

References

1. Babakin, B. S. Hladagenty, masla, servis holodil'nyh sistem / B. S. Babakin. – Ryazan' : Uzoroch'e, 2003. – 470 s.
2. Bukin, V. G. Intensivnost' teploobmena pri kipenii R407s s maslom v sudovyh sistemah kondicionirovaniya vozduha / V. G. Bukin, V. M. Caloev // Morskie intellektual'nye tekhnologii. – 2018. – № 4-4 (42). – S. 76–79.
3. Gogonin, I. I. Teploobmen pri kipenii binarnykh smesey i usloviyah svobodnoj konvekcii / I. I. Gogonin // Inzhenerno-fizicheskij zhurnal. – 2013. – T. 86, № 3. – S. 646–651.
4. Dolzhikov, A. S. Processy kipeniya i kondensacii mnogokomponentnykh rabochih tel v mikroteploobmennikah / A. S. Dolzhikov, V. I. Mogorychnyj // Uspekhi prikladnoj fiziki. – 2017. – T. 5, № 2 – S. 103–112.
5. Makeeva, E. N. Vliyaniye temperaturnogo glajda smesevykh hladagentov na rabotu holodil'noj sistemy / E. N. Makeeva, S. A. Radosh // Ekologo-energeticheskie problemy sovremenosti : XVI Vseukr. nauch.-tekh. konf. molodykh uchenykh i studentov, Odessa, 14 apr. 2016 g. : sb. nauch. tr. – Odessa : ONAHT, 2016. – S. 198–201.
6. Makeeva, E. N. Teploobmen pri kipenii smesevykh ozonobezopasnykh hladagentov na orebrennykh teplootdayushchih poverhnostyakh / E. N. Makeeva // Vestn. GGTU im. P. O. Suhogo. – 2015. – № 3. – S. 72–78.
7. Mezenceva, N. N. Kipenie odnokomponentnykh hladagentov i neazeotropnykh smesey vnutri gorizontalnykh gladkih trub / N. N. Mezenceva, V. A. Muhin, I. V. Mezencev // Sovremennaya nauka: issledovaniya, idei, rezul'taty, tekhnologii. – 2013. – № 1 (12) – S. 251–254.
8. Hladagenty i hladonositeli sistem kondicionirovaniya vozduha / A. A. Nikitin [et al.] // Nauch. zhurnal NIU ITMO. Ser. Holodil'naya tekhnika i kondicionirovaniye. – 2015. – № 3. – S. 7–12.
9. Ovsyannik, A. V. Opredeleniye parametrov teploobmena pri paroobrazovanii smesevykh hladagentov na vysokoteploprovodnykh poroshkovykh spechennykh kapillyarno-poristykh pokrytyah / A. V. Ovsyannik, E. N. Makeeva // Energetika. Izv. vyssh. ucheb. zavedenij i energ. ob'edinenij SNG. – 2018. – T. 61, № 1. – S. 70–79.

УДК 621.313.33:62-83-52

М. Н. Погуляев

ПРИМЕНЕНИЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ В УСТРОЙСТВАХ НАГРУЖЕНИЯ РЕЗЕРВНЫХ ЭЛЕКТРОГЕНЕРАТОРОВ

*Кандидат технических наук, доцент,
Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого, Гомель,
Республика Беларусь*

Аннотация. Предложена схема устройства нагружения синхронных электрогенераторов резервных источников питания с использованием статических полупроводниковых преобразователей. Показано, что такое устройство является энергосберегающим и позволяет регулировать коэффициент мощности и величину нагрузки генератора.

Ключевые слова: резервный электрогенератор, устройство нагружения, управляемый выпрямитель, ведомый инвертор, полупроводниковый преобразователь.

M. N. Pogulyaev

APPLICATION OF SEMICONDUCTOR CONVERTERS IN LOADING DEVICES OF BACKUP ELECTRIC GENERATORS

*Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
Gomel State Technical University named after P. O. Sukhoi, Gomel, Republic of Belarus*

Annotation. A scheme for loading synchronous electric generators of backup power sources using static semiconductor converters is proposed. It is shown that such a device is energy-saving and allows you to adjust the power factor and the load of the generator.

Keywords: backup electric generator, loading device, controlled rectifier, slave inverter, semiconductor converter.

Введение. Энергетическая безопасность (ЭБ) является важной компонентой национальной безопасности как в целом страны, так и отдельных предприятий и организаций. Одной из ее составляющих является надежное электроснабжение потребителей. Потеря электроснабжения недопустима для целого ряда различных объектов, таких как промышленные предприятия с непрерывным производством, объекты городской инфраструктуры, обеспечивающие жизненно важные потребности города, объекты связи, телевидения и радиовещания, некоторые объекты транспорта, медицинские учреждения и т. п. Эффективным средством решения данной проблемы является применение резервных электрогенераторов (РЕГ), чаще всего дизель-генераторных установок (ДГУ). Такие установки обычно длительно находятся в состоянии холодного резерва (простоя) и чтобы гарантировать их безотказную работу при аварийных ситуациях необходимо регулярно проводить их техническое обслуживание и испытания под нагрузкой. Согласно требованиям стандарта и технических условий устройство нагружения (УН) должно создавать нагрузку от минимальной равной 10 % до максимальной равной 110 % номинальной мощности генератора при коэффициенте мощности 0,8, с возможностью его регулирования в пределах 0,5–0,9.

Известные способы нагружения ДГУ не в полной мере отвечают требованиям стандартов и технических условий [2]. Достижения современной электроники и силовой преобразовательной техники позволяют найти новые подходы к решению этой проблемы.

Материалы и методы исследования. Резервные электрогенераторные установки построены в основном по схеме: приводной бензиновый или дизельный двигатель внутреннего сгорания, синхронный электрогенератор и система управления. Исходя из требований регламента испытаний, а также необходимости рекуперации, вырабатываемой в процессе испытаний электроэнергии в сеть, предложено устройство нагружения резервных электрогенераторов на основе полупроводниковых преобразователей (рис. 1).

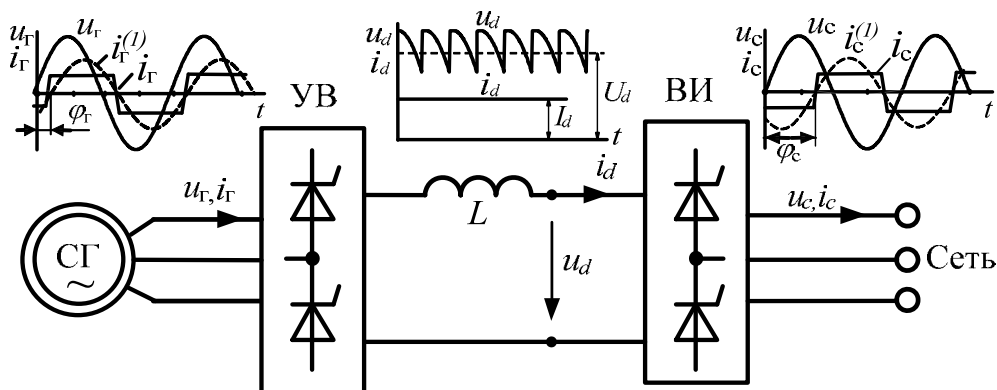


Рис. 1. Функциональная схема устройства нагружения на основе полупроводниковых преобразователей

Цель работы – проанализировать возможность использования полупроводниковых преобразователей для построения устройств нагружения резервных электрогенераторов. При исследовании работы такого устройства использовались методы теории электрических цепей, электрических машин, преобразовательной техники, имитационное моделирование.

Схема содержит синхронный генератор (СГ), управляемый выпрямитель (УВ), ведомый инвертор (ВИ) и сглаживающий дроссель (L). Управляемый выпрямитель и ведомый инвертор представляют собой трехфазные тиристорные преобразователи (ТП), выполненные по мостовым схемам. Испытуемый синхронный генератор подключается на вход устройства нагружения и является источником, а питающая сеть является нагрузкой и подключается к его выходу.

Принцип действия устройства нагружения основан на особенностях работы тиристорных преобразователей. Известно, что в ТП первая гармоника тока I_r отстает по фазе от напряжения на угол φ_r :

$$\varphi_r = \alpha_1 + \frac{\gamma_1}{2}, \quad (1)$$

где α_1 – угол управления тиристоров УВ; γ_1 – угол коммутации тиристоров.

$$\gamma_1 = \arccos \left(\cos \alpha_1 - \frac{2 \cdot X_r \cdot I_d}{\sqrt{2} \cdot U_r} \right) - \alpha_1, \quad (2)$$

где X_r – индуктивное сопротивление генератора в режиме коммутации; I_d – выпрямленный ток; U_r – выходное линейное напряжение генератора.

При работе на управляемый выпрямитель коэффициент мощности нагрузки генератора K_M , будет приблизительно равен

$$K_M \approx \cos \varphi_{\Gamma} = \cos \left(\alpha_1 + \frac{\gamma_1}{2} \right). \quad (3)$$

Принцип регулирования тока нагрузки основан на введении в контур протекания тока источника напряжения, создаваемого ведомым инвертором, и действующего встречно выпрямленному напряжению генератора [3].

Среднее значение выпрямленного тока I_d , определяется сопротивлением элементов схемы и разностью напряжений управляемого выпрямителя $U_{d.УВ}$ и ведомого инвертора $U_{d.ВИ}$

$$I_d = \frac{U_{d.УВ} - k_{cx2} U_c \cdot \cos \beta_2}{R_{др} + R_{2Г} + \frac{pX_{2Г}}{2\pi}}, \quad (4)$$

где k_{cx2} – схемный коэффициент ВИ по напряжению; U_c – напряжение сети; β_2 – угол управления (опережения) инвертором; $R_{др}$ – активное сопротивление дросселя; $R_{2Г}$, $X_{2Г}$ – активное и индуктивное сопротивление трансформатора (при наличии).

Действующее значение тока генератора I_{Γ} и среднее значение выпрямленного тока I_d связаны между собой зависимостью

$$I_{\Gamma} = k_I I_d, \quad (5)$$

где k_I – схемный коэффициент по току.

В частности, для трехфазной мостовой схемы:

$$I_{\Gamma} = \sqrt{\frac{2}{3}} \cdot I_d. \quad (6)$$

Из уравнения (1) следует, что, изменяя угол управления α_1 первого преобразователя, можно регулировать коэффициент мощности генератора в необходимых пределах. Уравнения (2) и (3) показывают, что ток нагрузки генератора можно задавать углом опережения β_2 .

Для проверки работоспособности предложенной схемной реализации УН было использовано имитационное моделирование в программной среде Matlab с использованием пакетов расширения SimPowerSystems и Simulink (рис. 2). Представленная имитационная модель позволяет производить исследование статических и динамических режимов работы устройства нагружения, анализировать параметры токов, напряжений, производить визуализацию результатов, снимать и строить необходимые характеристики.

При ее создании использовались как стандартные блоки библиотек пакетов расширения SimPowerSystems и Simulink, так и вновь разработанные.

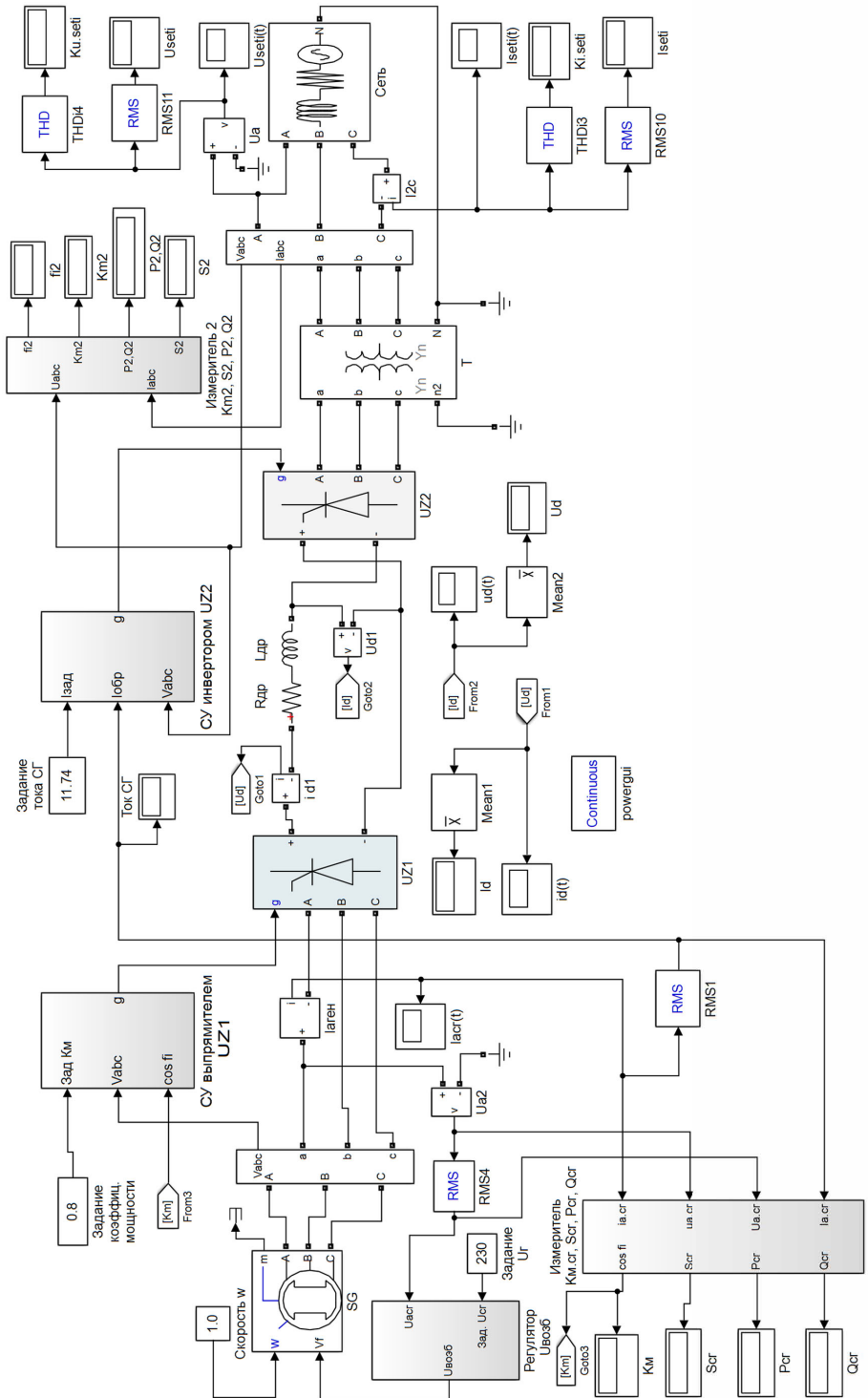


Рис. 2. Имитационная модель устройства нагрузки на полупроводниковых преобразователях

Синхронный генератор имитирует работу реальной классической синхронной машины с демпферной обмоткой и представлен стандартным блоком Synchronous Machine pu Fundamental (параметры машины задаются в системе относительных единиц) из библиотеки Machines SimPowerSystems системы MatLab. С помощью имитационной модели было проведено численное моделирование работы устройства нагружения с трехфазным синхронным генератором с параметрами: $S_{\text{ном}} = 8,1$ кВА, $U_{\text{ном}} = 400$ В, $\cos\varphi_{\text{ном}} = 0,8$, $n_{\text{ном}} = 1\,500$ об/мин, $f_{\text{ном}} = 50$ Гц. Более подробное описание имитационной модели и анализ всех полученных результатов выходят за рамки данной статьи и будут представлены в последующих работах. Здесь же представим основные результаты исследований.

Результаты исследования и их обсуждение. Исследование работы на имитационной модели показали, что изменяя угол опережения ведомого инвертора в пределах $20\text{--}75^\circ$ можно регулировать ток нагрузки генератора в диапазоне $0,1\text{--}1,1$ номинального значения, а изменяя угол управления УВ в пределах $12^\circ\text{--}60^\circ$ можно задавать коэффициент мощности в диапазоне $0,5\text{--}0,9$. Также установлено, что при номинальных значениях коэффициента мощности и тока нагрузки в сеть возвращается более 80 % электроэнергии, вырабатываемой генератором в процессе испытаний. Таким образом, численным моделированием подтверждается правильность предварительно сделанных расчетов и выводов.

Недостаток предложенного УН состоит в том, что его выходной ток имеет практически прямоугольную форму, т. е. является источником высших гармоник. Наличие высших гармоник тока может приводить к искажению питающего синусоидального напряжения. При достаточно мощной сети эти искажения будут незначительны. При соизмеримых мощностях сети и испытуемого генератора для уменьшения влияния высших гармоник требуется применение фильтрокомпенсирующих устройств.

Заключение. Проведенные исследования показали, что на основе статических полупроводниковых преобразователей можно создавать энергосберегающие устройства для нагружения резервных электрогенераторов. Нагрузатели, выполненные по такой схеме, позволяют плавно изменять нагрузку генератора и коэффициент мощности, способны обеспечить необходимые при проведении регламентных испытаний режимы нагружения электрогенераторов. Таким образом, применение предложенного устройства нагружения позволяет производить оценку технического состояния генераторных установок и своевременно выявлять неисправности. Это дает возможность поддерживать работоспособность генераторов на высоком уровне, что повышает надежность и стабильность электроснабжения объектов и их энергетическую безопасность.

Список использованных источников

1. Установки электрогенераторные с бензиновыми, дизельными и газовыми двигателями внутреннего сгорания. Методы испытаний : ГОСТ Р53178-2008. – Введ. 01.01.2010. – М. : Стандартиформ, 2009. – 27 с.
2. Энергоэффективные испытательные стенды / М. Н. Погуляев [и др.] // Энергоэффективность. – 2018. – № 9. – С. 26–30.
3. Погуляев, М. Н. Энергосберегающее устройство нагружения резервных электрогенераторов на основе статических преобразователей / М. Н. Погуляев // Вестн. Гомел. гос. техн. ун-та им. П. О. Сухого. – 2022. – № 3 (90). – С. 96–103.

References

1. Ustanovki elektrogeneratornye s benzinovymi, dizel'nymi i gazovymi dvigatelyami vnutrennego sgoraniya. Metody ispytaniy: GOST R53178-2008. – Vved. 01.01.2010. – M. : Standartinform, 2009. – 27 s.
2. Energoeffektivnye ispytatel'nye stendy / M. N. Pogulyaev [et al.] // Energoeffektivnost'. – 2018. – № 9. – S. 26–30.
3. Pogulyaev, M. N. Energoberegayushchee ustrojstvo nagruzheniya rezervnyh elektrogeneratorov na osnove staticheskikh preobrazovatelej / M. N. Pogulyaev // Vestn. Gomel. gos. tekhn. un-ta im. P.O. Suhogo. – 2022. – № 3 (90). – S. 96–103.

УДК 536.422.1

**В. С. Попеску, М. Г. Меленчук, В. В. Вишану, Т. В. Балан,
И. П. Гыдей, М. П. Алий**

ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССА СУШКИ СЕМЯН НА ОСНОВЕ ТЕРМООБРАБОТКИ В СУСПЕНЗИИ

Технический университет Молдовы, Кишинев, Республика Молдова

Аннотация. Основная цель работы – повышение энергоэффективности процесса сушки семян из отходов перерабатывающей промышленности. Исследование было сосредоточено на примере косточек облепихи и винограда, которые на данный момент не полностью освоены, но имеют большой потенциал для дальнейшего использования в пищевой, косметической и фармацевтической промышленности, а процесс их сушки традиционными методами имеет малую эффективность, в особенности из-за повышенного потребления электроэнергии. С целью выявления решений существующих проблем в данной области была разработана экспериментальная электроустановка, на базе которой проведены исследования процесса сушки методом термообработки в суспензии. Таким образом, полученные результаты продемонстрировали, что разработанная установка позволяет на основе предлагаемого способа, прежде всего, повысить энергетическую эффективность процесса сушки, а также подтвердили повышение качества обработанных семян для дальнейшего использования в целях пищевой, косметической и фармацевтической промышленности.

Ключевые слова: семена облепихи, косточки винограда, электроустановка, энергоэффективность, повышение качества, обработка суспензионная.