ее эффективности.

УДК 621.314

Д.А. ВОРОШИН, программист
(ИГЭУ)

Создание единой системы нормативно-справочной информации для систем паспортизации и диагностики электрооборудования

В настоящее время всё многообразие систем паспортизации и диагностики электрооборудования обладает рядом существенных недостатков, усложняющих их эксплуатацию в крупных энергопредприятиях. Основными из этих недостатков являются:

- отсутствие единой базы нормативно-справочной информации;
- отсутствие стандартизированных протоколов обмена данными;
- отсутствие единых стандартов описания оборудования.

Решение этих проблем позволило бы значительно повысить эффективность работы и степень интеграции программных комплексов паспортизации и диагностики, особенно, что касается систем от разных производителей. Самым существенным из вышеперечисленных недостатков является отсутствие единой базы нормативно-справочной информации. Как следствие:

- отсутствует единая классификация оборудования, состояний и видов работ;
- отсутствует уникальная идентификация;
- необходимость иметь собственные справочники на каждом предприятии;
- невозможность обмена данными между системами разных производителей.

В Центре по проектированию и повышению надёжности электрооборудования при ИГЭУ был разработан проект единого информационного сервиса, свободно доступного через Интернет. Данный сервис должен обеспечивать следующие функции:

- централизованное хранение нормативно-справочной информации;
- обеспечение уникальности справочников и классификаторов оборудования, работ и диагностических заключений.

Для обеспечения уникальности и совместимости, каждая единица информации уникально идентифицируется двумя способами: посредством уникального идентификатора в виде целого числа и универсального уни-

кального идентификатора (UUID). Чтобы избежать коллизий каждый элемент идентифицируется глобально-уникально, не зависимо от того к какой группе классификации он принадлежит, что обеспечивает надёжную обратную связь между группами и элементами.

Системы паспортизации и диагностики электрооборудования могут получить доступ к данному сервис посредством современных методов межпрограммной интеграции, таких как: XML-сервис и сервера приложений. Первоначально планируется интегрировать данный сервис с программным комплексом Диагностика+.

УДК 658.356

А.Г. ГОРБУНОВ, к.т.н., доцент,
О.В. ГРИГОРЬЕВА, студент
(ИГЭУ)

Выявление противоречий в требованиях безопасности при анализе нормативных документов

Ток, который проходит через тело человека, зависит от напряжения прикосновения, под которым он оказался, и суммарного электрического сопротивления.

При работе с электроинструментом, через тело человека, при включении его в сеть с заземленной нейтралью при исправной изоляции корпуса, будет протекать ток, который определяется по формуле:

$$I_{\text{ч}} = \frac{U_{\text{ф}}}{2z_{\text{к}} + R_{\text{ч}}}, \quad (1)$$

где $U_{\text{ф}}$ - фазное напряжение (для электроинструмента $U_{\text{ф}} = 220\text{В}$)

$R_{\text{ч}}$ - сопротивление человека (в общем случае $R_{\text{ч}} = 1000\ \text{Ом}$)

$z_{\text{к}}$ - сопротивление изоляции между соответствующими фазными проводами электроинструмента и его корпусом.

Допустимым считается ток, при котором человек может самостоятельно освободиться от электрической цепи. Ток, при котором пострадавший не может самостоятельно освободиться от токоведущих частей, называют током неотпускания. Его величина зависит от скорости прохождения тока через тело человека, так при длительности воздействия более 10 с, значение тока неотпускания составляет 2мА, при 10с и менее - 6мА. С точки зрения электробезопасности также выделяют ток ощущения, который составляет 1.5 мА.

Ток через тело человека в случае его контакта с проводом трех фазной трехпроводной сети с изолированной нейтралью зависит, главным образом, от величины сопротивления изоляции фазных проводов относительно земли. Следовательно, необходимо обеспечение такого сопротивления изоляции, чтобы ток, протекающий через человека, был менее 1.5 мА.

$$z_k = \frac{1}{2} \left(\frac{U_{\phi}}{I_4} R h \right) \quad (2)$$

$$z_k = \frac{1}{2} \left(\frac{220}{1,5} - 1 \right) = 78,8 \text{ (кОм)}$$

Данное значение сопротивления изоляции между соответствующими фазными проводами электроинструмента и его корпусом является предельно допустимым.

В Правилах безопасности при работе с инструментом и приспособлениями п. 3.2.33, сказано, что сопротивление дополнительной изоляции после капитального ремонта должно быть 5 МОм. Из этого можно сделать вывод, что данное требование является необоснованно преувеличенным.

В Правилах технической эксплуатации электроустановок потребителей п.28.1 указано сопротивление в 10 Мом, что также является неоправданно преувеличенным.

Согласно Правилам по охране труда при холодной обработке металлов ПОТ РМ 006-97 п.7.15, при использовании электроинструмента с напряжением до 220В включительно, необходимо наличие защитных средств (ковриков, диэлектрических перчаток и др.) Данное требование является излишним, так как согласно Инструкции по применению и испытанию средств защиты, используемых в электроустановках (приложение 7), даже при электрических испытаниях диэлектрических перчаток для электроустановок любых напряжений при испытательном напряжении в 6 кВ и продолжительности в 1 мин. ток, протекающий через изделие, будет не более 6 мА. В нашем случае, напряжение при работе не превышает 220В, следовательно, применение одних только перчаток будет уже достаточно для обеспечения электробезопасности.

Литература

1. Горбунов, А.Г.: Основы безопасности жизнедеятельности в энергетике: Курс лекций/ ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина». – Иваново, 2006. – 144 с.
2. Князевский Б.А. (ред.): Охрана труда в электроустановках: Учебник для вузов, 3-е изд., – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 336 с.
3. Правила по охране труда при холодной обработке металлов ПОТ РМ006-97.
4. Правила безопасности при работе с инструментом и приспособлениями.
5. Межотраслевые правила по охране труда (правила безопасности) при эксплуатации электроустановок ПОТ Р М-016-2001.
6. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей (утв. приказом Минэнерго РФ от 13 января 2003 г. N 6).

Опасность эксплуатации дуговых ртутных ламп высокого и сверхвысокого давления

Разрядные ртутные лампы высокого давления, эксплуатируемые в промышленных и производственных помещениях, создают для работников опасность, которую можно описать следующим образом: при выпадении таких ламп из цоколя возникает ударная волна, равномерно распространяющаяся во все стороны, и образуется зона значительных размеров, в которой концентрация паров ртути достигает смертельной, равной $0,5 \text{ мг/м}^3$. Эта зона имеет форму полусферы, а препятствий на пути ее распространения нет. Необходимо определить время, по прошествии которого концентрация паров ртути достигнет смертельной, то есть допустимое время нахождения человека в зоне разрушения ртутной лампы. Для данного анализа используем теорию точечного взрыва Коробейникова В.П.

Допустим, что в среднем разрядная трубка ртутной лампы содержит 20 мг ртути. Следовательно, разделив данную массу на смертельную концентрацию паров ртути, упомянутую ранее, можно определить объем полусферы, в которой концентрация паров ртути достигнет смертельной. Он равен 40 м^3 , радиус этой полусферы 2,67 м.

Известно, что давление паров ртути в лампах типа ДРЛ составляет 9 атм. = $9 \cdot 10^5 \text{ Па}$. Используем для дальнейшего анализа лампу мощностью 400 Вт. Из справочных данных для данной лампы берутся следующие параметры: внутренний диаметр горелки - 1,8 см, межэлектродное расстояние - 7 см, эффективная длина заэлектродной области и длина заштампованной лопатки - 0,35 см. Зная, эти величины можно рассчитать объем ртутной горелки, он равен 21 см^3 .

Энергия взрыва ртутной лампы под давлением определяется, исходя из величин атмосферного давления, давления паров ртути в разрядной трубке, показателя адиабаты и объема ртутной горелки, и равна 43 Дж.

Предположим, что коэффициент перехода энергии взрывной системы в энергию ударной волны равен 0,5. Соответственно, если половина энергии взрыва переходит в энергию ударной волны, она равна 21,5 Дж.

Используя значения таких величин, как радиус полусферы, определенный ранее, динамическое расстояние, зависящее от энергии ударной волны и атмосферного давления, а также скорость звука, определяемую, исходя из показателя адиабаты, атмосферного давления и плотности воздуха при нормальных условиях, можно рассчитать скорость движения воздуха, она равна 0,135 м/с.

Скорость движения фронта ударной волны составляет 331,67 м/с.

Искомое время, по истечении которого концентрация паров ртути достигнет смертельной, находится как отношение величины радиуса полусферы

ры к скорости движения фронта волны. В нашем случае оно составляет 0,008 с.

Становится понятно, что невозможно вести речь о допустимом времени пребывания человека в зоне разрушения лампы. Работник, находясь на расстоянии менее 2,7 м от выпавшей из цоколя и разбившейся лампы, мгновенно ингаляционным путем получает смертельную дозу паров ртути. Следовательно, в раздел инструкций по охране труда “действия в аварийных ситуациях” необходимо внести дополнения касающиеся обеспечения безопасности работника в этой ситуации: при разрушении ртутной лампы высокого или сверхвысокого давления работник должен задержать дыхание и немедленно покинуть помещение, выход из которого надо по возможности плотно закрыть.

УДК 658.356

А.Г. ГОРБУНОВ, к.т.н., доцент, Е.А. КОРОЛЬКОВ, студент (ИГЭУ)

Автоматизация производственного контроля

Инженеры по охране труда на предприятии осуществляют 4-х ступенчатый контроль по охране труда. Как правило, 1-я и 2-я ступень заполняется вручную, что создает огромную кучу бумаг, что в принципе не очень удобно, а 3-я и 4-я ступень как правило автоматизирована с помощью программ, К примеру на Калининской АЭС 3-ю ступень контроля осуществляет программа СОПОТ.

Мы предлагаем автоматизировать 2-ю ступень контроля, т.к. это как раз происходит на уровне цеха, а также 1-ю ступень, на уровне участка. Программное обеспечение сделать для начала на базе Microsoft Access.

Это программа значительно упростит работу инженеру по охране труда. Принцип работы программы следующий: в программе забивается цех, в нем участки, на участках оборудование и рабочие места. Далее для работы необходим ноутбук или нетбук. Инженер по охране труда сможет носить его с собой и мгновенно отмечать все нарушения. К примеру производим осмотр места сварщика, и выявили какие-то нарушения на рабочем месте, инженер по охране труда находит данный участок в программе, конкретное рабочее место и пишет замечание, ставит срок устранения, в программе предусмотрено счетчик времени. Как только замечания на участке будут устранены, инженер по ОТ легко убирает замечания из базы. Так же будет предусмотрено расширение базы для каких то особенных случаев типа организации нового рабочего места, нового оборудования и т.д.

От несанкционированного доступа в программе будет предусмотрена системы защита паролем, причем привязанная к табельному номеру работника, т.е. работник вводит табельный номер, высвечивается его ФИО и вводится пароль.

Данная программа направлена на ускорение работы цеховой службы охраны труда, она избавит инженеров от лишней бумажной работы, а так же упростит процесс работы.

УДК 658.356

А.Г. ГОРБУНОВ, к.т.н., доцент, Ю.А. ОРЛОВА, студент
(ИГЭУ)

Уменьшение электромагнитного воздействия персонального компьютера

Известно, что персональный компьютер (ПК) является источником постоянного и переменных электрических и магнитных полей (ЭМП) широкого диапазона частот. Санитарно-эпидемиологические правила и нормы [1] предписывают производить измерения параметров постоянного электрического поля, а также ЭМП в диапазонах 5÷2000 Гц и 2кГц÷400 кГц.

Анализ многочисленных результатов измерений параметров ЭМП ПК позволил выявить следующие закономерности:

- вблизи жидкокристаллических мониторов независимо от их моделей и фирм-изготовителей при отсутствии заземления нейтральной точки блока питания ПК (двухпроводная схема питания) напряженность электрического поля низкочастотного диапазона заметно превышает требования норм;

- даже при наличии заземления нейтральной точки блока питания ПК (трехпроводная схема питания) в ряде случаев наблюдается значительное (в 10 и более раз) превышение допустимых значений плотности магнитного потока низкочастотного диапазона.

Уменьшения напряженности низкочастотного электрического поля вблизи жидкокристаллических мониторов можно добиться с помощью эффективного заземления нейтральной точки блока питания ПК. Для этого достаточно включить вилку компьютера в розетку с третьим контактом, присоединенным к РЕ или PEN проводнику.

По результатам нашего анализа одной из причин больших значений плотности магнитного потока низкочастотного диапазона является нарушение работы блока питания ПК вследствие высыхания его конденсаторов. Замена давно работающего блока питания на недавно выпущенный позволяет сразу довести значение плотности магнитного потока низкочастотного диапазона до нормативных значений.

Литература

1. Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы. Санитарно-эпидемиологические правила и нормы СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.transform.ru/Охрана> труда/База нормативных документов.

УДК 658.382.3

Ю.Е. КУРЗИН, программист

О создании федерального банка данных с результатами проведения аттестации рабочих мест по условиям труда

В настоящее время идет полномасштабная работа по проведению аттестации рабочих мест по условиям труда (далее, аттестация). В рамках аттестации осуществляется сбор информации по условиям труда на рабочих местах. Данная информация в первую очередь предназначена для разработки мероприятий для улучшения условий труда конкретным работодателем. Но, еще одним важным значением аттестации является принятие управленческих решений, влияющих на государственную политику в области охраны труда. Работа по улучшению условий труда постоянно ведется на уровне организации, но для выработки решений на государственном уровне требуется систематизированная информация, собранная из всех субъектов РФ. Такая информация может быть собрана только при реализации федерального банка данных – системы сбора и хранения данных по аттестации на региональном и федеральном уровне.

Предлагаемая система должна обеспечить сбор данных на уровне отдельного субъекта Российской Федерации и централизованное хранение данных по всем субъектам РФ.

Сбор данных о результатах аттестации уже ведется в рамках реализации действующего порядка проведения аттестации. Согласно этого документа сбор сведений возложен на государственную инспекцию труда в субъекте РФ. Таким образом, региональный уровень сбора информации можно задействовать в рамках существующей системы, обеспечив специалистов инспекции инструментальными средствами, позволяющими вести учет сведений по условиям труда.

Вопрос технической реализации системы учета данных по условиям труда пока остается открытым. Но, по мнению автора, подходящим решением для такой реализации является организация Интернет-портала, обеспечивающего авторизованный "on-line" доступ для участников системы через интернет-браузер. Таким образом, будет реализована функция сбора сведений удаленными пользователями и предоставлен доступ к данным лицам заинтересованным в получении информации для анализа результатов оценки условий труда с целью принятия управленческих и законодательных решений.

Основными преимуществами использования Интернет-портала являются:

- организация единого доступа ко всем информационным ресурсам;
- динамическое представление информации, учитывающее нужды конкретного пользователя;
- широкие возможности по использованию дополнительных современных Интернет-сервисов для доступа к информации.

УДК 620.9:502

И.Г. МЕЛЬЦАЕВ, д.с.-х.н., профессор,

Энергетика и окружающая среда

Производство энергии вообще и электрической, в частности, является необходимым средством для существования и развития общества, но оно оказывает серьезное воздействие на окружающую природную среду и здоровье населения. С одной стороны, в быту и производственной деятельности человека тепло- и электроэнергия играют решающую роль, он не мыслит свое существование без нее. С другой стороны, человек все больше уделяет внимание экологическому аспекту и думает об экологически чистых энергетических производствах. Известно, что производство тепловой и электрической энергии сопровождается выбросом в природную среду огромного количества различного рода загрязняющих веществ и тепла, которые пагубно действуют на живое вещество, в том числе самого человека. По последним данным в Российской Федерации производимая суммарная мощность тепловой энергии составляет около 0,88 ТВт или 6,7 % от мирового производства.

Основная часть электроэнергии (70 %) в России вырабатывается на тепловых электрических станциях, где используется твердое углеродсодержащее топливо (каменный уголь). При сжигании угля в атмосферу поступают сернистый ангидрид, окислы серы, фтористые соединения, окислы азота, оксид и диоксид углерода, а также токсичные примеси мышьяка, двуокись кремния соединения бенз(а)пирена, диоксины и другие соединения. Сточные воды тепловых электрических станций также загрязнены: они содержат ванадий, никель, фтор, фенолы и нефтепродукты. Все эти вредные вещества непосредственно во время дыхания или через воду или опосредованно через продукцию растениеводства или животноводства, в конечном счете, они окажутся в организме человека. Длительное воздействие даже относительно низких концентраций сернистых соединений негативно действуют на сердечно-сосудистую систему, способствуют возникновению бронхита, астмы и других заболеваний. Окислы азота вызывают отек легких, а при низких концентрациях раздражение слизистых оболочек глаза и носа. Оксид углерода вызывает кислородное голодание организма, вследствие чего нарушается деятельность центральной нервной системы. Окислы азота, серы и углерода соединяясь с водяным паром атмосферного воздуха, вызывают кислотные дожди, которые губительно действуют на растения и почвенную микрофлору, при закислении почвенного раствора. Большую опасность несут в себе ванадий, никель, фтор, фенолы и нефтепродукты. Окислы ванадия приводят к раздражению дыхательных путей, астме, нервным расстройствам и изменению формулы крови. Никель способствует проявлению респираторных заболеваний, астме, нарушению защитной системы дыхательных путей, является ингибитором оксидаз, вызывает врожденные пороки, обладает мутагенным свойством. Нефтепродукты

формируют на водной поверхности пленку, которая нарушает воздухообмен между атмосферой и водой. В воде через некоторое время возникает дефицит кислорода, приводящий к гибели ихтиофауны. Мышьяк – ядовитое высокотоксичное вещество, вызывающий у человека рак легких, кожные болезни, заболевание крови (белокровие). Ингибирует различные ферменты, отрицательно действует на метаболизм. Работа тепловых электрических станций сопровождается также тепловым загрязнением и образованием тумана в результате сброса нагретой до 12⁰С и более в конденсаторах турбин воды в водохранилища-охладители или непосредственно в естественные водоемы, что также негативно сказывается на водных организмах. То же самое происходит при охлаждении турбин на атомных электрических станциях.

Тепловая электрическая станция Российской Федерации останется основным компонентом, генерирующим электроэнергетические мощности. Воздействие тепловых электрических станций на окружающую природную среду является наиболее значительным многообразным. Самым опасным видом воздействия их является загрязнение воздушной среды (с последующим влиянием на растительный и животный мир, почву, воду и человека) дымовыми выбросами многих летучих вредных и опасных соединений, твердых частиц и золы, в которых содержатся многие токсичные, мутагенные, терратогенные и канцерогенные соединения.

Например, только в золошлаковом отвале Благовещенского теплоэнергетического центра содержится 20 т урана, 18 – тория, 7 кг – радия. Известно, что эти радиоактивные вещества небезопасны для здоровья людей. Вследствие неправильного хранения золы в золоотвалах, они разносятся воздушными потоками на многие километры.. При работе тепловых электрических станций РФ, сжигающих каменный уголь, ежегодно образуется более 100 млн т золошлаковых отходов из которых примерно используется только около 10-12 %. На золоотвалах действующих теплоэнергетических станций скопилось около 2,0 млрд т золы, что само по себе уже составляет экологическую опасность. При сжигании каменного угля вместе с золой и отходящими газами в окружающую среду поступает некоторых элементов больше, чем их добывается из недр земли: магния в 1,5 раза, молибдена - 3, мышьяка -7, урана и тория – 10, алюминия, бериллия, циркония -100 раз, германия – 1000, иттрия – в десятки тысяч раз.

Крупным загрязнителем окружающей среды считается автомобильный парк, который выбрасывает вместе с выхлопными газами около 200 видов загрязняющих веществ, в том числе бенз(а)пирен, диоксины, альдегиды, которые считаются супертоксикантами. Диоксины легко проникают в ядро клетки живых организмов, вызывая, с одной стороны, ускоренное разрушение гормонов, витаминов, лекарств и т.д., а с другой – активизацию канцерогенов, нейротоксичных ядов и даже превращение многих безвредных веществ в чрезвычайно токсичные. Бенз(а)пирен сильнейший

канцероген. При нормальных условиях это соединение представляет собой кристаллы желтого цвета, плохо растворимые в воде и хорошо растворимые в органических растворителях. В сыворотке крови человека растворимость бенз(а)пирена достигает до 50 мг/мл. Попадая в организм человека, он постепенно накапливается до критических концентраций и стимулирует образование злокачественных опухолей. Опасными для человека являются альдегиды, в том числе. акролеин и формальдегид. *Акролеин* – альдегид акриловой кислоты, очень летучая жидкость, хорошо растворимая в воде. Концентрация 0,00016 % считается порогом восприятия запаха, при 0,002 % запах трудно переносим, при 0,005 % непереносим, а при 0,014 % через 10 мин наступает летальный исход. *Формальдегид* – бесцветный с резким запахом газ, легко растворяющийся в воде. При концентрации 0,007 % вызывает легкое раздражение слизистых оболочек глаз и носа, а также верхних органов дыхания, при концентрации 0,018% осложняется процесс дыхания.

Машина с бензиновым двигателем при прохождении 15 тыс. км потребляет 4350 кг кислорода (ежегодно уменьшается кислород на 1 млрд т), выбрасывает – 3250 кг двуокиси углерода, 530 кг – угарного газа, 93 кг – углеводородов, 27 кг – окислов азота и другие вредные вещества. По данным МЭА в начале 1990-х годов выбросы диоксида углерода во всем мире были приблизительно 22 млрд т в год, к 2010 году они достигли 29 млрд т. По экспертным оценкам каждые 7 млрд т парниковых газов повышает температуру атмосферного воздуха примерно на 0,00464⁰С. Следовательно, температура атмосферного воздуха ежегодно повышается на 0,0186⁰С. Потепление климата повлечет за собой таяние горных ледниковых шапок и льда в океанах.

Вследствие чего произойдет подтопление суши приморских стран, что, в свою очередь, серьезно скажется на производстве продуктов питания и обеспечении населения питьевой водой. Если даже сегодня на планете недоедает 1,2 млрд чел (в том числе 10 % от этого количества людей ежегодно умирает голодной смертью) и 1,4 млрд населения ощущает реальную нехватку питьевой воды. В случае подтопления и разрушения водопроводных коммуникаций - от нехватки питьевой воды будут страдать уже 3,5 млрд чел. Кроме того, в среднем при добыче 1 млн т каменного угля в год теряется примерно 14 га земли. Если ежегодно добывается 120–150 млн т, то потери составят 1680–2100 га.

Топливо-энергетический комплекс выбрасывает в атмосферу 50 % вредных веществ от общего количества, двуокиси кремния 27 % загрязненных сточных вод, 30 % твердых отходов, отнесенных к загрязнителям, и 47 % парниковых газов, постоянно циркулирующих в атмосфере.

Вопросы мониторинга оборудования удаленных необслуживаемых подстанций 6-35 кВ

С целью повышения информированности соответствующего диспетчера о состоянии контролируемого им оборудования и, как следствие, снижения времени на ремонтно-восстановительные работы предлагается оснастить ПС, не имеющие постоянного оперативно-ремонтного персонала, дополнительным электронным оборудованием. В состав такого оборудования должен входить контроллер с модулями приёма аналоговой и дискретной информации с набором необходимых внешних датчиков и модуль радиосвязи на основе современного GSM/GPRS модема. В зависимости от конкретных условий работы GSM-сети в месте установки контроллерного оборудования и с целью повышения надёжности передачи данных, можно использовать систему из 2-х GSM/GPRS модемов, каждый из которых будет работать через «своего» оператора связи или один модем с двумя SIM-картами. Учитывая возможность ситуации, когда контролируемая ПС будет полностью обесточена, электропитание контроллерного оборудования предполагается осуществить через источник бесперебойного питания (ИБП), с достаточным временем автономной работы. Установленный на ПС контроллер должен выполнять строго ограниченные функции сбора оперативной информации о состоянии оборудования:

- положение всех выключателей на ПС, путём подключения к реле положения или блок-контактам выключателей;
- контроль срабатывания защит и автоматики (АПВ, АВР, положение РПН), путём подключения к выходным реле соответствующих защит и автоматики;
- значения напряжений с трансформаторов напряжения на каждой секции всех классов напряжения на ПС;
- значения токов от «штатных» трансформаторов тока на вводах установленных трансформаторов;
- значения температуры масла в трансформаторах и температуры окружающей среды;
- контроль срабатывания блинкера однофазного замыкания на землю;
- контроль срабатывания реле низкого уровня масла;
- контроль срабатывания выходного реле ЦС ПС.

Вся аналоговая информация с измерительных датчиков и дискретная информация с блок-контактов выходных реле по заданному алгоритму преобразуется контроллером в сигналы стандартных последовательных интерфейсов RS-232/485. Связь с верхним уровнем осуществляется с помощью порта RS-232/485 по протоколам МЭК 60870-5-101 или 60870-5-104. В качестве транспорта используется протокол TCP/IP.

В качестве устройства сбора данных можно использовать:

- контроллер «Исеть-Микро» с модулем «ТИТ430» (ООО «НТК Интерфейс»); 32 входных сигналов (ТС или ТИ); стоимость до 35 000 руб.;
- регистратор МУР 1001.2RC8 (НТЦ «ARGO»); 255 входных сигналов (ТС или ТИ);
- модуль «SSoft-Energy» (инновационно-промышленная группы компаний «СервисСофт»);
- ТМК «КОМПАС ТМ 2.0» (ОАО «ЮГ-СИСТЕМА плюс»);
- Micro (Schneider Electric).

Если исключить передачу сигналов телеуправления, а решать только вопросы мониторинга состояния оборудования, то наиболее удачным решением в настоящее время является, использование сотовой связи. У канала сотовой связи нет ограничений на расстояние до контролируемого пункта, он не требует разрешения органов Госнадзора, небольшие затраты на монтаж и наладку, а с учетом малого трафика для описанных задач, он имеет и небольшие затраты на эксплуатацию (порядка 100 рублей в месяц на точку доступа). Применение GSM-модема не требует от разработчика каких-то особых знаний о GSM сетях и правилах разработки высокочастотной техники. Управление модемом осуществляется с помощью несложных АТ-команд.

Для системы телеметрии небольших ПС передача информации с контроллера на верхний уровень системы мониторинга выгодней всего осуществлять посредством GSM/GPRS модема. Такой модем может работать в следующих режимах:

- GPRS – потоковый режим передачи данных. Данные от контроллера между модемами передаются по GPRS-каналу;
- SMS – пакетный режим передачи данных. Данные от контроллера между модемами передаются в виде SMS-сообщений.

GPRS (General Packet Radio Service – пакетная радиосвязь общего пользования) является надстройкой над GSM и осуществляющая пакетную передачу данных. GPRS предполагает тарификацию по объёму переданной/полученной информации, а не по времени. Устройство может оставаться в подключённом состоянии, не занимая при этом отдельный канал.

GPRS по принципу работы аналогична Интернету: данные разбиваются на пакеты и отправляются получателю, где происходит их сборка. При установлении сессии каждому устройству присваивается уникальный адрес. Пакеты передаются через неиспользуемые в данный момент голосовые каналы GSM, поэтому скорость передачи зависит не только от возможностей оборудования, но и от загрузки сети. Абоненту, подключенному к GPRS, предоставляется виртуальный канал, который на время передачи пакета становится реальным, а в остальное время используется для передачи пакетов других пользователей. Поскольку один канал могут использовать несколько абонентов, возможно возникновение очереди на передачу пакетов, и, как следствие, задержка связи, которая, как правило, превышает 1-2 сек.

Преимущество – быстрая реакция при аварийной ситуации. Система GPRS-телеметрии передает данные об аварии не ожидая запроса. Для максимально быстрого реагирования при аварийной ситуации практикуется передача SMS сообщения непосредственно на сотовые телефоны обслуживающего персонала.

Безопасность передаваемых данных обеспечивает шифрование с использованием 128-битного ключа.

Технология EDGE (Enhanced Data rates for GSM Evolution) является методом повышения скорости передачи данных в GPRS-радиоканале за счет внесения изменений в тип модуляции и схемы кодирования. Таким образом, EDGE улучшает технические параметры GPRS.

Существенно, что стандарт GSM/GPRS/EDGE обеспечивает глобальный роуминг абонентов, т.е. возможность подключения к сетям передачи информации независимо от местонахождения абонента.

Передача информации осуществляется через Интернет на единый Web-сервер, где по присвоенной метке (идентификационному коду) происходит запись принятой информации с фиксацией по времени в соответствующий сегмент базы данных. Связь контроллера с Web-сервером периодическая, задаваемая от программного таймера, либо по факту смены контролируемой информации на ПС.

Диспетчер, зарегистрированный на Web-сервере, получив сигнал центральной сигнализации с ПС, заходит на сайте на web-страницу, соответствующую данной ПС. На web-странице размещена мнемосхема этой ПС, на которой показаны реальное положение коммутационных аппаратов, видны текущие значения токов и напряжений на присоединениях ПС, температурный режим работы трансформаторов, могут быть показаны сработавшие защиты и автоматика (при наличии соответствующего оборудования на ПС). Для детального анализа ситуации можно обратиться к архиву событий, где можно отследить изменение различных величин в графическом виде.

Информация о состоянии контролируемой ПС доступна диспетчерам в порядке подчинённости: диспетчер ЦУС может просмотреть информацию обо всех ПС своего региона, диспетчер РЭС соответственно подведомственные ему ПС. Таким образом, в случае сложных отключений, когда сразу несколько ПС одновременно отключаются, диспетчер, получив дополнительную информацию на сайте Web-сервера, может существенно повысить качество принимаемых решений при ликвидации технологического нарушения. Скорость реакции диспетчера на нарушение режима работы ПС может быть повышена за счёт параллельной посылки SMS-сообщения с кратким содержанием проблемы на его сотовый телефон. В списке рассылки SMS-сообщений могут быть телефоны и других специалистов.

Влияние аварийности электрооборудования на жизнеобеспеченность населения РФ

Современное состояние электрооборудования в России характеризуется в длительным сроком эксплуатации, значительно превышающим нормативные величины. Это обстоятельство предполагает большой износ электрооборудования.

Объем «старого» оборудования настолько велик, что быстрая его замена практически невозможна как из-за недостаточности необходимых производственных мощностей, так и по причине недостатка строительно-монтажного персонала. Существующие темпы ввода новых энергетических мощностей часто не успевают за темпами роста энергопотребления, что в ряде регионов уже сегодня является фактором, сдерживающим рост экономики в целом.

Кроме старения электрооборудования наблюдается нехватка квалифицированных кадров. Во-первых, это связано с тем, что в результате проведения реформы часть специалистов была заменена на менеджеров.

Ещё одна причина нестабильной работы и выхода из строя электрооборудования – влияние природно-климатических условий (жара, ледяные дожди, магнитные бури и т.д.). Так, высокая температура окружающего воздуха может вызвать проблемы с охлаждением оборудования, а ураганы, аномальные осадки – обрыв линий электропередач. Магнитные бури также могут вызывать повреждения. Мощная солнечная вспышка способна вывести из строя высоковольтные трансформаторы, вызвать короткие замыкания и спровоцировать «блэкаут», т.е. массовое отключение электроэнергии.

Основная угроза аварий на объектах электроэнергетики – это отключение электроэнергии, что ведёт к нарушению привычного образа жизни (нарушение транспортного сообщения, отключение электричества на жизненно и социально важных объектах, таких как больницы, школы, детские сады, остановка лифтов, пробки и т.д.), значительным материальным и экономическим потерям, а также ухудшение здоровья людей, в отдельных случаях возможны и летальные исходы.

Все потребители электроэнергии сталкиваются с проблемами аварий электрооборудования. Сгоревшая техника или электроприборы – это малая часть того, что может произойти, наибольший урон для нормальной жизнедеятельности людей принесут последствия данных происшествий, а именно, пожары, взрывы, техногенные катастрофы, – далеко не полный перечень трагических последствий. Трудно оценить материаль-

ный ущерб, даже если не произошло трагедии. Стоимость сгоревшего оборудования порой ничтожно мала по сравнению с потерями, связанными с остановкой производства, простоем технологических процессов, демонтажом-монтажом, ремонтом или заменой вышедшей из строя установки.

Существует ряд дополнительных угроз, вызванных выходом из строя электрооборудования. К таким последствиям можно отнести выход токсичных веществ, поражение электрическим током, ожоги и т.д. Так, например, при разрушении некоторых типов трансформаторов в окружающей среде может попасть достаточное количество диоксинов, что приводит к её заражению. Выброс масла при авариях в масляных трансформаторах может привести к возгоранию, как самого оборудования, так и окружающих объектов. По данным МЧС РФ, более трети всех пожаров имеют электротехническое происхождение.

Таким образом, для поддержания жизнедеятельности населения России на соответствующем и безопасном уровне, необходимо обеспечение нормального и стабильного функционирования электрооборудования. Этого можно достигнуть за счет постепенной замены изношенного оборудования на новое, диагностирования состояния электрооборудования и своевременным устранением неполадок, а также за счет подготовки и привлечения высококвалифицированного персонала в данную отрасль.

УДК 681.3

Г.В. ПОПОВ, д.т.н., профессор,
Е.М. КОРЮКИН, студент
(ИГЭУ)

О состоянии здоровья населения Ивановской области

Среди многочисленных показателей, отражающих социально-экономическое состояние региона, важная роль принадлежит показателям качества здоровья населения. К сожалению, здоровье населения нашей области ухудшается из года в год, что крайне неблагоприятно влияет на многие сферы деятельности. Среди причин снижения уровня здоровья населения нашего региона, можно выделить ряд основных: широко распространенное употребление алкоголя и курение табака, низкое качество продуктов питания, социальная апатия и т.д.

Наблюдение за демографическими процессами показывает, что в целом по области сохраняются отрицательные тенденции основных показателей естественного движения населения.

По данным на май 2010 года в нашей области проживают 1063,5 тыс. человек. За 2009 г. численность постоянного населения Ивановской области сократилась на 6,5 тыс. человек. Численные потери населения обусловлены естественной убылью населения, наблюдающейся в области с 1988 года. Устойчивое сокращение населения за счет перевеса числа умерших над числом родившихся имеет место на всей территории области (табл. 1).

Таблица 1. Естественное движение населения (на 1000 населения)

Наименование, год	1980	1988	1999	2002	2005	2006	2007	2008	2009
Рождаемость	13,8	13,2	6,6	8,1	8,7	9,0	9,8	10,3	10,6
Смертность	13,0	13,7	20,3	21,4	22,0	20,0	18,8	19,3	18,6
Естественный прирост	+0,8	-0,5	-13,7	-13,3	-13,3	-11,0	-9,0	-9,0	-8,0
Изменение числ. населения (тыс. чел.)	- 3,1	-0,9	-13,8	-17,5	-83,3	-15,0	-12,1	-8,0	-7,0

Неблагоприятные изменения в показателях воспроизводства населения сказываются и на его возрастном составе. Низкая рождаемость, вместе с увеличением численности людей старших возрастов, способствует дальнейшему старению населения. Наша область является одной из самых «старых» в России.

Отказ многих семей от рождения второго, третьего и т.д. детей и откладывание рождений на перспективу в значительной мере обуславливается дороговизной жизни. Откладывая рождение детей, многие семьи прибегают к абортам. Например, в 2003 г. число аборт в области превышало количество родов на 31,5 % (табл. 2). Последнее время число официально зарегистрированных аборт начало снижаться, однако это частично свидетельствует об «уходе» женщин в частные структуры.

Таблица 2. Число зарегистрированных искусственных аборт

Наименование	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Число аборт	14373	13594	12918	11338	10758	9763	9277
Число аборт на 100 родов	147,3	131,5	124,6	117,0	109,2	91,0	82,8

Основной проблемой социально-демографической ситуации в области остается высокая смертность. В структуре смертности первое место занимают сердечно-сосудистые заболевания, второе место - онкологические заболевания, третье место – травмы и отравления. Самой насущной проблемой по-прежнему остается высокий уровень преждевременной смертности населения из-за несчастных случаев, отравлений и травм.

Одним из важных демографических показателей является уровень материнской смертности, связанный с низким уровнем репродуктивного здоровья женщин. Это в свою очередь приводит к высокой младенческой смертности (самой высокой в РФ).

Уровень общей заболеваемости на 1000 человек населения имеет тенденцию к росту на протяжении последних лет. На долю болезней системы кровообращения приходится более половины случаев смерти и инвалидности среди взрослого населения. За последнее время наиболее высокие темпы роста показателей заболеваемости имели цереброваскулярные болезни, ишемическая болезнь сердца, гипертоническая болезнь.

Злокачественные новообразования остаются одной из главных проблем дня населения Ивановской области. В области ежегодно регистрируется более 4 тысяч человек с диагнозом злокачественного новообразования, из них около 25 детей. Из-за него умирает около 2,5 тыс. человек. Показатель смертности от рака в Ивановской области самый высокий в ЦФО, а среди муниципальных образований региона наиболее высокий уровень онкологической заболеваемости взрослых наблюдается в г. Кохма (1 место), Лухском районе (2), г. Шуя (3), г. Вичуга (4). Обследование многих пациентов на наличие злокачественных новообразований показало, что болезнь молодеет – рак выявляют у молодых людей до 30 лет.

Другой серьезной проблемой Ивановского региона является ВИЧ. Эпидситуация в нашем регионе также весьма напряжённая: на 1 ноября 2010 года в области было зарегистрировано 4820 ВИЧ-инфицированных, из них 42 ребенка, инфицированных при перинатальном контакте. Для сравнения: в Ярославской области зарегистрировано 1435 ВИЧ-инфицированных, в Костромской – 1474, в Липецкой – 404. Наиболее неблагоприятная ситуация складывается в городах Иваново и Кохма, на которые приходится более 65 % всех случаев ВИЧ-инфекции. Практически вся эпидемия сосредоточена в максимально активной части населения. Свыше 85 % ВИЧ-инфицированных составляют лица в возрасте от 20 до 40 лет.

Уровни первичной заболеваемости наркологическими расстройствами в Ивановской области также превышают общероссийские показатели. В 2009 году в Управлении Роспотребнадзора по Ивановской области было зарегистрировано 798 случаев отравлений химической этиологии. Показатель составил 74,4 на 100 тыс. населения (в 2008 году – 79,6 на 100 тыс.). В структуре причин острых отравлений 57,6 % приходится на алкоголь и его суррогаты.

В 2009 году общая численность инвалидов в Ивановской области составила 85,7 на 1000 человек населения. Для сравнения в 2006 г. – 80,0, в 2007 г. – 84,6, в 2008 г. – 85,2 на 1000 человек населения. В 2008 году количество инвалидов трудоспособного возраста в % к общему количеству населения увеличилось с 34,5 % до 37,5 %; увеличилось количество граждан, которым установлена 1 группа инвалидности, с 12,1 % до

13,4 %, уменьшилось количество граждан, которым установлена 2 группа – с 56,1 % до 51,4 % (табл. 3). В то же время имеет место увеличение количества лиц, которым установлена 3 группа инвалидности, с 31,8 % в 2007 году до 35,2 % в 2008 году (см. табл. 3).

Таблица 3. Состояние первичной инвалидности

	2004 г.	2005 г.	2006 г.	2007 г.	2008 г.
Впервые признано инвалидами всего (на 10 тыс. нас.)	91,6	129,2	117,0	92,7	80,8
Инвалидов трудоспособного возраста (в % к общему количеству)	37,8	28,9	34,4	34,5	37,5
Группа инвалидности в %					
1 группа	18,1	13,4	12,4	12,1	13,4
2 группа	62,4	60,6	56,6	56,1	51,4
3 группа	19,5	26,0	31,0	31,8	35,2

Таким образом, современная патология свидетельствует о множественности проявлений и форм заболеваемости населения Ивановской области, которые могут привести к снижению трудового и интеллектуального потенциала, к существенным ограничениям биологических и социальных функций отдельных групп населения, в том числе их участия в улучшении социально-экономической ситуации в стране. Необходима более активная ориентация всей службы медицинской помощи на эти новые проявления в характере заболеваемости населения.

УДК 371.3

Ю.Ю. РОГОЖНИКОВ, к.т.н., доцент;
Н.И. ДЮПОВКИН, к.т.н., доцент
(ИГЭУ)

Разработка интернет портала ФЗВО ИГЭУ

Актуальность разработки информационного обучающего Интернет портала ФЗВО ИГЭУ обусловлена необходимостью предоставить студентам ФЗВО возможность единого доступа ко всей необходимой информации и различным системам дистанционного обучения (СДО), которые развиваются и эксплуатируются кафедрами ИГЭУ.

Интегрирующий динамический Интернет портал ФЗВО ориентирован на удовлетворение потребностей ряда целевых аудиторий, среди которых можно выделить три основных:

- студенты ИГЭУ, заинтересованные в целенаправленном поиске информации по программам обучения, дисциплинам, контрольным, курсовым работам и т.д., работе с системами дистанционного обучения, выполнения заданий в средах СДО и др.

- преподаватели ИГЭУ имеющие потребность в размещении информации по читаемым курсам дисциплин, проведении дистанционных консультаций и тестирования студентов.

- сотрудники деканата ФЗВО, заинтересованные в повышении качества обучения, организации информационного обмена участников портала (студентов, преподавателей, других пользователей), получении оперативной информации о методическом и другом сопровождении процесса обучения с возможностью её последующего аналитического изучения.

Информационная модель портала и другие решения основываются на существующем информационном комплексе «Деканат ФЗВО» – «Виртуальный методический кабинет» (<http://fzvo.ispu.ru/>). Разрабатываемый механизм интеграции БД портала с СДО «КЛЮЧ» (<http://do.transform.ru/>), «Moodle» (<http://moodle.transform.ru/>) и другими, учитывает и существующее интеграционное решение «Виртуальный методический кабинет» – СДО «ГИПЕРТЕСТ» (<http://hypertest.ispu.ru:8080/>).

Для организации взаимодействия пользователей портала с СДО разрабатываются программные модули, обеспечивающие интерфейс для планирования учебных занятий студентов с использованием СДО, в частности, СДО «КЛЮЧ». Наряду с разработкой модулей портала, поддерживающих интерфейс обмена данными, разрабатываются программные модули системы прав и аудита СДО «КЛЮЧ» для преподавателей/администраторов, позволяющие работать с СДО всем заинтересованным преподавателям ИГЭУ.

Информационный образовательный портал ФЗВО ИГЭУ будет доступен в сети Интернет по адресу <http://фзво.рф>.

О курсах дистанционного обучения по профилю подготовки бакалавров 280701 «Безопасность жизнедеятельности в техносфере»

В условиях перехода на новые ФГОСы, которые предписывают сокращение часов отводимых на лекционные занятия и ряд других нововведений, от преподавателя высшей школы требуется внедрение в повседневный учебный процесс эффективных современных технологий обучения, которые не позволили бы понижаться качеству российского образования, а наоборот способствовали бы его повышению. Одними из таких технологий являются технологии дистанционного обучения (ДО), которые позволяют эффективно использовать часы, отводимые на внеаудиторные самостоятельные занятия студентов за счет применения интерактивных обучающих курсов.

Разработкой обучающих программных комплексов и курсов дистанционного обучения кафедра безопасности жизнедеятельности ИГЭУ занимается уже достаточно длительное время. Среди разработок кафедры известны следующие: система дистанционного обучения (СДО) «КЛЮЧ», содержащая базу вопросов по читаемым кафедрой дисциплинам; программный комплекс «Реанимация», применяемый не только в учебном процессе, но и на ряде предприятий; курсы дистанционного обучения «Оказание первой помощи», «Пожарная безопасность» и другие.

Для поддержки процесса обучения по направлению 280700 «Техносферная безопасность» и профилю подготовки бакалавров 280701 «Безопасность жизнедеятельности в техносфере» разрабатываются курсы ДО «Безопасность в чрезвычайных ситуациях» и «Средства индивидуальной защиты» по одноименным дисциплинам. Курсы разрабатываются с учетом существующих стандартов по ДО (SCORM) в системе «Moodle» (<http://moodle.transform.ru>).

Средства web-обучения идеально подходят при обучении различным правилам (ПТБ, ПУЭ, ПТЭ и т.п.). Для обучения профессиональным навыкам должны применяться специальные тренажеры. Учебные материалы курсов дополняются видеолекциями. При реализации учебного материала в режиме on-line трансляции возможно прямое общение с обучаемыми посредством организации видеоконференций, такие курсы будут эффективны также при заочной форме обучения.

Литература

1. Попов Г.В., Рогожников Ю.Ю. Дистанционное обучение для переподготовки специалистов в электроэнергетике // Электро, № 1, 2010. – С. 44-47.

О некоторых подходах к оценке профессионального риска для работников предприятия

В соответствии с российским законодательством работодатель обязан обеспечить безопасность работников и информировать их о существующем риске повреждения здоровья, т.е. наличии профессионального риска на рабочих местах. Работник имеет право получать достоверную информацию о существующем риске, а также отказаться от выполнения работ в случае возникновения опасности для его жизни и здоровья. Профессиональный риск оценивается по результатам: производственного контроля согласно [3]; социально-гигиенического мониторинга учреждений Роспотребнадзора Министерства здравоохранения и социального развития Российской Федерации в соответствии с [2]; аттестации рабочих мест; гигиенической экспертизы производственного оборудования и продукции производственного назначения; медицинских осмотров, заболеваемости с временной утратой трудоспособности, обращаемости за медицинской помощью. Результаты оценки профессионального риска подразделяют на категорию 1А (доказанный профессиональный риск), категорию 1Б (предполагаемый профессиональный риск) и категорию 2 (подозреваемый профессиональный риск) на основе результатов гигиенической оценки условий труда.

Процедура оценки профессионального риска начала внедряться в практику сравнительно недавно, и подходы к оценке неоднозначные. В частности, в соответствии с методикой, изложенной в [1], изменения здоровья фиксируют по определенным показателям, являющимся основой выбора конкретных мероприятий социально-экономического, технического, медицинского, организационного характера. Результатом определения профессионального риска является количественная оценка степени риска ущерба для здоровья работников от действия вредных и опасных факторов производственной среды и трудовой нагрузки по вероятности нарушений здоровья с учетом их тяжести. Эти данные являются обоснованием для принятия управленческих решений по ограничению риска и оптимизации условий труда работников.

Согласно методики [1] категорирование риска по классам условий труда основано на величине индекса профессиональной заболеваемости $I_{пз}$, определяемого по формуле:

$$I_{пз} = \frac{1}{K_p \cdot K_T},$$

где K_p, K_t – коэффициенты, определяющие категории риска и тяжести профессиональных в зависимости от степени нетрудоспособности.

На основании установления класса условий труда и категории доказанности риска определяют срочность мер профилактики.

Для принятия управленческих решений по снижению риска, его профилактике, прогнозируют уровень распространенности профессиональных заболеваний.

С этой целью рассчитывают необходимое число (N) осмотренных работников (в течение одного - двух лет) по формуле:

$$N = \frac{P_{\text{ц}} \cdot (100 - P_{\text{ц}}) \cdot t^2}{\Delta^2},$$

где $P_{\text{ц}}$ – предполагаемый уровень (абсолютный риск) профессиональных заболеваний, %; t – критерий Стьюдента; Δ – максимально допустимая ошибка, %.

Далее определяют доверительный интервал предполагаемой распространенности профессиональных заболеваний по формуле:

$$Q_{1,2} = \frac{100 \cdot \left(\frac{P + t^2}{2 \cdot N} \pm t \cdot \sqrt{\frac{P \cdot (1 - P)}{N} + \frac{t^2}{4 \cdot N^2}} \right)}{\left(1 + \frac{t^2}{N} \right)},$$

где Q_1 и Q_2 – соответственно верхняя и нижняя границы доверительного интервала, %; P – показатель распространенности профессиональных заболеваний ($P = m/N$, m – число лиц с профессиональными заболеваниями); N – число осмотренных работников.

В [4] предложен подход к оценке риска, основанный на расчете обобщенного показателя уровня профессионального риска и уровня безопасности рабочей среды, отнесенного к продолжительности работы T .

Расчет выполняется по следующим формулам.

$$R = 1 - \left[\prod_{i=1}^n \frac{(x_{\text{max}} + 1) - x_{ij}}{x_{\text{max}}} \right]^{\frac{T}{T_0}},$$

$$I = \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n x_{ij} \cdot N_{ij} \quad \text{или} \quad I = \sum_{j=1}^m \left(\sum_{i=1}^n x_{ij} \right)_j \cdot N_j,$$

$$i = \frac{I}{\sum_{j=1}^m N_j},$$

$$D = IT,$$

$$d = iT,$$

где I – общая интенсивность воздействия опасных и вредных производственных факторов (ОВПФ) на работников, ед.; m – число рабочих мест на предприятии; n – число ОВПФ на рабочем месте; x_{ij} – оценка профессионального риска в баллах, относящегося к i -му фактору на j -м рабочем месте; N_{ij} – число работников, находящихся под воздействием ij -го ОВПФ; N_j – число работников на j -м рабочем месте; i – средневзвешенная сумма баллов риска, воздействующая на одного работника; D – доза воздействия ОВПФ за время T , относящаяся ко всему предприятию, ед.; d – доза воздействия ОВПФ за время T , относящаяся к одному работнику; R – повреждающая способность (риск) рабочей среды; T – время воздействия, лет; x_{\max} – максимальная оценка риска, баллы; T_0 – рабочий стаж, лет, учитываемый при обосновании гигиенических нормативов условий труда (ПДУ, ПДК).

Объективность оценок профессионального риска рассмотренным выше способом определяется точностью расчета баллов риска x_{ij} , которые могут быть получены по данным аттестации рабочих мест по условиям труда.

Литература

1. Р 2.2.1766 - 03 "Руководство по оценке профессионального риска для здоровья работников. Организационно-методические основы, принципы и критерии оценки".
2. Положение социально-гигиеническом мониторинге. Утв. Правительством Российской Федерации 09.06.2000 г. № 426.
3. СП 1.1.1058 - 01 "Организация и проведение производственного контроля за соблюдением санитарных правил и выполнением санитарно-противоэпидемических (профилактических) мероприятий".
4. Минько, В.М. Об оценке и оптимальном управлении снижением профессиональных рисков / В.М. Минько // Приложение к журналу "Безопасность жизнедеятельности". – № 3. – 2010.

УДК 502.3

Е.А. ПЫШНЕНКО, к.т.н., доцент,
Н.С. АНДРИАНОВА, студент
(ИГЭУ)

Анализ моделей оценки риска для здоровья населения загрязненной окружающей среды

Оценка риска для здоровья человека – это количественная и (или) качественная характеристика вредных эффектов, способных развиться в результате воздействия факторов среды обитания человека на конкретную группу людей при специфических условиях экспозиции.

При *медико-биологической оценке риска для здоровья населения* в качестве объекта опасности рассматривается не сам человек, а весь комплекс окружающей его среды, учитывая все ее отклонения от естественного состояния. Риск зависит как от степени токсичности опасного

агента, так и от уровней воздействия и определяется по величине относительного превышения фоновой заболеваемости населения за счет экологических факторов (уровня загрязненности окружающей среды).

Определенный риск неблагоприятного воздействия на здоровье в населенных пунктах присутствует, но главное – минимизировать этот риск. Для того чтобы выполнить задачу сохранения здоровья населения, необходимо оценить риск. Техногенные воздействия изменяют состояние окружающей среды. Определенная мера этих изменений и является мерой *экологически приемлемого риска для населения*.

Процесс оценки риска включает в себя выявление потенциально значимых воздействий загрязнения окружающей среды на уровень здоровья населения.

Риски, обусловленные наличием химических соединений в окружающей среде, не могут быть непосредственно измерены, а могут быть оценены только после нанесения ущерба (вреда). Важно найти возможность предсказывать риски путем оценки свойственной химическому веществу способности вызывать различные неблагоприятные эффекты, качественные и количественные, при различных величинах воздействия этого химического вещества.

В РФ с конца 1990-х гг. широко внедряются в практику различные подходы к оценке риска для здоровья населения и создаются и используются отечественные и зарубежные компьютерные программы, реализующие алгоритмы прогнозирования уровней риска. В 2004 г. процедура оценки риска была конкретизирована в “Руководстве по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду” (Р 2.1.10.1920-04).

В методологии оценки риска, предложенной в “Руководстве...” в качестве параметров для оценки неканцерогенного риска используются *референтные уровни воздействия* (референтные дозы и концентрации), а также параметры *зависимости “концентрация-ответ”*, полученные в эпидемиологических исследованиях. В основу проводимых расчетов и оценок положены две модели формирования риска: модель EPA, разработанная и применяемая Агентством по охране окружающей среды США, и модель MMA, разработанная в Московской медицинской Академии под руководством проф. С.М. Новикова.

В модели EPA применяются две различных методики оценки. Для потенциальных канцерогенов оценивают возрастающую вероятность получить раковое заболевание в результате определенного воздействия. Для потенциальных неканцерогенов сравнивают ожидаемый уровень воздействия с уровнем, при котором, предположительно, риск практически равен нулю. При оценке риска развития неканцерогенных эффектов, как правило, исходят из предположения о наличии порога вредного действия, ниже которого вредные эффекты не развиваются. Однако для

отдельных загрязнений окружающей среды наличие данного порога не доказано (например, взвешенные вещества).

Алгоритмически, оценка риска в методике EPA основана на наборе типичных случаев контакта людей с носителями загрязнителей (так называемые "контактные среды"), типичных физико-химических механизмах – путях контактов человека с загрязнителями и наборе популяционных групп с одинаковыми условиями экспозиции к загрязнителям. Совокупность всевозможных путей для всевозможных групп называется матрицей экспозиции. Для каждого элемента матрицы экспозиции рассчитывается доза загрязнителя:

$$LADI = \frac{C_1}{W} \cdot V \cdot F \cdot \frac{D}{T},$$

где LADI – средняя пожизненная ежедневная доза, мг/(кг·день); C_1 – концентрация загрязнителя в контактной среде, мг/м³; W – вес тела индивидуума, кг; V – потребление индивидом данной контактной среды, м³/день; F – частота события контакта с носителем, дней/год; D – период, на который экстраполируются текущие условия экспозиции, лет; T – период осреднения дозы, дней.

Затем для каждого элемента матрицы экспозиции рассчитывается показатель риска:

$$HI = \frac{LADI}{RfD},$$

где HI – индекс опасности получить неканцерогенное заболевание, безразмерный.

Для большинства веществ, не обладающих канцерогенным действием, оценка риска проводится на основе расчета коэффициента опасности (HQ), представляющего собой соотношение между величиной экспозиции (например, суточной дозой, ADD) и безопасным уровнем воздействия (референтная доза, референтная концентрация или предельно допустимая концентрация):

$$HQ = \frac{AD}{RfD} \quad \text{или} \quad HQ = \frac{AC}{RfC},$$

где HQ – коэффициент опасности; AD – средняя доза, мг/кг; AC – средняя концентрация, мг/м³; RfD – референтная (безопасная) доза, мг/кг; RfC – референтная (безопасная) концентрация, мг/м³.

Чем больше величина HQ превосходит единицу, тем более значительную опасность может представлять анализируемое воздействие.

Модель ММА является по сути расширением стандартной методики EPA для оценки неканцерогенного риска, позволяющей прогнозировать не только риск, но и заболеваемость, и применяется для оценки *условного (относительного) риска*, под которым понимается степень возрастания вероятности (риска) развития неблагоприятных эффектов и их выра-

женности (т.е. медико-биологической и социальной значимости, тяжести) в случае определенного превышения предельно допустимых концентраций (ПДК) в течение заданного промежутка времени.

В модели ММА опасность для здоровья, вызванная воздействием i -го загрязнителя и обусловленная превышением ПДК_{с.с.} (среднесуточных), имеет степенную (логарифмическую) зависимость от уровней воздействия или степени превышения ПДК_{с.с.}:

$$R_i = b \cdot \lg\left(\frac{C_i}{\text{ПДК}_{\text{с.с.}}}\right) \text{ или } R_i = a + b \cdot \lg(C_i),$$

где C_i – фактическая концентрация i -го загрязнителя, $a = -\lg(\text{ПДК}_{\text{с.с.}})$, b – показатель угла наклона зависимости "концентрация–условный риск", интегрально характеризующий опасность, связанную с превышением концентрацией ПДК.

За 0-й уровень относительного риска ($R = 0$) приняты эффекты действия химического вещества в концентрации, не превышающей ПДК_{с.с.} Эффект воздействия концентрации, соответствующей порогу хронического действия при круглосуточной ингаляции, принят равным 1/5. Воздействие концентрации на уровне ПДК_{р.з.} (рабочей зоны) соответствует эффекту, равному 2.5 условных единиц. Уровни воздействия, близкие к среднесмертельным концентрациям или американским аварийным нормативам для воздуха рабочей зоны (Immediately Dangerous to Life and Health Values – IDLH), соответствуют 1. Для стандартизации других параметров токсикометрии используется зависимость "концентрация - условный риск (эффект)".

Одним из важных достоинств модели ММА является возможность ее применения в случае многофакторных воздействий. Она позволяет строить интегральные индексы опасности для многокомпонентных смесей по отношению концентраций к предельным концентрациям для заданного уровня условного риска R .

Рассмотренные модели положены в основу оценки и прогнозирования рисков в компьютерных программных средствах ISC (Industrial Source Complex, США), NERL–HEASD–THERdbASE Software Download, EHIPS, медико-экологической информационной системе "МедЭкоРИСК – АТМО-СФЕРА".

Направления совершенствования процесса обучения студентов основам оказания первой помощи

В связи с ростом частоты возникновения экстремальных ситуаций в последние годы уделяется большое внимание обучению правилам оказания первой (доврачебной) помощи, и наблюдается высокий интерес у студентов к приобретению навыков проведения реанимационных мероприятий. В настоящее время разработаны и применяются различные подходы к организации процесса обучения на основе множества учебных пособий, методических руководств, посвященных указанной теме, в частности [1], созданы видеофильмы и тренажеры. Чтобы повысить эффективность обучения, сформировать у студентов устойчивые навыки проведения реанимационных мероприятий и обеспечить достаточный объем знаний, применимый в реальной ситуации, связанной с несчастными случаями, предлагается *модель многостадийного процесса обучения*, построенная на применении обучающих и тестирующих компьютерных средств, видеофильмов и роликов, слайд-шоу, компьютерных тренажеров и муляжей. При реализации такой модели на каждой стадии процесса обучения происходит не только получение необходимых знаний, но и проверяется, насколько хорошо они усвоены, наличие практических заданий обеспечивает приобретение и закрепление навыков выполнения правильной последовательности действий, использование видеоматериалов обеспечивает визуальное восприятие информации.

Особенно важно при обучении студентов с использованием указанной выше модели поэтапное рассмотрение изучаемых вопросов, обеспечиваемое делением процесса обучения на стадии и возможность возврата к предыдущим стадиям, если знания недостаточны, т.е. процесс циклический. На каждой последующей стадии информация становится более обширной и приближенной к реальным условиям выполнения реанимационных мероприятий.

На первой стадии с помощью компьютерных обучающих систем “Раны” и UTesMed изучаются основные понятия и определения: виды кровотечений, ран, переломов, вывихов, а затем производится тестирование знаний.

На второй стадии реализуется практическое освоение процесса наложения повязок с помощью видеороликов, имеющихся в составе обучающей системы “Раны” и муляжей ран. Это позволяет в процессе повторения действий специалиста в видеоролике и изучения муляжей научиться правильной последовательности действий и приобрести соответствующие навыки оказания помощи. Тестирование полученных знаний

на этой стадии проводится на основе системы UTeMed, что дает возможность проверить уровень усвоения материала.

На третьей стадии с помощью слайд-шоу PowerPoint, разработанного на основе [1], изучаются признаки опасных состояний человека, и более 20 ситуаций, в которых необходимы мероприятия по оказанию первой помощи при несчастных случаях на производстве, в бытовых условиях, в автодорожных авариях. Затем рассматриваются алгоритмы оказания первой помощи в реальных условиях, например, в случае ранения конечности, химического ожога и др., т.е. студентам предлагается разработать собственную последовательность действий, а затем анализируются допущенные ошибки. Тем самым обеспечивается не только изучение материала, но и более сложное, чем на первой и второй стадии тестирование полученных знаний и навыков.

На четвертой стадии применяется компьютерный обучающий тренажер “Реанимация” для изучения вопросов проведения реанимационных мероприятий и отработки правильной последовательности действий при остановке сердца или отсутствии дыхания с помощью итерационного тестирования, предполагающего возврат на предыдущие стадии проведения первой помощи в случае неправильных действий.

На пятой стадии процесс обучения реализуется в виде просмотра видеofilmа, посвященного проведению реанимационных мероприятий, а затем используется тренажер “ВИТИМ-2” для получения навыков проведения искусственной вентиляции легких и наружного массажа сердца пострадавшим, у которых произошла остановка сердца или дыхания.

Таким образом, предлагаемую модель можно считать эффективной, поскольку она включает в себя все основные виды деятельности в циклично реализуемом процессе обучения, этапы которого предложил в 1984 г. Д. Колб: абстрактная концептуализация, активное экспериментирование, получение конкретного опыта, рефлексивное наблюдение. В модели используются средства активного обучения, т.е. электронные средства изучения информации, ее вербальное и визуальное восприятие, наблюдение за процессом выполнения, воспроизведение и имитация действий, тестирование знаний и навыков, участие в реальном процессе выполнения шагов по оказанию первой помощи.

Рассмотренная модель обучения и перечисленные выше компьютерные средства разработаны на кафедре “Безопасность жизнедеятельности” ИГЭУ и используются при проведении практических и лабораторных занятий по дисциплине “Медико-биологические основы БЖД”.

Литература

1. Межотраслевая инструкция по оказанию первой помощи при несчастных случаях на производстве. – М.: ЭНАС, 2009. – 80 с.

О совершенстве неживой природы

Человечество с древних времен интересуется вопросами познания законов мироздания и поиск ответа на один из ключевых вопросов: "как возник Мир, случайно или у него есть Создатель?" От ответа на этот вопрос зависит понимание места человечества в Мире и его отношение к природной среде и к другим людям.

Рассмотрим некоторые факты [1,2,3], касающиеся Вселенной и основные виды взаимодействий.

Происхождение Вселенной. Мы живем во Вселенной, в состав которой входит $50 \cdot 10^9$ галактик. Солнце находится в галактике "Млечный путь", в которой имеется более $100 \cdot 10^9$ подобных звезд.

1) Считается, что Вселенная образовалась после Большого взрыва. При этом количество позитронов почему-то оказалось чуть меньше, чем электронов (разница всего в одну частицу на каждые 100 миллионов пар частица-античастица). Антипротонов то же оказалось чуть меньше чем протонов. При равенстве количества частиц и античастиц произошла бы полная аннигиляция вещества и мир исчез.

2) Галактики от общего центра разбегаются с очень выверенной скоростью. Будь эта скорость меньше на одну триллионную часть $1/10^{12}$, то через миллиард лет (10^9) гравитационные силы заставили бы Вселенную снова сжаться. Будь эта скорость больше на одну триллионную часть больше, материя к настоящему времени исчезла бы (рассеялась).

Следовательно, если бы скорость отличалась от существующей в двенадцатом знаке, планеты Земля и жизни на ней не было бы.

Могли ли соотношения между количествами частиц и античастиц, массами микрочастиц, скоростями разбега галактик с такой точностью установиться случайно?

3) Расстояние от Солнца до Земли идеально для жизни. Если бы оно было больше или меньше на 1 %, то на Земле было бы слишком холодно или слишком жарко.

4) Земля вращается по орбите близкой к круговой. Будь орбита эллиптической, то лето было бы очень жарким, а зима слишком холодной. Земля делает один оборот вокруг своей оси за одни сутки. Представьте, что было бы, если один оборот, как на Венере совершался за 243 земных суток. Температуры на Земле были бы экстремальными из-за длительных дней и ночей.

Разгадка сотворения Мира была бы менее интересна для очень-очень "старой" Вселенной. Однако в ней идут термоядерные реакции $H_2 + H_2 = He$, и она в основном состоит из водорода. Следовательно, Вселенная – довольно "молода".

Основные виды взаимодействий. Структура Вселенной от атомов до звезд и галактик, а также основные процессы в ней определяются четырьмя видами взаимодействий, которые также точно отрегулированы.

Рассмотрим 4 формы основных взаимодействий.

Гравитационное – влияет на движение и процессы внутри планет, звезд и галактик.

Электромагнитное – определяет силы притяжения между протонами и электронами.

Сильное взаимодействие удерживает протоны и нейтроны в ядре атома.

Слабое – управляет распадом радиоактивных элементов и термоядерными реакциями.

1) Электромагнитное взаимодействие $F_{эм}$ больше гравитационного $F_{гр}$ в 10^{40} раз ($F_{эм} / F_{гр} = 10^{40}$). Расчеты физиков показали, что будь это отношение равно 10^{41} , то гравитационные силы не сжимали ли бы ядра атомом звезд до такой степени, чтобы возникла термоядерная реакция, а при отношении равном 10^{39} гравитационные силы были бы больше и время свечения Солнца сильно сократилось бы. А ведь речь идет об изменении в 40-ой значащей цифре. Напомним, что в инженерных расчетах обычно верны только 2...3 значащие цифры.

2) Сильное взаимодействие формирует ядра атомов. Изменись его величина всего на два процента – и Вселенная состояла бы только из водорода или из тяжелых металлов.

Почему законы природы, мировые константы так точно подогнаны друг к другу. Даже небольшие изменения фундаментальных постоянных - массы протона, нейтрона, электрона привели бы к полному изменению облика Вселенной.

3) Все технические системы стремятся к хаосу. Техника стареет, выходит из строя. В природе сохраняется порядок, она постоянно совершенствуется и ищет оптимальные взаимосвязи между живыми организмами и окружающей средой. При изменении условий жизни в живых организмах возрастает количество мутаций, они изменяются. Благодаря естественному отбору оптимальные свойства закрепляются. Организмы становятся более жизнеспособными.

Мир очень точно отрегулирован! Могли ли описанные соотношения возникнуть случайно? Дать однозначный ответ на этот вопрос пока невозможно, хотя очевидно, что вероятность *случайного* появления таких соотношений чрезвычайно низка.

Литература

1. Максим Карпенко. Universum Sapiens (Вселенная Разумная). Москва, 1992.
2. Ирхин В.Ю., Кацнельсон М.И. Уставы небес. 16 глав о науке и вере. Екатеринбург, издательство У-Фактория, 2000. – 512 с. http://www.imp.uran.ru/ktm_lab/irkhin/.
3. Существует ли заботливый Творец. PRINTED IN GERMANI. DRUCK: WACHT-TURM-GESELLSCHAFT, SELTERS/TAUNUS. 2006.– 192 с.

Сложность и совершенство живой природы

Вопросы познания происхождения и законов функционирования (жизнедеятельности) живого вещества очень важны для понимания места человечества в Мире и формирования его отношения к природной среде, как дому человечества, и к другим людям.

Рассмотрим некоторые факты, касающиеся происхождения и совершенствования жизни [1,2,3].

Происхождение и совершенствование Жизни. 1) Все живые организмы состоят из клеток, в состав которых входят белковые молекулы более 50000 видов. Одна молекула белка включает свыше 100 аминокислотных звеньев. Каждое звено может соединяться с другими 20-ю способами. Число возможных сочетаний аминокислот для одного вида белка больше числа атомов в галактике. Могли ли необходимые сочетания аминокислот в белках образоваться случайно? Только их подсчет на ПК занял бы более 10^{20} лет. Между тем в живых организмах синтез тысяч видов белков из аминокислот происходит непрерывно. Структуры и управление жизнедеятельностью организмов еще сложнее.

2) Как управляются эти процессы? Программа синтеза белков заложена в ДНК (дезоксирибонуклеиновую кислоту), которая так же имеет сложную структуру. Она содержит тысячи генов с наследственной закодированной информацией. Программы управления жизнедеятельностью миллионов видов организмов постоянно совершенствуются (самообучаются)!

Кто разработал эти программы и закодировал их? Могли они появиться случайно?

Гипотеза о внеземном происхождении жизни, лишь несколько изменяет формулировку проблемы. А как жизнь возникла в космосе, если она занесена из него?

3) Эволюционная теория развития видов Чарлза Дарвина по сути является гипотезой, поскольку не объясняет многих фактов.

Видимо, можно считать доказанными два основных положения.

Первое – возможность случайных мутаций, приводящих к изменению организма.

Второе – естественный отбор, при котором организмы с новыми удачными признаками и большей способностью к выживанию закрепляют новый признак в наследственном аппарате.

Эволюцией можно объяснить совершенствование органов, но не их возникновение. Как писал Л.И. Блохинцев, новое приспособление становится полезным, лишь достигнув определенной степени совершенства.

Новый признак будет полезен и закрепится в наследственном аппарате, если он появится сразу и в совершенном виде.

Трудно представить и тем более объяснить, каким образом организм *будет стремиться к созданию, например, органа зрения, если он еще не знает о существовании света*. Допустим, что сам глаз в результате скоординированных мутаций все же случайно появился. Но для функционирования глаза, одновременно с ним должны появиться преобразователи информации, каналы ее передачи, анализа и полезного использования. Видимо, программу создания глаз и других необходимых изменений в физиологических системах организм должен получить извне: от того, кто знает не только о существовании света, но и то, как перестроить генетическую программу организма, чтобы он смог энергию фотонов преобразовать в полезную для него информацию, которая повысит способность к выживанию.

Скоординированные мутации нескольких признаков крайне маловероятны. Математические расчеты показали, что времени существования Земли (4,5–5 миллиардов лет) не достаточно для формирования современной биосферы из относительно простых молекул путем мутаций.

Могли ли живые организмы с уникальными способностями возникнуть в результате случайных мутаций, или у них есть Создатель?!

Невозможность самозарождения организмов выражается в известном "принципе Реди": "Живое зарождается только из живого".

Американские генетики установили, что все современное человечество произошло от одной-единственной женщины жившей всего около 200-300 тысяч лет назад. А ведь такой вариант зарождения человечества был описан в Библии несколько тысячелетий назад.

Генетические программы управления жизнедеятельностью некоторых видов феноменальны. Например, микроскопический паразит – плоский червь-трематод (сосальщик) всю свою жизнь проводит в организме муравья, но размножаться он почему-то должен в печени овцы.

Попасть в организм овцы ему сложно, потому что овцы муравьев не едят. Что же делает трематод, достигший стадии размножения? Он проникает в мозг муравья, подавляет его волю и принуждает к самоубийству. Порабощенный муравей взбирается по стеблю растения и замирает на самом кончике листа, ожидая овцу. Вероятность того, что инфицированного муравья проглотит овца, повышается, хотя и остается довольно малой.

Удивителен не только странный жизненный цикл трематода и его возможность воздействия на психику другого вида, но и малые объемы, в которых эти процессы управляются и происходят.

Еще уникальнее процессы, происходящие на микроскопическом уровне. Ретровирусы, например СПИДа, отличаются от обычных вирусов (оспы, полиомиелита и др.) способностью вторгаться в живые клетки и изменять их генетическую программу (вирус – это молекула ДНК, окруженная белковой оболочкой). Человечеству будет трудно справиться с их угрозой, если такие вирусы приобретут способность распространяться капельно-воздушным путем.

Человек, как живое существо. Человек – высшее творение природы, которая наградила его уникальными способностями, дав ему мышление и речь.

Мозг человека содержит 50 млрд нейронов, с квадриллионом (10^{15}) синапсов (соединений). Частота переключений достигает 10^7 МГц (10^{16} Гц). Он может хранить информацию, эквивалентную 20 мл книг (~ 5000 Гб). Возможности мозга человека поразительны. Даже мозг мухи превышает возможности компьютера примерно в 10 000 раз. В отличие от компьютера мозг может развиваться. Он собирает информацию, анализирует её, выдает управляющие сигналы всем системам организма, включая прогнозирование, речь, поведение и др.

Обычно у человека задействована лишь 1/10000 часть возможностей мозга (по другим данным 1/100). В некоторых случаях у людей могут появиться уникальные способности (предчувствие событий и др.).

При очень большой фантазии как-то можно представить, что из меди, железа, полупроводников за миллиарды лет случайно соберется компьютер. Однако кто напишет для него программу? У программистов должен быть автор, создатель. А ведь мозг человека и он сам в тысячи раз сложнее компьютера, и многие процессы в нем до сих пор не поняты. Например, почему людей восхищает красота, музыка, почему люди едят книги, картины, жертвуют собой. Эту потребность нельзя объяснить принципом "выживает сильнейший", которым объясняется эволюционный процесс развития организмов.

Современная наука не может объяснить феномен творчества. Многие музыканты, поэты, ученые полагают, что новые мысли (озарение) они получали извне (от кого?).

В заключение отметим, что прямых доказательств существования Создателя (Бога), как и его отсутствия – нет. Верить или не верить в Создателя и Высший Разум только по косвенным признакам каждый должен решать сам. Хотя только по косвенным признакам мы верим в существование магнитного и гравитационного полей, "черных дыр" в космосе и во многое другое.

Можно полагать, что многие люди даже получив прямые доказательства Бога, его бы не приняли. Поскольку жить по принципу "так я хочу" значительно легче, чем постоянно совершенствовать себя и стремиться к высшему уровню сознания, когда стыдно не только за аморальные поступки, но даже за мысль о желании их совершить, поскольку за все придется держать ответ перед Создателем.

Литература

1. Максим Карпенко. Universum Sapiens (Вселенная Разумная). Москва, 1992.
2. Ирхин В.Ю., Кацнельсон М.И. Уставы небес. 16 глав о науке и вере. Екатеринбург, издательство У-Фактория, 2000. – 512 с. http://www.imp.uran.ru/ktm_lab/irkhin/.
3. Существует ли заботливый Творец. PRINTED IN GERMANI. DRUCK: WACHT-TURM-GESELLSCHAFT, SELTERS/TAUNUS. 2006.– 192 с.

Оценка погрешности расчета температур прямоугольной призмы численно-аналитическим методом в начале нагрева

В работе [1] были предложены формулы расчета этапа нагрева Δt призмы при граничных условиях второго рода с использованием аппроксимации распределения температур по сечению степенной функцией с показателем степени, изменяющимся во времени:

$$T(X, Y) = a_0 + a_1 X^{n_x} + a_2 (1-X)^{n_x} + a_3 Y^{n_y} + a_4 (1-Y)^{n_y}, \quad (1)$$

где X, Y – безразмерные координаты $X=x/R_x, Y=y/R_y, 0 \leq X \leq 1, 0 \leq Y \leq 1$; R – размер призмы по оси x или y ; n_x и n_y – величины, которыми для исключения записи "индекс индекса", обозначены показатели степени $n_x = n_x$ и $n_y = n_y$, зависящие от соответствующих чисел Фурье $n(Fo)$ [2] (например, $n_x = n_x = n_x(Fo_x), Fo_x = a \cdot t / R_x^2$); a – коэффициент температуропроводности, t – время; a_0, a_1, a_2, a_3, a_4 – коэффициенты аппроксимации, зависящие от известных в начале этапа параметров: среднемассовой температуры $T_{ср,ни}$, и потоков теплоты на грани ($q_{x=1}, q_{y=1}$) и с граней ($q_{x=0}, q_{y=0}$) призмы. Формулы для расчета a_0, a_1, a_2, a_3, a_4 приведены в [1].

Для тестирования правильности формул, оценки эффективности введения более сложного описания температурного поля и погрешности расчета предлагаемым методом составлена специальная программа для ПК. Она предназначена для расчета параметров температурного поля призмы методом суперпозиции, используя известные точные аналитические решения дифференциального уравнения теплопроводности для пластины при граничных условиях 3 рода и метод решения нелинейных уравнений [3] для определения корней характеристического уравнения.

Расчеты температуры призмы выполнены при следующих исходных данных: размеры прямоугольного сечения – $R_x=R_y=0,15$ м, коэффициент теплопроводности – $\lambda=40$ Вт/(м·К), теплоемкость – $c_v=4 \cdot 10^{-6}$ Дж/(м³·К), $a=10^{-5}$ м²/с, начальная температура – $T_n=300$ К, температуры газов (среды) на гранях призмы – $T_{гх1}=T_{гх0}=T_{гy1}=T_{гy0}=T_r=1300$ К, коэффициенты конвективного теплообмена на гранях $X=1, Y=1$ – $\alpha_{x1}=250, \alpha_{y1}=100$ Вт/(м·К). Потоки теплоты с граней $X=0, Y=0$ приняты равными нулю ($q_{x=0}=q_{y=0}=0$).

Для оценки эффективности предложенной аппроксимации температурного поля в табл. приведены относительные погрешности расчетов, в %, температур призмы ($T_{x1}=T(X=1,Y), T_{11}=T(X=1,Y=1), T_{05}=T(X=1/2,Y=1/2)$ и т.п.), выполненных несколькими методами при $\Delta t=62,5$ с:

- методами Эйлера при $n=2=const$ и при $n=n(Fo)$,
- методом ломаных при $n=2$ и $n=n(Fo)$.

Таблица Относительные погрешности расчетов температурного поля призмы ($R_x = R_y = 0,15$ м), вычисленного различными методами, %

τ, с	125	250	375	500	625	750	875	1000
Погрешности (Метод Эйлера, n = 2)								
T_{cp}	0,29	0,65	0,69	0,59	0,45	0,31	0,19	0,08
T_{x1}	-8,13	-4,52	-1,84	-0,56	-0,01	0,20	0,26	0,25
T_{y1}	-7,88	-3,34	-1,36	-0,51	-0,16	-0,04	-0,02	-0,05
T_{x0}	18,61	10,76	5,09	2,20	0,80	0,11	-0,24	-0,43
T_{y0}	10,15	5,67	3,12	1,75	1,00	0,56	0,29	0,10
T_{11}	-15,43	-9,54	-5,80	-3,88	-2,89	-2,35	-2,02	-1,82
T_{00}	30,81	17,25	7,56	2,67	0,40	-0,61	-1,06	-1,24
T_{05}	-0,13	0,24	0,54	0,56	0,47	0,34	0,22	0,11
Метод Эйлера, n = n(Fo)								
T_{cp}	-1,16	-1,23	-1,19	-1,16	-1,13	-1,11	-1,08	-1,06
T_{x1}	-0,91	-1,33	-0,91	-0,60	-0,45	-0,40	-0,39	-0,39
T_{y1}	-1,20	-1,65	-1,43	-1,22	-1,08	-1,00	-0,96	-0,92
T_{x0}	-1,72	-2,04	-2,38	-2,48	-2,42	-2,29	-2,15	-2,01
T_{y0}	-1,22	-1,17	-1,23	-1,28	-1,30	-1,29	-1,27	-1,23
T_{11}	-3,03	-4,20	-3,78	-3,30	-2,93	-2,66	-2,45	-2,28
T_{00}	-2,11	-2,88	-3,69	-3,98	-3,89	-3,65	-3,36	-3,09
T_{05}	-1,36	-0,91	-1,00	-1,08	-1,13	-1,14	-1,13	-1,12
Метод ломаных, n = 2								
T_{cp}	2,54	2,75	2,59	2,32	2,05	1,80	1,57	1,38
T_{x1}	-10,71	-3,42	-0,50	0,71	1,19	1,33	1,33	1,26
T_{y1}	-6,35	-1,53	0,30	1,01	1,25	1,28	1,22	1,12
T_{x0}	24,54	13,61	7,42	4,30	2,71	1,87	1,38	1,08
T_{y0}	12,74	7,90	5,15	3,61	2,71	2,14	1,76	1,48
T_{11}	-18,01	-8,50	-4,54	-2,69	-1,77	-1,29	-1,03	-0,87
T_{00}	37,38	20,36	10,13	4,98	2,50	1,29	0,69	0,38
T_{05}	3,29	2,63	2,60	2,42	2,17	1,91	1,68	1,47
Метод ломаных, n = n(Fo)								
T_{cp}	0,02	0,03	0,03	0,02	-0,01	-0,04	-0,07	-0,09
T_{x1}	0,53	-0,03	0,21	0,41	0,49	0,49	0,46	0,42
T_{y1}	0,13	-0,38	-0,26	-0,11	-0,04	-0,01	-0,01	-0,02
T_{x0}	-0,64	-0,80	-1,06	-1,17	-1,16	-1,09	-1,01	-0,93
T_{y0}	-0,09	0,08	0,03	-0,07	-0,14	-0,18	-0,21	-0,23
T_{11}	-1,48	-2,86	-2,67	-2,30	-2,01	-1,79	-1,63	-1,50
T_{00}	-1,09	-1,64	-2,31	-2,59	-2,55	-2,37	-2,15	-1,94
T_{05}	-0,28	0,33	0,26	0,13	0,03	-0,03	-0,08	-0,11

Погрешности рассчитаны по отношению к точному аналитическому решению. Для удобства анализа наибольшие значения погрешностей расчета температур в табл. – затемнены.

Анализируя погрешности расчета можно сделать следующие выводы.

Наибольшие погрешности получаются при расчете температур углов T_{11}, T_{00} .

Погрешности определения температур граней T_{x1}, T_{x0} , как правило, выше погрешности определения T_{y1}, T_{y0} , поскольку теплообмен по направлению X более интенсивен (число $Bi_x=0,9375$ больше $Bi_y=0,375$).

Использование аппроксимации (1) с изменяющимися во времени показателями степени $n=n(Fo)$ по отношению к аппроксимации с $n=2$ позволяет уменьшить погрешность расчета в начале нагрева ($Fo < 0,15$) почти на порядок (!) при расчетах, как по методу Эйлера, так и по методу ломаных.

Расчеты с $n=n(Fo)$ даже методом Эйлера для принятых условий теплообмена обеспечивают приемлемую погрешность вычислений.

Расчет при $n=n(Fo)$ по методу ломаных дает более точные результаты (погрешность меньше примерно в полтора раза, а при $t > 1600$ с погрешности вычисления всех параметров для принятых условий не превышают 1 %).

Естественно, что при меньших числах Bi погрешности расчета будут еще ниже. Например, при тех же краевых условиях, но при $R_x = R_y = 0,1$ м погрешность расчета всех температур не превышала 1 % через 625 с после начала нагрева. Причем расчеты при $\Delta t = 125$ с и $\Delta t = 31,25$ с ($\Delta Fo = 0,125$ и $\Delta Fo = 0,03125$) показали практически одинаковую погрешность.

Для исследования влияния на точность расчета температур величины Δt выполнены расчеты ($R_x = R_y = 0,15$ м) при $\Delta t = 15,625; 31,25; 61,5; 125; 250; 500$ с, что соответствует числам Фурье в диапазоне $0,0069 < \Delta Fo < 0,22$. Анализ погрешностей расчетов показал, что оптимальная величина Δt , как уже отмечалось в работах [1, 2, 3 и др.] должна примерно соответствовать числам Фурье $0,05 < \Delta Fo < 0,1$. Причем, если $R_x \neq R_y$ величину Δt целесообразно определять из условия

$$\Delta t = (0,05 \dots 0,1) \cdot R^2/a, \text{ где } R = \min(R_x; R_y).$$

Литература

1. **Соколов А.К.**, Овсянников Ю.М. К расчету температурного поля параллелепипеда // Состояние и перспективы развития энерготехнологии: материалы междунар. науч.-практ. конф., Иваново, 2009 / Ивановский гос. эн. ун-т; ред. кол.: С.С. Тарарыкин и др. – Иваново, 2009. – Т.2. – С. 155.
2. **Соколов А. К.** Численно-аналитический метод расчета температурных полей многослойных пластин в начальной стадии нагрева // Изв. АН Энергетика, № 4.– 2008.–С. 108-121.
3. **Соколов А. К.** К решению нелинейных уравнений в математических моделях процессов и аппаратов/ Изв. вузов “Химия и химическая технология”, Т 39, вып. 4, 5, 1996, С.167-169.

Метод уточнения температуры углов параллелепипеда при расчёте ТП численно-аналитическим методом

Ранее в работах [1, 2] было рассмотрено применение численно-аналитического метода расчёта температурных полей к одно- двух- и трехмерным температурным полям. Замечено, что с увеличением размерности точность метода понижается. При этом наибольшие величины погрешности характерны для наиболее «горячих» точек тела.

Так в табл. 1 представлены результаты расчёта численно-аналитическим методом (T_1) температур вершин параллелограмма, нагреваемого со всех шести сторон со следующими параметрами: соответствующие размеры параллелограмма $R_x=R_y=R_z = 0,15$ м; κ теплопроводности $\lambda = 40$ Вт/м·К; объёмная теплоёмкость $c_V = 4 \cdot 10^6$ Дж/(м³·К); κ температуропроводности $a = 10^{-5}$ м²/с; начальная температура $T_H = 300$ К; температура нагревающего газа $T_r = 1300$ К, коэффициенты теплообмена $\alpha_{x1} = 250$ Вт/м²·К; $\alpha_{y1} = \alpha_{z1} = 100$ Вт/м²·К; $\alpha_{x0} = \alpha_{y0} = \alpha_{z0} = 50$ Вт/м²·К.

Табл. 1 Температуры вершин параллелограмма при $t = 125$ с

(X,Y,Z)	T_1 , К; (Ч-А)	T_2 , К; (Числ., Elmer)	$\Delta T = T_1 - T_2$, К	$\Delta T/T_2 \cdot 100$, %
(0, 0, 0)	438,54	437,26	1,28	0,29
(1, 1, 0)	631,79	616,09	15,70	2,55
(0, 1, 0)	480,45	477,44	3,01	0,63
(1, 0, 0)	589,88	581,95	7,93	1,36
(0, 0, 1)	480,45	478,22	2,23	0,47
(0, 1, 1)	522,36	516,13	6,23	1,21
(1, 1, 1)	673,69	647,85	25,84	3,99
(1, 0, 1)	631,79	615,78	16,01	2,60

Полученные результаты сравниваются с численным расчётом (T_2) выполненным с помощью свободно распространяемого пакета Elmer.

Из таблицы видно, что наибольшая погрешность расчёта численно-аналитическим методом, относительно численного метода соответствует самой «горячей» точки с координатами (1,1,1) – 3,99 %.

Увеличение погрешности можно объяснить тем фактом, что при расчёте ТП на единичном временном интервале происходит сложение элементарных температурных полей, как для случая ГУ второго рода, одна-ко, в последующие моменты времени ГУ являются ГУ III рода.

Рассмотрим метод уточнения температур характерных точек параллелограмма – его вершин.

Воспользуемся тем, что в случае граничных условий III рода температура параллелепипеда может быть представлена в виде произведения относительных температур трех неограниченных пластин, пересечением которых образован данный параллелограмм.

Пусть $\Theta_{x,0}$, $\Theta_{x,1}$, $\Theta_{y,0}$, $\Theta_{y,1}$, $\Theta_{z,0}$, $\Theta_{z,1}$ – относительные температуры соответствующих бесконечных пластин и их граней.

При этом $\Theta_{x,1} = (T_r - T(X=1))/(T_r - T_n)$, $\Theta_{x,0} = (T_r - T(X=0))/(T_r - T_n)$, где $T(x)$ температура соответствующей поверхности. Далее, найдя относительную температуру конкретного угла, например, с координатами (1,1,1) можно определить уточнённое значение абсолютной температуры по формуле: $T_{1,1,1} = T_r - \Theta_{1,1,1} \cdot (T_r - T_n)$, где $\Theta_{1,1,1} = \Theta_{x,1} \cdot \Theta_{y,1} \cdot \Theta_{z,1}$

На основе вышеописанных исходных данных рассчитаем уточнённое значение температур двух диагональных углов с координатами (1,1,1) и (0,0,0).

Для этого по методике, описанной в [1, 2] определим температуры поверхностей несимметрично нагреваемых пластин в момент времени $t = 125$ с. Для пластины, соответствующей нагреву по оси X имеем:

$\alpha_{x,0} = 50$ (Вт/м·К), $\alpha_{x,1} = 250$ (Вт/м·К); $T(X=0) = 348,6$ (К), $T(X=1) = 506,06$ (К); $\Theta_{x,1} = (1300 - 506,06)/(1300 - 300) = 0,794$; $\Theta_{x,0} = 0,9514$.

Аналогично, для пластин, соответствующих нагреву по осям Y и Z:

$\alpha_{y,0} = 50$ (Вт/м·К), $\alpha_{y,1} = 100$ (Вт/м·К); $T(Y=0) = 348,09$ (К), $T(Y=1) = 392,3$ (К); $\Theta_{y,1} = 0,9071$; $\Theta_{y,0} = 0,9519$; $\alpha_{z,0} = 50$ (Вт/м·К), $\alpha_{z,1} = 100$ (Вт/м·К); $T(Z=0) = 348,09$ (К), $T(Z=1) = 392,3$ (К); $\Theta_{z,1} = 0,9071$; $\Theta_{z,0} = 0,9519$.

По найденным $\Theta_{x,0}$, $\Theta_{x,1}$, $\Theta_{y,0}$, $\Theta_{y,1}$, $\Theta_{z,0}$, $\Theta_{z,1}$ определим относительные температуры углов $\Theta_{0,0,0}$ и $\Theta_{1,1,1}$.

$\Theta_{0,0,0} = \Theta_{x,0} \cdot \Theta_{y,0} \cdot \Theta_{z,0} = 0,9514 \cdot 0,9519 \cdot 0,9519 = 0,8621$; $\Theta_{1,1,1} = 0,6533$;

Окончательно искомые температуры углов получаем:

$T_{1,1,1} = 1300 - 0,8621 \cdot (1300 - 300) = 646,7$ (К) [647,85 (К)];

$T_{0,0,0} = 1300 - 0,6533 \cdot (1300 - 300) = 437,9$ (К) [437,26 (К)].

В квадратных скобках указаны значения температур углов в момент времени $t = 125$ с, рассчитанные численными методами в программе Elmer.

В итоге, видно, что предложенная методика уточнения температур углов параллелограмма показывает очень хорошие результаты.

Полученные температуры углов отличаются от температур, рассчитанных численными методами менее, чем на 1,5 К, что соответствует ошибке менее, чем в 0,5 %

Литература

1. **Соколов А.К., Попов Г.В.** Решение задач теплопроводности численно – аналитическим методом сложения температурных полей // Изв. АН. Энергетика. – 2002. – №4. – С. 118-130.
2. **Соколов А.К., Овсянников Ю.М.** К расчету температурного поля параллелепипеда // Состояние и перспективы развития энерготехнологии: материалы междунар. науч.-практ. конф., Иваново, 2009 / Ивановский гос. эн. ун-т; ред. кол.: С.С. Тарарыкин и др. – Иваново, 2009. – Т.2. – С. 155.

Анализ аварийности на дорогах г. Иваново

Российская Федерация занимает одно из первых мест по количеству ДТП на душу населения. А наша область лидирует в списке самых аварийных регионов России.

Самый большой процент дорожной аварийности в РФ в Ивановской области (13,46 ДТП на тысячу автомобилей). За ней следуют республика Марий Эл (12,77) и Архангельская область (11,73). Самый безопасный регион по совокупности показателей аварийности и смертности на дорогах – Приморский край (3,41 аварии, 0,25 ДТП с участием пьяных водителей и 0,33 погибших на 1000 машин).



В исследовании были поставлены следующие задачи:

- провести анализ статистики дорожно-транспортных происшествий за период с 1 ноября по 15 декабря 2010 года;
- найти самые аварийные места города;
- вычислить процент ДТП, повлекших за собой причинение вреда здоровью человека;
- обозначить на карте города наиболее уязвимые перекрестки;
- найти способы сокращения аварийных ситуаций и количества ДТП на самых опасных перекрестках и улицах города.

Способы сокращения аварийных ситуаций и количества ДТП на самых опасных перекрестках и улицах города:

1. Перекресток Куковковых-Лежневская – Расширение дороги;
2. Перекресток 10 Августа-Революции – Установка светофора;
3. Перекресток Громобоя –Ленина – Не выключение светофора в ночное время суток, задержка между красным и зеленым на перекрестке;
4. Перекресток ул. Смирнова – ул. Марии-Рябининой – Расширение дороги, установка доп. Секций светофора;
5. Перекресток ул. Шубиных – пр-т Строителей – Смена схемы переключения светофора;

6. Перекресток ул. Куконковых - второй Овражный переулок – Не выключение светофора в ночное время суток;
7. Перекресток ул. Куконковых – ул Южная – создание объездного пути;
8. Смирного – поворот на Куконковых – Установка светофора;
9. Перекресток 10 августа – Молочная горка – невыключение светофора в ночное время суток, расширение дороги;
10. Перекресток на площади 40 летия победы – смена приоритета дороги или , установка светофора, расширение дороги;
11. Перекресток ул. Парижской коммуны – ул Шевченко – расширение дороги;
12. Кольцо на ул Шубиных – создание доп. Пешеходных переходов
13. Пр-т Строителей – создание доп. Пешеходных переходов;
14. Центральный рынок – создание подземного пешеходного перехода, демонтаж светофора.

Литература

1. Официальный сайт УГИБДД г. Иваново.
2. Электронные форумы ФАР «Статистика ДТП».

УДК 614.8.084:001

К.В. ЧЕРНОВ, к.т.н., доцент
(ИГЭУ)

Кодовая рефлексия и сциентирование опасности

Реальность по степени участия в ней человека разделяется на три реальности. Первая реальность создала человека посредством эволюции. Вторая реальность создаётся человеком. Она предстаёт артеантропной, большей частью техноантропной, реальностью. Третья реальность также создаётся человеком, но возникает при кодовой рефлексии реальности. Кодовая рефлексия заключается в отражении, отображении и осознании первой, второй и третьей реальностей. Третья, или кодорефлексная, реальность существует в виде совокупности ощущений, образов и вербальных конструкций каждого человека и обуславливает его деятельность.

Эволюция человека продолжает эволюцию первой реальности. Она проявляется совершенствуемыми продуктами материальной и духовной деятельности, а также способами кодовой рефлексии реальности.

Главное условие не только успешной, но и безопасной деятельности – это безошибочность кодовой рефлексии, обеспечивающей соответствии трёхчастной реальности и реальности кодорефлексной.

Правильность и точность кодовой рефлексии обеспечивается её модусом. Модус кодовой рефлексии организма и совокупности организмов эволюционирующей живой реальности прямо пропорционален их сложности.

Эволюционный переход от косной реальности к живой обусловлен возникновением кодовой рефлексии, модус которой также раскрывается эволюционно. Компонент с веществом и энергией, отображающими субстанцию косной реальности, является абиотическим, а компонент, отображающий субстанцию живой реальности, – биотическим. Биотический компонент наполнен веществом такой степени сложности и соответствующей этой степени энергией, которые способны к кодовой рефлексии.

Живая субстанция отображается триединым вещественным, энергетическим, сциентным содержанием. Преобладание вещественного аспекта в триедином вещественном, энергетическом, сциентном содержании приводит к использованию термина «биотическое вещество». Преобладание энергетического аспекта в триедином вещественном, энергетическом, сциентном содержании приводит к применению термина «биотическая энергия». Преобладание сциентного аспекта в триедином вещественном, энергетическом, сциентном содержании приводит к применению понятия «сциенция».

Декомпозиция биотической системы, отображающей организм живой реальности, позволяет обнаружить переходную ступень принадлежности. Особенность биотической системы переходной ступени заключается в том, что она разделяется на предбиотические компоненты, отображающие супрамолекулярные частицы, которые предшествуют живым.

Сциенция – это отображающая субстанция живой реальности осознаваемая при кодовой рефлексии неотделяемая часть содержимого биотического компонента переходной и высших ступеней принадлежности, которая организует его посредством кодовой рефлексии реальности, осуществляемой преобразованием совокупностей вещественно-энергетических знаков при их создании, передаче, хранении, воспроизведении, восприятии и используемой при её переустройстве.

Модус кодовой рефлексии предстаёт способом кодовой рефлексии, определяемым мерой использования вещества или энергии при вещественно-энергетическом кодировании реальности.

Совокупности знаков при их создании, передаче, хранении, воспроизведении, восприятии, представляемые в отрыве от вещества и энергии, называют информацией. Если применить привычную терминологию, то сциенция – это вещественно-энергетическая биоинформация.

Антропная реальность предстаёт антропными организмами, которые являются носителями внутриантропной кодорефлексной реальности.

Субстанция антропной реальности отображается понятиями биотических вещества и энергии, способных к сциентному взаимодействию. Субстанциальное содержание внутриантропной кодорефлексной реальности, создаваемой через освоение, преобразование, использование

внешней реальности при стимулировании удовлетворением антропных потребностей, отображается посредством понятия сциенции, имеющей вещественно-энергетическую основу.

Совокупности вещественно-энергетических знаков предстают сциентными нотациями. Способ использования вещества или энергии или их сочетания при вещественно-энергетическом кодировании реальности представляет собой модус кодовой рефлексии. Сциентная нотация – это синтагмы (др.-греч. σύνταγμα – сопорядок) взаимно дополняемых знаков в сочетании с условиями, порядком и правилами их применения, специфичность которых определяется модусом кодовой рефлексии.

Состав антропного организма состоит из биогенно сформированных соподчинённых компонентов и систем. Каждый компонент обладает сциенцией с набором разных нотаций. Количество разновидностей нотаций на каждом уровне соподчинённости нарастает по мере усложнения структуры компонента и системы.

Сциентное взаимодействие компонентов организма на каждой ступени соподчинённости, межступенчатое взаимодействие и взаимодействие организма с компонентами внешней среды сопровождается нотационным преобразованием, или перекодированием, антропной сциенции.

Совокупность клеток тканей и органов, субстратирующих сциенцию на всех ступенях соподчинённости, является сциентной системой организма.

Высшей ступени соподчинённости антропного организма соответствует сциенция с интеллекто-исполнительской нотацией, т.е. интеллекто-исполнительская сциенция.

Интеллекто-исполнительская сциенция субстратируется на высших отделах головного мозга. Она обладает асимметричностью. Асимметрия объясняется тем, что модус кодовой рефлексии сциенции с интеллекто-исполнительской нотацией является энерго-вещественным и энергетическим. Разновидность интеллекто-исполнительской сциенции с энерго-вещественным модусом кодовой рефлексии представляет собой аналого-ансамблевую сциенцию. Аналого-ансамблевая сциенция субстратируется на сложном сопряжённых ансамблях многополярных нейронов и приводит к созданию аналоговых образов и фреймов. Так как посредством аналоговой сциенции создаются внутриантропные образы реальности и фреймы действий, её можно подразделить на аналого-изображающую и аналого-исполняющую сциенции. При этом стереотипы действий сциентируются ансамблями нейронов, объединёнными в исполнительские фреймы. Разновидность интеллекто-исполнительской сциенции с энергетическим модусом кодовой рефлексии представляет собой бинарно-линейную или просто бинарную сциенцию. Бинарно-линейная сциенция субстратируется на линейных последовательностях биполярных нейронов и приводит к созданию вербального представления реальности, которое имеет мысле-словесные формы. Интеллектуальная деятельность антропного организма обуславливается взаимодействием аналого-изображающей и бинарно-линейной

сциентий, а доминирование одной из них обуславливает тип интеллекта. Термин «сциентирование» означает всякое применение сциентной системы для отражения, отображения или осознания чего-либо.

Сциентирование опасности начинается с отражения боли, т.е. ноцицепции. *«Боль – физиологический феномен, информирующий нас о вредных воздействиях, повреждающих или представляющих потенциальную опасность для организма. Таким образом, боль представляет собой как предупредительную, так и защитную систему. В настоящее время наиболее популярным считается определение боли, данное Международной Ассоциацией по изучению боли (Merskey, Bogduk, 1994): “Боль это неприятное ощущение и эмоциональное переживание, возникающее в связи с настоящей или потенциальной угрозой повреждения тканей или изображаемой терминами такого повреждения“. Такое определение не оценивает природу и происхождение болевого стимула, но в равной степени указывает как на её аффективные коннотации, так и на осознанную интерпретацию»* [1].

Высший уровень сциентирования опасности – это её изучение и исследование научными методами.

Литература

1. **Кривошапкин, А.Л.** Физиология боли. Современные концепции и механизмы / А.Л. Кривошапкин // Боль и её лечение. – 1997. – №6.

УДК 614.8.084:001

К.В. ЧЕРНОВ, к.т.н., доцент
(ИГЭУ)

Исследование проблемы безопасности посредством вариофикационной модели причин и последствий

Вариофикация техногенных опасностей заключается в обнаружении и раскрытии детерминированных, детерминированно-стохастических и стохастических процессов, инициируемых и перемежаемых событиями и происшествиями, совокупная последовательность которых приводит к совершению техногенных воздействий послекритического уровня. Итог вариофикации должен предстать в виде вариофикационной вербальной или вербально-графической модели причин и последствий.

Причинно-следственная модель должна раскрывать:

- 1) отправные события, начинающие процессы;
- 2) цепи процессов с промежуточными событиями, совместно или порознь приводящих к опасному техногенному происшествию;
- 3) опасное техногенное происшествие, начинающее процессы техногенного воздействия послекритического уровня;

4) разновидности техногенных опасностей, инициированных техногенным происшествием.

Вариационная модель причин и последствий разделяется на три части: базовую, центральную и завершающую. Базовая часть должна раскрывать отправные события, начинающие процессы, и цепи процессов с промежуточными событиями, совместно или порознь приводящих к опасному техногенному происшествию. Центральная часть модели должна описывать опасное техногенное происшествие, начинающее процессы техногенного воздействия послекритического уровня. Завершающая часть причинно-следственной модели должна показывать разновидности техногенных опасностей, инициированных техногенным происшествием.

Вариофикация техногенных опасностей должна начинаться с построения центральной части причинно-следственной модели, продолжаться созданием базовой части и заканчиваться выстраиванием завершающей части.

Построение центральной части причинно-следственной модели, вариофицирующей техногенные опасности, должно начинаться с выбора техногенного происшествия, относительно которого будет создаваться модель причин и последствий. Выбранное происшествие нужно подробно описать и присвоить ему короткое наименование, соответствующее описанию.

Техногенное происшествие является стохастическим событием, завершающим один или несколько процессов, которые относятся к предваряющим процессам. Каждый предваряющий процесс должен получить буквенно-цифровой идентификатор. При нескольких предваряющих процессах необходимо указывать условие совместного (И) или отдельного (ИЛИ) участия их в происшествии.

Построение базовой части причинно-следственной модели должно начинаться с описания технетического события, запускающего первый предваряющий процесс. Событие может быть отправным или промежуточным. Если событие признано отправным, то рассматривается технетическое событие, начинающее второй предваряющий процесс. Промежуточное технетическое событие является стохастическим или детерминированным событием, завершающим один или несколько промежуточных процессов. При нескольких промежуточных процессах указывается условие совместного (И) или отдельного (ИЛИ) участия их в событии.

Построение базовой части модели должно продолжаться описанием очередного технетического события, начинающего промежуточный процесс, и приводить к раскрытию цепи событий и процессов, которая начинается с отправного события.

Отправные события начинают эксплуатацию устройств; запускают устройства в работу; выражаются дисфункцией отключающих средств систем ручного или автоматического управления; проявляются дисфункцией компонентов внешней среды; становятся следствием режимов эксплуатации, не предусмотренных технологией; выражаются неисполнени-

ем требуемых действий, предписываемых технологией производства; обнаруживаются выполнением ошибочных действий, нарушающих технологию; создаются действиями, выполняемыми при непредусмотренных режимах эксплуатации.

Итогом вербальной вариофикации базовой части должно быть последовательное описание событий, начинающих предвещающие процессы, цепей промежуточных процессов, сочленяемых промежуточными событиями, и отправных событий, начинающих процессы.

Завершающая часть причинно-следственной модели должна раскрывать и описывать процессы и события, следующие за техногенным происшествием. Процессы и события должны раскрываться их ранжированием с применением дихотомии. Ранжирование заключается в расположении процессов и событий в хронологическом порядке.

Дихотомия служит директивным приёмом, задающим направление рассмотрения вариантов последствий. Ожидаемое событие предопределяется дихотомическим вопросом, предусматривающим два противоположных ответа «да» и «нет». Ответ «нет» соответствует продолжению текущего процесса, а ответ «да» отвечает событию, начинающему последующий процесс, который приводит к эффектам техногенного воздействия.

Модель причин и последствий принимает окончательный вид после соединения центральной, базовой и завершающей частей.

Вариофикация является одним из приёмов системнологического метода исследования проблемы безопасности, реализующего тотальный подход к её решению [1].

Описанная процедура вариофикации выполнена относительно техногенного происшествия «Взрывное разрушение бака трансформатора ТДЦ-400000/220». Данное происшествие относится к запроектным, т.е. к происшествиям, вызванным процессами вследствие исходных событий, которые не учитываются при проектировании.

Вариофикации взрывных воздействий предшествовало системнологическое описание технологии трансформации электрической энергии, результатом которого явилось раскрытие компонентного состава и функций компонентов техногенной системы, отображающей основное и вспомогательное оборудование, а также работников, участвующих в эксплуатации.

Вариофикация потребовала знания механических, диэлектрических, магнитных, горючих и иных свойств твёрдых материалов, массивов жидких и газообразных веществ, обеспечивающих и сопровождающих трансформацию электрической энергии.

Причинно-следственная модель, вариофицирующая техногенные опасности вследствие взрывного разрушения бака трансформатора, раскрыла цепи процессов и событий, которые приводят к возникновению техногенных воздействий. При нахождении работника в опасных зонах он оказывается под следующими воздействиями:

- барическим и взрывоакустическим воздействиями фазы сжатия ударной волны;
- аэродинамическим воздействием массива воздуха;
- кожно-резорбтивным и термоконтakтным воздействиями разлетающихся частей массива трансформаторного масла;
- ударно-динамическим воздействием фрагментов оболочки трансформатора;
- ингаляционным воздействием облака смеси воздуха и газов разложения трансформаторного масла;
- пожарным и взрывным воздействиями облака дефлагрирующей газовойдушной смеси;
- пожарным воздействием горящего жидкого масла.

Каждый обнаруженный при вариофикации процесс должен быть описан посредством следующих признаков: принадлежность процесса к компонентам системы, вещественное или энергетическое содержание процесса, качественная и/или количественная оценка скорости и других показателей процесса. Количественные показатели должны давать возможность оценивать размеры опасных зон и вырабатывать управляющие воздействия. Знание показателей процессов необходимо для принятия проектно-конструкторских или эксплуатационных решений, снижающих стохастичность технологии трансформации электрической энергии и повышающих безопасность работников.

Литература

1. **Чернов, К.В.** О тотальном подходе к проблеме безопасности / К.В. Чернов // «Проблемы управления безопасностью сложных систем», труды XVII международной конференции. – М.: РГГУ, 2009.

УДК 621.311

А.С. ШИЛЬНИКОВ, аспирант
(ИГЭУ)

Эффективность систем непрерывного мониторинга и проведения комплексного обследования силовых трансформаторов

Рост потребления электроэнергии, увеличение роли экономических факторов, а также ограниченные технические возможности проведения замены наиболее сложного и дорогостоящего оборудования (генераторы, силовые трансформаторы) привели к необходимости максимального использования ресурса их парка во всех промышленно развитых странах. Например, в Японии порядка 30% парка трансформаторов старше 30 лет.

В России за пределами нормированного срока службы работает 55% трансформаторного оборудования мощностью более 80 МВА.

Для снижения рисков возможных отказов, обеспечения возможности управления из удаленных центров общемировой практикой становится применение различных автоматизированных систем управления, мониторинга и оперативной диагностики. Целью внедрения этих систем является получить ответы на основные вопросы:

1. Каково текущее техническое состояние трансформатора; какие проблемы и дефекты подсистем обусловили ухудшение состояния?

2. Каков, на данный момент времени, остаточный ресурс работы трансформатора; как долго еще возможна его безаварийная эксплуатация?

3. Какие регламентные и ремонтные работы должны быть применены к данному трансформатору для продления его безаварийной эксплуатации?

Наиболее сложной и основополагающей является задача оперативного определения текущего технического состояния трансформатора. Решения этой задачи возможно как проведением разовых комплексных обследований трансформаторов, так и внедрением систем непрерывного контроля. Практическому применению того или иного метода должен предшествовать этап аналитического сравнения их возможностей и оценки экономической эффективности.

Таким образом, повышение эффективности этих подходов возможно только путем проведения анализа функциональной важности и информативной ценности каждого из нормативных, дополнительных и внедряемых методов по контролю состояния трансформатора. На основании, которого и должен формироваться регламент испытаний силового трансформатора.

Литература

1. **Львов М.Н.** Силовые трансформаторы на 110 кВ и выше. Будущее определит диагностика. // Новости электротехники. 2003. № 6 (24)
2. **Осотов В.Н.** Трансформаторы с большим сроком службы // Новости электротехники 4(58) 2009.

Исследование на физической модели распределительной сети характеристик защиты от однофазных замыканий на землю, основанной на контроле пульсирующей мощности

Принцип действия новой защиты от однофазных замыканий на землю (ОЗЗ) основан на непрерывном вычислении пульсирующей мощности защищаемых линий сети

$$P_{\Pi}(t) = p(t) - P_{CP}, \quad (1)$$

где $p(t)$ - мгновенная мощность трех фаз линии сети; P_{CP} - постоянная составляющая мощности линии (средняя мощность).

При возникновении ОЗЗ, контролируемого по напряжению нулевой последовательности, определяется приращение пульсирующей мощности

$$\Delta P_{\Pi} = P_{\Pi}^{(1)} - P_{\Pi}, \quad (2)$$

где P_{Π} , $P_{\Pi}^{(1)}$ - действующее значение пульсирующей мощности линии сети соответственно в нормальном режиме работы и в режиме ОЗЗ.

По величине контролируемых приращений пульсирующей мощности линий сети идентифицируется поврежденная линия.

Алгоритм работы защиты поясняет упрощенная функциональная блок-схема, представленная на рис. 1.

Защита содержит измерительно-вычислительный модуль 1, в котором производится вычисление мгновенной мощности трех фаз линии, ее среднего значения и определение действующего значения пульсирующей мощности линии. Вычисленное значение пульсирующей мощности в нормальном режиме работы сети запоминается в блоке 3. Запоминание приостанавливается при появлении напряжения нулевой последовательности u_0 определенной величины, контролируемое пороговым органом защиты 2. При возникновении в сети ОЗЗ текущее значение пульсирующей мощности $P_{\Pi}^{(1)}$ и запомненное значение этой мощности до ОЗЗ P_{Π} подаются на сумматор 4. В результате операции «вычет» на выходе сумматора формируется сигнал приращения ΔP_{Π} , поступающий на исполнительный орган защиты 5.

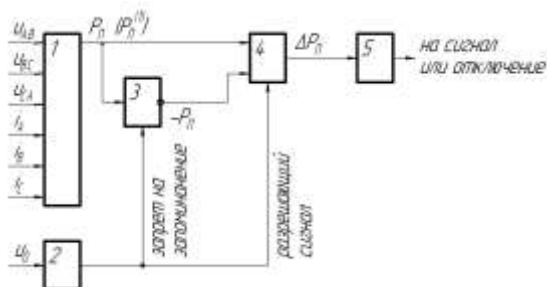


Рис. 1. Функциональная блок-схема защиты

Результаты аналитических исследований, изложенные в [1-3], показали, что пульсирующая мощность линий зависит от разных факторов несимметрии. Однако наибольшее приращение пульсирующей мощности при ОЗЗ в сети происходит именно на поврежденной линии. На всех неповрежденных линиях контролируемые приращения мощности будут незначительными (в виде сигналов помех).

В данной статье приводятся результаты экспериментальных исследований характеристик разрабатываемой защиты на физической модели сети.

Модель сети на лабораторном стенде содержала источник питания напряжением 380 В, три отходящие линии, управляемый коммутационный аппарат для создания режима ОЗЗ. Каждая из линий была представлена в виде активно-емкостных проводимостей на землю и содержала активно-индуктивную нагрузку с изолированной нейтралью. На стенде обеспечивалась возможность изменения величин проводимостей и величин нагрузок, а также изменения степени их несимметрии. На защищаемых линиях использовались по три датчика линейных токов. Для контроля напряжений источника питания и напряжения смещения нейтрали использовались датчики напряжений. Для связи с компьютером применялась плата сбора данных PCI-6024E (National Instruments).

Модель защиты, работающая по описанному выше алгоритму, реализована в виде прикладной программы, разработанной в среде LabView. Программа позволяет в режиме реального времени контролировать процессы в сети, а также основные характеристики работы звеньев блок-схемы защиты. Кроме того, в процессе моделирования все данные записывались в файл, который можно вызвать после окончания эксперимента для дальнейшего анализа.

На рис. 2 в качестве примера приведены осциллограммы основных величин, характеризующих работу блоков защиты на поврежденной α и неповрежденной линии β в физической модели сети.

В нормальном режиме работы (до возникновения ОЗЗ), как видно на осциллограмме, в сети было некоторое естественное смещение нейтрали, что характеризует небольшая величина напряжения u_0 . При этом на обеих линиях наблюдаются небольшие по величине переменные составляющие мгновенных мощностей линий $P_{-\alpha}$, $P_{-\beta}$, представляющие собой результирующие сигналы в виде пульсирующей мощности частотой 100 Гц и дополнительной составляющей, обусловленной высшими гармониками в сети. Значение мощности $P_{-\alpha}$ до ОЗЗ зависит от несимметрии и несинусоидальности напряжений источника питания, от несимметрии нагрузки линии и от асимметрии проводимостей на землю этой линии. Аналогично от этих факторов зависит и значение мощности $P_{-\beta}$ до ОЗЗ.

В момент возникновения ОЗЗ на осциллограмме тока замыкания на землю $i_3^{(1)}$ наблюдается характерный бросок емкостного тока. Одновременно возникают броски мощности как на поврежденной, так и на неповрежденной линиях.

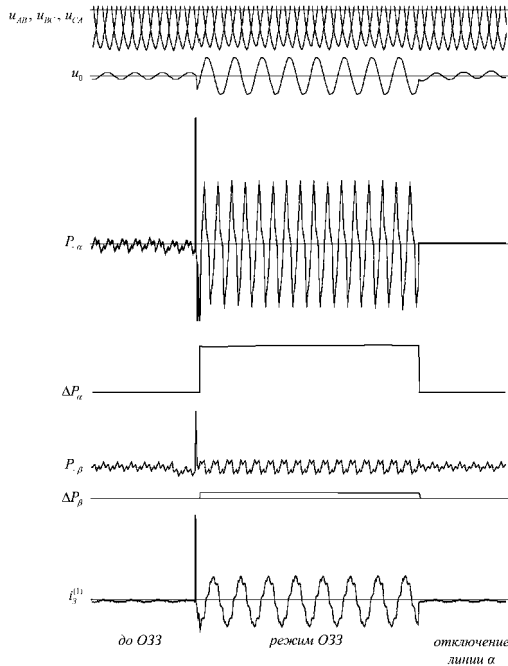


Рис. 2. Осциллограммы, характеризующие работу защиты: α – поврежденная линия; β – неповрежденная линия

Однако самым важным обстоятельством является то, что в режиме ОЗЗ на поврежденной линии наблюдается значительное увеличение переменной составляющей мощности $P_{-\alpha}$. Соответственно, среднеквадратичное значение приращения этой мощности ΔP_{α} на поврежденной линии имеет наибольшее значение по сравнению с неповрежденными линиями.

На неповрежденной линии, как видно на осциллограмме, в режиме ОЗЗ тоже произошло изменение переменной составляющей мощности $P_{-\beta}$. Это объясняется влиянием некоторой ассиметрии собственных проводимостей этой линии на землю. Однако приращение мощности на неповрежденной линии ΔP_{β} весьма незначительное.

Для характеристики чувствительности и селективности действия защиты важным является соотношение величин выходных сигналов блоков защит линий. В режиме работы сети, зафиксированном на осциллограммах рис. 2, отношение сигналов $\Delta P_{\alpha} / \Delta P_{\beta}$ равно ≈ 12 . Это свидетельствует о достаточно высоком качестве и избирательности работы защиты от ОЗЗ.

Аналогичные результаты были получены на модели сети при проведении экспериментальных исследований с различными соотношениями величин токов нагрузки линий и тока замыкания на землю, при разной степени несимметрии нагрузок и различной ассиметрии приводимостей линий.

Проведенные аналитические исследования и полученные результаты экспериментов позволяют считать, что на основе нового принципа контроля возникновения ОЗЗ можно создать высокоэффективную защиту от замыканий на землю для распределительных сетей 6-35 кВ.

Литература

1. Сапунков М.Л., Худяков А.А. Разработка селективной защиты от однофазных замыканий на землю для распределительных сетей 6-10 кВ // Энергетика. Инновационные направления в энергетике: материалы 3-й Всерос. науч.-техн. конф. - Пермь, 2010.
2. Сапунков М.Л., Худяков А.А. Аналитическое обоснование нового способа защиты трехфазных сетей от однофазных замыканий на землю // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. – 2008. - №8.
3. Сапунков М.Л., Худяков А.А., Барский Г.А. Оценка влияния несинусоидальности напряжений источника питания на селективность защиты от однофазных замыканий на землю, основанной на контроле пульсирующей мощности // Электротехника, 2010, №12.

АВТОРСКИЙ ИНДЕКС

А		И	
АЛЬ ХОМИДИ М.	165	ИВАНОВ И.Е.	152
АНДРЕЕВ Д.А.	230, 233	ИВКОВА Д.В.	258
АНДРИАНОВА Н.С.	277	ИГНАТЬЕВ Е.Б.	265
АНДРИЯНОВ А.И.	41	ИЛЬЧИЧЕВ Н.Б.	105, 236
АСТАШОВ А.С.	187	ИЛЬЧИЧЕВА Е.Н.	105
АХМЕТШИН А.Р.	114	К	
Б		КАЛАЧЕВА О.Н.	180
БАБИЧЕВ С.А.	213	КАМАНИН Д.А.	265
БАЗАРОВ А.А.	12	КАРАЧЕВ В.Д.	38
БАНДУРИН И.И.	109	КИРЕЕВ Е.А.	187
БАРАНОВ В.А.	53	КИРИЛЕНКО А.В.	98
БЕЛОНОГОВ В.Г.	38	КИСЛЯКОВ М.А.	216
БЕЛЯЕВ Г.В.	74, 77	КЛАКОВИЧ О.В.	20
БЛУДОВ А.Ю.	164	КНЯЗЕВ С.В.	5
БОЛЬШЕНКО А.В.	14	КОБЕЛЕВ А.С.	65
БОРИСОВ Ю.С.	70	КОЖЕМЯКИН А.В.	5
БРАТОЛЮБОВ А.А.	111	КОЗЛОВ В.К.	242
БРОДИН Е.В.	164	КОКОУЛИН Д.Н.	127
БУШУЕВА О.А.	153, 154	КОЛПАХЧЬЯН П.Г.	247
В		КОНОВАЛОВ А.В.	154
ВАГАПОВ Г.В.	146	КОПЫТОВА Н.А.	236
ВЕРМАХОВСКИЙ А.Н.	235	КОРОЛЁВ А.Н.	35
ВИНОГРАДОВА Л.В.	254	КОРОЛЬКОВ В.В	50
ВИХАРЕВ А.В.	89, 92, 98	КОРОЛЬКОВ Е.А.	259
ВОРОБЬЕВ В.Ф.	74, 77	КОРЮКИН Е.М.	269
ВОРОБЬЕВ С.В.	77	КОРЮКИН Л.Б.	23
ВОРОШИН Д.А.	255	КРИВЕЦКИЙ Д.Ю.	99
ВУКОЛОВ В.Ю.	106	КУДРЯВЦЕВ С.А.	117
Г		КУЗНЕЦОВ Д.Т.	56
ГЛАЗУН П.И.	41	КУЗЬМИН А.Е.	35
ГЛОТОВА Н.В.	174	КУКУШКИН П.В.	154
ГОЛУБЕВ А.Н.	23, 38	КУЛЕШОВ А.И.	105, 161
ГОРБУНОВ А.Г.	256, 258, 259, 260	КУЛИКОВ А.Л.	120, 123, 133
ГОРДИЛОВСКИЙ А.А.	208	КУЛИКОВ К.В.	26
ГОРЯЧКИН С.Н.	80	КУЛИКОВ С.В.	117
ГРАЧЕВА Е.И.	205	КУРЗИН Ю.Е.	261
ГРЕЧУХИН В.Н.	44	КУРМАК В.В.	129
ГРИГОРЬЕВА О.В.	256	Л	
ГУЛИНА О.М.	211	ЛОБОВ Б.Н.	247
ГУРЕЕВ Ю.А.	293	ЛАВРОНОВА Л.И.	247
ГУСЕВ И.В.	117	ЛАЗАРЕВ И.В.	44
Д		ЛАПШИН В.М.	183
ДАНИЛУШКИН А.И.	5	ЛАТИПОВ А.Г.	146
ДЕМЧЕНКО Д.Ю.	20	ЛАТЫПОВ Р.Р.	12
ДЮПОВКИН Н.И.	272	ЛЕБЕДЕВ В.Д.	44, 50, 53, 56
Е		ЛЕБЕДЕВ Д.А.	44
ЕВСИН С.И.	95	ЛИЗУНОВ И.Н.	242
Ж		ЛУГОВКИН Р.Д.	92
ЖИВОТЯГИНА С.Н.	202	М	
ЖУЛИНА Т.А.	230	МАЖУРИН Р.В.	170
ЖУРАВЛЕВ О.К.	254	МАКАРОВ А.В.	174
З		МАКАРОВ Л.Н.	65
ЗЕНОВА Е.В.	216	МАРКОВ В.С.	220
ЗИМИН Л.С.	3	МАРКОВ М.Г.	23

МАРОВА И.С	262	СКОРОБОГАТОВ А.А.	190
МАРТЫНОВ В.А.	31, 23, 38	СЛОВЕСНЫЙ С.А.	102
МЕЛЬНИКОВА О.С.	83, 86	СЛЫШАЛОВ В.К.	44
МЕЛЬЦАЕВ И.Г.	262	СМИРНОВ К.Д.	17
МЕЩЕРЯКОВ В.Н.	8	СОКОЛОВ А.К.	251, 283, 285, 288, 291
МИНГАЛЕВА Т.Ю.	160		
МИТИН А.Н.	28	СОКОЛОВ А.М.	98
МИТЬКИН Ю.А.	86, 89, 98	СОРОКИН А.Ф.	160
МОГИЛЕНКО А.П.	160	СТЕКЛОВ А.С.	245
МОЖЖУХИНА В.В.	50	СТЕПАНЕНКОВ В.А.	178
МОНОГАРОВ О.И.	226	СТЕПАНОВ С.В.	12
МУДАРИСОВ Р.М.	224	СТЕПАНОВА Ю.М.	74, 77
МУРЗИН А.Ю.	152	СТРОЕВ В.П.	293
МУРЗИНА Е.А.	149	СУЛЫНЕНКОВ И.Н.	190
Н		Т	
НАЗАРОВА Е.С.	166	ТАРУТИНА Л.С.	86
НАЗАРЫЧЕВ А.Н.	164, 174, 187, 190,202	ТИМОФЕЕВ Е.Н.	44
		ТИМОФЕЕВА И.В.	44
НАЗАРЫЧЕВ И.А.	200	ТИМОФЕЕВА К.А.	50
НАУМОВ А.В.	44	ТИМЧЕНКО А.В.	192
НАЧАТОЙ Э.Л.	265	ТИТОВ С.С.	8
НОВОСЕЛОВ Е.М.	190	ТИХОВ М.Е.	98, 99
О		ТОКАРЕВ С.Ю.	56
ОВСЯННИКОВ Ю.М.	288, 291	ТРУБАЧЁВ С.Е.	44
ОГОРЕЛЫШЕВ Н.А.	111	ТЮТИКОВА Е.В.	153
ОЛЕВСКАЯ Л.П.	70	У	
ОРЛОВА Ю.А.	260	УРЮПОВ А.С.	23
П		Ф	
ПАПКОВ Б.В.	106, 213	ФАЛЬШИНА В.А.	123
ПЕТРУХИН А.А.	120, 133	ФЕДОТОВ А.И.	114, 146, 224
ПИМЕНОВА И.А.	268	Х	
ПИСАРЕНКО А.С.	220	ХАРЬКОВСКИЙ В.Б.	95
ПИСАРЕНКО Е.Е.	220	ХРАМЦОВ А.В.	20
ПЛОТНИКОВА Н.С.	281	ХРЕННИКОВ А.Ю.	170, 192, 195, 198
ПОПОВ Г.В.	251, 269	ХУДЯКОВ А.А.	302
ПРОКОПЕНКО А.В.	17	Ч	
ПРОЦИК Е.С.	268	ЧЕКАН Г.В.	155, 157
ПРОШИН М.Н.	211	ЧЕРНОВ В.А.	208, 216
ПРУСАКОВ М.В.	74, 89	ЧЕРНОВ К.В.	294, 297
ПУЧЕНКИН В.	62, 59	ЧЕРНЫШЕВ В.А.	216
ПЫШНЕНКО Е.А.	275, 277, 281	Ш	
ПЯТИБРАТОВ И.В.	208	ШАГИДУЛЛИН А.В.	215
Р		ШАГИДУЛЛИНА А.В.	215
РАДИН П.С.	195, 198	ШАГУРИНА Е.С.	133, 143
РАССКАЗЧИКОВ А.В.	175	ШАХНИН В.А.	226
РЕППИЕВ С.И.	31	ШЕРИХОВ А.В.	26
РОГОЖНИКОВ Ю.Ю.	272, 274	ШИЛЬНИКОВ А.С.	300
РЫЛОВ Ю.А.	146	ШУИН В.А.	127, 133, 149,161
С		ШУРЫГИН А.М.	228
САВЕЛЬЕВ В.А.	166, 238	ШУРЫГИН М.Н.	228
САЙКИН М.С.	23	Щ	
САПУНКОВ М.Л.	302	ЩЕЛОЧКОВА А.М.	3
САРБЕЕВА О.А.	133, 136, 139	ЩЕПИН И.О.	12
СВЕЧНИКОВ А.С.	120	Я	
СЕМЁНОВ В.Д.	20	ЯКУНЕНКОВ С.Ю.	208
СИДОРОВ С.Г.	92		
СИНИЧКИН С.Г.	117		

СОДЕРЖАНИЕ

Секция "ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИИ"	4
Секция "ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ"	105
Секция "НАДЕЖНОСТЬ, ЭФФЕКТИВНОСТЬ И ДИАГНОСТИКА ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ СТАНЦИЙ И ЭНЕРГОСИСТЕМ"	164
Секция "ТЕХНОГЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ В ЭНЕРГЕТИКЕ: ЧЕЛОВЕК, ТЕХНИКА, ОКРУЖАЮЩАЯ СРЕДА"	251

СБОРНИК НАУЧНЫХ ТРУДОВ

Международной научно-технической конференции
**«СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ
ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИИ»**
(XVI Бенардосовские чтения)

Печатаются в авторской редакции

I том
Электроэнергетика

Подписано в печать 26.04.2011. Формат 60x84 ¹/₁₆.
Усл. печ. л. 17,67. Уч.-изд. л. 18,6. Тираж 180 экз. Заказ
ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет
имени В.И. Ленина»
153003, Иваново, ул. Рабфаковская, 34.
Типография ООО «ПресСто»
153025, г. Иваново, ул. Дзержинского, 39