

Силовые быстрозаменяемые полупроводниковые модули для преобразователей частоты большой мощности

Е.Г. Бородацкий, В.К. Кривовяз
Научно-инженерный центр
ЗАО «Автоматизированные системы и комплексы»,
Екатеринбург, Россия

С.И. Шилин
Уральский федеральный университет имени первого
Президента России Б.Н. Ельцина,
Екатеринбург, Россия

Fast-replaceable semiconductor modules for high power frequency converters

E.G. Borodatskiy, V.K. Krivovyaz
Engineering and Research Center
«Automated Systems and Complexes»,
Ekaterinburg, Russian Federation

S.I. Shilin
Ural Federal University named after
the first President of Russia B.N. Yeltsin,
Ekaterinburg, Russian Federation

В докладе приведено описание общего принципа построения, конструктивных решений и технических характеристик силовых быстрозаменяемых модулей для преобразователей частоты большой мощности.

General design concepts, construction types and technical characteristics of fast-replaceable modules for high power frequency converters are presented in the report.

Ключевые слова: частотно-управляемый электропривод, преобразователь частоты.

Keywords: variable frequency drive, frequency convertor.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время частотно-управляемый электропривод переменного тока получил широкое распространение в промышленности. Это обусловлено рядом преимуществ асинхронных электродвигателей над двигателями постоянного тока и значительными успехами в силовой полупроводниковой технике.

Одной из отраслей промышленности, имеющей большой спрос на данные приводы, является нефтедобывающая промышленность. Для ее нужд необходима линейка преобразователей частоты в диапазоне от 0,5 до 2,6 МВт при напряжении питающей сети и электродвигателя 690 В. Сегодня эти потребности удовлетворяются за счет применения преобразователей частоты ведущих зарубежных производителей. Эти устройства обладают хорошими функциональными возможностями и надежностью работы. Однако из-за значительного снижения прибыли от продажи нефти стоимость преобразователей частоты зарубежного производства оказывается непо-

мерно высокой. Помимо этого, в связи с введением со стороны ряда зарубежных стран ограничений на поставку оборудования для нефтедобывающей отрасли России появляется необходимость в создании собственных образцов оборудования и технологий.

Это делает актуальной задачу разработки преобразователей частоты отечественного производства, обеспечивающих нехудшие технические показатели при более низкой стоимости.

I. ОБЩИЙ ПРИНЦИП ПОСТРОЕНИЯ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ЧАСТОТЫ

Для решения данной задачи на предприятии «Автоматизированные системы и комплексы», г. Екатеринбург, начата разработка преобразователя частоты. Эта работа основывается на многолетнем опыте разработки преобразователей для автоматизированного электропривода как постоянного [1], так и переменного [2–4] тока.

В качестве принципа построения преобразователя частоты принята модульная компоновка. Это решение обеспечивает:

- 1) легкое наращивание мощности привода путем параллельного соединения нужного количества модулей;
- 2) снижение стоимости преобразователя за счет снижения номенклатуры конструктивных элементов и узлов;
- 3) обеспечение легкой и быстрой замены вышедшего из строя модуля из-за его относительно небольших габаритов и массы;
- 4) уменьшение номенклатуры запасных частей, хранящихся на складах эксплуатационной организации.

Основными элементами силовой части преобразователя частоты являются выпрямительный и инверторный модули. Их схемы показаны на рис. 1, 2.

II. СХЕМА ВЫПРЯМИТЕЛЬНОГО МОДУЛЯ

Выпрямительный модуль выполнен по шестифазной мостовой схеме (см. рис. 1). Модуль состоит из двух одинаковых трехфазных выпрямителей, образующих два идентичных параллельных канала с номинальным током 500 А каждый. Каждый канал имеет свой независимый ввод, линейный контактор, входной реактор, выпрямительную секцию, а также датчики напряжения, тока и температуры.

Линейные контакторы КМ1 и КМ2 осуществляют коммутацию преобразователя частоты к питающей сети по сигналу от его системы управления. Отключение устройства от сети происходит либо по сигналу управления, либо в случае возникновения аварийной ситуации, например пропадания или недопустимого снижения напряжения в питающей сети.

Входные реакторы L1 и L2 обеспечивают электромагнитную совместимость с питающей сетью и выравнивание токов, протекающих через параллельно соединенные выпрямительные секции.

Защита выходных цепей реализована с помощью быстродействующих предохранителей FU1...FU4.

С помощью датчиков измеряются входные напряжения на всех входах и выходе блока, токи в шести фазах и температуры охладителей в каждой выпрямительной секции. Эти сигналы подвергаются первичной обработке в системе управления выпрямителем, затем они передаются в систему управления преобразователем частоты.

Контактор КМ3 и токоограничивающие резисторы R1...R3 образуют цепь заряда конденсаторов, установленных в звене постоянного тока автономного инвертора напряжения.

Наличие двух вводов позволяет использовать данный выпрямитель либо в режиме двенадцатипульсного выпрямления при независимом подключении вводов, либо как шестипульсный выпрямитель при параллельном соединении вводов.

III. СХЕМА ИНВЕРТОРНОГО МОДУЛЯ

Двухуровневый инвертор (см. рис. 2) собран по трехфазной мостовой схеме на базе современных биполярных транзисторов с изолированным затвором (IGBT).

В состав модуля входят: силовые клеммы, входной фильтр, разрядные резисторы, транзисторный инвертор, сглаживающие RC-цепи, а также датчики электрических величин.

Входной фильтр предназначен для сглаживания пульсаций выпрямленного напряжения в звене постоянного тока преобразователя частоты. Фильтр реализован на конденсаторах C1...C18.

Разрядные резисторы R1...R9 обеспечивают выравнивание разности потенциалов на последовательно соединенных конденсаторах фильтра при работе инвертора и их разрядку после снятия питающего напряжения за время не более 900 с.

Транзисторный инвертор преобразует постоянное напряжение в переменное напряжение с регулируемой частотой и действующим значением. За счет применения синусоидальной ШИМ достигается близкая к гармонической форма выходного напряжения инвертора. В состав транзисторов инвертора входят датчики температуры, информация от которых поступает с систему управления и защиты преобразователя частот. Для снижения тока утечки в силовом кабеле и приводном электродвигателе на выходе транзисторов установлены воздушные реакторы.

Сглаживающие RC-цепи снижают коммутационные перенапряжения на выходе инвертора. Они реализованы на плате АБ и резисторах R10...R12. Дополнительно к ним, на выводах транзисторов установлены снабберные конденсаторы.

Датчики электрических величин обеспечивают контроль выходных токов в каждой фазе и напряжения в звене постоянного тока. Сигналы с этих датчиков после первичной обработки передаются в систему управления преобразователем частоты.

IV. КОНСТРУКТИВНОЕ ИСПОЛНЕНИЕ И ОСНОВНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МОДУЛЕЙ

Конструкция модулей обеспечивает возможность их перемещения эксплуатационным персоналом без использования подъемно-транспортных механизмов. Это достигается за счет применения встроенной в модуль колесной тележки. На рис. 3 показан чертеж установки модуля в шкаф. Для примера показан шкаф шириной 800 мм, условно изображенный без стенок и двери.

Установка модуля производится в следующем порядке:

- ♦ установка пандуса напротив монтажного отсека шкафа;
- ♦ закатывание модуля в монтажный отсек;
- ♦ фиксация модуля в монтажном отсеке шкафа крепежными болтами в верхней и нижней его части;
- ♦ установка двух перемычек между шинами постоянного тока шкафа и выводами модуля;
- ♦ фиксация соединения выводов переменного тока модуля и клемм шкафа с помощью специального ключа;
- ♦ подключение разъема питания электроклапана.

Выкатывание модуля производится в обратном порядке. Затем модуль можно перемещать по полу на собственных колесах. Для предотвращения опрокидывания модуль оснащен выдвигаемыми опорами.

Разработанные модули позволяют компактно размещать оборудование в электротехническом шкафу за счет использования всего его объема. Проектом предусматривается два вида шкафов для силовых блоков: шириной 600 и 800 мм. В шкаф шириной 600 мм устанавливается два модуля, а в шкаф шириной 800 мм – три модуля. Также шкаф шириной 600 мм предполагается использовать для подключения питающего кабеля и установки входного разъединителя.

Разработанные шкафы содержат монтажные отсеки для установки и закрепления силовых модулей, а также силовую ошиновку, быстродействующие защитные предохранители и фильтры подавления синфазных помех.

Быстродействующие защитные предохранители подключены во входные цепи модулей. Они обеспечивают селективное аварийное отключение отдельного модуля, что позволяет продолжить работу преобразователя частоты с пониженной мощностью до момента остановки привода.

Фильтры подавления синфазных помех устанавливаются в звене постоянного тока шкафа инверторов.

Основные технические показатели назначения выпрямительного и инверторного модулей представлены в таблице.

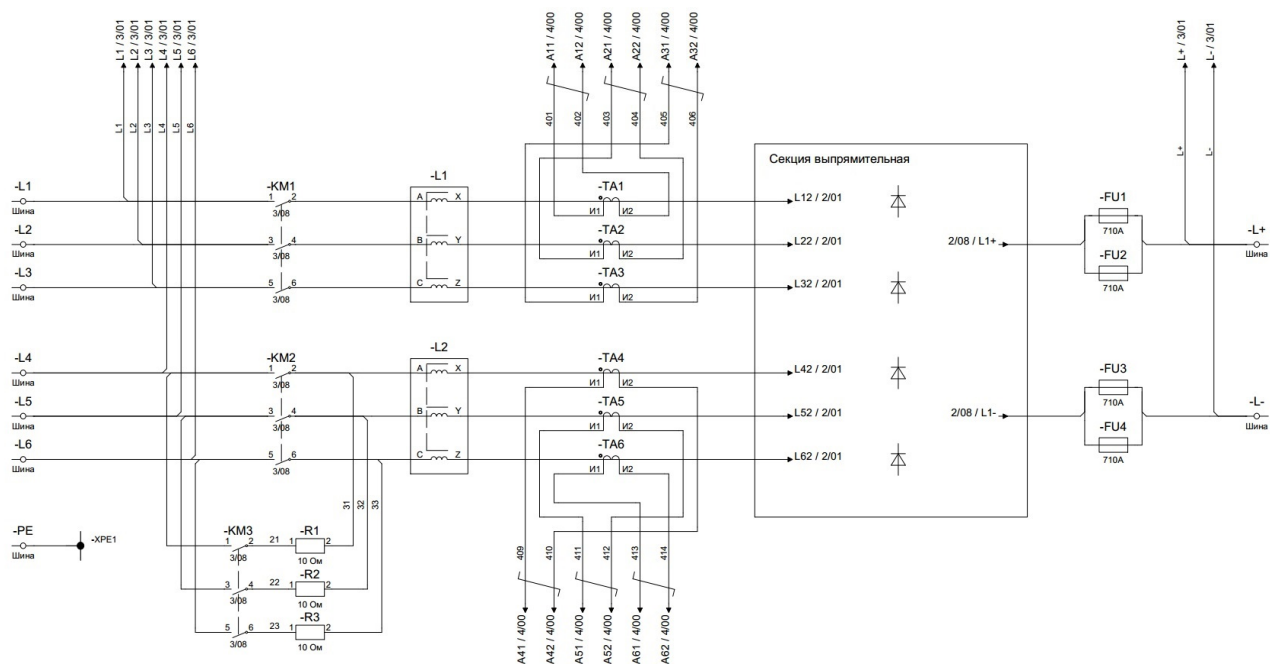


Рис. 1. Схема выпрямительного модуля

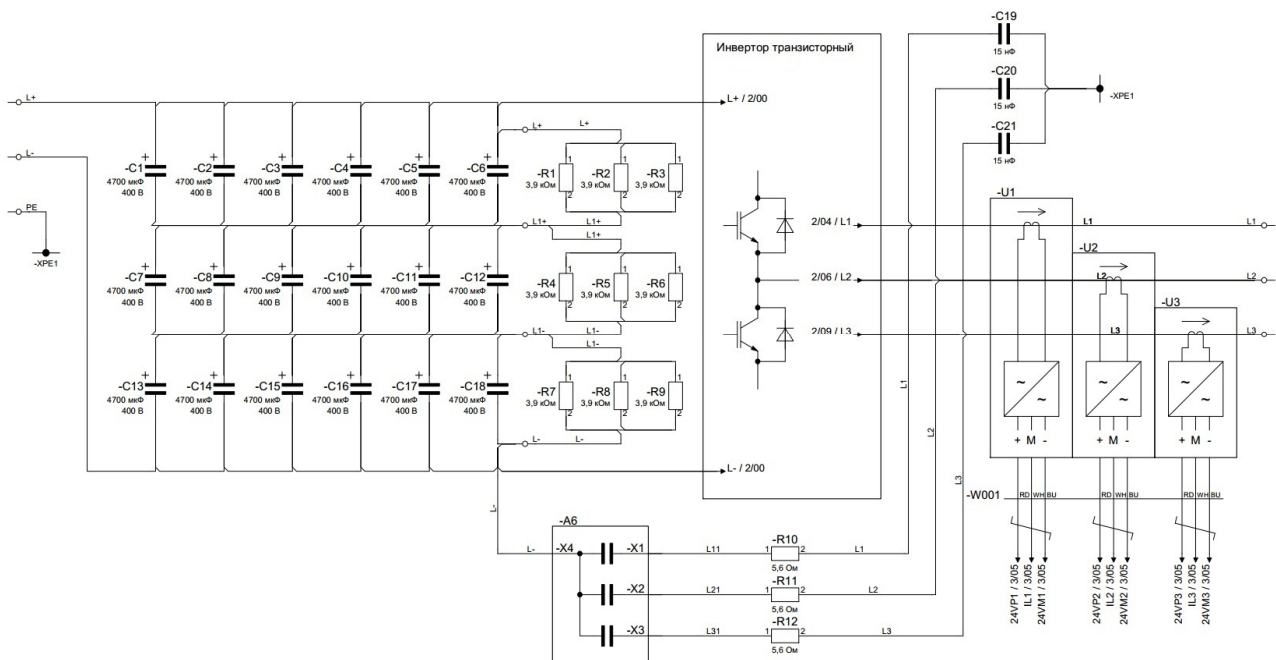


Рис. 2. Схема инверторного модуля

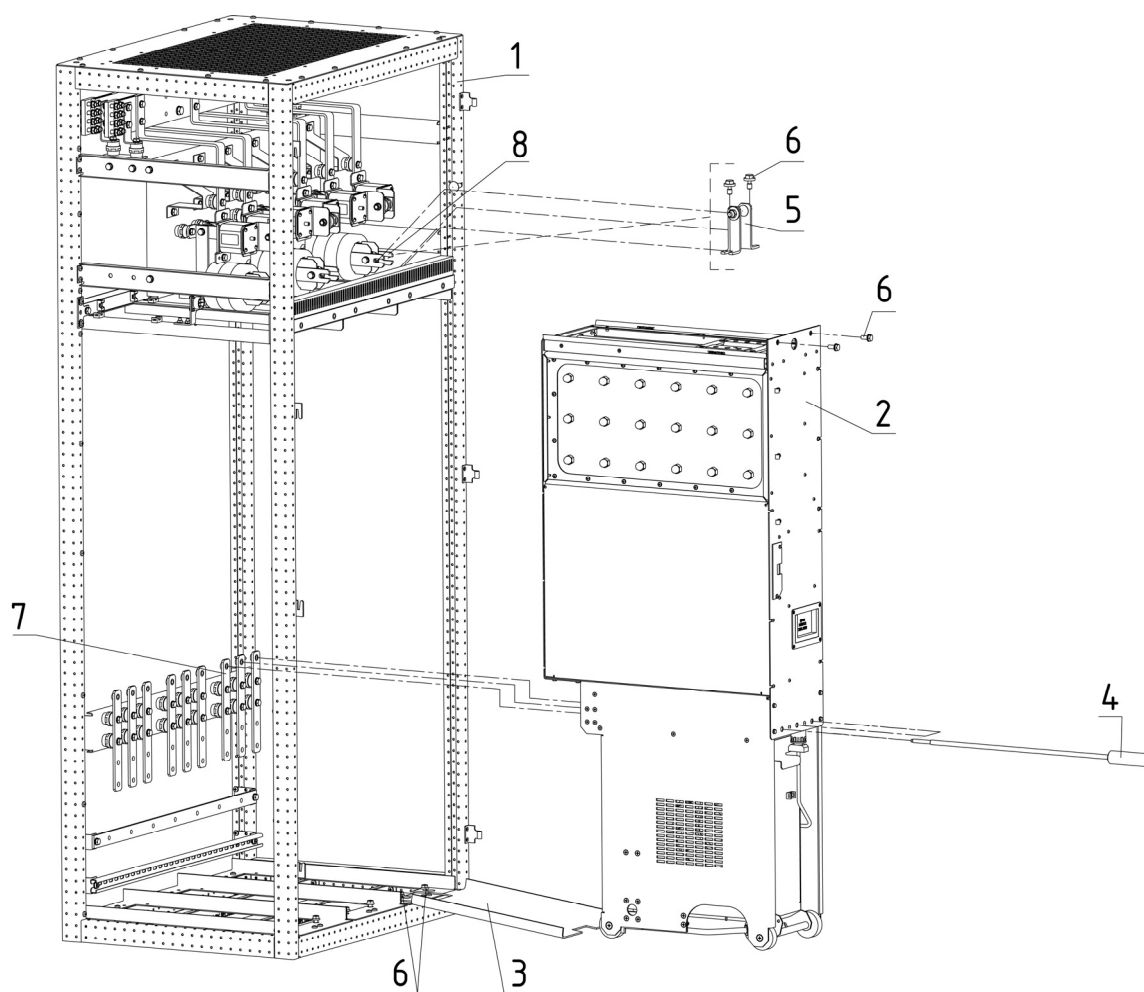


Рис. 3. Схема установки модуля в шкаф: 1 – шкаф; 2 – модуль; 3 – пандус; 4 – спецключ; 5 – соединительные перемычки; 6 – крепежные болты; 7 – клеммы переменного тока; 8 – шины постоянного тока

Основные технические характеристики модулей

Наименование	Значение	
	Выпрямитель	Инвертор
Номинальный выходной ток, А	1000	450
Номинальное выходное напряжение, В	950	690
Допустимое длительное отклонение питающего напряжения, %	±10	
Номинальная частота питающего напряжения, Гц	50	
Вид охлаждения	Воздушное принудительное	
Вид климатического исполнения	УХЛ4	
Габаритные размеры, мм:		
– высота;	1525;	1397;
– ширина;	232;	240;
– глубина	440	587
Масса, кг	160	130

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На текущий момент поставленная задача разработки отечественного преобразователя частоты находится на этапе подготовки комплекта конструкторской документации, и изготовления опытных образцов силовых модулей и конструктивов для их размещения. В ближайшее

время планируется проведение их испытаний в условиях опытно-промышленной эксплуатации.

На следующем этапе запланировано создание оборудования для проведения полного цикла приемосдаточных испытаний, включая и проверку работы модулей под номинальным током и номинальным напряжением. Это позволит гарантировать высокое качество выпускаемой продукции.

Библиографический список

1. Бородацкий Е.Г., Кривовяз В.К. Выпрямительные полупроводниковые секции для автоматизированных электроприводов // Изв. Тул. гос. ун-та. Технические науки. Вып. 3. Ч. 2. Тула: Изд-во ТулГУ, 2010.
2. Бородацкий Е., Васильев П., Кривовяз В. Частотно-управляемый электропривод передвижения самоходного грузового вагона // Силовая электроника. 2011. № 5.
3. Полупроводниковые преобразователи для современных энергоэффективных технологий / В.К. Кривовяз, Е.Г. Бородацкий, С.И. Шилин [и др.] // Энергетика. Энергосбережение. Экология: материалы конф., июль 2012. Тула, 2012.
4. Бородацкий Е.Г., Кривовяз В.К., Елфимов Е.И. Диодные выпрямительные блоки в модульном исполнении для частотно-управляемого электропривода // Электроприводы переменного тока: тр. 16-й Междунар. науч.-техн. конф. УрФУ им. первого Президента России Б.Н. Ельцина. Екатеринбург, 2015.