

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Локтионова Оксана Геннадьевна
Должность: проректор по учебной работе
Дата подписания: 29.12.2021 13:46:06
Уникальный программный ключ:
0b817ca911e6668abb13a5d426d39e5f1c11eabbf73e943df4a4851fda56d089

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Юго-Западный государственный университет»
(ЮЗГУ)

Кафедра космического приборостроения и средств связи

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе

О.Г.Локтионова

2017 г.



**ПОСТРОЕНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ ВЫПРЯМИТЕЛЕЙ НА
ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ДИОДАХ**

Методические указания по выполнению лабораторных работ
для студентов специальностей 10.05.02, 10.03.01, 11.03.02, 11.03.03

Курск 2017

УДК 621.38

Составитель В.Н. Усенков

Рецензент

Кандидат технических наук, профессор *В.А. Шлыков*

Построение и исследование выпрямителей на полупроводниковых диодах: методические указания по выполнению лабораторных работ / Юго-Зап. гос. ун-т; сост.: В.Н. Усенков. - Курск, 2017. - 25 с.: ил. 12, табл. 2, прилож. 1. - Библиогр.: с. 23.

Приводятся краткие сведения по применению средств исследования электронных устройств в среде EWB и варианты заданий на исследование свойств выпрямителей на полупроводниковых диодах при работе на активную и емкостную нагрузку.. Приводятся рекомендации по оформлению отчетов и контрольные вопросы.

Методические указания соответствуют требованиям программы, утвержденной учебно-методическим объединением по специальностям автоматики и электроники (УМО АЭ).

Предназначены для студентов специальностей 10.05.02, 10.03.01, 11.03.02, 11.03.03 дневной и заочной форм обучения.

Текст печатается в авторской редакции

Подписано в печать . Формат 60x84 1/16.
Усл.печ.л. 1,45 . Уч.изд.л. 1,32 . Тираж 100 экз. Заказ. Бесплатно.
Юго-Западный государственный университет.
305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94.

Содержание

1 Основные сведения о моделировании электронных схем в среде Electronics WorkBench	4
2 Основные расчетные соотношения для выпрямителей на полупроводниковых диодах	7
3 Исследование выпрямителей на полупроводниковых диодах, работающих на активную нагрузку	12
4 Исследование выпрямителей на полупроводниковых диодах, работающих на емкостную нагрузку	17
Список литературы	23
Приложение	24

1 Основные сведения о моделировании электронных схем в среде Electronics WorkBench

При построении аналоговых устройств необходимо использовать различные способы включения полупроводниковых диодов и транзисторов.

Для исследования используется моделирование элементов в среде Electronics Work Bench (EWB). Поэтому выполнение каждой лабораторной работы следует предварять изучением тех компонентов EWB, на которые есть ссылки в методических указаниях.

Перечислим те компоненты, которые будут использоваться постоянно.

Источники сигналов:

- общая точка (заземление);
- источник напряжения.

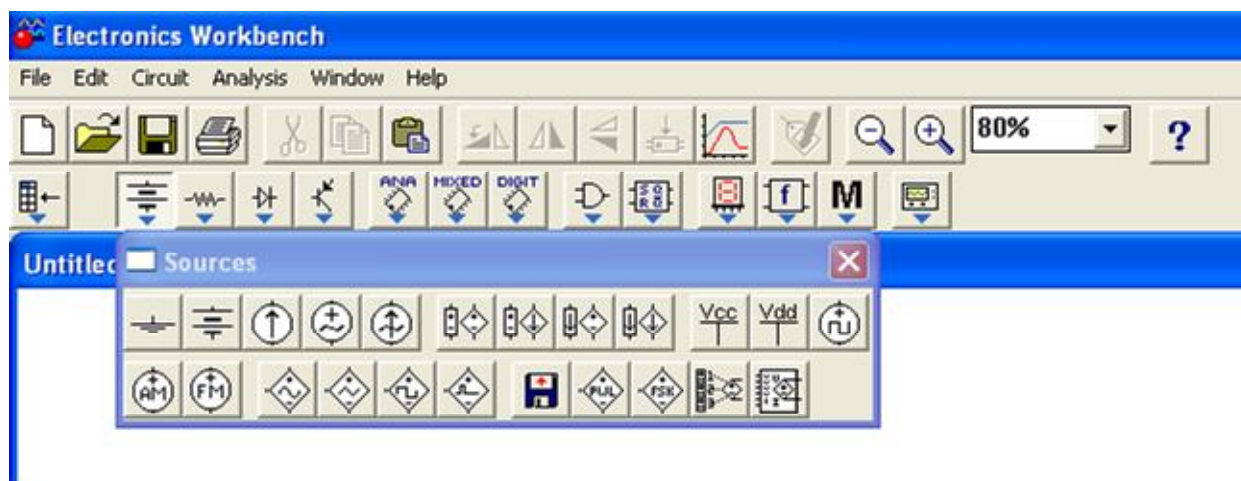


Рисунок 1 - Источники сигналов

Пассивные компоненты электрических цепей:

- точка соединения, резисторы, конденсаторы,...

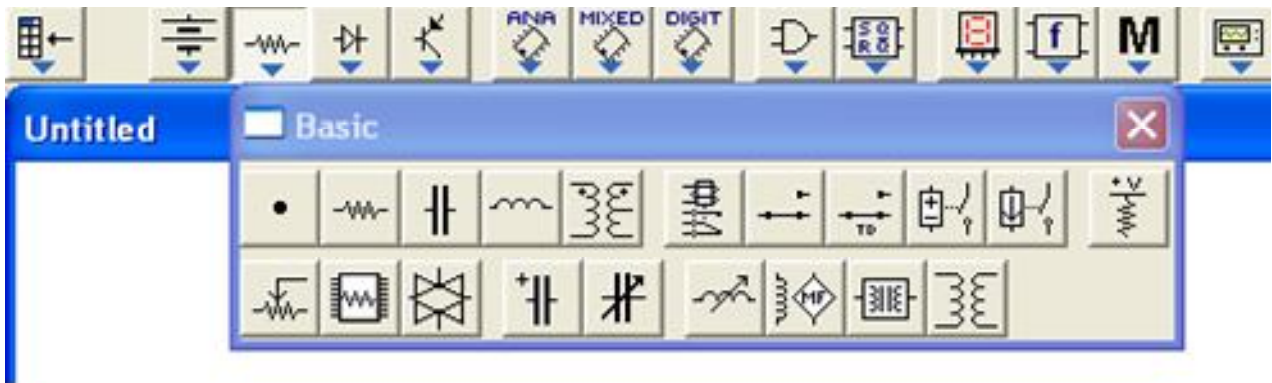


Рисунок 2 - Пассивные электронные компоненты

Полупроводниковые приборы:

- диоды;
- транзисторы.

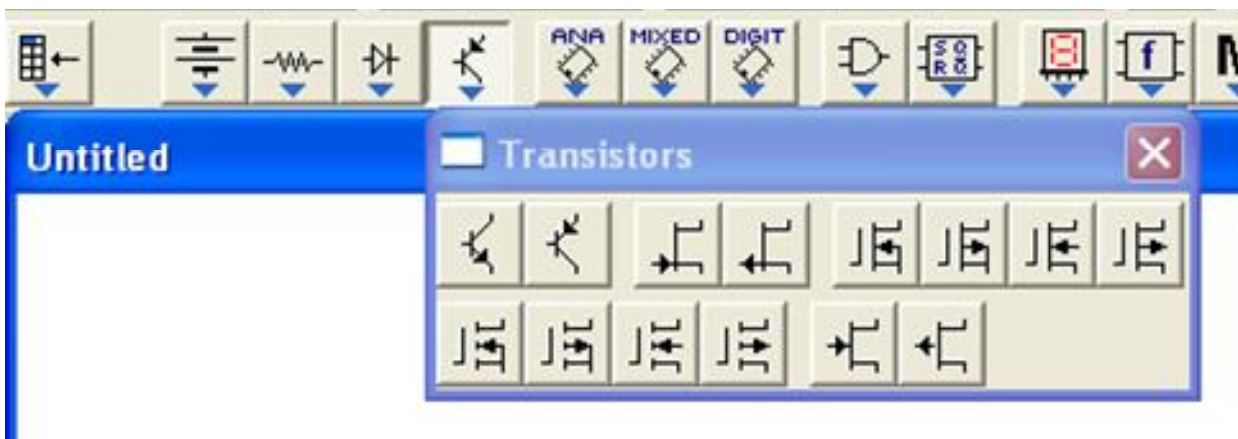


Рисунок 3 - Транзисторы

Измерительные средства:

- функциональный генератор;
- осциллограф;
- генератор цифровых последовательностей;
- вольтметр;
- амперметр;
- индикатор логического уровня (цифровой пробник).

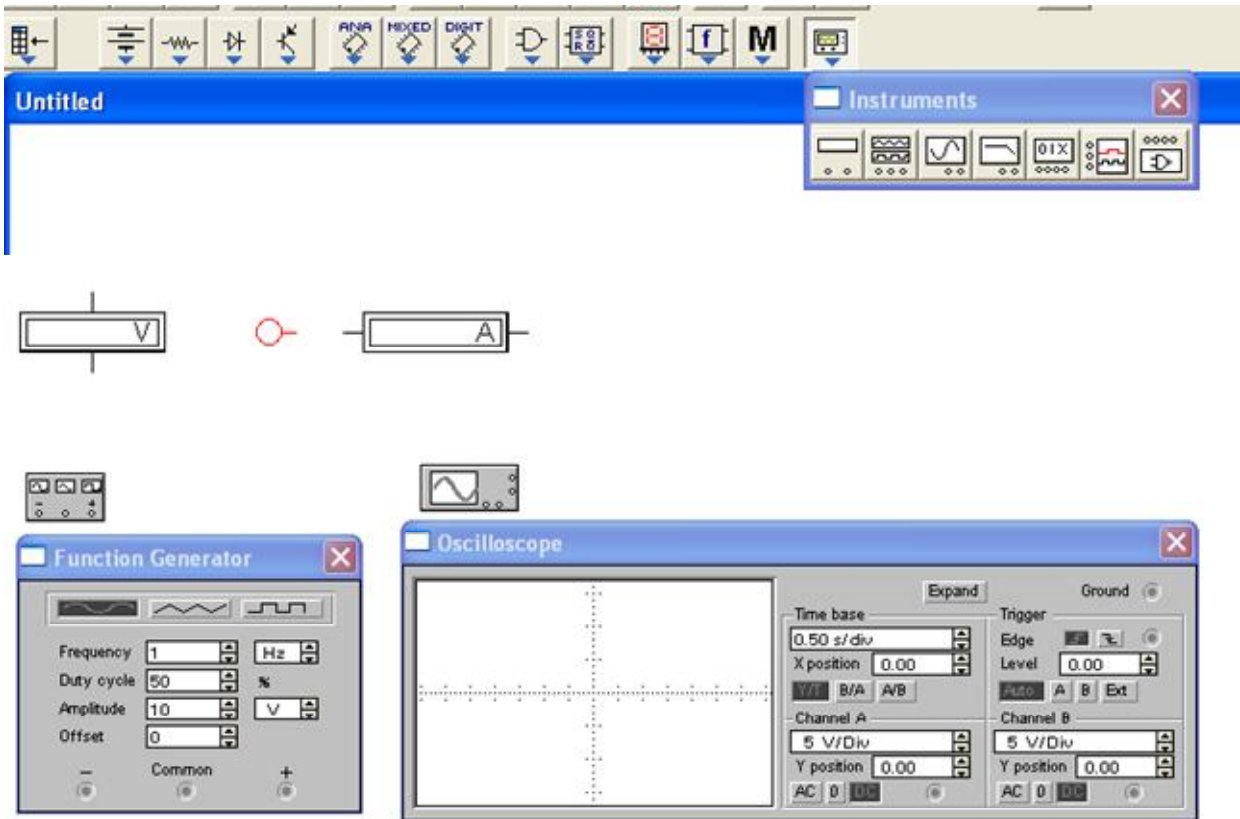


Рисунок 4 - Измерительные средства

При построении схем среди используемых компонентов обязательно наличие общей точки («заземление»).

Построение схемы сводится к поиску нужных элементов в соответствующих подменю, вынесение их на рабочее поле и соединению точек схемы с помощью мыши.

2 Основные расчетные соотношения для выпрямителей на полупроводниковых диодах

Расчетные соотношения для проектирования выпрямителей можно найти в лекционном материале или в [1], [2]. Излагаемые в данном разделе альтернативные расчетные соотношения взяты из [2].

Выпрямитель с активной нагрузкой. Простейший однопериодный выпрямитель без сглаживающих пульсацию элементов (рисунок 5-а) встречается в схемах измерительных приборов. В те полупериоды питающего напряжения U_1 , когда вентиль оказывается включен в прямом направлении, фактически все напряжение передается от источника в сопротивление нагрузки (график U_H). В другие полупериоды ток через вентиль не проходит и все напряжение оказывается приложенным к вентилю.

При работе такого выпрямителя от источника синусоидального напряжения ток и напряжение на нагрузочном сопротивлении имеют сложный спектр, включающий в себя постоянную составляющую, переменную составляющую с частотой подведенного напряжения (f_1) и большое число высших гармоник с частотами $2f_1$, $3f_1$ и т. д. Величины постоянных составляющих напряжения и тока в нагрузке определяются половинами их средних значений:

$$U_0 = 0,45U_1 \quad (1)$$

$$I_0 = 0,45 \frac{U_1}{R_H} \quad (2)$$

В двухполупериодной мостовой схеме (Рисунок 5-б) в каждый полупериод одна пара вентилях оказывается включенной в прямом направлении, а на другие два диода действует полное напряжение источника в обратном направлении. При этом постоянные составляющие напряжения и тока в нагрузке удваиваются:

$$U_0 = 0,9U_1 \quad (3)$$

$$I_0 = 0,9 \frac{U_1}{R_H} \quad (4)$$

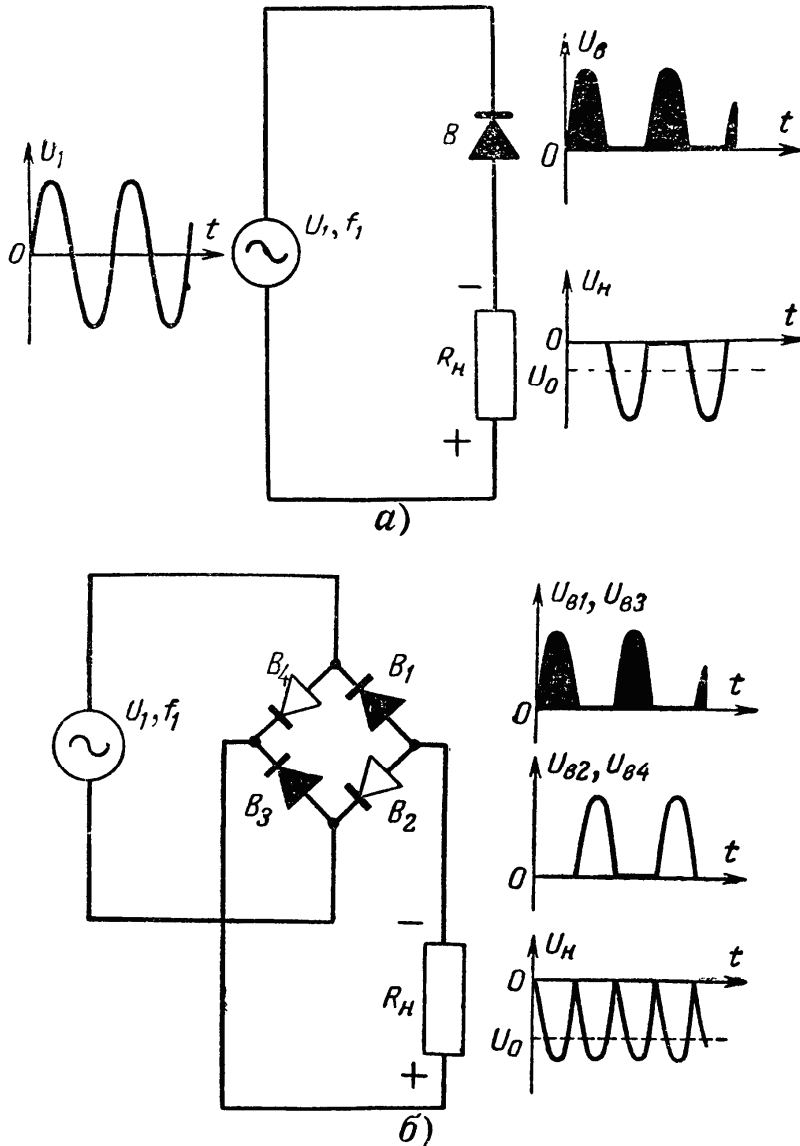


Рисунок 5 – Однополупериодная (а) и двухполупериодная (б) схемы выпрямителей с активной нагрузкой

Удваивается и частота всех переменных составляющих: основная гармоника напряжения на нагрузке имеет частоту $2f_1$, а высшие гармоники — $4f_1, 6f_1$ и т. д.

В обеих схемах максимальное обратное напряжение для каждого вентиля равно амплитуде подведенного напряжения:

$$U_{\text{обр. макс}} = \sqrt{2} U_1 \quad (5)$$

а максимальный ток через каждый вентиль составляет:

$$I_{\text{макс}} = \sqrt{2} \frac{U_1}{R_H} \quad (6)$$

причем с учетом соотношений (3) и (4) для двухполупериодного выпрямителя получим:

$$I_{\text{макс}} = 3,14 I_0 \quad (7)$$

Для однополупериодного выпрямителя имеем:

$$I_{\text{макс}} = 1,57 I_0. \quad (8)$$

Эти соотношения позволяют правильно выбирать тип вентиля.

Для выпрямителя с емкостной нагрузкой можно существенно повысить эффективность выпрямителя, заблокировав сопротивление нагрузки конденсатором достаточной емкости, сопротивление которой для переменных составляющих тока будет малым и замкнет путь им помимо сопротивления нагрузки.. При этом происходит сглаживание пульсаций выпрямленного напряжения. Этой мерой всегда пользуются в выпрямителях для питания радиоаппаратуры и в схемах детектирования высокочастотных колебаний.

Если прямое сопротивление вентиля и внутреннее сопротивление источника достаточно малы в сравнении с сопротивлением нагрузки, то в момент прохождения через вентиль тока конденсатор заряжается до амплитудного значения подведенного напряжения $U_1 \sqrt{2}$.

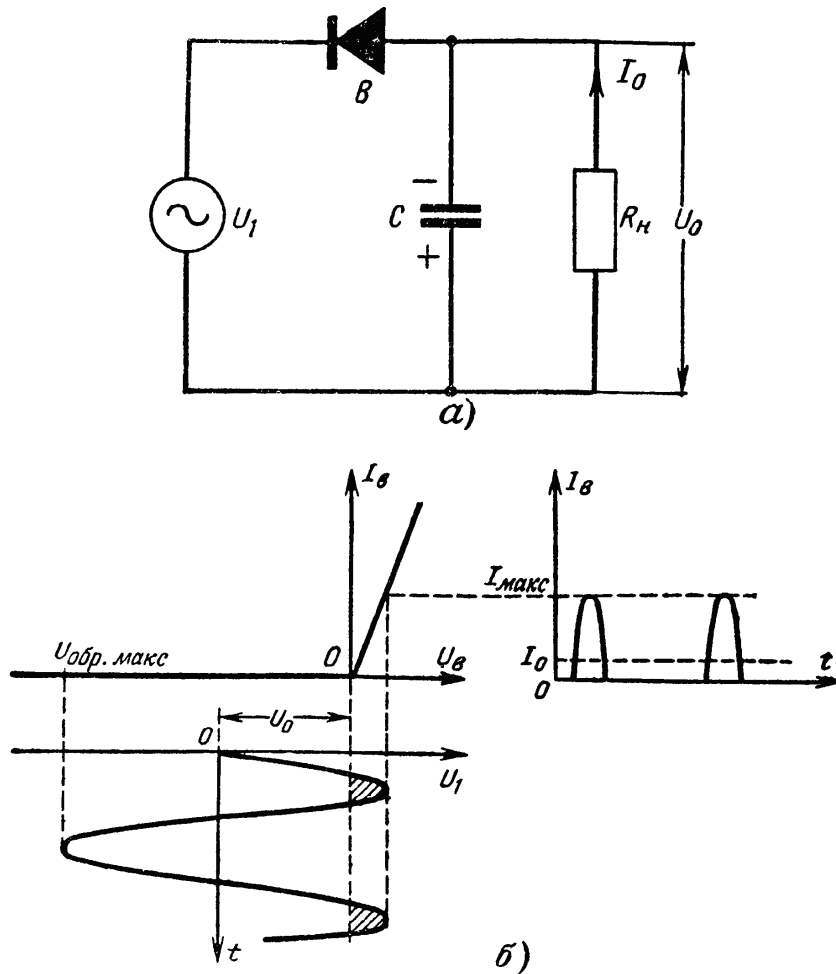


Рисунок 6 – Однополупериодная схема выпрямителя с емкостной нагрузкой

Если, далее, постоянная времени CR_H достаточно велика в сравнении с периодом питающего напряжения, то к моменту следующего подзаряда конденсатора через вентиль напряжение на конденсаторе, а значит, и на нагрузке не успевает заметно снизиться. Таким образом, выпрямленное напряжение оказывается почти неизменным и очень близким к амплитудному значению подведенного напряжения:

$$U_0 \approx \sqrt{2}U_1 \quad (9)$$

т. е. в 1,5—3 раза выше, чем в схемах с активной нагрузкой. В связи с этим выпрямитель с емкостной нагрузкой часто называют выпрямителем пикового значения напряжения, или пиковым

детектором.

Однако наличие конденсатора существенно меняет режим работы вентиля. Обратное напряжение теперь складывается из амплитуды подведенного напряжения и напряжения на нагрузке и приближается к удвоенному значению амплитуды питающего напряжения:

$$U_{\text{обр. макс}} = \sqrt{2} U_1, \quad (10)$$

Ток через вентиль уже не проходит в течение целого полупериода, ибо вентиль оказывается все время смещенным в обратном направлении за счет выпрямленного им самим напряжения U_0 (рисунок 6-б). Открывается вентиль лишь в течение небольшой доли периода, когда напряжение источника достигает амплитудного значения и имеет полярность, способную вызвать прохождение прямого тока. При этом импульс тока через вентиль может во много раз превышать ток, потребляемый нагрузкой. При неизменном токе нагрузки эти импульсы тем больше, чем больше емкость конденсатора C и чем меньше внутреннее сопротивление источника тока $R_{вн}$ и прямое сопротивление вентиля $R_{пр}$. В силовых выпрямителях с целью ограничения импульсов тока иногда искусственно увеличивают сумму $R_{вн} + R_{пр}$ путем включения последовательно с вентилям защитного сопротивления (R_3 на рисунок 6-а).

3 Исследование выпрямителей на полупроводниковых диодах, работающих на активную нагрузку

Цель работы

Практическое исследование схем выпрямителей на полупроводниковых диодах. Изучению и исследованию подлежат:

- схема однополупериодного выпрямителя, работающего на активную нагрузку;
- схема двухполупериодного выпрямителя на двух диодах, работающего на активную нагрузку;
- схема двухполупериодного мостового выпрямителя, работающего на активную нагрузку.

Подготовка к работе

Изучить библиотеки компонентов EWB, обращая внимание на следующие компоненты:

- источники питания, цепь заземления, резисторы, конденсаторы, диоды;
- измерительные устройства – функциональный генератор, осциллограф, вольтметр, амперметр.
- изучить основные характеристики выпрямителей (однополупериодных и двухполупериодных), работающих на емкостную нагрузку.

Вопросы для самоконтроля

Как изменить настройки функционального генератора (частота, амплитуда, форма сигнала)?

Каково падение напряжения на полупроводниковых диодах при протекании через них тока?

Перечислите основные предельные характеристики полупроводниковых диодов.

Программа работ

1. Ознакомиться с постановкой задачи и исходными данными.
2. Собрать схему (рисунок ниже) для исследования в среде EWB, задав требуемые параметры примененных компонентов.

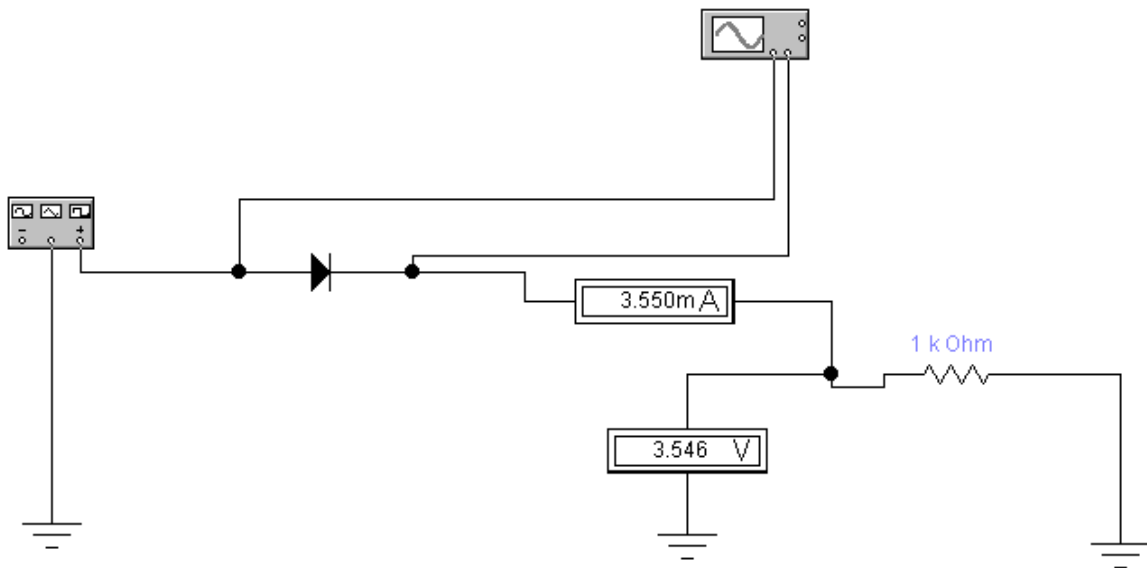


Рисунок 7 - Схема исследования однополупериодного выпрямителя.

3. Проверить правильность функционирования схемы. Зарисовать временные диаграммы для входа и выхода исследуемой схемы.
4. Повторить исследование для напряжений на выходе генератора 50V, 10V, 5V, 1V, 0.5V и сопротивлений нагрузки 1kOhm, 100 Ohm, 10 Ohm. Зафиксировать эпюры сигнала в характерных точках.
5. Рассчитать теоретические значения выпрямленного напряжения и тока для всех условий исследований, сравнить их с результатами эксперимента и сделать выводы.
6. Собрать схему в соответствии с рисунком 8.
7. Повторить пункты 3, 4, 5 для цепи на рисунке 8.

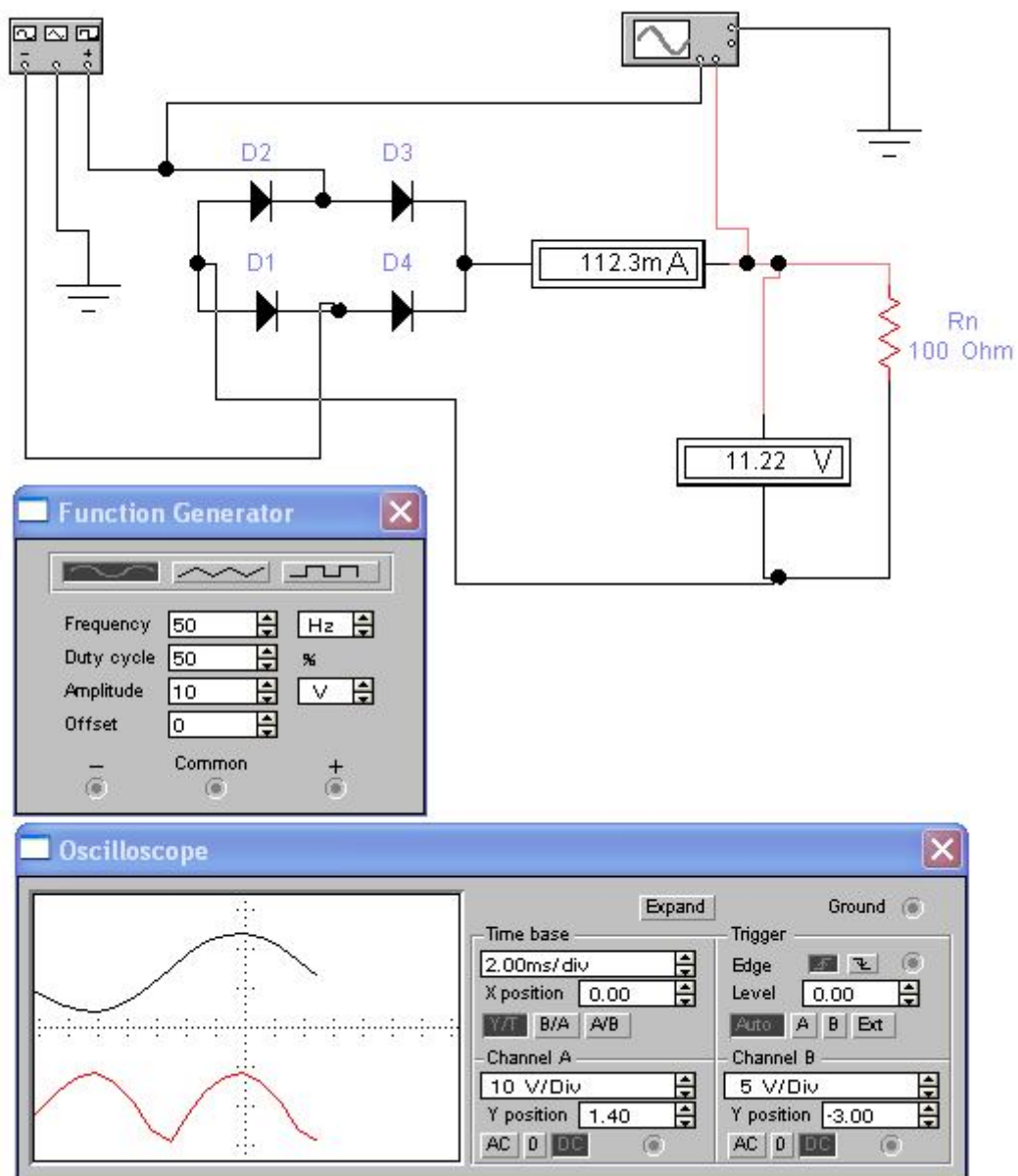


Рисунок 8 - Схема исследования двухполупериодного мостового выпрямителя.

8. Собрать схему в соответствии с рисунком 9.
9. Повторить пункты 3, 4, 5 для цепи на рисунке 9.

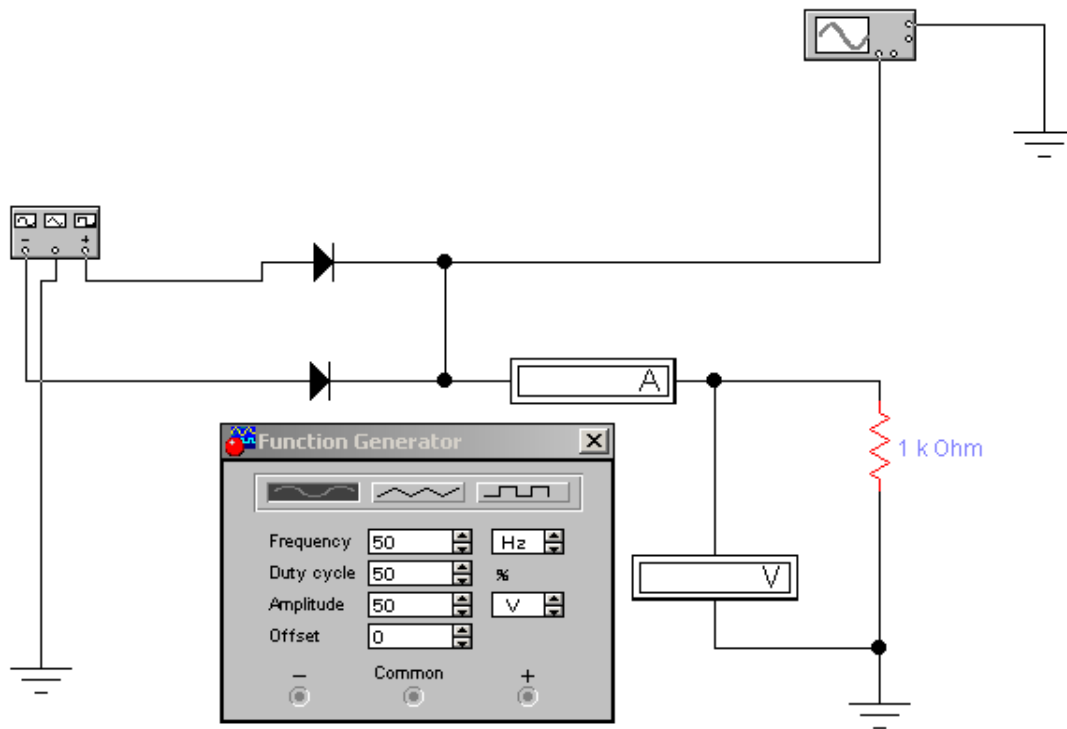


Рисунок 9 - Схема исследования двухполупериодного выпрямителя на двух диодах.

Содержание отчета

Отчет оформляется индивидуально и состоит из следующих обязательных разделов.

1. Тема лабораторной работы.
2. Цель работы.
3. Индивидуальное задание (если имеется).
4. Исследуемые схемы с указанием измерительных устройств и контрольных точек.
5. Результаты теоретического расчета параметров элементов схемы, с указанием порядка расчета по формулам.
6. Результаты эксперимента в виде таблиц и графиков, диаграммы сигналов в контрольных точках.
7. Интерпретация результатов и выводы.
8. Ответы на контрольные вопросы (если имеются)

Форма таблиц результатов эксперимента может иметь следующий вид:

Таблица 1 – Форма регистрации результатов исследований

№	Rн	Uвх	Un	In	Un расчетное	In расчетное

Указания и рекомендации

При сборе схемы в EWB следует стремиться к поэтапному ее наращиванию, убеждаясь в работоспособности промежуточных вариантов.

При использовании осциллографа целесообразно пользоваться обоими его каналами, наблюдая одновременно входной и выходной сигналы. Для удобства наблюдения следует сместить лучи каналов осциллографа так, чтобы сигналы не перекрывались. Кроме того, удобно задать разный цвет для каждого луча (опция задания цвета для цепей электрической схемы).

Напряжение для исследования приводимых схем должно иметь синусоидальную форму. Частоту необходимо задать равной 50Hz.

В каждой схеме для измерения тока через нагрузку и напряжения на ней предусмотреть соответствующим образом настроенные измерительные приборы.

Контрольные вопросы

1. Как зависит амплитуда выходного сигнала от напряжения на входе выпрямителя для каждой из трех схем?
2. Влияет ли частота входного сигнала на выпрямительные свойства схем?
3. Какие характеристики реальных диодов следует учитывать при проектировании выпрямительных устройств?
4. Охарактеризуйте спектр выпрямленного сигнала для каждой из схем.

4 Исследование выпрямителей на полупроводниковых диодах, работающих на емкостную нагрузку

Цель работы

Практическое исследование схем выпрямителей на полупроводниковых диодах, использующих емкостной фильтр. Изучению и исследованию подлежат:

- схема однополупериодного выпрямителя, работающего на емкостную нагрузку;
- схема двухполупериодного мостового выпрямителя, работающего на емкостную нагрузку.

Подготовка к работе

Изучить библиотеки компонентов EWB, обращая внимание на следующие компоненты:

- источники питания, цепь заземления, резисторы, конденсаторы, диоды;
- измерительные устройства – функциональный генератор, осциллограф, вольтметр, амперметр.
- изучить основные характеристики выпрямителей (однополупериодных и двухполупериодных), работающих на емкостную нагрузку.

Вопросы для самоконтроля

Как изменить настройки функционального генератора (частота, амплитуда, форма сигнала)?

Как определить форму выходного напряжения выпрямителя при уровнях входного напряжения, близких к падению напряжения на диодах?

Перечислите основные предельные характеристики полупроводниковых диодов. Какие особенности имеют выпрямители, работающие на емкостную нагрузку, применительно к учету этих характеристик при выборе диода?

Программа работ

1. Ознакомиться с постановкой задачи и исходными данными.
2. Собрать схему (рисунок ниже) для исследования в среде EWB, рассчитав параметры примененных компонентов.

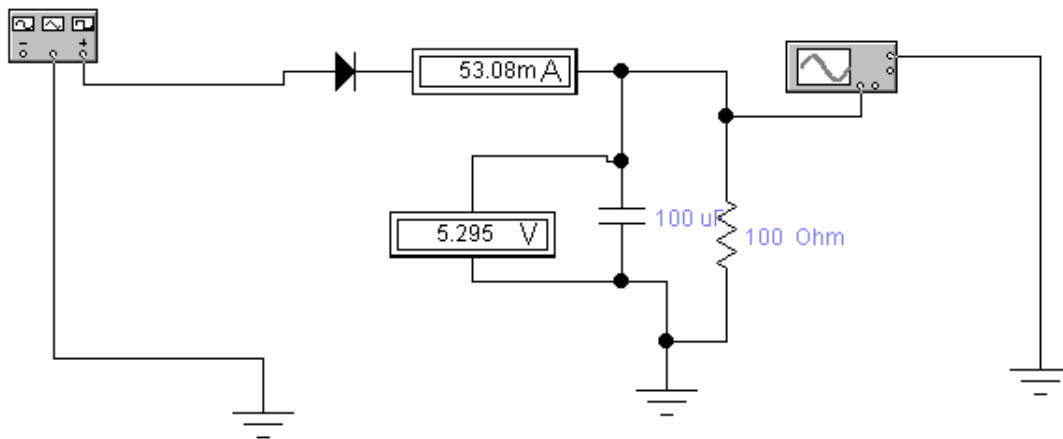


Рисунок 10 - Схема исследования однополупериодного выпрямителя, работающего на емкостную нагрузку.

3. Проверить правильность функционирования схемы. Зарисовать временные диаграммы для входа и выхода исследуемой схемы.
4. Повторить исследование для напряжений на выходе генератора 50V, 10V, 5V, 1V и сопротивлений нагрузки 1kOhm, 100 Ohm, 10 Ohm. Зафиксировать эпюры сигнала в характерных точках.
5. Построить графики, соответствующие результатам эксперимента и сделать выводы. Рассчитать коэффициент пульсаций для каждого случая.
6. Собрать схему в соответствии с рисунком 11.
7. Повторить пункты 3, 4, 5 для цепи на рисунке 11.

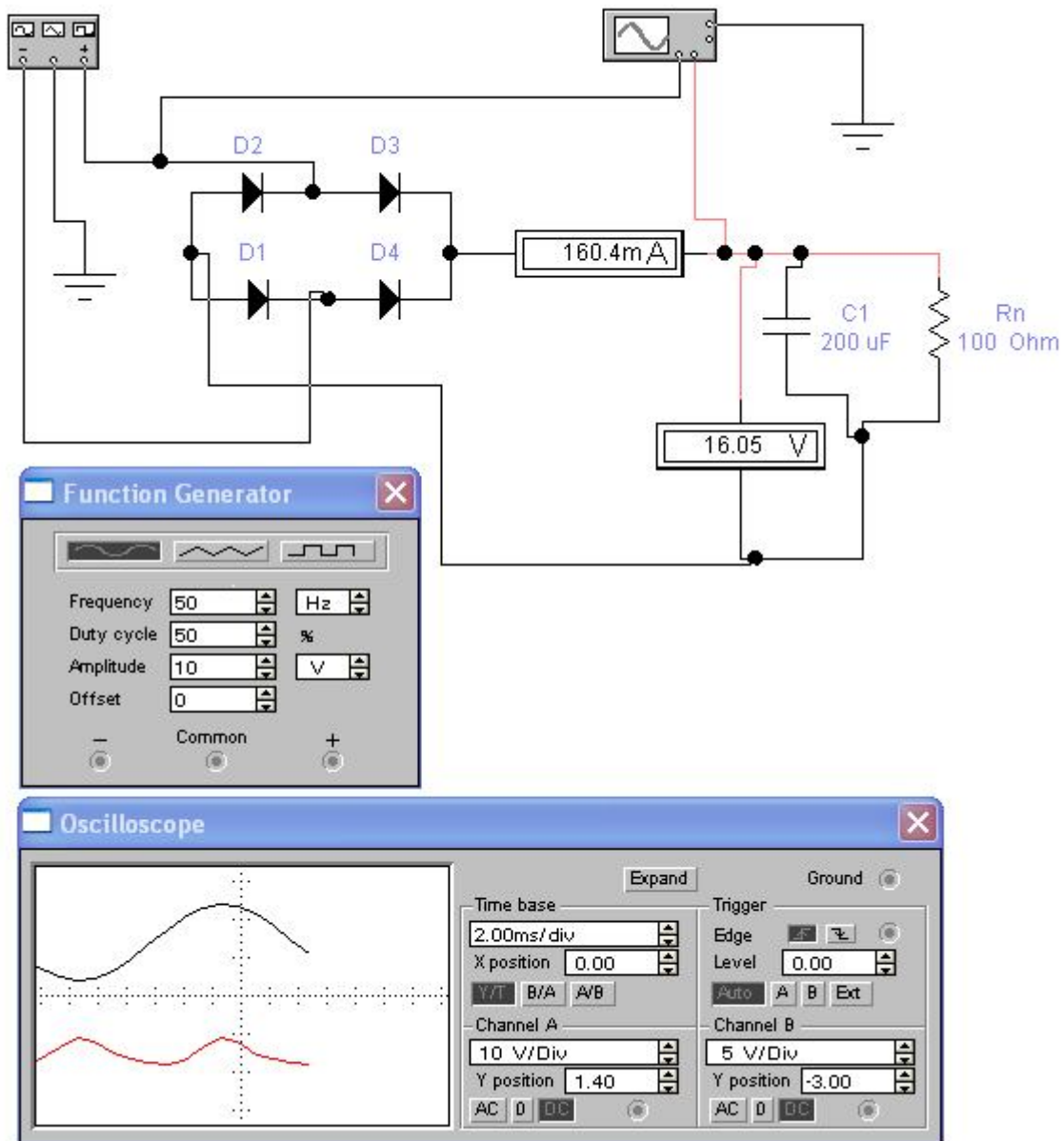


Рисунок 11 - Схема исследования двухполупериодного мостового выпрямителя, работающего на емкостную нагрузку.

6. Собрать схему в соответствии с рисунком 12.
7. Повторить пункты 3, 4, 5 для цепи на рисунке 12.

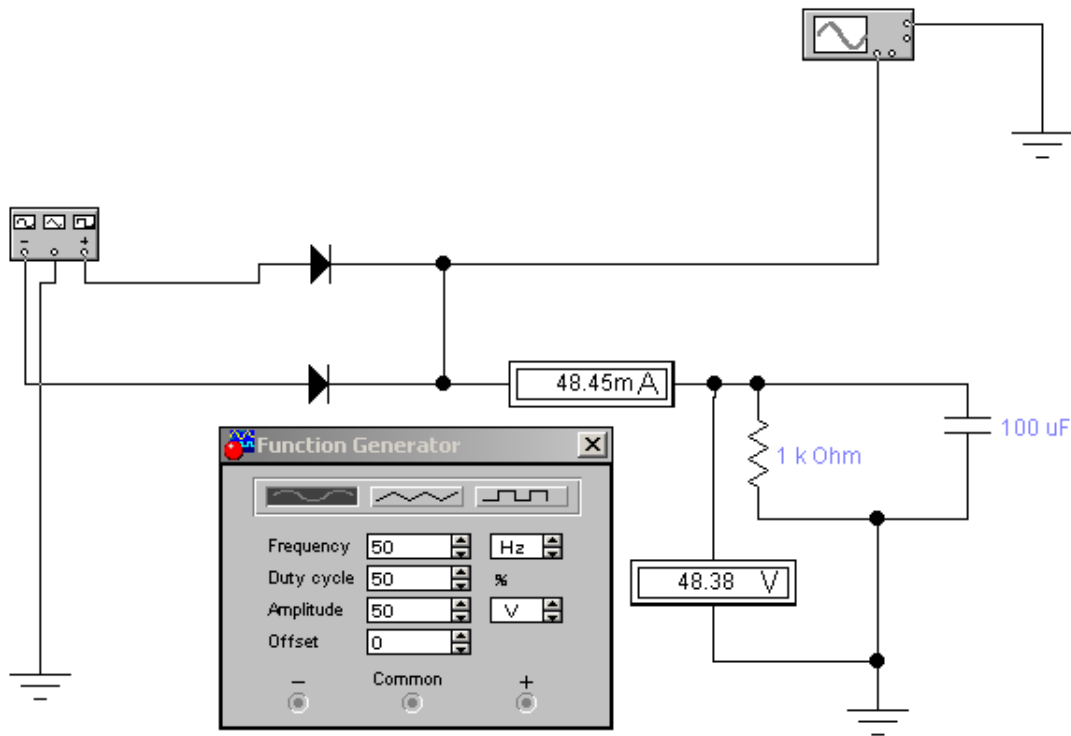


Рисунок 12 - Схема исследования двухполупериодного выпрямителя на двух диодах, работающего на емкостную нагрузку.

Содержание отчета

Отчет оформляется индивидуально и состоит из следующих обязательных разделов.

1. Тема лабораторной работы.
2. Цель работы.
3. Индивидуальное задание (если имеется).
4. Исследуемые схемы с указанием измерительных устройств и контрольных точек.
5. Результаты теоретического расчета параметров элементов схемы, с указанием порядка расчета по формулам.
6. Результаты эксперимента в виде таблиц и графиков, диаграммы сигналов в контрольных точках.
7. Интерпретация результатов и выводы.
8. Ответы на контрольные вопросы (если имеются)

Форма таблиц результатов эксперимента может иметь следующий вид:

Таблица 2– Форма регистрации результатов исследований

№	Rн	Uвх	Uн	Iн	Uн расчетное	Iн расчетное

Указания и рекомендации

При сборе схемы в EWB следует стремиться к поэтапному ее наращиванию, убеждаясь в работоспособности промежуточных вариантов.

При использовании осциллографа целесообразно пользоваться обоими его каналами, наблюдая одновременно входной и выходной сигналы. Для удобства наблюдения следует сместить лучи каналов осциллографа так, чтобы сигналы не перекрывались. Кроме того, удобно задать разный цвет для каждого луча (опция задания цвета для цепей электрической схемы).

Напряжение для исследования приводимых схем должно иметь синусоидальную форму. Частоту необходимо задать равной 50Hz.

Величину емкости конденсатора фильтра при проведении исследований установить равной 200 μ F.

В каждой схеме для измерения тока через нагрузку и напряжения на ней предусмотреть соответствующим образом настроенные измерительные приборы.

Контрольные вопросы

1. Как зависит амплитуда выходного сигнала от напряжения на входе выпрямителя для каждой из трех схем?

2. Как влияет величина емкости фильтрующего конденсатора на параметры выпрямленного напряжения? Что такое пульсации выпрямленного напряжения?
3. Как правильно выбрать диоды для конкретной схемы выпрямителя?

Список литературы

1. Опадчий, Ю.Ф. Аналоговая и цифровая электроника [Текст]: учебник для вузов / Ю.Ф. Опадчий, О.П. Глудкин, А.И. Гуров; под ред. О. П. Глудкина. Москва: Горячая Линия - Телеком, 2003. - 768 с.
2. Лабутин, В.К. Книга радиомастера. М.-Л.: «Энергия», 1964.

Приложение. Характеристики некоторых выпрямительных диодов.

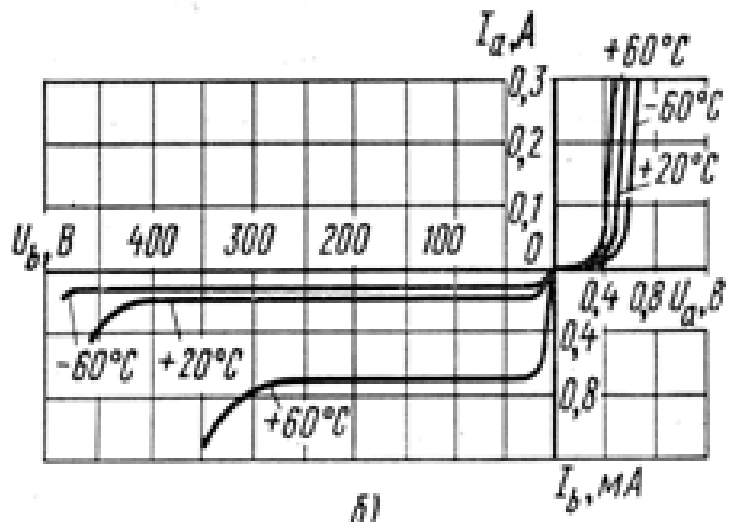
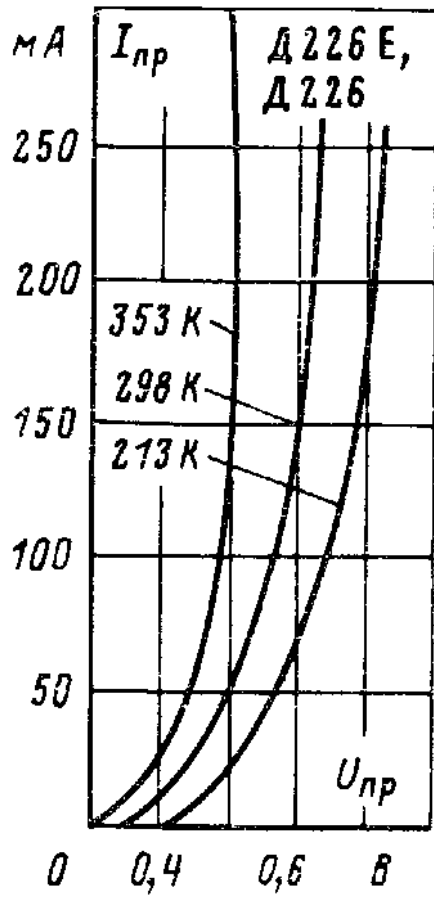
Тип выпрямительного диода	Ток, мА		Напряжение, В		Диапазон рабочих температур, °С
	максимальный средний выпрямленный $I_{вп.ср.мах}$	постоянный обратный $I_{обр}$	максимальное постоянное обратное $U_{обр.мах}$	постоянное прямое $U_{пр}$	
1	2	3	4	5	6

Малой мощности

Д2Б	16	0,1	10	1	-60 ÷ +70
ГД107А	20	0,02	15	1	-60 ÷ +60
АД110А	10	$5 \cdot 10^{-6}$	30	1,5	-60 ÷ +85
Д102	30	0,01	50	2	-60 ÷ +100
Д103А	100	0,001	75	1	-60 ÷ +60
Д223Б	50	0,05	150	1	-60 ÷ +120
КД102А	100	0,0001	250	1	-60 ÷ +100
2Д102Б	100	0,0001	300	1	-60 ÷ +120
КД109В	200	0,3	400	1	-40 ÷ +85

Средней мощности

КД202А	$5 \cdot 10^3$	0,8	35	0,9	-60 ÷ +130
Д305	$10 \cdot 10^3$	2,5	50	0,35	-60 ÷ +70
КД202В	$5 \cdot 10^3$	0,8	70	0,9	-60 ÷ +130
КД208А	$1,5 \cdot 10^3$	0,05	100	1,0	-60 ÷ +85
КД204Б	$0,35 \cdot 10^3$	0,1	200	1,4	-55 ÷ +85
КД212А	$1 \cdot 10^3$	0,05	200	1,0	-60 ÷ +85
КД202Л	$3,5 \cdot 10^3$	0,8	280	0,9	-60 ÷ +130
КД204А	$0,3 \cdot 10^3$	0,15	400	1,4	-55 ÷ +85
КД205А	$0,5 \cdot 10^3$	0,1	500	1,0	-40 ÷ +85
2Д206Б	$5 \cdot 10^3$	0,7	500	1,2	-60 ÷ +125
КД203Д	$10 \cdot 10^3$	1,5	700	1,0	-60 ÷ +100
2Д220Г	$3 \cdot 10^3$	1,5	1000	1,7	-60 ÷ +120



Вольт-амперные характеристики кремниевого диода Д226 (слева) и германиевого диода Д7 (справа)