

Разработка трехфазного мостового инвертора

для питания тяговых асинхронных электродвигателей электровозов постоянного тока

Применение на электроподвижном составе тяговых асинхронных двигателей взамен коллекторных позволяет увеличить мощность электроподвижного состава и его силу тяги, снизить расходы на эксплуатацию, повысить надежность, улучшить использование сцепной массы, повысить энергетические показатели (КПД и коэффициент мощности) за счет применения экономичных способов регулирования мощности преобразователей.

**Владимир Чибиркин
Александр Боок
Владислав Завгородний
Олег Арискин
Георгий Шестоперов**

onr-ev@yandex.ru

ОАО «Электровыпрямитель» является разработчиком и крупнейшим поставщиком силовых полупроводниковых приборов и преобразователей на их основе для комплектации электрооборудования железнодорожного транспорта России и СНГ. Эти приборы и преобразователи в течение уже нескольких десятков лет успешно работают в выпрямительно-инверторных преобразователях магистральных электровозов, выпрямителях различного назначения для тепловозов, путевых машин и карьерных электровозов, в системах электроснабжения вагонов, вспомогательных приводах локомотивов, выпрямителях тяговых подстанций электрифицированных железных дорог и т. д.

В настоящее время создание электроподвижного состава (ЭПС) нового поколения, а также модернизация эксплуатируемых сегодня электровозов и тепловозов тесно связаны с развитием преобразовательной техники, в первую очередь, с разработками и внедрением преобразователей частоты с широтно-импульсным (ШИМ) регулированием для асинхронных двигателей вспомогательных и тяговых приводов ЭПС.

Основными элементами в этих приводах являются силовые полупроводниковые ключи на основе биполярных транзисторов с изолированным затвором (IGBT), способные эффективно управлять сложными режимами работы преобразователей.

В настоящее время для питания асинхронных двигателей от контактных сетей 3 кВ постоянного тока наибольшее распространение получила схема трехуровневого автономного инвертора (рис. 1).

На рис. 1 приведены диаграммы его работы и схемы замещения для разных режимов работы.

Новые возможности в совершенствовании преобразовательных структур тяговых электроприводов перспективных электропоездов с асинхронными тяговыми двигателями открываются с использованием высоковольтных IGBT-модулей. В настоящее время

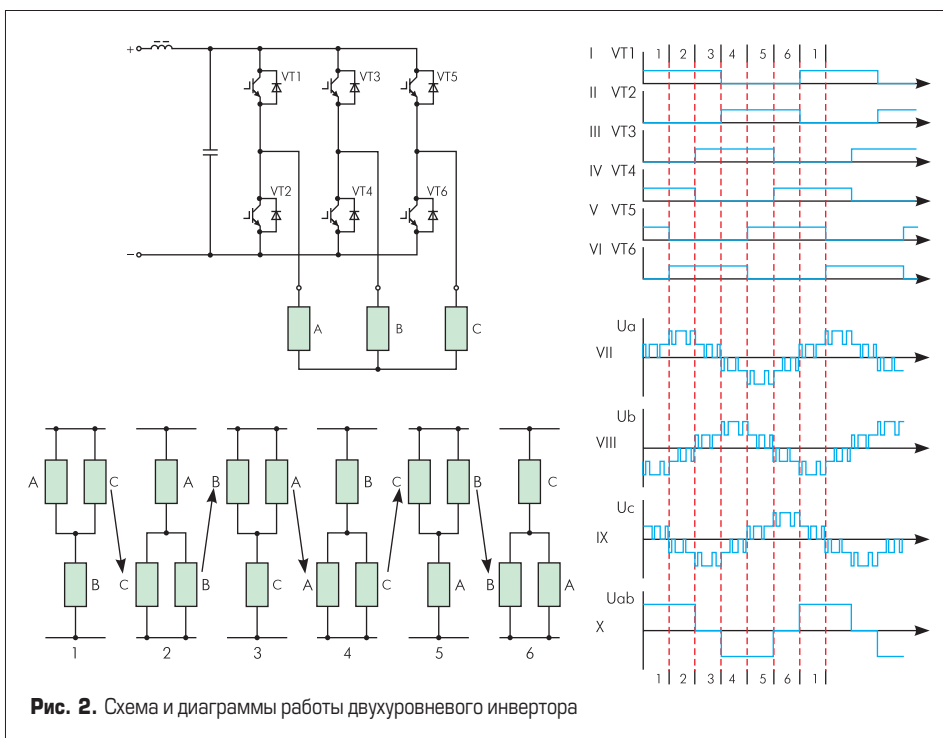
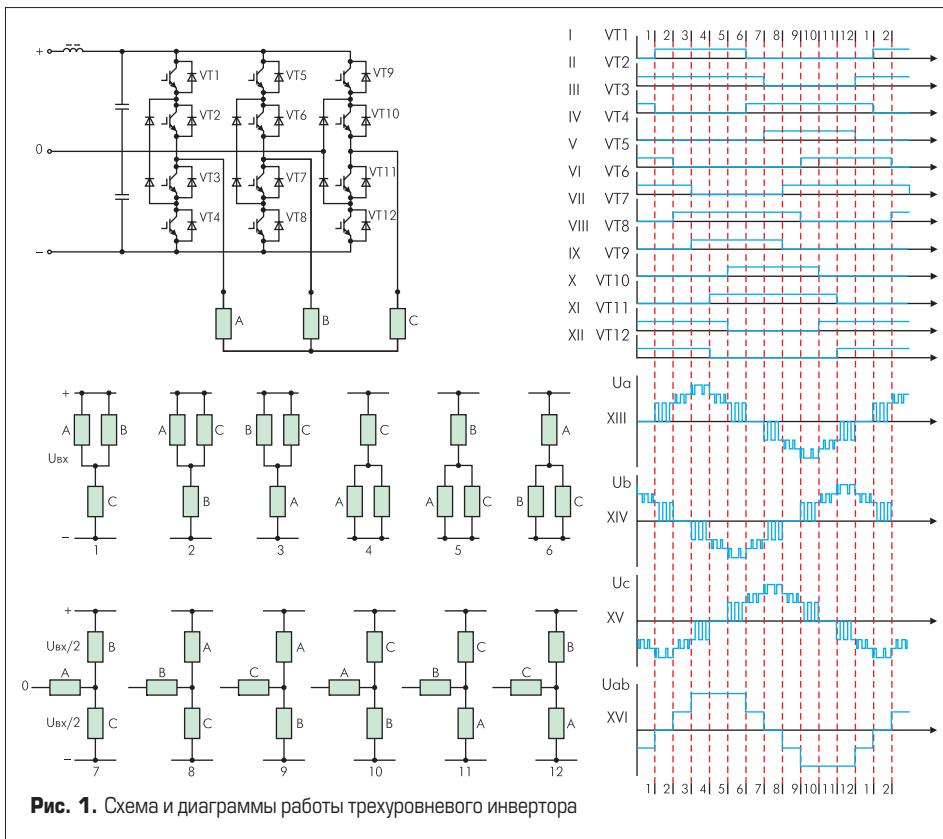
на ОАО «Электровыпрямитель» разрабатывается серия IGBT-модулей 65 класса специального исполнения, предназначенная для эксплуатации при низких отрицательных температурах и в условиях жестких механических воздействий.

Создание высоковольтных IGBT-модулей 65 класса позволяет применить двухуровневые инверторы для контактной сети 3 кВ постоянного тока, что дает возможность значительно упростить силовые схемы преобразователей, снизить затраты на их изготовление и эксплуатацию. Вместе с тем, по сравнению с трехуровневым инвертором, обеспечиваются меньшие массогабаритные показатели, а также повышенная надежность за счет меньшего числа компонентов.

На рис. 2 приведена схема двухуровневого инвертора, диаграммы работы и схемы замещения. Из диаграмм видно, что преобразователь может находиться в шести различных состояниях, что также отражено на схемах замещения. Характерно, что каждое состояние отличается от предыдущего переключением только одной фазы нагрузки в противоположную полярность напряжения.

Схема двухуровневого трехфазного мостового инвертора получается простым объединением по общему источнику входного напряжения трех мостовых однофазных инверторов, в этом случае при соединении фаз трехфазной нагрузки в звезду или в треугольник не требуется наличие средней точки у источника входного напряжения, как показано на схеме.

В режиме 180-градусного управления сигналы на верхний и нижний транзисторы каждого плеча моста поступают в течение полупериода выходного напряжения с соответствующими фазовыми сдвигами для получения трехфазной системы, как показано на первых шести временных диаграммах (ШИМ-регулирование не указано).



На следующих трех диаграммах изображены зависимости фазных напряжений трехфазной нагрузки. Шестиступенчатый характер диаграмм фазных напряжений инвертора свидетельствует о шести различных состояниях силовой схемы инвертора, интервалы существования которых обозначены цифрами от 1 до 6. Шесть схем замещения инвертора, соответствующие этим шести состояниям силовой схемы, также указаны на рис. 2.

В первом состоянии включены транзисторы VT1, VT4 и VT5. Фазы A и C нагрузки подключены к положительной шине контактной сети, а фаза B нагрузки подключена к отрицательной шине контактной сети. При одина-

ковых сопротивлениях фаз нагрузки на две параллельно соединенные фазы A и C будет приложена в положительном направлении треть напряжения источника, а на последовательно соединенную с ними фазу B — две трети напряжения источника питания отрицательной полярности, что отражено соответствующей величиной ступеней фазных напряжений инвертора на первом интервале диаграммы. Аналогично по схемам замещения определяются величины ступеней в фазных напряжениях инвертора и на всех остальных интервалах.

По построенным фазным напряжениям легко определить и межфазное (линейное) напря-

жение, как это показано для линейного напряжения U_{ab} на последней диаграмме.

Большой научный и практический потенциал, накопленный ОАО «Электровыпрямитель» в области разработки преобразовательной техники для железнодорожного транспорта, позволяет спроектировать преобразователь, состоящий из двух трехфазных двухуровневых мостовых инверторов мощностью 1200 кВт на IGBT-модулях 65 класса и одного блока тормозных ключей, с собственной системой управления и охлаждения.

В настоящее время прорабатываются различные варианты реализации алгоритмов управления преобразователем, произведены расчеты режимов работы и мощности потерь в преобразователе.

Разработана конструкция преобразователя с воздушным принудительным охлаждением, которая представлена на рис. 3.



Основные проблемы, возникающие при проектировании преобразователя:

1. Отведение тепла. Рассматривается эффективность и надежность систем жидкостного и воздушного охлаждения.
2. Разработка входного LC-фильтра, обеспечивающего ограничения пульсаций напряжения до требуемого уровня. Из-за жестких требований к электромагнитной совместимости, приводящих к увеличению значения LC, возникают определенные трудности при размещении фильтра.
3. Задача, связанная с поиском снабберных конденсаторов, работающих при температурах до -50°C , с напряжением изоляции не менее 9,5 кВ.
4. Вентиляционное оборудование для охлаждения преобразователя. Выпускаемые промышленностью вентиляторы имеют нижнюю рабочую температуру не ниже -40°C .
5. Дальнейшее снижение массогабаритных показателей, а также снижение стоимости преобразователя за счет использования меньшего количества ключей, которое станет возможным при разработке IGBT-модулей с меньшими динамическими потерями.

В настоящее время изготавливается макет инвертора мощностью 400 кВт, на котором планируется проведение испытаний и отладочных работ.