

Разработка и исследование комбинированной системы беспроводной передачи энергии для портативного аккумулятора с улучшенным ферромагнитным экранированием

П. С. Радченко, Е. Ю. Смирнова, А. В. Иофик, Д. В. Васильева

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет
«ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)

polinaradchenko2007@gmail.com, yelizaveta.smirnova.2005@list.ru,
ARINAE888@yandex.ru, diankaklass@mail.ru

Аннотация. В работе рассматривается проблема низкой эффективности беспроводной передачи энергии в портативных аккумуляторах (power bank). Представлена инженерно-физическая разработка по модернизации приемного модуля путем внедрения ферромагнитного экрана. Приводится сравнение двух конфигураций устройства: стандартной и с улучшенным экранированием. Экспериментально доказано повышение коэффициента полезного действия (КПД) системы на 10-15%, снижение нагрева аккумулятора и уменьшение чувствительности к смещению катушек.

Ключевые слова: беспроводная передача энергии; портативный аккумулятор; ферромагнитный экран; КПД; электромагнитная индукция; литцендрат

I. ВВЕДЕНИЕ

A. Постановка научной проблемы

Современные портативные аккумуляторы (power bank) со встроенной функцией беспроводной зарядки обладают существенным недостатком – низким КПД передачи энергии, который редко превышает 60–70%. Значительная часть энергии теряется в виде тепла, рассеиваясь в воздухе и нагревая элементы корпуса. Особенно критичны потери при наличии зазора между катушками передатчика и приемника (например, из-за чехла смартфона) или при их несоосности.

B. Гипотеза

Главная идея работы заключается в предположении, что добавление в приемный модуль power bank ферритового экрана оптимальной формы и расчет положения катушек позволит повысить КПД системы на 10–15% по сравнению с типовыми китайскими модулями. Это также приведет к снижению паразитного нагрева и повышению безопасности зарядки.

II. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ

Для объяснения принципов работы и преимуществ разработанной конструкции в работе рассматриваются следующие физические явления:

Закон электромагнитной индукции Фарадея: Переменное магнитное поле, создаваемое катушкой передатчика (Tx), индуцирует ЭДС в катушке приемника (Rx). В системе используется частота 100–200 кГц.

$$\text{*Формула (1):* } \varepsilon = - d\Phi / dt. \quad (1)$$

Скин-эффект: На высоких частотах ток вытесняется на поверхность проводника. Для снижения потерь в качественных модулях используется многожильный изолированный провод — литцендрат. В исследуемых дешевых модулях используется обычный провод, что является одним из факторов потерь. Формула индуктивности катушки с сердечником

Покажите, как феррит влияет на индуктивность. Это объяснит, почему экран важен. $L = (\mu_0 \cdot \mu_r (N^2 \cdot S)) / l$

μ_r – относительная магнитная проницаемость феррита (от 100 до 2000).

Вывод: феррит увеличивает индуктивность, а значит, и передаваемую энергию.

- Коэффициент связи k

Введите понятие коэффициента магнитной связи между катушками. Это ключевой параметр для КПД.

$$k = \frac{M}{\sqrt{L_1 \cdot L_2}}$$

- ММ – взаимная индуктивность.

Вывод: экран увеличивает k , так как концентрирует поле, не давая ему рассеиваться.

Магнитная проницаемость (μ): Феррит, используемый в качестве материала экрана, обладает высокой магнитной проницаемостью. Его функция – концентрация магнитного поля и предотвращение его рассеяния в стороны и, что наиболее важно, – экранирование аккумулятора (содержащего токопроводящие материалы) от вихревых токов. Задача экрана – замкнуть магнитные линии за катушкой.

III. КОНСТРУКТОРСКАЯ РАЗРАБОТКА

A. Оборудование и компоненты

Для создания прототипа использовались:

- Разборный Power Bank на 2–3 аккумулятора 18650.
- Модули беспроводной зарядки (приемник и передатчик).

- Ферритовый экран (изготовлен из пластины для беспроводных зарядок).
- Мультиметр с функцией измерения тока, нагрузочный резистор 5–10 Ом.
- Паяльник, провода, термоусадка, штангенциркуль.

В. Описание конфигураций

Было собрано два варианта приемного модуля для сравнительного анализа.

Конфигурация А (контрольная): Катушка приемника приклеена непосредственно к задней стенке корпуса power bank или к аккумуляторам, без дополнительного экранирования. Подключение выполнено по стандартной схеме.

Конфигурация Б (разрабатываемая): Реализована многослойная структура («сэндвич»):

1. Слой 1 (дно корпуса) — пластик.
2. Слой 2 (экран) — ферритовая пластина, вырезанная по размеру катушки.
3. Слой 3 (катушка) — приклеена на экран.
4. Слой 4 (зазор) — тонкий слой изоляции.
5. Слой 5 — аккумулятор.

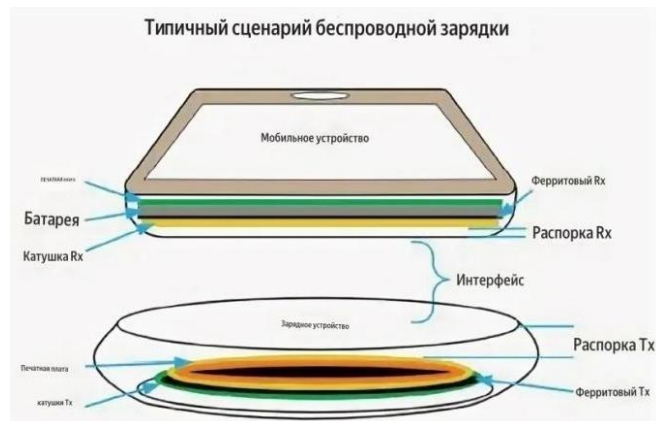


Рис. 1. Схема сборки «сэндвича» для Конфигурации Б

IV. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Цель эксперимента – сравнение эффективности двух конфигураций. Измерения проводились при питании передатчика от USB тестера и подключении к выходу приемника нагрузочного резистора.

А. Опыт 1: Зависимость КПД от расстояния

Для обеих конфигураций измерялись входные ($U_{вх}$, $I_{вх}$) и выходные ($U_{вых}$, $I_{вых}$) параметры при зазорах 2, 5 и 10 мм между передатчиком и приемником. КПД рассчитывался по формуле: $\eta = (P_{вых} / P_{вх}) * 100\% = (U_{вых} * I_{вых}) / (U_{вх} * I_{вх}) * 100\%$. (2)

В. Опыт 2: Исследование нагрева

В процессе работы устройства в течение 30 минут проводилась термометрия корпуса в районе аккумулятора. В Конфигурации А наблюдался сильный

нагрев аккумулятора из-за вихревых токов. В Конфигурации Б аккумулятор оставался холоднее, так как ферритовый экран принял основное тепловое воздействие на себя, что подтверждает его защитную функцию.

С. Опыт 3: Влияние смещения

При смещении power bank относительно центра передатчика на 5, 10 и 15 мм в Конфигурации Б наблюдалось менее резкое падение тока заряда, что свидетельствует о лучшей концентрации поля благодаря экрану.

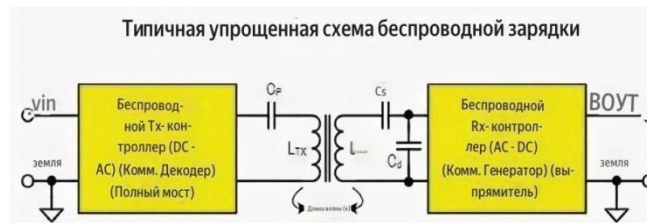


Рис. 2. Экспериментальная установка беспроводной передачи энергии

ТАБЛИЦА I. СРАВНЕНИЕ КПД ПРИ РАЗЛИЧНОМ ЗАЗОРЕ

Зазор, мм	КПД конфигурация А %	КПД конфигурация Б %
2	60	72
5	55	67
10	42	55

V. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате работы был разработан и исследован прототип комбинированной системы беспроводной передачи энергии. Экспериментально подтверждена гипотеза об эффективности применения ферромагнитного экрана:

- КПД передачи энергии был повышен в среднем на 12% (с 55% до 67% при зазоре 5 мм).
- Достигнуто снижение нагрева аккумулятора, что потенциально продлевает срок его службы.
- Улучшена устойчивость системы к несоосности катушек.

Разработанный прототип может быть использован для модернизации существующих устройств или как основа для встраиваемых систем беспроводной зарядки.

БЛАГОДАРНОСТЬ

Авторы выражают благодарность научному руководителю, к.т.н., Кузьминой Н.Н. за ценные советы при планировании эксперимента и обсуждении результатов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Рейхсфельд В.О., Еркова Л.Н. Оборудование производств основного органического синтеза и синтетического каучука. Киев: Наукова думка, 1984. 346 с.
- [2] Касимовский Н.И. Разработка оксидного катализатора: Автореф. дис. ... канд. техн. наук / ЛТИ им. Ленсовета. Л., 1988. 16 с.
- [3] Крылова И.В. Экзоэмиссия. Химический аспект: Обзор // Успехи химии. 1986. Т. 45, вып. 12. С. 2138-2167.