

Altajskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2019. – № 5 (175). – S. 79-85.

6. Lekanov, S. V. Tekhnika i tekhnologii dlya posleuborochnoj obrabotki zerna i semyan: rekomendacii / S. V. Lekanov, N. I. Strikunov. – Barnaul: Izd-vo Alt. IPK APK, 2019. – 74 s. – Tekst: neposredstvennyj.

7. Galkin, V. D. Separaciya semyan v vibropnevmozhizhenom sloe: tekhnologiya, tekhnika, ispol'zovanie: monografiya / V. D. Galkin, V. A. Handrikov, A. A. Havyev; pod obshej redakcij V. D. Galkina; M-vo s.-h. RF; Federal'noe gos. byudzhetnoe obrazov. uchrezhdenie vyssh. obrazov. «Permskij gos. agrarno-tekhnologich. un-t im. akad. D. N. Pryanishnikova». – Perm': IPC «Prokrost», 2017 – 170 s. – Tekst: neposredstvennyj.

8. Drincha, V. M. Povyshenie effektivnosti vydeleniya sornyh semyan ovsyuga na pnevmaticheskikh sortiroval'nyh stolah / V. M. Drincha, S. G. Mudarisov, A. S. Filatov. – Tekst: neposredstvennyj // Kormoproizvodstvo. – 2020. – № 4. – S. 44-48.

9. Smolyaninov, Yu. N. Sovershenstvovanie tekhnologii posleuborochnoj obrabotki zerna / Yu. N. Smolyaninov, V. I. Hil'ko. – Tekst: neposredstvennyj // Mezhdunarodnyj zhurnal prikladnyh i fundamental'nyh issledovanij. – 2016. – № 11. – S. 100-103.

10. Oborudovanie dlya proizvodstva muki i krupy: spravochnik / A. B. Demskij, M. A. Boriskin, V. F. Veden'ev. – Sankt-Peterburg: Pro-fessiya, 2000. – 624 s. – Tekst: neposredstvennyj.



УДК 621.314.6

Т.М. Халина, М.И. Стальная, С.Ю. Еремочкин, Д.В. Дорохов
T.M. Halina, M.I. Stal'naya, S.Yu. Eremochkin, D.V. Dorokhov

РЕВЕРСИВНЫЙ РЕГУЛИРУЕМЫЙ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЙ МОСТОВОЙ ТРЕХФАЗНЫЙ СИМИСТОРНЫЙ ВЫПРЯМИТЕЛЬ

REVERSIBLE ADJUSTABLE SEMICONDUCTOR BRIDGE THREE-PHASE TRIAC RECTIFIER

Ключевые слова: электропривод, выпрямитель, симистор, тиристор, трехфазный выпрямитель, полупроводниковый прибор, трехфазное напряжение, реверсивный выпрямитель.

Для реверсивных электроприводов постоянного тока обычно используется двухкомплектный тиристорный преобразователь с двойной системой управления. Недостатком такого преобразователя является низкая надежность, так как короткое замыкание между двумя комплектами выпрямителей вследствие неправильной работы системы управления может привести к выходу из строя всех преобразователей. Целью работы является разработка нового типа трехфазного мостового преобразователя-выпрямителя для двигателя постоянного тока, построенного на одном комплекте реверсивного трехфазного полупроводникового симисторного преобразователя-выпрямителя. При выполнении работы применялись основные положения теоретических основ электротехники, электроники, разделы математического анализа, аналитической

геометрии и высшей математики. В предложенном устройстве тиристоры заменены на симисторы. Использование симисторов в силовой схеме обусловлено их свойством пропускать ток в обоих направлениях при подаче соответствующего отпирающего сигнала. В результате достигается упрощение всей установки вследствие уменьшения количества полупроводниковых элементов в схеме устройства. Изменяя угол открытия симисторов, можно менять величину выпрямленного напряжения, подаваемого к двигателю, от номинального до 0. Предложенный реверсивный регулируемый полупроводниковый мостовой трехфазный симисторный выпрямитель позволяет осуществлять запуск электродвигателя как в прямом, так и в обратном направлении, а также регулировать его скорость путем изменения угла открытия симисторов. Применение предложенного устройства увеличивает надежность электропривода вследствие упрощенной системы управления, уменьшает его стоимость и габариты, увеличивает энергоэффективность.

Keywords: *electric drive, rectifier, triac, thyristor, three-phase rectifier, semiconductor device, three-phase voltage, reversible rectifier.*

For reversing DC drives, a two-set thyristor converter with a dual control system is usually used. The disadvantage of such a converter is low reliability, since a short circuit between two sets of rectifiers due to improper operation of the control system can lead to failure of all converters. The aim of the research is to develop a new type of three-phase bridge converter-rectifier for a DC motor, built on one set of reversible three-phase semiconductor triac converter-rectifier. When performing the research, the main provisions of the theoretical foundations of electrical engineering, electronics, sections of mathematical analysis, analytical geometry and higher mathematics were applied. In the proposed de-

vice, thyristors are replaced by triacs. The use of triacs in the power circuit is due to their property of passing current in both directions when the corresponding trigger signal is applied. As a result, a simplification of the entire installation is achieved due to a decrease in the number of semiconductor elements in the device circuit. By changing the opening angle of the triacs, it is possible to change the value of the rectified voltage supplied to the motor from nominal to 0. The proposed reversible adjustable semiconductor bridge three-phase triac rectifier allows starting an electric motor both in the forward and reverse directions, and adjusting its speed by changing the opening angle of the triacs. The use of the proposed device increases the reliability of the electric drive due to a simplified control system, reduces its cost and dimensions, and increases energy efficiency.

Халина Татьяна Михайловна, д.т.н., профессор, ФГБОУ ВО Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, г. Барнаул, Российская Федерация, e-mail: temf@yandex.ru.

Стальная Мая Ивановна, к.т.н., профессор, ФГБОУ ВО Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, г. Барнаул, Российская Федерация, e-mail: vens-1@ya.ru.

Еремочкин Сергей Юрьевич, к.т.н., доцент, ФГБОУ ВО Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, г. Барнаул, Российская Федерация, e-mail: S.Eremochkin@yandex.ru.

Дорохов Данил Валерьевич, студент, ФГБОУ ВО Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, г. Барнаул, Российская Федерация, e-mail: danil.dorokhov.2000@mail.ru.

Halina Tatiana Mikhailovna, Dr. Tech. Sci., Prof., Altai State Technical University named after I.I. Polzunov, Barnaul, Russian Federation, e-mail: temf@yandex.ru.

Stal'naya Maya Ivanovna, Cand. Tech. Sci., Prof., Polzunov Altai State Technical University, Barnaul, Russian Federation, e-mail: vens-1@ya.ru.

Eremochkin Sergej Yuryevich, Cand. Tech. Sci., Assoc. Prof., Altai State Technical University named after I.I. Polzunov, Barnaul, Russian Federation, e-mail: S.Eremochkin@yandex.ru.

Dorokhov Danil Valeryevich, student, Altai State Technical University named after I.I. Polzunov, Barnaul, Russian Federation, e-mail: danil.dorokhov.2000@mail.ru.

Введение

Как известно, электропривод постоянного тока широко используется в молочной промышленности, в мощных электротермических и электротехнологических установках, в прокатных станах и т.д. [1-6]. При этом для реверсивных приводов такого типа обычно используется двухкомплектный тиристорный преобразователь с двойной системой управления. Недостатком такого преобразователя является низкая надежность, так как короткое замыкание между двумя комплектами выпрямителей вследствие неправильной работы системы управления может привести к выходу из строя всех преобразователей [7-11].

Цель работы – разработать новый тип трехфазного мостового преобразователя-вы-

прямителя, построенного на одном комплекте реверсивного трехфазного полупроводникового симисторного преобразователя-выпрямителя.

Объекты и методы

Объектом исследования является новый тип трехфазного мостового преобразователя-выпрямителя для двигателя постоянного тока.

При выполнении работы применялись основные положения теоретических основ электротехники, электроники, разделы математического анализа, аналитической геометрии и высшей математики.

Экспериментальная часть

В статье предложен новый тип трехфазного мостового преобразователя-выпрямителя, кото-

рый построен на одном комплекте реверсивного трехфазного полупроводникового симисторного преобразователя-выпрямителя [12]. В предложенном устройстве тиристоры заменены на симисторы. Использование симисторов в силовой схеме обусловлено их свойством пропускать ток в обоих направлениях при подаче соответствующего отпирающего сигнала. В результате достигается упрощение всей установки вследствие уменьшения количества полупроводниковых элементов в схеме устройства. На рисунке 1 представлена принципиальная силовая схема реверсивного трехфазного мостового симисторного преобразователя-выпрямителя.

Для получения выпрямленного напряжения прямой полярности, т.е. когда плюс находится слева, а минус – справа, необходимо включать симисторы в следующей последовательности: VS1 – VS2; VS2 – VS3; VS3 – VS4; VS4 – VS5; VS5 – VS6; VS6 – VS1. При этом отпирающий сигнал на симисторы VS1, VS3, VS5 подается при прохождении положительной полуволны питающего напряжения, а на симисторы VS2, VS4, VS6 – при отрицательной полуволне питающего переменного напряжения. За направление положительной полуволны примем направление, когда напряжение подается от источника питания к симистору. На рисунке 2 представле-

на последовательность включения симисторов для получения прямой полярности выпрямленного напряжения.

Из рисунка 2 видно, что при положительной полуволне питающего напряжения фазы А симистор VS1 может работать с симисторами VS6 и VS2, при положительной полуволне питающего напряжения фазы В симистор VS3 может работать с симисторами VS2 и VS4 и так далее, осуществляя подачу на двигатель напряжения полярности «вперед».

На рисунке 3 показано регулирование выпрямленного напряжения в направлении «вперед» с помощью угла открытия α .

Для получения выпрямленного напряжения обратной полярности, т.е. когда плюс находится справа, а минус – слева (рис. 1), необходимо включать симисторы в следующей последовательности: VS4 – VS5; VS5 – VS6; VS6 – VS1; VS1 – VS2; VS2 – VS3; VS3 – VS4. При этом отпирающий сигнал на симисторы VS4, VS6, VS2 подается при прохождении положительной полуволны питающего напряжения, а на симисторы VS3, VS5, VS1 – при отрицательной полуволне питающего переменного напряжения. На рисунке 4 представлена последовательность включения симисторов для получения обратной полярности выпрямленного напряжения.

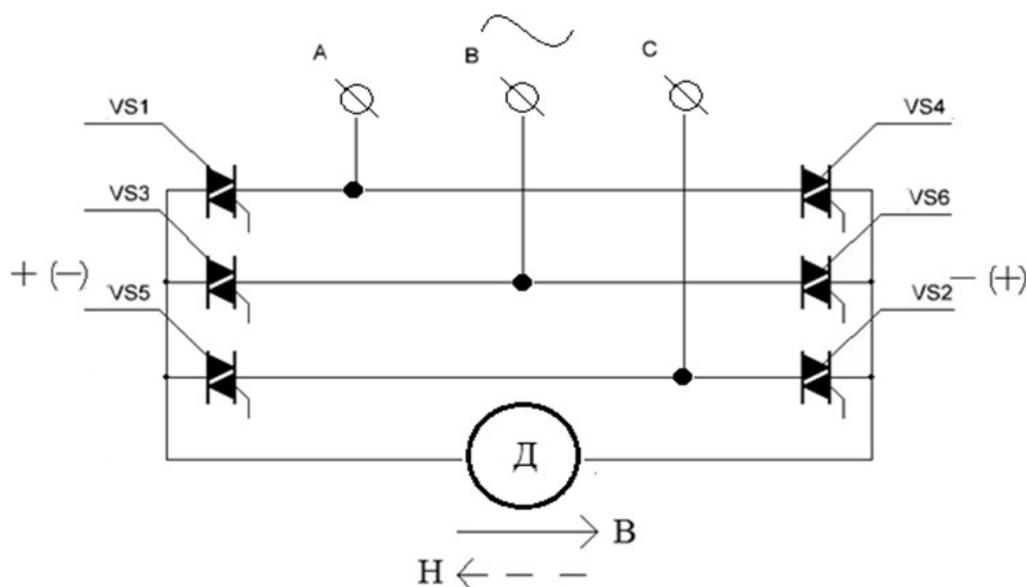


Рис. 1. Реверсивный выпрямитель:

А, В, С – фазы переменного питающего трехфазного напряжения; Д – двигатель; VS1-VS6 – симисторы; В – направление напряжения «вперед»; Н – направление напряжения «назад»

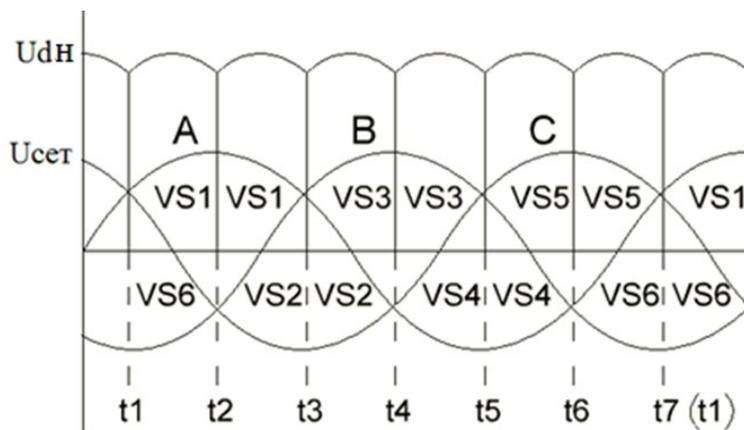


Рис. 2. Последовательность включения симисторов для получения прямой полярности выпрямленного напряжения:
 $U_{дн}$ – выпрямленное регулируемое напряжение при угле $\alpha=0$;
 $U_{сет}$ – переменное трехфазное напряжение

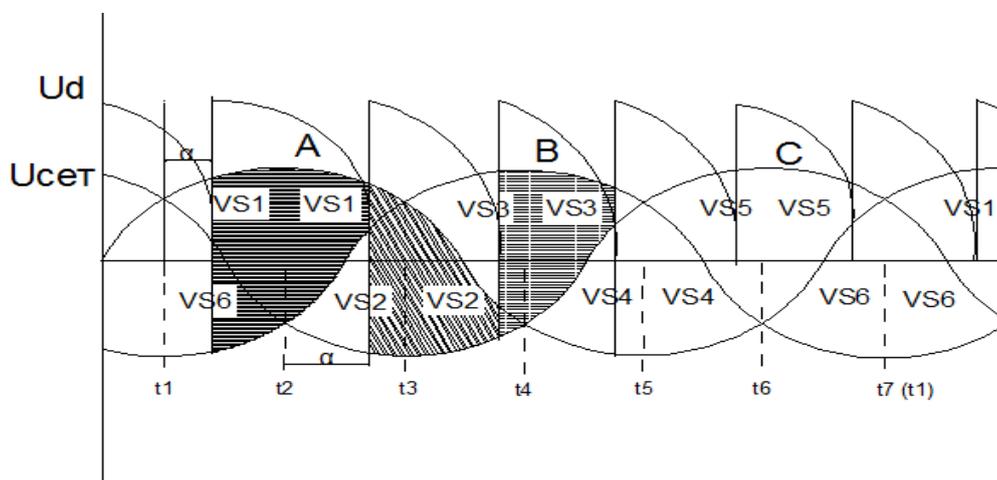


Рис. 3. Регулирование выпрямленного напряжения в направлении «вперед» с помощью угла открытия α : U_d – выпрямленное регулируемое напряжение при угле $\alpha \neq 0$

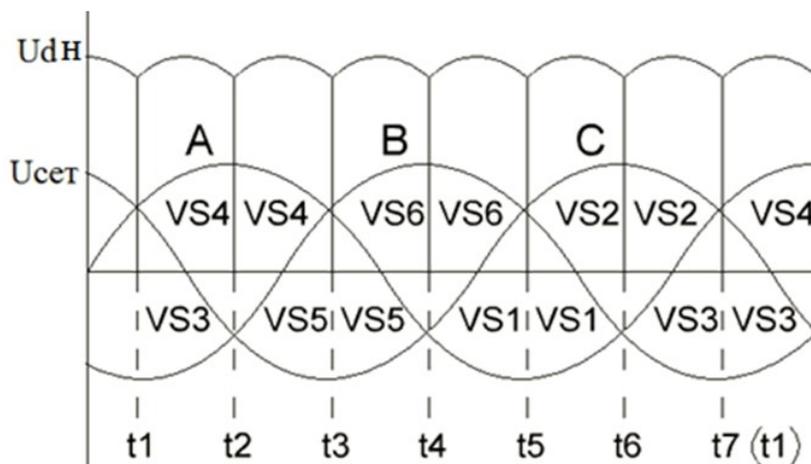


Рис. 4. Последовательность включения симисторов для получения обратной полярности выпрямленного напряжения

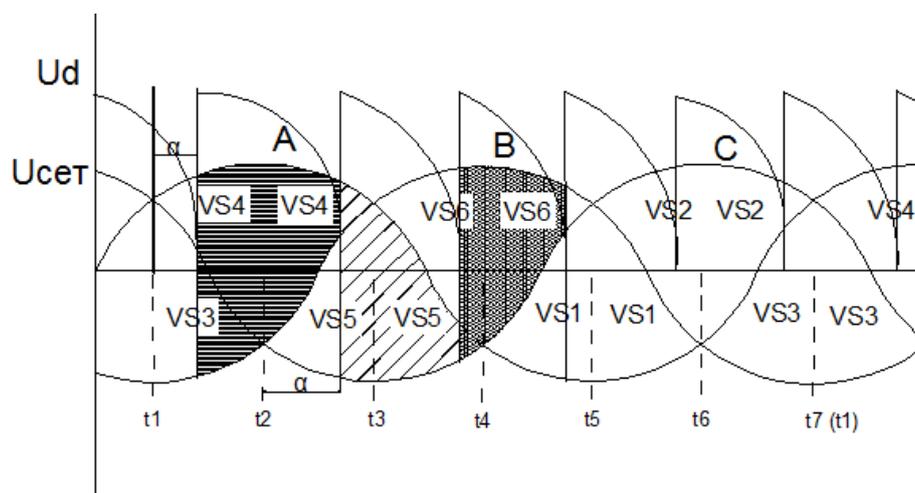


Рис. 5. Регулирование выпрямленного напряжения в направлении «назад» с помощью угла открытия α

Из рисунка 4 видно, что при положительной полуволне питающего напряжения фазы А симистор VS4 может работать с симисторами VS3 и VS5, при положительной полуволне питающего напряжения фазы В симистор VS6 может работать с симисторами VS5 и VS1 и так далее, осуществляя подачу на двигатель напряжения полярности «назад».

На рисунке 5 показано регулирование выпрямленного напряжения в направлении «назад» с помощью угла открытия α .

Значение выпрямленного напряжения можно регулировать от 0 до номинальной величины путем изменения угла открытия симисторов.

Выводы

Таким образом, с помощью предложенного реверсивного регулируемого полупроводникового трехфазного симисторного преобразователя-выпрямителя возможно осуществлять запуск электродвигателя как в прямом, так и в обратном направлении, а также регулировать его скорость путем изменения угла открытия симисторов. Применение предложенного устройства увеличивает надежность электропривода вследствие упрощенной системы управления, уменьшает его стоимость и габариты, увеличивает энергоэффективность.

Библиографический список

1. Еремочкин, С. Ю. Алгоритмическая система управления трехфазным асинхронным двигателем / С. Ю. Еремочкин. – Текст: непосредственный // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. – 2012. – № 3. – С. 136-139.
2. Dawei Gao, Zhenhua Jin, Junzhi Zhang, Jianqiu Li, Minggao Ouyang. Development and performance analysis of a hybrid fuel cell/battery bus with an axle integrated electric motor drive system // International Journal of Hydrogen Energy. 2016. Vol. 41, Is. 2. P. 1161-1169.
3. Королев, Д. А. Устройство регулирования скорости вращения ротора трехфазного асинхронного электродвигателя для пастеризационных установок / Д. А. Королев, С. Ю. Еремочкин. – Текст: непосредственный // Горизонты образования. – 2018. – № 20. – С. 1-19.
4. Yiqing Yang, Yawei Pian, Qiang Liu. Design of energy harvester using rotating motion rectifier and its application on bicycle // Energy. 2019. Vol. 179. P. 222-231.
5. Jyotheeswara Reddy, K. Sudhakar Natarajan. Energy sources and multi-input DC-DC converters used in hybrid electric vehicle applications – A review // International Journal of Hydrogen Energy. 2018. Vol. 43, Is. 36. P. 17387-17408.
6. Amari Mansour, Bacha Faouzi, Ghouili Jamel, Elgharbi Ismahen. Design and analysis of a

high frequency DC–DC converters for fuel cell and super-capacitor used in electrical vehicle // International Journal of Hydrogen Energy. 2014. Vol. 39, Is. 3. P. 1580-1592.

7. Руденко, В. С. Основы преобразовательной техники / В. С. Руденко, И. М. Чиженко, В. И. Сенько. – Москва: Высшая школа, 1980. – 49 с. – Текст: непосредственный.

8. Терехов, В. М. Системы управления электроприводов / В. М. Терехов, О. И. Осипов. – Москва: Изд-кий центр «Академия», 2006. – 156 с. – Текст: непосредственный.

9. Автоматизированный электропривод: учебное пособие / М. И. Стальная, А. М. Головачев, С. Ю. Еремочкин, А. С. Ведманкин. – Барнаул: ФБГОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова», 2016. – 91 с. – Текст: непосредственный.

10. Тенденции развития и проектирования регулируемых электроприводов / М. И. Стальная, С. Ю. Еремочкин, Е. В. Пешкова [и др.]. – Текст: непосредственный // Современная техника и технологии: проблемы, состояние и перспективы: материалы 7-й Всероссийской научно-практической конференции с международным участием (г. Рубцовск, 27-28 октября 2017 г.). – Рубцовск: Изд-во: Рубцовский индустриальный ин-тут, 2017. – С. 454-460.

11. Еремочкин, С. Ю. Повышение эффективности мобильных машин в АПК на основе векторно-алгоритмического управления электродвигателем: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук: 05.20.02 / Еремочкин С. Ю. – Барнаул, 2014. – 151 с. – Текст: непосредственный.

12. Патент № 165863 РФ. Реверсивный регулируемый полупроводниковый мостовой трехфазный симисторный выпрямитель / Перекрест И. М., Стальная М. И., Ведманкин А. В.; опубл.10.11.2016. – Текст: непосредственный.

References

1. Eremochkin, S. Yu. Algoritmicheskaya sistema upravleniya trekhfaznym asinhronnym dvigatелем / S. Yu. Eremochkin. – Текст: neposred-

stvennyj // Sibirskij vestnik sel'skohozyajstvennoj nauki. – 2012. – № 3. – S. 136-139.

2. Dawei Gao, Zhenhua Jin, Junzhi Zhang, Jianqiu Li, Minggao Ouyang. Development and performance analysis of a hybrid fuel cell/battery bus with an axle integrated electric motor drive system // International Journal of Hydrogen Energy. 2016. Vol. 41, Is. 2. P. 1161-1169.

3. Korolev, D. A. Ustrojstvo regulirovaniya skorosti vrashcheniya rotora trekhfaznogo asinhronnogo elektrodvigatelya dlya pasterizacion-nyh ustanovok / D. A. Korolev, S. Yu. Eremochkin. – Текст: neposredstvennyj // Gorizonty obrazovaniya. – 2018. – № 20. – S. 1-19.

4. Yiqing Yang, Yawei Pian, Qiang Liu. Design of energy harvester using rotating motion rectifier and its application on bicycle // Energy. 2019. Vol. 179. P. 222-231.

5. Jyotheeswara Reddy, K. Sudhakar Natarajan. Energy sources and multi-input DC-DC converters used in hybrid electric vehicle applications – A review // International Journal of Hydrogen Energy. 2018. Vol. 43, Is. 36. P. 17387-17408.

6. Amari Mansour, Bacha Faouzi, Ghouili Jamel, Elgharbi Ismahen. Design and analysis of a high frequency DC–DC converters for fuel cell and super-capacitor used in electrical vehicle // International Journal of Hydrogen Energy. 2014. Vol. 39, Is. 3. P. 1580-1592.

7. Rudenko, V. S. Osnovy preobrazovatel'noj tekhniki / V. S. Rudenko, I. M. Chizhenko, V. I. Sen'ko. – Moskva: Vysshaya shkola, 1980. – 49 s. – Текст: neposredstvennyj.

8. Terekhov, V. M. Sistemy upravleniya elektroprivodov / V. M. Terekhov, O. I. Osipov. – Moskva: Izd-kij centr «Akademiya», 2006. – 156 s. – Текст: neposredstvennyj.

9. Avtomatizirovannyj elektroprivod: uchebnoe posobie / M. I. Stal'naya, A. M. Golovachev, S. Yu. Eremochkin, A. S. Vedmankin. – Barnaul: FBGOU VO «Altajskij gosudarstvennyj tekhnicheskij universitet im. I.I. Polzunova», 2016. – 91 s. – Текст: neposredstvennyj.

10. Tendencii razvitiya i proektirovaniya reguliruemyyh elektroprivodov / M. I. Stal'naya, S. Yu. Eremochkin, E. V. Peshkova [i dr.]. – Текст:

neposredstvennyj // Sovremennaya tekhnika i tekhnologii: problemy, sostoyanie i perspektivy: materialy 7-j Vserossijskoj nauchno-prakticheskoj konferencii s mezhdunarodnym uchastiem (g. Rubcovsk, 27-28 oktyabrya 2017 g.). – Rubcovsk: Izdvo: Rubcovskij industrial'nyj in-tut, 2017. – S. 454-460.

11. Eremochkin, S. Yu. Povyshenie effektivnosti mobil'nyh mashin v APK na osnove vektorno-algoritmicheskogo upravleniya elek-

trodvigatelem: dissertaciya na soiskanie uche-noj stepeni kandidata tekhnicheskikh nauk: 05.20.02 / Eremochkin S. Yu. – Barnaul, 2014. – 151 s. – Tekst: neposredstvennyj.

12. Patent № 165863 RF. Reversivnyj reguliruemyy poluprovodnikovyy mostovoj trekhfaznyj simistornyj vypryamitel' / Perekrest I. M., Stalnaya M. I., Vedmankin A. V.; opubl.10.11.2016. – Tekst: neposredstvennyj.



УДК 53.096

Р.Ф. Самиков, Ш.Ф. Нигматуллин, М.М. Разяпов, К.В. Костарев
R.F. Samikov, S.F. Nigmatullin, M.M. Razyapov, K.V. Kostarev

ИССЛЕДОВАНИЕ СПОСОБА ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ЖИДКОСТНОГО ПРЕДПУСКОВОГО ПОДОГРЕВАТЕЛЯ

STUDY ON A METHOD FOR INCREASING THE ENERGY EFFICIENCY OF A LIQUID PRESTART HEATER

Ключевые слова: *предпусковой подогреватель, термоэлектрический генератор, теплообменник, модуль, температура, напряжение, тепловое поле, теплоноситель, газ, жидкость.*

Объектом проведенного исследования является система работы «жидкостный предпусковой подогреватель – термоэлектрический генератор». Были смоделированы различные конструкции проточной части теплообменника термоэлектрического генератора. С учетом недостатков рассмотренных конструкций была выбрана оптимальная конструкция термоэлектрического генератора. Проведен термический и гидродинамический анализ, по результатам

которого была определена наиболее эффективная конструкция проточной части теплообменника термоэлектрического генератора. Собрана экспериментальная установка, по полученным результатам которой выведена зависимость температурных режимов работы предпускового подогревателя на выходные показатели термоэлектрического генератора. Таким образом, определена и экспериментально доказана возможность снижения энергопотребления аккумуляторной батареи путем применения термоэлектрических генераторных модулей, адаптированных к системе энергоснабжения жидкостного предпускового подогревателя.