

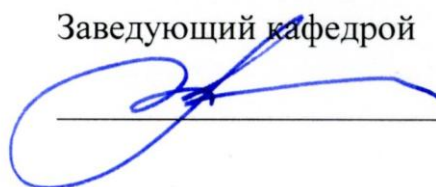
МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Тульский государственный университет»

Институт высокоточных систем им. В.П. Грязева  
Кафедра «Системы автоматического управления»

Утверждено на заседании кафедры  
«Системы автоматического управления»  
«13» января 2021 г., протокол № 8

Заведующий кафедрой



\_\_\_\_\_ О.В.Горячев

**СБОРНИК МЕТОДИЧЕСКИХ УКАЗАНИЙ  
К ЛАБОРАТОРНЫМ РАБОТАМ**

по дисциплине

**«Электроника и электронные устройства в мехатронике»**

**основной профессиональной образовательной программы  
высшего образования – программы бакалавриата**

по направлению подготовки  
**15.03.06 Мехатроника и робототехника**

с направленностью (профилем)  
**Мехатроника**

Форма обучения: очная

Идентификационный номер образовательной программы: 150306-01-21

Тула 2021 год

## ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ

**Разработчик:**

Ефромеев Андрей Геннадьевич, доц. каф. САУ, к.т.н.  
(ФИО, должность, ученая степень, ученое звание)

\_\_\_\_\_  
(подпись)

# Лабораторная работа №1

## Основные радиоэлектронные измерения и измерительные приборы

Цель работы: изучение устройства радиоизмерительных приборов, их основных характеристик и правил эксплуатации.

### Сведения из теории:

Все радиоэлектронные измерения можно разделить на два основных вида:

- измерение параметров сигналов;
- измерение характеристик и параметров цепей.

Так как измерение характеристик и параметров цепей сводится к измерению испытательного сигнала на входе и выходе цепи с последующим сравнением результатов, то в общем случае для выполнения измерений в радиоэлектронных цепях необходимо иметь два вида приборов:

- 1) непосредственно измерительные приборы, предназначенные для измерения параметров сигналов;
- 2) измерительные генераторы, предназначенные для генерирования испытательных сигналов с известными характеристиками.

К первому виду приборов относятся: электронный осциллограф, вольтметры, амперметры, ваттметры, частотомеры. Ко второму - генераторы электрических сигналов различных форм (синусоидальных, пилообразных, треугольных, импульсных и шумовых и т.д.), калибровочные источники напряжения и тока. Существуют также комбинированные приборы, содержащие элементы и первого, и второго видов.

Электронный осциллограф – один из наиболее универсальных измерительных приборов, предназначенный для наблюдения, сохранения электрических сигналов и измерения их характеристик. Внешний вид осциллографа АСК-2034 представлен на рис.1.

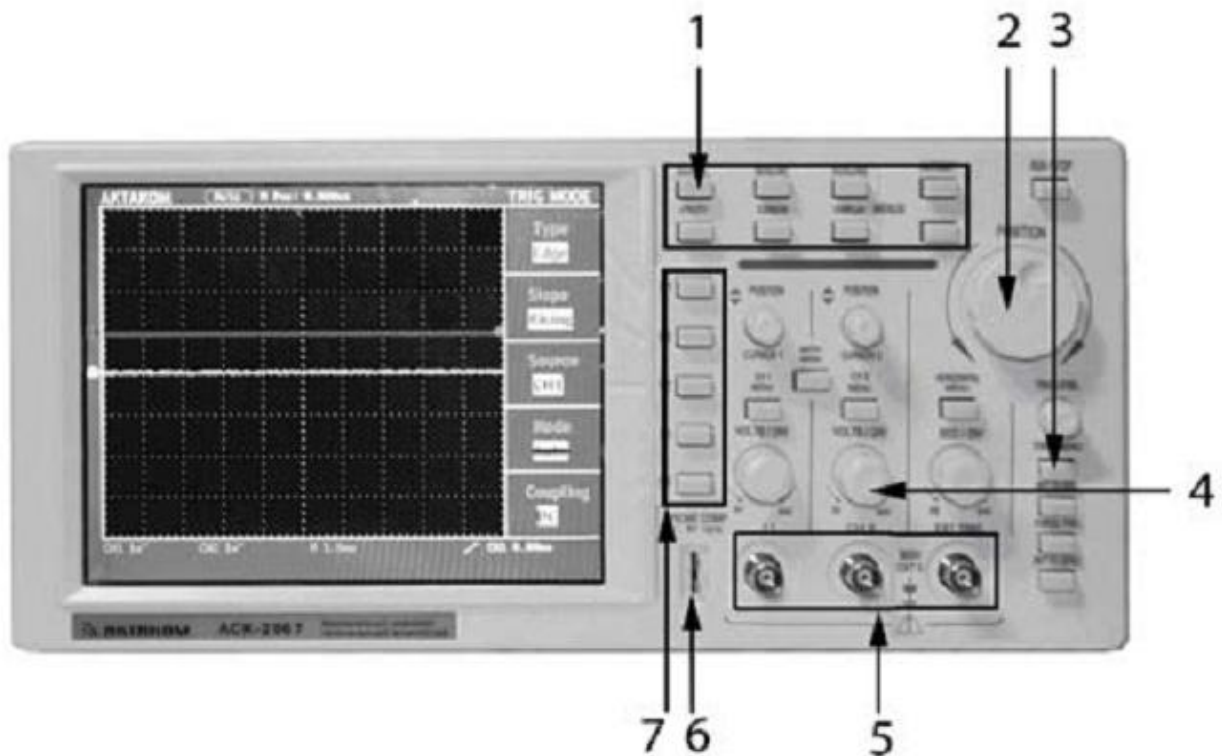


Рис.1

- 1) Кнопки меню функций
- 2) Управление горизонтальной системой
- 3) Управление системой запуска
- 4) Управление вертикальной системой
- 5) Входные разъёмы
- 6) Разъём для компенсации пробника
- 7) Функциональные кнопки меню F1-F5

Осциллограф позволяет наблюдать сигнал в любом из каналов, их сумму или оба канала сразу. Для наблюдения сигналов в обоих каналах предназначены два режима: коммутационный режим и режим поочередной развертки. Первый используется при одновременном наблюдении двух низкочастотных сигналов, а второй – при наблюдении высокочастотных сигналов. Сигнал горизонтальной развертки создается внутренним генератором пилообразного напряжения, обеспечивающим отклонение, пропорциональное времени. Как и для усилителей вертикального отклонения, здесь предусмотрены калиброванный переключатель “время/деление” и концентрическая с ним ручка переменного усиления. Для измерения временных интервалов эта ручка должна быть выведена в крайнее правое положение до щелчка. Усилитель может иметь выведенный отдельно вход, который может быть использован для внешнего задания горизонтального отклонения. (Например, может быть использован для получения фигур Лиссажу). Сигнальные входы вертикального отклонения и горизонтальной развертки необходимы для построения графика зависимости напряжения от времени.

В ждущем режиме развертка начинается только в том случае, когда выбранный сигнал проходит через установленную точку запуска и изменяется в выбранном направлении. На практике, регулируя уровень, добиваются стабильного изображения.

В режиме внутреннего запуска в отсутствии сигнала развертка начинает “бегать”. Этот режим хорошо использовать в тех случаях, когда сигнал может уменьшаться до малых значений, так как изображение не будет пропадать и не будет возникать впечатление, что сигнал исчез.

Однократная развертка используется для непериодических сигналов.

Источники синхронизирующих сигналов выбирается переключателями: “Внутр.”, “Сеть”, “Внеш.”. В положении “Внутр.” Запускающий сигнал поступает на вход схемы синхронизации из усилителя вертикального отклонения. Этот режим был рассмотрен выше.

В режиме “Сеть” развертка запускается от сети переменного тока. Этот режим используется в тех случаях, когда интерес представляют фон или пульсации в схеме. Режим “Внеш.” схемы запуска используют в тех случаях, когда наряду с некоторыми интересующим “грязным” сигналом имеется чистый сигнал, имеющий такую же скорость изменения. К такому режиму часто прибегают в тех случаях, когда на схему подается некоторый испытательный входной сигнал или в цифровых схемах, работа которых синхронизируется тактовыми импульсами.

Входная емкость осциллографа по отношению к испытываемой схеме может быть слишком велика, особенно если учесть экранизированный соединительный кабель. Полное входное сопротивление (параллельное соединение сопротивления 1 Мом и емкости  $C = 100$  пФ) часто оказывается слишком низким для чувствительных схем и нагружает их, образуя делитель напряжения. Иногда эта емкость вызывает неправильную работу схемы и даже приводит к возникновению автоколебаний. Для того

чтобы решить эту проблему, обычно используют высокоимпедансные щупы. Работу широко распространенного 10- кратного щупа иллюстрирует рис.2.

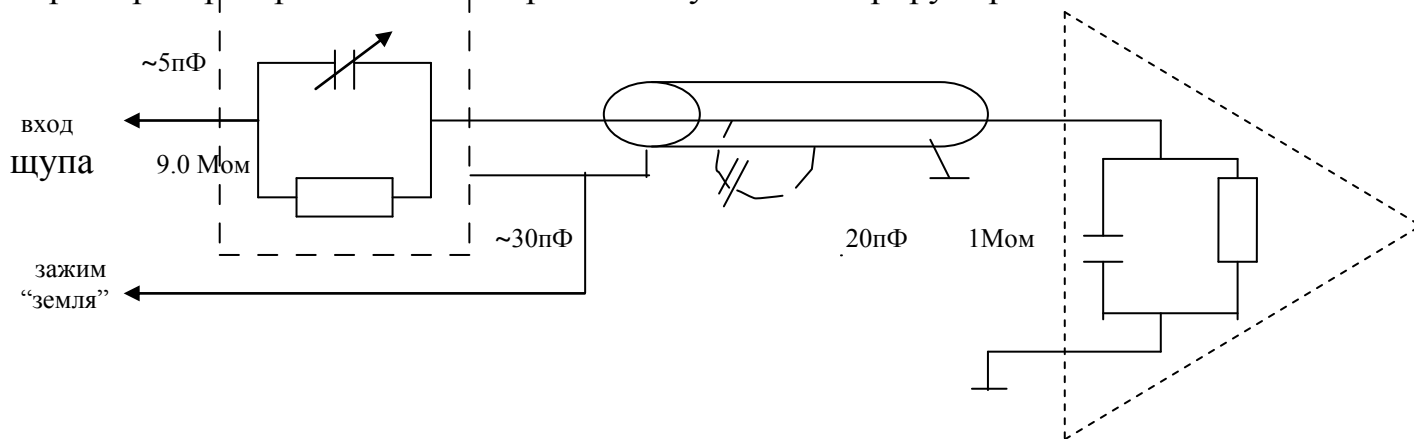


Рис.2

Как и в большинстве измерительных приборов, сигнал на входе осциллографа оценивается относительно земли прибора, которая обычно связана с корпусом. Это означает, что невозможно измерять напряжение между двумя точками в схеме, а вынуждены измерять сигналы относительно этой земли. При измерении слабых и высокочастотных сигналов необходимо убедиться, что земля осциллографа и земля схемы одинаковы.

Лучше всего для этого соединить землю щупа непосредственно с землей схемы, а затем измерить щупом напряжение земли и убедиться, что сигнал отсутствует.

Как правило, осциллограф имеет генератор калибровочного сигнала известной частоты и амплитуды, выходной сигнал которого используется для калибровки осциллографа. Это делается путем подачи сигнала с генератора на один из входов осциллографа.

### Функциональные генераторы



Рис. 3.

Генераторы этой группы генерируют синусоидальные (иногда треугольные, пилообразные и меандровые) периодические напряжения с частотой от сотых долей Гц до 200 КГц. Они применяются при настройке и испытании низкочастотных радиоэлектронных устройств.

Перестройка частоты задающего генератора осуществляется с помощью ступенчатого переключателя диапазонов и плавного регулятора, изменяющего частоту в пре-

делах каждого диапазона. Для выбора формы сигнала используется специальный переключатель.

Выбранный сигнал с задающего генератора поступает на усилитель с плавной регулировкой коэффициента усиления, а затем через усилитель мощности на аттенюатор.

Напряжение на входе аттенюатора контролируется электронным вольтметром. Входное и выходное сопротивление аттенюатора не зависит от степени ослабления. Последнее особенно важно, так как постоянное во всем диапазоне частот и амплитуд, выходное сопротивление генератора упрощает расчеты и сопротивление результатов измерений.

### Измерительные генераторы высокой частоты

Генераторы этой группы генерируют синусоидальные колебания с частотами от 200 КГц до десятков МГц (50 МГц).

Кроме чистого гармонического напряжения высокой частоты, также генераторы являются источниками колебаний, модулированных по амплитуде, а иногда и по частоте (рис.4).

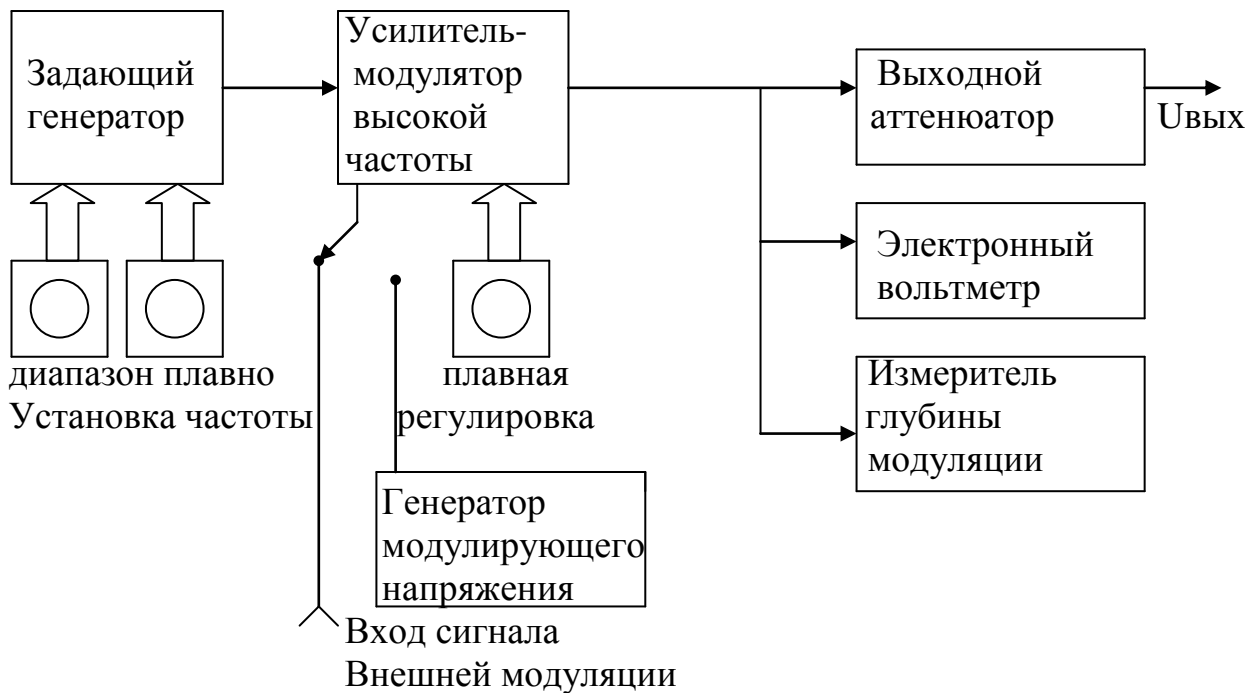


Рис. 4

Частота задающего генератора перестраивается переключением контурных катушек индуктивности (диапазоны) и плавным изменением емкости конденсатора контура (плавное изменение частоты в пределах каждого диапазона).

Усилитель-модулятор представляет собой перестраиваемый по частоте одновременно с задающим генератором резонансный усилитель. Коэффициент усиления этого усилителя может изменяться сигналом собственного генератора, модулирующего напряжения звуковой частоты, или напряжением, подаваемым на вход внешней модуляции. В первом случае осуществляется внутренняя, а во втором- внешняя ампли-

тудная модуляция. Если модулирующее напряжение на усилитель-модулятор не поступает, высокочастотные колебания на его выходе остаются немодулированными.

Измерение напряжения сигнала и глубины модуляции осуществляется на выходе усилителя, к которому подключен выходной аттенюатор. Коэффициент деления аттенюатора определяет уровень сигналов на выходе генератора. Обычно он регулируется в пределах от 1В до долей микровольта.

#### Перечень используемого оборудования

- 1) Осциллограф ADS-2111MV
- 2) Осциллограф АСК-2034
- 3) Источник питания APS-7315
- 4) Источник питания APS-5333
- 5) Источник питания APS-3320
- 6) Генератор функциональный ADG-1005
- 7) Генератор функциональный АНР-1105
- 8) Мультиметр АМ-1152

#### Задания и методические рекомендации.

1. Руководствуясь прилагаемыми к приборам техническими описаниями и инструкциями, приведите все находящиеся на рабочем месте приборы в рабочее состояние.

2. С помощью осциллографа определите:

- а) частоту сигналов на выходе генератора,
- б) амплитуду сигналов на выходе генератора,
- в) параметры импульсов с генератора импульсов.

3. Используя осциллограф в режиме внешней синхронизации развертки, определите сдвиг фаз между двумя периодическими сигналами.

4. Генератор высокой частоты поставьте в режим внутренней амплитудной модуляции. Рассмотрите огибающую и несущую этого сигнала на экране осциллографа и оцените их частоты и амплитуды.

#### Оформление результатов.

Кратко записать последовательность действий при работе с измерительными приборами. Записать результаты измерений.

#### Контрольные вопросы.

1. Чем обеспечивается неподвижность изображения на экране осциллографа?
2. Как осуществляется калибровка осциллографа?
3. В чем состоят основные различия режимов внутренней и внешней синхронизации развертки осциллографа?

#### Библиографический список.

1. Осциллограф ADS-2111MV. Инструкция по эксплуатации.
2. Осциллограф АСК-2034. Инструкция по эксплуатации.
3. Источник питания APS-7315. Инструкция по эксплуатации.
4. Источник питания APS-5333. Инструкция по эксплуатации.
5. Источник питания APS-3320. Инструкция по эксплуатации.

6. Генератор функциональный ADG-1005. Инструкция по эксплуатации.
7. Генератор функциональный АНР-1105. Инструкция по эксплуатации.
8. Мультиметр АМ-1152. Инструкция по эксплуатации.



## Лабораторная работа №2

### Полупроводниковые диоды

#### ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ РАБОТЫ

Целью данной лабораторной работы является изучение осциллографического метода получения статических характеристик полупроводниковых диодов, а также изучение работы диодов в различных электронных схемах.

#### ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Диод (от др.-греч.  $\delta\iota\varsigma$ [1] — два и -од[2] — от окончания -од термина электрод; букв. «двухэлектродный»; корень -од происходит от др.-греч.  $\acute{o}\delta\acute{o}\varsigma$  «путь») — электронный элемент, обладающий различной проводимостью в зависимости от направления электрического тока. Электрод диода, подключаемый к положительному полюсу источника тока, когда диод открыт (то есть имеет маленькое сопротивление), называют анодом, подключаемый к отрицательному полюсу — катодом.

На условном обозначении направление стрелки диода (так обозначается анод элемента) совпадает с направлением тока. (рис. 1).



Рис.1. Условное графическое обозначение диода.

Основным средством описания характеристик диода является его вольтамперная характеристика (ВАХ), типовой вид которой представлен на рисунке 2.

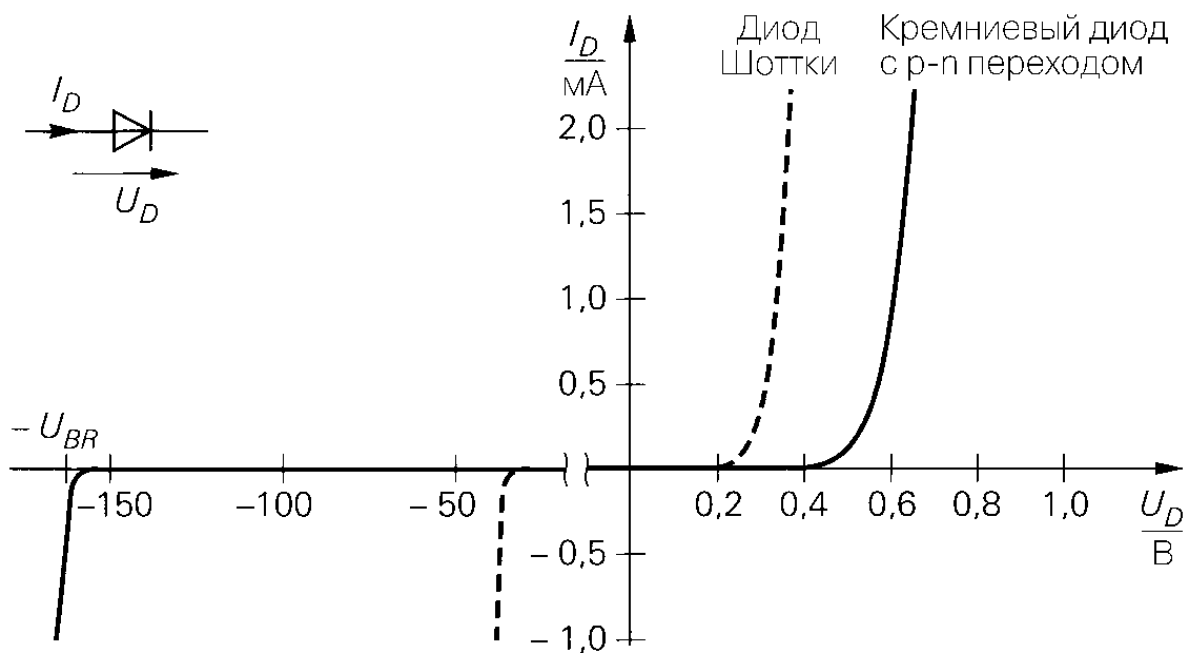


Рис. 2. ВАХ полупроводникового диода.

Обратный ток для диодов общего применения измеряется в наноамперах (обратите внимание на разный масштаб измерений по оси абсцисс для прямого и обратного тока) и его, как правило, можно не принимать во внимание до тех пор, пока напряжение на диоде не достигнет значения напряжения пробоя.

В нормальном состоянии на диод падает такое напряжение, которое не может вызвать пробой. Исключение составляют опорные диоды (стабилитроны), для которых режим пробоя является нормальным режимом работы. Чаще всего падение напряжения на диоде, обусловленное прямым током через него, составляет от 0,2 до 0,7 В.

Особое место среди диодов занимают стабилитроны, предназначенные для стабилизации уровня напряжения при изменении величины протекающего через диод тока. В опорных диодах рабочим является пробивной участок вольт – амперной характеристики в области обратных напряжений. На этом участке напряжение на диоде остается практически постоянным при значительном изменении тока, протекающего через диод.

Характеристики некоторых стабилитронов представлены в таблице 1:

*Таблица 1. Характеристики стабилитронов*

Тип прибора	Предельные значения параметров при T = 25 °C			Значения параметров при T = 25 °C						T <sub>к.макс</sub> , °C
	U <sub>ст.ном.</sub> , В	I <sub>ст.ном.</sub> , мА	P <sub>max</sub> , мВт	U <sub>ст.</sub>		r <sub>ст.</sub> , Ом	a <sub>ст.</sub> , 10 <sup>-2</sup> %/°C	I <sub>ст.</sub>		
				min, В	max, В			min, мА	max, мА	
2C127A1	2,7	3,0	50	2,43	2,97	180	-20	1,0	6	85
2C127Д1	2,7	3,0	50	2,5	2,9	180	-7,5	0,25	18,5	125
KC130Д1	3,0	3,0	50	2,8	3,2	180	-7,5	0,25	16,7	125
2C130Д1	3,0	3,0	50	2,8	3,2	180	-7,5	0,25	16,7	125
KC133A	3,3	10,0	300	2,97	3,63	65	-11	3,0	81	125
KC133Г	3,3	5,0	125	3	3,6	150	-10	1,0	37,5	125
2C133A	3,3	10,0	300	2,97	3,63	65	-11	3,0	81	125
2C133Б	3,3	10,0	100	3	3,7	65	-10	3,0	30	125
2C133B	3,3	5,0	125	3,1	3,5	150	-10	1,0	37,5	125
2C133Г	3,3	5,0	125	3	3,6	150	-10	1,0	37,5	125
2C133Д1	3,3	3,0	50	3,1	3,5	180	-7,5	0,25	15,2	125
2C136Д1	3,6	3,0	50	3,4	3,8	180	-7,0	0,25	13,9	125
KC139A	3,9	10,0	300	3,51	4,29	60	-10	3,0	70	125
KC139Г	3,9	5,0	125	3,5	4,3	150	-10	1,0	32	125
2C139A	3,9	10,0	300	3,51	4,29	60	-10	3,0	70	125
2C139Б	3,9	10,0	100	3,5	4,3	60	-10	3,0	26	125
2C139Д1	3,9	3,0	50	3,7	4,1	180	-6,5	0,25	12,8	125
2C143Д1	4,3	3,0	50	4	4,6	180	-6,0	0,25	11,6	125
KC147A	4,7	10,0	300	4,23	5,17	56	-9...10	3,0	58	125
KC147Г	4,7	5,0	125	4,2	5,2	150	-7,0	1,0	26,5	125
2C147A	4,7	10,0	300	4,23	5,17	56	-9...10	3,0	58	125

2C147Б	4,7	10,0	100	4,1	5,2	56	-8...+2	3,0	21	125
2C147В	4,7	5,0	125	4,5	4,9	150	-7,0	1,0	26,5	125
12C147Г	4,7	5,0	125	4,2	5,2	150	-7,0	1,0	26,5	125
12C147У1	4,7	3,0	50	4,2	5,2	220	-8,0	1,0	10,6	125
12C147Т1	4,7	3,0	50	4,4	4,9	220	-8,0	1,0	10,6	125
2C147Т9	4,7	3,0	200	4,4	4,9	220	-8,0	1,0	38	125
2C151Т1	5,1	3,0	50	4,8	5,4	180	-6...3	1,0	10	125
KC156А	5,6	10,0	300	5,04	6,16	46	±5,0	3,0	55	125
KC156Г	5,6	5,0	125	5	6,2	100	7,0	1,0	22,4	125
2C156А	5,6	10,0	300	5,04	6,16	46	±5,0	3,0	55	125
2C156Б	5,6	10,0	100	5	6,4	45	-4...7	3,0	18	125
2C156В	5,6	5,0	125	5,3	5,9	100	5,0	1,0	22,4	125
2C156Г	5,6	5,0	125	5	6,2	100	7,0	1,0	22,4	125
2C156У1	5,6	3,0	50	5	6,2	160	-4...6	1,0	9	125
2C156Т1	5,6	3,0	50	5,3	5,9	160	-4...6	1,0	9	125
2C156Т9	5,6	3,0	200	5,3	5,9	160	-4...6	1,0	34	125
2C156Ф	5,6	5,0	125	5,3	5,9	30	4,0	1,0	20	125
KC162А	6,2	10,0	300	5,8	6,6	35	-6,0	3,0	50	100
KC162В	6,2	10,0	150	5,8	6,6	—	-6,0	3,0	22	100
2C162А	6,2	10,0	150	5,66	6,76	35	-6,0	3,0	22	125
2C162Б1	6,2	3,0	21	5,89	6,51	15	6,0	1,0	3,4	85
2C162В1	6,2	3,0	21	5,58	6,82	25	6,0	1,0	3,4	85
KC168А	6,8	10,0	300	6,12	7,48	7	±6,0	3,0	45	125
KC168В	6,8	10,0	150	6,3	7,3	28	±5,0	3,0	20	100
2C168А	6,8	10,0	300	6,12	7,48	28	±6,0	3,0	45	125
2C168Б	6,8	10,0	100	6	7,5	15	7,0	3,0	15	125
2C168В	6,8	10,0	150	6,24	7,38	28	±5,0	3,0	20	125
2C168К1	6,8	0,5	20	6,46	7,14	200	5,0	0,1	2,94	125
2C168К9	6,8	0,5	200	6,46	7,14	200	5,0	0,1	27	125
2C168Х	6,8	0,5	20	6,5	7,1	200	5,0	0,5	3	125
KC170А	7,0	10,0	150	6,43	7,59	20	±1,0	3,0	20	100
2C170А	7,0	10,0	150	6,43	7,59	18	±1,0	3,0	20	125
KC175А	7,5	5,0	150	6,82	8,21	16	±4,0	3,0	18	100
KC175Ж	7,5	0,5	125	7,1	7,9	40	7,0	0,5	17	125
KC175Ц	7,5	0,5	125	7,1	7,9	200	6,5	0,1	17	125

В основу системы обозначений диодов положен буквенно-цифровой код, первый элемент которого обозначает исходный полупроводниковый материал, на основе которого изготовлен прибор:

Г или 1 – германий или его соединения;

К или 2 – кремний или его соединения;

Второй элемент обозначения – буква, определяет подкласс приборов:

Д – диоды выпрямительные, импульсные,

Ц – выпрямительные столбы,  
В – варикапы,  
И – туннельные диоды,  
С – стабилитроны.

Третий элемент – цифра, определяет один из основных характеризующих прибор признаков (параметр, назначение или принцип действия),

Например, для подкласса Д:

1 – выпрямительные диоды с постоянным или средним значением прямого тока  $< 0,3$  А.

2 – выпрямительные диоды с постоянным прямым током от 0,3 до 10 А.

4 – импульсные диоды с временем восстановления обратного сопротивления более 500 нс.

5 – импульсные диоды с временем восстановления  $< 500$  нс.

Для подкласса С:

1 – стабилитроны мощностью  $< 0,3$  Вт с номинальным напряжением стабилизации  $< 10$  В.

2 – стабилитроны мощностью  $< 0,3$  Вт с номинальным напряжением стабилизации от 10 до 100 В.

8 – стабилитроны мощностью от 5 до 10 Вт с номинальным напряжением стабилизации от 10 до 100 В.

Четвертый элемент – число, обозначающее порядковый номер разработки технологического типа прибора.

Пятый элемент – буква, условно определяет классификацию по параметрам приборов, изготовленных по единой технологии.

Приведем пример обозначения некоторых приборов:

КД510А – кремневый импульсный диод с временем восстановления обратного сопротивления 4нс, номер разработки 10, группа А.

2С147А – кремневый стабилитрон мощностью  $\leq 0,3$  Вт, напряжение стабилизации 4,7 В, группа А.

В настоящее время многие выпускаемые промышленностью диоды и стабилитроны, как и многие другие электронные приборы, маркируются посредством цветового кода. Расшифровка цветового кода для некоторых стабилитронов представлена в таблице 2:

*Таблица 2. Цветовая маркировка некоторых стабилитронов.*

Тип элемента	Метка у выводов катода	Метка у выводов анода
КС133А	Голубое кольцо	Белое кольцо
2С133А	Белое кольцо	Черное кольцо
КС133Г	Оранжевая метка на торце корпуса	
КС139А	Зеленое кольцо	Белое кольцо
2С139А	Зеленое кольцо	Черное кольцо
КС147А	Серое или синее кольцо	Белое кольцо
2С147А	—	Черное кольцо
КС147Г	Зеленая метка на торце корпуса	—

Тип элемента	Метка у выводов катода	Метка у выводов анода
KC156A	Оранжевое кольцо	Белое кольцо
2C156A	Оранжевое кольцо	Черное кольцо
KC156Г	Красная метка на торце корпуса	
KC168A	Красное кольцо	Белое кольцо
2C168A	Красное кольцо	Черное кольцо
KC175Ж	Белое кольцо	
KC182Ж	Желтое кольцо	
KC191Ж	Красное кольцо	
KC210Ж	Зеленое кольцо	
KC211Ж	Серое кольцо	
KC212Ж	Оранжевое кольцо	
KC213Ж	Черное кольцо	—
KC215Ж	Белое кольцо	Черное кольцо
KC216Ж	Желтое кольцо	Черное кольцо
KC218Ж	Красное кольцо	Черное кольцо

Вольт – амперные характеристики диода можно строить по точкам, измеряя постоянные напряжения и токи в цепях соответствующих электродов исследуемого элемента. Однако такой метод весьма трудоемкий. Кроме того, длительное протекание тока через элемент может привести к изменению его параметров в процессе измерения. Особенно сильно это проявляется при больших, близких к предельно допустимым для данного элемента тока и напряжениях. Если же воспользоваться осциллографическим методом, описанным ниже, то указанные недостатки можно исключить.

Прибор, позволяющий наблюдать на экране осциллографа ВАХ диода, называется характериографом. Блок схема характериографа показана на рис.3.

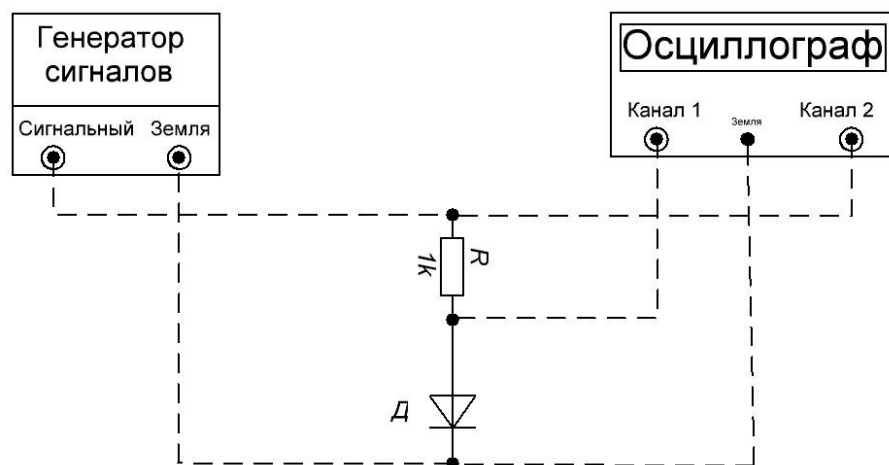


Рис.3. Схема характериографа

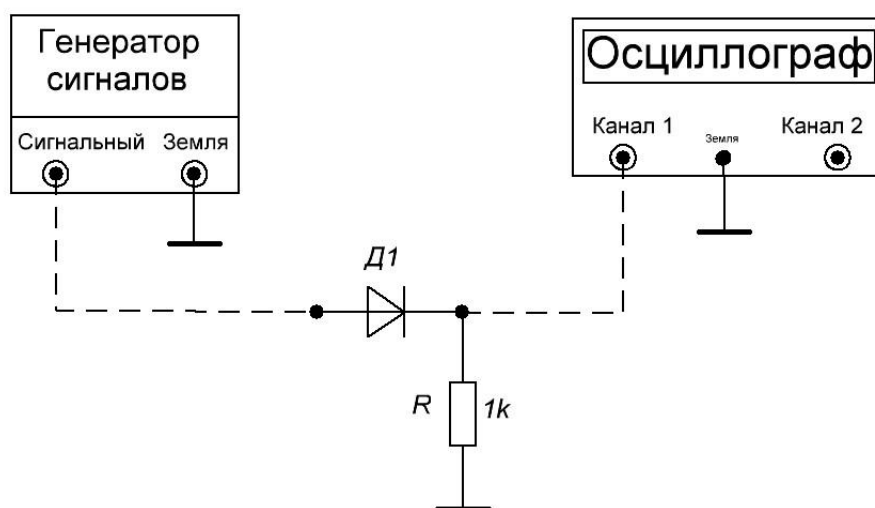
Напряжение, снимаемое с диода D, поступает на X – вход осциллографа, т.е. на горизонтальное отклонение луча осциллографа. Падение напряжения на резисторе R ,

пропорциональное току через диод  $D$ , поступает на  $Y$  – вход осциллографа, т.е. на вертикальное отклонение луча осциллографа. Таким образом, отклонение электронного луча по оси  $X$  оказывается пропорциональным падению напряжения на диоде, а по оси  $Y$  – току через него. Поэтому траектория луча на экране осциллографа и есть ВАХ диода.

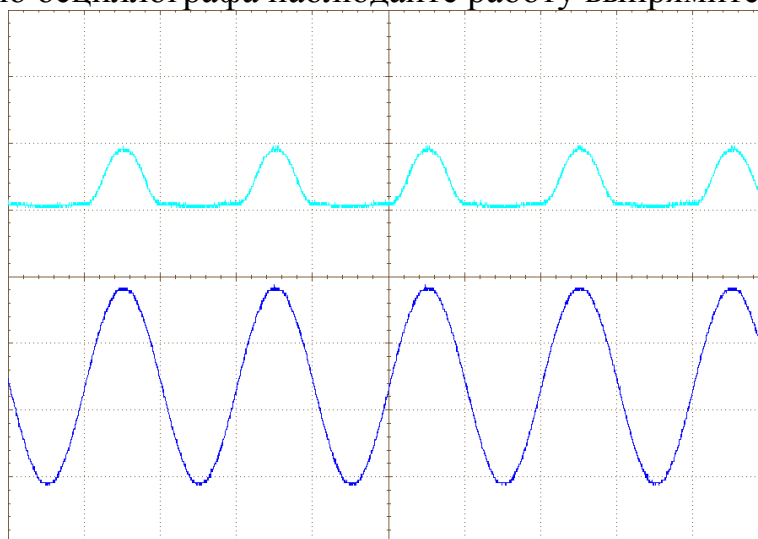
Искажения этой характеристики обусловлены двумя основными причинами: нелинейной зависимостью величины отклонения луча на экране от напряжения и не идеальностью (и не идентичностью) фазовых характеристик усилителей  $X$  и  $Y$  каналов. Первая неточность может быть уменьшена путем градуировки шкалы, или калибровки, вторая – путем выбора частоты колебаний генератора напряжений.

### ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

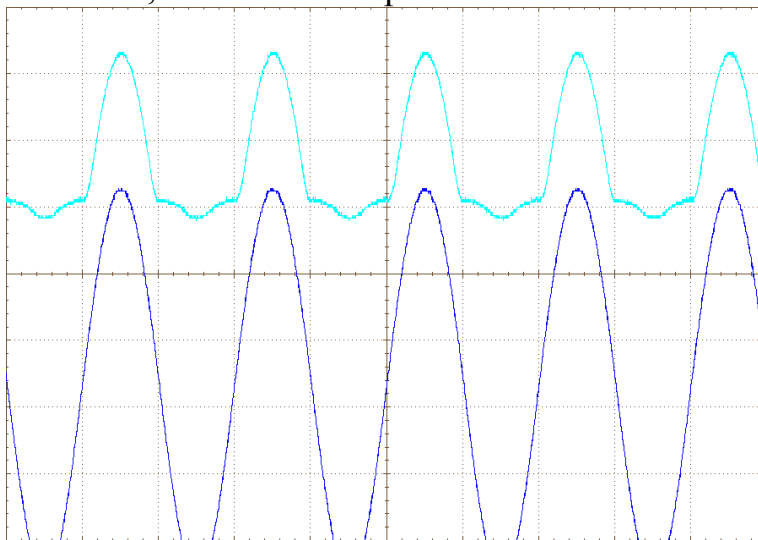
1. Изучить выданный диод (стабилитрон): выяснить по маркировке (см. таблицу 2) его наименование и переписать из справочника (см. таблицу 1) его параметры.
2. Соберите схему однопериодного выпрямителя и подключите к ней осциллограф:



- 2.1. Установите амплитуду сигнала на выходе генератора равной 2 В, а частоту сигнала – 1 кГц.
- 2.2. С помощью осциллографа наблюдайте работу выпрямителя:

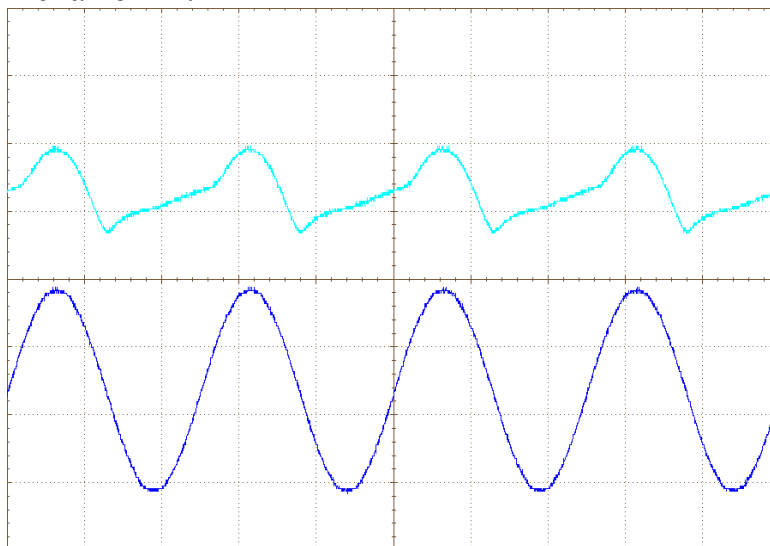


2.3. Увеличивайте амплитуду входного сигнала до тех пор, пока на выходном сигнале не появятся искажения, связанные с пробоем:



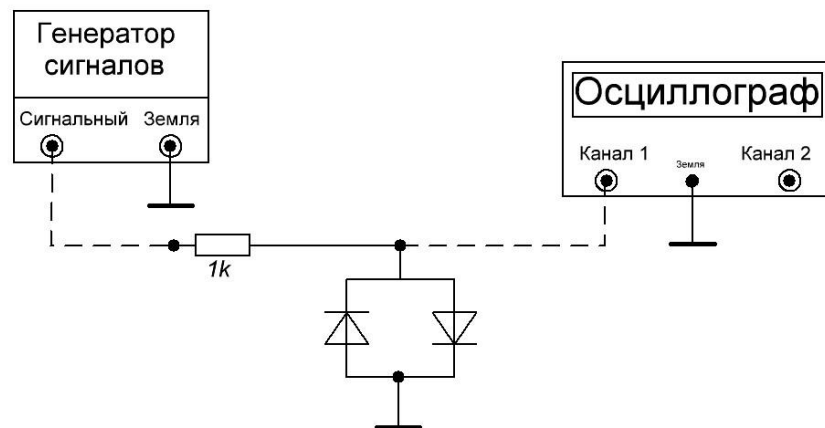
2.4. Запишите величину этой амплитуды и зарисуйте картинку с экрана осциллографа.

2.5. Верните амплитуду входного сигнала к значению, предшествовавшему возникновению пробоя. Увеличивайте частоту сигнала до тех пор, пока на выходе не появятся характерные искажения:



2.6. Запишите величину этой частоты и зарисуйте картинку с экрана осциллографа.

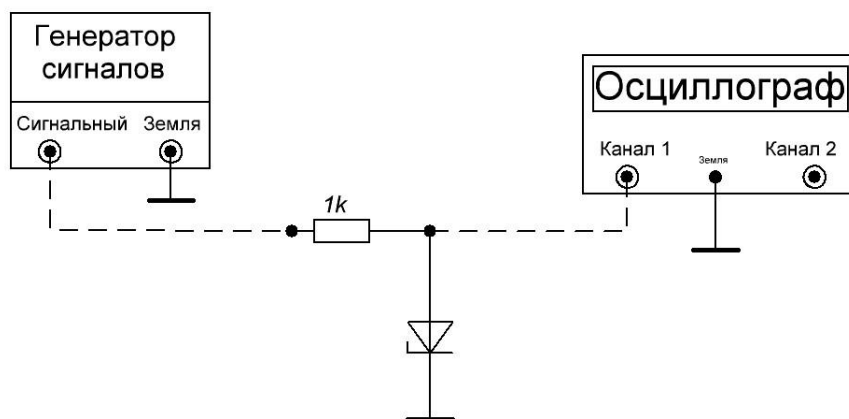
3. Соберите схему диодного ограничителя



3.1. Подайте на вход синусоидальные и прямоугольные колебания различной амплитуды (от 0,6 В до 5 В).

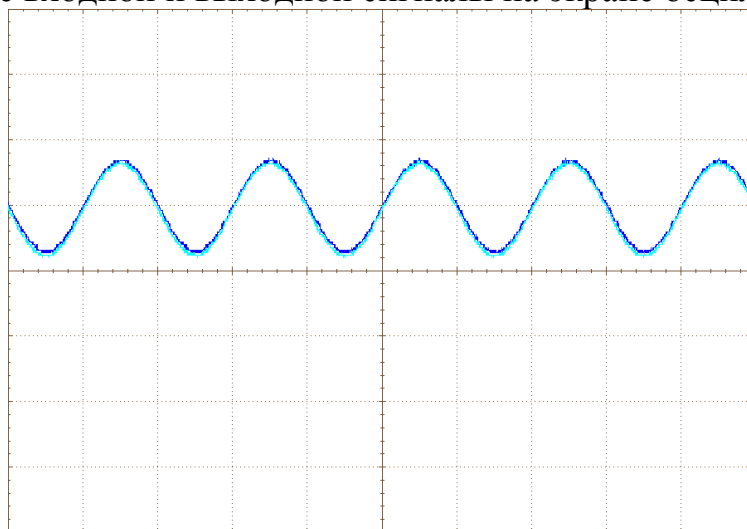
3.2. Зарисуйте форму входного и выходного сигналов при минимальной и максимальной амплитуде.

4. Соберите диодный ограничитель по схеме рисунке



4.1. Подайте на вход синусоидальный сигнал частотой 1 кГц и амплитудой, меньшей чем напряжение стабилизации выданного стабилитрона.

4.2. Совместите входной и выходной сигналы на экране осциллографа:

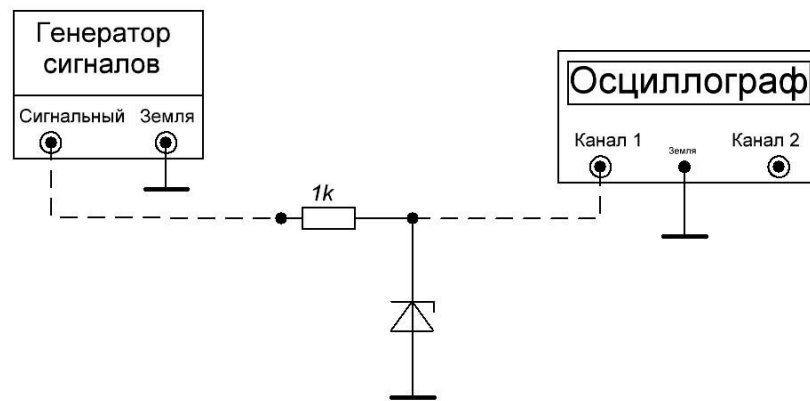


4.3. Увеличивайте амплитуду входного сигнала до величины, превышающей напряжение стабилизации на 5 В

4.4. Зарисуйте форму выходного сигнала при различных амплитудах  $U_{вх}$ .

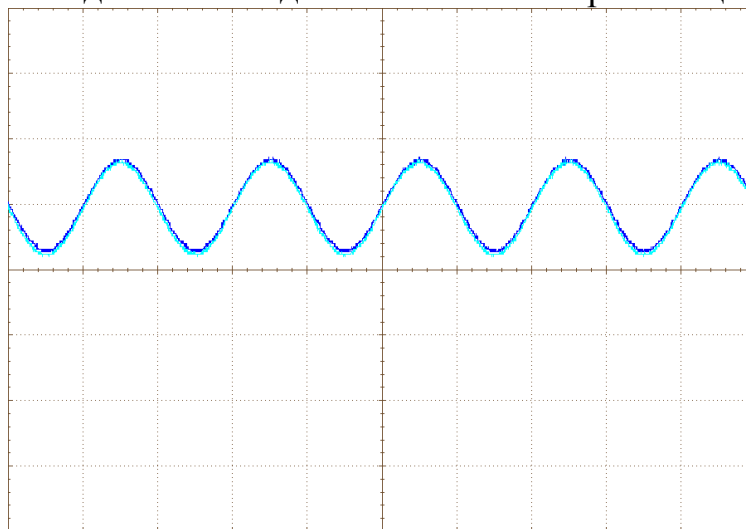


5. Соберите схему, показанную на рисунке:



5.1. Подайте на вход синусоидальный сигнал частотой 1 кГц и амплитудой, меньшей чем напряжение стабилизации выданного стабилитрона.

5.2. Совместите входной и выходной сигналы на экране осциллографа:



5.3. Увеличивайте амплитуду входного сигнала до величины, превышающей напряжение стабилизации на 5 В

5.4. Зарисуйте форму выходного сигнала при различных амплитудах  $U_{вх}$ .

6. Собрать схему характериографа (рис.3).

6.1. Настроить осциллограф на работу в режиме XY: нажмите клавишу *Display*, установите *Формат XY*, *Тип Точки*.

6.2. Установите на генераторе синусоидальный или треугольный сигнал с частотой 20 Гц и амплитудой 20 В.

6.3. Подрегулируйте развёртку по осям X и Y и зарисуйте ВАХ, отображаемую на экране осциллографа.

## ПЕРЕЧЕНЬ ИСПОЛЬЗУЕМОГО ОБОРУДОВАНИЯ

- 1) Осциллограф АСК-2034
- 2) Источник питания APS-7315
- 3) Генератор функциональный ADG-1005

4) Мультиметр АМ-1152

5) Макетная плата и исследуемые электронные компоненты

#### УКАЗАНИЕ ПО ОФОРМЛЕНИЮ ОТЧЕТА

Отчет должен содержать справочную информацию о полученном для экспериментов стабилитроне, принципиальные схемы, расчетные формулы, полученные результаты и выводы.

#### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Почему не идентичность фазовых характеристик горизонтального и вертикального каналов осциллографа искажает вольт – амперную характеристику на экране осциллографа?

2. Объясните, как и почему работает схема (п.4).

#### Библиографический список

1. Ефимчик М.К., Шушкевич С.С. Основы радиоэлектроники. – Минск: Изд – во БГУ, 1981. – 286 с.

2. Хоровиц П., Хилл У. Искусство схемотехники. Пер. с англ.: - М.: Мир, 1983. – Т.1. – 690 с.

## Лабораторная работа №3 Биполярные транзисторы.

### ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ РАБОТЫ

Целью данной лабораторной работы является изучение осциллографического метода получения статических характеристик транзисторов, а также изучение практических методов построения схем на транзисторах.

### ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

**Транзистор** (англ. *transistor*), **полупроводниковый триод** – радиоэлектронный компонент из полупроводникового материала, обычно с тремя выводами, позволяющий входным сигналом управлять током в электрической цепи. Обычно используется для усиления, генерации и преобразования электрических сигналов. В общем случае транзистором называют любое устройство, которое имитирует главное свойство транзистора - изменения сигнала между двумя различными состояниями при изменении сигнала на управляющем электроде.

**Биполярным транзистором** называют полупроводниковый прибор с двумя взаимодействующими р-п-переходами и тремя выводами. Он представляет собой полупроводниковый кристалл, в котором две крайние области с одинаковой электропроводностью разделены областью противоположной электропроводности. В зависимости от электропроводности этих трех областей различают транзисторы n-p-n типа и p-n-p типа. Термин "биполярный" подчеркивает, что в работе таких транзисторов играют роль оба типа носителей зарядов - электроны и дырки.

Реальные биполярные транзисторы являются асимметричными приборами, их р-п-переходы существенно различаются. Один из них имеет гораздо меньшую площадь, чем другой

Асимметрия наблюдается и в концентрации примесей - один из крайних слоев  $n_1$  или  $p_1$  легирован сильнее, чем слой  $n$  или  $p_2$ . Средний слой транзистора называют **базой**, крайний, сильно легированный слой меньшей площади  $n_1(p_1)$  - **эмиттером**, а слой с большей площадью -  $n_2(p_2)$  - **коллектором**. Соответственно  $n_1$ - $p(p_1$ - $n)$ -переход называют эмиттерным, а  $n_2$ - $p(p_2$ - $n)$ -переход - коллекторным. Конструктивно транзистор представляет собой полупроводниковый кристалл, часть поверхностей которого (Б, Э и К) покрывается металлической пленкой. К этим пленкам привариваются и припаиваются внешние выводы всех электропроводов транзистора. Сам кристалл укрепляют на кристаллодержателе и помещают в герметизированный корпус, а выводы через изоляторы выводят наружу. В мощных транзисторах коллектор часто непосредственно соединяют с основанием, что увеличивает рассеиваемую на нем мощность. В этом случае коллекторным выводом служит основание корпуса транзистора.

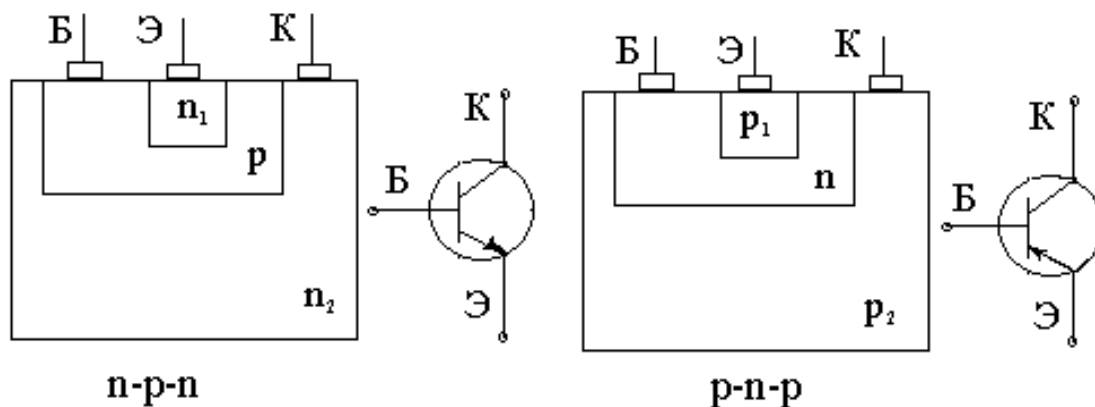


Рис. 1. Условное графическое обозначение и упрощённая структура биполярного транзистора n-p-n и p-n-p типа.

Принцип действия биполярного транзистора как управляющего элемента основан на сочетании процесса инжекции носителей через один p-n-переход и собирания их на другом p-n-переходе. При работе транзистора в режиме усиления эмиттерный переход смещается в прямом направлении, а коллекторный переход – в обратном. Т.е. основное свойство биполярного транзистора как управляющего элемента – зависимость выходного (коллекторного) тока от входной переменной величины (тока эмиттера или напряжения на эмиттерном переходе).

#### *Система обозначений отечественных транзисторов*

В основу системы обозначений транзисторов положен буквенно-цифровой код, *первый* элемент которого обозначает исходный полупроводниковый материал, на основе которого изготовлен транзистор:

- Г или 1 – для германия;
- К или 2 – для кремния.

*Второй* элемент обозначения – буква, определяющая подкласс транзистора:

- Т – для биполярных транзисторов;
- П – для полевых транзисторов.

*Третий* элемент – цифра, определяющая его основные функциональные возможности (допустимые значения рассеиваемой мощности и граничную либо максимальную рабочую частоту):

- 1 – транзисторы маломощные ( $P_{\max} \leq 0,3$  Вт) низкочастотные ( $f > 30$  МГц);
- 2 – транзисторы маломощные средней частоты ( $3 < f \leq 30$  МГц);
- 3 – транзисторы маломощные высокочастотные и СВЧ ( $f > 30$  МГц);
- 4 – транзисторы средней мощности ( $0,3$  Вт  $< P_{\max} \leq 1,5$  Вт) низкочастотные;
- 5 – транзисторы средней мощности, средней частоты;
- 6 – транзисторы средней мощности высокочастотные и СВЧ;
- 7 – транзисторы большой мощности ( $P_{\max} > 1,5$  Вт) низкочастотные;
- 8 – транзисторы большой мощности среднечастотные;
- 9 – транзисторы большой мощности высокочастотные и СВЧ.

*Четвертый* элемент – число, обозначающее порядковый номер разработки технологического типа транзисторов. Для этого используются числа от 01 до 999.

*Пятый* элемент – буква, условно определяющая классификацию по параметрам транзисторов, изготовленных по единой технологии.

Примеры обозначений:

– ГТ101А – германиевый биполярный маломощный низкочастотный, номер разработки 1, группа А.

– 2Т399А – кремниевый биполярный маломощный СВЧ, номер разработки 99, группа А.

– 2П904Б – кремниевый полевой мощный высокочастотный, номер разработки 4, группа, Б.

#### *Маркировка транзисторов по системе JEDEC (США)*

*Первый* элемент – означает число р-п-переходов:

1 – диод, 2 – транзистор, 3 – тиристор.

*Второй* элемент – буква N (типономинал).

*Третий* элемент – цифры (серийный номер).

*Четвертый* элемент – буква, указывающая на возможные изменения параметров (характеристик) прибора в пределах одного типономинала по EIA. Если корпус транзистора или другого полупроводникового прибора мал, то в сокращенной маркировке первая цифра и буква N не ставятся.

Пример обозначений: 2N2906A, 2N7002LT1.

Основные параметры используемых в лабораторной работе транзисторов приведены в приложении. Для расчета усилителей на транзисторах весьма полезными являются входные и выходные вольт – амперные характеристики транзистора. Эти характеристики можно строить по точкам, измеряя постоянные напряжения и токи в цепях соответствующих электродов исследуемого элемента.

### ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

#### 1. Исследуемый транзистор

1.1. Получите у преподавателя исследуемый транзистор.

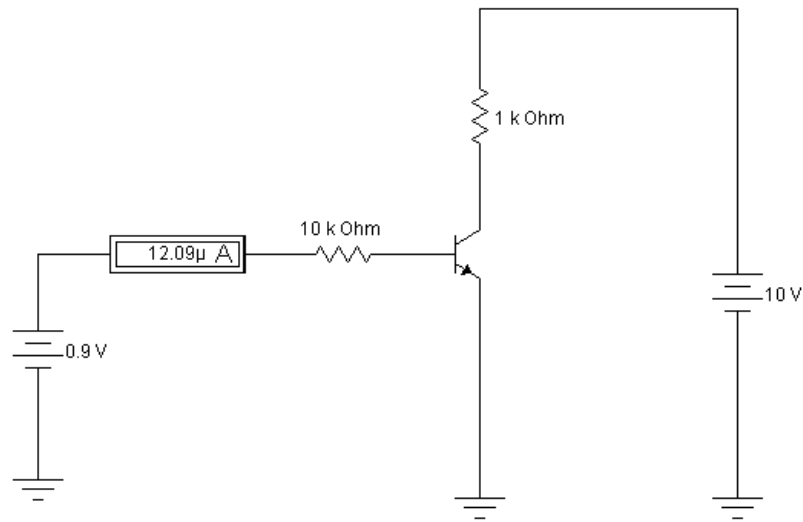
1.2. Найдите в справочнике параметры исследуемого транзистора и перепишите их.

1.3. Перерисуйте из справочника цоколёвку транзистора.

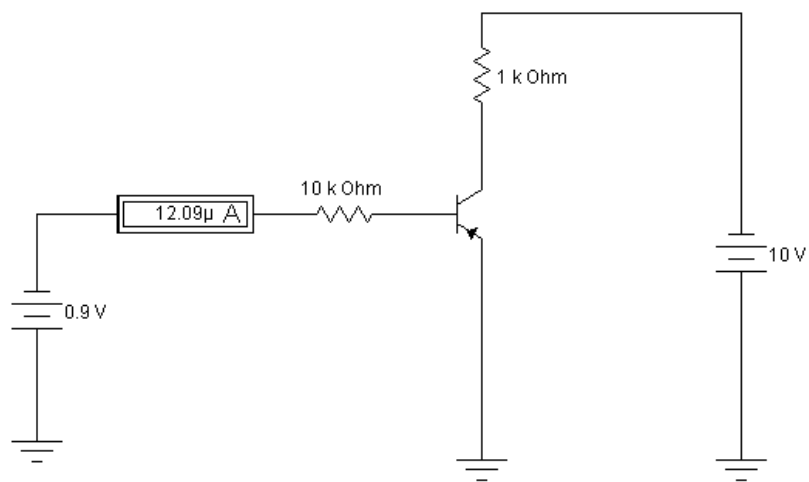
#### **Виртуальная часть работы.**

#### 2. Исследование входных характеристик транзистора:

2.1. Соберите в программе EWB схему для снятия входных характеристик транзистора:



а)



б)

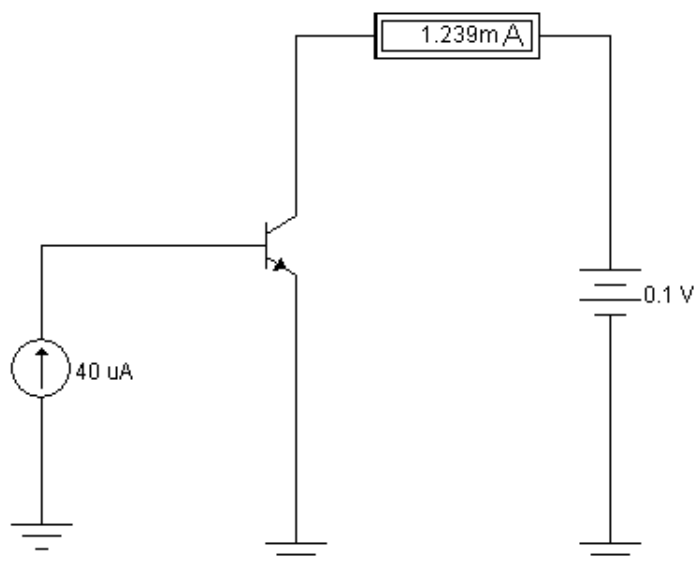
Рис. 2. Схемы снятия входных характеристик: а) NPN транзистора, б) PNP транзистора

2.2. Изменяя напряжение база-эмиттер (БЭ) в диапазоне от 0 до 2 В с шагом 0,1 В и, записывая показания амперметра, составьте таблицу зависимости тока базы от напряжения БЭ.

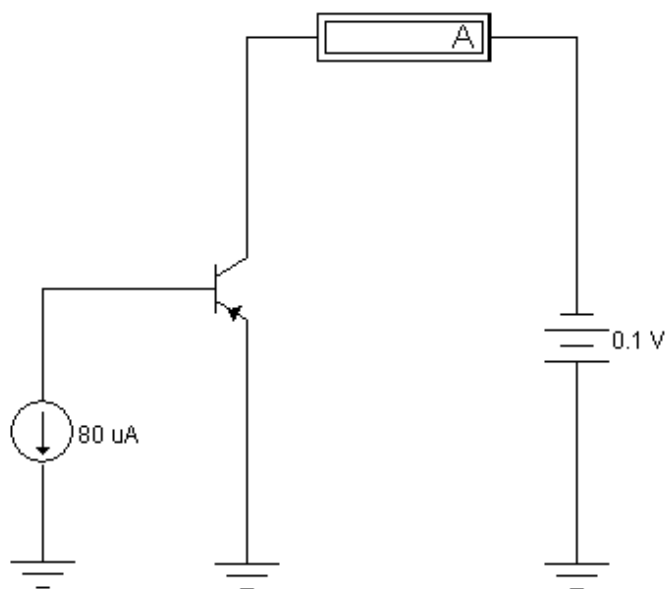
2.3. Постройте график зависимости тока базы от напряжения БЭ.

### 3. Исследование выходных характеристик транзистора

3.1. Соберите в программе EWB схему для снятия выходных характеристик транзистора:



а)



б)

Рис. 3. Схемы снятия выходных характеристик: а) NPN транзистора, б) PNP транзистора

3.2. С помощью источника тока задайте ток базы 20 мкА.

3.3. Изменяя напряжение КЭ от 0 до 1 В с шагом 0,1 В и от 1 до 10 В с шагом 1 В, записывая показания амперметра, составьте таблицу зависимости тока коллектора от напряжения КЭ.

3.4. Повторите пункт 2.3 для токов базы: 40, 60, 80, 100 и 120 мкА.

3.5. Постройте графики зависимости тока коллектора от напряжения КЭ при различных токах базы на одной координатной плоскости.

## Интерактивная часть работы.

### 4. Исследование усилительного каскада с общим эмиттером:

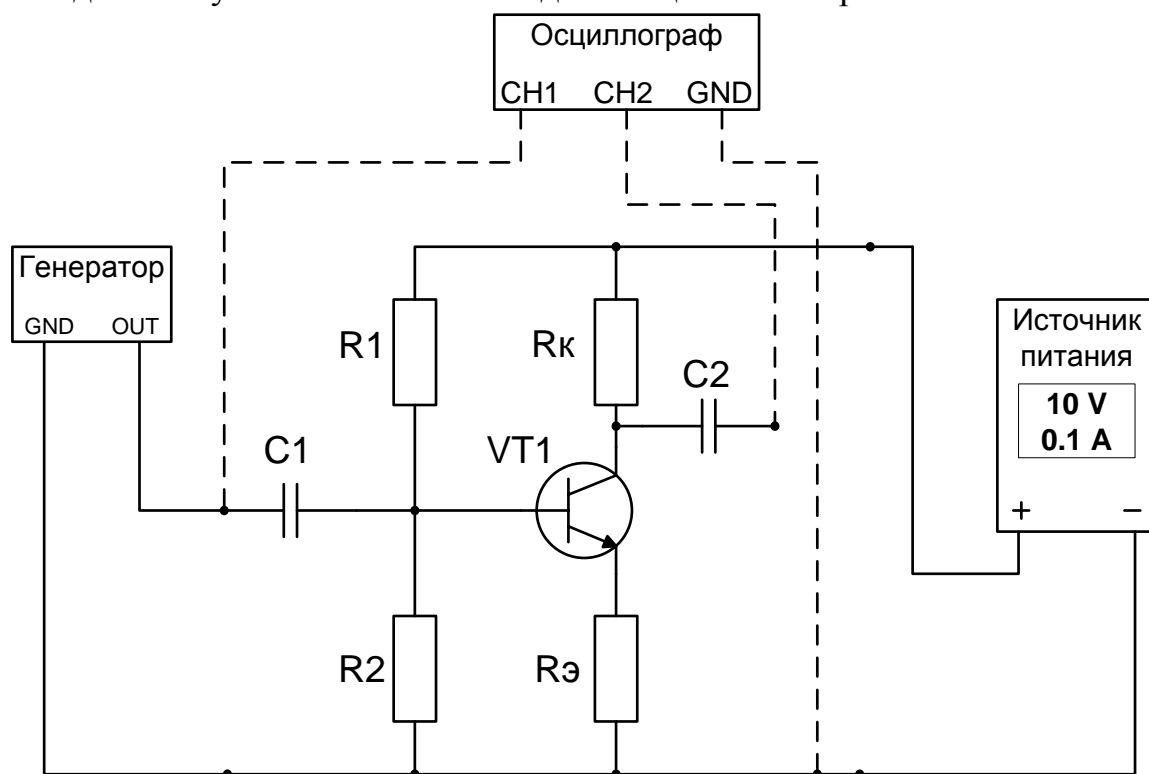


Рис.4. Схемы изучения усилительного каскада с общим эмиттером.

4.1. Выберите коэффициент усиления каскада в соответствии с таблицей:

Вариант	Коэффициент усиления
1	2
2	2,5
3	3
4	3,5
5	4

4.2. Выберите сопротивление  $R_k$  в диапазоне от 2 до 10 кОм и рассчитайте величину сопротивления  $R_3$ .

4.3. Рассчитайте  $R_1$  и  $R_2$ , учитывая, что напряжение питания равно 10 В.

4.4. Получите от преподавателя конденсаторы  $C_1$  и  $C_2$ , а также выберите резисторы согласно рассчитанным номиналам.

4.5. Соберите на макетной плате схему, изображенную на рис. 4.

4.6. Настройте генератор на выдачу синусоидального сигнала с амплитудой 1 В и частотой 10 кГц.

4.7. Настройте источник питания: напряжение выхода 10В, предельный ток 0,1 А.

**ВНИМАНИЕ!** Для транзистора PNP типа необходимо поменять полярность питающего напряжения, т.е. поменять местами «+» и «-» источника питания на схеме рис. 4.

4.8. После проверки собранной схемы, подайте питающее напряжение и входной сигнал с генератора.

4.9. Выведите на экран осциллографа входной и выходной сигналы, убедитесь в правильности установки рабочей точки и коэффициента усиления. Зарисовать полученные графики.



5. Изучение частотных характеристик усилительного каскада.

5.1. Настройте осциллограф для анализа характеристик сигналов:

- Нажать на кнопку «Measure»
- С помощью клавиши F1 выбрать пункт «Источник»
- Клавишей F2 выбрать «Канал 1», а клавишей F3 – «Канал 2»
- С помощью клавиши F1 выбрать пункт «Тип»
- Клавишами F2 и F3 выбрать параметр «Vamp»

5.2. Установите частоту сигнала генератора 20 Гц.

5.3. Изменяя вертикальную и горизонтальную развёртку осциллографа, добейтесь видимости входного и выходного сигнала на экране. Запишите измеренную амплитуду входного и выходного сигналов и посчитайте текущий коэффициент усиления:

$$K_y = \frac{U_{вых}}{U_{вх}}$$

5.4. Повторите эксперимент для различных частот входного сигнала и заполните таблицу:

Частота	20 Гц	30 Гц	40 Гц	50 Гц	100 Гц	200 Гц	500 Гц	1 кГц	10 кГц
КУ									

Частота	100 кГц	200 кГц	500 кГц	1 МГц	2 МГц	3 МГц	4 МГц	5 МГц
КУ								

5.5. Нарисуйте амплитудно-частотную характеристику усилительного каскада.

5.6. Сделайте выводы о полосе пропускания собранного усилительного каскада.

6. Выключите оборудование и разберите схему.

### ПЕРЕЧЕНЬ ИСПОЛЬЗУЕМОГО ОБОРУДОВАНИЯ

- 1) Осциллограф АСК-2034
- 2) Источник питания APS-7315
- 3) Генератор функциональный ADG-1005
- 4) Мультиметр АМ-1152
- 5) Макетная плата и исследуемые электронные компоненты

### УКАЗАНИЕ ПО ОФОРМЛЕНИЮ ОТЧЕТА

Отчет должен содержать принципиальные схемы, расчетные формулы, полученные результаты и выводы.

### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Как вы объясните наличие отрицательной полуволны переменного сигнала на выходе усилителя, если область усиления транзистора ограничена неравенством  $U_{кэ} > U_{кэ\text{ нас}}$  ?

2. Почему относительно малый ток базы биполярного транзистора может служить управляющей величиной ? Почему условие  $i_{\delta}=0$  требует, чтобы  $i_k$  и  $i_{\varepsilon}$  также равнялись нулю ?

3. За счет чего происходит дополнительное увеличение мощности сигнала в усилителе ? Поясните ваш ответ на примере усилителя с общим эмиттером.

4. В какой из схем рассеивается меньшая мощность – в транзисторном усилителе, работающего в режиме усиления, или в транзисторном переключателе? Поясните ваш ответ.

#### Библиографический список

1. Ефимчик М.К., Шушкевич С.С. Основы радиоэлектроники. – Минск: Изд – во БГУ, 1981. – 286 с.

2. Хоровиц П., Хилл У. Искусство схемотехники. Пер. с англ.: - М.: Мир, 1983. – Т.1. – 590 с.

## Лабораторная работа №5 Операционные усилители.

### ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ РАБОТЫ

Целью данной лабораторной работы является изучение работы базовых схем на основе операционных усилителей.

### ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Операционный усилитель почти всегда охвачен *глубокой отрицательной обратной связью*, свойства которой и определяют свойства схемы с ОУ.

#### Инвертирующее включение

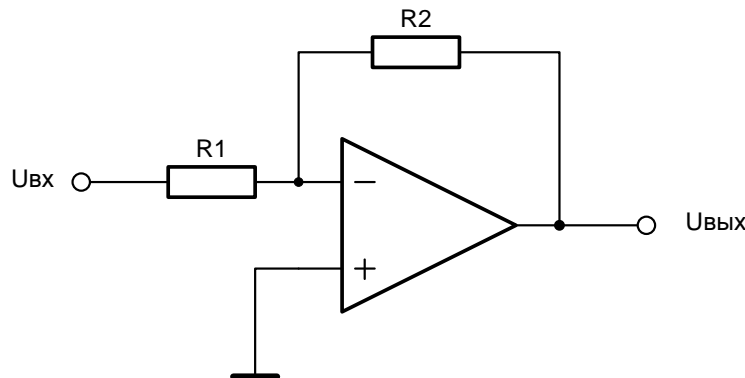


Рис. 1. Инвертирующее включение

При инвертирующем включении неинвертирующий вход ОУ соединяется с общей шиной. Таким образом, выходное напряжение усилителя в инвертирующем включении находится в противофазе по отношению ко входному. Коэффициент усиления входного сигнала по напряжению этой схемы в зависимости от соотношения сопротивлений резисторов может быть как больше, так и меньше единицы:

$$K = -\frac{R_2}{R_1}$$

Найдем входное сопротивление схемы. Поскольку напряжение на неинвертирующем входе относительно общей шины равно нулю, согласно свойству а) идеального ОУ входной ток схемы  $I_1 = U_2 / R_1$ . Следовательно, входное сопротивление схемы  $R_{вх} = R_1$ . Поскольку напряжение на неинвертирующем входе усилителя равно нулю, а согласно свойству а) идеального ОУ разность потенциалов между его входами равна нулю, то инвертирующий вход в этой схеме иногда называют виртуальным (т.е. воображаемым) нулем.

#### Неинвертирующее включение

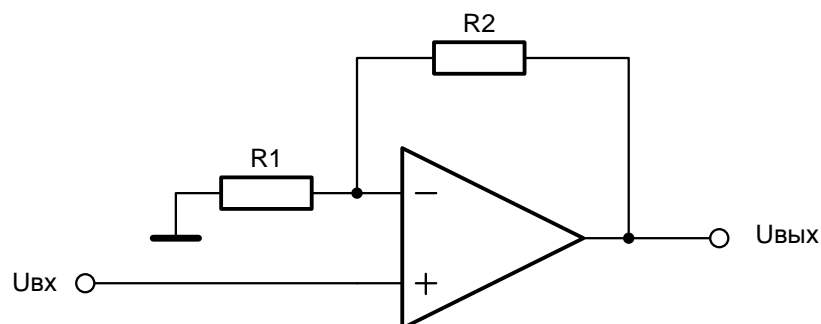


Рис. 2. Неинвертирующее включение

При неинвертирующем включении входной сигнал подается на неинвертирующий вход ОУ, а на инвертирующий вход через делитель на резисторах  $R_1$  и  $R_2$  поступает сигнал с выхода усилителя

Как видно, здесь выходной сигнал синфазен входному. Коэффициент усиления по напряжению не может быть меньше единицы. В предельном случае, если выход ОУ накоротко соединен с инвертирующим входом, этот коэффициент равен единице. Такие схемы называют неинвертирующими повторителями и изготавливают серийно в виде отдельных ИМС по несколько усилителей в одном корпусе. Входное сопротивление этой схемы в идеале – бесконечно. Ниже будет показано, что у повторителя на реальном операционном усилителе это сопротивление конечно, хотя и весьма велико.

Коэффициент передачи неинвертирующей схемы:

$$K = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$

Если  $R_2=0$ , то  $K=1$ , то схема неинвертирующего усилителя превращается в повторитель напряжения с высоким входным и низким выходным сопротивлением.

### Схема интегрирования (интегратор)

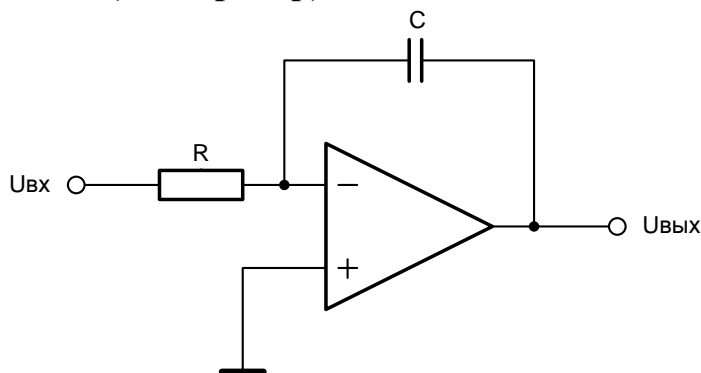


Рис. 3. Схема интегрирования (интегратор)

Наиболее важное значение для аналоговой вычислительной техники имеет применение операционных усилителей для реализации операций интегрирования. Как правило, для этого используют инвертирующее включение ОУ.

Работа схемы интегратора описывается следующим выражением:

$$U_{\text{вых}}(t) = U_{\text{вых}}(0) - \frac{1}{RC} \int_0^t U_1(t) dt$$

Постоянный член  $U_{\text{вых}}(0)$  определяет начальное условие интегрирования.

К операционным усилителям, работающим в схемах интеграторов, предъявляются особенно высокие требования в отношении входных токов, напряжения смещения нуля и дифференциального коэффициента усиления по напряжению  $K_U$ . Большие токи и смещение нуля могут вызвать существенный дрейф выходного напряжения при отсутствии сигнала на входе, а при недостаточном коэффициенте усиления интегратор представляет собой фильтр низких частот первого порядка с коэффициентом усиления  $K_U$  и постоянной времени  $(1+K_U)RC$ .

## Схема дифференцирования

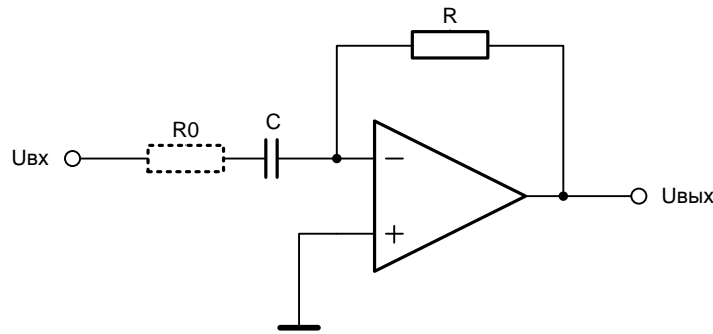


Рис. 4. Схема дифференцирования

Применение первого закона Кирхгофа для инвертирующего входа ОУ в этом случае дает следующее соотношение:

$$U_{вых} = -RC \left( \frac{dU_{вх}}{dt} \right)$$

Практическая реализация дифференцирующей схемы, показанной на рисунке, сопряжена со значительными трудностями по следующим причинам:

- во-первых, схема имеет чисто ёмкостное входное сопротивление, которое в случае, если источником входного сигнала является другой операционный усилитель, может вызвать его неустойчивость;
- во-вторых, дифференцирование в области высоких частот, приводит к значительному усилению составляющих высоких частот, что ухудшает соотношение сигнал/шум;
- в-третьих, в этой схеме в петле обратной связи ОУ оказывается включенным инерционное звено первого порядка, создающее в области высоких частот запаздывание по фазе до  $90^\circ$ : Оно суммируется с фазовым запаздыванием операционного усилителя, которое может составлять или даже превышать  $90^\circ$ , в результате чего схема становится неустойчивой

Устранить эти недостатки позволяет включение последовательно с конденсатором дополнительного резистора  $R_1$  (на рисунке показан пунктиром). Следует отметить, что введение такой коррекции практически не уменьшает диапазона рабочих частот схемы дифференцирования, т.к. на высоких частотах из-за снижения усиления в цепи обратной связи она все равно работает неудовлетворительно. Величину  $R_1C$  (и, следовательно, ноль передаточной функции  $RC$  – цепи) целесообразно выбирать так, чтобы на частоте  $f_1$  усиление петли обратной связи составляло 1.

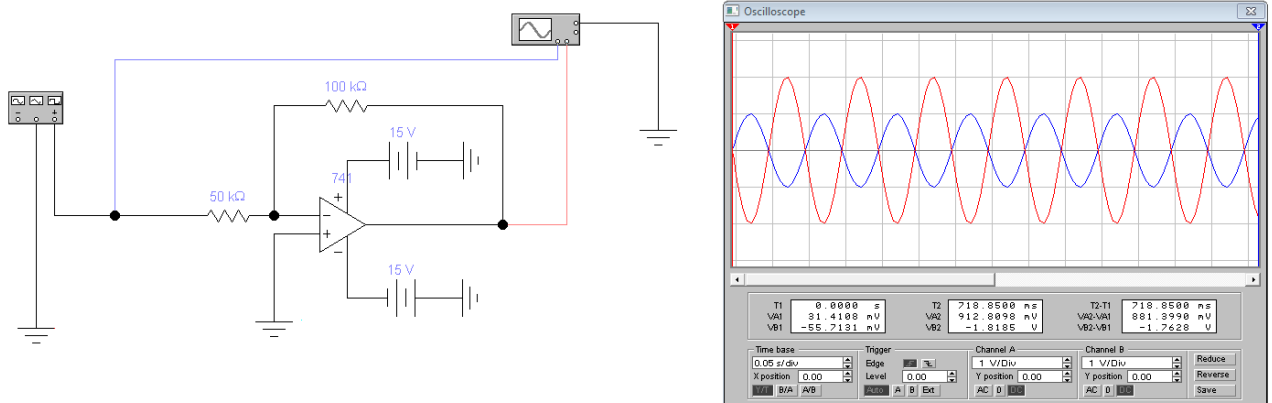
## ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

### 1. Исследование схем инвертирующего и неинвертирующего включения ОУ.

#### 1.1. Исходные данные для расчета схем:

Вариант	Коэффициент передачи	
	для инвертирующего включения	для неинвертирующего включения
1	– 10	3
2	– 8	4
3	– 12	5
4	– 14	6
5	– 5	7
6	– 16	8
7	– 7	9
8	– 18	10
9	– 6	12
10	– 11	14

1.2. Соберите схему инвертирующего включения на базе пятивыводного (5-Terminal Opamp, по умолчанию тип – 741) с питанием  $\pm 15$  В:



1.3. Рассчитайте сопротивления резисторов в зависимости от требуемого коэффициента передачи.

1.4. Подайте на вход синусоидальный сигнал амплитудой 0,1 В и снимите осциллограммы входного и выходного сигналов.

1.5. Увеличивая амплитуду входного сигнала, до тех пор, пока выходной сигнал не начнёт искажаться. Запишите полученную предельную амплитуду входного сигнала, при которой ещё не происходит искажений на выходе.

1.6. Повторите пункты 1.2 – 1.5 для неинвертирующего включения.

### 2. Исследование работы интегратора.

2.1. Соберите схему интегратора (рис. 3), и установите ёмкость конденсатора 10 нФ, а сопротивление резистора 2 кОм.

2.2. Подайте на вход схемы синусоидальный сигнал 0,1 В / 100 Гц. Затем подайте на вход схемы прямоугольный сигнал 0,1 В / 100 Гц. Снимите осциллограммы и прокомментируйте результат.

2.3. Варьируя значения сопротивления и ёмкости, посмотрите как они влияют на работу схемы.

### 3. Исследование работы интегратора.

3.1. Соберите схему дифференцирующего включения (рис. 4) без  $R_0$ , и установите ёмкость конденсатора 100 нФ, а сопротивление резистора 100 кОм.

3.2. Подайте на вход схемы сигнал треугольной формы 0,1 В / 100 Гц. Затем подайте на вход схемы прямоугольный сигнал 0,1 В / 100 Гц. Снимите осциллограммы и прокомментируйте результат.

3.3. Добавьте в схему резистор  $R_0 = 1\text{кОм}$  и, изменяя его значение, добейтесь минимизации искажений выходного сигнала.

3.4. Повторите п. 3.2 с резистором  $R_0$  в схеме.

3.5. Варьируя значения сопротивления и ёмкости, посмотрите как они влияют на работу схемы.

## УКАЗАНИЕ ПО ОФОРМЛЕНИЮ ОТЧЕТА

Отчет должен содержать принципиальные схемы, расчетные формулы, полученные результаты и выводы.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

3. Джонс М.Х. Электроника – практический курс : учеб.пособие / пер.с англ.: Е.В.Воронова, А.Л.Ларина. – 2-е изд., испр. – М. : Техносфера, 2006. – 512с.

4. Хоровиц П., Хилл У. Искусство схемотехники / пер.с англ. Б. Н. Бронин [и др.]. – 7-е изд. – Москва : БИНОМ, 2012. – 704 с.

## Лабораторная работа №6

### Цифровая системотехника

Исследование работы аналого-цифрового и цифро-аналогового преобразователей

#### ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ РАБОТЫ

Целью данной лабораторной работы является изучение работы комбинационных схем, методов преобразования и упрощения цифровых схем при их реализации.

#### ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Цифровая электроника оперирует электрическими эквивалентами цифр. При этом числа чаще всего представляются в двоичной системе, в которой существуют только два знака: единица и ноль, им соответствуют сигналы “логическая единица” и “логический ноль”.

Теоретической основой цифровой схемотехники является булева алгебра или алгебра логики.

Основное понятие булевой алгебры – переключательная (булева) функция. Ее аргументы и она сама могут принимать только два значения: 0 и 1. С помощью булевых функций можно описать действие целого класса схем цифровой электроники, а также функционирование сочетаний этих схем. Такого рода схемы называются комбинационными, так как сигналы на выходе (1 или 0) определяются комбинацией сигналов на их входах (1 или 0).

Простейшими булевыми функциями являются функции одной переменной. Их может быть только 4:

$$Y_0 = f_0(X) = 0 \quad ;$$

$$Y_1 = f_1(X) = 1 \quad ;$$

$$Y_2 = f_2(X) = X \quad ;$$

$$Y_3 = f_3(X) = \overline{X} \quad .$$

Эти функции описывают работу одноходовых цифровых схем, а именно функции  $f_0(X)$  и  $f_1(X)$  описывают схемы, выходы которых постоянно присоединены к уровням логического нуля и логической единицы соответственно; функция  $f_2(X)$  - схему, выход которой постоянно соединен с выходом. Функция  $f_3(X)$  описывает инвертор, или схему отрицания (схема “НЕ”).

Если булева функция имеет две переменные, то в этом случае получается 16 видов функций. Запишем основные из них

$$Y_4 = f_4(X_1, X_2) = X_1 \wedge X_2 \quad - \quad \text{конъюнкция} \quad ;$$

$$Y_5 = f_5(X_1, X_2) = \overline{X_1 \wedge X_2} \quad - \quad \text{отрицательные конъюнкции} \quad ;$$

$$Y_6 = f_6(X_1, X_2) = X_1 \vee X_2 \quad - \quad \text{дизъюнкция} \quad ;$$

$$Y_7 = f_7(X_1, X_2) = \overline{X_1 \vee X_2} \quad - \quad \text{отрицательные дизъюнкции} \quad ;$$

Теорема. Булева функция любого количества переменных может быть получена методом суперпозиции из функций двух переменных.



Метод суперпозиции состоит в подстановке на место переменных других булевых функций или пере нумерации переменных, т.е. в перестановке их местами.

Теорема позволяет ограничиться рассмотрением булевых функций только двух переменных и строить многовыходовые комбинации схем только из двухвходовых схем.

В булевой алгебре установлено, что любая булева функция двух переменных может быть получена из некоторого количества функций двух переменных. Набор функций двух переменных, из которого методом суперпозиции можно получить все остальные булевы функции двух переменных, а значит и все булевы функции любого числа переменных, называется функционально полным набором.

Примерами таких наборов являются  $У_4$  и  $У_3$ ,  $У_6$  и  $У_3$ . Функционально полный набор представляет даже одна отрицательно взятая функция  $f_5$  или  $f_7$ .

Таким образом, на базе электронных схем одного типа, работа которых описывается, например, булевой функцией  $f_5$  или  $f_7$  можно построить любую цифровую комбинационную схему при условии, что выходы таких схем можно подключать ко входам других таких же схем.

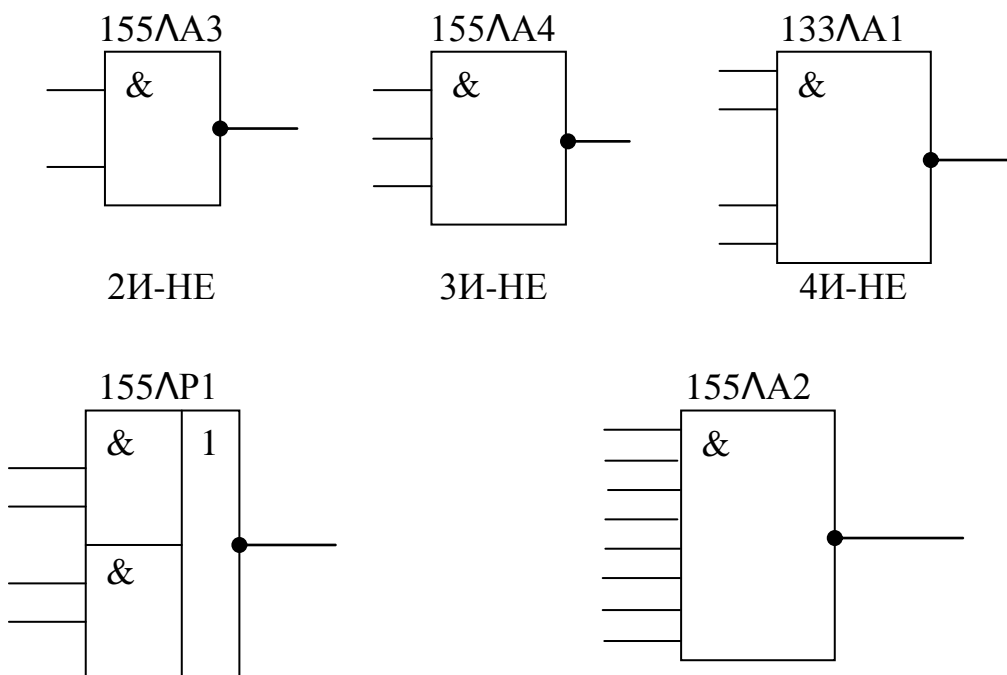
Набор логических элементов, реально используемых в цифровой электронике, соответствует избыточно полному функциональному набору булевых функций. Избыточность набора позволяет получить несколько вариантов одинаково функционирующих схем и выбирать те из них, которые лучше подходят для решения конкретных задач.

Так, например, наиболее распространенное семейство цифровых интегральных микросхем 155 серии содержит 2 И-НЕ, ИЕ, 2И, 2ИЛИ, 2ИЛИ-НЕ, 2И-НЕ, 8И-НЕ, 2-2И-2ИЛИ-НЕ.

## ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ОБОРУДОВАНИЕ

Объектами исследования в данной лабораторной работе являются логические элементы транзисторно-транзисторной логики:

2И-НЕ, 3И-НЕ, 2И-НЕ, 2-2И-2ИЛИ-НЕ (рисунок).



основные параметры этих элементов приведены в табл.1.

	Рном	U'вых	U°вых	$t_{\frac{1.0}{3\partial}}$	$t_{\frac{0.1}{3\partial}}$	Краз
	МВт	В	В	нс	нс	
155ЛА1	52	2,4	0,4	15	29	10
155ЛА2	26	2,4	0,4	18	33	10
155ЛА3	110	2,4	0,4	15	29	10
155ЛА4	80	2,4	0,4	15	29	10

При выполнении работы используются лабораторный стенд типа УМ11 и осциллограф.

### ЗАДАНИЕ НА РАБОТУ

Используя лабораторный стенд и осциллограф, рассмотреть работу основных логических элементов стенда и исследовать их основные параметры.

### ПЕРЕЧЕНЬ ИСПОЛЬЗУЕМОГО ОБОРУДОВАНИЯ

- 1) Персональный компьютер
- 2) Осциллограф АСК-2034
- 3) Источник питания APS-7315
- 4) Генератор функциональный ADG-1005
- 5) Макетная плата и исследуемые электронные компоненты

### ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Подавая на входы элементов все возможные комбинации всех логических нулей и единиц, составьте таблицу истинности для каждого элемента.
2. Используя полученные таблицы, дать алгебраическое описание рассмотренных элементов.
3. Для логических функций, записанных в табл.2
  - а) записать алгебраическое выражение логической функции;
  - б) преобразовать это выражение к логическому базису, включающему элемент И-НЕ;
  - в) реализовать логическую функцию на стенде и проверить результат.

Таблица 1

X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	Y <sub>1</sub>	Y <sub>2</sub>	Y <sub>3</sub>	Y <sub>4</sub>	Y <sub>5</sub>	Y <sub>6</sub>	Y <sub>7</sub>
0	0	0	0	0	1	0	1	0	0
0	0	1	1	0	1	0	1	1	1
0	1	0	0	1	0	0	1	1	0
0	1	1	0	1	0	1	0	0	0
1	0	0	1	0	1	1	0	1	0
1	0	1	0	0	1	1	1	0	1
1	1	0	1	1	0	0	0	0	1
1	1	1	0	1	1	0	0	1	1

4. Для логических функций, заданных алгебраически,

1)  $Y = (\bar{X}_1 \wedge \bar{X}_2) \vee (\bar{X}_1 \wedge X_2);$

2)  $Y = (\bar{X}_1 \vee \bar{X}_2) \wedge (\bar{X}_1 \vee X_2);$

3)  $Y = (\bar{X}_1 \wedge X_2 \wedge X_3 \wedge X_4) \vee (X_1 \wedge X_2 \wedge X_2 \wedge X_3) \vee (X_2 \wedge \bar{X}_3 \wedge X_4);$

4)  $Y = (\bar{X}_1 \wedge \bar{X}_2 \wedge \bar{X}_3) \vee (\bar{X}_1 \wedge \bar{X}_2 \wedge X_3) \vee (\bar{X}_1 \wedge X_2 \wedge \bar{X}_3);$

а) составить таблицу;

б) упростить, используя основные аксиомы и теоремы;

в) составить схему;

г) реализовать схему на стенде и проверить результат.

5. Для логической функции, заданной табл.3.

Таблица 3

Входы		Выходы	
X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	S	P
0	0	0	0
0	1	1	0
1	0	1	0
1	1	0	1

Проделать то же, что и по п.3.

### УКАЗАНИЕ ПО ОФОРМЛЕНИЮ ОТЧЕТА

Отчет оформляется каждым студентом и должен содержать подробное описание всех этапов выполнения работы с соответствующими схемами и таблицами.

### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какие режимы работы транзисторов используется в элементах ТТЛ ?

2. Можно ли на дискретных элементах реализовать, например, ТТЛ схему 2И-НЕ ?
3. Какой вывод можно сделать, если сигнал на выходе ТТЛ схемы равен 1,5 В ?

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Дубовик Б.И. Основы электроники (аналоговая и цифровая схемотехника). Тула. Изд-во ТулГУ, 2011, 163с (5 экз.)
2. Новиков Ю.В. Введение в цифровую схемотехнику : учеб. пособие / Новиков Ю.В. — М. : Интернет-ун-т информ. технологий: Бином, 2007 .— 343с. : ил. — (Основы информационных технологий).— Библиогр. в конце кн. — ISBN 5-94774-600-X /в пер./ : 204.00.(7 экз)
3. Гусев, В.Г. Электроника и микропроцессорная техника : учебник для вузов / В.Г. Гусев, Ю.М. Гусев .— 4-е изд., доп. — М. : Высш. шк., 2006 .— 799с. : ил. — Библиогр. в конце кн. — ISBN 5-06-005680-5 /в пер./ : 257.49.(10 экз.)
4. Лачин, В. И. Электроника : учеб. пособие для вузов / В.И. Лачин, Н.С. Савелов .— 6-е изд., перераб. и доп. — Ростов-н/Д : Феникс, 2007 .— 703с. : ил. — (Высшее образование) .— Библиогр. в конце кн. — ISBN 978-5-22-11812-2 ((В пер.)) : 315.00.(3 экз)
5. Джонс, М.Х. Электроника-практический курс : учеб. пособие / М.Х. Джонс; пер. с англ.: Е.В. Воронова, А.Л. Ларина .— 2-е изд., испр. — М. : Техносфера, 2006 .— 512с. : ил. — (Мир электроники) .— Библиогр. в конце кн. — ISBN 5-94836-086-5 /в пер./ : 375.00. (3 экз)
6. Прянишников, В.А. Электроника : полный курс лекций / В.А. Прянишников .— 5-е изд. — СПб. : Бином пресс, 2006 .— 416с. : ил. — (Учебник для высших и сред. учеб. заведений) .— Библиогр. в конце кн. — ISBN 5-7931-0018-0 : 210.00.(14 экз)
7. Дубовик, Б.И. Основы электроники; Аналоговая схемотехника : учеб. пособие / Б. И. Дубовик ; ТулГУ .— Тула : Изд-во ТГУ, 1996 .— 160 с. : ил. — Библиогр. в конце кн. — 16000,00. (66 экз.)
8. Дубовик, Б.И. Основы электроники. Цифровая схемотехника : учеб. пособие / Б. И. Дубовик ; ТулГУ .— Тула, 1999 .— 64 с. : ил. — Библиогр. в конце кн. — 29,00. (66 экз.)