

УДК 621.318.433

СИСТЕМА БЕСПРОВОДНОГО ПИТАНИЯ ВРАЩАЮЩИХСЯ МОДУЛЕЙ

ЖМОЙДЯК А.П., ЯНОВИЧ А.И.

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
(Минск, Республика Беларусь)*

Аннотация. В работе рассмотрены возможности метода беспроводной передачи энергии (БПЭ) с помощью взаимосвязанных параллельных колебательных контуров и исследовано влияние различных форм приёмо-передающих катушек на эффективность передачи.

Ключевые слова: беспроводная передача энергии, параллельный колебательный контур, взаимоиנדуктивность.

ROTATING UNITS WIRELESS POWER SYSTEM

ZHMOIDZIAK A. P., YANOVICH A.I.

*Belarusian state university of informatics and radioelectronics
(Minsk, Republic of Belarus)*

Abstract. The article considers the possibilities of the method of wireless power transmission (WPT) using interconnected parallel oscillatory circuits and investigates the influence of various forms of transmitting-receiving coils on the transmission efficiency.

Keywords: wireless power transfer, parallel oscillatory circuits, inductive coupling.

Больше полувека основным способом питания электронной аппаратуры и модулей, располагающихся на вращающихся частях устройства, является вращающееся контактное устройство (ВКУ). ВКУ - устройство, предназначенное для передачи постоянных, переменных и импульсных электрических сигналов между источником и приёмником, расположенными во взаимно вращающихся частях объекта. Такие устройства обеспечивают надёжный электрический контакт между вращающимися частями, но имеют низкую износостойкость, поэтому со временем в таких устройствах увеличивается количество отказов. В связи с этим возникает необходимость разработки новых материалов и конструктивных решений, позволяющих увеличить износостойкость данных устройств, но не устранить её. Альтернативным решением является система беспроводного питания, когда энергия передаётся с помощью электромагнитного поля, что исключает проблему износостойкости контакта.

Существует несколько методов беспроводной передачи энергии с помощью электромагнитного поля. Они подразделяются по характерным зонам распространения электромагнитного поля. Известно, что, в зависимости от расстояния от источника излучения выделяют две условные зоны распространения электромагнитного поля (ЭМП): ближнюю зону и дальнюю зону [1]. В ближней зоне ЭМП не носит волнового характера, то есть в этой зоне преобладают электрические и магнитные поля, накапливающие энергию вблизи поверхности антенны. В дальней зоне ЭМП уже носит волновой характер т.е. преобладают излучающие поля. Классификация методов беспроводной передачи энергии (БПЭ) представлена на рис. 1.



Рис. 1. Классификация методов БПЭ

Метод СВЧ-излучения позволяет осуществлять точно направленную передачу энергии на значительное расстояние, за счёт использования электромагнитного излучения СВЧ-диапазона (300 МГц – 300 ГГц). Преобразование принятого СВЧ-излучения в электрическую энергию осуществляется с помощью ректенны.

В настоящее время известные устройства, использующие СВЧ-излучение, крайне громоздки, что не позволяет использовать данный метод для замены ВКУ.

В методе, реализуемом с помощью лазера, используются электромагнитные волны оптического диапазона 100 ТГц - 1 ПГц приём и преобразование принятого излучения осуществляется фотогальваническими элементами. Лазерное излучение, из-за низкой эффективности может быть оправдан при передаче огромного количества энергии, что не подходит для наших исследований.

Метод электростатической индукции основан на явлениях, происходящих в обычном конденсаторе, при подаче на него переменного напряжения. Существенным недостатком является необходимость создания высоких потенциалов на передающих пластинах для передачи большой мощности.

Метод электромагнитной индукции основан на явлениях, происходящих в трансформаторе, где первичная и вторичная катушки индуктивно связаны, благодаря сердечнику. Однако если убрать сердечник, тем самым физически разделить катушки получится так называемый воздушный трансформатор.

Недостатком метода является образование помех магнитным полем для окружающих устройств. Данный недостаток можно устранить с помощью использования экранирующих ферромагнитных листов. Достоинствами метода являются возможность передачи большой мощности при небольшом расстоянии между катушками, а также, так как, данный метод является наиболее распространённым.

На основании достоинств и недостатков всех методов БПЭ и анализа результатов лабораторий ведущих компаний в данной сфере, было решено использовать метод магнитной индукции.

Проектируемая система, структурная схема которой изображена на рис. 2, состоит из трёх основных устройств: передатчика, приёмника и устройства контроля.

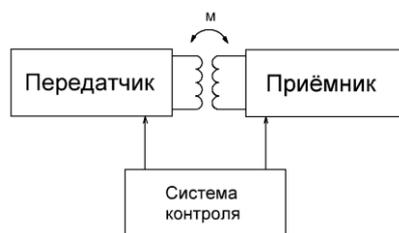


Рис. 2. Структурная схема системы БПЭ

Передатчик осуществляет преобразование постоянного напряжения в переменное напряжение синусоидальной формы с заданной частотой, которое формирует переменное магнитное поле вокруг передающей катушки (рис 3). На приёмной катушке, располагающейся в переменном магнитном поле, возникает ЭДС индукции. Формируемый переменный индукционный ток преобразуется в постоянный для питания нагрузки. Блок контроля следит за оптимальной передачей энергии и при необходимости вносит изменения в работу передатчика и приёмника.

Блок выпрямления и стабилизации построен на мостовой схеме выпрямления и линейном регулируемом стабилизаторе напряжения. Накопительный блок необходим для создания постоянного уровня напряжения на нагрузке независимо от взаимного расположения передатчика и приёмника. В качестве накопительного элемента можно использовать ионисторы (суперконденсаторы), т.к. они обладают долгим сроком службы, малым временем заряда и могут отдавать большие токи в нагрузку.

Блок контроля состоит из блоков контроля в передатчике и приёмнике, имеющих связь через радиоканал 2.4 ГГц. Данная частота выбрана в соответствии с отчётом МСЭ-R SM.2303-2 [2]. В передатчике блок контроля осуществляет выключение генератора при отсутствии приёмной катушки в магнитном поле, формируемом передающей катушкой. В приёмнике блок контроля управляет уровнем мощности на выходе блока выпрямления и стабилизации, а также управляет процессами заряда и разряда накопительных элементов.

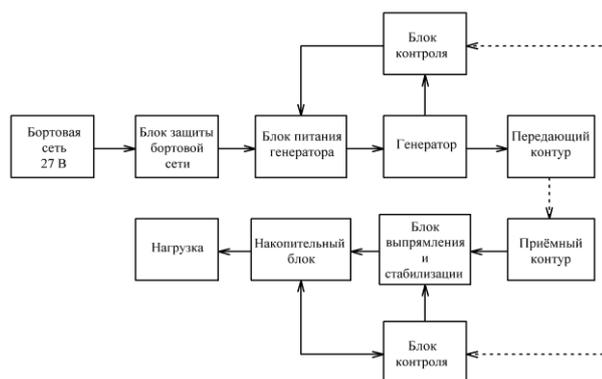


Рис. 3. Функциональная схема системы БПЭ

Очевидно, что передающая и приёмная катушки должны быть расположены перпендикулярно относительно оси вращения устройства, на которое передаётся энергия, а центр катушек должен располагаться на оси вращения для того, чтобы в любой момент времени получать максимальную мощность на приёмнике. Необходимо также рассмотреть случай, когда данное расположение катушек невозможно и предусмотреть постоянное изменение взаимного положения центров приёмных и передающих катушек. Поэтому основными задачами исследований являлись:

1. Изучение различных типов катушек;
2. Изучение влияния расстояния между контурами катушек на эффективность передачи;
3. Изучение влияния взаимного смещения центров катушек на эффективность передачи.

Исследовались три вида катушек, имеющих форму круга: однослойная плоская, намотанная одиночным проводом (1, рис.4); однослойная плоская бифилярная катушка (2); однослойной плоская катушки из многожильного провода (3). Каждая катушка изготавливалась, как в однослойном, так и в двухслойном исполнении.

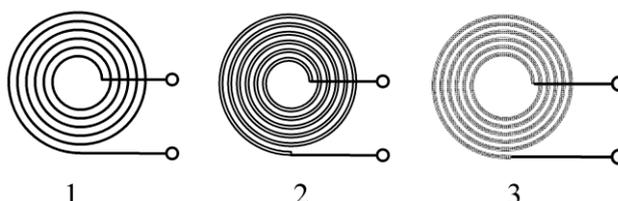


Рис. 4. Внешний вид исследуемых катушек: 1 - Однослойная плоская катушка; 2 - Двухслойная плоская бифилярная катушка; 3 - Двухслойная плоская катушка из многожильного провода

Для расчёта индуктивности плоских спиральных катушек использовалась следующая формула [3]:

$$L = \mu_0 \sum_{n=0}^{q-1} \sum_{f=0}^{q-1} \sum_{k=1}^{\omega} \sum_{m=1}^{\omega} \int_0^{\pi} \frac{\left(r + \frac{d}{2} + h_n n \right) (r + h_n f) \cos \varphi d\varphi}{\sqrt{h_n^2 (m-k)^2 + \left(r + \frac{d}{2} + h_n n \right)^2 + (r + h_n f)^2 - 2 \left(r + \frac{d}{2} + h_n n \right) (r + h_n f) \cos \varphi}}$$

где μ_0 - магнитная постоянная равная $4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн / м;

r - радиус минимального витка катушки;

d - диаметр провода;

h_n - шаг намотки;

h - расстояние между соседними слоями катушки;

ω - количество витков;

q - количество слоёв;

n и f - порядковые номера слоёв катушки, внутренний слой принят за нулевой;

k и m - порядковые номера витков катушки в одном слое.

В качестве материалов использовались: для намотки катушек использовались: одножильные медные провода 1.8 мм и 1,15 мм; многожильный медный провод ПВАМ 2.5 кв. мм.

На изготовленном макете системы БПЭ проведены исследования её эффективности для различных конструкций передающей и приёмной катушек. Результаты исследований приведены в табл. 1.

Таблица 1. Исследование эффективности системы БПЭ при различных типах катушек

Тип катушек	Мощность, потребляемая передатчиком, Вт	Мощность, отдаваемая приёмником в нагрузку, Вт	КПД, %
Плоская однослойная	36.6	23.3	63.6
Плоская двухслойная	18.7	8.69	46.48
Плоская бифилярная двухслойная	25.2	13.46	53.5
Плоская двухслойная из многожильного провода	19.8	12.37	62

Для измерения зависимости КПД от расстояния между катушками приёмная и передающая катушки, обозначенные соответственно красным и синим цветом, располагались соосно в двух параллельных плоскостях на расстоянии l . Между катушками находился диэлектрик (воздух). При проведении измерений приёмная катушка отдалялась от передающей с шагом в 5 мм.

Из полученных результатов видно, что при передаче энергии на расстояние до 15 мм оптимальным решением будет использование однослойных катушек или двухслойных катушек из многожильного провода.

При вращении системы соосность катушек нарушается вследствие чего снижается передаваемая мощность и принимаемая энергия имеет пульсационный характер. Для снижения потерь и пульсаций необходимо использовать оптимальное количество и расположение катушек. Число катушек берётся из расчёта на максимальную длительность интервала с наибольшей передаваемой мощностью. Поэтому была исследована зависимость КПД системы при смещении центров катушек по эллиптической траектории.

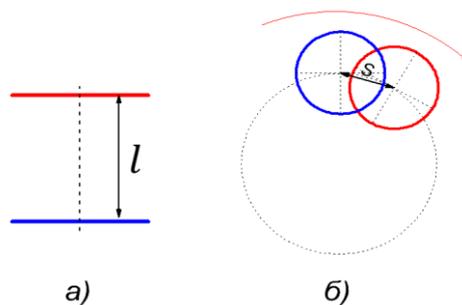


Рис.5. Конфигурация размещения катушек при эксперименте:
а) в плоскостях; б) во вращающейся системе.

По полученным зависимостям можно сказать, что однослойная катушка и двухслойная катушка из многожильного провода являются наиболее перспективными для применения во вращающейся системе. За счёт довольно длинного участка зависимости с КПД > 60% можно использовать всего пять катушек на приёмной стороне и две катушки - на передающей, что снижает её общую сложность и габариты системы.

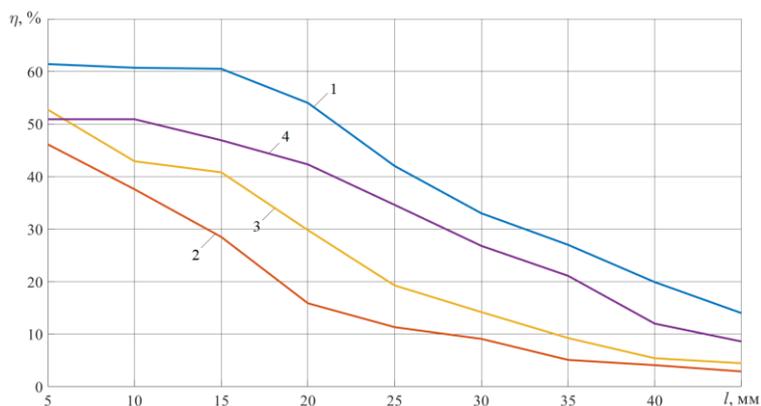


Рис. 6. Зависимость КПД устройства от расстояния между передающей и приёмной катушками: 1 - Однослойная катушка; 2 - Двухслойная катушка; 3 - Двухслойная бифилярная катушка; 4 - Двухслойная катушка из многожильного провода

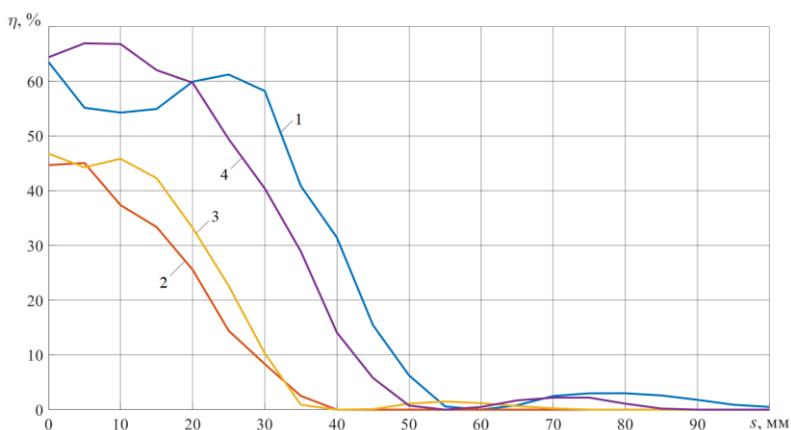


Рис. 7. Зависимость КПД устройства от расстояния смещения центров передающей и приёмной катушек по эллиптической траектории: 1 - Однослойная катушка; 2 - Двухслойная катушка; 3 - Двухслойная бифилярная катушка; 4 - Двухслойная катушка из многожильного провода

Заключение

По результатам исследований можно утверждать о перспективности метода магнитной индукции в области обеспечения питания вращающихся элементов различных устройств. Полученные данные позволяют сделать вывод о том, что однослойная катушка и двухслойная катушка из многожильного провода являются наиболее подходящими для применения в подобных системах питания. В дальнейших исследованиях планируется изучить зависимость передаваемой мощности от количества витков в передающей и приёмной катушках, а также определить минимально необходимое количество приёмных и передающих контуров в системе для обеспечения заданной мощности и уровня пульсаций. Довольно перспективным может быть использование прямоугольных катушек. Используя прямоугольные катушки, возможно, получится сократить необходимое количество приёмных катушек с пяти до трёх. Результаты данной работы будут внедрены в производство новых изделий ОАО «Пеленг».

Список литературы

1. Кураев А.А. Электродинамика и распространение радиоволн / А.А. Кураев, Т.Л. Попкова, А. К. Сеницын. Минск: Бестпринт; 2004.
2. Отчёт МСЭ-R SM.2303-2 (06/2017) Беспроводная передача энергии с использованием технологий, не предусматривающих передачу с помощью радиочастотного луча.
3. Немцов М.В. Справочник по расчёту параметров катушек индуктивности. 2-е издание. Москва: Энергоатомиздат; 1989.