

Лабораторная работа № 1

«Применение полупроводниковых диодов в источниках питания»

Цель работы – исследование характеристик и параметров выпрямительных схем, сглаживающих фильтров и стабилизаторов напряжения.

Вторичные источники электропитания

Электронные приборы и устройства требуют для своего питания стабильного напряжения постоянного тока. В большинстве практических случаев такое напряжение получают из переменного напряжения сети с помощью вторичных источников питания, включающих силовой трансформатор Т, выпрямитель В, сглаживающий фильтр Ф и стабилизатор напряжения С (рис. 1).

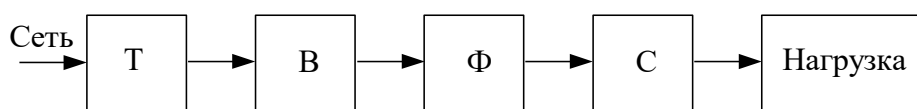


Рис. 1. Структурная схема вторичного источника электропитания

Силовой трансформатор Т предназначен для получения необходимой величины переменного напряжения из напряжения сети, а также для гальванической развязки с сетью; выпрямитель В (чаще всего полупроводниковые диоды) преобразует напряжение переменного тока в пульсирующее напряжение постоянного тока; сглаживающий фильтр Ф, подключаемый к выходу выпрямителя В, уменьшает пульсацию выходного напряжения.

Если к выходному напряжению предъявляются высокие требования по стабильности при колебаниях напряжения сети и тока нагрузки, то в источник питания вводят стабилизатор напряжения С.

На рис. 2, а представлена схема однополупериодного выпрямителя с полупроводниковым выпрямительным диодом VD . Как известно, вольт-амперная характеристика выпрямительного диода имеет вид, представленный на рис. 2.3. Для упрощения практических расчетов ее часто представляют на основе кусочно-линейной аппроксимации двумя участками прямых AB и BC , причем AB идет по оси абсцисс, а наклон BC определяется средним, прямым сопротивлением диода

$$\alpha = \arctg\left(\frac{U_{AC} - U_{AB}}{I_{AC}}\right) = \arctg(R_{\text{пр. ср}}),$$

где $R_{\text{пр. ср}}$ – среднее значение сопротивления прямой ветви ВАХ.

С целью дальнейшего упрощения иногда принимают $U_{AB} \approx 0$ и тогда точка B смещается в начало координат. Как следует из такой аппроксимации ВАХ, диод представляют элементом с односторонней проводимостью, его внутреннее сопротивление на участке AB стремится к бесконечности, а на участке BC сравнительно мало.

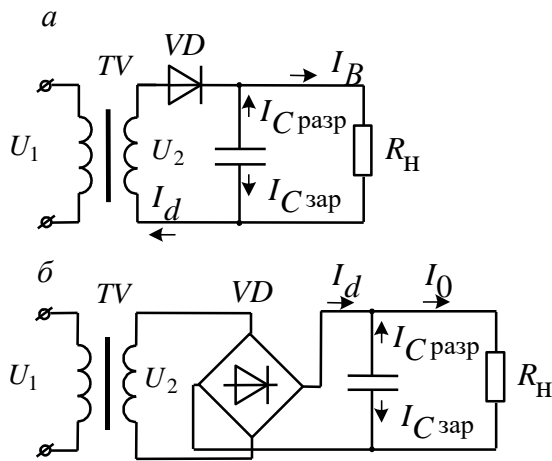


Рис. 2. Схемы выпрямителей:
 а – однополупериодного;
 б – двухполупериодного (мостового)

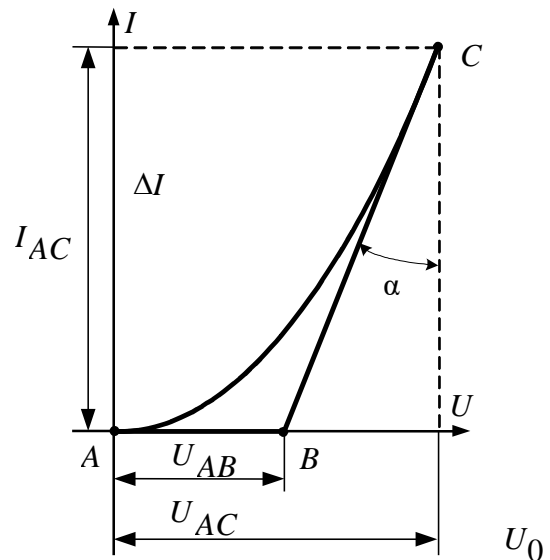


Рис. 3. Вольт-амперная характеристика диода

Поэтому при подаче на диод переменного напряжения он будет пропускать ток только в течение одного полупериода, когда на аноде диода будет положительный потенциал относительно катода.

В зависимости от схемы выпрямителя выпрямленное напряжение может быть либо однополупериодным, либо двухполупериодным, в зависимости от того, в течение одного полупериода или обоих полупериодов протекает ток в цепи нагрузки. В любом случае выпрямленное напряжение представляет собой более или менее пульсирующее напряжение. Величина пульсаций оценивается коэффициентом пульсаций

$$K_{\Pi} = \frac{U_{m1}}{U_0},$$

где U_{m1} – амплитуда основной гармоники переменной составляющей (гармоники с наименьшим порядковым номером); U_0 – постоянная составляющая выпрямленного напряжения на нагрузке (среднее значение за период).

- для однополупериодного выпрямителя $U_0 = 0,45U_2$;
- для двухполупериодного выпрямителя $U_0 = 0,9U_2$,

где U_0 – постоянная составляющая выпрямленного напряжения; U_2 – действующее значение переменного напряжения на входе выпрямителя; 0,45 и 0,9 – коэффициенты схемы, соответственно, однополупериодного и двухполупериодного выпрямителя.

Выходное сопротивление выпрямителя

$$R_{\text{вых}} = \frac{\Delta U_0}{\Delta I_0},$$

где ΔU_0 и ΔI_0 – изменения выпрямленного напряжения и выпрямленного тока, определенные из нагрузочной (внешней) характеристики выпрямителя

$$U_0 = f(I_0),$$

где I_0 – постоянная составляющая выпрямленного тока.

Для сглаживания пульсаций выпрямленного напряжения между выпрямителем и нагрузкой включают сглаживающий фильтр.

Простейшими сглаживающими фильтрами являются емкостный и индуктивный.

Качество сглаживания определяется коэффициентом сглаживания

$$k_{\text{сгл}} = \frac{k_{\text{п. вх}}}{k_{\text{п. вых}}},$$

где $k_{\text{п. вх}}$ и $k_{\text{п. вых}}$ – коэффициенты пульсаций на входе и выходе фильтра соответственно.

На рис. 4 приведены временные диаграммы напряжений и токов в однополупериодном выпрямителе (см. рис. 2, а), работающем с ёмкостным сглаживающим фильтром. В интервале времени $t_2 - t_1$, соответствующем изменению фазового угла $\omega t_2 - \omega t_1$, диод открыт и через него протекают токи нагрузки и заряда конденсатора C . Постоянная времени заряда конденсатора $t_{\text{зар}} = C(R_{\text{н}} \parallel R_{\text{пот}})$, где сопротивление потерь $R_{\text{пот}} = R_{\text{пр. ср}} + R_{\text{тр}}$ ($R_{\text{тр}}$ – активное сопротивление потерь трансформатора).

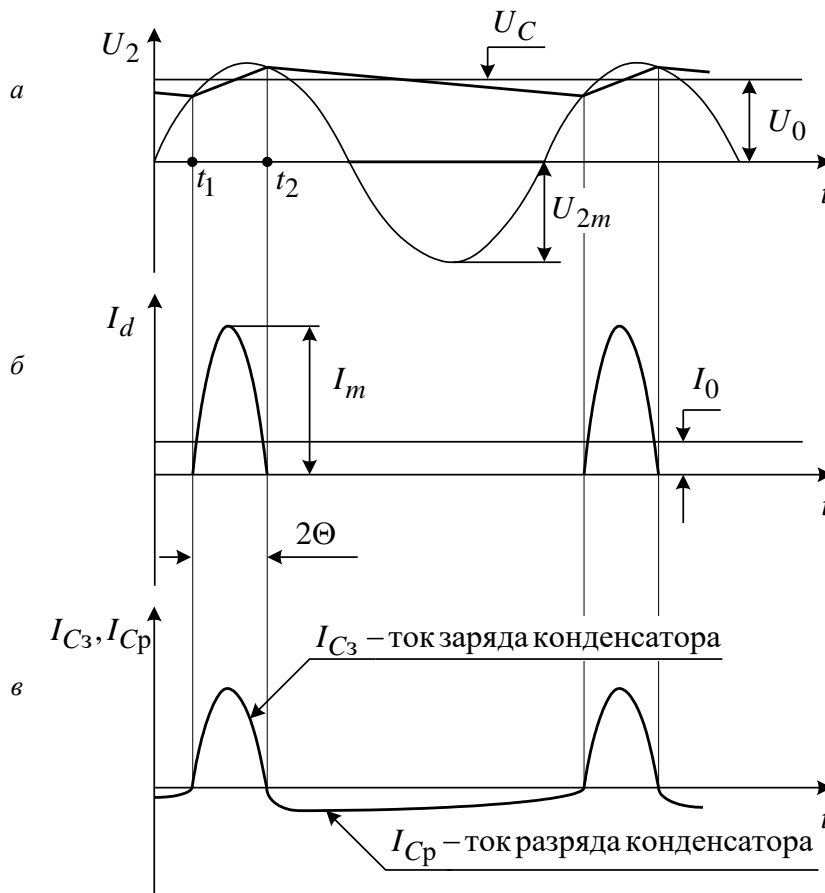


Рис. 4. Временные диаграммы, отражающие работу однополупериодного выпрямителя

Практически всегда $R_{\text{пот}} < R_{\text{н}}$ и $t_{\text{зар}} \approx CR_{\text{пот}}$. В остальную часть периода диод закрыт. В течение этого времени конденсатор разряжается $t_{\text{разр}} \approx C(R_{\text{н}} \parallel R_{\text{обр}} + R_{\text{тр}})$, где $R_{\text{обр}}$ – сопротивление обратно включенного диода.

Поскольку у правильно выбранных диодов их обратное сопротивление $R_{\text{обр}} \gg R_{\text{тр}} + R_{\text{н}}$, постоянная времени разряда $t_{\text{разр}} \approx CR_{\text{н}}$ и $t_{\text{зар}} \ll t_{\text{разр}}$, т. е. процессы заряда и разряда конденсатора C идут с разной скоростью. Следовательно, появляется постоянная составляющая напряжения на конденсаторе $U_C = U_0$ (см. рис. 4, а); на диоде обратное напряжение может достигать величины $U_{\text{обр}} = 2U_{2m}$, где U_{2m} – амплитуда напряжения на входе выпрямителя. Поэтому диод выбирают с $U_{\text{обр max}} > 2U_{2m}$. Фазовый угол, в течение которого диод открыт, обозначается $2\theta = \omega t_2 - \omega t_1$, где θ – угол отсечки; $\omega = 2\pi f$ (рад), t (сек). Чем меньше θ , тем больше U_0 и меньше пульсации. Поэтому угол отсечки θ желательно уменьшать.

В установившемся режиме площади под кривыми тока заряда конденсатора I_{C_3} и тока разряда I_{C_p} одинаковы (см. рис. 4, в). Основные расчетные параметры выпрямителя являются функциями угла отсечки θ либо коэффициента $A(\theta)$, где $A(\theta) = \text{tg}(\theta) - \theta$.

С помощью этого параметра определяют необходимые значения для расчета выпрямителей:

- I_m – максимальное значение импульса тока через диод;
- I_2 – действующее значение тока вторичной обмотки трансформатора;
- E_2 – действующее значение ЭДС вторичной обмотки.

С помощью коэффициента $A(\theta)$ при расчетах определяют и коэффициент пульсаций $K_{\text{п}}$.

На рис. 2, б приведена схема двухполупериодного мостового выпрямителя. Ее особенностью является то, что за период через диоды протекают два импульса тока: в положительном и в отрицательном полупериоде. Еще одной особенностью этой схемы является отсутствие в трансформаторе постоянного подмагничивания, так как ток вторичной обмотки в полупериодах протекает в противоположных направлениях.

Физические процессы при работе на емкостную нагрузку остаются такими же, как и в однополупериодном выпрямителе.

При работе выпрямителя с индуктивным сглаживающим фильтром (см. рис. 5) сглаживание пульсаций происходит потому, что на интервале нарастания тока нагрузки $(0 - t_1')$ в обмотке дросселя L возникает ЭДС самоиндукции $e_x = -L \frac{di}{dt}$,

препятствующая росту тока; в точке t_1' ток достигает максимума, а ЭДС самоин-

дукции становится равной нулю; а на интервале $t_1' - t_2'$ ток нагрузки убывает, а ЭДС самоиндукции меняет свой знак на противоположный и поддерживает убывающий ток за счет энергии, накопленной в магнитном поле дросселя на интервале нарастания тока ($0 - t_1'$). Таким образом, ток нагрузки, а следовательно, и напряжение нагрузки будут иметь более сглаженную форму.

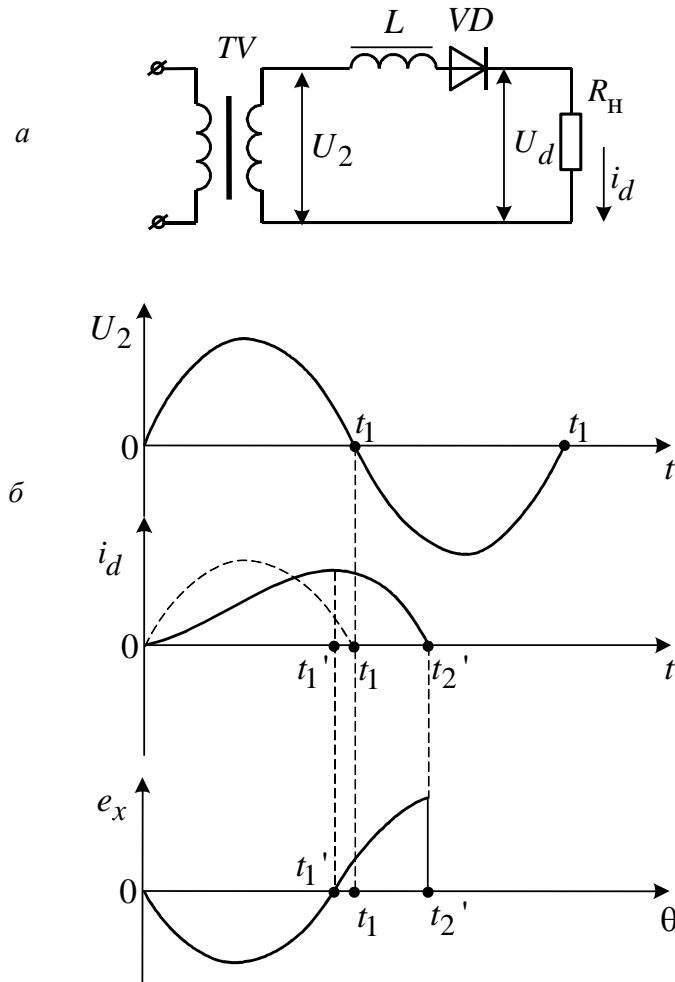


Рис. 5

Возможно объединение C -фильтра и L -фильтра в Γ -образный LC -фильтр, а также в многозвенную схему Π -образного фильтра (рис. 6, а, б).

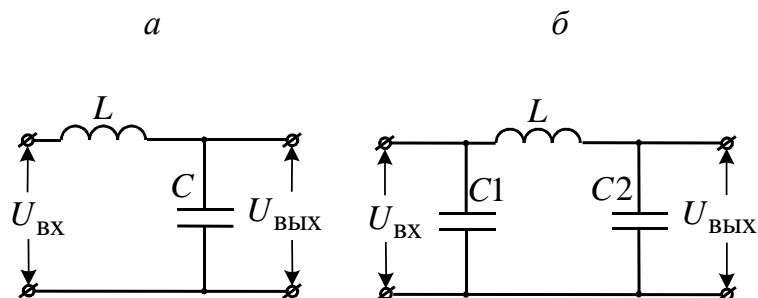


Рис. 6

Описание макета лабораторной установки.

Схема макета лабораторной установки представлена на рис. 8.

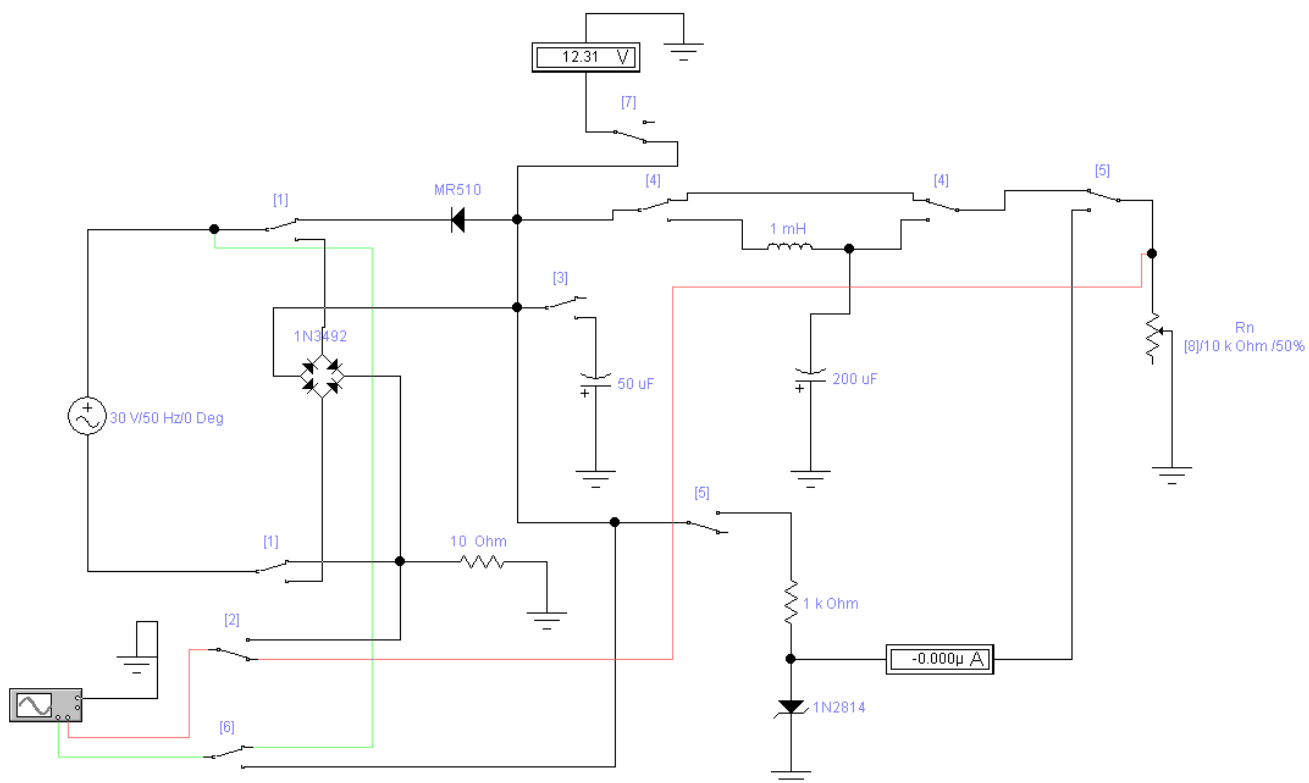


Рис. 8. Принципиальная схема лабораторной установки для исследования диодов в источниках питания

В зависимости от положения переключателя $SA1$ она может работать по однополупериодной или двухполупериодной мостовой схеме (активизация переключателя $SA1$ производится клавишей [1]). Подключение LC -фильтра (L , $C2$) осуществляется переключателем $SA2$, а емкостной нагрузки (конденсатор $C1$) – $SA3$. Активизация их работы производится соответственно клавишами [4] и [3].

Параметрический стабилизатор напряжения выполнен на стабилитроне $VD3$ и сопротивлении $R2$, выполняющего роль балластного сопротивления. Подключение стабилизатора к схеме осуществляется переключателем $SA4$ (активный уровень [5]).

В качестве датчика тока при оценке угла отсечки используется сопротивление $R1$ с номиналом 10 Ом. Функцию активной нагрузки выполняет переменное сопротивление R_H .

Задания на лабораторную работу

Задание 1: исследовать работу однополупериодной и двухполупериодной схем выпрямителя при активной и емкостной нагрузке:

1.1. Собрать с помощью переключателей $SA1$ – $SA4$ схему однополупериодного выпрямителя.

1.2. Установить сопротивление нагрузки 5 кОм и подать на вход выпрямителя переменное напряжение 30 В.

1.3. С помощью осциллографа, подключенного к соответствующим зажимам схемы зарисовать форму входного и выходного напряжений при активном и емкостном характере нагрузки.

1.4. Собрать с помощью коммутаторов схему двухполупериодного выпрямителя и повторить пункты 1.2 и 1.3 задания для данной схемы.

Задание 2: исследовать сглаживающее действие LC -фильтра при одно- и двухполупериодном выпрямлении. Определить коэффициент сглаживания $k_{\text{сгл}}$.

2.1. Собрать схему однополупериодного выпрямителя с LC -фильтром, работающего на активную нагрузку.

2.2. С помощью милливольтметра измерить амплитуду первой гармоники входного и выходного напряжения $U_{\text{м3}}$ и $U_{\text{м4}}$ на фильтре, а также постоянные составляющие входного U_{03} и выходного U_{04} напряжений для определения коэффициента пульсаций на входе и выходе фильтра ($k_{\text{п3}}$ и $k_{\text{п4}}$). Данные записать в табл. 1.

2.3. Собрать схему двухполупериодного выпрямителя с LC -фильтром.

2.4. Повторить пункты 2.2, 2.3. для данной схемы.

Таблица 1.

Однополупериодная схема		Двухполупериодная схема	
U_3 , В		U_3 , В	
U_4 , В		U_4 , В	
U_{03} , В		U_{03} , В	
U_{04} , В		U_{04} , В	
$U_{\text{м3}}$, В		$U_{\text{м3}}$, В	
$U_{\text{м4}}$, В		$U_{\text{м4}}$, В	
$k_{\text{п3}}$		$k_{\text{п3}}$	
$k_{\text{п4}}$		$k_{\text{п4}}$	
$k_{\text{сгл}}$		$k_{\text{сгл}}$	

Примечание. В табл. 1 напряжения U_3 , U_4 – действующие значения напряжений на входе и выходе фильтра (определяются при помощи вольтметра, для этого в его свойствах необходимо включить измерение переменного напряжения *Mode: AC*). Напряжения $U_{\text{м3}}$ и $U_{\text{м4}}$ – амплитудные значения напряжений на входе и выходе фильтра (определяются умножением U_3 и U_4 на $\sqrt{2}$). Напряжения U_{03} и U_{04} – постоянные составляющие выпрямленного напряжения (определяются при помощи вольтметра, для этого в его свойствах необходимо включить измерение постоянного напряжения *Mode: DC*).

Задание 3: снять нагрузочные характеристики одно- и двухполупериодного выпрямителей с LC -фильтром и без него:

3.1. Собрать схему однополупериодного выпрямителя без LC -фильтра.

3.2. Дискретно изменяя сопротивление нагрузки $R_{\text{н}}$ с помощью вольтметра и миллиамперметра измерить ток и напряжение на нагрузке. Результаты записать в табл. 2

3.3. Собрать схему однополупериодного выпрямителя с LC -фильтром и изменяя сопротивление нагрузки снять нагрузочную характеристику для этого режима.

3.4. Собрать схему двухполупериодного выпрямителя без LC -фильтра и снять нагрузочную характеристику для тех же значений сопротивления нагрузки.

3.6. Собрать схему двухполупериодного выпрямителя с LC -фильтром и изменяя сопротивление нагрузки снять нагрузочную характеристику.

Таблица 2

Однополупериодная схема							Двухполупериодная схема				
Без фильтра	U_H										
	I_H										
С филь- тром	U_H										
	I_H										

Примечание. Ток нагрузки I_H определяется как отношение выпрямленного напряжения (*Mode: DC*) к сопротивлению нагрузки, пренебрегая падением напряжения на фильтре.

Контрольные вопросы и задания

1. Укажите назначение выпрямителей.
2. Укажите назначение сглаживающих фильтров.
3. Дайте определение коэффициентов пульсации и сглаживания.
4. Как включаются емкостный и индуктивный фильтры относительно нагрузки и почему?
5. Укажите назначение стабилизатора напряжения.
6. Объясните вид осциллограммы выпрямленного напряжения однополупериодного выпрямителя.
7. Проведите сравнительную оценку схем двухполупериодных выпрямителей (с выводом средней точки и мостовой).