НОВЫЕ ВЫСОКОСКОРОСТНЫЕ АВТОНОМНЫЕ ГЕНЕРАТОРЫ

NEW HIGH SPEED AUTONOMOUS GENERATORS

УДК 621.313

DOI: 10.24411/2658-4964-2021-10331

Виноградов Константин Михайлович, доцент кафедры техники, технологий и строительства, ФГАОУ ВО «ЮУрГУ (НИУ)», г. Челябинск

Микерина Ольга Сергеевна, преподаватель кафедры техники, технологий и строительства, ФГАОУ ВО «ЮУрГУ (НИУ)», г. Челябинск

Борисов Станислав Валентинович, старший преподаватель кафедры техники, технологий и строительства, ФГАОУ ВО «ЮУрГУ (НИУ)»,
г. Челябинск

Рябинин Антон Викторович, старший преподаватель кафедры техники, технологий и строительства, ФГАОУ ВО «ЮУрГУ (НИУ)», г. Челябинск

Vinogradov K.M. vinogradovkm@susu.ru

Mikerina O.S. mikerinaos@susu.ru

Borisov S.V. borisovsv@susu.ru

Riabinin A.V. riabininav@susu.ru

Аннотация

Статья посвящена вопросам создания новых высокоскоростных генераторных установок на автономных объектах. Определены проблемы в работе существующих электрических машинах, проблемы при эксплуатации действующих автономных генераторов. Выбран вариант генераторной установки на базе нетрадиционной электрической машины - синхронной

реактивной машины независимого возбуждения. Показаны преимущества автономной генераторной установки на базе синхронной реактивной машины независимого возбуждения в сравнении классическими типами электрических машин (синхронными машинами с явнополюсным ротором и обмоткой возбуждения, с постоянными магнитами).

Annotation

The article is devoted to the issues of creating new high-speed generating sets at autonomous facilities. Problems in the operation of existing electrical machines, problems in the operation of existing autonomous generators have been identified. A variant of a generator set based on a non-traditional electric machine - a field regulated reluctance machine was chosen. The advantages of an autonomous generator set based on a field regulated reluctance machine in comparison with classical types of electrical machines (synchronous machines with salient-pole rotor and excitation winding, with permanent magnets) are shown.

Ключевые слова: генераторная установка, малые габариты, бесконтактный ротор, высокие скорости вращения, эффективность

Keywords: generator set, small size, contactless rotor, high rotation speeds, efficiency

Важнейшей проблемой автономных электроэнергетических установок, которые работают на бортовую сеть, является совершенствование их массогабаритных показателей, повышение КПД [1,4,6]. Решение подобных научно-технических задач весьма актуально и востребовано в связи с постоянным увеличением мощности бортовых потребителей и ростом их числа. Кроме того, это связано и с предъявлением повышенных требований к эксплуатационному ресурсу и надежности к генераторам. Обычно автономные энергоустановки для производства электроэнергии эксплуатируются в довольно тяжелых условиях, и поэтому к их генераторам предъявляют повышенные эксплуатационные требования: большая перегрузочная способность по току и мощности, поддержание напряжения на необходимом уровне при широком

диапазоне изменения скорости вращения приводного двигателя. Необходимо обеспечить также интенсивное использование активных материалов, уменьшить тепловые и электрические потери, обеспечить простоту конструкции электрической машины. В транспортных генераторных установках (автомобильных, самолетных, специальных) применяются вентильные (полупроводниковые) системы генерации, работающие как на переменном, так и на постоянном токе.

Например, генераторная установка автомобиля состоит из электрической машины и полупроводникового регулятора напряжения бортовой сети[2,4,6]. Генераторная установка обеспечивает питанием потребителей, которые включены в бортовую сеть автомобиля (14, 28В постоянного тока). При необходимости от генератора также осуществляется заряд аккумуляторной батареи. Здесь следует заметить, что параллельная работа генераторной установки и аккумуляторной батареи является отличительной особенностью автономных энергетических установок. Сейчас автомобильные генераторы представляют собой синхронную машину когтеобразным ротором [2].

Автотракторное электрооборудование эксплуатируется в различных климатических зонах, погодных условиях, где достаточно широк диапазон изменения температуры окружающей среды (-60…+80°С). Это также предъявляет к генераторам такого оборудования высокие требования. Кроме того, в процессе эксплуатации они подвергаются воздействию механических вибрационных перегрузок, что нарушает нормальный режим работы и снижает механическую прочность, а также увеличивают износ.

В современных автотракторных установках привод генератора выполняется от двигателя внутреннего сгорания как правило через ременную или шестеренчатую передачи. В настоящее время наибольшее распространение получила повышающая ременная механическая передача. Встречается также и цепная передача. Передаточное число от двигателя к приводу генератора в отечественных тракторах находится в пределах 1,8…2,5.

Авиационные генераторы представляют собой особую разновидность автономных энергетических установок. Для них характерны специфические требования, предъявляемые к электрооборудованию летательных аппаратов (ЛА). Самыми главными требованиями являются: надежность работы в течение заданного срока службы, работа в условиях атмосферных и заатмосферных полетов, работоспособность при любых положениях ЛА в пространстве; работа при наличии сильных вибраций, низкого атмосферного давления окружающей среды, пониженных и повышенных температур; возможность кратковременных перегрузок по мощности и току нагрузки; обеспечение заданных(требуемых) показателей качества электрической энергии (форма и уровень напряжения), высокое быстродействие системы автоматического регулирования, улучшенные массогабаритные показатели, высокий КПД, заданная степень резервирования; высокие технико-экономические показатели; легкость демонтажа и замены. Необходимо также учитывать, что при уменьшении плотности атмосферного воздуха происходит ухудшение теплоотдачи электрической машины, т.е. нарушаются условия охлаждения, что может привести к потере мощности до 25% от номинальной на высотах более 10000 м. В первой половине 20 века на самолетах была распространена система постоянного тока напряжением 28,5 В. Сейчас на большинстве самолетов используются автономные системы электроснабжения на переменном токе. Такая система электроснабжения удовлетворяет до 80% всех потребителей электроэнергии самолета и только порядка 20% мощности используется потребителями постоянного тока. Синхронные генераторы переменного тока получают вращение от авиационных маршевых двигателей через механическую передачу. Для обеспечения постоянства частоты 400 Гц вырабатываемого переменного напряжения осуществляется регулирование частоты вращения генератора. В настоящее время для самолетов как военного, так и гражданского назначения, перспективной является система электроснабжения переменного тока синусоидальной формы напряжением 208 В. Следует заметить, что для бортовых систем остается характерной и частота 400 Гц. В последнее время

стали применяться системы электроснабжения самолетов на постоянном токе, но в этом случае бортовая сеть имеет относительно повышенное напряжение, а 300…600 В. Такие системы рассматриваются как наиболее оптимальные варианты автономных систем электроснабжения самолетов нового поколения — летательных аппаратов с высокоэлектрифицированным оборудованием.

Среди бесконтактных машин, большую популярность получила вентильно-индукторная машина. В мировой технической литературе она известна, как Switched Reluctance Machine [1,3,5]. На рисунке 1 приведен поперечный разрез вентильно-индукторной машины.

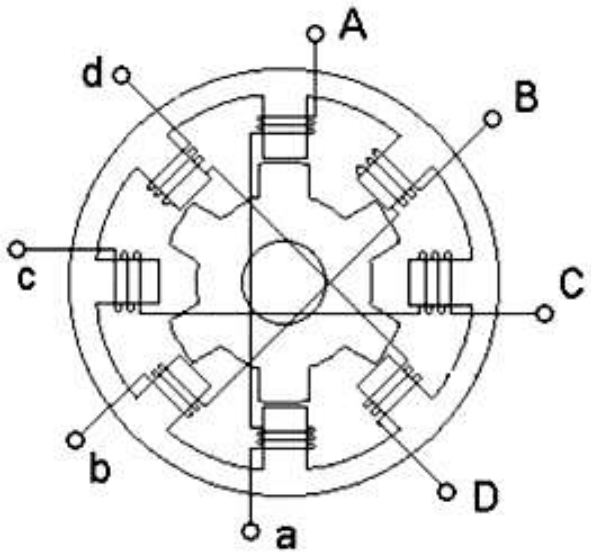

Рисунок 1. Поперечный разрез вентильно-индукторной машины

Она относится к классу бесконтактных синхронных реактивных электрических машин и представляет собой совокупность электромеханического преобразователя (индукторной машины) и полупроводникового преобразователя. Принцип действия ее основан на периодическом изменении магнитной проводимости воздушного зазора при вращении ротора [5,6]. Магнитная индукция в каждой точке рабочего воздушного зазора изменяется только по величине, а ее направление остается неизменным. Поэтому магнитное поле в рабочем воздушном зазоре таких машин имеет пульсирующий характер и содержит основную переменную и

«паразитную» постоянную составляющие. Обмотки якоря и возбуждения размещаются на статоре в виде сосредоточенных катушек. Статор и ротор индукторной машины имеют явную зубчатость (полюсность) и выполняются из шихтованной электротехнической стали. Ротор не имеет обмотки.

В синхронной реактивной машине независимого возбуждения ротор делается явнополюсным и монолитным [1,3,6]. На рисунке 2 приведен поперечный разрез ротора синхронной реактивной машины независимого возбуждения.

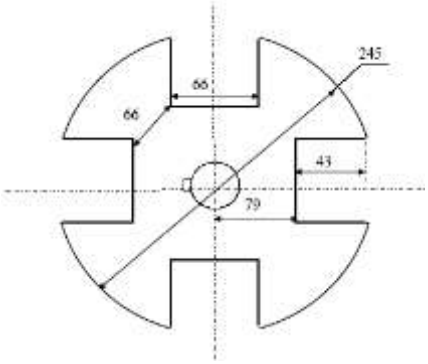

Рисунок 2. Поперечный разрез ротора синхронной реактивной машины

Это позволяет сделать ротор более удлиненным по сравнению с другими реактивными машинами, в которых шихтованный ротор обладает относительно меньшей жесткостью. Поэтому генератор на базе синхронной реактивной машины независимого возбуждения будет востребован в автономных электроэнергетических установках, где имеются принципиальные ограничения по объему и массе машины.

Бесконтактность и отсутствие обмотки на роторе позволяют использовать такой генератор в высокоскоростных агрегатах, что также существенно улучшает массогабаритные показатели и упрощает механическую передачу. Например, вал такого генератора можно совместить с валом турбины, исключив редуктор или мультипликатор.

Число фаз якоря синхронного реактивного генератора рационально выбрать кратно трем (например 6,9,12), что позволит использовать стандартные

управляемые вентильные преобразователи на IGBT транзисторах. Увеличение числа фаз снижает пульсации выпрямленного напряжения.

Литература

1. Usinin Y.S., Grigorjev M.A., Vinogradov K.M. The electric drive of a tram with an average floor. SAE Technical Papers, 2008, no. 1. DOI:10.4271/2008-01-1828
2. Усынин Ю. С., Виноградов К.М. Генераторная установка с синхронной реактивной машиной независимого возбуждения // Вестник ЮУрГУ. Серия: Энергетика. –2007. –№12 (84). – С.37-40.
3. Усынин Ю.С., Григорьев М.А., Виноградов К.М. Электроприводы и генераторы с синхронной реактивной машиной независимого возбуждения // Электричество. – 2007. –№3. –С. 21 – 26.
4. New Brushless Synchronous Machine for Vehicle Application / Yu.S. Usinin, M.A. Grigorjev, K.M. Vinogradov, S.P. Gladyshev // SAE Technical Papers. – 2007. – № 1
5. Виноградов К. М., Микерина О. С., Слепов О. В. Новый тяговый электропривод трамвая с синхронной реактивной машиной независимого возбуждения //Colloquium-journal. – Голопристанський міськрайонний центр зайнятості= Голопристанский районный центр занятости, 2020. – №. 7-1. – С. 78-82.
6. Беспалов, В.Я. Электрические машины: учеб. пособие для студентов высш. учеб. заведений / В.Я. Беспалов, Н.Ф. Котеленец. – М.: Издат. центр «Академия», 2006. – 320 с.

Literature

1. Usinin Y.S., Grigorjev M.A., Vinogradov K.M. The electric drive of a tram with an average floor. SAE Technical Papers, 2008, No. 1. DOI:10.4271/2008-01-1828
2. Usinin Y.S., Vinogradov K.M. Generator set with a field regulated reluctance machine // Bulletin of SUSU. Series: Energy. 2007. No.12 (84). P.37-40.

3. Usinin Y.S., Grigorjev M.A., Vinogradov K.M. Electric drives and generators with a field regulated reluctance machine // Electricity. 2007. No 3. P. 21 - 26.
4. New Brushless Synchronous Machine for Vehicle Application / Yu.S. Usinin, M.A. Grigorjev, K.M. Vinogradov, S.P. Gladyshev // SAE Technical Papers. 2007. No 1.
5. New traction electric drive of tram with field regulated reluctance machine // Colloquium-journal. 2020. No. 7-1. P. 78-82.
6. Bespalov, V.Ya. Electrical machines: textbook. manual for students of higher. study. institutions / V.Ya. Bespalov, N.F. Kotelenets. - M .: Publishing house. Center "Academy", 2006. P. 320.