

Пути модернизации

автономных транспортных электротехнических комплексов с тяговой электротрансмиссией

В статье предлагаются пути модернизации и разработки высокоэффективных структурных и схмотехнических решений для сокращения сроков и повышения качества проектирования и поэтапного создания перспективных автономных транспортных электротехнических комплексов с тяговой электротрансмиссией на примере дизель-поезда.

**Станислав Резников,
д. т. н.
Денис Чуев,
к. т. н.
Александр Савенков**

beketova@pr.spetsremont.ru

Автономные транспортные электротехнические комплексы (АТЭК) с тяговой электротрансмиссией широко применяются на многих видах транспорта: железнодорожных тепловозах и дизель-поездах, судах, дизель-электромобилях (автобусах, военных, строительных, дорожных, сельскохозяйственных машинах и др.). Транспортно-тяговая электротрансмиссия имеет относительно большие значения мощностей и высокие требования по надежности, массе, стоимости и эксплуатационной экономичности.

В последнее десятилетие появилась насущная необходимость коррекции и коренного пересмотра не только основных силовых схмотехнических решений, но и структур и алгоритмов систем управления. Данная потребность вызвана бурным развитием устройств энергетической и информационной электроники, а также повышением требований к АТЭК. Особенно наглядно это проявляется на примере ТЭК с электротрансмиссией, применяемых на тепловозах и дизель-поездах российских железных дорог, где до сих пор серийно используются лишь контактно-резистивные пуско-тормозные тяговые устройства и электромашинные преобразователи.

Помимо объективных причин, связанных с климатическими и экономическими трудностями в России, следует назвать и общемировой недостаток теоретических исследований и опытно-конструкторских работ в области железнодорожных АТЭК.

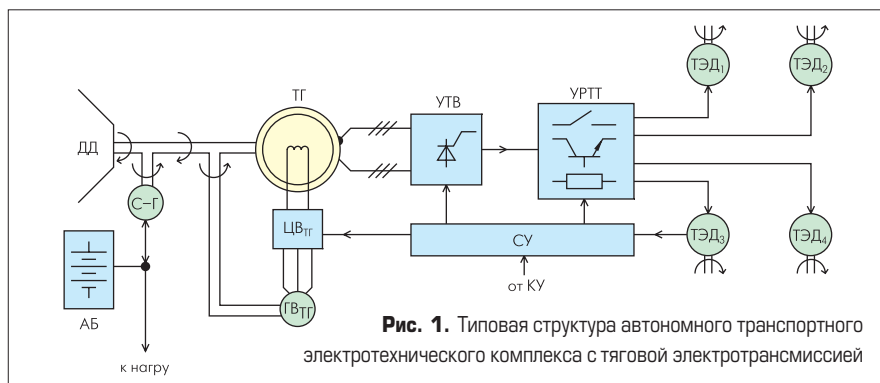


Рис. 1. Типовая структура автономного транспортного электротехнического комплекса с тяговой электротрансмиссией

Материал, предложенный в этой статье, способствует решению проблемы создания перспективных ТЭК с тяговой электротрансмиссией, в частности дизель-поездов и тепловозов нового поколения. Основные результаты могут быть успешно обобщены и использованы для аналогичных видов АТЭК с тяговой электротрансмиссией.

На примере тепловоза, представленного на рис. 1, показана типовая структура автономного транспортного электротехнического комплекса (АТЭК) с тяговой электротрансмиссией [1]. Элементами схемы являются:

- ДД — дизельный двигатель;
- АБ — аккумуляторная батарея;
- С-Г — стартер-генератор;
- ТГ — тяговый генератор;
- ЦВТГ — цепь возбуждения ТГ;
- ГВТГ — вспомогательный генератор возбуждения ТГ;
- УТВ — управляемый тяговый выпрямитель;
- УРТТ — устройства регулирования тяги и торможения (контакты, электронные ключи, резисторы);
- ТЭД₁₋₄ — тяговые электродвигатели;
- СУ — система управления;
- КУ — командные устройства.

В качестве более конкретного примера выберем структуру АТЭК типового дизель-поезда, состоящего из двух идентичных пар, каждая из которых содержит головной вагон с дизельным двигателем и полумоторный вагон с одной тяговой двухосной тележкой (с двумя двигателями). Между указанными парами может подсоединяться прицепной вагон.

На рис. 2 показана исходная схема контактно-резисторного устройства регулирования тяги и торможения типового дизель-поезда. На схеме обозначены: ТВ — неуправляемый тяговый выпрямитель, ЯО_{1,2} и ОВ_{1,2} — якорные обмотки и обмотки возбуждения тяговых электродвигателей, R_{Т1,2} — тормозные резисторы, R_{ш1,2} — шунтовые резисторы для ослабления возбуждения, R_Б — балластный резистор в цепи независимого возбуждения, P_{1,2} — реверсоры, П_{1,2,3}, ТШ, ВШ, Т — высоковольтные контакторы постоянного тока (индивидуальные и групповые).

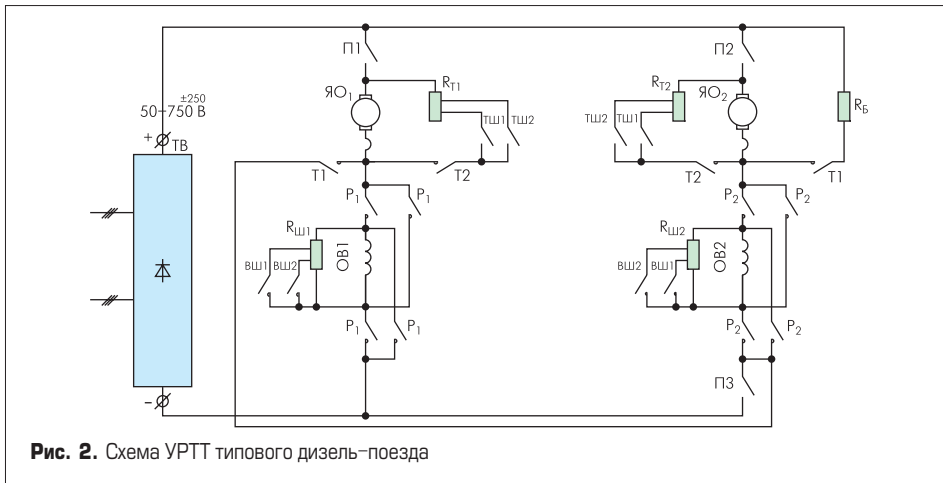


Рис. 2. Схема УРТТ типовой дизель-поезда

Режим тяги осуществляется при включенных $\Pi_{1,2,3}$ от регулируемого по возбуждению ТТ по двум параллельным идентичным цепям (+ТВ- $\Pi_{1(2)}$ -ЯО $_{1(2)}$ -Р $_{1(2)}$ -ОБ $_{1(2)}$ -Р $_{1(2)}$) с дальнейшим ослаблением поля возбуждения с помощью $R_{ш1}$ - $V_{ш1,2}$. В режиме реостатного (динамического) торможения $\Pi_{1,2,3}$ выключаются, а тормозные контакторы Т включаются. Обмотки ОЯ $_{1,2}$ подключаются к $R_{т1,2}$, а ток обмоток возбуждения регулируется от ТТ по цепи ТВ-Р $_Б$ -Т $_{1,2}$ -ОБ $_{2}$ -Р $_2$ -Т $_1$ -Р $_1$ -ОБ $_1$ -Р $_1$ (ОБ $_1$ и ОБ $_2$ соединяются последовательно).

К недостаткам исходного варианта (рис. 2) относятся:

1. На моторные вагоны приходится: 30 контакторов постоянного тока и 4 реверсора (низкая надежность, частое ремонтное обслуживание); при этом можно уменьшить их число до 14–16.
2. Для бездуговых перекоммутаций необходимо полное развозбуждение тягового генератора (через шунтирующие вращающиеся диоды), а после перекоммутации — вновь возбуждение (с существенно большей постоянной времени).
3. При экстренных размыканиях контакторов в их дугогасительных камерах выделяется большая часть энергии обмотки возбуждения

$$\left((1 \div 2) \times \frac{L_{OB} \times I_{max}^2}{2} \approx \right. \\ \left. \approx (1 \div 2) \times 60 \times 10^{-3} \times 400^2 \approx 10 \div 20 \text{ кДж}, \right.$$

а кроме того, обычная энергия питания

$$(U_{пит} \times \frac{I_{max}}{2} \times \Delta t_{гашения}).$$

4. Заземлять наглухо провод -750 В нельзя, так как при этом в случае пробоя зажима двигателя +750 В его якорь и щеточно-коллекторный узел свариваются сверхтоком по цепи $R_{ш(ов)}$. Незаземление опасно появлением высокого потенциала (до 1000 В) на корпусе, то есть нарушением техники безопасности для пассажирских вагонов.
5. Даже при допустимых отклонениях в величинах ($R_{я0} + R_{об}$) в $\pm(4 \div 5)\%$ (а это только при комнатной температуре) отклонения в пусковом моменте, пропорциональном I^2 , будут $\Delta M_{отн} = 21\%$, а с учетом различий в температурах двигателей к этому моменту — существенно выше.

Поэтому вероятность срыва одной колесной пары данной тележки в боксование очень велика, особенно при полупустом вагоне. Таков главный недостаток параллельной работы двигателей, который не следует путать с достоинством: автостабилизацией скорости боксующей пары при относительно небольшом ее приросте. Подобный срыв можно парировать только торможением (например, шунтированием якоря), а на это нужно время — и немалое.

6. Для обеспечения регулирования независимого возбуждения при начальном торможении (с напряжением на ОБ ниже 50–60 В) необходимо использовать балластный резистор R_B с мощностью не менее 30–40 кВт. Иначе возможно «опрокидывание» потока из-за реакции якоря.
7. Повышенные пульсации напряжения на обмотках возбуждения двигателей (потери в стали на частоте 600 Гц).
8. Низкий коэффициент использования установленной мощности генератора и выпрямителя (угол проводимости диодов), а следовательно — малая перегрузочная способность.

На рис. 3а приведена альтернативная схема АТЭК дизель-поезда с контактно-резисторным УРТТ. В ней сохранено параллельное включение двигателей в режиме тяги и последовательное соединение ОБ $_1$ и ОБ $_2$ в режиме реостатного торможения. Число контакторов постоянного тока сокращено с 30 до 14 на четыре двигателя, а балластный резистор R_B ис-

ключен. Однако при этом введены трансформатор и управляемый выпрямитель возбуждения (ТВ и УВ $_Б$), быстродействующие вакуумные выключатели переменного тока (БВВ $_{1-4}$), фильтр (L_Φ - C_Φ) и развязывающие диоды ($VD_{Я1,2}$, $VD_{ТВ}$, $VD_{Б1,2}$, $VD_{ш1,2}$). Катод ТВ заземляется с помощью ЗУ.

Бездуговая перекоммутация контакторов не требует развозбуждения ТТ, а производится после быстрого выключения БВВ. При экстренных размыканиях контакторов токи обмоток возбуждения замыкаются по цепям $VD_{Б1,2}$. Несмотря на заземление схемы в случае пробоя зажима двигателя +750 В, его якорь защищен от сверхтока диодами $VD_{Я1,2}$. Срыв одной колесной пары в боксование (рис. 3б) можно достаточно быстро парировать торможением соответствующего двигателя путем быстрого шунтирования его якорной обмотки контактором торможения-антибоксования (Т-А/Б). Отсутствие балластного резистора в цепи возбуждения с успехом компенсирует установку трансформатора возбуждения (ТВ), работающего с кратковременной многократной перегрузкой (рис. 3в). Пульсации напряжения на обмотках возбуждения в режиме тяги (потери в стали) существенно снижены с помощью фильтра L_Φ - C_Φ . Таким образом, из перечисленных выше недостатков исходного варианта существенно ослаблены все, кроме последнего.

На рис. 4а приведена принципиально новая структура АТЭК на базе УРТТ с реостатным торможением и последовательно-независимым возбуждением (вариант «0±750 В»). Основной особенностью этого и двух последующих вариантов является использование последовательного соединения двигателей и управляемых тяговых выпрямителей (УТВ $_{1,2}$) при заземлении средней точки и введении антибоксовательного симистора $VS_{А/Б}$. В схеме использован общий блок реостатов (для торможения и ослабления возбуждения), а также вспомогательный резистор R_0 . Последовательное соединение двигателей в режиме тяги (рис. 4б) позволяет существенно снизить вероятность срыва одной колесной пары в боксование (полное равенство токов двигателей), а возможность отключения боксующего двигателя (рис. 4в) при полном или ослабленном возбуждении другого

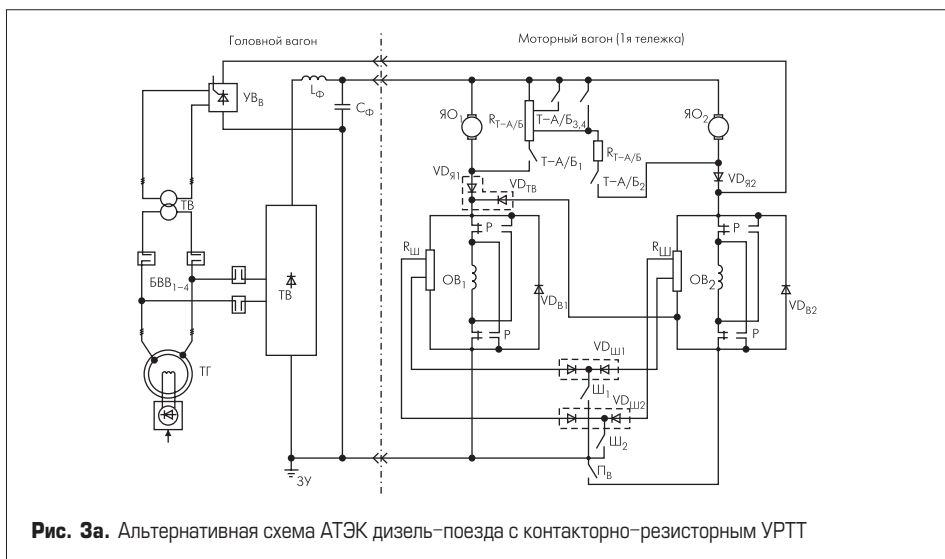


Рис. 3а. Альтернативная схема АТЭК дизель-поезда с контактно-резисторным УРТТ

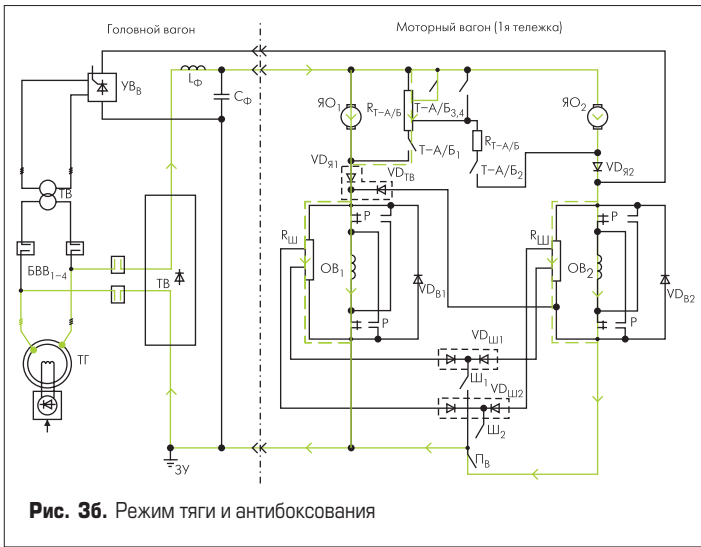


Рис. 36. Режим тяги и антибоксования

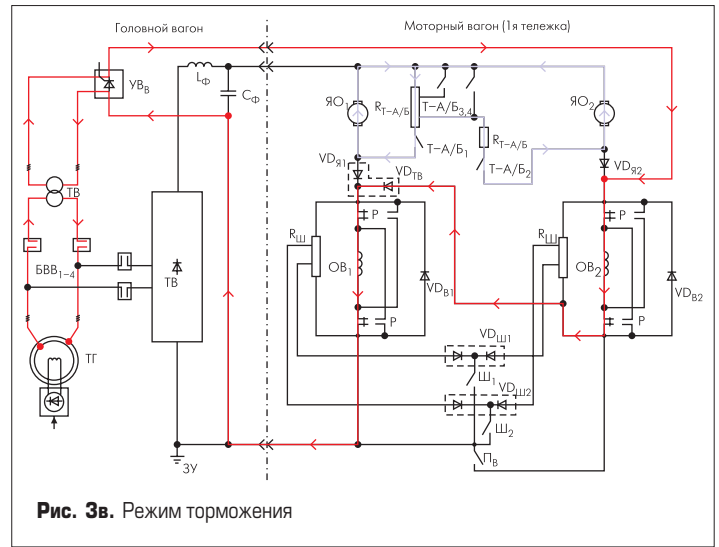


Рис. 3в. Режим торможения

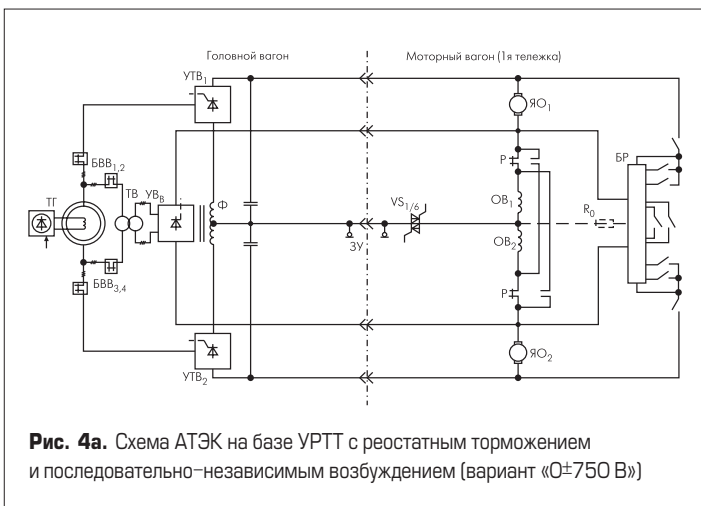


Рис. 4а. Схема АТ&К на базе УРТТ с реостатным торможением и последовательно-независимым возбуждением (вариант «0±750 В»)

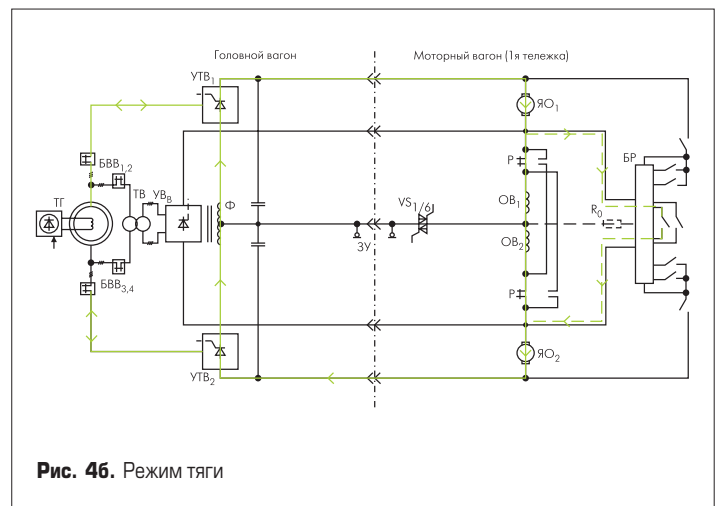


Рис. 4б. Режим тяги

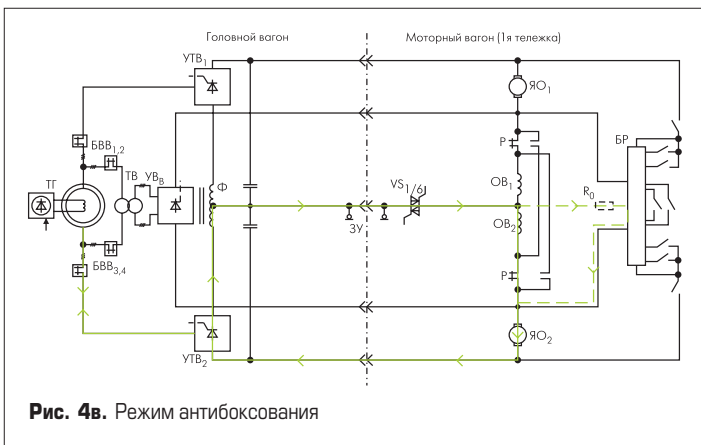


Рис. 4в. Режим антибоксования

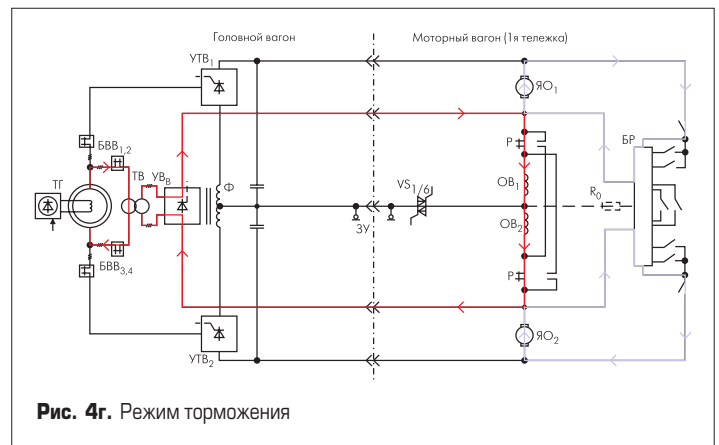


Рис. 4г. Режим торможения

позволяет быстро парировать боксование. На рис. 4г показан режим торможения, не требующий пояснений.

На рис. 5а приведена подобная схема, но с полностью независимым возбуждением в обоих режимах (рис. 5б и 5в). Такое возбуждение не только позволяет исключить резисторы и контакторы ослабления возбуждения из состава БР_{1,2}, но и обеспечить оптимальное по энергоэкономичности дуальное управление [2] при разгоне и торможении.

Последний из предлагаемых этапов модернизации обеспечивает полностью импульсное регулирование режимов тяги и торможения. На рис. 6а показана схема АТ&К на базе УРТТ с импульсным тяговым режимом (рис. 6б), а также рекуперативным и дина-

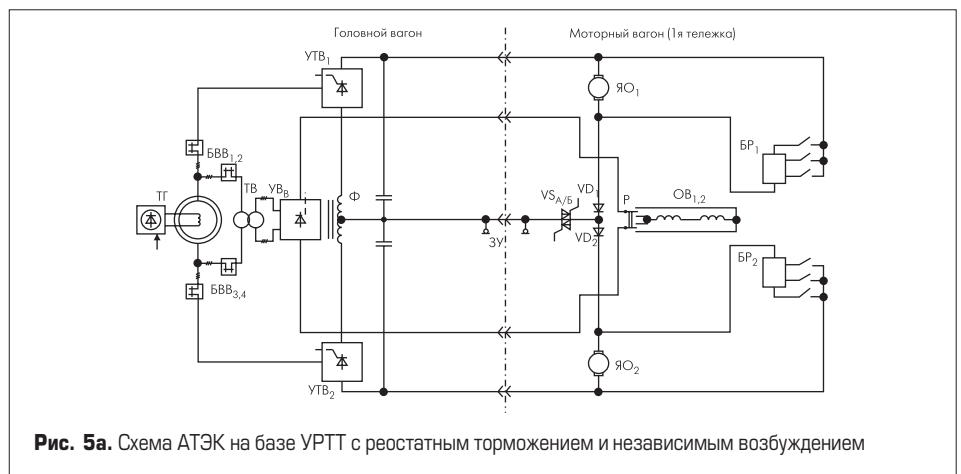


Рис. 5а. Схема АТ&К на базе УРТТ с реостатным торможением и независимым возбуждением

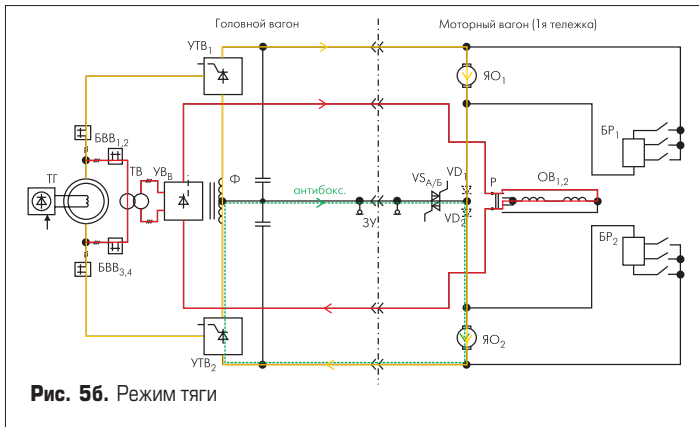


Рис. 5б. Режим тяги

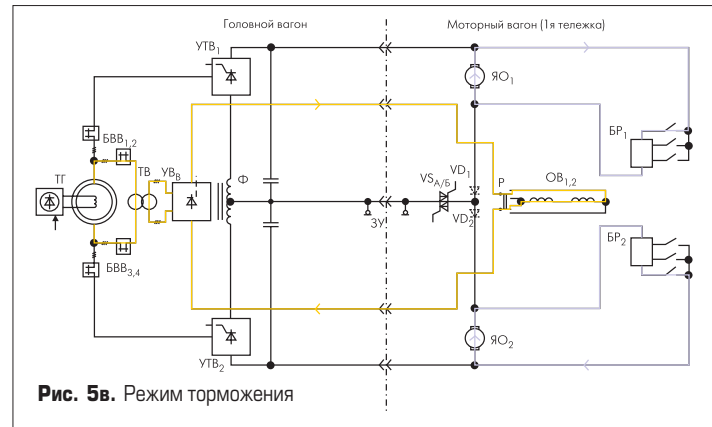


Рис. 5в. Режим торможения

мическим торможением (рис. 6в). К особенностям схемы относятся:

- вместо $УТВ_{1,2}$ применены тиристорные обратимые инверторы-выпрямители ($ОИ-В_{1,2}$), позволяющие осуществить режим рекуперативного торможения с передачей энергии через ТГ в кинетический накопитель (КН-маховик), в энергетический тормоз ДД и в механический тормоз (МТ) (рис. 6в);
- вместо тормозных контакторов для реостатного торможения использованы повышающие (на базе $VT_{T1,2}$) или повышающе-понижающие (на базе $VT_{T3,4}$) конверторы с ШИМ-регулированием, обеспечивающие более высокие надежность, быстродействие и плавность;
- вместо низкокачественного трансформаторно-выпрямительного блока источник независимого возбуждения (ИНВ) может содержать выпрямитель, транзисторное звено повышенной частоты (ЗПЧ) и высокочастотный трансформаторно-выпрямительный узел, что позволит снизить массу ИНВ и уменьшить пульсации его выходного напряжения;
- вместо коллекторных двигателей могут быть успешно применены бесщеточные двигатели постоянного тока (БДПТ), то есть синхронные двигатели с транзисторным коммутатором и цепью обратной связи по положению ротора.

Заключение

Предложенные пути модернизации и разработки высокоэффективных структурных и схемотехнических решений на примере дизель-поезда позволяют сократить сроки и повысить качество проектирования и поэтапного создания железнодорожных и многих других перспективных автономных транспортных электротехнических комплексов с тяговой электротрансмиссией.

Литература

1. Бабков Ю., Котов О., Литвинов А., Сергеев Д., Чудаков П. Многофункциональная микропроцессорная система управления тепловозом // Современные технологии автоматизации. 2004. № 3. С. 46–48.
2. Резников С. Б. Квазиоптимальное по электроэнергетической экономичности импульсное управление тяговым приводом электропоезда // Практическая силовая электроника. 2003. № 12. С. 12–15.

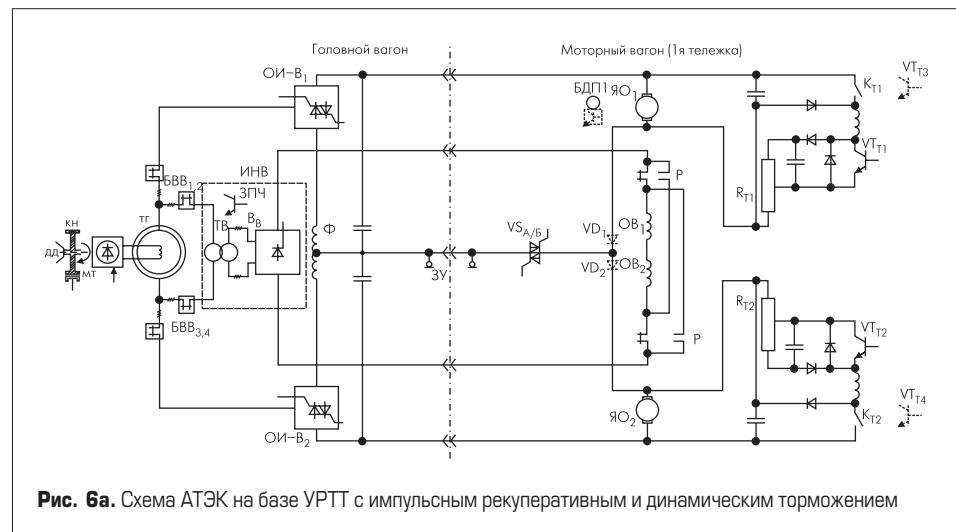


Рис. 6а. Схема АТЭК на базе УРТТ с импульсным рекуперативным и динамическим торможением

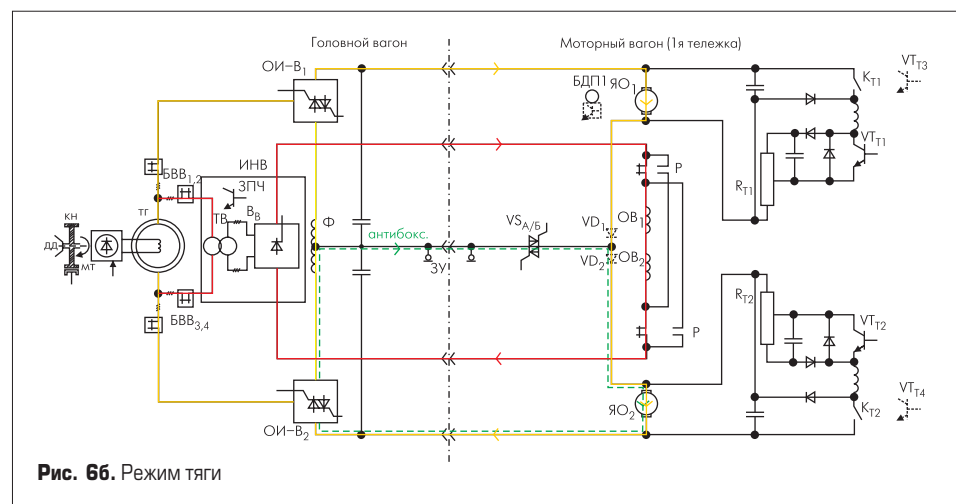


Рис. 6б. Режим тяги

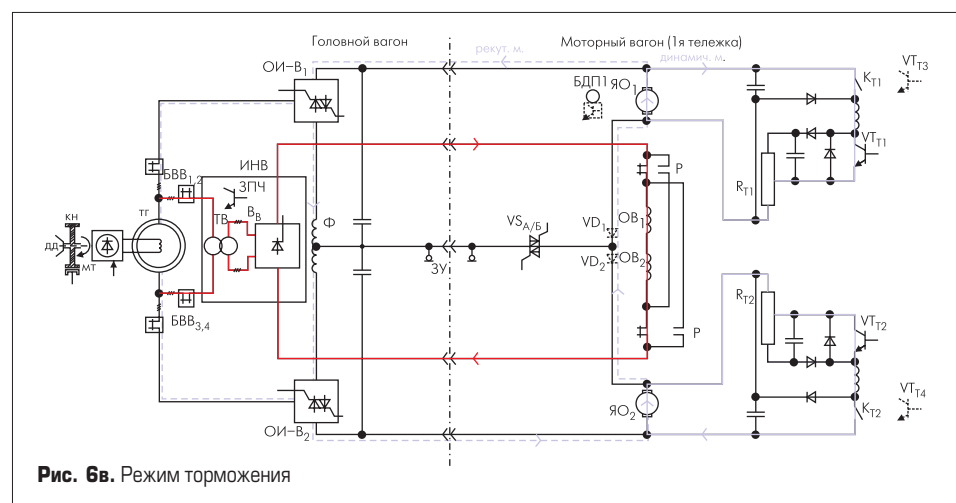


Рис. 6в. Режим торможения