



altex

М. А. Шустов

ПРАКТИЧЕСКАЯ СХЕМОТЕХНИКА

ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ НАПРЯЖЕНИЯ



3

ISBN 5-94271-006-6



9 785942 710064

М. А. Шустов

**Практическая схемотехника
Преобразователи напряжения
Книга 3**

**«Альтекс-А»
Москва 2002**

Практическая схемотехника

Преобразователи напряжения

Книга 3

В предлагаемой вашему вниманию книге 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.

Изложенные в книге сведения могут быть полезны как специалистам-профессионалам, так и радиолюбителям, конструирующим современные устройства преобразования напряжения. 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. Бестрансформаторные конденсаторные преобразователи напряжения	5
2. Преобразователи напряжения на коммутируемых и модулируемых конденсаторах	17
3. Мультиплексорные конденсаторные преобразователи напряжения на микросхемах	29
4. Импульсные преобразователи напряжения	43
5. Импульсные источники питания	64
6. Импульсные стабилизаторы напряжения	77
7. Импульсные стабилизаторы напряжения на микросхемах	87
8. Трансформаторные преобразователи напряжения с импульсным возбуждением	97
9. Автогенераторные преобразователи напряжения	103
10. Повышающие трансформаторные преобразователи напряжения большой мощности	116
11. Генераторы высокого напряжения с емкостными накопителями энергии	126
12. Высоковольтные генераторы с индуктивными накопителями энергии	148
13. Преобразователи напряжения на пьезоэлектрических трансформаторах	159
Приложение 1. Расчет трансформаторов импульсных источников питания	162
Приложение 2. Правила техники безопасности	168
Список литературы	172
Рекомендуемая литература	183

Введение

Преобразователями напряжения называют устройства, преобразующие напряжение одного уровня в напряжение другого уровня. Для преобразования величины переменного напряжения используются повышающие или понижающие трансформаторы, а для гальванического разделения цепей без изменения величины напряжения — разделительные трансформаторы. Сложнее обстоит дело с преобразованием напряжения постоянного тока в напряжение постоянного или переменного тока другого уровня.

В зависимости от того, какой элемент является накопителем энергии, основные виды преобразователей постоянного напряжения подразделяют на конденсаторные и индуктивные. Для управления работой этих устройств обычно используют внешние задающие генераторы. В ряде случаев накопитель энергии может являться составной частью генератора.

Легко вычислить, что максимальный запас энергии, который может сосредоточить емкостной накопитель энергии, определяется по формуле $(CU^2)/2$, где C — емкость конденсатора, а U — напряжение на нем. Для индуктивных накопителей энергии соответствующая зависимость внешне подобна: $(LI^2)/2$, где L — величина индуктивности, I — сила тока. Практика показывает, что индуктивные накопители энергии получаются гораздо компактнее и дешевле емкостных при тех же энергетических показателях. Их выгоднее применять для преобразования повышенных мощностей. Для создания компактных преобразователей небольшой мощности, в случае, если необходимо незначительно повысить или понизить напряжение, чаще всего используют конденсаторные преобразователи.

Разновидностей конденсаторных преобразователей напряжения существует довольно много, поэтому ниже будут рассмотрены наиболее распространенные из них.

1. Бестрансформаторные конденсаторные преобразователи напряжения

В настоящей главе в первую очередь будут рассмотрены бестрансформаторные преобразователи напряжения, как правило, состоящие из генератора прямоугольных импульсов и умножителя напряжения. Обычно таким образом удается повысить без заметных потерь напряжение не более чем в несколько раз, а также получить на выходе преобразователя напряжение другого знака. Ток нагрузки подобных преобразователей крайне невелик — обычно единицы, реже десятки мА.

Задающий генератор бестрансформаторных преобразователей напряжения может быть выполнен по типовой схеме, базовый элемент 1 которой (рис. 1.1) выполнен на основе симметричного мультивибратора. В качестве примера элементы блока могут иметь следующие параметры: $R1=R4=1\text{ кОм}$; $R2=R3=10\text{ кОм}$; $C1=C2=0,01\text{ мкФ}$. Транзисторы — маломощные, например, *КТ315*. Для повышения мощности выходного сигнала использован типовой блок усилителя 2.

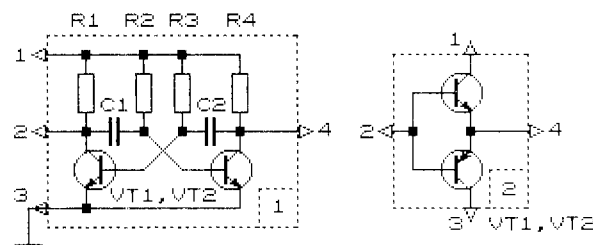


Рис. 1.1. Схемы базовых элементов бестрансформаторных преобразователей: 1 — задающий генератор; 2 — типовый блок усилителя

Бестрансформаторный преобразователь напряжения состоит из двух типовых элементов (рис. 1.2): задающего генератора 1 и двухтактного ключа-усилителя 2, а также умножителя напряжения [1.1] (рис. 1.1, 1.2). Преобразователь работает на частоте 400 Гц и обеспечивает при напряжении питания 12,5 В выходное

1. Бестрансформаторные преобразователи

напряжение 22 В при токе нагрузки до 100 мА (параметры элементов: $R_1=R_4=390 \text{ Ом}$, $R_2=R_3=5,6 \text{ кОм}$, $C_1=C_2=0,47 \text{ мкФ}$). В блоке 1 использованы транзисторы КТ603А — В; в блоке 2 — ГТ402В(Г) и ГТ404В(Г).

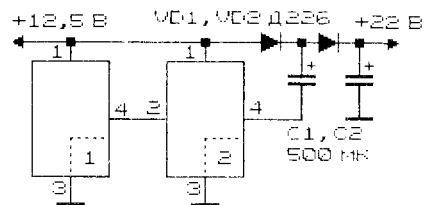


Рис. 1.2. Схема бестрансформаторного преобразователя с удвоением напряжения

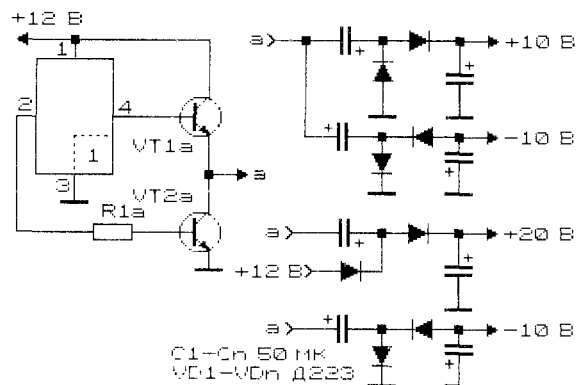


Рис. 1.3. Схемы преобразователей напряжения на основе типового блока

Преобразователь напряжения [1.2], построенный на основе типового блока, описанного выше (рис. 1.1), можно применить для получения выходных напряжений разной полярности так, как это показано на рис. 1.3.

Для первого варианта на выходе формируются напряжения +10 В и -10 В; для второго — +20 В и -10 В при питании устройства от источника напряжением 12 В.

Для питания тиратронов напряжением примерно 90 В применена схема преобразователя напряжения по рис. 1.4 с задающим генератором 1 и параметрами элементов: $R_1=R_4=1 \text{ кОм}$,

1. Бестрансформаторные преобразователи

$R_2=R_3=10 \text{ кОм}$, $C_1=C_2=0,01 \text{ мкФ}$ [1.3]. Здесь могут быть использованы широко распространенные маломощные транзисторы. Умножитель имеет коэффициент умножения 12 и при имеющемся напряжении питания можно было бы ожидать на выходе примерно 200 В, однако реально из-за потерь это напряжение составляет всего 90 В, и величина его быстро падает с увеличением тока нагрузки.

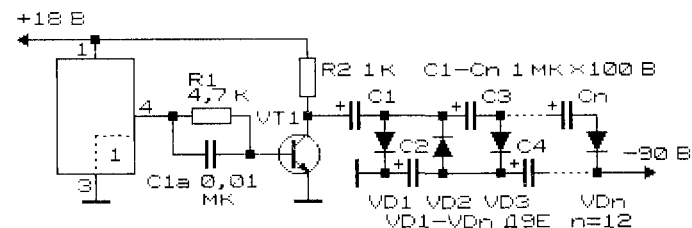


Рис. 1.4. Схема преобразователя напряжения с многокаскадным умножителем

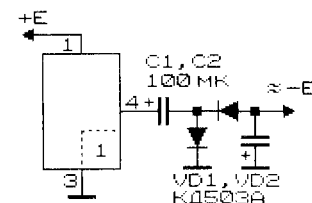


Рис. 1.5. Схема инвертора напряжения

Для получения инвертированного выходного напряжения также может быть использован преобразователь на основе типового узла (рис. 1.1). На выходе устройства (рис. 1.5) образуется напряжение, противоположное по знаку напряжению питания [1.4]. По абсолютной величине это напряжение несколько ниже напряжения питания, что обусловлено падением напряжения (потерями напряжения) на полупроводниковых элементах. Чем ниже напряжение питания схемы и чем выше ток нагрузки, тем больше эта разница.

Преобразователь (удвоитель) напряжения (рис. 1.6) содержит задающий генератор 1 (1 на рис. 1.1), два усилителя 2 (2 на рис. 1.1) и выпрямитель по мостовой схеме (VD1 — VD4) [1.5].

1. Бестрансформаторные преобразователи

Блок 1: $R1=R4=100\text{ Ом}$; $R2=R3=10\text{ кОм}$; $C1=C2=0,015\text{ мкФ}$, транзисторы *КТ315*.

Блок 2: транзисторы *ГТ402*, *ГТ404*.

Известно, что мощность, передаваемая из первичной цепи во вторичную, пропорциональна рабочей частоте преобразования, поэтому одновременно с ее ростом уменьшаются емкости конденсаторов и, следовательно, габариты и стоимость устройства.

Данный преобразователь обеспечивает выходное напряжение 12 В (на холостом ходу). При сопротивлении нагрузки 100 Ом выходное напряжение снижается до 11 В ; при 50 Ом — до 10 В ; а при 10 Ом — до 7 В .

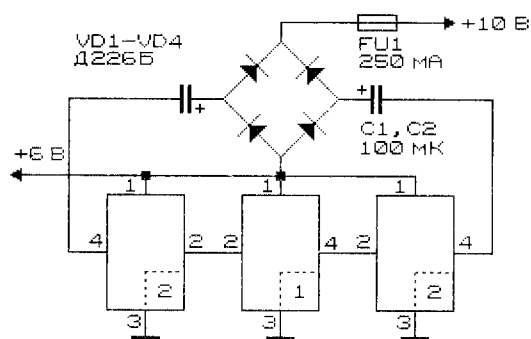


Рис. 1.6. Схема удвоителя напряжения повышенной мощности

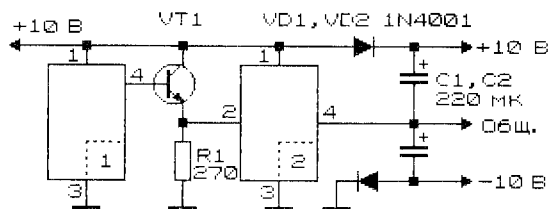


Рис. 1.7. Схема преобразователя для получения разнополярных выходных напряжений

Преобразователь напряжения (рис. 1.7) позволяет получить на выходе два разнополярных напряжения с общей средней точкой [1.6]. Такие напряжения часто используют для питания операционных усилителей. Выходные напряжения близки по абсолютной

1. Бестрансформаторные преобразователи

величине напряжению питания устройства и при изменении его величины изменяются одновременно.

Транзистор *VT1* — *КТ315*, диоды *VD1* и *VD2* — *Д226*.

Блок 1: $R1=R4=1,2\text{ кОм}$; $R2=R3=22\text{ кОм}$; $C1=C2=0,022\text{ мкФ}$, транзисторы *КТ315*.

Блок 2: транзисторы *ГТ402*, *ГТ404*.

Выходное сопротивление удвоителя — 10 Ом . В режиме холостого хода суммарное выходное напряжение на конденсаторах *C1* и *C2* равно $19,25\text{ В}$ при токе потребления 33 мА . При увеличении тока нагрузки от 100 до 200 мА это напряжение снижается с $18,25$ до $17,25\text{ В}$.

Задающий генератор преобразователя напряжения (рис. 1.8) выполнен на двух *КМОП*-элементах [1.7]. К его выходу подключен каскад усиления на транзисторах *VT1* и *VT2*. Инvertированное напряжение на выходе устройства с учетом потерь преобразования на несколько процентов (или десятков процентов — при низковольтном питании) меньше входного.

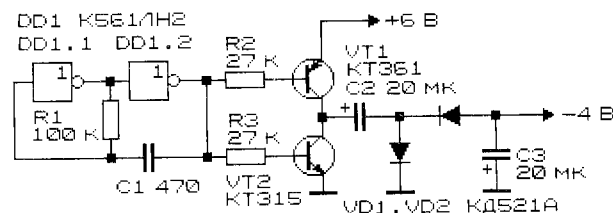


Рис. 1.8. Схема преобразователя напряжения-инвертора с задающим генератором на *КМОП*-элементах

Похожая схема преобразователя изображена на следующем рисунке (рис. 1.9). Преобразователь содержит задающий генератор на *КМОП*-микросхеме, каскад усиления на транзисторах *VT1* и *VT2*, схемы удвоения выходного импульсного напряжения, конденсаторные фильтры и схему формирования искусственной средней точки на основе пары стабилитронов [1.8]. На выходе преобразователя формируются следующие напряжения: $+15\text{ В}$ при токе нагрузки $13...15\text{ мА}$ и -15 В при токе нагрузки 5 мА .

На рис. 1.10 показана схема выходного узла бестрансформаторного преобразователя напряжения [1.9]. Этот узел фактически

1. Бестрансформаторные преобразователи

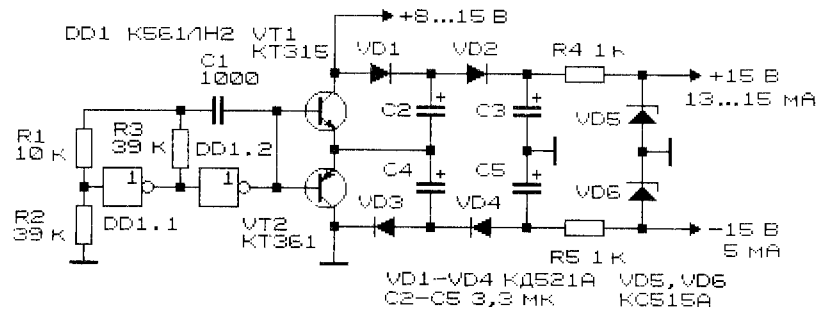


Рис. 1.9. Схема преобразователя напряжения для формирования разнополярных напряжений с задающим генератором на КМОП-элементах

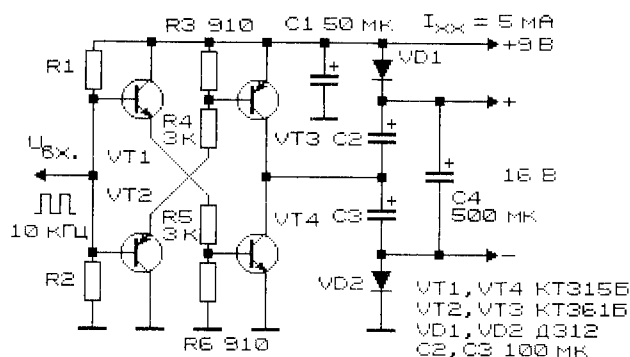


Рис. 1.10. Схема выходного каскада бестрансформаторного преобразователя напряжения

является усилителем мощности. Для управления им можно использовать генератор импульсов, работающий на частоте 10 кГц.

Без нагрузки преобразователь с таким усилителем мощности потребляет ток около 5 мА. Выходное напряжение приближается к 18 В (удвоенному напряжению питания). При токе нагрузки 120 мА выходное напряжение уменьшается до 16 В при уровне пульсаций 20 мВ. КПД устройства около 85%, выходное сопротивление — около 10 Ом.

При работе узла от задающего генератора на КМОП-элементах установка резисторов R1 и R2 не обязательна, но для ограничения выходного тока микросхемы желательно соединить ее

1. Бестрансформаторные преобразователи

выход с транзисторным усилителем мощности через резистор сопротивлением в несколько кОм.

Простая схема преобразователя напряжения для управления варикапами многократно воспроизведена в различных журналах [1.10]. Преобразователь вырабатывает 20 В при питании от 9 В, и такая схема показана на рис. 1.11. На транзисторах VT1 и VT2 собран генератор импульсов, близких к прямоугольным. Диоды VD1 — VD4 и конденсаторы C2 — C5 образуют умножитель напряжения, а резистор R5 и стабилитроны VD5, VD6 — параметрический стабилизатор напряжения.

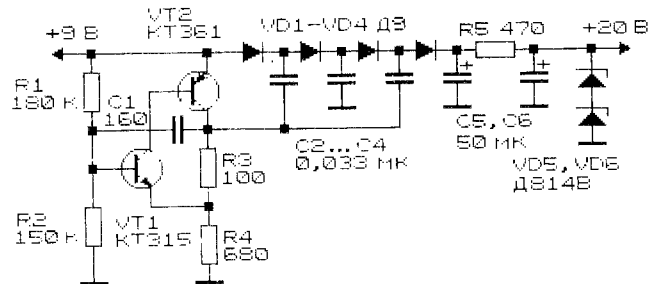


Рис. 1.11. Схема преобразователя напряжения для варикапов

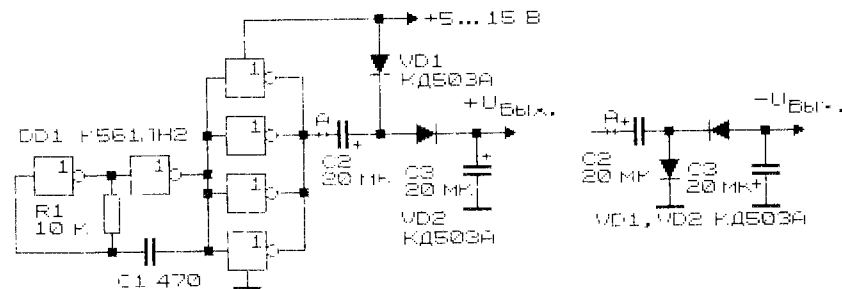


Рис. 1.12. Схема преобразователя напряжения на КМОП-микросхеме

Простой преобразователь напряжения [1.11] на одной лишь КМОП-микросхеме с минимальным числом навесных элементов можно собрать по схеме на рис. 1.12.

Основные параметры преобразователя при разных напряжениях питания и токах нагрузки приведены в таблице 1.1.

1. Бестрансформаторные преобразователи

Таблица 1.1. Параметры преобразователя напряжения (рис. 1.12)

$U_{\text{пит.}}, В$	$I_{\text{вых.}}, мА$	$U_{\text{вых.}}, В$
10	5	17
10	10	16
10	15	14,5
15	5	27,5
15	10	26,5
15	15	25,5

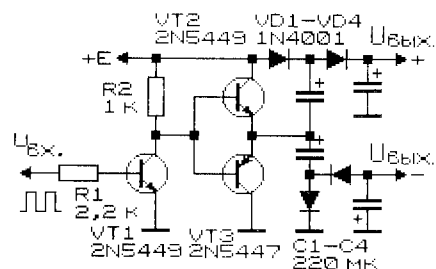


Рис. 1.13. Схема выходного каскада формирователя двухполярного напряжения

Для преобразования напряжения одного уровня в двухполярное выходное напряжение может быть использован преобразователь с выходным каскадом по схеме на рис. 1.13 [1.12]. При входном напряжении преобразователя 5 В на выходе получаются напряжения +8 В и –8 В при токе нагрузки 30 мА. КПД преобразователя составил 75%. Значение КПД и величину выходного напряжения можно увеличить за счет использования в выпрямителе-умножителе напряжения диодов Шотки. При увеличении напряжения питания до 9 В выходные напряжения возрастают до 15 В.

Приблизительный аналог транзистора 2N5447 — КТ345Б; 2N5449 — КТ340Б. В схеме можно использовать и более распространенные элементы, например, транзисторы типа КТ315, КТ361.

1. Бестрансформаторные преобразователи

Для схем преобразователей напряжения, построенных по принципу умножителей импульсного напряжения, могут быть использованы самые разнообразные генераторы сигналов прямоугольной формы. Такие генераторы часто строят на микросхеме КР1006ВИ1 (рис. 1.14) [1.13]. Выходной ток этой микросхемы достаточно большой (100 мА) и часто можно обойтись без каскадов дополнительного усиления. Генератор на микросхеме DA1 (КР1006ВИ1) вырабатывает прямоугольные импульсы, частота следования которых определяется элементами R1, R2, C2. Эти импульсы с вывода 3 микросхемы подаются на умножитель напряжения. К выходу умножителя напряжения подключен резистивный делитель R3, R4, напряжение с которого поступает на вход «сброс» (вывод 4) микросхемы DA1. Параметры этого делителя подобраны таким образом, что, если выходное напряжение по абсолютной величине превысит входное (напряжение питания), генерация прекращается. Точное значение выходного напряжения можно регулировать подбором сопротивлений резисторов R3 и R4.

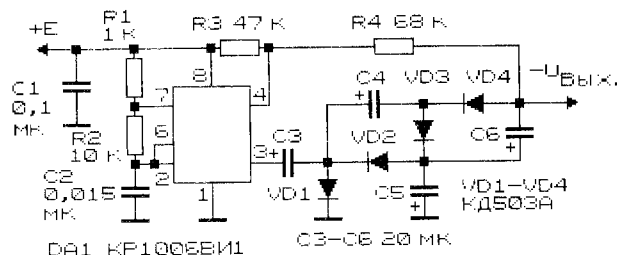


Рис. 1.14. Схема преобразователя-инвертора напряжения с задающим генератором на микросхеме КР1006ВИ1

Характеристики преобразователя — инвертора напряжения (рис. 1.14) приведены в табл. 1.2.

На следующем рисунке показана еще одна схема преобразователя напряжения [1.14] на микросхеме КР1006ВИ1 (рис. 1.15). Рабочая частота задающего генератора 8 кГц. На его выходе включен транзисторный усилитель и выпрямитель, собранный по схеме удвоения напряжения. При напряжении источника питания 12 В на выходе преобразователя получается 20 В. Потери преобразователя обусловлены падением напряжения на диодах выпрямителя-удвоителя напряжения.

1. Бестрансформаторные преобразователи

Таблица 1.2. Характеристики преобразователя-инвертора напряжения (рис. 1.14)

$U_{пит.}, В$	$I_{вых.}, МА$	$I_{потребл.}, МА$	КПД, %
6	3,5	13	27
7	6	22	28
8	11	31	35
10	18	50	36
12	28	70	40

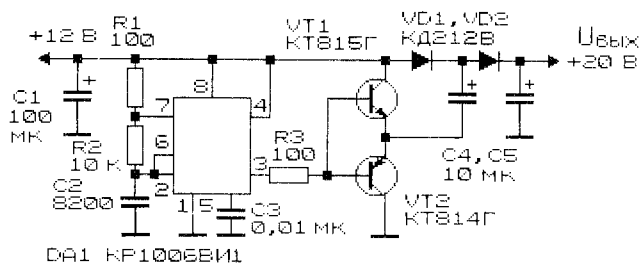


Рис. 1.15. Схема преобразователя напряжения с микросхемой KP1006BI1 и усилителем мощности

На основе этой же микросхемы (рис. 1.16) может быть создан инвертор напряжения [1.15]. Рабочая частота преобразования — 18 кГц, скважность импульсов — 1,2.

Как и для других подобных устройств, выходное напряжение преобразователя существенно зависит от тока нагрузки.

ТТЛ и КМОП-микросхемы могут быть использованы для выпрямления тока. Развивая тему, автор этой идеи Д. Катберт предложил бестрансформаторный преобразователь напряжения-инвертор [1.16] на основе ТТЛ-микросхем (рис. 1.17).

Устройство содержит две микросхемы: DD1 и DD2. Первая из них работает в качестве генератора прямоугольных импульсов с частотой 7 кГц (элементы DD1.1 и DD1.2), к выходу которого подключен инвертор DD1.3 — DD1.6. Вторая микросхема (DD2) включена необычным образом (см. схему): она выполняет функцию

1. Бестрансформаторные преобразователи

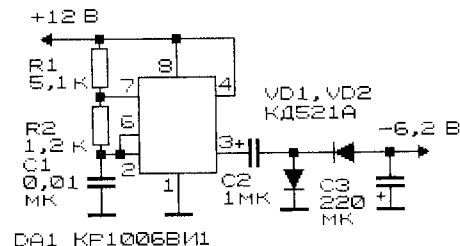


Рис. 1.16. Схема формирователя напряжения отрицательной полярности

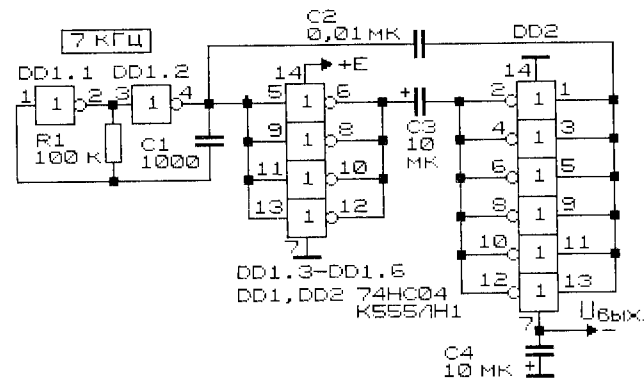


Рис. 1.17. Схема инвертора напряжения на основе двух микросхем

диодов. Все ее элементы-инверторы для увеличения нагрузочной способности преобразователя включены параллельно.

В результате такого включения на выходе устройства получается инвертированное напряжение $-U$, примерно равное (по абсолютной величине) напряжению питания. Напряжение питания устройства с КМОП-микросхемой 74HC04 может быть от 2 до 7 В. Примерный отечественный аналог — ТТЛ-микросхема K555ЛН1 (работает в более узком диапазоне питающих напряжений) или КМОП-микросхема KP1564ЛН1.

Максимальный выходной ток преобразователя достигает 10 мА. При отключенной нагрузке устройство практически не потребляет ток.

В развитие рассмотренной выше идеи использования защитных диодов КМОП-микросхем, имеющих на входах и выходах

1. Бестрансформаторные преобразователи

КМОП-элементов, рассмотрим работу преобразователя напряжения [1.17], выполненного на двух микросхемах DD1 и DD2 типа К561ЛА7 (рис. 1.18). На первой из них собран генератор, работающий на частоте 60 кГц. Вторая микросхема выполняет функцию мостового высокочастотного выпрямителя.

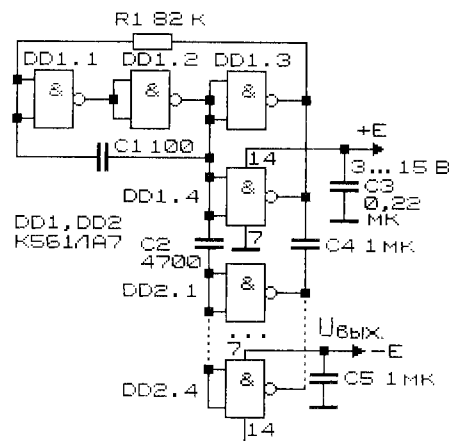


Рис. 1.18. Схема точного преобразователя полярности на двух микросхемах К561ЛА7

В процессе работы преобразователя на выходе формируется напряжение отрицательной полярности, с большой точностью при высокоомной нагрузке повторяющее напряжение питания во всем диапазоне паспортных значений питающих напряжений (от 3 до 15 В).

2. Преобразователи напряжения на коммутируемых и модулируемых конденсаторах

Принцип работы преобразователей напряжения на коммутируемых конденсаторах основан на периодическом одновременном заряде группы конденсаторов, включенных параллельно или последовательно. В следующий рабочий цикл эти конденсаторы переключают, соответственно, в последовательную цепочку, либо параллельно. В первом случае преобразователь является повышающим; во втором — понижающим. Коэффициент «трансформации» напряжения преобразователя равен числу переключаемых конденсаторов. Как и при использовании настоящего трансформатора с увеличением (понижением) выходного напряжения кратно и пропорционально с учетом потерь понижается (возрастает) выходной ток.

Для преобразования постоянного напряжения одного уровня в постоянное напряжение другого уровня Л. Г. Зотовым и А. А. Шориным [2.1] в а. с. 756568 (СССР) была предложена схема бестрансформаторного преобразователя (рис. 2.1 и 2.2).

Схема базового ключевого элемента преобразователя показана на рис. 2.1, общая схема устройства — на рис. 2.2. Управление типовыми ключевыми элементами 1 осуществляется генераторами прямоугольных импульсов, работающими на частотах 30 и 80 кГц (рис. 2.2). При входном напряжении 160 В и токе потребления 170 мА на выходе преобразователя получено напряжение 24 В при токе нагрузки 1 А. КПД преобразователя составил 90%. Все устройство имело размеры 80x50x20 мм и удельную энергоемкость 300 Вт/дм³.

В преобразователе (рис. 2.3) для повышения КПД преобразования использована идея начального заряда последовательно соединенных конденсаторов от источника питающего напряжения с последующим их переключением в параллельную цепь [2.2]. Очевидно, что КПД такого преобразователя тем выше, чем выше напряжение питания устройства, поскольку в области малых

2. Преобразователи напряжения на конденсаторах

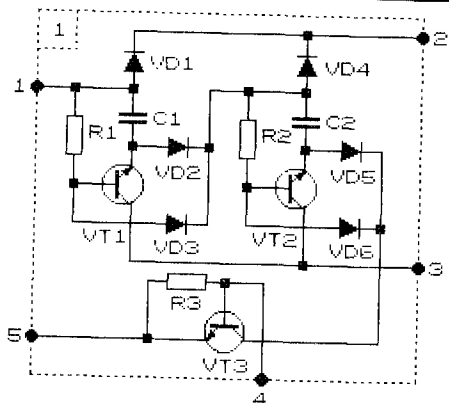


Рис. 2.1. Схема базового элемента преобразователя

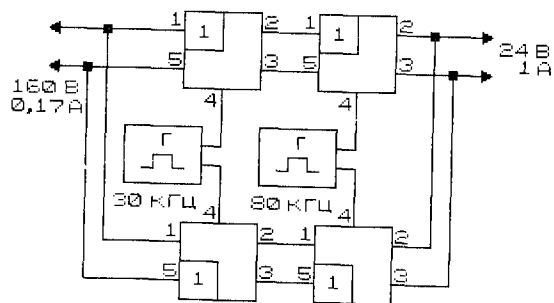


Рис. 2.2. Схема преобразователя напряжения 160 В/24 В

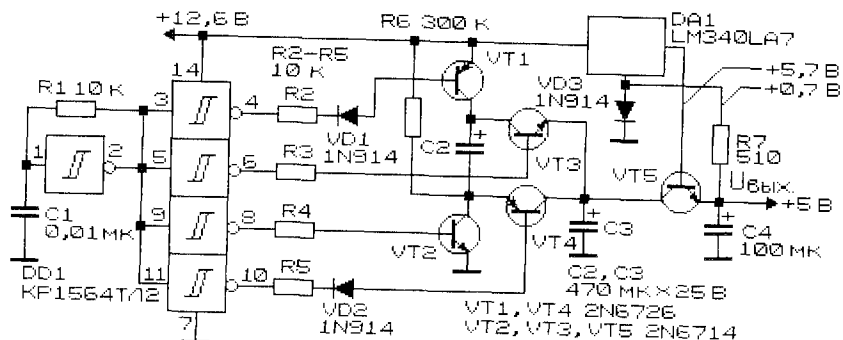


Рис. 2.3. Схема преобразователя напряжения на переключаемых конденсаторах

2. Преобразователи напряжения на конденсаторах

питающих напряжений будут заметно сказываться потери на коммутирующих элементах.

При питании устройства от аккумулятора напряжением 12,6 В на выходе получено стабилизированное напряжение 5 В при КПД 80% (ток нагрузки 1 А). Для переключения конденсаторов использован генератор управляющих импульсов, работающий на частоте 6,5 кГц.

Следует отметить, что схема, изображенная на рис. 2.3, в значительной мере является демонстрационной, предназначенной для ознакомления со способами преобразования напряжения, хотя при моделировании средствами *Electronics Workbench 5.12* и показала результаты, близкие к заявленным. В первоисточнике [2.2] резисторы R2 — R6 (рис. 2.3) отсутствуют ($R2=R3=R4=R5=0$; $R6=\infty$).

В качестве микросхемы DA1 возможно использование отечественного аналога — К142ЕН5А(В).

Для повышения КПД устройства должны быть получены крутые фронты коммутирующих импульсов и приняты меры по снижению падения напряжения на транзисторных ключах.

Принцип действия следующего преобразователя [2.3] также основан на начальном заряде нескольких конденсаторов, подключенных параллельно источнику питания. Затем эти конденсаторы переключаются в последовательную цепочку. Напряжения на них суммируются. В эту сумму входит и напряжение источника питания. Таким образом, при использовании двух конденсаторов на выходе может быть получено утроенное напряжение питания. На практике это значение несколько ниже, поскольку часть напряжения теряется на коммутирующих элементах, диодах.

Так, в схеме на рис. 2.4 при напряжении питания 5 В на выходе получается напряжение 12 В при токе нагрузки 12 мА.

Аналог транзистора 2N3904 — КТ375А(Б).

Параллельно-последовательный умножитель напряжения (рис. 2.5) работает по принципу одновременного заряда нескольких конденсаторов и последовательного разряда их на суммирующий конденсатор [2.4]. Устройство является умножителем напряжения на три.

2. Преобразователи напряжения на конденсаторах

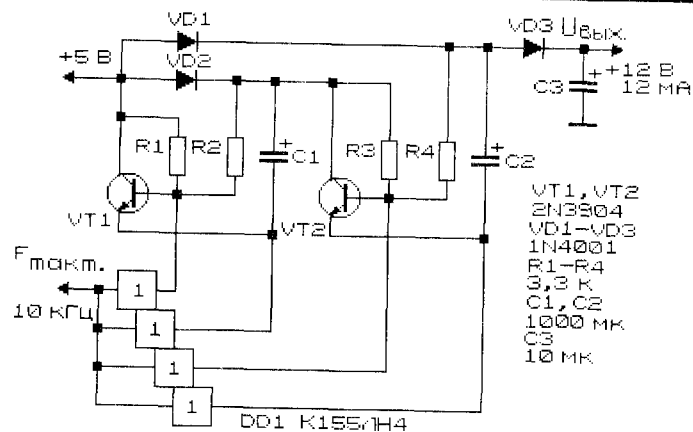


Рис. 2.4. Схема преобразователя напряжения на коммутируемых конденсаторах

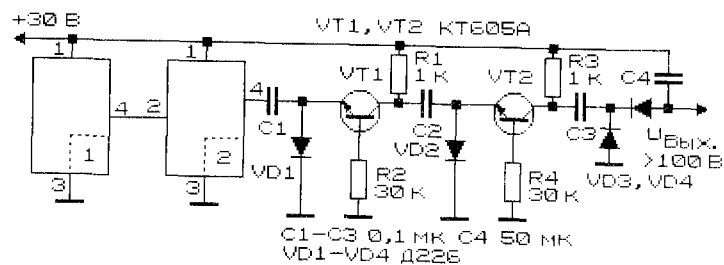


Рис. 2.5. Схема параллельно-последовательного умножителя напряжения

Задающий мультивибратор, собранный на транзисторах VT1 и VT2 (типовой блок 1, рис. 1.1, $R1=R4=10\text{ кОм}$; $R2=R3=47\text{ кОм}$; $C1=C2=0,01\text{ мкФ}$; транзисторы — *КТ201*), формирует сигнал прямоугольной формы. Рабочую частоту генератора можно определить по приближенной формуле:

$$f = \frac{0,7}{RC},$$

где f — в кГц , $R2(R3)$ — в кОм , $C1(C2)$ — в мкФ .

Для уменьшения выходного сопротивления генератора предназначен эмиттерный повторитель на транзисторах VT3 и VT4 (типовой блок 2, рис. 1.1, транзисторы — *ГТ321* и *П307*). Когда на

2. Преобразователи напряжения на конденсаторах

выходе каскада 2 напряжение равно 30 В , конденсатор $C1$ (рис. 2.5) заряжается через диод $VD1$. За это время заряжаются также конденсаторы $C2$ и $C3$ через соответствующие диоды $VD2$ и $VD3$. При переключении каскада 2 на его выходе появляется нулевое напряжение. Напряжения на конденсаторах $C1$ и $C2$ откроют транзисторы $VT1$ и $VT2$. В результате конденсаторы $C1$ — $C3$ будут включены последовательно. Суммарное напряжение через диод $VD4$ будет приложено к конденсатору $C4$. Конденсатор $C4$ зарядится до утроенного напряжения источника питания. Поскольку вторая обкладка этого конденсатора подключена к питающему напряжению, то суммарное выходное напряжение будет превышать 100 В .

На выходе умножителя можно получить любое другое напряжение, увеличив число каскадов. Частота работы мультивибратора 1 выбирается с учетом постоянной времени заряда конденсаторов $C2$ и $C3$ через резисторы $R1$ и $R2$.

При помощи устройств [2.5, 2.6], изображенных на рис. 2.6 и 2.7 на выходе формирователей импульсов с различным числом каскадов — элементов цепочки — удастся получить короткие импульсы длительностью порядка 20 нс напряжением $2...3\text{ кВ}$ (рис. 2.6) и $5...7,5\text{ кВ}$ (рис. 2.7).

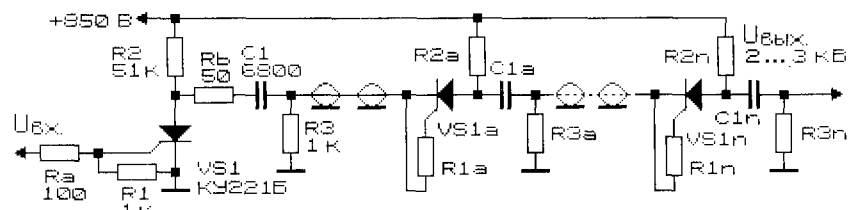


Рис. 2.6. Схема формирователя коротких импульсов напряжением $2...3\text{ кВ}$

Формирователь выполнен из цепочки однотипных узлов, состоящих из накопительных конденсаторов и тиристорных ключей (тиристоры *KY2215*, *KY224*). Отдельные узлы соединены между собой отрезками линий длиной по 4 м , выполненных из коаксиального кабеля с волновым сопротивлением 50 Ом . В начальный момент времени (все тиристоры закрыты) конденсаторы $C1$ — $C1n$ через резисторы $R2$ — $R2n$ и $R3$ — $R3n$ заряжены до напряжения питания (850 В). При подаче на вход формирователя

2. Преобразователи напряжения на конденсаторах

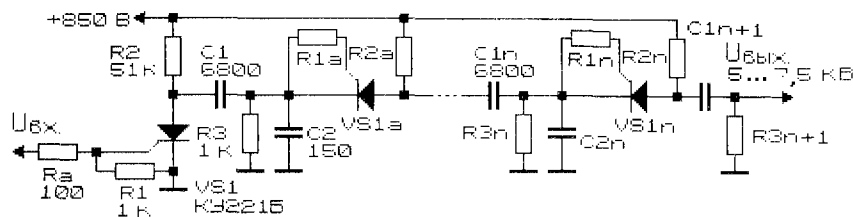


Рис. 2.7. Схема формирователя коротких импульсов напряжением 5...7,5 кВ

импульса запуска происходит включение предварительно заряженных от источника питания конденсаторов $C1 — C1n$ в последовательную цепочку. На выходе формируется короткий импульс высокого напряжения.

Теоретически максимальная амплитуда импульса выходного напряжения должна быть равна nE , где E — напряжение питания. Однако в связи с тем, что тиристоры несколько отличаются друг от друга и включаются не одновременно, выходной импульс «размывается», идеального суммирования напряжений не происходит. Реально коэффициент умножения напряжения формирователей импульсов (рис. 2.6 и 2.7) примерно равен $\sqrt{2n}$, где n — число каскадов. После разряда конденсаторов тиристоры вновь закрываются, схема готова к запуску последующим управляющим импульсом.

В обобщенной форме вид преобразователей (рис. 2.8), реализующих принцип умножения напряжения на переключаемых конденсаторах, приведен в [2.7]. Это устройство содержит ряд одинаковых каскадов на тиристорах или иных элементах с S-образной вольтамперной характеристикой. Межкаскадные связи ($C1 — C1n$) выполнены конденсаторами равной емкости. Напряжение питания схемы — E — ниже напряжения пробоя тиристоров.

В исходном состоянии после включения напряжения питания все тиристоры заперты, конденсаторы $C1 — C1n$ заряжены до напряжения питания устройства.

При подаче на вход преобразователя импульса управления происходит цепная реакция переключения тиристоров из непроводящего состояния в проводящее. Все конденсаторы $C1 — C1n$ оказываются соединенными последовательно. Напряжения на

2. Преобразователи напряжения на конденсаторах

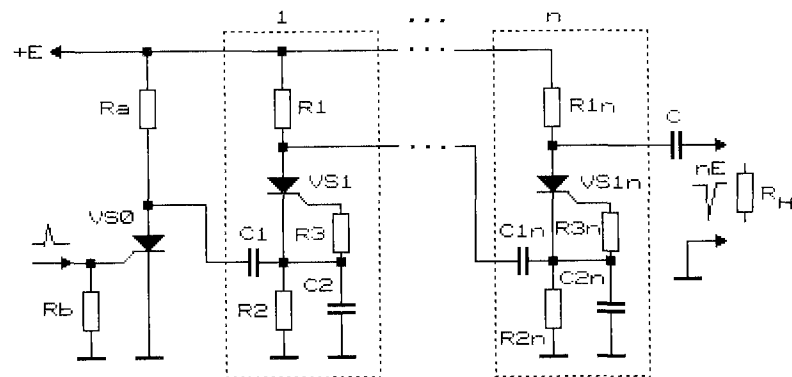


Рис. 2.8. Электрическая схема преобразователя с умножением напряжения на коммутируемых тиристорах конденсаторах

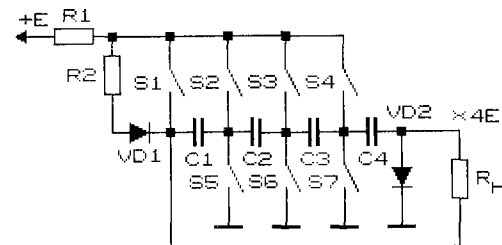


Рис. 2.9. Умножитель напряжения Н. М. Катасонова

них суммируются и на выходе формируется короткий импульс напряжения с амплитудой, приближающейся к значению nE .

Типовые значения длительности импульсов, генерируемых тиристорными формирователями, зависят от RC-параметров формирователя, вида нагрузки, марки тиристоров и составляют: длительность импульса — 100...200 нс, длительность фронта — 5...20 нс. В ранних конструкциях преобразователей подобного рода вместо тиристоров широко использовали искровые разрядники или механические прерыватели.

Для умножения напряжения Н. М. Катасонов [2.8] предложил схему устройства (рис. 2.9), позволяющего при включении ключевых элементов $S1 — S7$ по определенному алгоритму заряжать конденсаторы $C1 — C4$ от источника питания, а затем

2. Преобразователи напряжения на конденсаторах

соединять в последовательную цепочку. В соответствии с числом примененных в цепочке конденсаторов на выходе устройства формируется умноженное в n -раз напряжение.

Для преобразования напряжения высокого уровня в низковольтное был разработан понижающий преобразователь [2.9, 2.10] на переключаемых конденсаторах (рис. 2.10). В отличие от повышающих конденсаторных преобразователей, он работает наоборот: вначале заряжается длинная цепочка последовательно соединенных конденсаторов, затем они включаются параллельно. Таким образом получается подобие трансформатора: малый потребляемый ток в первичной цепи при большом напряжении и малое выходное напряжение при работе на нагрузку и большой ток. Разумеется, такому преобразователю присущи заметные потери, да и само устройство отличается повышенной сложностью, поэтому полная практическая схема устройства не приводится.

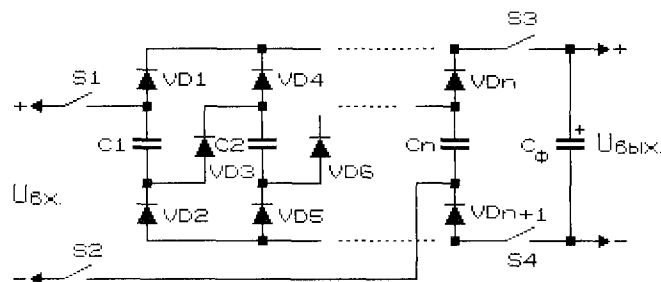


Рис. 2.10. Пример понижающего конденсаторного преобразователя напряжения

Отдельный класс преобразователей с использованием конденсаторов с управляемой емкостью представляют собой устройства, рассмотренные ниже.

Достаточно оригинальный метод преобразования напряжения для питания варикапов предложил А. В. Топалов [2.11]. У обычных потенциометров, применяющихся при регулировке напряжения на варикапах, перемещение движка по токопроводящему слою сопровождается неустойчивостью контакта, а то и обрывом соединения. В этой связи в работе [2.11] было предложено для получения питающего варикапы напряжения использовать высокочастотный генератор, нагруженный на повышающий

2. Преобразователи напряжения на конденсаторах

трансформатор, к выходу которого подключен регулируемый емкостной делитель напряжения, выпрямитель и фильтр (рис. 2.11).

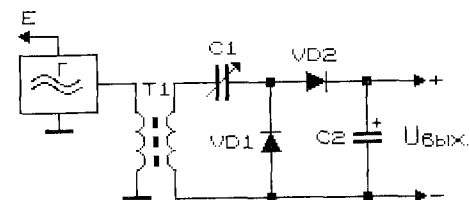


Рис. 2.11. Пример схемы преобразователя напряжения для питания варикапов

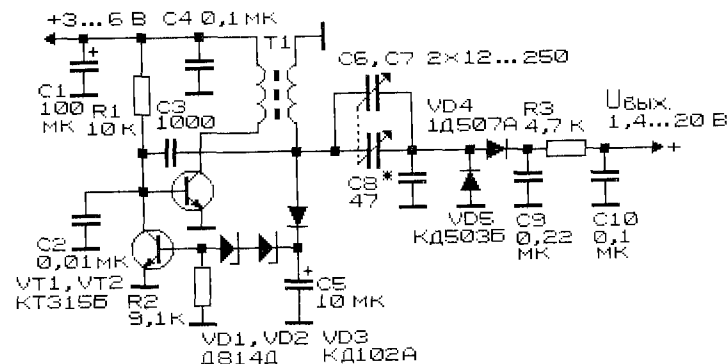


Рис. 2.12. Практическая схема преобразователя с регулируемым емкостным делителем выходного напряжения

Практическая схема такого преобразователя показана на рис. 2.12. При питании генератора от батареи напряжением 3...6 В на выходе формируется регулируемое нестабилизированное напряжение 1,4...20 В, предназначенное для питания варикапов.

В качестве конденсатора емкостного делителя использован сдвоенный конденсатор переменной емкости от радиоприемника 2x12...250 пФ. Трансформатор Т1 намотан на ферритовом кольце типа К7х4х2 с магнитной проницаемостью 1000...2000. Первичная обмотка содержит 49 витков провода ПЭЛШО 0,25, вторичная — 200 витков ПЭВ 0,1. При изменении напряжения питания частота генерации колеблется в пределах от 25 до 40 кГц.

2. Преобразователи напряжения на конденсаторах

Генерацию высокочастотного сигнала для регулируемого емкостного делителя можно осуществлять и в более простых схемах с бестрансформаторным выходом на основе КМОП-микросхем (рис. 2.13) [2.11]. Выходное напряжение преобразователя, разумеется, не может превысить или даже сравниться с напряжением питания, однако на этом принципе могут быть созданы регулируемые источники напряжения положительной и/или отрицательной полярности, гальванически разделенные от основного источника питания конденсаторами небольшой емкости.

Выходное напряжение преобразователя (рис. 2.13) при напряжении питания 9 В регулируется в пределах 1...7 В. Отметим, что при смене полярности подключения диодов выпрямителя на выходе преобразователя может быть получено напряжение отрицательной полярности, а при использовании умножителя напряжения — напряжение, превышающее напряжение питания.

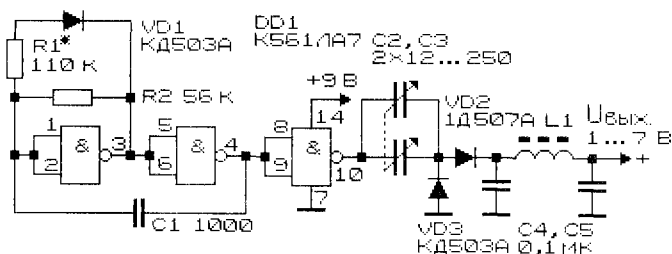


Рис. 2.13. Вариант схемы преобразователя напряжения с регулируемым емкостным делителем выходного напряжения

Для снижения уровня высокочастотных помех на выходе преобразователя включен П-образный LC-фильтр, в котором дроссель L1 содержит 50 витков провода ПЭЛШО 0,1, намотанного на кольцо типа К7х4х2 1000НН.

В схеме на рис. 2.14 для получения повышенного выходного напряжения применен утроитель выходного напряжения задающего генератора [2.11], выполненный по достаточно традиционной схеме, принцип действия которой изложен выше, в главе 1. Отличительной же особенностью этого устройства (рис. 2.14) является то, что выходное напряжение преобразователя плавно регулируют при помощи резистивного делителя напряжения (транзисторы VT1 и VT2), в свою очередь, управляемого

2. Преобразователи напряжения на конденсаторах

выпрямленным высокочастотным сигналом, амплитуда которого регулируется блоком конденсаторов переменной емкости C2 и C3, включенных параллельно.

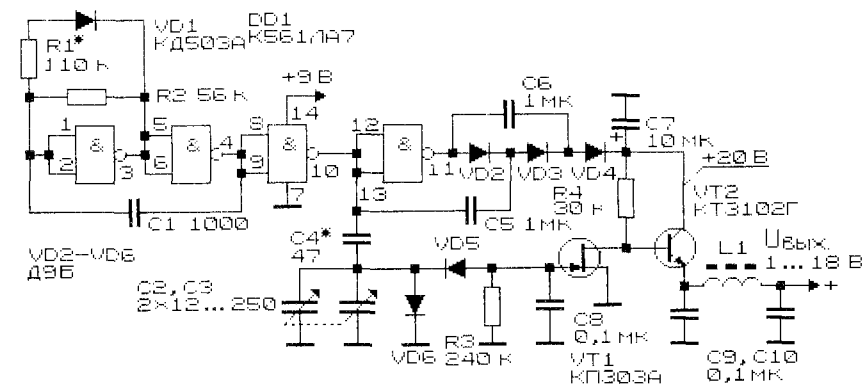


Рис. 2.14. Схема регулируемого преобразователя напряжения с утроителем выходного напряжения

Таким образом, управляющее напряжение для регулировки выходного напряжения преобразователя снимается с регулируемого емкостного делителя напряжения (конденсаторы C4 и C2, C3) и диодного выпрямителя (диоды VD5 и VD6). В итоге на выходе устройства получается плавно регулируемое в пределах от 1 до 18 В напряжение.

Попутно отметим, что для решения основной задачи — изменения емкости без использования резистивного делителя напряжения в цепи питания варикапа — достаточно было бы использовать просто блок конденсаторов переменной емкости, сузив при необходимости диапазон перекрытия за счет параллельного и/или последовательного подключения емкостей. Однако в плане создания преобразователей напряжения нового типа идея, описанная А. В. Топаловым, достаточно продуктивна и может иметь дальнейшее развитие.

Отдельный вид преобразователей — преобразователи на конденсаторах с управляемой (модулируемой) емкостью [2.7]. Иногда такие преобразователи называют мультипликаторами (умножителями) напряжения. Принцип их действия основан на том, что при неизменной величине заряда на обкладках конденсатора

2. Преобразователи напряжения на конденсаторах

уменьшение их емкости сопровождается пропорциональным возрастанием напряжения на обкладках, и наоборот.

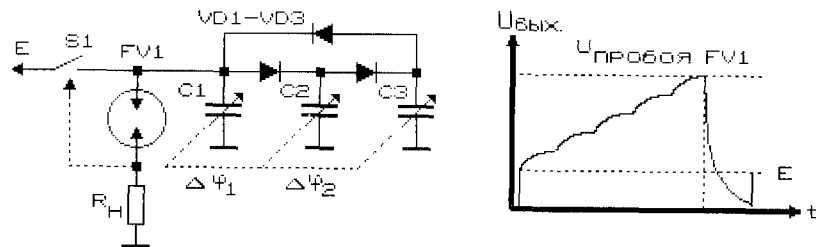


Рис. 2.15. Схема преобразователя напряжения кольцевого типа

Преобразователи напряжения кольцевого типа на модулируемых конденсаторах (рис. 2.15) содержат последовательно-замкнутую цепочку из конденсаторов с модулируемой емкостью, разделенных диодными ключами [2.7]. Запуск преобразователя осуществляется кратковременной подачей напряжения на один из конденсаторов. При изменении емкости конденсаторов, роторы которых заземлены и вращаются синхронно со сдвигом по фазе, происходит «перекачка» энергии по последовательной замкнутой в кольцо диодно-емкостной цепочке с нарастанием выходного напряжения. Параллельно одному из конденсаторов включен электрический разрядник. Когда напряжение на этом конденсаторе превысит напряжение пробоя разрядника, происходит разряд конденсатора на сопротивление нагрузки, и на конденсатор подают новую порцию энергии от источника питания.

3. Мультиплексорные конденсаторные преобразователи напряжения на микросхемах

Особое направление в технике преобразования напряжения составляют мультиплексорные преобразователи. Принцип их действия основан на использовании КМОП- или иных мультиплексоров — полупроводниковых переключаемых ключей. Для преобразования напряжения одного уровня или знака в напряжение другого уровня или знака накопительный конденсатор или их группу путем переключений заряжают от источника питания, а в следующий рабочий цикл подключают к нагрузке в той или иной полярности и последовательности.

Такие преобразователи обеспечивают электрическую изоляцию, обусловленную гарантированной заводом-производителем величиной, иногда до 10^{10} Ом. Одновременно может быть получено неограниченное количество гальванически развязанных источников напряжения, которые можно соединять последовательно или параллельно. Преобразователи имеют малые габариты и собственное энергопотребление, не требуют использования выпрямителей.

Недостатками мультиплексорных преобразователей является низкая нагрузочная способность, невысокие выходные напряжения. Потери при преобразовании определяются электрическим сопротивлением открытых ключей (50...150 Ом — для отечественных микросхем).

На рис. 3.1 показана одна из первых схем мультиплексорного преобразователя напряжения [3.1]. На вход мультиплексора поступают импульсы управляющих сигналов прямоугольной формы частотой 8...12 кГц. Как следует из анализа работы схемы, конденсатор C_1 при помощи ключей мультиплексора по очереди подключается вначале к источнику питания, затем — к сопротивлению нагрузки, меняя при этом полярность выходного напряжения. КПД устройства при сопротивлении нагрузки 1 кОм составляет 80% и с увеличением этого сопротивления до 5 кОм

3. Мультиплексорные преобразователи напряжения

возрастает до 95%. При напряжении питания преобразователя 8 В и сопротивлении нагрузки 1 кОм амплитуда пульсаций на нагрузке не превышает 30 мВ.

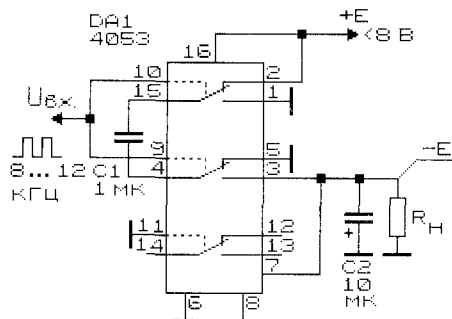


Рис. 3.1. Схема мультиплексорного преобразователя напряжения с инвертированием

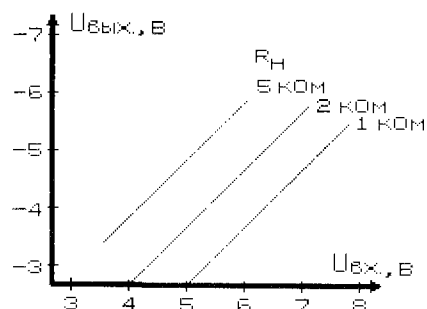


Рис. 3.2. Нагрузочные характеристики преобразователя (рис. 3.1)

Нагрузочные характеристики преобразователя (рис. 3.1) показаны на рис. 3.2.

Преобразователи напряжения (рис. 3.3, 3.4) предназначены для получения двух электрически развязанных от источника питания напряжений E1 и E2 [3.2].

Устройства содержат генератор и/или формирователь управляюще-коммутирующих импульсов, а также электронный коммутатор на основе КМОП-мультиплексора.

На микросхеме DD1 типа K176IE12 (рис. 3.3) выполнен генератор-формирователь управляющих импульсов. Рабочая частота

3. Мультиплексорные преобразователи напряжения

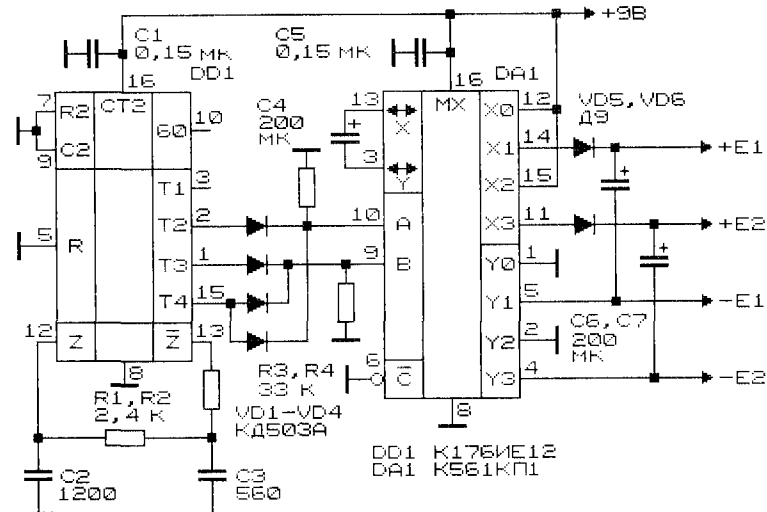


Рис. 3.3. Электрическая схема преобразователя с внутренним тактовым генератором

генератора определяется параметрами навесных RC-элементов. С выходов T1 — T4 микросхемы DD1 снимается последовательность сдвинутых на 90° импульсов с частотой порядка 2,5 кГц. На диодах VD1 — VD4 выполнен формирователь-сумматор управляющих импульсов, которые поступают на управляющие входы (A и B) микросхемы-мультиплексора DA1 типа K561KP1.

В преобразователе по другой схеме (рис. 3.4) тактовые импульсы частотой около 100 кГц, необходимые для работы счетчиков микросхемы DD1 типа K561IE9, подаются на ее управляющий вход от внешнего генератора. Для формирования последовательности управляющих сигналов, поступающих на вход микросхемы-мультиплексора DA1, использованы диоды VD1 — VD8.

При подаче на управляющие входы A и B микросхемы DA1 управляющих сигналов происходит последовательное подключение накопительного электролитического конденсатора C4 на рис. 3.3 (C3 на рис. 3.4) к источнику питания, затем к цепи формирования выходного напряжения E1, а затем снова к источнику питания и далее — к цепи формирования выходного напряжения E2 и т.д.

3. Мультиплексорные преобразователи напряжения

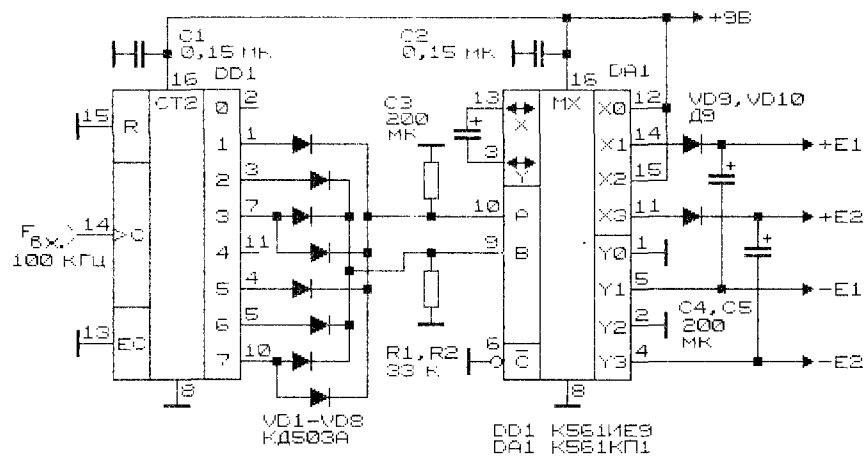


Рис. 3.4. Электрическая схема преобразователя с внешним тактовым генератором

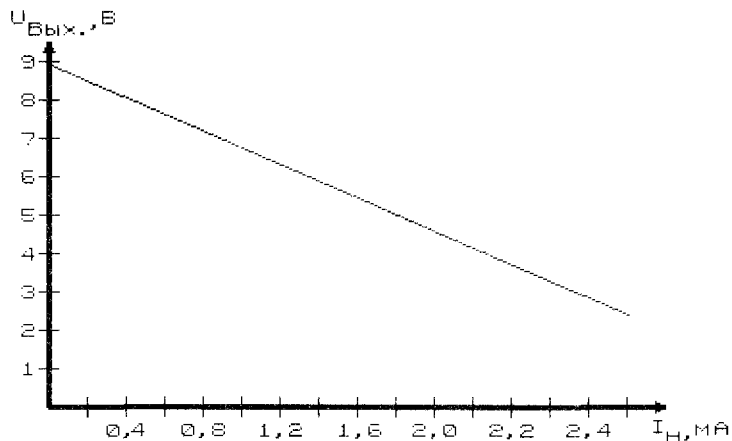


Рис. 3.5. Нагрузочные характеристики преобразователей

Нагрузочные характеристики каждого из источников сформированных таким образом напряжений E1 и E2 идентичны и строго линейны (рис. 3.5). Эти выходы электрически изолированы от источника питания преобразователя (паспортное значение сопротивления изоляции — 10^{11} Ом). Напряжение холостого хода на выходах преобразователя практически совпадает с напряжением

3. Мультиплексорные преобразователи напряжения

питания устройства. Преобразователь не боится коротких замыканий по цепям нагрузки.

Для аварийного питания электронных устройств от резервного источника при пропадании напряжения в сети предназначено устройство по схеме на рис. 3.6 [3.3, 3.4].

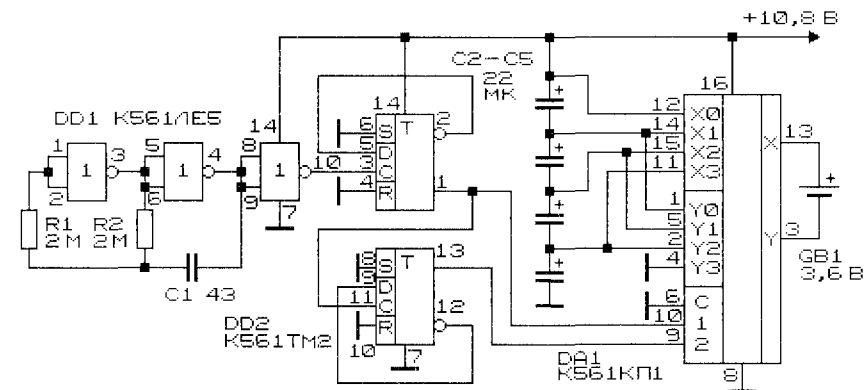


Рис. 3.6. Схема обратимого преобразователя напряжения

Преобразователь содержит резервную аккумуляторную батарею GB1, задающий генератор на элементах DD1.1 — DD1.3, двухразрядный счетчик на D-триггерах DD2.1, DD2.2, двойной четырехканальный мультиплексор DA1 и емкостный накопитель-делитель на конденсаторах C2 — C5.

При наличии напряжения в бортовой сети устройство работает в режиме деления ее напряжения и подзарядки батареи GB1. Буферный режим обеспечен двунаправленным мультиплексором DA1, который поочередно подключает батарею параллельно одному из конденсаторов C2 — C5 емкостного делителя напряжения. В результате батарея заряжается до напряжения, равного четверти напряжения бортовой сети.

После пропадания напряжения в сети преобразователь автоматически переходит в режим умножения напряжения резервной батареи. В этом режиме конденсаторы C2 — C5 через мультиплексор DA1 последовательно заряжаются от батареи GB1, а поскольку они соединены последовательно, на выходе устройства создается напряжение, равное учетверенному напряжению батареи, которое

3. Мультиплексорные преобразователи напряжения

питает не только обслуживаемое электронное устройство, но и микросхемы самого преобразователя.

Сигналы управления мультиплексором поступают с выходов микросхемы DD2, на вход которой приходят тактовые импульсы с частотой следования около 5 кГц с генератора импульсов DD1. Поскольку в режиме умножения напряжения узлы преобразователя питаются его выходным напряжением, для первоначального запуска необходимо кратковременно вручную подать в цепь питания напряжение бортовой сети. После самовозбуждения генератора преобразователь работает от батареи GB1.

Если устройство предполагается использовать в качестве резервного источника питания электронных часов, генератор на элементах микросхемы DD1 может и не понадобиться: его вполне можно заменить задающим генератором часов. Это позволит снизить потребляемый преобразователем ток до 10...20 мкА.

При использовании в батарее GB1 трех соединенных последовательно аккумуляторов Д-0,25 выходное напряжение преобразователя на нагрузке сопротивлением 68 кОм (ток нагрузки — 150 мкА) равно 10,1 В, а в режиме холостого хода — 10,8 В.

При установке устройства в автомобиле для аварийного питания часов на микросхемах серии К561 допускается подключение его к бортовой сети напряжением 12 В через развязывающий диод, предотвращающий перегрузку преобразователя.

Напряжение резервной батареи не должно превышать 4 В, иначе амплитуда выходного (умноженного) напряжения превысит максимально допустимое напряжение входных сигналов для микросхем серии К561, что приведет к выходу их из строя.

Отсутствие в преобразователе развязывающих диодов и транзисторных ключей обеспечивает КПД, достигающий 80...90%.

Специализированные микросхемы, принцип работы которых основан на переключении конденсаторов, позволяют создать исключительно простые и эффективные преобразователи напряжения [3.5]. На рис. 3.7 показано использование управляемых ключей и переключаемого конденсатора С1 для получения инверсного напряжения. При подаче на вход устройства управляющего сигнала прямоугольной формы (или формирования такого сигнала прямо в самой микросхеме для максимального упрощения преобразователя) вначале замкнуты ключи S1 и S3, ключи S2

3. Мультиплексорные преобразователи напряжения

и S4 — разомкнуты. Конденсатор С1 соединен с источником питания и заряжен от него. В следующий такт работы преобразователя ключи S1 и S3 разомкнуты, а ключи S2 и S4 — замкнуты. Конденсатор С1 положительно заряженной обкладкой соединяется с общей шиной, отрицательно заряженной присоединяется к выходному конденсатору (конденсатору фильтра) С2, соединенному с нагрузкой. В итоге к конденсатору С2 и сопротивлению нагрузки будет подключен конденсатор С1, на выходе устройства будет получено напряжение инвертированной полярности.

На таком принципе основана работа микросхем MAX828, MAX829 фирмы MAXIM, ICL7660A, ICL7660S, ICL7662 фирмы Harris Semiconductors (или ее отечественного аналога KP1168EP1), LM2664 фирмы National Semiconductor и др.

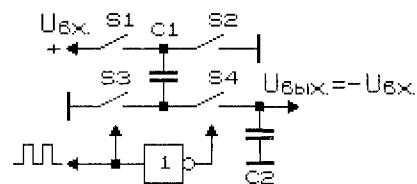


Рис. 3.7. Получение инверсного напряжения на основе управляемых ключей

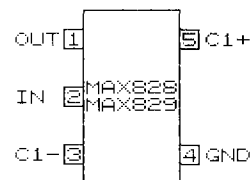


Рис. 3.8. Цоколевка микросхем MAX828, MAX829

Микросхемы MAX828, MAX829, цоколевка которых приведена на рис. 3.8, работают с частотами переключения 12 и 35 кГц, соответственно, причем на вход для преобразования и питания микросхем можно подавать напряжение 1,5...5,5 В. Выходной ток может достигать до 25 мА.

На рис. 3.9 показана типовая схема включения микросхем MAX828, MAX829 [3.5]. Преобразователь помимо самой микросхемы содержит лишь два конденсатора.

3. Мультиплексорные преобразователи напряжения

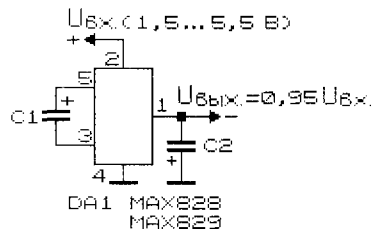


Рис. 3.9. Типовая схема включения микросхем MAX828 и MAX829

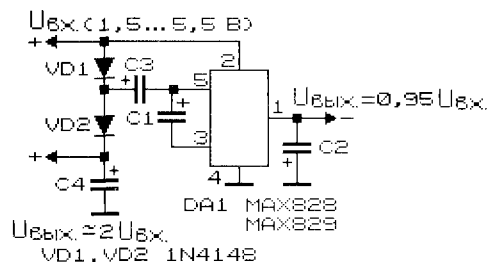


Рис. 3.10. Схема для получения выходных напряжений $-U$ и $+2U$

На рис. 3.10 показана возможность получения от этих микросхем одновременно инвертированного выходного напряжения и второго выходного напряжения, примерно равного удвоенному напряжению питания [3.5].

Принцип работы микросхем *ICL7660S* (*KP1168EP1*) аналогичен рассмотренному выше, однако внутреннее строение и цоколевки этих микросхем отличаются [3.5]. Входное напряжение (напряжение питания этих микросхем) в зависимости от модификаций может быть от 1,5 до 10 (12) В. Рабочая частота переключения конденсаторов — 10 кГц. При работе микросхем для преобразования малых напряжений (1,5...3 В), их вывод 6 замыкают на общий провод. Выходной ток может достигать в зависимости от уровня преобразуемого напряжения 10 мА и более.

Типовая схема включения микросхем *ICL7660S* (*KP1168EP1*) приведена на рис. 3.11 [3.5].

Для увеличения нагрузочной способности этих микросхем допускается неограниченное наращивание числа параллельно включенных микросхем (рис. 3.12), а для увеличения выходного напряжения — каскадное включение в соответствии с рис. 3.13 [3.5].

3. Мультиплексорные преобразователи напряжения

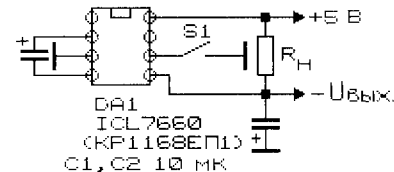


Рис. 3.11. Типовая схема включения микросхем *ICL7660S* (*KP1168EP1*)

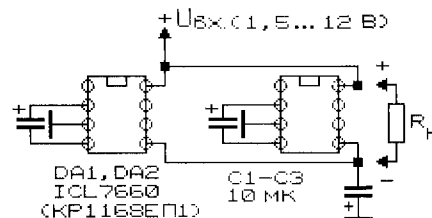


Рис. 3.12. Способ повышения нагрузочной способности преобразователей

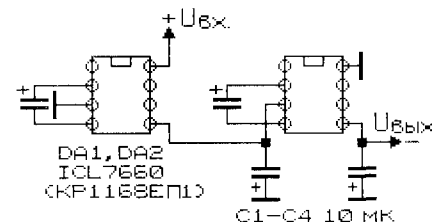


Рис. 3.13. Способ повышения выходного напряжения преобразователей

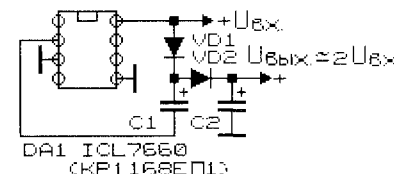


Рис. 3.14. Схема удвоителя напряжения на микросхеме *ICL7660S* (*KP1168EP1*)

Микросхемы *ICL7660S* (*KP1168EP1*) могут быть использованы для удвоения напряжения питания (рис. 3.14), для получения

3. Мультиплексорные преобразователи напряжения

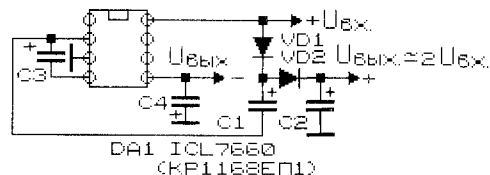


Рис. 3.15. Схема преобразователя напряжения на микросхеме ICL7660S (KP1168EP1)

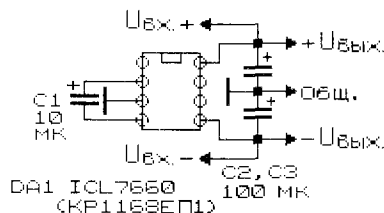


Рис. 3.16. Способ получения искусственной средней точки

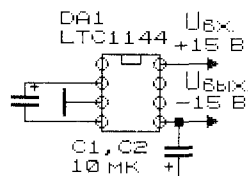


Рис. 3.17. Схема микромощного инвертирующего преобразователя напряжения на микросхеме LTC1144

удвоенного напряжения положительной полярности и инвертированного напряжения (рис. 3.15) [3.5].

Микросхемы ICL7660S (KP1168EP1) могут быть использованы для создания искусственной средней точки. Для этого микросхеме следует включить как показано на рис. 3.16 [3.6]. При этом работает внутренний генератор микросхемы, и конденсатор C1 поочередно подключается сначала к источнику питания, затем к конденсатору C2, после чего вновь к источнику питания и в заключение к конденсатору C3. Нагрузка устройства может быть несимметричной и для одного из плеч даже отсутствовать. При этом, разумеется, будет наблюдаться неравенство выходных напряжений.

Микромощный инвертирующий преобразователь напряжения (рис. 3.17), выполнен на специализированной микросхеме

3. Мультиплексорные преобразователи напряжения

LTC1144, предназначенной для переключения конденсаторов [3.7]. Микросхема выполнена по КМОП-технологии. Ее входное напряжение может достигать 20 В. При подаче на вход микросхемы напряжения 15 В на выходе формируется напряжение противоположной (отрицательной) полярности. При изменении тока нагрузки от 0 до 50 мА выходное напряжение снижается с 15 В до 12,6 В.

Собственный ток потребления преобразователя не превышает 1,2 мА, что обеспечивает высокую эффективность преобразования. В неактивном состоянии микросхема потребляет ток до 8 мкА.

Преобразователь напряжения на переключаемых конденсаторах с микросхемой LT1054 (рис. 3.18) также обеспечивает на выходе напряжение противоположной полярности [3.7]. При минимальном входном напряжении 6,5 В микросхема LT1054 может вырабатывать выходное стабильное напряжение –5 В при токе нагрузки до 100 мА. Максимальное входное напряжение может достигать 20 В.

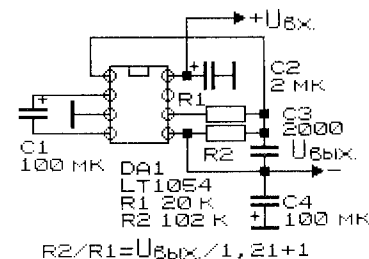


Рис. 3.18. Схема преобразователя напряжения на микросхеме LT1054

Микросхема LT1026 (рис. 3.19) предназначена для создания двухполярных источников питания $\pm 5 В$ [3.8]. При минимальном токе нагрузки и входном напряжении 5 В выходные напряжения преобразователя составляют 9 В. При возрастании тока нагрузки от 0 до 15 мА выходные напряжения плавно снижаются до 6 В. Преобразователь содержит несколько навесных конденсаторов небольшой емкости и габаритов.

Еще один тип преобразователей на переключаемых конденсаторах, имеющий иную схему перекачки заряда, может быть осуществлен по функциональной схеме, показанной на рис. 3.20. Это

3. Мультиплексорные преобразователи напряжения

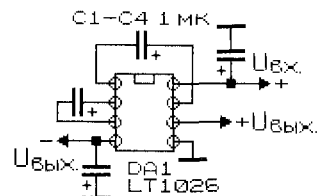


Рис. 3.19. Формирование двухполярного напряжения на микросхеме LT1026

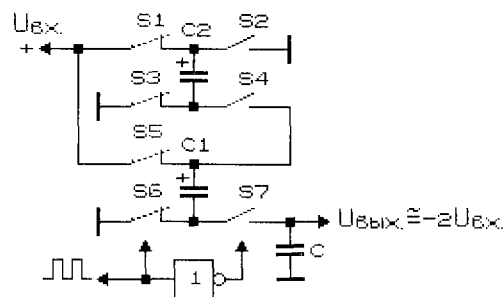


Рис. 3.20. Принцип получения удвоенного напряжения

удвоители-инверторы напряжения. К ним относятся, например, микросхемы типа *MAX868* и им подобные [3.5].

Принцип удвоения/инверсии напряжения ясен из рис. 3.20. Вначале конденсаторы *C1* и *C2* подключены параллельно источнику питания. В следующий такт они включаются уже последовательно и в другой полярности подключаются к сопротивлению нагрузки и конденсатору фильтра *C*.

Микросхемы работают при подводимом напряжении питания 1,5...5,5 В на частоте 450 кГц (300...600 кГц). Выходной ток может достигать 30...35 мА, а выходное отрицательное напряжение регулироваться в пределах $(1...2)U_{\text{пит}}$.

Типовое включение микросхемы *MAX868* для получения выходного напряжения -7,5 В и -3,3 В при напряжении питания +5 В показано на рис. 3.21 и 3.22, соответственно [3.5].

Для микросхем типа *MAX619* (рис. 3.23), также работающих с использованием переключаемых конденсаторов по принципу перекачки заряда, входное напряжение может быть в пределах 2,0...3,6 В при потребляемом преобразователем номинальном

3. Мультиплексорные преобразователи напряжения

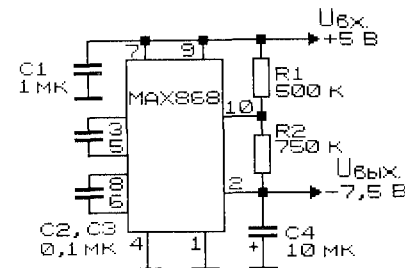


Рис. 3.21. Типовое включение микросхемы MAX868

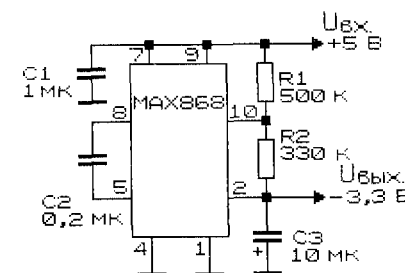


Рис. 3.22. Вариант типового включения микросхемы MAX868

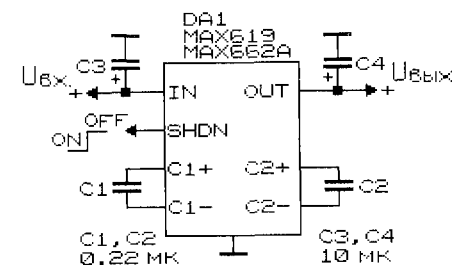


Рис. 3.23. Схема преобразователя напряжения на микросхеме MAX619 или MAX662A

токе 75 мА и максимальном — 150 мА [3.9]. Выходное напряжение преобразователя стабилизировано на уровне 5 В при токе нагрузки до 60 мА.

Микросхема аналогичного назначения *MAX662A* работает при повышенных входных и выходных напряжениях: входное — 4,75...5,5 В; выходное — стабилизированное, 12 В ± 5% при токе нагрузки до 30 мА.

3. Мультиплексорные преобразователи напряжения

Микросхемы *MAX619* и *MAX662A* могут включаться-отключаться логическим уровнем сигнала, подаваемого на вывод *SHDN* микросхемы.

Схема импульсного понижающего преобразователя напряжения, выполненного на основе специализированной микросхемы *LTC1911* фирмы Linear Technologies [3.10], показана на рис. 3.24.

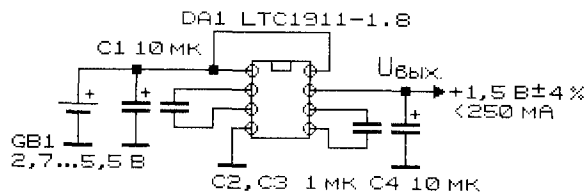


Рис. 3.24. Понижающий преобразователь напряжения на коммутируемых конденсаторах

При подаче на вход преобразователя напряжения в пределах $2,7 \dots 5,5 \text{ В}$ на выходе получается стабилизированное напряжение $1,5 \text{ В} \pm 4\%$ при токе нагрузки до 250 мА . *КПД* устройства намного выше *КПД* обычных (линейных) преобразователей напряжения и изменяется в пределах от 60 до 85% в зависимости от тока нагрузки. Собственный ток, потребляемый микросхемой, не превышает 180 мкА .

Преобразователь выполнен на основе переключаемых с частотой до $1,5 \text{ МГц}$ внешних (навесных) конденсаторов *C2* и *C3*. Пульсации выходного напряжения при максимальном токе нагрузки не превышают 12 мВ от пика до пика. Электролитические конденсаторы *C1* и *C4* должны быть типа *K53*. Параллельно им рекомендуется подключить керамические конденсаторы емкостью в доли *мкФ*.

4. Импульсные преобразователи напряжения

Для преобразования напряжения одного уровня в напряжение другого уровня часто применяют импульсные преобразователи напряжения с использованием индуктивных накопителей энергии. Такие преобразователи отличаются высоким *КПД*, иногда достигающим 95%, и обладают возможностью получения повышенного, пониженного или инвертированного выходного напряжения.

В соответствии с этим известно три типа схем преобразователей: понижающие (рис. 4.1), повышающие (рис. 4.2) и инвертирующие (рис. 4.3).

Общими для всех этих видов преобразователей являются пять элементов: источник питания, ключевой коммутирующий элемент, индуктивный накопитель энергии (катушка индуктивности, дроссель), блокировочный диод и конденсатор фильтра, включенный параллельно сопротивлению нагрузки.

Включение этих пяти элементов в различных сочетаниях позволяет реализовать любой из трех типов импульсных преобразователей.

Регулирование уровня выходного напряжения преобразователя осуществляется изменением ширины импульсов, управляющих работой ключевого коммутирующего элемента и, соответственно, запасаемой в индуктивном накопителе энергии.

Стабилизация выходного напряжения реализуется путем использования обратной связи: при изменении выходного напряжения происходит автоматическое изменение ширины импульсов.

Понижающий преобразователь (рис. 4.1) содержит последовательно включенную цепочку из коммутирующего элемента *S1*, индуктивного накопителя энергии *L1*, сопротивления нагрузки *R_н* и включенного параллельно ему конденсатора фильтра *C1* [4.1]. Блокировочный диод *VD1* подключен между точкой соединения ключа *S1* с накопителем энергии *L1* и общим проводом.

4. Импульсные преобразователи напряжения

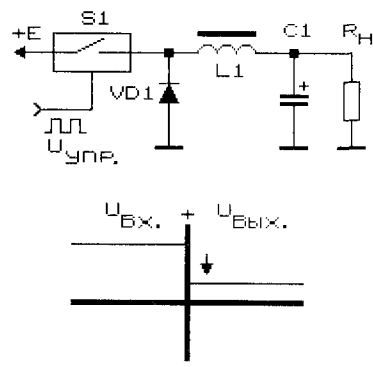


Рис. 4.1. Принцип действия понижающего преобразователя напряжения

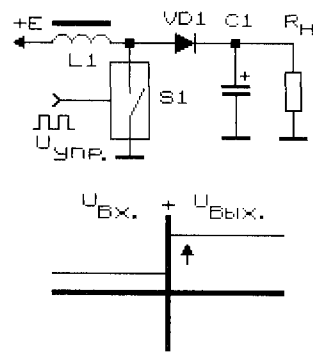


Рис. 4.2. Принцип действия повышающего преобразователя напряжения

При открытом ключе диод закрыт, энергия от источника питания накапливается в индуктивном накопителе энергии. После того, как ключ $S1$ будет закрыт (разомкнут), запасенная индуктивным накопителем $L1$ энергия через диод $VD1$ передается в сопротивление нагрузки R_n . Конденсатор $C1$ сглаживает пульсации напряжения.

Повышающий импульсный преобразователь напряжения (рис. 4.2) выполнен на тех же основных элементах, но имеет иное их сочетание: к источнику питания подключена последовательная цепочка из индуктивного накопителя энергии $L1$, диода $VD1$ и

4. Импульсные преобразователи напряжения

сопротивления нагрузки R_n с параллельно подключенным конденсатором фильтра $C1$ [4.1]. Коммутирующий элемент $S1$ включен между точкой соединения накопителя энергии $L1$ с диодом $VD1$ и общей шиной.

При открытом ключе ток от источника питания протекает через катушку индуктивности, в которой запасается энергия. Диод $VD1$ при этом закрыт, цепь нагрузки отключена от источника питания, ключа и накопителя энергии. Напряжение на сопротивлении нагрузки поддерживается благодаря запасенной на конденсаторе фильтра энергии. При размыкании ключа ЭДС самоиндукции суммируется с напряжением питания, запасенная энергия передается в нагрузку через открытый диод $VD1$. Полученное таким способом выходное напряжение превышает напряжение питания.

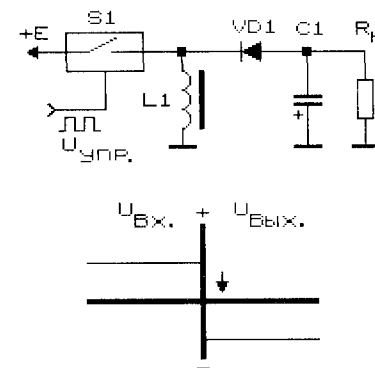


Рис. 4.3. Импульсное преобразование напряжения с инвертированием

Инвертирующий преобразователь импульсного типа содержит все то же сочетание основных элементов, но снова в ином их соединении (рис. 4.3): к источнику питания подключена последовательная цепочка из коммутирующего элемента $S1$, диода $VD1$ и сопротивления нагрузки R_n с конденсатором фильтра $C1$ [4.1]. Индуктивный накопитель энергии $L1$ включен между точкой соединения коммутирующего элемента $S1$ с диодом $VD1$ и общей шиной.

Работает преобразователь так: при замыкании ключа энергия запасается в индуктивном накопителе. Диод $VD1$ закрыт и не

4. Импульсные преобразователи напряжения

пропускает ток от источника питания в нагрузку. При отключении ключа ЭДС самоиндукции накопителя энергии оказывается приложенной к выпрямителю, содержащему диод VD1, сопротивление нагрузки R_n и конденсатор фильтра C1. Поскольку диод выпрямителя пропускает в нагрузку только импульсы отрицательного напряжения, на выходе устройства формируется напряжение отрицательного знака (инверсное, противоположное по знаку напряжению питания).

Для стабилизации выходного напряжения импульсных стабилизаторов любого типа могут быть использованы обычные «линейные» стабилизаторы, но они имеют низкий КПД. В этой связи гораздо логичнее для стабилизации выходного напряжения импульсных преобразователей использовать импульсные же стабилизаторы напряжения, тем более, что осуществить такую стабилизацию совсем несложно.

Импульсные стабилизаторы напряжения, в свою очередь, подразделяются на стабилизаторы с широтно-импульсной модуляцией и на стабилизаторы с частотно-импульсной модуляцией. В первых из них изменяется длительность управляющих импульсов при неизменной частоте их следования. Во вторых, напротив, изменяется частота управляющих импульсов при их неизменной длительности. Встречаются импульсные стабилизаторы и со смешанным регулированием.

Ниже будут рассмотрены радиолюбительские примеры эволюционного развития импульсных преобразователей и стабилизаторов напряжения.

Задающий генератор (рис. 4.4) импульсных преобразователей с нестабилизированным выходным напряжением (рис. 4.5, 4.6) на микросхеме KP1006BI1 работает на частоте 65 кГц [4.2]. Выходные прямоугольные импульсы генератора через RC-цепочки подаются на транзисторные ключевые элементы, включенные параллельно.

Катушка индуктивности L1 выполнена на ферритовом кольце с внешним диаметром 10 мм и магнитной проницаемостью 2000. Ее индуктивность равна 0,6 мГн. Коэффициент полезного действия преобразователя достигает 82%. Амплитуда пульсаций на выходе не превышает 42 мВ и зависит от величины емкости

4. Импульсные преобразователи напряжения

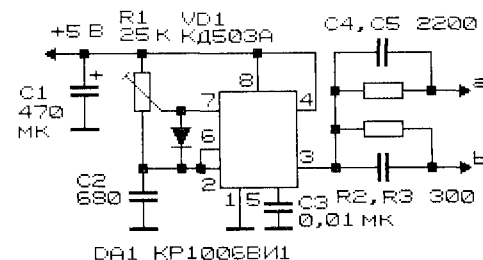


Рис. 4.4. Схема задающего генератора для импульсных преобразователей напряжения

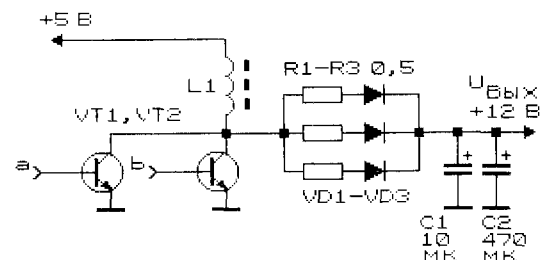


Рис. 4.5. Схема силовой части повышающего импульсного преобразователя напряжения +5/12 В

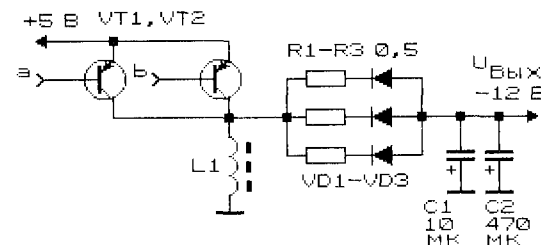


Рис. 4.6. Схема инвертирующего импульсного преобразователя напряжения +5/-12 В

конденсаторов на выходе устройства. Максимальный ток нагрузки устройств (рис. 4.5, 4.6) составляет 140 мА [4.2].

В выпрямителе преобразователя (рис. 4.5, 4.6) использовано параллельное соединение слаботочных высокочастотных диодов, включенных последовательно с выравнивающими резисторами R1 — R3 [4.2]. Вся эта сборка может быть заменена

4. Импульсные преобразователи напряжения

одним современным диодом, рассчитанным на ток более 200 мА при частоте до 100 кГц и обратном напряжении не менее 30 В (например, КД204, КД226). В качестве VT1 и VT2 возможно использование транзисторов типа КТ81х: структуры *n-p-n* — КТ815, КТ817 (рис. 4.5) и *p-n-p* — КТ814, КТ816 (рис. 4.6) и другие. Для повышения надежности работы преобразователя рекомендуется включить параллельно переходу эмиттер — коллектор транзистора диод типа КД204, КД226 таким образом, чтобы для постоянного тока он был закрыт.

Для получения выходного напряжения величиной 30...80 В П. Беяцкий [4.3] использовал преобразователь с задающим генератором на основе несимметричного мультивибратора с выходным каскадом, нагруженным на индуктивный накопитель энергии — катушку индуктивности (дроссель) L1 (рис. 4.7).

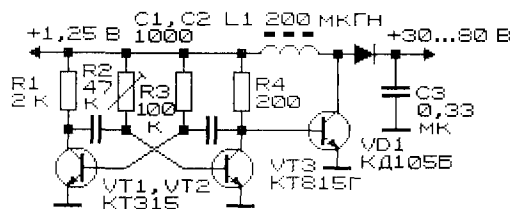


Рис. 4.7. Схема преобразователя напряжения с задающим генератором на основе несимметричного мультивибратора

Устройство работоспособно в диапазоне питающих напряжений 1,0...1,5 В и имеет КПД до 75%.

В схеме можно применить стандартный дроссель ДМ-0,4-125 или иной с индуктивностью 120...200 мкГн.

Вариант выполнения выходного каскада преобразователя напряжения [4.4] показан на рис. 4.8. При подаче на вход каскада управляющих сигналов прямоугольной формы ТТЛ-уровня (5 В) на выходе преобразователя при его питании от источника напряжением 12 В получено напряжение 250 В при токе нагрузки 3...5 мА (сопротивление нагрузки около 100 кОм). Индуктивность дросселя L1 — 1 мГн.

В качестве VT1 можно использовать отечественный транзистор, например, КТ604, КТ605, КТ704Б, КТ940А(Б), КТ969А и др.

4. Импульсные преобразователи напряжения

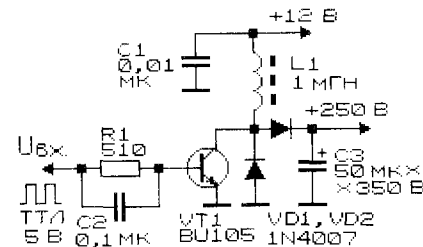


Рис. 4.8. Вариант выполнения выходного каскада преобразователя напряжения

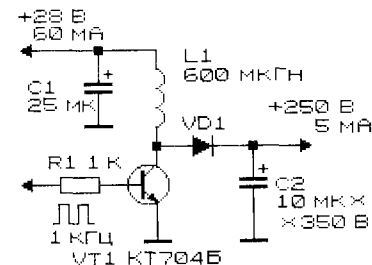


Рис. 4.9. Схема выходного каскада преобразователя напряжения

Аналогичная схема выходного каскада (рис. 4.9) позволила при питании от источника напряжением 28 В и потребляемом токе 60 мА получить выходное напряжение 250 В при токе нагрузки 5 мА [4.5]. Индуктивность дросселя — 600 мкГн. Частота управляющих импульсов — 1 кГц.

В зависимости от качества изготовления дросселя на выходе может быть получено напряжение 150...450 В при мощности около 1 Вт и КПД до 75%.

Преобразователь напряжения [4.6], выполненный на основе генератора импульсов на микросхеме DA1 КР1006ВИ1, усилителя на основе полевого транзистора VT1 и индуктивного накопителя энергии с выпрямителем и фильтром, показан на рис. 4.10.

На выходе преобразователя при напряжении питания 9 В и потребляемом токе 80...90 мА образуется напряжение 400...425 В. Следует отметить, что величина выходного напряжения не гарантирована — она существенно зависит от способа выполнения катушки индуктивности (дросселя) L1. Для получения

4. Импульсные преобразователи напряжения

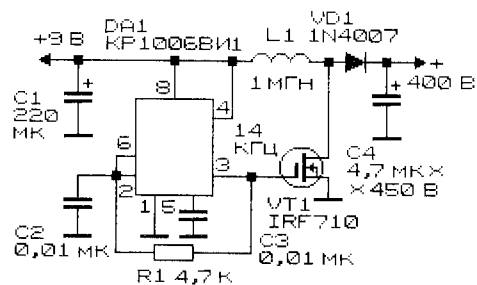


Рис. 4.10. Схема преобразователя напряжения с генератором импульсов на микросхеме KP1006BI1

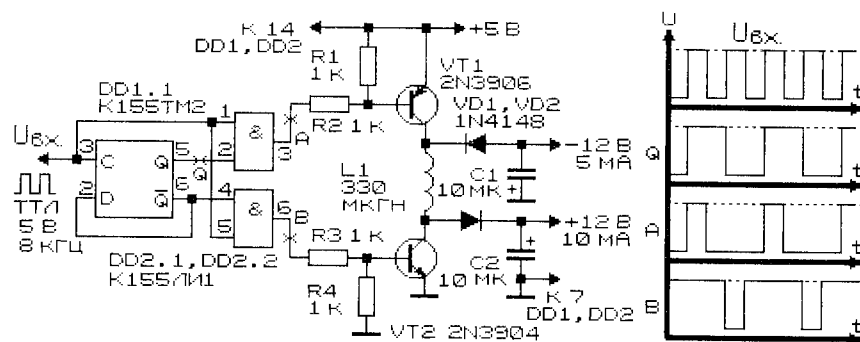


Рис. 4.11. Схема преобразователя с одним индуктивным элементом

нужного напряжения проще всего экспериментально подобрать катушку индуктивности для достижения требуемого напряжения или использовать умножитель напряжения.

Для питания многих электронных устройств требуется источник двухполярного напряжения, обеспечивающий положительное и отрицательное напряжения питания. Схема, приведенная на рис. 4.11, содержит гораздо меньшее число компонентов, чем аналогичные устройства, благодаря тому, что она одновременно выполняет функции повышающего и инвертирующего индуктивного преобразователя [4.7].

Схема преобразователя (рис. 4.11) использует новое сочетание основных компонентов и включает в себя генератор четырехфазных импульсов, катушку индуктивности и два транзисторных ключа.

4. Импульсные преобразователи напряжения

Управляющие импульсы формирует D-триггер (DD1.1) [4.8]. В течение первой фазы импульсов катушка индуктивности L1 запасается энергией через транзисторные ключи VT1 и VT2. В течение второй фазы ключ VT2 размыкается, и энергия передается на шину положительного выходного напряжения. Во время третьей фазы замыкаются оба ключа, в результате чего катушка индуктивности вновь накапливает энергию. При размыкании ключа VT1 во время заключительной фазы импульсов эта энергия передается на отрицательную шину питания. При поступлении на вход импульсов с частотой 8 кГц схема обеспечивает выходные напряжения ± 12 В. На временной диаграмме (рис. 4.11, справа) показано формирование управляющих импульсов.

В схеме можно использовать транзисторы KT315, KT361.

Преобразователь напряжения (рис. 4.12) позволяет получить на выходе стабилизированное напряжение 30 В [4.9]. Напряжение такой величины используется для питания варикапов, а также вакуумных люминесцентных индикаторов.

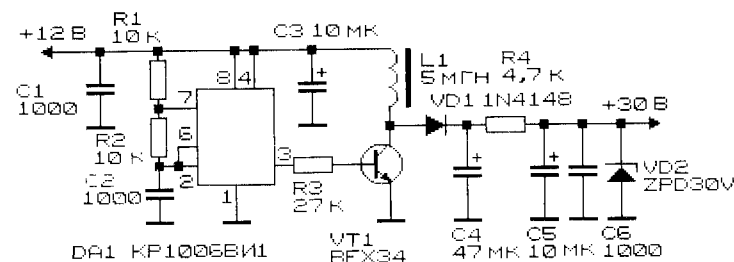


Рис. 4.12. Схема преобразователя напряжения с выходным стабилизированным напряжением 30 В

На микросхеме DA1 типа KP1006BI1 по обычной схеме собран задающий генератор, вырабатывающий прямоугольные импульсы с частотой около 40 кГц. К выходу генератора подключен транзисторный ключ VT1, коммутирующий катушку индуктивности L1. Амплитуда импульсов при коммутации катушки зависит от качества ее изготовления. Во всяком случае напряжение на ней достигает десятков вольт. Выходное напряжение выпрямляется диодом VD1. К выходу выпрямителя подключен П-образный RC-фильтр и стабилитрон VD2. Напряжение на выходе стабилизатора целиком определяется типом используемого стабилитрона. В

4. Импульсные преобразователи напряжения

качестве «высоковольтного» стабилитрона можно использовать цепочку стабилитронов, имеющих более низкое напряжение стабилизации.

Преобразователь напряжения с индуктивным накопителем энергии [4.10], позволяющий поддерживать на выходе стабильное регулируемое напряжение, показан на рис. 4.13.

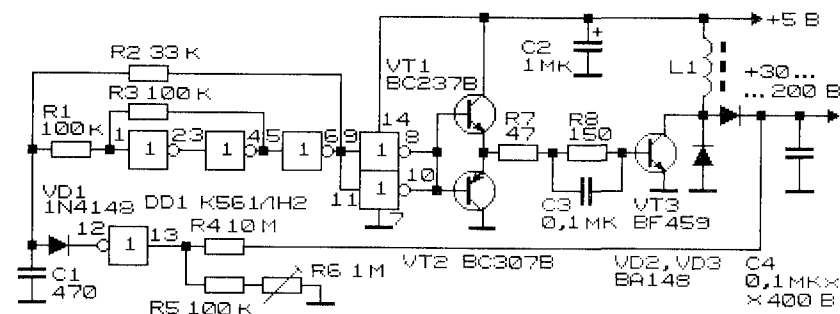


Рис. 4.13. Схема преобразователя напряжения со стабилизацией

Схема содержит генератор импульсов, двухкаскадный усилитель мощности, индуктивный накопитель энергии, выпрямитель, фильтр, схему стабилизации выходного напряжения. Резистором R_6 устанавливают необходимое выходное напряжение в пределах от 30 до 200 В.

Аналоги транзисторов: $BC237B$ — $KT342A$, $KT3102$; $BC307B$ — $KT3107И$; $BF459$ — $KT940A$.

Два варианта — понижающего и инвертирующего преобразователей напряжения [4.1] показаны на рис. 4.14. Первый из них обеспечивает выходное напряжение 8,4 В при токе нагрузки до 300 мА, второй — позволяет получить напряжение отрицательной полярности (–19,4 В) при таком же токе нагрузки. Выходной транзистор VT_3 должен быть установлен на радиатор.

Аналоги транзисторов: $2N2222$ — $KT3117A$; $2N4903$ — $KT814$.

Понижающий стабилизированный преобразователь напряжения, использующий в качестве задающего генератора микросхему $KP1006BИ1$ ($DA1$) и имеющий защиту по току нагрузки, [4.1] показан на рис. 4.15. Выходное напряжение составляет 10 В при токе нагрузки до 100 мА. При изменении сопротивления нагрузки

4. Импульсные преобразователи напряжения

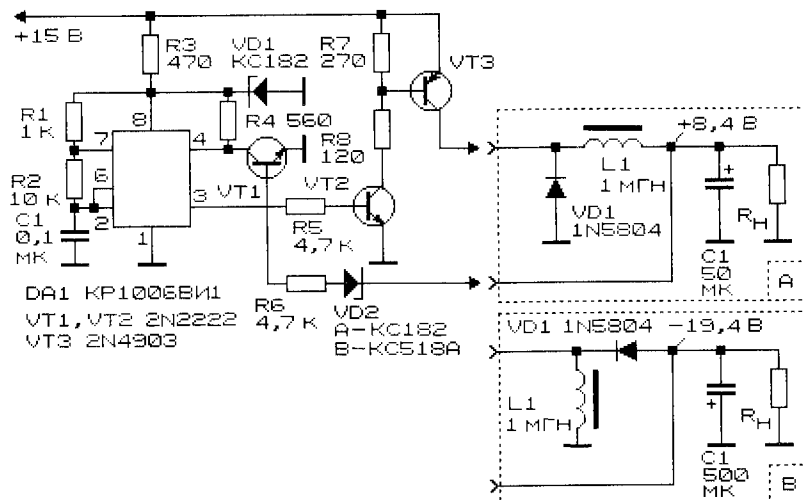


Рис. 4.14. Схемы стабилизированных преобразователей напряжения

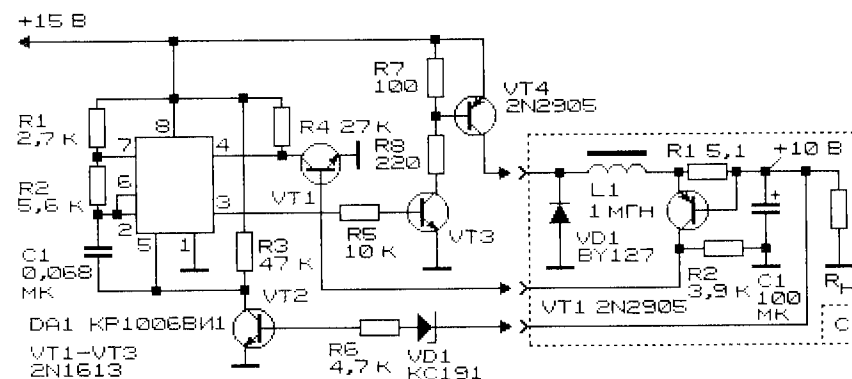


Рис. 4.15. Схема понижающего преобразователя напряжения

на 1% выходное напряжение преобразователя изменяется не более чем на 0,5%.

Аналоги транзисторов: $2N1613$ — $KT630Г$; $2N2905$ — $KT3107E$, $KT814$.

Для питания радиоэлектронных схем, содержащих операционные усилители, часто требуются двухполярные источники

4. Импульсные преобразователи напряжения

питания. Решить эту проблему можно, используя инвертор напряжения, схема которого показана на рис. 4.16 [4.11].

Устройство содержит генератор прямоугольных импульсов, нагруженный на дроссель L1. Напряжение с дросселя выпрямляется диодом VD2 и поступает на выход устройства (конденсаторы фильтра C3 и C4 и сопротивление нагрузки). Стабилитрон VD1 обеспечивает постоянство выходного напряжения — регулирует длительность импульса положительной полярности на дросселе.

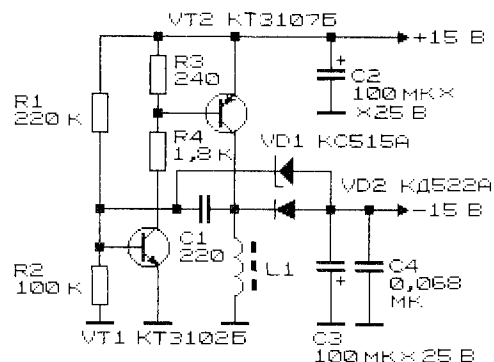


Рис. 4.16. Схема инвертора напряжения +15/-15 В

Рабочая частота генерации — около 200 кГц под нагрузкой и до 500 кГц без нагрузки. Максимальный ток нагрузки — до 50 мА. КПД устройства — 80%.

Недостатком конструкции является относительно высокий уровень электромагнитных помех, впрочем, характерный и для других подобных схем.

В качестве L1 использован дроссель ДМ-0,2-200.

Наиболее удобно собирать высокоэффективные современные преобразователи напряжения, используя специально созданные для этих целей микросхемы.

Микросхема KP1156EY5 (MC33063A, MC34063A фирмы Motorola) предназначена для работы в стабилизированных повышающих, понижающих, инвертирующих преобразователях мощностью в несколько ватт.

На рис. 4.17 приведена схема повышающего преобразователя напряжения на микросхеме KP1156EY5 [4.12]. Преобразователь

4. Импульсные преобразователи напряжения

содержит входные и выходные фильтрующие конденсаторы C1, C3, C4, накопительный дроссель L1, выпрямительный диод VD1, конденсатор C2, задающий частоту работы преобразователя, дроссель фильтра L2 для сглаживания пульсаций. Резистор R1 служит датчиком тока. Делитель напряжения R2, R3 определяет величину выходного напряжения.

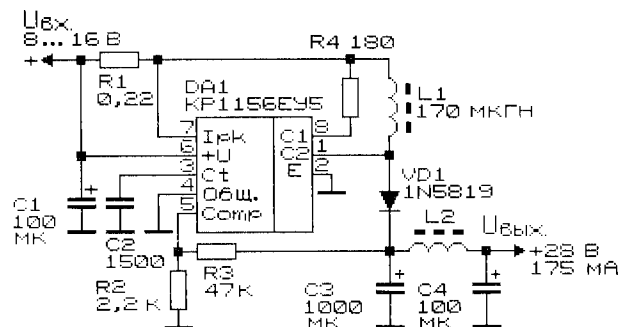


Рис. 4.17. Схема повышающего преобразователя напряжения на микросхеме KP1156EY5

Частота работы преобразователя близка к 15 кГц при входном напряжении 12 В и номинальной нагрузке. Размах пульсаций напряжения на конденсаторах C3 и C4 составлял соответственно 70 и 15 мВ.

Дроссель L1 индуктивностью 170 мкГн намотан на трех склеенных кольцах К12х8х3 М4000НМ проводом ПЭШО 0,5. Обмотка состоит из 59 витков. Каждое кольцо перед намоткой следует разломить на две части. В один из зазоров вводят общую прокладку из текстолита толщиной 0,5 мм и склеивают пакет. Можно также применить кольца из феррита с магнитной проницаемостью свыше 1000.

Пример выполнения понижающего преобразователя на микросхеме KP1156EY5 приведен на рис. 4.18 [4.12]. На вход такого преобразователя нельзя подавать напряжение более 40 В. Частота работы преобразователя — 30 кГц при $U_{вх}=15$ В. Размах пульсаций напряжения на конденсаторах C3 и C4 — 50 мВ.

Дроссель L1 индуктивностью 220 мкГн намотан аналогичным образом (см. выше) на трех кольцах, но зазор при склейке

4. Импульсные преобразователи напряжения

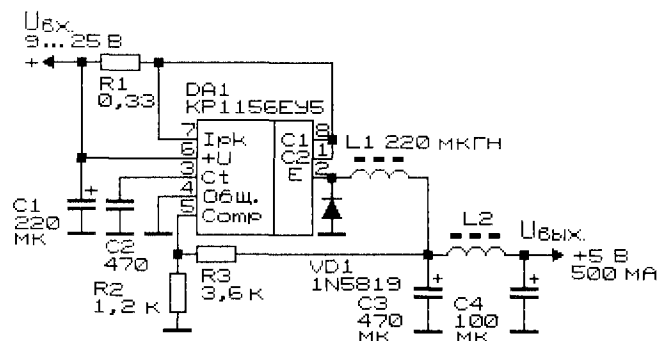


Рис. 4.18. Схема понижающего преобразователя напряжения на микросхеме KP1156EY5

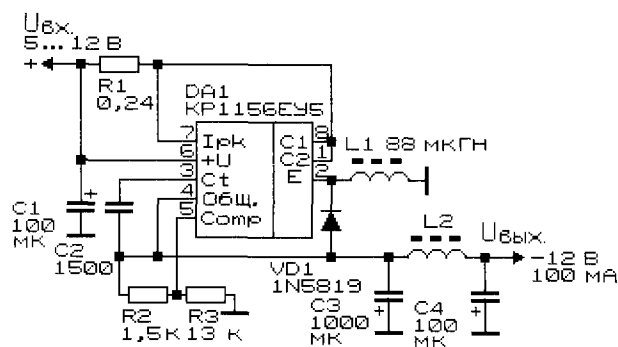


Рис. 4.19. Схема инвертирующего преобразователя напряжения на микросхеме KP1156EY5

был установлен 0,25 мм, обмотка содержала 55 витков такого же провода.

На следующем рисунке (рис. 4.19) показана типовая схема инвертирующего преобразователя напряжения на микросхеме KP1156EY5 [4.12]. Микросхема DA1 питается суммой входного и выходного напряжений, которая не должна превышать 40 В.

Частота работы преобразователя — 30 кГц при $U_{вх}=5 В$; размах пульсаций напряжения на конденсаторах C3 и C4 — 100 и 40 мВ.

Для дросселя L1 инвертирующего преобразователя индуктивностью 88 мкГн были использованы два кольца K12x8x3

4. Импульсные преобразователи напряжения

M4000NM с зазором 0,25 мм. Обмотка состоит из 35 витков провода ПЭВ-2 0,7.

Дроссель L2 во всех преобразователях стандартный — ДМ-2,4 индуктивностью 3 мкГн.

Диод VD1 во всех схемах (рис. 4.17 — 4.19) должен быть диодом Шотки.

Для получения двухполярного напряжения из однополярного фирмой MAXIM разработаны специализированные микросхемы. На рис. 4.20 показана возможность преобразования напряжения низкого уровня (4,5...5 В) в двухполярное выходное напряжение 12 (или 15 В) при токе нагрузки до 130 (или 100 мА) [4.13].

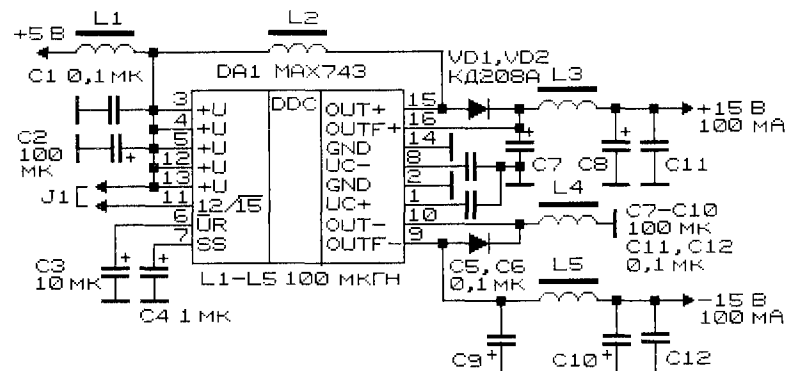


Рис. 4.20. Схема преобразователя напряжения на микросхеме MAX743

По внутренней структуре микросхема не отличается от типового построения подобного рода преобразователей, выполненных на дискретных элементах, однако интегральное исполнение позволяет при минимальном количестве внешних элементов создавать высокоэффективные преобразователи напряжения.

Так, для микросхемы MAX743 (рис. 4.20) частота преобразования может достигать 200 кГц (что намного превышает частоту преобразования подавляющего большинства преобразователей, выполненных на дискретных элементах). При напряжении питания 5 В КПД составляет 80...82% при нестабильности выходного напряжения не более 3%.

4. Импульсные преобразователи напряжения

Микросхема снабжена защитой от аварийных ситуаций: при снижении питающего напряжения на 10% ниже нормы, а также при перегреве корпуса (выше 195°C).

Для снижения на выходе преобразователя пульсаций с частотой преобразования (200 кГц) на выходах устройства установлены П-образные LC-фильтры. Переключатель J1 на выводах 11 и 13 микросхемы предназначена для изменения величины выходных напряжений.

Для преобразования напряжения низкого уровня (2,0...4,5 В) в стабилизированное 3,3 или 5,0 В предназначена специальная микросхема, разработанная фирмой MAXIM, — MAX765. Отечественные аналоги — КР1446ПН1А и КР1446ПН1Б [4.14]. Микросхема близкого назначения — MAX757 — позволяет получить на выходе плавно регулируемое напряжение в пределах 2,7...5,5 В.

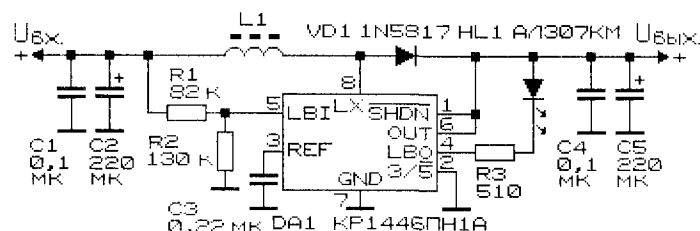


Рис. 4.21. Схема низковольтного повышающего преобразователя напряжения до уровня 3,3 или 5,0 В

Схема преобразователя, показанная на рис. 4.21, содержит незначительное количество внешних (навесных) деталей. Работает это устройство по традиционному принципу, описанному ранее. Рабочая частота генератора зависит от величины входного напряжения и тока нагрузки и изменяется в широких пределах — от десятков Гц до 100 кГц. Величина выходного напряжения определяется тем, куда подключен вывод 2 микросхемы DA1: если он соединен с общей шиной (см. рис. 4.21), выходное напряжение микросхемы КР1446ПН1А равно $5,0 \pm 0,25$ В, если же этот вывод соединен с выводом 6, то выходное напряжение понизится до $3,3 \pm 0,15$ В. Для микросхемы КР1446ПН1Б значения будут $5,2 \pm 0,45$ В и $3,44 \pm 0,29$ В, соответственно. Максимальный выходной ток преобразователя — 100 мА. Микросхема MAX765 обеспечивает выходной ток 200 мА при напряжении

4. Импульсные преобразователи напряжения

5 В и 300 мА при напряжении 3,3 В. КПД преобразователя — до 80%.

Назначение вывода 1 (SHDN) — временное отключение преобразователя путем замыкания этого вывода на общий провод. Напряжение на выходе в этом случае понизится до значения, несколько меньшего, чем входное напряжение.

Светодиод HL1 предназначен для индикации аварийного снижения питающего напряжения (ниже 2 В), хотя сам преобразователь способен работать и при более низких значениях входного напряжения (до 1,25 В и ниже).

Дроссель L1 выполняют на кольце К10х6х4,5 из феррита М2000НМ1. Он содержит 28 витков провода ПЭШО 0,5 мм и имеет индуктивность 22 мкГн. Перед намоткой ферритовое кольцо разламывают пополам, предварительно надпилив алмазным надфилем. Затем кольцо склеивают эпоксидным клеем, установив в один из образовавшихся зазоров текстолитовую прокладку толщиной 0,5 мм. Индуктивность полученного таким образом дросселя зависит в большей степени от толщины зазора и в меньшей — от магнитной проницаемости сердечника и числа витков катушки. Если смириться с увеличением уровня электромагнитных помех, то можно использовать дроссель типа ДМ-2,4 индуктивностью 20 мкГн.

Конденсаторы C2 и C5 типа К53 (К53-18), C1 и C4 — керамические (для снижения уровня высокочастотных помех), VD1 — диод Шотки (1N5818, 1N5819, SR106, SR160 и др.).

Преобразователь (сетевой блок питания фирмы «Philips», рис. 4.22) при входном напряжении 220 В обеспечивает выходное стабилизированное напряжение 12 В при мощности нагрузки 2 Вт [4.15].

Бестрансформаторный источник питания (рис. 4.23) предназначен для питания портативных и карманных приемников от сети переменного тока напряжением 220 В [4.16]. Следует учитывать, что этот источник электрически не изолирован от питающей сети. При выходном напряжении 9 В и токе нагрузки 50 мА источник питания потребляет от сети около 8 мА.

Сетевое напряжение, выпрямленное диодным мостом VD1 — VD4 (рис. 4.23), заряжает конденсаторы C1 и C2. Время

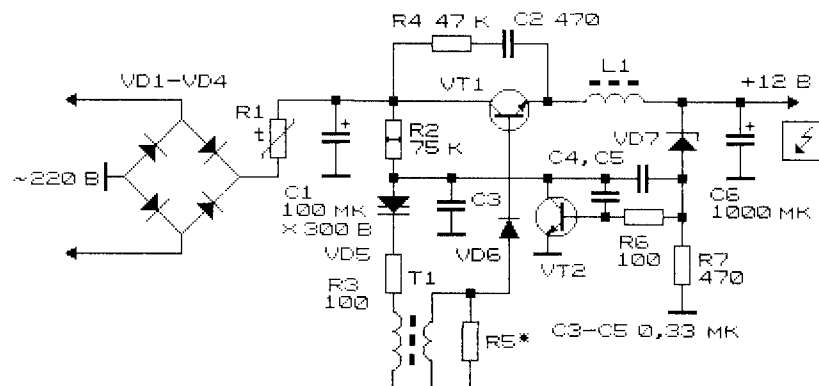


Рис. 4.22. Схема сетевого блока питания фирмы «Philips»

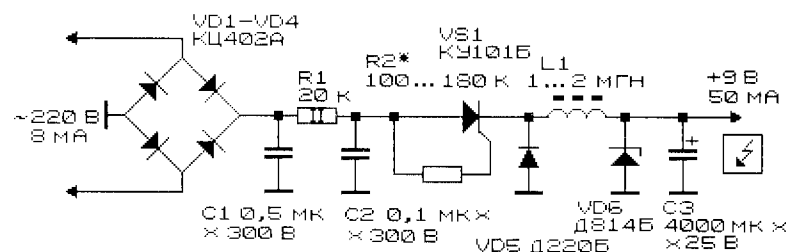


Рис. 4.23. Схема бестрансформаторного источника питания на основе импульсного преобразователя напряжения

заряда конденсатора C2 определяется постоянной цепи R1, C2. В первый момент после включения устройства тиристор VS1 закрыт, но при некотором напряжении на конденсаторе C2 он откроется и подключит к этому конденсатору цепь L1, C3. При этом от конденсатора C2 будет заряжаться конденсатор C3 большой емкости. Напряжение на конденсаторе C2 будет уменьшаться, а на C3 — увеличиваться.

Ток через дроссель L1, равный нулю в первый момент после открывания тиристора, постепенно увеличивается до тех пор, пока напряжения на конденсаторах C2 и C3 не уравниваются. Как только это произойдет, тиристор VS1 закроется, но энергия, запасенная в дросселе L1, будет некоторое время поддерживать ток заряда конденсатора C3 через открывшийся диод VD5. Далее диод VD5 закрывается, и начинается относительно медленный

разряд конденсатора C3 через нагрузку. Стабилитрон VD6 ограничивает напряжение на нагрузке.

Как только закрывается тиристор VS1 напряжение на конденсаторе C2 снова начинает увеличиваться. В некоторый момент тиристор снова открывается, и начинается новый цикл работы устройства. Частота открывания тиристора в несколько раз превышает частоту пульсации напряжения на конденсаторе C1 и зависит от номиналов элементов цепи R1, C2 и параметров тиристора VS1.

Конденсаторы C1 и C2 — типа МБМ на напряжение не ниже 250 В. Дроссель L1 имеет индуктивность 1...2 МГH и сопротивление не более 0,5 Ом. Он намотан на цилиндрическом каркасе диаметром 7 мм. Ширина обмотки 10 мм, она состоит из пяти слоев провода ПЭВ-2 0,25 мм, намотанного плотно, виток к витку. В отверстие каркаса вставлен подстроечный сердечник СС2,8х12 из феррита М200НН-3. Индуктивность дросселя можно менять в широких пределах, а иногда и исключить его совсем.

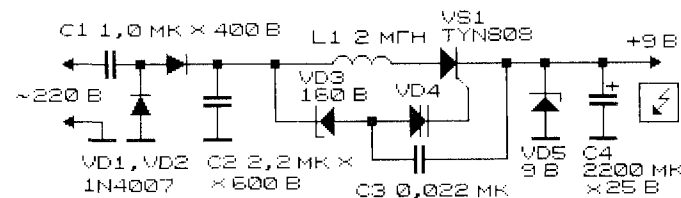


Рис. 4.24. Схема понижающего преобразователя напряжения с сетевым бестрансформаторным питанием

Схемы устройств для преобразования энергии показаны на рис. 4.24 и 4.25 [4.17]. Они представляют собой понижающие преобразователи энергии с питанием от выпрямителей с гасящим конденсатором. Напряжение на выходе устройств стабилизировано. В качестве динисторов VD4 можно использовать отечественные низковольтные аналоги — КН102А, Б. Как и предыдущее устройство (рис. 4.23), источники питания (рис. 4.24 и 4.25) имеют гальваническую связь с питающей сетью.

В преобразователе напряжения С. Ф. Сиколенко с «импульсным накоплением энергии» (рис. 4.26) ключи К1 и К2 выполнены на транзисторах КТ630, система управления (СУ) — на микросхеме серии К564 [4.18]. Накопительный конденсатор C1 —

4. Импульсные преобразователи напряжения

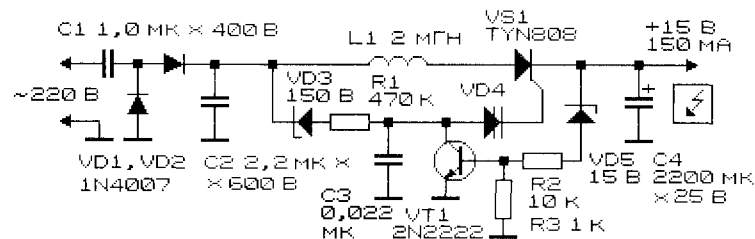


Рис. 4.25. Вариант схемы понижающего преобразователя напряжения с сетевым бестрансформаторным питанием

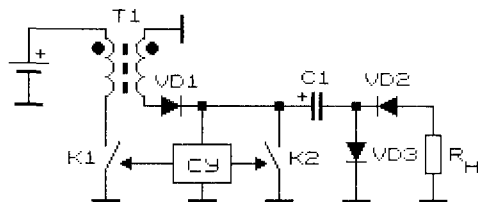


Рис. 4.26. Схема преобразователя напряжения с импульсным накоплением

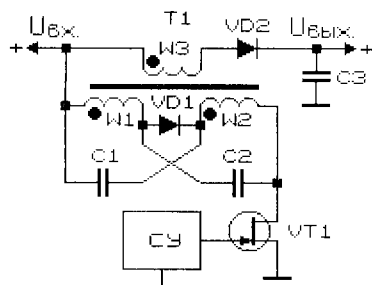


Рис. 4.27. Схема импульсно-резонансного преобразователя
Н. М. Музыченко

47 мкФ. В качестве источника питания используется батарея напряжением 9 В. Выходное напряжение на сопротивлении нагрузки 1 кОм достигает 50 В. КПД составляет 80% и возрастает до 95% при использовании в качестве ключевых элементов K1 и K2 МОП-структур типа RFLIN20L.

Импульсно-резонансные преобразователи конструкции к.т.н. Н. М. Музыченко, один из которых показан на рис. 4.27

4. Импульсные преобразователи напряжения

[4.19], в зависимости от формы тока в ключе VT1 делятся на три разновидности, в которых коммутирующие элементы замыкаются при нулевом токе, а размыкаются — при нулевом напряжении. На этапе переключения преобразователи работают как резонансные, а остальную, большую, часть периода — как импульсные.

Отличительной чертой таких преобразователей является то, что их силовая часть выполнена в виде индуктивно-емкостного моста с коммутатором в одной диагонали и с коммутатором и источником питания в другом. Такие схемы (рис. 4.27) отличаются высокой эффективностью.

5. Импульсные источники питания

Импульсные источники питания стали фактически неотъемлемым атрибутом любой современной бытовой техники, потребляющей от сети мощность свыше 100 Вт. В эту категорию попадают компьютеры, телевизоры, мониторы.

Для создания импульсных источников питания, примеры конкретного воплощения которых будут приведены ниже, применяются специальные схемные решения.

Так, для исключения сквозных токов через выходные транзисторы некоторых импульсных источников питания используют специальную форму импульсов, а именно, биполярные импульсы прямоугольной формы, имеющие между собой промежуток во времени. Продолжительность этого промежутка должна быть больше времени рассасывания неосновных носителей в базе выходных транзисторов, иначе эти транзисторы будут повреждены. Ширина управляющих импульсов с целью стабилизации выходного напряжения может изменяться с помощью обратной связи.

Обычно для обеспечения надежности в импульсных источниках питания используют высоковольтные транзисторы, которые в силу технологических особенностей не отличаются в лучшую сторону (имеют низкие частоты переключения, малые коэффициенты передачи по току, значительные токи утечки, большие падения напряжения на коллекторном переходе в открытом состоянии). Особенно это касается устаревших ныне моделей отечественных транзисторов типа *КТ809*, *КТ812*, *КТ826*, *КТ828* и многих других. Стоит сказать, что в последние годы появилась достойная замена биполярным транзисторам, традиционно используемых в выходных каскадах импульсных источников питания. Это специальные высоковольтные полевые транзисторы отечественного, и, главным образом, зарубежного производства. Кроме того, существуют многочисленные микросхемы для импульсных источников питания.

Биполярные симметричные импульсы регулируемой ширины позволяет получить генератор импульсов по схеме на рис. 5.1 [5.1]. Устройство может быть использовано в схемах

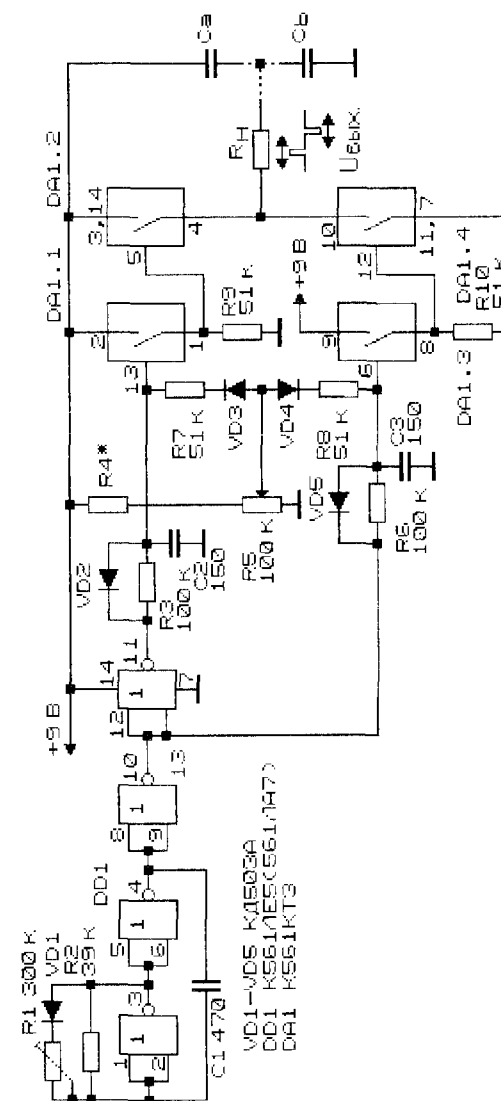


Рис. 5.1. Схема формирователя биполярных симметричных импульсов регулируемой длительности

авторегулирования выходной мощности импульсных источников питания. На микросхеме DD1 (*K561ЛЕ5/K561ЛА7*) собран генератор прямоугольных импульсов со скважностью, равной 2. Симметрии генерируемых импульсов добиваются регулировкой резистора R1. Рабочую частоту генератора (44 кГц) при необходимости можно изменить подбором емкости конденсатора C1.

На элементах DA1.1, DA1.3 (*K561КТ3*) собраны компараторы напряжения; на DA1.2, DA1.4 — выходные ключи. На входы компараторов-ключей DA1.1, DA1.3 в противофазе через формирующие RC-диодные цепочки (R3, C2, VD2 и R6, C3, VD5) подаются прямоугольные импульсы. Заряд конденсаторов C2, C3 происходит по экспоненциальному закону через R3 и R5, соответственно; разряд — практически мгновенно через диоды VD2 и VD5. Когда напряжение на конденсаторе C2 или C3 достигнет порога срабатывания компараторов-ключей DA1.1 или DA1.3, соответственно, происходит их включение, и резисторы R9 и R10, а также управляющие входы ключей DA1.2 и DA1.4 подключаются к положительному полюсу источника питания.

Поскольку включение ключей производится в противофазе, такое переключение происходит строго поочередно, с паузой между импульсами, что исключает возможность протекания сквозного тока через ключи DA1.2 и DA1.4 и управляемые ими транзисторы преобразователя, если генератор двухполярных импульсов используется в схеме импульсного источника питания. Плавное регулирование ширины импульсов осуществляется одновременной подачей стартового (начального) напряжения на входы компараторов (конденсаторы C2, C3) с потенциометра R5 через диодно-резистивные цепочки VD3, R7 и VD4, R8. Предельный уровень управляющего напряжения (максимальную ширину выходных импульсов) устанавливают подбором резистора R4.

Сопrotивление нагрузки можно подключить по мостовой схеме — между точкой соединения элементов DA1.2, DA1.4 и конденсаторами Ca, Cb. Импульсы с генератора можно подать и на транзисторный усилитель мощности.

При использовании генератора двухполярных импульсов в схеме импульсного источника питания в состав резистивного делителя R4, R5 следует включить регулирующий элемент — полевой транзистор, фотодиод оптрона и т.д., позволяющий при

уменьшении/увеличении тока нагрузки автоматически регулировать ширину генерируемого импульса, управляя тем самым выходной мощностью преобразователя.

В качестве примера практической реализации импульсных источников питания приведем описания и схемы некоторых из них.

Импульсный источник питания (рис. 5.2) состоит из выпрямителей сетевого напряжения, задающего генератора, формирователя прямоугольных импульсов регулируемой длительности, двухкаскадного усилителя мощности, выходных выпрямителей и схемы стабилизации выходного напряжения [5.2].

Задающий генератор выполнен на микросхеме типа *K555ЛА3* (элементы DD1.1, DD1.2) и вырабатывает прямоугольные импульсы частотой 150 кГц. На элементах DD1.3, DD1.4 собран RS-триггер, на выходе которого частота вдвое меньше — 75 кГц. Узел управления длительностью коммутирующих импульсов реализован на микросхеме типа *K555ЛИ1* (элементы DD2.1, DD2.2), а регулировка длительности осуществляется с помощью оптрона U1.

Выходной каскад формирователя коммутирующих импульсов собран на элементах DD2.3, DD2.4. Максимальная мощность на выходе формирователя импульсов достигает 40 мВт. Предварительный усилитель мощности выполнен на транзисторах VT1, VT2 типа *КТ645А*, а оконечный — на транзисторах VT3, VT4 типа *КТ828* или более современных. Выходная мощность каскадов — 2 и 60...65 Вт, соответственно.

На транзисторах VT5, VT6 и оптроне U1 собрана схема стабилизации выходного напряжения. Если напряжение на выходе источника питания ниже нормы (12 В), стабилитроны VD19, VD20 (*КС182+КС139*) закрыты, транзистор VT5 закрыт, транзистор VT6 открыт, через светодиод (U1.2) оптрона протекает ток, ограниченный сопротивлением R14; сопротивление фотодиода (U1.1) оптрона минимально. Сигнал, снимаемый с выхода элемента DD2.1 и поступающий на входы схемы совпадения DD2.2 напрямую и через регулируемый элемент задержки (R3 — R5, C4, VD2, U1.1), в силу его малой постоянной времени поступает практически одновременно на входы схемы совпадения (элемент DD2.2). На выходе этого элемента формируются широкие управляющие импульсы. На первичной обмотке трансформатора Т1

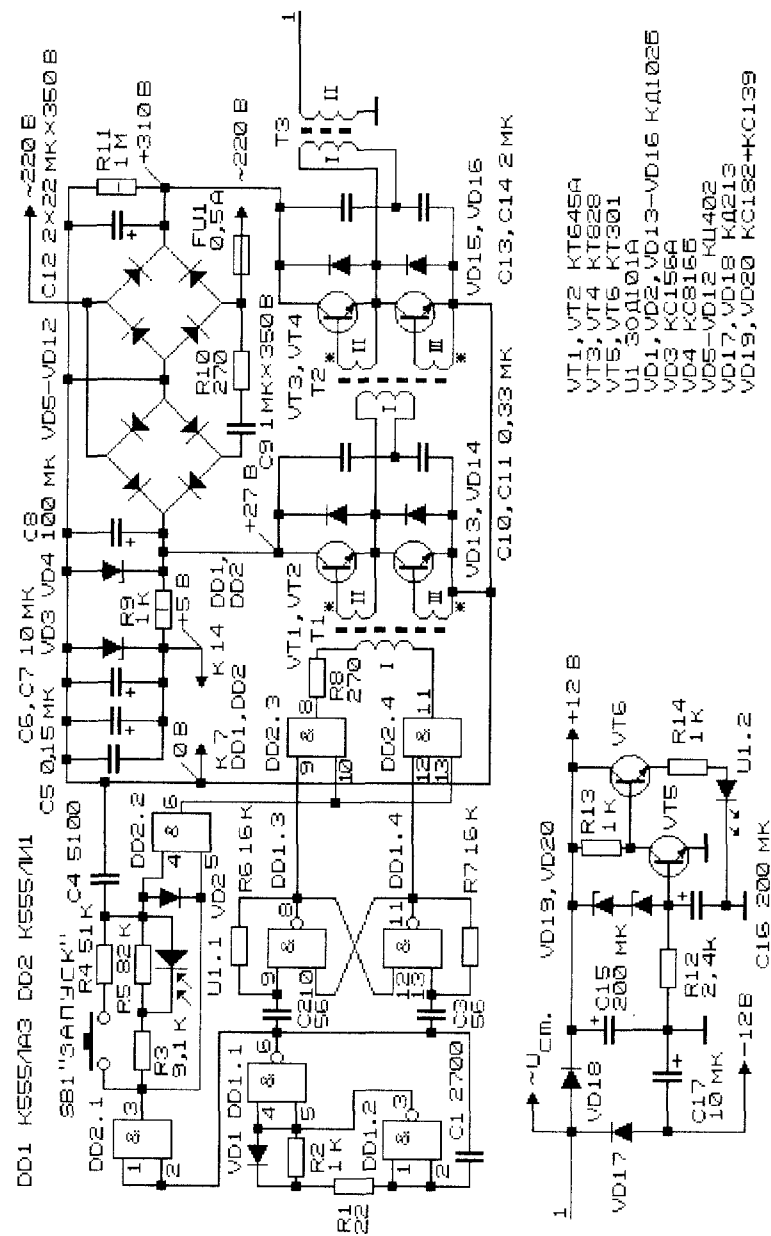


Рис. 5.2. Схема импульсного источника питания

(выходах элементов DD2.3, DD2.4) формируются двухполярные импульсы регулируемой длительности.

Если по какой-либо причине напряжение на выходе источника питания будет увеличиваться сверх нормы, через стабилитроны VD19, VD20 начнет протекать ток, транзистор VT5 приоткроется, VT6 — закроется, уменьшая ток через светодиод оптрона U1.2. При этом возрастает сопротивление фотодиода оптрона U1.1. Длительность управляющих импульсов уменьшается, и происходит уменьшение выходного напряжения (мощности). При коротком замыкании нагрузки светодиод оптрона гаснет, сопротивление фотодиода оптрона максимально, а длительность управляющих импульсов — минимальна. Кнопка SB1 предназначена для запуска схемы.

При максимальной длительности положительные и отрицательные управляющие импульсы не перекрываются во времени, поскольку между ними существует временная просечка, обусловленная наличием резистора R3 в формирующей цепи. Тем самым снижается вероятность протекания сквозных токов через выходные относительно низкочастотные транзисторы окончного каскада усиления мощности, которые имеют большое время расасывания избыточных носителей на базовом переходе. Выходные транзисторы установлены на ребристые теплоотводящие радиаторы с площадью не менее 200 см². В базовые цепи этих транзисторов желательно установить сопротивления величиной 10...51 Ом.

Каскады усиления мощности и схема формирования двухполярных импульсов получают питание от выпрямителей, выполненных на диодах VD5 — VD12 и элементах R9 — R11, C6 — C9, C12, VD3, VD4.

Трансформаторы Т1, Т2 выполнены на ферритовых кольцах К10х6х4,5 3000НМ; Т3 — К28х16х9 3000НМ. Первичная обмотка трансформатора Т1 содержит 165 витков провода ПЭЛШО 0,12, вторичные — 2х65 витков ПЭЛ-2 0,45 (намотка в два провода). Первичная обмотка трансформатора Т2 содержит 165 витков провода ПЭВ-2 0,15 мм, вторичные — 2х40 витков того же провода. Первичная обмотка трансформатора Т3 содержит 31 виток провода МГШВ, продетого в кембрик и имеющего сечение 0,35 мм², вторичная обмотка имеет 3х6 витков провода ПЭВ-2

1,28 мм (параллельное включение). При подключении обмоток трансформаторов необходимо правильно их фазировать. Начала обмоток показаны на рисунке звездочками.

Источник питания работоспособен в диапазоне изменения сетевого напряжения 130...250 В. Максимальная выходная мощность при симметричной нагрузке достигает 60...65 Вт (стабилизированное напряжение положительной и отрицательной полярности 12 В и стабилизированное напряжение переменного тока частотой 75 кГц, снимаемые со вторичной обмотки трансформатора Т3). Напряжение пульсаций на выходе источника питания не превышает 0,6 В.

При налаживании источника питания сетевое напряжение на него подают через разделительный трансформатор или феррорезонансный стабилизатор с изолированным от сети выходом. Все перепаики в источнике допустимо производить только при полном отключении устройства от сети. Последовательно с выходным каскадом на время налаживания устройства рекомендуется включить лампу накаливания 60 Вт на 220 В. Эта лампа защитит выходные транзисторы в случае ошибок в монтаже. Оптрон U1 должен иметь напряжение пробоя изоляции не менее 400 В. Работа устройства без нагрузки не допускается.

Сетевой импульсный источник питания (рис. 5.3) разработан для телефонных аппаратов с автоматическим определителем номера или для других устройств с потребляемой мощностью 3...5 Вт, питаемых напряжением 5...24 В [5.3].

Источник питания защищен от короткого замыкания на выходе. Нестабильность выходного напряжения не превышает 5% при изменении напряжения питания от 150 до 240 В и тока нагрузки в пределах 20...100% от номинального значения.

Управляемый генератор импульсов обеспечивает на базе транзистора VT3 сигнал частотой 25...30 кГц.

Дроссели L1, L2 и L3 намотаны на магнитопроводах типа К10х6х3 из пресс-пермаллоя МП140. Обмотки дросселя L1, L2 содержат по 20 витков провода ПЭТВ 0,35 мм и расположены каждая на своей половине кольца с зазором между обмотками не менее 1 мм. Дроссель L3 наматывают проводом ПЭТВ 0,63 мм виток к витку в один слой по внутреннему периметру кольца. Трансформатор Т1 выполнен на магнитопроводе Б22 из феррита

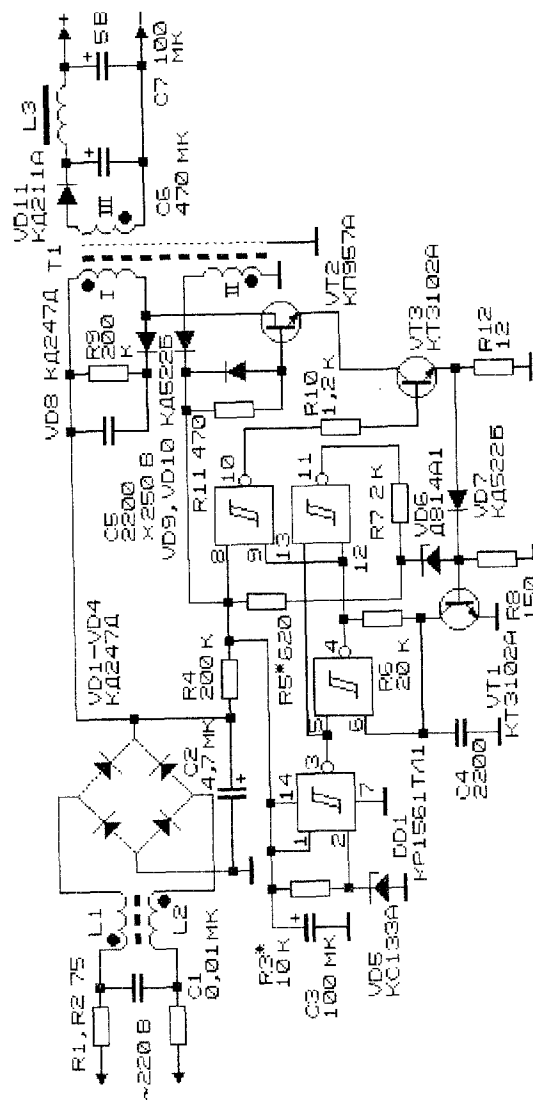


Рис. 5.3. Схема сетевого импульсного источника питания

M2000HM1. Его обмотки наматывают на разборном каркасе виток к витку проводом *ПЭТВ* и пропитывают клеем. Первой наматывают в несколько слоев обмотку I, содержащую 260 витков провода 0,12 мм. Таким же проводом наматывают экранирующую обмотку с одним выводом (на рис. 5.3 показана пунктирной линией), затем наносят клей *БФ-2* и обматывают одним слоем лакоткани. Обмотку III наматывают проводом 0,56 мм. Для выходного напряжения 5 В она содержит 13 витков. Последней наматывают обмотку II. Она содержит 22 витка провода 0,15...0,18 мм. Между чашками обеспечивают немагнитный зазор [5.3].

Для создания высокого напряжения (30...35 кВ при токе нагрузки до 1 мА) для питания электроофлювиальной люстры (люстры А. Л. Чижевского) предназначен источник питания постоянного тока на основе специализированной микросхемы типа *K1182ГГЗ* (рис. 5.4) [5.4].

Источник питания состоит из выпрямителя сетевого напряжения на диодном мосте *VD1*, конденсатора фильтра *C1* и высоковольтного полумостового автогенератора на микросхеме *DA1* типа *K1182ГГЗ*. Микросхема *DA1* совместно с трансформатором *T1* преобразует постоянное выпрямленное сетевое напряжение в высокочастотное (30...50 кГц) импульсное.

Выпрямленное сетевое напряжение поступает на микросхему *DA1*, а стартовая цепочка *R2*, *C2* запускает автогенератор микросхемы. Цепочки *R3*, *C3* и *R4*, *C4* задают частоту генератора. Резисторы *R3* и *R4* стабилизируют длительность полупериодов генерируемых импульсов. Выходное напряжение повышается обмоткой *L4* трансформатора и подается на умножитель напряжения на диодах *VD2* — *VD7* и конденсаторах *C7* — *C12*. Выпрямленное напряжение подается на нагрузку через ограничительный резистор *R5*.

Конденсатор сетевого фильтра *C1* рассчитан на рабочее напряжение 450 В (*K50-29*), *C2* — любого типа на напряжение 30 В. Конденсаторы *C5*, *C6* выбирают в пределах 0,022...0,22 мкФ на напряжение не менее 250 В (*K71-7*, *K73-17*). Конденсаторы умножителя *C7* — *C12* типа *КВИ-3* на напряжение 10 кВ. Возможна замена на конденсаторы типов *K15-4*, *K73-4*, *ПОВ* и другие на рабочее напряжение 10 кВ или выше.

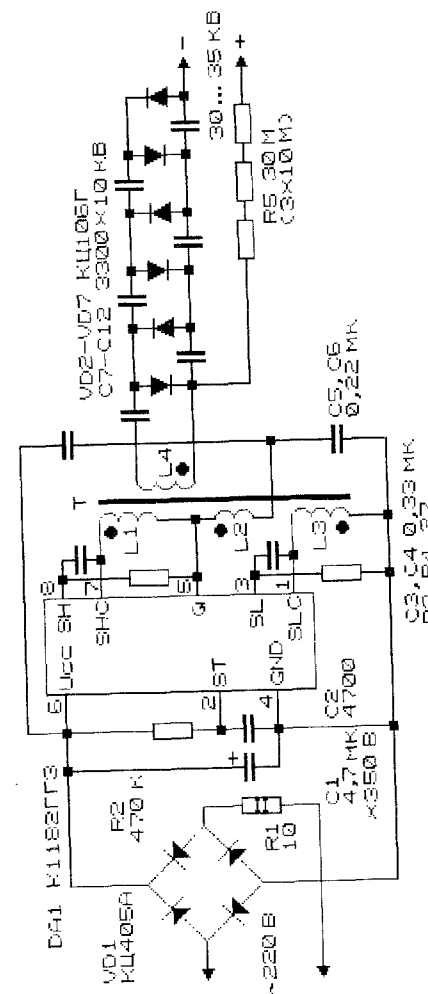


Рис. 5.4. Схема высоковольтного источника питания постоянного тока

5. Импульсные источники питания

Высоковольтные диоды VD2 — VD7 типа *КЦ106Г* (*КЦ105Д*). Ограничительный резистор R5 типа *КЭВ-1*. Его можно заменить тремя резисторами типа *МЛТ-2* по 10 МОм. В качестве трансформатора используется телевизионный строчный трансформатор, например, *ТВС-110ЛА*. Высоковольтную обмотку оставляют, остальные удаляют и на их месте размещают новые обмотки. Обмотки L1, L3 содержат по 7 витков провода *ПЭЛ 0,2 мм*, а обмотка L2 — 90 витков такого же провода [5.4].

Цепочку резисторов R5, ограничивающих ток короткого замыкания, рекомендуется включить в «минусовой» провод, который подводится к люстре. Этот провод должен иметь высоковольтную изоляцию.

Устройство, именуемое *корректором коэффициента мощности* (рис. 5.5), собрано на основе специализированной микросхемы *TOP202YA3* (фирма *Power Integration*) и обеспечивает коэффициент мощности не менее 0,95 при мощности нагрузки 65 Вт. Корректор приближает форму тока, потребляемую нагрузкой, к синусоидальной [5.4, 5.5].

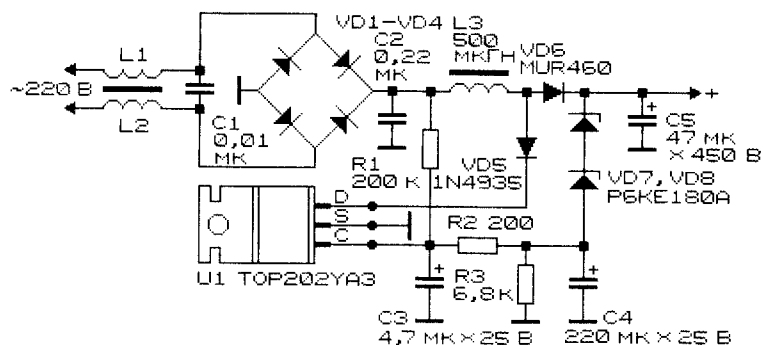


Рис. 5.5. Схема корректора коэффициента мощности на микросхеме *TOP202YA3*

Максимальное напряжение на входе — 265 В. Средняя частота преобразователя — 100 кГц. КПД корректора — 0,95.

Схема источника питания с микросхемой той же фирмы *Power Integration* показана на рис. 5.6 [5.5]. В устройстве применен полупроводниковый ограничитель напряжения — *1,5KE250A*. Преобразователь обеспечивает гальваническую развязку выходного

5. Импульсные источники питания

напряжения от напряжения сети. При указанных на схеме номиналах и элементах устройство позволяет подключать нагрузку, потребляющую 20 Вт при напряжении 24 В. КПД преобразователя приближается к 90%. Частота преобразования — 100 кГц. Устройство защищено от коротких замыканий в нагрузке.

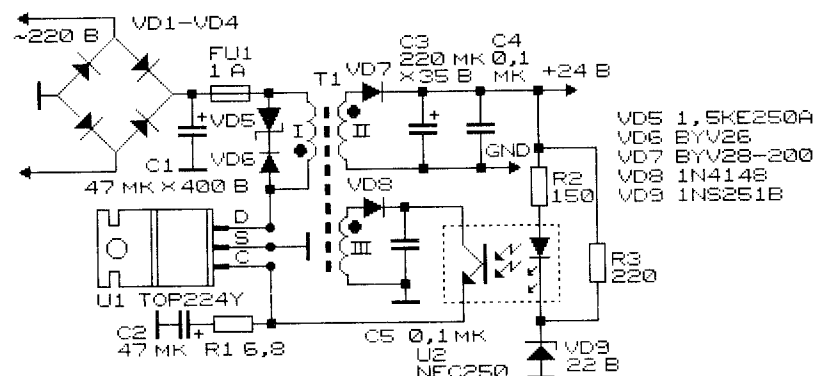


Рис. 5.6. Схема импульсного источника питания на микросхеме фирмы *Power Integration*

Выходная мощность преобразователя определяется типом используемой микросхемы, основные характеристики которых приведены в табл. 5.1.

Таблица 5.1. Характеристики микросхем серии *TOP221Y — TOP227Y*

Тип микросхемы	$P_{\max}$, Вт	Ток срабатывания защиты, А	$R_{\text{си}}$ открытого транзистора, Ом
TOP221Y	7	0,25	31,2
TOP222Y	15	0,5	15,6
TOP223Y	30	1	7,8
TOP224Y	45	1,5	5,2
TOP225Y	60	2	3,9
TOP226Y	75	2,5	3,1
TOP227Y	90	3	2,6

5. Импульсные источники питания

На основе одной из микросхем *TOP200/204/214* фирмы *Power Integration* [5.7] может быть собран простой и высокоэффективный преобразователь напряжения (рис. 5.7) с выходной мощностью до 100 Вт.

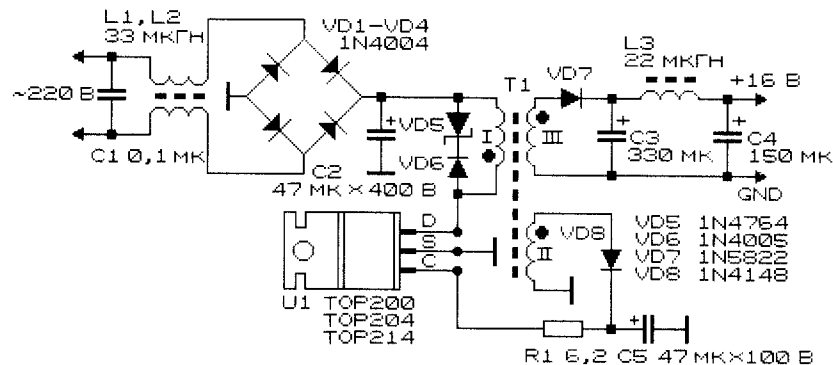


Рис. 5.7. Схема импульсного Buck-Boost преобразователя на микросхеме *TOP200/204/214*

Преобразователь содержит сетевой фильтр (C1, L1, L2), мостовой выпрямитель (VD1 — VD4), собственно сам преобразователь U1, схему стабилизации выходного напряжения, выпрямители и выходной LC-фильтр.

Входной фильтр L1, L2 намотан в два провода на ферритовом кольце *M2000* (2x8 витков). Индуктивность полученной катушки — 18...40 мГн. Трансформатор T1 выполнен на ферритовом сердечнике со стандартным каркасом *ETD34* фирмы *Siemens* или *Matsushita*, хотя можно использовать и иные импортные сердечники типа *EP*, *EC*, *EF* или отечественные Ш-образные ферритовые сердечники *M2000*. Обмотка I имеет 4x90 витков ПЭВ-2 0,15 мм; II — 3x6 того же провода; III — 2x21 витков ПЭВ-2 0,35 мм. Все обмотки наматывают виток к витку. Между слоями должна быть обеспечена надежная изоляция.

6. Импульсные стабилизаторы напряжения

Благодаря высокому КПД импульсные стабилизаторы напряжения получают в последнее время все более широкое распространение, хотя они, как правило, сложнее и содержат большее число элементов. Поскольку в тепловую энергию преобразуется лишь малая доля подводимой к импульсному стабилизатору энергии, его выходные транзисторы меньше нагреваются, следовательно, за счет снижения площади теплоотводов снижаются масса и размеры устройства.

Ощутимым недостатком импульсных стабилизаторов является наличие на выходе высокочастотных пульсаций, что заметно сужает область их практического использования — чаще всего импульсные стабилизаторы используют для питания устройств на цифровых микросхемах.

Стабилизатор с выходным напряжением, меньшим входного, можно собрать на трех транзисторах (рис. 6.1), два из которых (VT1, VT2) образуют ключевой регулирующий элемент, а третий (VT3) является усилителем сигнала рассогласования [6.1].

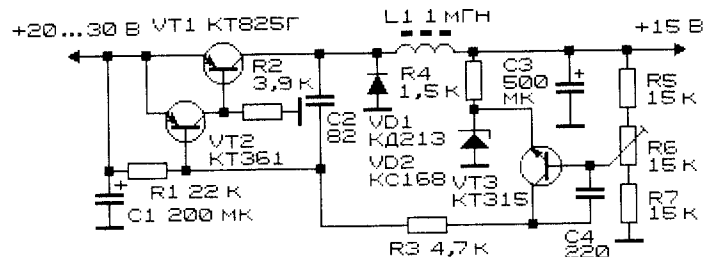


Рис. 6.1. Схема импульсного стабилизатора напряжения с КПД 84%

Устройство работает в автоколебательном режиме. Напряжение положительной обратной связи с коллектора составного транзистора VT1 через конденсатор C2 поступает в цепь базы транзистора VT2.

Элементом сравнения и усилителем сигнала рассогласования является каскад на транзисторе VT3. Его эмиттер подключен

6. Импульсные стабилизаторы напряжения

к источнику опорного напряжения — стабилитрону VD2, а база — к делителю выходного напряжения R5 — R7.

В импульсных стабилизаторах регулирующий элемент работает в ключевом режиме, поэтому выходное напряжение регулируется изменением скважности работы ключа. Включением/выключением транзистора VT1 по сигналу транзистора VT3 управляет транзистор VT2. В моменты, когда транзистор VT1 открыт, в дросселе L1, благодаря протеканию тока нагрузки, запасается электромагнитная энергия. После закрывания транзистора запасенная энергия через диод VD1 отдается в нагрузку. Пульсации выходного напряжения стабилизатора сглаживаются фильтром L1, C3.

Характеристики стабилизатора целиком определяются свойствами транзистора VT1 и диода VD1, быстродействие которых должно быть максимальным. При входном напряжении 24 В, выходном — 15 В и токе нагрузки 1 А измеренное значение КПД было равно 84%.

Дроссель L1 имеет 100 витков провода диаметром 0,63 мм на кольце K26x16x12 из феррита с магнитной проницаемостью 100. Его индуктивность при токе подмагничивания 1 А — около 1 мГн.

Схема простого импульсного стабилизатора показана на рис. 6.2 [6.2]. Дроссели L1 и L2 намотаны на пластмассовых каркасах, помещенных в броневые магнитопроводы Б22 из феррита М2000НМ. Дроссель L1 содержит 18 витков жгута из 7 проводов ПЭВ-1 0,35. Между чашками его магнитопровода вложена прокладка толщиной 0,8 мм. Активное сопротивление обмотки дросселя L1 27 мОм. Дроссель L2 имеет 9 витков жгута из 10 проводов ПЭВ-1 0,35. Зазор между его чашками — 0,2 мм, активное сопротивление обмотки — 13 мОм. Прокладки можно изготовить из жесткого теплоустойчивого материала — текстолита, слюды, электрокартона. Винт, скрепляющий чашки магнитопровода, должен быть из немагнитного материала.

Для налаживания стабилизатора к его выходу подключают нагрузку сопротивлением 5...7 Ом и мощностью 10 Вт. Подбором резистора R7 устанавливают номинальное выходное напряжение, затем увеличивают ток нагрузки до 3 А и, подбирая величину конденсатора C4, устанавливают такую частоту генерации (примерно

6. Импульсные стабилизаторы напряжения

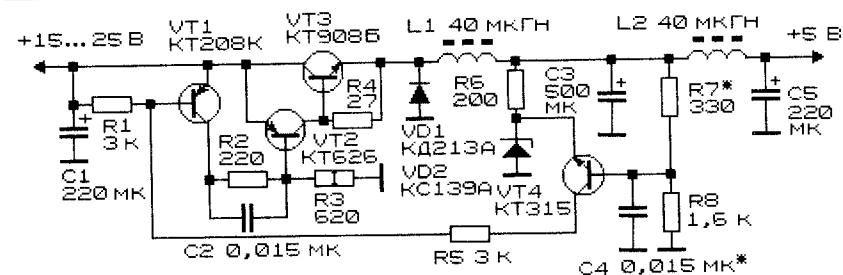


Рис. 6.2. Схема простого ключевого стабилизатора напряжения с КПД 60%

18...20 кГц), при которой высокочастотные выбросы напряжения на конденсаторе C3 минимальны.

Выходное напряжение стабилизатора можно довести до 8...10 В, увеличив величину резистора R7 и установив новое значение рабочей частоты. При этом мощность, рассеиваемая на транзисторе VT3, также увеличится.

В схемах импульсных стабилизаторов желательно использовать электролитические конденсаторы К52-1. Необходимую величину емкости получают параллельным включением конденсаторов.

Основные технические характеристики:

Входное напряжение, В — 15...25.

Выходное напряжение, В — 5.

Максимальный ток нагрузки, А — 4.

Пульсации выходного напряжения при токе нагрузки 4 А во всем диапазоне входных напряжений, мВ, не более — 50.

КПД, %, не ниже — 60.

Рабочая частота при входном напряжении 20 В и токе нагрузки 3 А, кГц — ~20.

В сравнении с предыдущим вариантом импульсного стабилизатора [6.2] в новой конструкции А. А. Миронова (рис. 6.3) усовершенствованы и улучшены такие его характеристики, как КПД, стабильность выходного напряжения, длительность и характер переходного процесса при воздействии импульсной нагрузки [6.3].

6. Импульсные стабилизаторы напряжения

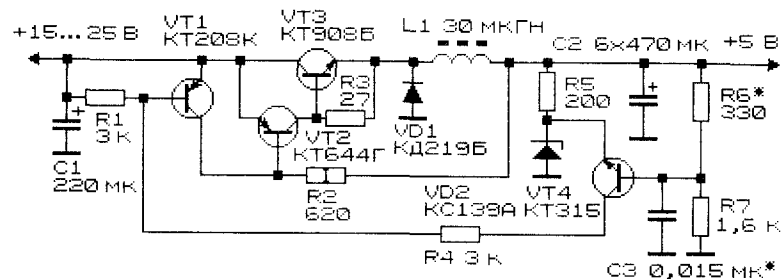


Рис. 6.3. Схема импульсного стабилизатора напряжения

Оказалось, что при работе прототипа (рис. 6.2) возникает так называемый сквозной ток через составной ключевой транзистор. Этот ток появляется в те моменты, когда по сигналу узла сравнения ключевой транзистор открывается, а коммутирующий диод еще не успел закрыться. Наличие такого тока вызывает дополнительные потери на нагревание транзистора и диода и уменьшает КПД устройства.

Еще один недостаток — значительная пульсация выходного напряжения при токе нагрузки, близком к предельному. Для борьбы с пульсациями в стабилизатор (рис. 6.2) был введен дополнительный выходной LC-фильтр (L2, C5). Уменьшить нестабильность выходного напряжения от изменения тока нагрузки можно только уменьшением активного сопротивления дросселя L2. Улучшение динамики переходного процесса (в частности, уменьшение его длительности) связано с необходимостью уменьшения индуктивности дросселя, но при этом неизбежно увеличится пульсация выходного напряжения.

Поэтому оказалось целесообразным исключить этот выходной фильтр, а емкость конденсатора C2 увеличить в 5...10 раз (параллельным соединением нескольких конденсаторов в батарею).

Цепь R2, C2 в исходном стабилизаторе (рис. 6.2) практически не изменяет длительности спада выходного тока, поэтому ее можно удалить (замкнуть резистор R2), а сопротивление резистора R3 увеличить до 820 Ом. Но тогда при увеличении входного напряжения с 15 В до 25 В ток, протекающий через резистор R3 (в исходном устройстве), будет увеличиваться в 1,7 раза, а мощность рассеивания — в 3 раза (до 0,7 Вт). Подключением нижнего по схеме вывода резистора R3 (на схеме доработанного

6. Импульсные стабилизаторы напряжения

стабилизатора это резистор R2) к плюсовому выводу конденсатора C2 этот эффект можно ослабить, но при этом сопротивление R2 (рис. 6.3) должно быть уменьшено до 620 Ом.

Один из эффективных путей борьбы со сквозным током — увеличение времени нарастания тока через открывшийся ключевой транзистор. Тогда при полном открывании транзистора ток через диод VD1 уменьшится почти до нуля. Этого можно достигнуть, если форма тока через ключевой транзистор будет близка к треугольной. Как показывает расчет, для получения такой формы тока индуктивность накопительного дросселя L1 не должна превышать 30 мкГн.

Еще один путь — применение более быстродействующего коммутирующего диода VD1, например, КД219Б (с барьером Шотки). У таких диодов выше быстродействие и меньше падение напряжения при одном и том же значении прямого тока по сравнению с обычными кремниевыми высокочастотными диодами. Конденсатор C2 типа К52-1.

Улучшение параметров устройства может быть получено и при изменении режима работы ключевого транзистора. Особенность работы мощного транзистора VT3 в исходном и улучшенном стабилизаторах состоит в том, что он работает в активном режиме, а не в насыщенном, и поэтому имеет высокое значение коэффициента передачи тока и быстро закрывается. Однако из-за повышенного напряжения на нем в открытом состоянии рассеиваемая мощность в 1,5...2 раза превышает минимально достижимое значение.

Уменьшить напряжение на ключевом транзисторе можно подачей положительного (относительно плюсового провода питания) напряжения смещения на эмиттер транзистора VT2 (см. рис. 6.3). Необходимую величину напряжения смещения подбирают при налаживании стабилизатора. Если он питается от выпрямителя, подключенного к сетевому трансформатору, то для получения напряжения смещения можно предусмотреть отдельную обмотку на трансформаторе. Однако при этом напряжение смещения будет изменяться вместе с сетевым.

Для получения стабильного напряжения смещения стабилизатор надо доработать (рис. 6.4), а дроссель превратить в трансформатор T1, намотав дополнительную обмотку II. Когда

6. Импульсные стабилизаторы напряжения

ключевой транзистор закрыт, а диод VD1 открыт, напряжение на обмотке I определяется из выражения: $U_1 = U_{\text{вых}} + U_{\text{VD1}}$. Поскольку напряжение на выходе и на диоде в это время меняется незначительно, то независимо от значения входного напряжения на обмотке II напряжение практически стабильно. После выпрямления его подают на эмиттер транзистора VT2 (и VT1).

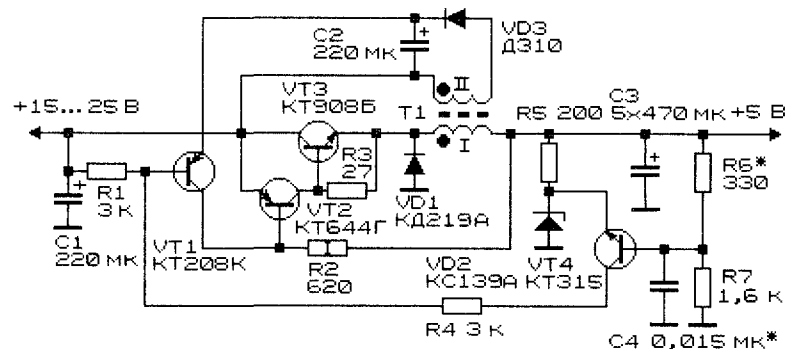


Рис. 6.4. Схема модифицированного импульсного стабилизатора напряжения

Потери на нагрев снизились в первом варианте доработанного стабилизатора на 14,7%, а во втором — на 24,2%, что позволяет им работать при токе нагрузки до 4 А без установки ключевого транзистора на теплоотвод.

В стабилизаторе варианта 1 (рис. 6.3) дроссель L1 содержит 11 витков, намотанных жгутом из восьми проводов ПЭВ-1 0,35. Обмотку помещают в броневую магнитопровод Б22 из феррита 2000НМ. Между чашками нужно заложить прокладку из текстолита толщиной 0,25 мм. В стабилизаторе варианта 2 (рис. 6.4) трансформатор T1 образован катушкой поверх катушки дросселя L1 двух витков провода ПЭВ-1 0,35. Вместо германиевого диода D310 можно использовать кремниевый, например, КД212А или КД212Б, при этом число витков обмотки II нужно увеличить до трех.

Стабилизатор с широтно-импульсным управлением (рис. 6.5) [6.4] по принципу действия близок к стабилизатору, описанному в [6.2], но, в отличие от него, имеет две цепи обратной связи, соединенные таким образом, что ключевой элемент закрывается при

6. Импульсные стабилизаторы напряжения

превышении напряжения на нагрузке или увеличении тока, потребляемого нагрузкой.

При подаче питания на вход устройства ток, текущий через резистор R3, открывает ключевой элемент, образованный транзисторами VT1, VT2, в результате чего в цепи транзистор VT1 — дроссель L1 — нагрузка — резистор R9 возникает ток. Происходит заряд конденсатора C4 и накопление энергии дросселем L1. Если сопротивление нагрузки достаточно большое, то напряжение на ней достигает 12 В, и стабилитрон VD4 открывается. Это приводит к открыванию транзисторов VT5, VT3 и закрыванию ключевого элемента, а благодаря наличию диода VD3 дроссель L1 отдает накопленную энергию нагрузке.

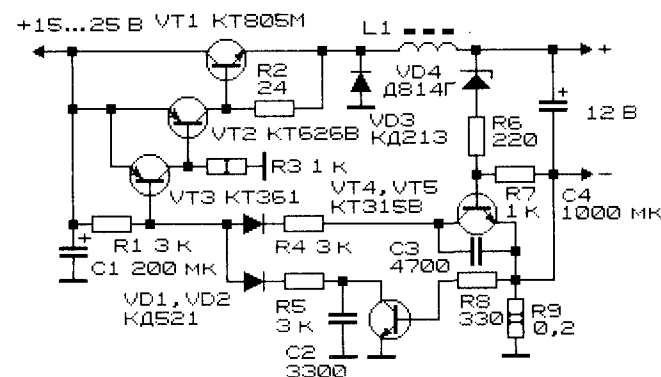


Рис. 6.5. Схема стабилизатора с широтно-импульсным управлением с КПД до 89%

Технические характеристики стабилизатора:

Входное напряжение — 15...25 В.

Выходное напряжение — 12 В.

Номинальный ток загрузки — 1 А.

П пульсации выходного напряжения при токе нагрузки 1 А — 0,2 В.

КПД (при $U_{\text{вх}}=18 \text{ В}$, $I_{\text{н}}=1 \text{ А}$) — 89%.

Потребляемый ток при $U_{\text{вх}}=18 \text{ В}$ в режиме замыкания цепи нагрузки — 0,4 А.

Выходной ток короткого замыкания (при $U_{\text{вх}}=18 \text{ В}$) — 2,5 А.

6. Импульсные стабилизаторы напряжения

По мере уменьшения тока через дроссель и разряда конденсатора С4 напряжение на нагрузке также уменьшится, что приведет к закрыванию транзисторов VT5, VT3 и открыванию ключевого элемента. Далее процесс работы стабилизатора повторяется.

Конденсатор С3, снижающий частоту колебательного процесса, повышает эффективность стабилизатора.

При малом сопротивлении нагрузки колебательный процесс в стабилизаторе происходит иначе. Нарастание тока нагрузки приводит к увеличению падения напряжения на резисторе R9, открыванию транзистора VT4 и закрыванию ключевого элемента. Далее процесс протекает аналогично описанному выше. Диоды VD1 и VD2 способствуют более резкому переходу устройства из режима стабилизации напряжения в режим ограничения тока.

Во всех режимах работы стабилизатора потребляемый им ток меньше тока нагрузки.

Транзистор VT1 следует установить на теплоотводе размерами 40х25 мм.

Дроссель L1 представляет собой 20 витков жгута из трех проводов ПЭВ-2 0,47, помещенных в чашечный магнитопровод Б22 из феррита 1500НМ3. Магнитопровод имеет зазор толщиной 0,5 мм из немагнитного материала.

Стабилизатор несложно перестроить на другое выходное напряжение и ток нагрузки. Выходное напряжение устанавливают выбором типа стабилитрона VD4, а максимальный ток нагрузки — пропорциональным изменением сопротивления резистора R9 или подачей на базу транзистора VT4 небольшого тока от отдельного параметрического стабилизатора через переменный резистор.

Для снижения уровня пульсаций выходного напряжения целесообразно применить LC-фильтр, аналогичный используемому в схеме на рис. 6.2.

Импульсный стабилизатор напряжения (рис. 6.6) состоит из узла запуска (R3, VD1, VT1, VD2), источника опорного напряжения и устройства сравнения (DD1.1, R1), усилителя постоянного тока (VT2, DD1.2, VT5), транзисторного ключа (VT3, VT4), индуктивного накопителя энергии с коммутирующим диодом (VD3, L2) и фильтров — входного (L1, C1, C2) и выходного (C4,

6. Импульсные стабилизаторы напряжения

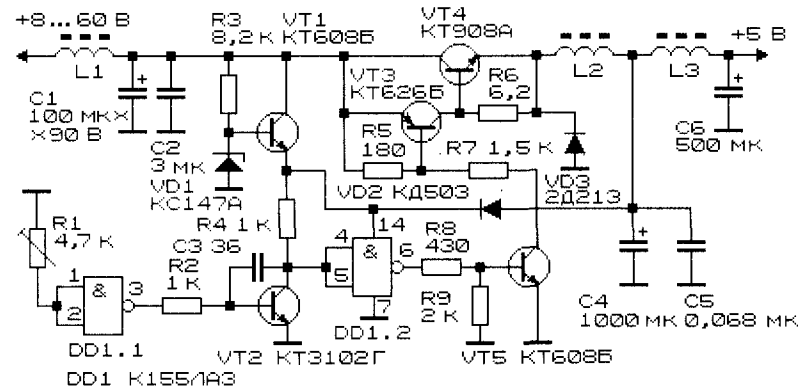


Рис. 6.6. Схема импульсного стабилизатора напряжения с КПД преобразования 69...72%

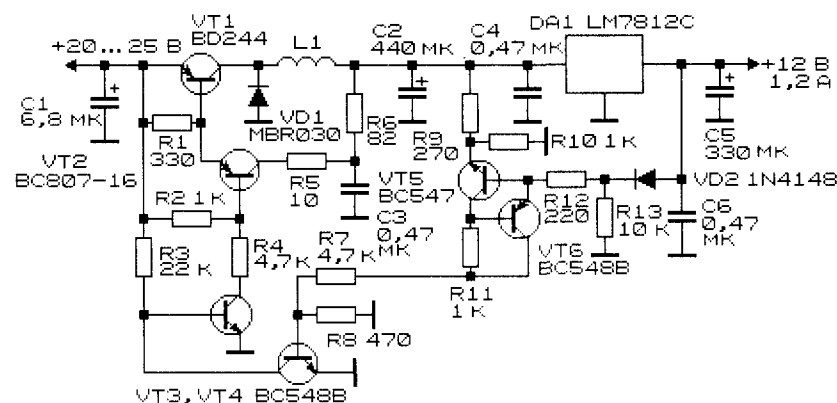


Рис. 6.7. Схема импульсного стабилизатора напряжения с малыми пульсациями

С5, L3, C6) [6.5]. Частота переключения индуктивного накопителя энергии в зависимости от тока нагрузки находится в пределах 1,3...48 кГц.

Все катушки индуктивности L1 — L3 одинаковы и намотаны в бронеовых магнитопроводах Б20 из феррита 2000НМ с зазором между чашками около 0,2 мм. Обмотки содержат по 20 витков жгута из четырех проводов ПЭВ-2 0,41. Можно применить также кольцевые ферритовые магнитопроводы с зазором.

6. Импульсные стабилизаторы напряжения

Номинальное выходное напряжение 5 В при изменении входного от 8 до 60 В и КПД преобразования 69...72%. Коэффициент стабилизации — 500. Амплитуда пульсаций выходного напряжения при токе нагрузки 0,7 А — не более 5 мВ. Выходное сопротивление — 20 мОм. Максимальный ток нагрузки (без теплоотводов для транзистора VT4 и диода VD3) — 2 А.

Импульсный стабилизатор напряжения (рис. 6.7) при входном напряжении 20...25 В обеспечивает на выходе стабильное напряжение 12 В при токе нагрузки 1,2 А [6.6]. Пульсации на выходе до 2 мВ. Благодаря высокому КПД в устройстве не используются теплоотводы. Индуктивность дросселя L1 — 470 мкГн.

Аналоги транзисторов: BC547 — KT3102A; BC548B — KT3102B. Приблизительные аналоги транзисторов BC807 — KT3107; BD244 — KT816.

7. Импульсные стабилизаторы напряжения на микросхемах

Стабилизатор напряжения с широтно-импульсным управлением А. Колдунова (рис. 7.1) является усовершенствованным вариантом стабилизатора П. Беяцкого [7.1].

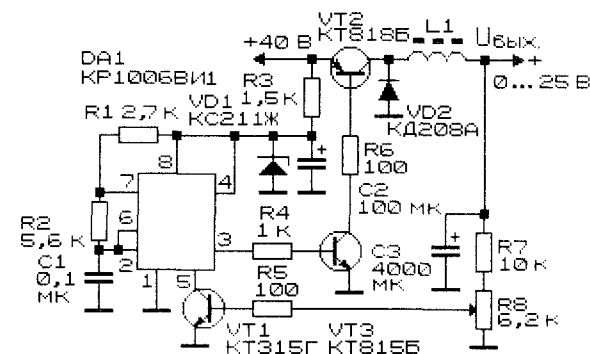


Рис. 7.1. Схема стабилизатора регулируемого напряжения (0...25 В) с широтно-импульсным управлением

На микросхеме DA1 типа KP1006BVI1 собран генератор прямоугольных импульсов с широтно-импульсным управлением. Генератор питается от параметрического стабилизатора на стабилитроне VD1. Выходные импульсы с генератора поступают на двухкаскадный транзисторный ключ (транзисторы VT2 и VT3), коммутирующий индуктивный накопитель энергии — катушку индуктивности (дроссель) L1. Выходное напряжение заряжает конденсатор большой емкости C3. Напряжение, снимаемое с этого конденсатора, через регулируемый резистивный делитель R7 и R8 поступает на базу транзистора VT1, управляющего длительностью генерируемых импульсов, и, следовательно, определяющего величину энергии, накапливаемой в индуктивном накопителе энергии.

Величину выходного напряжения можно изменять в пределах от 0 до 25 В при величине питающего напряжения 40 В.

7. Импульсные стабилизаторы на микросхемах

Поскольку устройство имеет высокий *КПД*, то при токе нагрузки менее 200 мА теплоотвод для транзистора VT2 не обязателен.

Дроссель L1 намотан на ферритовом кольце с внешним диаметром 10...15 мм проводом ПЭВ-2 0,6...0,8 мм до заполнения и залит парафином для снижения свиста.

Импульсные стабилизаторы обладают более высоким *КПД* при среднем и большом токе нагрузки, однако при малом токе *КПД* у них меньше.

Схема устройства, показанная на рис. 7.2, лишена такого недостатка [7.2]. Это позволяет применять его практически в любой аппаратуре: как в различных цифровых, так и в звуковоспроизводящих и радиоприемных устройствах.

Технические характеристики:

Ток холостого хода, не более — 0,25 мА.

Длительный номинальный ток нагрузки — 100 мА.

Максимальный ток нагрузки — 200 мА.

Входное напряжение — 11...15 В.

Выходное стабилизированное напряжение — 9 В.

КПД: при входном напряжении 11 В и номинальном токе нагрузки — 82% при 13 В и токе нагрузки 10 мА — 65%; 100 мА — 72%; 200 мА — 69%.

Коэффициент стабилизации при номинальном токе нагрузки не менее — 300.

Амплитуда пульсаций при максимальном токе нагрузки не более 2 мВ.

Стабилизатор (рис. 7.2) содержит коммутирующий составной транзистор VT1, VT2, коммутирующий диод VD2 и дроссель L1. В узел управления входят опорный элемент на транзисторе VT3 и компаратор DA1. На выходе стабилизатора включен транзисторный фильтр VT4, VT5. Основа узла управления — компаратор DA1 на ОУ типа К140УД12. К его инвертирующему входу подключен микромощный опорный элемент, выполненный на обратносмещенном эмиттерном переходе транзистора VT3. Напряжение его стабилизации (лавинного пробоя) 7...7,5 В обеспечивается при токе 20...30 мкА.

7. Импульсные стабилизаторы на микросхемах

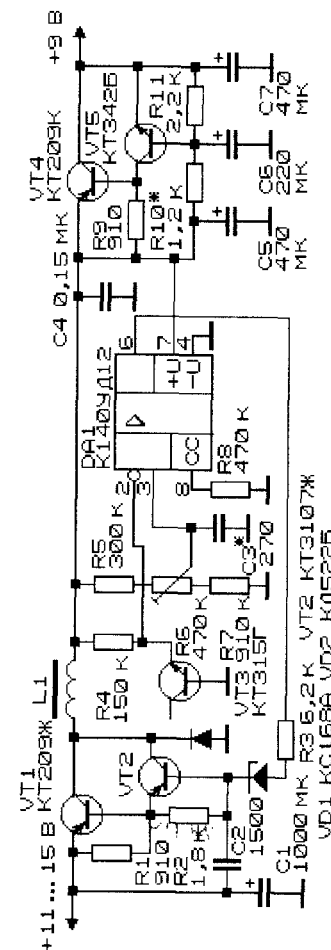


Рис. 7.2. Схема экономичного импульсного стабилизатора напряжения

7. Импульсные стабилизаторы на микросхемах

На неинвертирующий вход ОУ подается сигнал с резистивного делителя R5 — R7. Выходное напряжение регулируется потенциометром R6.

Конденсатор C3 увеличивает фазовый сдвиг сигнала обратной связи, что необходимо для циклического характера работы устройства. Он же определяет рабочую частоту и в значительной мере влияет на величину пульсаций.

Выход компаратора подключен к базе составного транзистора (VT1, VT2) через резистор R3, задающий ток управления, и стабилитрон VD1, который обеспечивает отсечку управляющего тока и надежное закрывание коммутирующего транзистора во всем интервале входного напряжения. Конденсатор C2 подавляет высокочастотные помехи.

На выходе стабилизатора включен не традиционный LC-фильтр, а транзисторный, что позволяет улучшить динамические характеристики устройства и подавить пульсации не менее чем на 40 дБ. У транзисторного фильтра есть еще одно преимущество — «мягкое» включение стабилизатора: его выходное напряжение плавно нарастает в течение 2...4 с. Негативным моментом использования транзисторного фильтра является снижение КПД стабилизатора на 6...8%.

Дроссель L1 содержит 28 витков провода ПЭВ-2 0,57, намотанного на броневом магнитопроводе Б14 из феррита 2000НМ. Немагнитный зазор 0,2 мм в магнитопроводе обеспечен прокладкой из бумаги.

Транзисторы устройства при номинальном токе не требуют теплоотвода. Если стабилизатор предполагают эксплуатировать при токе нагрузки более 50 мА, то транзистор VT1 должен быть типа КТ81х и его следует установить на теплоотвод площадью 10...15 см². Допустимо использовать транзисторы КТ639, КТ644, тогда выходной ток стабилизатора можно увеличить до 0,5 А.

Типовая схема импульсного стабилизатора напряжения, построенного на микросхеме КР142ЕП1А, изображена на рис. 7.3 [7.3, 7.4]. Источник опорного напряжения микросхемы питается непосредственно входным напряжением стабилизатора, а пороговое устройство — стабилизированным, снимаемым с вывода 6 (оно поступает через транзистор VT1, являющийся усилителем тока).

7. Импульсные стабилизаторы на микросхемах

Коммутирующим элементом стабилизатора, собранным на транзисторах VT2, VT3, управляет импульсный сигнал, снимаемый с выводов 2, 3 микросхемы. На базу (выв. 4) внутреннего составного транзистора микросхемы, служащего встроенным коммутирующим элементом, сигнал поступает с выхода порогового устройства (выв. 11). Сигнал обратной связи снимается с выхода стабилизатора и через резистивный делитель напряжения R6 и R9 подводится ко входу дифференциального усилителя порогового устройства (выв. 12). На второй вход усилителя (выв. 13) подано стабильное напряжение с источника опорного напряжения.

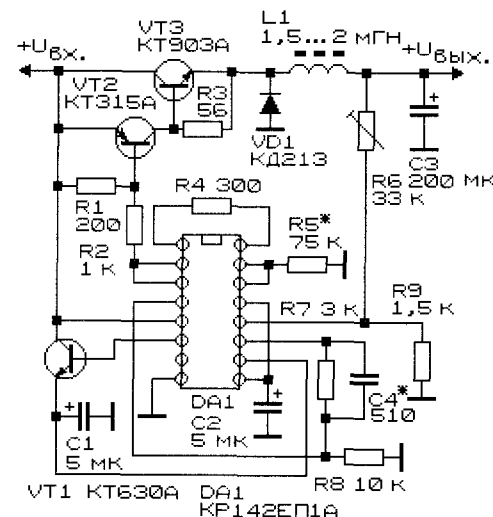


Рис. 7.3. Типовая схема импульсного стабилизатора напряжения на микросхеме КР142ЕП1А

При работе микросхемы в составе ключевого стабилизатора пороговое устройство переключается с частотой, зависящей от параметров элементов стабилизатора, режима микросхемы и тока нагрузки. Если при воздействии дестабилизирующих факторов выходное напряжение стабилизатора изменяется, то в силу действия обратной связи изменяется и частота переключения, причем так, что выходное напряжение возвращается к установленному уровню.

7. Импульсные стабилизаторы на микросхемах

Если по тем или иным причинам необходимо, чтобы работа порогового устройства была синхронизирована с частотой какого-либо внешнего генератора, его синхронизирующий сигнал подают на выводы 14 и 15 микросхемы. Это дает возможность строить импульсные стабилизаторы с широтно-импульсным (ШИ) регулированием. Частота переключения коммутирующего элемента в ШИ стабилизаторе постоянна, а под влиянием дестабилизирующих факторов изменяется соответствующим образом длительность открытого состояния коммутирующего элемента.

Основные электрические характеристики микросхемы:

Входное напряжение (подводимое к выв. 5) — 10...40 В.

Максимальная частота коммутации при входном напряжении 40 В, выходном токе 50 мА и температуре окружающей среды -10...+25°C — до 300 кГц.

Для получения стабильных выходных напряжений +12 и +5 В от автомобильного или иного аккумулятора напряжением 9...12 (9...18) В может быть использован повышающий импульсный стабилизатор напряжения (рис. 7.4), на выходе которого включены микросхема DA2 типа 7812 на напряжение 12 В и микросхема DA3 типа 7805 на напряжение 5 В [7.5].

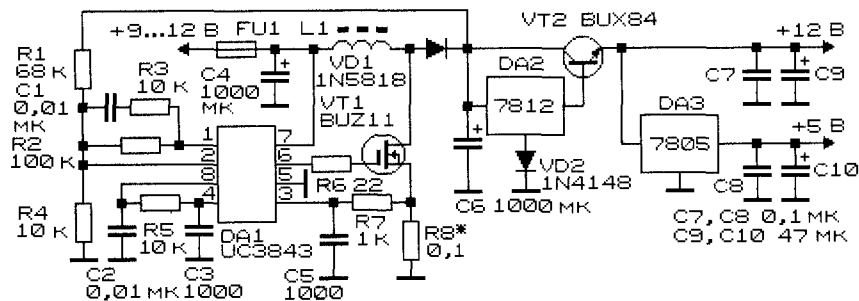


Рис. 7.4. Схема повышающего импульсного стабилизатора напряжения

Повышающий импульсный стабилизатор напряжения собран на микросхеме DA1 типа UC3843N, выход которой подключен к ключевому полевому транзистору VT1 типа BUZ11. В схеме используется дроссель индуктивностью 50 мкГн (20...60 мкГн). Он намотан на ферритовом кольце K25x11x22 1000НМ и содержит 20

7. Импульсные стабилизаторы на микросхемах

витков максимально толстого провода. Диод выпрямителя — типа 1N5818. Напряжение на конденсаторе C6 — 18 В.

Частота преобразования 50 кГц. Выходной ток преобразователя до 3 А при КПД примерно 70%.

Двухполярный импульсный стабилизатор напряжения [7.6], предназначен для питания измерительного прибора, его схема показана на рис. 7.5. Стабилизатор выполнен на основе специализированной микросхемы MAX743.

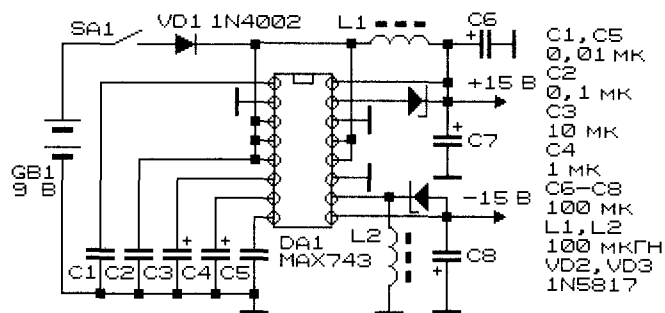


Рис. 7.5. Схема двухполярного импульсного стабилизатора напряжения

Для создания современных импульсных стабилизаторов напряжения с высокой рабочей частотой (более 100 кГц) и КПД до 90% и выше разработана специализированная микросхема управления типа UC3843 фирмы UNITRODE CORP.

Для создания серии импульсных стабилизаторов напряжения может быть использован типовой блок управления, в состав которого входит микросхема UC3843 (рис. 7.6) [7.7, 7.8].

Схема мощного импульсного стабилизатора напряжения понижающего типа [7.7, 7.8] с защитой от перегрузок по току с использованием типowego блока управления показана на рис. 7.7.

Дроссель L1 (рис. 7.6) намотан на кольце K10x6x4,5 из пермаллоя МП140 и содержит 5 витков жгута из 6 проводов ПЭВ 0,51 мм, уложенных по всему периметру кольца в один слой. Дроссель L1 (рис. 7.7) выполнен на кольце K19x11x4,8 из того же материала и содержит 12 витков из 10 скрученных вместе проводов того же диаметра. Трансформатор Т1 намотан на кольцо

7. Импульсные стабилизаторы на микросхемах

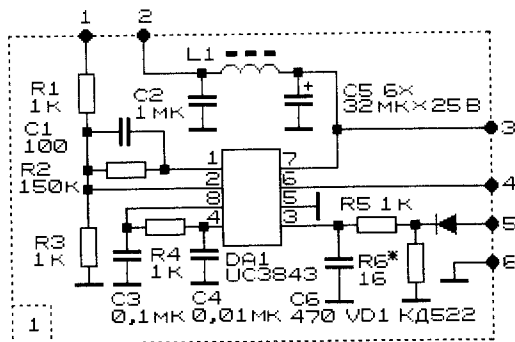


Рис. 7.6. Схема типового блока управления с микросхемой UC3843

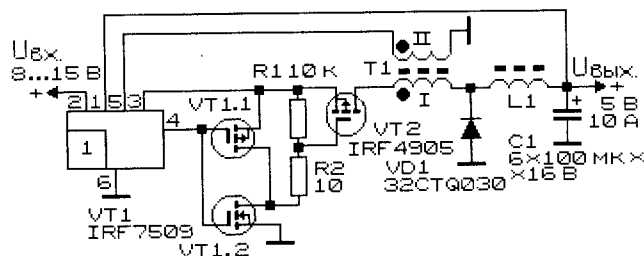


Рис. 7.7. Схема мощного импульсного стабилизатора напряжения понижающего типа

K10x6x3 2000HM1. Вторичная обмотка II намотана проводом ПЭВ 0,2 мм и содержит 200 витков, равномерно уложенных по периметру. Первичная обмотка — 1 виток многожильного провода сечением 1 мм², проходящего через отверстие кольца. Концы его подключены к стоку транзистора VT2 и точке соединения катода диода VD1 и левого по схеме вывода дросселя L1. Необходимо соблюдение полярности подключения обмоток.

Основные характеристики стабилизатора: входное напряжение — 8...15 В; выходное напряжение — 5 В; максимальный выходной ток — 10 А; амплитуда пульсаций выходного напряжения — не более 100 мВ, нестабильность выходного напряжения — 2%; частота преобразования — 100 кГц; среднее значение КПД — 90%.

Усовершенствованный вариант схемы предыдущего стабилизатора (рис. 7.8) имеет повышенный КПД за счет использования

7. Импульсные стабилизаторы на микросхемах

нового схемотехнического решения, которое позволяет значительно уменьшить падение напряжения на коммутирующем диоде [7.7, 7.8].

Суть этого решения состоит в том, что коммутирующий диод заменяется на биполярный или полевой транзистор. Его включают, когда диод должен быть открыт, а выключают — когда закрыт. Падение напряжения на открытом транзисторе может быть в 5...10 раз меньше, чем даже на диоде Шоттки. Так, за счет использования в качестве коммутирующего диода *n*-канального полевого транзистора IRF3205 (VT3) с сопротивлением открытого канала 8 мОм, падение напряжения на нем не превышает 100 мВ при максимальном токе нагрузки. Для сравнения — соответствующее падение напряжения в тех же условиях для диодов Шоттки достигает 500 мВ.

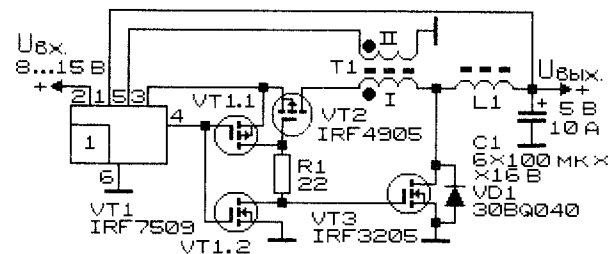


Рис. 7.8. Схема усовершенствованного варианта импульсного стабилизатора

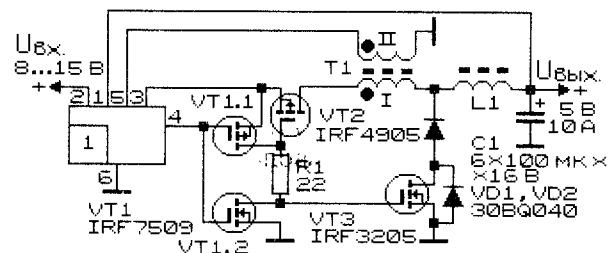


Рис. 7.9. Схема импульсного стабилизатора с повышенной эффективностью преобразования

При примерно тех же основных параметрах потери в новом варианте стабилизатора снижены до минимума, его КПД приближается к 95%.

7. Импульсные стабилизаторы на микросхемах

Еще одна схема импульсного стабилизатора [7.7, 7.8] с использованием полевого транзистора показана на рис. 7.9.

Большинство его характеристик в основном такие же, как и у схемы на рис. 7.7, однако амплитуда пульсаций выходного напряжения снижена до 80 мВ, а частота преобразования повышена до 120 кГц. При этом среднее значение КПД при максимальном токе нагрузки во всем интервале изменения входного напряжения составляет не менее 95%.

Данные намоточных элементов те же, что и для схемы на рис. 7.7.

8. Трансформаторные преобразователи напряжения с импульсным возбуждением

В практике довольно часто встречаются случаи, когда источники питания радиоэлектронных схем должны иметь выходные напряжения с гальванической развязкой. Для преобразования напряжения постоянного тока с гальванической развязкой может быть использовано устройство по схеме, изображенной на рис. 8.1 [8.1].

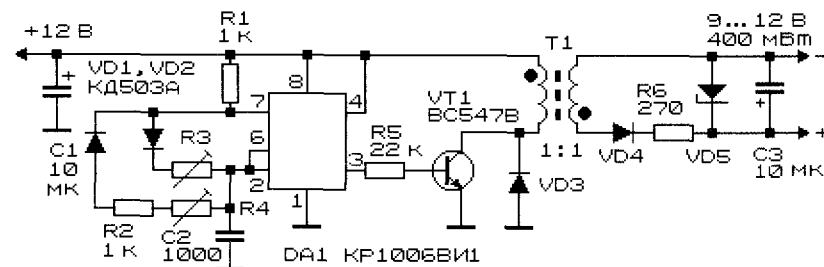


Рис. 8.1. Схема стабилизированного преобразователя напряжения

Задающий генератор выполнен на микросхеме KP1006BI1. Этот генератор может работать на частотах 0,5...100 кГц. Рабочая частота определяется выражением:

$$f = \frac{1}{0,7(R1 + R2 + R3 + R4)C2}.$$

С выхода генератора импульсы поступают на базу транзистора VT1, коммутирующего обмотку трансформатора T1. На выходе преобразователя включен простейший параметрический стабилизатор напряжения. Выходное напряжение преобразователя определяется типом используемого стабилитрона VD5. Выходная мощность устройства достигает 400 мВт.

В качестве транзистора VT1 можно использовать отечественный аналог KT645; в качестве диодов VD3 и VD4 — КД106, КД204, КД212.

Преобразователь напряжения С. А. Бирюкова [8.2] предназначен для питания портативного мультиметра (рис. 8.2). В его

8. Трансформаторные преобразователи напряжения

основе — асимметричный мультивибратор, режим работы которого зависит от величины выходного напряжения.

На выходе устройства формируются стабилизированные напряжения $+5$ и -5 В. Изменение выходного напряжения вызывает изменение длительности генерируемых мультивибратором импульсов и, следовательно, величины энергии, передаваемой в нагрузку.

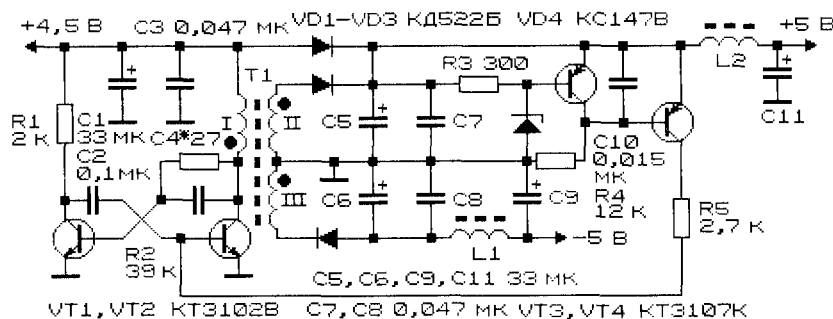


Рис. 8.2. Схема преобразователя напряжения

Трансформатор T1 выполнен на сердечнике K12x9x8 600НН. Наматывают одновременно 4 обмотки по 100 витков провода ПЭШО 0,1 в каждой. Две обмотки включают параллельно и используют в качестве первичной.

Преобразователь (рис. 8.3) имеет двухполярный выход и предназначен для использования в переносной бытовой и измерительной аппаратуре с автономным питанием и потребляемой мощностью не более 0,15 Вт [8.3].

Основные технические характеристики преобразователя:

Выходная мощность — до 0,15 Вт.

Коэффициент стабилизации — 100.

Напряжение питания — 4...12 В.

Частота преобразования — 20 кГц.

КПД при входном напряжении 9 В и выходной мощности 40 мВт — 75%.

Двойная амплитуда пульсаций при выходной мощности 40 мВт — 50 мВ.

8. Трансформаторные преобразователи напряжения

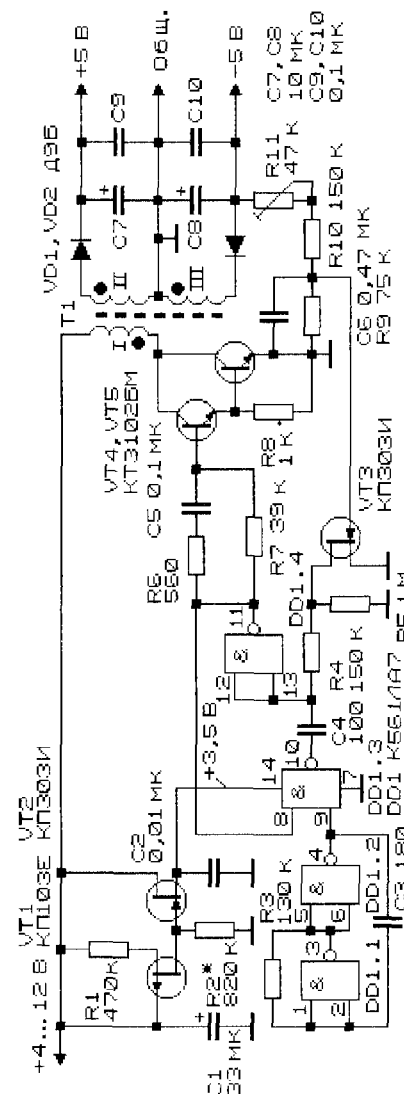


Рис. 8.3. Схема стабилизированного преобразователя с широтно-импульсным регулированием

8. Трансформаторные преобразователи напряжения

Устройство представляет собой стабилизированный преобразователь с широтно-импульсным регулированием. На элементах DD1.1 и DD1.2 (рис. 8.3) собран задающий генератор, работающий на частоте 20 кГц. Импульсы прямоугольной формы с выхода генератора поступают на одновибратор на элементах DD1.3, DD1.4. Длительность его выходных импульсов зависит от суммарного сопротивления, включенного между входом элемента DD1.4 и общим проводом.

Импульсы с выхода одновибратора поступают на вход транзисторного ключа (VT4, VT5). Когда ключ открыт, через первичную обмотку трансформатора T1 протекает линейно нарастающий ток. При закрытом ключе накопленная в обмотке трансформатора энергия передается в нагрузку. Напряжение обратной связи с обмотки III трансформатора T1 через делитель на резисторах R9 — R11 поступает на затвор транзистора VT3, играющего роль переменного резистора и управляющего работой ключа.

Трансформатор T1 намотан на кольцевом магнитопроводе K12х5,5х5 из феррита M2000НМ-А. Все обмотки одинаковы и содержат по 100 витков провода ПЭВ-2 0,1. Их наматывают одновременно, в три провода. Можно также использовать импульсный трансформатор МИТ-4В.

При налаживании преобразователя подбором резистора R2 устанавливают на выходе стабилизатора на транзисторах VT1, VT2 напряжение 3,6 В. Затем, подбирая резистор R10 (грубо) и регулируя подстроечный резистор R11 (точно), добиваются требуемого выходного напряжения, причем возможно получение напряжения, почти вдвое превышающего указанное на схеме.

Последующей модификацией устройства [8.3] является двухполярный стабилизированный преобразователь напряжения, описанный А. Сафроновым [8.4].

Преобразователь напряжения [8.5], схема которого приведена на рис. 8.4, предназначен для питания нагрузки мощностью не более 10 Вт. Он отличается высоким КПД, стабильным выходным напряжением, не критичен к степени разрядки батареи питания. Выходное напряжение при изменении входного от 6 до 30 В можно установить любым в пределах от ± 10 до ± 20 В.

8. Трансформаторные преобразователи напряжения

Нестабильность выходного напряжения не превышает 1%, а напряжение пульсаций на нагрузке 2 кОм — 10 мВ. Выходное сопротивление устройства — около 50 мОм.

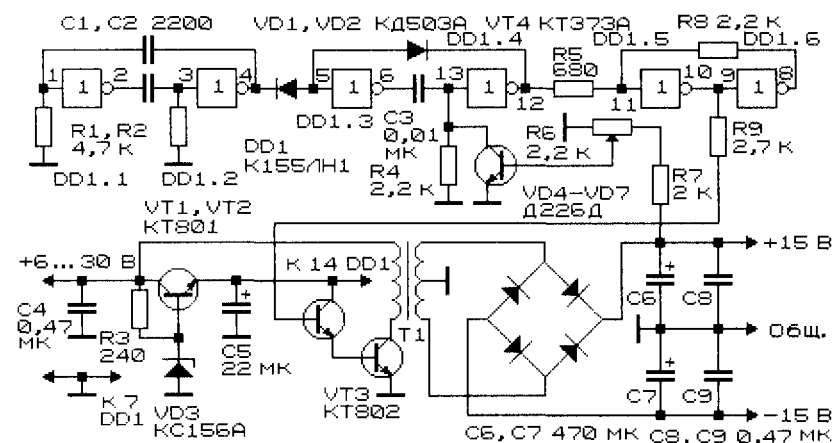


Рис. 8.4. Схема стабилизированного преобразователя напряжения с биполярным выходом

По принципу действия устройство является стабилизированным преобразователем с широтно-импульсной модуляцией. Задающий генератор выполнен на инверторах DD1.1, DD1.2 по схеме симметричного мультивибратора. Частота генерируемых импульсов около 50 кГц. Через диод VD1 они поступают на ждущий мультивибратор на инверторах DD1.3, DD1.4. В его частотообразующую цепь, кроме резистора R4 и конденсатора C3, входит сопротивление участка эмиттер — коллектор транзистора VT4, цепь смещения которого (резисторы R6, R7) питается положительным напряжением, снимаемым с выхода устройства. Благодаря этому длительность генерируемых мультивибратором импульсов оказывается обратно пропорциональной выходному напряжению (при его уменьшении длительность импульсов увеличивается и наоборот). Триггер DD1.5, DD1.6 улучшает форму импульсов.

Импульсное напряжение, снимаемое с выхода триггера, усиливается по мощности транзисторами VT2, VT3 и повышается трансформатором T1. Выпрямленное диодами VD4 — VD7

8. Трансформаторные преобразователи напряжения

напряжение поступает в нагрузку через фильтр из электролитических конденсаторов С6, С7 и шунтирующих их керамических конденсаторов С8, С9 (они улучшают фильтрацию высокочастотных составляющих выпрямленного напряжения). Выходное напряжение преобразователя устанавливается потенциометром R6.

Напряжение питания устройства поддерживается неизменным стабилизатором на транзисторе VT1 и стабилитроне VD3.

Трансформатор Т1 выполнен на ферритовом броневом магнитопроводе внешним диаметром 30 и высотой 18 мм. Обмотка I содержит 17 витков провода ПЭЛ 1,0, обмотка II — 2x40 витков провода ПЭЛ 0,23.

Транзистор VT3 устанавливается на теплоотводе с площадью 50...60 см².

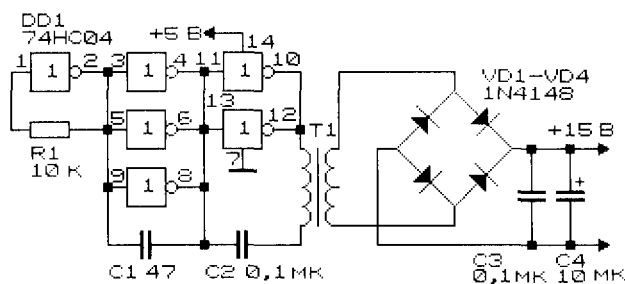


Рис. 8.5. Схема преобразователя напряжения на основе КМОП-микросхемы

Схема преобразователя напряжения на основе КМОП-микросхемы [8.6], имеющего гальваническую развязку выходного напряжения, показана на рис. 8.5. Преобразователь работает на частоте 500 кГц. Его выходной каскад через разделительный конденсатор С2 нагружен на обмотку трансформатора Т1. Выходное напряжение выпрямляется диодным мостом на высокочастотных диодах. Трансформатор Т1 намотан на ферритовом кольце диаметром 35 мм с магнитной проницаемостью 2000 и содержит 7 и 25 витков провода диаметром 0,8 мм в тефлоновой изоляции. При токе нагрузки 10 мА КПД устройства достигает 60%. Отечественные приблизительные аналоги микросхемы DA1 — КР1554ЛН1 или КР1564ЛН1.

9. Автогенераторные преобразователи напряжения

В генераторах с самовозбуждением (автогенераторах) для возбуждения электрических колебаний обычно используется положительная обратная связь. Существуют также автогенераторы на активных элементах с отрицательным динамическим сопротивлением, однако в качестве преобразователей они практически не используются.

Наиболее простая схема однокаскадного преобразователя напряжения на основе автогенератора показана на рис. 9.1 [9.1]. Этот вид генераторов получил название блокинг-генераторов. Фазовый сдвиг для обеспечения условия возникновения колебаний в нем обеспечивается определенным включением обмоток.

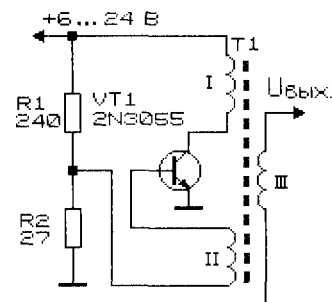


Рис. 9.1. Схема преобразователя напряжения с трансформаторной обратной связью

Аналог транзистора 2N3055 — КТ819ГМ.

Блокинг-генератор позволяет получать короткие импульсы при большой скважности. По форме эти импульсы приближаются к прямоугольным. Емкости колебательных контуров блокинг-генератора, как правило, невелики и обусловлены межвитковыми емкостями и емкостью монтажа. Предельная частота генерации блокинг-генератора — сотни кГц. Недостатком этого вида генераторов является выраженная зависимость частоты генерации от изменения питающего напряжения.

9. Автогенераторные преобразователи напряжения

Резистивный делитель в цепи базы транзистора преобразователя (рис. 9.1) предназначен для создания начального смещения.

Несколько видоизмененный вариант преобразователя с трансформаторной обратной связью представлен на рис. 9.2 [9.2].

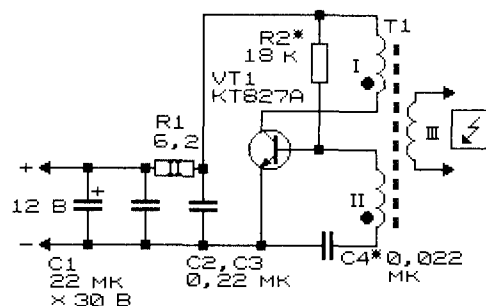


Рис. 9.2. Схема основного (промежуточного) блока источника высоковольтного напряжения на основе автогенераторного преобразователя

Автогенератор работает на частоте примерно 30 кГц. На выходе преобразователя формируется напряжение амплитудой до 1 кВ (определяется числом витков повышающей обмотки трансформатора).

Трансформатор T1 выполнен на диэлектрическом каркасе, вставляемом в броневой сердечник B26 из феррита M2000HM1 (M1500HM1). Первичная обмотка содержит 6 витков; вторичная обмотка — 20 витков провода ПЭЛШО диаметром 0,18 мм (0,12...0,23 мм). Повышающая обмотка для достижения выходного напряжения величиной 700...800 В имеет примерно 1800 витков провода ПЭЛ диаметром 0,1 мм. Через каждые 400 витков при намотке укладывается диэлектрическая прокладка из конденсаторной бумаги, слои пропитывают конденсаторным или трансформаторным маслом. Места выводов катушки заливают парафином.

Этот преобразователь может быть использован в качестве промежуточного для питания последующих ступеней формирования высокого напряжения (например с электрическими разрядниками или тиристорами).

9. Автогенераторные преобразователи напряжения

Следующий преобразователь напряжения (США) также выполнен на одном транзисторе (рис. 9.3). Стабилизация напряжения смещения базы осуществляется тремя последовательно включенными диодами VD1 — VD3 (прямое смещение).

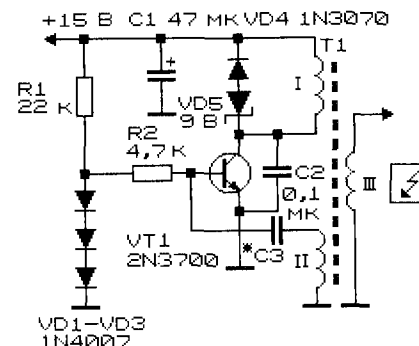


Рис. 9.3. Схема преобразователя напряжения с трансформаторной обратной связью

Коллекторный переход транзистора VT1 защищен конденсатором C2, кроме того, параллельно коллекторной обмотке трансформатора T1 подключена цепочка из диода VD4 и стабилитрона VD5.

Генератор вырабатывает импульсы, по форме близкие к прямоугольным. Частота генерации составляет 10 кГц и определяется величиной емкости конденсатора C3.

Аналог транзистора 2N3700 — KT630A.

Схема двухтактного трансформаторного преобразователя напряжения показана на рис. 9.4. Аналог транзистора 2N3055 — KT819GM.

Трансформатор высоковольтного преобразователя (рис. 9.4) может быть выполнен с использованием ферритового незамкнутого сердечника круглого или прямоугольного сечения, а также на основе телевизионного строчного трансформатора. При использовании ферритового сердечника круглой формы диаметром 8 мм число витков высоковольтной обмотки в зависимости от требуемой величины выходного напряжения может достигать 8000 витков провода диаметром 0,15...0,25 мм. Коллекторные обмотки содержат по 14 витков провода диаметром 0,5...0,8 мм. Обмотки

9. Автогенераторные преобразователи напряжения

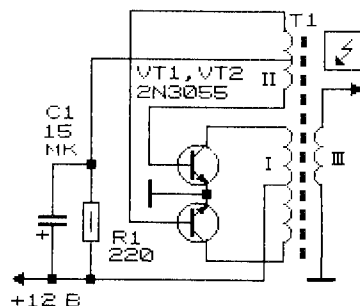


Рис. 9.4. Схема двухтактного преобразователя с трансформаторной обратной связью

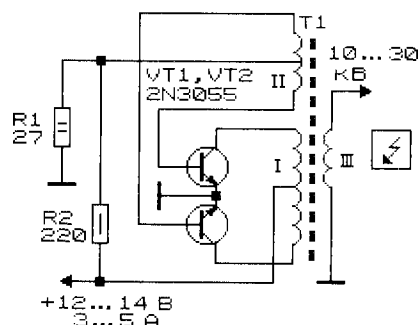


Рис. 9.5. Вариант схемы высоковольтного преобразователя с трансформаторной обратной связью

обратной связи (базовые обмотки) содержат по 6 витков такого же провода. При подключении обмоток следует соблюдать их фазировку. Выходное напряжение преобразователя — до 8 кВ.

В качестве транзисторов преобразователя могут быть использованы транзисторы отечественного производства, например, *КТ819* и им подобные.

Вариант схемы аналогичного преобразователя напряжения показан на рис. 9.5 [9.3]. Основное различие заключается в цепях подачи смещения на базы транзисторов.

Число витков первичной (коллекторной) обмотки — 2x5 витков диаметром 1,29 мм; вторичной — 2x2 витков диаметром 0,64 мм. Выходное напряжение преобразователя целиком

9. Автогенераторные преобразователи напряжения

определяется числом витков повышающей обмотки и может достигать 10...30 кВ.

Преобразователь напряжения *А. Чаплыгина* [9.4] не содержит резисторов (рис. 9.6). Он питается от батареи напряжением 5 В и способен отдавать в нагрузку до 1 А при напряжении 12 В.

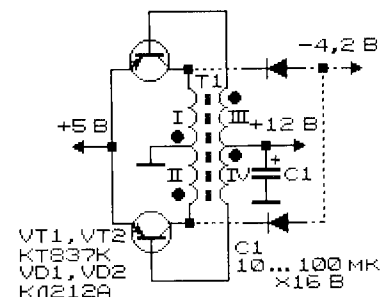


Рис. 9.6. Схема простого высокоэффективного преобразователя напряжения с питанием от батареи 5 В

Диодами выпрямителя служат переходы транзисторов автогенератора.

Устройство способно работать и при пониженном до 1 В напряжении питания. Для маломощных вариантов преобразователя можно использовать транзисторы типа *КТ208*, *КТ209*, *КТ501* и другие. Максимальный ток нагрузки не должен превышать максимального тока базы транзисторов.

Диоды *VD1* и *VD2* — не обязательны, однако позволяют получить на выходе дополнительное напряжение 4,2 В отрицательной полярности. КПД устройства около 85%.

Трансформатор *T1* выполнен на кольце *K18x8x5 2000НМ1*. Обмотки I и II имеют по 6, III и IV — по 10 витков провода *ПЭЛ-2 0,5*.

Преобразователь напряжения (рис. 9.7) выполнен по схеме индуктивной трехточки и предназначен для измерений высокоомных сопротивлений и позволяет получить на выходе нестабилизированное напряжение 120...150 В [9.5]. Потребляемый преобразователем ток около 3...5 мА при напряжении питания 4,5 В. Трансформатор для этого устройства может быть создан на основе телевизионного трансформатора *БТК-70*. Его вторичную обмотку удаляют, взамен нее наматывают низковольтную

9. Автогенераторные преобразователи напряжения

обмотку преобразователя — 90 витков (два слоя по 45 витков) провода ПЭВ-1 0,19...0,23 мм. Отвод от 70-го витка снизу по схеме. Резистор R1 — величиной 12...51 кОм.

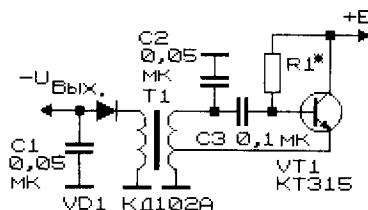


Рис. 9.7. Схема преобразователя напряжения по схеме индуктивной трехточки

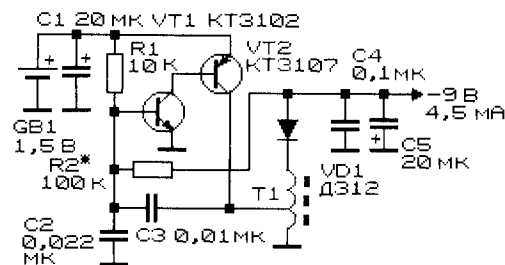


Рис. 9.8. Схема преобразователя напряжения 1,5 В/–9 В

Преобразователь (рис. 9.8) представляет собой одноктактный релаксационный генератор с емкостной положительной обратной связью (C2, C3) [9.6]. В коллекторную цепь транзистора VT2 включен повышающий автотрансформатор T1. В преобразователе использовано обратное включение выпрямительного диода VD1, т.е. при открытом транзисторе VT2 к обмотке автотрансформатора приложено напряжение питания $U_{\text{п}}$, и на выходе автотрансформатора появляется импульс напряжения. Однако включенный в обратном направлении диод VD1 в это время закрыт, и нагрузка отключена от преобразователя.

В момент паузы, когда транзистор закрывается, полярность напряжения на обмотках T1 изменяется на противоположную, диод VD1 открывается, и выпрямленное напряжение прикладывается к нагрузке. При последующих циклах, когда транзистор VT2 запирается, конденсаторы фильтра (C4, C5) разряжаются через

9. Автогенераторные преобразователи напряжения

нагрузку, обеспечивая протекание постоянного тока. Индуктивность повышающей обмотки автотрансформатора T1 при этом играет роль дросселя сглаживающего фильтра.

Для устранения подмагничивания сердечника автотрансформатора постоянным током транзистора VT2 используется переманивание сердечника автотрансформатора за счет включения параллельно его обмотке конденсаторов C2 и C3, которые одновременно являются делителем напряжения обратной связи. Когда транзистор VT2 закрывается, конденсаторы C2 и C3 в течение паузы разряжаются через часть обмотки трансформатора, переманивая сердечник T1 током разряда.

Частота генерации зависит от напряжения на базе транзистора VT1. Стабилизация выходного напряжения осуществляется за счет отрицательной обратной связи (ООС) по постоянному напряжению посредством R2. При понижении выходного напряжения увеличивается частота генерируемых импульсов при примерно одинаковой их длительности. В результате увеличивается частота подзарядки конденсаторов фильтра C4 и C5 и падение напряжения на нагрузке компенсируется. При увеличении выходного напряжения частота генерации, наоборот, уменьшается. Так, после заряда накопительного конденсатора C5 частота генерации падает в десятки раз. Остаются лишь редкие импульсы, компенсирующие разряд конденсаторов в режиме покоя. Такой способ стабилизации позволил уменьшить ток покоя преобразователя до 0,5 мА.

Транзисторы VT1 и VT2 должны иметь возможно больший коэффициент усиления для повышения экономичности. Обмотка автотрансформатора намотана на ферритовом кольце K10x6x2 из материала 2000НМ и имеет 300 витков провода ПЭЛ-0,08 с отводом от 50-го витка (считая от «заземленного» вывода). Диод VD1 должен быть высокочастотным и иметь малый обратный ток.

Налаживание преобразователя сводится к установке выходного напряжения равным –9 В путем подбора резистора R2.

На рис. 9.9 показана схема преобразователя стабилизированного напряжения с широтно-импульсным управлением [9.7]. Преобразователь сохраняет работоспособность при уменьшении напряжения батареи с 9...12 до 3 В. Такой преобразователь оказывается наиболее пригодным при батарейном питании аппаратуры.

9. Автогенераторные преобразователи напряжения

КПД стабилизатора — не менее 70%. Стабилизация сохраняется при уменьшении напряжения источника питания ниже выходного стабилизированного напряжения преобразователя, чего не может обеспечить традиционный стабилизатор напряжения. Принцип стабилизации, использованный в данном преобразователе напряжения, описан в [9.8].

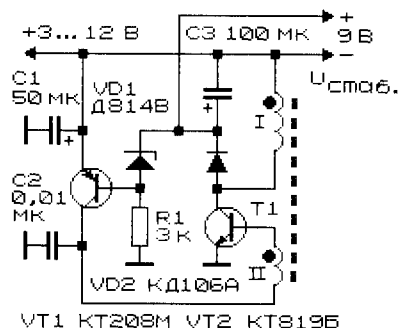


Рис. 9.9. Схема преобразователя стабилизированного напряжения

При включении преобразователя ток через резистор R1 открывает транзистор VT1, коллекторный ток которого, протекая через обмотку II трансформатора T1, открывает мощный транзистор VT2. Транзистор VT2 входит в режим насыщения, и ток через обмотку I трансформатора линейно увеличивается. В трансформаторе происходит накопление энергии. Через некоторое время транзистор VT2 переходит в активный режим, в обмотках трансформатора возникает ЭДС самоиндукции, полярность которой противоположна приложенному к ним напряжению (магнитопровод трансформатора не насыщается). Транзистор VT2 лавинообразно закрывается и ЭДС самоиндукции обмотки I через диод VD2 заряжает конденсатор C3. Конденсатор C2 способствует более четкому закрыванию транзистора. Далее процесс повторяется.

Через некоторое время напряжение на конденсаторе C3 увеличивается настолько, что открывается стабилитрон VD1, и базовый ток транзистора VT1 уменьшается, при этом уменьшается ток базы, а значит, и коллекторный ток транзистора VT2. Поскольку накопленная в трансформаторе энергия определяется коллекторным током транзистора VT2, дальнейшее увеличение

9. Автогенераторные преобразователи напряжения

напряжения на конденсаторе C3 прекращается. Конденсатор разряжается через нагрузку. Таким образом на выходе преобразователя поддерживается постоянное напряжение.

Выходное напряжение задает стабилитрон VD1. Частота преобразования изменяется в пределах 20...140 кГц.

Преобразователь напряжения [9.7], схема которого показана на рис. 9.10, отличается тем, что в нем цепь нагрузки гальванически развязана от цепи управления. Это позволяет получить несколько вторичных стабильных напряжений. Использование интегрирующего звена в цепи обратной связи позволяет улучшить стабилизацию вторичного напряжения.

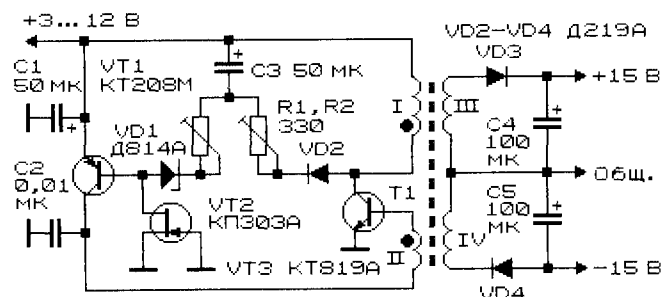


Рис. 9.10. Схема преобразователя стабилизированного напряжения с биполярным выходом

Частота преобразования уменьшается почти линейно при уменьшении питающего напряжения. Это обстоятельство усиливает обратную связь в преобразователе и повышает стабильность вторичного напряжения. Напряжение на сглаживающих конденсаторах вторичных цепей зависит от энергии импульсов, получаемых от трансформатора. Наличие резистора R2 делает напряжение на накопительном конденсаторе C3 зависимым и от частоты следования импульсов, причем степень зависимости (крутизна) определяется сопротивлением этого резистора. Таким образом, подстроечным резистором R2 можно устанавливать желаемую зависимость изменения напряжения вторичных обмоток от изменения напряжения питания. Полевой транзистор VT2 — стабилизатор тока. КПД преобразователя может достигать до 70...90%.

9. Автогенераторные преобразователи напряжения

Нестабильность выходного напряжения при напряжении питания 4...12 В не более 0,5%, а при изменении температуры окружающего воздуха от -40 до $+50^{\circ}\text{C}$ — не более 1,5%. Максимальная мощность нагрузки — 2 Вт.

При налаживании преобразователя резисторы R1 и R2 устанавливаются в положение минимального сопротивления и подключают эквиваленты нагрузок R_n . На вход устройства подается напряжение питания 12 В и с помощью резистора R1 на нагрузку R_n устанавливается напряжение 15 В. Далее напряжение питания уменьшают до 4 В и резистором R2 добиваются напряжения на выходе также 15 В. Повторяя этот процесс несколько раз, добиваются стабильного напряжения на выходе.

Обмотки I и II и магнитопровод трансформатора у обоих вариантов преобразователя одинаковы. Обмотки намотаны на бронеовом магнитопроводе Б26 из феррита 1500НМ. Обмотка I содержит 8 витков провода ПЭЛ 0,8, а II — 6 витков провода ПЭЛ 0,33 (каждая из обмоток III и IV состоит из 15 витков провода ПЭЛ 0,33 мм).

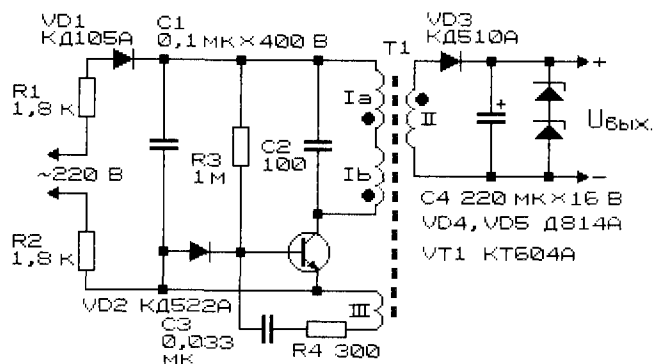


Рис. 9.11. Схема понижающего преобразователя напряжения на основе блокинг-генератора

Схема простого малогабаритного преобразователя сетевого напряжения, выполненного из доступных элементов, показана на рис. 9.11 [9.9]. В основе устройства обычный блокинг-генератор на транзисторе VT1 (KT604, KT605A, KT940).

Трансформатор T1 намотан на бронеовом сердечнике Б22 из феррита М2000НН. Обмотки Ia и Ib содержат 150+120 витков

9. Автогенераторные преобразователи напряжения

провода ПЭЛШО 0,1 мм. Обмотка II имеет 40 витков провода ПЭЛ 0,27 мм; III — 11 витков провода ПЭЛШО 0,1 мм. Вначале наматывается обмотка Ia, затем — II, после — обмотка Ib, и, наконец, обмотка III.

Источник питания не боится короткого замыкания или обрыва в нагрузке, однако имеет большой коэффициент пульсаций напряжения, низкий КПД, небольшую выходную мощность (до 1 Вт) и значительный уровень электромагнитных помех. Питая преобразователь можно и от источника постоянного тока напряжением 120 В. В этом случае резисторы R1 и R2 (а также диод VD1) следует исключить из схемы.

Слаботочный преобразователь напряжения для питания газоразрядного счетчика Гейгера-Мюллера может быть собран по схеме на рис. 9.12 [9.10]. Преобразователь представляет собой транзисторный блокинг-генератор с дополнительной повышающей обмоткой. Импульсы с этой обмотки заряжают конденсатор C3 через выпрямительные диоды VD2, VD3 до напряжения 440 В. Конденсатор C3 должен быть либо слюдяным, либо керамическим, на рабочее напряжение не ниже 500 В. Длительность импульсов блокинг-генератора примерно 10 мкс. Частота следования импульсов (десятки Гц) зависит от постоянного времени цепи R1, C2.

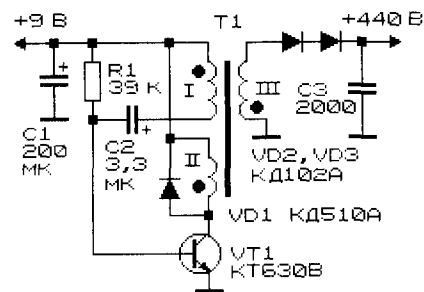


Рис. 9.12. Схема слаботочного преобразователя напряжения для питания газоразрядного счетчика Гейгера-Мюллера

Магнитопровод трансформатора T1 изготавливают из двух склеенных вместе ферритовых колец К16х10х4,5 3000НМ и изолируют его слоем лакоткани, тефлона или фторопласта. Вначале наматывают внавал обмотку III — 420 витков провода ПЭВ-2 0,07, заполняя магнитопровод равномерно. Поверх обмотки III

9. Автогенераторные преобразователи напряжения

накладывают слой изоляции. Обмотки I (8 витков) и II (3 витка) наматывают любым проводом поверх этого слоя, их также следует возможно равномернее распределить по кольцу.

Следует обратить внимание на правильную фазировку обмоток, она должна быть выполнена до первого включения.

При сопротивлении нагрузки порядка единиц МОм преобразователь потребляет ток 0,4...1,0 мА.

Преобразователь напряжения (рис. 9.13) предназначен для питания фотовспышки [9.11, 9.12]. Трансформатор Т1 выполнен на магнитопроводе из двух сложенных вместе пермалловых колец К40х28х6. Обмотка коллекторной цепи транзистора VT1 имеет 16 витков ПЭВ-2 0,6 мм; его базовой цепи — 12 витков такого же провода. Повышающая обмотка содержит 400 витков ПЭВ-2 0,2.

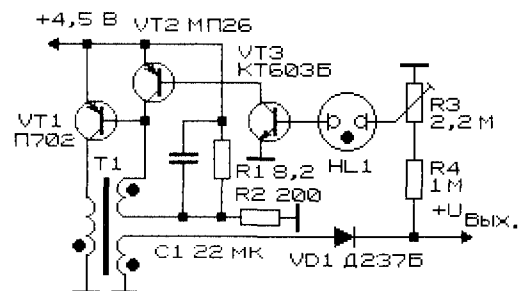


Рис. 9.13. Схема преобразователя напряжения для фотовспышки

Неоновая лампа HL1 использована от стартера лампы дневного света.

Выходное напряжение преобразователя плавно повышает на конденсаторе фотовспышки до 200 В за 50 секунд. Устройство при этом потребляет ток до 0,6 А.

Для питания ламп-вспышек предназначен преобразователь напряжения ПН-70, являющийся основой описываемого ниже устройства (рис. 9.14). Обычно энергия батарей преобразователя расходуется с минимальной эффективностью. Вне зависимости от частоты следования вспышек света генератор работает непрерывно, расходуя большое количество энергии и разряжая батареи.

9. Автогенераторные преобразователи напряжения

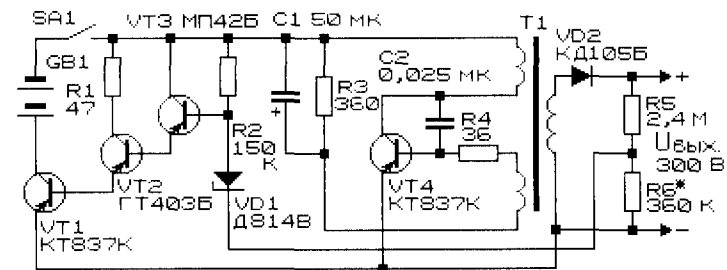


Рис. 9.14. Схема модифицированного преобразователя напряжения ПН-70

Перевести работу преобразователя в ждущий режим удалось О. Панчику [9.13], который включил на выходе преобразователя резистивный делитель R5, R6 и подал сигнал с него через стабилитрон VD1 на электронный ключ, выполненный на транзисторах VT1 — VT3 по схеме Дарлингтона. Как только напряжение на конденсаторе фотовспышки (на схеме не показан) достигнет номинального значения, определяемого значением резистора R6, стабилитрон VD1 пробьется, а транзисторный ключ отключит батарею питания (9 В) от преобразователя. Когда напряжение на выходе преобразователя понизится в результате саморазряда или разряда конденсатора на лампу-вспышку, стабилитрон VD1 перестанет проводить ток, произойдет включение ключа и, соответственно, преобразователя.

Транзистор VT1 должен быть установлен на медном радиаторе размерами 50х22х0,5 мм.

10. Повышающие трансформаторные преобразователи напряжения большой мощности

Повышающие трансформаторные преобразователи напряжения на транзисторах широко используются в нестационарных и полевых условиях для замены сети 220 В 50 Гц для питания сетевой аппаратуры и приборов.

Такие преобразователи должны обеспечивать выходную мощность от единиц до сотен ватт при питании от аккумуляторов или генераторов постоянного тока напряжением от 6 до 24 В.

Обычно в качестве преобразователей напряжения повышенного напряжения используют автогенераторные преобразователи или трансформаторные преобразователи с внешним возбуждением.

Пример двухтактного трансформаторного автогенератора [10.1], преобразующего постоянное напряжение 12 В в переменное 220 В, показан на рис. 10.1. Преобразователь работает на повышенной частоте преобразования — 500 Гц (под нагрузкой) и 700 Гц на холостом ходу. КПД преобразователя около 75%. Такой преобразователь можно использовать, преимущественно, для питания активной нагрузки, например, паяльника, осветительной лампы. Его выходная мощность — до 40 Вт.

Резистор R1 является ограничителем базового тока. Цепь R2, C1 создает запускающий импульс тока в момент включения питания генератора. Дроссель L1 ДПМ-0,4 снижает вероятность самовозбуждения преобразователя на повышенной частоте (более 10 кГц).

Для трансформатора T1 использован магнитопровод трансформатора кадровой развертки (ТБК). Все его обмотки перемотаны. Обмотки I и II содержат по 30 витков провода ПЭВ 0,6...0,8. Обмотка III содержит 20 витков провода ПЭВ 0,16...0,2; обмотка IV — 1000 витков такого же провода. Намотка обмоток I и II ведется одновременно в два провода виток к витку. Обмотка III

10. Преобразователи большой мощности

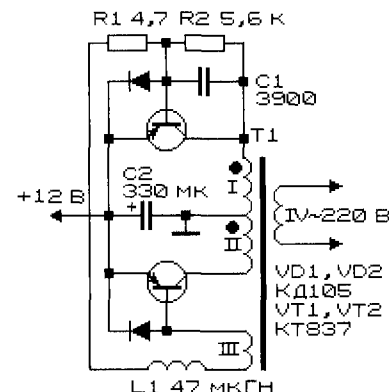


Рис. 10.1. Схема преобразователя напряжения средней мощности

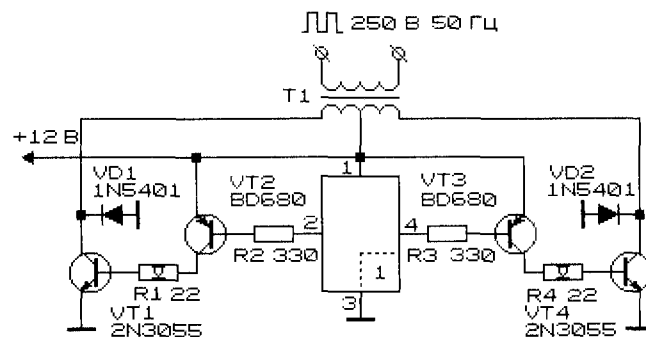


Рис. 10.2. Схема мощного преобразователя напряжения

наматывается также виток к витку. Обмотка IV — внавал равномерно по каркасу.

Повышающий трансформаторный преобразователь напряжения аккумулятора (рис. 10.2) позволяет получить на выходе напряжение 220 В 50 Гц, потребляя при напряжении 12 В ток 5 А [10.2].

В основе устройства — задающий генератор прямоугольных импульсов, выполненный по схеме мультивибратора, типовая схема которого была приведена ранее на рис. 1.1. Рабочая частота этого генератора должна быть 50 Гц. Поскольку выходная мощность задающего генератора невелика, к выходам мультивибратора подключены двухкаскадные усилители мощности, позволяющие получить усиление по мощности до 1000 раз.

10. Преобразователи большой мощности

На выходе усилителя включен повышающий низкочастотный трансформатор Т1. Диоды VD1 и VD2 защищают выходные транзисторы преобразователя при их работе на индуктивную нагрузку.

В качестве трансформатора Т1 можно использовать унифицированные трансформаторы типа ТАН или ТПП. Транзисторы VT1 и VT4 допустимо заменить на КТ819ГМ (с радиаторами); VT2 и VT3 — КТ814, КТ816, КТ837; диоды VD1 и VD2 — Д226.

Преобразователь постоянного напряжения 12 В в переменное 220 В (рис. 10.3) может обеспечить выходную мощность 100 Вт [10.3].

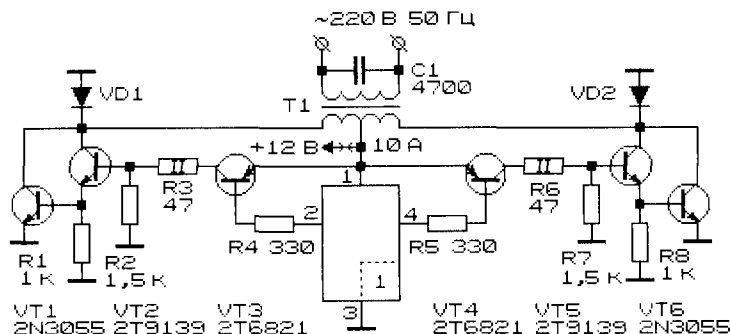


Рис. 10.3. Схема преобразователя напряжения мощностью 100 Вт

На преобразователь подается постоянное напряжение 12 В от аккумулятора. Его задающий генератор формирует два паразитных напряжения с частотой 50 Гц (частота промышленной сети). Напряжения с задающего генератора подаются на два однотипных импульсных усилителя, которые коммутируют напряжение на первичной обмотке трансформатора Т1. Со вторичной обмотки трансформатора Т1 переменное напряжение 220 В частотой 50 Гц поступает в нагрузку.

Задающий генератор (см. типовую схему узла на рис. 1.1) на основе симметричного мультивибратора отличается использованием диодов, включенных в базовые цепи транзисторов. За счет нелинейности ВАХ диодов выходные импульсы мультивибратора имеют незначительные выбросы.

К выходам задающего генератора подключены два однотипных трехкаскадных усилителя. На вторичной обмотке Т1 получается переменное напряжение 220 В.

10. Преобразователи большой мощности

Силовой трансформатор Т1 намотан на Ш-образном магнитопроводе сечением 12 см². Первичная обмотка содержит две половины по 240 витков провода ПЭЛ 0,65 мм. Вторичная обмотка имеет 4400 витков провода ПЭЛ 0,25 мм.

Выходные транзисторы VT1 и VT6 установлены на радиаторы площадью по 100 см².

Для защиты выходных транзисторов следует использовать высокочастотные диоды VD1 и VD2 типа КД213, КД2997. Транзисторы VT1 и VT6 можно заменить на КТ819ГМ (с радиаторами); VT2 и VT5 — КТ805; VT3 и VT4 — КТ208.

Схема простого преобразователя напряжения, позволяющего при питании от автомобильного аккумулятора 12 В получить на выходе напряжение 220 В 50 Гц, показана на рис. 10.4. [10.4]. Максимальная выходная мощность преобразователя — 100 Вт, КПД — до 50%.

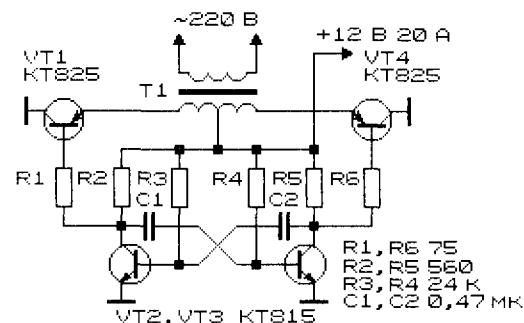


Рис. 10.4. Схема простого преобразователя напряжения

Задающий генератор выполнен по схеме традиционного симметричного мультивибратора, выполненного на транзисторах VT2 и VT3 (КТ815). Выходные каскады преобразователя собраны на составных транзисторах VT1 и VT4 (КТ825). Эти транзисторы установлены без изолирующих прокладок на общий радиатор.

Устройство потребляет от аккумулятора ток до 20 А.

В качестве силового использован готовый сетевой трансформатор на 100 Вт (сечение центральной части железного сердечника — около 10 см²). У него должны быть две вторичные обмотки, рассчитанные на 8 В/10 А каждая.

Для того, чтобы частота работы задающего генератора была равна 50 Гц, подбирают номиналы резисторов R3 и R4.

Преобразователь напряжения повышенной мощности работает от аккумуляторной батареи (рис. 10.5) и позволяет получить на выходе переменное напряжение 220 В частотой 50 Гц [10.5]. Мощность нагрузки может достигать 200 Вт.

Трансформатор T1 намотан на ленточном магнитопроводе ШЛ12х20. Первичная обмотка содержит 500 витков ПЭВ-2 0,21, отвод от середины. Обмотки управления имеют по 30 витков того же провода диаметром 0,4 мм.

Трансформатор T2 — также на ленточном магнитопроводе ШЛ32х38. Первичная обмотка содержит 96 витков провода ПЭВ-2 2,5, отвод от середины. Вторичная обмотка имеет 920 витков провода ПЭВ-2 диаметром 0,56 мм.

Выходные транзисторы устанавливаются на радиаторах площадью по 200 см². Сильноточные токовводы должны иметь сечение не менее 4 мм².

Работа преобразователя проверялась от аккумулятора 6СТ60.

Для питания электробритвы от автомобильной бортовой сети с постоянным напряжением 12 В предназначено следующее устройство (рис. 10.6) [10.6]. Оно потребляет под нагрузкой ток около 2,5 А.

В преобразователе задающий генератор на триггере DD1.1 вырабатывает частоту 100 Гц. Потом делитель частоты на триггере DD1.2 уменьшает ее в 2 раза, а предварительный усилитель на транзисторах VT1, VT2 раскачивает усилитель мощности на транзисторах VT3, VT4, нагруженный на трансформатор T1. Задающий генератор обладает стабильностью частоты не хуже 5% при изменении питающего напряжения от 6 до 15 В. Делитель частоты одновременно играет роль симметрирующей ступени, позволяя улучшить форму выходного напряжения преобразователя. Микросхема DD1 K561TM2 (564TM2) и транзисторы предварительного усилителя питаются через фильтр R9, C3 и C4. Вторичная обмотка трансформатора T1 с конденсатором C5 и нагрузкой образуют колебательный контур с резонансной частотой около 50 Гц.

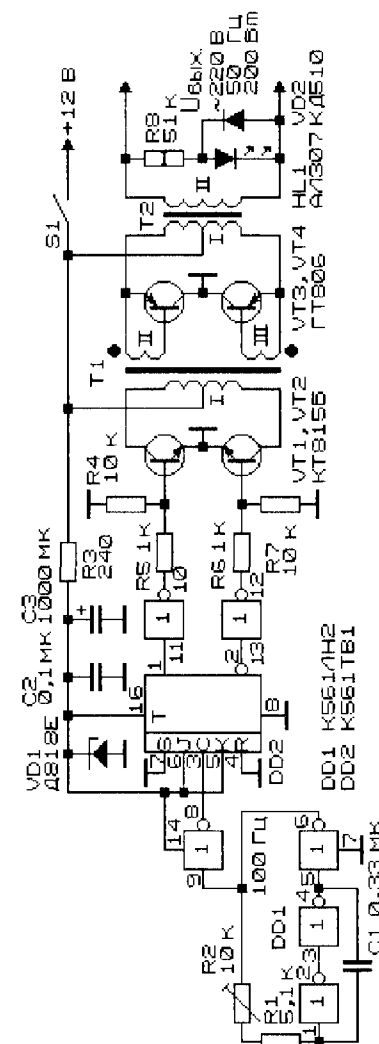


Рис. 10.5. Схема преобразователя напряжения повышенной мощности

10. Преобразователи большой мощности

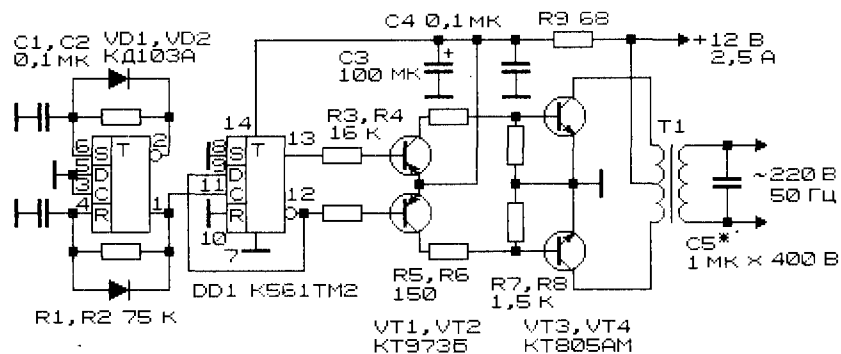


Рис. 10.6. Схема преобразователя напряжения для питания электробритвы

Трансформатор Т1 можно изготовить на основе любого сетевого трансформатора мощностью 30...50 Вт. Все ранее существовавшие вторичные обмотки с трансформатора удаляют (сетевая будет служить новой вторичной обмоткой), а вместо них наматывают проводом ПЭЛ или ПЭВ-2 диаметром 1,25 мм две полуобмотки, каждая с числом витков, соответствующим коэффициенту трансформации около 20 по отношению к оставленной обмотке на 220 В. Если число витков высоковольтной обмотки неизвестно, количество витков низковольтной обмотки определяют экспериментально, подбором числа витков до получения на выходе преобразователя напряжения 220 В.

Емкость конденсатора С5 подбирают из условия получения максимального выходного напряжения при подключенной нагрузке.

Схема преобразователя (рис. 10.6) была упрощена В. Каравкиным [10.7]. Усовершенствования коснулись только задающего генератора, схема которого показана на рис. 10.7. Этот генератор работает на частоте 50 Гц.

Преобразователь постоянного напряжения 12 В в переменное 220 В (рис. 10.8) при подключении к автомобильному аккумулятору емкостью 44 А·ч может питать 100-ваттную нагрузку в течение 2...3 часов [10.8]. Задающий генератор на симметричном мультивибраторе (VT1 и VT2) нагружен на мощные парафазные ключи (VT3 — VT8), коммутирующие ток в первичной обмотке

10. Преобразователи большой мощности

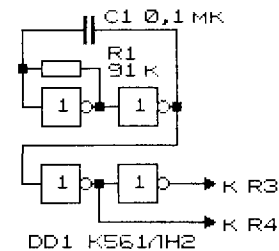


Рис. 10.7. Вариант схемы задающего генератора для преобразователя напряжения

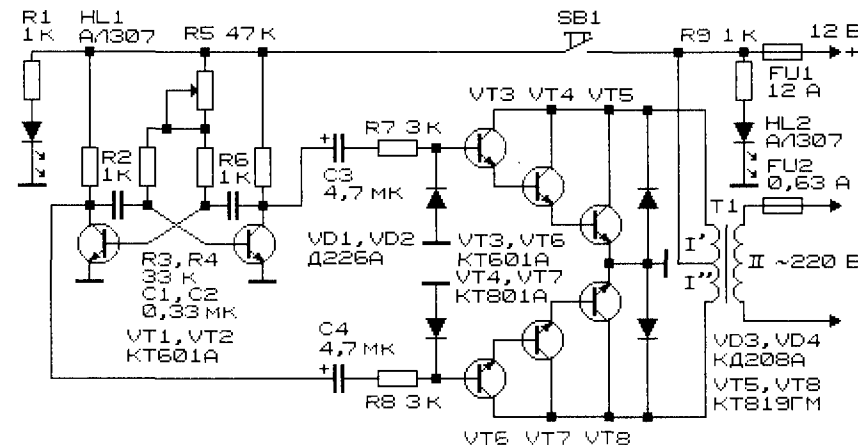


Рис. 10.8. Схема преобразователя напряжения на 100 Вт

повышающего трансформатора Т1. Мощные транзисторы VT5 и VT8 защищены от перенапряжений при работе без нагрузки диодами VD3 и VD4.

Трансформатор выполнен на магнитопроводе Ш36х36, низковольтные обмотки I' и I'' имеют по 28 витков провода ПЭЛ диаметром 2,1 мм, а повышающая обмотка II — 600 витков ПЭЛ диаметром 0,6 мм, причем сначала наматывают W2, а поверх нее двойным проводом (с целью достижения симметрии полуобмоток) W1. При налаживании с помощью резистора R5 добиваются минимальных искажений формы выходного напряжения.

Схема преобразователя напряжения на 300 Вт показана на рис. 10.9 [10.9]. Задающий генератор преобразователя собран

10. Преобразователи большой мощности

на однопереходном транзисторе VT1, резисторах R1 — R3 и конденсаторе C2. Частоту генерируемых им импульсов, равную 100 Гц, D-триггер на микросхеме DD1 K561TM2 делит на 2. При этом на выходах триггера формируются парафазные импульсы, следующие с частотой 50 Гц. Они через буферные элементы — инверторы КМОП-микросхемы K561ЛН2 управляют ключевыми транзисторами (блок 1), включенными по схеме двухтактного усилителя мощности. Нагрузкой этого каскада служит трансформатор T1, повышающий импульсное напряжение до 220 В.

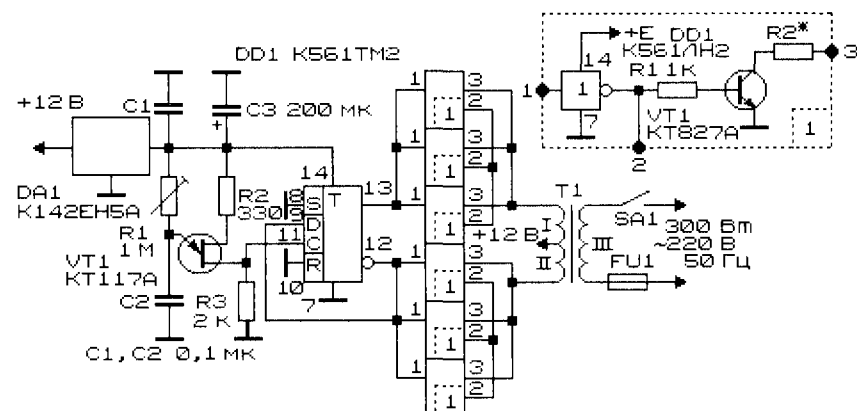


Рис. 10.9. Схема преобразователя напряжения на 300 Вт

Трансформатор T1 выполнен на магнитопроводе ПЛ25х100х20. Обмотки I и II содержат по 11 витков из алюминиевой шины сечением 3х2 мм, обмотка III выполнена проводом ПБД диаметром 1,2 мм и имеет 704 витка.

Приступая к налаживанию устройства плюсовой проводник источника питания отключают от точки соединения обмоток I и II трансформатора T1 и, пользуясь осциллографом, проверяют частоту и амплитуду импульсов на базах транзисторов. Амплитуда импульсов должна быть около 2 В, а их частоту следования, равную 50 Гц, устанавливают резистором R1.

Каждый из выходных транзисторов установлен на теплоотводе с площадью около 200 см². Резисторы в коллекторных цепях транзисторов изготовлены из нихромового провода диаметром 1,2 мм (10 витков на оправке диаметром 4 мм). Если их включить

10. Преобразователи большой мощности

в эмиттерные цепи транзисторов, то транзисторы каждого плеча можно будет установить на общий теплоотвод.

Нагрузку к преобразователю допускается подключать только после того, как на схему будет подано питание.

Все рассмотренные ранее повышающие преобразователи имели нерегулируемое и нестабилизированное выходное напряжение.

На рис. 10.10 показан простой повышающий преобразователь [10.10], к достоинствам которого можно отнести:

- стабилизированное выходное напряжение;
- возможность регулировки величины выходного напряжения в значительных пределах;
- применение широко распространенных элементов;
- использование в качестве T1 типового трансформатора ТН-46-127/220-50 без каких-либо переделок.

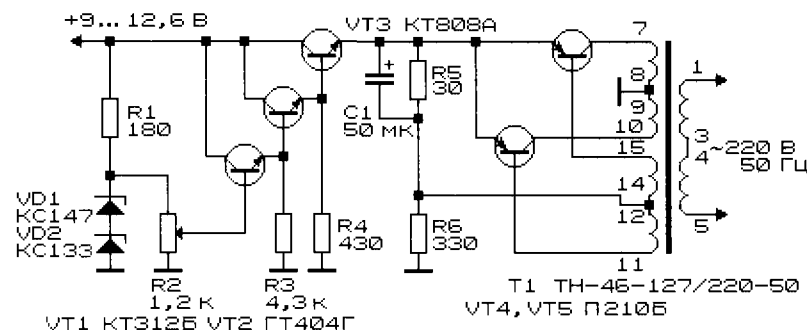


Рис. 10.10. Схема повышающего преобразователя 9...12,6 В/220 В, 18 Вт с регулируемым стабилизированным выходным напряжением переменного тока

Преобразователь выполнен на транзисторах VT4 и VT5 по классической схеме Ройера. Его питание осуществляется от регулируемого стабилизатора напряжения на транзисторах VT1 — VT3. Следует иметь в виду, что транзисторы VT3 — VT5 обязательно должны быть установлены на теплоотводящих пластинах. Составной стабилитрон VD1 — VD2 (KC147A и KC133A) можно заменить на KC182. Максимальный ток нагрузки — до 100 мА.

11. Генераторы высокого напряжения с емкостными накопителями энергии

Генераторы высокого напряжения малой мощности широко используют в дефектоскопии, для питания портативных ускорителей заряженных частиц, рентгеновских и электронно-лучевых трубок, фотоэлектронных умножителей, детекторов ионизирующих излучений. Кроме этого, их также применяют для электроимпульсного разрушения твердых тел, получения ультрадисперсных порошков, синтеза новых материалов, в качестве искровых те-чеискателей, для запуска газоразрядных источников света, при электроразрядной диагностике материалов и изделий, получении газоразрядных фотографий по методу *С. Д. Кирлиан*, тестировании качества высоковольтной изоляции. В быту подобные устройства находят применение в качестве источников питания для электронных ловителей ультрадисперсной и радиоактивной пыли, систем электронного зажигания, для электроэффлювиальных люстр (люстр *А. Л. Чижевского*), аэроионизаторов, устройств медицинского назначения (аппараты *Д'Арсонваля*, франклизации, ультратонотерапии), газовых зажигалок, электроизгородей, электрошокеров и т.д. [11.1 — 11.6].

Условно к генераторам высокого напряжения нами отнесе-ны устройства, вырабатывающие напряжение выше 1 кВ.

Генератор высоковольтных импульсов с использованием ре-зонансного трансформатора (рис. 11.1) выполнен по классиче-ской схеме на газовом разряднике *РБ-3* [11.7].

Конденсатор *C2* заряжается пульсирующим напряжением через диод *VD1* и резистор *R1* до напряжения пробоя газового разрядника. В результате пробоя газового промежутка разряд-ника конденсатор разряжается на первичную обмотку трансфор-матора, после чего процесс повторяется. В итоге на выходе трансформатора *T1* формируются затухающие высоковольтные импульсы амплитудой до 3...20 кВ.

Для защиты выходной обмотки трансформатора от перена-пряжения параллельно ей подключен разрядник, выполненный в виде электродов с регулируемым воздушным зазором.

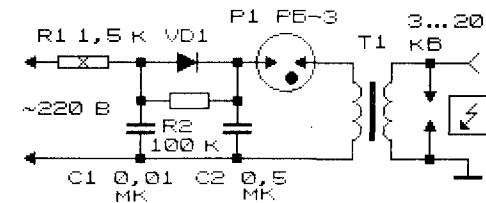


Рис. 11.1. Схема генератора высоковольтных импульсов с использованием газового разрядника

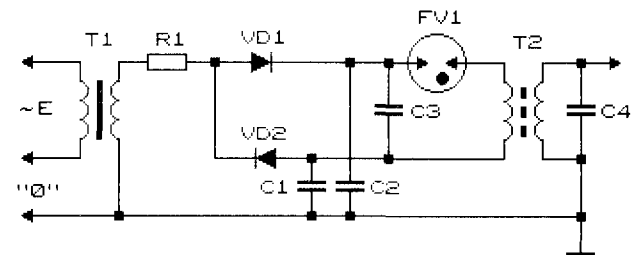


Рис. 11.2. Схема генератора высоковольтных импульсов с удвоением напряжения

Трансформатор *T1* генератора импульсов (рис. 11.1) вы-полнен на незамкнутом ферритовом сердечнике *M400НН-3* диа-метром 8 и длиной 100 мм. Первичная (низковольтная) обмотка трансформатора содержит 20 витков провода *МГШВ* 0,75 мм с шагом намотки 5...6 мм. Вторичная обмотка содержит 2400 витков рядовой намотки провода *ПЭВ-2* 0,04 мм. Первичная обмотка намотана поверх вторичной через политетрафторэти-леновую (фторопластовую) прокладку 2х0,05 мм. Вторичная об-мотка трансформатора должна быть надежно изолирована от первичной.

Вариант выполнения генератора высоковольтных импуль-сов с использованием резонансного трансформатора показан на рис. 11.2 [11.8]. В этой схеме генератора имеется гальвани-ческая развязка от питающей сети. Сетевое напряжение по-ступает на промежуточный (повышающий) трансформатор *T1*. Снимаемое со вторичной обмотки сетевого трансформатора напряжение поступает на выпрямитель, работающий по схеме удвоения напряжения.

В результате работы такого выпрямителя на верхней по схеме обкладке конденсатора C2 относительно нулевого провода появляется положительное напряжение, равное $\sqrt{2}U_{II}$, где U_{II} — напряжение на вторичной обмотке силового трансформатора.

На конденсаторе C1 формируется соответствующее напряжение противоположного знака. В результате напряжение на обкладках конденсатора C3 будет равно $2\sqrt{2}U_{II}$.

Скорость заряда конденсаторов C1 и C2 ($C1=C2$) определяется величиной сопротивления R1.

Когда напряжение на обкладках конденсатора C3 сравняется с напряжением пробоя газового разрядника FV1, произойдет пробой его газового промежутка, конденсатор C3 и, соответственно, конденсаторы C1 и C2 разрядятся, во вторичной обмотке трансформатора T2 возникнут периодические затухающие колебания. После разряда конденсаторов и отключения разрядника процесс заряда и последующего разряда конденсаторов на первичную обмотку трансформатора T2 повторится снова.

Высоковольтный генератор, используемый для получения фотографий в газовом разряде, а также для сбора ультрадисперсной и радиоактивной пыли (рис. 11.3) [11.2 — 11.5] состоит из удвоителя напряжения, релаксационного генератора импульсов и повышающего резонансного трансформатора.

Удвоитель напряжения выполнен на диодах VD1, VD2 и конденсаторах C1, C2. Зарядную цепочку образуют конденсаторы C1 — C3 и резистор R1. Параллельно конденсаторам C1 — C3 включен газовый разрядник на 350 В с последовательно соединенной первичной обмоткой повышающего трансформатора T1.

Как только уровень постоянного напряжения на конденсаторах C1 — C3 превысит напряжение пробоя разрядника, конденсаторы разрядятся через обмотку повышающего трансформатора и в результате образуется высоковольтный импульс. Элементы схемы подобраны так, что частота формирования импульсов около 1 Гц. Конденсатор C4 предназначен для защиты выходного зажима прибора от попадания сетевого напряжения.

Выходное напряжение устройства целиком определяется свойствами используемого трансформатора и может достигать 15 кВ. Высоковольтный трансформатор [11.2, 11.3] на выходное

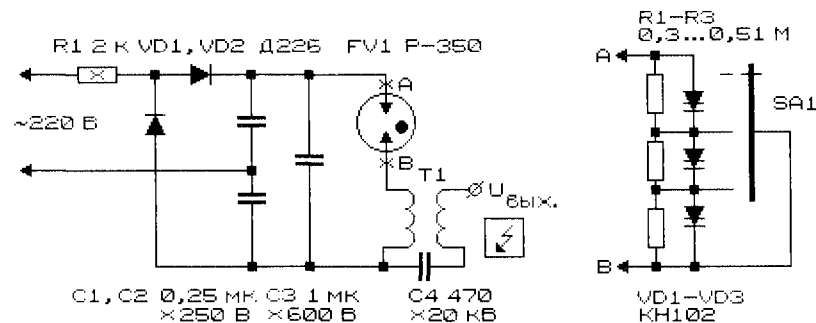


Рис. 11.3. Схема генератора импульсов высокого напряжения с использованием газового разрядника или динисторов

напряжение порядка 10 кВ выполнен на диэлектрической трубке с внешним диаметром 8 и длиной 150 мм, внутри расположен медный электрод диаметром 1,5 мм. Вторичная обмотка содержит 3...4 тысячи витков провода ПЭЛШО 0,12, намотанных виток к витку в 10...13 слоев (ширина намотки 70 мм) и пропитанных клеем БФ-2 с межслойной изоляцией из политетрафторэтилена. Первичная обмотка содержит 20 витков провода ПЭВ 0,75, пропущенного через кембрик из поливинилхлорида.

В качестве такого трансформатора можно также применить модифицированный выходной трансформатор строчной развертки телевизора; трансформаторы электронных зажигалок, ламп-вышек, катушек зажигания и др.

Газовый разрядник P-350 может быть заменен переключаемой цепочкой динисторов типа KH102 (рис. 11.3, справа), что позволит ступенчато изменять выходное напряжение [11.5]. Для равномерного распределения напряжения на динисторах параллельно к каждому из них подключены резисторы одинакового номинала сопротивлением 300...510 кОм.

Вариант схемы высоковольтного генератора с использованием в качестве порогово-коммутирующего элемента газонаполненного прибора — тиратрона показан на рис. 11.4 [11.9].

Сетевое напряжение выпрямляется диодом VD1. Выпрямленное напряжение сглаживается конденсатором C1 и подается на зарядную цепочку R1, C2. Как только напряжение на конденсаторе C2 достигнет напряжения зажигания тиратрона VL1, он

11. Генераторы высокого напряжения

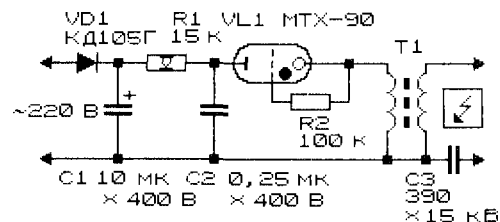


Рис. 11.4. Схема генератора импульсов высокого напряжения с использованием тиратрона

вспыхивает. Конденсатор C2 разряжается через первичную обмотку трансформатора T1, тиратрон гаснет, конденсатор вновь начинает заряжаться и т.д.

В качестве трансформатора T1 использована автомобильная катушка зажигания [11.9].

Вместо тиратрона VL1 MTX-90 можно включить один или несколько динисторов типа KH102. Амплитуду высокого напряжения можно регулировать количеством включенных динисторов.

Конструкция высоковольтного преобразователя с использованием тиратронного коммутатора описана в работе [11.10]. Отметим, что для разряда конденсатора могут быть использованы и другие виды газонаполненных приборов.

Более перспективно применение в современных генераторах высокого напряжения полупроводниковых переключающих приборов. Их достоинства отчетливо выражены: это высокая повторяемость параметров, меньшая стоимость и габариты, высокая надежность.

Ниже будут рассмотрены генераторы высоковольтных импульсов с использованием полупроводниковых коммутирующих приборов (динисторов, тиристоров, биполярных и полевых транзисторов).

Вполне равноценным, но слабوتочным аналогом газовых разрядников являются динисторы.

На рис. 11.5 показана электрическая схема генератора, выполненного на динисторах [11.11]. По своей структуре генератор полностью подобен описанным ранее (рис. 11.1, 11.4). Основное отличие заключается в замене газового разрядника цепочкой последовательно включенных динисторов.

11. Генераторы высокого напряжения

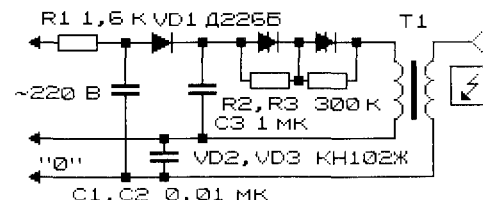


Рис. 11.5. Схема генератора высоковольтных импульсов на динисторах

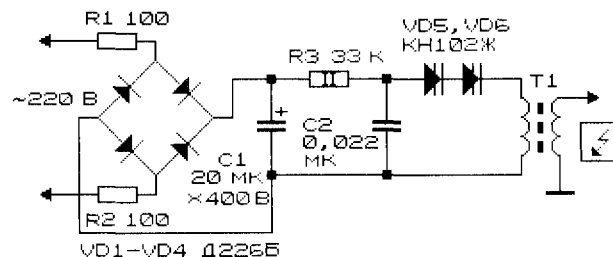


Рис. 11.6. Схема генератора высоковольтных импульсов с мостовым выпрямителем

Следует отметить, что КПД такого аналога и коммутируемые токи заметно ниже, чем у прототипа, однако динисторы более доступны и более долговечны.

Несколько усложненный вариант генератора высоковольтных импульсов представлен на рис. 11.6 [11.12]. Сетевое напряжение подается на мостовой выпрямитель на диодах VD1 — VD4. Выпрямленное напряжение сглаживается конденсатором C1. На этом конденсаторе образуется постоянное напряжение около 300 В, которое используется для питания релаксационного генератора, составленного из элементов R3, C2, VD5 и VD6. Его нагрузкой является первичная обмотка трансформатора T1. Со вторичной обмотки снимаются импульсы амплитудой примерно 5 кВ и частотой следования до 800 Гц.

Цепочка динисторов должна быть рассчитана на напряжение включения около 200 В. Здесь можно использовать динисторы типа KH102 либо D228 [11.12]. При этом следует учитывать, что напряжение включения динисторов типа KH102A, D228A составляет 20 В; KH102Б, D228Б — 28 В; KH102В, D228В — 40 В;

11. Генераторы высокого напряжения

КН102Г, Д228Г — 56 В; КН102Д, Д228Д — 80 В; КН102Е — 75 В; КН102Ж, Д228Ж — 120 В; КН102И, Д228И — 150 В.

В качестве трансформатора Т1 в приведенных выше устройствах может быть использован доработанный строчный трансформатор от черно-белого телевизора [11.12, 11.13]. Его высоковольтную обмотку оставляют, остальные удаляют и вместо них наматывают низковольтную (первичную) обмотку — 15...30 витков провода ПЭВ диаметром 0,5...0,8 мм.

При выборе числа витков первичной обмотки следует учитывать количество витков вторичной обмотки. Необходимо также иметь в виду, что величина выходного напряжения генератора высоковольтных импульсов в большей степени зависит от настройки контуров трансформатора в резонанс, нежели от соотношения числа витков обмоток.

Характеристики некоторых видов телевизионных трансформаторов строчной развертки приведены в таблице 11.1 [11.13].

Таблица 11.1. Параметры высоковольтных обмоток унифицированных телевизионных трансформаторов строчной развертки

Тип трансформатора	Число витков	Провод	R обмотки, Ом
TBC-A, TBC-B	720	ПЭЛШО 0,1	152
TBC-70П1	2700	ПЭВ-2 0,05	1400
TBC-70П2	1800	ПЭВ-2 0,05	800
TBC-70П2	536	ПЭВ-2 0,12	170
TBC-70АМ	720	ПЭЛШО 0,1	250
TBC-90П4	1900	ПЭВШО 0,08	600
TBC-110, TBC-110М	940	ПЭЛШО 0,1	240
TBC-110А	1000	ПЭВ-2 0,1	250
TBC-110П1	1300	ПЭМ-2 0,09	430
TBC-110П2	900	ПЭВ-2 0,08	310
TBC-110П3	940	ПЭЛШО 0,1	240

11. Генераторы высокого напряжения

Тип трансформатора	Число витков	Провод	R обмотки, Ом
TBC-110ПА	1200	ПЭВ-2 0,1	380
TBC-110АМ	900	ПЭВ-2 0,08	280
TBC-110П4	1290	ПЭМ-2 0,1	410
TBC-110П5	365	ПЭМ-2 0,35	6
TBC-110П2	1650	ПЭМ-2 0,12	500
TBC-90ПЦ2, TBC-90ПЦ2-1	1900	ПЭВ-2 0,08	800
TBC-90ПЦ4	1904	ПЭМ-2 0,08	800
TBC-90ПЦ5	370	ПЭВ-2 0,35	13
TBC-90ПЦ4	730	ПЭМ-2 0,15	28
TBC-90ПЦ11	900	ПЭВ-2 0,14	—
TBC-90ПЦ12	715	ПЭМ-2 0,5	27
TBC-110ПЦ15	1080	ПЭВ-2 0,14	112
TBC-110ПЦ16, TBC-110ПЦ18	1050	ПЭВ-2 0,14	102

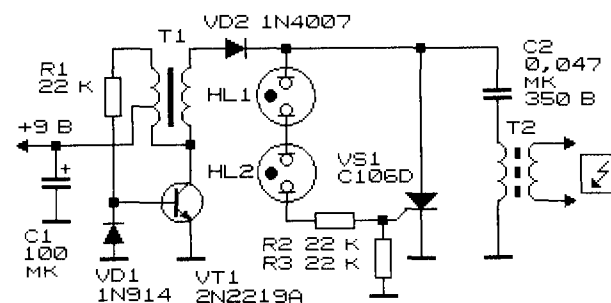


Рис. 11.7. Электрическая схема генератора высоковольтных импульсов

На рис. 11.7 представлена опубликованная на одном из сайтов схема двухступенчатого генератора высоковольтных импульсов, в котором в качестве элемента коммутации использован тиристор. В свою очередь, в качестве порогового элемента,

11. Генераторы высокого напряжения

определяющего частоту следования высоковольтных импульсов и запускающего тиристор, выбран газоразрядный прибор — неоновая лампа (цепочка HL1, HL2).

При подаче напряжения питания генератор импульсов, выполненный на основе транзистора VT1 (2N2219A — KT630Г), вырабатывает напряжение порядка 150 В. Это напряжение выпрямляется диодом VD1 и заряжает конденсатор C2.

После того как напряжение на конденсаторе C2 превысит напряжение зажигания неоновых ламп HL1, HL2, через токоограничивающий резистор R2 произойдет разряд конденсатора на управляющий электрод тиристора VS1, тиристор отпнется. Разрядный ток конденсатора C2 создаст электрические колебания в первичной обмотке трансформатора T2.

Напряжение включения тиристора можно регулировать, подбирая неоновые лампы с разным напряжением зажигания. Ступенчато изменять величину напряжения включения тиристора можно переключением числа последовательно включенных неоновых ламп (или заменяющих их динисторов).



Рис. 11.8. Диаграмма электрических процессов на электродах полупроводниковых приборов (к рис. 11.7)

Диаграмма напряжений на базе транзистора VT1 и на аноде тиристора показана на рис. 11.8. Как следует из представленных диаграмм, импульсы блокинг-генератора имеют длительность примерно 8 мс. Заряд конденсатора C2 происходит ступенчато-экспоненциально в соответствии с действием импульсов, снимаемых со вторичной обмотки трансформатора T1.

На выходе генератора формируются импульсы напряжением примерно 4,5 кВ. В качестве трансформатора T1 использован выходной трансформатор для усилителей низкой частоты. В качестве

11. Генераторы высокого напряжения

высоковольтного трансформатора T2 использован трансформатор от фотовспышки или переработанный (см. выше) телевизионный трансформатор строчной развертки.

Схема еще одного варианта генератора с использованием неоновой лампы в качестве порогового элемента приведена на рис. 11.9 [11.12].

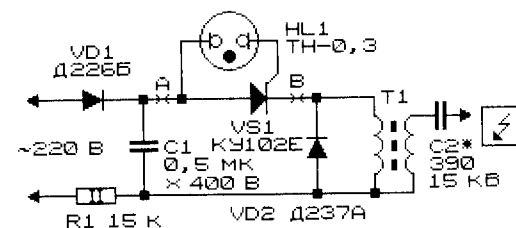


Рис. 11.9. Электрическая схема генератора с пороговым элементом на неоновой лампе

Релаксационный генератор в нем выполнен на элементах R1, VD1, C1, HL1, VS1. Он работает при положительных полупериодах сетевого напряжения, когда конденсатор C1 заряжается до напряжения включения порогового элемента на неоновой лампе HL1 и тиристоре VS1. Диод VD2 демпфирует импульсы самоиндукции первичной обмотки повышающего трансформатора T1 и позволяет повысить выходное напряжение генератора. Выходное напряжение достигает 9 кВ. Неоновая лампа одновременно является сигнализатором включения устройства в сеть.

Высоковольтный трансформатор намотан на отрезке стержня диаметром 8 и длиной 60 мм из феррита М400НН. Вначале размещают первичную обмотку — 30 витков провода ПЭЛШО 0,38, а затем вторичную — 5500 витков ПЭЛШО 0,05 или большего диаметра. Между обмотками и через каждые 800...1000 витков вторичной обмотки прокладывают слой изоляции из поливинилхлоридной изоляционной ленты.

В генераторе возможно введение дискретной многоступенчатой регулировки выходного напряжения переключением в последовательной цепи неоновых ламп либо динисторов (рис. 11.10). В первом варианте обеспечиваются две ступени регулирования, во втором — до десяти и более (при использовании динисторов КН102А с напряжением включения 20 В).

11. Генераторы высокого напряжения

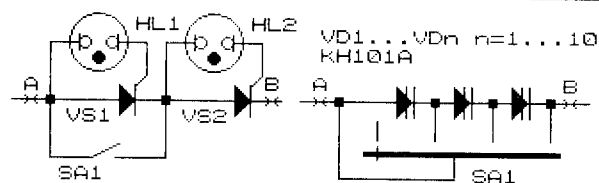


Рис. 11.10. Электрическая схема порогового элемента

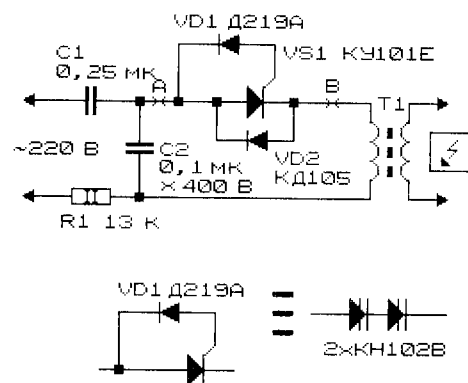


Рис. 11.11. Электрическая схема генератора высокого напряжения с пороговым элементом на диоде

Простой генератор высокого напряжения (рис. 11.11) позволяет получить на выходе импульсы амплитудой до 10 кВ [11.14].

Переключение управляющего элемента устройства происходит с частотой 50 Гц (на одной полуволне сетевого напряжения). В качестве порогового элемента использован диод VD1 D219A (D220, D223), работающий при обратном смещении в режиме лавинного пробоя.

При превышении на полупроводниковом переходе диода напряжения лавинного пробоя происходит переход диода в проводящее состояние. Напряжение с заряженного конденсатора C2 подается на управляющий электрод тиристора VS1. После включения тиристора конденсатор C2 разряжается на обмотку трансформатора T1.

Трансформатор T1 не имеет сердечника. Он выполнен на катушке диаметром 8 мм из полиметилметакрилата или политетрахлорэтилена и содержит три разнесенных секции шириной по

11. Генераторы высокого напряжения

9 мм. Повышающая обмотка содержит 3х1000 витков, намотаных проводом ПЭТФ, ПЭВ-2 0,12 мм. После намотки обмотка должна быть пропитана парафином. Поверх парафина накладывается 2 — 3 слоя изоляции, после чего наматывают первичную обмотку — 3х10 витков провода ПЭВ-2 0,45 мм.

Тиристор VS1 можно заменить другим на напряжение выше 150 В. Лавинный диод можно заменить цепочкой диноисторов (рис. 11.10, 11.11 внизу).

Схема маломощного переносного источника импульсов высокого напряжения с автономным питанием от одного гальванического элемента (рис. 11.12) состоит из двух генераторов [11.15]. Первый построен на двух маломощных транзисторах, второй — на тиристоре и диноисторе.

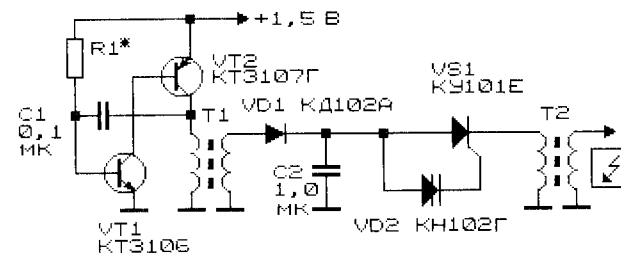


Рис. 11.12. Схема генератора напряжения с низковольтным питанием и тиристорно-диноисторным ключевым элементом

Каскад на транзисторах разной проводимости преобразует низковольтное постоянное напряжение в высоковольтное импульсное. Временязадающей цепочкой в этом генераторе служат элементы C1 и R1. При включении питания открывается транзистор VT1, и перепад напряжения на его коллекторе открывает транзистор VT2. Конденсатор C1, заряжаясь через резистор R1, уменьшает базовый ток транзистора VT2 настолько, что транзистор VT1 выходит из насыщения, а это приводит к закрыванию и VT2. Транзисторы будут закрыты до тех пор, пока конденсатор C1 не разрядится через первичную обмотку трансформатора T1.

Повышенное импульсное напряжение, снимаемое со вторичной обмотки трансформатора T1, выпрямляется диодом VD1 и поступает на конденсатор C2 второго генератора с тиристором VS1 и диноистором VD2. В каждый положительный полупериод

11. Генераторы высокого напряжения

накопительный конденсатор $C2$ заряжается до амплитудного значения напряжения, равного напряжению переключения динистора $VD2$, т.е. до 56 В (номинальное импульсное отпирающее напряжение для динистора типа $KH102Г$).

Переход динистора в открытое состояние воздействует на цепь управления тиристора $VS1$, который в свою очередь тоже открывается. Конденсатор $C2$ разряжается через тиристор и первичную обмотку трансформатора $T2$, после чего динистор и тиристор вновь закрываются и начинается очередной заряд конденсатора — цикл переключений повторяется.

Со вторичной обмотки трансформатора $T2$ снимаются импульсы с амплитудой в несколько киловольт. Частота искровых разрядов равна примерно 20 Гц , но она намного меньше частоты импульсов, снимаемых со вторичной обмотки трансформатора $T1$. Происходит это потому, что конденсатор $C2$ заряжается до напряжения переключения динистора не за один, а за несколько положительных полупериодов. Величина емкости этого конденсатора определяет мощность и длительность выходных разрядных импульсов. Безопасное для динистора и управляющего электрода тринистора среднее значение разрядного тока выбрано из расчета емкости этого конденсатора и величины импульсного напряжения, питающего каскад. Для этого емкость конденсатора $C2$ должна быть примерно 1 мкФ .

Трансформатор $T1$ выполнен на кольцевом ферритовом магнитопроводе типа $K10\times6\times5$. Он имеет 540 витков провода $ПЭВ-2\ 0,1$ с заземленным отводом после 20-го витка. Начало его обмотки присоединяется к транзистору $VT2$, конец — к диоду $VD1$. Трансформатор $T2$ намотан на катушке с ферритовым или пермаллоевым сердечником диаметром 10 мм , длиной 30 мм . Катушку с внешним диаметром 30 мм и шириной 10 мм наматывают проводом $ПЭВ-2\ 0,1\text{ мм}$ до полного заполнения каркаса. Перед окончанием обмотки делается заземленный отвод, и последний ряд провода из 30...40 витков наматывается виток к витку поверх изолирующего слоя лакоткани.

Трансформатор $T2$ по ходу обмотки необходимо пропитывать изолирующим лаком или клеем $БФ-2$, затем тщательно просушить.

11. Генераторы высокого напряжения

Вместо $VT1$ и $VT2$ можно применить любые маломощные транзисторы, способные работать в импульсном режиме. Тиристор $KU101Е$ можно заменить на $KU101Г$. Источник питания — гальванические элементы с напряжением не более $1,5\text{ В}$, например, 312 , 314 , 316 , 326 , 336 , 343 , 373 , или дисковые никель-кадмиевые аккумуляторы типа $Д-0,26Д$, $Д-0,55С$ и т.п.

Тиристорный генератор высоковольтных импульсов с сетевым питанием показан на рис. 11.13 [11.16].

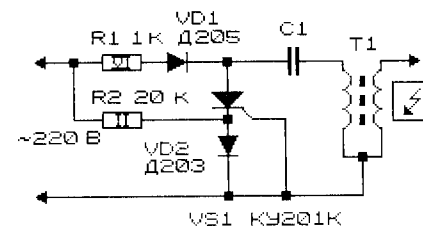


Рис. 11.13. Электрическая схема генератора высоковольтных импульсов с емкостным накопителем энергии и коммутатором на тиристоре

Во время положительного полупериода сетевого напряжения конденсатор $C1$ заряжается через резистор $R1$, диод $VD1$ и первичную обмотку трансформатора $T1$. Тиристор $VS1$ при этом закрыт, поскольку отсутствует ток через его управляющий электрод (падение напряжения на диоде $VD2$ в прямом направлении мало по сравнению с напряжением, необходимым для открывания тиристора).

При отрицательном полупериоде диоды $VD1$ и $VD2$ закрываются. На катоде тиристора образуется падение напряжения относительно управляющего электрода (минус — на катоде, плюс — на управляющем электроде), в цепи управляющего электрода появляется ток, и тиристор открывается. В этот момент конденсатор $C1$ разряжается через первичную обмотку трансформатора. Во вторичной обмотке появляется импульс высокого напряжения. И так — каждый период сетевого напряжения.

На выходе устройства формируются двухполярные импульсы высокого напряжения (поскольку при разряде конденсатора в цепи первичной обмотки возникают затухающие колебания).

11. Генераторы высокого напряжения

Резистор R1 может быть составлен из трех параллельно соединенных резисторов МЛТ-2 сопротивлением по 3 кОм.

Диоды VD1 и VD2 должны быть рассчитаны на ток не менее 300 мА и обратное напряжение не ниже 400 В (VD1) и 100 В (VD2). Конденсатор C1 типа МБМ на напряжение не ниже 400 В. Его емкость — доли-единицы мкФ — подбирают экспериментально. Тиристор VS1 типа КУ201К, КУ201Л, КУ202К — КУ202Н. Трансформатор Т1 — катушка зажигания Б2Б (на 6 В) от мотоцикла или автомобиля.

В устройстве может быть использован телевизионный трансформатор строчной развертки ТВС-110Л6, ТВС-110ЛА, ТВС-110АМ.

Достаточно типичная схема генератора высоковольтных импульсов с емкостным накопителем энергии показана на рис. 11.14 [11.17].

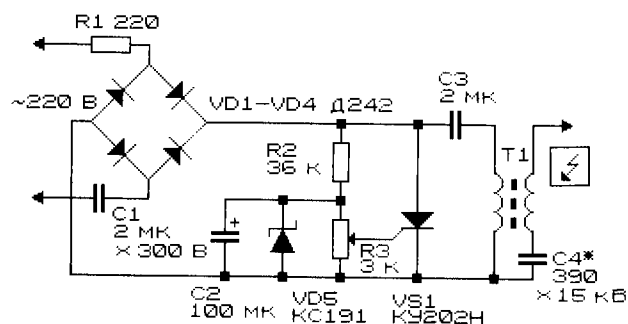


Рис. 11.14. Схема тиристорного генератора высоковольтных импульсов с емкостным накопителем энергии

Генератор содержит гасящий конденсатор C1, диодный выпрямительный мост VD1 — VD4, тиристорный ключ VS1 и схему управления. При включении устройства заряжаются конденсаторы C2 и C3, тиристор VS1 пока закрыт и ток не проводит. Предельное напряжение на конденсаторе C2 ограничено стабилитроном VD5 величиной 9 В. В процессе зарядки конденсатора C2 через резистор R2 напряжение на потенциометре R3 и, соответственно, на управляющем переходе тиристора VS1 возрастает до определенного значения, после чего тиристор переключается в проводящее состояние, а конденсатор C3 через тиристор VS1 разряжается

11. Генераторы высокого напряжения

через первичную (низковольтную) обмотку трансформатора Т1, генерируя высоковольтный импульс. После этого тиристор закрывается и процесс начинается заново. Потенциометр R3 устанавливает порог срабатывания тиристора VS1.

Частота повторения импульсов составляет 100 Гц. В качестве высоковольтного трансформатора может быть использована автомобильная катушка зажигания. В этом случае выходное напряжение устройства достигнет 30...35 кВ. Тиристорный генератор высоковольтных импульсов (рис. 11.15) управляется импульсами напряжения, снимаемого с релаксационного генератора, выполненного на динисторе VD1 [11.18]. Рабочая частота генератора управляющих импульсов (15...25 Гц) определяется величиной сопротивления R2 и емкостью конденсатора C1.

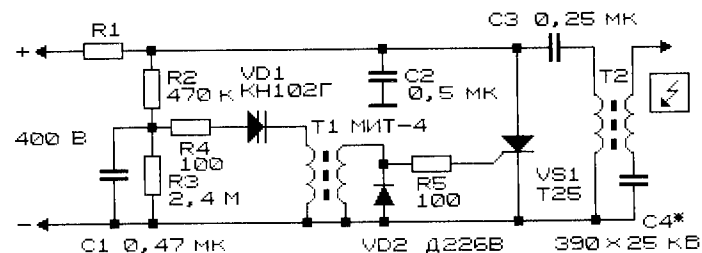


Рис. 11.15. Электрическая схема тиристорного генератора высоковольтных импульсов с импульсным управлением

Релаксационный генератор связан с тиристорным ключом через импульсный трансформатор Т1 типа МИТ-4. В качестве выходного трансформатора Т2 используется высокочастотный трансформатор от аппарата для дарсонвализации «Искра-2». Напряжение на выходе устройства может достигать до 20...25 кВ.

На рис. 11.16 показан вариант подачи импульсов управления на тиристор VS1 [11.19].

Преобразователь напряжения (рис. 11.17), разработанный в Болгарии, содержит два каскада. В первом из них нагрузкой ключевого элемента, выполненного на транзисторе VT1, является обмотка трансформатора Т1. Управляющие импульсы прямоугольной формы периодически включают/выключают ключ на транзисторе VT1, подключая/отключая тем самым первичную обмотку трансформатора.

11. Генераторы высокого напряжения

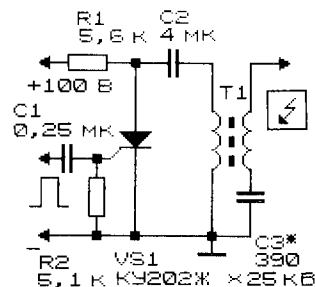


Рис. 11.16. Вариант управления тиристорным коммутатором

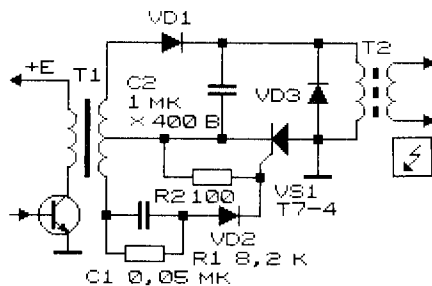


Рис. 11.17. Электрическая схема двухступенчатого генератора высоковольтных импульсов

Во вторичной обмотке наводится повышенное напряжение, пропорциональное коэффициенту трансформации. Это напряжение выпрямляется диодом VD1 и заряжает конденсатор C2, который подключен к первичной (низковольтной) обмотке высоковольтного трансформатора T2 и тиристоры VS1. Управление работой тиристора осуществляется импульсами напряжения, снимаемыми с дополнительной обмотки трансформатора T1 через цепочку элементов, корректирующих форму импульса.

В результате тиристор периодически включается/отключается. Конденсатор C2 разряжается на первичную обмотку высоковольтного трансформатора.

Генератор высоковольтных импульсов, рис. 11.18, содержит в качестве управляющего элемента генератор на основе однопереходного транзистора [11.20].

Сетевое напряжение выпрямляется диодным мостом VD1 — VD4. Пульсации выпрямленного напряжения сглаживает

11. Генераторы высокого напряжения

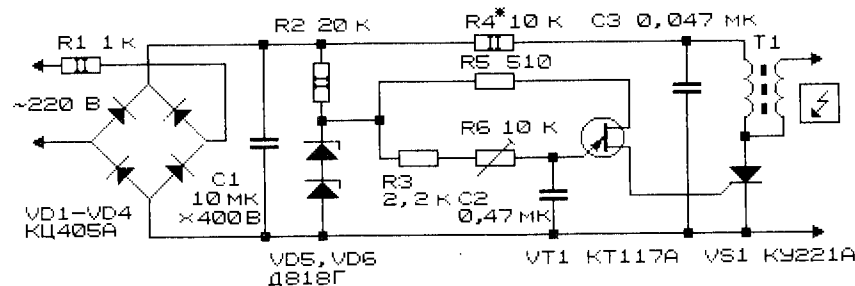


Рис. 11.18. Схема генератора высоковольтных импульсов с управляющим элементом на однопереходном транзисторе

конденсатор C1, ток заряда конденсатора в момент включения устройства в сеть ограничивает резистор R1. Через резистор R4 заряжается конденсатор C3. Одновременно вступает в действие генератор импульсов на однопереходном транзисторе VT1. Его «спусковой» конденсатор C2 заряжается через резисторы R3 и R6 от параметрического стабилизатора (балластный резистор R2 и стабилитроны VD5, VD6). Как только напряжение на конденсаторе C2 достигает определенного значения, транзистор VT1 переключается, и на управляющий переход тиристора VS1 поступает открывающий импульс.

Конденсатор C3 разряжается через тиристор VS1 на первичную обмотку трансформатора T1. На его вторичной обмотке формируется импульс высокого напряжения. Частота следования этих импульсов определяется частотой генератора, которая, в свою очередь, зависит от параметров цепочки R3, R6 и C2. Подстроечным резистором R6 можно изменять выходное напряжение генератора примерно в 1,5 раза. При этом частота импульсов регулируется в пределах 250...1000 Гц. Кроме того, выходное напряжение изменяется при подборе резистора R4 (в пределах от 5 до 30 кОм).

Конденсаторы желательно применять бумажные (C1 и C3 — на номинальное напряжение не менее 400 В); на такое же напряжение должен быть рассчитан диодный мост. Вместо указанного на схеме можно использовать тиристор T10-50 или в крайнем случае KY202H. Стабилитроны VD5, VD6 должны обеспечить суммарное напряжение стабилизации около 18 В.

11. Генераторы высокого напряжения

Трансформатор изготовлен на основе *TBC-110П2* от черно-белых телевизоров. Все первичные обмотки удаляют и наматывают на освободившееся место 70 витков провода *ПЭЛ* или *ПЭВ* диаметром 0,5...0,8 мм.

Электрическая схема генератора импульсов высокого напряжения, рис. 11.19 [11.21], состоит из диодно-конденсаторного умножителя напряжения (диоды *VD1*, *VD2*, конденсаторы *C1* — *C4*). На его выходе получается постоянное напряжение примерно 600 В.

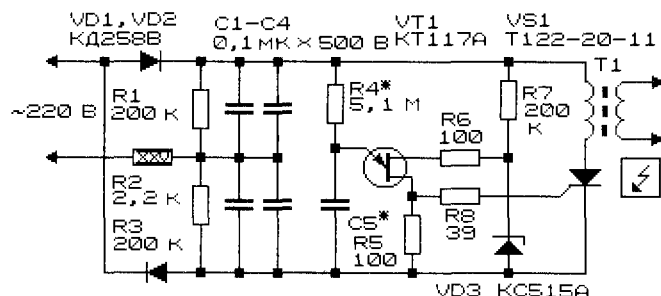


Рис. 11.19. Схема генератора высоковольтных импульсов с удвоителем напряжения сети и генератором запускающих импульсов на однопереходном транзисторе

В качестве порогового элемента устройства использован однопереходный транзистор *VT1* типа *KT117A*. Напряжение на одной из его баз стабилизировано параметрическим стабилизатором на стабилитроне *VD3* типа *KC515A* (напряжение стабилизации 15 В). Через резистор *R4* осуществляется заряд конденсатора *C5*, и когда напряжение на управляющем электроде транзистора *VT1* превысит напряжение на его базе, произойдет переключение *VT1* в проводящее состояние, а конденсатор *C5* разрядится на управляющий электрод тиристора *VS1*.

При включении тиристора цепочка конденсаторов *C1* — *C4*, заряженных до напряжения около 600...620 В, разряжается на низковольтную обмотку повышающего трансформатора *T1*. После этого тиристор отключается, зарядно-разрядные процессы повторяются с частотой, определяемой постоянной *R4C5*. Резистор *R2* ограничивает ток короткого замыкания при включении тиристора и одновременно является элементом зарядной цепи конденсаторов *C1* — *C4*.

11. Генераторы высокого напряжения

Схема преобразователя (рис. 11.20) и его упрощенного варианта (рис. 11.21) подразделяется на следующие узлы: сетевой заградительный фильтр (фильтр помех); электронный регулятор; высоковольтный трансформатор [11.22].

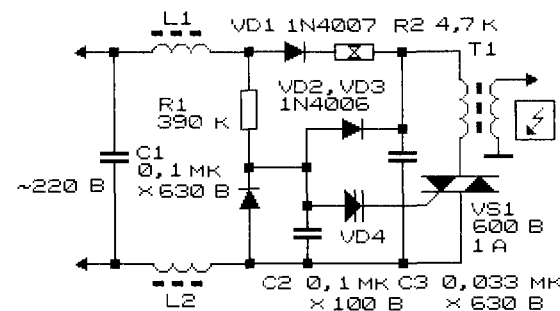


Рис. 11.20. Электрическая схема генератора высокого напряжения с сетевым фильтром

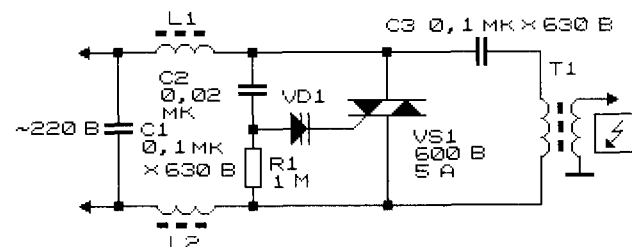


Рис. 11.21. Электрическая схема генератора высокого напряжения с сетевым фильтром

Схема на рис. 11.20 работает следующим образом. Конденсатор *C3* заряжается через диодный выпрямитель *VD1* и резистор *R2* до амплитудного значения напряжения сети (310 В). Это напряжение попадает через первичную обмотку трансформатора *T1* на анод тиристора *VS1*. По другой ветви (*R1*, *VD2* и *C2*) медленно заряжается конденсатор *C2*. Когда в процессе его заряда достигается пробивное напряжение динистора *VD4* (в пределах 25...35 В), конденсатор *C2* разряжается через управляющий электрод тиристора *VS1* и открывает его.

Конденсатор *C3* практически мгновенно разряжается через открытый тиристор *VS1* и первичную обмотку трансформатора

T1. Импульсный изменяющийся ток индуцирует во вторичной обмотке T1 высокое напряжение, величина которого может превысить 10 кВ. После разряда конденсатора C3 тиристор VS1 закрывается, и процесс повторяется.

В качестве высоковольтного трансформатора используют телевизионный трансформатор, у которого удаляют первичную обмотку. Для новой первичной обмотки используется обмоточный провод диаметром 0,8 мм. Количество витков — 25.

Для изготовления катушек индуктивности заградительного фильтра L1, L2 лучше всего подходят высокочастотные ферритовые сердечники, например, 600НН диаметром 8 мм и длиной 20 мм, имеющие примерно по 20 витков обмоточного провода диаметром 0,6...0,8 мм.

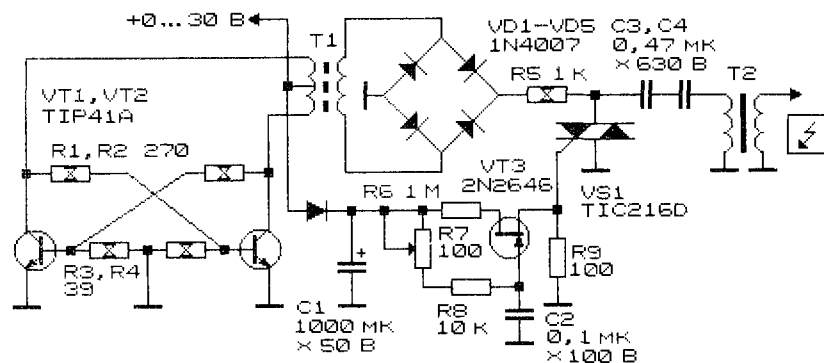


Рис. 11.22. Электрическая схема двухступенчатого генератора высокого напряжения с управляющим элементом на полевом транзисторе

Двухступенчатый генератор высокого напряжения (автор — Andres Estaban de la Plaza [11.23]) содержит трансформаторный генератор импульсов, выпрямитель, времязадающую RC-цепочку, ключевой элемент на тиристоре (симисторе), высоковольтный резонансный трансформатор и схему управления работой тиристора (рис. 11.22).

Аналог транзистора TIP41 — KT819A.

Низковольтный трансформаторный преобразователь напряжения с перекрестными обратными связями, собранный на

транзисторах VT1 и VT2, вырабатывает импульсы с частотой повторения 850 Гц. Транзисторы VT1 и VT2 для облегчения работы при протекании больших токов установлены на радиаторах, выполненных из меди или алюминия.

Выходное напряжение, снимаемое со вторичной обмотки трансформатора T1 низковольтного преобразователя, выпрямляется диодным мостом VD1 — VD4 и через резистор R5 заряжает конденсаторы C3 и C4.

Управление порогом включения тиристора производится регулятором напряжения, в состав которого входит полевой транзистор VT3.

Далее работа преобразователя существенно не отличается от описанных ранее процессов: происходит периодический заряд/разряд конденсаторов на низковольтную обмотку трансформатора, генерируются затухающие электрические колебания. Выходное напряжение преобразователя при использовании на выходе в качестве повышающего трансформатора катушки зажигания от автомобиля, достигает 40...60 кВ при резонансной частоте примерно 5 кГц.

Трансформатор T1 (выходной трансформатор строчной развертки), содержит 2х50 витков провода диаметром 1,0 мм, намотанных бифилярно. Вторичная обмотка содержит 1000 витков диаметром 0,20...0,32 мм.

Отметим, что в качестве управляемых ключевых элементов могут быть использованы современные биполярные и полевые транзисторы.

12. Высоковольтные генераторы с индуктивными накопителями энергии

Все рассмотренные выше генераторы высокого напряжения имели в качестве накопителя энергии конденсатор. Не меньший интерес представляют устройства, использующие в качестве такого элемента индуктивности.

В подавляющем большинстве конструкции подобного рода преобразователей ранних лет содержали механический коммутатор индуктивности. Недостатки такого схемного решения очевидны: это повышенный износ контактных пар, необходимость их периодической чистки и регулировки, высокий уровень помех.

С появлением современных быстродействующих электронных коммутаторов конструкции преобразователей напряжения с коммутируемым индуктивным накопителем энергии заметно упростились и стали конкурентоспособными.

Основой одного из наиболее простых высоковольтных генераторов (рис. 12.1) является индуктивный накопитель энергии [12.1].

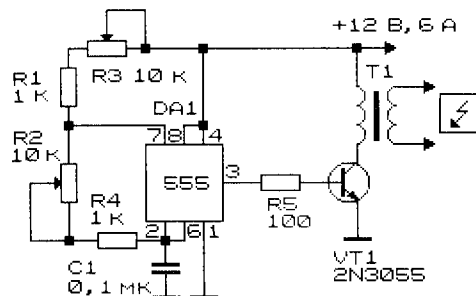


Рис. 12.1. Электрическая схема высоковольтного генератора на основе индуктивного накопителя энергии

Генератор прямоугольных импульсов собран на микросхеме 555 (KP1006BИ1). Параметры импульсов регулируются потенциометрами R2 и R3. Частота импульсов управления также зависит от емкости времязадающего конденсатора C1. Импульсы с выхода

генератора подаются через резистор R5 на базу ключевого (коммутирующего) элемента — мощного транзистора VT1.

Этот транзистор в соответствии с длительностью и частотой следования управляющих импульсов коммутирует первичную обмотку трансформатора T1.

В итоге на выходе преобразователя формируются импульсы высокого напряжения. Для защиты транзистора VT1 (2N3055 — KT819ГМ) от пробоя желательно параллельно переходу эмиттер — коллектор подключить диод, например, типа КД226 (катодом к коллектору).

Высоковольтный генератор (рис. 12.2), разработанный в Болгарии, также содержит задающий генератор прямоугольных импульсов на микросхеме 555 (K1006BИ1). Частота импульсов плавно регулируется резистором R2 от 85 до 100 Гц. Эти импульсы через RC-цепочки поступают на ключевые элементы на транзисторах VT1 и VT2. Стабилитроны VD3 и VD4 защищают транзисторы от повреждения при работе на индуктивную нагрузку.

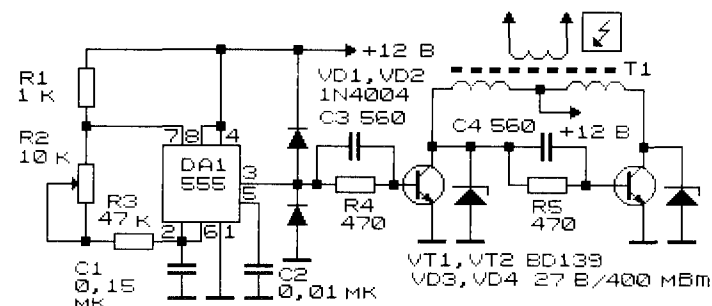


Рис. 12.2. Схема генератора высокого напряжения на основе индуктивного накопителя энергии

Генератор высокого напряжения (рис. 12.2) может быть использован как самостоятельно — для получения высокого напряжения (обычно до 1...2 кВ), либо как промежуточная ступень «накачки» других преобразователей.

Транзисторы BD139 можно заменить на KT943B.

В качестве ключевых элементов преобразователей с индуктивным накопителем энергии долгие годы использовали

12. Высоковольтные генераторы

мощные биполярные транзисторы. Их недостатки очевидны: довольно высоки остаточные напряжения на открытом ключе, как следствие, потери энергии, перегрев транзисторов.

По мере совершенствования полевых транзисторов последние начали оттеснять биполярные транзисторы в схемах источников питания, преобразователях напряжения.

Для современных мощных полевых транзисторов сопротивление открытого ключа может достигать десятые...сотые доли Ома, а рабочее напряжение достигать 1...2 кВ.

На рис. 12.3 приведена электрическая схема преобразователя напряжения, выходной каскад которого выполнен на полевом транзисторе MOSFET. Для согласования генератора с большим коэффициентом передачи.

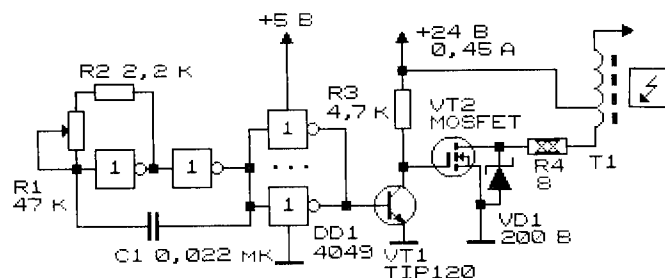


Рис. 12.3. Электрическая схема генератора высоковольтных импульсов с ключевым полевым транзистором

Задающий генератор собран на КМОП-микросхеме CD4049 по типовой схеме. Как сами выходные каскады, так и каскады формирования управляющих сигналов, показанные на рис. 12.1 — 12.3 и далее, взаимозаменяемы и могут быть использованы в любом сочетании.

Выходной каскад генератора высокого напряжения системы электронного зажигания конструкции П. Брянцева (рис. 12.4) выполнен на современной отечественной элементной базе [12.2].

При подаче на вход схемы управляющих импульсов транзисторы VT1 и VT2 кратковременно открываются. В результате катушка индуктивности кратковременно подключается к источнику

12. Высоковольтные генераторы

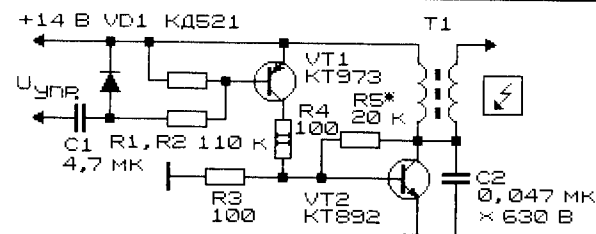


Рис. 12.4. Схема выходного каскада генератора высокого напряжения П. Брянцева на составном транзисторе

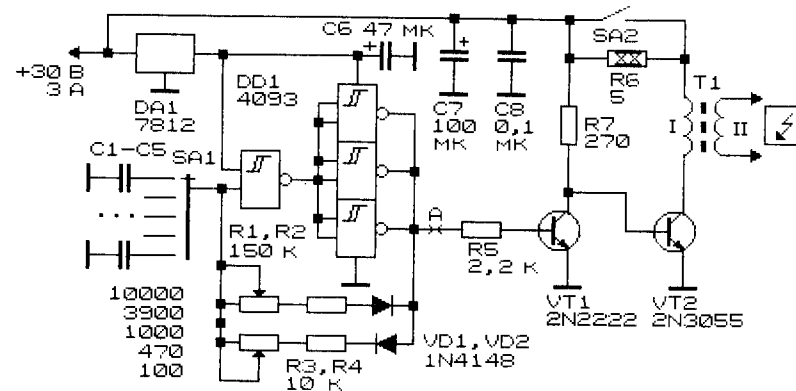


Рис. 12.5. Электрическая схема генератора высокого напряжения с задающим генератором на основе триггеров Шмитта

питания. Конденсатор C2 сглаживает пик импульса напряжения. Резистивный делитель (R3 и R5) ограничивает и стабилизирует максимальное напряжение на коллекторе транзистора VT2.

В качестве трансформатора T1 использована катушка зажигания Б115. Ее основные параметры: $R_i=1,6 \text{ Ом}$, $I<8 \text{ А}$, $U_i<330 \text{ В}$. Коэффициент трансформации $K=68$. Для катушки Б116 ($R_i=0,6 \text{ Ом}$, $I_i<20 \text{ А}$, $U_i<160 \text{ В}$, $K=154$) оптимальная величина $R5=11 \text{ кОм}$.

Следующие две схемы высоковольтных генераторов напряжения с использованием индуктивных накопителей энергии (рис. 12.5, 12.6) разработал Andres Estaban de la Plaza [12.3, 12.4].

Первое из устройств [12.3] содержит задающий генератор прямоугольных импульсов, промежуточный и выходной каскад, высоковольтный трансформатор.

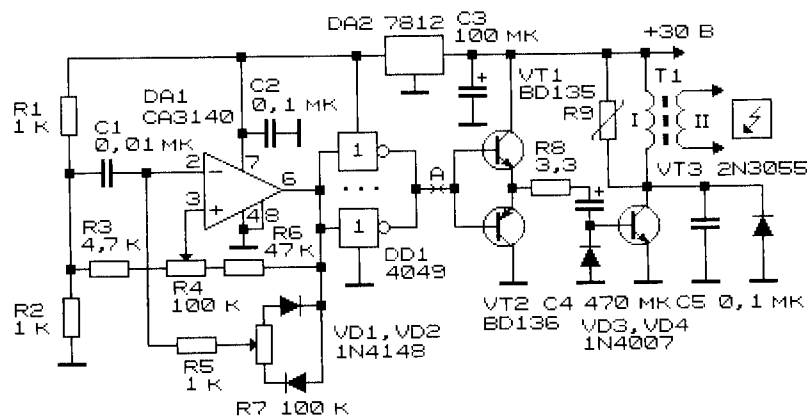


Рис. 12.6. Электрическая схема генератора высокого напряжения с задающим генератором на основе операционного усилителя

Задающий генератор выполнен на основе триггера Шмитта (КМОП-микросхема типа 4093). Использование триггера Шмитта вместо логических элементов НЕ (см. например, рис. 12.3) позволяет получить импульсы с более крутыми фронтами, и, следовательно, снизить потери энергии на ключевых элементах.

Согласование КМОП-элементов с силовым транзистором VT2 осуществляется предусилителем на транзисторе VT1. Выходной трансформатор T1 коммутируется силовым биполярным транзистором VT2. Этот транзистор установлен на теплоотводящей пластине.

Частота импульсов генератора ступенчато изменяется переключателем SA1. Соотношение между длительностью импульса и паузой и частоту следования импульсов плавно регулируют потенциометрами R1 и R2.

Переключателем SA2 включают/отключают резистор R6, включенный последовательно с первичной обмоткой повышающего трансформатора. Тем самым ступенчато регулируют выходную мощность преобразователя.

Рабочая частота генератора в его пяти поддиапазонах регулируется в пределах 0,6...8,5 кГц; 1,5...20 кГц; 5,3...66 кГц; 13...170 кГц; 43...>200 кГц.

Первичная обмотка трансформатора T1, намотанная на сердечнике от трансформатора строчной развертки, имеет 40 витков диаметром 1,0 мм. Выходное напряжение преобразователя на частотах ниже 5 кГц составляет 20 кВ, в области частот 50...70 кГц выходное напряжение снижается до 5...10 кВ.

Выходная мощность высокочастотного сигнала устройства может достигать до 30 Вт. В этой связи при использовании данной конструкции, например, для газоразрядной фотосъемки необходимо принять особые меры по ограничению выходного тока.

Высоковольтный генератор, рис. 12.6 [12.4], имеет более сложную конструкцию.

Его задающий генератор выполнен на операционном усилителе DA1 (CA3140). Для питания задающего генератора и буферного каскада (микросхема DD1 типа 4049) используется стабилизатор напряжения на 12 В на интегральной микросхеме DA2 типа 7812.

Предоконечный каскад на комплиментарных транзисторах VT1 и VT2 обеспечивает работу оконечного — на мощном транзисторе VT3.

Соотношение длительности/пауза регулируют потенциометром R7, а частоту импульсов — потенциометром R4.

Частоту генерации можно изменять ступенчато — переключением емкости конденсатора C1. Начальная частота генерации близка к 20 кГц.

Первичная обмотка доработанного трансформатора строчной развертки имеет 5...10 витков, ее индуктивность примерно 0,5 мГн. Защита выходного транзистора от перенапряжения осуществляется включением варистора R9 параллельно этой обмотке.

Транзистор 2N2222 можно заменить на KT3117A, KT645; 2N3055 — на KT819ГМ; BD135 — на KT943A, BD136 — на KT626A, диоды 1N4148 — на КД521, КД503 и др. Микросхему DA2 можно заменить отечественным аналогом — КР142ЕН8Б(Д); DD1 — К561ТЛ1.

Следующим видом генераторов высоковольтного напряжения являются автогенераторные преобразователи напряжения с индуктивной обратной связью.

12. Высоковольтные генераторы

Импульсный преобразователь с самовозбуждением вырабатывает пакеты высокочастотных высоковольтных колебаний (рис. 12.7) [12.5].

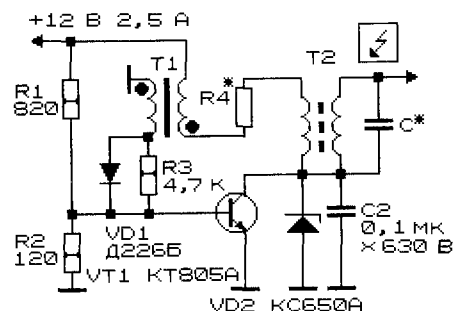


Рис. 12.7. Электрическая схема импульсного преобразователя напряжения с самовозбуждением

Автогенератор импульсов высокого напряжения на транзисторе VT1 получает сигнал обратной связи с трансформатора T1 и в качестве нагрузки имеет катушку зажигания T2. Частота генерации — около 150 Гц. Конденсаторы C*, C2 и резистор R4 определяют режим работы генератора.

Трансформатор T1 выполнен на магнитопроводе Ш14х18. Обмотка I состоит из 18 витков провода ПЭВ-2 0,85 мм, намотанных в два провода, а II — из 72 витков провода ПЭЛШО 0,3 мм.

Стабилитрон VD2 укреплен в центре дюралюминиевого радиатора размерами 40х40х4 мм. Этот стабилитрон можно заменить цепочкой мощных стабилитронов с суммарным напряжением стабилизации 150 В. Транзистор VT1 также установлен на радиаторе размерами 50х50х4 мм.

Резонансный преобразователь напряжения с самовозбуждением описан в работе Е. В. Крылова (рис. 12.8). Он выполнен на высокочастотном мощном транзисторе VT1 типа KT909A [12.6].

Трансформатор преобразователя выполнен на фторопластовом каркасе диаметром 12 мм с использованием ферритового стержня 150ВЧ размером 10х120 мм. Катушка L1 содержит 50 витков, L2 — 35 витков провода ЛЭШО 7х0,07 мм. Катушки низковольтной половины устройства имеют по одному витку провода во

12. Высоковольтные генераторы

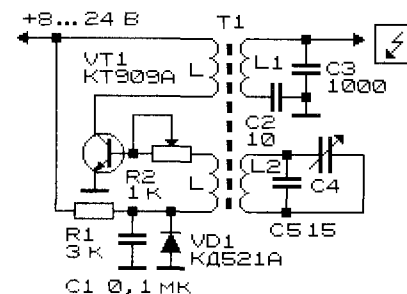


Рис. 12.8. Схема резонансного высоковольтного генератора с трансформаторной обратной связью

фторопластовой (политетрафторэтиленовой) изоляции. Они намотаны поверх катушки L2.

Выходное напряжение преобразователя составляет 1,5 кВ (максимальное — 2,5 кВ). Частота преобразования — 2,5 МГц. Потребляемая мощность — 5 Вт. Выходное напряжение устройства изменяется от 50 до 100% при увеличении напряжения питания с 8 до 24 В.

Конденсатором переменной емкости C4 трансформатор настраивают на резонансную частоту. Резистором R2 устанавливают рабочую точку транзистора, регулируют уровень положительной обратной связи и форму генерируемых сигналов.

Преобразователь безопасен в работе — при низкоомной нагрузке высокочастотная генерация срывается.

Следующая схема высоковольтного источника импульсного напряжения с двухкаскадным преобразованием показана на рис. 12.9 [12.7]. Электрическая схема его первого каскада достаточно традиционна и практически не отличается от рассмотренных ранее конструкций.

Отличие устройства (рис. 12.9) заключается в использовании второго каскада повышения напряжения на трансформаторе. Это заметно повышает надежность устройства, упрощает конструкцию трансформаторов и обеспечивает эффективную изоляцию между входом и выходом устройства.

Трансформатор T1 выполнен на Ш-образном сердечнике из трансформаторной стали. Сечение сердечника составляет

12. Высокоточные генераторы

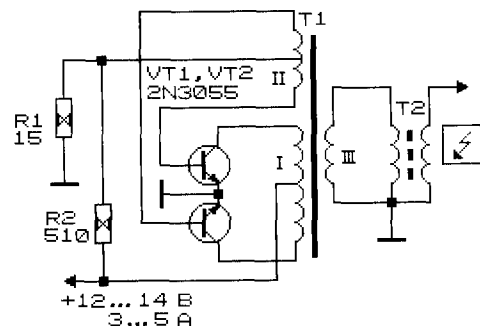


Рис. 12.9. Схема высоковольтного преобразователя с трансформаторной обратной связью и двойным трансформаторным преобразованием напряжения

16x16 мм. Коллекторные обмотки I имеют 2x60 витков провода диаметром 1,0 мм.

Катушки обратной связи II содержат 2x14 витков провода диаметром 0,7 мм. Повышающая обмотка III трансформатора T1, намотанная через несколько слоев межслойной изоляции, имеет 20...130 витков провода диаметром 1,0 мм. В качестве выходного (высоковольтного) трансформатора использована катушка зажигания автомобиля на 12 или 6 В.

К генераторам высокого напряжения с индуктивными накопителями энергии следует отнести и устройства, рассмотренные ниже.

Для получения высоковольтных наносекундных импульсов В. С. Белкиным и Г. И. Шульженко [12.8, 12.9] была разработана схема формирователя на дрейфовых диодах и насыщающейся индуктивностью с однотактным преобразователем, синхронизированным с формирователем, а также показана возможность совмещения функций ключа формирователя и преобразователя.

Схема преобразователя, синхронизированного с формирователем, приведена на рис. 12.10; вариант схемы формирователя с отдельными ключевыми элементами приведен на рис. 12.11, а временные диаграммы, характеризующие работу отдельных узлов схемы формирователя, — на рис. 12.12.

Задающий генератор прямоугольных импульсов (рис. 12.10) вырабатывает импульсы, отпирающие транзисторный ключ VT1

12. Высокоточные генераторы

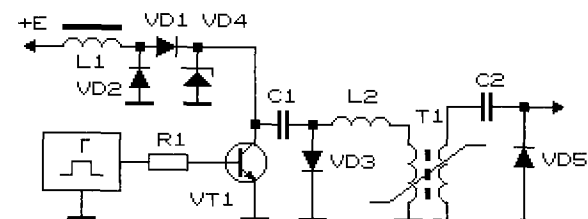


Рис. 12.10. Схема формирователя высоковольтных импульсов с общим ключом для преобразователя и формирователя

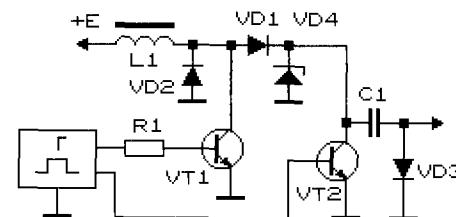


Рис. 12.11. Фрагмент схемы формирователя высоковольтных импульсов с отдельными ключами

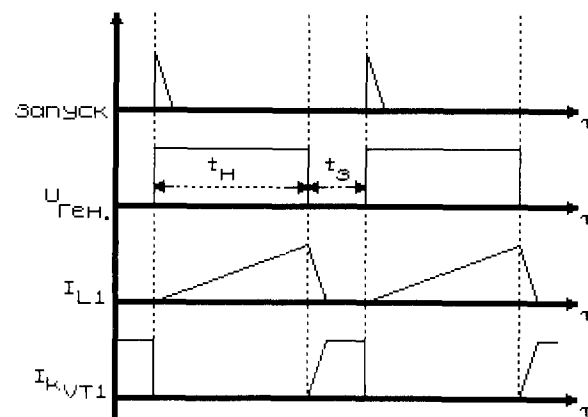


Рис. 12.12. Временная диаграмма работы преобразователя

на время t_H и запирающие на время t_S (рис. 12.12). Их сумма определяет период повторения импульсов. За время t_H через дроссель L1 протекает ток I_H . После запирающего транзистора ток I_H через диод VD1 заряжает накопительную емкость формирователя C1 до

12. Высоковольтные генераторы

напряжения U_n , диод VD1 закрывается и отсекает конденсатор C1 от источника питания.

В таблице 12.1 приведены данные по возможному использованию полупроводниковых приборов в формирователе высоковольтных импульсов. Амплитуда формируемых импульсов приведена для низкоомной нагрузки величиной 50 Ом.

Таблица 12.1. Выбор элементов для формирователей высоковольтных импульсов

Длительность импульса, нс	Амплитуда генерируемого импульса, В		
	300	500	1000
4...6	КД204, КД226 (КТ858, КТ862)	КД212	
7...10		ДЛ112-25 (КТ847)	ДЛ122-40 (КП953)
11...15		КД213 (КТ847)	ДЛ132-80 (КП953)

Формирователи двухполярных импульсов на основе серийных диодов имеют амплитуду каждой полуволны 0,2...1 кВ для согласованной нагрузки 50...75 Ом при полной длительности импульса 4...30 нс и частоте повторения до 20 кГц.

13. Преобразователи напряжения на пьезоэлектрических трансформаторах

Преобразователи напряжения на пьезоэлектрических трансформаторах или своеобразные «трансформаторы» постоянного напряжения представляют собой генераторы синусоидальных колебаний, положительная обратная связь в которых осуществляется через пьезоэлектрический трансформатор. Коэффициент преобразования устройства в основном определяется коэффициентом трансформации пьезоэлектрического преобразователя (десятки...сотни раз). В широком интервале изменений входного напряжения выходное напряжение пропорционально входному.

Схемы «трансформаторов» постоянного напряжения показаны на рис. 13.1 — 13.4 [13.1]. Такие преобразователи могут быть использованы в малогабаритных маломощных источниках питания высоковольтных цепей электронно-лучевых приборов, фотоэлектронных умножителей, газоразрядных счетчиков радиоактивного излучения.

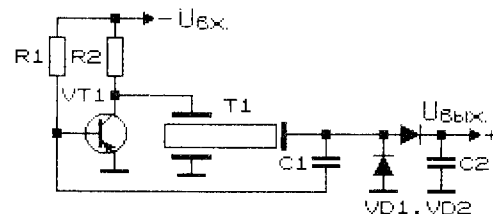


Рис. 13.1. Схема «трансформатора» постоянного напряжения

Ток нагрузки пьезоэлектрических преобразователей обычно невелик — единицы микроампер. В этой связи к диодам выпрямителя VD1 и VD2 предъявляются специфические требования: малые обратные токи в области повышенных напряжений и малые емкости переходов при работе на частоте резонанса пьезоэлектрического преобразователя — доли-единицы МГц.

На рис. 13.3 показана схема двухтактного преобразователя напряжения на пьезоэлектрическом дифференциальном трансформаторе. При использовании умножителей выходного

13. Преобразователи напряжения

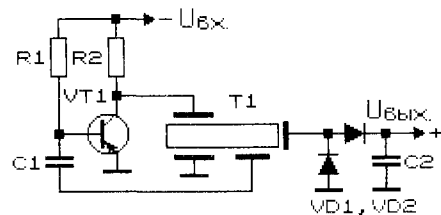


Рис. 13.2. Вариант схемы «трансформатора» постоянного напряжения

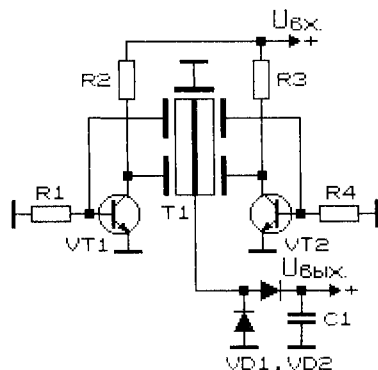


Рис. 13.3. Схема двухтактного преобразователя напряжения на пьезоэлектрическом дифференциальном трансформаторе

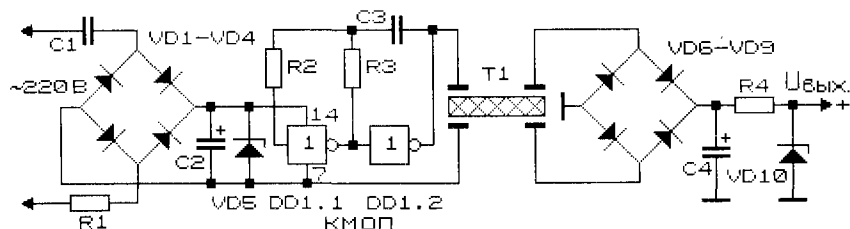


Рис. 13.4. Электрическая схема преобразователя напряжения с использованием пьезоэлектрического трансформатора

напряжения на выходе преобразователя напряжение может достигать 30 кВ (при ушестирении выходного напряжения).

Преобразователь напряжения с использованием пьезоэлектрического трансформатора (рис. 13.4) [13.2] получает питание от

13. Преобразователи напряжения

сети через гасящий конденсатор C1, выпрямитель на диодном мосте (VD1 — VD4), параметрический стабилизатор напряжения (на стабилитроне VD5) и фильтр (конденсатор C2). Генератор импульсов устройства на двух логических элементах НЕ (ТТЛ или КМОП) нагружен на пьезоэлектрический трансформатор T1. Выходное напряжение может достигать единиц-десятков кВ и определяется типом используемого трансформатора.

Приложение 1. Расчет трансформаторов импульсных источников питания

Импульсные источники питания, все чаще встречающиеся в радиолюбительской практике благодаря высокому коэффициенту полезного действия, малым габаритам и весу, обычно требуют расчета одного или нескольких (по числу каскадов) трансформаторов. Это продиктовано тем, что приводимые в литературе значения числа витков, их диаметра, зачастую не совпадают с желаемыми выходными данными собираемого или проектируемого источника питания, либо имеющиеся в наличии у радиолюбителя ферритовые кольца или транзисторы не соответствуют приводимым в схеме.

В литературе приводилась упрощенная методика расчета трансформаторов импульсных источников питания. Общий порядок расчета трансформатора импульсного источника питания следующий [П. 1]:

1. Рассчитать (в Вт) используемую мощность трансформатора $P_{исп.} = 1,3P_n$, где P_n — мощность, потребляемая нагрузкой.

2. Выбрать тороидальный ферритовый магнитопровод, удовлетворяющий условию $P_{габ.} \geq P_{исп.}$, где $P_{габ.}$ — габаритная мощность трансформатора, Вт, вычисляемая как:

$$P_{габ.} = \frac{\pi(D-d)hd^2}{1200} f B_{max},$$

где D — наружный диаметр ферритового кольца, см; d — внутренний диаметр; h — высота кольца; f — частота работы преобразователя, Гц; B_{max} — максимальное значение индукции (в Тесла), которое зависит от марки феррита и определяется по справочнику, см., например, [П. 2, 3].

3. Задавшись напряжением на первичной обмотке трансформатора U_1 , определяют с округлением в большую сторону число ее витков:

$$w_1 = \frac{0,5 \times 10^4 h U_1}{f B_{max} (D - d)}.$$

Приложение 1. Расчет трансформаторов

Для преобразователя (см. ниже рисунок листинга программы или рис. 5.2) $U_1 = U_{пит.}/2 - U_{кэнас.}$, где $U_{пит.}$ — напряжение питания преобразователя, $U_{кэнас.}$ — напряжение насыщения коллектор — эмиттер транзисторов VT1, VT2.

4. Определяют максимальный ток первичной обмотки (в А):

$$I_{1max} = \frac{P_n}{\eta U_1},$$

где η — КПД трансформатора (обычно 0,8).

5. Определяют диаметр провода первичной обмотки (в мм):

$$d_1 = 0,6 \sqrt{I_{1max}}.$$

6. Находят число витков и диаметр провода выходной (вторичной) обмотки:

$$w_2 = w_1 \frac{U_2}{U_1},$$

$$d_2 = 0,6 \sqrt{I_2}.$$

Здесь U_2 и I_2 — напряжение и ток выходной (вторичной) обмотки.

Поскольку при варьировании целого ряда параметров для оптимизации расчетных данных требуется значительный объем вычислений, на основе указанной методики была составлена программа для IBM-совместимых компьютеров [П. 4]. Программа составлена с использованием GWBASIC 3.20, хотя легко может быть преобразована для использования с другими версиями языка.

Отдельные части программы, например, отвечающие за использование типовых размеров или марки магнитопровода, в ущерб наглядности могут быть представлены в более компактном виде.

Программа TRANSIBP.BAS

```
10 CLS
20 CLEAR
30 REM Жучков В. Расчет трансформатора импульсного блока питания//Радио.-
40 REM 1987. - N 11. -с.43.
50 REM Литература: Терещук Р.М., Терещук К.М., Седов С.А. Полупроводниковые
60 REM приемно-усилительные устройства. -Киев:Наукова думка, 1981. -672 с.
```

Приложение 1. Расчет трансформаторов

```

70 PRINT "          РАСЧЕТ ТРАНСФОРМАТОРА          "
80 PRINT "          ИМПУЛЬСНОГО БЛОКА ПИТАНИЯ      "
90 PRINT "
100 PRINT "          (С) Составил М.Шустов, г.Томск          "
110 PRINT "          на основе методики, изложенной         "
120 PRINT "          в журнале Радио, 1987, N11, с. 43      "
130 PRINT "
140 PRINT "
150 PRINT "          _____ +Упит. "
160 PRINT "          VT1 | | "
170 PRINT "          T1  /  | II |  _|_ "
180 PRINT "          * ---K  _ vvv --- "
190 PRINT "          |( II \  ==== T2 | C1 "
200 PRINT "          _ _ |( _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ | "
210 PRINT "          )| | | I | | "
220 PRINT "          _П_П_ I )| VT2 /  _|_ "
230 PRINT "          _ _ )| ----K  _ _ _ "
240 PRINT "          |( III \  | C2 "
250 PRINT "          |( _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ | _ _ _ -Упит. "
260 PRINT "          * "
270 PRINT "
280 PRINT "
290 P=0
300 PRINT "          РАСЧЕТ МОЩНОСТИ, ПОТРЕБЛЯЕМОЙ НАГРУЗКОЙ"
310 INPUT "Количество вторичных обмоток трансформатора T2 (1...10)";A:
    IF A>10 OR A<1 GOTO 310
320 FOR Z=1 TO A
330 PRINT "ОБМОТКА";Z+1:INPUT "НАПРЯЖЕНИЕ, В = ";U:INPUT "ТОК, А = ";I
350 X(Z)=U:Y(Z)=I
360 P(A)=U*I
370 P=P+P(A)
380 NEXT Z:PRINT
390 PRINT "СУММАРНАЯ МОЩНОСТЬ НАГРУЗКИ, Рн, Вт =";INT(100*P+.5)/100:PRINT
400 PRINT "ИСПОЛЬЗУЕМАЯ МОЩНОСТЬ ТРАНСФОРМАТОРА, Рисп, Вт =";INT(P*130+.5)/100:
    PRINT
410 PRINT "ПРОВЕРИМ УСЛОВИЕ Ргаб. > Рисп., где Ргаб.- габаритная мощность":
    PRINT
420 PRINT "ВЫБЕРИТЕ МАРКУ МАГНИТОПРОВОДА, введите соответствующий номер...":

```

Приложение 1. Расчет трансформаторов

```

PRINT
430 PRINT "1 - 10000 НМ* 6 - 2000 НМ1 11 - 1500 НМ3 16 - 600 НН"
440 PRINT "2 - 6000 НМ* 7 - 2000 НМ3 12 - 1000 НМ 17 - 400 НН"
450 PRINT "3 - 4000 НМ 8 - 2000 НН 13 - 1000 НМ3 18 - 300 НН"
460 PRINT "4 - 3000 НМ 9 - 1500 НМ 14 - 1000 НН 19 - 200 НН"
470 PRINT "5 - 2000 НМ 10 - 1500 НМ1 15 - 700 НМ 20 - 200 НМ2"
480 PRINT "          * - Частота преобразования не выше ед. -20 кГц"
490 INPUT N:IF N>20 OR N<1 GOTO 420
500 IF N=1 THEN B=.35
510 IF N=2 THEN B=.35
520 IF N=3 THEN B=.38
530 IF N=4 THEN B=.37
540 IF N=5 THEN B=.39
550 IF N=6 THEN B=.34
560 IF N=7 THEN B=.36
570 IF N=8 THEN B=.25
580 IF N=9 THEN B=.35
590 IF N=10 THEN B=.35
600 IF N=11 THEN B=.38
610 IF N=12 THEN B=.35
620 IF N=13 THEN B=.33
630 IF N=14 THEN B=.33
640 IF N=15 THEN B=.4
650 IF N=16 THEN B=.31
660 IF N=17 THEN B=.23
670 IF N=18 THEN B=.3
680 IF N=19 THEN B=.17
690 IF N=20 THEN B=.4
700 PRINT:PRINT "ВЫБЕРИТЕ ТИПОРАЗМЕР МАГНИТОПРОВОДА, мм ..."
710 PRINT "1 - K4x2,5x1,2 7 - K10x6x4,5 13 - K20x10x5 19 - K32x20x6"
720 PRINT "2 - K5x3x1,5 8 - K12x5x5,5 14 - K20x12x6 20 - K32x20x9"
730 PRINT "3 - K7x4x1,5 9 - K12x8x3 15 - K28x16x9 21 - K38x24x7"
740 PRINT "4 - K7x4x2 10 - K16x8x6 16 - K31x18,5x7 22 - K40x25x11"
750 PRINT "5 - K10x6x2 11 - K16x10x4,5 17 - K32x16x8 23 - K45x28x8"
760 PRINT "6 - K10x6x3 12 - K17,5x8,2x5 18 - K32x16x12 24 - K45x28x12"
770 PRINT "          ...25 - нестандартный типоразмер"
PRINT
780 INPUT K:IF K>25 OR K<1 GOTO 700

```

Приложение 1. Расчет трансформаторов

```

790 IF K=1 THEN D=4:DD=2.5:H=1.2
800 IF K=2 THEN D=5:DD=3:H=1.5
810 IF K=3 THEN D=7:DD=4:H=1.5
820 IF K=4 THEN D=7:DD=4:H=2
830 IF K=5 THEN D=10:DD=6:H=2
840 IF K=6 THEN D=10:DD=6:H=3
850 IF K=7 THEN D=10:DD=6:H=4.5
860 IF K=8 THEN D=12:DD=5:H=5.5
870 IF K=9 THEN D=12:DD=8:H=3
880 IF K=10 THEN D=16:DD=8:H=6
890 IF K=11 THEN D=16:DD=10:H=4.5
900 IF K=12 THEN D=17.5:DD=8.2:H=5
910 IF K=13 THEN D=20:DD=10:H=5
920 IF K=14 THEN D=20:DD=12:H=6
930 IF K=15 THEN D=28:DD=16:H=9
940 IF K=16 THEN D=31:DD=18.5:H=7
950 IF K=17 THEN D=32:DD=16:H=8
960 IF K=18 THEN D=32:DD=16:H=12
970 IF K=19 THEN D=32:DD=20:H=6
980 IF K=20 THEN D=32:DD=20:H=9
990 IF K=21 THEN D=38:DD=24:H=7
1000 IF K=22 THEN D=40:DD=25:H=11
1010 IF K=23 THEN D=45:DD=28:H=8
1020 IF K=24 THEN D=45:DD=28:H=12
1030 IF K=25 THEN GOSUB 1240 ELSE GOSUB 1270
1040 INPUT "ВВЕДИТЕ ЧАСТОТУ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ, кГц. . .":F:IF F>100 THEN
    PRINT "Более 100 кГц частоту преобразования задавать не рекомендуется"
1050 PG=FIX(SC*S0*F*10000*B/15+.5)/100:PRINT
1060 PRINT "ГАБАРИТНАЯ МОЩНОСТЬ ТРАНСФОРМАТОРА, Вт =":INT(.5+100*PG)/100:
    PRINT
1070 IF PG>P*1.3 THEN PRINT "УСЛОВИЕ Pгаб. > Pисп. ВЫПОЛНЯЕТСЯ" ELSE
    PRINT "ПОВТОРИТЕ РАСЧЕТ!":PRINT "Увеличить размер кольца, частоту
    преобразования. . .":INPUT "Продолжить (1); повторить расчет (2)":C:
    ON C GOTO 1080,410
1080 PRINT:INPUT "ЗАДАЙТЕ НАПРЯЖЕНИЕ ПИТАНИЯ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ, В. . .":UP
1090 PRINT:INPUT "ЗАДАЙТЕ ЗНАЧЕНИЕ Uкэ насыщ ВЫХОДНЫХ ТРАНЗИСТОРОВ, В":UEC:

```

Приложение 1. Расчет трансформаторов

```

    IF UEC>=UP GOTO 1080
1100 U1=UP/2-UEC
1110 PRINT:PRINT "НАПРЯЖЕНИЕ НА ПЕРВИЧНОЙ ОБМОТКЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ, В =":
    INT(U1+.5)
1120 W1=INT(2.5*U1/(F*B*SC)+.5)
1130 PRINT:PRINT "КОЛИЧЕСТВО ВИТКОВ ПЕРВИЧНОЙ ОБМОТКИ =" :W1
1140 PRINT:INPUT "ЗАДАЙТЕ КПД ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ, обычно КПД 0.8":KPD:
    IF KPD>=1 OR KPD<0 GOTO 1140
1150 IM1=FIX(100%*P/(KPD*U1)+.5)/100
1160 D1=FIX(60%*SQR(IM1)+.5)/100
1170 PRINT:PRINT "МАКСИМАЛЬНЫЙ ТОК ПЕРВИЧНОЙ ОБМОТКИ, А. =":
    INT(.5+100*IM1)/100
1180 PRINT:PRINT "ДИАМЕТР ПРОВОДА ПЕРВИЧНОЙ ОБМОТКИ, мм =":
    INT(.5+100*D1)/100
1190 FOR Z=1 TO A
1200 PRINT:PRINT "ОБМОТКА":Z+1;" U =":INT(100*X(Z)+.5)/100;"В":" I =":
    INT(100*Y(Z)+.5)/100;"А":" ВИТКОВ =":FIX((W1*X(Z)/U1)+.8):"(":
    FIX(10*W1*X(Z)/U1+.5)/10;""):" ДИАМЕТР ПРОВОДА, мм =":
    FIX(60*SQR(Y(Z))+.5)/100
1210 NEXT Z
1220 PRINT:PRINT "Расчет закончен"
1230 END
1240 INPUT "ВВЕДИТЕ ВНЕШНИЙ ДИАМЕТР КОЛЬЦА, мм. . .":D
1250 INPUT "ВВЕДИТЕ ВНУТРЕННИЙ ДИАМЕТР КОЛЬЦА, мм. . .":DD
1260 INPUT "ВВЕДИТЕ ВЫСОТУ КОЛЬЦА, мм. . .":H
1270 SC=FIX((D-DD)*H/2+.5)/100:S0=FIX(3.1415927*DD*DD/4+.5)/100
1280 PRINT:PRINT "ПЛОЩАДЬ СЕЧЕНИЯ МАГНИТОПРОВОДА, см. кв. =":INT(.5+100*SC)/100
1290 PRINT:PRINT "ПЛОЩАДЬ ОКНА МАГНИТОПРОВОДА, см. кв. =":INT(.5+100*S0)/100
1300 PRINT:RETURN

```

При использовании программы необходимо учитывать то, что расчет является достаточно приближенным, хотя и более сложные методики не могут учесть всех моментов, определяющих реальные процессы в проектируемых импульсных источниках питания.

Программа может быть преобразована в автономный исполняемый модуль, например, при использовании языка — компилятора *TB 1.1*. В свою очередь, исполняемый модуль может быть в дальнейшем сжат программой типа *PKLITE* или *LZEXE*.

Приложение 2.

Правила техники безопасности

Большинство людей не обращают особого внимания на правила техники безопасности. Они считают, что несчастные случаи происходят только с очень неопытными и беспечными людьми. Так ли это? Статистика свидетельствует об обратном: чаще всего от электротравм страдают наиболее опытные профессионалы своего дела. Объяснение простое: человек, считающий себя специалистом, уверен, что ему уж точно ничего не грозит, и снимает с себя все запреты и ограничения. Следствие — поражение электрическим током.

Считается, что для человека опасно напряжение свыше 30 вольт, но это не совсем верно. Опасно не само напряжение, а величина (сила) и частота тока, протекающего через тело человека и пути его протекания. Степень восприимчивости к действию электрического тока — величина непостоянная, и не регламентируется ни в каких руководствах по технике безопасности. Человеческий организм — весьма сложная биологическая система и степень его восприимчивости к действию различных раздражителей может изменяться в тысячи раз.

Итак, о чем же стоит помнить, работая с электрическим током:

1. Не работать под напряжением. Это опасно не только для вас, но и для аппаратуры, с которой вы работаете. Если, тем не менее, такая необходимость все же возникнет, стоит подумать о том, кто отключит напряжение сети и спасет вас в случае поражения электрическим током. Чаще всего человек не в состоянии самостоятельно оторваться от провода под напряжением: его мышцы сокращаются от прохождения тока, и он попадает в своеобразный капкан.

Если нет возможности отключить электроэнергию, спасти человека можно, оттащив его за одежду от поразившей его током установки.

Особенно опасны в эксплуатации устройства, имеющие непосредственную гальваническую связь с сетью. Таких устройств

немало: это, например, источники питания телевизоров, мониторов, компьютеров. Для их ремонта необходимо воспользоваться разделительным сетевым трансформатором. Если требуется подстройка какого-либо элемента под напряжением, следует производить эту опасную процедуру, используя отвертку с хорошей изоляцией, имея на ногах изолирующую обувь и стоя на полу, не проводящем электричества. Вторую руку, чтобы случайно не прикоснуться к токопроводящему предмету, лучше спрятать за спину или в карман.

Если вы собираете конструкцию, имеющую гальваническую связь с питающей сетью, необходимо обеспечить надежную изоляцию этого устройства: корпус и органы управления из изоляционного материала, ограниченный доступ внутрь. Стоит учесть и климатический фактор: если изделие эксплуатируется на открытом воздухе, при повышенной влажности, либо при резких перепадах температуры, качество изоляции может резко ухудшиться, что, в свою очередь, способно привести к поражению электрическим током.

2. Не работать с высоким напряжением. Это условие довольно очевидно. В подавляющем большинстве случаев высоковольтные установки могут поразить человека даже на расстоянии, тем более, если они работают на повышенных частотах. (Хотя, как всегда, есть и исключения: некоторые высоковольтные устройства совершенно безопасны.)

3. Конденсаторы имеют одну опасную особенность: они могут поразить человека электрическим разрядом даже тогда, когда аппаратура выключена. Чем больше емкость конденсатора, тем он опаснее: ведь конденсатор — это резервуар электрической энергии, запас которой определяется произведением CU^2 . Кроме того, конденсаторы в процессе работы иногда взрываются, мгновенно выделяя запасенную энергию. Это происходит с дефектными конденсаторами, с конденсаторами, имеющими большой ток утечки, с электролитическими конденсаторами, если к ним прикладывается повышенное напряжение, а для полярных конденсаторов — еще и напряжение переменного тока или иной полярности.

4. Намоточные изделия — трансформаторы, дроссели, электродвигатели и им подобные устройства также являются

накопителями энергии, но уже индуктивного типа. Следует учитывать, что при действии на обмотку даже небольших напряжений они способны сгенерировать высоковольтный импульс и чувствительно поразить человека или вывести из строя аппаратуру.

Кроме того, этим изделиям свойственны специфические неисправности, например, пробой межвитковой изоляции из-за случайного броска напряжения в сети или некачественной изоляции. Как следствие, возрастание тока через обмотку, ее перегрев, ухудшение изоляции, очередной пробой и возгорание обмотки. Поэтому не стоит оставлять без присмотра включенную аппаратуру даже на короткое время.

5. Электровакуумные приборы. Большинство электровакуумных приборов имеет в колбе пониженное или повышенное давление газа, часто они наполнены парами металлов, в том числе ртути. Эти приборы иногда взрываются. Особенно опасны в этом отношении кинескопы и газоразрядные источники света. Поражающим действием обладают как осколки лампы, так и пары ртути. Разумеется, сами по себе лампы взрываются редко. Обычно это происходит в момент включения прибора, вследствие недопустимых режимов работы либо из-за удара.

6. Нагревательные элементы. К нагревательным элементам в первую очередь следует отнести паяльник. Он опасен возможностью поражения человека током из-за замыкания обмотки на корпус.

Вторым поражающим фактором является высокая температура жала паяльника: при неосторожном прикосновении легко получить термический ожог кожи, а если забыть включенный паяльник, может возникнуть пожар.

Не стоит забывать и про химический компонент: при пайке, особенно при использовании суррогатных флюсов, выделяется большое количество токсичных газов, продуктов разложения изоляции, паров металлов. Все это человек поневоле вдыхает, ведь для того чтобы рассмотреть место пайки, необходимо приблизить лицо.

Часто при отпаивании детали или провода во все стороны летят брызги припоя. Если Вы не наденете очки, эти брызги могут попасть в глаза.

7. Прочие поражающие факторы. Козьма Прутков говорил, что нельзя объять необъятное. Он совершенно прав. Все ситуации невозможно предусмотреть и перечислить. Но человек тем и отличается от животного, что способен не только сам придумать для себя новые источники неприятностей, но и предусмотреть способы защиты от них.

Список литературы

К главе 1

- 1.1. **Бестрансформаторный** преобразователь напряжения // Радио. — 1976. — № 4. — С. 61; Radio REF. — 1975. — № 6.
- 1.2. **Zimmerman Н.-J.** Analog/Digital-Wandler nach dem Integrationsverfahren // Funkamateur. — 1985. — № 4. — S. 195 — 196.
- 1.3. **Верхотуров В., Калачев В.** Трехдиапазонный автоматический передатчик // Радио. — 1976. — № 9. — С. 17 — 20.
- 1.4. **Млад конструктор.** — 1983. — № 10. — С. 8.
- 1.5. **Бестрансформаторный** преобразователь напряжения // Радио. — 1974. — № 4. — С. 63; Funkschau. — 1973. — № 4.
- 1.6. **Бестрансформаторный** удвоитель напряжения // Радио. — 1974. — № 7. — С. 62; Electronic Design. — 1972. — № 26.
- 1.7. **Radio fernsehen elektronik.** — 1987. — Bd. 36. Н. 8. — S. 252.
- 1.8. **Архипов Ю.** Цифровой регулятор угла опережения зажигания // Радиолюбитель. — 1991. — М.: Патриот, 1991. — С. 129 — 149.
- 1.9. **Кузнецов Г.** Бестрансформаторный преобразователь напряжения // Радио. — 1982. — № 2. — С. 36.
- 1.10. **Бестрансформаторный** преобразователь напряжения // Радио. — 1976. — № 2. — С. 60; Radio fernsehen elektronik. — 1975. — Bd. 24, Н. 15; Сыч С. Преобразователь напряжения // Радиолюбитель. — 1998. — № 10. — С. 27.
- 1.11. **Удвоитель на постоянно напряжении** // Млад конструктор. — 1987. — № 1. — С. 12.
- 1.12. **Тенни Р.** Управляемый источник дополнительных напряжений // Электроника. — 1982. — № 17. — С. 64 — 65.

- 1.13. **Шиваров М., Георгиев П.** Инвертор на напряжение // Млад конструктор. — 1988. — № 10. — Прил. V.
- 1.14. **Удвоитель на напряжение** // Млад конструктор. — 1986. — № 9. — С. 14.
- 1.15. **Гончаренко А.** Формирователь напряжения отрицательной полярности // Радио. — 1998. — № 12. — С. 29.
- 1.16. **Катберт Д.** Источник отрицательного напряжения питания на КМОП-ventилях // Электроника. — 1991. — № 6. — С. 57.
- 1.17. **Алексеев С.** Точный преобразователь полярности // Радио. — 1999. — № 12. — С. 42.

К главе 2

- 2.1. **Зотов Л. Г., Шорин А. А.** Каскадный бестрансформаторный преобразователь для децентрализованной системы электропитания // Радиотехника. — 1989. — № 10. — С. 95 — 98; Радио. — 1999. — № 1. — С. 42.
- 2.2. **Дургавич Т.** Импульсный стабилизатор, увеличивающий время службы аккумулятора // Электроника. — 1987. — № 4. — С. 79 — 80.
- 2.3. **Дуглас Ф. Н.** Преобразователь напряжения на коммутируемых конденсаторах // Электроника. — 1993. — № 3 — 4. — С. 76 — 77.
- 2.4. **Горошков Б. И.** Радиоэлектронные устройства: Справочник. — М.: Радио и связь, 1985. — 400 с.
- 2.5. **Зиенко С. И., Брытков В. В.** Амплитудные характеристики волновых формирователей импульсов на модуляторных тиристорах // Радиотехника. — 1990. — № 6. — С. 87 — 90.
- 2.6. **Зиенко С. И., Брытков В. В., Гончаров В. М.** Формирователи предельно мощных коротких импульсов // Радиотехника. — 1991. — № 5. — С. 73 — 75.
- 2.7. **Шустов М. А., Протасевич Е. Т.** Теория и практика газоразрядной фотографии. — Томск: Изд-во Томск. политех. ун-та, 2001. — 252 с.
- 2.8. **А. С. 1679607 (СССР).** Способ зарядки конденсаторной батареи / Н. М. Катасонов // Открытия. Изобретения. — 1991. — № 35.

- 2.9. **Браславский Л. М., Сажнев А. М., Кобылянский В. Г.** Способы бестрансформаторного преобразования напряжения и построения трансформаторных вторичных источников питания // Приборы и техника эксперимента. — 1977. — № 4. — С. 192.
- 2.10. **Казаков Н., Петров А.** Конденсаторный преобразователь напряжения с умножением тока // Радио. — 1999. — № 1. — С. 42 — 44.
- 2.11. **Топалов А. В.** Бесконтактный регулятор напряжения электронной настройки // Радиоаматор. — 1999. — № 6. — С. 28 — 30.

К главе 3

- 3.1. **Цаков М.** Две схемы с мультиплексора 4053 // Радио, телевизия, электроника. — 1987. — № 1. — С. 32 — 33.
- 3.2. **Шустов М. А.** Мультиплексорный преобразователь напряжения // Радиомир. — 2002. — № . — С. (в печати).
- 3.3. **Онышко А., Кичатов В.** Обратимый преобразователь напряжения // Радио. — 1989. — № 8. — С. 77 — 78.
- 3.4. **А. С. 1408504 (СССР)** // Открытия. Изобретения. — 1988. — № 25.
- 3.5. **Farnell Semiconductor Data CD-ROM. Vol. 1&2; <http://www.farnell.com>**
- 3.6. **Бирюков С. А.** Преобразователи напряжения на переключаемых конденсаторах // Радио. — 2001. — № 12. — С. 44 — 45.
- 3.7. **Граф Р. Ф., Шиитс В.** Энциклопедия электронных схем. Том 7. Часть I. — М.: ДМК, 2000. — 304 с.
- 3.8. **Граф Р. Ф., Шиитс В.** Энциклопедия электронных схем. Том 7. Часть III. — М.: ДМК, 2001. — 384 с.
- 3.9. **Ковпак А. А.** Интегральные преобразователи постоянного тока // Радиоаматор — Электрик. — 2000. — № 8. — С. 4 — 8.
- 3.10. **Радиолюбби.** — 2002. — № 2. — С. 8. www.linear.com/pdf/1911i.pdf.

К главе 4

- 4.1. **Четти П.** Проектирование ключевых источников электропитания. — М.: Энергоатомиздат, 1990. — 240 с.
- 4.2. **Цаков М.** Импульсен преобразувател напрежение // Радио, телевизия, электроника. — 1987. — № 10. — С. 27 — 28.
- 4.3. **Беляцкий П.** Электростимулятор для отбора пчелиного яда // Радиолюбитель. — 1996. — № 3. — С. 25 — 26.
- 4.4. **Hamer W.** Hochspannungs-Wandler ohne Trafo // Funkschau. — 1979. — № 21. — S. 1260.
- 4.5. **Hochspannung fuer Anzeigerroehren aus Transistorspeisespannung** // Radio fernsehen elektronik. — 1975. — Bd. 24, H. 10. — S. 343; Electronic Design. — 1974. — V. 21. — № 21. — P. 126; Радио. — 1975. — № 11. — С. 60
- 4.6. **Вилкинсон Дж.** // Electronics and Beyond. — 1997. — № 4. — P. 26; Радиолюбби. — 1998. — № 1. — С. 12.
- 4.7. **Sarns S.** Преобразователь постоянного тока, формирующий два напряжения // Электроника. — 1983. — № 7.
- 4.8. **Карапетян А.** Схема контроля изменений в состоянии канала // Электроника. — 1983. — № 14. — С. 71 — 72.
- 4.9. **Преобразователь** напряжения // Радио. — 1998. — № 2. — С. 63; Hawker P. Technical Topics // Radio Communication. — 1997. — № 2. — P. 8.
- 4.10. **Blenken A.** Von 8 V auf 200 V // Funkschau. — 1986. — H. 25. — S. 20.
- 4.11. **Елимов С.** Инвертор напряжения // Радиомир. — 2002. — № 1. — С. 17.
- 4.12. **Бирюков С. А.** Преобразователи напряжения на микросхеме KP1156EY5 // Радио. — 2001. — № 11. — С. 38 — 39, 42.
- 4.13. **Федоров В.** Преобразователь униполярного напряжения в двухполярное // Радиолюбитель. — 2001. — № 11. — С. 16 — 17.
- 4.14. **Бирюков С. А.** Низковольтный преобразователь напряжения // Радио. — 2002. — № 2. — С. 41 — 42. www.maxim-ic.com.

- 4.15. **Эраносян С. А.** Сетевые блоки питания с высокочастотными преобразователями. — Л.: Энергоатомиздат, 1991. — 176 с.
- 4.16. **Зайцев Е.** Простой маломощный блок питания // В помощь радиолюбителю. — Вып. 79. — М.: ДОСААФ, 1982. — С. 32 — 34.
- 4.17. **Durbecq X., Treek van G.** IC, Anzeige und Triac direct aus dem 220-V-Netz versorgt // Elektronik. — 1987. — № 20. — S. 72.
- 4.18. **Сиколенко С. Ф.** Преобразователь напряжения с импульсным накоплением энергии // Радиотехника. — 1998. — № 3. — С. 48 — 50.
- 4.19. **А. С. 1571731 (СССР)**, МКИ H02M 3/35. Преобразователь напряжения / Н. М. Музыченко // Открытия. Изобретения. — 1990. — № 22.

К главе 5

- 5.1. **Шустов М. А.** Генератор биполярных импульсов // Радиолюбитель. — 1999. — № 4. — С. 38.
- 5.2. **Шустов М. А.** Импульсный блок питания // Радиоаматор-Электрик. — 2000. — № 4. — С. 6 — 8.
- 5.3. **Миронов А. А.** Сетевые импульсные блоки питания // Радио. — 1999. — № 8. — С. 51 — 53; № 9. — С. 38 — 39.
- 5.4. **Шинкаренко В.** Высоковольтный блок питания // Радиолюбитель. — 1999. — № 6. — С. 25.
- 5.5. **Семенов Б. Ю.** Силовая электроника для любителей и профессионалов. — М.: Солон-Р, 2001. — 328 с.
- 5.6. **Иванов В., Панфилов В.** Микросхемы управления импульсными стабилизаторами фирмы Motorola // Chip News. — 1998. — № 1.
- 5.7. **Николайчук О.** Источник питания с буферным аккумулятором // Схемотехника. — 2002. — № 4. — С. 5 — 6.

К главе 6

- 6.1. **Миронов А. А.** Импульсный стабилизатор напряжения // Радио. — 1985. — № 5. — С. 64; Jednoduchy impulsni

- stabilizator naprti // Sdelovaci technika. — 1984. — № 8. — S. 283.
- 6.2. **Миронов А. А.** Простой ключевой стабилизатор напряжения // Радио. — 1985. — № 8. — С. 43 — 45.
- 6.3. **Миронов А. А.** Усовершенствование импульсного стабилизатора напряжения // Радио. — 1987. — № 4. — С. 35 — 36.
- 6.4. **Засухин С.** Простой импульсный стабилизатор // Радио. — 1993. — № 6. — С. 38 — 39.
- 6.5. **Смирнов В.** Импульсный стабилизатор напряжения // Радио. — 1986. — № 11. — С. 52 — 54.
- 6.6. **Вандерфистен Э.** // Electronics World Incorporating Wireless World. — 1998. — Vol. 104. — № 5 (1745). — P. 379 — 380; Радиохобби. — 1998. — № 3. — С. 9.

К главе 7

- 7.1. **Колдунов А.** ШИ-стабилизатор на таймере KP1006BI1 // Радиомир. — 2001. — № 10. — С. 17. **Беляцкий П.** ШИ-стабилизатор на таймере KP1006BI1 // Радиолюбитель. — 1998. — № 9. — С. 26 — 27.
- 7.2. **Пахомов А.** Экономичный импульсный стабилизатор напряжения // Радио. — 1999. — № 9. — С. 40, 43.
- 7.3. **Нефедов А., Головина В.** Микросхемы KP142EP1A, KP142EP1B // Радио. — 1993. — № 7. — С. 41 — 42.
- 7.4. **Булычев А. Л., Галкин В. И., Прохоренко В. А.** Аналоговые интегральные схемы. — Минск: Беларусь, 1993. — 382 с.
- 7.5. **Хлавичка М.** Prakticka elektronika A Radio. — 1998. — № 12. — С. 28 — 30; Радиохобби. — 1999. — № 1. — С. 13.
- 7.6. **Пенфолд Р.** // Electronics Today International. — 1998. — № 13. — P. 26 — 31; Радиохобби. — 1999. — № 1. — С. 13 — 14.
- 7.7. **Миронов А. А.** Импульсные стабилизаторы с высоким КПД // Радиомир. — 2001. — № 8. — С. 10 — 12.
- 7.8. **Миронов А. А.** Применение синхронных выпрямителей в импульсных стабилизаторах напряжения // Радио. — 2001. — № 10. — С. 38 — 39.

К главе 8

- 8.1. **Преобразователь на постоянном токе** // Млад конструктор. — 1986. — № 10. — С. 14.
- 8.2. **Бирюков С. А.** Портативный цифровой мультиметр // В помощь радиолюбителю. — Вып. 100. — М.: ДОСААФ, 1978. — С. 71 — 90.
- 8.3. **Кушнерев А.** Микромощный стабилизированный преобразователь напряжения // Радио. — 1989. — № 5. — С. 74 — 75.
- 8.4. **Сафронов А.** Двуполярный стабилизированный... // Радио. — 1996. — № 6. — С. 51.
- 8.5. **Стабилизированный** преобразователь напряжения // Радио. — 1981. — № 11. — С. 61. Радио, телевизия, электроника. — 1981. — № 2.
- 8.6. **Prakticka elektronika A Radio.** — 1998. — № 7. — С. 8; Радиохобби. — 1998. — № 4. — С 18 — 19.

К главе 9

- 9.1. www.geocities.com/kilovolt2000/sch1t.html
- 9.2. **Шелестов И.П.** Радиолюбителям: полезные схемы. — М.: «Солон», 1998. — Кн. 1 — 186 с.; Кн. 2. — 216 с.
- 9.3. www.geocities.com/kilovolt2000/sch2t.html
- 9.4. **Чаплыгин А.** Преобразователь напряжения // Радио. — 2001. — № 11. — С. 42.
- 9.5. **Решетов Б.** Комбинированный измерительный прибор // Радио. — 1972. — № 1. — С. 37 — 39; № 7. — С. 63.
- 9.6. **Николаев А.** Стабилизированный преобразователь для ПДУ // Радиолюбитель. — 1996. — № 8. — С. 4.
- 9.7. **Вотинцев Н.** Преобразователь напряжения с ШИ стабилизацией // Радио. — 1985. — № 10. — С. 27.
- 9.8. **Александров Ф. И., Сиваков А. Р.** Импульсные преобразователи и стабилизаторы. — Л.: Энергия, 1970. — 188 с.
- 9.9. **Хайрутдинов Ф.** Импульсный блок питания // Радиолюбитель. — 2002. — № 4. — С. 11.
- 9.10. **Виноградов Ю. А.** Питание газоразрядного счетчика // Радио. — 1989. — № 2. — С. 61.

- 9.11. **Киселев В.** Преобразователь напряжения для сетевой фотовспышки // Радио. — 1983. — № 7. — С. 39.
- 9.12. **Киселев В.** Преобразователь напряжения для сетевой фотовспышки // Радио. — 1985. — № 1. — С. 52.
- 9.13. **Панчик О.** Экономичный ПН-70 // Моделист-Конструктор. — 1994. — № 1. — С. 9.

К главе 10

- 10.1. **Каравкин В.** Преобразователь напряжения // Радиоконструктор. — 2000. — № 5. — С. 34.
- 10.2. **Трансфертер 12 — 220 V/90 W** // Млад конструктор. — 1984. — № 4. — С. 14.
- 10.3. **Михайлов С.** Преобразователь 12V — 220V // Млад конструктор. — 1988. — № 6. — С. 6 — 7; Гуменюк Ю. Резервное электропитание // Радиолюбитель. — 1998. — № 10. — С. 28 — 29.
- 10.4. **Каравкин В.** Простой преобразователь напряжения // Радиоконструктор. — 2002. — № 5. — С. 35.
- 10.5. **Евсеев А. Н.** Полезные схемы для радиолюбителей. — М.: Солон, 1999. — Вып. 2. — 240 с.
- 10.6. **Карлащук С., Карлащук В.** Преобразователь для электробритвы // Радио. — 1989. — № 11. — С. 69.
- 10.7. **Каравкин В.** Преобразователь =12 В/~220 В // Радиоконструктор. — 1999. — № 5. — С. 27.
- 10.8. **Стоилов А.** Инвертор на напряжение // Радио, телевизия, электроника. — 1998. — № 6. — С 12 — 13; Мощный преобразователь напряжения // Радио. — 1998. — № 10. — С. 79 — 80.
- 10.9. **Шангареев В.** Преобразователь напряжения 12/220 В — 50 Гц // Радио. — 1996. — № 12. — С. 48; 1999. — № 11. — С. 42.
- 10.10. **Иоффе В. М., Алексеев А. Г.** Простой автономный источник питания на 220 В // Приборы и техника эксперимента. — 1983. — № 3. — С. 135.

К главе 11

- 11.1. **Ермолаев В. А., Похолков Ю. П., Шустов М. А., Исмаилова О. Л., Азикова Г. И., Руднев С. В.** Радиогграфия и радиогграфические ячейки. — Томск: Изд. РИО «Пресс-Интеграл» ЦПК ЖК, 1997. — 224 с.
- 11.2. **Шустов М. А., Протасевич Е. Т.** Электроразрядная фотография. — Томск: Изд-во Томск. политехн. ун-та, 1999. — 244 с.
- 11.3. **Шустов М. А., Протасевич Е. Т.** Теория и практика газоразрядной фотографии. — Томск: Изд-во Томск. политехн. ун-та, 2001. — 252 с.
- 11.4. **Шустов М. А.** Генератор для получения «кирлиановских» фотографий // Радиолобитель. — 1991. — № 9. — С. 14.
- 11.5. **Шустов М. А.** Электронный пылесос // Радиолобитель. — 1993. — № 8. — С. 16 — 17; Электронные ловители радиоактивной пыли // Радиолобитель. — 1994. — № 9. — С. 16 — 17.
- 11.6. **Шустов М. А.** Аппараты для ультратоновой терапии // Радиолобитель. — 1998. — № 7. — С. 23 — 24; 1999. — № 6. — С. 33.
- 11.7. **Станкевич А., Михайленко В., Назаренко Н.** ВЧ — искровой дефектоскоп // Радио. — 1973. — № 1. — С. 25.
- 11.8. **Фрюнгель Ф.** Импульсная техника. Генерирование и применение разрядов конденсаторов. — М. — Л.: Энергия, 1965. — 488 с.
- 11.9. **Иванов Б.С.** Блок питания для «Люстры Чижевского» // Радио. — 1997. — № 5. — С. 35.
- 11.10. **Бамбуров Ю. Г., Казарезов И. В., Кокин Е. Н.** Тиратронный коммутатор для высокочастотного трансформатора Тесла с повышенной частотой следования импульсов // Приборы и техника эксперимента. — 1984. — № 3. — С. 104.
- 11.11. **Силиньш Ю. А.** Искровой течеискатель // Приборы и техника эксперимента. — 1975. — № 5. — С. 242 — 243.
- 11.12. **Утин В.** Варианты блока питания «Люстры Чижевского» // Радио. — 1997. — № 10. — С. 42 — 43.

- 11.13. **Кузинец Л. М., Соколов В. С.** Узлы и блоки телевизоров: Справочник. — М.: Радио и связь, 1990. — 240 с.
- 11.14. **Вилков В.** Зажигалка для газа // Радиолобитель. — 1993. — № 1. — С. 26.
- 11.15. **Калентьев Ю.** Зажигалка для газа // Радиолобитель. — 1991. — № 2. — С. 15 — 16.
- 11.16. **Иванов Б. С.** «Люстра Чижевского» — своими руками // Радио. — 1997. — № 1. — С. 36.
- 11.17. **Роговская Е.** Продукты сохраняет ионизатор // Радиолобитель. — 1993. — № 1. — С. 20.
- 11.18. **Габеев Л. Т., Соловьев А. Н.** Тиристорный искровой течеискатель // Приборы и техника эксперимента. — 1983. — № 3. — С. 234.
- 11.19. **Приборы и техника эксперимента.** — 1977. — № 5. — С. 175.
- 11.20. **Глухенький Г.** Еще один блок питания «Люстры Чижевского» // Радио. — 1998. — № 11. — С. 44.
- 11.21. **Шелестов И. П.** Радиолобителям: полезные схемы. — М.: «Солон», 1998. — Кн. 1 — 186 с.; Кн. 2. — 216 с.
- 11.22. **Nagymate C.** // Radiotechnica (Венгрия). — 1996. — № 8.
- 11.23. www.geocities.com/lemagicien_2000/hvpage/hvcdpage/hvcd.html

К главе 12

- 12.1. www.geocities.com/kilovolt2000/schign.html
- 12.2. **Брянцев П.** Электронное зажигание // Радиолобитель. — 1998. — № 7. — С. 31.
- 12.3. www.geocities.com/lemagicien_2000/hvpage/hvfbpage/hvfb.html
- 12.4. www.geocities.com/lemagicien_2000/hvpage/hvagpage/hvag.html
- 12.5. **Назаров Д.** Электронная система зажигания для автомобильного отопителя // Радио. — 1977. — № 9. — С. 28.
- 12.6. **Крылов Е. В.** Генератор импульсов высокого напряжения // Приборы и техника эксперимента. — 1991. — № 4. — С. 114 — 115.

- 12.7. **Электроизгородь** // Радио. — 1973. — № 8.
- 12.8. **Белкин В. С., Шульженко Г. И.** Генератор высоковольтных двуполярных импульсов // Приборы и техника эксперимента. — 1994. — № 4. — С. 64 — 67.
- 12.9. **Белкин В. С., Шульженко Г. И.** Формирователи высоковольтных наносекундных импульсов с низковольтным питанием // Приборы и техника эксперимента. — 1994. — № 4. — С. 68 — 70.

К главе 13

- 13.1. **Плужников В. М., Семенов В. С.** Пьезокерамические твердые схемы. — М.: Энергия, 1971. — 168 с.
- 13.2. **Патент 658960** Швейцария. МКИ H02M 7/04. Бестрансформаторная схема источника питания // Оpubл. 15.12.1986.

Приложение 1

- П.1. **Жучков В.** Расчет трансформатора импульсного блока питания // Радио. — 1987. — № 11. — С. 43.
- П.2. **Терещук Р., Терещук К., Седов С.** Полупроводниковые приемно-усилительные устройства. Справочник радиолюбителя. — Киев: Наукова думка. 1981.
- П.3. **Михайлова М., Филиппов В., Мусликов В.** Магнитомягкие ферриты для радиоэлектронной аппаратуры. Справочник. — М.: Радио и связь, 1983.
- П.4. **Шустов М. А.** Расчет трансформатора импульсного блока питания // Радиолюбитель. — 1996. — № 10. — С. 6 — 7.

Рекомендуемая литература

1. **Александров Ф. И., Сиваков А. Р.** Импульсные преобразователи и стабилизаторы. — Л.: Энергия, 1970. — 188 с.
2. **Бас А.** и др. Источники вторичного электропитания с бестрансформаторным входом. — М.: Радио и связь, 1987.
3. **Булатов О. Г., Иванов В. С., Панфилов Д. И.** Полупроводниковые зарядные устройства емкостных накопителей энергии. — М.: Радио и связь, 1986. — 180 с.
4. **Виленкин А. Г.** Импульсные транзисторные стабилизаторы напряжения. — М.: Энергия, 1970.
5. **Глебов Б. А.** Магнитно-транзисторные преобразователи напряжения для питания РЭА. — М.: Радио и связь, 1981. — 97 с.
6. **Головацкий В. А., Гумкович Г. Н., Конев Ю. И. и др.** Источники вторичного энергоснабжения. — М.: Радио и связь, 1990.
7. **Горский А. Н. и др.** Расчет электромагнитных элементов источников вторичного электропитания. — М.: Радио и связь, 1988.
8. **Грейвер Е. С.** Ключевые стабилизаторы напряжения постоянного тока. — М.: Связь, 1970.
9. **Додик С. Д.** Параметрические стабилизаторы постоянного напряжения и тока. — М.: Советское радио, 1980. — 344 с.
10. **Додик С. Д.** Полупроводниковые стабилизаторы постоянного напряжения и тока. — М.: Советское радио, 1962. — 352 с.
11. **Ерофеев А. А., Данов Г. А., Фролов В. Н.** Пьезоэлектрические трансформаторы и их применение в радиоэлектронике. — М.: Радио и связь, 1988. — 128 с.
12. **Костиков В. Г., Никитин И. Е.** Источники электропитания высокого напряжения РЭА. — М.: Радио и связь, 1986. — 200 с.

13. **Криштафович И. А.** Мощные полевые транзисторы и их применение в устройствах вторичного электропитания. — Киев: Знание, 1989. — 20 с.
14. **Микросхемы** для импульсных источников питания и их применение. Справочник. — М.: Додэка, 2000. — 608 с.
15. **Митрофанов Д. В., Щеголев А. И.** Импульсные источники вторичного электропитания в бытовой радиоаппаратуре. — М.: Радио и связь, 1985. — 72 с.
16. **Мкртчян Ж. А.** Основы построения устройств электропитания ЭВМ. — М.: Радио и связь, 1990. — 208 с.
17. **Поликарпов А. Г., Сергиенко Е. Ф.** Однотактные преобразователи напряжения в устройствах электропитания РЭА. — М.: Радио и связь, 1989. — 160 с.
18. **Разевиг В. Д.** Применение программ P-CAD и PSpice для схемотехнического моделирования на ПЭВМ. — Вып. 1 — 4. — М.: Радио и связь, 1992.
19. **Ромаш Э. М.** Источники вторичного электропитания радиоэлектронной аппаратуры. — М.: Радио и связь, 1981. (1980. — 224 с.).
20. **Ромаш Э. М., Драбович Ю. И., Юрченко Н. Н.** Высокочастотные транзисторные преобразователи. — М.: Радио и связь, 1988. — 288 с.
21. **Сазонов В. В.** Компенсационно-параметрические импульсные стабилизаторы постоянного напряжения. — М.: Энергоатомиздат, 1982.
22. **Хусаинов Ч. Ч.** Высокочастотные импульсные стабилизаторы постоянного напряжения. — М.: Энергия, 1979. — 192 с.
23. **Четти П.** Проектирование ключевых источников электропитания. — М.: Энергоатомиздат, 1990. — 238 с.

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.

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.

В ближайшее время выйдут в свет:

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.

В процессе подготовки находятся (рабочие названия):

Практическая схемотехника
Полупроводниковые приборы и их применение
Книга 5

Данное издание подробно рассказывает о разнообразных вариантах практического применения лавинных, инжекционно-полевых и однопереходных транзисторов, приводятся схемы устройств, использующих диодисторы, симисторы, туннельные и обращенные диоды. Не забыты и лямбда-диоды, диоды Ганна, переключаательные диоды и умножители частоты. Отдельно рассказывается о применении оптоэлектронных приборов.

Практическая схемотехника
Специализированные аналоговые микросхемы
Книга 6

Книга освещает вопросы практического использования специализированных микросхем, а именно: дифференциальных усилителей, усилителей низких (звуковых) частот, однокристалльных АМ- и ЧМ-приемников, микросхем ЦАП и АЦП.

Практическая схемотехника
Цифровые устройства
Книга 7

Подробно рассмотрены вопросы построения и практического применения основных узлов цифровой техники: ограничителей и формирователей импульсов, триггеров, одновибраторов, триггеров Шмитта, блокинг-генераторов, умножителей/делителей частоты, дискриминаторов и компараторов, селекторов импульсов. Показана возможность создания элементов цифровых устройств на основе дискретных элементов и специализированных цифровых микросхем.

Практическая схемотехника
Усилители и генераторы электрических сигналов
Книга 8

Подзаголовок этого издания говорит сам за себя. Здесь собраны практические схемы всевозможных генераторов, как на дискретных элементах, так и на аналоговых и цифровых микросхемах, отдельно рассматриваются генераторы шума и синтезаторы частот. Даются схемы разнообразных усилителей: малошумящих, магнитофонных, предусилителей, оконечных усилителей. Не забыты и эквалайзеры, регуляторы тембра, фильтры. Отдельно рассматриваются высокочастотные усилители, а также элементы цифровой техники, применяемые при построении генераторов и усилителей.

Практическая схемотехника
Любительская и профессиональная радиосвязь
Книга 9

В книге подробно и систематически изложены вопросы построения радиопередающих и приемных устройств, применяемых в любительской и профессиональной радиосвязи. Рассмотрены антенные усилители и активные антенны, конверторы, умножители добротности, преселекторы, методы снижения шума радиоприемных устройств, схемы радиоприемных

и передающих устройств, трансиверов, микропередающих устройств, вопросы организации связи с использованием ультразвуковых волн, излучений видимого и инфракрасного диапазонов, индуктивная и иные виды связей. Приведены многочисленные схемы выходных каскады передающих устройств на радиолампах и транзисторах, описаны методы и схемы формирования и детектирования однополосного сигнала, модуляции и демодуляции, преобразования сигналов. Рассмотрены вопросы создания устройств и схем вспомогательного назначения: схем голосового управления, электронных телеграфных ключей, различных индицирующих и измерительных устройств, применяемых в технике радиосвязи.

В дальнейшем планируется подготовить (рабочие названия):

Практическая схемотехника
Практическая телефония
Книга 10

Практическая схемотехника
Телевизионная техника
Книга 11

Практическая схемотехника
Измерительная техника
Книга 12

Практическая схемотехника
Радиоэлектроника в промышленности и сельском хозяйстве
Книга 13

Практическая схемотехника
Электронные устройства в быту
Книга 14

Практическая схемотехника
Устройства домашней автоматики
Книга 15

Практическая схемотехника
Электроника в автомобиле
Книга 16

**Практическая схемотехника
Медицинская электроника
Книга 17**

**Практическая схемотехника
Нетрадиционная электроника
Книга 18**

**Практическая схемотехника
Новые идеи в радиоэлектронике
Книга 19**

**Практическая схемотехника
Компьютер и радиоэлектроника
Книга 20**

Михаил Анатольевич Шустов
**Практическая схемотехника
Преобразователи напряжения
Книга 3**

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 60х88/16. Объем 12 п. л. Тираж 5000 экз.

ГУП Чеховский полиграфический комбинат
Чехов, Московская обл., ул. Полиграфистов, д. 1
Заказ № **3979**