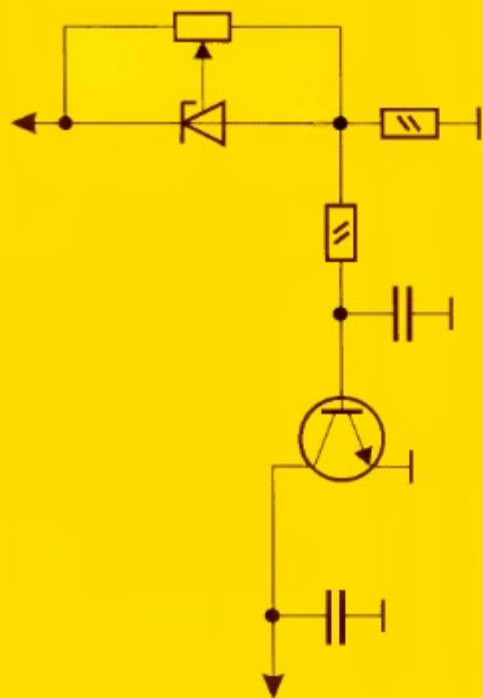


Кашкаров А. П.  
Колдунов А. С.



# ОРИГИНАЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ ИСТОЧНИКОВ ПИТАНИЯ

Кашкаров А. П., Колдунов А. С.

# Оригинальные конструкции источников питания



Москва, 2010

**УДК 004.438**  
**ББК 32.973.26-018.2**  
**К31**

**К31 Кашкаров А. П., Колдунов А. С.**

Оригинальные конструкции источников питания. – М.: ДМК Пресс, 2010. – 160 с.

**ISBN 978-5-94074-634-8**

Написанное простым и доступным языком о сложном мире импульсных источников питания, это издание позволит радиолюбителям легко разобраться в схемотехнике и самим стать конструкторами источников питания для собственных задач. В книге рассматривается принцип действия импульсных источников питания, сравниваются функциональные возможности различных промышленных и самодельных ИИП, подробно обсуждается оптимизация уже готовых устройств и узлов, дающая основную экономию бесценного времени! Вы научитесь правильно конструировать «импульсники» для самых разных ситуаций, а практические примеры и рекомендации дадут возможность использовать их в своей практической деятельности для питания электронных устройств – от маломощных адаптеров для сотовых телефонов и источников питания энергосберегающих ламп до ИИП с током потребления более 25 А.

В приложениях даны справочные данные и другая полезная информация. Книга предназначена для широкого круга читателей.

**УДК 004.438**  
**ББК 32.973.26-018.2**

Все права защищены. Любая часть этой книги не может быть воспроизведена в какой бы то ни было форме и какими бы то ни было средствами без письменного разрешения владельцев авторских прав.

Материал, изложенный в данной книге, многократно проверен. Но, поскольку вероятность технических ошибок все равно существует, издательство не может гарантировать абсолютную точность и правильность приводимых сведений. В связи с этим издательство не несет ответственности за возможные ошибки, связанные с использованием книги.

ISBN 978-5-94074-634-8

© Кашкаров А. П., Колдунов А. С., 2010  
© Оформление, ДМК Пресс, 2010

# СОДЕРЖАНИЕ

К читателю .....	6
Меры безопасности при производстве ремонтных, наладочных и электромонтажных работ .....	7
Предисловие. Будущее – за импульсными источниками питания .....	9

---

<b>1</b> Импульсные источники питания .....	11
1.1. Импульсный стабилизатор: что ЭТО такое и «с чем его “едят”» .....	12
1.1.1. Switching regulator – импульсный стабилизатор .....	12
1.1.2. Недостатки импульсников .....	13
1.1.3. Почему в ИИП применяют полевые транзисторы .....	15
1.1.4. Схема повышающего преобразователя напряжения .....	17
1.1.5. Инверторы напряжения .....	19
1.1.6. Понижающий преобразователь напряжения .....	20
1.1.7. О паразитном возбуждении .....	22
1.1.8. Электромагнитные помехи устранимы? .....	23
1.2. Маломощный преобразователь для питания нагрузки (9 В) от Li-ion аккумулятора (3,7 В) .....	25
1.2.1. Выбор элементной базы .....	26
1.2.2. Принцип работы устройства .....	27
1.2.3. О деталях .....	27
1.2.4. Особенности устройства .....	28
1.2.5. Выявленные недостатки .....	28
1.2.6. Второй вариант преобразователя .....	28
1.3. Мощный преобразователь напряжения 12 – 5 В по простой схеме .....	32
1.3.1. Принцип работы устройства .....	34
1.3.2. Налаживание .....	35
1.4. Мощный преобразователь напряжения 24 В – 12 В с высоким КПД .....	37
1.4.1. О деталях .....	42
1.4.2. Особенности налаживания .....	43
1.5. Переделка стабилизатора в регулируемый блок питания .....	45
1.6. Микросхемы низковольтных импульсных преобразователей .....	46

1.7. Основные схемы импульсных сетевых адаптеров для зарядки телефонов .....	51
1.7.1. Принцип работы устройства .....	52
1.7.2. Альтернативный вариант устройства .....	53
1.7.3. Рекомендации по деталям .....	55
1.8. Диагностика неисправностей и ремонт сетевых адаптеров .....	55
1.9. Импульсные преобразователи на микросхемах со встроенным высоковольтным транзистором .....	56
1.9.1. POWER Integrations .....	58
1.9.2. ST Microelectronics .....	58
1.9.3. Philips Semiconductor .....	58
1.9.4. Fairchild Semiconductor .....	58
1.9.5. ON Semiconductor .....	59
1.10. Микросхемы маломощного высоковольтного ШИМ-преобразователя TEA152x .....	59
1.11. Микросхемы мощного высоковольтного импульсного преобразователя серии TOP2xx .....	63
1.11.1. Особенности семейства микросхем TOPSwitch .....	66
1.11.2. Семейство TOPSwitch-FX .....	66
1.11.3. Микросхемы семейства TOPSwitch-HX .....	67
1.11.4. Особенности включения .....	67
1.11.5. Включение микросхем серии TOP242 .....	70
1.12. Микросхемы маломощного высоковольтного импульсного преобразователя серии TNY2xx .....	73
1.12.1. Особенности микросхем семейства TinySwitch .....	74
1.12.2. Особенности включения микросхем семейства TinySwitch .....	77
1.13. Параллельное соединение источников питания .....	78
1.13.1. Защита источников без распределения тока .....	79
1.13.2. Защита источников с распределением тока .....	80
1.13.3. Принцип работы устройства с активным распределением тока .....	81
1.13.4. Особенности электрической цепи .....	81
1.13.5. Соединение для получения большей мощности .....	82
1.14. Импульсный стабилизатор .....	83

---

## **2** Устройства на основе импульсных источников питания .....

2.1. Простой регулируемый преобразователь на дискретных элементах .....	87
---	----

2.2. Преобразователь напряжения на микросхемах .....	89
2.3. Актуальная защита электронных схем.....	91
2.3.1. Принцип работы устройства .....	92
2.3.2. О деталях .....	93
2.4. Импульсные источники питания для энергосберегающих ламп .....	94
2.4.1. Принцип работы ЭЛ .....	96
2.4.2. Особенности источников питания ЭЛ .....	98
2.4.3. Простой ремонт ИИП портативного светильника .....	99
2.5. Импульсный повышающий преобразователь для ЭЛ .....	103
2.5.1. Принцип работы .....	104
2.5.2. О деталях .....	104
2.5.3. Налаживание .....	105
<hr/>	
<b>3 Микросхемы и микросборки для источников питания .....</b>	<b>106</b>
3.1. 1N5817...1N5822 – мощные выпрямительные диоды с барьером Шоттки .....	107
3.1.1. Особенности электрических характеристик .....	107
3.1.2. Недостатки, достоинства и практика применения .....	108
3.2. TL431 – прецизионный регулируемый стабилитрон ....	109
3.3. Управляемый низковольтный стабилитрон 1,2–3 В ....	112
3.4. Микросхемы – стабилизаторы и преобразователи напряжения .....	113
3.5. Линейные стабилизаторы напряжения широкого применения .....	120
3.5.1. Положительные относительно общего провода .....	120
3.5.2. Отрицательные относительно общего провода .....	124
3.6. Стабилизирующие элементы .....	125
3.7. Предельные значения эксплуатации популярных стабилитронов и стабисторов .....	129
<hr/>	
<b>Приложения .....</b>	<b>145</b>
1. Новые полезные и актуальные интернет-ссылки для радиолюбителей и профессионалов .....	145
2. Взаимозамена и маркировка радиокомпонентов в SMD-корпусах для поверхностного монтажа .....	148
<hr/>	
<b>Заключение .....</b>	<b>157</b>
<b>Литература .....</b>	<b>159</b>

# К ЧИТАТЕЛЮ

---

В этой книге вы найдете радиолобительские, электро- и радиотехнические схемы, позволяющие быстро повторить понравившееся устройство.

Все права на материалы, находящиеся в книге, охраняются в соответствии с законодательством РФ, в том числе Законом РФ «Об авторском праве и смежных правах». При любом использовании материалов книги и сателлитных проектов ссылка на данную книгу обязательна.

# МЕРЫ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ РЕМОНТНЫХ, НАЛАДОЧНЫХ И ЭЛЕКТРОМОНТАЖНЫХ РАБОТ

---

Радиолюбитель, выполняя работы по конструированию или ремонту электронной техники, должен всегда помнить несложные правила безопасности на рабочем месте.

Знание основных правил позволяет организовать свою работу так, чтобы исключить либо свести к минимуму воздействие неблагоприятных факторов на себя и окружающих.

Работа с электричеством опасна тем, что оно не действует на органы чувств до момента соприкосновения с токоведущими проводниками и контактами. Это затрудняет дистанционное обнаружение опасности.

Прежде всего нужно соблюдать особую осторожность при работе с электричеством, горючими и легковоспламеняющимися жидкостями, кислотами и щелочами, иными токсичными веществами. Эти правила, по сути, знает любой школьник и конечно же специалист радиодела. Но, поскольку время от времени происходят трагедии из-за пренебрежения ими, считаю нелишним напомнить основные требования техники безопасности.

Электрическое напряжение свыше 40 В опасно для жизни. Степень поражения зависит от пути прохождения электрического тока через тело человека и от силы тока, особенно той его части, которая проходит через сердце. Наиболее опасны пути тока «рука – нога» и «рука – рука». Поэтому при настройке радиоаппаратуры и поиске неисправностей старайтесь работать одной рукой во избежание прикосновения к токоведущим частям обеими руками. Особую осторожность необходимо соблюдать, когда устройство питается от осветительной сети 220 В по бестрансформаторной схеме, с помощью импульсного преобразователя или через автотрансформатор. В этом случае выход даже низковольтного источника вторичного питания может оказаться под напряжением сети относительно «земли». Важно изолировать себя от «земли», чтобы исключить поражение электрическим током при случайном прикосновении к элементам устройства или его общей шине (общему проводу).



Монтажные работы следует производить вдали от заземляющих конструкций (водопроводных труб, радиаторов отопления) или принять необходимые меры, чтобы исключить случайное прикосновение к ним.

Заменять вышедшие из строя или «подозрительные» детали следует только после отключения устройства от сети.

Нельзя проверять исправность предохранителей в устройстве, включенном в сеть, путем их замыкания.

Следует помнить, что переутомление, опьянение, повышенная потливость, сердечные и нервные заболевания при прочих равных условиях создают повышенную опасность тяжелого поражения электрическим током. Поэтому занимайтесь любимым делом, отдохнув, с воодушевлением (на то оно и любимое), в хорошем настроении.

И все у вас получится.

# ПРЕДИСЛОВИЕ.

## БУДУЩЕЕ – ЗА ИМПУЛЬСНЫМИ ИСТОЧНИКАМИ ПИТАНИЯ

---

Источник питания – это промежуточная схема, которая подает питание с требуемыми параметрами от основного источника электроэнергии на нагрузку, требования которой не соответствуют характеристикам основного источника. Таким образом, источник питания (ИП) согласует нагрузку с основным источником электроэнергии.

Например, первичный ИП может быть однофазной сетью с переменным напряжением 220 В, частотой 50 Гц, как в России (или, к примеру, в Великобритании). Нагрузка может быть логической схемой в персональном компьютере (ПК), которая требует для питания стабилизированного питания 5 В постоянного тока. Между этими двумя устройствами необходим преобразователь.

Источник питания иногда называют преобразователем, а процесс – преобразованием электроэнергии. Иногда его называют также стабилизатором, а процесс – стабилизацией питания. Типичная область применения источников питания – преобразование исходного питания в управляемое, или стабилизированное по напряжению и (или) по току, питание для работы электронной аппаратуры.

Источники питания относятся к силовой электронике – приборам, где электронные схемы используются для управления и преобразования электроэнергии.

Особое значение в части ИП занимают импульсные (ИИП). В них питание нагрузки осуществляется через компоненты с малыми потерями (конденсаторы, индуктивности и трансформаторы), в которых используются переключатели с двумя состояниями – «включено» и «выключено». Преимущество ИИП состоит в том, что преобразование может происходить с минимальными потерями, то есть с высокой эффективностью.

Ранее для обозначения импульсных источников питания широко применялся термин «коммутационный» (*switchmode*). Так было до тех пор, пока компания Motorola, Inc., выпустившая на рынок импульсные источники питания под торговой маркой SWITCHMODE™, не стала защищать свою торговую марку. Тогда пришлось искать другие термины и определения, чтобы избежать нарушения авторских прав.

Так начали использовать термины *switching-mode* и *switching*, последний из которых приобрел большую популярность. Термин

*switching regulator* означает «импульсный стабилизатор». Импульсный стабилизатор – коммутационная схема, работающая в замкнутом контуре и регулирующая выходные параметры ИП.

Тема разработки мощных импульсных источников питания до сих пор является актуальной. В настоящей книге авторы предлагают свои рекомендации и делятся практическим опытом с читателями.

Полезные сведения, предложенные в книге, помогут выбрать необходимый материал, изучить и применить его в домашних условиях, с минимумом приборов настройки, затратив на повторение конструкции всего несколько часов своего бесценного времени.

Желаем вам удачи!

Авторы

# **1**      **ИМПУЛЬСНЫЕ ИСТОЧНИКИ ПИТАНИЯ**

<b>2</b>	Устройства на основе импульсных источников питания	86
<b>3</b>	Микросхемы и микросборки для источников питания	106

## **1.1. Импульсный стабилизатор: что ЭТО такое и «с чем его “едят”»**

### **1.1.1. *Switching regulator* – импульсный стабилизатор**

Импульсный стабилизатор – коммутационная схема, работающая в замкнутом контуре и регулирующая выходные параметры ИП.

В радиотехнике широко используются в основном только два типа стабилизаторов: линейные и импульсные. Линейные стабилизаторы действуют по принципу резистора – ограничивают протекающий через ключевой элемент (транзистор) ток так, чтобы напряжение (или ток) в нагрузке оставалось постоянным.

При этом часть полезной мощности теряется (выделяется в виде тепла на регулирующем транзисторе). В некоторых случаях эта часть может быть весьма значительной, например при входном напряжении 10 В и выходном 2,5 В, падение напряжения на транзисторе составляет 7,5 В, то есть 75% энергии источника питания тратятся на паразитный разогрев транзистора и только 25% выполняют полезную работу.

Еще хуже (относительно КПД) обстоит дело с регулируемыми источниками питания – когда для большего диапазона изменения выходного напряжения разработчик пытается неоправданно увеличить входное напряжение. В таких случаях при минимальном выходном напряжении КПД источника питания может снижаться до единиц процента.

Этого недостатка лишены импульсные стабилизаторы (далее – «импульсники»), способные трансформировать напряжение в ток и наоборот.

Поэтому КПД «импульсника» независимо от величины входного/выходного напряжения практически постоянен и составляет, в зависимости от схемы и используемых комплектующих, до 80...90%. Благодаря столь высокому КПД облегчается тепловой режим устройства – его компоненты практически не перегреваются, и там, где раньше приходилось использовать громоздкие радиаторы-теплоотводы и «поющие» вентиляторы-кулеры, удастся обойтись одной маленькой пластинкой или вообще «голым» корпусом транзистора. Также уменьшается потребляемый устройством ток, что очень важно при автономном режиме работы.

При входном напряжении 10 В и выходном 2,5 В потребляемый от источника питания ток будет в 4 раза меньше выходного тока (если быть точнее, в 3,5...3,8 раза – ведь КПД чуть ниже 100%). При этом «лишние» 7,5 В трансформируются в дополнительный ток – в полном соответствии с законом сохранения энергии. А вот у линейного стабилизатора потребляемый ток всегда чуть больше тока нагрузки.

Чем выше рабочая частота преобразователя, тем меньших размеров могут быть его самые габаритные детали – катушка индуктивности (дроссель или трансформатор) и фильтрующие конденсаторы. За один такт сердечник дросселя или трансформатора может запасти небольшую часть энергии определенной величины, и размер этой части не зависит от рабочей частоты.

К примеру, повысив рабочую частоту в 10 раз, можно за то же время передать в нагрузку в 10 раз большую мощность, при том же размере катушки и сердечника.

Поэтому если обычный трансформатор 50 Гц и мощностью 270 Вт (к примеру, ТС-270) весит более 5 кг и имеет размер с 3-литровую банку, то импульсный трансформатор мощностью 300 Вт, работающий на частоте 30 кГц, выгодно отличается размером в 3...4 спичечных коробка.

К сожалению, частоту нельзя повышать бесконечно. Для большинства недорогих ключевых транзисторов максимальная рабочая частота не превышает 100...300 кГц, также у недорогих ферритовых сердечников на частотах выше 30...100 кГц сильно увеличиваются потери из-за вихревых токов внутри сердечника. Поэтому оптимальная рабочая частота для импульсника – 30...50 кГц: она достаточно высока для того, чтобы человек не слышал писка его работы (максимальная слышимая частота – около 20 кГц), в то же время потери на такой частоте еще достаточно малы.

### **1.1.2. Недостатки импульсников**

Однако у импульсных стабилизаторов есть и недостатки, главный из которых кроется в самом принципе работы. Стабилизатор работает в импульсном режиме, на высокой частоте, поэтому он излучает мощные электромагнитные (и радиоволны), а также электрические (пульсации напряжения) помехи. Избавиться от них на современном этапе очень сложно; проще вообще отказаться от использования импульсников.

Поэтому целесообразно применять импульсные стабилизаторы только там, где устройства нагрузки потребляют значительный ток (более 10...20 Вт), большая разница между входным и выходным напряжениями (минимум в 2...5 раз) и нагрузка сравнительно нечувствительна к помехам и пульсациям (заряжаемый аккумулятор, лампа накаливания, электромотор и др.). В остальных случаях, особенно если нужно работать со звуком, лучше использовать линейный стабилизатор.

Импульсный стабилизатор состоит из четырех частей: собственно схема управления, ключевой транзистор, дроссель (катушка индуктивности с ферритовым сердечником), конденсатор и обратноточный диод, в качестве которого для незначительного увеличения КПД (и значительного уменьшения нагрева его корпуса) можно использовать мощный транзистор. В зависимости от того, как соединены эти элементы, «импульсник» может повышать, понижать, а также инвертировать полярность напряжения.

Также широко известны трансформаторные импульсные преобразователи, но они менее распространены и используются в основном там, где необходима гальваническая развязка (блоки питания и зарядные устройства с питанием от сети переменного тока) или где нужно значительно (более чем в 3...10 раз) повысить напряжение.

Принцип действия катушки индуктивности аналогичен пружине. Пружину можно сжать – точно так же можно «закачать» энергию в катушку, причем количество запасаемой энергии зависит только от ее индуктивности (сердечника, количества и диаметра витков – от этого же зависит и «сила» пружины). Пружину можно сжать до некоторого предела, причем по мере сжатия сила, необходимая для дальнейшего сжатия, плавно увеличивается до максимума (ограничителя), и при дальнейшем сжатии (после физического состояния насыщения) можно повредить саму пружину (или свои пальцы). Так же действует катушка индуктивности: при подаче напряжения ее сопротивление плавно уменьшается от бесконечности до минимума, поэтому «закачиваемые» в нее импульсы должны быть относительно короткими, иначе может начаться насыщение, и ее индуктивное сопротивление уменьшится до активного сопротивления – сопротивления постоянному току; обычно оно не превышает долей ома, и далее может перегореть обмотка катушки (или канал ключевого транзистора). Сразу после снятия воздействия на пружину она стремится распрямиться – причем скорость распрямления гораздо больше скорости сжатия.

Точно так же на катушке, после отключения ключевого транзистора, возникает ЭДС самоиндукции, и ее напряжение может быть гораздо больше напряжения питания (на этом свойстве основаны повышающие преобразователи напряжения).

Ну и третье свойство: пружина распрямляется в сторону, противоположную той, в которую ее сжимали. Так же и на катушке полярность напряжения становится противоположной (а на этом свойстве построены современные инверторы напряжения).

Катушка индуктивности (дроссель) – единственный прибор, который потребует изготавливать самостоятельно. «Импульсники» работают на сравнительно низких частотах (десятки...сотни килогерц), поэтому их катушки содержат внутри себя магнитный сердечник. Обычно используются кольца или чашки из феррита, использовать сердечники из трансформаторных железных пластин нельзя – у такого дросселя будут слишком большие вихревые токи в сердечнике (токи Фуко), он будет сильно перегреваться, а КПД устройства уменьшится на 20...50%.

В большинстве известных схем импульсных преобразователей катушка работает с постоянным подмагничиванием – то есть через нее течет не переменный ток, а пульсирующий с постоянной составляющей, поэтому, чтобы не происходило намагничивания сердечника, его собирают с диэлектрическим зазором (между половинками сердечника прокладывают полоску бумаги или любого другого немагнитного материала толщиной 0,1...0,5 мм). От этого индуктивность катушки слегка уменьшится, и резко уменьшится опасность критического намагничивания.

---

### **Кстати!**

Поломаные сердечники (феррит очень хрупок и легко ломается) можно полностью восстановить, склеив кусочки моментальным суперклеем или просто сильно сжав их, зафиксировав изолентой. Неразрезные сердечники (ферритовые кольца) в импульсниках лучше не использовать или можно разрезать их алмазной пилой (или просто разломать) и потом склеить с небольшим зазором.

---

### **1.1.3. Почему в ИИП применяют полевые транзисторы**

В большинстве современных низковольтных импульсных стабилизаторов используются только полевые транзисторы. Они стоят чуть



дороже биполярных, однако обладают гораздо меньшим падением напряжения на канале в открытом состоянии – благодаря этому суммарный КПД устройства с «полевиками» на выходе на 5...15% выше, чем у биполярных аналогов, а нагрев элементов схемы заметно слабее. Если биполярному транзистору в ключевом режиме уже при токе 1...2 А требуется радиатор охлаждения, то полевой в той же схеме способен работать без радиатора с током до 5...10 А и более. Однако у «полевиков» из-за внутренних особенностей гораздо выше внутренние паразитные емкости, поэтому при работе на высоких частотах (выше 500...1000 кГц) или при высоком входном напряжении (выше 300 В) «биполярники» становятся более выгодным решением.

Открываться и закрываться ключевые транзисторы должны с максимально возможной быстротой – от этого зависит КПД устройства (потери в катушке), и полевые транзисторы по этому параметру «обгоняют» биполярные только при невысоких напряжениях. В высоковольтных схемах выгоднее использовать IGBT-модули (комбинация из маломощного полевого транзистора на входе и мощного биполярного – на выходе), поскольку они обладают преимуществами обоих типов транзисторов и почти не имеют недостатков. Однако они сравнительно дороги.

Аналогичные требования в ИИП предъявляются и к диоду. Ток обратного хода (протекающий через диод) практически равен прямому току (протекающему через транзистор), поэтому диод должен быть достаточно мощным, с минимальным падением напряжения. Этим требованиям идеально соответствуют диоды Шоттки, если бы не одно «но»: они слишком низковольтны. Максимальное рабочее напряжение для большинства диодов Шоттки 20...60 В, и лишь у некоторых оно достигает 100...200 В. Вместе с тем падение напряжения на диодах Шоттки почти в 2 раза меньше (0,3–0,5 В против 0,7–1,2 В у обычных диодов с р-п переходом) и гораздо выше максимальная рабочая частота – из-за отсутствия времени обратного восстановления. Благодаря этому диоды Шоттки греются заметно слабее. Для работы с большими напряжениями можно использовать только быстрые (Fast, F) или сверхбыстрые (Ultra Fast, UF) диоды. Обычные низковольтные выпрямительные диоды на таких частотах «захлебываются» и очень сильно греются, естественно, с потерями в КПД.

Конденсаторы на выходе схем ИИП можно использовать только из серий с небольшим внутренним сопротивлением (более известно как «эффективное последовательное сопротивление», ESR) – так

как они заряжаются и работают с мощными импульсами. Емкость конденсатора менее критична. К примеру, Low-ESR конденсатора емкостью 330 мкФ при работе на частоте в десятки килогерц вполне достаточно, и он более эффективен, чем обычный конденсатор емкостью, раз в 10 большей. Однако для обеспечения значительных пиковых токов нагрузки (например, при питании усилителя мощности ЗЧ) параллельно с таким конденсатором все-таки лучше подключить «обычный», емкостью от 2000 мкФ.

Если конденсаторы при работе на номинальную нагрузку (то есть на ту, на которую рассчитан преобразователь) нагреваются более чем на 10...20 °С – это однозначно свидетельствует, что у них слишком большой ESR, и они элементарно не справляются в данной схеме.

Чем больше рабочее напряжение конденсатора, тем ниже его ESR, поэтому в импульсных преобразователях желательно использовать конденсаторы как минимум с двукратным запасом по напряжению. При параллельном подключении нескольких конденсаторов (можно разной емкости) их суммарный ESR снижается. Во многих схемах параллельно с электролитическим конденсатором рекомендуется подключать керамические конденсаторы емкостью до единиц микрофарады, однако в мощных «импульсниках» эффект от их использования можно заметить разве что с помощью специальных приборов.

Во всех «импульсниках» обязателен фильтрующий конденсатор по шинам питания сравнительно большой емкости (минимум 1000 мкФ на 1 А входного тока) и с низким внутренним сопротивлением. На плате этот конденсатор должен стоять как можно ближе к ключевым элементам и соединяться с ними дорожками максимальной ширины (или проводниками с большим сечением). Его также можно составлять из нескольких параллельно соединенных конденсаторов (рабочее напряжение минимум в 1,5 раза больше максимального входного напряжения).

### **1.1.4. Схема повышающего преобразователя напряжения**

Схему управления во всех современных «импульсниках» собирают на базе специализированных микросхем. Они сравнительно дешевы, обладают отличными (от других) характеристиками и практически не требуют подключения внешних элементов, а также кропотливой настройки. Для управления полевыми транзисторами необходимы

микросхемы с мощным выходом – для достижения максимального КПД транзистор должен открываться с максимальной скоростью (порядка сотен наносекунд). У полевых транзисторов емкость затвора очень велика, в десятки раз больше емкости базы у биполярных транзисторов и в сотни раз – чем у IGBT-модулей. Поэтому микросхема-драйвер полевого транзистора должна иметь полумостовой выход, обеспечивать на выход ток до 0,2...2,0 А, и чем выше рабочая частота, тем выше должен быть выходной ток. Этот ток потребляется транзистором кратковременно – пока не зарядится/разрядится его затвор (сотни наносекунд), все остальное время затвор не потребляет ток, поэтому более мощный драйвер не приведет к увеличению энергопотребления, даже наоборот, КПД схемы возрастет.

Схемы повышающих преобразователей напряжения показаны на рис. 1.1.

Во время рабочего хода (когда транзистор открыт) катушка запасает энергию – ее можно представить как батарейку (конденсатор), положительный полюс которой вверху схемы (рис. 1.16). Диод при

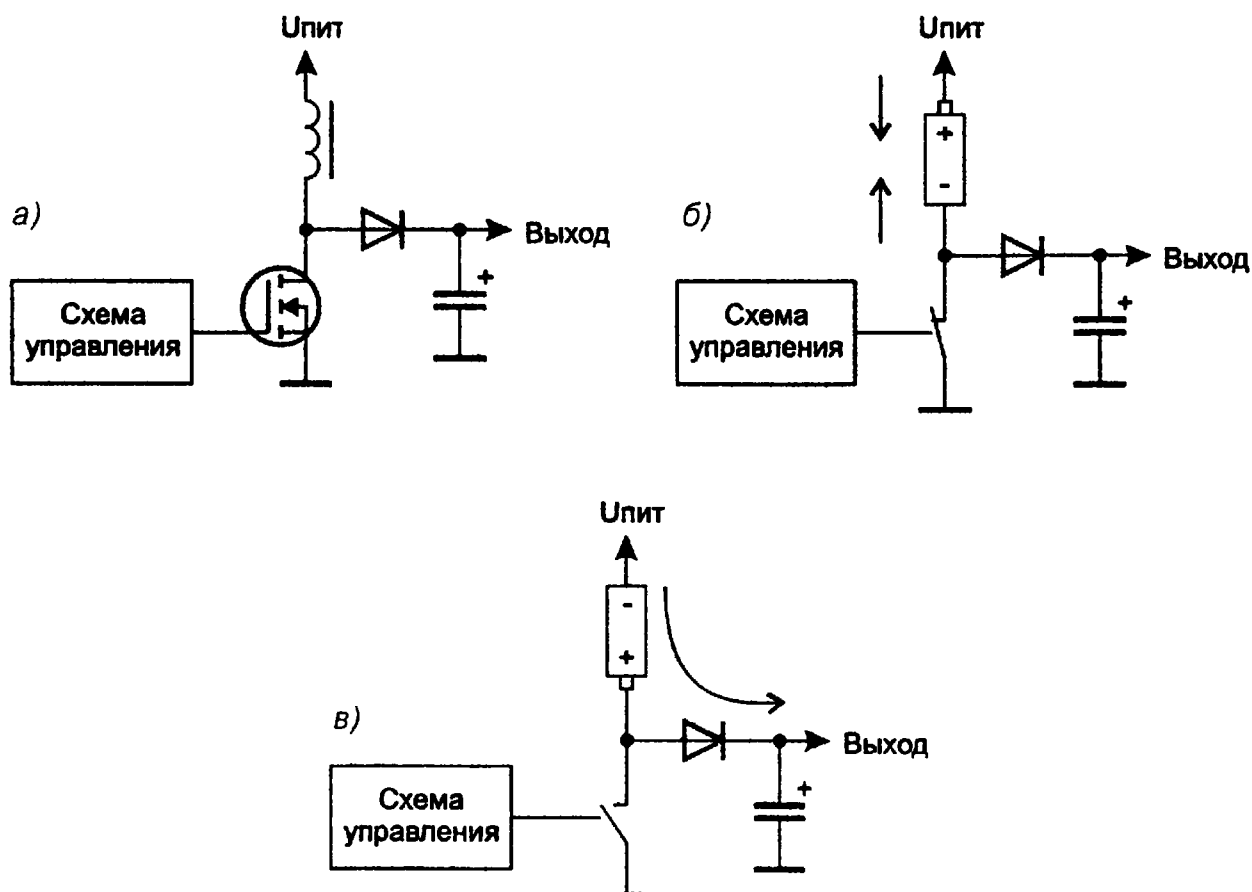


Рис. 1.1 (а–в). Схемы повышающих преобразователей напряжения

этом закрыт, постоянное напряжение на выходе поддерживается конденсатором. После запираания транзистора полярность напряжения на выводах катушки меняется на противоположную; данное напряжение суммируется с напряжением питания и подзаряжает конденсатор (рис. 1.1в).

Таким способом можно получить сколь угодно большое напряжение, но обычно оно не превышает нескольких сотен вольт из-за потерь как в самой катушке, так и в других элементах схемы. Поэтому при самостоятельной сборке рекомендованной схемы нужно уделить особое внимание надежности элементов и монтажа. Транзистор, конденсатор и диод в этой схеме должны быть рассчитаны на максимальное выходное напряжение с запасом в 10...20 В.

### 1.1.5. Инверторы напряжения

Инвертор напряжения работает по аналогичному принципу (рис. 1.2а). Пока транзистор открыт (рис. 1.2б), катушка накапливает энергию, а диод закрыт обратным напряжением. После запираания транзистора на верхнем по схеме выводе катушки появляется отрицательный потенциал, и она через диод подзаряжает отрицательным напряжением конденсатор (рис. 1.2в). Конденсатор в этой схеме должен

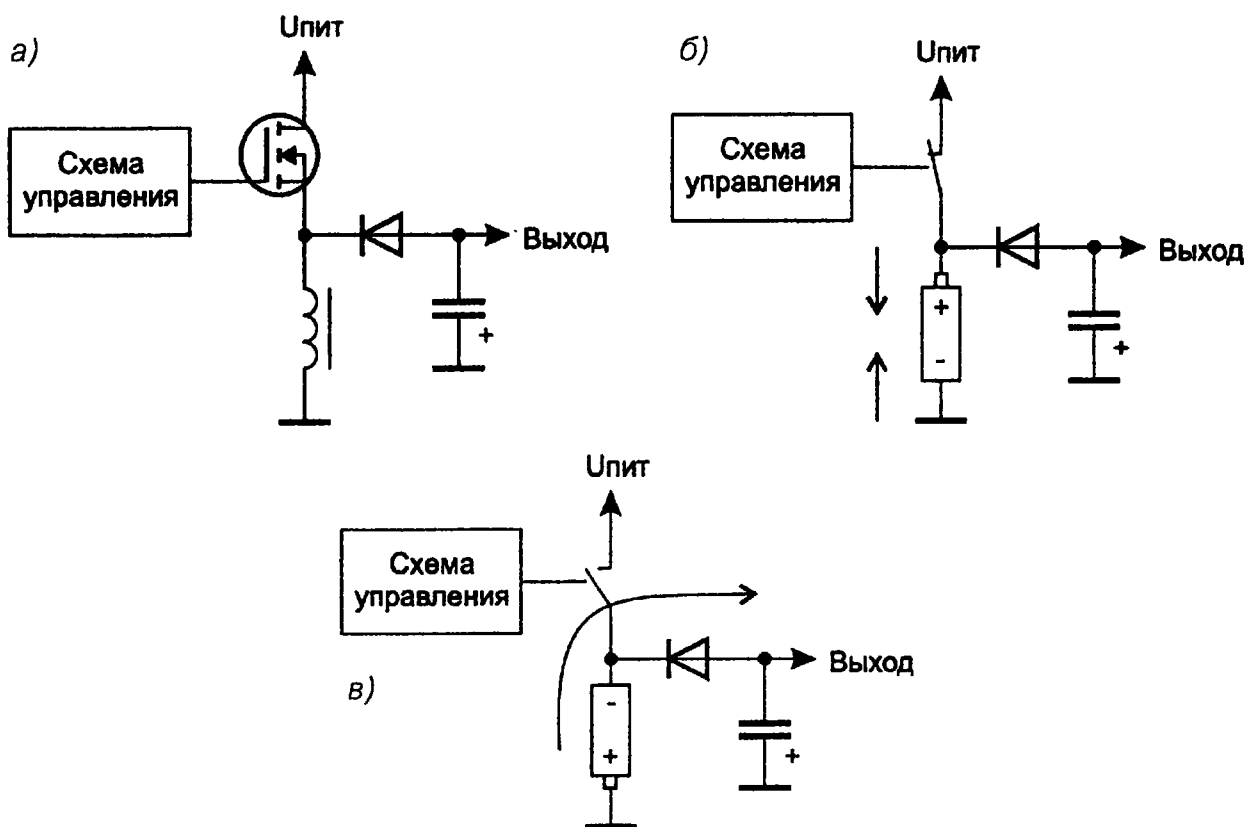


Рис. 1.2 (а-в). Схемы инверторов напряжения

быть рассчитан на максимальное выходное напряжение (плюс запас), транзистор и диод – на напряжение питания с аналогичным запасом.

### 1.1.6. Понижающий преобразователь напряжения

Понижающий преобразователь напряжения собирают по несколько иной схеме (рис. 1.3а). Пока транзистор открыт, катушка медленно накапливает заряд, одновременно подзаряжая выходной накопительный конденсатор (рис. 1.3б). После запираания транзистора катушка через диод разряжается на конденсатор (рис. 1.3в), еще сильнее повышая напряжение на нем. Как только напряжение на конденсаторе чуть снизится (под влиянием тока нагрузки), схема управления даст еще один импульс на транзистор, подзаряжая конденсатор, и так происходит в циклическом режиме.

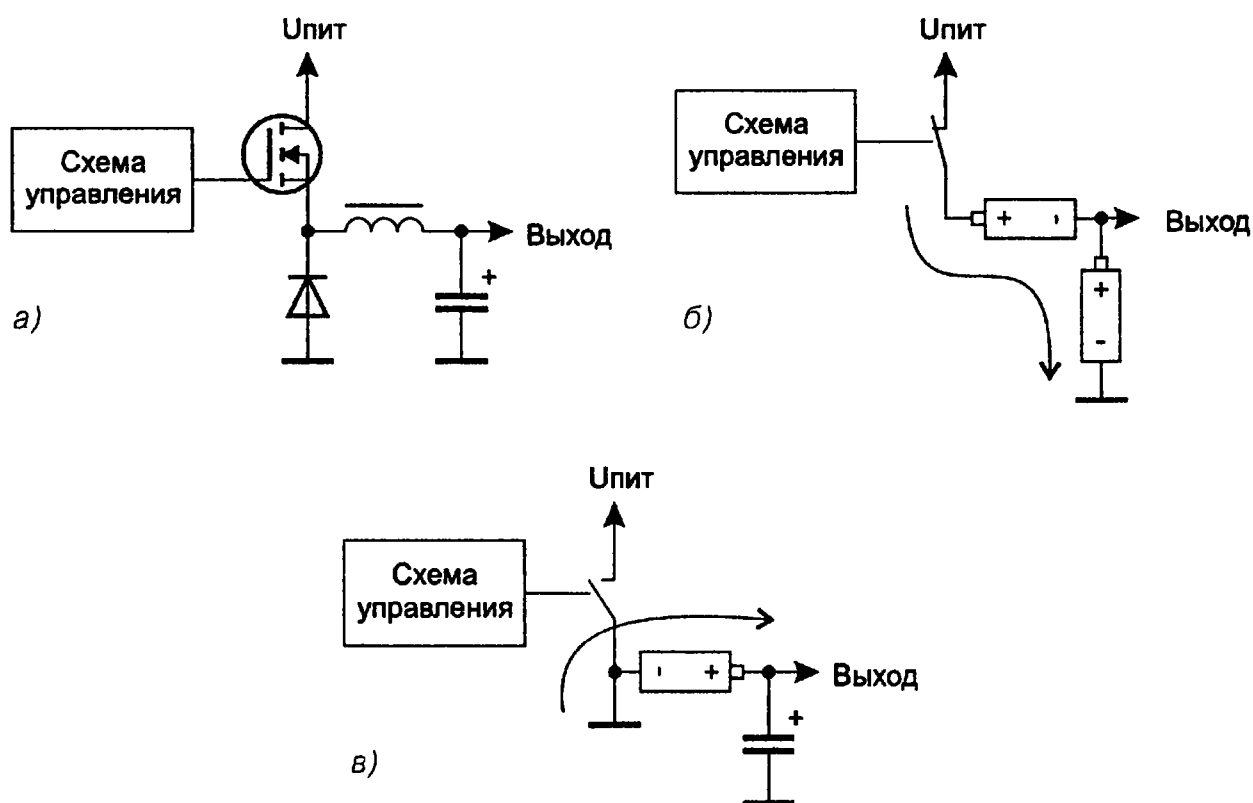


Рис. 1.3 (а–в). Схемы понижающих преобразователей напряжения

#### Кстати!

А вот совсем отказываться от использования катушки в этой схеме нельзя, хотя она, казалось бы, и ни к чему. Если выход устройства

нагружен на «грубую» активную нагрузку (лампа накаливания или электропаяльник), катушку и диод можно не ставить. Но если на выходе требуется сглаженное постоянное напряжение, без катушки не обойтись. Ведь внутреннее сопротивление (ESR) современных конденсаторов ничтожно мало (посмотрите хотя бы на мощность искры, появляющейся при коротком замыкании выводов заряженного конденсатора), и при резком и кратковременном отпирании транзистора через конденсатор и переход транзистора потечет очень большой (десятки...сотни ампер) ток, способный вывести их из строя. К тому же очень резко возрастет нагрев этих элементов, снижается срок их службы. Катушка здесь выполняет роль пружины, ограничивая ток на безопасном для всех элементов уровне и возвращая часть ограниченного тока после запираания транзистора в нагрузку.

Повышающе-понижающий преобразователь напряжения (это его в обиходе называют «инвертор», что по-научному не совсем правильно) собирается по комбинированной схеме (рис. 1.4а).

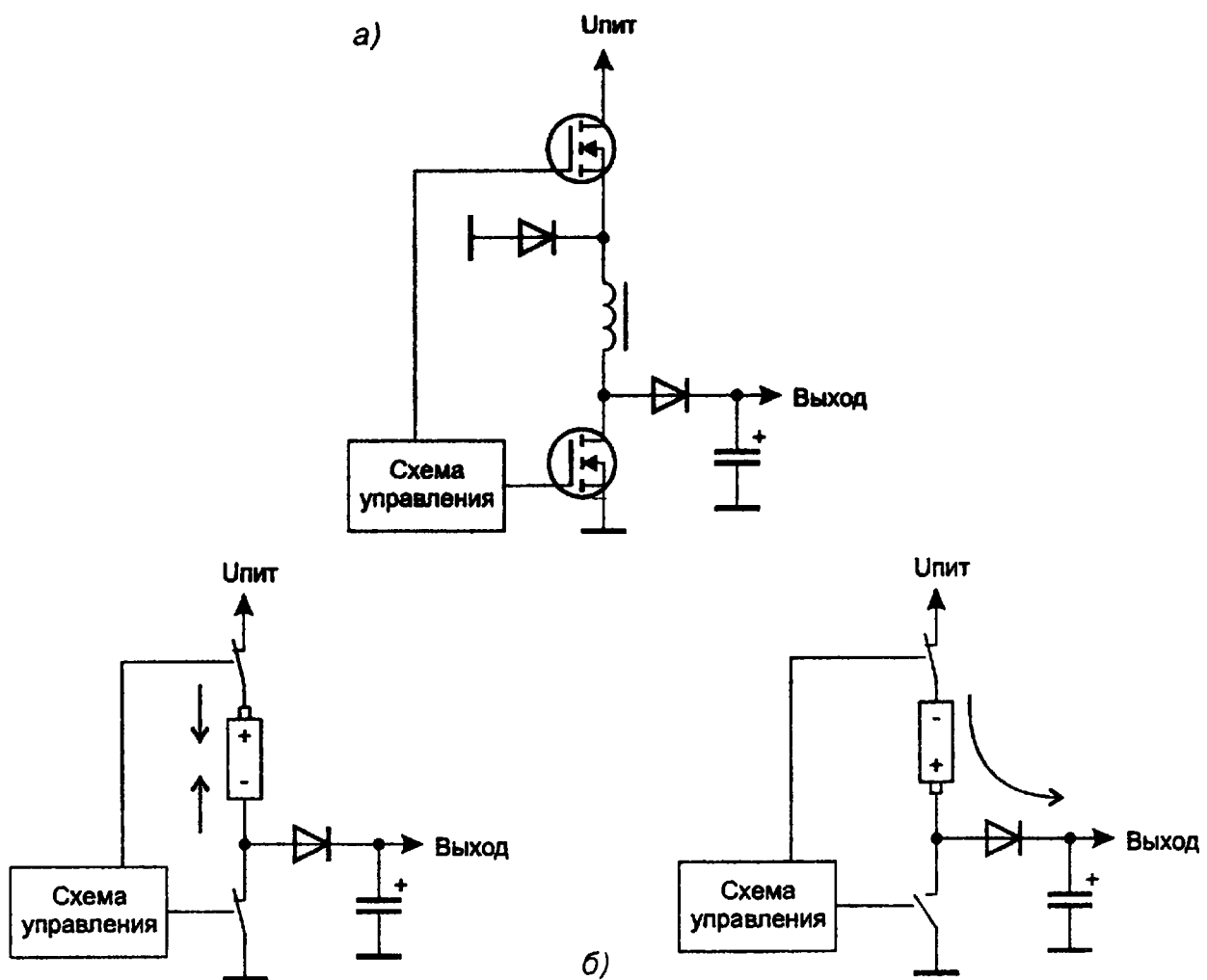


Рис. 1.4 (а, б). Электрические схемы повышающе-понижающих преобразователей напряжения

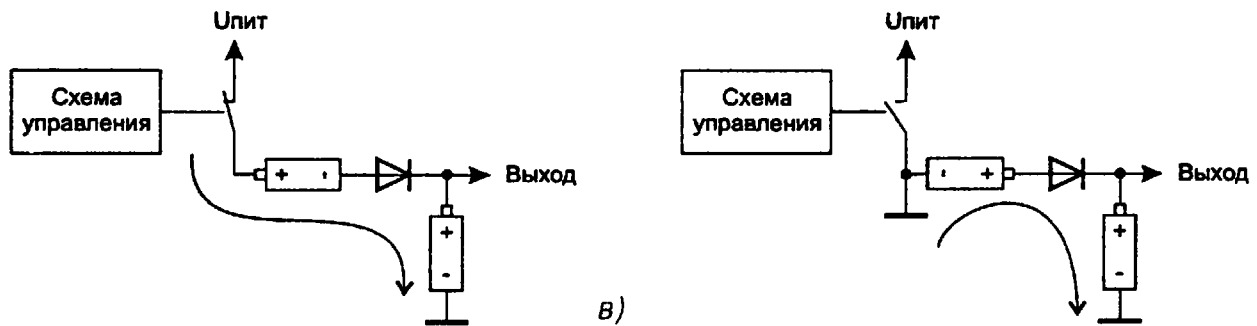


Рис. 1.4 (в). Электрические схемы повышающе-понижающих преобразователей напряжения

Типичный пример инвертора – когда напряжение на нагрузке должно быть 5 В, а напряжение питания – в диапазоне 3–12 В.

Пока входное напряжение меньше напряжения нагрузки (рис. 1.4б), верхний по схеме транзистор всегда полностью открыт, а нижний «повышает» напряжение. При равенстве входного напряжения выходному верхний транзистор открыт, нижний закрыт. Как только входное напряжение станет больше выходного, нижний по схеме транзистор закрывается, а верхний начинает «работать», ограничивая выходное напряжение (рис. 1.4в). Естественно, схема управления в этом случае будет гораздо сложнее, а также будет чуть ниже (на 1...5%) КПД из-за двух диодов, включенных в режиме понижающего преобразователя.

### 1.1.7. О паразитном возбуждении

При повторении схемы импульсного преобразователя, особенно если в наличии нет авторской печатной платы, особое внимание нужно уделить разводке цепей питания и нагрузки, особенно в оконечных сильноточных каскадах. Всего лишь одна «неправильная» дорожка, попытка сэкономить пару сантиметров дорожек или просто неправильно разведенные дорожки – и схема будет плохо работать или, что самое страшное, начнет возбуждаться. Так происходит потому, что на сравнительно высоких частотах (рабочие частоты преобразователей обычно доходят до сотни килогерц) даже несколько сантиметров длины дорожки – уже полноценная катушка индуктивности, и при ее неправильном включении может образоваться положительная обратная связь (ПОС), то есть возбуждение. Также преобразователи работают в импульсном режиме, со сравнительно большими токами, а сопротивление дорожек гораздо больше нуля – то есть при открытии-закрытии транзистора на дорожках

меняются потенциалы, и чем больше рабочий ток, тем больше их амплитуда (напряжение), и они тоже могут поспособствовать возбуждению.

При возбуждении нарушается четкий импульсный режим работы схемы: наподобие того, как если в четко отлаженный конвейер попадает посторонний предмет, все механизмы пойдут «вкривь и вкось». В «возбуждившейся» схеме резко возрастает потребляемый ток, так как частота возбуждения гораздо выше рабочей, и ключевой транзистор (обычно низкочастотный – он дешевле) не может корректно обработать столь высокочастотный сигнал, поэтому он работает в частично линейном режиме. Из-за этого он сильно греется, и заметно снижается КПД устройства.

Еще один косвенный признак возбуждения – свист или высокочастотный писк. В нормальном режиме, если схема работает на ультразвуковых частотах (выше 25...30 кГц), она абсолютно бесшумна, максимум – это небольшой фон с частотой 50 Гц (плохая фильтрация выпрямленного сетевого напряжения) или небольшой шум в катушке (как в ненастроенном радиоприемнике) – верный признак недостаточной емкости фильтрующего конденсатора в управляющей схеме. Если же устройство всегда или только при резком изменении тока нагрузки (подключение/отключение еще одной лампы накаливания должно сопровождаться только «щелчками») свистит или посвистывает – это свидетельствует, соответственно, о возбуждении или предвозбуждении, и с этим паразитным эффектом нужно бороться (чтобы транзисторы меньше грелись, чтобы КПД повысился, пропал акустический свист).

Проще всего полностью переделать плату, с учетом всех правил и рекомендаций, поскольку поиск причины возбуждения в ИИП может растянуться на несколько недель. У всех ли есть столько свободного времени? К сожалению, неопытные радиолюбители, столкнувшись с возбуждением из-за неправильно разведенных дорожек, часто бракуют даже очень хорошие схемы, которые при правильном монтаже обладают замечательными характеристиками.

### **1.1.8. Электромагнитные помехи устранимы?**

Еще одна проблема импульсных стабилизаторов – создание мощных электромагнитных помех. Часто ИИП при токе нагрузки в несколько ампер заглушает все ДВ- и СВ-радиостанции в радиусе десятка метров. А на расстоянии десятка сантиметров от катушки



индуктивности излучение настолько мощное, что способно нарушить работу всех элементов схемы. Поэтому размещать катушку нужно как можно дальше от схемы, особенно от чувствительных цепей (цепи обратной связи, управляющей микросхемы).

В крайнем случае эти элементы нужно разграничить линейкой электролитических (оксидных) конденсаторов.

Провода питания должны быть подключены как можно ближе к выводам фильтрующего конденсатора по питанию (как показано на рис. 1.5а) дорожками максимальной ширины (обычно из расчета 1 мм дорожки на 1 А тока; дорожку можно усилить, припаяв к ней медную проволоку диаметром 0,5 мм и больше). После чего из двух точек (не обязательно контактные площадки выводов конденсатора – эти «точки» можно сформировать посреди дорожки от источника питания до конденсатора, тогда часть дорожки будет продолжением вывода конденсатора) разводят питание на все остальные узлы схемы. В первую очередь на транзистор и катушку, в последнюю – на питание управляющей схемы, причем ширина дорожек для сильноточной части должна быть максимальной (на рисунке показано жирными линиями). Только в таком случае удастся минимизировать паразитные эффекты от падения напряжения на дорожках (дорожки как бы являются продолжением выводов элементов и соединяются в одном узле) и их индуктивности.

На рис. 1.5 показаны варианты печатной платы.

Здесь между управляющей схемой и катушкой индуктивности стоят два ряда оксидных конденсаторов, поскольку именно они менее чувствительны к магнитному излучению дросселя и надежно прикрывают схему управления. Конденсаторы включены по два параллельно, хотя можно обойтись и одним – большей емкости. Обратите внимание на разводку дорожек питания: как бы ни был велик соблазн сэкономить, разводить нужно так, разве что можно сделать дорожки пошире, но чтобы они не соприкасались друг с другом.

Если общий провод устройства должен быть электрически соединен (заземлен) с корпусом устройства – заземляющий провод должен подключаться к той точке, от которой расходятся все дорожки, а не в любом удобном месте! Эти же рекомендации относятся и ко всему остальному монтажу в силовой части схемы.

Обратите внимание, как сделан общий вывод нагрузки: в схему добавлена «неудобная» перемычка, хотя физически можно провести дорожку возле катушки. Но тогда эта дорожка станет ловить помехи от катушки, и предсказать форму выходного напряжения станет

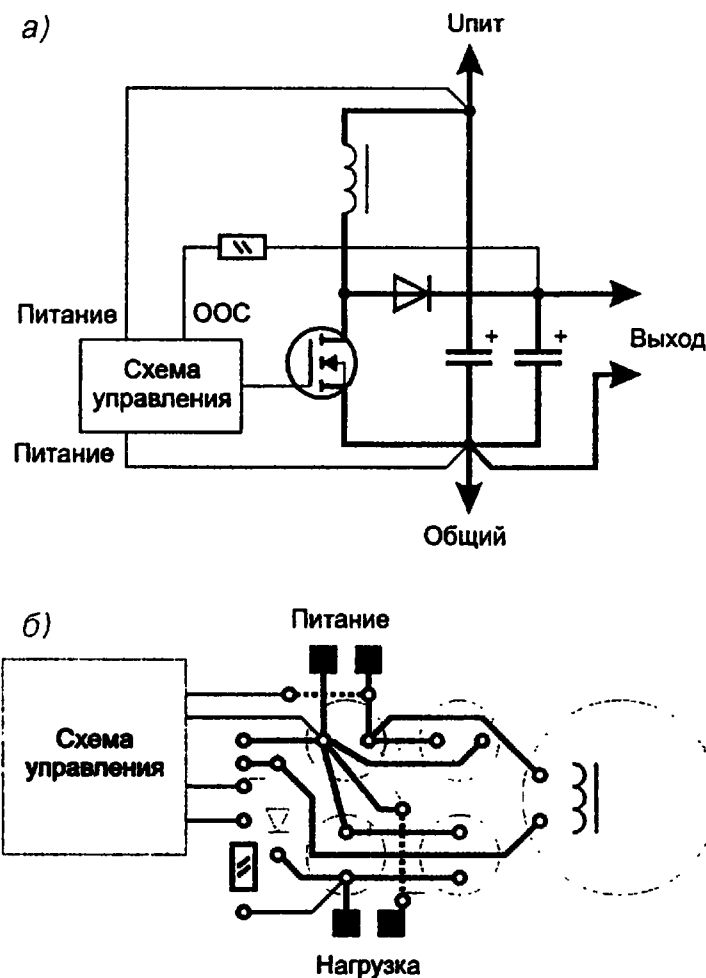


Рис. 1.5 (а–б). Варианты и особенности разводки печатных плат

невозможно. Особое внимание при рисовании платы нужно уделять подключению элементов обратной связи (на рисунке – резистора): это даже более важно, чем правильная разводка питания. В любом случае лучше сделать плату чуть больших размеров, но с правильной разводкой всех цепей, чем потом смириться с плохим КПД, сильным нагревом транзисторов и неустойчивой работой всего преобразователя.

## 1.2. Маломощный преобразователь для питания нагрузки (9 В) от Li-ion аккумулятора (3,7 В)

Некоторые современные маломощные устройства потребляют очень небольшой ток (несколько миллиампер), но для своего питания требуют уж слишком экзотического источника – батарейки напряже-

нием 9 В, которой к тому же хватает максимум на 30...100 часов работы прибора. Особенно странно это выглядит сейчас, когда Li-ion аккумуляторы от разнообразных мобильных гаджетов стоят чуть ли не дешевле самих батареек – элементов питания. Поэтому естественно, что настоящий радиолюбитель постарается приспособить аккумуляторы для питания своего прибора, а не будет периодически разыскивать «антикварные» батарейки.

Если рассмотреть в качестве маломощной нагрузки обычный (и популярный) мультиметр М830, питающийся от элемента типа «Корунд», то для создания напряжения 9 В нужны минимум 2–3 последовательно соединенных аккумулятора, что нам не подходит – они просто не влезут внутрь корпуса прибора. Поэтому единственный выход – использование одного аккумулятора и повышающего преобразователя напряжения.

### 1.2.1. Выбор элементной базы

Самое простое решение – это использование таймера типа 555 (или его КМОП-версии 7555) в импульсном преобразователе (емкостные преобразователи не подходят – у нас слишком большая разница между входным и выходным напряжениями). Дополнительный «плюс» этой микросхемы – у нее имеется выход с открытым коллектором, причем достаточно высоковольтный – способный выдерживать напряжение до +18 В при любом рабочем напряжении питания. Благодаря этому можно собрать преобразователь буквально из десятка дешевых и распространенных деталей (рис. 1.6).

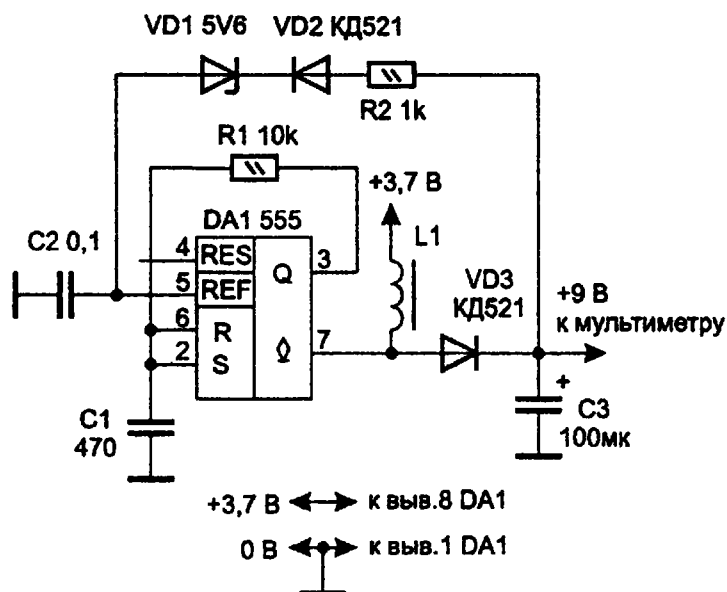


Рис. 1.6. Схема простого преобразователя

Вывод 3 микросхемы – обычный выход с двумя состояниями, он используется в этой схеме для поддержания генерации. Вывод 7 – выход с открытым коллектором, способный выдерживать повышенное напряжение, поэтому его можно подключить непосредственно к катушке, без повторителя на транзисторе. Вход образцового напряжения (вывод 5) используется для регулирования выходного напряжения.

### **1.2.2. Принцип работы устройства**

Сразу после подачи напряжения питания конденсатор С3 разряжен, ток через стабилитрон VD1 не течет, напряжение на входе REF микросхемы равно 2/3 напряжения питания, и скважность выходных импульсов равна 2 (то есть длительность импульса равна длительности паузы), конденсатор С3 заряжается с максимальной быстротой. Диод VD2 нужен для того, чтобы разряженный конденсатор С3 не влиял на схему (не уменьшал напряжение на выводе 5), резистор R2 – «на всякий случай», для защиты.

По мере заряда этого конденсатора стабилитрон VD1 начинает приоткрываться, и напряжение на выводе 5 микросхемы повышается. От этого длительность импульса уменьшается, длительность паузы возрастает, пока не наступит динамическое равновесие и выходное напряжение не стабилизируется на определенном уровне. Величина выходного напряжения зависит только от напряжения стабилизации стабилитрона VD1 и может быть до 15...18 В – при большем напряжении микросхема может выйти из строя.

### **1.2.3. О деталях**

Катушка L1 намотана на ферритовом кольце К7×5×2 (внешний диаметр – 7 мм, внутренний – 5 мм, толщина – 2 мм), примерно 50...100 витков проводом диаметром 0,1 мм. Кольцо можно взять и побольше, тогда число витков можно будет уменьшить, или взять промышленный дроссель индуктивностью сотни микрогенри (мкГн).

Микросхему 555 можно заменить на отечественный аналог К1006ВИ1 или на КМОП-версию 7555 – у нее меньше потребляемый ток (аккумулятор «продержится» чуть дольше) и шире диапазон рабочих напряжений, однако у нее более слабый выход (если мультиметру требуется более 10 мА – она может не выдать такой ток, особенно при столь малом напряжении питания) и она, как и

все КМОП-структуры, «не любит» повышенное напряжение на своем выходе.

### **1.2.4. Особенности устройства**

Устройство начинает работать сразу после сборки, вся настройка заключается в установке выходного напряжения подбором стабилитрона VD1, при этом к выходу параллельно конденсатору C3 нужно подключить резистор сопротивлением 3...1 кОм (имитатор нагрузки), но не мультиметр!

Запрещается включать преобразователь с неприпаянным стабилитроном – тогда выходное напряжение будет ничем не ограничено и схема может «убить» сама себя. Также можно увеличить рабочую частоту, уменьшив сопротивление резистора R1 или конденсатора C1 (если она работает на звуковой частоте – слышан высокочастотный писк). При длине проводов от аккумулятора менее 10...20 см фильтрующий конденсатор питания необязателен, или можно между выводами 1 и 8 микросхемы поставить конденсатор емкостью 0,1 мкФ и более.

### **1.2.5. Выявленные недостатки**

Во-первых, в устройстве оказываются два генератора (один – задающий генератор микросхемы АЦП – аналогово-цифрового преобразователя прибора, второй – генератор преобразователя), работающих на одинаковых частотах, то есть они будут влиять друг на друга (биение частот) и точность измерений серьезно ухудшится.

Во-вторых, частота генератора преобразователя постоянно меняется в зависимости от тока нагрузки и напряжения батареи (потому что в цепи ПОС – положительной обратной связи – стоит резистор, а не генератор тока), поэтому предсказать и скорректировать его влияние становится невозможно. Конкретно для мультиметра идеальным будет один общий генератор для АЦП и преобразователя с фиксированной рабочей частотой.

### **1.2.6. Второй вариант преобразователя**

Схема такого преобразователя чуть сложнее и изображена на рис. 1.7.

На элементе DD1.1 собран генератор, через конденсатор C2 он тактирует преобразователь, а через C5 – микросхему АЦП. Большинство недорогих мультиметров собраны на базе АЦП двойного

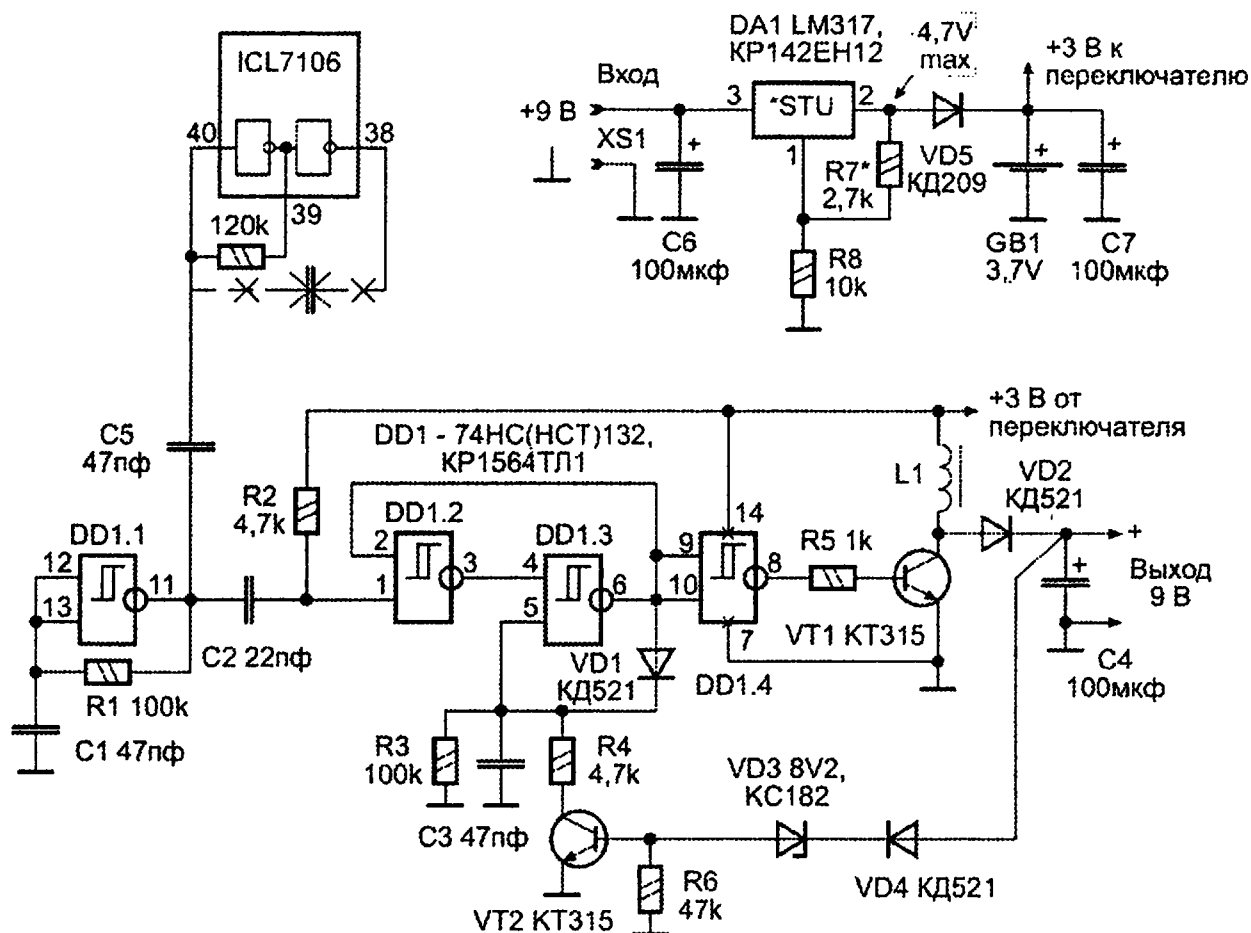


Рис. 1.7. Схема преобразователя с фиксированной рабочей частотой

интегрирования ICL7106 или ее аналогов (40 выводов, 3,5 знака на дисплее), для тактирования этой микросхемы нужно всего лишь удалить конденсатор между выводами 38 и 40 (отпаять его ножку от вывода 38 и припаять к выводу 11 DD1.1). Благодаря обратной связи через резистор между выводами 39 и 40 микросхема может тактироваться даже очень слабыми сигналами амплитудой доли вольта, поэтому 3-вольтовых сигналов с выхода DD1.1 вполне достаточно для ее нормальной работы.

Кстати, таким образом можно в 5...10 раз увеличить скорость измерения – просто повысив тактовую частоту. Точность измерения от этого практически не страдает – ухудшается максимум на 3...5 единиц младшего разряда. Стабилизировать рабочую частоту для такого АЦП не нужно, поэтому обычного RC-генератора вполне достаточно для нормальной точности измерений.

На элементах DD1.2 и DD1.3 собран ждущий мультивибратор, длительность импульса которого с помощью транзистора VT2 может изменяться почти от 0 до 50%. В исходном состоянии на его выходе (вывод 6) присутствует «логическая единица» (высокий

уровень напряжения), и конденсатор С3 заряжен через диод VD1. После поступления запускающего отрицательного импульса мультивибратор «опрокидывается», на его выходе появляется «логический нуль» (низкий уровень напряжения), блокирующий мультивибратор через вывод 2 DD1.2 и открывающий транзистор VT1 через инвертор на DD1.4. В таком состоянии схема будет до тех пор, пока не разрядится конденсатор С3 – после чего «нуль» на выводе 5 DD1.3 «опрокинет» мультивибратор обратно в ждущее состояние (к этому времени С2 успеет зарядиться и на выводе 1 DD1.1 также будет «1»), транзистор VT1 закроется, и катушка L1 разрядится на конденсатор С4. После прихода очередного импульса снова повторятся все вышеперечисленные процессы.

Таким образом, количество запасаемой в катушке L1 энергии зависит только от времени разряда конденсатора С3, то есть от того, насколько сильно открыт транзистор VT2, помогающий ему разряжаться. Чем выше выходное напряжение – тем сильнее открывается транзистор; таким образом, выходное напряжение стабилизируется на некотором уровне, зависящем от напряжения стабилизации стабилитрона VD3.

Для зарядки аккумулятора используется простейший преобразователь на регулируемом линейном стабилизаторе DA1. Зарядать аккумулятор, даже при частом пользовании мультиметром, приходится всего пару раз в год, поэтому ставить сюда более сложный и дорогой импульсный стабилизатор нет смысла. Стабилизатор настроен на выходное напряжение 4,4...4,7 В, которое диодом VD5 понижается на 0,5...0,7 В – до стандартных для заряженного литий-ионного аккумулятора значений (3,9...4,1 В). Этот диод нужен для того, чтобы аккумулятор не разряжался через DA1 в автономном режиме. Для зарядки аккумулятора нужно подать на вход XS1 напряжение 6...12 В и забыть о нем на 3...10 часов. При высоком входном напряжении (более 9 В) микросхема DA1 сильно греется, поэтому нужно или предусмотреть теплоотвод, или понизить входное напряжение.

В качестве DA1 можно использовать 5-вольтовые стабилизаторы КР142ЕН5А, ЕН5В, 7805 – но тогда, для гашения «лишнего» напряжения, VD5 нужно составить из двух соединенных последовательно диодов. Транзисторы в этой схеме можно использовать практически любых структур п-р-п, КТ315Б здесь стоят только потому, что у автора их скопилось слишком много.

Нормально будут работать КТ3102, 9014, BC547, BC817 и др. Диоды КД521 можно заменить на КД522 или 1N4148, VD1 и VD2

должны быть высокочастотными – идеальны ВЛV70 или ВAW56. VD5 – любой диод (не Шоттки!) средней мощности (КД226, 1N4001). Диод VD4 необязателен – просто у автора были слишком низковольтные стабилитроны и выходное напряжение не дотягивало до минимальных 8,5 В – а каждый дополнительный диод в прямом включении прибавляет к выходному напряжению по 0,7 В. Катушка – та же, что и для предыдущей схемы (100...200 мкГн).

Схема доработки переключателя мультиметра показана на рис. 1.8.

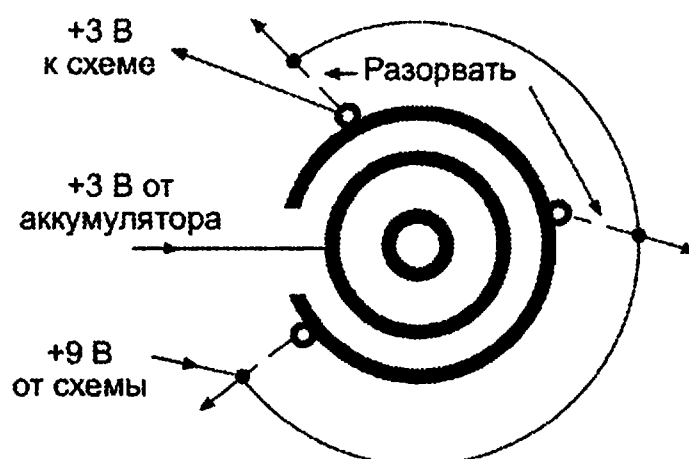


Рис. 1.8. Электрическая схема доработки переключателя мультиметра

К центральной дорожке-кольцу мультиметра подключен положительный вывод батарейки, мы же соединяем это кольцо с «+» аккумулятора. Следующее кольцо – второй контакт переключателя, и оно соединено с элементами схемы мультиметра 3...4 дорожками. Эти дорожки с противоположной стороны платы нужно разорвать и соединить вместе, а также с выходом +9 В преобразователя. Кольцо же соединяем с шиной питания +3 В преобразователя. Таким образом, мультиметр соединен с выходом преобразователя, а переключателем мультиметра мы включаем-выключаем питание преобразователя. На такие сложности приходится идти из-за того, что преобразователь потребляет некоторый ток (3...5 мА) даже при отключенной нагрузке, а аккумулятор таким током разрядится примерно за неделю. Здесь же мы отключаем питание самого преобразователя, и аккумулятора хватит на несколько месяцев.

В настройке правильно собранное из исправных деталей устройство не нуждается, иногда нужно только отрегулировать напряжение резисторами R7, R8 (зарядное устройство) и стабилитроном VD3 (преобразователь).



Варианты печатной платы показаны на рис. 1.9.

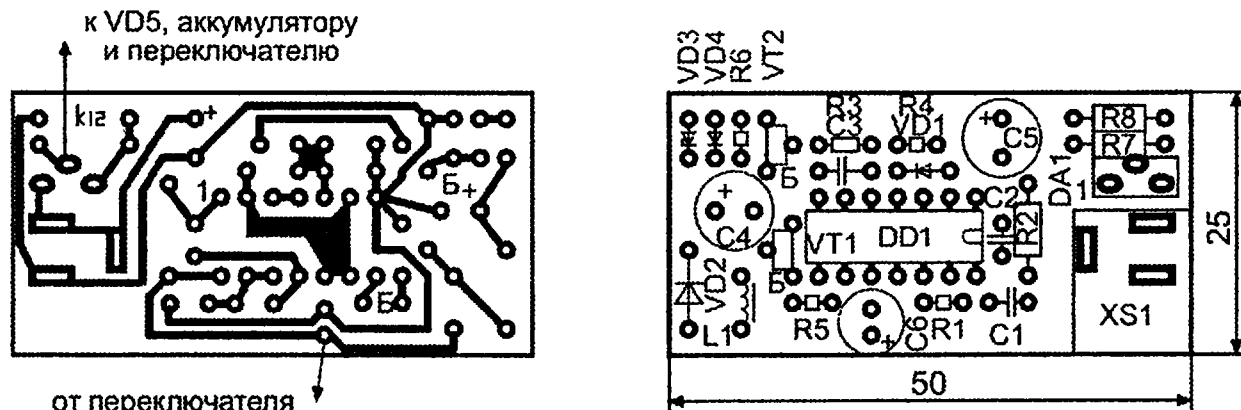


Рис. 1.9. Варианты печатной платы

Плата имеет размеры стандартной батарейки и устанавливается в соответствующем отсеке. Аккумулятор укладывается под переключателем – обычно там достаточно места, предварительно его нужно обмотать несколькими слоями изоленды или хотя бы скотчем. Для подключения разъема зарядного устройства в корпусе мультиметра нужно просверлить отверстие. Расположение выводов у разных разъемов XS1 иногда отличается, поэтому, возможно, придется несколько доработать плату. Чтобы аккумулятор и плата преобразователя не «болтались» внутри мультиметра, их нужно чем-нибудь прижать внутри корпуса.

### 1.3. Мощный преобразователь напряжения 12 – 5 В по простой схеме

Такой преобразователь может понадобиться для питания высоко-точных 5-вольтовых схем от автомобильного аккумулятора, зарядки от него же литиевых аккумуляторов (тогда выходное напряжение придется уменьшить до 4 В); в авторском же варианте используется для питания внешнего компьютерного DVD-RW (USB) от автомобильного аккумулятора. Этот привод и сам по себе довольно сильно греется в процессе работы, поэтому охлаждать еще и микросхему линейного стабилизатора просто нечем. А импульсники знамениты своей экономичностью.

На микросхеме DD1 собраны умножитель напряжения и тактирующий генератор (рис. 1.10).

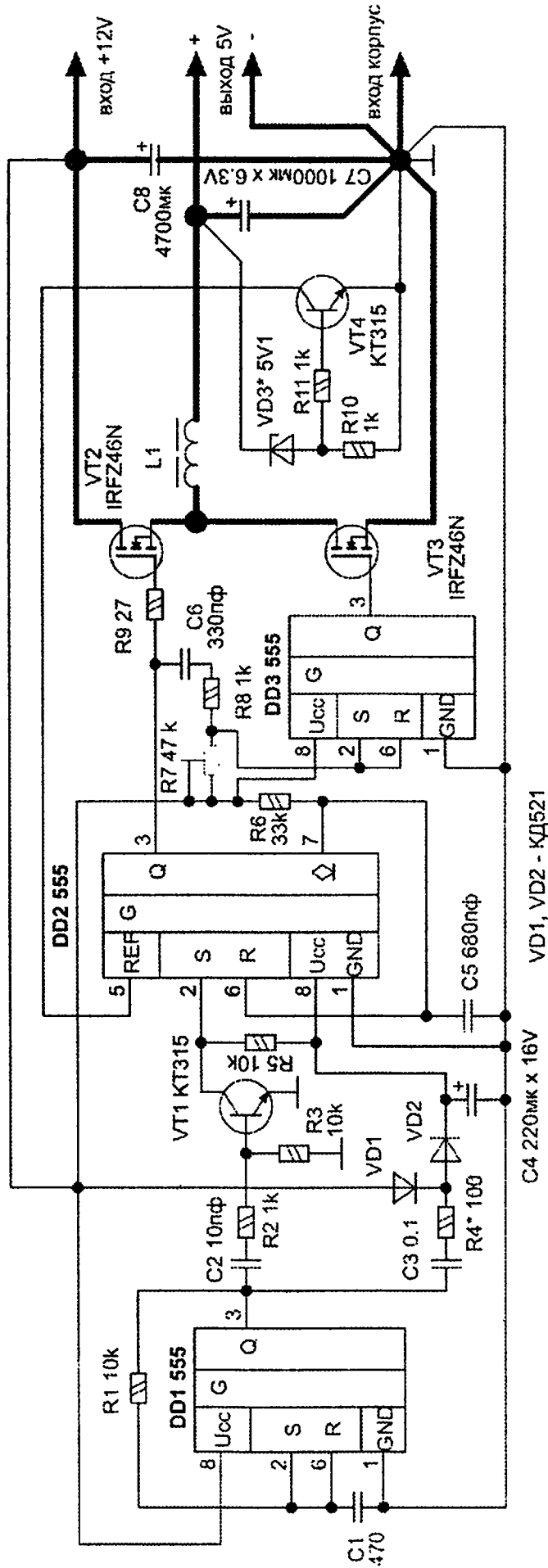


Рис. 1.10. Электрическая схема преобразователя

Умножитель необходим из-за того, что в схеме используются более дешевые и распространенные полевые транзисторы с каналом *p*-типа. Для полного отпирания полевого транзистора с изолированным затвором и индуцируемым каналом (к этому типу относятся все транзисторы серии IRF) напряжение на его затворе нужно поднять на 3...5 В выше напряжения на стоке – так что здесь без умножителя не обойтись.

Умножитель собран на элементах *C3*, *VD1*, *VD2* и фильтрующем конденсаторе *C4* по типовой схеме. Для ограничения напряжения (оно может подняться до 22 В, а для микросхемы 555 напряжение выше 18 В опасно) добавлен резистор *R5*. Благодаря ему напряжение на конденсаторе *C4* составляет около 17...18 В, этого достаточно для нормальной работы полевого транзистора и недостаточно для пробоя микросхемы. Конденсатор *C3* может быть или многослойным керамическим (в виде параллелепипеда, для поверхностного монтажа), или пленочным, но не дисковым керамическим! Иначе, из-за значительного внутреннего сопротивления конденсатора, напряжение на *C4* не повысится выше 15...16 В даже без резистора *R5*, и ключевой транзистор будет сильно греться. Конденсатор *C4* может быть рассчитан на 16 В.

Собственно широтно-импульсный модулятор собран на таймере *DD2*. Через конденсатор *C2* и транзистор *VT1* на вход *S* таймера поступают очень короткие синхроимпульсы с выхода генератора – чем они короче, тем лучше (иначе выход таймера может возбуждаться). Емкости 10 пФ вполне достаточно, ее можно даже уменьшить до 5 пФ.

Регулировка длительности выходных импульсов производится через вход *REF* (вывод 5 микросхемы). Длительность выходного импульса равняется времени, за которое конденсатор *C5* заряжается от нуля до напряжения на этом входе, то есть при уменьшении напряжения *REF* длительность импульсов (и напряжение на выходе) уменьшается, при напряжении менее 1,5 В она становится равной нулю.

### **1.3.1. Принцип работы устройства**

Преобразователь напряжения построен по классической схеме на полевом транзисторе *VT2* и дросселе *L1*. В качестве обратного диода используется транзистор *VT3*. В мощных понижающих импульсниках в этом месте лучше всего ставить именно транзисто-

ры – так как ток обратного хода практически равен прямому току, и если падение напряжения на ключевом транзисторе (VT2 по схеме) легко уменьшить до минимума, то с диодами все гораздо сложнее. В итоге получается парадокс: ключевой транзистор – холодный, дроссель почти не греется, зато диод – как утюг! А ведь чем меньше нагрев – тем выше КПД схемы, и с отводом тепла меньше проблем.

Транзистор VT3 работает в противофазе с ключевым транзистором VT2 благодаря инвертору на микросхеме DD3. Так как обратноточковой диод должен быть открыт не все время простоя ключевого транзистора, а только небольшое (иначе он будет замыкать через дроссель выход схемы) время *сразу* после закрытия ключевого транзистора (именно в это время импульс тока обратного хода имеет наибольшую амплитуду), в схему добавлен конденсатор С6 и – для точной настройки – подстроечный резистор R8. Все остальное время транзистор VT3 работает как диод – благодаря встроенному мощному защитному диоду между выводами стока и истока. То есть от замены диода транзистором хуже точно не будет.

Стабилизатор напряжения собран на стабилитроне VD3 и транзисторе VT4. Точность и величина выходного напряжения зависят только от качества и напряжения стабилизации стабилитрона. Его можно заменить микросхемой TL431.

Дроссель L1 можно намотать на каркасе трансформатора от старой радиоточки. Берем провод диаметром 1 мм (для тока нагрузки до 2 А) и мотаем до заполнения каркаса (около сотни витков). Так как дроссель работает на постоянном токе, то между пластинами *обязателен* диэлектрический зазор – то есть засовываем все Ш-образные пластины в одном направлении и между ними и «палочками» прокладываем 1–2 слоя газетной бумаги (или трансформаторной, если у вас есть), после чего все это дело очень хорошо сжимаем. Можно намотать дроссель и на ферритовом кольце диаметром примерно 30...40 мм, но опять-таки его лучше разрезать и снова склеить, или взять специальный разрезной сердечник (ферритовые чашки – диаметром 20...30 мм и высотой 15...20 мм, примерно 50...80 витков).

### **1.3.2. Налаживание**

Полностью собираем схему, не спаиваем только транзисторы VT2 и VT3. Подключаем питание – напряжение на выводах питания DD2 должно быть на 4...6 В больше напряжения питания; если оно меньше – убеждаемся в наличии генерации (напряжение на выходе гене-

ратора должно равняться половине питающего), уменьшаем сопротивление резистора R5, если это не помогает – ставим более качественный конденсатор C3. Если напряжение питания DD2 больше 18 В – увеличиваем сопротивление резистора R5. После этого впаиваем оба транзистора и уменьшаем сопротивление R8 до нуля. К выходу подключаем мощную нагрузку (рекомендуется – автомобильную лампочку на 12 В, 20 Вт) и подаем питание +12 В через подключенный амперметр. Если все работает нормально, напряжение на лампочке будет примерно равно напряжению стабилизации стабилитрона, а потребляемый схемой ток будет раза в два меньше тока через лампочку (в авторском варианте – 0,5 А). Теперь отключаем лампочку-нагрузку. Напряжение на выходе должно увеличиться не более чем на 0,2...0,3 В, а напряжение на входе REF DD2 должно быть в пределах 0,8...2,5 В относительно общего провода. Если оно близко к нулю, следует уменьшить емкость конденсатора C5 раза в два.

Включите-отключите нагрузку: дроссель при этом должен коротко «стукать» (это цепь обратной связи обрабатывает резкое изменение тока нагрузки), никаких свистов (самовозбуждения) быть не должно. Если возникает возбуждение – скорее всего, неправильно нарисованы дорожки.

После этого можно начинать настройку «умного диода» (VT3). Медленно вращайте движок подстроечного резистора R8 – потребляемый схемой ток (+12 В) начнет уменьшаться – примерно на 5...10%. Этот ток раньше расходовался исключительно на нагрев корпуса транзистора VT3. Но в какое-то время может возникнуть самовозбуждение выходного каскада – потребляемый схемой ток резко возрастает в 2...3 раза. Движок R8 нужно установить в такое положение, при котором потребляемый ток уменьшился, но до возбуждения еще далеко. Снова отключите-включите нагрузку, отключите-включите питание: возбуждения выхода и свиста в дросселе (даже очень короткого!) быть не должно. Если это не так – нужно чуть уменьшить сопротивление R8 и повторить провокацию.

Благодаря такой схеме включения транзистора VT3 он хоть и греется, но заметно слабее, чем хороший диод Шоттки (КД213, 1N5822). При токе нагрузки до 1...1,5 А радиаторы для обоих транзисторов не нужны, при токе до 3 А к корпусу VT3 нужно прикрутить небольшую пластинку-теплоотвод (КРЕН с такой силой греется уже при токе 0,2 А).

Вместо IRFZ46 в авторском варианте стоят их белорусские аналоги КП723А с сопротивлением канала 0,1 Ом и менее, транзисторы

КТ315 можно заменить любыми кремниевыми структуры p-p-n. Электролиты С7 и С8 желательно набрать из нескольких соединенных параллельно меньшей емкости, параллельно им можно включить парочку пленочных или многослойных керамических конденсаторов емкостью 0,1 мкФ и более.

При повторении схемы особое внимание нужно уделить проводам питания – все элементы и все провода должны быть подключены именно так, как показано на рисунке! Не экономьте на спичках – иначе замучитесь с настройкой! Дорожки, нарисованные на рисунке более толстой линией, должны быть потолще – минимум 1,5...2 мм.

## **1.4. Мощный преобразователь напряжения 24 В – 12 В с высоким КПД**

Такой преобразователь необходим водителям грузовиков, автобусов и другой большегрузной техники, с напряжением в бортовой сети 24 В (два последовательно соединенных 12-вольтовых аккумулятора). Почти вся автомобильная техника (магнитолы, телевизоры, холодильники, даже лампы подсветки!) рассчитана на 12 В  $\pm 2...3$  В и при прямом включении в сеть 24 В мгновенно выходит из строя.

Самый простой выход – более-менее симметрично запитать устройства от «половинок» штатного аккумулятора (например, магнитоле – от одного 12-вольтового аккумулятора, а телевизор – от другого), но полной симметричности при этом добиться невозможно, в итоге один из аккумуляторов будет постоянно перезаряжаться, а другой – недозаряжаться, и в итоге срок службы обоих аккумуляторов резко уменьшится. Поэтому единственный выход – понижаем преобразователь напряжения до необходимых для такой аппаратуры 12 В. Для современной автомагнитолы на максимальной громкости необходим ток 2...4 А, ЖКИ-телевизору – около 1 А, поэтому с учетом запаса выходной ток преобразователя должен быть в районе 5...10 А. При этом нагрев силовых элементов схемы должен быть минимален (то есть КПД – максимально возможный), так как автомобильная техника часто эксплуатируется в жарком климате да и сама по себе сильно нагревается.

Схема такого преобразователя показана на рис. 1.11.

На таймере DD1.1 собран тактовый генератор, его короткие импульсы с вывода 5 запускают ШИМ-модулятор на таймере DD1.2. Из-за внутренних особенностей микросхемы 555 длительность за-

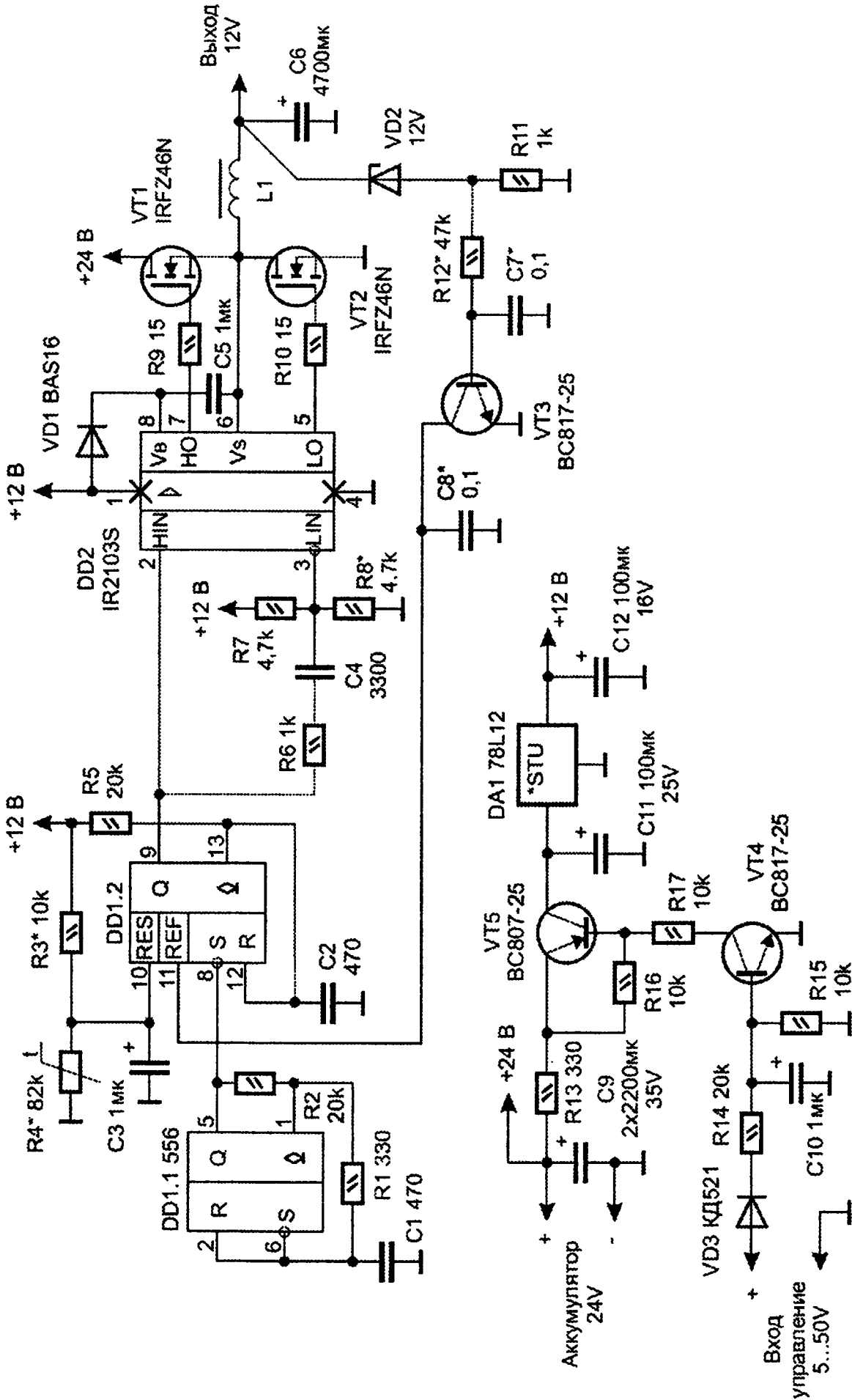


Рис. 1.11. Электрическая схема преобразователя

пускающих импульсов по входу S должна быть минимально возможной, поэтому генератор на DD1.1 несимметричный – сопротивление резистора R1 (через который конденсатор C1 разряжается) в сотни раз меньше сопротивления R2. В большинстве случаев выводы R1 вообще можно закоротить, но лучше не рисковать и впаять резистор небольшого сопротивления (100...330 Ом).

Модулятор собран на таймере DD1.2 по обычной схеме – при уменьшении напряжения на входе REF уменьшается длительность единичных импульсов (при неизменном периоде) на выходе, то есть уменьшается выходное напряжение. Терморезистор R4 обеспечивает защиту от перегрева – при нагреве радиатора ключевых транзисторов выше 80...100 °С его сопротивление уменьшается ниже порога переключения микросхемы по входу RES (1,0 В), и на выходе микросхемы принудительно устанавливается логический нуль до тех пор, пока транзисторы не остынут. При этом оба ключевых транзистора закрыты, напряжение на выходе пропадает. Микросхема имеет небольшой гистерезис переключения (около 40 мВ) по входу RES, поэтому при надежном тепловом контакте терморезистора с радиатором никакого дребезга переключения нет; для дополнительной защиты от наводок в схему добавлен конденсатор C3, его емкость желательно увеличить до сотни микрофарад.

В качестве драйвера силовых транзисторов выбрана микросхема IR2103 (DD2). Для данного устройства эта микросхема идеально подходит по всем параметрам и при этом имеет не слишком высокую стоимость. Один из ее входов – прямой, второй – инверсный; это позволило сэкономить на внешнем инверторе. В микросхему встроены логика, препятствующая одновременному отпиранию обоих транзисторов (сквозные токи), и генератор пауз («мертвое время», dead time) между импульсами на выходах – это позволило до минимума сократить количество внешних элементов и не заниматься построением защиты на дополнительных логических элементах. Также у микросхемы достаточно мощные для непосредственного управления выходными полевыми транзисторами выходы – благодаря чему сэкономлены 4 внешних транзистора в эмиттерных повторителях. И «изюминка» микросхемы – «плавающее» напряжение верхнего уровня (разность напряжений может достигать 600 В!) с полной электрической развязкой внутри самой микросхемы. Без этой «фишки» схему пришлось бы сильно усложнять, вводя быстродействующий (и дорогой) оптрон и еще десяток элементов.



Микросхема включена по типовой схеме, выводы 2 и 3 можно соединить друг с другом, но лучше оставить цепочку R6, C4 – для корректной работы преобразователя при срабатывании термозащиты. Иначе в этой ситуации транзистор нижнего уровня будет постоянно открыт и закоротит выход. Вывод  $V_S$  – общий провод высоковольтной (изолированной) части, вывод  $V_B$  – ее вывод питания (+10...+20 В). В данной схеме пока открыт нижний по схеме транзистор (VT2),  $V_S$  соединен с общим проводом, и конденсатор C5 заряжается через диод VD1 почти до напряжения питания. Через некоторое время VT2 закроется, но заряд на конденсаторе C5 останется, так как ток утечки крайне мал. Когда на вход HIN поступит логическая единица, выход HO соединится внутренним транзистором с выводом  $V_B$  – то есть конденсатор зарядит затвор транзистора VT1, и он откроется. Ток утечки затвора транзистора крайне мал, а его емкость в сотни раз меньше емкости C5, поэтому транзистор отпирается до насыщения, и КПД схемы получается максимально возможным. В следующем такте C5 снова подзаряжается.

Регулятор напряжения собран на транзисторе VT3. Как только выходное напряжение превысит 12 В, через стабилитрон VD2 потечет ток, транзистор приоткроется и понизит напряжение на входе REF модулятора. Длительность единичных импульсов станет чуть меньше, и наступит динамический баланс. Конденсаторы C7 или C8 нужны для подавления шумов стабилитрона и транзистора, впаивать нужно только один из этих конденсаторов! Какой именно – подбирается при настройке, так как это зависит от монтажа и используемых элементов. Без конденсаторов на выходе постоянного напряжения будет присутствовать шум (и будет слышно, как шумит катушка), а КПД чуть снизится за счет разогрева транзисторов, если же впаять оба конденсатора – схема будет возбуждаться. Сопротивление резистора R12 ограничивает коэффициент усиления цепи обратной связи – чем он больше, тем неустойчивее работает преобразователь. При указанном номинале резистора выходное напряжение, в зависимости от тока нагрузки, изменяется не более чем на 0,3...0,5 В, чего для такого преобразователя вполне достаточно. При использовании транзисторов с меньшим коэффициентом  $h_{21}$ , сопротивление резистора R12 можно уменьшить до 2...10 кОм.

Провода питания преобразователя *нужно* подключить напрямую к аккумулятору. Иначе (если подключить после замка зажигания) система зажигания и прочее электрооборудование автомобиля будут создавать помехи преобразователю; кроме того, он сам будет

влиять на электронику машины – а это в некоторых случаях может быть опасным. Так как преобразователь даже при отключенной нагрузке потребляет некоторый холостой ток покоя (эта схема – примерно 30...50 мА), в схему был добавлен выключатель на транзисторах VT4, VT5. Он коммутирует питание только маломощной управляющей схемы, выходные транзисторы соединены с аккумулятором напрямую, поэтому нет потерь мощности в силовой части. При подаче на «вход управления» напряжения выше 5 В (этот вход можно подключить к замку зажигания или любым маломощным переключателем соединить с +24 В) транзистор VT4 открывается, открывает транзистор VT5 и подает напряжение на микросхему стабилизатора DA1.

Два транзистора используются для того, чтобы схемой можно было управлять положительным напряжением; конденсатор C10 сглаживает дребезг контактов. Здесь нет положительной обратной связи для обеспечения ключевого режима работы выключателя, но она и не нужна – коэффициент усиления двух транзисторов настолько огромен (десятки тысяч), что схема всегда работает в ключевом режиме. Резистор R13 защищает схему преобразователя от выхода из строя при случайных коротких замыканиях на корпус, а также понижает входное напряжение, уменьшая нагрев стабилизатора DA1.

При отсутствии напряжения на «входе управления» все микросхемы обесточены, в микросхеме DD2 выводы 4 и 5, 6 и 7 соединены внутренними резисторами небольшого сопротивления, и оба ключевых транзистора закрыты. Потребляемый ток в этом режиме определяется в основном только током утечки фильтрующих конденсаторов C9 и не превышает сотен микроампер.

Для упрощения графики разводка цепей питания на рисунке не показана – к ней данная схема так же чувствительна, как и рассмотренные ранее. Общий вывод резистора R11 подключается к конденсатору C6, элементы обратной связи левее (по схеме) резистора R12 – к выводу 14 DD1.

Фильтрующие конденсаторы C6 и C9 желательно набрать из двух-трех параллельно соединенных конденсаторов меньшей емкости. При работе на номинальном токе эти конденсаторы должны оставаться холодными – через полчаса после включения преобразователя они должны нагреться не более чем на 5...10 °С. Имеет смысл попробовать использовать конденсаторы разных производителей; в любом случае, чем больше размер корпуса конденсатора при тех же емкости и напряжении, тем лучше он будет работать.

В правильно собранном преобразователе, при токе нагрузки 3...4 А, нагрев корпусов транзисторов VT1 и VT2 не превышает 50...70 °С даже без радиаторов. Поэтому при работе на таком токе будет достаточно небольших пластинок-теплоотводов размером 30×50 мм на каждый транзистор, они не должны соприкасаться! При работе с током нагрузки до 10 А нужны радиаторы посерьезнее – как минимум игольчатый радиатор размерами 50×100 мм (на оба транзистора – при этом транзисторы нужно изолировать от нее, для этого удобно использовать комплект крепления от старых компьютерных блоков питания), или можно прикрепить в основание корпуса преобразователя металлическую пластину, поставить на нее транзисторы и прижать основание корпуса к любой не нагревающейся в процессе работы «железяке» на корпусе машины, поближе к аккумуляторам. При этом нужно обеспечить хороший тепловой контакт – зачистить обе поверхности, и желательно использовать теплопроводящую пасту.

### **1.4.1. О деталях**

Катушка L1 в авторском варианте изготовлена в броневом сердечнике (чашках) диаметром 48 и высотой 30 мм, между половинками сердечника проложены два слоя газетной бумаги. Обмотка намотана в два параллельно соединенных трансформаторных провода диаметром 1,5 мм, количество витков – до заполнения каркаса (примерно 24...30). Такая катушка оставалась холодной при постоянном токе нагрузки 7 А. При токе нагрузки до 3...5 А можно взять 2...3 кольца К50×40×10 и намотать 40...50 витков проводом диаметром около 1 мм в 2...4 провода. Или можно взять любой другой ферритовый сердечник для импульсных преобразователей, примерно таких же размеров, и желательно разрезной.

Вместо микросхемы NE556 можно использовать две микросхемы 555 или ее отечественную копию КР1006ВИ1, вместо транзисторов BC817 поставить КТ3102Б, а вместо BC807 – КТ3107Б. Конденсатор С5 должен быть с низким ESR, то есть пленочным или керамическим, а диод VD1 – быстродействующим, с малыми емкостью и временем обратного восстановления. В крайнем случае можно параллельно включить электролитический конденсатор емкостью 1 мкФ и керамический многослойный (но не дисковый!) емкостью 0,1 мкФ, а диод заменить на КД521 или аналогичный. Иначе транзистор VT1 будет сильно греться. Полевые транзисторы VT1 и VT2

желательно взять с сопротивлением канала в открытом состоянии не более 0,03 Ом, в авторском варианте использовался КП723А – аналоги IRFZ46N. При токе нагрузки до 5 А лучше всего использовать вдвоенные и более высокочастотные транзисторы IRFI4024H – они изготовлены в изолированном корпусе ТО220-5 (то есть не нужно изолировать его корпус от теплоотвода) и способны работать совместно с драйвером IR2103 на частотах до 200...500 кГц (против 30...70 кГц для IRFZ46 и аналогичных).

Терморезистор R4 может быть любым малогабаритным (чтобы быстрее нагревался в случае аварии), с сопротивлением при комнатной температуре выше 5...10 кОм. Перед использованием термозащиту нужно откалибровать. Это делаем так: припаиваем к выводам терморезистора провода, кладем его в несколько вложенных друг в друга прочных пакетиков и опускаем в кипящую воду. Через минуту измеряем сопротивление терморезистора (нужно убедиться, что вода или пар не попали внутрь пакетиков), умножаем это число на 12...15 – таким должно быть сопротивление резистора R3, чтобы термозащита срабатывала при температуре 80...100 °С. Терморезистор нужно закрепить на радиаторе как можно ближе к транзисторам, тщательно смазав место контакта теплопроводящей пастой и позаботившись при необходимости об электрической изоляции.

Также иногда нужно подобрать сопротивление резистора R8 – оно должно быть таким, чтобы при закороченных выводах конденсатора С3 на выводе 5 DD2 было нулевое напряжение.

### **1.4.2. Особенности налаживания**

Благодаря встроенной логике защиты в микросхему DD2 первое включение преобразователя можно производить с впаянными ключевыми транзисторами VT1 и VT2, но на всякий случай (вдруг дорожки неправильно разведены) «+» от аккумулятора подаем через лампочку на 24 В, 1...2 А. Конденсаторы С7 и С8 не припаиваем. В качестве нагрузки подключаем к выходу устройства две последовательно соединенные лампочки от елочной гирлянды (12 В, 0,16 А). При нормальной работе преобразователя эти лампочки должны гореть (напряжение на выходе преобразователя должно быть около 12 В, но больше 6...8 В и меньше 15 В), лампочка по питанию светиться не должна, протекающий через нее ток – не более 200 мА. Заодно проверяем правильность работы выключателя, хотя он при правильном монтаже и исправных деталях никогда не требует на-

стройки, и убеждаемся, что потребляемый ток в режиме «выключено» не превышает 1 мА. Если он больше – выпаиваем конденсаторы С9 и повторяем измерение: если он уменьшился – ставим более качественные конденсаторы, если остался неизменным – впаиваем те же конденсаторы и между выводами затвора и истока обоих полевых резисторов припаиваем по резистору сопротивлением 10 кОм. При работе преобразователь не должен свистеть – если есть звук, нужно увеличить рабочую частоту, уменьшив емкости конденсаторов С1 и С2. Если даже при емкостях в 200 пФ высокочастотный писк не пропадает – скорее всего, схема возбуждается.

После этого отключаем нагрузку и измеряем потребляемый схемой ток – он должен быть в пределах 40...70 мА. Если он гораздо больше – это означает, что индуктивность катушки L1 недостаточна и нужно или увеличить рабочую частоту (если схема и так работает на ультразвуковой (неслышимой) частоте, лучше этого не делать!), или намотать на катушку еще десяток-другой витков.

Далее вместо лампочки в цепи питания включаем амперметр с пределом измерений более 5 А, а к выходу подключаем лампочку с током потребления 2...4 А (то есть ее мощность 24...48 Вт). Потребляемый схемой от аккумулятора ток должен быть примерно в 2 раза меньше тока через лампочку, оба полевых транзистора без радиаторов греться не должны (при токе нагрузки 2 А) или на максимальном токе должны медленно разогреться примерно до 50...70 °С. Причем температура обоих транзисторов должна быть примерно одинаковой. Если VT2 греется заметно сильнее, чем VT1, нужно убедиться в наличии сигнала на его затворе – с помощью последовательно соединенных светодиода и резистора сопротивлением 1...10 кОм, включать их между общим проводом и затвором транзистора. Если светодиод светится гораздо слабее, чем на затворе VT1, или не светится совсем – нужно увеличить емкость конденсатора С4.

Так как защита по току (от короткого замыкания) в схеме не предусмотрена, нагрузку нужно подключать через плавкий предохранитель на 5...10 А. Его можно разместить в автомобильном блоке предохранителей или в корпусе (на плюсовом проводе) преобразователя. При токе нагрузки 5 А провода от аккумулятора должны быть сечением более 1 мм (медь), провода к нагрузке – более 1,5 мм, при больших токах провода должны быть толще.

Используя более мощные транзисторы, с меньшим сопротивлением канала, выходной ток при том же нагреве схемы можно повысить в несколько раз. Но тогда нужно будет заменить микросхему

драйвера – IR2103 «еле справляется» с транзисторами IRFZ46, и более мощные транзисторы она может просто не раскачать. Идеальная замена – микросхема IR2183 – полный аналог по характеристикам, цоколевке выводов и типу корпуса, но с выходным током до 1,7 А. Ее следует просто впаять на место IR2103, без каких-либо изменений на плате. Емкость конденсатора С5 в таком случае желательно увеличить в несколько раз (минимум 1 мкФ), он должен быть пленочным.

## 1.5. Переделка стабилизатора в регулируемый блок питания

Для переделки достаточно заменить стабилитрон на любой регулируемый стабилизатор – например, выполненный на микросхеме TL431 (рис. 1.12).

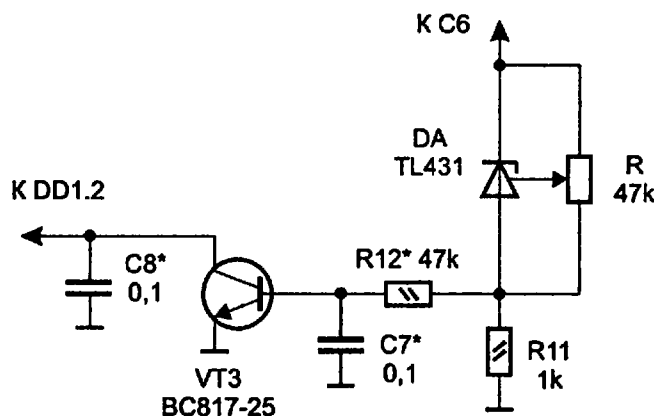


Рис. 1.12. Схема переделки

Минимальное выходное напряжение такого блока питания будет равно минимальному напряжению стабилитрона (для TL431 – 2,5 В) плюс 1...1,5 В – падение напряжения на резисторе R11.

Максимальное выходное напряжение блока питания нужно искусственно ограничить на уровне 90% от напряжения питания. Это связано с несовершенством схемы – чем выше выходное напряжение, тем меньше времени открыт транзистор VT2, конденсатор С5 хуже подзаряжается. Как только выходное напряжение превысит 90...95% от входного, напряжение на конденсаторе начнет уменьшаться, транзистор VT1 перейдет в линейный режим работы, а затем вообще перестанет открываться. В этот момент возможен выход

из строя транзистора VT1. Поэтому если устройство должно работать во всем диапазоне напряжений – на трансформаторе питания нужно намотать дополнительную обмотку с выходным напряжением 9...12 В, выпрямить его и подать его на выводы  $V_B$  и  $V_S$  микросхемы DD2; диод VD1 нужно убрать.

Подробнее о стабилизаторе TL431 рассказано в главе 3.

## **1.6. Микросхемы низковольтных импульсных преобразователей**

Естественно, импульсные преобразователи можно собирать не только на дискретных элементах – уже давно выпускаются специализированные микросхемы, весьма недорогие и требующие подключения минимального количества внешних элементов. Однако у них гораздо ниже КПД – практически никогда не заменяется диод транзистором (из-за этого при низком выходном напряжении КПД уменьшается на 5...10%), а в некоторых микросхемах в качестве ключевого используется биполярный транзистор. Все это позволяет упростить принципиальную схему и удешевить микросхему, однако нагрев элементов на серьезном токе (выше 2...4 А) столь сильный, что необходимы радиаторы и для микросхемы, и для диода. Поэтому их целесообразно использовать только при сравнительно небольших токах нагрузки и когда не требуется достижения максимального КПД.

В качестве повышающего преобразователя можно использовать микросхему MC33466H. Для ее нормальной работы снаружи нужно подключить только катушку индуктивности и диод (рис. 1.13).

Входное напряжение – 0,9...7,5 В, выходное – 3...5 В и зависит от цифр в названии, потребляемый ток – около 15 мкА. Максимальный выходной ток для микросхемы со встроенным транзистором (индекс JT) – 0,25 А, для микросхемы без транзистора (LT) – зависит от мощности внешнего транзистора, на управляющий выход микросхема выдает ток до 50 мА. Биполярный транзистор можно заменить полевым – IRLML2402 или IRLD024, тогда выход микросхемы можно будет непосредственно соединить с затвором транзистора и чуть повысится КПД. Выходное напряжение микросхем задается встроенным стабилизатором, его можно повысить, включив между выводом 2 микросхемы и выходом преобразователя резистор сопротивлением в несколько килоом.

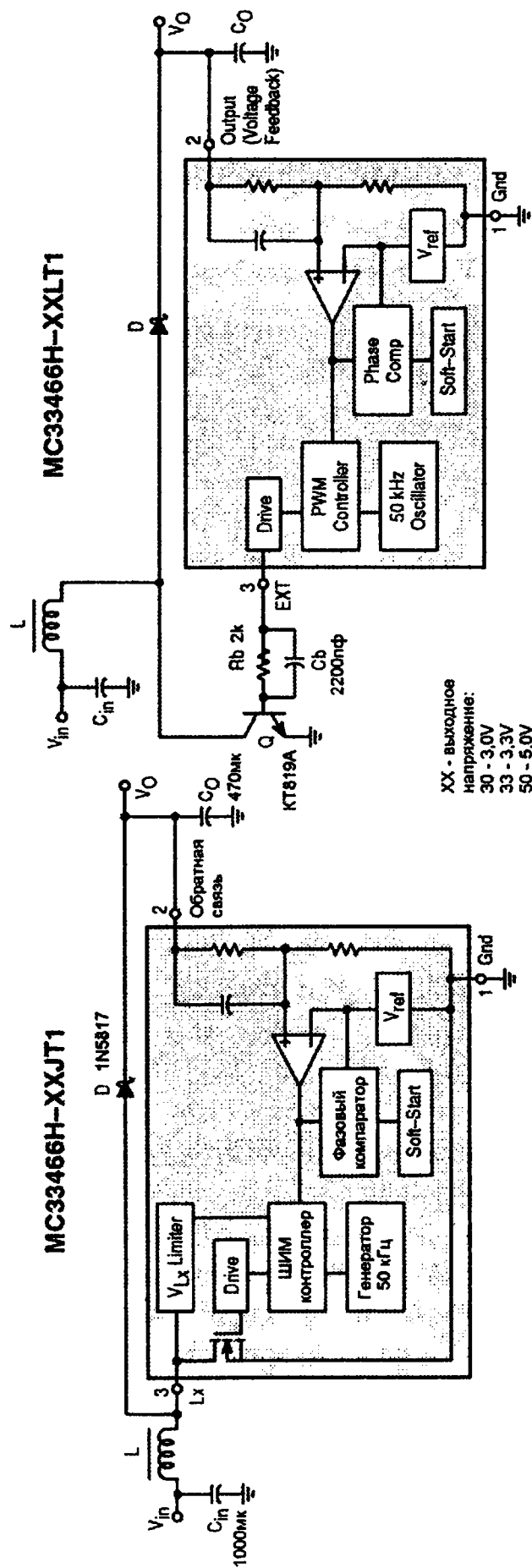


Рис. 1.13. Схема подключения элементов обвески к микросхеме MC33466H



Для понижающего преобразователя чаще всего используют микросхемы LM2574 (корпус DIP, выходной ток до 0,5 А), LM2575 (1 А) и LM2576 (3 А) – обе в корпусе ТО-220-5 или D<sup>2</sup>РАК. Они работают при входном напряжении 4,75...45 В, выходное напряжение – стабилизированное (3,0–15 В) или регулируемое (1,235...37 В). В микросхемы встроена защита от перегрева и от короткого замыкания выхода.

Типовая схема включения данных микросхем показана на рис. 1.14.

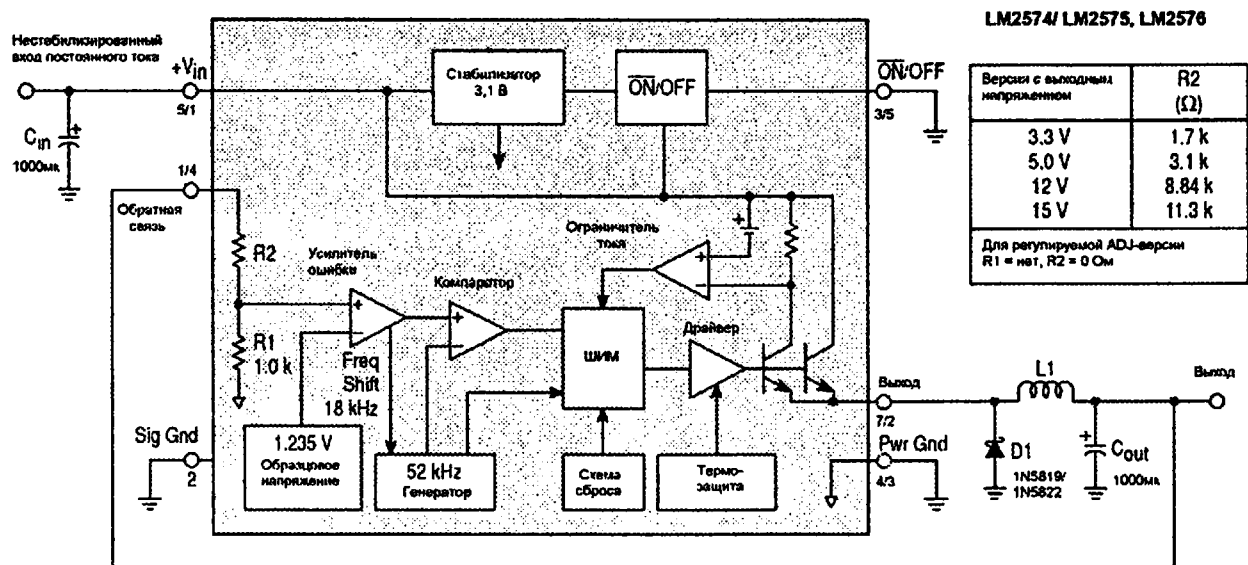


Рис. 1.14. Типовая схема включения

Схема строения у всех микросхем одинакова, отличаются они только корпусом и количеством выводов (на рис. 1.14 первая цифра – номера выводов LM2574, вторая – LM2575, LM2576). Диод D1 должен быть рассчитан на ток, равный току нагрузки, при токе более 1,5 А микросхеме необходим теплоотвод. Если отсоединить вход ON/OFF от общего провода или подать на него высокий логический уровень (напряжение в пределах 2,4...5,5 В), микросхема принудительно отключится, а напряжение на выходе уменьшится до нуля.

Также нельзя не упомянуть про очень популярную микросхему MC33063A/ MC34063A, позволяющую легко создать повышающий, понижающий или инвертирующий преобразователь напряжения. Изготавливается она в 8-выводном корпусе DIP (суффикс AP) или SOIC (AD), работает при напряжении питания в пределах 3...40 В и разности  $U_{ВХ} - U_{ВЫХ}$  (для инвертора напряжения) не более 40 В. Потребляемый ток 3...4 мА, выходной ток – до 1,5 А. В качестве ключевого в микросхему встроен биполярный транзистор, поэтому

КПД преобразователя не превышает 90%; также возможно подключение внешнего транзистора – для получения большего выходного тока и (или) большего КПД. В микросхему встроен регулируемый ограничитель выходного тока, защиты от перегрева нет. Диапазон рабочих температур 0...+70 °С для микросхемы МС34063А, –40...+85 °С для МС33063А, –40...+125 °С для МС33063АV.

Схема повышающего преобразователя напряжения показана на рис. 1.15.

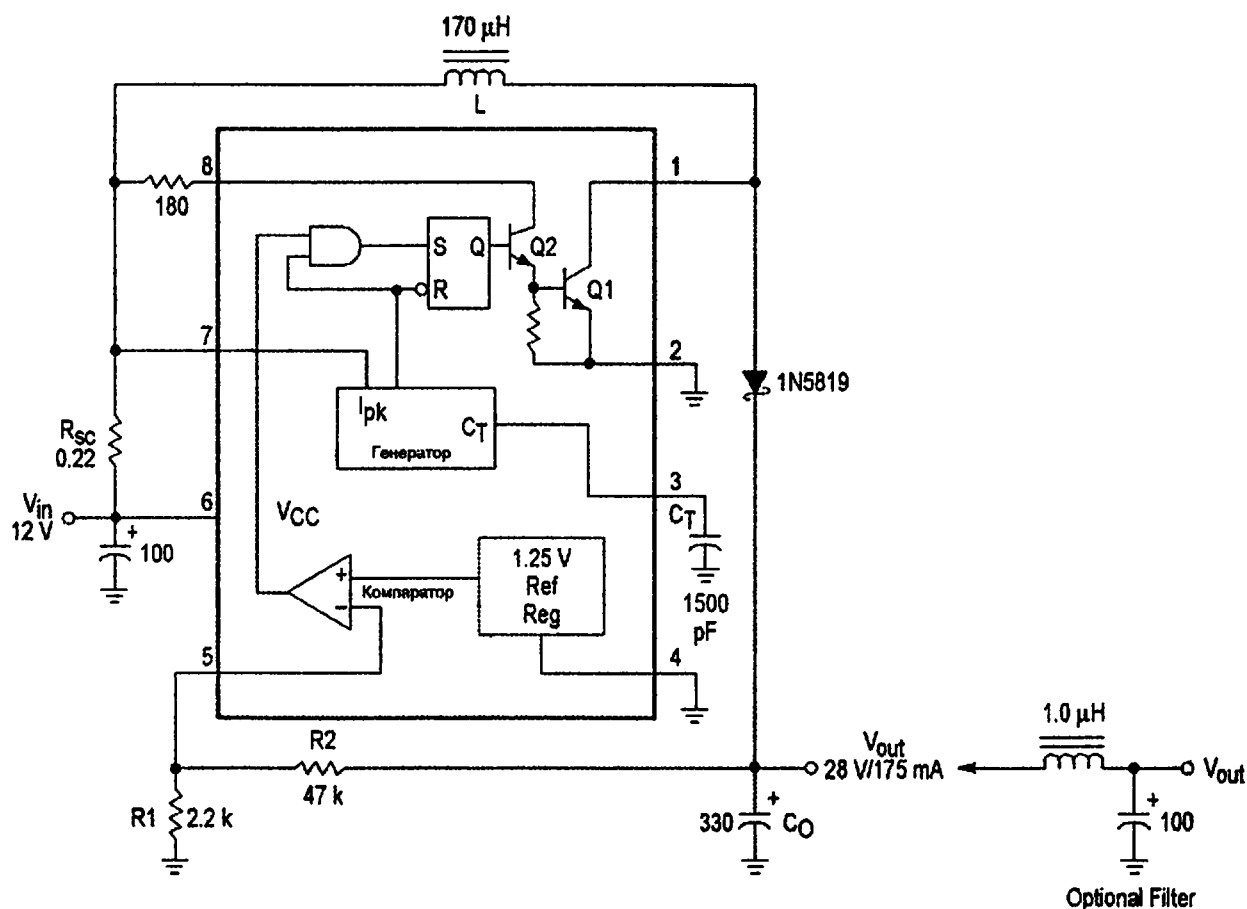


Рис. 1.15. Электрическая схема повышающего преобразователя напряжения

Рабочая частота преобразователя зависит от емкости конденсатора  $C_T$  и не должна превышать 40 кГц. Резистор  $R_{sc}$  ограничивает выходной ток – в данной схеме он не превышает  $0,3 \text{ (В)} / 0,22 \text{ (Ом)} = 1,35 \text{ А}$ . Выходное напряжение зависит только от сопротивления резисторов  $R_1$ ,  $R_2$  и равно  $R_2 / R_1 \cdot 1,25$ . Резистор сопротивлением 180 Ом ограничивает ток базы транзистора  $Q_1$ . Катушку  $L$  можно намотать на ферритовом кольце внешним диаметром 30...40 мм, 40...50 витков проводом диаметром 0,8...1 мм.

Для лучшей фильтрации пульсаций выходного напряжения к выходу можно подключить дополнительный фильтр (на схеме справа), катушка намотана на кольце внешним диаметром 20...30 мм, несколько десятков витков тем же проводом.

На рис. 1.16 показана схема понижающего преобразователя, а на рис. 1.17 – схема инвертора.

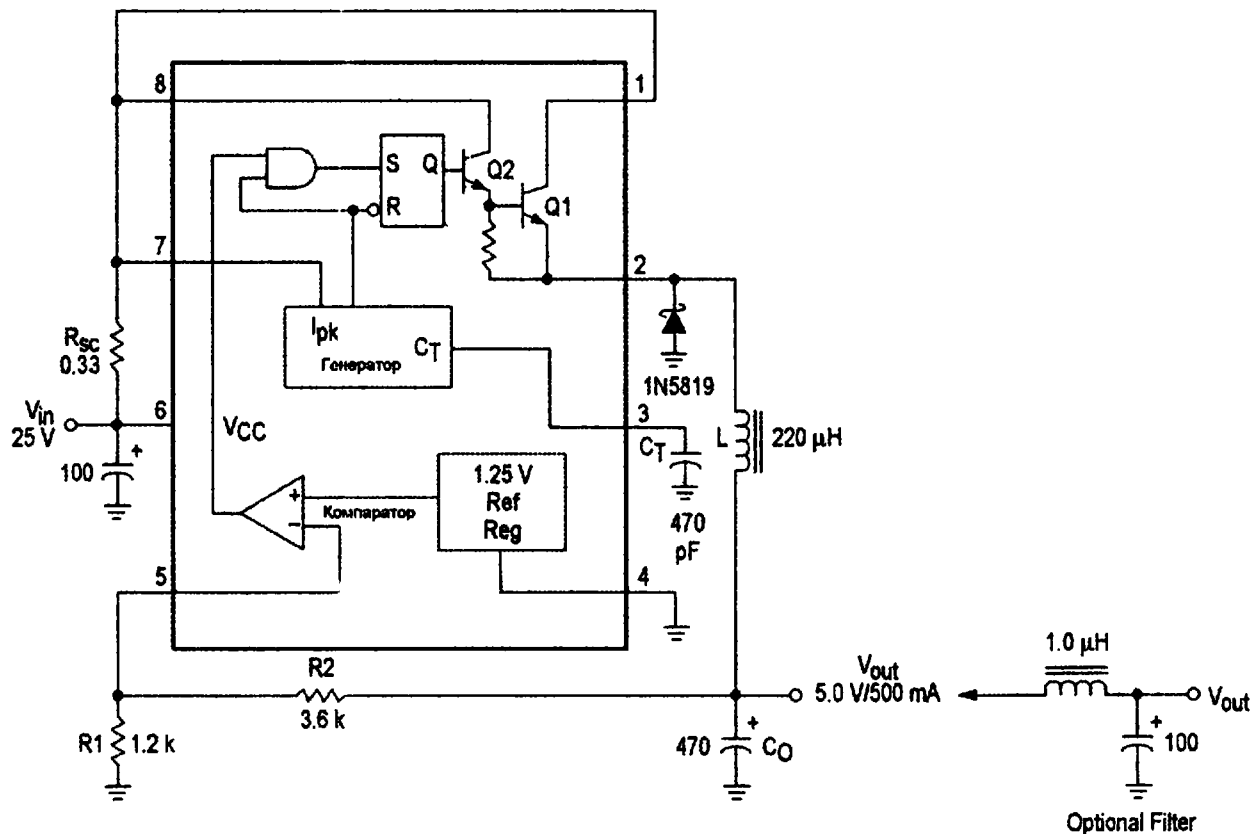


Рис. 1.16. Электрические схемы понижающего преобразователя

В инверторе общий вывод микросхемы нужно соединить с выходом схемы, иначе возможен пробой ключевых транзисторов отрицательным напряжением. Транзисторы Q1 и Q2 соединены по схеме Дарлингтона, поэтому токоограничивающий резистор на выводе 8 необязателен; но у такой схемы падение напряжения на выходном транзисторе (1,5...2,2 В) в 2 раза больше, чем у обычной, поэтому во избежание перегрева микросхемы выходной ток не должен превышать 0,5 А. Количество витков в катушке понижающего преобразователя – 50...60, в катушке инвертора – 25...35, на кольце внешним диаметром 30...40 мм.

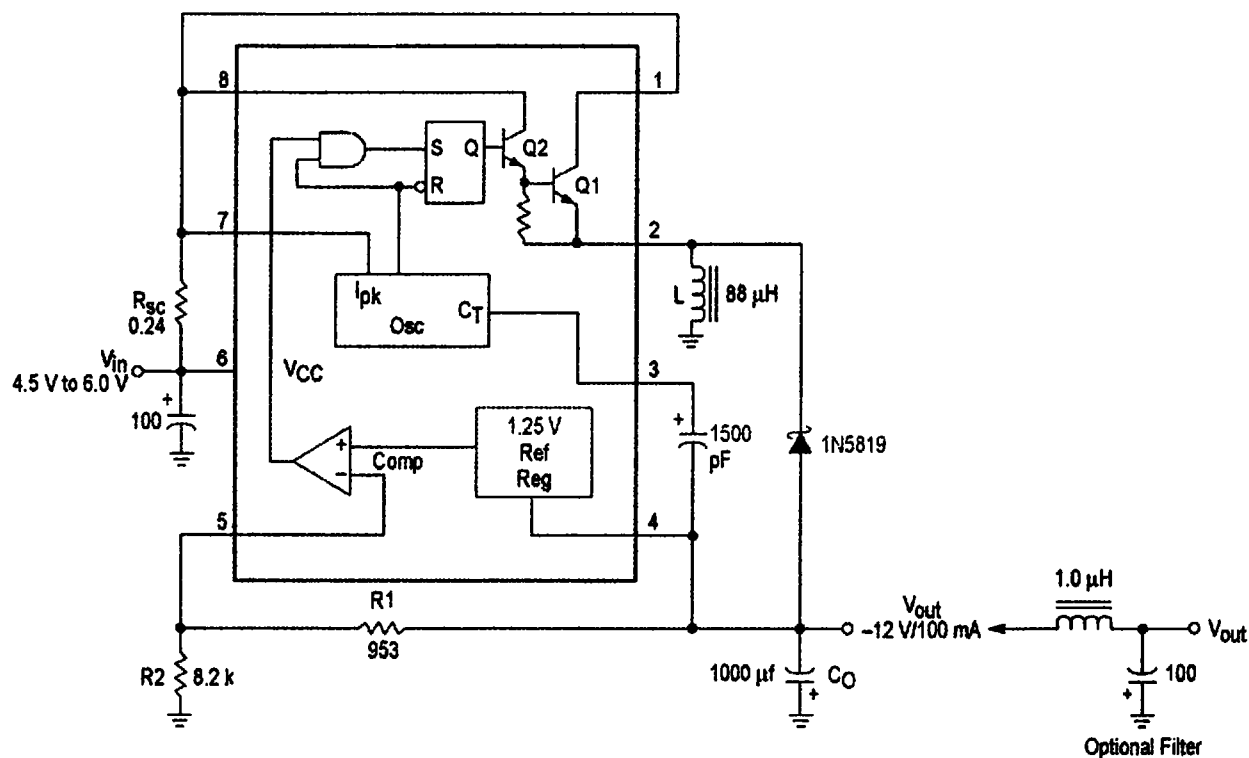


Рис. 1.17. Электрическая схема инвертора

## 1.7. Основные схемы импульсных сетевых адаптеров для зарядки телефонов

Большинство современных сетевых зарядных устройств собрано по простейшей импульсной схеме, на одном высоковольтном транзисторе (рис. 1.18) по схеме блокинг-генератора.

В отличие от более простых схем на понижающем 50-герцевом трансформаторе, трансформатор у импульсных преобразователей той же мощности гораздо меньше по размерам, а значит, меньше размеры, вес и цена всего преобразователя. Кроме того, импульсные преобразователи более безопасны – если у обычного преобразователя при выходе из строя силовых элементов в нагрузку попадает высокое нестабилизированное (а иногда и вообще переменное) напряжение со вторичной обмотки трансформатора, то при любой неисправности импульсника (кроме выхода из строя оптрона обратной связи – но его обычно очень хорошо защищают) на выходе вообще не будет никакого напряжения.

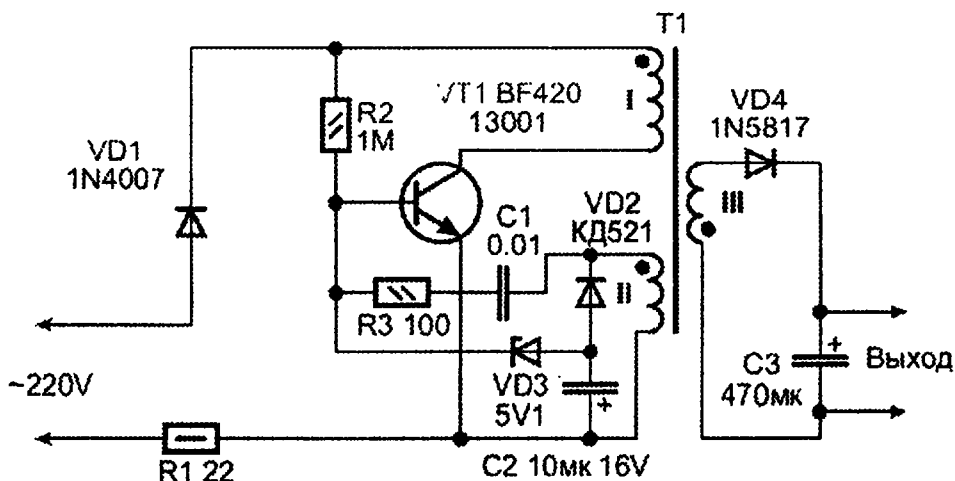


Рис. 1.18. Простая импульсная схема блокинг-генератора

Описание принципа действия и расчета элементов схемы высоковольтного импульсного преобразователя (трансформатор, конденсаторы и прочее) можно прочитать по ссылке <http://www.nxp.com/acrobat/applicationnotes/AN00055.pdf> (1 Мб).

### 1.7.1. Принцип работы устройства

Переменное сетевое напряжение выпрямляется диодом VD1 (хотя иногда щедрые китайцы ставят целых 4 диода, по мостовой схеме), импульс тока при включении ограничивается резистором R1. Здесь желательно поставить резистор мощностью 0,25 Вт – тогда при перегрузке он сгорит, выполнив функцию предохранителя.

Преобразователь собран на транзисторе VT1 по классической обратной схеме. Резистор R2 нужен для запуска генерации при подаче питания, в этой схеме он необязателен, но с ним преобразователь работает чуть стабильнее. Генерация поддерживается благодаря конденсатору C1, включенному в цепь ПОС на обмотке II, частота генерации зависит от его емкости и параметров трансформатора. При отпирании транзистора напряжение на нижних по схеме выводах обмоток I и II отрицательное, на верхних – положительное, положительная полуволна через конденсатор C1 еще сильнее открывает транзистор, амплитуда напряжения в обмотках возрастает.

Транзистор лавинообразно открывается. Через некоторое время, по мере заряда конденсатора C1, базовый ток начинает уменьшаться, транзистор начинает закрываться, напряжение на верхнем по схеме выводе обмотки II начинает уменьшаться, через конденсатор C1 базовый ток еще сильнее уменьшается, и транзистор лавинооб-

разно закрывается. Резистор R3 необходим для ограничения базового тока при перегрузках схемы и выбросах в сети переменного тока.

В это же время амплитудой ЭДС самоиндукции через диод VD4 подзаряжается конденсатор C3 – поэтому преобразователь и называется обратноходовым. Если поменять местами выводы обмотки III и подзарядить конденсатор C3 во время прямого хода, то резко возрастет нагрузка на транзистор VT1 во время прямого хода (он может даже сгореть из-за слишком большого тока), а во время обратного хода ЭДС самоиндукции окажется нерастроченной и выделится на коллекторном переходе транзистора – то есть он может сгореть от перенапряжения.

Поэтому при изготовлении устройства нужно строго соблюдать фазировку всех обмоток (если перепутать выводы обмотки II – генератор просто не запустится, так как конденсатор C1 будет, наоборот, срывать генерацию и стабилизировать схему).

Выходное напряжение устройства зависит от количества витков в обмотках II и III и от напряжения стабилизации стабилитрона VD3. Выходное напряжение равно напряжению стабилизации только в том случае, если количество витков в обмотках II и III одинаковое, в противном случае оно будет другое. Во время обратного хода конденсатор C2 подзаряжается через диод VD2, как только он зарядится до примерно  $-5$  В, стабилитрон начнет пропускать ток, отрицательное напряжение на базе транзистора VT1 чуть уменьшит амплитуду импульсов на коллекторе, и выходное напряжение стабилизируется на некотором уровне. Точность стабилизации у этой схемы не очень высока – выходное напряжение гуляет в пределах 15...25% в зависимости от тока нагрузки и качества стабилитрона VD3.

### **1.7.2. Альтернативный вариант устройства**

Схема более качественного (и более сложного) преобразователя показана на рис. 1.19.

Для выпрямления входного напряжения используются диодный мостик VD1 и конденсатор C1, резистор R1 должен быть мощностью не менее 0,5 Вт, иначе в момент включения, при зарядке конденсатора C1, он может сгореть. Емкость конденсатора C1, в микрофарадах, должна равняться мощности устройства, в ваттах.

Сам преобразователь собран по уже знакомой схеме на транзисторе VT1. В цепь эмиттера включен датчик тока на резисторе R4 –

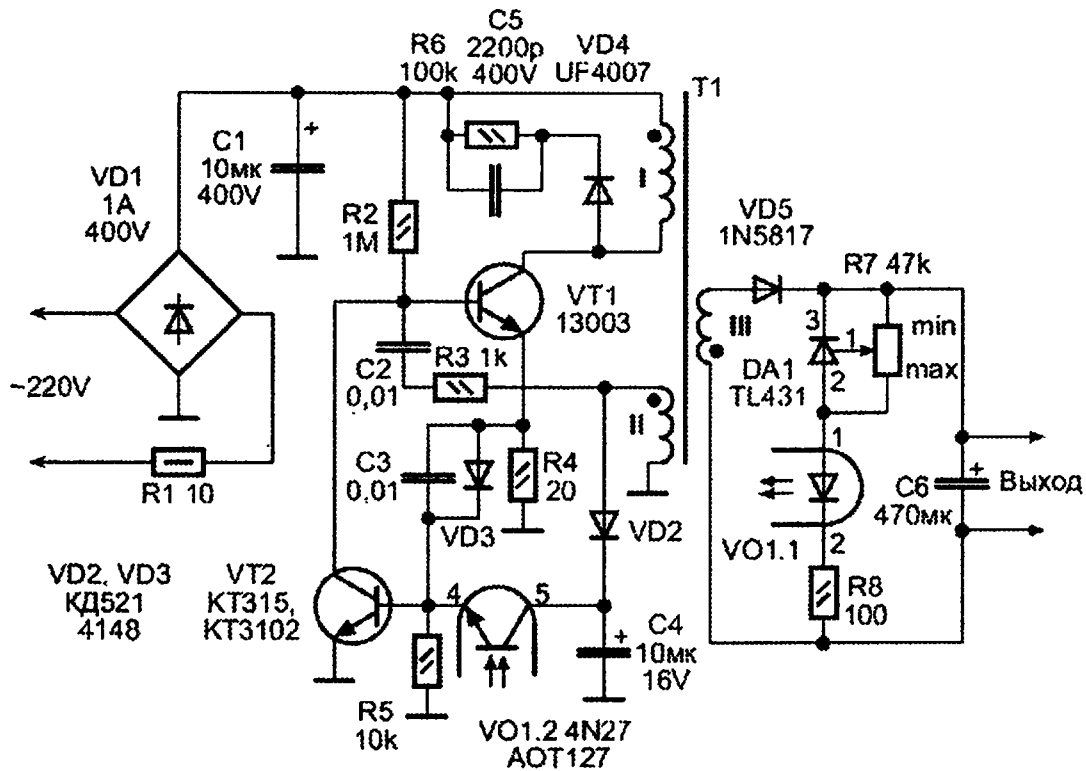


Рис. 1.19. Электрическая схема более сложного преобразователя

как только протекающий через транзистор ток станет столь большим, что падение напряжения на резисторе превысит 1,5 В (при указанном на схеме сопротивлении – 75 мА), через диод VD3 приоткроется транзистор VT2 и ограничит базовый ток транзистора VT1 так, чтобы его коллекторный ток не превышал указанные выше 75 мА. Несмотря на свою простоту, такая схема защиты довольно эффективна, и преобразователь получается практически вечный даже при коротких замыканиях в нагрузке.

Для защиты транзистора VT1 от выбросов ЭДС самоиндукции в схему добавлена сглаживающая цепочка VD4-C5-R6. Диод VD4 обязательно должен быть высокочастотным – идеально BYV26C, чуть хуже – UF4004...UF4007 или 1N4936, 1N4937. Если нет таких диодов – цепочку вообще лучше не ставить!

Конденсатор C5 может быть любым, однако он должен выдерживать напряжение 250...350 В. Такую цепочку можно ставить во все аналогичные схемы (если ее там нет), в том числе и в схему по рис. 1.18 – она заметно уменьшит нагрев корпуса ключевого транзистора и значительно «продлит жизнь» всему преобразователю.

Стабилизация выходного напряжения осуществляется с помощью стабилитрона DA1, стоящего на выходе устройства, гальваническая развязка обеспечивается оптроном VO1. Микросхему TL431 можно

заменить любым маломощным стабилитроном, выходное напряжение равно его напряжению стабилизации плюс 1,5 В (падение напряжения на светодиоде оптрона VO1); для защиты светодиода от перегрузок добавлен резистор R8 небольшого сопротивления. Как только выходное напряжение станет чуть выше положенного, через стабилитрон потечет ток, светодиод оптрона VO1 начнет светиться, его фототранзистор приоткроется, положительное напряжение с конденсатора С4 приоткроет транзистор VT2, который уменьшит амплитуду коллекторного тока транзистора VT1. Нестабильность выходного напряжения у этой схемы меньше, чем у предыдущей, и не превышает 10...20%, также благодаря конденсатору С1 на выходе преобразователя практически отсутствует фон 50 Гц.

### **1.7.3. Рекомендации по деталям**

Трансформатор в этих схемах лучше использовать промышленный, от любого аналогичного устройства. Но его можно намотать и самому – для выходной мощности 5 Вт (1 А, 5 В) первичная обмотка должна содержать примерно 300 витков проводом диаметром 0,15 мм, обмотка II – 30 витков тем же проводом, обмотка III – 20 витков проводом диаметром 0,65 мм. Обмотку III нужно очень хорошо изолировать от двух первых, желательно намотать ее в отдельной секции (если есть). Сердечник – стандартный для таких трансформаторов, с диэлектрическим зазором 0,1 мм. В крайнем случае можно использовать кольцо внешним диаметром примерно 20 мм.

## **1.8. Диагностика неисправностей и ремонт сетевых адаптеров**

В большинстве схем адаптеров стоит маломощный транзистор в корпусе ТО-92 – КSP44, MPSA44 и др. – с обозначением «44», а также BF420, 13001 и другие аналогичные. Это сравнительно низковольтные транзисторы (400 В, а BF420 – вообще 300 В), к тому же они работают практически на пределе, и температура их корпуса на номинальном токе нагрузки доходит до 70 °С. Поэтому они часто выходят из строя (обычно в момент включения адаптера в сеть), одновременно с транзистором сгорают диоды выпрямителя, резистор R1 (по схеме на рис. 1.18), резистор в цепи эмиттера транзистора (если есть) и некоторые другие резисторы (это заметно по их обугленным



корпусам) и стабилитрон VD3. Во время ремонта все эти элементы нужно проверить и при необходимости заменить исправными.

---

**Кстати!**

У транзисторов разных производителей может быть разная цоколевка, поэтому перед впаиванием нового транзистора необходимо убедиться по дорожкам на плате (коллектор соединен с обмоткой трансформатора, эмиттер непосредственно или через резистор сопротивлением менее 100 Ом соединен с «минусом» питания, к базе обычно подключены несколько резисторов-конденсаторов, один из резисторов высокоомный, сопротивлением более 100 кОм) в правильности цоколевки транзистора и при необходимости изогнуть их.

---

Транзистор VT1 желательно заменить более мощным и высоковольтным – идеально 500-вольтным транзистором 13003 любого производителя, в корпусе ТО-126 (корпус – как у отечественного КТ815). В большинстве случаев цоколевка совпадает (эмиттер-коллектор-база, если повернуть названием к себе), поэтому не нужно ни возиться с дорожками, ни изгибать выводы транзистора.

У этого транзистора коэффициент передачи тока  $h_{21\beta}$  чуть ниже (10...20 против 40...50), поэтому сопротивление высокоомного резистора нужно уменьшить до 470...330 кОм. Использовать другие типы транзисторов не рекомендуется – у них или слишком низкое рабочее напряжение (КТ940А, КТ969А – всего 300 В), или слишком низкий коэффициент  $h_{21\beta}$  и вдобавок встроенный низкоомный резистор между эмиттером и базой – такой транзистор в этой схеме работать не будет.

## **1.9. Импульсные преобразователи на микросхемах со встроенным высоковольтным транзистором**

---

Преобразователи на транзисторах хороши тем, что они сравнительно простые и дешевые – даже новые китайские зарядные устройства сейчас стоят дешевле 100 руб. Однако у них трудно добиться хорошей стабилизации выходного напряжения, они потребляют сравнительно большой ток даже при неподключенной нагрузке и не имеют надежной защиты от короткого замыкания выхода и от перегрева.

Транзисторы в таких стабилизаторах работают практически в линейном режиме, поэтому они греются гораздо сильнее, чем транзистор с такими же характеристиками в составе специализированной микросхемы.

Поэтому специально для таких устройств выпускаются микросхемы ШИМ-контроллеров. Вначале, пока разработчики не научились изготавливать на одном кристалле схему управления и высоковольтный транзистор, были микросхемы, требующие подключения внешнего транзистора – к ним относятся всем известные UC3842...UC3845.

По соотношению «цена-качество» эти микросхемы, наверное, выгодно использовать и по сей день – микросхема плюс транзистор стоят в среднем около 60 руб., в то время как микросхема со встроенным транзистором с аналогичными характеристиками – более 3,5 долл. Затем появились микросхемы со встроенным транзистором (на рис. 1.20 показано фото кристалла микросхемы VIPer22A, вверху расположен транзистор), и сейчас их выпускают практически все компании, специализирующиеся на микросхемах для бытовой техники.

Большинство таких микросхем изготовлено в корпусах с 3...8 выводами, работают при входном напряжении 90...265 В (максимально допустимое обратное напряжение для выходного транзистора – 650...700 В), обязательно имеют защиту от перегрева и иногда – от перегрузки по току и напряжению, потребляют ничтожно малый ток (30...200 мВт в зависимости от мощности выходного транзистора) и требуют подключения минимального количества внешних элементов – требуется фактически только трансформатор, элементы обратной связи (для контроля выходного напряжения) и сглаживающего фильтра (снуббера) – для защиты выходного транзистора от ЭДС самоиндукции трансформатора. Большинство микросхем даже разных производителей имеют сходные электрические характеристики (ток потребления, выходная мощность, конфигурация обратной связи), поэтому выбрать из них лучшую порой бывает очень сложно.

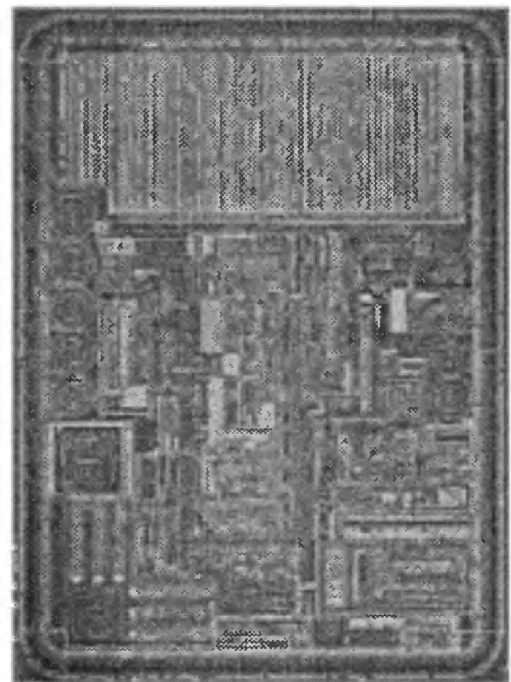


Рис. 1.20. Фото кристалла микросхемы VIPer22A

В современной электронике чаще всего используются микросхемы нескольких производителей. Вот их краткие характеристики со ссылками на сайты производителей.

### **1.9.1. POWER Integrations**

POWER Integrations – обратноходовые микро мощные преобразователи семейства TinySwitch (TNY, мощность нагрузки 0...30 Вт, корпус DIP, SMD-DIP), мощные семейства TopSwitch (TOP, мощность нагрузки 7...250 Вт, корпус DIP и 3-, 5- и 6-выводные TO-220 и TO-263 для поверхностного монтажа), последовательные преобразователи семейства LinkSwitch (LNK, ток нагрузки 60...250 мА). Подробная информация на сайте <http://www.powerint.com>.

### **1.9.2. ST Microelectronics**

ST Microelectronics – семейство обратноходовых преобразователей VIPer – рассчитаны на мощность нагрузки от 5 до 100 Вт, корпуса DIP, SOIC, TO-220 и собственная разработка ST – корпус PowerSO-10. Сайт компании <http://www.st.com/viper>.

### **1.9.3. Philips Semiconductor**

Philips Semiconductor – микросхемы TEA1501 (3 Вт) и семейства STARplug+ – TEA1520...TEA1523 (4...30 Вт), корпуса типа DIP-8 и SOIC-14. <http://www.nxp.com> и <http://www.STARplug.com>.

### **1.9.4. Fairchild Semiconductor**

Fairchild Semiconductor – микросхемы семейства Fairchild Power Switch (KA2(3, 5)H(M, L, S)..., FSQ... и другие, цифры в названии – напряжение и ток) и квазирезонансные (работающие на резонансной частоте трансформатора) преобразователи KA5Q..., FSCQ... в корпусе TO-220-5. Официальный сайт <http://www.fairchildsemi.com>, интерактивную программу пошагового расчета преобразователя напряжения (в ее базе почти сотня микросхем Fairchild), в комплекте наглядный учебник и справочник, можно скачать здесь: [http://www.fairchildsemi.com/designcenter/acdc/SMPSDT16\\_Install.zip](http://www.fairchildsemi.com/designcenter/acdc/SMPSDT16_Install.zip) (5,5 МБ, java, поэтому «под тормаживает» на слабых компьютерах).

### **1.9.5. ON Semiconductor**

ON Semiconductor – микросхемы серии MC33369...MC33374 с выходной мощностью, соответственно 12/25/45/60/75/90 Вт. Корпус DIP или TO-220-5. <http://www.onsemi.com>.

И многие, многие другие.

Некоторые микросхемы не имеют полноценного широтно-импульсного модулятора (ШИМ – когда для изменения выходного напряжения изменяется длительность импульса от 50...70% до 0) и работают в «старт-стопном» режиме. То есть микросхема постоянно работает с максимальной мощностью, если напряжение повысилось выше порога переключения – микросхема отключается и перестает «закачивать» импульсы в трансформатор до тех пор, пока оно не понизится, после чего снова начинает работать с максимальной мощностью. Такой режим работы, по сравнению с ШИМ, создает много помех, выходное напряжение сильно пульсирует, увеличивается нагрузка на сглаживающий конденсатор, силовой транзистор, выпрямительные диоды, но для заряда аккумуляторов, питания цифровых схем это несущественно. Тем более что такие микросхемы гораздо дешевле своих ШИМ-«коллег».

Наиболее распространенные из упомянутых здесь микросхем описаны ниже и в главе 3.

## **1.10. Микросхемы маломощного высоковольтного ШИМ-преобразователя TEA152x**

Эти микросхемы выпускаются компанией Philips, поэтому, наверное, наиболее популярны в разнообразных DVD-плеерах, телевизорах (в качестве вспомогательного стабилизатора для ждущего режима), компьютерной периферии, микроконтроллерных устройствах и всего остального, где используются микросхемы Philips. При сравнительно невысокой стоимости эти микросхемы обладают превосходными характеристиками:

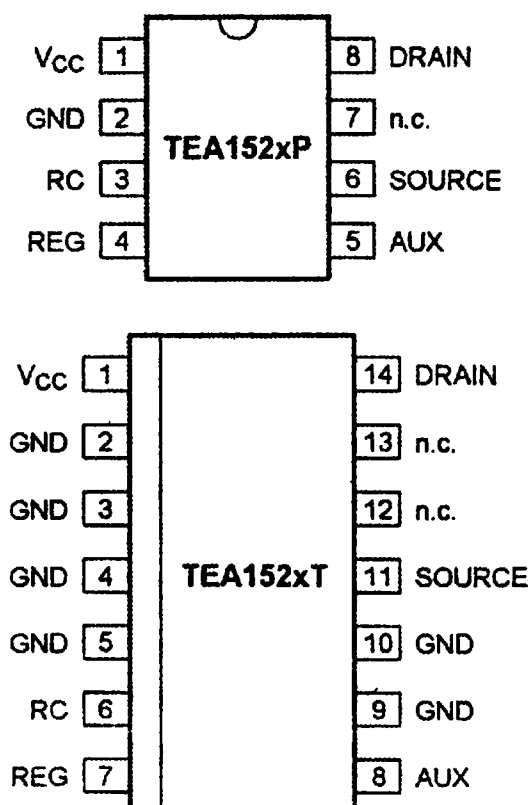
- встроенный мощный полевой транзистор с максимально допустимым обратным напряжением 650 В;

- интегрированный ШИМ-контроллер, ширина импульса 75...0%;
- рабочая частота ШИМ-контроллера изменяется в широких пределах с помощью внешних резистора и конденсатора;
- встроенные схемы защиты от перегрузки (регулируемая), перегрева и короткого замыкания в нагрузке;
- включение силового транзистора в момент минимального напряжения на его стоке (valley switching) – это уменьшает нагрузку на транзистор, увеличивает КПД и снижает помехи от работы преобразователя.

Основные характеристики микросхем этого семейства сведены в табл. 1.1.

**Таблица 1.1. Микросхемы высоковольтного импульсного преобразователя серии TEA152x**

Микросхема	Выходная канала, Ом мощность, Вт, при входном напряжении, В	Максимальный ток стока, А	Сопротивление (при 25 °С)	Частота генератора, кГц	
				230	85...265
TEA1520	0...6	0...4	0,25	48	10...200
TEA1521	4...10	2...6	0,5	24	10...200
TEA1522	7...15	5...12	1	12	10...200
TEA1523	10...20	8...15	2	6,5	10...200



При указанной в табл. 1.1 мощности корпус микросхемы нагревается не выше 50 °С. Микросхемы выпускаются в 8-выводном корпусе типа DIP и 14-выводном корпусе для поверхностного монтажа SOIC (кроме TEA1523 – она только в DIP), цоколевка показана на рис. 1.21.

Все микросхемы взаимозаменяемые, то есть в любом устройстве можно выпаять микросхему и впаять на ее место более «старшую», при этом не требуется никаких изменений на плате.

Рис. 1.21. Цоколевка микросхем для поверхностного монтажа

Схема внутреннего строения микросхем изображена на рис. 1.22, схема включения – на рис. 1.23.

Сразу после подачи сетевого напряжения конденсатор С4 заряжается током с вывода стока силового транзистора (вывод 8 микро-

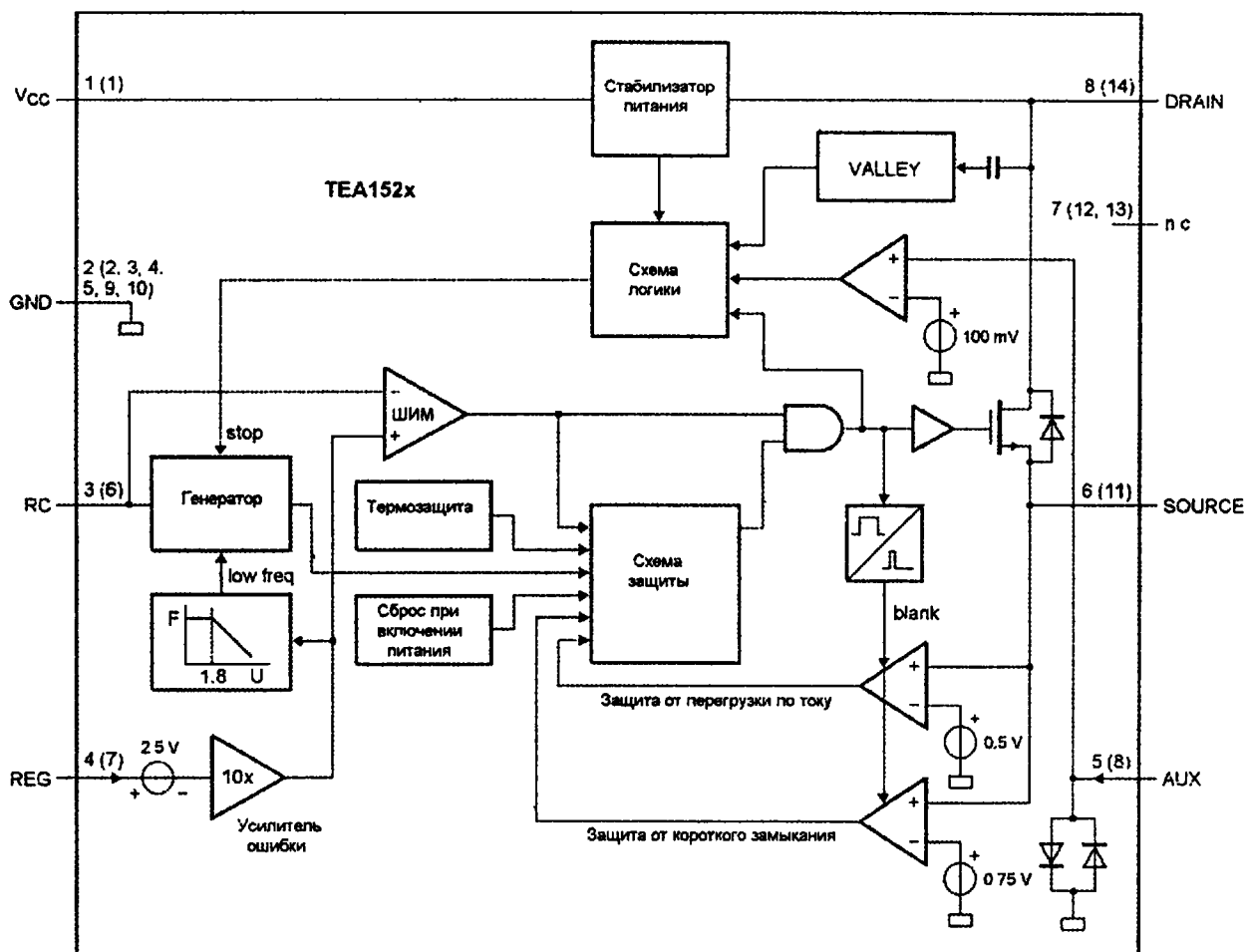


Рис. 1.22. Схема внутреннего строения микросхем

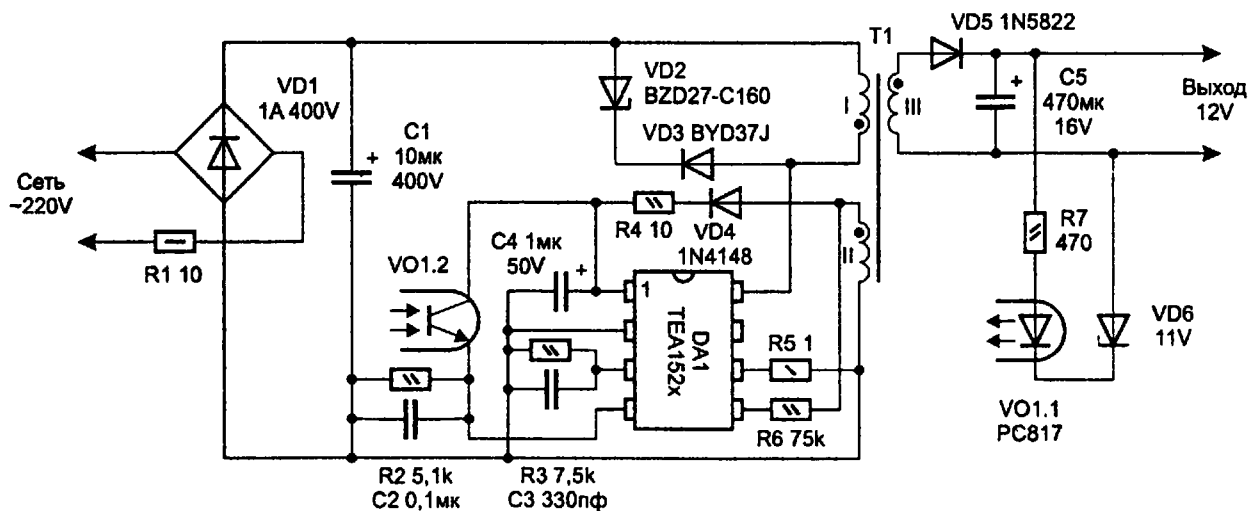


Рис. 1.23. Схема включения

схемы) через внутренний ключ. После того как он зарядится до напряжения выше 9,5 В, генератор микросхемы запускается, она начинает «раскачивать» трансформатор Т1, и напряжение с его обмотки II подзаряжает конденсатор С4. Эта обмотка должна содержать такое количество витков, чтобы минимальное напряжение на ней (при отсутствии нагрузки) превышало 10 В, а максимальное (про полной нагрузке) было меньше 40 В. Так как микросхема с работающим генератором потребляет довольно большой ток – около 1,3 мА, такое решение – единственно возможное, иначе на микросхеме будет выделяться  $300(\text{В}) \times 1,3(\text{мА}) = 390(\text{мВт})$ , то есть почти половина максимально допустимой рассеиваемой мощности (1 Вт).

Частота генератора зависит от сопротивления внешнего резистора R3 и емкости конденсатора С3 и должна быть выше 20 кГц (иначе преобразователь будет «свистеть»), но ниже 200 кГц – иначе возрастут потери и нагрев внутреннего транзистора микросхемы. При указанных на схеме номиналах этих элементов она оптимальная и равна 100 кГц. Генератор запускается только при напряжении питания (между выводами 1 и 2) выше 9,5 В и останавливается при понижении напряжения ниже 7,5 В.

Резистор R5 – датчик тока, его сопротивление в омах должно быть в 2 раза больше максимально допустимого выходного тока микросхемы. При увеличении падения напряжения на этом резисторе до 0,5 В сработает ограничитель тока и силовой транзистор принудительно закроется. Из-за этого выходное напряжение может понизиться.

Если же падение напряжения на резисторе R5 резко повысится до 0,75 В и выше (короткое замыкание обмоток трансформатора или в нагрузке) – сработает защита от короткого замыкания, микросхема отключится до тех пор, пока не отключат и снова подадут напряжение питания. Поэтому если микросхема в схеме блока питания какого-нибудь устройства внезапно начала отказываться работать – возможно, со временем повысился потребляемый устройством ток, и сразу после старта срабатывает защита от короткого замыкания. Чтобы проверить это предположение, достаточно уменьшить сопротивление резистора R5 на 20...50%. Если преобразователь заработает – нужно всего лишь поменять резистор R5 и, возможно, заменить микросхему DA1 на более мощную.

Резистор R6 подключен к входу детектора нуля. Благодаря ему уменьшается нагрузка на силовой транзистор (то есть он слабее греется) и уменьшается подмагничивание трансформатора Т1. Де-

тектор нуля работает совместно с детектором понижения напряжения VALLEY и обеспечивает наиболее оптимальный режим работы силового транзистора.

В схеме ограничителя выбросов используются высоковольтный быстродействующий диод VD3 и импульсный стабилитрон VD2. Такая цепочка, при использовании качественных деталей, обеспечивает устройству примерно на 5% больший КПД, чем более привычный ограничитель на диоде и параллельно соединенных резисторе и конденсаторе. Рабочее напряжение диода должно быть не менее 600 В, время обратного восстановления – не более 50 нс. Стабилитрон должен быть импульсным (Transient Voltage Suppression – TVS), с напряжением стабилизации 150...200 В. Его можно заменить на P6KE160 и аналогичные, использовать обычные стабилитроны нельзя!

Стабилизация выходного напряжения организована через оптрон VO1. При увеличении выходного напряжения возрастает яркость светодиода оптрона, его фототранзистор увеличивает напряжение на выводе 4 микросхемы, и ширина импульсов ШИМ уменьшается вплоть до нуля. Для защиты схемы питания микросхемы рекомендуется параллельно выводам фототранзистора подключить любой стабилитрон (на схеме не показан) с напряжением стабилизации 20...25 В.

Для преобразователя с выходной мощностью 5 Вт и работой при сетевом напряжении в диапазоне 80...276 В рекомендуется использовать трансформатор на сердечнике SE133t или SE135t (E13/7/4), количество витков в обмотке I – 135, индуктивность 1,8 мГн, число витков в обмотке II – 22, в обмотке III – 8.

## **1.11. Микросхемы мощного высоковольтного импульсного преобразователя серии TOP2xx**

Эти микросхемы предназначены для работы в схеме блока питания мощностью 20...150 Вт и требуют подключения минимального количества внешних элементов. Основные электрические характеристики микросхем сведены в табл. 1.2, выходная мощность указана из расчета, что микросхема будет эксплуатироваться без теплоотвода, в закрытом корпусе адаптера и при температуре окружающей среды 50 °С; при наличии радиатора эти цифры будут в 1,5...2,5 раза выше.



Таблица 1.2. Микросхемы мощного высоковольтного импульсного преобразователя серии TOP2xx

Семейство	Микросхема	Корпус	Выходная мощность, Вт, при входном напряжении, В	Максимальный ток стока, А (при 25 °С)	Сопротивление канала, Ом	Частота генератора, кГц
TOPSwitch	TOP200	TO-220-3	0-25	0,45	15,6	100
	TOP201	TO-220-3	20-45	1	7,8	100
	TOP202	TO-220-3	30-60	1,5	5,2	100
	TOP203	TO-220-3	40-70	1,75	3,9	100
	TOP204	TO-220-3	60-100	2,7	2,6	100
	TOP209	DIP, SDIP	0-4	0,2	31,2	70
	TOP210	DIP, SDIP	0-8	0,27	31,2	100
	TOP214	TO-220-3	50-85	2,3	3,1	100
	TOP221	TO-220-3	12	0,25	31,2	100
	TOPSwitch-II	TOP222	DIP, SDIP	9	0,5	15,6
TOP223		TO-220-3	25	1	7,8	100
TOP224		DIP, SDIP	25	1,5	5,2	100
TOP225		TO-220-3	100	2	3,9	100
TOP226		TO-220-3	125	2,5	3,1	100
TOP227		TO-220-3	150	3	2,6	100
TOP232		TO-220-7	10	0,5	15,6	132/66
TOP233		TO-220-7	20	1	7,8	132/66
TOP234		TO-220-7	30	1,5	5,2	132/66
TOPSwitch-GX		TOP242	DIP, SDIP	9	0,42	15,6

Таблица 1.2. Микросхемы мощного высоковольтного импульсного преобразователя серии TOP2xx (окончание)

Семейство	Микросхема	Корпус	Выходная мощность, Вт, при входном напряжении, В	Максимальный ток стока, А (при 25 °С)	Сопротивление канала, Ом	Частота генератора, кГц
TOPSwitch-GX		TO-263-7	15			
		TO-220-7	10			
	TOP243	DIP, SDIP	13	0,75/0,9	7,8	132/66
		TO-263-7	29			
		TO-220-7	20			
	TOP244	DIP, SDIP	16	0,9/1,35	5,2	132/66
		TO-263-7	34			
		TO-220-7	30			
	TOP245	DIP, SDIP	19	1/1,8	3,9	132/66
		TO-263-7	37			
		TO-220-7	40			
	TOP246	DIP, SDIP	21	1,35/2,7	2,6	132/66
		TO-263-7	40			
		TO-220-7	60			
		TO-263-7	42			
	TO-220-7	85				
TOP248	TO-263-7	43	3,6	1,95	132/66	
	TO-220-7	105				
TOP249	TO-263-7	44	4,5	1,56	132/66	
	TO-220-7	120				
TOP250	TO-263-7	45	5,4	1,3	132/66	
	TO-220-7	135				
			230	85...265		
			11			
			7			
			9			
			17			
			15			
			11			
			20			
			20			
			13			
			23			
			26			
			15			
			26			
			40			
			28			
			5			
			30			
			70			
			31			
			80			
			32			
			90			

За все время существования микросхем TOPSwitch было выпущено несколько семейств этих микросхем.

### **1.11.1. Особенности семейства микросхем TOPSwitch**

К ярким особенностям данного типа микросхем относятся следующие:

- встроенный мощный полевой транзистор с максимально допустимым обратным напряжением 700 В;
- интегрированный ШИМ-контроллер;
- встроенные схемы защиты от перегрузки, перегрева и схема автоматического рестарта (при коротком замыкании в нагрузке).

В микросхемах семейства TOPSwitch II оптимизирована внутренняя структура, благодаря чему, при том же сопротивлении канала транзистора, микросхема может выдать в нагрузку чуть большую мощность. Также младшие члены этого семейства выпускаются в стандартном корпусе типа DIP или SDIP (DIP для поверхностного монтажа). При замене этими микросхемами представителей устаревшего семейства TOPSwitch не требуется никаких изменений в схеме и на печатной плате.

### **1.11.2. Семейство TOPSwitch-FX**

Изменения в следующем семействе TOPSwitch-FX (FleXible – «гибкий») более существенны:

- в связи с добавлением новых функций количество выводов микросхемы увеличено до 5;
- усовершенствованная схема «мягкого старта» уменьшает перегрузку микросхемы, трансформатора и диодов в момент включения;
- величина максимального выходного тока регулируется внешним резистором;
- предусмотрена защита от работы при пониженном (менее 100 В) и повышенном (более 450 В) напряжениях, с датчиком тока на одном резисторе;
- рабочая частота – 132 (для работы) или 66 (для экономии энергии в режиме ожидания) кГц, с джиттером 8 (4) кГц, благодаря чему уменьшаются электромагнитные помехи;
- возможность включения-выключения преобразователя с помощью кнопки или оптрона;

- предусмотрен режим совместимости с микросхемами предыдущих семейств;
- у микросхем следующего семейства, TOPSwitch-GX, добавлена еще одна ножка и увеличена энергетическая эффективность – микросхемы работают с нагрузкой мощностью до 250 Вт, причем если мощность нагрузки не превышает 34 Вт, то радиатор не нужен даже для микросхем в DIP-корпусе;
- технология EcoSmart – чрезвычайно низкое энергопотребление: 80 мВт при входном напряжении 110 VAC, 160 мВт при напряжении 230 VAC, то есть в десятки раз ниже порога чувствительности электросчетчика.

И «венец» семейства TOPSwitch – микросхемы семейства TOPSwitch-HX.

### 1.11.3. Микросхемы семейства TOPSwitch-HX

У них все характеристики предыдущих семейств отточены до идеала и добавлено несколько новых «фишек». В линейку корпусов добавлен корпус типа eSIP – низкой высоты (идеален для адаптеров, где пространство ограничено) и с прижимом с помощью клипсы (уменьшаются стоимость и сложность производства всего устройства).

Типовая схема включения микросхем серий TOP200...227 показана на рис. 1.24.

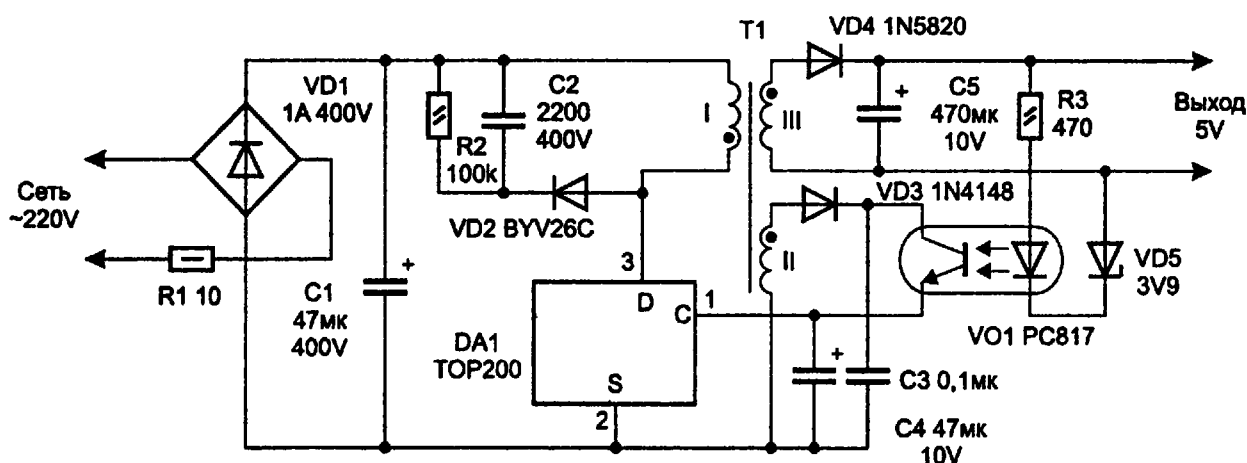


Рис. 1.24. Типовая схема включения микросхем серий TOP200...227

### 1.11.4. Особенности включения

На обмотке II трансформатора T1 и диоде VD3 собран дополнительный выпрямитель, необходимый для нормальной работы микросхемы. Оптрон VO1, в зависимости от величины выходного на-

пряжения, изменяет ток через вход С микросхемы, тем самым изменяя скважность ее выходных импульсов. Емкость конденсатора С4 изменять нельзя, он должен быть припаян в непосредственной близости от выводов микросхемы. Обмоток трансформатора для подключения нагрузки может быть несколько (на рисунке показана только одна), но обратную связь на оптроне нужно подключать только к одной из обмоток.

По такой схеме можно включать все микросхемы семейства TOPSwitch – у всех микросхем этого семейства предусмотрен режим совместимости с трехвыводной схемой – для этого нужно все дополнительные выводы (кроме D, C, S) соединить с общим проводом, то есть ножкой S. Однако в результате такого включения пропадают все преимущества и все новые возможности нового (и более дорогого) семейства – то есть фактически микросхема TOP242 превращается в TOP221. Поэтому лучше эту возможность никогда не использовать.

У микросхем серии TOP242...250 добавлены три вывода: вход Х ограничителя тока (с помощью одного внешнего резистора можно плавно уменьшить амплитуду выходного тока со 100% до 30...40% или вообще отключить микросхему); вход L детектора напряжения питания, к которому подключается один высоковольтный резистор сопротивлением 2 МОм, – микросхема выключена, пока напряжение питания ниже некоторого предела (100 В), при напряжении выше этого предела максимальная ширина импульса максимальна и равна 78%, при повышении напряжения до некоторого верхнего предела (375 В) она плавно уменьшается (чтобы не было перегрузки ключевого транзистора) до 40%, после чего микросхема отключается; и вход F для изменения рабочей частоты – при соединении этого входа с общим проводом частота равна 132 кГц, при соединении со входом С – 66 кГц. У микросхем в DIP-корпусе, а также у микросхем TOP232...234 ножек на два вывода Х и L не хватает, поэтому оба входа объединены в один мультивход M, а вывода F нет – микросхема всегда работает на максимальной частоте 132 кГц.

Схемы включения этих микросхем показаны на рис. 1.25. На рис. 1.26 (а–г) представлены диаграммы импульсов, соответствующих каждому варианту включения.

Для выключения всех новых функций достаточно соединить дополнительные выводы с общим проводом (входом S), как это сдела-

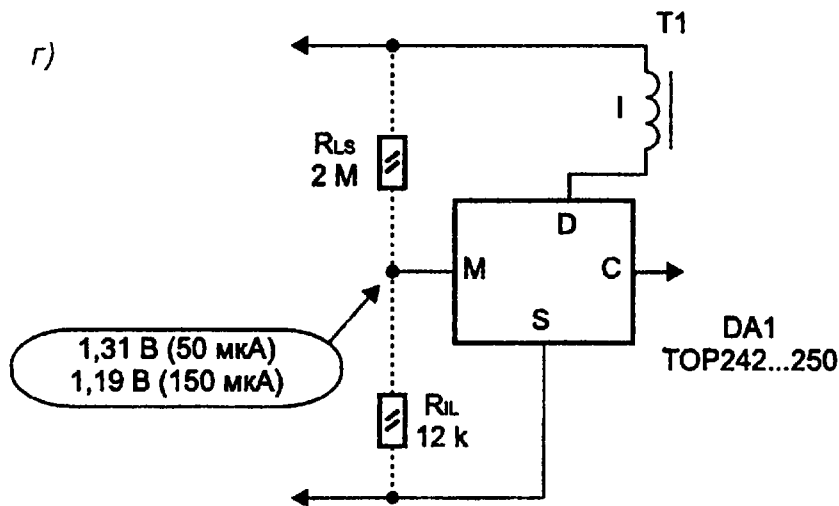
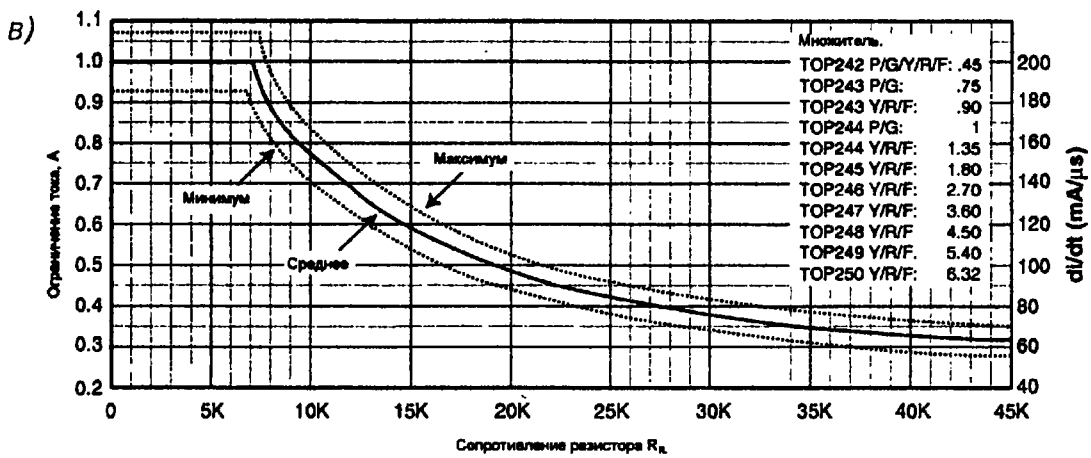
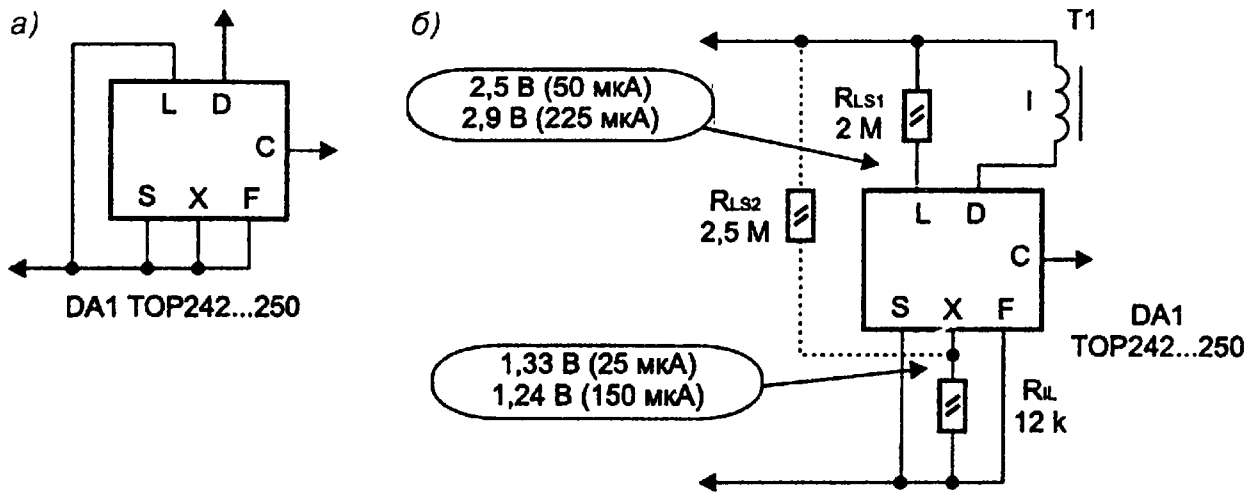


Рис. 1.25 (а–г). Схемы включения

но на рис. 1.25а. Все остальные элементы на этом и последующих рисунках подключаются точно так же, как и на рис.1.24, и для экономии места не показаны.

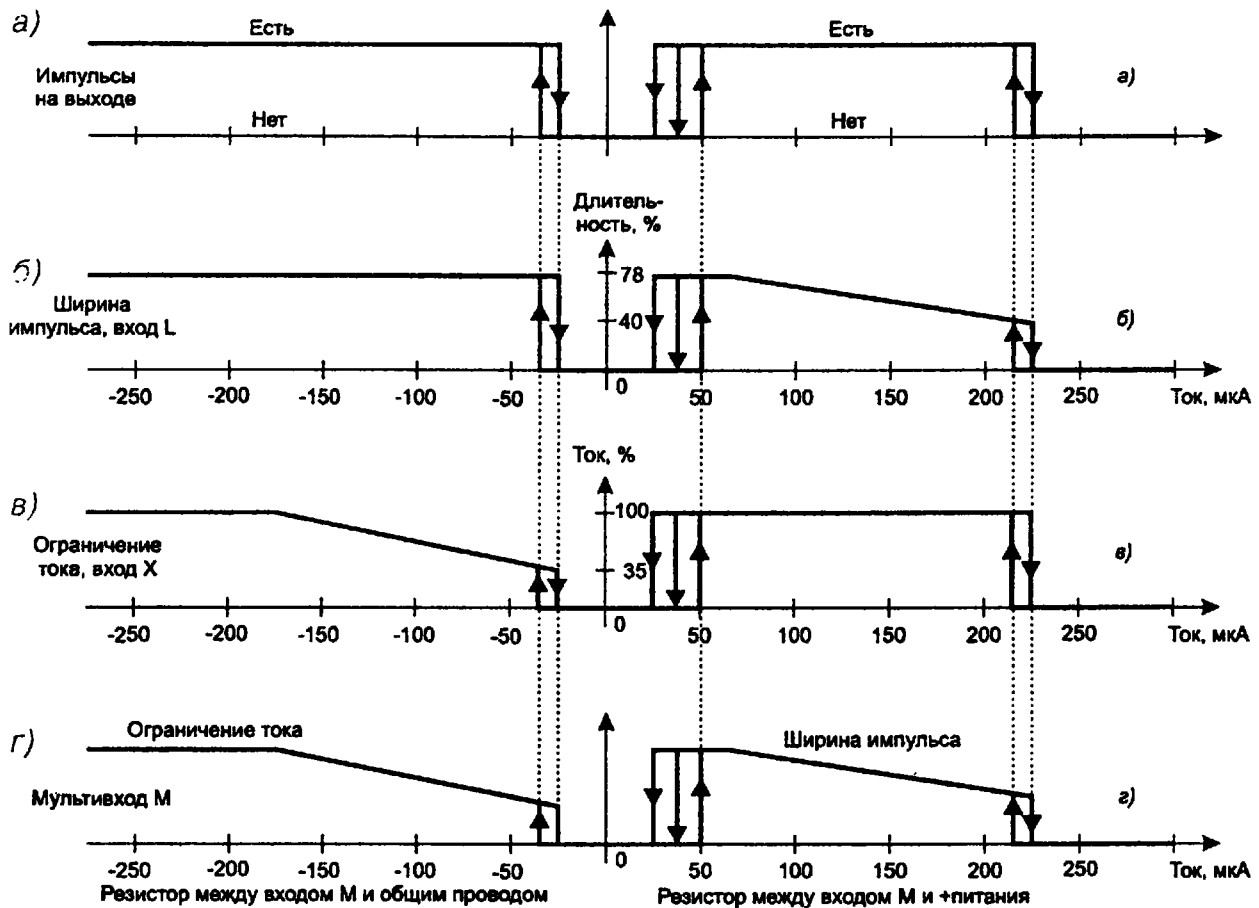


Рис. 1.26 (а-г). Вид импульсов

### 1.11.5. Включение микросхем серии TOP242

Типовая схема включения для микросхем серии TOP242...250 показана на рис. 1.25б. Максимальная ширина импульса зависит от втекающего тока через вход L, при токе примерно 50 мкА она достигает 78%, а при увеличении тока до 190 мкА плавно уменьшается до 40% (рис. 1.26б).

При втекающем токе менее 50 мкА и более 225 мкА микросхема принудительно отключается, выходное напряжение пропадает (правая половина рис. 1.26а). Это предотвращает возможность работы микросхемы при пониженном (повышенном) входном напряжении, при котором она все равно не сможет обеспечить требуемый ток нагрузки (или при котором выходной транзистор может выйти из строя из-за перенапряжения).

При указанном на схеме сопротивлении резистора  $R_{L,S1}$  (2 МОм) этим пределам соответствуют напряжения ниже 100 В и выше

450 В. При вытекающем токе по входу L (он соединен с общим проводом непосредственно или через резистор, ток в цепи более 27 мкА), ширина импульса не ограничена и может достигать 78%.

Максимальная величина амплитуды импульса выходного тока и скорость нарастания выходного тока зависят от сопротивления резистора, подключенного к выводу X микросхемы, график этой зависимости показан на рис. 1.25в, а диаграмма работы – на рис. 1.26в. При сопротивлении резистора 0...5 кОм импульсы тока имеют максимальную амплитуду, при сопротивлении более 60 кОм микросхема принудительно отключается. При втекающем токе (от «плюса») в пределах 50...225 мкА микросхема включается и работает с максимальным выходным током, при втекающем токе более 250 мкА – принудительно отключается. На этом входе также можно сделать автоматическую регулировку выходного тока в зависимости от величины напряжения питания, добавив резистор  $R_{1,S2}$  сопротивлением 2,5 МОм и поставив резистор  $R_{1L}$  сопротивлением 12 кОм. Тогда величина выходного тока будет максимальна при напряжении питания 100 В и будет уменьшаться до 40% от максимальной при напряжении питания 450 В. Совместно с автоматической регулировкой ширины импульса эта опция позволяет сделать микросхему сверхнадежной практически при любом (в разумных пределах) перенапряжении в сети.

У микросхем в DIP- и SDIP-корпусах эти выводы объединены в один мультывход M (рис. 1.25г), поэтому у них одновременно может работать только ограничитель ширины импульса (между выводом M и положительным выводом шины питания нужно подключить резистор  $R_{1,S}$ ), или только ограничитель тока (между выводом M и общим проводом нужно подключить резистор  $R_{1L}$ ) – рис. 1.26г. Сопротивления этих резисторов такие же, как и для «обычных» микросхем. При одновременном подключении обоих резисторов микросхема будет работать в режиме регулируемого ограничителя тока – при сопротивлении  $R_{1,S}$ , равном 2,5 МОм, и сопротивлении  $R_{1L}$ , равном 6 кОм, выходной ток при напряжении 100 В будет составлять 100% от максимального, а при увеличении напряжения до 300 В будет уменьшаться до 63%.

Внешний вид корпусов и цоколевка выводов показаны на рис.1.27.

Дополнительную информацию по микросхемам этого семейства можно получить на сайте изготовителя <http://www.powerint.com>.





## 1.12. Микросхемы маломощного высоковольтного импульсного преобразователя серии TNY2xx

Эти микросхемы выпускаются компанией POWER Integrations и являются высокоэффективным обратноходовым преобразователем с выходной мощностью 1...20 Вт. Электрические характеристики микросхем приведены в табл. 1.3, мощность указана из расчета, что микросхема будет стоять в закрытом корпусе адаптера, без радиатора, при температуре окружающей среды +50 °С и находится на пороге срабатывания термозащиты.

Таблица 1.3. Микросхемы высоковольтного импульсного преобразователя серии TNY2xx

Микро- схема	Семейство	Выходная мощность, Вт, при входном напряжении, В		Максимальный ток стока, мА	Сопротивление канала, Ом (при 25 °С)	Частота генера- тора, кГц
		230	85...265			
TNY253	TinySwitch	0...4	0...2	150	35	44
TNY254		2...5	1...4	255	31	44
TNY255		4...10	3,5...6,5	280	23	130
TNY256	TinySwitch Plus	8...15	5...10	500	16	130
TNY263	TinySwitch II	5	3,7	210	33	132
TNY264		5,5	4	250	28	132
TNY265		8,5	5,5	275	19	132
TNY266		10	6	350	14	132
TNY267		13	8	450	7,8	132
TNY268		16	10	550	5,2	132
TNY274	TinySwitch III	6	5	250	28	132
TNY275		8,5	6	275	19	132
TNY276		10	7	350	14	132
TNY277		13	8	450	7,8	132
TNY278		16	10	550	5,2	132
TNY279		18	12	650	3,9	132
TNY280		20	14	750	2,6	132
TNY375	TinySwitch-PK	8,5	6	355	19	264/132
TNY376		10	7	455	14	264/132
TNY377		13	8	585	7,8	264/132
TNY378		16	10	715	5,2	264/132
TNY379		18	12	845	3,9	264/132
TNY380		20	14	975	2,6	264/132

При наличии теплоотвода эта цифра будет в 1,5...2 раза выше. Основная сфера применения микросхем серии TNY2xx – малогабаритные зарядные устройства, подпитка компьютерного и другого оборудования в ждущем (Stand By) режиме, маломощные цифровые устройства с сетевым питанием.

Выпускаются микросхемы в корпусе DIP (TNY2xxP), корпусе DIP для поверхностного монтажа (TNY2xxG), микросхема TNY256Y – в корпусе TO-220-5, расположение выводов показано на рис. 1.28.

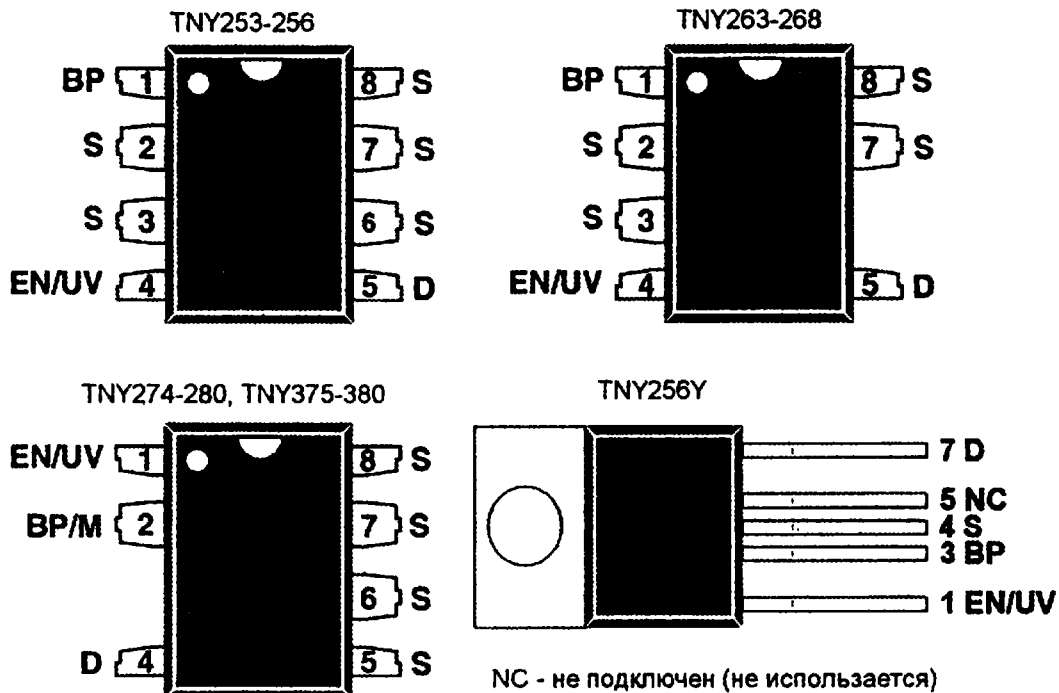


Рис. 1.28. Расположение выводов микросхем TNY2xx

### 1.12.1. Особенности микросхем семейства TinySwitch

Особенности микросхем семейства TinySwitch таковы:

- встроенный силовой транзистор, его максимально допустимое обратное напряжение 700 В;
- очень низкое собственное энергопотребление – менее 0,06 Вт при входном напряжении 230 В;
- встроенные защита от перегрева и ограничитель выходного тока;
- малоинерционная цепь обратной связи, благодаря чему снижаются пульсации выходного напряжения.

Дополнительно в микросхемы семейства TinySwitch Plus встроена схема автоматического рестарта при коротком замыкании выхода (32 мс работает, если выход коротко замкнут, – отключается на 128 мс, после чего снова повторяет попытку старта). Благодаря этому выход микросхемы из строя, даже при длительной работе в состоянии короткого замыкания выхода, практически невозможен.

### ***TinySwitch II***

Вдобавок ко всему вышеперечисленному в микросхемах семейства TinySwitch II:

- повышена до 132 кГц рабочая частота – это позволило использовать трансформатор гораздо меньших размеров;
- добавлена схема джиттера (диапазон рабочей частоты в пределах 128...136 кГц) – благодаря этому заметно снизился акустический «звон» от работающего преобразователя;
- удален вывод 6, поэтому расстояние между высоковольтным выводом стока и остальными выводами увеличилось до 5...7,5 мм – то есть уменьшились требования к точности и качеству изготовления печатной платы;
- в схему питания микросхемы добавлен защитный стабилитрон, благодаря чему она стала более надежной.

### ***TinySwitch III***

В микросхемах третьего поколения семейства TinySwitch III улучшены все вышеперечисленные параметры и добавлен регулируемый ограничитель тока: при емкости конденсатора на выводе VP 0,1 мкФ максимальный выходной ток микросхемы соответствует указанному в табл. 1.3, при емкости этого конденсатора 1 мкФ максимальный выходной ток уменьшается до тока «младшей» микросхемы (то есть, например, TNY276 превращается в TNY275), а при емкости 10 мкФ – увеличивается до тока у старшей (TNY276 превращается в TNY277; кроме TNY274, у которой ток остается уменьшенным). Это позволяет более точно подстроить ток ограничения, не покупая другую микросхему. Однако сопротивление канала выходного транзистора при этом не изменяется, поэтому более «слабые» микросхемы при подобном «разгоне» греются чуть сильнее.

Типовая схема включения микросхем всех семейств показана на рис. 1.29.

На рис. 1.30 представлена схема включения TNY254 в качестве преобразователя напряжения от телефонной линии, которую можно использовать и при решении других задач радиолюбителя.

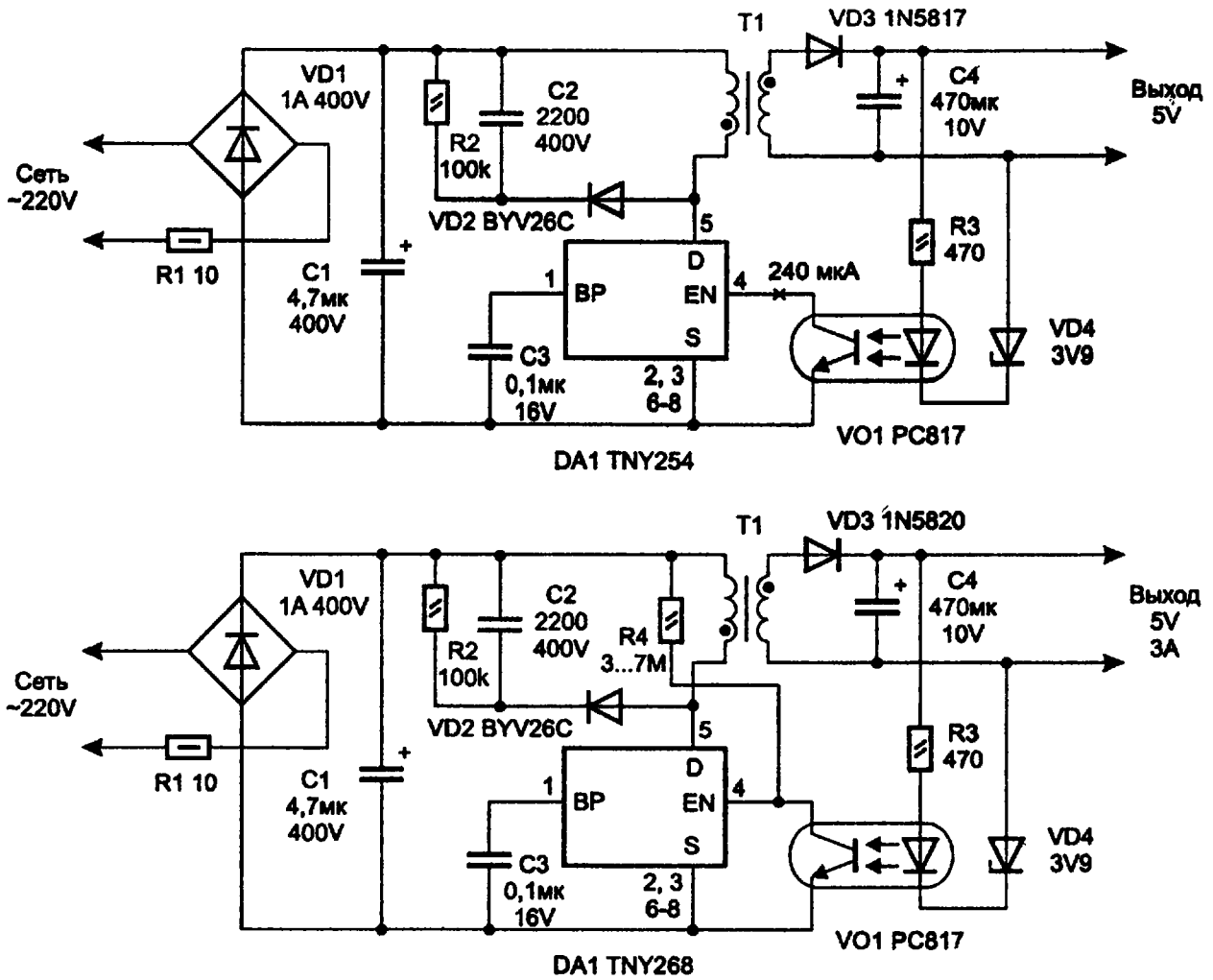


Рис. 1.29. Типовая схема включения микросхем всех рассмотренных семейств

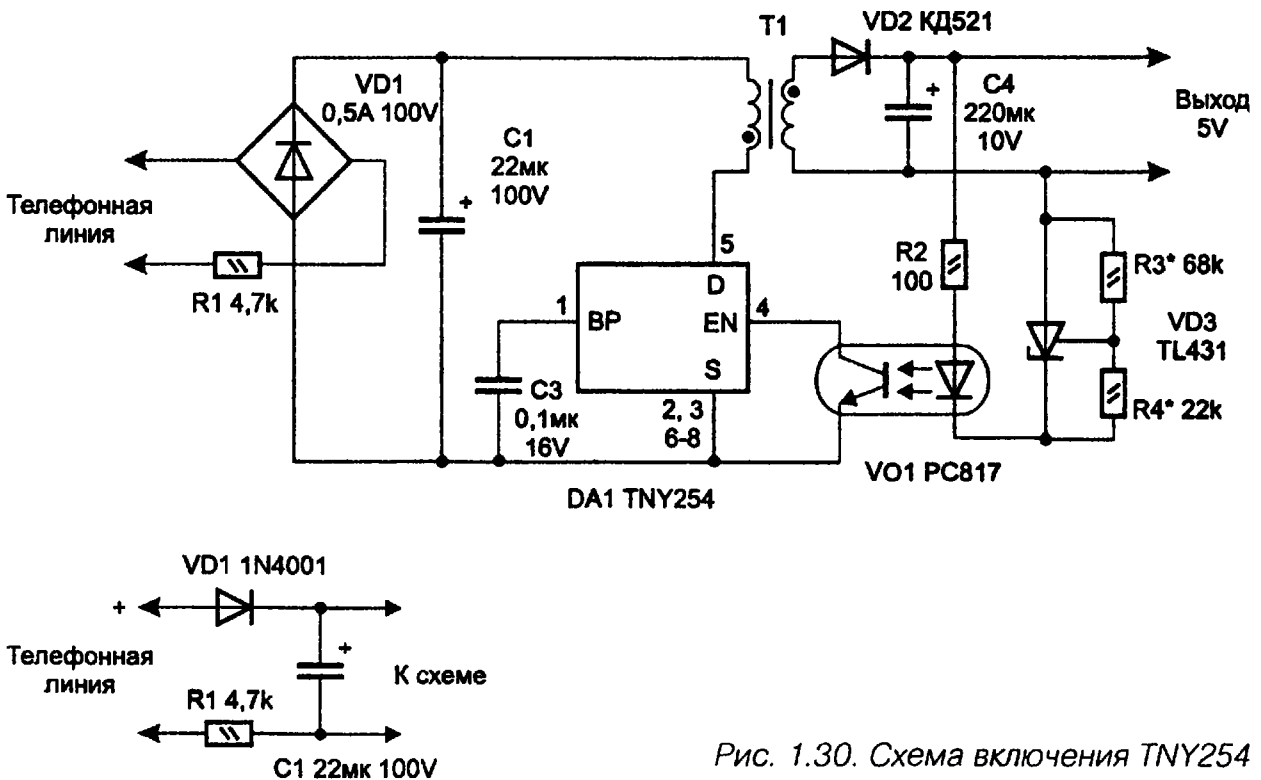


Рис. 1.30. Схема включения TNY254

### **1.12.2. Особенности включения микросхем семейства *TinySwitch***

Отличительная особенность микросхем этого семейства – для питания цепи обратной связи (оптрона) не нужен дополнительный источник питания: микросхема генерирует этот ток (240 мкА) сама. В итоге третья обмотка трансформатора, имеющаяся почти во всех импульсниках на микросхемах других производителей или на транзисторах, не нужна – то есть получается экономия и на обмотках, и на внешних деталях (не нужны дополнительные диод и конденсатор), и на размере и сложности платы.

Выпрямленное сетевое напряжение сглаживается конденсатором С1 и через первичную обмотку трансформатора Т1 поступает на вывод стока встроенного в микросхему DA1 транзистора. Благодаря встроенной схеме питания (ее выход – вывод ВР, подключать к этой ножке другие нагрузки запрещено!) напряжение на фильтрующем конденсаторе С3 возрастает до рабочих 5 В, после чего начинается генерация. Напряжение на выходе преобразователя возрастает, когда оно достигает напряжения стабилизации стабилитрона, – начинает светиться светодиод оптрона VO1, его фототранзистор шунтирует вход EN на корпус, и генерация срывается. Как и большинство аналогичных микросхем, эти микросхемы работают в старт-стопном режиме и не имеют ШИМ.

На элементах VD2-R2-C2 собрана схема ограничителя выбросов (soft clamp) в момент выключения транзистора, она обязательна для надежной работы любого подобного устройства. Диод VD2 может быть любым быстродействующим высоковольтным, его можно заменить на 1N4937 или UF4006, конденсатор С2 – пленочный или керамический с рабочим напряжением от 400 В. Сопротивление резистора R1 для микросхем с выходной мощностью менее 5 Вт можно увеличить до 150 кОм, для микросхем с мощностью более 20 Вт – желательно уменьшить до 75 кОм.

Для еще большей экономии потребляемого тока, увеличения быстродействия и уменьшения помех в микросхемах TNY256 и старше между положительным выводом конденсатора С1 и входом EN микросхемы нужно поставить резистор сопротивлением 2...4 МОм. Одновременно активизируется защита от работы при пониженном напряжении питания (undervoltage) – при указанных сопротивлениях резистора микросхема будет выключаться, соответственно, при напряжении ниже 100...200 В.

Рекомендуемый вариант печатной платы устройства показан на рис. 1.31.

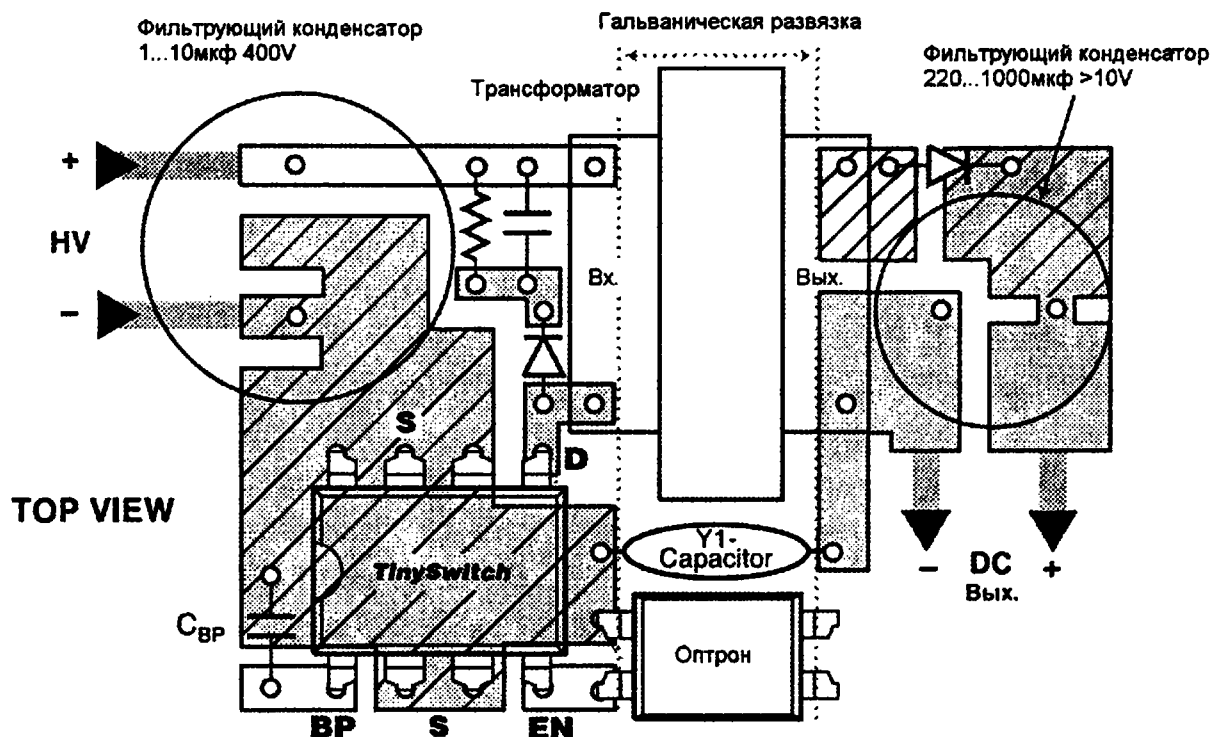


Рис. 1.31. Рекомендуемый вариант печатной платы устройства

Дополнительную информацию по микросхемам этого семейства можно получить по ссылке <http://www.powerint.com>.

## 1.13. Параллельное соединение ИСТОЧНИКОВ ПИТАНИЯ

Необходимость в параллельном соединении источников питания (ИП) возникает обычно по одной из следующих причин:

- резервирование ИП для увеличения надежности работы радиоэлектронной аппаратуры;
- увеличение общей выходной мощности ИП.

Примеры для обоих случаев очевидны и известны из практики. Так, резервирование ИП применяют в военной технике, на конвейерных линиях, в железнодорожном и электротранспорте. В быту резервированием ИП можно назвать применение источников бесперебойного питания (ИБП) в устройствах охраны и сигнализации, а также в компьютерной технике. Увеличение выходной мощности

путем параллельного подключения ИП оправдано для питания мощной нагрузки, например радиопередатчика (трансивера) с максимальным током потребления более 20 А.

В большинстве случаев параллельное соединение источников требует реализации функции распределения тока между ними.

### 1.13.1. Защита источников без распределения тока

Такая защита часто необходима, когда требуется избежать нежелательной поломки электронных устройств вследствие отказа ИП. С этой целью соединяют два ИП в параллель способом, представленным на рис. 1.32.

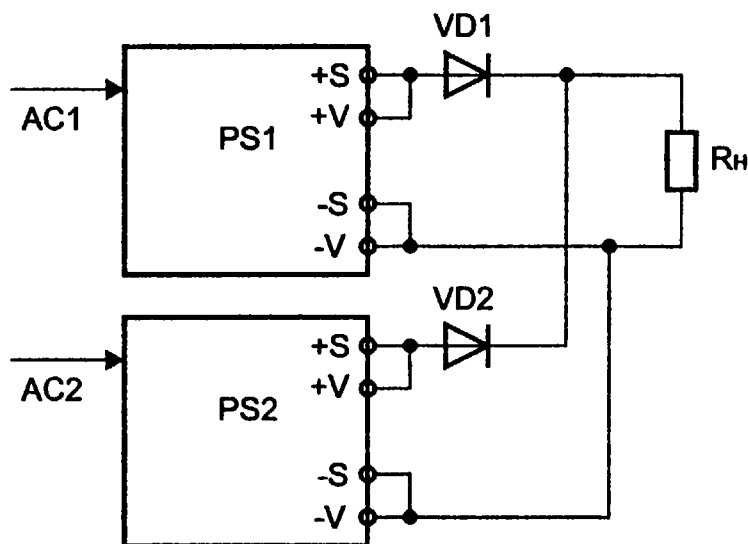


Рис. 1.32. Способ параллельного соединения ИП

Допустим, ИП-2 настроен на более низкое выходное напряжение относительно ИП-1. Поэтому только первый источник питания PS1 поставляет ток в нагрузку, так как только его последовательный диод проводит ток.

Мощность на нагрузке создается только одним ИП, а не является удвоенной. Напряжение нагрузки равно напряжению источника питания минус падение напряжения на диоде ( $U_n - U_{пад\ VD1}$ ).

ИП-2 при этом находится в режиме ожидания под более низким напряжением и в случае прекращения работы ИП-1 вместо него поставляет ток в нагрузку.

При такой схеме соединения источников напряжение на нагрузке снижается при росте тока нагрузки (LOAD REGULATION), а паде-



ние напряжения на проводящем диоде растет по мере повышения тока («естественное распределение тока»).

Главным недостатком данной схемы является нестабильность напряжения на нагрузке. При изменении тока нагрузки (LOAD REGULATION) падение напряжения на диоде колеблется от 0 В без нагрузки до 0,6 В под нагрузкой.

Это падение напряжения уменьшает напряжение на нагрузке в зависимости от выходного тока. Поэтому эта конфигурация не используется при напряжениях ниже 12 В, когда падение напряжения на диоде составляет значительную долю от напряжения на выходе.

В этой схеме из-за отличия напряжений источников нет возможности применять корректирующие линии SENSE, так как ИП, настроенный на более низкое напряжение и находящийся в режиме ожидания, обнаружив в своих линиях SENSE повышенное по отношению к своей настройке напряжение, сразу прекратит процесс преобразования.

### 1.13.2. Защита источников с распределением тока

Для того чтобы при защите иметь стабильное напряжение на нагрузке, необходимо ввести «активное распределение тока» между ИП. При параллельном соединении источников добавляется специальная линия распределения тока, которая соединяет между собой соответствующие терминалы источников питания. Такое соединение выполняется по схеме на рис. 1.33.

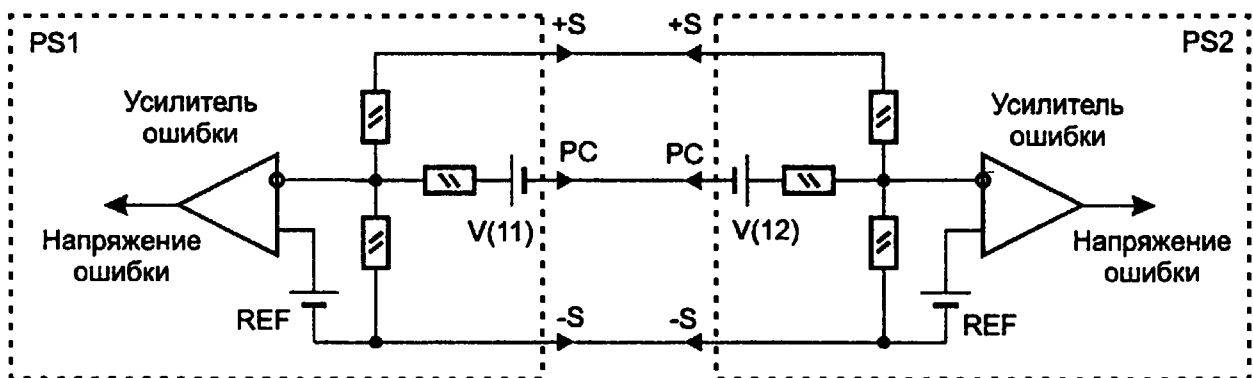


Рис. 1.33. Схема с линией распределения тока

В этой схеме линии SENSE обоих источников подсоединены к нагрузке и между источниками питания включена линия распределе-

ния тока (РС). Каждый из источников питания отдает нагрузке половину своей мощности.

Источники должны быть настроены по напряжению как можно ближе друг к другу, а сопротивления соединительных проводов от каждого из источников к нагрузке должны быть равны друг другу.

Эта конфигурация позволяет соединять в параллель более ИП ( $N+1$ ), когда дополнительно включается еще один резервный ИП, который в случае неисправности одного из источников начинает работать вместо отказавшего источника.

### **1.13.3. Принцип работы устройства с активным распределением тока**

ИП на выходе контролирует напряжение путем сравнения напряжения, измеряемого на линиях SENSE, с внутренним эталонным напряжением. Для того чтобы источник мог эффективно делить ток с другим источником, он должен непрерывно получать информацию о своем токе и о токе другого источника. Эту информацию источник обрабатывает и использует во время контроля и регулирования выходного напряжения. При этом если ток источника слишком велик, его выходное напряжение начнет снижаться, и наоборот. Фактически поступает информация о разности токов двух источников, в случае положительной разности токов следует понизить напряжение источника, в случае отрицательной разности – повысить это напряжение. В это же время соседний источник питания получает информацию, обратную по знаку, и выполняет обратные действия. Так осуществляется балансировка токов источников.

При параллельном соединении более чем двух ИП число переменных, участвующих в процессе распределения тока между ними, велико (каждый источник нуждается в информации о своем токе и токе всех остальных). Поскольку каждый из источников осуществляет контроль и регулирование выходного напряжения и тока на основании всех переменных, то появляется опасность, что такой сложный контур регулирования может потерять стабильность, поэтому количество источников, включаемых параллельно по такой схеме соединения, ограничено.

### **1.13.4. Особенности электрической цепи**

Фактически каждый источник питания представляет источник напряжения, зависящий от его тока. Положительный терминал выход-

ного напряжения соединен с точкой контроля выходного напряжения, а отрицательный терминал выходного напряжения – с отрицательным терминалом выходного напряжения соседнего источника питания. Разность между  $V(I1)$  и  $V(I2)$  влияет на распределение напряжения между источниками так, что если она положительна, выходное напряжение первого источника должно падать, чтобы сохранять положение, когда точка контроля равняется эталонному напряжению.

### 1.13.5. Соединение для получения большей мощности

Для получения высокой мощности от двух ИП их соединение выполняется по схеме на рис. 1.34.

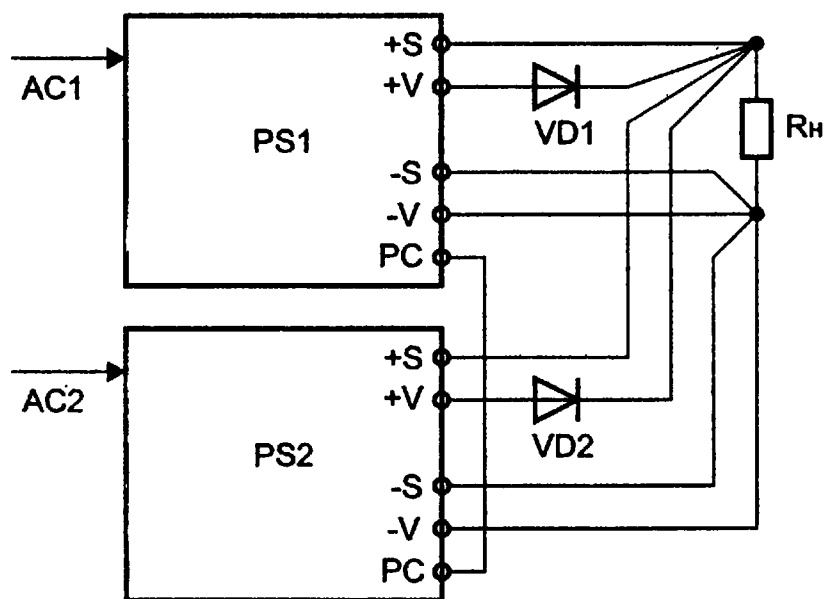


Рис. 1.34. Электрическая схема соединения двух ИП в параллель

В этой схеме, так же как и в предыдущей, ИП соединяются между собой линией распределения тока. Без активного распределения тока параллельное соединение источников не будет нормально функционировать из-за очевидной разницы выходных напряжений ИП. Вследствие этой разницы ИП с более высоким выходным напряжением выдает на выходе максимально возможный для него ток.

Подключение к мощной нагрузке приводит к тому, что в какой-то момент времени максимальный ток ИП оказывается недостаточен. При ограничении тока напряжение источника начинает снижаться.

Это заставит источник питания с более низким выходным напряжением поставлять необходимый остаток тока. При введении активного распределения тока необходимо следить за тем, чтобы общая мощность ИП была таковой, чтобы ни от одного из источников не требовалось более 90% от расчетного (для него) максимального тока.

## 1.14. Импульсный стабилизатор

Импульсный стабилизатор – коммутационная схема, работающая в замкнутом контуре и регулирующая выходные параметры ИП.

Рассмотрим один из ее примеров.

Тема разработки мощных импульсных источников питания до сих пор является актуальной. На рис. 1.35 приведена схема полумостового преобразователя напряжения, реализованного на современной элементной базе с одной первичной обмоткой.

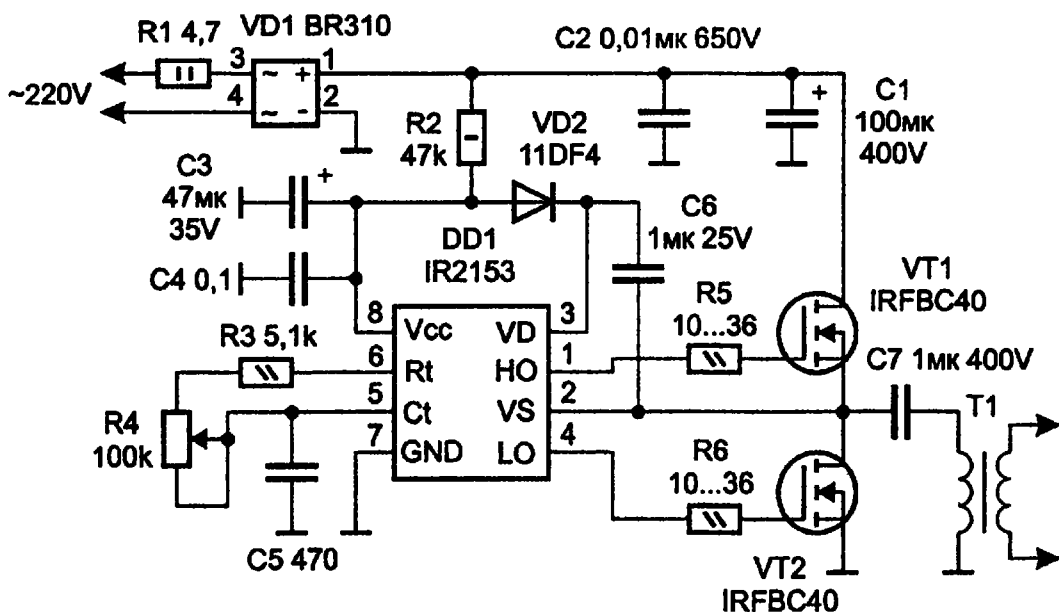


Рис. 1.35. Электрическая схема полумостового преобразователя напряжения

Цепи входного выпрямителя определяются выходной мощностью преобразователя. При выходной мощности до 100 Вт в качестве диодного моста можно использовать DB107. При увеличении мощности можно использовать мосты типа BR310 и более мощные. Выпрямитель во вторичной обмотке импульсного трансформатора можно выполнить по любой схеме, в зависимости от параметров и характера нагрузки.

Подстроечный резистор R4 предназначен для изменения частоты автогенератора в широких пределах.

В качестве автогенератора используется одна микросхема IR2153 (можно использовать любую из микросхем: IR2151D, IR2152D, IR2155D, IR21531D). Отличительная особенность рассматриваемых микросхем с индексом «D» от микросхем без индекса – в первом случае в автогенератор уже встроен высоковольтный диод для питания цепи управления выходного транзисторного ключа.

Внешний вид типичного ИИП представлен на рис. 1.36.

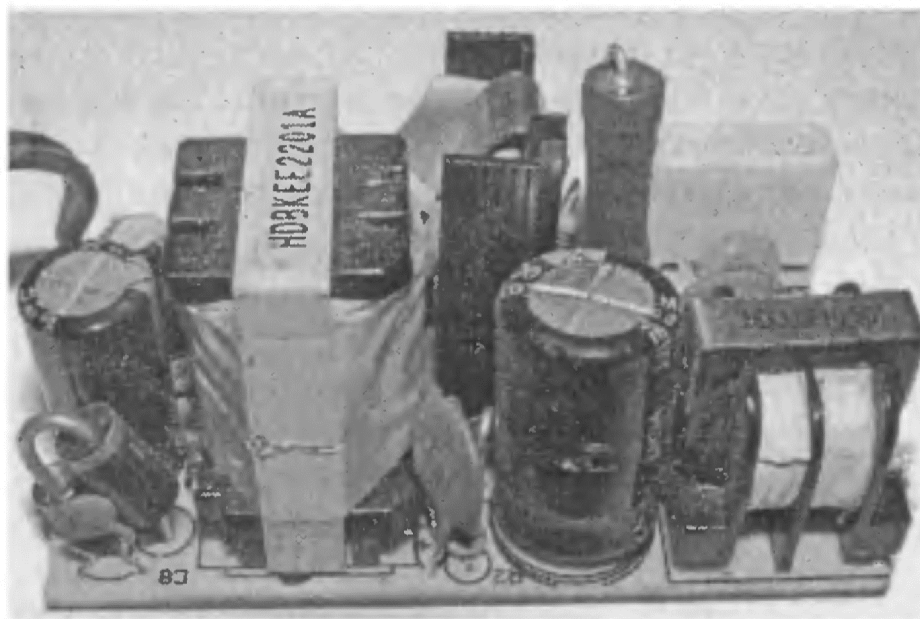


Рис. 1.36. Внешний вид типичного ИИП

Автогенератор IR2153 имеет внешнее регулирование частоты (R4), фиксированную паузу 1,2 мкс, миниатюрный DIP-8 корпус. В автогенератор встроен стабилитрон на напряжение 15,6 В, который стабилизирует напряжение питания, получаемое через токоограничительный резистор R2 от цепи основного питания.

В качестве выходных ключей необходимо использовать мощные MOSFET транзисторы с встроенным диодом защиты, например IRFBC40. При питании от сети 220 В допустимое напряжение сток-исток MOSFET транзистора должно быть не менее 400 В. Величина его тока определяется необходимой мощностью преобразователя. Фактически выходная мощность определяется только применяемыми выходными транзисторами (выбор MOSFET транзисторов огромен, диапазон токов – от единиц до сотен ампер).

Токоограничительные резисторы R5 и R6 в цепях затвора предназначены для ограничения выходного тока управления при перезаряде входной емкости MOSFET транзисторов. При выходной мощности 50 Вт и более необходимо мощные MOSFET транзисторы устанавливать на радиаторы.

Рабочая частота автогенератора задается одной RC-цепью. Рекомендуется использовать резистор сопротивлением не менее 5 кОм. Частота генерации определяется формулой

$$F = 1/1,38 \times (R1 + 75) \times C1,$$

где R1 – в омах, C1 – в фарадах.

При сборке платы необходимо обеспечить электростатическую защиту MOSFET транзисторов. Запаивать в плату их надо в последнюю очередь.

Выбор рабочей частоты и расчет выходного трансформатора не раз описывались в литературе для радиолюбителей.

Для регулировки в широком диапазоне времени паузы между импульсами подходят микросхемы-автогенераторы IR2156 или IR21571.

<b>1</b>	Импульсные источники питания	<b>11</b>
----------	------------------------------	-----------

## **2**      **УСТРОЙСТВА НА ОСНОВЕ ИМПУЛЬСНЫХ ИСТОЧНИКОВ ПИТАНИЯ**

<b>3</b>	Микросхемы и микросборки для источников питания	<b>106</b>
----------	--	------------

## 2.1. Простой регулируемый преобразователь на дискретных элементах

В полевых условиях, вдали от линий электропередач, оказываются незаменимыми источники питания, получающие энергию от автомобильных аккумуляторов. На схеме (рис. 2.1) показан преобразователь напряжения 12–36 В.

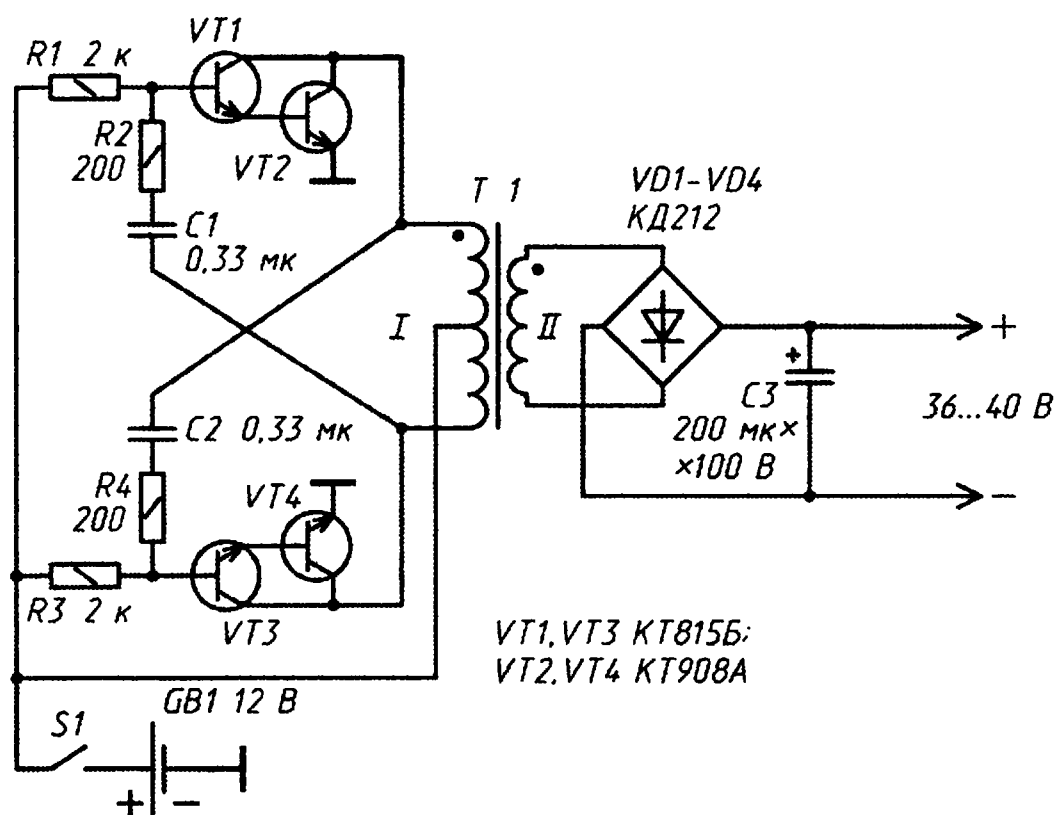


Рис. 2.1. Электрическая схема преобразователя

Выходное постоянное напряжение 36 В оказывается незаменимым для питания телефонной линии связи, состоящей из двух аппаратов. Практическое применение устройству находится в условиях широко разнесенных на местности домов одного садоводства и во многих других случаях.

Ток, потребляемый преобразователем от АКБ, в «холостом режиме» не превышает 0,06 А.

Источником питания преобразователя служит автомобильная аккумуляторная батарея СТ-55А. Постоянное напряжение преобразуется в импульсы частотой 25–30 кГц. Это обеспечивает мульти-



вибратор, работающий в автоколебательном режиме и реализованный на транзисторах VT1–VT4. Переменное напряжение со вторичной обмотки выпрямляется диодным мостом VD1–VD4, сглаживается оксидным конденсатором С3 и поступает в нагрузку.

Выходной ток нагрузки без потери напряжения преобразователя – 0,4 А; он обусловлен параметрами трансформатора Т1. Напряжение на выходе преобразователя может колебаться до 40 В.

### **О деталях**

Трансформатор Т1 выполнен на ферритовом кольцевом магнитопроводе М3000НМ типоразмера К28×16×9. Обмотка I содержит 20 витков провода ПЭВ-1 (2) диаметром 0,8 мм с отводом от средней точки, виток к витку. Начало обмотки показано на схеме точкой. После намотки первого контура прокладываются два слоя трансформаторной бумаги. Обмотка II наматывается сверху виток к витку и содержит 35 витков аналогичного провода диаметром 0,31 мм.

Транзисторы VT1, VT3 из серий КТ608 А-В, КТ630А-Г, КТ801, КТ815, КТ817 с любым буквенным индексом. VT2, VT4 – КТ805, КТ908 с любыми буквенными индексами. Выпрямительные диоды, кроме указанных на схеме, можно применить КД213, КД509А. Они должны быть рассчитаны для работы с частотой не менее 30 кГц. Конденсатор С3 – оксидный, типа К52-1, ЭТО, К53-1. Все они с малым током утечки и хорошо работают на высоких частотах. Конденсаторы С1, С2 типа КМ5, КМ6б или аналогичные. Постоянные резисторы типа МЛТ-0,25.

Устройство в настройке не нуждается. При безошибочном монтаже и исправных элементах начинает работать сразу.

Если преобразователь не заработал при первом включении (не запускается мультивибратор), следует отключить питание АКБ и поменять местами начало обмоток трансформатора Т1.

Элементы простой схемы можно соединить без печатной платы, к примеру так, как показано на рис. 2.2.

При эксплуатации устройства высокочастотный трансформатор может слегка свистеть. Это не является неисправностью. Транзисторы преобразователя устанавливать на радиаторы не нужно.

Вместо АКБ с напряжением 12 В можно подключить аккумулятор 6 В, тогда на выходе напряжение упадет до 27–28 В.

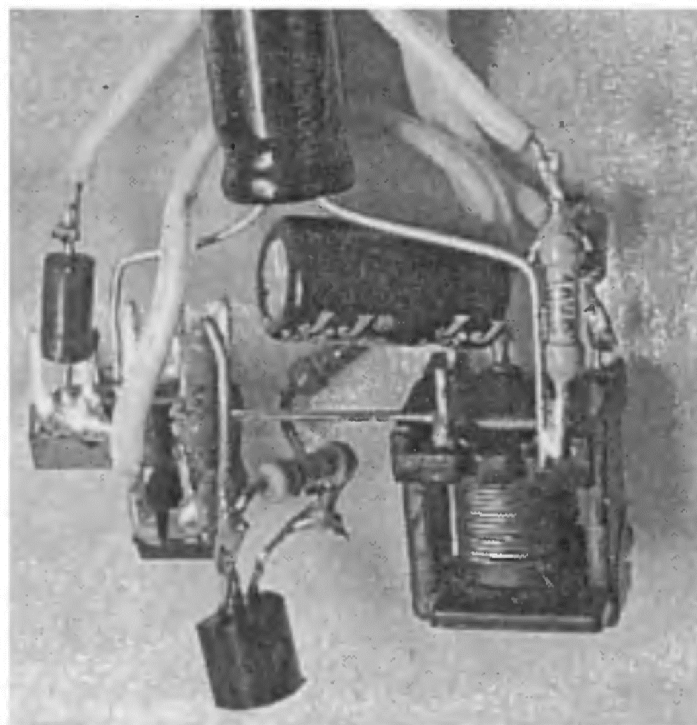


Рис. 2.2. Фото навесного монтажа устройства

## 2.2. Преобразователь напряжения на микросхемах

Чтобы понять, как проводит рабочие часы водитель-дальнобойщик, нужно как минимум побыть им. Напряжение бортовой сети грузовых автомобилей 24 В, что справедливо и для отечественных, и для импортных грузовых автомобилей такого класса. Большинство выпускаемых отечественной и импортной промышленностью приборов-помощников для водителей-дальнобойщиков (электрокофеварки, нагреватели, телевизоры, магнитолы, CD-проигрыватели и много, много чего другого) рассчитаны на напряжение питания 12 В. Ко мне неоднократно обращался с просьбой исправить «сгоревший» адаптер-стабилизатор 24/12 В знакомый водитель. Оно и понятно – не выдерживают фирменные стабилизаторы-преобразователи перегрузки, когда в качестве потребителей их энергии используются сразу несколько мощных нагрузок, да еще случайно замыкают выход. Замена стабилизатора стоит ощутимых денег (хоть дальнобой-

щик может себе позволить периодическую замену такого электронного блока), ремонт в квалифицированной мастерской также недешев, хоть неисправность, казалось бы, пустяковая. После исправления третьего блока стабилизатора я установил в старый «фирменный» корпус небольшую схему (см. рис. 2.3), которая работает длительное время безотказно.

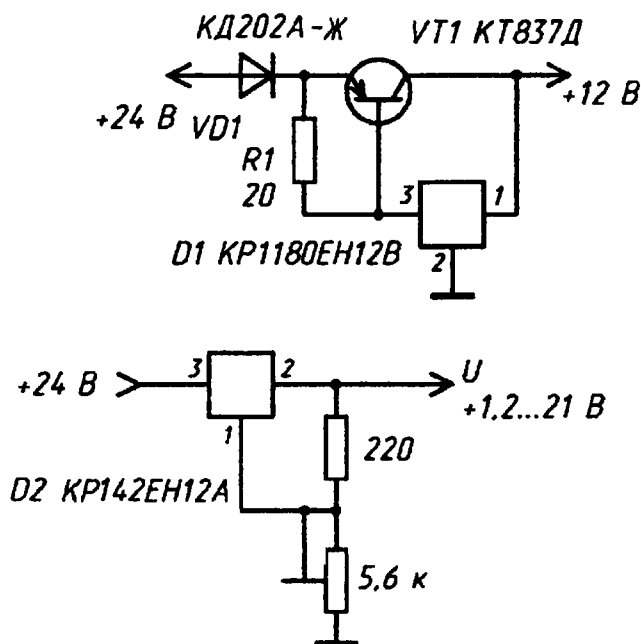


Рис. 2.3. Две простые схемы стабилизаторов

На рис. 2.3 вверху показана схема простого преобразователя стабилизатора постоянного напряжения с 24 В до 12 В. Стабилизатор выдает фиксированное напряжение на выходе +12 В с максимально допустимым током нагрузки 4 А. Для этого микросхему и транзистор необходимо установить на разные изолированные от корпуса (массы автомобиля) радиаторы с площадью охлаждения 200 см<sup>2</sup> (насколько позволяет корпус, чем больше – тем лучше). Резистор R1 типа МЛТ-0,25.

На рис. 2.3 внизу представлен вариант с использованием микросхемы – стабилизатора КРЕН12А. Такой вариант наиболее прост, надежен и универсален, поскольку по параметрическим особенностям микросхемы допускает в широких пределах регулировку выходного напряжения.

Микросхему также необходимо установить на радиатор. Она обеспечивает на выходе ток нагрузки в 3 А и имеет защиту от короткого замыкания. Себестоимость микросхемы невелика. Параметры ее достаточно приемлемы.

При подаче питания постоянного тока на вход устройства в пределах 36–40 В на выходе будет стабилизированное регулируемое напряжение от 1,2 В до 34–37 В, при токе нагрузки до 3 А.

### **Регулировка выходного напряжения**

Когда нужно установить на стабилизаторе фиксированное напряжение, например 12 В, регулировкой подстроечного резистора сопротивлением 5,6 КОм добиваются нужного выходного напряжения, затем резистор заменяют на постоянный. После ознакомления с этим материалом любой водитель, имеющий даже минимальные практические познания в электронике (умеющий применять паяльник по назначению), сможет самостоятельно собрать схему преобразователя и снять для себя проблему ремонта этого электронного блока.

## **2.3. Актуальная защита электронных схем**

Электронные устройства на базе микропроцессоров и на менее интегрированных микросхемах чувствительны к параметрам питающего напряжения. Поскольку импульсные источники питания иногда выходят из строя, проблема сохранения (подчас очень дорогих) электронных ресурсов (печатных плат, устройств микропроцессорного управления) весьма остра и актуальна.

Чтобы обеспечить безопасную работу таких устройств, применяют стабилизаторы напряжения с защитой. Защита в импульсных источниках питания сводится к прекращению подачи питания на схему при коротком замыкании в ней или резком увеличении тока нагрузки.

«Минус» таких стабилизаторов – в том, что они достаточно инертны в режиме защиты. Срабатывание защиты (прекращение подачи питания) происходит через 200–500 мс и сильно зависит от характера изменения тока в нагрузке – на скачкообразное увеличение тока простые узлы стабилизаторов реагируют, а плавное часто не воспринимают. Инертность включения защиты в 200 мс может стоить владельцу очень дорого. В литературе публиковались схемы устройств защиты, реагирующие на изменение тока нагрузки быстрее 100 нс (наносекунд), это очень хороший показатель. Однако такие схемы содержат много элементов и сложны для радиолюбителей.

Простая схема защиты, срабатывающая при изменении тока нагрузки, представлена на рис. 2.4.

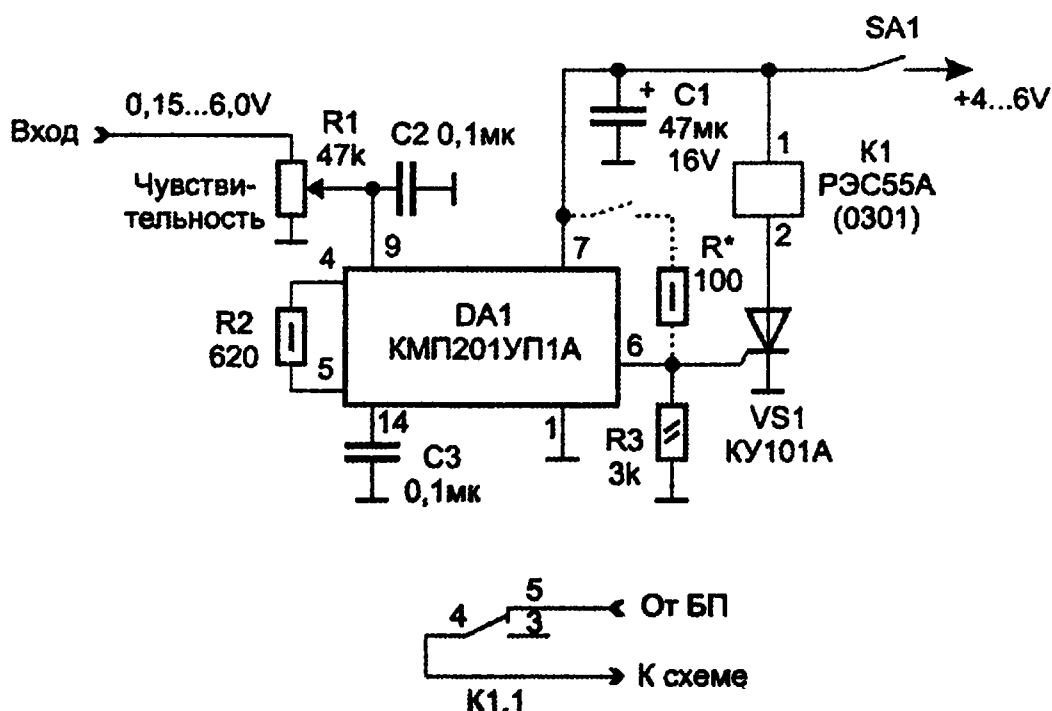


Рис. 2.4. Электрическая схема узла защиты

Повторить ее сможет любой радиолюбитель. Узел содержит только одну микросборку КМП201УП1А, не требует настройки и адаптируется с любым источником питания с общим минусовым проводом. Я рекомендую встраивать узел в каждый домашний источник питания (не только импульсный), обеспечивающий радиотехнические эксперименты, и особенно в те источники напряжения, которые обеспечивают работу дорогих узлов электронных приборов. Питается устройство постоянным стабилизированным напряжением 4...6 В, в «нормальном» режиме ожидания потребляет от источника напряжения ток 0,8 мА. Через нормально замкнутые контакты реле К1 питание от БП поступает к защищаемой электронной схеме.

### 2.3.1. Принцип работы устройства

Пока напряжение на входе схемы не превышает установленного делителем на резисторе R1 предела, на выводе 6 микросборки напряжение близко к нулю. Как только установленный предел превышен – с вывода 6 на управляющий электрод тиристора поступает напряжение  $2/3 U_n$ . Тиристор открывается и остается в открытом состоянии, пока на схему подано питание или не разорваны его цепи анода или катода.

Реле включено, следовательно, подача питания на защищаемую схему прекращена. В качестве резистора R6 применяется проволоч-

ный резистор, который в блоке питания подключается последовательно с одним из полюсов так, чтобы при увеличении тока в нагрузке на этом резисторе оказывалось падение напряжения. Это падение напряжения и воспринимается узлом защиты.

Чувствительный узел можно использовать в других случаях, когда требуется немедленная реакция на увеличение напряжения на резисторе R1 в несколько микровольт.

К примеру, применяя узел в качестве управляющей схемы для УНЧ, получаем усилитель с акустикой, автоматически включающийся при появлении сигнала на входе. Для такого варианта применения маломощное реле следует подключить непосредственно между выводом 6 DA1 и общим проводом. Для коммутации нагрузки использовать контакты на замыкание. Чувствительность входного сигнала регулируется резистором R1.

Импульсные источники питания весьма чувствительны к выходному напряжению и порой скапливающему заряду статического электричества во входных цепях подключаемого к ним устройства нагрузки. Нередки случаи в практике ремонта, когда импульсный «адаптер» выводит из строя при подключении «разъем в разъем» нагрузки. Такие случаи часто происходят при включении принтеров (и другой компьютерной периферии), имеющих свой отдельный импульсный источник питания – адаптер, сотовых телефонов (при подключении их к зарядному устройству, в том числе автомобильному), цифровых фотоаппаратов, видеокамер, портативных телевизоров и других устройств – всего, что обеспечивает наш быт и комфорт в современном мире. Поэтому включать такие устройства, содержащие сетевые адаптеры в виде импульсных источников питания, следует «по правилам» – сначала соедините разъем источника питания с устройством нагрузки, а только потом включайте сетевую вилку адаптера в розетку к напряжению 220 В.

Рассмотренное же выше устройство защиты вполне способно сохранить ваши деньги и время, затрачиваемые нерадивым хозяином на ремонт вышедшего из строя устройства бытовой техники.

### **2.3.2. О деталях**

Тиристор VS1 можно заменить КУ101Б. Реле К1 любое маломощное, срабатывающее при напряжении 3...4 В. Для этой цели удобны герконовые реле. Если в наличии такого нет, реле можно изготовить самостоятельно. Для этого на маломощный геркон с нормально

разомкнутыми контактами наматывают внавал 200 витков трансформаторного провода ПЭЛ диаметром 0,1 мм. Эта обмотка служит самодельной катушкой реле, а коммутирующие контакты – это штатные контакты геркона. Такое реле срабатывает при низком напряжении питания 2...4 В и потребляет ток до 50 мА. Поэтому оно предназначено для работы в импульсном режиме и для замены К1 в нашей схеме вполне подходит.

Постоянные резисторы типа МЛТ-0,5. Конденсаторы С2, С3 типа КМ или аналогичные. Электролитический конденсатор типа К50-6.

Цепочка, показанная на схеме пунктиром, служит для проверки узла и принудительного включения защиты. Для отключения защиты необходимо кратковременно разорвать цепь питания этой схемы, нажав на кнопку S1.

Теперь устройство снова тестирует входное напряжение и готово к включению защиты.

## **2.4. Импульсные источники питания для энергосберегающих ламп**

С 1 сентября 2009 года в Европе запрещено продавать в розницу классические лампы накаливания с вольфрамовой нитью мощностью от 100 Вт. Вместо них европейцам предлагается применять флуоресцентные (энергосберегающие) лампы (далее – ЭЛ), потребляющие при той же заявленной силе света на 80% меньше энергии. Лампы накаливания существовали почти 130 лет, их срок работы в 8–15 раз меньше, чем заявлен у энергосберегающих.

Последние же, хоть и являются вполне современными и соответствующими новым технологиям, в том числе в части энергосбережения, содержат ртуть внутри колб и при разбивании стекла могут быть опасными для здоровья людей, находящихся неподалеку. В Европе рекомендуют не выбрасывать вышедшие из строя энергосберегающие лампы, а сдавать их в специальный «утиль», дабы избежать заражения окружающей среды ртутными испарениями. Количество ртути внутри колб ЭЛ ничтожно мало, но запрет на лампы накаливания мощностью от 100 Вт уже вступил в силу, а с сентября 2011 года аналогичной «анафеме» подвергнутся лампочки мощностью 60 Вт, наиболее популярные сегодня в быту. К концу 2012 года вольфрамовые лампы запретят полностью. Такие сообщения можно было ежемесячно услышать и увидеть в новостях в конце 2009 года.

Рост продаж ЭЛ в отечественных магазинах налицо, замена «классических» ламп накаливания в устройствах освещения на ЭЛ заметна как в квартирах, так и в учреждениях. Однако не всегда ЭЛ действительно служат заявленный срок (5–8 лет), а если и служат, то основной причиной выхода из строя является обрыв цепи (нитей) накала, а не неисправность электронного балласта, который является не чем иным, как импульсным источником питания ЭЛ. Сопротивление одной спирали накала ЭЛ мощностью 20 Вт составляет 4 Ом.

Стоимость лампы в розницу (90 руб.) соответствует стоимости полутора оксидных высоковольтных конденсаторов в фильтре питания 6,8 мкФ на рабочее напряжение 400 В; между тем в печатной плате источника питания есть и более дорогостоящие компоненты, если оценивать их в розницу.

Вот недавний пример: перестала светить ЭЛ Comset EU-5V 40 Вт с патроном E27. Аккуратно вскрыв корпус лампы (см. рис. 2.5), я убедился, что нить накала в обрыве.

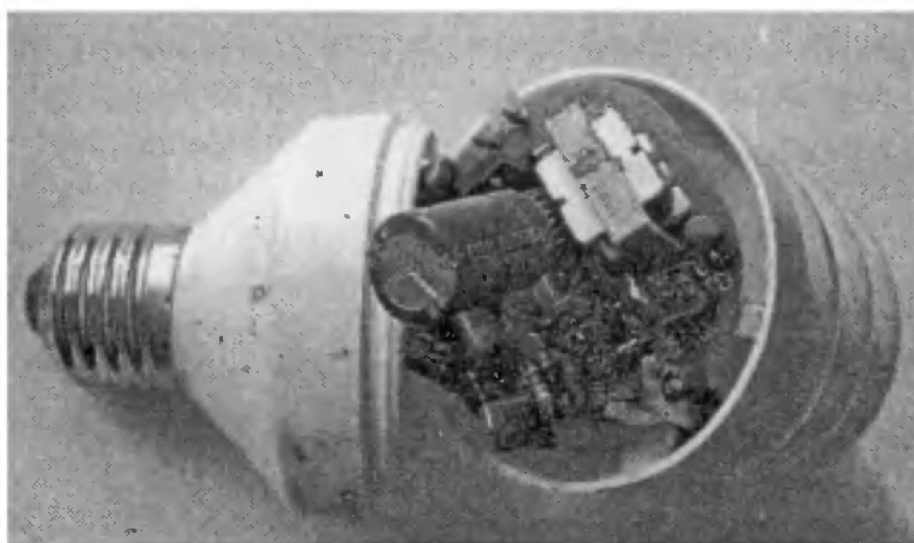


Рис. 2.5. «Начинка» энергосберегающей лампы

Эта лампа «прослужила» чуть больше года, если быть точным, то 11 654 часа. Она постоянно озаряла искусственным светом коридор деревенского дома (круглосуточно) и отключалась только 3 раза за указанный период времени.

Таким образом, говорить об особо длительном сроке эксплуатации ЭЛ не приходится, так как реальный пример трудно оспорить. Как говорится, «это не факт, но так оно и было на самом деле».



Важно знать, что долговременность работы (и, косвенно, надежность ЭЛ) связана с количеством включений/отключений и температурой окружающего воздуха. К примеру, могу ответственно констатировать на моем экспериментальном примере, что при температуре воздуха ниже  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$  световой поток снижался почти в 2 раза (фиксировалось визуально). Но поскольку в моем эксперименте, продолжавшемся более года до естественной неисправности ЭЛ, включений/отключений было всего 3, а это очень мало, то очевидно, что при более «жесткой» эксплуатации и частых включениях в нормальных бытовых условиях в качестве источника освещения люстры такая лампа не прослужит и 10 000 часов. Тогда в чем «фишка» ее безупречности по сравнению с лампой накаливания в части долговечности?

Очевидно также, что применение ЭЛ на улице, для освещения придомовой территории (сельской местности) и подсобных помещений, хлевов, где температура мало отличается от уличной, неэффективно в российских условиях с суровыми зимами, поэтому для уличного освещения до сих пор применяют ртутные и натриевые лампы, но они не «энергосберегающие».

Бесспорным «плюсом» можно считать лишь то, что ЭЛ пожаробезопасны более, чем лампы накаливания, поскольку температура их колбы при работе не превышает  $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

### **Особенности корпуса**

Аккуратно разобрав ЭЛ и удалив по спирали колбу, можно сохранить сам корпус-цоколь, который, на мой взгляд, очень удобен для небольшого самодельного электронного устройства, питающегося от сети 220 В путем завинчивания цоколя в патрон. Внешний вид получившегося корпуса для будущих электронных самоделок представлен на рис. 2.6.

Такой корпус я рекомендую подкрасить быстросохнущей эмалью из баллончика-распылителя, чтобы убрать желтеющий налет на белом пластиковом корпусе, который может иметь место после года эксплуатации.

## **2.4.1. Принцип работы ЭЛ**

Энергосберегающая лампа со встроенным ИИП имеет две спирали, расположенные с торцов лампы, к которым в момент включения подводится импульсное напряжение – для запуска ЭЛ. После прогрева спиралей (менее 1 секунды) в лампе поджигается люминофор



Рис. 2.6. Готовый корпус для новых устройств

и ее колба светится. После стабилизации тока (зажигания люминофора) напряжение, приложенное к спиральям лампы, уменьшается, обеспечивая небольшое потребление мощности в совокупности с хорошими показателями освещенности.

Если одна или обе спирали ЛДС перегорят, такая лампа работает нестабильно (мигает или не светится), полноценного поджига люминофора не происходит.

Несмотря на то что срок службы ЭЛ – в реальности около 12 000 часов (на упаковках ламп пишут 60 000 (!)), бывают случаи, когда ЭЛ не отработывает и 1000 часов. Часто это происходит, когда в промышленном светильнике (купленном в магазине, к примеру) заменяют лампу.

Понятно, что при неисправности ЭЛ со стандартным цоколем E27 или E14, заменяющей лампу накаливания в бытовых условиях, первую – как сказали бы в Европе – утилизируют (в России пока не понятно, как утилизировать, и вышедшую из строя ЭЛ выбрасывают) и заменяют новой. Однако в портативных светильниках (см. рис. 2.7) и им подобных неисправную длинную лампу можно поменять. И вот после замены оказывается, что «новая» не проработала и 10% от срока прежней. Дело здесь не в браке второй ЭЛ, а в несоответствии параметров электронного балласта ее мощности (типоразмер ЭЛ может совпадать). Вот почему важно при замене подбирать ЭЛ точно в соответствии с параметрами управляющего устройства ИИП – балласта, или, как его иногда называют, ЭПРА – электронного пускорегулирующего аппарата.

Электрическая схема типового двухтактного ИИП (к рис. 2.5 и 2.8) представлена по ссылке <http://www.airalania.ru/airm/149/26/index.shtml>.

### 2.4.2. Особенности источников питания ЭЛ

В цоколь (типа E27, E14) современной ЭЛ (рис. 2.5) уже встроен электронный импульсный источник питания (далее – ИИП), заменяющий и стартер, и источник питания одновременно. ИИП ЭЛ чувствителен не только к напряжению сети, но и к его частоте, так как от нее зависит внутреннее сопротивление балласта. При пониженном напряжении питания в сети срок службы лампы увеличивается.

Чтобы подобрать подходящий по электрическим параметрам для конкретной лампы ИИП, надо уточнить мощность лампы (обычно она написана на колбе); указывается после маркировки класса или типа лампы, к примеру:

- L18 W/25 – люминесцентная лампа мощностью 18 Вт;
- TLD 36 W/33 – люминесцентная лампа мощностью 36 Вт.

По аналогичной схеме собираются ИИП для портативных светильников (рис. 2.7 и 2.8).

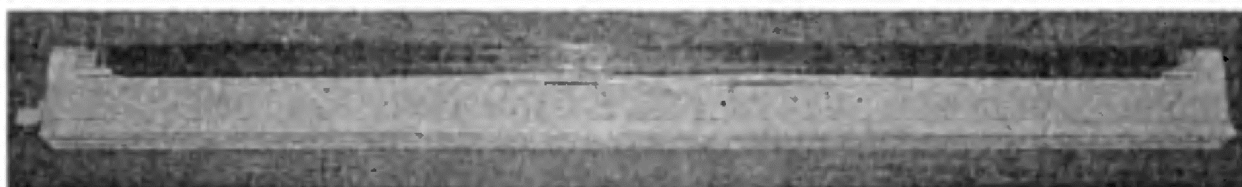


Рис. 2.7. Корпус портативного светильника

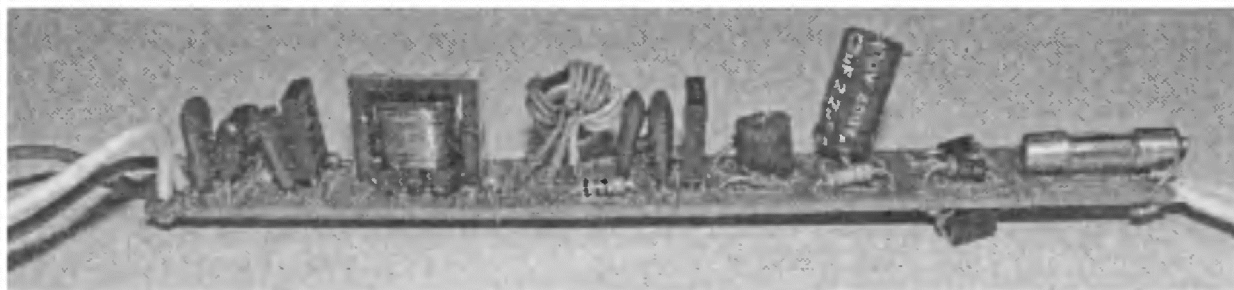


Рис. 2.8. Печатная плата с элементами ИИП портативного светильника

### Применение

Применение портативных светильников имеет широкий спектр возможностей – от светильников локальной подсветки, например на лестничных клетках жилых домов, до бытового применения на

уровне отдельно взятой квартиры, дома, дачи, бани, где такой светильник (см. рис. 2.7) эстетически вписывается в интерьер.

Один из частных случаев применения портативных светильников – в качестве подсветки для аквариума. В этом случае мощность ЭЛ выбирают пропорционально вместимости (емкости) аквариума.

### **2.4.3. Простой ремонт ИИП портативного светильника**

Среди многочисленных вариантов светильников (рис. 2.7) можно различить две основные группы.

1. ЭЛ типа Т5 с ЭПРА имеет диаметр трубки (колбы) лампы 16 мм и различную (в зависимости от мощности светильника) длину. Заявленный срок службы 20 000 часов.
2. ЭЛ типа Т8 имеет диаметр трубки (колбы) лампы 26 мм. Например, СКЛ-2001 (заявленный производителем срок службы 9000...13 000 часов).

ЭЛ типа Т12 с диаметром колбы 38 мм не выпускаются с 1999 года.

ЭЛ мощностью 8 Вт типа Т5 имеет диаметр 16 мм и длину 41 см. Такая же ЭЛ с мощностью 14 Вт имеет длину колбы 54,8 см. По мощности 8 Вт светильнику типа Т5 соответствует ЭЛ аналогичной мощности фирмы «Космос» с диаметром колбы 26 мм и длиной 32 см.

Анахронизм эпохи ЛДС с электромагнитными пускорегулирующими аппаратами (ПРА) (которые гудели над головой, когда многие из читателей в 80-х годах прошлого века учились в школе) рассматривать не будем, так как такие светильники сегодня могут себе позволить только бюджетные учреждения – или ограниченные в средствах, или ограниченные в знаниях технологий современной светотехники.

Данный ИИП работоспособен в диапазоне напряжений сети 185...265 В при частоте переменного тока 50–60 Гц и в части сравнения мощности, потребляемой от сети, и мощности, потребляемой ЭЛ, балласт данного типа имеет КПД 90–92% (в зависимости от колебаний напряжения сети). Основными достоинствами этого устройства являются малое число внешних дискретных компонентов и низкая их стоимость. Практически повсеместно используются электрические схемы полумостового автогенераторного инвертора (с самовозбуждением). Автогенератор может быть выполнен на микросхемах IR51HD420, IR53YD420, UC3871, UC3872, MC33157DW, L6569, L6571, L6574, UBA2021, UBA2014, UBA2024, семейства

IR215x и многих других. Внутренняя схемотехника и схемы включения микросхем электронных балластов кардинально не отличаются. Применение данных микросхем позволяет уменьшить размеры конструкции балласта и исключить трансформаторы (дроссель остается). Подробнее о схемотехнике преобразователей и ИИП на микросхемах семейства IR215x можно узнать по ссылке: <ftp://ftp.radio.ru/pub/2004/07/IR21571ru.pdf>.

В качестве электронных ключей (усилителей тока) в балластах для драйверов ЭЛ небольшой мощности (до 15 Вт) применяются мощные биполярные транзисторы (они видны на рис. 2.8 в центре печатной платы и сразу справа от высокочастотного трансформатора) с минимальным уровнем потерь мощности (до 0,5 Вт на транзистор).

Это транзисторы BUL45D2, BUL38D, BUL39D, MJE18004D2, MJE13003, MJE13005, MJE13007, MJE13009. Мощные биполярные транзисторы типа MJE18004D2, MJE13003, MJE13005, MJE13007, MJE13009 (последние – фирмы Motorola) выпускают многие зарубежные фирмы-производители, поэтому вместо аббревиатуры MJE могут присутствовать в маркировке транзистора символы ST, PHE, KSE, HA, MJF и др.

Типичная неисправность данного ИИП заключается в том, что если эксплуатировать такой портативный светильник даже с лампой небольшой мощности (8 Вт) (подтверждено на авторском примере) для подсветки аквариума в режиме 12 часов в сутки, он выходит из строя через полгода-год эксплуатации. А между тем ИИП и ЭЛ могли бы служить дольше...

### **Устранение типичной неисправности**

Одним из недостатков данного типа ИИП является наличие сквозных токов через силовые транзисторы. Во время работы ИИП закрытый транзистор периодически открывается одновременно с началом закрывания второго открытого транзистора в момент насыщения трансформатора. Поскольку открывание транзистора происходит быстрее, чем его закрывание, в переходный момент времени (длительностью примерно 1 мкс) оба транзистора, включенные в разные плечи моста ИИП, оказываются открытыми. Ограничительные резисторы в эмиттерных цепях транзисторов MJE13003 (и аналогичных) защищают их, но, как показала практика, не всегда...

Устанавливать же вместо транзисторов MJE13003 другие возможные аналоги с малым сопротивлением насыщения, более мощ-

ные, к примеру MJE13007, нецелесообразно, так как такая замена скажется на надежности устройства в худшую сторону.

Я сталкивался с двумя типичными (часто встречающимися) неисправностями ИИП.

1. Выход из строя одного (или обоих) ключевого транзистора типа MJE13003. Пробой транзистора влечет за собой пробой двух из четырех диодов выпрямителя, реализованного на диодах типа 1N4007.
2. Пробой, потеря емкости или обрыв оксидного конденсатора, установленного в схеме ИИП для фильтрации питающего напряжения. Напряжение на обкладках оксидного конденсатора в данном случае порядка 200 В, емкость в диапазоне 2–6 мкФ. Китайский производитель (VITO, Feron и др.) устанавливает, как правило, самые дешевые пленочные конденсаторы, не сильно заботясь ни о температурном режиме, ни о надежности устройства. Оксидный конденсатор в данном случае применяется в устройстве ИИП в качестве высоковольтного фильтра питания (установлен параллельно), поэтому должен быть высокотемпературным (105 °С).

При цене светильника в 200 рублей (вместе с ЭЛ, отдельно она стоит от 20 до 50 рублей) проще заменить его полностью, купив такой же новый, нежели выкраивать время для поездки в магазин радиотоваров, покупать оксидный конденсатор соответствующего номинала за 50 рублей, ехать домой, тратить время на ремонт...

Несмотря на рабочее напряжение, указанное на таком конденсаторе, – 250–400 В (с запасом, как и положено), он все равно «сдает»...

Что можно рекомендовать в первом случае?

Транзисторы MJE13003 рассчитаны на максимальное напряжение  $U_{\max} = 400$  В, максимальный постоянный ток коллектора  $I_{\max k} = 1,5$  А, максимальный импульсный ток коллектора = 3 А, напряжение насыщения коллектор-эмиттер  $U_{\text{н.кэ}} = 5$  В. Ток, потребляемый ЭЛ типа Т5, составляет 180 мА. Поэтому очевидно, что транзисторы данного типа выходят из строя не от теплового пробоя, а в момент зажигания лампы, при импульсном броске тока.

Гораздо лучшей заменой в данном случае, обеспечивающей запас надежности ИИП, является замена данных транзисторов на (как ни странно) отечественные аналоги КТ8175А, КТ8181А, КТ8182А, КТ8108А, КТ8136А, КТ859АМ1. Особенно рекомендую замены КТ8108А, КТ8136А, так как эти мощные биполярные транзисторы заметно превосходят устанавливаемые в ИИП производителем

МJE13003 по всем важнейшим электрическим характеристикам (см. выше).

Вышедшие после пробоя транзисторов диоды выпрямителя типа 1N4007 можно заменить такими же или аналогичными по электрическим характеристикам, например отечественными диодами КД105В, КД105Г.

### **Меняем конденсаторы**

Конденсатор может и не иметь повреждения корпуса; его неисправность подтвердит только омметр («прозвонка» выводов).

В «бюджетных» балластах наиболее популярны высоковольтные оксидные конденсаторы фирм KX, CapXon, HCY CD11GH с рабочим напряжением 400 В и емкостью 2–10 мкФ.



Рис. 2.9. Оксидные конденсаторы с признаками повреждения корпуса

Неисправные конденсаторы я встречал трех разновидностей, первую из которых можно отличить визуально с признаками повреждения корпуса (см. рис. 2.9).

Есть еще конденсаторы, которые имеют сопротивление около 1 кОм (при «прозвонке» в обе стороны), и конденсаторы, имеющие столь высокое сопротивление постоянному току, что омметром типа M830 его не определить (в обрыве). Все эти три варианта оксидных конденсаторов подлежат замене. Но если есть возможность, лучше в качестве фильтрующего конденсатора установить более надежный, типа ASH-ELB043. Это высоковольтный оксидный конденсатор, специально разработанный для применения в электронных устройствах питания ЭЛ. Он характеризуется надежностью в части нормальной работы даже при значительных пульсациях тока; гарантированный производителем срок службы – не менее 15 000 часов.

После этих несложных доработок ЭЛ с мощностью до 15 Вт работает надежно. Высоковольтные оксидные конденсаторы (как и другие элементы, включая высоковольтные транзисторы МJE13003) можно выпаять из корпусов-цоколей испорченных ЭЛ; как отмечалось выше, ресурс ИИП намного превосходит ресурс самой ЭЛ, поэтому не спешите выбрасывать колбу вместе с «начинкой».

### **Важные рекомендации**

При замене ЭЛ (схожей по типоразмеру) в портативных светильниках типа Космос (и аналогичных) следует иметь в виду, что емкость высоковольтного оксидного конденсатора в фильтре питания должна быть прямо пропорциональна мощности лампы. К примеру, для ЭЛ мощностью, менее или равной 4 Вт, емкость конденсатора фильтра – 2,2 мкФ (рабочее напряжение 400 В, температурный режим 105 °С). При мощности ЭЛ 12 Вт емкость – не менее 6,8 мкФ (лучше 10 мкФ). При этом помехоподавляющая индуктивность (дроссель), включенная последовательно с выводами ЭЛ, также изменяется. При маломощной (до 4 Вт) ЭЛ индуктивность – 4,7 мГн, при мощности 12–15 Вт индуктивность дросселя – не более 3,3 мГн.

Электронное устройство ИИП гальванически связано с электрической сетью 220 В. Оно потенциально опасно для жизни из-за возможного (при недостаточной подготовке и квалификации) поражения электрическим током. Поэтому при проверке, налаживании и эксплуатации электронного устройства помните о строгом соблюдении мер электробезопасности.

Проверяя работу ИИП, не следует касаться руками его элементов и цепей, а требующие замены электронные компоненты перепаявать только при полном отключении устройства от электрической сети (вынутой из розетки сетевой вилке). Также необходимо исключить случайное касание оголенных выводов проводников, деталей и клеммников, находящихся под напряжением сети.

## **2.5. Импульсный повышающий преобразователь для ЭЛ**

Полезной отличительной чертой ЭЛ от ламп накаливания также можно считать то, что первые будут работать и при обрыве нити подогрева. Главное, что необходимо для зажигания газа внутри лампы, – это относительно высокое напряжение 300–800 В.

На рис. 2.10 представлена электрическая схема светильника для маломощной ЭЛ (4–8 Вт); этого достаточно для подсветки в салоне автомобиля и в сумерки на природе. Устройство эффективно работает и полезно везде, где отсутствует сетевое напряжение 220 В.

Схема проста в повторении и содержит минимум деталей.



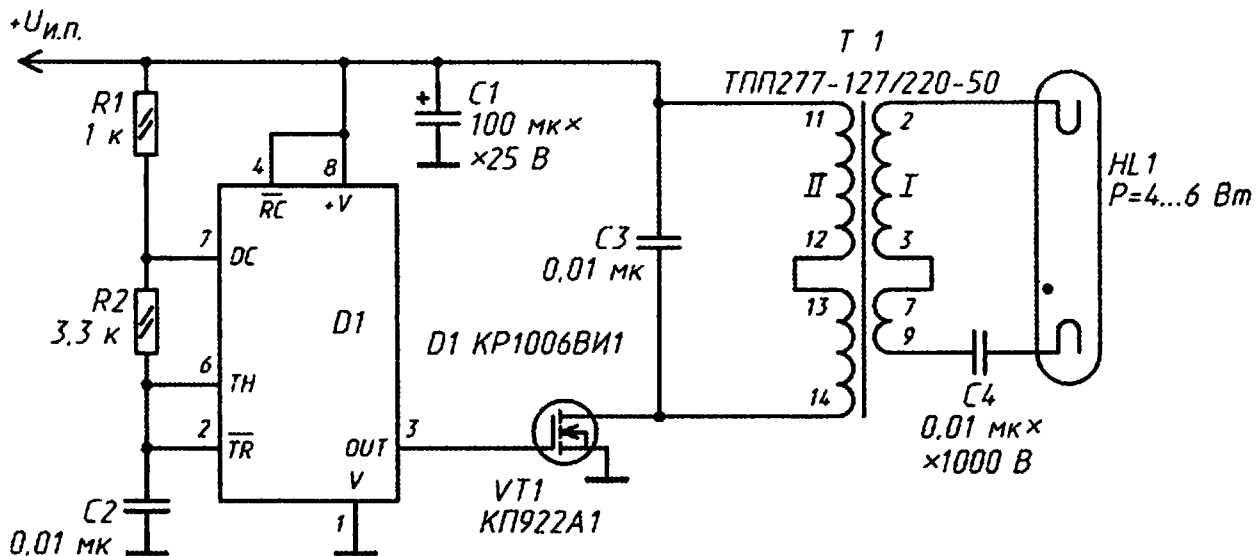


Рис. 2.10. Электрическая схема преобразователя

### 2.5.1. Принцип работы

Устройство состоит из генератора прямоугольных импульсов, реализованного на популярном таймере КР1006ВИ1. Микросхема включена по стандартной схеме автогенератора; частота импульсов – около 20 кГц.

На выход микросхемы D1 нагружен мощный полевой транзистор, работающий в ключевом режиме, и повышающий трансформатор. Транзистор открывается с каждым положительным фронтом импульсов с выхода микросхемы D1. В качестве T1 используется промышленно изготовленный трансформатор ТПП277-127/220-50, включенный наоборот. Одна из первичных обмоток является выходной, а одна из вторичных включена в цепь истока силового транзистора.

Ненормированное использование трансформатора компенсируется высокой частотой, за счет которой удается устранить насыщение и нагрев T1 при длительной эксплуатации.

### 2.5.2. О деталях

Вместо указанного на схеме типа T1 можно применить другой, с аналогичными электрическими характеристиками. Первичная обмотка должна иметь сопротивление постоянному току 110–300 Ом, а вторичная обмотка – соответственно 12–15 Ом. Соотношение сопротивлений обмоток 1:20. Можно подбирать трансформатор для этой схемы по другому пути.

Среди трансформаторов на рабочее напряжение 220 В нужно выбрать ток, который на вторичной понижающей обмотке без нагрузки выдаст переменное напряжение 6...8 В.

Потребляемый от аккумулятора ток не превышает 120 мА. Все постоянные резисторы типа МЛТ-0,5. Конденсатор С1 типа К50-20. С2, С3 типа КМ. Конденсатор С4 марки КБП-Ф или К73-11.

### **2.5.3. Налаживание**

Схема в настройке не нуждается, и при исправных элементах и правильном монтаже устройство начинает работать сразу.

В процессе эксплуатации трансформатор Т1 будет издавать тихий свист и может нагреваться до температуры 50...60 °С. Паять полевой транзистор VT1 следует, соблюдая меры предосторожности; пайка каждого вывода – не более 2 секунд. Паяльник необходимо заземлить.

Элементы схемы монтируются на перфорированной монтажной плате, которая маскируется в пластмассовом корпусе. Напряжение питания схемы (11–14 В) подключается через разъем типа РП10-5.

<b>1</b>	Импульсные источники питания	<b>11</b>
<b>2</b>	Устройства на основе импульсных источников питания	<b>86</b>

# **3**

## **МИКРОСХЕМЫ И МИКРОСБОРКИ ДЛЯ ИСТОЧНИКОВ ПИТАНИЯ**

## 3.1. 1N5817...1N5822 – мощные выпрямительные диоды с барьером Шоттки

В отличие от обычных диодов, диоды Шоттки не имеют р-п перехода: для выпрямления в них используется переход металл-полупроводник. Благодаря отсутствию р-п перехода у диодов Шоттки нет такого параметра, как «время обратного восстановления» (при резкой смене полярности с прямой на обратную некоторое время ток продолжает течь через диод – пока не восстановится р-п переход), поэтому они более приспособлены для работы на высоких частотах. Их максимальная рабочая частота ограничена только паразитной емкостью перехода и может достигать сотен кГц.

### 3.1.1. Особенности электрических характеристик

Также у диодов Шоттки гораздо меньшее падение напряжения на переходе при прямом включении – 0,3...0,5 В против 0,7...1,0 В у обычных диодов (рис. 3.1, 1N58xx – диоды Шоттки, 1N40xx и 1N54xx – диоды с р-п переходом).

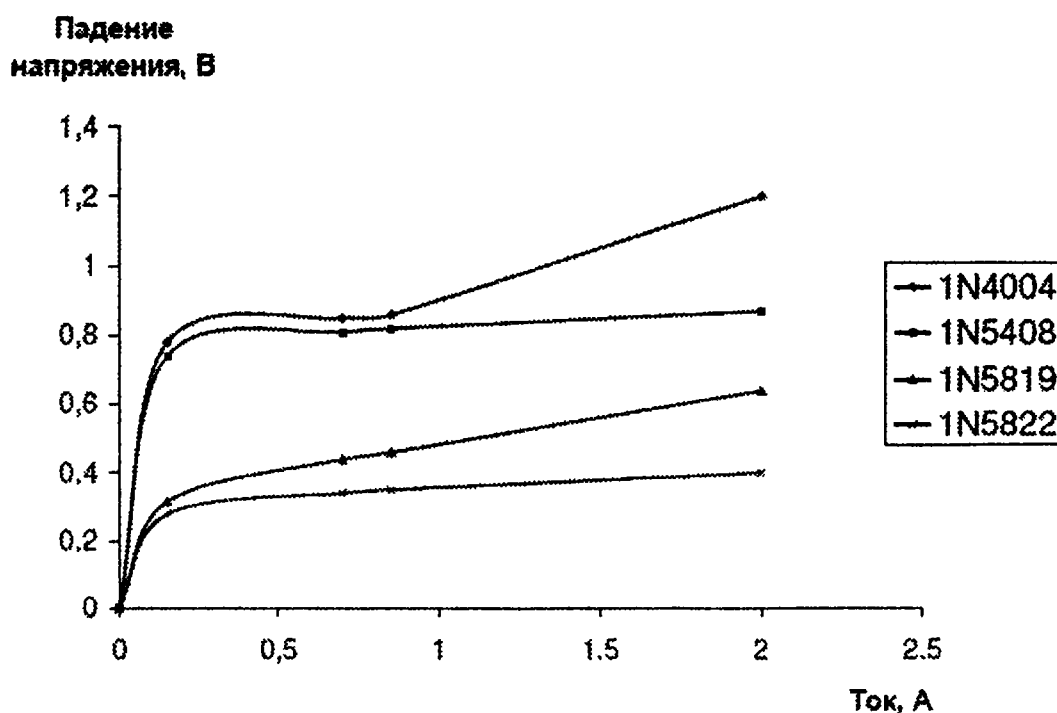


Рис. 3.1 Диаграмма электрических характеристик диодов

Благодаря этому при том же прямом токе диоды Шоттки нагреваются гораздо слабее, а также слегка повышается общий КПД устройства. Если одноамперный диод 1N4001 при номинальном токе (1 А) разогревается до 70...90 °С (такой нагрев опасен и для самого диода, и для корпуса устройства), то диод 1N5817 в таком же корпусе и примерно такой же стоимости разогревается всего до 40...50 °С.

### **3.1.2. Недостатки, достоинства и практика применения**

Недостаток диодов Шоттки – их сравнительная «низковольтность». Большинство диодов нормально работают при обратном напряжении не более 20...40 В, и лишь некоторые более дорогие диоды – до 100 В. Но, с другой стороны, при высоких напряжениях вполне достаточно и обычных диодов, так как при высоком рабочем напряжении потери на их р-п переходах не превышают 1%. При нагреве кристалла диода уменьшается падение напряжения на кристалле, что хорошо, и уменьшается максимально допустимое обратное напряжение (на 50% при температуре +125 °С), что очень плохо.

Поэтому для работы в сильно нагреваемых устройствах следует выбирать диоды со значительным запасом по напряжению.

Основные электрические характеристики диодов 1N5817...1N5822 приведены в табл. 3.1.

Таблица 3.1. Диоды Шоттки

Параметр	1N5817	1N5818	1N5819	1N5820	1N5821	1N5822
Максимально допустимое обратное напряжение, В	20	30	40	20	30	40
Максимально допустимый прямой ток, А	1	1	1	3	3	3
Максимально допустимый импульсный ток, А	25	25	25	75	75	75
Падение напряжения на диоде, В	0,45	0,55	0,6	0,45	0,55	0,6
Емкость диода, пФ (4 В, 1 МГц)	110	110	110	250	250	250

Диоды Шоттки используются в основном для выпрямления переменного тока с частотой 0...сотни килогерц и для защиты схем от неправильной полярности источника питания.

## 3.2. TL431 – прецизионный регулируемый стабилизатор

Микросхема TL431 – недорогой регулируемый стабилизатор со следующими характеристиками:

1. Напряжение между катодом и анодом – 0...+36 В.
2. Образцовое напряжение 2,50 В с погрешностью  $\pm 2\%$  для TL431,  $\pm 1\%$  для TL431A,  $\pm 0,5\%$  для TL431B.
3. Напряжение стабилизации от 2,5 до 36 В, задается двумя внешними резисторами.
4. Ток стабилизации 0,5...100 мА, внутреннее сопротивление 0,2 Ом.
5. Температурный дрейф образцового напряжения не более 4...25 мВ во всем диапазоне рабочих температур.

TL431 часто применяют в импульсных источниках питания. Типовые схемы включения микросхемы показаны на рис. 3.2 (а–в).

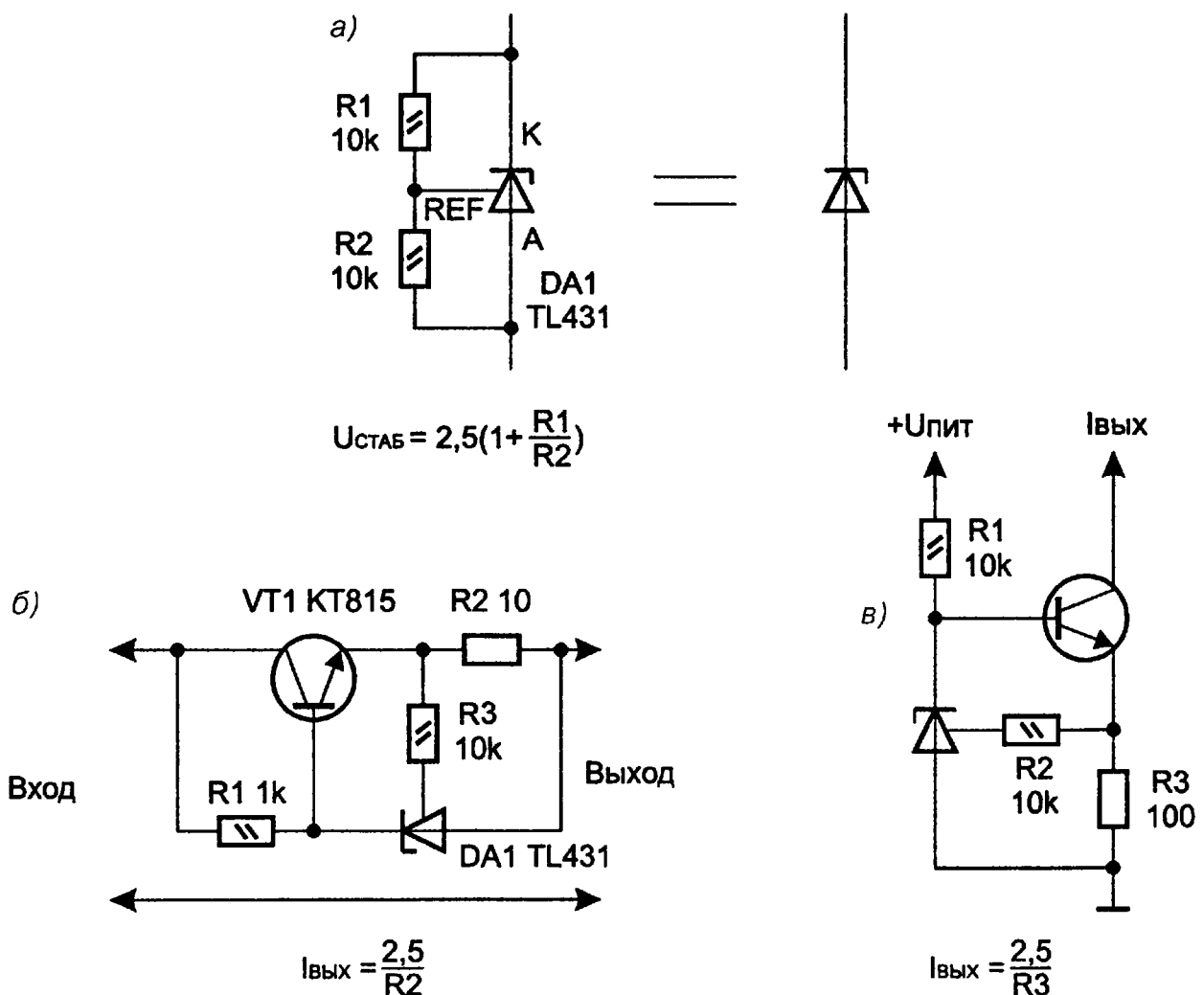


Рис. 3.2 (а–в). Типовые схемы включения стабилизаторов TL431

Разберем их подробнее.

Использовать микросхему можно как обычный стабилитрон (рис. 3.2а), у которого прямое напряжение равняется 0,7 В, а обратное равно напряжению стабилизации. Сопротивления обоих резисторов могут быть любыми, но более 1 кОм, чтобы не шунтировать стабилизатор, и менее 100 кОм, чтобы можно было не учитывать входной ток по входу REF (тип 2 мкА).

А благодаря встроенному компаратору ее можно использовать и как ограничитель/генератор тока (рис. 3.2 – б и в). В этих схемах на базу транзистора нужно подать через резистор R1 небольшой ток от источника питания.

Падение напряжения на измерительном резисторе равно 2,5 В, что по современным меркам довольно много, но благодаря высочайшей стабильности выходного тока при «копеечных» деталях такие схемы тоже имеют право на жизнь.

Цоколевка микросхем разных производителей показана на рис. 3.3.



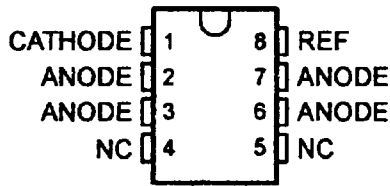
Рис. 3.3. Цоколевка микросхем TL431 разных производителей

Расшифровка названий представлена на рис. 3.4.

Внешний вид корпусов представлен на рис. 3.5.

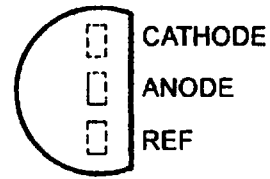
Метод переделки практически любого электронного стабилизатора, имеющего стабилитрон, можно осуществить с помощью TL431.

TL431, TL431A, TL431B ... D (SOIC) PACKAGE (TOP VIEW)

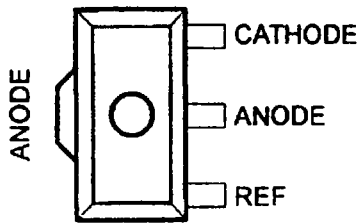


NC – Нет контакта, свободен

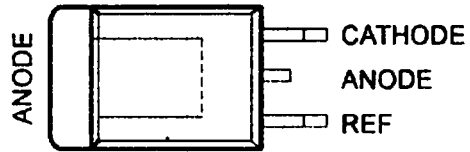
TL431, TL431A, TL431B ... LP (TO-92/TO-226) PACKAGE (TOP VIEW)



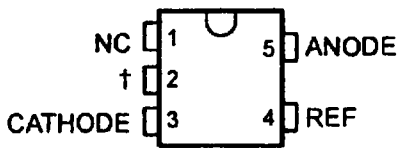
TL431, TL431A, TL431B ... PK (SOT-89) PACKAGE (TOP VIEW)



TL431 ... KTP (PowerFLEX™/TO-252) PACKAGE (TOP VIEW)

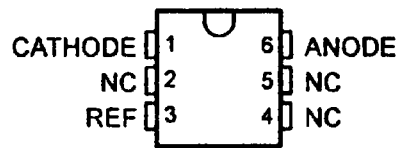


TL431, TL431A, TL431B ... DBV (SOT-23-5) PACKAGE (TOP VIEW)



† Выв 2 соединен с подложкой, его нужно соединить с Анодом или оставить свободным

TL431A, TL431B ... DCK (SC-70) PACKAGE (TOP VIEW)



TL431, TL431A, TL431B ... DBZ (SOT-23-3) PACKAGE (TOP VIEW)

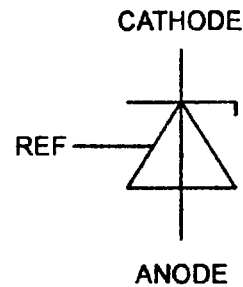
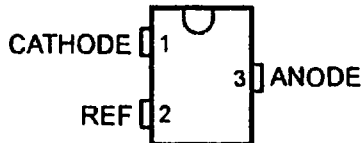


Рис. 3.4. Расшифровка названий стабилитронов

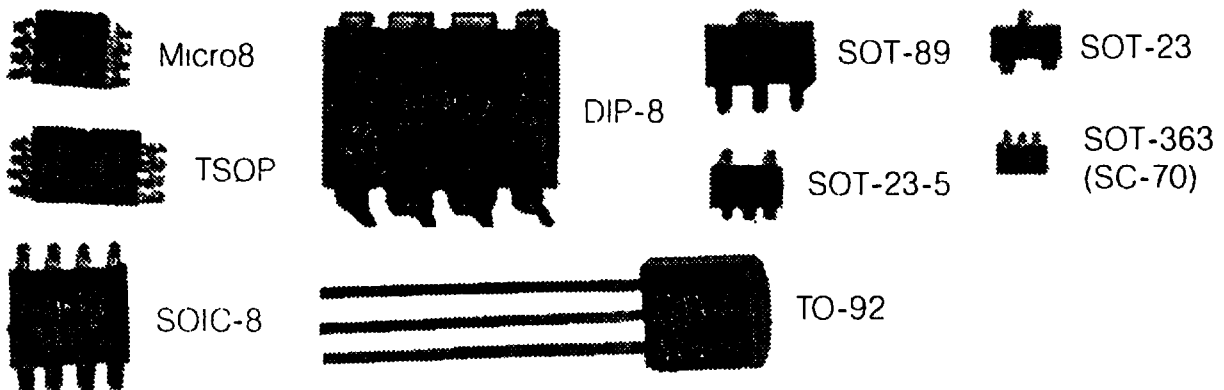


Рис. 3.5. Внешний вид корпусов микросхем



Достаточно заменить стабилитрон, регулируемый стабилизатор – так, как это рекомендовано в разделе 1.5.

### **3.3. Управляемый низковольтный стабилитрон 1,2–3 В**

Обычные стабилитроны, если не предусмотрена токовая компенсация специальным образом, обладают общим отрицательным свойством: при лавинообразном увеличении тока смещения стабилитрона положительный температурный коэффициент также увеличивается. Этот уход температурного параметра в зависимости от действующего на стабилитрон напряжения и тока смещения может быть отрицательным или положительным. Данное замечание справедливо даже для одного и того же прибора при испытаниях на различных участках его вольт-амперной характеристики.

Для большинства выпускаемых сегодня отечественной промышленностью стабилитронов с напряжением стабилизации менее 5 В (КС447А, КС147А, КС133А и др.) эффект стабилизации, что называется, оставляет желать лучшего, так как относительно большое динамическое сопротивление на участке стабилизации приводит к пропорционально большому изменению напряжения в полном диапазоне токов в пределах рабочего режима. На рис. 3.6 предлагается эквивалентная электронная схема, составленная из биполярных транзисторов, с помощью которой удалось решить проблемы стабилизации при низких напряжениях с возможностью плавной регулировки напряжения стабилизации.

Плавная регулировка достигается применением многооборотного переменного резистора, мягко изменяющего смещение в базе транзистора VT1. Диапазон тока смещения 1...20 мА, и он может быть расширен в сторону увеличения до 50 мА, если составной транзистор VT2 заменить на еще более мощный. Регулировка напряжения стабилизации производится в диапазоне 1,2...7 В. Это напряжение определяет формула

$$V_z = 0,6 + (R_2 + R_3) 0,375/R_1.$$

При любых значениях сопротивления составного резистора R2R3 напряжение стабилизации изменяется не более чем на 1% при изменении тока смещения от 2 до 20 мА. Напряжение на переходе эмиттер-база транзистора VT1 используется как опорное, температурная зави-

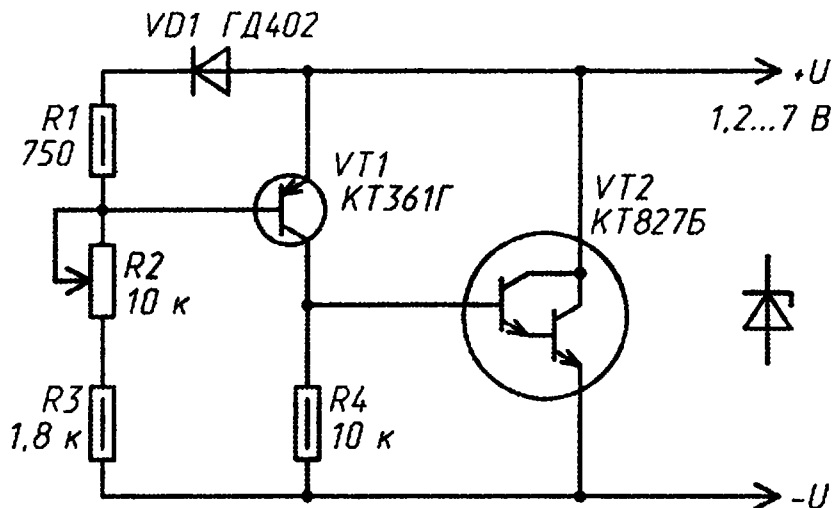


Рис. 3.6. Электрическая схема управляемого стабилизатора

симость которого компенсируется германиевым диодом VD1 типа ГД402. В результате на резисторе R1 устанавливается стабильное падение напряжения 0,375 В при токе с постоянной величиной 0,5 мА.

Составной транзистор VT2 пропускает через себя весь ток смещения, кроме величины 650 мА, необходимой для смещения опорного элемента.

Схема испытана в двух аспектах. Она находит применение в качестве электронного стабилизатора для электромагнитных бытовых часов с номинальным питанием 1,5 В. Кроме того, в настоящее время узел стабильно работает в качестве источника опорного напряжения для термометра на базе АЦП КР572ПВ5.

### О деталях

Все постоянные резисторы типа МЛТ-0,5. Переменный резистор R2, многооборотный СП5-1БВ. Транзистор VT1 можно заменить на КТ3107Е. Вместо VT2 можно применить КТ829 с любым буквенным индексом или пару кремниевых транзисторов, состоящую из КТ312В и КТ815Г.

## 3.4. Микросхемы – стабилизаторы и преобразователи напряжения

Справочный материал по взаимозаменяемости популярных отечественных (СНГ) и импортных аналогов микросхем – преобразователей напряжения и стабилизаторов представлен в виде табл. 3.2–3.6.

Таблица 3.2. Микросхемы – аналоги (полные аналоги по электрическим характеристикам) стабилизаторов и преобразователей напряжения

Аналог отечественный	Импортерный	Отечественный	Импортерный	Отечественный	Импортерный
КР1212ЕРН5-4 КР1212ЕН5	μА7805	КР1183ЕН8	μА7908СТ	КР1184ЕУ1	CS5155
КР142ЕН5(А-Г)	μА7805U	КР1183ЕН9	μА 7909СТ	КР1213ЕН1,5	CS5205-1.5
КР142ЕН5(А-Г)	μА7806	КР5007ЕН12	μА7912	КР1213ЕН2,5	CS5205-2.5
КР1212ЕН6		КБ5007ЕН12-4			
КР1212ЕН8	μА7808	КР1183ЕН12	μА7912СТ	КР1213ЕН2,85	CS5205-2.85
КР1212ЕН9					
КБ1212ЕН8-4					
КБ1212ЕН9-4					
КР1212ЕН10	μА7810	КР5007ЕН15	μА7915	КБ1213ЕН3-4	CS5205-3
КБ1212ЕН10-4		КБ5007ЕН15-4		КР1213ЕН3	
КР1212ЕН12	μА7812	КР1183ЕН15	μА7915СТ	КР1213ЕН3,3	CS5205-3.3
КБ1212ЕН12-4					
КР1212ЕН15	μА7815	КР5007ЕН18	μА7918	КР1213ЕН3,5	CS5205-3.5
КБ1212ЕН15-4		КБ5007ЕН18-4			
КР1212ЕН18	μА7818	КР1183ЕН18	μА7918СТ	КБ1213ЕН5	КР1213ЕН5-4 CS5205-5
КБ1212ЕН18-4					
КР1212ЕН20	μА7820	КР1183ЕН20	μА7920СТ	1151ЕН1	LM196
КБ1212ЕН20-4					
КР1212ЕН24	μА7824	КР5007ЕН24	μА7924	К1019ЕМ1	LM235
КБ1212ЕН24-4		КБ5007ЕН24-4			
КР1212ЕН27	μА7827	КР1183ЕН24	μА7924СТ	К1156ЕН1	LM2925
КБ1212ЕН27-4					
КР1212ЕН85	μА7885	КР1183ЕН27	μА7927СТ	КР5010ЕН1	LM2931
КБ1212ЕН85-4					

Таблица 3.2. Микросхемы – аналоги (полные аналоги по электрическим характеристикам) стабилизаторов и преобразователей напряжения (продолжение)

Аналог отечественный	Импортерный	Отечественный	Импортерный	Отечественный	Импортерный
KP1157EH5	μA78L05	KP142EH10	μA79GKM	KP5010EH10	LM2931-10
KP5006EH5				K55010EH10-4	
K55006EH5					
KP1157EH6	μA78L06	KP142EH17A(Б)	LA5004M	KP1170EH12	LM2931-12
KP5006EH6				KP5010EH12	
K55006EH6				K55010EH12-4	
KP1157EH8	μA78L08	KP142EP1A(Б)*	LM100	KP5010EH15	LM2931-15
KP5006EH8				K55010EH15-4	
K55006EH8					
KP1157EH9	μA78L09	142EH12A	LM117	KP1170-EH3	LM2931-3
KP5006EH9					
K55006EH9					
KP1157EH10	μA78L10	KP(KΦ)1158EH3	L4803	KP5010EH3,3	LM2931-3.3
KP5006EH10		KP(KΦ)1158EH301		K55010EH3,3-4	
K55006EH10					
KP1157EH12	μA78L12	K55008EH5-4	L4805	KP1170EH4	LM2931-4
KP5006EH12		KP(KΦ)1158EH5			
K55006EH12					
KP1157EH15	μA78L15	KP9KΦ)1158EH6	L4806	KP1170EH5	LM2931-5
KP5006EH15		KP(KΦ)1158EH601		KP5010EH5	
K55006EH15				K55010EH5-4	
KP1157EH18	μA78L18	KP5008EH8	L4808	KP1170EH6	LM3129-6
KP5006EH18		K55008EH8-4			
K55006EH18					
KP1157EH24	μA78L24	KP(KΦ)1158EH9	L4809	KP1170EH8	LM3129-8
KP5006EH24		KP(KΦ)1158EH901		KP5010EH8	
K55006EH24		KP5008EH9		K55010EH8-4	

Таблица 3.2. Микросхемы – аналоги (полные аналоги по электрическим характеристикам) стабилизаторов и преобразователей напряжения (продолжение)

Аналог отечественный	Импорный	Отечественный	Импорный	Отечественный	Импорный
KP1157EH27T	μA78L27	KБ5008EH10-4	L4810	KP5010EH8,5	LM3129-8.5
KP1157EH2701		KP5008EH10		KБ5010EH8,5-4	
KP1157EH27					
KP1157EH501	μA78M05	KБ5008EH12-4	L4812	KP1170EH9	LM2931-9
KP1212EH5M		KP(KФ)1158EH12		KP5010EH9	
		KP(KФ)1158EH1201		KБ5010EH9-4	
		KP5008EH12			
KP1212EH6M	μA78M06	KБ5008EH15-4	L4815	K1156EH3	LM2931A
KБ1157EH6-4		KP(KФ)1158EH15			
		KP(KФ)1158EH1501			
		KP5008EH15			
KP1212EH8M	μA78M08	KБ5008EH3,3-4	L4833	KP1156EH5	LM2931CT
KБ1157EH801		KP(KФ)1158EH33			
		KP(KФ)1158EH3301			
		KP5008EH3,3			
KP1212EH9M	μA78M09	KP142EH6(A-E)	NE5554	KP1157EH1	LM317L
KБ1157EH901					
KP1212EH10M	μA78M10	K1114EY3	SG1526	KP1212EH1-4	LM317T
				KP1212EH1	
				KP142EH12A(Б)	
KP1212EH12M	μA78M12	K142EH6(A-E)	SG1501AT	KP1168EH1	LM337T
KБ1157EH1201					
KP1212EH15M	μA78M15	KP142EH15(A-Б)	SG3501	KP142EH14	LM723N
KБ1157EH1501					
KP1212EH18M	μA78M18	KP1180EH5	MC7805	KP142EH20	LM7820
KБ1157EH1801					

Таблица 3.2. Микросхемы – аналоги (полные аналоги по электрическим характеристикам) стабилизаторов и преобразователей напряжения (продолжение)

Аналог отечественный	Импорный	Отечественный	Импорный	Отечественный	Импорный
KP1212EH20M	μA78M20	KP1180EH6	MC7806	KP142EH9(A-E)	LM7820CT
KP1212EH24M	μA78M24	KP1180EH8	MC7808	KP142EH23	LM7824
KБ1157EH2401					
KP1156EY1	μA78S40	KP142EH8A	MC7808CT	K142EH9 (A-B)	LM7824CT
KP5007EH5	μA7905	KP1180EH9	MC7809	KP1162EH5	LM7905
KБ5007EH5-4					
KP1183EH5	μA7905CT	KP1180EH12	MC7812	KP1183EH5	LM7905CT
KP5007EH6	μA7906	KP142EH8Б	MC7812CT	KP1179EH18	MC7918
KБ5007EH6-4					
KP1183EH6	μA7906CT	KP1180EH15	MC7815	KP1179EH20	MC7920
KP5007EH8	μA7908	KP142EH8B	MC7815CT	KP1179EH24	MC7924
KБ5007EH8-4					
KP1162EH6	LM7906	KP1180EH18	MC7818	KP1179EH52	MC7952
KP1162EH8	LM7908	KP1180EH20	MC7820	K1168EH5T	MC79L05
				KP1168EH5	
				KP1199EH5	
				KP5009EH5	
				KБ5009EH5-4	
KP1162EH9	LM7909	KP1180EH24	MC7824	K1168EH6T	MC79L06
				KP1168EH6	
				KP1199EH6	
KP1162EH10	LM7910	KP1181EH5	MC78L05	K1168EH8T	MC79L08
		KP1188EH5		KP1168EH8	
KP1162EH12	LM7912	KP1181EH6	MC78L06	K1168EH9T	MC79L09
				KP1168EH9	
				KP1199EH9	

Таблица 3.2. Микросхемы – аналоги (полные аналоги по электрическим характеристикам) стабилизаторов и преобразователей напряжения (продолжение)

Аналог отечественный	Импорный	Отечественный	Импорный	Отечественный	Импорный
KP1162EH15	LM7915	KP1181EH8 KP1188EH8	MC78L08	K1168EH12T KP1168EH12 KP5009EH12 KP1199EH12	MC79L12
KP1162EH18	LM7918	KP1181EH9	MC78L09	K1168EH15T KP1168EH15 KP5009EH15 KP1199EH15	MC79L15
KP1162EH20	LM7920	KP1181EH12 KP1188EH12	MC78L12	K1168EH18T KP1168EH18 KP1199EH18 KP5009EH18	MC79L18
KP1162EH24	LM7924	KP1181EH15	MC78L15	K1168EH20T KP1168EH20 KP1199EH20	MC79L20
KP1184EH1	LP2950	KP1181EH18	MC78L18	K1168EH24T KP1168EH24 KP1199EH24 KP5009EH24	MC79L24
KP1184EH1A KБ1184EH7-4	LP2950-3.3	KP1181EH20	MC78L20	KP1033EY4	ML4812
KP1184EH2	LP2951	KP1181EH24	MC78L24	KP1033EY6	ML4819
KP1184EH2A KБ1184EH8-4	LP2951-3.3	KP1179EH5	MC7905CT	K142EH1(A-Г)	MC1460F
KP1195EH1Б	LT1083CT	KP1179EH6	MC7906	K142EH2(A-Г) KP142EH2(A-Г)	MC1460P

Таблица 3.2. Микросхемы – аналоги (полные аналоги по электрическим характеристикам) стабилизаторов и преобразователей напряжения (окончание)

Аналог отечественный	Импорный	Отечественный	Импорный	Отечественный	Импорный
КБ142ЕН22А-4	LT1084	КР1179ЕН8	МС7908	К142ЕН3(А-Б)	МС1469R
КР142ЕН22А	LT1083	КР1179ЕН9	МС7909	К1033ЕУ1 КР1033ЕУ1	TDA4600
КР1195ЕН12	LT1084СК-12 LT1084СТ-12	КР1179ЕН12	МС7912СТ	КР1033ЕУ2 КР1114ЕУ6	TDA4605
КР1195ЕН3	LT1084СК-3.3 LT1084СТ-3.3	КР1179ЕН15	МС7915СТ	КР1033ЕУ3	TDA4605-2
КР1195ЕН5	LT1084СК-5 LT1084СТ-5	КР142ЕН26(А-Б)	LT1085-2.5	ЭКР1087ЕУ1	TDA4605-02
КР1195ЕН1А	LT1084СТ	КР142ЕН22Б	LT1085	КР142ЕН25(А-Б)	LT1085-2.9 LT1086-2.9
КР142ЕН24(А-Б)	LT1085-3.3 LT1086-3.3	КБ142ЕН22-4	LT1581		

\* Аналог по электрическим характеристикам и цоколевке.

\*\* Аналог по электрическим характеристикам. Не совпадают корпус и цоколевка. Электрические характеристики одинаковы для всех типов данных микросхем, независимо от типа корпуса.



Кроме соответствий между приборами зарубежного и отечественного производства, в таблицах представлены варианты аналоговых замен между некоторыми отечественными микросхемами.

## **3.5. Линейные стабилизаторы напряжения широкого применения**

Ниже приводятся справочные данные, позволяющие разработчику ИИП сориентироваться в выборе микросхем.

### **3.5.1. Положительные относительно общего провода**

#### **Регулируемые**

LT1020, 100 мА – микромощный стабилизатор и компаратор.

LT1020CS, 100 мА – микромощный и стабилизатор и компаратор.

LT1083-ADJ – стабилизатор 7,5 А с малым падением напряжения.

LT1084-ADJ – стабилизатор 5 А с малым падением напряжения.

LT1085-ADJ – стабилизатор 3 А с малым падением напряжения.

LT1086, 1,5 А – стабилизатор с малым падением напряжения, регулируемый и фиксированный на 2,85 В, 3,3 В, 3,6 В, 5 В, 12В.

LT1087 – стабилизатор 5 А с малым падением напряжения с температурно-чувствительным входом.

LT1117, 800 мА – стабилизатор с малым падением напряжения.

LT1120A, 100 мА – микромощный регулятор и компаратор с режимом Shutdown.

LT1120, 100 мА – микромощный регулятор и компаратор с режимом Shutdown.

LT1121, 150 мА – микромощный стабилизатор с малым падением напряжения и режимом Shutdown.

LT1129, 700 мА – микромощный стабилизатор с малым падением напряжения и режимом Shutdown.

LT1521, 300 мА – стабилизатор с малым падением напряжения и микропотреблением.

LT1529, 3 А – стабилизатор с малым падением напряжения, микропотреблением и режимом Shutdown.

LT1579, 300 мА – двоянный регулятор для батарейных источников питания.

LT1580, 7 А – стабилизатор с малым падением напряжения.

LT1581, 10 А – стабилизатор с малым падением напряжения.

LT1584, 7А – стабилизатор с малым падением напряжения и быстрым откликом.

LT1585, 4,6 А – стабилизатор с малым падением напряжения и быстрым откликом, регулируемый и фиксированный.

LT1585А, 5 А – стабилизатор с малым падением напряжения и быстрым откликом.

LT1587, 3 А – стабилизатор с малым падением напряжения и быстрым откликом, регулируемый и фиксированный.

LT1761, 100 мА – стабилизатор с малым уровнем шумов и микропотреблением в SOT-23.

LT1762 Series, 150 мА – регулятор с микропотреблением и малым уровнем шумов.

LT1763 Series, 500 мА – регулятор с микропотреблением и малым уровнем шумов.

### **На фиксированное напряжение 1,5 В**

LT1585А-1,5 – фиксированный стабилизатор на 1,5 В, 4,6 А и 5 А с малым падением напряжения и быстрым откликом.

LT1587 – фиксированный и регулируемый стабилизатор на 3 А с малым падением напряжения и быстрым откликом.

LT1587-1,5 – фиксированный стабилизатор на 1,5 В, 3 А с малым падением напряжения и быстрым откликом.

### **На фиксированное напряжение 2,5 В**

LT1118-2.5 – малое падение напряжения, 800 мА, стабилизированный источник тока.

LT1580-2.5, 7 А – стабилизатор с очень малым падением напряжения.

LT1581-2.5, 10 А – стабилизатор с очень малым падением напряжения.

LT1761, 100 мА – малошумящий с малым падением напряжения и микропотреблением в корпусе SOT-23.

LT1762 Series, 150 мА – малошумящий с малым падением напряжения и микропотреблением.

LT1763 Series, 500 мА – малошумящий с малым падением напряжения и микропотреблением.

### **На фиксированное напряжение 2,85 В**

LT1117-2,85, 800 мА – стабилизатор с малым падением напряжения.

LT1118-2,85 – малое падение напряжения, ток 800 мА, стабилизированный источник тока.

**На фиксированное напряжение 3 В**

LT1761, 100 мА – малошумящий с малым падением напряжения и микропотреблением в корпусе SOT-23.

LT1762 Series, 150 мА – малошумящий с малым падением напряжения и микропотреблением.

LT1763 Series, 500 мА – малошумящий с малым падением напряжения и ультрамалым потреблением.

**На фиксированное напряжение 3,3 В**

LT1084-FIXED, 5 А – фиксированный с малым падением напряжения.

LT1085-FIXED, 3 А – фиксированный с малым падением напряжения.

LT1117-3.3, 800 мА – фиксированный с малым падением напряжения.

LT1121-3.3 – микро мощный фиксированный с малым падением напряжения и режимом Shutdown.

LT1129-3.3, 700 мА – микро мощный фиксированный с малым падением напряжения и режимом Shutdown.

LT1521 -3.3, 300 мА – микро мощный фиксированный с малым падением напряжения.

1\_T1528, 3 А – фиксированный с малым падением напряжения для использования с микро процессорами.

LT1529-3.3, 3 А – микро мощный фиксированный с малым падением напряжения и режимом Shutdown.

LT1584, 7А – стабилизатор с малым падением напряжения и быстрым откликом, регулируемый.

LT1585, 4,6 А – стабилизатор с малым падением напряжения и быстрым откликом, регулируемый и фиксированный.

LT1585A-3.3, 5 А – стабилизатор с малым падением напряжения и быстрым откликом, фиксированный на 3,3В.

LT1587, 3А – регулируемый и фиксированный стабилизатор с малым падением напряжения и быстрым откликом.

LT1761, 100 мА – малошумящий с малым падением напряжения в корпусе SOT-23.

LT1762 Series, 150 мА – малошумящий, с малым падением напряжения и микропотреблением.

LT1763 Series, 500 мА – малошумящий, с малым падением напряжения и микропотреблением.

**На фиксированное напряжение 3,38 В**

LT1584, 7A – стабилизатор с малым падением напряжения и быстрым откликом, регулируемый.

LT1585, 4,6 А – стабилизатор с малым падением напряжения и быстрым откликом, регулируемый и фиксированный.

**На фиксированное напряжение 3,45 В**

LT1584, 7A – стабилизатор с малым падением напряжения и быстрым откликом, регулируемый.

LT1585, 4,6 А – стабилизатор с малым падением напряжения и быстрым откликом, регулируемый и фиксированный.

LT1587, 3 А – стабилизатор с малым падением напряжения и быстрым откликом, регулируемый и фиксированный.

**На фиксированное напряжение 3,6 В**

LT1085- FIXED, 3 А – стабилизатор с малым падением напряжения, фиксированный.

LT1584,7A – стабилизатор с малым падением напряжения и быстрым откликом, регулируемый.

LT1585, 4,6 А – стабилизатор с малым падением напряжения и быстрым откликом, регулируемый и фиксированный.

LT1587, 3А – стабилизатор с малым падением напряжения и быстрым откликом, регулируемый и фиксированный.

**На фиксированное напряжение 5 В**

LT1083-FIXED, 7,5 А – стабилизатор с малым падением напряжения, фиксированный.

LT1084-FIXED, 5 А – стабилизатор с малым падением напряжения, фиксированный.

LT1085-FIXED, 3 А – стабилизатор с малым падением напряжения, фиксированный.

LT1117-5, 800 мА – стабилизатор с малым падением напряжения, фиксированный.

LT1118-5 – малое падение напряжения, 800 мА – стабилизированный источник тока.

LT1121 -5,150 мА – микропотребляющий с малым падением напряжения, фиксированный с режимом Shutdown.

LT1123 – с малым падением напряжения.

LT1129-5, 700 мА – микропотребляющий с малым падением напряжения, фиксированный с режимом Shutdown.

LT1529-5,3 А – стабилизатор с малым падением напряжения, малым током и режимом Shutdown.

LT1761, 100 мА – малошумящий с малым падением напряжения и микропотреблением в корпусе SOT-23.

LT1762 Series, 150 мА – малошумящий с малым падением напряжения и микропотреблением.

LT1763 Series, 500 мА – малошумящий с малым падением напряжения и микропотреблением.

### **На фиксированное напряжение 12 В**

LT1083-FIXED, 7,5 А – стабилизатор с малым падением напряжения, фиксированный.

LT1084-FIXED, 5 А – стабилизатор с малым падением напряжения, фиксированный.

LT1085-FIXED, 3 А – стабилизатор с малым падением напряжения, фиксированный.

### **Сверхбыстрые для питания контроллеров ЦПУ**

LT1573 – драйвер с малым падением напряжения.

LT1575 – сверхбыстрый (tm) фиксированный и регулируемый контроллер.

LT1577 – сдвоенный сверхбыстрый (tm) фиксированный и регулируемый контроллер.

### **С малым падением для удаленных цепей с отдельной цепью обратной связи**

LT1087, 5 А – регулируемый с малым падением и термочувствительными входами.

LT1038, 10 А – регулируемый стабилизатор.

### **На фиксированное напряжение 5 В**

LT1003, 5 А – регулятор напряжения.

### **С управлением логическим сигналом**

LT1035 – контроллер с логическим управлением.

LT1036 – контроллер с логическим управлением.

## **3.5.2. Отрицательные относительно общего провода**

### **С малым падением напряжения, регулируемые**

LT1175, 500 мА – микропотребляющий.

LT1185, 3 А – стабилизатор с малым падением напряжения и регулируемым ограничением по выходному току.

**С малым падением напряжения, фиксированные на –5 В**

LT1175, 500 мА – отрицательный с малым падением напряжения, микрopotребляющий.

**Со стандартным падением напряжения, регулируемые**

LT1033, 3 А – регулируемый.

LT1761, 100 мА – малошумящий с малым падением напряжения и микрopotреблением в корпусе SOT-23.

### 3.6. Стабилизирующие элементы

Дискретные элементы-стабилизаторы продолжают применяться в электронных конструкциях, и поэтому их параметры для любого разработчика РЭА представляют интерес. Многие элементы выпускаются в корпусах для поверхностного монтажа, другие маркируются только цветом, что, помимо электрических характеристик, отражено в представленной справочной подборке.

В табл. 3.3 представлены параметры стабилитронов с напряжением стабилизации в интервале 8–12 В.

Таблица 3.3. Параметры стабилитронов с напряжением стабилизации в интервале 8–12 В

Тип прибора	$U_{ст\ ном}, В,$ при $I_{ст, ном},$ мА	$P_{max},$ мВт	Значения параметров при $T = 25\text{ }^\circ\text{C}, I_{пр\ ном}$				Предельные значения параметров при $T = 25\text{ }^\circ\text{C}$			$T_{к\ max},\text{ }^\circ\text{C}$
			$U_{ст\ min},$ В	$U_{ст\ max},$ В	$r_{ст},$ Ом	$r_{ст},$ Ом, при $I_{ст\ min}$	$\alpha_{ст}$ $10^{-2},$ %/°C	$I_{ст\ min},$ мА	$I_{ст\ max},$ мА	
2С180А	8,0 (5)	125	7,0	8,5	8	15	7	3	15	125
Д808	8,0 (5)	280	7,0	8,5	6	12	7	3	33	125
Д814А	8,0 (5)	340	7,0	8,5	6	12	7	3	40	125
2С411А	8,0 (5)	340	7,0	8,5	6	12	7	3	40	125
2С182А	8,2 (5)	150	7,49	8,95	14	30	4	3	17	125
КС182А	8,2 (5)	150	7,6	8,8	14		4	3	17	100
2С182Ж	8,2 (4)	150	7,8	8,7	40	2000	8	0,5	18	125
КС182Ж	8,2 (4)	125	7,4	9,0	40		8	0,5	15	125
2С182Х	8,2 (0,5)	20	7,8	8,6	200	200	7,5	0,5	2,5	125
2С182Ц	8,2 (0,5)	125	7,8	8,6	200	820	7	0,1	15	125
КС182Ц	8,2 (0,5)	125	7,8	8,6	200	820	7	0,1	15	125
2С112Б	8,2 (5)	150	7,49	8,95	14	30	4	3	17	125
КС406А	8,2 (15)	500	7,7	8,7	6,5	200	9	0,5	35	85
2С482А	8,2 (5)	1000	7,4	9,0	25	200	8	1	96	125

Таблица 3.3. Параметры стабилитронов с напряжением стабилизации в интервале 8–12 В (продолжение)

Тип прибора	$U_{ст\ ном}, В,$ при $I_{ст, ном},$ мА	$P_{\max},$ мВт	Значения параметров при $T = 25\ ^\circ C,$ $I_{пр\ ном}$				Предельные значения параметров при $T = 25\ ^\circ C$			$T_{к\ max},\ ^\circ C$
			$U_{ст\ min},$ В	$U_{ст\ max},$ В	$r_{ст},$ Ом	$r_{ст},$ Ом, при $I_{ст\ min}$	$\alpha_{ст}$ $10^{-2},$ %/C	$I_{ст\ min},$ мА	$I_{ст\ max},$ мА	
КС482А	8,2 (5)	1000	7,4	9,0	25	200	8	1	96	125
Д815В	8,2 (1000)	8000	7,4	9,1	1	8	7	50	950	130
2С190А	9,0 (5)	125	8,0	9,5	12	22	8	3	13	125
Д809	9,0 (5)	280	8,0	9,5	10	18	8	3	29	125
Д814Б	9,0 (5)	340	8,0	9,5	10	18	8	3	36	125
2С411Б	9,0 (5)	340	8,0	9,5	10	18	8	3	36	125
2С191А	9,1 (5)	150	8,25	9,98	18	30	6	3	15	125
КС191А	9,1 (5)	150	8,5	9,7	18		6	3	15	125
2С191Ж	9,1 (4)	150	8,6	9,6	40	200	9	0,5	16	125
КС191Ж	9,1 (4)	125	8,6	9,6	40		9	0,5	14	125
2С191Х	9,1 (0,5)	20	8,6	9,6	200	200	8	0,5	2,24	125
2С191Ц	9,1 (0,5)	125	8,6	9,6	200	820	8	0,1	14	125
КС191Ц	9,1 (0,5)	125	8,6	9,6	200	820	8	0,1	14	125
2С112В	9,1 (5)	150	8,25	9,98	18	30	6	3	15	125
2С205А	10,0 (5)	150	9,12	10,92	22	35	6	3	13	125
2С210А	10,0 (5)	125	9,0	10,5	15	32	9	3	11	125
2С210Б	10,0 (5)	150	9,5	10,5	22	35	6	3	14	125
КС210Б	10,0 (5)	150	9,3	10,7	22		6	3	14	100
2С210Ж	10,0 (4)	150	9,5	10,5	40	200	9	0,5	15	125
КС210Ж	10,0 (4)	125	9,0	11,0	40		9	0,5	13	125
2С210К	10,0 (0,5)	20	9,5	10,5	200	200	9	0,5	2	125
2С210Ц	10,0 (0,5)	150	9,5	10,5	200	820	8,5	0,1	12,5	125
КС210Ц	10,0 (0,5)	150	9,5	10,5	200	820	8,5	0,1	12,5	125
Д810	10,0 (5)	280	9,0	10,5	12	25	9	3	26	125
Д814В	10,0 (5)	340	9,0	10,5	12	25	9	3	32	125
2С516А	10,0 (5)	340	9,0	10,5	12	25	9	3	32	125
КС406Б	10,0 (12,5)	500	9,4	10,6	8,5	110	11	0,25	28	85
2С510А	10,0 (5)	1000	9,0	11,0	25	200	10	1	79	125
КС510А	10,0 (5)	1000	9,0	11,0	25	200	10	1	79	125
Д815Г	10,0 (500)	8000	9,0	11,0	1,8	15	8	25	800	130
2С211А	11,0 (5)	125	10,0	12,0	19	36	9,5	3	10	125
2С211Ж	11,0 (4)	150	10,4	11,6	40	200	9,2	0,5	14	125
КС211Ж	11,0 (4)	125	10,4	11,6	40		9,2	0,5	12	125
2С211И	11,0 (5)	150	10,45	11,55	23	40	7	3	13	125
2С211Х	11,0 (0,5)	20	10,4	11,6	200	200	9,5	0,5	1,8	125
2С211Ц	11,0 (0,5)	125	10,4	11,6	200	820	8,5	0,1	11,2	125
КС211Ц	11,0 (0,5)	125	10,4	11,6	200	820	8,5	0,1	11,2	125
Д811	11,0 (5)	280	10,0	12,0	15	30	9,5	3	23	125
Д814В	11,0 (5)	340	10,0	12,0	15	30	9,5	3	29	125
2С516Б	11,0 (5)	340	10,0	12,0	15	30	9,5	3	29	125

Таблица 3.3. Параметры стабилизаторов с напряжением стабилизации в интервале 8–12 В (продолжение)

Тип прибора	$U_{ст\ ном}, В,$ при $I_{ст, ном}$ мА	$P_{max},$ мВт	Значения параметров при $T = 25\ ^\circ C, I_{пр\ ном}$				Предельные значения параметров при $T = 25\ ^\circ C$			$T_{к\ max},\ ^\circ C$
			$U_{ст\ min},$ В	$U_{ст\ max},$ В	$r_{ст},$ Ом	$r_{ст},$ Ом, при $I_{ст\ min}$	$a_{ст}$ $10^{-2},$ %/°C	$I_{ст\ min},$ мА	$I_{ст\ max},$ мА	
2С212В	12,0 (5)	150	10,94	13,1	24	45	7,5	3	12	125
2С212Ж	12,0 (4)	150	11,4	12,6	40	200	9,5	0,5	13	125
КС212Ж	12,0 (4)	150	10,8	13,2	40		9,5	0,5	11	125
2С212Х	12,0 (0,5)	20	11,4	12,6	200	200	9,5	0,5	1,7	125
2С212Ц	12,0 (0,5)	125	11,4	12,6	200	820	8,5	0,1	10,6	125
КС212Ц	12,0 (0,5)	125	11,4	12,6	200	820	8,5	0,1	10,6	125
КС508А	12,0 (10,5)	500	11,4	12,7	11,5	250	11	0,25	23	85
2С512А	12,0 (5)	1000	10,8	13,2	25	200	10	1	67	125
КС512А	12,0 (5)	1000	10,8	13,2	25	200	10	1	67	125
Д815Д	12,0 (500)	8000	10,8	13,3	2	20	9	25	650	130

Пояснение к табл. 3.3:

- $U_{ст}$  – напряжение стабилизации стабилизатора;  
 $U_{ст\ ном}$  – номинальное напряжение стабилизации стабилизатора;  
 $I_{ст}$  – ток стабилизации стабилизатора;  
 $I_{ст\ ном}$  – номинальный ток стабилизации стабилизатора;  
 $P_{max}$  – максимально допустимая рассеиваемая мощность на стабилизаторе;  
 $r_{ст}$  – дифференциальное сопротивление стабилизатора;  
 $a_{ст}$  – температурный коэффициент стабилизации стабилизатора;  
 $T_{к\ max}$  – максимально допустимая температура корпуса стабилизатора.

В табл. 3.4 представлены электрические характеристики стабилизаторов отечественного производства с напряжением стабилизации в диапазоне 13–180 В.

Таблица 3.4. Электрические характеристики стабилизаторов отечественного производства с напряжением стабилизации в диапазоне 13–180 В

Тип прибора	$U_{ст\ ном}, В,$ при $I_{ст},$ мА	$P_{max},$ мВт	Значения параметров при $T = 25\ ^\circ C, I_{пр\ ном}$				$a_{ст} 10^{-2},$ %/°C
			$U_{ст\ min},$ В	$U_{ст\ max},$ В	$r_{ст},$ Ом	$r_{ст},$ Ом, при $I_{ст\ min}$	
2С213А	13,0 (5)	125	11,5	14,0	22	44	9,5
2С213Б	13,0 (5)	150	11,91	14,24	25	45	7,5
КС213Б	13,0 (5)	150	12,1	13,9	25		8
2С213Ж	13,0 (4)	150	12,3	13,7	40	200	9,5
КС213Ж	13,0 (4)	125	12,3	13,7	40		9,5
Д813	13,0 (5)	280	11,5	14,0	18	35	9,5
Д814Д	13,0 (5)	340	11,5	14,0	18	35	9,5



**Таблица 3.4. Электрические характеристики стабилизаторов отечественного производства с напряжением стабилизации в диапазоне 13–180 В (продолжение)**

Тип прибора	$U_{ст\ ном}, В,$ при $I_{ст}, мА$	$P_{\max},$ мВт	Значения параметров при $T = 25\text{ }^{\circ}\text{C}, I_{пр\ ном}$					$\alpha_{ст} 10^{-2},$ %/ $^{\circ}\text{C}$
			$U_{ст\ min}, В$	$U_{ст\ max}, В$	$r_{ст}, Ом$	$r_{ст}, Ом,$ при $I_{ст\ min}$		
2С516В	13,0 (5)	340	11,5	14,0	18	35	9,5	
2С215Ж	15,0 (2)	150	14,2	15,8	70	300	10	
КС215Ж	15,0 (2)	125	13,5	16,5	70		10	
КС508Б	15,0 (8,5)	500	13,8	15,6	16	150	11	
2С515А	15,0 (5)	1000	13,5	16,5	25	200	10	
КС515А	15,0 (5)	1000	13,5	16,5	25	200	10	
КС509А	15,0 (15)	1300	13,8	15,6	15	500	9	
Д815Е	15,0 (500)	8000	13,3	16,4	2,5	25	10	
2С216Ж	15,0 (2)	150	15,2	17,0	70	300	10	
КС216Ж	15,0 (2)	125	15,2	16,8	70		10	
КС508В	16,0 (7,8)	500	15,3	17,1	17	300	11	
2С218Ж	18,0 (2)	150	17,0	19,0	70	300	10	
КС218Ж	18,0 (2)	125	16,2	19,8	70		10	
КС508Г	18,0 (7)	500	16,8	19,1	21	150	11	
2С518А	18,0 (5)	1000	16,2	19,8	25	200	10	
КС518А	18,0 (5)	1000	16,2	19,8	25	200	10	
КС509Б	18,0 (15)	1300	16,8	19,1	20	500	9	
Д815Ж	18,0 (500)	8000	16,2	19,8	3	30	11	
2С220Ж	20,0 (2)	150	19,0	21,0	70	300	10	
КС220Ж	20,0 (2)	125	19,0	21,0	70		10	
КС509В	20,0 (10)	1300	18,8	21,2	24	600	9	
2С222Ж	22,0 (2)	150	20,9	23,1	70	300	10	
КС222Ж	22,0 (2)	150	19,8	24,2	70		10	
2С522А	22,0 (5)	1000	19,8	24,2	25	200	10	
КС522А	22,0 (5)	1000	19,8	24,2	25	200	10	
Д816А	22,0 (150)	5000	19,6	24,2	7	120	12	
2С224Ж	24,0 (2)	150	22,8	25,2	70	300	10	
КС224Ж	24,0 (2)	150	22,8	25,2	70	300	10	
КС508Д	24,0 (5,2)	500	22,8	25,6	33	150	12	
2С524А	24,0 (5)	1000	22,8	25,2	30	200	10	
2С527А	27,0 (5)	1000	24,3	29,7	40	200	10	
КС527А	27,0 (5)	1000	24,3	29,7	40	200	10	
Д816Б	27,0 (150)	5000	24,2	29,5	8	150	12	
2С530А	30,0 (5)	1000	28,5	31,5	45	200	10	
КС533А	33,0 (10)	640	30,0	36,0	40	100	10	
Д816В	33,0 (150)	5000	29,5	36,0	10	150	12	
2С536А	36,0 (5)	1000	34,2	37,8	50	240	10	
Д816Г	36,0 (150)	5000	35,0	43,0	12	150	12	
Д816Д	47,0 (150)	5000	42,5	51,5	15	150	12	
2С551А	51,0 (1,5)	1000	48,0	54,0	200	300	12	
КС551А	51,0 (1,5)	1000	48,0	54,0	200		12	
Д817А	56,0 (50)	5000	50,5	61,5	35	200	14	

**Таблица 3.4. Электрические характеристики стабилитронов отечественного производства с напряжением стабилизации в диапазоне 13–180 В (окончание)**

Тип прибора	$U_{ст. ном.}$ , В, при $I_{ст.}$ , мА	$P_{max}$ , мВт	Значения параметров при $T = 25 \text{ }^\circ\text{C}$ , $I_{пр. ном.}$					$\alpha_{ст.}$ $10^{-2}$ , %/°C
			$U_{ст. min.}$ , В	$U_{ст. max.}$ , В	$r_{ст.}$ , Ом	$r_{ст.}$ , Ом, при $I_{ст. min.}$		
Д817Б	68,0 (50)	5000	61,0	75,0	40	200	14	
Д817В	82,0 (50)	5000	74,0	90,0	45	300	14	
2С291А	91,0 (1)	250	86,0	96,0	700		11	
2С591А	91,0 (1,5)	1000	86,0	96,0	400	600	12	
КС591А	91,0 (1,5)	1000	86,0	96,0	400		12	
2С600А	100,0 (1,5)	1000	95,0	105,0	450	700	12	
КС600А	100,0 (1,5)	1000	95,0	105,0	450		12	
Д817Г	100,0 (50)	5000	90,0	110,0	50	300	14	
КС620А	120,0 (50)	5000	108,0	132,0	150	1000	20	
2С920А	120,0 (50)	5000	108,0	132,0	100	500	16	
КС630А	130,0 (50)	5000	117,0	143,0	180	1500	20	
2С930А	130,0 (50)	5000	117,0	143,0	120	800	16	
КС650А	150,0 (25)	5000	136,0	164,0	270	2200	20	
2С950А	150,0 (25)	5000	136,0	164,0	170	1200	16	
КС680А	180,0 (25)	5000	162,0	198,0	330	2700	20	
2С980А	180,0 (25)	5000	162,0	198,0	220	1500	16	

### 3.7. Предельные значения эксплуатации популярных стабилитронов и стабисторов

В подборку справочных данных, состоящую из табл. 3.5–3.9, сведены электрические параметры и особенности маркировки популярных полупроводниковых приборов. Эти данные подготовлены авторами благодаря многолетнему опыту работы с полупроводниковыми приборами.

**Таблица 3.5. Предельные значения эксплуатации отечественных стабилитронов и стабисторов**

Тип прибора	Предельные значения параметров при $T = 25 \text{ }^\circ\text{C}$			Значения параметров при $T = 25 \text{ }^\circ\text{C}$					$T_{к. max}$ ( $T_n$ ), °C	
	$U_{ст. ном.}$ , В	при $I_{ст. ном.}$ , мА	$P_{max.}$ , мВт	$U_{ст. min.}$ , В	$U_{ст. max.}$ , В	$r_{ст.}$ , Ом	$\alpha_{ст.}$ $10^{-2}$ , %/°C	$I_{ст. min.}$ , мА		$I_{ст. max.}$ , мА
Д815А	5,6	1000	8000	5,0	6,2	1,0	4,5	50	1400	125
Д815Б	6,8	1000	8000	6,1	7,5	1,2	6,0	50	1150	125
Д815В	8,2	1000	8000	7,4	9,1	1,5	9,0	50	950	125

Таблица 3.5. Предельные значения эксплуатации отечественных стабилизаторов и стабилитронов (продолжение)

Тип прибора	Предельные значения параметров при $T = 25^\circ\text{C}$			Значения параметров при $T = 25^\circ\text{C}$						$T_{к. \max}$ ( $T_n$ ), $^\circ\text{C}$
	$U_{ст. \text{ ном.}}$ , В	при $I_{ст. \text{ ном.}}$ , мА	$P_{\max.}$ , мВт	$U_{ст. \text{ min}}$ , В	$U_{ст. \text{ max}}$ , В	$r_{ст.}$ , Ом	$\alpha_{ст.}$ , $10^{-2}$ , %/ $^\circ\text{C}$	$I_{ст.}$		
								min, мА	max, мА	
Д815Г	10,0	500	8000	9,0	11	1,8	8,0	25	800	125
Д815Д	12,0	500	8000	10,8	13,3	2,0	9,0	25	650	125
Д815Е	15,0	500	8000	13,3	16,4	2,5	10,0	25	550	125
Д815Ж	18,0	500	8000	16,2	19,8	3,0	11,0	25	450	125
Д815И	4,7	1000	8000	4,2	5,2	0,8	14,0	50	1400	125
Д816А	22,0	150	5000	19,6	24,2	7,0	12,0	10	230	125
Д816Б	27,0	150	5000	24,2	29,5	8,0	12,0	10	180	125
Д816В	33,0	150	5000	29,5	36	10	12,0	10	150	125
Д816Г	36,0	150	5000	35,0	43	12	12,0	10	130	125
Д816Д	47,0	150	5000	42,5	51,5	15	12,0	10	110	125
Д817А	56,0	50,0	5000	50,5	51,5	35	14,0	5,0	90	125
Д817Б	68,0	50,0	5000	61,0	75	40	14,0	5,0	75	125
Д817В	82,0	50,0	5000	74,0	90	45	14,0	5,0	60	125
Д817Г	100,0	50,0	5000	90,0	110	50	14,0	5,0	50	125
КС406А	8,2	15,0	500	7,7	8,7	6,5	9,0	0,5	35	85
КС406Б	10,0	12,0	500	9,4	10,6	8,5	11,0	0,25	28	85
2С411А	8,0	5,0	340	7,0	8,5	6,0	7,0	3,0	40	125
2С411Б	9,0	5,0	340	8	9,5	10	8,0	3,0	36	125
КС407А	3,3	10,0	500	3,1	3,5	28	-8,0	1,0	100	85
КС407Б	3,9	20,0	500	3,7	4,1	23	-7,0	1,0	83	85
КС407В	4,7	20,0	500	4,4	5	19	-3,0	1,0	68	85
КС407Г	5,1	20,0	500	4,8	5,4	17	$\pm 2,0$	1,0	59	85
КС407Д	6,8	18,0	500	6,4	7,2	4,5	5,0	1,0	42	85
КС409А	5,6	5,0	400	5,3	5,9	20	2...4	1,0	48	85
КС412А	6,2	5,0	400	5,8	6,6	10	-1...6	1,0	55	125
КС433А	3,3	60,0	1000	2,97	3,63	25	-10,0	3,0	229	125
2С433А	3,3	60,0	1000	2,97	3,63	14	-10,0	3,0	229	125
КС439А	3,9	51,0	1000	3,51	4,29	25	-10,0	3,0	212	125
2С439А	3,9	51,0	1000	3,51	4,29	12	-10,0	3,0	212	125
КС447А	4,7	43,0	1000	4,23	5,17	18	-8...3	3,0	190	125
2С447А	4,7	43,0	1000	4,23	5,17	10	-8...3	3,0	190	125
КС456А	5,6	36,0	1000	5,04	6,16	7,0	5,0	3,0	167	125
2С456А	5,6	36,0	1000	5,04	6,16	7,0	5,0	3,0	167	125
КС468А	6,8	30,0	1000	6,12	7,48	5,0	6,5	3,0	119	125
2С468А	6,8	29,0	1000	6,12	7,48	5,0	6,5	3,0	142	125
КС482А	8,2	5,0	1000	7,4	9,0	25	8,0	1,0	96	125
2С482А	8,2	5,0	1000	7,4	9,0	25	8,0	1,0	96	125
КС508А	12,0	10,5	500	11,4	12,7	11	11,0	0,25	23	85
КС508Б	15,0	10,5	500	13,8	15,6	16	11,0	0,25	18	85
КС508В	16,0	7,8	500	15,3	17,1	17	11,0	0,25	17	85

Таблица 3.5. Предельные значения эксплуатации отечественных стабилитронов и стабисторов (окончание)

Тип прибора	Предельные значения параметров при $T = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$			Значения параметров при $T = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$						$T_{к. max}$ ( $T_n$ ), $^{\circ}\text{C}$
				$U_{ст. min}$ , В	$U_{ст. max}$ , В	$R_{ст.}$ , Ом	$\alpha_{ст.}$ , $10^{-2}$ , %/ $^{\circ}\text{C}$	$I_{ст. min}$ , мА	$I_{ст. max}$ , мА	
	$U_{ст. ном.}$ , В	$I_{ст. ном.}$ , мА	$P_{макс.}$ , мВт							
КС508Г	18,0	7,0	500	16,8	19,1	21	11,0	0,25	15	85
КС508Д	24,0	5,2	500	22,8	25,6	33	12,0	0,25	11	85
КС509А	15,0	15,0	1300	13,8	15,6	15	9,0	0,5	42	85
КС509Б	18,0	15,0	1300	18,6	19,1	20	9,0	0,5	35	85
КС509В	20,0	10,0	1300	18,8	21,2	24	9,0	0,5	31	85
КС510А	10,0	5,0	1000	9,0	11	25	10,0	1,0	79	125
2С510А	10,0	5,0	1000	9,0	11	25	10,0	1,0	79	125
КС512А	12,0	5,0	1000	10,8	13,2	25	10,0	1,0	67	125
2С512А	12,0	5,0	1000	10,8	13,2	25	10,0	1,0	67	125
КС515А	15,0	5,0	1000	13,5	16,5	25	10,0	1,0	53	125
2С515А	15,0	5,0	1000	13,5	16,5	25	10,0	1,0	53	125
2С516А	10,0	5,0	340	9,0	10,5	12	9,0	3,0	32	125
2С516Б	11,0	5,0	340	10	12	15	9,5	3,0	29	125
2С516В	13,0	5,0	340	11,5	14	18	9,5	3,0	24	125
КС518А	18,0	5,0	1000	16,2	19,8	25	10,0	1,0	45	125
2С518А	18,0	5,0	1000	16,2	19,8	25	10,0	1,0	45	125
КС522А	22,0	5,0	1000	19,8	24,2	25	10,0	1,0	37	125
2С522А	22,0	5,0	1000	19,8	24,2	25	10,0	1,0	37	125
2С522А5	22,0	5,0	1000	19,8	24,2	25		1,0	37	125
КС524А	24,0	5,0	1000	22,8	25,2	30	10,0	1,0	33	125
2С524А	24,0	5,0	1000	22,8	25,2	30	10,0	1,0	33	125
КС527А	27,0	5,0	1000	24,3	29,7	40	10,0	1,0	30	125
2С527А	27,0	5,0	1000	24,3	29,7	40	10,0	1,0	30	125
2С530А	30,0	5,0	1000	28,5	31,5	45	10,0	1,0	27	125
КС533А	33,0	5,0	640	30	36	40	10,0	3,0	17	125
2С536А	36,0	5,0	1000	34,2	37,8	50	10,0	1,0	23	125
КС551А	51,0	1,5	1000	48	54	200	12,0	1,0	14,6	125
2С551А	51,0	1,5	1000	48	54	200	12,0	1,0	14,6	125
КС591А	91,0	1,5	1000	86	96	400	12,0	1,0	8,8	125
2С591А	91,0	1,5	1000	86	96	400	12,0	1,0	8,8	125
КС600А	100	1,5	1000	95	105	450	12,0	1,0	8,1	125
2С600А	100	1,5	1000	95	105	450	12,0	1,0	8,1	125
КС620А	120	50,0	5000	108	132	150	20,0	5,0	42	125
КС630А	130	50,0	5000	117	143	180	20,0	5,0	38	125
КС650А	150	25,0	5000	136	164	270	20,0	2,5	33	125
КС680А	180	25,0	5000	162	198	330	20,0	2,5	28	125
2С920А	120	50,0	5000	108	132	100	16,0	5,0	42	125
2С930А	130	50,0	5000	117	143	120	16,0	5,0	38	125
2С950А	150	25,0	5000	136	164	170	16,0	2,5	33	125
2С980А	180	25,0	5000	162	198	220	16,0	2,5	28	125

Таблица 3.6. Предельные значения других отечественных стабилизаторов (продолжение, начало в табл. 3.5)

Тип прибора	$U_{\text{проб.ном.}}$ , В	при $I_{\text{проб.т.}}$ , мА	$P_{\text{огр.и. макс}}$ ( $t_{\text{и}} = 1 \text{ мс}$ ), кВт	Значения параметров при $T = 25^\circ\text{C}$		$I_{\text{огр.и. макс}}$ , В	$I_{\text{огр.и. макс}}$ , А	$U_{\text{обр. макс}}$ , В	$I_{\text{обр.}}$ , мкА	$T_{\text{к. макс}}$ ( $T_{\text{н}}$ ), $^\circ\text{C}$
				$U_{\text{проб.}}$ , мин, В	max, В					
2С401А	6,8	10	1,5	6,1	7,5	10,8	139	5,5	1000	125
2С401Б	7,5	10	1,5	6,8	8,2	11,7	128	6	1000	125
2С408А	6,2	1	1,5	5,89	6,51	8,5	130	5	300	125
КС410АС	8,2	10	1,5	7,79	8,61	12,1	124	7	200	125
2С414А	3,9	10	1,5	3,5	4,3	8,5	200	2,4	800	125
2С501А	15	1	1,5	13,5	16,5	22	68	12	5	125
2С501АС	15	1	1,5	13,5	16,5	22	68	12	5	125
2С501Б	30	1	1,5	27	33	43,5	34,5	24	5	125
2С501БС	30	1	1,5	27	33,1	43,5	34,5	24	5	125
2С503АС	12	1	1,5	10,8	13,2	17	87	9	5	125
2С503БС	33	1	1,5	29,7	36,3	47	31,5	26	5	125
2С503БС	39	1	1,5	35,1	42,9	56	26,5	31	5	125
КС511А	15	1	1,5	14,3	15,8	21,2	71	12,8	5	85
КС511Б	75	1	1,5	71,3	78,8	103	14,6	-	5	85
2С514А	62	1	1,5	58,9	65,1	80	17,7	53	5	125
2С514А1	62	1	1,5	55,8	68,2	89	16,9	50,2	5	125
2С514Б	68	1	1,5	64,6	71,4	85	16,3	58,1	5	125
2С514Б1	68	1	1,5	61,2	74,8	98	15,3	55,1	5	125
2С514Б	82	1	1,5	77,9	86,1	100	13,3	70,1	5	125
2С514Б1	82	1	1,5	73,8	90,2	118	12,7	66,4	5	125
2С602А	110	1	1,5	105	116	135	9,9	94	5	125
2С602А1	110	1	1,5	99	121	158	9,5	89,2	5	125
2С801А	33	40	4	29,7	36,3	47	104	26,8	5	125
2С802А	16	70	5	15,2	16,8	21	222	13,6	5	125
2С802А1	16	70	5	14,4	17,6	23,5	212	12,9	5	125
2С802Б	26	30	5	34,2	37,8	46	96	30,8	5	125
2С802Б1	36	30	5	32,4	39,6	52	100	29,1	5	125

Таблица 3.7. Предельные значения эксплуатации отечественных стабилизаторов и стабилизаторов

Тип прибора	Предельные значения параметров при $T = 25^{\circ}C$			Значения параметров при $T = 25^{\circ}C$			$T_{к. max} (T_n), ^{\circ}C$
	$U_{ст. ном.}, B$	$P_{max}, мВт$	$I_{ст. ном.}, mA$	$U_{ст. min}, mA$	$max, mA$	$I_{ст. min}, B$	
Д219С	0,57	-	1,0	-	-	-	120
Д220С	0,59	-	1,0	-	-	-	120
Д223С	0,59	-	1,0	-	-	-	120
Д808	8,0	280	5,0	7,0	8,5	3,0	125
Д809	9,0	280	5,0	8,0	9,5	3,0	125
Д810	10,0	280	5,0	9,0	10,5	3,0	125
Д811	11,0	280	5,0	10,0	12	3,0	125
Д813	13,0	280	5,0	11,5	14	3,0	125
Д814А	8,0	340	5,0	7,0	8,5	3,0	125
Д814А1	8,0	340	5,0	7,0	8,5	3,0	125
Д814Б	9,0	340	5,0	8,0	9,5	3,0	125
Д814Б1	9,0	340	5,0	8,0	9,5	3,0	125
Д814В	10,0	340	5,0	9,0	10,5	3,0	125
Д814В1	10,0	340	5,0	9,0	10,5	3,0	125
Д814Г	11,0	340	5,0	10,0	12	3,0	125
Д814Г1	11,0	340	5,0	10,0	12	3,0	125
Д814Д	13,0	340	5,0	11,5	14	3,0	125
Д814Д1	13,0	340	5,0	11,6	14	3,0	125
2С102А	5,1	300	20,0	4,84	5,36	3,0	125
КС107А	0,7	125	10,0	0,63	0,77	1,0	125
2С107А	0,7	125	10,0	0,63	0,77	1,0	125
2С111А	6,2	150	10,0	5,66	6,76	3,0	125
2С111Б	6,8	150	10,0	6,24	7,38	3,0	125
2С111В	7,0	150	10,0	6,43	7,59	3,0	125
2С112А	7,5	150	5,0	6,82	8,21	3,0	125
2С112Б	8,2	150	5,0	7,49	8,95	3,0	125
2С112В	9,1	150	5,0	8,25	9,98	3,0	125

Таблица 3.7. Предельные значения эксплуатации отечественных стабилизаторов и стабилитронов (продолжение)

Тип прибора	Предельные значения параметров при $T = 25^\circ\text{C}$		Значения параметров при $T = 25^\circ\text{C}$		$T_{k. \max} (T_n), ^\circ\text{C}$					
	$U_{\text{ст. ном.}}, \text{В}$	при $I_{\text{ст. ном.}}$ мА	$P_{\text{ макс.}}$ мВт	$U_{\text{ст.}}$ min, mA		max, mA	$r_{\text{ст.}}, \text{Ом}$	$\alpha_{\text{ст.}} \cdot 10^{-2},$ %/ $^\circ\text{C}$	$I_{\text{ст.}}$ min, В	max, В
КС113А	1,3	10,0	200	1,17	1,43	12	-42	1,0	100	125
2С113А	1,3	10,0	200	1,17	1,43	12	-42	1,0	100	125
КС119А	1,9	10,0	200	1,72	2,1	15	-42	1,0	100	125
2С119А	1,9	10,0	200	1,72	2,1	15	-42	1,0	100	125
2С124Д1	2,4	3,0	50	2,2	2,6	180	-7,5	0,25	20,8	125
2С127А1	2,7	3,0	50	2,43	2,97	180	-20	1,0	6	85
2С127Д1	2,7	3,0	50	2,5	2,9	180	-7,5	0,25	18,5	125
КС130Д1	3,0	3,0	50	2,8	3,2	180	-7,5	0,25	16,7	125
2С130Д1	3,0	3,0	50	2,8	3,2	180	-7,5	0,25	16,7	125
КС133А	3,3	10,0	300	2,97	3,63	65	-11	3,0	81	125
КС133Г	3,3	5,0	125	3	3,6	150	-10	1,0	37,5	125
2С133А	3,3	10,0	300	2,97	3,63	65	-11	3,0	81	125
2С133Б	3,3	10,0	100	3	3,7	65	-10	3,0	30	125
2С133В	3,3	5,0	125	3,1	3,5	150	-10	1,0	37,5	125
2С133Г	3,3	5,0	125	3	3,6	150	-10	1,0	37,5	125
2С133Д1	3,3	3,0	50	3,1	3,5	180	-7,5	0,25	15,2	125
2С136Д1	3,6	3,0	50	3,4	3,8	180	-7,0	0,25	13,9	125
КС139А	3,9	10,0	300	3,51	4,29	60	-10	3,0	70	125
КС139Г	3,9	5,0	125	3,5	4,3	150	-10	1,0	32	125
2С139А	3,9	10,0	300	3,51	4,29	60	-10	3,0	70	125
2С139Б	3,9	10,0	100	3,5	4,3	60	-10	3,0	26	125
2С139Д1	3,9	3,0	50	3,7	4,1	180	-6,5	0,25	12,8	125
2С143Д1	4,3	3,0	50	4	4,6	180	-6,0	0,25	11,6	125
КС147А	4,7	10,0	300	4,23	5,17	56	-9...10	3,0	58	125
КС147Г	4,7	5,0	125	4,2	5,2	150	-7,0	1,0	26,5	125
2С147А	4,7	10,0	300	4,23	5,17	56	-9...10	3,0	58	125
2С147Б	4,7	10,0	100	4,1	5,2	56	-8...+2	3,0	21	125

Таблица 3.7. Предельные значения эксплуатации отечественных стабилизаторов и стабилизаторов (продолжение)

Тип прибора	Предельные значения параметров при $T = 25^{\circ}C$				Значения параметров при $T = 25^{\circ}C$				$T_{L, max} (T_{n, j}), ^{\circ}C$	
	$U_{ст.ном.}, B$	$P_{max}, мВт$	$I_{ст. ном.}, mA$	$U_{ст.}, min, mA$	$max, mA$	$r_{ст.}, Ом$	$\alpha_{ст.}, 10^{-2}, \%/^{\circ}C$	$I_{ст.}, min, B$		$max, B$
2C147B	4,7	125	5,0	4,5	4,9	150	-7,0	1,0	26,5	125
12C147Г	4,7	125	5,0	4,2	5,2	150	-7,0	1,0	26,5	125
12C147У1	4,7	50	3,0	4,2	5,2	220	-8,0	1,0	10,6	125
12C147Т1	4,7	50	3,0	4,4	4,9	220	-8,0	1,0	10,6	125
2C147Т9	4,7	200	3,0	4,4	4,9	220	-8,0	1,0	38	125
2C151Т1	5,1	50	3,0	4,8	5,4	180	-6...3	1,0	10	125
KC156A	5,6	300	10,0	5,04	6,16	46	$\pm 5,0$	3,0	55	125
KC156Г	5,6	125	5,0	5	6,2	100	7,0	1,0	22,4	125
2C156A	5,6	300	10,0	5,04	6,16	46	$\pm 5,0$	3,0	55	125
2C156Б	5,6	100	10,0	5	6,4	45	-4...7	3,0	18	125
2C156В	5,6	125	5,0	5,3	5,9	100	5,0	1,0	22,4	125
2C156Г	5,6	125	5,0	5	6,2	100	7,0	1,0	22,4	125
2C156У1	5,6	50	3,0	5	6,2	160	-4...6	1,0	9	125
2C156Т1	5,6	50	3,0	5,3	5,9	160	-4...6	1,0	9	125
2C156Т9	5,6	200	3,0	5,3	5,9	160	-4...6	1,0	34	125
2C156Ф	5,6	125	5,0	5,3	5,9	30	4,0	1,0	20	125
KC162A	6,2	300	10,0	5,8	6,6	35	-6,0	3,0	50	100
KC162B	6,2	150	10,0	5,8	6,6	-	-6,0	3,0	22	100
2C162A	6,2	150	10,0	5,66	6,76	35	-6,0	3,0	22	125
2C162Б1	6,2	21	3,0	5,89	6,51	15	6,0	1,0	3,4	85
2C162В1	6,2	21	3,0	5,58	6,82	25	6,0	1,0	3,4	85
KC168A	6,8	300	10,0	6,12	7,48	7	$\pm 6,0$	3,0	45	125
KC168Б	6,8	150	10,0	6,3	7,3	28	$\pm 5,0$	3,0	20	100
2C168A	6,8	300	10,0	6,12	7,48	28	$\pm 6,0$	3,0	45	125
2C168Б	6,8	100	10,0	6	7,5	15	7,0	3,0	15	125
2C168В	6,8	150	10,0	6,24	7,38	28	$\pm 5,0$	3,0	20	125
2C168K1	6,8	20	0,5	6,46	7,14	200	5,0	0,1	2,94	125
2C168K9	6,8	200	0,5	6,46	7,14	200	5,0	0,1	27	125



Таблица 3.7. Предельные значения эксплуатации отечественных стабилизаторов и стабилитронов (продолжение)

Тип прибора	Предельные значения параметров при $T = 25^\circ\text{C}$			Значения параметров при $T = 25^\circ\text{C}$			$T_{к. \max} (T_n), ^\circ\text{C}$			
	$U_{ст. \text{ном.}}, \text{В}$	$I_{ст. \text{ном.}}, \text{мА}$	$P_{\max}, \text{мВт}$	$U_{ст. \text{min}}, \text{мА}$	$I_{ст. \text{max}}, \text{мА}$	$r_{ст. \text{Ом}}$		$\alpha_{ст.} 10^{-2}, \%/^\circ\text{C}$	$I_{ст. \text{min}}, \text{В}$	$I_{ст. \text{max}}, \text{В}$
2С168Х	6,8	0,5	20	6,5	7,1	200	5,0	0,5	3	125
КС170А	7,0	10,0	150	6,43	7,59	20	$\pm 1,0$	3,0	20	100
2С170А	7,0	10,0	150	6,43	7,59	18	$\pm 1,0$	3,0	20	125
КС175А	7,5	5,0	150	6,82	8,21	16	$\pm 4,0$	3,0	18	100
КС175Ж	7,5	0,5	125	7,1	7,9	40	7,0	0,5	17	125
КС175Ц	7,5	0,5	125	7,1	7,9	200	6,5	0,1	17	125
2С175А	7,5	5,0	150	6,82	8,21	16	$\pm 4,0$	3,0	18	125
2С175Ж	7,5	4,0	150	7,1	7,9	20	7,0	0,5	20	125
2С175К1	7,5	0,5	20	7,13	7,88	200	6,5	0,1	2,66	125
2С175Х	7,5	0,5	20	7,1	7,9	200	6,5	0,1	2,65	125
2С175Ц	7,5	0,5	125	7,1	7,9	200	6,5	0,1	17	125
2С175Ц1	7,5	0,1	20	7,1	7,9	820	6,0	0,05	2,65	85
2С180А	8,0	5,0	125	7	8,5	8	7,0	3,0	15	125
КС182А	8,2	5,0	150	7,6	8,8	14	-	3,0	17	100
КС182Ж	8,2	4,0	125	7,4	9	40	8,0	0,5	15	125
КС182Ц	8,2	0,5	125	7,8	8,6	200	7,0	0,1	15	125
КС182Ц1	8,2	0,1	20	7,8	8,6	820	6,5	0,05	2,5	85
2С182А	8,2	5,0	150	7,49	8,95	14	4,0	3,0	17	125
2С182Ж	8,2	4,0	150	7,8	8,7	40	8,0	0,5	18	125
2С182К1	8,2	0,5	20	7,79	8,61	220	7,5	0,1	2,44	125
2С182Х	8,2	0,5	20	7,8	8,6	200	7,5	0,5	2,5	125
2С182Ц	8,2	0,5	125	7,8	8,6	200	7,0	0,1	15	125
2С190А	9,0	5,0	125	8	9,5	12	8,0	3,0	13	125
КС191А	9,1	5,0	150	8,5	9,7	18	-	3,0	15	100
КС191Ж	9,1	4,0	125	8,6	9,6	40	9,0	0,5	14	125
КС191Ц1	9,1	0,1	20	8,6	9,6	820	7,5	0,05	2,24	125
КС191Ц	9,1	0,5	125	8,6	9,6	200	8,0	0,1	14	125
2С191А	9,1	5,0	150	8,25	9,98	18	6,0	3,0	15	125

Таблица 3.7. Предельные значения эксплуатации отечественных стабилизаторов и стабилитронов (продолжение)

Тип прибора	Предельные значения параметров при $T = 25 \text{ }^\circ\text{C}$				Значения параметров при $T = 25 \text{ }^\circ\text{C}$				$T_{к. \text{max}} (T_n), \text{ }^\circ\text{C}$	
	$U_{ст. \text{ном.}}, \text{ В}$	при $I_{ст. \text{ном.}}, \text{ мА}$	$P_{\text{max}}, \text{ мВт}$	$U_{ст. \text{min}}, \text{ мА}$	$U_{ст. \text{max}}, \text{ мА}$	$r_{ст.}, \text{ Ом}$	$\alpha_{ст.}, 10^{-2}, \text{ \%}/\text{C}$	$I_{ст. \text{min}}, \text{ В}$		$I_{ст. \text{max}}, \text{ В}$
2С191Ж	9,1	4,0	125	8,6	9,6	40	9,0	0,5	16	125
2С191К1	9,1	0,5	20	8,65	9,56	220	8,0	0,1	2,2	125
2С191Х	9,1	0,5	20	8,6	9,6	200	8,0	0,5	2,24	125
2С191Ц	9,1	0,5	125	8,6	9,6	200	8,0	0,1	14	125
КС196А	9,6	5,0	200	9,1	10,1	18	-	3,0	20	125
КС196Б	9,6	5,0	200	9,1	10,1	18	-	3,0	20	125
КС196В	9,6	5,0	200	9,1	10,1	18	-	3,0	20	125
КС196Г	9,6	5,0	200	9,1	10,1	18	-	3,0	20	125
2С205А	10,0	5,0	150	9,12	10,9	22	6,0	3,0	13	125
КС210А	10,0	5,0	150	-	-	-	-	3,0	14	100
КС210Б	10,0	5,0	150	9,3	10,7	22	6,0	3,0	14	100
КС210Ж	10,0	4,0	125	9	11	40	9,0	0,5	13	125
КС210Ц	10,0	0,5	125	9,5	10,5	200	8,5	0,1	12,5	125
КС210Ц1	10,0	0,1	20	9,5	10,5	820	8,0	0,05	2	85
2С210А	10,0	5,0	125	9	10,5	15	9,0	3,0	11	125
2С210Б	10,0	5,0	150	9,5	10,5	22	6,0	3,0	14	125
2С210Ж	10,0	4,0	150	9,5	10,5	40	9,0	0,5	15	125
2С210К1	10,0	0,5	20	9,5	10,5	220	9,0	0,1	2	125
2С210К	10,0	0,5	20	9,5	10,5	200	9,0	0,5	2	125
2С210Ц	10,0	0,5	125	9,5	10,5	200	8,5	0,1	12,5	125
КС211Ж	11,0	4,0	125	10,4	11,6	40	9,2	0,5	12	85
КС211Ц	11,0	0,5	125	10,4	11,6	200	8,5	0,1	11,2	85
КС211Ц1	11,0	0,1	20	10,4	11,6	820	8,5	0,05	1,8	85
2С211А	11,0	5,0	125	10	12	19	9,5	3,0	10	125
2С211Ж	11,0	4,0	150	10,4	11,6	40	9,2	0,5	14	125
2С211И	11,0	5,0	150	10,5	11,5	23	7,0	3,0	13	125
2С211К1	11,0	0,5	20	10,5	11,5	200	9,5	0,1	1,8	125
2С211Х	11,0	0,5	20	10,4	11,6	200	9,5	0,5	1,8	125

Таблица 3.7. Предельные значения эксплуатации отечественных стабилизаторов и стабилитронов (окончание)

Тип прибора	Предельные значения параметров при $T = 25^\circ\text{C}$				Значения параметров при $T = 25^\circ\text{C}$				$T_{\text{с. макс}} (T_{\text{п}}), ^\circ\text{C}$	
	$U_{\text{ст. ном.}}$ , В	при $I_{\text{ст. ном.}}$ , мА	$P_{\text{ макс.}}$ , мВт	$U_{\text{ст.}}$ , мин, мА	max, мА	$r_{\text{ст.}}$ , Ом	$\alpha_{\text{ст.}}$ , $10^{-2}$ , %/C	$I_{\text{ст.}}$ , min, В		max, В
2С211Ц	11,0	0,5	125	10,4	11,6	200	8,5	0,1	11,2	125
КС212Ж	12,0	4,0	125	10,8	13,2	40	9,5	0,5	11	125
КС212Ц	12,0	0,5	125	11,4	12,6	200	8,5	0,1	10,6	125
КС212Ц1	12,0	0,1	20	11,4	12,6	820	8,5	0,05	1,7	125
2С212В	12,0	5,0	150	10,9	13,1	24	7,5	3,0	12	125
2С212Ж	12,0	4,0	150	11,4	12,6	40	9,5	0,5	13	125
2С212К1	12,0	0,5	20	11,4	12,6	200	9,5	0,1	1,7	125
2С212Ц	12,0	0,5	125	11,4	12,6	200	8,5	0,1	10,6	125
2С212Х	12,0	0,5	20	11,4	12,6	200	9,5	0,5	1,7	125
КС213А	13,0	5,0	150	-	-	-	-	3,0	10	125
КС213Б	13,0	5,0	150	12,1	13,9	25	8,0	3,0	10	125
КС213Ж	13,0	4,0	125	12,3	13,7	40	9,5	0,5	10	125
2С213А	13,0	5,0	125	11,5	14	22	9,5	3,0	9	125
2С213Б	13,0	5,0	150	11,9	14,2	25	7,5	3,0	10	125
2С213Ж	13,0	4,0	150	12,3	13,7	40	9,5	0,5	12	125
КС215Ж	15,0	2,0	125	13,5	16,5	70	10,0	0,5	8,3	125
2С215Ж	15,0	2,0	150	14,2	15,8	70	10,0	0,5	10	125
КС216Ж	16,0	2,0	125	15,2	16,8	70	10,0	0,5	7,8	125
2С216Ж	16,0	2,0	150	15,2	17	70	10,0	0,5	9,4	125
КС218Ж	18,0	2,0	125	16,2	19,8	70	10,0	0,5	6,9	125
2С218Ж	18,0	2,0	150	17	19	70	10,0	0,5	8,3	125
КС220Ж	20,0	2,0	125	19	21	70	10,0	0,5	6,2	125
2С220Ж	20,0	2,0	150	19	21	70	10,0	0,5	7,5	125
КС222Ж	22,0	2,0	125	19,8	24,2	70	10,0	0,5	5,7	125
2С222Ж	22,0	2,0	150	20,9	23,1	70	10,0	0,5	6,8	125
КС224Ж	24,0	2,0	125	22,8	25,2	70	10,0	0,5	5,2	125
2С224Ж	24,0	2,0	150	22,8	25,2	70	10,0	0,5	6,3	125
2С291А	91,0	1,0	250	86	96	700	11,0	0,5	2,7	125

Таблица 3.8. Предельные значения эксплуатации отечественных стабилитронов и стабисторов

Тип прибора	Значения параметров при $T = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$						$I_{\text{ст. max}}$ (Т <sub>н</sub> ), мА		Т <sub>к. max</sub> (Т <sub>н</sub> ), °C
	U <sub>ст.ном.</sub> , В	при I <sub>ст.ном.</sub> , мА	DU <sub>ст.</sub> , %	$\alpha_{\text{ст.}}$ 10 <sup>-3</sup> , %/°C	r <sub>ст.</sub> , Ом	dU <sub>ст.</sub> 10 <sup>-2</sup> , %			
Д818А	9	10	+15	+20	18	0,11	3	33	125
Д818Б	9	10	-15	-20	18	0,13	3	33	125
Д818В	9	10	±10	±10	18	0,12	3	33	125
Д818Г	9	10	±5	±5	18	0,12	3	33	125
Д818Д	9	10	±5	±2	18	0,12	3	33	125
Д818Е	9	10	±5	±1	18	0,12	3	33	125
КС108А	6,4	7,5	±5	±2	15	0,05	3	10	125
КС108Б	6,4	7,5	±5	±1	15	0,05	3	10	125
КС108В	6,4	7,5	±5	±0,5	15	0,05	3	10	125
2С108А	6,4	7,5	±5	±2	15	0,02	3	10	125
2С108Б	6,4	7,5	±5	±1	15	0,02	3	10	125
2С108В	6,4	7,5	±5	±0,5	15	0,02	3	10	125
2С108Г	6,4	7,5	±5	±2	15	0,01	3	10	125
2С108Д	6,4	7,5	±5	±1	15	0,01	3	10	125
2С108Е	6,4	7,5	±5	±0,5	15	0,01	3	10	125
2С108Ж	6,4	7,5	±5	±2	15	0,005	3	10	125
2С108И	6,4	7,5	±5	±1	15	0,005	3	10	125
2С108К	6,4	7,5	±5	±0,5	15	0,005	3	10	125
2С108Л	6,4	7,5	±5	±1	15	0,002	3	10	125
2С108М	6,4	7,5	±5	±0,5	15	0,002	3	10	125
2С108Н	6,4	7,5	±5	±1	15	0,001	3	10	125
2С108П	6,4	7,5	±5	±0,5	15	0,001	3	10	125
2С108Р	6,4	7,5	±5	±0,5	15	0,0005	3	10	125
2С108С	6,4	7,5	±5	±0,5	15	0,0003	3	10	125
КС164М-1	6,4	1,5	±5	±5	120	0,3	0,5	3	125
2С164М-1	6,4	1,5	±5	±5	120	0,1	0,5	3	125
2С164М9	6,4	1,5	±5	±5	120	0,1	0,5	3	125
2С164Н	6,4	1,5	±5	±1	15	0,002	3	10	125
2С164П	6,4	1,5	±5	±0,5	15	0,002	3	10	125
2С164Р	6,4	1,5	±5	±1	15	0,001	3	10	125
2С164Т	6,4	1,5	±5	±0,5	15	0,001	3	10	125
КС166А	6,6	7,5	±5	±2	20	0,02	3	10	125
КС166Б	6,6	7,5	±5	±1	20	0,02	3	10	125
КС166В	6,6	7,5	±5	±0,5	20	0,02	3	10	125
2С166А	6,6	7,5	±5	±2	20	0,02	3	10	125
2С166Б	6,6	7,5	±5	±1	20	0,02	3	10	125
2С166В	6,6	7,5	±5	±0,5	20	0,02	3	10	125
2С166Г	6,6	7,5	±5	±2	20	0,01	3	10	125
2С166Д	6,6	7,5	±5	±1	20	0,01	3	10	125
2С166Е	6,6	7,5	±5	±0,5	20	0,01	3	10	125
2С166Ж	6,6	7,5	±5	±2	20	0,005	3	10	125
2С166И	6,6	7,5	±5	±1	20	0,005	3	10	125
2С166К	6,6	7,5	±5	±0,5	20	0,005	3	10	125

Таблица 3.8. Предельные значения эксплуатации отечественных стабилизаторов и стабилиторов (продолжение)

Тип прибора	Значения параметров при $T = 25 \text{ }^\circ\text{C}$								$T_{к. \text{ max}} (T_n), \text{ }^\circ\text{C}$
	$U_{\text{ст. ном.}}, \text{ В}$	при $I_{\text{ст. ном.}}, \text{ мА}$	$\Delta U_{\text{ст.}}, \text{ \%}$	$\alpha_{\text{ст.}}, 10^{-3}, \text{ \%}/\text{C}$	$r_{\text{ст.}}, \text{ Ом}$	$\Delta U_{\text{ст.}}, 10^{-2}, \text{ \%}$	$I_{\text{ст. min}}, \text{ мА}$	$I_{\text{ст. max}}, \text{ мА}$	
КС190Б	9	10	$\pm 5$	$\pm 5$	25	0,02	5	15	125
КС190В	9	10	$\pm 5$	$\pm 2$	15	0,02	5	15	125
КС190Г	9	10	$\pm 5$	$\pm 1$	15	0,02	5	15	125
КС190Д	9	10	$\pm 5$	$\pm 0,5$	15	0,02	5	15	125
2С190Б	9	10	$\pm 5$	$\pm 5$	15	0,02	5	15	125
2С190В	9	10	$\pm 5$	$\pm 2$	15	0,02	5	15	125
2С190Г	9	10	$\pm 5$	$\pm 1$	15	0,02	5	15	125
2С190Д	9	10	$\pm 5$	$\pm 0,5$	15	0,02	5	15	125
2С190Е	9	10	$\pm 5$	$\pm 5$	15	0,01	5	15	125
2С190Ж	9	10	$\pm 5$	$\pm 2$	15	0,01	5	15	125
2С190И	9	10	$\pm 5$	$\pm 1$	15	0,01	5	15	125
2С190К	9	10	$\pm 5$	$\pm 0,5$	15	0,01	5	15	125
2С190Л	9	10	$\pm 5$	$\pm 2$	15	0,005	5	15	125
2С190М	9	10	$\pm 5$	$\pm 1$	15	0,005	5	15	125
2С190Н	9	10	$\pm 5$	$\pm 0,5$	15	0,005	5	15	125
2С190П	9	10	$\pm 5$	$\pm 1$	15	0,002	5	15	125
2С190Р	9	10	$\pm 5$	$\pm 0,5$	15	0,002	5	15	125
2С190С	9	10	$\pm 5$	$\pm 1$	15	0,001	5	15	125
2С190Т	9	10	$\pm 5$	$\pm 0,5$	15	0,001	5	15	125
2С190У	9	10	$\pm 5$	$\pm 0,5$	15	0,0005	5	15	125
2С190Ф	9	10	$\pm 5$	$\pm 0,5$	15	0,0003	5	15	125
КС191М	9,1	10	$\pm 5$	$\pm 5$	18	0,005	5	15	100
КС191Н	9,1	10	$\pm 5$	$\pm 2$	18	0,005	5	15	100
КС191П	9,1	10	$\pm 5$	$\pm 1$	18	0,005	5	15	100
КС191Р	9,1	10	$\pm 5$	$\pm 0,5$	18	0,005	5	15	100
КС191С	9,1	10	$\pm 4$	$\pm 5$	18	-	3	20	100
КС191Т	9,1	10	$\pm 4$	$\pm 2,5$	18	-	3	20	100
КС191У	9,1	10	$\pm 4$	$\pm 1$	18	-	3	20	100
КС191Ф	9,1	10	$\pm 4$	$\pm 0,5$	18	-	3	20	100
2С191М	9,1	10	$\pm 5$	$\pm 5$	15	0,005	5	15	125
2С191Н	9,1	10	$\pm 5$	$\pm 2$	15	0,005	5	15	125
2С191П	9,1	10	$\pm 5$	$\pm 1$	15	0,005	5	15	125
2С191Р	9,1	10	$\pm 5$	$\pm 0,5$	15	0,005	5	15	125
2С191С	9,1	10	$\pm 5$	$\pm 5$	15	0,02	3	20	125
2С191Т	9,1	10	$\pm 5$	$\pm 2,5$	15	0,02	3	20	125
2С191У	9,1	10	$\pm 5$	$\pm 1$	15	0,02	3	20	125
2С191Ф	9,1	10	$\pm 5$	$\pm 0,5$	15	0,02	3	20	125
КС221Б	11	10	+15	+20	15	-	5	33	125
КС221В	11	10	-15	-20	16	-	5	33	125
КС221Г	11	10	$\pm 10$	$\pm 10$	17	-	5	33	125
КС221Д	11	10	$\pm 10$	$\pm 5$	18	-	5	33	125
КС405А	6,2	0,5	$\pm 5$	$\pm 2$	200	0,1	0,1	60	85
2С483А	7,5	1	$\pm 5$	$\pm 0,2$	2	0,05	0,05	10	125

Таблица 3.8. Предельные значения эксплуатации отечественных стабилитронов и стабисторов (окончание)

Тип прибора	Значения параметров при $T = 25 \text{ }^\circ\text{C}$								$T_{к. макс} (T_n), \text{ }^\circ\text{C}$
	$U_{ст. ном.}, \text{ В}$	при $I_{ст. ном.}, \text{ мА}$	$\Delta U_{ст.}, \text{ \%}$	$\alpha_{ст.}, 10^{-3}, \text{ \%}/\text{C}$	$r_{ст.}, \text{ Ом}$	$dU_{ст.}, 10^{-2}, \text{ \%}$	$I_{ст. min}, \text{ мА}$	$I_{ст. max}, \text{ мА}$	
2С483Б	7,5	1	$\pm 5$	$\pm 0,1$	2	0,05	0,05	10	125
2С483В	7,5	1	$\pm 5$	$\pm 0,1$	2	0,005	0,05	10	125
2С483Г	7,5	1	$\pm 5$	$\pm 0,05$	2	0,005	0,05	10	125
2С483Д	7,5	1	$\pm 5$	$\pm 0,05$	2	0,002	0,05	10	125
КС515Г	15	10	$\pm 5$	$\pm 5$	25	0,5	3	31	100
КС520В	20	5	$\pm 5$	$\pm 1$	120	1	3	22	100
КС524Г	24	10	$\pm 5$	$\pm 5$	40	0,5	3	19	100
КС531В	31	10	$\pm 5$	$\pm 5$	50	—	3	15	60
КС539Г	39	10	$\pm 5$	$\pm 5$	65	0,5	3	17	100
КС547В	47	5	$\pm 5$	$\pm 1$	280	—	3	10	100
КС568В	68	5	$\pm 5$	$\pm 1$	400	1	3	10	100
КС582Г	82	5	$\pm 5$	$\pm 5$	480	0,5	3	8	100
КС596В	96	5	$\pm 5$	$\pm 1$	560	1	3	7	100

В табл. 3.9 представлены данные по цветовой маркировке отечественных стабилитронов и стабисторов.

Таблица 3.9. Маркировка стабилитронов и стабисторов

Тип элемента	Метка у выводов катода	Метка у выводов анода
Д814А1	—	Черное широкое кольцо
Д814Б1	—	Черное широкое и черное узкое кольца
Д814В1	—	Черное узкое кольцо
Д814Г1	—	Желтое широкое кольцо
Д814Д1	—	Три узких черных кольца
Д818А	Черная метка на торце корпуса + белое кольцо	—
Д818Б	Черная метка на торце корпуса + желтое кольцо	—
Д818В	Черная метка на торце корпуса + голубое кольцо	—
Д818Г	Черная метка на торце корпуса + зеленое кольцо	—
Д818Д	Черная метка на торце корпуса + серое кольцо	—
Д818Е	Черная метка на торце корпуса + оранжевое кольцо	—
КС107А	Серая метка на торце корпуса + красное кольцо	—
КС126А	Красное широкое + фиолетовое узкое + белое узкое кольца	—

Таблица. 3.9. Маркировка стабилитронов и стабилиторов (продолжение)

Тип элемента	Метка у выводов катода	Метка у выводов анода
KC126Б	Оранжевое широкое + черное узкое + белое узкое кольца	–
KC126В	Оранжевое широкое + оранжевое широкое + белое узкое кольца	–
KC126Г	Оранжевое широкое + белое узкое + белое узкое кольца	–
KC126Д	Желтое широкое + фиолетовое узкое + белое узкое кольца	–
KC126Е	Зеленое широкое + голубое узкое + белое узкое кольца	–
KC126Ж	Голубое широкое + красное узкое + белое узкое кольца	–
KC126И	Голубое широкое + серое узкое + белое узкое кольца	–
KC126К	Фиолетовое узкое + зеленое узкое + белое узкое кольца	–
KC126Л	Серое широкое + красное узкое + белое узкое кольца	–
KC126М	Белое широкое + коричневое узкое + белое узкое кольца	–
KC207А	Коричневое широкое + черное узкое + черное узкое кольца	–
KC207Б	Коричневое широкое + коричневое узкое + черное узкое кольца	–
KC207В	Коричневое широкое + красное узкое + черное узкое кольца	–
KC133А	Голубое кольцо	Белое кольцо
2С133А	Белое кольцо	Черное кольцо
KC133Г	Оранжевая метка на торце корпуса	–
KC139А	Зеленое кольцо	Белое кольцо
2С139А	Зеленое кольцо	Черное кольцо
KC147А	Серое или синее кольцо	Белое кольцо
2С147А	–	Черное кольцо
KC147Г	Зеленая метка на торце корпуса	–
KC156А	Оранжевое кольцо	Белое кольцо
2С156А	Оранжевое кольцо	Черное кольцо
KC156Г	Красная метка на торце корпуса	–
KC168А	Красное кольцо	Белое кольцо
2С168А	Красное кольцо	Черное кольцо
KC175Ж	Белое кольцо	–
KC182Ж	Желтое кольцо	–
KC191Ж	Красное кольцо	–
KC210Ж	Зеленое кольцо	–
KC211Ж	Серое кольцо	–
KC212Ж	оранжевое кольцо	–
KC213Ж	Черное кольцо	–
KC215Ж	Белое кольцо	Черное кольцо

Таблица. 3.9. Маркировка стабилитронов и стабисторов (продолжение)

Тип элемента	Метка у выводов катода	Метка у выводов анода
КС216Ж	Желтое кольцо	Черное кольцо
КС218Ж	Красное кольцо	Черное кольцо
КС220Ж	Зеленое кольцо	Черное кольцо
КС222Ж	Серое кольцо	Черное кольцо
КС224Ж	Оранжевое кольцо	Черное кольцо
2С175Ж	Голубая метка на торце корпуса + белое кольцо	–
2С182Ж	Голубая метка на торце корпуса + желтое кольцо	–
2С191Ж	Голубая метка на торце корпуса + красное кольцо	–
2С210Ж	Голубая метка на торце корпуса + зеленое кольцо	–
2С211Ж	Голубая метка на торце корпуса + серое кольцо	–
2С212Ж	Голубая метка на торце корпуса + оранжевое кольцо	–
2С213Ж	Голубая метка на торце корпуса + черное кольцо	–
2С215Ж	Голубая метка на торце корпуса + белое кольцо	Черное кольцо
2С216Ж	Голубая метка на торце корпуса + желтое кольцо	Черное кольцо
2С218Ж	Голубая метка на торце корпуса + красное кольцо	Черное кольцо
2С220Ж	Голубая метка на торце корпуса + зеленое кольцо	Черное кольцо
2С222Ж	Голубая метка на торце корпуса + серое кольцо	Черное кольцо
2С224Ж	Голубая метка на торце корпуса + оранжевое кольцо	Черное кольцо
КС405А	Серая метка на торце корпуса + красное кольцо	Черное кольцо
КС406А	Черная метка на торце корпуса + серое кольцо	Белое кольцо
КС406Б	Черная метка на торце корпуса + белое кольцо	Оранжевое кольцо
КС407А	Черная метка на торце корпуса + красное кольцо	Голубое кольцо
КС407Б	Черная метка на торце корпуса + красное кольцо	Оранжевое кольцо
КС407В	Черная метка на торце корпуса + красное кольцо	Желтое кольцо
КС407Г	Черная метка на торце корпуса + красное кольцо	Зеленое кольцо
КС407Д	Черная метка на торце корпуса + красное кольцо	Серое кольцо



**Таблица. 3.9. Маркировка стабилитронов и стабилиторов (окончание)**

<b>Тип элемента</b>	<b>Метка у выводов катода</b>	<b>Метка у выводов анода</b>
КС411А	Белое кольцо	Черное кольцо
КС411Б	Синее кольцо	Черное кольцо
КС508А	Черная метка на торце корпуса + оранжевое кольцо	Зеленое кольцо
КС508Б	Черная метка на торце корпуса + желтое кольцо	Белое кольцо
КС508В	Черная метка на торце корпуса + красное кольцо	Зеленое кольцо
КС508Г	Черная метка на торце корпуса + голубое кольцо	Белое кольцо
КС508Д	Черная метка на торце корпуса + зеленое кольцо	Белое кольцо
КС510А	Оранжевое кольцо	Зеленое кольцо
КС512А	Желтое кольцо	Зеленое кольцо
КС515А	Белое кольцо	Зеленое кольцо
КС516А	Зеленое кольцо	Черное кольцо
КС518А	Голубое кольцо	Зеленое кольцо
КС522А	Серое кольцо	Зеленое кольцо
КС527А	Черное кольцо	Зеленое кольцо

# Приложения

## 1. Новые полезные и актуальные интернет-ссылки для радиолюбителей и профессионалов

<http://www.ihtik.lib.ru>

Библиотека Ихтика. [http://link.2x4.ru/complit\\_22uanv2007/complit\\_22janv2007\\_№.rar](http://link.2x4.ru/complit_22uanv2007/complit_22janv2007_№.rar) (где вместо № надо подставить число в диапазоне 1–6993).

<http://www.rapidshare.com>

Известный всему радиолюбительскому миру «Рapidшара».

<http://www.1-clickshare.com>

«Кликшара», загрузка за один клик, прямые ссылки, английский язык.

<http://www.slil.ru>, <http://www.zalil.ru>

Три сайта одного направления: хранение файлов, файлообменники.

<http://www.ifolder.ru>, <http://www.filehoster.ru>, <http://www.dasbook.ifolder.ru>

Отличные бесплатные файлообменники, поддерживающие докачку файлов, даже если у вас пропадет коннект...

<http://www.zshare.net>

Оригинальные по сути файлы, картинки, аудио, видео, flash. Все по-английски. Если 60 суток файл не скачивают, он удаляется автоматически.

<http://www.allanda11.narod.ru/Electronica/Sborn/Sbor14.htm>

Часы на микросхемах-счетчиках K176 серии.

<http://www.smartelectron.ru/pr19.htm>

Интересные часы, совмещенные с метеостанцией.

<http://www.radiokot.ru/lab/controller/01>

Светодиодные часы. Кроме них, на сайте представлена большая коллекция схем и познавательных материалов по творчеству радиолюбителя.

<http://www.zachetka.ru/referat/downloads>

Разработка часов на микроконтроллере PIC16F84.

<http://www.radiodelanet.ru/content/view/377/38>

Все о современных радиостанциях и аксессуарах.

[http://www.radiorai.ru/shop/item\\_12517.html](http://www.radiorai.ru/shop/item_12517.html)

Синхронизатор «атомного» времени на микросхеме СМЕ8000 фирмы C-Max Time Solutions.

<http://animezis.com.ua/forum/index.php?showtopic=3129&view=getlastpost>

Культура и искусство, много хорошей музыки на разные вкусы.

<http://www.rusforum.com/showthread.php?postid=221685>

Русские за границей. Фильмы, мультфильмы, электроника.

<http://www.kaligraf.narod.ru>

Точные часы и таймеры на микроконтроллерах.

<http://www.radvam.hut1.ru/html/s011.html>

18 схем часов, таймеров, реле времени.

<http://www.andymrrc.narod.ru/radio/clock/clock.htm>

Пять схем электронных часов на микросхемах К145, К561, К176 серий.

<http://www.bobblick.com/techref/projects/propclock/propclock.html>

Часы – «пропеллер» на микроконтроллере и линейке светодиодов.

[http://www.grx.narod.ru/izm/ust\\_ind.htm](http://www.grx.narod.ru/izm/ust_ind.htm)

Таймер, часы, будильник... на двух перемигивающихся светодиодах.

[http://community.livejournal.com/ru\\_radio\\_electr/](http://community.livejournal.com/ru_radio_electr/)

Общество «Рожденный с паяльником», штаб-квартира в Санкт-Петербурге, но имеет много филиалов и сторонников в других городах и весях. В активе сайта конкурсы, полезные сведения «Радиотелефон превращается в наушники», «Почему на шлеме у Гагарина было два ДЭМШ?», «Как сэкономить в 5 раз на свет» и многое, многое другое.

<http://www.subscribe.ru/archive/tech.electronica/200610/29171728.html#6>

Противоугонные устройства.

<http://www.alarmshome.com>

Охранные системы для «умного дома».

<http://www.avtoklop.spb.ru/self.html>

GSM-сигнализация «Микроклоп».

<http://www.circuit-projects.com>

Каталог полезных схем охраны и индикации. В частности, детектор наличия дыма.

<http://www.creativelectro.spb.ru/projekts/projects.html>

Устройства охраны на базе таблеток I-button, в том числе с передачей сигнала «тревога» по сетям GSM.

<http://www.discovercituits.com/PDF-FILES/dooralm2.pdf>

Датчик присутствия человека возле неметаллической двери.

<http://www.electronicsonline.com>

10 000 радиоэлектронных схем «на все случаи жизни», из них 163 – по охранной тематике.

<http://www.guarda.ru>

600 (!) схем и описаний для самостоятельного изготовления охранных устройств, в том числе описания оконных датчиков ДИМК, В-2 и аналогичных.

<http://www.mutedu.freeseve.co.uk/circuits/Alarm/secur.htm>

Датчик по радиоканалу и еще 19 схем полезных охранных устройств.

<http://www.gsm-forum.name>

Форум по вопросам GSM-сигнализации.

<http://www.tehnomagazin.com/>

Schematics\_wiring\_diagram\_circuits\_schema

Зарубежные схемы по охранной тематике (33 схемы).

<http://www.zen22142.zen.co.uk/Circuits/Alarm/sekur.htm>

Электронные схемы охраны, в том числе для мотоцикла и мокика.

[http://community.livejournal.com/ru\\_electronics/nikola\\_tesla\\_ru/](http://community.livejournal.com/ru_electronics/nikola_tesla_ru/)

Опыты Николы Теслы.

[http://www.mikrocontroller.net/articles/ARM\\_MP3/AAC\\_Player/](http://www.mikrocontroller.net/articles/ARM_MP3/AAC_Player/)

Прямое декодирование файлов MP3 через микроконтроллер AT91SAM7S256 и ЦАП TLV320AIC23.

<http://www.ladyada.net/make/minty/hardware.html>

Микросхемы PIC18F452, STA013 (декодер) CS4340 (ЦАП).

<http://www.techdesign.be/projects/020/020.htm>

Микросхемы PIC18LF45x, VS1002D.

<http://www.teuthis.com/html/mp3.html>

Микросхемы PIC16LF877, VS1001K.

<http://www.institute-rt.ru/complect/32>

Интегральные MP3-плееры, демоплаты.

<http://www.pjrc.com/tech/mp3/>

Микросхемы Spartan Xilinx (ПЛИС), а также разные микроконтроллеры и ссылки на MP3-проекты.

<http://www.s1mp3.org/ru/>

Коррекция прошивок китайских MP3-плееров, известных как «S1 MP3 Player».

[http://www.hardwareportal.ru/articles/Delaem\\_statsionarnij\\_MP3\\_pleer\\_iz\\_starogo\\_kompyutera\\_svoimi\\_rukami/](http://www.hardwareportal.ru/articles/Delaem_statsionarnij_MP3_pleer_iz_starogo_kompyutera_svoimi_rukami/)

Самодельный MP3-плеер из старого компьютера.

<http://www.ixbt.com/multimtdia/m-p3cd-selfmade.shtml>

Другой вариант на ту же тему.

Один из лидеров по производству элементов Пельтье.

[www.kryotherm.ru](http://www.kryotherm.ru)

Много интересного о водяном охлаждении.

<http://mr-magneto.nm.ru>

Промышленные устройства на основе модулей Пельтье.

[www.gardi.ru](http://www.gardi.ru)

## **2. Взаимозамена и маркировка радиокомпонентов в SMD-корпусах для поверхностного монтажа**

Электронные компоненты для поверхностного монтажа прочно вошли в нашу жизнь и сегодня занимают в ней место не менее 80% от числа всех производимых промышленностью электронных приборов и устройств.

Чтобы ярко представить себе вид этих приборов, достаточно открыть корпус любого современного устройства, например мобильного телефона. В далеком прошлом элементы SMD можно было увидеть разве что в наручных электронных часах и разработках ВПК.

Сегодня любой современный печатный монтаж, сделанный производственным способом (то есть серийно), не мыслим без этих электронных компонентов, имеющих малые размеры и поверхностный монтаж на плате. От этого они получили названия планарных элементов в SMD (SMT) корпусах. Радиолюбители не всегда применяют эти элементы в своих конструкциях именно из-за трудностей монтажа (используются технология насыщения, минимизация и интеграция дорожек и мест для пайки элементов в печатном монтаже). А для ремонтников-профессионалов радиоаппаратуры и радиолюбителей с достаточными навыками и опытом SMD-элементы – основной рабочий материал.

Как правильно определять тип установленного в плату SMD-прибора по его маркировке, быстро и правильно найти замену...

Поскольку внешне многие корпуса похожи друг на друга, важнейшее значение приобретают их размеры, а для идентификации прибора необходимо знать не только маркировку, но и тип корпуса.

Возможны ситуации, когда фирмы-производители в один и тот же корпус под одной и той же маркировкой помещают разные по назначению и электрическим характеристикам приборы. Так, например, фирма Philips помещает в корпус SOT-323 мини-транзистор p-p-n проводимости BC818W и внешне маркирует его кодом H6, а фирма Motorola в такой же корпус с точно такой же маркировкой H6 помещает p-n-p транзистор MUN5131T1. Можно спорить о частоте таких совпадений, но они нередки и встречаются даже внутри одной фирмы-производителя.

Так, у фирмы Siemens в корпусе SOT-23 (аналог КТ-46) с маркировкой 1А выпускаются транзисторы BC846A и SMBT3904, естественно, с разными электрическими параметрами. Различить такие «совпадения» на плате можно только по опыту общения с ними, по окружающим их компонентам обвески и схеме включения.

К сожалению, иногда путаница наблюдается и с цоколевкой выводов элементов в одинаковых SMD-корпусах, выпускающихся разными фирмами. Это происходит из-за неоправданно большого (на сегодняшний день) количества действующих стандартов, регламентирующих требования к таким корпусам. Практически каждый производитель (особенно зарубежные) работает по своим стандартам. Это происходит потому, что органы стандартизации не успевают за новыми разработками производителей. От этой ситуации нельзя собрать качественный урожай, и путь прогресса уже идет к единой стандартизации корпусов и обозначений элементов для поверхностного монтажа. А пока встречаются элементы, корпус которых имеет стандартные размеры, но нестандартное название.

Корпуса с одним и тем же названием могут иметь разную высоту. Объясняется это необходимостью. Например, для конденсаторов в зависимости от емкости и рабочего напряжения, для резисторов – от величины рассеиваемой мощности.

В табл. 1–5 представлены транзисторы в корпусах SOT. SOT (SOD) – Small Outline Transistor (Diode) – означает «транзистор (диод) с миниатюрными выводами». Для поверхностного монтажа в миниатюрных корпусах представлен весь спектр дискретных элементов, а также различных микросборок.

Так, в корпуса SOT помещают не только транзисторы (в том числе изготовленные по технологии металл-окисел-полупроводник (МОП-полевые)) и диоды, но и оптоэлектронные приборы различного назначения, транзисторы с резисторами, составные и объединенные транзисторы Дарлингтона, стабилитроны, целые схемы ста-

биллизаторов напряжения, переключатели, коммутаторы и даже операционные усилители, где количество выводов не превышает трех.

Обозначения корпусов транзисторов для поверхностного монтажа не ограничиваются аббревиатурой SOT (SOD, SC-70, TO-253 и др.) – их основное отличие в типоразмерах и расположении выводов на корпусе.

Большинство из SMD-транзисторов можно заменить их аналогами, а также на обычные дискретные транзисторы, зная электрические характеристики возможных замен. Так, отечественные приборы КТ1329, КТ1330, КТ1331, КТ3139А9, КТ3130А9 и др. в SMD-корпусах можно в соответствующих случаях заменить дискретными транзисторами КТ502, КТ503, КТ3102, КТ3107, КТ3117 в соответствии с параметрами и проводимостью. Некоторые рекомендации по взаимозаменам транзисторов-аналогов в различных корпусах сведены в табл. 1.

**Таблица 1. Маркировка некоторых SMD-транзисторов и соответствие взаимозамен**

Обозначение на корпусе	Тип транзистора	Аналог по электрическим характеристикам
1S	MMBT3960	2N3960
1A	BC846A	BC546A
1B	BC846B	BC546B
1C	MMBTA20	MPSA20
1D	BC846	–
1E	BC847A	BC547A
1F	BC847B	BC547B
1G	BC847C	BC547C
1H	BC847	–
1J	BC848A	BC548A
1K	BC848B	BC548B
1L	BC848C	BC548C
1M	BC848	–
1P	FMMT2222A	2N2222A
1T	MMBT3960A	2N3960A
1X	MMBT930	–
1Y	MMBT3903	2N3903
2A	FMMT3906	2N3906
2B	BC849B	BC549B
2C	BC849C	BC549C / BC109C / MMBTA70
2E	FMMTA93	–
2F	BC850B	BC550B
2G	BC850C	BC550C
2J	MMBT3640	2N3640

Таблица 1. Маркировка некоторых SMD-транзисторов и соответствие взаимозамен (продолжение)

Обозначение на корпусе	Тип транзистора	Аналог по электрическим характеристикам
2K	MMBT8598	—
2M	MMBT404	—
2N	MMBT404A	—
2T	MMBT4403	2N4403
2W	MMBT8599	—
2X	MMBT4401	2N4401
3A	BC856A	BC556A
3B	BC856B	BC556B
3D	BC856	—
3E	BC857A	BC557A
3F	BC857B	BC557B
3G	BC857C	BC557C
3J	BC858A	BC558A
3K	BC858B	BC558B
3L	BC858C	BC558C
3S	MMBT5551	—
4A	BC859A	BC559A
4B	BC859B	BC559B
4C	BC859C	BC559C
4E	BC860A	BC560A
4F	BC860B	BC560B
4G	BC860C	BC560C
4J	FMMT38A	—
449	FMMT449	—
489	FMMT489	—
491	FMMT491	—
493	FMMT493	—
5A	BC807-16	BC327-16
5B	BC807-25	BC327-25
5C	BC807-40	BC327-40
5E	BC808-16	BC328-16
5F	BC808-25	BC328-25
5G	BC808-40	BC328-40
549	FMMT549	—
589	FMMT589	—
591	FMMT591	—
593	FMMT593	—
6A	BC817-16	BC337-16
6B	BC817-25	BC337-25
6C	BC817-40	BC337-40
6E	BC818-16	BC338-16
6F	BC818-25	BC338-25
6G	BC818-40	BC338-40
9	BC849BLT1	—



**Таблица 1. Маркировка некоторых SMD-транзисторов и соответствие  
взаимозамен (продолжение)**

Обозначение на корпусе	Тип транзистора	Аналог по электрическим характеристикам
AA	BCW60A	BC636 / BCW60A
AB	BCW60B	—
AC	BCW60C	BC548B
AD	BCW60D	—
AE	BCX52	—
AG	BCX70G	—
AH	BCX70H	—
AJ	BCX70J	—
AK	BCX70K	—
AL	MMBTA55	—
AM	BSS64	2N3638
AS1	BST50	BSR50
B2	BSV52	2N2369A
BA	BCW61A	BC635
BB	BCW61B	—
BC	BCW61C	—
BD	BCW61D	—
BE	BCX55	—
BG	BCX71G	—
BH	BCX71H	BC639
BJ	BCX71J	—
BK	BCX71K	—
BN	MMBT3638A	2N3638A
BR2	BSR31	2N4031
C1	BCW29	—
C2	BCW30	BC178B / BC558B
C5	MMBA811C5	—
C6	MMBA811C6	—
C7	BCF29	—
C8	BCF30	—
CE	BSS79B	—
CEC	BC869	BC369
CF	BSS79C	—
CH	BSS82B / BSS80B	—
CJ	BSS80C	—
CM	BSS82C	—
D1	BCW31	BC108A / BC548A
D2	BCW32	BC108A / BC548A
D3	BCW33	BC108C / BC548C
D6	MMBC1622D6	—
D7	BCF32	—
D8	BCF33	BC549C / BCY58 / MMBC1622D8
DA	BCW67A	—
DB	BCW67B	—

Таблица 1. Маркировка некоторых SMD-транзисторов и соответствие взаимозамен (продолжение)

Обозначение на корпусе	Тип транзистора	Аналог по электрическим характеристикам
DC	BCW67C	—
DE	BFN18	—
DF	BCW68F	—
DG	BCW68G	—
DH	BCW68H	—
E1	BFS17	BFY90 / BFW92
EA	BCW65A	—
EB	BCW65B	—
EC	BCW65C	—
ED	BCW65C	—
EF	BCW66F	—
EG	BCW66G	—
EH	BCW66H	—
F1	MMBC1009F1	—
F3	MMBC1009F3	—
FA	BFQ17	BFW16A
FD	BCV26	MPSA64
FE	BCV46	MPSA77
FF	BCV27	MPSA14
FG	BCV47	MPSA27
GF	BFR92P	—
H1	BCW69	—
H2	BCW70	BC557B
H3	BCW89	—
H7	BCF70	—
K1	BCW71	BC547A
K2	BCW72	BC547B
K3	BCW81	—
K4	BCW71R	—
K7	BCV71	—
K8	BCV72	—
K9	BCF81	—
L1	BSS65	—
L2	BSS70	—
L3	MMBC1323L3	—
L4	MMBC1623L4	—
L5	MMBC1623L5	—
L6	MMBC1623L6	—
L7	MMBC1623L7	—
M3	MMBA812M3	—
M4	MMBA812M4	—
M5	MMBA812M5	—
M6	BSR58 / MMBA812M6	2N4858
M7	MMBA812M7	—

**Таблица 1. Маркировка некоторых SMD-транзисторов и соответствие  
взаимозамен (окончание)**

Обозначение на корпусе	Тип транзистора	Аналог по электрическим характеристикам
O2	BST82	–
P1	BFR92	BFR90
P2	BFR92A	BFR90
P5	FMMT2369A	2N2369A
Q3	MMBC1321Q3	–
Q4	MMBC1321Q4	–
Q5	MMBC1321Q5	–
R1	BFR93	BFR91
R2	BFR93A	BFR91
S1A	SMBT3904	–
S1D	SMBTA42	–
S2	MMBA813S2	–
S2A	SMBT3906	–
S2D	SMBTA92	–
S2F	SMBT2907A	–
S3	MMBA813S3	–
S4	MMBA813S4	–
T1	BCX17	BC327
T2	BCX18	–
T7	BSR15	2N2907A
T8	BSR16	2N2907A
U1	BCX19	BC337
U2	BCX20	–
U7	BSR13	2N2222A
U8	BSR14	2N2222A
U9	BSR17	–
U92	BSR17A	2N3904
Z2V	FMMTA64	–
ZD	MMBT4125	2N4125

**Примечание.**

В табл. 1 представлен далеко не полный спектр активных приборов в SMD-корпусах. Не представлены, например, часто встречающиеся приборы с обозначениями LL, SG, AFR и др.

В табл. 2–5 представлены транзисторы в корпусах SOT.

Таблица 2. Маркировка SMD-транзисторов широкого применения

Наименование	Маркировка	Структура	U <sub>кз</sub> откр., В	I <sub>к</sub> const., мА	K передачи при I <sub>к</sub> = 2 мА и U <sub>кз</sub> = 5 В	F <sub>гр</sub> , МГц	Корпус
BC847C	1Gp	n-p-n	45	100	520-800	100	SOT 23
BC847B	1Fp	n-p-n	45	100	200-450	100	SOT 23
BC857C	3Gp	p-n-p	45	100	420-800	100	SOT 23
BC857B	3Fp	p-n-p	45	100	220 -475	100	SOT 23
BC847BW	1F	n-p-n	45	100	220- 475	100	SOT 323
BC857BW	3F	p-n-p	45	100	220-475	100	SOT 323
BC807-40	5C	p-n-p	45	500	250-600	100	SOT 23
BC817-40	6C	n-p-n	45	500	250-600	100	SOT 23
MMBT2222ALT1	1P	n-p-n	40	600	75-300	300	SOT 23
MBT3904LT1	1AM	n-p-n	40	200	100-300	100	SOT 23
MBT3906LT1	2A	p-n-p	40	200	100-300	100	SOT 23
BC850CW	2G	n-p-n	45	100	520-800	100	SOT 323
BC860CW	4G	p-n-p	45	100	420-700	100	SOT 323
MMBT42LT1	1D	n-p-n	300	500	> 25	50	SOT 23
MMBT92LT1	2D	p-n-p	-300	500	> 25	50	SOT 23

Таблица 3. Маркировка транзисторных SMD-сборок

Наименование	Маркировка	Структура	U <sub>кз</sub> откр.	I <sub>к</sub> const., мА	Коэффициент передачи при I <sub>к</sub> = 2 мА и U <sub>кз</sub> = 5 В	Корпус
BC847CDW1T1	1G	2 n-p-n	45	100	420-800 при 100 МГц	SOT363
BC857BDW1T1	3G	2 p-n-p	45	100	420-800 при 100 МГц	SOT363
UFM5N	F5	p-n-p и n-p-n	12 и 50	500 и 30	270-680 и min 68 при 250 МГц	SOT363

Таблица 4. Маркировка высоковольтных SMD-транзисторов

Наименование	Маркировка	Uкэ отк., В	Iк макс., мА	Коэффициент передачи на 900 МГц	Граничная частота	Корпус
BFR93A	R2	12	35	13 дБ при Iк = 30 мА, Uкэ = 8 В	5 ГГц	SOT23
BFR92A	P2p	15	25	14 дБ при Iк = 15 мА, Uкэ = 10 В	5 ГГц	SOT23
BFS17A	E2p	15	25	13 дБ при Iк = 14 мА, Uкэ = 10 В	2,8 ГГц	SOT23
BFG520/XR	N48	15	70	19 дБ при Iк = 20 мА, Uкэ = 6 В	9 ГГц	SOT143R
BFG591	BFG591	20	200	13 дБ при Iк = 70 мА, Uкэ = 12 В	7 ГГц	SOT223
BFG541	BFG541	20	120	15 дБ при Iк = 40 мА, Uкэ = 8 В	9 ГГц	SOT223

Таблица 5. Обозначения полевых (МОП) SMD-транзисторов

Маркировка	Тип прибора	Маркировка	Тип прибора
701	2N7001	V01	VN50300T
702	SN7002	V02	VN0605T
6A	MMBF4416	V04	VN45350T
6B	MMBF5484	V0AJ	TP610T
6C	MMBFU310	V50	VP0610T
6D	MMBF5457	C93	SST4393
6E	MMBF5460	H16	SST4416
6F	MMBF4860	I08	SST108
6G	MMBF4393	I09	SST109
6H	MMBF5486	I10	SST110
6J	MMBF4391	M4	BSR56
6K	MMBF4932	M5	BSR57
6L	MMBF5459	M6	BSR58
6T	MMBFJ310	P01	SST201
6W	MMBFJ175	P02	SST202
6Y	MMBFJ177	P03	SST203
6Z	MMBF170	P04	SST204
B08	SST6908	S14	SST5114
B09	SST6909	S15	SST5115
B10	SST6910	S16	SST5116
C11	SST111	S70	SST270
C12	SST112	S71	SST271
C13	SST113	S74	SST174
C41	SST4091	S75	SST175
C42	SST4092	S76	SST176
C43	SST4093	S77	SST177
C59	SST4859	SA	BSS123
C60	SST4860	SS	BSS138
C61	SST4861	TV	MMBF112
C91	SST4391	Z08	SST308
C92	SST4392	Z09	SST309

# Заключение

---

В многообразии электронных устройств, предлагаемых сегодня в магазинах, воистину легко затеряться, если не иметь представления о достоинствах и недостатках конкретного аппарата. Любая электронная система, какой бы «продвинутой» она ни казалась, со временем неизбежно устаревает морально. Причем зачастую еще задолго до своего «физического» износа. Чтобы быть в авангарде технологий, ее приходится заменять новой, более современной, чтобы потом снова приобрести еще более новую. Так происходит с сотовыми телефонами, фото- и видеокамерами, компьютерами... Быстрыми темпами в нашу жизнь входят нетрадиционные источники энергии, такие как солнечные элементы и батареи.

Тем не менее «жизнь» многих электронных устройств можно легко продлить, наделив их новыми возможностями или модернизировав изначальные параметры.

Одна из современных тенденций в питании электронных устройств – создание миниатюрных импульсных источников, уместящихся в «спичечном коробке».

Среди многочисленных фирм, занимающихся разработкой, установкой, наладкой и модернизацией источников питания, радиолюбители занимают свою нишу и способны сделать устройство своими руками.

Среди электрических схем, рекомендованных в книге для повторения, часть реализована с применением популярных микросхем, а часть – на дискретных электронных компонентах. Все представленные в книге конструкции успешно прошли испытания, годами могут работать по 24 часа в сутки, не требуя какой-либо профилактики.

В первой главе рассматриваются практические рекомендации по самостоятельному конструированию ИИП на современной элементной базе. Приводятся сравнительные характеристики, рассматриваются параметры надежности ИИП.

Вторая глава призвана помочь реанимировать и восстановить те электронные устройства, которые по разным причинам вышли из строя, стали работать со сбоями или устарели морально. В частности, речь идет о восстановлении светильников с лампами дневного света.

Радиолюбительские рекомендации, в том числе справочного характера, описаны в третьей главе книги. Они помогут читателям подобрать элементную базу для ИИП, заменить неисправный элемент.

В приложениях даны справочные данные и ссылки на полезную информацию в сети Интернет.

Важно также отметить, что большинство из рекомендованных для повторения устройств не нуждаются в налаживании и начинают работать сразу после сборки (при правильном монтаже и исправных элементах). Для сборки и повторения предлагаемых конструкций не требуется наличие приборов контроля – осциллографов и тестеров. Нужно всего лишь посетить один из многочисленных магазинов радиотоваров для приобретения недорогих радиокомпонентов и иметь дома паяльник. Хотя большинство элементов для высоковольтных каскадов ИИП можно взять из неисправных энергосберегающих ламп – так, как это рекомендовано в главе 2.

# Литература

Алешин П. А. Звукоизлучатели фирмы Ningbo East Electronics Ltd. // Схемотехника. – 2002. – № 6. – С. 57.

В помощь радиолюбителю. Вып. 1: Информационный обзор для радиолюбителей / А. П. Кашкаров (Электроника своими руками). – М.: NT Press, 2005. – С. 32, 54.

Башкиров В. IRPLLNR – высокоэффективный электронный балласт для флуоресцентных ламп на базе драйвера IR2153. – М.: Компоненты и технологии, 2000. – № 5.

Давиденко Ю. Н. Настольная книга домашнего электрика. – СПб.: ЦИТ, 2005.

Денисьева О. М., Мирошников Д. Г. Средства связи для «последней мили». – 3-е изд. – М.: Эко трендз, 2000.

Долуханов М. П. Распространение радиоволн. – 4-е изд. – М.: Энергия и связь, 1992.

Евсеев Ю. А., Крылов С. С. Симисторы и их применение в бытовой электроаппаратуре. – М.: Энергоатомиздат, 1990.

Каталог новых электронных компонентов фирмы Симметрон – печатные выпуски май – сентябрь 2006. Информация справочника новых компонентов. URL: [www.symmetron.ru](http://www.symmetron.ru)

Кашкаров А. П. Некоторые отечественные аналоги популярных зарубежных радиоэлементов // Радиолюбитель. – 2003. – № 2. – С. 31.

Кашкаров А. П. Радиолюбители выживают, но не сдаются... // Радиоаматор. – 2006. – № 6. – С. 12.

Кашкаров А. П. Бестрансформаторный стабилизированный источник питания на интегральном стабилизаторе // Радиолюбитель. – 2006. – № 12. – С. 45.

Маркировка электронных компонентов. – 9-е изд. – М.: Додэка – XXI, 2004.

Малашевич Б. Отечественные ДМОП-транзисторы // Схемотехника. – 2002. – № 7. – С. 53–54.

Микросхема IR2101 // Радиомир. – 2004. – № 10. – С. 41.

Кашкаров А. П. Современные предохранители и термостаты для радиоаппаратуры и бытовой техники // Радиолюбитель. – 2006. – № 8. – С. 32.

Микросхемы для импульсных источников питания. – М.: Додэка, 2000.

Сидоров И. Н., Скорняков С. В. Трансформаторы бытовой радиоэлектронной аппаратуры. – М.: Радио и связь, 1994.

Стандартные симисторы фирмы Philips Semiconductor // Радиоаматор – Электрик. – 2002. – № 9. – С. 16–17.

Тиристоры фирмы Motorola // Схемотехника. – 2002. – № 1. – С. 62–63.

Технические условия на тиристоры КУ221 АО. 336. 419 ТУ.

Транзисторы средней и большой мощности. – М.: Радио и связь, 1994.

Цифровые и аналоговые интегральные микросхемы: справочник. – М.: Радиолюбитель, 2000.

Шило В. Л. Популярные микросхемы КМОП. – М.: Ягуар, 1993.

Юшин А. М. Оптоэлектронные приборы и их зарубежные аналоги: справочник: в 5 т. – М.: РадиоСофт, 2003.

Якубовский С. В., Баранов Н. А. и др. Аналоговые и цифровые интегральные микросхемы. – М.: Радио и связь, 1985.



Книги издательства «ДМК Пресс» можно заказать в торгово-издательском холдинге «АЛЬЯНС-КНИГА» наложенным платежом, выслав открытку или письмо по почтовому адресу: **123242, Москва, а/я 20** или по электронному адресу: **orders@alians-kniga.ru**.

При оформлении заказа следует указать адрес (полностью), по которому должны быть высланы книги; фамилию, имя и отчество получателя. Желательно также указать свой телефон и электронный адрес.

Эти книги вы можете заказать и в Internet-магазине: **www.alians-kniga.ru**.

Оптовые закупки: тел. **(495) 258-91-94, 258-91-95**; электронный адрес **books@alians-kniga.ru**.

Кашкаров Андрей Петрович,  
Колдунов Андрей Станиславович

## **Оригинальные конструкции источников питания**

Главный редактор *Мовчан Д. А.*  
dm@dmk-press.ru

Корректор *Синяева Г. И.*

Верстка *Чаннова А. А.*

Дизайн обложки *Мовчан А. Г.*

Подписано в печать 17.05.2010. Формат 60×90 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>.

Гарнитура «Петербург». Печать офсетная.

Усл. печ. л. 10. Тираж 1000 экз.

№

Web-сайт издательства: [www.dmk-press.ru](http://www.dmk-press.ru)



## ОРИГИНАЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ ИСТОЧНИКОВ ПИТАНИЯ

Написанное простым и доступным языком о сложном мире импульсных источников питания, это издание позволит радиолюбителям легко разобраться в схемотехнике и самим стать конструкторами источников питания для собственных задач. В книге рассматривается принцип действия импульсных источников питания, сравниваются функциональные возможности различных промышленных и самодельных ИИП, подробно обсуждается оптимизация уже готовых устройств и узлов, дающая основную экономию бесценного времени! Вы научитесь правильно конструировать «импульсники» для самых разных ситуаций, а практические примеры и рекомендации дадут возможность использовать их в своей практической деятельности для питания электронных устройств — от маломощных адаптеров для сотовых телефонов и источников люминесцентных ламп до радиостанций и трансиверов с током потребления более 25 А.

Авторы демонстрируют наиболее распространенные ошибки при проектировании импульсных источников питания и показывают, как их избежать. В Приложениях даны справочные данные и другая полезная информация.

Книга для широкого круга читателей.

### Internet-магазин

[www.aliants-kniga.ru](http://www.aliants-kniga.ru)

### Книга-почтой:

Россия, 123242, Москва, а/я 20

e-mail: [orders@aliants-kniga.ru](mailto:orders@aliants-kniga.ru)

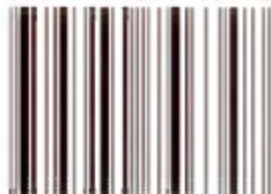
### Оптовая продажа:

«Альянс-книга»

(495)258-9194, 258-9195

e-mail: [books@aliants-kniga.ru](mailto:books@aliants-kniga.ru)

978-5-94074-634-8



9 785940 746348

