

ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ДЛЯ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПАССАЖИРСКИХ ВАГОНОВ

Бурдасов Б. К., Нестеров С. А.
ОАО «Конвертор», г. Саранск,
ГОУВПО «Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарева», г. Саранск,
тел. (8342) 29-06-05, E-mail: nesterov@mrsu.ru

Аннотация. В статье приведен обзор существующих систем электроснабжения пассажирских вагонов. Рассматриваются достоинства и недостатки различных систем. Подробно описан преобразователь М-ПТЕ-22-У1 для автономной системы электроснабжения с подвагонным генератором и преобразователь БЭВ для централизованной высоковольтной системы электроснабжения с питанием от межвагонной сети.

Ключевые слова: железнодорожный транспорт, пассажирский вагон, электроснабжение, блок электроснабжения ПТЕ-22-У1, блок электроснабжения БЭВ, IGBT транзистор, аккумуляторная батарея.

В настоящее время существуют четыре основные системы электроснабжения, отличающиеся типом источника питания и способом подачи электроэнергии на вагон.

- автономная
- смешанная
- централизованная автономная
- централизованная высоковольтная

Рассмотрим основные характеристики и исполнение систем.

Автономная система распределения смонтирована на распределительном щите в служебном купе проводника. На вагонах с автономной системой электроснабжения имеется полный комплект устройств, необходимых для работы:

- источник питания
- потребители
- система распределения энергии.

Источник питания предназначен для получения электрической энергии. На пассажирском вагоне имеется минимум два источника питания:

- аккумуляторная батарея
- генератор

При движении вагона питание потребителей производится от генератора, в этом режиме осуществляется и зарядка аккумуляторной батареи. Вал генератора приводится во вращение с помощью механической передачи, которая называется приводом генератора. У большинства пассажирских вагонов генератор начинает работать на скорости около 35 км/ч. Если скорость движения меньше, то питание осуществляется от аккумуляторной батареи. В качестве генераторов используют следующие виды электрических машин:

- генераторы постоянного тока (на более старых вагонах);
- синхронные генераторы переменного тока.

Мощность любого генератора составляет примерно: 8–12 киловатт на вагонах без кондиционера и 32 киловатта на вагонах с кондиционером (приводом генератора служит редуктор от средней части оси колесной пары). Если скорость движения поезда мала или он не движется, то напряжение на выходе генератора равно нулю. Если поезд движется с высокой скоростью, то напряжение генератора становится выше ЭДС аккумуляторной батареи. При этом ток в аккумуляторной батарее меняет направление, и она становится одним из потребителей (накапливает электрическую энергию). Обратный диод предотвращает разряд аккумулятора через обмотку неработающего генератора, когда поезд не движется.

Генератор переменного тока подключается к аккумуляторной батарее через трёхфазный выпрямитель. Все потребители рассчитаны на постоянный ток, как и в системе с генератором постоянного тока. Переменное трехфазное напряжение, вырабатываемое генератором, выпрямляется трехфазным неуправляемым выпрямителем и образует первичную маги-

страль постоянного напряжения 110В. Напряжение магистрали стабилизируется с помощью регулирования тока возбуждения генератора. К данной магистрали подключается вход статического преобразователя М-ПТЕ-22-У1 (рис.1).

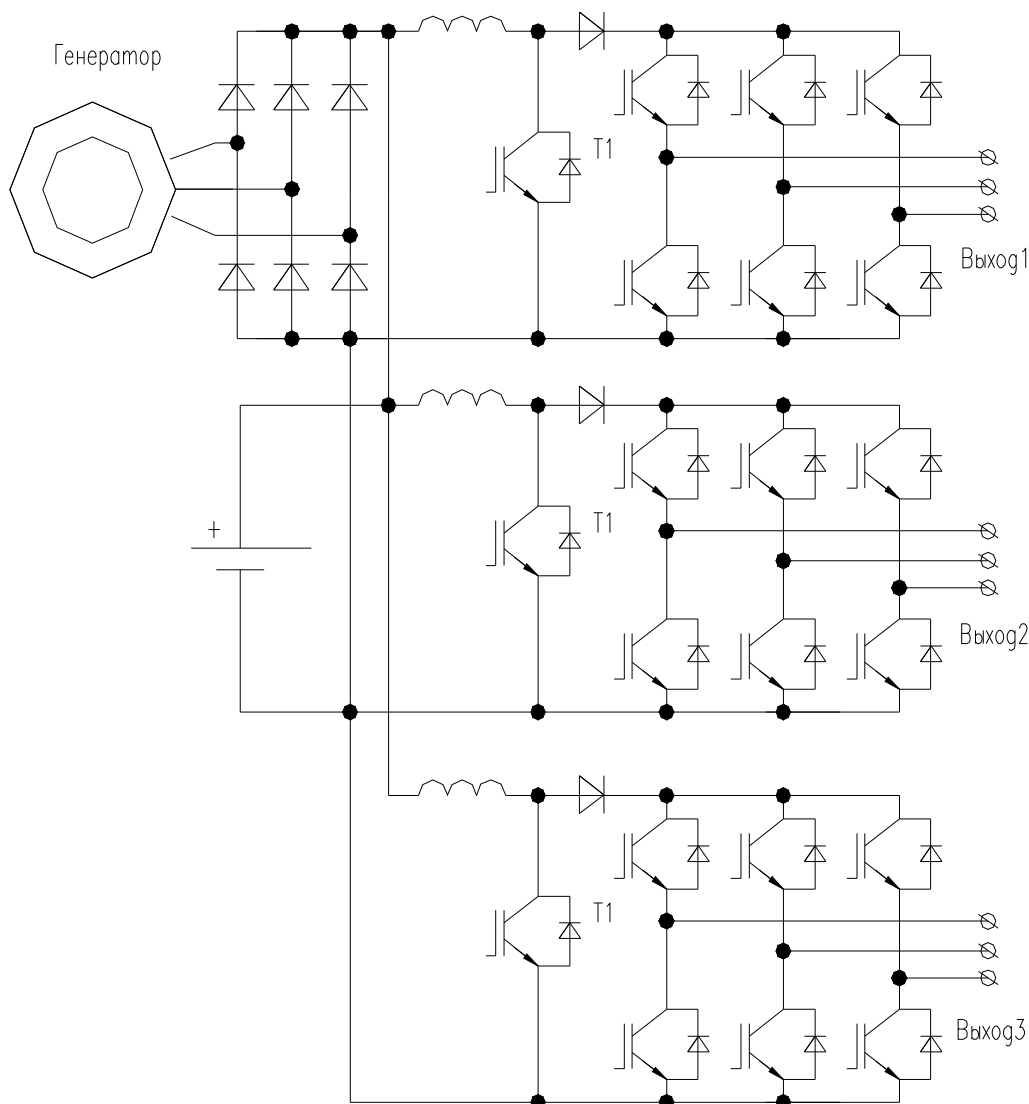


Рис. 1. Преобразователь статический М-ПТЕ-22-У1

Преобразователь М-ПТЕ-22-У1 предназначен для комплектации электрооборудования пассажирских вагонов с автономным электроснабжением и кондиционированием воздуха и служит для обеспечения питанием электродвигателей установки кондиционирования, а именно: электродвигателя компрессора и электродвигателей вентиляторов.

В состав преобразователя входят: комплект из входной коммутационно-защитной аппаратуры, три входных повышающих преобразователя постоянного напряжения, три трехфазных инвертора, три выходных фильтра, выходная защитная аппаратура, аппаратура управления, диагностики и контроля параметров. Повышающие регуляторы каждого канала служат для формирования и стабилизации постоянного напряжения требуемой величины для питания конкретного потребителя вагона. Технические характеристики преобразователя представлены в таблице 1.

Преобразователь имеет блочно-модульную конструкцию с использованием IGBT-транзисторов и микропроцессорной САУ, приспособленной для оценки текущего состояния отдельных элементов с помощью встроенных и внешних диагностических средств.

Таблица 1. Технические характеристики преобразователя М-ПТЕ-22-У1

Входные параметры преобразователя	
Номинальное напряжение постоянного тока, В	110
Диапазон изменения напряжения, В	90–145
Коэффициент пульсации, %, не более	15
Частота пульсации, Гц	300–4000
Выходные параметры преобразователя	
Выход 1 (питание электродвигателя компрессора)	
Линейное напряжение, В (эфф.зн.)	97–308
Число фаз	3
Частота, Гц, с дискретностью 5 Гц	30–70
Коэффициент искажения, %, не более	5
Мощность при работе от генератора, кВ·А	18
Мощность при работе от АКБ, кВ·А	11
Выход 2 (питание электродвигателя приточного вентилятора)	
Линейное напряжение, В	220–242
Число фаз	3
Частота, Гц, с дискретностью 5 Гц	49–51
Коэффициент искажения, %, не более	5
Мощность при работе от генератора, кВ·А	3
Выход 2 (питание электродвигателя приточного вентилятора)	
Линейное напряжение, В	220–242
Число фаз	3
Частота, Гц, с дискретностью 5 Гц	49 - 51
Коэффициент искажения, %, не более	5
Мощность, кВ·А	3

Все оборудование преобразователя размещается в герметичном ящике, который устанавливается в подвагонном пространстве. Габаритные размеры ящика (длина × глубина × высота) — 1900×700×700 мм. Масса не более 400 кг. Преобразователь выполнен с естественным воздушным охлаждением набегающим потоком воздуха при движении вагона. Внешний вид преобразователя показан на рис. 2.



Рис.2 Внешний вид преобразователя М-ПТЕ-22-У1

Главный недостаток автономной системы электроснабжения состоит в том, что она отбирает мощность у тяговых двигателей локомотива, причем отбираемая мощность может достигать 600 кВт и более, что отрицательно сказывается на тяговых и скоростных характеристиках локомотива. При длительных стоянках приходится ограничивать энергопотребле-

ние вагона во избежание глубокого разряда аккумуляторных батарей, в частности, отключать систему кондиционирования.

При **смешанной системе электроснабжения** у пассажирского вагона имеются все те источники питания, что и при автономной. Дополнительно к ним имеется подвагонная высоковольтная магистраль, по которой высокое напряжение (3000 вольт) подаётся от электровоза, если поезд следует по электрифицированному участку. Напряжение 3000 вольт используют только для питания комбинированного отопления вагона. ТЭНы, расположенные в отопительном котле, при подключении к ним напряжения 3000 вольт нагревают теплоноситель (вода или тосол). Теплоноситель циркулирует по отопительным трубам и отапливает вагон.

На вагонах со смешанной системой электроснабжения имеется два рабочих напряжения: низкое (54/110 В) и высокое (3000 В).

Смешанная система электроснабжения имеет те же недостатки, что и автономная. Разница состоит в том, что при движении по электрифицированным участкам дорог нагрузка на электровоз снижается, поскольку отопление вагонов осуществляется от контактной сети.

При **централизованной автономной системе электроснабжения** подвагонные генераторы с приводом от колёсной пары не устанавливаются. На вагонах имеется только аккумуляторная батарея небольшой ёмкости. Для обеспечения электроснабжения вагона и зарядки аккумуляторных батарей в состав поезда включают специальный вагон, не предназначенный для перевозки пассажиров. Этот вагон называют вагон-электростанция. Внутри находятся мощные генераторные установки. Энергии, вырабатываемой этими генераторами, достаточно для питания всех вагонов поезда. Вагоны-электростанции бывают двух типов: мотор-генераторные и дизель-генераторные. Мотор-генераторные электростанции работают в составе скоростного поезда «Аврора». Для подачи электроэнергии от вагона-электростанции к каждому вагону на таких поездах предусматривается подвагонная магистраль с напряжением 380 вольт.

Централизованная автономная система электроснабжения не отбирает мощность локомотива, однако в составе поезда необходимо иметь вагон-электростанцию. Если поезд следует как по электрифицированным, так и по неэлектрифицированным участкам дороги, в качестве вагона-электростанции необходимо использовать дизель-генераторный вагон.

Централизованная высоковольтная система электроснабжения используется на таких поездах, как «Невский экспресс», «Красная стрела» и «Столичный экспресс» (Москва-Киев). При такой системе вместо генератора под вагоном установлен специальный блок электроснабжения (БЭВ), состоящий из нескольких полупроводниковых преобразователей модульного исполнения (рис.3). Питание БЭВ осуществляется от переменного или постоянного напряжения 3000 вольт, поступающего от электровоза. Высокое напряжение от межвагонной сети поступает на шесть последовательно включенных высоковольтных блоков, где напряжение (переменное) выпрямляется с помощью неуправляемого выпрямителя и поступает на импульсный регулятор повышающего типа выполненного на транзисторе $T1$, обеспечивающего стабилизацию напряжения. Далее напряжение поступает на инвертор напряжения выполненного на транзисторах по открытой однофазной схеме. Инвертор преобразует постоянное стабилизированное напряжение в переменное напряжение высокой частоты, порядка 2000 Гц. Далее напряжение трансформируется однофазным трансформатором и выпрямляется с помощью неуправляемого однофазного выпрямителя. Последовательное включение шести высоковольтных блоков позволяет использовать низковольтные транзисторы, наряду с этим применение последовательного соединения позволяет обеспечить высокую живучесть системы, за счет использования принципа $n+2$, т.е. при выходе из строя одной или двух высоковольтных ячеек, транзисторы $T1$ в них полностью открываются и шунтируют входы высоковольтных блоков, выводя их из работы. В этом случае работа может продолжаться на четырех оставшихся ячейках до захода вагона на ремонт или плановое обслуживание. Выходы выпрямительных мостов каждого высоковольтного блока включены параллельно и формируют низковольтную промежуточную сеть постоянного тока напряжением 650 В, гальванически развязанную от межвагонной сети 3000В.

Далее напряжение 650В промежуточной сети преобразуется полупроводниковыми преобразователями в постоянные или переменные напряжения требуемого значения для питания конкретных потребителей вагона.

В отсутствие напряжения в межвагонной сети питание вагона осуществляется от аккумуляторной батареи. При этом обеспечивается питание только двигателей насосов отопления и магниторельсового тормоза нестабилизированным напряжением постоянного тока непосредственно от аккумуляторной батареи (выход 3), а также цепи управления и освещения стабилизированным напряжением постоянного тока 110В через преобразователь (выход 4). Остальные цепи обесточиваются.

Технические характеристики преобразователя и типы потребителей представлены в таблице 2.

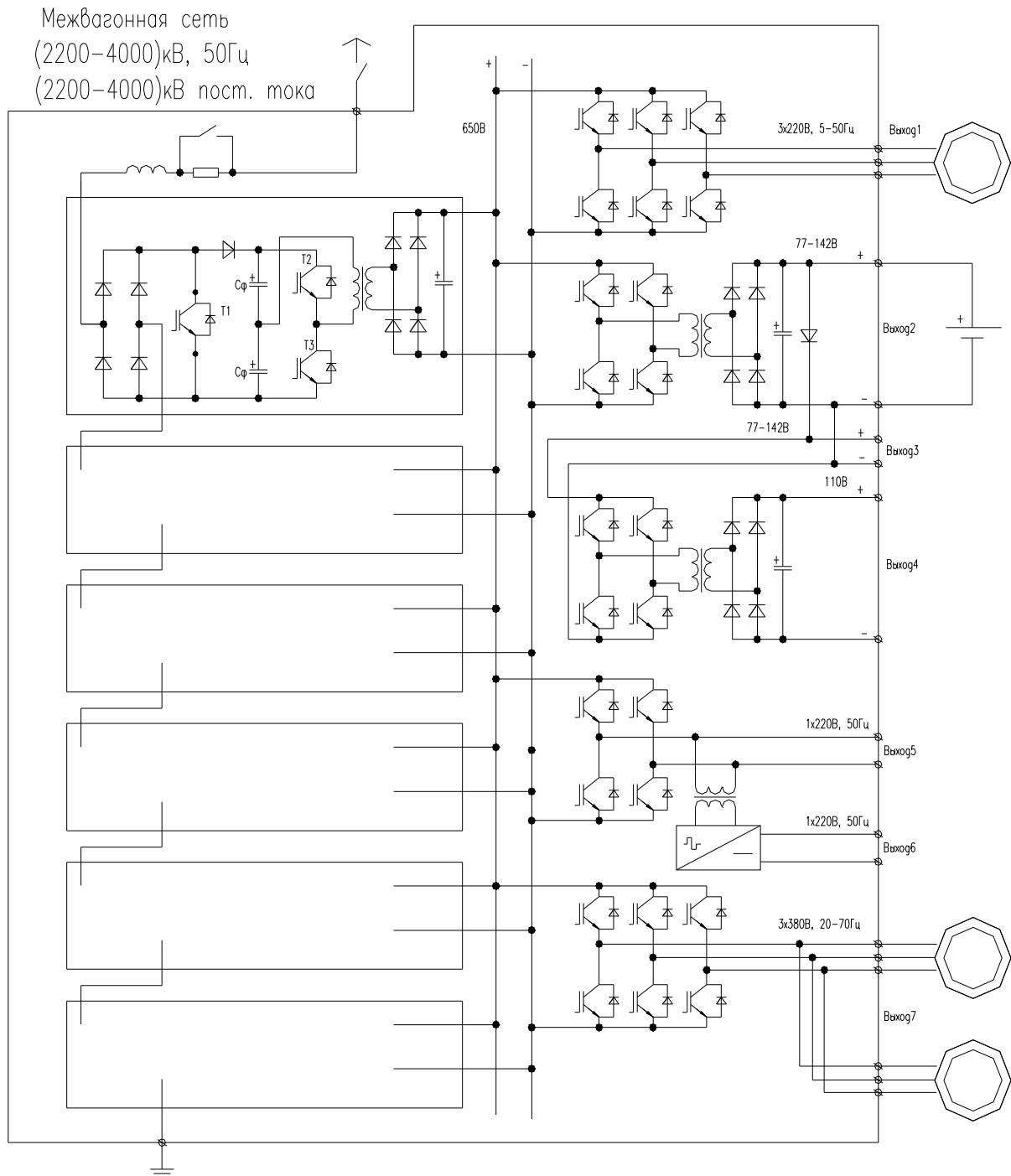


Рис. 3. Преобразователь статический БЭВ

Все оборудование преобразователя размещается в герметичном ящике, который устанавливается в подвагонном пространстве. Габаритные размеры ящика (длина × глубина × высота): 1900×2000×700 мм. Масса, не более 700 кг (Рис.4). Преобразователь имеет блочно-модульную конструкцию с использованием IGBT-транзисторов и микропроцессорной САУ, приспособленной для оценки текущего состояния отдельных элементов с помощью встроенных и внешних диагностических средств. Преобразователь выполнен с принудительным воздушным охлаждением.

Таблица 2. Технические характеристики преобразователя БЭВ

Входные параметры преобразователя	
Номинальное напряжение постоянного тока, В	3000
Номинальное напряжение переменного тока, В (эфф.зн.)	3000
Диапазон изменения напряжения, В	2200–4000
Число фаз	1
Частота, Гц	50
Выходные параметры преобразователя	
Выход 1 (двигатель приточного вентилятора)	
Линейное напряжение, В (эфф.зн.)	220
Число фаз	3
Частота, Гц, с дискретностью 5 Гц	5–50
Выходная мощность, кВт·А	2,2
Выход 2 (заряд аккумулятора)	
Постоянное напряжение, В	77–142
Выходная мощность, кВт	5,7
Выход 3 (двигатели насосов отопления, магниторельсовый тормоз)	
Постоянное напряжение, В	77–142
Выходная мощность, кВт	9
Выход 4 (цепи управления, освещение)	
Постоянное напряжение, В	110
Выходная мощность, кВт	1
Выход 5 (духовой шкаф, подогреватели воды)	
Линейное напряжение, В	220
Число фаз	1
Частота, Гц	49–51
Выходная мощность, кВт·А	12
Выход 6 (розетки вагона 220В, 50Гц)	
Линейное синусоидальное напряжение, В	220
Число фаз	1
Частота, Гц	49–51
Коэффициент искажения, %, не более	5
Выходная мощность, кВт·А	1,5
Выход 7 (двигатель компрессора и вентилятора конденсатора кондиционера)	
Линейное напряжение, В	94–308
Число фаз	3
Частота, Гц, с дискретностью 5 Гц	20–70
Выходная мощность, кВт·А	20

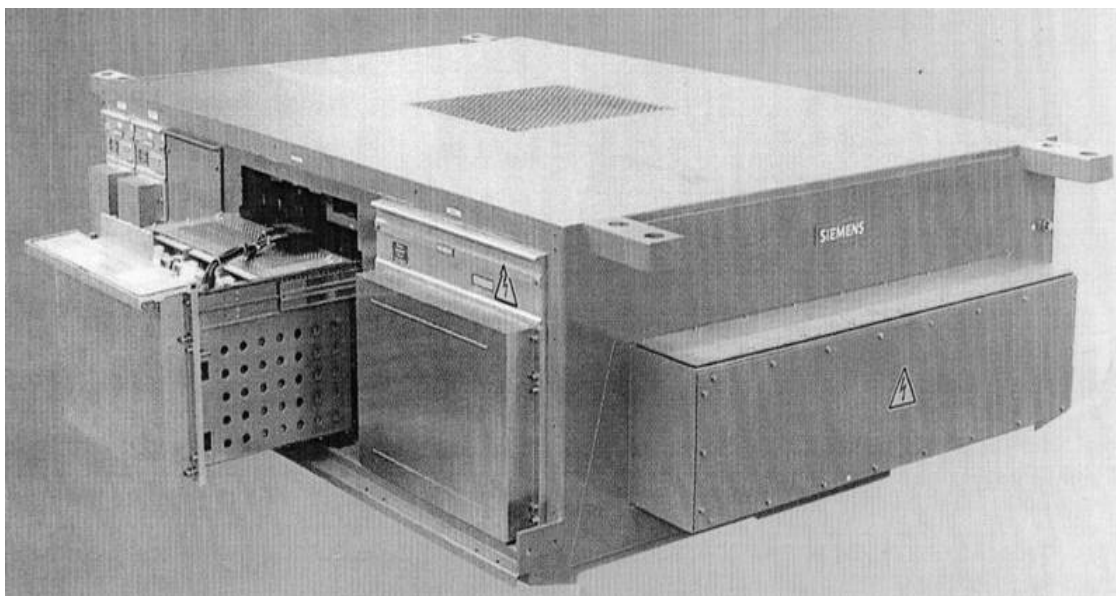


Рис.4 Внешний вид преобразователя БЭВ

Централизованная высоковольтная система электроснабжения пассажирских вагонов является наиболее совершенной в силу тех преимуществ, что она не отбирает мощность у тяговых двигателей электровоза, не требует применения подвагонных генераторов, а также вагонов-электростанций. Подобная система нашла применение в самом современном скоростном поезде «Сапсан», эксплуатация которого началась в 2010 году. Вагоны с такой системой электроснабжения могут использоваться не только на электрифицированных железных дорогах, но и на неэлектрифицированных участках при тепловозной тяге. Для обеспечения питания пассажирских вагонов используется специальный генератор, устанавливаемый на тепловозе.

Литература

1. **Корольков В. А.** Выбор параметров статических преобразователей пассажирских вагонов : дис. ... канд. техн. наук / Корольков Владимир Анатольевич – М., 2003. — 184 с.
2. Комплекс электроснабжения пассажирского вагона : пат. 2168435 Рос. Федерация, МПК⁷ B61L1/12, H02J7/16 / Григорьев Э. Н., Березинский Л. П., Назаров Е. И. ; заявитель и патентообладатель ТОО «Научно-производственный центр "ЭКСПРЕСС"». – № 98101839/28 ; заявл. 02.02.98 ; опубл. 10.06.01, Бюл. № 16. (I ч.). — 4 с. : ил.
3. **Гомола Г. Г., Татарников В. А.** Основные результаты испытаний электрооборудования пассажирского вагона 61-4170 / Г. Г. Гомола, В. А. Татарников // Электрическая тяга на рубеже веков: сб. науч. тр. ВНИИЖТ / Под ред. А. Л. Лисицына. — М.: Интекст, 2000.— 256 с.