

УДК 621.31.03

UDC 621.31.03

4.3.2 Электротехнологии, электрооборудование и энергоснабжение агропромышленного комплекса (технические науки)

4.3.2 – Electrical technologies, electrical equipment and power supply of agro-industrial. complex (technical sciences)

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАРЯДНЫХ УСТРОЙСТВ ДЛЯ БПЛА

THE STUDY OF CHARGERS FOR DRONES

Баракин Николай Сергеевич
к.т.н., доцент
Scopus Author ID: 57200150182
РИНЦ SPIN-код: 2129-5026

Barakin Nikolai Sergeevich
Cand.Tech.Sci., docent
Scopus Author ID: 557200150182
RSCI SPIN-code: 2129-5026

Оськин Сергей Владимирович
д.т.н., профессор
Scopus Author ID: 57200231297
РИНЦ SPIN-код: 2746-7547

Oskin Sergey Vladimirovich
Dr.Sci.Tech, professor
Scopus Author ID: 57200231297
RSCI SPIN-code: 2746-7547

Кулаков Илья Александрович
студент
Кубанский государственный аграрный университет, Краснодар, Россия

Kulakov Ilya Aleksandrovich
student
Kuban State Agrarian University, Krasnodar, Russia

Широкое использование беспилотной авиации существенно ограничивается необходимостью зарядки аккумуляторных батарей непосредственно на объекте исследования, для чего используются серийные передвижные электростанции. На практике появилась актуальная проблема разработки надежного с низкими массо-габаритными показателями генератора для электроснабжения дронов во время выполнения полетного задания. В статье приведены экспериментальные исследования параметров качества электроэнергии в процессе заряда аккумуляторных батарей зарядными устройствами разных мощностей питающихся от сети. Параметры качества электроэнергии фиксировались сертифицированным прибором – анализатор качества электроэнергии, которые приведены в виде временных графиков изменения напряжения, токов, коэффициентов несинусоидальности напряжения и тока. С учетом проведенного анализа полученных результатов рассмотрена система аккумуляторная батарея – зарядное устройство – автономный источник электроэнергии и предложен вариант использования асинхронного генератора. Приведены инженерные расчеты параметров асинхронного генератора для зарядного устройства

The widespread use of unmanned aircraft is significantly limited by the need to charge accumulator batteries directly at the research facility, for which serial mobile power plants are used. In practice, there is an urgent problem of developing a reliable generator with low mass-dimensional parameters for the power supply of drones during the flight mission. The article presents experimental studies of the parameters of the quality of electricity in the process of charging accumulator batteries with chargers of different capacities powered from the mains. The parameters of the quality of electricity were recorded by a certified device – an analyzer of the quality of electricity, which are given in the form of time graphs of changes in voltage, currents, non-sinusoidal coefficients of voltage and current. Taking into account the analysis of the results obtained, the battery – charger – autonomous power source system was examined and an option for using an asynchronous generator was proposed. Finally, we have also carried out engineering calculations of parameters of the asynchronous generator for the charger

Ключевые слова: БЕСПИЛОТНЫЙ ЛЕТАТЕЛЬНЫЙ АППАРАТ, ЗАРЯДНОЕ УСТРОЙСТВО, ГЕНЕРАТОР, КАЧЕСТВО ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Keywords: DRONE, CHARGER, GENERATOR, ELECTRICITY QUALITY

<http://dx.doi.org/10.21515/1990-4665-188-001>

<http://ej.kubagro.ru/2023/04/pdf/01.pdf>

Введение. Области применения беспилотной авиации на сегодняшний день постоянно расширяются, а актуальность их использования не вызывает сомнения. Так широко применяются беспилотные летательные аппараты (БПЛА) в сельском хозяйстве: для исследования поля на наличие сорной растительности; для дифференцированного внесения жидких удобрений; позволяют осуществить дистанционный мониторинг или картирование сельхоз угодий [4]. Научно исследуются возможности инновационных подходов применения БПЛА – осуществления точечного внесения активированных растворов, инфракрасное исследование сельскохозяйственных полей. Однако с массовым внедрением беспилотных летательных аппаратов на практике начинают появляться проблемы их реализации для решения конкретных задач - построение оптимальных алгоритмов полетных заданий с определением высоты, траектории полета и.т.д. Существенной проблемой применения БПЛА является сравнительно небольшое время полета, в среднем составляет 15-18 мин, которое существенно ограничивается емкостью аккумуляторных батарей (АКБ). Для выполнения вышеперечисленных задач БПЛА необходимое время полета может достигать нескольких часов из-за чего приходится заряжать аккумуляторы БПЛА непосредственно в поле или использовать сразу несколько БПЛА одновременно для чего уже существуют и применяются передвижные станции. Зарядные устройства получают питания от серийных передвижных автономных источников электроэнергии с бензиновыми или дизельными двигателями. Применение серийных генераторов на практике показало ряд проблем – быстрый износ моторесурса, высокие массогабаритный показатели. Срыв электроснабжения ЗУ для БПЛА ведет к существенным материальным затратам, так как приводит к невозможности продолжения выполнения полетного задания. Задача исследования системы зарядное устройство - автономных источник электроэнергии является актуальной задачей, расширяющей возможности применения БПЛА. Про-

ектирование автономного источника согласно предъявляемых требований необходимо исходя из нагрузки – ЗУ аккумуляторных батарей БПЛА.

Цель исследований. Исследование электрической нагрузки автономного источника для исполнения пилотного задания БПЛА и определение параметров асинхронного генератора.

Материалы и методы исследований. Ввиду существенных преимуществ – низкий саморазряд, высокая плотность энергии, отсутствие необходимости в обслуживании, для БПЛА чаще всего применяют литий-ионные аккумуляторные батареи. Известны эксплуатационные характеристики процесс заряда АКБ, публикуемые производителем [1] (Рисунок 1).

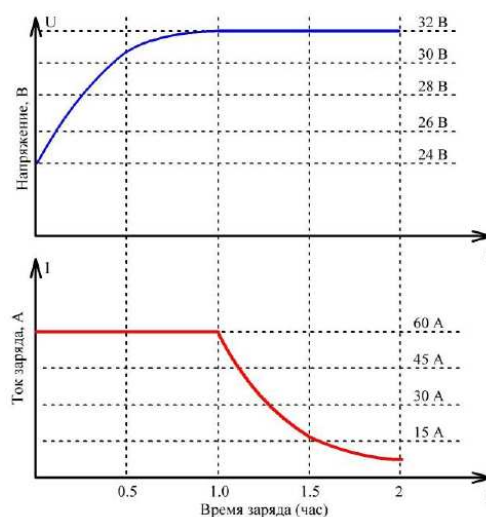


Рисунок 1 – Эксплуатационная характеристика заряда АКБ (LT-LFP120)

Согласно данной эксплуатационной характеристике потребляемая мощность зарядного устройства должна иметь пропорциональный вид. При этом коэффициент мощности должен быть близок к 1, так как согласно ГОСТ (IEC 61000-3-2-2017) [2] зарядное устройство должно содержать на входе корректор коэффициента мощности повышающее качество потребляемого из сети тока. Корректор коэффициента мощности путем формирования тока сети прямопропорционального входному напряжению также позволяет обеспечить низкий коэффициент гармоник потребляемого тока.

Для подтверждения данных тезисов произведены экспериментальные исследования работы зарядных устройств для БПЛА как электрической нагрузки для автономного источника (рисунок 2).

Измерения показателей качества электроэнергии произведены в процессе заряда: аккумуляторной литий-ионная батареи VAX501-9500 -51.8, емкость батареи 9500 мАч, 492,1 Вт, РН4-5870 мАч – 15,2 В , максимальное напряжение 17,4 В, емкость батареи 5870 мАч, 89,2 Вт.

В качестве зарядных устройств использовались: зарядное устройство DJI CHX503-3500 ($U_n = 220-240$ В, $I_n = 15$ А, $f_n = 50/60$ Гц); ЗУ для БПЛА Phantom 4P – РН4С100 в ($U_n = 100-240$ В, $I_n = 1,4$ А, $f_n = 50/60$ Гц); ЗУ R-R-dji-MM1CH ($U_n = 100-240$ В, $I_n = 1,4$ А, $f_n = 50/60$ Гц).



Рисунок 2 – Фото экспериментального стенда измерения показателей качества электроэнергии в процессе заряда АКБ VAX501-9500 -51.8 зарядным устройством DJI CHX503-3500

В процессе заряда АКБ измерялись сертифицированным прибором (анализатор качества электроэнергии Ресурс UF2m) следующие параметры - действующее значение напряжения, В; действующее значение тока, А; коэффициент мощности, о.е. ; коэффициенты несинусоидальности напряжения K_U , % и тока, K_I %; активная мощность, кВт и реактивная мощ-

ность квар; частота, Гц. Измерения проводились с периодами измерения 3 с для фиксирования гармонических составляющих тока, напряжения и с периодичностью 160 мс для фиксирования бросков токов или напряжения. Для контрольных измерений напряжения, токов и коэффициента мощности применялись токовые клещи типа АТК.

Результаты исследований. В ходе экспериментальных исследований получены зависимости – изменения потребляемой мощности (рисунок 3), коэффициента мощности (рисунок 4), коэффициенты несинусоидальности напряжения KU (рисунок 5), % и тока (рисунок 6), KI %. Зависимости приведены при измерении процесса заряда АКБ зарядным устройством DJI CHX503-3500.

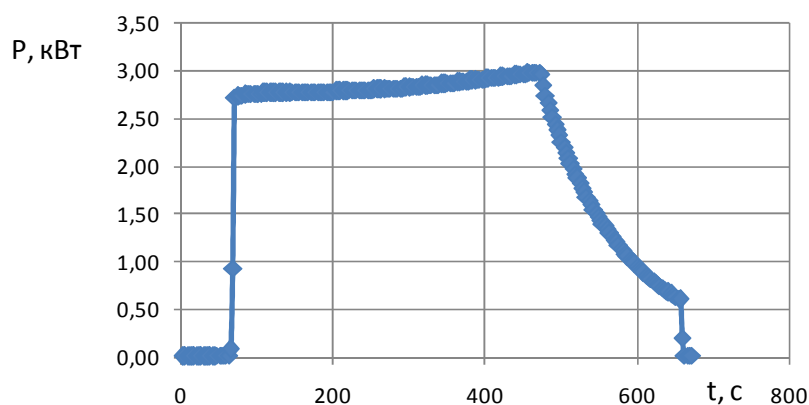


Рисунок 3 – Изменение потребляемой мощности в процессе зарядки АКБ зарядным устройством DJI CHX503-3500 со временем работы

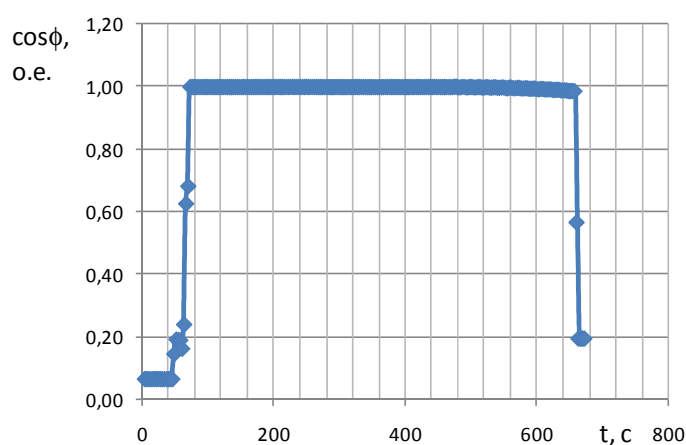


Рисунок 4 – Изменение коэффициента мощности в процессе зарядки АКБ зарядным устройством DJI CHX503-3500 со временем работы

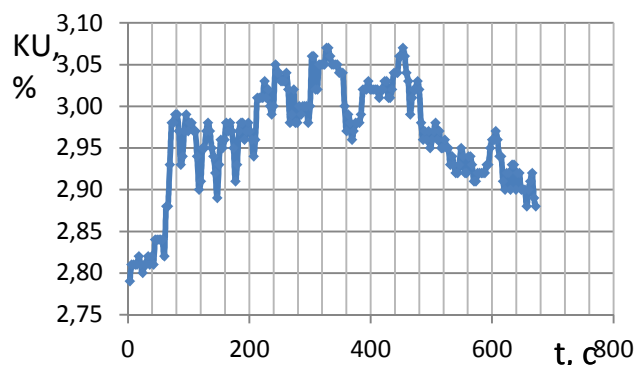


Рисунок 5 – Изменение коэффициенты несинусоидальности напряжения KU в процессе зарядки АКБ зарядным устройством DJI CHX503-3500 со временем работы

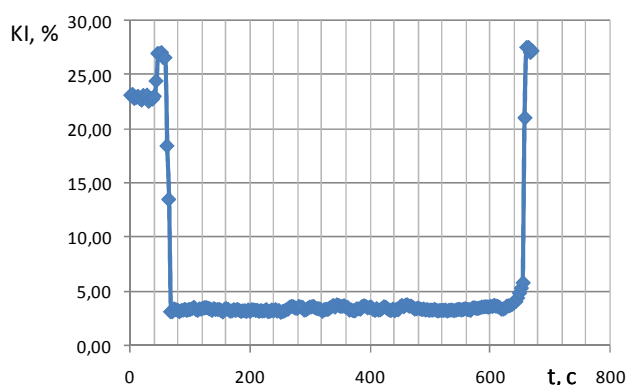


Рисунок 6 – Изменение коэффициенты несинусоидальности напряжения KU в процессе зарядки АКБ зарядным устройством DJI CHX503-3500 со временем работы

Подобными характеристиками отличаются ЗУ Phantom 4P – PH4C100 (ток не превышает 0,5 А) и R-R-dji-MM1CH (ток не превышает 0,15 А) в процессе заряда АКБ, только потребляемая мощность их меньше, а время зарядки АКБ больше и достигает более 2 ч.

Из зависимостей видно, что ЗУ работает в процессе заряда АКБ практически в номинальном режиме ток растет с 12,5 А до 13,5 А в течении 10 минут, нагрузочная характеристика относительно жесткая, потребляемая активная мощность растет с 2,71 кВт до 2,98 кВт, при этом наблюдается высокое значение коэффициента мощности во время всего процесса работы ЗУ 0,995-0,998. В процессе заряда АКБ наблюдался низкий коэффициент несинусоидальности напряжения KU – не превышает 3,06 % и коэффициент несинусоидальности тока KI - не превышает 3,74 %.

Таким образом для питания зарядного устройства DJI CHX503-3500 подходит автономный источник мощностью в 3 кВА рассчитанный на постоянный режим работы. Использование асинхронного генератора для питания такой нагрузки дает определенные общеизвестные преимущества – повышенные эксплуатационные характеристики за счет бесконтактной системы возбуждения, высокое качество выходного напряжения. С точки зрения электрической нагрузки зарядное устройство обладает постоянным активным характером. Такая нагрузка для асинхронного генератора является предпочтительной, так как реактивная нагрузка резко размагничивает его. Постоянный характер потребляемой мощности позволяет использовать более простую систему возбуждения, основанную на ступенчатом регулировании емкости конденсаторов.

Расчёт кривой намагничивания и необходимой емкости конденсаторов для возбуждения проведем для генератора на базе двигателя АИР100S4У2: $I_{1н} = 7,12 \text{ А}$; $\cos\varphi_n = 0,81$; $n_n = 1410 \text{ об/мин}$. Намагничивающий ток, А

$$I_{\mu} = p F / (0,9 m W k_{об}) = 3 \cdot 1084 / (0,9 \cdot 3 \cdot 220 \cdot 0,96) = 3,32 \text{ А}.$$

Далее строится зависимость тока намагничивания от приложенного напряжения, задавая ряд напряжений $U = (0,7; 0,85; 1,0; 1,15; 1,3) U_{\phi}$ (Рисунок 7).

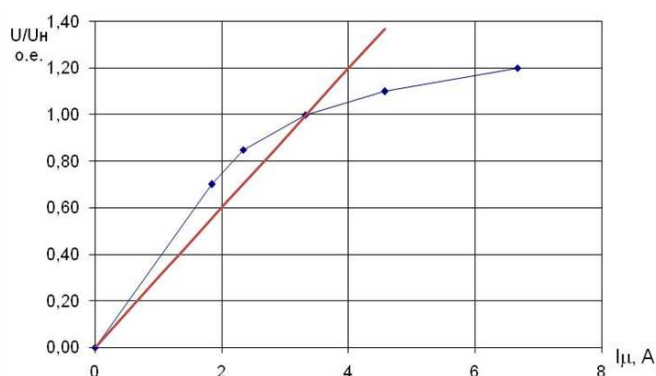


Рисунок 7 – Зависимость напряжения на выводах генератора от тока намагничивания и тока конденсаторов

С учетом напряжения на конденсаторах при соединении в треугольник, сопротивление и необходимая ёмкость конденсаторов [3]:

$$x_c = \frac{U_c}{I_{\mu 0}} = \frac{380}{3,32} = 114,22 \text{ Ом};$$

$$C = \frac{10^6}{\omega x_c} = \frac{10^6}{314 \cdot 114,22} \approx 28 \text{ мкФ}.$$

Выводы. В результате исследований получены параметры качества электроэнергии в процессе заряда АКБ БПЛА в виде временных характеристик. Выявлено, что зарядное устройство (DJI CHX503-3500, Phantom 4P – PH4C100) представляет собой практически постоянную активную нагрузку с высоким коэффициентом мощности ($\cos\varphi = 0,997$) для передвижной электростанции. Коэффициенты несинусоидальности напряжения и тока не превышают соответственно 3,06 % и 3,74 %, что объясняется наличием корректора коэффициента мощности повышающее качество потребляемого из сети тока на входе ЗУ. При анализе полученных результатов предложен асинхронный генератор в качестве автономного источника питания. Произведены инженерные расчеты для асинхронного генератора выполненного на базе АИР100S4У2 : число витков в фазе – 250, ток намагничивания – 3,32 А, необходимая ёмкость конденсаторов - 28 мкф.

Библиографический список

1. Handbook of batteries/David Linden, Thomas B. Reddy. – 3d ed. P. cm. Rev.ed. of: Handbook of batteries/David Linden, editor in chief. 2nd c1995. Includes bibliographical references and index. ISBN 0-07-135978-8.
2. ГОСТ IEC 61000-3-2-2017 Электромагнитная совместимость (ЭМС). Часть 3-2. Нормы. Нормы эмиссии гармонических составляющих тока (оборудование с входным током не более 16 А в одной фазе).
3. Оськин, С. В. Исследование асинхронного генератора с переключаемой обмоткой статора / С. В. Оськин, Н. С. Баракин, А. А. Кумейко // Сельский механизатор. – 2021. – № 2. – С. 28-29.
4. Труфляк, Е. В. Современное состояние точного сельского хозяйства / Е. В. Труфляк, Н. Ю. Курченко // Труды Кубанского государственного аграрного университета. – 2017. – № 69. – С. 372-376. – DOI 10.21515/1999-1703-69-372-376.

References

1. Handbook of batteries/David Linden, Thomas B. Reddy. – 3d ed. P. cm. Rev.ed. of: Handbook of batteries/David Linden, editor in chief. 2nd c1995. Includes bibliographical references and index. ISBN 0-07-135978-8.
2. GOST IEC 61000-3-2-2017 Jelektromagnitnaja sovместimost' (JeMS). Chast' 3-2. Normy. Normy jemissii garmonicheskikh sostavljajushhih toka (oborudovanie s vhodnym tokom ne bolee 16 A v odnoj faze).
3. Os'kin, S. V. Issledovanie asinhronnogo generatora s perekljuchaemoj obmotkoj statora / S. V. Os'kin, N. S. Barakin, A. A. Kumejko // Sel'skij mehanizator. – 2021. – № 2. – S. 28-29.
4. Truflyak, E. V. Sovremennoe sostojanie tochnogo sel'skogo hozjajstva / E. V. Truflyak, N. Ju. Kurchenko // Trudy Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universite-ta. – 2017. – № 69. – S. 372-376. – DOI 10.21515/1999-1703-69-372-376.