

Устройство для беспроводной зарядки аккумуляторных батарей БПЛА

Расширение возможностей применения беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) приводит к повышению требований к продолжительности их автономной работы — с целью увеличения максимального времени нахождения в полете при удаленности от базовой станции. Решить эту задачу возможно либо увеличением емкости аккумуляторных батарей (АКБ) на бортах БПЛА, либо подзарядкой источников питания во время работы, без возвращения на базовую станцию. На данном этапе технологического развития повышение емкости аккумуляторов влечет за собой неизбежное увеличение их габаритных размеров и массы, что не всегда целесообразно, принимая во внимание специфику работы БПЛА. Исходя из этого в статье предложен вариант беспроводного зарядного устройства, которое позволит расширить время автономной работы.

Ярослав Зазулин
Павел Карпунин
Константин Киреев
rajuka@yandex.ru

Технология бесконтактной передачи электрической энергии позволяет осуществлять питание различных устройств от источника переменного сигнала через слой диэлектрика

без использования гальванической связи. В таких системах для осуществления передачи энергии от источника к приемнику применяется явление электромагнитной индукции [1–4].

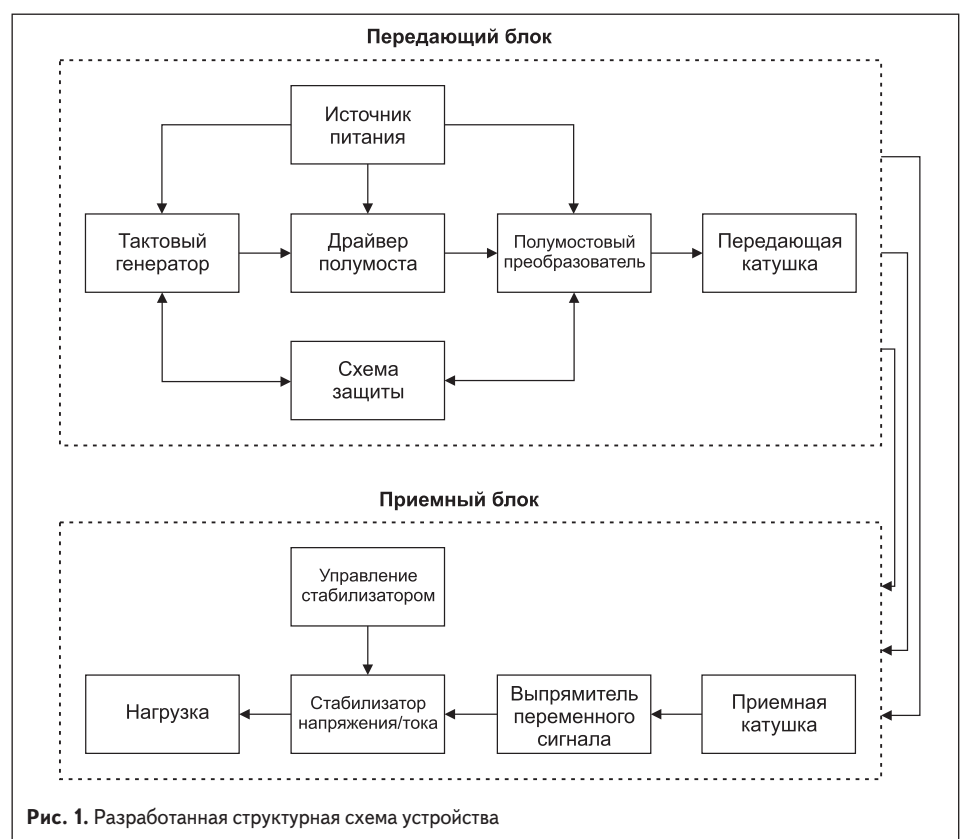


Рис. 1. Разработанная структурная схема устройства

Для обеспечения работы подобной системы технически требуется наличие трех основных элементов: передатчика, канала связи и приемника. В передатчике осуществляется преобразование энергии постоянного электромагнитного поля от источника питания в форму изменяющегося во времени (чаще всего по гармоническому закону) электромагнитного сигнала, который может распространяться по каналу связи. В его качестве зачастую выступает воздушное пространство. На приемной стороне происходит прием излучаемой передатчиком энергии и преобразование ее в энергию постоянного электромагнитного поля для дальнейшей подачи на аккумуляторную батарею БПЛА.

На основе изложенных особенностей построения подобных систем разработана структурная схема устройства беспроводной передачи энергии (рис. 1), состоящего из двух основных частей: передающего и приемного блоков.

В состав передатчика входят источник питания, генератор тактовых импульсов, полумостовая транзисторная схема и ее драйвер, передающая катушка индуктивности. В составе приемника имеются приемная катушка, выпрямитель сигнала, фильтрующий элемент, стабилизатор напряжения, нагрузочный элемент.

На основе этого были разработаны принципиальные электрические схемы передающего (рис. 2) и приемного (рис. 3) устройств.

Рассмотрим подробнее принцип работы передающего устройства и опишем его функциональные узлы.

В качестве источника питания выступает источник постоянного напряжения +24 В, мощностью 100 Вт. Энергия этого источника используется для работы микросхем тактового генератора и полумостового драйвера. Также в нагрузку данного источника предусмотрена полумостовая транзисторная схема, преобразующая постоянный сигнал в переменный

для его последующей передачи в приемное устройство.

Тактовый генератор и полумостовой драйвер, реализованные на микросхемах TL494D и IR2113S соответственно, управляют поочередным переходом транзисторов в полумостовой схеме из закрытого состояния в открытое и обратно. Обвязка микросхемы тактового генератора выбрана с учетом необходимости получения на его выходах двух последовательностей не перекрывающихся друг друга прямоугольных импульсов частотой 100 кГц [5].

Основой полумостового драйвера выбрана микросхема IR2113S, чья функция заключается в управлении полупроводниковым модулем (в нашем случае полумостовым транзисторным преобразователем) и осуществлении защитных функций. Главной задачей, решаемой схемой управления затвором, является согласование уровней импульсов, вырабатываемых контроллером, с сигналами управления входами силовых ключей.

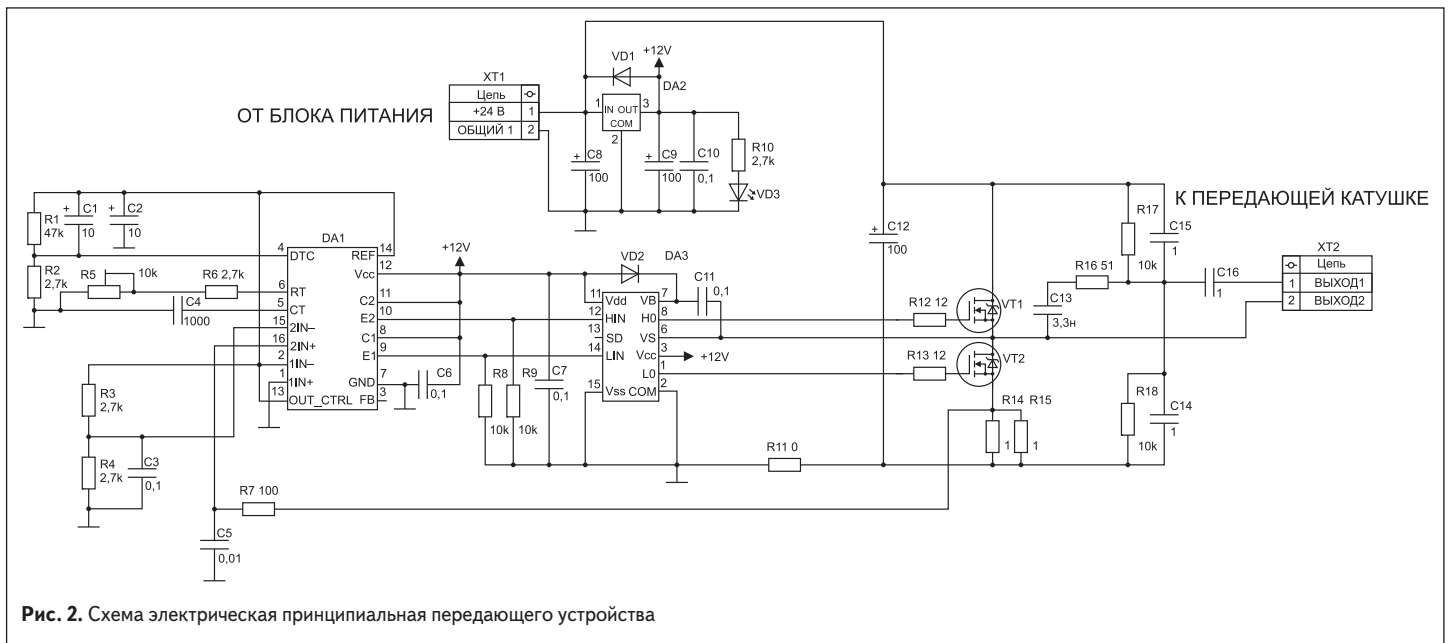


Рис. 2. Схема электрическая принципиальная передающего устройства

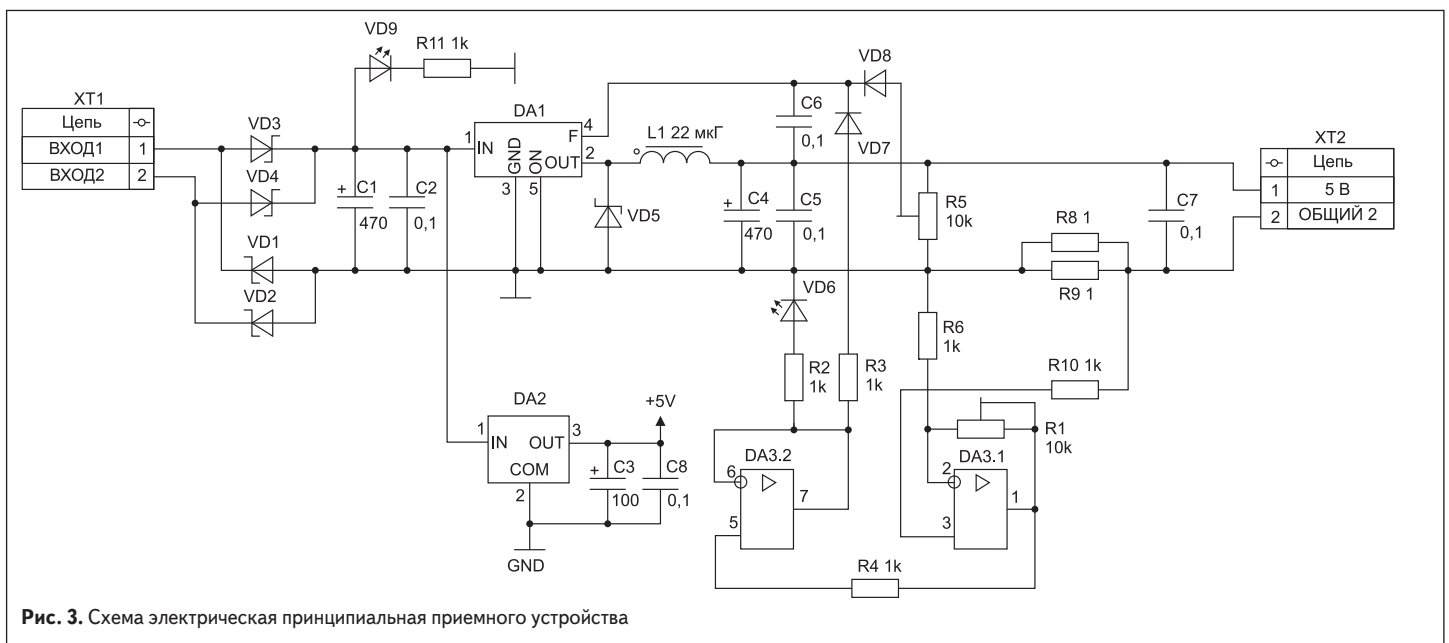


Рис. 3. Схема электрическая принципиальная приемного устройства

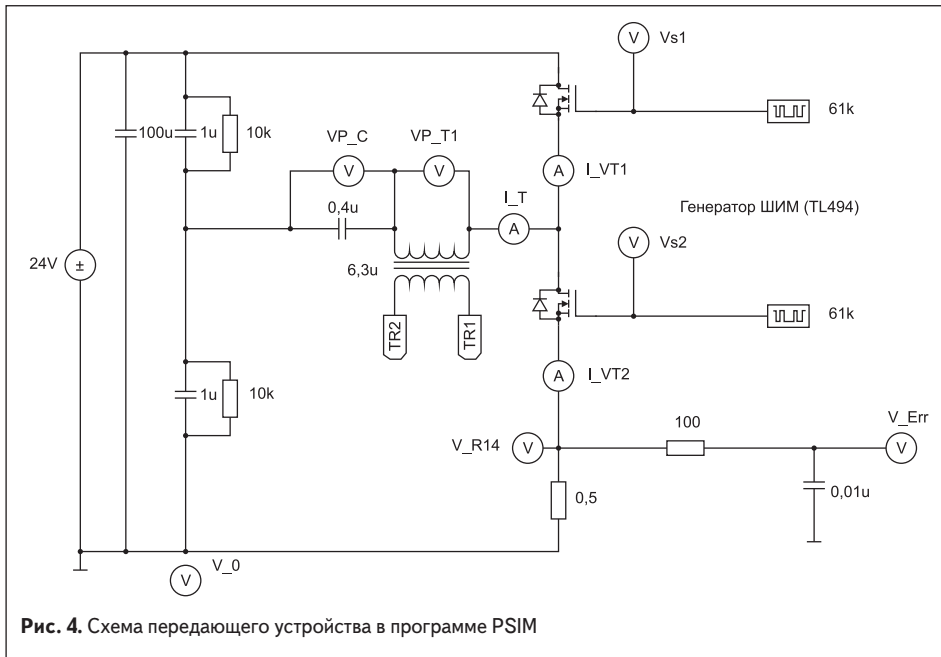


Рис. 4. Схема передающего устройства в программе PSIM

Преобразование энергии постоянного сигнала в переменный осуществляется с помощью полумостового преобразователя на транзисторах IRF540N. Принцип действия полумостового преобразователя

заключается в следующем: в то время, пока открыт транзистор VT1, ток протекает условно в «положительном» направлении через нагрузку (катушку индуктивности). Транзистор VT2 в данный момент остается

закрытым. Однако после того как на затвор транзистора VT2 приходит управляющий импульс, который его открывает (сигнал на затворе VT1 отсутствует), ток через нагрузку протекает в обратном направлении (условно «отрицательном»). Так энергия от источника постоянного напряжения преобразуется в периодически изменяющийся во времени сигнал. При этом важной особенностью в построении таких схем является учет так называемого мертвого времени. Этот термин подразумевает интервал времени между тактовыми импульсами, которые переводят транзисторы в открытое состояние. Если импульсы будут следовать один за другим, возможна некорректная работа схемы [6].

Далее переменный сигнал поступает на катушку индуктивности, которая выступает в качестве передающей антенны.

На входе приемного устройства расположена катушка индуктивности, которая служит приемной антенной.

Выпрямление принятого переменного сигнала выполняется диодами 30BQ100, включенными по схеме мостового выпрямителя. Далее расположены конденсаторы, которые фильтруют возможные высокочастотные импульсы. Светодиод VD9 используется для индикации наличия сигнала.

С конденсаторов сигнал подается на стабилизатор тока/напряжения. Он позволяет получать на своем выходе постоянный сигнал напряжением 5 В мощностью 7,5 Вт. При этом в данном стабилизаторе заложена возможность регуляции напряжения и тока. Напряжение, возникающее на резисторах R8, R9, равно примерно 1 В. Такое схемотехническое решение связано в первую очередь с относительно большой мощностью (ток, протекающий через них, равен 2 А). С помощью резисторов R1 и R5 регулируются установочные ток и напряжение соответственно. Если выходное напряжение превышает установочное, то сигнал начинает протекать через диод VD8, если же ток увеличивает уставку, то сигнал начинает протекать через диод VD7. Подобная схема позволяет реализовать двойную защиту: по току и по напряжению.

Моделирование работы электрической схемы

Правильность функционирования разработанной электрической схемы устройства можно проверить в среде моделирования PSIM.

Соберем передающую часть устройства (рис. 4).

На затворы транзисторов поступают отпирающие импульсы с тактового генератора на микросхеме TL494ID. На рис. 5 приведены диаграммы сигналов на выходах схемы.

Значения Vs1 и Vs2 показывают тактовые импульсы на затворах транзисторов VT1 и VT2. Значение I_T характеризует ток в катушке индуктивности. Как можно заметить, ток в катушке является периодически изменяющимся во времени сигналом, представляющим собой полуволны синусоиды,

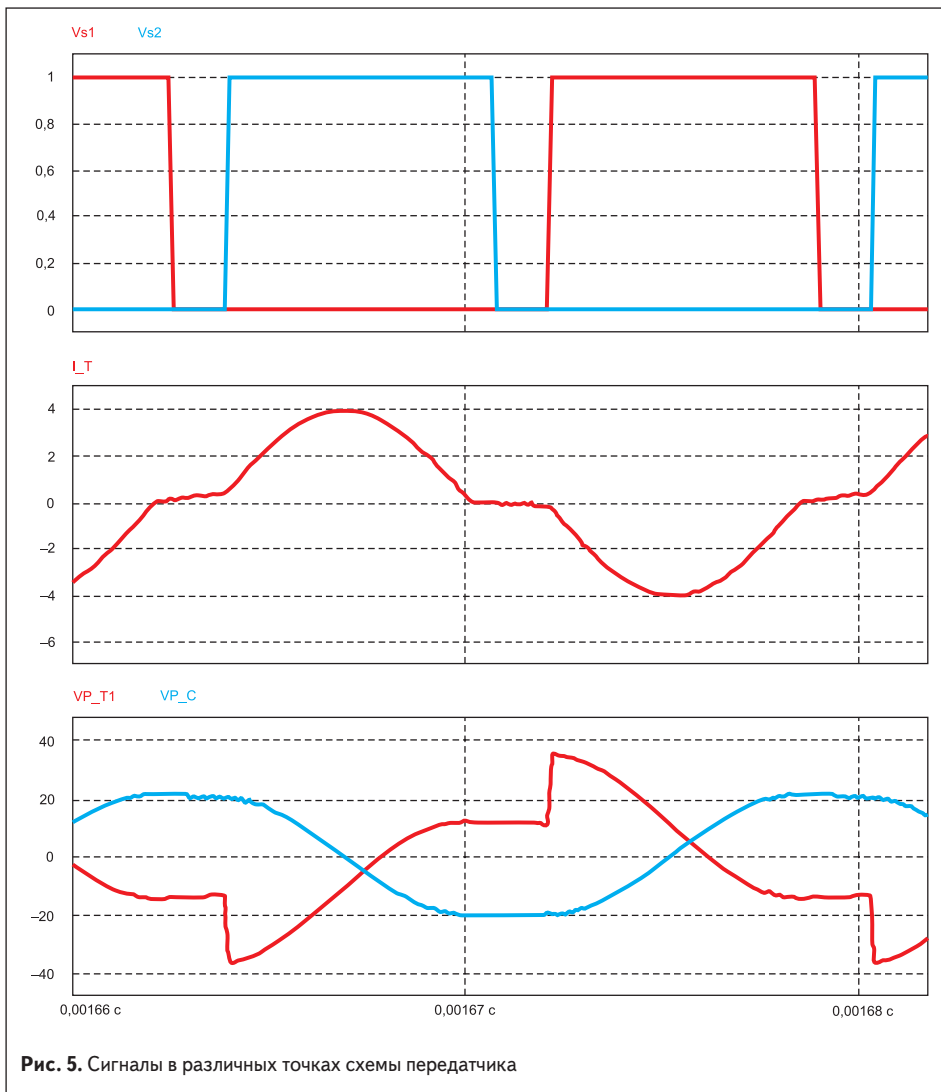


Рис. 5. Сигналы в различных точках схемы передатчика

разделенные паузами в сигнале. Это связано с наличием мертвого времени, описанного выше. Графики VP_T1 и VP_C характеризуют сигналы напряжения на катушке и на последовательно включенном с ней конденсаторе. На рис. 6 представлены зависимости сигналов в точках I_VT1 и I_VT2.

Промоделируем схему приемника энергии в программе PSIM (рис. 7).

При моделировании данной схемы практический интерес представляют только зависимости выходного тока и выходного

напряжения от времени. Данные графики приведены на рис. 8.

Как видно из моделирования, разработанная принципиальная схема соответствует ожидаемым результатам и полностью работоспособна. Однако следует отметить, данное моделирование не учитывает влияние расстояния между приемной и передающей катушкой, а также воздействие скин-эффекта (который все более явно проявляет себя при увеличении частоты). Рассмотрим устройство, созданное с учетом такого влияния.

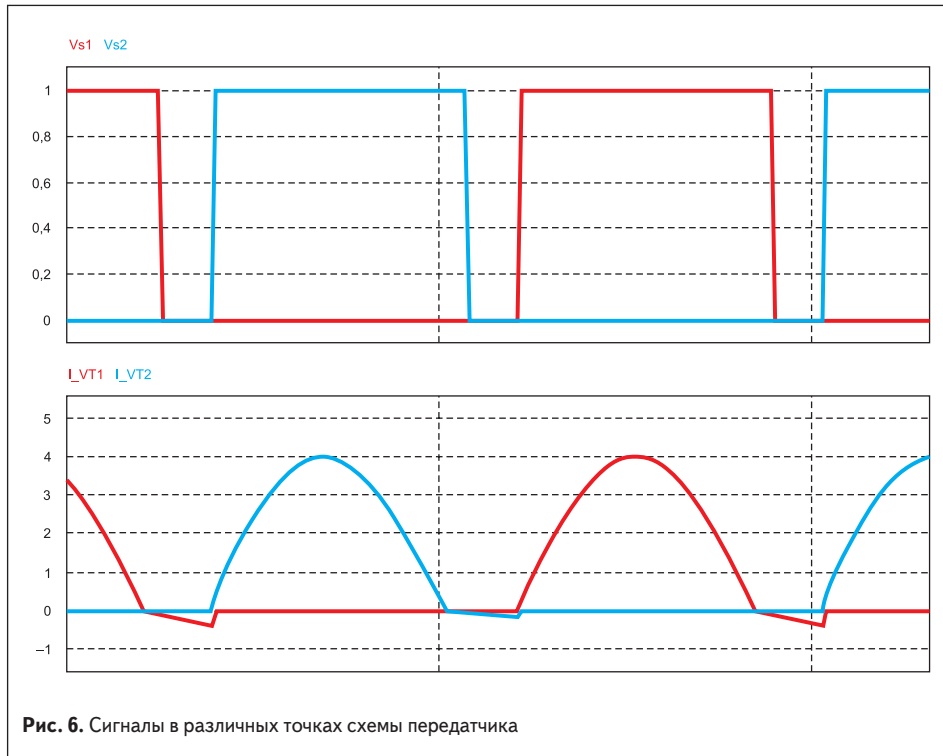


Рис. 6. Сигналы в различных точках схемы передатчика

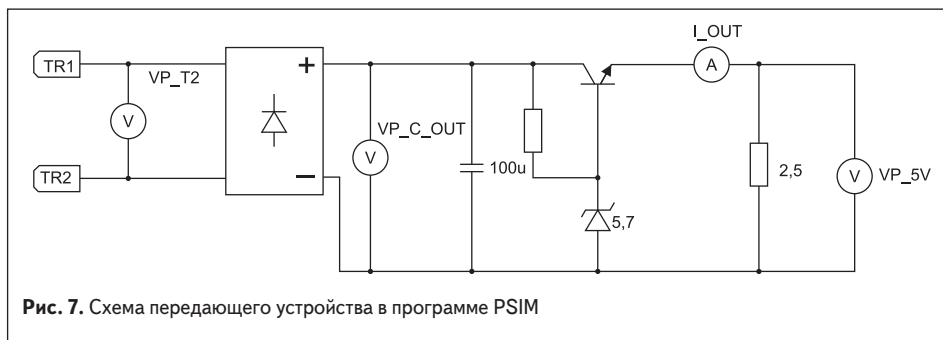


Рис. 7. Схема передающего устройства в программе PSIM

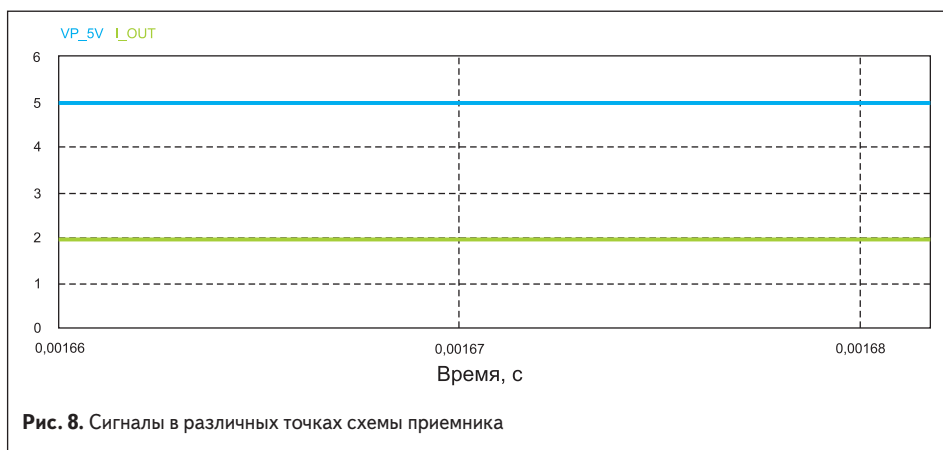


Рис. 8. Сигналы в различных точках схемы приемника

Разработка экспериментального образца

Разработанное устройство, согласно техническому заданию, предназначено для осуществления беспроводной подзарядки аккумуляторных батарей БПЛА. Для наглядной демонстрации образца устройство представляется без корпуса. Плата устройства изготавливается из фольгированного стеклотекстолита. Внешний вид макета устройства приведен на рис. 9.

На рис. 10 и 11 изображены осциллограммы выходного напряжения на передающей катушке и напряжения на выходе приемника.

Как видно из графиков, теоретические данные, полученные в ходе моделирования, полностью подтвердились на практике. Получено выходное постоянное напряжение амплитудой 5 В на нагрузке 5 Ом.

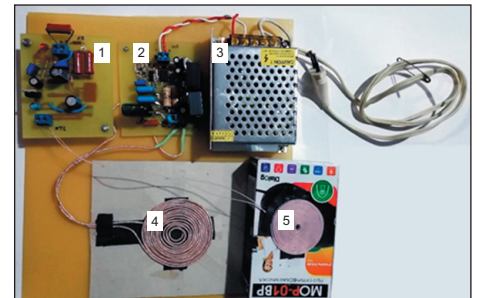


Рис. 9. Макет устройства: 1 – плата приемника, 2 – плата передатчика, 3 – блок питания, 4 – катушка передатчика, 5 – катушка приемника

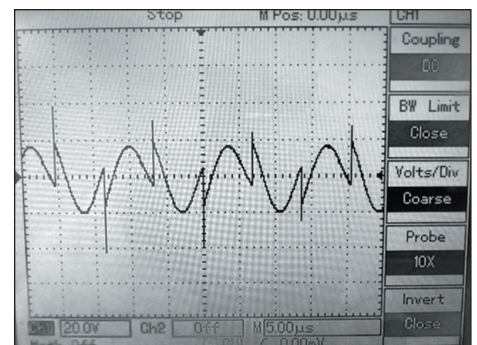


Рис. 10. Осциллограмма выходного напряжения на передающей катушке

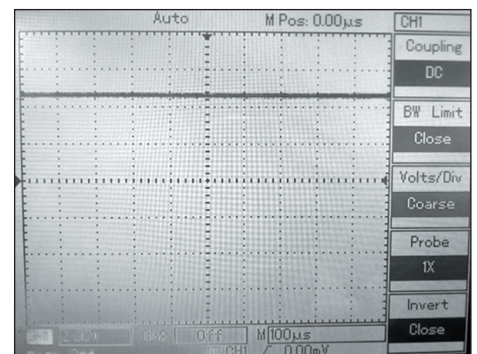


Рис. 11. Осциллограмма выходного напряжения на передатчике

В данной статье был приведен вариант схемотехнической реализации системы беспроводной подзарядки АКБ БПЛА, обладающей следующими характеристиками:

- Напряжение питания: +24 В.
- Рабочая частота системы: 100 кГц.
- Напряжение заряда: +5 В.
- Ток заряда: 2 А.

При этом система имеет большой потенциал для улучшения: организация канала связи передатчика энергии с БПЛА, автоподстройка частоты (для управления передаваемой мощностью), увеличение количества передающих антенн. ■

Литература

1. Матвеев А. Н. Электричество и магнетизм. Учеб. пособие. М.: Наука, 2005.
2. Тамм И. Е. Основы теории электричества. М.: Наука, 2003.
3. Калашников С. Г. Электричество. Учеб. пособие. Изд 6-е., стереот. М.: Физматлит, 2003.
4. Парсел Э. Берклеевский курс физики. Т. 2. Электричество и магнетизм. Пер. с англ. М.: Наука, 1983.
5. TL494 Pulse-Width-Modulation Control Circuits datasheet. www.ti.com/lit/ds/symlink/tl494.pdf
6. Мелешин В. И. Транзисторная преобразовательная техника. Учебник для вузов. М: Техносфера, 2005.
7. Grajski K. A., Tseng R., Wheatley C. Qualcomm Incorporated. Loosely-Coupled Wireless Power Transfer: Physics, Circuits, Standards. IEEE, 2012.
8. Kesler M., Dr. Highly Resonant Wireless Power Transfer: Safe, Efficient, and over Distance. WiTricity Corporation. www.witricity.com/wp-content/uploads/2016/12/White_Paper_20161218.pdf
9. Bastami S. Magnetic Induction or Magnetic Resonance for Wireless Charging? // Bodo's Power Systems. January, 2013
10. Estabrook M. The convenience of wireless charging: It's just physics. MediaTek, 2013.
11. System Description Wireless Power Transfer Volume I: Low Power Part 1: Interface Definition Version 1.0.1. October 2010.
12. Vikram J. G. Qi Versus power 2.0: Who Will Win the Wireless Charging Challenge? www.electronicsforu.com/electronics-projects/electronics-design-guides/qi-versus-power-2-0-will-win-wireless-charging-challenge
13. Umenei A. E. Understanding low frequency non-radiative power transfer. Fulton Innovation, 2011.
14. Хрусталева Д. А. Аккумуляторы. М.: Изумруд, 2003.