

УДК 621.314.5

ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ ГЕНЕРИРОВАНИЯ ПЕРЕМЕННОЙ ЧАСТОТЫ ПОСТОЯННОЙ АМПЛИТУДЫ НА БАЗЕ МАГНИТОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ГЕНЕРАТОРА И ПОЛУПРОВОДНИКОВОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ

Д.В.Макаров, С.А.Харитонов, М.М.Юхнин,  
Новосибирский государственный технический университет,  
пр. К. Маркса, 20, Новосибирск, 630092, Россия.

*Исследованы электромагнитные процессы в системе генерирования электрической энергии переменного тока переменной частоты, состоящей из синхронного генератора с постоянными магнитами и полупроводникового преобразователя, выполняющего роль реактивной нагрузки и обеспечивающего уменьшение/увеличение эквивалентного потокосцепления в зазоре генератора. Получены соотношения для расчета основных параметров преобразователя и генератора, позволяющие оценить массогабаритные показатели системы. Исследовано влияние параметров генератора на токовую загрузку силовых полупроводниковых приборов. Работа выполнена по государственному контракту № 13.G36.31.0010 от 22.10.2010 г. Библ. 3, рис. 2.*

**Ключевые слова:** магнитоэлектрический генератор, реактивный компенсатор.

Последние годы происходит уменьшение мощности бортовых нагрузок электрической системы летательного аппарата, требующих для электропитания переменного напряжения постоянной частоты [1]. Особенно очевидной эта тенденция становится с принятием концепции "полностью электрический самолет" ("more-electric aircraft"). В этой связи становится актуальной задача разработки систем генерирования электрической энергии переменного тока с постоянной амплитудой напряжения и переменной частотой на базе магнитоэлектрического генератора и полупроводникового преобразователя, выполняющего роль стабилизатора напряжения (рис. 1). Такая структура обеспечивает регулирование амплитудного значения напряжения на нагрузке в требуемых пределах частот вращения и при заданном изменении тока нагрузки, при этом ток преобразователя меньше по величине номинального тока нагрузки, что является очевидным преимуществом перед системами с двойным преобразованием энергии [2].

В основу работы схемы положен принцип регулирования реактивной составляющей тока синхронного генератора (СГ) с помощью, в данном случае, инвертора напряжения (ИН). Для выбора оптимальных параметров силовой схемы и алгоритмов управления преобразователем необходимо проанализировать влияние ИН на величину выходного напряжения с учетом основных параметров и характеристик синхронного генератора таких, как ЭДС, активные и реактивные сопротивления, степень насыщения магнитной цепи и др.

В ходе исследований основных соотношений, описывающих электромагнитные процессы в синхронном генераторе при работе на активно-реактивную симметричную нагрузку без учета насыщения стали машины [3], были выявлены зависимости выходного напряжения от реактивной составляющей тока генератора (рис. 2). Здесь отражены зависимости величин

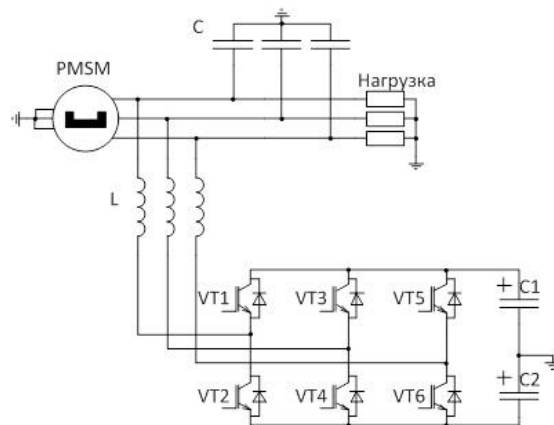


Рис 1

выходного напряжения на зажимах генератора  $U_n^*$ , нормированных по номинальному фазному действующему значению 230 В, от реактивной составляющей тока  $I_n^*$ , протекающей через генератор и преобразователь, нормированного по номинальному действующему значению тока нагрузки (217 А), соответствующей 150 кВт, при различных параметрах и режимах работы. Определены два наиболее тяжелых режима работы системы с точки зрения токовой загрузки полупроводниковых приборов:

- режим максимальной частоты вращения вала генератора, соответствующий частоте генерируемого напряжения 800 Гц при минимальном токе нагрузки, что требует максимального "размагничивания" генератора;
- режим минимальной частоты вращения вала генератора, соответствующий частоте генерируемого напряжения 400 Гц при максимальной нагрузке в этом режиме, принятой равной 50% от номинальной (150 кВт), что требует максимального "подмагничивания" генератора.

Для обоих режимов исследовались оговоренные зависимости при различных значениях соотношений продольной ( $L_d$ ) и поперечной ( $L_q$ ) индуктивностей генератора  $\xi = L_q / L_d$  с учетом активного сопротивления.

Как следует из рис. 2, при максимальной частоте вращения вала СГ (800 Гц) значение напряжения на зажимах генератора, равное номинальному ( $U_n^* = 1$ ), обеспечивается током индуктивного характера, равным  $I_n^* = 0,6$ , и не зависит от величины  $\xi$ . При минимальной частоте вращения вала СГ (400 Гц) ситуация изменяется – в случае явнополюсного генератора требуется меньшее значение реактивного (емкостного характера) тока, чем

в случае неявнополусного СГ. Так, при  $\xi = 4$  номинальное значение напряжения СГ достигается при  $I_n^* = 0,65$ , в то время как при  $\xi = 1$  это значение напряжения обеспечивается при  $I_n^* > 1$ .

Предлагаемый способ стабилизации напряжения магнитоэлектрического генератора при изменении частоты вращения позволяет снизить требования к синусоидальности ЭДС холостого хода СГ, так как полупроводниковый преобразователь выполняет также функцию активного фильтра.

Достоинством данного способа стабилизации является и то, что в режиме короткого замыкания в нагрузке ток преобразователя практически равен нулю. В то время как в случае двойного преобразования энергии [2] транзисторы преобразователя выбираются на ток короткого замыкания.

Недостатком способа можно считать максимальный ток преобразователя ( $\approx 0.6 \div 1$ ) в режимах холостого хода. Однако в автономных системах электроснабжения такой режим является достаточно редким, он, главным образом, имеет место только при испытаниях системы.

1. Самолетное электрооборудование / Под ред. Б.В. Иванова. – М.: ОАО «Аэроэлектромаш», 2001.
2. Харитонов С.А. Система генерирования «синхронный генератор с постоянными магнитами - активный выпрямитель». Математическая модель // Электротехника. – 2009. – №12. – С. 33–41.
3. Иванов-Смоленский А.В. Электрические машины. – М.: Издательство МЭИ, 2004. – 532 с.

УДК 621.314.5

**ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ ГЕНЕРУВАННЯ ЗМІННОЇ ЧАСТОТИ ПОСТІЙНОЇ АМПЛІТУДИ НА БАЗІ МАГНІТОЕЛЕКТРИЧНОГО ГЕНЕРАТОРА І НАПІВПРОВІДНИКОВОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА**  
**Д.В.Макаров, С.О.Харитонов, М.М.Юхнін, Новосибірський державний технічний університет, пр. К. Маркса, 20, Новосибірськ, 630092, Росія.**

*Досліджено електромагнітні процеси в системі генерування електричної енергії змінного струму змінної частоти, яка складається з синхронного генератора з постійними магнітами та напівпровідникового перетворювача, що використовується як реактивне навантаження і забезпечує зменшення/збільшення еквівалентного потокозчеплення у зазорі генератора. Одержано співвідношення для розрахунку основних параметрів перетворювача і генератора, які дозволяють оцінити масогабаритні показники системи. Досліджено вплив параметрів генератора на струмове завантаження силових напівпровідникових пристроїв. Роботу виконано за державним контрактом № 13.G36.31.0010 від 22.10.2010р. Бібл. 3, рис. 2.*

**Ключові слова:** магнітоелектричний генератор, реактивний компенсатор.

**STUDY OF THE POWER GENERATING SYSTEM WITH VARIABLE FREQUENCY AND AMPLITUDE BEING MAINTAINED BASED ON PERMANENT MAGNETS SYNCHRONOUS MACHINE AND VOLTAGE SOURCE INVERTER**

**D.V.Makarov, S.A.Kharitonov, M.M.Yukhnin, Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk, K. Marx's avenue, 20, 630064, Russia.**

*Electromagnetic processes in the power generating system of variable current and variable frequency based on permanent magnet synchronous machine and semiconductor converter carried out reactive load to influence equivalent flux linkage of generator on are studied. Relations to basic parameters of converter and generator be calculated are investigated. The work is carried out under the State contract No. 13.G36.31.0010 dated as of October 22, 2010. References 3, Figures 2.*

**Keywords:** PMSM, VSI.

1. Aircraft electrical equipmen. / Ed. B.V. Ivanov. – М.: ОАО «Aeroelectromash», 2001. (Rus)
2. Kharitonov S.A. Generating System "Permanent Magnet Synchronous Machine – Active Rectifier». Mathematical model // Electrotehnika. – 2009. – №12. – Pp. 33–41. (Rus)
3. Ivanov-Smolenskiy A.V. Electrical machines. – М.: Edition of MEI, 2004. – 532 p. (Rus)

Надійшла 16.12.2011

Received 16.12.2011

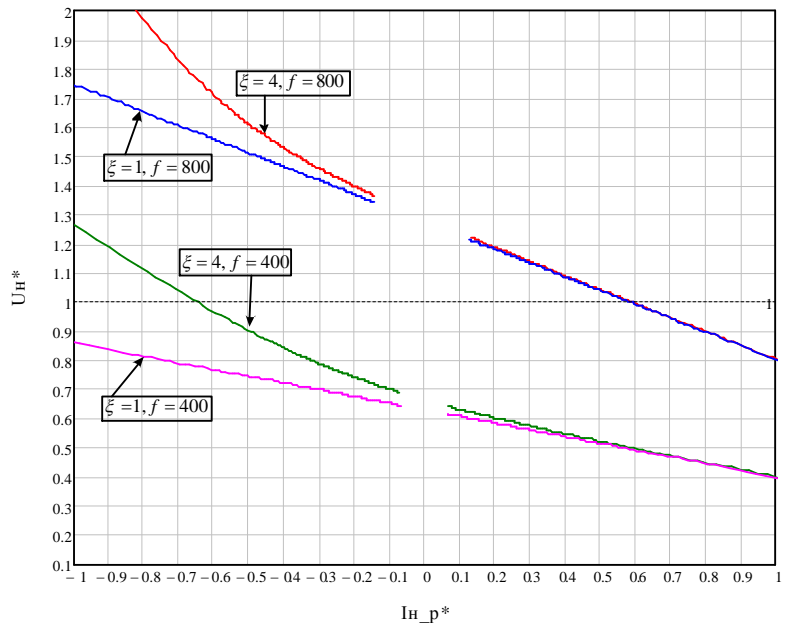


Рис. 2