

Торайғыров университетінің хабаршысы
ҒЫЛЫМИ ЖУРНАЛЫ

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
Вестник Торайғыров университета

Торайғыров университетінің ХАБАРШЫСЫ

Энергетикалық сериясы
1997 жылдан бастап шығады



ВЕСТНИК Торайғыров университета

Энергетическая серия
Издается с 1997 года

ISSN 2710-3420

№ 4 (2024)

ПАВЛОДАР

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
Вестник Торайгыров университета

Энергетическая серия
выходит 4 раза в год

СВИДЕТЕЛЬСТВО

о постановке на переучет периодического печатного издания,
информационного агентства и сетевого издания

№ 14310-Ж

выдано

Министерство информации и общественного развития
Республики Казахстан

Тематическая направленность

публикация материалов в области электроэнергетики,
электротехнологии, автоматизации, автоматизированных и
информационных систем, электромеханики и теплоэнергетики

Подписной индекс – 76136

<https://doi.org/10.48081/FYZZ1289>

Бас редакторы – главный редактор

Талипов О. М.

доктор PhD, ассоц. профессор (доцент)

Заместитель главного редактора

Калтаев А.Г., *доктор PhD*

Ответственный секретарь

Сағындық Ә.Б., *доктор PhD*

Редакция алкасы – Редакционная коллегия

Клецель М. Я.,	<i>д.т.н., профессор</i>
Никифоров А. С.,	<i>д.т.н., профессор</i>
Новожилов А. Н.,	<i>д.т.н., профессор</i>
Никитин К. И.,	<i>д.т.н., профессор (Российская Федерация)</i>
Алиферов А. И.,	<i>д.т.н., профессор (Российская Федерация)</i>
Кошеков К. Т.,	<i>д.т.н., профессор</i>
Приходько Е. В.,	<i>к.т.н., профессор</i>
Кислов А. П.,	<i>к.т.н., доцент</i>
Нефтисов А. В.,	<i>доктор PhD</i>
Омарова А. Р.	<i>технический редактор</i>

За достоверность материалов и рекламы ответственность несут авторы и рекламодатели

Редакция оставляет за собой право на отклонение материалов

При использовании материалов журнала ссылка на «Вестник Торайгыров университета» обязательна

<https://doi.org/10.48081/OCUM7990>***С. С. Молдахметов¹, Д. В. Риттер², Е. Т. Доскужинов³**^{1,2,3}Северо-Казахстанский университет имени М. Козыбаева,

Республика Казахстан, г. Петропавловск

¹ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2432-7983>²ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8574-5834>³ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-9153-496X>*e-mail: ssmoldahmetov@ku.edu.kz

АКТИВНАЯ СИСТЕМА ОТВОДА ТЕПЛА ОТ СИЛОВОГО ИНВЕРТОРА МОЩНОСТЬЮ 3 КВт

В статье представлена разработка и исследование активной системы отвода тепла для силового инвертора мощностью 3 кВт. Актуальность работы обусловлена необходимостью повышения надежности и эффективности силовых инверторов, широко применяемых в условиях роста использования возобновляемых источников энергии. Система отвода тепла реализована для мостового инвертора, собранного на силовых IGBT модулях FUJI 2MBI200L-060. В ходе исследования произведены оценка выделяемого тепла путем расчета и моделирования потерь в процессе инвертирования с помощью программного обеспечения Fuji IGBT Simulator 6.0.3. Произведен расчет системы охлаждения на основе ребристого алюминиевого радиатора. Проведены экспериментальные испытания на основе силового инвертора мощностью 3 кВт. Моделирование и эксперимент подтвердили эффективность выбранной конструкции радиатора и вентилятора, обеспечивающих стабильный температурный режим. Установлено, что вентилятор активируется каждые 35 минут и работает менее 10 минут, что оптимизирует энергозатраты на охлаждение и снижает износ компонентов. Разработанная система охлаждения предотвращает перегрев инвертора, поддерживая его стабильную работу в промышленных условиях. Полученные результаты и предложенная методика могут быть использованы при проектировании систем теплового отвода для силовых установок аналогичного типа.

Ключевые слова: система охлаждения, силовой инвертор, отвода тепла, IGBT, радиатор.

Введение

Разработка и совершенствование силовых инверторов позволяет повысить эффективность работы электрооборудования, снизить потери энергии и уменьшить нагрузку на электрическую сеть. Популярность силовых инверторов особенно возрастает в условиях перехода на возобновляемые источники энергии, где требуются надежные и высокоэффективные инверторы для стабильного подключения к энергосистеме. При этом силовые инверторы строятся на базе силовых полупроводниковых компонентов, таких как биполярные транзисторы с изолированным затвором (IGBT), и полевые транзисторы с управляющим электродом (MOSFET) [1; 2]. Современная силовая электроника предлагает комплексные устройства, объединяющие несколько силовых транзисторов, т.е. транзисторные модули [3]. Применение таких модулей повышает надежность и долговечность инверторов, так как сокращает количество необходимых соединений и уменьшает потери на контактах, что улучшает общую эффективность работы инвертора. Но стоимость таких компонентов достаточно высокая. Поэтому важно иметь ввиду, что во время работы инвертора силовые ключи выделяют значительное количество тепла из-за процессов преобразования мощности. Перегрев снижает эффективность работы инвертора и может стать причиной сбоев в работе системы, что особенно критично для промышленных применений [4]. Разработка эффективных решений для отвода тепла, таких как использование радиаторов и систем активного охлаждения, позволяет существенно увеличить срок службы оборудования и снизить эксплуатационные затраты. Таким образом, оптимизация систем охлаждения инверторов способствует повышению их производительности и устойчивости работы, что особенно важно в условиях растущего спроса на энергоэффективные и надежные решения в электроэнергетике.

Материалы и методы

В процессе разработки и исследования системы отвода тепла от силовых инверторов были использованы комплексные методы теплового анализа и моделирования. На первом этапе применялись анализ справочной и научной технической литературы. Для численных методов расчета распределения температур и отвода тепла использованы данные производителей транзисторных модулей. Для верификации результатов моделирования были проведены экспериментальные испытания с использованием термодатчиков, что позволило оценить эффективность разработанной конструкции системы охлаждения.

В качестве опытного образца был реализован инвертор по топологии на основе Н-моста и коммутатора уровней [5], схема которого показана на рисунке 1. Исходные данные для расчета инвертора мощностью до 3 кВт включают действующее значение напряжения 220 В и частоту 50 Гц. Амплитуда коммутируемых токов в таком случае при синусоидальном напряжении и коэффициенте мощности 0,9 [6, с. 70], составит 22 А.

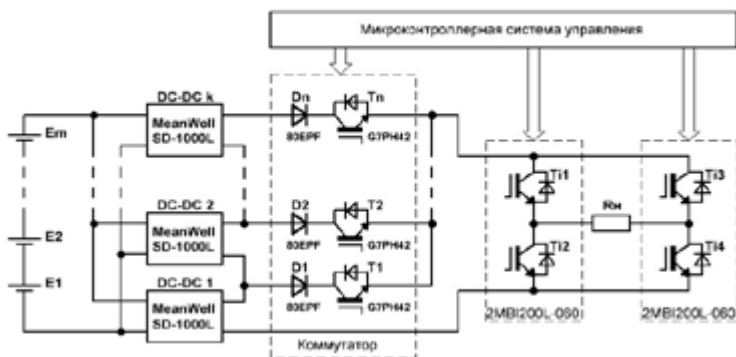


Рисунок 1 – Структурная схема инвертора

Мостовой инвертор реализован на силовых модулях FUJI 2MBI200L-060, которые представляют собой два соединенных в полумост IGBT. Данные модули рассчитаны на коммутацию тока до 200 А и напряжения до 600 В. Параметры данного модуля, необходимые для расчета потерь, сведены в таблицу 1.

Таблица 1 – Параметры транзисторного модуля 2MBI200L-060

Параметр	Обозначение	Значение	Единица измерения
Напряжение насыщения между коллектором и эмиттером	$V_{CE(sat)}$	2,7	В
Энергия включения IGBT	E_{on}	2374	мкДж
Энергия выключения IGBT	E_{off}	1424	мкДж
Падение напряжения на встречно-параллельном диоде	V_f	2,5	В
Энергия обратного восстановления встречно-параллельного диода	E_{rec}	1475	мкДж

Тепловое сопротивление кристалл IGBT - корпус	$R_{IGBT(j-c)}$	0,156	$^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$
Тепловое сопротивление кристалл диода - корпус	$R_{VD(j-c)}$	0,30	$^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$
Тепловое сопротивление корпус модуля - радиатор	$R_{mod(c-f)}$	0,025	$^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$

Общие потери на одном IGBT ключе составляют сумму статических и динамических потерь и рассчитаны по формуле:

$$P_{IGBT} = 0,23 \cdot (V_{CEsat} \cdot I_{max} + (E_{on} + E_{off}) \cdot f \cdot \frac{1}{\pi}) \quad (1)$$

Общие потери на встречно-параллельном диоде транзистора рассчитывались по формуле:

$$P_{VD} = 0,1 \cdot V_f \cdot I_{max} + E_{rec} \cdot f \cdot \frac{1}{\pi} \quad (2)$$

Суммарные потери мощности инвертора из расчета, что мостовой инвертор представлен четырьмя транзисторами составляют:

$$P_{потерь} = 4(P_{IGBT} + P_{VD}) = 4(13,37 + 3,6) = 67,88 \text{ Вт.}$$

Таким образом, по результатам расчета мощность, рассеиваемая двумя транзисторными модулями 2MBI200L-060 в процессе инвертирования, составляет 68 Вт.

Оценку этой же мощности можно произвести путем моделирования процесса инвертирования при помощи специального программного обеспечение Fuji IGBT Simulator 6.0.3. Данная программа позволяет выбрать тип модуля Fuji, просмотреть техническую информацию, а главное – оценить потери и изменение температуры кристаллов IGBT и встречно-параллельного диода в зависимости от нагрузки, схемы и способа инвертирования напряжения [7]. На рисунке 2 показан результат моделирования потерь для нашего случая в программе Fuji IGBT Simulator.

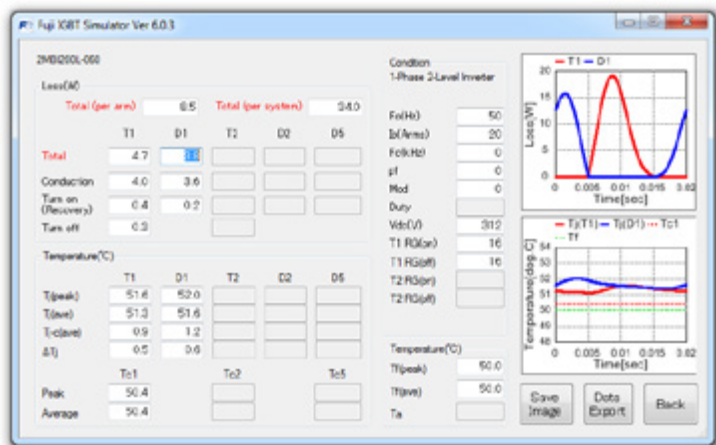
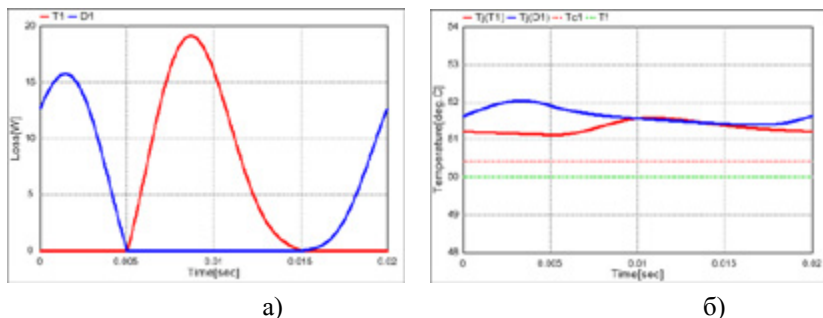


Рисунок 2 – Моделирование потерь в Fuji IGBT Simulator 6.0.3

В результате моделирования мощность потерь для одного IGBT составила 4,7 Вт, а для одного встречно-параллельного диода – 3,8 Вт. На рисунке 3а представлен график изменения потерь в течение одного периода. При этом красным цветом показано изменение потерь для IGBT, а синим – для встречно-параллельного диода. График, представленный рисунке 3б, показывает изменения температур кристаллов IGBT и диода в течение периода при условии, что температура радиатора охлаждения равна 50 °С.



а) потери в течение периода; б) изменение температуры кристаллов в течение периода

Рисунок 3 – Результаты моделирования

В итоге согласно моделированию на всю систему рассеиваемая мощность составила 34 Вт.

Разработка системы охлаждения

Для обеспечения эффективного охлаждения и предотвращения перегрева рекомендуется использовать цельный ребристый алюминиевый радиатор с естественной вентиляцией и возможностью дополнительного обдува вентилятором при достижении критических температур [8, с. 129]. Так как моделирование показало, что реальная мощность потерь оказывается меньше расчетной, параметры радиатора были подобраны с учетом максимального возможного значения мощности. Следующим шагом является расчет температурной защиты, а именно определение температуры, при которой вентилятор будет автоматически активироваться для охлаждения радиатора. Значения расчетов при максимальной температуре эксплуатации для корпуса M219 модуля 2MBI200L-060 равной 150 °C сведены в таблицу 2.

Таблица 2 – Параметры определения допустимых температур

Параметр	Формула	Значение
Максимально допустимая температура транзисторов	$T_{max(IGBT)} = T_{max} - R_{IGBT(j-c)} \cdot P_{IGBT}$	145 °C
Максимально допустимая встречно-параллельных диодов	$T_{max(VD)} = T_{max} - R_{VD(j-c)} \cdot P_{VD}$	147 °C
Максимально допустимая температура радиатора	$T_{рад} = T_{max(IGBT)} - R_{mod(c-f)} \cdot P_{потерь}$	144 °C.

Таким образом, перегрев радиатора охлаждения выше 144 °C недопустим, так как это может привести к выходу системы из строя. Чтобы избежать таких ситуаций, рекомендуется настроить температурную защиту с запасом в пределах 20–30 °C. Исходя из предположения, что инвертор эксплуатируется в помещении с комнатной температурой 25 °C, перегрев радиатора ΔT составит 90 °C.

Далее рассчитывается площадь поверхности теплоотвода радиатора S при условии, что необходимо рассеять мощность $P_{потерь}$, равную 67,88 Вт:

$$S = \left(\frac{50 \cdot P_{потерь}}{\Delta T} \right)^2 = \left(\frac{50 \cdot 67,88 \text{ Вт}}{90 \text{ °C}} \right)^2 = 1422 \text{ см}^2.$$

Таким образом, силовые транзисторные модули следует установить на алюминиевый радиатор с поверхностью площадью не менее 1422 см², что обеспечит необходимое охлаждение. Для инвертора выбран 12-реберный алюминиевый радиатор, обеспечивающий эффективное теплоотведение.

Параметры радиатора, использованные при расчете его поверхности, приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Метрические параметры радиатора

Параметр	Обозначение	Значение	Единица измерения
Количество ребер	n	12	шт.
Длина несущего основания	l	14	см
Ширина несущего основания	w	10	см
Толщина несущего основания	a	1,2	см
Высота ребра	b	4,8	см
Ширина ребра	c	0,3	см
Расстояние между ребрами	d	0,95	см

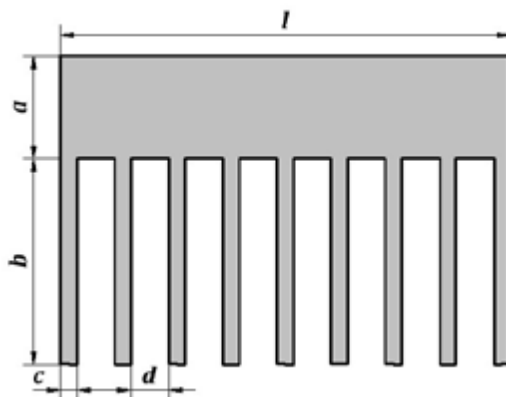
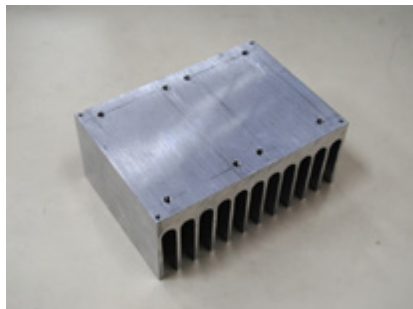


Рисунок 4 – Чертеж для расчета площади поверхности радиатора

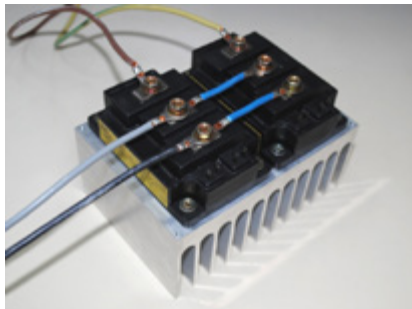
Согласно данным таблицы 3 и чертежу, представленному на рисунке 4, расчет площади поверхности радиатора производится по следующей формуле [9, с. 72]:

$$S = (2 \cdot a + n \cdot (2 \cdot b + c + d)) + l - d) \cdot w.$$

Площадь поверхности радиатора составляет 1456,5 см², что полностью удовлетворяет требованиям, рассчитанным ранее. Данный радиатор показан на рисунке 5.



а)



б)

- а) радиатор с отверстиями для монтажа;
б) крепление транзисторных модулей к радиатору

Рисунок 5 – Радиатор охлаждения

Транзисторные модули 2MBI200L-060 установлены на основание радиатора через кремнийорганическую теплопроводную пасту КПТ-8 и плотно закреплены винтами [10], для чего в нем предварительно нарезана резьба.

Вся система отвода тепла от силового инвертора представляет собой комплекс из радиатора, через ребра которого продувается воздух с помощью вентилятора. В качестве вентилятора используется Jinli Feng 5010 мощностью 1 Вт. Пороги включения и отключения выставлены на 75 и 50 °С, соответственно.

В ходе экспериментального исследования рабочего режима силового инвертора проводились замеры температуры радиатора для оценки его тепловой эффективности и соответствия расчетным данным. В процессе работы инвертора температура радиатора фиксировалась с использованием температурных датчиков DS18B20, установленных в ключевых точках поверхности.

Результаты и обсуждение

Эксперимент проведен в два этапа. На первом этапе проводились замеры температуры радиатора в течение более двух часов без принудительного охлаждения вентиляторами. На втором этапе использована активная система охлаждения.

Экспериментальные данные показали, что температура радиатора остается в пределах допустимых значений при нормальных условиях эксплуатации, подтверждая эффективность выбранной системы охлаждения. Как видно из результатов эксперимента (рисунок 6) при пассивном типе

охлаждения радиатор вполне справлялся с отводом тепла и рост температуры радиатора замедлился и не превысил за 2 часа работы 90 °С. Полученные результаты позволяют сделать вывод о стабильности температурного режима радиатора, что является важным показателем для обеспечения надежной работы инвертора.

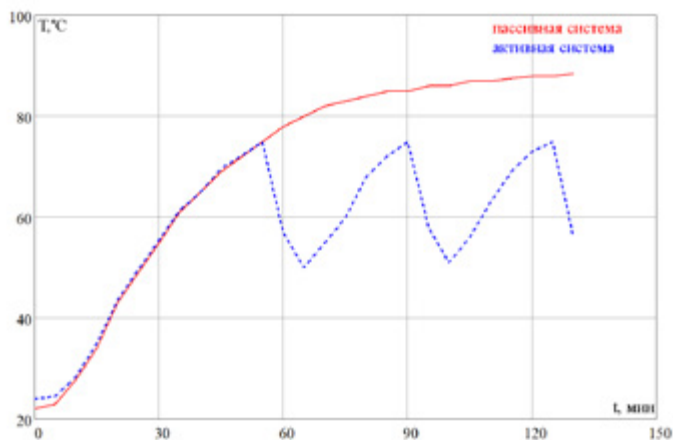


Рисунок 6 – Результаты эксперимента

Согласно результатам экспериментального исследования активной системы отвода тепла, установлено, что вентилятор автоматически включается примерно каждые 35 минут для обеспечения стабильного температурного режима. Средняя продолжительность работы вентилятора составляет менее 10 минут, что позволяет эффективно снизить температуру до допустимого уровня, после чего система переходит в режим простоя на 25 минут. Эти интервалы работы и простоя вентилятора обеспечивают оптимальное охлаждение, минимизируя энергозатраты и износ системы. При этом пороговые значения температуры включения и отключения вентилятора могут быть изменены.

Информация о финансировании (при наличии)

Данное исследование финансировалось Комитетом науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (грант № AP13268732).

Выводы

В результате проведенных моделирования и экспериментального исследования подтверждена корректность расчета активной системы отвода тепла для силового инвертора мощностью 3 кВт. Система успешно

поддерживает необходимый тепловой режим, предотвращая перегрев и обеспечивая стабильную работу инвертора в заданных условиях эксплуатации. Это свидетельствует о точности применённых методов расчета и адекватности выбранных параметров системы охлаждения, что позволяет использовать разработанную методику для проектирования аналогичных тепловых систем в силовых электроустановках.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 **Tanvir Ahmad, M. I., Rehman, S. U.** A survey report on multilevel inverter topologies [Текст] // International Journal of Engineering Works. – 2019. – № 6(7). – P. 228–234. doi: 10.34259/ijew.19.607288234.

2 **Manivelan, C.** A survey on multilevel inverter topologies and control schemes with harmonic elimination [Текст] // 2020 International Conference on Electrotechnical Complexes and Systems (ICOECS). – 2020. – P. 1–7. doi: 10.1109/ICOECS50468.2020.9278519.

3 **Peng, C., Peng, Z., Dai, Y., Xie, S.** Research on life of parallel module of SiC MOSFET/Si IGBT inverter [Текст] // 2023 3rd International Conference on Intelligent Power and Systems. – 2023. – P. 111–115. doi: 10.1109/ICIPS59254.2023.10404518.

4 **Zhang, J., Du, X., Zheng, S.** Condition Monitoring of IGBT Module and Forced Air Cooling System Using Time Constants of Heat Sink Temperature Cooling Curve [Текст] // 2020 IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC) – 2020. – P. 2554–2558. doi: 10.1109/APEC39645.2020.9124134.

5 **Moldakhmetov, S., Issemerbergenov, N., Insepov D., Orynbayev, S.** Implementation of multilevel power inverter [Текст] // ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. – 2016. – №11 (11). – P. 6886–6890.

6 **Бессонов, Л. А.** Теоретические основы электротехники: Электрические цепи. Учеб. для студентов электротехнических, энергетических и приборостроительных специальностей вузов. – 7-е изд., перераб. и доп. [Текст]. – М. : Высш. шк., 1978. – 528 с.

7 **Aydin, M., Beşer, E.** Power loss and thermal temperature calculation of IGBT module by mathematical equations [Текст] // 2023 International Conference on Power Energy Systems and Applications (ICoPESA). – 2023. – P. 862–867. doi: 10.1109/ICoPESA56898.2023.10141374.

8 **Дульнев, Г.Н.** Тепло- и массообмен в радиоэлектронной аппаратуре. [Текст]. – М. : Высш. шк., 1984. – 274 с.

9 **Роткоп, Л.Л.** Обеспечение тепловых режимов при конструировании радиоэлектронной аппаратуры [Текст] / Л. Л. Роткоп, Ю.Е. Спокойный. – М.: Советское радио, 1976. – 232 с.

10 **Gouda, K., Bhowmik, S.** Development of thermal conductive paste for enhancing the heat transfer rate in electrical and electronic devices [Текст] // 2022 International Conference on Electrical, Computer, Communications and Mechatronics Engineering (ICECCME). – 2022. – P. 1–5. doi: 10.1109/ICECCME55909.2022.9988142.

REFERENCES

1 **Tanvir Ahmad, M. I., Rehman, S. U.** A survey report on multi-level inverter topologies [Text] // International Journal of Engineering Works. – 2019. – № 6 (7). – P. 228–234. doi: 10.34259/ijew.19.607288234.

2 **Manivelan, C. A** survey on multilevel inverter topologies and control schemes with harmonic elimination [Text] // 2020 International Conference on Electrotechnical Complexes and Systems (ICOECS). – 2020. – P. 1–7. doi: 10.1109/ICOECS50468.2020.9278519.

3 **Peng, C., Peng, Z., Dai, Y., Xie, S.** Research on life of parallel module of SiC MOSFET/Si IGBT inverter [Text] // 2023 3rd International Conference on Intelligent Power and Systems. – 2023. – P. 111–115. doi: 10.1109/ICIPS59254.2023.10404518.

4 **Zhang, J., Du, X., Zheng, S.** Condition Monitoring of IGBT Module and Forced Air Cooling System Using Time Constants of Heat Sink Temperature Cooling Curve [Text] // 2020 IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC) – 2020. – P. 2554–2558. doi: 10.1109/APEC39645.2020.9124134.

5 **Moldakhmetov, S., Issemerbergenov, N., Insepov D., Orynbayev, S.** Implementation of multilevel power inverter [Text] // ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. – 2016. – №11 (11). – P. 6886–6890.

6 **Bessonov, L. A.** Teoreticheskie osnovy elektrotekhniki: Elektricheskie cepi. Ucheb. dlya studentov elektrotekhnicheskikh, energeticheskikh i priborostroitel'nykh special'nostej vuzov [Theoretical foundations of electrical engineering: Electrical circuits. Textbook for students of electrical engineering, power engineering and instrument-making specialties of higher education institutions]. – 7-e izd., pererab. i dop. [Text]. – M.: Vyssh. shk., 1978. – 528 p.

7 **Aydin, M., Beşer, E.** Power loss and thermal temperature calculation of IGBT module by mathematical equations [Text] // 2023 International Conference on Power Energy Systems and Applications (ICoPESA). – 2023. – P. 862–867. doi: 10.1109/ICoPESA56898.2023.10141374.

8 **Dul'nev, G.N.** Teplo- i massoobmen v radioelektronnoj apparature. [Heat and mass transfer in electronic equipment] [Text]. – M.: Vyssh. shk., 1984. – 274 p.

9 **Rotkop, L.L.** Obespechenie teplovyykh rezhimov pri konstruirovanii radioelektronnoj apparatury [Providing thermal conditions when designing

electronic equipment] [Text] / L.L. Rotkop, YU.E. Spokojnyj. – М.: Sovetskoe radio, 1976. – 232 p.

10 **Gouda, K., Bhowmik, S.** Development of thermal conductive paste for enhancing the heat transfer rate in electrical and electronic devices [Text] // 2022 International Conference on Electrical, Computer, Communications and Mechatronics Engineering (ICECCME). – 2022. – P. 1–5. doi: 10.1109/ICECCME55909.2022.9988142.

Поступило в редакцию 05.11.24

Поступило с исправлениями 26.11.24

Принято в печать 04.12.24

****С. С. Молдахметов¹, Д. В. Риттер², Е. Т. Доскужинов³**

^{1,2,3}М. Қозыбаев атындағы Солтүстік Қазақстан университеті, Қазақстан Республикасы, Петропавл қ.

05.11.24 ж. баспаға түсті.

26.11.24 ж. түзетулерімен түсті.

04.12.24 ж. басып шығаруға қабылданды.

БІЛІКТІЛІКТІ АРТТЫРУ КУРСТАРЫ АРҚЫЛЫ ӘЛЕУМЕТТІК ҚЫЗМЕТКЕРЛЕРДІҢ ҚҰЗІРЕТТІЛІКТЕРІН ҚАЛЫПТАСТЫРУДЫҢ ТЕОРИЯЛЫҚ МОДЕЛІ

Бұл мақалада «Әлеуметтік қызметкерлердің біліктілігін арттыру курстары арқылы тұлғалық және кәсіби құзіреттіліктерін қалыптастыру» докторлық диссертация шеңберінде әзірленген біліктілікті арттыру курстары арқылы әлеуметтік қызметкерлердің тұлғалық және кәсіби құзіреттілігін қалыптастырудың теориялық моделі ұсынылған. Мақалада модельдеу процесінің педагогикалық аспектілері, педагогикалық модельдеудің кезеңдері келтірілген. Модельдің әдіснамалық, процессуалдық (технологиялық) және аспаптық деңгейлері, оның мақсаты, қажетті құзіреттердің қалыптасу мониторингі, сондай-ақ нәтижесі ұсынылған. Модельде құзіреттілікке, тұлғаға бағытталған және практикаға бағытталған педагогикалық тәсілдер, таңдалған құзіреттерді қалыптастыру заңдылықтары, қағидаттары, шарттары көрсетілген; қалыптасу процесін іске асыру кезеңдері, жеке және кәсіби құзіреттердің қалыптасу деңгейлері сипатталған. Практикалық дайындық бөлімінде тыңдаушы-оқытушы-топ жүйесінде интерактивті жұмыс ұсынылады, ол әр маманның жеке қатысуын, сондай-ақ елімізде

алғашқы «Кәсіби әлеуметтік қызметкерлердің ұлттық альянсы» Республикалық қоғамдық бірлестігінің ашылуын білдіреді. Бұл модель әлеуметтік қызметкерлердің жеке және кәсіби құзыреттерін одан әрі жетілдіруді және тәуелсіз дамытуды білдіреді. Бұл модельде біліктілікті арттыру курстарын іске асырудың тиімділігін, жұмыс нысандары, әдістері мен құралдарын көруге мүмкіндік береді.

Кілтті сөздер: салқындату жүйесі, қуат инверторы, жылууды тарату, IGBT, радиатор.

**S. S. Moldakhmetov¹, D. V. Ritter² E. T. Doskuzhinov³*

^{1,2,3}North Kazakhstan University named after M. Kozybayev,

Republic of Kazakhstan, Petropavlovsk

Received 05.11.24

Received in revised form 26.11.24

Accepted for publication 04.12.24

ACTIVE HEAT REMOVAL SYSTEM FOR A 3 KW POWER INVERTER

The article presents the development and study of an active heat dissipation system for a 3 kW power inverter. The relevance of the work is due to the need to improve the reliability and efficiency of power inverters, which are widely used in the context of growing use of renewable energy sources. The heat dissipation system is implemented for a bridge inverter assembled on FUJI 2MBI200L-060 power IGBT modules. The study estimated the emitted heat by calculating and modeling losses during the inversion process using Fuji IGBT Simulator 6.0.3 software. A cooling system based on a finned aluminum radiator was calculated. Experimental tests were conducted based on a 3 kW power inverter. Modeling and experiment confirmed the efficiency of the selected radiator and fan design, which provide a stable temperature regime. It was found that the fan is activated every 35 minutes and operates less than 10 minutes, which optimizes energy costs for cooling and reduces component wear. The developed cooling system prevents inverter overheating, maintaining its stable operation in industrial conditions. The obtained results and the proposed methodology can be used in designing heat removal systems for power plants of a similar type.

Keywords: cooling system, power inverter, heat dissipation, IGBT, radiator.

Теруге 04.12.2024 ж. жіберілді. Басуға 30.12.2024 ж. қол қойылды.

Электронды баспа

29.9 Mb RAM

Шартты баспа табағы 22,2. Таралымы 300 дана. Бағасы келісім бойынша.

Компьютерде беттеген: А. К. Мыржикова

Корректор: А. Р. Омарова, Д. А. Кожас

Тапсырыс №4317

Сдано в набор 04.12.2024 г. Подписано в печать 30.12.2024 г.

Электронное издание

29.9 Mb RAM

Усл. печ. л. 22,2. Тираж 300 экз. Цена договорная.

Компьютерная верстка: А. К. Мыржикова

Корректор: А. Р. Омарова, Д. А. Кожас

Заказ № 4317

«Toraighyrov University» баспасынан басылып шығарылған

Торайғыров университеті

140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

«Toraighyrov University» баспасы

Торайғыров университеті

140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

67-36-69

E-mail: kereku@tou.edu.kz

www.vestnik-energy.tou.edu.kz