

Силовая электроника на российских железных дорогах

А. Долгушин¹, Д. Жикленков², В. Мелешин³

УДК 621.38 | ВАК 05.27.01

Силовая электроника (СЭ) – бурно развивающееся научно-техническое направление. СЭ широко используется в быту, например, в системах организации освещения в помещениях, сенсорных регуляторах, управлении светодиодами, сварочном оборудовании. Широко используются последние достижения СЭ и в электромобилях, которые в скором времени начнут эксплуатировать и в России. Важно применение СЭ и в альтернативных системах электроснабжения, прокладывающих дорогу «зеленой» энергетике. Транспорт – еще одна область, где СЭ занимает ведущие позиции.

В статье рассматривается применение СЭ на железных дорогах России, при этом авторы не претендуют на всестороннее освещение данной темы, а делятся своим опытом разработки устройств, востребованных на российских локомотивах.

Какие особенности нужно учитывать при разработке преобразовательной техники на железнодорожном транспорте? Прежде всего, предельно сложные условия работы этих преобразователей – окружающая температура от –60 до 60 °С, жесткие требования по механическим воздействиям, часто требуется разработка устройств с минимально возможными массой и объемом, что определяется спецификой размещения устройств на подвижных объектах. Кроме того, существуют требования по электромагнитной совместимости, их выполнение связано с подавлением дифференциальной и синхронной составляющих помех, что требует введения дополнительных элементов в устройства.

Начнем говорить об устройствах СЭ с «маленькой, но гордой птички» – так назовем вспомогательный преобразователь (Auxiliary Converter, AuC), который выполняет на борту несколько важных функций, а его надежность определяет надежность всего локомотива. В функции AuC входят охлаждение тяговых двигателей, обеспечение работы компрессора тормозной системы, создание канала электропитания для бортовой аппаратуры и электроники. Из этого следует, что AuC является весьма ответственным узлом, что требует его дублирования для повышения надежности.

Если говорить о выходной мощности AuC, то она не так уж и мала – 100, 200 кВт или больше, в зависимости от назначения локомотива.

Контактная российская сеть 3 кВ DC может создавать по стандарту напряжение в пределах от 2,2 до 4 кВ, а на практике напряжение может кратковременно даже выходить



Рис. 1. Преобразователь AuC с выходной мощностью 100 кВт

¹ ООО «Электро СИ», инженер-программист.

² ООО «Электро СИ», технический директор.

³ ООО «Электро СИ», руководитель группы новых разработок.

за эти пределы. Поэтому AuC снабжается комплексом необходимых защитных мер по входному и выходному напряжениям, а также по входному току.

Внешний вид AuC с выходной мощностью 100 кВт представлен на рис. 1. Для обеспечения надежной работы таких шкафов в локомотиве их устанавливается два. По техническим условиям выходные цепи AuC должны быть гальванически развязаны от контактной сети, поэтому требуется применять трансформатор на полную выходную мощность. При выходном напряжении трансформатора около 600 В (такое напряжение требуется для работы выходных инверторов AuC) и напряжении на первичной обмотке 2100 В, а также с учетом выбранной повышенной частоты его работы (несколько килогерц) такой трансформатор оказывается очень дорогостоящим, что, соответственно, сказывается на конечной цене и всего AuC.

Выходные устройства AuC – трехфазные инверторы, один из которых предназначен для организации электропитания цепей управления локомотива. Такое электропитание создается в отдельном устройстве – шкафу питания (ШП, рис. 2). Входное трехфазное напряжение ШП преобразуется в выходное стабилизированное напряжение 110 В DC и канал подзаряда бортовой аккумуляторной батареи; последнее является чрезвычайно



Рис. 2. Шкаф питания

Надежные тестовые решения требуют лучших технологий

- РАЗРАБОТКА**
Получайте полностью работоспособные опытные образцы
- ПРОИЗВОДСТВО**
Сделайте производственную линию совершенной с технологиями JTAG
- СЕРВИСНОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ И РЕМОНТ**
Ремонтируйте цифровые платы даже при отсутствии CAD-данных на них

JTAG₂₅ We are boundary-scan.[®]

www.jtag.com • www.jtaglive.com • ☎ +7 812 602 09 15 • ✉ russla@jtag.com



Рис. 3. Трехфазный инвертор для кондиционера

важным для работы всей электросистемы, подзаряд осуществляется согласно графику зависимости напряжения подзаряда от температуры батареи в соответствии с техническими условиями на нее. В состав электрооборудования должен входить кондиционер, работу которого обеспечивает трехфазный инвертор (рис. 3). Инвертор питается от бортовой батареи, его входное напряжение – 110 В DC. Кроме того, используется однофазный инвертор (рис. 4) для работы СВЧ-печи, необходимой для локомотивной бригады.

Обязательными компонентами бортового электрооборудования являются источники электропитания с выходной мощностью 100, 200 и 400 Вт. Такие источники (рис. 5), работая от бортовой сети 110 В DC, обеспечивают требуемые выходные напряжения. Они могут работать параллельно, создавая увеличение мощности на выходе, допускают длительную перегрузку или короткое замыкание на выходе с восстановлением нормальной работы после снятия перегрузки.

В настоящее время становится необходимостью внедрение новейших методов цифрового регулирования и обработки сигналов в различные преобразовательные устройства и системы. В отличие от аналогового управления, теперь разброс параметров отдельных компонентов не имеет значения, что положительно



Рис. 4. Однофазный инвертор



Рис. 5. Преобразователь с выходной мощностью 300 Вт

отражается на повторяемости требуемых характеристик отдельных узлов. Отказ от аналогового управления дает возможность унифицировать набор компонентов и комплектующих, а разработчик сам решает в какой конфигурации их использовать, в зависимости от поставленных задач.

Появляющаяся необходимость в объединении электросистем и цифровом взаимодействии их друг с другом приводит к потребности в использовании протоколов не только физического и канального уровня (таких как CAN), но также сетевого и протоколов высших уровней (например, стек протоколов TCP/IP).

Указанные возможности ведут также к созданию макросистем интеллектуального обеспечения электроэнергией городов и поселков типа Smart Grid, которые широко распространены в некоторых регионах мира.

Следует сказать, что конкурентность изделий на российском рынке электрооборудования для локомотивов и вагонов определяется в первую очередь их надежностью и, во-вторых, их ценой. Ухудшение хотя бы одного из этих показателей обязательно отразится на востребованности изделий железной дорогой. Иногда заказчика далеко не в первую очередь будут интересовать продвинутость того или иного изделия с точки зрения совершенства его дизайна и места этого дизайна в тренде наилучших современных решений. Только стоимость изделия и его надежность являются самыми главными критериями для РЖД как заказчика.

В заключение авторы выражают благодарность Геннадию Леонидовичу Коваленко, руководителю группы ООО «Электро СИ», за создание сложных и дорогостоящих стендов, обеспечивающих требуемые режимы испытаний разрабатываемого оборудования.