

## Программные средства управления электроприводами

П.М. Поклад, асп.

**Приведены анализ функциональных возможностей современных программных средств управления электроприводами и некоторые особенности программно-аппаратной реализации импульсно-фазовых электроприводов.**

*Ключевые слова:* импульсно-фазовый электропривод, программные средства управления, регуляторы, привод.

### Program Tools for Electric Drive Control

P.M. Poklad, Post Graduate Student

**The analysis of modern program tools for electric drive control is presented. Some features of software-hardware design of pulse phase locking electric drives are given.**

*Keywords:* artificial intellect, neural net, fuzzy control, perception, genetic algorithm.

Современный электропривод (ЭП) представляет собой синтез программной и аппаратной частей единого комплекса. Основу аппаратной части системы управления (СУ) ЭП составляют: двигатель, специализированный микроконтроллер (МК), силовой модуль управления и так называемая «обвязка» МК. Программную часть системы управления электроприводом можно условно представить в качестве двух взаимосвязанных компонентов:

1) непосредственных алгоритмов управления электродвигателем, обычно написанных на различных диалектах языка программирования низкого уровня и реализованных на микроконтроллерах;

2) средств командного управления с визуализированным интерфейсом, реализованных на ЭВМ в виде отдельной программы. Такой интерфейс является коммуникативным посредником между оператором и системой управления электроприводом, который необходим для задания команд управления приводом и приема информации о его состоянии.

Такое функциональное разделение является неслучайным. Требования ко времени исполнения программных алгоритмов управления двигателем довольно высоки, также критичны требования к надежности самого вычислительного устройства, к стабильности его работы. Поэтому возложение первостепенных функций управления на отдельное специализированное вычислительное устройство является оправданным шагом. Практическая невозможность реализации алгоритмов на стороне ЭВМ заключается также в часто непредсказуемо нестабильной работе операционной системы в силу целого комплекса проблем, в том числе и невозможности обрабатывать в режиме online данные с объекта управления, а также задержки при передаче вычисленных параметров управления на двигатель.

Практически все современные программные средства (ПС) управления ЭП имеют мо-

дульную структуру, обладают большой функциональной гибкостью.

Сбор и анализ информации по программным средствам для наладки, настройки и диагностики электроприводов как отечественного [1, 2, 3], так и зарубежного [4, 5, 6, 7, 8] производств, помогли выявить различные пути развития и совершенствования имеющихся ПС управления ЭП.

Общей концепцией развития ПС управления ЭП является модульность, универсальность и развитая функциональность, которая позволяет органично вписываться в современное производство по таким критериям, как: аппаратная (уровни сигналов, разъемы), коммуникационная (протоколы обмена данными), программная (поддержка операционных систем, дополнительные программные компоненты) и функциональная (набор необходимых режимов работы электропривода) совместимости.

Среди конкретных путей развития можно выделить следующие:

1. Создание единой базы данных настроек для широкой номенклатуры аппаратных средств: электродвигателей, датчиков положения и т.д. Это позволит наладчикам системы быстро произвести настройку привода, поможет разработчикам создать и унифицировать программные средства для управления целыми сериями приводов под конкретные задачи.

2. Разработка автоматической функции поиска оптимальных настроек системы управления электропривода под конкретный двигатель. Такая функция ускорит процесс настройки привода, уменьшит вероятность возникновения внештатной ситуации из-за некорректного ввода параметров настройки, обеспечит приемлемое качество управления, а также работу двигателя в оптимальных режимах. Таким образом сократятся затраты времени на ввод привода в эксплуатацию.

3. Разработка клиент-серверной архитектуры программных средств управления

электропривода. Частной функцией данной архитектуры является возможность удаленного управления электроприводом в реальном времени посредством современных коммуникационных средств. Это позволит уменьшить время простоя технологического агрегата за счет оперативной работы инженерной службы поддержки. Однако данная функция будет являться возможной потенциальной угрозой в случае «сырой» программной реализации удаленного сетевого взаимодействия. Но при проверенном программном обеспечении и профессиональной настройке сетевой защиты данная функция будет большим подспорьем при эксплуатации привода.

4. Расширение коммуникационных возможностей электропривода. Современное автоматизированное и компьютеризированное производство предъявляет свои требования к системе управления электроприводом. Это выражается в необходимости наличия различных протоколов обмена данными, таких как RS-232, RS-485, CAN, DeviceNet, ProfiBus, CNet и др. Также ПС привода должно позволять осуществлять более тонкую настройку протоколов приема/передачи в силу ряда технических причин: удаленности оборудования; наличия помех; объема данных, передаваемых по каналу связи и пр.

5. Разграничение прав доступа к программным средствам управления электропривода. Данная функция представляет наиболее очевидное средство защиты от неквалифицированного вмешательства в работу привода. Создание нескольких уровней доступа позволит распределить весь функционал ПС согласно уровню и квалификации персонала.

6. Хранение всех настроек привода в защищенной базе данных с возможностью удаленного подключения. Централизованное и структурно оформленное хранилище настроек привода с возможностью защиты и оптимизации отвечает общей концепции универсализации ПС для управления приводами. Логически верно спроектированная структура базы позволит в дальнейшем использовать ее в качестве средства подстраховки в случае сбоя настроек, а также позволит использовать необходимую информацию для формирования отчетов, вывода в удобной форме всех настроек и других параметров системы.

7. Внедрение системы оповещения о состоянии аппаратных компонентов системы управления электропривода. ПС могут обеспечивать автоматические напоминания о необходимости замены компонентов в определенное время.

8. Применение функции ведения журнала событий, происходящих при работе привода. Данная функция фиксирует все входящие и исходящие команды: управления, диагностики, служебные и пр. Ведение журнала учета позво-

лит вести полный контроль за работой двигателя, доступа к системе, а также иметь весь набор команд в случае возникновения аварии или ошибки.

9. Разработка более гибкой и «интеллектуальной» системы защиты от внештатных ситуаций, которые могут возникнуть в процессе работы привода. Примером может служить функция предотвращения свободного вращения двигателя после перерыва электропитания. Так, если двигатель уже вращается, то благодаря этой функции предотвращается отключение двигателя из-за перегрузки.

10. Создания оперативного агента для передачи текущей, архивной информации СУ электропривода через беспроводной интерфейс Bluetooth либо Wi-Fi. Приемником информации может быть коммуникатор, смартфон или иное портативное устройство с необходимым ПС.

11. Возможность настройки системы управления приводом под национальные требования без дополнительного оборудования или сертификации. Для создания конкурентноспособной продукции и успешного внедрения в производство необходимо придерживаться ряда технических стандартов, таких как: CE, UL, cUL, CCC, ГОСТ Р, Ростехнадзор.

Рассмотрим общую структуру, особенности программно-аппаратной реализации импульсно-фазовых электроприводов (ИФЭП) и ПС управления ИФЭП. Основы построения импульсно-фазовых электроприводов с цифровыми регуляторами заложены в работах Р.М. Трахтенберга [9], М.В. Фалеев [10], Е.А. Танского, С.А. Ковчина, Б.А. Староверова.

Configurator PPL Drive 6.0 [11] – программное средство управления ЭП, позволяющее выполнять следующие функции:

- 1) отображение и изменение параметров привода в автоматическом и диалоговом режимах;
- 2) резервирование и восстановление значений параметров;
- 3) быстрое распространение оптимальных настроек системы управления на другие привода;
- 4) графическое отображение и контроль текущих значений сигналов;
- 5) отображение таблиц сигналов входов/выходов;
- 6) управление приводом;
- 7) тестирование ЭП в стандартных режимах;
- 8) on-line-контроль режимов работы системы.

Основной задачей Configurator PPL Drive (рис. 1) является ручное задание параметров СУ ИФЭП, контроль сигналов работающей системы с помощью точек съема в определенных частях мнемосхемы СУ. При использовании программы не требуется никаких дополнительных аппаратных средств ЭВМ. Программа включает в себя ряд полезных функций, таких как графический анализ режимов механизма,

автоматический перенос параметров между разными экземплярами электропривода.

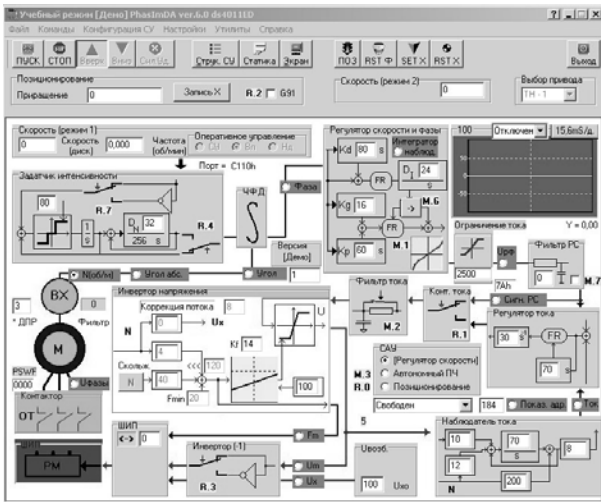


Рис. 1. Мнемосхема СУ контроллером электропривода

Configurator PPL Drive имеет встроенные функции программирования, контроля, поиска неисправностей и технического обслуживания. Помимо этого, он является наглядным средством для обучения персонала работе с ИФЭП.

На рис. 2 показана структура электропривода с точками расположения переключателей, управляемых флагами регистров конфигурации. На рис. 3 показано окно программного задания структуры СУ ИФЭП. Электропривод обеспечивает стабилизацию скорости  $\omega$ , текущего положения  $\varphi$  вала двигателя М и позиционирования.

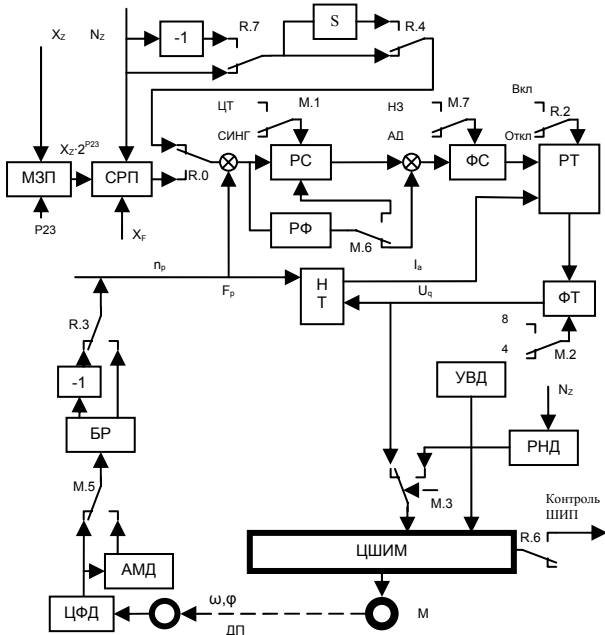


Рис. 2. Функциональная схема контроллера электропривода

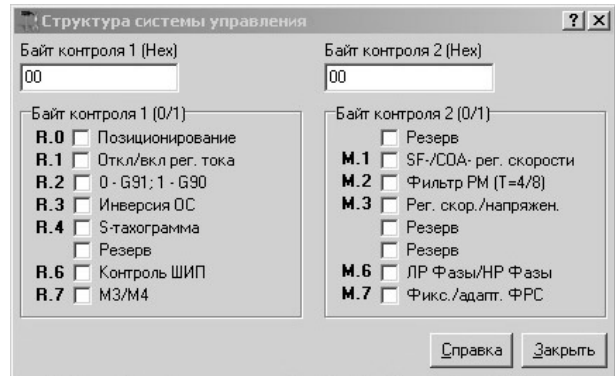


Рис. 3. Диалоговое окно управления логической структурой СУ ИФЭП

В состав контроллера электропривода входят следующие блоки:

- СРП – следящий регулятор положения, обеспечивающий позиционирование вала двигателя;
- РС – нечеткий регулятор скорости с назначаемыми (синглетон (SF) или центра тяжести (COA)) методами дефаззификации;
- РФ – нечеткий регулятор текущего положения вала (фазы) с синглетон дефаззификатором;
- РТ – регулятор тока  $I_q$  двигателя постоянного тока;
- ФТ – дополнительный фильтр контура управления током с переключаемой постоянной времени;
- ФС – фильтр регулятора скорости с выбираемым алгоритмом работы;
- НТ – наблюдатель тока, предназначенный для вычисления тока  $I_a$  двигателя;
- РНД – блок управления напряжением возбуждения двигателя;
- БР – блок выбора базового значения разрешающей способности датчика положения;
- АМД – аппаратный множитель добротности, предназначенный для увеличения разрешающей способности используемого ДП;
- ЦФД – фильтр, обеспечивающий устранение помех в линиях связи контроллера и датчика положения;
- S – формирователь S-тахограммы разгона/торможения;
- УПЧ – блок формирования частоты и напряжения инвертора при работе привода в режиме преобразователя частоты;
- ЦШИМ – блок центрированной широтной импульсной модуляции;
- (-1) – блок инверсии входного сигнала;
- МЗП – множитель сигнала задания перемещения.

Управление двигателем может осуществляться с помощью Configurator PPL Drive или от системы программного управления по последовательному каналу в стандарте RS232C или RS422. Выбор типа интерфейса обмена осуществляется установкой соответствующих пере-

мычек на разъеме подключения электропривода к локальной сети управления.

Контроллер привода допускает 3 режима работы:

1. *Режим бессенсорного управления*, при котором управление двигателем осуществляется от регулятора напряжения. В этом режиме датчик скорости не используется;

2. *Режим управления скоростью*, при котором электропривод работает в режиме стабилизации частоты вращения вала, связанного с приводным механизмом;

3. *Режим позиционирования*, при котором реализуется перемещение в точку рабочей зоны с заданными координатами с постоянной заданной скоростью.

В электроприводе используется регулятор скорости и положения вала, построенный на нейро-фаззи сети (рис. 4).

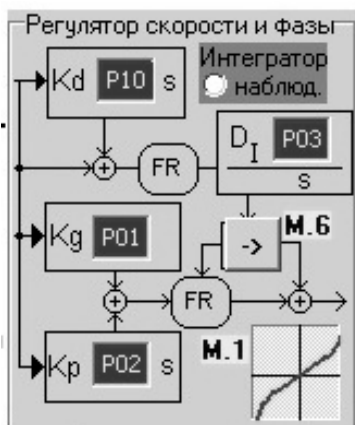


Рис. 4. Панель для изменения структуры и ввода параметров регулятора скорости и фазы

Он осуществляет регулирование скорости и текущего положения вала относительно задаваемого значения. Регулятор включает в себя отдельные фаззи-регуляторы скорости и положения вала. При этом формируется ПИД-закон управления положением вала и ПИИ<sup>2</sup>-закон регулирования частоты вращения. Такая организация регулятора обеспечивает минимальные ошибки воспроизведения заданной траектории движения вала.

Относительно положения вала регулятор обеспечивает следующий закон управления:

$$\frac{\Delta U}{\Delta \varphi} = F_1 \{k_g, k_p \cdot p\} + F_2 \{1, k_R \cdot p\} \frac{D_I}{p}, \quad (1)$$

где  $\Delta U$  – выходной сигнал регулятора;  $\Delta \varphi$  – величина отклонения действительного положения вала от заданного значения – фазовая ошибка;  $D_I$  – добротность по фазовой ошибке;  $k_g$  – коэффициент усиления по фазовой ошибке (добротность регулятора по частоте вращения);  $k_p$  – коэффициент усиления ошибки по частоте вращения;  $k_R$  – коррекция регулятора текущего

положения вала;  $p = d/dt$  – символ дифференцирования.  $F_1$  и  $F_2$  – функции передачи фаззи-регуляторов скорости и положения вала соответственно.

Регулятор обеспечивает астатическое управление относительно сигнала отклонения действительного положения вала от задаваемого значения или второй порядок астатизма относительно частоты вращения вала. Это обеспечивает существенное увеличение точности стабилизации частоты вращения при изменении момента нагрузки на валу двигателя.

Для уменьшения пульсаций напряжения на двигателе используется фильтр регулятора скорости (РС). Он обеспечивает формирование частотной характеристики, вид которой показан на рис. 5. Фильтр имеет единичный коэффициент передачи  $K_\Phi$ . Добротность фильтра  $D_F$  связана с постоянной времени фильтра  $T_\Phi$  следующим соотношением:

$$T_\Phi = \frac{16 - D_F/2}{D_F \cdot f_D}. \quad (2)$$

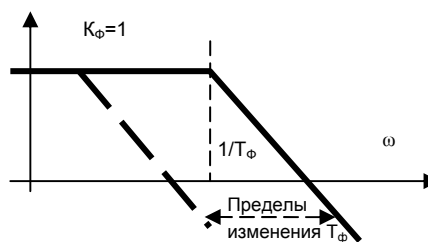


Рис. 5. Частотная характеристика фильтра

Фильтр РС имеет два режима работы:

1. В первом режиме фильтр работает с постоянной величиной добротности цифрового фильтра.

2. Во втором режиме добротность фильтра зависит от заданного значения частоты вращения.

Для уменьшения пульсаций момента двигателя при больших нагрузках на его валу, когда значительно возрастают пульсации напряжения в звене постоянного тока, в системе используется регулятор тока (рис. 6).

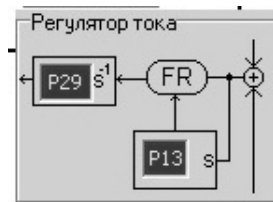


Рис. 6. Панель настройки регулятора тока

Кроме того, регулятор тока позволяет ограничить величину предельного тока двигателя без применения дополнительных устройств токоограничения. Функционально регулятор тока

представляет собой совокупность ПД-регулятора и интегратора.

Функционально регулятор тока реализует разностное уравнение вида

$$U_{PT} = \frac{U_{PT}}{z} + D_T \left[ dU_T + K_T \left( dU_T - \frac{dU_T}{z} \right) \right], \quad (3)$$

где  $U_{PT}$ ,  $dU_T$  – выходной и входной сигналы регулятора тока соответственно.

Входной сигнал регулятора тока определяется как

$$dU_T = U_{PC} - I^* K_{OC}, \quad (4)$$

где  $U_{PC}$  – выходной сигнал регулятора скорости;  $I^*$  – вычисленное значение тока якорной обмотки двигателя.

Контроллер ЭП снабжен функциями интеллектуальной диагностики и сервиса. Они защищают систему от выхода из строя, тем самым сокращая количество и время простоев. Система автоматической самодиагностики осуществляет активный мониторинг всех компонентов системы, подверженных износу, и отображает соответствующие предупреждения до возможного отказа устройства.

Информация об аварийных режимах работы электропривода предоставляется его пользователю следующими способами:

- визуальным посредством светодиодов;
- через последовательный интерфейс с

последующей обработкой данных управляющей ЭВМ.

### Заключение

Большое разнообразие ПС управления электроприводами, различающихся как по функциональным возможностям, так и по вариантам программно-аппаратной реализации алгоритмов управления создает здоровую конкуренцию на рынке таких систем. Все большее число ПС управления имеют различные функции «интеллектуального» управления, самонастройки и самодиагностики, основанных на базе аппарата нечеткой логики, широких возможностях нейронных сетей и поисковых генетических алгоритмах.

*Поклад Павел Михайлович,*

ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»,  
аспирант,  
e-mail: stprint@mail.ru

Практически все ПС управления могут быть условно разделены на два тесно взаимосвязанных компонента: на программно реализованные математические алгоритмы управления на базе МК и на управляющие визуальные интерфейсы, реализованные на ЭВМ.

Создание унифицированных, удобных в использовании и более функциональных ПС управления ЭП с привлечением средств искусственного интеллекта является одним из основных направлений развития программных средств управления электроприводами.

### Список литературы

1. **VCDrive v1.2.** Программа мониторинга, параметрирования преобразователей частоты // Иваново: сайт, 2010. URL: <http://www.vectorgroup.ru/products/soft> (дата обращения: 10.08.2010).
2. **Электроприводы** серии IntDrive // Иваново: сайт, 2010. URL: <http://inelsy.com/mid/3/id/112/> (дата обращения: 8.08.2010).
3. **Описание** электропривода ЭППФМ14.1/15.1. – Иваново, 2008.
4. **Программы конфигурирования** приводов Siemens: Starter и DriveMonitor: сайт поставщика // Москва: сайт, 2010. URL: <http://automation-drives.ru/sd/products/soft/> (дата обращения: 20.08.2010).
5. **Программное** обеспечение CTSoft для настройки приводов Controltechniques: сайт поставщика // Москва: сайт, 2010. URL: <http://controltechniques.ru/production.php?show=7> (дата обращения: 15.08.2010).
6. **KEB COMBIVIS** – универсальный инструмент для работы с приводами KEB: сайт производителя // Германия: сайт, 2010. URL: <http://www.keb.de/en/products/electronic-assembly/pc-software.html> (дата обращения: 14.08.2010).
7. **Schneider-Electric PowerSuite v.2.5:** сайт производителя // США: сайт, 2010. URL: <http://www.schneider-electric.us/products-services/products/ac-drives-and-soft-starts/software/powersuite-v-26/> (дата обращения: 13.08.2010).
8. **Turbo PMAС.** Software Reference manual. Delta Tau Data Systems, Inc. documentation, 2000.
9. **Трахтенберг Р.М.** Импульсные астатические системы электропривода с дискретным управлением. – М.: Энергоиздат, 1982.
10. **Фалеев М.В.** Микропроцессорные импульсно-фазовые электроприводы информационно-измерительных систем: автореф. дис... д-ра техн. наук. – Иваново, 1998.
11. **Киселев А.А., Поклад П.М.** Система настройки импульсно-фазового электропривода «Confogurator PPL Drive 6.0». Свидетельство о регистрации в ВНИИЦ № 50201001183 от 07.07.2010.