

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. Бабака, 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. Ютт, 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: npptez@mail.ru
Сайт: www.npptez.ru

Подписано в печать:

__ .07.2016 г.

Отпечатано:

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

Формат 60х90/8,
бумага мелованная, объем 7 п.л.,
тираж 1000 экз., заказ ____

СОДЕРЖАНИЕ

ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ЭЛЕКТРОНИКИ И ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ НА ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВАХ

Сарбаев В.И., Бородулин В.В., Бугримов В.А.

Автомобилестроительная корпорация «КАМАЗ» 2

ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ И ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ

Попов Ю.В.

Развитие бортовых устройств регистраторов
для воздушных судов 5

Ютт В.Е., Сидоров К.М., Гулямов К.Х.

Повышение мощности импульсных преобразователей постоянного
напряжения с использованием многофазных структур 13

Закарюкин В.П., Крюков А.В., Нгуен Ты

Моделирование систем тягового электроснабжения
с коаксиальными кабелями и отсасывающими трансформаторами 17

Высоцкий В.Е., Новикова А.П., Козловский В.Н.

Методика определения сопротивления изоляции
транспортных средств 23

**Серебряков А.С., Герман Л.А., Якунин Д.В.,
Максимова А.А., Маралова В.А.**

Двухступенчатая установка поперечной емкостной компенсации
в тяговых сетях железных дорог 27

Воприков А.В.

Продление срока эксплуатации силовых трансформаторов
при реконструкции тяговых подстанций переменного тока
железных дорог 32

Оспанбеков Б.К., Голубчик Т.В., Сидоров К.М.

Технологические аспекты зарядной инфраструктуры
для электромобилей 35

МЕХАТРОННЫЕ СИСТЕМЫ, ИСПОЛНИТЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА

Деева В.С., Ивойлов Е.В., Слободян С.М., Цупин А.А.

Моделирование динамики мехатронной платформы с лазерным
координатором ориентирования судна на створ 39

ДИАГНОСТИКА И ИСПЫТАНИЯ

Петровский С.В., Козловский В.Н., Дуспулов М. Г.

Разработка концептуальной модели диагностики системы зажигания
электрооборудования автомобилей на основе
интеллектуально-информационной системы 44

Автомобилестроительная корпорация «КАМАЗ»

// Automobile Corporation «KAMAZ» //

**Сарбаев В.И., д.т.н., профессор,
Бородулин В.В., Бугримов В.А.,
Московский государственный машиностроительный
университет (МАМИ), г. Москва**

Выполнен анализ деятельности корпорации «КАМАЗ» за 40 лет ее функционирования на рынке производства грузовых автомобилей. Рассмотрены состав корпорации, технологические связи, цепочки технологического цикла производства автомобилей КАМАЗ. Рассмотрены основные задачи по улучшению потребительских свойств выпускаемой автомобильной техники. Рассмотрены основные направления международной деятельности корпорации в области производства и реализации производимой продукции. Приведены стратегические ориентиры развития компании на ближайшую перспективу.

Ключевые слова: автомобильный транспорт, автомобилестроение, рынок грузовых автомобилей, технологические связи, структура компании.

The results of the corporation «KAMAZ» for the 40 years of its operation on truck production market. Considered the corporation, technological links, chains of production «KAMAZ» vehicles of the technological cycle. The analysis of the main tasks to improve the consumer properties of manufactured motor vehicles. The main directions of the international activities of corporations in the field of production and sales of products. Results of the strategic guidelines of the company in the near future.

Keywords: cars transport, automobile production, truck market, technological links, the structure of the company.

История создания Камского автомобильного завода началась 16 ноября 1967 года, когда Правительством Советского Союза было принято решение по созданию и разработке нового грузовика. Весной 1968 года приказом по Министерству автомобильной промышленности СССР ЗИЛу была поставлена задача по созданию семейства грузовых дизельных тягачей и подготовке их производства на новом месте.

ЗИЛом была разработана модель с расположением кабины над двигателем ЗИЛ-Э169А, замена капотному ЗИЛ-130. В декабре 1964 года изготовлен первый образец ЗИЛ-Э169А, база автомобиля взята от ЗИЛ-130. Новый автомобиль отличался большей грузоместимостью и грузоподъемностью. В 1969 году автомобиль был полностью испытан и рекомендован к производству, но в серию так и не пошел, так как к тому времени дизайн автомобиля устарел. Конструк-

торами был разработан новый дизайн автомобиля, который получил индекс ЗИЛ-170. Основой для создания ЗИЛ-170 послужил американский грузовик International VCO-220. К этому времени началось строительство завода КАМАЗ.

В настоящее время группа компаний «КАМАЗ» является крупнейшей автомобилестроительной корпорацией Российской Федерации и занимает 11-е место среди ведущих мировых производителей тяжелых грузовых автомобилей.

Автомобили КАМАЗ эксплуатируются на предприятиях всех отраслей экономики, в компаниях, занимающихся грузовыми автоперевозками, региональных и городских автохозяйствах России, государственных предприятиях. Крупнейшие потребители продукции ПАО «КАМАЗ» в нашей стране – «Газпром», «ЛУКОЙЛ», «ТНК», Министерство обороны, МЧС и другие.

15 февраля 2012 года с конвейера «КАМАЗа» сошел двухмиллионный автомобиль. Динамика продаж автомобилей за 2004–2015 гг. приведена на рис. 1.

Единый производственный комплекс группы организаций ПАО «КАМАЗ» охватывает весь технологический цикл производства грузовых автомобилей: конструкторские работы, изготовление, сборку агрегатов и автомобилей, сбыт готовой продукции и сервисное сопровождение.

Сегодня корпорация «КАМАЗ» включает в себя более 150 предприятий, расположенных в России, СНГ и в других странах. Основой корпорации являются

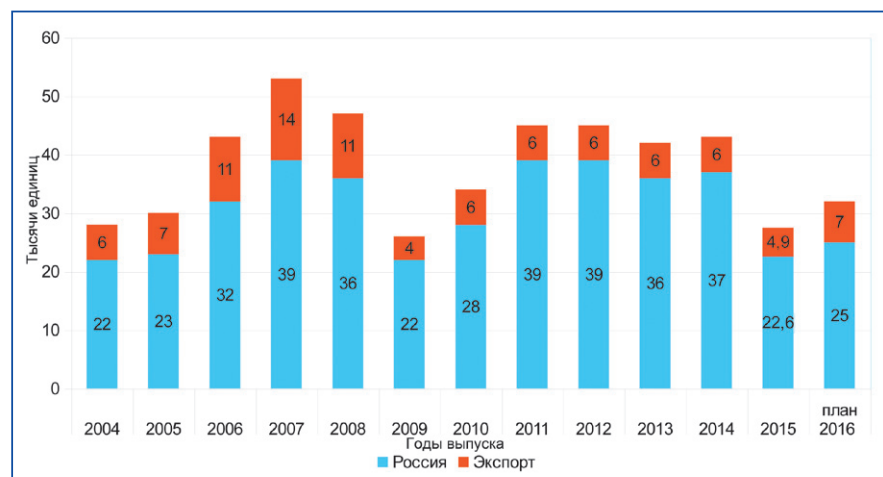


Рис. 1. Динамика продаж автомобилей КАМАЗ полной массой 8–40 тонн.

12 крупных заводов автомобильного производства. На промышленной площадке в Набережных Челнах расположены предприятия:

- Металлургический комплекс (литейный и кузнечный заводы);
- Завод двигателей (ЗД);
- Прессово-рамный завод (ПРЗ);
- Автомобильный завод (АвЗ);
- Ремонтно-инструментальный завод (РИЗ);
- Индустриальный парк «Мастер».

За пределами Набережных Челнов крупнейшими предприятиями являются ОАО «Нефтекамский автозавод» и ОАО «Туймазинский завод автобетоносмесителей» (Республика Башкортостан).

На предприятиях ПАО «КАМАЗ» работает более 40 тысяч человек.

В классе тяжелых грузовиков на рынках Казахстана, Азербайджана, Туркменистана и ряда других стран КАМАЗ удерживает абсолютное лидерство. В 2013 году было продано 42763 автомобиля, отгружено запасных частей на сумму почти 15 млрд руб. и выпущено продукции диверсификации на сумму более 10 млрд руб.

ПАО «КАМАЗ» выпускает широкую гамму грузовой техники: грузовые автомобили (более 40 моделей, свыше 1500 комплектаций, автомобили с правым рулем), прицепы, автобусы, тракторы, двигатели, силовые агрегаты и различный инструмент. КАМАЗ традиционно позиционируется на рынке грузовых автомобилей полной массой от 14 до 40 тонн. За последние годы перечень выпускаемой продукции расширился за счет выпуска новых моделей и семейств автомобилей – от городских развозных грузовиков до автомобилей повышенной грузоподъемности для эксплуатации в составе автопоездов полной массой до 120 тонн.

В предыдущие годы были улучшены технические характеристики и потребительские свойства выпускаемых автомобилей на основе внедрения собственных оригинальных разработок, а также использования автокомпонентов ведущих производителей. С 2013 года, с введением в России технических регламентов, соответствующих международным стандартам «Евро-4», КАМАЗы оснащаются двигателями этого экологического уровня.

В 2013 году выполнены основные задачи:

- завершены опытно-конструкторские работы по созданию автомобилей полноприводного типа

с двигателями Cummins EURO-4;

- начаты опытно-конструкторские работы по созданию семейств автомобилей КАМАЗ с двигателями EURO-5 для внутреннего рынка;
- завершены опытно-конструкторские работы по созданию среднетоннажного автомобиля КАМАЗ-53082;
- разработано и изготовлено новое шасси КАМАЗ-7330 типа 10x4 грузоподъемностью 40 тонн;
- завершены опытно-конструкторские работы по созданию бортового тягача КАМАЗ-6360 типа 6 x 4 полной массой 26,5 тонны;
- проведена пробная сборка перспективных автомобилей на автомобильном заводе;
- выдана на ТПП конструкторская документация на автомобили Т2642 и Т2640.

Создание конкурентоспособной по показателям качества продукции, удовлетворяющей требованиям и ожиданиям потребителей, является главной целью ПАО «КАМАЗ» в области качества и основой финансового благополучия компании и ее сотрудников.

Система менеджмента качества ПАО «КАМАЗ» признана соответствующей требованиям международного стандарта ИСО 9001:2008, национального стандарта ГОСТ ISO 9001–2011 и отраслевого стандарта ГОСТ РВ 0015-002-2012.

В 2006 году ПАО «КАМАЗ» стало лауреатом Премии правительства РФ в области качества. В 2011 году компания включена в Европейский Реестр успешных организаций, ПАО «КАМАЗ» присвоен уровень «5 звезд» в Европейском конкурсе EFQM по модели «Признанное совершенство».

Важное направление развития корпорации – международная кооперация. ПАО «КАМАЗ» имеет сборочные предприятия в Казахстане, Вьетнаме, Пакистане, Индии. Сборка производится из комплектующих изделий, поставляемых с «КАМАЗа». В странах дислокации сборочных предприятий реализуются программы локализации производства деталей и узлов из состава сборочных машинокомплектов. «КАМАЗ» поддерживает деловые связи с более чем 600 предприятиями России, стран СНГ и дальнего зарубежья.

Достижения ПАО «КАМАЗ» определяются не только высоким качеством и техническим уровнем продукции, но и эф-

фективной стратегией работы на рынке.

География продаж автомобилей КАМАЗ и запасных частей стремительно расширяется за счет освоения новых рынков: Саудовской Аравии, Индии, Чили, Никарагуа. ПАО «КАМАЗ» активизировалось на рынках Судана, Афганистана, Анголы, возобновило поставки в Венесуэлу и Панаму. В 2013 году поставка автотехники КАМАЗ и запасных частей к ней осуществлялась в 61 страну мира. Доля экспорта в общем объеме продаж автотехники КАМАЗ составила 11,8%, а его объем – более 5700 автомобилей и СКД КАМАЗ. ПАО «КАМАЗ» – тринадцатикратный победитель конкурса «Лучший экспортер Российской Федерации» (в 1999–2011 гг.).

Сеть продаж и сервиса ПАО «КАМАЗ» охватывает все регионы России и СНГ, а также традиционные зарубежные рынки сбыта. В 2013 году «КАМАЗ» продолжал активно расширять свою товаропроводящую и сервисную сеть в России и за ее пределами. По состоянию на 01.09.2014 дилерская сеть в РФ насчитывает 219 субъектов, из них дилеров статуса 3S (продажа автомобилей, запасных частей, сервис) – 79, дилеров 2S автомобили (продажа автомобилей и сервис) – 44, дилеров статуса 2S запасные части (продажа запчастей и сервис) – 20, дилеров статуса 1S (только сервис) – 56, дистрибьюторов по реализации запасных частей – 20.

23 ноября 2005 года было открыто совместное предприятие германского концерна Zahnrad Fabrik и ПАО «КАМАЗ» – общество с ограниченной ответственностью «ЦФ КАМА». Это первое производство, созданное на «КАМАЗе» с участием иностранной фирмы и выпускающее продукцию под ее торговой маркой, и первый пример организации промышленного производства высокотехнологичной продукции мирового уровня в России. СП ежегодно выпускает 5000 коробок передач. Подписано соглашение по увеличению производственных мощностей СП с девяти до 89 тысяч коробок передач в год.

В январе 2006 года между ПАО «КАМАЗ» и американской фирмой Cummins Inc были подписаны документы о создании совместного предприятия «КАММИНЗ КАМА» по производству двигателей серии В для российского рынка. Уставный капитал предприятия – 20 млн долл., доли учредителей распределяются в нем поровну. Предприятие производит моторы с электронным

управлением «Евро-3» и «Евро-4» в соответствии с регламентом вводимых в России экологических стандартов.

В декабре 2007 года ПАО «КАМАЗ» подписало соглашение с компанией Knorr-Bremse Systeme für Nutzfahrzeuge GmbH о создании в Набережных Челнах совместного предприятия по выпуску тормозных механизмов «КНОРР-БРЕМЗЕ КАМА» с равными долями сторон в уставном капитале.

10 марта 2008 года были подписаны уставные документы совместного предприятия по выпуску деталей цилиндропоршневой группы между Federal Mogul Corporation (США) и ПАО «КАМАЗ» с равными долями сторон в уставном капитале – «Федерал Могул Набережные Челны».

В декабре 2008 года немецкий концерн Daimler AG приобрел 10% уставного капитала ПАО «КАМАЗ», что стало началом нового взаимовыгодного стратегического партнерства двух автопроизводителей. В результате этого стратегического партнерства в 2009 году ОАО «КАМАЗ» и Daimler AG были подписаны договоры о создании двух совместных предприятий – «Фузо КАМАЗ Тракс Рус» по выпуску и продажам легких грузовых автомобилей Fuso Canter в России и «Мерседес-Бенц Тракс Восток» по производству и реализации тяжелых грузовых автомобилей Mercedes-Benz Actros и Axor. В феврале 2010 года Daimler AG увеличила свою долю в акционерном капитале ПАО «КАМАЗ» до 11%. Кроме того, Европейский банк реконструкции и развития также приобрел в пользу немецкого партнера еще 4% акций российской компании.

В сентябре 2011 года ПАО «КАМАЗ» и компания Marcopolo S.A. подписали соглашение о создании совместного предприятия по производству и продаже автобусов Marcopolo. Основными целями совместного предприятия, создаваемого на паритетных началах ПАО «КАМАЗ» и Marcopolo, являются производство и продажа автобусов Marcopolo на шасси КАМАЗ, отвечающих требованиям «Евро-4» и удовлетворяющих современным требованиям к перевозке пассажиров в Российской Федерации и странах СНГ. Автобусы будут производиться на мощностях дочернего предприятия ПАО «КАМАЗ» – ОАО «НЕФАЗ» – в Нефтекамске, Республика Башкортостан. Совместное предприятие планирует производить 3 тысячи автобусов

в год с выходом на проектную мощность в 2016 году.

Учитывая макротенденции и отраслевые тренды, «КАМАЗ» выстраивает программу действий по следующим основным направлениям:

- расширение интеграции с компанией «Даймлер», формирование стратегических партнерств по компонентам, развитие парка поставщиков;
- увеличение экспортных поставок и создание сборочных производств за рубежом;
- разработка и постановка на производство автомобилей экологических классов «Евро-4» и «Евро-5», развитие семейств автомобилей на газовом топливе и с комбинированным приводом;
- создание нового модельного ряда автомобилей КАМАЗ с принципиально другими потребительскими свойствами («практичный High-Tech»);
- расширение продуктового портфеля, модернизация дилерской сети, развитие финансового сервиса.

Результатом совокупного влияния этих факторов выступают следующие приоритеты развития «КАМАЗа»:

- ключевой рынок – Россия;
- сохранение доминирующей роли на рынках стран СНГ;
- присутствие на привлекательных рынках стран Евразии, Африки и Южной Америки;
- позиционирование в среднем ценовом сегменте;
- развитие интеграции со стратегическим партнером – компанией Daimler.

Реалии экономического пространства и укрепление союза со стратегическими партнерами привели к принятию в декабре 2010 года «Программы стратегического развития ПАО «КАМАЗ» до 2020 года».

Стратегические ориентиры развития бизнеса компании на 2020 год:

- объем продаж техники – не менее 80 тыс. единиц;
- доля продаж за рубежом РФ – 25%;
- выручка – не менее 350 млрд руб.;
- операционная прибыль до выплаты процентов и налогов (EBIT) – не менее 31,4 млрд руб.;
- рентабельность операционной прибыли – не менее 14% от выручки;
- инвестиции – 62 млрд руб.

Российская Федерация видит в корпорации «КАМАЗ» отраслеобразующее предприятие страны и крупного экспор-

тера коммерческого транспорта, как это сформулировано в «Стратегии развития автомобильной промышленности Российской Федерации на период до 2020 года».

Сарбаев Владимир Иванович

Родился в 1949 году. В 1971 году окончил Ленинградский институт водного транспорта по специальности «Экономика, организация и планирование водного транспорта». Доктор технических наук, профессор. В 2005 году защитил диссертацию по теме «Научные основы обеспечения экологической безопасности автомобильного транспорта». Опыт работы – 43 года. В настоящее время работает профессором кафедры «Эксплуатация транспортных и транспортно-технологических средств» Московского государственного машиностроительного университета. Имеет 400 научных трудов, 2 патента. Награжден медалью «В память 850-летия Москвы», почетный работник транспорта РФ.

Бородулин Василий Вячеславович

Родился в 1980 году. Окончил Московский государственный индустриальный университет (МГИУ). В настоящее время работает инженером по гарантии в ООО «СТО Беседы».

Бугримов Виталий Алексеевич

Родился в 1980 году. В 2003 году окончил Московский государственный открытый университет по специальности «Автомобили и автомобильное хозяйство». Опыт работы – 15 лет. В настоящее время работает старшим преподавателем кафедры «Эксплуатация транспортных и транспортно-технологических средств» Московского государственного машиностроительного университета (МАМИ).

Sarbayev Vladimir

Was born in 1949. In 1971 he graduated from Leningrad Water Transport Institute, speciality is «Water transport economics, organization and planning». He is a Doctor of Engineering, a professor. In 2005 he defended a thesis; the theme is «Scientific basis of ensuring of automobile transport ecological safety». He has 43 years work experience. At present he works as professor of «Transport and technological transport means maintenance» department of Moscow State University of Mechanical Engineering. He has 400 scientific works, 2 patents. He is awarded with medal «In memory to 850 years of Moscow», honorable worker of Russian Federation transport.

Borodulin Vasily

He was born in 1980. He graduated from Moscow State Industrial University. At present he works as an QA engineer in Besedy Service Station Ltd.

Bugrimov Vitaliy

He was born in 1980. In 2003 he graduated from Moscow State Open University majoring in «Automobiles and fleet». He has 15 years of work experience. At present he works as senior teacher of «Transport and technological transport means maintenance» department of Moscow State University of Mechanical Engineering.

Развитие бортовых устройств регистраторов для воздушных судов. Часть 1

// Development of onboard devices of registrars for aircraft. Part 1 //

**Попов Ю.В., д.т.н.,
Научно-исследовательский центр
Центрального научно-исследовательского института ВВС МО,
г. Люберцы**

В первой части статьи рассмотрены результаты создания параметрических бортовых регистраторов для воздушных судов. Приведены системы обработки параметрических регистраторов. Указана актуальная проблема исследования параметрических регистраторов – определение их синтаксической информативности. Синтаксический информационный уровень регистратора характеризуется типом носителя, способом представления информации, скоростью передачи и обработки, размером кода представления информации.
Ключевые слова: параметрические бортовые регистраторы, воздушные суда, обработка информации, расшифровка информации.

In the first part of article, results of creation of parametrical onboard registrars for aircraft are considered. Systems of processing of parametrical registrars are resulted. The actual problem of research of parametrical registrars – their definition of their syntactics informative. Syntactics information level of the registrar is characterised by carrier type, way of representation of the information, speed of transfer and processing and the size of a code of representation of the information.

Keywords: parametrical onboard registrars, aircraft, information processing, information decoding.

регистраторы классифицируются по принципу записи [1]. На рис. 1 приведена классификация параметрических регистраторов.

В СССР первые упоминания о регистрации параметров полета относятся к 1940 году. В Научно-исследовательском институте Гражданского воздушного флота в этом году вышло техническое описание «Самописец скорости и давления (бароспидограф)» [2]. Данный самописец должен был устанавливаться на самолеты ПС-84, ПС-40. Запись скорости и давления осуществлялась механическим способом – царапанием на записочную бумагу. Сведений об использовании данного самописца нет. Данные самописцы использовались при проведении испытаний ВС [3].

Бортовые самописцы с механическим принципом записи начали устанавливать на ВС как часть оборудования в начале 60-х годов XX века. Данные самописцы используются для контроля выдерживания пилотом заданной высоты, скорости полета и вертикальной скорости подъема (спуска). На рис. 2 приве-

Бортовые устройства регистрации являются обязательной частью бортового оборудования воздушного судна (ВС). Важное преимущество этих систем – возможность получения ими информации от контролируемых систем непосредственно в полете, что позволяет делать объективное заключение о работе экипажа, функционировании контролируемых систем и силовой установки ВС. Бортовые регистраторы по записываемой информации подразделяются на параметрические, звуковые и видеорегистраторы.

Параметрические бортовые регистраторы

Параметрические бортовые регистраторы регистрируют параметры полета (скорость, высоту, ускорения, угол атаки, углы наклона ВС относительно его центра, частоты вращения авиадвигателей и параметры наиболее важных агрегатов и систем). Классификация параметрических регистраторов осу-

ществляется по основным признакам: по принципу записи информации, по форме записи информации и по назначению. В основном параметрические

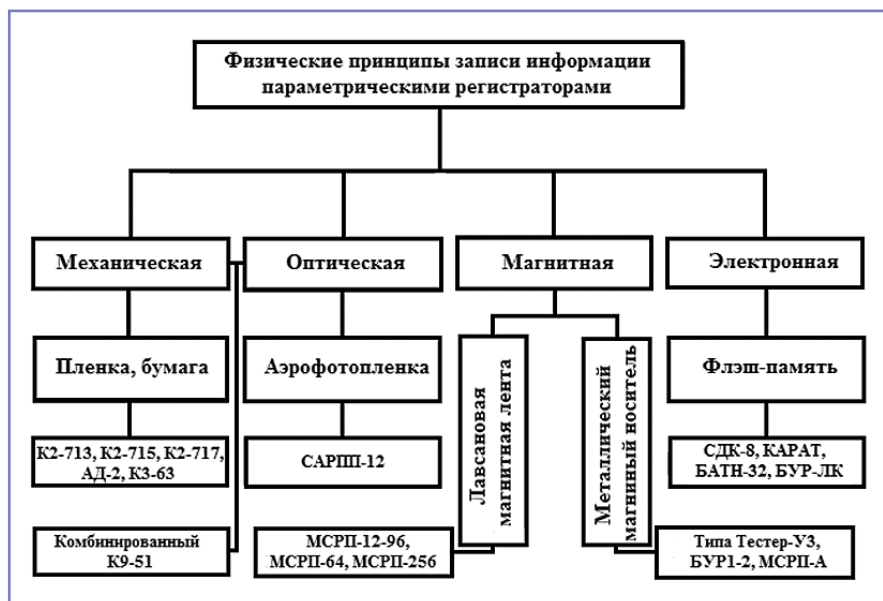


Рис. 1. Классификация параметрических регистраторов.

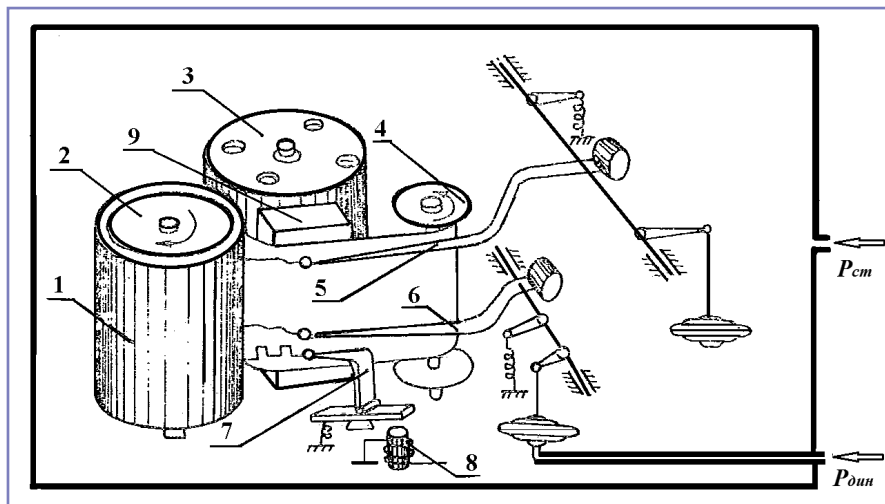


Рис. 2. Кинематическая схема самописца К2-717:

1 – бронированный стакан; 2 – ведущая катушка; 3 – электродвигатель; 4 – ведомая катушка; 5 – стрелка записи высоты; 6 – стрелка записи скорости; 7 – стрелка отметчика времени и базовой линии; 8 – электромагнит отметки времени; 9 – полированный столик.

дена кинематическая схема самописца К2-717. Самописец К2-717 устанавливается на самолетах-истребителях. Запись параметров скорости и высоты полета осуществляется набивкой с принудительной вибрацией регистрирующих стрелок. Для осуществления принудительной вибрации стрелок используется бугельное устройство, которое состоит из ударной рамки. До удара рамки бугеля обе стрелки касаются ленты, которая скользит по полированному столику от ведомой на ведущую катушку.

Перемещение ленты по полированному столику осуществляет лентопротяжный механизм. Лентопротяжный механизм состоит из электродвигателя постоянного тока с центробежным регулятором, червячного редуктора, ведущей и ведомой катушек и полированного столика. Во время работы электродвигателя рамка бугеля периодически получает импульсы и отводит концы стрелок от столика.

На оси ведомой катушки имеются фрикционный тормоз и фиксатор, служащие для создания натяга ленты и для закрепления катушки на оси. Ведущая катушка закрепляется на оси при помощи защелки. Для закрепления ленты катушки имеют сквозные щели, куда вводятся заостренные концы ленты.

Кроме стрелок, ведущих регистрацию параметров (скорости, высоты), в приборе имеется стрелка, укрепленная на якоре электромагнитного отметчика времени и служащая для записи базовой линии и отметок времени.

Для сохранения ленты с записью ведущая катушка заключена в бронестакан.

Для анализа и обработки записи лента снимается вместе с катушками. Расшифровка записи приборной скорости и барометрической высоты осуществляется по градуировочным графикам. Производится измерение ординат соответствующих линий записи скорости и высоты. Измерение ординат производится

с помощью циркуля-измерителя и масштабной линейки от базовой линии до соответствующих точек кривых. В соответствии с измеренными ординатами по градуировочным графикам определяют скорость и высоту полета.

Долгожителями из самописцев являются барограф АД-2 и трехкомпонентный самописец КЗ-63. Барограф АД-2 относится к самописцам барабанного типа. Данный самописец в настоящее время эксплуатируется на самолете Ан-2 и вертолете Ми-4. На рис. 3 приведено устройство барографа АД-2.

В самописце АД-2 запись параметров осуществляется пером со специальными чернилами на диаграммной (масштабной) ленте (рис. 4). Диаграммная лента размещается на барабане и закрепляется лентодержателем. В результате записи на диаграммной ленте вычерчивается линия – барограмма, уровни которой соответствуют высоте полета.

При расшифровке барограмм определяются следующие параметры: высота полета, фактическое время полета, средняя путевая скорость полета по участкам трассы, выдерживание заданной высоты полета. Полученные результаты предназначены для выявления незапланированных посадок, потерь ориентировки и других нарушений установленного режима полета.

Трехкомпонентный самописец КЗ-63 состоит из трех независимо действующих систем: системы регистрации барометрической высоты, системы регистрации приборной скорости, системы регистрации вертикальной перегрузки.

Запись перегрузки, скорости и высоты полета производится царапанием по эмульсионному слою киноплетки, зафиксированной без проявления.

Перемещение ленты осуществляется лентопротяжным механизмом при

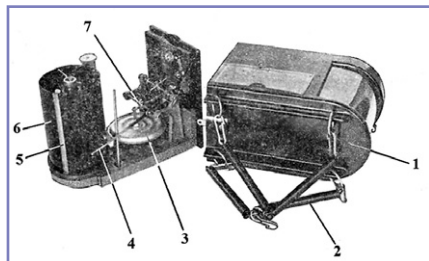


Рис. 3. Конструкция самописца АД-2:

1 – футляр; 2 – амортизационная пружина; 3 – барометрический блок; 4 – записывающая стрелка; 5 – лентодержатель; 6 – часовой механизм с барабаном; 7 – передаточный механизм.

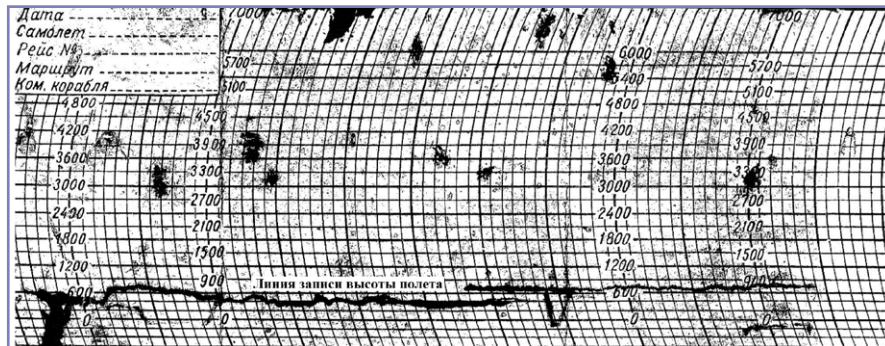


Рис. 4. Диаграммная лента АД-2.

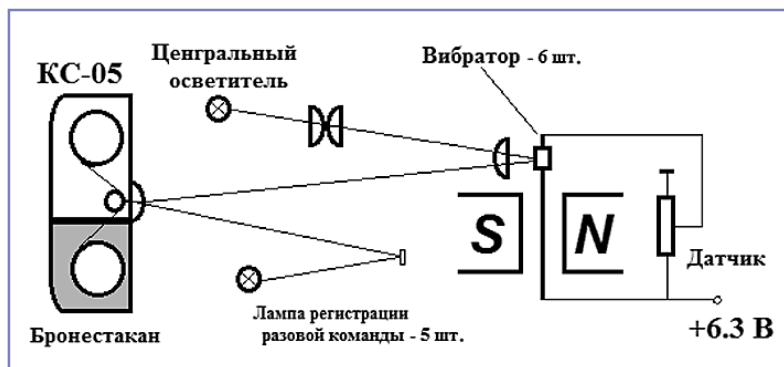


Рис. 5. Схема регистрации аналоговых параметров и разовых команд системы САРПП-12.

помощи электродвигателя. Подключение прибора к электросети самолета производится через фильтр, служащий для подавления радиопомех. В зависимости от схемы питания прибор включается в воздухе и на земле либо только в воздухе.

Лентопротяжный механизм может работать на трех режимах: на малой скорости (от 4,2 до 5,2 мм/мин), на большой скорости (от 4,2 до 5,2 мм/сек) и в автоматическом (основном рабочем) режиме. В настоящее время основной формой работы с записями КЗ-63 является определение величины вертикальной перегрузки в точке приземления.

В СССР история развития регистраторов как систем сбора параметрической информации началась в конце 60-х годов прошлого века. Министерство авиационной промышленности СССР приняло решение об оборудовании всех ВС регистраторами параметрической и звуковой информации. В это время появляются параметрические регистраторы с оптическим принципом записи (Система автоматической регистрации параметров полета (САРПП-12)) и с магнитным принципом записи (Магнитная система регистрации параметров (МСРП-12)).

Система САРПП-12 устанавливалась на вертолеты, учебные, спортивные и истребительно-бомбардировочные самолеты. Система САРПП-12 предназначена для записи световым лучом на фотопленку различных параметров в нормальных и аварийных условиях и сохранения записанной информации в случае механического удара. Для записи аналоговых параметров используется шестиканальный светолучевой осциллограф, действие которого основано на взаимодействии поля постоянного магнита с проводником (вибратором),

по которому протекает измерительный ток. Вибратор состоит из легкой петельки из очень тонкой проволоки с укрепленным на ней небольшим зеркальцем, которое размещено между полюсами постоянного магнита. При протекании по петле электрического тока ее плечи в результате взаимодействия с магнитным полем перемещаются в разные стороны, и зеркальце поворачивается на угол, пропорциональный силе протекающего тока. На зеркальце направляется луч света; отраженный луч падает на фотопленку, которая с постоянной скоростью протягивается. Аналоговые параметры для распознавания маркируются разрывами. В САРПП-12 предусмотрена регистрация 9 разовых команд: 5 разовых команд в виде прямых линий и 4 разовые команды записываются методом наложения на аналоговые параметры. На фотопленку при ее движении специальным устройством наносятся отметки времени в виде тонких поперечных линий. Таким образом, на фотоленте получается запись исследуемых процессов по времени. На рис. 5 приведена схема регистрации аналогового параметра и разовой команды светолучевым осциллографом.

В системе регистрации параметров полета запись информации осуществляется на фотопленку шириной 35 мм. Фотопленка размещается в съемной кассете КС-05, которая присоединяется к накопителю информации. Система САРПП-12 в прошлом веке до 70-х годов была массовой системой регистрации. В настоящее время система САРПП-12 эксплуатируется на вертолетах Ми-8.

После полета кассета отсоединяется от накопителя информации и доставляется в фотолабораторию для химико-фотографической обработки фотоплен-

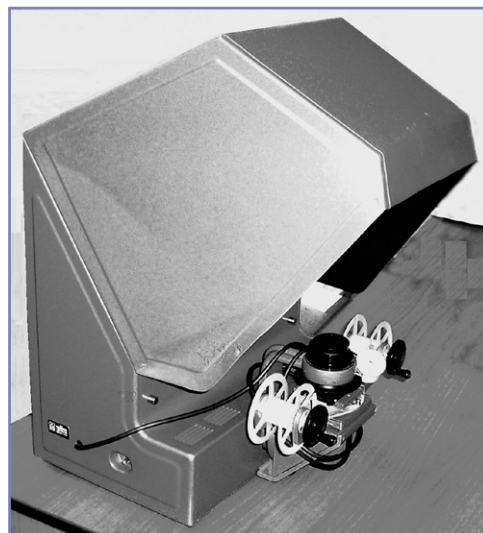


Рис. 6. Микрофот 5ПО-1.

ки. Химико-фотографическая обработка фотопленки проводится в полной темноте с использованием прибора ночного видения ПВН-1.

Для определения количественных значений параметров, записанных в полете, осуществляется расшифровка. Запись расшифровывается четырьмя способами:

- непосредственным съемом параметров с градуировочных графиков;
- с использованием шаблона;
- ускоренным методом;
- автоматизированной обработкой записи на фотопленке.

Для расшифровки первыми тремя способами необходимо иметь «Микрофот» 5ПО-1, в котором используется объектив с 10-кратным увеличением (рис. 6).

В настоящее время имеется программа для ПЭВМ по обработке фотопленок, которая позволяет расшифровывать параметры полета. Расшифровка параметров осуществляется со сканированного изображения фотопленки. Параметры на сканированном изображении выделяются полуавтоматически по яркости линии записи и корректируются оператором. Для получения физических значений параметров в ПЭВМ вводятся градуировочные графики.

Магнитная система регистрации параметров МСРП-12 была разработана для оснащения параметрическим регистратором средних и тяжелых ВС. Данный регистратор прошел ряд модернизаций, и в настоящее время он преобразован в систему регистрации режимов полета МСРП-12-96. Система реги-

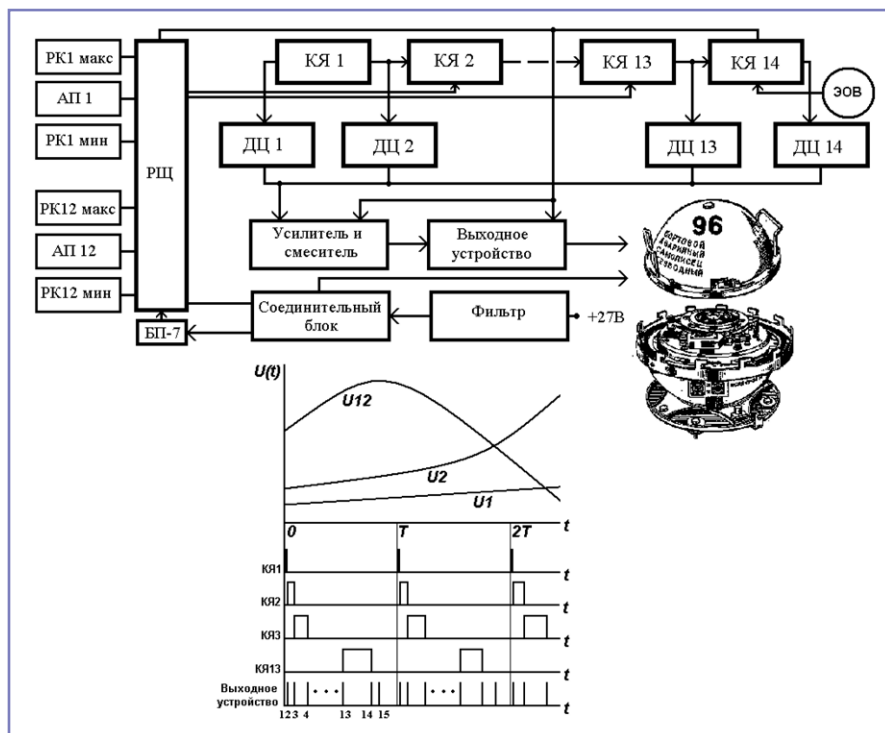


Рис. 7. Структурная схема МСРП-12-96.

страции режимов полета МСРП-12-96 предназначена для регистрации на магнитной ленте основных параметров полета ВС и для сохранения записанной информации в случае аварии. Система имеет 12 измерительных каналов для регистрации аналоговых параметров, и имеется возможность регистрировать 12 или 24 разовые команды (в зависимости от распределительного щитка). На рис. 7 приведена структурная схема МСРП-12-96.

В системе МСРП-12-96 применяется времяимпульсное преобразование напряжений, снимаемых с датчиков. Временной интервал между импульсами прямо пропорционален измеряемому напряжению. Запись информации осуществляется с непрерывным стиранием ранее записанной информации так, что на ленте всегда остается 75 минут полета. В качестве носителя информации используется магнитная лента шириной 6,25 мм. Магнитная лента на кассетах устанавливается в лентопротяжный механизм, который размещается в защитном контейнере. Для извлечения кассет с магнитной лентой необходимо открыть запорное устройство [4] и снять полусферу контейнера.

Расшифровка информации осуществляется с использованием специальной программы на ПЭВМ. Загрузка зарегистрированной информации в ПЭВМ

осуществляется через специализированное внешнее устройство ввода. Устройство ввода информации в ПЭВМ основано на преобразовании длительности в код методом последовательного счета. На рис. 8 приведена общая функциональная схема преобразователя частоты в код.

Дальнейшим развитием параметрических регистраторов с магнитным принципом записи стали система МСРП-64 и система типа «Тестер». Системы регистрации МСРП-64 и типа «Тестер» по принципу действия не отличаются друг от друга. Принцип работы дан-

ных регистраторов состоит в последовательном циклическом подключении с помощью коммутатора выходов датчиков к входу преобразователя напряжения в код. Сигналы от датчиков преобразуются в двоичный восьмиразрядный параллельный код, который записывается на магнитную ленту. В преобразователе напряжения в код используется метод поразрядного приближения.

Система МСРП-64 обеспечивает регистрацию измерительной (основной), служебной (опознавательной) и адресной информации. Измерительная информация включает в себя значения аналоговых параметров и разовых команд. К служебной информации относятся дата полета (число, месяц, последняя цифра года), номер полета (рейса), номер самолета, а также астрономическое время (часы, минуты). Записывается служебная информация в восьмиразрядном двоично-десятичном коде. Для обеспечения возможности поканальной выборки записанной информации при ее декодировании предусмотрена регистрация адресных сигналов – канальных, кадровых и субкадровых.

Все виды регистрируемой информации записываются параллельно на носители информации аварийного и эксплуатационного накопителей. На рис. 9 приведена упрощенная структурная схема МСРП-64. Запись производится на магнитную ленту шириной 19,05 мм в блоках МЛП-14-5 и МЛП-14-6. В кассетном накопителе КБН-1-1 запись осуществляется на магнитную ленту кассеты КС-13. Для записи информации в ТБНК используется легкосъемная карта памяти с интерфейсом PCMCIA-II.

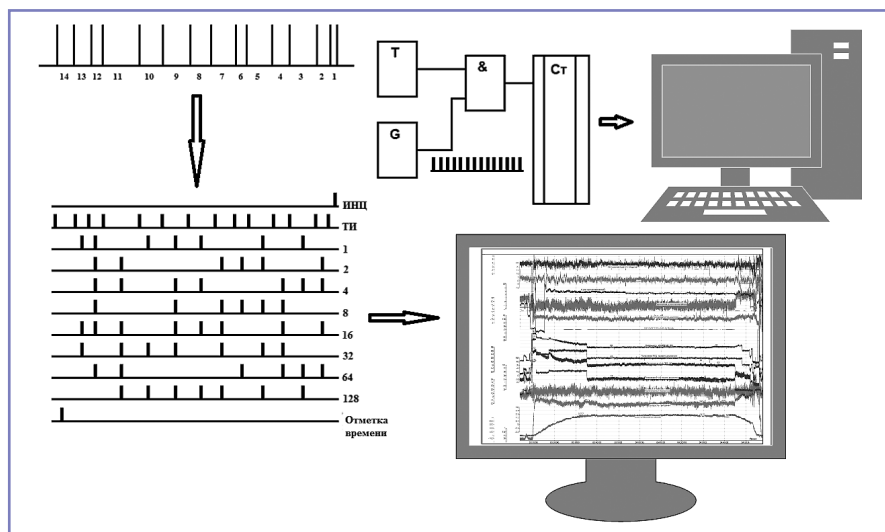


Рис. 8. Функциональная схема преобразования информации системы МСРП-12-96.

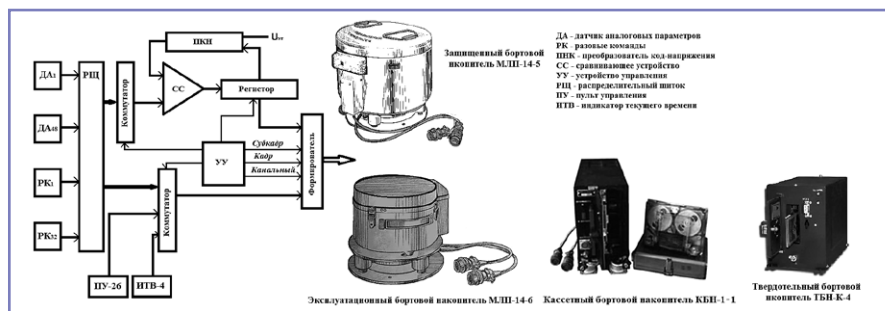


Рис. 9. Структурная схема системы МСРП-64.

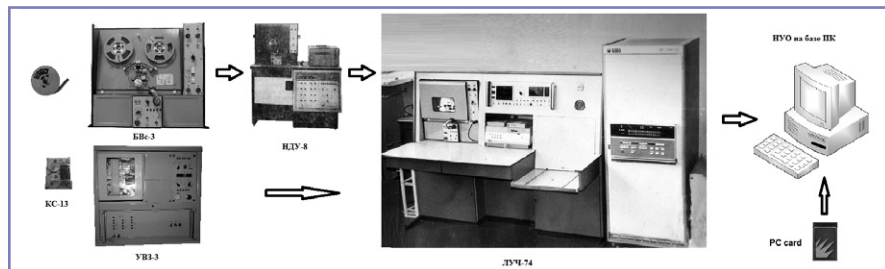


Рис. 10. Обработка информации системы МСРП-64.

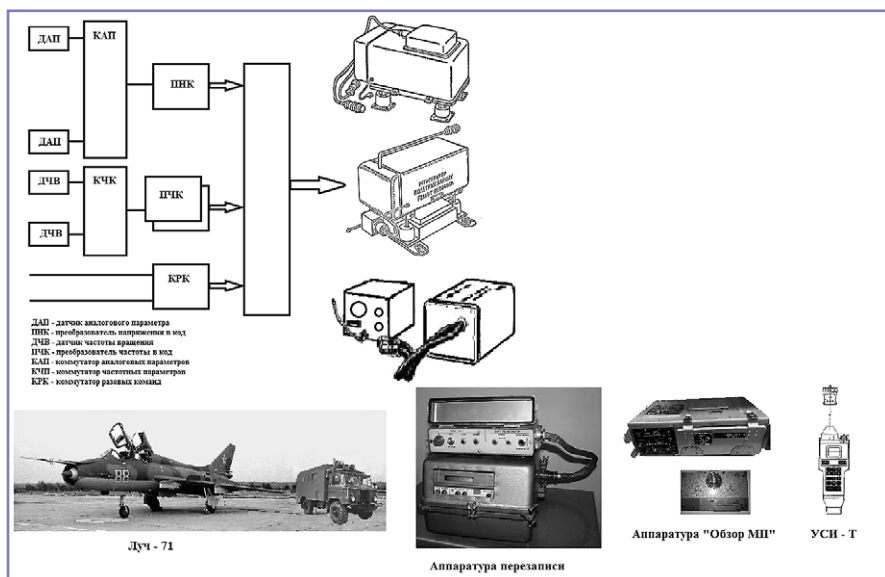


Рис. 11. Структурная схема системы типа «Тестер» и аппаратура считывания информации.

Для повседневной обработки и анализа зарегистрированной информации используется эксплуатационный накопитель. На рис. 10 представлены методы съема и обработки информации с эксплуатационных накопителей МСРП-64.

С блока МПП-14-6 для обработки информации осуществляется съем магнитной ленты. Съем магнитной ленты производится на борту ВС или в лаборатории со снятого с борта блока МПП-14-6. Для воспроизведения информации магнитная лента устанавливается на блок воспроизведения сигналов БВс-3, который входит в состав наземного декоди-

рующего устройства НДУ-8. Наземное устройство НДУ-8 позволяет декодировать до восьми параметров. Результаты декодирования выводятся на осциллограмму с помощью осциллографов типа К20-22 или «Нева-МТ». Для автоматизированной обработки информации блок воспроизведения БВс-3 через согласующий блок подключался к М-6000 устройства ЛУЧ-74 или СМ-1420 ЛУЧ-84.

Кассета КС-13 изымается из кассетного бортового накопителя КБН-1-1, и для воспроизведения информации кассета КС-13 устанавливается в устройство воспроизведения записи УВЗ-3,

которое входило в комплект устройства ЛУЧ-74 или ЛУЧ-84.

Блок БВс-3 и УВЗ-3 через согласующие устройства подключаются к персональному компьютеру для обработки зарегистрированной информации.

Легкоъемная карта памяти с интерфейсом РСМСIA-II извлекается из ТБНК и для считывания информации подключается к разъему РСМСIA-II персонального компьютера.

Системы регистрации типа «Тестер» имеют типовую структуру, которая приведена на рис. 11.

Система состоит из четырех подсистем регистрации: напряжений от аналоговых датчиков, частоты вращения роторов двигателя, разовых команд и служебных данных. Системы типа «Тестер» работают по жесткой программе с адресным принципом опроса источников информации (датчиков). В каждый момент времени определенный датчик подключается к преобразователю напряжения в код или частоты в код. Сигналы от датчиков преобразуются в параллельный код, который записывается на магнитную ленту. А также имеются моменты времени для регистрации разовых команд и служебных данных. Запись информации на магнитную ленту осуществляется в двух направлениях – влево и вправо. Реверс магнитной ленты осуществляется автоматически при записи информации.

В системе типа «Тестер» предусмотрен режим воспроизведения зарегистрированной информации непосредственно с бортового накопителя информации без его демонтажа с борта. Скорость перезаписи в 8–12 раз больше скорости записи. Устройство перезаписи подключается к бортовому разъему с помощью жгута. С целью сокращения времени перезаписи полетной информации при оперативном контроле в регистраторах предусмотрен режим обратного считывания. Данный режим позволяет при перезаписи исключить поиск начала записи. В режиме обратного считывания информация в устройство перезаписи вводится с конца записи до ее начала. На рис. 11 приведены устройства, которые применяются для перезаписи информации с бортового накопителя информации.

Для перезаписи и обработки информации зарегистрированной системой типа «Тестер» было разработано наземное устройство обработки «ЛУЧ-71»,

которое размещалось в кузове автомобиля «ГАЗ-66». В устройстве «Луч-71» информация отображалась на электронно-лучевой трубке и на электрохимической бумаге в темпе перезаписи. Вывод параметров на устройства отображения информации осуществлялся с помощью наборного поля.

Для ускорения списания информации с бортов ВС, оснащенных системами типа «Тестер», был разработан комплект аппаратуры перезаписи, который состоял из блока МН-1, кожуха защитного, блока ДУ-1 и кассеты БК-1. Аппаратура перезаписи с борта ВС была очень тяжелая за счет защитного кожуха, и возникали трудности в ее использовании. Для устранения этих недостатков конструкторы разработали аппаратуру «Обзор», которая прослужила в эксплуатации большой отрезок времени, пока не появились новые способы сохранения информации. Таким устройством стало устройство считывания информации УСИ-ТМ, которое представляет собой малогабаритное устройство в герметичном корпусе с клавиатурой, дисплеем, кабелем подключения к бортовому регистратору и кассетой. Кассета выполнена на микросхемах флэш-памяти с управляющим микропроцессором. Устройство соединяется с блоком УСИ-ТМ через специальный стык, обеспечивающий безразъемное соединение (питание и передачу информации). Устройство считывания информации УСИ-ТМ предназначено для работы с бортовыми регистраторами типа «Тестер», а также с комплексами наземной обработки типа «Луч-71», «Маяк-85», «Топаз-М».

В состав бортового устройства регистрации БУР-1-2 входят блок сбора параметрической информации БСПИ-4-2, пульт управления ПУ-25-1, защищенный

Таблица 1. Недостатки и преимущества различных типов регистраторов.

Тип регистратора	Недостатки	Преимущества
Ленточный	Низкая надежность из-за наличия электропривода. Большие трудозатраты на обслуживание накопителей информации. Сложность конструкции ленточного механизма. Высокая стоимость. Ограниченный срок службы магнитной ленты. Большая масса и значительные габариты. Чувствительность к вибрации. Нужно считывающее устройство. Невысокая скорость работы	Длительный срок хранения записанной информации
Твердотельный	Ограниченное число циклов записи. Недолговечность хранения записанной информации (при длительном хранении более нескольких лет)	Существенное повышение надежности. Уменьшение массы и габаритных размеров накопителя информации (масса уменьшится на 25%, а габаритные размеры – примерно в 3 раза). Исключение необходимости периодического технического обслуживания и увеличение возможности самоконтроля. Упрощение конструкции и улучшение характеристик наземных устройств обработки зарегистрированной информации. Высокая скорость доступа к записанной информации. Удобство подключения к устройству считывания информации. Устойчивость к вибрации

бортовой накопитель ЗБН-1-1, рама Ра-37К (рис. 12).

Число регистрируемых параметров: аналоговых сигналов – до 20; аналого-дискретных (частотных) сигналов – до 5; разовых команд – до 48. Запись осуществляется последовательным кодом на биметаллическую магнитную ленту. На магнитной ленте сохраняется запись за последние 50 часов. Наземная обработка зарегистрированной информации осуществляется с помощью аппаратуры СНОУ-1. Автоматизированная обработка

осуществлялась на устройстве ЛУЧ-74.

В 1980-е годы началось производство регистраторов с электронным принципом записи. Это связано с появлением полупроводниковой энергонезависимой перезаписываемой памяти – флэш-памяти. Регистраторы с электронным принципом записи имеют как свои преимущества, так и свои недостатки, которые приведены в таблице 1.

Согласно документу Международной организации гражданской авиации (ИКАО, от англ. ICAO – International Civil

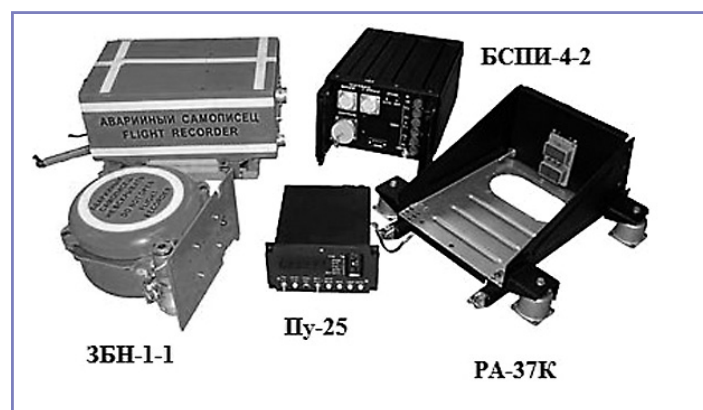


Рис. 12. Внешний вид системы БУР-1-2.

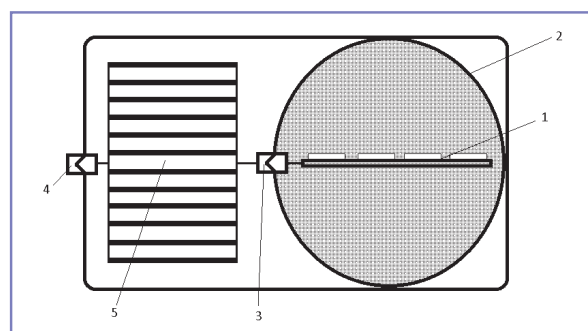


Рис. 13. Типовая конструкция БУР:

1 – плата с микросхемами флэш-памяти; 2 – защищенный модуль регистратора; 3 – разъем соединения платы памяти с электронной частью; 4 – разъем соединения регистратора с самолетными электрическими цепями; 5 – блок связи и преобразования информации.

Таблица 2. Синтаксические характеристики параметрических регистраторов.

Тип БУР	Принцип записи	Вид записи	Тип носителя информации	Количество регистрируемых параметров	Продолжительность записи
Самописец скорости и давления типа К2-713, К2-715	Механический	Аналоговый	Закопченная бумага	2	Время одного оборота барабана – 2, 4, 6 ч (завод часового механизма – 18 ч)
К2-717	Механический	Аналоговый	Бумажная лента со спецпокрытием	2	3 ч 20 мин
К3-63	Механический	Аналоговый	Специальная пленка	3	20-25 часов
САПП-12. Курское ОАО «Прибор»	Оптический	Аналоговый	Аэрофотопленка	6/9	2,5 часа
МСРП-12-96. Тарту, Эстония	Магнитный	Времяимпульсная модуляция	Лавсановая магнитная лента	12/24	1,25 часа
МСРП-64. Тарту, Эстония	Магнитный	Цифровой 8-разрядный код	Лавсановая магнитная лента	48/32	25 часов
Тестер – УЗ. Смоленское ОАО «Измеритель»	Магнитный	Цифровой 8-разрядный код	Холоднокатаная лента из железо-никель-хромового сплава типа ЭП-298	116/8 4 входа, частота параметра	3 часа
Тестер – УЗ, серия 2. Смоленское ОАО «Измеритель»	Магнитный	Цифровой 8-разрядный код	Холоднокатаная лента из железо-никель-хромового сплава типа ЭП-298	116/8 4 входа, частота параметра	3 часа
Тестер – УЗ серии Л. Курское ОАО «Прибор»	Магнитный	Цифровой 8-разрядный код и 1 разряд регистрации разовых команд	Холоднокатаная лента из железо-никель-хромового сплава типа ЭП-298	34/32 4 входа, частота параметра	3 часа
Тестер – УЗ, серия 3. Смоленское ОАО «Измеритель»	Магнитный	Цифровой 9-разрядный код и 1 разряд регистрации разовых команд	Холоднокатаная лента из железо-никель-хромового сплава типа ЭП-298	50/67 4 входа, частота параметра	3 часа
МСРП-256. Входят два защищенных накопителя МЛП-14-5. Тарту, Эстония	Магнитный	Цифровой 8-разрядный код	Лавсановая магнитная лента	Каждый накопитель 114/64	25 часов
МСРП-А. ОАО «Тамбовский завод «Электроприбор»	Магнитный	Цифровой 12-разрядный код	Биметаллическая магнитная лента 12ЭП352-ИП+ +ЭП 353-ИП	83/128	25 часов
БУР 1-2. ОАО «Тамбовский завод «Электроприбор»	Магнитный	Цифровой 12-разрядный код	Биметаллическая магнитная лента 12ЭП352-ИП+ +ЭП 353-ИП	25/48	50 часов
Тестер УЗ-Л (ЛК). Курское ОАО «Прибор»	Электронный	Цифровой 8-разрядный код и 1 разряд регистрации разовых команд	Флэш-память, энергонезависимые интегральные микросхемы	34/32 4 входа, частота параметра	16 часов
Тестер УЗ сер. 3АМ. Смоленское ОАО «Измеритель»	Электронный	Цифровой 8-разрядный код	Флэш-память, энергонезависимые интегральные микросхемы	68/68	17 часов
РПИ-2-ХХ. Смоленское ОАО «Измеритель»	Электронный	Цифровой 12-разрядный код	Флэш-память, энергонезависимые интегральные микросхемы	89/80	25 часов
КОДЕР-К. Смоленское ОАО «Измеритель»	Электронный	Цифровой 12-разрядный код	Флэш-память, энергонезависимые интегральные микросхемы	92/224	3 часа
Карп-Р сер. 2, сер. 3. Смоленское ОАО «Измеритель»	Электронный	Цифровой 12-разрядный код	Флэш-память, энергонезависимые интегральные микросхемы	10/16	3 часа
МСРП-А-02-01, серия 1. ОАО «НПО «Прибор», Санкт-Петербург	Электронный	Цифровой 12-разрядный код	Флэш-память, энергонезависимые интегральные микросхемы	45/92	25 часов
БУР-ЛК. ОАО «НПО «Прибор», Санкт-Петербург	Электронный	Цифровой 12-разрядный код	Флэш-память, энергонезависимые интегральные микросхемы	30/25	5,5 часа
БУР-3-2 сер. 2. ОАО «НПО «Прибор», Санкт-Петербург	Электронный	Цифровой 12-разрядный код	Флэш-память, энергонезависимые интегральные микросхемы	83/128	25 часов
БУР-ЛКВ-01. ОАО «НПО «Прибор», Санкт-Петербург	Электронный	Цифровой 12-разрядный код	Флэш-память, энергонезависимые интегральные микросхемы	64/62	400 часов
«Тест-1». ООО «СТБ «Техсервис», Москва	Электронный	Цифровой 12-разрядный код	Флэш-память, энергонезависимые интегральные микросхемы	32/24	32 часа
СДК-8. ОАО «Техприбор», Санкт-Петербург	Электронный	Цифровой 12-разрядный код	Флэш-память, энергонезависимые интегральные микросхемы	13/12	26 часов

Aviation Organization) [5] необходимо прекратить использовать регистраторы с механическим и оптическим принципами записи; с 1 января 2012 года прекратить использование аналоговых регистраторов, в которых для регистрации данных применяется метод частотной модуляции; использование регистраторов с магнитным принципом записи следует прекратить с 1 января 2016 года.

Таким образом, для всех ВС регистратор с электронным принципом записи становится основным. Принцип действия этих регистраторов мало чем отличается от цифровых регистраторов с магнитным принципом записи. Регистрируемая информация в регистраторе с электронным принципом записи записывается и хранится в файлах. В регистраторах используется одноуровневая структура.

Файл является основной структурной единицей организации и хранения данных в регистраторах с электронным принципом записи. Файл – область флэш-памяти, в которой хранятся регистрируемые параметры. Файлы имеют имена, которые придумывает разработчик регистратора. Анализ конструкций существующих твердотельных регистраторов показывает, что регистратор состоит из защищенной и незащищенной частей. Обычно в защищенной части, с целью минимизации затрат на защитные средства, размещаются только микросхемы флэш-памяти, в которых хранится полетная информация. На рис. 13 приведена типовая конструкция твердотельного регистратора.

Одной из актуальных проблем исследования параметрических регистраторов является определение их синтаксической информативности. На синтаксическом информационном уровне регистраторы характеризуются типом носителя, способом представления информации, скоростью передачи и обработки, размером кодов представления информации (таблица 2) [6].

Литература

1. Попов Ю.В. Перспективы развития бортовых устройств регистрации // Проблемы безопасности полетов, № 3–1994. – С. 14–18.
2. Палиевский Т.М. Самописец скорости и давления (бароспидограф). Редакционно-издательский отдел Аэрофлота. Москва, 1940. – 44 с.
3. Шмелев В.А. Приборы и аппаратура для летных испытаний самолета. М.: ЦАГИ, 1940. – 171 с.
4. Попов Ю.В., Корроль А.Ф. Комплексная защита зарегистрированной информации в бортовых устройствах регистрации. Защита информации от несанкционированного доступа // Проблемы безопасности полетов. 1996, № 9. – С. 7–13.
5. Эксплуатация воздушных судов. Приложение 6. Часть 1. Международный коммерческий воздушный транспорт. Самолеты. Международная организация гражданской авиации. Издание девятое. Июль 2010. – 260 с.
6. Попов Ю.В. Об одном подходе к определению информативности регистрируемых параметров бортовых устройств регистрации / Проблемы безопасности полетов, № 11–2013. – С. 3–27.

Попов Юрий Васильевич

Родился в 1954 году. Окончил в 1977 году Киевское высшее инженерное авиационное военное училище по специальности «Автоматическое, электро- и приборное оборудование пилотируемых летательных аппаратов», в 1987 году – Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова по специальности «Прикладная математика». Доктор технических наук, имеет научное звание старшего научного сотрудника. В 2005 году защитил диссертацию по теме «Теоретические и методические основы сохранности информации бортовых устройств регистрации при авиационных происшествиях». Опыт работы – 39 лет. В настоящее время работает старшим научным сотрудником в Научно-исследовательском институте (г. Люберцы) Центрального научно-исследовательского института ВВС МО. Имеет более 290 научных трудов, 15 авторских свидетельств и патентов.

Popov Yuri

He was born in 1954. In 1977 he graduated from Kiev Higher Engineering Aviation Military School majoring in «Automatic, electrical and instrumental equipment of piloted aircraft» and in 1987 he graduated Moscow State University majoring in «Applied mathematics». He is Doctor of engineering, he has academic rank of Senior Researcher. In 2005 he defended the thesis, the topic of thesis is «Theoretical and methodical bases of information safety onboard devices of registration at aviation incidents». He has 39 years of work experience. At present he works as Senior Researcher at Scientific Research Institute (Lubertsy) of Central Research Institute of Air Defense. He has more than 290 scientific papers, 15 certificates of authorship and patents.

Повышение мощности импульсных преобразователей постоянного напряжения с использованием многофазных структур

// The increase in power dc-dc converters using a multi-phase structure //

Ютт В.Е., д.т. н., профессор,
Сидоров К.М., к.т. н.,
Гулямов К.Х.,
Московский автомобильно-дорожный государственный
технический университет (МАДИ), г. Москва

В данной статье продемонстрированы возможные варианты повышения мощности импульсных преобразователей постоянного напряжения двунаправленного типа. Даны рекомендации по повышению эффективности и надежности преобразователей с использованием многофазных структур преобразования для применения в системах преобразования энергии электроустановок и электроприводов средней и большой мощностей.

Ключевые слова: преобразователь напряжения, электропривод, многофазный преобразователь, dc-dc конвертеры.

Бурное развитие силовой электроники привело к удешевлению производства силовых полупроводниковых элементов, в том числе мощных полевых (MOSFET) и биполярных транзисторов с изолированным затвором (IGBT). На фоне совершенствования силовой электроники появились новые направления развития преобразовательной техники, одним из которых являются многофазные преобразователи постоянного напряжения (МППН).

Многофазные (каскадные) преобразователи постоянного напряжения двунаправленного типа

Под МППН понимается преобразовательное устройство, состоящее из n параллельно работающих базовых преобразователей, идентичных по всем входным и выходным параметрам, функционирующих по принципу чередования фаз [5].

Для рассмотрения особенности функционального исполнения и принципа действия проанализируем его на основе простейшего составляющего звена – базового преобразователя.

In this article demonstrated by possible options for increasing the power switching converters DC bi-directional type.

Recommendations given to improve the efficiency and reliability of converters using a multiphase transformation structure for application in systems the conversion of electrical energy and electric drives of medium and high power.

Keywords: voltage converter, electric drives, multi-phase converter, dc-dc converters.

Базовыми называются простейшие преобразователи постоянного напряжения в постоянное (dc-dc конвертеры) повышающего (boost), понижающего (buck) или обратимого (boost-buck) типов. На рис. 1 представлена простейшая схема двунаправленного (обратимого) преобразователя базового варианта.

В момент времени, когда ключевой транзистор VT_2 замкнут (режим накопления энергии катушкой L), ток i_L протекает по цепи abcd (рис. 1) через дроссель L и запасает в нем энергию в виде магнитного поля. В этот момент времени ток в нагрузку поступает только от конденсатора $C_{ф.вых}$, схематически данный процесс показан на рис. 2.

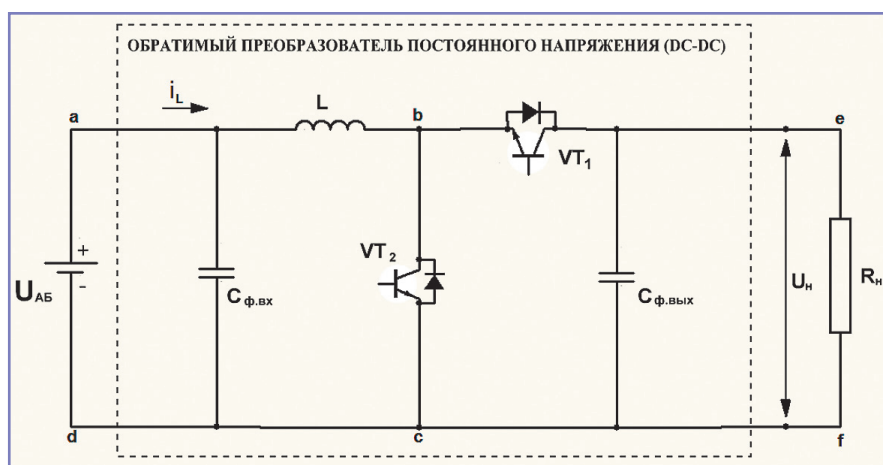


Рис. 1. Двунаправленный преобразователь постоянного напряжения.

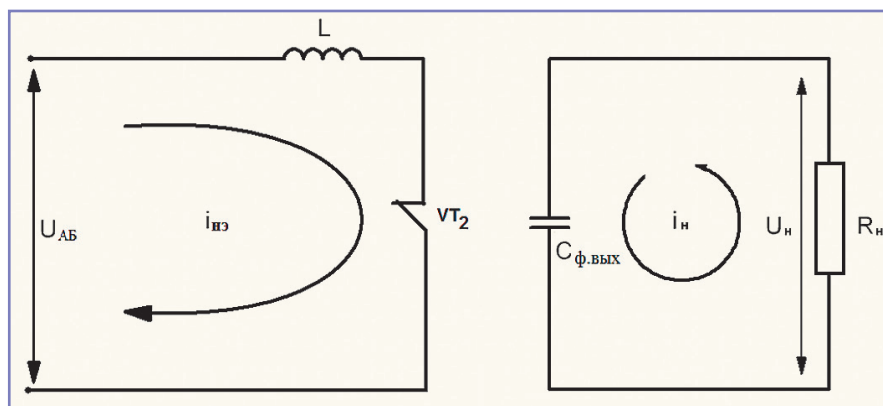


Рис. 2. Режим накопления катушкой энергии.

В данном интервале времени дроссель оказывается подключенным к источнику, и напряжение дросселя $U_L = U_{AB}$.

Соотношение тока и напряжения дросселя определяется как

$$U_L = L \frac{di_{H3}}{dt}. \quad (1)$$

В данном случае мы получим

$$di_{H3} = \frac{1}{L} \int U_L dt. \quad (2)$$

Проинтегрировав данное выражение, мы получим

$$i_{H3}(t) = i_0 + \frac{U_L t}{L}, \quad (3)$$

где $i_0 = \frac{U_{\Pi}}{R_H}$.

Приращение тока при замкнутом состоянии ключа VT_2 в течение времени t_{Π} равно

$$\Delta i_{H3} = \frac{U_{\Pi} t_{\Pi}}{L}. \quad (4)$$

В момент времени, когда ключ VT_2 закрывается, наступает вторая фаза работы преобразователя – режим разряда дросселя, на что указывает спад тока в дросселе. При этом ток будет протекать в том же направлении, но по цепи $aefd$ (рис. 3), то есть через обратный диод транзистора VT_1 и нагрузку R_H , одновременно заряжая конденсатор $C_{ф.вых}$.

При этом напряжение на выходе преобразователя U_H оказывается больше входного напряжения U_{AB} , так как в этот момент времени ЭДС самоиндукции дросселя L суммируется с входным напряжением. Это суммарное напряжение и приводит к смещению диода VD , так как оказывается больше напряжения пробоя (барьера) диода.

Массу и габаритные размеры преобразователей постоянного напряжения ППН главным образом определяет масса электрических накопителей энергии и фильтрующих элементов, расчетные значения которых определяются согласно выражениям (5–7) [3]:

$$LC = \frac{U_{ВЫХ}(1-\gamma)}{\Delta U_{ВЫХ} 16f^2}, \quad (5)$$

$$C_{ВХ} = (1-\gamma)\gamma \frac{I_{ВЫХ}}{f\Delta U_{СВХ}}, \quad (6)$$

$$L_{ВХ} = (1-\gamma)\gamma \frac{I_{ВЫХ}}{8f^2\Delta I_{ВХ}C_{ВХ}}, \quad (7)$$

где $U_{ВЫХ}$ – выходное напряжение преобразователя, $I_{ВЫХ}$ – выходной ток преобразователя, $\Delta U_{ВЫХ}$ – пульсация выходного напряжения, $\Delta U_{СВХ}$ – пульсация напряжения входного конденсатора, $\Delta I_{ВХ}$ – пульсация входного тока.

Произведение $(1-\gamma)\gamma$ имеет максимальное значение при коэффициенте заполнения импульсов $\gamma = 0,5$. С учетом этого, выражения (6, 7) можно упростить:

$$C_{ВХ} = \frac{I_{ВЫХ}}{4f\Delta U_{СВХ}}, \quad (8)$$

$$L_{ВХ} = \frac{I_{ВЫХ}}{32f^2\Delta I_{ВХ}C_{ВХ}}. \quad (9)$$

На основании выражений (8, 9) можно сделать важный вывод: увеличение частоты преобразования (знаменатель формул) приведет к снижению габаритной мощности фильтрующих элементов и, соответственно, к снижению массы и габаритных размеров преобразователя в целом. Однако ППН как комплексная система взаимосвязанных элементов является сложным устройством и имеет свои собственные недостатки. Увеличение частоты преобразования, с одной стороны, благоприятно сказывается на снижении массы и габаритных параметров преобразователя, с другой – непременно увеличивает динамические потери, обусловленные коммутационными потерями в силовых коммутирующих элементах преобразователя.

Учитывая все эти факторы, частично задачу повышения массогабаритных характеристик возможно решить применением многофазных структур преобразования, особенно при проектировании преобразователей большой мощности. Пример реализации преобразователя трехфазной структуры двунаправленного типа и соответствующая диаграмма напряжений и токов в режиме повышения показаны на рис. 4 и 5 соответственно [2].

В схеме U_{AB} – напряжение аккумуляторной батареи, $i_{ВХ}$ – входной ток преобразователя, $C_{ВХ}$ и $C_{ВЫХ}$ – входной и выходной фильтрующие конденсаторы, i_H – ток нагрузки.

На диаграмме обозначены: T_T – период такта, T – период импульса, t_{Π} – время импульса, t_{Π} – время паузы. Данный преобразователь состоит из трех параллельно включенных обратимых преобразователей с одинаковыми входными и выходными параметрами [9]. Режимы работы этих преобразователей, работающих на одинаковых частотах, отличаются сдвигом по фазе управляющих импульсов U_{γ} . Таким образом, трехфазный преобразователь постоянного

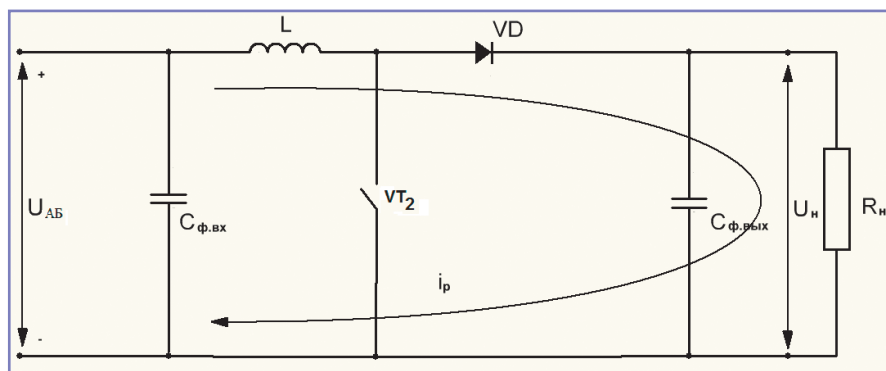


Рис. 3. Режим отдачи энергии в нагрузку.

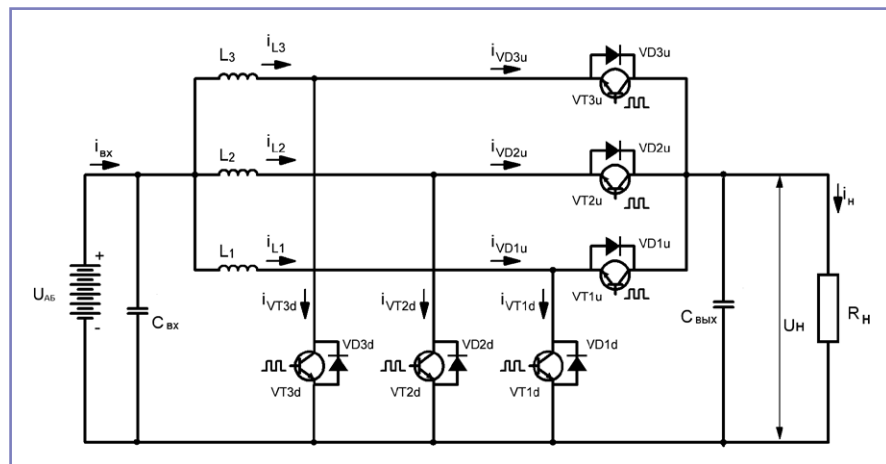


Рис. 4. Трехфазный преобразователь постоянного напряжения двунаправленного типа в режиме повышения напряжения.

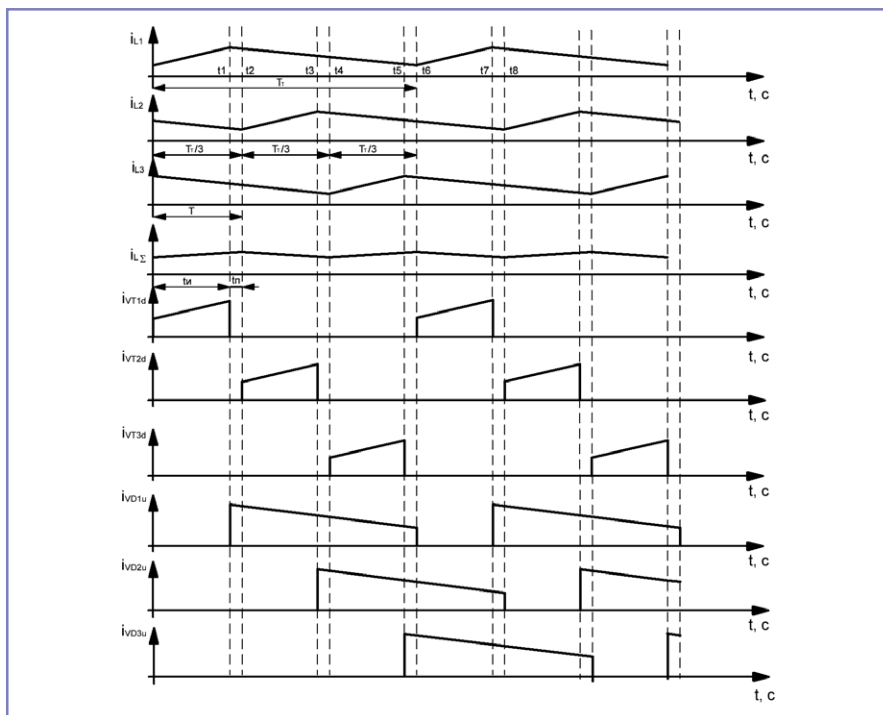


Рис. 5. Временные диаграммы токов и напряжений трехфазного ОПН в режиме повышения.

напряжения работает по принципу чередования фаз, то есть переключение катушек индуктивностей L_1 – L_3 происходит поочередно при помощи силовых ключей $VT_{1d} \dots VT_{3d}$ в режиме повышения (boost) и $VT_{1u} \dots VT_{3u}$ – в режиме понижения напряжения (buck).

Фазовый сдвиг переключающих импульсов может быть определен следующим выражением:

$$\varphi_{сд} = 2\pi/n, \quad (10)$$

где n – число параллельно работающих преобразователей.

В схеме на рис. 2 число параллельно включенных преобразователей равно трем, фазовый сдвиг переключающих импульсов составляет $\varphi_{сд} = 120^\circ$. Несмотря на сложность схемы, совместная работа нескольких преобразователей обеспечивает значительное снижение токов на силовых ключах, так как общая мощность нагрузки равномерно распределяется на n совместно работающих преобразователей. Для схемы преобразователя (рис. 2) суммарный ток на выходе преобразователя равен

$$I_{L\Sigma} = I_{L1} + I_{L2} + I_{L3}. \quad (11)$$

В случае идеального выравнивания мощности нагрузок параллельно работающих преобразователей максимальное и минимальное значения тока в обмотках дросселей определяются согласно [3]:

$$I_{Lmax} = \frac{I_n}{n} + \frac{U_{ввых} T (1-\gamma)}{2L}, \quad (12)$$

$$I_{Lmin} = \frac{I_n}{n} - \frac{U_{ввых} T (1-\gamma)}{2L}. \quad (13)$$

Средний ток в обмотках дросселей равен $I_{ср} = I_n/n$.

Токи отдельных преобразователей i_{L1-L3} , как видно на диаграмме рис. 5, имеют сильную пульсацию, так как период паузы t_n больше, чем период импульса t_u , однако ток нагрузки i_n хорошо сглажен из-за меньшей величины времени паузы t_n по отношению к времени импульса t_u во много раз.

За счет сдвига по фазе переключающих импульсов частота выходного тока в n раз выше частоты работы транзисторов, а амплитуда пульсации в n раз меньше, чем в однофазном преобразователе. Входной ток трехфазного

преобразователя $I_{вх}$ равен сумме токов всех отдельных преобразователей $I_{вх} = I_{вх1} + I_{вх2} + I_{вх3}$.

Отсюда следует главный вывод. Во-первых, с использованием многофазной структуры достигается решение главной задачи – повышения мощности. Вторая задача – это снижение потерь коммутации в силовых ключах, так как с увеличением числа параллельно работающих преобразователей пропорционально снижается частота переключения транзисторов.

Такой подход к решению задачи дает возможность проектировать ППН с повышенной плотностью мощности.

Особенностью схемы данного преобразователя является двунаправленность, то есть преобразователь может работать в режиме повышения или понижения в случае, если нагрузка в определенных условиях будет работать как источник мощности. Пример трехфазной структуры преобразователя, работающего в режиме понижения напряжения, когда нагрузка переходит в режим генерации мощности, показан на рис. 6.

В данном режиме первичный источник U_{AB} , в качестве которого используется аккумуляторная батарея АБ, работает как нагрузка, то есть энергия высокого напряжения, генерированная нагрузкой $U_{ген}$, преобразуется в энергию низкого напряжения и аккумулируется в АБ. На рис. 6 этот процесс показан направлением тока нагрузки i_p .

На рис. 7 представлена функциональная схема системы управления трехфазного ППН двунаправленного типа. В этой схеме реализована возможность преобразования энергии как в сторону повышения напряжения и подачи к электродвигателю (в случае, когда в качестве нагрузки используется электрическая машина ЭМ), так и в сторону понижения

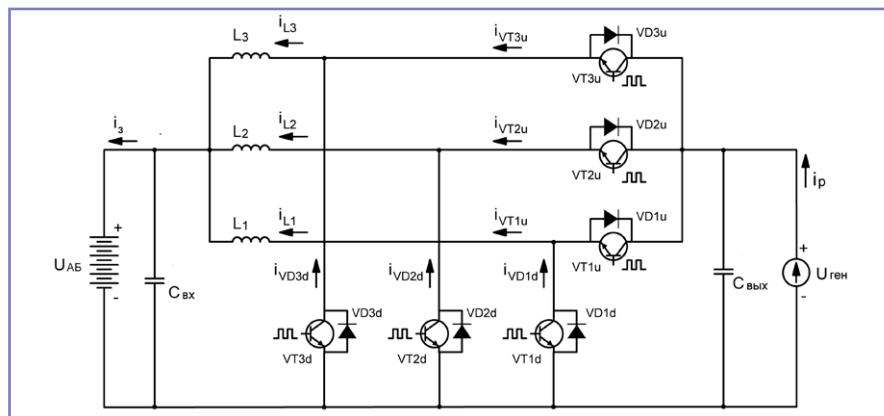


Рис. 6. Трехфазный ППН двунаправленного типа в режиме понижения напряжения: i_p – ток рекуперации, $U_{ген}$ – напряжения ЭМ в генераторном режиме, i_3 – ток заряда АБ.

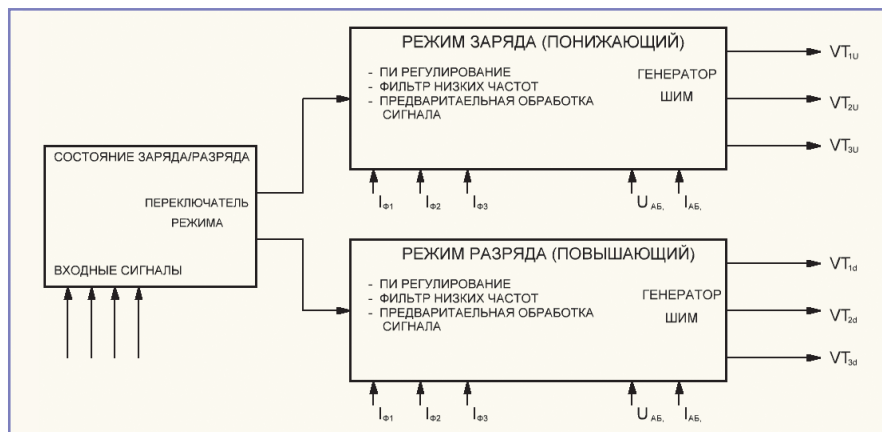


Рис. 7. Система управления трехфазного ППН двунаправленного типа.

напряжения, то есть обратное преобразование энергии с последующим накоплением в АБ, когда ЭМ работает в режиме генерации мощности [8, 10].

Для увеличения максимальной эффективности и диапазона выходных параметров трехфазных ППН двунаправленного типа каждый из n совместно работающих преобразователей должен быть оптимизирован по отдельности с учетом следующих ограничений:

- максимальное выходное напряжение многофазного ППН $V_{\max}$ ограничено числом отдельных преобразователей, соединенных последовательно. Отсюда максимальное выходное напряжение отдельного преобразователя из общего состава равно $V_{\max, m} = V_{\max} / n$;

- максимальный выходной ток $I_{\max}$ ограничен числом параллельно включенных преобразователей и минимальным выходным напряжением. Учитывая данное ограничение, максимальный выходной ток каждого преобразователя равен $I_{\max, m} = P_{\max} / (n V_{\min})$;

- общая мощность нагрузки должна быть равномерно распределена на n совместно работающих преобразователей.

$V_{\max}$, $V_{\min}$ – максимальное и минимальное выходные напряжения преобразователя, $V_{\max, m}$, $I_{\max, m}$ – максимальное напряжение и ток одного отдельного преобразователя, $P_{\max}$ – максимальная выходная мощность многофазного преобразователя.

Выводы

Следует отметить, что задача увеличения мощности импульсных преобразователей как перспективное направление в современной силовой электронике является актуальной задачей, и в данной статье был продемонстрирован один из возможных вариантов ее решения. Мно-

гофазные (каскадные) структуры преобразователей постоянного напряжения с использованием современных силовых ключей делают возможным проектирование высокоэффективных преобразователей мощностью от единиц до сотен киловатт, которые могут быть применены в системах преобразования энергии солнечных электростанций или в современных электроприводах, в том числе в силовых установках электрических транспортных средств [11, 12].

Литература

1. Гейтенко, Е.Н. Источники вторичного электропитания. Схемотехника и расчет / Е.Н. Гейтенко. – М.: Солон-пресс, 2008. – 448 с.
2. Кобзев, А.В. Энергетическая электроника: учебное пособие / А.В. Кобзев, Б.И. Коновалов, В.Д. Семенов. – Т.: Томский межвузовский центр дистанционного образования, 2010. – 164 с.
3. Константинов, В.Г. Многофазные преобразователи на транзисторах / В.Г. Константинов. – М.: Энергия, 1972. – 96 с.
4. Москатов, Е.А. Источники питания / Е.А. Москатов. – К.: МК-Пресс, 2011. – 208 с.
5. Пономаренко, А.Г. Мощная импульсная техника. Ч. 1. Элементы схем и источники питания / А.Г. Пономаренко. – М.: МИФИ, 2007. – 194 с.
6. Суер, К. Силовая электроника. Руководство разработчика / К. Суер. – М.: «Додэка-XXI», 2008. – 252 с.
7. Ютт, В.Е. Применение преобразователей постоянного напряжения в составе энергетической установки электрического транспортного средства / В.Е. Ютт, В.В. Лохнин, К.М. Сидоров, К.Х. Гулямов // Вестник МАДИ. – 2015. – № 4. – С. 34–40.
8. Kirill, S. Method for calculating the power circuit characteristics of the isolated DC-DC converters for electric and hybrid vehicles / S. Kirill, G. Timofey, Y. Vladimir // Indian Journal of Science and Technology. – 2015. – № 8. – P. 1–8.

Ютт Владимир Евсеевич

Родился в 1940 году. В 1962 году окончил Московский автомеханический институт по специальности «Инженер-механик». В 1967 году защитил кандидатскую диссертацию по теме «Электропусковые системы», в 1980 году – док-

торскую диссертацию по теме «Диагностика электрооборудования автомобилей». Имеет ученое звание профессора. Опыт работы – 51 год. В настоящее время работает заведующим кафедрой «Электротехника и электрооборудование» Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). Имеет более 200 научных трудов, патентов. Заслуженный деятель науки и техники РФ, Почетный работник высшей школы, награжден двумя медалями.

Сидоров Кирилл Михайлович

Родился в 1983 году. В 2007 году окончил Московский автомобильно-дорожный институт МАДИ (ГТУ) по специальности «Электрооборудование автомобилей и тракторов». Кандидат технических наук, в 2010 году защитил диссертацию по теме «Энергетическая и топливная эффективность автомобилей с гибридной силовой установкой». Имеет 9-летний опыт работы. В настоящее время работает доцентом на кафедре «Электротехника и электрооборудование» Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). Имеет 21 печатную работу, 1 патент.

Гулямов Камол Хикматович

Родился в 1989 году. В 2012 году окончил Таджикский технический университет им. академика М.С. Осими по специальности «Электропривод и автоматика промышленных установок и технологических комплексов». Опыт работы – 2 года. В настоящее время учится в аспирантуре Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ).

Jutt Vladimir

Was born in 1940. In 1962 he graduated from The Moscow Automotive Institute by specialty «Mechanical engineer». In 1967 has protected Ph. D. thesis by the theme «Electro starting systems», in 1980 the thesis for a Doctor's degree by the theme «Car's electric equipment diagnostics». He has academic status of professor. Operational experience of 51 years. Now Vladimir works as head of sub-faculty of «Electrical engineer and electric equipment» in Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI). He has more than 200 names of proceedings, patents. Honored worker of science and engineering of Russian Federation, the Honorable worker of Higher school, conferred by two medals.

Sidorov Kirill

Was born in 1983. In 2007 graduated from Moscow Automobile-Road Institute MADI (GTU) specialization is «Automobile and tractor electric equipment». Candidate of engineering, in 2010 he defended a thesis, the theme is «Power and fuel efficiency of automobiles with hybrid power unit». He has 9-year experience. At present he is working as docent of «Electro technology and electric equipment» department in Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI). He is the author of 21 printed works, 1 patent.

Gulyamov Kamol

He was born in 1989. In 2012 he graduated from Tadjik Technical University majoring in «Electric drive and automation of industrial machines and technological complexes». He has 2 years of work experience. At present, he studies in graduate school of Moscow Automobile and Road Construction State Technical University.

Моделирование систем тягового электроснабжения с коаксиальными кабелями и отсасывающими трансформаторами

// Modelling of traction power supply systems with coaxial cables and sucking transformers //

Закарюкин В.П., д.т. н., профессор,
Крюков А.В., д.т. н., профессор,
Иркутский государственный университет путей сообщения,
г. Иркутск

Нгуен Ты,
Иркутский национальный исследовательский
технический университет, г. Иркутск

В статье рассмотрены вопросы построения систем тягового электроснабжения с использованием отсасывающих трансформаторов и коаксиальных кабелей. Приведены результаты имитационного моделирования таких систем при движении поездов. Показано, что предложенные системы обладают рядом положительных свойств по сравнению с традиционной тяговой сетью. Совместное применение отсасывающих трансформаторов и кабелей обеспечивает снижение электромагнитного влияния на смежные линии и стабилизацию напряжения тяговой сети.

Ключевые слова: системы тягового электроснабжения, отсасывающие трансформаторы, коаксиальные кабели.

Questions of traction power supply system's creation with use of sucking transformers and coaxial cables are considered. Imitating modeling results of such systems at train moving are given. It is shown that the offered systems possess a number of positive properties in comparison with a traditional traction network. Combined use of sucking transformers and cables provides decrease in electromagnetic influence on adjacent lines and stabilization of voltage in traction network.

Keywords: traction power supply system, sucking transformers, coaxial cables.

ленному обратному проводу [2]. Уменьшение расстояния между контактной сетью и цепью обратного тока приводит к снижению магнитного поля тяговой сети и наводимых напряжений на смежные линии.

Применяются два варианта включения ОТ, проиллюстрированные на рис. 1.

Коэффициент трансформации отсасывающих трансформаторов обычно равен единице. Величина сопротивления нагрузки вторичной обмотки составляет в схеме на рис. 1а доли ома, в схеме рис. 1б – 1...3 Ом, то есть режим работы ОТ близок к короткому замыканию, как у трансформатора тока. В обеих схемах токи в обмотках трансформатора практически противофазны, а напряжения на обмотках сравнительно небольшие. Обратный провод для его эффективного использования должен монтироваться как можно ближе к контактной подвеске.

Использование одножильного кабеля вместо обратного провода

Использование одножильного экранированного кабеля вместо обратного провода (рис. 2) позволяет получить следующие положительные результаты:

Для снижения магнитного влияния в системах тягового электроснабжения (СТЭ) 25 кВ применяют отсасывающие трансформаторы (ОТ), увеличивающие

электромагнитную связь между контактной сетью и рельсами [1]. Вместо возврата через землю тяговый ток при этом протекает по рельсам или по выде-

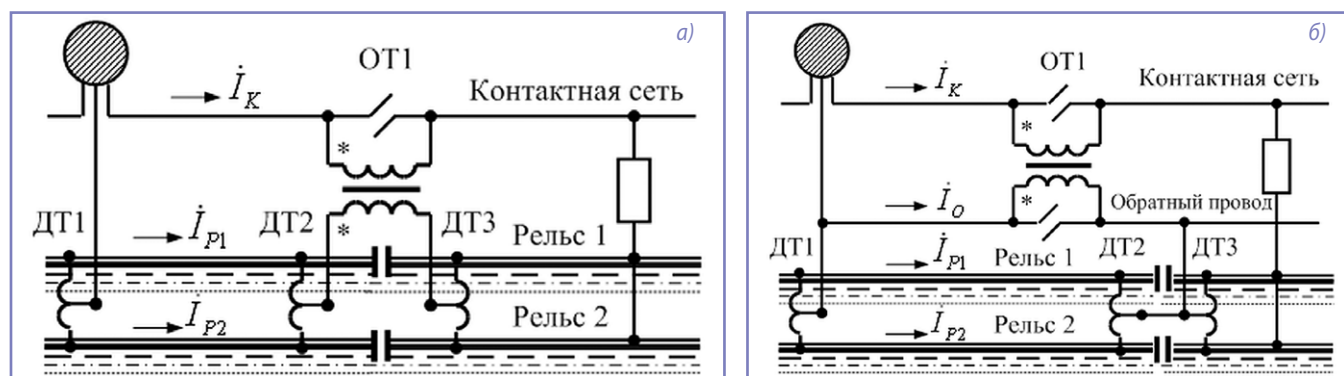


Рис. 1. Схемы включения отсасывающего трансформатора:
а) с включением вторичной обмотки трансформатора в рассечку рельсов;
б) с включением ОТ в рассечку дополнительного обратного провода.
ДТ – дроссель-трансформаторы.

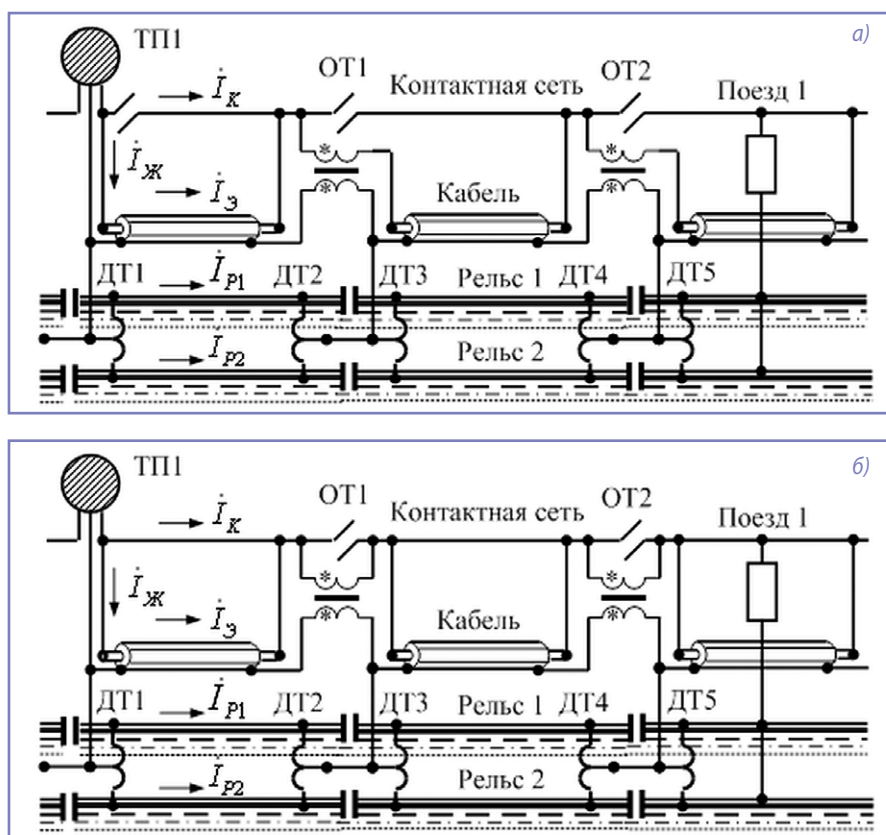


Рис. 2. Схемы включения отсасывающих трансформаторов с кабелем.

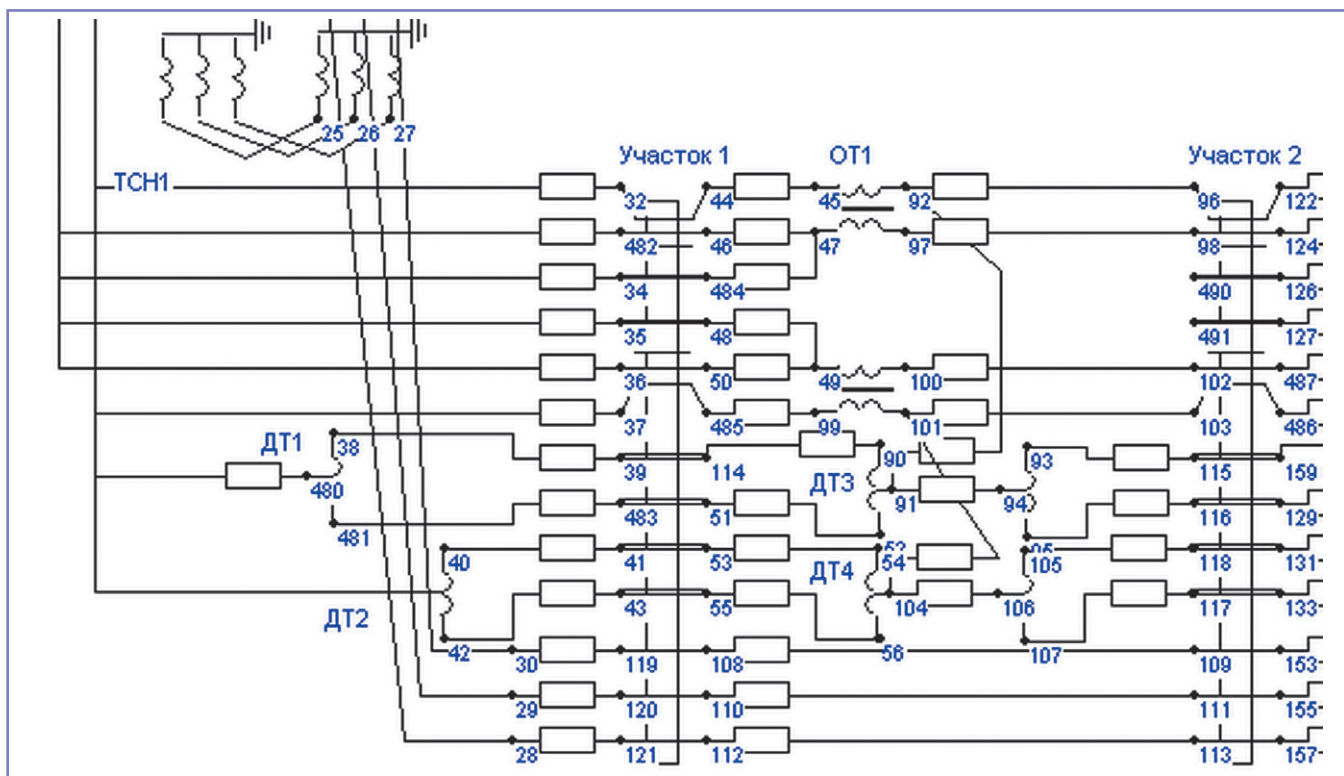
- снижение электромагнитного влияния на смежные линии;
- стабилизация напряжения тяговой сети (ТС).

Схемы, показанные на рис. 2, требуют применения кабеля, рассчитанного на большие токи, с сечением жилы и экрана порядка 300 мм² [3]. Схема,

представленная на рис. 2а, отличается включением кабеля на полный тяговый ток, что приводит к эффективному снижению влияния на смежные линии и хорошей стабилизации напряжения на токоприемниках электропоездов. Фактически основная потеря напряжения должна происходить на участке тяговой сети от тяговой нагрузки до ближайшего отсасывающего трансформатора, а также на самих ОТ. Этот вариант эффективен в отношении переноса тягового тока в кабель, но имеет небольшие участки консольного питания ТС.

В схеме, приведенной на рис. 2б, жилы кабеля включены параллельно контактной сети и играют роль усиливающего провода, а экраны – обратного. Ввиду малого сопротивления кабеля для противоположно направленных токов жилы и экрана большая часть прямого и обратного токов будет протекать по кабелю, снижая сопротивление тяговой сети и уменьшая влияние на смежные линии.

Расстояние между отсасывающими трансформаторами можно принять равным 4,5 км, однако его можно увеличить, допуская некоторую потерю напряжения в тяговой сети от электропоезда до ближайшего ОТ. Окончательный ответ на вопрос об оптимальных расстояниях должен базироваться на



техничко-экономических расчетах, учитывающих размеры движения, профиль пути и межпоездные интервалы, а также перепады напряжений на токоприемниках при проходе изолирующих сопряжений. Ответы на эти вопросы можно получить путем имитационного моделирования, методика которого изложена ниже.

Методика моделирования

Моделирование осуществлялось для схемы одной межподстанционной зоны двухпутного участка типичной протяженности на основе комплекса программ Fazonord [4, 5]. При определении взаимных электромагнитных влияний использовалась уточненная методика, описанная в работе [6]. Фрагмент расчетной схемы межподстанционной зоны двухпутного участка, отвечающий схеме по рис. 2а, показан на рис. 3. Десять участков многопроводной системы длиной 4,5 км каждый соединены друг с другом через ОТ и дроссель-трансформаторы. Каждый элемент многопроводной ТС содержит 4 провода контактных подвесок, 42 провода моделей одножильных кабелей, 3 провода смежной линии, расположенной на расстоянии 20 м от оси дороги, а также 4 рельсовые нити. Для моделирования подстанций использовались модели следующих трансформаторов: тягового ТДТНЖ-40000/230/27.5/11, собственных нужд ТМ-400/10/0.4, а также ТМ-100/6/0.4, предназначенного для питания устройств автоблокировки. Поперечное сечение модели кабеля показано на рис. 4.

Расчетная схема тяговой сети с параллельно соединенными отрезками коаксиального кабеля и участками контактной сети (КС) отличается от схемы на рис. 3 наличием RL-элементов, соединяющих начала

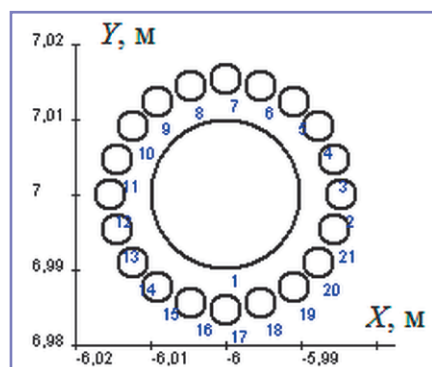


Рис. 4. Поперечное сечение модели кабеля.

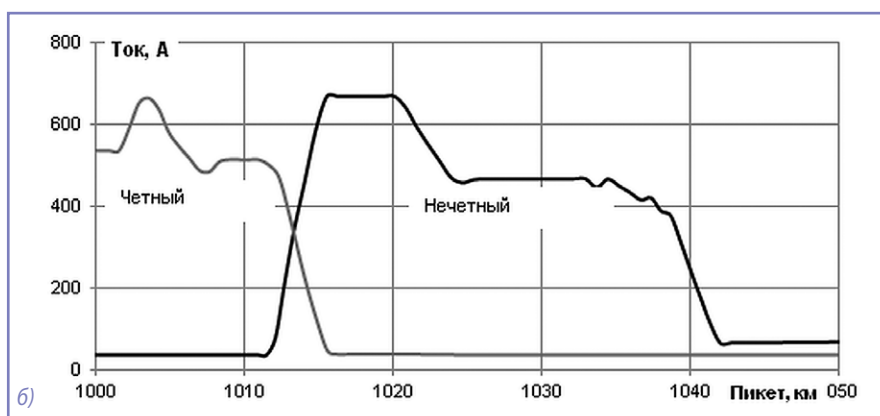
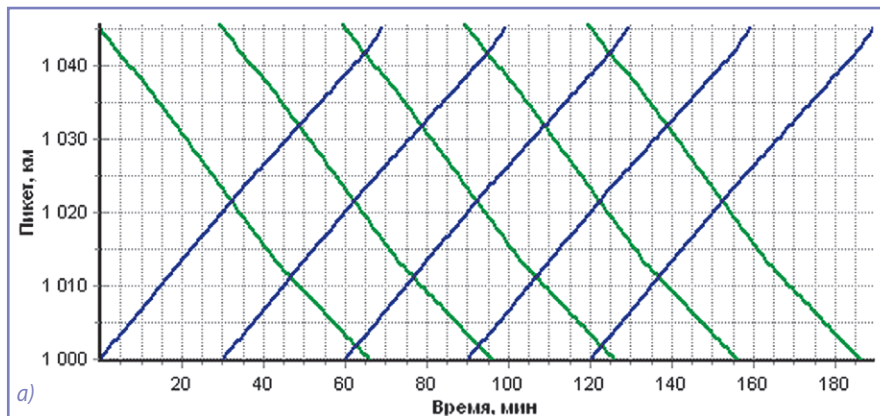


Рис. 5. График движения поездов (а) и полные токи поездов (б).

Таблица 1. Токи гармоник электровоза, % от эффективного тока.

Номер гармоники	1	3	5	7	9	11	13	15
Ток гармоники, А	98,0	30,0	14,4	6,0	4,2	2,7	1,9	1,5

участков КС с концами предыдущих участков. Имитационное моделирование работы СТЭ проведено для графика движения пакета пяти нечетных и такого же количества четных поездов массами 5800 т, перемещающихся с интервалами 30 мин. График движения и токовые профили поездов показаны на рис. 5. Принятые при расчетах уровни гармоник тока электровоза приведены в таблице 1.

Результаты моделирования

Результаты моделирования, проведенного для основной частоты и частот высших гармоник (ВГ), представлены на рис. 6, 7 и в таблицах 2–5. На рис. 6 показана зависимость от времени напряжения на токоприемнике поезда для разных вариантов СТЭ, на рис. 7 – зависимости от времени составляющих наведенных напряжений и суммарного коэффициента гармонических составляющих k_{Σ} .

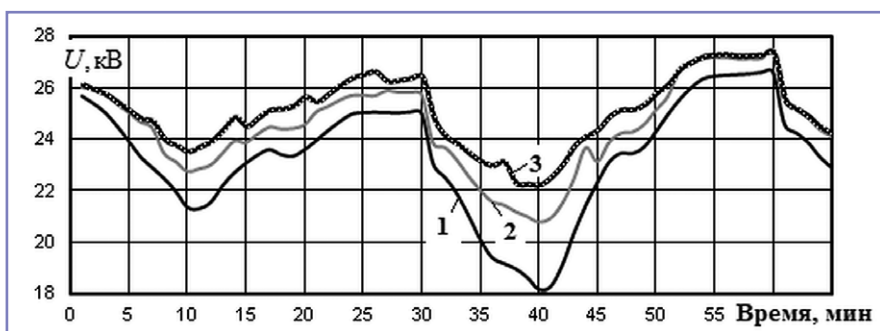


Рис. 6. Зависимость напряжения на токоприемнике третьего нечетного поезда от времени: 1 – СТЭ без ОТ; 2 – СТЭ с ОТ и кабелями; 3 – СТЭ с ОТ и кабелями, включенными параллельно КС.

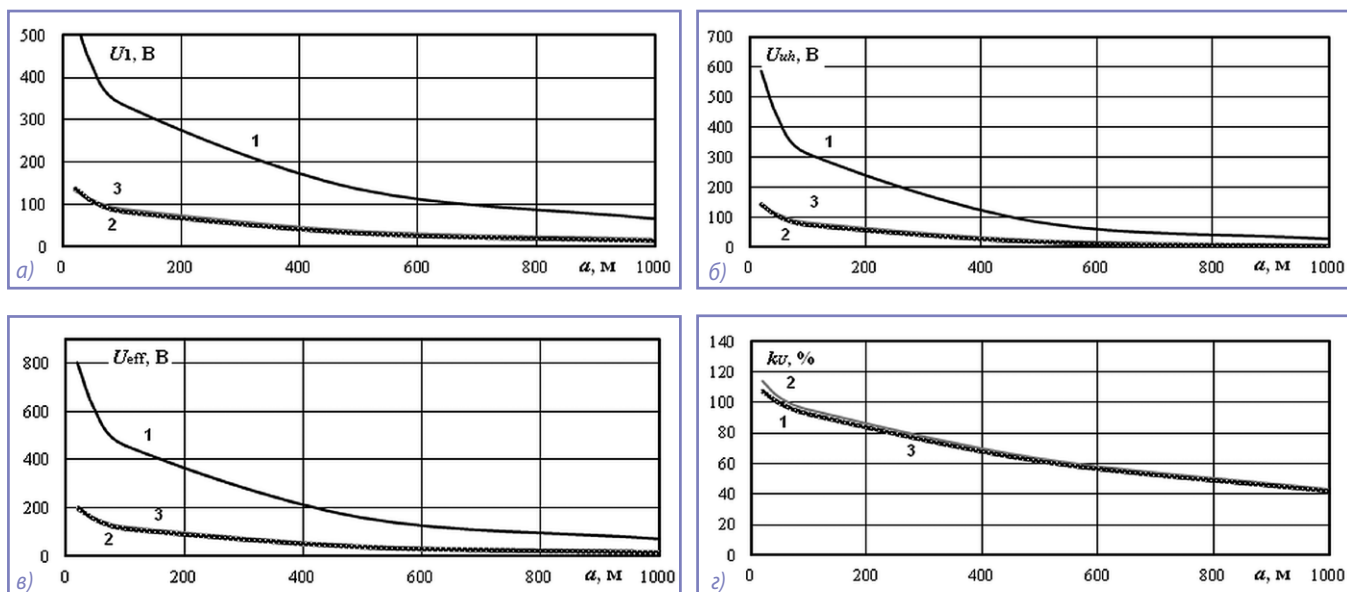


Рис. 7. Зависимости средних значений наведенных напряжений и суммарного коэффициента гармоник от ширины сближения. Обозначения те же, что и в таблице 3.

Таблица 2. Напряжение на токоприемнике первого поезда.

Величина	Напряжение, кВ, при варианте СТЭ			Различие, %	
	1	2	3	Между 2 и 1	Между 3 и 1
Среднее	23,3	24,5	25,1	4,9	7,6
Максимум	26,6	27,4	27,4	2,9	2,9
Минимум	18,2	20,8	22,2	14,4	22,4

Примечание: 1 – СТЭ без ОТ; 2 – СТЭ с ОТ и кабелями; 3 – СТЭ с ОТ и кабелями, включенными параллельно КС; U – напряжение на токоприемнике.

Таблица 3. Наведенные напряжения в начале отключенной ЛЭП автоблокировки для СТЭ без ОТ.

Параметр	Величина	Ширина сближения a , м				
		50	100	500	1000	1500
U_1, B	Максимум	655	518	210	102	55,9
	Среднее	428	338	136	66,4	36,3
U_{uh}, B	Максимум	628	462	124	41,4	16,9
	Среднее	426	312	83,1	27,6	11,3
U_{eff}, B	Максимум	908	694	244	110	58,4
	Среднее	604	459	160	72,0	38,0
$k_u, \%$	Среднее	100	92,8	61,2	41,7	31,2

Примечание: U_1 – наведенное напряжение основной частоты; U_{uh} – наведенное напряжение высших гармоник; U_{eff} – эффективное значение несинусоидального напряжения; k_u – суммарный коэффициент гармонических составляющих.

Наведенное напряжение фиксировалось в начале отключенной линии автоблокировки у левой тяговой подстанции при ее заземлении на расстоянии 22,5 км от подстанции.

Из результатов моделирования видно, что совместное применение ОТ и кабелей повышает напряжение на токоприемниках, причем вариант с парал-

лельным подключением жилы кабеля к контактной сети оказывается более эффективным. Наведенное напряжение на смежной отключенной и заземленной на удаленном конце линии уменьшается в 3–4 раза по сравнению с вариантом без отсасывающих трансформаторов, а варианты схем на рис. 2а и 2б (кривые 2 и 3 по рис. 7) практически не отличаются.

Несинусоидальность наведенного напряжения уменьшается при увеличении ширины сближения, причем суммарный коэффициент гармоник одинаков для всех трех схем. Это обстоятельство связано с разным затуханием высших гармоник с удалением от железной дороги: более высокочастотные составляющие снижаются быстрее.

Таблица 4. Наведенные напряжения в начале отключенной ЛЭП автоблокировки для СТЭ с ОТ и кабелями.

Параметр	Величина	Ширина сближения a , м				
		50	100	500	1000	1500
U_1 , В	Максимум	250	199	81,2	39,6	21,6
	Среднее	111	90,0	37,3	18,2	10,0
U_{uh} , В	Максимум	239	179	49,3	16,5	6,8
	Среднее	109	82,3	22,8	7,6	3,1
U_{eff} , В	Максимум	342	265	94,5	42,7	22,6
	Среднее	156	122	43,7	19,8	10,5
k_U , %	Среднее	103	95,2	63,2	43,2	32,4

Примечание: обозначения те же, что и в таблице 3.

Таблица 5. Наведенные напряжения в начале отключенной ЛЭП автоблокировки для СТЭ с ОТ и кабелями, включенными параллельно КС.

Параметр	Величина	Ширина сближения a , м				
		50	100	500	1000	1500
U_1 , В	Максимум	247	195	78,4	38,2	20,8
	Среднее	109	86,0	34,6	16,9	9,2
U_{uh} , В	Максимум	237	174	46,9	15,7	6,4
	Среднее	107	78,1	20,9	7,0	2,8
U_{eff} , В	Максимум	338	259	90,6	41,1	21,7
	Среднее	153	116	40,5	18,3	9,6
k_U , %	Среднее	99,5	92,4	61,6	42,1	31,3

Примечание: обозначения те же, что и в таблице 3.

Выводы

1. Применение в тяговой сети железной дороги переменного тока отсасывающих трансформаторов совместно с усиливающими кабельными линиями приводит к снижению наводимых напряжений на смежных линиях в 3–4 раза. Эффект снижения не зависит от схемы включения ОТ в вариантах с образованием консоли или включения кабеля параллельно КС. Экран кабеля в обоих случаях играет роль обратного провода.

2. Вариант включения жил кабельных линий параллельно КС предпочтительнее в связи с повышением уровня напряжения в контактной сети. В рассмотренном примере получено увеличение минимального напряжения на токоприемнике поезда при параллельном включении жил кабелей и КС на 2 кВ по сравнению с вариантом, предусматривающим наличие консольных участков КС. По сравнению с вариантом без ОТ и кабельных линий минимальное напряжение возрастает на 4 кВ.

3. Наведенное напряжение на смежной линии обладает выраженной несинусоидальностью с зависимостью суммарного коэффициента гармоник

от ширины сближения. Этот коэффициент снижается от 110 до 30% при росте ширины сближения с 20 м до 1500 м. Характер этой зависимости одинаков для всех рассмотренных схем тяговой сети.

Литература

1. Марквардт К.Г. Электроснабжение электрифицированных железных дорог. – М.: Транспорт, 1982. – 528 с.
2. Бадер М.П. Электромагнитная совместимость. М.: УМК МПС. – 2002. – 638 с.
3. Бардушко В.Д., Закарюкин В.П., Крюков А.В. Принципы построения систем электроснабжения железнодорожного транспорта. М.: Теплотехник. – 2014. – 166 с.
4. Закарюкин В.П., Крюков А.В. Сложносимметричные режимы электрических систем. Иркутск: Иркут. ун-т. – 2005. – 273 с.
5. Крюков А.В., Закарюкин В.П. Методы совместного моделирования систем тягового и внешнего электроснабжения железных дорог переменного тока. Иркутск: ИРГУПС. – 2011. – 170 с.
6. Закарюкин В.П., Крюков А.В. Уточненная методика определения взаимных электромагнитных влияний смежных линий электропередачи // Известия вузов. Проблемы энергетики. – № 3–4. – 2015. – С. 29–35.

Закарюкин Василий Пантелеймонович

Родился в 1949 году. В 1971 году окончил Иркутский государственный университет по специальности «Радиофизика и электроника». Доктор технических наук, доцент. В 2009 году защитил диссертацию по теме «Методы и алгоритмы совместного моделирования систем тягового и внешнего электроснабжения железных дорог переменного тока». Опыт работы – 44 года. В настоящее время работает профессором кафедры электроэнергетики транспорта Иркутского государственного университета путей сообщения. Имеет более 400 научных трудов.

Крюков Андрей Васильевич

Родился в 1952 году. В 1974 году окончил Восточно-Сибирский технологический институт по специальности «Электроснабжение промышленных предприятий, городов и сельского хозяйства». Доктор технических наук, профессор. В 1997 году защитил диссертацию по теме «Методы определения предельных режимов и оценки запасов устойчивости сложных энергосистем для целей оперативного управления». Опыт работы – 41 год. В настоящее время работает профессором кафедры электроэнергетики транспорта Иркутского государственного университета путей сообщения, а также

профессором кафедры электроснабжения и электротехники Иркутского национального исследовательского университета. Имеет более 600 научных трудов. Академик Российской академии транспорта, член-корреспондент Российской инженерной академии, член-корреспондент Академии наук высшей школы. Заслуженный энергетик Республики Бурятия.

Нгуен Ты

Родился в 1991 году. В 2015 году окончил Иркутский национальный исследовательский технический университет по специальности «Электропривод и автоматика промышленных установок и технологических комплексов». В настоящее время является магистрантом кафедры электропривода и электрического транспорта Иркутского национального исследовательского университета. Имеет 2 научных труда.

Zakaryukin Vasily

Was born in 1949. In 1971 he graduated from Irkutsk State University majoring in «Radiophysics and electronics». Doctor of Engineering, associate professor. In 2009 he defended the dissertation on subject «Methods and algorithms of joint modeling of traction and external power supply systems of alternating current railroads». Experience – 44 years. Now he works as professor of transport power industry department of Irkutsk State Transport University. Has more than 400 scientific works.

Kryukov Andrey

Was born in 1952. In 1974 he graduated from the East Siberian Institute of Technology majoring in «Power supply of the industrial enterprises, the cities and agriculture». Doctor of Engineering, professor. In 1997 he defended the dissertation «Methods of definition of the limit modes and assessment of stability stocks

of difficult power supply systems for operational management». Experience – 41 years. Now he works as professor of transport power industry department of Irkutsk State Transport University, and also as professor of power supply and electro technics department of Irkutsk National Research University. Has 600 scientific works. Academician of the Russian transport academy, member correspondent of Russian engineering academy, member correspondent of higher school Academy of sciences. Honored power engineering specialist of Republic Buryatia.

Nguyen Ty

Was born in 1991. In 2015 he graduated from Irkutsk National Research Technical University majoring in «The electric drive and automation of plants and technological complexes». Now he is an undergraduate of electric drive and electric transport department of Irkutsk National Research University. Has 2 scientific works.

Методика определения сопротивления изоляции транспортных средств

// The test method of measurement of insulating resistance of vehicles //

Высоцкий В.Е., д.т.н., профессор,
Новикова А.П.,

Козловский В.Н., д.т.н.,

Самарский государственный технический университет, г. Самара

В работе представлена методика определения и расчета сопротивления изоляции двухпроводной цепи постоянного тока транспортных средств.

Ключевые слова: контроль изоляции, метод эталонного делителя, математическое моделирование.

In assignment presents the method of testing and estimation of the insulating resistance of twin wire direct current of vehicles.

Keywords: insulation control, dividing circuit method, mathematic simulation.

Для непрерывной работы любых транспортных объектов важнейшими задачами являются долговечность, стабильная электробезопасность и надежная работа этих объектов. Безопасная

эксплуатация электрооборудования автомобилей и надежное электро-снабжение – это основные требования, которые предъявляются к электротехническим установкам всех отраслей. Ус-

ловие безопасной эксплуатации, а также надежность работы напрямую связаны с наиболее важным параметром системы – сопротивлением изоляции.

В автотранспорте в цепях постоянного тока и производственно-измерительных комплексах возникают проблемы, связанные с диагностикой неисправностей, вызванных таким явлением, как токи утечки между шинами питания и корпусом. Они могут вызывать ухудшение метрологических характеристик, рост помех (уменьшение соотношения «Сигнал/шум»), увеличение уровня пульсаций, понижение или превышение заданных уровней напряжения питания или приводить к выходу системы из строя, а впоследствии – к аварии.

В настоящее время растет интеграция внедряемых в единую инфраструктуру автономных объектов информационных технологий для мониторинга и контроля с целью повышения надежности и эффективности работы модулей и систем.

Сама проблема контроля сопротивления изоляции (КСИ) на корпус известна давно [4, 6], однако не потеряла своей актуальности, так как необходимо разрабатывать такие новые методы измерения электрических параметров цепей питания, которые позволят минимизировать влияние процесса измерения на исследуемые цепи [1, 8, 11].

Для дальнейшего анализа необходимо рассмотреть функциональную схему контроля $R_{из}$ для СЭП, выполненной по параллельно-последовательной схеме [1], когда между первичным источником электроэнергии и нагрузкой последовательно включен регулирующий элемент (рис. 1), где ПИ – первичный источник питания, УКПИ – устройство коммутации, ПФ – помехоподавительный фильтр, БАС – блок автоматики и стабилизации, СН – стабилизатор напряжения, ЗУ – зарядное устройство, РУ – разрядное устройство, АБ – аккумуляторная бата-

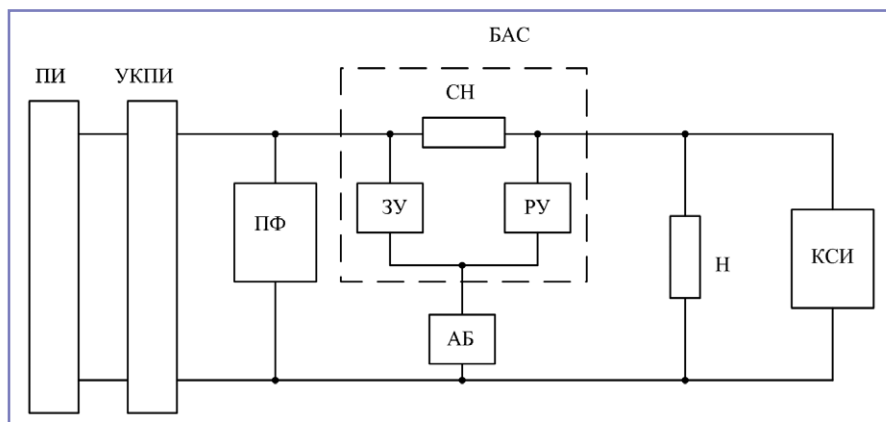


Рис. 1. Функциональная схема контроля $R_{из}$ для СЭП, выполненная по параллельно-последовательной схеме.

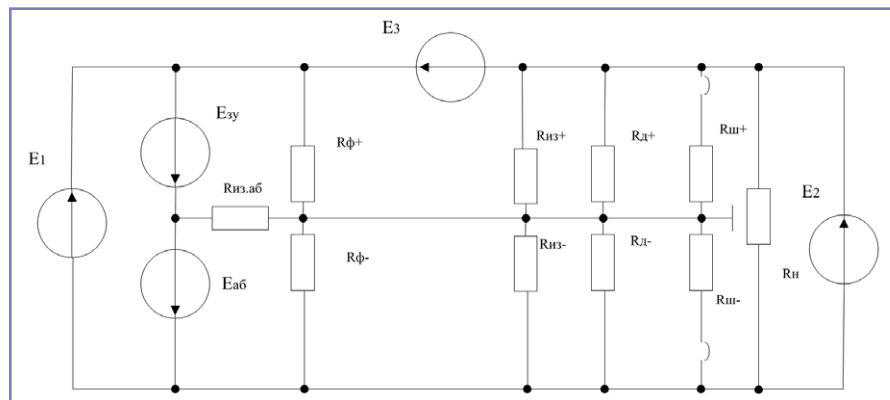


Рис. 2. Расчетная схема СЭП на основе структурной схемы.

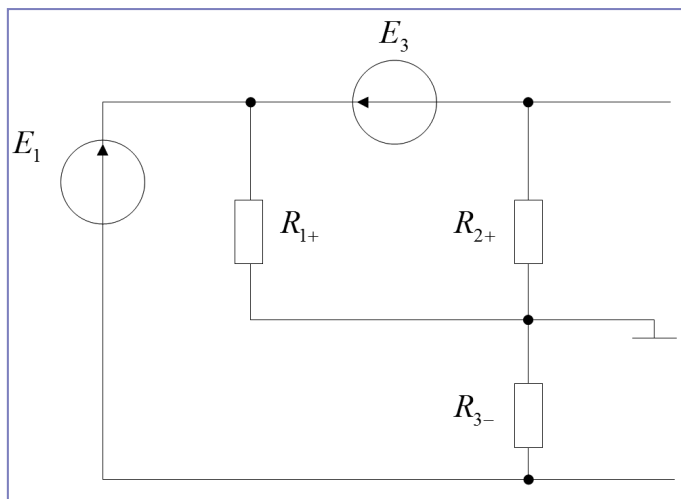


Рис. 3. Упрощенная схема замещения расчетного модуля для определения сопротивлений изоляции шин.

рея, КСИ – устройство контроля сопротивления изоляции.

Заменяем данную функциональную схему на соответствующую схему замещения (рис. 2), состоящую из активных элементов: $R_{из+}$ и $R_{из-}$ – сопротивления изоляции автономного объекта, $R_{\partial+}$ и $R_{\partial-}$ – сопротивления делителя напряжения (560 кОм), $R_{ш+}$ и $R_{ш-}$ – сопротивления цепей шунта (10 кОм), R_H – сопротивление нагрузки СЭП, $R_{из.аб.}$ – сопротивление изоляции АБ, $R_{\phi+}$ и $R_{\phi-}$ – сопротивления цепей фильтра (100 кОм). Учтем все источники питания, а именно: E_1 – напряжение ПИ, E_2 – напряжение КСИ, E_3 – падение напряжения БАС, $E_{з\text{у}}$ – напряжение ЗУ БАС, $E_{аб}$ – напряжение АБ.

Упростим данную схему замещения. Для этого исключим $E_{аб}$, $E_{з\text{у}}$ и $R_{из.аб.}$, поскольку сопротивление изоляции АБ очень велико. При необходимости сопротивлением изоляции ПИ тоже можно пренебречь. Рассмотрим алгоритм определения сопротивлений изоляции шин для расчетного модуля с использованием метода двух узлов (рис. 3).

По данной схеме необходимо составить систему уравнений для определения неизвестных R_{2+} и R_{3-} , используя результаты измерений E_1 , E_2 и напряжений между шинами и корпусом (с подключенным или отключенным шунтом) до и после регулятора БАС. После определения R_{2+} и R_{3-} (R_{1+}) по схеме замещения (рис. 3) необходимо вычислить сопротивления изоляции $R_{из+}$, $R_{из-}$. Предполагается, что значения заданы или известны E_1 и E_2 , а также входное сопротивление АЦП ($R_0 = 800$ кОм). Кроме того, полагаем известными параллельно соединенные сопротивление

фильтра антистатического $R_{\phi+}$ и сопротивление изоляции плюсовой цепи ПИ (100 кОм). При измерении потенциалов узлов φ_2 и φ_3 сопротивления R_{2+} и R_{3-} шунтируются входными сопротивлениями АЦП:

$$\varphi_2 = \varphi_1 - E_3, \quad \varphi_3 = \varphi_1 - E_1. \quad (1)$$

При измерении φ_2 в соответствии с методом двух узлов

$$\varphi_1 = \frac{E_1 g_3 + E_3 g_2 + E_3 g_0}{g_0 + g_1 + g_2 + g_3}, \quad (2)$$

$$\varphi_1 = \varphi_0 + \frac{E_3 g_0}{g_0 + g_1 + g_2 + g_3} = \frac{E_3 g_0}{\sum_{i=0}^3 g_i}, \quad (3)$$

где $\sum_{i=0}^3 g_i = g_0 + g_1 + g_2 + g_3$, причем $g_i = \frac{1}{R_i}$. Рассчитав по аналогии значения выражения потенциалов узлов φ_2 и φ_3

$$\varphi_2 = \varphi_0 + \frac{E_3 g_0}{\sum_{i=0}^3 g_i} - E_3, \quad (4)$$

$$\varphi_3 = \varphi_0 + \frac{E_1 g_0}{\sum_{i=0}^3 g_i} - E_1, \quad (5)$$

найдем разность потенциалов узлов:

$$\Delta\varphi = \varphi_3 - \varphi_2, \quad (6)$$

$$\Delta\varphi = \frac{E_1 g_0 - E_3 g_0}{\sum_{i=0}^3 g_i} - E_1 + E_3. \quad (7)$$

Сумму узловых проводимостей выражаем через параметры схемы и находим узловую проводимость:

$$g_3 = \left[\frac{E_1 g_0 - E_3 g_0}{\varphi_3 - \varphi_2 + E_1 - E_3} - g_0 + g_1 \right] - g_2. \quad (8)$$

С учетом обозначения $g_3 = k - g_2$, а также подставляя выражение (8) для g_3 в вы-

ражение (4) для φ_3 , получим выражения для определения потенциала узла 3.

Выражая g_2 через остальные компоненты, получим

$$g_2 = \left[(\varphi_3 + E_1) - \frac{E_1 g_0 + E_1 k}{g_0 + g_1 + k} \right] \frac{g_0 + g_1 + k}{E_3 - E_1},$$

$$\text{тогда } R_2 = \frac{1}{g_2}. \quad (9)$$

На основании приведенной последовательности и пошаговых соотношений составлен алгоритм определения сопротивления изоляции. Сначала ставится задача измерения потенциалов φ_2 и φ_3 и каждого i -го узла. Затем ввод данных (E_1 и E_2 , R_0) и параметров i -го узла осуществляется в блоке 2. Затем система определяет контакты цепи, узловую проводимость (g_2 , g_3). В 6-м блоке система рассчитывает сопротивления цепи R_{2+} и R_{3-} . Далее необходимо рассчитать сопротивления изоляции шин $R_{из+}$, $R_{из-}$. В следующем блоке идет измерение сопротивления изоляции $R_{из+}$, $R_{из-}$, и, если выполняется условие $R_{из-} > 100$ кОм, то на табло выходит сообщение. Если неравенство не выполняется, то задача начинается заново.

На рис. 4 приведена схема замещения СЭП на постоянном токе с учетом сопротивления шин питания для проведения расчетных оценок влияния сопротивления шин на режим цепи. Распределенный характер сопротивления шин и их изоляции относительно корпуса учтен коэффициентами α , β и

$$\lambda = \frac{R_{из2}}{R_{из1}}. \text{ Значение напряжения } U_{a01}$$

для идеального случая шин без потерь и пренебрежимо малого значения сопротивления источника составляет 30 В.

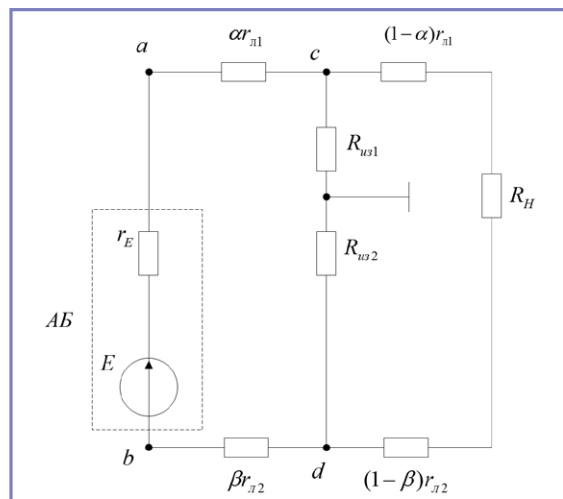


Рис. 4. Расчетная схема замещения СЭП на постоянном токе с учетом сопротивления шин питания.

Таблица 1. Результаты оценки погрешности в методе эталонного делителя.

№	$R_{из.экв+}$, кОм	$R_{из.экв-}$, кОм	Δ %
1	10	20	2,23
2	50	100	2,3
3	500	1000	2,73
4	1000	2000	3,2
5	5000	10000	6,7
6	10000	20000	10

Таблица 2. Результаты численного моделирования.

$\delta(U_{a01})$	U_{a01}	α	β	λ	$\delta(U_{a01})$	U_{a01}	α	β	λ
0,045	0,455	0,20	0,20	1,00	0,052	0,504	0,20	0,20	1,00
0,050	0,450	0,20	0,40	1,00	0,057	0,499	0,20	0,40	1,00
0,055	0,445	0,20	0,60	1,00	0,062	0,494	0,20	0,60	1,00
0,059	0,441	0,20	0,80	1,00	0,067	0,489	0,20	0,80	1,00
0,041	0,459	0,40	0,20	1,00	0,047	0,508	0,40	0,20	1,00
0,045	0,455	0,40	0,40	1,00	0,053	0,503	0,40	0,40	1,00
0,050	0,450	0,40	0,60	1,00	0,058	0,498	0,40	0,60	1,00
0,055	0,445	0,40	0,80	1,00	0,063	0,493	0,40	0,80	1,00
0,036	0,464	0,60	0,20	1,00	0,043	0,512	0,60	0,20	1,00
0,041	0,459	0,60	0,40	1,00	0,048	0,57	0,60	0,40	1,00
0,045	0,455	0,60	0,60	1,00	0,054	0,502	0,60	0,60	1,00
0,050	0,450	0,60	0,80	1,00	0,059	0,497	0,60	0,80	1,00
0,032	0,468	0,80	0,20	1,00	0,039	0,516	0,80	0,20	1,00
0,036	0,464	0,80	0,40	1,00	0,044	0,511	0,80	0,40	1,00
0,041	0,459	0,80	0,60	1,00	0,049	0,506	0,80	0,60	1,00
0,045	0,455	0,80	0,80	1,00	0,055	0,501	0,80	0,80	1,00
0,069	0,645	0,20	0,20	0,40	0,082	0,752	0,20	0,20	0,20
0,075	0,639	0,20	0,40	0,40	0,089	0,744	0,20	0,40	0,20
0,082	0,632	0,20	0,60	0,40	0,097	0,736	0,20	0,60	0,20
0,088	0,626	0,20	0,80	0,40	0,105	0,729	0,20	0,80	0,20
0,066	0,648	0,40	0,20	0,40	0,080	0,753	0,40	0,20	0,20
0,073	0,642	0,40	0,40	0,40	0,088	0,745	0,40	0,40	0,20
0,079	0,635	0,40	0,60	0,40	0,095	0,738	0,40	0,60	0,20
0,086	0,629	0,40	0,80	0,40	0,103	0,730	0,40	0,80	0,20
0,064	0,651	0,60	0,20	0,40	0,079	0,755	0,60	0,20	0,20
0,070	0,644	0,60	0,40	0,40	0,086	0,747	0,60	0,40	0,20
0,077	0,638	0,60	0,60	0,40	0,094	0,739	0,60	0,60	0,20
0,083	0,631	0,60	0,80	0,40	0,102	0,732	0,60	0,80	0,20
0,061	0,653	0,80	0,20	0,40	0,077	0,756	0,80	0,20	0,20
0,068	0,647	0,80	0,40	0,40	0,085	0,748	0,80	0,40	0,20
0,074	0,640	0,80	0,60	0,40	0,092	0,741	0,80	0,60	0,20
0,081	0,634	0,80	0,80	0,40	0,100	0,733	0,80	0,80	0,20
0,0277	0,306	0,20	0,20	2,00	0,001	0,090	0,20	0,20	10,00
0,0300	0,303	0,20	0,40	2,00	0,002	0,089	0,20	0,40	10,00
0,033	0,300	0,20	0,60	2,00	0,002	0,088	0,20	0,60	10,00
0,036	0,297	0,20	0,80	2,00	0,003	0,088	0,20	0,80	10,00
0,021	0,312	0,40	0,20	2,00	-0,007	0,098	0,40	0,20	10,00
0,024	0,309	0,40	0,40	2,00	-0,007	0,098	0,40	0,40	10,00
0,027	0,306	0,40	0,60	2,00	-0,006	0,097	0,40	0,60	10,00
0,030	0,303	0,40	0,80	2,00	-0,005	0,096	0,40	0,80	10,00
0,015	0,318	0,60	0,20	2,00	-0,016	0,107	0,60	0,20	10,00

С учетом конечного значения сопротивлений шин значение напряжения U_{a01} составляет

$$U_{a01} = \left[\alpha r_{\lambda 1} + \frac{R_{u31}}{R_{u32} + R_{u31}} (R_{\lambda} - (\alpha r_{\lambda 1} + \beta r_{\lambda 2})) \right] \times \frac{E}{R_{\lambda} + r_{\lambda 1} + r_{\lambda 2}}. \quad (10)$$

Примем допущение, что отношение сопротивления линии к сопротивлению нагрузки равно 0,05, и обозначим

$$\frac{R_{u32}}{R_{u31}} = \lambda, \quad \frac{R_{u31}}{R_{u32} + R_{u31}} = \frac{1}{1 + \lambda}. \quad (11)$$

Тогда выражение (2) для напряжения U_{a01} принимает вид

$$U_{a01} = \left[0,05\alpha + \frac{1}{1 + \lambda} (1 - (0,05\alpha + 0,05\beta)) \right] \frac{E}{1,1}. \quad (12)$$

Дадим результаты оценки погрешности в методе эталонного делителя (таблица 1). Погрешность измерения $R_{из.экв.}$ при следующих значениях сопротивлений $R_{из.экв.+}$ и $R_{из.экв.-}$ а также при их фиксированном отношении $R_{из.экв.+}/R_{из.экв.-} = 0,5$.

В приведенном примере $R_{вх}$ – входное сопротивление вольтметра V_1 – принято равным 20 мОм.

Приведем сравнение значений напряжений для идеальной модели $\alpha = \beta = 0$ с аналогичными значениями при комбинациях параметров цепи с конечным значением сопротивления шин и примем отношение $\frac{r_{\lambda}}{R_{\lambda}} = 0,05$.

Результаты численного моделирования приведены в таблице 2. Относительные значения отклонений с учетом знака $\delta(U_{a01})$ для различных сочетаний значений параметров α , β , λ приведены в первых колонках таблиц. Вычисленные значения отклонений не превышают 10,5%.

По результатам моделирования предлагается функциональная схема контроля $R_{из}$ для СЭП (рис. 1), выполненная по параллельно-последовательной схеме [9], когда между имитатором первичного источника питания и нагрузкой последовательно включен регулирующий элемент. Проведение измерений по данной схеме возможно на постоянном токе без использования специальных источников возмущения либо на переменном токе (например, с введением в цепь питания малых гармонических возмущений, влияние которых на работу изделия пренебрежимо мало).

В заключении можно сделать вывод, что особенность представленных

схем в том, что в отличие от основного варианта нулевая точка эталонного делителя $R_{д+}$, $R_{д-}$ не связана с корпусом, и потому сопротивления изоляции $R_{из.экв}$ не шунтируются сопротивлениями делителя. Существенной особенностью СЭП является заметное значение падения напряжения на шинах: например, при токе 50 А и сопротивлении шины 0,05–0,10 Ом падение напряжения составит 0,25–0,5 В или 0,9–1,8% от напряжения питания 28 В. Это обстоятельство может значительно повлиять на оценки сопротивления изоляции при проведении измерений на постоянном токе.

Литература

1. Соустин Б.П., Иванчура В.И., Чернышев А.И., Исляев Ш.Н. Системы электропитания космических аппаратов. Новосибирск: ВО «Наука». Сибирская издательская фирма, 1994.
2. Панфилов Д.И., Чепурин И.Н., Миронов В.Н., Обухов С.Г., Шитов В.А., Иванов В.С. Под общей ред. Д.И. Панфилова. Электротехника и электроника в экспериментах и упражнениях: практикум на Electronics Workbench – Т. 2: Электроника. М.: МЭИ, 2004. 325 с. – ISBN: 5-7046-0954-6 (изд. 2-е, перераб. и доп.).
3. Бычков Ю.А., Золотницкий В.А., Чернышев Э.П. и др. Теоретические основы электротехники. Справочник по теории электрических цепей. – СПб.: Питер, 2008. 349 с.
4. Шакиров М.А. Теоретические основы электротехники. Новые идеи и принципы. Схемотезис и диакоптика. СПб.: СПбГТУ, 2001. 212 с.
5. Васюра М.А., Глазырин Т.А., Плешкова Г.А., Черепанова Г.А. Анализ технико-экономических характеристик проводов нового поколения // Известия высших учебных заведений. Электромеханика. 2015. № 1. С. 32–37.
6. Синегубов А.П. Анализ средств контроля сопротивления изоляции электроэнергетических систем постоянного тока // Известия высших учебных заведений. Электромеханика. 2015. № 1. С. 61–65.
7. Smolin V.I., Topol'skaya I.G. Amplitude control of the moment of a three-phase asynchronous drive based on generalized energy-flow principles // Russian Electrical Engineering 2014 y. 85 (4), pp. 205–209.
8. Коломийцев Ю.Н., Новикова А.П. Мониторинг сопротивления изоляции в двухпроводных системах автономного электроснабжения // Вести в электроэнергетику. 2015. № 4. С. 17–25.
9. Lau K.Y., Vaughan A.S., Chen G., Hosier I.L., Holt A.F. Absorption current behavior of polyethylene/silica nanocomposites (2013) Journal of Physics: Conference Series, 472 (1), art. no. 012003. doi: 10.1088/1742-6596/472/1/012003.
10. Lau K., Vaughan A., Chen G., Holt A., Ching K. On the space charge and DC breakdown behavior of polyethylene/silica nanocomposites. IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation (2014): (1), 6740758, pp. 340–351.
11. Cao Y.S., Jiang L.J., Ruehli A.E. Distributive Radiation and Transfer Characterization Based on the PEEC Method. IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility (2015) 7004027, pp. 734–742.

Высоцкий Виталий Евгеньевич

Родился в 1949 году. В 1971 году окончил Куйбышевский политехнический институт по специальности «Электропривод и автоматизация промышленных установок». Доктор технических наук, профессор. В 2005 году защитил докторскую диссертацию по теме «Вентильные двигатели с искусственной коммутацией». Опыт работы – 35 лет. В настоящее время работает профессором СамГТУ. Имеет более 100 научных работ. Член-корреспондент АЭН РФ.

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 надеж-

ности системы электрооборудования автомобилей». Автор более 150 научных работ, в том числе 10 монографий. В настоящее время работает заведующим кафедрой «Теоретическая и общая электротехника» СамГТУ.

Новикова Анна Петровна

Родилась в 1983 году. В 2005 году окончила СамГТУ по специальности «Инженер-электрик». Опыт работы – 11 лет. В настоящее время работает ассистентом кафедры «ТОЭ» и учится в аспирантуре СамГТУ. Имеет 5 научных работ.

Vysotsky Vitaliy

He was born in 1949. In 1971 he graduated from Kuibyshev Polytechnic Institute majoring in «Electric drive and automation of industrial equipment». He is candidate of Engineering. In 2005 he defended the thesis, the topic of thesis is «Valve engines with forced switching». He has 35 years of work experience. At present he works as a professor at Samara State Technical University. He has more than 100 scientific papers. He is associates of the Academy of Sciences.

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 in the subject «Quality and safety assurance of car electric equipment system». He is an author of more than 150 scientific works, including 10 monographs. At present he works as department chairman «Theoretic and general electrotechnics» of SamGTU.

Novikova Anna

She was born in 1983. In 2005 she graduated from Samara Technical University majoring in «Electrical engineer». She has 11 years of work experience. At present she works as an assistant of the «Theoretical and General Electrical Engineering» department and studies in graduate school. She has 5 scientific papers.

Двухступенчатая установка поперечной емкостной компенсации в тяговых сетях железных дорог

// Transverse capacitive compensation's installation of reactive power with two levels of power to the railway's traction networks //

Серебряков А.С., д.т. н., профессор,
Герман Л.А., д.т. н., профессор,
Нижегородский филиал МГУПС (МИИТ),
г. Нижний Новгород

Якунин Д.В.,
Арзамасская дистанция электроснабжения, г. Арзамас

Максимова А.А.,
ООО «Таврида Электрик СПб», г. Санкт-Петербург

Маралова В.А.,
Служба электрификации и электроснабжения
Горьковской дирекции инфраструктуры, г. Нижний Новгород

В статье рассмотрены схемотехнические решения для установок компенсации реактивной мощности в тяговой сети переменного тока 25 кВ. Обосновывается применение установок компенсации с дискретно-ступенчатым регулированием мощности. Подробно рассмотрена последовательность переключения ступеней. Представлен разработанный алгоритм расчета переходных процессов при последовательных переключениях установки поперечной емкостной компенсации в заданном режиме. Приведены результаты моделирования коммутационных процессов переключения секций конденсаторной батареи. Оценена возможность работы предлагаемой двухступенчатой установки компенсации в режиме регулирования мощности.

Ключевые слова: компенсация реактивной мощности, установка поперечной компенсации, переходные процессы, конденсаторные батареи, ступенчатое регулирование мощности.

Схемное решение двухступенчатой КУ

В связи с изменяющейся тяговой нагрузкой установка поперечной емкостной компенсации (КУ) должна быть регулируемой. Из [1, 2] известно, что для тяговых сетей переменного тока достаточно выполнить регулирование мощности КУ дискретно-ступенчато с 2–3 ступенями. В статье предлагается один из вариантов

The article considers circuit solutions for installations of reactive power compensation in traction AC network of 25 kV. Rationales for the use of installations of compensation of discrete-step power control. In detail the sequence of switching steps. Presents the developed algorithm of calculation of transients for sequential switching of the installation of the transverse capacitive compensation in a given mode. The results of modeling of processes switching processes of the switching sections of capacitor Bank. Assessed feasibility of the proposed two-stage compensation system is in the mode of power control.

Keywords: reactive power compensation, installation of series compensation, transients, capacitor Bank, a stepped power control.

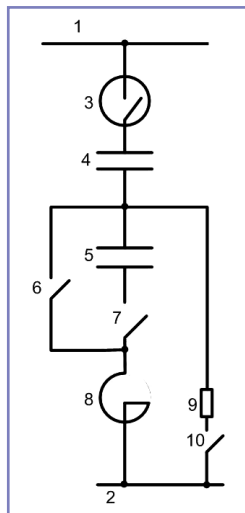


Рис. 1. Схема двухступенчатой КУ:
1 – шины 27,5 кВ; 2 – рельсы; 3 – выключатель 27,5 кВ;
4 – первая секция (C1) конденсаторной батареи КУ;
5 – вторая секция (C2) конденсаторной батареи КУ;
6 – первый выключатель на 10 кВ;
7 – второй выключатель на 10 кВ;
8 – фильтровый реактор; 9 – пусковой резистор;
10 – третий выключатель на 10 кВ.

двухступенчатой КУ с дискретным регулированием мощности, отличительной особенностью которого является коммутация ступеней КУ, подключенной к шинам 27,5 кВ, «легкими» с повышенным ресурсом вакуумными выключателями (контакторами) на 10 кВ, способными отключать емкостные токи.

Например, если ориентироваться на распространенные выключатели ВВ/TEL-10 с коммутационным модулем ISM15_LD_2 [3], то их ресурс по механической и коммутационной стойкости составляет 150000 циклов включения-отключения (ВО). Это значит, что за весь срок службы выключателя в 30 лет ресурс израсходуется при среднесуточном числе переключений (с первой ступени на вторую и наоборот) до 14 раз, что свидетельствует на основании опыта эксплуатации о реальной возможности применения рассматриваемой схемы.

Технические характеристики ВВ/TEL-10 с коммутационным модулем ISM15_LD_2:

- номинальное напряжение – 10 кВ;
- наибольшее рабочее напряжение – 12 кВ;
- номинальный ток – 1000 А;
- коммутируемый емкостный ток одиночной конденсаторной батареи – 1000 А;
- номинальный ток отключения – 20 кА;
- ток термической стойкости (3 с) – 20 кА;
- ресурс механический и по коммутационной стойкости – 150000 «ВО»;
- время включения – 60 мс;

- время отключения – 60 мс;
- масса – 35 кг.

Предлагаемая схема КУ представлена на рис. 1.

Двухступенчатая КУ может работать с первой и второй ступенями. При работе первой ступени КУ повышенной мощности включены вакуумные выключатели 3 и 6, а вакуумные выключатели 7 и 10 отключены, то есть в работе находится только одна первая секция С1. При работе второй ступени КУ пониженной мощности включены выключатели 3 и 7, а вакуумные выключатели 6 и 10 отключены, то есть в работе находятся обе секции С1 и С2, включенные последовательно.

Схема установки КУ и последовательность переключения ее ступеней построены таким образом, что напряжение на вакуумных выключателях не превосходит 10 кВ в любых режимах работы КУ. Соотношение мощностей первой и второй ступеней при использовании реактора ФРОМ-35 [1] равно 1,5. При необходимости увеличения разности мощностей ступеней необходимо последовательно со второй секцией (С2) конденсаторной батареи 5 включать дополнительную секцию реактора так, чтобы в любом режиме резонансная частота настройки КУ была не больше нормированной частоты 135–142 Гц [1].

Рассмотрим последовательность коммутационных процессов при включении и отключении 1-й и 2-й ступеней КУ. Возможность использования коммутационной аппаратуры 10 кВ для переключения ступеней КУ, включенных на напряжение 27,5 кВ, определяется тем, что работа аппаратуры 10 кВ происходит при их шунтировании пусковым резистором 10 (рис. 1). В связи с этим следует обязательно соблюдать определенную последовательность переключений в КУ. Рассмотрим три схемы КУ с соответствующими переключениями ступеней.

Первая схема – включение КУ в работу на 2-ю ступень (на обе секции).

Исходная позиция выключателей – все отключены.

- 1-й шаг – включается выключатель 7.
- 2-й шаг – включается выключатель 10.
- 3-й шаг – включается выключатель 3.
- 4-й шаг – отключается выключатель 10, и завершается включение 2-й ступени КУ на первом этапе.

Вторая схема – переключение со второй ступени на первую. Исходная позиция выключателей: 3 и 7 включены, 6 и 10 отключены.

- 1-й шаг – включение выключателя 10.
- 2-й шаг – отключение выключателя 7.
- 3-й шаг – включение выключателя 6.
- 4-й шаг – отключается выключатель 10, и завершается включение первой ступени КУ.

Третья схема – переключение с первой ступени на вторую. Исходная позиция выключателей: 3 и 6 включены, 7 и 10 отключены.

- 1-й шаг – включается выключатель 10.
- 2-й шаг – отключается выключатель 6.
- 3-й шаг – включается выключатель 7.
- 4-й шаг – отключается выключатель 10, и завершается переключение на 2-ю ступень КУ.

Метод исследования переходных режимов. Исходные данные

В основу исследований переходных процессов положена интегрированная математическая система MATHCAD [4] с решением дифференциальных уравнений методом Рунге-Кутты с фиксированным шагом. Известно, что в электрических цепях, содержащих накопители энергии (конденсаторы или индуктивные катушки), возникают переходные процессы, так как энергия в указанных накопителях не может изменяться скачком. Уравнения переходного процесса представлены в форме Коши [4].

Основная задача схемного решения КУ и последовательности переключений – до минимума снизить броски тока и напряжения при переключениях (ком-

мутации) ступеней КУ, в которых используем обычные выключатели без синхронизации. Поэтому, прежде всего, оценим максимальные значения бросков тока и напряжения в сравнении с номинальными значениями этих параметров конденсаторов и реактора.

В схеме замещения системы электропитания с КУ (рис. 2) приняты следующие обозначения: r_s , x_{Ls} – приведенные к напряжению тяговой сети 27,5 кВ предвключенные активное и индуктивное сопротивления питающей системы и понижающего трансформатора; x_{C1} , x_{C2} – емкостные сопротивления секций КУ; x_{Lp} – индуктивное сопротивление реактора КУ; R – сопротивление пускового резистора.

Ключи K_1 , K_2 , K_3 соответствуют выключателям 3, 7 и 10 (рис. 1). Ключ 6 на схеме не показан. Он моделируется дискретным изменением емкости конденсатора С2 от номинального значения до бесконечно большого, когда ключ 6 замкнут.

На участке Сергач – Шумерля раздел по линии ЛЭП-110 кВ, поэтому приходится выполнять раздел и по контактной сети у подстанции Шумерля. Это является причиной установки КУ на консольном участке контактной сети с подключением КУ через пункт параллельного соединения (ППС) на управляемых разъединителях Р1 и Р2 к контактной сети первого КП1 и второго КП2 путей железной дороги для повышения уровня напряжения (рис. 3). Раздел по контактной сети можно выполнить и у поста секционирования (ПС, коммутационные аппараты не показаны).

При включенных выключателях Q_1^{III} и (или) Q_2^{III} КУ подключается к шинам 25 кВ.

Исходные данные для расчетов принимаем для условий включения КУ на тяговую подстанцию Шумерля системы 2 x 25 кВ для двух вариантов (рис. 3):

- 1-й вариант – включение КУ на шины 25 кВ тяговой подстанции Шумерля;
- 2-й вариант – включение КУ в конце консольного участка контактной сети

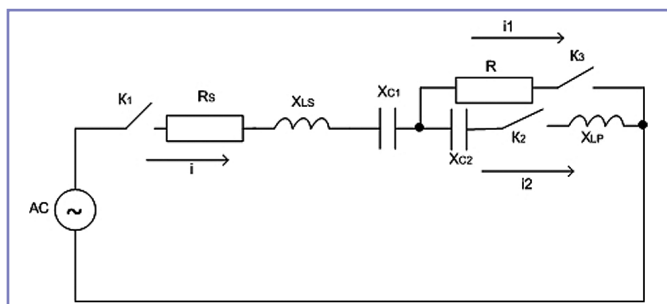
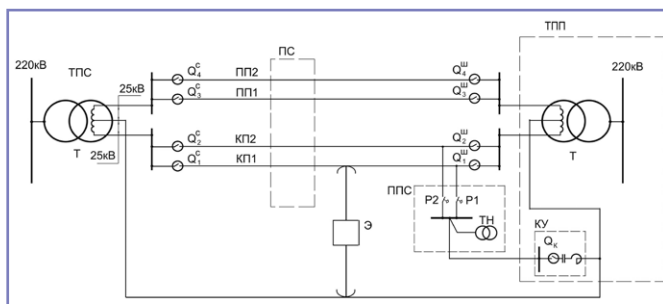


Рис. 2. Схема замещения двухступенчатой КУ.



Сергач – Шумерля с разделом питания по контактной сети у подстанции Шумерля (то есть КУ подстанции Шумерля включена на консоли контактной сети, питающейся от подстанции Сергач). Поэтому предвключенное сопротивление КУ, состоящее в общем случае из сопротивлений системы внешнего электроснабжения, трансформаторов тяговой подстанции и тяговой сети, равно:

1-й вариант: $X_{is} = X_s(ш) + X_{тр}(ш)$;

2-й вариант: $X_{is} = X_s(с) + X_{тр}(с) + X_{тс}$, где $X_s(ш)$ ($X_s(с)$) – индуктивное сопротивление системы внешнего электроснабжения для подстанции Шумерля (Сергач);

$X_{тр}(ш)$ ($X_{тр}(с)$) – сопротивление трансформатора подстанций Шумерля (Сергач). На подстанции Шумерля в работе один трансформатор 25 МВА, а на подстанции Сергач – два трансформатора 25 МВА;

$X_{тс}$ – сопротивление тяговой сети двухпутного участка Сергач – Шумерля.

Значения сопротивлений рассчитаны по данным [4] и [5]:

$X_s(ш) = 0,5$ Ом; $X_s(с) = 0,5$ Ом; $X_{тр}(ш) = 3$ Ом; $X_{тр}(с) = 3$ Ом, а для тяговой сети системы 2×25 кВ, по данным [5], $X_{тс} = 75 \times 0,1 = 7,5$ Ом.

Таким образом, предвключенное сопротивление для расчета переходных КУ равно:

1-й вариант:

$$X_{is} = 2 \times 0,5 + 2 \times 3 = 7 \text{ Ом};$$

2-й вариант:

$$X_{is} = 2 \times 0,5 + 2 \times 0,5 \times 3 + 7,5 = 11,5 \text{ Ом}.$$

Аналогично рассчитываются активные сопротивления:

1-й вариант:

$$2 \times 0,15 + 2 \times 0,12 = 0,54 \text{ Ом};$$

2-й вариант:

$$2 \times 0,15 + 2 \times 0,5 \times 0,12 + 75 \times 0,042 = 3,57 \text{ Ом}.$$

Параметры КУ тяговой подстанции Шумерля:

сопротивление конденсаторной батареи 1-й ступени: $X_{c1} = 196$ Ом,

сопротивление конденсаторной батареи 2-й ступени: $X_{c2} = X_{c1} + X_{c2}$, где $X_{c2} = 73,5$ Ом.

Для реактора ФРОМ-35 индуктивность 107 мГн, а для пускового резистора БЕТЭЛ – сопротивление $R = 80$ Ом.

При уменьшении числа поездов на рассматриваемой межподстанционной зоне (то есть при снижении тяговой нагрузки) повышается напряжение на шинах КУ, и возникает потребность в снижении мощности КУ, что и выполняется путем переключения ступеней КУ.

Проведение расчетов по программе

Переходный процесс в цепи на всех этапах формируется следующими уравнениями.

Условия для ключей.

$$T1 := 0.066 \quad T2 := 0.16 \quad T3 := 0.30626 \quad T4 := T3 + 0.02 \quad T5 := 0.45$$

$$R(t) := \begin{cases} 80 & \text{if } t \leq T1 \\ 10^4 & \text{if } T1 \leq t \leq T2 \\ 80 & \text{if } T2 \leq t \leq T6 \\ 10^4 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$r(t) := \begin{cases} 10^5 & \text{if } T3 \leq t \leq T5 \\ 0.2 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$C22(t) := \begin{cases} C2 & \text{if } 0 \leq t \leq T4 \\ 10 & \text{otherwise} \end{cases}$$

Дифференциальные уравнения в форме Коши.

$$x := \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \quad D(t, x) := \begin{pmatrix} \frac{u(t) - r \cdot x_0 - x_3 - R(t) \cdot x_1}{L} \\ \left(\frac{u(t) - r \cdot x_0 - x_3 - R(t) \cdot x_1}{L} \right) - \frac{R(t) \cdot x_1 - x_4 - r(t) \cdot x_2}{L_p} \\ \frac{R(t) \cdot x_1 - x_4 - r(t) \cdot x_2}{L_p} \\ \frac{x_0}{C1} \\ \frac{x_2}{C22(t)} \end{pmatrix}$$

$$t := 0, 0.001 \dots 1 \quad Z := \text{rkfixed}(x, 0, 1, 800000, D) \quad n := 0, 10 \dots 800000$$

$$t_n := Z_{n,0} \quad i_n := Z_{n,1} \quad i1_n := Z_{n,2} \quad i2_n := Z_{n,3} \quad uc1_n := Z_{n,4} \quad uc2_n := Z_{n,5}$$

В указанных уравнениях приняты следующие обозначения:

$u(t) := \sqrt{2} \cdot U \cdot \sin(\omega \cdot t + \Psi)$ – мгновенное значение напряжения питающей сети;

r, L – суммарное активное и индуктивное сопротивление цепи;

L_p – индуктивность реактора;

C_1 – емкость первой секции конденсаторной батареи;

C_2 – емкость второй секции конденсаторной батареи;

$x_0 = i$ – общий ток цепи;

$x_1 = i_1$ – ток, протекающий через пусковой резистор;

$x_2 = i_2$ – ток, протекающий через вторую секцию конденсаторной батареи и реактор;

$x_3 = u_{c1}$ – напряжение на первой секции конденсаторной батареи;

$x_4 = u_{c2}$ – напряжение на второй секции конденсаторной батареи;

R – сопротивление пускового резистора;

$R(t)$ – функция резистора R , отражающая состояние резистора R (9) при работе выключателя (10).

Для выяснения степени перенапряжений и повышенных бросков

тока при коммутации ступеней КУ проведен компьютерный эксперимент с использованием интегрированного пакета MATHCAD [4]. При этом процессы переключений КУ разделены на 6 этапов (рис. 4). Расчеты выполнены для 1-го варианта включения КУ на шины 25 кВ тяговой подстанции Шумерля.

1-й этап – включение КУ с первой (C1) и второй (C2) секциями выключателями 3 и 7 при включенном выключателе 10 (то есть при введенном пусковом резисторе R (9)).

2-й этап – выключение R выключателем 10 – переход в штатный режим работы КУ на первой ступени.

3-й этап – повторное включение R для подготовки переключения КУ на вторую ступень.

4-й этап – отключение конденсаторной батареи C2 (5) выключателем (7).

5-й этап – подключение реактора (8) путем включения выключателя (6) (в модели включается выключатель 7 при включенном выключателе (6)).

6-й этап – отключение резистора (9) выключателем (10) и выход на штатный режим работы КУ первой ступени.

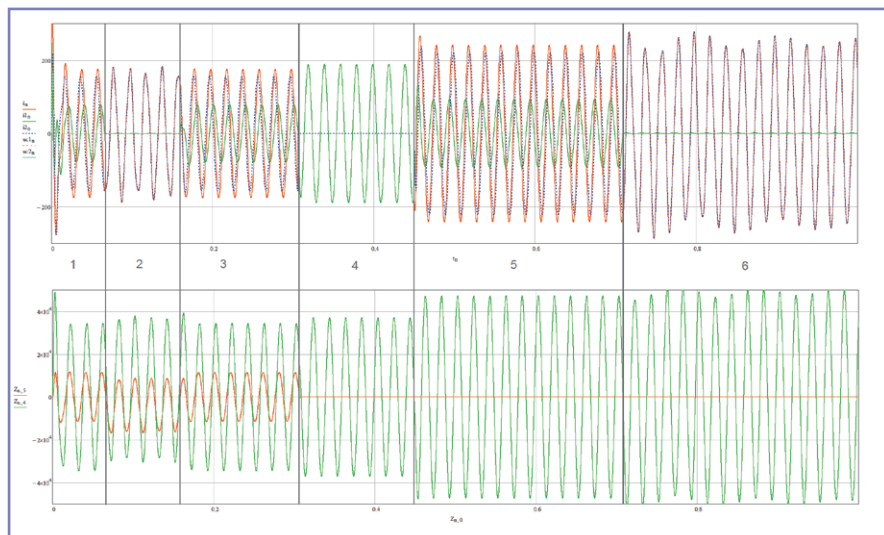


Рис. 4. Этапы переключений КУ в первом варианте:

а) токи в схеме, б) напряжения на секциях конденсаторной батареи.

На рис. 4 приняты следующие обозначения:

I_n – общий ток цепи (через секцию C1);

I_{1n} – ток, протекающий через пусковое сопротивление R;

I_{2n} – ток, протекающий через вторую секцию (C2) конденсаторной батареи и реактор;

$U_{n,4}, U_{c1}$ – напряжение на первой секции конденсаторной батареи;

$U_{n,5}, U_{c2}$ – напряжение на второй секции конденсаторной батареи.

Аналогично проведены расчеты для 2-го варианта КУ, включенной на консольный участок контактной сети (рис. 5).

По приведенным осциллограммам (рис. 4 и 5) получены следующие результаты расчета.

Принимаем на 6-м этапе наибольшие значения напряжений и токов в КУ в рабочем режиме, что соответствует установившемуся режиму работы первой ступени КУ наибольшей мощности. Тогда видно, что в остальных этапах работы КУ значения токов и напряжений будут меньше. Отсюда главный вывод исследований: схема переключений построена так, что при коммутации секций КУ токи и напряжения не будут превосходить установившиеся значения.

Переходные процессы при коммутации секций не превосходят одного периода. Поэтому задержки на переключение элементов схемы при коммутации с запасом можно принять от 0,04 с до 0,06 с.

Выводы

1. Предложена новая схема регулируемой двухступенчатой КУ в тяговой сети переменного тока 25 кВ, отличающаяся тем, что применены для переключения ступеней КУ вакуумные выключатели напряжением 10 кВ с повышенным рабочим ресурсом.

2. Разработан алгоритм расчета переходных процессов, отличающийся тем, что представлен единый цикл последовательных переключений для формирования заданного режима установки поперечной емкостной компенсации.

3. Проведенные расчеты с формированием осциллограмм токов и напряжений при коммутационных процессах переключения секций конденсаторной батареи доказали возможность работы предлагаемой схемы двухступенчатой КУ в режиме регулирования мощности.

Литература

1. Бородулин Б.М., Герман Л.А., Николаев Г.А. Конденсаторные установки электрифицированных железных дорог. – М.: Транспорт, 1983. – 183 с.
2. Герман Л.А., Серебряков А.С. Регулируемые установки емкостной компенсации в системах тягового электроснабжения железных дорог: учебное пособие. М.: ФГБОУ «Учебно-методический центр...», 2015. – 316 с.
3. Вакуумный выключатель ВВ/TEL-10. Руководство по эксплуатации. «Таврида Электрик», 2016. – 56 с.
4. Серебряков А.С., Шумейко В.В. MATHCAD и решение задач электротехники. Учебное пособие для вузов железнодорожного транспорта. М.: Маршрут, 2005. – 240 с.
5. Руководящие указания по релейной защите систем тягового электроснабжения. Департамент электрификации и электроснабжения. ОАО «РЖД». М.: «ТРАНСИЗДАТ», 2005. – 216 с.
6. Бородулин Б.М., Векслер М.И., Марский В.Е., Павлов И.В. Система тягового электроснабжения 2 x 25 кВ. М.: Транспорт, 1989. – 247 с.

Серебряков Александр Сергеевич

Родился в 1939 году. Окончил электротехнический факультет Нижегородского государственного технического университета им. Р.Е. Алексеева по специальности «Электрификация промышленных предприятий и установок» (1961 год). Защитил докторскую диссертацию на тему «Методы и средства диагностики изоляции электрических машин и аппаратов их защиты». Доктор технических наук, профессор кафедры «Электрификация и электроснабжение» Нижегородского фи-

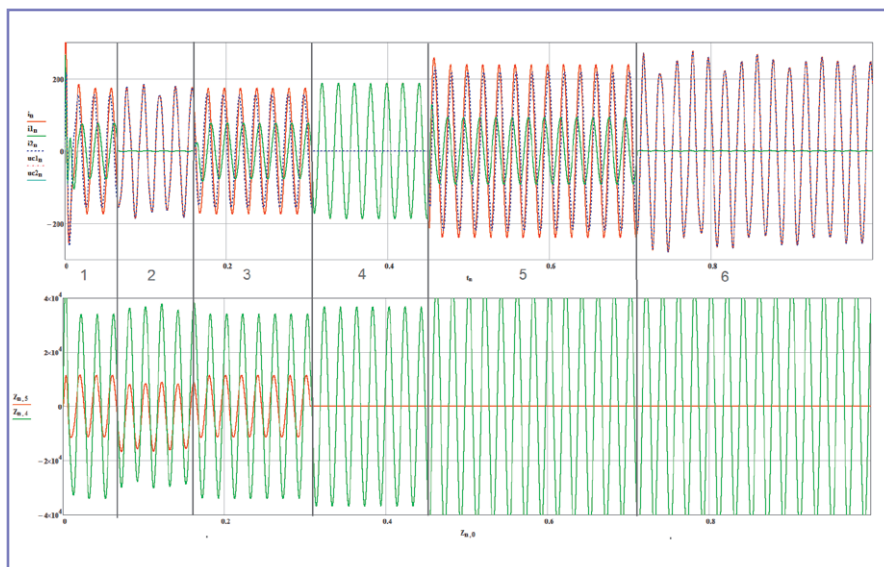


Рис. 5. Этапы переключений КУ во втором варианте:

а) токи в схеме, б) напряжения на секциях конденсаторной батареи.

лиала Московского государственного университета путей сообщения (МИИТ), член-корреспондент Академии электротехнических наук РФ. Автор более 300 научных работ, в том числе шести книг. Имеет 50 авторских свидетельств и патентов на изобретения.

Герман Леонид Абрамович

Родился в 1937 году. Окончил Московский институт инженеров транспорта (МИИТ) по специальности «Инженер путей сообщения – электромеханик» (1959 год). 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.

Якунин Денис Васильевич

Родился в 1980 году. В 2006 году окончил Московский государственный университет путей сообщения по специальности «Электроснабжение железных дорог». Опыт работы – 16 лет. В настоящее время работает главным инженером Арзамасской дистанции электроснабжения Горьковской железной дороги – филиала ОАО «РЖД». Имеет 6 статей и 4 патента.

Максимова Александра Альбертовна

Родилась в 1987 году. В 2008 году окончила Иркутский государственный университет путей сообщения по специальности «Электро-

снабжение железных дорог». Опыт работы – 8 лет. В настоящее время работает ведущим инженером проектного отдела ООО «Таврида Электрик СПб». Имеет 8 научных трудов, 4 полезные модели.

Маралова Виктория Алексеевна

Родилась в 1991 году. В 2013 году окончила Московский государственный университет путей сообщения (МИИТ) по специальности «Электроснабжение железных дорог». Опыт работы – 3 года. В настоящее время работает инженером I категории сектора эксплуатации службы электрификации и электроснабжения Горьковской дирекции инфраструктуры. Имеет 1 печатную работу.

Serebryakov Alexander

Was born in 1939. He graduated from the electrotechnical faculty of Nizhegorodskiy State Technical University named after P.I. Alkseev with specialization in «Motorization of industrial facilities and equipment» (1961). He defended a doctorate thesis on the subject «Methods and means of diagnostics of electrical machines insulation and their protection machines». He is a Doctor of Engineering Science, a professor at the department «Electrification and electrical supply» of the Nizhegorodskiy affiliate branch of Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), a corresponding member of the Russian Electrical Science Academy. Author of more than 300 scientific works, 50 inventions and patents.

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.

Yakunin Denis

Was born in 1980. In 2006 he graduated from Moscow State Railway Transport University, speciality is «Railway road power supply». He has 16 years work experience. At present he works as the head of repair-revision section of Arzamas power supply section of Gorky railroad – JSC «RZD» branch. He has 6 articles and 4 patents.

Maksimova Alexandra

Was born in 1987. In 2008 she graduated from Irkutsk State Transport University with specialization in «Electrical supply of railroads». She has 8 years of work experience. At present she works as principal engineer of the design department in «Tavrida Electric SPb» LCC. She has 8 scientific works, 4 useful models.

Maralova Viktoriya

She was born in 1991. In 2013 she graduated from Moscow State Railway University majoring in «Electricity supply of railway». She has 3 years of work experience. At present she works as first category engineer of the electrification and power supply service department of Gorky infrastructure central office. She has one published paper.

Продление срока эксплуатации силовых трансформаторов при реконструкции тяговых подстанций переменного тока железных дорог

// Extending the life of power transformers in the reconstruction of traction substations ac railways //

Воприков А.В.,
Дальневосточный государственный университет путей сообщения,
г. Хабаровск

В статье рассмотрена математическая модель износа изоляции обмоток силовых трансформаторов тяговых подстанций железных дорог переменного тока, которая учитывает неравномерность износа изоляции обмоток по фазам трансформаторов. Модель позволяет выполнить анализ износа изоляции обмоток и определить мероприятия, направленные на продление срока эксплуатации трансформаторов. Продление срока эксплуатации трансформаторов выполнено снижением интенсивности износа изоляции обмотки с наибольшим износом за счет их подключения по новой схеме, которое осуществляется по алгоритму присоединения вводов трансформаторов к распределительным устройствам тяговой подстанции.

Ключевые слова: система тягового электроснабжения железных дорог переменного тока 25 кВ, силовые трансформаторы, срок эксплуатации, износ изоляции обмоток, реконструкция подстанции.

Силовые трансформаторы – основное и наиболее дорогостоящее оборудование тяговых подстанций. Их стоимость составляет более 50% от стоимости оборудования подстанции. Около 81% силовых трансформаторов отработали нормативный срок службы [1]. В условия превышения предельно допустимого износа изоляции обмоток неудовлетворительная диэлектрическая прочность приводит к их отказу и выходу из строя трансформатора [2].

При общепринятом подключении силовых трансформаторов подстанций переменного тока 25 кВ изоляция обмоток изнашивается неравномерно [3]. Учет неравномерности износа изоляции обмоток предложено осуществлять при пофазном его контроле [4]. В работе [4]

The paper presents a mathematical model of the wear of winding insulation of power transformers traction substations AC railways, which takes into account the uneven wear of winding insulation for transformer phases. Extending the life of transformers is made decrease the intensity of wear of winding insulation with the most wear and tear. The corresponding winding connected to the switchgear under the new circuit with the minimum of wear intensity. Connecting transformers in the new circuit on the basis of the algorithm inputs connecting it to the switchgear of the higher, the traction and district voltage substation.

Keywords: traction power supply system of railways AC 25 kV, power transformers, service life, deterioration of winding insulation, substation reconstruction.

доказано, что при общепринятой схеме подключения силовых трансформаторов к распределительным устройствам тяговых подстанций обмотка с наибольшим износом изоляции может быть AX или CZ, при этом износ изоляции обмотки BY минимален.

В работе [5] профессором В.П. Васиним представлена закономерность износа изоляции обмоток с учетом основных механизмов ее старения (пиролиз, гидролиз и окисление). На основе [5] получена уточненная математическая модель пофазной оценки износа изоляции обмоток силовых трансформаторов тяговых подстанций переменного тока 25 кВ, которая для обмоток высшего напряжения представлена следующими уравнениями (1):

$$\left. \begin{aligned} L_{AX} &= \sum_{i=1}^m \exp \left[\ln 2 \cdot (\theta_{AX} - 98) / \Delta + \alpha \cdot \ln (w / w_{\text{баз}}) + \beta \cdot \ln (K_{\text{к.ч}} / K_{\text{баз}}) + \gamma \cdot \ln (C_{O_2} / C_{O_2 \text{ баз}}) \right] \cdot \Delta t \\ L_{BY} &= \sum_{i=1}^m \exp \left[\ln 2 \cdot (\theta_{BY} - 98) / \Delta + \alpha \cdot \ln (w / w_{\text{баз}}) + \beta \cdot \ln (K_{\text{к.ч}} / K_{\text{баз}}) + \gamma \cdot \ln (C_{O_2} / C_{O_2 \text{ баз}}) \right] \cdot \Delta t \\ L_{CZ} &= \sum_{i=1}^m \exp \left[\ln 2 \cdot (\theta_{CZ} - 98) / \Delta + \alpha \cdot \ln (w / w_{\text{баз}}) + \beta \cdot \ln (K_{\text{к.ч}} / K_{\text{баз}}) + \gamma \cdot \ln (C_{O_2} / C_{O_2 \text{ баз}}) \right] \cdot \Delta t \end{aligned} \right\}, \quad (1)$$

где θ_{AX} , θ_{BY} и θ_{CZ} – температура в наиболее нагретых точках ($T_{\text{ннт}}$) обмоток высшего напряжения AX, BY и CZ, °C; w – влагосодержание в изоляции, %; $K_{\text{к.ч}}$ – кислотное число масла, мг КОН/г; C_{O_2} – концентрация кислорода в масле, %; $w_{\text{баз}}$, $K_{\text{баз}}$ и $C_{O_2 \text{ баз}}$ – базовые значения w , $K_{\text{к.ч}}$ и C_{O_2} ; α , β , γ – показатели степени; Δ – температурный интервал, при изменении на который износ изоляции обмоток изменяется в два раза; i – порядковый номер измерения, $i = 1, 2 \dots m$; m – количество измерений износа изоляции обмоток; $m = T / \Delta t$; T – время эксплуатации трансформатора.

Для определения фактического износа изоляции обмоток силовых трансформаторов разработана система тягового электроснабжения, содержащая устройство пофазного контроля износа изоляции обмоток [6]. Предложенная система является перспективной для современных подстанций, оборудованных системами мониторинга, установленной с начала эксплуатации трансформатора. Относительный износ изоляции обмоток силовых трансформаторов в работе [7] предложено определять по расходу электрической энергии плеч питания подстанции.

Рассмотрим методику продления срока эксплуатации действующих силовых трансформаторов при реконструкции тяговых подстанций. При оставлении действующих силовых трансформаторов тяговых подстанций продление срока эксплуатации предлагается за счет использования остаточного ресурса изоляции обмотки BY. Выбор схем подключения трансформатора пред-

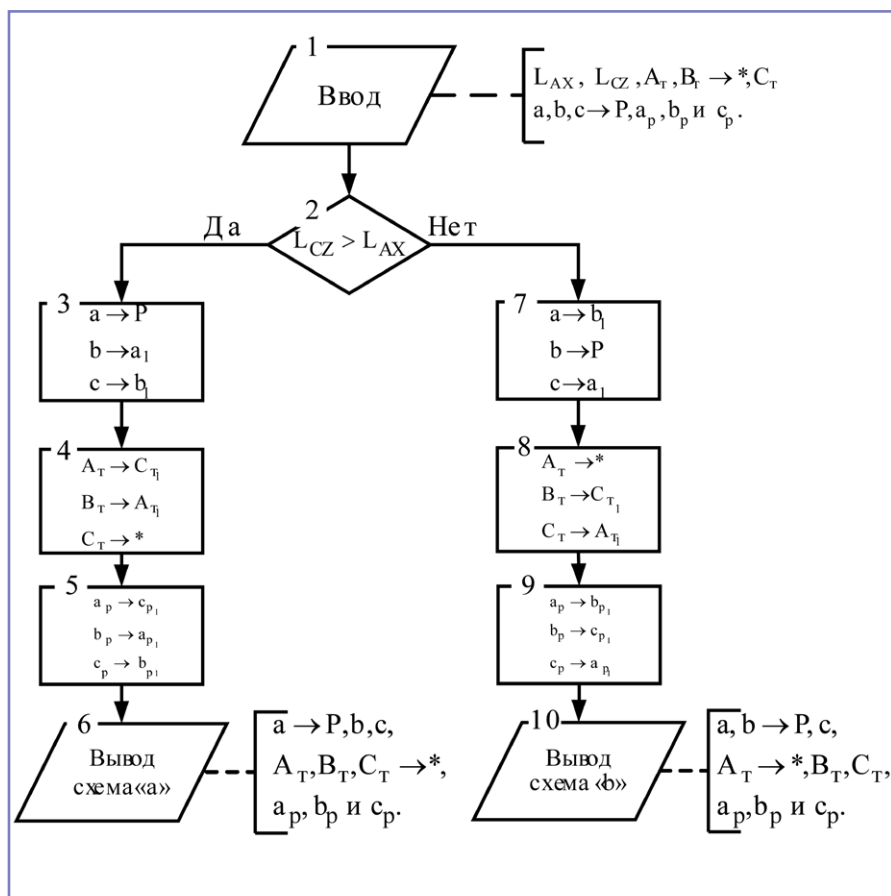


Рис. 1. Блок-схема алгоритма присоединения вводов трансформатора к распределительным устройствам.

Таблица 1. Содержание блоков алгоритма присоединения вводов трансформаторов к распределительным устройствам тяговых подстанций.

Номер блока	Содержание блоков
1	Исходные данные. Износ изоляции обмоток AX и CZ (L_{AX}) и (L_{CZ}); присоединение вводов трансформатора к фазам ЛЭП, тяговой и районной сетям. Вводы обмоток высшего напряжения A_m и C_m присоединены к фазам ЛЭП, питающим левое и правое плечи подстанции, ввод B_m – к наименее загруженной фазе ЛЭП ($B_T \rightarrow *$). Вводы тяговых обмоток a и b присоединены к контактной сети левого и правого плеч, а ввод c соединен с рельсовой сетью ($c \rightarrow P$). Вводы обмоток районного напряжения a_p , b_p и c_p присоединены к фазам районных ЛЭП
2	Определение обмотки с максимальным износом изоляции
3 (7)	Присоединить вводы тяговых обмоток a , b и c по новой схеме к тяговой сети транспозицией соединителей с распределительным устройством 27,5 кВ
4 (8)	Присоединить вводы обмоток высшего напряжения A_m , B_m и C_m по новой схеме к фазам ЛЭП транспозицией соединителей с распределительным устройством 220 (110) кВ
5 (9)	Присоединить вводы обмоток районного напряжения a_p , b_p и c_p по новой схеме к фазам ЛЭП транспозицией соединителей с распределительным устройством 35 (10) кВ
6 (10)	Вывод присоединения вводов высшего напряжения к фазам ЛЭП, тяговой и районной сетям по новым схемам, снижающим интенсивность износа изоляции обмотки AX или CZ

ставлен блок-схемой алгоритма (рис. 1). Содержание блоков алгоритма приведено в таблице 1.

Подключение вводов оставляемых в работе силовых трансформаторов к распределительным устройствам тяговых подстанций по разработанному алгоритму обеспечивает продление срока эксплуатации за счет снижения интенсивности износа изоляции обмотки с наибольшим износом. При этом сохраняются наименее загруженная фаза ЛЭП, напряжение левого и правого плеч питания тяговой подстанции ($\dot{U}_l$ и $\dot{U}_p$) и фаз районной ЛЭП (A_p , B_p и C_p) исходной схемы подключения.

Транспозиция соединителей вводов силовых трансформаторов и распределительных устройств тяговой подстанции на примере подключения трансформатора по новой схеме, снижающей интенсивность износа изоляции обмотки CZ, показана на рис. 2.

В соответствии с алгоритмом присоединения вводов силовых трансформаторов к распределительным устройствам тяговых подстанций были получены новые схемы подключения для действующих силовых трансформаторов тяговых подстанций реального участка железной дороги. Новые схемы подключения трансформаторов подстанций позволяют продлить срок их эксплуатации по износу изоляции обмоток на 6%.

Результаты оценки экономической эффективности новых схем подключения силовых трансформаторов показали, что условно-годовая экономия приведенных затрат для трансформатора типа ТДТНЖ-40000/220/27,5/10 с учетом отказов по износу изоляции обмоток составляет около 340 тыс. руб./год.

Выводы

Представленная математическая модель износа изоляции обмоток позволяет определять неравномерности износа изоляции обмоток силовых трансформаторов системы тягового электроснабжения железных дорог переменного тока 25 кВ.

Разработанный алгоритм присоединения вводов силовых трансформаторов к распределительным устройствам при реконструкции подстанций системы тягового электроснабжения железных дорог переменного тока 25 кВ обеспечивает продление срока эксплуатации трансформаторов.

Технологические аспекты зарядной инфраструктуры для электромобилей

// Technological aspects of the charging infrastructure for electric vehicles //

**Оспанбеков Б.К.,
Голубчик Т.В., к.т. н.,
Сидоров К.М., к.т. н.,
Московский автомобильно-дорожный государственный
технический университет (МАДИ), г. Москва**

В статье рассмотрены основные стандарты зарядки электромобилей. Описаны различия в стандартах, а также география их применения. Проведен обзор наиболее крупных фирм, занимающихся внедрением зарядной инфраструктуры, а также их продуктов. Показана топология управления зарядными станциями, установленными в местах парковок. В рассмотренных зарядных станциях были применены различные исполнения для установки.

Ключевые слова: инфраструктура, электромобиль, зарядная станция, режим заряда, стандарт, быстрая зарядка.

The article deals with the basic standards of electric charging. Describes the differences in standards, as well as the geography of their application. The largest companies that involved in the implementation of charging infrastructure and their products was reviewed. In this paper shown control topology charging stations that installed in the parking areas. Different versions have been used in the charging station to be installed.

Keywords: infrastructure, electric vehicle, charging station, charging mode, standard, fast charging.

На сегодняшний день мир столкнулся с актуальной задачей, связанной с сокращением выбросов углекислого газа (CO_2). Руководство большинства городов и регионов по всему миру готово идти к сотрудничеству и глобальному партнерству для достижения целей, направленных на сокращение выбросов CO_2 на 80% к 2050 году [1].

Помимо этого, большинство городских районов сталкивается с проблемами качества воздуха и нарушением норм шума. Во многих мегаполисах для реализации нулевых выбросов и шумовых требований необходимо внедрение новых технологий, большинство из которых уже развивается достаточно быстрыми темпами.

Электрические транспортные средства позволяют обеспечить новые уникальные решения для реализации этих технологий и уверенность в том, что потребители будут иметь доступ к необходимой зарядной инфраструктуре.

Первый опыт практического использования электромобилей показал, что прямое подключение к бытовой сети

крайне негативно сказывается на состоянии бытовой сети (перегрев/оплавление внутренней проводки), а также на поведении электрических приборов в момент включения/выключения электромобиля в сеть.

По этим причинам для обеспечения надежной эксплуатации электромобилей в городских условиях без влияния на уже существующую городскую сеть необходимо внедрение высокотехнологичной зарядной инфраструктуры.

Использование стационарных зарядных станций позволяет:

- избежать всех вышеуказанных негативных последствий;
- повысить скорость и качество зарядки электромобиля;
- снизить риск возникновения пожароопасных ситуаций.

Применяемые стандарты для зарядных станций

Существуют различные технологии для заряда батарей для электромобилей. При их проектировании должны применяться следующие стандарты:

японский стандарт CHAdeMO, стандарт SAE 1772, разработанный Обществом автомобильных инженеров (данный стандарт применяется, в основном, в США) и стандарт IEC (Международной энергетической комиссии), который используется, в основном, в Европе, России и Китае. Следующей технологией являются станции быстрой зарядки постоянным током. Уже существуют три стандарта быстрой зарядки: CHAdeMO, который в настоящее время наибольшим спросом пользуется в США по причине высоких продаж электромобиля Nissan Leaf, стандарт SAE J1772 combo (BMW, Ford, GM) и зарядная станция TESLA Supercharger, которая имеет свой собственный Combo-коннектор.

Стандартные зарядные станции:

- CHAdeMO (mode 1, 2, 3, 4), Япония;
- SAE 1772 (level 1, 2, 3), США;
- IEC 61851 (mode 1, 2, 3, 4), Европа, Китай.

Станции для быстрой зарядки:

- CHAdeMO DC;
- SAE 1772 «Combo»;
- Tesla Supercharger.

Станции экспресс-замены батарей:

- Better Place.

На сегодняшний день в большинстве стран мира используют станции быстрой зарядки CHAdeMO, и каждый месяц в эксплуатацию вводится более ста дополнительных единиц этой продукции. В Европе уже установлено около 900 станций быстрой зарядки CHAdeMO, и их число продолжает неуклонно расти (рис. 1). Стандарт CHAdeMO определяет процесс зарядки, происходящий между электромобилем и зарядным устройством, оставляя все остальные аспекты производителю. За основу был взят в первую очередь вопрос о безопасности процесса заряда и взаимодействии между зарядным устройством и аккумуляторной батареей. Область стандартизации ограничена строгим минимумом [2].

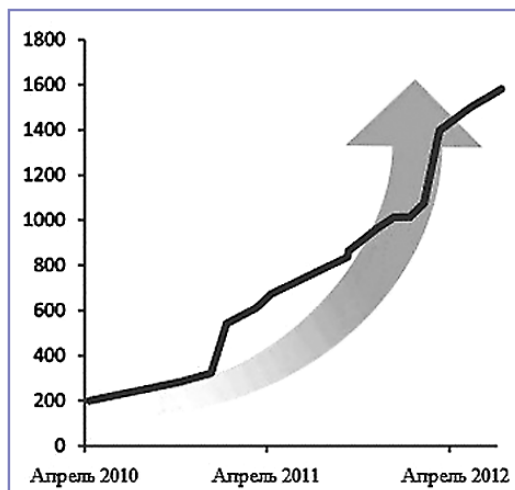


Рис. 1. Темпы роста числа быстрых зарядных станций для электромобилей фирмы CHAdeMO.

Остальные дополнительные опции остаются открытыми, и производитель может их изменять, при этом ориентируясь на конкретный регион и условия эксплуатации зарядной станции. Это позволяет производителям внедрять новые технологии при производстве зарядных станций, а также стимулирует рост рынка зарядных устройств.

Одним из крупнейших производителей зарядных станций для электромобилей является компания ABB. Компания поддерживает все стандарты по зарядке электромобилей и предлагает широкий спектр предложений и решений для любого типа расположения зарядного устройства. Зарядные станции выпускаются модельным рядом абсолютно для всех стандартов под названием Terra (рис. 2). Время зарядки составляет 15–30 минут. Все зарядные устройства ABB снабжены специальным сервисным аппаратом, который позволяет находить зарядную станцию с помощью мобильных приложений, а также производить платежи при помощи карт оплаты либо напрямую через Интернет. Модель 53 CJG является универсальным зарядным устройством, которое совместимо со стандартом CHAdeMO, CCS и Mode 2.

Зарядные станции Terra 23 заряжают автомобили, совместимые со стандартом CCS. Мощность зарядной станции составляет 20 кВт, устройство легко монтируется в различных местах. Время зарядки варьируется в диапазоне от 30 до 120 минут без необходимости промышленных мощностей [3].

Следующим крупным производителем зарядных станций является компания Aerovironment. Компания произво-



Рис. 2. Семейство зарядных станций Terra.

дит линейку зарядных станций, предназначенных для электромобилей Nissan leaf, BMW Active E, Mitsubishi I-MiEV и других известных моделей. Основными моделями являются EVSE-RS, EVSE-RS plug in и EVSE-RS+, отличающиеся назначением в зависимости от типа электромобиля.

Зарядная станция EVSE-RS заряжает электромобили, которые совместимы со стандартом SAE J1772. Данные зарядные станции реализуются в трех исполнениях: зарядная станция с одним, двумя и четырьмя портами (рис. 3).

Одна из наиболее технологичных моделей – EVSE-RS+, которая является интеллектуальной зарядной станцией. Она способна взаимодействовать с сетью, позволяя потребителю контро-

лировать время и способ зарядки, что обеспечивает минимизацию расходов на коммунальные услуги. Кроме этого, станция производит зарядку, когда нагрузка на сеть минимальна. При достижении максимальной нагрузки на сеть зарядная станция приостанавливает зарядку. Кроме этой станции фирмой выпускаются станции для быстрой зарядки, модели EV50-PS, EV125-PS, EV250-PS, которые, соответственно, имеют мощности 50, 125, 250 кВт. Данные станции позволяют водителю зарядить батарею в течение нескольких минут [4].

Компания Schneider Electric является одним из самых крупных мировых производителей электронных компонентов. Она является партнером таких проектов, как Save и ISSYGRID, направленных на создание зарядной сети по всему



Рис. 3. Модельный ряд зарядных станций Aerovironment:

1 – одиночная зарядная станция EVSE-RS «SINGLE»; 2 – двойная зарядная станция EVSE-RS «DUAL»; 3 – зарядная станция с четырьмя портами EVSE-RS «QUAD»; 4 – быстрая зарядная станция EV50-PS; 5 – зарядная станция EV-125 PS для автопарков служб доставки, городского электротакси, муниципального транспорта и др.; 6 – зарядная станция для подключаемых гибридов EVSE-RS Plug-in.



Рис. 4. Модельный ряд компании Schneider Electric.

миру. На рис. 4 показаны два исполнения зарядных устройств: первое – с фиксированным кабелем, второе – без него.

Зарядные станции, предназначенные для частного пользования, устанавливаются в гараже. Мощность зарядного устройства может быть уменьшена автоматически посредством специального устройства сравнения, позволяющего избежать скачков напряжения при включении дополнительных потребителей. Зарядка может быть полностью прекращена в часы пик и работать на максимуме в ночное время, когда нагрузка на сеть минимальна. Для обеспечения оптимальной работы электрическая сеть должна иметь определенные характеристики.

Зарядные станции настенного исполнения также могут уменьшить мощность заряда от 3,7 до 2,3 кВт и от 7,4 до 3,7 кВт путем отключения зарядной

станции от сети. В данной модели также используются два исполнения: первое – со встроенным кабелем и розеткой для подключения к электромобилю, второе – только с розеткой, требующее дополнительного двухстороннего кабеля.

Используемая на парковках модель – это независимая зарядная станция, которая может быть использована в модуле с несколькими зарядными станциями и может автоматически управляться от одного блока управления. Сеть станций имеет защиту на входе, и потребление каждой станции может быть измерено (рис. 5).

Помимо этой архитектуры, также есть технические решения по управлению зарядными станциями для большого парка электромобилей. В такой топологии используются PLC-контроллер и Ethernet-соединение либо GPRS-модем, необходимые для обновления программного

обеспечения, определения нагрузки, а также оповещения водителя о том, что зарядная станция свободна (рис. 6). Диапазон мощностей каждой зарядной станции варьируется от 7,4 до 22,1 кВт. Возможно использование как однофазной, так и трехфазной сети. Имеются два исполнения: первое – напольное, второе – настенное. Общее количество розеток может достигать 30 штук.

Последней моделью является станция для быстрой зарядки EVlink Fast Charge, которая предназначена для ускоренной зарядки аккумуляторной батареи электромобиля мощностью 20 кВт до 80% за 30 минут. Данные станции предназначены для сервисных центров, автостоянок и подземных парковок бизнес-центров [5].

Выводы

При определении уровня стандартизации протокола CHAdeMO основное внимание уделялось IT-услугам, встроенным устройствам телеметрии и навигации, позволяющим определять местоположение и степень загруженности зарядной станции. Помимо стандарта CHAdeMO существует международный стандарт J1772 Combo, разработанный Ассоциацией автомобильных инженеров. Как и у CHAdeMO, этот стандарт предполагает зарядку аккумуляторной батареи для электромобиля за 20 минут до 80%. Противостояние стандартов может, с одной стороны, замедлить процесс развития зарядной инфраструктуры, а с другой – уровень конкуренции может увеличить инвестиции в рынок и позволит ускорить процесс внедрения. Авто-

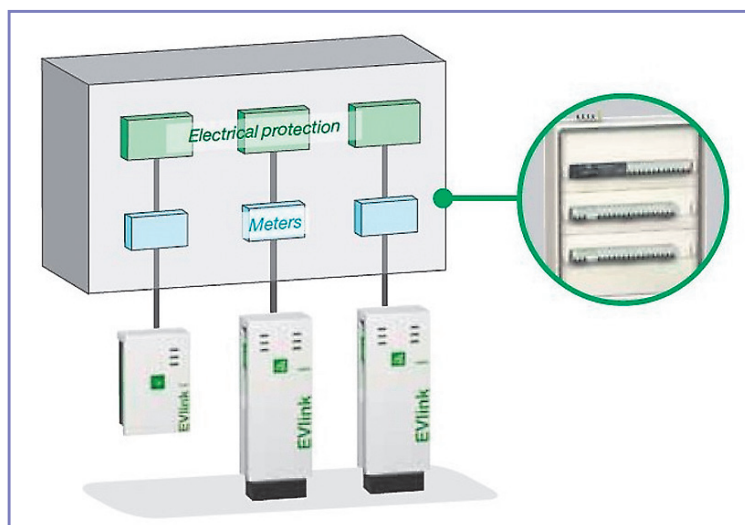


Рис. 5. Архитектура управления зарядными станциями в местах парковок.

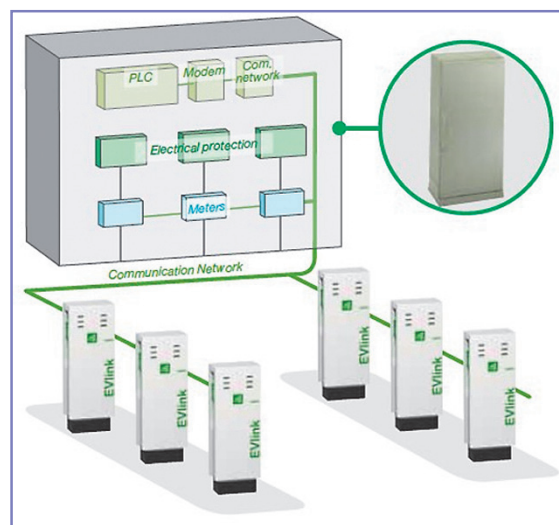


Рис. 6. Архитектура управления зарядными станциями в автопарке.

производителями, представляющими стандарт CHAdeMO, являются японские автокомпании, такие как Nissan Motor Co, Mitsubishi Motors и Toyota Motor Co. Представителями стандарта SAE Combo являются General Motors Co, Ford Motor Co, Volkswagen Group и BMW AG [6].

Кроме этих стандартов, были сделаны попытки внедрить кардинально другие технологии. Компания Better Place обещала развертывание электроомобильной инфраструктуры, опирающейся на замену батареи. На сегодняшний день этот проект не выглядит отчетливо в глазах контролеров.

Литература

1. United Nations Climate Change Conference, Copenhagen, Denmark, 2009.
2. Why CHAdeMO is implemented by so many? // Role of fast charging // ChadeMO prospects [электронный ресурс] URL: <http://www.chademo.com/wp/role/prospects/> [дата обращения – 07.12.14].
3. Global product offering // ABB GLOBAL SITE [электронный ресурс] URL: <http://new.abb.com/ev-charging/full-global-portfolio> [дата обращения – 07.12.14].
4. EV Charging products // Product Resources and Guides [электронный ресурс] URL: <http://evsolutions.avinc.com/products/> [дата обращения – 07.12.14].
5. Giving energy to the future // EV Charging Solution // Shneider Electric catalogue // Joseph Monier, Schneider Electric Industries SAS [электронный ресурс] URL: <http://www.schneider-electric.co.uk/sites/uk/en/products-services/electrical-distribution/products-offer/ev-link-charging-solutions/residential-charging->

[solutions/ev-link-residential-garage.page#](#) [дата обращения – 07.12.14].

6. Сидоров К.М. Состояние проблемы реализации гибридных силовых установок на автотранспорте / В.Е. Ют, К.М. Сидоров, Т.В. Голубчик // Электроника и электрооборудование транспорта. – 2011. – № 2.

Оспанбеков Бауржан Кенесович

Родился в 1990 году. В 2014 году окончил МАДИ по специальности «Электроэнергетика и электротехника». В настоящее время работает инженером-конструктором первой категории в ООО «Инновационный центр КАМАЗ».

Голубчик Тимофей Владимирович

Родился в 1984 году. В 2007 году окончил МАДИ по специальности «Электрооборудование автомобилей и тракторов». Кандидат технических наук, в 2010 году защитил диссертацию по теме «Выбор параметров комбинированной энергетической установки автомобилей с применением математического моделирования». Имеет 10-летний опыт работы. В настоящее время работает доцентом на кафедре «Электротехника и электрооборудование» Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). Имеет 26 печатных работ, в том числе 1 патент.

Сидоров Кирилл Михайлович

Родился в 1983 году. В 2007 году окончил МАДИ по специальности «Электрооборудование автомобилей и тракторов». Кандидат технических наук, в 2010 году защитил диссертацию по теме «Энергетическая и топливная эффективность автомобилей с гибридной силовой установкой». Имеет 9-летний опыт работы.

В настоящее время работает доцентом на кафедре «Электротехника и электрооборудование» Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). Имеет 21 печатную работу, 1 патент.

Оспанбеков Бауржан

He was born in 1990. In 2014 he graduated from MADI, speciality is «Electrical energy industry and electric engineering». At present he works as a first category design engineer in Innovation Center KAMAZ Ltd.

Golubchik Timofey

Was born in 1984. In 2007 he graduated from MADI, speciality is «Car and tractor electric equipment». He is a candidate of technical science, in 2010 he defended a thesis, the theme is «Parameter choice of car combined power generating system with the use of mathematical modelling». Work experience is 10 years. At present he is an associate professor in the «Electrical engineering and equipment» department of Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI). He has 26 printed works, 1 patent.

Sidorov Kirill

Was born in 1983. In 2007 graduated from MADI, speciality is «Automobile and tractor electric equipment». Candidate of engineering, in 2010 he defended a thesis, the theme is «Power and fuel efficiency of automobiles with hybrid power unit». He has 9-years experience. At present he is working as docent of «Electro technology and electric equipment» department in Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI). He is the author of 21 printed works, 1 patent.

Моделирование динамики мехатронной платформы с лазерным координатором ориентирования судна на створ

// Simulation of the mechatronic system based on laser tracking system intended for navigational transit purposes //

Деева В.С., к.т. н., Ивойлов Е.В.,
Слободян С.М., д.т. н., профессор,
Цупин А.А., к.т. н.,

Омский государственный технический университет, г. Омск

Важная характеристика лазерных систем ориентирования транспортных средств – пространство наблюдения, в пределах которого следует обнаружить искомый маяк или створ. Узкая диаграмма направленности лазерного излучения является сильным и весомым фактором, который затрудняет скорость ориентирования и автоматического выхода, например, корабля или судна на опорное направление движения, указываемое лазерным маяком или створом, в пространстве их ориентирования. Для увеличения пространства наблюдения лазерные координаторы устанавливают на многокоординатные динамические платформы. Проведен анализ модели многокоординатной динамической платформы и исследована возможность ее применения для расширения функциональных возможностей лазерного координатора ориентирования подвижного объекта на лазерный створ.

Ключевые слова: моделирование, эффективность, мехатронная платформа, модель, оценка, грубое наведение, лазер, управление, пространство, координатор, слежение.

Ввиду большой плотности потоков движения транспортных средств на суше и в водных акваториях для развития автоматических (беспилотных) и автоматизированных транспортных средств процедура их ориентирования, обнаружения и измерения координат других объектов в окружающем пространстве широко распространена [1–5]. Она жизненно необходима для успешного выполнения движения по заданной или требуемой траектории, с уточнением местонахождения или ориентирования в текущий момент

High interference immunity due to precise directionality and monochromatic radiation is the important benefit of the optical, laser and LED systems. However, the predominant features of the optical and laser amplifiers, and today's optical emission source, lead to some trouble. For example, high intensity precise directional electromagnetic radiation is factored into the test program with the use of a portable high-precision system. The most significantly factor is that laser targeting is used for the detection and tracking of dynamic objects of any shapes. However, the moving objects are the short-term objectives or are positioned in the field of vision wider than the laser beam size. Also we investigate, using computational modeling and simulation, the potential of the kD-motion platform to expand the field of vision of the laser systems and we receive influence from other variables.
Keywords: simulation, efficiency, dynamic platform, model, estimation, rough guidance, laser, control, space, guidance system, tracking.

времени, иногда с возможностью проведения операций взаимного наведения и стыковки средств, но чаще – для обеспечения безопасности движения. Современные требования к технике измерения координат подвижных средств весьма высоки [4–5]. Увеличение массы и габаритов подвижных объектов требует повышения точности ориентирования и наведения в процессе их сближения (для безопасности стыковки).

Для наведения и ориентирования объектов в окружающем пространстве, в том числе автономных и беспилотных

средств, кроме радиотехнических используют лазерные системы, в том числе с двумерным и телевизионным принципами оценки пространства ориентирования [3–23]. Лазерные системы отличаются меньшей массой и габаритами, большей точностью и разрешающей способностью, хорошей помехозащищенностью ввиду малой длины волны, высокая монохроматичность и узкая диаграмма направленности лазерного (светодиодного) излучения. Однако узкая диаграмма направленности лазерного излучения в крупномасштабной сфере пространства ориентирования является сильным фактором, существенно затрудняющим быстрое действие в оценке ситуации [3–6].

Оптические и лазерные автоматические системы (координаторы), выполняющие сначала сканирование пространства наблюдения для обнаружения в нем искомого объекта с последующим переходом в режим слежения за его перемещением, в наибольшей мере соответствуют решению беспилотных задач [6–23]. Принципиальная особенность автоматических и беспилотных средств [3–6] – необходимость осуществления процедуры обнаружения искомого объекта на начальном этапе работы. Это определяет их способность к переходу в режим слежения, контроля и управления объектом и процессом наведения и ориентирования. Для этого типа средств, оснащенных светодиодными и лазерными следящими системами (координаторами), важно обеспечение наибольшей эффективности на начальном этапе работы, именуемом режимом поиска и обнаружения [8, 7, 12–18, 23]. Требования к режиму поиска и обнаружения [6, 23] характеризуются целью достижения наилучших вероятностных показателей обнаружения при наивысших чувствительности, помехозащищенности, точности, быстродействии. В конечном итоге эффективность лазерных систем определяется качеством их реализации и степенью оптимизации их

параметров. Для увеличения размеров поля наблюдения при поиске маяков и створа ориентирования транспортного средства лазерные системы устанавливаются на мехатронные платформы [5–7]. Принципиально такие платформы могут быть выполнены на широкой номенклатуре элементов, использующих разные физические принципы [4–14, 22, 25–34]. Платформы – силовые узлы, предназначенные для перемещения в пространстве технических устройств. Их часто выполняют на элементах, в основе работы которых лежат базовые принципы пьезоэлектричества [24–26], электрических и электромеханических явлений [1–2, 27–28]. Чаще используют физические явления, вызванные действием электрического и магнитного полей, возникающих при протекании электрического тока управления состоянием элементов отдельных приводов.

Для оценки способности программного подхода как имитатора решения такой задачи, использующей обобщенное представление структурных схем компоновки известных типов, в том числе отечественных мехатронных платформ, ниже исследована возможность применения для грубого наведения лазерной системы ориентирования на объект (лазерный маяк) многокоординатной динамической платформы [4–6].

Цель исследования включала разработку метода имитационного моделирования микропроцессорной (МП) мехатронной системы управления подвижной платформой с лазерным координатором ориентирования – системой обнаружения и слежения за лазерным створом на базе рекомендованных операционной средой известных средств разработки встроенного программного обеспечения серии процессоров [19–20, 29–34]. При этом Simulink [30] служит основой проектирования и имитации работы мехатронного лазерного координатора ориентирования средства.

Важнейшим направлением развития имитационных средств и устройств является разработка новых решений построения средств алгоритмической, программной и компьютерной имитации процессов в системе, позволяющих более рационально решать задачи, связанные с имитацией и представлением заданного информационного или физического процесса.

Задача усложняется, когда при имитации приходится использовать вир-

туальное представление первичной информации разной физической природы. Усложнение вызвано тем, что первичные преобразователи с различными принципами действия сигнала о состоянии объекта наблюдения преобразуют в разные значения существенно отличающихся друг от друга параметров идентификации состояния объекта. По этой причине создание простых надежных средств и алгоритмов имитации процессов и работы систем, обладающих достаточной точностью отражения реальности при высоком быстродействии формирования имитирующего процесса или систему сигнала, до сих пор остается актуальным.

Фактором, комплексно объединяющим разнородные преобразователи информации и разные системы, служит их математическое описание, учитывающее с наибольшей полнотой действие всех физических принципов, используемых для получения, объединяемых в имитируемом средстве информационных сигналов и систем. Другими словами, для качественной программно-аппаратной имитации необходимо наличие адекватных реальности математических моделей процессов и систем [6, 29–34].

Ниже на имитационном действии платформы по одной из координат (x ; y ; z ; v ; t) или углу места, азимуту, скорости движения и т.п.) измерительной системы пространства наблюдения лазерным координатором ориентирования судна исследована возможность практической работы программного имитатора обобщенного типа мехатронной платформы с координатором – высокоточной лазерной следящей системой. На основе стандартных [6, 19–20, 29–34] программных средств (Simulink, MatLab, протоколов обмена Ethernet, среды разработки встроенного программного обеспечения сигнальных процессоров) в операционной среде Windows разработаны математические модели отдельных типов приводов, включая модели оригинальных пьезопроводов многомерного управления [24–26], для имитации работы мехатронной платформы. С применением части некоторых оригинальных разработок выполнено имитационное моделирование функционирования платформы в разных режимах действия.

Современные имитаторы поведения динамических процессов и объектов сложны. Структурно для лазерных координаторов ориентирования они [29–34]

являются многоуровневым программно-аппаратным комплексом, совершенствование которого ведет к ужесточению требований по качественным показателям лазерных систем ориентирования, таким как точность, быстродействие и т.п. Для оценки эффективности выполнения предъявляемых требований к лазерным системам ориентирования подход имитационного моделирования с использованием программных методов является очень привлекательным.

Такие системы могут быть реализованы на основе привода для имитации влияния среды на деформирование волнового фронта оптического излучения от объекта при его движении [24–26]. Другой вариант имитационного моделирования – частотное управление приводом мехатронной платформы с меньшей инерционностью слежения за движением объекта, с учетом изменения динамики движения объекта наблюдения. Реализация принципа разделения движений [6, 31] часто приводит к улучшению качества таких систем более простым, иногда и единственно возможным способом.

При исследовании методом имитационного моделирования желательно, чтобы лазерный координатор ориентирования как управляющее устройство мог активно менять параметры системы и поддерживать ее характеристики на требуемом качественном уровне. Этот уровень должен быть максимально приближен к теоретическому пределу или оптимальному значению. Следуя требованиям, формулируем задачи, программно решаемые имитатором грубого наведения, в следующей постановке:

- формирование и исполнение сигналов задания скорости и ускорения по осям вращения платформы производятся с учетом спектра влияния меняющегося внешнего возмущения;

- процедура моделирования учитывает вероятность возникновения скачков моментов инерции ввиду несовершенства электромеханической системы;

- мехатронная платформа должна обеспечивать двойную перегрузку воздействия на исполнительный привод;

- работа исполнительного привода допускает кратковременное поддержание перегрузки на требуемом уровне от ее номинального значения.

Характерная особенность лазерных систем ориентирования – при изменении управляющего или возмущающего

воздействия существует пространственно обусловленное перекрестными связями [6] взаимовлияние автономных координатных приводов. Эта проблема особенно актуальна в работе системы с большим моментом инерции и высокой динамикой движения беспилотного судна [5]. Проблема важна, поскольку цели управления лазерного координатора ориентирования являются слежение за перемещением и наведение беспилотного судна на лазерный маяк по заданной траектории при действии возмущений любого типа. Другими словами, управление проводится с целью наиболее строгого выполнения установленного технологического процесса. При этом по возможности следует исключать внешние межкоординатные перекрестные возмущения, обусловленные динамическими нагрузками, вызванные действиями подвижного судна при выполнении процесса наведения [3–13].

Аппаратная часть моделируемой системы в обобщенном виде подобна динамической платформе с многокоординатным прецизионным приводом. Ее структура – обобщение известной информации о платформах (серии DP, Муромского радиозавода и др.), принцип функционирования которых подробно изложен в технических источниках. В большинстве практически созданных в промышленности динамических платформ применяют как базовый тип частотно-управляемого электропривода, обычно выполняемый в связке «Преобразователь частоты – асинхронный двигатель». В нашем случае для обеспечения высокой точности управления использовали в контурах управления лазерным излучением модели пьезоприводов [6, 24–26] как часть автономных приводов мехатронной платформы.

Для грубого наведения лазерных систем ориентирования целесообразно построение приводов по принципу матрешки – автономности вложенных контуров оценки и управления. Принцип матрешки предусматривает распределение приоритета действия сигналов контуров оценки состояния измеряемых параметров, вкуче составляющих общую оценку состояния системы для формирования соответствующих сигналов управления ее состоянием. Значение приоритета действия контуров управления основано на весовом или равноценном ранжировании сигналов, формируемых в контурах управления системой. Суще-

ственность принципа распределения приоритета состоит в первоначальном весовом ранжировании контуров с дальнейшим принятием алгоритма формирования по данным индивидуальной оценки состояния каждым из контуров сигнала результирующего управления состоянием всей системы грубого наведения лазерной системы. Например, возможно применение [6, 24–26] «алгоритма матрешки» – аддитивного сложения ошибок состояния контуров. Согласно сущности алгоритма [6] в контуре с низким приоритетом выделяется ошибка, которая затем вводится аддитивно в управляющее воздействие привода второй координаты как дополнительная составляющая. Следуя логике «матрешки», ошибка, выделенная в младшем по рангу приоритета i -м контуре, аддитивно подается в ближайший старший по рангу приоритета $(i+1)$ -й сепаратный контур. Другими словами, каждый младший контур вложен в ближайший старший контур, а общий контур управления является аддитивной структурой сепаратных контуров системы (структура «матрешки»). Принцип построения системы грубого наведения по «алгоритму матрешки» многокоординатной системы приводов подобен созданию структуры N -координатного привода в виде известного принципа подчиненного регулирования [6]. В такой системе требуемая для управления характеристика каждого i -го контура формируется как одиночного. Принцип подчиненного управления широко используется в моделировании систем и физических процессов. Создание N -координатного управления по принципу матрешки с вложенными в нее контурами имеет особенности, определяемые свойствами самой системы наведения. Принцип матрешки и прост, и сложен. Принцип матрешки как подход управления относит многомерную структуру приводов [6, 24–26] к классу адаптивных систем с определенной формой инвариантности.

Кратко приведем вариант аналитического описания математической модели структуры с точки зрения отработки аддитивных ошибок наведения в процессе математического моделирования. Размещение лазерного следящего координатора на платформе существенно расширяет пространство поиска подвижного объекта путем осуществления процедуры грубого наведения на траекторию движения объекта. Лазерная пре-

цизионная система на платформе становится мехатронной следящей, предназначенной для преобразования входного воздействия в перемещение инерционной нагрузки. Структура лазерной системы на мехатронной платформе будет соответствовать обобщенной структуре системы автоматического управления. Обозначим M – вектор управления, определяющий особенности траектории движения лазерного координатора при работе с объектом; N – вектор возмущений, включая шумы приводов и лазерного координатора ориентирования. Управляющее воздействие формирует компьютер, МП-структура или специальный процессор управления. Другие обозначения в описании и формализации математической модели пояснены ниже.

Ошибка $\Delta(p)$ оценки рассогласования состояния координат параметра в отдельном (сепаратном) контуре управления определяется передаточными функциями этого контура:

$$\Delta(p) = \frac{1}{1+W(p)}m(p) + \frac{V(p)}{1+W(p)}n(p), \quad (1)$$

$$W(p) = A(p)/B(p), \quad (2)$$

$$V(p) = C(p)/D(p), \quad (3)$$

где $A(p)$ и $B(p)$, $C(p)$ и $D(p)$ – полиномы описания передаточных функций $W(p)$ – по управлению $m(p)$ и $V(p)$ – по возмущению $n(p)$ сепаратного контура «матрешки» соответственно; p – оператор Лапласа.

Учитывая в (1) представление полиномами (2) и (3), выражение ошибки рассогласования состояния сепаратного контура можно представить в виде

$$\Delta(p) = \frac{B(p)}{A(p)+B(p)}m(p) + \frac{B(p)V(p)}{A(p)+B(p)}n(p). \quad (4)$$

Заменив $A(p) + B(p) = E(p)$ и $K(p) = B(p) \cdot V(p)$ для упрощения (4), получим

$$\Delta(p) \cdot E(p) = B(p)m(p) + B(p) \cdot V(p)n(p). \quad (5)$$

Математическая формализация, анализ и оценка многомерной системы громоздки. Их рассмотрение и описание ввиду громоздкости опустим.

Процедура адаптации управляющего воздействия низшего i -го ранга и последующей $(i+1)$ -й координаты выполняется согласно физической и логической сущности реализации принципа матрешки. По этому варианту структурную схему

многомерной системы управления можно представить системой сепаратного описания (1)÷(5) передаточных функций. В итоге управляющий сигнал является интегральной, нелинейной квадратичной функцией соответствующих компонентов (статической δ_c , инерционной $\delta_{\text{и}}$, динамической δ_d , вероятностной δ_v и т.п.) ошибки, определяющей качество управления. Заметный вклад в погрешность могут вносить замыкания витков в обмотках индуктивности электроприводов мехатронной платформы, изменяющих ее коэффициент передачи как звена управления [27–28].

При моделировании в качестве объекта управления принята подвижная динамическая платформа с k степенями свободы. Управление динамической платформой построено на базе протоколов Ethernet и осуществляется встроенным компьютером по локальной вычислительной сети. Так решалась задача программной реализации МП-управления мехатронным комплексом с лазерным координатором ориентирования на основе широко известных аппаратно-программных средств [29–34].

Для иллюстрации особенностей реализации имитатора мехатронного средства наведения лазерного следящего координатора ниже представлены результаты моделирования с двойной (по номиналу) инерционной нагрузкой элементарного стартового пуска в движении платформы (рис. 1) и единичного скачка нагрузки в случайный момент времени на траектории установившегося движения платформы (тест единичного скачка, отработка возмущения типа действия функции Хевисайда) (рис. 2).

Обобщим результаты исследования и оценки эффективности решения задачи увеличения размера поля наблюдения объектов комплексирования

ем лазерной системы с мехатронной структурой как средства ведения поиска и обнаружения подвижных объектов. Программная имитация работы грубого наведения мехатронного средства с процедурой поиска объекта лазерным координатором, установленным на платформе, показала положительные результаты решения задачи. Преимущество программной имитации решения задачи заключается в неограниченной возможности имитационного моделирования практически с учетом оригинальности подхода, высокой сложности аналитического описания многомерной и многофакторной структуры средства с высокой степенью коррекции ошибок наведения системы по принципу матришки. Анализ показал, что выявленные моделированием особенности существенно не меняют свойств сепаратных контуров моделируемых приводов.

Таким образом, в работе показана возможность программной реализации системы управления лазерно-мехатронным средством на примере имитации грубого наведения по одной из координат движения платформы с лазерным следящим координатором в процессе поиска и обнаружения объекта – судна. Алгоритм управления «Матрешка» учитывает влияние моментов инерции при выдаче задания скорости и ускорения, исполнение задания скорости и ускорения по осям вращения платформы, с учетом разнопланово меняющихся условий обеспечивает двойную нагрузочную способность исполнительного привода. Кроме того, алгоритм управления обеспечивает разгон, замедление, торможение вариацией параметров возбуждения привода и контроль границ поля поиска пространства ориентирования при изменении углового положения динамической платформы.

Литература

1. Саушев А.В. Моделирование и оптимизация электромеханических транспортных систем // Электроника и электрооборудование транспорта. – 2012. – № 5–6. – С. 16–20.
2. Доманов В.И., Муллин И.Ю., Доманов А.В. Анализ влияния дискретности работы электромеханических систем // Электроника и электрооборудование транспорта. – 2011. – № 1. – С. 12–15.
3. Слободян С.М., Цупин А.А. Лазерные навигационные системы автономных транспортных средств // Успехи современной радиоэлектроники. – 1988. – № 6. – С. 13–20.
4. Слободян С.М., Цупин А.А. Многофункциональные визуально-инструментальные лазерные навигационные комплексы морского применения // Фундаментальные исследования. – 2009. – № 53. – С. 102–103.
5. Цупин А.А., Слободян С.М. Лазерные средства навигационного оборудования для ориентирования подвижных объектов. М.: Мэйлер, 2013. – 166 с.
6. Слободян С.М. Телевизионная диагностика лазерных пучков. Барнаул: Азбука, 2006. – 224 с.
7. Деева В.С. Метод покрытия кластерного пространства наблюдения / Деева В.С. // Доклады ТУСУРа. – 2012. – № 1(25). Ч. 1. – С. 253–258.
8. Слободян С.М. Метод фазового слежения в гетеродинном интерферометре контроля перемещений // Метрология. – 2004. – № 2. – С. 14–27.
9. Слободян С.М., Шишигин С.А. Установка для создания и автоматической регистрации очагов оптического пробоя воздуха // Приборы и техника эксперимента. – 2010. – № 3. – С. 162–163.
10. Скрыль Ю.В., Слободян С.М. Мощные CO₂-лазеры с ВЧ-накачкой. Принципы построения // Известия Алтайского государственного университета. – 2007. – № 1(53). – С. 122–129.
11. Пономарев А.А., Скрыль Ю.В., Слободян М.С., Слободян С.М. Установка для исследования мощного лазерного воздействия на

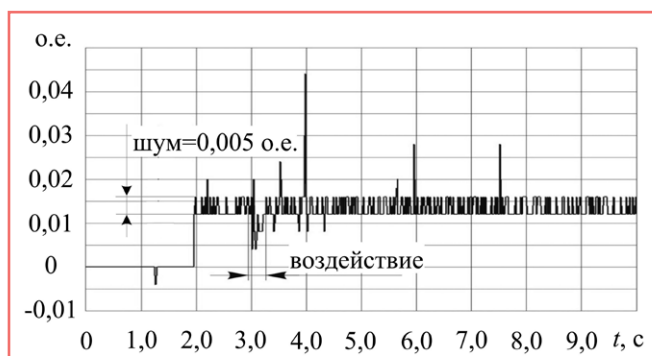


Рис. 1. Типичная реакция платформы при стартовом пуске с двойной инерционной нагрузкой.

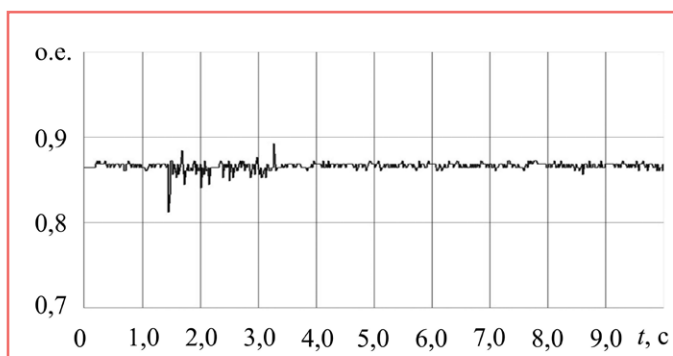


Рис. 2. Реакция платформы на возмущение – приложение двойной нагрузки в случайный момент.

полимерные структуры // Датчики и системы. – 2009. – № 12. – С. 49–51.

12. Мищенко Н.И., Слободян С.М., Бука-
тый В.И., Чапоров Д.П. Телевизионный анали-
затор лазерного излучения // Приборы и тех-
ника эксперимента. – 1977. – № 5. – С. 190.

13. Слободян С.М., Галахов В.Н., Сазано-
вич В.М. Следящая система с диссектором
для измерения угловых флуктуаций оптиче-
ского пучка // Приборы и техника экспери-
мента. – 1980. – № 4. – С. 192–194.

14. Большанин А.А., Слободян С.М., Яков-
лев А.Р. Линейный фотоприёмник с перемен-
ными параметрами // Приборы и техника экс-
перимента. – 2009. – № 6. – С. 141.

15. Большанин А.А., Слободян С.М., Яков-
лев А.Р. Матричный фотоприёмник с пере-
менными параметрами // Приборы и техника
эксперимента. – 2009. – № 6. – С. 142.

16. Деева В.С., Слободян М.С., Слободян С.М.
Детектор двумерных смещений // Прибо-
ры и техника эксперимента. – 2011. – № 5. –
С. 166–167.

17. Волков В.Ф., Пешель А.К., Слободян С.М.,
Тырышкин И.С. Регистрация импульсного
лазерного излучения фотоприёмником на
основе матрицы ПЗС // Приборы и техника
эксперимента. – 1981. – № 6. – С. 176–178.

18. Арутюнов В.А., Слободян С.М. Исследова-
ние ПЗС-датчика волнового фронта адаптив-
но-оптической системы фокусировки излу-
чения // Приборы и техника эксперимента. –
1985. – № 1. – С. 160–162.

19. Слободян С.М. Микропроцессорные
устройства и системы. Томск: Томский поли-
технический университет, 1989. – 80 с.

20. Деева В.С., Слободян С.М. Метод повы-
шения точности МП-датчиков // Электроника
и электрооборудование транспорта. – 2014. –
№ 2. – С. 46–47.

21. Большанин А.А., Слободян С.М., Яков-
лев А.Р., Васильева Л.А. Оптический двухка-
нальный датчик для системы технического
зрения // Измерительная техника. – 1987. –
№ 10. – С. 17–18.

22. Арутюнов В.А., Мельников В.Г., Слобо-
дьян С.М., Чапоров Д.П., Попов О.Н. Источники
погрешностей измерений быстропротека-
ющих процессов приборами с переносом
заряда // Измерительная техника. – 1983. –
№ 8. – С. 32–34.

23. Слободян С.М. Анализ и оптимизация
телевизионного принципа сканирования
фазового пространства оптическим фазоме-
тром: 1. Поисковые траектории // Известия
Томского политехнического университета. –
2004. – Т. 307, № 6. – С. 40–46.

24. Слободян М.С., Слободян С.М. Консоль-
ный пьезопривод // Датчики и системы. –
2003. – № 3. – С. 47–48.

25. Слободян С.М. Триангуляционный алго-
ритм трехмерного перемещения зеркала
управляемой оптической системы // Метро-
логия. – 2003. – № 8. – С. 29–38.

26. Слободян М.С., Слободян С.М. Трёхкоорди-
натный пьезопривод // Известия вузов. При-
боростроение. – 2004. – Т. 47, № 1. – С. 32–36.

27. Ивойлов Е.В., Слободян С.М. Изменение
свойств индуктивности при замыкании вит-
ков на корпус // Доклады ТУСУРа. – 2014. –
№ 4(34). – С. 203–208.

28. Ивойлов Е.В., Слободян С.М. Принцип
золотого сечения в контроле индуктивно-
сти // Электроника и электрооборудование
транспорта. – 2015. – № 1. – С. 10–14.

29. Черкесов Г.Н. Надёжность аппаратно-про-
граммных комплексов. – СПб.: Питер, 2005. –
479 с.

30. Дьяконов В.П. Simulink: Самоучитель. – М.:
ДМК-Пресс, 2013. – 784 с.

31. Морозов В.К., Рогачёв Г.Н. Моделирова-
ние информационных и динамических си-
стем. – М.: Академия, 2011. – 384 с.

32. Половко А.М., Гуров С.В. Основы тео-
рии надёжности. – 2-е изд., пер. – СПб.: БХВ-
Петербург, 2006. – 702 с.

33. Кельтон В., Лоу А. Имитационное модели-
рование. Классика CS. – 3-е изд. – СПб.: Питер;
Киев: Изд. группа БХВ, 2004. – 847 с.

34. Лазарев Ю. Моделирование процессов
и систем в MatLab: учеб. курс. – СПб.: Питер;
Киев: Изд. группа БХВ, 2005. – 512 с.

Деева Вера Степановна

Родилась в 1973 году. В 2000 году окончи-
ла Томский политехнический университет,
в 2002 году – Томский государственный уни-
верситет. Кандидат технических наук. В на-
стоящее время работает доцентом Омского
государственного технического университе-
та (ОмГТУ). Имеет более 60 печатных трудов,
2 патента.

Ивойлов Евгений Вячеславович

Родился в 1986 году. В 2014 году окончил
Энергетический институт Томского политех-
нического университета по специальности
«Электроэнергетические системы и сети». В
настоящее время работает в филиале ОАО
«РЖД» СП «Трансэнерго» и учится в аспиран-
туре ТПУ. Имеет более 20 печатных трудов.

Слободян Степан Михайлович

Родился в 1946 году. В 1968 году окончил
Томский институт радиоэлектроники и элек-
тронной техники по специальности «Радио-
электронные устройства». Доктор техниче-
ских наук, доцент. В 2006 году защитил две
докторские диссертации по закрытой тема-
тике. Опыт работы – более 50 лет. В настоя-

щее время работает профессором Омского
государственного технического университе-
та (ОмГТУ). Имеет более 30 патентов на изо-
бретения, более 200 научных работ, 4 моно-
графии. Награжден знаком «Изобретатель
СССР».

Цупин Анатолий Андреевич

Родился в 1948 году. В 1972 году окончил Мо-
сковский физико-технический институт. Кан-
дидат технических наук. Опыт работы – более
40 лет. В настоящее время работает доцентом
Омского государственного технического уни-
верситета (ОмГТУ) и ведущим научным со-
трудником Государственного научно-иссле-
довательского навигационно-гидрографиче-
ского института (ОАО ГНИНГИ). Имеет более
80 научных работ, 5 патентов.

Deeva Vera

She was born in 1973. In 2000 she graduated
from Tomsk Technical University, in 2002 Tomsk
State University. She is candidate of technical
sciences. At present she works as an associate
professor of Omsk State Technical University.
She has more than 60 published papers,
2 patents.

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. He has more than 20 publications.

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 of Omsk State Technical
University. He has more than 30 invention
patents, 200 scientific works, 4 monographs. He
was awarded by a sign «Inventor of USSR».

Cupin Anatoliy

He was born in 1948. In 1972 he graduated from
Moscow Institute of Physics and Technology.
He is candidate of technical sciences. He has
40 years of work experience. At present he is
an associate professor of Omsk State Technical
University and Leading Researcher of State
Scientific Research Institute of navigation and
hydrographic. He has more than 80 scientific
papers, 5 patents.

Разработка концептуальной модели диагностики системы зажигания электрооборудования автомобилей на основе интеллектуально-информационной системы

// Development of the conceptual model of diagnostics of the ignition system of automobile electrical systems based on the intelligent information system //

Петровский С.В.,
Козловский В.Н., д.т. н.,
Дуспулов М.Г.,
СамГТУ, г. Самара

В статье представлены результаты разработки концептуальной модели диагностики отклонений в работе системы зажигания легкового автомобиля. Ключевые слова: качество, надежность, автомобиль, электрооборудование, система зажигания, электромагнитная совместимость.

The article describes development results of the conceptual model of diversion diagnostics in the operation of the ignition system of an automobile. Keywords: quality, reliability, automobile, electrical system, ignition system, electromagnetic compatibility.

Анализ тенденций развития комплекса электрооборудования современных автотранспортных средств показывает, что требования к качеству функционирования сложных технических устройств, составляющих его элементную базу, в значительной степени растут. При этом все более актуальной становится задача обеспечения требуемого уровня электромагнитной совместимости в единой технической среде автомобиля с повышением уровня соответствующей безопасности для человека и окружающей среды.

Наиболее существенный вклад в генерирование широкополосных электромагнитных помех характерен для системы зажигания. Именно поэтому разработка и внедрение системы диагностики отклонений в работе системы зажигания являются важными научно-техническими задачами.

Сегодня качественную диагностику системы зажигания с точки зрения определения параметров ЭМП, а также анализ изменения соответствующих показателей в динамике можно провести только в специализированных технических центрах. К сожалению, предприятия фирменного автосервиса зачастую не обладают соответствующими компетенциями, и далеко не на всех из них есть необходимое измерительное оборудование.

С другой стороны, в настоящее время, благодаря развитию электротехнических

и электронных систем управления на автомобильном транспорте, появляются возможности создания бортовых систем по проверке параметров ЭМС. Функционирование бортовых диагностических систем, осуществляющих проверку ЭМС, может базироваться на математических моделях, переведенных в программные коды контроллера электронной системы управления двигателем, что позволяет повысить надежность и быстродействие диагностических процедур [1].

Для постановки задачи, связанной с повышением надежности и быстродействия диагностики системы зажигания, необходимо разработать концептуальную модель, математическую и имитационные модели, реализующие исследуемые процессы, провести их эксперимен-

тальные исследования по электромагнитным помехам на различных частотах для определения уровня помех.

Наличие микропроцессорных систем и интеллектуальных датчиков внутри системы управления ДВС, в том числе в системе зажигания, и внутри других устройств современных автомобилей создает благоприятную среду для построения интеллектуально-информационных диагностических систем (ИИС) на их основе.

Именно поэтому представленная работа сфокусирована на разработке ИИС для диагностики уровня ЭМП от систем зажигания. На рис. 1 представлена структурная схема разрабатываемой ИИС.

Функционал интеллектуально-измерительной диагностической системы (ИИС) состоит в выработке экспертной оценки, на основе которой принимается решение к действию по изменению уровня электромагнитного возмущения (ЭМВ), чем обеспечивается достижение поставленной изначально цели (выработка управления). Системой прогнозируются значения параметров результата действия, которые сопоставляются с реальными рабочими параметрами. Тем самым образуется обратная связь для корректировки экспертной оценки или управления [7].

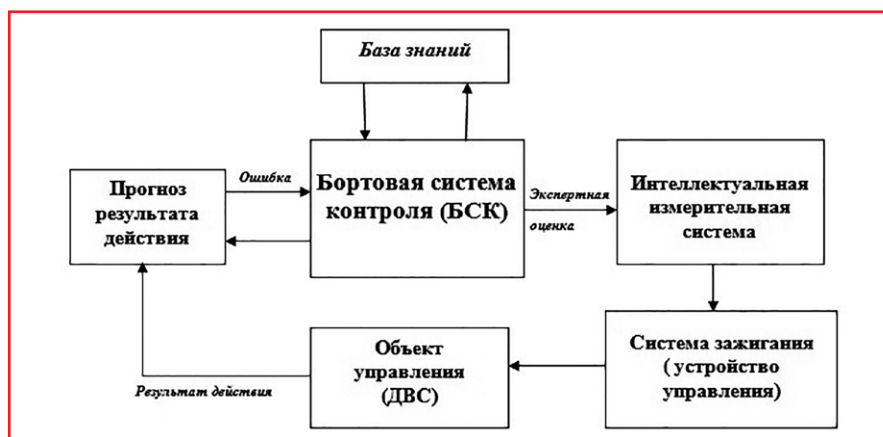


Рис 1. Структурная схема интеллектуальной системы диагностики системы зажигания.

Основным блоком ИИС (рис. 1) является бортовая система контроля (БСК), которая на основании текущих сведений об окружающей среде, например, по уровню ЭМП и другим параметрам объекта управления, осуществляет экспертную оценку. Полученная оценка преобразуется ИИС в физический сигнал и поступает на исполнительные устройства. Объект управления, получая сигнал от исполнительных устройств, осуществляет требуемое действие, результаты которого поступают в БСК по цепи обратной связи, где они сравниваются с прогнозируемыми результатами. Если поставленная цель достигается, то управление подкрепляется динамической экспертной системой. В противном случае происходит коррекция управления.

Таким образом, БСК представляет собой комплексное образование, способное оценивать состояние объекта измерения и среды, сопоставлять параметры желаемого и реального результатов действия, принимать решение и вырабатывать в соответствии с ним управление, способствующее достижению поставленной цели. Для этого БСК должна обладать запасом знаний, хранящихся в базе данных, и быть ассоциируемой с ИИС, как показано на рис. 1.

Необходимо отметить, что этапы создания интеллектуальных систем не являются четко очерченными и подробно регламентированными, поэтому между этими этапами трудно провести временную и содержательную границы.

Диагностическая ИИС, разработанная в ходе данной работы, представляет собой демонстрационный прототип, показывающий целесообразность и реализуемость предложенного подхода к контролю соблюдения требований по ЭМС электрооборудования автомобиля.

В настоящем исследовании диагностические данные обрабатываются с помощью подходов, основанных на алгоритмах классификации, осуществляющихся программой ВЕКА для интеллектуального анализа данных (версии 3.6.8), и с помощью вычислительно-экспериментального метода опорных векторов, реализованный в ENCOG Workbench (версия 3.1).

ВЕКА

Среда разработки Waikato для приобретения знаний (ВЕКА) обеспечивает удобство и легкий доступ к методам машинного обучения [3]. Программа ВЕКА

получила широкое распространение при решении научных и научно-ориентированных задач как универсальный инструмент для анализа данных.

Три алгоритма из этой программы были использованы в данном исследовании:

Zero-R: базовый алгоритм классификации, который определяет основной класс данных для большинства случаев и, как правило, используется в качестве основы для сравнения классификаторов;

One-R: другой алгоритм классификации, который является более сложным. Он определяет набор правил (по одному на каждый признак) и выбирает правило с наименьшей ошибкой прогноза классификации;

J-48: выполненный в ВЕКА алгоритм C4.5 дерева принятия решений, разработанный Джоном Квинланом. Алгоритм строит деревья решений для классификации из выборки данных с использованием нисходящего подхода. Признак с самым высоким показателем нормирования данных используется для принятия решения о классификации.

ENCOG

ENCOG также является средой разработки программ машинного обучения, предложенной Дж. Хитон, содержащей различные классы для создания широкого спектра алгоритмов обработки данных, а также поддержки операций для нормализации данных.

Базируясь на функциональных схемах работы интеллектуальных датчиков, приведенных на рис. 2, можно предложить

следующую структуру интеллектуальных блоков системы диагностики уровня электромагнитного возмущения (ЭМВ).

Основным блоком ИИС является интеллектуальный датчик, который на основании текущих сведений об окружающей среде и состоянии объекта управления (системы зажигания ДВС) осуществляет оценку комплексных характеристик диагностируемой системы. Полученная оценка преобразуется устройством выработки управления (ЭБУ) в физический сигнал и поступает на вход системы зажигания, которая является исполнительным устройством.

Таким образом, диагностическая ИИС представляет собой комплексное образование, способное оценивать состояние объекта диагностики и среды, сопоставлять параметры желаемого и реального результатов действия объекта, принимать решение и вырабатывать в соответствии с ним управление, способствующее достижению поставленной цели [8].

По этой причине ИИС должна обладать возможностью в процессе своего функционирования сохранять и приобретать диагностические знания, которые нацелены на решение наиболее важной задачи любой диагностической системы – обнаружения и устранения неисправностей (ОУН) для решения, которое используют подходы, описанные в разделе. При этом данные знания обеспечивают базу для подходов математического моделирования (ММ), в то время как алгоритмические знания особенно полезны для реализации диагностики на основе данных (ДД подход).

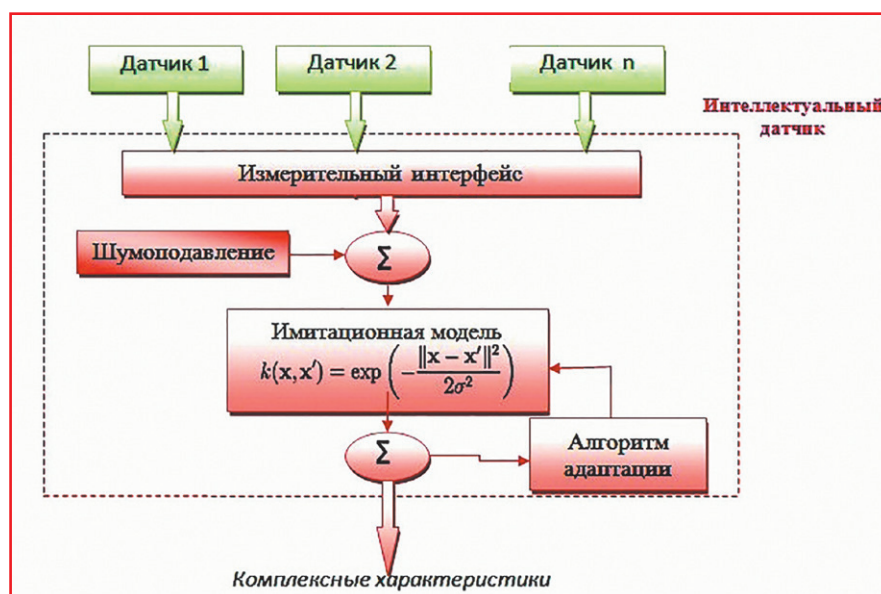


Рис 2. Интеллектуальный датчик (ИД) диагностики уровня ЭМВ от системы зажигания.

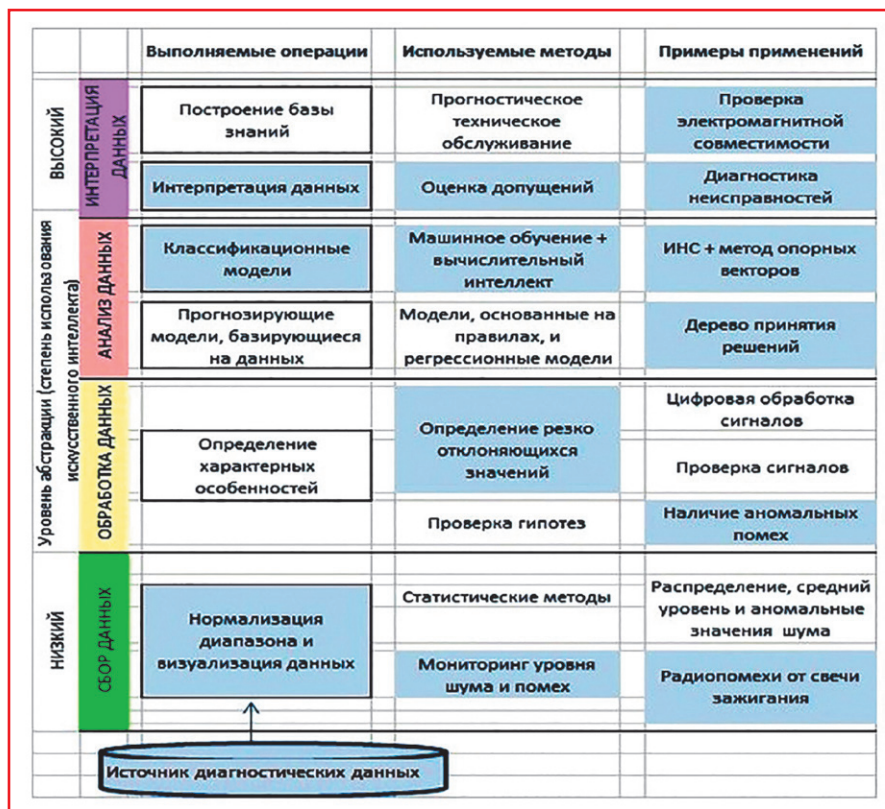


Рис. 3. Концептуальная модель диагностики электромагнитного возмущения от системы зажигания (закрашенные блоки концептуальной модели были реализованы в ходе данной исследовательской работы).

Внутри вышеуказанных подходов находят все более широкое применение методы искусственного интеллекта, основанные на математических моделях обнаружения и устранения неисправностей (ОУН). Поэтому интеллектуальный подход, выраженный ИИС, все чаще используется для решения сложных проблем в различных технических областях, в том числе в автомобильной диагностике [9].

Имеются несколько причин для интеграции искусственного интеллекта в выявлении, анализе и прогнозировании электромагнитных помех в различных условиях эксплуатации транспортного средства. Для систематизированного применения методов искусственного интеллекта в данной работе предложена концептуальная модель (рис. 3), которая адаптирует к процессу ОУН многоуровневую схему, заимствованную из структуры интеллектуального анализа данных [7].

Каждый уровень или слой этой схемы предназначен для определенных задач обработки данных, начиная от низшего уровня сбора диагностических данных, через обработку и анализ полученных данных, и до высшего уровня интерпретации данных с использованием

либо существующих, либо приобретенных знаний.

Слой с наименьшим уровнем абстракции (тем самым не использующий методы искусственного интеллекта) соответствует сбору диагностических данных по ЭМП, включая их визуальное представление и подготовку для дальнейшего анализа. Второй слой осуществляет обработку полученных данных (например, такую как определение

резко выделяющихся значений, исключение пропущенных значений и тому подобное) с определением их характерных особенностей. Основной функцией второго слоя является выделение наиболее важных входных переменных, незаменимых при построении диагностических моделей с хорошими возможностями обобщения.

Остальные слои предлагаемой концептуальной модели работают на более высоком уровне абстракции, что позволяет применять на них методы искусственного интеллекта. В частности, третий слой отвечает за создание, оценку и корректировку (при необходимости) моделей, основанных на используемых диагностических данных. В этой концептуальной модели особая роль отводится методу искусственных нейронных сетей (ИНС) и методу опорных векторов (МОВ), которые имеют большое значение в диагностике уровня ЭМП. Задачей последнего слоя является интерпретация диагностических данных в результате обобщения полученных моделей и углубления знаний о принципах обнаружения и устранения неисправностей в объектах и системах, проходящих диагностику. Последний слой как раз и является интеллектуально-информационной системой для диагностики ЭМП от системы зажигания. Покажем работу концептуальной модели диагностики на примере идентификации уровня электромагнитных помех [9].

На рис. 4 представлены процессы, реализуемые разработанной диагностической системой при идентификации уровня электромагнитных помех. В этом смысле основной обеспокоенностью



Рис. 4. Выявление уровня ЭМП.

в связи с автомобильными ЭМП является нежелательный шум, создаваемый автомобильными электрическими системами, в частности системой зажигания автомобилей, которая вносит негативную составляющую в работу других систем и электрооборудования в радиусе 100 метров от автомобиля.

В [7] дан сравнительный анализ данных об ЭМП от системы зажигания, полученных эмпирически и с помощью математического моделирования на основе адаптированной модели Майра. Несмотря на приемлемое соответствие эмпирических и моделируемых значений, погрешность выбранной математической модели варьировалась в пределах 6–18%, что, безусловно, оставляло желать лучшего.

Поэтому первым проведенным экспериментом по использованию диагностических ИИС для выявления повышенного уровня помех было исследование, имеющее те же исходные данные (экспериментальная кривая рис. 4), но целью которого было построение «умного» датчика вместо математической модели, способной автоматически определять, когда поступающие диагностические данные указывают на неприемлемый уровень ЭМП.

Для реализации эксперимента был выделен частотный диапазон в пределах от 1 до 10 МГц. В выделенном диапазоне были выбраны значения, характеризующие уровень электромагнитного шума, соответствующие и не соответствующие требованиям по ЭМС (обучающие данные, выделенные желтым цветом на рис. 4).

Основной целью использования ИНС является обеспечение автоматизированного обнаружения недопустимо высокого уровня радиопомех без априорного знания минимального соотношения (порогового значения) «Сигнал/шум» на различных частотах. Настроив ИНС на наборе обучающих пар (80 значений), соотносящих уровень ЭМП с удовлетворением требований ЭМС в выбранном частотном диапазоне, можно ожидать, что для текущих значений шума на интересующих нас частотах ИНС будет способна идентифицировать, являются ли они удовлетворительными или нет. Правильность идентификации повышенного уровня шума показана на рис. 4, из которого видно, что для тестируемых данных (20 значений) факт

превышения допустимого уровня ЭМП был определен правильно в 18 случаях (зеленые точки на рис. 4), а ошибочно – только для двух тестовых значений (красные точки). Следует также отметить, что неправильная идентификация уровня ЭМП была осуществлена для значений ЭМП, находящихся в непосредственной близости к порогу допустимости, где моделируемые значения шума не всегда оказывались по ту же сторону порогового значения, что и экспериментальные данные. Таким образом, можно утверждать, что интеллектуальный датчик на основе ИНС способен с достаточно высокой точностью определить превышение допустимого уровня ЭМП в заданном частотном диапазоне [10].

Литература

1. Барнс Дж. Электронное конструирование: методы борьбы с помехами / Дж. Барнс. – М.: Мир, 1990. – 238 с.
2. Уилльямс Т. ЭМС для разработчиков продукции / Т. Уилльямс; пер. с англ. – М.: Издательский дом «Технологии», 2004. – 540 с.
3. Леоненков А.В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH. СПб.: БВХ-Петербург, 2005. 736 с.
4. Петровский С.В. Математическое моделирование процессов дугообразования в системе зажигания автомобиля // Вестник СамГТУ. Серия «Технические науки», № 2 (24). Самара. СамГТУ, 2009.
5. Петровский С.В., Николаев П.А. Электромагнитная совместимость автомобильного генератора напряжения // Известия Высших учебных заведений. Электромеханика. № 5. Новочеркасск. ЮРГПУ, 2014.
6. Петровский С.В., Николаев П.А. Моделирование электромагнитных помех при работе системы зажигания автомобиля // Научные труды V международной молодежной научно-технической конференции «Электроэнергетика глазами молодежи». Том 1, Томск. ТПУ, 2014. С. 355–359.
7. Петровский С.В. Интеллектуально-измерительная система для идентификации и классификации радиопомех от системы зажигания автомобиля // Сборник трудов пятой международной научно-практической конференции «Измерения в современном мире 2015». Санкт-Петербург. СПбПУ, 2015. С. 89–99.
8. Petrovski S., Bouchet F., Petrovski A. Data-driven Modelling of Electromagnetic Interferences in Motor Vehicles // IEEE International Symposium on Innovations in Intelligent Systems and Applications (INISTA 2013). Albena, Bulgaria, 2013. ISBN: 978-1-4799-0659-8. DOI: 10.1109/INISTA.2013.6577658. Pp. 1–7.
9. Petrovski S., Rattadilok P., Petrovski A. Anomaly Monitoring Framework Based on Intelligent Data Analysis // In the Proceedings of the 14th International Conference on Intelligent Data Engineering and Automated Learning (IDEAL 2013),

October 2013, Hefei, China. Springer Global, Lecture Notes in Computer Science, volume 8206, pp. 134–141. ISBN 978-3-642-41277-6. DOI: 10.1007/978-3-642-41278-3_17.

10. Petrovski A., Rattadilok P., Petrovski S. Designing a context-aware cyber physical system for detecting security threats in motor vehicles // SIN'15 Proceedings of the 8th International Conference on Security of Information and Networks, Sochi, Russia. 2015. Pp. 267–270. ISBN 978-1-4503-3453-2. DOI > 10.1145/2799979.2800029.

Петровский Сергей Валерьевич

Родился в 1976 году. В 1999 году окончил СамГТУ по специальности «Электроснабжение по отраслям». Опыт работы – 16 лет. В настоящее время работает ведущим инженером кафедры «Электрические станции» СамГТУ. Имеет 38 статей, 1 патент.

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 150 научных работ, в том числе 10 монографий. В настоящее время работает заведующим кафедрой «Теоретическая и общая электротехника» СамГТУ.

Дуспулов Максот Губайдоллович

Родился в 1991 году. В 2013 году окончил СамГТУ по специальности «Электрические станции». Опыт работы – 2 года. В настоящее время учится в аспирантуре СамГТУ. Имеет 2 печатные работы.

Petrovskiy Sergey

Was born in 1976. In 1999 he graduated from SamGTU with specialization in «Branch-wise electric supply». His work experience is 16 years. At present he works as leading engineer at the department «Electric power plant» of SamGTU. He has 38 articles and 1 patent.

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 in the subject «Quality and safety assurance of car electric equipment system». He is an author of more than 150 scientific works, including 10 monographs. At present he works as department chairman «Theoretic and general electrotechnics» of SamGTU.

Duspulov Maksot

He was born in 1991. In 2013 he graduated from Samara State Technical University majoring in «Electric stations». He has 2 years of work experience. At present he studies in graduate school of Samara State University. He has 2 published papers.

Сведения об авторах

Д.т.н., профессор
Сарбаев Владимир Иванович
+7-919-998-39-39

Д.т.н.
Попов Юрий Васильевич
+7-916-384-48-73

Д.т.н., профессор
Ютт Владимир Евсеевич
+7-499-155-04-20

Д.т.н., профессор
Закарюкин Василий
Пантелеймонович
+7-914-936-84-71

Д.т.н., профессор
Высоцкий Виталий Евгеньевич
+7-937-187-80-33

Д.т.н., профессор
Серебряков Александр Сергеевич
+7-906-355-65-64

Воприков Антон Владимирович
+7-924-301-23-66

Оспанбеков Бауржан Кенесович
+7-915-358-95-74

К.т.н.
Деева Вера Степановна
+7-3822-303-133

Петровский Сергей Валерьевич
+7-927-702-64-95

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) – **6 000 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 2016 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.