

## Лабораторный практикум для 10 класса часть №3 «Электричество»

### Лабораторная работа №1

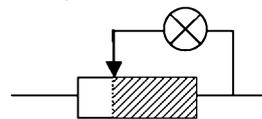
#### ПОЛУЧЕНИЕ ВАХ ЛАМПЫ НАКАЛИВАНИЯ.

**Цель работы:** Получить ВАХ для нелинейного элемента.

**Приборы:** источник тока (42 В), ключ, электролампа №3, электролампа №2, набор проводов в изоляции, вольтметр с пределом измерения 6В, мультиметр, реостат.

#### Теория.

Вольтамперная характеристика (ВАХ) – график зависимости силы тока от приложенного напряжения для того или иного элемента цепи. Чтобы построить ВАХ, необходимо получить значение силы тока, проходящего по данному элементу цепи при различных напряжениях. Для этого нужно собрать цепь, которая позволяет при неизменном источнике тока подавать на выбранный участок цепи напряжение, которое можно изменять от нуля до максимума. Это можно сделать при



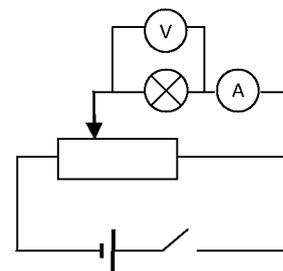
помощи реостата, который включают в цепь следующим образом: включённый таким образом, называется делителем напряжения. Элемент цепи (в нашем случае лампочка) оказывается включённым параллельно части реостата (на рисунке это заштрихованная часть), а значит, напряжение на элементе будет равно напряжению на этой части реостата. Напряжение на участке реостата пропорционально длине этого участка. Таким образом, перемещая ползунок реостата, можно изменять напряжение на элементе от максимума до нуля.

Закон Ома для участка цепи имеет границы применимости. В частности необходимо, чтобы сопротивление участка цепи оставалось неизменным. В лампе накаливания спираль играет роль резистора, но во время работы она сильно нагревается, а т.к. сопротивление проводника зависит от его температуры, то сопротивление нити накала лампы в процессе её нагрева будет изменяться. По этой причине ВАХ лампы накаливания будет представлять из себя уже не прямую линию, а некоторую кривую вид которой вам будет необходимо получить в ходе этой работы.

Но даже в этом случае можно воспользоваться законом Ома для участка цепи, чтобы определить сопротивление проводника на любом участке графика ВАХ. Если взять достаточное малое изменение напряжения  $\Delta U$  (такое изменение напряжения, при котором изменением сопротивления можно пренебречь), тогда изменение силы тока будет тоже малое  $\Delta I$ . В этом случае можем применить закон Ома для участка цепи и вычислить сопротивление  $R = \frac{\Delta U}{\Delta I}$ . С точки зрения геометрии эта формула показывает, что сопротивление численно равно котангенсу угла наклона касательной, проведённой к графику ВАХ в данной точке.

### Ход работы.

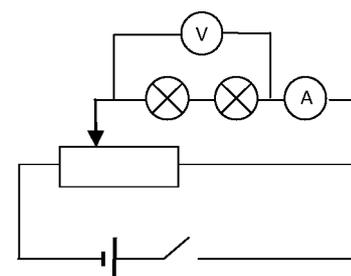
1. Определите и запишите в отчёте цену деления вольтметра и амперметра. Роль амперметра выполняет мультиметр, включённый в режиме амперметра в диапазоне «10А». Провода к мультиметру подключаются следующим образом: минусовой провод в среднее гнездо, плюсовой провод в левое гнездо.
2. Соберите цепь по следующей схеме: Включите лампочку №3. Будьте внимательны: источник тока подключается к розетке 42В (с плоскими контактами). Перед замыканием цепи **ОБЯЗАТЕЛЬНО** покажите цепь преподавателю и только после этого замыкайте ключ.
3. Плавно перемещая, ползунок реостата, постепенно изменяйте напряжение на лампочке от нуля до максимума с минимальным шагом равным цене деления, замеряя при этом значение силы тока. Получите, таким образом как можно больше значений силы тока и напряжения (не менее 10).



Полученные данные занесите в таблицу.

Лампочка №3		
№ эксперимента	U, В	I, А
1		
2		
....	...	...
10		

4. Постройте ВАХ лампочки №3 на листе миллиметровки.
5. Определите максимальное и минимальное сопротивление нити накала лампочки.
6. Повторите пункты 1 – 4 для лампочки №2.
7. Соедините лампочки последовательно и снимите ВАХ такого соединения (повторив пункты 1 – 4).
8. Соедините лампочки параллельно и снимите ВАХ такого соединения (повторив пункты 1 – 4).



**Обратите внимание:** у вас должно получиться 4 графика. Лучше все эти графики изобразить на одной системе координат, выделив их разным цветом и подписав.

### Контрольные вопросы:

1. Как связаны ВАХ первой и второй лампочек с ВАХ последовательного и параллельного соединений? Объясните эту связь теоретически.
2. Мощность, какой из двух лампочек больше, если учесть, что они рассчитаны на одинаковое напряжение? Ответ обоснуйте.
3. Если предположить, что нити накала лампочек изготовлены из вольфрама, то до какой температуры они нагревались в вашем эксперименте? (Укажите значение температурного коэффициента сопротивления вольфрама, который вы использовали при расчётах, а так же источник этой информации)

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ МОСТИКА "УИНСТОНА"

**Цель работы:** ознакомление с принципом работы измерительной мостовой схемы и экспериментальное определение величины неизвестного сопротивления.

**Приборы и принадлежности:** источник постоянной ЭДС, магазины сопротивлений (№1 и №2), неизвестные сопротивления (№1 и №2), реохорд, гальванометр, ключ, соединительные провода.

### Методические указания и описание установки

Одним из наиболее точных способов измерения сопротивлений является метод мостика Уинстона. Принципиальная схема представляет собой замкнутый прямоугольник, образованный сопротивлениями  $R_1, R_2, R_3, R_4$  (рис. 1). В диагональ AC подсоединяется источник постоянного тока  $\epsilon$ , а в BD, образующий мост, нуль-гальванометр G. Сопротивления  $R_1, R_2, R_3, R_4$  называются плечами моста. При произвольно выбранных сопротивлениях  $R_1, R_2, R_3, R_4$  в диагонали BD будет идти ток, вызывающий отклонение стрелки гальванометра в ту или другую сторону. Величина этого тока определяется по закону Ома:

$$I_g = \frac{\varphi_B - \varphi_D}{r_g},$$

где  $\varphi_B$  и  $\varphi_D$  – потенциалы в точках B и D;  $r_g$  – сопротивление гальванометра. Подбирая определенные соотношения сопротивлений  $R_1, R_2, R_3, R_4$ , можно добиться отсутствия тока в цепи гальванометра ( $I_g = 0$ ).

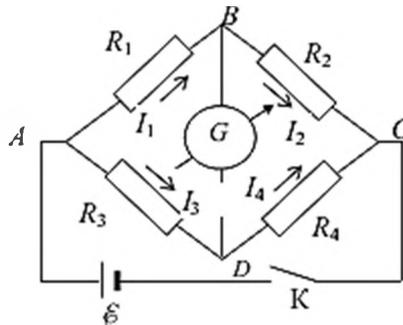


Рис. 1

Это означает, что потенциалы точек B и D одинаковы, т.е.  $\varphi_B = \varphi_D$ . В этом случае мост называют сбалансированным.

Токи, текущие через сопротивления  $R_1, R_2, R_3, R_4$  обозначим соответственно  $I_1, I_2, I_3, I_4$ . Для нахождения одного из этих сопротивлений запишем закон Ома для каждого из участков цепи через разности потенциалов на концах соответствующих сопротивлений:

$$I_1 R_1 = \varphi_A - \varphi_B; \quad (1)$$

$$I_3 R_3 = \varphi_A - \varphi_D; \quad (2)$$

$$I_2 R_2 = \varphi_B - \varphi_C; \quad (3)$$

$$I_4 R_4 = \varphi_D - \varphi_C. \quad (4)$$

При условии  $I_g = 0$ , когда  $\varphi_B = \varphi_D$ , в уравнениях (1), (2) и (3), (4) правые части равны, следовательно, равны и левые части:

$$I_1 R_1 = I_3 R_3, \quad (5)$$

$$I_2 R_2 = I_4 R_4. \quad (6)$$

Уравнения (5) и (6) называются уравнениями сбалансированного моста. Для последовательно соединенных сопротивлений  $R_1$  и  $R_2$ ,  $R_3$  и  $R_4$  и отсутствия тока в диагонали  $BD$  имеем  $I_1=I_2$  и  $I_3=I_4$ . Разделив почленно уравнение (5) на (6) получаем:

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_4},$$

откуда, например:

$$R_1 = R_2 \frac{R_3}{R_4}. \quad (7)$$

В настоящей работе используется установка, электрическая схема которой показана на рис. 2. Сопротивление  $R_1$  заменено неизвестным сопротивлением  $R_x$ , величину которого нужно определить; вместо постоянного резистора  $R_2$  включен магазин сопротивлений  $R_m$ , позволяющий менять значение этого сопротивления в широком диапазоне; сопротивления  $R_3$  и  $R_4$  заменены единой эталонированной проволокой ADC (ее сечение одинаково по всей длине) – реохордом. Движок  $D$ , перемещаясь по реохорду, меняет плечи мостика  $R_3$  и  $R_4$ .

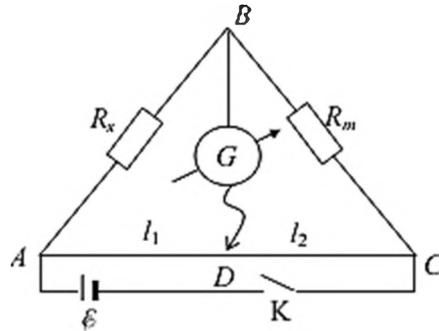


Рис. 2

Так как сопротивление однородного цилиндрического проводника

$$R = \rho \frac{l}{S},$$

где  $\rho$  – удельное сопротивление;  $l$  – длина и  $S$  – сечение проволоки реохорда, при постоянных  $\rho$  и  $S$  пропорционально длине  $l$ , то отношение сопротивлений  $R_3/R_4$  в уравнении (7) будет эквивалентно отношению длин плеч реохорда, т.е.

$$\frac{R_3}{R_4} = \frac{l_1}{l_2}. \quad (8)$$

В итоге, уравнение (7) для расчета неизвестного сопротивления ( $R_x$ ) принимает окончательный вид:

$$R_x = R_m \frac{l_1}{l_2}. \quad (9)$$

### Порядок выполнения работы

1. В плечо АВ (рис. 2) включите неизвестное сопротивление  $R_x$  (№1- белая коробочка). Движок реохорда поставьте так, чтобы он находился примерно посередине реохорда. В плечо ВС включите магазин сопротивлений (№1- чёрная коробочка с ручкой переключения).

**Обратите внимание:** в начале работы указатель магазина сопротивлений должен стоять на **1**. **Запрещается** устанавливать указатель магазина сопротивлений на ноль. Величина сопротивления магазина сопротивлений определяется следующим образом: цифра на ручке переключения, которая находится напротив указателя умножается на число, указанное на корпусе прибора (\*100 или \*1000).

2. Замкните ключ К и перемещая ползунок реохорда добейтесь того, чтобы стрелка гальванометра встала на ноль как можно точнее. После того как ноль установлен занесите значение длин плеч  $L_1$  (левая часть реохорда) и  $L_2$  (правая часть реохорда) в «Таблицу №1».

**Таблица №1**

№	$L_1$ , см	$L_2$ , см	$R_m$ , Ом	$R_x$ , Ом
1				
2				
...	...	...	...	...
7				

3. Измените сопротивление магазина  $R_m$ , увеличив его на единицу. Передвигая движок реохорда при замкнутом ключе, вновь добейтесь нулевого тока в цепи гальванометра и занесите новые значения  $L_1$ ,  $L_2$  и  $R_m$  в таблицу №1. Проведите 7 таких измерений, увеличивая каждый раз сопротивление магазина  $R_m$  на единицу.
4. По формуле (9), используя результаты измерений, рассчитайте по семь значений сопротивления  $R_x$  и найдите его средние значения ( $R_{xcp}$ ).
5. Вычислите абсолютные и относительные погрешности для искомого сопротивления.
6. Замените сопротивление №1 на сопротивление №2, магазин сопротивления №1 на магазин сопротивления №2 и повторите пункты 1-5 для нового сопротивления.

### Контрольные вопросы

1. Напишите и объясните законы Ома для однородного, неоднородного участков и полной цепи.
2. Объясните физический смысл закона Ома в дифференциальной форме.
3. Зависит ли погрешность измерений от положения движка реохорда?
4. Получите расчетную формулу (9) с использованием правила Кирхгофа.

# Лабораторный практикум для 10 класса №3 «Электричество»

## Лабораторная работа №3

ИЗМЕРЕНИЕ МОЩНОСТИ, ВНУТРЕННЕГО СОПРОТИВЛЕНИЯ И КПД ИСТОЧНИКА ПОСТОЯННОГО ТОКА

(Методическая разработка Лисицына С. Г.)

**Цель работы:** Изучить зависимость КПД и полезной мощности источника тока от величины внешнего сопротивления.

**Приборы и принадлежности:** Источник постоянного тока, реостат, амперметр, ключ, вольтметр, провода.

### ВВЕДЕНИЕ

При прохождении заряда  $q$  по замкнутой цепи, содержащей источник ЭДС, источник совершает над зарядом работу:  $A_{\text{ист}} = \varepsilon \cdot q$  (1), где  $\varepsilon$  – ЭДС источника.

Выразив заряд  $q$  через силу тока  $I$  и время  $t$ :  $q = I \cdot t$ , из (1) получим мощность, выделяемую во всей

цепи источником ЭДС:  $P = \frac{A}{t} = \varepsilon \cdot I$  (2)

Эту мощность можно выразить через ЭДС источника и полное сопротивление цепи  $R + r_{\text{внутр}}$ , если воспользоваться законом Ома для замкнутой цепи:  $I = \frac{\varepsilon}{R + r_{\text{внутр}}}$  (3)

Подставив это выражение в (2) получим:  $P = \frac{\varepsilon^2}{R + r_{\text{внутр}}}$  (4)

Вычислим также мощность  $P_1$ , выделяющуюся во внешней части цепи на сопротивлении  $R$ . Если разность потенциалов на концах сопротивления  $R$  равна  $U$ , то при прохождении по нему заряда  $q = I \cdot t$  электрическим полем над зарядом будет совершена работа:  $A = U \cdot I \cdot t$ , откуда находим

мощность  $P_1 = \frac{A}{t}$  тогда  $P_1 = U \cdot I$

Воспользовавшись законом Ома для участка цепи  $U = I \cdot R$  и законом Ома для замкнутой цепи (3), получим для  $P_1$ :  $P_1 = \frac{\varepsilon^2 \cdot R}{(R + r_{\text{внутр}})^2}$  (5) Эта мощность называется полезной.

Отношение  $\eta = \frac{P_1}{P}$  – называется коэффициентом полезного действия (КПД) источника. Из (4) и (5) получаем:  $\eta = \frac{R}{R + r_{\text{внутр}}}$  (6)

Как видно из (5), полезная мощность зависит от сопротивления внешней цепи  $R$ :

При  $R \ll r_{\text{внутр}}$  полезная мощность  $P_1 \approx \frac{\varepsilon^2 \cdot R}{r_{\text{внутр}}^2}$  и растет с ростом  $R$ .

Если же  $R \gg r_{\text{внутр}}$  то,  $P_1 \approx \frac{\varepsilon^2}{R}$  и падает с ростом  $R$ . Нетрудно убедиться в том, что  $P_1$  достигает

максимума при  $R = r_{\text{внутр}}$ , в этом случае  $P_{1\text{max}} = \frac{\varepsilon^2}{4r_{\text{внутр}}}$  (7),  $\eta = \frac{1}{2}$  (8).

## ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Составьте цепь из батареи аккумуляторов  $\varepsilon$ , амперметра  $A$  (в диапазоне  $3A$ ), вольтметра  $V$ , реостата  $R$  и ключа, согласно схеме, изображенной на рис. 1.
2. Заготовьте таблицу для записи данных:

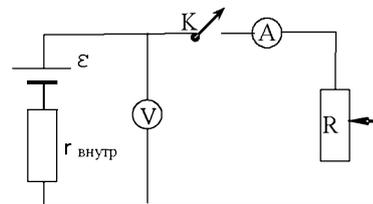


Рис. 1

ЭДС источника  $\varepsilon =$  \_\_\_\_\_ В (измеряется в ходе эксперимента).

№	Показания вольтметра $U, В$	Показания амперметра $I, А$	Внешнее сопротивление $R, Ом$	Внутреннее сопротивление $r_{внутр}, Ом$	Полная мощность $P, Вт$	Полезная мощность $P_1, Вт$	КПД $\eta, \%$
1							
2							
...							

3. Запишите показания вольтметра для разомкнутой цепи. Напряжение на зажимах батареи в этом случае равняется ЭДС батареи  $\varepsilon$ .
4. Замкнув цепь ключом  $K$ , установите такое сопротивление реостата  $R$ , при котором сила тока в цепи будет минимальной. Запишите в таблицу соответствующее показание вольтметра и амперметра.
5. Уменьшая сопротивление реостата, проведите не менее 10 измерений тока в цепи ( $I$ ) и напряжение на внешнем участке цепи ( $U$ ).
6. Для каждого замера напряжения  $U$  и тока  $I$  определите величину внешнего сопротивления  $R$ , пользуясь законом Ома для участка цепи и величину внутреннего сопротивления  $r_{внутр}$ , используя закон Ома для полной цепи:  $R = \frac{U}{I}$ ;  $r_{внутр} = \frac{\varepsilon - U}{I}$ . А также значение полной  $P$  и полезной  $P_1$  мощности.
7. По найденным значениям  $R$  и  $r_{внутр}$  найдите КПД  $\eta$  для каждого измерения.
8. Вычислите величину  $P_{1max}$ .
9. Определите среднее значение  $r_{внутр}$ .
10. Постройте на разных листах миллиметровки графики зависимости от внешнего сопротивления цепи  $R$ :
  - ✓ полезной мощности  $P_1$ , обратив особое внимание на область вблизи максимума кривой
  - ✓ КПД  $\eta$

Проверьте по графикам правильность соотношений (7) и(8) и сделайте вывод.

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какие силы называют сторонними?
2. Что такое ЭДС?
3. Чем ЭДС отличается от разности потенциалов?
4. Почему для поддержания тока в замкнутой цепи недостаточно одного только электростатического поля?
5. Согласно (5) полезная мощность максимальна, когда  $R=r_{внутр}$ . Означает ли это, что источник тока лучше всего эксплуатировать в режиме, когда  $R \sim r_{внутр}$ ?

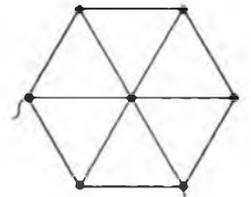
ИССЛЕДОВАНИЕ СИММЕТРИЧНЫХ ЦЕПЕЙ.

**Цель работы:** Изучить особенности симметричных цепей и проверить теоретические выводы.

**Приборы:** источник тока, ключ, амперметр, вольтметр, симметричная схема, провода с зажимами «крокодил».

**ВВЕДЕНИЕ**

Симметричными называются цепи, которые при повороте вокруг некоторой оси полностью повторяют исходную цепь. На рисунке приведён пример такой цепи в виде шестиугольника. Если её подключить к источнику тока в противоположных вершинах и поворачивать вокруг диагонали поведённой между этими вершинами, то схема опять полностью повторит себя через поворот. Конечно же это выполняется только при том условии, что сопротивление всех участков такой цепи одинаковое.



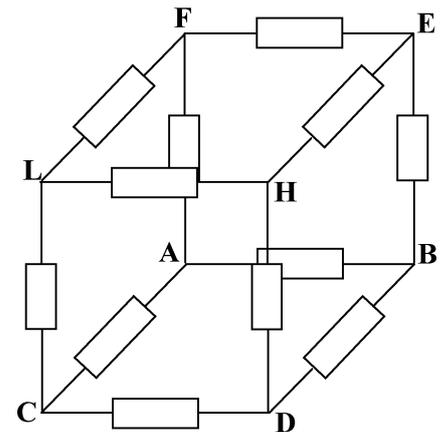
Теоретические выкладки показывают, что симметричные узлы (узлы, которые сменяют друг друга при повороте схемы) будут обладать равными потенциалами. В свою очередь умение находить такие узлы позволяет сильно облегчить расчёт таких сложных цепей. Дело в том, что соединение точек равного потенциала не изменяет параметров цепи, так как через эти дополнительные перемычки ток течь не будет. Но зато позволяет сильно упростить цепь соединив эти точки.

Целью данной работы и является нахождение точек равного потенциала и расчёт с их помощью симметричной цепочки. Роль такой цепочки будет играть куб из резисторов, собранный на пластиковой основе. В дальнейшем эта цепочка будет просто называться «куб», а сопротивление всего «куба» - эквивалентным сопротивлением  $R_{\text{экв}}$ .

Методика определения потенциалов вершины куба.

Потенциалы вершин будем определять при помощи вольтметра.

Но нужно помнить, что вольтметр измеряет разность потенциалов между двумя точками. Поэтому нужно придерживаться определённого алгоритма действий:



- Выберем точку с потенциалом равным нулю. Обычно за такую точку принимают ту вершину «куба», к которой подключён отрицательный полюс источника тока.
- Теперь необходимо прописать все возможные пути, по которым заряд может перейти от вершины, к которой подключён положительный источник тока (вход цепи) до вершины, к которой подключён отрицательный полюс источника тока (выход цепи). Обратите внимание, что каждая вершина «куба» должна быть пройдена хотя бы на одном из путей.
- Теперь начинаем измерять разность потенциалов между соседними вершинами, двигаясь по выбранным маршрутам от выхода к входу цепи. Так как потенциал первой вершины мы приняли за ноль (выход цепи), то потенциал последующей вершины вычисляется как сумма напряжения, измеренного между этими вершинами, и потенциала предыдущей вершины.
- Таким образом, пройдя все запланированные пути, вы определите потенциалы всех вершин. На этом этапе необходимо сделать самопроверку: Во первых, проверьте, что вы посчитали потенциал всех восьми вершин. Во вторых, сравните сумму напряжений на каждом из выбранных путей, очевидно, она должна быть везде одинаковая.
- Если проверка прошла успешно, определите вершины, имеющие равные потенциалы и укажите их на схеме «куба» в своём отчёте.

## ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Соберите схему, показанную на рисунке. Резистор, обозначенный на схеме  $R_{\text{экв}}$  это «куб», который вы будете подключать к различным вершинам.
2. Подключите «куб» к вершинам А – В. Причём к вершине А – отрицательный полюс и это будет «выход» цепи, а к вершине В – положительный полюс и это будет «вход» цепи. Используйте для этого провода с зажимами «крокодил» Ключ должен быть **разомкнут**, чтобы не допускать перегрева резисторов.
3. Продумайте все возможные пути прохода по «кубу» от вершины А к вершине В и запишите их в таблицу путей промеров.

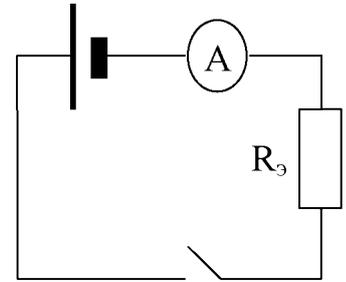


Таблица путей промеров от вершины А до \_\_\_\_\_

Путь №1		Путь №2		Путь №3		Путь №4	
Ребро	Напряжение между вершинами U, В						
Сумма		Сумма		Сумма		Сумма	

4. Теперь, двигаясь по выбранному пути, измеряйте разность потенциалов между вершинами при помощи вольтметра. При этом используйте провода с зажимами «крокодил».  
**ОБРАТИТЕ ВНИМАНИЕ:** при переключении вольтметра цепь должна быть **разомкнута**. Следите за полярностью подключения вольтметра. Результаты запишите в таблицу путей промеров.
5. Теперь вычислите потенциал каждой вершины и занесите их в Таблицу потенциалов

Таблица потенциалов

Точки подключения: А – В		Точки подключения: А – D		Точки подключения: А – H	
Вершины	Потенциал, В	Вершины	Потенциал, В	Вершины	Потенциал, В
А	0	А	0	А	0
В		В		В	
С		С		С	
D		D		D	
Е		Е		Е	
F		F		F	
H		H		H	
L		L		L	

6. Перечертите в отчёт схему «куба» и отметьте те вершины, у которых одинаковые потенциалы.
7. Преобразуйте схему «куба» с учётом точек равного потенциала и выведите формулу связи общего сопротивления цепи и сопротивления одного резистора, включённого в ребро «куба».
8. По данным приборов (амперметра и вольтметра) определите полное сопротивление цепи.
9. Используя свою формулу, вычислите сопротивление одного резистора.
10. Подключите положительный полюс источника к вершине D и проделайте пункты 3 – 8.
11. Подключите положительный полюс источника к вершине L и проделайте пункты 3 – 8.

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Оцените погрешность полученных результатов
2. Физический смысл потенциала
3. Физический смысл разности потенциалов

**Цель работы:** получить ВАХ полупроводникового диода и изучить его особенности

**Приборы:** источник тока, ключ, два мультиметра, диод на подставке, фотодиод, потенциометр, провода.

### ВВЕДЕНИЕ

Диодами называют электронные приборы, обладающие различной проводимостью в зависимости от направления протекания электрического тока. Эти приборы имеют два электрода (контакта), служащие для включения в электрическую цепь. Электроды диода носят названия анод и катод. Если к диоду приложено прямое напряжение (то есть анод имеет положительный потенциал относительно катода), то диод открыт (через диод течёт прямой ток, диод имеет малое сопротивление). Напротив, если к диоду приложено обратное напряжение (катод имеет положительный потенциал относительно анода), то диод закрыт (сопротивление диода велико, обратный ток мал, и может во многих случаях считаться равным нулю).

Диоды бывают электровакуумными, газонаполненными, полупроводниковыми и др. В настоящее время в большинстве случаев применяются полупроводниковые диоды. В соответствии с этим далее речь идёт только о полупроводниковых приборах. Условное графическое обозначение диода приведено на рис. 1.



Рис. 1. Обозначение диода на принципиальных электрических схемах

Как следует из рис. 1, обозначение диода представляет собой стрелку, указывающую направление электрического тока (направление движения положительных зарядов).

Вольтамперная характеристика диода отражает зависимость тока, который проходит через p-n-переход диода, от величины напряжения, приложенного к контактам. График этой зависимости представлен на рис. 2. На этом рисунке на горизонтальной оси справа и слева от нулевого значения применены разные масштабы, отличающиеся в 40 раз.

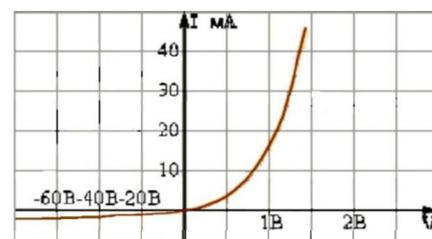


Рис. 2. Вольтамперная характеристика полупроводникового диода

Для каждого типа диода график ВАХ будет иметь свой конкретный вид. Как следует из графика, зависимость тока от напряжения является нелинейной. По вертикали вверх здесь отмечены значения прямого тока (при прямом включении).

По горизонтальной оси график отображает напряжение, соответственно в прямом и обратном направлении. Таким образом, линия вольтамперной характеристики будет состоять из двух частей:

- верхняя правая часть – элемент функционирует в прямом включении. Она отражает изменение силы пропускаемого тока в зависимости от величины приложенного напряжения. Линия в этой части идет резко вверх. Она характеризует значительный рост прямого тока;
- нижняя левая часть – элемент действует в обратном включении. Она соответствует обратному току через переход. Здесь линия на начальном участке идет практически параллельно горизонтальной оси. Она отражает медленное нарастание обратного тока.

В данной работе вы будете получать график только для прямого включения диода. Полученный график может иметь вид, представленный на рис. 3. На этом рисунке хорошо виден момент «открытия» диода – напряжение, при котором через диод начинает протекать ток. Эта величина является очень важной для расчёта электронных схем. Ещё раз отметим, что из рассмотрения полученной ВАХ следует, что при включении диода в прямом направлении, при малых изменениях тока, характеристика является нелинейной. В области больших изменений тока характеристика практически линейна. Это позволяет определить сопротивление диода в открытом состоянии при помощи закона Ома как  $\text{ctg} \alpha$  угла наклона линейного участка ВАХ.

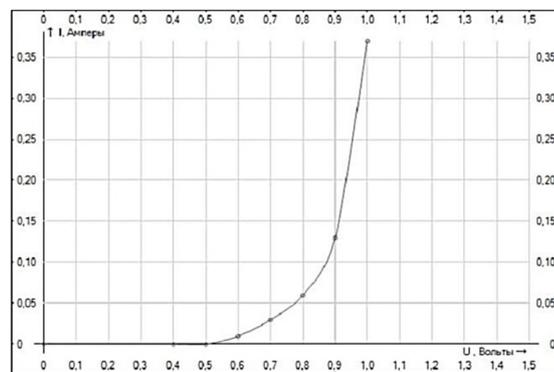
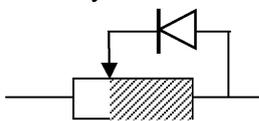


Рис. 3. Нелинейная ВАХ (увеличенный фрагмент рис. 2)

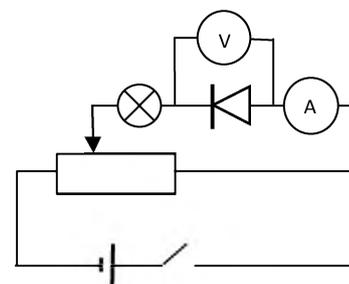
Чтобы построить ВАХ, необходимо получить значение силы тока, проходящего по данному элементу цепи при различных напряжениях. Для этого нужно собрать цепь, которая позволяет при неизменном источнике тока подавать на выбранный участок цепи напряжения, которое можно изменять от нуля до максимума. Это можно сделать при помощи реостата, который включают в цепь



следующим образом: Реостат, включённый таким образом, называется делителем напряжения или потенциометром. Элемент цепи (в нашем случае диод) оказывается включённым параллельно части реостата (на рисунке это затрихованная часть), а значит, напряжение на элементе будет равно напряжению на этой части реостата. Напряжение на участке реостата пропорционально длине этого участка. Таким образом, перемещая ползунок реостата, можно изменять напряжение на элементе от максимума до нуля.

### ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Соберите схему, показанную на рисунке. Обратите внимание на правильную полярность подключения диода. Лампочка в схеме выполняет двойную функцию: ограничивает силу тока в цепи диода и показывает, течёт ток через диод или нет. Роль амперметра выполняет один из мультиметров включённый в режиме амперметра в диапазоне 200 мА, роль вольтметра выполняет второй мультиметр, включённый в режиме вольтметра в диапазоне 20 В.



**Перед началом работы** покажите схему преподавателю.

2. Аккуратно вращая ручку потенциометра от min до max, изменяйте напряжение на диоде с шагом 0,01 В и записывайте показания вольтметра и амперметра в таблицу. Измерения продолжайте, пока напряжение не достигнет 3,5 В, или ручка потенциометра не будет повернута до упора.
3. По полученным данным постройте ВАХ диода.
4. Определите и запишите в отчёт напряжение открытия диода.
5. Определите и запишите в отчёт сопротивление диода, соответствующее линейному участку ВАХ. Не забудьте, что амперметр показывает ток в миллиамперах.
6. Замените диод на светодиод. Красный провод соответствует положительному электроду. Прodelайте пункты 2 – 5 для светодиода.

### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Почему диод не открывается сразу при прикладывании прямого напряжения?
2. Каков физический механизм свечения светодиода?

Лабораторная работа №6

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЁМКОСТИ КОНДЕНСАТОРА

**Цель работы:** определить ёмкость конденсатора методом разрядки

**Приборы:** источник тока, трёхполосной ключ, два мультиметра, конденсатор неизвестной ёмкости, резистор с известным сопротивлением, резистор с неизвестным сопротивлением, провода, секундомер.

**Введение**

При разрядке конденсатора через постоянное сопротивление:

1) изменение заряда конденсатора за малое время  $dt$  равно  $dq = -I dt$ , где  $I$  – сила тока, а знак «минус» означает убыль заряда.

2) по закону Ома  $U = I R$ , где  $U$  – напряжение на конденсаторе, а  $R$  – сопротивление резистора,

3)  $U = Q / C$ , где  $Q$  – заряд конденсатора, а  $C$  – его емкость.

Собрав все вместе, получим:  $Q = -RC \frac{dq}{dt}$ . Мы получили дифференциальное уравнение.

Его решение выглядит следующим образом:  $Q = Q_0 e^{-\frac{t}{RC}}$ . Если обе части решения поделить на емкость, то получим  $U = U_0 e^{-\frac{t}{RC}}$ , а если обе части решения поделить ещё и на сопротивление, то получим  $I = I_0 e^{-\frac{t}{RC}}$ .

Для нахождения емкости конденсатора удобно построить график зависимости логарифма силы тока от времени. Теоретически эта зависимость выглядит следующим образом:

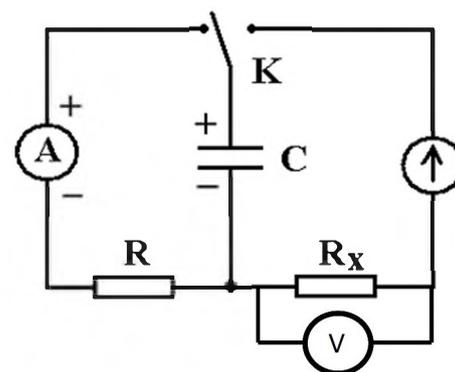
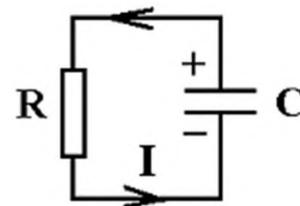
$\ln I = \ln I_0 - \frac{t}{RC}$ . Таким образом, график этой зависимости должен представлять из себя прямую. Если продлить этот график до пересечения с осями, то можно получить значение  $\ln I_0$  - логарифм силы тока в момент замыкания ключа и  $t_0$  – время полной разрядки конденсатора. Зная эти величины и сопротивление резистора, через который происходит разрядка конденсатора можно вычислить его ёмкость.

**Описание установки**

Для изучения разрядки конденсатора используется схема, показанная на рисунке. При правом положении переключателя  $K$  осуществляется зарядка конденсатора через резистор с неизвестным сопротивлением, который необходим для ограничения тока. Разрядка конденсатора осуществляется через резистор с известным сопротивлением при переключении переключателя  $K$ .

В качестве амперметра используется мультиметр (жёлтый) на пределе 2 mA. В качестве вольтметра используют второй мультиметр (чёрный) на пределе 20 В.

**Обратите внимание на то, что конденсатор является полярным. Его необходимо подключать к источнику с соблюдением полярности (плюс конденсатора к плюсу источника). Неверное подключение конденсатора может привести его к выходу из строя.**



### **Порядок выполнения работы**

1. ОЗНАКОМЬТЕСЬ С ПРИНЦИПАМИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВСЕХ ПРИБОРОВ, ИСПОЛЬЗУЮЩИХСЯ В ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ.
2. Заготовьте таблицу для записи данных
3. Соберите электрическую схему.
4. ПОПРОСИТЕ ПРЕПОДАВАТЕЛЯ, ЧТОБЫ ОН ПРОВЕРИЛ СХЕМУ!!!
5. Замкните ключ так, чтобы конденсатор начал заряжаться. Обратите внимание на показания вольтметра: пока конденсатор заряжается через резистор неизвестного сопротивления идёт ток и вольтметр фиксирует разность потенциалов на нём. Когда конденсатор зарядился ток по цепи не идёт и показания вольтметра должны стать равны нулю (допускается значение 0,01 В).
6. После завершения процесса зарядки переключите ключ в другое положение и одновременно запустите отсчёт времени на секундомере.
7. Фиксируйте зависимость силы тока от времени при изменении силы тока на 0,01 мА. ОБРАТИТЕ ВНИМАНИЕ: в самом начале эксперимента сила тока будет изменяться очень быстро. Поэтому лучше сначала зафиксировать начальную силу тока, заранее заполнить значения силы тока в таблице с шагом 0,01 мА. А затем несколько раз проделать следующие действия: зарядить конденсатор, переключить ключ и запустить секундомер, дождаться нужного значения силы тока, зафиксировать время, не дожидаясь разрядки конденсатора зарядить его снова и всё повторить для следующего значения силы тока. Примерно на 0,2 мА скорость убыли силы тока станет такой, что вы будите успевать заносить данные в таблицу без подзарядки.
8. Построить график зависимости силы тока от времени.
9. Построить график зависимости логарифма силы тока от времени.
10. По данным графиков определить ёмкость конденсатора.

### **Контрольные вопросы**

1. Оценить погрешность найденного значения ёмкости.
2. Почему после зарядки конденсатора по цепи ток не течёт?