**Тема 4 Выпрямительные устройства**

**4.1 Состав и назначение элементов выпрямительного устройства**

Выпрямительные устройства предназначены для преобразо­вания переменного тока в ток одного направления.

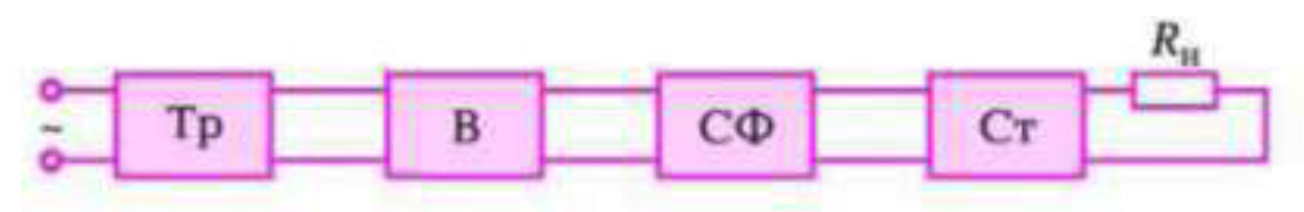


Рисунок 1. Структурная схема выпрямительного устройства:

Тр — трансформатор; В — вентиль. СФ — сглаживающий фильтр, Ст — стабилиза­тор

В общем случае выпрямительное устройство включает в себя си­ловой трансформатор, вентиль, сглаживающий фильтр и стабили­затор (рисунок 1).

Существуют два основных типа выпрямителей: однополупериодный и двухполупериодный.

В зависимости от числа фаз питающей сети выпрямители под­разделяют на однофазные и трехфазные.

Выпрямители могут быть управляемыми и неуправляемыми. В управляемых выпрямителях значение выпрямленного напряже­ния может регулироваться. Для питания большинства электронных устройств используются более простые неуправляемые выпрями­тели.

**Трансформатор** предназначен для преобразования переменно­го напряжения, например 220 В, в переменное напряжение такого значения, которое обеспечивает необходимое постоянное напряже­ние на выходе выпрямителя, например 20 В.

**Вентиль** преобразует переменное напряжение в пульсирующее

***С*глаживающий фильтр** уменьшает пульсации выпрямленного напряжения

***С*табилизатор** поддерживает неизменным напряжение на нагрузке.

Основными элементами выпрямителя являются ***вентили*** — не­линейные элементы, проводимость которых зависит от полярности приложенного напряжения. Как правило, в качестве вентилей ис­пользуются полупроводниковые диоды. Вольт-амперная характе­ристика диода приведена на рисунке 2, *а.*

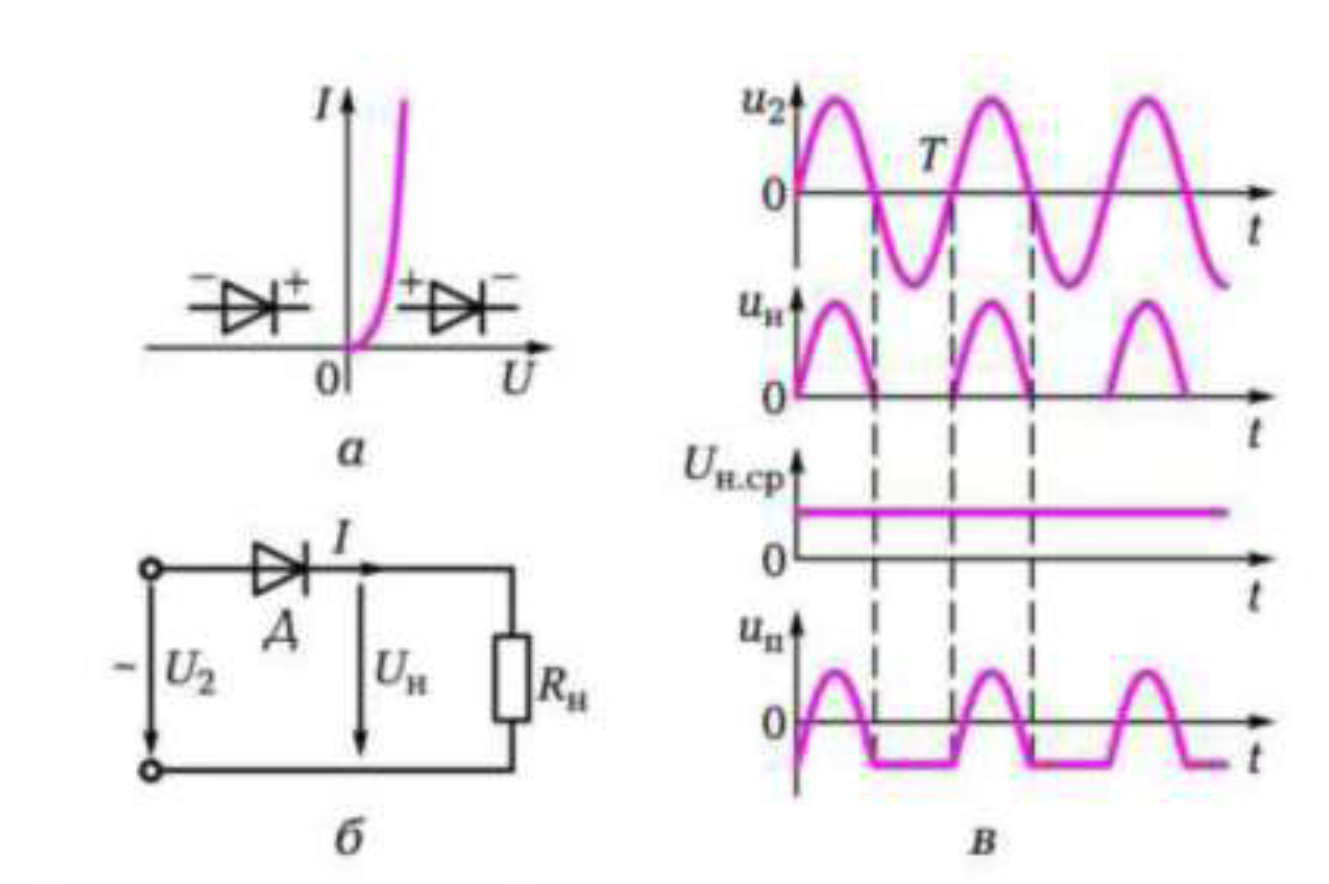
* Основными параметрами выпрямителей являются:

***U*н.ср** — среднее выпрямленное напряжение на нагрузке;

***I н* ср**— средний выпрямленный ток в нагрузке;

***Р*** = *U*осн.вых*/ U*н.ср — коэффициент пульсаций выпрямленного на­пряжения (здесь *U*осн.вых — амплитуда основной гармоники выпрям­ленного напряжения);

***f*n** — частота основной гармоники выпрямленного напряжения (напряжения пульсации).



**Рисунок 2** Однополупериодный выпрямитель:

а — ВАХ диода, б — схема выпрямителя, в — временные диаграммы напряжении

**4.2** **Однополупериодный однофазный выпрямитель**

Схема однополупериодного выпрямителя приведена на рис. 2, *б.*

* Переменное напряжение с вторичной обмотки трансфор­матора ***U*2** подается на цепь из последовательно соединенных диода Д и нагрузочного резистора ***R***н.

При положительном полупериоде напряжения диод открыт и через нагрузку течет ток. При отрицательном полуперноде диод закрыт, и ток в на­грузке отсутствует.

Выпрямленное напряжение ***U****н* можно представить в виде суммы постоянной *Uн.cp* и переменной *ин* составляющих (рис. 2, в).

Как правило, однополупериодные выпрямители применяются для питания нагрузки малой мощности.

**4.3** **Двухполупериодные однофазные выпрямители**

Среди двухполупериодных однофазных выпрямителей наиболь­шее применение находят выпрямитель на базе трансформатора со средней точкой и мостовой выпрямитель.

**Выпрямитель на базе трансформатора со средней точкой.** Схе­ма такого выпрямителя представляет собой две схемы однополупериодного выпрямителя, построенные на диодах Д1 и Д2 и работающие на общую нагрузку RH (Рисунок 3, а).

В положительный полупериод ток в нагрузку поступает через диод Д1, а в отрицательный - через диод Д2. В итоге за период к нагрузке подводятся две полуволны напряжения (рис. 3, б). Недостатком выпрямителя являются сложная конструкция трансформатора и его неэкономичность. Этого недостатка лишен мостовой выпрямитель.

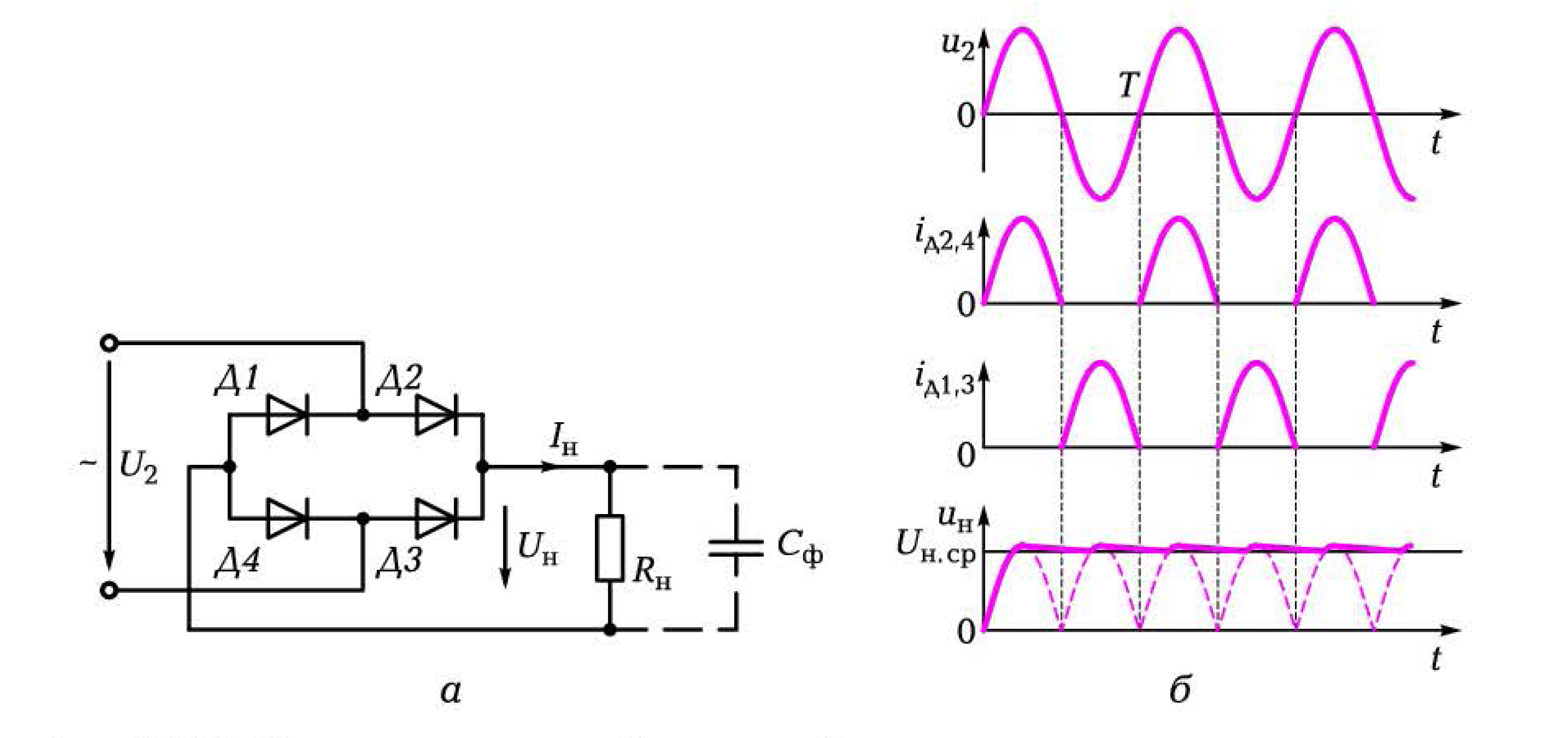


**Рисунок 3** Двухполупериодный вы­прямитель на базе трансформато­ра со средней точкой:

а — схема выпрямителя: б — временная диаграмма напряжения на нагрузке

**Мостовой выпрямитель.** Выпрямитель состоит из четырех диодов, включенных по мостовой схеме (рисунок 4, а). Изменения напряжения *U*2 питающей сети, токов диодов, напряжения на нагрузке показаны на рисунке 4, б.

При положительном полупериоде напряжения в мостовой схеме диоды Д2 и Д4 открыты и пропускают ток в нагрузку. Диоды Д1 и ДЗ в этот момент закрыты. При отрицательном полупериоде напряжения диоды Д2 и Д4 закрываются, но открываются диоды Д1 и ДЗ и пропускают ток в нагрузку в том же направлении.



**Рисунок 4** Двухполупериодный мостовой выпрямитель: а — схема выпрямителя: б — временные диаграммы напряжений и токов

По сравнению с однополупериодным выпрямителем одно­фазный двухполупериодный выпрямитель обеспечивает большее среднее напряжение на нагрузке, меньшую амплитуду пульсаций и большую их частоту, что облегчает задачу подавления пульсаций сглаживающими фильтрами.

**4.4 Схемы трехфазных выпрямителей**

Для выпрямления трехфазного напряжения широко применя­ются трехфазные выпрямители. Простейшая схема однополупериодного выпрямителя приведена на рис. 5, а. Это схема с ней­тральной точкой. Фазы вторичной обмотки трансформатора соеди­нены звездой. В каждую фазу последовательно с обмоткой включен диод. Катоды диодов соединены вместе. Между общей точкой като­дов и нейтральной точкой включается нагрузка

Токи через диоды текут лишь в те моменты времени, когда по­тенциал анода выше потенциала нейтральной точки. Результирую­щий ток через нагрузку является суммой всех трех токов. Его изме­нение отражает огибающая на рисунке 5, *б.*

Среднее выпрямленное напряжение на нагрузке *U*н.ср. *=* 1,17*U*2ф.

Амплитуда основной гармоники *U*осн.mах = 0,29*U*2ф.

Коэффициент пульсаций *р =* 0,25.

Частота пульсации *f*п = 3*f*

Другая схема трехфазного выпрямителя известна как схема Ларионова. Она представляет собой три мостовые схемы, работа­ющие на единую нагрузку (рис. 6,*а).*

В трехфазном двухполупериодном выпрямителе диоды каждой фазы пропускают ток в нагрузку в обе полуволны питающего напряжения. Это позволяет существенно снизить пульсации выпрям­ленного напряжения (см. огибающую на рис. 6,б).

Среднее выпрямленное напряжение на нагрузке *Un.сp. =* 2,34*U*2ф.

Амплитуда основной гармоники = 0,13 *U*2ф.

Коэффициент пульсаций *р* = 0,057.

Частота пульсаций *f*п = 3*f*

В мощных трехфазных выпрямителях, собранных по мостовой схеме, широкое применение нашли управляемые вентили — ти­ристоры. Такие выпрямители называют управляемыми. Регулируя моменты открытия тиристоров, можно сравнительно легко и эко­номично регулировать среднее значение выпрямленного напряже­ния.

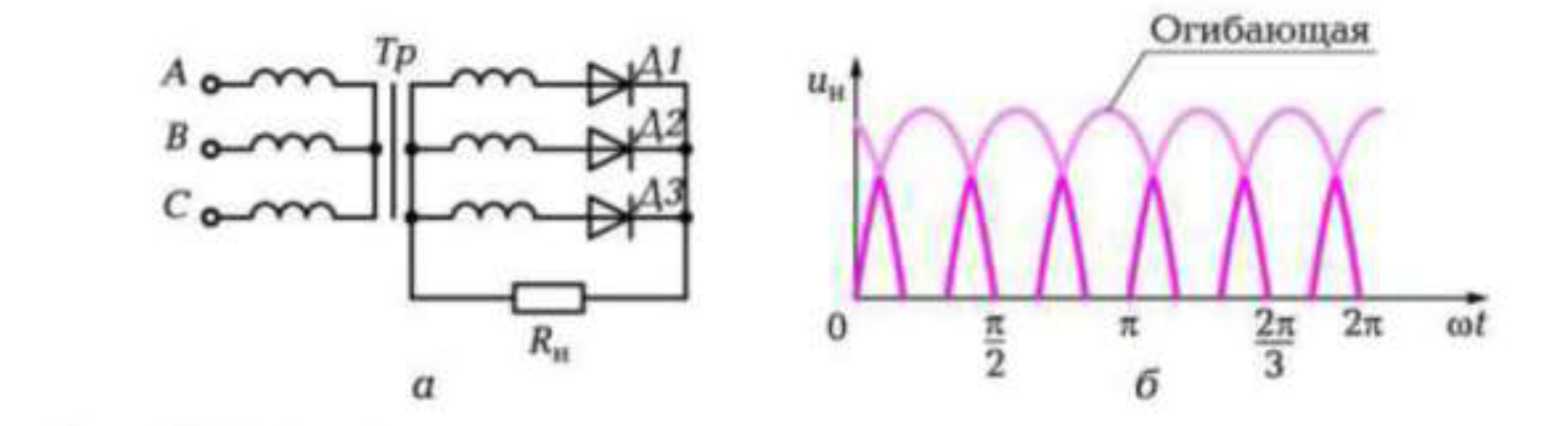
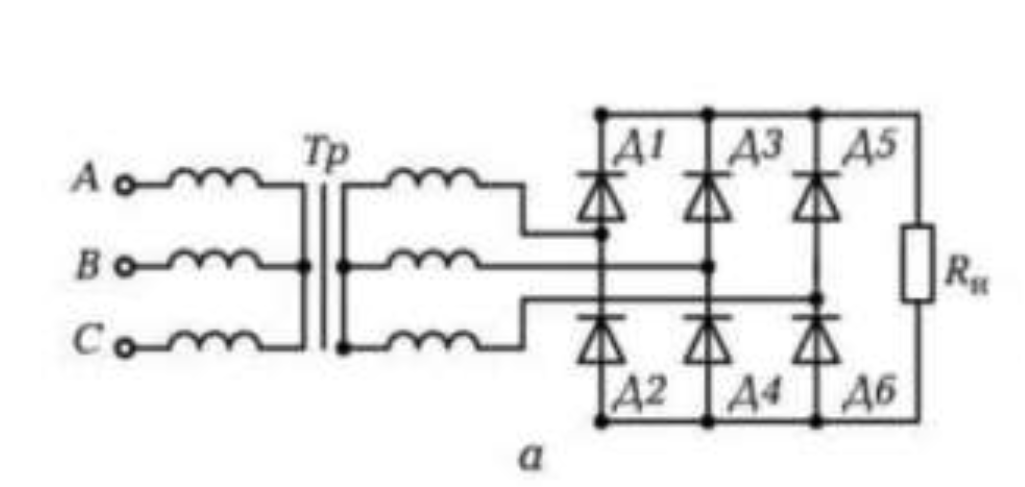
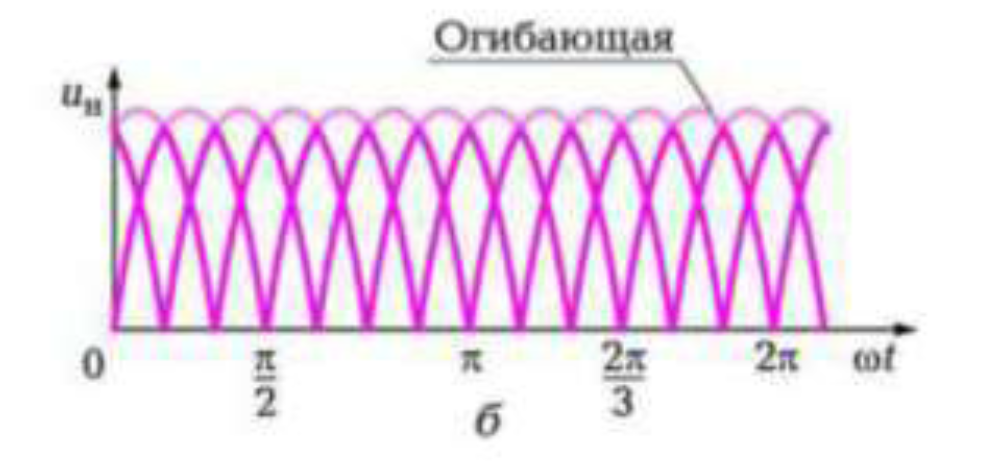


Рисунок 5 Трехфазный однополупериодный выпрямитель: а — схема выпрямителя;

б — временная диаграмма напряжения на нагрузке

**Рисунок 6** Трехфазный двухпопупериодный выпрямитель а — схема выпрямителя, ***б*** — временная диаграмма напряжения на нагрузке

**4.5 Сглаживающие фильтры**

Дляподавления переменной составляющей выпрямленно­го напряжения между вентилем и нагрузкой устанавливают сглаживающие фильтры.

Основным параметром сглаживающего фильтра является коэф­фициент сглаживания *𝚂ф .*Он определяется отношением коэффи­циентов пульсаций на его входе и выходе:

*𝚂ф =*

В одних устройствах сглаживающие фильтры не нужны вообще. Например, в выпрямителях для питания электрических двигателей постоянного тока, поскольку ротор двигателя не в состоянии реаги­ровать на высокочастотные пульсации в силу значительного момен­та инерции, Тогда как в других двигателях коэффициент пульсаций на выходе блока питания не должен превышать 10 -6 (устройство питания при­вода электронного микроскопа), что требует установки фильтров с очень высоким коэффициентом сглаживания.

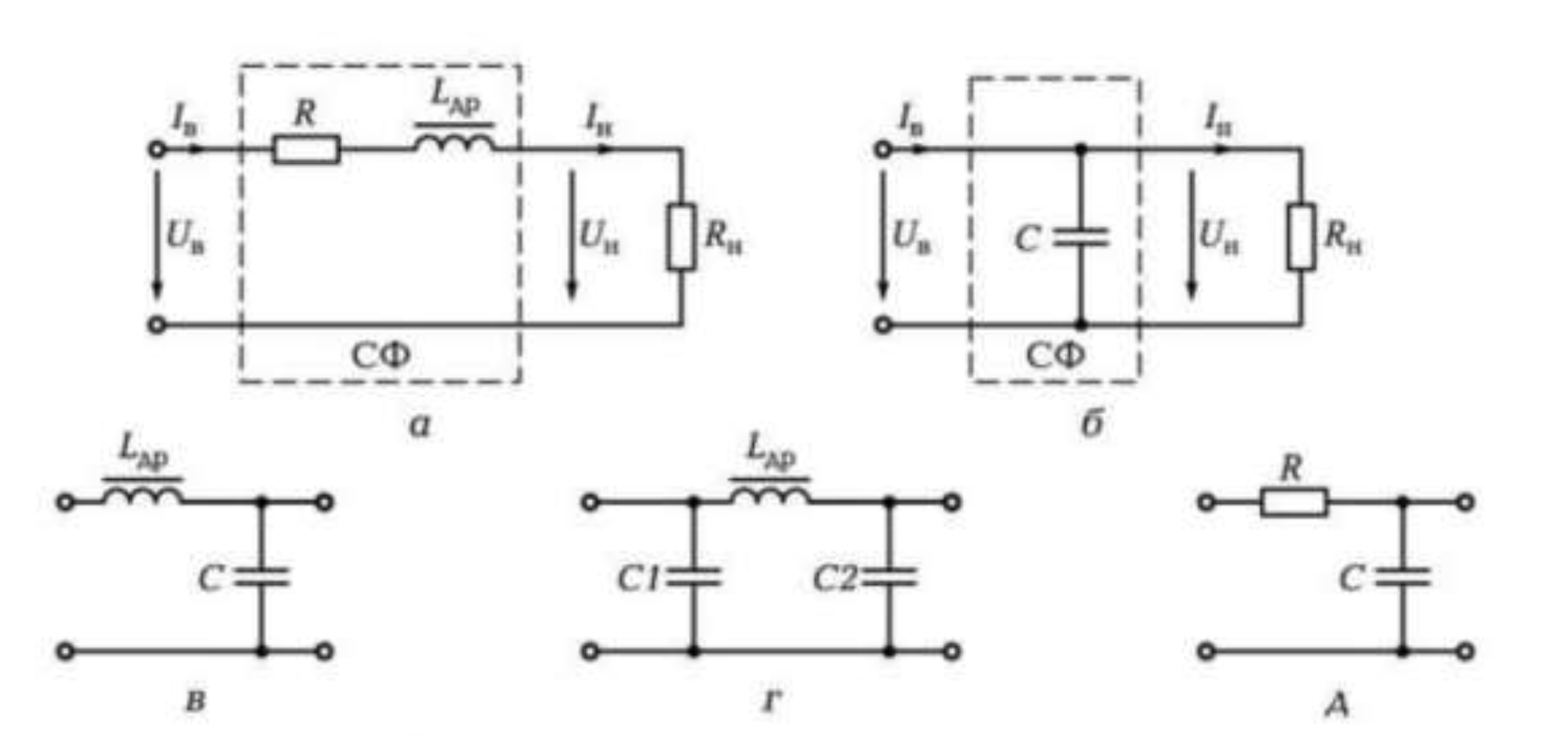
Простейшими сглаживающими фильтрами являются индуктив­ный и ёмкостный.

*Индуктивный фильтр* (рисунок 7,а) представляет собой дроссель, который включается последовательно с нагрузкой.

Значительное индуктивное сопротивление *XL* = *2fnL* существен­но снижает переменную составляющую напряжения, практически не изменяя постоянной, так как активное сопротивление *R* дроссе­ля невелико.

С достаточной точностью можно принять *𝚂ф* = *2fnL* */Rн.*

Индуктивные фильтры применяются обычно в мощных низко­омных цепях.



**Рисунок 7 Схемы фильтров**

а — индуктивный; б — емкостный; *в* — *Г* -образный *LC*-фильтр; г — *П*-образный

*LC*- фильтр. д — *Г*-образный *RС*-фильтр

***Ёмкостный фильтр*** (Рисунок 7,б) представляет собой конденса­тор, включенный параллельно нагрузке. При значительной ёмко­сти сопротивление для переменной составляющей выпрямленного тока мало *(Хс = 1/(2πfnС) « Rн)* и она проходит через конденсатор, минуя нагрузку. В нагрузку поступает лишь постоянная составляю­щая выпрямленного тока.

Можно также понять принцип сглаживания пульсаций, приняв во внимание, что при возрастании напряжения на нагрузке диод открыт и в связи с его малым сопротивлением конденсатор заряжа­ется практически мгновенно. При уменьшении напряжения диод закрывается и конденсатор разряжается сравнительно медленно через большее, чем у диода, сопротивление нагрузки.

С достаточной точностью для двухполупериодного выпрямителя с ёмкостным фильтром можно принять *𝚂ф* = *1,34fnСRн.*

Основное применение емкостные фильтры нашли в маломощ­ных высокоомных цепях.

Для обеспечения высококачественного сглаживания индук­тивный и емкостный фильтры объединяют, получая Г-образный (рисунок 7,*в)* или П-образный (рисунок 7,г) *L*С-фильтры. Коэффици­ент сглаживания в этом случае равен произведению коэффициен­тов сглаживания звеньев фильтра.

В маломощных источниках применяют *Г*-образный *RС*-фильтр (рисунок 7, д).

**Примеры решения типовых задач**

**Задача 1.** Согласно справочным данным выпрямительный столб 2Ц103А имеетпри токе 40 мА прямое падение напряжения 7В**,** а при обратном напряжении 2 000 В обратный ток составляет 0,1 мкА. Вычисли­те прямое и обратное сопротивления диода.

*Решение.* Приведенные данные позволяют определить статиче­ское сопротивление для прямой и обратной ветвей высоковольтно­го выпрямительного столба в соответствии с законом Ома. Прямое сопротивление *Rnp* = *Uпр****/****Iпр* = 7 В/0,04 А = 175 Ом, обратное сопро­тивление р = *R*обр/*I*обр = 2 000 В/(0,1 • 10 -6 А) = 2**∙**1010 Ом. Расче­ты показывают, что прямое сопротивление высоковольтного вы­прямительного столба может составлять сотни ом. в то время как обратное сопротивление исчисляется десятками гигаом (1 ГОм = 109 Ом).

*Ответ.* Прямое сопротивление выпрямительного столба 2Ц103А равно 175 Ом, обратное сопротивление - 2∙1010 Ом. Таким обра­зом, обратное сопротивление более чем в 108 раз больше прямого.

**Задача 2.** Для работы электродвигателя постоянного тока ДПМ-30-Н2 от промышленной сети напряжением 220 В и частотой 50 Гц исполь­зуется выпрямитель. Двигатель с возбуждением от постоянных маг­нитов имеет следующие основные электрические параметры:

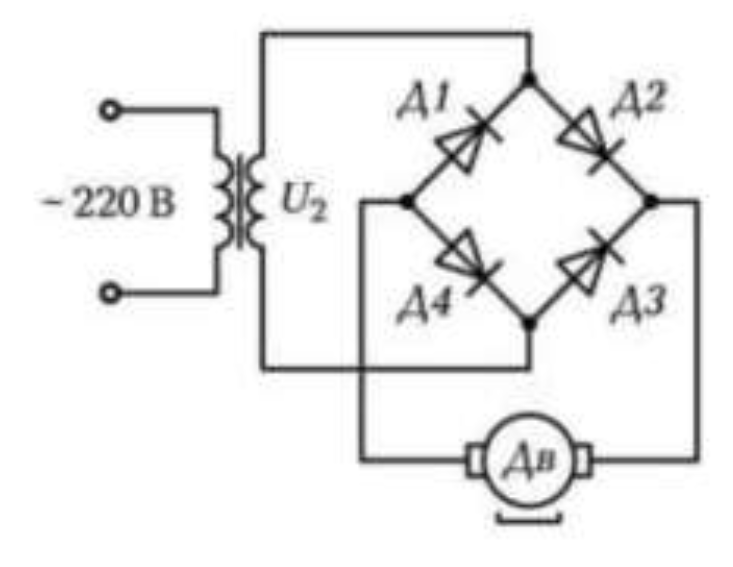
*Uн=* 27 В; *I*н = 0.7 А.

Выберите схему выпрямителя и рассчитайте параметры его основных элементов.

*Решение.* В данном случае для питания электродвигателя доста­точно иметь лишь два элемента: трансформатор и вентиль. Это свя­зано с тем, что достаточно высокая частота пульсаций выпрямлен­ного напряжения практически не оказывает влияния на рабочие характеристики двигателя. Он реагирует лишь на среднее выпрям­ленное напряжение *U*н.ср.

Исходя из характеристик двигателя выбираем в качестве вен­тиля выпрямительный блок КЦ402 с мостовой схемой соединения, имеющий следующие параметры: *U*обр.mах = 100 В,

*I* пр. mах = 1 000 мА. Двигатель может быть включен непосредственно в диагональ моста с пульсирующим напряжением, в то время как вторая диагональ подключается ко вторичной обмотке трансформатора (рисунок 8).



**Рисунок 8**. Схема питания электродвига­теля постоянного тока к задаче 2

Поскольку для двухполупериодного однофазного выпрямителя *Uн.сp* = 0,9 *U2,* действующее значение напряжения на вторичной об­мотке трансформатора *U*2= *Uн.cp / 0,9* = 27/0,9 = 30 В.

Таким образом, для работы выпрямителя необходим трансфор­матор с первичным напряжением *U*1 = 220 В и вторичным *U*2= 30 В. Номинальная мощность трансформатора

*Рном* = *U*2*∙ I*н = 30 ∙ 0,7 = 21 Вт.

*Ответ.* Для работы двигателя постоянного тока от источника переменного напряжения 220 В целесообразно использовать вы­прямительный блок КЦ402, работающий в комплексе с трансформатором, вторичное напряжение которого составляет 30 В, а номи­нальная мощность — 21 Вт.

**Задача 3** Вычислите коэффициент стабилизации по току, если при но­минальном выходном

токе 5 А номинальное выходное напряже­ние равно 20 В. При этом изменение тока нагрузки в диапазоне от З до7 А приводит к изменению выходного напряжения на 0.4 В.

*Решение*. Коэффициент стабилизации потоку, определяющий ди­апазон изменения выходного напряжения ∆Uвыз при изменении тока нагрузки ∆Iн,

Кст 2 = ∆Iн **/** Iн. ном.**)/**(∆Uвыз./Uвых.ном.) = (4/5)**/**(0,4/20) = 40.

*Ответ.* Коэффициент стабилизации по току равен 40.

**Задача 4** Для обеспечения стабильного напряжения ***U****вых* **=** 4 В на нагрузке сопротивлением *R*н = 120 Ом используется параметрический стабилизатор напряжения (см. рисунок 9.а). Диапазон изменения входного напряжения 6... 10 В. Определите сопротивление балласт­ного резистора *R*б и его мощность рассеяния, а также выберите тип стабилитрона.

*Решение.* Вычисляем ток нагрузки: Iн = *Uвых* ***/*** Rн = 4/120 = 0,033 А.

Находим сопротивление балластного резистора:Rб = (*Uвх.min* – Uвых)**/**Iн=(6 - 4)/0.033 = 61 Ом.

Определяем максимальный ток, потребляемый ЭЦ:*1тах= Uвх.mах* *–Uвых* ***/*** *Rб =* (10-4)**/**61=0.1 А.

Вычисляем максимальный ток через стабилитрон: Iд.mах.= Imах –Iн = 0.1 -0,033 = 0,067 А.

По справочнику выбираем тип стабилитрона, обеспечивающего выходное напряжение 4 В и рассчитанного на максимальный ток не менее 0,067 А.

Этим требованиям удовлетворяет стабилитрон КС139А с пара­метрами Ест. = 3,9 В и

Iст. вых = 70 мА.

Вычисляем максимальную мощность балластного резистора: *Р* = I2 вых = 0,01∙ 61 =0,61 Вт.

*Ответ.* Для стабилизации выходного напряжения 4 В на нагрузке сопротивлением 120 Ом может быть использован стабилитрон КС139А совместно с балластным резистором, например МЛТ-1-62

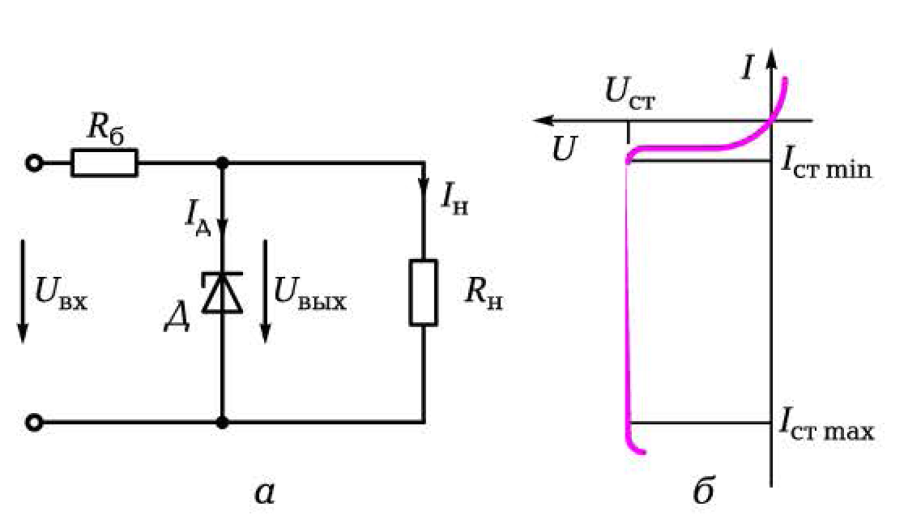


Рисунок 9. Схема [а] и вольт-амперная характе­ристика [б]

параметриче­ского стабилизатора

**Параметрический стабилизатор.** Простейшая схема стабилизатора приведена на рис. 9, а.

Параметрический стабилизатор состоит из балластного резистора Rб и полупроводникового стабилитрона Д. Выходное напряжение Uвых стабилизатора равно напряжению стабилизации Uст стабилитрона Д.

Рабочим участком ВАХ стабилитрона является участок электрического пробоя на ее обратной ветви, где при изменении тока в широких пределах напряжение изменяется незначительно

(рис. 9, б).

Важнейшими параметрами стабилитрона являются:

UCT — напряжение стабилизации;

Iст min — минимальный ток стабилитрона;

Iст max — максимальный ток стабилитрона.

Для параметрических стабилизаторов значение Кст не превышает, как правило, нескольких десятков.

**Задачи и вопросы**

**для самостоятельного решения**

**Задача 5** По вольт-амперным характеристикам диодного моста КЦ407А (рис. 10) для температур -60, +25 и +85°С определите значения статического сопротивления диода в прямом направлении при Iпр = 40 мА. Сравните эти значения.

**Задача 6.** По вольт-амперным характеристикам диодного моста КЦ407А (см. рис. 10, б) определите значения его статического сопротивле­ния для трех температур при включении в обратном направлении, если к диоду приложено обратное напряжение *Uобр* = 150 В. Сравни­те эти значения.

**Задача 7.** Как соединяют полупроводниковые диоды в схемах с токами, превышающими прямой ток применяемых диодов?

**Задача 8.** Как соединяют полупроводниковые диоды в схемах с напря­жением. превышающим максимально допустимое обратное напря­жение применяемых диодов?

**Задача 9.** Определите ток, протекающий через нагрузочный резистор сопротивлением

***Rn =*** 140 Ом мостового выпрямителя, если на пер­вичную обмотку трансформатора поступает напряжение *U1max* = 160 В, коэффициент трансформации *К21* = 0.1. а сопротивление каждого полупроводникового диода в схеме равно 10 Ом.

**Задача 10.** Вычислите коэффициент пульсаций на выходе индуктивно­го фильтра индуктивностью 0.8 Гн, работающего на нагрузку со­противлением 50 Ом, если напряжение на вход фильтра поступает от двухполупериодного выпрямителя, питаемого переменным на­пряжением частотой 50 Гц.

**Задача 11.** Вычислите коэффициент пульсаций на выходе емкостного фильтра емкостью 200 мкФ, работающего на нагрузку сопротивле­нием 1 кОм. если напряжение на вход фильтра поступает от двухлолупериодного выпрямителя, питаемого переменным напряжением частотой 50 Гц.

**Задача 12.** Стабилитрон с идеальной вольт-амперной характеристикой используется в цепи параметрического стабилизатора напряжения. Известно, что *Uвx* = (16 ± 1,6) В,

*Uст* = 9 В, *Iст* = 10 мА, ток нагрузки Iн = 8 мА. Определите ток на входе стабилизатора Iвх и сопротивление балластного резистора *Rб.*

**Задача 13.** На рис. 11 соедините между собой в требующейся последо­вательности отдельные блоки структурной схемы выпрямительно­го устройства.

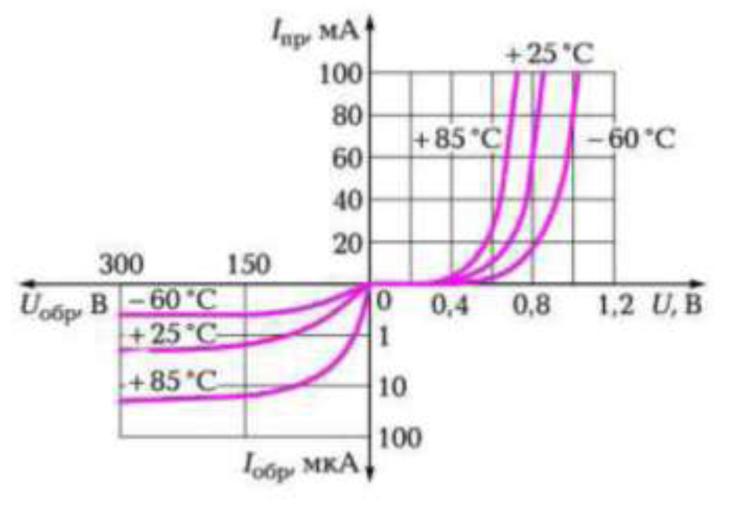


Рис. 10 Вольт-амперные характеристики диодного моста КЦ407А (к задачам 5 и 6)



Рисунок 11. Структурная схема выпрямительного устройства (к задаче 13)

**КОНТРОЛЬНЫЕ ТЕСТЫ**

1Укажите основные элементы выпрямительного устройства.

а) стабилизатор;

б) трансформатор;

в) диод;

г) усилитель;

д) фильтр;

е) генератор.

2. Укажите основные параметры выпрямителя.

а) выпрямленное напряжение;

б) входное сопротивление;

в) коэффициент пульсаций;

г) выпрямленный ток;

д) выходное сопротивление;

е) частота пульсаций.

3. Укажите основные преимущества двухполупериодного выпря­мителя по сравнению с однополупериодным.

а) большее выпрямленное напряжение;

б) меньшая амплитуда основной гармоники выпрямленного на­пряжения;

в| меньший коэффициент пульсаций;

г) большее напряжение на входе выпрямителя;

д) меньшее выходное сопротивление;

е) большая частота пульсаций.

4. Какие элементы могут использоваться в выпрямителях в каче­стве вентилей?

а) силовые диоды;

б) светодиоды;

в) высокочастотные диоды;

г) тиристоры;

д) фотодиоды;

е) опорные диоды при *U2вых < U*cт

5. Что лежит в основе работы индуктивного фильтра?

а) увеличение индуктивного сопротивления при возрастании частоты пульсаций;

б) падение переменной составляющей напряжения на индук­тивном сопротивлении;

в) значительно большее индуктивное сопротивление фильтра по сравнению с сопротивлением нагрузки;

г) увеличение индуктивного сопротивления при повышении индуктивности;

д) значительно меньшее индуктивное сопротивление фильтра по сравнению с сопротивлением нагрузки;

е) увеличение частоты пульсаций.

6. Что лежит в основе работы емкостного фильтра?

а) увеличение емкостного сопротивления при возрастании ча­стоты пульсаций;

б) шунтирование конденсатором сопротивления нагрузки;

в) значительно большее емкостное сопротивление фильтра по сравнению с сопротивлением нагрузки;

г) зарядка конденсатора в период открытия диода;

д) значительно меньшее емкостное сопротивление фильтра по сравнению с сопротивлением нагрузки;

е) разрядка конденсатора на нагрузку.

7. Что входит в состав компенсационного стабилизатора напряже­ния?

а) источник опорного напряжения;

б) регулирующий элемент;

в) индикатор питания;

г) сравнивающее устройство;

д) выпрямитель;

е) усилитель.