

Andrey S. Martyanov,
engineer
South Ural State University

Generator of Turbine Engine Power Station

Key words: *permanent magnet synchronous machine, brushless DC machine with axial magnetic flux, electromagnetic field analysis, electric motor calculation.*

Annotation: *An article describes an application of permanent magnet synchronous generator with axial magnetic flux in turbine engine power station. There is a compare between offered solution and permanent magnet synchronous machine with radial magnetic flux which shows improved efficiency, cost of unit and ability to build a generator family with different power rate based on axial magnetic flux machine.*

В настоящее время растет потребность в компактных и мобильных энергетических установках автономного применения, при этом все большую популярность приобретают энергетические установки на основе газотурбинных двигателей (1). Такие установки обычно компактны и имеют высокую энергетическую эффективность, что позволяет применять их в таких областях, как мобильные подразделения МЧС, ремонтные и аварийные службы, на летающих объектах и в вооруженных силах.

Главная особенность использования вентильной электрической машины совместно с газотурбинной установкой заключается в том, что для газовых турбин малых мощностей (50..500кВт) частота вращения ротора обычно высока и составляет несколько десятков тысяч оборотов в минуту (2). Такая высокая частота вращения приводного вала генератора позволяет существенно уменьшить габаритные размеры электрической машины, что должно привести к снижению стоимости изделия и может положительно сказаться на эффективности использования конструкционных материалов.

Другими особенностями можно назвать влияние центробежных сил на вращающиеся элементы ротора генератора, что приводит к соответствующим конструкционным ограничениям. Так же следует обратить внимание на конструкцию ротора генератора, который может иметь резонансные частоты собственных колебаний в рабочей области, что может приводить к разрушению конструкции.

Из всего многообразия различных типов электрических машин чаще всего в газотурбинных установках применяются вентильные электрические машины с возбуждением от постоянных магнитов с радиальным направлением магнитного потока. Такие электрические машины хорошо известны, обладают хорошими удельными характеристиками. Анализ газотурбинных установок ведущих мировых производителей показал, что все фирмы для электрической части используют

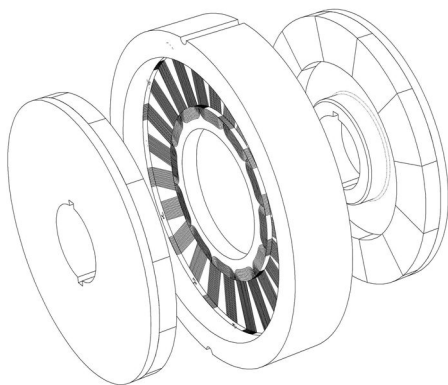
синхронную электрическую машину с возбуждением от постоянных магнитов на роторе с радиальным магнитным потоком.

Наиболее близким по характеристикам изделием является генераторная установка газотурбинной установки фирмы Capstone (3). Эти электрические машины обладают следующими недостатками:

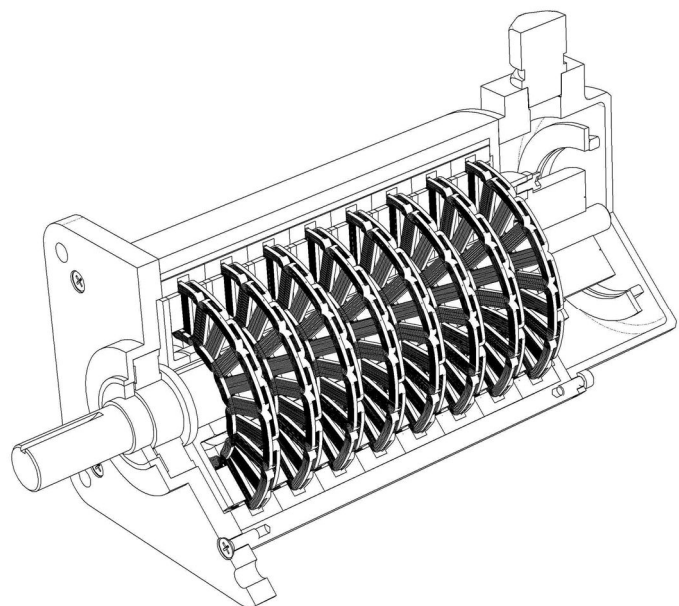
- реактивный момент приводит к пульсациям крутящего момента, что может вызывать резонансные колебания, приводящие к разрушению конструкции;
- потери на перемагничивание в статоре конструкции приводят к снижению КПД электрической машины, что сильно сказывается на высоких рабочих частотах вращения;
- за счет высокой скорости вращения частота перемагничивания в стали составляет 1000-2000 Гц в зависимости от скорости ротора. Это приводит к повышенным потерям в стали и соответственно низкому КПД генератора;
- сложная балансировка, в собранной конструкции не возможна;
- сложная система охлаждения.

В качестве альтернативного варианта для газотурбинной установки была предложена вентильная электрическая машина с аксиальным магнитным потоком (4). Это сравнительно новый класс электрических машин, которому еще предстоит занять свою нишу.

Конструкция вентильной электрической машины с аксиальным магнитным потоком показана на рисунке 1.



Одна секция



Генератор в сборе

Рисунок 1. Вентильная машина с аксиальным магнитным потоком.

Электрическая машина аксиальной конструкции обладает рядом преимуществ в сравнении с радиальной:

- отсутствуют потери на перемагничивание в статоре из-за отсутствия стали магнитопровода, что может обеспечить высокий КПД и малые потери на нагрев;
- улучшается компоновка узлов газотурбинной установки вследствие рационального использования объема, отведенного для электрической машины;
- простая организация секционирования электрической машины позволяет разделить фазы в обмотке по модулям, что обеспечивает возможность выполнить обмотки многофазными;
- модульное исполнение электрической машины позволяет провести унификацию изделия при организации производства семейства газотурбинных установок с различной мощностью.

При анализе конструкции электрической машины было определено, что мощность генератора зависит от наружного диаметра (5). Из-за ограничения диаметра по условиям механической прочности от действия центробежных сил наружный диаметр был выбран 60 мм. Расчеты показали, что при частоте вращения 70000 об/мин для исследуемой электрической машины на этом диаметре можно получить мощность около 10..12 кВт. Соответственно для получения заданной мощности 100 кВт исследуемая машина должна содержать 9 секций по 11..12 кВт.

Для упрощения технологии сборки предложены следующие конструктивные решения:

- обмотка разделяется по фазам следующим образом: три секции под фазу А, три секции под фазу В, три секции под фазу С;
- обмотки выполняются симметричными. Сдвиг фаз осуществляется сдвигом постоянных магнитов на 120 электрических градусов. При 12 полюсной системе это составляет 20 геометрических градусов;
- обмотка разделяется на 2 части и в готовом изделии собирается из двух половин статора. Это позволяет выполнять балансировку ротора в самом изделии и существенным образом упростить общую сборку.

Расчет электрической машины выполнялся с помощью методик и программных средств, разработанных на кафедре электромеханики и электромеханических систем

ЮУрГУ (6). Электромагнитные расчеты показали, что выполнить генератор аксиальной конструкции с заданными характеристиками возможно.

Для оценки эффективности было проведено сравнение двух типов вентильных электрических машин, с радиальным и аксиальным магнитным потоком. Результаты сравнения приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Сравнительный анализ вариантов конструкций

Сравниваемые параметры	Радиальная конструкция	Аксиальная конструкция
Номинальная мощность при 70 тыс. об/мин, кВт	110	110
Номинальное выпрямленное напряжение, В	600	600
Потери в меди, кВт	2.5	3.5
Потери в стали, кВт	5	нет
КПД	0.949	0.963
Масса ротора, кг	11.5	10
Масса магнитов, кг	0.95	2.6
Масса меди, кг	3	0.92
Масса всех активных частей, кг	30	12

Из этого сравнения можно определить следующие существенные различия:

- аксиальная конструкция вентильной электрической машины не имеет потери в стали, у нее высокий КПД и малые потери на нагрев;
- применяя аксиальную конструкцию генератора можно улучшить компоновку узлов газотурбинной установки;
- секционирование аксиальной электрической машины позволяет разделить фазы в обмотке и выполнить обмотки многофазными, что должно снизить пульсации момента на валу генератора и повысить эффективность электрического преобразователя;
- недостаток аксиальной машины заключается в том, что наличие большого немагнитного зазора в роторе генератора требует применения мощных постоянных магнитов, что ведет к усложнению конструкции.

Таким образом, проведенное исследование демонстрирует возможность и эффективность применения вентильных электрических машин в газотурбинных энергетических установках, при этом показано, что такие электрические машины могут обеспечить характеристики лучше, чем у традиционных электрических машин с радиальным магнитным потоком.

Работа выполнялась при финансовой поддержке Минобрнауки РФ в рамках проекта «Создание производства модельного ряда микротурбинных энергоустановок нового поколения» по договору № 02.G25.31.0078 от 23.05.2013г.

References:

1. Danilevich YaB, Antipov VN, Kruchinina IYu, Khozikov YuF. *Super powerful micro-turbo-generators: capabilities and perspectives: International Scientific Journal for Alternative Energy and Ecology*. 2008. No 1; 149-151.
2. Kruchinina IYu, Antipov VN. *Creation Problems of High-Speed Mini Turbo Generators and Ways of their Solution: Informatsionno-upravliaiushchie sistemy (Information and Control Systems) 2012. No 4; 25-34.*
3. *Capstone C200 MicroTurbine Technical Reference Manual, 410066 Rev A, Capstone Turbine Corporation, Chatsworth, CA (September 2008)*
4. Kindryashov AN, Martyanov AS, Solomin EV. *Electrical machines for vertical axis wind turbines: International Scientific Journal for Alternative Energy and Ecology*. 2013. № 1-2 (118); 59-62.
5. Gandja SA. *The analysis of electromagnetic capacity for various design of valve cars with the axial stream: Bulletin of the South Ural state university. Series Power Engineering*. 2010. iss.14, No 32; 64-69.
6. Gandja SA, Martyanov AS. *Method of accelerated calculation of axial magnetic flux synchronous generators: International Scientific Journal for Alternative Energy and Ecology*. 2014. No 5 (145); 42-44.