

ПРАКТИЧЕСКАЯ СХЕМОТЕХНИКА

ИСТОЧНИКИ ПИТАНИЯ И СТАБИЛИЗАТОРЫ



2

ISBN 5-94271-005-8



9 785942 710057

М. А. Шустов

**Практическая схемотехника
Источники питания и стабилизаторы
Книга 2**

**«Альтекс-А»
Москва 2002**

Практическая схемотехника

Источники питания и стабилизаторы

Книга 2

Уважаемые читатели! В издании, которое вы держите в руках, рассмотрены и систематизированы схемы и принципы работы источников питания и стабилизаторов напряжения — такого класса устройств, без которых не обходится ни одна современная радиоэлектронная конструкция.

В книге собраны схемы основных и наиболее интересных или оригинальных вариантов трансформаторных и бестрансформаторных стабилизированных и нестабилизированных источников питания, описанных в радиотехнической литературе за последние сорок лет.

Предлагаемый сборник может пригодиться в качестве своеобразного справочного пособия специалистам и радиолюбителям различного уровня подготовки, а также послужить отправной точкой для создания или совершенствования собственных радиоэлектронных устройств.

Содержание

Введение	4
1. Схемы выпрямителей	5
2. Трансформаторные источники питания	18
3. Умножители напряжения	33
4. Фильтры в источниках питания.	38
5. Стабилизаторы постоянного тока	58
6. Стабилизаторы постоянного напряжения общего назначения	72
7. Формирователи искусственной средней точки	90
8. Низковольтные стабилизаторы постоянного напряжения	93
9. Стабилизаторы повышенного постоянного напряжения	102
10. Применение специализированных микросхем для стабилизации тока и напряжения	106
11. Стабилизаторы переменного напряжения	129
12. Трансформаторные источники питания с гасящим конденсатором	145
13. Бестрансформаторные сетевые источники стабилизированного питания с гасящим конденсатором	159
14. Расчет бестрансформаторных источников питания с гасящим конденсатором.	175
Приложение. Техника безопасности при выполнении работ по налаживанию и ремонту источников питания	177
Список литературы	179
Рекомендуемая литература	188

Введение

Источники электрического питания являются неотъемлемой частью любого радиоэлектронного устройства, и, пожалуй не будет преувеличением, главной, поскольку без источника питания (источника энергии) любая схема просто не станет работать.

В качестве источников питания используются источники постоянного или переменного тока. Источники постоянного тока, позволяющие непосредственно осуществлять передачу энергии к потребителю без дополнительных преобразований, — это, как правило, источники, преобразующие химическую, механическую, тепловую или иную энергию в электрическую. Наибольшее распространение из них получили химические источники электрической энергии. Однако наиболее дешевым и общедоступным источником электрической энергии была и остается электрическая сеть переменного тока.

Использование сетевых источников переменного тока (220 В 50 Гц) в бытовых устройствах — потребителях электрической энергии — требует преобразования в необходимый потребителю постоянный или переменный ток с определенными свойствами (напряжение, ток, стабильность и т.д.). Для преобразования сетевого напряжения используется ряд устройств, которые в отдельных применениях не являются обязательными: это может быть стабилизатор переменного напряжения, трансформатор, выпрямитель, сглаживающий фильтр, стабилизатор постоянного напряжения или тока.

Ниже, в порядке значимости этих устройств, на основе анализа отечественных и зарубежных литературных источников, а также с учетом опыта собственных разработок будут описаны основные принципы их работы и показана эволюция схемотехнических решений из числа наиболее типовых, совершенных или оригинальных.

Автор надеется, что приводимые в книге практические схемы узлов могут послужить своеобразным справочным пособием для любителей и профессионалов, совершенствующих свои познания или накапливающих опыт в области создания или модернизации источников питания.

1. Схемы выпрямителей

Для выпрямления переменного электрического тока чаще всего используют полупроводниковые диоды. Эти приборы обладают свойством вентиля: они способны практически без потерь пропускать электрический ток в одном направлении и совершенно не проводить его в другом.

Для того чтобы можно было графически представить свойства двухполюсника, например, полупроводникового диода, используют вольт-амперную характеристику (ВАХ). ВАХ устанавливает связь между приложенным к исследуемому прибору напряжением и током через него.

В идеале вольт-амперная характеристика полупроводникового диода должна была бы выглядеть следующим образом (рис. 1.1).

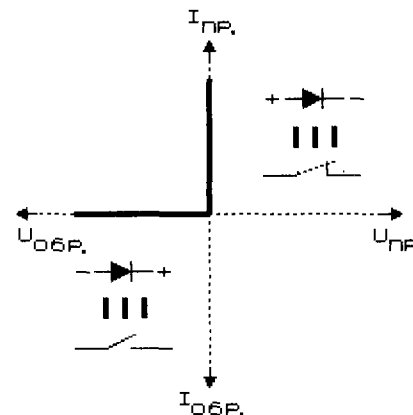


Рис. 1.1. Вольт-амперная характеристика идеального диода

Для «прямого» направления тока идеальный полупроводниковый диод должен был бы представлять короткое замыкание, для «обратного» — разрыв цепи.

Промежуточное положение между идеальной и реальной вольт-амперной характеристикой полупроводникового диода занимает идеализированная ВАХ (показана на рис. 1.2).

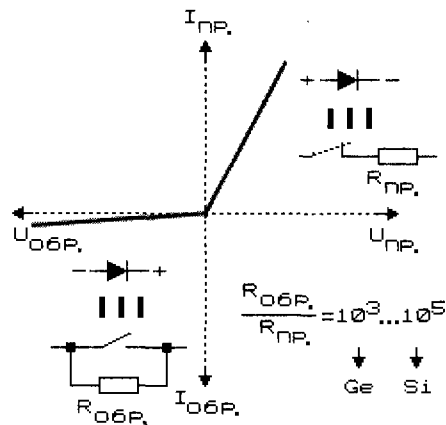


Рис. 1.2. Вольт-амперная характеристика идеализированного диода

В соответствии с этим рисунком для «прямого» направления тока полупроводниковый диод представляет собой небольшое сопротивление R_{DP} , величина которого не зависит от величины приложенного напряжения.

Для «обратного» направления тока полупроводниковый диод представляет собой большое по величине постоянное сопротивление $R_{обр}$, которое также не зависит от напряжения.

Обычно для полупроводниковых диодов, изготовленных из различных материалов, отношение этих сопротивлений ($R_{обр}/R_{DP}$) находится в пределах $10^3 \dots 10^5$.

ВАХ полупроводниковых диодов как в прямом, так и в обратном направлениях протекания тока аппроксимируются экспоненциальными функциями. На практике совпадение расчетных (теоретических) и экспериментальных характеристик наблюдается лишь на ограниченных участках кривых, например, в области малых токов. В области прямых больших токов (напряжений) зависимость тока от напряжения практически линейна. На рис. 1.3 показаны реальные *ВАХ* полупроводниковых диодов [1.1].

В последние десятилетия в отечественной справочной литературе избегают приводить внешний вид *ВАХ* полупроводниковых приборов. И это не случайно. Вольт-амперные характеристики не очень хорошо воспроизводимы: они отличаются даже у приборов

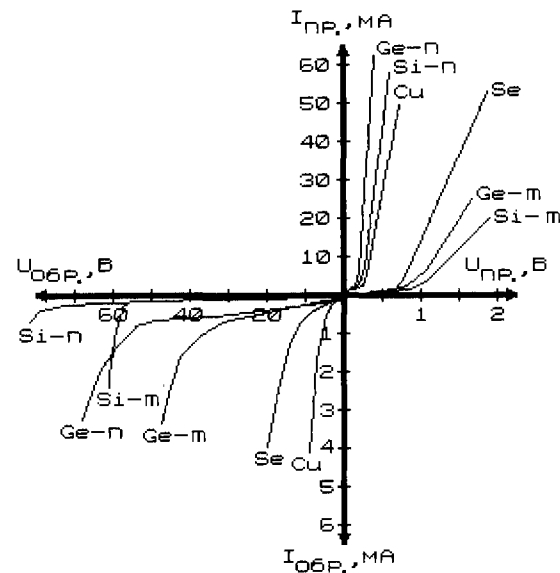


Рис. 1.3. *ВАХ* полупроводниковых диодов, выполненных из разных материалов и разными методами (точечные — *m*, плоскостные — *n*). Монокристаллические: германиевые — *Ge*, кремниевые — *Si*; поликристаллические: меднозакисные (купроксные) — Cu_2O ; селеновые — *Se*

одной партии. Кроме того, *ВАХ*, особенно для силовых низкочастотных полупроводниковых приборов, сильно зависят от частоты, от сопротивления нагрузки, его резистивно-емкостных и иных характеристик.

Тем не менее, свойства полупроводниковых приборов необходимо каким-то образом описывать. В этой связи в паспортах на них и справочных руководствах принято указывать параметры характерных точек на *ВАХ*, полученные путем статистического усреднения данных по большой выборке однотипных полупроводниковых приборов испытанных по *стандартизированной* методике измерений, в пределах использования которой эти данные достаточно воспроизводимы.

К наиболее важным параметрам, характеризующим избранные и наиболее практически значимые точки *ВАХ*, принято относить:

Прямой ток ($I_{пр.}$) — среднее значение тока через открытый диод, при котором обеспечивается надежный режим работы.

Прямое падение напряжения ($U_{пр.}$) — напряжение на диоде при прохождении прямого тока $I_{пр.}$.

Обратный ток ($I_{обр.}$) — ток через диод при определенном обратном напряжении.

Максимальное обратное напряжения ($U_{обр.}$) — напряжение, соответствующее безопасной области работы, после превышения которого может произойти повреждение прибора.

Все эти сведения для выпрямительных диодов обычно приводят для области низких частот, а именно, 50 Гц. При повышенных частотах на работу полупроводниковых силовых приборов начинают заметно влиять емкости переходов, что можно наблюдать, например, на характеристикографе. Более того, емкости переходов изменяются в несколько раз при разном уровне приложенного напряжения, а также существенно разнятся при прямом и обратном включении. На практике с ростом частоты диоды теряют выпрямительные свойства и больше напоминают резистивно-емкостную цепочку, поэтому при выборе диода для той или иной схемы необходимо учитывать его частотные характеристики.

Как следует из рис. 1.3, *BAX* различных полупроводниковых приборов заметно отличаются друг от друга. Эти различия часто используют во благо при создании полупроводниковых приборов, предназначенных для выполнения специфических функций. В частности, селеновые выпрямители не могут составить конкуренцию кремниевым или германиевым, поскольку рассчитаны на малый прямой ток и малое обратное напряжение, зато свойства их более воспроизводимы, что позволяет применять селеновые выпрямители при параллельном или последовательном их включении без использования уравнивающих резисторов (обычно для создания слаботочных высоковольтных выпрямительных столбов).

Меднозакисные выпрямители в настоящее время практически не используют, однако их и сейчас можно встретить в некоторых измерительных приборах.

Наиболее широкое распространение в последнее время получили кремниевые и, в меньшей мере, германиевые полупроводниковые диоды. Кремниевые выгодно отличаются тем, что способны

работать при повышенных температурах, вплоть до 100...130°C. Они имеют меньшие обратные токи, допускают работу при более высоких обратных напряжениях — до 800...1200 В. Германиевые диоды имеют малое прямое падение напряжения на переходе, см., например, рис. 1.3, но работают до температур не выше 70°C.

Кроме перечисленных выпрямительные функции могут выполнять и другие полупроводниковые приборы, например на основе арсенида галлия *GaAs* или антимонида индия *InSb*.

Статическую *BAX* полупроводникового диода (*BAX* при постоянном токе) в области прямых токов можно измерить по точкам в схеме, показанной на рис. 1.4. Величина резистора *R2*, ограничивающего ток через испытуемый диод, выбирается исходя из значения максимального прямого тока.

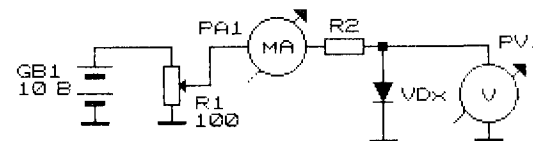


Рис. 1.4. Схема для измерения по точкам прямой ветви *BAX* полупроводникового диода

Отметим, что результат измерений *BAX* на постоянном токе чаще всего может оказаться неточным: при больших токах будет происходить разогрев полупроводникового перехода, а с ростом температуры экспоненциально возрастает и ток. Поэтому фактические данные измеренной *BAX* будут соответствовать более высокой температуре. Поскольку изменение температуры перехода происходит постепенно и зависит от массы и теплофизических характеристик материалов диода, результат будет зависеть от продолжительности измерения, а также от того, при увеличении или понижении тока (напряжения) происходят измерения.

Для исследования обратной ветви *BAX* по ее отдельным точкам можно воспользоваться схемой на рис. 1.5. Величина подаваемого на полупроводниковый диод напряжения ограничена максимальным значением обратного напряжения для исследуемого прибора. Предельную величину обратного тока через диод ограничивает резистор *R2*.

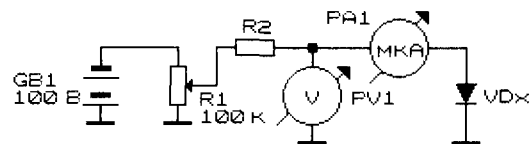


Рис. 1.5. Схема для измерения по точкам обратной ветви *VAX* полупроводникового диода

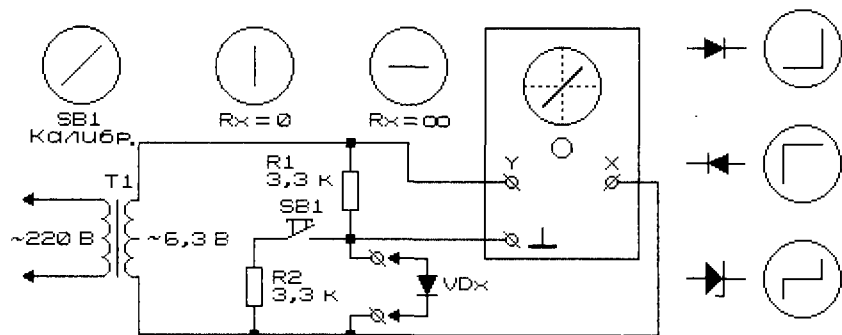


Рис. 1.6. Схема характериографа для наблюдения вольт-амперных характеристик диодов

При исследовании обратной ветви *VAX* на постоянном токе разогрев перехода в процессе эксперимента также сказывается на результате измерений.

Динамическую *VAX* диода или иного вентильного элемента на частоте 50 Гц можно получить при помощи простейшего характериографа, схема которого изображена на рис. 1.6 [1.2, 1.3].

Перед началом измерений (до подключения испытуемого диода) контролируют работу устройства: при коротком замыкании клемм на экране осциллографа должна наблюдаться вертикальная линия, при размыкании — горизонтальная. При нажатой кнопке SB1 на экране должна наблюдаться наклонная линия (в зависимости от выбранной чувствительности осциллографа по осям).

Примеры наблюдаемых на экране *VAX* полупроводниковых диодов, включенных в прямом и обратном направлении, а также низковольтного стабилитрона, также приведены на рис. 1.6. При разной чувствительности осциллографа по вертикали и горизонтали

можно получить плавные кривые, соответствующие области малых напряжений на полупроводниковом диоде.

Другой вариант схемы характериографа показан на рис. 1.7. На вход X осциллографа подается напряжение переменного тока (координата напряжения). По оси OY отображается величина, пропорциональная току через исследуемый диод VD_x .

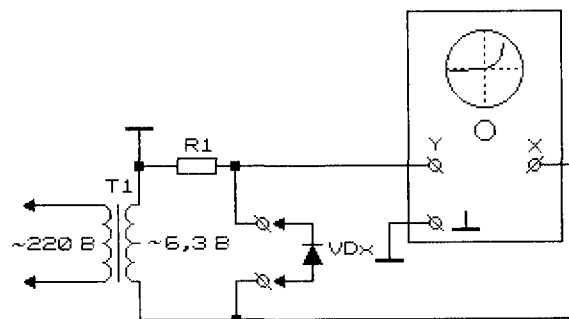


Рис. 1.7. Схема характериографа (вариант 2) для наблюдения *VAX* полупроводниковых диодов

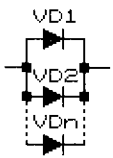
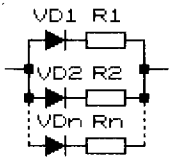
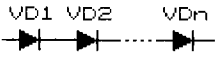
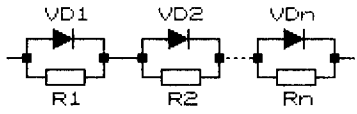
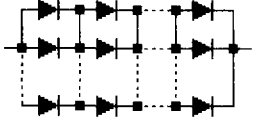
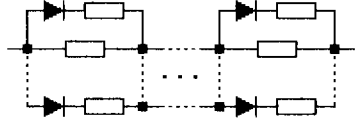
Для изучения частотных свойств полупроводниковых приборов питать схему синусоидальным напряжением можно не через трансформатор, как это показано на рис. 1.6 или 1.7, а от низкочастотного генератора, обеспечивающего достаточное выходное напряжение. Более сложные устройства для исследования динамических *VAX* полупроводниковых диодов содержат схемные узлы для масштабирования обратной ветви *VAX*.

Поскольку *VAX* полупроводниковых диодов даже одного типа заметно отличаются друг от друга, для того, чтобы объединить свойства нескольких диодов, например, соединить их так, чтобы увеличить максимальный прямой ток либо повысить максимальное обратное напряжение, используют специальные приемы (см. таблицу 1.1).

Для увеличения рабочего тока совершенно неверно будет просто объединить группу диодов параллельно. Непременно окажется, что по одному из диодов потечет больший ток в силу различий *VAX*. Это вызовет разогрев его перехода, что, в свою очередь, сделает *VAX* диода еще более крутой, ток через диод возрастет еще больше. В итоге полупроводниковый переход

разрушится, после чего процесс выхода из строя последовательно повторится на остальных диодах. Чтобы избежать этого, при параллельном включении диодов последовательно с каждым диодом включают сопротивление (для выравнивания токов через них) — в зависимости от тока от долей до десятков Ом.

Таблица 1.1. Схема суммирования свойств полупроводниковых диодов

Суммирование	Неверно	Верно
а) токов $I_{\Sigma} = \sum_1^n I_i$ $R1=R2=...=Rn$		
б) напряжений $U_{\Sigma} = \sum_1^n U_i$ $R1=R2=...=Rn$		
в) напряжений и токов		

Аналогичная ситуация складывается и при последовательном соединении полупроводниковых диодов (для увеличения обратного напряжения). К диодам последовательной цепочки будет приложена разная часть общего напряжения (из-за различий ВАХ). В итоге по крайней мере одно самое слабое звено этой цепочки будет повреждено, а схема перестанет работать. Для выравнивания падений напряжения на цепочке из диодов параллельно им включают резисторы равного сопротивления (обычно от 100 до 1000 кОм). Чем ниже величина сопротивления, тем равномернее будет распределение напряжений, однако, как и в предыдущем случае, включение дополнительных резисторов в определенной мере ухудшает выпрямительные свойства сборки диодов.

В области повышенных частот на распределение напряжений в цепочке полупроводниковых приборов начинают влиять также и емкостные свойства диодов. В этой связи для выравнивания резистивно-емкостных характеристик цепочки диодов используют резистивно-емкостные цепи, подключаемые параллельно диодам (рис. 1.8 и 1.9).

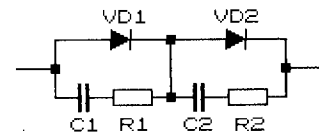


Рис. 1.8. Выравнивание свойств полупроводниковых диодов для работы на повышенных частотах

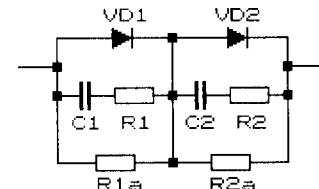


Рис. 1.9. Выравнивание свойств полупроводниковых диодов резистивно-емкостными цепочками

Для современной радиоэлектроники характерны низкие напряжения электропитания. Высокие потери в диодах выпрямителя даже при напряжениях в единицы вольт обуславливают заметное снижение коэффициента полезного действия вторичных источников питания [1.4].

Потери в низковольтных выпрямителях могут быть уменьшены за счет замены традиционных диодов диодами с барьером Шотки, имеющими уменьшенное прямое падение напряжения (0,1...0,4 В) и время восстановления менее 200 нс. Последнее позволяет эффективно использовать их в низковольтных выпрямителях на сравнительно высоких частотах. Основным недостатком диодов с барьером Шотки следует считать их большой обратный ток [1.4].

Другим выпрямительным элементом, решающим те же задачи, что и диод Шотки, является обращенный диод. Принцип действия обращенного диода близок к туннельному. Прямая ветвь вольт-амперной характеристики обращенного диода имеет обычный вид

ВАХ диода, а обратная ветвь формируется за счет туннельного эффекта, что приводит к резкому увеличению обратного тока при возрастании напряжения (рис. 1.10). Если амплитуда выпрямляемого напряжения оказывается меньше прямого напряжения $U_{пр}$ (рис. 1.10), то обращенный диод может выполнять функцию выпрямительного элемента с малыми потерями [1.4].

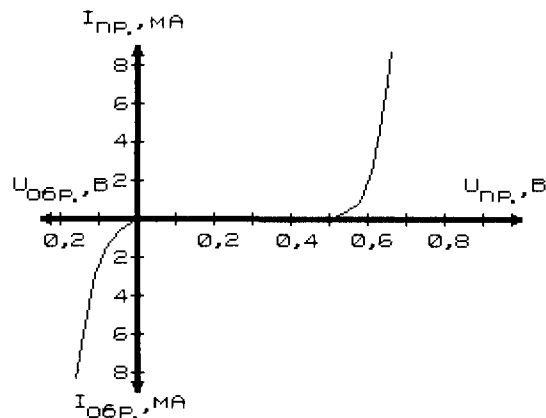


Рис. 1.10. Вольт-амперная характеристика обращенного диода

На рис. 1.11 показаны полученные экспериментально *ВАХ* диодов [1.4]. Как видно, обращенный диод (при обратном включении) имеет меньшее падение напряжения по сравнению не только с диодом из того же материала (арсенида галлия), но и по сравнению с диодом из материала с более узкой запрещенной зоной (кремниевый диод). Приведенные кривые свидетельствуют о преимуществах обращенного диода при выпрямлении низких напряжений (менее 1 В) [1.4].

Обращенный диод имеет хорошие частотные свойства, так как у него отсутствует эффект накопления неосновных носителей заряда. *ВАХ* обращенного диода слабо зависит от температуры и от действия радиации; диод имеет малый уровень низкочастотного шума.

Как следует из *ВАХ* наиболее широко распространенных кремниевых диодов, они начинают проявлять свои выпрямительные свойства при напряжении более 500...600 мВ: по мере превышения этого порога ток на выходе выпрямителя начинает

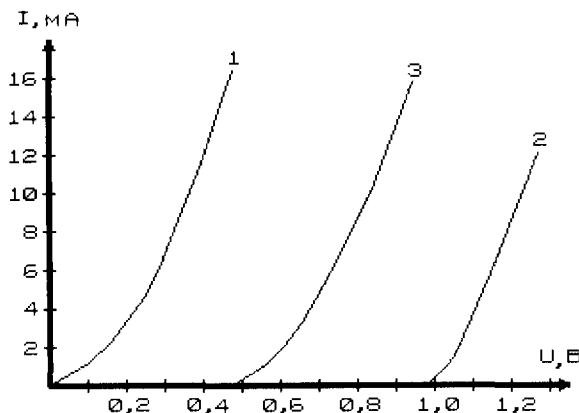


Рис. 1.11. Экспериментальные вольт-амперные характеристики диодов: 1 — обратная ветвь для GaAs обращенного диода 3И402И; 2 — прямая ветвь для GaAs диода (светодиода оптрона АОД101А); 3 — прямая ветвь Si-диода Д220Б

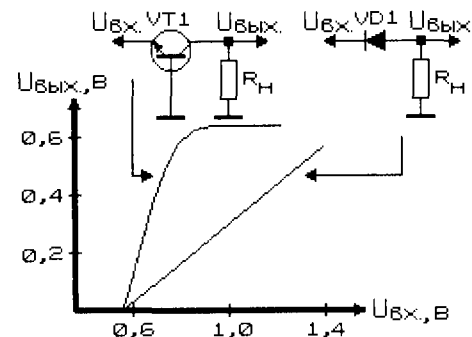


Рис. 1.12. Сравнение выпрямительных свойств инжекционного транзисторного элемента и обычного кремниевых диода

медленно возрастать (рис. 1.12). В. А. Масловский [1.5, 1.6] предложил использовать в качестве более эффективных низковольтных выпрямителей инжекционные транзисторные элементы (рис. 1.12 и 1.13).

Полевой транзистор, впрочем, точно так же, как и биполярный, можно применить для двухполупериодного выпрямления (рис. 1.14) [1.7]. Если канал полевого транзистора рассматривать как вход устройства, а нагрузку подключить между затвором и

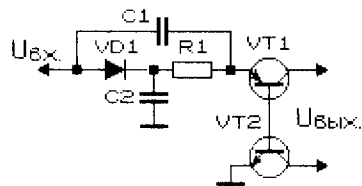


Рис. 1.13. Практическая схема выпрямителя на инжекционном транзисторном элементе

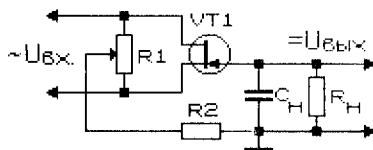


Рис. 1.14. Применение полевого транзистора для выпрямления сигналов

общим проводом, то участки сток — затвор и исток — затвор будут выполнять функции двух высококачественных диодов.

В выпрямителе (рис. 1.14) реализуется важное достоинство полевого транзистора: высокое сопротивление p - n перехода транзистора в закрытом состоянии ($10^8 \dots 10^{12} \text{ Ом}$). Это позволяет использовать высокоомные сопротивления нагрузки и конденсаторы нагрузки относительно малой емкости. Для симметрирования схемы выпрямителя предназначен потенциометр $R1$. Для достижения коэффициента передачи выпрямителя, близкого к единице, необходимо, чтобы выполнялось условие: $R_H \gg R1$.

Особенно перспективны для выпрямления сигналов полевые транзисторы с индуцированным каналом.

Микросхемы серий *ТТЛ* и *КМОП*, если подробно изучить их внутреннюю структуру и принципиальную схему составляющих элементов [1.8], можно представить в виде своеобразного диодного моста, состоящего из диодов $VD1 \dots VD6$ (рис. 1.15, слева). Диоды, хотя и рассчитаны на малый ток и предназначены для защиты микросхем при неправильном подключении к источнику питания и защиты входных цепей от перегрузки по напряжению, отличаются хорошей воспроизводимостью свойств и способны работать до частот порядка сотен кГц и выше.

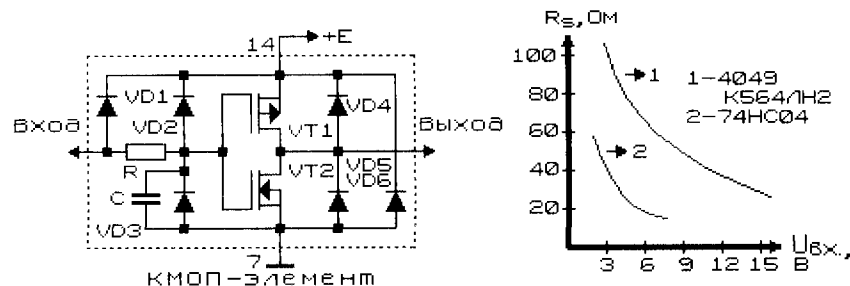


Рис. 1.15. Электрическая схема КМОП-элемента (слева) и зависимость сопротивления диодов микросхем от напряжения (справа)

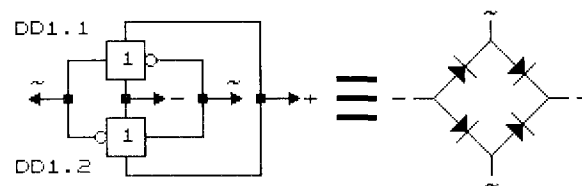


Рис. 1.16. Включение логических элементов для выполнения функции мостового выпрямления

В работе [1.9] предложено использовать *КМОП*-микросхемы для выпрямления переменного тока (рис. 1.15, 1.16). На графике (рис. 1.15, справа) приведены экспериментальные кривые, характеризующие зависимость сопротивления диодов микросхем от величины приложенного напряжения.

На рис. 1.15 легко также заметить, что входные и выходные цепи микросхемы отличаются по способу включения диодов. На рис. 1.16 показана возможность встречного включения двух инверторов для создания полноценного диодного выпрямительного моста.

2. Трансформаторные источники питания

Известно, что наиболее эффективно информация воспринимается визуально, и до 90% ее поступает через зрение. Для наглядного сравнения выпрямителей различного типа и их работы в разных режимах в приводимой ниже таблице 2.1 показаны осциллограммы выходных сигналов, измеренных на сопротивлении нагрузки.

Для моделирования электрических процессов выпрямления использовалась программа схемотехнического моделирования *Electronics Workbench 5.12*. Следует отметить, что результаты любых моделирующих программ не могут в полной мере учесть всех реальных свойств элементов устройства и являются в этой связи приближенными.

Во всех схемах выпрямителей (табл. 2.1) выходное напряжение трансформатора 10 В. В качестве варьируемых элементов были сопротивление нагрузки и емкость конденсатора фильтра. Как следует из результатов сравнения, идентичные осциллограммы получаются при равных произведениях сопротивления нагрузки на величину емкости конденсатора фильтра. Следовательно, для того чтобы максимально снизить уровень пульсаций напряжения на нагрузке, следует максимально, насколько позволяют габариты устройства и финансовые возможности, наращивать емкости конденсаторов фильтра. Однако особенно увлекаться этим не стоит: в момент включения незаряженные конденсаторы фильтра представляют собой для вторичной обмотки трансформатора и диодов короткое замыкание; в результате может произойти повреждение диодов выпрямителя, обмотки трансформатора либо предохранителя. Обычно для ограничения зарядного тока конденсаторов фильтра при включении устройства используют токоограничивающие элементы (резисторы, позисторы), которые затем отключаются (вручную или автоматически).

Конденсаторы фильтра большой емкости на выходе выпрямителя (рис. 2.1, 2.2) можно разделить на две группы. Одна из них подключается непосредственно к выходу выпрямителя, а вторая,

2. Трансформаторные источники питания

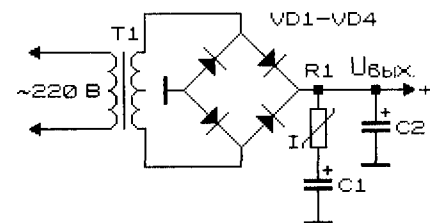


Рис. 2.1. Схема защиты диодов выпрямителя параллельного типа

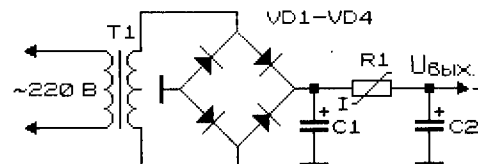


Рис. 2.2. Схема защиты диодов выпрямителя последовательного типа

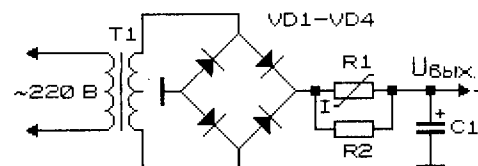


Рис. 2.3. Схема защиты диодов выпрямителя при включении

большой емкости, соединяется через современные полупроводниковые элементы защиты с самовосстановлением (самовосстанавливающиеся предохранители для защиты электронных узлов от перегрузки по току и перегрева — *MultiFuse*, *PolySwitch*). В результате импульса тока эти предохранители временно отсоединяют группу конденсаторов большой емкости и подключают ее через некоторое время.

Другой вариант защиты выпрямителя от перегрузок при включении (рис. 2.3) заключается в том, что между диодами выпрямителя и конденсаторами фильтра добавлен токоограничивающий резистор R2, параллельно которому устанавливают полупроводниковый самовосстанавливающийся предохранитель R1, рассчитанный на максимальный ток через диоды выпрямителя. При импульсе зарядного тока сопротивление этого предохранителя возрастает на несколько порядков, и осуществляется

постепенный заряд конденсаторов через токоограничивающий резистор R2. Затем сопротивление предохранителя R1 снижается до долей-единиц Ом (обычно 0,8...12 Ом).

Одновременно самовосстанавливающиеся предохранители R1 (рис. 2.2 и 2.3) защищают элементы выпрямителя от перегрузки по току в случае аварии в цепи потребителя (короткое замыкание, импульс тока).

Защита диодов выпрямителя при включении может быть выполнена и с применением иной элементной базы. На рис. 2.4 показана схема защиты диодов выпрямителя [2.1]. В момент включения устройства заряд конденсатора фильтра C3 относительно большой емкости (4000 мкФ) осуществляется через токоограничивающий резистор R4. Через несколько секунд, определяемых произведением R1C1, реле времени на транзисторе VT1 сработает. Включится тиристор и шунтирует резистор R4, подключив тем самым предельно подзаряженный конденсатор C3 к выпрямителю.

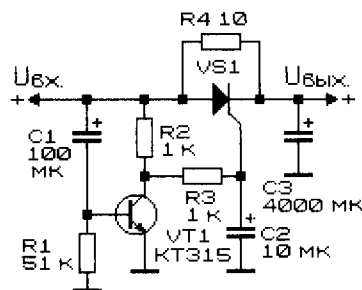


Рис. 2.4. Тиристорная схема защиты диодов выпрямителя при включении

Сразу можно отметить недостаток этой схемы: падение напряжения на открытом тиристоре составит 2...3 В без учета шунтирующего действия резистора R4. Впрочем, этот недостаток исправим использованием в качестве ключевого элемента современных полевых транзисторов с малым сопротивлением открытого канала (доли Ом).

Из представленных в табл. 2.1 схем выпрямителей наиболее неудачной следует считать самую простую из них — однополупериодную. Она характеризуется наименьшим коэффициентом использования трансформатора и высоким коэффициентом пульсаций.

Кроме того, постоянная составляющая тока вторичной обмотки создает дополнительный магнитный поток, насыщающий сердечник трансформатора. В итоге возрастает ток холостого хода, следовательно, необходимо увеличивать сечение провода первичной обмотки. В результате такой «экономии» возрастают габариты и масса силового трансформатора, снижается КПД устройства. В этой связи однополупериодные выпрямители используют довольно редко, для создания маломощных выпрямителей.

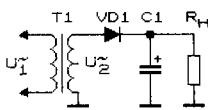
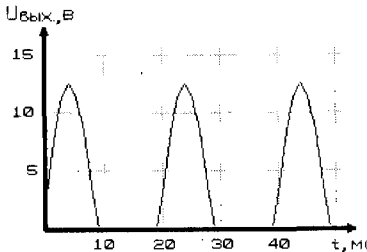
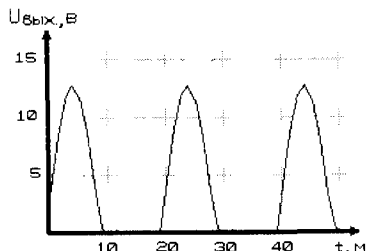
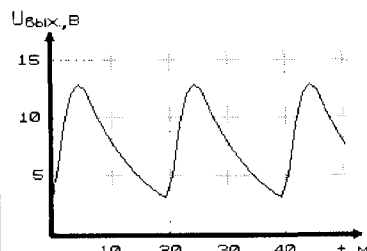
Следующим в таблице 2.1 представлен двухполупериодный выпрямитель со средней точкой. Среднее значение выпрямленного тока и напряжения в нем в два раза выше, чем в простейшем выпрямителе. В трансформаторе этого устройства нет вынужденного намагничивания, поскольку в его вторичных полуобмотках постоянные составляющие тока протекают в различных (взаимокompенсирующих) направлениях.

Еще большие перспективы открываются при использовании мостовых выпрямителей (схема *Греца*). Вынужденного намагничивания сердечника трансформатора нет, ток в первичной обмотке трансформатора синусоидален. Заметным недостатком такого способа выпрямления является удвоение потерь на диодах в «прямом» направлении. Особенно это заметно при малых выходных напряжениях.

Для сравнения в таблице 2.1 показан и выпрямитель с удвоением выходного напряжения (схема *Латура*).

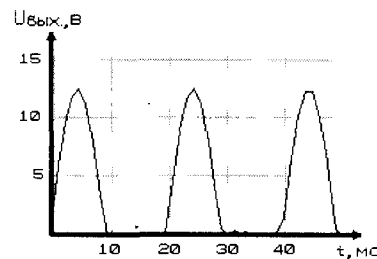
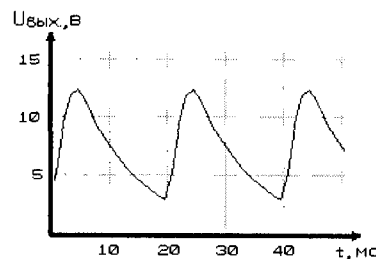
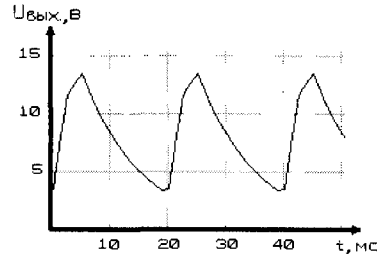
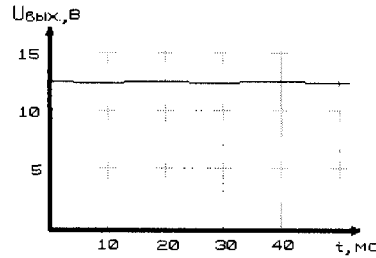
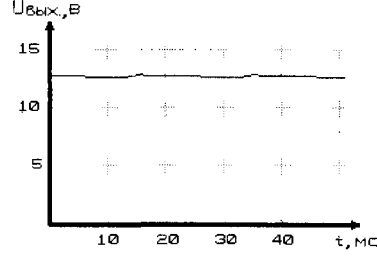
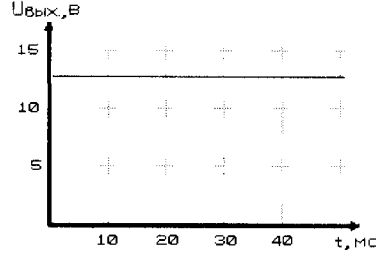
Для получения на выходе не одного, а сразу двух напряжений может быть использована одна из схем выпрямителей, показанных на рис. 2.5 или 2.6 [2.2]. В первом варианте на выходе получаются два напряжения одной полярности, отличающихся по величине в 2 раза. Верхняя половина схемы представляет собой с первого взгляда обычный мостовой выпрямитель. Однако средний вывод вторичной обмотки этого устройства не заземлен, напряжение на нем равно половине напряжения, снимаемого с выхода мостового выпрямителя. Это напряжение формируется в результате работы второго выпрямителя, образованного двумя левыми по схеме диодами мостовой схемы, и полуобмотками трансформатора T1. Интересно, что при изменении тока нагрузки соотношение выходных напряжений двухканального источника питания (рис. 2.5) остается неизменным и равным 1:2.

2. Трансформаторные источники питания

№№ п/п	Схема выпрямителя	Сопротивление нагрузки	
			0,1
1.	Однополупериодный 	10 Ом	
		1 кОм	
		100 кОм	

2. Трансформаторные источники питания

Таблица 2.1. Сопоставление характеристик различных типов выпрямителей при варьировании сопротивления нагрузки и емкости конденсатора фильтра

Емкости конденсаторов фильтра, мкФ	
10	1000
	
	
	

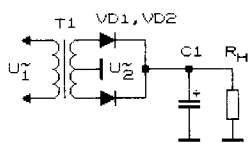
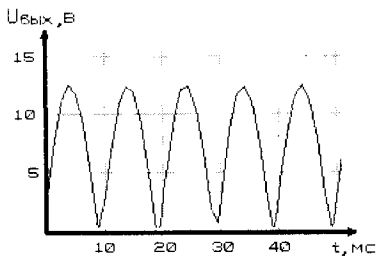
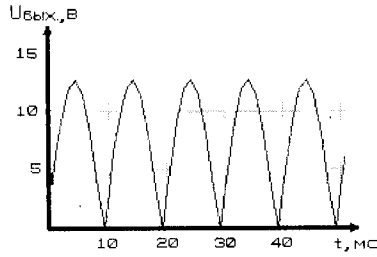
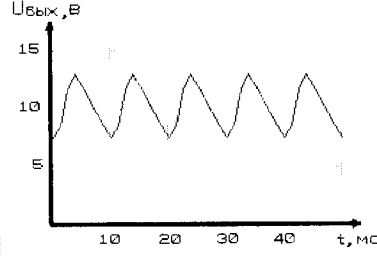
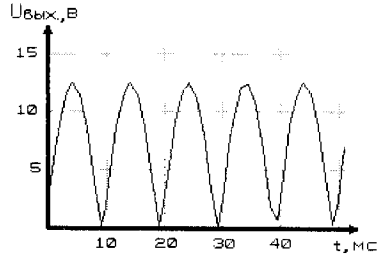
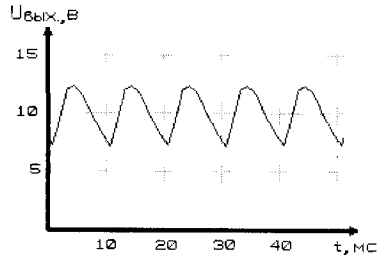
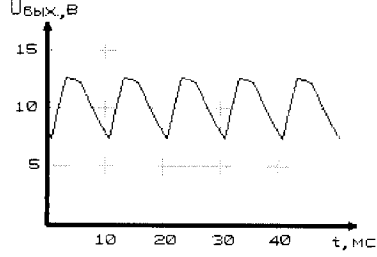
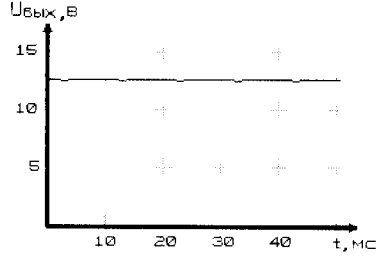
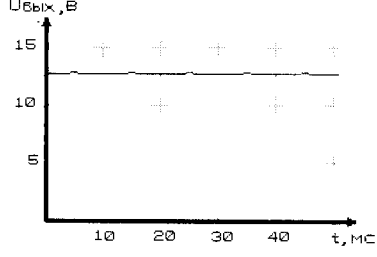
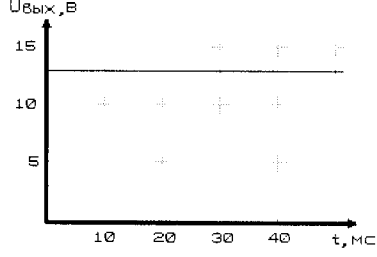
№№ п/п	Схема выпрямителя	Сопротивление нагрузки	0,1
2.	Двухполупериодный со средней точкой 	10 Ом	
		1 кОм	
		100 кОм	

Таблица 2.1. Сопоставление характеристик различных типов выпрямителей при варьировании сопротивления нагрузки и емкости конденсатора фильтра (продолжение)

Емкости конденсаторов фильтра, мкФ	
10	1000
	
	
	

2. Трансформаторные источники питания

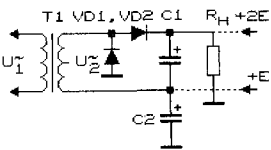
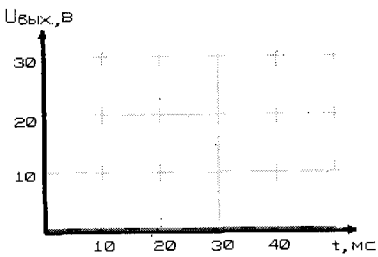
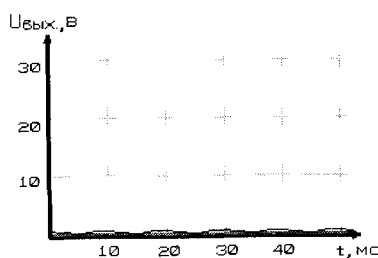
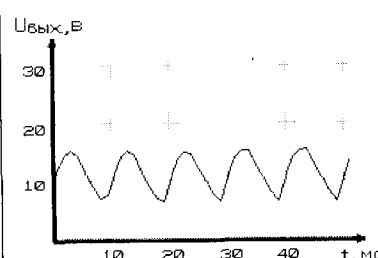
№№ п/п	Схема выпрямителя	Сопротивление нагрузки	
			0,1
3.	Однофазный мостовой (схема Греча)	10 Ом	
		1 кОм	
		100 кОм	

2. Трансформаторные источники питания

Таблица 2.1. Сопоставление характеристик различных типов выпрямителей при варьировании сопротивления нагрузки и емкости конденсатора фильтра (продолжение)

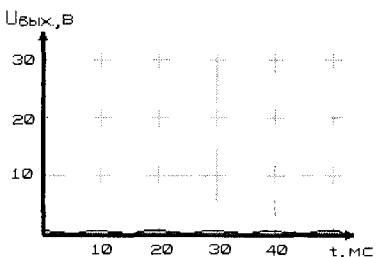
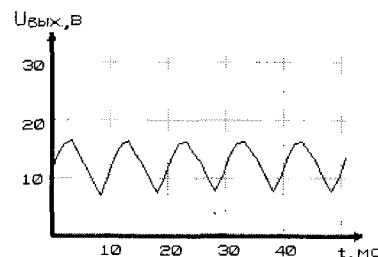
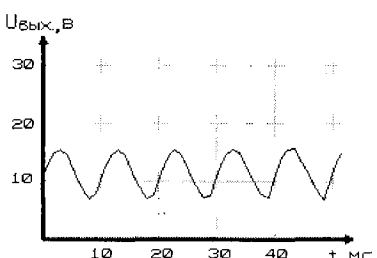
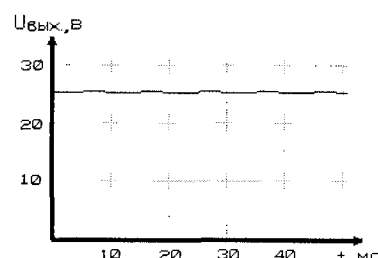
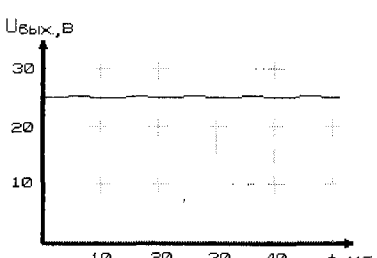
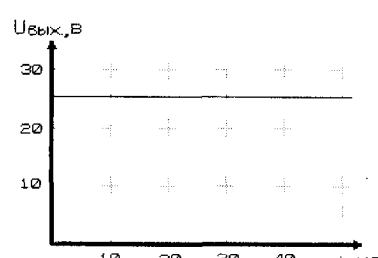
Емкости конденсаторов фильтра, мкФ	
10	1000

2. Трансформаторные источники питания

№№ п/п	Схема выпрямителя	Сопротивление нагрузки	0,1
4.	Удвоитель напряжения (схема Латура) 	10 Ом	
		1 кОм	
		100 кОм	

2. Трансформаторные источники питания

Таблица 2.1. Сопоставление характеристик различных типов выпрямителей при варьировании сопротивления нагрузки и емкости конденсатора фильтра (продолжение)

Емкости конденсаторов фильтра, мкФ	
10	1000
	
	
	

2. Трансформаторные источники питания

Во втором случае (рис. 2.6) на выходе выпрямителя получаются два одинаковых напряжения, но имеющие разные полярности.

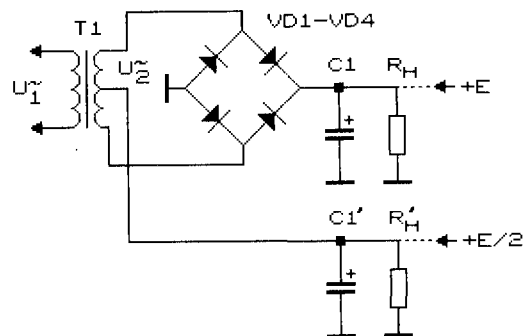


Рис. 2.5. Схема двухканального источника питания с выходными напряжениями E и $E/2$

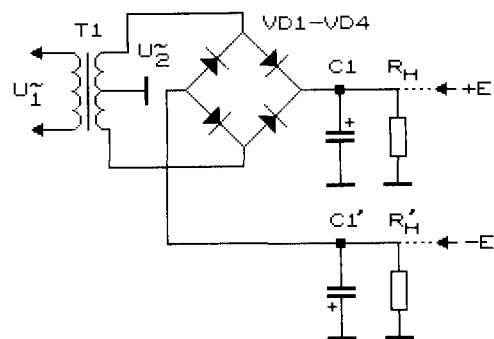


Рис. 2.6. Схема двухканального источника питания с равными и разнополярными выходными напряжениями

Для того чтобы при сетевом питании получить на выходе источника питания нестабилизированное напряжение переменного или постоянного (с использованием выпрямителя) тока, можно воспользоваться трансформатором с секционированной вторичной обмоткой (рис. 2.7) [2.3]. Он позволяет получить на выходе любое ступенчато изменяемое напряжение переменного тока в диапазоне от 1 до 255 В с шагом в 1 В. Такая особенность объясняется тем, что вторичная обмотка трансформатора разбита на

2. Трансформаторные источники питания

9 секций, число витков которых, и, следовательно, величина выходного напряжения соотносится как 1:2:4:8:16...

При переключении переключателей SA1 — SA8 (при отключенной нагрузке) может быть получена любая «конфигурация» вторичной обмотки трансформатора, любой заданный пользователем коэффициент трансформации. Условием правильной работы трансформатора является согласное (не встречное!) соединение секций.

Устройство удобно объединить со стабилизатором напряжения переменного тока, например, феррорезонансного типа. Недостатком трансформатора является то, что в обмотках из провода равного сечения максимальный ток нагрузки вне зависимости от величины выходного напряжения одинаков. Использование проводов разного сечения заметно усложняет конструкцию трансформатора.

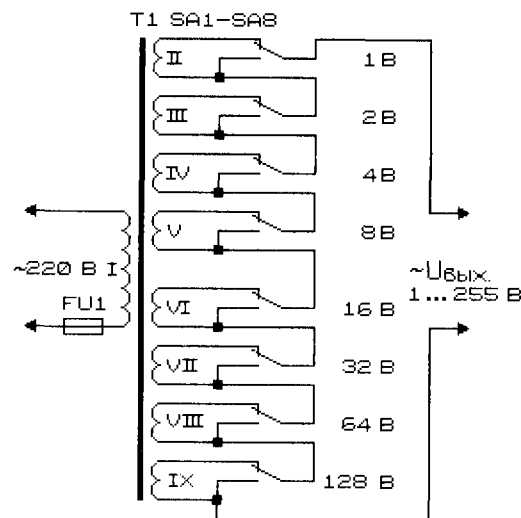


Рис. 2.7. Схема трансформатора со ступенчато регулируемым выходным напряжением 1...255 В

Другой способ получить на выходе трансформатора ряд напряжений состоит в том, что вторичную (или первичную) обмотку трансформатора выполняют с множеством отводов, так, как это

2. Трансформаторные источники питания

сделано, например, в сетевом адаптере промышленного производства (рис. 2.8).

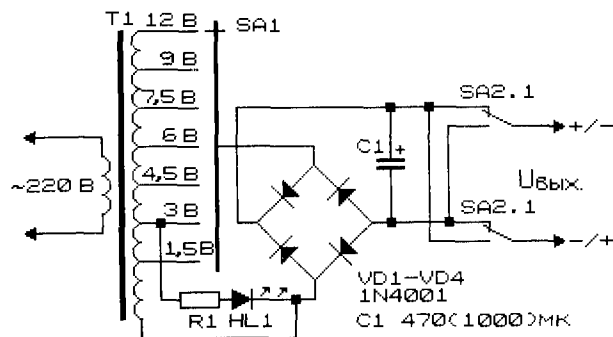


Рис. 2.8. Типовая схема сетевого адаптера с нестабилизированным выходным напряжением

Адаптер (рис. 2.8) является простейшим источником питания и позволяет получить на выходе ряд нестабилизированных напряжений, изменяемых ступенчато при помощи переключателя SA1 [2.4]. Полярность выходного напряжения изменяется переключателем SA2. Для индикации работы адаптера использован светодиодный индикатор HL1. Такой источник мало пригоден для питания радиоприемников и плееров, поскольку на его выходе очень заметны пульсации напряжения, которые трудно уменьшить одним конденсатором фильтра C1 даже при заметном увеличении его емкости.

3. Умножители напряжения

Для получения на выходе выпрямителя более высокого напряжения можно увеличить число витков вторичной обмотки трансформатора, однако это повысит трудоемкость его изготовления, увеличит габариты, массу и стоимость всего изделия, может снизиться надежность при эксплуатации. Гораздо эффективнее в этом плане использование умножителей выходного (выпрямленного) напряжения.

Схемы выпрямителей с умножением напряжения можно разделить на два типа — симметричные и несимметричные. И те, и другие позволяют путем последовательного соединения ряда простых однофазных выпрямителей с емкостным фильтром на выходе получать выпрямленное напряжение, в несколько раз превосходящее подводимое. Симметричные схемы получают путем объединения четного числа несимметричных схем.

Несимметричные схемы выпрямителей с умножением напряжения содержат цепочки последовательно включенных диодов. При подключении конденсаторов к этой цепочке (особым образом) на ее выходе образуется напряжение в n раз больше входного, где n — число диодов или конденсаторов цепочки.

Наиболее распространены два способа подключения конденсаторов к последовательной цепи диодов (рис. 3.1 и 3.2).

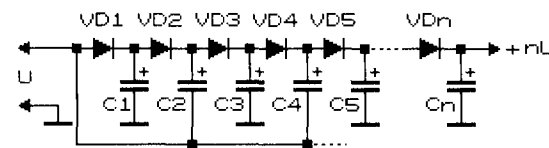


Рис. 3.1. Подключение конденсаторов в умножителе напряжения (первый способ)

У каждого способа умножения напряжения есть свои особенности. Например, для схемы на рис. 3.1 должно выполняться условие: $C_n n^2 = \text{const}$, где n — порядковый номер конденсатора в цепочке (кратность умножения напряжения). По таблице 3.1 можно определить емкость конденсаторов без вычислений [3.1].

Таблица 3.1. Соотношение емкостей конденсаторов умножителя напряжения по схеме на рис. 3.1

Обозначение конденсатора	Кратность умножения напряжения, n			
	5	4	3	2
C1	25	16	9	4
C2	6,25	4	2,25	1
C3	2,78	1,78	1	—
C4	1,56	1	—	—
C5	1	—	—	—

Как и для всех иных типов выпрямителей коэффициент пульсаций K_n (в %) на их выходе обратно пропорционален величине емкости выходного конденсатора C_n (в $\mu\text{Ф}$) и величине сопротивления нагрузки R_n (в кОм): $K_n = 5,7 / (C_n R_n)$; $R_n = U_{\text{вых}} / I_n$, где $U_{\text{вых}}$ — напряжение на выходе выпрямителя (в В), I_n — ток нагрузки (в мА). В зависимости от назначения выпрямителя величина требуемого коэффициента пульсаций может находиться в пределах от нескольких процентов (для зарядных устройств) до $10^{-5} \dots 10^{-6}\%$ (для питания микрофонов усилителей).

Для второго способа подключения конденсаторов (рис. 3.2) их емкость для всей цепочки элементов, исключая первый конденсатор, должна быть одинаковой. Емкость же первого конденсатора цепочки превышает в 2...4 раза емкость остальных конденсаторов цепочки. Коэффициент пульсаций этого выпрямителя определится как: $K_n = 2,85n / (C_n R_n)$, где n — кратность умножения напряжения.

Подобный способ получения высокого напряжения широко применяется в телевизорах. Его достоинством в сравнении с предыдущим является то, что конденсаторы имеют одинаковую емкость и рассчитаны на меньшее рабочее напряжение, поскольку в итоге выходное напряжение получается путем сложения напряжений на всех конденсаторах.

Диоды умножителей напряжения (рис. 3.1, 3.2) должны быть рассчитаны на величину прямого тока, вдвое превышающую ток нагрузки.

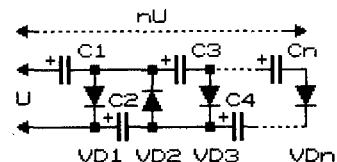


Рис. 3.2. Второй способ подключения конденсаторов в умножителе напряжения

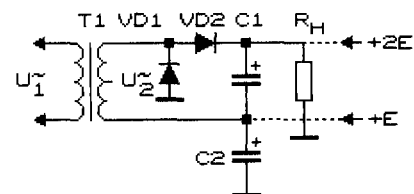


Рис. 3.3. Схема двухканального источника питания на основе удвоителя напряжения с выходными напряжениями 2E и E

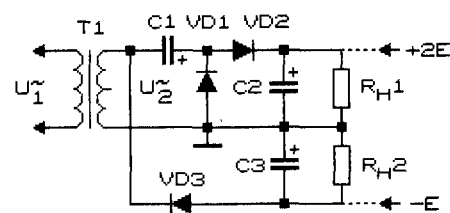


Рис. 3.4. Схема двухканального источника питания с выходными напряжениями 2E и -E

Частным случаем рассмотренных выше схем умножителей напряжения являются разновидности схем (удвоителей, утроителей ... напряжения), показанные на рис. 3.3 — 3.6.

На рис. 3.6 показано, как можно всего от одной обмотки трансформатора получить два выходных напряжения [3.2]. Фактически в схеме использованы одновременно два выпрямителя: выпрямитель по схеме *Греца* (с диодным мостом) и схема выпрямителя с удвоением напряжения.

Для получения относительно высокого выходного напряжения при использовании низковольтного сетевого трансформатора в устройстве по схеме на рис. 3.7 была применена схема

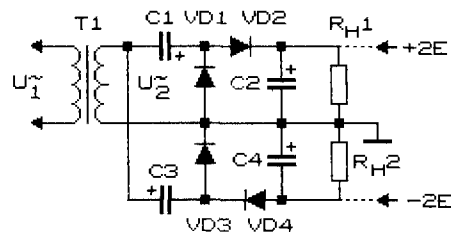


Рис. 3.5. Схема двухканального источника питания с выходными напряжениями $2E$ и $-2E$

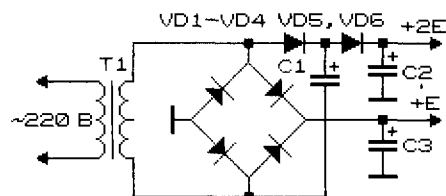


Рис. 3.6. Двухканальный источник питания с выходными напряжениями $2E$ и E (другой вариант)

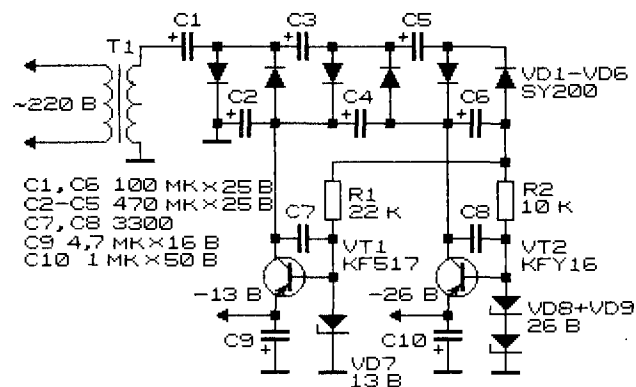


Рис. 3.7. Схема стабилизированного маломощного источника питания с умножением напряжения

умножения напряжения промышленной частоты 50 Гц [3.3]. Стабилизированные напряжения 13 и 26 В отрицательной полярности были получены с помощью простейших стабилизаторов напряжения. Схема может быть преобразована для получения напряжений положительной полярности. Для этого потребуются

изменить полярность включения всех диодов, стабилитронов и конденсаторов, а также применить транзисторы $n-p-n$ структуры. Выходное напряжение можно задавать заменой/подбором стабилитронов или их цепочек. Выходной ток устройства невелик, но вполне достаточен для питания варикапов и устройств на КМОП-микросхемах.

4. Фильтры в источниках питания

Как следует из анализа диаграмм, характеризующих работу выпрямителей различного типа, во многих случаях на их выходе получается вовсе не напряжение постоянного тока, а некая последовательность импульсов, непригодная для питания большинства радиоэлектронных устройств. Для того чтобы максимально ослабить переменную составляющую и снизить уровень пульсаций на выходе выпрямителя, используются сглаживающие фильтры. Примеры схем таких фильтров и сравнительные характеристики при разных значениях сопротивления нагрузки и других элементов приведены ниже в таблице 4.1 (моделирование производилось при помощи программы *Electronics Workbench 5.12*).

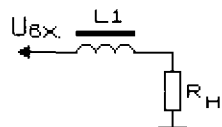


Рис. 4.1. Схема индуктивного фильтра

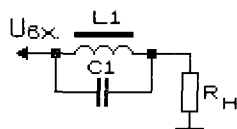


Рис. 4.2. Схема фильтра-пробки

Помимо обычных RC и LC-фильтров для сглаживания пульсаций используют также индуктивный фильтр (рис. 4.1); резонансные фильтры — фильтр-пробку (рис. 4.2), препятствующий проникновению токов резонансной частоты на выход фильтра; режекторный фильтр (рис. 4.3), подключаемый параллельно сопротивлению нагрузки и ослабляющий пульсации на резонансной частоте.

Фильтры-пробки обычно используют при высокоомной нагрузке, режекторные — при низкоомной.

На рис. 4.4 и 4.5 показаны схемы LC-фильтров с дополнительной компенсирующей обмоткой [4.1]. В схеме первого из них

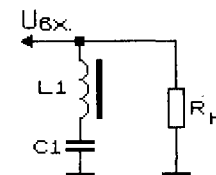


Рис. 4.3. Схема режекторного фильтра

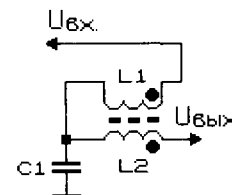


Рис. 4.4. Схема LC-фильтра с дополнительной компенсирующей обмоткой

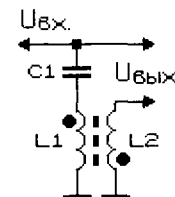


Рис. 4.5. Вариант включения дополнительной компенсирующей обмотки в схеме LC-фильтра

компенсирующая обмотка L2 включена встречно-последовательно с основной обмоткой L1. Создаваемый ею в магнитопроводе магнитный поток от переменной составляющей тока частично компенсирует переменную составляющую магнитного потока основной обмотки.

Фильтр (рис. 4.5) выгодно отличается от предыдущего тем, что через компенсирующую обмотку L1 не протекает постоянная составляющая тока.

Многосвязные RC и LC-фильтры показаны на схемах рис. 4.6 и 4.7. Предполагается, что элементы, входящие в состав фильтров, имеют одинаковые параметры. Но в некоторых случаях это условие может не выполняться. При равенстве параметров элементов, а также равенстве значений входных и

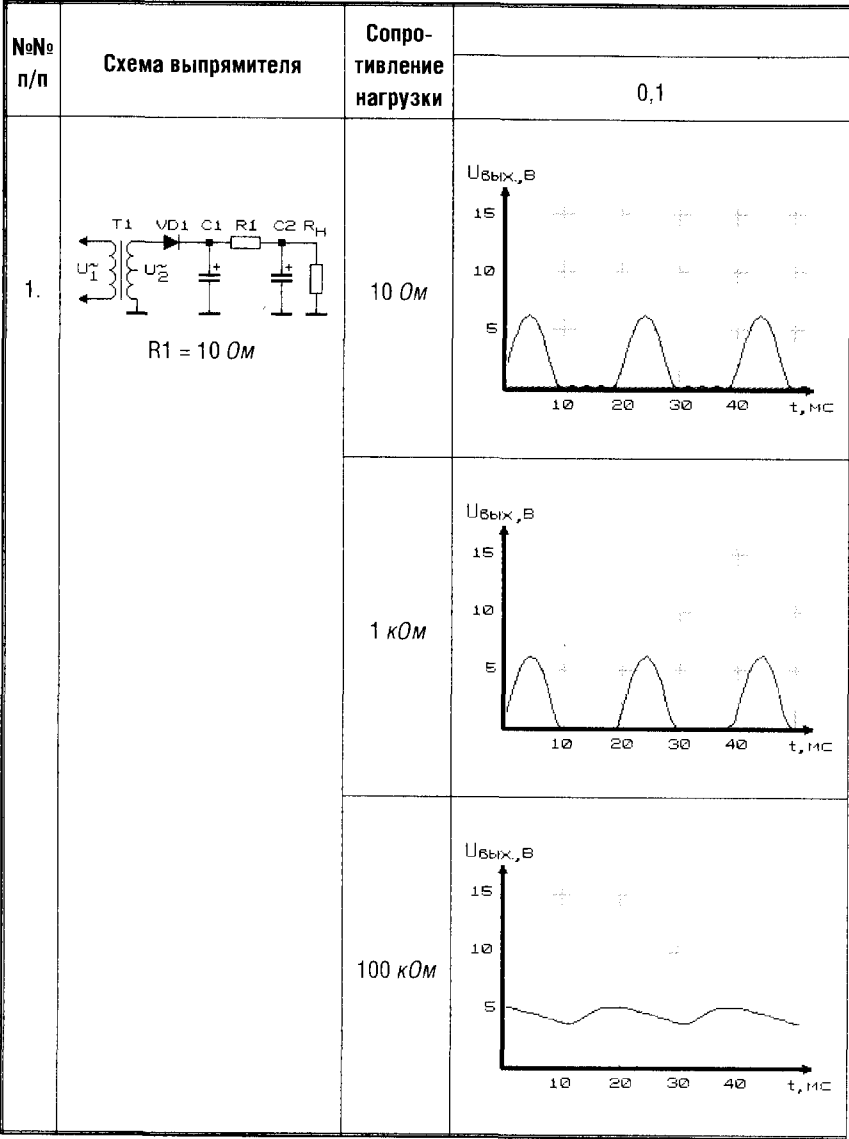
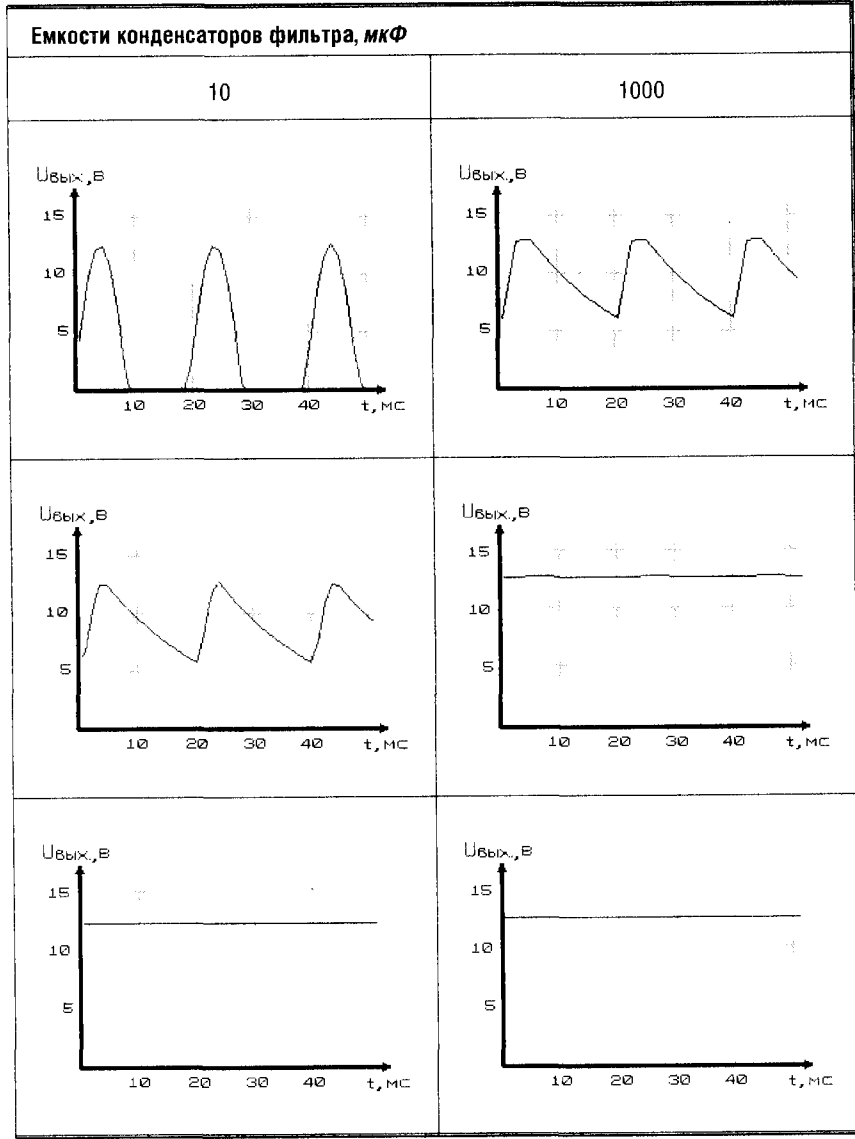


Таблица 4.1. Сравнительные характеристики фильтров выпрямителей при варьировании сопротивления нагрузки и емкостей фильтров



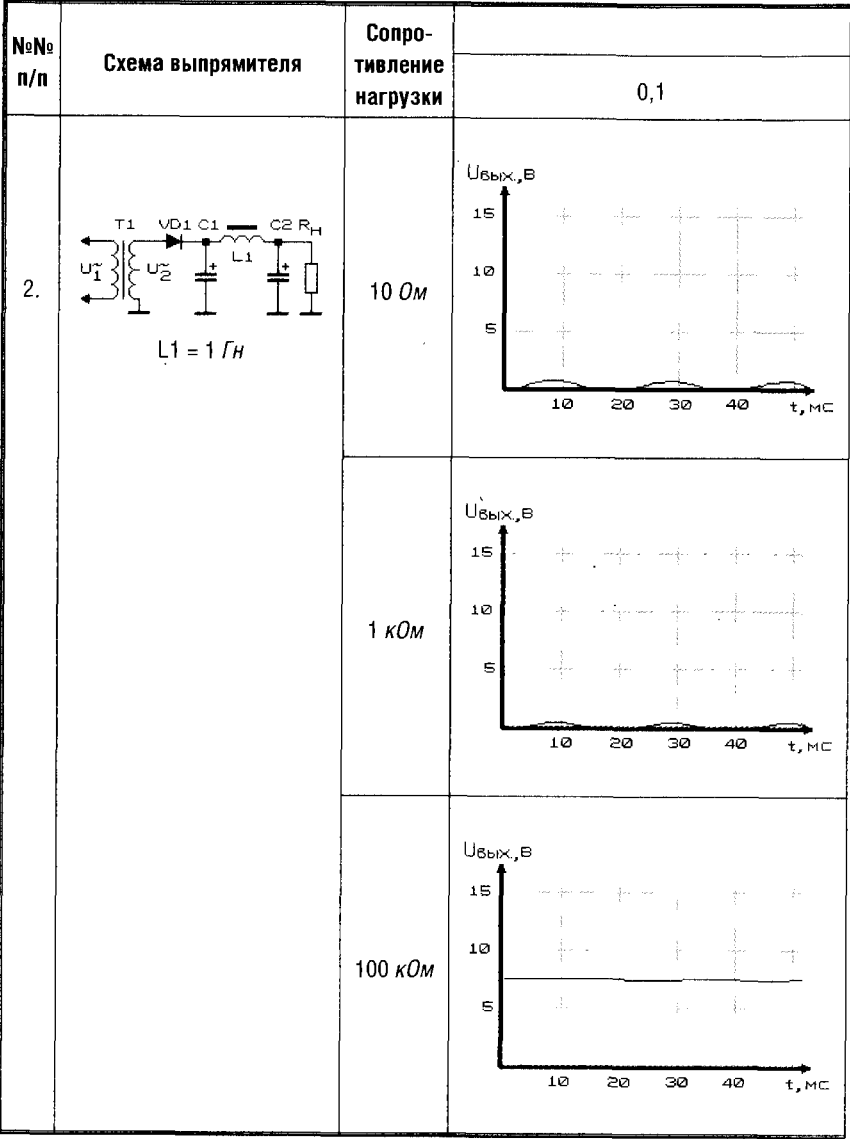
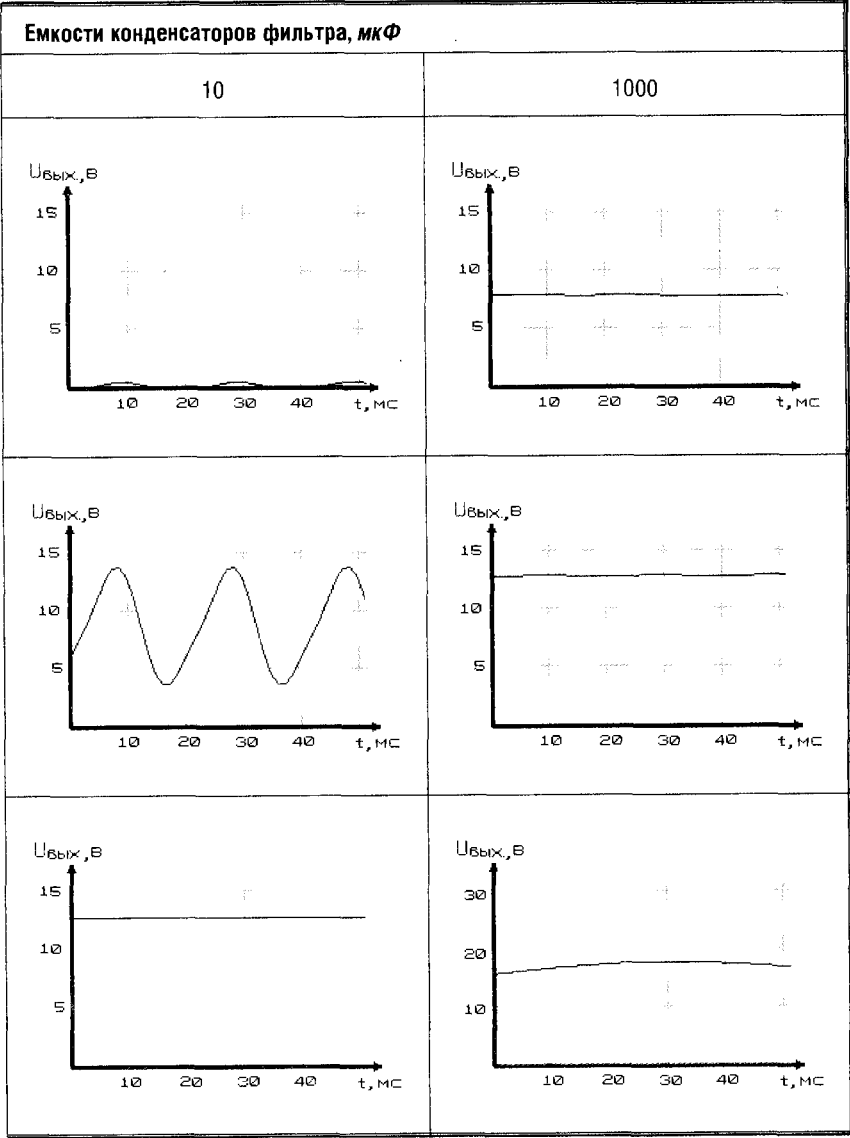


Таблица 4.1. Сравнительные характеристики фильтров выпрямителей при варьировании сопротивления нагрузки и емкостей фильтров (продолжение)



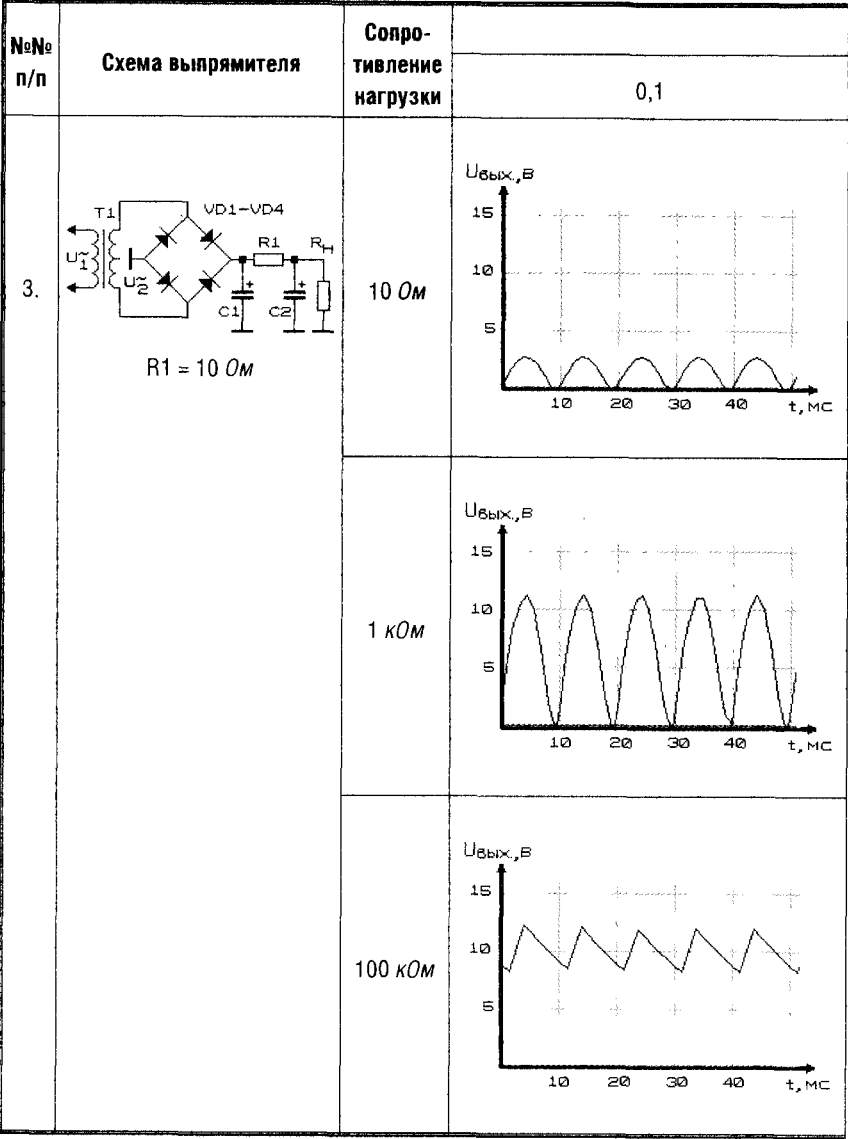
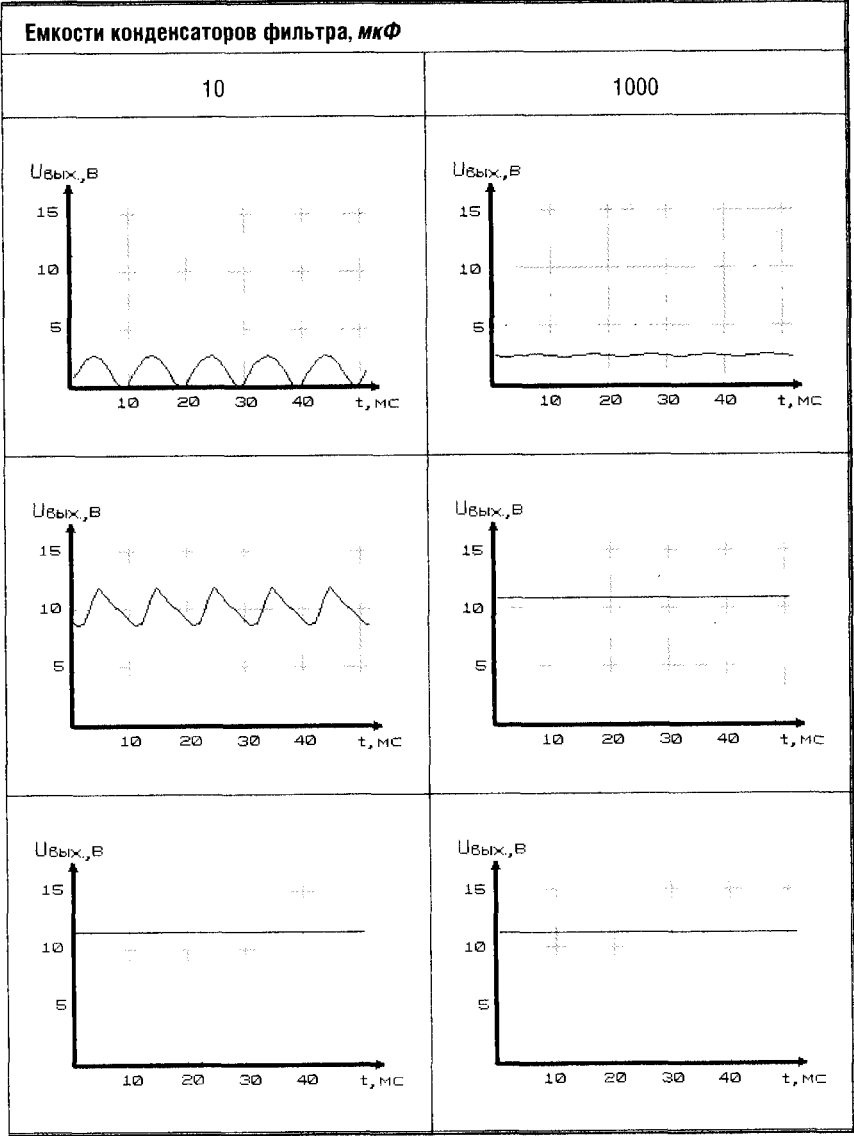


Таблица 4.1. Сравнительные характеристики фильтров выпрямителей при варьировании сопротивления нагрузки и емкостей фильтров (продолжение)



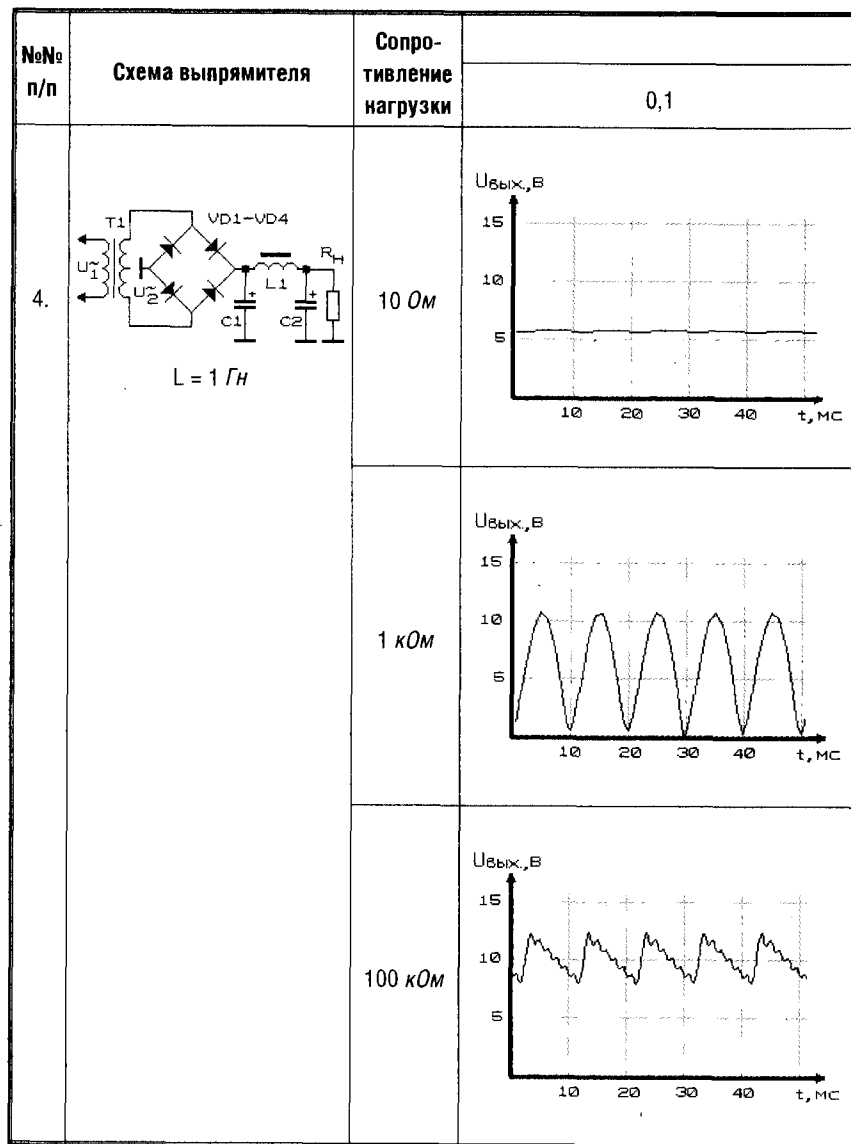
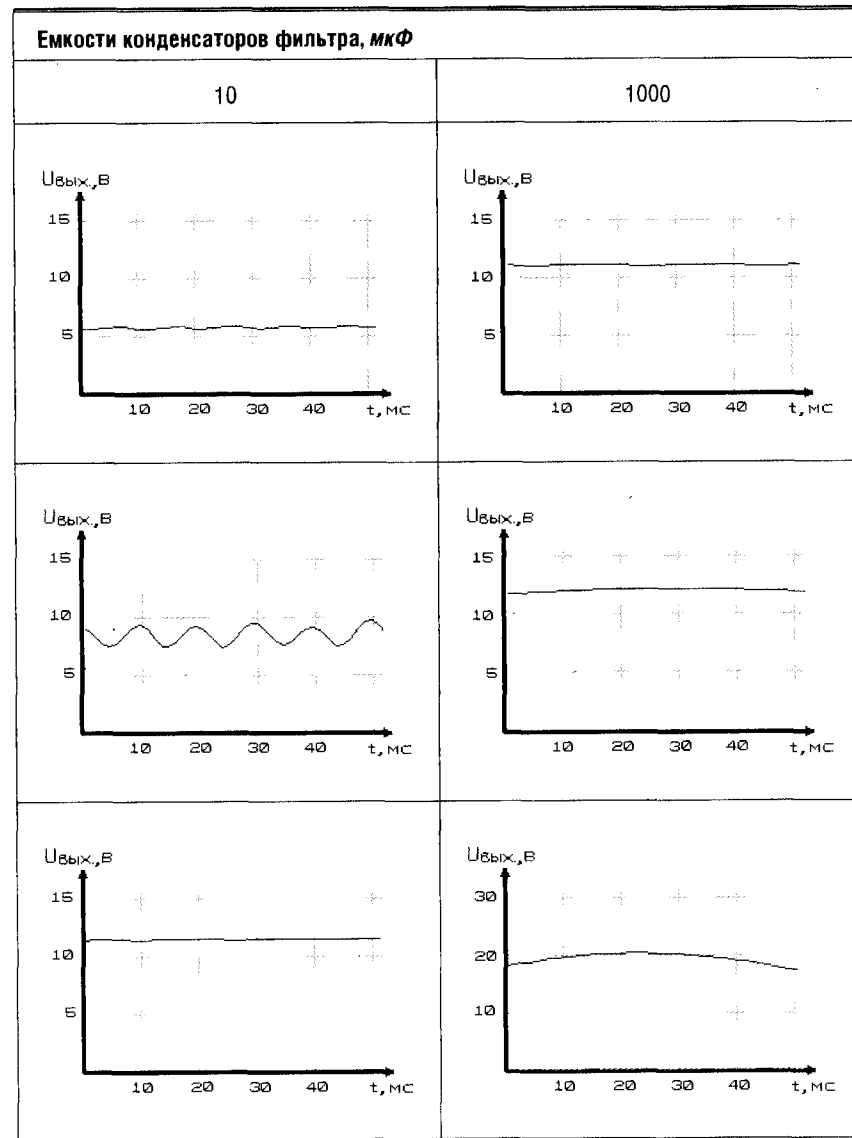


Таблица 4.1. Сравнительные характеристики фильтров выпрямителей при варьировании сопротивления нагрузки и емкостей фильтров (продолжение)



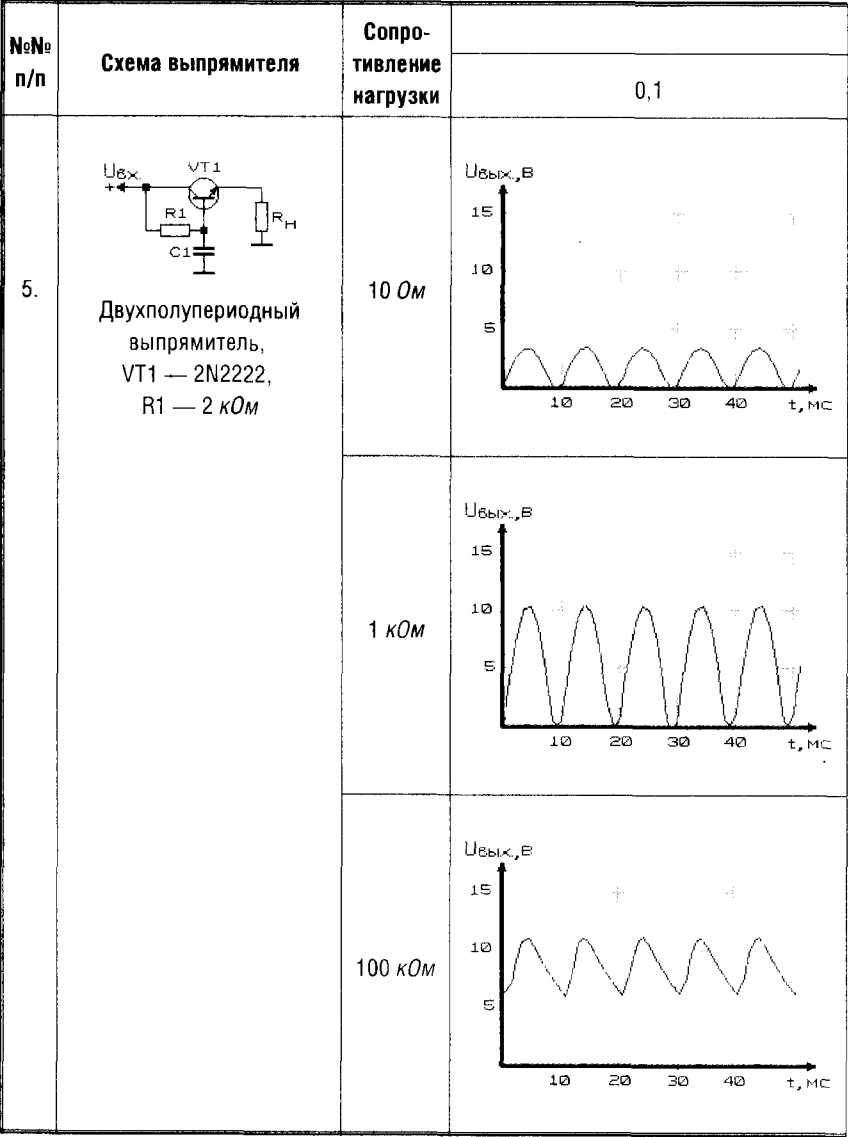
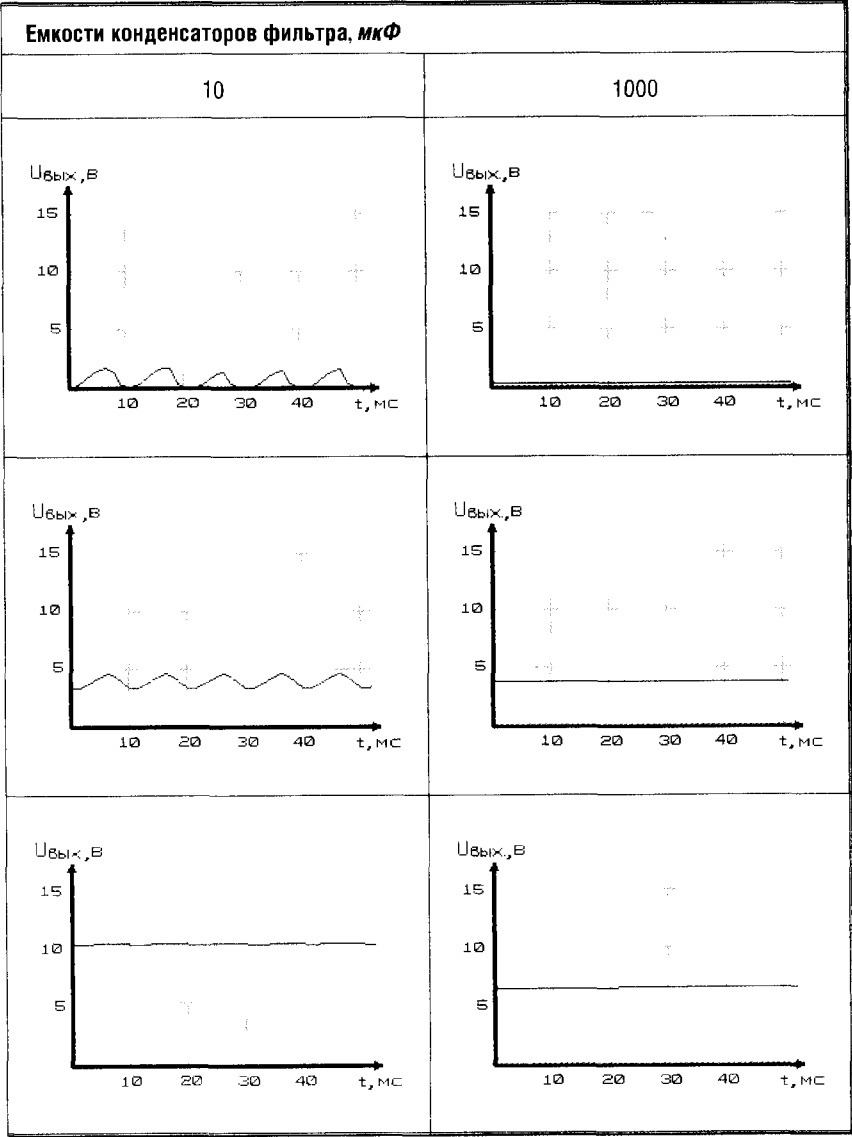


Таблица 4.1. Сравнительные характеристики фильтров выпрямителей при варьировании сопротивления нагрузки и емкостей фильтров (продолжение)



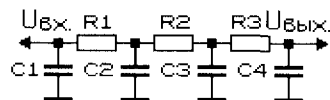


Рис. 4.6. Пример многозвенного RC-фильтра

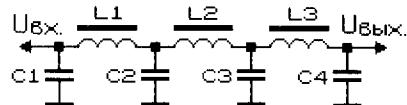


Рис. 4.7. Пример многозвенного LC-фильтра

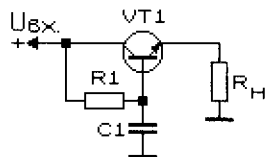


Рис. 4.8. Применение транзистора для фильтрации напряжения

выходных сопротивлений, подключенных к фильтрам, эти схемы (рис. 4.6 и 4.7) полностью обратимы, т.е. для их работы не имеет значения, на вход или выход подан сигнал.

Как уже отмечалось ранее, RC и LC-фильтры обычно используют для снижения пульсаций в слаботочных цепях. Для работы при повышенных токах чаще применяют сглаживающие фильтры на транзисторах или стабилизаторы напряжения.

Использование транзистора для сглаживания выходного напряжения показано на схеме простейшего фильтра (рис. 4.8). Основным элементом, определяющим эффективность фильтрации является конденсатор $C1$: чем больше его емкость, тем меньше амплитуда пульсаций на выходе устройства. В идеале этот конденсатор должен представлять собой короткое замыкание для переменного тока, например, для токов промышленной частоты (50 Гц). На практике же более эффективно применение стабилизатора. При этом одновременно с фильтрацией осуществляется стабилизация выходного напряжения. Замена конденсатора $C1$ на стабилитрон придает фильтру функцию стабилизатора напряжения. Более подробно работа этих устройств будет рассмотрена далее, в главе 6. Таким образом, можно считать, что сглаживающий фильтр (рис. 4.8) фактически является стабилизатором

напряжения с запоминающим конденсатором. Преимуществом такого фильтра является то, что его можно использовать в источниках питания с регулируемым в широких пределах напряжением. Часто такие фильтры используют для питания ламповых схем, работающих при повышенных напряжениях.

Отметим, что вместо конденсатора $C1$ (или стабилитрона) может быть использована батарея гальванических элементов.

Преимуществом фильтра на основе эмиттерного повторителя (рис. 4.8) является возможность устойчивой его работы в широком диапазоне температур, а также нечувствительность к параметрам элементов, например, при замене транзистора.

Эффективность работы простейшего сглаживающего фильтра можно повысить в 1,5...3 раза и выше, если использовать многозвенный RC или LC-фильтр в цепи базы транзистора (рис. 4.9). Также к положительному результату приводит применение составного транзистора. В этом случае величину сопротивлений $R1$ и $R2$ можно увеличить пропорционально увеличению коэффициента передачи транзистора по току, что, в свою очередь, снизит пульсации выходного напряжения.

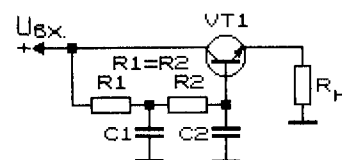


Рис. 4.9. Многозвенная RC-цепочка для улучшения параметров транзисторного фильтра

Кроме транзисторных фильтров на основе эмиттерных повторителей (рис. 4.8, 4.9) известны схемы фильтров с фиксированным (рис. 4.10) и автоматическим (рис. 4.11) смещением на базе транзистора.

Электрическая схема фильтра с автоматическим смещением на базе транзистора, которое отслеживается при изменении режима работы коллекторной цепи, показана на рис. 4.11 [4.2]. Сглаживающее действие фильтра улучшается при увеличении величины сопротивления в цепи эмиттера транзистора, одновременно снижается $KПД$.

4. Фильтры в источниках питания

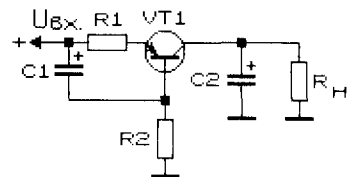


Рис. 4.10. Схема транзисторного фильтра с фиксированным смещением на базе транзистора

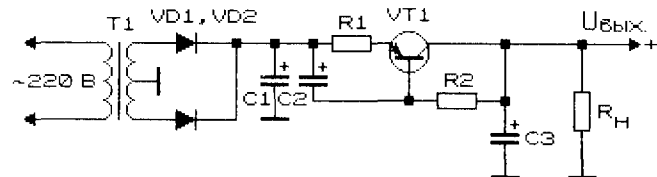


Рис. 4.11. Схема источника питания с транзисторным фильтром с автоматическим смещением на базе транзистора

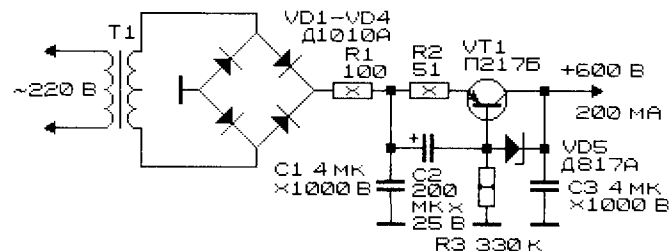


Рис. 4.12. Схема транзисторного фильтра для сглаживания пульсаций выпрямленного напряжения величиной 600 В

Эта схема устойчиво работает при изменении температуры, мало чувствительна к изменению нагрузки и не требует индивидуального подбора элементов.

Пример схемы электронного фильтра для сглаживания пульсаций выпрямленного напряжения 600 В при токе нагрузки 200 мА показан на рис. 4.12 [4.3]. В схеме использованы конденсаторы относительно небольшой емкости. Коэффициент пульсаций на выходе фильтра — не более 0,05%. Транзистор П217Б можно заменить на ГТ701А; КТ837А — Д; 2Т818Б, В.

Рассмотренные выше схемы транзисторных фильтров последовательного типа отличаются тем, что транзистор включается

4. Фильтры в источниках питания

последовательно с нагрузкой. В порядке сопоставления на рис. 4.13 приведена схема фильтра параллельного типа (транзистор подключен параллельно сопротивлению нагрузки) [4.2].

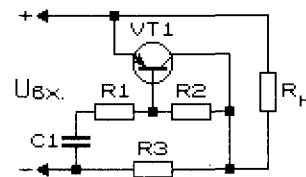


Рис. 4.13. Схема транзисторного фильтра параллельного типа

Переменная составляющая, попадающая на базу транзистора, усиливается и модулирует ток в коллекторной цепи транзистора (резистор R3). Ток в цепи резистора R3 суммируется в противофазе с входным током, в итоге на выходе фильтра переменная составляющая ослабляется. Схемы транзисторных фильтров параллельного типа не боятся коротких замыканий в нагрузке.

Наряду с известными преимуществами выпрямители с индуктивно-емкостным фильтром обладают существенным недостатком — большой величиной всплесков и провалов выходного напряжения при переходных процессах. Так, например, при скачкообразном увеличении тока нагрузки от 10 до 100% от номинального значения кратковременный провал напряжения превышает 50% от номинального выходного напряжения выпрямителя, что может привести к нарушению нормальной работы аппаратуры [4.4].

Уменьшение провалов выходного напряжения при переходных процессах может быть достигнуто использованием дополнительного маломощного выпрямителя, подключенного к выходной емкости фильтра основного выпрямителя [4.4].

Выходное напряжение дополнительного выпрямителя в нормальном режиме меньше напряжения основного выпрямителя, поэтому в установившемся режиме диоды этого выпрямителя закрыты [4.4]. При переходных процессах, например при резком увеличении тока нагрузки, ток через дроссель фильтра не успевает быстро измениться, в результате напряжение на нагрузке падает, диоды дополнительного выпрямителя открываются и начинают проводить ток. При этом напряжение на нагрузке ограничивается

4. Фильтры в источниках питания

величиной, определяемой напряжением дополнительного выпрямителя, работающего на емкостной фильтр.

Питание дополнительного выпрямителя производится пониженным напряжением переменного тока от отвода основной вторичной обмотки трансформатора или от отдельной обмотки. Схема дополнительного выпрямителя может совпадать или быть отличной от схемы основного выпрямителя. Примеры реализации схем выпрямителей с уменьшенными провалами выходного напряжения даны на рис. 4.14 — 4.16 [4.4]. На рис. 4.14, 4.15 представлены варианты схем однофазных выпрямителей, где типы основного и дополнительного выпрямителей совпадают (двухполупериодная схема со средней точкой на рис. 4.14 и мостовая схема на рис. 4.15). На рис. 4.16 приведена схема, в которой основной выпрямитель выполнен по трехфазной мостовой схеме, а дополнительный — по трехфазной схеме со средней точкой [4.4].

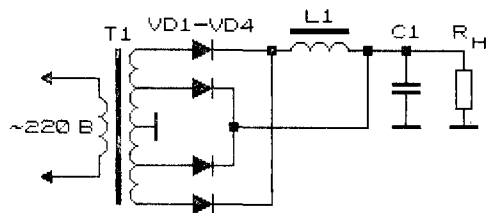


Рис. 4.14. Способ снижения провалов выходного напряжения при помощи дополнительного выпрямителя

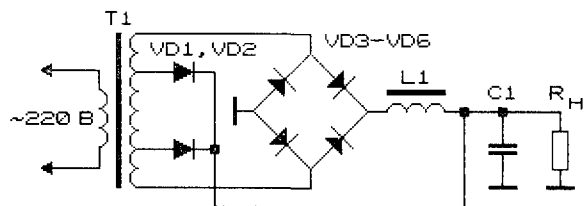


Рис. 4.15. Другой способ снижения провалов выходного напряжения при помощи дополнительного выпрямителя

В тех случаях, когда допустимая величина провала напряжения может составлять 25...30%, дополнительный выпрямитель может быть упрощен (два диода можно заменить на один, подключенный к средней точке вторичной обмотки трансформатора).

4. Фильтры в источниках питания

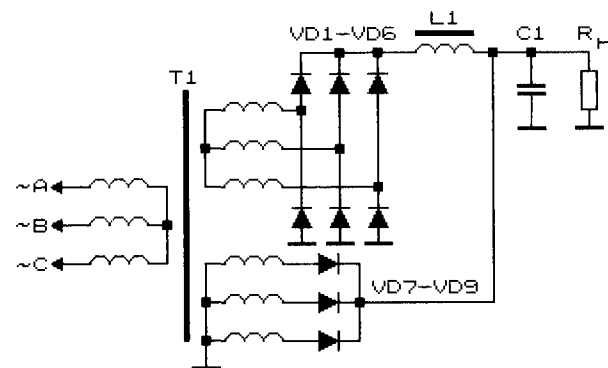


Рис. 4.16. Способ снижения провалов выходного напряжения в трехфазном выпрямителе

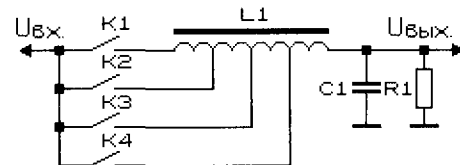


Рис. 4.17. Способ снижения пульсаций выходного напряжения с использованием переключаемой индуктивности

Рассмотренные выше способы снижения пульсаций выходного напряжения являются далеко не исчерпывающими, а демонстрируют лишь малую часть из разнообразных методов улучшения характеристик выходных выпрямленных напряжений.

В качестве еще одного примера рассмотрим схемы сглаживающих фильтров с управляемым энергообменом в реактивных элементах [4.5].

На рис. 4.17 — 4.20 показаны схемы таких фильтров, в которых используется набор ключевых элементов, позволяющих по определенному алгоритму включать и отключать индуктивности или емкости, входящие в состав фильтра.

Такое решение позволяет заметно сгладить форму выходного напряжения, однако в его спектре появляются высокочастотные составляющие, обусловленные переходными процессами при коммутации. Помимо прочего, схема устройства заметно усложняется и, соответственно, понижается ее надежность.

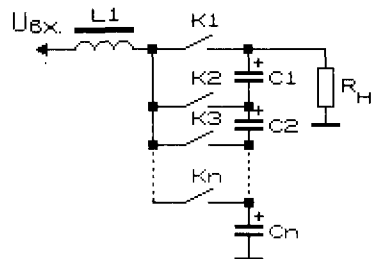


Рис. 4.18. Способ снижения пульсаций выходного напряжения с использованием переключаемых конденсаторов

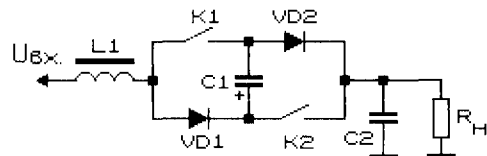


Рис. 4.19. Способ ослабления пульсаций постоянного тока с использованием коммутируемого конденсатора

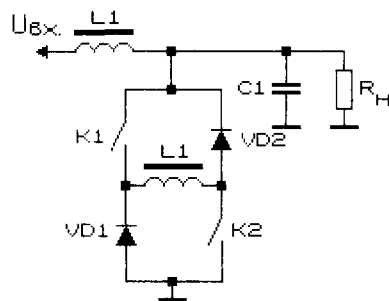


Рис. 4.20. Способ ослабления пульсаций постоянного тока при помощи коммутируемой индуктивности

На рис. 4.18 показан вариант реализации идеи динамического управления свойствами LC-фильтра путем программной коммутации цепочки емкостных элементов фильтра [4.5].

На рис. 4.19 и 4.20 показаны схемы устройств, предназначенные для ослабления пульсаций постоянного тока на выходе выпрямителя [4.6, 4.7]. В первой из них используется коммутируемая диодно-емкостная цепочка в цепи фильтра [4.6], во втором — диодно-индуктивная [4.7].

При работе выпрямителей и других устройств, работающих от сети, актуальным является также вопрос об использовании фильтров во входных цепях устройств с сетевым питанием. Обусловлено это не только тем, что помехи, проникающие из сети питания в результате коммутационных процессов (искрения, работы электросварочного и другого оборудования, газоразрядных источников света, радиопередающих устройств, компьютеров и т.д.), вызывают сбои в работе потребителей энергии или искажают результаты этой работы. Дополнительно входные фильтры решают и другую задачу — снижают уровень помех, генерируемых потребителем электроэнергии. Таким устройством может быть, например, бытовой пылесос, искрение щеток которого вызывает интенсивные помехи в широком диапазоне, компьютер и другие устройства.

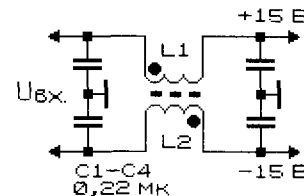


Рис. 4.21. Схема фильтра для защиты от высокочастотных помех

Для защиты от высокочастотных помех между потребителем энергии и сетью включают специальные электрические фильтры. Один из вариантов реализации такого фильтра показан на рис. 4.21. Схема фильтра, в силу ее симметрии, обладает свойством обратимости: фильтр является преградой распространению высокочастотных помех по сетевым проводам. Подобный фильтр может быть использован и в цепях постоянного тока (как это показано на рисунке). Особенно полезным такой фильтр оказывается для «очистки» выходного напряжения импульсных преобразователей напряжения.

5. Стабилизаторы постоянного тока

Стабилизатором тока (генератором стабильного тока) называется устройство, автоматически поддерживающее с заданной точностью неизменный ток в нагрузке при действии дестабилизирующих факторов.

Независимо от конструктивного исполнения любой источник тока состоит из одних и тех же функциональных узлов. Это первичный источник питания, регулирующий элемент, датчик тока и нагрузка. Может быть использована и цепь обратной связи, подающая сигнал с датчика тока на регулирующий элемент. Ток в нагрузке определяется параметрами датчика тока [5.1].

Если ток в цепи обратной связи достаточно мал, что обычно выполняется на практике, то через последовательно соединенные источник питания, датчик тока, регулирующий элемент и нагрузку протекает одинаковый ток. При этом условии практически любой вариант схемы получается перестановкой последовательно соединенных узлов и выбором точки заземления. Если же токи в цепи обратной связи и в основной цепи соизмеримы, необходимо учитывать появление погрешностей при установке нужного тока в нагрузке. Однако существуют схемные решения, в которых ток обратной связи протекает как через датчик тока, так и через нагрузку, что компенсирует возникновение ошибки [5.1].

А. Аристовым [5.2] были исследованы схемы генераторов стабильных токов (рис. 5.1 — 5.6) и произведена оценка эффективности их применения.

Полевой транзистор (рис. 5.1) имеет начальный ток стока 0,9 мА, напряжение отсечки 0,8 В и крутизну характеристики 1,1 мА/В.

Биполярные транзисторы (рис. 5.2 — 5.6) в целях сопоставления свойств различных вариантов выполнения устройств — генераторов стабильного тока (см. итоговую таблицу 5.1) — выбраны со статическим коэффициентом передачи тока примерно 100, измеренным при фиксированном токе коллектора 1 мА.

Среди генераторов стабильного тока (и микротока), собранных на биполярных транзисторах [5.2], наилучшие параметры

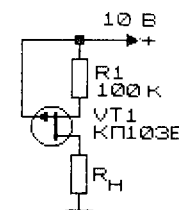


Рис. 5.1. Применение полевого транзистора для получения стабильного тока

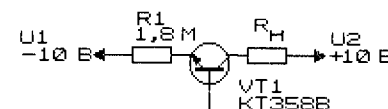


Рис. 5.2. Пример генератора стабильного тока на биполярном транзисторе с двухполярным питанием

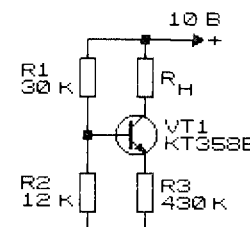


Рис. 5.3. Биполярный транзистор в схеме генератора стабильного тока

оказались у схемы генератора на рис. 5.2. Стабильность выходного тока через нагрузку R_H зависит от стабильности напряжения питания U_1 и может быть достаточно высокой. Небольшое влияние температурной нестабильности напряжения на эмиттерном переходе ($U_{эб}$) уменьшается при увеличении напряжения питания. Динамическое выходное сопротивление генератора весьма велико.

Двухполярное питание в схеме генератора тока (рис. 5.2) можно создать искусственно (рис. 5.3) с помощью делителя напряжения R_1 , R_2 [5.2]. При этом несколько увеличивается минимальное напряжение $U_{мин.1}$ приблизительно до значения падения напряжения на резисторе R_2 . В ряде случаев, например при

5. Стабилизаторы постоянного тока

нестабильном напряжении питания, этот резистор необходимо заменить на стабилитрон.

Генератор тока по схеме на рис. 5.4 проще, но обладает рядом недостатков [5.2]. Главный из них — значительное изменение выходного тока от температуры. При ее увеличении на 1°C ток через нагрузку возрастает примерно на 2%. Однако этот недостаток превращается в достоинство, если генератор используют как датчик температуры или элемент термокомпенсации.

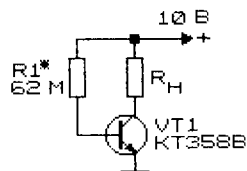


Рис. 5.4. Упрощенный вариант схемы генератора стабильного тока

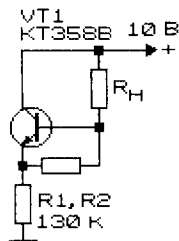


Рис. 5.5. Эмиттерный повторитель — генератор стабильного тока

Генератором стабильного тока может стать эмиттерный повторитель на кремниевом транзисторе (рис. 5.5), причем транзистор одновременно способен выполнять функции повторителя напряжения, усилителя мощности, инвертора фазы и другие [5.2]. Ток нагрузки является суммой двух составляющих: тока через резистор R2 и тока базы транзистора VT1.

Измерения температурной нестабильности тока нагрузки показали, что увеличение температуры на 1°C уменьшает ток нагрузки примерно на 0,3%.

Генератор стабильного микротока (рис. 5.6) отличается тем, что вместо резистора R1 установлен дополнительный генератор

5. Стабилизаторы постоянного тока

стабильного тока — на транзисторе VT1 [5.2]. Очевидным следствием такой замены является значительное увеличение выходного динамического сопротивления. Кроме того, генератор имеет высокую температурную стабильность тока нагрузки благодаря тому, что нагрев транзистора VT2 приводит к уменьшению этого тока, а нагрев VT1 — к увеличению. Подбором резистора R2 можно добиться почти полной термокомпенсации тока нагрузки.

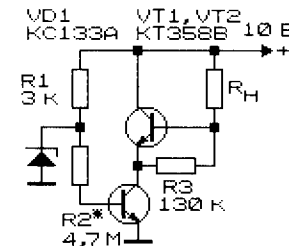


Рис. 5.6. Схема генератора стабильного микротока на биполярных транзисторах

В таблице 5.1 приведены значения динамического выходного сопротивления ($R_{\text{дин.}}$), а также минимального напряжения ($U_{\text{мин.}}$) или разности между напряжением питания и падением напряжения на нагрузке, при котором генератор еще сохраняет работоспособность [5.2]. Ток через нагрузку (R_H) во всех схемах генераторов равен 5 мкА. Динамическое выходное сопротивление определялось как частное от деления изменения напряжения питания на изменение тока нагрузки.

Таблица 5.1. Сравнительные характеристики генераторов тока

Схема, рис.	5.1	5.2	5.3	5.4	5.5	5.6
$R_{\text{дин.}}, \text{МОм}$	9,5	2000	>1000	>1000	8	>1000
$U_{\text{мин.}}, \text{В}$	1,4	0	2,6	0,1	1,4	0,8

На рис. 5.7 приведена схема многодиапазонного переключаемого транзисторного стабилизатора тока [5.3]. Такие устройства зачастую применяют в многопредельных измерительных приборах при измерении сопротивления. Поскольку ток через сопротивление (сопротивление нагрузки R_H) неизменен, падение

5. Стабилизаторы постоянного тока

напряжения на нем прямо пропорционально величине сопротивления. Для повышения точности измерений в схеме желательно применить транзистор с максимально высоким коэффициентом передачи по току. Также можно использовать составной транзистор.

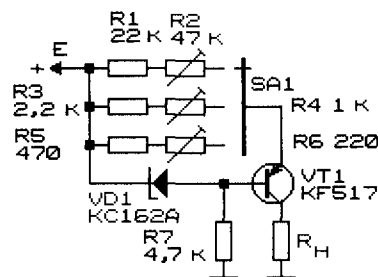


Рис. 5.7. Схема многодиапазонного транзисторного стабилизатора тока

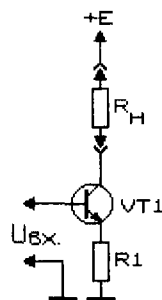


Рис. 5.8. Стабилизация тока на транзисторе с резистором в эмиттерной цепи

В качестве простейшего источника тока (рис. 5.8) хорошо работает обычный транзистор с резистором в эмиттерной цепи [5.1, 5.4]. Ток в нагрузке определяется выражением

$$I_H = \frac{U_{bx} - U_{бэ}}{R1},$$

где I_H — ток в нагрузке, U_{bx} — входное напряжение, $U_{бэ}$ — падение напряжения на переходе база — эмиттер транзистора VT1, R1 — сопротивление датчика тока R1. Меняя величину U_{bx} , можно установить требуемый ток нагрузки.

5. Стабилизаторы постоянного тока

Более стабильно работает устройство (рис. 5.9), которое благодаря своей простоте находит широчайшее применение в интегральной схемотехнике [5.1].

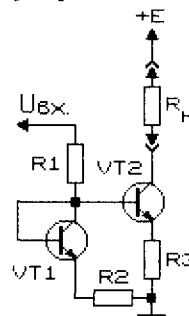


Рис. 5.9. Схема двухтранзисторного стабилизатора тока

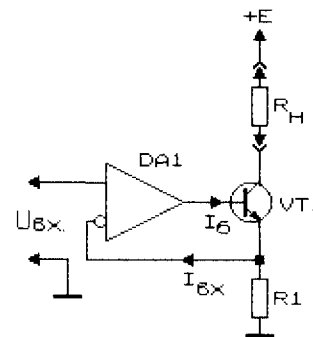


Рис. 5.10. . Операционный усилитель в стабилизаторе тока

Традиционной схемой источника тока с применением операционного усилителя является классическая схема, приведенная на рис. 5.10 [5.1]. В этой схеме регулирующий элемент — транзистор VT1 — управляется операционным усилителем DA1, который стремится уравнивать напряжения на своих входах — инвертирующим и неинвертирующим. При этом ток в нагрузке R_H определяется выражением

$$I_H = \frac{U_{bx}}{R1}.$$

Аналогичными свойствами обладает генератор стабильного тока [5.1], схема которого показана на рис. 5.11.

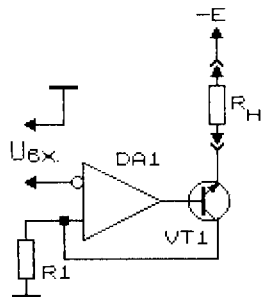


Рис. 5.11. Вариант применения операционного усилителя в схеме стабилизатора тока

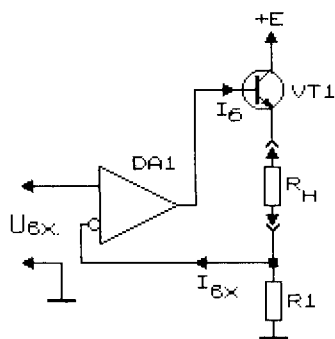


Рис. 5.12. Схема стабилизатора тока с «плавающей» нагрузкой

Еще одним вариантом генератора стабильного тока является схема с «плавающей» нагрузкой [5.1], приведенная на рис. 5.12. Ток в нагрузке здесь также определяется выражением

$$I_{н.} = \frac{U_{BX.}}{R1}.$$

Так как нагрузка R_H включена последовательно с датчиком тока $R1$, то на ошибку устанавливаемого тока не влияет ток базы транзистора $VT1$, и она определяется лишь очень малым входным током операционного усилителя $DA1$.

На схему с «плавающей» нагрузкой очень похожа схема с заземленной нагрузкой (рис. 5.13) [5.1]. Возможность заземления нагрузки является существенным преимуществом данного устройства.

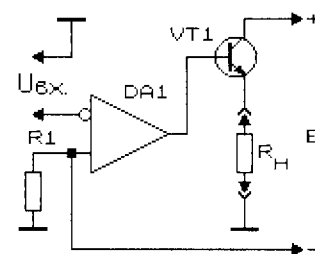


Рис. 5.13. Стабилизация тока в схеме с заземленной нагрузкой

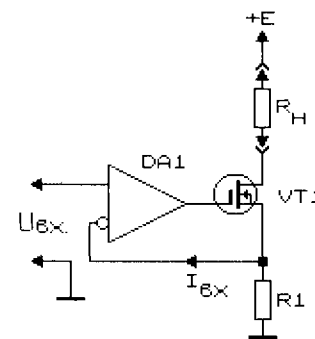


Рис. 5.14. Полевой транзистор в качестве регулирующего элемента в стабилизаторе тока

В качестве регулирующего элемента можно применить и полевой транзистор (рис. 5.14) [5.1].

Мощный источник постоянного стабилизированного тока [5.5] может быть выполнен по схеме на рис. 5.15. Это устройство целесообразно использовать для зарядки аккумуляторных батарей током до 5 А. Номинальное значение выходного тока определяется частным от деления падения напряжения на верхней половине потенциометра $R1$ (т.е. опорного напряжения) на величину сопротивления датчика тока — проволочного резистора $R4$. Для зарядки автомобильной аккумуляторной батареи входное напряжение должно превышать 18 В. В качестве замены микросхемы $DA1$ могут быть использованы $K153UD2$, $K153UD6$, а также $KP140UD18$.

Для стабилизации сравнительно больших токов (сотни мА) используют бареттеры, например, 1Б5-9, где цифра 1 обозначает

5. Стабилизаторы постоянного тока

номинальный ток стабилизации, в амперах; диапазон 5-9 — рабочую область напряжения стабилизации (ее начало и конец), в вольтах.

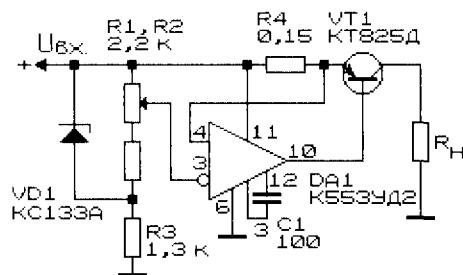


Рис. 5.15. Схема источника постоянного стабилизированного тока для зарядки аккумуляторных батарей

Бареттер — электровакуумный прибор, электрическое сопротивление которого плавно снижается с момента включения. Такие приборы использовались ранее для защиты дорогостоящих ламп накаливания, нитей накала кинескопов и радиоламп, в стабилизаторах тока. Бареттеры ограничивают опасные броски тока при включении радиоэлектронной аппаратуры. Их применение оправдано при работе маломощных выпрямителей на емкостную нагрузку. Бареттерной характеристикой обладают специальные лампы накаливания с водородным наполнением. Бареттер обладает заметной тепловой инерцией, поэтому способен стабилизировать только медленные изменения тока. Обычные бареттеры не защищены от перегрузок по току и не способны задавать предельный ток нагрузки. Они могут корректно выполнять свои функции в довольно узком диапазоне напряжений и токов.

Видом характеристической кривой обычного бареттера управлять невозможно.

На рис. 5.16 показана схема аналога бареттера на полупроводниковых приборах, защищенного от короткого замыкания в нагрузке и имеющего плавную регулировку максимального тока нагрузки [5.6, 5.7].

Устройство содержит мощный регулирующий транзистор VT1 (KT805AM), установленный на радиаторе, а также транзисторы VT2, VT3. При включении бареттера через короткозамкнутую

5. Стабилизаторы постоянного тока

нагрузку ток через резисторы R2 и R3 заряжает конденсатор C1, подключенный к переходу эмиттер — база транзистора VT1. По мере заряда конденсатора выходной ток «бареттера» плавно возрастает до некоторого заданного предельного значения.

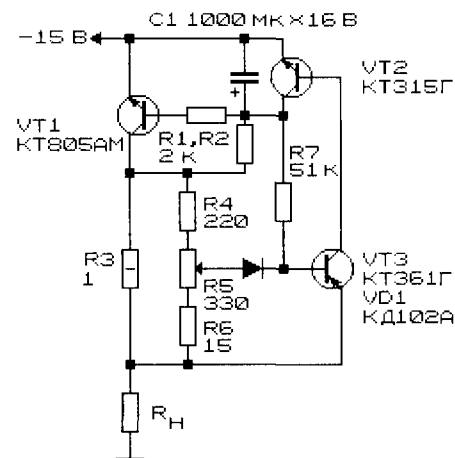


Рис. 5.16. Пример схемы электронного аналога бареттера с управляемой характеристикой

Выходной ток транзистора VT1 протекает через резистор R3 и цепочку подключенных параллельно ему резисторов R4 — R6. Напряжение, снимаемое с движка потенциометра R5, пропорциональное выходному току, подается на базу транзистора VT3. В свою очередь, коллекторный ток транзистора VT3 задает ток базы транзистора VT2, подключенного параллельно управляющему переходу силового транзистора VT1. Таким образом, при увеличении тока нагрузки происходит плавное запирающее транзистора VT1 и осуществляется стабилизация тока в нагрузке.

Особенностью схемы является применение диода VD1 и сопротивления R7 для обеспечения начального смещения на базе транзистора VT3. Дело в том, что управление коллекторным током транзистора VT3 осуществляется в весьма узком диапазоне напряжений на его базе — от 0,5 до 0,6 В. Поэтому подача управляющего напряжения в зоне с пределами от 0 до 0,5 В при традиционном способе подвода напряжения к переходу эмиттер — база транзистора не вызовет изменения его коллекторного тока. В

5. Стабилизаторы постоянного тока

то же время последующее повышение напряжения на базе транзистора всего на несколько десятков милливольт вызовет резкое (до максимально возможного) увеличение его коллекторного тока.

Включение дополнительных элементов — диода VD1 и резистора R7 позволяет задавать начальное смещение на базе транзистора VT1 на уровне 500 мВ. Падение напряжения на резисторе R6 и части потенциометра R5, пропорциональное выходному току (десятки мВ), суммируется с опорным напряжением и позволяет плавно регулировать выходной ток регулирующего транзистора VT1. Резистор R6 ограничивает максимальное значение тока нагрузки; R4 — задает минимальное значение тока.

В таблице 5.2 приведены значения выходного тока при использовании в качестве сопротивления нагрузки лампы накаливания (6,3 В, 0,28 А) и при коротком замыкании (КЗ) в цепи нагрузки.

Таблица 5.2. Пределы регулировки выходного тока полупроводникового аналога бареттера при различных напряжениях питания

U _{пит.} , В	Ток, мА	
	в нагрузке	при КЗ
6	95...110	95...155
9	70...175	70...300
12	35...230	35...440
15	9...280	9...625

Чем больше ток нагрузки, тем плавней происходит нарастание тока в цепи нагрузки при включении устройства, т.е. тем самым реализуется «бареттерная» характеристика устройства. Скорость нарастания тока можно регулировать изменением емкости конденсатора C1 и подбором резисторов R1 и R2.

Регулируемый полупроводниковый аналог бареттера выполнен на основе стабилизатора тока (микросхема DA1 K142EH5A) и управляемого сопротивления (транзисторы VT1 и VT2), задающего величину максимального тока через нагрузку (рис. 5.17) [5.8].

При включении устройства конденсатор C1 заряжается через резистор R1 от источника питания. Напряжение, снимаемое с

5. Стабилизаторы постоянного тока

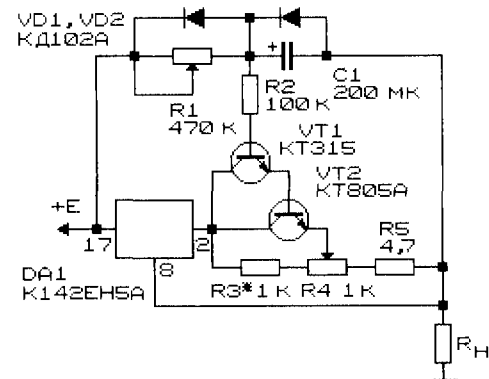


Рис. 5.17. Схема транзисторного аналога бареттера с регулируемым током

C1, через резистор R2 подается на базу составного транзистора VT1 (KT315) и VT2 (KT805A). Составной транзистор включен в цепь резисторов, задающих (определяющих) максимальное значение тока через генератор стабильного тока и сопротивление нагрузки. По мере заряда конденсатора происходит открывание транзисторов, сопротивление эмиттер — коллектор выходного транзистора плавно снижается. Соответственно, возрастает выходной ток устройства.

Область рабочих напряжений полупроводникового аналога бареттера — 7...30 В. Резистор R1 определяет инерционные свойства схемы. Величина максимального выходного тока регулируется потенциометром R4 в пределах от 5 мА до 1 А.

Транзистор VT2 и микросхема DA1 установлены на теплоотводах. Диоды VD1 и VD2 защищают микросхему DA1, а также способствуют быстрому разряду конденсатора C1 при выключении устройства. Время нарастания выходного тока составляет 20...30 сек и зависит от параметров C1 и R1.

Для получения малых токов стабильной величины часто используют полевые транзисторы.

Простые схемы генераторов постоянного тока, выполненных на полевых транзисторах, показаны на рис. 5.1, 5.18 — 5.20 [5.1, 5.9]. Они представляют собой двухполюсники. Динамическое сопротивление полевого транзистора (рис. 5.18) при короткозамкнутом R1

5. Стабилизаторы постоянного тока

обычно не превышает 50 кОм. Наличие сопротивления R1 позволяет увеличить динамическое сопротивление двухполюсника в десятки раз — от долей до единиц МОм.

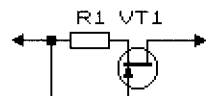


Рис. 5.18. Полевой транзистор в качестве токостабилизирующего двухполюсника

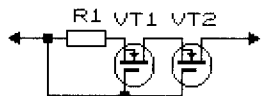


Рис. 5.19. Схема стабилизатора тока на полевых транзисторах с параллельным включением затворов

Лучшими параметрами обладают стабилизаторы тока с параллельным (рис. 5.19) и раздельным (рис. 5.20) включением затворов полевых транзисторов [5.9]. В первом случае динамическое сопротивление генератора тока может достигать значений 20...50 МОм при токах менее 1 мА. Во втором случае (для схемы на трех транзисторах) динамическое сопротивление достигает 100 МОм при токе 1 мА.

Пример использования стабилизатора постоянного тока для создания высококачественного стабилизатора напряжения [5.9] показан на рис. 5.21. Полевой транзистор заменяет ограничительный резистор в параметрическом стабилизаторе на стабилитроне VD1. Операционный усилитель DA1 включен как повторитель напряжения в качестве буферного каскада.

Для стабилизации тока в нагрузке В.А. Макаров и Р.А. Сивков использовали многокаскадный параметрический стабилизатор напряжения в сочетании с RC-фильтром (рис. 5.22) [5.10]. На выходе устройства включен генератор стабильного тока на полевом и биполярном транзисторах. В схеме предусмотрена компенсация температурного изменения выходного тока.

Следует отметить, что для получения высокостабильного выходного тока устройству требуется двухчасовой выход на рабочий режим. Основные характеристики устройства приведены в таблице под рисунком.

5. Стабилизаторы постоянного тока

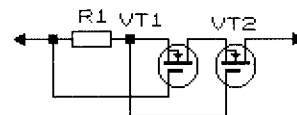


Рис. 5.20. Схема стабилизатора тока на полевых транзисторах с раздельным включением затворов

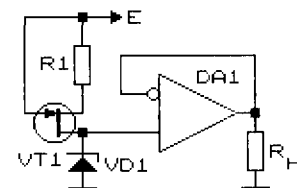


Рис. 5.21. Схема высококачественного стабилизатора фиксированного постоянного напряжения

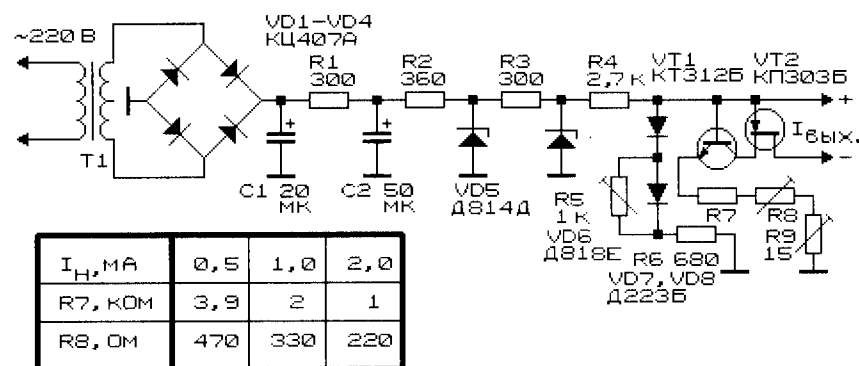


Рис. 5.22. Пример источника стабильного тока на полевом и биполярном транзисторах

Схемы, предназначенные для стабилизации переменного тока, используются достаточно редко. Обычно в этих случаях используют бареттеры (специальные слаботочные лампы накаливания, наполненные водородом), лампы накаливания, современные полупроводниковые элементы. Кроме того, стабилизатор переменного тока может быть спроектирован на основе вышеприведенных схем с использованием диодного моста, в диагональ которого с соблюдением полярности включен токостабилизирующий двухполюсник.

6. Стабилизаторы постоянного напряжения общего назначения

Стабилизаторы постоянного напряжения на малый ток нагрузки проще всего выполнять на стабилитронах. Схемные решения с использованием стабилитронов и их регулируемых и нерегулируемых аналогов подробно рассмотрены нами в предыдущей книге [6.1], поэтому далее специально рассматриваться они не будут.

Повышение стабильности выходного напряжения и увеличение выходного тока позволяют получить транзисторные схемы стабилизации напряжения. Наиболее простая схема на транзисторе, включенном по схеме эмиттерного повторителя со стабилитроном в цепи базы, показана на рис. 6.1.

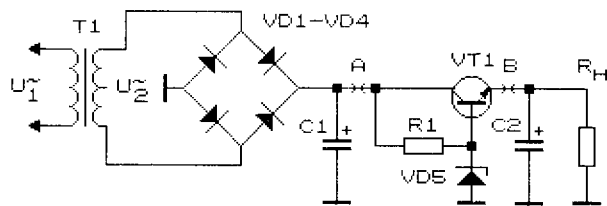


Рис. 6.1. Простая схема источника питания со стабилизатором напряжения на транзисторе

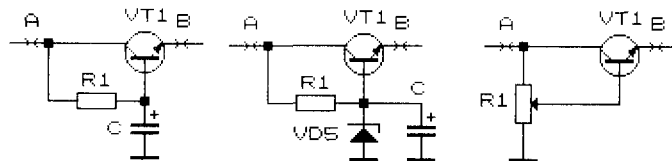


Рис. 6.2. Варианты схем включения эмиттерного повторителя для выполнения различных функций

Для сравнения на рис. 6.2 приведены схемы включения эмиттерного повторителя для выполнения различных функций. Первая из схем демонстрирует преобразование устройства в фильтр с нестабилизированным выходным напряжением, вторая

схема показывает совмещение свойств стабилизатора напряжения и фильтра, а третья иллюстрирует возможность получения нестабилизированного регулируемого выходного напряжения.

Возможность получения двухполярного стабилизированного напряжения с использованием однотипных схем транзисторных стабилизаторов на элементах разной проводимости показана на рис. 6.3 [6.2].

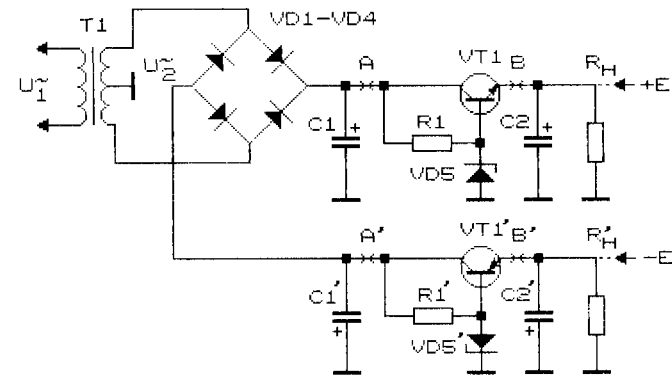


Рис. 6.3. Схема источника двухполярного стабилизированного напряжения

Для создания стабилизаторов напряжения помимо нелинейных полупроводниковых элементов — стабилитронов — можно использовать нелинейные элементы другого рода — варисторы. Варисторы — это полупроводниковые элементы, электрическое сопротивление которых зависит от величины приложенного напряжения независимо от его полярности.

Стабилизатор напряжения на транзисторах и варисторах [6.3] показан на рис. 6.4. Мостовая схема на варисторах $R3$ и $R6$ и резисторах $R4$ и $R5$ выполняет функции опорного элемента и питается стабилизированным выходным напряжением. При его изменении происходит разбаланс моста. Сигнал с диагонали моста, пропорциональный изменению выходного напряжения, подается на управляющий электрод — базу транзистора $VT2$, который способствует возвращению выходного напряжения на исходный уровень.

При входном напряжении 53 В выходное напряжение стабилизатора составляет 36 В. Коэффициент стабилизации схемы

6. Стабилизаторы постоянного напряжения

равен 500...650 при изменении входного напряжения в пределах $\pm 20\%$, выходное сопротивление стабилизатора — 1,5 Ом, температурный коэффициент напряжения составляет 50 мВ/град.

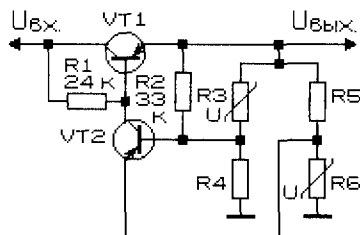


Рис. 6.4. Схема стабилизатора напряжения с варисторами, коэффициент стабилизации 500...650

В последнее время широкое распространение получили стабилизаторы на основе специализированных микросхем. Однако и поныне часто встречаются схемы стабилизаторов, выполненных на дискретных элементах. Чаще всего это обусловлено желанием получить от своего устройства какие-либо новые качества, добиться хоть незначительного, но вполне приемлемого для новатора превосходства над «стандартом» и «ширпотребом».

В научно-технической и патентной литературе описано немало стабилизаторов напряжения, выполненных на дискретных элементах. Наиболее типичные из них были сопоставлены по эффективности в работе [6.4] (рис. 6.5 — 6.15).

На рис. 6.5 приведена схема стабилизатора, обычно применяемая в малогабаритных блоках питания калькуляторов, плееров и т.п. Стабилизатор имеет защиту от коротких замыканий (на элементах VD2 и R2). По мере роста тока нагрузки растет ток базы VT1, а значит и эмиттерный ток VT2, создавая на R2 падение напряжения. При некотором значении этого тока падение напряжения на R2 превышает выходное напряжение стабилизатора, и диод VD2 закрывается. Дальнейшее увеличение нагрузки переводит транзистор в режим ограничения тока, т.к. напряжение на его базе фиксировано. Поэтому выходное напряжение с ростом нагрузки падает. Ток короткого замыкания примерно на 50% больше максимального тока нагрузки, т.е. тока, при котором начинает действовать защита. Этот стабилизатор имеет невысокий (около 125) коэффициент стабилизации напряжения.

6. Стабилизаторы постоянного напряжения

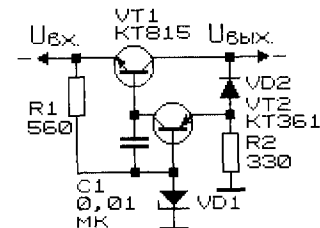


Рис. 6.5. Схема стабилизатора напряжения, коэффициент стабилизации 125

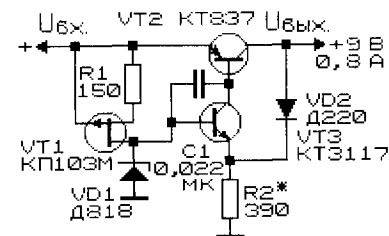


Рис. 6.6. Пример улучшенной схемы стабилизатора напряжения, коэффициент стабилизации 150

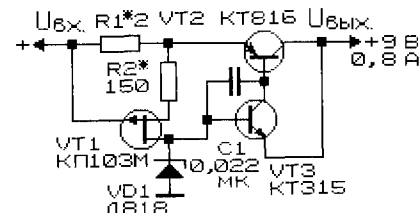


Рис. 6.7. Применение защиты по току в стабилизаторе напряжения, коэффициент стабилизации 150

Увеличить коэффициент стабилизации можно путем стабилизации тока через VD1. Для этого резистор R1 (рис. 6.5) заменен стабилизатором тока на полевом транзисторе VT1 (рис. 6.6). Величина тока короткого замыкания устанавливается подбором резистора R2.

Схема стабилизатора напряжения на рис. 6.7 отличается более надежным узлом защиты, в котором ток эмиттера регулирующего транзистора VT2 создает падение напряжения на датчике тока — резисторе R1. При определенном токе нагрузки полевой

6. Стабилизаторы постоянного напряжения

транзистор VT1 начинает запирается, уменьшая тем самым ток через нагрузку.

На рис. 6.8 приведена классическая схема стабилизатора напряжения последовательного типа. Коэффициент стабилизации этого стабилизатора — около 30.

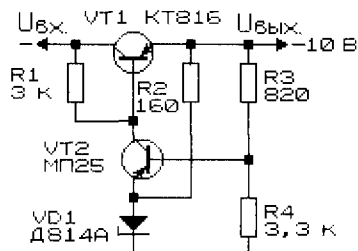


Рис. 6.8. Схема классического стабилизатора напряжения, коэффициент стабилизации 30

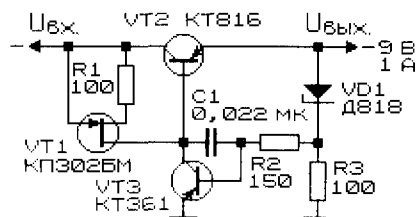


Рис. 6.9. Схема стабилизатора напряжения с коэффициентом стабилизации 3000

Одним из действенных способов повышения коэффициента стабилизации является замена резистора $R1$ (рис. 6.8) на стабилизатор тока (рис. 6.9). Элементы схемы $C1$ и $R2$ предотвращают самовозбуждение стабилизатора на высоких частотах.

Составной транзистор вместо регулирующего транзистора VT2 увеличивает эффективность стабилизатора (рис. 6.10). Выходное напряжение стабилизатора можно ступенчато изменять путем подключения различных стабилитронов.

Если объединить достоинства схем стабилизаторов на рис. 6.5 и на рис. 6.9, то получится схема, приведенная на рис. 6.11. Она имеет защиту по току и схему сравнения как на рис. 6.9. Коэффициент неустойчивости по току этого стабилизатора около 0,3%,

6. Стабилизаторы постоянного напряжения

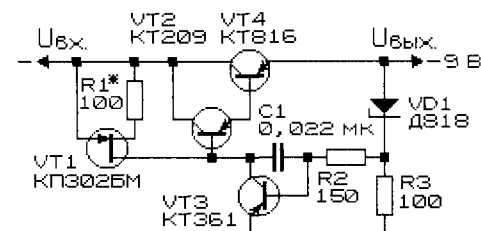


Рис. 6.10. Применение составного транзистора в схеме стабилизатора напряжения, коэффициент стабилизации 5000

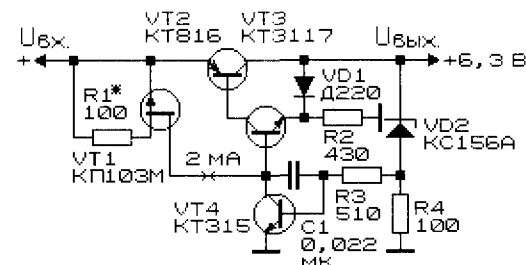


Рис. 6.11. Схема стабилизатора фиксированного напряжения, коэффициент стабилизации 2700

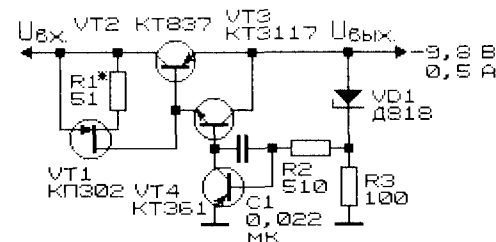


Рис. 6.12. Схема стабилизатора напряжения, коэффициент стабилизации 1800

поэтому его удобно применять при больших токах нагрузки (до 0,6 А). Величина тока нагрузки ограничивается максимально допустимым током коллектора VT2 и его предельной рассеиваемой мощностью.

На рис. 6.12 показан один из вариантов схемы стабилизатора, приведенной на рис. 6.11.

6. Стабилизаторы постоянного напряжения

Достоинством стабилизатора (рис. 6.13) является наличие токовой защиты и использование элемента термостабилизации — терморезистора R7.

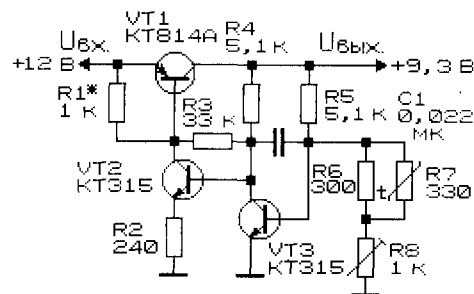


Рис. 6.13. Схема стабилизатора напряжения с защитой по току, коэффициент стабилизации 350

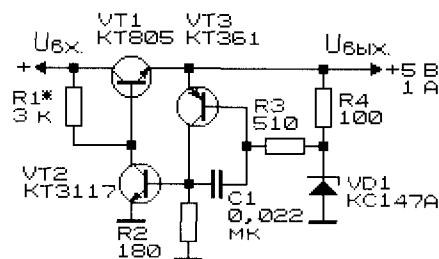


Рис. 6.14. Схема стабилизатора напряжения с ограничением тока нагрузки, коэффициент стабилизации 555

В схеме стабилизатора на рис. 6.14 узел сравнения на транзисторе VT3 как бы «перевернут», что увеличивает диапазон рабочих напряжений транзистора VT3. Максимальный ток нагрузки зависит от величины резистора R1.

Наилучшими свойствами среди рассмотренной группы стабилизаторов обладает устройство, схема которого показана на рис. 6.15.

Для сравнения параметры описанных выше стабилизаторов сведены в таблицу 6.1.

Полярность напряжения любого из приведенных выше стабилизаторов можно изменить на противоположную, если поменять

6. Стабилизаторы постоянного напряжения

полярность включения диодов, стабилитронов и использовать транзисторы другой проводимости.

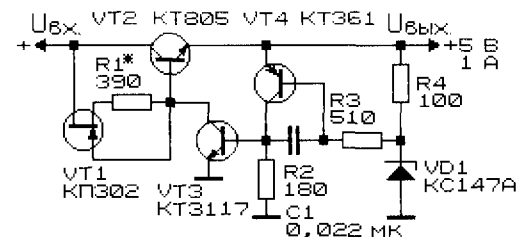


Рис. 6.15. Схема стабилизатора напряжения с повышенным коэффициентом стабилизации (до 10000)

Таблица 6.1. Сравнительные характеристики схем стабилизаторов напряжения [6.4]

№№ рис. схемы	Параметры			
	Козф. стаб. по напряжению, $K_{ст}$	Козф. нестаб. по напряжению, K_U	Козф. нестаб. по току, K_I	Кратность тока к.з. и отс. $I_{кз}/I_{отс.}$
6.5	125	—	—	1,5
6.6	150	0,035	2,62	1,5
6.7	150	0,035	2,62	1,5
6.8	30	—	—	—
6.9	3000	0,0016	0,45	1,5
6.10	5000	0,001	0,40	1,5
6.11	2700	0,0024	0,27	1,5
6.12	1800	0,0027	0,84	1,5
6.13	350	—	—	—
6.14	555	0,006	0,34	2
6.15	10000	0,0006	0,2	1,5

Для повышения устойчивости работы стабилизаторов, особенно при импульсном характере нагрузки, параллельно их выходу

6. Стабилизаторы постоянного напряжения

следует включать конденсатор емкостью 100...1000 мкФ. Емкость конденсатора на входе стабилизатора зависит от типа выпрямителя и тока нагрузки и должна быть одного порядка с выходной емкостью. Необходимо выбрать величину входной емкости так, чтобы в любой момент времени напряжение на входе стабилизатора вместе с пульсациями превышало выходное напряжение не менее чем на 3...5 В [6.4].

Далее на рис. 6.16 — 6.22 рассмотрены простые схемы экономичных стабилизаторов напряжения [6.5]. Такие устройства имеют малый ток потребления по сравнению с током нагрузки и минимальное падение напряжения на регулирующем элементе.

За основу для сравнения принят стабилизатор с защитой от короткого замыкания (рис. 6.16) [6.5]. В зависимости от типов и номиналов элементов схемы коэффициент стабилизации этой разновидности устройств был в пределах 7,5...80.

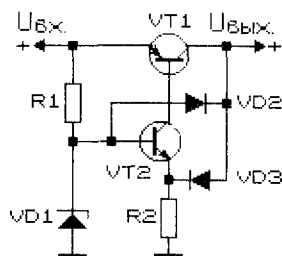


Рис. 6.16. Схема стабилизатора напряжения с защитой от короткого замыкания и коэффициентом стабилизации 7,5...80

При введении в схему стабилизатора источника стабильного тока на полевом транзисторе VT1, питающего опорный элемент — стабилитрон VD1 (рис. 6.17), коэффициент стабилизации заметно вырос (до 50...120).

Стабилизатор, имеющий дополнительный каскад усиления на транзисторе VT3 (рис. 6.18), позволяет получить коэффициент стабилизации 200...300.

Замена резистора R3 стабилизатором тока на полевом транзисторе (рис. 6.18) позволяет повысить коэффициент стабилизации до 300...800 (рис. 6.19).

6. Стабилизаторы постоянного напряжения

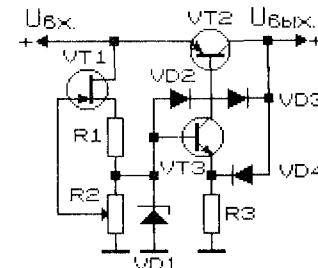


Рис. 6.17. Схема стабилизатора напряжения с повышенным коэффициентом стабилизации до 50...120

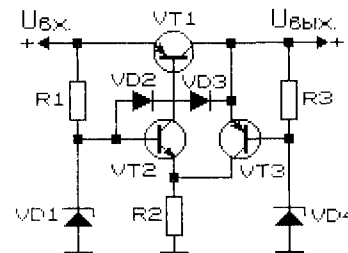


Рис. 6.18. Схема стабилизатора напряжения с дополнительным каскадом усиления (коэффициент стабилизации 200...300)

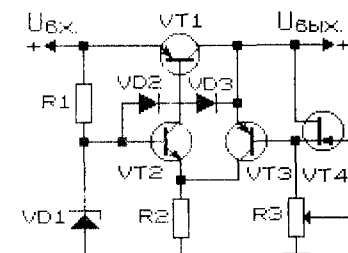


Рис. 6.19. Усложненная схема стабилизатора напряжения с коэффициентом стабилизации 300...800

Более сложная схема стабилизатора напряжения (рис. 6.20) имеет уже коэффициент стабилизации 1500...3000, а также улучшенный температурный коэффициент напряжения.

Стабилизатор напряжения с составным регулирующим транзистором (рис. 6.21) обладает примечательной особенностью: при

6. Стабилизаторы постоянного напряжения

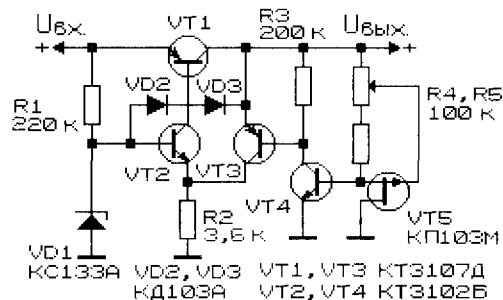


Рис. 6.20. Схема стабилизатора напряжения с коэффициентом стабилизации 1500...3000

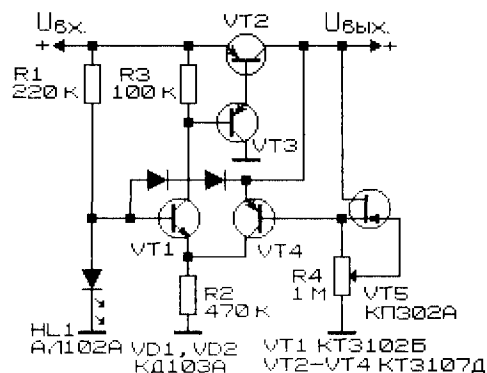


Рис. 6.21. Схема экономичного стабилизатора напряжения с коэффициентом стабилизации 300...700

отсутствии тока нагрузки потребляемый им ток крайне мал. При показанных на схеме транзисторах и номиналах элементов стабилизатор имеет коэффициент стабилизации 500...700; ток ограничения 80 мА; выходное сопротивление около 1 Ом.

При использовании в качестве VT2 транзистора типа *KT837B* ($h_{213}=120$) и входном напряжении 12 В ток собственного потребления (без нагрузки) не превышал 300 мкА, а при токе нагрузки 1 А — 30 мА. При токе нагрузки 1,9 А и выходном напряжении 6,4 В (примерно 50% от напряжения питания) коэффициент стабилизации был в пределах 300...500, а выходное сопротивление около 0,1 Ом.

6. Стабилизаторы постоянного напряжения

Высокостабильный стабилизатор напряжения (рис. 6.22) состоит из полевого транзистора в качестве регулирующего элемента, мостовой схемы сравнения со стабилитроном и операционного усилителя [6.6]:

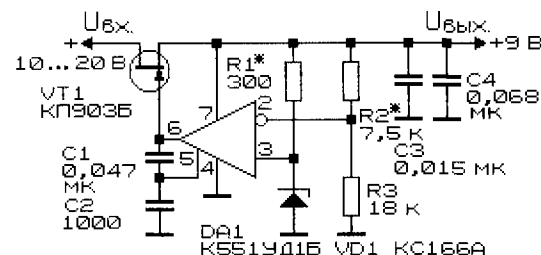


Рис. 6.22. Схема высококачественного стабилизатора напряжения с коэффициентом стабилизации 70000

Технические характеристики стабилизатора: коэффициент стабилизации напряжения — 70000; пределы входного напряжения — 10...20 В; выходное — 9 В; максимальный ток нагрузки — 150 мА; выходное сопротивление — 0,003 Ом.

Стабилизатор не боится перегрузок по току и коротких замыканий на выходе.

Схемы двух простых и надежных стабилизаторов напряжения с защитой от короткого замыкания, способных обеспечить положительное и отрицательное напряжение на выходе, показаны на рис. 6.23 и 6.24 [6.7].

Коэффициент стабилизации устройств — около 125. Выходное сопротивление — не более 0,035 Ом. В первоисточнике для схемы на рис. 6.23 использованы элементы: транзистор VT1 — *П214*, VT2 — *МП38А*, VD1 — *Д814В*, VD2 — *Д7Ж*, $C1=C2=500$ мкФ. Во второй схеме (рис. 6.24) использованы транзисторы: VT1 — *П702*, VT2 — *МП40*. В качестве современных аналогов полупроводниковых элементов этих схем можно применять не только германиевые, но и кремниевые транзисторы соответствующей структуры. Например, для первой схемы допустимо использование транзисторов типа *KT837* и *KT315* соответственно, стабилитрона *KC133* — *KC191*, диода *КД102*. Для второй — *KT805* и *KT361*, соответственно.

6. Стабилизаторы постоянного напряжения

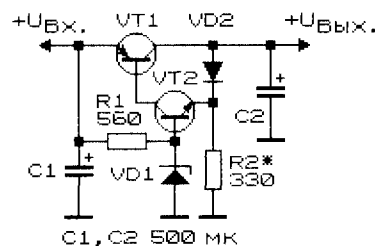


Рис. 6.23. Схема стабилизатора положительного напряжения с защитой от короткого замыкания

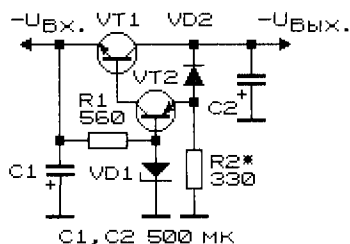


Рис. 6.24. Схема стабилизатора отрицательного напряжения с защитой от короткого замыкания

Ток, при котором срабатывает защита, составляет 1,1 А. Его величина устанавливается подбором резистора R2 и диода VD2.

Наиболее часто применяются стабилизаторы последовательного типа. Более редко используют стабилизаторы, в которых нагрузка включается параллельно регулируемому (управляемому) элементу. Это обусловлено, главным образом, тем, что КПД стабилизаторов параллельного типа невысок. Преимуществом таких стабилизаторов является то, что короткие замыкания в нагрузке для них не опасны. Кроме того, ток, потребляемый устройством от источника питания, при изменении сопротивления нагрузки изменяется незначительно.

Ниже в качестве примера реализации такого устройства приведена практическая схема стабилизатора параллельного типа (рис. 6.25) [6.8]. Устаревшие ныне полупроводниковые элементы могут быть заменены современными, например, транзисторы VT2 и VT3 можно заменить на транзисторы типа KT315 и KT361, соответственно, транзистор VT1 — ГТ701А, 1Т813А — В. Коэффициент трансформации трансформатора Т1 — 7.

6. Стабилизаторы постоянного напряжения

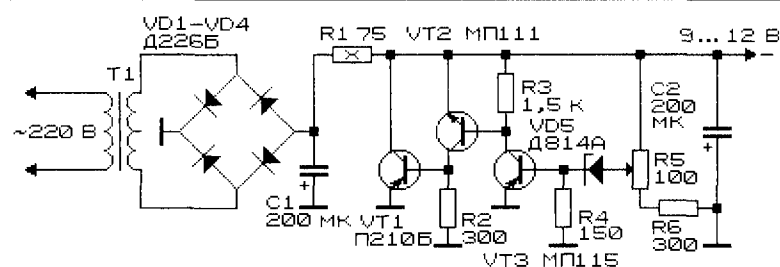


Рис. 6.25. Сетевой источник питания со стабилизатором напряжения параллельного типа

Для питания антенного усилителя (напряжение питания 12 В, ток потребления до 25 мА) И. А. Нечаев [6.9] использовал приставку-переходник, включаемую в разрыв цепи питания между сетью и телевизионным приемником (рис. 6.26). Приставка «отбирает» у питающей сети несколько ватт и вольт, однако не требует отдельного выключателя и обеспечивает надежную гальваническую развязку между сетью питания и антенным усилителем.

Итак, в разрыв цепи питания телевизионного приемника включается трансформатор Т1, низковольтная обмотка которого включена в сеть, повышающая обмотка — питает схему стабилизатора напряжения. На выходе повышающей обмотки включен мостовой выпрямитель, емкостной фильтр и стабилизатор напряжения. В качестве стабилитрона использован переход транзистора VT3, работающего в режиме лавинного пробоя. Вместо этого транзистора, разумеется, может быть включен и обыкновенный стабилитрон.

Для разделения ВЧ сигналов и напряжения питания использован высокочастотный дроссель L1, например, типа ДМ-0,1 индуктивностью 20...50 мкГн, либо его самодельный аналог.

В качестве трансформатора Т1 использован переделанный трансформатор от усилителя звуковой частоты радиоприемника «Альпинист-407». Сетевая обмотка содержит 150 витков провода ПЭВ-2 0,4, повышающая — 1000 витков провода диаметром 0,1 мм. Между обмотками должна быть обеспечена надежная изоляция.

На основе схемных решений [6.11, 6.12] спроектирован стабилизатор напряжения, приведенный в [6.10]. Он выполнен на трех транзисторах (рис. 6.27). В схеме имеется защита от короткого

6. Стабилизаторы постоянного напряжения

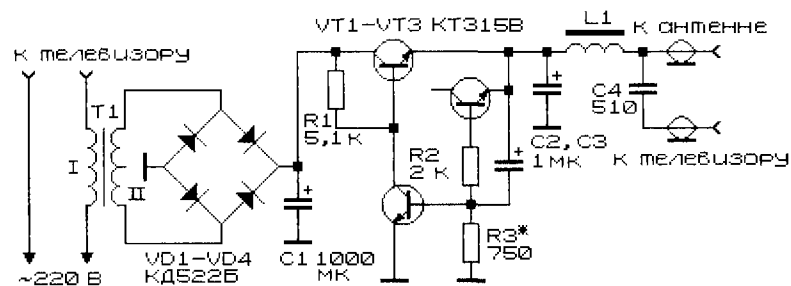


Рис. 6.26. Блок питания антенного усилителя, включаемый в разрыв провода питания телевизора

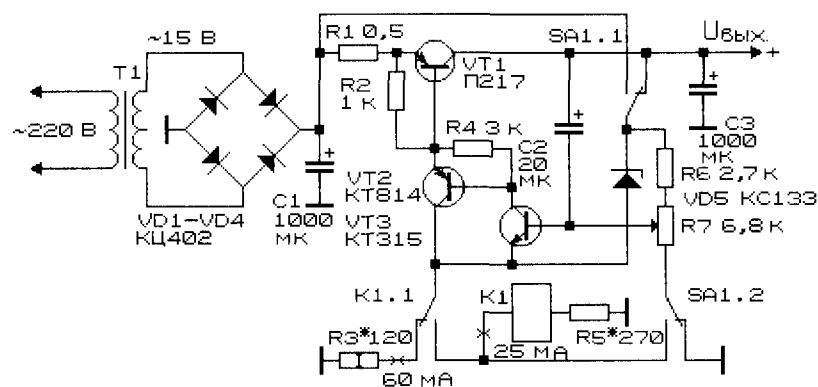


Рис. 6.27. Схема стабилизатора напряжения и/или тока с питанием от сети

замыкания в цепи нагрузки, которая обеспечивается наличием триггерного эффекта. В результате этого ток в цепи выходного транзистора VT1 ограничивается до безопасного уровня, который прямо пропорционален току через стабилитрон VD5. Он устанавливается резистором R3 в пределах допустимого тока стабилизации стабилитрона VD5.

При переводе SA1 в положение «Ток» изменяется способ подключения опорного напряжения, в результате чего стабилизатор напряжения превращается в источник тока с высоким внутренним сопротивлением.

Ток срабатывания защиты величиной 1,2 А устанавливают подбором резистора R6 и регулировкой потенциометра R7. Ток

6. Стабилизаторы постоянного напряжения

через стабилитрон VD5 должен быть на 5...10 мА больше тока срабатывания реле K1 (РЭС6 РФ0452103). Транзистор P217 можно заменить на ГТ701А; ГТ806А — Б; 1Т806А — Б; КТ837А — Д; 2Т818А — Г, КТ816В, Г.

Источник питания (рис. 6.28) позволяет получить на выходе стабилизированное напряжение, ступенчато переключаемое с 7,5 на 11,5 или на 19,0 В [6.13].

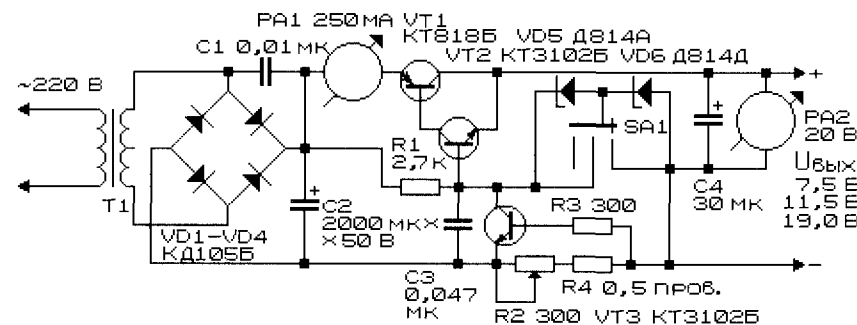


Рис. 6.28. Стабилизированный источник питания с переключаемым выходным напряжением

Устройство состоит из сетевого трансформатора T1, понижающего напряжение сети до 18...20 В, двухполупериодного выпрямителя на диодах VD1 — VD4 с фильтрующим конденсатором C2, стабилизатора напряжения R1, VD5, VD6, регулирующего элемента на транзисторах VT1, VT2 и транзистора VT3, защищающего источник питания от токовых перегрузок.

Источник питания дополнен встроенными вольтметром и миллиамперметром.

Выходное напряжение зависит от числа стабилитронов, подключенных к цепи управления выходного транзистора VT1. При желании блок может быть легко модернизирован на другие рабочие напряжения.

Максимальный ток нагрузки устанавливается в пределах от 5 до 250 мА с помощью резистора R2. При перегрузке (превышении заданной пользователем величины максимального тока нагрузки) транзистор VT3 открывается и шунтирует стабилитроны. Происходит ограничение тока нагрузки. Такой источник бывает особенно

6. Стабилизаторы постоянного напряжения

полезен при налаживании радиоэлектронных устройств — он позволяет защитить элементы схемы от повреждения при ошибках в монтаже.

Большинство стабилизаторов на биполярных транзисторах имеет существенный недостаток: на регулирующем транзисторе падение напряжения достигает $2,5\text{ В}$. Избавиться от этого недостатка стало возможным при переходе на современную элементную базу — за счет использования мощных полевых транзисторов, сопротивление исток — сток которых составляет десятые и даже сотые доли ома. Соответственно, падение напряжения на участке исток — сток даже при токах до нескольких ампер не превышает десятков-сотен милливольт.

В качестве примера такого стабилизатора, рассчитанного на ток нагрузки 20 А , приведена схема на рис. 6.29, в которой падение напряжения на полностью открытом полевом транзисторе не превышает $0,7\text{ В}$ [6.14].

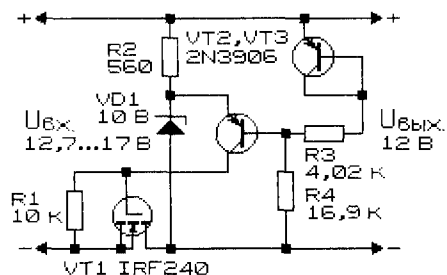


Рис. 6.29. Схема стабилизатора на ток 20 А с малым падением напряжения

Отметим, что дальнейшего снижения падения напряжения на полевом транзисторе (регулирующем элементе) можно достичь при их параллельном включении. В то же время, когда разница между входным и выходным напряжением стабилизатора довольно значительна, преимущества полевых транзисторов перед биполярными сказываются меньше.

Принцип действия бестрансформаторного низковольтного источника питания (рис. 6.30) основан на том, что электролитический конденсатор сравнительно большой емкости заряжается от сети переменного тока через тиристор и токоограничивающий

6. Стабилизаторы постоянного напряжения

резистор в положительные полупериоды напряжения [6.15]. Тиристор управляется схемой сравнения, в которую входит транзистор и стабилитрон на напряжение стабилизации 11 В .

База транзистора управляется от конденсатора: при напряжении на нем ниже $11,6\text{ В}$ транзистор заперт, и на управляющий электрод тиристора подается отпирающее напряжение. Когда же конденсатор зарядится до 12 В , транзистор отпирается и шунтирует управляющий электрод тиристора, отключая тем самым зарядную цепь.

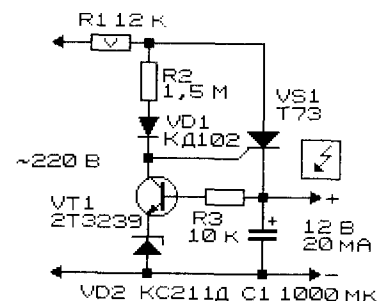


Рис. 6.30. Схема сетевого бестрансформаторного низковольтного источника питания на 12 В

Источник питания (рис. 6.30) имеет непосредственную гальваническую связь с питающей сетью, что необходимо учитывать при изготовлении и эксплуатации этого устройства.

7. Формирователи искусственной средней точки

При проектировании схем питания радиоэлектронных устройств часто возникает необходимость создания так называемой «средней точки». Она позволяет разделить одно питающее напряжение на части и использовать эти напряжения как два отдельных источника напряжения, которые имеют плюсовой и минусовой выход относительно общей (средней) точки.

Наиболее просто организовать искусственную «среднюю точку» можно при помощи обычного резистивного делителя (рис. 7.1). Значения сопротивлений резисторов делителя могут быть равны (но могут и различаться). При изменяющейся нагрузке ток делителя должен быть значительно больше, чем в нагрузке. Чем меньше величина этих сопротивлений и чем выше отношение сопротивления нагрузки к сопротивлению делителя напряжения, тем более постоянным поддерживается выходное напряжение при изменении тока нагрузки. Однако, если эти сопротивления соизмеримы, выходное напряжение будет заметно изменяться при непостоянной нагрузке. Если токи нагрузки плеч делителя неодинаковы, напряжение на выходе делителя будет изменяться в разных пропорциях.

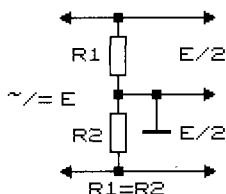


Рис. 7.1. Формирование искусственной средней точки с помощью резисторов

Параллельно резисторам делителя желательно также подключать конденсаторы равной емкости.

Гораздо большую стабильность выходного напряжения обеспечивает схема формирования искусственной средней точки с

7. Формирователи искусственной средней точки

использованием параметрического стабилизатора на двух стабилитронах (рис. 7.2).

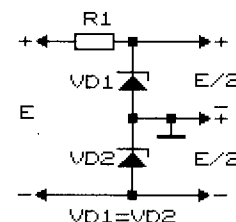


Рис. 7.2. Формирование искусственной средней точки с помощью стабилитронов

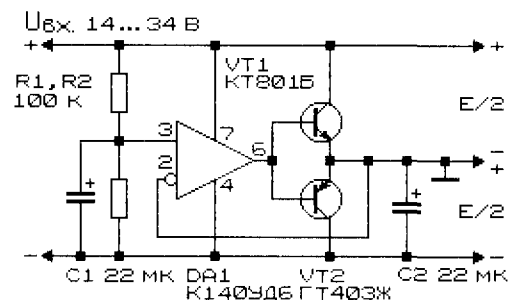


Рис. 7.3. Активный делитель напряжения с операционным усилителем и выходными повторителями для получения искусственной средней точки

Повысить нагрузочную способность схемы с искусственной средней точкой поможет активный делитель (рис. 7.3) на операционном усилителе с выходными повторителями [7.1]. При равенстве сопротивлений $R1=R2$ равны и выходные напряжения относительно средней точки, которая может быть заземлена. Через выходные транзисторы $VT1$ и $VT2$ протекают полные токи нагрузки, а падения напряжения на участках коллектор — эмиттер равны половине выходного напряжения. При больших токах нагрузки для выходных транзисторов требуются теплоотводы.

Достоинством схемы, изображенной на рис. 7.4, является то, что она, используя на входе обычное однополярное питание, позволяет формировать искусственную среднюю точку и одновременно стабилизировать выходные напряжения, равные по

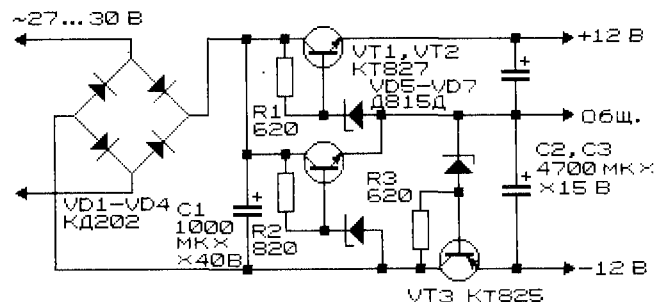


Рис. 7.4. Преобразователь однополярного напряжения в стабилизированное двухполярное со средней точкой

величине [7.2]. Для работы схемы на ее вход (диодный мост) можно подавать как переменное, так и постоянное напряжение, не заботясь о правильности подключения источника питания. Диодный мост автоматически обеспечивает «правильное» подключение стабилизатора к источнику питания.

8. Низковольтные стабилизаторы постоянного напряжения

К низковольтным стабилизаторам, рассматриваемым в настоящей главе, отнесены стабилизаторы постоянного напряжения с выходным напряжением от 0 до 6 В.

Для стабилизации малых (менее 1 В) напряжений может быть использован простейший стабилизатор [8.1], выполненный на полевом транзисторе VT1 (рис. 8.1). Такое устройство может быть использовано для питания низковольтных бытовых устройств.

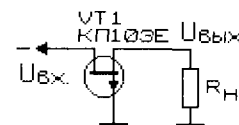


Рис. 8.1. Применение полевого транзистора для получения малых напряжений

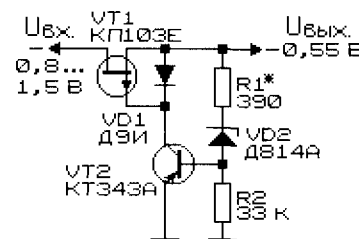


Рис. 8.2. Схема стабилизатора напряжения с выходным напряжением 0,55 В

Более сложная схема стабилизатора малых напряжений [8.1] показана на следующем рисунке (рис. 8.2). При напряжении на входе 0,8...1,5 В устройство обеспечивает выходное напряжение 0,55 В.

Наконец, на рис. 8.3 показана схема низковольтного стабилизатора этого же типа устройств, обладающая большей нагрузочной способностью и высокой стабильностью [8.1].

8. Низковольтные стабилизаторы

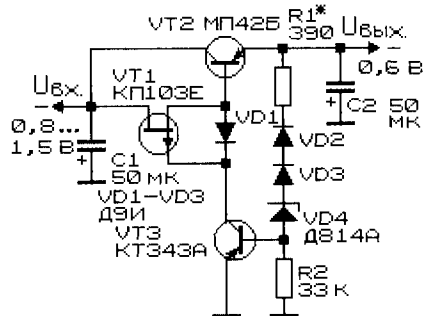


Рис. 8.3. Схема низковольтного стабилизатора напряжения на 0,6 В с повышенной нагрузочной способностью

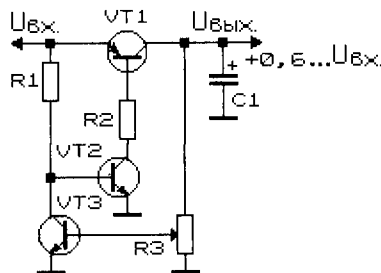


Рис. 8.4. Схема стабилизатора регулируемого напряжения с минимальным выходным напряжением 0,6 В

Ниже рассмотрены примеры выполнения транзисторных стабилизаторов [8.2], предназначенных для стабилизации напряжения малого уровня (от 0,6 В до напряжения, практически равного входному). Входное напряжение стабилизатора (рис. 8.4) — 5...30 В, выходное — регулируемое в пределах 0,6... $U_{вх}$. Верхняя граница входного напряжения стабилизатора определяется типом используемых транзисторов и потенциально при необходимости может быть заметно повышена использованием высоковольтных транзисторов. Нижний предел входного напряжения обусловлен тем, что при дальнейшем снижении этого напряжения заметно возрастает падение напряжения на транзисторе VT1.

Стабилизатор по схеме на рис. 8.5 обеспечивает выходное стабилизированное напряжение 5 В при входном напряжении

8. Низковольтные стабилизаторы

5,5...30 В [8.2]. Устройство имеет защиту от короткого замыкания. Величину резистора R4 определяют из выражения: $R4 (кОм) = 0,6 (В) / I_{VD1ном} (мА)$.

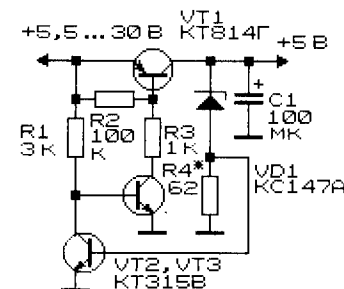


Рис. 8.5. Схема защищенного от короткого замыкания стабилизатора на 5 В

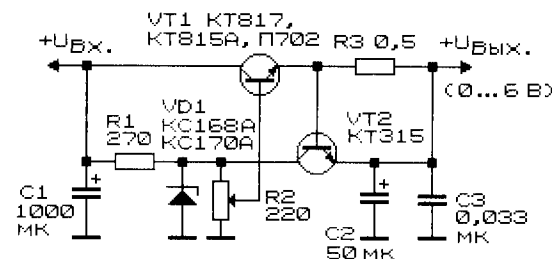


Рис. 8.6. Схема стабилизатора с регулируемым выходным напряжением 0...6 В

Стабилизатор (рис. 8.6) обеспечивает выходное напряжение, регулируемое в широких пределах (0...6 В) [8.3]. Резистор R3 является датчиком тока нагрузки. Как только падение напряжения на нем достигает величины 0,6...0,7 В (при токе 1,2...1,4 А на сопротивлении 0,5 Ом), срабатывает защитный транзистор VT2 и происходит ограничение выходного тока.

Входное напряжение для питания стабилизатора получают от трансформатора, дающего напряжение 9...10 В при мощности 10...15 Вт, например ТБК-70Л2 или ТБК-110Л2 от телевизора. Это напряжение выпрямляется мостовой схемой на диодах КД202А.

Многие современные радиоприемники, магнитофоны и плееры питаются от батареи из двух элементов, ресурсы которой не

8. Низковольтные стабилизаторы

безграничны. В стационарных условиях подобные устройства могут работать от блока питания, обеспечивающего на выходе стабилизированное напряжение 2,7...3 В.

Схема одного из таких устройств показана на рис. 8.7 [8.4]. Выходной ток устройства достаточно большой — 200 мА. Выходное напряжение блока питания на холостом ходу — 3,5 В, однако при подключении нагрузки оно устанавливается и стабилизируется на уровне 2,8 В. Устройство может быть также использовано для подзарядки разрядившихся элементов питания (аккумуляторов ЦНК-0,45).

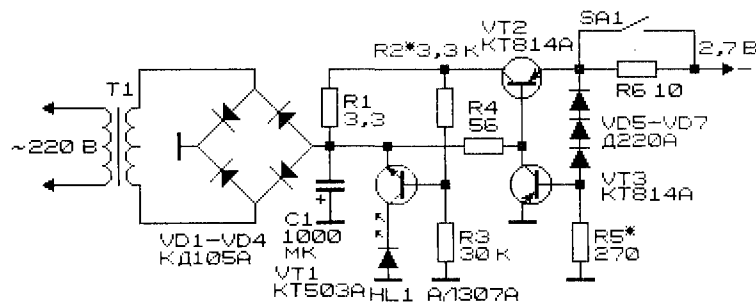


Рис. 8.7. Схема сетевого адаптера для плеера с напряжением питания 3 В

Транзистор VT1, светодиод HL1 и резисторы R2 и R3 образуют узел индикации, позволяющий по изменению яркости свечения индикатора судить о величине тока, потребляемого нагрузкой.

Переключатель SA1 предназначен для подключения резистора R6, ограничивающего ток зарядки полностью заряженной батареи питания до 70 мА. При работе плеера резистор R6 должен быть закорочен.

Простую схему компенсационного стабилизированного источника питания с защитой от короткого замыкания (см. рис. 8.8) предложил А. В. Гилис [8.5]. Она обеспечивает $I_{\text{вых}}=0...0,5$ А; $U_{\text{вых}}=2,7...3,3$ В; $U_{\text{пущ}}(\text{размах})<40$ мВ.

При подаче напряжения регулирующий транзистор VT1 открывается током через резистор R1. На выходе появляется напряжение, и, как только оно достигнет 3 В, достаточного для

8. Низковольтные стабилизаторы

открывания светодиода HL1 и светодиода транзисторной оптопары U1, транзистор VT1 начнет закрываться. Светодиод HL1, кроме функции источника опорного напряжения, играет роль индикатора включения. Конденсатор C2 устраняет высокочастотное самовозбуждение.

Ток короткого замыкания устройства составляет около 0,8 А; падение напряжения на регулирующем транзисторе — около 1,5 В, что соответствует мощности рассеяния на коллекторном переходе VT1 1,2 Вт.

Налаживание стабилизатора заключается в подборе сопротивления резистора R1.

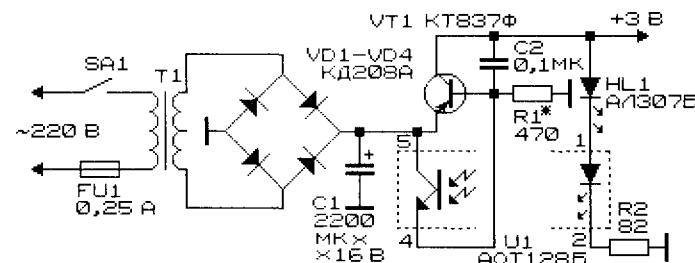


Рис. 8.8. Схема стабилизированного источника питания для 3-вольтовой нагрузки

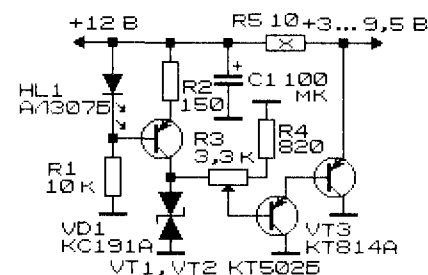


Рис. 8.9. Схема стабилизатора напряжения с выходным напряжением 3...9,5 В

Стабилизатор напряжения для питания радиоэлектронной аппаратуры от автомобильного аккумулятора показан на рис. 8.9 [8.6]. На выходе стабилизатора может быть получено напряжение 3...9,5 В (регулировкой потенциометра R3) при максимальном токе нагрузки 250 мА.

8. Низковольтные стабилизаторы

Источник опорного напряжения собран на стабилитроне VD1 и стабилизаторе тока, который образуют транзистор VT1, светодиод HL1 и резисторы R1 и R2. Часть опорного напряжения с резистивного делителя R3, R4 подается на базу эмиттерного повторителя на транзисторах VT2, VT3. Светодиод HL1 создает смещение для VT1 и одновременно является индикатором включения устройства. Яркость его свечения невелика, но может быть увеличена с помощью резистора R1.

Простым стабилизатором напряжения может быть дополнен широко распространенный сетевой адаптер с переключаемым выходным напряжением (рис. 8.10) [8.7]. Левая половина схемы устройства представляет собой обычный сетевой адаптер, правая — стабилизатор напряжения, который сочетает преимущества стабилизатора тока на полевом транзисторе с современным мощным биполярным составным транзистором типа KT829.

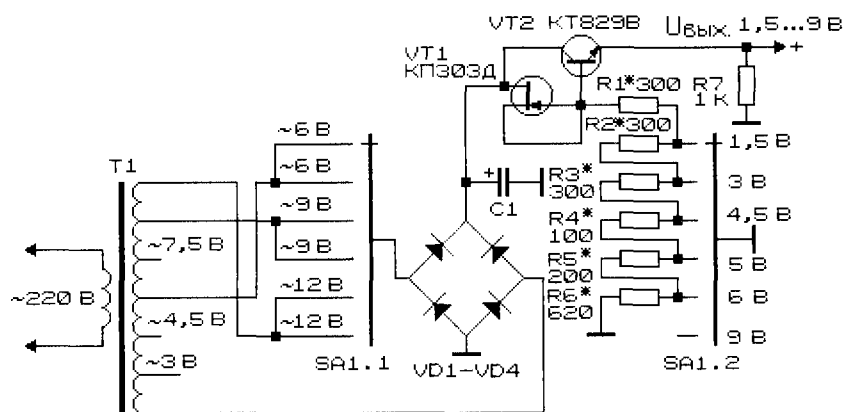


Рис. 8.10. Схема сетевого адаптера со стабилизацией и ступенчатой регулировкой выходного напряжения в пределах 1,5...9 В

Как видно из схемы, полевой транзистор VT1 обеспечивает постоянный ток через цепочку коммутируемых резисторов R1 — R6 и, соответственно, постоянство падений напряжений на них. Таким образом, эти резисторы выступают в роли источника опорного напряжения. База биполярного транзистора VT2 подключена к этому источнику. В итоге на выходе формируется стабилизированное напряжение, которое можно изменять не только

8. Низковольтные стабилизаторы

ступенчато, но и плавно, если заменить цепочку резисторов одним — переменным. В этом случае не потребуется индивидуальной подборки сопротивлений резистивного делителя.

Транзистор KT829 (или KT973) можно заменить составным — по схеме Дарлингтона.

Коэффициент стабилизации устройства — 50...60 при выходном токе 200 мА, выходное сопротивление — около 0,5 Ом.

Выходное напряжение стабилизатора (рис. 8.11) регулируется в пределах от 4 до 5 В [8.8]. Максимальный выходной ток устройства — до 3...4 А. Коэффициент стабилизации достигает 1000. Пульсации на выходе не превышают 2 мВ. Изменение выходного напряжения при изменении тока нагрузки от 0 до 4 А не превышает 10 мВ.

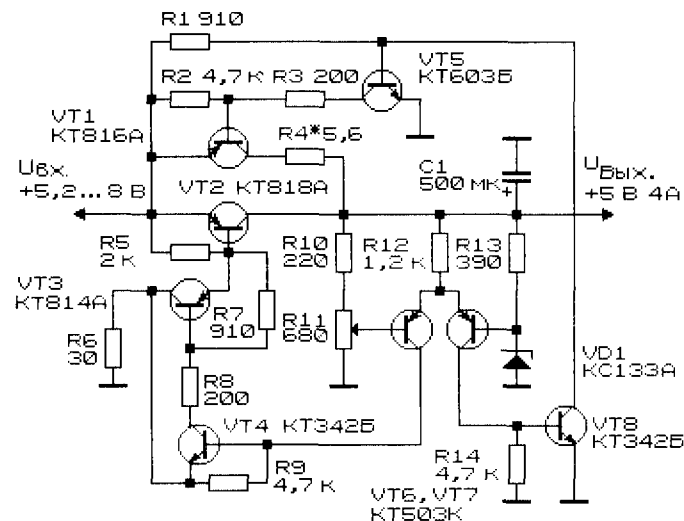


Рис. 8.11. Схема мощного стабилизатора на 5 В с током нагрузки 4 А

Выходное напряжение в диапазоне от 1 В почти до значения выпрямленного напряжения позволяет получать стабилизированный источник питания, показанный на рис. 8.12 [8.9]. На транзисторе VT1 собран узел сравнения: с движка потенциометра R3 на его базу подается часть опорного напряжения, а на эмиттер — выходное напряжение с делителя R14, R15. Сигнал рассогласования поступает

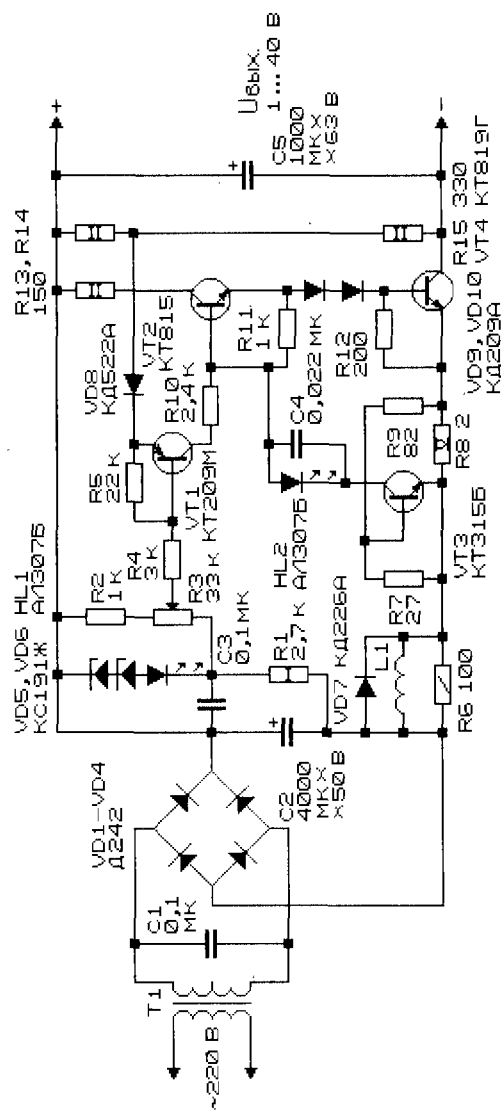


Рис. 8.12. Схема сетевого стабилизированного источника питания на напряжение 1...40 В

на усилитель тока на транзисторе VT2, который управляет регулирующим транзистором VT4.

При замыкании на выходе источника питания или превышении тока нагрузки увеличивается падение напряжения на датчике тока — резисторе R8. Транзистор VT3 открывается и шунтирует базовую цепь транзистора VT2, ограничивая ток нагрузки. Светодиод HL2 сигнализирует о перегрузке по току и о включении защиты.

В случае замыкания включение режима ограничения тока происходит не мгновенно. Дроссель L1 препятствует быстрому нарастанию тока через транзистор VT4, а диод VD7 уменьшает бросок напряжения при случайном отключении нагрузки.

Для регулирования тока срабатывания защиты в разрыв цепи между резисторами R7 и R9 необходимо включить переменный резистор сопротивлением 220 Ом, а его движок подключить к базе транзистора VT3. Значение тока можно регулировать в пределах от 400 мА до 1,9 А.

В источнике питания применим любой силовой трансформатор с напряжением на вторичной обмотке от 9 до 40 В. При этом напряжение на резисторе R1 должно быть равно примерно половине напряжения на конденсаторе C2.

Дроссель L1 содержит 120 витков провода ПЭЛ 0,6 мм, намотанных на оправке диаметром 8 мм.

9. Стабилизаторы повышенного постоянного напряжения

В качестве слаботочного высоковольтного опорного элемента, поддерживающего постоянное напряжение на базе транзисторного стабилизатора напряжения в схеме на рис. 9.1 применена неоновая лампа [9.1]. Напряжение на выходе такого стабилизатора близко к напряжению ее зажигания. Вместо неоновой лампы могут быть использованы газоразрядные стабилизаторы напряжения или полупроводниковые стабилитроны. Для данной схемы выход стабилизатора не изолирован от питающей сети, хотя в целом схему можно использовать и в составе трансформаторного источника питания.

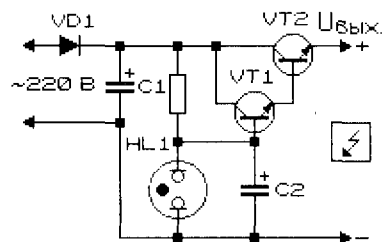


Рис. 9.1. Неоновая лампа в стабилизаторе последовательного типа

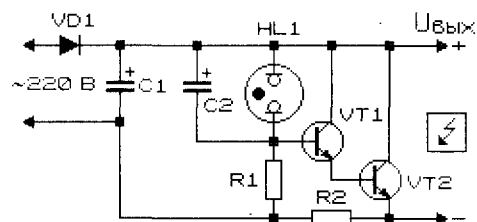


Рис. 9.2. Схема стабилизатора параллельного типа с использованием неоновой лампы

На рис. 9.2 показана схема стабилизатора параллельного типа с использованием неоновой лампы [9.1].

9. Стабилизаторы повышенного напряжения

В очень широком диапазоне питающих напряжений (от 3 до 1100 В) способен работать стабилизатор по схеме на рис. 9.3 [9.2]. Ток нагрузки может достигать нескольких десятков мА. КПД устройства для указанных на рис. 9.3 номиналов и напряжений составляет 46% при коэффициенте стабилизации 100...150 и токе нагрузки 20 мА.

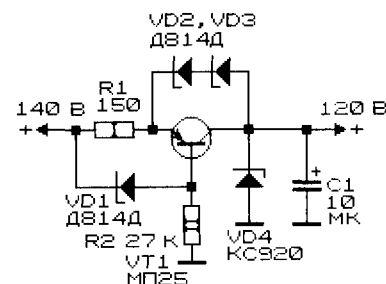


Рис. 9.3. Схема стабилизатора повышенного выходного напряжения

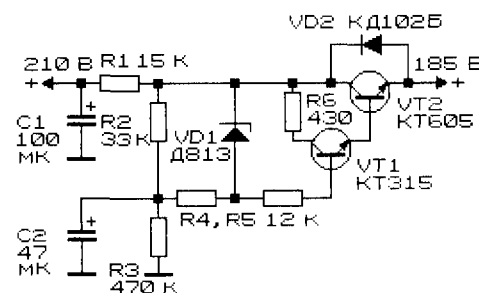


Рис. 9.4. Схема для снижения уровня пульсаций напряжения на нагрузке с выходным напряжением 185 В

Схема устройства (рис. 9.4) позволяет снизить уровень пульсаций напряжения на нагрузке [9.3]. В этой схеме допустимы следующие замены: VD1 — Д814Д, Д815Е; VT1 — КТ312; VT2 — КТ604.

Схема стабилизатора анодного напряжения для питания лампового усилителя низкой частоты показана на рис. 9.5 [9.4]. Особенностью стабилизатора является то, что анодное напряжение подается с задержкой после предварительного прогрева

9. Стабилизаторы повышенного напряжения

ламп, что удлиняет срок их службы и уменьшает броски выходного напряжения при включении. Узел задержки подачи напряжения собран на транзисторе VT1 и конденсаторе C3, емкость которого определяет время задержки.

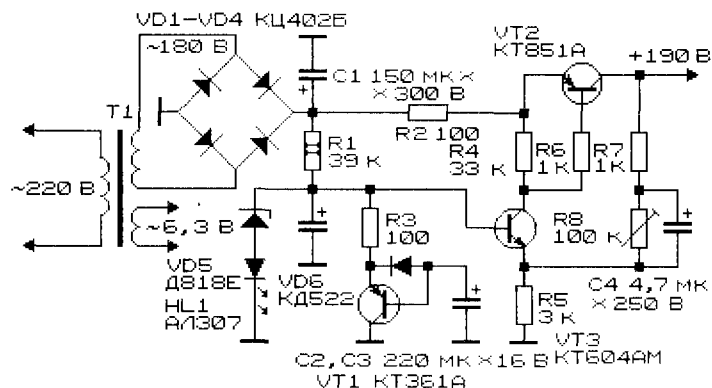


Рис. 9.5. Схема стабилизатора анодного напряжения на 190 В

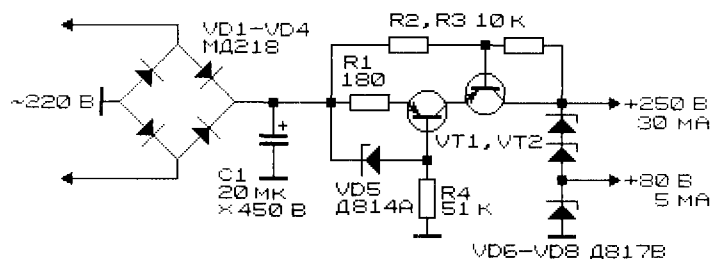


Рис. 9.6. Схема источника питания на напряжение 250 и 80 В

Схема стабилизированного источника питания для прибора Я2Р-67 показана на рис. 9.6. В нем применены транзисторы типа П306, и их можно заменить, например, кремниевыми транзисторами КТ814В, Г; КТ837. Переменное напряжение для питания устройства поступает со вторичной обмотки трансформатора.

Бестрансформаторный источник питания [9.5] с использованием тиристорного ключа, периодически подзаряжающего конденсатор, включенный на выходе устройства, показан на рис. 9.7. Для повышения степени защиты полупроводниковых элементов, входящих в состав блока, использованы предохранители двух

9. Стабилизаторы повышенного напряжения

типов, включенные последовательно в цепь нагрузки. Один из них (FU1) — обычного типа, без самовосстановления. Второй (FU2) — обратимый, теплового типа. Сопротивление нагрузки устройства гальванически связано с питающей сетью.

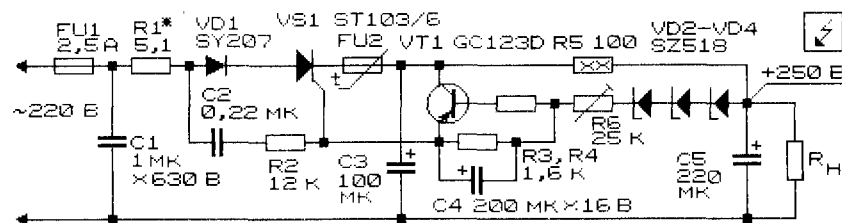


Рис. 9.7. Схема бестрансформаторного источника питания с выходным напряжением 250 В и использованием тиристорного ключа

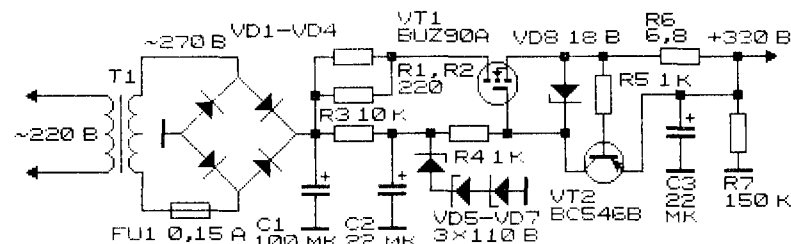


Рис. 9.8. Схема стабилизатора постоянного напряжения на 330 В

Для питания низкочастотного лампового усилителя Карел Рочельт [9.6] использовал современную элементную базу (рис. 9.8). Для поддержания смещения на затворе транзистора VT1 включена последовательная цепочка стабилитронов с суммарным напряжением 330 В. Схема может быть применена и на другое выходное напряжение.

10. Применение специализированных микросхем для стабилизации тока и напряжения

В последние годы стало само собой разумеющимся использовать для стабилизации напряжения и тока выпускаемые в широком ассортименте зарубежной и отечественной промышленностью специализированные микросхемы. Они содержат минимум выводов (обычно три: вход, выход, общий или управление), однако допускают несколько вариантов подключения и получение порой совершенно неожиданных результатов.

Ниже, на примере широко распространенных микросхем, имеющих множество тождественных по своим функциям и построению аналогов, будут показаны варианты их использования в радиоэлектронной аппаратуре.

В обзоре, для сокращения объема материала, приведены преимущественно стабилизаторы положительного напряжения. Специализированные микросхемы, предназначенные для стабилизации отрицательных напряжений, включают по аналогичным схемам.

Регулируемые трехвыводные стабилизаторы положительного напряжения *LM117/LM217/LM317* фирмы *National Semiconductor* в зависимости от модификации обеспечивают ток нагрузки до 1,5 А в диапазоне выходных напряжений от 1,2 до 37 В [10.1, 10.2]. Стабилизатор *LM317L* (отечественный аналог *КР1157ЕН1*) обеспечивает ток нагрузки до 100 мА.

На рис. 10.1 показана схема ограничителя-стабилизатора тока. Выходной ток определяется по формуле $I_{\text{вых.}} = 1,2/R1$, где R1 может принимать значения от 0,8 до 120 Ом (соответственно, ограничиваемый ток принимает значения от 10 мА до 1,5 А).

На рис. 10.2 показана возможность применения микросхемы *LM117* для формирователя-делителя стабильного тока [10.1, 10.2]. К выходу устройства через потенциометр R2 подключено две нагрузки. Сумма токов, протекающих в обоих плечах нагрузки, всегда остается неизменной. Силу тока устанавливают

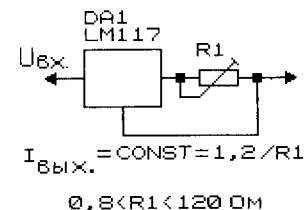


Рис. 10.1. Схема ограничителя-стабилизатора тока

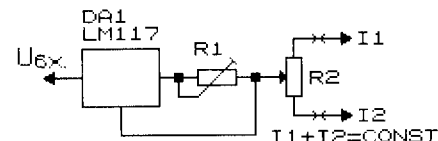


Рис. 10.2. Схема формирователя-делителя стабильного тока

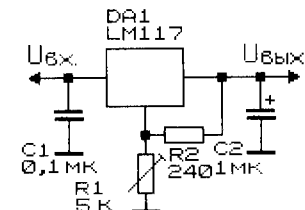


Рис. 10.3. Типовая схема стабилизатора с выходным напряжением 1,2...25 В

потенциометром R1, соотношение токов в плечах схемы — потенциометром R2.

Типовая схема стабилизатора с выходным напряжением 1,2...25 В показана на рис. 10.3 [10.1, 10.2]. Конденсатор C1 устанавливают только в случае удаленности стабилизатора от конденсатора фильтра первичного источника питания. Конденсатор C2 ослабляет переходные процессы и также необязателен. Выходное напряжение устанавливают резистором R1 в соответствии с формулой $U_{\text{вых.}} = 1,25(1 + R1/R2)$ В.

У микросхемы стабилизатора *LM317L* максимально допустимое напряжение между входом и выходом составляет 40 В. При выполнении этого условия можно построить схему стабилизатора напряжения и на более высокие напряжения питания. На рис. 10.4 показана схема источника питания на 80 В. Защита от короткого

10. Применение специализированных микросхем

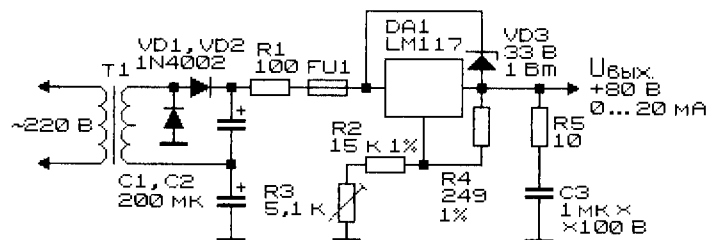


Рис. 10.4. Схема стабилизированного источника питания на 80 В

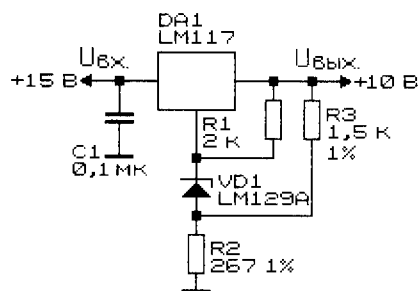


Рис. 10.5. Схема прецизионного стабилизатора напряжения на 10 В

замыкания по выходу обеспечивается предохранителем FU1 на ток 0,125 А.

Прецизионный стабилизатор напряжения на 10 В изображен на рис. 10.5 [10.1].

Большинство стабилизаторов регулируемого напряжения на микросхемах не позволяет получать на выходе напряжение, близкое к 0 В. В схеме на рис. 10.6 введено отрицательное смещение за счет микросхемы VD1 (величиной 1,2 В). Выходное напряжение, получаемое от стабилизатора на микросхеме LM117 (или ей подобной) смещено именно на эту величину. В итоге на выходе стабилизатора возможно установить напряжение от 0 до 30 В [10.1].

Для создания стабилизатора с регулируемым напряжением и повышенной нагрузочной способностью можно воспользоваться схемой, показанной на рис. 10.7. Выходное регулируемое напряжение этого устройства в пределах 1,8...32 В при токе нагрузки до 3 А [10.1].

Для того чтобы еще более повысить нагрузочную способность импульсного стабилизатора на основе микросхемы LM117 к ней

10. Применение специализированных микросхем

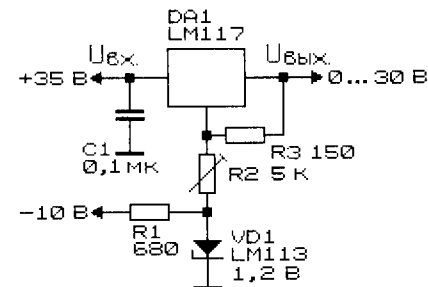


Рис. 10.6. Схема стабилизатора с регулировкой выходного напряжения от 0 до 30 В

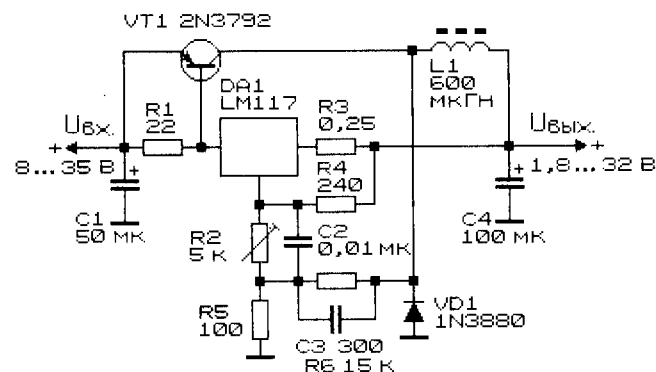


Рис. 10.7. Схема импульсного стабилизатора регулируемого напряжения 1,8...32 В при токе нагрузки 3 А

подключают навесные элементы согласно схеме, изображенной на рис. 10.8 [10.1]. Устройство защищено от перегрузки и обеспечивает выходной ток до 4 А при использовании трех параллельно включенных транзисторов VT3, установленных на радиаторе. В эмиттерную цепь каждого из этих транзисторов рекомендуется включить токовыравнивающие резисторы одинакового номинала (доли Ом).

В этой и других подобных схемах в качестве электролитических конденсаторов использованы танталовые конденсаторы.

Схема стабилизатора с плавным нарастанием выходного напряжения на основе микросхемы LM117 показана на рис. 10.9 [10.2, 10.3]. При включении устройства напряжение на конденсаторе C2 плавно возрастает, в связи с чем также плавно увеличивается

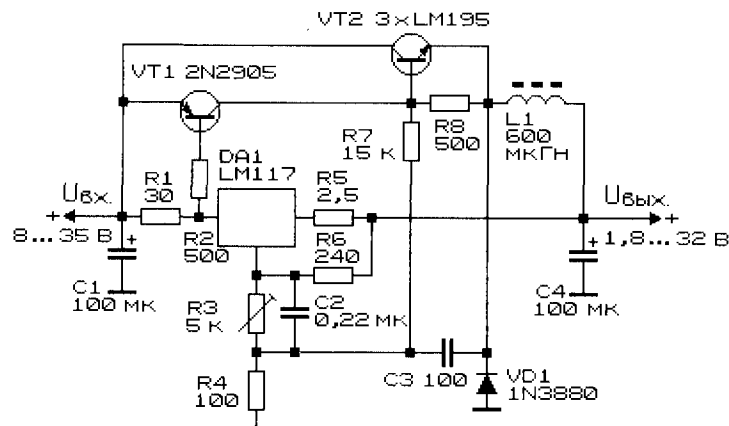


Рис. 10.8. Схема стабилизатора регулируемого напряжения с повышенной до 4 А нагрузочной способностью

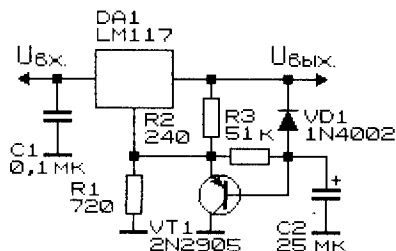


Рис. 10.9. Схема стабилизатора с плавным нарастанием выходного напряжения

выходное напряжение стабилизатора. При этом транзистор постепенно запирается, и когда он закроется полностью, на выходе установится напряжение, определяемое делителем R2, R1. Вместо транзистора 2N2905 можно использовать KT361, вместо диода 1N4002 — КД522Б.

Схема регулируемого стабилизатора на большой ток нагрузки [10.2, 10.3] показана на рис. 10.10. С помощью стабилизатора LM117 осуществляется управление мощными транзисторами. Поскольку транзистор 2N2905 рассчитан на рабочий ток 600 мА, его можно заменить транзистором KT816, а в качестве мощного транзистора использовать, например, KT819. Конденсаторы C1 и C3 должны быть танталовыми. Конденсатор C2 улучшает

коэффициент подавления пульсаций и необязателен. Минимальный ток нагрузки в данной схеме 30 мА. Для выходных токов 3 и 5 А можно использовать соответственно стабилизаторы LM150 и LM138.

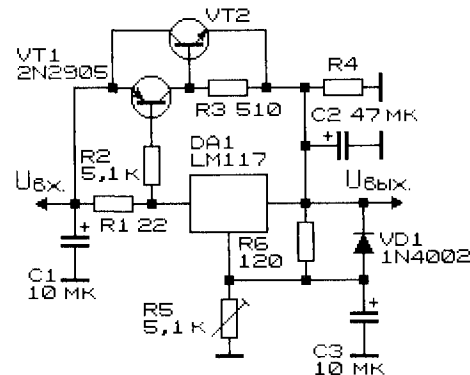


Рис. 10.10. Схема регулируемого стабилизатора на ток нагрузки до 3 А и более

Микросхемы LM117 можно включать параллельно для получения больших токов нагрузки. На рис. 10.11 показано такое соединение трех стабилизаторов LM117 на рабочий ток до 4 А [10.1, 10.2]. Выходное напряжение стабилизатора 4,5...25 В. В качестве DA4 допустимо использовать любой операционный усилитель (ОУ) общего применения, который может работать с однополярным напряжением питания. Транзистор VT1 типа 2N2905. Микросхема ОУ типа LM308 или аналогичная.

На рис. 10.12 показана схема стабилизатора, управляемого внешними сигналами [10.2]. Логическая «1», поступающая на базу одного из транзисторов, открывает его до насыщения, вследствие чего подключается соответствующий резистор делителя и устанавливается другое выходное напряжение. Резистор R2 определяет максимальное выходное напряжение.

Устройство по схеме, показанной на рис. 10.13, именуется в технической документации фирмы-изготовителя [10.1] как *повторитель мощности*. В цепь эмиттера транзистора VT1 включена в качестве стабилизатора тока микросхема DA1 типа LM117. Ток, протекающий через микросхему (600 мА), задан значением

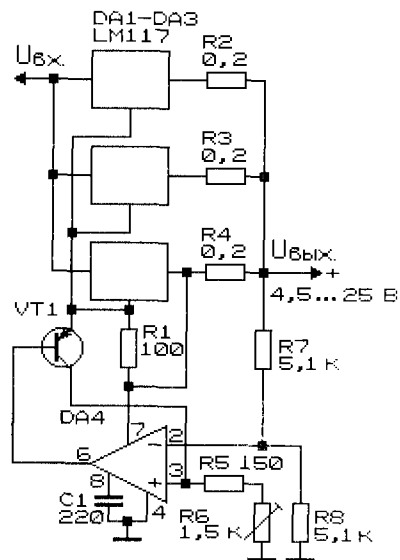


Рис. 10.11. Параллельное включение микросхем LM117 для увеличения выходного тока

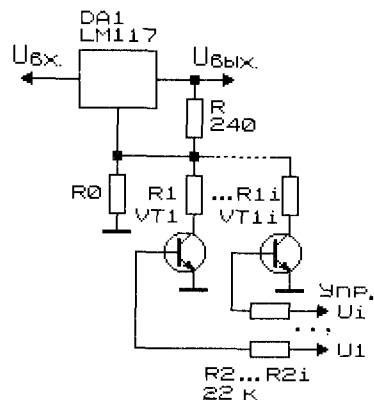


Рис. 10.12. Схема программируемого стабилизатора напряжения

сопротивления R2. На вход устройства (базу транзистора VT1) можно подавать внешний управляющий сигнал.

Стабилизаторы *LM117* имеют ток вывода управления 50 мкА и выходной ток до 1,5 А. Это обстоятельство может быть

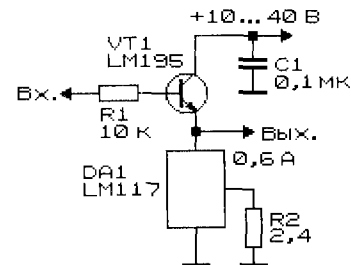


Рис. 10.13. Схема повторителя мощности на основе микросхемы LM117

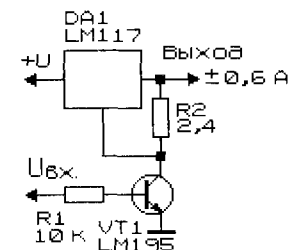


Рис. 10.14. Схема усилителя с большим коэффициентом усиления

использовано в усилителе с большим коэффициентом усиления (рис. 10.14) [10.2]. Вместо второго резистора делителя напряжения установлен транзистор, на базу которого подается усиливаемое напряжение. С выхода устройства можно снимать усиленный сигнал с изменяемым относительно начального уровня током $\pm 0,6$ А. На основе такой схемы можно построить несложный мостовой усилитель. Подобным же образом можно плавно или ступенчато регулировать выходное напряжение.

На основе микросхемы DA1 типа *LM117*, как, впрочем, и при использовании подобных ей микросхем, можно создать низкочастотный усилитель с высоким коэффициентом усиления [10.1]. Типовая схема такого устройства показана на рис. 10.15.

На рис. 10.16 показана схема стабилизатора напряжения на основе последовательного включения двух микросхем [10.1].

Стабилизатор напряжения по схеме на рис. 10.17 с ограничителем тока нагрузки позволяет задавать максимальный ток нагрузки [10.1]. Величина этого тока определяется как отношение

10. Применение специализированных микросхем

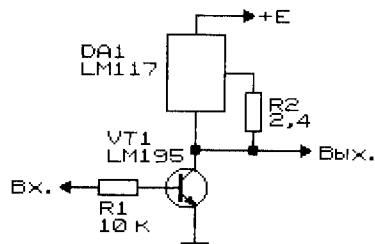


Рис. 10.15. Схема низкочастотного усилителя на основе стабилизатора напряжения

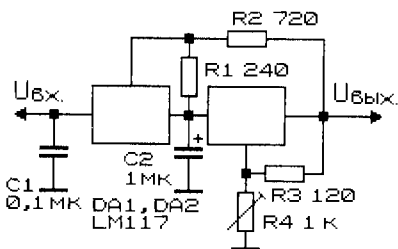


Рис. 10.16. Схема стабилизатора напряжения на основе двух микросхем

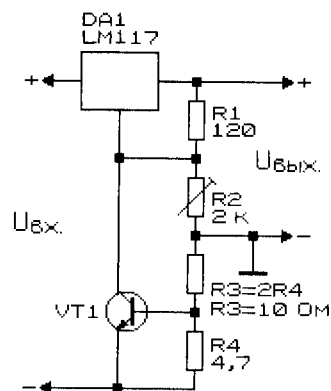


Рис. 10.17. Схема стабилизатора напряжения с ограничителем тока нагрузки

напряжения, при котором начинает открываться транзистор VT1 (600 мВ), к величине резистора R4. Для показанного на рисунке варианта схемы значение тока ограничения равно 120 мА.

10. Применение специализированных микросхем

Иногда в практике создания источников питания требуется одновременно и в равных пропорциях производить изменение выходного напряжения нескольких стабилизаторов. Решить эту проблему с использованием всего одного регулирующего элемента — R1 — удастся, применяя схемное решение, показанное на рис. 10.18 [10.1].

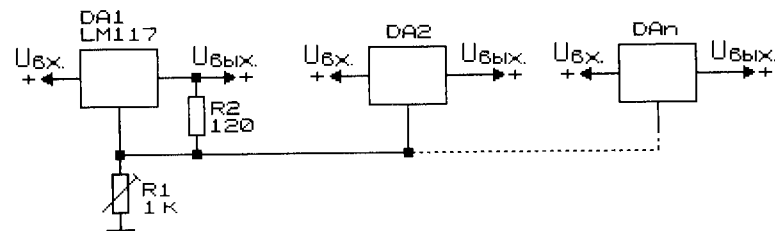


Рис. 10.18. Схема одновременного управления уровнем выходного напряжения нескольких стабилизаторов

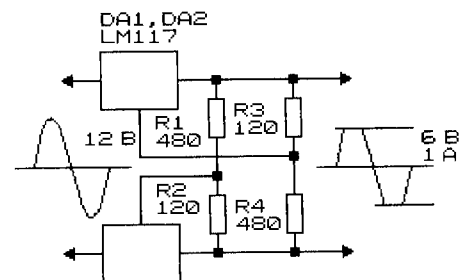


Рис. 10.19. Схема ограничителя напряжения переменного тока

Если напряжение на входе стабилизатора ниже выходного, установленного делителем, то это напряжение передается на выход практически без изменений. Благодаря этому на LM117 можно построить ограничитель напряжения переменного тока [10.1, 10.2], схема которого для напряжения ограничения на уровне 6 В показана на рис. 10.19.

На стабилизаторе LM317L можно собрать «маячок» с лампой накаливания на 28 В, 40 мА (рис. 10.20) [10.2]. В данной схеме лампочка дает четыре вспышки за 1 с при 10%-ном показателе заполнения последовательности.

Схема устройства, показанная на рис. 10.21, отличается от других тем, что после кратковременного включения (замыкания

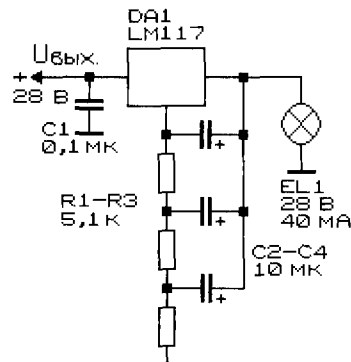


Рис. 10.20. Схема «маячка» с лампой накаливания

ключа S1) источник питания автоматически отключится от питающей сети через заданный интервал времени [10.4].

В качестве реле времени — таймера использованы КМОП-элементы микросхемы DD1, обладающие высоким входным сопротивлением. После кратковременного замыкания ключа S1 на вход первого из этих элементов будет подано напряжение высокого уровня. Конденсатор C1 зарядится до напряжения питания. На входе первого логического элемента — инвертора — появится высокий уровень. На выходе второго КМОП-элемента также будет высокий уровень, который включит транзисторный ключ VT1. Нагрузкой этого ключа является обмотка реле K1. Контакты реле, подсоединенные параллельно ключу SA1.1, подадут сетевое напряжение на источник питания.

Для стабилизации выходного напряжения использована специализированная микросхема DA1 KP142EH1A.

Через время, определяемое постоянной разряда RC-цепочки R1, C1 (приблизительно 5000 сек или 30...40 минут) конденсатор C1 разрядится, произойдет переключение логических элементов, отключение транзисторного ключа, реле и всего устройства.

Временем работы устройства можно управлять, присоединив вместо или параллельно резистору R1 потенциометр или переключаемую цепочку резисторов и/или конденсаторов.

В схеме использовано реле РЭС-22 РФ4.500.225.

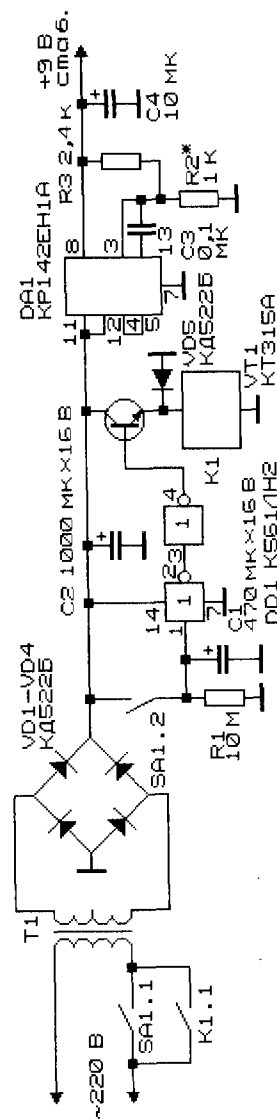


Рис. 10.21. Схема источника питания с таймером

10. Применение специализированных микросхем

Вторичная обмотка силового трансформатора должна обеспечивать переменное напряжение 10 В при токе нагрузки не менее 200 мА .

Схема блока питания «Импульс» промышленного изготовления, обеспечивающего выходные напряжения 5 и 9 В , показана на рис. 10.22.

В устройстве использован трансформатор *ТС-10-3М1*. При колебаниях сетевого напряжения в пределах $220\text{ В} \pm 10\%$ на выходе в зависимости от положения переключателя *SA1* может быть получено напряжение $5\text{ В} \pm 0,1\text{ В}$ при токе нагрузки $0,8\text{ А}$ и пульсациях до 10 мВ , либо $9\text{ В} \pm 0,1\text{ В}$ при токе нагрузки $0,45\text{ А}$ и пульсациях до 20 мВ . Напряжение, снимаемое со вторичной обмотки трансформатора, составляет 16 В .

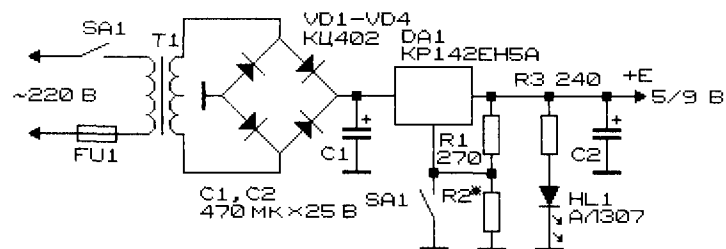


Рис. 10.22. Схема блока питания «Импульс»

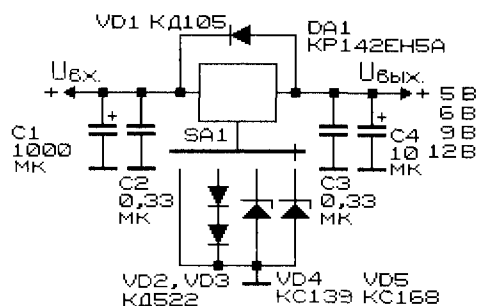


Рис. 10.23. Схема стабилизатора напряжения с использованием переключаемых опорных элементов

В схеме стабилизатора (рис. 10.23) для получения на выходе ряда стабилизированных напряжений в цепи задания выходного напряжения использован набор переключаемых опорных

10. Применение специализированных микросхем

элементов, в том числе два прямосмещенных кремниевых диода *КД522*, а также стабилитроны *КЦ139* и *КЦ168* [10.5].

В схеме стабилизатора (рис. 10.24) для задания и регулирования выходного напряжения использован операционный усилитель *DA2*, на вход которого подается регулируемая потенциометром *R2* часть выходного напряжения [10.5]. Выход микросхемы *DA2* соединен с общим выводом интегральной схемы стабилизатора напряжения *DA1*.

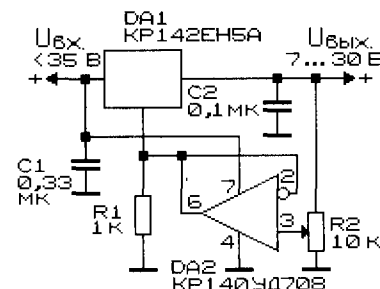


Рис. 10.24. Схема стабилизатора напряжения с использованием операционного усилителя

При входном напряжении, ограниченном типом используемой микросхемы *DA1* до 35 В , на выходе устройства может быть получено стабилизированное регулируемое напряжение от 7 до 30 В .

Источник питания [10.6], схема которого показана на рис. 10.25, позволяет плавно регулировать выходное напряжение от нуля до 20 В при максимальном токе нагрузки 1 А и выполнен на широко распространенных микросхемах.

При обычном включении микросхемы типа *KP142EH12A* на ее выходе нельзя получить напряжение менее $1,2\text{ В}$. Поэтому в схему введена еще одна микросхема — *DA2* типа *KP142EH18A*, позволяющая сформировать отрицательное выходное напряжение, используемое для подпитки входа управления микросхемы *DA1* (*KP142EH12A*) в случае работы при малых выходных напряжениях.

Область выходных напряжений блока питания разделена на три поддиапазона: $0 \dots 7\text{ В}$; $6,5 \dots 13,5\text{ В}$; $13 \dots 20\text{ В}$. Для устранения

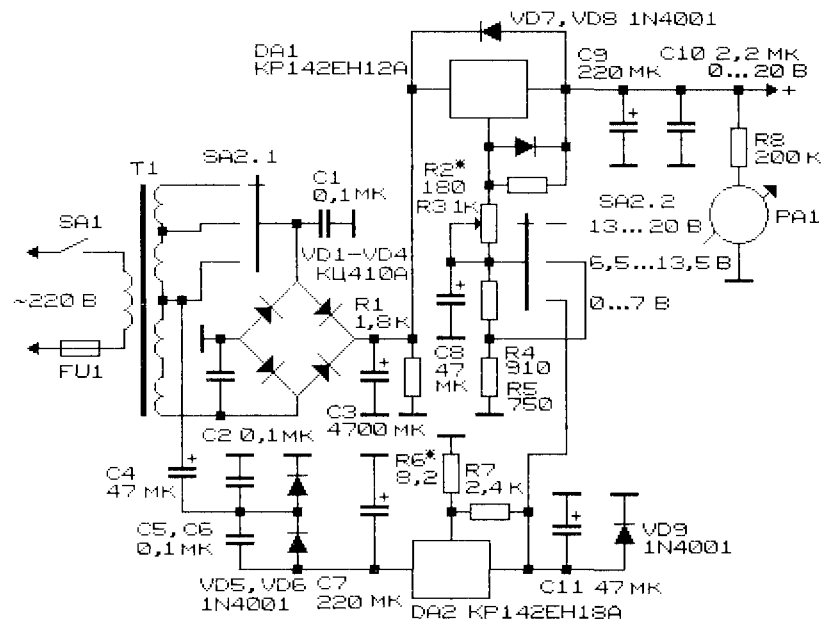


Рис. 10.25. Схема лабораторного источника питания с выходным напряжением 0...20 В

перегрузки микросхемы DA1 по рассеиваемой мощности за счет большой разности входных и выходных напряжений введен переключатель поддиапазонов SA2.1. Это позволяет ступенчато изменять напряжение на входе стабилизатора путем подключения разного числа витков вторичной обмотки силового трансформатора. В качестве трансформатора T1 использован унифицированный трансформатор TH32. Микроамперметр PA1 типа M4248 с током полного отклонения 100 мкА.

На следующем рисунке (рис. 10.26) показан пример наращивания мощности стабилизатора за счет подключения дополнительных транзисторов, включенных параллельно и закрепленных на общем ребристом теплоотводе [10.7]. Как уже отмечалось ранее (табл. 1.1), параллельное соединение полупроводниковых приборов без включения выравнивающих резисторов недопустимо: это может привести к поочередному их выгоранию. В исключительно редких случаях, когда характеристики полупроводниковых приборов полностью идентичны (предварительный подбор элементов

или приборы одной партии изготовления), допускается параллельное включение транзисторов или диодов без выравнивающих ток резисторов. Поэтому для повышения надежности работы схемы рекомендуется в эмиттерные цепи транзисторов подключить проволочные резисторы равного номинала сопротивлением в доли Ом.

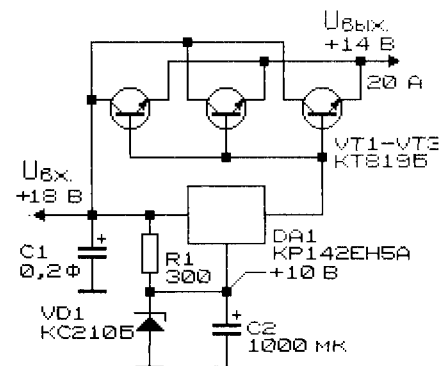


Рис. 10.26. Схема стабилизатора напряжения с выходным током 20 А

На входе устройства включен конденсатор емкостью 0,2 Ф (200000 мкФ) для сглаживания пульсаций. Тем не менее, при токе в нагрузке 20 А пульсации напряжения на ней достигают 1 В. Защиты от перегрузок устройство не имеет.

Монтаж токонесущих частей выполняют многожильным медным луженым проводом сечением 2,5...3 мм².

Подбором стабилитрона выходное напряжение стабилизатора может быть изменено в ту или иную сторону. Выходную мощность можно также нарастить, используя дополнительные транзисторы, увеличив площадь радиатора, повысив эффективность теплоотвода — применив вентилятор.

В источнике питания (рис. 10.27) на выходе имеются три стабилизированных напряжения: +8 В, -8 В, а также +38 В, пригодное для питания варикапов [10.8].

Для получения двухполярного выходного напряжения при использовании одной специализированной микросхемы стабилизатора напряжения предназначено схемное решение, показанное на рис. 10.28 [10.9 — 10.11]. Помимо указанных на схеме типов

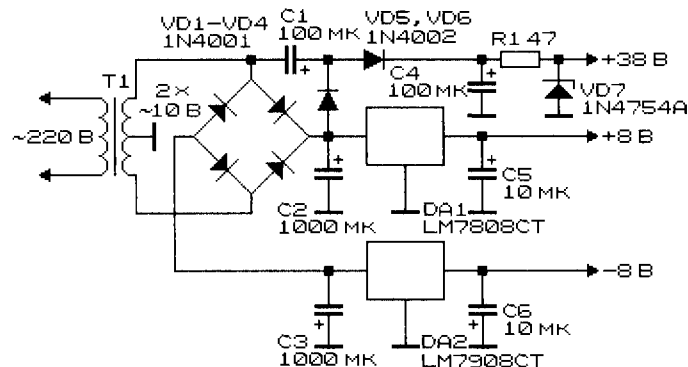


Рис. 10.27. Схема источника питания на три стабилизированных напряжения

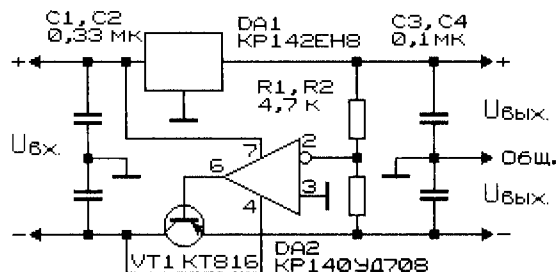


Рис. 10.28. Схема получения стабилизированного двухполярного напряжения из однополярного

микросхем могут быть использованы *KP142EH8Б, Д, В, Е* (DA1) и вместо *KP140УД708* аналогичные ей микросхемы, в том числе *KP140УД6, KP140УД608, KP140УД7* и другие. При малых токах нагрузки (до 0,5 А) транзистор VT1 *КТ816* можно заменить на *КТ814*.

Источник питания, обеспечивающий двухполярное напряжение $\pm 12 В$ при токе нагрузки до 100 мА, выполнен по схеме на рис. 10.29; в ней отрицательное напряжение отслеживает положительное, см. также рис. 10.28 [10.12].

Двухполярное, стабилизированное напряжение, регулируемое в широких пределах (от 1,5 до 20 В) при токе нагрузки до 3...5 А обеспечивает стабилизатор, схема которого приведена на рис. 10.30 [10.13]. Величину тока срабатывания защиты можно плавно подстроить в пределах от 70 мА до максимального значения.

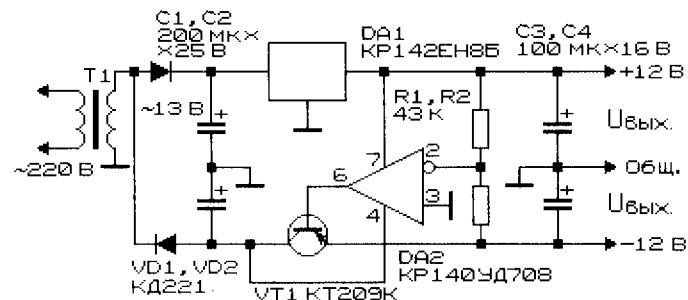


Рис. 10.29. Источник питания на два напряжения разной полярности

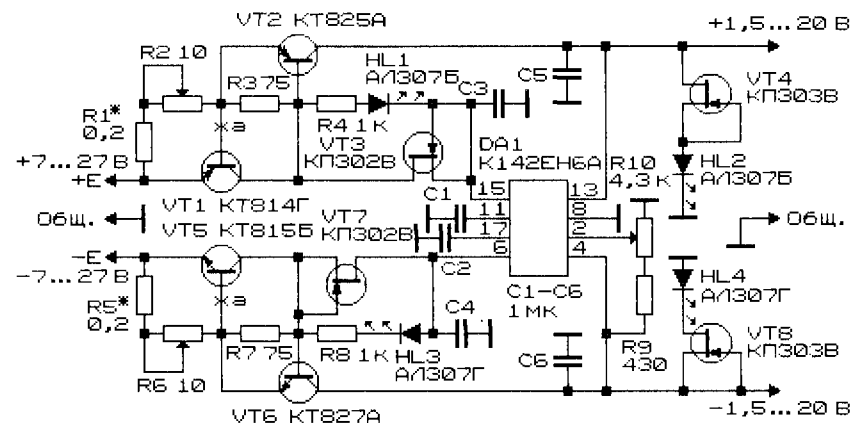


Рис. 10.30. Схема двухполярного стабилизатора регулируемого напряжения

Основа устройства — специализированная микросхема двухполярного стабилизатора напряжения *K142EH6А*. Для обеспечения повышенного выходного тока применены мощные транзисторы: VT2 — в плюсовой шине питания, VT6 — в минусовой. На полевых транзисторах VT3, VT7 собраны ограничители тока микросхемы, а на светодиодах HL1, HL3 — индикаторы аварийного режима.

Транзисторы VT1, VT5 играют роль ограничителей тока короткого замыкания, который определяется величиной переменных резисторов R2 и R6 в каждой шине независимо друг от друга. Транзисторы VT4, VT8 стабилизируют токи в цепях индикаторов выходного напряжения (светодиоды HL2 и HL4) и обеспечивают постоянную яркость свечения вне зависимости от величины выходного

10. Применение специализированных микросхем

напряжения. Установка выходных напряжений по обоим выходам одновременно производится одним резистором R10.

В ряде случаев для питания различных электробытовых и радиоустройств, например, для настройки радиоэлектронной аппаратуры, питания электромагнитов или реверсивных электродвигателей требуется регулируемый источник питания $-U...+U$. Такое устройство для плавного неразрывного изменения тока в нагрузке от $+I$ до $-I$ может быть выполнено по схеме на рис. 10.31 [10.14]. В зависимости от положения прецизионного многооборотного потенциометра R_V ток в нагрузке изменяется в соответствии с выражением: $I_0 = (2x-1)U_{GB1}/R_S$, где x — доля включенной в цепь части потенциометра R_V , $x=0...1,0$; U_{GB1} — напряжение батареи питания, 2,5 В; $R_S=R_3=2,49$ кОм.

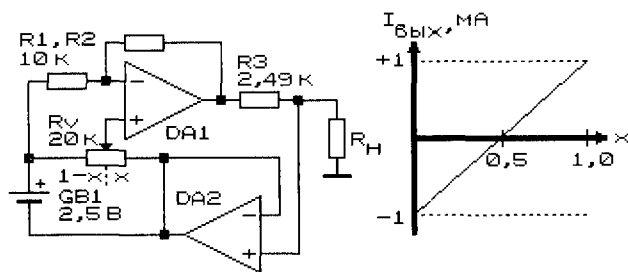


Рис. 10.31. Реализация биполярного источника тока на операционных усилителях с однополярным источником опорного напряжения

Теперь рассмотрим, как устройство подобного назначения может быть выполнено на основе специализированных микросхем.

На рис. 10.32 приведена схема источника питания [10.15], позволяющего плавно изменять напряжение на нагрузке от $-U_{ВЫХ.}$ до $+U_{ВЫХ.}$

Источник питания выполнен на основе двух стабилизаторов напряжения DA1 и DA2 типа *mA7805* (*LM7805*) или их аналогов — *KP142EH5A* (В). Регулировка выходного напряжения стабилизаторов взаимозависима и осуществляется потенциометром R2. Так, при вращении оси потенциометра R2 напряжение на резисторе R4 изменяется от 5 до 10 В; одновременно напряжение на резисторе R5 изменяется от 10 до 5 В. Таким образом, выходное напряжение на зажимах АВ плавно регулируется от +5 до -5 В.

10. Применение специализированных микросхем

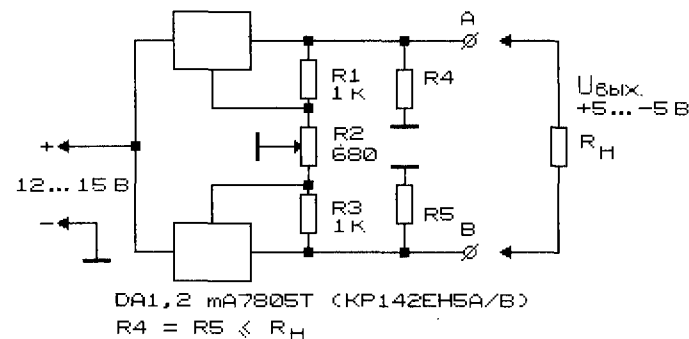


Рис. 10.32. Схема источника питания с плавной регулировкой напряжения на нагрузке в пределах +5...-5 В

Наладка устройства заключается в подборе резисторов R1 или R3 до получения на резисторах R4 и R5 при регулировке R2 (без нагрузки) пределов изменения напряжения относительно общей шины 5...10 В и 10...5 В, соответственно.

Минимальное значение сопротивления нагрузки определяется соотношением $R_{нагр.} \geq R_4 = R_5$ и может достигать до 10 Ом. При этом ток на выходах микросхем, установленных на радиаторы, может достигать 1,5 А, а резисторы R4, R5 должны иметь допустимую мощность рассеивания не менее 10 Вт. Поскольку КПД источника питания невысок (11...14%), а также из соображений минимизации размера радиаторов или отказа от них, снижения мощности, рассеиваемой на резисторах R4, R5, желательно использовать более высокоомную нагрузку. Так, при $R_{нагр.} \geq 100$ Ом ($R_4=R_5=100$ Ом, мощность рассеивания резисторов — 1 Вт) максимальный ток нагрузки составляет 50 мА (при $R_{нагр.} \geq 10$ Ом предельный ток в нагрузке ограничен значением 500 мА).

При снижении $R_{нагр.}$ ниже минимальных рекомендованных значений, вплоть до короткого замыкания, $U_{ВЫХ.}$ снижается. Повреждения интегральных микросхем при этом не происходит.

Схема может быть переделана на более высокое выходное напряжение путем применения интегральных микросхем типа *mA7806*, *mA7809* и др. Также можно применить отечественные аналоги типа *KP142EH5*, 8, 9 либо изменить соотношение резисторов R1 — R3.

10. Применение специализированных микросхем

При изготовлении потенциометра R2 на кольцевом замкнутом каркасе с диаметрально расположенными контактами и подключении к оси потенциометра через редуктор электродвигателя на выходе устройства можно получить медленно меняющееся напряжение синусоидальной или иной формы.

Для сравнения на рис. 10.33 показано устройство подобного назначения, выполненное без использования микросхем [10.16]. Источник питания позволяет плавно изменять выходное напряжение в пределах от -12 до $+12$ В. С выхода выпрямителя двухполярное напряжение величиной $16...20$ В поступает на два параметрических стабилизатора, выходные напряжения которых можно регулировать одновременно потенциометром R2. Отличительной чертой устройства является то, что в зависимости от положения движка потенциометра R2 открывается один из стабилизаторов. При установке движка потенциометра в среднюю точку оба стабилизатора закрыты. Дальнейшее вращение ручки потенциометра приведет к тому, что один из стабилизаторов останется в закрытом состоянии, а регулируемое стабилизированное напряжение другой полярности будет обеспечивать второй стабилизатор.

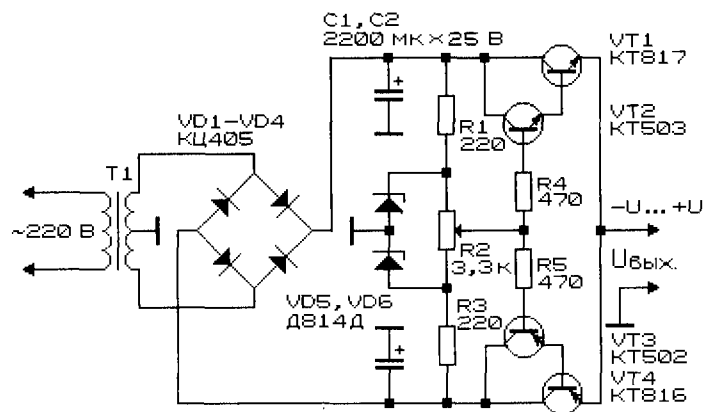


Рис. 10.33. Схема источника питания с плавно изменяемым выходным напряжением от $-U$ до $+U$

В устройстве использован силовой трансформатор мощностью 10 Вт, обеспечивающий на вторичных обмотках по 12 В.

На основе распространенной микросхемы LM117 может быть создан высоковольтный источник питания (рис. 10.34) [10.2].

10. Применение специализированных микросхем

Выходное напряжение устройства можно регулировать в широких пределах: от $1,2$ до 160 В. Транзисторы VT1, VT2 должны быть на рабочее напряжение не менее 200 В.

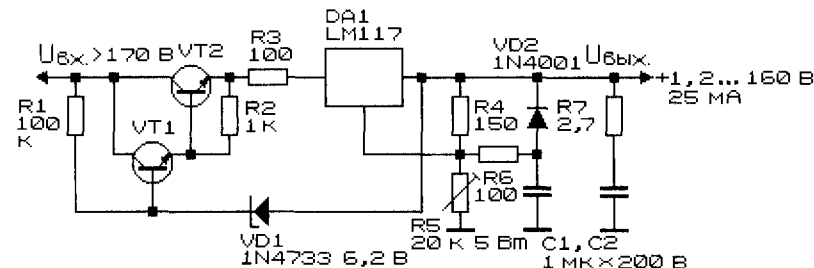


Рис. 10.34. Схема высоковольтного стабилизатора на основе микросхемы LM117 с выходным напряжением, регулируемым от $1,2$ до 160 В

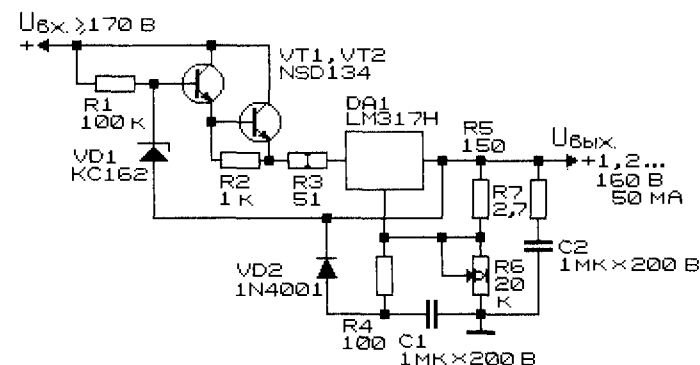


Рис. 10.35. Схема стабилизатора на напряжение $1,2...160$ В

На рис. 10.35 и 10.36 приведены схемы стабилизаторов, предназначенные для получения регулируемого в широких пределах напряжения ($1,2...160$ В и $8...160$ В, соответственно) при токе нагрузки до 50 мА [10.17].

Разность напряжений между входом и выходом микросхемы DA1 составляет 5 В и поддерживается неизменной при помощи транзисторов VT1, VT2 и стабилитрона VD1. Резистор R3 ограничивает ток короткого замыкания на уровне 100 мА. Транзисторы должны иметь максимально высокие коэффициенты передачи по току.

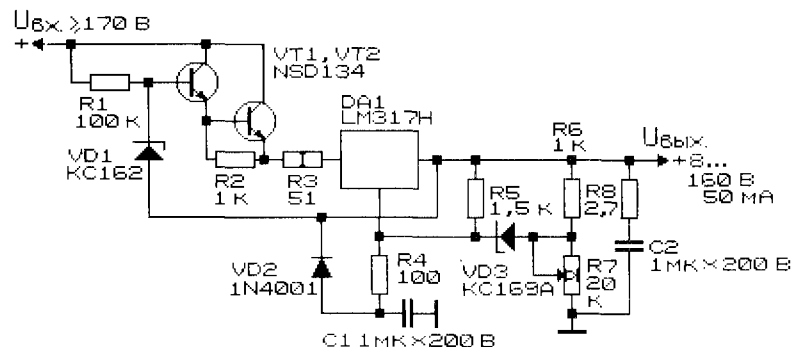


Рис. 10.36 Схема стабилизатора регулируемого напряжения в пределах 8...160 В

На рис. 10.36 приведен другой вариант выполнения стабилизатора напряжения, позволяющего поддерживать стабильное выходное напряжение в широких пределах (от 8 до 160 В) при изменении температуры, входного напряжения, величины сопротивления нагрузки.

11. Стабилизаторы переменного напряжения

Нелинейные вольт-амперные характеристики варисторов и терморезисторов позволяют применять их в параметрических стабилизаторах как регулирующие элементы. Значительная нелинейность характеристик дает возможность получать малые изменения напряжения на этих элементах при значительном изменении протекающего по ним тока.

Схема параметрического стабилизатора напряжения (рис. 11.1) представляет собой делитель напряжения, образованный линейным и нелинейным резисторами, нагрузка включается параллельно нелинейному резистору [11.1].

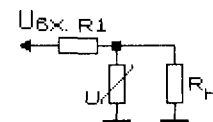


Рис. 11.1. Схема однокаскадного стабилизатора переменного напряжения на варисторе

Отметим, что, кроме полупроводниковых нелинейных элементов, для целей стабилизации используют лампы накаливания и рассмотренные ранее в главе 5 бареттеры — элементы, содержащие нагреваемую электрическим током тонкую вольфрамовую нить или спираль, заключенную в стеклянный баллон, наполненный водородом при пониженном давлении.

На практике стабилизаторы на основе варисторов и терморезисторов используют в следующих случаях стабилизации напряжения [11.1]:

- с малым потреблением энергии в режиме, близком к холостому ходу;
- в режиме максимального КПД;
- в режиме, близком к короткому замыканию.

Для повышения коэффициента стабилизации используется многокаскадное включение стабилизирующих элементов (рис. 11.2) [11.1]. Общий коэффициент стабилизации многокаскадного стабилизатора равен произведению коэффициентов

11. Стабилизаторы переменного напряжения

стабилизации каждого из каскадов. Одновременно *КПД* многокаскадного стабилизатора снижается до значения, определяемого произведением *КПД* каждого из каскадов.

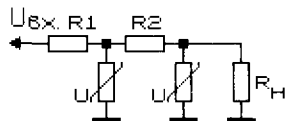


Рис. 11.2. Схема двухкаскадного стабилизатора напряжения на варисторах

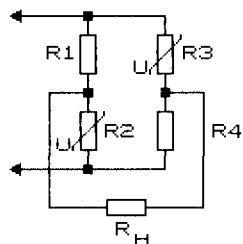


Рис. 11.3. Схема мостового параметрического стабилизатора напряжения на варисторах

Мостовой параметрический стабилизатор напряжения постоянного или переменного тока может быть выполнен на варисторах (рис. 11.3) или терморезисторах [11.1]. Схемы их практически одинаковы. Как и в случае простейших параметрических стабилизаторов, терморезисторы, используемые в мостовых схемах, должны иметь на вольт-амперной характеристике участок, параллельный оси тока.

При питании мостовой схемы, выполненной на варисторах, переменным током форма выходного напряжения существенно искажается, причем величина искажений зависит от амплитуды входного напряжения. Зависимость выходного напряжения мостовой схемы на варисторах от величины входного при питании от источника переменного тока также изменяется, в то время как для моста на терморезисторах она остается прежней.

Коэффициент стабилизации мостовой схемы на варисторах обычно невелик и составляет 3...15 [11.1].

Для стабилизации напряжения вне зависимости от его полярности используют слаботочные симметричные стабилитроны.

11. Стабилизаторы переменного напряжения

Такие полупроводниковые приборы получают обычно встречным включением двух одинаковых несимметричных стабилитронов. Типовая схема включения симметричного стабилитрона показана на рис. 11.4. Симметричные стабилитроны применяются для стабилизации уровня переменного и постоянного напряжения, симметричного ограничения амплитуды низкочастотных сигналов.

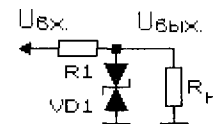


Рис. 11.4. Схема параметрического стабилизатора напряжения на симметричном стабилитроне

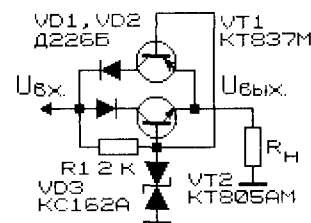


Рис. 11.5. Пример умощнения стабилизатора напряжения с помощью транзисторов

Недостатком симметричных стабилитронов является невысокая стабильность выходного напряжения при изменении входного тока, а также низкая нагрузочная способность. Одновременно решить эти проблемы можно за счет использования схемы биполярного стабилизатора напряжения [11.2], схема которого представлена на рис. 11.5.

В качестве опорного, задающего напряжение стабилизации, использован обычный симметричный стабилитрон VD3. Снимаемое с него стабилизированное напряжение поступает на базы мощных транзисторов *p-n-p* и *n-p-n* структуры (VT1 и VT2). Диоды VD1 и VD2 предназначены для включения транзистора той или иной структуры в соответствии с полярностью подаваемого на устройство напряжения.

При практической реализации схемы коэффициенты передачи по току транзисторов (в том числе составных) должны быть

11. Стабилизаторы переменного напряжения

одинаковы. Эти транзисторы необходимо установить на теплоотводящей пластине.

Нагрузочная характеристика биполярного стабилизатора напряжения при номинале резистора $R1$ — $1,2 \text{ кОм}$, показана на рис. 11.6.

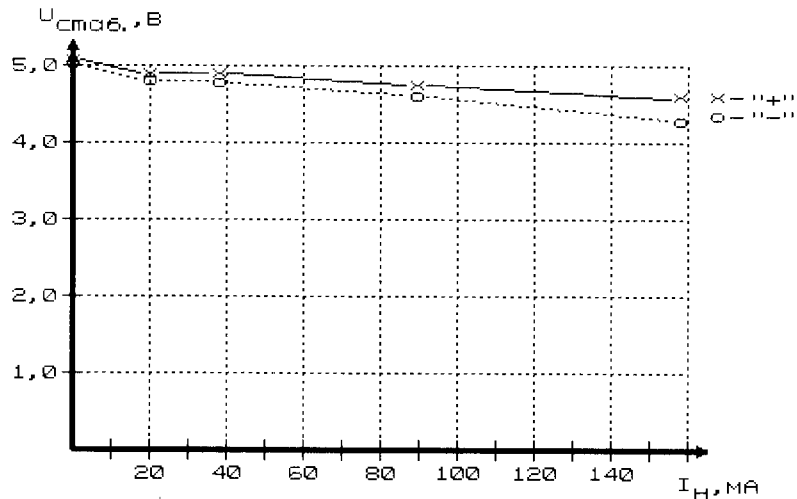


Рис. 11.6. Нагрузочная характеристика стабилизатора напряжения

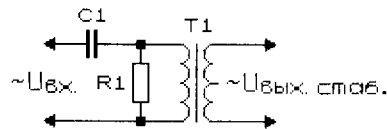


Рис. 11.7. Схема феррорезонансного стабилизатора с конденсатором

Для стабилизации напряжения переменного тока используют также и феррорезонансные стабилизаторы (рис. 11.7) [11.3]. Их работа основана на изменении индуктивности катушек с железным сердечником при изменении силы протекающего по ним тока. В первичную обмотку трансформатора последовательно включают конденсатор $C1$, который вместе с индуктивностью первичной обмотки составляет резонансный контур, настроенный на частоту питающей сети (50 Гц). Величина емкости конденсатора

11. Стабилизаторы переменного напряжения

определяется мощностью трансформатора. При мощности $10...60 \text{ Вт}$ емкость конденсатора выбирается от 3 до 12 мкФ .

Феррорезонансные стабилизаторы большей мощности выполняют с применением дросселя насыщения (рис. 11.8) [11.3].

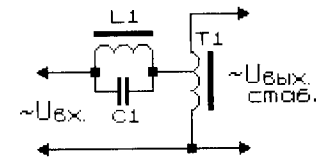


Рис. 11.8. Схема феррорезонансного стабилизатора с дросселем насыщения

При сравнительно малом напряжении сети через дроссель протекает небольшой ток, и его индуктивность велика. Большая часть тока из сети протекает через подключенный параллельно дросселю конденсатор, и общее сопротивление цепи имеет емкостный характер.

Емкость компенсирует часть индуктивного сопротивления обмотки автотрансформатора, ток, проходящий через нее, возрастает, и напряжение на выходе автотрансформатора повышается, что характерно для случая резонанса напряжений. При повышении напряжения в сети ток, проходящий через обмотку дросселя, возрастает, и индуктивность дросселя падает. Емкость конденсатора подбирается таким образом, что в контуре, состоящем из дросселя и конденсатора, наступает резонанс токов, при котором сопротивление контура становится максимальным, а ток, поступающий из сети к обмотке автотрансформатора, — минимальным. При повышении напряжения в сети происходит постепенное увеличение сопротивления контура до наступления резонанса. Это обеспечивает стабильность напряжения на обмотке автотрансформатора при изменении напряжения в сети в больших пределах.

Простота и надежность являются преимуществом феррорезонансных стабилизаторов. Недостатком — существенная зависимость выходного напряжения от частоты тока сети и заметное искажение синусоидальной формы напряжения. Стабилизаторы, выполненные на катушках индуктивности с насыщенными сердечниками, имеют большое магнитное поле рассеяния, что может влиять на работу окружающих приборов.

11. Стабилизаторы переменного напряжения

На рис. 11.9 показана более сложная схема феррорезонансного стабилизатора [11.4]: она содержит ненасыщенный дроссель с основной и компенсационной обмотками (Т1) и насыщенный автотрансформатор (Т2), который совместно с подключенным к нему конденсатором С1 образует параллельный контур, настроенный на частоту сети. Стабилизатор поддерживает выходное напряжение с точностью около 1% при колебаниях входного до 25%.

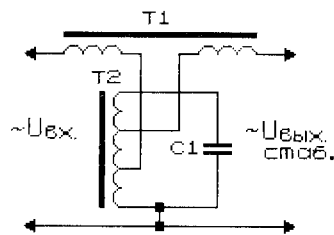


Рис. 11.9. Схема феррорезонансного стабилизатора напряжения

Недостатком такого стабилизатора является то, что его характеристики заметно зависят от частоты питающей сети. Более того, в режиме эксплуатации, очень характерном для сельской местности или при использовании суррогатных генераторов сетевого напряжения, стабилизатор может выйти из строя.

Стабилизацию как относительно высоковольтного выходного постоянного напряжения, так и переменного напряжения, снимаемого с дополнительной обмотки, обеспечивает устройство по схеме на рис. 11.10 [11.3].

Последовательно с первичной обмоткой трансформатора Т1 выпрямителя включена обмотка «а» дросселя Т2, индуктивное сопротивление которой зависит от силы токов, протекающих через обмотки подмагничивания «b» и «с». При колебаниях напряжения сети ток в обмотке «b», включенной последовательно со стабилитроном, меняется так, что за счет изменения индуктивности дросселя напряжение на первичной обмотке трансформатора поддерживается постоянным.

Дроссель насыщения Т2 выполнен на трехстержневом сердечнике. Обмотка переменного тока «а» располагается на двух крайних стержнях сердечника. Обмотки постоянного тока «b» и «с» размещены на среднем стержне сердечника и включены так.

11. Стабилизаторы переменного напряжения

что создаваемые ими магнитные потоки направлены навстречу друг другу. При этом обмотка «с» имеет больше ампервитков, чем обмотка «b», и обеспечивает постоянное подмагничивание дросселя.

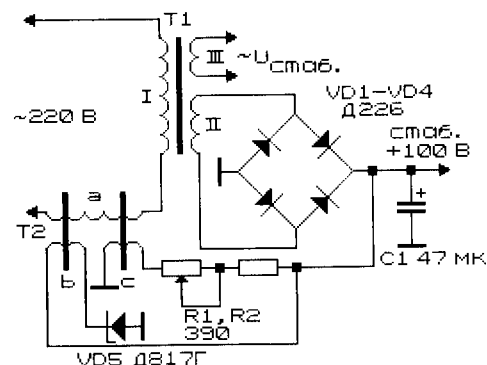


Рис. 11.10. Схема стабилизатора переменного и постоянного напряжений

При повышении напряжения в сети увеличивается выпрямленное напряжение и ток, проходящий через стабилитрон и управляющую обмотку «b», увеличивается в несколько раз. Общее подмагничивание дросселя уменьшается, его индуктивное сопротивление растёт и избыток сетевого напряжения гасится на дросселе. При уменьшении напряжения сети размагничивающий ток через обмотку «b» уменьшается, общее подмагничивание дросселя растёт, а падение напряжения на нем уменьшается; в результате напряжение на трансформаторе возвращается к номинальному значению.

При номинальном напряжении сети через стабилитрон должен протекать ток величиной 25 мА.

При изменении напряжения сети в пределах от 170 до 240 В выходные напряжения изменяются не более чем на 3%.

В этой схеме для получения стабилизированного выходного напряжения постоянного тока напряжением 100 В при токе до 30 мА и переменного тока напряжением 6,3 В при токе 1 А применены трансформатор Т1 и дроссель Т2, выполненные на сердечниках из железа Ш-25 при толщине пакетов 30 мм.

11. Стабилизаторы переменного напряжения

Первичная обмотка трансформатора Т1 содержит 470 витков провода диаметром 0,44 мм, вторичная — 720 витков диаметром 0,31 мм; низковольтная обмотка имеет 34 витка провода диаметром 1,16 мм. Дроссель Т2 имеет в обмотке «а» 500 витков провода диаметром 0,44 мм, а в «б» и «с» соответственно 2000 и 4000 витков провода диаметром 0,31 мм.

Стабилизированный выпрямитель (рис. 11.11), принцип работы которого близок к описанному ранее устройству (рис. 11.10), содержит два трансформатора Т1 и Т2, первичные обмотки которых соединены последовательно и подключены к источнику переменного тока [11.5, 11.6]. Вторичная обмотка силового трансформатора Т1 соединена с выходом через выпрямитель (VD1, VD2) и фильтр (C1, L1, C3). Вторичная обмотка вспомогательного регулирующего трансформатора Т2 подключена через выпрямитель (VD3 и VD4) к конденсатору фильтра C2.

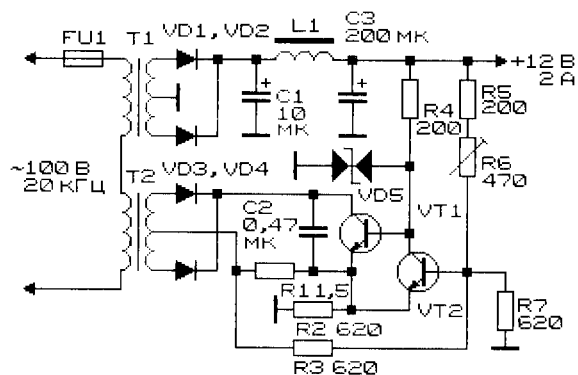


Рис. 11.11. Схема стабилизированного источника питания

Входное напряжение равно сумме напряжений на первичных обмотках Т1 и Т2. Регулирование напряжения на первичной обмотке силового трансформатора Т1, а значит и на выходе устройства, осуществляется путем изменения напряжения на первичной обмотке регулирующего трансформатора Т2. С учетом коэффициента трансформации это напряжение практически равно напряжению на конденсаторе C2 и изменяется транзистором VT1, включенным параллельно этому конденсатору. Транзистор VT1, в свою очередь, получает сигнал обратной связи от транзистора VT2. Для компенсации падения напряжения на проводах в

11. Стабилизаторы переменного напряжения

схему введена положительная параметрическая связь по току нагрузки. Она осуществляется с помощью резисторов R1 и R3.

Для стабилизации переменного напряжения зачастую применяют такие полупроводниковые элементы как диносторы и тиристоры, которые осуществляют регулирование за счет изменения угла отсечки тока или за счет симметричного ограничения напряжения [11.7].

Электромеханический стабилизатор (рис. 11.12) на основе стандартного лабораторного автотрансформатора (ЛАТРа) позволяет получить на выходе стабильное по амплитуде переменное напряжение неискаженной синусоидальной формы.

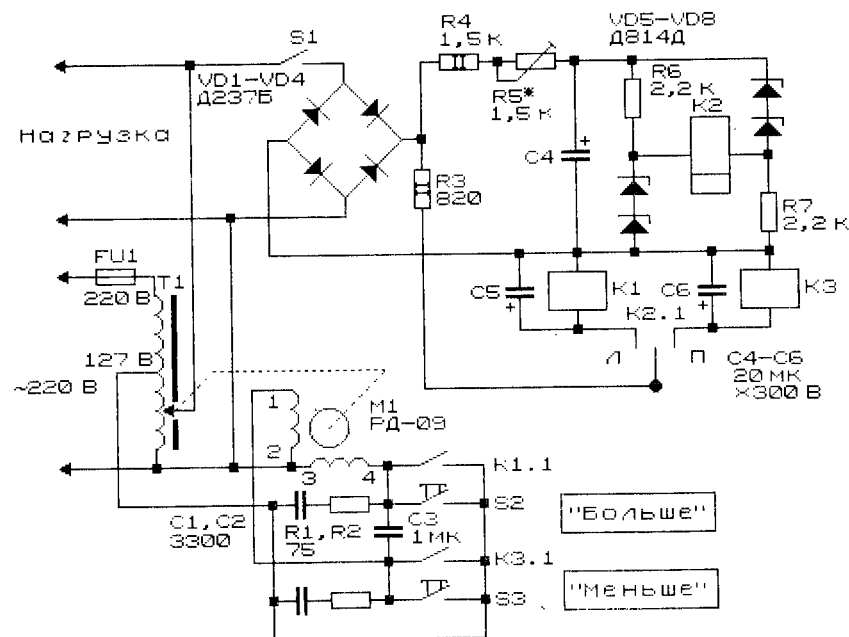


Рис. 11.12. Схема электромеханического стабилизатора переменного напряжения на основе лабораторного автотрансформатора

Выходное напряжение стабилизатора можно задать в пределах от 80 до 230 В. Точность поддержания выходного напряжения при изменении напряжения питающей сети от 50 до 250 В не менее $\pm 3\%$.

11. Стабилизаторы переменного напряжения

Стабилизатор представляет собой замкнутую систему автоматического регулирования, регулирующим элементом которой является автотрансформатор Т1 типа *ЛАТР-9А* (рис. 11.12). Схема его включения — обычная. Стабилизированное напряжение снимается с зажимов «Нагрузка». Ось вращения подвижного контакта автотрансформатора связана с валом асинхронного реверсивного электродвигателя типа *РД-09* (редукция 1/670). Такой двигатель применяется в самопишущих потенциометрах *ЭПП-09* и *КСР-4*. Обмотки возбуждения двигателя через контакты реле К1 и К3 могут подключаться к выводу «127 В» автотрансформатора. Управление этими реле осуществляется с помощью поляризованного реле К2, якорь которого может находиться либо в нейтральном, либо в одном из крайних положений. В нейтральном положении якоря К2 оба реле К1 и К3 обесточены, их контакты К1.1 и К3.1 разомкнуты, питание ни на одну из обмоток двигателя не подается, его вал неподвижен. Вращение вала двигателя, а следовательно, и движение подвижного контакта *ЛАТР*а в ту или другую сторону происходит при замыкании якоря реле К2 с правым П или левым Л контактами.

Обмотка реле К2 включена в диагональ моста, составленного из резисторов R6 и R7 и стабилитронов VD5 — VD8. Питание моста осуществляется от напряжения, снимаемого с зажимов «Нагрузка» *ЛАТР*а. Это напряжение подается на мост через двухполупериодный выпрямитель на диодах VD1 — VD4 и балластные резисторы R4 и R5. Параллельно мосту включен фильтрующий конденсатор С4. С помощью резистора R5 осуществляется изменение уставки выходного напряжения стабилизатора.

Стабилизатор работает следующим образом. В установившемся состоянии мост сбалансирован. При этом сила тока через обмотку реле К2, которое включено в диагональ моста, близка к нулю. Якорь этого реле находится в нейтральном положении, реле К1 и К3 выключены, обмотки двигателя обесточены, и его вал неподвижен. При отклонении напряжения сети, а следовательно, и выходного напряжения, в ту или другую сторону пропорционально ему будет изменяться напряжение на конденсаторе С4. Это приведет к разбалансу моста, так как напряжение на резисторах R6 и R7 изменится больше, чем на стабилитронах. Через обмотку реле потечет ток, направление которого будет зависеть от знака изменения напряжения сети. В зависимости от этого якорь реле

11. Стабилизаторы переменного напряжения

К2 замкнет цепь правого или левого контакта. Далее включится реле К1 или К3, а также двигатель, который будет перемещать подвижный контакт *ЛАТР*а до тех пор, пока напряжение на зажимах «Нагрузка» (а следовательно, и напряжение на конденсаторе С4) не вернется к прежнему значению.

Ручную регулировку выходного напряжения можно осуществить с помощью кнопок S2 «Больше» и S3 «Меньше». При этом тумблер питания схемы автоматики S1 должен быть обязательно выключен.

В устройстве применены: реле К2 типа *РПС-5* (паспорт *РС4.522.307*), реле К1 и К3 типа *РЭС-9* (паспорт *РС4.524.204*). Для уменьшения помех, возникающих при работе реле К1 и К3, их контакты зашунтированы «искрогасящими» RC-цепями R1, С1 и R2, С2.

Регулируемый источник переменного напряжения был предложен В. Янцевым [11.8] и затем с минимальными изменениями продублирован в статье [11.9].

Два независимых источника питания совмещены в одном устройстве для работы с радиоаппаратурой и обеспечивающем постоянное напряжение с пределом регулирования 0...12 В и переменное от 0 до 215 В (рис. 11.13). Первый из них предназначен для питания приборов и устройств на транзисторах и интегральных микросхемах, второй — для питания сетевых электродвигателей, ламп накаливания или электропаяльника. Его можно использовать вместо лабораторного автотрансформатора (*ЛАТР*а) для регулирования яркости ламп накаливания, температуры жала паяльника, скорости вращения электродвигателя и т.д.

Максимальный ток нагрузки каждого из источников — 0,5 А. У каждого из них свой сетевой выключатель, защитный предохранитель и вольтметр, показывающий выходное напряжение. Напряжение переменной составляющей (пульсации) источника постоянного напряжения не более 0,2 В.

В источнике переменного напряжения в качестве регулирующего элемента применен мощный транзистор VT1, выполняющий функцию переменного резистора, включенного последовательно с нагрузкой. Такое техническое решение дает ряд преимуществ по сравнению с тиристорным регулятором или *ЛАТР*ом: не создает помех, проникающих в электросеть, имеет относительно небольшие

11. Стабилизаторы переменного напряжения

габариты и массу. Транзисторный регулятор позволяет управлять как активной нагрузкой, так и реактивной.

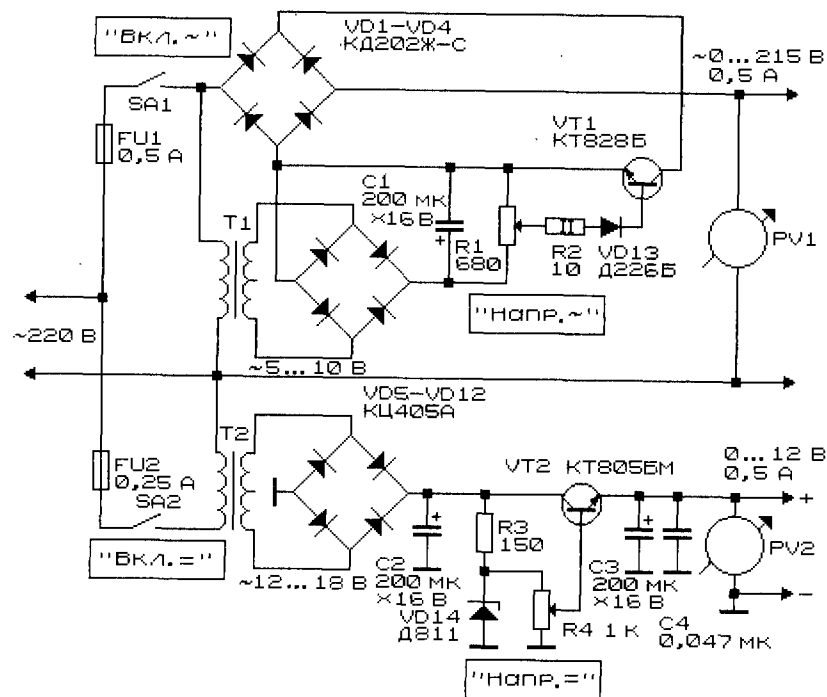


Рис. 11.13. Схема источника переменного напряжения 0...215 В и постоянного 0...12 В с регулировкой

К недостатку устройства следует отнести выделяющееся на регулирующем транзисторе большое количество тепла, что создает определенные трудности с его отводом.

Диодный мост VD1 — VD4 обеспечивает работу транзистора VT1 при обоих полупериодах переменного напряжения. Пониженное трансформатором T1 до 6 В сетевое напряжение выпрямляется диодным мостом VD5 — VD8 и сглаживается конденсатором C1. Базовый ток транзистора VT1 регулируется переменным резистором R1. Вольтметр PV1 показывает величину напряжения на выходе.

Ток нагрузки от источника переменного напряжения зависит от значения управляющего напряжения на базе транзистора

11. Стабилизаторы переменного напряжения

VT1. Изменяя это напряжение резистором R1, можно управлять током коллектора транзистора, а следовательно, и током через нагрузку.

Силовой трансформатор T2 источника постоянного напряжения понижает переменное напряжение сети. Оно выпрямляется диодным мостом (VD9 — VD12), а пульсации сглаживают конденсаторы C2 и C3. Параметрический стабилизатор напряжения на стабилитроне VD14 и резисторе R3 вырабатывает смещение для регулирующего транзистора VT2. Выходное напряжение регулируется переменным резистором R4. Конденсатор C4 служит для фильтрации высокочастотных помех. Выходное напряжение показывает вольтметр PV2.

Тепловые режимы транзисторов обеспечиваются установкой их на теплоотводы с площадью рассеяния для транзистора VT1 — не менее 300 см², а для VT2 — 30 см². Транзистор типа KT856 позволяет подключать нагрузку до 150 Вт, KT834 до 200 Вт, а KT847 до 250 Вт.

Для повышения предела выходной мощности источника следует увеличить площадь радиаторов или установить вентиляторы для обдува транзисторов.

Силовые трансформаторы T1 и T2 типа TB3-1-6. Сетевое напряжение подают на их выводы 1 и 3. В трансформаторе T1 переменное напряжение 6 В снимается с выводов 4 и 5. В трансформаторе T2 две включенные параллельно вторичные обмотки (выводы 4 и 5) надо пересоединить последовательно и согласно. Можно применить и другие трансформаторы мощностью 6...10 Вт, понижающие напряжение сети до 6...10 В (T1) и 15...18 В (T2), например, трансформаторы TC-25 или TC-27.

Помимо устройств традиционного типа известны многочисленные примеры создания стабилизаторов напряжения с использованием довольно оригинальных, но зачастую практически мало осуществимых схемных решений, некоторые из которых приведены ниже.

Пример построения стабилизатора с однополярной не-реверсивной модуляцией и преобразованием энергии на сетевой частоте опубликован М. М. Троицким [11.10] на сайте www.electro.nizhny.ru/papers/5/00502.html (рис. 11.14). Для работы

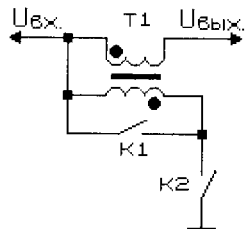


Рис. 11.14. Схема стабилизатора М. М. Троицкого с однополярной нереверсивной модуляцией

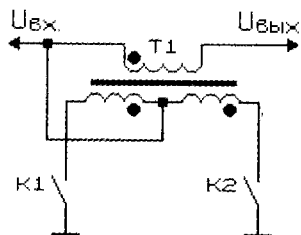


Рис. 11.15. Схема стабилизатора М. М. Троицкого с двухполярной реверсивной модуляцией

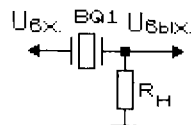


Рис. 11.16. Стабилизация переменного напряжения на основе пьезоэлектрического резонатора

стабилизатора ключи К1 и К2 поочередно замыкаются схемой управления.

Вариант реализации стабилизатора с двухполярной реверсивной модуляцией показан на рис. 11.15 [11.10].

Пьезоэлектрический стабилизатор переменного напряжения может быть выполнен на основе пьезоэлектрического резонатора (рис. 11.16) или трансформатора (рис. 11.17) [11.11].

На рис. 11.18 приведен примерный вид зависимости выходного напряжения пьезоэлектрического трансформатора или резонатора от напряжения входного сигнала резонансной частоты

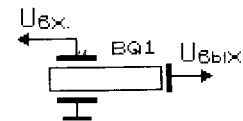


Рис. 11.17. Стабилизация переменного напряжения на основе пьезоэлектрического трансформатора

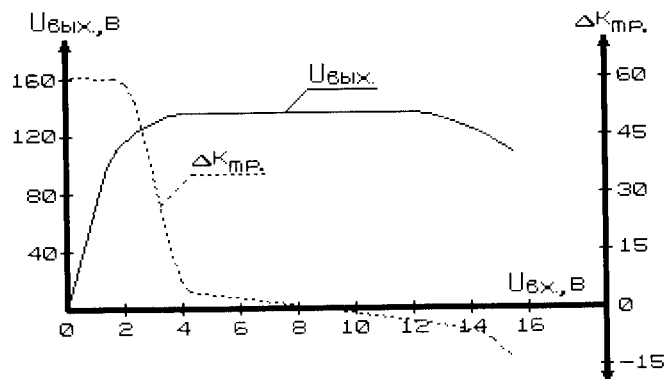


Рис. 11.18. Зависимость выходного напряжения пьезоэлектрического трансформатора или резонатора от напряжения входного сигнала резонансной частоты

[11.11]. На начальном участке зависимости $U_{вых.}/U_{вх.}$ имеет нарастающий и практически линейный характер. Этот участок является рабочим при использовании пьезоэлектрических изделий в качестве резонаторов или фильтров. При дальнейшем повышении входного напряжения на зависимости $U_{вых.}/U_{вх.}$ присутствует весьма протяженный участок, на котором амплитуда выходного сигнала практически неизменна. Это свойство и используется для стабилизации переменного напряжения. На рис. 11.18 пунктирной линией показана зависимость коэффициента трансформации в том же диапазоне изменений напряжения.

Дальнейшее повышение напряжения на пьезоэлектрическом трансформаторе или резонаторе вызывает его разогрев и необратимое ухудшение свойств.

На рис. 11.19 показано использование обратной связи для поддержания на заданном уровне выходного сигнала пьезоэлектрического стабилизатора напряжения [11.11]. Обратная связь

11. Стабилизаторы переменного напряжения

подается на вход устройства через детектор, выполненный по схеме удвоения напряжения на диодах VD1, VD2 и конденсаторах C1 и C2.

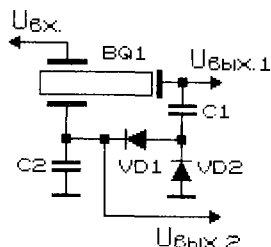


Рис. 11.19. Схема пьезоэлектрического стабилизатора переменного напряжения с обратной связью

Выходным сигналом устройства является стабилизированное переменное напряжение $U_{\text{вых.1}}$ или выпрямленное напряжение $U_{\text{вых.2}}$.

Компенсационные пьезоэлектрические стабилизаторы напряжения позволяют получить высокие значения коэффициента стабилизации. Так, например, при изменении входного напряжения (напряжения питания) преобразователя (рис. 11.19) в пределах от 0 до 220 В коэффициент трансформации изменяется в среднем от 100...130 до 40...50.

12. Трансформаторные источники питания с гасящим конденсатором

Схемы трансформаторных блоков питания с использованием гасящего конденсатора были известны еще в 50-х годах прошлого века. Простой маломощный и малогабаритный источник питания [12.1] с использованием разделительного трансформатора и гасящего конденсатора показан на рис. 12.1. В устройстве использован согласующий трансформатор от радиоприемника «Сокол-4». Он намотан на сердечнике Ш4х6 мм из пермаллоя 50Н. Первичная обмотка содержит 1510 витков, а вторичная — 2х420 витков провода ПЭВ-1 0,09. Между обмотками должна быть проложена изолирующая пленка. Конденсатор C1 — типа МБМ. Его емкостью определяется выходная мощность устройства.

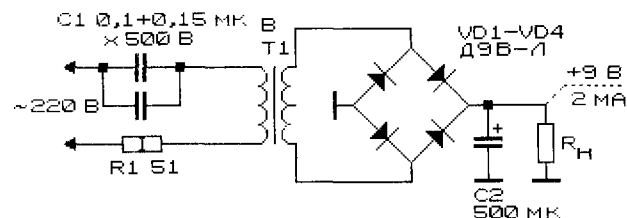


Рис. 12.1. Схема простого источника питания с гасящим конденсатором

Для разряда конденсаторов C1 и C2 после отключения от сети в этом и подобных устройствах (см. ниже) следует включать параллельно им резистор сопротивлением в сотни кОм.

Источник питания [12.2] с гасящим конденсатором и трансформатором, обеспечивающим электробезопасность, показан на рис. 12.2. Напряжение на первичной обмотке трансформатора — около 30 В. Излишек напряжения принимает на себя конденсатор, включенный последовательно с этой обмоткой. Он должен иметь рабочее напряжение не менее 400 В. Для исключения повреждения конденсатора при подаче напряжения последовательно с ним включают токоограничивающий резистор величиной 51...200 Ом. Для повышения надежности работы устройства к

выходу выпрямительного моста VD1 — VD4 стоит подключить дополнительный стабилитрон типа Д815Г. Это требуется в связи с тем, что источники питания с последовательным конденсатором и индуктивностью (трансформатором) не очень корректно работают с изменяющейся нагрузкой в силу сложных переходных процессов и возможности выхода на резонанс. Поэтому нагрузка такого класса устройств должна быть или неизменной, или это должен быть параллельный стабилизатор.

Трансформатор собран на магнитопроводе Ш12х15. Для намотки подойдет провод ПЭВ-1 диаметром 0,16 мм; число витков первичной и вторичной обмоток — 600 и 120...140 соответственно. Электрическую прочность до 2 кВ обеспечит трехслойная изоляционная прокладка между обмотками из лавсановой пленки толщиной 0,1 мм.

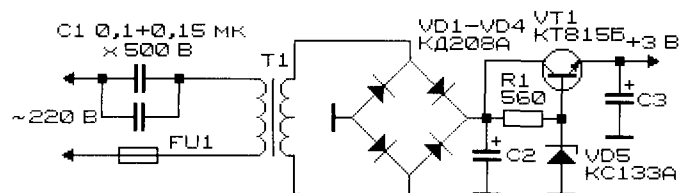


Рис. 12.2. Схема стабилизированного источника питания с гасящим конденсатором

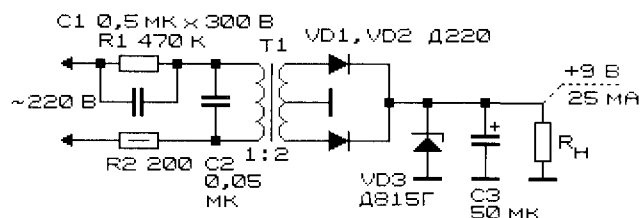


Рис. 12.3. Схема маломощного источника питания с гасящим конденсатором

Схема источника питания транзисторных устройств показана на рис. 12.3 [12.3]. С ее помощью можно получить выходное стабилизированное напряжение 9 В при токе нагрузки до 25 мА, что позволяет заменить батарею типа «Крона». Гасящий конденсатор C1 и токоограничивающий резистор R2 включены последовательно с понижающим силовым трансформатором T1. Параллельно

его первичной обмотке подключен конденсатор C2. Емкость этого конденсатора следует подбирать индивидуально, поскольку оптимальный режим работы источника питания зависит от LC-параметров колебательного контура, образованного C2 и индуктивностью первичной обмотки T1. По материалам первоисточника трансформатор имеет сердечник Ш-образной формы сечением 10х10 мм, выполненный из трансформаторной стали. Каркас разделен картонной перегородкой на две изолированные секции. Обмотки трансформатора содержат по 1200 витков провода ПЭВ-1 0,14. Во вторичной обмотке сделан отвод от середины.

Выходное напряжение вторичной обмотки поступает на выпрямитель и стабилизатор параллельного типа на стабилитроне. Устройство не боится коротких замыканий в нагрузке. Оно безопасно с электрической точки зрения (при условии надежной изоляции между обмотками трансформатора).

Другой вариант источника питания (рис. 12.4) отличается тем, что обмотки трансформатора содержат по 600 витков провода ПЭВ-1 0,2, а выпрямитель выполнен по мостовой схеме [12.3]. Коэффициент стабилизации устройства примерно 16 при токе нагрузки 25 мА.

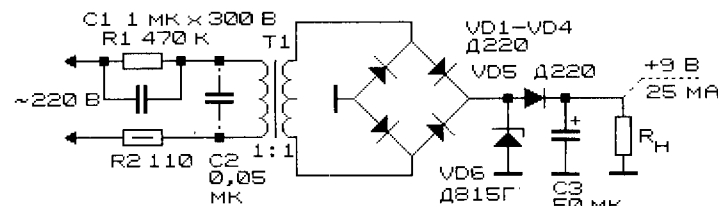


Рис. 12.4. Схема маломощного источника питания с гасящим конденсатором и мостовым выпрямителем

Интересной особенностью схемы источника питания с конденсатором (рис. 12.5) явилось то, что в нем был применен симметричный по нынешним понятиям, а в ту пору — составной из встречно включенных стабилитронов ограничитель-стабилизатор переменного напряжения, поступающего на первичную обмотку трансформатора [12.4].

Один из вариантов источника питания по схеме на рис. 12.5 был выполнен с использованием трансформатора на сердечнике

12. Трансформаторные источники питания

Ш6,5х10 мм и содержал две хорошо изолированных друг от друга обмотки по 850 витков провода ПЭЛ 0,21. Во втором варианте источника использован трансформатор на железе Ш6х8 мм, содержащий две обмотки по 1100 витков провода ПЭЛ 0,12, а емкость конденсатора С1 была понижена до 0,5 мкФ [12.4]. В качестве диодов выпрямителя более целесообразно использовать малогабаритные диоды КД102.

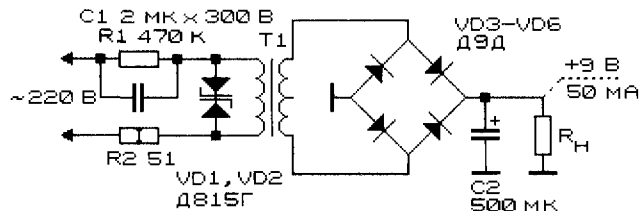


Рис. 12.5. Схема трансформаторного источника питания с использованием гасящего конденсатора и стабилитронов

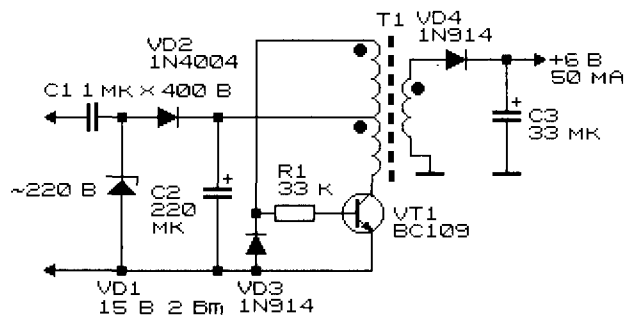


Рис. 12.6. Схема сетевого преобразователя напряжения с высокочастотным трансформатором

Преобразователь с гасящим конденсатором по схеме на рис. 12.6 питается от сети и обеспечивает выходное напряжение 6 В при токе нагрузки 50 мА [12.5]. Частота генерации — 13 кГц. В качестве сердечника трансформатора использован ферритовый броневого сердечник. Первичная обмотка мотается одновременно двумя проводами диаметром 0,17 мм. Число витков — 100. Вторичная обмотка содержит 50 витков. Для повышения выходного напряжения до 9 В число витков увеличивают в 1,5 раза.

В преобразователе можно применить отечественный транзистор КТ315 либо иной другой. Для стабилизации напряжения

12. Трансформаторные источники питания

питания генератора подойдет стабилитрон Д815Д. Диод VD2 может быть типа КД102Б. Диоды VD3 и VD4 должны быть рассчитаны для работы на повышенных частотах (13 кГц), хотя со снижением КПД можно использовать и обычные, низкочастотные, например, те же КД102Б. Для повышения надежности работы устройства последовательно с конденсатором С1 рекомендуется включить токоограничивающий резистор сопротивлением 51...100 Ом.

Схема простого преобразователя напряжения с использованием генератора, питаемого от стабилизированного источника питания с гасящим конденсатором, показана на рис. 12.7 [12.6]. Высокочастотный трансформатор Т1 намотан на двух кольцах К16х10х4,5 М3000НМ. Его первичная обмотка имеет всего 64 витка провода ПЭВ-2 0,2 с отводом от середины. Число витков вторичной обмотки может быть любым, например, 30...100 — для получения на выходе напряжения в несколько вольт. Между обмотками необходимо обеспечить надежную изоляцию. Стабилитрон VD5 ограничивает напряжение питания преобразователя и одновременно защищает транзисторы от перегрузки по напряжению при работе преобразователя на холостом ходу. Преобразователь не боится короткого замыкания в нагрузке. Преимуществом стабилизатора является стабильность выходного напряжения при изменении в широких пределах входного. недостатком — низкий КПД.

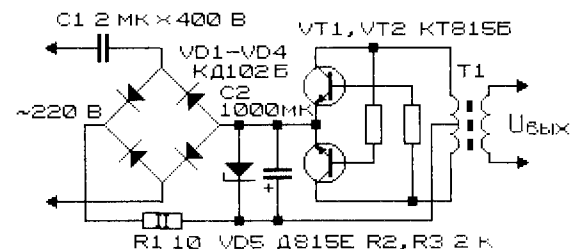


Рис. 12.7. Схема источника питания на основе двухтактного генератора

Преобразователь напряжения, собранный по аналогичной схеме, но с другими параметрами элементов, описан в работе [12.7]. В этой схеме С1 — 4 мкФ, С2 — 470 мкФ, R2, R3 — 5,6 кОм, диодный мост КЦ405А (VD1 — VD4), стабилитрон VD5 — Д816Г на теплоотводе (площадь 25 см²), транзисторы —

КТ801А. Трансформатор намотан на кольцевом магнитопроводе К40х25х11 1500НМ1. Первичная обмотка содержит 2х60 витков провода ПЭВ-2 0,46. Вторичная имеет 72 витка провода ПЭВ-2 0,8 (выходное напряжение — около 10 В). Обмотки изолированы друг от друга двумя слоями лакоткани. Преобразователь работает на частоте 5...10 кГц. Выходная мощность устройства — около 4 Вт. Ток короткого замыкания — 0,45...0,46 А. Изменить величину выходного напряжения при необходимости наиболее просто путем замены стабилитрона.

Схема импульсного маломощного блока питания антенного усилителя [12.8] с разделительным трансформатором на ферритовом кольцевом магнитопроводе показана на рис. 12.8.

Основа устройства — генератор импульсов на мощном операционном усилителе DA1, который питается от выпрямителя VD1 — VD4. Конденсатор C1 гасит избыточное напряжение сети.

Выходной ток микросхемы типа К157УД1 может достигать 300 мА, поэтому генератор, собранный по схеме мультивибратора, нагружен непосредственно на первичную обмотку трансформатора Т1. Частота генерации составляет 25...30 кГц. Импульсное напряжение вторичной обмотки трансформатора выпрямляется диодами VD6, VD7 и сглаживается фильтром (C5, L1, C6). Стабилитрон VD8 определяет выходное напряжение источника питания.

При выходном напряжении в пределах 9...12 В ток нагрузки может достигать до 20 мА, чего вполне достаточно, чтобы питать этим током антенный усилитель.

Трансформатор Т1 и дроссель L1 намотаны на кольцах К20х12х6 2000НМ. Первичная обмотка содержит 35 витков, вторичная — 2х40 витков провода ПЭВ-2 0,2 мм. Дроссель L1 имеет 145...150 витков того же провода; дроссели L2, L3 — стандартные, типа ДМ индуктивностью 100...500 мкГн.

Микросхему К157УД1 можно заменить операционным усилителем среднего быстродействия, например К153УД2, с дополнительным выходным каскадом на транзисторах, как показано на рис. 12.9.

В качестве генератора импульсов можно также применить широко распространенную микросхему К174УН7, включив ее по схеме, приведенной на рис. 12.10 [12.8]. В этом случае надо будет вдвое уменьшить число витков первичной обмотки трансформатора, в два

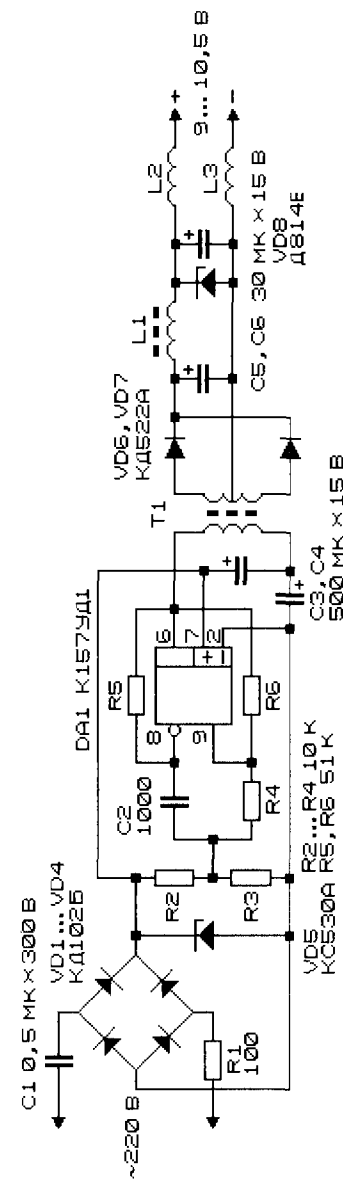


Рис. 12.8. Схема сетевого источника питания антенного усилителя

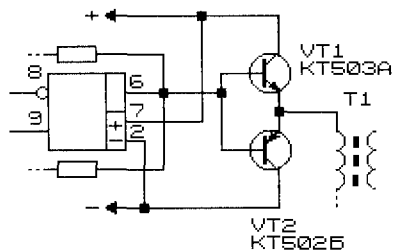


Рис. 12.9. Схема выходного каскада на транзисторах

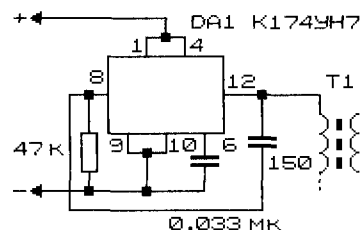


Рис. 12.10. Применение микросхемы K174УН7 в генераторе импульсов

раза увеличить емкость конденсатора $C1$ и применить стабилитрон $VD5$ на напряжение стабилизации $15 \dots 17$ В.

Преобразователь напряжения с сетевым питанием, показанный на рис. 12.11, состоит из мультивибратора на операционном усилителе $DA1$ ($K544УД1Б$) и усилителя мощности на транзисторах $VT1$, $VT2$ [12.9]. Частота преобразования, равная 20 кГц, определяется произведением $R6C6$. Симметричную форму импульсов (меандр) устанавливают потенциометром $R4$.

Применение высокочастотных транзисторов диктуется необходимостью усиливать импульсы с крутыми фронтами и спадами. Низкочастотные транзисторы, например, $KT502$ и $KT503$ имеют большое время рассасывания зарядов в базе, из-за чего фронты импульсов затягиваются, увеличивается «сквозной» ток. В результате показатели источника питания ухудшаются: уменьшается его КПД, увеличиваются пульсации выходного напряжения.

Питающее напряжение преобразователя (2×12 В) образуется на параллельном стабилизаторе напряжения на стабилитронах $Д814Д$ ($VD5$, $VD6$). Нагрузочная способность: минимальный ток стабилизации — 3 мА, максимальный — 24 мА.

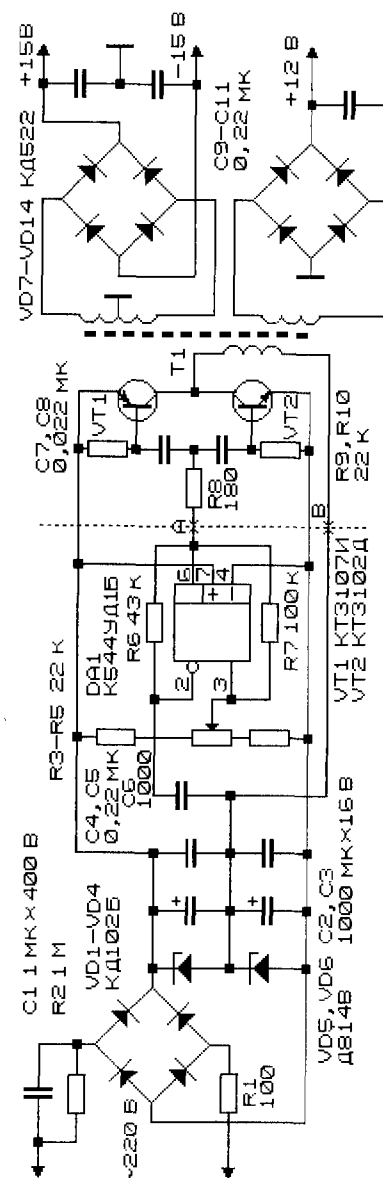


Рис. 12.11. Схема сетевого преобразователя напряжения с гасящим конденсатором

12. Трансформаторные источники питания

Трансформатор Т1 намотан на ферритовом кольце К16х10х4,5 М2000НМ-А. Обмотка I — 100 витков провода ПЭВ-2 0,25; обмотка II — 2х130 витков ПЭВ-2 0,12 (в два провода), обмотка III — 115 витков ПЭВ-2 0,15. Первичная обмотка изолирована от вторичных обмоток двумя слоями лакоткани толщиной 0,1 мм и двумя слоями фторопластовой пленки толщиной 0,05 мм. Вторичные обмотки изолированы одна от другой двумя слоями такой же фторопластовой пленки.

На рис. 12.12 показана другая схема выходного каскада преобразователя [12.9]. Благодаря применению дополнительных каскадов фронты и спады импульсов на обмотках трансформатора становятся более крутыми, в итоге вдвое снижается амплитуда пульсаций выходного напряжения (с 0,35 до 0,17 В).

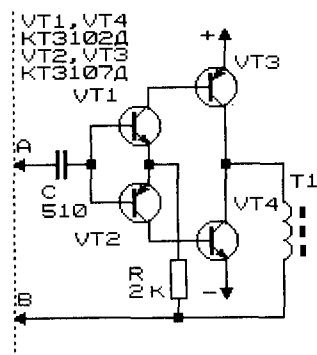


Рис. 12.12. Схема выходного каскада преобразователя с улучшенными характеристиками

Для снижения уровня выходных пульсаций преобразователя до 10 мВ и менее можно использовать простейший П-образный LC-фильтр (рис. 12.13) [12.9]. Магнитопровод дросселя L1 — Ш4х4 из феррита 2000НМ. Обмотку выполняют в два провода ПЭЛ 0,21 до заполнения каркаса.

Преобразователь напряжения (рис. 12.14) содержит двухтактный генератор импульсов с индуктивной обратной связью, питаемый от сетевого выпрямителя с гасящим конденсатором [12.10, 12.11].

Трансформатор генератора Т1 намотан на тороидальном магнитопроводе размерами 34х18х8 из пермаллальной ленты

12. Трансформаторные источники питания

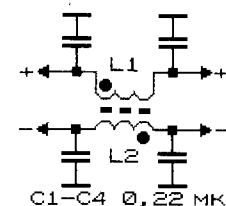


Рис. 12.13. Схема П-образного LC-фильтра для уменьшения пульсаций на выходе преобразователя

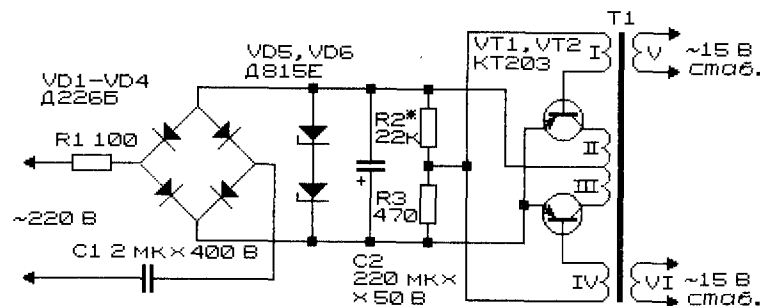


Рис. 12.14. Схема преобразователя напряжения с сетевым питанием

толщиной 0,1 мм. Обмотки I и IV содержат по 60 витков ПЭВ-2 0,1; II и III — по 120 витков ПЭВ-2 0,2; V и VI — по 110 витков ПЭВ-2 0,3. Рабочая частота преобразователя — несколько кГц (определяется особенностями трансформатора — его размерами, материалом сердечника, числом витков обмоток).

Преобразователь (рис. 12.15) [12.12, 12.13] питается от параметрического стабилизатора напряжения, обеспечивающего на выходе стабильное напряжение 24...30 В (определяется используемыми стабилитронами).

Трансформатор Т1 выполнен на магнитопроводе К20х12х6 (либо К16х10х4,5 с сохранением числа витков) М2000НМ-1. Обмотки I и III — 2х60 витков; II — 4 витка; обмотки IV — 2х25 витков ПЭВ-2 0,23 с межслойной изоляцией.

Блок питания Л. Ануфриева [12.14] обеспечивает на выходе ряд стабилизированных постоянных напряжений разной полярности. Устройство (рис. 12.16) состоит из сетевого выпрямителя с гасящим конденсатором, фильтра, параметрического стабилизатора, преобразователя напряжения и выходных выпрямителей.

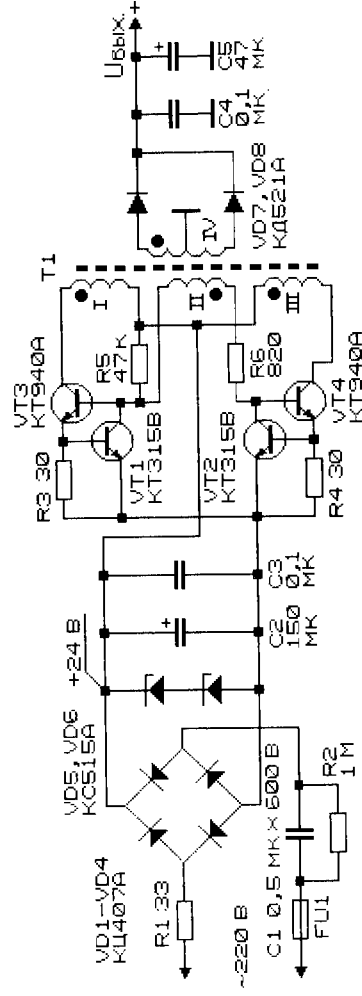


Рис. 12.15. Схема источника электропитания с бестрансформаторным входом

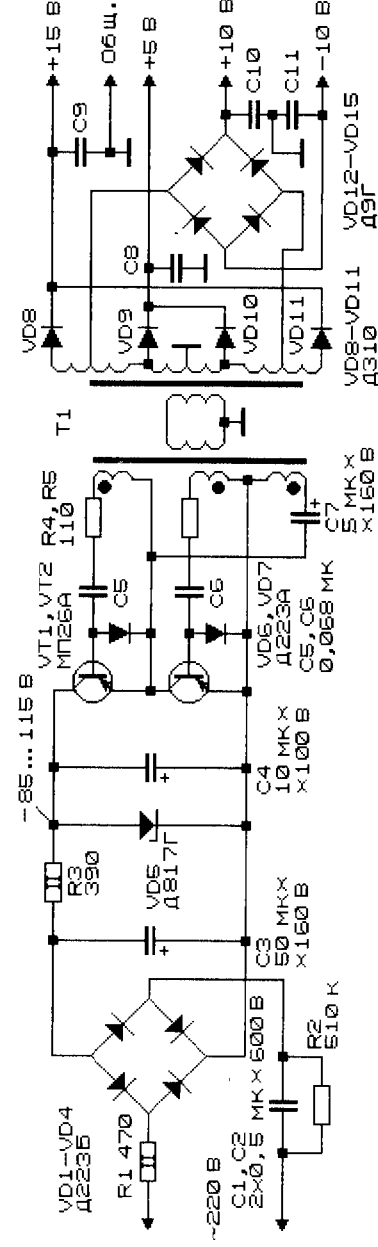


Рис. 12.16. Схема источника питания без сетевого трансформатора

Работоспособность блока сохраняется при изменении напряжения сети в пределах от 190 до 240 В. При этом выходные напряжения изменяются не более чем на 1%. Потребляемый устройством ток — около 50 мА. Преобразователь напряжения работает на частоте примерно 15 кГц. Максимальный ток нагрузки по выходам «+15 В», «+10 В» и «-10 В» — 10 мА; «+5 В» — 400 мА.

Повышенная электробезопасность устройства обеспечивается специальной конструкцией выходного трансформатора, представляющего собой совокупность двух тороидальных трансформаторов, объединенных общим объемным витком. За счет такой конструкции снижается емкость между обмотками и обеспечивается надежная изоляция.

Трансформатор на ферритовых кольцах К16х8х6 2000НМ с обмотками помещен в отрезок медной трубки диаметром 20 мм. Внутри колец проходит медный стержень, соединенный с наружной медной трубкой медными боковинами — дисками. Ферритовые кольца разделены также медным диском — перегородкой, припаянной к центральному стержню. Эта перегородка является экраном между первичными и вторичными (выходными) обмотками. Объемный виток, образованный стержнем, боковинами и трубкой, служит одновременно корпусом трансформатора. В процессе работы по нему протекает ток до 10 А. Обмотки трансформатора изолированы со всех сторон, выводы обмоток пропущены через отверстия в боковинах.

Обмотки базовых цепей преобразователя содержат по 22 витка ПЭШО 0,12, намотанных в 2 провода. Обмотка, подключенная к положительному выводу конденсатора С7, имеет 282 витка ПЭВ-1 0,15. Выходные обмотки для получения напряжения 5 В имеют по 34 витка ПЭВ-2 0,29 и намотаны в два провода. Остальные 4 обмотки также имеют по 34 витка ПЭВ-2 0,12, намотанных в 4 провода. Все «выходные» обмотки включены последовательно («начало — конец»).

Налаживать описанные выше устройства (главным образом, преобразователь) следует только при отключенном сетевом напряжении. На время настройки рекомендуется отключить стабилитроны и питать преобразователь от обычного источника питания, по возможности ограничив при этом его максимальный выходной ток.

13. Бестрансформаторные сетевые источники стабилизированного питания с гасящим конденсатором

Бестрансформаторные маломощные сетевые источники питания с гасящим конденсатором получили широкое распространение благодаря простоте конструкции, несмотря на серьезный недостаток — наличие гальванической связи источника питания с сетью.

Бестрансформаторные источники питания имеют небольшие габариты. Их можно применять для питания портативных приемников, часов, регуляторов напряжения, переключателей гирлянд, несложных устройств автоматики и даже плееров. В то же время их категорически запрещается использовать для питания устройств, имеющих связь с другими сетями (АОНов, трехпрограммных приемников, антенных усилителей, автоответчиков и др.), устройств, работающих в гаражах, сараях, на улице, а также находящихся вблизи заземленных предметов. Особо тщательно следует изготавливать подобные устройства для работы в холодильниках, стиральных машинах, домашних овощехранилищах, звонках, устройствах сигнализации [13.1].

Схема простого сетевого бестрансформаторного источника питания с гасящим конденсатором показана на рис. 13.1 [13.1].

Резистор R1 предназначен для разряда гасящего конденсатора С1 при отключении устройства от сети. Последовательно с С1 следует обязательно включить резистор в несколько десятков Ом для ограничения зарядного тока через конденсатор. Выходное напряжение определяется стабилитроном VD3. Максимальный ток нагрузки определяется емкостью конденсатора и его величиной можно оценить следующим образом (см. Приложение): при $C1=1 \text{ мкФ}$ ток I равен примерно 70 мА, при $C1=2 \text{ мкФ}$ — 140 мА, при $C1=4 \text{ мкФ}$ — 280 мА и т.д. В данной схеме эти токи будут в два раза меньше.

Источники питания подобного рода не боятся коротких замыканий в нагрузке. При уменьшении сопротивления нагрузки

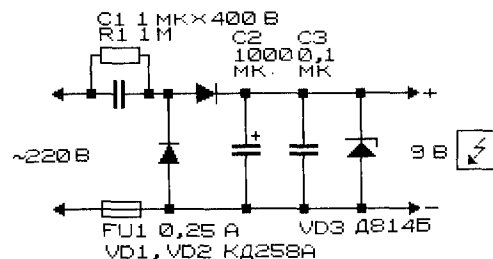


Рис. 13.1. Схема простого сетевого бестрансформаторного источника питания

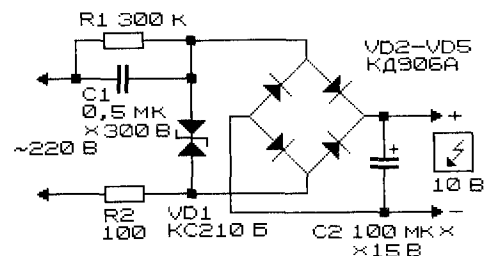


Рис. 13.2. Схема источника питания электронных часов

они работают как источник тока. Эти устройства можно использовать для заряда аккумуляторов. Однако долго оставлять их включенными на холостом ходу нежелательно, так как при этом стабилитрон работает при максимальном токе и сильно нагревается. Кроме того, пользоваться устройством, имеющим непосредственную гальваническую связь с питающей сетью опасно.

При токах нагрузки меньше 20 мА гасящий конденсатор можно заменить на резистор. На резисторе рассеивается значительная активная мощность, и он должен иметь допустимую мощность не менее 5 Вт.

Стабилизатор напряжения для бестрансформаторного питания электронных часов [13.2] выполнен на основе симметричного стабилитрона VD1 KC210Б (рис. 13.2). Гасящий конденсатор C1 и токоограничивающий резистор R2 включены последовательно со стабилитроном. Ограниченное на уровне 10...11 В (напряжение стабилизации) переменное напряжение выпрямляется мостом (VD2 — VD5) и поступает на нагрузку. Пульсации выпрямленного напряжения сглаживаются конденсатором C2.

Выпрямитель-стабилизатор (рис. 13.3) может питать транзисторный приемник от сети переменного тока [13.3]. Устройство представляет собой мостовой выпрямитель, в двух смежных плечах которого включены стабилитроны VD3 и VD4. Эти элементы помимо функции выпрямления стабилизируют выходное напряжение.

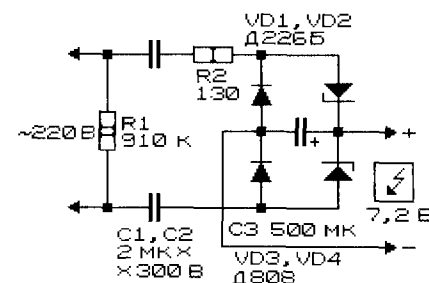


Рис. 13.3. Схема источника питания с мостовым диодно-стабилитронным выпрямителем

Быстрый разряд конденсаторов C1 и C2 при выключении из сети происходит через резистор R1, а резистор R2 предназначен для ограничения броска тока при включении устройства.

Выпрямитель обеспечивает стабилизированное напряжение около 7,2 В при токе 30 мА в нагрузке сопротивлением 240 Ом. При изменении напряжения сети в пределах 110...240 В выходное напряжение изменяется в пределах ± 200 мВ, а ток — на 1 мА. При сопротивлении нагрузки 120 Ом ток в нагрузке возрастает до 60 мА, номинальное выходное напряжение снижается до 7...7,1 В при изменении сетевого напряжения от 195 до 240 В.

К ощутимым недостаткам устройства следует отнести то, что его выход не изолирован от питающей сети.

Источник питания не боится коротких замыканий на выходе, а также обрыва в цепи нагрузки. Выходное напряжение определяется типом стабилитронов. Для снижения пульсаций выходного напряжения следует подобрать стабилитроны с одинаковыми напряжениями стабилизации.

В схеме источника питания (рис. 13.4) мостовой выпрямитель нагружен на стабилитрон — стабилизатор напряжения параллельного типа [13.1]. Выходное напряжение определяется типом

13. Бестрансформаторные сетевые источники

стабилитрона (VD5) и в данном случае составляет 6 В при токе нагрузки до 130 мА.

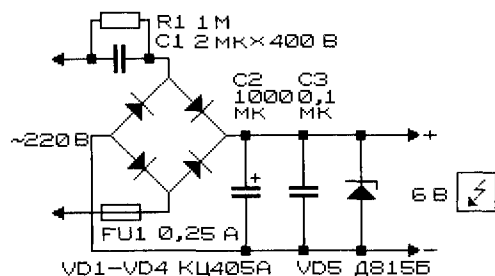


Рис. 13.4. Схема бестрансформаторного источника питания с мостовым выпрямителем и стабилитроном

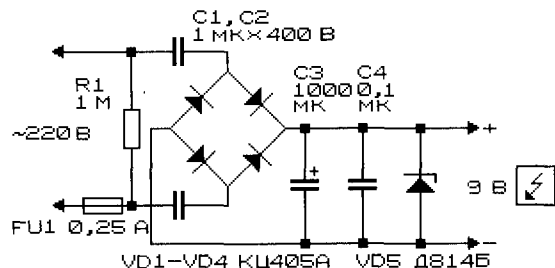


Рис. 13.5. Схема источника питания с двумя гасящими конденсаторами

Аналогично построен источник питания по схеме на рис. 13.5, однако в ней использованы два последовательно включенных гасящих конденсатора [13.1]. Принципиально работа схемы от этого не изменяется, однако рабочее напряжение конденсаторов в этом устройстве может быть вдвое меньше. Резистор R1 позволяет разрядиться конденсаторам при отключении устройства от сети. Поскольку суммарная емкость конденсаторов C1 и C2 равна 0,5 мкФ, максимальный выходной ток устройства не превышает 30...35 мА.

Бестрансформаторный источник питания для замены гальванического элемента 373, используемого в электронно-механических часах «Слава», показан на рис. 13.6 [13.4]. Величину выходного напряжения определяют и стабилизируют два прямосмещенных кремниевых диода. Устройство не имеет конденсатора фильтра,

13. Бестрансформаторные сетевые источники

однако, при необходимости его (емкостью 470...1000 мкФ) можно подключить к выходу.

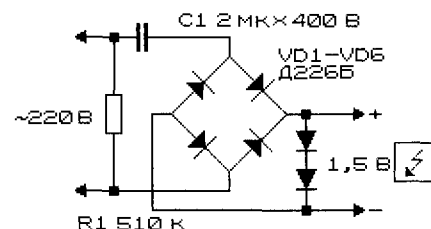


Рис. 13.6. Схема бестрансформаторного источника питания со стабилизацией выходного напряжения прямосмещенными диодами

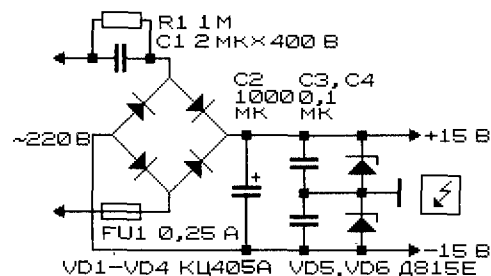


Рис. 13.7. Схема бестрансформаторного источника питания с двухполярным выходным стабилизированным напряжением

На следующем рисунке (рис. 13.7) показано, каким образом можно получить двухполярное напряжение в схеме бестрансформаторного источника питания [13.1].

Для этого в схеме использован описанный ранее в главе 7 прием создания искусственной средней точки за счет применения четного числа стабилитронов.

Источник питания для современного плеера (или радиоприемника), вырабатывающий 3 В, построен по схеме, приведенной на рис. 13.8, и отличается последовательным включением двух стабилизаторов [13.1]. Параллельного — на стабилитроне VD5 и параметрического — на элементах VD6, VT1, R2 и C3. У него, как и у других подобных устройств, один, но очень существенный

13. Бестрансформаторные сетевые источники

недостаток — он не изолирован от питающей сети, а потому требует особой осторожности при эксплуатации.

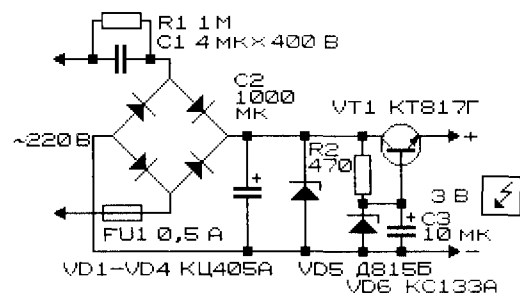


Рис. 13.8. Схема бестрансформаторного источника питания со стабилизированным выходным напряжением

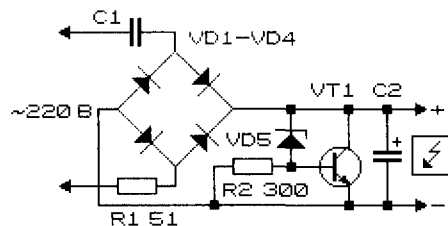


Рис. 13.9. Схема бестрансформаторного источника питания с использованием аналога мощного стабилизатора

На рис. 13.9 показана схема бестрансформаторного источника питания с использованием аналога мощного стабилизатора [13.5].

На основе этой схемы может быть создан блок питания с регулируемым выходным напряжением. Для этого достаточно применить схемные решения, приведенные в главе «Стабилизаторы постоянного напряжения».

Схема бестрансформаторного источника питания с гасящим конденсатором и симметричным динистором для стабилизации напряжения приведена на рис. 13.10 [13.6]. После зарядки конденсатора фильтра C2 до напряжения включения динистора VS1 (с точностью до падения напряжения на выпрямительном мосте) он включается и шунтирует вход диодного моста. Нагрузка получает питание от конденсатора C2. В начале следующего

13. Бестрансформаторные сетевые источники

полупериода C2 вновь подзаряжается до того же напряжения и процесс повторяется. Падение напряжения на динисторе во включенном состоянии невелико, рассеиваемая мощность, а значит и нагрев значительно меньше, чем при установке стабилитрона.

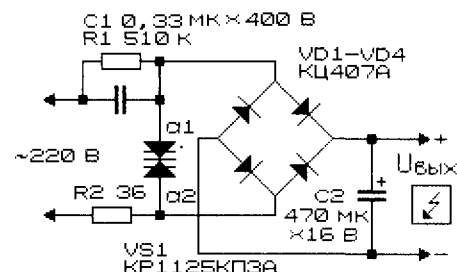


Рис. 13.10. Схема бестрансформаторного источника питания с гасящим конденсатором и симметричным динистором

Экспериментально [13.6] был проверен такой источник с конденсаторами C1 разной емкости (0,315 и 0,64 мкФ) (номиналы 0,33 и 0,68 мкФ) и динисторами типов КР1125КП3А и КР1125КП3Б. Напряжение на выходе составило около 6,8 и 13,5 В для динисторов КР1125КП3А и КР1125КП3Б соответственно. При напряжении сети 205 В и емкости конденсатора C1=0,315 мкФ (номинал 0,33 мкФ) увеличение тока нагрузки от 2 до 16 мА привело к уменьшению выходного напряжения на 70 мВ (т.е. на 1%); и на 100 мВ при C1=0,64 мкФ (номинал 0,68 мкФ) и изменении тока от 4 до 32 мА. Дальнейшее увеличение тока нагрузки сопровождалось резким падением выходного напряжения.

На рис. 13.11 показана схема однополупериодного выпрямителя с гасящим конденсатором [13.6]. Для уменьшения потерь используют только один из динисторов микросхемы КР1125КП3.

Бестрансформаторные сетевые источники стабилизированного питания с гасящим конденсатором при мощностях нагрузки в доли и единицы ватт более эффективны, чем устройства с сетевым трансформатором или с высокочастотным преобразователем. Недостатком таких устройств является зависимость их выходного напряжения от изменения сопротивления нагрузки. Эту зависимость обычно устраняют, включив на выходе выпрямителя

13. Бестрансформаторные сетевые источники

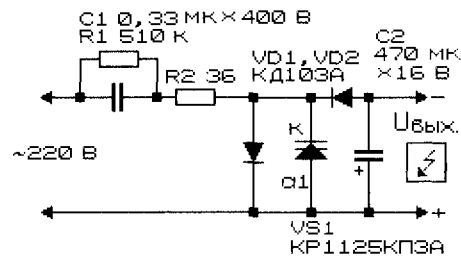


Рис. 13.11. Схема бестрансформаторного источника питания с симметричным динистором в однополупериодном режиме

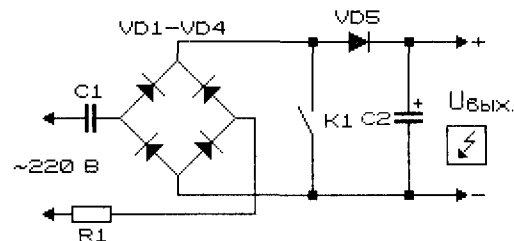


Рис. 13.12. Бестрансформаторный сетевой источник питания с гасящим конденсатором и стабилизатором на основе ключевого элемента на выходе выпрямителя

стабилитрон, который одновременно является стабилизатором напряжения.

Н. Я. Цесарук (рис. 13.12) предложил бестрансформаторный сетевой источник питания с гасящим конденсатором и стабилизацией выходного напряжения во всех возможных режимах работы — от холостого хода до номинальной нагрузки [13.7].

Если выход моста (рис. 13.12) закорачивать ключом K1 на часть длительности полупериода сети, а в оставшуюся часть полупериода ключ K1 размыкать и заряжать в это время выходным током моста конденсатор C2, то напряжение на нем будет зависеть от доли этой оставшейся части по отношению ко всему полупериоду сети. И если, как при широтно-импульсной модуляции, менять время открытого состояния ключа в зависимости от напряжения на C2, можно получить стабилизацию выходного напряжения.

Схема стабилизированного источника питания приведена на рис. 13.13. Параллельно выходу диодного моста включен

13. Бестрансформаторные сетевые источники

транзистор VT1, работающий в ключевом режиме (ключ K1 на рис. 13.12).

Транзистор VT1 для уменьшения потерь должен быть с большим коэффициентом передачи по току, например, составной KT972A, KT829A, KT827A и др.

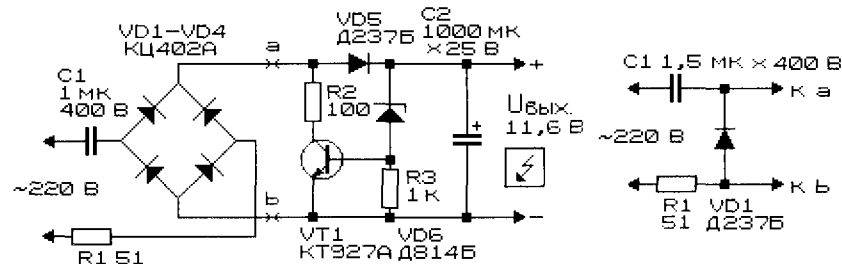


Рис. 13.13. Пример практических устройств — стабилизаторов напряжения ключевого типа в бестрансформаторных источниках питания с гасящим конденсатором

Стабилизированный выпрямитель, собранный по схеме рис. 13.13, обеспечивает выходное напряжение: на холостом ходу — 11,68 В; на нагрузке 290 Ом — 11,6 В.

Такая небольшая разница выходных напряжений (всего 80 мВ) является подтверждением хорошей стабилизации выходного напряжения и правильности выбора величины емкости гасящего конденсатора C1 для данной нагрузки. С уменьшением емкости до 0,5 мкФ эта разница достигает 0,16 В. Напряжение пульсации на нагрузке 290 Ом не превышает 40 мВ. Эта величина определяется емкостью сглаживающего конденсатора C2 и чувствительностью базовой цепи VT1.

Увеличить выходное напряжение выпрямителя можно, применив более высоковольтный стабилитрон или два низковольтных, соединенных последовательно. При двух стабилитронах Д814В и Д814Д и емкости конденсатора C1 2 мкФ выходное напряжение на нагрузке сопротивлением 250 Ом может составлять 23...24 В.

Аналогично можно застабилизировать выходное напряжение однополупериодного выпрямителя, выполненного, например, по схеме рис. 13.13, справа. Для выпрямителя с положительным

13. Бестрансформаторные сетевые источники

выходным напряжением параллельно диоду VD1 включен *n-p-n* транзистор KT972A или KT829A, управляемый с выхода выпрямителя через стабилитрон VD5.

При достижении на конденсаторе C2 напряжения, соответствующего моменту открывания стабилитрона, транзистор VT1 тоже открывается. В результате амплитуда положительной полуволны напряжения, поступающего на C2 через диод VD5, уменьшается почти до нуля. При уменьшении же напряжения на C2 транзистор VT1, благодаря стабилитрону, закрывается, что приводит к увеличению выходного напряжения.

Процесс сопровождается широтно-импульсным регулированием длительности импульсов на входе VD5. Следовательно, напряжение на конденсаторе C2 остается стабилизированным как на холостом ходу, так и под нагрузкой.

В выпрямителе с отрицательным выходным напряжением параллельно диоду VD1 нужно включить *p-n-p* транзистор KT973A или KT825A. Выходное стабилизированное напряжение на нагрузке сопротивлением 470 Ом — около 11 В, напряжение пульсаций — 0,3...0,4 В.

Резисторы R1, R2 ограничивают токи при переходных процессах в момент включения устройства в сеть.

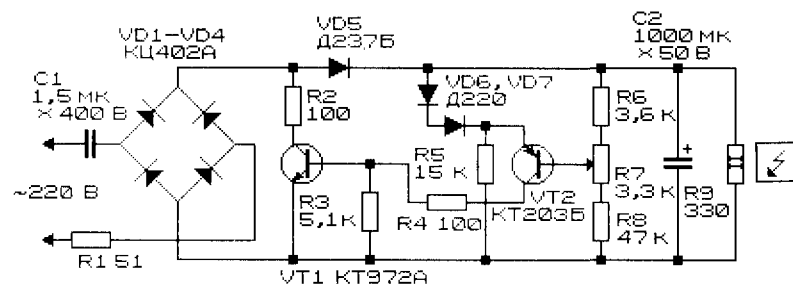


Рис. 13.14. Бестрансформаторный источник питания с гасящим конденсатором с регулируемым выходным напряжением

Схема бестрансформаторного источника питания с гасящим конденсатором [13.8], позволяющего в широких пределах плавно изменять выходное напряжение, показана на рис. 13.14. Особенность устройства заключается в использовании дополнительного транзисторного каскада на транзисторе VT2. Выходной

13. Бестрансформаторные сетевые источники

сигнал VT2 зависит от разности напряжений, подаваемых с переменного резистора R7, включенного параллельно выходу источника питания, и источника опорного напряжения на диодах VD6 и VD7.

Схема представляет собой параллельный стабилизатор. Роль балластного резистора играет гасящий конденсатор C1, роль параллельного управляемого элемента — транзистор VT1.

При включении в сеть транзисторы VT1 и VT2 заперты, через диод VD5 происходит заряд накопительного конденсатора C2. При достижении на базе транзистора VT2 напряжения, равного опорному на диодах VD6, VD7, транзисторы VT2, VT1 начинают отпираться. Транзистор VT1 шунтирует выход диодного моста, напряжение на выходе начинает падать, что приводит к уменьшению напряжения на накопительном конденсаторе C2. Транзисторы VT2, VT1 увеличивают свое сопротивление, что, в свою очередь, вызывает уменьшение шунтирования выхода диодного моста.

За счет действующей таким образом отрицательной обратной связи при включенной нагрузке R9 и без нее, на холостом ходу, выходное напряжение остается постоянным. Его величина зависит от положения движка потенциометра R7. Максимальная выходная мощность устройства — 2 Вт. Пределы регулировки выходного напряжения — от 16 до 26 В, а при закороченном диоде VD7 пределы регулировки — от 15 до 19,5 В. В этих диапазонах при отключении R9 (сбросе нагрузки) увеличение выходного напряжения не превышает 1%. Источник питания не боится короткого замыкания в цепи нагрузки.

Выходное напряжение источников питания, описанных выше, можно регулировать и в более широких пределах. Например, устройство (рис. 13.15) позволяет изменять выходное напряжение в пределах от 4,7 до 46 В [13.9].

Значительно больший диапазон регулировки обеспечивают устройства, показанные на рис. 13.16 — 13.19. На рис. 13.16 изображен базовый элемент регулятора — аналог управляемого стабилитрона.

Аналог стабилитрона с регулируемым напряжением стабилизации включен между накопительным конденсатором C2 и базой транзистора VT1 (рис. 13.17) — так же, как включен обычный

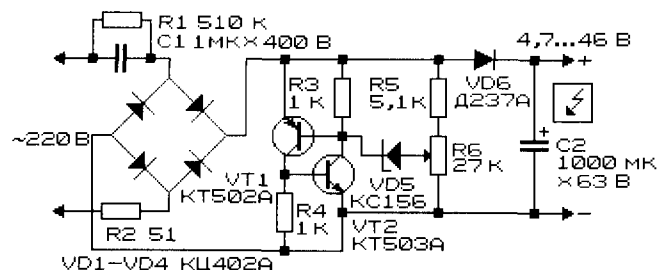


Рис. 13.15. Источник питания с регулируемым выходным напряжением 4,7...46 В

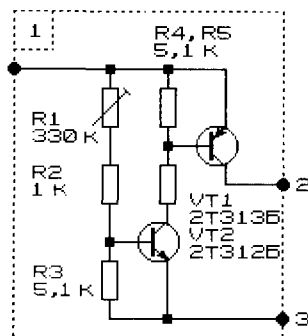


Рис. 13.16. Аналог управляемого стабилитрона — базовый элемент стабилизаторов напряжения

стабилитрон в бестрансформаторном сетевом источнике стабилизированного питания с гасящим конденсатором. Напряжение стабилизации в схеме на рис. 13.16 меняется более чем в десять раз при изменении сопротивления резистора R1 от минимального значения до максимального. В результате выходное напряжение может устанавливаться в диапазоне от 2,8 до 32 В. В этом диапазоне оно остается практически постоянным и под нагрузкой, и на холостом ходу. Разница напряжений в этих режимах не превышает 1%. Устройство не боится короткого замыкания. В качестве транзисторов базового элемента (рис. 13.16) VT1 могут быть применены KT361B — E; в качестве VT2 — KT315B — E, KT3102A, Б.

Описанные выше устройства содержат в своем составе транзистор, шунтирующий выход диодного моста. В процессе

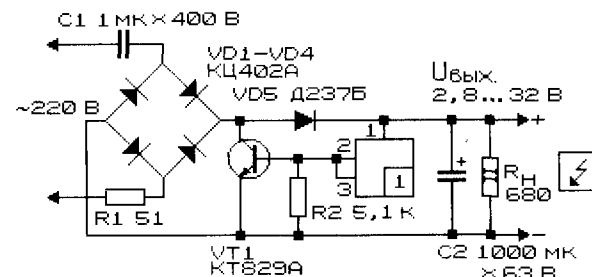


Рис. 13.17. Пример выполнения регулируемого стабилизатора напряжения с использованием базового элемента — аналога стабилитрона

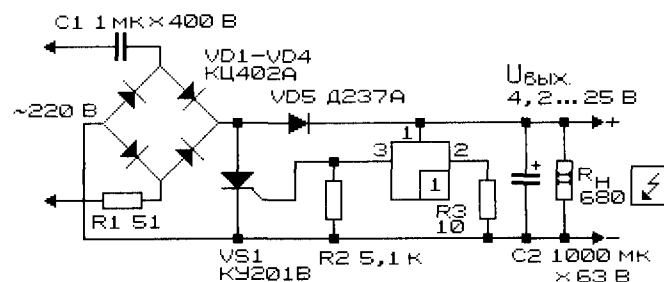


Рис. 13.18. Бестрансформаторный регулируемый источник питания с тиристорным ключом в ключевом стабилизаторе параллельного типа

работы стабилизатора именно на этом элементе рассеивается избыточная энергия, транзистор разогревается.

Существенно уменьшить мощность, рассеиваемую шунтирующим элементом, позволяет бестрансформаторный источник питания с гасящим конденсатором [13.10] и использованием тиристора вместо транзистора (рис. 13.18).

Включение тиристора происходит при увеличении напряжения на накопительном конденсаторе C2 до уровня пробоя транзисторного аналога стабилитрона (рис. 13.16) на транзисторах VT1, VT2, а выключение — при нулевом напряжении на выходе диодного моста. После включения тиристора уменьшается потребление тока по цепи управления. В транзисторном варианте потребление тока по базовой цепи происходит в течение всего времени включенного состояния ключа.

13. Бестрансформаторные сетевые источники

Диапазон регулировки выходного напряжения равен 4,15...25,0 В на нагрузке 680 Ом. На холостом ходу и под нагрузкой выходные напряжения отличаются не более чем на 1%. Уровень пульсаций на нагрузке не превышает 30...40 мВ, на холостом ходу — примерно в три раза меньше.

Если регулировка выходного напряжения не требуется, может быть применен обычный стабилитрон. Для схемы на рис. 13.19 выходное напряжение фиксировано и равно 12,8 В. Оно также остается постоянным как при нагрузке, так и на холостом ходу при изменении напряжения сети от 150 до 250 В. Если потребуется другое напряжение, следует применить стабилитрон на другое напряжение стабилизации.

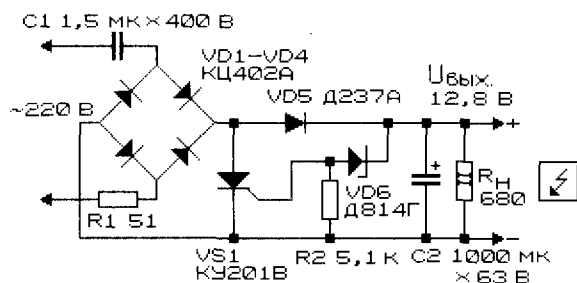


Рис. 13.19. Упрощенный вариант выполнения ключевого тиристорного стабилизатора

Когда необходим общий провод между выходом стабилизированного выпрямителя и сетью, может быть применен однополупериодный выпрямитель (см., например, рис. 13.13), дополненный тиристорным ключевым элементом и транзисторным аналогом стабилитрона или обычным стабилитроном (рис. 13.19). Параллельно диоду VD1 однополупериодного выпрямителя (рис. 13.13) включен в обратной полярности тиристор VS1 (рис. 13.18), управляемый через аналог стабилитрона с выхода выпрямителя. Работает это устройство таким же образом. Когда напряжение на конденсаторе C2 достигает величины пробоя аналога стабилитрона, включается тиристор VS1, шунтируя диод VD1 и уменьшая таким образом длительность импульса положительной полуволны, поступающей через VD2 на C2 и далее на нагрузку. На холостом ходу длительность этого импульса минимальна, а при подключении нагрузки увеличивается. Для этой схемы максимальное

13. Бестрансформаторные сетевые источники

напряжение на нагрузке составляет 18,5 В, минимальное — 2,8 В. При отключении нагрузки выходное напряжение практически не изменяется.

Схему на рис. 13.18 можно применять при увеличении выходного тока до 0,4 А ($R_H=30$ Ом). Величина C1 в этом случае составит 10 мкФ, C2 — 4000 мкФ. Резистор R1 — 5,1 Ом (1 Вт). В выпрямителе (VD1 — VD4) лучше использовать диоды типа КД202Р и КД202В вместо Д237А (VD5). Выходное напряжение — 2,25...12 В. Разница между выходными напряжениями на нагрузке и на холостом ходу — не более 3%. Максимальное напряжение пульсации на нагрузке — не более 200 мВ, на холостом ходу — не более 4 мВ. Эти параметры также сохраняются при изменениях напряжения сети от 170 до 250 В.

Тиристор, стабилитрон или его транзисторный аналог работают в импульсном режиме и, следовательно, не нагреваются. Поэтому радиаторы устройству не требуются.

В качестве гасящего конденсатора C1 можно также применять конденсаторы типа К78-17.

Для сравнения эффективности преобразования энергии при использовании конденсаторных источников вторичного электропитания Б.С. Сергеевым были выполнены эксперименты и произведены расчеты, изложенные в работах [13.11, 13.12].

На рис. 13.20 представлена схема преобразователя напряжения, для которого были произведены расчеты. Результаты этих расчетов в графической форме показаны для наглядности на рисунке справа.

На графиках показана зависимость предельной выходной мощности, которую можно получить от преобразователя при разной величине емкости гасящего конденсатора C1 и изменении напряжения питающей сети.

Последовательно с конденсатором C1 следует включить токоограничивающий резистор величиной 51...200 Ом.

Практическая схема источника питания с конденсаторным делителем [13.13] на напряжение 5 В и ток нагрузки до 0,3 А показана на рис. 13.21.

Делитель напряжения пятивольтового источника состоит из бумажного конденсатора C1, а также C2 и C3, образующих

13. Бестрансформаторные сетевые источники

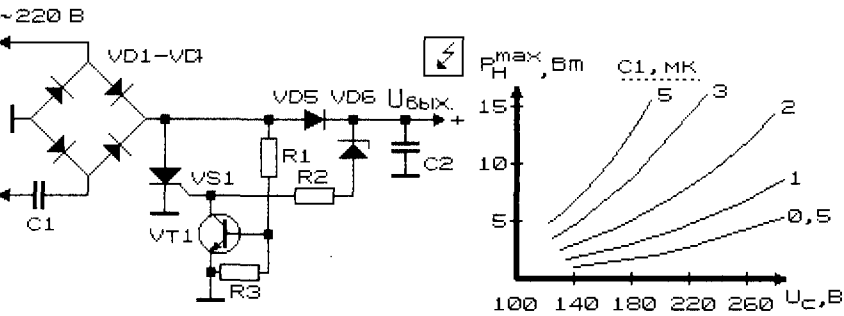


Рис. 13.20. Бестрансформаторный преобразователь напряжения и зависимость его предельной выходной мощности от величины гасящего конденсатора и изменения напряжения питающей сети

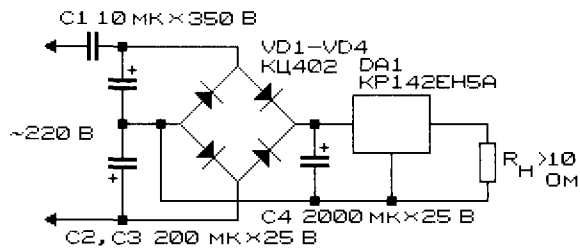


Рис. 13.21. Источник питания на напряжение 5 В с конденсаторным делителем

нижнее по схеме неполярное плечо емкостью 100 мкФ. При номиналах элементов, указанных на схеме, ток короткого замыкания (при $R_H=0$) равен 600 мА, а напряжение на конденсаторе C4 в отсутствие нагрузки — 27 В.

14. Расчет бестрансформаторных источников питания с гасящим конденсатором

Довольно часто на практике встречается задача расчета емкости гасящего конденсатора, например, при подключении к сети 220 В низковольтных ламп накаливания, паяльников, нагревательных элементов, рассчитанных на 36, 127 В или иное напряжение. Иногда такой расчет необходим при проектировании зарядных устройств, бестрансформаторных выпрямителей и блоков питания для радиоэлектронной аппаратуры.

При осуществлении подобных расчетов обычно используют номограммы [14.1], точность которых невелика, да и сами номограммы иногда малодоступны или неудобны при использовании.

Для оперативного расчета значения гасящего конденсатора при различных величинах мощности или сопротивления нагрузки, падения напряжения на нагрузке при произвольном значении напряжения сети переменного тока любой частоты была составлена приводимая ниже программа [14.2]. Программа ориентирована на IBM-совместимые ПЭВМ (язык GWBASIC 3.20), но может быть использована и на других компьютерах, поддерживающих BASIC.

Программа GAS_KOND.BAS

```
10 CLS:US=0:F=0:UN=0:R=0:I=0:P=0
20 PRINT "          РАСЧЕТ БЕСТРАНСФОРМАТОРНОГО
30 PRINT "          ВЫПРЯМИТЕЛЯ С ГАСЯЩИМ КОНДЕНСАТОРОМ
40 PRINT "          (С) М.Шустов, г.Томск.
50 PRINT "
60 PRINT "
70 PRINT "
80 PRINT "
90 PRINT "
100 PRINT "
110 PRINT "
120 PRINT "
130 PRINT "
140 PRINT "
150 PRINT "
```

Сеть ~
Uc, F

Диодный мост
Uн,
Rн

14. Расчет бестрансформаторных источников

```
160 PRINT
170 PRINT
180 PRINT "          РАСЧЕТ ГАСЯЩЕГО КОНДЕНСАТОРА C"
190 INPUT "ЗАДАЙТЕ НАПРЯЖЕНИЕ СЕТИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА. В Uc="; UC: IF UC <= 0
    THEN GOTO 190
200 INPUT "ЗАДАЙТЕ ЧАСТОТУ ТОКА, Гц F="; F: IF F <= 0 THEN GOTO 200
210 PRINT "Учтите падение напряжения на диодах S1 - 0.5...0.7 В,
    Ge - 0.3...0.5 В"
215 INPUT "ЗАДАЙТЕ НАПРЯЖЕНИЕ НА НАГРУЗКЕ. В Un="; UN: IF UN <= 0 OR UN >= UC
    THEN GOTO 210
220 INPUT "Известно: 1 - сопротивление, 2 - ток, 3 - мощность нагрузки"; A
230 IF A < 1 OR A > 3 GOTO 220
240 ON A GOTO 250, 260, 270
250 INPUT "Задайте сопротивление нагрузки. Ом Rн="; R: IF R > 0 THEN I = UN/R:
    P = UN*I: GOTO 280 ELSE GOTO 250
260 INPUT "Задайте ток нагрузки. А Iн="; I: IF I > 0 THEN R = UN/I: P = UN*I:
    GOTO 280 ELSE 260
270 INPUT "Задайте мощность нагрузки. Вт Pн="; P: IF P > 0 THEN R = (UN*UN)/P:
    I = P/UN ELSE 270
280 Z = UC/I: XC = SQR((Z*Z) - (R*R)): C = (10^6)/(6.283*F*XC)
290 PRINT "ЕМКОСТЬ ГАСЯЩЕГО КОНДЕНСАТОРА, мкФ C ="; (INT(100*C+.5))/100
300 PRINT "Сопротивление, Ом: Rн ="; (INT(100*R+.5))/100; " Xc =";
    (INT(100*XC+.5))/100; " Z ="; (INT(100*Z+.5))/100
310 PRINT "Ток в нагрузке, А Iн ="; (INT(10000*I+.5))/10000; " Мощность
    в нагрузке, Вт Pн ="; (INT(10000*P+.5))/10000
320 PRINT "РАБОЧЕЕ НАПРЯЖЕНИЕ ГАСЯЩЕГО КОНДЕНСАТОРА НЕ МЕНЕЕ":
    (INT(200*(UC-UN)+.5))/100; "В"
330 PRINT "ИСПОЛЬЗОВАТЬ ТОЛЬКО БУМАЖНЫЕ КОНДЕНСАТОРЫ (МБП, МБГО, МБМ, ...)!"
340 INPUT "Закончить (1): повторить расчет (2)"; B: PRINT
350 IF B = 1 THEN END ELSE GOTO 210
```

Программа GAS_KOND.BAS может быть откомпилирована в дальнейшем компилятором *TURBOBASIC 1.1* (или ему подобным) в автономно исполняемый файл типа GAS_KOND.EXE.

Следует отметить, что в случае, когда выходное напряжение во много раз ниже сетевого напряжения, с достаточной степенью приближения, не используя расчетов, можно оценить величину гасящей емкости или, напротив, определить максимальный ток на выходе бестрансформаторного выпрямителя исходя из соотношения: **1 мкФ — 70 мА**.

Приложение. Техника безопасности при выполнении работ по наладиванию и ремонту источников питания

Экспериментальные работы по созданию и совершенствованию узлов и блоков вторичного электропитания зачастую сопряжены с использованием источников сетевого или повышенного напряжения. Особенно опасны работы с блоками питания, имеющими непосредственную гальваническую связь с сетевым напряжением. В этой связи особое внимание при выполнении подобных работ следует обращать на технику безопасности. В рисунках книги схемы устройств, потенциально опасных при эксплуатации или наладивании, помечены значком молнии:



Для работы экспериментальную технику размещают в сухом проветриваемом помещении. В помещении не должно находиться заземленных предметов (батареи отопления, водопроводных труб, посторонних приборов и оборудования), с которыми возможен контакт человека.

Источник напряжения располагают таким образом, чтобы полностью исключить возможность одновременного касания токопроводящих элементов и заземленных предметов.

Не допускается попадание влаги и пыли (особенно токопроводящей) внутрь устройства. Также не разрешается эксплуатация приборов в условиях повышенной влажности, при наличии токопроводящего пола, запыленности воздуха. В помещении для проведения экспериментов не следует курить, принимать пищу. При проведении работ в помещении должно находиться не менее двух человек.

При установке приборов и оборудования, хранившегося в неотопливаемых складских помещениях при пониженной температуре, в теплое помещение для исключения ухудшения диэлектрических свойств изоляции вследствие конденсации

атмосферной влаги на конструкционных элементах, включение устройства возможно только после 3...4-часового прогрева при комнатной температуре.

Перед началом работы следует произвести внешний осмотр установки, убедиться в отсутствии механических или иных повреждений, следов гари и других визуально различимых неполадок. При появлении в процессе эксплуатации установки запаха гари, озона, окислов азота, установку следует отключить.

Импульсные блоки питания, имеющие гальваническую связь с питающей сетью, а также иные устройства, непосредственно связанные с сетью переменного тока, на время наладки (и эксплуатации) желательно запитывать от сети через разделительный трансформатор.

Какие-либо действия (пайка, замена или установка элементов) допустимы только при полностью обесточенной установке. Если необходима регулировка какого-либо элемента, гальванически связанного с сетью, следует использовать инструменты с хорошо изолированными ручками. Регулировку осуществляют одной рукой. Вторую руку для исключения образования электрической цепи при случайном касании окружающих токопроводящих предметов следует спрятать за спину или в карман.

Для защиты от импульсных перенапряжений со стороны сети установку следует подключать через современные сетевые фильтры, содержащие элементы защиты от перенапряжения (газонаполненные разрядники напряжения, например, фирмы *Epcos*) и самовосстанавливающиеся полупроводниковые предохранители типа *PolySwitch*.

Список литературы

К главе 1

- 1.1. **Справочник** по элементам радиоэлектронных устройств / Под ред. В. Н. Дулина, М. С. Жука. — М.: Энергия, 1977. — 576 с.
- 1.2. **Radio-Electronics**. — 1965. — № 11; Приставка к осциллографу // Радио. — 1966. — № 7. — С. 56 — 57.
- 1.3. **Бастанов В. Г.** 300 практических советов. — М.: Московский рабочий, 1986. — 352 с.
- 1.4. **Игумнов Д. В., Масловский В. А.** Возможности применения обращенного диода в низковольтных выпрямителях // В кн.: Полупроводниковая электроника в технике связи. — Вып. 27. — М.: Радио и связь, 1988. — С. 226 — 227.
- 1.5. **Масловский В. А.** Инжекционный выпрямитель // В кн.: Полупроводниковая электроника в технике связи. — Вып. 24. — М.: Радио и связь, 1984. — С. 91 — 95.
- 1.6. **Масловский В. А.** Возможности инжекционных транзисторных элементов // Микроэлектроника. — 1983. — Т. 12, вып. 5. — С. 452 — 456.
- 1.7. **Игнатов А. Н.** Полевые транзисторы и их применение. — М.: Радио и связь, 1984. — 216 с.
- 1.8. **Шило В.Л.** Популярныe цифровые микросхемы: Справочник. — Челябинск: Металлургия, 1988. — 352 с.
- 1.9. **Катберт Д.** Активная мостовая схема на КМОП-вентиллях // Электроника. — 1992. — № 1 — 2. — С. 144.

К главе 2

- 2.1. **Партин А.** Защита диодов в выпрямителе // Радиолюбитель. — 1999. — № 12. — С. 14.
- 2.2. **Трейстер Р., Мейо Дж.** 44 источника электропитания для любительских электронных устройств. — М. Энергоатомиздат, 1990. — 288 с.
- 2.3. **Терсков А.** С шагом в один вольт // Радио. — 1993. — № 9. — С. 24 — 25.

- 2.4. **Бирюков С. А.** Сетевые адаптеры // Радио. — 1998. — № 6. — С. 66 — 67.

К главе 3

- 3.1. **Золотов Ю.** Бестрансформаторный выпрямитель // Радио. — 1969. — № 3. — С. 19 — 21.
- 3.2. **Harms H.** Zwei Gleichspannungen aus einer Trafowicklung // Funkschau. — 1980. — H. 10. — S. 109.
- 3.3. **Schlenzig K.** Spannung fuer MOS-Schaltkreise // Funkamateuer. — 1980. — B. 29, H. 1. — S. 42 — 44.

К главе 4

- 4.1. **Вересов Г. П.** Электропитание бытовой радиоэлектронной аппаратуры. — М.: Радио и связь, 1983. — 128 с.
- 4.2. **Промышленная электроника** (на базе полупроводниковой техники) / Ю. А. Исаков, В. С. Руденко, В. В. Трифонюк, Е. Е. Юдин. — Киев: Вища школа, 1975. — 328 с.
- 4.3. **Литовка В.** Фильтр для выпрямителя // Радио. — 1969. — № 10. — С. 58.
- 4.4. **Шуваев Ю. Н., Типаев В. В.** Улучшение динамических характеристик выпрямителей с индуктивно-емкостным фильтром // Полупроводниковая электроника в технике связи. — Вып. 19. — М.: Связь, 1978. — С. 166 — 169.
- 4.5. **Багинский Б. А.** Бестрансформаторные преобразователи переменного напряжения в постоянное. — Томск: Изд-во ТГУ, 1990. — 224 с.
- 4.6. **А. С. 1377981 СССР.** Устройство для ослабления пульсаций постоянного тока на выходе выпрямителя / Б. А. Багинский, М. Л. Трубников // Открытия. Изобретения. — 1988. — № 8.
- 4.7. **А. С. 1265938 СССР.** Устройство для ослабления пульсаций напряжения постоянного тока на выходе выпрямителя / Б. А. Багинский, М. Л. Трубников // Открытия. Изобретения. — 1986. — № 39.

К главе 5

- 5.1. **Иванов П., Семушин С.** Источники стабильного тока и их применение в радиоаппаратуре // В помощь радиолюбителю. — Вып. 104. — М.: ДОСААФ, 1989. — С. 63 — 78.
- 5.2. **Аристов А.** Генераторы стабильного микротока на кремниевых биполярных транзисторах // В помощь радиолюбителю. — Вып. 96. — М.: ДОСААФ, 1987. — С. 55 — 59.
- 5.3. **Schlenzig K.** Bauplan-Basteln-Buch-2. — Berlin, 1985. — 384 s.
- 5.4. **Шило В. Л.** Линейные интегральные схемы. — М.: Советское радио, 1979. — 366 с.
- 5.5. **Успенский Б.** Стабилизаторы напряжения и тока на ИМС // В помощь радиолюбителю. — Вып. 91. — М.: ДОСААФ, 1985. — С. 39 — 53.
- 5.6. **Шустов М. А.** Полупроводниковый бареттер с защитой от КЗ нагрузки // Радиолюбитель. — 1999. — № 7. — С. 19.
- 5.7. **Shustov M. A.** Semiconductor «barretter» // Electronics World. — 1999. — Vol. 105. — № 5 (1757). — P. 372.
- 5.8. **Schustow M. A.** Regelbar Baretter // Elektor. — 2002. — Bd. — H. — S. (in print).
- 5.9. **Игнатов А. Н.** Полевые транзисторы и их применение. — М.: Радио и связь, 1984. — 216 с.
- 5.10. **Макаров В. А., Сивков Р. А.** Простой источник стабильного тока // Приборы и техника эксперимента. — 1991. — № 5. — С. 180 — 181.

К главе 6

- 6.1. **Шустов М. А.** Практическая схемотехника. 450 полезных схем радиолюбителям. — М.: Альтекс-А, 2001. — Кн. 1. — 352 с.
- 6.2. **Трейстер Р., Мейо Дж.** 44 источника электропитания для любительских электронных устройств. — М. Энергоатомиздат, 1990. — 288 с.
- 6.3. **Зайцев Ю. В., Марченко А. Н.** Полупроводниковые резисторы в радиосхемах. — М.: Энергия, 1971. — 112 с.

- 6.4. **Николаев А.** Как улучшить работу стабилизатора напряжения // Радиолобитель. — 1998. — № 3. — С. 14 — 15; № 4. — С. 14 — 15.
- 6.5. **Андреев В.** Экономичные стабилизаторы // Радио. — 1998. — № 6. — С. 57 — 60; № 7. — С. 50 — 51; № 8. — С. 60 — 61.
- 6.6. **Федосин С.** Стабилизатор напряжения // Радио. — 1986. — № 2. — С. 57.
- 6.7. **Клюев Ю., Абашев С.** Стабилизатор напряжения // Радио. — 1975. — № 2. — С. 23.
- 6.8. **Чекулин П.** Простой параллельный стабилизатор // Радио. — 1969. — № 9. — С. 35.
- 6.9. **Нечаев И. А.** Вариант блока питания антенного усилителя // Радио. — 1995. — № 10. — С. 54.
- 6.10. **Елкин С. А.** Стабилизатор напряжения и тока // Радиоаматор. — 1998. — № 8. — С. 37.
- 6.11. **Чубинский Н.** О транзисторных стабилизаторах напряжения с защитой от коротких замыканий // Радио. — 1974. — № 10. — С. 46.
- 6.12. **Павлов В.** Зарядное устройство // Радио. — 1973. — № 4. — С. 46.
- 6.13. **Акулиничев И.** Трехрежимный источник питания // Радио. — 1995. — № 6. — С. 37.
- 6.14. **Эллингтон С.** Стабилизатор на ток 20 А с малым падением напряжения // Электроника. — 1992. — № 11 — 12. — С. 122.
- 6.15. **Кузев Е.** Безтрансформаторен нисковолтов изправител // Радио, телевизия, електроника. — 1987. — № 5. — С. 37.

К главе 7

- 7.1. **Успенский Б.** Стабилизаторы напряжения и тока на ИМС // В помощь радиолобителю. — Вып. 91. — М.: ДОСААФ, 1985. — С. 39 — 53.
- 7.2. **Прус С. В.** Двуполярное из обыкновенного // Радиоаматор. — 1999. — № 6. — С. 36.

К главе 8

- 8.1. **Борзенков В.** Низковольтный стабилизатор напряжения // Радио. — 1995. — № 10. — С. 55.
- 8.2. **Михалевич А.** Стабилизатор напряжения // Радиолобителю. — 1995. — № 5. — С. 21 — 22.
- 8.3. **Партин А. С., Борисов В. Г.** Введение в цифровую технику. — М.: Радио и связь, 1987. — 64 с.
- 8.4. **Колесник Е.** Сетевой блок для плеера // Радио. — 1998. — № 12. — С. 47.
- 8.5. **Гилис А. В.** Источник питания для 3-вольтовых аудиоплейеров // Радиоаматор. — 1998. — № 2. — С. 27.
- 8.6. **Севастьянов В.** Питание низковольтной аппаратуры в автомобиле // Радио. — 1999. — № 7. — С. 36.
- 8.7. **Нечаев И. А.** Стабилизатор напряжения в сетевом адаптере // Радио. — 1998. — № 4. — С. 57.
- 8.8. **Каныгин С. А.** Стабилизатор напряжения с защитой от короткого замыкания // Приборы и техника эксперимента. — 1991. — № 3. — С. 109.
- 8.9. **Погорельский А.** Стабилизированный блок питания // Радио. — 1998. — № 10. — С. 71.

К главе 9

- 9.1. **Krauspe B.** Transistorisierte Netzteilschalten ohne Transformator // Funkamateuer. — 1980. — В. 29, Н. 2. — S. 74 — 77.
- 9.2. **Павлов В.** Стабилизатор тока в стабилизаторе напряжения // Радио. — 1973. — № 5. — С. 44 — 45.
- 9.3. **Radio & Electrical Reteiling.** — 1977. — № 11.
- 9.4. **Лачинян С.** Комбинированный УМЗЧ без общей ООС // Радио. — 2001. — № 4. — С. 13 — 15.
- 9.5. **Hoehne D.** Thyristornetzteile fuer 110°-Farbfernsehempfaenger // Funktechnik — 1972. — Н. 11. — S. 411 — 413.
- 9.6. **Рочельт К.** // Радиохобби. — 2001. — № 5. — С. 14; Praktika elektronika A Radio. — 2001. — № 8. — S. 11 — 14; № 9. — S. 28 — 29.

К главе 10

- 10.1. **Farnell Semiconductor Data CD-ROM. Vol. 1&2; <http://www.farnell.com>**
- 10.2. **Трехвыводные** стабилизаторы положительного напряжения LM117/LM217/LM317 // Радиоаматор. — 1998. — № 7. — С. 31 — 33.
- 10.3. **Уитсон Дж.** 500 практических схем на ИМС. — М.: Мир, 1992. — 376 с.
- 10.4. **Нечаев И. А.** Блок питания с таймером // Радио. — 1994. — № 9. — С. 36 — 37.
- 10.5. **Стахов Е.** Универсальные стабилизаторы напряжения на ИМС // Радиолюбитель. — 1995. — № 6. — С. 21.
- 10.6. **Бирюков С. А.** Лабораторный блок питания 0...20 В // Радио. — 1998. — № 5. — С. 55 — 56.
- 10.7. **Гвоздицкий Г.** Источник питания повышенной мощности // Радио. — 1992. — № 4. — С. 43 — 44.
- 10.8. **Ланфер Л. С.** Источник питания с тремя выходами // Электроника. — 1993. — № 1 — 2. — С. 73.
- 10.9. **Щербина А., Благий С.** Микросхемные стабилизаторы серий 142, K142, KP142 // Радио. — 1990. — № 8. — С. 89 — 90; № 9. — С. 73 — 74.
- 10.10. **Щербина А., Благий С., Иванов В.** Применение микросхемных стабилизаторов серий 142, K142 и KP142 // Радио. — 1991. — № 3. — С. 47 — 51; № 5. — С. 68 — 70.
- 10.11. **Стахов Е.** Универсальные стабилизаторы напряжения на ИМС // Радиолюбитель. — 1995. — № 6. — С. 21.
- 10.12. **Уваров А.** Цифровой фазометр // Радиомир. — 2001. — № 10. — С. 30 — 32.
- 10.13. **Александров И. (Нечаев И. А.)** Регулируемый двуполярный стабилизатор напряжения // Радио. — 1999. — № 6. — С. 60.
- 10.14. **Грейм Д.** Биполярный источник тока с однополярным источником опорного напряжения // Электроника. — 1989. — № 6. — С. 86 — 88.
- 10.15. **Шустов М. А.** Источник питания с плавной инверсией напряжения // Радиолюбитель. — 1999. — № 4. — С. 25.

- 10.16. **Источник** питания с плавным изменением полярности // Радиоконструктор. — 2000. — № 1. — С. 25.
- 10.17. **Мэйда М.** Стабилизатор высокого напряжения с защитой от пробоя // Электроника. — 1980. — № 3. — С. 58 — 59.

К главе 11

- 11.1. **Зайцев Ю. В., Марченко А. Н.** Полупроводниковые резисторы в радиосхемах. — М.: Энергия, 1971. — 112 с.
- 11.2. **Shustov M. A.** Bipolar voltage stabiliser // Electronics World. — 2001. — V. 107. — № 4 (1780). — P. 297.
- 11.3. **Алексеев Н. Г., Прохоров В. А., Чмутов К. В.** Современные электронные приборы в физико-химическом исследовании. — М.: Химия, 1971. — 496 с.
- 11.4. **Справочник** радиолюбителя / Под ред. В. В. Мельникова. — Свердловск: Свердл. книжн. изд-во, 1962. — 838 с.
- 11.5. **Узберг Н. П.** Источник питания с бестрансформаторным входом // В кн.: Полупроводниковая электроника в технике связи. — Вып. 19. — М.: Связь, 1978. — С. 204 — 209.
- 11.6. **А. С. № 418840 СССР.** Стабилизированный источник питания / Л. А. Коршунов, Б. Д. Моисеенко // Открытия. Изобретения. — 1972. — № 9. — С. 157.
- 11.7. **Кольцов В.** Стабилизатор из лабораторного автотрансформатора // В помощь радиолюбителю. — Вып. 64. — М.: ДОСААФ, 1979. — С. 52 — 59.
- 11.8. **Янцев В.** Комбинированный блок питания // Радио. — 1991. — № 9. — С. 32 — 34.
- 11.9. **Башкатов В.** Вместо ЛАТРа... транзистор // Радиолюбитель. — 1998. — № 2. — С. 29.
- 11.10. **Троицкий М. М.** Стабилизатор переменного напряжения с многотактовой коммутацией // <http://www.electro.nizhny.ru/papers/5/00502.html>.
- 11.11. **Плужников В. М., Семенов В. С.** Пьезокерамические твердые схемы. — М.: Энергия, 1971. — 168 с.

К главе 12

- 12.1. **Згут М.** Микшер и его применение // Радио. — 1979. — № 2. — С. 49 — 50.

- 12.2. **Прокопцев Ю.** Еще об источниках питания с гасящим конденсатором // Радио. — 1998. — № 12. — С. 46.
- 12.3. **Аристов А.** Маломощный блок питания // Радио. — 1980. — № 3. — С. 53.
- 12.4. **Пожаринский Л.** Маломощный блок питания // Радио. — 1978. — № 5. — С. 56.
- 12.5. **Wireless World.** — 1977. — V. 83. — № 10.
- 12.6. **Бронштейн В.** Электронные часы-термометр // Радиолюбитель-годовик. — М.: ДОСААФ, 1991. — С. 72 — 81.
- 12.7. **Хухтиков Н.** Зарядное устройство // Радио. — 1993. — № 5. — С. 37.
- 12.8. **Нечаев И. А.** Блок питания антенного усилителя // Радио. — 1994. — № 3. — С. 38 — 39.
- 12.9. **Дорофеев М.** Бестрансформаторный с гасящим конденсатором // Радио. — 1995. — № 2. — С. 36 — 37.
- 12.10. **Щелканов В.** Вольтметр на операционном усилителе // Радио. — 1985. — № 4. — С. 47 — 48.
- 12.11. **Зайцев В., Рыженков В.** Малогабаритный сетевой блок питания // Радио. — 1976. — № 8. — С. 42 — 43.
- 12.12. **Ющенко И.** Звонок с дистанционным управлением // Радио. — 1999. — № 9. — С. 29 — 30.
- 12.13. **Бас А. и др.** Источники вторичного электропитания с бестрансформаторным входом. — М.: Радио и связь, 1987.
- 12.14. **Ануфриев Л.** Блок питания без сетевого трансформатора // Радио. — 1982. — № 5. — С. 47.

К главе 13

- 13.1. **Чигиринский В. П.** Источники питания для радиоаппаратуры и электронных устройств // Радиоаматор. — 1998. — № 3. — С. 28 — 30.
- 13.2. **Фролов А.** Электронные часы с жидкокристаллическим индикатором // В помощь радиолюбителю. — Вып. 87. — М.: ДОСААФ, 1984. — С. 69 — 77.
- 13.3. **Гал В.** Простой выпрямитель — стабилизатор // Радио. — 1972. — № 9. — С. 63.

- 13.4. **Верхало Ю.** Блок питания для «Славы» // Радио. — 1992. — № 1. — С. 67.
- 13.5. **Банников В.** Упрощенный расчет бестрансформаторного блока питания // Радиолюбитель. — 1998. — № 1. — С. 14 — 16.
- 13.6. **Алексеев С.** Симметричные динисторы — в источниках питания // Радио. — 1998. — № 10. — С. 70 — 71.
- 13.7. **Цесарук Н. Я.** Стабилизация Uвых конденсаторного выпрямителя // Радиолюбитель. — 1999. — № 3. — С. 22 — 23.
- 13.8. **Цесарук Н. Я.** Регулировка Uвых бестрансформаторного блока питания // Радиолюбитель. — 1999. — № 5. — С. 26 — 27.
- 13.9. **Цесарук Н. Я.** // Радиолюбитель. — 1999. — № 8. — С. 23.
- 13.10. **Цесарук Н. Я.** Уменьшение потерь в бестрансформаторном выпрямителе // Радиолюбитель. — 2000. — № 1. — С. 18 — 19.
- 13.11. **Сергеев Б. С.** Предельные возможности применения конденсаторных источников вторичного электропитания // Электросвязь. — 1996. — № 2. — С. 38 — 40.
- 13.12. **Сергеев Б. С.** Исследование возможности применения конденсаторных ИВЭП // Электросвязь. — 1994. — № 6. — С. 25 — 27.
- 13.13. **Ховайко О.** Источники питания с конденсаторным делителем напряжения // Радио. — 1997. — № 11. — С. 56 — 57.

К главе 14

- 14.1. **Брускин В. Я.** Номограммы для радиолюбителей. — М.: Энергия, 1972. — 104 с.
- 14.2. **Шустов М. А.** Расчет бестрансформаторного выпрямителя с гасящим конденсатором // Радиолюбитель. — 1995. — № 1. — С. 12.

Рекомендуемая литература

1. **Белопольский И. И.** Источники питания радиоустройств. — М.: Энергия, 1971. — 312 с.
2. **Березин О. К., Костиков В. Г., Шахнов В. А.** Источники электропитания радиоэлектронной аппаратуры. — М.: ТРИ Л, Горячая линия-Телеком, 2000. — 400 с.
3. **Борисов В. П., Иванчук Б. Н., Колосков И. И.** Стабилизаторы напряжения с переключаемыми регулирующими элементами. — М.: Энергоатомиздат, 1985. — 80 с.
4. **Букреев С. С.** Силовые электронные устройства. — М.: Радио и связь, 1987. — 184 с.
5. **Варламов Р. Г.** Современные источники питания. Справочник. — М.: ДМК, 1998. — 188 с.
6. **Вересов Г. П.** Электропитание бытовой радиоэлектронной аппаратуры. — М.: Радио и связь, 1983.
7. **Вересов Г. П., Смуряков Ю. Л.** Стабилизированные источники питания радиоаппаратуры. — М.: Энергия, 1978.
8. **Готтлиб И. М.** Источники питания. — М.: Постмаркет, 2000. — 552 с.
9. **Дрожжев В. В., Китаев Н. П., Фролов В. Н.** Основы проектирования источников вторичного электропитания. — М.: Изд-во МИРЭА, 1992. — 63 с.
10. **Здрок А. Г.** Выпрямительные устройства стабилизации напряжения и заряда аккумуляторов. — М.: Энергоатомиздат, 1988.
11. **Источники** вторичного электропитания. Справочник / Под ред. Г. С. Найвельта. — М.: Радио и связь, 1986. — 576 с.
12. **Источники** электропитания на полупроводниковых приборах. Проектирование и расчет / Под ред. С. Д. Додика и Е. И. Гальперина. — М.: Советское радио, 1969.
13. **Источники** электропитания радиоэлектронной аппаратуры: Справочник / Под ред. Г. С. Найвельта. — М.: Радио и связь, 1985.

Рекомендуемая литература

14. **Каретникова Е. И., Рычина Т. А., Ермаков А. И.** Трансформаторы питания и дроссели фильтров для радиоэлектронной аппаратуры. — М.: Советское радио, 1973. — 178 с.
15. **Китаев В. Е., Бокуняев А. А., Колканов М. Ф.** Расчет источников электропитания устройств связи. — М.: Радио и связь, 1993. — 229 с.
16. **Колосов В. А.** Электропитание стационарной радиоэлектронной аппаратуры. Теория и практика проектирования. — М.: Радио и связь, 1992.
17. **Костиков В. Г., Парфенов Е. М., Шахнов В. А.** Источники электропитания электронных средств. Схемотехника и конструирование. — М.: Радио и связь, 1998. — 342 с.
18. **Микросхемы** для линейных источников питания и их применение. — Справочник. - М.: Додэка, 1998.
19. **Миловзоров В. П., Мусолин А. К.** Дискретные стабилизаторы и формирователи напряжения. — М.: Энергоатомиздат, 1986. — 248 с.
20. **Полянин К. П.** Интегральные стабилизаторы напряжения. — М.: Энергия, 1979. — 192 с.
21. **Расчет** электромагнитных элементов источников вторичного электропитания / А. Н. Горский, Ю. С. Русин, Н. Р. Иванов, Л. А. Сергеева. — М.: Радио и связь, 1988. — 174 с.
22. **Рогинский В. Ю.** Электропитание радиоустройств. — М.: Госэнергоиздат, 1963.
23. **Семенов Б. Ю.** Силовая электроника для любителей и профессионалов. — М.: Солон-Р, 2001. — 328 с.
24. **Сергеев Б. С.** Схемотехника функциональных узлов источников вторичного электропитания. Справочник. — М.: Радио и связь, 1992. — 224 с.
25. **Сидоров И. Н.** Трансформаторы бытовой радиоэлектронной аппаратуры. Справочник. — М.: Радио и связь: Горячая линия-Телеком, 1999. — 336 с.
26. **Сидоров И. Н., Христинин А. А., Скорняков С. В.** Малогабаритные магнитопроводы и сердечники. Справочник. — М.: Радио и связь, 1989.

27. **Терещук Р. М. и др.** Полупроводниковые приемно-усилительные устройства: Справочник радиолюбителя. — 3-е изд. — Киев: Наукова думка, 1987.
28. **Шрайбер Г.** 300 схем источников питания. — М.: ДМК-Пресс, 2001. — 224 с.
29. **Электропитание** устройств связи / Под ред. Ю. Д. Козляева. — М.: Радио и связь, 1998. — 328 с.
30. **Электропитание.** Научно-технический сборник / Под ред. Ю. И. Конева. — Вып. 1. — М.: Б. и., 1993.

Серия «Практическая схемотехника»

Издательство «Альтекс» предлагает Вашему вниманию серию книг «**Практическая схемотехника**» известного специалиста-электронщика М. А. Шустова. Данные издания содержат большое количество схем, как оригинальных, так и ставших своего рода стандартом в современной схемотехнике. Причем для каждой схемы приводится ее подробное описание, акцентируется внимание на достоинствах и недостатках данного решения. Каждая книга серии посвящена определенной области практической схемотехники.

В настоящий момент в серии вышли:

Практическая схемотехника 450 полезных схем радиолюбителям

Книга 1

Данное издание представляет собой сборник схем, сгруппированных по основным направлениям современной радиоэлектроники, и предназначено для ознакомления как начинающих, так и подготовленных радиолюбителей с основами создания узлов современных радиоэлектронных устройств. Помимо этого, в книге содержится большое количество схем, представляющих собой аналоги радиоэлектронных элементов.

Практическая схемотехника Источники питания и стабилизаторы

Книга 2

В издании представлены схемы всевозможных источников питания. Это как типовые конструкции, так и оригинальные и интересные варианты трансформаторных и бестрансформаторных, стабилизированных и нестабилизированных источников питания, описанных в радиотехнической литературе за последние сорок лет.

В ближайшее время выйдут в свет:

Практическая схемотехника Преобразователи напряжения

Книга 3

В издании рассмотрены и систематизированы сведения о перспективных идеях и схемных решениях в области создания преобразователей напряжения. Также рассмотрены классы преобразователей напряжения на основе емкостных и индуктивных накопителей энергии, большое внимание уделено высокоэффективным малогабаритным энергоемким импульсным преобразователям, рассмотрены принципы создания автогенераторных преобразователей малой и большой мощности, генераторов для получения высокого напряжения.

Практическая схемотехника Контроль, защита и восстановление источников питания

Книга 4

В этом издании освещены вопросы инструментально-приборного и качественного контроля параметров источников питания, методов активной и пассивной защиты электронного оборудования при возникновении аварийных ситуаций, основные способы резервирования цепей питания и нагрузки, устройства и методы восстановления химических источников питания — батарей и аккумуляторов.

Михаил Анатольевич Шустов
Практическая схемотехника
Источники питания и стабилизаторы
Книга 2

Ответственный за выпуск: А. Микляев
Научный редактор: И. Кольцов
Литературный редактор: М. Меньшов

ООО «Альтекс-А»
ИД № 02665 от 28.08.2000
Москва, ул. Б. Дорогомиловская, д. 14, стр. 1
Формат 60x88/16. Объем 12 п. л. Тираж 5000 экз.
ГУП Чеховский полиграфический комбинат
Чехов, Московская обл., ул. Полиграфистов, д. 1
Заказ № 3651