

Периодический рецензируемый научно-технический журнал «Электроника и электрооборудование транспорта» является коллективным членом Академии электротехнических наук РФ.

Учредитель и издатель – Научно-производственное предприятие «Томилинский электронный завод».

Журнал включен в перечень изданий, рекомендованных ВАК для апробации кандидатских и докторских диссертаций.

Свидетельство
о регистрации СМИ
ПИ №ФС 77-29963
от 17 октября 2007 г.

Главный редактор:
А.Г. Бабак, к.т.н.

Редакционный совет:

М.П. Бадёр, д.т.н., профессор,
Л.А. Герман, д.т.н., профессор,
В.Н. Дианов, д.т.н., профессор,
Ю.М. Иньков, д.т.н., профессор,
К.Л. Ковалёв, д.т.н., профессор,
А.С. Космодамианский, д.т.н.,
профессор,
А.С. Мазнёв, д.т.н., профессор,
Г.Г. Рябцев, д.т.н., профессор,
В.И. Сарбаев, д.т.н., профессор,
В.Е. Ют, д.т.н., профессор.

Выпускающий редактор:
Н.А. Климчук.

Редакция:

140070, Московская область,
Люберецкий район, п. Томилино,
ул. Гаршина, д. 11
Тел./факс: (495) 500-40-20,
(495) 557-23-95
E-mail: nppteze@mail.ru
Сайт: www.nppteze.ru

Подписано в печать:
20.10.2014 г.

Отпечатано:

ГУП МО «Коломенская типография».
140400, г. Коломна,
ул. III Интернационала, д. 2а
E-mail: bab40@yandex.ru

Формат 60x90/8,
бумага мелованная, объем 7 п.л.,
тираж 1000 экз., заказ 1779.

СОДЕРЖАНИЕ

ЭЛЕКТРОННЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ, ДИАГНОСТИКИ, СВЯЗИ

Слукин А.М., Дебелов В.В., Козловский В.Н., Иванов В.В.
*Имитационное моделирование электронной системы
определения вязкости масла в силовом агрегате автомобиля 2*

ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ И ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ

Сидорова Н.Н., Третинников О.В.
Рекуперативное торможение электровозов постоянного тока 5

Мишин В.Н., Рулевский В.М., Тарасенко А.А.
*Система электропитания универсального многоканального
телеуправляемого необитаемого буксируемого комплекса 8*

Харитонов И.В., Сергеев Б.С.
*Особенности проектирования узкоградусной линзы
для светодиодного прожектора локомотива 11*

Герман Л.А., Кишкурно К.В.
*Рациональная диаграмма напряжений тяговых подстанций
электрифицированного участка переменного тока 14*

Елгина Г.А., Ивойлов Е.В., Слободян С.М.
Влияние замыканий на свойства индуктивности 21

Феокистов В.П., Шаров В.А., Третинников О.В.
*Электродинамический тормоз с импульсным регулированием
для пассажирских электровозов 26*

Мельниченко О.В., Власьевский С.В.
*Повышение энергетической эффективности электровоза
переменного тока за счёт разнофазного управления
инверторами на высших зонах регулирования 29*

Петилава Р.А.
*Автоматическая организация плановых видов ремонта
грузовых вагонов 35*

МЕХАТРОННЫЕ СИСТЕМЫ, ИСПОЛНИТЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА

Евстафьев А.М., Якушев А.Я.
*Современные системы управления вспомогательным
электроприводом локомотива 38*

ДИАГНОСТИКА И ИСПЫТАНИЯ

Набоких В.А., Озеров В.Г.
*Особенности диагностирования автомобильных
микропроцессорных систем управления двигателя 42*

ИНФОРМАЦИЯ

Краснов Л.А.
*О новых правилах выплаты вознаграждения за служебные
изобретения, полезные модели, промышленные образцы 46*

Имитационное моделирование электронной системы определения вязкости масла в силовом агрегате автомобиля

// Simulation modeling of electrical system of oil viscosity definition in car power unit //

Слукин А.М., к.т.н.,
ТГУ, г. Тольятти

Дебелов В.В., Козловский В.Н., д.т.н., Иванов В.В., д.т.н.,
ПВГУС, г. Тольятти

В работе представлены результаты теоретических и экспериментальных исследований в области разработки перспективной электронной системы определения вязкости масла в силовом агрегате автомобиля. Ключевые слова: надежность, автомобиль, электронная система управления.

The publication represents the results of theoretical and experimental researches in a field of designing of advanced electrical system of oil viscosity definition in car power unit. Keywords: reliability, car, electrical control system.

Анализируя наиболее перспективные направления развития легковых автомобилей, в первую очередь следует выделить бортовые электронные системы управления, которыми в настоящее время активно насыщаются как традиционные автомобили с двигателями внутреннего сгорания, так и автомобили с комбинированными энергоустановками. Ранее нами рассматривались процессы моделирования и реализации таких электронных систем, как система регулирования скорости движения автомобиля, система управления газораспределением (VVT), система «Start-Stop» [1, 2, 3, 4]. Такие системы обеспечивают повышение эффективности легкового автомобиля за счет улучшения экологичности, топливной экономичности, комфортабельности эксплуатации. Но при этом в алгоритмах своей работы они не учитывают по крайней мере один из важных параметров, обеспечивающих требуемый уровень характеристик работы двигателя внутреннего сгорания (ДВС), а именно – вязкость масла. Между тем, обладая комплексом данных о вязкости масла в ДВС, в рамках электронной системы можно в значительной степени улучшить технико-экономические показатели работы как силового агрегата, так и автомобиля в целом. Дополнительно управление по

критерию вязкости масла обеспечивает более эффективную коррекцию управляющих сигналов для клапана системы VVT, который устанавливает предпочтительное положение распределительного вала ДВС.

Таким образом, разработка электронной системы управления по критерию вязкости масла является перспективной научно-технической задачей, решение которой позволит улучшить эксплуатационные показатели автомобилей.

Решение поставленной задачи заключается в комплексном интегрировании электротехнической и электронной систем с алгоритмическими программными структурами, построенными на базе результатов экспериментальных исследований изменения вязкости масла в зависимости от факторов, образующих условия эксплуатации автомобиля. Действительно, температурные режимы работы силового агрегата, эксплуатационный пробег, характеристики масла и т.д. являются важными первичными показателями при организации работы по проектированию рассматриваемой системы.

В настоящее время разработка подобных электронных систем реализуется на основе накопления баз данных, отражающих исследуемые взаимосвязи между ключевыми параметрами

через алгоритмизацию и построение матриц управления, с помощью которых программируются контроллеры систем. При этом объективной проблемой, препятствующей широкому внедрению рассматриваемой электронной системы в серийный автомобиль, является невысокий уровень повторяемости результата измерения показателей вязкости масла в силовом агрегате с помощью датчиков, когда при использовании датчиков одного типа получаются разные результаты, разброс которых достигает 20%. Это существенно снижает эффективность их применения и требует новых методов оценки вязкости. С другой стороны, если разброс параметров датчиков лежит в пределах 10 – 20%, то появляется необходимость реализации процесса самокалибровки датчика, который устанавливается на автомобиль, чтобы приблизить показание датчика к реальным значениям и снизить погрешность измерения до 5%.

В представленной работе решается задача построения математической модели определения вязкости масла в силовом агрегате. При этом принцип работы датчика определения вязкости основан на измерении параметров движения магнитной пластины (контакт-детали), управляемой магнитным полем. Разработанная математическая модель описывает динамику чувствительного элемента, заполненного диэлектрической жидкостью, с учетом ее плотности, вязкости и температуры окружающей среды, демпфирующего эффекта жидкостной пленки в области перекрытия контактных деталей чувствительного элемента при их срабатывании и отпуске. Модель разработана в среде MATLAB Simulink, что позволяет подтвердить теоретические рассуждения, сравнить результаты ее работы с экспериментальными

данными. Кроме этого, разработанная имитационная структура улучшает процесс выбора геометрических форм чувствительного элемента датчика, и, что не менее важно, модель удобна для перевода в программный код на языке СИ, что способствует ее дальнейшему развитию в практике автомобилестроения.

Динамические характеристики чувствительного элемента, управляемого катушкой с током, описываются уравнениями

$$U = iR + L \frac{di}{dt} + i \frac{dL}{dt} \quad (1)$$

$$P_s = -\frac{1}{2} (iN)^2 \frac{d\Lambda_n}{d\delta} \quad (2)$$

$$P_o = (m + m') \frac{d^2x}{dt^2} + A \left(\frac{dx}{dt} \right)^2 + B \frac{dx}{dt} + C_x \quad (3)$$

где U – напряжение источника питания, i – ток, R – сопротивление обмотки, L – индуктивность катушки, N – число витков обмотки управления, Λ_n – полная магнитная проводимость системы, P_s – электромагнитное усилие, P_o – сила давления контакт-деталей на жидкость, m – приведенная масса контакт-детали, t – время, x – перемещение, δ – текущее значение зазора, A – коэффициент гидродинамического сопротивления, B – коэффициент вязкого трения, C – жесткость контакт-детали, dL/dt – изменение индуктивности в результате движения контакт-деталей.

Структура имитационной модели в среде MATLAB Simulink представлена на рис. 1. В модель включены параметры, которые определяют каждую исследуемую жидкость отдельно. Дополнительно присутствуют параметры, отражающие геометрические размеры чувствительного элемента и характер его движения в вязкой среде. Также в состав модели входят блоки, определяющие параметры катушки и температурные характеристики окружающей среды, при которых проводятся измерения жидкости заполнителя. Кроме этого, учитываются физические свойства проводимости контакт-детали и зазора.

На рис. 2 представлены результаты работы этой модели. Здесь показаны значения длительности срабаты-

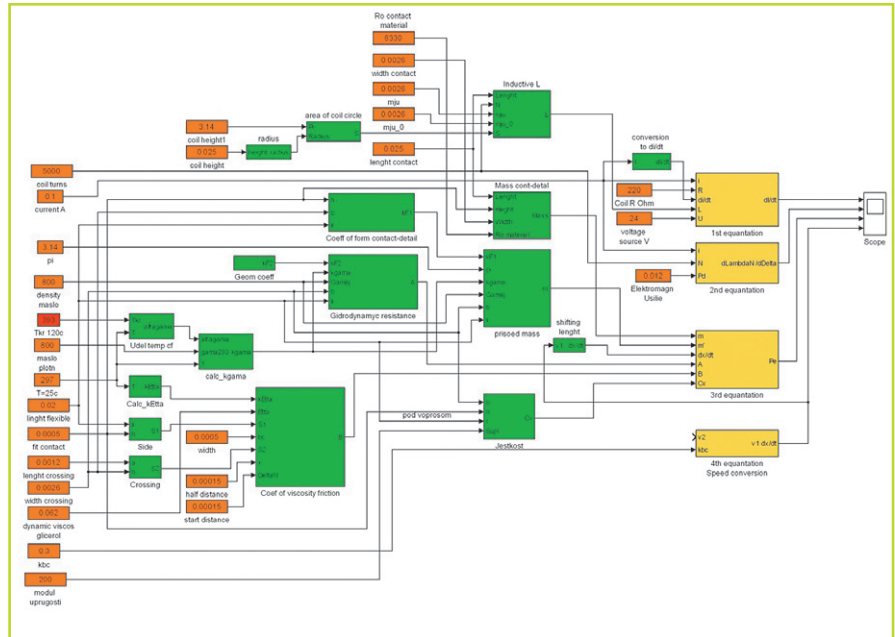


Рис. 1. Структура имитационной модели определения вязкости масла в силовом агрегате автомобиля.

вания контакт-детали при протекании тока через катушку, а также отражена зависимость времени срабатывания системы. Полученные результаты создают предпосылки для рационального подбора геометрических параметров чувствительного элемента.

Для подтверждения эффективности предложенной имитационной структуры результаты теоретических исследований модели проверены в рамках эксперимента на герконе типа КЭМ-1 с обмоткой. Получены опытные данные, характеристики которых близки к данным, полученным при теоретическом моделировании. В качестве модели жидкости-заполнителя предложен водный раствор глицерина, изменение концентрации которого дает возможность изменять вязкость в пределах $\eta = 0,001 \dots 1,49$ Па·с при незначительном изменении плотности

(1000...1200 кг/м³). Электропроводность раствора позволяет наблюдать на осциллограммах колебания контакт-деталей, что невозможно при заполнении чистыми диэлектриками. По осциллограммам для газонаполненного геркона время замыкания составляет $t_3 = 0,9$ мс, а с раствором глицерина вязкостью 0,062 Па·с – $t_3 = 1,45$ мс, что удовлетворительно совпадает с теоретическим расчетом. Хорошее совпадение результатов наблюдается у заполнителей с промежуточными свойствами. Отклонение теоретических результатов от опытных данных возрастает с увеличением вязкости заполнителя.

Таким образом, предложенная математическая имитационная модель динамики движения магнитной пластины, погруженной в диэлектрическую жидкость, адекватно описывает про-

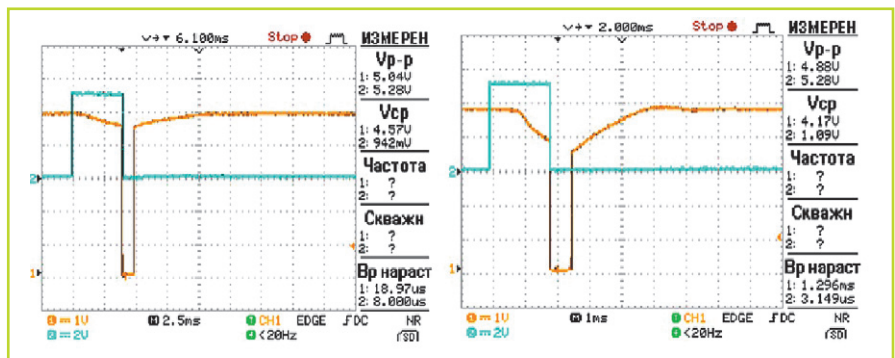


Рис. 2. Графики срабатывания контакт-детали в результате подачи импульса напряжения на катушку управления.

цессы движения контакт-детали при срабатывании и отпуске. Она позволяет подобрать геометрические параметры чувствительного элемента датчика для проведения измерений вязкости жидкости. Модель обладает универсальностью, так как позволяет выразить любой параметр как для расчета катушки управления, геометрических размеров сенсора, так и промоделировать характер изменения вязкости жидкости для чувствительного элемента, геометрические параметры которого известны.

Результаты моделирования и экспериментальных исследований позволяют сделать вывод о применимости разработанной имитационной структуры для определения вязкости жидкости по времени срабатывания контакт-деталей. Полученные данные обладают высокой степенью повторяемости (до 98%) при соблюдении условий: температура окружающей среды 20÷25 °С; отсутствие источников инфракрасного и иного нагрева.

Основным назначением разработанной модели является поиск и оптимизация конструкции чувствительного элемента и соответствующей системы управления.

Перспективы развития разработанной структуры заключаются в ее интеграции с электронной системой управления автомобилем VVT с целью обеспечения повышения эффективности работы силового агрегата через изменение параметров вязкости масла. Это приобретает принципиально важное значение, особенно при значительном износе масла, так как при его старении меняются физико-химические свойства, что в значительной степени повышает риски механического износа и отказов ДВС.

Статья подготовлена в рамках работы над грантом Президента РФ по поддержке молодых ученых – докторов наук на 2014 – 2015 годы, МД-2782.2014.8.

Литература:

1. Козловский, В.Н. Моделирование электронной системы VVT управления двигателем легкового автомобиля // В.Н. Козловский, В.И. Строганов, В.В. Дебелов, М.А. Пьянов // Электроника и электрооборудование транспорта. – 2014. – №4. – С. 5 – 13.
2. Дебелов, В.В. Электронная система регулирования скорости движения автомобиля в режимах поддержания и ограничения скорости // В.В. Дебелов, В.И. Строганов, В.В. Иванов, В.Е. Ютт, В.Н. Козловский // Грузовик. – 2013. – №12. – С. 19 – 24.
3. Строганов, В. И. Комплекс электронных систем управления движением легкового автомобиля с комбинированной силовой установкой. Часть 1. // В.И. Строганов, В.Н. Козловский, В.В. Дебелов, М.А. Пьянов // Электротехнические и информационные комплексы и системы. – 2014. – №1. – С. 40 – 49.
4. Строганов, В.И. Комплекс электронных систем управления движением легкового автомобиля с комбинированной силовой установкой. Часть 2. // В.И. Строганов, В.Н. Козловский, В.В. Дебелов, М.А. Пьянов // Электротехнические и информационные комплексы и системы. – 2014. – №2. – С. 19 – 29.

Слукин Анатолий Михайлович – родился в 1938 году. В 1967 году окончил Куйбышевский политехнический институт. Кандидат технических наук, доцент. Защитил диссертацию на тему: «Исследование магнитоуправляемых контактов, заполненных вязкой жидкостью». Опыт работы – более 40 лет. В настоящее время работает доцентом кафедры «Промышленная электроника» Тольяттинского государственного университета. Автор более 60 научных работ.

Дебелов Владимир Валентинович – в 2012 году окончил Тольяттинский государственный университет по специальности «Промышленная электроника». Лауреат научно-технической конференции молодых специалистов ОАО «АВТОВАЗ». В настоящее время работает инженером дирекции технического развития ОАО «АВТОВАЗ» и является аспирантом Поволжского государственного университета сервиса. Автор 7 научных работ.

Козловский Владимир Николаевич – инженер по специальности «Электрооборудование автомобилей и тракторов», в 1999 году окончил Тольяттинский политехнический институт. Доктор технических наук. В 2010 году защитил докторскую диссертацию на тему: «Обеспечение качества и надежности системы электрооборудования автомобилей». Автор более 80 научных работ, в том числе двух

монографий. В настоящее время работает профессором в Поволжском государственном университете сервиса.

Иванов Виктор Васильевич – окончил Куйбышевский электротехнический институт связи. Доктор технических наук, в 2006 году защитил докторскую диссертацию на тему: «Генераторные преобразователи повышенной чувствительности для систем управления и контроля». В настоящее время работает деканом факультета информационного и технического сервиса Поволжского государственного университета сервиса, профессор кафедры «Информационный и электронный сервис». Автор более 100 научных работ.

Slukin Anatoliy – was born in 1938. In 1967 he graduated from Kuybyshev Polytechnic Institute. Candidate of Technical sciences, assistant professor. He defended the thesis on the topic: «Research of magnetically operated contacts filled with viscous fluid». Work experience is more than 40 years. At present he works as an assistant professor of «Industrial electronics» department of Togliatti State University. He has more than 60 scientific works.

Debelov Vladimir – in 2012 has graduated from Tolyattinskiy state university with a specialization in «Industrial electronics». He is an award winner of the scientific and technical conference of young professionals of JSCo «AUTOVAZ». At present he works as engineer of technical development top management in JSCo «AUTOVAZ». He is also a postgraduate student at Povolzhskiy state service university, an author of 7 scientific works.

Kozlovskiy Vladimir – is an engineer, specialization is «Car and tractor electric equipment», in 1999 he graduated from Tolyatty Polytechnic Institute. Doctor of Engineering. In 2010 he defended a Dphil, the theme is: «Quality and safety assurance of car electric equipment system». The author of more than 80 scientific works, including two monographs. At present he is a professor in Povolzhye state service university.

Ivanov Victor – has graduated from Kuibyshevskiy electronic technical communication institute. He is a Doctor of Engineering Science, in 2006 he defended a doctorate thesis on «Hypersensitive generator transducers for control and monitor systems». At present he works as dean of the information and technical service faculty at Povolzhskiy state service university, a professor of the department «Information and E-services», an author of more than 100 scientific works.

Рекуперативное торможение электровозов постоянного тока

// Recuperative braking for DC electric locomotives //

Сидорова Н.Н., д.т.н., доцент,
Третинников О.В.,
МГУПС (МИИТ), г. Москва

*Рассмотрены основные этапы развития систем рекуперативного торможения грузовых электровозов постоянного тока. Особое внимание уделяется обеспечению устойчивости электромагнитного процесса. Обоснована целесообразность перехода от электромашинного преобразователя для питания обмоток возбуждения к статическому преобразователю напряжения постоянного тока. Указаны возможности улучшения регулировочных свойств системы автоматического регулирования на базе статического преобразователя. **Ключевые слова:** железная дорога, электровозы, постоянный ток, электрическое торможение, рекуперация, тяговые электрические двигатели, статический преобразователь.*

*The main stages in the development of recuperative braking systems of freight locomotives DC. Particular attention is paid to ensuring the stability of the electromagnetic process. The expediency of the transition from the rotary converter to power the field winding of the static inverter DC voltage. Indicated the possibility of improving the properties of adjusting automatic control system on the basis of the static converter. **Keywords:** railroad, electric, direct current, electric braking, recuperation, traction electric motors, inverter.*

Рекуперативное торможение реализуют путем переключения тяговых электродвигателей ТЭД в генераторный режим. Большинство электровозов имеют коллекторные ТЭД постоянного тока последовательного возбуждения, но при рекуперации для обеспечения устойчивости электромагнитного процесса в системе «электровоз в генераторном режиме – сеть» переключают ТЭД на независимое возбуждение [1]. При этом возникает ряд проблем:

- необходим низковольтный источник постоянного тока для питания обмоток возбуждения мощностью 45 – 55 кВт;

- ТЭД, включенные по схеме генераторов независимого возбуждения, имеют жесткие нагрузочные характеристики, что затрудняет распределение нагрузки по параллельным цепям генераторов и вызывает резкие изменения тока при скачках напряжения в контактной сети;

- генератор независимого возбуждения склонен к тяжелым аварийным

процессам при коротких замыканиях, что требует специальных аппаратов защиты;

- при управлении рекуперацией необходимо регулировать тяговый электропривод с учетом нескольких параметров (ток рекуперации, ток возбуждения, напряжение на токоприемнике, коэффициент ослабления возбуждения); сохраняются также и функции, реализуемые в тяговом режиме, например, защита от избыточного скольжения колесных пар, перегрузок и т. д.

Рекуперацию начали применять уже на первых электровозах ВЛ19, используя для этого одноякорный машинный преобразователь постоянного напряжения 3 кВ для питания обмоток возбуждения [2]. Использовали схему со стабилизирующим резистором RC (рис. 1а), обеспечивающую противокомпаундирование ТЭД в генераторном режиме. Ее применяли на электровозах ВЛ19, ВЛ22, ВЛ8, но по мере увеличения мощности тяговых двигателей все более четко про-

являлись ее недостатки, связанные с повышенной мощностью источника Г для питания ОВ1-ОВ2. Установленная мощность Г должна быть рассчитана, исходя из суммарного тока двух или трех параллельных ветвей

$$I_{\Gamma} = (2 \text{ или } 3) I_{B-\max} \quad (1)$$

и напряжения

$$U_{\Gamma} = 2 I_B R_B + (I_P + I_B) R_C \quad (2)$$

где R_B – сопротивление каждой обмотки ОВ.

Следовательно, мощность преобразователя с генератором Г в 3-3,5 раза выше требуемой для питания обмоток возбуждения ОВ1-ОВ2, то есть

$$I_B U_{\Gamma} \gg I_B^2 R \quad (3)$$

Поэтому на электровозах последующих серий (ВЛ10, ВЛ11) схема рекуперации выполнена без RC, а генератор Г имеет дополнительную обмотку ОВВ, включенную в цепь якорных обмоток ТЭД 1-2 и работающую по принципу встречного возбуждения.

Противокомпаундирование реализуется при помощи этой обмотки, причем один генератор предусматривают на две цепи тяговых двигателей, поэтому он должен иметь две обмотки ОВВ и основную обмотку Н. Исключение RC улучшает энергетику системы рекуперации, но выявляются сопутствующие недостатки:

- реализация обратной связи через магнитную систему генератора Г характеризуется замедленным быстрым действием, что ухудшает качество противокомпаундирования в переходных режимах;

- особенно актуальной становится проблема защиты от коротких замыканий (КЗ), в том числе и от внешних КЗ. В схеме с RC эта защита реализуется автоматически путем реверси-

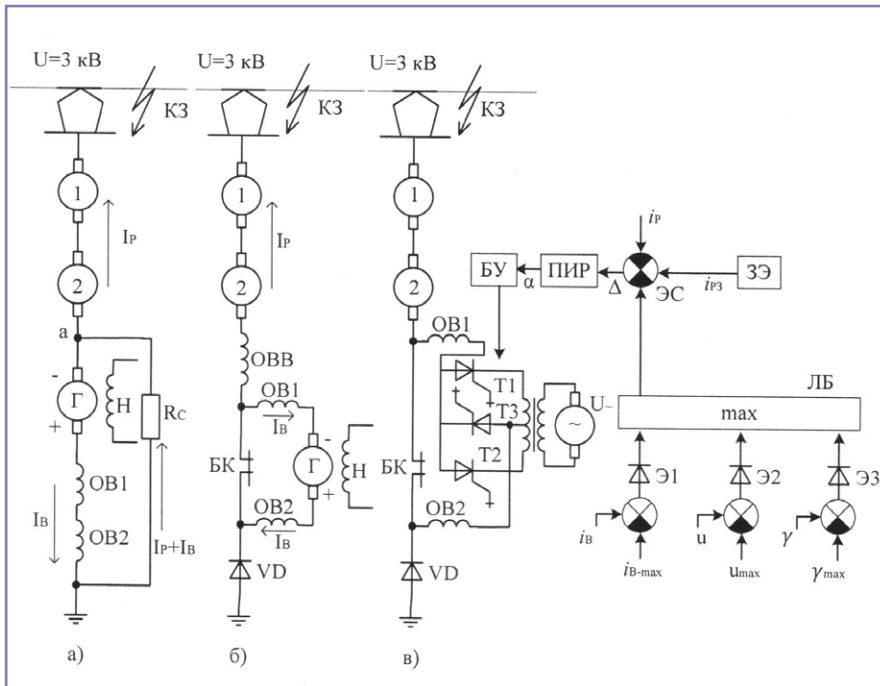


Рис. 1. Системы рекуперации электровозов постоянного тока: а) со стабилизирующим сопротивлением R_c ; б) с противовозбуждением генератора Γ ; в) на базе статического преобразователя.

рования тока в $OB1$ - $OB2$. В схему по рис. 1б для этого введен быстродействующий контактор БК.

Следующий этап развития рекуперативного торможения связан с заменой машинного источника Γ статическим преобразователем напряжения контактной сети, выполненным на базе автономного инвертора с выходным трансформатором [3]. Такие преобразователи целесообразно выполнять универсальными, предусматривая питание от них всех нетяговых нагрузок (вспомогательные машины, заряд аккумуляторов, цепи управления и др.) [4]. Такой многофункциональный преобразователь существенно улучшает качество функционирования электровоза.

Переход на питание обмоток возбуждения от статического преобразователя СП обычно реализуют по схеме, изображенной на рис. 1в [5]. Переменное напряжение U с выхода многофункционального преобразователя поступает на разделительный трансформатор Tr , к выходу которого подключен выпрямитель на тиристорах $T1$ - $T2$. Он выполнен по нулевой схеме и питает обмотки двухпульсным напряжением, но ток возбуждения практически не пульсирует

из-за большой индуктивности обмоток $OB1$ - $OB2$.

Недостаток выпрямителя $T1$ - $T2$ по сравнению с генератором Γ состоит в том, что в процессе защиты от КЗ размыкание БК не приводит к реверсированию тока I_B , поскольку выпрямитель не пропускает ток в обратном направлении. Поэтому выпрямитель должен быть зашунтирован в обратном направлении тиристором $T3$; его включают при размыкании БК. Включение $T3$ вызывает короткое замыкание в системе «трансформатор – выпрямитель», поэтому она должна быть снабжена соответствующей защитой, или ее нужно рассчитать на кратковременную работу в режиме короткого замыкания, например, путем повышения индуктивности рассеяния Tr .

Таким образом, переход на статический преобразователь обеспечивает значительные преимущества, но для некоторых режимов необходима дополнительная проработка взаимодействия преобразователя с силовой частью электровоза. Нужно учесть опыт использования рекуперации на электропоездах, в частности, на поездах наиболее массовых серий ЭД2 и ЭД4 всех модификаций, где защита выполнена без БК.

Преимущества статического преобразователя определяются его высоким быстродействием, что позволяет полностью автоматизировать процесс торможения по принципу задания тока рекуперации при помощи задающего элемента ЗЭ. Этот регулятор выполняется по известному принципу, реализованному в системах САУРТ-034 и АСУР-021, разработанных в МИИТе [6]. Контур регулирования содержит элемент сравнения ЭС, пропорционально-интегральный регулятор ПИР и блок управления БУ тиристорами $T1$ - $T2$.

Поддержание заданного значения тока рекуперации осуществляется с учетом ограничений по напряжению U на токоприемнике, по току возбуждения I_B , а также по коэффициенту регулирования магнитного потока ТЭД. Последнее ограничение при регулировании электрического торможения представляют как

$$\gamma = \frac{1}{\beta} = \frac{I_P}{I_B} \quad (4)$$

где β – коэффициент ослабления возбуждения ТЭД, минимальное значение которого нормируют по условиям коммутации на коллекторе. Для электровозов ВЛ11М при $\beta_{\min} = 0,4$ имеем $\gamma_{\max} = 2,5$.

Ограничительные функции выполняют элементы Э1-Э3, на выходах которых нормально должны быть отрицательные значения

$$\begin{cases} \Delta i_B = (i_B - i_{B-max}) < 0 \\ \Delta i_P = (i_P - i_{P-max}) < 0 \\ \Delta \gamma = (\gamma - \gamma_{max}) < 0, \end{cases} \quad (5)$$

которые блокируются диодами и не влияют на работу контура регулирования i_P . Если же любая из рассматриваемых величин превысит заданное ограничение, то соответствующая разность (5) будет положительной. Через логический блок ЛБ она поступит на ЭС и приведет к снижению I_B и той величины из указанных в (5), которая превышает заданное ограничение. Эти ограничения задают заранее путем настроек системы, а фактические значения всех рассматриваемых величин замеряют датчиками тока и напряжения. Значения этих величин в силовых цепях электровоза обозначены большими латинскими буквами,

а отображающие их низковольтные сигналы в контуре автоматического регулирования – такими же прописными буквами.

Быстродействие системы со статическим преобразователем по крайней мере на порядок выше, чем у машинного (электромеханического) преобразователя. Здесь особое значение имеют параметры ПИР, которые должны соответствовать постоянной времени объекта регулирования, то есть ТЭД. Максимальное быстродействие необходимо для отработки воздействий от контактной сети. При регулировании других переходных процессов нужно учитывать продольную динамику поезда: включение тормоза выполняют с предварительным сжатием поезда усилием примерно 60 кН, интенсивность нарастания тормозной силы должна быть ограничена даже при резких изменениях выходной величины ЗЭ. Для пассажирских поездов должно соблюдаться ограничение по интенсивности изменения замедления по критерию К. Хорвата [7]

$$h = \frac{d^2x}{dt^2} < (1 \div 1,5) \text{ м/с}^3 \quad (6)$$

Характерна тенденция модифицировать характеристики ТЭД путем воздействия на ток возбуждения при помощи быстродействующих систем управления (в тяговом и тормозных режимах). Такую модификацию называют смешанным [8] или последовательно-независимым возбуждением [9] и начинают использовать, например, на новых электровозах 2ЭС6.

После эксплуатационных испытаний и доработки систему со статическим преобразователем целесообразно использовать для модернизации электровозов ВЛ10 и ВЛ11 в процессе их заводского ремонта.

Литература:

1. Трахтман Л.М. Электрическое торможение электроподвижного состава. – М.: Транспорт, 1965. – 201 с.
2. Калинин В.К. Электровозы и электропоезда. – М.: Транспорт, 1991. – 480 с.
3. Бурков А.Т. Электронная техника и преобразователи: Учебник для вузов ж/д транспорта – М.: Транспорт, 1999. – 464 с.
4. Ройтман А.С., Яцук В.Г. Высоковольтный преобразователь напряжения для пассажирских вагонов. Патент РФ № 2282933 кл. H02M3/335, опубл. 27.08.2006.
5. Электровоз ВЛ15С. Техническое описание: раздел «Рекуперативное торможение», ТЭВЗ, 2005.
6. Иньков Ю.М., Фельдман Ю.И. Электроподвижной состав с электрическим торможением: Учебное пособие для вузов ж/д трансп. – М.: ГОУ «УМЦ ЖДТ», 2008. – 412 с.
7. Horvat K. Ueber die Bedeutung des Ruckes und zeitlichen Aenderung der Beschleunigung der Schienenfahrzeuge // Periodica Politechnica. TU Budapest, 1973, v.1, s. 12–19.
8. Пыров А.Е., Левашов П.Ю. Система смешанного возбуждения тяговых электродвигателей электровоза. Патент РФ № 2371332 кл. B60L9/04, от 27.10.2009.
9. Мазнев А.С., Баранов В.А. Импульсные регуляторы в цепях тяговых двигателей при последовательно-независимом возбуждении // Электроника и электрооборудование транспорта, 2011, №2-3, стр. 37 – 41.

Сидорова Наталья Николаевна – родилась в 1950 году. В 1972 году окончила Московский институт инженеров транспорта (МИИТ) по специальности «Электроснабжение железных дорог». Доктор технических наук, доцент. В 2001 году защитила диссертацию по теме: «Энергоемкость перевозочного процесса в электрической тяге поездов и обоснование путей энергосбережения». Опыт работы – 39 лет. В настоящее время работает профессором кафедры «Электропоезда и локомотивы» МГУПС (МИИТ). Имеет свыше 60 научных трудов, включая 9 изобретений.

Третинников Олег Владимирович – родился в 1987 году. В 2009 году окончил МГУПС (МИИТ) по специальности «Электрический транспорт железных дорог». Опыт работы – 7 лет. В настоящее время работает программистом I категории в ИЭФ МИИТ. Имеет 2 научные публикации.

Sidorova Natalya – was born in 1950. In 1972 she graduated from Moscow transport engineer institute (MIIT) with specialization in «Electrical supply of rail roads». She is a Doctor of Engineering, docent. In 2001 she defended a thesis on the subject: «Energy capacity of the traffic in train electric traction and explanation of ways of energy conservation». She has 39 years of work experience. At present she works as professor at the department «Electrical trains and locomotives» in MGUPS (MIIT). She has more than 60 scientific works, including 9 patents.

Tretinnikov Oleg – was born in 1987. In 2009 he graduated from MGUPS (MIIT) with specialization in «Electrical transport of rail roads». He has 7 years of work experience. At present he works as first class programmer in IEF MIIT. He has 2 scientific works.

Система электропитания универсального многоканального телеуправляемого необитаемого буксируемого комплекса

// Power supply system universal multi-channel remotely operated unmanned towed complex //

Мишин В.Н., к.т.н., Рулевский В.М., к.т.н.,
Научно-исследовательский институт автоматики
и электромеханики ТУСУР, г. Томск

Тарасенко А.А.,
Государственный научный центр «Ожморгеология»,
г. Геленджик

В работе рассмотрен основной принцип построения системы электропитания универсального многоканального телеуправляемого необитаемого буксируемого комплекса. Предложена структурная схема системы электропитания телеуправляемого необитаемого буксируемого комплекса с передачей энергии по кабель-тросу переменным напряжением повышенной частоты, которая позволяет решить задачи увеличения удельной мощности подводной части и улучшения ее массогабаритных показателей.
Ключевые слова: система электропитания, телеуправляемый необитаемый буксируемый комплекс, структурная схема.

The article discusses the basic principle of the power supply system of universal multi-channel remotely operated unmanned towed complex. The structural scheme of the power supply remotely operated unmanned towed complex energy transfer in cable-tether AC voltage high frequency, which allows to solve the problem of increasing the power density of the underwater part and improve its weight and dimensions.
Keywords: power supply system, remotely operated unmanned towed complex, structural scheme.

Возросший объем геологоразведочных, поисково-оценочных и других видов работ на отдельных участках морского дна, а также в глубоководных районах Мирового океана (до 6000 м) вызвал необходимость развития нового класса многофункциональных глубоководных технических средств. В наибольшей степени решению этих задач отвечают универсальные телеуправляемые необитаемые буксируемые комплексы (ТНБК).

Применение научно-исследовательской, фотографической и телевизионной аппаратуры на больших глубинах требует использования мощных осветительных приборов и двигателей со значительным энергопотреблением. Суммарная мощность токоприемников ТНБК достигает нескольких десятков киловатт, поэтому вопросы энергоснабжения данных систем име-

ют важное значение при проектировании подводных комплексов [1].

Целью данной работы является разработка системы электропитания универсального многоканального телеуправляемого необитаемого буксируемого комплекса, имеющей

лучшие массогабаритные показатели, высокую надежность и ресурсоэффективность.

На рис. 1 представлена общая схема телеуправляемого необитаемого буксируемого комплекса, подключенного к сети обеспечивающего судна (СЭП ТНБК), которая условно состоит из двух частей: СЭП бортовой (БЧ) и подводной части (ПЧ). СЭП БЧ расположена на борту обеспечивающего судна, питание ее осуществляется от трехфазной судовой сети, основной или резервной, напряжением 380 В, частотой 50 Гц. Напряжение с выхода СЭП БЧ передается по кабель-тросу на СЭП ПЧ, устанавливаемую на гараже-заглубителе и телеуправляемом необитаемом подводном аппарате (ТНПА).

В современных системах подводного оборудования с дистанционным управлением используется в качестве составной части гараж-заглубитель, в котором может размещаться ТНПА при его доставке на глубину. Гараж-заглубитель в своем составе имеет кабину для размещения подводного аппарата, лебедку с барабаном плавучего кабеля и системой, управляющей длиной свободного плавучего

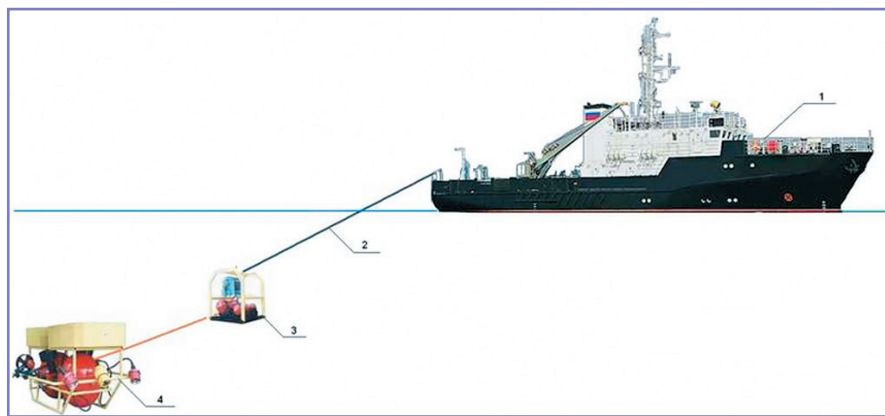


Рис. 1. Общая схема телеуправляемого необитаемого буксируемого комплекса: 1 – обеспечивающее судно; 2 – кабель-трос; 3 – гараж-заглубитель; 4 – телеуправляемый необитаемый подводный аппарат.

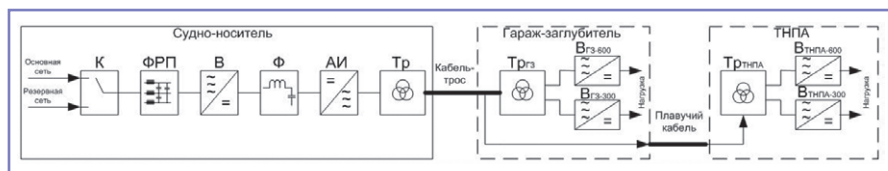


Рис. 2. Система электропитания телеуправляемого необитаемого буксируемого комплекса с передачей энергии по кабель-тросу переменным напряжением повышенной частоты.

кабеля между гаражом-заглубителем и подводным аппаратом [2]. Гараж-заглубитель также позволяет установить на нем часть блоков СЭП и управления, при этом освобождается дополнительное, полезное пространство на ТНПА и снижается его вес.

Питание ТНБК с обеспечивающего судна по кабель-тросу может осуществляться на переменном и постоянном токе.

Недостатками СЭП на постоянном токе являются низкие массогабаритные характеристики ПЧ СЭП и ее сложность, обусловленная наличием преобразователей напряжения в ПЧ. Одним из основных путей увеличения удельной мощности СЭП ПЧ и повышения ее надежности является передача энергии по кабель-тросу на переменном токе повышенной частоты.

На рис. 2 представлена СЭП ТНБК с передачей энергии по кабель-тросу переменным напряжением повышенной частоты, отвечающая всем требованиям, предъявляемым к современным системам электропитания подводных аппаратов.

БЧ СЭП содержит коммутатор сети К, вход которого соединен с судовой сетью. С коммутатора К напряжение через фильтр радиопомех ФРП поступает на выпрямитель В, затем через фильтр Ф – на трехфазный автономный инвертор АИ, который повышает частоту питающего напряжения до 1000 Гц. Выход инвертора АИ соединен с первичными обмотками повышающего трехфазного трансформатора Тр, который, в свою очередь, повышает напряжение до величины $U_{ЛЭФФ} = 1000 \div 1500$ В, а вторичные обмотки которого соединены с кабель-тросом, связанным с первичными обмотками трансформатора ТрГЗ ПЧ, установленного на гараже-заглубителе. Вторичные обмотки согласующего трансформатора гаража-заглубителя ТрГЗ соединены с выпрямителями

ВГЗ-600 и ВГЗ-300, формирующими питающие напряжения для гаража-заглубителя 600 и 300 В. С выхода плавучего кабеля напряжение поступает на первичные обмотки согласующего трансформатора ТрТНПА, расположенного на подводном аппарате. Вторичные обмотки согласующего трансформатора ТрТНПА соединены с выпрямителями ВТНПА-600 и ВТНПА-300, формирующими питающие напряжения для подводного аппарата 600 и 300 В.

Достоинствами данной системы являются высокие массогабаритные показатели трансформатора ТрГЗ и трансформатора ТрТНПА за счет повышения частоты питающего напряжения автономным инвертором АИ до 1000 Гц, простота и надежность системы электропитания подводной части.

Увеличение напряжения и частоты тока в кабель-тросе ведет к возрастанию емкостной составляющей тока, дополнительно нагружающей силовые жилы, что приводит к дополнительным потерям и уменьшает полезную нагрузку. С другой стороны, увеличение напряжения ведет к уменьшению составляющей величины тока, зависящего от полезной мощности ТНБК. Поэтому существует оптимальное соотношение, связывающее величины напряжения и частоты, при которых масса и стоимость СЭП, включая стоимость кабель-троса, минимальны.

Компенсация емкостного тока возможна с помощью компенсирующих дросселей, устанавливаемых на выходе БЧ СЭП и на входе ПЧ. Распределение реактивной мощности при работе в кабель-тросе показано на рис. 3. Пунктиром показано распределение этой мощности, если компенсирующий дроссель установлен только на одном из концов кабель-троса, то есть только на БЧ СЭП.

В настоящее время целесообразно совместить функции компенсирую-

щих индуктивностей и согласующих трансформаторов, для чего сердечники трансформаторов Тр, ТрГЗ и ТрТНПА изготавливают из аморфных магнетомягких сплавов, магнитные проницаемости которых, соответственно, выбраны из условия

$$Q_{\mu\text{Тр}} \approx Q_{\mu\text{ТрГЗ}} + Q_{\mu\text{ТрТНПА}} \approx 0,5Q_{\kappa} \quad (1)$$

где $Q_{\mu\text{Тр}}$ – реактивная мощность трансформатора бортовой части системы, ВАр;

$Q_{\mu\text{ТрГЗ}}$ – реактивная мощность трансформатора гаража-заглубителя, ВАр;

$Q_{\mu\text{ТрТНПА}}$ – реактивная мощность трансформатора телеуправляемого необитаемого подводного аппарата, ВАр;

Q_{κ} – реактивная мощность в кабель-тросе, обусловленная емкостным током, ВАр.

Реактивная мощность трансформатора и кабель-троса определяется по формулам (2) и (3)

$$Q_{\mu\text{Тр}} = \frac{3U_{\text{Тр}}^2}{X_L}, \quad Q_{\kappa} = \frac{3U_{\kappa}^2}{X_c},$$

$$Q_{\mu\text{Тр}} = \frac{3U^2}{X_L} \quad (2)$$

где $U_{\text{Тр}}$ – напряжение трансформатора, В;

$X_L = 2\pi fL_{\text{Тр}}$ – эквивалентное реактивное (индуктивное) сопротивление трансформатора, Ом;

f – частота, Гц;

$L_{\text{Тр}}$ – индуктивность намагничивания трансформатора.

$$Q_{\mu\text{Тр}} = \frac{3U_{\text{Тр}}^2}{X_L}, \quad Q_{\kappa} = \frac{3U_{\kappa}^2}{X_c} \quad (3)$$

где U_{κ} – напряжение в кабель-тросе, В;

X_c – эквивалентное реактивное (емкостное) сопротивление кабель-троса, Ом.

Индуктивность намагничивания трансформатора может быть определена из выражения

$$L_{\text{Тр}} = \frac{w^2 \mu_0 \mu_S}{l} \quad (4)$$

где w – число витков;

$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ – магнитная постоянная, Гн/м;

μ – относительная магнитная проницаемость сердечника;

S – площадь сечения сердечника, м²;

l – длина средней магнитной линии сердечника, м.

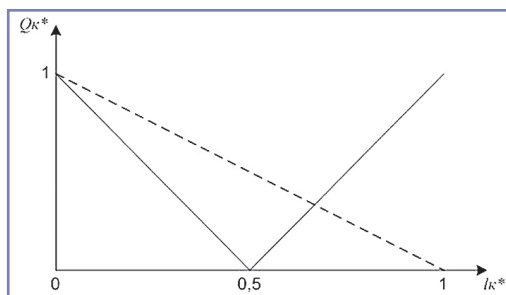


Рис. 3. Распределение выделяемой реактивной мощности в кабель-тросе:

$Q_{к*}$ – реактивная мощность в кабель-тросе, в относительных единицах;

$l_{к*}$ – длина кабель-троса, в относительных единицах.

Применение указанного технического решения обеспечивает оптимизацию массогабаритных и стоимостных показателей СЭП. Уменьшение габаритов и массы, по сравнению с применением отдельных компенсирующих дросселей, составляет примерно 1,5 – 2 раза.

На базе предложенной структурной схемы, представленной на рис. 2, была разработана система электропитания универсального многоканального телеуправляемого необитаемого буксируемого комплекса мощностью 10 кВт (рис. 4).

Выводы

Реализованная структурная схема СЭП ТНБК с передачей энергии по кабель-тросу переменным напряжением повышенной частоты (рис. 2) обеспечивает стабилизацию напря-

жения на нагрузках подводного аппарата и отвечает основным требованиям, предъявляемым к современным СЭП ТНБК.

Техническое решение, когда функции компенсирующих индуктивностей совмещены с функциями трансформаторов, обеспечивает оптимизацию массогабаритных и стоимостных показателей при разработке систем электропитания телеуправляемых подводных комплексов нового поколения. Уменьшение габаритов и массы, по сравнению с применением отдельных компенсирующих дросселей, составляет 1,5 – 2 раза.

Литература:

1. Подводные аппараты для геологических исследований / Под. ред. А. М. Игнатова – Геленджик: ПО «Южморгеология», 1990. – 92 с.
2. Ястребов В. С. Телеуправляемые подводные аппараты. – Л.: Судостроение, 1985. – 232 с.

Мишин Вадим Николаевич – родился в 1939 году. В 1962 году окончил Томский политехнический институт по специальности «Электрофикация промышленных предприятий». Кандидат технических наук. В 1966 году защитил диссертацию по теме: «Вентильный преобразователь с искусственной коммутацией». Опыт работы – 53 года. В настоящее время работает заведующим отделом Научно-исследовательского института автоматики и электромеханики Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. Имеет более 80 научных трудов, 50 патентов.

Рулевский Виктор Михайлович

– родился в 1980 году. В 2003 году окончил Томский политехнический университет по специальности «Электротехника, электромеханика и электротехнологии». Кандидат технических наук. Защитил диссертацию по теме: «Система электропитания телеуправляемого необитаемого аппарата большой энерговооруженности». Опыт работы – 12

лет. В настоящее время работает заместителем директора по опытно-конструкторским работам Научно-исследовательского института автоматики и электромеханики Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. Имеет более 30 научных трудов, 8 патентов.

Тарасенко Андрей Александрович

– родился в 1961 году. В 1984 году окончил Таганрогский радиотехнический институт им. Калмыкова по специальности «Автоматика и телемеханика». Опыт работы – 30 лет. В настоящее время работает заместителем генерального директора по опытному производству и науке Государственного научного центра «Южморгеология», г. Геленджик. Имеет 5 патентов, более 12 публикаций. Награжден Медалью 2 степени к ордену «За заслуги перед Отечеством».

Mishin Vadim

– was born in 1939. In 1962 he graduated from Tomskiy Polytechnic Institute with specialization in «Electrification of industrial plants». He is a candidate of Sciences. In 1966 he defended a thesis on the subject «Valve inverter with artificial commutation». He has 53 years' work experience. At present he works as division head of the Research institute of automatics and electromechanics of TUSUR, Tomsk. He has more than 80 scientific works, 50 patents.

Rulevskiy Viktor

– was born in 1980. In 2003 he graduated from Tomsk Polytechnic University with a degree in «Electrical engineering, electrical machinery and electric technologies». He is a candidate of Technical Sciences. He defended the thesis on the topic: «Power supply system of remotely controlled uninhabited machine of big power loading». Work experience is 12 years. At the present time he works as a deputy director of design and experimental works in The Research Institute of Automatics and Electromechanics of TUSUR, Tomsk. He has more than 30 publications and 8 patents.

Tarasenko Andrey

– was born in 1961. In 1984 he graduated from Taganrog Radioengineering Institute n.a. Kalmykov with a degree in «Automatics and telemechanics». Work experience is 30 years. At the present time he works as a Deputy General Director of trial production and science in the State Scientific Centre YUZHMOREGLOGIYA, Gelendzhik. He has 5 patents and more than 12 publications. He was awarded with the 2d grade medal to the order «For Merit to the Fatherland».



Рис. 4. Система электропитания универсального многоканального телеуправляемого необитаемого буксируемого комплекса.

Особенности проектирования узкоградусной линзы для светодиодного прожектора локомотива

// Design features of lens narrow degree for LED spotlight locomotive //

**Харитонов И.В.,
Сергеев Б.С., д.т.н., профессор,
УрГУПС, г. Екатеринбург**

Рассмотрены особенности фокусировки излучения светодиода прожекторов локомотивов железнодорожного транспорта. Приведены результаты проектирования узкоградусной линзы светодиода с эффектом полного внутреннего отражения. Показаны результаты моделирования разработанной оптической системы в пакете TracePRO. Практические результаты работы внедрены на серийно выпускаемых локомотивах.

Ключевые слова: локомотив, прожектор, вторичная оптика, светодиоды, нормы безопасности, эффект полного внутреннего отражения света.

В современных локомотивах железнодорожного транспорта в последнее время в головных источниках света (прожекторах) используются светодиодные модули, обеспечивающие по сравнению с лампами накаливания значительно больший срок службы [1] и меньшее потребление электрической энергии [2, 3].

Для вновь разрабатываемых локомотивов требуется выполнение норм безопасности – значений осевой силы света головных прожекторов, которые приведены в таблице 1 [4].

Кроме приведенных норм для локомотивного прожектора характерна глубокая диаграмма направленности с углом $\varphi = 3^\circ$. В прожекторах ранее выпущенных локомотивов применяются лампы накаливания мощностью $P_{\text{лн}} = 500$ Вт с зеркальным отражателем, у которых световой поток

In this work shows: the features of focusing of LED spotlights for locomotives, the results of designing of lens narrow degree for LED with the effect of total internal reflection, the results of simulations in the TracePRO program. Practical results of this work is used in commercially sold locomotives. Keywords: locomotive, spotlight, secondary optics, LEDs, safety standards, the effect of total internal reflection of light.

примерно равен $\Phi = 8000$ Лм [5].

Так как основным параметром узкоградусной оптической системы является отношение осевой силы света к общему световому потоку излучателя $E_{\text{ф}} = \frac{I_0}{\Phi_{\text{лн}}}$, [Кд/Лм] (характеризующий абсолютную высоту пика на кривой силы света), ламповый прожектор обладает характеристикой $E_{\text{ф}} = 80-120$ Кд/Лм.

В настоящее время промышленностью не выпускаются светодиоды со световым потоком $\Phi = 8000$ Лм. Обычно для существующих светодиодов максимальное значение $\Phi_{\text{макс}} = 1000$ Лм. Кроме того, в подобных светодиодах имеет место большая площадь, с которой происходит излучение светодиода (световое тело – СТ). В этом случае решение вопроса эффективной фокусировки светового

потока является трудоемкой и экономически неэффективной задачей.

Причина этого заключается в том, что при соизмеримых размерах СТ и вторичной оптики на одну и ту же точку оптики световые лучи от разных точек СТ, которое уже нельзя считать точечным, падают под разными углами, что в конечном итоге приводит к достаточно большой ширине пучка отраженного света [8], что увеличивает угловой размер элементарных отображений СТ.

На рис. 1 приведена иллюстрация распространения светового потока для двух размеров светового тела. Если размеры СТ пренебрежимо малы, что соответствует точке СТ1, то угловой размер элементарного отображения будет равен $\alpha = 0$. При конечных размерах СТ (представлено обозначением СТ2) угловой размер будет равен α . Таким образом, увеличение размеров СТ обуславливает уменьшение осевой силы света излучателя.

Для уменьшения влияния данного эффекта необходимо увеличивать габаритные размеры оптической системы, поверхность которой требует особых высокоточных методов обработки. Исходя из этого, в качестве светодиода необходимо использовать кристалл синего излучения с лю-

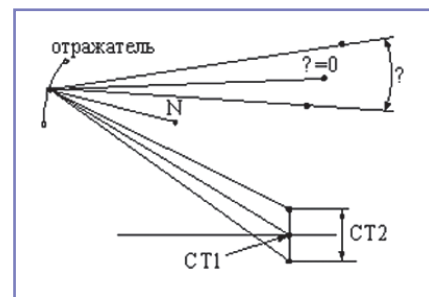


Рис. 1. Иллюстрация изменения ширины светового потока при различной площади светового тела.

Таблица 1. Нормы осевой силы света головных прожекторов.

Режим работы локомотива	Осевая сила света, I_0 , кКд
«яркий свет»	640-960
«тусклый свет»	70-120

минофором, нанесенным на кристалл, а не RGB типа или УФ-светодиод с люминофором. Применение УФ-светодиода исключается по причине возможного появления большой доли УФ излучения в спектре прожектора.

Таким образом, особенность светодиодного прожектора с глубокой диаграммой направленности заключается в том, что световой поток должен излучаться несколькими светодиодами с относительно малыми размерами СТ, каждый из которых имеет свою вторичную оптику.

Изложенное свидетельствует о том, что в светодиодных прожекторах должна использоваться распределенная оптика с N-количеством единичных светодиодов в отличие от ламповых прожекторов с одним источником излучения.

В настоящее время существуют два способа формирования требуемой диаграммы направленности светодиода: использование отражателя или использование линзы с эффектом полного внутреннего отражения.

Выбор отражателя для лампы накаливания в прожекторах вызван в первую очередь относительно простым способом обслуживания, так как машинисту при необходимости замены часто отказывающихся ламп требуется чистить загрязненную отражающую поверхность. В случае светодиодной техники ситуация иная, использование отражателя в качестве светотехнической аппаратуры оставляет светодиод не защищенным от внешней среды. Иными словами, грязевые отложения легко покрывают светодиод, чистка которого вне места стоянки и ремонта практически невозможна. При этом можно легко повредить светодиод, и во многих ситуациях в эксплуатации чистку подобной системы выполнить практически невозможно без демонстрации прожектора.

Использование в светодиодных прожекторах линзы и холдера (держателя), плотно обволакивающего линзу со стороны отражающих граней, уменьшает загрязнение поверхности линзы и первичной оптики светодиода.

Особенность излучения светодиода заключается в том, что не весь свет, сгенерированный переходом, выво-

дится из кристалла. Одну из основных причин потерь составляет потеря на полное внутреннее отражение в связи с большим различием показателей преломления полупроводника $n_{\text{п}}$ и воздуха $n_{\text{в}}$.

Угол полного внутреннего отражения излучения от границы воздух-кристалл определяется

$$\text{Sin} \alpha = \frac{n_{\text{в}}}{n_{\text{п}}} \quad (1)$$

Для светодиодных кристаллов на основе InGaN-гетероструктур (используемых для получения кристалла, излучавшего с синем спектре) критический угол составляет $\alpha \approx 23^\circ$ [6].

Существует несколько путей повышения светового выхода из полупроводника. Эффективным способом [7] является помещение кристалла в среду с показателем преломления $n_{\text{в}} < n < n_{\text{п}}$ для увеличения критического угла. Если в качестве среды использовать прозрачный эпоксидный компаунд, то критический угол α возрастает. Если прибор предназначен для вывода излучения в воздух, то для сохранения коэффициента вывода излучения конфигурация полимерного покрытия должна быть такой, чтобы свет падал на поверхность раздела компаунд-воздух под углом меньше критического для этой границы. Таким образом, диаграмма направленности светодиода определяется конфигурацией этого компаунда.

Рассмотрим особенности взаимодействия вторичной оптики со светодиодом и принципов конструирования основных элементов линзы, а учет возможных aberrаций опустим. Для получения узкой диаграммы направленности внешняя грань должна быть выполнена в виде эллипсоида вращения. Внутренняя поверхность линзы, которая одновременно является отверстием для установки светодиода, отклоняет боковые лучи светодиода на угол полного внутреннего отражения для более эффективного использования светового потока в линзе. Форма отверстия для размещения светодиода должна выбираться, исходя из условий увеличения световой эффективности линзы, а также технологичности изготовления линзы. При выборе формы и размера внутренней поверхности линзы необходимо учитывать, что разме-

щение поверхности линзы на небольшом расстоянии от первичной оптики требуется для обеспечения корректного теплового режима светодиода, а также для уменьшения вероятности повреждения светодиода при сборке. Сравнительный анализ в пакете моделирования TrasePRO показал, что коническая поверхность с полусферой в основании наиболее эффективна. Причем полусфера должна быть сконструирована как собирающая линза для фронтальных лучей светодиода, а наклон зависит от материала линзы. Через определенное расстояние после полусферы можно выбрать часть материала линзы, что позволяет получить экономию на материале и стоимости изделия и уменьшить потери света, световой пучок которого уже сфокусирован.

Ослабление света в материале можно оценить по закону Бугера

$$I(l) = I_0 e^{-k_{\lambda} l} \quad (2)$$

где I_0 – интенсивность входящего пучка, Кд; l – толщина слоя вещества, м; k_{λ} – показатель поглощения вещества, м^{-1} . Для каждого вещества показатель k_{λ} различен, кроме того, его величина зависит от длины волны.

Как известно, уравнение внешней грани

$$y^2 = 2px \quad (3)$$

где p – фокальный параметр, равный половине фокусного расстояния параболы, м.

Диаметр выходного отверстия параболы

$$D = 2x_{\text{max}} = 4fg \left(\frac{\varphi_{\text{max}}}{2} \right) \quad (4)$$

где x_{max} – высота параболы, но не линзы, м; f – фокусное расстояние линзы, м; φ_{max} – полярный угол, град.

Отсюда площадь светового отверстия линзы

$$S = 4f^2 \pi \text{tg}^2 \left(\frac{\varphi_{\text{max}}}{2} \right) \quad (5)$$

Осевая сила света линзы, согласно закону Манжена

$$I_0 = kSl \quad (6)$$

где k – коэффициент выхода прибора (линзы); S – полная площадь светового отверстия, м^2 ; L – яркость СТ, Кд/ м^2 .

Анализ выражений (2) и (6) показывает, что, с одной стороны, необходимо увеличивать световое отверстие линзы, с другой – увеличение габаритов линзы приведет к большим потерям на поглощение света в теле линзы. Следовательно, необходимо находить определенный оптимум геометрических размеров линзы, при котором приращение осевой силы света за счет увеличения выходного отверстия линзы будет превалировать над потерями, связанными с поглощением света.

Дополнительного повышения осевой силы света можно добиться за счет небольшой собирающей линзы на внутренней поверхности линзы.

Уравнение собирающей линзы в основании конуса внутренней поверхности

$$\frac{n_b}{f} = (n_c - n_b) \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} + \frac{(n_c - n_b)d}{n r_1 r_2} \right) \quad (7)$$

где n_c – показатель преломления материала линзы; n_b – показатель преломления воздуха; f – фокусное расстояние линзы, м; r_1 – радиус кривизны поверхности ближе к светодиоду, м; r_2 – радиус кривизны поверхности дальше от светодиода, м.

Исходя из изложенного выше тезиса о выборке части материала линзы, целесообразно выполнить выборку в виде цилиндра. Таким образом, можно считать, что $r_2 = \infty$, и

$$\frac{n_b}{f} = (n_c - n_b) \frac{1}{r_1} \quad (8)$$

Выражение (8) содержит два параметра: r_1 и f , необходимо произвести выбор f (тогда r_1 будет рассчитываться по формуле 8), он будет определяться конструкцией внешней грани линзы, положением фокуса внешней грани (данный фокус будет совпадать с фокусом собирающей линзы), размерами светодиода.

Для моделирования светодиод можно представлять упрощенно в виде плоской равнояркой пластины или, что более корректно, воспользоваться моделями, предлагаемыми производителем. Например, для TracePRO используются файлы формата *.dat, *.ray. Конструкцию вторичной линзы можно рассчитать и построить в пакете твердотельного моделирования,

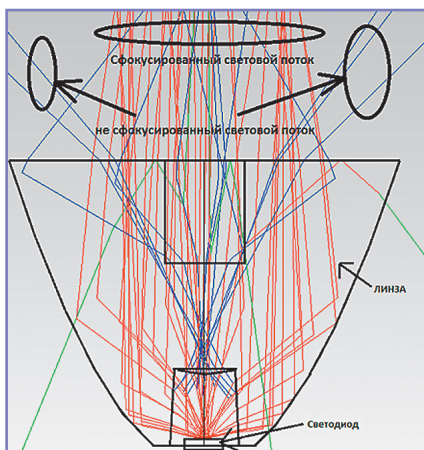


Рис. 2. 3D модель проектируемой линзы.

например, в SolidWorks, после чего импортировать ее в TracePRO.

Результаты 3D моделирования линзы со светодиодом представлены на рис. 2. Разброс в области показанного сфокусированного излучения обусловлен заданными при моделировании геометрическими размерами СТ. Изображенная несфокусированная часть излучения, отсутствующая на реальном излучателе, вызвана погрешностями расчета.

В результате проделанной работы проведено исследование способа конструирования головного прожектора для локомотива, выполнен расчет и моделирование узкоградусной линзы для светодиода с эффектом полного внутреннего отражения.

По результатам исследования выполнено практические конструирование светодиодных прожекторов, внедренных на ОАО «РЖД» в ряде локомотивов (2ЭС10, ТЭ8, ТЭМ9Н и др.).

Литература:

1. Ададунов С.Е., Розенберг Е.Н., Мурашова М.А. Концепция комплексной программы «Внедрение светодиодной техники в ОАО «РЖД» // Автоматика, связь, информатика, 2009. – № 2. – С. 2-5. ISSN 0005-2329.
2. Давиденко Ю.И. Современная схемотехника в освещении – СПб.: Наука и техника, 2008. – 320 с.
3. Овсякина М.А., Сергеев Б.С., Сисин В.А. Направление совершенствования светодиодных светофоров // Транспорт Урала, 2013. – № 3. – С. 66-68. ISSN 1815-9400.
4. Тепловозы. Нормы безопасности. НБ ЖТ ЦТ 02-98. Ред. 2 – М.: ОАО «РЖД». – 1998. – 56 с.
5. Интернет-ресурс: <http://www.aventa-elektro.ru/info/haract.php>. Характеристики ламп накаливания. Обращение: март 2014.
6. Данилина Т.И., Троян П.Е., Чистоедова И.А.

Создание микрорельефных поверхностей в просветляющих оптических покрытиях для повышения внешней квантовой эффективности синих светодиодов на основе GaN. Нанотехнология. Фотоника. Физическая и плазменная электроника. Доклады ТУ-СУРа, № 2 (24), часть 2, декабрь 2011 с. 64-67.

7. Коган Л.М. Полупроводниковые светоизлучающие диоды. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 208 с.

8. Трембач В.В. Световые приборы: учеб. для вузов по спец. «Светотехника и источники света» – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 1990 – 463 с.

Харитонов Игорь Владимирович – родился в 1989 году. В 2012 году окончил Уральский Федеральный университет (УрФУ) по специальности «Электроника и автоматика физических установок». Опыт работы – 3 года. В настоящее время учится в аспирантуре Уральского государственного университета путей сообщения. Имеет 1 научный труд, 1 патент.

Сергеев Борис Сергеевич – родился в 1941 году. В 1964 году окончил Уральский электромеханический институт инженеров транспорта (УЭМИИТ) по специальности «Автоматика, телемеханика и связь на железнодорожном транспорте». Доктор технических наук, профессор. В 1993 году защитил диссертацию по теме: «Источники вторичного электропитания на основе однотактных преобразователей постоянного напряжения». Опыт работы – 50 лет. В настоящее время работает профессором кафедры «Электрические машины» Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС). Имеет 176 научно-технических публикаций, включая 4 монографии, и 125 авторских свидетельств СССР и патентов РФ на изобретения. Заслуженный изобретатель РФ, член-корреспондент Академии электротехнических наук РФ.

Kharitonov Igor – was born in 1989. In 2012 he graduated from Uralskiy Federal University (UrFU) with specialization in «Electronics and automation of physical installations». He has 3 years of work experience. At present he is a post-graduate student at Ural'skiy state railway university. He has 1 scientific work, 1 patent.

Sergeyev Boris – was born in 1941. In 1964 he graduated from Uralskiy electromechanical transport engineer institute (UEMETI) with specialization in «Automation, telematics and communication on railroad transport». He is a Doctor of Engineering, professor. In 1993 he defended a thesis on the subject: «Secondary power supplies on the basis of constant voltage single-step transducers». He has 50 years' work experience. At present he works as professor at the department «Electrical cars» at Uralskiy state railway university (UrSRU). He has 176 scientific and technical publications, including 4 monographs and 125 USSR author certificates and invention patents of the Russian Federation. He is an honored inventor of the Russian Federation, associate member of the Russian Electrical Engineering Academy.

Рациональная диаграмма напряжений тяговых подстанций электрифицированного участка переменного тока

// Rational voltages diagram of traction substations of AC electrified section //

Герман Л.А., д.т.н., профессор,
Нижегородский филиал Московского государственного университета путей сообщения (МИИТ), г. Нижний Новгород

Кишкурно К.В.,
МГУПС (МИИТ), г. Москва

*В статье рассматриваются задачи снижения перетоков мощности путем рациональной настройки УРПН трансформаторов и, соответственно, получения рациональной диаграммы напряжений тяговых подстанций. Показан механизм снижения уравнительного тока с помощью изменения положения переключателя УРПН. Проведен эксперимент, в ходе которого была построена топографическая диаграмма напряжения с последующей её рационализацией. Рассмотрена автоматика регулирования и настройка её параметров. Представлен эффективный, практически беззатратный способ экономии электроэнергии в тяговой сети. **Ключевые слова:** УРПН, регулирование напряжения, уравнительный ток, РАСТ-05К, топографическая диаграмма напряжения, автоматика регулирования, экономия.*

Задачи регулирования напряжения в тяговой сети переменного тока

В тяговой сети переменного тока для регулирования напряжения в настоящее время используют устройства регулирования напряжения под нагрузкой (УРПН), которыми оснащены все силовые трансформаторы тяговых подстанций [1, 2]. Причем регулирование может быть как ручное, так и автоматическое. С учетом несимметричного напряжения тяговых подстанций укажем задачи регулирования напряжения с помощью УРПН:

- поддержание напряжения на токоприемнике электроподвижного состава (ЭПС) в допустимых пределах, в частности – для подвижного состава со скоростями до 160 км/ч – от 21 до 29кВ;

*The article considers the problem of reducing power flows through a rational adjustment OLTC of transformers for obtain a rational voltage diagram of traction substations. The mechanism of the reduction of the balanced current by changing the position of the switch OLTC. An experiment by which was built a topographic voltage diagram with its subsequent rationalization. In the article considered the automatic of the regulation and setting its parameters. An efficient, virtually cost-free, energy-saving method of traction network. **Keywords:** OLTC, voltage regulation, balanced current, RAST-05K, topographic voltage diagram, automatic of the regulation, economy.*

- поддержание экономичного режима тяговой сети и в целом тягового электроснабжения. При изменении напряжения изменяется режим работы ЭПС, и, в частности, КПД ЭПС, изменяются потери мощности в тяговой сети в связи с возможным изменением тока ЭПС и изменением перетоков мощности (уравнительных токов) между подстанциями. Изменяются потери мощности в сети внешнего электроснабжения в связи с изменением коэффициента трансформации трансформаторов тяговых подстанций;

- поддержание рациональных значений потоков реактивной мощности (равнительных токов) в тяговой сети. Особенно это необходимо при двустороннем питании тяговой сети с целью снижения перетоков мощности между подстанциями и недопущения

перегрузки их трансформаторов. При односторонней схеме питания также изменяются потоки реактивной мощности, в частности, при повышении напряжения повышаются потери мощности холостого хода трансформаторов ЭПС.

Регулирование напряжения трансформатора осуществляется путем изменения коэффициента трансформации [3]

$$k_T = U_{1ном} (1 + /- 0,01n \cdot \Delta k_T) / U_{2ном} \quad (1)$$

где $U_{1ном}$ и $U_{2ном}$ – номинальные значения напряжения первичной и вторичной (тяговой) обмоток;

n – положение переключателя УРПН (число регулировочных ответвлений обмотки);

Δk_T – шаг коэффициента трансформации (ступень регулирования, %).

Для тягового трансформатора с номинальным коэффициентом трансформации $k_{тном} = U_{1ном} / U_{2ном}$ и с регулировочной первичной обмоткой, чтобы повысить напряжение на тяговой обмотке (увеличить U_2), необходимо уменьшить коэффициент трансформации, то есть в формуле (1) в скобках поставить «минус», а положение переключателя первичной обмотки УРПН (n) следует переключить на более низкую позицию. Возможности регулирования трансформаторов тяговой подстанции следующие: для трансформатора 110 кВ тяговой подстанции $n \cdot \Delta k_T = 9 \times 1,78\%$, а для трансформатора 220 кВ $n \cdot \Delta k_T = 8 \times 1,5\%$. Это значит, что диапазон регулирования напряжения соответственно равен $\pm 16,02\%$ и $\pm 12\%$.

В статье ограничимся рассмотрением задачи снижения перетоков мощности путем рациональной настройки УРПН трансформаторов и, соответственно, получения рациональной

диаграммы напряжений тяговых подстанций. Под настройкой УРПН будем понимать:

- в случае отсутствия автоматики регулирования: установление положения переключателей УРПН для реализации расчетных средних значений напряжений фаз трансформатора по плечам питания;

- при наличии автоматики регулирования: расчет уставок регулирования блока автоматики УРПН. При этом полученные при регулировании средние значения напряжения плеч питания должны соответствовать расчетным значениям, которые указаны в п. 1.

Таким образом, решение задачи регулирования начнем с рассмотрения зависимости уравнительного тока от напряжения одноименных фаз трансформаторов смежных тяговых подстанций.

Отметим следующее положение по расчетам коэффициента трансформации. В соответствии с [4] коэффициент трансформации трансформаторов представляет «...отношение напряжений на зажимах двух обмоток трансформатора в режиме холостого хода». Обычно для трансформаторов тяговой подстанции принято рассчитывать $k_{\text{тном}} = U_{1\text{ном}} / U_{2\text{ном}}$, хотя в программе РАСТ-05К [5], которую далее используем в расчетах, принят $k_{\text{тном}}^* = U_{2\text{ном}} / U_{1\text{ном}}$.

Уравнительные токи увеличивают потери мощности

В связи с несимметричной нагрузкой трансформаторов напряжение по плечам питания тяговой сети в общем случае различное. Поэтому изменяющееся напряжение питания тяговой сети с двухсторонним питанием от двух смежных подстанций ($U1$ и $U2$) неодинаковое, что создает уравнительные токи I_y на полном сопротивлении тяговой сети Z_{mc}

$$I_y = (U1 - U2) / Z_{mc} \quad (2)$$

негативно влияющие на токораспределение, а также на потери напряжения и мощности [2]. В Инструктивно-методическом указании Департамента электрификации и электроснабжения МПС РФ «Снижение потерь электроэнергии от перетока мощности по тяговой сети» (утверждено 12.11.02)

сказано, что в системе 25 кВ величина потерь от уравнительного тока может составлять до 1,5%, а в системе 2х25 кв – 1,7 – 6% от расхода электроэнергии на тягу поездов.

Квадрат эффективного значения уравнительного тока равен

$$I_{y\text{э}}^2 = I_{yc}^2 + D(I_y) \quad (3)$$

где I_{yc} – среднее значение уравнительного тока, а $D(I_y)$ – его дисперсия, которая равна [6]

$$D(I_y) = \{D(U1) + D(U2)\} / Z_{tc}^2 \quad (4)$$

Здесь $D(U1)$ и $D(U2)$ – дисперсии напряжений $U1$ и $U2$, а Z_{tc} – полное сопротивление тяговой сети. Указанная расчетная формула (2) применяется при сдвиге фаз между напряжениями смежных подстанций не более нескольких градусов. При значительном расхождении напряжений по фазе в (1) $U1$ и $U2$ должны быть векторными величинами.

Так как активные потери мощности от уравнительного тока равны

$$\Delta P_y = I_{y\text{э}}^2 R_{tc} \quad (5)$$

где R_{tc} – активное сопротивление тяговой сети, то понятно стремление снизить I_y .

Задача снижения I_y известна давно. В 1983 году ЦЭ в Технической информации №П-159/83 «Оптимизация режимов тяговых подстанций переменного тока» указано, что с целью снижения потерь мощности от протекания уравнительных токов следует (по опыту Горьковской железной дороги) применить дифференцированный выбор уставок регулятора напряжения трансформаторов (УРПН). На необходимость снижения I_y указано, например, в [7,8].

В те годы применение указанного способа снижения уравнительного тока было затруднительно в связи с отсутствием специализированной измерительной аппаратуры по контролю характеристик изменяющегося напряжения на шинах тяговой подстанции. В настоящее время такая аппаратура появилась.

Покажем механизм снижения уравнительного тока с помощью изменения положения переключателя УРПН (то есть изменения коэффициента трансформации трансформатора). При

воздействии на УРПН на одной из подстанций стараются уравнивать модули напряжений плеч питания смежных подстанций вплоть до нулевой разности между ними (то есть до $\delta U = 0$). Тем самым снижается разность продольных составляющих указанных напряжений, следовательно, снижаются и активная, и реактивная составляющие уравнительного тока. На этом завершается первый этап снижения уравнительного тока, которому, в основном, будет посвящена статья. Однако между рассматриваемыми равными по модулю напряжениями в общем случае существует фазовый сдвиг, который определяет поперечную составляющую между указанными напряжениями, которая определяет оставшуюся нескомпенсированную часть уравнительного тока. Поэтому для дальнейшего снижения уравнительного тока (вплоть до нулевого значения) следует снизить фазовый угол между напряжениями плеч питания смежных подстанций. Это достигается введением, например, вольтдобавочного трансформатора с фазовым регулированием [9].

Рассмотрим на примере Горьковской железной дороги опыт обследования режима напряжения и снижения I_y путем регулирования переключателя УРПН. Главное здесь – показать, что при снижении разности модулей напряжений смежных подстанций с помощью УРПН всегда будет снижаться уравнительный ток. Другое дело, степень снижения уравнительного тока будет зависеть ещё и от других факторов: и от величины дисперсии напряжений на смежных подстанциях, и от фазового сдвига между ними. Поэтому для эффективного снижения I_y следует применять и фазосдвигающие, и стабилизирующие устройства.

Отметим, что проблема введения оптимального режима в тяговой сети переменного тока по напряжению и реактивной мощности назрела давно, и в настоящее время в её решении делаются первые шаги. На технико-экономическую целесообразность оптимизации по напряжению и реактивной мощности указано в [10 – 15]. При этом с учетом особенности параллельной работы тяговых подстанций по контактной сети все расчеты

режимов системы тягового электро-снабжения (СТЭ) необходимо вы-полнять с учетом системы внешнего электро-снабжения (СВЭ). Для этого разработана методика совместного расчета СТЭ и СВЭ [5, 15]. Кроме того, появление нового поколения микропроцессорных регуляторов типа РНМ-1, Сириус-2-РН, SPAC 810-Р и других [16] обеспечивает более надежную систему регулирования напря-жения. Можно согласиться с [16], где предложено устройство автоматики УРПН называть автоматическим регулятором коэффициента трансфор-мации (АРКТ). Микропроцессорные АРКТ являются интеллектуальными автоматическими устройствами. Кроме основных функций, указанных выше, АРКТ выполняют и дополнительные сервисные функции, свойственные со-временным микропроцессорным тех-ническим устройствам автоматическо-го управления.

Аппаратура диагностирования режима напряжения и проведение измерений

Применена диагностическая ап-паратура по разработкам ДЭЛ Горь-ковской, контролирующая параметры напряжения тяговой подстанции. Кроме того, на Северном ходу дороги на каждой подстанции установлен изме-рительно-информационный и управля-ющий комплекс «Черный ящик 2000». Далее с использованием этой ап-паратуры на четырех подстанциях К, Б, А, Ш определены среднесуточные напряжения плеч питания и их диспер-сии как квадрат среднеквадратичного отклонения напряжения (таблица 1).

В таблице указаны следующие ре-жимы: P1 – исходный режим, P2 – рас-четный рационализированный режим. Так как в режиме P2 не предусмотре-но регулирования напряжения, то дис-персия в P2 не изменяется.

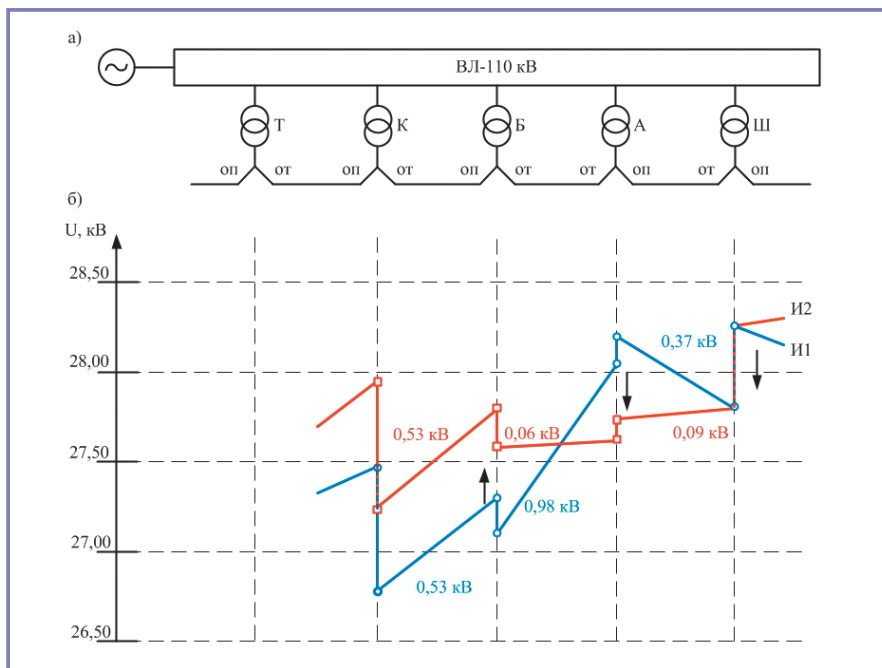


Рис. 1. Схема электро-снабжения (рис. 1а) и топографические диаграммы (рис. 1б) напряжения шин 27,5 кВ тяговых подстанций (И1 – исходная диаграмма, И2 – рационализированная).

В дальнейшем предполагаем использовать разрабатываемый в НИИЭФА-ЭНЕРГО комплекс в переносном варианте на базе NOTEBOOK по диагностике напряжения тяговой подстанции. После экспериментальной проверки этот комплекс будет встраи-ваться в шкаф УРПН по разработкам НИИЭФА-ЭНЕРГО для регулирова-ния напряжения трансформатора.

В настоящее время существует множество приборов, комплексов и интеллектуальных терминалов отече-ственного и зарубежного производ-ства для диагностики качества элек-троэнергии, в том числе и напряжения, которые также можно использовать для диагностирования несимметрич-ного напряжения тяговой подстанции. Опыт свидетельствует, что длитель-ность измерения напряжений для ука-занной цели должна быть не менее не-дели. Измерения должны повторяться ежеквартально, а также при изменении

схем и режимов системы внешнего электро-снабжения (СВЭ).

Информацию о необходимости повторять измерения следует полу-чить по значению коэффициента ре-активной мощности $tg\varphi$, рассчитанно-му по показаниям счетчиков активной (W_a) и реактивной (W_p) энергии ($tg\varphi = W_p / W_a$). Отклонение $tg\varphi$ за пределы 0,55...0,85 (без учета ком-пенсированных установок на тяговой подстанции) свидетельствует о зна-чительном изменении уравнительно-го тока от исходного рассчитанного значения.

Построение топографической диаграммы напряжения и её рационализация

Рассмотрим участок с продоль-ной линией ВЛ-110 кВ, к которой подключены тяговые подстанции с известным чередованием фаз по ВЛ-110кВ и по плечам питания тяговой

Таблица 1. Напряжения по плечам питания на подстанциях К, Б, А, Ш.

		К		Б		А		Ш	
		оп	от	оп	от	от	оп	от	оп
P1	среднее, В	27480	26770	27303	27110	28090	28200	27827	28274
	дисперсия, В ²	2992	3452	4232	5292	5582	5022	5502	4962
P2	среднее, В	27940	27230	27763	27570	27630	27740	27827	28274
	дисперсия, В ²	2992	3452	4232	5292	5582	5022	5502	4962

сети (рис. 1а) («сибирский» вариант). На таких участках, где тяговая сеть шунтируется продольной ВЛ-110(220), особо эффективно применять предлагаемый метод снижения уравнительного тока.

В общем случае следует рассматривать как можно больший участок электроснабжения, так как при рационализации топографической диаграммы следует учесть, что напряжение на каждой последующей межподстанционной зоне зависит от напряжения на предыдущей. Для демонстрации последовательности действий по реализации предложения рассмотрим участок с тремя межподстанционными зонами К – Б – А – Ш. В основе расчетов – построение топографической диаграммы средних напряжений по плечам питания тяговых подстанций на основе измерений напряжения и затем – построение рационализированной топографической диаграммы с целью выравнивания средних напряжений по одноименным фазам смежных подстанций.

Построения проведем по этапам.

Этап 1. Выполняются измерения среднего значения и дисперсии напряжения по плечам питания за неделю. Траектория измеренной топографической диаграммы напряжений соответствует кривой И1 (рис. 1б). Полученные топографические диаграммы – это участки прямых, соединяющие средние напряжения плеч питания тяговых подстанций. Как видно, разность напряжений (δU) по плечам питания одноименных фаз смежных подстанций уменьшилась с 0,98 до 0,06 кВ на участке Б-А и с 0,37 до 0,09 кВ – на участке А-Ш. На участке К-Б δU осталось без изменения. При изменении схем питания, режима ведения поездов и т. д. измерения следует повторить. Кроме того, измерения следует повторить через три месяца.

Этап 2. Рационализируем траекторию И1 расчетным путём с целью получения минимальных значений δU для трансформаторов ТДТНЖ-110/27,5/10(35) тяговых подстанций рассматриваемого участка. Степень регулирования, соответствующая изменению напряжения на холостом ходу, равна

$$\delta\delta U_{xx} = (+/-) 0,01 \Delta k \times U_{ном} = (+/-) 1,78 \times 275 = +/- 489,5 \text{ В} \quad (6)$$

С увеличением сопротивления СВЭ и тяговой нагрузки ΔU_{xx} снижается до $\delta\delta U_{нагр} = 460...450 \text{ В}$, что следует учесть при корректировке топографической диаграммы. Более точное значение $\delta\delta U_{нагр}$ при переключении УРПН дает расчет по программе РАСТ-05К, разработанной Нижегородским филиалом МИИТ совместно со специалистами Горьковской железной дороги [5]. Для этого в указанную программу вводятся нагрузки плеч питания, входное сопротивление СВЭ и реальные коэффициенты трансформации трансформаторов. Возможно определение изменения напряжения на трансформаторе при переключении УРПН на один шаг (на одну ступень) и экспериментальным путем, при этом следует стремиться выполнять переключения при средних нагрузках. На основании анализа нагрузок и расчета входных сопротивлений для рассматриваемого участка принимаем изменение напряжения при переключении УРПН на один шаг – $\delta\delta U_{нагр} = 0,46 \text{ кВ}$ (см. далее 5 раздел). Тогда траектория топографической диаграммы принимает вид И2 (рис. 1б).

Из рисунка видно:

- размах изменений напряжения плеч питания всего участка уменьшился с 26,77 – 28,27 до 27,23 – 28,27 кВ;
- не везде получается минимизация разности напряжений по плечам смежных подстанций в связи с «перекосом»

напряжений фаз тяговых подстанций (под «перекосом» напряжения будем понимать разность напряжения между отстающей и опережающей фазами подстанции). В частности, на подстанции К нельзя повысить напряжение выше 28 кВ, так как на смежной подстанции Т напряжение ниже 28 кВ (на диаграмме не показано);

- степень выравнивания напряжения на всем участке определяется величиной «перекоса» напряжения на подстанциях. Например, если уменьшить «перекос» на подстанции К (например, с помощью КУ на отстающей фазе), то это приведет к выравниванию напряжения на участке.

Таким образом, на этапе 2 предложена и реализована на топографической диаграмме возможность на подстанциях К и Б повысить напряжение путем переключения УРПН на одну ступень, а на подстанции А – снизить напряжение на одну ступень УРПН. На подстанции Ш положение переключателя УРПН не изменяется.

Этап 3. Повторяются измерения по аналогии с этапом 1 для подтверждения правильности формирования кривой И2. При необходимости вводится корректировка.

Следует указать, что при оптимизации режима по тяговой сети необходимо учитывать изменения режима напряжения на районной обмотке и особенно в высоковольтной линии автоблокировки 10 кВ. Здесь наиболее простое решение нормализации режима может быть выполнено путем

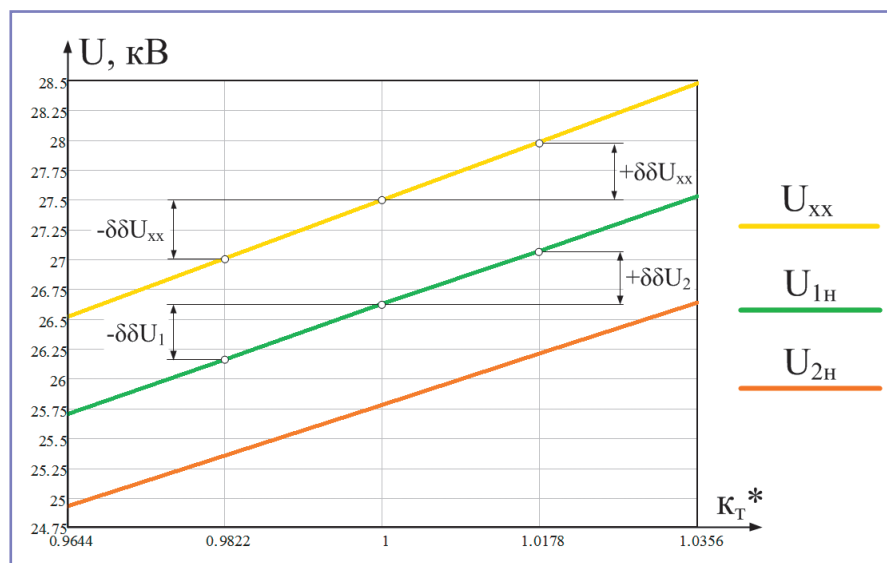


Рис. 2. Напряжение трансформатора при нагрузке.

корректировки положений переключателя ПБВ соответствующих трансформаторов.

Итак, окончательно делаем заключение: на основании рационализации исходной топографической диаграммы получены новые средние напряжения плеч питания, которые указаны в таблице 1 для режима P2.

Оценка степени регулирования переключателя УРПН при нагрузке

Расчеты выполнены по программе РАСТ-05К при совместном рассмотрении систем тягового и внешнего электроснабжения [11] для реальной схемы внешнего электроснабжения К-Б-А-Ш (рис. 1а). На графике (рис. 2) обозначены:

U_{xx} – напряжение холостого хода при изменении коэффициента трансформации КТ;

$U_{1н}$ – напряжение трансформатора при нагрузке $I_{нагр} = 0,5I_{ном}$, где $I_{ном}$ – номинальный ток плеча питания, принимаем $I_{ном} = 500A$;

$U_{2н}$ – напряжение трансформатора при нагрузке $I_{нагр} = I_{ном}$;

КТ* – относительное значение коэффициента трансформации, равного $U2/U1$. Так как все напряжения приведены к напряжению тяговой сети, то номинальный $КТ* = 1$ (в программе РАСТ-05К коэффициент трансформации равен отношению вторичного напряжения к первичному).

На графике по оси абсцисс показан изменяющийся коэффициент трансформации по ступеням регулирования (ступень для трансформатора 110 кВ – 1,78%). Как видно из проведенных экспериментов, при отсутствии нагрузки изменение напряжения на трансформаторе при переключении на одну ступень регулирования $\delta\delta U_{xx} = +/- 489В$. При нагрузке, равной половине от номинальной 250 А, напряжение уменьшается до 26,62 кВ.

Принимая среднюю нагрузку плеч питания тяговых подстанций рассматриваемого участка равной половине от номинальной, то есть 250 А, что является близкой к реальным значениям, получаем для этого участка изменение напряжения при переключении на одну ступень

$$\delta\delta U_2 = 460 В$$

Если рассматривать трансформатор 220 кВ, то порядок построения аналогичный.

Автоматика регулирования и настройка её параметров

В соответствии с [1] для несимметричного напряжения тяговых подстанций принят следующий алгоритм регулирования: из трех напряжений фаз выбирается в каждый момент измерения наибольшее значение, и по нему производится регулирование. Для этого разработан коммутатор (макси-селектор) [17], выбирающий наибольшее напряжение из трех фаз, которое подается на блок регулирования однофазного исполнения. В качестве блока регулирования целесообразно использовать изготавливаемые промышленностью микропроцессорные автоматические регуляторы коэффициента трансформации АРКТ [15]. Коммутатор дополнен важной функцией: при минимальном напряжении ниже допустимого уровня напряжения в тяговой сети автоматика переключается на выполнение основной задачи – ввод режима в допустимую область работы.

Для ограничения частых переключений УРПН вводят зону нечувствительности блока регулирования, при которой он не срабатывает

$$\delta U_{нч} = +/- \sigma \cdot \Delta k_T / 2 \quad (7)$$

где σ – коэффициент чувствительности, который для условий тяговой подстанции принимается равным 1,4.

Поэтому уставки регулирования напряжения выбираются следующим образом:

- максимальное напряжение

$$U_{мк,рег} = U_{ср} + \sigma \cdot \Delta k_T / 2 \quad (8a)$$

- минимальное напряжение

$$U_{мн,рег} = U_{ср} - \sigma \cdot \Delta k_T / 2 \quad (8б)$$

Здесь $U_{ср}$ – среднее напряжение, определенное по рационализованной топографической диаграмме (рис. 1б). Что касается уставки выдержки времени на переключение, то по опыту эксплуатации на Горьковской железной дороге принимаем ее равной 4 – 7 мин. При превышении среднесуточного числа переключений за месяц свыше 20 придется увеличить выдержку времени.

Введение автоматике регулирования приведет к снижению дисперсии напряжения и, следовательно, к снижению потерь мощности от уравнительного тока (рис. 1б). Ориентировочно укажем, что дисперсия снижается в два раза, однако более точные данные получим при длительной эксплуатации автоматике регулирования.

На основании проведенных исследований определяется общая картина формирования регулирования напряжения с помощью УРПН трансформатора. Во-первых, по исходным средним напряжениям определяются желательные средние напряжения по плечам питания. Здесь же рассматривается необходимость введения компенсирующих установок в соответствии с нормативными документами, а также для снижения «перекоса» напряжений. Во-вторых, вводится автоматика регулирования УРПН с уставками напряжения, определяемыми по средним желательным напряжениям плеч питания.

Таблица 2. Уравнительные токи и потери мощности и электроэнергии.

	Б – А (55 км)		А – Ш (46км)	
	Р1	Р2	Р1	Р2
Сопrotивление полное Z, Ом	16,55		13,84	
Сопrotивление активное R, Ом	6,43		5,38	
$\delta U, кВ$	0,98	0,06	0,37	0,09
I_y, A	59,21	3,62	26,73	6,5
$\delta I_y, A$	55,59		20,22	
$\Delta P_y, кВт$	22,54	0,08	3,84	0,23
$\delta P_y, кВт$	22,46		3,61	
$\delta W_y, кВтч$	196749		30843	
Ц, тыс. руб.	531		83	

Расчеты снижения уравнительного тока и потерь мощности

Так как изменение положения УРПН влияет только на среднее значение уравнительного тока, то далее в расчетах пока не будем учитывать дисперсию напряжения. Среднее значение I_{yc} по рассматриваемым зонам с контактной подвеской двухпутного участка ПБСМ95+МФ100 ($z_0 = 0,117 + j 0,278$ Ом/км, $z_0 = 0,301$ Ом/км) уменьшилось на 48,32А в зоне Б-А и на 21,67 А – в зоне А-Ш (таблица 2). При изменении положения переключателя УРПН в основном происходит воздействие на реактивную составляющую уравнительного тока, то есть значение I_{yc} определяет изменение реактивной составляющей уравнительного тока. Тогда потери активной мощности (ΔP_y) при изменении реактивного тока (I_{yc}) на основании (4) равны $\Delta P_y = I_{yc}^2 R_m$.

В таблице 2 приняты следующие обозначения:

δU – разность напряжений одноименных фаз смежных подстанций;

I_y – уравнительный ток;

δI_y – изменение уравнительного тока;

ΔP_y – потери мощности от уравнительного тока;

δP_y – изменение потерь мощности при уменьшении уравнительного тока;

δW_y – экономия потерь электроэнергии за год от уменьшения уравнительного тока;

C – стоимость сэкономленной электроэнергии при уменьшении уравнительного тока.

В результате потери мощности снизились по зонам на 22,46 кВт и 3,61 кВт, и, соответственно, снижение потерь электроэнергии – $\delta W_y = T \delta P_y = 196749$ и 30843 кВт.ч. (принимая годовое число часов $T = 8760$ час). Таким образом, годовая стоимость экономии электроэнергии на участке составит $531 + 83 = 614$ тыс. руб.

Дальнейшее совершенствование режима тяговой сети

В общем случае совершенствование режима должно идти по двум направлениям. Во-первых, по пути снижения «перекоса» напряжения по

плечам питания и, во-вторых, за счет стабилизации напряжения для снижения дисперсии напряжения. Указанное реализуется с применением регулирующих устройств и компенсирующих установок [9]. Снизить «перекос», то есть симметризовать режим, возможно применением однофазной нерегулируемой КУ, включенной в отстающую фазу подстанции, УПК в отсасывающей линии или однофазного вольтодобавочного трансформатора в отстающей фазе [6, 9]. Стабилизация напряжения достигается применением автоматики УРПН трансформатора, регулируемой установки КУ и УПК в отсасывающей линии [13].

Дальнейшее совершенствование автоматики регулирования напряжения – введение адаптации для ограничения количества переключений УРПН [18].

Таким образом, представлен эффективный, практически беззатратный способ экономии электроэнергии в тяговой сети, причем для вариантов с автоматически регулируемым и нерегулируемым УРПН. Нерегулируемый вариант УРПН даёт, по проведенным расчетам, годовую экономию по снижению потерь мощности на одной межподстанционной зоне на реальном участке на 0,6 млн руб. Рассматриваемое предложение применимо по всей сети железных дорог, на всех системах электроснабжения. Указанный способ дифференцированной настройки параметров регулирования УРПН должен быть введен в соответствующие нормативные документы.

Выводы

1. Усовершенствована методика выбора рациональной кривой топографической диаграммы средних напряжений для снижения уравнительного тока, что ведет к снижению потерь электроэнергии. При этом предложено рассчитывать величину изменения напряжения при переключениях УРПН на один шаг (на одну ступень) по программе РАСТ-05К или определять экспериментальным путем.

2. Важный резерв энергосбережения в тяговом электроснабжении – снижение перетока мощности (уравнительных токов) в тяговой сети. Предлагаемый способ снижения урав-

нительных токов путем выравнивания напряжения плеч питания смежных подстанций с помощью УРПН применим там, где по условиям режима системы внешнего электроснабжения возможна параллельная работа тяговых подстанций с двухсторонним питанием. Способ является практически беззатратным. Отметим, что большинство межподстанционных зон на сети железных дорог работает с двухсторонним питанием и, соответственно, на них применим предлагаемый способ энергосбережения.

3. Показана этапность введения автоматики регулирования УРПН. Во-первых, определяются дифференцированные уставки средних напряжений по плечам питания тяговой сети, здесь же при необходимости включаются компенсирующие установки. Тем самым устанавливается нерегулируемый вариант УРПН для снижения средних значений уравнительных токов. Во-вторых, далее вводится регулирование УРПН, что приводит к снижению дисперсии напряжения плеч питания и, следовательно, к дальнейшему снижению эффективного значения уравнительного тока.

4. На примере расчета рациональной топографической диаграммы по экспериментальным данным реального участка получена годовая экономия по снижению потерь на одной межподстанционной зоне для варианта нерегулируемого УРПН в 0,6 млн. руб за счет снижения уравнительного тока.

5. Предлагаемый способ регулирования напряжения с помощью УРПН должен быть введен в соответствующие нормативные документы для руководства проектными организациями и эксплуатационному персоналу.

Литература:

1. Справочник по электроснабжению железных дорог. Т. 1/ Под ред. К.Г. Марквардта. – М.: Транспорт, 1980. – 256 с.
2. Бородулин Б.М., Герман Л.А., Николаев Г.А. Конденсаторные установки электрифицированных железных дорог. М.: Транспорт, 1983, 183 с.
3. Герасименко А.А., Федин В.Т. Передача и распределение электрической энергии: учебное пособие/ М.: КНОРУС, 2014. – 614 с.
4. Электроэнергетика. Термины и определения. СТО 17330282.27.0109.001.2008

5. Герман Л.А., Морозов Д.А. Расчет типовых задач тягового электроснабжения переменного тока на ЭВМ. Уч. пос. М.: МИИТ, 2010, – 59 с.
6. Герман Л.А., Бородулин Б.М. Продольная емкостная компенсация в системе тягового электроснабжения переменного тока (расчет, размещение и режим работы). Уч. пособие. М.: МИИТ 2009. – 38 с.
7. Чернов Ю.А. Уравнительные токи в контактной сети при параллельной работе тяговых подстанций переменного тока. Выпуск МИИТ №199 М.: Транспорт, 1965, с. 35 – 52.
8. АС 1359853. Способ снижения уравнительных токов в тяговой сети. (Герман Л.А.). Оpubл. 15. 12. 87, Бюлл. №46.
9. Власов С.П. Риски компенсирует система тягового электроснабжения / Мир транспорта. – №3 – 2012 – с. 60 – 65.
10. Правила устройства системы тягового электроснабжения железных дорог Российской Федерации. ЦЭ-462 М.: МПС РФ, 1997. 79 с.
11. Герман Л.А., Серебряков А.С., Гончаренко В.П. Мизинцев А.В. Эффективность фильтрокомпенсирующих установок в тяговой сети переменного тока. Вестник ВНИИЖТ № 5 – 2013.
12. Закарюкин В.П., Крюков А.В. Управление реактивным электропотреблением в системах тягового электроснабжения. Элтранс-2009. – СПб: ПГУПС, 2010.
13. Герман Л.А., Серебряков А.С. Регулируемые установки емкостной компенсации в системах тягового электроснабжения железных дорог./ Монография. М.:МИИТ, 2012. – 211 с.
14. Герман Л.А., Бакеев Е.Е., Кишкурно К.В.

Оценивание режимов тягового электроснабжения для управления напряжением и реактивной мощностью. ЭЭТ №2 – 2013.

15. Герман Л.А., Кишкурно К.В. Сравнение методов расчета системы тягового электроснабжения при разных способах учета параметров внешней сети. Вестник ВНИИЖТ № 1 – 2013.
16. Коротков В.Ф. Автоматическое регулирование в электроэнергетических системах – М.: Издательский дом МЭИ, 2013. – 416 с.
17. Изобретение № 864490 Регулятор переменного напряжения. Герман Л.А., Синицына Л.А., Хотовник В.А. Оpubл. 15.09.1981 г.
18. Патент № 2055440 Адаптивный регулятор напряжения. Сухов М.Ю., Герман Л.А. Оpubл. 17.02.1996 г.

Герман Леонид Абрамович – родился в 1937 году. Окончил Московский институт инженеров транспорта (МИИТ) по специальности «Инженер путей сообщения – электромеханик» (1959 г.). Защитил докторскую диссертацию по теме: «Теория и практика совершенствования режима системы тягового электроснабжения переменного тока с установками емкостной компенсации». Доктор технических наук, профессор кафедры «Электрификация и электроснабжение» Нижегородского филиала Московского государственного университета путей сообщения. Является членом-корреспондентом Российской Академии транспорта. Автор более 350 научных трудов, 70 изобретений и патентов. Имеет 2 правительственные награды.

Кишкурно Константин Вячеславович – родился в 1991 году. В 2012 году окончил Московский институт инженеров транспорта (МИИТ) по специальности «Электроснабжение железных дорог». В настоящее время является аспирантом кафедры «Энергоснабжение электрических железных дорог» Московского государственного университета путей сообщения. Имеет 4 статьи, 1 патент.

German Leonid – was born in 1937. He has graduated Moscow Institute of Transport Engineers by specialty «Engineer routes – electrician» (1959). He has defended the dissertation by the theme: «Theory and practice of improving treatment system traction below the AC power plants with capacitive compensation». He is a Doctor of Technical Sciences, Professor of dept. «Electrification and Utilities» at The Nizhny Novgorod branch of the Russian State University of transport communications. He is a corresponding member of the Academy of Transport of the Russian Federation. Author of more than 350 scientific works, 70 inventions and patents. Has 2 government awards.

Kishkurno Konstantin – was born in 1991. In 2012 he graduated from Moscow Institute of Transport Engineers (MIIT), speciality is «Railway roads power supply». At present he is an advanced student of « Electric railway roads power supply» chair of Moscow state railway university. He has 4 articles, 1 patent.

Влияние замыканий на свойства индуктивности

// Short circuits influence on the properties of the inductance //

Елгина Г.А., Ивойлов Е.В.,
Слободян С.М., д.т.н.,
Национальный исследовательский Томский
политехнический университет, г. Томск

Представлено оригинальное теоретическое и экспериментальное исследование катушки индуктивности как модели витковой топологии индуктивной структуры, проводящей ток, с замыканиями смежных витков. Показаны особенности аппаратной реализации физической модели на примере описания её исполнения, и приведены фрагменты закономерностей, полученных на моделях индуктивности, что позволяет при её испытаниях увязать искажения тестового сигнала с нарушениями топологии витков.

Ключевые слова: оценка, преобразование, замыкание, виток, модель, индуктивность.

The original theoretical and experimental research of the solenoid inductance as a model of coil inductive topology of current conductive structure, with short circuits of adjacent turns is represented. The features of the hardware implementation of a physical model of the solenoid on the example of the description of its practical implementation are shown. The fragments of laws, obtained on practical models of inductance, which allows to link more clearly the test signal with the features of violations of its topology are represented.

Keywords: estimation, conversion, solenoid, closing, turn, model, inductive.

Индуктивные элементы типа катушек индуктивности, соленоидов, трансформаторов, дросселей, фильтров находят весьма широкое применение. В частности, в силовых активных фильтрах напряжения для оптимальной фильтрации напряжения, стартовых и роторных обмотках двигателей постоянного и переменного тока, симметрирующих трансформаторах, в электромеханических тормозах, в электромагнитных исполнительных механизмах управления форсунками, в асинхронных и шаговых электроприводах и в других механизмах транспортных средств [1–17].

Обнаружение скрытых дефектов в элементах и узлах современной электроэнергетики и электроники транспортных средств – актуальная и весьма трудная и интересная для решения задача [2–9]. В [5] приведен частный пример решения задачи обнаружения скрытых дефектов вида короткозамкнутых витков электромагнитного управления форсунками автомобиля

«Ауди». Исследование наибольшего числа физических процессов, возникающих в индуктивных структурах при витковых замыканиях, – это один из путей повышения надёжности индуктивных элементов различной топологии. Анализ влияния совокупности факторов, действующих на основные параметры и качество выполнения заданных индуктивности функций, может послужить основой не только разработки новых принципов построения, но и улучшения существующих элементов и устройств, использующих индуктивность как базовый элемент в узлах транспортных средств.

Указанные обстоятельства определяют цель настоящей работы – необходимость изучения особенностей трансформирования замыканием смежных витков исходно однородной индуктивной структуры, в том числе резонансной, для определения взаимосвязи параметров и закономерностей их изменения в трансформированной замыканием индуктивности

с исходной однородно распределённой начальной топологией витков.

Это же обстоятельство определяет и актуальность задачи исследования влияния возникновения аварийных ситуаций (например, замыканий витков индуктивности катушки) на эффективность функций изначально определённых индуктивностей при проектировании [6–12].

Анализ литературных источников [1–20] показал, что витковые замыкания в индуктивных структурах создают проблемы не только уменьшения коэффициента полезного действия, снижения эффективности резонансного шунта, называемого в энергетике реактором [10–11], но и могут приводить к аварийному отказу в связанных с безопасностью задачах типа [2]. Закономерности поведения индуктивности резонансной структуры подробно, но в идеализированном представлении, для задач резонансного шунтирования впервые были рассмотрены У. Петерсеном ещё в 1916 году [10–11]. Влияние витковых замыканий на свойства и эффективность выполнения индуктивностью функций преобразования энергии в разных режимах работы практически (за исключением [5]) оставлены без надлежащего внимания. Физическая модель протекания процессов преобразования энергии для формирования электромагнитного воздействия и объяснения закономерности изменения этих процессов в индуктивности с замыканием витков будут совершенно иными. Межвитковое замыкание существенно ухудшает эффективность использования шунта, либо к рассматриваемой электромагнитной функции он может оказаться неприменим.

Сущность принципа действия резонансного шунта, предложенного почти сто лет назад, не претерпела за-

метных изменений до настоящего времени: параметры реактивного шунта, как правило, индуктивной топологии выбираются так, чтобы при возникновении замыкания в цепях нагрузки шунт настраивался в резонанс с учетом емкости нагрузки. Формулировка правила Петерсена имеет вид

$$\omega L_0 = \left[\sum_i \omega C_i \right]^{-1} \quad (1)$$

или задается в виде условия

$$\omega^2 L_0 \sum_i C_i = 1 \quad (2)$$

где ω – частота воздействия электрического сигнала; L_0 – исходная величина индуктивности шунта; C_i – емкости, вносимые в электрическую цепь шунта разными элементами цепи, включая элементарные емкости межвитковой его топологии. Приведённые соотношения отражают идею заземления электрического центра тяжести эквивалентной электрической цепи через эквивалентное резонансное сопротивление $Z_0 = \omega L_0$ шунта.

При анализе влияния емкостей цепей нагрузки $\sum_i C_i$ считают, что резонансный шунт настроен «более или менее точно» по условию резонанса (2). Известные методики оценки качества работы шунта не учитывают факт и физику явления возможного замыкания витков как нарушения топологии самой индуктивности [2–9]. Влияние же возможного нарушения её исходной топологии на условия резонанса упускается практически всеми исследователями. По-видимому, считают, что отмеченное обстоятельство не скажется на результатах исследований и полноте анализа электрических устройств и систем, а если данный факт нарушения и происходит, то его проявление считают малосущественным.

Нарушение топологии витков индуктивности в зависимости от ранга нарушения может приводить к разным явлениям: росту тока межвитковых утечек через слой изоляции, резкому снижению изоляционных свойств материала межвитковых промежутков, появлению очагов ионизации межвиткового промежутка – источника частичных разрядов, образованию неплотного, с большим

переходным сопротивлением контакта витков, смежных в пространстве и в витковой топологии, образованию полного замыкания смежных витков с очень малым переходным сопротивлением контакта и, наконец, к парным замыканиям, приводящим к формированию парных групп взаимных индуктивностей [17–20]. В результате возникновения замыкания витков резонансный шунт может случайным образом трансформироваться в высокочастотный (с большей или меньшей частотой среза) заградитель [18–19]. Он будет иметь совершенно противоположную функцию, а именно препятствовать выполнению выхода шунта на резонансный режим – наиболее эффективный по энергосбережению режим его работы. Подобное проявление функции, противоположной основному назначению шунта, обусловлено изменением из-за замыкания витков структуры его витковой топологии и величины его индуктивности, а также изменением его эквивалентной схемы путём её трансформирования в полосовой (сложный) фильтр. Такой фильтр в полосе подавления обладал бы большим активным сопротивлением (сопротивление изменённой его структуры может снижать коэффициент передачи на несколько порядков). Активное сопротивление и коэффициент передачи при нарушении витковой топологии резонансного шунта в сильной мере зависят от типа межвиткового замыкания структуры (Γ -, T - или Π -фильтра) с произвольно образованными элементами его частотной настройки. Может возникнуть много вариантов структур с ослабленным основным резонансом: двух- и многочастотная резонансная, многоконтурная широкополосная структура фильтра и т. п.

Если следовать условию возникновения резонанса $Z_C = Z_L$, то можно найти емкость или частоту формы напряжений на линии питания, при которой трансформированная структура шунта в большей или меньшей мере сможет выполнять основную, предназначенную ей при создании, роль резонансного шунта

$$C' = (4\pi^2 f^2 L_T)^{-1} \text{ и } f_T = (4\pi^2 C' L_T)^{-1/2}$$

При образовании замыканием витков топологии из индуктивной структуры шунта полосового двух-частотного фильтра значение емкости, соответствующей верхней частоте его настройки, определит соотношение

$$C_6 = (4\pi^2 f_6^2 L_T)^{-1}$$

Тогда емкость C_H , соответствующая нижней частоте настройки фильтра, трансформированного замыканием витков шунта, найдётся из формулы

$$C_H = C_6 L_{T1} / L_{T2}$$

Для емкости нагрузки при резонансном шунте в электрической линии

$$C_H = C_6 (f_6^2 f_H^2 - 1) \times \left[(4R + L_{T2}) / L_{T1} \right]$$

где f_H – нижняя частота полосы резонансной настройки ($\omega_H = 2\pi f_H$); $L_{T2} + L_{T1} = L_T$ – исходное значение индуктивности шунта.

Воспользуемся известным [18–19] подходом эквивалентирования – замещения индуктивно связанного элемента некоторой эквивалентной схемой – цепью, которая не содержит в явной форме индуктивных связей. Принцип эквивалентирования упрощает расчеты электрических цепей, придавая при этом большую наглядность особенностям физического взаимодействия. Поскольку напряжение подается на резонансный шунт от одного источника питания, то токи, протекающие во всех витках его индуктивности и, конечно, в ответвлениях его индуктивной витковой топологии, связаны линейными зависимостями. При одиночном, парном межвитковом и замыкании на землю (корпус) его индуктивная однородной топологии структура трансформируется в цепь отдельных индуктивностей, взаимодействующих своими магнитными потоками, то есть превращается в цепь с взаимной индуктивностью или индуктивно связанную цепь. В зависимости от вида виткового замыкания индуктивной структуры трансформированная замыканием структура может быть соединением «согласно включенных» частей индуктивности (с одинаковой ориентацией токов относительно направле-

ния катушки витков) или встречным включением – частей структуры. При этом в каждой части индуктивности будет индуцироваться ЭДС, одновременно обусловленная собственным ψ_c и потокоцеплением ψ_m связанной с ней части

$$-e_C = L_K \frac{di_K}{dt} \pm L_M \frac{di_M}{dt}$$

где $L_M = k_{cb} [L_{K1}/L_{K2}]$ – взаимная индуктивность частей шунта L_{K1} и L_{K2} , до акта замыкания составлявших L_0 – его исходную индуктивность; $k_{cb} \leq 1$ – коэффициент связи, характеризующий меру взаимного влияния друг на друга частей L_{K1} и L_{K2} одной и той же изначально общей индуктивной структуры. Обычно знак «+» принимают при согласном включении частей индуктивности; знак «-» – при встречном их включении. При расчете цепи по законам Кирхгофа дополнительное напряжение, обусловленное взаимной индукцией $U_M = \pm j\omega L_{M1-5}$, учитывают как компоненту с учетом особенностей включения частей индуктивности.

В принципе, последовательно и параллельно соединенные индуктивно связанные элементы шунта с замыканием могут быть представлены в виде эквивалентных схем без индуктивных связей, то есть в виде, развязанном по индуктивным связям. Эквивалентная индуктивность при последовательном их соединении равна в согласном включении – $L_{0\text{э}} = L_2 + L_1 + 2L_M$, во встречном – $L_{0\text{э}} = L_2 + L_1 - 2L_M$. При развязке индуктивных связей частей индуктивности, имеющих общий узел, учитывают только расположение частей

индуктивной топологии относительно точек их включения. Энергия от одной части индуктивности к другой передается через общее магнитное поле их индуктивных связей.

При соблюдении технологии изготовления индуктивно связанных структур применяют специальные типы катушек витковой топологии, обеспечивающие равномерное и пропорциональное количеству витков однородное распределение электромагнитных полей рассеяния по длине витковой топологии индуктивной структуры реактивных шунтов.

Эквивалентная схема соленоида однородной топологии для примера внутреннего замыкания смежных витков и любого парного замыкания витков на землю (корпус) может быть представлена видом индуктивной структуры, приведенной на рис. 1.

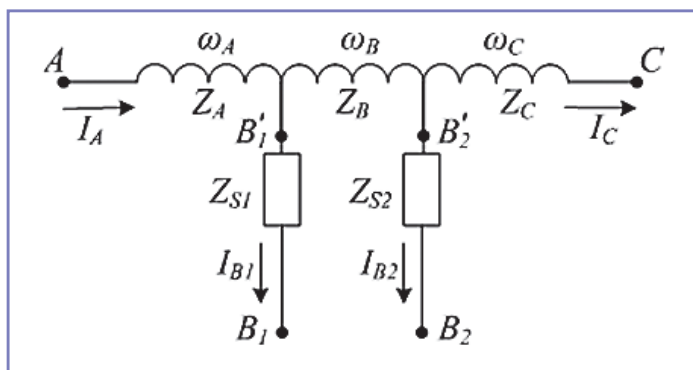
На рис. 1 обозначено: A – вход; C – выход; B'_1 и B'_2 – точки замыкания витков структуры; Z_A, Z_B, Z_C – комплексные сопротивления участков AB_1, B_1B_2 и B_2C исходно однородной индуктивной структуры шунта без учета влияния взаимных индуктивных связей отдельных частей; Z_{AB}, Z_{BC}, Z_{AC} – взаимные комплексные сопротивления соответствующих участков структуры. С учетом ранее сделанного предположения линейной зависимости параметров для токов, протекающих в индуктивной структуре, для упрощения записи примем отношения: $I_{B1} = I_{B'1}$, $I_{B2} = K_1 I_{B'2}$, $K_1 = I_{B2} / I_{B'1}$ – весовое отношение токов как особый признак координат точек парного замыкания. Например, $K_1 = 1$ будет соответствовать общей точке витков замыкания внутри однородной топологии. Если

обозначим относительное число витков частей шунта AB_1 и B_1B_2 коэффициентами $K_1 = \omega_1/\omega$ и $K_2 = \omega_2/\omega$, то комплексные сопротивления каждого из указанных участков представит система алгебраических уравнений, аналогичная [20]

$$\begin{cases} Z_A = Z_0 + Z_S; \\ Z_B = K_1(K_1 Z_0 + Z_S); \\ Z_C = K_2(K_2 Z_0 + Z_S); \\ Z_{AB} = K_1 Z_0; \\ Z_{BC} = K_1 K_2 Z_0; \\ Z_{AC} = K_2 Z_0 \}; \\ Z_{BC} = \sqrt{Z_B Z_C}; \\ Z_{AB} = \sqrt{Z_A Z_B}; \\ Z_{AC} = \sqrt{Z_A Z_C} \end{cases}$$

где Z_0 – полное комплексное сопротивление исходной индуктивности шунта; Z_S – полное комплексное сопротивление рассеяния поля части AB_1 шунта при условии координаты замыкания витков в точке B'_1 .

Используя методику [18–20] для решения задачи нахождения параметров эквивалентной схемы шунта с нарушенной замыканием витков топологией в изложенной выше постановке и опуская промежуточные алгебраические преобразования, приходим к системе уравнений взаимосвязи, позволяющей определить основные параметры нарушенной замыканием топологии индуктивности



$$\begin{cases} Z_1 = Z; Z_2 = (K_1 + K_2)Z; Z_3 = (1 + K_1)Z; Z_H = K_2 Z; \\ Z_{S1} = Z_{12} = \frac{[K_1 K_2 + (K_1 + K_2)Z_S - (K_1 + K_2)Z]}{(1 + K_1 + K_2)}; \\ Z_{S2} = Z_{3H} = \frac{[(K_1^{-1} K_2 + K_2 + K_1 K_2)Z_S - (K_2 + K_1 K_2)Z]}{(1 + K_1 + K_2)}; \\ Z = 2[(1 + K_1 + K_2)Z_0 + Z_S]. \end{cases}$$

Рис. 1. Иллюстрация эквивалентной схемы типичного парного межвиткового замыкания индуктивной структуры.

Здесь Z_1 и Z_2 – продольные и Z_{12} – поперечное комплексные сопротивления эквивалентной Т-схемы первой точки замыкания; Z_3 и Z_4 – продольные и Z_{34} – поперечное комплексные сопротивления второй, параллельной первой, Т-схемы второй точки замыкания; обе Т-схемы своими входами подключены к входу А, а выходами – к С; B_1 и B_2 – вторые точки подключения поперечных (т. $B_1 - Z_{12}$; т. $B_2 - Z_{34}$) сопротивлений соответствующих двух Т-схем фильтров – индуктивных структур, образованных точками замыкания витков и трансформированных в полосовые Т-схемы фильтров, исходно однородной топологии витков.

В предположении идеальности однородной витковой топологии шунта сопротивлением рассеяния ($Z_s \cong 0$) можно пренебречь по той причине, что основным фактором влияния на трансформированную замыканием витков схему шунта в Т-схему остается общий магнитный поток, создаваемый витковой топологией его структуры. Тогда [18–20] в идеальной индуктивной структуре распределение напряжений на ее выводах (А, В, С) при любом типе нагрузки будет пропорционально числу витков в структуре. Оно не будет зависеть от тока нагрузки (I_c). При расчете падения напряжения в индуктивности с нарушенной замыканием витков топологией, соответственно обладающей большим или меньшим сопротивлением рассеяния магнитного потока Z_s в поперечных отводах эквивалентных Т-схем её структуры, включаются сопротивления, учитывающие значение Z_s , которые и обуславливают падение напряжения при

наличии нагрузки на выходе шунта с межвитковым замыканием.

Меру относительного влияния числа витков в замкнувшей группе – мощности межвиткового парного замыкания – на коэффициент передачи шунта определит система уравнений

$$\begin{cases} K_{1II} = Z_{s1}/Z_s = \\ = (K_1 K_2 + K_1 + K_2)/(1 + K_1 + K_2) \\ K_{2II} = Z_{s2}/Z_s = \\ = (K_1^{-1} K_2 + K_2 + K_1 K_2)/(1 + K_1 + K_2) \end{cases} \quad (3)$$

При одиночном замыкании витков (например, замыкания на землю) снижение коэффициента передачи как меры влияния сопротивления рассеяния магнитного потока Z_s и факт подтверждения нарушения однородной топологии шунта определяет отношение

$$K_{1II} = K_1/(1 + K_1) \quad (4)$$

Выражения (3) и (4) хорошо отражают характер закономерности ухудшения коэффициента передачи индуктивной структурой с нарушенной парным и одиночным замыканием витков исходно однородной топологии индуктивности.

Для наглядной иллюстрации характера поведения закономерности изменения коэффициента K_{2II} второго уравнения из системы уравнений (3) на рис. 2 приведена зависимость, иллюстрирующая монотонный характер влияния мощности (изменения числа витков в замкнувшей парной группе) замыкания в средней части топологии индуктивности на её коэффициент передачи сигналов K_{2II} при $\omega_a = 100$; $\omega_b = 1 \div 10$; $\omega_c = 100$.

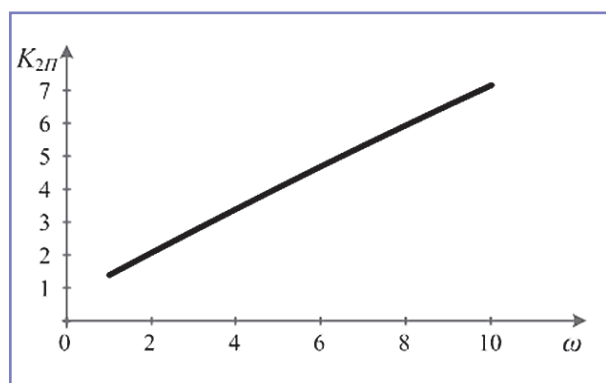


Рис. 2. Влияние мощности межвиткового замыкания в средней части индуктивности на её коэффициент передачи напряжения K_{2II} при $\omega_a = 100$; $\omega_b = 1 \div 10$; $\omega_c = 100$.

в предположении её соответствия индуктивной структуре однородной топологии, проводящей ток, при наличии и отсутствии замыканий витков. Исследован характер ухудшения коэффициента передачи индуктивности с нарушенной одиночным и парным замыканием витков исходно однородной топологии её структуры. Создана математическая модель индуктивности, нарушенной замыканием витков исходно однородной топологии её структуры.

Применение изложенных подхода и методики оценки влияния замыканий витков на изменение свойств и способности к выполнению индуктивностью задаваемой функции преобразования электрической энергии является решением получения количественной оценки снижения эффективности электромагнитного воздействия при наличии виткового замыкания. Достаточная точность полученных результатов дает основания надеяться, что предложенный метод оценки и методика найдут применение в решении различных научных задач.

Литература:

1. Агунов А.В. Последовательный силовой активный фильтр напряжения с цифровым управлением // Электроника и электрооборудование транспорта. – 2014. – №1. – С. 27–28.
2. Власов А.И., Никитин В.В. Автоматизированное проектирование электромеханических тормозов авиационного электропривода // Электроника и электрооборудование транспорта. – 2013. – №3. – С. 44–47.
3. Nunez-Zuniga T.E., Pomilio J.A. Shunt Active Power Filter Synthesizing Resistive Loads // IEEE Trans. on Power Electronics, Vol. 17, no. 2, p. 273–278, 2002.
4. Королёв А.А. Расчёт электромагнитного поля симметрирующих трансформаторов // Электроника и электрооборудование транспорта. – 2012. – № 2. – С. 19–24.
5. Дианов В.Н., Lyuminarskaya E., Белоусов И.М., Мионов М.Н., Гевондян Т.А. Обнаружение и регистрация скрытых дефектов в современной электроэнергетике и электронике транспортных средств // Электроника и электрооборудование транспорта. – 2011. – №1. – С. 38–47.
6. Жерве Г.К. Обмотки электрических машин. – Л.: Энергоатомиздат, 1989. – 400 с.
7. Костенко М.П., Пиотровский Л.М. Электри-

Выводы

Авторами теоретически и экспериментально показана возможность оценки степени влияния одиночным и парным замыканием витков исходно однородной топологии индуктивности на эффективность его применения в различных устройствах. Выполнен анализ индуктивности

ческие машины. Часть 1. Изд. 2. М.-Л.: Энергия, 1964. – 544 с.

8. Костенко М.П., Пиотровский Л.М. Электрические машины. Часть 2. Изд. 2. М.-Л.: Энергия, 1965. – 704 с.

9. Копылов И.П. Электрические машины. – М.: Издательство Юрайт, 2012. – 675 с.

10. Petersen W. Overcurrents and overvoltages in systems with large ground fault current // E.T.Z. – 1916. – Vol. 37. – P. 129 – 131.

11. Willheim R., Waters M. Neutral grounding in high-voltage transmission. – New York: John Wiley and Sons, 1953. – 414 p.

12. Елгина Г.А., Ивойлов Е.В., Деева В.С. Век Паравая в диагностике состояния вихревой структуры // Молодежь и наука: труды X Всероссийской с международным участием научно-технической конференции: 15–25 апреля 2014 г., Красноярск: Сибирский федеральный университет, сайт: <http://conf.sfu-kras.ru/conf/mn2014/>.

13. Elgina G.A., Ivoylov E.V., Slobodyan S.M. Harmonic diagnostics structures inductive topology // [Digests 9th International Forum on Strategic Technology 2014, October 21–23, 2014. Chittagong University of Engineering and Technology, Bangladesh], in press.

14. Kundur P. Power system stability and control. – McGraw Hill: New York, 1994. – 1176 p.

15. Saleh S.H. Diagnosis of mixed eccentricity in 400 kW induction machine based on inspection of stator current spectrums // Renewable Energies and Power Quality. – 2014. – No.12. – P. 12–18.

16. Slobodyan M.S., Slobodyan S.M. Cantilever piezoelectric drives // Datchik and Systems. – 2003. – No. 3. – P. 47 – 48.

17. Slobodyan S. M. Optimization of a Bimorph Drive in Optical Measuring Systems with Feedback // Measurement Techniques. Springer

US. – 2003. – Vol. 46. No. 1. – P. 28 – 34.

18. Демирчан К.С., Нейман Л.Р., Коровкин Н.В. Теоретические основы электротехники: Учебник для вузов. 5-е изд. Т. 1. – СПб.: Питер, 2009. – 512 с.

19. Демирчан К.С., Нейман Л.Р., Коровкин Н.В. Теоретические основы электротехники: Учебник для вузов. 5-е изд. Т. 2. – СПб.: Питер, 2009. – 432 с.

20. Тавдгиридзе Л.Н., Лобжандзе Л.Н., Мелкумян Э.В. Преобразование и расчёт измерительных цепей с индуктивной связью // Электротехника. 1974. № 9. С. 83 – 84.

Елгина Галина Александровна – родилась в 1980 году. В 2002 году окончила Электротехнический институт Томского политехнического университета по специальности «Электрические станции». Опыт работы – 12 лет. В настоящее время работает старшим преподавателем Национального исследовательского Томского политехнического университета – ТПУ и учится в аспирантуре ТПУ.

Ивойлов Евгений Вячеславович – родился в 1986 году. В 2014 году окончил Энергетический институт Томского политехнического университета по специальности «Электроэнергетические системы и сети». В настоящее время работает в Филиале ОАО «РЖД» СП «Трансэнерго» и учится в аспирантуре ТПУ.

Слободян Степан Михайлович – родился в 1946 году. В 1968 году окончил Томский институт радиоэлектроники и электронной техники по специальности «Радиоэлектронные устройства». Доктор технических наук, доцент. В 2006 году защитил две докторские

диссертации по закрытой тематике. Опыт работы – более 50 лет. В настоящее время работает профессором кафедры электрических сетей и электротехники Национального исследовательского Томского политехнического университета. Имеет более 30 патентов на изобретения, более 200 научных работ, 4 монографии. Награжден знаком «Изобретатель СССР».

Yelgina Galina – was born in 1980. In 2002 she graduated from Electronic Technical Institute of Tomskiy Polytechnic University with a degree in «Electric power stations». Work experience is 12 years. At the present time she works as a senior teacher in the State Research Tomsk Polytechnic University (TPU) and pursues postgraduate studies in TPU.

Ivoylov Eugeniy – was born in 1986. In 2014 he graduated from Power Engineering Institute of Tomskiy Polytechnic University with a degree in «Electric power systems and grids». At the present time he works in SP «Transenergo» of JSC «RZD» branch and pursues postgraduate studies in TPU.

Slobodyan Stepan – was born in 1946. In 1968 he graduated from Tomskiy Radioelectronics and Electronic technology Institute specializing in «Radioelectronic devices». He is a Doctor of Engineering, docent. In 2006 he defended two doctorate theses on secret subject. His work experience is more than 50 years. At present he works as professor at the department of electric network and electrotechnics of Tomskiy National Research Polytechnic University. He has more than 30 invention patents, 200 scientific works, 4 monographs. He was awarded by a sign «Inventor of USSR».

Электродинамический тормоз с импульсным регулированием для пассажирских электровозов

// Electrodynamic brake with pulse control for passenger electric locomotives //

Феоктистов В.П., д.т.н., профессор
Шаров В.А., к.т.н.,
Третинников О.В.,
Московский государственный университет
путей сообщения (МИИТ), г. Москва

На электровозах пассажирского движения с коллекторными тяговыми двигателями используется реостатный тормоз для оперативного регулирования скорости и в качестве резервного при экстренном торможении. Показано, что реостатный тормоз с импульсным регулированием является экономичным и полностью соответствует требованиям безопасности движения.

Ключевые слова: железная дорога, пассажирский электровоз, реостатный тормоз, импульсное регулирование, резервный тормоз безопасности.

On electric locomotives of passenger traffic with collector traction engines the rheostatic brake for operative regulation of speed and as reserve is used at emergency braking. It is shown that the rheostatic brake with pulse regulation is economic and completely corresponds to movement safety requirements.

Keywords: railway, passenger electric locomotive, rheostat brake, pulse control, reserve safety brake.

Электродинамическое торможение предполагает переключение тяговых электродвигателей (ТЭД) в генераторный режим с отдачей вырабатываемой энергии в тяговую сеть или с гашением на реостате, который входит в состав электрооборудования электровоза. Соответственно этому различают рекуперативное и реостатное торможение, возможны также совмещенные системы с переключением этих режимов или с одновременным их использованием [1].

Наиболее просто реализуется реостатный тормоз, поэтому его используют на большинстве пассажирских электровозов. Особого внимания заслуживает опыт его применения на электровозах ЧС2Т и ЧС7 (рис. 1). В нем использовано питание обмоток возбуждения ОВ1-ОВ4 от выводов тормозных реостатов R-R₀ при помощи диодов Д₁-Д₂ и импульсного прерывателя (ИП) с обратным диодом Д₆. В этой схеме обеспечена независимость тормоза от наличия напряжения в контактной сети – в от-

личие от схем, в которых питание обмоток возбуждения осуществляется от отдельного источника, связанного с контактной сетью (электровозы ЭП2К, ЧС4Т, ЭП1). Поэтому тормоз по рис. 1 не реагирует на кратковременные перерывы электропитания, например, из-за отскока токоприемника. Его можно включить и реализовать торможение в автономном режиме даже при отсутствии напряжения на токоприемнике.

Таким образом, рассматриваемый тормоз соответствует требованиям тормоза безопасности и может быть использован как для оперативного регулирования скорости, так и в качестве резерва при экстренном торможении. Нужно отметить и энергосберегающую эффективность тормоза, что обеспечивается соединением ТЭД 1-4 с силовой цепью электровоза посредством диодов Д₃-Д₄. Если напряжение ТЭД больше напряжения U на токоприемнике, то есть при

$$(U_{1-2} \vee U_{3-4}) > U \quad (1)$$

то реостатный тормоз может отдавать часть вырабатываемой энергии ТЭД для обеспечения собственных нужд (СН) электровоза и электроотопления (ЭО) вагонов поезда (установленная мощность 65+600 кВт). Таким образом, тормоз становится совмещенным, поскольку часть энергии будет использоваться полезно. Принципиально возможно отдавать часть энергии другим электровозам через токоприемник и контактную сеть. Однако при этом должна быть предусмотрена специальная защита от внешнего короткого замыкания, которую применяют на электровозах с рекуперацией [2].

Достоинство тормоза по рис. 1 заключается не только в простоте его схемной реализации, но и в хороших регулировочных характеристиках. Это обеспечивается заданием коэффициента заполнения k по входу ИП

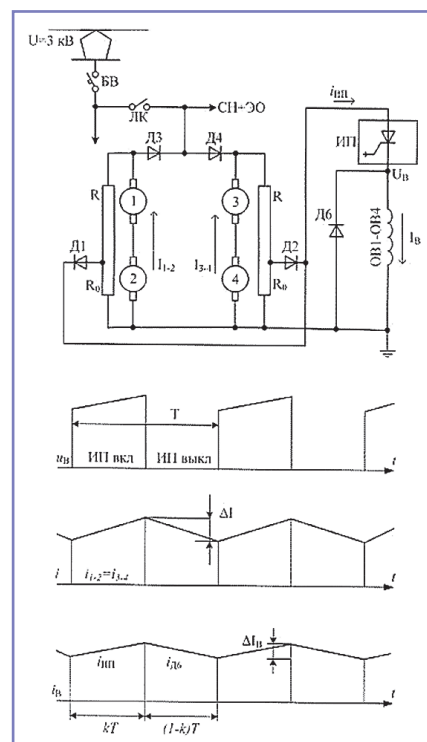


Рис. 1. Реостатный тормоз с импульсным регулированием.

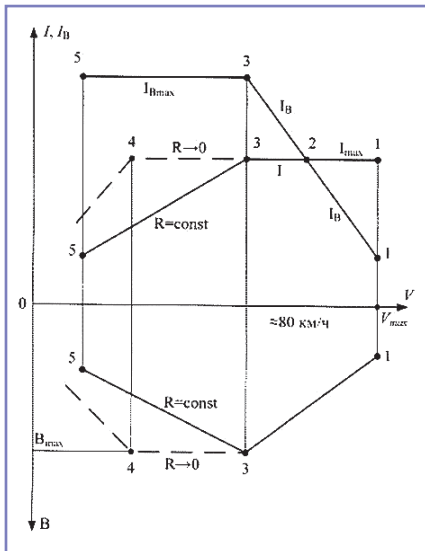


Рис. 2. Электротормозные характеристики.

и позволяет реализовать тормозные характеристики по рис. 2.

Рассматривая тормозные характеристики в зависимости от максимальной скорости V_{max} , следует выделить следующие характерные зоны:

- на участке 1-2 действует ограничение по коэффициенту ослабления возбуждения ТЭД

$$\beta = \frac{I_B}{I} > \beta_{min} \approx 0,4 - 0,5 \quad (2)$$

которое действует в точке 1, а при дальнейшем снижении скорости постепенно увеличивают β , стабилизируя ток $I_{я}$. В точке 2 имеет место полное поле $I_{я} = I_B$;

- далее на участке 2 – 3 стабилизируют ток $I_{я}$ усилением поля, когда $I_B > I_{я}$, то есть $\beta > 1$. Допускается $I_B = 2I_{max}$, что достигается в точке 3;

- если значения R и R_0 не изменять, то далее при $I_B = const$ ток якоря I по мере снижения скорости будет снижаться;

- при регулируемых сопротивлениях R имеется возможность стабилизировать тормозную силу при снижении скорости на участке 3 – 4, причем на электровозах этот способ регулирования не применяют, он необходим только для остановочного торможения (пригородное сообщение, метро).

Таким образом, на электровозах реализуется тормозная характеристика $B(V)$, показанная на рис. 2 в нижней полуплоскости. Эта характеристика содержит участок 1 – 3 с нарастанием тормозной силы B и участок 3 – 5 с

постепенным снижением B примерно до скорости 60 км/ч, после чего происходит переключение на пневматическое торможение.

Опыт эксплуатации электровозов в пассажирском сообщении показывает, что реостатный тормоз используют в основном для гашения скорости на подходе к месту ее ограничения или к сигналу, требующему снижения скорости. Это соответствует диапазону скоростей движения 60-100 км/ч.

Однако для электропоездов пригородного сообщения при торможении перед остановкой важно сохранить силу B до возможно минимальной скорости, для чего в точке 3 начинают уменьшать R и постепенно снижают его до нуля.

Таким образом, рассматриваемый тормоз по рис. 1 при $R = const$ вполне удовлетворяет условиям применения на электровозах пассажирского движения. Его важное достоинство – независимость от напряжения контактной сети, но при этом нужно учитывать и недостаток, который связан с импульсным регулированием, а именно с пульсациями тока. Диаграмма токов и напряжений приведена в нижней части рис. 1.

Для расчета пульсаций тока якорных обмоток используем уравнения

$$\begin{cases} l \frac{di}{dt} + (2r + R)i = 2E - U_B (\text{ИПвкл.}) \\ l \frac{di}{dt} + (2r + R + R_0)i = 2E (\text{ИПвыкл.}) \end{cases} \quad (3)$$

где r , l – активное сопротивление и индуктивность якорной обмотки ТЭД;

E – ЭДС ТЭД и напряжение на обмотке возбуждения;

U_B – амплитуда импульсного напряжения на обмотках возбуждения;

R , R_0 – сопротивления секций тормозного реостата.

Решение этих уравнений по методике, изложенной в [3], позволяет получить выражение для пульсаций

$$\Delta I^* = \frac{\Delta I}{I} = \beta \frac{R_0 T k (1-k)}{l} \quad (4)$$

где β – коэффициент ослабления возбуждения;

k – коэффициент заполнения импульсного цикла преобразователя ($k=0 \div 1$).

Выражение (4) имеет максимум при $k = 0,5$, так что проверку ТЭД на режим пульсаций следует проводить для значения

$$\Delta I^* = \frac{\beta R_0 T}{4l} \quad (5)$$

Для реально реализуемой частоты $f = 400$ Гц получаем пульсации не более 5-6%, так что специальных средств защиты и сглаживания пульсаций не требуется. Этот расчет выполнен при условии, что магнитный поток ТЭД и соответственно его ЭДС E идеально сглажены.

Испытания электровозов, у которых обмотки возбуждения ТЭД питаются от статического преобразователя (все электровозы переменного тока при электрическом торможении, электровозы ЭП2К, 2ЭС4К, 2ЭС6), показали, что пульсации магнитного потока и ЭДС незначительны по причине большой индуктивности обмоток возбуждения и сглаживающего действия вихревых токов в магнитной системе ТЭД. Если для питания обмотки возбуждения использован импульсный преобразователь как на рис. 1, то при необходимости сглаживание пульсаций тока в якорных обмотках и в обмотках возбуждения можно обеспечить повышением рабочей частоты $f = 1/T$. При наличии диода D размах пульсаций тока в обмотках возбуждения можно оценить по формуле

$$\Delta I_B = \frac{U_B k (1-k)}{\Sigma l_B} = \frac{T I_B R_0 k (1-k)}{\Sigma l_B} \quad (6)$$

При $k = 0,5$ он имеет максимальное значение

$$\Delta I_{Bmax} = \frac{T I R_0}{4 \Sigma l_B} \quad (7)$$

что соответствует размаху пульсаций не более 5А и для обмоток возбуждения ТЭД мощностью 700-900 кВт составляет не более 2% от номинального значения тока. Таким образом, действием пульсаций на ТЭД в схеме реостатного тормоза можно пренебречь.

Выводы

1. На электровозах пассажирского движения целесообразно использовать реостатный тормоз с импульсным регулированием, который является экономичным и полностью соответствует требованиям безопасности движения.

2. Даже при наличии рекуперативного тормоза дополнительно необходим реостатный тормоз в качестве резервного тормоза безопасности.

Литература:

1. Трахтман Л.М. Электрическое торможение электроподвижного состава. – М.: Транспорт, 1965. – 201 с.
2. Ребрик Б.Н. Рекуперация электроэнергии на электровозах: Технология ресурсосбережения. – М.: Ин-текст, 2000. – 38 с.
3. Иньков Ю.М., Феоктистов В.П., Шабалин Н.Г. Развитие тяговых электроприводов электропоездов постоянного тока. – М.: Мир транспорта, 2014, № 2. – с. 62 – 69.

Феоктистов Валерий Павлович – родился в 1939 году. В 1961 году окончил Московский государственный университет путей сообщения (МИИТ). Доктор технических наук, профессор. В 1982 году защитил диссертацию по теме: «Управление режимами электропоездов с импульсным регулированием». Опыт работы – 49 лет. В настоящее время работает профессором кафедры «Электропоезда и локомотивы» Московского государственного университета путей сообщения (МИИТ). Заслуженный работник Высшей школы. Имеет 4 монографии (в соавторстве), свыше 100 авторских свидетельств и патентов, более 300 научных трудов.

Шаров Вячеслав Анатольевич – родился в 1949 году. В 1971 году окончил Хабаровский институт инженеров железнодорожного транспорта по специальности «Инженер путей сообщения». Кандидат технических наук, доцент. В 1981 году защитил диссертацию по теме: «Исследование электромагнитных процессов в силовых цепях асинхронного тягового привода электрического локомотива». Опыт работы – более 40 лет. В настоящее время работает доцентом кафедры «Электропоезда и локомотивы» Московского государственного университета путей сообщения (МИИТ). Имеет более 60 научных трудов, 18 авторских свидетельств и патентов.

Третинников Олег Владимирович – родился в 1987 году. В 2009 году окончил МГУПС (МИИТ) по специальности «Электрический транспорт железных дорог». Опыт работы – 7 лет. В настоящее время работает программистом I категории в ИЭФ МИИТ. Имеет 5 научных публикаций.

Feoktistov Valeriy – was born in 1939. In 1961 he graduated from Moscow State Railway University (MIIT). He is a Doctor of Engineering, professor. In 1982 he defended the thesis on the topic: «Control of modes of electric trains with

pulse regulation». Work experience is 49 years. At present he works as a professor of «Electrical trains and locomotives» chair of Moscow State Railway University (MIIT). He is an honoured worker of higher school. He has 4 monographs (co-authorship), more than 100 author's certificates and patents, more than 300 scientific works.

Sharov Vyacheslav Anatolievich – was born in 1949. In 1971 he graduated from Khabarovsk Institute of Engineers of Railway Transport with a degree in «Railway engineer». Candidate of Technical sciences, assistant professor. In 1981 he defended the thesis on the topic: «Research of electromagnetic processes in power circuits of asynchronous traction gear of electric locomotive». Work experience is more than 40 years. At present he works as an assistant professor of «Electric trains and locomotives» department of Moscow State Railway University (MIIT). He has more than 60 scientific works, 18 author's certificates and patents.

Tretinnikov Oleg – was born in 1987. In 2009 he graduated from MGUPS (MIIT) with specialization in «Electrical transport of rail roads». He has 7 years of work experience. At present he works as first class programmer in IEF MIIT. He has 5 scientific works.

Повышение энергетической эффективности электровоза переменного тока за счёт разнофазного управления инверторами на высших зонах регулирования

//Increasing to energy efficiency of the electric locomotive of alternating current at the expense of different-phase control by inverter on the higher areas of the regulation//

Мельниченко О.В., к.т.н., доцент,
ФГБОУ «ИрГУПС», г. Иркутск

Власьевский С.В., д.т.н., профессор,
ФГБОУ «ДВГУПС», г. Хабаровск

Рассматриваются возможности повышения коэффициента мощности электровоза в режиме рекуперативного торможения и снижения коэффициента искажения синусоидальности кривой напряжения контактной сети на высших (2, 3 и 4-й) зонах регулирования путем применения разнофазного управления инверторами. Проведено математическое моделирование процессов работы инвертора на высших зонах регулирования при применении их разнофазного управления.

Ключевые слова: электровоз, выпрямительно-инверторные преобразователи, контактная сеть, напряжение, генераторы, трансформатор, коммутация, ток.

They are considered possibility of increasing of the factor to powers of the electric locomotive moderegenerative braking and reductions of the factor of the distortion sinusoidal crooked voltage to contact network on the first zone of the regulation by using of different-phase control by inverter. Mathematical modeling of the processes of the functioning the rectifiers is organized on the higher areas of the regulation when using their разнофазного control.

Keywords: electric locomotive, tractive transformer, thyristor rectifier, diode shoulder, electric motor, zone of the regulation, algorithm of control, mathematical modeling.

Электровозы переменного тока являются одними из крупнейших потребителей электроэнергии на железнодорожном транспорте. Повышение коэффициента мощности электровозов и снижение коэффициента искажения синусоидальности напряжения в контактной сети при их работе в режиме рекуперативного торможения ведет к повышению их энергетической эффективности, что в конечном итоге приводит к повышению возврата электроэнергии в контактную сеть, что снижает затраты на тягу поездов.

В настоящее время современные электровозы переменного тока чаще всего состоят из двух или трех секций, в каждой из которых находится по два выпрямительно-инверторных преобразователя (ВИП), работающих выпрямителями в режиме тяги электровоза и инверторами в режиме его электрического рекуперативного торможения. Существующие типовые алгоритмы управления преобразователя-

ми рождают при их работе значительные гармонические составляющие (гармоники) напряжения в контактной сети. Это приводит к сокращению срока службы изоляции электрических машин и аппаратов, к ухудшению работы устройств связи и управления движением поездов, к сбоям в работе систем управления преобразователями электровоза.

Так как в режиме тяги электровоза ВИП имеет значительно больший коэффициент мощности, чем в режиме

рекуперативного торможения, то разработка технических решений в области способов и средств управления инверторами, направленных на снижение гармоник напряжения в контактной сети (повышение качества электрической энергии) и повышение коэффициента мощности электровоза, является несомненно актуальной задачей. Такие технические решения разработаны в Иркутском и Дальневосточном государственных университетах путей сообщения (ИрГУПС и ДВГУПС). Суть этих решений заключается в том, что отдельно для первой и последующих высших (2, 3 и 4-й) зон регулирования предложены новые алгоритмы управления инверторами при регулировании напряжения зоны с включением в них принципа разнофазного управления (РФУ) несколькими инверторами и включением в их силовые схемы разрядного диодного плеча, которое подсоединено к катодной и анодной шинам инвертора параллельно цепи выпрямленного тока.

В статье [7] были рассмотрены процессы работы инвертора и его управления на первой зоне регулирования при новом алгоритме управления, содержащем принцип РФУ несколькими инверторами, где в силовую схему каждого из которых включено разрядное диодное плечо. Теперь рассмотрим способ работы

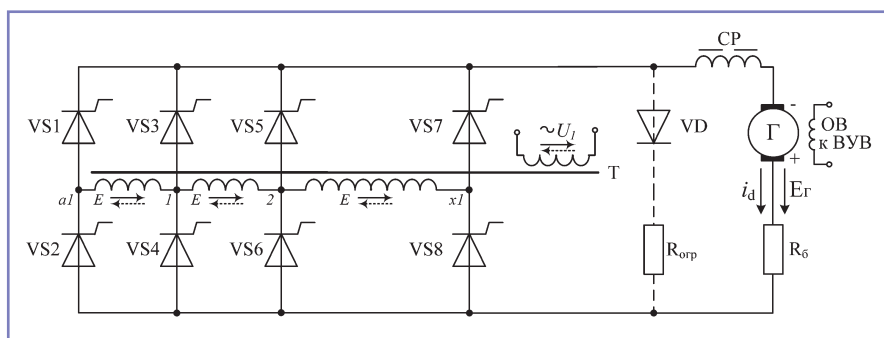


Рис. 1. Упрощенная силовая схема четырехзонного инвертора электровоза.

Таблица 1. Типовой алгоритм управления тиристорными плечами инвертора на высших зонах регулирования.

Зона	Полупериод	Плечи инвертора							
		VS1	VS2	VS3	VS4	VS5	VS6	VS7	VS8
IV	→	-	β	α_p	-	-	-	β	-
	←	β	-	-	α_p	-	-	-	β
III	→	-	-	-	β	α_p	-	β_s	-
	←	-	-	β	-	-	α_p	-	β_s
II	→	-	β	α_p	-	β	-	-	-
	←	β	-	-	α_p	-	β	-	-

На рис. 1 представлена упрощенная силовая схема четырехзонного инвертора электровоза. Например, на четвертой зоне регулирования в этом инверторе работает секция a1-x1 вторичной обмотки трансформатора, напряжение которой подается на мост из тиристорных плеч VS1, VS2, VS3, VS4, VS7 и VS8. В таблице 1 представлен типовой алгоритм управления тиристорными плечами каждого инвертора электровоза на 2, 3 и 4-й зонах регулирования.

Процессы работы четырехзонного инвертора при типовом алгоритме его управления на высших зонах регулирования описаны в [1]. Особенностью процесса инвертирования на выс-

инвертора и его управления на высших зонах регулирования при новом алгоритме разнофазного управления несколькими инверторами, в силовую

схему каждого из которых включено разрядное диодное плечо.

Таблица 2. Новый алгоритм и разнофазное управление двумя инверторами в одной секции электровоза на высших зонах регулирования.

Зона	ВИП	Полупериод	Плечи ВИП							
			VS1	VS2	VS3	VS4	VS5	VS6	VS7	VS8
4	1	→	—	β_3	$\alpha_p - \alpha_{p\phi y} / 2$	—	—	β	β_3	—
		←	β_3	—	—	$\alpha_p - \alpha_{p\phi y} / 2$	β	—	—	β_3
		→	—	β_3	$\alpha_p + \alpha_{p\phi y} / 2$	—	—	β	β_3	—
		←	β_3	—	—	$\alpha_p + \alpha_{p\phi y} / 2$	β	—	—	β_3
	2	→	—	β_3	$\alpha_p + \alpha_{p\phi y} / 2$	—	—	β	β_3	—
		←	β_3	—	—	$\alpha_p + \alpha_{p\phi y} / 2$	β	—	—	β_3
		→	—	β_3	$\alpha_p - \alpha_{p\phi y} / 2$	—	—	β	β_3	—
		←	β_3	—	—	$\alpha_p - \alpha_{p\phi y} / 2$	β	—	—	β_3
3	1	→	—	—	—	β_3	$\alpha_p - \alpha_{p\phi y} / 2$	β	β_3	—
		←	—	—	β_3	—	β	$\alpha_p - \alpha_{p\phi y} / 2$	—	β_3
		→	—	—	—	β_3	$\alpha_p + \alpha_{p\phi y} / 2$	β	β_3	—
		←	—	—	β_3	—	β	$\alpha_p + \alpha_{p\phi y} / 2$	—	β_3
	2	→	—	—	—	β_3	$\alpha_p + \alpha_{p\phi y} / 2$	β	β_3	—
		←	—	—	β_3	—	β	$\alpha_p + \alpha_{p\phi y} / 2$	—	β_3
		→	—	—	—	β_3	$\alpha_p - \alpha_{p\phi y} / 2$	β	β_3	—
		←	—	—	β_3	—	β	$\alpha_p - \alpha_{p\phi y} / 2$	—	β_3
2	1	→	—	β_3	$\alpha_p - \alpha_{p\phi y} / 2$	β	β_3	—	—	—
		←	β_3	—	β	$\alpha_p - \alpha_{p\phi y} / 2$	—	β_3	—	—
		→	—	β_3	$\alpha_p + \alpha_{p\phi y} / 2$	β	β_3	—	—	—
		←	β_3	—	β	$\alpha_p + \alpha_{p\phi y} / 2$	—	β_3	—	—
	2	→	—	β_3	$\alpha_p + \alpha_{p\phi y} / 2$	β	β_3	—	—	—
		←	β_3	—	β	$\alpha_p + \alpha_{p\phi y} / 2$	—	β_3	—	—
		→	—	β_3	$\alpha_p - \alpha_{p\phi y} / 2$	β	β_3	—	—	—
		←	β_3	—	β	$\alpha_p - \alpha_{p\phi y} / 2$	—	β_3	—	—

ших зонах регулирования при типовом алгоритме является то, что кривая выпрямленного напряжения имеет глубокие провалы напряжения до нуля на интервалах коммутации (рис. 3), что создает достаточно большую пульсацию выпрямленного напряжения двигателя, значительный угол запаса инвертора увеличивает угол сдвига фаз, приводящий к снижению коэффициента мощности электровоза.

Рассмотрим процессы работы при новом алгоритме и разнофазном управлении двумя инверторами в одной секции электровоза на примере четвертой зоны регулирования. Причем в силовую схему каждого инвертора параллельно цепи выпрямленного тока включено разрядное диодное плечо и последовательно с ним – токоограничивающий резистор (на рис. 1 диодное плечо и резистор показаны пунктирной линией). Токоограничивающий резистор необходим для ограничения скорости нарастания тока в момент включения диодного плеча в работу [2]. Диодное плечо присоединено катодом к анодной, а анодом – к катодной шинам инвертора. Для повышения коэффициента мощности электровоза на высших зонах регулирования в режиме рекуперативного торможения предлагается алгоритм управления, суть которого заключается в подаче управляющих импульсов на тиристоры таким образом, чтобы разбить большой контур коммутации на два, следующих один за другим, и РФУ двумя инверторами на первой зоне регулирования, представленный в таблице 2.

Согласно этому алгоритму управления необходимо подавать управляющие импульсы на тиристоры плеч инвертора таким образом, чтобы разбить большой контур коммутации на два, следующих один за другим. Для организации нового способа управления преобразователем подача импульсов системой управления на тиристоры плеч, образующих данную зону регулирования, осуществляется с некоторой задержкой относительно импульсов, подаваемых на тиристоры плеч, не участвующих в коммутации при образовании зоны в типовом алгоритме управления.

Включение диодного плеча позволяет ликвидировать режим работы,

при котором в существующих схемах инверторов поток электромагнитной энергии трансформатора на протяжении угла δ направлен из сети в генератор, увеличивая тем самым реактивную составляющую и уменьшая активную составляющую энергии, возвращаемую в сеть. Включение диодного плеча в схему инвертора на 2-4-й зонах регулирования напряжения увеличивает коэффициент мощности за счет увеличения выпрямленных значений напряжения U_d и тока I_d инвертора, что создает увеличение возврата активной электроэнергии в сеть.

Однако при фазовом регулировании напряжения инвертора, когда происходит дополнительная коммутация тиристорных плеч при их управлении импульсами a_p , послекоммутационные колебания в кривой напряжения сети остаются без изменения и при $a_p = 90$ эл. град. имеют достаточно большую амплитуду. Для получения наибольшего эффекта повышения качества электроэнергии на токоприёмнике электровоза при таком регулировании предлагается ввести РФУ инверторами каждой секции электровоза по регулируемому углу a_p . Это управление заключается в задержке регулируемых импульсов управления с углом a_p , подаваемых на тиристорные плечи при фазовой коммутации различных групп инверторов, на расчетное время, равное первому полупериоду послекоммутационных колебаний напряжения на токоприёмнике электровоза с учетом изменяющихся распределенных параметров контактной сети. При этом в диапазоне углов от 70 до 110 эл. град. полупериода напряжения сети реализуется максимальное время задержки, равное полупериоду 7-й гармоники сетевого напряжения. В остальное время импульсы управления с углом a_p задерживаются на меньшее время, равное полупериоду высокочастотной гармоники с максимальной ее амплитудой. При этом в местах ограничений угла a_p задержка импульсов управления по времени уменьшается до нуля, то есть в этих местах РФУ прекращается.

Ранее предлагаемые алгоритмы управления инверторами электровоза с РФУ также улучшали качество электрической энергии в контактной сети.

Однако из-за необходимости задерживать открытие одного плеча инвертора относительно другого имело место снижение среднего выпрямленного напряжения инвертора, подаваемого на тяговые двигатели, по сравнению с типовым алгоритмом управления [3, 4]. Это значительно ухудшало коэффициент мощности электровоза.

Для устранения указанного недостатка был разработан энергосберегающий алгоритм РФУ инверторами электровоза. Этот алгоритм заключается в том, что среднее выпрямленное напряжение на тяговых двигателях остается неизменным относительно существующего в настоящее время типового алгоритма управления, в котором нет РФУ. Достигается это тем, что время необходимой задержки импульсов управления делится пополам, причем на один инвертор половинная задержка подается со знаком минус, а на другой инвертор – со знаком плюс (таблица 2). В следующем периоде напряжения сети для выравнивания среднего выпрямленного напряжения на тяговых двигателях задержанные импульсы управления, подаваемые на плечи инверторов, меняются местами.

Для детального исследования и сравнения электромагнитных процессов в электровозе при применении нового способа и энергосберегающего алгоритма РФУ инверторами и типового алгоритма была разработана математическая модель электровоза в среде схемотехнического проектирования MatLab. В качестве объекта моделирования выбран электровоз переменного тока типа ВЛ80Р, работающий в режиме рекуперативного торможения. В качестве участка контактной сети была выбрана двусторонняя схема питания от двух тяговых подстанций системы тягового электрооборудования, которая является типовой для осуществления нормального эксплуатационного режима работы системы.

Электровоз в модели рассмотрен как комплексная система, состоящая из нескольких подсистем, взаимодействующих между собой. Такими подсистемами являются силовая электрическая схема электровоза, система управления ВИП электровоза и контактная сеть. Силовая электри-

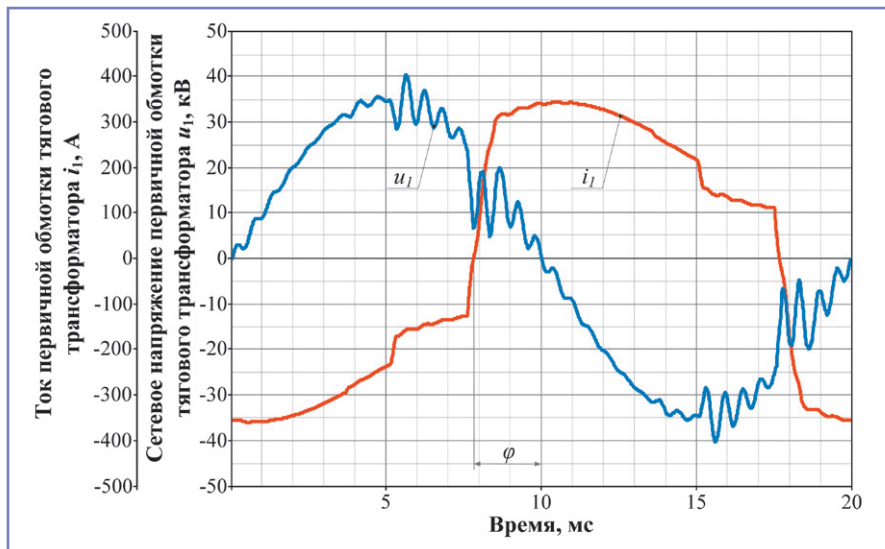


Рис. 2. Кривые напряжения в контактной сети u_1 и тока в первичной обмотке тягового трансформатора i_1 секции электровоза при типовом алгоритме управления инвертора в режиме рекуперативного торможения на 4-й зоне регулирования при $\alpha_p = 90$ эл. град., $\varphi = 38,7$ эл. град.

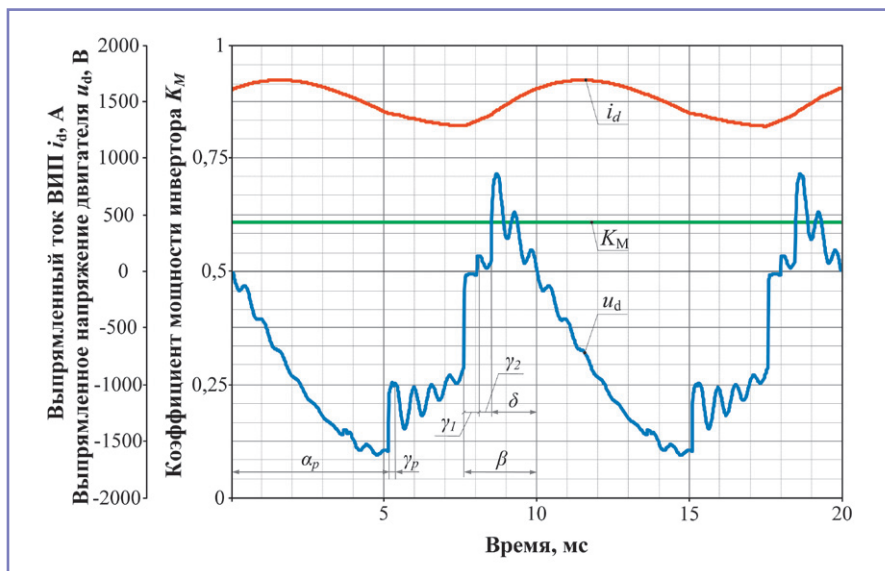


Рис. 3. Кривые выпрямленного напряжения u_d и выпрямленного тока i_d инвертора, а также кривая коэффициента мощности при типовом алгоритме управления в режиме рекуперативного торможения на 4-й зоне регулирования при $\alpha_p = 90$ эл. град.

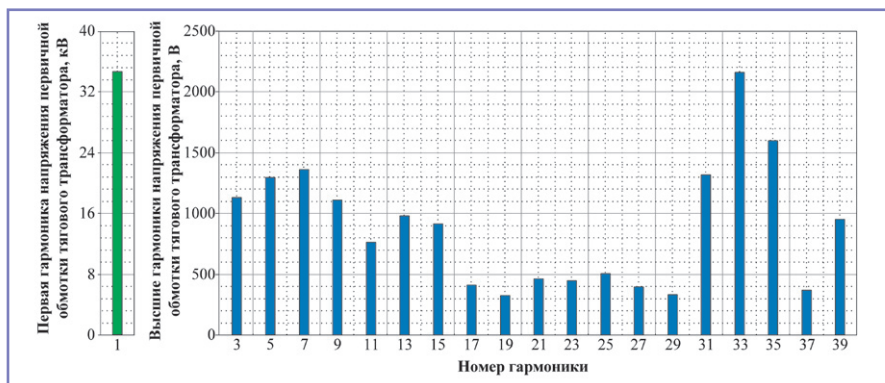


Рис. 4. Гармонический состав переменного напряжения u_1 на токоприемнике электровоза в режиме рекуперативного торможения на 4-й зоне регулирования при типовом алгоритме управления.

ческая схема электровоза представлена схемой замещения, состоящей из тягового трансформатора, ВИП, выпрямительной установки возбуждения, сглаживающих реакторов и тяговых двигателей. Для объективного сравнения типового и предлагаемого алгоритмов управления инверторами параметры математических моделей электровозов, работающих в режимах рекуперативного торможения с этими алгоритмами управления, приняты равными друг другу.

Для более точного отображения взаимного влияния переходных процессов в системе контактная сеть – электровоз модель электровоза расположена на расстоянии 24 км от тяговой подстанции, то есть в середине фидерной зоны, где происходит самое большое влияние параметров контактной сети и электровоза на качество электрической энергии на токоприемнике электровоза. Модель контактной сети представлена схемой замещения, которая состоит из каскадно соединенных Т-образных симметричных четырехполюсников. Они моделируют погонные параметры системы (индуктивность и активное сопротивление контактной сети, распределенную емкость относительно земли и сопротивление, обусловленное током утечки с проводов линии и изоляторов) [5].

Режим рекуперативного торможения электровоза с номинальной нагрузкой в модели выбран близким к подобному режиму одиночной работы реального электровоза ВЛ80Р с поездом на фидерной зоне.

Для типового алгоритма и предлагаемого алгоритма управления инверторами с РФУ и диодным плечом было проведено математическое моделирование процессов работы электровоза на 4-й зоне регулирования при $\alpha_p = 90$ эл. град., по результатам которого получены осциллограммы электромагнитных процессов в виде кривых напряжения в контактной сети u_1 , тока в первичной обмотке тягового трансформатора i_1 секции электровоза, кривых выпрямленного напряжения u_d и выпрямленного тока i_d инвертора, а также гармонический состав переменного напряжения сети u_1 , представленные на рис. 2 – 7.

По приведенным на рис. 4 и рис. 7 параметрам гармонического состава в виде амплитуд гармоник напряжения сети рассчитаны коэффициенты их гармонических составляющих $K_{U(n)}$ при типовом алгоритме и предлагаемом алгоритме разнофазного управления с диодным плечом в схеме инвертора. Результаты расчетов сведены в таблицу 3. Для сравнения результатов моделирования процессов работы электровоза с различными алгоритмами управления инверторами был выбран критерий сравнения – коэффициент искажения синусоидальности напряжения K_U контактной сети на токоприемнике электровоза, нормируемый согласно ГОСТ Р 54149-2010 [6].

Определение коэффициента мощности производилось с учетом не синусоидальности напряжения сети и тока в первичной обмотке тягового трансформатора электровоза в среде MatLab при проведении моделирования на ЭВМ по формуле

$$K_M = \frac{\sum_{k=1}^n U_k I_k \cos \varphi_k}{\sqrt{\sum_{k=0}^n U_k^2} \cdot \sqrt{\sum_{k=0}^n I_k^2}}$$

$$= \frac{U_0 I_0 + U_1 I_1 \cos \varphi_1 + \dots + U_k I_k \cos \varphi_k}{\sqrt{U_0^2 + U_1^2 + \dots + U_k^2} \cdot \sqrt{I_0^2 + I_1^2 + \dots + I_k^2}}$$

где U_0, I_0 – постоянные составляющие напряжения и тока; U_1, I_1 – действующие значения синусоидальных напряжения и тока 1-й гармоники; U_k, I_k – действующие значения синусоидальных напряжения и тока k -й гармоники; φ_k – угол сдвига фазы между напряжением и током k -й гармоники.

Коэффициент искажения синусоидальности напряжения K_U контактной сети на токоприемнике электровоза определяется по формуле

$$K_U = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^N U_{(n)}^2}}{U_{(1)}} 100\%$$

где $U_{(n)}$ – значение n -й гармонической составляющей напряжения; $U_{(1)}$ – значение первой (основной) гармоники напряжения; $N_{(n)}$ – номер гармоники напряжения.

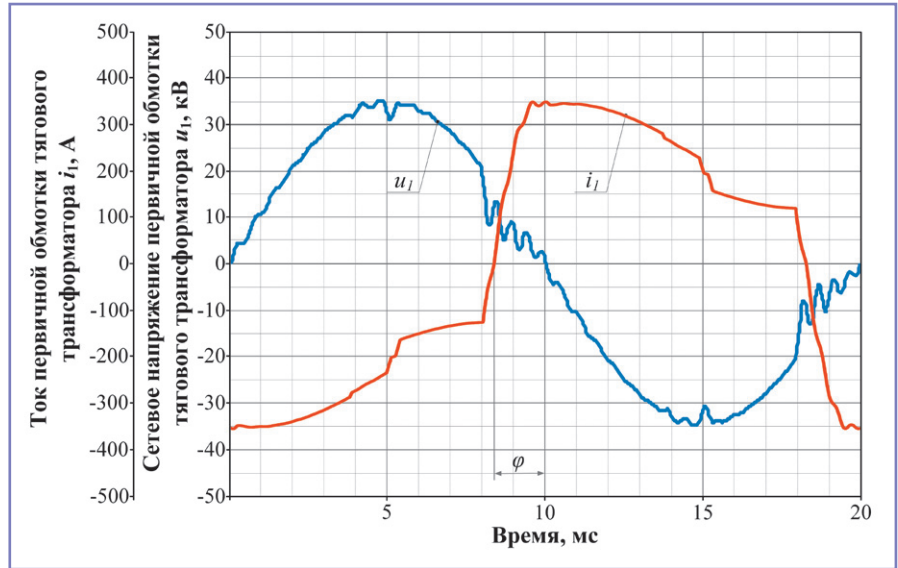


Рис. 5. Кривые напряжения в контактной сети u_1 и тока в первичной обмотке тягового трансформатора i_1 секции электровоза при предлагаемом алгоритме управления с РФУ и диодным плечом в режиме рекуперативного торможения на 4-й зоне регулирования при $\alpha_p = 90$ эл. град., $\varphi = 28,8$ эл. град.

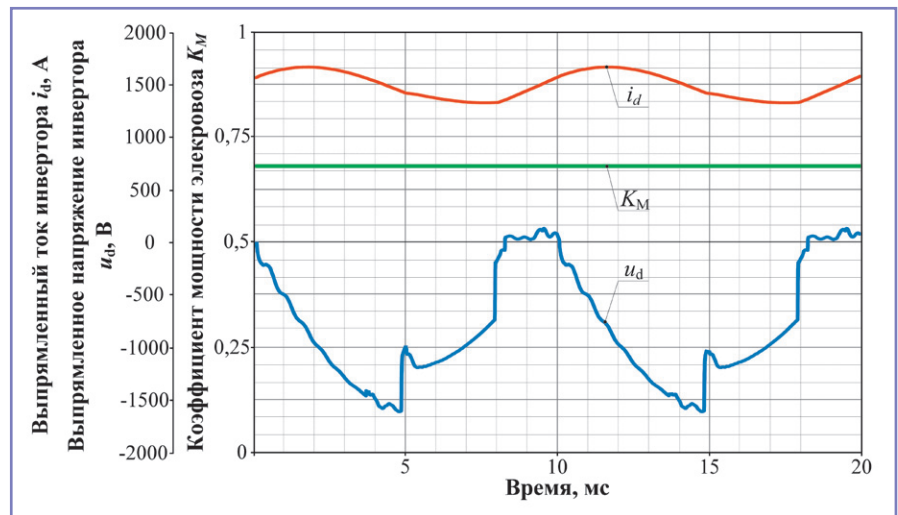


Рис. 6. Кривые выпрямленного напряжения u_d и выпрямленного тока i_d инвертора, а также кривая коэффициента мощности при предлагаемом алгоритме с РФУ и диодным плечом в режиме рекуперативного торможения на 4-й зоне регулирования при $\alpha_p = 90$ эл. град.

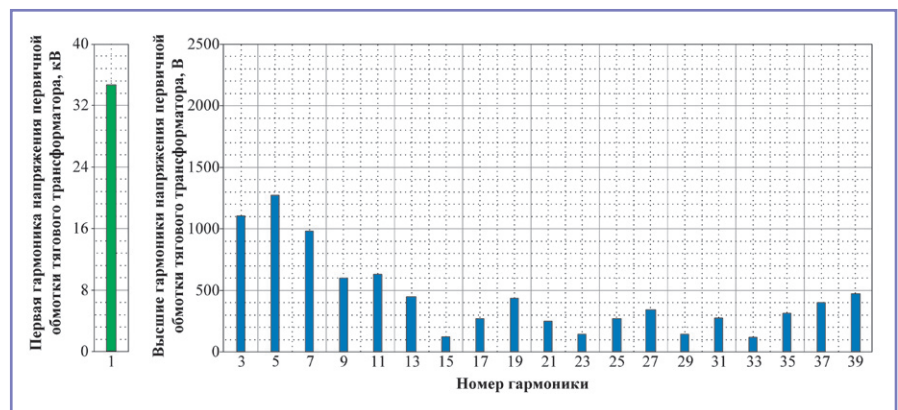


Рис. 7. Гармонический состав переменного напряжения u_1 на токоприемнике электровоза в режиме рекуперативного торможения на 4-й зоне регулирования при предлагаемом алгоритме управления с РФУ и диодным плечом.

Таблица 3. Разница в процентном соотношении средних значений коэффициента несинусоидальности напряжения сети, коэффициента мощности электровоза и угла сдвига фаз между входным током и сетевым напряжением при типовом и предлагаемом алгоритмах управления с РФУ и диодным плечом.

Способы управления ВИП	K_{U_1}	%	K_M	%	φ , эл. град.	%
Типовой	12,98	100	0,608	100	38,7	100
Предлагаемый с разрядным диодным плечом и РФУ (33 гармоника)	7,17	55,24	0,732	120,4	28,8	74,5

На рис. 3 и рис. 6 показаны средние значения коэффициента мощности электровоза. Результаты расчета K_U и K_M заносим в таблицу 3.

Анализируя полученные результаты моделирования (рис. 2, 3, 5 и 6) на 4-й зоне регулирования инверторами при типовом и предлагаемом способах, отмечаем, что коэффициент несинусоидальности напряжения сети K_U снизился на 55%, коэффициент мощности электровоза K_M увеличился на 20%, а угол сдвига фаз между входным током и сетевым напряжением уменьшился на 25%.

Выводы

1. Разработан новый энергосберегающий алгоритм разнофазного управления инверторами на 2-4-й зонах, который не снижает среднее значение выпрямленного напряжения, подаваемое на тяговые двигатели, по сравнению с ранее разработанными алгоритмами разнофазного управления.

2. Применение на высших зонах регулирования предлагаемого способа управления и нового энергосберегающего алгоритма разнофазного управления инверторами совместно с диодным плечом позволяет значительно снизить (более 50%) коэффициент искажения синусоидальности напряжения сети, то есть повысить качество электрической энергии на токоприемнике электровоза, повысить коэффициент мощности электровоза не менее 20%, а угол сдвига фаз между входным током и сетевым напряжением уменьшить на 25% по сравнению с типовым алгоритмом управления.

Литература:

1. Тихменев Б.Н., Кучумов В.А. Электровозы переменного тока с тиристорными преобразователями // М.: Транспорт, 1988. – 311 с.
2. Мельниченко О.В., Портной А.Ю., Шрамко С.Г. Лабораторные исследования модели

инвертора электровоза с включением диодного плеча параллельно цепи выпрямленного тока // Проблемы транспорта Восточной Сибири. Сб. тр. Третьей всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых учёных, 18-19 апреля 2012 г., – Иркутск: Изд-во ИрГУПС, 2013. – Ч. 1. – С. 31 – 36.

3. Кулинич Ю.М., Находкин В.В., Широченко Н.Н., Кучумов В.А., Штибен Г.А. Испытания электровоза ВЛ85 с разнофазным управлением выпрямительно-инверторными преобразователями // Вестник Всероссийского научно-исследовательского и проектно-конструкторского института электровозостроения. 1986. № 4. С. 23 – 26.

4. Мельниченко О.В., Газизов Ю.В. Повышение энергетических показателей электровозов переменного тока // Железнодорожный транспорт. 2010, № 3. С. 50 – 52.

5. Савоськин А.Н., Кулинич Ю.М., Алексеев А. С. Математическое моделирование электромагнитных процессов в динамической системе контактная сеть – электровоз // Электричество. 2002. №2. С. 29 – 35.

6. ГОСТ Р 54149-2010. «Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения». [Текст]; – М.: Изд-во Стандартинформ, 2012. – 15 с.

7. Мельниченко О.В., Власьевский С.В. Повышение энергетической эффективности электровоза переменного тока в режиме рекуперативного торможения с помощью разнофазного управления инверторами на первой зоне регулирования // Вестник Иркутского государственного технического университета, №7(90), 2014, – С. 119 – 127.

Мельниченко Олег Валерьевич – родился в 1976 году. В 1999 году окончил Иркутский институт инженеров железнодорожного транспорта по специальности «Электрический транспорт железных дорог». Кандидат технических наук, доцент. В 2005 году защитил диссертацию по теме: «Повышение энергетических показателей электровозов однофазно-постоянного тока с тиристорными выпрямителями». Опыт работы – 14 лет. В настоящее время работает за-

ведующим кафедрой «Электроподвижной состав» ФГБОУ «ИрГУПС». Имеет 210 научных трудов, в том числе 50 патентов на изобретения и полезные модели. Награжден отраслевыми наградами ОАО «РЖД».

Власьевский Станислав Васильевич – родился в 1939 году. В 1966 году окончил Хабаровский институт инженеров железнодорожного транспорта по специальности «Электрификация железных дорог». Доктор технических наук, профессор. В 2001 году защитил докторскую диссертацию на тему: «Повышение эффективности выпрямительно-инверторных преобразователей электровозов однофазно-постоянного тока с рекуперативным торможением». Опыт работы – 48 лет. В настоящее время работает профессором кафедры «Электротехника, электроника и электромеханика» ФГБОУ «ДВГУПС». Имеет 164 научные работы, в том числе 20 патентов и авторских свидетельств на изобретения, 4 монографии и 14 учебных пособий. Награжден знаками «Почетный работник науки и техники РФ», «Почетный железнодорожник», «Лучший изобретатель железнодорожного транспорта», «200 лет транспортному образованию России» и «30 лет Байкало-Амурской магистрали».

Melnichenko Oleg – was born in 1976. In 1999 he graduated from Irkutsk Railway Transport Engineers Institute with a degree «Electrical vehicle of railways». Candidate of Engineering Science, assistant professor. In 2005 he defended his dissertation on the subject «Increasing of energy indicators of locomotives of single-phase direct current with thyristor rectifiers». He has 14 years of work experience. At the present time he works as the head of «Electrically propelled vehicles» Department of Irkutsk Railway Transport Engineers Institute. He has 210 publications, including 50 patents for inventions and useful models. He was awarded with industry awards of «Russian Railways» Ltd.

Vlasyevskiy Stanislav – was born in 1939. In 1966 he graduated from Khabarovsk Railway Transport Engineers Institute with a degree «Railways Electrification». Doctor of Engineering Science, professor. In 2001 he defended his Doctor dissertation on the subject «Efficiency increasing of reversible converters of locomotives of single-phase direct current with regeneration braking». He has 48 years of work experience. At the present time he works as the professor of «Electric Engineering, electronics and electromechanics» Department of the Far East State Communications University. He has 164 publications, including 20 patents and copyright certificates for inventions, 4 monographs and 14 guidance manuals. He was awarded with the following decorations: «Honorable worker of science and technics of RF», «Honorable railwayman», «The best inventor of Railways», «200 years' anniversary of transport education of Russia» and «30 years' anniversary of Baikal-Amur Mainline».

Автоматическая организация плановых видов ремонта грузовых вагонов

// Automatic organization of planned repairs of freight cars //

Петилава Р.А.,
ЗАО «Спецэнерготранс», г. Москва

На основе методов математического линейного программирования разработана программа, позволяющая однозначно определить вагоноремонтные предприятия, в которых расходы компании на организацию плановых видов ремонта грузовых вагонов будут минимальны.

Ключевые слова: ремонт вагонов, математическое линейное программирование, минимизация расходов.

В связи с введением западными странами секторальных санкций во второй половине 2014 года может произойти серьезное снижение уровня российской экономики. А так как железнодорожный транспорт сразу же ощущает на себе малейшие изменения в экономической жизни страны, ожидать улучшения тяжелейшей ситуации на рынке грузовых железнодорожных перевозок не приходится. При данном стечении обстоятельств собственникам вагонов необходимо сократить до минимума все возможные расходы. Одной из значительных статей расходов на железнодорожном транспорте традиционно остается организация плановых видов ремонта грузовых вагонов.

В эпоху существования МПС вагоны после выгрузки в большинстве случаев просто отправляли в ближайшее вагоноремонтное предприятие, но с появлением множества собственников подвижного состава данная схема несколько изменилась. Теперь определением вагоноремонтных предприятий для организации плановых видов ремонта грузовых вагонов занимаются отделы эксплуатации и ремонта подвижного состава.

Специалисты по программам типа АСУ ТК, МЦ-Слежение и других отслеживают дислокацию вагонов с

On the basis of mathematical linear programming has developed a program that allows you to determine the car-repair companies in which the company's expenses for the organization of the planned repairs of freight cars will be minimal.

Keywords: car repairs, mathematical linear programming, minimize costs.

истекающими нормативами по плановым видам ремонта. Работа сотрудников отделов эксплуатации и ремонта подвижного состава в каждом конкретном случае сводится к определению вагоноремонтных предприятий, в которых расходы компании на организацию плановых видов ремонта грузовых вагонов будут минимальны. С образованием трех вагоноремонтных компаний (ОАО «ВРК»), а также выходом на рынок плановых видов ремонта множества частных вагоноремонтных предприятий у собственников вагонов появился очень большой выбор между

конкурирующими субъектами вагоноремонтного комплекса.

При решении задачи по определению вагоноремонтных предприятий, в которых расходы компании на организацию плановых видов ремонта грузовых вагонов будут минимальны, специалистам необходимо перебирать множество вариантов организации планового ремонта вагонов (рис. 1).

Из рис. 1 видно, что просчитать все возможные варианты и выбрать оптимальный вручную практически невозможно. Точные математические расчеты на практике обычно заменяются интуицией и логическим мышлением сотрудника. И чем ниже профессиональный уровень специалиста, тем сильнее будет разница между выбранным вариантом организации планового ремонта и оптимальным.

Для минимизации расходов на ремонт и эксплуатацию подвижного состава разработана специальная программа, которая позволяет автоматически определять вагоноремонтные предприятия для прохождения грузовыми вагонами плановых видов ремонта.

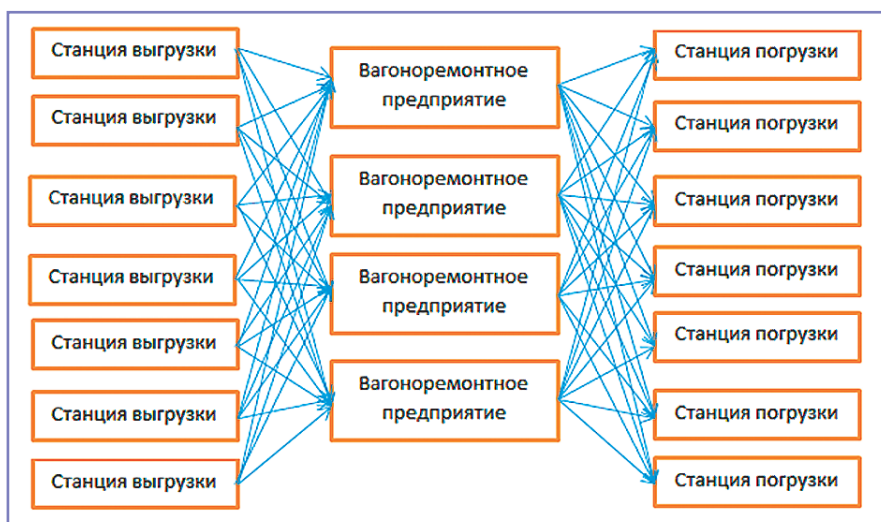


Рис. 1. Возможные варианты организации деповского ремонта.

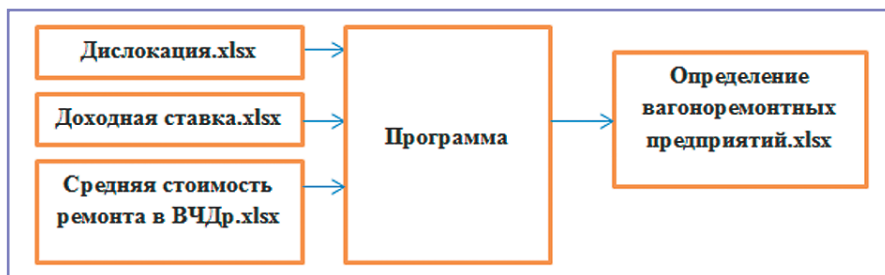


Рис. 2. Схема работы программы.

Минимизация расходов на организацию плановых видов ремонта происходит за счет:

- однозначного определения вагоноремонтных предприятий, в которых расходы компании на организацию плановых видов ремонта грузовых вагонов будут минимальны;

- сокращения штата сотрудников, занимающихся организацией плановых видов ремонта грузовых вагонов;

- почти полного исключения ошибок, таких как: оформление в плановый ремонт вагонов с неистекшими нормативами по плановым видам ремонта; подсыл в ремонт моделей вагонов, на которые вагоноремонтное предприятие не имеет лицензии; подсыл на вагоноремонтные предприятия непромытых универсальных крытых вагонов, после грузов требующих промывки; подсыл на вагоноремонтные предприятия непропаренных/не-

продегазированных цистерн.

Общая схема работы программы изображена на рис. 2.

Файл «Дислокация» в формате «xlsx» не составляет труда экспортировать из любой программы слежения типа АСУ ТК, МЦ-Слежение, Agrimeent и других. Из данного файла программа отфильтровывает номера вагонов собственности компании, даты следующего планового ремонта, оставшийся пробег вагонов, текущую дислокацию вагона, модель вагона, ранее перевозимый груз, суммарный простой вагонов на станциях ремонта. Также в определенном столбце указано, оформлен вагон или нет и, если оформлен, то в какое вагоноремонтное предприятие.

Желтым цветом на рис. 3 выделены номера вагонов, которые по следующей дате планового ремонта или оставшемуся пробегу нуждаются

Род вагонов	Модель	Ставка руб. С НДС
ПВ	12-783	800
КР	11-280	1100
ПЛ	13-9808	850

Рис. 4. Файл «Доходная ставка».

ся в плановом ремонте, однако графа в столбце «Согласованное депо ремонта» не заполнена. Для указанных выше вагонов программа будет определять вагоноремонтные предприятия.

Файл «Доходная ставка» заполняется коммерческим отделом частной компании (рис. 4). Он необходим для расчета финансовых потерь от времени нахождения вагона в пути на вагоноремонтные предприятия, времени простоя в ожидании ремонта и в ремонте, а также нахождения вагона в пути на станции погрузки.

Файл «Средняя стоимость ремонта в ВЧДр» заполняется сотрудниками отдела эксплуатации и ремонта подвижного состава (рис. 5). В нем указывается средняя цена на плановый ремонт вагонов за последний месяц.

В базах программы находятся:

- математический аппарат;
- тарифные руководства России, Азербайджана, Беларуси, Грузии, Казахстана, Киргизии, Латвии, Литвы, Молдовы, Таджикистана, Туркмени-

Вагон	Род вагона	Сост.	Ост. пробег	Дата след. пл. рем.	Согласованное депо рем.	Ст. назн.	Дор. назн.	Груж/Пор	Модель
54001979	ПВ	НСП-П		25.02.2014	Топки (ВРК-3)	Ерунаково	ЗСБ	ПОР	12-132
59388751	ПВ			15.03.2014		Ерунаково	ЗСБ	ПОР	12-1302
55057970	ПВ			05.04.2015		Ерунаково	ЗСБ	ПОР	12-9837
54736541	ПВ			05.05.2015		Ерунаково	ЗСБ	ПОР	12-132
55585434	ПВ			05.05.2014	Тайга (ВРК-1)	Тайга	ЗСБ	ПОР	12-1302
53757852	ПВ		77 683	16.05.2014	Болотная (ВРК-3)	Ерунаково	ЗСБ	ПОР	12-1704-03
52397528	КР		26 658	20.05.2014		Рубцовск	ЗСБ	ПОР	11-280
52995446	ПВ		81 866	08.06.2016		Ерунаково	ЗСБ	ПОР	12-1704-04
53113544	ПВ		2 873	17.06.2014	Болотная (ВРК-3)	Ерунаково	ЗСБ	ПОР	12-1704-04
53731949	ПВГ		76 420	23.06.2014		Мереть	ЗСБ	ПОР	12-4102
52688371	КР			03.08.2014	Рубцовск (ВРК-3)	Рубцовск	ЗСБ	ПОР	11-1807
52995396	ПВ		7 668	03.08.2016		Терентьевская	ЗСБ	ПОР	12-1704-04
52660628	КР		34 060	04.08.2015		Ерунаково	ЗСБ	ПОР	11-280
52827722	ПВ		62 024	04.08.2015		Ерунаково	ЗСБ	ПОР	12-1704-04

Рис. 3. Файл дислокации грузовых вагонов в формате «xlsx».

Депо	Принадлежность	Станция ремонта	Средняя стоимость деповского ремонта рублей с НДС	Средняя стоимость капитального ремонта рублей с НДС
Егоршино	ВРК-3	Егоршино	80000	-
Елец	ВРК-3	Елец	84000	-
Ершов	ВРК-2	Ершов	78000	-
ЗАО «Кав-Транс»	Частное	Ставрополь	76000	-
ЗАО «Кав-Транс»	Частное	Каменск-Шахтинский	82000	-
ЗАО «ТрансИнвест»	Частное	Каменск-Уральский	82000	-
Зелецино	ВРК-2	Зелецино	89000	-
Зима	ВРК-3	Зима	94000	-
Златоуст	ВРК-3	Златоуст	85000	-
Златоуст	ВРК-3	Бердяуш	85000	-

Рис. 5. Средняя стоимость ремонта в ВЧДр.

стана, Узбекистана, Украины, Эстонии;

- план формирования грузовых вагонов.

После загрузки в программу трех файлов их обработка занимает несколько минут. По истечении указанного выше времени программа «Интеллектуальная логистика» выдает вариант распределения вагонов с истекающими нормативами по плановым видам ремонта по вагоноремонтным предприятиям, при котором затраты организации будут минимальны.

Из вышесказанного следует сделать вывод, что внедрение разработанной программы в работу транспортных фирм позволит значительно сократить расходы на организацию плановых видов ремонта грузовых вагонов.

Литература:

1. Амосов А.А., Дубинский Ю.А., Копченова Н.В., Вычислительные методы для инженеров. – М.: Высшая школа, 1994. – 544 с.
2. Васильев Ф. П., Иваницкий А. Ю., Линейное программирование. – М.: Факториал Пресс, 2008. – 328 с.
3. Голоскоков В.Н. Структурная реформа железнодорожного транспорта и логистические технологии. – М.: Издательство «Креативная экономика», 2007.-280 с.
4. Интрилигатор М. Математические методы оптимизации и экономическая теория/ Пер. с англ. – М.: Прогресс, 1975.
5. Устич П.А., Иванов А.А., Митюхин В.Б. Концепция интеллектуального управления // Мир транспорта, 2008, № 3. – С. 4–11.
6. Фролькис В. А. Введение в теорию и методы оптимизации для экономистов. 2-е изд. – СПб.: Питер, 2002. – 320 с.

Петилава Руслан Александрович – родился в 1989 году. В 2011 году окончил Московский государственный университет путей сообщения (МИИТ) по специальности «Вагоны и вагонное хозяйство». Опыт работы – 4 года. В настоящее время работает ведущим специалистом ЗАО «Спецэнерготранс» и учится в аспирантуре МГУПС (МИИТ).

Petilava Ruslan – was born in 1989. In 2011 he graduated from the State University of Railway Engineering (MIIT) with a degree in «Carriages and carriage stock». Work experience is 4 years. At the present time he works as a leading specialist in JTC «Specenergotrans» and pursues post-graduate studies in the State University of Railway Engineering (MIIT).

Современные системы управления вспомогательным электроприводом локомотива

// Modern control systems auxiliary electric locomotive //

**Евстафьев А.М., к.т.н., доцент,
Якушев А.Я., к.т.н., профессор,
ФГБОУ ВПО ПГУПС, г. Санкт-Петербург**

Рассмотрены вопросы применения современных систем управления вспомогательным электроприводом на электрическом подвижном составе и их преимущества.

Ключевые слова: векторное управление, широтно-импульсная модуляция, вспомогательный электропривод.

Задачи энергосбережения на железнодорожном транспорте не только не теряют свою актуальность, но и приобретают первостепенную важность. Внедрение энергоэффективных технологий и конструкторских решений позволяет экономить значительные ресурсы и уменьшать негативную нагрузку на окружающую среду. Снизить энергопотребление и повысить надежность электроподвижного состава (ЭПС) переменного тока возможно за счет совершенствования системы вспомогательного привода, на которую приходится до 18% электроэнергии, расходуемой на тягу [1]. На электровозах переменного тока питание трехфазных асинхронных двигателей вспомогательных машин осуществляется от однофазной сети с помощью простых и надежных систем преобразования числа фаз, разработанных в 60-х годах прошлого века. Так, например, для преобразования однофазного напряжения в трехфазное на электровозах переменного тока в ВЭЛНИИ была разработана конструкция расщепителя фаз НБ455А, который обеспечивал уверенный запуск мотор-компрессора, мотор-вентилятора и мотор-насоса. Однако при установившихся режимах работы системы вспомогательного привода роль расщепителя фаз становится незначительной. Простота схем включения вспомогательных машин и

The authors has considered the problems of modern control systems auxiliary application on electric rolling stock and their advantages.

Keywords: vector control, pulse-width modulation, auxiliary drive.

надежность конструкции асинхронных двигателей должны были гарантировать высокий уровень надежности в эксплуатации, но до 20% общего числа отказов на электровозах связано с системами питания собственных нужд [2]. Негативное влияние на работу вспомогательных машин оказывают значительные колебания напряжения, наличие в нем высших гармоник, токовые и механические нагрузки при пуске двигателей. Момент сопротивления на валу у двигателей вентиляторов и насосов зависит от температуры и давления атмосферного воздуха, а у компрессора – от параметров тормозной системы поезда, с которым следует электровоз. Необходимо также учитывать, что кроме обмотки собственных нужд тяговый трансформатор электровоза имеет тяговую обмотку, к которой подключена основная нагрузка – тяговые двигатели. Особенность работы тягового трансформатора заключается в том, что на интервале времени коммутации обмотки тягового трансформатора оказываются замкнутыми накоротко. Короткое замыкание тяговой обмотки влияет на формы кривых выпрямленного напряжения и тока во всех обмотках трансформатора. Длительность интервала коммутации зависит от величины выпрямленного тока, ступени трансформатора или зоны регулирования выпрямительно-инверторного преоб-

разователя (ВИП) и напряжения в контактной сети. Искажение формы тока при замыкании части или всей тяговой обмотки трансформатора увеличивает пульсации электромагнитного момента асинхронных двигателей, получающих питание от обмотки собственных нужд, напряжение на которой на интервале коммутации снижается и становится практически равным нулю. Наличие высших гармоник и несимметрия питающего напряжения приводят к повышенному нагреву асинхронных двигателей и, как следствие, к ускоренному старению изоляции, пульсации электромагнитного момента, к повышенному механическому износу. Таким образом, существующая система питания вспомогательных машин не позволяет реализовать преимущества асинхронных двигателей, приводит к неоправданному расходу электроэнергии и требует существенного улучшения.

В зарубежной практике система питания собственных нужд современных электровозов существенно отличается от систем, используемых на отечественном тяговом подвижном составе. Питание всех цепей собственных нужд, включая вспомогательные машины, осуществляется от статических преобразователей, которые, как правило, имеют несколько независимых каналов, формирующих независимые цепи питания для однофазной, трехфазной нагрузки и цепей постоянного тока. Кроме упрощения и унификации отдельных узлов, такая концепция построения позволяет снизить общую массу и объем преобразователя собственных нужд. Такое решение реализовано в преобразователях собственных нужд поезда Coradia Lirex депо Стокгольма [3]. В нем реализованы четыре резервированные системы переменного тока, которые получа-

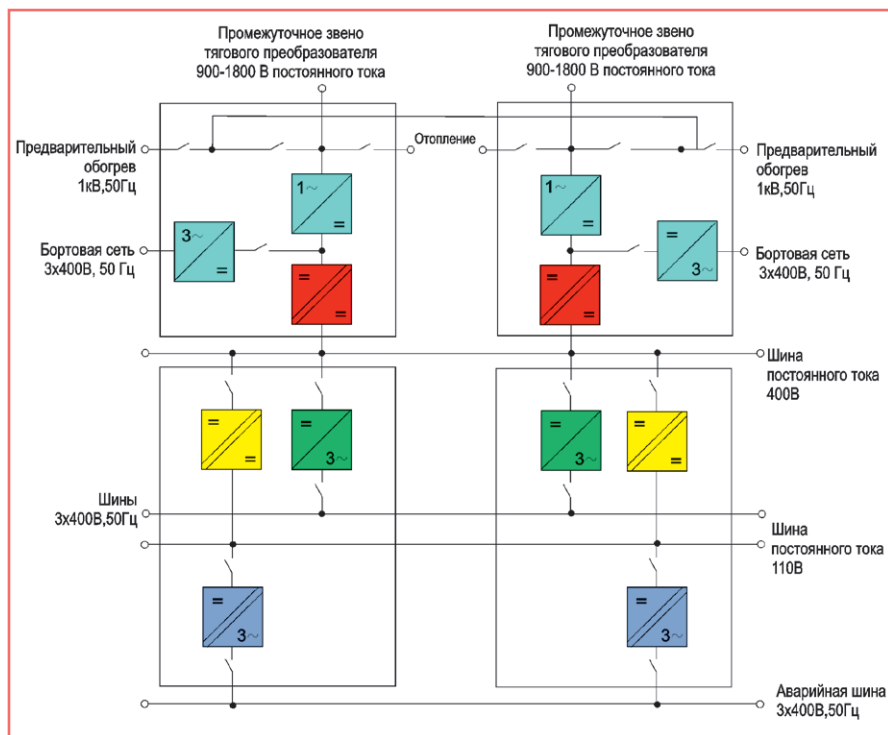


Рис.1. Преобразователь собственных нужд поезда Coradia Lirex.

ют питание от двух преобразователей (рис. 1).

Два гальванически разделенных преобразователя образуют систему преобразователя образуют систему постоянного тока напряжением 400В, которая связана с шиной, проходящей через весь поезд. К шине подключены два трехфазных инвертора 230/400В, дополнительный инвертор, два зарядных агрегата (преобразователя) напряжением 110В постоянного тока. Все инверторы выполнены с активным резервированием. Такой модульный принцип позволяет экономить расходы и затраты времени на разработку преобразователей, минимизировать риски проектирования благодаря использованию большого числа унифицированных компонентов. Основными преимуществами применения инверторов напряжения для питания трехфазных электродвигателей вспомогательного привода являются:

- повышение надежности вспомогательных электроприводов;
- исключение разрушительных и энергозатратных (энергоемких) переходных процессов;
- повышение качества напряжения питания вспомогательных электроприводов и реализация частотного пуска;
- снижение затрат электроэнергии на вспомогательный электропривод [4].

В наибольшей степени это касается электропривода компрессоров и насосов, нагрузка которых изменяется в зависимости от многих факторов. Поэтому компрессор системы кондиционирования поезда Coradia Lirex получает питание напряжением регулируемой частоты от отдельного преобразователя. В отечественном локомотивостроении способ частотного регулирования напряжения питания асинхронного двигателя компрессора использован на электровозе ЭП10, инверторы преобразователя собственных нужд формируют три рабочие ступени с выходным напряжением и частотой [5]:

- 1 ступень – 130В, 17Гц;
- 2 ступень – 250В, 33Гц;
- 3 ступень – 380В, 50Гц.

Для регулирования скорости вращения асинхронных двигателей используют разнообразные системы частотного управления питающего напряжения, которые можно разделить на два вида: скалярные и векторные. При скалярном способе управления на обмотках статора формируется гармоническое напряжение, частота и действующее значение которого контролируются системой управления. Частота напряжения, подводимого к статору, и его амплитуда связаны аналитической зависимостью в соответ-

ствии с выбранным законом частотного управления.

Скалярные системы управления просты в реализации и обеспечивают в установившихся режимах работы высокую перегрузочную способность асинхронного двигателя по моменту и потери энергии на уровне номинальных. При постоянном отношении напряжения питания электродвигателя к частоте в номинальном режиме магнитный поток и развиваемый двигателем момент также постоянны. Однако магнитный поток при этом не будет соответствовать номинальным значениям в следующих случаях:

- при пуске и работе на очень низких частотах;
- при работе с изменяющимися нагрузками.

В первом случае необходимо дополнительное увеличение магнитного потока двигателя, а во втором – возможность регулирования магнитного потока ротора в соответствии с изменениями нагрузки.

При построении систем управления асинхронными двигателями на современной элементной базе большое распространение получил векторный подход к описанию параметров двигателя и управлению моментобразующих составляющих током и магнитным потоком. Такой метод обеспечивает оптимальный угол между магнитными полями ротора и статора электродвигателя при изменении скорости вращения. При этом доступной управляемой переменной в асинхронном двигателе является только ток статора, который имеет составляющие, образующие магнитный поток и момент. Таким образом, в асинхронном двигателе необходимо обеспечить одновременное управление амплитудой и фазой тока в обмотках статора, то есть оперировать их векторными величинами.

Несмотря на относительную сложность реализации, этот способ управления трехфазными двигателями переменного тока обладает следующими преимуществами:

- большой диапазон регулирования скорости вращения;
- хорошая реакция на изменение нагрузки;
- точное регулирование мощности;

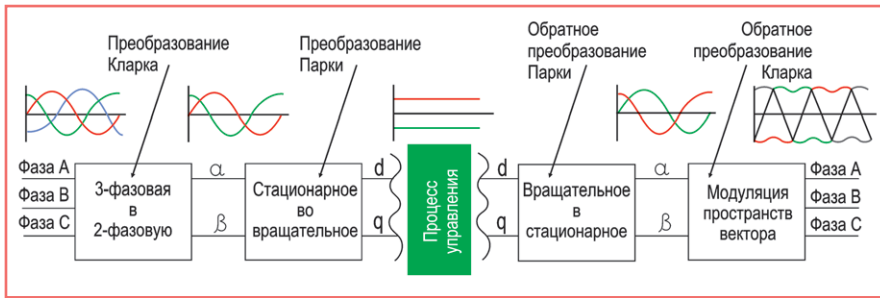


Рис. 2. Алгоритм прямого и обратного преобразования.

- высокий крутящий момент при изменении скорости двигателя в широком диапазоне;
- рабочие характеристики сравнимы с характеристиками приводов постоянного тока.

Векторное управление асинхронными двигателями может быть реализовано различными способами, которые отличаются друг от друга измеряемыми параметрами для вычислений активного тока, тока намагничивания, магнитного потока и крутящего момента. Принцип векторного управления заключается в следующем: определяется направление и угловое положение вектора потокосцепления двигателя в координатах d и q (x, y). Оси d и q ориентируют по потоку ротора двигателя. Вектор напряжения статора двигателя регулируют в координатах, при этом составляющая напряжения, подводимого к статору двигателя, по оси d регулирует величину тока по этой оси и амплитуду вектора потока ротора. Вектор тока статора по оси q регулируется напряжением по этой оси и определяет момент, развиваемый двигателем. Таким образом,

управление асинхронным двигателем становится подобным управлению двигателем постоянного тока, так по оси d формируется поле двигателя, а ток по оси q управляет моментом. При векторном управлении главным потокосцеплением система управления двигателя упрощается, и исключается чрезмерное насыщение магнитной системы. Параметры вектора главного потокосцепления определяются в неподвижной системе координат α и β . Переход из трехфазной системы в двухфазную (преобразование Кларка) называют переходом от реальной трехфазной машины к абстрактной, обобщенной двухфазной машине (рис. 2).

Дифференциальные уравнения, описывающие асинхронный двигатель, принимают простейший вид во вращающейся системе координат d q (преобразование Парка). Поскольку вектор главного потокосцепления неподвижен относительно вращающейся системы координат, его амплитуда и фаза однозначно определяются проекциями на оси координат. Управление векторами потокосцепления и

тока осуществляется двумя скалярными регуляторами проекций. Вращение системы вычисляется посредством формул координатных преобразований, измеряя или вычисляя угол её поворота относительно неподвижной системы координат. В качестве критерия оптимизации энергетической эффективности, как правило, принимают минимум тока статора, при котором двигателем вырабатывается необходимый момент, что обеспечивает минимальные потери.

После выполнения необходимых вычислений в соответствии с принятым алгоритмом вектор напряжения и тока статора преобразуется в неподвижную систему координат, связанную со статором, используя обратные преобразования Кларка и Парка, и реализуется посредством трехфазной широтно-импульсной модуляции (ШИМ), силовых транзисторов инвертора, который вырабатывает трехфазное напряжение для питания обмоток асинхронного двигателя.

Такая система электропривода строится со звеном постоянного тока, в которой на вход инвертора подается постоянное напряжение с выхода блока выпрямителя, объединяющего мостовой выпрямитель и корректор коэффициента мощности. Блок выпрямителя обеспечивает стабилизацию величины напряжения, подаваемого на инвертор при колебаниях напряжения в контактной сети, что также благоприятно влияет на энергоэффективность и надежность вспомогательного электропривода. На рис. 3 приведена типовая функциональная схема электропривода с питанием асинхронного двигателя от инвертора [6].

Практика показала успешность применения в системах электропривода переменного тока как специализированных микроконтроллеров электропривода, так и микроконтроллеров общего назначения, использующих различные архитектуры (RISC, DSP, CISC), специализированные блоки управления ШИМ и другие. Для современных разработчиков регулируемого электропривода доступна широкая номенклатура специализированных контроллеров, драйверов, интеллектуальных силовых модулей от различных производителей: Texas

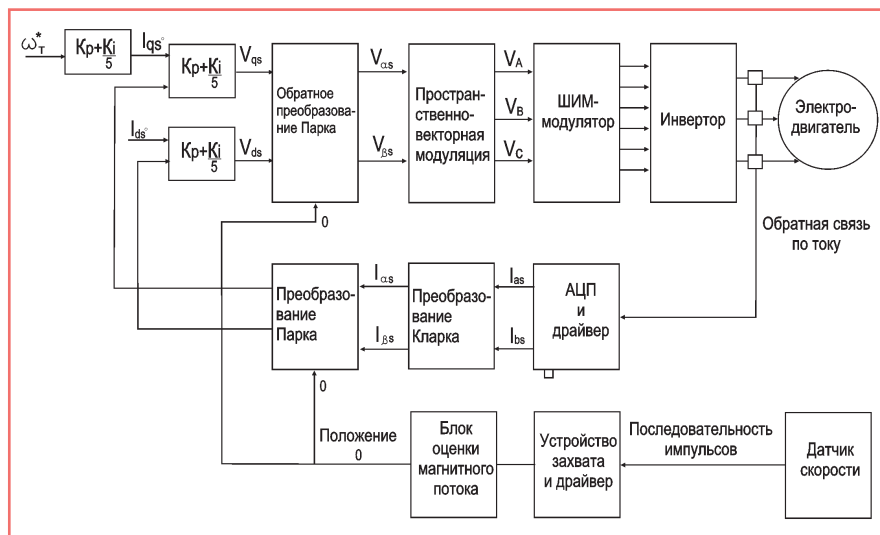


Рис. 3. Функциональная схема электропривода.

Instruments, Freescale, Microchip, Atmel, Intel, Fuji, Infineon и других. Применение готовых библиотек, набора программ и решений от производителей в значительной степени упростило задачу разработки аппаратной и программной частей регулируемого электропривода. Помимо электронных компонентов для построения систем управления электроприводами компании-разработчики электронной техники предлагают специализированные библиотеки функций и алгоритмов преобразования двухкоординатной системы в трехкоординатную и обратно, используемых при построении систем векторного управления приводом. Базовые функции содержат набор необходимых тригонометрических и математических функций, функций вычисления текущей скорости ротора, угла поворота, задания величины нового угла поворота ротора и другие. Однако массовое использование показало ограниченность готовых решений, сложность внесения изменений и адаптации электропривода к условиям эксплуатации. Внесение изменений требует от разработчиков глубоких знаний теории электропривода и векторного управления. Постоянное повышение требований к качеству управления электроприводом приводит к усложнению алгоритмов, повышению частоты выборки и степени интеграции, поэтому решения на базе RISC, DSP, CISC процессоров становятся либо неэффективными, либо слишком дорогими. Перспективным решением этой задачи является использование специализированных интегральных схем смешанного сигнала. Такие контроллеры могут выполнять множество специальных аналоговых и логических функций, требуемых как для управления электроприводом, так и для работы выпрямителя и корректора коэффициента мощности (ККМ). Реализация высококачественного бездатчикового векторного управления непосредственно в ядре микроконтроллера послужила мощным стимулом для дальнейшего развития этих систем. Участие микроконтроллера в такой системе управления электроприводом заключается только в конфигурировании параметров через графический интерфейс. Аппаратная

реализация векторного управления позволяет получить сочетание высокого быстродействия, точности и устойчивости алгоритмов управления при низкой стоимости контроллера.

Модернизация систем вспомогательного привода позволит существенно улучшить энергоэффективность системы. В современных системах управления электродвигателями активная коррекция коэффициента мощности является одним из обязательных требований, так как электродвигатели представляют собой нелинейную нагрузку для цепей переменного тока. Действующие стандарты требуют применения во вспомогательном приводе более эффективных электродвигателей и усовершенствованных методов коррекции коэффициента мощности и снижения уровня гармоник в сетевом токе. Продвижение современных методов преобразования числа фаз и управления асинхронным электроприводом способствует снижению эксплуатационных затрат, увеличению межремонтных пробегов электроподвижного состава, существенному снижению потребления энергии и уменьшению вредных выбросов в окружающую среду.

Литература:

1. Анализ энергетических характеристик в системе питания вспомогательных машин электровозов переменного тока серии «ЕРМАК» / Г.Н. Шестоперов, О.Г. Ариски, А.А. Тишкин, И.В. Синявский // Вестник Всероссийского научно-исследовательского и проектно-конструкторского института электровозостроения. – 2011. – №1(61). – С. 38 – 49. – ISSN 1816-1928.
2. Вспомогательный привод электровозов переменного тока / А. М. Рутштейн // Вестник Всероссийского научно-исследовательского и проектно-конструкторского института электровозостроения. – 2008. – №2(56). – С. 162 – 171. – ISSN 1816-1928.
3. Энергетические характеристики расщепителей фаз / Ю.А. Федюков // Электровозостроение: сборник научных трудов Всероссийского научно-исследовательского и проектно-конструкторского института электровозостроения. – 2001. – №43. – С. 104 – 112. – ISSN 1816-1928.
4. Экономия энергии на подвижном составе с новым преобразователем собственных нужд / Д. Виммер // Железные дороги мира. – 2007. – №6. – С. 44 – 48. – ISSN 0321-1495.

5. Система вспомогательного привода электровоза двойного питания типа ЭП10 / А.И. Лещев, С.С. Матекин, С.А. Усвицкий, В.Н. Поздняков // Электровозостроение: сборник научных трудов Всероссийского научно-исследовательского и проектно-конструкторского института электровозостроения. – 2000. – №42. – ISSN 1816-1928.
6. Electric motor efficiency depends upon power factor Part 1,2. / Richard Newell / www.industrialcontroldesignline.com.

Евстафьев Андрей Михайлович – родился в 1979 году. Выпускник Петербургского государственного университета путей сообщения. Кандидат технических наук, доцент. В 2005 году защитил кандидатскую диссертацию на тему: «Электронные системы ослабления возбуждения тяговых двигателей электроподвижного состава». В настоящее время работает заведующим кафедрой «Электрическая тяга» ПГУПС. Автор более 100 печатных трудов и патентов.

Якушев Алексей Яковлевич – родился в 1940 году. В 1964 году окончил Ленинградский институт инженеров железнодорожного транспорта (ЛИИЖТ) по специальности «Инженер путей сообщения, электромеханик». Кандидат технических наук, доцент. В 1970 году защитил кандидатскую диссертацию на тему: «Исследование способов улучшения работы систем вспомогательных машин электропоездов переменного тока». В настоящее время работает профессором в Петербургском государственном университете путей сообщения (ПГУПС). Имеет более 60 научных трудов, 3 авторских свидетельства.

Yevstafyev Andrey – was born in 1979. He graduated from Saint Petersburg State Railway University. He is a candidate of Engineering, an associate professor. In 2005 he defended a Ph.D. thesis, the theme is: «Electronic systems of activation reduction of electro movable vehicle's traction engine». At present he works as the head of «Electric traction» chair of PGUPS. He is an author of more than 100 printed works and patents.

Yakushev Alexey – was born in 1940. In 1964 he graduated from Leningrad Institute of Railway Engineers (LIRE) with a degree in «Railway engineer, electrician». He is a candidate of Technical Sciences, assistant professor. In 1970 he defended the master's thesis on the topic: «Researching of ways to improve work of auxiliary machines systems of electrical trains with alternative current». At the present time he works as a professor in The Petersburg State Transport University (PSTU). He has more than 60 scientific works and 3 certificates of authorship.

Особенности диагностирования автомобильных микропроцессорных систем управления двигателя

// Peculiarity diagnostic automobile engine electronics systems //

**Набоких В.А., к.т.н., профессор,
Озеров В.Г.,
Московский государственный машиностроительный
университет (МАМИ), г. Москва**

*В статье рассмотрены методы диагностирования микропроцессорных систем управления, применяемые в процессе эксплуатации автомобилей. Результаты анализа методов диагностирования позволят более рационально организовать техническую эксплуатацию микропроцессорных систем управления автомобилей с помощью специализированных приборов, сканеров и мотор-тестеров в автохозяйствах и станциях технического обслуживания и ремонта.
Ключевые слова: микропроцессорные системы управления, диагностика, сканеры, осциллографы, мотор-тестеры, специализированные диагностические приборы.*

*There are describing peculiarity diagnostic electronics systems in exploiter. Results of analysis methods diagnostics allow rational organize technical exploitation microprocessors systems of automobiles with scanners, motor-testers and specialized devices.
Keywords: diagnostic, electronics systems, technical exploitation, microprocessors systems, scanners, motor-testers, specialized devices.*

Для удовлетворения потребностей сервиса автомобилей в эксплуатации, для технического обслуживания и текущего ремонта разработаны диагностические средства: бортовые, устанавливаемые на автомобиле, являющиеся частью контроллера управления, и выносные. Условно их можно подразделить на три категории:

- специализированные диагностические приборы, которые позволяют диагностировать отдельные параметры систем или их компоненты, например, газоанализаторы ОГ, тестеры давления в цилиндре, стробоскопы и т. д.;

- бортовое диагностическое программное обеспечение, которое позволяет индцировать ошибки (неисправности) соответствующими кодами. Программное обеспечение контроллера содержит процедуры, которые записывают в энергонезависимую или оперативную память коды неисправностей. При обнаружении ошибки контроллер включает и вы-

ключает в определенной последовательности световой индикатор на приборном щитке. Световой сигнал можно расшифровать по справочным таблицам кодов неисправностей. Для доступа к бортовому диагностическому программному обеспечению требуется специальное дополнительное диагностическое устройство в виде портативного диагностического тестера (сканера). Сканер подключают через стандартный диагностический разъем на автомобиле к конкретному контроллеру или ко всей электронной системе. Контролируемые параметры и коды неисправностей считываются непосредственно с контроллера и интерпретируются специалистами сервиса;

- стационарные (стендовые) диагностические системы. Их можно не подключать к бортовому контроллеру и таким образом, независимо от бортовой диагностической системы автомобиля, проводить диагностирование. Эти устройства диагностируют систе-

мы впрыскивания и зажигания, поэтому их часто называют мотор-тестерами. По мере усложнения автомобильной электроники расширяются и функциональные возможности стационарных систем, так как теперь необходимо диагностировать не только управление двигателем, но и тормозные системы, активную подвеску и т. д.

Для проведения диагностических процедур в эксплуатации с появлением на борту автомобилей электронных устройств и систем широко применяют:

- измерительные приборы мультиметры;
- сканеры контроллеров управления двигателями;
- тестеры исполнительных устройств и узлов двигателя;
- мотор-тестеры и осциллографы.

Первая группа диагностических приборов представляет собой оборудование для углубленной проверки системы управления двигателем и ее отдельных узлов. К ним можно отнести специализированные тестеры и устройства.

1. *Тестеры-имитаторы датчиков.* Предназначены для проверки реакции блока на изменение сигналов отдельных датчиков (например, датчиков температуры или положения дроссельной заслонки). В некоторых случаях блок управления может не реагировать на изменение сигнала от датчика температуры, и это может быть воспринято как отказ датчика.

2. *Оборудование для очистки топливных форсунок.* В настоящее время предпочтение отдается стендам и приспособлениям для очистки и проверки форсунок, которые способны оптимизировать работу всех компонентов топливных систем. В их составе насос, подающая магистраль, фильтры, топливная рейка, порт Шре-

дера, обратный клапан, обратная магистраль, топливный бак.

3. *Вакуумный насос.* Этот прибор позволяет проверять работоспособность исполнительных устройств, приводимых в действие разрежением во впускном коллекторе двигателя (например, клапан продувки катализатора), а также производить проверку датчика разрежения во впускном коллекторе ДВС.

4. *Тестер свечей зажигания.* Позволяет визуально проверить работу свечей зажигания без установки их на двигатель. В некоторых тестерах имеется возможность проверки свечей под давлением, то есть в условиях, приближенных к реальной эксплуатации.

5. *Высоковольтный диагностический разрядник.* Это устройство позволяет проверить работу системы зажигания автомобиля на нагрузку, приближенную к реальной. Для систем зажигания с высоковольтным распределителем используется разрядник с воздушным зазором 10 мм, для современных систем зажигания без распределителя – 20 – 21 мм.

6. *Газоанализаторы.* Если для ДВС с электронными аналоговыми системами управления первого поколения (бесконтактное зажигание, экономайзер холостого хода) часто было достаточно иметь двухкомпонентный газоанализатор, то при диагностике автомобилей, оснащенных микропроцессорными системами управления, нейтрализаторами ОГ, лямбда-зондами, системами нейтрализации и рециркуляцией ОГ, такой газоанализатор не даст эффекта диагностирования.

7. *Тестеры давления.* В этой группе приборов, один представитель которой – компрессометр – давно применяется всеми автосервисами, есть существенное прибавление. В первую очередь это тестер давления топлива, которого не было в автосервисах, рассчитанных на ремонт карбюраторных автомобилей. Главные характеристики этого прибора – это диапазон измеряемого давления (обычно он колеблется от 0 до 6 – 8 бар) и перечень переходных штуцеров для подключения к топливным системам различных автомобилей. Также большую популярность приобрел тестер утечек клапанно-порш-

невой группы, позволяющий более точно по сравнению с компрессометром определить место и характер нарушения герметичности камеры сгорания, вакуумметр, позволяющий оценить правильность работы впускной системы двигателя, и тестер противодавления катализатора, позволяющий оценить пропускную способность катализатора. При ремонте контактных систем зажигания специализированный автомобильный тестер часто был достаточен для поиска отказов в этой системе. При преобладании электронных систем зажигания его возможности для их диагностики явно недостаточны, на первый план выходят автомобильные осциллографы и мотор-тестеры, обладающие большими диагностическими возможностями.

8. *Стробоскопы.* Хотя установка зажигания в большинстве двигателей с системами впрыскивания топлива сложна, проверочные значения для систем зажигания существуют, и своевременное определение несоответствия расчетного и реального углов опережения зажигания часто помогает определить характер неисправности. Но для проверки угла опережения зажигания в двигателях с впрыскиванием топлива необходимо использовать стробоскопы, оборудованные регуляровкой задержки вспышки, так как эти двигатели иногда не имеют отдельной метки для установки угла опережения зажигания.

9. *Дымомеры.* Предназначены для определения прозрачности ОГ дизелей, для контроля топливной аппара-

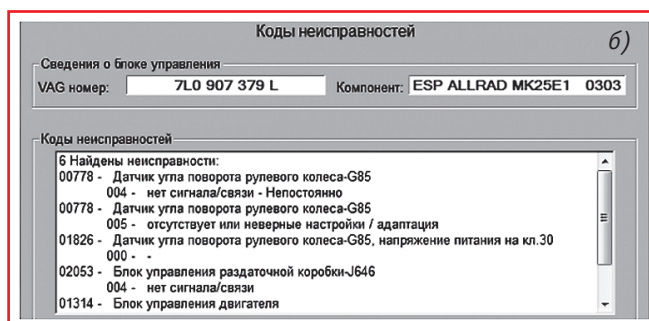


Рис. 1. Многофункциональный сканер KTS 340 фирмы БОШ: а – сканер; б – пример регистрации на экране сканера кодов неисправности.

туры. Позволяют оценить необходимость регулировочных и ремонтных опций автомобильных дизелей.

Вторая группа диагностических приборов (сканеров) развивается очень динамично, и каждый год появляются новые возможности сканеров, которые подразделяют на универсальные, дилерские и фирменные.

Диагностические сканеры (рис. 1) представляют собой набор устройств, предназначенных для установления связи с контроллерами управления и выполнения таких процедур, как:

- чтение и стирание ошибок (неисправностей);
- чтение текущих значений выходных параметров датчиков;
- чтение параметров системы управления;
- проверка работоспособности исполнительных устройств;
- адаптация системы управления при замене отдельных агрегатов автомобиля или при капитальном ремонте двигателя.

В принципе, сканеры можно сравнивать друг с другом по таблице применимости, по типам автомобилей и перечню микропроцессорных автомобильных систем управления, по набору функций, реализованных в сканере, по каждому автомобилю или системе и по способу модернизации программного обеспечения управления и диагностирования.

Современные сканеры диагностирования микропроцессорных систем управления поддерживают международные стандарты, например ISO 9141-2, K\L-линии, «мигающие коды», протоколы диагностики SAE-J1850 (GM), SAE-J1850 (Ford), CAN-ISO 11880, ISO 15765-4 (OBD), высокоскоростную, среднескоростную и однопроводную CAN-шину.

По оценкам ряда автосервисов, активно занимающихся диагностикой, иметь набор сканеров для всех автомобилей с расширенными возможностями (вплоть до адаптации) экономически нецелесообразно. При отсутствии должным образом подготовленного персонала еще и опасно, так как неправильные действия диагноста при вмешательстве в работу контроллера управления могут привести к ухудшению работы системы управления двигателем или агрегатами автомобиля и, как следствие, вызвать ненужные проблемы в эксплуатации и отношениях с клиентом.

При выборе моделей сканеров принимают во внимание специализацию сервиса и перечень наиболее часто обслуживаемых моделей автомобилей. Например, если в год на сервис приезжает только один автомобиль фирмы Fiat, то приобретать сканер специально для его обслуживания вряд ли целесообразно. Кроме того, можно иметь один или два сканера со средним набором функций, но с широким охватом моделей автомобилей. При этом в большинстве случаев решаются поставленные задачи сервиса, а функциональные недостатки сканеров компенсируются при помощи универсального оборудования из первой и третьей групп.

К третьей группе относят устройства, которые могут быть использованы для диагностики любых двигателей, так как физика работы двигателя не сильно зависит от способа управления. Все эти устройства используют для обнаружения неисправностей, а также для проверки показаний сканеров, так как ни одна электронная система не может проверить саму себя с абсолютной достоверностью. Например, подсос воздуха во впускном коллекторе ДВС может вызвать появление на дисплее щитка приборов кода ошибки об отказе расходомера воздуха или какого-либо датчика и т. д. При отсутствии перечисленных далее приборов зачастую выносятся

бор специализированных датчиков (датчики высокого напряжения, разрежения, силы тока) и специальную систему синхронизации с коленчатым валом двигателя при помощи датчика-синхронизатора первого цилиндра, который позволяет производить диагностику системы управления двигателем по любым параметрам. При этом они сохраняют возможности универсального осциллографа и, следовательно, могут использоваться для проверки работы практически всех электрических цепей автомобиля.

Кроме того, они могут заменять ряд отдельных устройств, применяемых для диагностики, например, при наличии в составе автомобильного осциллографа датчика разрежения уже не потребуется приобретать вакуумметр.

2. *Мотор-тестеры.* Измерительная часть мотор-тестера в основном совпадает с измерительной частью автомобильного осциллографа. Отличия мотор-тестеров заключаются в том, что он может не только отображать осциллограммы любых измеряемых цепей, но и производить комплексные оценки работы двигателя сразу по нескольким параметрам (динамическая компрессия, разгон, сравнительная эффективность работы цилиндров и т. д.), что позволяет существенно снизить время на поиск неисправности. При покупке оборудования также необходимо учесть, что неотъемлемой частью мотор-тестеров часто являются такие устройства, как газоанализатор, стробоскоп, поэтому, хотя цена мотор-тестера достаточно высока, при его покупке потери в общей сумме затрат будут относительно невелики по сравнению с приобретением отдельно автомобильного осциллографа, газоанализатора и стробоскопа.

Все перечисленные диагностические устройства могут использоваться при техническом обслуживании и текущем ремонте на СТО различных типов автомобилей и приносить свои результаты, но в любом случае самым главным инструментом является диагност. Именно от него зависит, как сделать правильные выводы из показаний огромного количества различных диагностических приборов.

решение о замене того или иного датчика без должной проверки, и можно впоследствии попасть в неприятную ситуацию, в которой, как известно, возрастают затраты на сервис и теряются клиенты.

Наиболее известные представители этой группы:

1. *Осциллограф* (рис. 2). Автомобильные осциллографы имеют на-

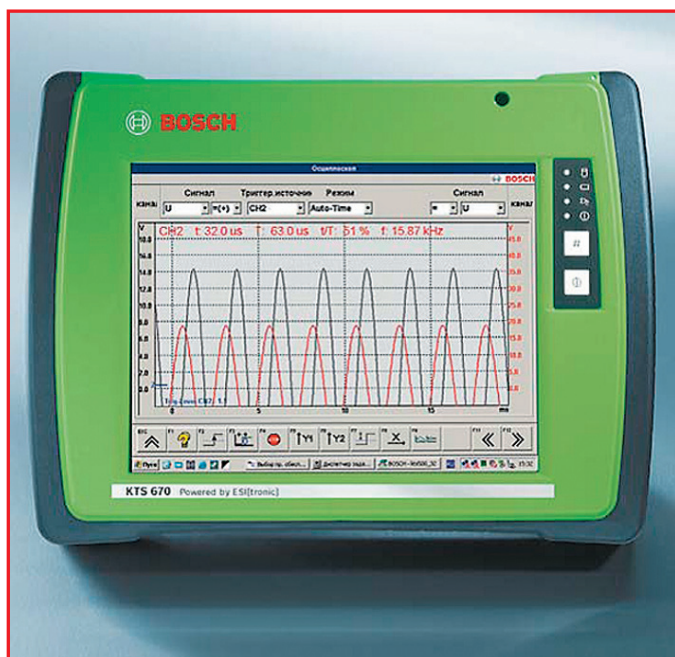


Рис. 2. Двухканальный осциллограф KTS 670 фирмы БОШ.

Диагност должен иметь достаточно знаний о самом двигателе, о работе системы управления и об их взаимосвязи. По-настоящему хороших специалистов пока еще недостаточно, но их число постоянно увеличивается.

Следует отметить, что в России организованы и работают специализированные курсы и учебные центры по подготовке и повышению квалификации диагностов.

Литература:

1. Набоких В.А. Диагностическое и гаражное оборудование: Учебное пособие, М.: ИИТ, 2011.
2. Ютт В.Е., Рувзаев Г.Е. Электронные системы управления ДВС и методы их диагностирования, М.: Горячая линия – Телеком, 2007.

Диагностика и гаражное оборудование Bosch. www.diagnostic.ru

Набоких Владимир Андреевич – родился в 1947 году. В 1961 году окончил МВТУ им. Н.Э. Баумана. Кандидат технических наук, защитил диссертацию на тему: «Зажигание в двигателях внутреннего сгорания». Имеет 52-летний опыт работы. В настоящее время работает профессором на кафедре АТЭ МГТУ «МАМИ». Имеет 56 печатных трудов, 18 авторских свидетельств, 17 учебно-методических материалов, в том числе 9 учебников. Награжден 3 медалями, 2 отраслевыми наградами, медалью и дипломом ВДНХ.

Озеров Вадим Георгиевич – родился в 1980 году. Окончил МГТУ «МАМИ». В настоящее

время является аспирантом МГТУ «МАМИ».

Nabokih Vladimir – was born in 1947. In 1961 he graduated from MVTU named after N.E. Bauman. He is a Candidate of Engineering, defended a thesis, the theme is: «Ignition in internal-combustion engines». He has 49 year work experience. At present is working as a professor in ATE department of MG TU «MAMI». He is the author of 56 printed works, 18 author's certificates, 17 teaching-methodological materials, including 9 textbooks. He is awarded with 3 medals, 2 trade awards, the medal and the diploma of VDNH.

Ozerov Vadim – was born in 1980. He graduated from MG TU «MAMI». At present he attends a postgraduate course in MG TU «MAMI».

УВАЖАЕМЫЕ ЧИТАТЕЛИ!

С этого номера редакция начинает публиковать в журнале информацию о новых патентах на изобретения и полезные модели, относящихся к электронике и электрооборудованию транспорта, новые нормативные акты, касающиеся охраны и защиты патентных прав, а также основные положения действующего законодательства в области изобретательства, рекомендации по оформлению заявок на выдачу патентов, ответы на вопросы читателей и другую информацию. Вопросы, касающиеся охраны и защиты патентных прав, просим направлять в адрес редакции по E-mail: npptez@mail.ru.

О новых правилах выплаты вознаграждения за служебные изобретения, полезные модели, промышленные образцы

Впервые в постсоветское время Правительство РФ установило правила выплаты вознаграждения за служебные изобретения, полезные модели, промышленные образцы. Новые правила утверждены постановлением Правительства РФ от 4 июня 2014 г. N 512 и вступили в силу с 1 октября 2014 г. До этого времени льготы и материальное стимулирование лиц, имеющих отношение к созданию изобретений и промышленных образцов, определялись положениями пунктов 1, 3 и 5 статьи 32, статей 33 и 34 Закона СССР от 31 мая 1991 г. № 2213-1 «Об изобретениях в СССР», пункта 3 статьи 21, пунктов 1 и 3 статьи 22 и статьи 23 Закона СССР от 10 июля 1991 г. № 2228-1 «О промышленных образцах».

По общему правилу, установленному пунктом 4 статьи 1370 Гражданского кодекса РФ, размер вознаграждения, условия и порядок его выплаты определяются договором между работодателем и работником – автором служебного изобретения, служебной полезной модели, служебного промышленного образца, а в случае спора – судом.

Новые правила распространяются только на случаи, когда такой договор между работодателем и работником заключен не был.

Правила предусматривают выплату вознаграждения работнику, являющемуся автором:

- за создание служебного изобретения, служебной полезной модели,

служебного промышленного образца;

- за использование работодателем служебного изобретения, служебной полезной модели, служебного промышленного образца;

- за предоставление работодателем иному лицу права использования служебного изобретения, служебной полезной модели, служебного промышленного образца по лицензионному договору;

- за передачу работодателем иному лицу права на получение патента или исключительного права на служебное изобретение, служебную полезную модель, служебный промышленный образец по договору о передаче права на получение патента или договору об отчуждении исключительного права.

За создание служебного изобретения вознаграждение должно составлять 30 процентов средней заработной платы работника, являющегося автором служебного изобретения.

За создание служебной полезной модели, служебного промышленного образца – 20 процентов средней заработной платы работника, являющегося автором служебной полезной модели, служебного промышленного образца.

Средняя заработная плата исчисляется за последние 12 календарных месяцев:

- на дату подачи работодателем заявки на получение патента на та-

кие изобретение, полезную модель, промышленный образец;

- либо на день принятия им решения о сохранении информации о них в тайне;

- либо на день передачи работодателем права на получение патента другому лицу.

Выплата за создание служебного изобретения, служебной полезной модели, служебного промышленного образца осуществляется работодателем единовременно не позднее 2 месяцев:

- со дня получения работодателем патента на служебное изобретение, служебную полезную модель, служебный промышленный образец;
- либо со дня принятия им решения о сохранении информации о них в тайне;

- либо со дня передачи работодателем права на получение патента другому лицу;

- либо не позднее 18 месяцев с даты подачи заявки на получение патента на такие изобретение, полезную модель, промышленный образец в случае, если работодатель не получил патент по поданной им заявке по зависящим от него причинам.

За использование работодателем служебного изобретения, служебной полезной модели, служебного промышленного образца работнику, являющемуся их автором, выплачивается вознаграждение в размере его средней заработной платы за по-

следние 12 календарных месяцев, в которых изобретение, полезная модель, промышленный образец были использованы. Вознаграждение выплачивается в течение месяца после истечения каждых 12 календарных месяцев, в которых использовались изобретение, полезная модель, промышленный образец.

В случае предоставления работодателем иному лицу права использования служебного изобретения, служебной полезной модели, служебного промышленного образца по лицензионному договору работнику, являющемуся их автором, выплачивается вознаграждение в размере 10 процентов суммы обусловленного лицензионным договором вознаграждения. Выплата вознаграждения работнику, являющемуся автором изобретения, полезной модели, промышленного образца, осуществляется работодателем в течение месяца со дня получения им вознаграждения, обусловленного лицензионным договором, или части такого вознаграждения в случае, если лицензионным договором предусмотрена выплата в форме фиксированных разовых или периодических платежей, процентных от-

числений от дохода (выручки) либо в иной форме.

В случае передачи работодателем иному лицу права на получение патента или исключительного права на служебное изобретение, служебную полезную модель, служебный промышленный образец работнику, являющемуся автором изобретения, полезной модели, промышленного образца, выплачивается вознаграждение в размере 15 процентов предусмотренного договором вознаграждения в течение месяца со дня получения работодателем указанного вознаграждения.

Вознаграждение за служебное изобретение, служебную полезную модель, служебный промышленный образец, созданные совместным творческим трудом нескольких работников, являющихся соавторами изобретения, полезной модели, промышленного образца, будет распределяться поровну в случаях:

- предоставления работодателем иному лицу права использования служебного изобретения, служебной полезной модели, служебного промышленного образца по лицензионному договору;

- передачи работодателем иному лицу права на получение патента или исключительного права на служебное изобретение, служебную полезную модель, служебный промышленный образец.

Исключение составляют случаи, в которых соглашением между работниками предусмотрено иное распределение вознаграждения.

Правила предусматривают также сохранение обязанности работодателя осуществлять выплату вознаграждения в случае прекращения трудовых отношений между работником, являющимся автором служебного изобретения, служебной полезной модели, служебного промышленного образца, и работодателем.

В отличие от применявшихся до 1 октября 2014 г. положений статьи 34 Закона СССР «Об изобретениях в СССР» и пункта 3 статьи 21 Закона СССР «О промышленных образцах» выплата вознаграждения лицам, содействовавшим созданию и использованию изобретений и промышленных образцов, новыми правилами не предусмотрена.

Краснов Л.А.
Редакция журнала
«Электроника и электрооборудование
транспорта»

Сведения об авторах

К.Т.Н.

Слукин Анатолий Михайлович
8-8482-53-92-03

д.т.н., профессор

Феоктистов Валерий Павлович
8-495-684-24-98

д.т.н.

Сидорова Наталья Николаевна
8-495-684-24-98

К.Т.Н.

Мельниченко Олег Валерьевич
8-902-170-24-37

К.Т.Н.

Мишин Вадим Николаевич
8-3822-56-00-59

д.т.н., профессор

Набоких Владимир Андреевич
8-499-177-58-62

Харитонов Игорь Владимирович
8-343-370-32-27

Петилава Руслан Александрович
8-985-772-08-16

д.т.н., профессор

Герман Леонид Абрамович
8-908-769-94-26

К.Т.Н.

Евстафьев Андрей Михайлович
8-812-457-85-36

Елгина Галина Александровна
8-3822-701-777

ТРЕБОВАНИЯ К РЕКЛАМНЫМ И АВТОРСКИМ МАТЕРИАЛАМ

Рекламные материалы принимаются в форматах «.cdr», «.eps» или «.tif» (300 dpi). Цветовая модель – CMYK. Все шрифты должны быть переведены в кривые.

Авторские материалы. Текст статьи в формате «.doc» (Microsoft Word). Обязательно наличие аннотации, ключевых слов и списка используемой литературы. Название статьи, аннотация и ключевые слова должны быть переведены на английский язык. Все рисунки в форматах «.cdr» или «.eps», фотографии – в формате «.tif» (300 dpi). Каждый рисунок или фотография должны быть представлены отдельным файлом.

СТОИМОСТЬ ГОДОВОЙ ПОДПИСКИ:

(6 номеров) – 4 800 руб., в т.ч. НДС 18%

Оформить подписку можно:

– через редакцию – необходимо направить по факсу или электронной почте заявку с указанием банковских реквизитов, наименования организации (фирмы), точного почтового адреса и количества комплектов журнала.

Тел./факс: (495) 500-40-20, 557-23-95,

e-mail: npptez@mail.ru;

– через ОАО «Агентство Роспечать» – по Каталогу изданий органов научно-технической информации 2014 г., индекс 59990.

СТОИМОСТЬ РЕКЛАМЫ:

2-я и 3-я страницы обложки – 24 000 рублей

4-я страница обложки – 30 000 рублей

одна страница внутри журнала – 12 000 рублей

Печатные материалы, используемые в журнале, являются собственностью редакции.

При перепечатке ссылка на журнал обязательна.

Полученные материалы не возвращаются.

Редакция оставляет за собой право корректорской и редакторской правки публикаций без согласования с авторами.

Журнал распространяется через редакцию по адресной рассылке, через ОАО «Агентство Роспечать», на специализированных выставках и симпозиумах.