

УДК 62-83: 621.313.333

ОТЕЧЕСТВЕННЫЕ ВЫСОКОВОЛЬТНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ КОМПЛЕКСЫ ПРЕДПРИЯТИЯ ООО «ГАМЕМ» ДЛЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

КУРНЫШЕВ Б.С., д-р техн. наук, СПИЧКОВ Ю.П., канд. техн. наук, ПЕРЕВАРОВ А.В., асп.

Рассмотрены высоковольтные преобразователи для железнодорожного транспорта. Проводится обзор продукции предприятия ООО «Гамем» (г. Истра, Московской обл.), являющегося одним из лидеров российского рынка высоковольтных преобразовательных комплексов для железнодорожного транспорта. Обсуждаются параметры, функциональные схемы и принципы работы преобразователей.

Ключевые слова: преобразователь полупроводниковый, инвертор, железнодорожный транспорт.

RUSSIAN - MADE HIGH-VOLTAGE TRANSFORMATION COMPLEXES AT «GAMEM» LTD. FOR RAILWAY TRANSPORT

B.S. KURNYSHEV, Doctor of Engineering, Yu.P. SPICHKOV, Candidate of Engineering, A.V. PEREVAROV, Post-Graduate Student

The authors research the high-voltage transformers for railway transport and give a review of "Gamem" Ltd. product line (Istra, Moscow region). This company is one of the leader of high-voltage transformation complexes for railway transport on the Russian market. Various parameters, functional diagrams and principles of transformers operation are discussed.

Key words: semiconductor converter, invert circuit, railway transport.

Повышение требований к качеству электроэнергии, а также качеству обслуживания перевозок пассажиров на железнодорожном транспорте привело к необходимости разработки и внедрения современных преобразователей электроэнергии.

В 2001 г. предприятие ООО «Гамем» приступило к разработке высоковольтных преобразовательных комплексов для питания нагрузок пассажирских вагонов с централизованным электроснабжением. С учетом анализа существующих разработок в этой области (фирмы Siemens, AEG и др.) в инициативном порядке была поставлена задача создания конкурентоспособного преобразователя, имеющего целый ряд преимуществ перед существующими аналогами.

Была разработана структура преобразования, которая обеспечивает непрерывную работоспособность (без переключения силовых элементов) независимо от параметров всех существующих систем питающих напряжений, а именно, напряжения постоянного тока 1,5 кВ и 3,0 кВ, напряжения переменного тока 1,5 кВ и 3,0 кВ частотой 50 Гц и напряжения 1000 В частотой $16^{2/3}$ Гц.

На предприятии разработали высоковольтный преобразователь ВСП-40 с характеристиками, приведенными в табл. 1. На рис. 1 приведена функциональная схема преобразователя ВСП-40.

Преобразователь состоит из шести одинаковых каналов, каждый из которых, в свою очередь, состоит из высоковольтной части и низковольтной части.

На входе высоковольтного канала – выпрямитель (В), все 6 выпрямителей по входу соединены последовательно. На выходе выпрямителя установлен импульсный повышающий стабилизатор напряжения (ПСН) с выходом на полумостовой инвертор напряжения (И). Инвертор нагружен на высокочастотный трансформатор (Т).

Таблица 1

Наименование параметра	Значение
Диапазон изменения входного напряжения переменного тока 50 Гц при номинальном значении 3000 В, В	2200–3600
Диапазон изменения входного напряжения постоянного тока при номинальном значении 3000 В, В	2200–4000
Диапазон изменения входного напряжения переменного тока 50 Гц при номинальном значении 1500 В, В	1200–1800
Диапазон изменения входного напряжения постоянного тока при номинальном значении 1500 В, В	1200–1900
Диапазон изменения входного напряжения переменного тока $16^{2/3}$ Гц при номинальном значении 1000 В, В	900–1200
Коммутационные перенапряжения по питающему напряжению длительностью до 20 мс, В	13000
Количество каналов на выходе	2
Величина напряжения на выходе 1, В	400±4%
Величина напряжения на выходе 2, В	160±4%
Максимальная мощность выхода 1, кВт	20
Максимальная мощность выхода 2, кВт	25
Суммарная выходная мощность в длительном номинальном режиме, кВт, не более	37
КПД преобразователя в номинальном режиме, %, не менее	92

Трансформатор имеет две вторичные обмотки, каждая из которых нагружена на выпрямитель. Все выпрямители одноименных обмоток соединены параллельно и поступают на Г-образный LC-фильтр, так образуются два стабилизированных выхода постоянного тока ВСП-40: это 160 В и 400 В для питания 4-х инверторных каналов и зарядного устройства, расположенных в отдельном низковольтном преобразователе НСП-40 (преобразователи ВСП-40 и НСП-40 образуют преобразователь высоковольтный статический ПВС-40).

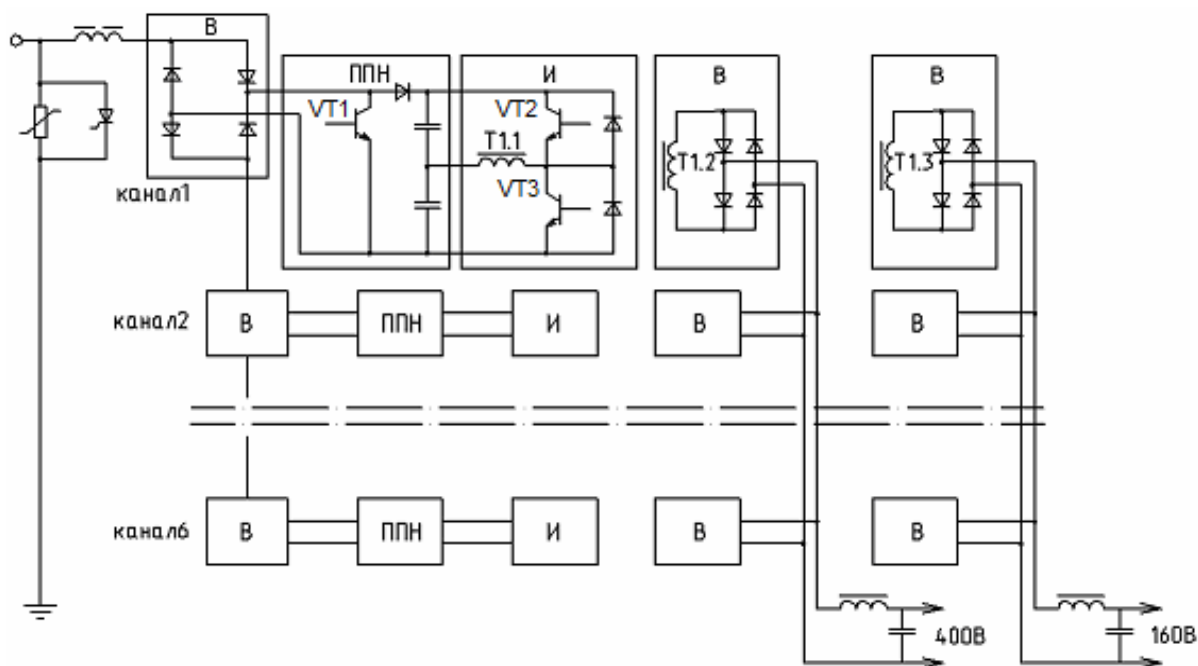


Рис. 1. Преобразователь ВСР-40: схема функциональная

Стабилизация выходного напряжения осуществляется транзисторами VT1 с помощью широтно-импульсной модуляции (ШИМ), причем скважность импульсов управления транзисторами VT1 всех каналов одинакова, но импульсы сдвинуты друг относительно друга на 60 электрических градусов, что, с одной стороны, исключает сквозное открытие всей последовательной цепочки транзисторов, а с другой, осуществляет ступенчатое изменение входного тока с частотой $6 \times 5 = 30$ кГц, это, в свою очередь, в сочетании с входным дросселем 24 мГн вызывает исчезающие малые пульсации входного тока. Наличие повышающего импульсного стабилизатора на входах каждого канала, в отличие от общего стабилизатора на выходе, позволило решить и ряд следующих задач:

1. Повышение коэффициента мощности преобразователя практически до 1,0 при работе его от переменного входного напряжения. Входной стабилизатор в этом случае выполняет роль корректора тока, так как система его регулирования двухконтурная подчиненного типа. Основной контур замкнут обратной связью по датчику выходного напряжения, в нашем случае 160 В, а подчиненный контур замкнут обратной связью по датчику входного тока. В этом случае скважность работы транзисторов стабилизаторов меняется в течение периода протекания входного тока. В результате входной ток протекает практически непрерывно и форма его, как показано на осциллограмме (рис. 2), близка к синусоидальной.

2. Ввиду наличия на ж/д транспорте рельсовой сигнализации, выдвигаются жесткие требования по наличию во входном токе гармонических составляющих в определенных частотных диапазонах, в расчете на один преобразователь величина этих составляющих не должна превышать

нескольких сотых долей ампера. Вышеуказанная коррекция формы позволила решить и эту задачу.

3. Наличие на входе повышающего стабилизатора решает вопрос с ограничением входного тока при скачкообразных изменениях входного напряжения.

Первая партия преобразователей ПВС-40 была изготовлена в 2003 г., закуплена польским вагоноремонтным заводом в г. Быдгощ и впоследствии в составе вагонов была поставлена в города Минск, Киев, Львов, где до настоящего времени успешно эксплуатируется. Один образец был поставлен Московскому предприятию «Циркон-Сервис» и установлен на вагонсалоне, один преобразователь был закуплен Тверским вагоностроительным заводом для испытаний и оценки перспектив заказа партии преобразователей. В 2005 г. ОАО «ТВЗ» оборудовал преобразователями ПВС-40 вагоны нового поколения для состава Москва – Киев «Столичный экспресс», а в 2006 г. оборудованы два новых состава экспресса Москва – С.-Петербург «Красная стрела».

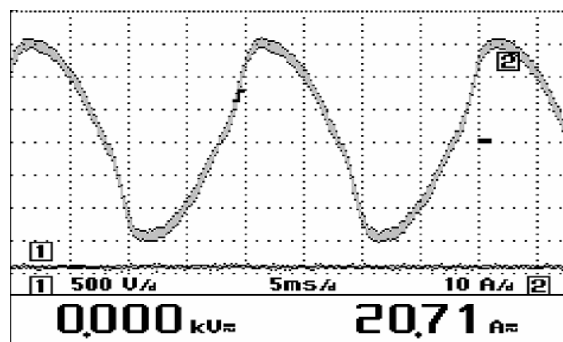


Рис. 2. Осциллограмма входного тока преобразователя ВСР-40

Преобразователи типа ПВС-40 выполнены в виде модульной конструкции, позволяющей без существенных затрат реализовать в едином конструктивном исполнении различные сочетания унифицированных блоков (каналов) для питания энергопотребителей вагонов самого различного класса (купированных, СВ, плацкартных, вагонов-салонов, вагонов-ресторанов) и электропоездов.

Преобразователи удовлетворяют требованиям Международного союза железных дорог IС5500R и сертифицированы в системе РСФЖТ.

Применение класса высоковольтных преобразователей получило дальнейшее развитие после заключения договора с Коломенским заводом на разработку и поставку преобразователей собственных нужд ПСН-200 для вновь строящегося электровоза постоянного тока ЭП-2К. Преобразователь ПСН-200 состоит из двух одинаковых шкафов ПСН-100, каждый из которых предназначен для питания собственных нагрузок. Такая структура ПСН-200 позволяет осуществить режим резервирования при выходе из строя одного из ПСН-100 путем перегруппировки нагрузок.

Структура преобразователя ПСН-100 показана на рис. 3, а его технические характеристики представлены в табл. 2.

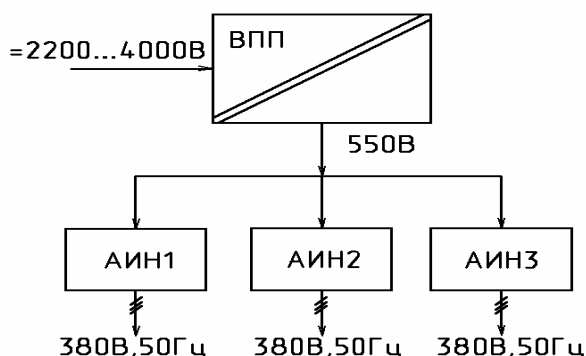


Рис. 3. Преобразователь ПСН-100: схема структурная

ПСН-100 питается от контактной сети с напряжением 2200–4000 В постоянного тока и содержит три автономных трехфазных инвертора: АИН1, АИН2 и АИН3:

- инвертор АИН1 (частотно-регулируемый, мощностью 30 кВА) для привода вентилятора системы воздушного охлаждения тяговых электродвигателей электровоза;
- инвертор АИН2 (частотно-регулируемый, мощностью 40 кВА) для привода электродвигателя компрессора сжатого воздуха;
- инвертор АИН3 (нерегулируемый) для питания остальных систем локомотива (освещения, отопления, кондиционирования и т.д.).

Структура входного понижающего преобразователя ВПП выбрана такой же, как и структура преобразователя ВСР-40, только исключены входные выпрямители в шести каналах.

Большое внимание было уделено разработке улучшенных алгоритмов синусоидальных ШИМ для выходных инверторов ПСН-100. Исследования выходного тока инвертора АИН2 при его работе на двигательную нагрузку показали, что фактический коэффициент гармоник выходного тока значительно ниже указанного в табл. 2, даже без дополнительного LC-фильтра.

Таблица 2. Технические характеристики преобразователя ПСН-100

Наименование параметра	Значение
Диапазон изменения входного питающего напряжения, В	2200–4000
Коммутационные перенапряжения по питающему напряжению длительностью до 12 мс, В	10000
Число каналов ПСН на выходе	3
Тип нагрузки каналов	Активно-индуктивная
Номинальная мощность ПСН при включении компрессора с ПВ 50 %, кВА, не более	80
Максимальное линейное напряжение на выходе каждого канала	380±5%
Максимальная мощность канала АИН1, кВА	30
Максимальная мощность канала АИН2, кВА	40
Максимальная мощность канала АИН3, кВА	30
Диапазон изменения частоты выходного напряжения каналов АИН1 и АИН2, Гц	5–50
Частота выходного напряжения канала АИН3, Гц	50±2
Коэффициент гармоник фазного тока каналов АИН1 и АИН2, не более	5
КПД преобразователя при номинальной нагрузке, %, не менее	92

Так же, как и преобразователь ПВС-40, этот преобразователь имеет разветвленную систему защит и диагностики. Параметры системы защит, например такие, как уровень токоограничения, уровень допустимой несимметрии выходных токов, уровни защит по допустимому превышению выходных напряжений и токов, при необходимости могут легко перепрограммироваться, даже в процессе эксплуатации. Преобразователь ПСН-100 оборудован также скоростным 3-проводным интерфейсом CAN для управления и обмена информацией с системой управления высокого уровня локомотива.

В настоящее время изготовлены и испытаны два образца ПСН-100, которые после приемки их комиссией были отправлены в ноябре 2007 г. для установки на электровоз ЭП-2К № 3.

Курнышев Борис Сергеевич,
ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»,
доктор технических наук, профессор кафедры электропривода и автоматизированных промышленных установок,
телефон (4932) 26-97-07.

Спичков Юрий Петрович,
ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»,
кандидат технических наук, доцент кафедры электропривода и автоматизированных промышленных установок,
телефон (4932) 26-97-07.

Переваров Алексей Владимирович,
ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»,
инженер кафедры электропривода и автоматизированных промышленных установок,
телефон (4932) 26-97-07.