

Дальневосточный государственный университет путей сообщения на пути содействия инновационному развитию

С.В. ВЛАСЬЕВСКИЙ, докт. техн. наук, профессор, заведующий кафедрой «Электротехника, электроника и электромеханика» ДВГУПС

А.К. ПЛЯСКИН, канд. техн. наук, доцент, директор инновационного центра ДВГУПС

А.В. ПЛОТНИКОВ, инженер инновационного центра ДВГУПС

Дальневосточный государственный университет путей сообщения является крупнейшим в Дальневосточном федеральном округе транспортным инновационным научно-образовательным заведением. За семь десятилетий своего развития ДВГУПС прошел путь от ведомственного учебного заведения до инновационного научно-образовательного транспортного комплекса с региональной сетью структурных подразделений и признанными научными достижениями.

нологии сооружения конструкций из скального грунта «Сеткон». Кроме того, многие изобретения были отмечены дипломами.

3–5 марта 2008 года в Москве проходил «VIII Московский салон инноваций и инвестиций», в котором Дальневосточный государственный университет также принял участие. Разработки «Магнитный аппарат для обработки воды» и «Замок-Т» завоевали серебряную и бронзовую медали соответственно.

11–14 марта 2008 года в Санкт-Петербурге прошла еще одна выставка «Высокие технологии. Инновации. Инвестиции». На этот раз количество дипломов и медалей увеличилось. Система диагностики состояния изоляции электрооборудования, установка для наплавки

Необходимо отметить участие ДВГУПС в выставках инновационных разработок различного уровня. Результаты участия в последних выставках еще раз подчеркивают значимость вклада вуза в развитие региона и развитие науки в целом. На выставке «Высокие технологии. Инновации. Инвестиции», проходившей в Санкт-Петербурге 5–7 октября 2007 года,

разработки университета выиграли 3 серебряные медали (имеются в виду разработки «Укрепляющая грунтовая композиция», пространственные системы сооружений «Грунт-плита-надфундаментное строение» с обеспеченной надежностью эксплуатации и устройство «Айсролайн» для защиты труб от разрушения при замерзании воды) и одну золотую медаль — за разработку многофункциональной тех-

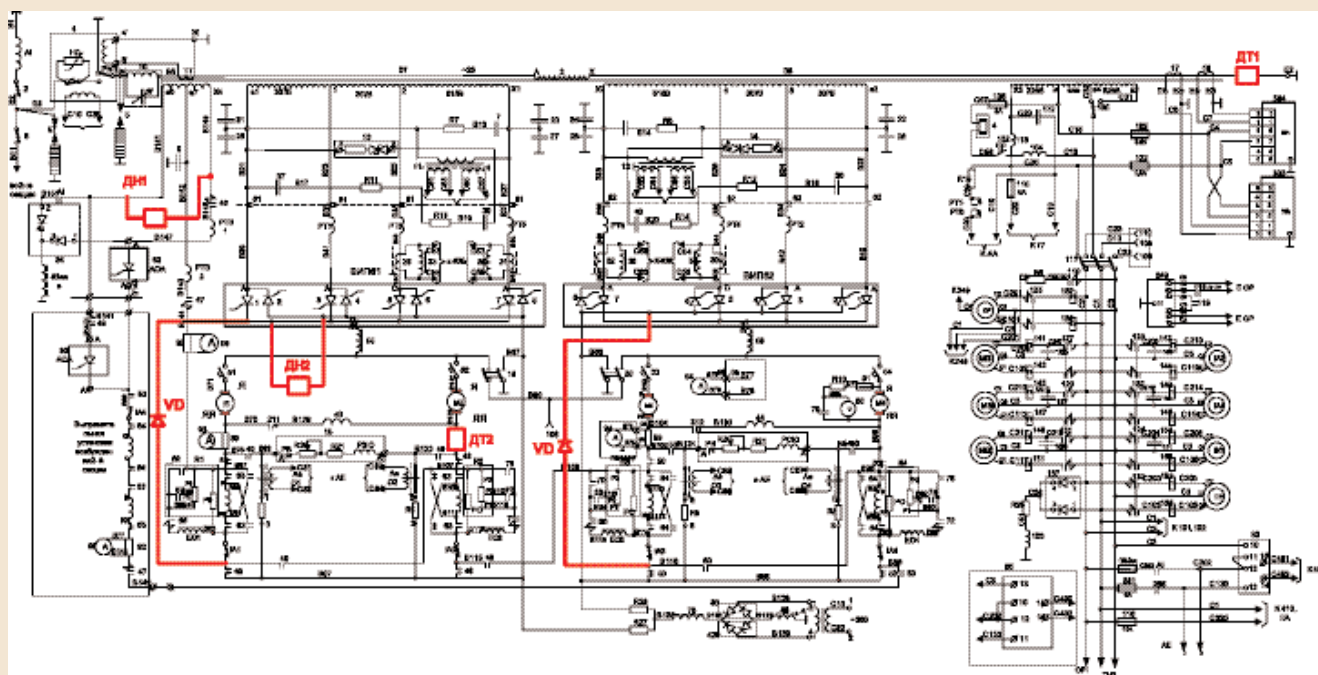


Рис. 1. Схема электровоза ВЛ80Р с разрядными диодными плечами и указанием мест подключения датчиков измерительной системы.

тел вращения, защитный многофункциональный ключ от перенапряжений «Замок-Т» были отмечены серебряными медалями, а разработки «Мобильная система диагностики состояния грунтов» и «Порошковая проволока» были награждены золотыми медалями.

Конечно же, список достижений не ограничивается тем, что представлено на выставках и салонах, их гораздо больше.

Более подробно хотелось бы рассказать о недавней разработке, которая имеет большое практическое значение для железнодорожной отрасли, — применение разрядного диодного плеча и нового алгоритма управления в выпрямительно-инверторных преобразователях электровозов ВЛ80Р в режиме тяги.

О последних разработках университета

Современные отечественные электровозы переменного тока серии ВЛ80Р, ВЛ85, ВЛ65, ЭП1 и 2ЭС5К с плавным регулированием напряжения на тяговых двигателях содержат четырехзонные выпрямительно-инверторные преобразователи, которые имеют сравнительно невысокие энергетические показатели — коэффициенты мощности и полезного действия в номинальном тяговом режиме работы электровоза равны 0,84. Такие показатели приводят к повышенному потреблению ими электроэнергии на тягу поездов. Это связано с достаточно большим углом сдвига фаз между током и напряжением в первичной обмотке тягового трансформатора электровоза, то есть с повышенным потреблением реактивной энергии.

Для повышения энергетических показателей электровозов, работающих в режиме тяги, предлагаются следующие пути, которые были реализованы в данной разработке:

1. Применение в схеме четырехзонного выпрямительно-инверторного преобразователя (ВИП), работающего в режиме выпрямителя, разрядного диодного плеча, присоединенного параллельно цепи выпрямленного тока (рис. 1);

2. Применение нового алгоритма управления четырехзонными выпрямителями, реализованного на электровозе путем изменения схемы каскада блока перевода нагрузки (БПН) и блока распределительного устройства (БРУ) в блоке управления выпрямительно-инверторным преобразователем (БУВИП).

Проведенные ранее теоретические исследования показали, что для усовер-

шенствования электровоза с целью повышения его энергетических показателей необходимо произвести модернизацию как его силовой схемы, так и системы управления. Это обусловлено тем, что применение разрядного диодного плеча требует изменения подачи управляющих импульсов регулирования на плечи преобразователя в режиме выпрямления. Особенно это актуально для первой зоны регулирования напряжения, так как в этом случае существующий на электровозах типовой алгоритм подачи импульсов не будет обеспечивать нормальную работу выпрямителя.

Кроме того, на второй и последующих зонах регулирования напряжения на тяговых двигателях для улучшения энергетических показателей электровоза, в частности, повышения его коэффициента мощности, предложено изменить процесс основной коммутации с поочередной на одновременную. Выполнить изменение процесса основной коммутации можно путем замены типового алгоритма подачи импульсов управления на новый алгоритм. Это достигается изменением очередности и частоты подачи на тиристорные плечи выпрямителя импульсов управления, которые формируются в БУВИП и усиливаются в блоке выходных усилителей.

Типовой алгоритм управления, т.е. алгоритм поочередной коммутации представлен в табл. 1.

Новый алгоритм управления выпрямителем, основанный на принципе одновременной коммутации токов его тиристорных плеч, представлен в табл. 2.

Суть этого алгоритма заключается в том, что:

- на первой зоне регулирования управляющие импульсы с регулируемой фазой α_p подаются не только на плечи 4 и 5, но также и на плечи 3 и 6, на которые ранее подавались нерегулируемые по фазе импульсы α_0 . Это обеспечивает нормальную работу выпрямителя при включении параллельно цепи выпрямленного тока диодного плеча;
- на второй, третьей и четвертой зонах регулирования нерегулируемые по фазе импульсы α_0 подаются не только на тиристоры плеч, образующих данную зону, но и на тиристоры плеч, которые уже завершили свою работу на предыдущих зонах. Тем самым изменяется очередность открывания плеч выпрямителя, уменьшается длительность самой коммутации, уменьшается угол сдвига фаз между током и напряжением и в итоге повышается коэффициент мощности электровоза. Подробно процессы, протекающие в преобразователе

Таблица 1.
Типовой алгоритм подачи импульсов управления на плечи ВИП

Зона	Полу-период	Плечи ВИП							
		1	2	3	4	5	6	7	8
1	←	—	—	α_0	—	—	α_0	—	—
	→	—	—	—	α_p	α_p	—	—	—
2	←	α_p	—	α_{03}	—	—	α_0	—	—
	→	—	α_p	—	α_{03}	α_0	—	—	—
3	←	—	—	α_p	—	α_{03}	—	—	α_0
	→	—	—	—	α_p	—	α_{03}	α_0	—
4	←	α_p	—	α_{03}	—	—	—	—	α_0
	→	—	α_p	—	α_{03}	—	—	α_0	—

Таблица 2.
Новый алгоритм подачи импульсов управления на плечи ВИП

Зона	Полу-период	Плечи ВИП							
		1	2	3	4	5	6	7	8
1	←	—	—	α_p	—	—	α_p	—	—
	→	—	—	—	α_p	α_p	—	—	—
2	←	α_p	—	α_0	α_0	—	α_0	—	—
	→	—	α_p	α_0	α_0	α_0	—	—	—
3	←	—	—	α_p	—	α_0	α_0	—	α_0
	→	—	—	—	α_p	α_0	α_0	α_0	—
4	←	α_p	—	α_0	α_0	α_0	α_0	—	α_0
	→	—	α_p	α_0	α_0	α_0	α_0	α_0	—

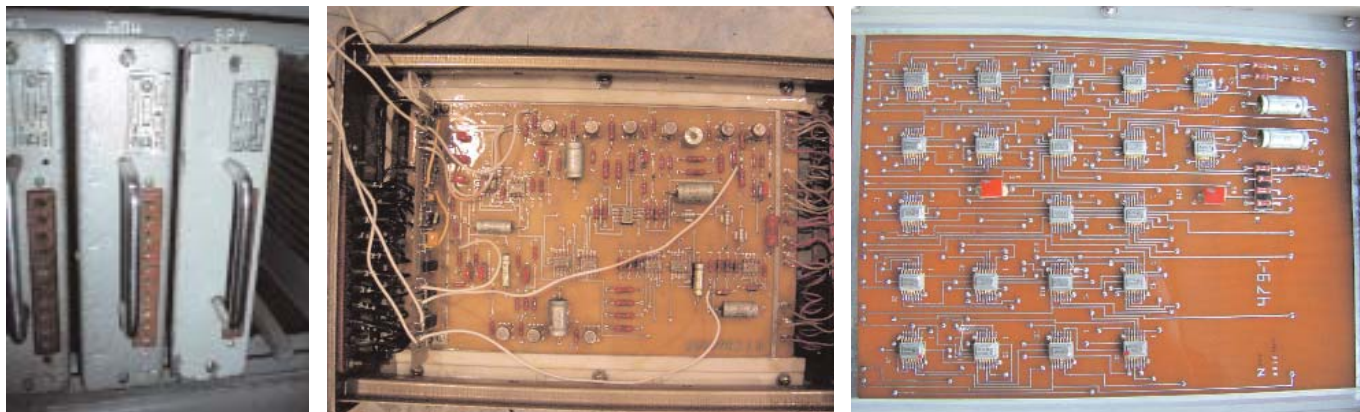


Рис. 2. Модернизированные кассеты БПН и БРУ, расположенные в БУВИП секции электровоза.

при использовании нового алгоритма управления и включении разрядного диодного плеча, описаны в [1, 2].

В новом алгоритме подачи нерегулируемых импульсов на тиристоры соответствующих плеч с задержкой фазы α_{03} не происходит, так как автоматической задержки импульсов α_0 на величину угла протекания коммутации в большом контуре не требуется. В этом отношении алгоритм с точки зрения технических средств ее реализации упрощается, так как датчики коммутации и весь канал формирования импульсов с фазой α_{03} остается неиспользуемым. Вместо импульсов с фазой α_{03} на соответствующие тиристоры плеч должны подаваться импульсы с фазой α_0 . Для выполнения этого условия необходимо заменить в схеме кассеты БПН адрес подачи сигнала α_{03} на сигнал α_0 в кассете БРУ.

Также, согласно новому алгоритму управления выпрямителем в соответствии с предложенным способом одновременной коммутации тока тиристорных плеч, проводятся схемные изменения в

кассете БРУ. При регулировании напряжения на первой зоне одновременно в каждом полупериоде подают импульсы α_p на два плеча, 3, 6 и 4, 5, соответственно полупериоду напряжения. На второй и третьей зонах регулирования импульсы α_0 необходимо подавать одновременно в каждом полупериоде на три плеча (плечи 3, 6 и 4 в одном и 4, 5 и 3 в другом полупериоде на 2-ой зоне, плечи 5, 8 и 6 и 6, 7 и 5, соответственно, на 3-ей зоне), а на 4-ой зоне на пять плеч (плечи 8, 6, 5, 4, 3 и 7, 6, 5, 3, 4 соответственно полупериоду напряжения).

Таким образом, для выполнения корректного распределения управляющих импульсов по плечам выпрямителя согласно новому алгоритму необходимо произвести некоторые изменения в блоке перевода нагрузки (БПН) и блоке распределительного устройства (БРУ). То есть получается возможным осуществить работу ВИП по алгоритму одновременной коммутации без изменения конструкции самого БУВИП, что значительно удешевляет модернизацию электровоза (рис. 2).

Необходимыми требованиями, предъявляемыми к диодному плечу, включенному в цепь выпрямленного тока, является его термическая стойкость. Также для предотвращения его пробоя при приложении обратного напряжения класс выбираемых диодов должен соответствовать максимальному напряжению, которое может возникнуть в цепи сглаживающего реактора и тяговых двигателей.

При модернизации каждого выпрямителя электровоза ВЛ80Р для надежной работы диодного плеча по условиям допустимых токов и напряжений параллельно цепи выпрямленного тока устанавливаются два диода типа ДД-153-1600-32 с радиаторами. Таким образом, параллельная цепь диодного плеча в каждом выпрямителе секций электровоза (всего 4 выпрямителя) включает по 2 диода. Следовательно, для модернизации обеих секций электровоза ВЛ80Р требуется 8 диодов. На рис. 3 показано два диодных плеча, установленных в одной из секций электровоза.



Рис. 3. Конструктивное расположение двух диодных плеч в секции электровоза.



Рис. 4. Опытный электровоз ВЛ80Р №1513 с новым алгоритмом управления выпрямителями и диодными плечами.

При переходе электровоза в режим рекуперативного торможения необходимо, чтобы диодное плечо автоматически отключалось от силовой цепи электровоза. В противном случае наличие диодного плеча приведет к возникновению короткозамкнутого контура в инверторе, который будет препятствовать нормальной работе электровоза в режиме рекуперативного торможения.

Поэтому для отключения разрядного диодного плеча в режиме инвертирования его необходимо подключить к минусовой шине выпрямителя через нормально замкнутый контакт тормозного переключателя. В этом случае при переходе ВИП в режим инвертора контакт тормозного переключателя размыкается, тем самым отсоединяя от минусовой шины разрядное диодное плечо.

Таким образом, модернизация электровоза состоит из включения разрядного диодного плеча в силовую схему каждого ВИП электровоза и некоторых изменений в схемах каскад БПН и БРУ БУВИП по реализации нового алгоритма управления четырехзонных выпрямителей.

Разработанные технические решения были проверены в реальной эксплуатации путем модернизации в июле 2007 г. электровоза ВЛ80Р №1513 в локомотивном депо Смоляниново Дальневосточной дороги. В ноябре 2007 г. были проведены испытания модернизированного электровоза на участке Смоляниново — Партизанск с помощью измерительного комплекса и разработанной программы обработки энергетических показателей работы электровоза.

В результате применения указанных технических решений увеличиваются значения выпрямленного напряжения и тока тяговых двигателей, пульсации которого уменьшаются, что повышает коэффициент мощности электровоза и, в конечном итоге, сокращает удельный расход электроэнергии электровоза на тягу поездов.

Осциллограммы, полученные в результате опытных поездок, представлены на рис. 6–9. Датчик напряжения, установленный в цепи выпрямленного тока электровоза, зафиксировал отсутствие отрицательной составляющей выпрямленного напряжения на первой и последующих зонах регулирования напряжения на тяговых двигателях.

За время работы электровоза с момента модернизации проведена оценка удельного расхода электроэнергии на тягу поездов. Статистические данные работы электровоза за этот период показа-

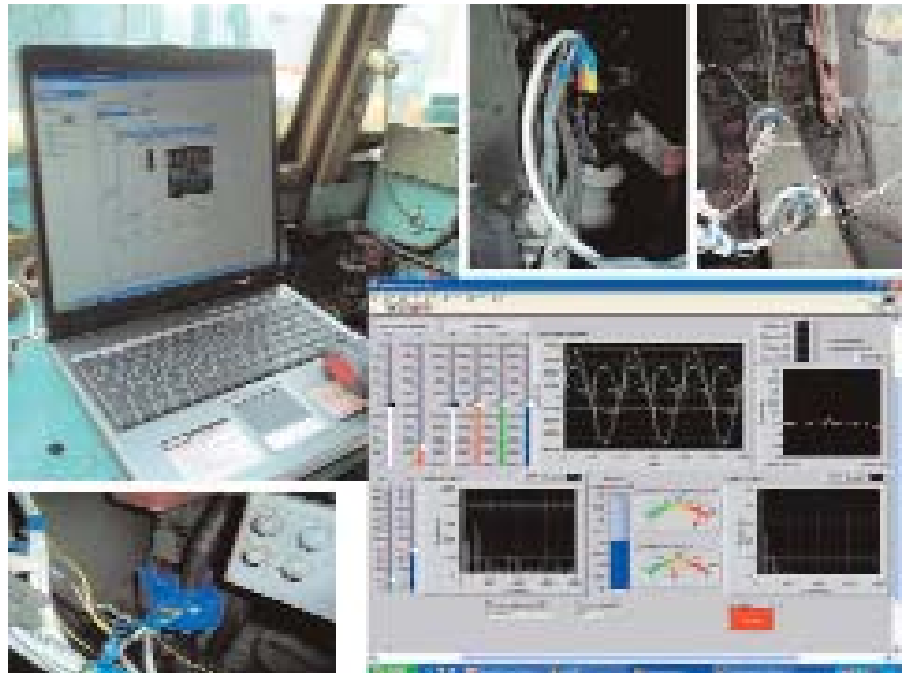


Рис. 5. Измерительный комплекс с программным обеспечением, применяемый во время испытаний.

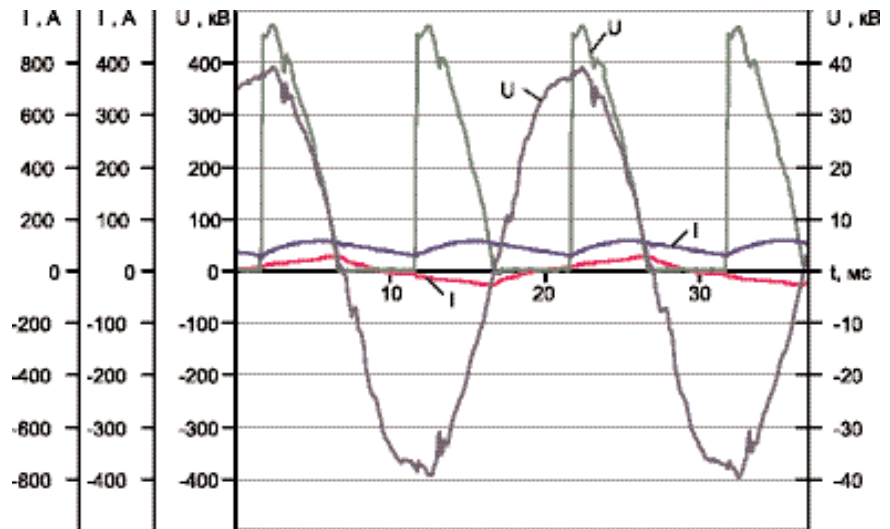


Рис. 6. Осциллограммы работы усовершенствованного электровоза на первой зоне регулирования.

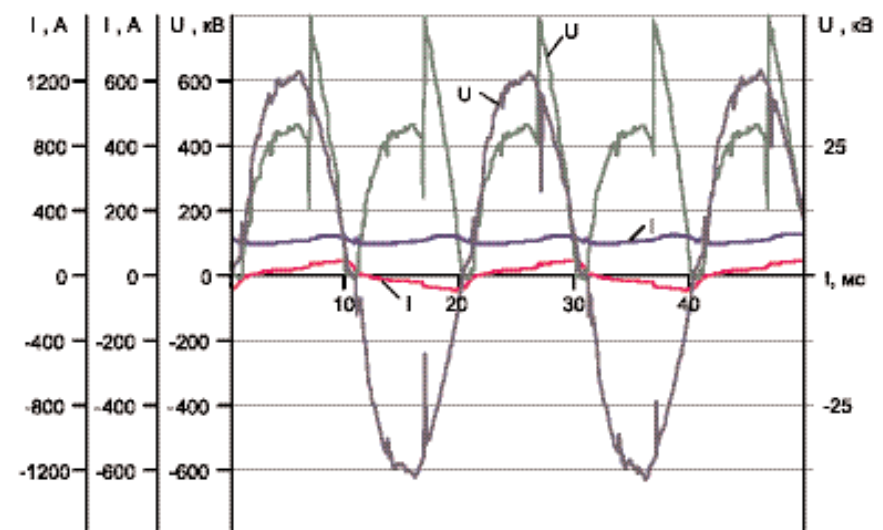


Рис. 7. Осциллограммы работы усовершенствованного электровоза на второй зоне регулирования.

ли снижение удельного расхода на 7,6%.

Реализованные разработки позволили повысить коэффициент мощности электровоза в номинальном режиме работы с 0,84 до 0,88. Такое повышение коэффициента приводит к значительному снижению электровозом удельного расхода электроэнергии на тягу поездов, что и подтверждает опытная эксплуатация.

Предлагаемые технические решения защищены патентами РФ.

Результаты данной работы предлагается реализовать путем модернизации в условиях ремонтных заводов и локомотивных депо всего парка электровозов переменного тока с плавным регулированием напряжения типа ВЛ80Р, ВЛ85 и ВЛ65.

Экономический эффект выражается в годовой экономии денежных средств от снижения затрат на оплату электро-

энергии на один электровоз в сумме 652 тыс. руб., что дает срок окупаемости затрат 1,6 года.

Учитывая, что локомотивное хозяйство является крупнейшим потребителем электрической энергии на железнодорожном транспорте, можно утверждать, что данная работа весьма актуальна и имеет большое практическое и экономическое значение.

Ниже представлен перечень приоритетных направлений в научно-исследовательской работе ДВГУПС, и по каждому из этих направлений имеются десятки разработок.

Важнейшими направлениями научно-исследовательской деятельности университета являются:

● **Строительство, эксплуатация и ремонт пути.** Искусственные сооружения — на основании обширных натурных и лабораторных испытаний, выполнения математического модели-

рования предлагаются новые конструкции земляного полотна и искусственных сооружений в сложных природно-климатических и инженерно-геологических условиях.

● **Промышленное и гражданское строительство.** На основе научных исследований и практических работ разработаны объемно-планировочные и конструктивные решения зданий из энергосберегающих блоков и современных материалов с учетом новых норм проектирования ограждающих конструкций, энергосберегающие системы «термофасадов» для защиты зданий от воздействий внешней среды.

● **Электроэнергетика.** Предлагаемые разработки этого направления призваны решать насущные проблемы электроэнергетики — осуществление компенсации реактивной мощности сети с одновременной стабилизацией напряжения нагрузки, обеспечение бесперебойного электроснабжения потребителя и повышение надежности работы систем электроснабжения в целом.

● **Подвижной состав железных дорог.** Разрабатываемые учеными устройства и технологии охватывают широкий спектр задач, направленных на решение таких проблем, как повышение энергетических показателей и надежности подвижного состава и путевых машин, диагностика и испытание узлов, восстановление работоспособности деталей и узлов подвижного состава.

● **Информационные технологии, автоматика и телемеханика.** Разрабатываемые сотрудниками устройства обеспечивают защиту аппаратуры от перенапряжений, измерение уровня сигнала и помех в канале радиосвязи, диагностику состояния волоконно-оптического кабеля.

● **Экология и безопасность жизнедеятельности.** На основе многолетних исследований систем водоснабжения разработана принципиально новая энергосберегающая технология транспортирования воды и ряд устройств, предотвращающих разрушение труб при замерзании в них воды, разработаны эффективные установки очистки сточных вод.

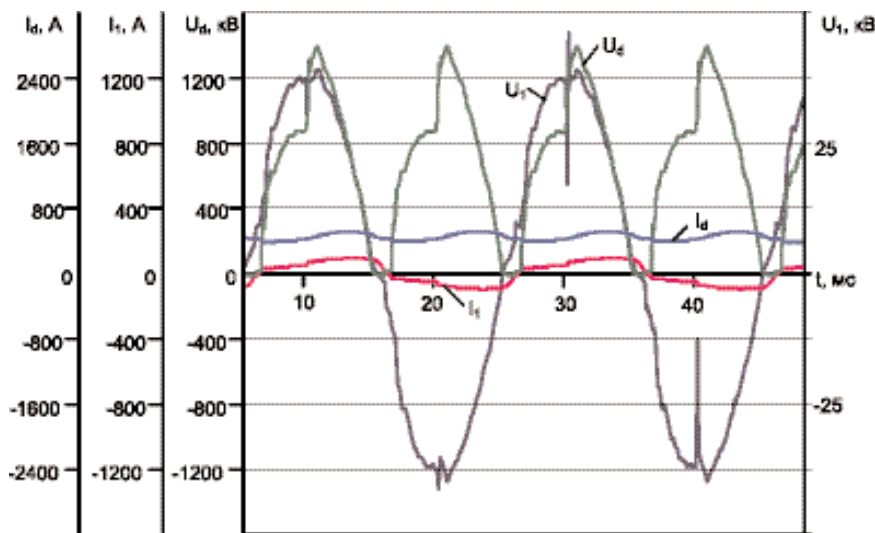


Рис. 8. Осциллограммы работы усовершенствованного электровоза на третьей зоне регулирования.

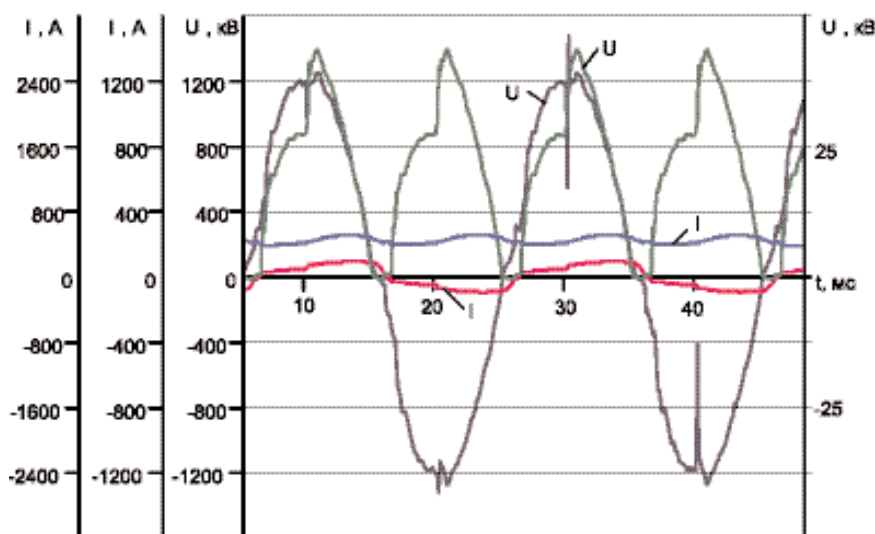


Рис. 9. Осциллограммы работы усовершенствованного электровоза на четвертой зоне регулирования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Патент РФ №2168839, кл. Н 027/12, 7/155, 2001 г.; опубл. 10.06.2001; бюл. №16. «Способ управления многозонным выпрямителем однофазного переменного тока» / авторы Власьевский С.В., Савоськин А.Н., Литовченко В.В.
2. Патент РФ на полезную модель №54704 «Многозонный выпрямитель однофазного переменного тока» / авторы Власьевский С.В., Мельниченко О.В., Бабичук А.К.