

Полупроводниковые диоды

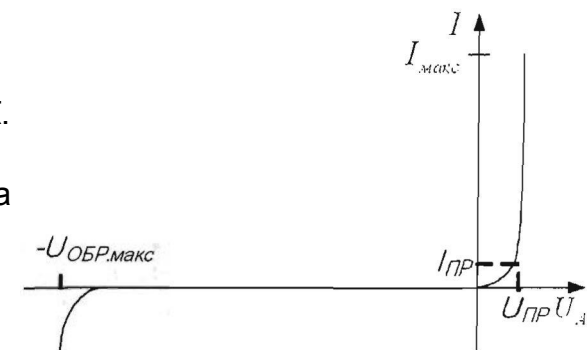
Параметры и характеристики диодов



Диоды – полупроводниковые приборы, которые пропускают ток в одном направлении. Выводы диода называют анодом А и катодом К.

Если приложено положительное напряжение $U > 0$, то диод работает в прямом направлении. При отрицательном напряжении $U < 0$, диод заперт. Обратный ток всегда на несколько порядков меньше, чем прямой.

Для германия $U_{\text{пр}}$ находится в пределах от 0,2 по 0,4 В, для кремния от 0,5 до 0,8 В.



Полупроводниковые диоды можно разделить на две группы: выпрямительные и специальные. Выпрямительные диоды предназначены для выпрямления переменного тока. В зависимости от частоты и формы переменного напряжения они делятся на высокочастотные, низкочастотные и импульсные. Специальные типы полупроводниковых диодов используют различные свойства p-n переходов: явление пробоя, барьерную емкость, наличие участков с отрицательным сопротивлением и др.

Параметры выпрямительных диодов:

К статическим параметрам диода относятся:

- падение напряжения $U_{\text{пр}}$ на диоде при некотором значении прямого тока;
- обратный ток $I_{\text{обр}}$ при некотором значении обратного напряжения;
- среднее значение прямого тока $I_{\text{пр. ср}}$;
- максимальное значение обратного напряжения $U_{\text{обр}}$.

К динамическим параметрам диода относятся его временные или частотные характеристики. К таким параметрам относятся:

- время восстановления $t_{\text{вос}}$ обратного напряжения;
- время нарастания прямого тока $t_{\text{нар}}$;
- предельная частота без снижения режимов диода $f_{\text{ макс}}$.

Статические параметры можно установить по вольт-амперной характеристике диода.

Время обратного восстановления диода $t_{\text{вос}}$ является основным параметром выпрямительных диодов, характеризующим их инерционные свойства. Переключение диода из проводящего состояния в закрытое происходит не мгновенно, так как при этом p-n переход должен освободиться от накопленного заряда.

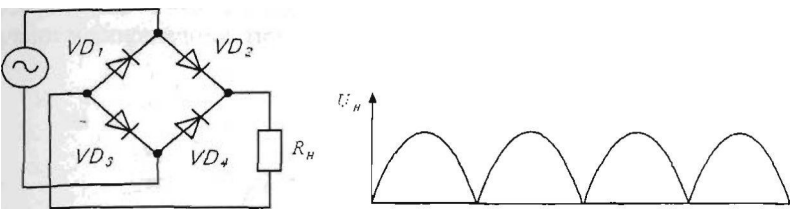
Обычно значение времени накопления для маломощных диодов составляет 10-100 нс. Для мощных диодов эта величина находится в диапазоне микросекунд. Период колебаний входного напряжения должен быть больше времени накопления, в противном случае теряются выпрямительные свойства диода.

Полупроводниковые диоды

Применение диодов для выпрямления переменного тока

Выпрямитель преобразует переменный ток в постоянный, выпрямительные схемы являются самыми простыми и наиболее распространенными диодными схемами. Для синусоидального входного напряжения, значительно превышающего прямое напряжение диода, выходное напряжение будет иметь вид, показанный на рис.

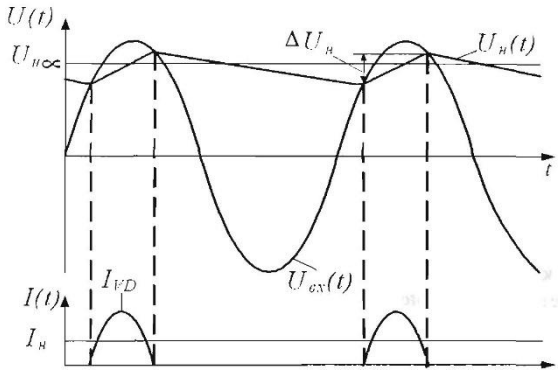
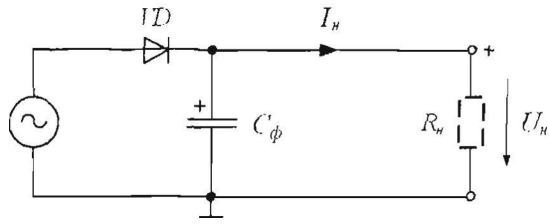
Двухполупериодный выпрямитель, (пропускает на выход обе полуволны входного сигнала)



Входной сигнал используется при выпрямлении полностью. На графике выходного напряжения наблюдаются интервалы с нулевым значением напряжения, они обусловлены прямым напряжением диодов. В этой схеме два диода всегда подключены последовательно ко входу, это необходимо учитывать при использовании низко вольтных источников питания.

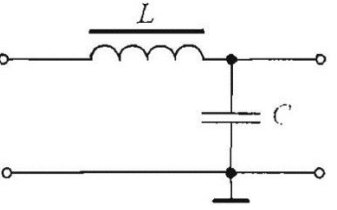
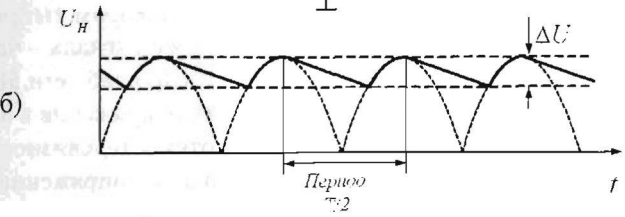
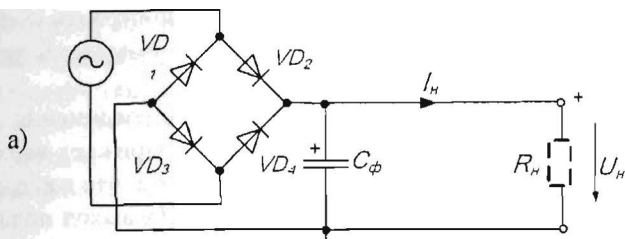
Для сглаживания пульсаций выпрямленного напряжения применяют специальные сглаживающие фильтры.

При подключении нагрузки в течение всего времени, когда диод заперт, происходит разряд конденсатора через сопротивление нагрузки. Когда входное напряжение становится больше выходного напряжения, диод открывается и конденсатор начинает заряжаться.



Недостатком такой схемы является большая величина пульсаций. Со отношение между временем разряда и временем заряда конденсатора может быть значительно улучшено, если осуществлять заряд конденсатора во время как положительной, так и отрицательной полуволн переменного напряжения. Это достигается при использовании мостовой схемы выпрямителя.

Полупроводниковые диоды

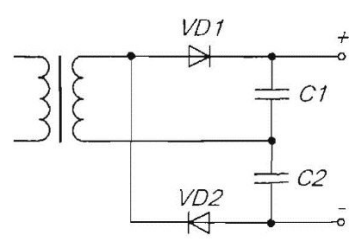


В течение всего времени заряда конденсатора диоды соединяют отрицательный вывод обмотки трансформатора с общей шиной питания, а положительный - с выходом схемы независимо от полярности напряжения на обмотке. Для данной схемы частота пульсаций будет в два раза выше частоты входного напряжения.

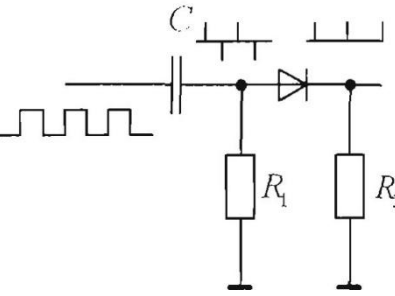
Если ток нагрузки равен нулю, то конденсатор будет просто оставаться заряженным до амплитудного значения входного переменного напряжения.

Конденсатор подбирают так, чтобы выполнялось условие $R_H C \gg 1/f$, (где f - частота пульсаций, в нашем случае - 100 Гц), тогда будет обеспечено ослабление пульсаций. Амплитуда пульсаций прямо пропорциональна току нагрузки и обратно пропорциональна емкости конденсатора и частоте входного сигнала. Если требуется уменьшить пульсации, а сопротивление нагрузки мало, то необходима чрезмерно большая емкость конденсатора, т.е. сглаживание пульсаций выполнить одним конденсатором практически нельзя. Включают дополнительный сглаживающий фильтр (рис.).

Удвоитель напряжения на базе двухполупериодного выпрямителя



Нижняя обмотка трансформатора включена в точке соединения двух конденсаторов. Верхняя обмотка в первый полупериод заряжает верхний конденсатор, во второй полупериод - нижний так, что каждый из них заряжается до амплитудного значения напряжения. На выход подается сумма этих напряжений. Эта схема является двухполупериодным выпрямителем, так как она работает в каждом полупериоде входного сигнала - частота пульсаций в два раза превышает частоту колебаний питающей сети 50 Гц. Разновидности этой схемы позволяют увеличивать напряжение в 3, 4 и более раз. Аналогичные схемы используются в умножителях напряжения, позволяющих получить напряжение, величина которого превышает 20 кВ.

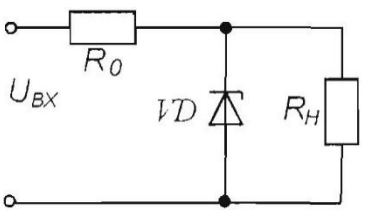


Если сигналы несинусоидальные, то для их выпрямления используются более сложные схемы. Например, если сигнал имеет прямоугольную форму, то говорить о его выпрямлении не принято, хотя процесс выпрямления применим и к нему. Например, требуется получить последовательность импульсов, совпадающих с моментами нарастания прямоугольного сигнала. Для этого сначала дифференцируют прямоугольный сигнал, а затем выпрямляют его с помощью диода. Прямое напряжение диода составляет приблизительно 0,6 В. На выходе этой схемы сигнал будет получен лишь в том случае, когда двойная амплитуда прямоугольного входного сигнала будет не меньше 0,6 В.

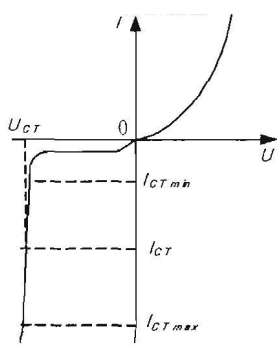
Полупроводниковые диоды

Стабилитроны

Стабилитроны - это полупроводниковые диоды, работающие в области лавинного пробоя. При обратном смещении полупроводникового диода возникает электрический лавинный пробой p-n перехода. При этом в широком диапазоне изменения тока через диод напряжение на нем меняется очень незначительно.

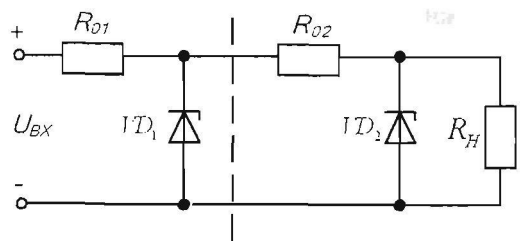
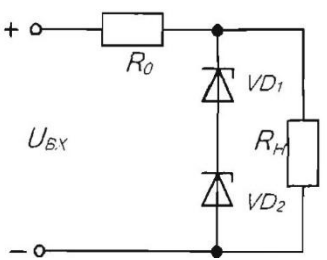


- Основными параметрами стабилитронов являются:
- напряжение стабилизации номинальное $U_{СТ}$;
- напряжение стабилизации минимальное $U_{СТ.мин}$;
- напряжение стабилизации максимальное $U_{СТ.макс}$;
- дифференциальное сопротивление $R_{СТ}$;
- температурный коэффициент напряжения стабилизации $\alpha_{СТ}$;
- минимальный ток стабилизации $I_{СТ.мин}$;
- максимальный ток стабилизации $I_{СТ.макс}$;
- рассеиваемая мощность $P_{СТ}$.



Для более высоких стабильных напряжений

Для повышения стабильности напряжения схема каскадного соединения стабилитронов, в которой стабилитрон VD1 имеет более высокое напряжение стабилизации, чем стабилитрон VD2.



Эффективная стабилизация характеризуется коэффициентом стабилизации КСТ, который показывает, во сколько раз относительное изменение напряжения на выходе схемы стабилизации меньше, чем относительное изменение напряжения на входе. Уже при двух звеньях КСТ составляет несколько сотен.

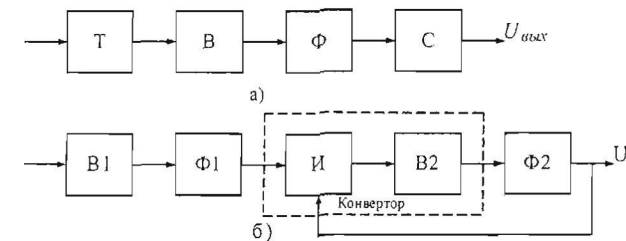
Недостатком рассматриваемых схем является то, что потери мощности в самом стабилитроне и на балластном резисторе велики, особенно в схемах каскадного соединения. Другой недостаток - схемы не стабилизируют выходное напряжение при изменении сопротивления нагрузки и при изменении параметров самого стабилитрона.

Источники вторичного электропитания

Основные требования и определения

Источники вторичного электропитания (ИВЭП) - это преобразователи электрической энергии, получающие ее от источников первичного напряжения - сетей переменного или постоянного тока, гальванических элементов, солнечных батарей. Эти устройства преобразуют подводимую энергию по роду тока, значениям тока и напряжения, при необходимости регулируя или стабилизируя их. Общепринято ИВЭП называть источниками питания.

Структурные схемы источников питания, получающих энергию от сети 50 Гц 220 В, без преобразования (а) и с преобразованием (б).



(а) содержит каскадно-соединенные трансформатор (Т), выпрямитель (В), сглаживающий фильтр (Ф) и стабилизатор (С). Трансформатор предназначен для гальванической развязки питающей сети и нагрузки и изменения уровня переменного напряжения. Обычно трансформатор понижает сетевое напряжение. Выпрямитель преобразует переменное напряжение в пульсирующее постоянное напряжение. Сглаживающий фильтр уменьшает пульсации напряжения на выходе выпрямителя. Стабилизатор уменьшает изменения напряжения на нагрузке, вызванные изменением напряжения сети и тока нагрузки.

Недостаток - большой вес и габариты трансформатора, сглаживающего фильтра на частоте 50 Гц.

Достоинство - отсутствие генерации импульсных помех.

В источниках с преобразованием напряжение сети подается непосредственно на выпрямитель В1. На выходе сглаживающего фильтра Ф1 создается постоянное напряжение, которое вновь преобразуется в переменное (десятки килогерц) с помощью инвертора И. Затем напряжение передается через трансформатор Т, выпрямляется и фильтруется. Основная роль трансформатора также состоит в гальванической развязке сети и нагрузки. Инвертор, трансформатор и выпрямитель В2 образуют конвертор - устройство для изменения уровня постоянного напряжения.

Особенностью данной структуры является совмещение в конверторе двух функций. Это согласование уровней напряжения и стабилизация его среднего значения. Для выполнения последней функции выходное напряжение схемы используется в качестве управляющего сигнала для цепи обратной связи.

Достоинство - трансформатор работает на повышенной частоте, поэтому его и сглаживающего фильтра Ф2 вес, габариты гораздо меньше, чем в схеме без преобразования.

Недостатками являются:

- генерация импульсных помех, которые могут влиять на электронные схемы (тщательное экранирование и фильтрация, правильное заземление позволяют уменьшить помехи до приемлемого уровня).
- гальваническая связь выпрямителя, фильтра и инвертора с сетевым напряжением.

Источники вторичного электропитания

Основные параметры

1. Номинальные уровни входного $U_{\text{ВХ.НОМ}}$ и выходного $U_{\text{ВЫХ.НОМ}}$ напряжений. В зависимости от формы эти напряжения являются либо действующими ($U_{\text{НОМ}}^{\text{ВХ.НОМ}} = U$), либо постоянными ($U_{\text{НОМ}} = U_{\text{СР}}$).
2. Предельные отклонения входного и выходного напряжений, а также токов нагрузки, при которых сохраняется заданная степень стабилизации выходного напряжения, $U_{\text{ВХ.макс}} - U_{\text{ВХ.мин}}$; $U_{\text{ВЫХ.макс}} - U_{\text{ВЫХ.мин}}$; $I_{\text{Н.макс}} - I_{\text{Н.мин}}$, а также соответствующий им диапазон изменения входной мощности $P_{\text{Н.макс}} - P_{\text{Н.мин}}$.

Часто при определении выходного напряжения отдельно задают величину нестабильности от изменения тока нагрузки и входного напряжения

$$\delta U_{\text{ВЫХ}}(I_{\text{Н}}) = (\Delta U_{\text{ВЫХ}}(I_{\text{Н}}) / U_{\text{ВЫХ.НОМ}}) \cdot 100;$$

$$\delta U_{\text{ВЫХ}}(U_{\text{ВХ}}) = ((\Delta U_{\text{ВЫХ}}(U_{\text{ВХ}}) / U_{\text{ВЫХ.НОМ}}) \cdot 100,$$

где $\Delta U_{\text{ВЫХ}}(I_{\text{Н}})$ и $\Delta U_{\text{ВЫХ}}(U_{\text{ВХ}})$ - соответственно абсолютные изменения выходного напряжения при заданном изменении тока нагрузки и входного напряжения.

Иногда величину $\Delta U_{\text{ВЫХ}}(U_{\text{ВХ}})$ задают коэффициентом стабилизации по напряжению

$$K_{\text{Уст}} = (\Delta U_{\text{ВХ}} / U_{\text{ВХ.НОМ}}) / (\Delta U_{\text{ВЫХ}} / U_{\text{ВЫХ.НОМ}}).$$

1. Выходное сопротивление, характеризующее изменение выходного напряжения при колебаниях тока нагрузки, но при постоянном входном напряжении
 $r_{\text{ВЫХ}} = \Delta U_{\text{ВЫХ}} / \Delta I_{\text{Н}}$
 - КПД, равный отношению мощности, выделяемой на нагрузку (в номинальном режиме), к мощности, потребляемой от источника входного напряжения.
 $\eta = P_{\text{ВЫХ}} / P_{\text{ВХ}}$

1. Предельный уровень пульсаций выходного напряжения $U_{\text{ПУЛЬС.ВЫХ}}$. Иногда эта величина задается в виде коэффициента пульсаций $\varepsilon = U_{\text{ПУЛЬС.ВЫХ}} / U_{\text{ВЫХ.НОМ}}$.

Источники вторичного электропитания

Линейные стабилизаторы напряжения

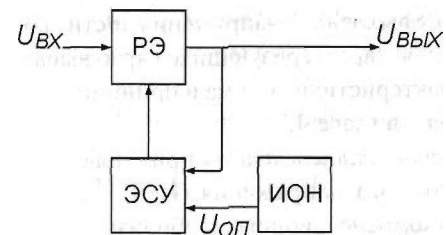
Выходное напряжение на выходе фильтра обычно имеет значительные пульсации, так как емкости конденсаторов не могут быть выбраны бесконечно большими. Кроме того, выходное напряжение таких схем сильно зависит от колебаний напряжения сети и изменения нагрузки. Для уменьшения влияния этих факторов используют стабилизаторы напряжения. Стабилизатор напряжения (СН) - это устройство, поддерживающее с определенной точностью неизменным напряжение на нагрузке.

Линейные стабилизаторы делятся на параметрические и компенсационные.

Компенсационные СН - замкнутая система автоматического регулирования напряжения, в которой выходное напряжение поддерживается равным или пропорциональным стабильному опорному напряжению, создаваемому источником опорного напряжения (ИОН). Такие стабилизаторы содержат регулирующий элемент (биполярный или полевой транзистор), включаемый последовательно или параллельно нагрузке. Регулирующий элемент может работать в активном (непрерывном) режиме, в этом случае стабилизатор называется линейным с непрерывным регулированием, а также в ключевом режиме. В этом случае стабилизатор называется ключевым или импульсным.

Параметрические стабилизаторы являются простейшими устройствами, в которых малые изменения выходного напряжения достигаются за счет применения электронных приборов, характеризующихся ярко выраженной нелинейностью вольтамперной характеристики (схема со стабилитроном).

Параметрические стабилизаторы применяются в основном для построения источников опорного напряжения (ИОН). Так как стабильность ИОН определяет качество компенсационных стабилизаторов, то к стабилитронам применяются особые требования по стабильности характеристик. Чтобы повысить коэффициент стабилизации, применяют температурно-компенсированные двух- и трехвыводные стабилитронные интегральные микросхемы. Такие ИМС имеют в своем составе транзисторы, операционные усилители и обладают весьма стабильными характеристиками.



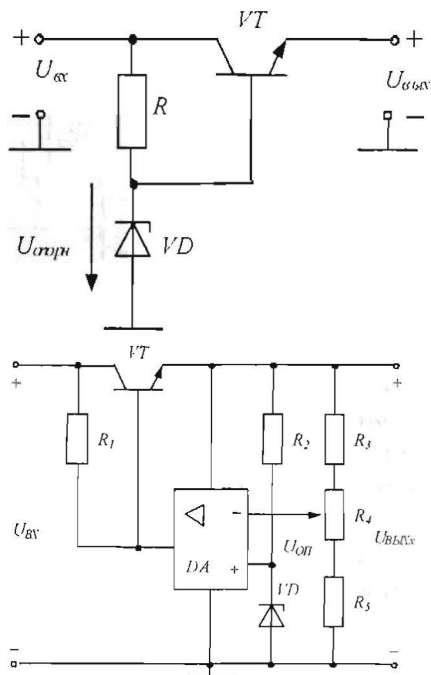
Характерными элементами компенсационного стабилизатора являются ИОН, элемент сравнения и усиления (ЭСУ) и регулирующий элемент (РЭ).

Напряжение на выходе стабилизатора или некоторая часть этого напряжения сравнивается с эталонным напряжением. В зависимости от их соотношения ЭСУ вырабатывает сигнал для РЭ, изменяющий режим его работы таким образом, чтобы напряжение на выходе стабилизатора оставалось практически постоянным.

Чаще всего РЭ включают последовательно с нагрузкой. В этом случае стабилизатор называют последовательным. В случае включения РЭ параллельно нагрузке стабилизатор называют параллельным.

Источники вторичного электропитания

Простейший последовательный стабилизатор напряжения



эмиттерный повторитель: база транзистора подключена к источнику опорного напряжения. Опорное напряжение получается с помощью параметрического стабилизатора на стабилитроне VD и резисторе R . За счет отрицательной обратной связи по напряжению выходное напряжение стабилизатора устанавливается равным величине $U_{\text{ВЫХ}} = U_{\text{ОПОРН}} - U_{\text{БЭ}}$.

Работа схемы: предположим, что входное напряжение увеличилось. В первый момент выходное напряжение также будет увеличиваться, управляющее напряжение транзистора $U_{\text{БЭ}} = U_{\text{ОПОРН}} - U_{\text{ВЫХ}}$ уменьшается, транзистор подзапирается, сопротивление коллектор-эмиттер его увеличивается, а выходное напряжение уменьшается, компенсируя изменение входного сигнала. В данной схеме транзистор совмещает в себе функции ЭСУ и РЭ.

Для улучшения параметров схемы дополнительно включают усилитель сигнала рассогласования.

Недостатком таких схем является критичность к короткому замыканию (КЗ) на выходе. В случае короткого замыкания рассеиваемая на транзисторе мощность превысит допустимую и транзистор выйдет из строя. Для защиты схемы от КЗ используются дополнительные элементы.

Основной недостаток линейных СН - малый коэффициент полезного действия. КПД схемы зависит от соотношения входного $U_{\text{ВХ}}$ и выходного $U_{\text{ВЫХ}}$. Для большинства линейных стабилизаторов значение КПД невелико и не превышает 50%, однако известны схемные решения, увеличивающие КПД до 90%. Особенно невыгодно применение линейных СН в случае большой разницы входного и выходного напряжения, отметим также, что все линейные СН являются понижающими, то есть $U_{\text{ВЫХ}}$ для них всегда ниже $U_{\text{ВХ}}$.

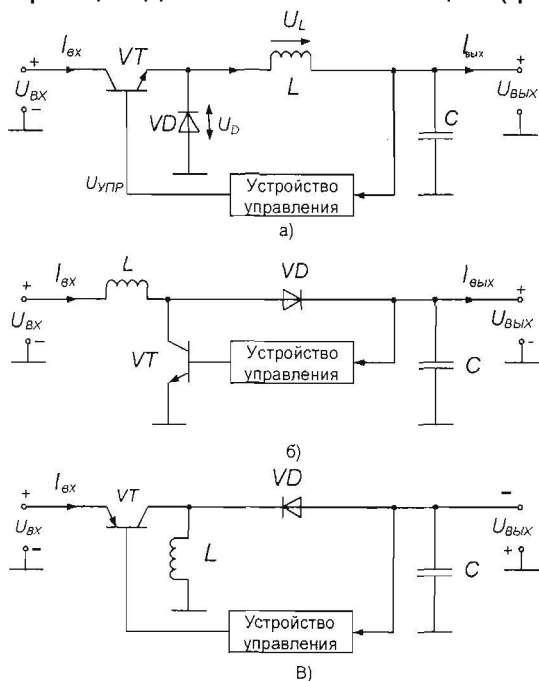
Источники вторичного электропитания

Импульсные стабилизаторы напряжения

Преимущества:

- Высокий КПД, так как благодаря использованию ключевого режима работы регулирующего транзистора средняя рассеиваемая на нем мощность оказывается значительно ниже, чем в линейном стабилизаторе.
- Малые тепловые потери позволяют во многих случаях отказаться от применения теплоотводов или существенно уменьшить их габариты.
- Наряду с обычным режимом понижения входного напряжения, импульсные ИСН могут работать в режиме его повышения и инвертирования.

Принцип действия понижающего (рис.а), повышающего (рис.б) и инвертирующего (рис.в) стабилизаторов напряжения



Регулирующий транзистор VT переключается с определенной частотой устройством управления (УУ) из состояния насыщения в состояние отсечки. В узле накопления энергии, содержащим катушку индуктивности L и конденсатор C , импульсы преобразуются в постоянное напряжение, величина которого зависит от скважности и частоты управляющих импульсов, которые, в свою очередь, определяются разностью между опорным и фактическим выходным напряжением. Управляющие импульсы переменной скважности формируются в УУ специальной схемой широтно-импульсной модуляции (ШИМ).

Для понижающего стабилизатора, когда VT находится в состоянии насыщения, диод VD закрыт, через катушку L течет линейно возрастающий ток, и в это время происходит накопление энергии и заряд конденсатора C . Когда VT переходит в состояние отсечки, ток через катушку начинает уменьшаться, полярность напряжения на ней изменяется за счет самоиндукции, открывается диод, и катушка становится источником питания нагрузки. Затем процесс повторяется. Работа стабилизатора поясняется временными диаграммами, изображенными на рис. Постоянная составляющая напряжения на выходе зависит от соотношения времени запертого и открытого состояний транзистора VT, т.е. от скважности импульсов на выходе УУ.

Стабилизация выходного напряжения: предположим, что входное напряжение увеличилось. В первый момент выходное напряжение будет увеличиваться. В этом случае УУ уменьшает длительность импульса, при котором транзистор VT открыт. При этом постоянная составляющая выходного напряжения уменьшается, т.е. происходит его стабилизация.

Аналогично повышающий и инвертирующий стабилизаторы. Другой порядок включения катушки, диода и транзистора в повышающем стабилизаторе \square выходное напряжение – сумма входного напряжения и напряжения на катушке, а в инвертирующем - напряжение на катушке, приложенное к выходу стабилизатора через диод, получается отрицательным.

Источники вторичного электропитания

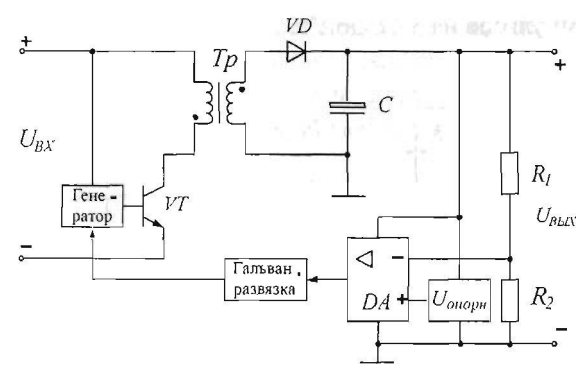
Импульсные стабилизаторы напряжения с трансформатором

Достоинства таких стабилизаторов, а точнее преобразователей напряжения (они могут быть как повышающими, так понижающими и инвертирующими)

- гальваническая развязка между источником входного напряжения и нагрузкой,
- возможность получения нескольких выходных напряжений.

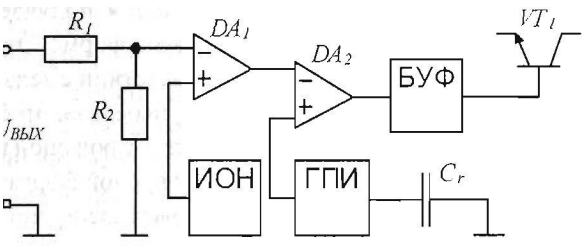
Недостатком импульсных стабилизаторов является наличие у них переменной составляющей тока нагрузки, поэтому импульсные ИСН не применяют в аналоговых устройствах со слабыми сигналами, или же используют совместно с линейными стабилизаторами.

Принцип работы обратноходового преобразователя



Обмотки трансформатора фазированы таким образом, что когда транзистор VT находится в состоянии насыщения и через первичную коллекторную обмотку течет линейно нарастающий ток, полярность напряжения на диоде обратная, и ток через вторичную обмотку не идет. Происходит накопление энергии в трансформаторе. Когда VT переходит в состояние отсечки, полярность напряжения на вторичной обмотке изменяется, открывается диод, и через нагрузку начинает течь ток, который поддерживается зарядом конденсатора С.

Работа обратноходового преобразователя аналогична работе инвертирующего стабилизатора. Импульсный трансформатор может иметь несколько вторичных обмоток с соответствующим образом включенными диодами, и таким образом становится возможным получение двух и более (в том числе разнополярных) выходных напряжений.



Практически все современные импульсные стабилизаторы содержат регулирующий транзистор VT (биполярный или МОП) и устройство управления, а диод, катушка и конденсаторы являются внешними элементами. Типовая структурная схема устройства управления с ШИМ содержит такой же, как и в линейном стабилизаторе ИОН и усилитель ошибки DA1, выход которого подключен к одному из входов компаратора напряжения DA2. На другой вход компаратора подается пилообразное напряжение от специального генератора ГПИ.

В результате на выходе компаратора импульсы переменной скважности, определяемой разностью между опорным напряжением и частью выходного напряжения, подаваемого на усилитель DA1 с резистивного делителя R1, R2. Эти импульсы усиливаются буферным усилителем и подаются на базу регулирующего транзистора. Для стабилизаторов с фиксированным выходным напряжением резистивный делитель устанавливается внутри микросхемы, для стабилизаторов с регулируемым выходным напряжением применяют внешний делитель, сопротивления резистора которого определяют величину выходного напряжения. Диод VD должен иметь малое прямое падение напряжения и минимальное время переключения □диоды Шоттки.