

Вторичные источники питания.

Виды источников питания.

**Выпрямители. Сглаживающие
фильтры. Стабилизаторы
напряжения. Умножители
напряжения. Инверторы.**

Виды источников питания

- Источник питания — устройство, предназначенное для обеспечения различных устройств электрическим питанием.
- Различают первичные и вторичные источники питания.
- К первичным относят преобразователи К первичным относят преобразователи различных видов энергии в электрическую, примером может служить аккумулятор, преобразующий химическую энергию в электрическую.
- Вторичные источники сами не генерируют электроэнергию, а служат лишь для её преобразования с целью обеспечения требуемых параметров (напряжения, тока, пульсаций напряжения и т. п.)

Источники первичного электропитания

—

**это устройства, преобразовывающие
неэлектрические виды энергии в электрические.**

Как правило, это:

- 1. Электрические машины (генераторы)
переменного тока***
- 2. Гальванические и аккумуляторные элементы
и батареи из них***

Отдельные потребители (радиоэлектронные устройства, устройства управления и др.) получают электроэнергию не от основных (источников первичного электропитания), а от источников вторичного электропитания

Источники вторичного электропитания -

это устройства, преобразовывающие род тока и величину напряжения.

По назначению источники вторичного электропитания классифицируются следующим образом:

- *преобразователи переменного напряжения (трансформаторы);*
- *преобразователи постоянного напряжения в переменное;*
- *преобразователи постоянного напряжения одной величины в постоянное напряжение другой величины;*
- *преобразователи переменного напряжения в постоянное (выпрямители).*

Наиболее распространенными источниками вторичного электропитания являются источники, которые преобразуют энергию сети переменного тока частотой 50 Гц.

Такие ИВЭ включают в себя **выпрямитель** и **стабилизатор**.

ВЫПРЯМИТЕЛИ

- **Выпрямитель** (**электрического тока**) (электрического тока) — **преобразователь электрической энергии** (электрического тока) — преобразователь электрической энергии; механическое, электровакуумное, полупроводниковое или другое устройство, предназначенное для преобразования **переменного** (электрического тока) — преобразователь электрической энергии; механическое, электровакуумное, полупроводниковое или другое устройство, предназначенное

Основные параметры выпрямителя:

- $U_{н.ср}$ ($I_{н.ср}$) — среднее значение выпрямленного напряжения (тока) нагрузки;
- $U_{т.ог}$ — амплитуда основной гармоники выпрямленного напряжения;
- $q_n = U_{т.ог} / U_{н.ср}$ — коэффициент пульсации выпрямленного напряжения;
- S — мощность трансформатора (в вольтамперах — В•А или в киловольтамперах — кВ•А);
- $I_{пр.ср}$ — прямой средний ток вентиля;
- $U_{пр.ср}$ — среднее напряжение (меньше 2,5 В) на вентиле при токе $I_{пр.ср}$;
- $U_{обр.тах}$ и $I_{пр.тах}$ — максимальные допустимые обратное напряжение и прямой ток вентиля.

Типовая схема вторичного источника питания без преобразователя частоты

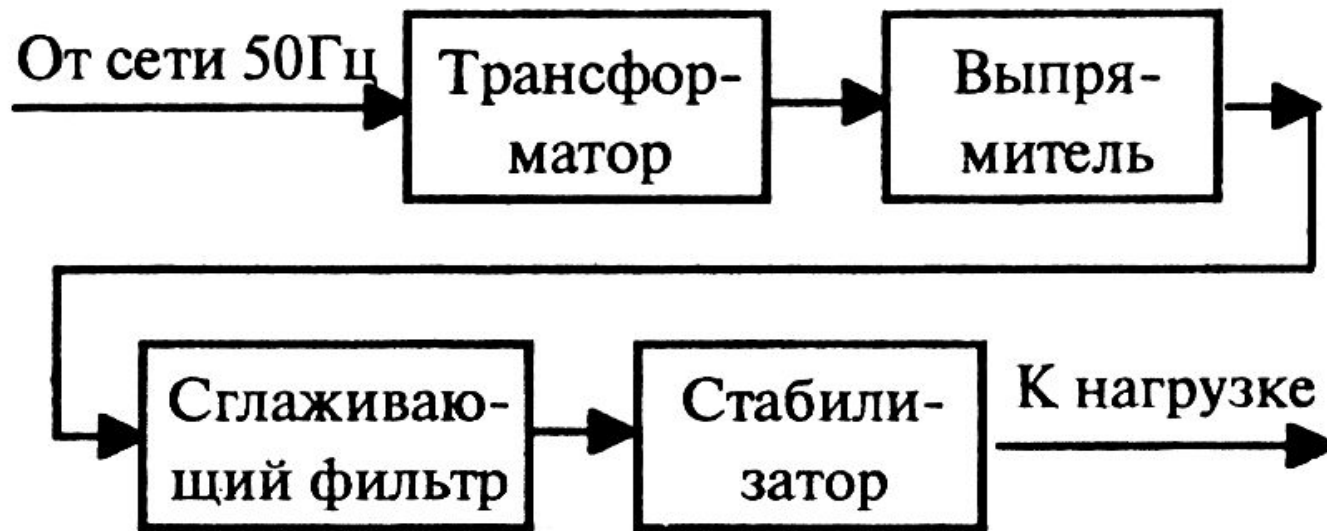
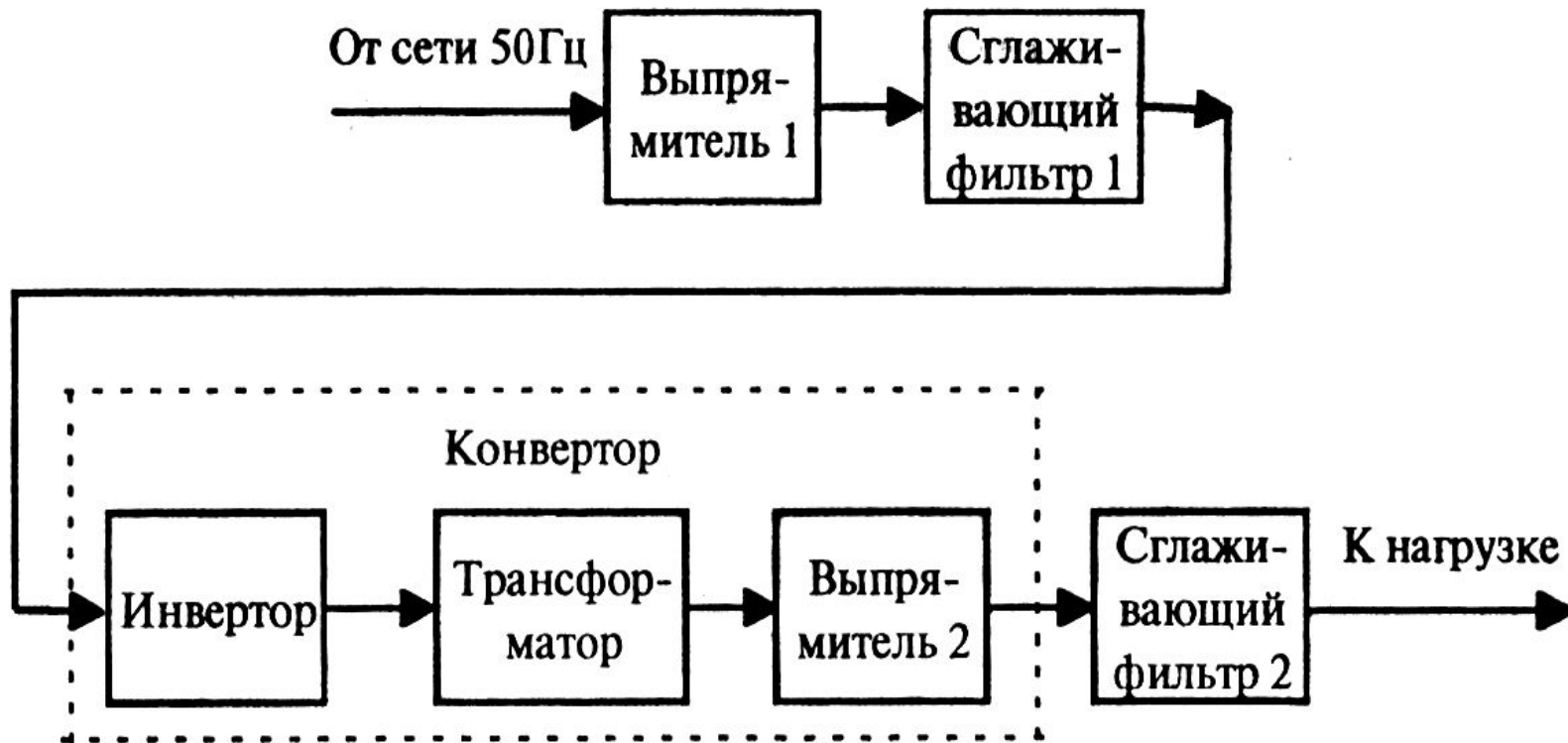


Схема вторичного источника питания без преобразователя частоты

- **Трансформатор** предназначен для гальванической развязки питающей сети и нагрузки и изменения уровня переменного напряжения, для преобразования сетевого переменного напряжения в переменные напряжения требуемых уровней. Одновременно трансформатор обеспечивает гальваническую развязку питающей сети и нагрузки. В общем случае трансформатор может быть понижающим, повышающим или универсальным (то есть иметь как повышающие, так и понижающие обмотки).
- **Выпрямитель** преобразует переменное разнополярное напряжение в пульсирующее однополярное (положительной или отрицательной полярности). Напряжение на выходе выпрямителя содержит постоянную составляющую (среднее значение напряжения за период) и бесконечное число гармоник с частотами, кратными частоте пульсирующего напряжения. Отклонение выходного напряжения выпрямителя от его среднего значения называется *пульсацией*. Частота пульсаций равна частоте первой гармоники.
- **Фильтр** предназначен для выделения постоянной составляющей из выходного напряжения выпрямителя и подавления гармоник. Таким образом, с помощью фильтра обеспечивается уменьшение пульсации напряжения, поступающего с выхода выпрямителя.
- **Стабилизатор напряжения** предназначен для поддержания на заданном уровне выходного постоянного напряжения (стабилизации напряжения) при изменении напряжения сети (которое, в общем случае, может изменяться в диапазоне $(+15\% \dots -20\%)$ от номинального значения, равного 220 В) и тока в нагрузке. Кроме этого стабилизатор обеспечивает дальнейшее уменьшение уровня пульсации.

Типовая схема вторичного источника питания с преобразователем частоты



Классификация выпрямителей

- **по схеме выпрямления** – однополупериодные, двухполупериодные, мостовые, с удвоением (умножением) напряжения, многофазные и др.
- **По типу выпрямительного элемента** – ламповые (кенотронные), полупроводниковые, газотронные и др.
- **По величине выпрямленного напряжения** – низкого напряжения и высокого.
- **По назначению** – для питания анодных цепей, цепей экранирующих сеток, цепей управляющих сеток, коллекторных цепей транзисторов, для зарядки аккумуляторов и др.

Выпрямители бывают

□ **неуправляемыми**

□ **управляемыми**

С помощью

неуправляемых выпрямителей

на выходе ИВЭ получают выпрямленное (постоянное)
напряжение неизменного значения.

Управляемые выпрямители

применяют тогда, когда необходимо изменить
значение выпрямленного тока или напряжения.

В зависимости от числа фаз
первичного источника питания (сети переменного тока)
различают выпрямители

□ **однофазные**

□ **многофазные** (обычно трехфазные)

*Выпрямители малой и средней мощностей,
как правило, являются однофазными,
а выпрямители большой мощности – трехфазными.*

По форме выпрямленного напряжения
выпрямители подразделяют на

- однополупериодные**
- двухполупериодные**

На работу выпрямителей существенное влияние оказывает вид нагрузки.

Имеется четыре основных вида нагрузки: **активная,**
активно-индуктивная,
активно-емкостная,
с противо-ЭДС.

- ✓ Выпрямители малой мощности обычно работают на активную и активно-емкостную нагрузку.
- ✓ Выпрямители средней и большой мощностей чаще всего питают активно-индуктивную нагрузку.
- ✓ Нагрузку с противо-ЭДС выпрямитель имеет в том случае, когда он питает двигатель постоянного тока или используется для зарядки аккумуляторов.

Для выпрямления однофазного переменного напряжения широко применяют три типа выпрямителей: однополупериодный и два двухполупериодных (со средней точкой и мостовой).

Выпрямитель состоит из трансформатора, к вторичной обмотке которого последовательно подсоединены диод D и нагрузочный резистор R_H .

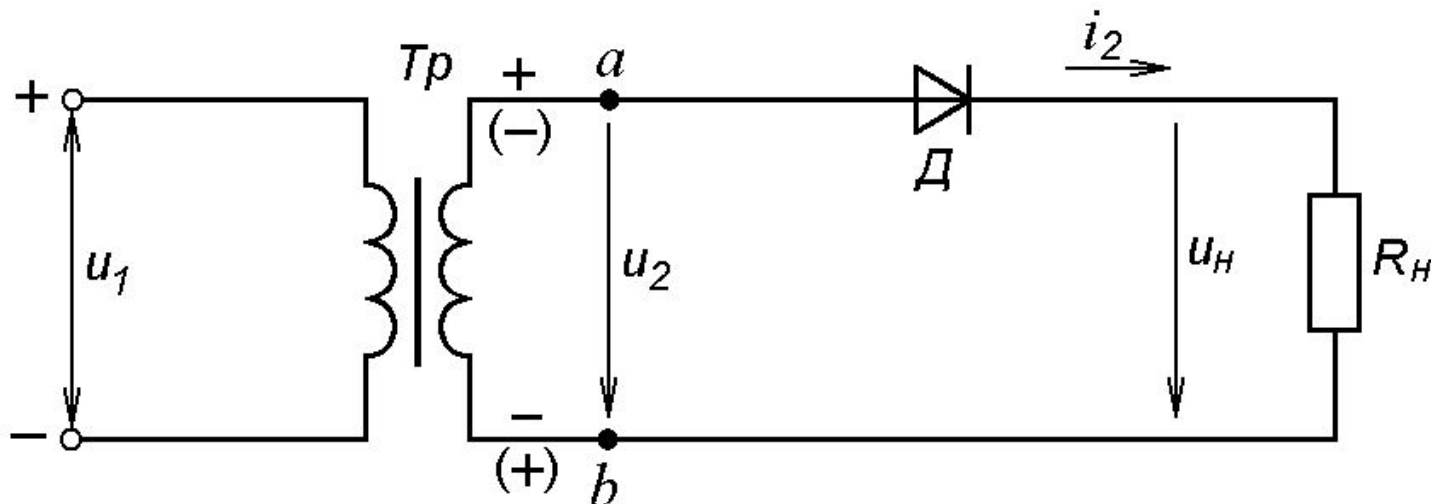
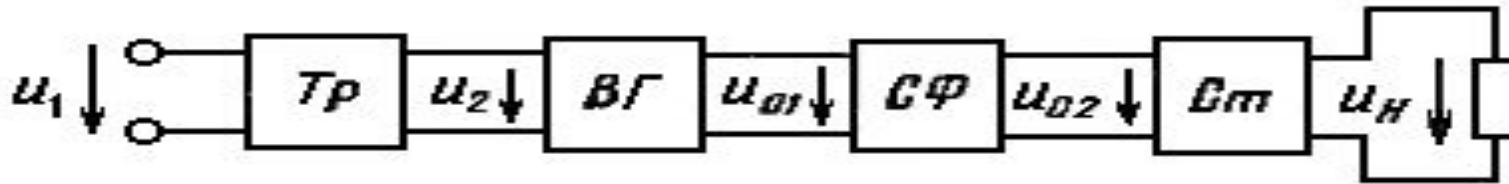


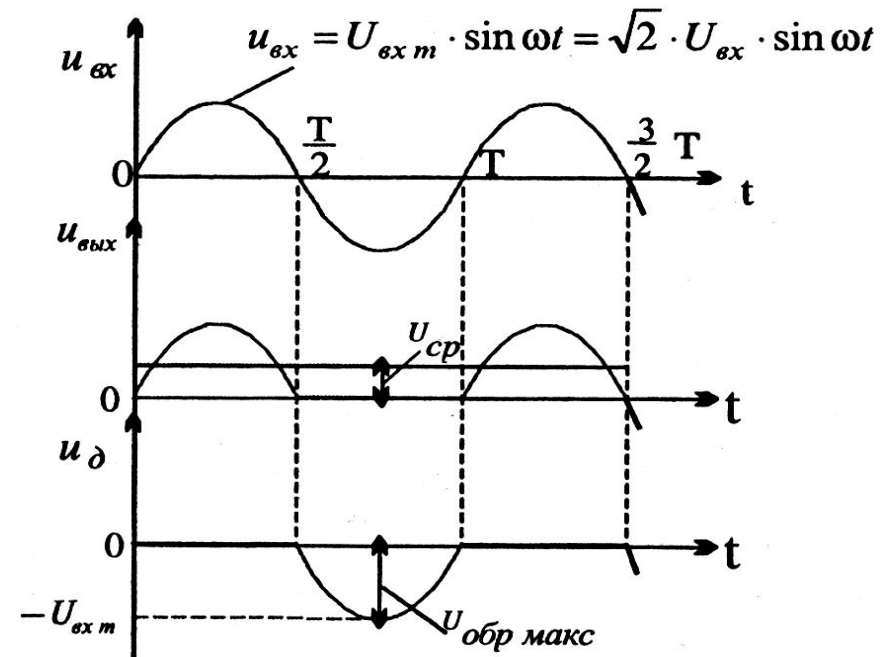
Схема однополупериодного выпрямителя

Однофазные однополупериодные выпрямители

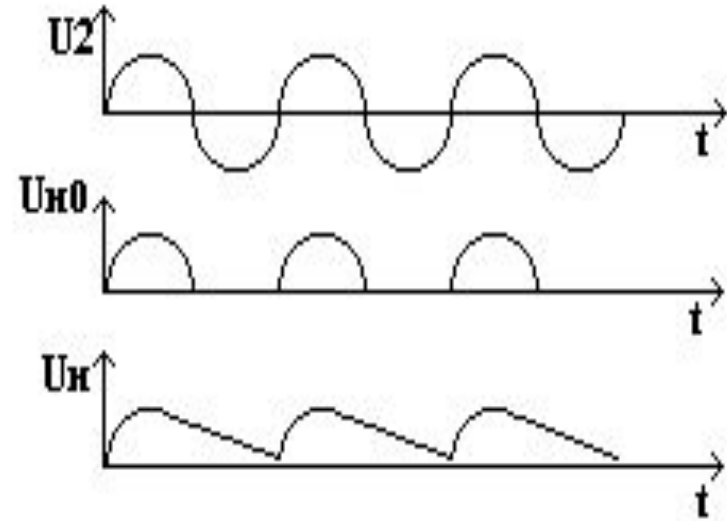
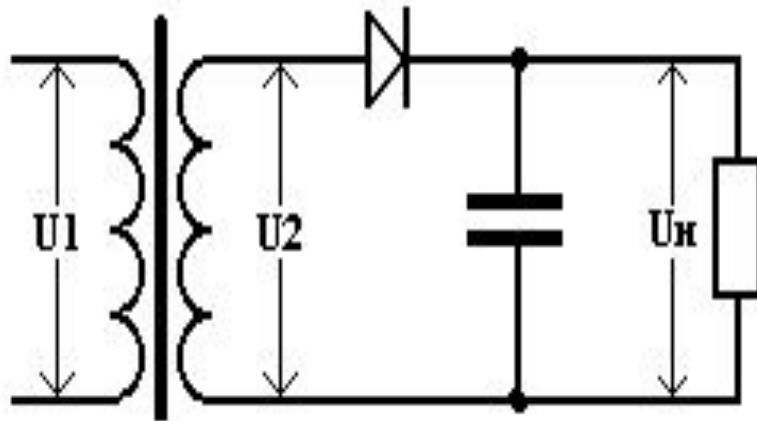


Структурная схема однофазного выпрямительного устройства

В зависимости от условий работы и требований, предъявляемых к выпрямительным устройствам, отдельные его блоки могут отсутствовать. Например, если напряжение сети соответствует требуемому значению выпрямленного напряжения, то может отсутствовать трансформатор, а в отдельных случаях – стабилизатор постоянного напряжения.



Однополупериодный выпрямитель



- U_2 - Напряжение на вторичной обмотке трансформатора
- U_n – Напряжение на нагрузке
- $U_{н0}$ – Напряжение на нагрузке при отсутствии конденсатора

**Основным *преимуществом*
однополупериодного выпрямителя
является его простота.**

Анализ электрических параметров позволяет сделать вывод **о *недостатках*** этого выпрямителя:
большой коэффициент пульсаций, малые значения выпрямленного тока и напряжения.

Следует обратить внимание еще на один недостаток однополупериодного выпрямителя. Ток i_2 имеет постоянную составляющую, которая вызывает подмагничивание сердечника трансформатора, из-за чего уменьшается магнитная проницаемость сердечника, что, в свою очередь, снижает индуктивность обмоток трансформатора. Это приводит к росту тока холостого хода трансформатора, а, следовательно, к снижению КПД всего выпрямителя.

Однополупериодный выпрямитель

применяют обычно для питания высокоомных нагрузочных устройств (например, электроннолучевых трубок), допускающих повышенную пульсацию; мощность не более 10-15 Вт.

Диод в выпрямителях является основным элементом.

Поэтому диоды должны соответствовать основным электрическим параметрам выпрямителей. Иначе говоря, диоды во многом определяют основные показатели выпрямителей.

Диоды характеризуются рядом основных параметров. Для того чтобы выпрямитель имел высокий коэффициент полезного действия, падение напряжения на диоде $U_{пр}$ при прямом токе $I_{пр}$ должно быть минимальным. В паспорте на диод указывают среднее значение прямого тока $I_{пр.ср}$, которое численно равно среднему значению выпрямленного тока $I_{н.ср}$, и среднее значение прямого падения напряжения $U_{пр.ср}$.

Пределный электрический режим диодов характеризуют следующие параметры:

- **максимальное обратное напряжение** $U_{обр\ max}$;
- **максимальный прямой ток** $I_{пр\ max}$,
соответствующий $I_{выпр.max}$.

Необходимо учитывать также
максимальную частоту диодов f_{max} .

В случаях превышения этой частоты, диоды теряют
вентильные свойства.

Для надежной работы диодов в выпрямителях требуется
выполнение условий

✓ $I_{пр.ср} > I_{н.ср}$

✓ $U_{обр\ max} > 2U_{2m}$

примерно с превышением в 30%.

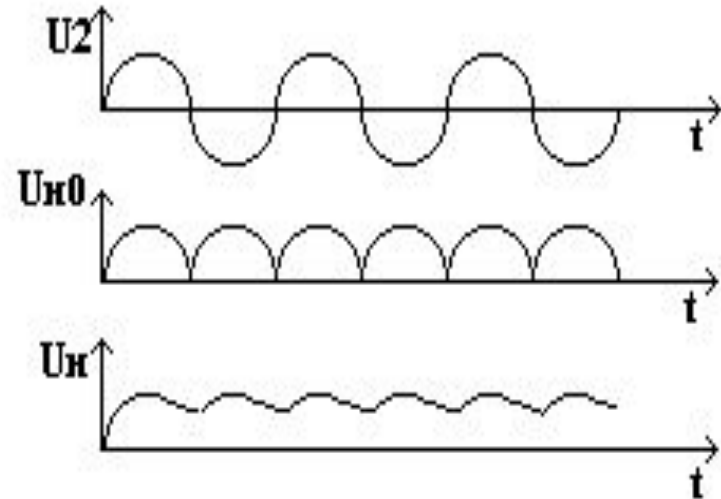
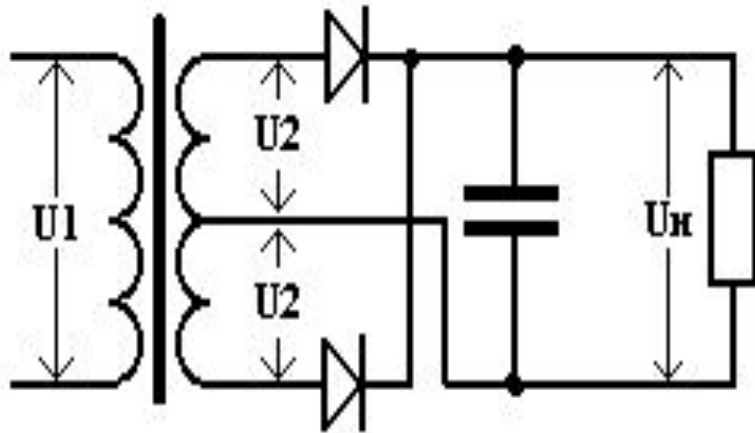
Двухполупериодные выпрямители

бывают двух типов:

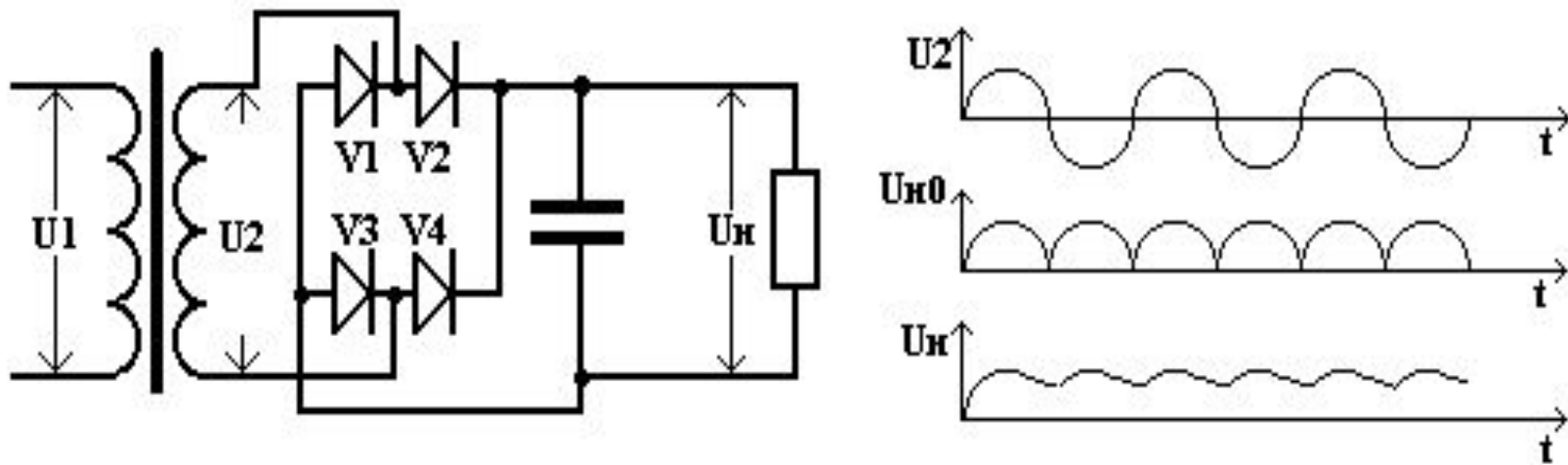
- ✓ **мостовыми** и
- ✓ **с выводом средней точки вторичной обмотки трансформатора.**

Эти выпрямители являются более мощными, чем однополупериодные, так как с их помощью нагрузочные устройства используют для своего питания оба полупериода напряжения сети. Они свободны от недостатков, свойственных однополупериодным выпрямителям, имеют более высокий КПД. Однако это достигается за счет усложнения схем двухполупериодных выпрямителей.

Двухполупериодный выпрямитель с нулевой точкой

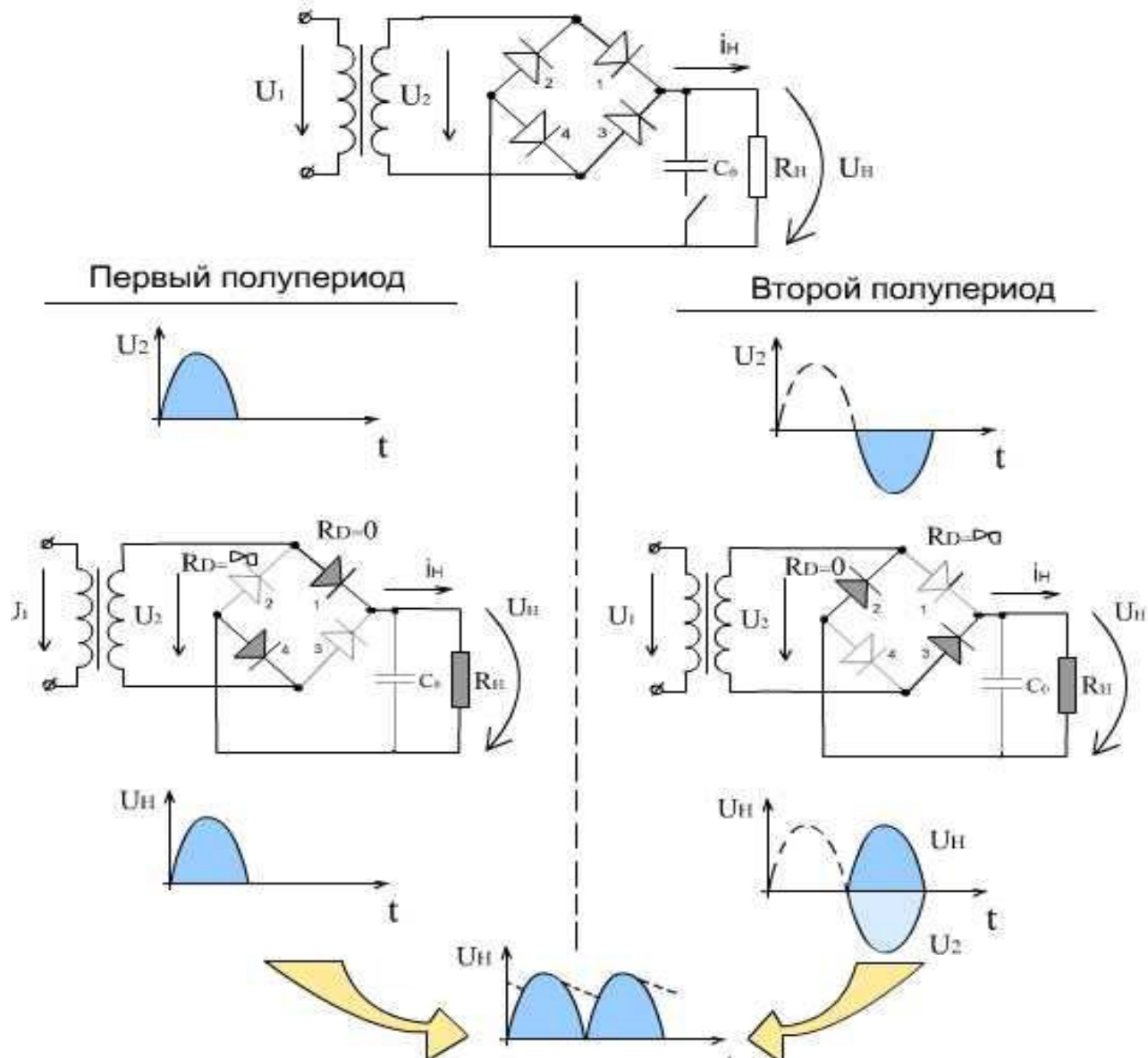


- U_2 - Напряжение на одной половине вторичной обмотки трансформатора
- U_n – Напряжение на нагрузке
- $U_{н0}$ – Напряжение на нагрузке при отсутствии конденсатора



- U_2 - Напряжение вторичной обмотки трансформатора
- U_n – Напряжение на нагрузке
- $U_{н0}$ – Напряжение на нагрузке при отсутствии конденсатора

Работы диодов в мостовой схеме выпрямителя



На вход выпрямителя подается переменное напряжение u_1 , которое с помощью трансформатора Tr изменяется до требуемого значения u_2 . Кроме того, трансформатор осуществляет электрическую развязку источника выпрямляемого напряжения и нагрузочного устройства, что позволяет получать с помощью нескольких вторичных обмоток различные значения напряжений u_2 , гальванически не связанных друг с другом. После трансформатора переменное напряжение u_2 вентильной группой ВГ (или одним вентилем) преобразуется в пульсирующее напряжение u_{01} . Количество вентиляей зависит от схемы выпрямителя.

В выпрямленном напряжении u_{01} помимо постоянной составляющей присутствует переменная составляющая, которая с помощью сглаживающего фильтра СФ снижается до требуемого уровня, так что напряжение u_{02} на выходе фильтра имеет очень малые пульсации. Установленный после фильтра стабилизатор постоянного напряжения St поддерживает неизменным напряжение u_n на нагрузочном устройстве R_n при изменении значений выпрямленного напряжения или сопротивления R_n .

Для упрощения анализа работы выпрямителей трансформатор и диод считают идеальными, т. е. принимают следующие допущения:

- ✓ у трансформатора активное сопротивление обмоток, а у диода прямое сопротивление равны нулю;*
- ✓ обратное сопротивление диода равно бесконечности;*
- ✓ в трансформаторе отсутствуют потоки рассеяния.*

При таких допущениях с подключением первичной обмотки трансформатора к сети переменного синусоидального напряжения во вторичной обмотке будет наводиться синусоидальная ЭДС.

Наибольшее распространение получил

двухполупериодный мостовой выпрямитель

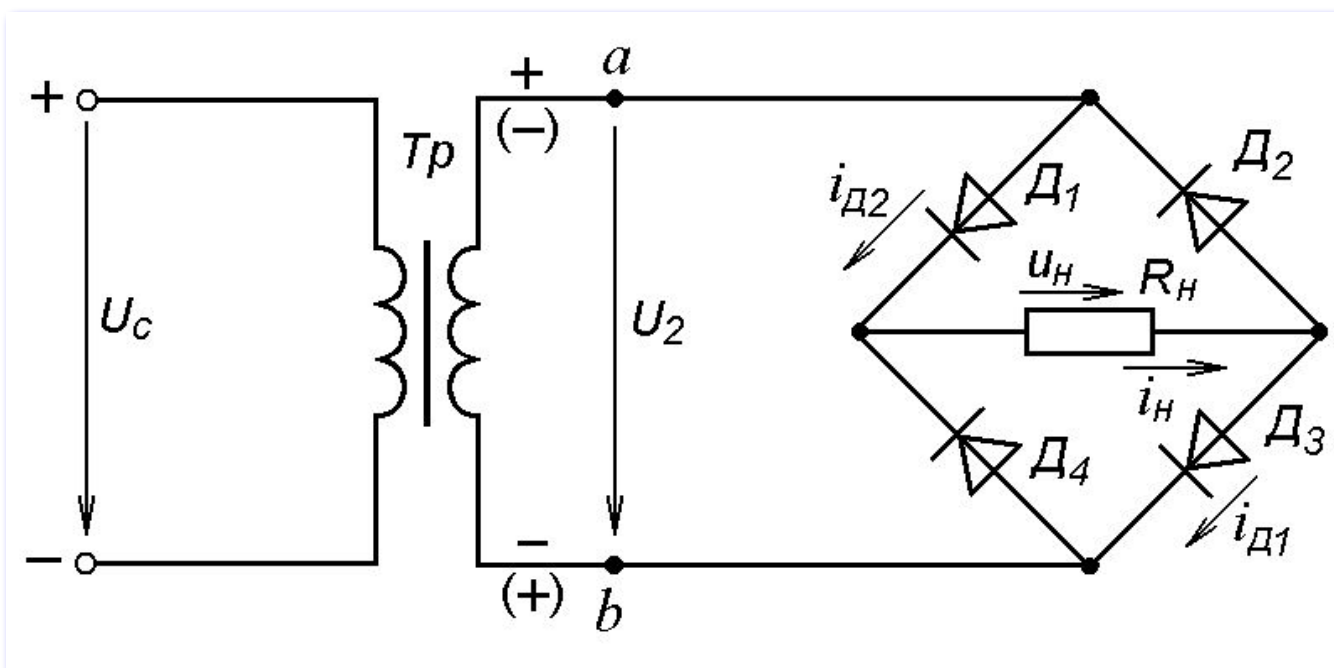


Схема мостового выпрямителя

Двухполупериодный мостовой выпрямитель состоит из трансформатора и четырех диодов, подключенных к вторичной обмотке трансформатора по мостовой схеме. К одной из диагоналей моста подсоединяется вторичная обмотка трансформатора, а к другой – нагрузочный резистор R_n . Каждая пара диодов (Д1, Д3 и Д2, Д4) работает поочередно.

Диоды Д1, Д3 открыты в первый полупериод напряжения вторичной обмотки трансформатора u_2 (интервал времени $0 - T/2$), когда потенциал точки а выше потенциала точки б. При этом в нагрузочном резисторе R_n появляется ток i_n . В этом интервале диоды Д2, Д4 закрыты.

В следующий полупериод напряжения вторичной обмотки (интервал времени $T/2 - T$) потенциал точки б выше потенциала точки а, диоды Д2, Д4 открыты, а диоды Д1, Д3 закрыты. В оба полупериода, как видно из рис. 1.3, ток через нагрузочный резистор R_n имеет одно и то же направление.

Анализ приведенных соотношений показывает, что при одинаковых значениях параметров трансформаторов и сопротивления R_n мостовой выпрямитель по сравнению с однополупериодным имеет следующие преимущества:

средние значения выпрямленного тока $I_{н.ср}$ и напряжения $U_{н.ср}$ в два раза больше, а пульсации значительно меньше.

Разложив напряжение u_n в ряд Фурье, получим числовое значение коэффициента пульсаций:

$$u_n = U_{н.ср} \left(1 + \frac{2}{3} \cos 2\omega t - \frac{1}{15} \cos 4\omega t + \dots \right)$$

Амплитуда основной гармоники частотой 2ω равна $2/3U_{н.ср.}$

Следовательно, коэффициент пульсаций

$$K_{п2}=0,67.$$

В то же время максимальное обратное напряжение на каждом из закрытых диодов, которые по отношению к зажимам вторичной обмотки включены параллельно, имеет такое же значение, что и в однополупериодном выпрямителе, т.е.

$$U_{2m} = 2U_2.$$

Все эти преимущества достигнуты за счет увеличения количества диодов в четыре раза, что является основным недостатком мостового выпрямителя.

В настоящее время промышленность выпускает полупроводниковые выпрямительные блоки, в которых диоды соединены по мостовой схеме. В этих блоках могут быть один (КЦ402) или два электрически не соединенных моста (КЦ403).

Двухполупериодный выпрямитель с выводом средней точки вторичной обмотки трансформатора

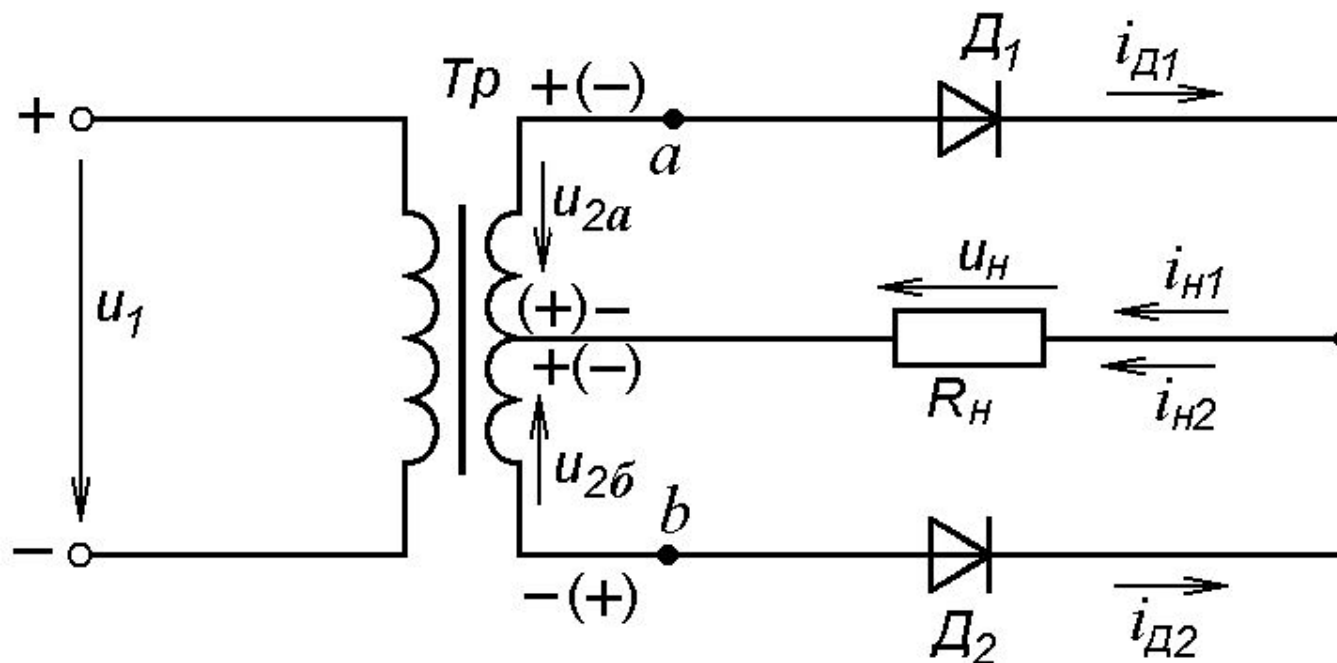


Схема выпрямителя с выводом средней точки вторичной обмотки и трансформатора

Двухполупериодный выпрямитель с выводом средней точки вторичной обмотки трансформатора

можно рассматривать как сочетание двух однополупериодных выпрямителей, включенных на один и тот же нагрузочный резистор R_n

Действительно, в каждый из полупериодов напряжения u_{ab} работает либо верхняя, либо нижняя часть выпрямителя.

Когда потенциал точки a выше потенциала средней точки o (интервал времени $0 - T/2$), диод D_1 открыт, диод D_2 закрыт, так как потенциал точки b ниже потенциала точки o .

В этот период времени в нагрузочном резисторе R_n появляется ток i_n . В следующий полупериод напряжения u_{ab} (интервал времени $T/2 - T$) потенциал точки b выше, а потенциал точки a ниже потенциала точки o . Диод D_2 открыт, а диод D_1 закрыт.

При этом ток в нагрузочном резисторе R_n имеет то же направление, что и в предыдущий полупериод.

При одинаковых значениях напряжений U_{2a} и U_{2b} эти токи будут равны.

Данный тип выпрямителя имеет те же преимущества перед однополупериодным выпрямителем, что и мостовой выпрямитель, за исключением напряжения $U_{обр.max}$, которое определяется напряжением u_{ab} . При $U_{ab}=2U_2$ и одинаковых значениях сопротивлений нагрузочных резисторов R_n

$$U_{обр.max} = \pi U_{н.ср} = 3,14 U_{н.ср}.$$

Все остальные соотношения для токов и напряжений определяются, полученным для мостового выпрямителя, а коэффициент пульсаций $K_{п2}=0,67$

Помимо указанного недостатка в рассматриваемом двухполупериодном выпрямителе габариты, масса и стоимость трансформатора значительно больше, чем в однополупериодном и мостовом выпрямителях, поскольку вторичная обмотка имеет вдвое большее число витков и требуется вывод от средней точки обмотки.

Отметим, что достоинства этого выпрямителя, присущие мостовому выпрямителю, достигаются при вдвое меньшем количестве диодов.

Двухполупериодные выпрямители применяют для питания нагрузочных устройств малой и средней мощностей .

Сглаживающие фильтры

Сглаживающим фильтром

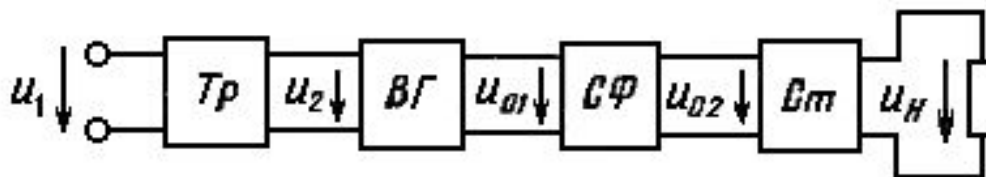
называют устройство, предназначенное для уменьшения пульсаций выпрямленного напряжения

Как отмечалось, выпрямленное напряжение является пульсирующим, в котором согласно формулам можно выделить постоянные и переменные составляющие.

Коэффициенты пульсаций выпрямленных напряжений, вычисленные по этим формулам, имеют следующие значения для:

- однополупериодного однофазного выпрямителя – 1,57;
- двухполупериодного однофазного выпрямителя – 0,67;
- трехфазного выпрямителя с нейтральным выводом – 0,25;
- трехфазного мостового выпрямителя – 0,057.

Сглаживающие фильтры включают между вентильной группой ВГ и стабилизатором постоянного напряжения с нагрузочным устройством R_H :



Структурная схема однофазного выпрямительного устройства

Основными элементами сглаживающих фильтров являются **конденсаторы, индуктивные катушки и транзисторы, сопротивления которых различны для постоянного и переменного токов.**

Для постоянного тока сопротивление конденсатора равно бесконечности, а сопротивление индуктивной катушки очень мало. Сопротивление транзистора постоянному току (статическое сопротивление) на два-три порядка меньше сопротивления переменному току (динамическое сопротивление).

Основным параметром, характеризующим эффективность действия сглаживающего фильтра, является коэффициент сглаживания, равный отношению коэффициентов пульсаций на входе и выходе фильтра:

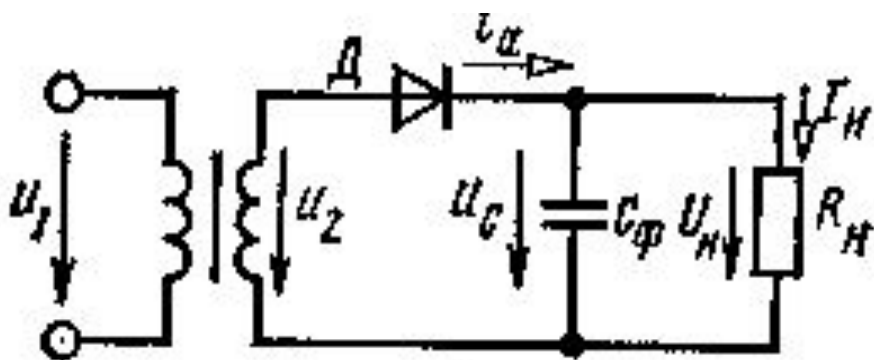
$$K_{сгл} = K_{п\ вх} / K_{п\ вых}$$

Кроме выполнения требования к коэффициенту сглаживания фильтры должны иметь минимальное падение постоянного напряжения на элементах, минимальные габариты, массу и стоимость.

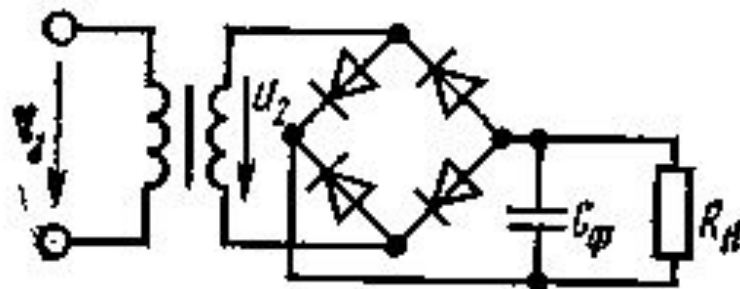
В зависимости от типа фильтрующего элемента различают емкостные, индуктивные и электронные фильтры. По количеству фильтрующих звеньев фильтры делятся на однозвенные и многозвенные.

Емкостные фильтры

Этот тип фильтров относится к однозвенным фильтрам. Емкостный фильтр включают параллельно нагрузочному резистору R_H .



а)



б)

*Схемы емкостных фильтров с однополупериодным (а)
и мостовым (б) выпрямителями*

Анализ временных диаграмм показывает, что с изменением емкости конденсатора C_{ϕ} или сопротивления нагрузочного резистора R_n будет изменяться значение коэффициента пульсаций выпрямленного напряжения.

При этом чем меньше разрядится конденсатор, тем меньше будут пульсации в выпрямленном токе i_n .

Разряд конденсатора C_{ϕ} определяется постоянной времени разрядки

$$T_{\text{разр}} = C_{\phi} R_n.$$

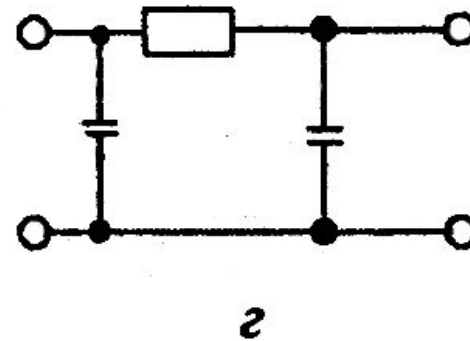
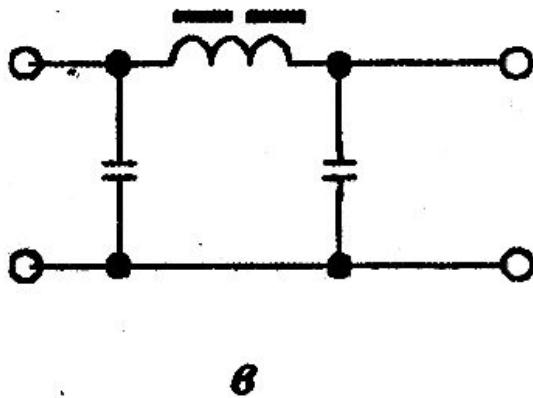
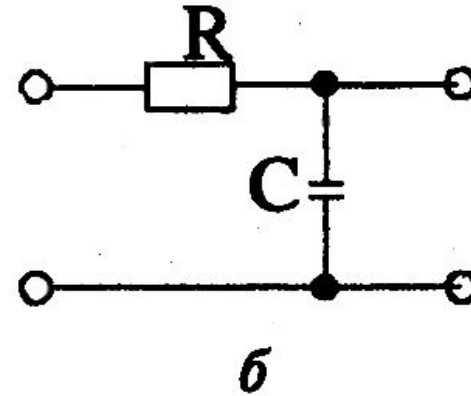
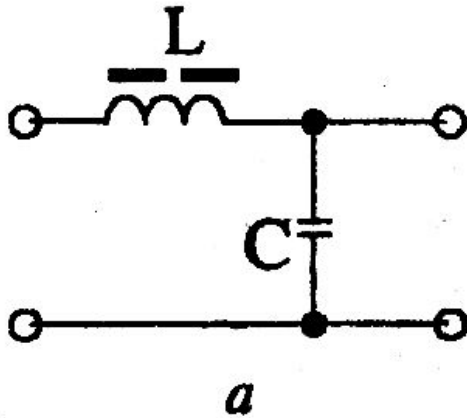
При постоянной времени $T_{\text{разр}} \geq 10 T$ коэффициент пульсаций, определяемый по формуле

$$p = \frac{1}{2\pi f_{\text{осн}} \tau_{\text{разр}}}$$

где $f_{\text{осн}}$ – частота основной гармоники, не превышает 10^4 .

Емкостный фильтр целесообразно применять с высокоомным нагрузочным резистором R_n при мощности P_n не более нескольких десятков ватт.

Схемы фильтров, применяемых в выпрямителях



Индуктивные фильтры

Индуктивный фильтр, состоящий из дросселя L_{ϕ} , включают последовательно с нагрузочным резистором R_H .

Он, так же как емкостный фильтр, относится к типу однозвенных фильтров.

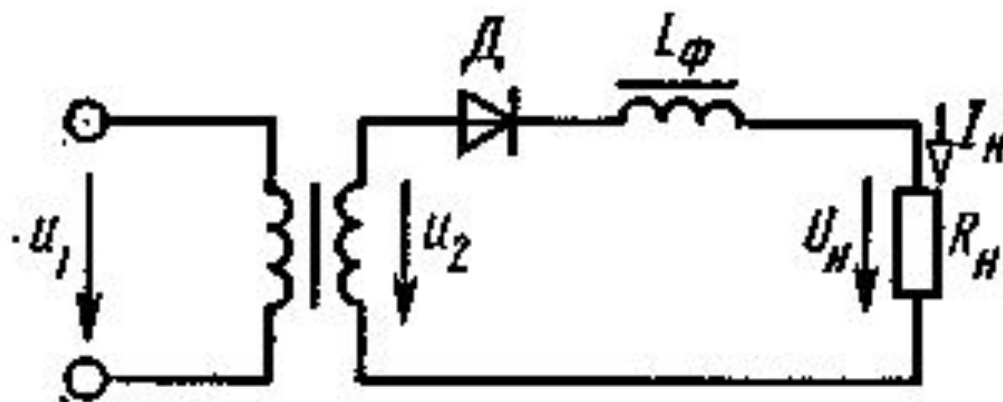


Схема индуктивного фильтра с однополупериодным выпрямителем

Анализ временных диаграмм показывает, что ток I_n нагрузочного резистора R_n получается сглаженным.

Действительно, вследствие того, что ток в цепи с дросселем во время переходного процесса, обусловленного положительной полуволной выпрямляемого напряжения u_2 , зависит от постоянной времени $\tau = L_\phi / R_n$, длительность импульса тока увеличивается с ростом τ .

Коэффициент пульсаций определяется простым соотношением:

$$p = 2\pi f_{\text{осн}} L_\phi / R_n$$

Анализ этого выражения позволяет сделать вывод, что фильтр будет работать тем эффективнее, чем больше L_ϕ или меньше R_n .

Обычно $\omega L_\phi \gg R_n$.

Индуктивные фильтры обычно применяют в трехфазных выпрямителях средней и большой мощностей, т. е. в выпрямителях, работающих на нагрузочные устройства с большими токами.

В выпрямителях малой мощности использование индуктивного фильтра L_{ϕ} нецелесообразно, поскольку они работают на высокоомные нагрузочные устройства.

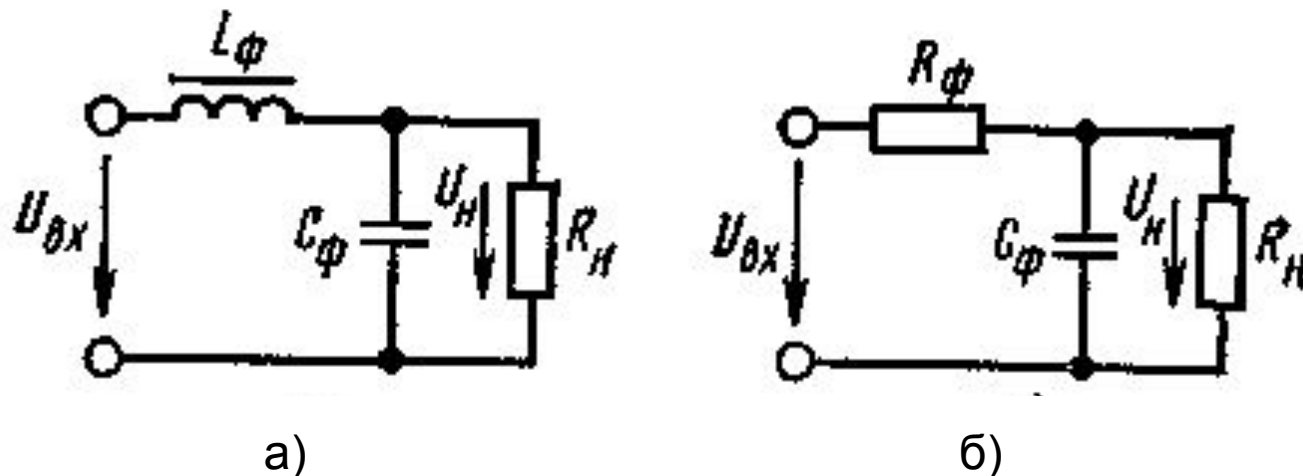
При этом выполнение условия

$$\omega_{\text{осн}} L_{\phi} \gg R_{\text{н}}$$

приводит к необходимости включения дросселя с большими массой и габаритами, что является существенным недостатком индуктивного фильтра по сравнению с емкостным.

Г-образные фильтры

Г-образные фильтры являются простейшими многозвенными фильтрами. Этот фильтр может быть LC-типа и RC-типа.



Схемы Г-образных
LC-фильтра (а) и RC-фильтра (б)

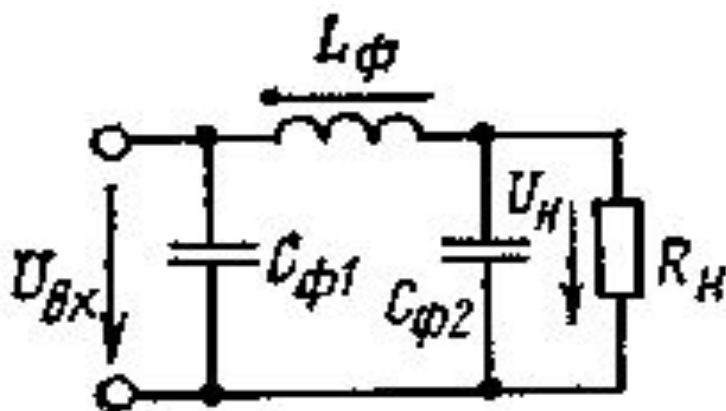
Эти фильтры применяют тогда, когда с помощью однозвенных фильтров не выполняется предъявляемое к ним требование с точки зрения получения необходимых коэффициентов сглаживания.

Г-образные фильтры, являясь более сложными по сравнению с однозвенными, обеспечивают значительно большее уменьшение коэффициента пульсаций.

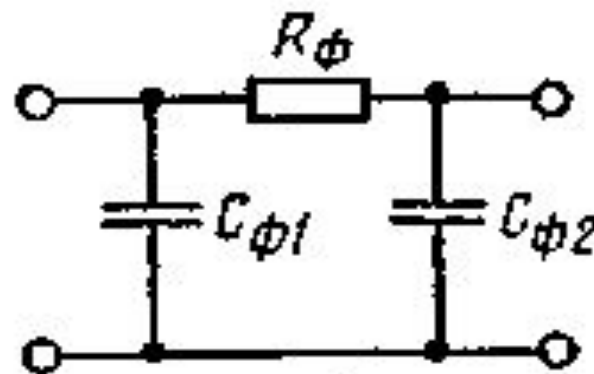
Снижение пульсаций LC-фильтром объясняется совместными действиями индуктивной катушки и конденсатора. Снижение переменных составляющих выпрямленного напряжения обусловлено как сглаживающим действием конденсатора C_f , так и значительным падением переменных составляющих напряжения на дросселе L_f . В то же время постоянная составляющая напряжения на нагрузочном резисторе не уменьшается, так как отсутствует сколько-нибудь значительное падение напряжения этой составляющей на очень малом активном сопротивлении дросселя.

П-образные фильтры

П-образный фильтр относится к многозвенным фильтрам, так как состоит из емкостного фильтра $C\phi 1$ и Г-образного LC-фильтра $L\phi C\phi 2$ или RC-фильтра $R\phi C\phi 2$.



а)



б)

Схемы П-образных
LC-фильтра (а) и RC-фильтра (б)

Коэффициент сглаживания многозвенных фильтров равен (при соблюдении определенных условий) произведению коэффициентов составных звеньев (фильтров).

Поэтому коэффициент сглаживания П-образного фильтра

$$K_{\text{сглП}} = K_{\text{сглС}} \cdot K_{\text{сглГ}}$$

где $K_{\text{сглС}}$, $K_{\text{сглГ}}$ – коэффициенты сглаживания С-фильтра и Г-образного фильтра.

При сопротивлениях нагрузочного устройства в несколько килоом применяют П-образные CRC-фильтры,

а при малых сопротивлениях (несколько ом) – СLC-фильтры.

Наибольший коэффициент сглаживания П-образного фильтра достигается при условии

$$C_{\Phi 1} = C_{\Phi 2}.$$

П-образные фильтры целесообразно применять, если коэффициент сглаживания должен быть равен 100—1000 и более.

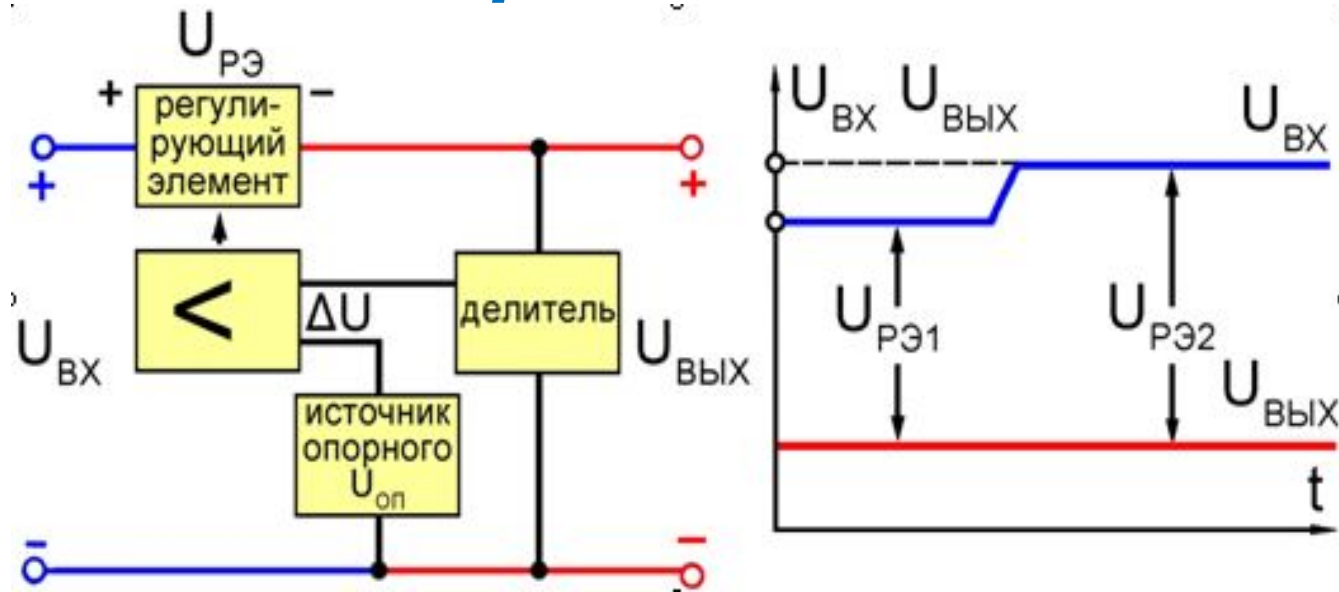
Большой коэффициент сглаживания П-образного фильтра по сравнению с Г-образным достигается за счет ухудшения таких параметров выпрямителя, как габариты масса и стоимость.

Стабилизаторы напряжения

Стабилизатором напряжения (тока)

называется устройство, автоматически обеспечивающее поддержание напряжения (тока) на нагрузке с заданной степенью точности при изменении дестабилизирующих факторов в заданных пределах

Принцип стабилизации и основные определения.



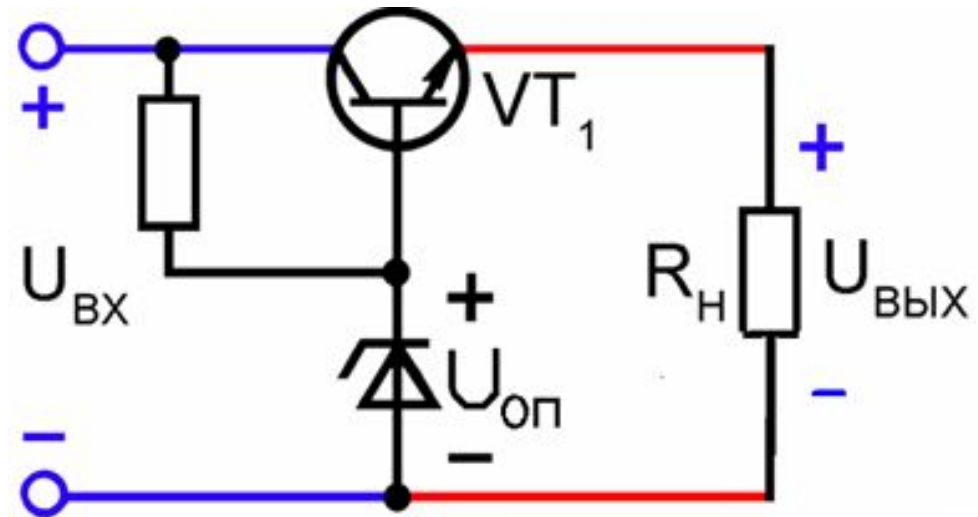
- **Для питания электронной аппаратуры недостаточно выпрямить и сгладить напряжение. Необходимо еще, чтобы оно оставалось стабильным при изменении переменного напряжения и тока, потребляемого нагрузкой.**

- **Наиболее часто используются компенсационные стабилизаторы последовательного типа. Они поддерживают напряжение $U_{\text{вых}}$ практически постоянным за счет изменения напряжения на регулирующем элементе $U_{\text{рз}}$.**
- **Информация об изменениях $U_{\text{вых}}$ через делитель поступает на усилитель, который сравнивает поступившее напряжение с опорным $U_{\text{оп}}$.**
- **Выходной сигнал усилителя управляет регулирующим элементом так, что при даже незначительном увеличении (уменьшении) $U_{\text{вых}}$ падение напряжения $U_{\text{рз}}$ уменьшается (увеличивается) и $U_{\text{вых}}$ практически не меняется**

Работа стабилизатора иллюстрируется рисунком:

(синяя линия)

(красная линия).



- Для токов нагрузки **до 50 – 100 мА** можно использовать упрощенную схему последовательного стабилизатора, в которой отсутствует делитель напряжения и усилитель. Здесь работой регулирующего элемента VT_1 управляет разность потенциалов между базой и эмиттером $U_{бэ} = U_б - U_э$.
- Например, при увеличении тока нагрузки начинает уменьшаться $U_э$, напряжение $U_{бэ}$ возрастает и ток через транзистор увеличивается, поддерживая этим $U_{вых}$.

Стабилизаторы напряжения (тока), широко применяемые в устройствах связи, классифицируются по следующим основным признакам:

- **по роду напряжения (тока):** постоянного; переменного.
- **по способу стабилизации:** параметрические; компенсационные.
- **по роду стабилизируемой величины:** напряжения; тока.

Наиболее широкое применение в настоящее время находят компенсационные стабилизаторы постоянного напряжения (тока) на полупроводниковых приборах, которые, в свою очередь, можно классифицировать по следующим признакам:

- **по способу включения регулирующего элемента и нагрузки:** с последовательным включением; с параллельным включением.
- **по режиму работы регулирующего элемента:** с непрерывным регулированием; с импульсным регулированием.

В последние годы интенсивное развитие получили стабилизаторы постоянного напряжения с импульсным регулированием благодаря присущим им положительным свойствам (высокий КПД, малые массы и габариты и т. д.).

В настоящее время известны два основных способа, позволяющих обеспечить режим стабилизации напряжения или тока электропитания:

параметрический и компенсационный.

✓ При параметрическом способе

режим электропитания стабилизируется за счет применения элемента с нелинейной вольт-амперной характеристикой, имеющей пологий участок, в пределах которого стабилизируемый параметр (напряжение или ток) изменяется незначительно при воздействии дестабилизирующего фактора.

Параметрическим стабилизатором напряжения (тока)

называется устройство, у которого стабилизирующие свойства определяются характеристикой нелинейного элемента и отсутствует элемент, измеряющий отклонение выходного напряжения (тока) от заданного значения.

✓ При компенсационном способе

режим электропитания стабилизируется за счет измерения отклонения выходного напряжения (тока) от заданного значения, сравнения его с эталонной величиной, и воздействия полученного сигнала рассогласования на регулирующий элемент. Регулирующий элемент при этом изменяет свое сопротивление таким образом, что компенсирует происшедшее отклонение выходной величины. При компенсационном способе стабилизации имеется отрицательная обратная связь между выходом стабилизирующего устройства и регулирующим элементом.

Компенсационным стабилизатором напряжения (тока)

называется устройство, в котором имеются элемент, измеряющий величину отклонения выходного напряжения (тока) от заданного значения, и элемент, вырабатывающий опорное напряжение.

Полученный в результате сравнения этих напряжений сигнал рассогласования управляет работой регулирующего элемента, изменение состояния которого приводит к компенсации происшедшего отклонения. Таким образом, действием компенсационного стабилизатора управляет отклонение выходной стабилизируемой величины от заданного значения.

Основные параметры стабилизаторов

1. Коэффициент стабилизации

$$K_{\text{ст}U} = \frac{\frac{\Delta U_{\text{вх}}}{U_{\text{вх}}}}{\frac{\Delta U_{\text{вых}}}{U_{\text{вых}}}}$$

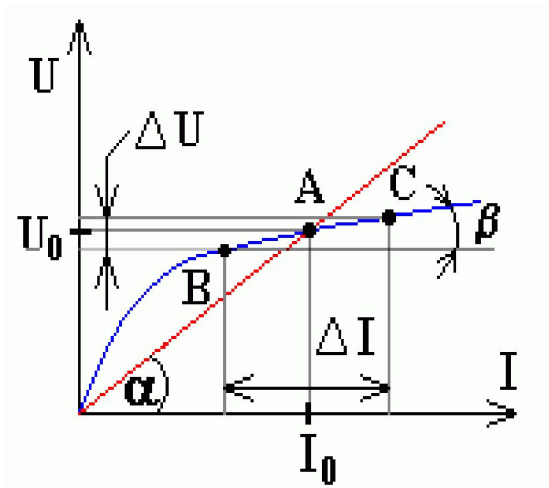
2. Внутреннее сопротивление $R_{\text{i ст}}$

3. Коэффициент полезного действия $\eta_{\text{ст.}} = P_{\text{н}} / (P_{\text{н}} + P_{\text{п}})$, где $P_{\text{н}}$ – мощность нагрузки; $P_{\text{п}}$ – мощность потерь в стабилизаторе

4. Температурный коэффициент стабилизации напряжения – показывает, на сколько вольт изменится величина стабилизированного напряжения при изменении температуры на 1оС

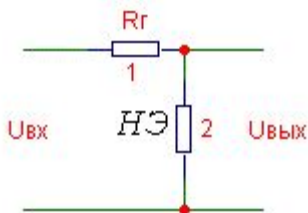
Параметрические стабилизаторы на полупроводниковых приборах

В параметрических стабилизаторах напряжения режим стабилизации осуществляется за счет использования приборов, имеющих нелинейность вольт-амперной характеристики (ВАХ), чаще всего это **стабилитроны**.



Статическое сопротивление R_c - это сопротивление, которое оказывает нелинейный элемент току в выбранной рабочей точке A характеристики:
 $R_c = U_0 / I_0 = \operatorname{tg} \alpha$.

Динамическое сопротивление R_d элемента равно отношению изменения падения напряжения на элементе ΔU к изменению величины тока ΔI , протекающего через элемент на определенном участке, это сопротивление, которое оказывает элемент изменениям протекающего через него тока: **$R_d = \Delta U / \Delta I = \operatorname{tg} \beta$.**



Параметрические стабилизаторы на полупроводниковых приборах

Схемы параметрических стабилизаторов с использованием стабилитронов применяются для стабилизации напряжения **при мощности в нагрузке до нескольких ватт.**

Достоинство таких схем - простота исполнения и малое количество элементов.

Недостаток: отсутствие плавной регулировки и точной установки номинального значения выходного напряжения, невозможность работы на больших токах (до 20-40мА), низкий КПД.

Параметрические стабилизаторы на полупроводниковых приборах

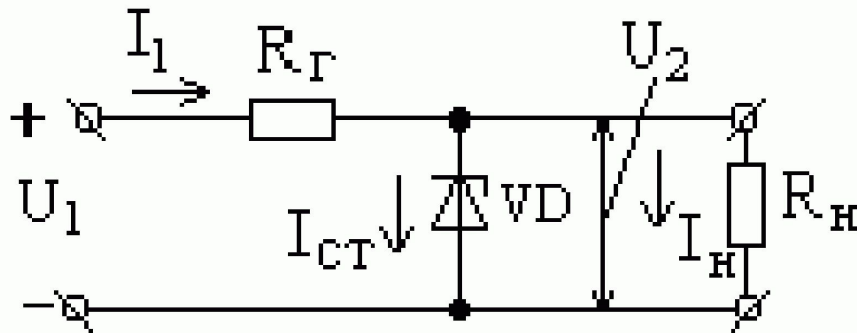


Схема стабилизатора с параллельно включенным стабилитроном.

$R_{Г}$ - гасящее сопротивление

$V_{д}$ - стабилитрон, включенный параллельно нагрузке.

Принцип работы стабилитрона заключается в поддержании постоянного напряжения на выходе за счет перераспределения токов, протекающих через линейное гасящее сопротивление $R_{Г}$ и нелинейное сопротивление стабилитрона.

Стабилитрон работает **в области пробоя**, при изменении входного напряжения изменяется ток стабилитрона, а напряжение остается постоянным. При изменении входного напряжения изменяется только падение напряжения на гасящем резисторе, а **U_{vd}** и **$I_{н}$** остаются постоянными. При работе **на больших токах** с большей экономичностью применяют **диодно-транзисторный стабилизатор**, при котором стабилитрон включается в цепь базы по схеме с общим коллектором.

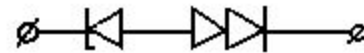
- Существенным недостатком кремниевых стабилитронов является изменение напряжения пробоя при изменении температуры.
- Это изменение можно выразить $\Delta U_{cm} = \gamma \Delta t$ [ной] зависимостью:

где γ - абсолютный температурный коэффициент. Стабилитроны с $U_{cm} < 5V$ имеют отрицательный, т. е. U_{cm} уменьшатся с ростом температуры, а стабилитроны с $U_{cm} > 5V$ - положительный.

- Относительный температурный коэффициент:

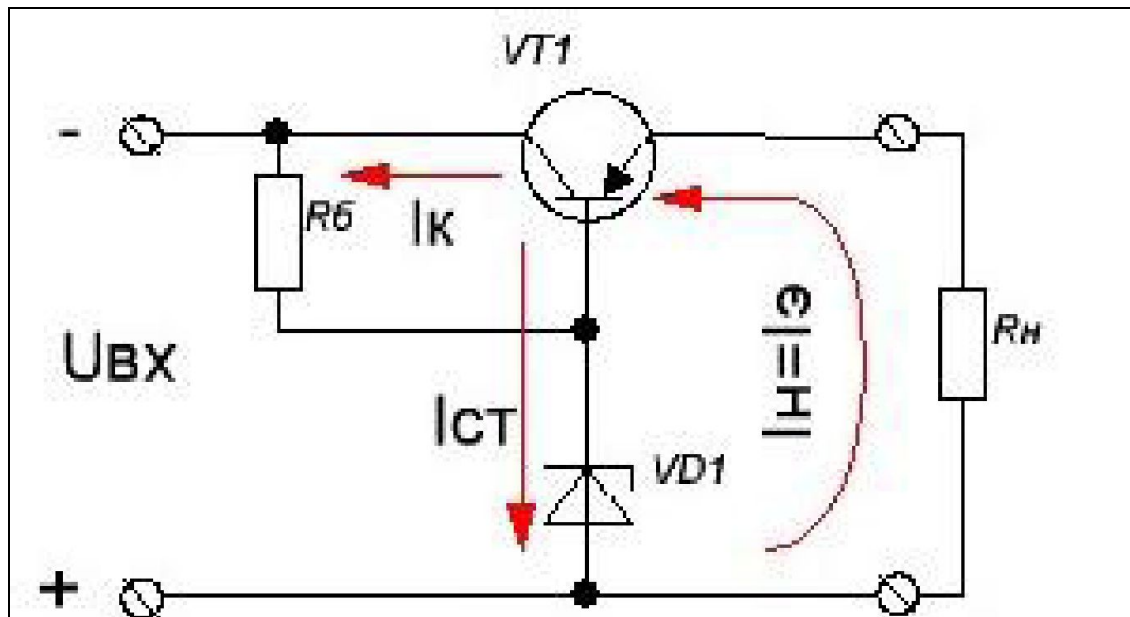
$$TKH = \frac{\Delta U_{cm}}{U_{cm}} / \frac{\Delta T^{\circ}}{\left[\frac{\%}{град} \right]}$$

- Для уменьшения температурной нестабильности используют схемы с температурной компенсацией. Наиболее простая схема предполагает использование γ ких полупроводниковых диодов, смещённых в прямом направлении.



- У открытых p-n переходов отрицателен, поэтому такой способ пригоден для стабилитронов с $U_{cm} > 5V$. Включение термокомпенсационных диодов приводит к росту внутреннего сопротивления ветви стабилитроном: $R_{is} = R_{icm} + R_{i\theta}$
- где $R_{i\theta}$ - внутреннее сопротивление термокомпенсирующего диода. Кст немного уменьшается.
- Другой способ заключается в использовании стабилитронов с внутренней термокомпенсацией, представляющих собой два p-n перехода, включенных навстречу друг другу и выполненных на одном кристалле. Это прецизионные стабилитроны

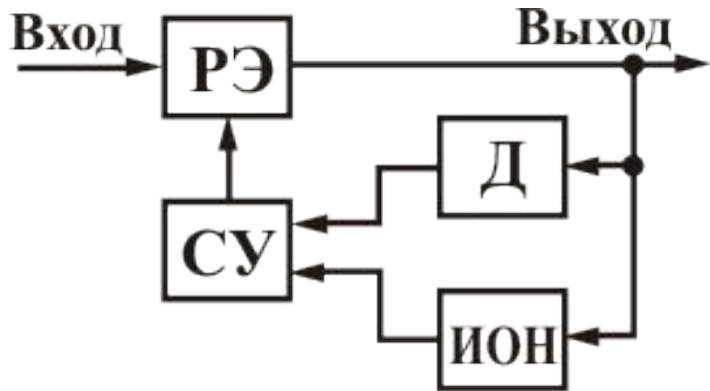
Диодно-транзисторный параметрический стабилизатор



Поскольку напряжение на эмиттере практически полностью повторяет напряжение на базе, то диодно-транзисторный стабилизатор по сравнению с диодным стабилизатором позволяет либо увеличить в разы ток нагрузки при неизменном токе через диод, либо сократить ток в разы через диод при неизменном токе нагрузки (здесь усиление транзистора $T1$ по постоянному току).

Компенсационные стабилизаторы непрерывного действия

Компенсационный стабилизатор - это система автоматического регулирования с отрицательной обратной связью.



ИОН - источник опорного (эталонного) напряжения (*электронная цепь на основе стабилитрона*)

СУ - сравнивающий и усиливающий элемент (*операционный усилитель*)

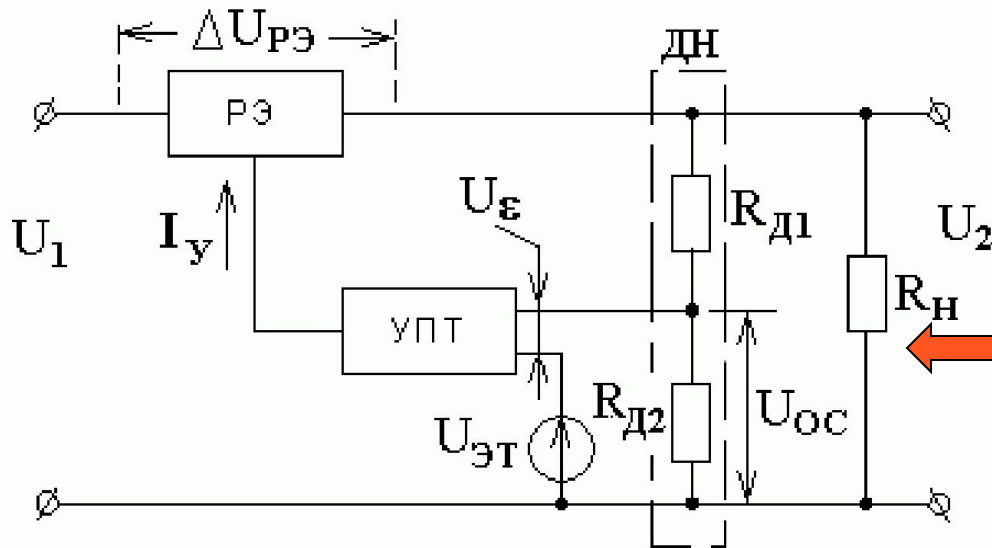
РЭ - регулирующий элемент (*биполярный или полевой транзистор*)

В зависимости от режима работы регулирующего элемента стабилизаторы разделяют на компенсационные стабилизаторы **непрерывного действия** и **импульсные** стабилизаторы.

Основным недостатком стабилизаторов с непрерывным регулированием является **невысокий КПД**, поскольку значительный расход мощности имеет место в регулирующем элементе, так как через него проходит весь ток нагрузки.

Компенсационные стабилизаторы непрерывного действия

В стабилизаторах непрерывного действия регулирующий элемент (транзистор) работает в активном режиме

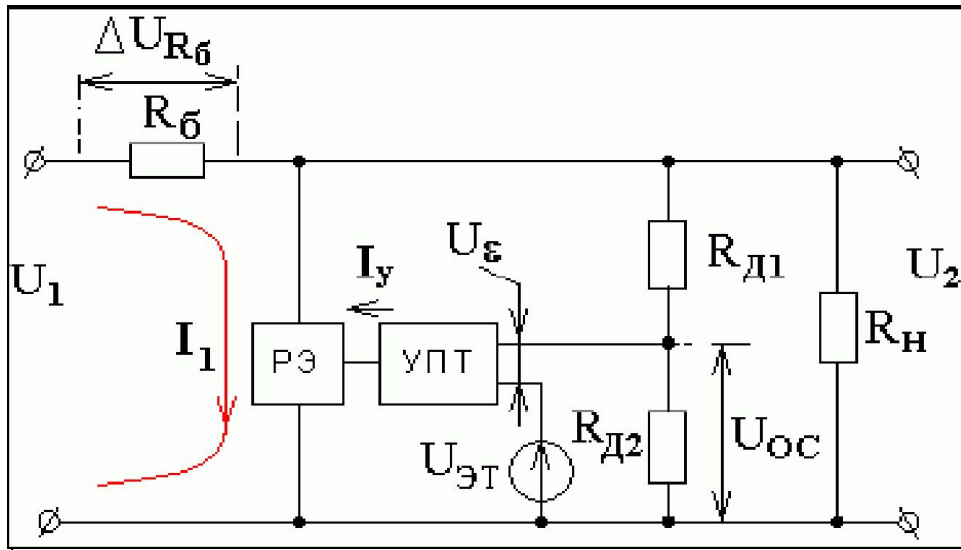


Компенсационные стабилизаторы напряжения в зависимости от места расположения регулирующего элемента (РЭ) разделяются на стабилизаторы с **последовательным** и **параллельным** включением РЭ. **Принцип действия:**

Часть выходного напряжения стабилизатора $U_{ос}$ (нижнее плечо делителя напряжения ДН) подается на вход усилителя УПТ, где происходит сравнение $U_{ос}$ с эталонным ($U_{эт}$). В УПТ усиливается разностное напряжение (сигнал ошибки $U_{\epsilon} = U_{ос} - U_{эт}$), что приводит к изменению тока управления (I_y) и изменению падения напряжения на регулирующем элементе. Напряжение на выходе (U_2) при этом восстанавливается до своего первоначального значения.

Компенсационные стабилизаторы непрерывного действия

Стабилизаторы с параллельным включением РЭ



По сравнению с последовательным сопротивлением схема имеет **невысокий КПД** из-за потерь на балластном резисторе R_b , но **более высокую надежность**, т.к. так как силовой транзистор включен параллельно по отношению к нагрузке и не подвергается воздействию при коротких замыканиях.

При возрастании входного напряжения U_1 в первоначальный момент времени увеличивается напряжение на нагрузке U_2 и, следовательно, $U_{ос}$. Последнее приводит к возрастанию напряжения ошибки U_ϵ , тока управления I_y и потребляемого тока I_1 . При этом увеличивается падение напряжения на балластном резисторе ΔU_{R_b} , и напряжение в нагрузке восстанавливается, т.е. уменьшается.

Компенсационные стабилизаторы непрерывного действия

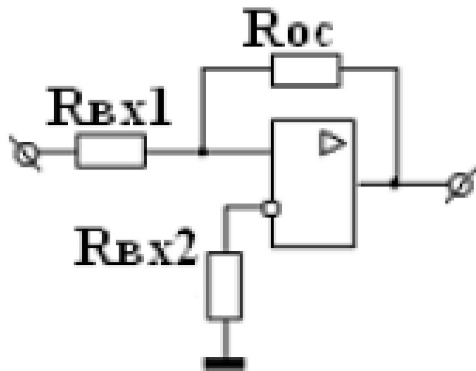
Качество стабилизации компенсационного стабилизатора определяется значением петлевого **коэффициента усиления** (коэффициента усиления цепочки обратной связи) **$K_{пет}$** .

$$K_{ст} = \eta * (1 + K_{пет})$$

$$K_{пет} = K_1 * K_2 * K_3$$

где K_1 - коэффициент передачи делителя цепи обратной связи; K_2 - коэффициенты усиления по току транзистора УПТ; K_3 - коэффициент усиления по току транзистора РЭ.

Часто в качестве усилителя используется операционный усилитель, тогда:



$$K_2 = \frac{R_{ос}}{R_{вх.1}}$$

Импульсные стабилизаторы напряжения

В импульсных СН применяется **регулирующий транзистор**, непрерывно переключаемый **устройством управления** (УУ) из состояния насыщения в состояние отсечки с частотой 5..50 кГц. Получаемая последовательность импульсов с амплитудой источника питания поступает на **узел накопления энергии**, состоящего из катушки и конденсатора, где преобразуется в требуемое постоянное напряжение. Регулирование величины выходного напряжения осуществляется **изменением скважности импульсов** (отношение длительности импульса к периоду следования импульса). Мощность, рассеиваемая транзисторным ключом и катушкой, невелика, поэтому такой стабилизатор имеет **высокий КПД**.

Импульсные стабилизаторы напряжения

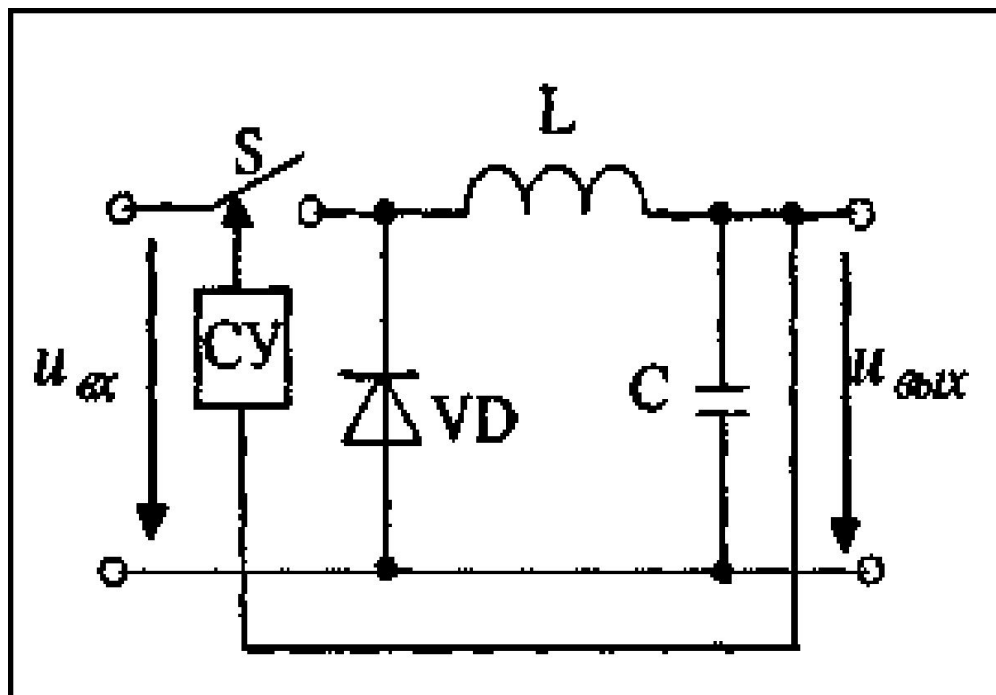
Достоинства импульсных СН

- меньший вес и габариты;
- значительно более **высокий КПД** (вплоть до 90-98%);
- **меньшая стоимость**;
- надежность;

Недостатки импульсных СН

- более высокая **сложность** изготовления;
- наличие интенсивных высокочастотных электрических **помех**;
- наличие **пульсаций** выходного напряжения.

Импульсные стабилизаторы напряжения

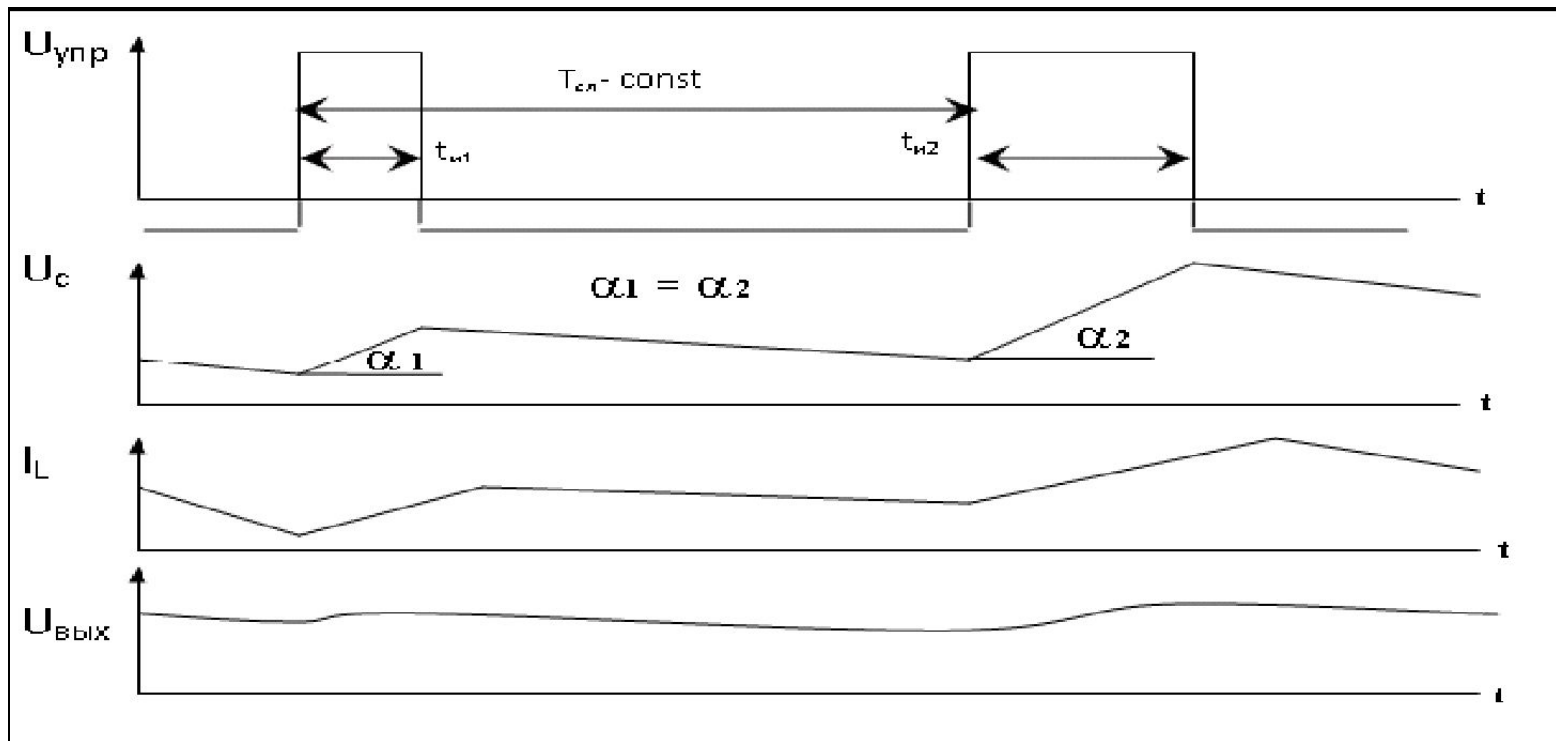


Ключ S периодически включается и выключается **схемой управления (СУ)** в зависимости от значения напряжения на нагрузке. Напряжение на выходе регулируют, изменяя отношение $t_{\text{вкл}}/t_{\text{выкл}}$, скважность импульсов напряжения Q .

Если **период** следования импульсов, открывающий ключ **S постоянен**, а **меняется только длительность импульсов**, то есть управляющие импульсы в зависимости от величины выходного напряжения модулируются по ширине, такой метод называется **широтно-импульсной модуляцией (ШИМ или ШИР –регулирование)**.

Импульсные стабилизаторы напряжения

- Схема управления СУ сравнивая $U_{\text{вых}}$ с $U_{\text{ст}}$ вырабатывает управляющий импульс длительность которого пропорциональна разности между $U_{\text{вых}}$ и $U_{\text{ст}}$.
- В качестве ключа S как правило используют биполярный или полевой транзистор.



Инверторы

- По типу выходного сигнала инверторы делятся на три основные группы:
- - с прямоугольным выходным сигналом,
- - с чистым синусоидальным выходным сигналом,
- - с сигналом «модифицированный синус».

Конверторы

Конвертором называют преобразователь постоянного напряжения одного значения напряжения в другое.

Функционально конвертор включает в себя следующие узлы:

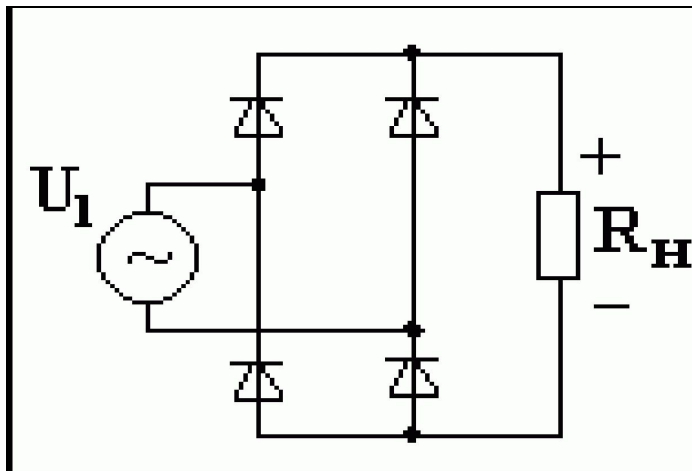
- **инвертор** – осуществляет преобразование поступающего на вход постоянного напряжения в переменное напряжение высокой (20-40кГц) частоты;
- **выпрямитель с фильтром.**

В настоящее время применяют два типа конверторов:

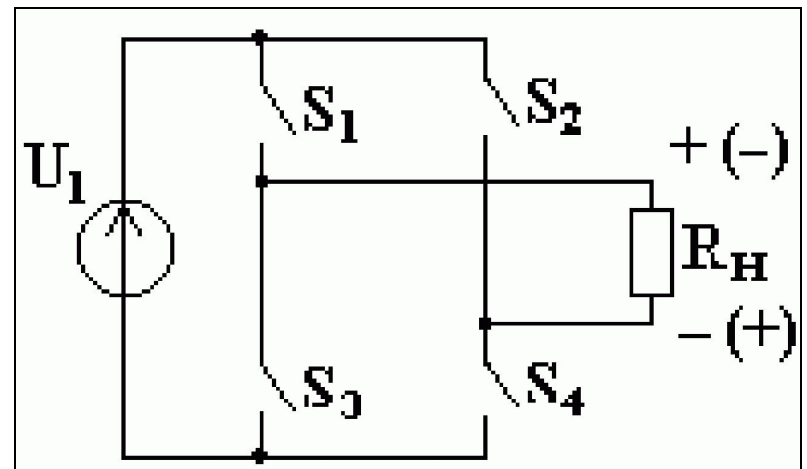
- 1) преобразователи постоянного напряжения с самовозбуждением;
- 2) импульсные преобразователи постоянного напряжения.

Инверторы

Принцип инвертирования напряжения. **Инвертор** является устройством, **противоположным выпрямителю**, т.к. он преобразует напряжение постоянного тока в разнополярное напряжение прямоугольной или синусоидальной формы. Если поменять местами источник с нагрузкой в схеме выпрямителя, получим схему инвертора напряжения:



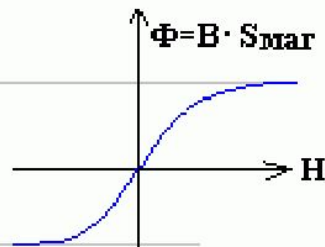
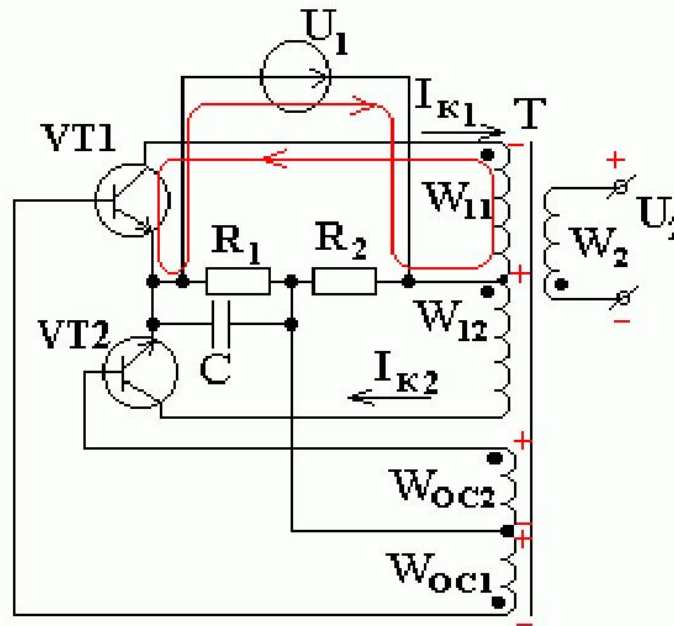
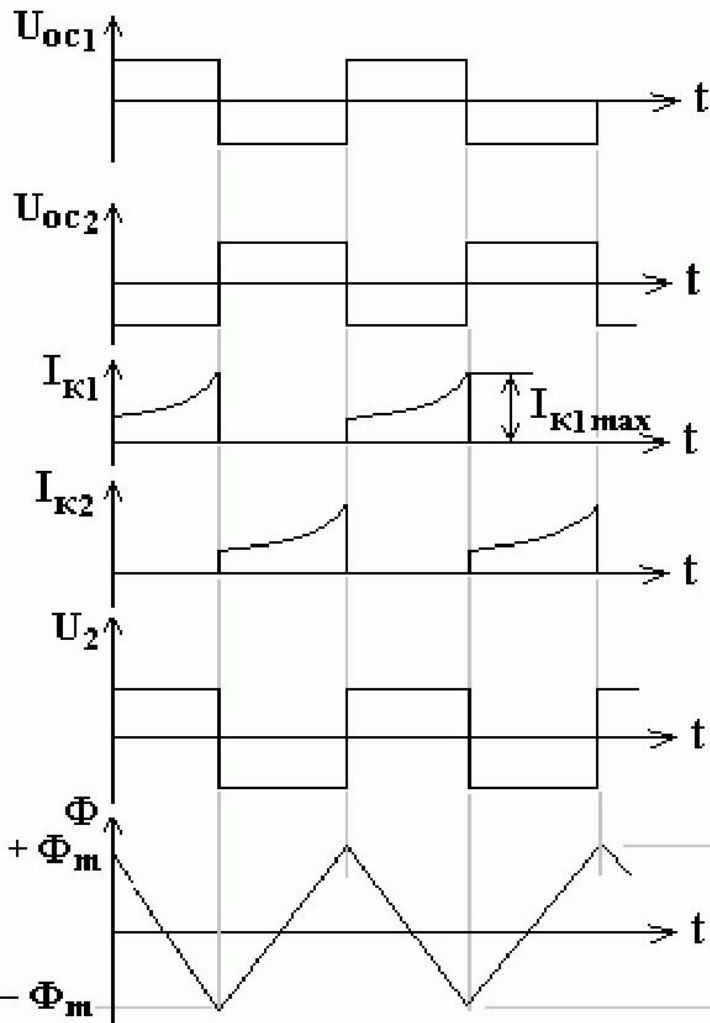
а) выпрямитель



б) инвертор

Для формирования двухполярного напряжения необходимо управлять ключевыми элементами. Обеспечить стабилизацию напряжения на выходе инвертора можно изменением длительности импульсов управления ключами в зависимости от дестабилизирующих факторов.

Транзисторный двухтактный инвертор напряжения с самовозбуждением



Транзисторы работают в ключевом режиме. Их переключение происходит за счет периодических насыщений трансформаторных обмоток и действия положительной обратной связи от обмоток W_{oc1} , W_{oc2}

Транзисторный двухтактный инвертор напряжения с самовозбуждением

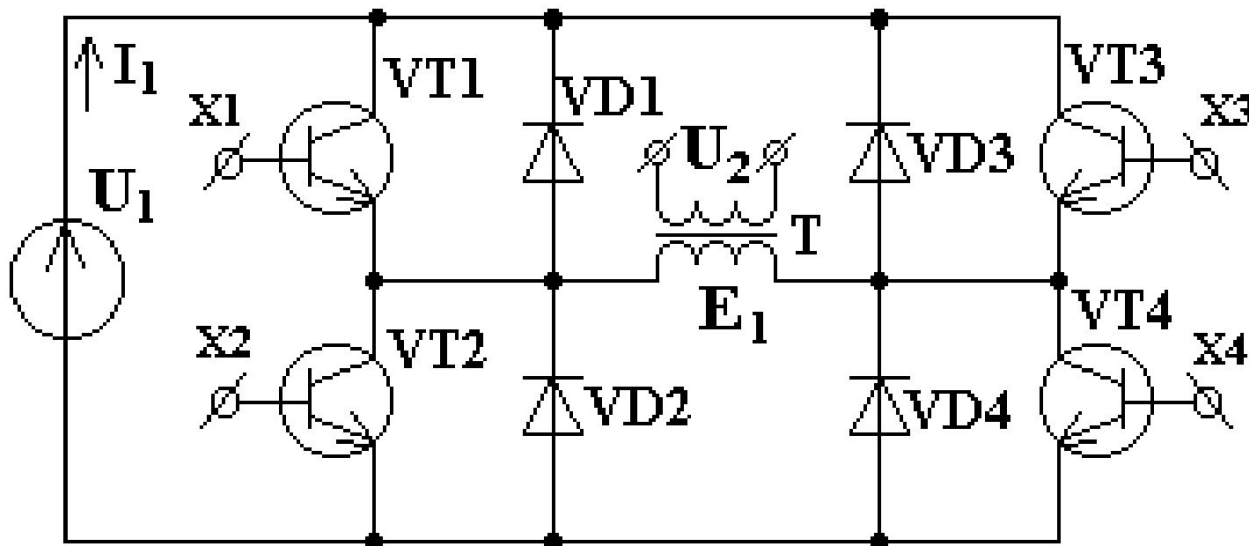
Недостатки:

- 1) С увеличением тока нагрузки происходит уменьшение частоты преобразования за счет увеличения потерь на транзисторных ключах.
- 2) К концу полупериода работы инвертора напряжения происходит "спад" вершины импульса U_2 за счет влияния цепи намагничивания на величину коллекторного тока, что приводит к значительным потерям на силовых ключах.
- 3) В моменты коммутации ключей возникает переходной процесс, обусловленный индуктивностью рассеяния и емкостью коллекторного перехода транзистора.
- 4) В начале импульса U_2 имеют место колебания сигнала.

Транзисторные инверторы напряжения с внешним управлением

Мостовая схема инвертора напряжения. Применяется на **больших мощностях** при повышенном уровне напряжения источника питания.

Сигналы управления $X_1 \dots X_4$ поступают таким образом, что в каждом полупериоде два транзистора включены, а два других выключены.



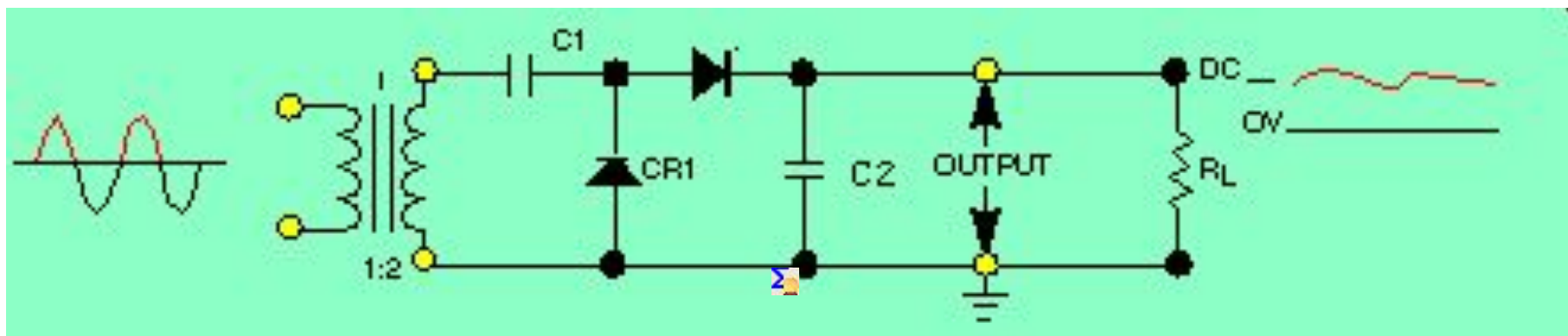
Источники бесперебойного питания

- Все источники делятся на три большие группы:
- пассивные (passive stand-by),
- линейно-интерактивные (line interactive),
- с двойным преобразованием (double conversion).

УМНОЖИТЕЛИ НАПРЯЖЕНИЯ

Умножителем напряжения называется выпрямительное устройство, в котором с помощью диодно–емкостных ячеек формируется постоянное напряжение

$$U_0 = n \cdot U_{2\max} \qquad U_{\max} = \sqrt{2} \cdot U_2$$



Умножители напряжения

1 Симметричные (Схема Латура)

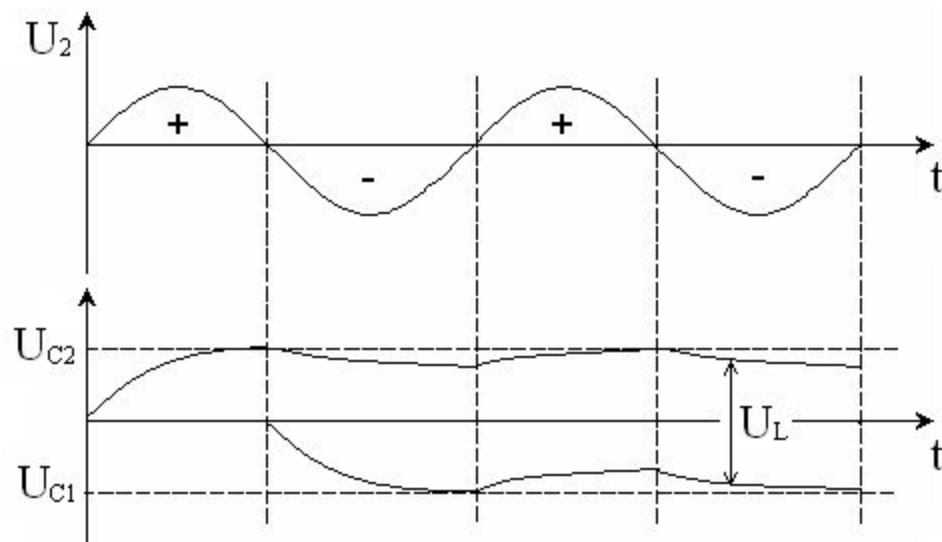
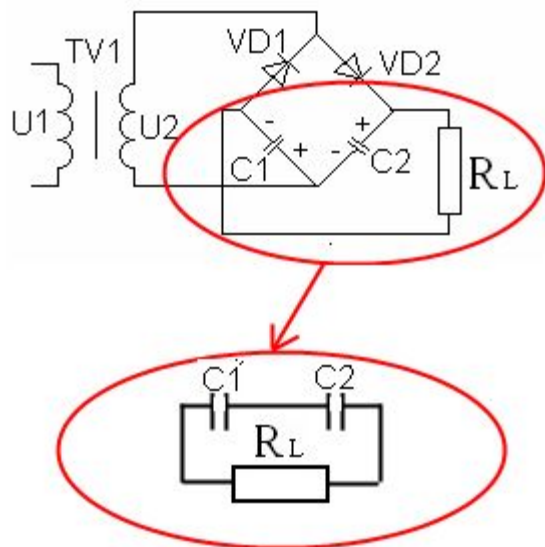
2 Несимметричные:

- несимметричные умножители 1-го рода (параллельные умножители НУН-1)

- несимметричные умножители 2-го рода (последовательные умножители НУН-2)

3 Сверхвысоковольтные генераторы (генераторы Маркса)

Схема Латура



VD1=VD2

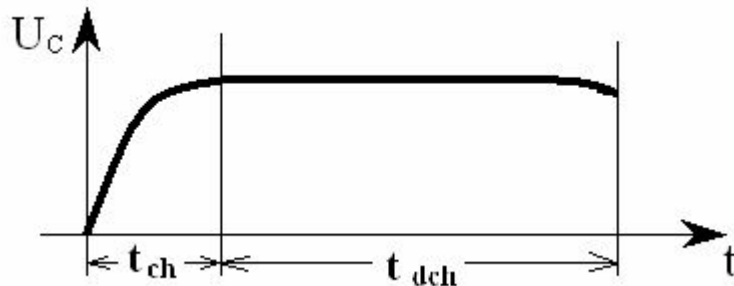
C1=C2

C1=U_{2m}

$$U_{\max} = \sqrt{2} \cdot U_2$$

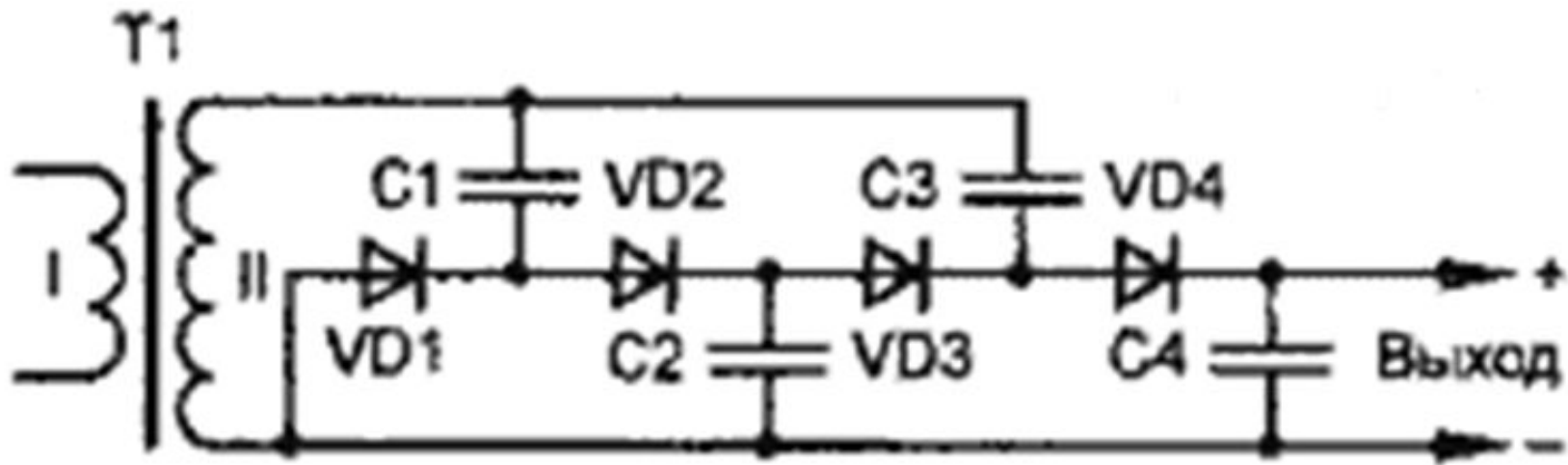
$$f_n = 2f_c$$

Электролитический конденсатор



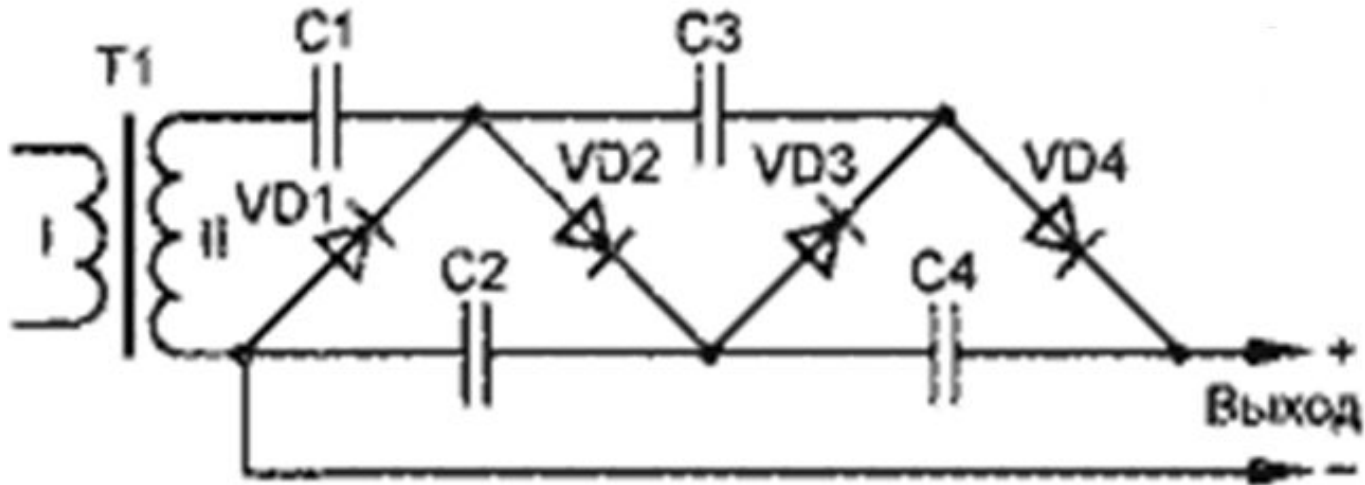
Конденсатор — двухполюсник с определённым значением ёмкости и малой омической проводимостью; **устройство для накопления энергии электрического поля**

Конденсатор в цепи постоянного тока может проводить ток в момент включения его в цепь (происходит заряд или перезаряд конденсатора), по окончании переходного процесса ток через конденсатор не течёт, так как его обкладки разделены диэлектриком. В цепи же переменного тока он проводит колебания переменного тока посредством циклической перезарядки конденсатора, замыкаясь так называемым током смещения.



Параллельные умножители напряжения, для которых требуется меньшая емкость конденсатора на ступень умножения.

Наиболее часто применяют последовательные умножители. Они более универсальны, напряжение на диодах и конденсаторах распределены равномерно, можно реализовать большее число ступеней умножения. Имеют свои достоинства и параллельные умножители. Однако такой их недостаток, как увеличение напряжения на конденсаторах с увеличением числа ступеней умножения, ограничивает их применение до выходного напряжения примерно 20 кВ.



Во время действия отрицательного полупериода напряжения конденсатор $C1$ заряжается через открытый диод $VD1$ до амплитудного значения приложенного напряжения U_a . Когда к входу умножителя приложено напряжение положительного полупериода, конденсатор $C2$ через открытый диод $VD2$ заряжается до напряжения $2U_a$. Во время следующего этапа - отрицательного полупериода - через диод $VD3$ до напряжения $2U_a$ заряжается конденсатор $C3$. И, наконец, при очередном положительном полупериоде до напряжения $2U_a$ заряжается конденсатор $C4$. Очевидно, что запуск умножителя происходит за несколько периодов переменного напряжения. Постоянное выходное напряжение складывается из напряжений на последовательно включенных и постоянно подзаряжаемых конденсаторах $C2$ и $C4$ и составляет $4U_a$. Изображенный на рисунке умножитель относится к **последовательным умножителям**.

При практической реализации умножителя следует уделить особое внимание выбору его элементов, их размещению и изоляционным материалам. Конструкция должна обеспечивать **надёжную изоляцию** во избежание возникновения коронного разряда, который снижает надёжность умножителя, приводит к выходу его из строя. Если требуется изменить полярность выходного напряжения, полярность включения диодов следует изменить на обратную.

- В умножителях напряжения с чётным числом диодно-емкостных ячеек отсутствует подмагничивание сердечника силового трансформатора, поэтому их можно включать в сеть без трансформатора.
- Во всех схемах умножителей напряжения обратное напряжение на вентилях диодно-емкостных ячеек равно двойному значению амплитуды входного переменного напряжения.
- С помощью диодно-емкостных ячеек возможно умножение напряжения путём передачи запасённой конденсатором энергии от ячейки к ячейке с наращиванием потенциала либо путём заряда последовательно включённых конденсаторов до двойного напряжения.

Подмагничивание сердечника силового трансформатора

Подмагничивание происходит ПОСТОЯННОЙ составляющей во вторичной обмотке, т.е к переменному току добавляют (а в случае с первичной обмоткой вычитают) постоянный ток.

Принцип трансформации основан на переменном магнитном поле, сцепленном с витками катушки. Сердечник трансформатора - металл ферромагнетик служит проводником магнитного потока. Все ферромагнетики имеют доменную структуру, домен - маленький "магнитик" в составе кристаллической решетки металла. Домен имеет южный и северный магнитные полюса и выстраивается в металле по внешнему магнитному полю.

В переменном магнитном потоке (симметричном, синусоидальном) домены вращаются с частотой тока в намагничивающей обмотке, грубо говоря сначала все разворачиваются "на юг" (при положительно полуволне в обмотке), а потом "на север" (при отрицательной полуволне).

При появлении постоянной составляющей, домены перестают до конца поворачиваться на север (или на юг в зависимости от знака тока). Получается, что амплитуда колебаний магнитного потока падает (домены вращаются не на 180 градусов, а на меньший угол), трансформатор входит в насыщение.

ЭДС генерируемая во вторичной обмотке: $E = 4,44Fw\Phi$,
где F - частота в Гц, w - число витков в катушке вторичной обмотки, а Φ - магнитный поток в сердечнике.

Т.е. при снижении потока падает и ЭДС, а для обеспечения повышенного потока следует увеличить ток в намагничивающей обмотке.

В схемах выпрямления с чётным значением коэффициента фазности m_2 отсутствует подмагничивание сердечника силового трансформатора, так как в фазных обмотках выпрямленные токи текут в противоположных направлениях.