

УДК 629. 313. 323

А.М. Олейников, профессор, д-р техн. наук,**А.Н. Шощкий, доцент, канд. техн. наук,***Севастопольский национальный технический университет**ул. Университетская, 33, г. Севастополь, Украина, 99053**E-mail: A.M.Olejnikov@sevgtu.sebastopol.ua***УПРАВЛЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЕМ АВТОНОМНОГО СИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА**

Описан способ автоматического управления напряжением автономного бесщеточного синхронного генератора с параметрическим стабилизатором напряжения. Приведены результаты компьютерного моделирования и компоновка схемы бесщеточного синхронного генератора на основе параметрического стабилизатора напряжения с использованием нечеткой логики.

Ключевые слова: автономный, бесщеточный, синхронный, напряжение, возбуждение, регулирование, управление, логика.

В современной практике регулирования возбуждения автономных синхронных генераторов (СГ) широко используются системы амплитудно-фазового компаундирования (АФК) с корректором напряжения (КН). Основные показатели таких систем укладываются в пределы [1, 2]:

- статическая ошибка составляет $\delta = \pm 2,5\% U_n$;
- время восстановления напряжения при набросе номинальной нагрузки для СГ мощностью 30...100 кВт 0 достигает 1...2 с.
- динамическая устойчивость характеризуется возможностью пуска АД при его мощности до 40 % от номинальной мощности СГ;
- перенапряжение в режимах наброса нагрузки достигают 20 % U_n .

Эти показатели в основном удовлетворяют требованиям нормативных документов, однако в последние годы в научной и технической литературе широко освещаются новые способы стабилизации напряжения СГ, среди которых предложенный на кафедре судовых и промышленных электромеханических систем СевНТУ способ параметрической стабилизации напряжения (ПСН) СГ [3].

Для специалистов представляет интерес анализ физических процессов и сравнение показателей качества напряжения двух систем регулирования напряжения судовых СГ (АФК и ПСН).

На рисунке 1 приведены кривые изменения модуля напряжения U в установившемся и в переходном режимах при набросе нагрузки, 1 – при использовании системы с медленнодействующей АРН и 2 – при наличии быстродействующей АРН, имеющего приставку импульсного действия (ПИД).

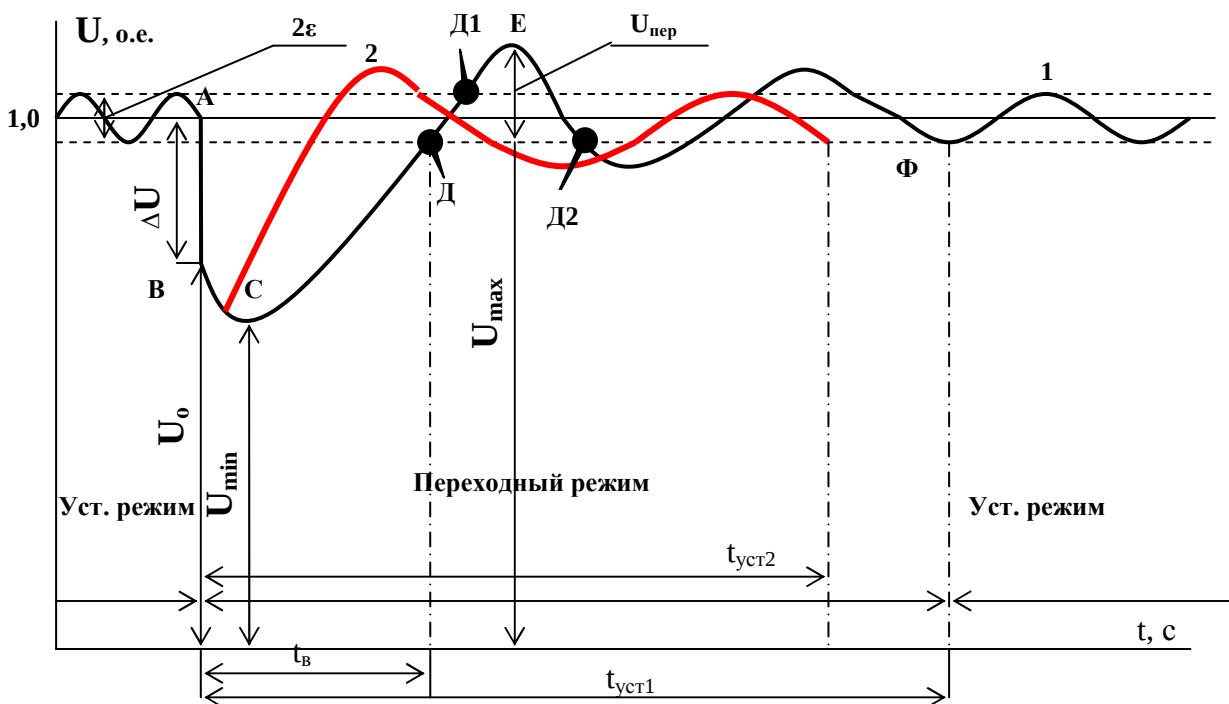


Рисунок 1 – Характер изменения модуля напряжения СГ с существующим АРН в установившихся и переходных режимах при набросе нагрузки

Заметим, что внешняя характеристика СГ располагается в зоне шириной 2ϵ , которая для судового СГ с линейным напряжением 400 В в физических единицах составляет 20 В.

На рисунке 1 хорошо видны также колебания напряжения и перенапряжения при набросе нагрузки, которые возникают по следующим причинам:

- инерционность процессов в обмотках возбуждения СГ и возбуждателя (при его наличии), а также в элементах АРН (особенно магнитного исполнения);
- особенности работы измерительных элементов АРН, имеющих зону нечувствительности величиной 2ϵ (снятие форсировки возбуждения в точке Д1 и ее включение только в точке Д2).

Совершенно иначе протекают процессы в подобных режимах при использовании параметрического стабилизатора напряжения. На рисунке 2 приведен вид переходного процесса при набросе нагрузки на СГ мощностью 100 кВт [3, 4]. Здесь U_n – напряжение пульсаций СГ, U_{op} – опорное напряжение ПСН, U – модуль вектора напряжения СГ, I_m – ток нагрузки СГ, I_f – ток возбуждения СГ, U_{fm} – импульсы напряжения, подаваемые ПСН на обмотку возбуждения СГ. Коэффициент форсировки напряжения возбуждения принят равным $\kappa_\phi = 10$.

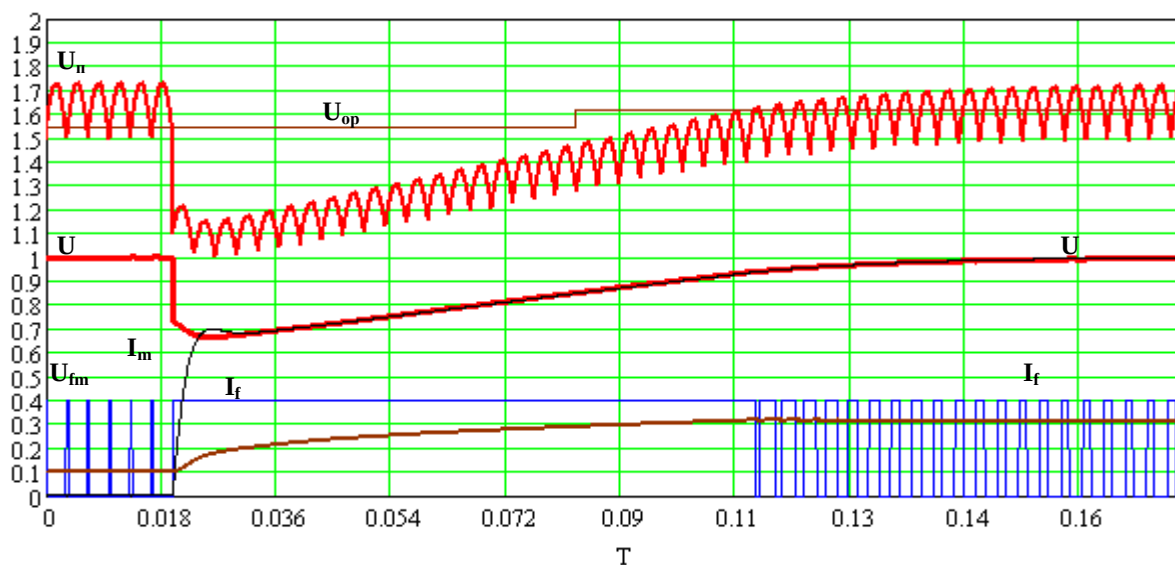


Рисунок 2 – Характер изменения модуля напряжения СГ с ПСН мощностью 100 кВт в установившемся и переходном режимах при набросе номинальной нагрузки

Для большей наглядности процесса импульсы напряжения, подаваемого на ОВ величиной 10 о.е., умножены на 0,04 и поэтому на графике они расположены ниже (в пределах 0...0,4). Аналогично на порядок уменьшено значение тока возбуждения. Как видно из рисунка 2 напряжение СГ после наброса нагрузки восстанавливается до номинального значения без колебаний и перенапряжения. Объясняется это тем, что при работе параметрического стабилизатора напряжения СГ реализуется принцип оптимального регулирования; в момент мгновенного провала напряжения СГ на ОВ подключается непрерывный импульс напряжения с потолочным значением U_{fm} , начинается экспоненциальный рост тока возбуждения и, соответственно – напряжения СГ. При подходе регулируемой величины U_r к заданному значению, ПСН снижает подачу энергии в ОВ СГ следующим образом. При достижении верхним значением пульсаций опорного напряжения, сначала отключается непрерывный импульс, затем постепенно уменьшается время подачи импульсов на ОВ до достижения установившегося значения, соответствующего нагрузке СГ.

Работа ПСН при восстановлении напряжения СГ в диапазоне времени переходного процесса 0,1...0,15 с, когда напряжение СГ приближается к номинальному значению, иллюстрируется на рисунке 3.

Как видно, в момент времени 0,1113, когда напряжение СГ достигает значения 0,94, происходит первое касание напряжения пульсаций опорного напряжения ПСН и прекращается непрерывная форсировка напряжения возбуждения СГ. В соответствии с заложенным принципом ПСН переходит в режим подачи импульсов на обмотку возбуждения с постоянным периодом, равным для данного случая 3,33 мс. На момент времени 0,15 с ширина импульсов в связи с плавным увеличением напряжения СГ уменьшается от 2,5 мс до 1,3 мс. В момент времени 0,13 с напряжение СГ достигает установившегося значения с ошибкой $\delta = -4,2\%$ U_n , колебаний напряжения СГ и перенапряжения не наблюдается.

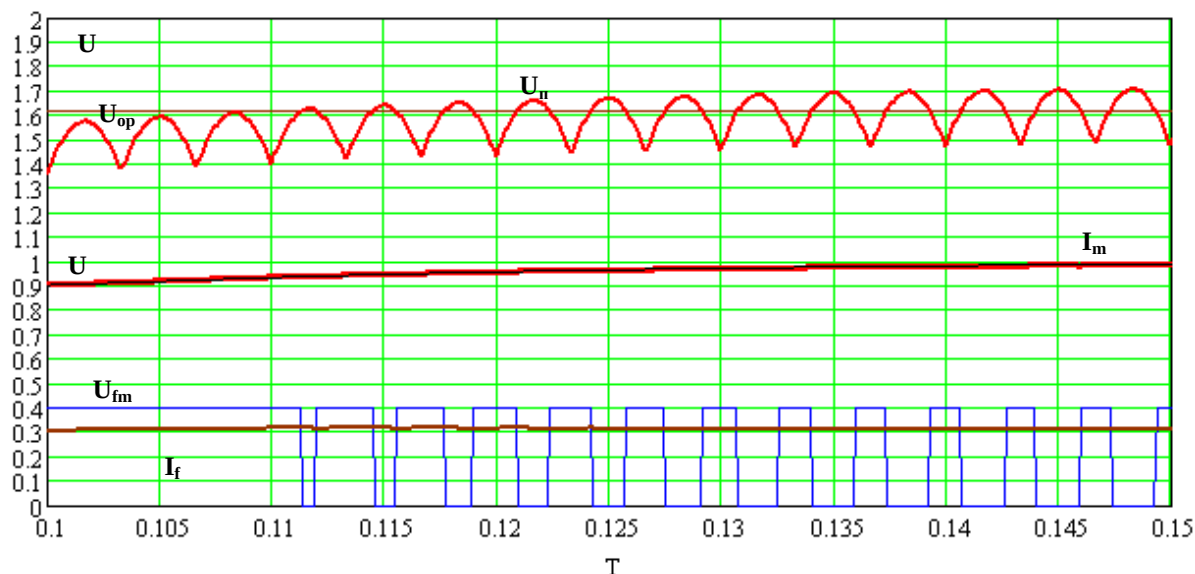


Рисунок 3 – Работа параметрического стабилизатора напряжения СГ

Как отмечалось [5], ПСН стабилизирует напряжение СГ с односторонней статической ошибкой, которая определяется параметрами ПСН. Например, при 6-ти тактном выпрямлении напряжения СГ период подачи импульсов на ОВ равен 3,33 мс и при коэффициенте форсировки, равном 10 о.е. статическая ошибка составляет $\delta = 4,2\%$ U_n , при этом внешняя характеристика СГ становится линейной. Для зависимости напряжения СГ от тока нагрузки при постоянстве $\cos\phi$ в судовых системах справедливо выражение

$$\Delta U = \delta \cdot I_m. \quad (1)$$

Анализируя графики процесса на рисунках 2 и 3, можно отметить также, что величина тока возбуждения и, следовательно, напряжения СГ зависит от величины опорного напряжения ПСН. На рисунке 2 показано, что опорное напряжение в момент времени 0,082 с переключено с 1,54 на 1,62, что позволило получить в конце переходного процесса номинальное значение напряжения СГ без ошибки. Следовательно, управляя величиной U_{op} , возможно перейти к управлению напряжением СГ вместо используемого в настоящее время автоматического регулирования напряжения СГ.

Математическую зависимость для расчета величины опорного напряжения ПСН возможно получить из подобия двух треугольников, образованных пересечением опорного напряжения ПСН с пульсациями напряжения для двух режимов работы СГ – холостого хода (ХХ) и номинальной нагрузки (НН) (рисунок 4).

Запишем зависимости между параметрами ПСН для режима холостого хода.

Ток возбуждения и напряжение возбуждения в системе относительных единиц в этом режиме равны 1, следовательно, для ширины τ_{xx} импульсов можно записать

$$\tau_{xx} = \frac{T_u}{\kappa_\phi} = 0,333 \text{ мс}, \quad (2)$$

Кривая опорного напряжения ПСН в данном случае записывается в виде

$$U_{opxx} = U_a \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{m} + \omega \cdot \frac{\tau_{xx}}{2}\right). \quad (3)$$

Зависимость между требуемым приращением ширины импульсов и отклонением напряжения СГ ΔU в режимах работы с нагрузкой можно получить, используя очевидные соотношения (рисунок 4)

$$\frac{ab}{ab1} = \frac{ac}{ac1}. \quad (4)$$

В результате преобразований получаем требуемое выражение для определения ширины импульсов в любых режимах нагрузки судовых СГ в зависимости от величины отклонения напряжения от номинального значения и параметров ПСН

$$\Delta\tau = \frac{T_u \cdot \sin \frac{2\pi}{m} \cdot \Delta U}{U_{opxx} \cdot \kappa_\phi - U_a \cdot \kappa_\phi \cdot \sin \frac{2\pi}{m}}. \quad (5)$$

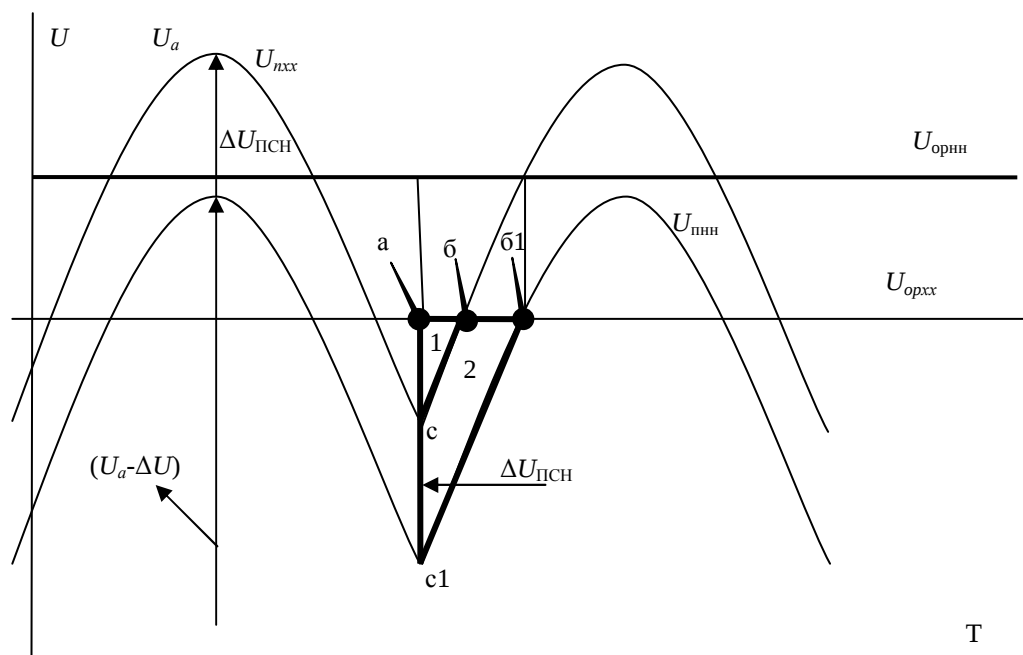


Рисунок 4 – Пульсации напряжения СГ в режимах ХХ и НН и опорное напряжение ПСН

Для опорного напряжения с учетом работы ПСН можем записать

$$U_{op} = U_a \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{m} + \omega \cdot \frac{\tau_{xx} + \Delta\tau}{2}\right), \quad (6)$$

и окончательно, учитывая отклонение напряжения при работе ПСН для произвольного режима работы СГ имеем

$$U_{op} = (U_a + \Delta U) \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{m} + \omega \cdot \frac{\tau_{xx} + \Delta\tau}{2}\right) \quad (7)$$

Уравнения 1, 5, и 7 реализованы на модели при расчете сложного переходного процесса последовательного наброса и сброса нагрузки и управления напряжением судового СГ, а результаты расчета представлены на рисунке 5. Все обозначения величин идентичны обозначениям на рисунке 2.

Общее время расчета 4-х переходных процессов составляет 1 с. Колебаний напряжения и перенапряжений СГ не наблюдается. Управление напряжением СГ осуществлено изменением опорного

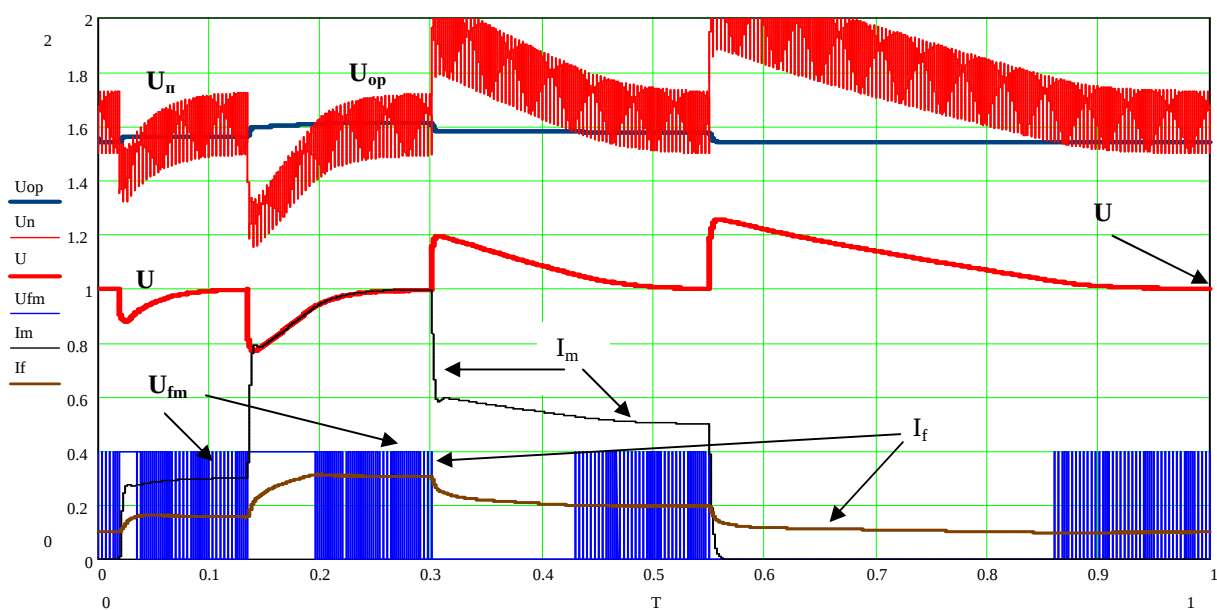


Рисунок 5 – Переходный процесс последовательного наброса 30 % и 100 % нагрузок с режима ХХ и два сброса 50 % нагрузки с режима номинальной нагрузки до ХХ

возбуждения ротора СГ; $t_{\text{и}}$ – ширина импульсов, подаваемых на обмотку возбуждения СГ; $U_{\text{зд}}(t)$ – уставка заданного дистанционно напряжения статора СГ; $U_{\text{зр}}(t)$ – резервная уставка заданного напряжения статора СГ; $U_{\text{ау}}(t)$ – адаптивная уставка напряжения статора СГ.

Выводы

Рассмотренный способ автоматического управления напряжением судового СГ с ПСН обеспечивает весьма важные преимущества по сравнению со способами автоматического регулирования напряжения судовых СГ.

1. Улучшается качество электроэнергии, вырабатываемой СГ с ПСН, в том числе:
 - внешняя характеристика СГ становится линией в отличие от внешней характеристики систем с АРН, которая представляет собой полосу;
 - статическая ошибка отклонения напряжения СГ от номинальных значений может быть доведена до нуля;
 - время восстановления напряжения при набросе номинальной нагрузки уменьшается примерно на порядок;
 - исключаются перерегулирования напряжения СГ при набросе нагрузки;
 - отсутствуют колебательные процессы и низкочастотная амплитудная модуляция напряжения СГ;
2. Имеющие место перенапряжения в электроэнергетической системе судна отрицательно влияют на работу источников и потребителей электроэнергии, на состояние сопротивления изоляции и могут приводить к выходу их из строя, а в некоторых случаях – к аварии. Способность систем ПСН обеспечивать стабилизацию напряжения без колебаний и перенапряжений в переходных режимах является очень важным для судовых систем и требует дальнейшей работы над внедрением такого управления напряжением судовых СГ.

Библиографический список использованной литературы

1. Ясаков Г.С. Корабельные электроэнергетические системы / Г.С. Ясаков. — СПб.: Изд-во ВМА, 1999. — 628 с.
2. Константинов В.Н. Системы и устройства автоматизации судовых электроэнергетических установок / В.Н. Константинов. — Ленинград: Судостроение, 1988. — 310 с.
3. Патент Украины № 64442 А, МКИ³ H03L5/00 Способ параметрической стабилизации напряжения синхронного генератора / Олейников А.М., Шоцкий А.Н. (Украина). — № 2003065055; Заявлено 2. 06. 2003; Опубл. 16.02.2004, Бюл. № 2, Приоритет 2.06.2003.
4. Пат. 68008 А Украина, МКИ³ H03L5/00 Бесщеточный синхронный генератор / Олейников А.М., Шоцкий А.Н. заявитель и патентообладатель Севастоп. нац. техн. ун-т — № 2003087819; заяв. 19.08.2003; опубл. 15.07.2004, Бюл. № 7, Приоритет 19.08.2003.
5. Олейников А.М. Бесщеточный синхронный генератор с параметрическим стабилизатором напряжения. Компоновка, управление и математическая модель. / А.М. Олейников, А.Н. Шоцкий, Н.Н. Чепендюк // Сб. науч. тр. Николаевского НУ. — Николаев, 2004. — С. 46–51.
6. Юрганов А.А. Нечеткий регулятор возбуждения сильного действия / А.А. Юрганов., И.Ж. Шанбур // Фундаментальные исследования в университетах: матер. науч.-техн. конф. — СПб., 1998. — С. 215.
7. Беляев А.Н. Обучающийся регулятор возбуждения на основе нечеткой логики / А.Н. Беляев, Р.В. Огороков // Фундаментальные исследования в технических университетах: матер. науч.-техн. конф. — СПб., 1998. — С.144.

Поступила в редакцию 15.06.2011 г.

Олейников О.М., Шоцкий О.М. Управление напрягою автономного синхронного генератора

Описано способ автоматического керування напрягою автономного безщіткового синхронного генератора з параметричним стабілізатором напруги. Наведено результати комп'ютерного моделювання і компонування схеми безщіткового синхронного генератора на основі параметричного стабілізатора напруги з використанням нечіткої логіки.

Ключові слова: автономний, безщітковий, синхронний, напруга, збудження, регулювання, управління, логіка.

Oleynikov A.M., Shotskiy A.N. The control of voltage of a stand-alone synchronous generator

The article describes a method of automatic voltage control for an independent brushless synchronous generator with a parametric voltage stabilizer. The results of computer simulation and layout of the circuit of brushless synchronous generator based on a parametric voltage stabilizer using fuzzy logic are provided.

Keywords: autonomous, brushless, synchronous, voltage, excitation, regulation, control, logic.