

УДК 62-523.8

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ КОММУТАЦИЯ БОРТОВЫХ ПОСАДОЧНЫХ ЭЛЕКТРОДОВ БПЛА С ОТКРЫТЫМИ КОНТАКТНЫМИ ПЛОЩАДКАМИ ЗАРЯДНОЙ ПЛАТФОРМЫ

В.С. Фетисов (*v.fetisov@ieee.org*)Ш.Р. Ахмеров (*shamil1810@list.ru*)Р.В. Сизоненко (*roman.sizonenko9@gmail.com*)

Уфимский государственный авиационный технический университет, Уфа

Аннотация. В статье рассматриваются наземные зарядные станции для подзарядки электрических беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) на основе открытых контактных площадок. Представлена одна из оригинальных разработок авторов – зарядная станция на основе матриц так называемых интеллектуальных контактов. Достоинствами разработки является возможность постановки БПЛА на зарядку в условиях неточной посадки, способность обеспечивать зарядку одновременно нескольких аппаратов, а также большая, относительно других известных решений, площадь контактирования.

Ключевые слова: беспилотный летательный аппарат, зарядка, аккумуляторная батарея, зарядная станция, посадочная платформа.

Введение

Несмотря на серьезные технологические достижения в области повышения энергоемкости литий-полимерных аккумуляторов, являющихся на сегодняшний день основным типом бортовых источников питания для малых БПЛА, их зарядки хватает обычно на 30-40 мин полета для аппаратов вертолетного типа, или 3-4 часа для аппаратов самолетного типа. Для выполнения многих задач этого недостаточно. Поэтому регенерация источников питания БПЛА (замена или зарядка) является довольно острой проблемой, особенно для БПЛА вертолетного типа, которые более энергозатратны. Далее речь пойдет именно об аппаратах вертолетного типа – вертолетах, мультикоптерах, конвертопланах и других аппаратах, способных совершать вертикальные взлет и посадку (VTOL – Vertical Take-Off and Landing).

Проще всего регенерацию источников питания можно осуществлять на специальных наземных станциях (стационарных или мобильных),

расположенных вблизи зоны действия БПЛА или по маршруту его следования. Хотя существуют и другие способы, описанные например в [Фетисов и др., 2013]. Краткую классификацию и возможные варианты реализации наземных регенерационных станций можно найти в [Fetisov et al., 2012]. По выполняемым функциям эти станции можно разделить на станции замены источников питания и станции подзарядки аккумуляторов (на станциях замены источников питания часто реализуется также еще и функция зарядки снятых с аппаратов разряженных аккумуляторов).

Станции подзарядки можно классифицировать по способу подвода энергии к БПЛА на 3 типа:

- *контактные двухполюсные*, в которых передача энергии производится на постоянном токе посредством двух подводящих проводов, соответствующих полюсам бортового аккумулятора; при этом количество контактов, осуществляющих передачу напряжения, - минимум два, но может быть, как показано дальше, и гораздо больше;

- *контактные однопроводные*, в которых передача энергии осуществляется на переменном токе посредством одного электрода большой площади, на который и производится посадка БПЛА. Преобразование переменного тока в постоянный и управление процессом зарядки аккумулятора в этом случае должно производиться устройствами, расположенными на борту. Преимуществом такой посадочной платформы является отсутствие жестких требований к качеству контактирования бортового и наземного электродов;

- *бесконтактные*, в которых передача энергии от наземной платформы на борт летательного аппарата осуществляется посредством переменного магнитного поля, охватывающего витки приемного контура на борту и передающего контура на земле. Возможны различные варианты реализации такого способа: это может быть сделано, например, посредством связанных резонансных контуров [Kurs et al., 2007] или путем отбора энергии с линии электропередач с помощью разъемных кольцевых магнитопроводов [Marshall, 2008].

При посадке БПЛА на наземную зарядную платформу в силу разных причин сложно избежать различных погрешностей приземления и соблюдения точное позиционирование аппарата, при котором бы обеспечивалось правильное соединение друг с другом бортовых и наземных стыковочных элементов. Поэтому разработка зарядной станцией с такой посадочной платформой, на которой зарядка аппарата могла бы осуществляться при любом его положении – это актуальная задача. Более того, желательно, чтобы на такой платформе могло бы обслуживаться одновременно несколько аппаратов. Из трех перечисленных выше способов подвода энергии к БПЛА для решения данной задачи пригодны все, однако контактные двухполюсные зарядные

станции обладают наибольшим КПД передачи энергии. Кроме того, в этом случае, в отличие от двух других способов, нет необходимости размещать на борту БПЛА какие-либо дополнительные преобразователи и управляющие процессом зарядки устройства, - это все может быть расположено на земле. В данной статье речь идет именно о контактных двухполюсных зарядных станциях.

Контактирование соответствующих бортовых и наземных электродов может быть реализовано, например, с помощью штепсельных соединителей, однако в этом случае потребуются либо довольно точная посадка БПЛА, либо специальный механизм (например, колесное шасси) и подсистема управления, реализующие подход аппарата к штепсельному соединителю уже после посадки. Однако для малых БПЛА такой путь неоправданно сложен и приводит к утяжелению аппаратов. Авторами в качестве основной идеи для разработки была принята концепция открытых контактных площадок. Эта концепция состоит в формировании массива специальным образом организованных плоских контактных площадок, которые в совокупности со специальными электронными устройствами могут обеспечивать посадку одного или одновременно нескольких БПЛА с открытыми электродами бортового аккумулятора и следующую за этим подзарядку от наземного источника.

1 Принцип действия зарядной станции на основе матриц интеллектуальных контактов

Посадочная платформа предлагаемой зарядной станции включает в себя большое количество контактных площадок-электродов, избыточное относительно простого двухполюсного соединения. Каждая площадка является т.н. "интеллектуальным контактом", поскольку к ней подсоединена электронная схема, в функции которой входит определение величины и полярности напряжения на этой площадке (если оно передано от приложенного бортового посадочного электрода) и подключение к этой контактной площадке соответствующего напряжения от наземного источника питания. Предположим, контактные площадки имеют квадратную форму и изолированы узкими промежутками. Если бортовые посадочные электроды, к которым подключены полюса аккумулятора бортсети, имеют плоскую прямоугольную форму ("лыжи"), то ширина этих электродов должна быть немного больше зазора между наземными контактными площадками, а расстояние между бортовыми электродами должно быть больше диагонали квадрата площадки (для избежания замыкания полюсов).

Каждый узел управления интеллектуальным контактом представляет собой функциональную связку "Усилитель – Анализатор – Коммутатор",

которая проще всего реализуется на основе стандартных микроконтроллеров. Фрагмент схемы управления подключением контактных площадок на основе микроконтроллера DD1 (ATMEGA32L-8AU) показан на рис.1. Один микроконтроллер может управлять подключением /отключением восьми контактных площадок.

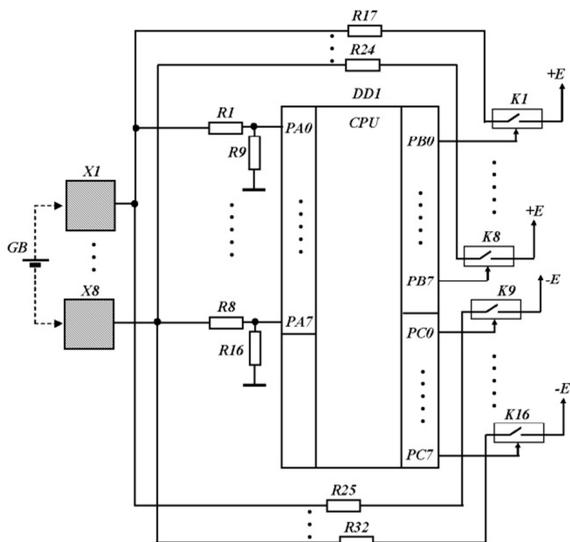


Рис.1. Схема управления подключением контактных площадок на основе микроконтроллера

Контактные площадки X1-X8 через резистивные делители R1, R9 – R8, R16 подключены к портам ввода аналоговых сигналов PA0 – PA7 микроконтроллера DD1. В дежурном режиме микроконтроллер производит циклический опрос этих портов и анализ их состояния. После посадки БПЛА на матрицу контактных площадок на отдельных из них появляется напряжение, имеющее относительно земли положительную или отрицательную полярность. Номера выявленных активных площадок и соответствующие полярности запоминаются, после чего обращения к портам PA0 – PA7 прекращаются, а на отдельные из цифровых портов вывода PB0 – PB7, PC0 – PC7 выдаются управляющие сигналы для подключения через ключевые элементы K1 – K16 и токоограничивающие резисторы того или иного полюса зарядного источника E. Команда на размыкание ключей формируется этим же контроллером по сигналам из других подсистем. Преимущество такой схемы управления состоит в том, что измерительная и исполнительная части разделены, непосредственная обратная связь между ними отсутствует, а следовательно, отсутствуют

предпосылки для случайных сбоев, обусловленные наличием такой связи. Кроме того, практически отсутствуют ограничения на количество одновременно коммутируемых контактных площадок.

Таким образом, после приземления на платформу часть площадок, находящихся под бортовыми электродами, будет активирована, т.е. подключена к соответствующему полюсу наземного зарядного источника (рис.2).

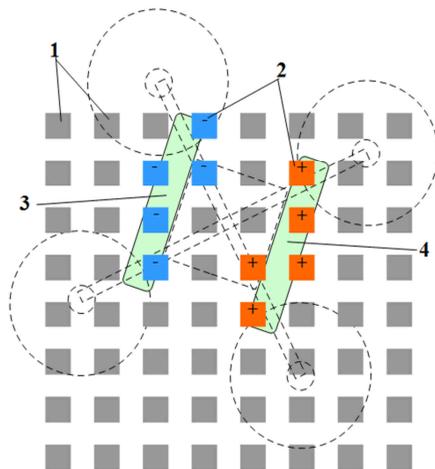


Рис.2. Схема подключения контактных площадок после приземления квадрокоптера на платформу: 1 – неактивированные площадки, 2 – активированные площадки, 3 – отрицательный бортовой электрод, 4 – положительный бортовой электрод

2 Функционирование бортового и наземного оборудования после посадки БПЛА на зарядную платформу

Рассмотрим более детально, как в рамках предложенного подхода может функционировать бортовое оборудование БПЛА и наземное оборудование на зарядной платформе после посадки аппарата на нее.

Пусть источником питания БПЛА является многосекционная литий-полимерная аккумуляторная батарея GB1 (рис. 3). Для безопасной зарядки таких батарей весьма желательно, кроме регулирования зарядного тока по определенной программе, выравнивать напряжения на отдельных секциях батареи. Это делается с помощью специальных контроллеров заряда батареи – балансеров. В данном случае такой контроллер ВС расположен на борту БПЛА. Регулирование тока зарядки осуществляется посредством управляемых низкоомных резисторов R_u . В функции

контроллера ВС входит мониторинг состояния не только при зарядке, но и в полете. Параметры состояния батареи через приемопередатчик RTB периодически передаются на землю.

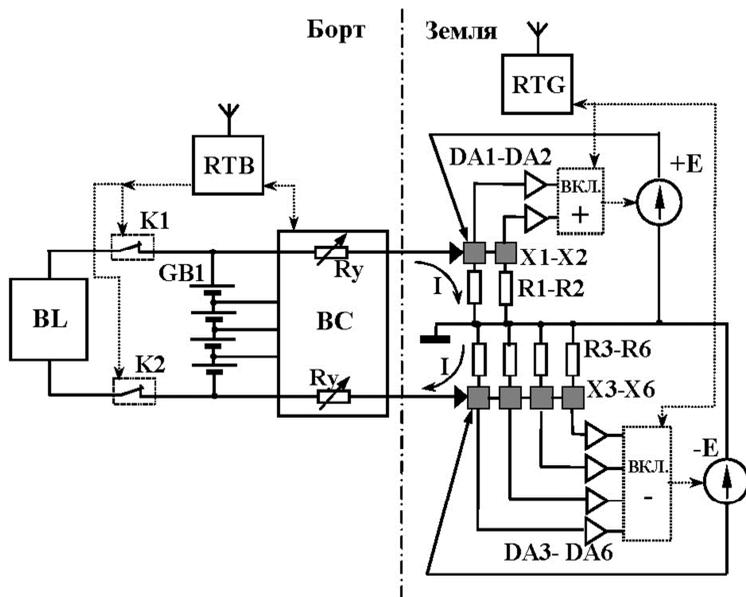


Рис.3. Схема функционирования бортового и наземного оборудования после посадки БПЛА на зарядную платформу

Предположим, при посадке под одним бортовым посадочным электродом оказались контактные площадки X1-X2, а под другим – X3-X6. Между связками этих контактных площадок будет приложено остаточное напряжение батареи GB1. Каждая из контактных площадок соединена с землей посредством соответствующего резистора сопротивлением порядка 100 кОм (R1-R2 и R3-R6). Таким образом, образуется замкнутая цепь "Батарея GB1 – низкоомные резисторы Ry – параллельное соединение резисторов R1-R2 - параллельное соединение резисторов R3-R6". Через указанные соединения резисторов протекает ток I, который создает соответствующие падения напряжения на связках площадок X1-X2 и X3-X6. Эти падения напряжения в общем случае не равны, и их соотношение зависит от количества площадок под каждым из бортовых электродов. Но полярность этих падений напряжений относительно земли всегда будет противоположной. Эти разнополярные напряжения усиливаются до уровней насыщения усилителями DA1-DA2 и DA3-DA6 (входят в состав микроконтроллера, показанного на рис.1). В

соответствии с выявленной полярностью напряжения, приложенного к контактными площадкам, схемы включения зарядных источников ("Вкл.+" и "Вкл.-") подключают к площадкам тот или иной источник (+E или -E). Для нормальной зарядки значение ЭДС последовательно включенных источников 2E должно быть на несколько вольт больше напряжения на электродах максимально заряженной батареи GB1.

После подключения наземных зарядных источников через наземный приемопередатчик RTG на бортовой приемопередатчик RTB уходит команда на запуск процесса зарядки. Одновременно с этим посредством ключей K1, K2 от батареи GB1 отключаются основные бортовые потребители энергии. При этом маломощный RTB не обесточивается – он либо имеет свой собственный источник, либо не отключается от GB1, т.к. мало влияет на процесс зарядки. После завершения процесса зарядки контроллер батареи BC формирует соответствующее сообщение для RTB, который инициирует подключение потребителей к батарее GB1 и передает команду для RTG на отключение зарядных источников от площадок. После этого с RTG на RTB может поступить команда на запуск двигателей.

2 Предпочтительные форма и расположение площадок

Большой зарядный ток можно передать на БПЛА только, если площадь контакта бортовых и наземных электродов достаточна для его пропускания. Эта площадь взаимного контактирования зависит от формы контактных площадок, от величины зазора между ними, от размеров и формы бортовых посадочных электродов.

Аналитически оценить площадь контактирования при различных положениях электродов довольно сложно. Поэтому в среде LabView была написана специальная имитационная программа, позволяющая при заданных форме и размерах бортового посадочного электрода оценить площадь его контактирования с матрицей наземных контактных площадок для всевозможных вариантов расположения. Были проанализированы различные формы и расположения контактных площадок (рис.4).

Наиболее предпочтительными оказались квадратные площадки с укладкой со сдвигом. При увеличении зазоров между площадками разница между исследуемыми вариантами становится более резко выраженной. При уменьшении же зазоров разница между вариантами вполне ожидаемо становится меньше и в пределе исчезает (кроме вариантов с круглыми площадками).

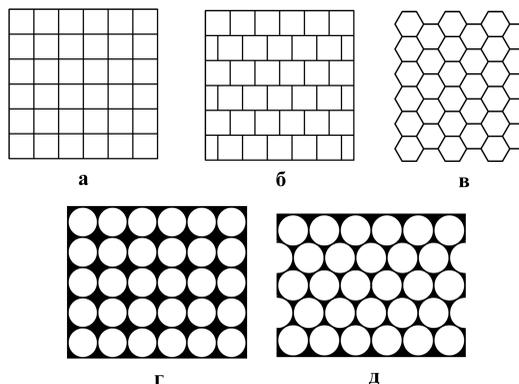


Рис.4. Варианты форм и укладки контактных площадок: а - квадратные с матричной укладкой, б - квадратные с укладкой со сдвигом, в - гексагональные, г - круглые с матричной укладкой, д - круглые с плотной укладкой

Качество контактирования сильно зависит от того, насколько бортовые и наземные электроды плотно прижаты друг к другу. Имеет смысл устанавливать наземные площадки на подпружиненные основания. Это позволяет создать максимально плотный контакт между плоским бортовым электродом и наземными площадками после посадки аппарата.

Заключение

Относительная сложность платформ с матрицами интеллектуальных контактов компенсируется их очевидными достоинствами: возможностью посадки БПЛА в любой точке платформы и обслуживания группы БПЛА одновременно, а также большой площадью контактирования.

Список литературы

- [Фетисов и др., 2013] Фетисов В.С., Тагиров М.И., Мухаметзянова А.И. Подзарядка электрических беспилотных летательных аппаратов: обзор существующих разработок и перспективных решений // *Авиакосмическое приборостроение*. - 2013. - № 11. – С. 7-26.
- [Fetisov et al., 2012] Fetisov V., Dmitriyev O., Neugodnikova L., Bersenyov S., Sakayev I. Continuous monitoring of terrestrial objects by means of duty group of multicopters // *Proceedings of XX IMEKO World Congress "Metrology for Green Growth"*, 9-14 Sept. 2012, Busan, Republic of Korea. P.86.
- [Kurs et al., 2007] Kurs A. et al., *Wireless Power Transfer via Strongly Coupled Magnetic Resonances* // *Science*. - 2007. - Vol. 317. - № 6. - Pp. 83-86.
- [Marshall, 2008] Marshall P.T. Power line sentry charging. US Patent 7318564. Publ. 15.01.2008.