

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н.Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Кафедра радиотехники и электродинамики

Линейный блок питания с цифровым управлением
АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ

Студентки 4 курса 4033 группы
направления 03.03.03 «Радиофизика»
института физики
Пронченко Арины Алексеевны

Научный руководитель
доцент кафедры радиотехники
и электродинамики, к.ф.-м.н.


подпись, дата

Д.А. Колосов

Заведующая кафедрой
радиотехники и электродинамики
д.ф.-м.н., профессор


подпись, дата

О.Е. Глухова

Саратов 2026 г.

Введение

Блок питания (БП) — устройство для преобразования энергии сети в стабилизированное напряжение и ток, необходимое для работы электронных компонентов. БП обеспечивают защиту от перегрузок, стабилизацию параметров и гальваническую развязку [1]. Они применяются во всех сферах электроники: от бытовой техники до измерительных приборов и систем автоматизации. [1].

По принципу действия БП делятся на линейные и импульсные. Линейные отличаются простотой, низким уровнем помех и надёжностью, но имеют низкий КПД (40–60 %), большие габариты и значительное тепловыделение [1-3]. Импульсные обладают высоким КПД (80–95 %), компактностью и широким диапазоном входных напряжений, однако создают электромагнитные помехи и чувствительны к перегрузкам [1-3].

Выбор типа БП определяется областью применения: линейные источники предпочтительны для прецизионной измерительной техники, импульсные — для энергоэффективной бытовой и промышленной электроники [2].

Целью выпускной квалификационной работы является разработка и проектирование линейного блока питания с цифровым управлением, обеспечивающего высокую точность и стабильность выходного напряжения.

Актуальность данной работы обусловлена потребностью в источниках питания с низким уровнем шума. Ключевое отличие линейных блоков питания от импульсных — это минимальный уровень пульсаций и электромагнитных помех, что достигается отсутствием высокочастотных коммутаций. Однако даже стандартных показателей линейных источников питания не всегда достаточно. Для настройки аналоговых компараторов, усилителей низкой и высокой частоты, а также радиоприёмников зачастую требуется прецизионная настройка напряжения, которая достигается преимущественно цифровыми методами [1,3]. Данный прибор будет установлен в учебную лабораторию кафедры радиотехники для использования в учебных целях.

Задачи:

- Разработка блок-схемы устройства;
- Подбор электронных компонентов для реализации устройства;
- Моделирование различных вариаций принципиальной схемы как отдельных частей и блоков, так и блока питания в целом;
- Тестирование различных конфигураций и компонентов линейного блока питания;
- Проведение анализа и сравнения спроектированных схем;
- Проектирование печатной платы устройства;
- Монтаж электронных компонентов и отладка схемы устройства;
- Написание кода программы управления;
- Сборка устройства в корпус;
- Испытания спроектированного линейного блока питания.

Основное содержание работы

Блок схема устройства:

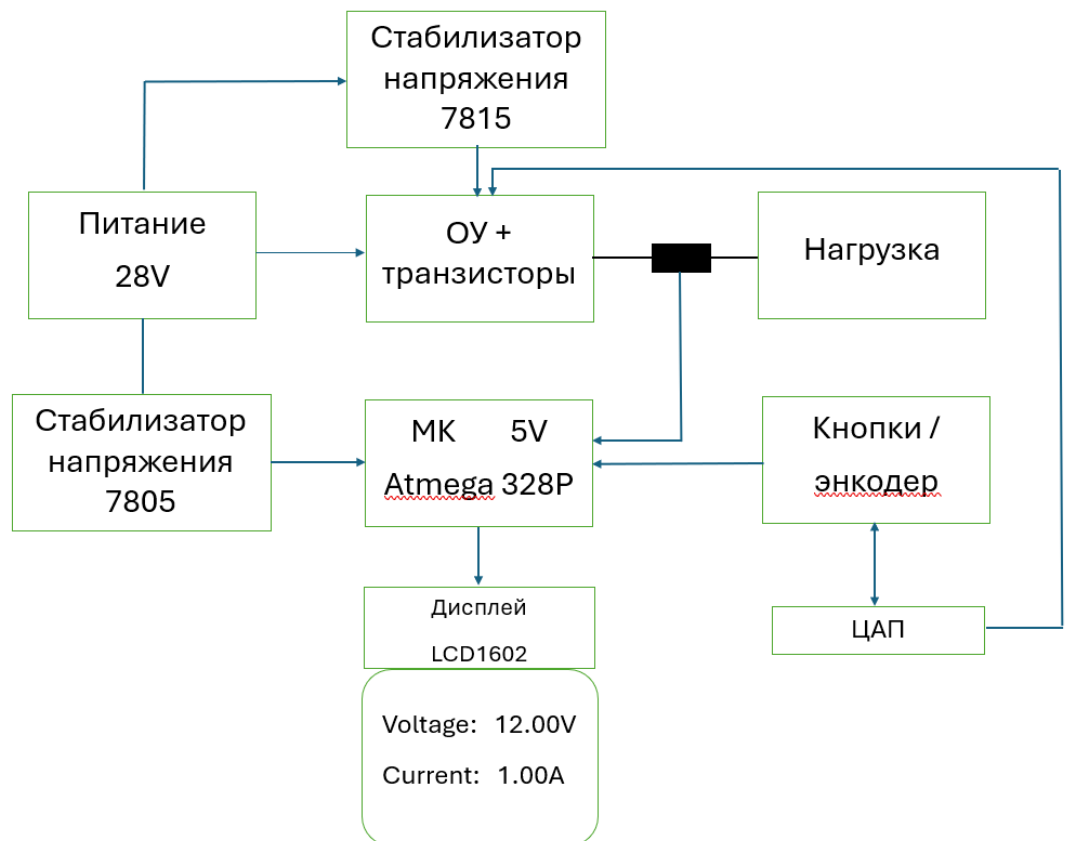


Рисунок 1. Блок схема линейного блока питания с цифровым управлением.

Данная схема представляет собой линейный блок питания с цифровым управлением на базе микроконтроллера Atmega328P. На вход подаётся внешнее напряжение 28 Вольт, которое с помощью линейных стабилизаторов 7815 и 7805 преобразуется в стабильные 15 В для аналоговой части и 5 В для питания микроконтроллера и ЦАП. Микроконтроллер обрабатывает сигналы от энкодера, позволяя пользователю задавать необходимые выходные параметры напряжения и тока, регулирует напряжение и ток на нагрузке, а также считывает с него обратную связь для стабилизации. Значения напряжения тока и температуры выводятся на дисплей LCD1602. Таким образом, схема реализует замкнутый контур управления с индикацией и ручной регулировкой [1, 5, 6].

Принципиальная схема устройства:

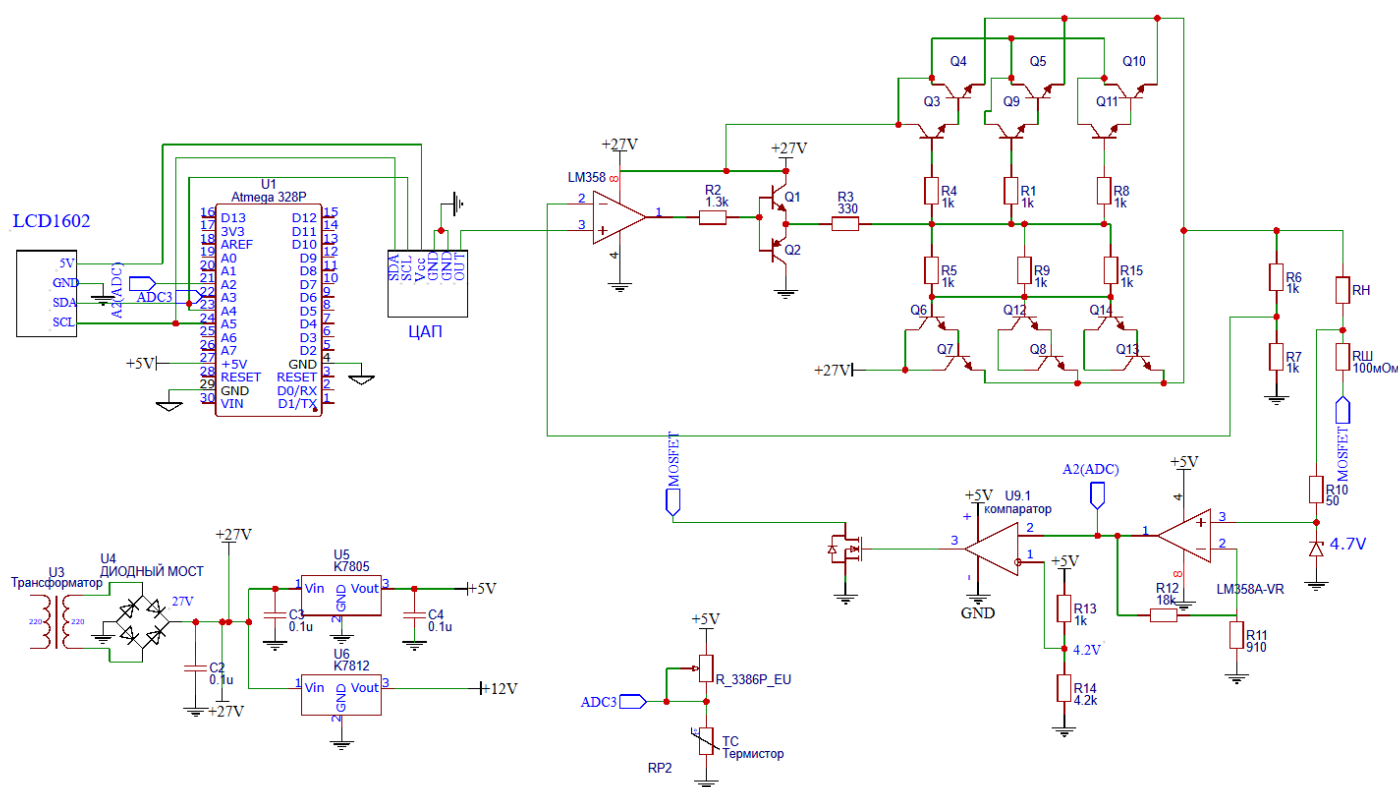


Рисунок 2. Принципиальная схема линейного блока питания с цифровым управлением.

Разработка защиты от короткого замыкания

Для обеспечения надёжности и безопасности работы данного разрабатываемого устройства – линейного блока питания с цифровым

управлением было принято решение в необходимости добавления и разработки защиты прибора от короткого замыкания [6].

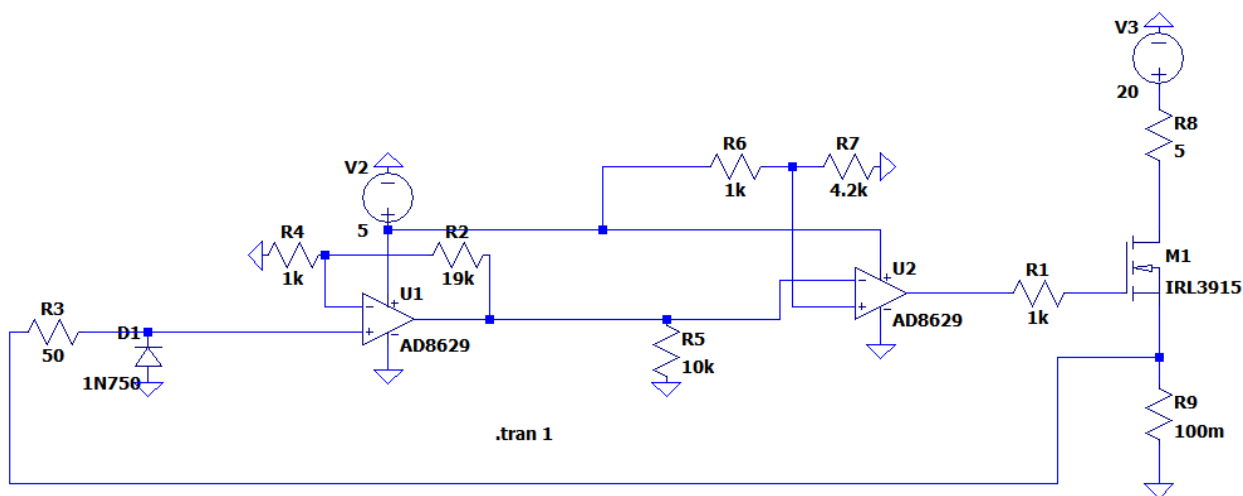


Рисунок 3. Принципиальная схема защиты от КЗ.

Защита происходит благодаря MOSFET транзистору IRLZ44N, он служит ключом. По умолчанию на нем фиксируется логический 0, то есть пока ток небольшой, а именно до 2,5 А, падение напряжения мало и транзистор, соответственно, открыт, но при коротком замыкании, когда ток превышает допустимый предел на затвор подаётся большое напряжение, благодаря которому транзистор закрывается и ток перестаёт идти на всю остальную схему. Защита срабатывает за 30 мкс, что является хорошим результатом для обеспечения надёжности и безопасности работы схемы устройства.

Также, защита от короткого замыкания будет обеспечиваться с помощью кода в программе для микроконтроллера Arduino nano на Atmega328P. Таким образом, двойная защита от короткого замыкания не только спасёт от выхода из строя линейного блока питания, но и покажет индикацию о превышении тока в цепи, прервет работу [5, 7].

Питание микроконтроллера заводится от отдельной обмотки трансформатора со своим диодным мостом и стабилизатором[1].

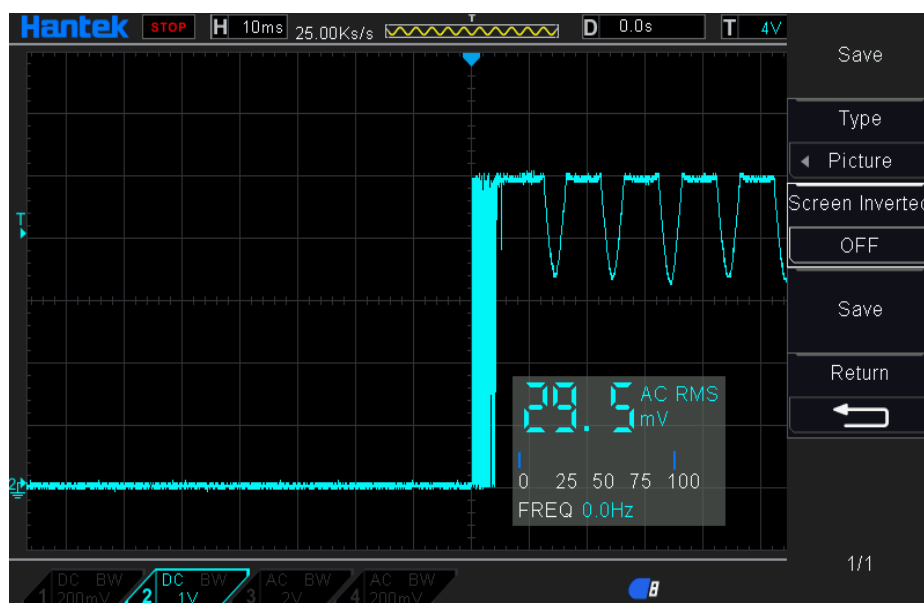


Рисунок 4. Осциллограмма на входе АЦП после усиления ОУ и срабатывании защиты от короткого замыкания.

Разработка внешнего корпуса устройства

С помощью программного пакета «Компас» были смоделированы лицевая панель корпуса прибора для вывода, на которой необходимы кнопка включения/выключения, воздухозаборного радиатора, индикатора короткого замыкания, выводы для питания, дисплей, кнопки переключения и выставления необходимого значения напряжения и тока, а также задняя панель с воздухозаборной решёткой, отверстиями для предохранителя и разъёма питания на 220 В. После чего спроектированные модели были распечатаны на 3D принтере.



Рисунок 5. (а) - лицевая панель устройства; (б) – лицевая панель с обратной стороны.



Рисунок 6. Задняя панель прибора с обратной стороны.

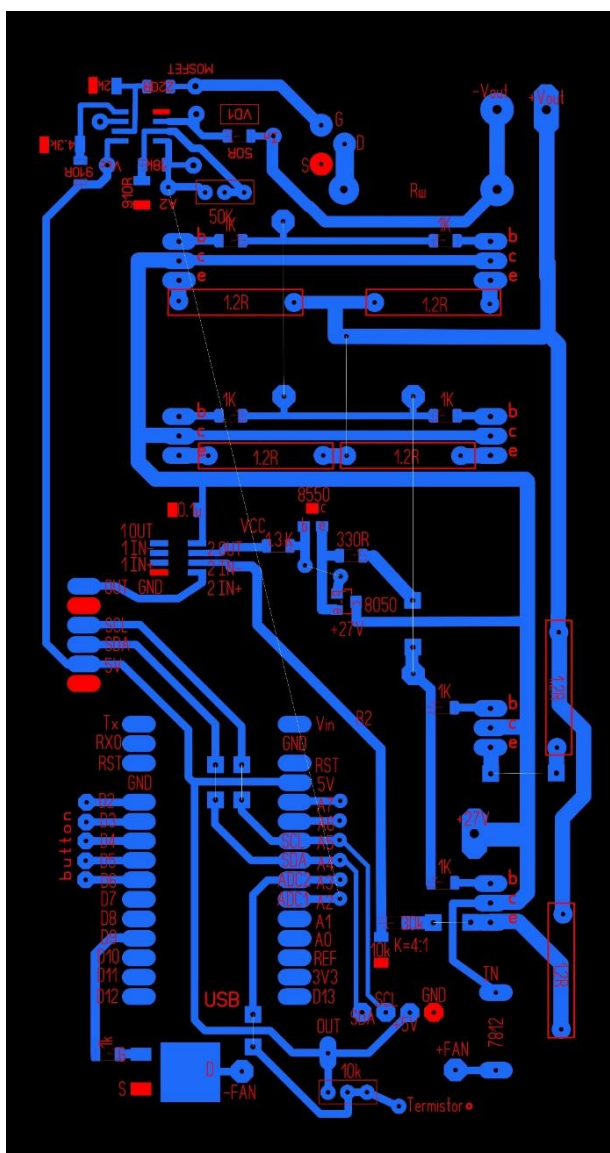


Рисунок 7. Печатная плата устройства.

После травления печатная плата залуживалась с помощью сплава Розе, для создания тонкого, но прочного и защитного слоя от коррозии металлическим сплавом.

Система охлаждения устройства

Для того чтобы защитить блок питания, все составляющие компоненты корпуса от перегрева необходима система охлаждения. Она была обеспечена с помощью высокоскоростного кулера, термистора и микроконтроллера [7].

Температура выводится на дисплей устройства, которая проверяется каждую секунду и высчитывается в программе микроконтроллера так, что при превышении порога в 40 °С включается вентилятор и охлаждение производится до тех пор, пока температура не достигнет 30 °С, обеспечивая гистерезис 10 °С [8].

Выбор необходимого значения напряжения и тока для работы выбирается с помощью инкрементного энкодера.

Тестирование работы

Во время тестирования устройства, была замечена погрешность выходного напряжения порядка 40мВ, связанная с нелинейностью транзисторов, операционного усилителя, в связи с чем было принято решение в использовании калибровки с помощью кода программы, путём линейной интерполяции для нахождения промежуточных значений между точками измеренных результатов [1, 6]. До калибровки были получены результаты, приведенные в таблице 3:

Таблица 3

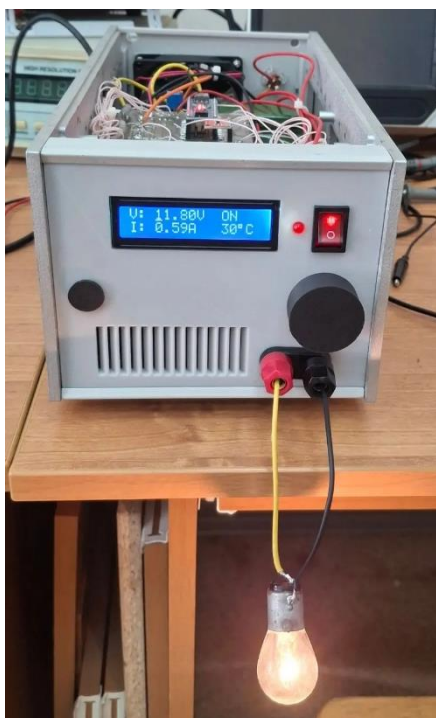
U, В	0,500	1,900	2,200	3,900	5,300	6,400	8,800	11,300	15,700	16,700	19,800
U, В	0,539	1,938	2,235	3,927	5,329	6,421	8,810	11,318	15,702	16,706	19,822
Δ, мВ	9	38	35	27	29	21	10	18	2	6	22

После калибровки были получены результаты, приведенные в таблице 4:

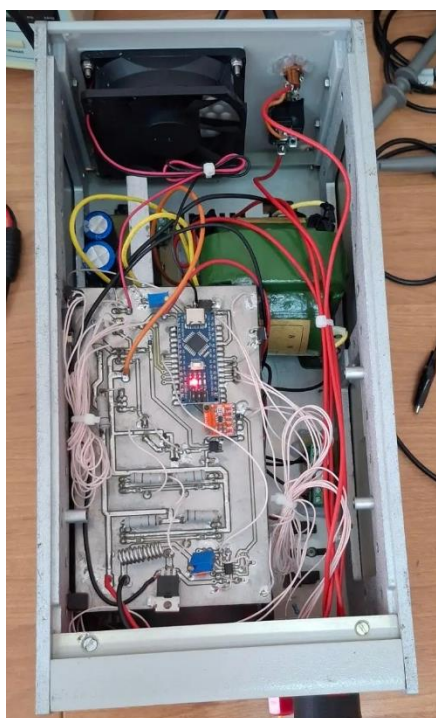
Таблица 4

U, В	0,500	1,900	2,200	3,900	5,300	6,400	8,800	11,300	15,700	16,700	19,800
U, В	0,504	1,903	2,204	3,902	5,305	6,395	8,804	11,303	15,705	16,699	19,794
Δ , мВ	4	3	4	2	0	5	4	3	0	1	6

Таким образом, благодаря калибровке с помощью кода программы, путём линейной интерполяции для нахождения промежуточных значений между точками измеренных результатов, погрешность выходного напряжения устройства снизилась и составляет в максимальном значении 6мВ, вместо 38мВ [1, 6].



(а)



(б)



(в)

Рисунок 8. (а) – тестирование устройства; (б) – собранный прибор со всеми компонентами и печатными платами; (в) – тестирование работы готового устройства в корпусе.

Заключение

В ходе выполнения выпускной квалификационной работы была полностью достигнута поставленная цель – разработан и реализован линейный блок питания с цифровым управлением, который обеспечивает высокую точность и стабильность выходного напряжения. Актуальность работы была обусловлена объективной потребностью в источниках питания, которые бы сочетали в себе низкий уровень пульсаций, присущий классическим линейным схемам, и высокую точность цифровой настройки, характерную для импульсных преобразователей, что особенно востребовано в учебной лаборатории кафедры радиотехники для проведения учебных занятий [1, 6, 8]. На этапе проектирования была разработана принципиальная схема устройства с устойчивыми частотными характеристиками без резонансных пиков и возможности к самовозбуждению [1, 7].

Особое внимание в работе было уделено вопросам безопасности функционирования разрабатываемого прибора, первоначально реализованная программная защита от короткого замыкания на базе микроконтроллера показала время срабатывания порядка 4 миллисекунд, что было недостаточно быстрым результатом для сохранения целостности компонентов схемы, поэтому была спроектирована аппаратная реализация защиты, обеспечивающая отключение тока за 30 микросекунд, то есть в 130 раз быстрее, что гарантирует высокую надежность работы устройства, но и предусмотрена дублирующая программная защита для отображения индикации короткого замыкания [1, 2, 9]. Были сконструированы печатные платы устройства, а для защиты от перегрева была реализована умная система охлаждения, в которой микроконтроллер непрерывно считывает показания с термистора и автоматически включает высокоскоростной кулер при достижении температуры 40 °С, отключая его после снижения до 30 °С.

информация о температурном режиме отображается на дисплее устройства [1, 5, 9]. С помощью программного пакета «Компас» были спроектированы панели устройства и после чего распечатаны на 3D принтере. В результате проделанной работы все элементы были собраны в корпусе, после чего проведено тестирование готового линейного блока питания с цифровым управлением, которые подтвердили его полную работоспособность, стабильность выходного напряжения и эффективность систем защиты и охлаждения.

Таким образом, можно сделать вывод, что в данной выпускной квалификационной работе создан источник питания, который полностью соответствует поставленным техническим требованиям, и может быть успешно использован в учебном процессе.

Список используемых источников.

- [1] Хоровиц, П. Искусство схемотехники : в 2 т. Т. 2 / П. Хоровиц, У. Хилл. — М. : Мир, 1986. — 598 с.
- [2] Букреев, С. С. Источники вторичного электропитания / С. С. Букреев, В. А. Головацкий, Г. Н. Гулякович [и др.] ; под ред. Ю. И. Конева. — М. : Радио и связь, 1983. — 280 с.
- [3] Разработка импульсного источника питания с цифровым управлением [Электронный ресурс]. — URL: <https://multiurok.ru/files/razrabotka-impulsnogo-istochnika-pitaniia-s-tsifro.html> (дата обращения: 18.05.2026). — Загл. с экрана. — Яз. рус.
- [4] Шустов, М. А. Основы силовой электроники / М. А. Шустов. — 2-е изд., перераб. и доп. — СПб. : Наука и техника, 2019. — 336 с.
- [5] Шустов М. А. Основы силовой электроники. — 2-е изд., перераб. и доп. — СПб.: Наука и Техника, 2019. — 336 с., илл.
- [6] Зиновьев Г. С. Основы силовой электроники: Учебник. — Новосибирск: Изд-во НГТУ, 1999. Ч.1. — 199 с.
- [7] Шайкин, А. С. Линейный стабилизатор напряжения со сверхмалым падением напряжения / А. С. Шайкин, И. А. Суров, Е. Д. Алперин // Вестник Воронежского государственного технического университета. — 2018. — Т. 14, № 6. — С. 98—102.
- [8] Штерн М. И. Силовая электроника: расчеты и схемотехника / М. И. Штерн. — СПб. : Наука и техника, 2017. — 398 с.
- [9] Основы силовой электроники: учебно-методическое пособие / В. И. Попов, Е. Д. Баранов, А. В. Удовиченко [и др.]. — Новосибирск: НГТУ,

2019. — 92 с. — ISBN 978-5-7782-3943-2. — Текст: электронный // Лань:
электронно-библиотечная система. —
URL: <https://e.lanbook.com/book/152214> (дата обращения: 25.05.2026).