

Московский Государственный Технический Университет  
имени Н.Э.Баумана

## **ДИОДЫ В ИСТОЧНИКАХ ПИТАНИЯ**

Методические указания к выполнению лабораторных работ  
по курсу «Электроника и схемотехника»

## Лабораторная работа №1. «Диоды в источниках питания»

### Цель работы.

Исследование характеристик и параметров выпрямительных схем и стабилизаторов напряжения.

Продолжительность работы - 4 часа.

### Теоретическая часть.

#### 1. Источники вторичного 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 выпрямитель сетевого напряжения, сглаживающий фильтр и стабилизатор напряжения.

Обобщённая структурная схема вторичного источника питания, состоящая из трансформатора, выпрямительного блока, сглаживающего фильтра и стабилизатора, приведена на рис. 1, а.

Трансформатор  $Tr$  предназначен для согласования входного (сетевого)

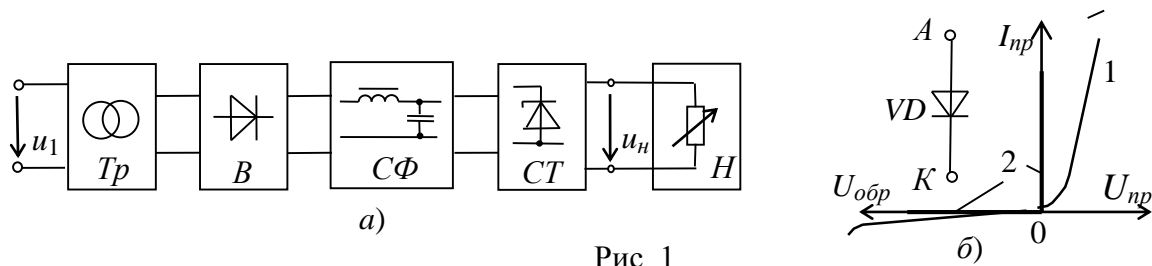


Рис. 1

напряжения  $u_1$  и выходного (выпрямленного)  $u_n$  напряжения нагрузки  $H$ . Блок выпрямителя  $B$  выполняет функцию выпрямления переменного тока. Для уменьшения пульсаций выпрямленного напряжения (тока) в цепи нагрузки  $H$  применяют сглаживающий фильтр  $CF$ . Во вторичный источник питания встраивают блок стабилизации  $CT$ , поддерживающий номинальный уровень выходного напряжения или тока нагрузки при колебаниях напряжения сети и при изменении сопротивления нагрузки. В зависимости от условий работы и предъявляемых требований к выпрямителю отдельные его узлы могут отсутствовать.

Преобразование переменного тока в постоянный осуществляется с помощью нелинейных элементов с несимметричной ВАХ, обладающих свойствами односторонней проводимости. Это свойство характерно для электровакуумных, ионных и полупроводниковых приборов. В данной лабораторной работе будут исследоваться выпрямители на полупроводниковых диодах, которые в настоящее время находят наибольшее применение.

Идеальный полупроводниковый диод не имеет потерь, его сопротивление в проводящем направлении от анода  $A$  к катоду  $K$  (рис. 1, б) равно нулю, в непроводящем – бесконечности, т. е. ВАХ имеет вид 2 в отличие от ВАХ 1 реального полупроводникового диода. Простейшие диоды являются неуправляемыми, но есть управляемые полупроводниковые приборы – тиристоры, транзисторы, электронные лампы, имеющие третий (управляющий) электрод, составляют широкий класс управляемых полупроводниковых приборов.

С учетом рассмотренных типов полупроводниковых приборов и предъявляемых требований к качеству напряжения питания нагрузочных устройств, строят различные схемы выпрямления, т. е. устройства, называемые выпрямителями.

Классификационные признаки выпрямителей:

- неуправляемые и управляемые;
- однополупериодные и двухполупериодные;
- однофазные и многофазные (чаще трехфазные);
- малой (до 1 кВт), средней (до 100 кВт) и большой (свыше 100 кВт) мощности;
- низкого (до 25 В), среднего (до 1000 В) и высокого (свыше 1000 В) напряжений.

Основные параметры выпрямителя:

- $U_{cp} (I_{cp})$  – среднее значение выпрямленного напряжения (тока) нагрузки;
- $U_{m.og}$  – амплитуда основной гармоники выпрямленного напряжения;
- $U_{m.og}/U_{cp}$  – коэффициент пульсаций выпрямленного напряжения;
- мощность трансформатора (в вольтамперах – В·А или в киловольтамперах – кВт·А);
- $I_{np.cp}$  – прямой средний ток полупроводникового диода;
- $U_{np.cp}$  – среднее напряжение (менее 2 В) на полупроводниковом диоде при токе  $I_{np.cp}$ ;
- $U_{обр.max}$  и  $I_{np.max}$  – максимальные допустимые обратное напряжение и прямой ток полупроводникового диода.

## 2. Выпрямители

Мощность однофазных выпрямителей переменного тока колеблется от десятков до нескольких сотен ватт. Основными схемами однофазных выпрямителей являются: однополупериодная и двухполупериодная (мостовая или со средней точкой).

*Однофазная однополупериодная схема* выпрямления (рис. 2, а) с активной нагрузкой является простейшей из известных схем выпрямления. Она состоит из силового трансформатора  $Tr$ , одного полупроводникового диода  $VD$  и нагрузки  $R_n$ . Первичная обмотка трансформатора включена в сеть переменного тока с напряжением  $u_1$ ; к вторичной обмотке с напряжением  $u_2$

последовательно подключены полупроводниковый диод  $VD$  и сопротивление нагрузки, резистор  $R_n$ .

Временные диаграммы напряжения  $u_2$  вторичной обмотки трансформатора,

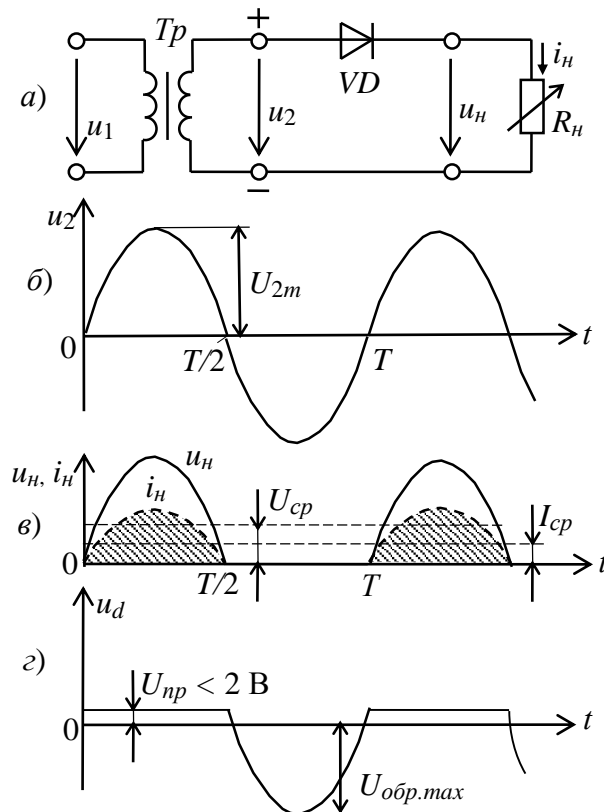


Рис. 2

напряжения на нагрузке  $u_n$  и на полупроводниковом диоде  $u_d$  представлены на рис. 2, б, в и г.

Ток  $i_n$  в нагрузке протекает только при положительной полуволне вторичного напряжения  $u_2$  трансформатора, т. е. когда напряжение на аноде диода положительное относительно катода. При этом падение напряжения на открытом диоде  $U_{np} < 2$  В. При отрицательной полуволне  $u_2$  диод закрыт, максимальное обратное напряжение на диоде  $U_{обр.мах} \approx U_{2m}$ .

Ток в нагрузке  $R_n$  протекает только в один полупериод синусоидального напряжения, отсюда название выпрямителя – однополупериодный.

Среднее выпрямленное напряжение и ток за период

Амплитуда  $U_{m.ог}$  основной гармоники выпрямленного напряжения, определенная из разложения в ряд Фурье,

Тогда коэффициент пульсаций

$$k_n = U_{m.ог} / U_{cp} = \pi / 2 \approx 1,57.$$

Однофазные полупроводниковые выпрямители используют для питания устройств, требующих малого тока и высокого напряжения, например, для питания электронно-лучевых трубок, трубок рентгеновских аппаратов и др.

К недостаткам этих выпрямителей следует отнести малый КПД; малое значение выпрямленного напряжения ( $U_{cp} \approx 1/3 U_{2m}$ ); высокий уровень пульсаций ( $k_n = 1,57$ ) и большое обратное напряжение на диоде ( $U_{обр} \approx U_{2m}$ ).

Мостовая схема двухполупериодного выпрямителя (рис. 3, а) состоит из трансформатора  $Tr$  и четырех полупроводниковых диодов, собранных по мостовой схеме.

Одна из диагоналей моста соединена с выводами вторичной обмотки трансформатора, вторая диагональ – с нагрузкой  $R_n$ . Положительным полюсом нагрузки является общая точка соединения катодов

полупроводниковых диодов, отрицательным – точка соединения анодов диодов. Временные диаграммы выпрямленного напряжения  $u_n$  и тока  $i_n$  приведены на рис. 3, б. В положительный полупериод синусоидального напряжения  $u_2$ , когда точка 1 находится под положительным, а точка 2 под отрицательным потенциалами, ток  $i_2'$  протекает через диод  $VD3$ , сопротивление нагрузки  $R_n$  и диод  $VD2$ . Диоды  $VD1$  и  $VD4$  в этот момент закрыты, так как находятся под обратным напряжением.

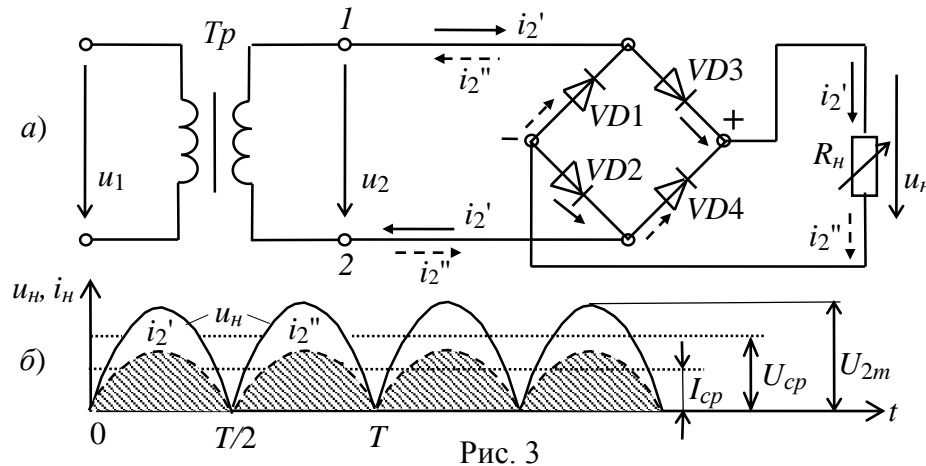


Рис. 3

Во второй полупериод, когда в точке 1 вторичной обмотки отрицательный потенциал, а в точке 2 – положительный, ток  $i_2''$  протекает через диод  $VD4$ , резистор  $R_n$  и диод  $VD1$  в направлении, указанном стрелками с одним штрихом. Диоды  $VD2$  и  $VD3$  в этот момент закрыты, как и в предыдущем случае, так как находятся под обратным напряжением.

Таким образом, токи  $i_2'$  и  $i_2''$ , протекающие через нагрузку  $R_n$ , совпадают по направлению. Кривые напряжения и тока на нагрузке (см. рис. 3, б) повторяют (при прямом напряжении на диодах  $U_{np} \approx 0$ ) по величине и форме выпрямленные полуволны напряжения и тока вторичной обмотки трансформатора. Они пульсируют от нуля до максимального значения  $U_{2m}$ .

Среднее значение выпрямленного напряжения и тока (постоянные составляющие):

Амплитуда основной (первой) гармоники выпрямленного напряжения, определенная из разложения в ряд Фурье,

$$U_{m.o2} = (4/3\pi)U_{2m} \approx 0,424U_{2m}.$$

Тогда коэффициент пульсаций

$$k_n = U_{m.o2}/U_{cp} = 2/3 \approx 0,667.$$

Обратное напряжение на вентиле  $U_{обр.max} = U_{2m}$ .

В двухполупериодной схеме выпрямления в сравнении с однополупериодной значительно лучше используется трансформатор, меньше коэффициент пульсаций ( $q_n \approx 0,67$ ), хотя его величина остается значительной.

## . СГЛАЖИВАЮЩИЕ ФИЛЬТРЫ

Требования к уровню пульсаций питающего электронную аппаратуру напряжения очень высокие: так, допустимый коэффициент пульсаций  $k_n$  для питания двухтактных усилителей напряжения не должен превышать 1...2 %, одноктактных усилителей 0,1...0,5 %, а усилителей промежуточной частоты – 0,01...0,05 %.

*Сглаживающие фильтры* предназначены для уменьшения пульсаций выпрямленного напряжения на нагрузке до значений, при которых не сказывается их отрицательное влияние на работу электронной аппаратуры. Они должны пропускать постоянную составляющую выпрямленного напряжения и заметно ослаблять его гармонические составляющие.

Действие фильтра по уменьшению пульсаций напряжения (тока) на нагрузке характеризуется *коэффициентом сглаживания*  $k_c$ , представляющим собой отношение коэффициента пульсаций на выходе выпрямителя  $k_n$  (до фильтра) к коэффициенту пульсаций на нагрузке  $k_{n1}$  (после фильтра), т. е.

$$k_c = k_n / k_{n1}.$$

Различают пассивные и активные сглаживающие фильтры. Принцип работы *пассивных LC-фильтров* основан на способности индуктивных катушек (дресселей) и конденсаторов изменять свои сопротивления при изменении частоты протекающего через них тока. В бездрессельных *активных* фильтрах роль индуктивных элементов выполняют обычно транзисторы, которые будут изучены позднее, сопротивления которых по переменному току при определенных режимах работы могут быть во много раз больше сопротивлений по постоянному току. Активные фильтры обеспечивают независимость коэффициента сглаживания  $k_c$  от тока нагрузки и имеют меньшие габариты по сравнению с LC-фильтрами, однако их

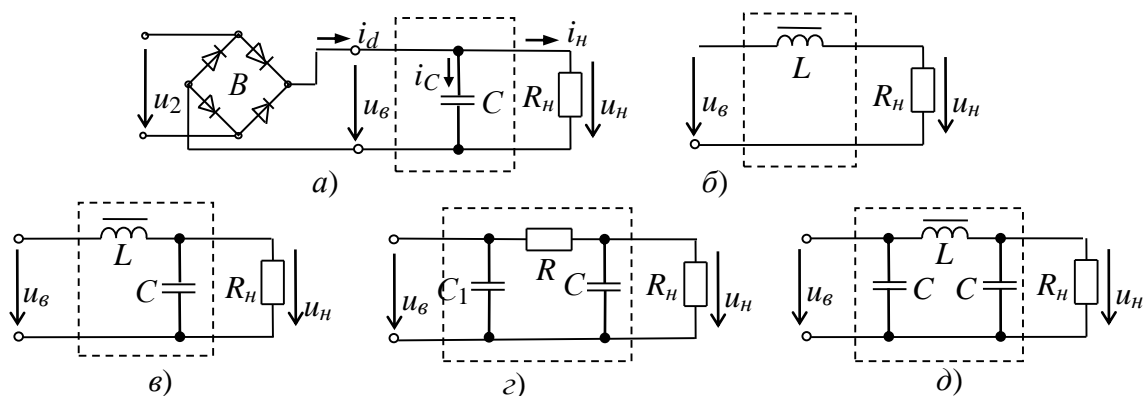


Рис. 4

параметры зависят от температуры.

На рис. 4 приведены схемы простейших однофазных сглаживающих LC-фильтров широкого применения. *Ёмкостный* фильтр  $C$  (рис. 4, а) включается параллельно высокоомной нагрузке  $R_n$ , что исключает прохождение через нагрузку высокочастотных гармонических составляющих тока.

Сглаживание пульсаций напряжения и тока нагрузки происходит за счёт периодической зарядки конденсатора  $C$  фильтра (когда напряжение  $u_{\theta} > u_C$ ) и последующей его разрядки на сопротивление нагрузки при  $u_{\theta} < u_C$ .

Временные диаграммы выпрямленного напряжения  $u_{\theta}$  двухполупериодного выпрямителя и напряжения на нагрузке  $u_n$ , поясняющие принцип действия  $C$ -фильтра, изображены на рис. 5, а.

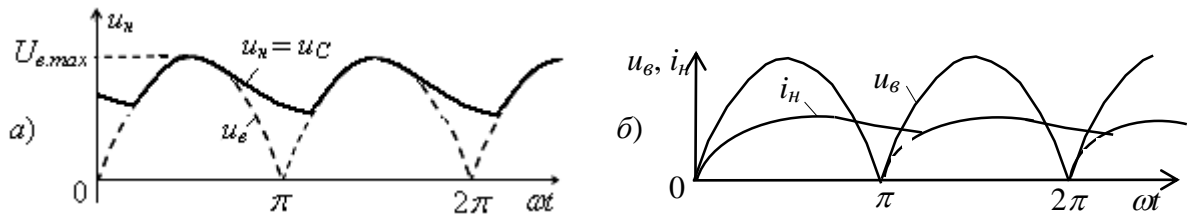


Рис. 5

Требуемая ёмкость конденсатора фильтра при заданном коэффициенте пульсаций  $k_{n1}$ :

– для однополупериодной схемы выпрямления

$$C \geq 2/(k_{n1} \omega R_n);$$

– для двухполупериодной схемы выпрямления

$$C \geq 1/(2k_{n1} \omega R_n),$$

где  $\omega$  – угловая частота напряжения  $u_2$  трансформатора.

Коэффициент пульсаций обычно выбирается в диапазоне  $k_{n1} = 0,01 \dots 0,1$ .

Пусть  $k_{n1} = 0,1$  и  $R_n = 320$  Ом. Тогда  $C \geq 2/(0,1 \cdot 314 \cdot 320) \approx 200$  мкФ для однополупериодной и  $C \geq 50$  мкФ для двухполупериодной схемы выпрямления.

Одноэлементный  $L$ -фильтр (рис. 4, б) включают последовательно с нагрузкой  $R_n$ . При нарастании выпрямленного напряжения и тока нагрузки  $i_n$  магнитная энергия запасается в индуктивном элементе  $L$  (дросселе). При снижении напряжения  $u_{\theta}$  ток в нагрузке поддерживается за счёт накопленной энергии в дросселе. Коэффициент сглаживания  $L$ -фильтра

$$k_c = X_L / R_n.$$

Из этого выражения следует, что в мощных выпрямителях, когда сопротивление  $R_n$  мало,  $L$ -фильтр действует наиболее эффективно.

Требуемая индуктивность дросселя при заданном коэффициенте  $k_c$

$$L \geq k_c R_n / (n \omega),$$

где  $n$  – номер основной гармоники выпрямленного напряжения  $u_{\theta}$ .

Например, при заданном коэффициенте  $k_c = 10$  и  $R_n = 10$  Ом требуемая индуктивность дросселя  $L \geq k_c R_n / (n \omega) = 10 \cdot 10 / 314 = 0,32$  Гн для однополупериодной и  $L \geq 0,16$  Гн для двухполупериодной схемы выпрямления.

В  $LC$ -фильтре (рис. 4, в) конденсатор шунтирует нагрузку по переменной составляющей ( $X_C = 1/(n \omega C)$ ;  $X_C \ll R_n$ ), а сопротивление дросселя  $X_L$  по

переменной составляющей должно быть значительно больше сопротивления  $Z_{нар}$  параллельно соединенных элементов  $R_n$  и  $X_C$ . Приняв  $Z_{нар} = X_C$ , коэффициент сглаживания  $LC$ -фильтра

$$k_c = n^2 \omega^2 LC - 1.$$

Тогда для расчёта  $L$  и  $C$  получаем

$$LC = (1 + k_c) / (n\omega)^2.$$

Из этого равенства находят  $L$ , задаваясь  $C$ , или находят  $C$ , задаваясь  $L$ .

Если при расчёте  $LC$ -фильтра мощного выпрямителя получают слишком большие значения индуктивности ( $L > 100$  Гн) дросселя и ёмкости ( $C > 150$  мкФ) конденсатора, то применяют двухзвенный  $CRC$ -фильтр: одноэлементное  $C_1$ -звено и  $\Gamma$ -образное  $RC$ -звено (рис. 4, з), у которого

где  $k_{c1}$  и  $k_{c2}$  – соответственно коэффициенты сглаживания первого и второго звеньев.

Активное сопротивление  $R$  и ёмкость  $C$   $RC$ -фильтра:

Для получения лучшего сглаживания выходного напряжения после  $C$ -фильтра обычно включают дополнительное  $\Gamma$ -образное  $LC$ -звено. Получившийся  $\Pi$ -образный  $CLC$ -фильтр (рис. 4, д) рассчитывают как двухзвенный:

Пусть  $R_n = 320$  Ом;  $k_{c1} = 15,7$  и  $k_{c2} = 10$ . Тогда для однополупериодной схемы выпрямления  $C_1 = 2k_{c1} / (1,57\omega R_n) = 200$  мкФ, а  $(1 + 10) / (1 \cdot 314)^2 \approx 111,6 \cdot 10^{-6} \text{ с}^2$ .  
 $\approx 1,12$  Гн.

Для двухполупериодной схемы выпрямления при  $C_2 = 100$  мкФ требуемая индуктивность дросселя  $L \approx 0,28$  Гн.

## 4. СТАБИЛИТРОН

*Стабилитрон* – это сильно или слабо легированный полупроводниковый диод, на котором напряжение сохраняется с определённой точностью при изменении протекающего через него тока в заданном диапазоне. Стабилитроны в основном используют в параметрических стабилизаторах напряжения (рис. 6, а), в которых максимальное напряжение на нагрузке  $U_n$

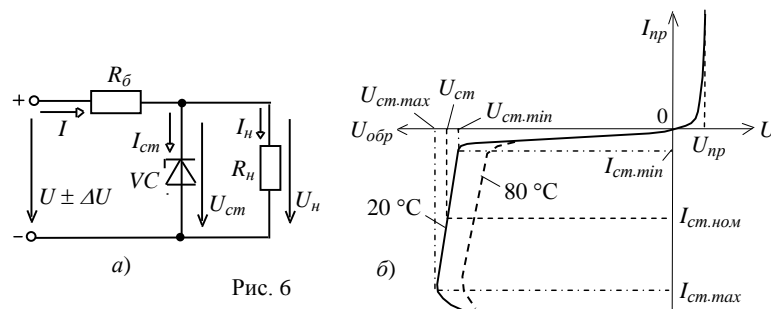


Рис. 6



ограничено некоторой заданной величиной.

Рабочим участком ВАХ стабилитрона  $VC$  является участок обратной её ветви, соответствующий области обратного электрического пробоя  $p$ - $n$ -перехода (рис. 6, б) и ограниченный минимальным  $I_{cm.min}$  и максимальным  $I_{cm.max}$  значениями тока.

При работе в этой области обратное напряжение на стабилитроне  $U_{cm}$  незначительно изменяется при относительно больших изменениях тока стабилитрона  $I_{cm}$ . Поэтому при изменении входного напряжения

$$U \pm \Delta U = \pm U_{\delta} + U_{cm}$$

изменяется в основном напряжение  $\pm U_{\delta} = R_{\delta} I$  на балластном резисторе  $R_{\delta}$ , где входной ток  $I = I_{cm} + I_n$  (см. рис. 6, а).

При прямом включении стабилитрон  $VC$  может рассматриваться как обычный диод, однако в диодах с повышенной концентрацией примесей напряжение  $U_{np} \approx 0,3 \dots 0,4$  В мало изменяется при значительных изменениях прямого тока  $I_{np}$  (см. рис. 6, б). Прибор, в котором используется прямая ветвь в схемах стабилизации напряжения, называют *стабистором*.

Основными параметрами стабилитрона являются:

- $U_{cm} = 3 \dots 180$  В – напряжение на стабилитроне;
- $R_{\delta} = \frac{\Delta U_{cm}}{\Delta I_{cm}} = \frac{U_{cm.max} - U_{cm.min}}{I_{cm.max} - I_{cm.min}}$  – динамическое сопротивление на участке стабилизации;
- $I_{cm.min}$  и  $I_{cm.max}$  – минимальный и максимальный токи стабилизации (номинальный ток  $I_{cm.ном} = (I_{cm.max} + I_{cm.min})/2$  от 5 мА до 5 А);
- $TKH\% = \frac{\Delta U_{cm}}{\Delta T} 100 = 0,3 \dots 0,4$  %/град – температурный коэффициент напряжения на участке стабилизации, характеризующий относительное изменение напряжения стабилизации, вызванное изменением температуры на 1 °С при постоянном токе, протекающем через стабилитрон.

### Задания по выполнению лабораторной работы

**Задание 1.** Собрать схему бестрансформаторного однофазного мостового выпрямителя (рис. 7), согласно варианту (на с.14).

1.1. Подготовить схему к проведению исследований. С этой целью:

- **установить** параметры компонентов схемы, указанные на рис. 7: амплитуду ЭДС источника напряжения  $E_{1m}$ , в соответствии с вариантом, частоту ЭДС  $f = 50$  Гц;
- **установить** режим **АС** для работы вольтметра **V** и режим **ДС** для работы вольтметра **V1** и амперметра **A1**;

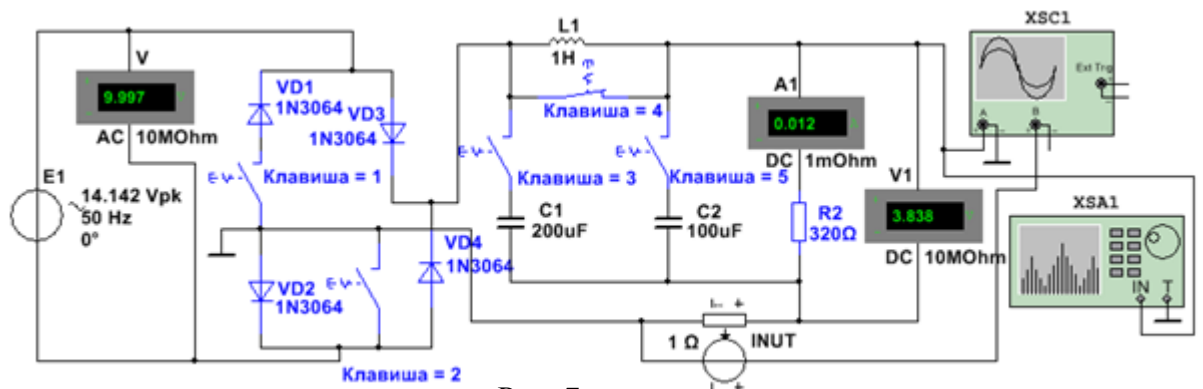


Рис. 7

– **разомкнуть** клавиши **1, 3 и 5** и замкнуть клавиши **2 и 4**, сформировав, тем самым, **однополупериодный** выпрямитель при работе на нагрузку **R2** без сглаживающего фильтра с параметрами варианта;

– **подключить** к соответствующим узлам схемы входы двухлучевого осциллографа **XSC1** (для наблюдения и регистрации формы напряжения нагрузки  $u_n$  и формы напряжения с выхода источника **INUT**, идентичной форме тока  $i_e$  на выходе выпрямительного блока при коэффициенте передачи  $k = 1$  Ом) и спектроанализатора **XSA1** (для просмотра спектра напряжения  $u_n$  и измерения амплитуды  $U_{m.og}$  его основной гармоники). Ориентировочные параметры настройки приборов **XSC1** и **XSA1** приведены на рис. 8;

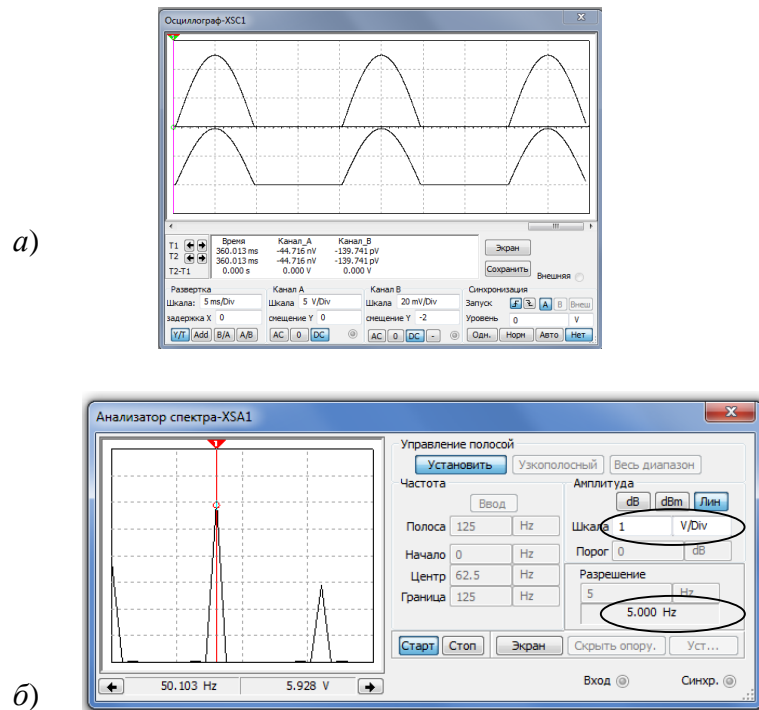


Рис. 8

– сделать скриншот изображения схемы выпрямителя (см. рис. 7) на страницу отчёта;

1.2. **Провести** моделирование процессов, происходящих в однополупериодном выпрямителе. Для этого:

– **запустить** программу Multisim и после окончания моделирования спектра  $U_{mk}(f)$  напряжения нагрузки  $u_n$ , т. е. после вывода на экран прибора **XSA1** значения **Разрешение частоты** = 2...5 Гц (см. обведенное эллипсом значение 5 Hz на рис. 8, б), **занести** показание ( $U_{cp}$ ) вольтметра **V1** и показание ( $I_{cp}$ ) амперметра **A1** в первую строку табл. 1;

Т а б л и ц а 1

Тип выпрямителя	Установлено	Измерено				Рассчитано	
		$U_{2m}$ , В	$U_{cp}$ , В	$I_{cp}$ , мА	$U_{m.ог}$ , В	Коэффициент пульсации	Коэффициент сглаживания
Однополупериодный – без фильтра	Клавиши <b>4, 2</b> замкнуты; клавиши <b>1, 3</b> и <b>5</b> разомкнуты					$k_n =$	Нет
– с С-фильтром	Клавиши <b>4, 2</b> и <b>3</b> замкнуты; клавиши <b>1</b> и <b>5</b> разомкнуты	—				$k_{n1} =$	$k_{c1} = k_n/k_{n1} =$
– с CLC-фильтром	Клавиши <b>1</b> и <b>4</b> разомкнуты; клавиши <b>2, 3</b> и <b>5</b> замкнуты	—				$k_{n2} =$	$k_{c2} = k_n/k_{n2} =$

– **здать** на экране осциллографа **XSC1** размер осциллограмм напряжения  $u_n$  и тока  $i_b$ , равные 0,4...0,5 шкалы по вертикали и не более двух-трёх периодов их изменения по горизонтали; **установить** визирную линию на максимальное значение  $U_{2m}$  напряжения  $u_n$  и **занести** его значение в табл. 1; сделать скриншот изображения осциллограммы напряжения  $u_n$  на страницу отчёта (см. рис. 8, а и рис. 9, а);

– **установить** визирную линию на экране спектроанализатора **XSA1** на частоте основной гармоники выпрямленного напряжения  $f = 50$  Гц (см. рис. 8, б) и **занести** значение амплитуды основной гармоники  $U_{m.ог}$  в табл. 1. Вертикальный размер амплитуд напряжения на спектральной диаграмме  $U_{mk}(f)$  можно регулировать с помощью закладки **Амплитуда** (см. обведённое эллипсом заданное значение 1 В/дел на рис. 8, б);

– **отключить** процесс моделирования;

– **замкнуть** клавишу **3**, подключив, тем самым, С1-фильтр к нагрузке **R2**. **Запустить** программу Multisim и **выполнить** измерительные процедуры, перечисленные в п. 1.2. Осциллограммы напряжения  $u_n$  и тока  $i_b$  однополупериодного выпрямителя с С-фильтром приведены на рис. 9, б;

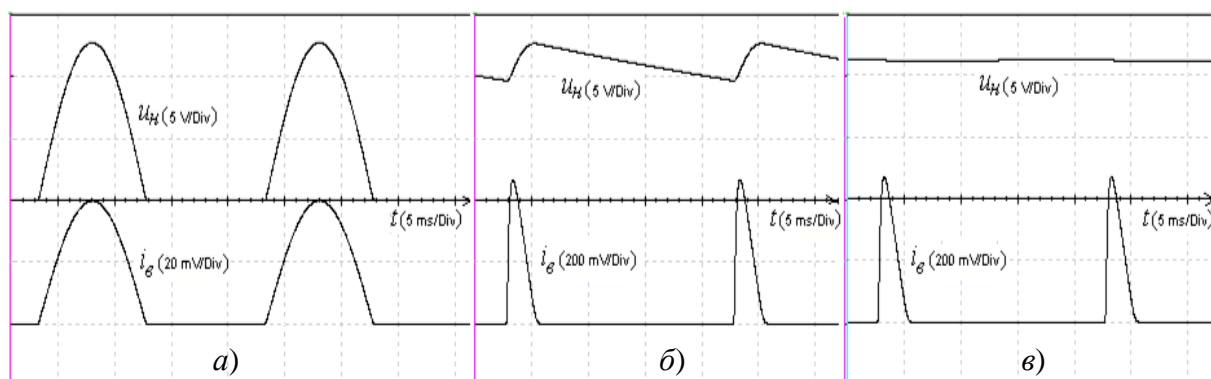


Рис. 9

- **отключить** процесс моделирования;
- **разомкнуть** клавишу **4** и **замкнуть** клавишу **5**, сформировав, тем самым, *CLC*-фильтр и подключив его к нагрузке **R2**. **Запустить** программу Multisim и **выполнить** необходимые измерительные процедуры, перечисленные в предыдущих абзацах п. 1.2. Осциллограммы напряжения  $u_n$  и тока  $i_v$  однополупериодного выпрямителя с *CLC*-фильтром показаны на рис. 9, в;
- **рассчитать** коэффициенты пульсаций  $k_n$ ,  $k_{n1}$ ,  $k_{n2}$  выходного напряжения и коэффициенты сглаживания  $k_{c1}$  и  $k_{c2}$  однополупериодного выпрямителя; **занести** их значения в табл. 1;

**Задание 2.** Исследовать схему двухполупериодного (мостового) неуправляемого выпрямителя при работе без сглаживающего фильтра и с фильтрами *C*- и *CLC*-типа. С этой целью, замкнув клавишу 1 и разомкнув клавишу 2, **провести** исследования, аналогичные исследованиям, описанным в Задании 1:

Т а б л и ц а 2

Тип выпря- мителя	Установ- лено	Измерено				Рассчитано	
		$U_{2m}$ , В	$U_{cp}$ , В	$I_{cp}$ , мА	$U_{m.ог}$ , В	Коэффи- циент пульсаци и	Коэффи- циент сглаживания
Двухполу- периодный – без фильтра	Клавиши <b>4, 1</b> замкнуты; клавиши <b>2, 3</b> и <b>5</b> разомкнуты					$k_n =$	Нет
– с <i>C</i> -филь- тром	Ключи <b>4, 3</b> и <b>1</b> замкнуты; ключи <b>2</b> и <b>5</b> разомкнуты	—				$k_{n1} =$	$k_{c1} = k_n/k_{n1} =$
– с <i>CLC</i> - фильтром	Ключи <b>2</b> и <b>4</b> разомкнуты; ключи <b>1, 3</b> и <b>5</b> замкнуты	—				$k_{n2} =$	$k_{c2} = k_n/k_{n2} =$

- сделать скриншоты трех осциллограмм выходного напряжения  $u_n$  (без фильтра и с фильтрами *C*- и *CLC*-типа) (см. рис. 10) на страницу отчёта;

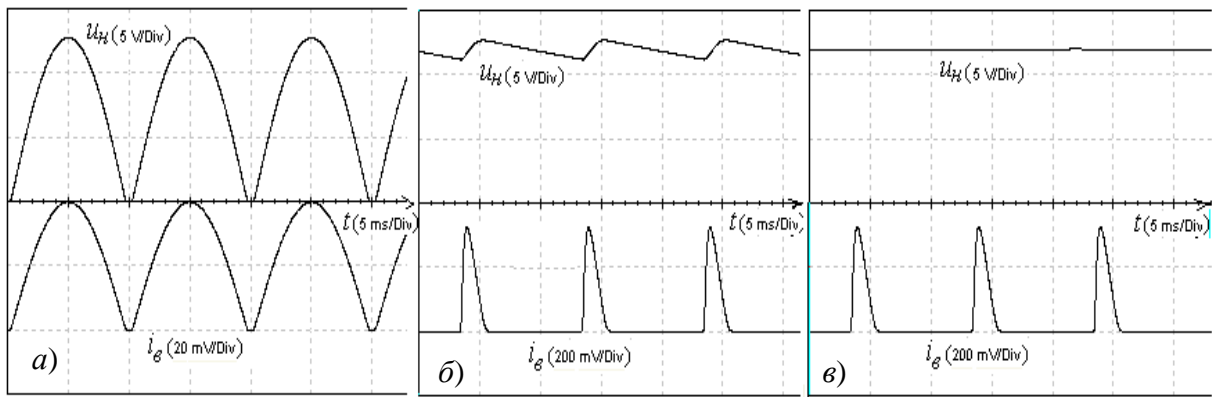


Рис. 10

– **записать** показания приборов **V1**, **A1**, **XSC1** и **XSA1** в табл. 2 при выполнении процессов моделирования, учитывая, что основная гармоника схемы двухполупериодного выпрямления имеет частоту  $f = 100$  Гц.

**Задание 3.** Собрать схему испытания стабилизатора, рис. 11. Согласно варианту задания (на с.14-15) **выбрать** в библиотеке **Zener** тип стабилизатора **VC**. Взять сопротивление нагрузки  $R_H$  для своего варианта, а также справочные данные на стабилизатор и **рассчитать**  $R_θ$ . **Установить** параметры элементов схемы.

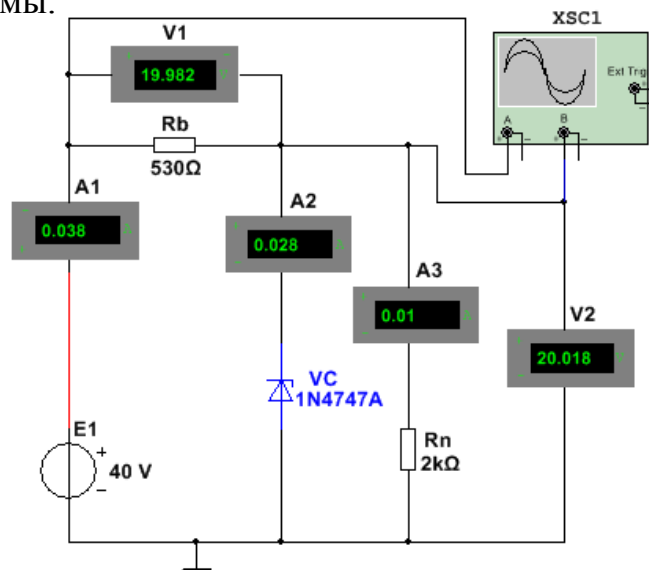


Рис. 11

**Установить:** ЭДС источника  $E_1$  принять равным показанию вольтметра **V1** после включения CLC фильтра, из Задания 2.

**Запустить** программу Multisim. **Скопировать** изображение схемы (рис. 11) на страницу отчёта;

– изменяя входное напряжение  $U_{вх}$  на 10 % (от 0,9 до 1,1 $E_1$ ), **занести** показания приборов **V2** и **A2** в табл. 2 и **определить**:

– изменение напряжения на нагрузке (в процентах) по формуле

$$\Delta U\% = \frac{U_{cm2} - U_{cm1}}{U_{cm.ном}} 100,$$

где  $U_{cm.ном} = (U_{cm2} + U_{cm1})/2$ ;

– динамическое сопротивление стабилитрона

$$R_{ст.дин} = \frac{\Delta U_{ст}}{\Delta I_{ст}} = \frac{U_{cm2} - U_{cm1}}{I_{cm2} - I_{cm1}}.$$

Рассчитанные значения  $\Delta U\%$  и  $R_{ст.дин}$  занести в табл. 2;

Т а б л и ц а 2

Вариант	Тип стабилитрона	$U_{ст.мин}$ В	$I_{ст.мин}$ , мА	$U_{ст.ном}$ , В	$U_{вх} =$ $= 0,9E_1$ , В		$U_{вх} =$ $= 1,1E_1$ , В	
					$U_{cm1}$ , В	$I_{cm1}$ , мА	$U_{cm2}$ , В	$I_{cm2}$ , мА
					...	...	...	...
...	...	...	...	...	$\Delta U_{ст}$ , %		$R_{ст.дин}$ , Ом	
					...		...	

Варианты для заданий 1 и 2:

Вариант	$U_{вх}(В)$	$C_1$ (мкФ)	$L_1(Н)$	$C_2$ (мкФ)	$R_2(Ом)$
1, 12, 23	30	100	1	200	1000
2, 13, 24	32	200	1.3	200	900
3, 14, 25	28	50	1.5	100	800
4, 15, 26	26	100	0.9	100	2000
5, 16, 27	34	150	1.2	200	1700
6, 17, 28	18	50	1.1	150	1000
7, 18, 29	12	100	1.4	100	2000
8, 19, 30	12	200	2	200	900
9, 20, 31	15	50	2.1	100	1000
10, 21, 32	15	150	2.2	200	2000
11, 22, 33	36	100	2.3	100	3200

Варианты для задания 3:

Вариант	$E_1=U_{ср.}(В)$ , зад.2, с CLC - фильтром	$U_{ст}(В)$	$R_H(Ом)$
1, 12, 23	$U_{ср.}(В)$ , зад.2	13(1N4743A)	1000
2, 13, 24	$U_{ср.}(В)$ , зад.2	15(1N4744A)	900
3, 14, 25	$U_{ср.}(В)$ , зад.2	16(1N4745A)	800
4, 15, 26	$U_{ср.}(В)$ , зад.2	18(1N4746A)	2000
5, 16, 27	$U_{ср.}(В)$ , зад.2	20(1N4747A)	1700

6, 17, 28	U <sub>ср.</sub> (В), зад.2	10(1N4740A)	1000
7, 18, 29	U <sub>ср.</sub> (В), зад.2	6.2(1N4735A)	2000
8, 19, 30	U <sub>ср.</sub> (В), зад.2	6.8(1N4736A)	900
9, 20, 31	U <sub>ср.</sub> (В), зад.2	9.1(1N4739A)	1000
10, 21, 32	U <sub>ср.</sub> (В), зад.2	5.6(1N4734A)	2000
11, 22, 33	U <sub>ср.</sub> (В), зад.2	22(1N4748A)	3200

### **КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ**

1. Как работают однополупериодный и двухполупериодный мостовой выпрямители?
2. Каковы основные параметры выпрямителей?
3. На чем основана работа LC –фильтра и что такое коэффициент сглаживания?
4. Как определяется коэффициент стабилизации стабилизатора?
5. Каково назначение трансформатора в выпрямительных схемах?
6. Объясните работу параметрического стабилизатора.
7. В чем отличие работы диода в однополупериодной и двухполупериодной мостовой схемах?
8. Если стабилитроны, с одинаковым номинальным током стабилизации, включить последовательно, что при этом изменится?
9. Назовите основные параметры выпрямителей.

### **СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЁТА**

1. Наименование и цель работы.
2. Перечень приборов, использованных в экспериментах, с их краткими характеристиками.
3. Изображения электрических схем испытания выпрямителей и осциллограмм напряжения  $u_H$  на нагрузке.
4. Таблицы результатов измерений и расчётов.
5. Расчётные формулы.
6. Выводы по работе.

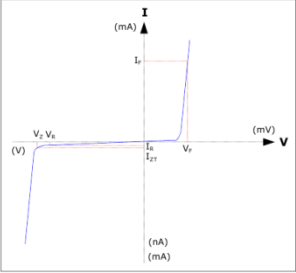
Справочные данные на стабилитроны приведены в Таблице 3.

Таблица 3

Electrical Symbol Definition

Symbol	Parameter
$V_Z$	Reverse Zener Voltage @ $I_{ZT}$
$I_{ZT}$	Reverse Current
$Z_{ZT}$	Maximum Zener Impedance @ $I_{ZT}$
$I_{ZK}$	Reverse Current
$Z_{ZK}$	Maximum Zener Impedance @ $I_{ZK}$
$I_R$	Reverse Leakage Current @ $V_R$
$V_R$	Breakdown Voltage
$I_F$	Forward Current
$V_F$	Forward Voltage @ $I_F$

Typical Characteristics



Type	$V_{Zom}^{1)}$ V	$I_{ZT}$ mA	for 0	$r_{ZT}$ 0	$r_{ZK}$ at mA	$I_R$ at $\mu A$	$V_R$ V
1N4728A	3.3	76	<10	<400	1	<100	1
1N4729A	3.6	69	<10	<400	1	<100	1
1N4730A	3.9	64	<9	<400	1	<50	1
1N4731A	4.3	58	<9	<400	1	<10	1
1N4732A	4.7	53	<8	<500	1	<10	1
1N4733A	5.1	49	<7	<550	1	<10	1
1N4734A	5.6	45	<5	<600	1	<10	2
1N4735A	6.2	41	<2	<700	1	<10	3
1N4736A	6.8	37	<3.5	<700	1	<10	4
1N4737A	7.5	34	<4.0	<700	0.5	<10	5
1N4738A	8.2	31	<4.5	<700	0.5	<10	6
1N4739A	9.1	28	<5.0	<700	0.5	<10	7
1N4740A	10	25	<7	<700	0.25	<10	7.6
1N4741A	11	23	<8	<700	0.25	<5	8.4
1N4742A	12	21	<9	<700	0.25	<5	9.1
1N4743A	13	19	<10	<700	0.25	<5	9.9
1N4744A	15	17	<14	<700	0.25	<5	11.4
1N4745A	16	15.5	<16	<700	0.25	<5	12.2
1N4746A	18	14	<20	<750	0.25	<5	13.7
1N4747A	20	12.5	<22	<750	0.25	<5	15.2
1N4748A	22	11.5	<23	<750	0.25	<5	16.7
1N4749A	24	10.5	<25	<750	0.25	<5	18.2
1N4750A	27	9.5	<35	<750	0.25	<5	20.6
1N4751A	30	8.5	<40	<1000	0.25	<5	22.8
1N4752A	33	7.5	<45	<1000	0.25	<5	25.1
1N4753A	36	7.0	<50	<1000	0.25	<5	27.4
1N4754A	39	6.5	<60	<1000	0.25	<5	29.7
1N4755A	43	6.0	<70	<1500	0.25	<5	32.7
1N4756A	47	5.5	<80	<1500	0.25	<5	35.8
1N4757A	51	5.0	<95	<1500	0.25	<5	38.8
1N4758A	56	4.5	<110	<2000	0.25	<5	42.6
1N4759A	62	4.0	<125	<2000	0.25	<5	47.1
1N4760A	68	3.7	<150	<2000	0.25	<5	51.7
1N4761A	75	3.3	<175	<2000	0.25	<5	56