



УДК 621.313.12.001.2 + 621.31.018.782.3

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ В АКСИАЛЬНОМ ГЕНЕРАТОРЕ ПОСТОЯННОГО ТОКА

PILOT STUDIES OF TRANSITION PROCESSES IN AXIAL THE GENERATOR OF THE DIRECT CURRENT

Пауков Дмитрий Викторович

преподаватель кафедры авиационных комплексов
и конструкции летательных аппаратов,
филиал ВУНЦ ВВС «ВВА» (г. Челябинск)
paukovdv@rambler.ru

Paukov Dmitry Viktorovich

Lecturer, Department of Aviation Complexes
and the Design of Aircrafts,
VUNC VVS «VVA» branch in Chelyabinsk
paukovdv@rambler.ru

Аннотация. Представлены экспериментальные исследования переходных процессов в аксиальном генераторе постоянного тока.

Annotation. Pilot studies of transition processes in the axial generator of a direct current are presented.

Ключевые слова: аксиальный генератор постоянного тока; электромеханические преобразователи энергии; многофазная электрическая машина; электротехнический комплекс на базе машин аксиальной конструкции.

Keywords: axial generator of a direct current; electromechanical converters of energy; multiphase electrical machine; an electro-technical complex on the basis of cars of an axial design.

Широко распространенные сегодня цилиндрические (радиальные) конструкции электрических машин, используемых в качестве генераторных установок, имеют ряд серьезных конструктивных недостатков, а именно: сложность конструкции; сложную технологию изготовления из-за необходимости штамповки листов магнитопроводов статора и ротора; высокую стоимость из-за большого расхода электротехнической стали, связанного с высоким процентом ее отходов при штамповке; большие размеры; малую жесткость конструкции; неблагоприятные условия теплоотдачи, охлаждения и вентиляции [1, 2]. Таким образом, разработка более перспективных, а именно – аксиальных конструкций электрических машин для САЭ является актуальной задачей.

Аксиальная конструкция имеет ряд преимуществ по сравнению с радиальными электрическими машинами: меньшие размеры; благоприятные условия теплоотдачи; существенное упрощение обмоточных работ; практически безотходное использование магнитных материалов, а также способность сглаживать пульсации напряжения при порывах ветра ввиду большого момента инерции ротора.

Группой ученых под руководством профессора Гайтова Б.Х с участием автора разработан ряд генераторов аксиальной конструкции [3–5], магнитопроводы которых изготовлены по перспективной технологии [6].

В целях подтверждения основных теоретических положений по исследованию аксиального бесконтактного генератора постоянного тока [5] изготовлен экспериментальный образец мощностью 1,5 кВт и выполнен комплекс экспериментальных исследований [7, 8].

В программу экспериментальных исследований входило:

- определение параметров машины;
- построение электромеханических характеристик;
- определение КПД.

Ставилась задача смоделировать работу системы электроснабжения в реальных условиях, оценить влияние входных параметров на выходные.

Программа эксперимента включает в себя:

- разработку рационального экспериментального стенда, позволяющего имитировать работу генератора в условиях, близких к реальным;
- определение параметров экспериментальных образцов;
- снятие зависимости $U_{\text{вых}} = f(U_{\text{фэл}})$ при $n_p = \text{const}$;
- снятие зависимости $U_{\text{вых}} = f(n_p)$ при $U_{\text{фэл}} = \text{const}$;
- снятие зависимости $U_{\text{вых}} = f(I_a)$ при $n_p = \text{const}$ и $U_{\text{фэл}} = \text{const}$.

Определение мощности на входах генератора производилось методом определения мощности, потребляемой приводным асинхронным двигателем (АД) с учетом потерь в этом двигателе и электрической мощности, потребляемой якорной цепью питания машины от источника постоянного тока (ИПТ). Определение мощности на выходе проводилось также прямым методом: ваттметром в цепи нагрузки [9].

Для того чтобы смоделировать работу системы в реальных условиях и обеспечить качественное измерение экспериментальных данных, предусмотренных программой эксперимента, необходимо чтобы экспериментальный стенд удовлетворял следующим требованиям:



- обеспечение независимых друг от друга и резкопеременных колебаний поступления энергии на механический и электрический входы устройства;
- обеспечение плавного и управляемого регулирования одной из входных величин при жестко зафиксированной другой;
- обеспечение проведения эксперимента по управлению (стабилизации) выходного напряжения генератора при входных параметров мощностей.

Электрическая схема экспериментального стенда представлена на рисунке 1.

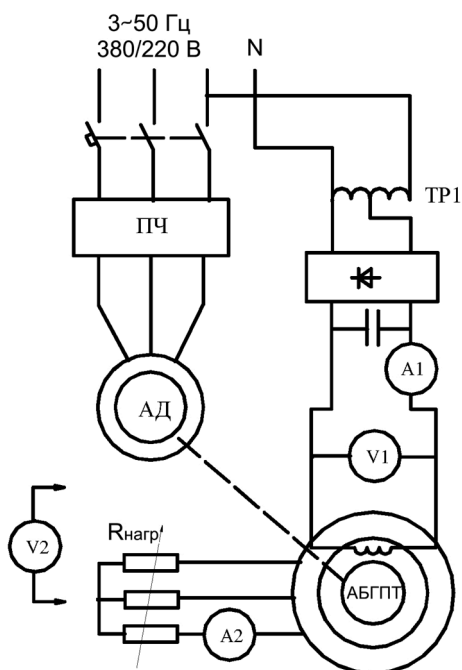


Рисунок 1 – Схема экспериментального стенда

Стенд состоит из блока имитации вращательного движения, приводящего в движение ротор исследуемой системы, и источника постоянного тока (ИПТ), питающего якорную цепь (обмотка возбуждения) генератора.

Блок имитации вращательного движения (см. рис. 1) состоит из преобразователя частоты (ПЧ), питающего асинхронный двигатель серии 4А, мощностью 0,75 кВт, который с помощью ремённой передачи соединён с валом генератора. Преобразователь частоты позволяет изменять скорость вращения ротора в широких пределах. Блок источника постоянного тока, питающего якорную цепь генератора, состоит из лабораторного автотрансформатора (ТР1), двухполупериодного выпрямителя и сглаживающего фильтра.

Вольтметры V1-V2 обеспечивают контроль уровня напряжения в входной (от ИПТ) и выходной цепях генератора, амперметры А1-А2 – тока в тех же цепях.

Во входную и выходную цепь имеется возможность включения ваттметров.

В качестве нагрузки использовался регулируемый трехфазный реостат ($R_{нагр}$).

Результаты измерений параметров исследуемой системы приведены в таблице 1, полученные экспериментальные зависимости приведены на рисунках 2–4.

Таблица 1 – Результаты измерений параметров исследуемой системы

Якорь					Ротор				
$R_a, \text{ Ом}$	10,0	$R_{возб}, \text{ Ом}$	15,8	$R_{возб.доп}, \text{ Ом}$	11,2	$R_r, \text{ Ом}$	37,3	$R_{r.возб}, \text{ Ом}$	9,2
$X_a, \text{ Ом}$	17,6	$X_{возб}, \text{ Ом}$	19,7	$X_{возб.доп}, \text{ Ом}$	16,3	$X_r, \text{ Ом}$	38,8	$X_{r.возб}, \text{ Ом}$	7,1

В таблице 1 приведены параметры частей генератора: $R_a, R_{возб}, R_{возб.доп}, R_r, R_{r.возб}$ – активные сопротивления обмоток якоря, обмотки возбуждения якоря, дополнительной обмотки возбуждения якоря, обмотки ротора, однофазной обмотки возбуждения ротора, соответственно; $X_a, X_{возб}, X_{возб.доп}, X_r, X_{r.возб}$ – индуктивные сопротивления рассеяния обмоток якоря, обмотки возбуждения якоря, дополнительной обмотки возбуждения якоря, обмотки ротора, однофазной обмотки возбуждения ротора, соответственно.

Параметры измерены на изготовленном макете устройства.



Зависимости $U_{вых} = f(n_{вращ})$ при $U_{инт} = const$ приведены на рисунке 2. Регулировочная характеристика $U_{вых} = f(U_{инт})$ при $n_{вращ} = const$ и $R_r = var$ приведена на рисунке 3. Из характеристики видно, что регулировать выходное напряжение можно путём изменения напряжения, подаваемого на обмотку возбуждения постоянного тока от ИПТ.

Внешняя характеристика представлена на рисунке 4.

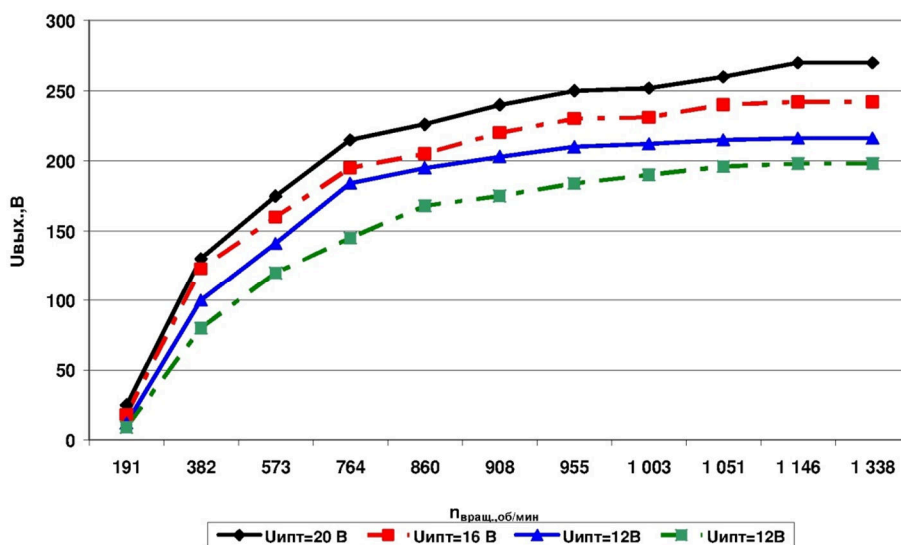


Рисунок 2 – Зависимость $U_{вых} = f(n_{вращ})$ при $U_{инт} = const$

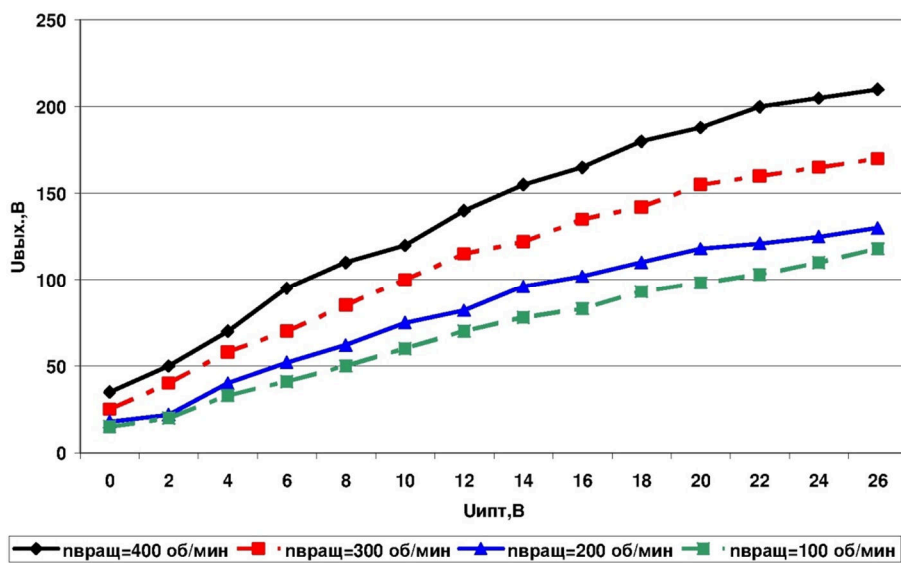


Рисунок 3 – Регулировочная характеристика $U_{вых} = f(U_{инт})$ при $n_{вращ} = const$

Как известно, для определения КПД необходимо знать уровни потребляемой мощности P_1 и отдаваемой мощности P_2 . Потребляемая мощность определяется как сумма полезной мощности и потерь

$$P_1 = P_2 + P_{эл1} + P_{эл2} + P_{эл3} + P_{элвозб1} + P_{элвозб2} + P_{элдоп} + P_{с1} + P_{с2} + P_{с3} + P_d + P_{мх}, \quad (1.1),$$

где

$$P_1 + P_{элбл} + P_{мехбл}, \quad (1.2)$$

$P_{элбл}$ – электрическая мощность, поступающая от блока ИПТ; $P_{мехбл}$ – механическая мощность, поступающая от блока имитации вращательного движения; $P_{эл1}, P_{эл2}, P_{эл3}$ – электрические потери в статоре, роторе и обмотке возбуждения, соответственно; $P_{с1}, P_{с2}, P_{с3}$ – потери в магнитопроводах статора, ротора и якоря, соответственно; P_d – добавочные потери; $P_{мх}$ – механические потери.

На рисунке 5 показана зависимость КПД установки от скорости вращения вала машины.

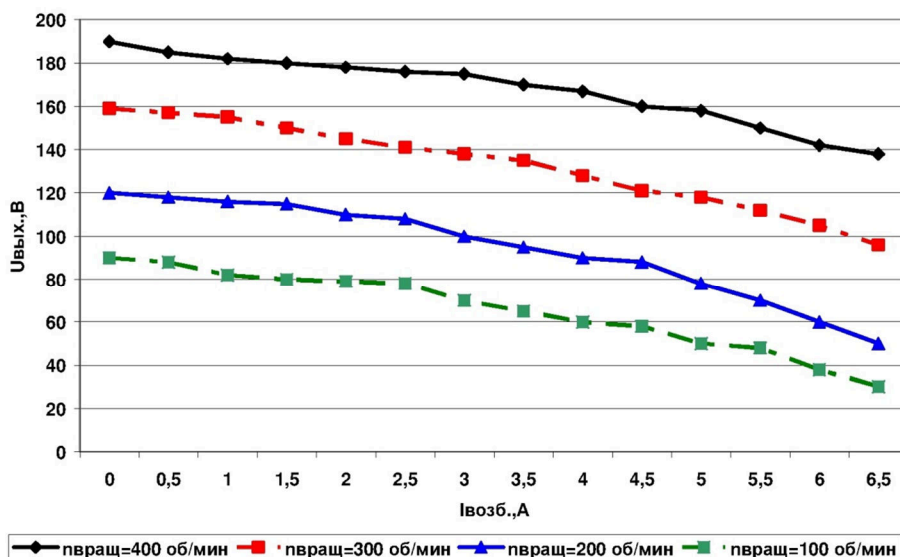


Рисунок 4 – Зависимость $U_{вых} = f(I_{возб})$ при $n_{вращ} = const$ и $U_{пит} = 20 В$

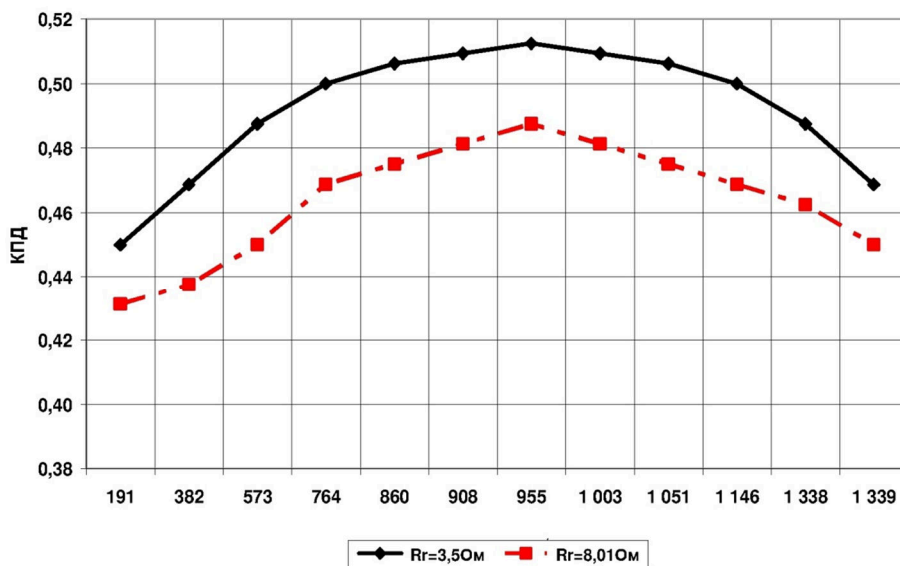


Рисунок 5 – Зависимость $\eta = f(\omega)$

Экспериментально КПД определялся как отношение измеренной электрической мощности на выходе установки к суммарной мощности, поступающей на «вход» машины.

Мощность, поступающая от блока ИПТ, рассчитывалась непосредственно по показаниям амперметра и вольтметра включенных в соответствующую цепь.

Мощность, поступающая от блока имитации вращательного движения рассчитывалась путем измерения мощности потребляемой приводным электродвигателем с учетом его КПД.

Основными практическими результатами экспериментальных исследований можно считать то, что экспериментально доказана работоспособность конструкции, а также возможность управления разработанной системой электроснабжения и, следовательно, возможность стабилизации её выходных параметров.

Проведенное экспериментальное исследование подтвердило работоспособность конструкции элементов системы электроснабжения, правильность теоретических положений работы, показало более высокую эффективность, поэтому её применение для обеспечения электроэнергией воздушных судов вместо серийных устройств и систем позволяет повысить эксплуатационные показатели этих систем.

Последнее качество разработки представляется весьма ценным для практического применения.



Литература:

1. Гайтова Т.Б., Кашин Я.М. Нетрадиционные электротехнические комплексы. Теория, расчет и конструкции : монография. – Краснодар : КВАИ, 2004. – 406 с.
2. Система автономного электроснабжения на базе аксиальных электромагнитных устройств / Т.Б. Гайтова [и др.] // Труды Кубанского государственного аграрного университета. – 2011. – № 33. – С. 205–209.
3. Пат. РФ № 2450411, 12.01.2011 г. Аксиальная двухходовая бесконтактная электрическая машина-генератор / Гайтов Б.Х., Кашин Я.М., Гайтова Т.Б., Кашин А.Я., Пауков Д.В., Голощапов А.В.
4. Пат. РФ № 2465706, 25.03.2011 г. Стабилизированный аксиальный бесконтактный генератор постоянного тока / Гайтов Б.Х., Кашин Я.М., Гайтова Т.Б., Кашин А.Я.
5. Пат. РФ № 2470446, 27.05.2011 г. Стабилизированный аксиальный генератор постоянного тока / Гайтов Б.Х., Кашин Я.М., Гайтова Т.Б., Кашин А.Я., Пауков Д.В.
6. Пат. РФ № 2475924, 19.08.2011 г. Способ изготовления магнитопроводов аксиальных электрических машин / Гайтов Б.Х., Кашин Я.М., Автайкин И.Н., Гайтова Т.Б., Кашин А.Я., Пауков Д.В.
7. Кашин Я.М., Кашин А.Я., Пауков Д.В. Обоснование и разработка перспективных конструкций генераторных установок для систем автономного электроснабжения // Известия вузов. Электромеханика. – 2012. – № 1. – С. 46–53.
8. Пауков Д.В., Кашин Я.М. Исследования переходных процессов в электромеханических преобразователях энергии (ЭМПЭ). Математическая модель аксиального генератора постоянного тока (АГПТ) // Научный поиск. Материалы девятой научной конференции аспирантов и докторантов. – Челябинск, 2017. – С. 54–61.
9. Котеленец Н.Ф., Акимова Н.А., Антонов М.В. Испытания, эксплуатация и ремонт электрических машин : учеб. для вузов. – М. : издат. центр «Академия», 2003. – 384 с.

References:

1. Gajtova T.B. Kashin Ja.M., Unconventional Electrotechnical complexes. Theory calculation and design : Monograph. – Krasnodar : KWAI, 2004. – 406 p.
2. Auxiliary power supply system based on the axial electromagnetic devices / T.B. Gajtova [etc.] / Works of the Kuban State Agrarian University, 2011. – № 33. – P. 205–209.
3. Patent for invention RUS № 2450411, 12.01.2011. Axial dvuhvhodovaja non-contact electric machine-generator / Gajtov B.h., Kashin Ya.M., Gajtova T.B., Kashin A.Ya., Paukov D.V., Goloshchapov A.V.
4. Patent for invention RUS № 2465706, 25/03/2011. Stabilized axial proximity DC generator / Gajtov B.H., Kashin Ya.M., Gajtova T.B., Kashin A.Ya.
5. Patent for invention RUS № 2470446, 27/05/2011. Stabilized axial DC generator / Gajtov B.H., Kashin Ya.M., Gajtova T.B., Kashin A.Y., Paukov D.V.
6. Patent for invention RUS № 2475924, 19/08/2011. Method of manufacture of magnetic axial electrical machines / Gajtov B.H., Kashin Ya.M., Avtajkin I.N., Gajtova T.B., Kashin A.Ya., Paukov D.V.
7. Kashin Ya.M., Kashin A.Ya., Paukov D.V. Justification and development of promising designs for systems with autonomous generator supply // Izv. Universities. Electromechanics. – 2012. – № 1. – P. 46–53.
8. Paukov D.V., Kashin Ya.M. Studies on transient electromechanical energy converters (JeMPJe). Mathematical model of axial DC generator (AGPT) // Scientific search. Materials of the ninth Conference of graduate students and doctoral candidates. – Chelyabinsk, 2017. – P. 54–61.
9. Kotelenets N.F., Akimova N.A., Antonov M.V. Testing, maintenance and repair of electrical machines : textbook for higher education institutions. – M. : Publisher. Center «Academy», 2003. – 384 p.