

Табл. 3. Результаты расчетов показателей надежности ВДК

Параметр	Длительные погашения	Кратковременные погашения	Отказы из-за погодных условий	Сумма
Частота отказов $\Lambda(\text{ВДК})$ , 1/год	$8,85 \cdot 10^{-10}$	$2,20 \cdot 10^{-3}$	$1,20 \cdot 10^{-10}$	$2,20 \cdot 10^{-3}$
Вероятности отказа $q(\text{ВДК})$ , о.е.	$6,36 \cdot 10^{-18}$	$4,02 \cdot 10^{-6}$	$1,41 \cdot 10^{-12}$	$4,02 \cdot 10^{-6}$

На основании расчетов установлено, что частота и вероятность отказа ВДК крайне мала, следовательно, будет выполняться частичное замещение дорогостоящего дизтоплива возобновляемым источником энергии.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Григорьева О.А. Анализ надежности автономного ветродизельного комплекса // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. – 2016. – №243. – С. 45-52.
2. Гук Ю.Б. и др. Расчет надежности схем электроснабжения / Гук, Ю.Б., Синенко М.М., Тремясов В.А. – Л.: Энергоатомиздат, – 1990. – 208 с.
3. Бобров А.В., Тремясов В.А. Ветродизельные комплексы в децентрализованном электроснабжении: монография. – Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2012. – 216 с.
4. Borges C.L. T. An overview of reliability models and methods for distribution systems with renewable energy distributed generation // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2012. – №16, p. 4008-4015.
5. Fault Tree Handbook // Vesely W.E, Goldberg F.F., Roberts N.H., Haasl D.F.–Washington.: U.S. Nuclear Regulatory Commission, 1981. –209 p.

Научный руководитель: В.А. Тремясов, к. т. н., проф. кафедры «Электрические станции и электроэнергетические системы» Сибирского федерального университета.

### **РАЗРАБОТКА БЕСПРОВОДНОГО ЗАРЯДНОГО УСТРОЙСТВА ДЛЯ МОБИЛЬНОЙ РОБОТОТЕХНИЧЕСКОЙ ПЛАТФОРМЫ**

А.И. Савельев, К.Д. Крестовников, С.В. Солёный  
Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

Технологии беспроводной передачи энергии на основе магнитного резонанса выглядят весьма перспективными ввиду стремительного развития электрического транспорта и автономных робототехнических систем [1-3]. В частности, вмонтированные в дорожные покрытия «заряжающие полосы», позво-

ляют реализовать как стационарные, так и динамические сценарии зарядки, что значительно расширит возможности применения электромобилей и автономных роботов в быту, а также в случае чрезвычайных ситуаций [4].

Технологии беспроводной зарядки можно грубо разделить на две категории: неизлучающие зарядные устройства на основе связанных контуров (non-radiative coupling-based charging) и излучающие радиочастотные зарядные устройства (radiative RF-based charging). В первую категорию входят технологии на основе индуктивной, магнитно-резонансной и емкостной связи. Вторая категория включает технологии на основе формирования направленных и ненаправленных лучей радиоизлучения. В емкостной связи достижимая величина передаваемого заряда зависит от доступной площади устройства, что накладывает ограничения на проектирование зарядки для мобильных устройств. Применение технологии формирования направленных лучей радиоизлучения также ограничено, поскольку зарядное устройство должно знать точное местоположение приемника энергии. По этой причине беспроводные зарядные устройства, как правило, реализуются на основе магнитной индуктивной связи, магнитно-резонансной связи или ненаправленного радиочастотного излучения.

Основная проблема существующих серийно выпускаемых решений систем беспроводной передачи энергии состоит в малой передаваемой мощности. Емкость аккумуляторов автономных роботов значительно превосходит емкость источников питания смартфонов и других маломощных устройств, обширный рынок которых диктует требования разработчикам и производителям. Для зарядки робототехнических систем требуются мощности в десятки раз превосходящие те, что могут предложить зарядные устройства существующих стандартов. В данной работе для создания такой системы была разработана методика расчета, основанная на анализе различных собранных авторами прототипов беспроводной зарядки и существующих подходах к проектированию данных систем.

В ходе прототипирования силовая часть зарядного устройства была реализована в трех вариантах. Первый вариант был представлен в виде однотактного прямоходового преобразователя с внешним задающим генератором. Следующий вариант был основан на резонансном автогенераторе с передающими контурными катушками различной формы. В последнем варианте был использован резонансный автогенератор с передающими контурными катушками и ферромагнитным сердечником. Как показал анализ данных, наилучшими параметрами (КПД, уровень передаваемой мощности, расстояние до приемной части зарядного устройства, электромагнитная совместимость, надежность и соотношение цена/качество) обладают прототипы на основе резонансных автогенераторов с плоскими контурными катушками и контурными катушками с ферромагнитным сердечником. Данные прототипы были взяты за основу реализации проекта беспроводного зарядного устройства для робототехнической платформы. Схема разработанного устройства беспроводной передачи энергии представлена на рисунке 1.

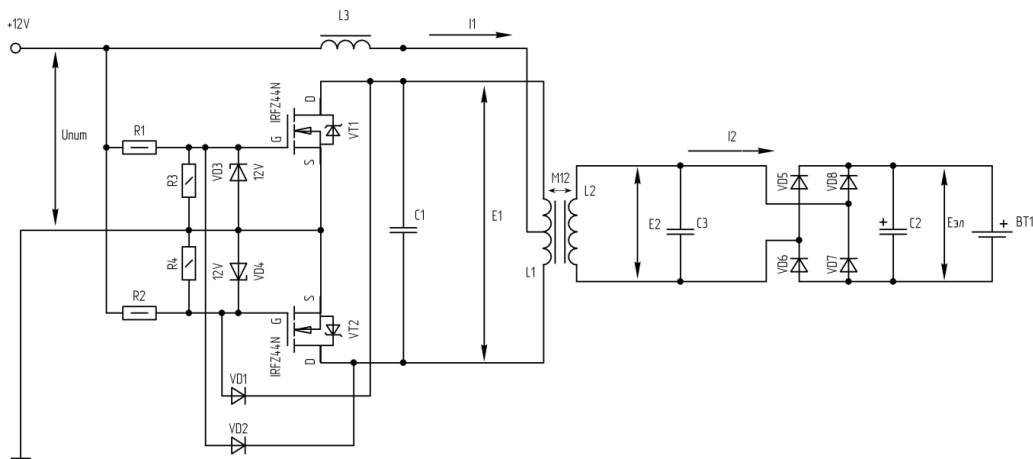


Рис. 1. Принципиальная схема устройства беспроводной передачи энергии

Для расчета данной принципиальной схемы была разработана следующая методика. Зададимся параметрами магнитопроводов, на которые будут намотаны контурные катушки генератора и приемника, а также установим частоту работы автогенератора. Затем рассчитаем параметры передающей катушки: амплитуду напряжения и минимальное количество витков.

После расчета передающей катушки определяются следующие параметры приемной катушки: амплитуды напряжения, приближенное значение дифференциального сопротивления выпрямительных диодов, приближенное значение сопротивления обмоток передающей и приемной катушек, индуцированная ЭДС холостого хода, количество витков. Условно допускается, что передающая катушка намотана на цилиндрическом сердечнике так, что она не имеет смещения относительно середины приведенного к стержневой форме сердечника магнитопровода, а диаметр сердечника соответствует диаметру катушки. Исходя из данных параметров рассчитываются: эффективная проводимость сердечника, индуктивность передающей и приемной катушек, эквивалентная магнитная проницаемость магнитной системы, взаимоиנדукция между приемной и передающей катушками, уточненный коэффициент связи катушек.

Для определения уточненной эквивалентной добротности приемного контура необходимо рассчитать активное сопротивление обмотки приемной катушки и исходную добротность контура без учета влияния нагрузки. Расчет выпрямителя с емкостным фильтром выполняется с заданным коэффициентом пульсаций на выходной емкости фильтра и зависит от значений индуктивности рассеяния обмоток, тангенса угла, определяющего соотношение между индуктивным и активным сопротивлениями фазы выпрямителя, основного расчетного и вспомогательных коэффициентов выпрямителя, емкости фильтра.

Далее необходимо произвести уточняющий расчет требуемой ЭДС, индуцируемой в приемном контуре, и требуемое количество витков принимающей катушки. Расчет параметров выпрямительных диодов зависит от импульсного прямого тока, импульсного обратного напряжения, среднего значения прямого тока на выпрямительном диоде. Для определения сечения проводников приемной и передающей катушек используются расчеты: действующих значений активной составляющей тока в приемной и передающей катушках, реак-

тивной составляющей тока передающей и приемной катушек. Расчет емкости конденсаторов резонансных контуров включает расчет емкости конденсаторов передающего и приемного контуров.

Максимально допустимое напряжение сток-исток, предельно допустимый ток стока транзистора и максимальная рассеиваемая мощность транзистора позволяют определить параметры и выбрать транзистор. Последним производится выбор балластного дросселя на основе параметров индуктивности и максимально допустимого тока обмотки.

На основании выше приведенной методики был рассчитан и изготовлен опытный образец беспроводного зарядного устройства для мобильной робототехнической платформы. Образец должен был отвечать следующим требованиям: расстояние передачи энергии не менее 2 мм, КПД устройства не менее 50%, выходная мощность зарядного устройства не менее 50 Вт, выходное напряжение не менее 25,2 В, напряжение питания передающей части зарядного устройства (ЗУ) 12 В, геометрические размеры приемной части ЗУ не более 60x65x70 мм, масса приемной части ЗУ – не более 0,5 кг. Для проверки разработанного устройства были сняты зависимости передаваемой мощности и КПД от тока нагрузки при расстоянии 2 мм между плоскостями торцов сердечников катушек устройства. Был проведен ряд испытаний с различными значениями напряжения, тока и мощности питания, усредненные значения которых равны 12,23 В, 7,5 А и 91,74 Вт соответственно. Усредненные выходные значения по нагрузке были следующими: напряжение 51,2 В, ток 1,5 А, сопротивление 52,7 Ом, мощность 64,8 Вт. Из представленных усредненных данных видно, что разработанная система удовлетворяет заранее заданным условиям технического задания. КПД и мощность беспроводного устройства передачи энергии в большинстве случаев превосходят заложенные изначально характеристики, что положительно влияет на скорость заряда аккумуляторов мобильной робототехнической платформы.

Подобное устройство беспроводной передачи энергии может быть использовано для зарядки различных мобильных систем и комплексов. Такими системами могут быть: беспилотные летательные и наземные аппараты, задачами которых является сопровождение и отслеживание пользователей в киберфизическом пространстве [5], антропоморфные робототехнические системы [6], модульные и роевые робототехнические средства [7, 8]. Такие зарядные устройства имеют преимущество над сетевыми аналогами, поскольку не требуют механических соединений, а приемник и передатчик могут взаимодействовать без участия человека или вспомогательных устройств.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Li S., Mi C.C. Wireless power transfer for electric vehicle applications // IEEE journal of emerging and selected topics in power electronics. – 2015. – vol. 3(1). – pp. 4-17.

2. Ning P. et al. A compact wireless charging system for electric vehicles //Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE), 2013 IEEE. – IEEE, 2013. – С. 3629-3634.
3. Ронжин А.Л., Юсупов Р.М. Многомодальные интерфейсы автономных мобильных робототехнических комплексов // Известия Южного федерального университета. Технические науки. – 2015. – №. 1 (162).
4. Мотиенко А.И., Тарасов А.Г., Дорожко И.В., Басов О.О. Проактивное управление робототехническими системами спасения пострадавших // Труды СПИИРАН. 2016. № 3(46). С. 169-189.
5. Левоневский Д.К., Ватаманюк И.В., Савельев А.И. Многомодальная информационно-навигационная облачная система МИНОС для корпоративного киберфизического интеллектуального пространства // Программная инженерия. – 2017. – Т. 8. – № 3. – С. 120-128.
6. Павлюк Н.А., Бизин М.М. Конструктивные решения для антропоморфного робота АНТАРЕС // Математические методы в технике и технологиях - ММТТ. – 2016. – № 9 (91). – С. 138-141.
7. Шляхов Н.Е., Ватаманюк И.В., Ронжин А.Л. Обзор методов и алгоритмов агрегации роя роботов // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2017. – Т. 18. – № 1. – С. 22-29.
8. Ронжин А.Л., Ватаманюк И.В., Станкевич Л.А., Шляхов Н.Е. О способах контактного соединения группы модульных роботов // Робототехника и техническая кибернетика. – 2016. – № 3(12). – С. 34-41.

## **МИКРОКОРОННЫЕ РАЗРЯДЫ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ИЗОЛЯЦИЮ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК**

Л.Ф. Зиялтдинова, Е.М. Федосов, А.И. Раскулова

Уфимский государственный авиационный технический университет

В процессе эксплуатации высоковольтного оборудования очень часто выявляются различные технологические и конструкторские дефекты, таких как трещина, разъедание, неоднородность материалов изделия, наличия воздушных включений и т.д. Применение методов неразрушающего контроля так же способствует значительному уменьшению потерь по времени и сокращению материальных затрат при ремонте. Наиболее эффективным и новым методом выявления характерных для изоляции дефектов является метод измерения частичных разрядов, который определяет уровень микрокоронных разрядов в теле изоляции.

Частичный разряд – это искровой разряд небольшой мощности, который образуется внутри высоковольтной изоляции, или на ее поверхности. Наибольшую опасность для оборудования представляют не сами разряды, а результат их воздействия на изоляцию - периодически повторяющиеся частичные разряды разрушают высоковольтную изоляцию. Частичные разряды появляются в слабом месте оборудования под воздействием переменного напряжения и приводят к постепенному развитию дефекта и разрушению изоляции при дальней-