

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ Н.Г.ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Кафедра радиотехники и электродинамики

Расчёт и моделирование выпрямителей на основе мостовых схем

АВТОРЕФЕРАТ

Студента 4 курса 4033 группы

направления 03.03.03 «Радиофизика»
код и наименование направления

института физики
наименование факультета

Кирсанова Артёма Валерьевича
фамилия, имя, отчество

Научный руководитель

доцент, к.ф.-м.н., доцент О.А. Черкасова
должность, уч. ст., уч. зв. личная подпись, дата инициалы, фамилия

Зав. кафедрой

д.ф.-м.н., профессор О.Е. Глухова
уч. ст., уч. зв. личная подпись, дата инициалы, фамилия

Саратов 2026

ВВЕДЕНИЕ

Современная электроника, вычислительная техника и системы автоматизации требуют использования стабильных источников постоянного напряжения. При этом производство и передача электрической энергии преимущественно осуществляются на переменном токе. Для преобразования переменного напряжения в постоянное применяются выпрямительные устройства, являющиеся важнейшими элементами источников вторичного электропитания [1,3,4].

Выпрямители широко используются в промышленной электронике, вычислительной технике, системах автоматики, зарядных устройствах, телекоммуникационном оборудовании и преобразовательных установках. Качество работы источника питания во многом определяется параметрами выпрямителя, уровнем пульсаций выходного напряжения и эффективностью использования трансформатора [1, 2, 4].

Среди наиболее распространённых схем выпрямления можно выделить однофазную мостовую схему Грца, трёхфазную нулевую схему Миткевича и трёхфазную мостовую схему Ларионова. Данные схемы отличаются принципом работы, количеством вентилях, величиной среднего выпрямленного напряжения, коэффициентом пульсаций и областью применения [3, 4, 7, 8].

Актуальность темы обусловлена необходимостью автоматизации расчётов параметров выпрямительных устройств и сравнительного анализа различных схем выпрямления. Программный подход позволяет значительно ускорить выполнение расчётов, уменьшить вероятность ошибок и обеспечить наглядное представление результатов [1, 2, 12].

Целью выпускной квалификационной работы является разработка программы для расчёта параметров выпрямителей на основе мостовых схем и сравнение результатов программного расчёта с аналитическим методом.

Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи:

- изучены принципы работы выпрямительных устройств;
- рассмотрены особенности схем Грца, Миткевича и Ларионова;
- выполнен аналитический расчёт параметров выпрямителей;
- разработана программа автоматизированного расчёта;
- реализован графический интерфейс пользователя;

- выполнено построение графиков выпрямленного напряжения;
- проведено сравнение аналитического и программного расчёта.

Объектом исследования являются однофазные и трёхфазные схемы выпрямления.

Предметом исследования являются методы аналитического и программного расчёта параметров выпрямителей.

Практическая значимость работы заключается в возможности использования разработанной программы при изучении силовой электроники, выполнении лабораторных и расчётных работ, а также при предварительном проектировании источников питания.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первом разделе выпускной квалификационной работы рассмотрены теоретические основы работы выпрямительных устройств. Показано, что принцип работы выпрямителей основан на вентильных свойствах полупроводниковых диодов, способных проводить электрический ток только в одном направлении [1, 3].

Рассмотрены основные параметры выпрямительных схем:

- среднее выпрямленное напряжение;
- коэффициент пульсаций;
- частота пульсаций;
- параметры диодов;
- параметры сглаживающего фильтра;
- мощность нагрузки и трансформатора [1,3,4].

Для всех рассматриваемых схем используется зависимость амплитудного значения напряжения :

$$U_m = \sqrt{2}U$$

где U_m — амплитудное значение напряжения;

U — действующее значение напряжения сети.

Для уменьшения пульсаций применяется сглаживающий конденсатор, ёмкость которого определяется выражением:

$$C = \frac{I_H}{f_{\text{пульс}} \Delta U}$$

где I_H — ток нагрузки;

$f_{\text{пульс}}$ — частота пульсаций;

ΔU — допустимая амплитуда пульсаций.

В работе подробно рассмотрена однофазная мостовая схема Грца. Данная схема получила широкое распространение благодаря простоте конструкции и отсутствию необходимости использования трансформатора со средней точкой [1, 3].

Среднее выпрямленное напряжение схемы Грца определяется выражением:

$$U_d = 0,9U$$

Частота пульсаций:

$$f_{\text{пульс}} = 2f$$

Коэффициент пульсаций составляет приблизительно:

$$K_{\text{п}} = 0,67$$

К преимуществам схемы относятся простота реализации и хорошие эксплуатационные характеристики. Недостатком является сравнительно высокий уровень пульсаций.

Далее рассмотрена трёхфазная нулевая схема Миткевича. Особенностью схемы является использование трёхфазной системы напряжений и наличие нейтральной точки трансформатора.

Среднее выпрямленное напряжение:

$$U_d = 1,17U$$

Частота пульсаций:

$$f_{\text{пульс}} = 3f$$

Коэффициент пульсаций:

$$K_{\Pi} = 0,25$$

Схема обеспечивает более высокое качество выпрямленного напряжения по сравнению со схемой Греча. Недостатком является подмагничивание сердечника трансформатора постоянной составляющей тока.

Наиболее эффективной среди рассмотренных схем является трёхфазная мостовая схема Ларионова.

Среднее выпрямленное напряжение:

$$U_d = 2,34U$$

Частота пульсаций:

$$f_{\text{пульс}} = 6f$$

Коэффициент пульсаций:

$$K_{\Pi} = 0,057$$

Схема обеспечивает минимальный уровень пульсаций и наиболее эффективное использование трансформатора.

Во втором разделе выполнена программная реализация расчёта выпрямителей.

Для разработки приложения был выбран язык программирования Python. При создании программы использовались библиотеки:

- PyQt5 — для реализации графического интерфейса;
- NumPy — для выполнения математических расчётов;
- Matplotlib — для построения графиков напряжения [9–12].

Разработанное приложение позволяет пользователю:

- выбирать схему выпрямления;
- вводить параметры сети;
- выбирать тип диодов;
- выполнять автоматический расчёт параметров;
- строить графики выпрямленного напряжения;
- отображать результаты в структурированном виде.

Программа рассчитывает:

- среднее выпрямленное напряжение;
- коэффициент пульсаций;
- амплитуду пульсаций;
- частоту пульсаций;
- параметры диодов;
- параметры сглаживающего конденсатора;
- параметры трансформатора;
- мощность нагрузки.

Особое внимание было уделено обработке ошибочного ввода данных. Программа контролирует корректность вводимых значений и выводит пользователю соответствующие сообщения об ошибках.

Для построения временных диаграмм используются математические модели выпрямленного напряжения для каждой схемы.

В третьем разделе выполнено сравнение аналитического и программного расчёта.

Для всех схем использовались одинаковые исходные данные:

- напряжение сети — 24 В;
- частота сети — 50 Гц;
- ток нагрузки — 2 А;
- допустимая пульсация — 1 В;
- доля проводимости — 50 %;

– кремниевые диоды с падением напряжения 0,7 В.

Полученные результаты показали полное совпадение программного и аналитического методов расчёта .

Для схемы Греца получено:

– среднее выпрямленное напряжение — 21,6 В;

– частота пульсаций — 100 Гц;

– коэффициент пульсаций — 0,67.

Для схемы Миткевича:

– среднее выпрямленное напряжение — 28,08 В;

– частота пульсаций — 150 Гц;

– коэффициент пульсаций — 0,25.

Для схемы Ларионова:

– среднее выпрямленное напряжение — 56,16 В;

– частота пульсаций — 300 Гц;

– коэффициент пульсаций — 0,057.

Результаты расчётов показали, что схема Ларионова обеспечивает наилучшие характеристики выходного напряжения, минимальный коэффициент пульсаций и наиболее эффективное использование трансформатора [4, 7, 8].

Разработанная программа позволяет выполнять расчёты практически мгновенно, значительно сокращает время вычислений и уменьшает вероятность ошибок по сравнению с ручным аналитическим методом [9–12].

Кроме основных электрических параметров, при проектировании выпрямительных устройств необходимо учитывать эксплуатационные характеристики схем, такие как надёжность, простота реализации, стоимость элементной базы и возможность дальнейшей модернизации устройства. Современные источники вторичного электропитания должны обеспечивать высокую стабильность выходного напряжения, минимальный уровень пульсаций и эффективное использование электрической энергии, что предъявляет повышенные требования к схемам выпрямления и методам их расчёта [1,3,4].

Одним из основных параметров выпрямителя является коэффициент пульсаций, характеризующий степень отклонения выходного напряжения от идеального постоянного значения. Значительные пульсации приводят к ухудшению работы электронного оборудования, увеличению уровня электромагнитных помех и снижению точности функционирования измерительных и вычислительных систем. По этой причине в современных источниках питания широко применяются многофазные схемы выпрямления и сглаживающие фильтры, позволяющие значительно улучшить качество выходного напряжения [2, 3, 8].

Проведённый анализ показал, что однофазная мостовая схема Греча отличается простотой реализации, небольшим количеством элементов и удобством практического применения, благодаря чему она широко используется в маломощных источниках питания и зарядных устройствах [1, 3]. Трёхфазная схема Миткевича обеспечивает более высокое качество выпрямленного напряжения и меньший коэффициент пульсаций, однако требует применения трансформатора с нулевой точкой и характеризуется более сложной конструкцией [4, 5]. Наиболее эффективной среди рассмотренных схем является трёхфазная мостовая схема Ларионова, обеспечивающая высокий коэффициент использования трансформатора, наибольшее среднее значение выпрямленного напряжения и минимальный уровень пульсаций выходного сигнала [4, 7, 8].

Разработка специализированного программного обеспечения для автоматизации расчётов позволяет существенно повысить эффективность инженерных вычислений. Использование языка программирования Python и библиотек PyQt5, NumPy и Matplotlib обеспечивает возможность создания удобного графического интерфейса пользователя, реализации математических моделей выпрямительных устройств и наглядного отображения результатов расчёта в виде временных диаграмм и графиков напряжения [9–12].

Разработанное приложение позволяет оперативно изменять исходные параметры схем, выполнять повторные расчёты без дополнительных вычислений и проводить сравнительный анализ различных вариантов построения выпрямительных устройств. Использование программных средств при проектировании источников вторичного электропитания значительно сокращает время расчётов, уменьшает вероятность возникновения ошибок и повышает качество принимаемых инженерных решений [1, 2, 8]. Полученные результаты подтверждают целесообразность

применения разработанной программы как в учебном процессе при изучении дисциплин, связанных с силовой электроникой, так и при выполнении предварительных расчётов и проектировании электронных устройств различного назначения [1, 3, 9–12].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В выпускной квалификационной работе выполнен анализ однофазной мостовой схемы Греца, трёхфазной нулевой схемы Миткевича и трёхфазной мостовой схемы Ларионова.

Рассмотрены принципы работы выпрямительных устройств, выполнен аналитический расчёт основных параметров и проведён сравнительный анализ характеристик различных схем выпрямления.

Разработано программное приложение на языке Python, предназначенное для автоматизированного расчёта параметров выпрямителей и построения графиков выпрямленного напряжения.

Проведённое сравнение показало полное совпадение результатов программного и аналитического расчёта, что подтверждает корректность реализованной математической модели.

Установлено, что наиболее эффективной по совокупности параметров является трёхфазная мостовая схема Ларионова, обеспечивающая минимальный уровень пульсаций и наиболее качественное выходное напряжение.

Разработанная программа может использоваться при изучении дисциплин, связанных с силовой электроникой, выполнении лабораторных работ, курсовом проектировании и предварительном расчёте источников питания [1, 2, 3, 9–12].

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Берков, Н. Н. Силовая электроника / Н. Н. Берков. – Москва : Высшая школа, 2020. – 384 с.
2. Васильев, А. А. Основы силовой электроники / А. А. Васильев. – Санкт-Петербург : Питер, 2020. – 368 с.
3. Герман-Галкин, С. Г. Электронные преобразовательные устройства / С. Г. Герман-Галкин. – Санкт-Петербург : Корона-Век, 2018. – 416 с.
4. Китаев, В. Е. Источники вторичного электропитания / В. Е. Китаев. – Москва : Энергоатомиздат, 2019. – 352 с.
5. Костенко, М. П. Электрические машины : учебник для вузов / М. П. Костенко, Л. М. Пиотровский. – Москва : Академия, 2021. – 624 с.
6. Чиликин, М. Г. Общий курс электрических машин / М. Г. Чиликин. – Москва : Энергия, 2018. – 576 с.
7. Lander, C. W. Power Electronics / C. W. Lander. – London : McGraw-Hill, 2017. – 752 p.
8. Rashid, M. H. Power Electronics: Circuits, Devices and Applications / M. H. Rashid. – 4th ed. – New Jersey : Pearson, 2018. – 944 p.
9. Matplotlib Documentation [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://matplotlib.org/stable/> (дата обращения: 20.06.2026).
10. NumPy Documentation [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://numpy.org/doc/> (дата обращения: 20.06.2026).
11. PyQt5 Documentation [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.riverbankcomputing.com/static/Docs/PyQt5/> (дата обращения: 20.06.2026).
12. Python Software Foundation. Python 3 Documentation [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.python.org/3/> (дата обращения: 20.06.2026).