

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Тольяттинский государственный университет»

Институт энергетики и электротехники

(наименование института полностью)

Кафедра «Промышленная электроника»

(наименование кафедры)

11.04.04 – Электроника и наноэлектроника

(код и наименование направления подготовки)

Электронные приборы и устройства

(направленность (профиль))

## МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

на тему «Исследование тепловых режимов элементов импульсного  
источника питания»

Студент

В.К. Беляев

(И.О. Фамилия)

\_\_\_\_\_ (личная подпись)

Научный  
руководитель

Г.Н. Абрамов

(И.О. Фамилия)

\_\_\_\_\_ (личная подпись)

Руководитель программы

к.т.н, доцент А.А. Шевцов

(ученая степень, звание, И.О.Фамилия)

\_\_\_\_\_ (личная подпись)

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2019 г.

**Допустить к защите**

Заведующий кафедрой

к.т.н, доцент А.А. Шевцов

(ученая степень, звание, И.О.Фамилия)

\_\_\_\_\_ (личная подпись)

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2019 г.

Тольятти 2019

## Содержание.

Введение.....	4
1. Обзорная часть. ....	5
1.1. Вторичные источники питания .....	5
1.1.1. Безтрансформаторные ИП .....	5
1.1.2. Линейные источники питания. ....	8
1.1.3. Импульсные источники питания. ....	10
1.2. Тепловые режимы модулей питания. ....	18
1.2.1. Механизмы теплопередачи. ....	18
1.2.2. Расчет теплового режима модуля питания.....	19
1.2.3. Пример реализации защиты блока питания от перегрева с использованием термостатов. ....	23
1.2.4. Пример реализации защиты блока питания от перегрева с использованием терморезистора .....	26
1.2.5. Методика измерения элементов блока питания .....	28
1.2.6. Пример эксперимента по измерению температуры элементов БП с использованием диода Д-814 .....	31
2. Практическая часть. ....	32
2.1. Силовые транзисторы импульсного блока питания IP – S350Q2-0 и расчет тепловой характеристики радиатора для них. ....	32
2.1.1. Силовые транзисторы импульсного блока питания.....	32
2.1.2. Радиаторы силовых транзисторов.....	35
2.1.3. Расчет и построение тепловой характеристики радиаторов транзисторов импульсного блока питания IP – S350Q2-0.....	41
2.2. Эксперимент по исследованию тепловыделения импульсного трансформатора БП IP – S350Q2-0.....	48
2.2.1. Импульсные трансформаторы .....	48
2.2.2. Подготовка к эксперименту .....	55
2.2.3. Технические расчеты .....	57

2.2.4. Эксперимент с силовым трансформатором .....	57
2.2.5 Эксперимент по определению тепловыделения силовых транзисторов импульсного блока питания компьютера IP – S350Q2-0.....	63
Заключение. ....	66
Список использованных источников. ....	67

## **Введение.**

В данной работе речь пойдет о вторичных источниках питания. Данные устройства используются для обеспечения питания других приборов и устройств. В свою очередь, вторичные источники питания получают энергию от первичных источников питания, которые ее производят.

При описании характеристик современных вторичных источников питания, например, импульсных блоков питания компьютеров, мало уделяется внимания тепловым режимам устройств несмотря на то, что подробная информация о тепловыделении того или иного компонента источника питания могла бы упростить разработку системы охлаждения, повысить надежность прибора и увеличить срок службы.

Исходя из данных проблем с недостаточной информированностью о тепловых характеристиках вторичных источников питания, была поставлена цель: провести исследование тепловых режимов основных элементов вторичных источников питания.

В связи с поставленной целью, в ходе данной работы были определены следующие задачи:

1. Найти и структурировать информацию об вторичных источниках питания
2. Проанализировать принципы и способы терморегуляции
3. Провести формульный расчет тепловыделения элементов источника питания на примере компонентов компьютерного БП
4. Провести физический эксперимент по исследованию тепловыделения компонентов компьютерного БП на примере силового трансформатора и силовых транзисторов.

## 1. Обзорная часть.

### 1.1. Вторичные источники питания

#### 1.1.1. Безтрансформаторные ИП

Безтрансформаторные источники питания – устройства, позволяющие осуществить питание электрических приборов без использования трансформаторов, просты в изготовлении и компактны в своем устройстве. Но, не смотря на преимущества в масса-габаритных показателях, небезопасны без использования изоляции на компонентах.

На рисунке 1 проиллюстрирована самая простая схема безтрансформаторного блока питания.

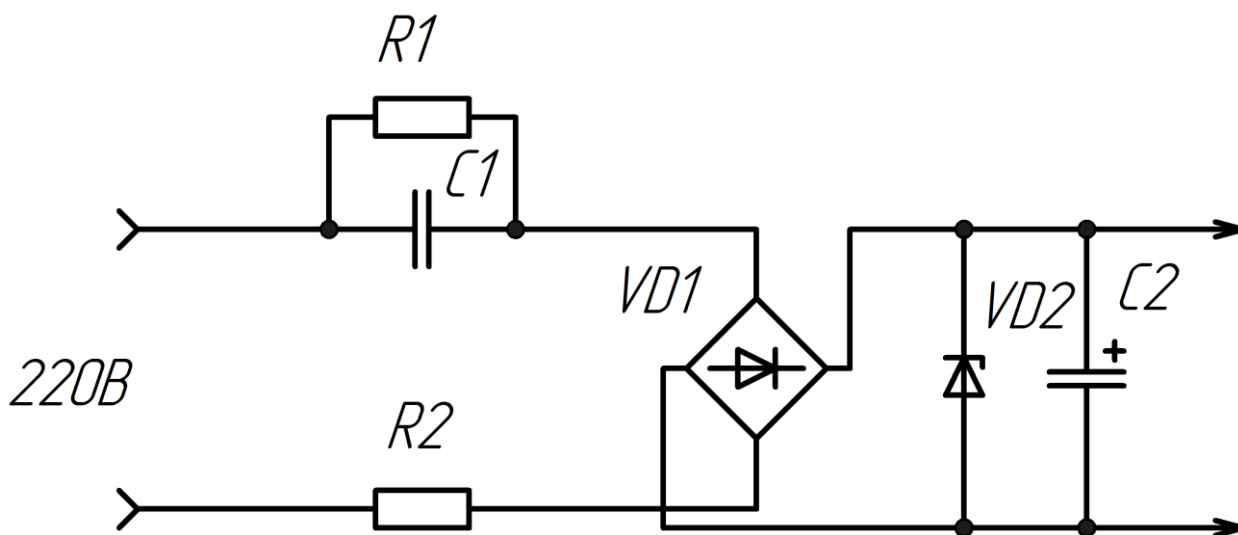


Рисунок 1. Схема безтрансформаторного блока питания

В данном случае такой источник питания совмещает в себе выпрямитель и параметрический стабилизатор. Конденсатор  $C1$ , выпрямительный мост  $VD1$  и резистор  $R2$  служат для ограничения тока при включении устройства. После выключения конденсатор  $C1$  разряжается на резистор  $R1$ .

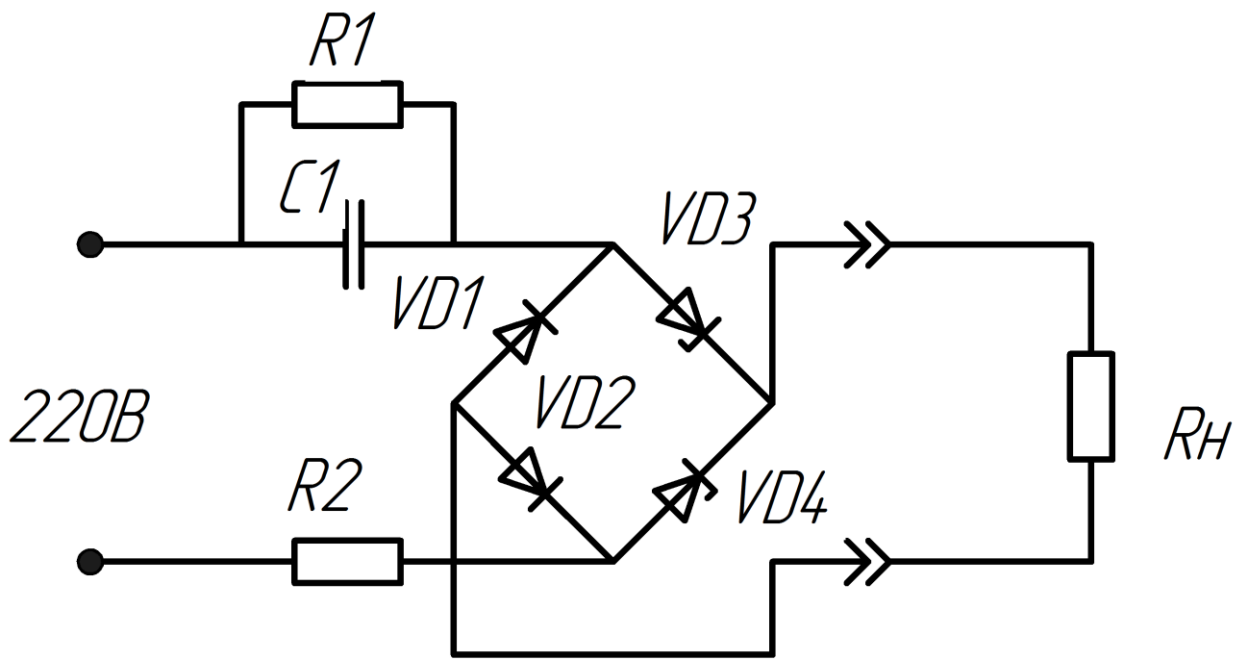


Рисунок 2. Схема безтрансформаторного блока питания с выпрямителем из диодов и стабилитронов

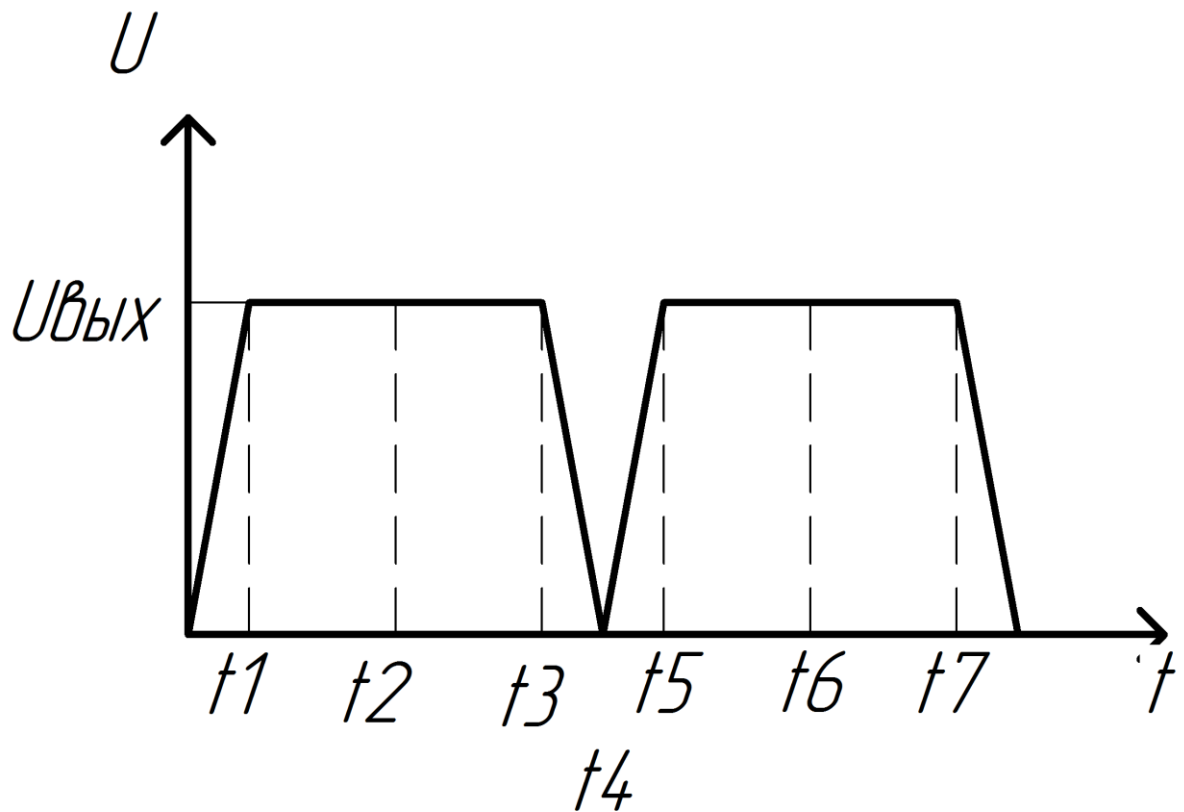


Рисунок 3. Выходное напряжение блока питания с выпрямителем из диодов и стабилитронов

На входе блока питания на рисунке 2 поставлен балластный конденсатор  $C1$  и мостовой выпрямитель, состоящий из двух диодов  $VD1$ ,  $VD2$ , а также включающий в себя стабилитроны  $VD3$  и  $VD4$ . Два резистора, стоящие во входной цепи:  $R1$  и  $R2$  выполняют те же функции, что и аналогичные резисторы в первой схеме. На рисунке 3 проиллюстрирована осциллограмма выходного напряжения. В случае превышения напряжения на выходе уровня напряжения стабилизации, мост будет работать, как простой диод.

По осциллограмме на рисунке 3 видим, что диод  $VD2$  и стабилизатор  $VD3$  будут открыты на промежутке от 0 до момента  $t1$ , в это же время диод  $VD1$  и стабилитрон  $VD4$  будут закрыты. В этот момент времени ток проходит через конденсатор  $C1$ . Рассматривая интервал времени с  $t1$  по  $t3$ , заметно, что будут открыты диод  $VD2$  и стабилитрон  $VD3$ , при этом так же открывается стабилитрон  $VD4$ , который проводит через себя импульс тока стабилизации. Напряжение стабилизации  $U_{ст}$  стабилитрона  $VD4$  будет одинаково с напряжением на выходе  $U_{вых}$ .

Диод  $VD2$  и стабилитрон  $VD3$  будут открыты на протяжении всего положительного полупериода. Импульсный ток стабилизации пропускает нагрузку  $R_n$ , при этом достигая максимума в момент  $t2$  и минимума в момент времени  $t3$ . Для выпрямителя ток стабилизации является сквозным током.

Диод  $VD1$  и стабилитрон  $VD4$  будут открыты в отрицательном полупериоде, который начнется в момент  $t4$ . До  $t4$  закрытыми являются  $VD2$  и  $VD3$ . Рассматривая момент времени с  $t5$  по  $t7$ , можно заметить, что  $VD1$  и  $VD4$  открыты, а  $VD3$  пропускает через себя ток стабилизации с напряжением  $U_{ст}$ . Ток максимален в момент  $t6$  и минимален в моменте  $t7$ .  $VD1$  и  $VD4$  будут открытыми с момента  $t7$  и до конца отрицательного полупериода. Подобный цикл будет повторяться в каждом следующем периоде сетевого напряжения.

В итоге получаем, что через выпрямитель проходят два тока – выпрямленный и импульсный ток стабилизации. Причем первый проходит через стабилитроны, а второй через диоды. Рассматривая моменты с  $t_1$  по  $t_3$  и с  $t_5$  по  $t_7$  можно заметить, что  $U_{ст}$  будет изменяться крайне мало. При этом для расчета значения переменного тока на входе моста необходимо лишь разделить напряжение сети на емкостное сопротивление конденсатора  $C_1$ .

### 1.1.2. Линейные источники питания.

Линейные источники выделяются на фоне остальных тем, что просты в изготовлении, надежны в эксплуатации и не имеют высокочастотные помехи. При конструировании подобного источника питания можно не беспокоиться о комплектующих, так как их доступность – один из плюсов таких источников питания. Линейные источники имеют малые габариты – такой аспект важен в устройствах, потребляющих до 500 мА и выполняемых в небольших размерах.

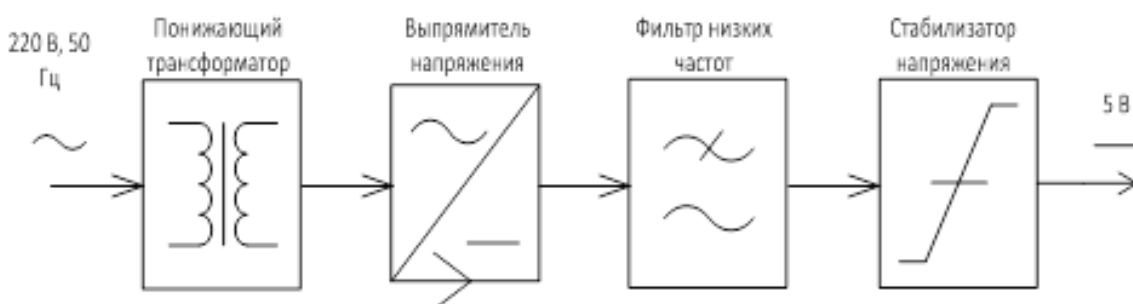


Рисунок 4. Функциональная схема ИП

На функциональной схеме источника питания, проиллюстрированной на рисунке 4 изображены части источника питания:

- Трансформатор используется для преобразования тока, при этом изменяется только напряжение, а частота и мощность остаются неизменными. Преобразование осуществляется при помощи электромагнитной индукции, когда напряжение, подаваемое на первичную обмотку трансформатора, индуцирует пропорциональный ток на вторичной обмотке, создавая на ее выводах другое напряжение.



- Выпрямитель напряжения применяется для выпрямления поступающего переменного напряжения в выходное напряжение определенной полярности.
- Фильтр низких частот используется на выходе выпрямителя, выполняя функцию сглаживания пульсаций частот.
- Стабилизатор напряжения выполняет функцию стабилизации, как понятно из его названия. Это устройство питается от внешнего источника питания и выдает на своем выходе стабилизированное напряжение.

При подборе источника питания для определенного устройства обращают внимание на следующие параметры:

- напряжение питания на выходе источника
- ток, который потребляется источником
- процент стабилизации напряжения, зависящий от стабилизатора
- процент пульсаций напряжения питания на выходе источника

Помимо приведенных выше характеристик, у источника питания существуют эксплуатационные качества, такие как:

- встроенные системы защиты от КЗ
- масса и размеры источника питания

Конструкция источника питания, описанная выше, была первой в своем роде. Трансформатор, применяемый в ней преобразовывал напряжение сети 220 вольт в другое напряжение, отличающееся пониженной амплитудой. После трансформатора пониженное напряжение шло на стабилизатор, который при помощи моста из силовых диодов, включенных в него, стабилизировал напряжение. Стабилизированное и пониженное напряжение поступало на выходной фильтр, где частоты сглаживались специальным конденсатором, подключенным параллельно. Конденсатор подбирался по величине мощности в пределах допуска.

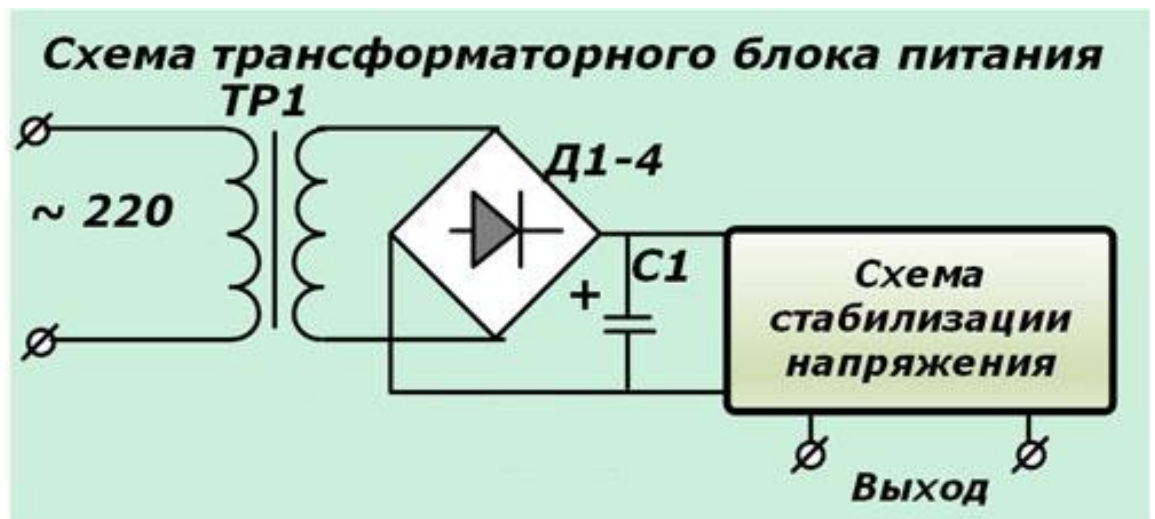


Рисунок 5. Схема трансформаторного блока питания

После фильтра напряжение идет на выходной стабилизатор из силовых транзисторов, что проиллюстрировано на рисунке 5.

Для регуляции напряжения на выходе источника питания необходимо изменять номиналы подстроечных резисторов в схеме стабилизации.

### 1.1.3. Импульсные источники питания.

Импульсные источники питания впервые появились пару десятков лет назад и обрели большую популярность при разработке разнообразной электроники, так как обладали следующими отличительными чертами:

- выполнены из компонентов, доступных и распространенных
- конструкция надежная и долговечная
- при сборке существует возможность изменять и дополнять конструкцию, изменяя диапазон напряжения на выходе

Для всех импульсных источников питания, независимо от небольших различий в конструкции, существует одна, довольно типичная схема устройства.

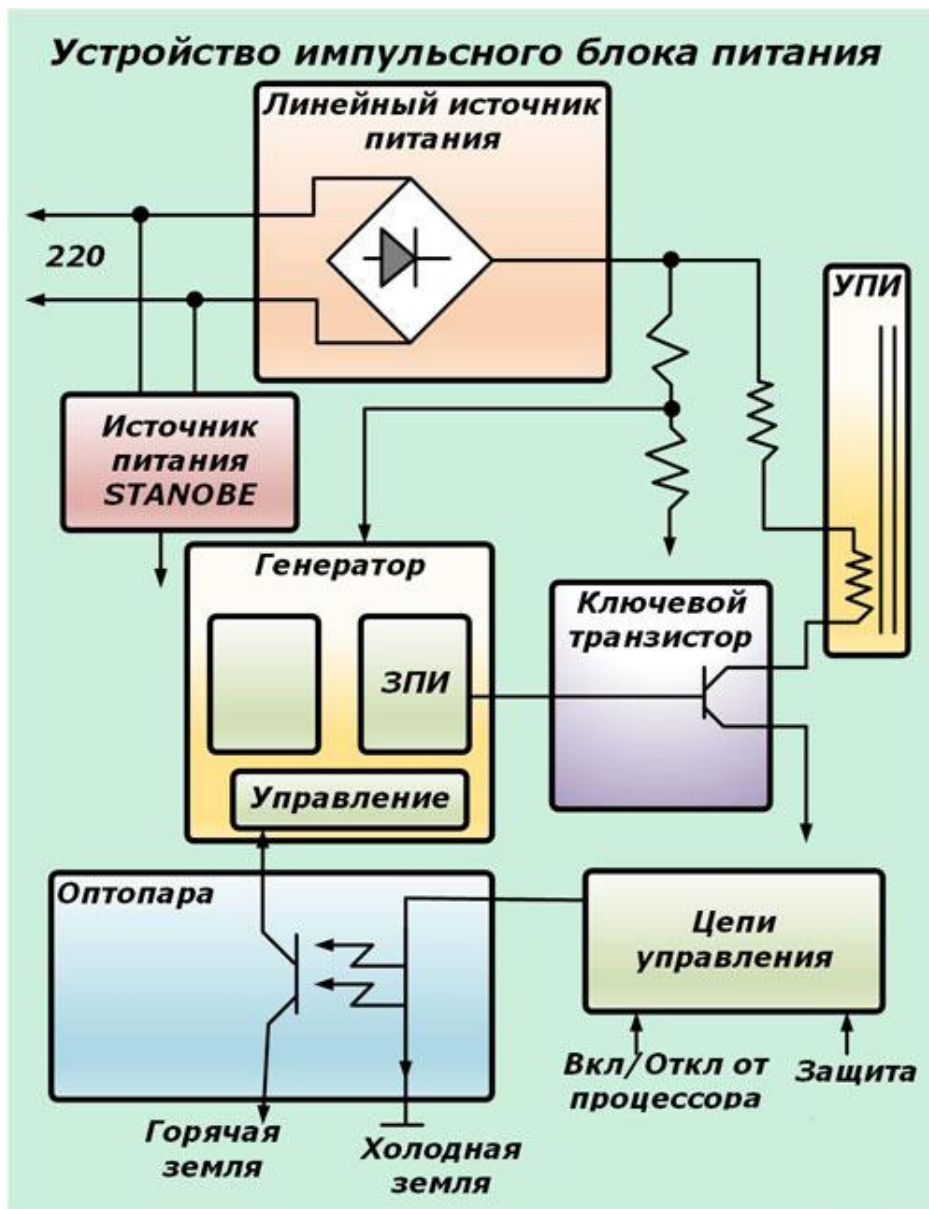


Рисунок 6. Импульсный блок питания внутри

Подобная схема приведена на рисунке 6. На которой мы можем наблюдать следующие компоненты импульсного источника питания:

- сетевой выпрямитель, использующий в своей конструкции такие элементы, как дроссели на входе; фильтр, ограждающий устройство от помех; гальваническую развязку статической части от конденсаторов; разнообразные предохранители и диодный мост
- конденсатор, исполняющий функции накопителя и фильтра
- силовой транзистор, являющийся наиважнейшей частью схемы
- генератор, обеспечивающий подачу импульсов

- обратную связь, которая включает в себя транзисторы
- оптопару
- импульсный трансформатор, который подает напряжение на преобразователь в силовой цепи
- на выходе схемы присутствуют диоды для выпрямления напряжения
- устройство для управления характеристиками выходного напряжения, включающее в себя, например, подстроечные резисторы, оптопары и транзисторы.
- конденсаторы в части фильтра
- специальные силовые дроссели, которые корректируют уровень напряжения и занимаются диагностикой
- выходные клеммы

На рисунке 7 проиллюстрирован пример электронной платы импульсного источника питания. Так же на нем обозначена элементная база устройства.



Рисунок 7. Плата импульсного ИП

Благодаря использованию возможностей элементов инверторной схемы импульсный блок питания может выдавать стабильное напряжения для питания разнообразных устройств.

Из сети напряжение в 220 вольт будет поступать на часть импульсного источника питания, занимающуюся выпрямлением входного напряжения. При помощи конденсаторов в емкостном фильтре амплитуда входящего напряжения будет сглажена и обработана помехоустойчивым фильтром.

В свою очередь, входной мост, состоящий из диодов выпрямит синусоиды входящего напряжения, после чего эти синусоиды преобразуются, благодаря схемой из транзисторов, в высокочастотные импульсы прямоугольной формы, имеющие уникальную скважность. Такие импульсы могут быть преобразованы:

- либо с гальванической развязкой входной сети от выходной сети
- либо напрямик

#### **1.1.3.1. Импульсный источник питания с гальванической развязкой**

Принцип действия импульсного источника с гальванической развязкой: сигналы с высокой частотой будут поданы на силовой трансформатор, который помимо преобразования так же осуществляет гальваническую развязку. Силовой трансформатор очень зависит от частоты напряжения, поэтому при достаточно большой частоте, габариты самого трансформатора можно уменьшить, уменьшить размер его магнитопровода, а, следовательно, и вес. От повышения частоты так же повышается и эффективность трансформации. Для сердечника в большинстве случаев используют ферромагнетик, а не электротехническую сталь. Применение ферромагнетиков так же влияет на размер всей конструкции.

На рисунке 8 проиллюстрирован пример схемы импульсного источника питания с гальванической развязкой.

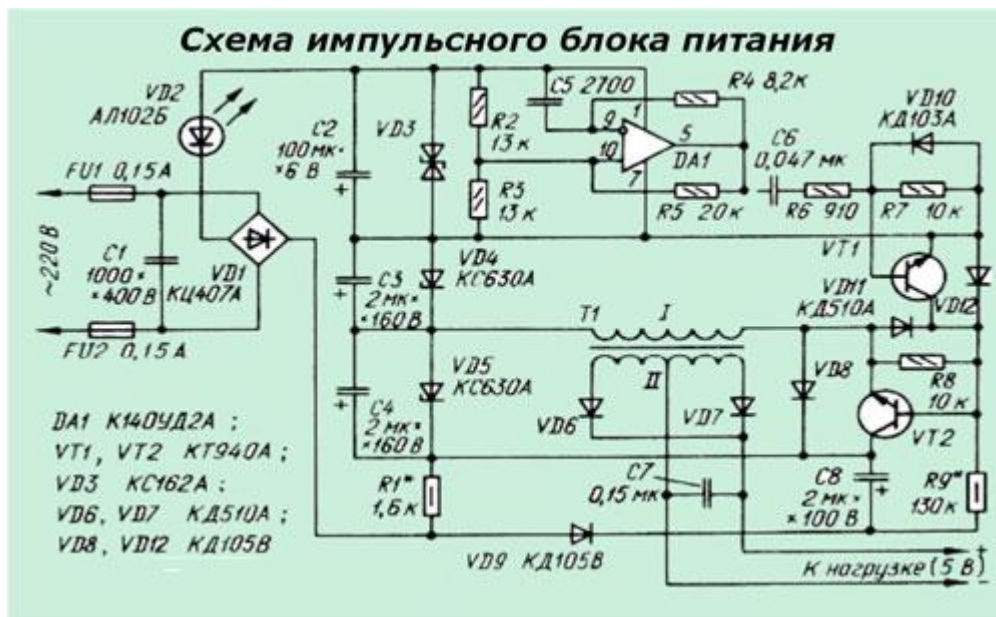


Рисунок 8. Принципиальная схема импульсного БП

На схеме можно заметить три обособленных цепи:

- ШИМ-контроллер
- силовые ключи, объединенные в один каскад
- импульсный трансформатор

#### Работа ШИМ-контроллера.

ШИМ – контроллер – это специализированное устройство, применяемое для слежения за определенным действием. В данной схеме ШИМ-контроллер управляет процессом преобразования напряжения. ШИМ-контроллер обеспечивает подачу специальных импульсов, которые будут одинаковы по частоте, но разные по времени подачи.

Выработку контроллером импульса можно приравнять к логической единице, отсутствие же подачи импульса – к нулю. Логические единица и ноль имеют одинаковые амплитуду и частоту, а также период колебаний. Для управления работой схемы необходимо изменять время включения определенного импульса, например, единицы, также можно менять отношение продолжительности включения импульса к общему периоду.

На рисунке 9 проиллюстрирован пример импульсов ШИМ контроллера.



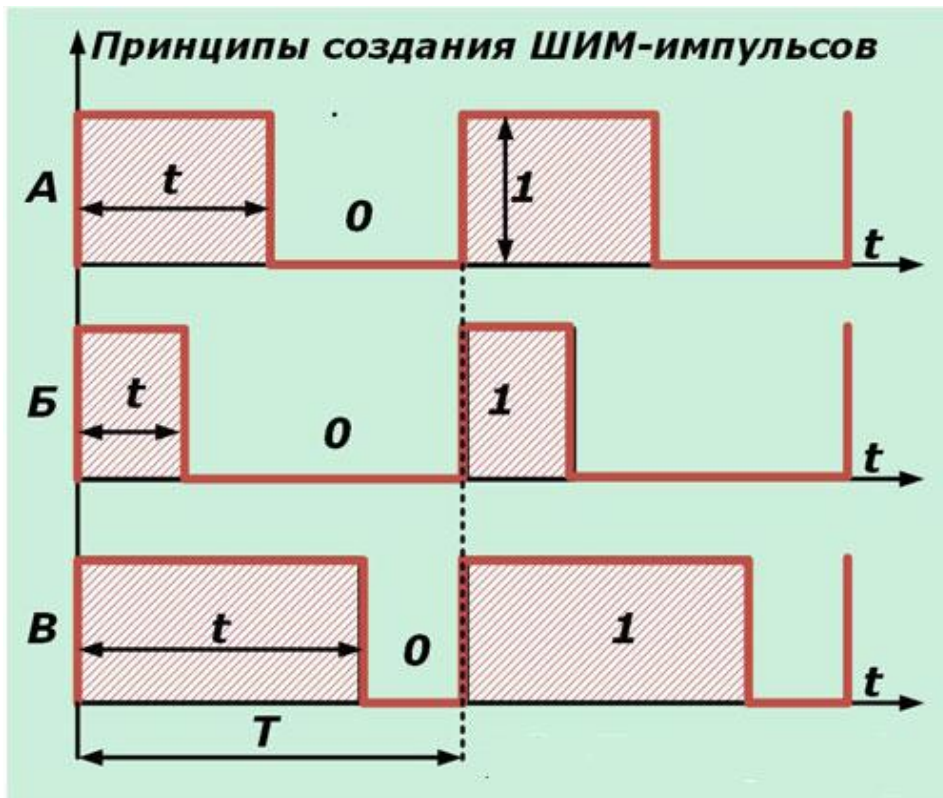


Рисунок 9. График изменения ШИМ-последовательностей

Обычная частота для ШИМ-контроллеров держится в районе 30-60 кГц.

Для примера рассмотрим вариант контроллера, исполненного на схеме TL494. В качестве схемы, управляющей настройкой частоты, применены резисторы с конденсаторами. Схема проиллюстрирована на рисунке 10.

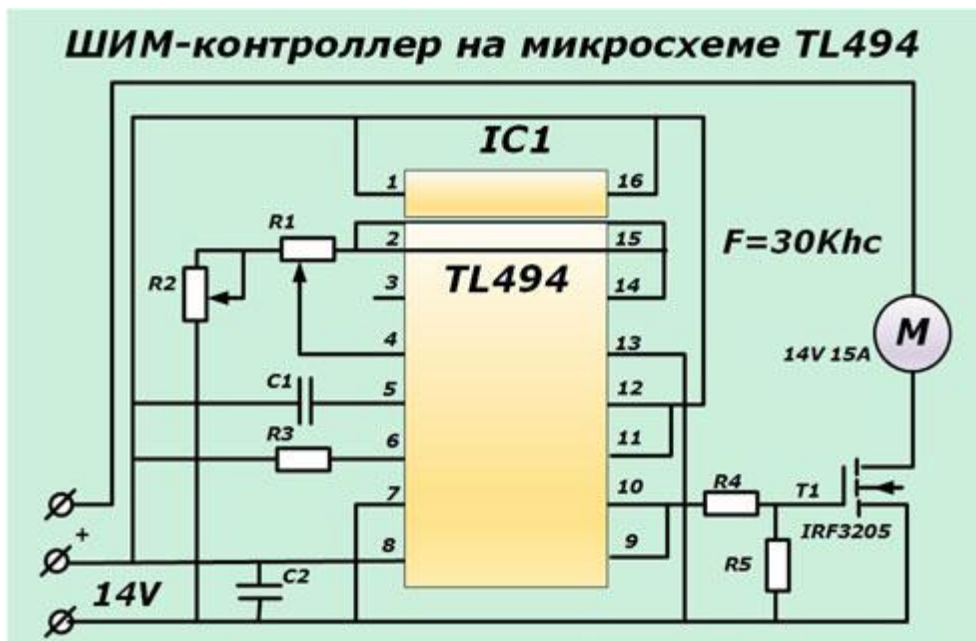


Рисунок 10. Пример сборки ШИМ-контроллера на микросхеме TL494

### Работа силовых ключей. выполненных в каскаде.

Внутри такого каскада из силовых ключей входят разнообразные и достаточно мощные транзисторы, которые могут быть, как биполярными, так и полевыми. В число транзисторов также входят IGBT модели. У силового каскада может быть собственная система управления, в которую будут тоже входить транзисторы, но уже меньшей мощности, или же, вместо транзисторов могут быть поставлены интегральные драйверы.

Тип включения ключей:

- по мостовой схеме
- по полумостовой схеме
- по схеме со средней точкой

### Работа импульсного трансформатора.

Такой трансформатор состоит из двух обмоток, первичной и вторичной, которые намотаны на магнитопровод. Магнитопровод выполняется из феррита или альсифера. Обмотки передают импульсы высокой частоты, значение которой достигает до 100 кГц. Также с импульсным трансформатором обычно идут вспомогательные схемы из разнообразных сглаживающих фильтров, выпрямляющих стабилизаторов, диодных мостов и др.

#### **1.1.3.2. Импульсный источник питания без гальванической развязки**

Импульсные источники питания, не имеющие в своей конструкции гальваническую развязку отличаются от своих собратьев с развязкой тем, что в своей схеме не используют импульсных разделительных трансформаторов. Напряжение поступает непосредственно на фильтр низких частот. На рисунке 11 проиллюстрирована схема подобного источника питания.



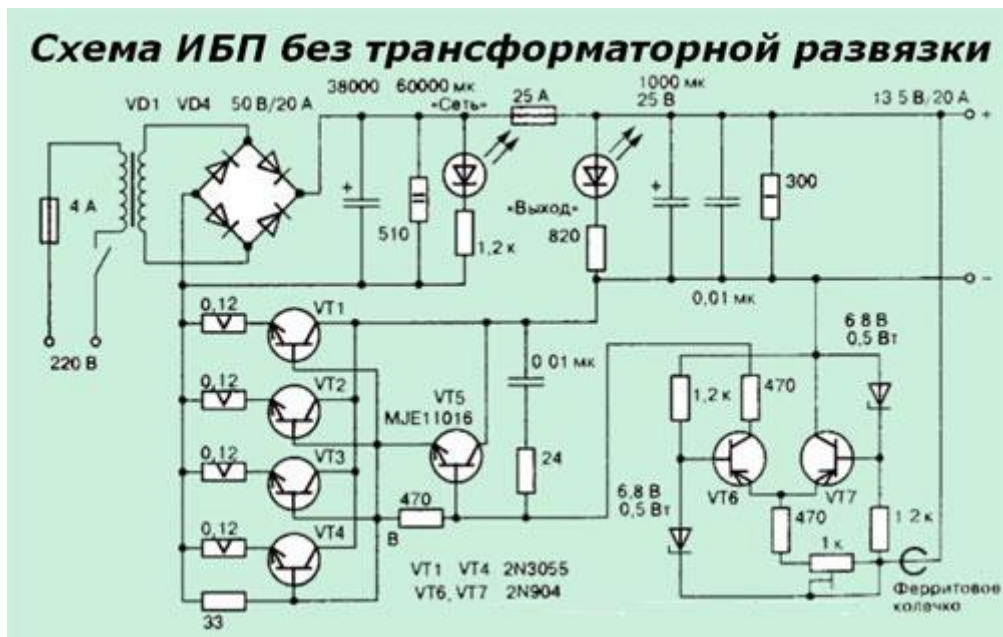


Рисунок 11. Схема импульсного блока питания без трансформаторной развязки

У стабилизации напряжения импульсным источником питания есть свои особенности.

Высокий уровень стабилизации напряжения на выходе у импульсных источников питания достигается за счет использования в конструкции отрицательной обратной связи, с определёнными выходными параметрами. Благодаря ООС при изменении нагрузки или колебаниях питающей сети, выходное напряжение остается по прежнему стабильным.

При добавлении ООС смотрят на исполнение источника питания. Разница заметна между блоками с гальванической развязкой и без:

- у блоков с гальванической развязкой происходит управление скважностью импульсов, которые в свою очередь поступают на вход ШИМ-контроллера. Управление происходит при помощи оптопары или же из-за промежуточного воздействия напряжения на выходе на одну из обмоток импульсного трансформатора.
- у блоков без гальванической развязки ООС выполнена в виде резистивного делителя напряжения.

## **1.2. Тепловые режимы модулей питания.**

### **1.2.1. Механизмы теплопередачи.**

Разработка конструкции импульсных источников питания имеет свои определенные аспекты, которые следует учитывать. Например, тепловые потери внутри модулей. Благодаря большому коэффициенту полезного действия (КПД), который составляет от 75% до 85%, одна треть от мощности, которая должна попадать на нагрузку, уходит в тепловые потери. Очень важно заниматься отводом тепловыделения, так как без подобных действий работа импульсных источников питания быстро заканчивается. Для того, чтобы отвести тепло от ИП можно использовать несколько типов теплопередач, и создать на их основе систему охлаждения. Среди типов теплопередач можно выделить:

- излучение
- теплопроводность
- конвекцию

#### **Излучение.**

В данном типе теплопередачи всю роль в перемещении энергии играют электромагнитные волны. Они излучаются нагретыми телами, при этом температура излучающих тел должна быть выше температуры окружающей среды. Благодаря тому, что излучение не требует какого-либо посредника в теплопередаче, то перемещение энергии возможно даже в вакууме. При создании конструкции теплопровода часто используют материалы с черной и матовой поверхностью. Все дело в степени черноты дело, чем большая степень, тем сильнее будет излучение/поглощение.

В том случае, когда теплопровод расположен рядом с какой-либо другой поверхностью, в свою очередь излучающую энергию на много больше, чем черный теплопровод, то черная поверхность будет больше поглощать тепла, чем отдавать. То тепло, которое излучается посредством теплопередачи, является очень малой частью передачи энергии от других способов теплопередачи, примерно 1/10 от них. Поэтому при расчете

тепловыделения излучением пренебрегают или же включают его, как запас температуры теплопровода. Однако, в том случае, когда рядом источником питания нет других поверхностей, превышающих его по выделению тепла, то на радиаторах источника питания можно использовать чернение, добиваясь того химическим или гальваническим путем.

### **Теплопроводность.**

Теплопроводность – это своеобразное качество материала, которое придает ему возможность передачи энергии в виде тепла через свое вещество от более нагретого слоя к менее нагретому. Передача энергии таким способом будет зависеть от свойств материала, точнее от его коэффициента теплопроводности. Данный коэффициент имеет размерность в Вт/(м·К) или Вт/(м·°С). Характеризуется прохождением некоего количества тепла через единицу поверхности за единицу времени с падением температуры на один градус на единицу толщины вещества. Среди веществ наибольшим показателем теплопроводности будут обладать металлы, так как внутри их материала энергия передается путем движения свободных электронов. Меньшим показателем теплопроводности обладают газы, а безвоздушное пространство – вакуум вообще не передает тепла таким способом.

### **Конвекция.**

Конвекция – это способность жидкости или газа перемещать энергию при помощи движения своего вещества. Среди конвекций различают естественную и вынужденную. Естественная конвекция происходит при нагреве слоев вещества. Нижние слои, получая энергию и нагреваясь, будут подниматься вверх. Верхние, отдавая энергию и остужаясь, будут опускаться вниз. Вынужденная конвекция отличается от естественной тем, что перемещение слоев происходит под влиянием внешних сил, например, вентилятора, опухала, насоса и пр.

### **1.2.2. Расчет теплового режима модуля питания.**

При расчете тепловых режимов различных источников питания первым делом необходимо произвести расчет тепловых потерь данного источника в

ваттах. Показателем тепловых потерь служит мощность тепловых потерь  $P_{diss}$ , которую, в свою очередь, рассчитываем по следующей формуле:

$$P_{diss} = \frac{P_{out}}{\eta} - P_{out},$$

где  $P_{out}$  — выходная мощность модуля питания, Вт;  $\eta$  — КПД модуля.

Однако, расчетом дело не заканчивается. Для более наглядного определения тепловой мощности, можно использовать экспериментальный метод. В этом случае необходимо измерить значения тока и напряжения на входе и выходе, при этом прибор должен работать в тех условиях эксплуатации, при которых он будет после работать в штатном режиме. После рассчитываем мощности и по их разности определяем мощность тепловых потерь.

В итоге получается, что при первоначальном выборе прибора, необходимо внимательно рассмотреть зависимости его КПД от условий эксплуатации: температурных и электрических режимов.

Вторым шагом при выборе теплового режима источника питания является определение его максимального теплового сопротивления теплоотводящей системы:

$$R_{max} = \frac{T_{max} - T_{amb}}{P_{diss}},$$

где  $T_{max}$  — максимально допустимая температура корпуса модуля питания;  $T_{amb}$  — температура окружающего воздуха при эксплуатации источника питания.

Сопротивление рассчитывают тогда, когда определена мощность, которую необходимо отвести от прибора. От этого значения зависит, насколько больше этот источник питания будет нагреваться, чем окружающая среда.

При расчете значения максимального теплового сопротивления его сравнивают с тепловым сопротивлением «корпус модуля — окружающая среда», которое обычно указывается разработчиком источника питания в технической документации. В том случае, когда рассчитанное значение будет

больше, чем указанное в документации, то можно смело забыть о радиаторе, так как отвод тепла будет производиться непосредственно с площади корпуса прибора.

Особое внимание следует уделить тем производителям источников питания, которые в своей документации будут указывать «тепловые кривые» - это кривые снижения максимальной мощности на выходе источника питания без применения дополнительного отвода тепла, в зависимости от температуры среды снаружи. Остальные производители ограничиваются добавлением в техническую документацию только значения максимальной температуры корпуса, а также описывают требования по тепловым режимам источника питания. Однако обеспечить необходимое охлаждение источника питания – целиком задача самого пользователя.

Тепловая кривая имеет часть, характеризующаясь своеобразным спадом в области повышенных температур. Этой части тепловой кривой соответствует температура корпуса  $T_{max}$ . Данную температуру корпуса необходимо рассматривать во вторую очередь, при подборе источника питания и анализе его тепловых режимов.

Используя спадающую часть тепловой кривой можно заметить некую точку, к которой и стремится спадающая часть. Это точка нулевой мощности. Данное значение так же важно при выборе источника питания. Температура в точке нулевой мощности может показать, насколько элементная база выбранного прибора соответствует заявленным тепловым режимам, покажет сложность применяемых схем и выявит ошибки при конструировании и расчетах тепловых режимов данного источника питания.

В том случае, когда стоимость элементов схемы источника питания не соответствует заявленной нулевой точке, то можно судить, что производитель халатно подошел к расчетам тепловых режимов продукта.

Подходим к выбору конструкции радиатора. Часто бывает, что конструкция зависит от расположения источника питания в приборе, поэтому

иногда в качестве радиатора используют шасси или стенку прибора. Для начала оцениваем площадь радиатора из алюминия по следующей формуле:

$$S_{heatsink} \approx \frac{20 \times 35 \times P_{diss}}{T_{max} - T_{amb}},$$

где  $P_{diss}$  — мощность тепловых потерь, Вт;  $T_{max}$  — максимально допустимая температура корпуса модуля питания, °С;  $T_{amb}$  — температура окружающего воздуха, °С. Если источник питания перегревается на 3 градуса выше температуры срезы вокруг, то для него будет необходим радиатор с площадью в 20 квадратных сантиметров на каждый ватт мощности, рассеиваемой прибором через радиатор.

При установке источника питания в приборе обязательно обращаем внимание на его установку внутри корпуса. Воздушный поток, являющийся либо конвекционным или принудительным должен без особых препятствий охлаждать поверхность радиатора или корпуса самого источника питания. При этом лучше будет, если нагретый воздух быстро покинет теплоотводящую зону радиатора или корпуса.

Отдельное значение в режимах тепловыделения приборов играет переход от корпуса источника питания к радиатору. Обычно поверхность соприкосновения корпуса и радиатора смазывают специальной термопастой, которая обеспечивает снижение теплового сопротивления. Смотрят на площадь контакта поверхностей, равномерность распределения пасты по поверхности и толщину слоя.

Для того, чтобы была возможность отказаться от применения теплоотводящей системы или хотя бы уменьшить ее размеры, можно использовать принудительную конвекцию, которая получается при включении вентилятора в систему охлаждения источника питания. Если вентилятор разгоняет поток воздуха до 1м/с, то такой поток проходя через теплоотводящую поверхность источника питания, будет уменьшать тепловое сопротивление практически в два раза, что практически в два раза увеличит

эффективную площадь теплоотвода по сравнению с прошлым примером теплоотвода.

Из-за того, что в расчетах системы охлаждения применяется довольно большое количество разнообразных параметров, то тепловые расчеты становятся сложной и неточной задачей, но правильном подходе и знании физических процессов внутри охлаждающей системы, можно качество рассчитать все, что необходимо для отвода лишено тепла от источника питания.

### **1.2.3. Пример реализации защиты блока питания от перегрева с использованием термостатов.**

Компьютерные блоки питания обладающие большой мощностью достаточно часто при длительном использовании, и при работе, когда ток нагрузки близок к максимальному, могут перегреться. Такое перегревание грозит привести к выходу из строя различным элементам блока питания, как, например, стабилизатор, из-за его в свою очередь выходят из строя устройства, питаемые этим блоком питания. Подобная проблема проскальзывает при работе самых различных блоков питания, как отечественного, так и зарубежного производства, выполненных, как на коленке, так и на заводах.

Среди причин данных проблем можно выделить несколько: излишнее напряжение, подаваемое сетью, превышение температурных характеристик эксплуатации, грязь и пыль на радиаторах, а также малая площадь теплоотвода самих радиаторов, небольшие емкости конденсаторов в сглаживающем фильтре, недостаточность обдува системой охлаждения и тд.

Из всех этих причин можно выделить главный недостаток – плохо рассчитанный температурный режим, а в следствии чего неправильный сбор устройства и ухудшение условий эксплуатации. Обычно проблемы возникают из-за замены компонентов на другие с меньшей стоимостью. Решается все это установкой системы охлаждения, в которую может входить вентилятор, включающийся при определенной температуре, например, при

пятидесяти или шестидесяти градусах, а также с специальной схемой защиты, которая при превышении температуры, например, до семидесяти или восьмидесяти градусов будет отключать нагрузку.

Система, отключающая нагрузку, очень просто собирается на биметаллических термореле, которые будут включаться при замыкании. Однако, такие реле трудно достать, поэтому в связи с тем, что сейчас в продаже появилось достаточно много термостатов, которые работают на размыкание, можно собрать подобную систему защиты, используя такие термореле.

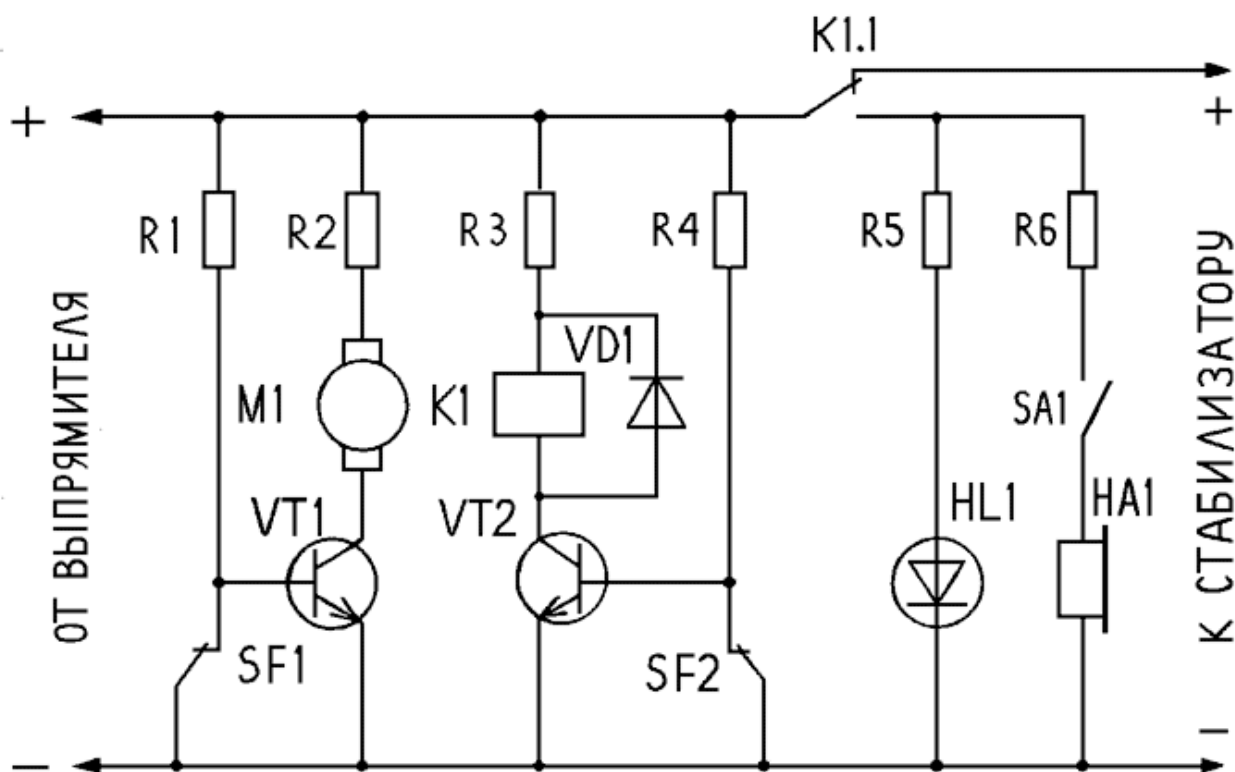


Рисунок 12. Схема защиты БП

Рассмотрим работу системы защиты при нагреве радиатора блока питания до 50 градусов. В этом случае термостат SF1 разомкнет свои контакты, при этом транзистор VT1 будет открываться, чем и спровоцирует включение вентилятора M1. Если температура на радиаторе начинает снижаться, происходит обратное: контакты SF1 смыкаются, а вентилятор M1 будет выключен. В случае же, когда температура на радиаторе блока питания все-таки продолжает повышаться из-за того, что, например, может выйти из



строю вентилятор M1, то при достижении температуры на радиаторе источника питания в 70 градусов, будут разомкнуты контакты термостата SF2, после чего открывается уже транзистор VT2. Из-за того, что транзистор VT2 отключен, реле K1 при помощи своих контактов K1.1. сможет отключить от схемы выпрямления стабилизатор и нагрузку. Для оповещения о критической ситуации будет зажжен светодиод HL1 и зазвучит зуммер HA1, который, в свою очередь, отключается в случае необходимости при помощи тумблера SA1. Стоящие рядом с транзисторами резисторы R1 и R4 позволяют транзисторам работать в режиме насыщения.

Резисторы R2-3-5-6 используются для установки токов у M1, K1, HL1, SA1. Для того, чтобы трансформатор блока питания был защищен от излишнего перегрева, то можно последовательно с термостатом SF2 поставить еще один термостат, который будет настроен на температуру обмотки этого трансформатора.

Для обеспечения охлаждения радиаторов вполне реально поставить вентиляторы от блока питания или вентиляторы, которые ставятся на процессоры компьютеров. По выбору термостатов можно остановиться на таких моделях, как В-1009N или T24, KSD301 и тому подобное. Установка этих термостатов обязательна на радиаторах или же рядом с наиболее тепловыделяющим элементов схемы источника питания. В качестве реле K1 можно подобрать любое реле, главное, чтобы оно качественно работало от самого маленького напряжения выпрямителя и могло проводить наибольший ток блока питания. Транзисторы возьмем какие угодно, главное, чтобы проводили рабочие токи от M1 и K1. То же самое можно сказать и про такие элементы схемы, как зуммер, светодиод и тумблер. В том случае, когда в наличие существует такое реле, имеющее большие рабочие токи, то нахождение реле K1 в схеме нецелесообразно. Вместо K1 в схему включают термостат. Схема сигнализации в этом случае будет работать при включении контактов термостата.

Для обеспечения надежности схемы следует предположить коммутируемых ток термостатов. Из-за того, что термостаты работают преимущественно на переменном токе, следует учитывать, что при двадцати или сорока вольтах напряжения питания, термостат сможет коммутировать только двадцать или тридцать ампер постоянного тока. Улучшение надежности достигается так же включением двух термостатов параллельно.

Перейдем к настройке схемы. Система сигнализации регулируется резисторами R2, R3, R5, R6, которые задают рабочие токи для компонентов. Токи должны соответствовать напряжению с выпрямителя блока питания. Резисторы R1 и R4, как написано выше, задают режим насыщения транзисторов. А проверить срабатывание термостатов можно проведя небольшой эксперимент с нагреванием их феном.

Качество работы системы защиты проверяется следующим образом. К блоку питания подключается такая нагрузка, которая сразу будет потреблять максимальный ток. Чем и спровоцирует нагрев радиатора. При срабатывании первого термостата и включения вентилятора для охлаждения радиатора, этот вентилятор необходимо отпаять и дождаться, когда сработает второй термостат, запустив так же систему сигнализации, после чего нагрузка должна отключиться. Эксперимент ускоряется при дополнительном нагреве радиатора. А температуру радиатора необходимо проверять при помощи специального цифрового термометра или мультиметра.

#### **1.2.4. Пример реализации защиты блока питания от перегрева с использованием терморезистора**

Терморезистор, имеющий разновидности под названиями термистор или позистор - это радиоэлектронная деталь, сопротивление, принцип работы которого состоит в изменении его электрического сопротивления в зависимости от температуры. Терморезистор изготавливается на основе полупроводниковых материалов, реагирующих на изменения температуры и данный материал должен обладать высоким ТКС (температурным коэффициентом сопротивления).

Использование терморезисторов в схемах терморегуляции источников питания – довольно простое и эффективное решение проблемы перегрева, позволяет создавать разнообразные схемы для защиты ИП.

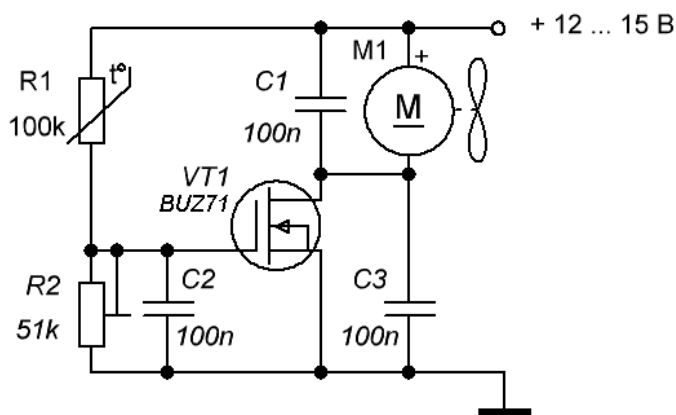


Рис. 13. Применение термистора в схеме управления обдувом в БП

Напряжение управления с резистивного делителя подается на затвор. R1 – терморезистор NTC, резистором R2 подстраиваем порог срабатывания схемы. При открывании транзистора напряжение питания прикладывается к вентилятору, в зависимости от нагрева термистора R1.

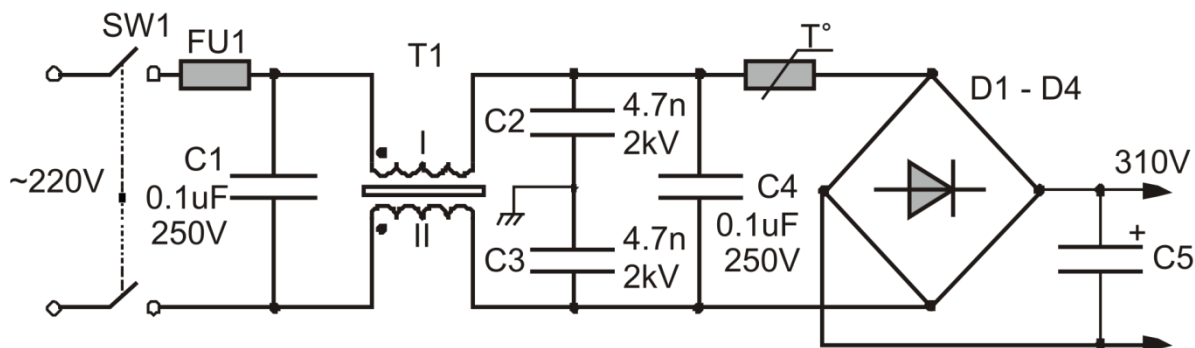


Рис. 14. Применение термистора в схеме БП для ограничения входного тока

Работа терморезистора с отрицательным ТКС заключается в том, что он может ограничивать огромный начальный ток, который должен пройти через конденсатор C5. Этот ток при включении блока питания в сеть будет протекать через диодный мост и может в худшем случае спалить зарядный конденсатор. Так же будут выведены из строя некоторое количество диодов

моста. Терморезистор в холодном состоянии будет ограничивать большой ток диодного моста, а при нагревании уменьшит свой номинал и перестанет влиять на работу схемы.

### **1.2.5. Методика измерения элементов блока питания**

#### **1.2.5.1. Измерение с использованием ВАХ полупроводникового диода**

Для того, чтобы качественно определить значение абсолютной температуры  $T$ , имеет большую вероятность быть успешным измерение ВАХ у полупроводникового диода.

Температуру мы будем определять из графика зависимости  $\ln I = f(V)$  для прямого тока. для построения ознакомился со следующими формулами:

$$\ln I = \ln I_0 - \frac{\varepsilon_g}{kT} + \frac{eV}{kT}$$

Здесь  $\ln I$  будет линейной функцией напряжения  $V$  из-за того, что в диодах, то есть в р-п переходах прямой ток обычно намного больше тока насыщения. Формулу выше мы получили из следующей формулы, применив рассуждения о величине прямого тока:

$$I - I_{\text{нас}} = I_0 \exp\left(-\frac{\varepsilon_g}{kT} + \frac{eV}{kT}\right)$$

После того, как мы построим график  $\ln I = f(V)$ , сможем найти по формуле ниже угловой коэффициент наклона графика, из которого, в свою очередь, будет определена и искомая абсолютная температура  $T$ .

$$M = \frac{d \ln I}{dV} = \frac{e}{kT}$$

Выражаем температуру:

$$T = \frac{e}{kM}$$

Такое измерение абсолютной температуры возможно даже без предварительной настройки термометра, однако довольно трудное и не особо применимое.

### **1.2.5.2. Измерение с использованием р-п перехода в режиме постоянного тока при прямом включении**

Следующий способ измерения температуры частично берет у прошлого, но добавляет свое. В данном способе мы будем измерять температуру при помощи того же р-п перехода, однако, это будет происходить в режиме постоянного тока и при прямом включении.

Используя ту же самую формулу:

$$I - I_{\text{нас}} = I_0 \exp\left(-\frac{\varepsilon_g}{kT} + \frac{eV}{kT}\right)$$

замечаем, что так как ток  $I$  намного больше тока насыщения, то в случае, когда ток  $I$  будет константой, напряжение на диоде будет равно линейной функции от температуры. При этом напряжение  $V$  станет отличным параметром для определения термометрических характеристик:

$$V = \frac{kT}{e} \ln \frac{I}{I_0} + \frac{\varepsilon_g}{e} = AT + B$$

$A$  – константа, которая зависит от сопротивления проводника. Она отрицательна из-за уменьшения сопротивления проводника при повышении температуры. Из-за всего этого напряжение на проводнике при прохождении через проводник постоянного тока будет уменьшаться. Так же константа  $A$  не зависит от температуры. Значения  $A$  и  $B$  измеряются при настройке датчика температуры, после применяются для измерения температуры проводника. Значения нулевого тока и  $\varepsilon_g$  так же поначалу не известны.  $\varepsilon_g$  – это ширина запрещенной зоны проводника, определяется при помощи константы  $B$ .

Говоря о датчиках температуры, можно сказать, что в виде их могут быть использованы такие элементы, как кремниевые или германиевые диоды.

### **1.2.5.3. Измерение с использованием полупроводниковых резистивных датчиков**

Говоря о датчиках температуры следует упоминать и о терморезисторах. Также называемые термисторами, эти полупроводниковые

сопротивления выполнены из различных полупроводниковых окислов, таких как TiO, MgO и других, которые в ряде своих характеристик имеют большую зависимость сопротивления от температуры.

У термисторов достаточно большой коэффициент сопротивления от температуры, выражающийся в следующей формуле:

$$\alpha = -\frac{1}{R} \frac{dR}{dT}$$

где R – сопротивление резистора.

Температурный коэффициент термисторов намного больше аналогичных коэффициентов у металлов, составляет порядка 0,05-0,1 К<sup>-1</sup>. Термисторы просты в изготовлении, имеют множество форм исполнения, маленькие габариты и имеют возможность работать при больших механических нагрузках. Среди форм термисторов можно выделить такие, как: трубки и стержни, разнообразные шайбы и диски. Изготавливаются из мелкого металлического порошка. Обычно имеют габариты в пределах от 1–10 мкм до 1–2 см.

Не смотря на множество преимуществ с простотой изготовления и размерами имеют большой недостаток, который выявляется в нелинейности зависимости сопротивления термистора от температуры, которую можно увидеть из формулы ниже:

$$R = R_0 \exp \left[ C \left( \frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right) \right]$$

где C – константа, T и T<sub>0</sub> – температуры в градусах Кельвина, R и R<sub>0</sub> – сопротивления термистора при температурах T и T<sub>0</sub> соответственно.

Для того, чтобы начать проводить измерения при помощи термистора, его необходимо проградуировать перед использованием. Однако, не смотря на нелинейность, термисторы так же славятся большой точностью измерений и удобством установки в схеме устройств.

### 1.2.6. Пример эксперимента по измерению температуры элементов БП с использованием диода Д-814

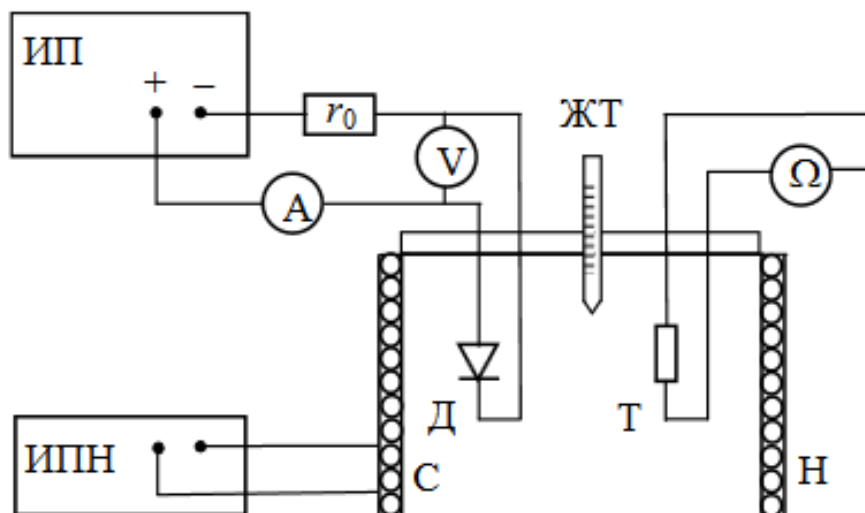


Рисунок 15. Схема проведения эксперимента по измерению температуры элемента.

Изучаемые элементы (Д – кремниевый диод Д-814 (диод может быть заменен на тот элемент БП, нагрев которого потребуется измерить) и Т – терморезистор типа Т8Р) помещены в латунную капсулу С, заполненную глицерином, который увеличивает теплообмен со стенками капсулы.

На капсулу намотан спиральный нагреватель Н, подключенный к независимому источнику напряжения ИПН. Одновременно в капсулу с глицерином помещен жидкостный термометр ЖТ, по показаниям которого можно независимо определять температуру в капсуле при градуировке изучаемых термометров. Нагреватель Н используется ситуативно. Если вместо диода поставить, например, трансформатор БП, то он сам будет нагревать жидкую среду, и дополнительный нагреватель может быть только использован для градуирования термистора.

## **2. Практическая часть.**

### **2.1. Силовые транзисторы импульсного блока питания IP – S350Q2-0 и расчет тепловой характеристики радиатора для них.**

#### **2.1.1. Силовые транзисторы импульсного блока питания.**

В блоке питания современного компьютера существует несколько компонентов влияющих на тепловой режим устройства. Самым выдающимся, конечно, является силовой импульсный трансформатор. Силовым его назвали потому, что именно он преобразует 220В переменного напряжения сети в 5В или 12В, которыми питаются другие компоненты компьютера.

Так же в схеме блока питания включены силовые транзисторы. Они присутствуют в схеме высокочастотного преобразователя или инвертора. Данная часть схемы является посредником между сетевым выпрямителем, который выпрямляет сетевое напряжение, и выходными выпрямителями, которые выпрямляют малые гармоники низковольтного напряжения; так же выходные выпрямители отвечают за стабильность и фильтрацию.

На рисунке 15 проиллюстрированы силовые высоковольтные транзисторы с радиатором.





Рисунок 16. Силовые транзисторы

Обычно силовые транзисторы являются биполярными, однако, существует возможность постановки полевых MOSFET транзисторов. В схеме преобразователя они будут поочередно открываться, при этом частота открытия составит несколько десятков кГц. Так же рядом с силовыми транзисторами обычно ставится согласующий трансформатор. Он меньше по габаритам, чем силовой, и является промежуточным между транзисторами и управляющей микросхемой ШИМ-контроллера.

Так как силовые транзисторы пропускают через себя ток огромной силы, нагрев корпуса не заставляет себя ждать. Поэтому для охлаждения силовых транзисторов предусмотрен отдельный радиатор.

На рисунке 16 представлена внутренняя схема транзистора, а на рисунке 17 – особенности крепления транзистора к радиатору.

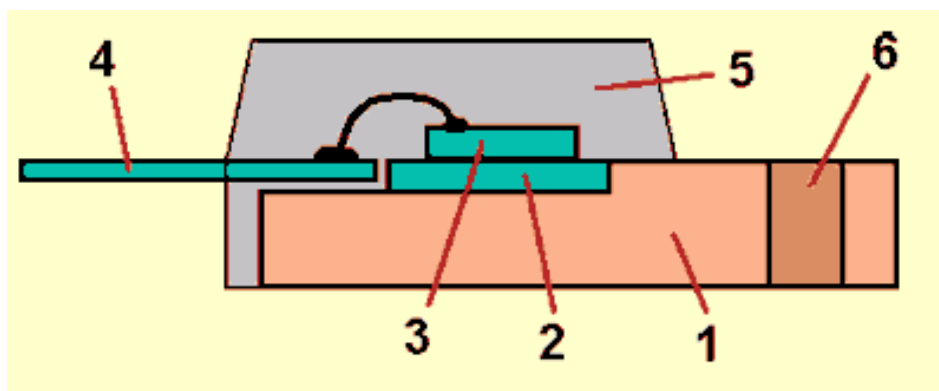


Рисунок 17. Внутренняя схема транзистора

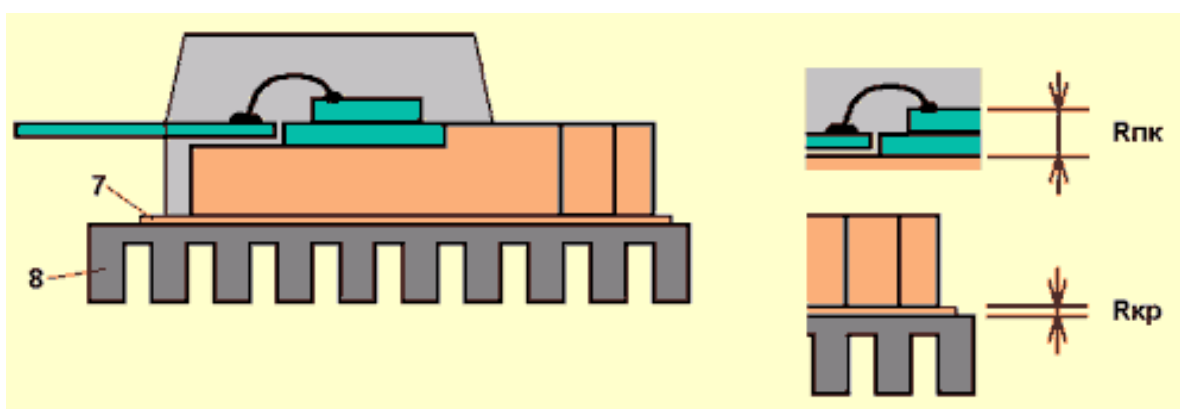


Рисунок 18. Крепеж транзистора к радиатору

- 1 – медное основание из фланца
- 2 – подложка
- 3 – кристалл
- 4 – выводы к плате
- 5 – компаунд из пластика
- 6 – отверстие для крепежа радиатора
- 7 – специальная прокладка
- 8 – радиатор

$R_{пк}$  – тепловое сопротивление между кристаллом и корпусом

$R_{кр}$  – тепловое сопротивление между корпусом и радиатором

От  $R_{пк}$  зависит, насколько эффективно будет передаваться тепло от кристалла к фланцу транзистора.  $R_{кр}$  отвечает за эффективность передачи тепла от фланца к радиатору.

### 2.1.2. Радиаторы силовых транзисторов

Охлаждение бывает двух типов - конвекционное и принудительное. В первом случае радиаторы будут установлены вне корпуса приборов.

Радиаторы принудительного охлаждения имеют больше охлаждающих «зубцов» и устанавливаются непосредственно рядом с элементом, с которого необходимо отвести тепло. К корпусу устройства, в схеме которого присутствуют радиаторы принудительного охлаждения, обязательно крепится вентилятор. На рисунках 18 и 19 проиллюстрированы примеры радиаторов конвекционного и принудительного охлаждения.



Рисунок 19. Радиатор конвекционного охлаждения



Рисунок 20. Радиатор принудительного охлаждения

Между ребрами существует достаточно большой зазор, который позволяет проходить между ними мощному воздушному потоку, и обеспечивает хорошую теплоотдачу. На радиатор, представленный на рисунке 20 сверху ребер будет установлен вентилятор, для подачи воздуха на ребра.

Радиаторы имеют две основные характеристики, одна из которых – это площадь поверхности радиатора, а вторая – коэффициент теплового сопротивления между радиатором и средой. Данный коэффициент определяет, на какое значение будет увеличена температура воздуха, который уходит от поверхности радиатора, в том случае, если мощность тепловыделения увеличится на один ватт.

Помимо разделения по типу охлаждения, радиаторы могут различаться площадью, конструкцией, изготовлением и эффективностью.

Поговорим о конструкции. Одним из самым простых будет радиатор в виде пластины. По форме в идеале такой радиатор должен быть выполнен в



виде круга, после по эффективности идут квадрат и прямоугольник. Такой радиатор представлен на рисунке 20.

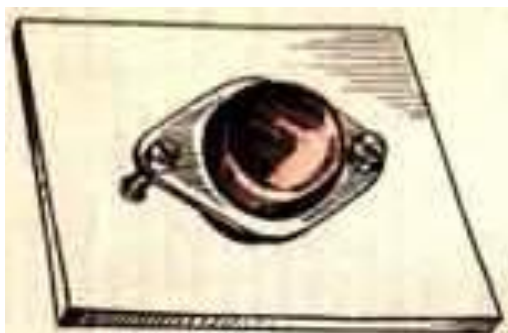


Рисунок 21. Пластинчатый тип радиатора

Усовершенствованный пластинчатый теплоотвод представляет собой набор из нескольких пластин, загнутых в разные стороны. Этот радиатор при площади поверхности равной простейшему пластинчатому имеет меньшие габариты.

Устанавливается такой теплоотвод аналогично пластинчатому. Количество пластин может быть различным - в зависимости от необходимой поверхности.

Этот тип радиатора имеет и недостатки: пониженную эффективность отвода тепла от всех пластин, а также невозможность получения идеально прямой поверхности в местах соединения пластин между собой. Для изготовления пластинчатых радиаторов следует использовать пластины с толщиной не менее 1,5 (лучше - 3) миллиметров. На рисунке 21 проиллюстрирован усовершенствованный пластинчатый радиатор.

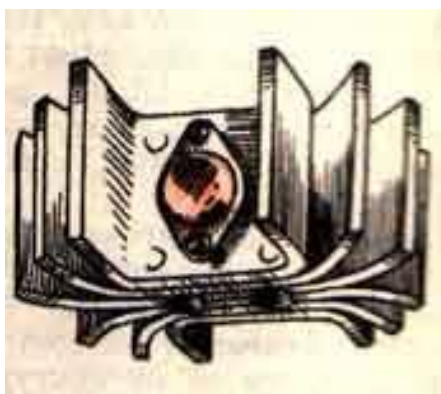


Рисунок 22. Усовершенствованный пластинчатый радиатор.

Ребристый радиатор - обычно цельнолитой, либо фрезерованный - может быть с одно или двухсторонним оребрением. Двухстороннее оребрение позволяет увеличить площадь поверхности. На рисунке 22 проиллюстрирован ребристый радиатор.



Рисунок 23. Ребристый радиатор

Наиболее действенным из всех перечисленных считается штыревой (или игольчатый) радиатор. При наименьшем размере подобный радиатор содержит наибольшую эффективную площадь рассеивания. Материалом для радиаторов как правило работает алюминий и его сплавы. Наилучшей эффективностью владеют теплоотводы, произведенные из меди, но авторитет и цена этих радиаторов повыше, чем у дюралевых.

Полупроводниковый устройство крепится на теплоотвод при поддержке особых фланцев. В случае если нужно изолировать устройство от радиатора - используются всевозможные изоляционные прокладки. Использование прокладок понижает эффективность передачи тепла от кристалла, в следствие этого, в случае если есть вероятность - чем какого-либо другого изолировать теплоотвод от шасси системы.

Для больше действенного отвода тепла плоскость, которая соприкасается с полупроводниковым устройством, обязана быть ровной и

гладкой. Для увеличения производительности используются особые термопасты (например, "КПТ-8").

Использование термопаст содействует сокращению термического сопротивления участка "корпус - теплоотвод" и позволяет несколько снизить температуру кристалла. В качестве прокладок используют слюду, всевозможные пленки из пластмассы, керамику. Кое-какие забугорные массивные транзисторы выпускаются в изолированном корпусе - подобный транзистор возможно укреплять именно к теплоотводу без использования каких-либо прокладок (но это не ликвидирует использования термопаст).

### **Замечания о радиаторах.**

1. Принудительно воздушное охлаждение – отличный вариант для схем, которые работают на огромных мощностях, а тепловыделение таких схем требует хорошей системы охлаждения. Для таких случаев специально разрабатываются и создаются гигантские радиаторы, имеющие небольшое сопротивление радиатор-окружающая среда, всего около  $0.05 - 0.2 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{Вт}$ .
2. Бывает, что возникла необходимость для того, чтобы транзисторы, с которых отводятся мощности, были гальванически изолированы от радиаторов, которые отводят тепло. Эта мера сама по себе довольно важна, а с размещением нескольких транзисторов на одном радиаторе, то и вовсе необходима. При размещении нескольких транзисторов на радиаторе, между приборами устанавливают специальные прокладки, так же вкладыши просовывают между корпусом и монтажными винтами. Эти прокладки изготовлены специально под корпуса транзисторов из обработанной слюды, алюминия и двуокиси бериллия. При использовании вместе с прокладками из слюды специальной термопасты, сопротивление между транзисторами увеличивается от  $0,14 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{Вт}$  (бериллиевые) до  $0,5 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{Вт}$ . Альтернативой совмещению термопасты и слюды служат

кремнийорганические изоляторы, которые не имеют специальной термопасты, но включают в себя теплопроводные компаунды. Такие изоляторы отличаются тем, что удобны в установке, не требуют смазывания, чистые и сухие. На их установки и замену требуется мало времени. Температурное сопротивление таких изоляторов колеблется между 0,2 - 0,4 °C/Вт, что практически аналогично варианту с термопастой и прокладкой из слюды. Среди компаний, производящих изоляторы можно выделить Bergquist с изоляторами «Sil-pad», Chomerics с изоляторами «Cho - Therm» и другие.

3. В том случае, когда требуется установить радиатор на компонент схемы с рассеиваемой мощностью не более нескольких ватт, существует возможность установки специальных радиаторов в виде простых насадок на корпус элемента. Такие радиаторы позволяют без проблем установить себя на мелкие элементы схемы без подключения транзистора или другого элемента к громоздкому радиатору, от которого после придется тянуть провода обратно к схеме. Многие такие маленькие радиаторы крепятся прямо на пластмассовый корпус транзисторов, стабилизаторов и прочих элементов, имеющих такой корпус.
4. В том случае, когда конструктивно не играет роли, будет ли корпус общего устройства оставаться холодным или нет, можно разместить крепление транзистора прямо на него или на шасси. Однако, при таком креплении корпус будет значительно нагреваться, и этот нагрев может повлиять на работу других составляющих схемы, так же это уменьшит сроки службы элементов.
5. Бывает, что силовой транзистор может быть прикреплен на радиатор без особой изоляции. В таком случае надобно, чтобы радиатор был изолирован от шасси. Здесь пригодятся изолирующие прокладки тогда, когда корпус транзистора вообще не заземлен. Однако, тогда, когда транзистор изолирован от радиатора, то последний можно



крепить прямо на шасси, это не сделает непогоды. При выступании части транзистора за корпус, следует изолировать его, во избежание короткого замыкания на землю.

- б. Для того, чтобы радиатор эффективно отводил подаваемую на него тепловую мощность, необходимо устанавливать его так, чтобы воздух беспрепятственно обдувал ребра радиатора. В этом случае температурное сопротивление радиатор-среда будет минимальным, однако при неправильной установке радиатора, оно будет увеличиваться, что приведет к перегреву и уменьшению эффективности рассеивания тепла радиатором.

### **2.1.3. Расчет и построение тепловой характеристики радиаторов транзисторов импульсного блока питания IP – S350Q2-0.**

Импульсный блок питания компьютера включает в себя не только разнообразные радиаторы, но и вентилятор. Из данного условия видно, что тепловую характеристику радиатора силовых транзисторов необходимо рассчитывать для принудительного воздушного охлаждения.

На рисунке 23 красными прямоугольниками выделены радиаторы силовых транзисторов, чьи размеры приведены в таблице 1 ниже.

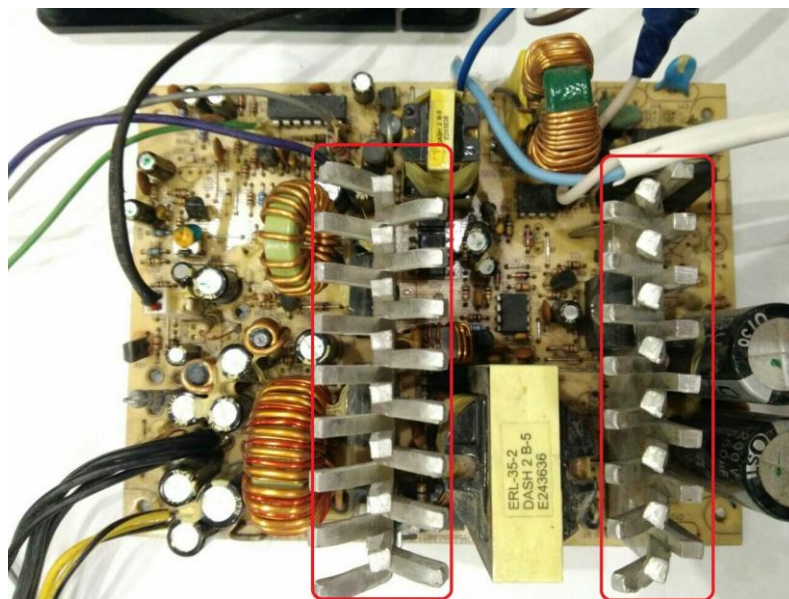


Рисунок 24. Схема БП с выделенными красным радиаторами силовых транзисторов

После всех необходимых геометрических измерений приходим к следующим размерам будущего радиатора, что приведены в таблице 1.

Таблица 1. Размеры радиатора

a, мм	b, мм	c, мм	h, мм	f, мм	$\delta$ , мм
70	40	4	15	10	4

Температуру охлаждающей среды  $t_c$  примем за комнатную, равную 25 градусам.

Скорость воздуха  $V$ , нагнетаемого вентилятором, будем рассчитывать отдельно.

У импульсного блока питания компьютера IP – S350Q2-0 нет определенной комплектации по вентиляторам. Однако на том экземпляре, который рассматривается в данной работе стоит определенный вентилятор Noname. Внешний вид показан на рисунке 24.



Рисунок 25. Вентилятор Noname

Данная система охлаждения имеет следующие характеристики:

- Размер вентилятора: 80x80 мм

- Максимальная скорость вращения: 2500 об/мин
- Воздушный поток на минимальной скорости: 32,4 CFM
- Воздушный поток на максимальной скорости: 32,4 CFM
- Максимальное рабочее напряжение: 12В
- Максимальный ток: 130мА.

Из приведенных характеристик нас будет волновать только воздушный поток. Поток одинаков на минимальной и максимальной скоростях, поэтому дальше будем упоминать его без учета скорости.

Характеристика вентилятора «воздушный поток» необходима для расчета скорости воздуха. Для расчета скорости воздуха используем следующую формулу:

$$V = \frac{L}{3600 \cdot F}, \text{ где}$$

L – расход воздуха,

F – поперечная площадь канала в сечении.

Расход воздуха L нам уже известен, так как он является воздушным потоком в описании характеристик вентилятора. Следовательно, L = 32,4 CFM. Так как CFM – англ. *Cubic Feet per Minute*, равна 0,028316846592 м<sup>3</sup>/мин = 0,0004719474432 м<sup>3</sup>/с, то есть 1 CFM примерно равен 1,7 м<sup>3</sup>/ч. Для точного определения воздушного потока необходимо умножить L = 32,4 на 1,7. Получаем воздушный поток, равный 55,8 м<sup>3</sup>/ч.

Поперечная площадь канала в сечении рассчитывается по следующей формуле:

$$F = \frac{\pi d^2}{4}, \text{ где}$$

d – диаметр трубы.

Диаметр трубы берем из описания характеристик вентилятора, d будет равным 80 мм.

Рассчитываем поперечную площадь канала:

$$F = \frac{\pi d^2}{4} = 0,005.$$

Теперь можем рассчитать скорость воздуха вентилятора:

$$V = \frac{L}{3600 \cdot F} = 3,04 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Таблица 2. Значения коэффициента k

Re*10 <sup>3</sup>	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5	3	4	5	6
k	1,9	2,2	3,3	3,8	4,4	6,0	10,3	15,5	19,5

Таблица 2 была взята из учебно-методического пособия «Расчет тепловых режимов полупроводниковых преобразовательных устройств» В.А. Медведев [1].

Таблица 3. Физические свойства сухого воздуха

Температура t <sub>c</sub> , °С	Коэффициент теплопроводности λ, Вт/м*град	Кинематическая вязкость ν, 10 <sup>-6</sup> м <sup>2</sup> /с	Критерий Прандтля Pr
10	2,51	14,16	0,705
20	2,59	15,06	0,703
30	2,67	16,01	0,701
40	2,76	16,96	0,699
50	2,83	17,96	0,697
60	2,90	18,97	0,696

Таблица 3 была взята из учебно-методического пособия «Расчет тепловых режимов полупроводниковых преобразовательных устройств» В.А. Медведев [1].

Таблица 4. Значения постоянных с и n.

Re	с	n
50...80	0,93	0,4
80...5000	0,715	0,46
Свыше 5000	0,226	0,6

Таблица 4 была взята из учебно-методического пособия «Расчет тепловых режимов полупроводниковых преобразовательных устройств» В.А. Медведев [1].

В начале расчета необходимо разделить всю поверхность радиатора на несколько поверхностей, которые будут иметь одинаковые условия охлаждения со средой вне блока питания, а также рассчитать площади данных поверхностей.

Поверхность S1, использующая размер, a:

$$S1 = 2ba + ca + 2\delta a = 6400 \text{ мм.}$$

Поверхность S2 – канал, со стенками f и h:

$$S2 = 2h + f a = 2800 \text{ мм.}$$

Поверхность S3:

$$S3 = 2 bc - hf = 20 \text{ мм.}$$

Далее необходимо получить превышение температуры нагрева радиатора над температурой среды вне БП или же шагом расчета:  $\Delta t_s = 10^\circ\text{C}$ .

Температура нагрева радиатора вычисляется следующим образом:

$$t_s = t_c + \Delta t_s = 35^\circ\text{C}.$$

Следующим шагом определяем коэффициент теплоотдачи с поверхности S1:

$$\alpha_1 = \frac{Nu \cdot \lambda}{a},$$

Однако, для того, чтобы правильно рассчитать критерий Нуссельта необходимо определить критерий Рейнольдса:

$$Re = \frac{va}{\nu}, \text{ где}$$

$\lambda$  – коэффициент теплопроводности, определяем из таблицы 2.

$\nu$  – кинетическая вязкость воздуха, определяем из таблицы 2.

Коэффициент теплопроводности  $\lambda = 0,0263 \text{ Вт/м}^\circ\text{град}$ .

Кинетическая вязкость воздуха  $\nu = 15,09 \cdot 10^{-6} \text{ м/с}$ .

Вычисляем критерий Рейнольдса:

$$Re = \frac{va}{\nu} = 14102.$$

Исходя из полученного значения критерия Рейнольдса, которое оказалось меньше  $10^5$ , то режим воздуха ламинарный, так же используем для расчета критерия Нуссельта следующее уравнение:

$$Nu = 0.66Re^{0.5} = 78,4.$$

Режим течения охлаждающей среды принимаем, как турбулентный.

Рассчитываем коэффициент теплоотдачи поверхности S1:

$$\alpha_1 = \frac{Nu \cdot \lambda}{a} = 29,5.$$

Следующим расчетом вычисляем значение коэффициента теплоотдачи с поверхности S2:

$$\alpha_2 = \frac{Nu \cdot \lambda}{d_r}, \text{ где}$$

$d_r$  – гидравлический диаметр канала, образованного ребрами радиатора.

$$d_r = \frac{2hf}{(h+f)} = 0,012.$$

Рассчитываем критерий Рейнольдса для второй поверхности:

$$Re = \frac{Vd_r}{\nu} = 2417,5.$$

Так как значения критерия Рейнольдса находятся в промежутке между 2100 и 10000, то режим течения воздуха переходный, следовательно, для расчета критерия Нуссельта выбираем следующую формулу:

$$Nu = k \cdot E, \text{ где}$$

$k$  – табличный безразмерный коэффициент.

$E$  – безразмерный параметр, определяемый по следующей формуле:

$$E = Pr^{0,43} \left( \frac{Pr}{Pr_s} \right)^{0,25}, \text{ где}$$

$Pr$  – значение критерия Прандтля при температуре  $t_m = 0.5(t_{вх} + t_{вых}) = 32,5$

$Pr_s$  - значение критерия Прандтля при температуре  $t_s$ .

Критерии Прандтля  $Pr = 0,7$  и критерий Прандтля  $Pr_s = 0,702$  определили из таблицы 2, коэффициент  $k = 3,8$  определили из таблицы 1.

После определения всех необходимых коэффициентов, рассчитываем критерий Нуссельта:

$$Nu = k \cdot Pr^{0,43} \cdot \frac{Pr}{Pr_s}^{0,25} = 3,3.$$

В итоге коэффициент теплоотдачи с поверхности S2 равен:

$$\alpha_2 = \frac{Nu \cdot \lambda}{d_r} = 7,2.$$

Далее определяем коэффициент теплоотдачи с поверхности S3:

$$\alpha_3 = \frac{Nu \cdot \lambda}{D_r}, \text{ где}$$

$$D_r - \text{геометрический размер поверхности, } D_r = \frac{2bc}{b+c} = 0,007$$

Рассчитывает критерий Рейнольдса:

$$Re = \frac{v D_r}{\nu} = 1410.$$

Критерий Нуссельта определяем по следующей формуле:

$$Nu = c \cdot Re^n \cdot Pr^{0,4}, \text{ где}$$

$c$  и  $n$  – коэффициенты, которые зависят от величины критерия Рейнольдса. Так как критерий Рейнольдса не превышает 5000, но больше 80 то принимаем значения  $c = 0,715$ , а значения  $n = 0,46$  (таблица 3).

Вычисляем критерий Нуссельта:

$$Nu = c \cdot Re^n \cdot Pr^{0,4} = 17,4.$$

Рассчитываем коэффициент теплоотдачи с поверхности S3:

$$\alpha_3 = \frac{Nu \cdot \lambda}{D_r} = 65,4.$$

Следующим шагом станет определение тепловой мощности, которую отдает каждая из поверхностей:

$$P1 = \alpha_1 t_s - t_c S1 = 1,88 \text{Вт}$$

$$P2 = \alpha_2 t_s - t_c S2 = 0,2 \text{Вт}$$

$$P3 = \alpha_3 t_s - t_c S3 = 0,01 \text{Вт}$$

Находим полную мощность:  $P = P1 + P2 + P3 = 2,09 \text{Вт}$ .

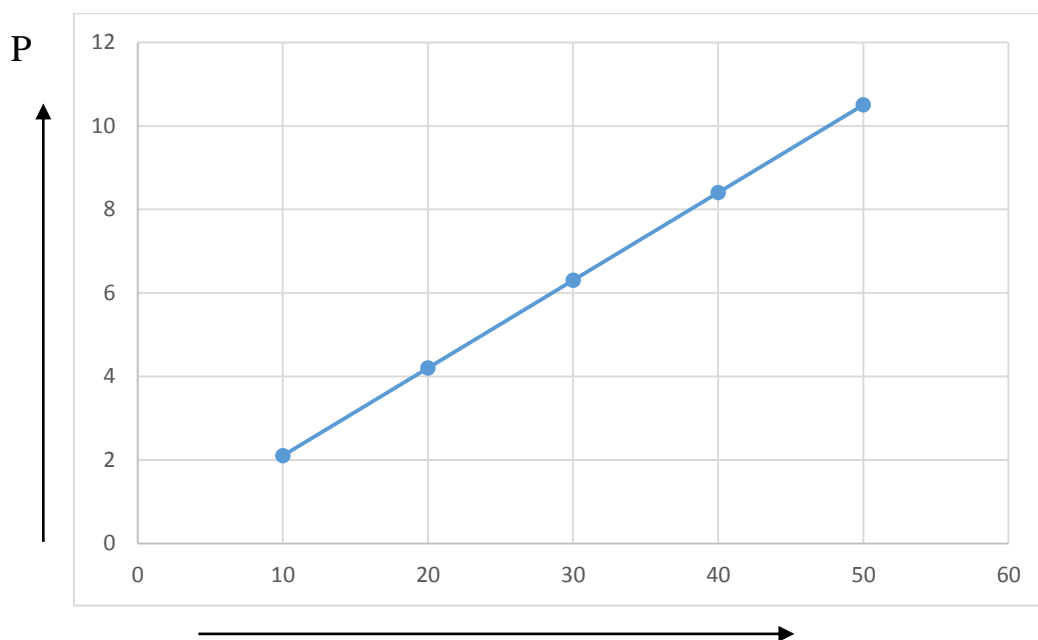


Рисунок 26. Тепловая характеристика радиатора

## 2.2. Эксперимент по исследованию тепловыделения импульсного трансформатора БП IP – S350Q2-0.

### 2.2.1. Импульсные трансформаторы

Импульсные трансформаторы (ИТ) являются востребованным прибором в хозяйственной деятельности. Они часто применяются в качестве компонентов для блоков питания бытовой, компьютерной, специальной техники.



Рисунок 27. Импульсный трансформатор.



## **Область применения**

Задача импульсного трансформатора заключается в защите электрического прибора от короткого замыкания, чрезмерного увеличения значения напряжения, нагрева корпуса. Стабильность блоков питания обеспечена импульсными трансформаторами. Подобные схемы применяются в триодных генераторах, магнетронах. ИТ применяется при работе инвертора, газового лазера. Данные приборы устанавливаются в схемах в качестве дифференцирующего трансформатора.

Радиоэлектронная аппаратура основана на трансформаторной способности импульсных преобразователей. При использовании импульсного блока питания организовывается работа цветного телевизора, обычного компьютерного монитора и т. д. Помимо обеспечения потребителя током требуемой мощности и частоты, трансформатором выполняется стабилизация значения напряжения при работе оборудования.

## **Требования к приборам.**

Преобразователи в блоках питания обладают рядом характеристик. Это функциональные устройства, имеющие определенную габаритную мощность. Они обеспечивают правильное функционирование элементов в схеме.

Импульсный бытовой трансформатор обладает надежностью и высоким перегрузочным порогом. Преобразователь отличается стойкостью к механическим, климатическим воздействиям. Поэтому схема импульсного блока питания телевизоров, компьютеров, планшетов. отличается повышенной электрической устойчивостью.

Приборы обладают небольшой габаритной характеристикой. Стоимость представленных агрегатов зависит от области применения, трудозатрат на изготовление. Отличие представленных трансформаторов от иных подобных приборов заключается в их высокой надежности.

### Принцип работы.

Рассматривая, как работает агрегат представленного типа, нужно понять отличия между обычными силовыми установками и устройствами ИТ. Намотка трансформатора имеет разную конфигурацию. Это две катушки, связанные магнитопроводом. В зависимости от количества витков первичной и вторичной намотки, на выходе создается электричество с заданной мощностью. Например, в трансформаторе преобразовывается напряжение 12 в 220 В.

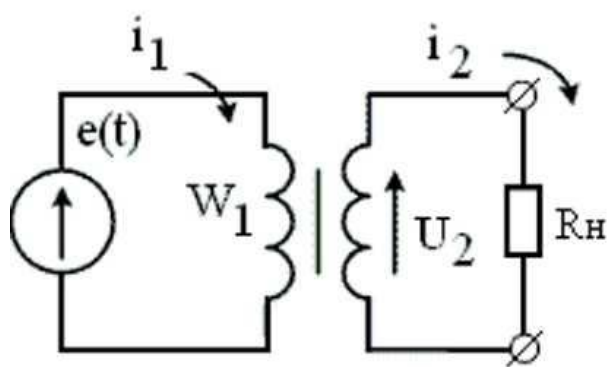


Рисунок 28. Схема подключения ИТ.

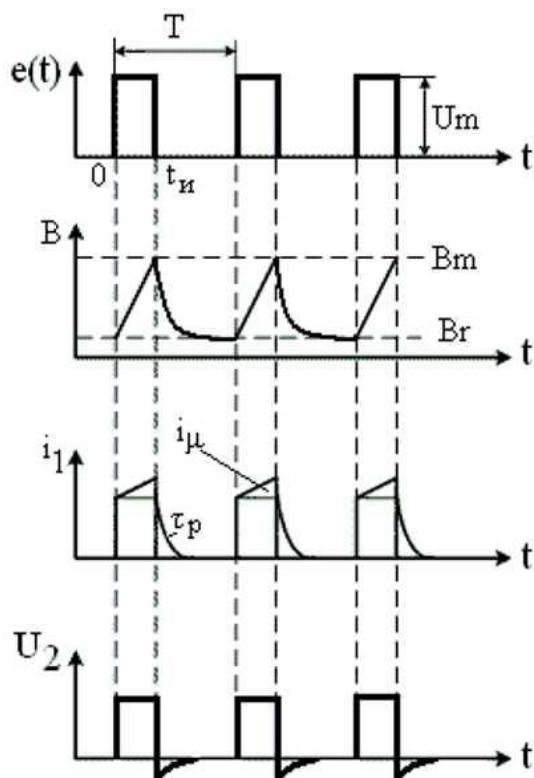


Рисунок 29. Временная диаграмма работы ИТ.

На первичный контур подаются однополярные импульсы. Сердечник остается в состоянии постоянного намагничивания. На первичной катушке определяются импульсные сигналы прямоугольной формы. Интервал между ними во времени короткий. При этом появляются перепады индуктивности. Они отражаются импульсами на вторичной катушке. Эта особенность является основой принципов функционирования подобного оборудования.

Изменения индукции будут происходить с определенной скоростью, которую мы выражаем через следующую формулу:

$$\tau_p = L_0 R_H.$$

Изменения индукции можно назвать индуктивными перепадами, в этом случае разницу индуктивного перепада можно определить, как коэффициент:

$$\Delta B = B_{max} - B_r, \text{ где}$$

$B_{max}$  – максимальное значение уровня индукции,

$B_r$  – остаточное значение уровня индукции.

На рисунке 28 проиллюстрировано смещение рабочей точки в магнитопроводном контуре импульсного трансформатора. Из данной иллюстрации можно наглядно пояснить появление разности индукций.

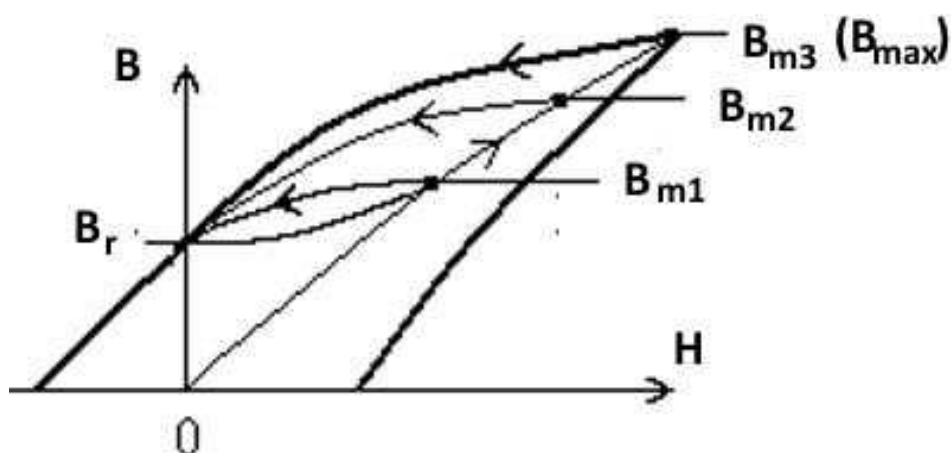


Рисунок 30. Разница индукций импульсного трансформатора

Из иллюстрации 27 можно заметить, что катушка трансформатора имеет определенный уровень напряжения ( $U_2$ ), в которых присутствуют

обратные выбросы. Они объясняются энергией, накопленной в магнитопроводе, которая в свою очередь зависит от намагничивания ( $i_u$ ).

Проходящие через первичную катушку импульсы тока будут иметь трапецеидальную форму, так как токи, протекающие по нагрузке, и линейные токи, вызванные намагничиванием сердечника, будут совмещены.

Если выбрать диапазон напряжений от 0 до  $t_u$ , то видно, что значения напряжения остались неизменными,  $e_t = U_m$ . Напряжение же вторичной обмотки вычисляется через следующую формулу:

$$U_m = \frac{d\Psi}{dt} = W_1 \frac{d\Phi}{dt} = S \cdot W_1 \frac{dB}{dt}, \text{ где}$$

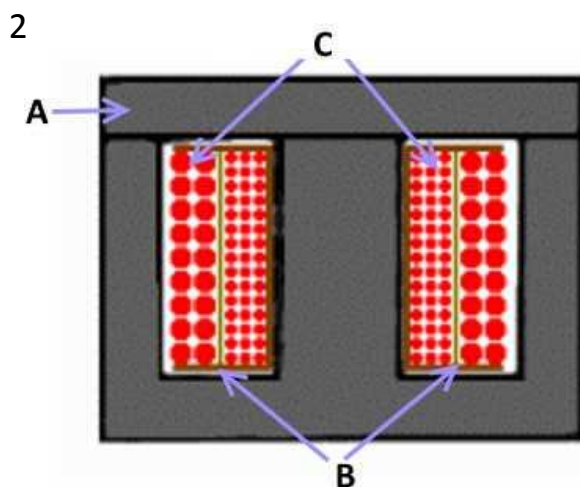
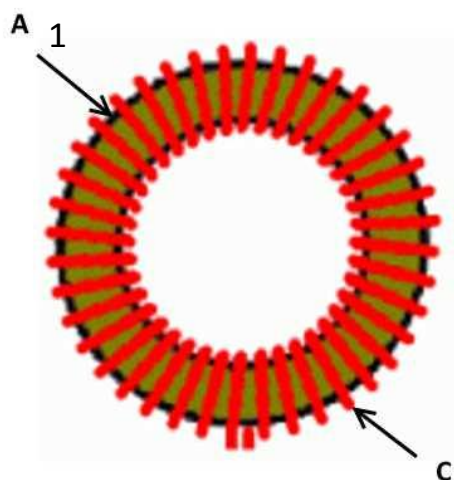
$\Psi$  – значение потокосцепления

$S$  – сечение магнитопроводного сердечника

### Разновидности

Выделяют разные типы импульсной схемы силового оборудования. Агрегаты отличаются в первую очередь формой конструкции. От этого зависят эксплуатационные характеристики. По виду обмотки различают агрегаты:

- 1) Тороидальный
- 2) Броневой
- 3) Стержневой
- 4) Бронестержневой



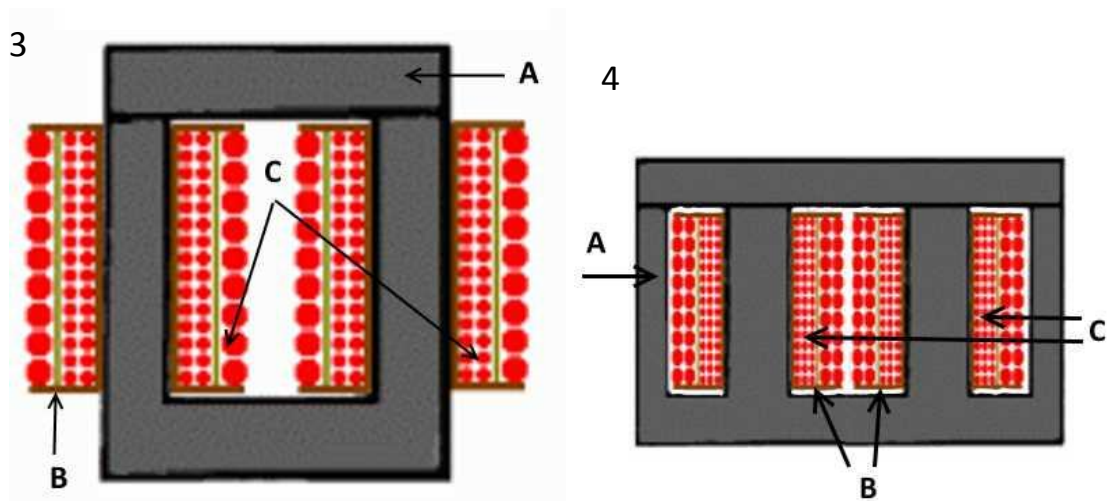


Рисунок 31. Разновидности ИТ по типу обмотки

А – магнитопроводный контур, выполненный из марок трансформаторной стали, изготовленной по технологии холодного или горячего металлопроката (сердечник тороидальной формы изготавливается из феррита)

В – катушка из изолирующего материала

С – провода, создающие индуктивную связь

Поперечное сечение сердечника бывает прямоугольное, круглое. Маркировка обязательно содержит информацию об этом факте. Также различают тип обмоток. Катушки бывают:

- 1) Спиральные.
- 2) Цилиндрические.
- 3) Конические.

В первом случае индуктивность рассеивания будет минимальной. Представленный тип преобразователя применяется для автотрансформаторов. Намотка при этом выполняется из фольги или тенты из специального материала.

Цилиндрический тип обмотки характеризуется низким показателем рассеивания индуктивности. Это простая, технологичная конструкция.

Конические разновидности значительно уменьшают рассеивание индуктивности. Емкость обмоток при этом мало увеличивается. Изоляция

между двумя слоями обмоток пропорциональна напряжению между первичными витками. Толщина контуров увеличивается от начала к концу.

Представленное оборудование отличается различными эксплуатационными характеристиками. В их число входят габаритная мощность, напряжение на первичной, вторичной обмотке, масса и размер. При указании маркировки учитываются перечисленные характеристики.

### **Преимущества.**

Блоки питания с импульсным устройством обладают массой достоинств перед аналоговыми приборами. Именно по этой причине их подавляющее большинство изготавливается по представленной схеме.

Трансформаторы импульсного типа отличаются следующими преимуществами:

- Малый вес.
- Низкая цена.
- Повышенный уровень КПД.
- Расширенный диапазон напряжения.
- Возможность встроить защиту.

Меньшим весом конструкция обладает из-за увеличения частоты сигнала. Конденсаторы уменьшаются в объеме. Схема их выпрямления наиболее простая.

Сравнивая обычные и импульсные блоки питания, видно, что в последних потери энергии сокращаются. Они наблюдаются при переходных процессах. КПД при этом может составлять 90-98%.

Меньшие габариты агрегатов позволяют снизить затраты на производство. Материалоемкость конечного продукта значительно уменьшается. Запитывать представленные аппараты можно от тока с различными характеристиками. Цифровые технологии, которые применяются при создании малогабаритных моделей, позволяют применять в конструкции специальные защитные блоки. Они предотвращают появление короткого замыкания, прочие аварийные ситуации.

### 2.2.2. Подготовка к эксперименту

Импульсный блок питания IP – S350Q2-0 является одним из стандартных решений при выборе источника питания для персонального компьютера.

IP – S350Q2-0 имеет следующие характеристики:

- Максимальная нагрузка БП по каждой из линий питания (+3.3V - 20A, +5V - 16A, +12V1 - 10A, +12V2 - 13A, +5VSB - 2.5A, -12V - 0.3A; Комбинированная нагрузка: +3.3V & +5V & - 130 Вт, +12V1 & +12V2 - 264 Вт)
- Частота (50, 60 Гц)
- Охлаждение БП (1 вентилятор)
- Входное напряжение ( $U_{вх} = 115,230 \text{ В}$ )
- Мощность БП ( $P = 350 \text{ Вт}$ )

Цель эксперимента определяет те процессы, которые будут выполнены для достижения результата. В данном случае конечным результатом будет расчет тепловой мощности трансформатора БП, соответственно, целью эксперимента является получение значений, необходимых для расчета тепловой мощности.

Суть эксперимента – создание условий при которых можно будет оценить тепловое влияние трансформатора на окружающую среду.

В выборе окружающей среды остановимся на моторном минеральном масле 10W40. Это довольно дешевое масло, универсальное, потому как подходит к разным типам двигателей. Имеет различные химические основы для разных видов, но для эксперимента было выбрано только минеральное.



Рисунок 32. Минеральное моторное масло 10W-40  
Для масла специально подобрали сосуд – металлическую ванночку.



Рисунок 33. Металлическая ванночка как сосуд для масла



### 2.2.3. Технические расчеты

Основная задача эксперимента – нагреть трансформатором БП моторное масло так, чтобы было видно различие температур между моментами начала работы блока питания и произвольным моментом во времени, который мы установим произвольно.

Время эксперимента было выбрано в 30 минут.

Однако, перед тем, как переходить к процессу измерения, необходимо пояснить, какими величинами необходимо манипулировать для достижения результата.

Для этого обратимся к концу всего действия – необходимо рассчитать тепловую мощность.

Тепловая мощность – это количество теплоты, которое будет передано предмету или системе за некое время. Выразим утверждение в формуле:

$$N = \frac{Q}{t}, \text{ где}$$

$Q$  – количество теплоты;

$t$  – время, за которое количество теплоты передастся системе или телу.

В нашем случае происходит нагревание тела, поэтому для вычисления количества теплоты будет использовать следующую формулу:

$$Q = m \cdot c \cdot (T_2 - T_1), \text{ где}$$

$m$  – масса вещества;

$c$  – удельная теплоемкость вещества;

$T_1$  – начальная температура вещества;

$T_2$  – температура вещества по окончании эксперимента.

Итого, получим финальную формулу вычисления тепловой мощности:

$$N = \frac{m \cdot c \cdot (T_2 - T_1)}{t}$$

### 2.2.4. Эксперимент с силовым трансформатором

Разберемся с компонентами. Для определения массы масла, перед

тем, как заливать его в ванночку, используем мерный стакан.



Рисунок 34. Мерный стакан для определения массы масла

На рисунке 34 показано определение массы масле с помощью мерного стакана. В ванночку масло доливали двумя шагами, так, чтобы количество масла было достаточно для помещения в него предмета, но и не переливалось через край. После переливания достаточного количества, было зафиксировано, что в ванночку залито 900 мл масла или 0,9 кг.

После того, как в ванночке оказалось масло, можно приступить к опусканию в него трансформатора блока питания. Специально для этих целей трансформатор был выпаян из схемы и вынесен вне корпуса на силовых проводах, обернутых изолентой для изолирования. Конструкцию можно наблюдать на рисунке 35.



Рисунок 35. Блок питания с выведенным наружу трансформатором  
Для определения температуры масла будем использовать довольно просто мультиметр IEK Universal M838.

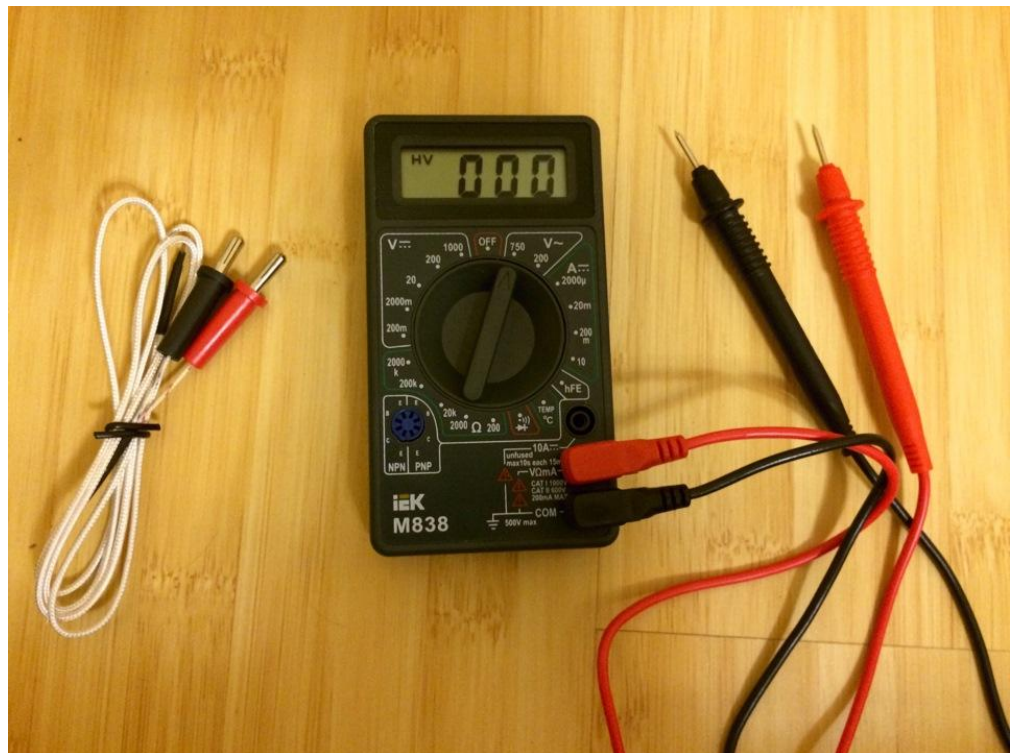


Рисунок 36. Мультиметр IEK Universal M838 и его комплектация



Так же, нам необходимо как-то контролировать время. Для такого простого задания используем секундомер на телефоне. На рисунке 37 показана вся система эксперимента.



Рисунок 37. Подготовленная площадка для эксперимента



Рисунок 38. Трансформатор, опущенный в масло

Теперь, когда все готово, можно приступать к эксперименту. В начале замеряем начальную температуру масла при выключенном блоке питания.

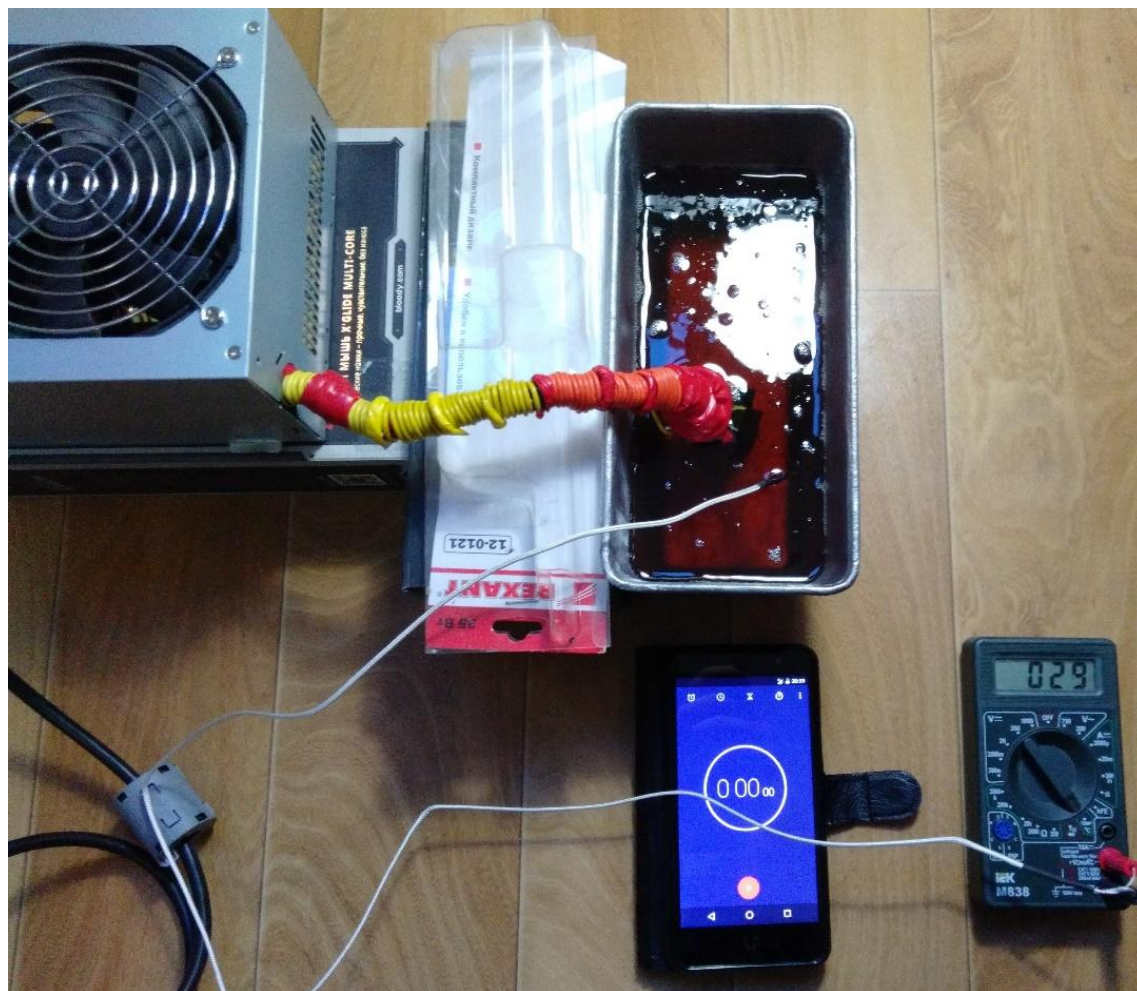


Рисунок 39. Начало эксперимента

Как видно из рисунка 39, начальная температура масла составляет 29 градусов. При выдерживании в масле датчика температуры мультиметра становится заметно, что значение колеблется с 28 градусов до 29, но чаще принимает значение в 28 градусов. Его и возьмем за отправное значение  $T_1$ .

Как было сказано выше, эксперимент будет занимать 30 минут. По прошествии получаса, на индикаторе мультиметра замечаем такую картину (рисунок 40).





Рисунок 40. Результат эксперимента по прошествии 30 минут

### Результаты эксперимента с силовым трансформатором

Итак, температура  $T_2$  составляет 32 градуса, а перепад – 4 градуса. Не так уж и много. Теперь, для вычисления тепловой мощности подытожим все значения.

Масса масла  $m$  составляет 0,9 кг. Теплоемкость колеблется между 1,67 кДж/кг\*С° и 2,01 кДж/кг\*С°. Для упрощения возьмем посередине – 1,7 кДж/кг\*С° или 1700 Дж/ кг\*С°. Температуры  $T_1$  и  $T_2$  равны соответственно 28° и 32°. Время – 30 минут или 1800 секунд.

Для расчета тепловой мощности используем приведенную выше формулу:

$$N = \frac{m \cdot c \cdot (T_2 - T_1)}{t} = \frac{0,9 \cdot 1700 \cdot (32 - 28)}{1800} = 3,4 \text{ Вт}$$

Тепловая мощность получилась равно 3,4 Вт.

Необходимо принять во внимание, что замеры температуры масла приводились непосредственно рядом с трансформатором. Рядом с нагревающим элементом температуры держалась вблизи 32 градусов, по остальной ванне не поднималась выше 29.

### **2.2.5 Эксперимент по определению тепловыделения силовых транзисторов импульсного блока питания компьютера IP – S350Q2-0.**

Используя наработки эксперимента по определению тепловыделения силового трансформатора, был проведен эксперимент над силовыми транзисторами. Транзисторы были так же выпаяны из схемы и соединены с ней заново на длинных проводах, выводящих корпуса транзисторов с радиатором вне корпуса.

На рисунке 41 проиллюстрированы силовые транзисторы на радиаторе, находящиеся в корпусе блока питания.

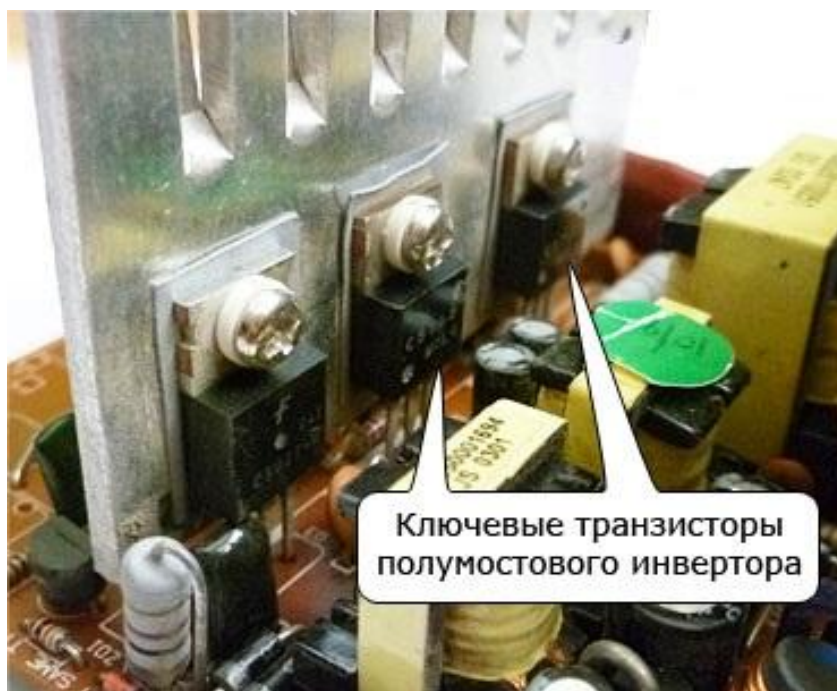


Рисунок 41 Ключевые транзисторы

В качестве емкости была использована такая же, как при эксперименте с трансформатором ванночка с моторным маслом. Масло было перезалито для чистоты эксперимента и емкость вместила в себя 500 мл или же 0,5 кг моторного масла.

Теплоемкость масла приняли такую же, как в прошлом эксперименте – 1,7 кДж/кг\*С° или 1700 Дж/ кг\*С°.

В начале проведения измерений была зафиксирована начальная температура в 29°С. Так же, как и в эксперименте с трансформатором время замера было выбрано в 30 минут, так как большее время нецелесообразно в тридцатиградусную жару.

Предполагалась погрешность в показаниях мультиметра, так как на моторное масло оказывалось дополнительное тепловое воздействие окружающей средой.

За прошедший час, по завершению измерений было зафиксировано изменение температуры масла близи радиатора с транзисторами. С начальных 29°С температура поднялась до 36 °С.

Используя формулу по определению выделившейся мощности из прошлых вычислений, рассчитаем полученную тепловую мощность силовых транзисторов:

$$N = m \cdot c \cdot (T_2 - T_1) / t = \frac{0,5 \cdot 1700 \cdot (40 - 29)}{1800} = 5,2 \text{ Вт}$$

Обратимся теперь к тепловой характеристике радиатора, рассчитанной формульным методом. По этой характеристике можно судить о степенях нагрева радиатора при выделяемой пропорциональной тепловой мощности.

По характеристике видно, что для нагрева окружающей среды с 29 до 40 градусов необходимо выделить тепловую мощность в размере: 8,5 Вт – 6 Вт = 2,5 Вт.



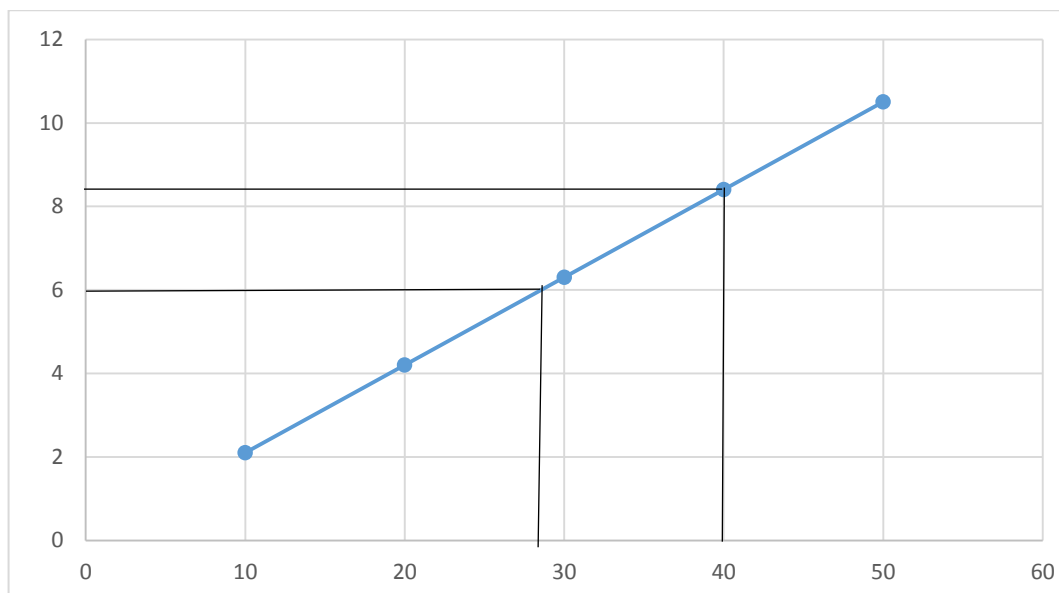


Рисунок 42. Тепловая характеристика радиатора силовых транзисторов с отмеченными засечками температурных границ эксперимента

Радиатору силовых транзисторов в эксперименте потребовалось 5,2 Вт для нагрева масла на такую же температуру.

Показанные значения позволяют подвести итог температурному эксперименту с силовыми транзисторами. Измерение показало, что жидкостное охлаждение радиаторов предпочтительнее, чем принудительное воздушное.

## **Заключение.**

Проведя обширную исследовательскую работу необходимо прийти к определенным выводам.

В процессе обзора и структурирования материалов по вторичным источникам питания была собрана значительная база информации, затрагивающая многочисленные аспекты технологии источников питания. Особенности схем, возможности применения, история создания и предложения доработок, многое из перечисленного просто не было включено в данную работу, так как пришлось выбирать целенаправленно, ведь конечная цель – не просто собрание информации.

Проанализировав схемы и принципы терморегуляции, появилась уверенность, что вопросом терморегуляции вторичных источников питания многие производители техники, обычные пользователи и знающие конструкторы занимаются вскользь и лишь при крайней необходимости.

Поэтому мою работу можно считать хорошим дополнением к экспериментальной базе информационных ресурсов, объясняющих работу элементов источников питания.

В данной магистерской диссертации были проведены как формульные определения тепловыделения, так и физический эксперимент. Оба исследования показали результаты, похожие друг на друга.

Эксперимент с определением тепловыделения на силовых транзисторах дал результаты, позволяющие дать ответ на вопрос выбора среды охлаждения подобных компонентов схемы. Полученные значения тепловыделения силовых элементов (транзисторов и трансформатора) теперь можно использовать в проектировании новых БП для персонального компьютера, обеспечивая оптимальный подбор терморегулирующих компонентов и правильный расчет охлаждающей системы.

### Список использованных источников.

1. Гончаров А. Практика применения конверторных модулей класса DC/DC // Электронные компоненты. 1999. No 1–3
2. Нагайцев А., Твердов И. Новые модули питания с широким (4:1) диапазоном входных напряжений // Электрическое питание. Выпуск 7. Научно-технический сборник докладов 1-й Всероссийской конференции по средствам электропитания.
3. Журнал «Компоненты и технологии» [электронный ресурс] URL: [http://www.kit-e.ru/articles/powersource/2007\\_08\\_120.php](http://www.kit-e.ru/articles/powersource/2007_08_120.php) (дата обращения 11.06.2019)
4. Технический портал радиолюбителей России [электронный ресурс] URL: [http://www.cqham.ru/pow14\\_9.htm](http://www.cqham.ru/pow14_9.htm) (дата обращения 11.06.2019)
5. Авторский сайт Игоря Гончаренко (DL2KQ) [Электронный ресурс] URL: <http://dl2kq.de/pa/1-19.htm> (дата обращения 11.06.2019)
6. Учебно-практический центр ЭКСПЕРТ [Электронный ресурс] URL: <http://www.xprt.ru/site/index.php/component/content/article/72-stati/istochniki-pitaniya/152-vkhodnye-tsepi-impulsnogo-istochnika-pitaniya> (дата обращения 11.06.2019)
7. Компьютерная компания НИКС [Электронный ресурс] URL: [https://www.nix.ru/autocatalog/power\\_supply\\_inwin/Blok-pitaniya-INWIN-POWER-MAN-IP-S350Q2-0-350W-ATX-24-plus-4-plus-6pin\\_69156.html](https://www.nix.ru/autocatalog/power_supply_inwin/Blok-pitaniya-INWIN-POWER-MAN-IP-S350Q2-0-350W-ATX-24-plus-4-plus-6pin_69156.html) (дата обращения 11.06.2019)
8. ЧП Колесник [Электронный ресурс] URL: [http://kovka-dveri.com/metal\\_stroitelstvo0084qq0851.HTML](http://kovka-dveri.com/metal_stroitelstvo0084qq0851.HTML) (дата обращения 11.06.2019)
9. Проавтомасло.ру [Электронный ресурс] URL: <https://proavtomaslo.ru/vyazkost/motornoe-maslo-10w-40> (дата обращения 11.06.2019)

10. Блог Александра Воробьева. О тепловой энергии простым языком! [Электронный ресурс] URL: <http://al-vo.ru/teplotekhnika/raschet-teplovooy-moshchnosti.html> (дата обращения 11.06.2019)
11. Википедия. Импульсный трансформатор. [Электронный ресурс] URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Импульсный\\_трансформатор](https://ru.wikipedia.org/wiki/Импульсный_трансформатор) (дата обращения 11.06.2019)
12. ASUTPP Заметки электрика. [Электронный ресурс] URL: <https://www.asutpp.ru/impulsnyj-transformator.html> (дата обращения 11.06.2019)
13. Электросам.ру [Электронный ресурс] URL: <https://electrosam.ru/glavnaja/jelektrooborudovanie/ustrojstva/impulsnye-transformatory/> (дата обращения 11.06.2019)
14. Калькулятор. Справочный портал [Электронный ресурс] URL: <https://www.calc.ru/Gidrodinamika-Gidravlicheskiy-Radius-I-Diametr.html> (дата обращения 12.06.2019)
15. Приточка. Сайт о системах вентиляции. [Электронный ресурс] URL: <http://pree.su/kalkulyator-ventilyacii/skorost-vozdukha-v-kanale-ili-reshetke> (дата обращения 12.06.2019)
16. DNS Цифровая и бытовая техника. [Электронный ресурс] URL: <https://www.dns-shop.ru/product/d0786626bba252d7/ventilator-noname/characteristics/> (дата обращения 12.06.2019)
17. Thermalinfo.ru [Электронный ресурс] URL: <http://thermalinfo.ru/svojstva-gazov/gazovye-smesi/teploprovodnost-vozduha-v-zavisimosti-ot-temperatury-i-davleniya> (дата обращения 12.06.2019)
18. Учебные материалы и другие документы [Электронный ресурс] URL: [https://works.doklad.ru/view/\\_Ykbh6BkcKo/all.html](https://works.doklad.ru/view/_Ykbh6BkcKo/all.html) (дата обращения 12.06.2019)
19. Искусство схемотехники [Электронный ресурс] URL: <http://www.skilldiagram.com/gl6-4.html> (дата обращения 12.06.2019)

20. В помощь начинающему радиолюбителю-конструктору [Электронный ресурс] URL: <http://radiocon-net.narod.ru/page15.htm> (дата обращения 12.06.2019)
21. go radio [Электронный ресурс] URL: <http://go-radio.ru/schemotexnika-komputernix-blokov-pitania-2.html> (дата обращения 12.06.2019)
22. Радио Кот [Электронный ресурс] URL: <https://www.radiokot.ru/articles/02/> (дата обращения 12.06.2019)
23. rcl-radio.ru Сайт для радиолюбителей [Электронный ресурс] URL: <https://rcl-radio.ru/?p=20670> (дата обращения 13.06.2019)
24. habr [Электронный ресурс] URL: <https://habr.com/ru/post/400381/> (дата обращения 13.06.2019)
25. Время электроники [Электронный ресурс] URL: <http://www.russianelectronics.ru/leader-r/review/2327/doc/48347/> (дата обращения 13.06.2019)
26. Диаграмма. Бесплатная техническая библиотека [Электронный ресурс] URL: <http://www.diagram.com.ua/> (дата обращения 13.06.2019)
27. KirichBlog [Электронный ресурс] URL: <https://www.kirich.blog/stati/informaciya-dlya-nachinayuschih/316-iz-chego-sostoyait-impulsnyy-blok-pitaniya-chast-1.html> (дата обращения 13.06.2019)
28. IEEE Xplore Digital Library. A new family of zero voltage switching power supplies [Электронный ресурс] URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/628773> (дата обращения 13.06.2019)
29. IEEE Xplore Digital Library. Research on Adaptive Switching Power Supply Control Technology [Электронный ресурс] URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8690395> (дата обращения 13.06.2019)
30. IEEE Xplore Digital Library. Resonant circuit model and design for a high frequency high voltage switched-mode power supply [Электронный ресурс] URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/5347638> (дата обращения 13.06.2019)

31. IEEE Xplore Digital Library. Reduction of Radiated Emission from Offline Switch Mode Power Supply [Электронный ресурс] URL:

<https://ieeexplore.ieee.org/document/8704640> (дата обращения 13.06.2019)

32. IEEE Xplore Digital Library. IEEE Standard for Preferred Power Supply (PPS) for Nuclear Power Generating Stations [Электронный ресурс]

URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/696976> (дата обращения 13.06.2019)