

Министерство общего и профессионального образования Свердловской области  
ГБПОУ СО «Туринский многопрофильный техникум»

**КОМПЛЕКТ  
ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ  
ПО ОП 04 ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ**

СПО 15.01.05.. СВАРЩИК (электросварочные и газосварочные работы)

Разработала:  
преподаватель  
высшей квалификационной категории  
Бусыгина И.В.

2015г

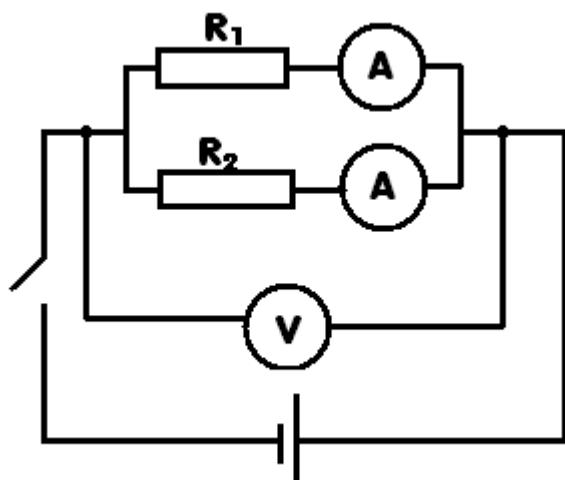
Лабораторная работа № 1  
Параллельное соединение потребителей

**Оборудование:**

1. Источник постоянного тока.
2. Два проволочных сопротивления.
3. 2 амперметра.
4. 2 вольтметра.
5. Ключ.

**Указания к работе:**

Соберите цепь согласно схеме



Снимите показания амперметра и вольтметра.

Данные занесите в таблицу

Измерено			Вычислено
Показания 1 вольтметра $I_1$ , А	Показания 2 вольтметра $I_2$ , А	Показания амперметра $U$ , В	$I_o$ , А $I_o = I_1 + I_2$

Рассчитайте сопротивление по формулам:

$$R_1 = \frac{U}{I_1} \quad R_2 = \frac{U}{I_2} \quad R_o = \frac{U}{I_o}$$

Сделайте вывод

Лабораторная работа №2  
Последовательное соединение потребителей

**Оборудование:**

6. Источник постоянного тока.
7. Два проволочных сопротивления.
8. 2 амперметра.
9. 2 вольтметра.
10. Ключ.

**Указания к работе:**

Соберите цепь согласно схеме 1

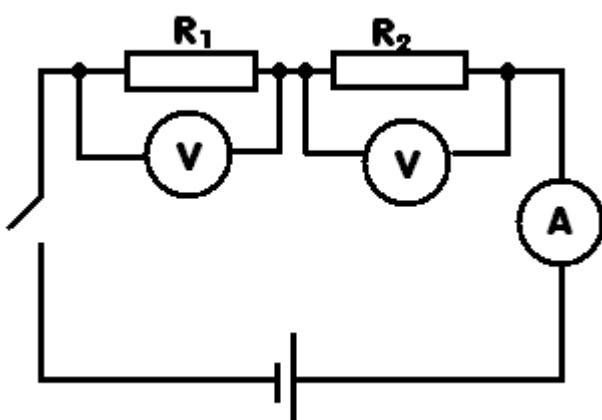


Схема 1

1. Снимите показания амперметра и вольтметра.
2. Данные занесите в таблицу

Измерено			Вычислено
Показания 1 вольтметра $U_1$ , В	Показания 2 вольтметра $U_2$ , В	Показания амперметра $I$ , А	$U_o$ , В $U_o = U_1 + U_2$

3. Рассчитайте сопротивление по формулам:

$$R_1 = \frac{U_1}{I} \quad R_2 = \frac{U_2}{I} \quad R_0 = \frac{U_o}{I}$$

4. Сделайте вывод.

### Лабораторная работа № 3

Проведение измерений тока, напряжения, сопротивления, мощности.

**Цель работы:** Изучение электроизмерительных приборов, используемых в лабораторных работах.

Получение представлений о характеристиках стрелочных измерительных приборов. Получение навыков работы с цифровыми измерительными приборами.

**Оборудование:** Лабораторный стенд, четыре резистора, соединительные провода.

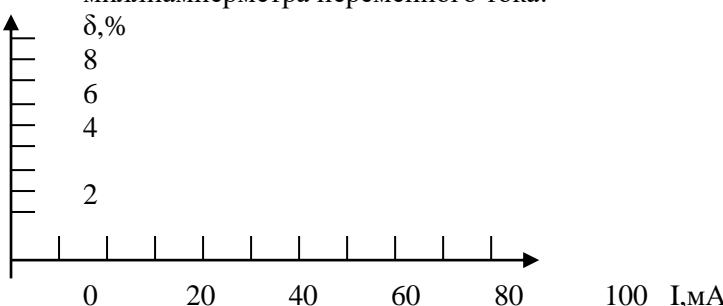
#### Ход работы.

1) Изучение паспортных характеристик стрелочных электроизмерительных приборов.

Для этого внимательно рассмотрите лицевые панели стрелочных амперметров и заполните **таблицу 1:**

Наименование прибора			
Система измерительного механизма			
Предел измерения			
Цена деления			
Класс точности			
Максимальная абсолютная погрешность			
Род тока			
Нормальное положение шкалы			

2) Построить график зависимости относительной погрешности измерения от измеряемой величины для миллиамперметра переменного тока:



3) Ознакомиться с лицевой панелью мультиметра. Подготовьте мультиметр для измерения постоянного напряжения. Включить источник постоянного напряжения. Измерить значения выходных напряжений на клеммах «+5В», «+12В» и «-12В» относительно общей клеммы. Результаты измерений занесите в **таблицу 2**:

Клеммы	+5 В	+12 В	-12 В	A	B	C	A-B	B-C	C-A
Измерено									

5) Подготовьте мультиметр для измерения сопротивлений резисторов. Измерить значения сопротивлений резисторов. Результаты измерений занесите в **таблицу 3**:

Резистор	R1	R2	R3	R4
Номинальное значение сопротивления, Ом				
Измерено, Ом				

6) Сделайте вывод.

**Контрольные вопросы:**

1. Что такое предел измерения?
2. Как определяется цена деления прибора?
3. Что такое абсолютная и относительная погрешности измерения?
4. Что характеризует класс точности прибора?
5. В какой части шкалы измерения точнее и почему?

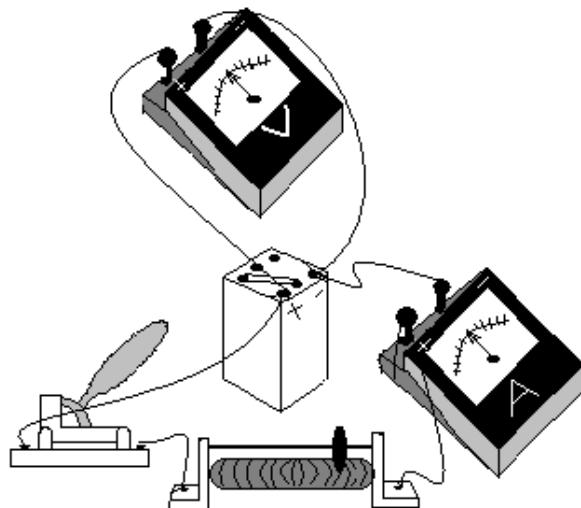
Лабораторная работа № 4

Измерение ЭДС, внутреннего сопротивления.

**«Определение ЭДС и внутреннего сопротивления источника тока»**

**Оборудование:** амперметр, вольтметр, ключ, реостат, источник тока, соединительные провода.

1. Соберите цепь согласно рисунку.



2. С помощью реостата устанавливаем в цепи ток.
3. Определите силу тока в цепи по показанию амперметра и напряжение в сети по показаниям вольтметра.
4. Определим внешнее сопротивление по формуле:  $R = \frac{U}{I}$
5. Цепь разомкнем и измерим ЭДС ( $\xi$ ) источника тока с помощью вольтметра, присоединив его к полюсам источника тока.

$$6. \text{ Из формулы } I = \frac{\xi}{(R+r)}, \text{ определим } r = \frac{\xi - IR}{I}.$$

7. Результаты измерений занесите в таблицу.

Сила тока, I, А	Напряжение, U, В	ЭДС, $\xi$ , В	Вн. сопрот. R, Ом	Вн. сопрот. r, Ом
1.				
2.				
3.				

8. Сделайте вывод.

## Лабораторная работа № 5

Перед началом работы необходимо познакомиться с оборудованием, разобраться с диапазонами измерения приборов, их классами точности, необходимыми формулами для вычисления погрешностей. Изучить инструкции приборов.

По выбору преподавателя выполнить одно из заданий.

### **Задание 1**

1. Выбрать на стенде два резистора и записать их номера.
2. Измерить сопротивления резисторов с помощью тестера 5-8 раз каждое . Оценить погрешность измерения сопротивлений.
4. Измерить эти же резисторы методом вольтметра-амперметра по любой из схем Необходимо снять 10-15 точек, меняя выходное напряжение источника питания. Оценить погрешности вычисленных значений сопротивлений резисторов.
5. Сравнить значения сопротивлений, измеренных разными способами и сделать выводы.
6. Соединить измеренные резисторы последовательно и измерить общее сопротивление с помощью комбинированного прибора
7. Сделать выводы о выполнении правила вычисления сопротивления последовательного соединения резисторов.

### **Задание 2.**

1. Смотри задание I, пункты 1-5.
2. Соединить измеренные резисторы параллельно и измерить их общее сопротивление комбинированным прибором.
3. Сделать выводы о выполнении правила вычисления общего сопротивления параллельно включенных резисторов.

### **Задание 3.**

1. Выбрать два резистора на стенде и записать их номера.
2. Измерить сопротивления резисторов с помощью комбинированного прибора 5-8 раз, оценить погрешности измерений.
3. Измерить эти же резисторы мостом постоянного тока согласно инструкции также 5-8 раз и оценить погрешности измерений.
4. Те же резисторы намерить с помощью цифрового комбинированного прибора и оценить систематическую погрешность измерения.
5. Методом вольтметра-амперметра измерить оба сопротивления в 5-8 точках по току и напряжению (меняя выходное напряжение блока питания)). Оценить погрешности измерения сопротивлений.
6. Сделать вывода.

### **Задание 4**

1. Выбрать три резистора на стенде и записать их номера.
2. Измерить их сопротивления тестером и вычислять систематическую погрешность измерений.
3. Включить эти резисторы последовательно и измерить общее сопротивление с помощью тестера, вычислить систематическую погрешность измерения.
4. Проверить, выполняется ли в пределах погрешности измерения правило последовательного соединения сопротивлений.
5. Соединить эти же резисторы параллельно и измерить общее сопротивление также тестером, вычислить систематическую погрешность измерения.
6. Проверить, выполняется ли в пределах погрешности измерения, правило параллельного соединения сопротивлений.
7. Сделать выводы.

## **3. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ**

- 3.1. Сформулируйте закон Ома для участка цепи и определите, что такое сопротивление проводника?
- 3.2. Какие методы применяются для измерения сопротивления?
- 3.3. В чем состоит принцип моста постоянного тока?
- 3.4. Как вычислить погрешность общего сопротивления при последовательном и параллельном соединении проводников?

## Лабораторная работа № 6

Ознакомиться с правилами пользования универсального цифрового прибора В7-22А, записать в таблицу 1 его технические характеристики и подготовить его к работе.

Таблица 1

Наименование и марка прибора	Система измерения	Класс точности прибора	Диапазон измерения прибора

.Порядок измерения напряжения и тока в цепи постоянного тока универсальным цифровым прибором В7-22А.

### 1. Особенности прибора.

Принцип действия прибора основан на преобразовании измеряемой величины в пропорциональный ей интервал времени с последующим преобразованием этого интервала в дискретную форму и в цифровой код. Индикация результата осуществляется в цифровой форме. Выбор пределов измерения, установка нуля - ручные. Определение и индикация полярности по входам - автоматические. Время установления показания - 2 с.

**ВНИМАНИЕ!** Прибор В7-22А представляет собой сложное электронное устройство и требует аккуратного обращения в процессе эксплуатации.

На передней панели прибора находятся:

- выключатель (тумблер) "СЕТЬ";
- переключатель пределов измерения: 0,2; 2; 20; 200; 2000;
- переключатель рода работ: — V; ~ V; mA; kΩ;
- входные гнезда со следующими обозначениями:  
(0 - 300 V~), (0 - 1000 V—) - первый вход; (0 - 2 V ∼) - второй вход;  
\* - общий; I, R - третий вход.

### 2. Измерение напряжения производится в следующем порядке:

- нажмите кнопку — V;
- нажмите кнопку 20;
- вставьте вилку шнура питания в розетку ~ 220 В;
- включите тумблер "СЕТЬ";
- прогрейте прибор 15 минут;
- соедините измерительный кабель с первым и общим \* входами;
- подключите другой конец измерительного кабеля к измеряемому участку цепи;
- цифровой индикатор показывает значение измеряемой величины.

Предел допускаемой основной погрешности  $0,15 - 0,20\% U_{\text{пр}}/U_x$ , где  
 $U_{\text{пр}}$  - предел измерения напряжения;  $U_x$  - показание прибора. Окончив измерение, отключите "СЕТЬ" и кабели.

### 3. Измерение тока производится следующим образом:

- нажмите кнопку mA;
- нажмите кнопку 200;
- включите тумблер "СЕТЬ";
- соедините измерительный кабель с третьим и общим \* входами;
- подключите другой конец измерительного кабеля вместо перемычек на панели исследуемой цепи;
- цифровой индикатор показывает значение измеряемой величины.

Предел допускаемой основной погрешности  $0,25 - 0,30\% I_{\text{пр}}/I_x$ , где  
 $I_{\text{пр}}$  - предел измерения силы тока;  $I_x$  - показание прибора.

Окончив измерения, отключите тумблер "СЕТЬ", отсоедините вилку шнура питания прибора от сети, отсоедините измерительный кабель от исследуемой цепи.

4. Подготовить к работе испытуемую схему, замкнув перемычки П1-П5 и поставив тумблеры S1 и S2 в положение отключения ЭДС (в верхнее положение).

5. Подать сетевое напряжение на стенд, для чего включить автомат АП (нажав белую кнопку в правом нижнем углу стендса). При этом должна загореться соответствующая зеленая лампа.

6. Подать напряжение на панель-схему, для чего включить тумблер "220 В". При этом на панели должна загореться контрольная лампа.

### 7. Исследовать схему с первым источником ЭДС $E_{01}$ :

- измерить величину ЭДС на клеммах источника  $E_{01}$  (S1 отключен);

- подключить источник  $E_{01}$  тумблером  $S1$ , поставив его в нижнее положение (проследите, чтобы тумблер  $S2$  был отключен);
- измерить напряжение  $U_{01}$  на клеммах первого источника;
- измерить напряжения на всех резисторах, подключая вольтметр к клеммам, выведенным от концов каждого резистора;
- измерить токи во всех ветвях цепи, подключая миллиамперметр вместо перемычек  $\Pi$ . Определить направление тока и отметить стрелкой в таблице 2.

Примечание: подключение измерительного прибора В7-22А в режиме миллиамперметра производить при отключенном напряжении (тумблер “220 В”).

Положительным принято считать направление тока от  $+$  к  $-$ , в данном случае от провода с наконечником красного цвета к проводу с наконечником черного цвета. Если полярность подключения прибора совпадает с направлением тока, то перед значением на шкале прибора стоит знак  $+$ . Если перед значением на шкале прибора горит  $-$ , необходимо сменить полярность подключения измерительного кабеля и указать направление тока стрелкой в таблице;

- полученные данные записываются в таблицу 2.

Таблица 2

Результаты измерений при работе с источником  $E_{01}$

$E_{01}$ , В	$U_{01}$ , В	$U_{R1}$ , В	$U_{R2}$ , В	$U_{R3}$ , В	$U_{R4}$ , В	$U_{R5}$ , В	$I_1$ , А	$I_2$ , А	$I_3$ , А	$I_4$ , А	$I_5$ , А

8. Исследовать схему со вторым источником ЭДС  $E_{02}$ :

- \* измерить величину ЭДС на клеммах источника  $E_{02}$  ( $S1$  и  $S2$  отключен);
- \* подключить источник  $E_{02}$  тумблером  $S2$  ( $S1$  отключен);
- \* измерить напряжение  $U_{02}$  на клеммах второго источника;
- \* измерить напряжение на всех резисторах;
- \* измерить токи во всех ветвях цепи и определить их направление;
- \* полученные данные записываются в таблицу 3.

Таблица 3

Результаты измерений при работе с источником  $E_{02}$

$E_{02}$ , В	$U_{02}$ , В	$U_{R1}$ , В	$U_{R2}$ , В	$U_{R3}$ , В	$U_{R4}$ , В	$U_{R5}$ , В	$I_1$ , А	$I_2$ , А	$I_3$ , А	$I_4$ , А	$I_5$ , А

9. Исследовать схему с двумя источниками ЭДС:

- \* подключить источники  $E_{01}$  и  $E_{02}$  с помощью тумблеров  $S1$  и  $S2$  и измерить напряжение на источниках  $U_{01}$  и  $U_{02}$ ;
- \* измерить напряжение на всех резисторах;
- \* измерить токи во всех ветвях, определить их направления;
- \* полученные данные занести в таблицу 4.

Таблица 4

Результаты измерений при работе источников  $E_{01}$  и  $E_{02}$

$U_{01}$ , В	$U_{02}$ , В	$U_{R1}$ , В	$U_{R2}$ , В	$U_{R3}$ , В	$U_{R4}$ , В	$U_{R5}$ , В	$I_1$ , А	$I_2$ , А	$I_3$ , А	$I_4$ , А	$I_5$ , А

10. Для контура, указанного преподавателем, измерить потенциалы точек соединения элементов контура относительно одной - заземленной. Для этого необходимо переключить измерительный прибор В7-22А в режим измерения напряжения постоянного тока, один провод от прибора (присоединенный к общему входу \* прибора) соединить с заземленной точкой, а другой переносить из одной точки контура в другую, записывая результат измерения с учетом знака.

### Содержание отчета

- 1.Наименование и цель работы.
- 2.Технические данные электроизмерительных приборов.
- 3.Схема экспериментальной установки.
- 4.Таблицы экспериментальных данных.
- 5.Формулы и примеры расчетов.

6. Схемы замещения для каждого опыта.

7. Потенциальная диаграмма по заданному контуру.

8. Выводы:

- о влиянии схемы подключения на значение сопротивления;
- о влиянии схемы подключения на значение эквивалентного сопротивления;
- о выполнимости первого закона Кирхгофа;
- о сходимости второго закона Кирхгофа;
- сравнить результаты, полученные расчетными методами, с измеренными.

### **Техника безопасности при работе**

К лабораторному стенду подведено напряжение 220 В - опасно для жизни.

Перед сборкой экспериментальных схем убедитесь, что напряжение на стенде отсутствует (сигнальные лампы не горят, красная кнопка автомата АП утоплена).

Не используйте провода с поврежденной изоляцией.

Надежно закрепляйте наконечники проводов клеммами, особенно в тех случаях, когда под клеммами находятся несколько наконечников.

**Категорически запрещается включение схемы без проверки преподавателем или лаборантом.**

Все изменения в схеме производите только при снятом напряжении. Повторное включение схемы производить только после проверки преподавателем или лаборантом.

Во время работы не касайтесь клемм стенда и клемм измерительных приборов.

В случае возникновения аварийных ситуаций (выпадения наконечников проводников из-под клемм, зашкаливание стрелок измерительных приборов, появление дыма или запаха горелой изоляции) немедленно отключите стенд нажатием на красную кнопку автомата АП в правой части стенда.

### **Контрольные вопросы**

1. Как с помощью амперметра определить направление тока в цепи?
2. Запишите уравнение закона Ома для цепи с учетом внутреннего сопротивления источника энергии.
3. Запишите уравнение закона Ома для участка цепи без ЭДС.
4. Что такое узел, ветвь, контур?
5. В каких режимах может работать источник электроэнергии?
6. Как записываются законы Кирхгофа?
7. В чем состоит метод наложения?
8. Что характеризует потенциальная диаграмма?
9. Запишите уравнение второго закона Кирхгофа для заданного контура цепи (рис. 3).
10. Как рассчитать эквивалентное сопротивление цепи?
11. Сколько уравнений 1-го и 2-го законов Кирхгофа входит в систему уравнений для расчета сложной цепи?
12. Как определить истинные токи по известным контурным токам?

## Лабораторная работа № 7

*Цель работы:* изучение показателей и характеристик резонанса при последовательном соединении R, L и C элементов (резонанс напряжений).

Схема электрической цепи ЛР приведена на Рис.6.1.

Приборы: амперметр 0-2, А; вольтметр 0...300, В; ваттметр.

Оборудование: дроссель, ЛАТР, батарея конденсаторов.

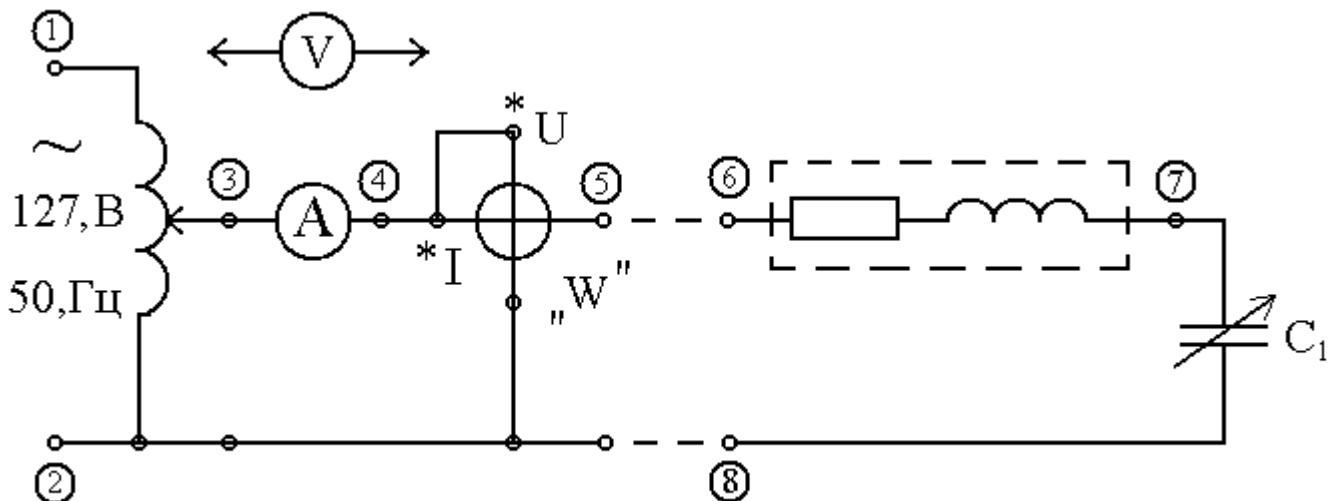


Рис. 6.1.

### Содержание работы:

Собрать схему Рис.6.1 и произвести определение параметров дросселя Др ( $R_{Др}$  и  $L_{Др}$ ) согласно методике ЛР №3.

Определить величину емкости конденсатора  $C_1$ , которая соответствует точке резонанса на

частоте сети -  $f_c=50$ , Гц, согласно формуле угловой резонансной частоты -  $w_0 = 2\pi f C = \frac{1}{\sqrt{L \times C}}$   
Определить входное комплексное сопротивление электрической RLC - цепи -  $Z_0 = Z_R + Z_{L0} + Z_{C0}$   
 $= R + jw_0L - j/(w_0C)$  и величину тока в ней в точке резонанса -  $\dot{I} = \dot{U}/Z_0$ .

*Предупреждение:* величина входного напряжения резонансной цепи не должна быть более 20, В ( $U_{32} 20$  В).

Измерить напряжение дросселя и конденсатора. Проверить (уточнить) расчетом величину

емкости  $C_1$  по величине падения напряжения на ней  $\dot{U}_{C0} = Z_{C0} * \dot{I}_0$ . Величина добротности колебательного контура определяется в точке резонанса как отношение напряжений емкости  $U_{C0}$  и входного  $U$ :  $D_H = U_{C0}/U$ . Сравнить измеренное значение  $D_H$  и теоретическое значение  $D_T = pC/R$ , где  $\sqrt{L/C}$  - волновое сопротивление колебательного контура. Рассчитать величину сопротивления  $R$ , при которой резонанс отсутствует, т.е.  $D \leq 1$ .

Рассчитать резонансную кривую тока  $I(w)$  как функцию угловой частоты  $w$  (частоты  $f$ ) -

$$I = \frac{U}{\sqrt{R^2 + [\omega L - 1/(\omega C)]^2}} \quad I_0 = U / R. \quad \text{Полоса пропускания колебательного контура, - это диапазон частот, где величина тока в } \sqrt{2} \text{ раз меньше максимального значения } I_0. \quad \Delta w \cong w_0(1/D_H). \quad \text{Рассчитать фазовую частотную характеристику колебательного контура } \varphi_I = \arctg\{[wL - (1/wC)] / R\}$$

Рассчитать и построить параметрическую характеристику колебательного контура относительно величины емкости  $C_1$ . Она строится по формуле резонансной характеристики  $I(w)$ , но относительно  $C$ , т.е.  $I(C)$ . Построить экспериментальную параметрическую характеристику  $I(c)$  и сравнить ее с расчетной.

Построить векторную топографическую диаграмму цепи резонанса (треугольник напряжений). Построить частотные нормированные характеристики резонанса. Построить нормированную характеристику зависимости тока от обобщенной расстройки:  $\xi = (X_L - X_C)/R$ . Рассчитать и построить треугольник мощностей на элементах цепи, сравнить его с треугольниками напряжений и токов.

### **Контрольные вопросы:**

1. Что такое электрический резонанс?
2. При какой величине активного сопротивления, контура RLC, резонанс невозможен?
3. Что такое добротность, волновое сопротивление, резонансная частота и полоса пропускания колебательного контура?

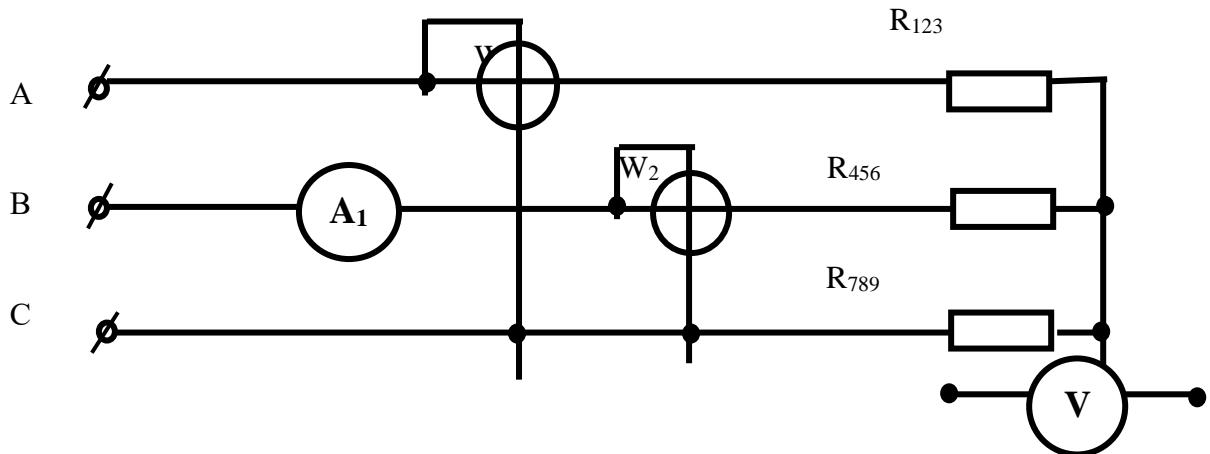
## Лабораторная работа № 8

Измерение мощности, коэффициента, мощности и частоты в цепи трехфазного переменного тока.

**ЦЕЛЬ:** проверить возможность измерения мощности в цепи трёхфазного тока с помощью одного двухэлементного ваттметра.

**ОБОРУДОВАНИЕ:**

амперметр; вольтметр; ваттметр; резисторы; соединительные провода.



*Рисунок 8.1 - Схема соединения приборов*

Таблица 8.1 - Результаты измерений и расчётов

Вид нагрузки	Измерено						Вычислено				
	$U_A$	$U_B$	$U_C$	$I_A$	$I_B$	$I_C$	$P_{\Sigma}$	$P_A$	$P_B$	$P_C$	$P_{\Sigma}'$
	$B$			$A$			$Bm$				
Равномерная											
Неравномерная											

### Указания к работе

- 1 Собрать цепь согласно рисунку 9.
- 2 Поочерёдно включать амперметр в каждую фазу для измерения тока, вольтметром измерить напряжение фаз.
- 3 Показания амперметра, вольтметра, ваттметра занести в таблицу 8.1..
- 4 Измерения выполнить для равномерной и неравномерной нагрузки. Неравномерную нагрузку создать замыканием одного или двух сопротивлений в любой из фаз.
- 5 В расчётной части определить мощности фаз и мощность всей цепи. Измеренную мощность цепи сравнить с расчётной мощностью.

5 ВЫВОД: сделать заключение о возможности измерения мощности в трёхфазной цепи с помощью одного двухэлементного ваттметра.

**КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ:**

1. Почему при равномерной нагрузке фаз для определения мощности всей цепи достаточно измерить мощность одной фазы?
2. Известно, что произведение  $I \times U$  в цепи переменного тока является полной мощностью. Почему в данной цепи  $I \times U = P$ ?
3. Понятия равномерная и неравномерная нагрузка?
4. Чем отличается измерение мощности прямым методом от измерения косвенным методом?
5. Какие существуют способы определения активной мощности в трёхфазной цепи?
6. Как рассчитать активную мощность фазы?
7. Каким образом в лабораторной работе достигалась неравномерность нагрузки фаз?
8. Что представляет собой двухэлементный ваттметр?

Лабораторная работа № 9  
Исследование работы трехфазных цепей

Цель работы:

1. Изучение различных режимов работы трехфазной цепи при включении приемников энергии по схеме "треугольник":

- a) симметричная активная нагрузка,
- б) несимметричная активная нагрузка,
- в) отключение отдельных фаз и обрыв линейного провода.

2. Экспериментальное исследование соотношений между линейными и фазными токами.

3. Приобретение навыков построения векторных диаграмм токов и напряжений.

## II. ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ТЕОРИИ.

Каждая фаза потребителя при соединении «треугольником» подключена к двум линейным проводам. Поэтому независимо от значения и характера сопротивлений потребителей каждое фазное напряжение равно соответствующему линейному напряжению

$$U_\phi = U_\pi$$

Ток каждого потребителя, входящего в соединение треугольника, является фазным

$$I_\phi = \frac{U_\phi}{Z_\phi} \quad \text{или} \quad \bar{I}_{AB} = \frac{\bar{U}_\pi}{Z_{AB}}$$

Фазные токи  $\bar{I}_{AB}, \bar{I}_{BC}, \bar{I}_{CA}$  в общем случае не равны линейным токам  $I_A, I_B, I_C$ . По первому закону Кирхгофа к узловым точкам А, В, С можно получить

$$\bar{I}_A = \bar{I}_{AB} - \bar{I}_{CA}$$

$$\bar{I}_B = \bar{I}_{BC} - \bar{I}_{AB}$$

$$\bar{I}_C = \bar{I}_{CA} - \bar{I}_{BC}$$

При симметричной нагрузке  $Z_{AB} = Z_{BC} = Z_{CA} = Z_\phi$

$$\varphi_{AB} = \varphi_{BC} = \varphi_{CA} = \varphi$$

$$\bar{U}_{AB} = \bar{U}_{BC} = \bar{U}_{CA}$$

$$\bar{I}_{AB} = \bar{I}_{BC} = \bar{I}_{CA}$$

$$\varphi = \arctg \frac{X}{R}$$

$$I_\pi = \sqrt{3} I_\phi$$

При несимметричной нагрузке  $Z_{AB} \neq Z_{BC} \neq Z_{CA}$ ,  $\varphi_{AB} \neq \varphi_{BC} \neq \varphi_{CA}$  нарушается симметрия фазных и линейных токов.

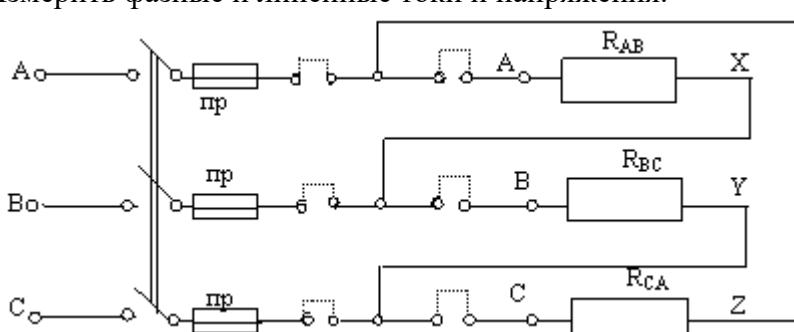
Обрыв линейного провода нарушает нормальный режим 3Х фазной цепи. При этом потребители одной фазы находятся при номинальном фазном напряжении, а потребители двух других фаз оказываются последовательно соединенными и находятся под этим же напряжением.

Изменение нагрузки одной из фаз вызывает изменение фазного тока и 2х линейных токов, но не влияет на фазные напряжения и токи других фаз и на 3х линейный ток.

### Указания к работе

1. Собрать схему с равномерной активной нагрузкой. Подключить цепь к трехфазному источнику и регулируя сопротивления  $R_{AB}, R_{BC}, R_{CA}$ , добиться равенства фазных токов.

Измерить фазные и линейные токи и напряжения.



Убедиться в том, что  $I_L = \sqrt{3} I_\Phi$ . Данные измерений фазных и линейных величин занести в таблицу.

2. Отключить одну из фаз трехфазного потребителя и данные измерений занести в таблицу.
3. Отключить две фазы трехфазной нагрузки и данные измерений занести в таблицу.
4. При включенных фазных сопротивлениях, отключить один из линейных проводов и данные измерений, аналогичных в п. 1, занести в таблицу.
5. Регулируя сопротивления RAB, RBC и RCA, добиться неравенства фазных токов IAB, IBC, ICA (неравномерная активная нагрузка) и данные измерений занести в таблицу.
6. Пользуясь данными таблицы 4 - 1, вычислить соотношения между линейными и фазными токами и построить топографические векторные диаграммы (в масштабе) для всех режимов работы цепи по п.п. 1-5.
7. Сделать следующие выводы:
  - а) О влиянии несимметрии трехфазной нагрузки на симметрию фазных напряжений.
  - б) О соотношении между линейными и фазными токами во всех режимах работы трехфазной цепи.

Измерение											Вычисления			
Вид нагрузки	IAB A	IBC A	ICA A	IA A	IB A	IC A	UAB B	UBC B	UCA B	IA IAB	IB IBC	IC ICA		
Симметричная активная														
Обрыв одной фазы														
Обрыв двух фаз														
Обрыв линейного провода														
Несимметричная активная														

#### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ.

1. Что такое симметричная система токов и напряжений?
2. Как определяется способ соединения трехфазной нагрузки?
3. Почему при соединении потребителя «треугольником» фазные и линейные напряжения равны между собой, а токи нет?
4. Как изменяются линейные токи и напряжения при отключении одной из фаз симметричной трехфазной нагрузки?
5. Как изменяется режим работы цепи при обрыве одного линейного провода?
6. В каком случае линейные токи образуют симметричную систему токов?
7. В чем заключается преимущество многофазных, в частности, трехфазных цепей переменного тока перед однофазными?
8. Приведите примеры симметричных трехфазных потребителей, известных вам из практики?

Лабораторная работа 10

**Комплект типового лабораторного оборудования «Релейно-контакторное управление асинхронным двигателем с короткозамкнутым ротором» УАДК1-П-Р**



#### ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ:

<b>Потребляемая мощность, В·А, не более</b>	1000
<b>Электропитание:</b>	
от трехфазной сети переменного тока с рабочим нулевым и защитным проводниками напряжением, В	380 ± 38
частота, Гц	50 ± 0,5
<b>Класс защиты от поражения электрическим током</b>	0I

#### ГАБАРИТНЫЕ РАЗМЕРЫ:

длина (по фронту), мм, не более	600
ширина (ортогонально фронту), мм, не более	550
высота, мм, не более	450
<b>Масса, кг, не более</b>	30

#### Преимущества:

- **Гибкая модульная структура учебных стендов «ГалСен»**— легкая компоновка электрических цепей из сменных блоков по принципу конструктора.
- **Индивидуальный подход, масштабируемость**— изготовление под заказ. Перечень сменных функциональных блоков может быть расширен или сокращен под задачи заказчика.
- **Наглядные результаты опытов** на реальных аналоговых, цифровых и виртуальных измерительных приборах.
- **Надежная защита** стенда от перегрузок, коротких замыканий и неумелого обращения.
- **Электробезопасность**— защита пользователя от поражения электрическим током, устройство защитного отключения.
- **Продуманный дизайн** для творческого решения учебных задач.

- **Промышленное изготовление**, послегарантийная поддержка от разработчиков на весь срок службы оборудования.

**Состав:**

1. Асинхронный двигатель (107) – 1 шт.
2. Шкаф управления асинхронным двигателем – 1 шт.
3. Набор аксессуаров для комплекта УАДК1-П-Р (ЭМНШУ1-Н-Р) – 1 шт.

# Лабораторная работа 11

**Цель работы:** Изучить принцип действия и основные характеристики полупроводникового диода и стабилитрона.

## Полупроводниковые диоды и их применение

Основой полупроводниковых приборов: диодов, транзисторов, триисторов, симисторов и т.д. является р-п переход. Это структура полупроводника: германия (Ge) или кремния (Si), с областями дырочной (р) и электронной (п) проводимости. Причём эти области получены в единой структуре за счёт диффузии доноров: сурьмы (Sb), фосфора (P) или акцепторов: галлия (Ga), индия (In).

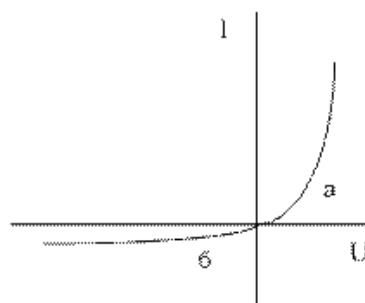
Полупроводниковые приборы могут иметь 1, 2, 3 и более р-п переходов.

Электрическое сопротивление р-п перехода зависит от полярности и величины приложенного напряжения.

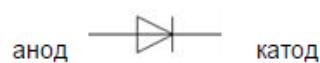
Принято считать, что если плюс приложен к р-области , а минус – к п-области, то это прямое смещение р-п перехода, а если наоборот, - то это обратное смещение р-п перехода.

При прямом смещении р-п перехода его сопротивление уменьшается, а при обратном – увеличивается при увеличении приложенного напряжения.

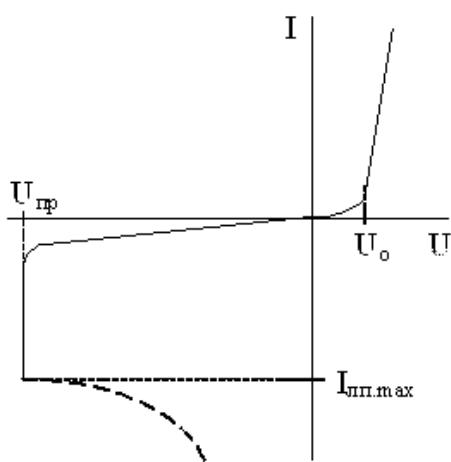
Теоретическая вольтамперная характеристика (ВАХ) р-п перехода имеет две ветви: прямую (а) и обратную (б), которые являются экспонентами:



Одиночный р-п переход является полупроводниковым диодом. При этом р-область является анодом диода, а п-область – катодом диода:



Реальные характеристики полупроводниковых диодов сильно отличаются от теоретической



В прямой ветви ВАХ реального диода экспонента простирается только до напряжения  $U_0$ . Далее, при  $U > U_0$ , ВАХ линейна.

При обратном смещении, - в обратной ветви, - на формирование тока оказывает ряд дополнительных условий и, прежде всего, материал полупроводника и способ изготовления полупроводникового диода, что определяет линейный вид начальной части обратной ветви.

Кроме этого при обратном смещении при достижении некоторого напряжения наступает электрический пробой полупроводника.

Имеются два вида пробоя полупроводниковых диодов при обратном смещении: лавинный и тепловой.

При достижении обратным напряжением некоторой величины  $U_{пр}$  обратный ток начинает быстро возрастать при неизменном напряжении. На ВАХ этому соответствует ее вертикальный участок. Это явление получило название лавинного пробоя. Если обратный ток ограничить в пределах до  $I_{пр.mах}$ , то работоспособность диода сохранится. В противном случае наступает тепловой пробой и диод разрушается. На ВАХ этому соответствует участок с отрицательным наклоном – динамическое сопротивление отрицательно.

В р-п переходе есть область объёмного заряда, следовательно, полупроводниковый диод является конденсатором. Величина заряда, а значит и емкость диода, зависит от приложенного напряжения, т.е. емкостные свойства диода являются динамическими. Емкость диода от прямого напряжения является паразитной, так как она ухудшает динамические характеристики диода. Находит применение емкость диода, управляемая обратным напряжением, - барьерная емкость. При увеличении напряжения барьерная емкость диода уменьшается.

Полупроводниковые диоды начали использоваться, прежде всего, как выпрямители переменного тока.

Для выпрямления тока промышленной частоты с целью получения постоянного тока большой величины используются силовые диоды. Пропускание большого тока, достигается за счёт большой поверхности р-п перехода. Силовые (выпрямительные) диоды используются в различных устройствах (блоках) питания электронной техники. Основными характеристиками силовых диодов являются: допустимый прямой ток и обратное напряжение. Допустимый прямой ток силового диода зависит от температуры.

Диоды с малой площадью р-п перехода и высокими скоростными характеристиками (с малой паразитной емкостью), - точечные диоды, - используются для детектирования звука из сигналов радиочастот.

Явление лавинного пробоя используется в работе стабилитронов – полупроводниковых приборов, применяемых в схемах стабилизации постоянного напряжения. Получение р-п перехода с нужным значением пробивного напряжения обеспечивается соответствующей концентрацией примесей: доноров и акцепторов. Для стабилитронов нормируется напряжение и диапазон тока стабилизации.

Барьерная емкость диода обеспечивает их применение в качестве настраиваемых конденсаторов. Такие диоды называются варикапами.

Кроме этого р-п переход может взаимодействовать с различными излучениями. Если он взаимодействует со светом, его называют фотодиодом. Фотодиоды используются в солнечных батареях, где конструктивно и электрически объединяется большое количество дешёвых кремниевых диодов большой площади. Фото ЭДС составляет 0,6...0,7 В. Фотодиоды используются в чувствительных матрицах цифровой фото и кинотехники.

Полупроводниковые диоды используют также в качестве излучателей света – это так называемые светодиоды. Диоды на арсениде галлия длина волны излучения больше 1 мкм, т.е. он излучает в инфракрасной области спектра. Для излучения видимого спектра используется фосфорид галлия. Светодиоды используются как элементы индикации.

Диоды маркируются и буквенно имеют условное графическое обозначение (УГО) на принципиальных электрических схемах.

Диоды могут иметь старую и новую маркировку. По старой маркировке все диоды обозначались буквой Д и цифрой с буквой, которые определяют электрические параметры.

Новая маркировка состоит из четырёх обозначений:

1 – буква или цифра, обозначающая материал полупроводника:

- Г (1) - германий;
- К (2) - кремний;
- А (3) - арсенид галлия.

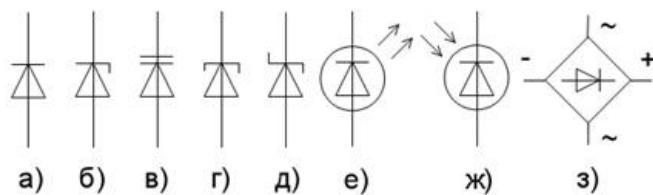
2 – буква, обозначающая тип полупроводникового диода:

- Д - выпрямительные, ВЧ и импульсные диоды;
- А - диоды СВЧ;
- С - стабилитроны;
- В - варикапы;
- Ф - фотодиоды;
- Л - светодиоды;
- Ц - выпрямительные столбы и блоки.

3 – число из трёх цифр и буква, определяющие диод по своим электрическим параметрам.

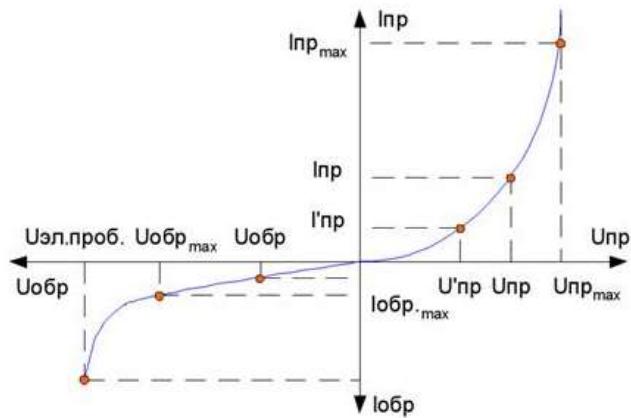
Буквенное обозначение на схемах электрических принципиальных – VD.

Условные графические обозначения на схемах электрических принципиальных:



Здесь а) выпрямительные, высокочастотные, СВЧ и импульсные диоды; б) стабилитроны; в) варикапы; г) туннельные диоды; д) диоды Шоттки; е) светодиоды; ж) фотодиоды; з) выпрямительные блоки.

Диод характеризуется максимально допустимым прямым током  $I_{пр.max}$  и падением напряжения на диоде при максимальном прямом токе -  $U_{пр.max}$ , а также максимально допустимым обратным напряжением -  $U_{обр.max} = (\frac{1}{3} + \frac{1}{4}) \cdot U_{эл.проб.}$  и обратным током при максимально допустимом обратном напряжении -  $I_{обр.max}$ .



Прямое и обратное статическое сопротивление диода, при заданных прямых и обратных значениях тока и напряжения, равны:

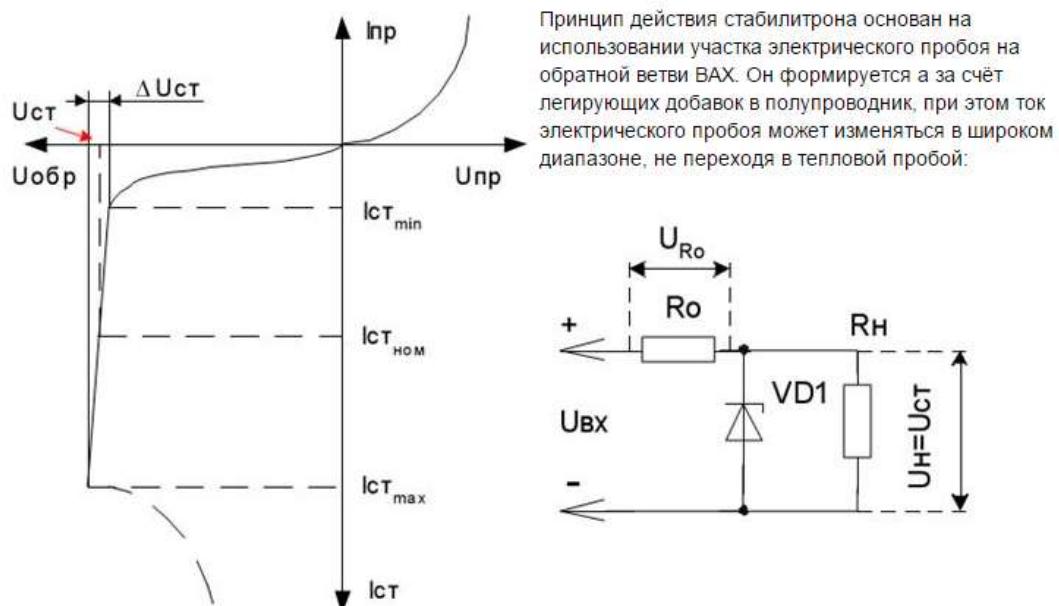
$$R_{ct.\text{пр}} = \frac{U_{\text{пр}}}{I_{\text{пр}}}, \quad R_{ct.\text{обр}} = \frac{U_{\text{обр}}}{I_{\text{обр}}}.$$

Прямое и обратное динамическое статическое сопротивление диода, вычисляются соответственно:

$$R_{in\rho} = \frac{\Delta U_{\text{пр}}}{\Delta I_{\text{пр}}}, \quad R_{in\rho} = \frac{U_{\text{пр}} - U'_{\text{пр}}}{I_{\text{пр}} - I'_{\text{пр}}};$$

$$R_{ioobr} = \frac{\Delta U_{\text{обр}}}{\Delta I_{\text{обр}}}, \quad R_{ioobr} = \frac{U_{\text{обр}} - U'_{\text{обр}}}{I_{\text{обр}} - I'_{\text{обр}}}.$$

Стабилитроном называется полупроводниковый диод, предназначенный для стабилизации уровня постоянного напряжения. По конструкции стабилитроны всегда плоскостные и кремниевые.



Так как участок электрического пробоя на обратной ветви ВАХ, то стабилитрон включается обратным включением:

Резистор  $R_o$  задаёт ток через стабилитрон таким образом, чтобы величина тока была близка к среднему значению между  $I_{ct.\min}$  и  $I_{ct.\max}$ . Такое значение тока называется номинальным током стабилизации.

Принцип действия. При уменьшении входного напряжения ток через стабилитрон и падение напряжения на  $R_o$  уменьшается, а напряжения на стабилитроне и на нагрузке останутся постоянными, исходя из вольтамперной характеристики. При увеличении входного напряжения ток через стабилитрон и  $R_o$  увеличивается, а напряжение на нагрузке остаётся постоянным и равным напряжению стабилизации.

Вывод: стабилитрон поддерживает постоянство напряжения при изменении тока через него от  $I_{ct.\min}$  до  $I_{ct.\max}$ .

Основные параметры стабилитронов:

- напряжение стабилизации -  $U_{ст}$ ;
- минимальное, максимальное и номинальное значение тока стабилизации  $I_{ст.\min}$ ,  $I_{ст.\max}$ ,  $I_{ст.\ном}$ ;
- изменение напряжения стабилизации -  $\Delta U_{ст}$ .

$$R_{cm} = \frac{\Delta U_{cm}}{\Delta I_{cm}} = \frac{\Delta U_{cm}}{I_{cm.\max} - I_{cm.\min}}$$

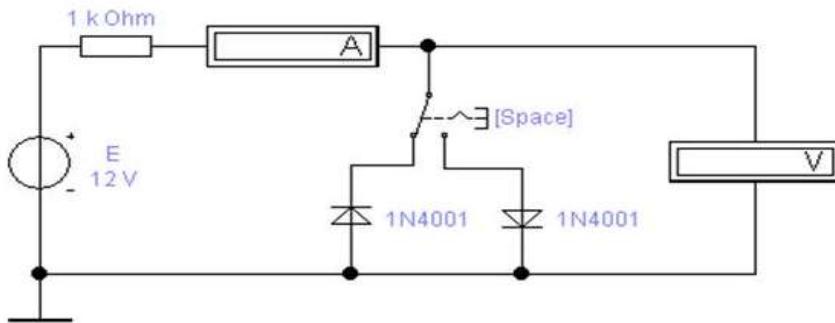
Дифференциальное сопротивление на участке стабилизации:

#### Программа выполнения работы

Получить у преподавателя файлы для выполнения экспериментальных исследований

1. Снятие вольтамперной характеристики диода.

Запустить программу для проведения работы Electronics Workbench и откройте файл **лаб\_1\_1**:



Нажатием клавиши пробела (Space) выберите диод для снятия прямой ветви ВАХ и включите кнопку запуска работы схемы.

Используя окно свойств источника напряжения, установите последовательно пять значений напряжения в диапазоне от 0 до 6 В.

Для каждого значения напряжения источника определите значения напряжения  $U_{пр}$  и тока  $I_{пр}$  диода и запишите их в таблицу 1.1.

Таблица 1.1 – Данные прямой ветви ВАХ диода

$E$ , В  $U_{пр}$ , мВ  $I_{пр}$ , мА

Нажатием клавиши пробела (Space) выберите диод для снятия обратной ветви ВАХ диода.

Используя окно свойств источника напряжения, установите последовательно пять значений напряжения в диапазоне от 40 до 70 В.

Для каждого значения напряжения источника определите значения напряжения  $U_{об}$  и тока  $I_{об}$  диода и запишите их в таблицу 1.2.

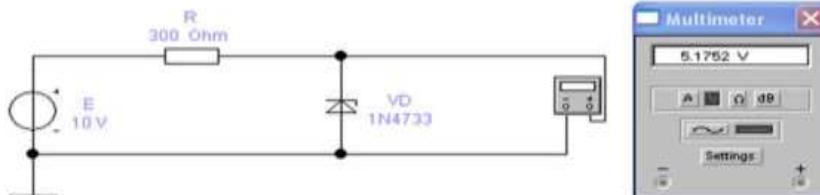
Таблица 1.2 – Данные обратной ветви ВАХ диода

$E$ , В  $U_{об}$ , мВ  $I_{об}$ , мА

По полученным данным постройте графики  $I_{пр}=f(U_{пр})$  и  $I_{об}=f(U_{об})$ .

2. Измерение напряжения на стабилитроне и вычисление тока через стабилитрон.

Откройте файл **лаб\_1\_2**:



Используя окно свойств источника напряжения, установите последовательно восемь значений напряжения в диапазоне от 0 до 15 В. Результаты измерений занесите в таблицу 2.1.

Для каждого значения напряжения источника определите значения напряжения  $U_{ст}$  и запишите их в таблицу 2.1.

Таблица 2.1 – Данные ВАХ стабилитрона

E, В U<sub>ст</sub>, В I<sub>ст</sub>, мА

Вычислите ток стабилитрона I<sub>ст</sub> для каждого значения напряжения стабилизации U<sub>ст</sub> по формуле:

$$I_{cm} = \frac{E - U_{cm}}{R}.$$

Результаты вычислений занесите в таблицу 2.1. По данным таблицы постройте ВАХ стабилитрона и оцените по ней напряжение стабилизации.

#### Контрольные вопросы

1. Что является основой полупроводниковых приборов?
2. Как используются полупроводниковые диоды?
3. Как отличается сопротивление полупроводниковых диодов в прямом и обратном направлениях?
4. Какие основные характеристики диода?
5. Оценить статическое сопротивление диода при прямом и обратном включении.
6. Какое назначение имеет стабилитрон и как он включается?
7. Почему ограничен ток стабилизации у стабилитрона?
8. Из каких обозначений состоит маркировка диодов?
9. Как называются электроды диода и стабилитрона?

