

Министерство образования и науки Российской Федерации Ульяновский государственный университет	Форма	
Ф - Методическое пособие		

А.Л. Семенов

Лабораторный практикум по курсу

«ФИЗИЧЕСКАЯ ЭЛЕКТРОНИКА»

Ульяновск 2015

Оглавление

1. Полупроводниковые диоды.....	3
2. Стабилитрон.....	5
3. Биполярные транзисторы.....	7
4. Полевой транзистор.....	10
5. Тиристоры.....	13
6. Операционные усилители.....	14

Литература:

1. Жеребцов И.П. Основы электроники. Л.: Энергоатомиздат, 1990.
2. Нефедов В.И. Основы радиоэлектроники и связи. М.: Высшая школа, 2002.
3. Немцов М. В.Электротехника и электроника. М.: Высшая школа, 2007.
4. Электротехника и электроника. /В.В.Кононенко. Ростов-на-Дону: Феникс, 2008.
5. Л.Солимар, Д.Уолш. Лекции по электрическим свойствам материалов. М.: Мир, 1991.

Вопросы для самоподготовки:

- 1.1. Электропроводность полупроводников (с.19-30 [1]).
- 1.2. Электронно-дырочный переход (с.31-36 [1]).
- 1.3. Полупроводниковые диоды (с.38-40 [1]).
- 1.4. Светодиоды (с.192 [1]).
- 2.1. Стабилитрон (с.55-58 [1]).
- 3.1. Биполярные транзисторы (с.59-65, 76-81 [1]).
- 4.1. Полевые транзисторы (с.114-123 [1]).
- 5.1. Тиристоры (с.123-128 [1]).
- 6.1. Операционные усилители (с.256-261 [2]).

1. Полупроводниковые диоды

1.1. Эффект p-n перехода в диодах

Общие сведения

Двухэлектродный полупроводниковый элемент - диод содержит n- и p- проводящий слой. В n-проводящем слое в качестве свободных носителей заряда преобладают электроны, а в p-проводящем слое - дырки. Существующий между этими слоями p-n переход имеет внутренний потенциальный барьер, препятствующий соединению свободных носителей заряда. Таким образом, диод блокирован.

При прямом приложении напряжений («+» к слою p, «-» к слою n) потенциальный барьер уменьшается, и диод начинает проводить ток (диод открыт). При обратном напряжении потенциальный барьер увеличивается (диод заперт). В обратном направлении протекает только небольшой ток утечки, обусловленный неосновными носителями.

Экспериментальная часть

Задание

Снять вольтамперную характеристику полупроводникового диода в прямом и обратном направлениях.

Порядок выполнения эксперимента

К диоду (рис.1.1.1а) при прямой полярности приложите напряжение постоянного тока $U_{пр}$, величины которого указаны в табл. 1.1.1, измерьте с помощью мультиметра соответствующие токи $I_{пр}$ и их значения занесите в таблицу. Используйте при этом схему измерения с погрешностью по току.

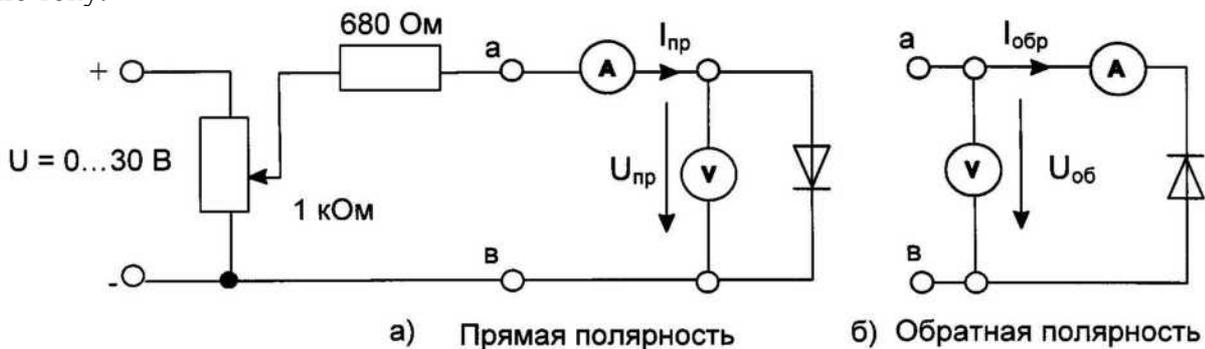


рис.1.1.1

Таблица 1.1.1

$U_{пр}$, В	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6
$I_{пр}$, мА							

Измените полярность диода, переключите вольтметр для измерений с погрешностью по напряжению как показано на рис. 1.1.1б и повторите эксперимент при величине обратного напряжения 20 В. Для получения напряжения больше 15 В соедините два источника последовательно. Точные измерения обратного тока $I_{обр}$ возможны только с помощью высокочувствительного мультиметра.

Перенесите измеренные данные из таблицы на график и постройте вольтамперную характеристику диода.

1.2. Экспериментальная проверка уравнения диода

Общие сведения

Уравнение диода (уравнение Шокли) связывает электрический ток I , протекающий через диод, и падение напряжения U на диоде:

$$I = I_0 \left(\exp\left(\frac{eU}{k_B T}\right) - 1 \right), \quad (1)$$

где I_0 - обратный ток насыщения, $e = 1.6 \cdot 10^{-19}$ Кл - заряд электрона, $k_B = 1.38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К - постоянная Больцмана, T - абсолютная температура. В случае

$$I \gg I_0 \quad (2)$$

в уравнении (1) можно пренебречь 1. Тогда из уравнения (1) приближенно получаем:

$$\ln(I) \cong \frac{eU}{k_B T} + \ln(I_0) \quad (3)$$

Из уравнения (3) видно, что зависимость $\ln(I)$ от U линейная с коэффициентом наклона

$$\gamma = \frac{e}{k_B T} \quad (4)$$

Экспериментальная часть

Задание

Снять вольтамперную характеристику диода в прямом направлении. Вычислить обратный ток насыщения I_0 и заряд электрона e .

Порядок выполнения работы

Соберите цепь согласно схеме (рис.1.1.1а). Проводя измерения, заполните табл.1.2.1. При измерении слабых токов увеличивайте чувствительность амперметра.

Табл.1.2.1

U, В	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6
I, мкА					
ln(I)					

Постройте график экспериментальной зависимости $\ln(I)$ от U . Экстраполируйте его до пересечения с осью ординат. Из уравнения (3) следует, что при $U=0$ выполняется соотношение $\ln(I_0)=\ln(I)$. Используя это соотношение, из графика найдите $\ln(I_0)$ и вычислите обратный ток I_0 насыщения диода. Определите коэффициент наклона графика и по формуле $e = k_B T \gamma$, следующей из (4), вычислите заряд электрона. Проверьте выполнение условия (2) для всех экспериментальных точек.

1.3. Светодиоды

Общие сведения

В случаях, когда полупроводниковые диоды выполнены из таких материалов как арсенид галлия или фосфид галлия, часть подводимой к ним электрической энергии преобразуется не в тепло, как в других полупроводниках, а в световые потоки с намного более короткой длиной волны. Цвет излучения определяется выбором соответствующего материала и присадками. Цвет может быть инфракрасным, красным, желтым, оранжевым, зеленым или даже голубым.

Экспериментальная часть

Задание

Изучить влияние напряжения $U_{сд}$, тока $I_{сд}$ светодиода и его полярности на световую эмиссию.
Порядок выполнения эксперимента

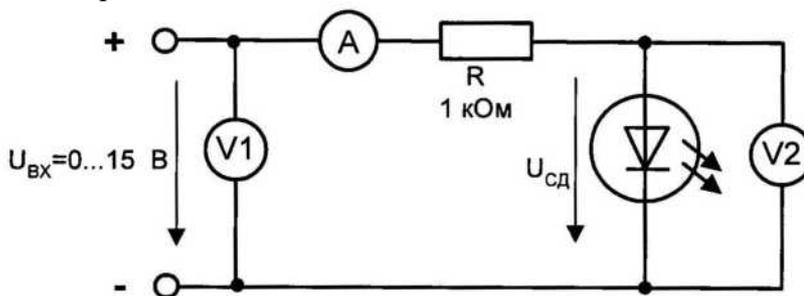


Рис.1.3.1

Таблица 1.3.1

$U_{вх}$, В	$U_{сд}$, В	$I_{сд}$, мА	светоизлучение
2			
4			
6			
8			
10			
12			
14			
15			

Соберите цепь согласно схеме (рис. 1.3.1) и изменяйте входное напряжение последовательными шагами, как указано в таблице 1.3.1. Измерьте прямое напряжение $U_{сд}$ и ток $I_{сд}$ светодиода с помощью мультиметра. Визуально оцените светоизлучение (отсутствует (0), слабое (1), среднее (2), сильное (3)). Занесите данные в таблицу. Измените полярность диода и убедитесь, что светоизлучения не наблюдается.

Постройте график зависимости тока $I_{сд}$ от напряжения $U_{сд}$ (вольтамперную характеристику) светодиода.

2. Стабилитрон

2.1. Вольтамперная характеристика стабилитрона

Общие сведения

Ток I диода с увеличением обратного напряжения незначительно возрастает до тех пор, пока напряжение не достигает напряжения пробоя. После этого ток I возрастает очень быстро. Известны три вида пробоя: тепловой, туннельный (эффект Зенера) и лавинный. Тепловой пробой разрушает материал и на практике не используется. Полупроводниковый диод, работающий в режиме туннельного или лавинного пробоя, называют стабилитроном. Часто используют стабилитроны, в которых туннельный и лавинный пробой происходят одновременно. В таких стабилитронах напряжение пробоя почти не зависит от температуры.

Экспериментальная часть

Задание

Снять вольтамперную характеристику стабилитрона.

Порядок выполнения работы

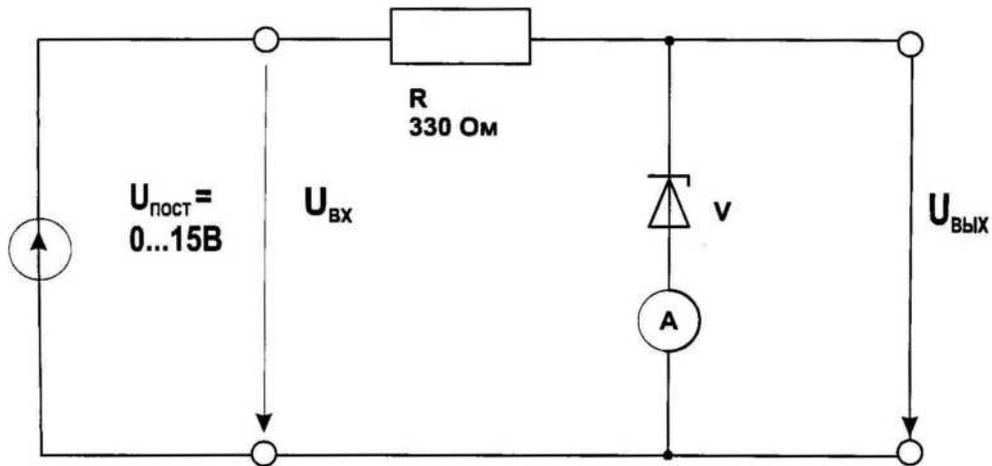


Рис.2.1.1

Таб.2.1.1

I, мкА	0.01	0.1	1	10	100	103	104
U _{ВЫХ} , В							

Соберите цепь согласно схеме (рис.2.1.1). Проводя измерения, заполните таб.2.1.1.

Постройте графики зависимости $U(I)$ в линейном (рис.2.1.2) и полулогарифмическом (рис.2.1.3) масштабах.

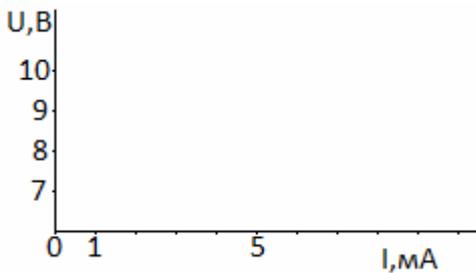


Рис.2.1.2

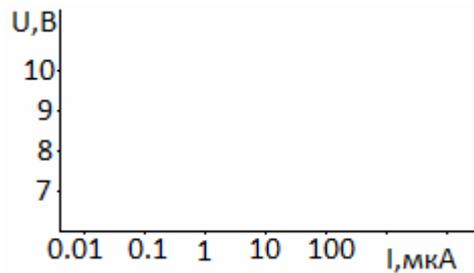


Рис.2.1.3

2.2. Исследование параметрического стабилизатора напряжения

Общие сведения

Наличие почти горизонтального участка на вольтамперной характеристике стабилитрона делает его пригодным для стабилизации постоянного напряжения на нагрузке. Для этого нагрузку включают параллельно стабилитрону и подсоединяют к источнику через балластный резистор.

Экспериментальная часть

Задание 1

Исследовать зависимость выходного напряжения и тока стабилитрона от входного напряжения в цепи параметрического стабилизатора напряжения.

Порядок выполнения эксперимента

Соберите цепь согласно схеме (рис.2.1.1). Устанавливая последовательно величины входного напряжения постоянного тока по табл. 2.2.1, измерьте соответствующие выходные напряжения и токи стабилитрона посредством мультиметров. Результаты занесите в таблицу.

Табл. 2.2.1

U _{ВХ} , В	0	2	4	6	8	9	10	11	12	13	14	15
U _{ВЫХ} , В												
I _{ст} , мА												

Постройте графики зависимостей выходного напряжения $U_{\text{вых}}$ и тока стабилитрона $I_{\text{ст}}$ от вход-

ного напряжения $U_{вх}$.

Задание 2

Исследовать влияние тока нагрузки $I_{н}$ на величину тока стабилитрона.

Порядок выполнения эксперимента

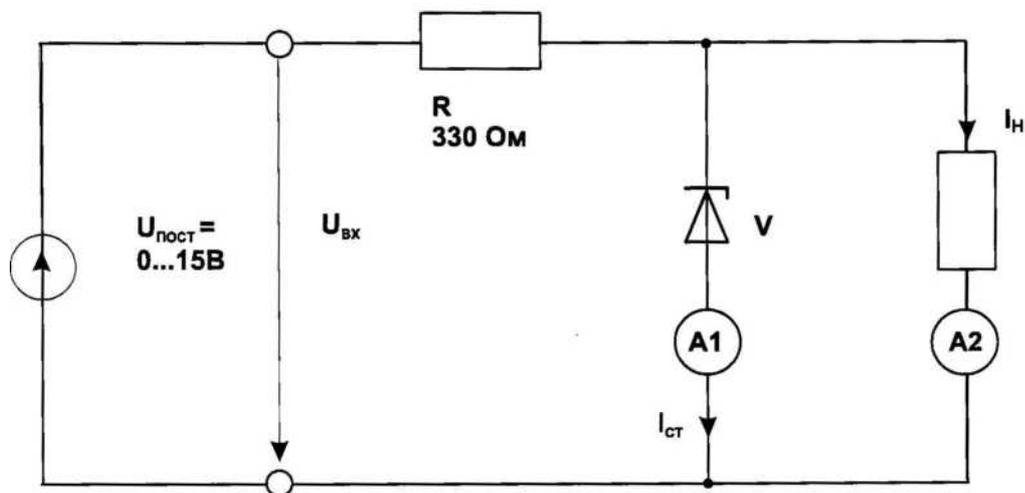


Рис. 2.2.1

Соберите цепь согласно схеме (рис. 2.2.1) и устанавливая последовательно сопротивления нагрузки 10; 4,7; 2,2; 1; 0,68; 0,47 кОм, измерьте посредством мультиметра соответствующие значения токов $I_{ст}$ и $I_{н}$ и занесите их в табл.2.2.2.

Табл.2.2.2

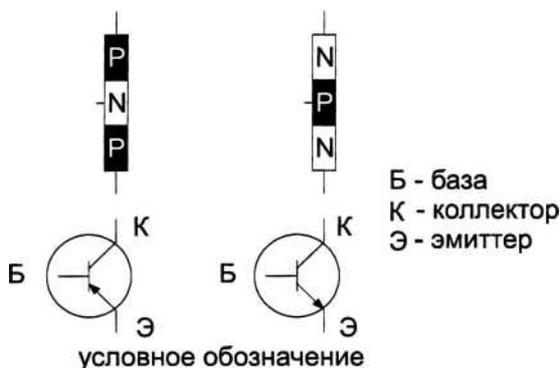
$R_{н}$, кОм	10	4.7	2.2	1.0	0.68	0.47
$I_{н}$, мА						
$I_{ст}$, мА						

Постройте график зависимости тока $I_{ст}$ от тока нагрузки $I_{н}$.

3. Биполярные транзисторы

3.1. Испытание слоев и выпрямительного действия биполярных транзисторов

Общие сведения



Транзистор представляет собой полупроводниковый триод, у которого тонкий p- проводящий слой помещен между двумя n-проводящими слоями (n-p-n транзистор) или n-проводящий слой помещен между двумя p-проводящими слоями (p-n-p транзистор). p-n переходы между средним слоем (база) и двумя крайними слоями (эмиттер и коллектор) обладают выпрямительным свойством, которое можно исследовать как в случае любого выпрямительного диода.

Экспериментальная часть

Задание

Снять вольтамперные характеристики эмиттерного и коллекторного p-n переходов транзисторов типа p-n-p и типа n-p-n в прямом направлении.

Порядок выполнения эксперимента

Соберите цепь согласно схеме (рис. 3.1.1а). Поочередно устанавливая значения токов $I_{пр}$ регулятором напряжения источника, измерьте соответствующие значения напряжения на p-n переходе

Уб э и занесите их в табл. 3.1.1.

$R=2.2 \text{ кОм}$

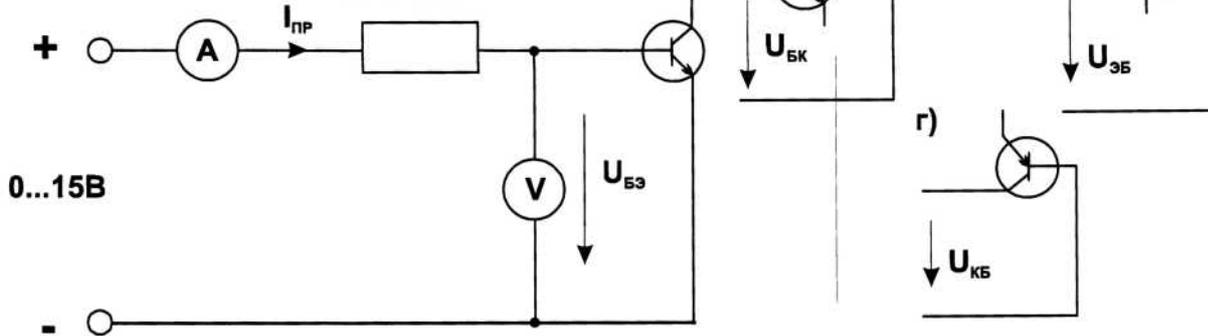


Рис.3.1.1а

Табл. 3.1.1

Iпр , мА	Транзистор n-p-n		Транзистор p-n-p	
	Uбэ , В	Uбк , В	Uэб , В	Uкб , В
0				
1				
2				
4				
6				

Измените схему в соответствии сначала с рис. 3.1.1б, затем 3.1.1в и 3.1.1г и повторите все измерения.

Постройте графики $I_{пр}(U_{пр})$ для каждого случая и убедитесь, что вольтамперные характеристики всех p-n переходов практически совпадают.

3.2. Характеристики транзистора

Общие сведения

Свойства транзисторов описываются следующими четырьмя семействами характеристик.

Входная характеристика показывает зависимость тока базы I_b от напряжения в цепи база/эмиттер $U_{бэ}$ (при $U_{кэ} = \text{const}$).

Выходная характеристика показывает зависимость тока коллектора I_k от напряжения цепи коллектор/эмиттер $U_{кэ}$ при различных фиксированных значениях тока базы.

Характеристика управления представляет собой зависимость тока коллектора I_k от тока базы I_b (при $U_{кэ} = \text{const}$).

Характеристика обратной связи есть зависимость напряжения цепи база/эмиттер $U_{бэ}$, соответствующего различным неизменным значениям тока базы, от напряжения цепи коллектор/эмиттер $U_{кэ}$ при различных фиксированных значениях тока базы.

Экспериментальная часть

Задание

Снять экспериментально и построить графики четырех семейств характеристик биполярного транзистора n-p-n типа.

Порядок выполнения экспериментов

Соберите цепь согласно схеме (рис. 3.2.1). Потенциометр 1 кОм используется для регулирования тока базы, резисторы 100 и 47 кОм - для ограничения максимального тока базы. Регулирование напряжения $U_{кэ}$ осуществляется регулятором источника постоянного напряжения. Измерение тока базы I_b и напряжения $U_{бэ}$ производятся мультиметрами на пределах 200 мкА и 2 В соответственно. Пределы измерения тока коллектора I_k и напряжения $U_{кэ}$ изменяются в ходе работы по мере необходимости. При сборке схемы предусмотрите переключки для переключения амперметра из одной ветви в другую.

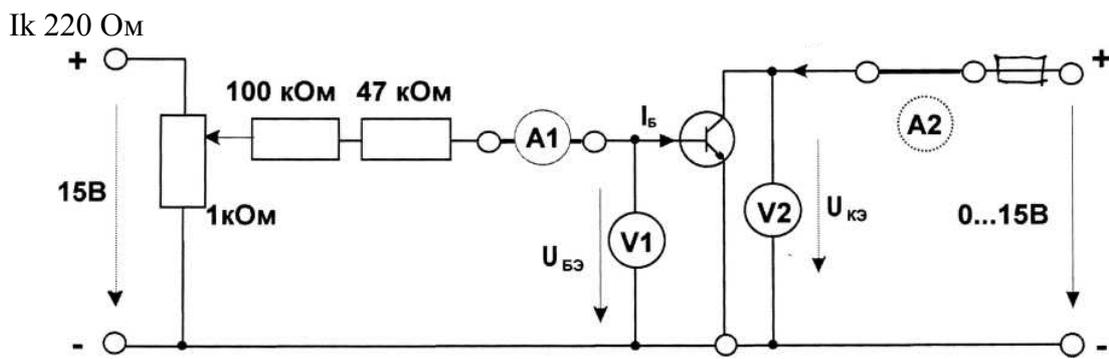


Рис.3.2.1

Примечание: характеристики транзистора изменяются в ходе работы из-за его нагрева. Поэтому для большей определенности рекомендуется установить нужные значения I_B и $U_{кэ}$ выключить на 30 с блок генераторов напряжений, затем включить его и быстро записать показания приборов V1 и A2.

Установите первое значение тока базы 20 мкА и изменяя напряжение $U_{кэ}$ согласно значениям, указанным в табл. 3.2.1, снимите зависимости $I_{к}(U_{кэ})$ и $U_{бэ}(U_{кэ})$. Повторите эти измерения при каждом значении I_B , указанном в таблице.

Табл. 3.2.1

$U_{кэ}$, В	$I_B = 20$ мкА		$I_B = 40$ мкА		$I_B = 60$ мкА		$I_B = 80$ мкА	
	$I_{к}$, мА	$U_{бэ}$, В						
0								
0.5								
1								
2								
5								
10								
15								

Постройте графики семейства выходных характеристик $I_{к}(U_{кэ})$ и семейство характеристик обратной связи $U_{бэ}(U_{кэ})$, не забыв указать какому току базы соответствует каждая кривая.

Установите $U_{кэ}=0$ и, изменяя ток базы в соответствии со значениями, указанными в табл. 3.2.2, снимите зависимость $U_{бэ}(I_B)$. Увеличьте напряжение $U_{кэ}$ до 5 В и снова снимите зависимость $U_{бэ}(I_B)$, а также $I_{к}(I_B)$. Повторите этот опыт при $U_{кэ}=15$ В. (При проведении этих измерений также учитывайте примечание к предыдущему опыту).

Постройте графики входных характеристик $I_B(U_{бэ})$ и характеристик управления $I_{к}(I_B)$, указав для каждой кривой соответствующие значения $U_{кэ}$.

Табл. 3.2.2

I_B , мкА	$U_{кэ}=0$ В		$U_{кэ}=5$ В		$U_{кэ}=15$ В	
	$U_{бэ}$, В	$I_{к}$, мА	$U_{бэ}$, В	$I_{к}$, мА	$U_{бэ}$, В	$I_{к}$, мА
0						
5						
10						
20						
50						
80						

4. Полевой транзистор

4.1. Характеристика включения затвора полевого транзистора

Общие сведения

Переход между затвором и каналом полевого транзистора обладает выпрямительным действием. Хотя это и не имеет практического значения, вольтамперную характеристику этого перехода следует знать, чтобы понимать особенности управления полевыми транзисторами.

Экспериментальная часть

Задание

Снять экспериментально вольтамперную характеристику р-п перехода между затвором и каналом полевого транзистора n-типа.

Порядок выполнения эксперимента

Соберите цепь согласно схеме (рис.4.1.1) для контура затвор/исток. Установите последовательно величины прямого напряжения $U_{пр}$, указанные в табл. 4.1.1. Измерьте мультиметром соответствующие значения тока $I_{пр}$ и занесите их в таблицу.

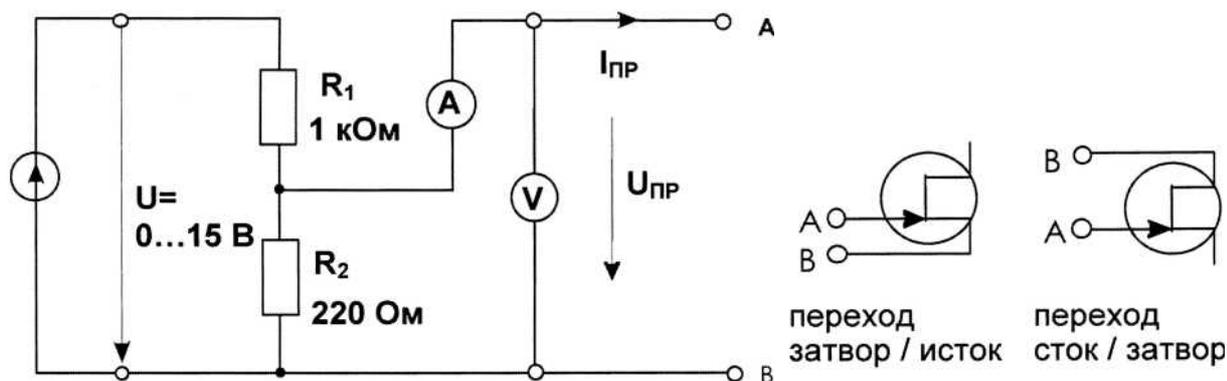


Рис.4.1.1

Таблица 4.1.1

Контур затвор / исток										
Uпр, В	0	0.2	0.4	0.6	0.7	0.75	0.8	0.85	0.9	1
Iпр, мА										

Таблица 4.1.2

Контур сток / затвор										
Uпр, В	0	0.2	0.4	0.6	0.7	0.75	0.8	0.85	0.9	1
Iпр, мА										

Повторите измерения для контура сток/затвор и занесите измеренные значения тока в табл. 4.1.2. Постройте характеристики включения р-п переходов $I_{пр}(U_{пр})$.

4.2. Управляющий эффект затвора полевого транзистора n-типа

Общие сведения

Током в канале (контур исток/сток) полевого транзистора можно управлять с помощью потенциала затвора. В отличие от биполярных транзисторов для этого не требуется мощности, так как р-п переход между затвором и каналом остается запертым.

Входная характеристика или характеристика управления полевого транзистора выражает соотношение между напряжением затвор/исток $U_{зи}$ и током стока I_c . Зависимость $I_c(U_{зи})$ называется стоко-затворной характеристикой.

Важными параметрами полевого транзистора являются крутизна стоко-затворной характеристики:

$$S = I_c / U_{зи}$$

и напряжение отсечки $U_{зи0}$, при котором ток стока становится близким к нулю.

Экспериментальная часть

Задание

Исследовать экспериментально влияние напряжения затвор/исток на токи затвора и стока. Построить характеристики управления $I_c(U_{зи})$ и $I_z(U_{зи})$.

Порядок выполнения эксперимента

Соберите цепь согласно схеме (рис. 4.2.1) и установите поочередно значения напряжения затвор/исток $U_{зи}$, указанные в табл. 4.2.1. Измерьте мультиметрами соответствующие значения токов затвора I_z и стока I_c и занесите их в табл. 4.2.1.

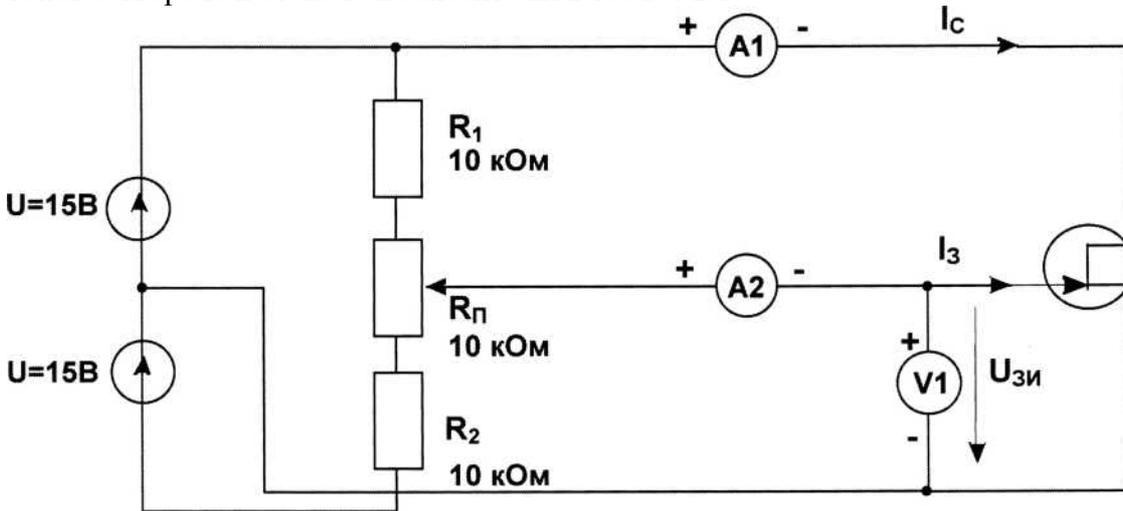


Рис. 4.2.1

Табл. 4.2.1

$U_{зи}$, В	-2.5	-2	-1.5	-1	-0.5	0	0.2	0.4	0.6
I_c , мА									
I_z , мА									

Постройте характеристики управления $I_c(U_{зи})$ и $I_z(U_{зи})$. По графикам определите напряжение отсечки $U_{зи0}$ и крутизну S стоко-затворной характеристики.

4.3. Выходные характеристики полевого транзистора

Общие сведения

Выходными характеристиками полевого транзистора называют зависимости тока стока от напряжения сток/исток при различных фиксированных значениях напряжения затвор/исток.

Выходные характеристики снимают без нагрузочного сопротивления в статике.

Экспериментальная часть

Задание

Снять экспериментально зависимость тока стока от напряжения сток/исток $I_c(U_{си})$ при различных значениях напряжения затвор/исток. Изучить влияние нагрузочного сопротивления на коэффициент усиления напряжения.

Порядок выполнения эксперимента

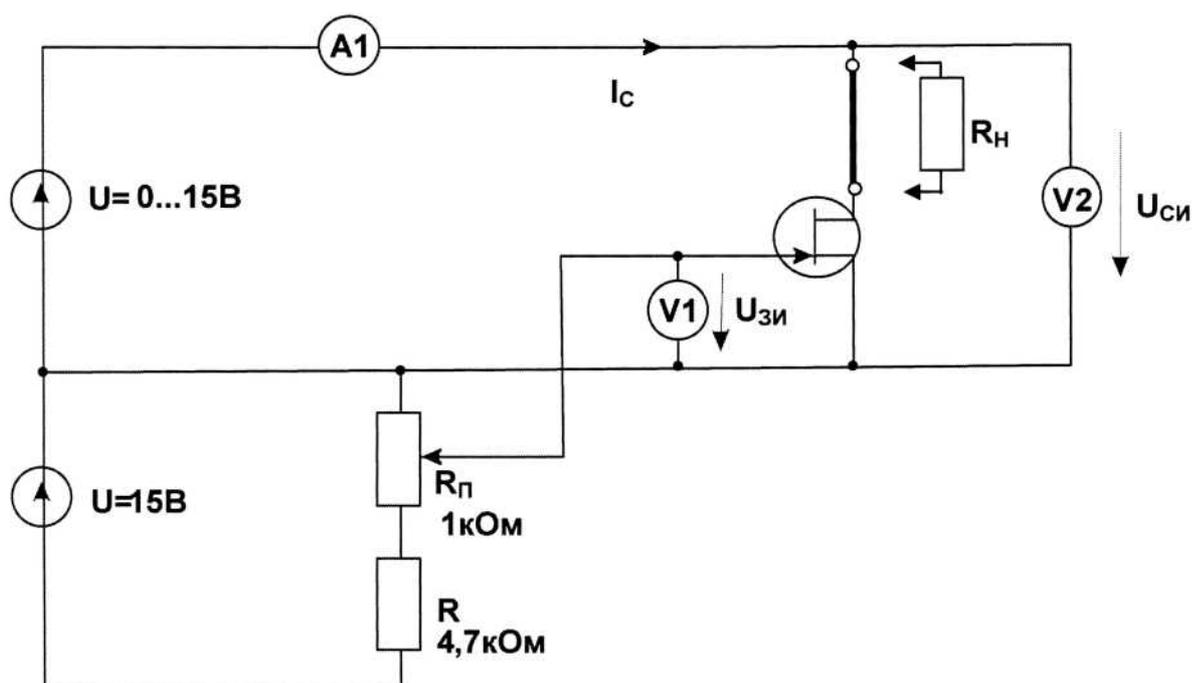


Рис.4.3.1

Соберите цепь согласно схеме (рис.4.3.1) сначала без нагрузочного сопротивления R_H . Установите значения напряжений затвор/исток $U_{зи}$ и сток/исток $U_{си}$, указанные в табл. 4.3.1, и измерьте мультиметрами соответствующие значения тока стока I_c . Измените на противоположную полярность источника питания 15 В для измерения напряжения сток/исток при $U_{зи} = 0.5$ В. Внесите значения тока стока I_c в таблицу.

Постройте зависимости $I_c(U_{си})$ при различных значениях напряжения затвор/исток $U_{зи}$. Устанавливая в схему одно за другим сопротивления нагрузки, указанные в табл. 4.3.2, измерьте выходное напряжение $U_{си}$ при двух значениях входного напряжения $U_{зи}$ и запишите их в таблицу.

Вычислите разность входных и разность выходных напряжений и коэффициент усиления по напряжению для каждого сопротивления нагрузки.

Постройте зависимость (K_H) коэффициента усиления по напряжению от сопротивления нагрузки R_H .

Табл. 4.3.1

$U_{си}$, В	0	0.5	1	1.5	2	3	4	6	8	10	12	14	15
I_c , мА при $U_{зи} = -1.5$ В													
I_c , мА при $U_{зи} = -1$ В													
I_c , мА при $U_{зи} = -0.5$ В													
I_c , мА при $U_{зи} = 0.5$ В													

Табл. 4.3.2

R_H , кОм	1		2.2		4.7		10		22	
$U_{зи}$, В	-0.5	-1	-0.5	-1	-1	-1.5	-1.2	-1.8	-1.5	-2
$U_{си}$, В										
$U_{зи}$, В										
$U_{си}$, В										
$= U_{си} / U_{зи}$										

5. Тиристоры

5.1. Диодный тиристор

Общие сведения

Диодные тиристоры (динисторы) изменяют свое состояние в зависимости от приложенного напряжения и протекающего тока. При некотором граничном напряжении (напряжении отпирания) динистор переходит от состояния с высоким сопротивлением к состоянию с низким сопротивлением. Он сохраняет состояние низкого сопротивления до тех пор, пока ток в нем не упадет ниже величины тока удержания. Симистор выполняет функции двух динисторов, включенных встречно-параллельно. Изменение состояния симистора происходит при обеих полярностях приложенного напряжения, обеспечивая прохождение тока в обоих направлениях.

Экспериментальная часть

Задание

Снять статическую характеристику динистора (симистора).

Порядок выполнения эксперимента

Соберите цепь согласно схеме (рис. 5.1.1). Напряжения больше 15 В получаются при последовательном соединении регулируемого и нерегулируемого источников постоянного напряжения. Для регулируемого источника питания 0...40 В используйте потенциометр 10 кОм.

Плавно увеличивая напряжение регулируемого источника напряжения, определите напряжение отпирания динистора (это наибольшее напряжение, при котором ток еще равен нулю, при дальнейшем увеличении напряжения источника ток возрастает скачком, а напряжение на динисторе скачком уменьшается). Запишите значение $U_{отп}$ в табл. 5.1.1.

1 кОм

Рис.5.1.1

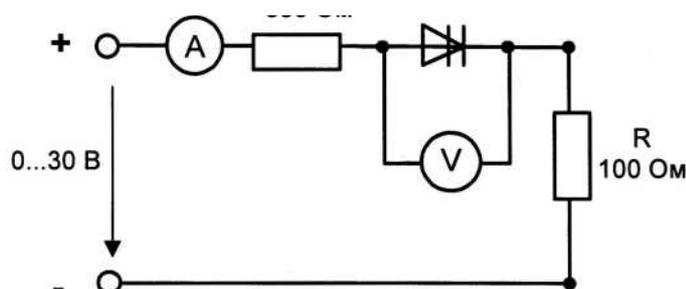


Табл. 5.1.1

$U_{отп} =$ В, $I_{уд} =$ мА

I , мА	$I_{уд} =$	2	4	6	8	10	12	14	16
U , В									

Плавно уменьшая напряжение регулируемого источника напряжения, определите ток удержания динистора (это наименьшее значение тока, при котором динистор еще остается включенным, при дальнейшем снижении напряжения источника ток скачком падает до нуля, а напряжение на динисторе скачком возрастает). Запишите значение $I_{уд}$ в табл. 5.1.1.

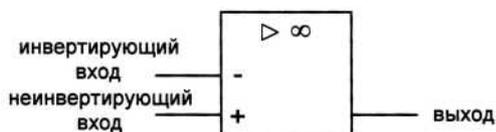
Изменяя напряжение регулируемого источника, заполните табл. 5.1.1.

Постройте зависимость $I(U)$ (статическая вольтамперная характеристика динистора).

6. Операционные усилители

Операционный усилитель представляет собой идеальный усилитель с высокоомным дифференциальным входом (два входных вывода) и очень высоким коэффициентом усиления. Фактически многие электронные устройства, выполняемые на транзисторах, могут быть также реализованы на операционных усилителях.

Или



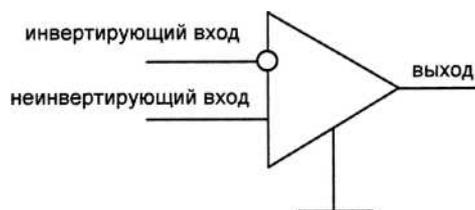
условное обозначение:

Сигнал на выходе усилителя равен

$$U_{\text{вых}} = (U_2 - U_1),$$

где U_1 и U_2 – сигналы на инвертирующем и неинвертирующем входах соответственно,

коэффициент усиления операционного усилителя. Входное сопротивление операционного усилителя очень велико ($R_{\text{вх}} \rightarrow \infty$) поэтому входной ток при расчете считается равным нулю. Выходное сопротивление операционного усилителя весьма мало ($R_{\text{вых}} \rightarrow 0$), поэтому ток нагрузки усилителя практически не влияет на его выходное напряжение.



6.1. Инвертирующий усилитель

Общие сведения

В инвертирующем усилителе входной и выходной сигналы имеют противоположную полярность. Схема усилителя показана на рис.6.1.1

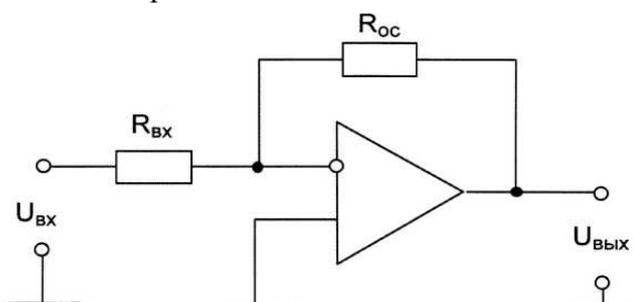


Рис.6.1.1

Коэффициент усиления равен

$$k = U_{\text{вых}}/U_{\text{вх}} = -R_{\text{ос}}/R_{\text{вх}}.$$

Для упрощения расчетов делаются следующие допущения:

В рабочем диапазоне усилителя разность потенциалов между двумя входами равна 0; входной ток усилителя равен 0.

Коэффициент усиления $k = -1$ (когда $R_{\text{ос}} = R_{\text{вх}}$), то есть амплитуды входного и выходного сигналов равны.

Экспериментальная часть

Задание

Построить кривую, показывающую зависимость выходного напряжения от входного, изучить влияние величины сопротивления нагрузки на выходное напряжение.

Порядок выполнения эксперимента

Соберите цепь, как показано на рис. 6.1.2. С помощью мультиметра измерьте величины выходного напряжения $U_{\text{ВЫХ}}$ при различных сопротивлениях отрицательной обратной связи $R_{\text{ОС}}$ и входных напряжениях $U_{\text{ВХ}}$ согласно табл. 6.1.1.

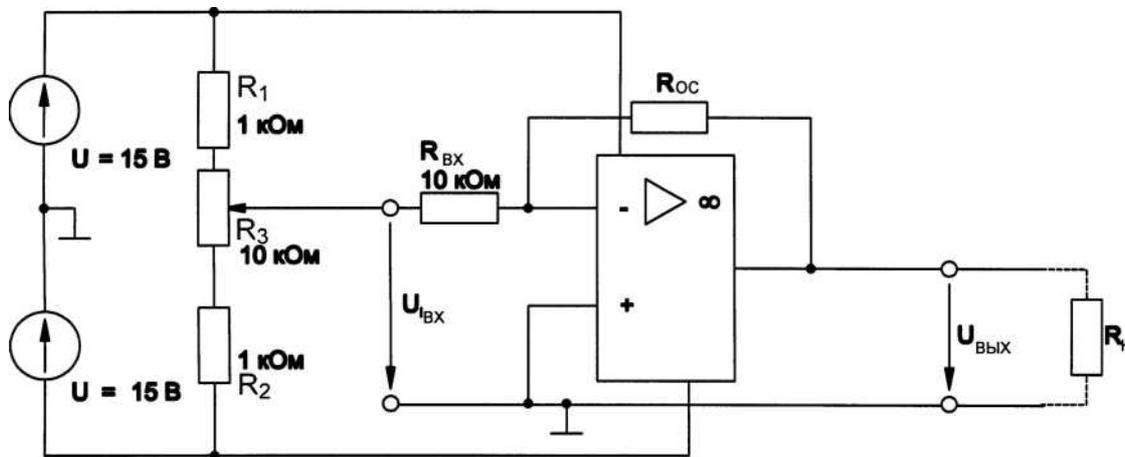


Рис. 6.1.2

Табл. 6.1.1

$U_{\text{ВХ}}, \text{В}$	-10	-8	-6	-4	-2	0	2	4	6	8	10
$U_{\text{ВЫХ}}, \text{В}$ при $R_{\text{ОС}} = 10 \text{ кОм}$											
$U_{\text{ВЫХ}}, \text{В}$ при $R_{\text{ОС}} = 22 \text{ кОм}$											
$U_{\text{ВЫХ}}, \text{В}$ при $R_{\text{ОС}} = 47 \text{ кОм}$											

Занесите результаты измерений в табл. 6.1.1. Постройте кривые зависимостей $U_{\text{ВЫХ}}(U_{\text{ВХ}})$ при различных сопротивлениях отрицательной обратной связи $R_{\text{ОС}}$.

Для изучения влияния сопротивления нагрузки установите входное напряжение $U_{\text{ВХ}} = -5\text{В}$, а $R_{\text{ОС}} = R_{\text{ВХ}} = 10 \text{ кОм}$. Подсоедините к выходу усилителя поочередно различные сопротивления нагрузки согласно табл. 6.1.2 и измерьте мультиметром результирующие выходные напряжения $U_{\text{ВЫХ}}$.

Занесите измеренные величины в табл. 6.1.2 и постройте график зависимости $U_{\text{ВЫХ}}(R_{\text{Н}})$.

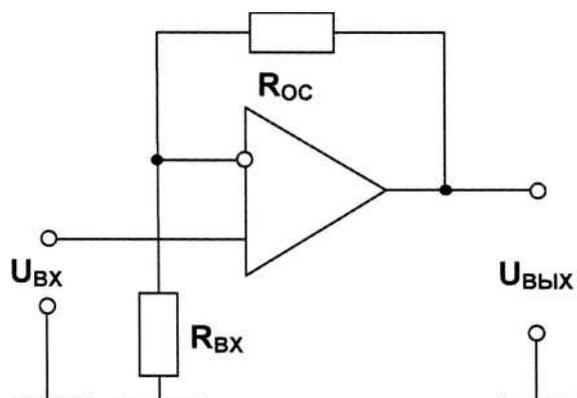
Табл. 6.1.2

$R_{\text{Н}}, \text{Ом}$	1000	680	470	330	220	100	47
$U_{\text{ВЫХ}}, \text{В}$							

6.2. Неинвертирующий усилитель

Общие сведения

В операционном усилителе без инвертирования входное и выходное напряжения имеют одинаковую полярность, то есть фазовый сдвиг по напряжению равен 0° .



Как показано на принципиальной схеме (рис. 6.2.1), входное напряжение подается на неинвертирующий вход. В диапазоне модуляции усилителя разность потенциалов между двумя входами равна 0.

Коэффициент усиления вычисляется по формуле:

$$k = U_{\text{ВЫХ}}/U_{\text{ВХ}} = 1 + R_{\text{ОС}}/R_{\text{ВХ}}$$

Рис. 6.2.1

Экспериментальная часть

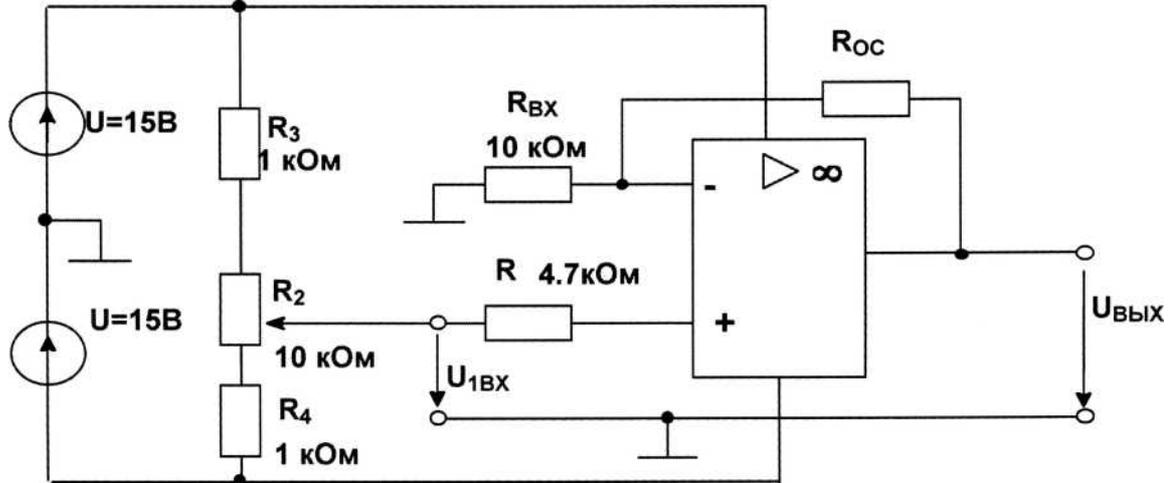


Рис. 6.2.2.

Задание

Построить кривые зависимости выходного напряжения от входного при различных значениях сопротивления отрицательной обратной связи.

Порядок выполнения эксперимента

Соберите цепь по схеме (рис. 6.2.2). Используя мультиметр, измерьте выходное напряжение $U_{\text{ВЫХ}}$ при различных значениях сопротивления отрицательной обратной связи $R_{\text{ОС}}$ и входного напряжения $U_{\text{ВХ}}$ согласно табл. 6.2.1.

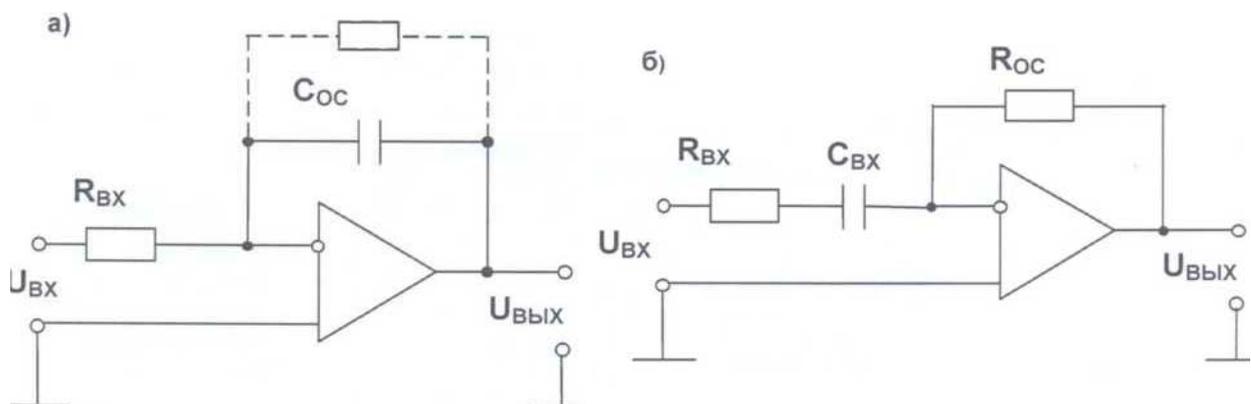
Занесите результаты измерений в таблицу. Постройте график зависимости выходного напряжения $U_{\text{ВЫХ}}$ от входного напряжения $U_{\text{ВХ}}$ при различных сопротивлениях отрицательной обратной связи $R_{\text{ОС}}$.

Табл. 6.2.1

$U_{\text{ВХ}}, \text{В}$	-10	-8	-6	-4	-2	0	2	4	6	8	10
$U_{\text{ВЫХ}}, \text{В}$ при $R_{\text{ОС}} = 10 \text{ кОм}$											
$U_{\text{ВЫХ}}, \text{В}$ при $R_{\text{ОС}} = 22 \text{ кОм}$											
$U_{\text{ВЫХ}}, \text{В}$ при $R_{\text{ОС}} = 47 \text{ кОм}$											

6.3. Поведение операционного усилителя в динамике

Общие сведения



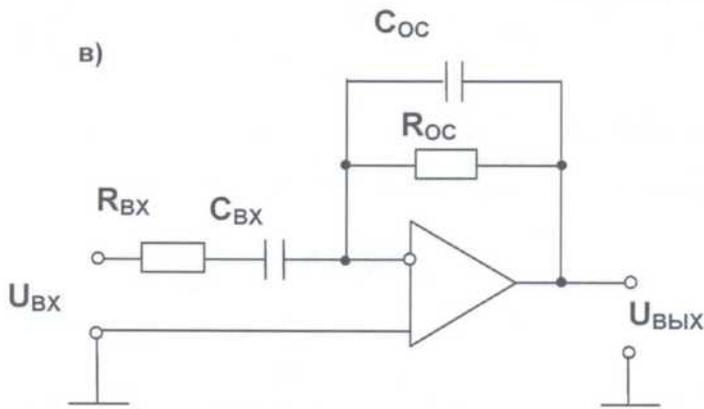


Рис. 6.3.1

Операционные усилители представляют собой широкополосные усилители напряжения постоянного тока, которые в определенном частотном диапазоне усиливают также и напряжения переменного тока. Зависимость коэффициента усиления от частоты $k(f) = U_{\text{вых}}/U_{\text{вх}}$ называется амплитудно-частотной характеристикой усилителя. Она зависит как от внешних сопротивлений и емкостей, подключаемых к операционному усилителю, так и от «паразитных» сопротивлений и емкостей внешних проводников и внутренней схемы самого операционного усилителя.

Операционные усилители используются в схемах фильтров, интегрирующих и дифференцирующих цепей и других устройств.

На рис. 6.3.1а приведена простейшая схема интегрирующего усилителя (фильтра низких частот), на рис. 6.3.1б - схема дифференцирующего усилителя (фильтра высоких частот), на рис. 6.3.1в - схема усилителя средних частот (простейшего полосового фильтра).

Экспериментальная часть

Задание

Исследовать поведение операционного усилителя, когда он управляется синусоидальным напряжением. Снять амплитудно-частотные характеристики усилителей, изображенных на рис. 6.3.1 и 6.3.2.

Порядок выполнения эксперимента

Соберите цепь широкополосного усилителя (рис. 6.3.2) и установите на входе действующее значение синусоидального напряжения $U_{\text{вх}} = 3 \text{ В}$ частотой $f = 1 \text{ кГц}$. Для измерения напряжений $U_{\text{вх}}$ и $U_{\text{вых}}$ включите мультиметры и выберите род измеряемых величин « U ».

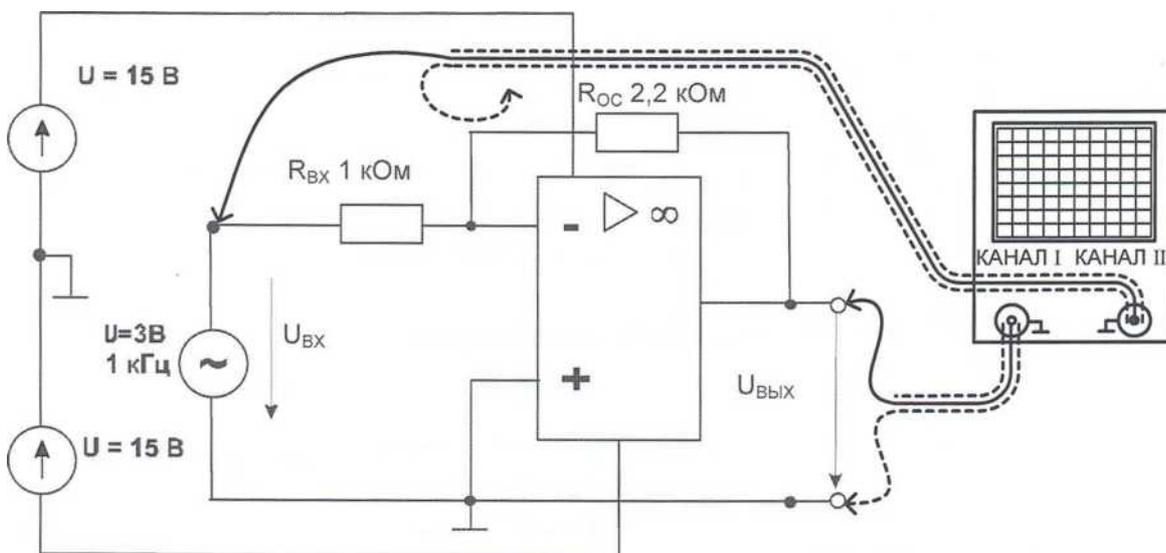


Рис. 6.3.2

Изменяя частоту от 0.2 до 4 кГц, как указано в табл. 6.3.1, снимите зависимость $U_{\text{вых}}(f)$. Повторите измерения для других усилителей (рис. 6.3.1). Рассчитайте экспериментальные значения коэффициента усиления $k=U_{\text{вых}}(f)/U_{\text{вх}}$ для всех частот и усилителей, указанных в табл. 6.3.1. Табл. 6.3.1

f, кГц	Широкополосный усилитель $R_{\text{вх}} = 1 \text{ кОм}$ $R_{\text{ос}} = 2.2 \text{ кОм}$		Интегрирующий усилитель $R_{\text{вх}} = 1 \text{ кОм}$ $R_{\text{ос}} = 100 \text{ кОм}$ $C_{\text{ос}} = 0.1 \text{ мкФ}$		Дифференцирующий усилитель $R_{\text{вх}} = 10 \text{ кОм}$ $C_{\text{вх}} = 0.1 \text{ мкФ}$ $R_{\text{ос}} = 1 \text{ кОм}$		Усилитель средних частот $R_{\text{вх}} = 220 \text{ кОм}$ $C_{\text{вх}} = 0.47 \text{ мкФ}$ $R_{\text{ос}} = 1 \text{ кОм}$ $C_{\text{ос}} = 0.1 \text{ мкФ}$	
	$U_{\text{вых}}, \text{В}$	k	$U_{\text{вых}}, \text{В}$	k	$U_{\text{вых}}, \text{В}$	k	$U_{\text{вых}}, \text{В}$	k
0.2								
0.5								
1								
1.5								
2								
2.5								
3								
3.5								
4								

Используя законы Кирхгофа и Ома, рассчитайте коэффициенты усиления $k(f)$ усилителей, изображенных на рис. (6.3.1), (6.3.2). Постройте графики теоретических зависимостей $k(f)$. На графики с теоретическими зависимостями $k(f)$ нанесите экспериментальные точки из табл. 6.3.1. Сравните эксперимент и теорию.