

pp.1017-1025, 2012. **18.** *Honnyong Cha; Peng, F.Z.; Dongwook Yoo*; "Z-Source Resonant DC-DC Converter for Wide Input Voltage and Load Variation," International Power Electronics Conference, IPEC'10, pp.995-1000, 2010 **19.** *D. Vinnikov, J. Zakis, O. Husev, R. Strzelecki*, New High-Gain Step-Up DC/DC Converter with High-Frequency Isolation, in Proc. 27th Annu. IEEE Appl. Power Electronics Conf. and Expo., APEC'12, pp.1204-1209, 2012.

Надійшла до редколегії 16.03.2013

УДК 621.314.1

Классификация изолированных DC/DC квазиимпедансных преобразователей/ А. И. Чуб, А. А. Гусев, Д. В. Винников // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Х. : НТУ «ХПІ», – 2013. - № 18 (991). – С. 15-21. – Бібліогр.: 19 назв.

Представлені існуючі схеми підвищуючих DC/DC квазі-імпедансних перетворювачів. Виконана класифікація перетворювачів за передавальною характеристикою у статичному режимі та типу схеми квазі-імпедансної ланки.

Ключові слова: квазі-імпедансний перетворювач, відновлювальні джерела енергії, класифікація.

Existent topologies of the quasi-Z-source converter were presented and discussed. Classification of the DC/DC qZS-converters based on DC voltage gain and type of quasi-Z-source network was made.

Keywords: quasi-Z-source converter, renewable energy sources, classification.

УДК 621.314.58

Ю. П. ГОНЧАРОВ, д-р. техн. наук, НТУ «ХПІ»;

В. В. ИВАХНО, канд. техн. наук, НТУ «ХПІ»;

Ю. С. ВОЙТОВИЧ, студент, НТУ «ХПІ»;

А. В. ЛОБКО, аспирант, НТУ «ХПІ»;

Е. И. ОПАНАСЕНКО, студент, НТУ «ХПІ»

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРИНЦИПОВ ЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМ ВТОРИЧНОГО ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ ДЛЯ ШИРОКОДИАПАЗОННОГО БЕСКОНТАКТНОГО УПРАВЛЕНИЯ КОММУНАЛЬНЫМИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМИ ОБЪЕКТАМИ

В данной работе рассматривается применение принципов, используемых в электронных системах вторичного электропитания с промежуточным звеном постоянного и высокочастотного переменного тока, для построения распределительных электросетей объектов коммунально-бытового назначения.

Ключевые слова: широкодиапазонное регулирование, бесконтактная защита, распределительная электросеть.

Анализ состояния проблемы и постановка задачи работы

Современные распределительные электросети 220/380 В для питания коммунально-бытовых объектов обладают рядом существенных недостатков:

© Ю. П. Гончаров, В. В. Ивахно, Ю. С. Войтович, А. В. Лобко, Е. И. Опанасенко, 2013

- не обеспечивается плавное регулирование электрической мощности при формировании в питающей сети синусоидального тока, совпадающего по фазе с напряжением, что требуют от потребителей новые мировые стандарты [1];

- вследствие низкого напряжения в этих сетях велики токи в силовых подводящих электрокабелях, что повышает расход дефицитных цветных металлов и потери электроэнергии, которые достигают 10 % от передаваемой энергии;

- для защиты от токовых перегрузок и токовых замыканий используются аппараты с контактным принципом размыкания электрической цепи – автоматические выключатели или предохранители, что снижает надежность;

- затруднено присоединение распределенных генераторов электрической энергии, например, солнечных [2];

Плавное регулирование электрической мощности повышает эффективность использования электроэнергии и снижает ее потери, что убедительно доказали разработки последних лет в другой области техники – электроприводе.

Для комплексного преодоления перечисленных недостатков можно использовать принципы электропитания с промежуточными звеньями повышенной частотой и постоянного тока (принципы вторичного электропитания), которые также доказали свою высокую эффективность, например, при питании электронной аппаратуры [3]. На рис. 1 показана возможная структура распределительной электросети для объектов коммунально-бытового назначения, построенная с использованием принципов вторичного электропитания.

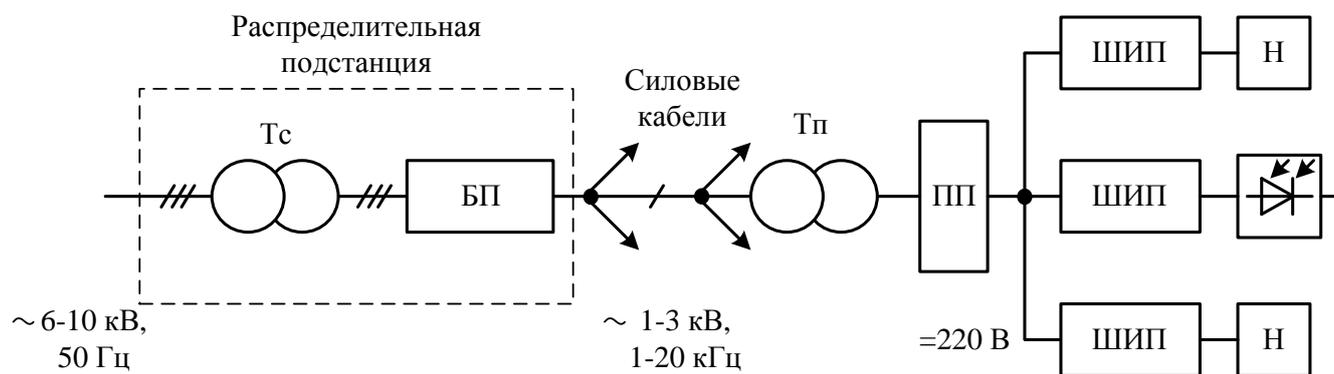


Рис. 1 – Общая структура распределительной электросети для объектов коммунально-бытового назначения

Входом системы является трехфазная промышленная сеть и распределительная подстанция, которая отличается от традиционной только тем, что для устанавливаемого на ней базового преобразователя *БП* в сетевом трансформаторе *Тс* нет необходимости использовать четырехпроводной выход вторичной обмотки. Мощность трансформатора имеет порядок сотен кВт, то есть достаточно велика, поэтому его энергетические характеристики по расходу материалов и *КПД* достаточно высоки, несмотря на низкую частоту 50 Гц.

Далее в структуре используется промежуточное звено однофазного переменного тока повышенной частоты порядка единиц кГц, что позволяет получить малые размеры выходного трансформатора в *БП* и переходных понижающих трансформаторов *Тп*, устанавливаемых у каждого конкретного потребителя или у каждо-

го контактно расположенной группы потребителей, например, примыкающих к одной лестничной клетке многоэтажного дома. Эта особенность позволяет развязать потребителей и распределительную кабельную сеть по уровню напряжения, у потребителей оно должно быть низким по условиям безопасности, а в кабельной сети достаточно высоким для получения приемлемых энергетических характеристик кабелей [4]. Использование однофазного тока позволяет применить коаксиальные кабели с заземленной проводящей оболочкой. Они обладают простой конструкцией и практически не излучают электромагнитных помех. Использование полый жилы, например, в виде металлической оплетки, позволяет получить приемлемые потери от вихревых токов при повышенных частотах.

Развязка потребителей и распределительной сети по уровню напряжения в принципе может быть использована и при низкой частоте и такие двухуровневые по напряжению системы уже получили некоторое применение. Однако низкочастотные трансформаторы небольшой мощности обладают, как известно, плохими энергетическими характеристиками.

Есть ряд причин в пользу того, чтобы использовать внутреннюю распределительную сеть у потребителя на постоянном токе при низком напряжении в ней порядка 220 В. Для этого необходим переходной преобразователь *III*, действующий, в основном, как выпрямитель. При наличии генераторов возобновляемой энергии его можно сделать обратимым для передачи избыточной энергии в сеть. В качестве переходного преобразователя предлагается использовать однофазный активный выпрямитель с последовательным резонансным контуром на стороне переменного тока и формированием в питающей сети синусоидального тока, совпадающего по фазе с напряжением в выпрямительном режиме и противофазного – в инверторном. Для широкодиапазонного регулирования электрической мощности нагрузок и генераторов можно использовать индивидуальные широтно-импульсные преобразователи (ШИП), как это и показано на рис. 1.

Имеющиеся в структуре потребителя преобразователи можно использовать для бесконтактной защиты при токовых перегрузках и коротких замыканиях, что повышает надежность и пожарную безопасность. Коммутационные аппараты при этом можно использовать лишь как разъединители электрической сети, а также как резервную защиту.

Наконец, низкое напряжение постоянного тока, как известно, предпочтительнее по условиям электробезопасности.

Задача данной работы состояла в компьютерном моделировании системы, с целью проверки ее работоспособности и анализа наиболее принципиальных характеристик.

Компьютерное моделирование распределительной электросети по структуре рис. 1.

Цель моделирования состояла в анализе характеристик установившихся режимов и в определении структур и параметров автоматических регуляторов, которые эти режимы обеспечивают. Моделирование производилось в пакете *Matlab*.

Базовое окно модели (рис. 2), содержит:

- силовую схему преобразователя;
- логическую часть системы управления *Logic*;

- регулятор выходного напряжения P_u ;
- подчиненный регулятор первичного тока P_i ;
- компенсатор P_0 постоянной составляющей напряжения (на конденсаторе входного фильтра);
- совокупность измерительных приборов;

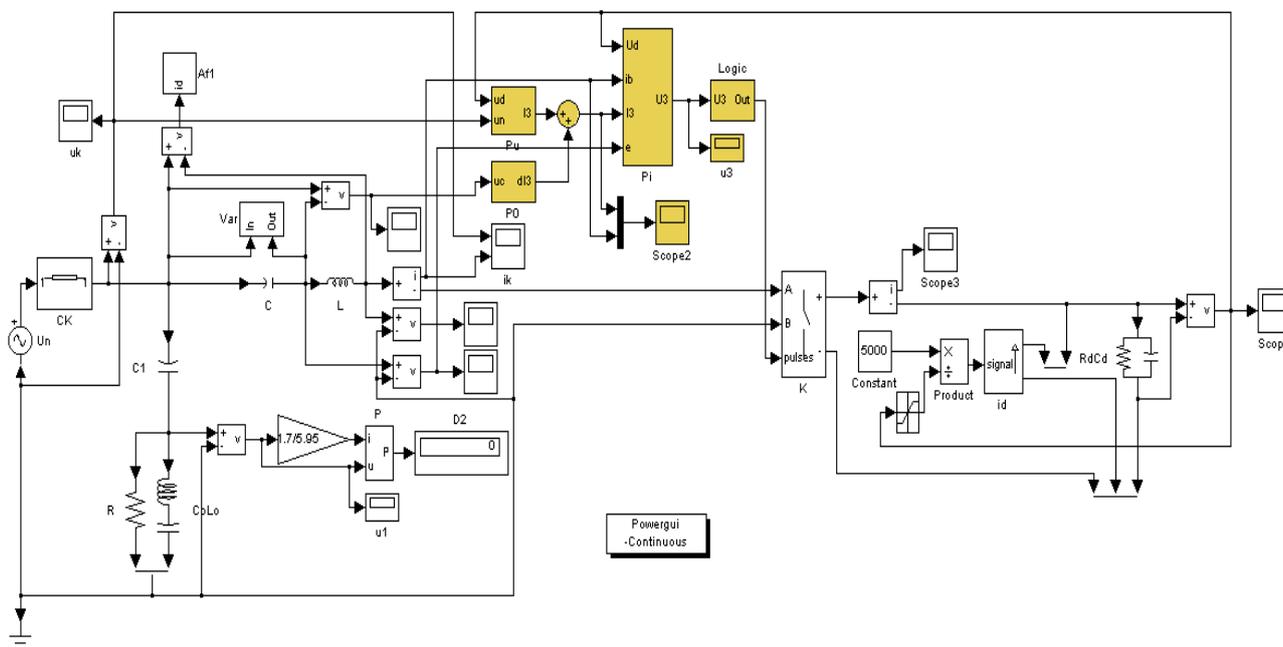


Рис. 2 – Базовое окно модели

Силовая схема содержит:

- источник напряжения U_n , замещающий питающую высоковольтную сеть;
- силовой кабель СК, рассматриваемый как объект с распределенными параметрами (длинная линия);
- LC – фильтр с варистором Var для ограничения напряжения на конденсаторе;
- однофазный мостовой коммутатор K, который в зависимости от направления потока мощности действует либо как выпрямитель тока, либо как инвертор напряжения;
- выходной фильтр C_d , эквивалент нагрузки R_d и генератор возобновляющей энергии, который замещен управляемым источником тока i_d ;
- входной демпфер, состоящий из резистора R, последовательного конденсатора C_1 , и параллельного резонансного контура C_0L_0 .

Длина силового кабеля может изменяться. Коммутатор работает с однополярной синусоидальной ШИМ при частоте $f_{ш} = 20 \cdot f_0$, где $f_0 = 20$ кГц - основная частота. Величина тока генератора задается блоком *const* в пределах от 0 до 25 А.

Логическая часть СУ обрабатывает сигнал задания U_z по среднему значению входного напряжения коммутатора на каждом полупериоде ШИМ. Принцип действия соответствующего регулятора описан в работе [5].

Регулятор напряжения (рис. 3), предназначен для стабилизации выходного напряжения на уровне 220 В при одновременной коррекции коэффициента мощности питающей сети.

Для этого регулятор управляет амплитудой синусоидального тока I_3 в питающей сети таким образом, чтобы поддерживать неизменное напряжения 220 В во

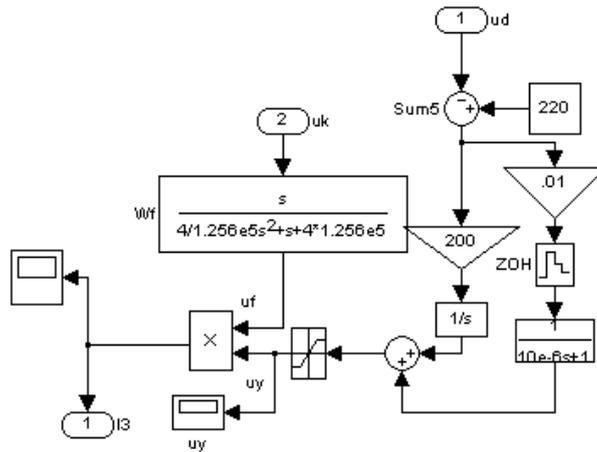


Рис. 3 – Схема регулятора напряжения

внутренней распределительной сети коммунального потребителя. Сигнал ошибки по напряжению определяется сумматором *Sum 5* и поступает на вход ПИ-регулятора. Пропорциональная часть, наряду с заданием коэффициента усиления $K_{рп}$, содержит также фиксатор нулевого порядка *ZOH* для устранения пульсаций с удвоенной основной частотой и апериодическое звено с постоянной времени 10 мкс, которое подавляет высокочастотные помехи. Интегральная часть, кроме собственно интегратора $1/S$, содержит также пропорциональное звено для задания коэффициента усиления $K_{ру}$. На выходе ПИ-регулятора получается управляющий сигнал U_y , задающий амплитуду тока задания. Форму и фазу тока задания определяет передаточная функция W_f , электрический эквивалент которой соответствует рис. 4 и операторному уравнению:

$$U_f = W_f \cdot U_k. \tag{1}$$

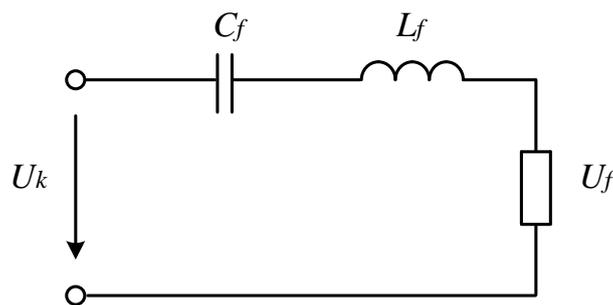


Рис. 4 – Электрический эквивалент передаточной функции W_f

Поскольку формируемый входной ток должен совпадать по фазе с напряжением U_k , то входным сигналом звена W_f является U_k . Для основной частоты ω выполняется условие

$$\omega L_f = \frac{1}{\omega C_f}, \tag{2}$$

Поэтому на основной частоте сопротивление резонансного контура $C_f L_f$ рав-

но нулю и $U_{f0} = U_{п0}$. Для всех других гармоник сопротивление контура велико в сравнении с R_f , поэтому функция формы U_f практически синусоидальна и совпадает по фазе с U_{k0} . В результате получаем

$$I_3 = U_y \cdot U_f. \quad (3)$$

Подчиненный регулятор тока отслеживает синусоидальный входной ток.

Регулятор P_0 устраняет постоянную составляющую из напряжения на конденсаторе C благодаря тому, что он создает на входе коммутатора эквивалент активного сопротивления $R_{э0}$, через которое и происходит разряд конденсатора при переходных процессах согласно равенству

$$dI_3 = \frac{U_{C0}}{R_{э0}}. \quad (4)$$

Постоянная составляющая U_{C0} напряжения на конденсаторе выделяется цифровым фильтром $m96f_0$. Пропорциональное звено устанавливает величину проводимости $g_{э0} = 1/R_{э0}$, а знак «минус» обеспечивает положительную проводимость. Импульсная характеристика фильтра задавалась согласно рекомендациям работы [5].

Кроме измерительных приборов очевидного назначения имеется также измеритель P мощности потерь в активном сопротивлении R демпфера в ваттах.

При пуске модели задается начальное выходное напряжение $U_d = 220$ В. В реальной схеме первоначальный заряд конденсатора C_d происходит через обратные диоды коммутатора при наличии задержки отпираания управляемых ключей.

Результаты моделирования

Исследовались два режима работы системы, в которых переходной преобразователь ПП (рис. 1) работает как выпрямитель, либо как инвертор. В первом случае нагрузка замещалась меняющимся резистором R_d .

Осциллограммы напряжений и токов для выпрямительного режима ПП при мощности нагрузки 5000 Вт показаны на рис. 5.

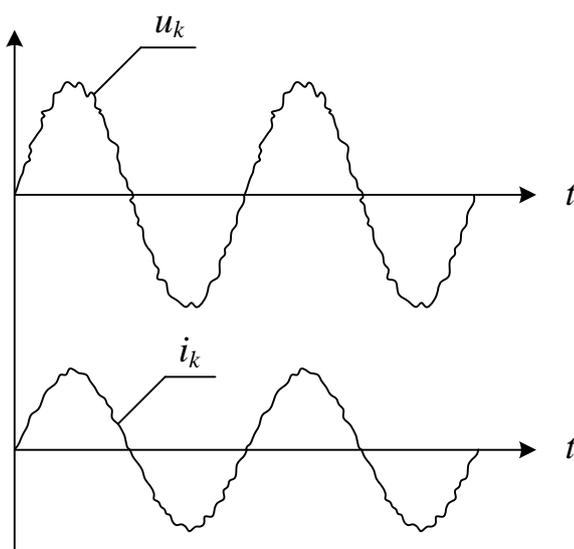


Рис. 5 – Напряжение и ток на входе ПП в выпрямительном режиме

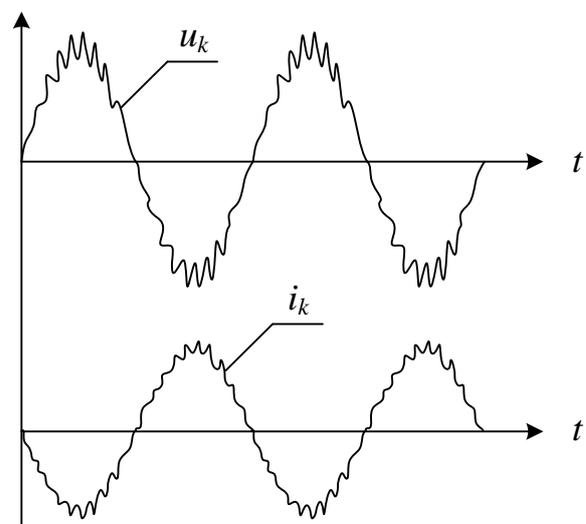


Рис. 6 – Напряжение и ток на входе ПП в инверторном режиме

Напряжение U_k на выходе кабеля и его выходной ток i_k (входной ток преобразователя) (рис. 5), в этом режиме совпадает по фазе с напряжением. Для инверторного режима (рис. 6) мощность генератора в выходной цепи принималась равной 5000 Вт, но сопротивление нагрузки R_d увеличивалось в 10 раз, то есть большая часть генерируемой мощности сбрасывалась в питающую сеть. Напряжение и ток на входе III при этом находятся в противофазе. Регулятор напряжения P_u поддерживал в обоих случаях напряжение нагрузки равным 220 В.

Было выявлено, что в обоих режимах работы потери мощности в резисторе R входного демпфера имеют порядок 0,3 % от передаваемой мощности. Малые относительные потери достигаются за счет шунтирования резистора на частоте основной гармоники цепью C_0L_0 , настроенной в резонанс на этой частоте.

Выводы

1. Показано применение принципов, используемых в электронных системах вторичного электропитания с промежуточным звеном постоянного и высокочастотного переменного тока, для построения распределительных электросетей объектов коммунально-бытового назначения, что позволяет обеспечить, наряду с улучшением массогабаритных показателей и повышением КПД, также индивидуальное плавное широкодиапазонное регулирование электрической мощности отдельных нагрузок, бесконтактную защиту при аварийных режимах и присоединение генераторов возобновляемой энергии со сбросом избыточной энергии в питающую сеть.

2. Разработана компьютерная модель предлагаемой системы электропитания коммунальных нагрузок при частоте 20 кГц в промежуточном звене однофазного высокочастотного переменного тока. Моделирование подтвердило функциональную работоспособность системы и ее ожидаемые свойства.

3. Предложены структуры автоматических регуляторов напряжений и токов, а также разработана методика выбора их параметров.

4. Моделирование подтвердило функциональную работоспособность структуры рис. 1 в установленном режиме и ее ожидаемые свойства. Работу необходимо продолжить в направлении анализа переходных и аварийных режимов.

Список литературы: 1. Duffey C. K., Stratford R. P. Update of Harmonic Standard IEEE-519: IEEE Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electric Power Systems. IEEE Transactions on Industry Applications, vol. 25, no. 6, November/December 1989, pp. 1025—1034. 2. Soeren Baekhoj Kjaer, Member, IEEE, John K. Pedersen, Senior Member, IEEE, and Frede Blaabjerg, Fellow. A review of Single-Phase Grid-Connected Inverters for Photovoltaic Modules. IEEE transactions on industry applications, vol. 41, NO. 5, September/October 2005. 3. М. Браун. Источники питания. Расчет и конструирование. Киев: "МК-Пресс" 2007 г. 4. Сокол Е.И., Гончаров Ю.П., Замаруев В.В., Ивахно В.В., Кривошеев С.Ю., Ересько А.В., Родин Н.Ю., Маляренко Е.А., Лобко А.В., Полупроводниковые преобразователи для связи между автономным генератором и промышленной сетью. Технічна електродинаміка, Інститут електродинаміки К., - 2012.- № 3, с. 67 – 68. 5. Сокол Е. И., Гончаров Ю. П., Ересько А. В. [и др.] Использование силовой электроники в низковольтных распределительных электросетях коммунальных объектов. // Праці інституту електродинаміки НАН України. Спеціальний випуск. К.: 2011, частина 1, с. 101-111.

Надійшла до редколегії 23.03.2013

УДК 621.314.85

Использование принципов электронных систем вторичного электропитания для широкодиапазонного бесконтактного управления коммунальными электрическими объектами / Ю. П. Гончаров, В. В. Ивахно., Ю.С. Войтович, А. В. Лобко, Е. И. Опанасенко // Вісник НТУ «ХП». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Х: НТУ «ХП», – 2013. - № 18 (991). – С. 21-28. – Бібліогр.: 5 назв.

У даній роботі розглядається застосування принципів, використовуваних в електронних системах вторинного електроживлення з проміжною ланкою постійного і високочастотного змінного струму, для побудови розподільних електромереж об'єктів комунально-побутового призначення.

Ключові слова: широкодіапазонне регулювання, безконтактний захист, розподільча електромережа.

This paper discusses the application of the guidelines used in electronic systems with a secondary power supply DC bus and high-frequency alternating current, to build electricity distribution facilities household purpose.

Keywords: wide-range control, contactless security, distribution grid.

УДК 621.314:621.382:621.314.572

Д. А. ПАДАЛКО, студент, ТУСУР, Томск, Россия;

А. Г. ГАРГАНЕЕВ, д-р. техн. наук, проф., зав. каф. ЭСАУ, ТУСУР, Томск, Россия

СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ НА ОСНОВЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН С САМОВОЗБУЖДЕНИЕМ

Рассмотрены принципы генерирования электроэнергии в автономных системах электроснабжения на основе электрических машин с самовозбуждением. Показана общность процессов самовозбуждения в электрических машинах постоянного тока, асинхронных и синхронно-гистерезисных. Представлены результаты моделирования процессов самовозбуждения. Показана возможность построения регулируемых систем генерирования с полупроводниковыми преобразователями.

Ключевые слова: электрическая машина, генератор, полупроводниковый преобразователь, инвертор, выпрямитель.

Актуальность

Увеличение численности населения, повышение требований к сохранению окружающей среды, специфика некоторых производств предполагают поиск новых источников энергии. В подавляющем большинстве случаев генерация электроэнергии осуществляется с помощью электрических машин постоянного и переменного тока. Наиболее распространенными промышленными системами генерирования электроэнергии (СГЭЭ) являются системы на основе синхронных генераторов (СГ), диапазон мощностей которых достаточно широк.

Специфика автономных СГЭЭ, в частности, для летательных аппаратов (ЛА), заключается в условиях применения, характеризующихся:

- широким диапазоном температур;

© Д. А. Падалко, А. Г. Гарганеев, 2013