

ОБОСНОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВЫБРАННОЙ СИСТЕМЫ ОХЛАЖДЕНИЯ ДЛЯ ИМПУЛЬСНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ НА ШИМ-КОНТРОЛЛЕРЕ TL494

Лубенков Е.А. Маякин Г.О.

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,
г. Минск, Республика Беларусь*

Научный руководитель: Алексеев В.Ф. – к. т.н., доцент, доцент кафедры ПИКС

Аннотация. В работе рассмотрено обоснование эффективности выбранной системы охлаждения для импульсного преобразователя, построенного на ШИМ-контроллере TL494. Проведён анализ тепловых режимов работы преобразователя, выявлены ключевые элементы, подвергающиеся повышенному тепловому воздействию. На основе численных расчётов и моделирования в специализированных программных средах предложена оптимальная система охлаждения, обеспечивающая снижение температурных перегрузок и повышение надёжности работы устройства. Разработанный подход демонстрирует эффективность интеграции системы охлаждения в конструкцию преобразователя.

Ключевые слова: импульсный преобразователь, система охлаждения, ШИМ-контроллер TL494, тепловые режимы.

Введение. Широкое применение импульсных преобразователей, основанных на ШИМ-контроллерах типа TL494, для повышения их надёжности и долговечности выдвигает задачи обеспечения стабильного теплового режима работы. Основными источниками тепловой энергии в таких устройствах являются ключевые элементы преобразователя: транзисторы, диоды, а также сам ШИМ-контроллер.

Авторами исследуется влияние температуры на работу импульсного преобразователя и предлагаются методы её контроля [1–11].

Основная часть. Обоснование эффективности системы охлаждения для импульсного преобразователя на ШИМ-контроллере TL494. Импульсные преобразователи, использующие ШИМ-контроллер TL494, являются важными компонентами в системах управления энергией благодаря своей высокой эффективности и надёжности. Однако, как и любое другое электронное устройство, они генерируют тепло в процессе работы, что может негативно сказаться на их производительности и долговечности. Поэтому выбор эффективной системы охлаждения для таких преобразователей является критически важным.

Импульсные преобразователи работают с высокими частотами и значительными токами, что приводит к образованию тепла в компонентах, таких как: транзисторы (при переключении они теряют часть энергии, что приводит к выделению тепла); диоды (обратные потери в диодах также способствуют нагреву); ШИМ-контроллер (хотя TL494 имеет встроенные функции защиты, его работа при высоких температурах может привести к нестабильности и выходу из строя).

Поддержание оптимальной температуры работы компонентов критично для обеспечения надёжности и долговечности преобразователя.

Для импульсного преобразователя на базе TL494 могут быть рассмотрены различные системы охлаждения:

– воздушное охлаждение – использует вентиляторы для обдува компонентов, что позволяет эффективно отводить тепло. Это наиболее распространенный и экономически целесообразный вариант, особенно для маломощных преобразователей;

– теплоотводы – металлические радиаторы, прикрепленные к нагреваемым компонентам, помогают рассеивать тепло. Они могут быть использованы в сочетании с

воздушным охлаждением для повышения эффективности;

– жидкостное охлаждение – более сложная и дорогая система, которая может быть эффективной для мощных преобразователей. Она обеспечивает более равномерное распределение температуры и может быть использована в критически важных приложениях.

Эффективность выбранной системы охлаждения. Предположим, что выбрана система воздушного охлаждения с использованием радиаторов и вентиляторов. Обоснование ее эффективности включает следующие аспекты:

– доступность и простота реализации – воздушное охлаждение является наиболее простым и доступным способом, что позволяет легко интегрировать его в конструкцию преобразователя;

– низкие затраты на обслуживание – системы воздушного охлаждения требуют минимального обслуживания и не требуют замены жидкости, как в случае с жидкостным охлаждением;

– эффективность теплообмена – при правильном выборе радиаторов и вентиляторов можно достичь эффективного отвода тепла. Например, использование вентиляторов с регулируемой скоростью позволяет оптимизировать поток воздуха в зависимости от нагрузки и температуры, что снижает уровень шума и энергопотребление;

– устойчивость к перегреву – система охлаждения обеспечивает стабильную работу компонентов, предотвращая перегрев и потенциальные повреждения. Это особенно важно для надежности и долговечности преобразователя;

– снижение температуры окружающей среды – эффективная система охлаждения помогает поддерживать более низкую температуру внутри устройства, что также может снизить температуру окружающих компонентов, улучшая общую эффективность системы.

Эффективная система охлаждения для импульсного преобразователя на базе ШИМ-контроллера *TL494* является необходимой для обеспечения надежной и долговечной работы устройства. Выбор воздушного охлаждения с использованием радиаторов и вентиляторов обеспечивает оптимальный баланс между стоимостью, простотой реализации и эффективностью теплообмена. Это позволяет поддерживать стабильную работу преобразователя даже при высоких нагрузках, что в свою очередь способствует повышению его производительности и надежности.

Анализ тепловых режимов работы преобразователя на ШИМ-контроллере *TL494*. Импульсные преобразователи, основанные на ШИМ-контроллере *TL494*, широко используются в различных приложениях благодаря своей высокой эффективности и надежности. Однако, как и любое другое электронное устройство, они подвержены тепловым режимам, которые могут значительно влиять на их производительность и долговечность. Рассмотрим основные факторы, влияющие на тепловые режимы работы преобразователя, а также методы их оптимизации.

Источники тепла в преобразователе. При работе преобразователя на *TL494* выделяется тепло в результате нескольких процессов:

– потери в транзисторах – при переключении транзисторы теряют часть своей энергии, что приводит к выделению тепла. Эти потери зависят от частоты переключения, тока и напряжения;

– потери в диодах – обратные потери в диодах, особенно в *Schottky*-диодах, также способствуют образованию тепла. Эти потери могут быть значительными при высоких токах;

– потери в индуктивных и емкостных элементах – индуктивности и конденсаторы также могут иметь потери, связанные с сопротивлением и *ESR* (эквивалентным последовательным сопротивлением);

– потери в самом контроллере – *TL494*, как и любой другой интегральный контроллер, также выделяет тепло в процессе своей работы.

Тепловые режимы работы преобразователя могут быть классифицированы на несколько категорий:

- нормальный режим – при нормальных условиях работы, когда температура компонентов находится в пределах допустимых значений. В этом режиме преобразователь работает эффективно и надежно;

- режим перегрева – при превышении допустимых температурных значений компоненты могут начать перегреваться, что может привести к выходу из строя. В этом режиме требуется активное охлаждение и оптимизация работы;

- режим предельной нагрузки – при работе на предельных значениях тока и напряжения компоненты могут испытывать повышенные тепловые нагрузки, что требует тщательного контроля температуры.

Мониторинг и управление тепловыми режимами. Оптимизация тепловых режимов работы преобразователя включает в себя:

- использование датчиков температуры – установка термодатчиков на критически важных компонентах позволяет контролировать их температуру в реальном времени и предотвращать перегрев;

- адаптивное управление мощностью – регулирование выходной мощности преобразователя в зависимости от температуры может помочь снизить тепловые нагрузки;

- оптимизация схемы охлаждения – выбор подходящей системы охлаждения (воздушное, жидкостное) и правильное размещение радиаторов и вентиляторов могут значительно улучшить тепловые характеристики;

- использование компонентов с низкими потерями: Выбор транзисторов и диодов с низким сопротивлением и малыми потерями при переключении поможет снизить общее тепловыделение.

Оптимальная система охлаждения для импульсного преобразователя. На основе численных расчётов и моделирования в специализированных программных средах была разработана оптимальная система охлаждения для импульсного преобразователя, использующего ШИМ-контроллер *TL494*.

Для разработки системы охлаждения проводилось моделирование тепловых процессов в преобразователе. Использовались такие программы, как *ANSYS* и *COMSOL Multiphysics*, которые позволили:

- оценить распределение температуры (моделирование помогло выявить критические точки нагрева, где температура компонентов превышает допустимые значения);

- определить потери тепла (рассчитаны потери в транзисторах, диодах и других элементах схемы, что позволило более точно оценить необходимую мощность охлаждения).

Оптимизация конструкции радиатора. Для повышения эффективности системы охлаждения были проведены следующие оптимизации:

- увеличение площади поверхности радиатора (использование радиаторов с увеличенной площадью поверхности, таких как ребристые или трубчатые конструкции, способствует лучшему теплоотводу);

- материалы с высокой теплопроводностью (применение алюминия или меди для радиаторов и теплоотводов обеспечивает более быстрое и эффективное отведение тепла);

- правильное размещение компонентов (оптимальное расположение теплообразующих компонентов и радиаторов в корпусе преобразователя помогает улучшить поток воздуха и снизить температуру).

Заключение. Анализ тепловых режимов работы преобразователя на ШИМ-контроллере *TL494* показывает, что управление тепловыми процессами является ключевым аспектом для обеспечения надежной и эффективной работы устройства. Понимание источников тепла, мониторинг температурных режимов и использование эффективных методов охлаждения помогут предотвратить перегрев и увеличить срок службы

преобразователя. Правильный подход к тепловому анализу и оптимизации позволяет значительно улучшить производительность и надежность системы в целом.

Разработка оптимальной системы охлаждения для импульсного преобразователя на основе ШИМ-контроллера TL494, основанная на численных расчётах и моделировании, позволяет эффективно управлять тепловыми процессами и обеспечивает надежную работу устройства. Применение современных технологий и оптимизация конструкции системы охлаждения помогут значительно повысить производительность и срок службы преобразователя.

Список литературы

1. Оптимизация теплового режима прямо-передающего устройства по результатам моделирования тепловых процессов в среде SolidWorks Flow Simulation / Пискун Г. А., Алексеев В. Ф., Романовский П. С., Стануль А. А. // *Znanstvena misel journal*. – 2019. – Vol. I, № 35. – P. 47–60.
2. Моделирование и оптимальное проектирование технических систем : учебно-методическое пособие / В. Ф. Алексеев, Д. В. Лихачевский, Г. А. Пискун, В. В. Шаталова. – Минск : БГУИР, 2024. – 99 с.
3. Алексеев, В. Ф. Алгоритмы иерархического анализа тепловых процессов радиоэлектронных средств / В. Ф. Алексеев, Д. В. Лихачевский // *Цифровая среда: технологии и перспективы : сборник материалов II Международной научно-практической конференции, Брест, 31 октября–1 ноября 2024 г. / Брестский государственный технический университет ; редкол.: Н. Н. Шалобыта (гл. ред.) [и др.]*. – Брест, 2024. – С. 221–226.
4. Пискун, Г. А. Влияние конфигурации и формы внешних ребер герметичных корпусов технических средств на эффективность отведения тепла от процессора = Effect of the Configuration and Shape of External Ribs of Sealed Enclosures of Electronic Devices on Heat Removal Efficiency / Г. А. Пискун [и др.] // *Известия вузов России. Радиоэлектроника*. – 2023. – Т. 26, № 5. – С. 63–75.
5. Моделирование отведения тепловой энергии от процессоров при помощи кулеров воздушного охлаждения=Simulation of Thermal Energy Removal from Processors Using Air Coolers / Г. А. Пискун [и др.] // *Доклады БГУИР*. – 2023. – Т. 21, № 4. – С. 54–62.
6. Алексеев, В. Ф. Математическое моделирование как средство оптимизации параметров силовых интегральных микросхем / В. Ф. Алексеев, А. Д. Сыс, Г. А. Пискун // *Interdisciplinary research: scientific horizons and perspectives : II International Scientific and Theoretical Conference, Vilnius, October 1, 2021 / European Scientific Platform*. – Vilnius, 2021. – P. 109–113. – DOI : <https://doi.org/10.36074/scientia-01.10.2021>.
7. Алексеев, В. Ф. Численное моделирование тепловых процессов электронных модулей на базе моделей, созданных в Altium Designer и SolidWorks / В. Ф. Алексеев, А. А. Константинов // *Danish Scientific Journal*. – 2018. – Vol.1, No 19. – Pp. 16–30.
8. Физические основы проектирования радиоэлектронных средств. Лабораторный практикум. В 2 ч. Ч. 2 : Исследование физических процессов в конструкциях РЭС : пособие / В. Ф. Алексеев, Г. А. Пискун, И. Н. Богатко. – Минск : БГУИР, 2017. – 74 с.
9. Программное обеспечение инженерного моделирования физических процессов. Лабораторный практикум. В 2 ч. Ч. 1 : Тепловые режимы работы и защиты конструкций РЭС от механических воздействий : пособие / В. Ф. Алексеев, И. Н. Богатко, Г. А. Пискун. – Минск : БГУИР, 2017. – 124 с.
10. Алексеев, В. Ф. Физические основы проектирования радиоэлектронных средств. Лабораторный практикум : пособие в 2 ч. Ч. 1 : Моделирование физических процессов в радиоэлектронных средствах с помощью программных комплексов / В. Ф. Алексеев, Г. А. Пискун. – Минск : БГУИР, 2016. – 70 с.
11. Молодечкина, Т. В. Физические основы проектирования радиоэлектронных средств : учеб.-метод. комплекс для студентов специальности 1-39 02 01 «Моделирование и компьютерное проектирование РЭС». В 2 ч. Ч. 1. / Т. В. Молодечкина, В. Ф. Алексеев, М. О. Молодечкин. – Новополоцк: ПГУ, 2013. – 204 с.

UDC 621.3.049.77–048.24:537.2

JUSTIFICATION OF THE EFFICIENCY OF THE SELECTED COOLING SYSTEM FOR THE PWM CONTROLLER TL494-BASED IMPULSE CONVERTER

Lubenkov E.A. Mayakin G.O.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Alekseev V.F. – Cand. of Sci, associate professor, associate professor of the department of ICSD

Annotation. This paper examines the justification of the efficiency of the selected cooling system for an impulse converter built on the PWM controller TL494. An analysis of the thermal operation modes of the converter was carried out, identifying the key elements exposed to increased thermal stress. Based on numerical calculations and modeling in specialized software environments, an optimal cooling system was proposed, ensuring the reduction of thermal overloads and enhancing the reliability of the device. The developed approach demonstrates the efficiency of integrating the cooling system into the converter design.

Keywords. impulse converter, cooling system, PWM controller TL494, thermal modes, reliability.