

Федеральное агентство по образованию
Нижегородский государственный технический университет
им. Р.Е. АЛЕКСЕЕВА

С.Н. Охулков

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ЭЛЕКТРОНИКА

Кафедра “Теоретическая и общая
электротехника”

Для студентов электротехнических
специальностей всех форм обучения

Автозаводская высшая школа управления и технологий

Очная и заочная форма обучения

- Автомобили и автомобильное хозяйство
- Автомобиле- и тракторостроение
- Технология машиностроения

г. Нижний Новгород, ул. Лескова, 68, т. (831) 256-02-10

Тема 10

ИСТОЧНИКИ ВТОРИЧНОГО ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ

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 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)

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

По форме выпрямленного напряжения
выпрямители подразделяют на

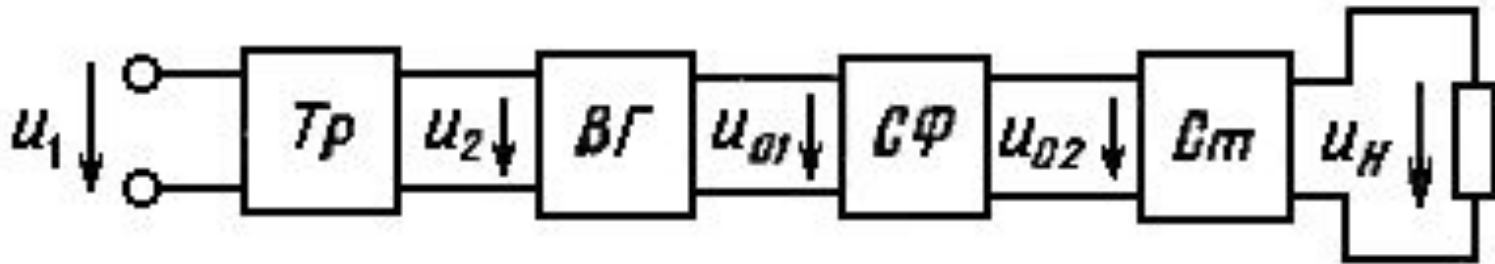
- однополупериодные**
- двухполупериодные**

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.

Однофазные 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.

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 вентилях 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 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 .

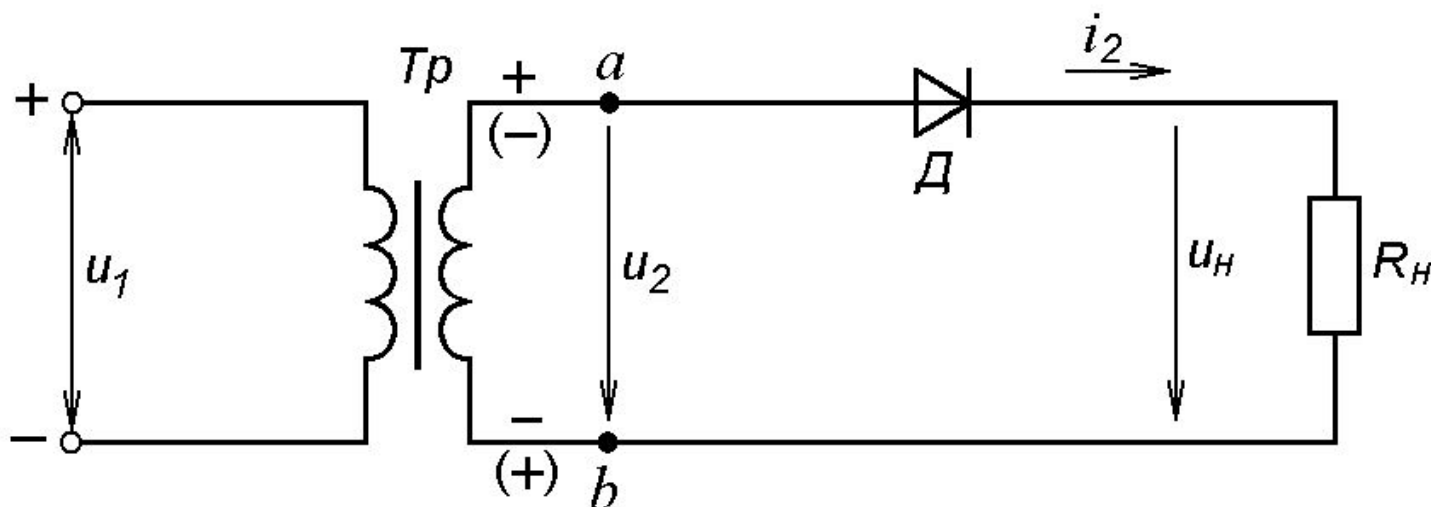


Схема однополупериодного выпрямителя



*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.*

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

Анализ электрических параметров позволяет сделать вывод
о недостатках этого выпрямителя:
большой коэффициент пульсаций, малые значения выпрямленных
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 $U_{пр.ср}$.

Предельный 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.

Наибольшее распространение получил
двухполупериодный мостовой выпрямитель

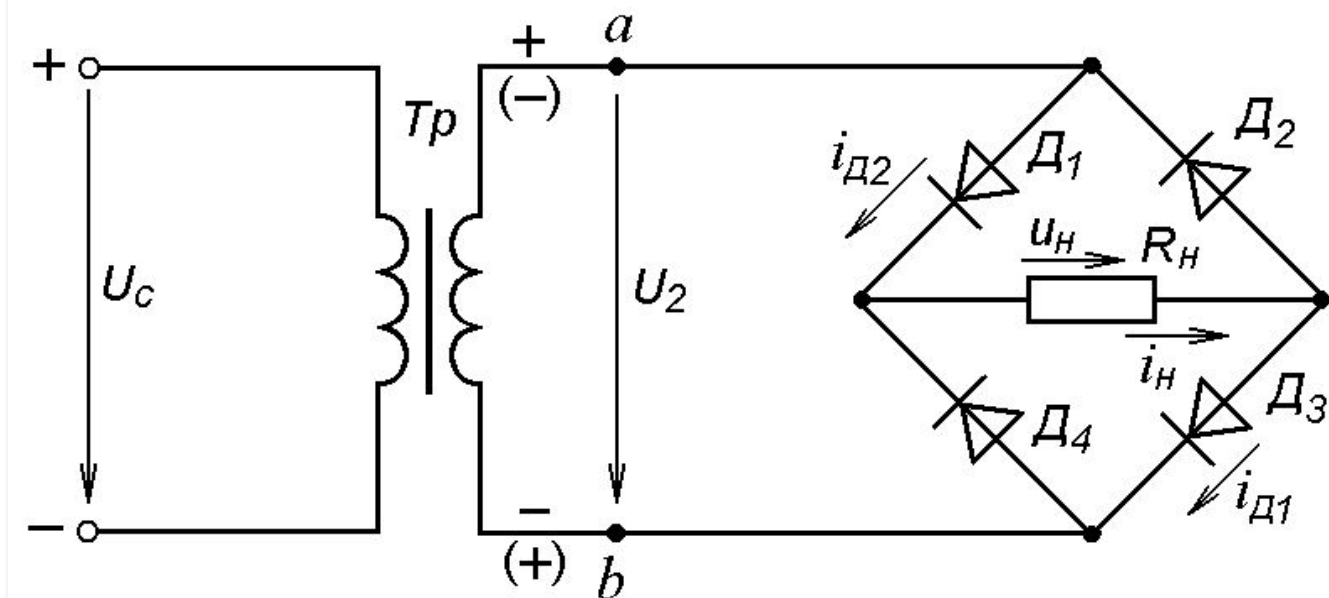


Схема мостового выпрямителя

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).

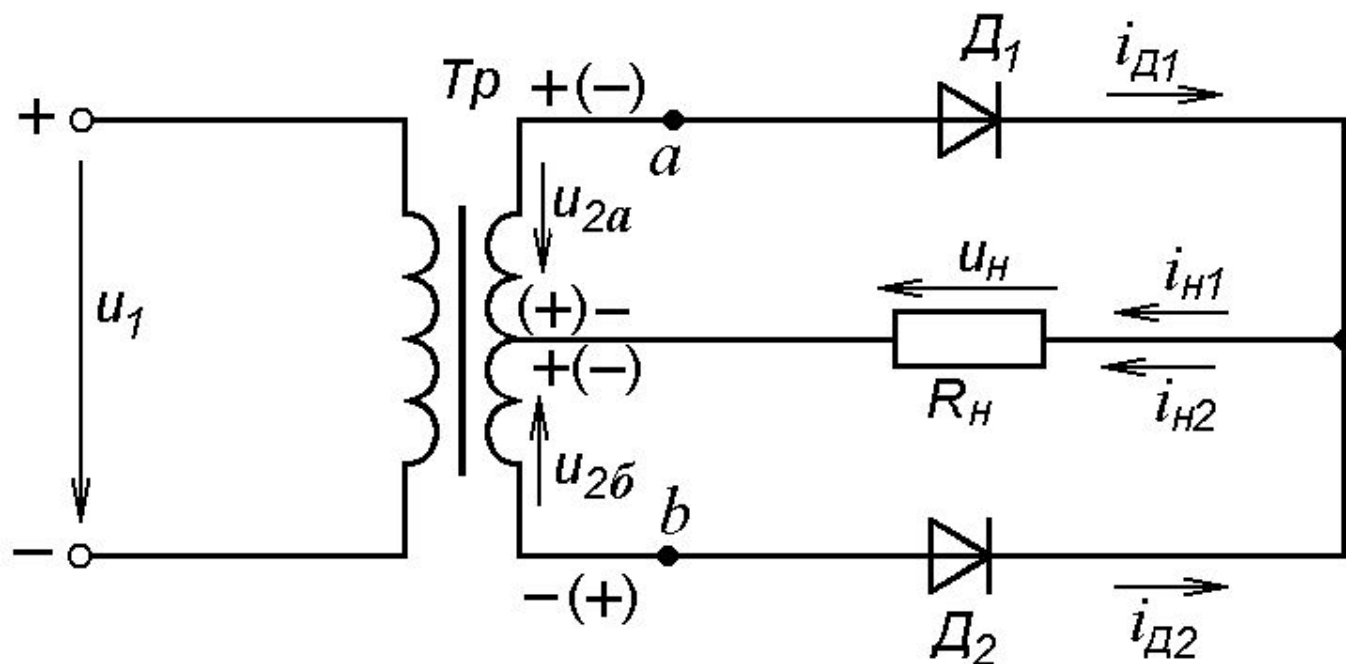
Двухполупериодный выпрямитель с выводом средней точки вторичной обмотки трансформатора

можно рассматривать как сочетание двух однополупериодных выпрямителей, включенных на один и тот же нагрузочный резистор R_n (см. схему на следующем слайде).

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 $D1$ открыт, диод $D2$ 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 $D2$ открыт, а диод $D1$ закрыт.



**Схема выпрямителя с выводом средней точки
вторичной обмотки и трансформатора**

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

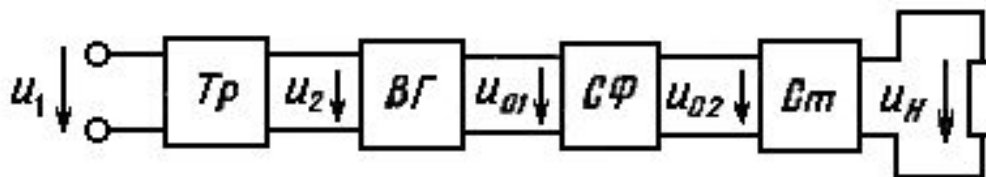
называют устройство, предназначенное для
уменьшения пульсаций выпрямленного
напряжения

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:

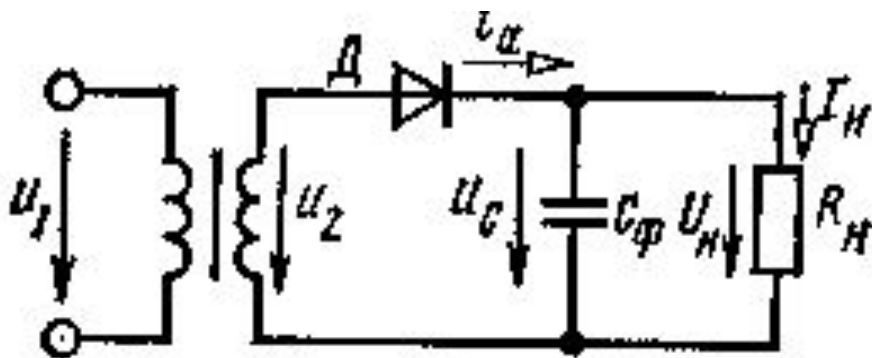
$$K_{сгл} = K_{п\ вх} / K_{п\ вых}$$

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

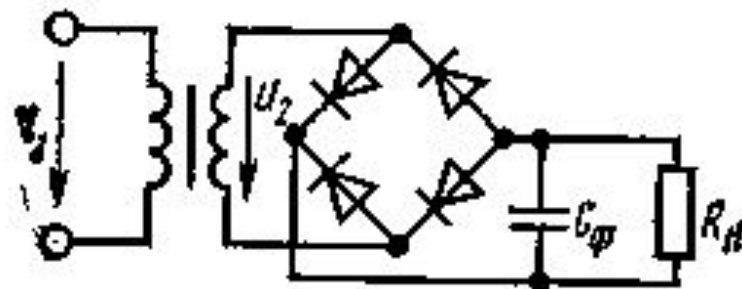
В зависимости от типа фильтрующего элемента различают емкостные, индуктивные и электронные фильтры. По количеству фильтрующих звеньев фильтры делятся на однозвенные и многозвенные.

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^{-2} .

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

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.

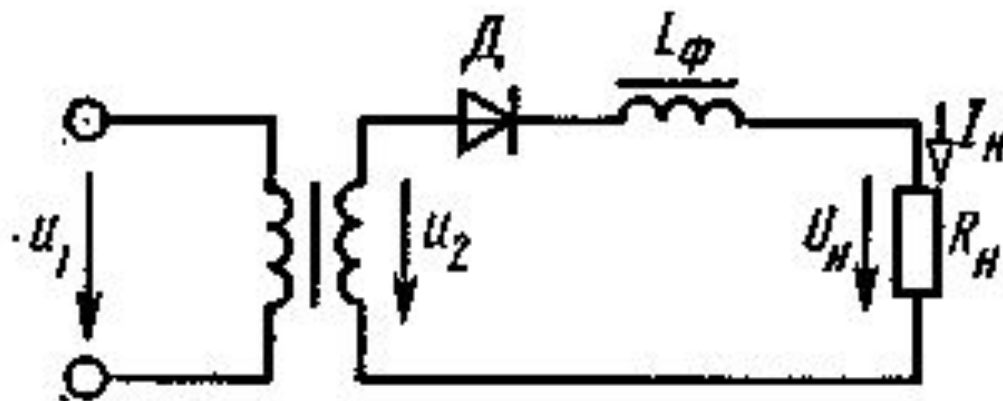


Схема индуктивного фильтра с однополупериодным выпрямителем

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 $T = L_\phi / R_n$, длительность импульса тока увеличивается с ростом T .

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.

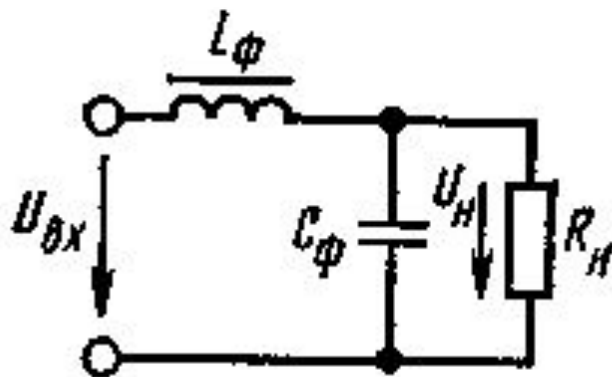
При этом выполнение условия

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

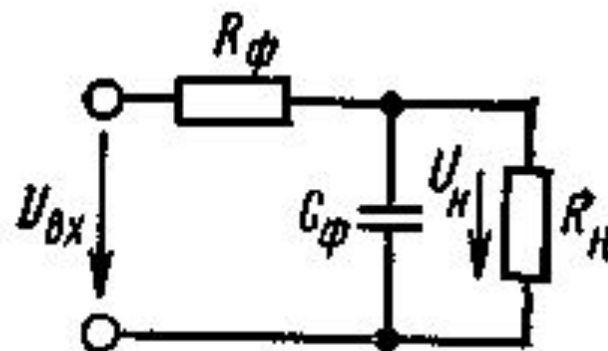
приводит к необходимости включения дросселя с большими массой и габаритами, что является существенным недостатком индуктивного фильтра по сравнению с емкостным.

Г-образные фильтры

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



а)



б)

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

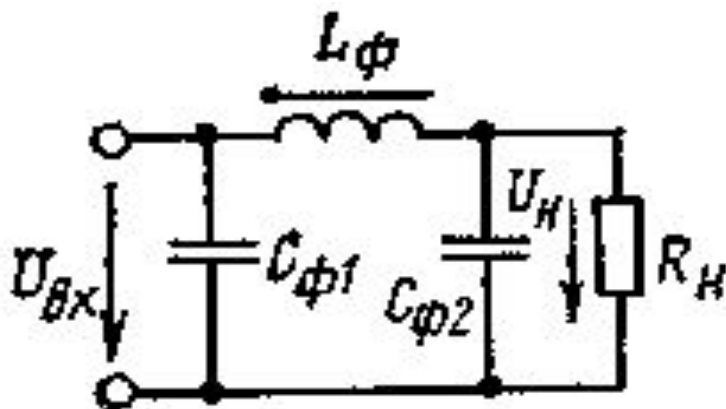
Эти фильтры применяют тогда, когда с помощью однозвенных фильтров не выполняется предъявляемое к ним требование с точки зрения получения необходимых коэффициентов сглаживания.

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

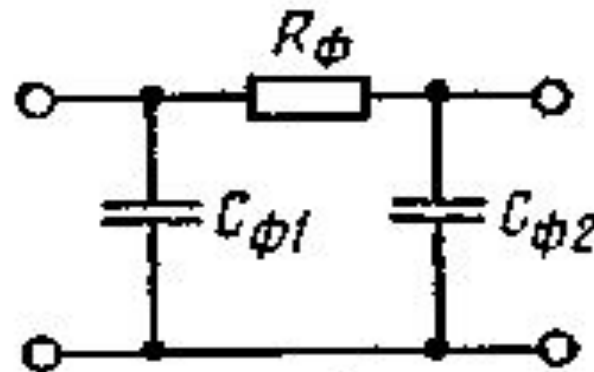
Снижение пульсаций LC-фильтром объясняется совместными действиями индуктивной катушки и конденсатора. Снижение переменных составляющих выпрямленного напряжения обусловлено как сглаживающим действием конденсатора C_{ϕ} , так и значительным падением переменных составляющих напряжения на дросселе L_{ϕ} . 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) – CLC-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

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.

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.).

Рекомендуемая литература

- 1. Алтунин Б.Ю., Панкова Н.Г. Теоретические основы электротехники:** Комплекс учебно - методических материалов: Часть 1 / Б.Ю. Алтунин, Н.Г. Панкова; НГТУ им. Р.Е. Алексеева. Н.Новгород, 2007.-130 с.
- 2. Алтунин Б.Ю., Кралин А.А. Электротехника и электроника:** комплекс учебно-методических материалов: Ч.1/ Б.Ю. Алтунин, А.А. Кралин; НГТУ им. Р.Е. Алексеева. Н.Новгород, 2007.-98 с.
- 3. Алтунин Б.Ю., Кралин А.А. Электротехника и электроника:** комплекс учебно-методических материалов: Ч.2/ Б.Ю. Алтунин, А.А. Кралин; НГТУ им. Р.Е. Алексеева. Н.Новгород, 2008.-98 с
- 4. Касаткин, А.С. Электротехника** /А.С. Касаткин, М.В. Немцов.-М.: Энергоатомиздат, 2000.
- 5. Справочное пособие по основам электротехники и электроники** /под. ред. А.В. Нетушила.-М.: Энергоатомиздат, 1995.
- 6. Манаев Е.И. Основы радиоэлектроники.**-3-е изд., перераб. И доп.-М.: Радио и связь, 1990.-512 с.: ил.
- 7. Новожилов, О. П. Электротехника и электроника: учебник** / О. П. Новожилов. – М.: Гардарики, 2008. – 653 с.



Тема 10 Закончена

Благодарю за внимание