

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

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

Кафедра радиотехники и электродинамики  
наименование кафедры

**Проектирование обратноходового импульсного источника питания на  
ШИМ - контроллере «TOPSwitch» для диапазона питаемых напряжений  
195- 265 вольт**

АВТОРЕФЕРАТ МАГИСТЕРСКОЙ РАБОТЫ

Студента 2 курса 242 группы

направления 03.04.03 «Радиофизика»  
код и наименование направления

физического факультета  
наименование факультета

Пантюшина Владимира Юрьевича  
фамилия, имя, отчество

Научный руководитель  
доцент, к.ф. – м.н.  
должность, уч. степень, уч. звание

\_\_\_\_\_  
дата, подпись

М.М. Слепченков  
инициалы, фамилия

Зав. кафедрой:  
д.ф. – м.н., профессор  
должность, уч. степень, уч. звание

\_\_\_\_\_  
дата, подпись

О.Е. Глухова  
инициалы, фамилия

Саратов 2019 г.

## ВВЕДЕНИЕ

На сегодняшний день импульсные блоки питания занимают ведущее место среди источников питания различной радиоэлектронной аппаратуры. Связано это со стремлением современной техники к минимизации массогабаритных параметров, удешевлению, использованию дискретных компонентов – все это ведет к постепенному отказу от использования габаритных сетевых трансформаторов. Существуют несколько топологий импульсных источников питания: обратноходовые, прямоходовые, полумостовые и мостовые. Обратногоходовой источник питания (ОИП) среди всех существующих топологий отличается меньшим числом компонентов и соответственно дешевизной. В схему ОИП входят следующие функциональные блоки: импульсный трансформатор, ШИМ (широтно-импульсная модуляция) – контроллер, высоковольтный транзистор, цепь обратной связи, цепь входного выпрямителя. Одними из самых главных узлов стоит назвать цепи ШИМ-контроллера и высоковольтного транзистора, от их работы зависит функциональность всего блока. Однако ОИП отличается от других видов топологий взаимосвязью всех компонентов схемы на конечную работу устройства. Технология оптимизации ОИП привела к появлению специализированных микросхем, которые включают в себя ШИМ-контроллер и высоковольтный транзистор с цепью датчика тока. Одним из ведущих производителей данных микросхем является Power Integration. У данного производителя имеется семейство микросхем TOPSwitch, которые позволяют строить ОИП с минимальным набором компонентов. Для упрощения расчета блока питания Power Integration выпустили специализированное ПО под названием PI Expert. Это программное обеспечение позволяет произвести расчет ОИП с минимальной стоимостью конечного продукта. Однако это может привести к снижению надежности блока питания в целом, так как основным критерием программы PI Expert является снижение стоимости.

Таким образом, встает проблема расчета ОИП в программном комплексе PI Expert без снижения надежности и без увеличения стоимости источника питания. Критериями надежности будем считать пиковое напряжение на стоке микросхемы, импульсные токи в выходных конденсаторах фильтра, (так как большинство поломок ОИП связаны с перегревом выходных электролитических конденсаторов) и пиковые токи в выходных диодных сборках.

**Цель работы** заключалась в адаптации схемы обратноходового импульсного источника питания (ИИП) для работы в диапазоне сетевых напряжений 195-265 В.

Для достижения цели решались следующие **задачи**:

- Разработка новой модификации схемы обратноходового импульсного источника питания (ИИП);
- Проведение расчета параметров всех радиоэлектронных компонентов схемы ИИП обратноходового типа;
- Изготовление макета ИИП обратноходового типа и исследование работы схемы в различных режимах

## 1. Принцип действия классического ОИП

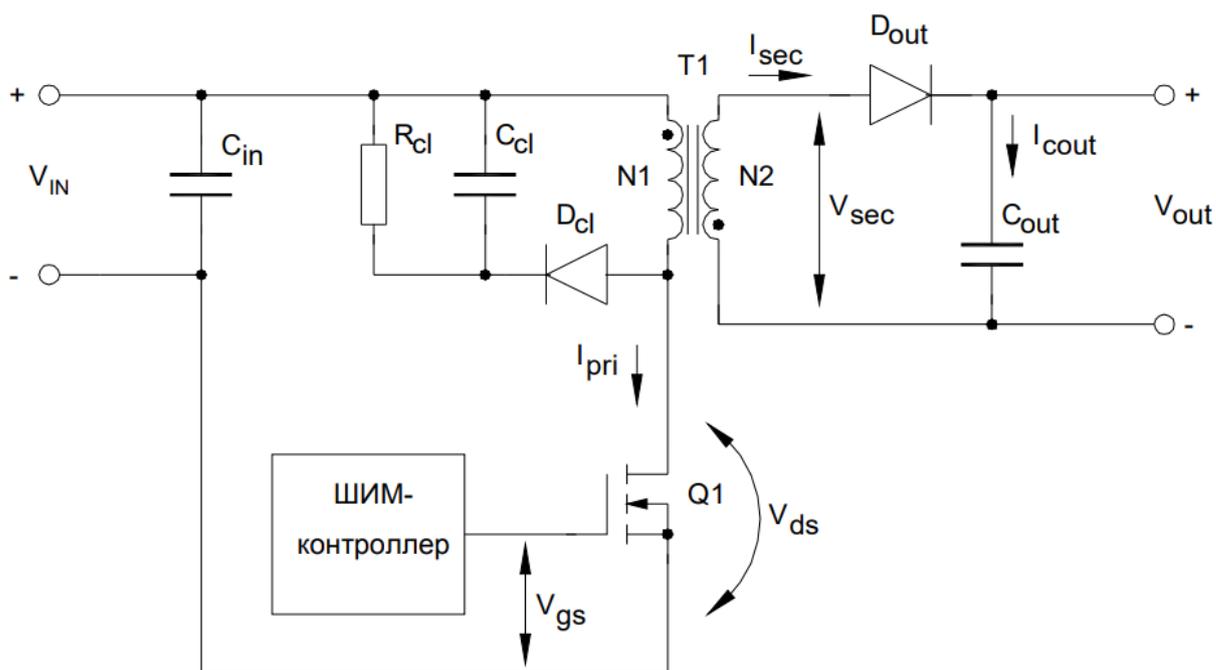


Рис. 1. Силовая часть обратноходового БП.

На рис. 1 изображена силовая часть блока питания.

Проанализируем самый распространенный режим работы – режим разрывных токов. Это значит, что к началу следующего цикла вся энергия из трансформатора перейдет в нагрузку, и следующий цикл начинается с нулевого тока в трансформаторе, этим и объясняется разрывность тока [4-7].

Разделим рабочий цикл на периоды. Пусть схема работает на частоте  $f$ , при этом период будет  $T = 1/f$ . Интервал  $(t_0 - t_1)$  – время включенного состояния высоковольтного ключа  $Q_1$  – это время прямого хода, обозначим как  $t_{ON}$ , соответственно рабочий цикл - Duty Circle, (в дальнейшем D) будет определяться как  $D = t_{ON}/T$ .

**Интервал  $(t_0 - t_1)$ .** К моменту  $t_0$  сердечник трансформатора полностью размагничен, и ток в нем отсутствует. В момент, когда с ШИМ – контроллера подается управляющий сигнал, высоковольтный ключ  $Q_1$  открывается и ток в трансформаторе начинает нарастать. То есть в

идеализированной схеме включение высоковольтного транзистора происходит при нулевом токе. В реальных условиях происходит выброс тока, связанный с зарядом паразитных емкостей трансформатора, что при больших входных напряжениях приводит к существенным потерям в ключевом транзисторе и возникновению паразитных высокочастотных колебаний (ВЧ звон). Для уменьшения амплитуды высокочастотного броска тока стремятся несколько замедлить процесс открывания транзистора для уменьшения паразитных токов, осуществляют это с помощью резистора в цепи затвора высоковольтного транзистора. Выходной диод также полностью закрыт к этому времени, и нет необходимости в быстром его перезаряде/восстановлении.

### ***1.1 Схема ОИП на микросхеме TOPSwitch***

Классический обратноходовой блок питания строится обычно на связке контроллер - высоковольтный ключ, где контроллером выступает чаще всего микросхема семейства UC384X, а ключом является мосфет транзистор на требуемый ток стока и напряжение сток – исток. При таком выборе связки необходимо тщательно подходить к выбору компонентов, к настройке и налаживанию всего ОП. Однако на сегодняшний день существуют интегрированные схемные решения, позволяющие свести к минимуму вышеупомянутые проблемы. Использование интегрированных ШИМ-контроллеров во многом упрощает задачу проектирования импульсных источников питания. Одним из самых распространенных интегрированных ШИМ-контроллеров является семейство микросхем TOPSwitch фирмы Power Integration. Это семейство обеспечивает диапазон мощностей до 200 Вт, выполняют все необходимые функции и способны помочь не только разработчикам при создании новой аппаратуры, но и заменить устаревшие схемы на дискретных компонентах в уже готовых изделиях как промышленного, так и бытового назначения.

Преимущества TOPSwitch перед дискретным исполнением ОП:

- обеспечивает более высокую надежность и меньшие габариты, чем схема на дискретных компонентах.
- повышение КПД схемы с трансформаторным выходом до 90%:
- встроенная схема «мягкого запуска» и ограничения тока уменьшает статические потери;
- снижение динамических потерь в быстродействующем MOSFET-транзисторе;
- низкое потребление драйвера MOSFET - не превышает 6 мВт;
- схема ограничения коэффициента заполнения минимизирует потери проводимости.
- совмещенная схема контроллера и силового MOSFET-транзистора в корпусе ТО-220;
- автоматический рестарт и циклическая защита от перегрузок;
- встроенная тепловая защита.
- реализует функции понижающего DC-DC конвертора, прямоходового и обратногоходового блока питания, корректора коэффициента мощности;
- легко согласуется с оптическими и трансформаторными устройствами обратной связи.

## 2. Расчет обратноходового блока питания в программе PI Expert 9.0

Расчет схемы ОП проведем в специализированной программе PI Expert 9.0. Программа производит вычисление номиналов элементов только для заданного (АС 220V) режима входного напряжения. Зададимся следующими входными данными, изображенными на рис. 2.

Parameter	Value
Voltage, V	12.50
Current, A	2.00
Power, W	25.00
Peak Current, A	2.00
Peak Power, W	25.00
Duty Cycle for Peak Power	
Output Voltage Tolerance +, %	10.0
Output Voltage Tolerance -, %	10.0
Output Voltage Tolerance +, V	13.75
Output Voltage Tolerance -, V	11.25

Рис. 2. Входные данные для расчета в программе PI Expert 9.0.

Далее программа выдаст наилучшие решения для выбранных входных данных:

Solution	Output Spec	Actual Voltage	Accuracy	Number of Turns	Stack Configuration	Normalized Output Tolerances	Core Size	Device	Diode Part No	Diode Rated Voltage	Diode Rated Current
Solution 1	12.50	12.50	1,000	7	Floating	—	E20/10/6 (EF20)	TOP243YN	SB360	60	3,00
Solution 2	12.50	12.50	1,000	7	Floating	—	E20/10/6 (EF20)	TOP243YN	SB380	80	3,00
Solution 3	12.50	12.50	1,000	7	Floating	—	E20/10/6 (EF20)	TOP243YN	SB3100	100	3,00
Solution 4	12.50	12.50	1,000	7	Floating	—	E20/10/6 (EF20)	TOP243YN	UF5401	100	3,00
Solution 5	12.50	12.50	1,000	8	Floating	—	E20/10/6 (EF20)	TOP243YN	SB360	60	3,00
Solution 6	12.50	12.50	1,000	8	Floating	—	E20/10/6 (EF20)	TOP243YN	UF5401	100	3,00

Рис.3. Список решений после оптимизации программы PI Expert 9.0.

После выбора подходящего оптимального решения программа составляет принципиальную схему с набором элементов (см. рис. 4).

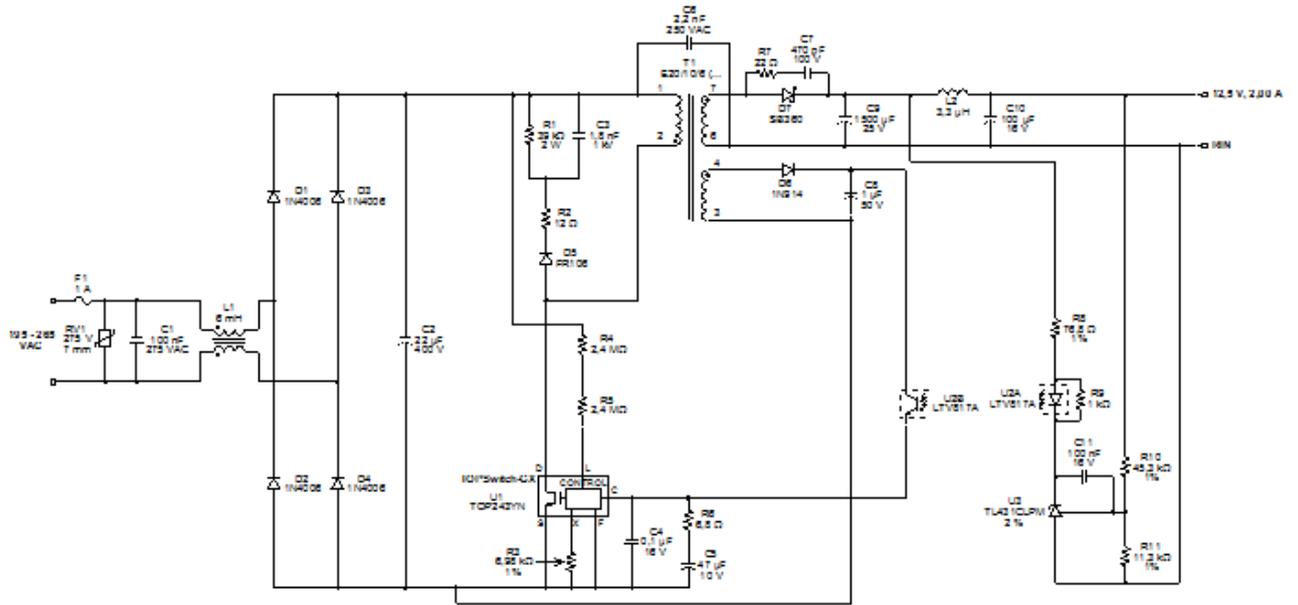


Рис.4 Принципиальная схема обратноходового БП на микросхеме TOPswitch (TOP246YN).

### 3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ РАБОТЫ

Принципиальная схема рассчитанного устройства представлена на рис. 5.

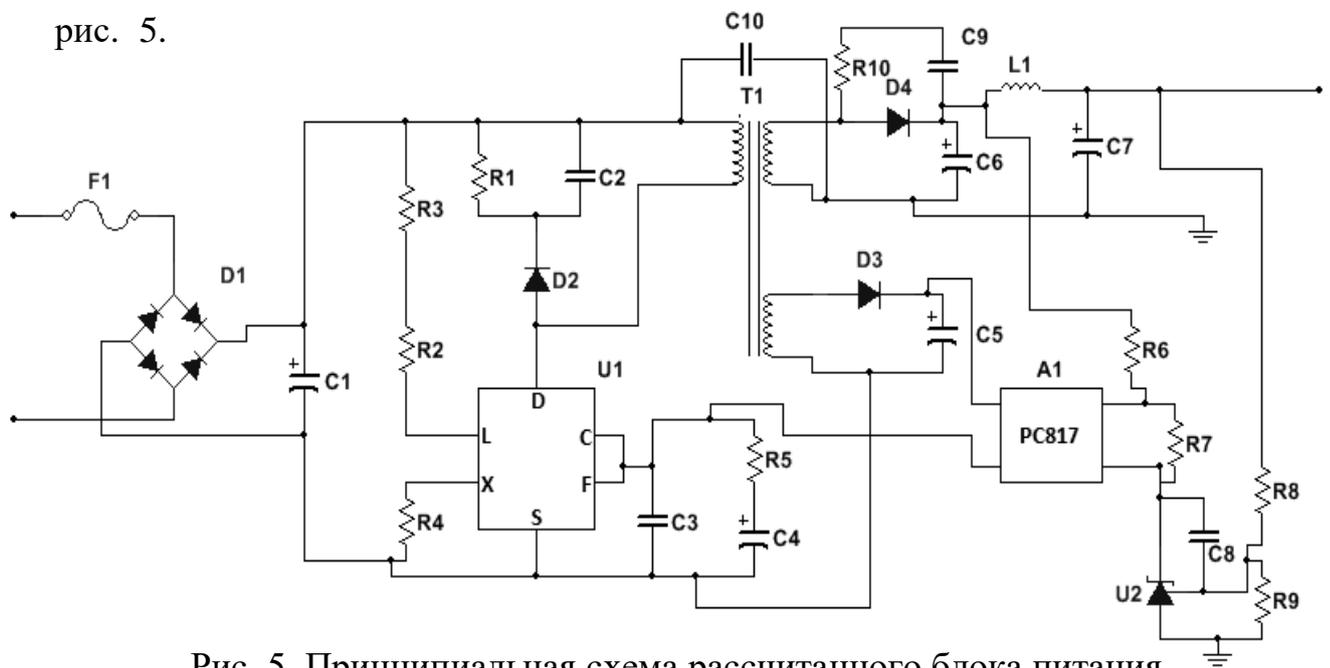


Рис. 5. Принципиальная схема рассчитанного блока питания.

Далее был изготовлен макет устройства с помощью программы Sprint Layout 6.0.

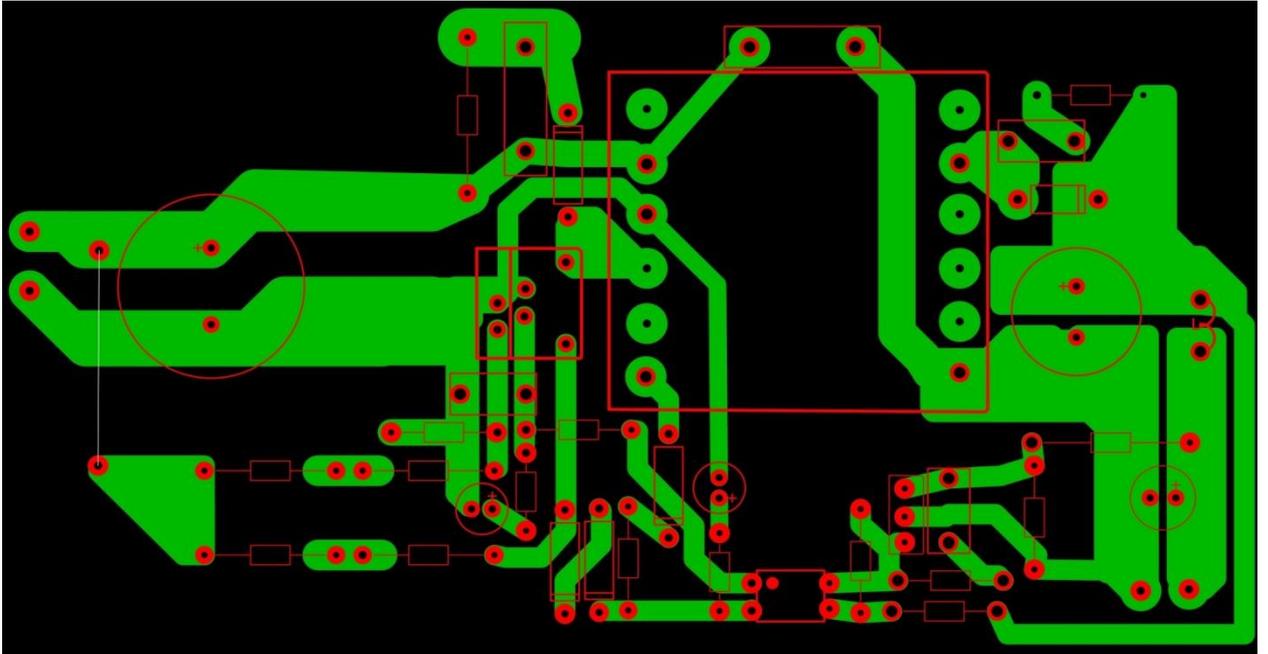


Рис. 6. Печатная плата блока питания в программе Sprint Layout 6.0 .

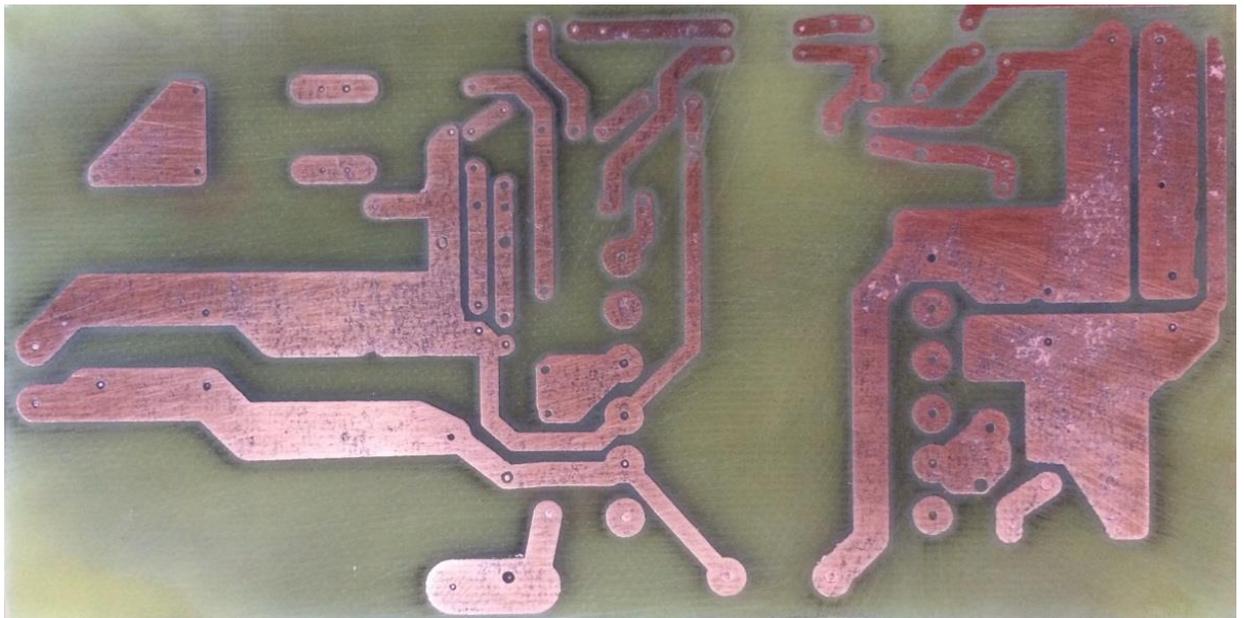


Рис. 7. Изготовленная печатная плата.

На рис. 8 представлено изображение конечного устройства.

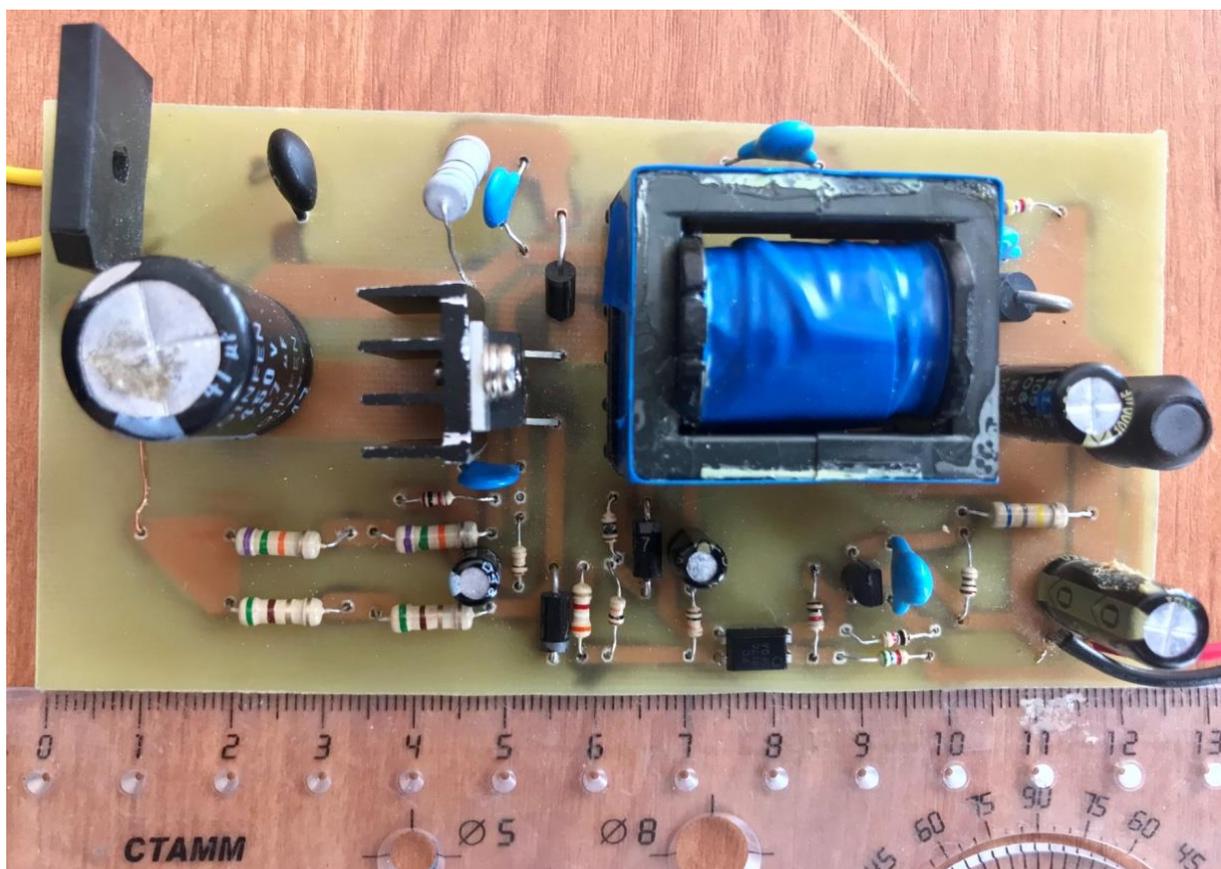


Рис. 8. Плата готового устройства.

В таблице 1 представлены измеренные значения напряжений и токов при работе блока питания.

Таблица 1. Величины токов и напряжений спроектированного блока питания

Рабочие параметры	Расчетные значения	Данные эксперимента
Напряжение на стоке ШИМ - контроллера, V	450	478
Пиковый ток в первичной обмотке, A	1.34	1.39
Среднеквадратический ток в первичной обмотке, A	0.43	0.44
Номинальная первичная индуктивность, $\mu\text{H}$	1012	1004
Число витков первичной обмотки	42	42

Пиковое обратное напряжение на выходных выпрямителях, V	74	77,4
Среднеквадратический ток пульсации выходных конденсаторов, A	1.9	2,1
Выходное напряжение, V	12.5	12.49
Рестарт в режиме короткого замыкания	Есть	Есть

Несоответствие расчетным значениям объясняется тем, что у элементов имеется разброс величин, который составляет 5-10%. Однако этот момент не оказывает существенного влияния на работу схемы.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе проводилась адаптация схемы обратноходового импульсного источника питания для работы в диапазоне сетевых напряжений 195-265 В. Использовалась ШИМ - микросхема марки TOP246YN фирмы Power Integrations. В результате решались следующие задачи:

- Разработка новой модификации схемы обратноходового импульсного источника питания (ИИП);
- Проведение расчета параметров всех радиоэлектронных компонентов схемы ИИП обратноходового типа;
- Изготовление макета ИИП обратноходового типа и исследование работы схемы в различных режимах

Программный пакет PI Expert используемый при расчете ИИП на микросхемах TOPSwitch, во-первых, не учитывает минимальное и максимальное питаемое напряжение, во-вторых, в целях уменьшения себестоимости снижает показатели, тем самым снижая надежность устройства.

После решения всех поставленных задач удалось снизить пиковое напряжение на силовом ключе микросхемы TOPSwitch до 478 вольт, снизить среднеквадратический ток пульсации выходных конденсаторов до 2.1 ампера, уменьшить количество витков до 42 первичной обмотки импульсного трансформатора. Снижение выше приведенных величин токов и напряжений способствует общей надежности устройства, так как слишком высокое пиковое напряжение на силовом ключе микросхемы может привести к ее выходу из строя. Уменьшение среднеквадратического тока пульсаций выходных конденсаторов приведет к их меньшему нагреву и увеличит срок службы.

