

Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Омский государственный технический университет»

**ЭЛЕКТРОСТАТИКА И ПОСТОЯННЫЙ ТОК**  
**ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ ПО ФИЗИКЕ**

Омск  
Издательство ОмГТУ  
2011

Составители:

Ласица Александр Михайлович, к.т.н., доцент

Шабалин Вениамин Петрович, к.т.н., доцент

Сидорова Евгения Анатольевна, к.ф.-м.н., доцент

Кондратьева Тамара Николаевна, старший преподаватель

Методические указания предназначены для студентов дневного и вечернего отделения. Они включают в себя описания лабораторных работ по физике к разделу «Электростатика и постоянный ток».

Подготовлены на кафедре «Физика» ОмГТУ и одобрены редакционно-издательским советом ОмГТУ.

## Лабораторная работа № 3.21

### МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОГО ПОЛЯ

**Цель работы:** знакомство с моделированием электрического поля методом электролитической ванны.

**Приборы и принадлежности:** генератор многофункциональный АНР-1002, вольтметр переменного тока, ванна с электродами и соединительные провода.

#### Краткие теоретические сведения

Основная задача электростатики - нахождение напряженности электростатического поля во всех точках пространства. Для этого можно воспользоваться формулой связи между потенциалом и напряженностью

$$\vec{E} = -\text{grad}\varphi = -\left(\frac{\partial\varphi}{\partial x}\vec{i} + \frac{\partial\varphi}{\partial y}\vec{j} + \frac{\partial\varphi}{\partial z}\vec{k}\right) \quad (1)$$

В реальных задачах, особенно при конструировании различных электронных и ионных приборов, теоретический расчет полей практически невозможен. Экспериментальное же исследование распределения потенциала внутри таких приборов также затруднено из-за невозможности введения зонда или малости деталей приборов. В таких случаях используется **метод электролитической ванны**.

В основе метода лежит математическая эквивалентность уравнений, описывающих распределение потенциала в электростатическом поле конденсатора и в поле стационарного тока в однородной слабо проводящей среде между такими же электродами.

Пусть в проводящей среде размещены два электрода, проводимость которых много больше проводимости среды. В этом случае можно считать, что поверхности электродов являются эквипотенциальными. Если поддерживать потенциалы электродов  $\varphi_1$  и  $\varphi_2$  постоянными, то в пространстве между электродами возникает стационарный электрический ток плотности  $\vec{j}$ . Условие стационарности тока: поток плотности тока через замкнутую поверхность равен нулю.

$$\oint \vec{j} d\vec{S} = 0, \quad (2)$$

Физический смысл условия стационарности достаточно прост: в любой замкнутый объем сколько зарядов входит, столько же и выходит. Следовательно, не возникает объемных зарядов, а потенциалы всех точек остаются постоянными.

В практической реализации метода электролитической ванны изготавливается увеличенная модель электродов прибора, которую помещают в слабо проводящую среду (например, водопроводную воду). Для полей, обладающих осевой симметрией, используется метод сечений. При этом достаточно исследовать поле в любой плоскости симметрии, проходящей через ось модели. Если на электроды подавать постоянное напряжение, то протекание тока будет сопровождаться электролизом и выделением составных частей

электролита на электродах, что нарушает однородность электролита, приводит к поляризации электродов и искажению распределения потенциала между электродами. Поэтому на электроды подают переменное напряжение невысокой частоты и измеряют распределение потенциала в пространстве между электродами. При исследовании электростатических полей широко используется графический способ представления полей с помощью силовых линий и эквипотенциальных поверхностей. Вектор напряженности направлен в каждой точке силовой линии по касательной к ней. Поверхности равного потенциала  $\varphi = const$  называются эквипотенциальными. Силовые линии пересекают эквипотенциальные поверхности под прямым углом.

### Порядок выполнения работы

В лабораторной установке используется источник переменного напряжения. В этом случае удастся предотвратить выделение составных частей электролита на электродах (вследствие электролиза), поляризации электродов и искажения поля между электродами.

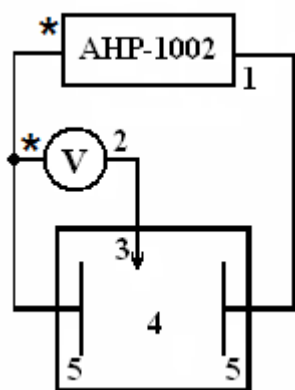


Рис. 1

Переменное электрическое поле в электролите не является потенциальным, в каждой точке напряжение изменяется со временем. Однако понятие «эквипотенциальной поверхности» как поверхности постоянно изменяющегося, но одинакового по амплитуде потенциала можно считать справедливым. Разные эквипотенциальные поверхности при этом

характеризуются разным значением амплитуды напряжения.

1. Соберите электрическую цепь согласно рис. 1 (1 - генератор многофункциональный АНР-1002; 2 - вольтметр переменного тока; 3 - зонд для определения потенциала; 4 - электролитическая ванна; 5 - электроды).

2. Убедитесь, что на генераторе АНР-1002 отжаты клавиши регулировки симметрии фронта 4 (SYMMETRY) и клавиша регулировки постоянной составляющей сигнала 5 (OFFSET). На блоке переключателей для управления режимом качания частоты 7 (SWEEP) зафиксируйте конечную частоту, нажав кнопку STOP  и отжав ON .

3. Подключите питание генератора клавишей включения и выключения питания 1 (POWER) и блока амперметра-вольтметра АВ1 клавишей СЕТЬ на передней панели блока.

4. На генераторе АНР-1002 с помощью переключателей выбора формы выходного сигнала 14 выберите синусоидальный сигнал . С помощью клавиш установки частотного диапазона 3 (клавиши  и ) и регулятора частоты выходного сигнала 11 (FREQUENCY) установите частоту выходного сигнала генератора в интервале  $200 \div 2000$  Гц.

5. Зарисуйте в определенном масштабе координатную сетку и отметьте на

ней положение и форму электродов.

6. Включите вольтметр (кнопка «сеть»).

7. С помощью вольтметра (перемещая зонд) определите потенциал около первого и второго электродов. Разделите разность потенциалов между этими точками на шесть, тем самым определив разность потенциалов между эквипотенциальными поверхностями, которые будут определяться в лабораторной работе.

8. Поместите зонд в ванну таким образом, чтобы показания вольтметра соответствовали первому (наименьшему) значению из выбранных потенциалов.

9. Перемещая зонд таким образом, чтобы показания вольтметра не изменялись, определите положение эквипотенциальной линии. Нанесите её положение на координатную сетку. (Отметьте положение эквипотенциальной линии на координатной сетке).

10. Переместите зонд на расстояние, при котором показания вольтметра изменились на величину, равную разности потенциалов между эквипотенциальными поверхностями, определенную в п. 7.

11. Повторите пункт 9, начертив вторую эквипотенциальную линию. Перемещая последовательно зонд, получите 5 эквипотенциальных поверхностей.

12. По полученной картине эквипотенциальных линий проведите 6 – 7 силовых линий (силовые линии и эквипотенциальные перпендикулярны друг другу).

13. Оцените величину напряженности  $E$  электрического поля на пяти разных участках вдоль одной силовой линии. Рассчитайте по формуле среднее значение напряженности электрического поля:

$$E \approx \frac{\Delta\varphi}{\Delta l}, \quad (3)$$

где  $\Delta\varphi$  - разность потенциалов между соседними эквипотенциальными линиями,  $\Delta l$  – расстояние между эквипотенциальными вдоль силовой линии в месте определения напряженности. Записать полученные значения на координатной сетке.

14. Положите в ванну проводящее тело (по указанию преподавателя).

15. Начертите эквипотенциальные поверхности и силовые линии, повторив п. 7-11. Убедитесь, что поле вблизи проводящего тела является неоднородным.

### Контрольные вопросы

1. Напряженность и потенциал электрического поля.
2. Связь между напряженностью и потенциалом.
3. Силовые линии, эквипотенциальные поверхности и их свойства.
4. Объяснить метод моделирования электростатического поля с помощью электролитической ванны.

## Лабораторная работа № 4.21

### ИЗУЧЕНИЕ РАБОТЫ ИСТОЧНИКА НАПРЯЖЕНИЯ

**Цель работы:** Изучение работы источника напряжения.

**Приборы и принадлежности:** Блок генератора напряжений ГН1, блок амперметра-вольтметра АВ1, стенд с объектами исследования СЗ-ЭМ01, соединительные провода.

#### Краткие теоретические сведения

Принципиальная схема работы любого источника напряжения приведена на рис. 1, где  $\varepsilon$  – ЭДС источника,  $r$  – его внутреннее сопротивление,  $R$  – сопротивление внешней цепи (нагрузка). По закону Ома для замкнутой цепи сила тока определяется по формуле:

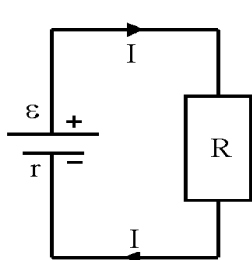


Рис. 1

$$I = \frac{\varepsilon}{R + r}. \quad (1)$$

Из закона Ома для однородного участка вытекает выражение для напряжения на нагрузке:

$$U_R = I \cdot R = \frac{\varepsilon \cdot R}{R + r}. \quad (2)$$

Выражая из (1) сопротивление  $R$  и подставляя в (2), получим зависимость напряжения на нагрузке от силы тока в цепи:

$$U_R = \varepsilon - Ir \quad (3)$$

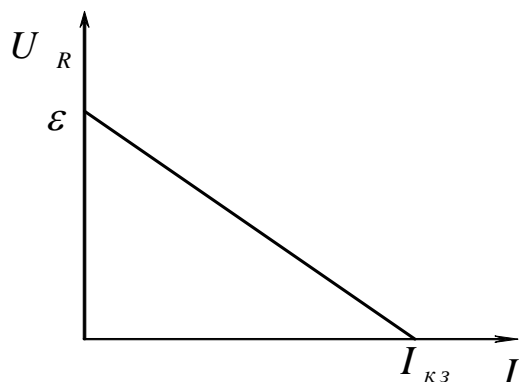


Рис. 2

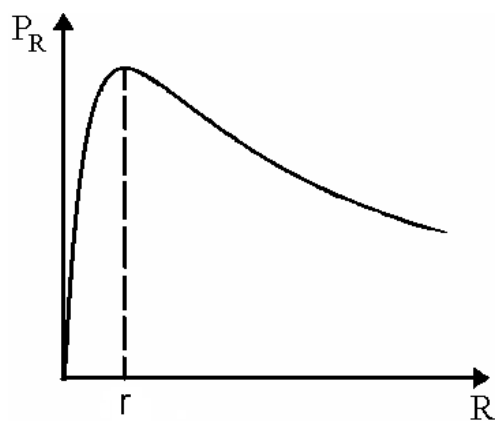


Рис. 3

Физический смысл последней формулы очевиден: ЭДС, действующая в контуре, равна сумме падений напряжений во внешней части цепи и на внутреннем сопротивлении источника. Из последней формулы видно, что данная зависимость является линейной (ее график приведен на рис.2). Анализ формулы (3) показывает, что при напряжении на нагрузке  $U_R = \varepsilon$ , сила тока  $I = 0$ ; а при отсутствии внешнего сопротивления  $U_R = 0$ , сила тока принимает максимальное значение, равное току короткого замыкания  $I = I_{кз}$ ,  $I_{кз} = \varepsilon/r$ .

Данные свойства зависимости (3) лежат в основе одного из методов экспериментального определения ЭДС источника и его внутреннего сопротивления. Для этого строится график зависимости напряжения на нагрузке от силы тока, который экстраполируется до пересечения с осями. Точка пересечения с осью напряжений дает значение ЭДС. Точка пересечения с осью

тока дает ток короткого замыкания  $I_{кз}$ , внутреннее сопротивление источника тока при этом рассчитывается по формуле:

$$r = \frac{\varepsilon}{I_{кз}}.$$

Полезная мощность, развиваемая источником напряжения, (мощность, выделяемая на нагрузке  $R$ ) определяется по формуле:

$$P_R = I \cdot U_R = \frac{\varepsilon^2 R}{(R + r)^2}. \quad (4)$$

График зависимости  $P_R(R)$  приведен на рис. 3. Он представляет кривую, начинающуюся из нуля, возрастающую до максимума, а затем опять спадающую до нуля при  $R = \infty$ . Для определения сопротивления  $R$ , обеспечивающего максимальную мощность, необходимо взять производную от выражения (4) по  $R$  и приравнять ее к нулю. Максимальная мощность  $P_{max}$  во внешней цепи выделяется при внешнем сопротивлении равном внутреннему сопротивлению источника:

$$R = r, \quad (5)$$

и определяется выражением:

$$P_{MAX} = \frac{\varepsilon^2}{4 \cdot r}. \quad (6)$$

Зависимость (6) позволяет определить внутреннее сопротивление источника тока еще одним способом, построив зависимость выделяемой во внешней части цепи мощности от величины нагрузки и определив сопротивление, обеспечивающее максимум мощности.

Коэффициентом полезного действия источника напряжения называется отношение выделяемой во внешней цепи мощности ( $P_R = I \cdot U_R$ ) к полной мощности развиваемой источником напряжения ( $P = I \cdot \varepsilon$ ).

$$\eta = \frac{P_R}{P} = \frac{U_R}{\varepsilon} = \frac{R}{R + r}. \quad (7)$$

Из последней формулы видно, что в случае выделения полезной максимальной мощности КПД источника равен 0.5.

### Порядок выполнения работы

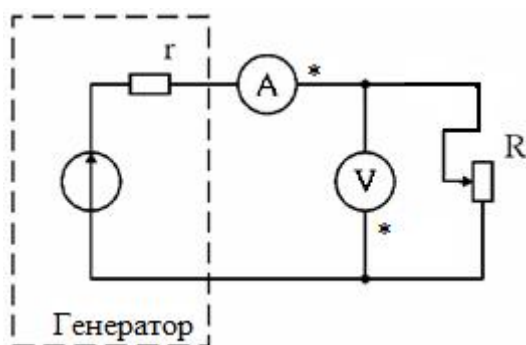


Рис. 4

Принципиальная электрическая схема, используемая в лабораторной работе, приведена на рис. 4. В качестве источника напряжения используется генератор регулируемого постоянного напряжения блока ГН1 с включенным внутренним сопротивлением (кнопка  $R_{вн}$  должна быть нажата). Переменное сопротивление находится на стенде с объектами исследования СЗ-ЭМ01.

1. Собрать схему (рис. 4).

2. Изменяя переменное сопротивление  $R$  (от 100 до 1500 Ом) и вращая регулятор потенциометра на блоке сопротивлений, снять значения напряжения  $U_R$  и силы тока в цепи  $I$  при разных значениях сопротивления нагрузки  $R$ . Результаты занесите в табл. 1.

3. По данным таблицы построить зависимость напряжения на нагрузке  $U_R$  от силы тока в цепи согласно примеру, изображенному на рис. 2. Экстраполируя график до пересечения с осями определить ЭДС источника  $\varepsilon_1$  и ток короткого замыкания  $I_{кз}$ . По формуле  $r_1 = \frac{\varepsilon}{I_{кз}}$  определить внутреннее сопротивление источника  $r_1$ . Результаты занести в табл. 1.

4. По формуле (6), используя значения  $\varepsilon_1$  и  $r_1$ , вычислить теоретическое значение максимальной мощности во внешней цепи  $P_{MAX1}$ . Результат занести в табл. 1.

5. Используя данные табл. 1, определить мощность, выделяемую во внешней цепи по формуле  $P_R = I \cdot U_R$  при каждом сопротивлении нагрузки  $R$ . Результаты занести в табл. 1. По данным таблицы построить график зависимости  $P_R = f(R)$ . По графику определить максимальное значение мощности  $P_{MAX2}$  и соответствующее ему сопротивление  $R = r_2$ . Результаты занести в табл. 1.

6. Определить ЭДС  $\varepsilon_2$ . Для этого подключить вольтметр к выходам ГН1. Записать полученный результат в табл. 1.

Сравнить значения ЭДС  $\varepsilon$ , внутреннего сопротивления  $r$  и полезной максимальной мощности  $P_{MAX}$ , полученные разными методами. Объясните возможное несовпадение результатов.

Таблица 1

№	R, Ом	I, мА	$U_R$ , В	$P_R$ , мВт	$\varepsilon_1$ , В	$I_{кз}$ , мА	$r_1$ , Ом	$P_{MAX1}$ , мВт			
1	100										
2	200										
3	300										
4	400										
5	500										
6	600										
7	700										
8	800								$\varepsilon_2$ , В		
9	900										
10	1000										
11	1100										
12	1200										
13	1300										
14	1400										
15	1500										

### Контрольные вопросы

1. Сила тока и напряжение в электрической цепи. Законы Ома.



2. Мощность, выделяемая в электрической цепи. Закон Джоуля – Ленца.
3. Принцип определения ЭДС в данной лабораторной работе.
4. Принцип определения внутреннего сопротивления в данной лабораторной работе.
5. КПД источника напряжения.

### Лабораторная работа № 4.24

#### ИЗМЕРЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ МОСТОМ ПОСТОЯННОГО ТОКА

**Цель работы:** ознакомиться с методом измерения сопротивления с помощью моста постоянного тока.

**Приборы и принадлежности:** Блок генератора напряжений ГН1, блок амперметра-вольтметра АВ1, стенд с объектами исследования СЗ-ЭМ01, соединительные провода.

#### Краткие теоретические сведения

Одним из распространенных методов определения сопротивления является метод моста постоянного тока.

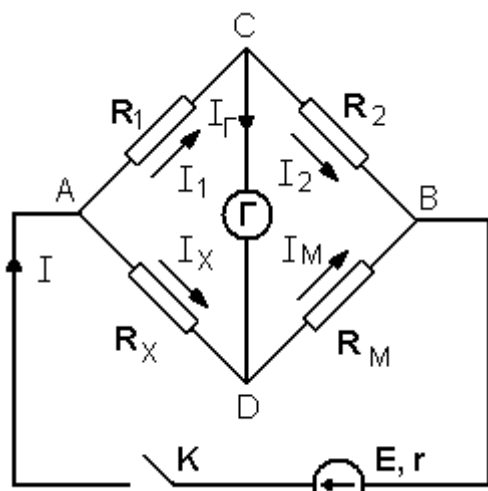


Рис. 1

Принципиальная электрическая схема моста показана на рис. 1. Мост представляет собой четырехполюсник, к двум зажимам которого подключается источник постоянного тока, а к двум другим – гальванометр.

Резистор с неизвестным сопротивлением  $R_X$  включается в одно из плеч моста. В другие плечи включаются два резистора с известными сопротивлениями  $R_1$  и  $R_2$  и магазин сопротивлений  $R_M$ . С помощью магазина сопротивлений добиваются равновесия моста, при котором ток через гальванометр равен нулю.

Сложные электрические цепи, содержащие несколько замкнутых контуров, можно рассчитать по известным двум правилам Кирхгофа.

1) Алгебраическая сумма токов в узле равна нулю:

$$\sum_{k=1}^n I_k = 0 \quad (1)$$

2) Алгебраическая сумма напряжений в замкнутом контуре равно алгебраической сумме ЭДС источников, включенных в этот контур

$$\sum_{k=1}^n I_k R_k = \sum_{i=1}^m \varepsilon_i \quad (2)$$

Используя эти правила, рассчитаем схему моста постоянного тока (рис. 1). Для узлов А, В и С соответственно:

$$I - I_1 - I_X = 0, \quad (3)$$

$$I_2 + I_M - I = 0, \quad (4)$$

$$I_1 - I_2 - I_\Gamma = 0. \quad (5)$$

Для контуров АСДА и СВДС можно записать:

$$I_1 R_1 + I_\Gamma R_\Gamma - I_X R_X = 0 \quad (6)$$

$$I_2 R_2 - I_M R_M - I_\Gamma R_\Gamma = 0. \quad (7)$$

При равновесии моста ( $I_\Gamma = 0$ ) получаем:

$$I_1 = I_2, \quad I_X = I_M, \quad I_2 R_2 = I_M R_M, \quad I_1 R_1 = I_X R_X. \quad (8)$$

Отсюда:

$$R_1/R_2 = R_X/R_M \quad (9)$$

или

$$R_X = R_1 \cdot R_M / R_2 \quad (10)$$

Измерить величину  $R_X$  можно при любых значениях  $R_1$  и  $R_2$ .

### Порядок выполнения работы

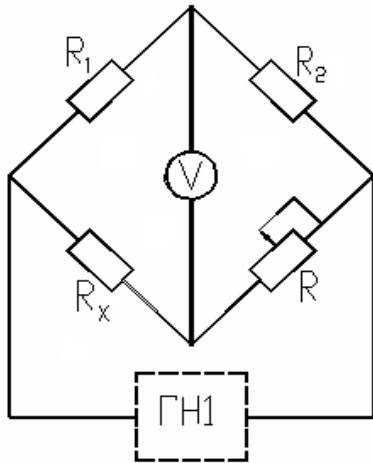


Рис. 2

1. Собрать схему, приведенную на рис. 2. Внутреннее сопротивление генератора ГН1 должно быть выключено, кнопка « $R_{вн}$ » должна быть отжата. Установить выходное напряжение  $\sim 1$  В, для этого подключить вольтметр АВ-1 к контактам ГН1 и с помощью регулятора установить требуемое напряжение.

2. Изменяя величину переменного резистора  $R$ , добиться минимальных показаний вольтметра АВ-1  $\sim 0$  (постепенно увеличивая его чувствительность уменьшением предела измерения кнопки «200», «20», «2»). Записать полученное значение  $R_M$  в табл. 1.

3. Включить в схему вместо  $R_{x1}$  другой резистор  $R_{x2}$  и повторить п.2.

4. Подключить последовательно сопротивления  $R_{x1}$  и  $R_{x2}$ . Определить общее сопротивление согласно п. 2. Результат занести в табл. 1.

5. Подключить параллельно сопротивления  $R_{x1}$  и  $R_{x2}$ . Определить общее сопротивление согласно п. 2. Результат занести в табл. 1.

6. Провести расчет неизвестных сопротивлений  $R_X$  по формуле (10).

7. Провести теоретический расчет общего сопротивления  $R_{X_{теор}}$  при последовательном и параллельном соединениях, используя результаты экспериментально определенных значений  $R_{x1}$ ,  $R_{x2}$ . Сравнить значения  $R_{X_{теор}}$  и  $R_X$  при последовательном и параллельном соединении сопротивлений.

9. Провести расчет абсолютной  $\Delta R_X$  и  $\varepsilon$  относительной погрешности при определении сопротивлений по методике косвенных измерений. Результаты занести в табл. 1.

$R_M, \text{ Ом}$	$R_X, \text{ Ом}$	$R_{X\text{теор}}, \text{ Ом}$	$\Delta R_X, \text{ Ом}$	$\varepsilon, \%$
	$R_{X1}$	-----		
	$R_{X2}$	-----		
	Послед-ое			
	Паралл-ое			

### Контрольные вопросы

1. Что такое удельное сопротивление проводников?
2. Зависимость сопротивления проводников от температуры. Явление сверхпроводимости.
3. Параллельное и последовательное соединение проводников.
4. Правила Кирхгофа и их применение к расчету сложных электрических цепей.
5. Какова суть метода моста постоянного тока для определения сопротивления резисторов?

### Лабораторная работа № 4.27

#### ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ЗАРЯДА И РАЗРЯДКИ КОНДЕНСАТОРА И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЕМКОСТИ КОНДЕНСАТОРА

**Цель работы:** изучить временную зависимости напряжения на конденсаторе при подключении или отключении источника постоянной ЭДС и определить емкость конденсатора.

**Приборы и принадлежности:** многофункциональный генератор АНР-1002, PicoScore 2203, стенд с объектами исследования СЗ-ЭМ01, соединительные провода.

### Краткие теоретические сведения

Рассмотрим процессы заряда и разрядки конденсатора при подключении или отключении источника постоянной ЭДС  $\varepsilon_0$  в схеме, представленной на рис.1.

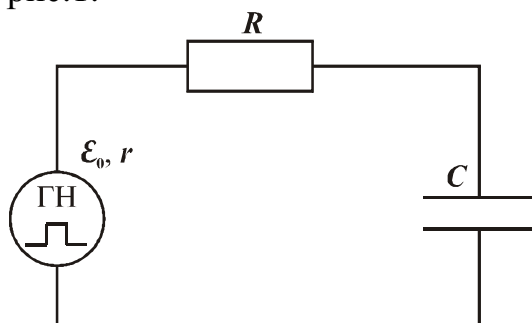


Рис. 1.

Включение и отключение ЭДС имитирует генератор прямоугольных импульсов напряжения. При включении ЭДС (появлении импульса) ток при заряде конденсатора протекает по внутреннему сопротивлению источника  $r$  и по сопротивлению резистора  $R$ .

Применяя к контуру второе правило Кирхгофа (в замкнутом контуре алгебраическая сумма ЭДС равна алгебраической сумме падений напряжений на всех сопротивлениях, входящих в этот контур), получим:

$$(R + r)I + U = \varepsilon_0. \quad (1)$$

Здесь  $I$  – мгновенное значение силы тока,  $U$  – мгновенное значение напряжения на конденсаторе. Выразим их через заряд  $q$  на обкладках конденсатора, используя определения силы тока и емкости конденсатора  $C$ :

$$I = \frac{dq}{dt}; \quad U = \frac{q}{C}. \quad (2)$$

Исключая в (1) величины  $I$  и  $U$ , используя соотношения (2) получим:

$$\frac{dq}{dt} + \frac{q}{(R + r)C} = \frac{\varepsilon_0}{(R + r)}. \quad (3)$$

При решении уравнения учтем, что в начальный момент времени  $t = 0$ , заряд на конденсаторе равен нулю:  $q(0) = 0$ . Решением дифференциального уравнения (3) является выражение:

$$q(t) = \varepsilon_0 C (1 - \exp(-t/\tau)), \quad (4)$$

где  $\tau = (R + r)C$  – постоянная, имеющая размерность времени. Она называется постоянной времени RC-цепи. Выражение для величины  $U$  получим из связи между зарядом конденсатора и напряжением на его обкладках (2):

$$U(t) = \varepsilon_0 (1 - \exp(-t/\tau)). \quad (5)$$

Временная зависимость напряжения на конденсаторе представлена на рис.2.

Прологарифмируем выражение (5) и получим:

$$\ln \frac{\varepsilon_0}{\varepsilon_0 - U} = \frac{t}{\tau} \quad (6)$$

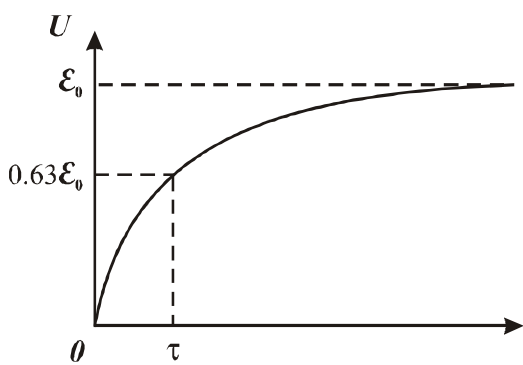


Рис. 2.

Выражение (6) позволяет определить величину  $\tau$  как промежуток времени, по истечении которого напряжение на конденсаторе достигает величины  $U \approx 0.63\varepsilon_0$ , в этом случае  $\ln(\varepsilon_0/(\varepsilon_0 - U)) = 1$  (рис.2).

Таким образом, постоянная времени определяет скорость заряда конденсатора.

Зависимость величины  $\tau$  от сопротивления  $R$  линейная  $\tau = (R + r)C$ , откуда величина емкости конденсатора:

$$C = \tau / (R + r). \quad (7)$$

### Описание лабораторной установки

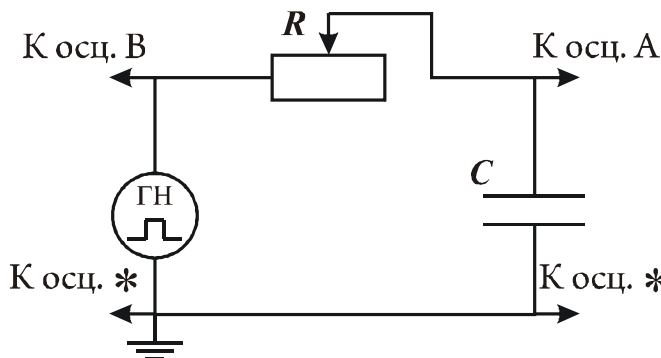


Рис. 3.

Генератором прямоугольных импульсов является генератор напряжений АНР-1002. На лабораторном стенде используются: переменный резистор  $R$  и конденсаторы  $C_1$ ,  $C_2$  и  $C_3$ . При использовании цифрового осциллографа PicoScope 2203

на канал *A* подается исследуемый сигнал с конденсатора, сигнал, подаваемый с генератора на канал *B* используется для синхронизации.


### Порядок выполнения работы

**Определение емкости конденсатора с помощью измерения постоянной времени в процессе заряда конденсатора.**


1. Соберите схему согласно рис. 3. Подключите **по указанию преподавателя** один из конденсаторов  $C_1$ ,  $C_2$  или  $C_3$  (номер выбранной емкости занесите в табл. 1). При подключении осциллографа соблюдайте полярность.


2. После проверки преподавателем собранной схемы, включите функциональный генератор АНР-1002, нажав на кнопку 1 «POWER»


3. Установите на генераторе с помощью клавиш установки частотного диапазона 3 (клавиши  $\uparrow$  и  $\downarrow$ ) и регулятора частоты 11 (регулятор «FREQUENCY») частоту выходного сигнала  $\sim 1$  кГц.

4. Чтобы на выходе генератора получить прямоугольный импульс нажмите на кнопку 14 с изображением прямоугольного сигнала .

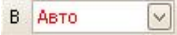
5. Запустив программу «PicoScope» включите цифровой осциллограф.





6. Для канала *A* установите на **панели настройки канала** автоматический диапазон входного сигнала осциллографа .

7. На **панели синхронизации** также выберите режим «Авто» .

8. Нажав клавишу автоматической установки , на **панели захвата изображения**, получите оптимальное изображение сигналов на осциллографе.

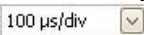
9. Плавно изменяя переменное сопротивление  $R$ , пронаблюдайте, как его изменение влияет на процессы разрядки и зарядки конденсатора. Сделайте вывод.

10. Для канала *B* установите на **панели настройки канала** автоматический диапазон входного сигнала осциллографа .


11. Для исследования процесса зарядки конденсатора на **панели синхронизации** выберите в качестве канала синхронизации – канал *B*  и синхронизацию по нарастающему  фронту. В окошке «предзапуск» установите значение 10% . В окошке «уровень запуска развертки» установите значение 0 В. При данных настройках панель синхронизации будет выглядеть следующим образом: , а синхронизация будет проводиться по нарастающему фронту сигнала *B*.

12. Отключите наблюдение канала *B* на осциллографе (вкладка «Просмотр» → «Каналы» → снять галочку отображения канала *B*).

13. Установите значение сопротивления  $R = 500$  Ом.

14. На **панели захвата изображения** измените коэффициент развертки, выбрав в меню выбора коэффициента развертки  такое значение, при котором на экране осциллографа будет отображаться полностью процесс зарядки конденсатора (см. рис. 2).

15. Остановите обработку данных осциллографом нажав на **панели**

**Запуска/Остановки** клавишу «Стоп» .

16. Определите минимальное  $U_{\min}$  и максимальное  $U_{\max}$  значения напряжения на конденсаторе, для этого левой кнопкой мыши нажать в нужных точках. Полученные значения занесите в табл. 1 с учетом знака.


**Примечание:** приставка  $\mu$  перед единицами измерений означает микро-, приставка  $m$  – мили-, приставка  $n$  – нано-.

17. Вычислите амплитудное напряжение на конденсаторе:  $\varepsilon_0 = U_{\max} - U_{\min}$ .

При расчетах все значения подставлять с учетом знаков.

18. Определите по экрану осциллографа постоянную времени  $\tau$  равную промежутку времени от начала заряда (разряда) конденсатора до момента, когда напряжение на конденсаторе достигнет величины  $U_c = 0.63 \varepsilon_0$  (см. рис. 2). Для этого, нажимая левой кнопкой мыши на кривой зарядки конденсатора, определите точку, в которой  $U = U_{\min} + 0.63\varepsilon_0$ . Запишите соответствующее время  $\tau$  в табл. 1.

19. Включите обработку данных осциллографом, нажав на **панели Запуска/Остановки** клавишу «Запуск» .

20. Увеличьте сопротивление  $R$  на 100 Ом. Остановите обработку данных осциллографом, нажав на **панели Запуска/Остановки** клавишу «Стоп»  и повторите пункт 18.

21. Повторите действия, описанные в пунктах 19-20 еще 5 раз.

22. Постройте на миллиметровой бумаге график зависимости  $\tau = \tau(R)$ . Убедитесь, что зависимость носит линейный характер (сделать вывод).

23. Для каждого набора значений  $\tau$ ,  $R$  вычислить емкость конденсатора по формуле (7), пренебрегая внутренним сопротивлением источника.

24. Вычислите погрешность  $\Delta C$  как погрешность при косвенных невоспроизводимых измерениях.

25. Результаты занести в табл. 1.

26. Сравните полученное значение емкости конденсатора со значением, написанным на стенде.

Таблица 1

Номер исследуемой емкости _____						
	R, Ом	$\tau$ , мкс	C, мкФ	$\langle C \rangle$ , мкФ	$\Delta C$ , мкФ	$\varepsilon_c$ , %
$U_{\min} =$ _____	500					
$U_{\max} =$ _____	600					
	700					
$\varepsilon_0 =$ _____	800					
	900					
$U =$ _____	1000					
	1100					

## Контрольные вопросы

1. Дать определение емкости уединенного проводника и конденсатора.
2. Формулы емкости конденсатора: плоского, сферического и цилиндрического.
3. Емкость при последовательном и параллельном соединении конденсаторов.
4. Закон изменения напряжения на конденсаторе при его заряде или разряде.
5. Постоянная времени  $RC$  – цепи, ее физический смысл и метод определения в данной работе.

## Руководство по работе с цифровым осциллографом PicoScope 2203

Цифровой осциллограф PicoScope 2203 представляет собой двухканальный цифровой осциллограф с интерфейсом подключения к компьютеру. Принципиальная схема устройства приведена на рис. 1.

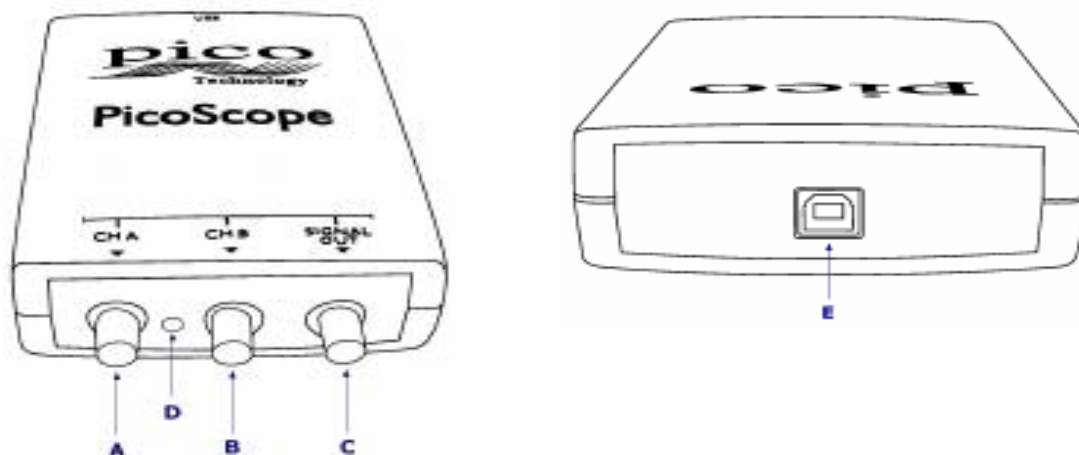



Рис. 1.

- А — вход канала А осциллографа,
- В — вход канала В осциллографа,
- С — выход внутреннего генератора сигналов,
- Д – индикатор питания,
- Е — USB разъем для подключения к компьютеру.

Взаимодействие пользователя с осциллографом осуществляется через программу “PicoScope 6” ярлык которой  расположен на рабочем столе.

Главное окно программы представлено на рис.2.

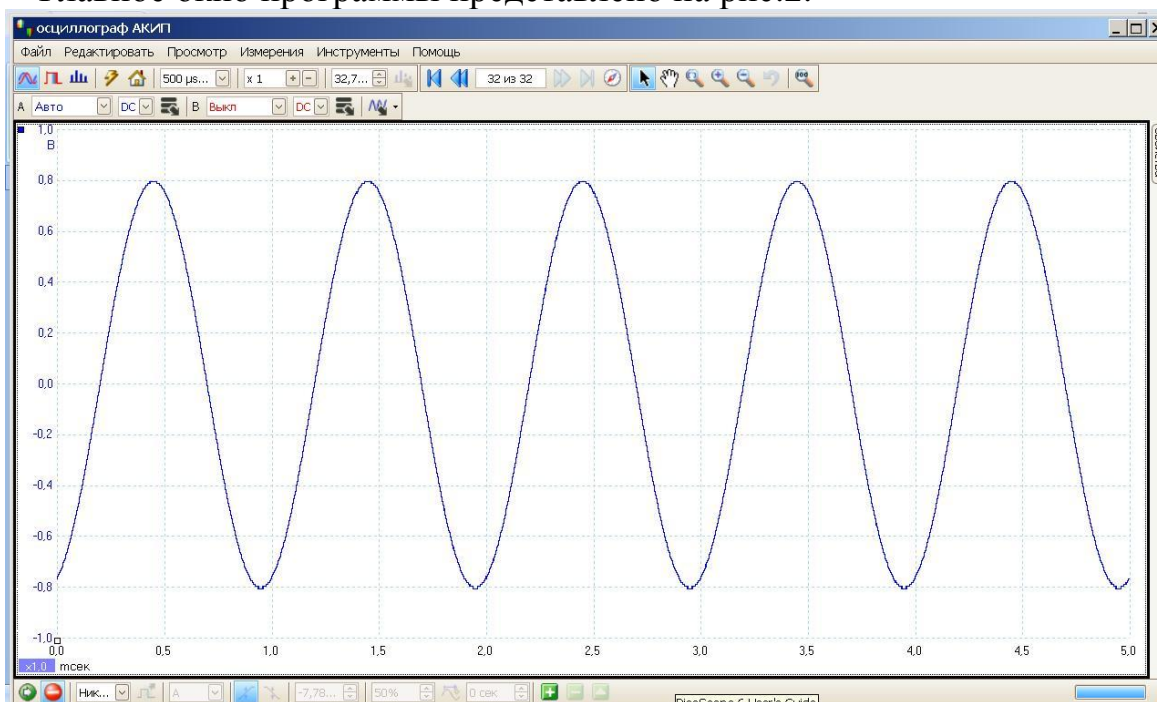


Рис. 2.




## Панели инструментов

Для управления работой цифрового осциллографа PicoScope 2203 используются следующие панели инструментов.




### Панель захвата изображения


содержит клавиши и меню управления изображением осциллограммы:


 - режим осциллографа,


 - режим послесвечения,


 - режим спектроанализатора,


 - клавиша автоматической установки (автоматически подбирает параметры наилучшего изображения осциллограммы),

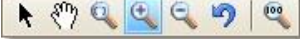
 - клавиша сброса параметров осциллографа (восстанавливает исходные настройки осциллографа),

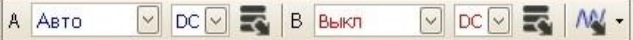
 - меню выбора коэффициента развертки (определяет время приходящееся на одно деление),


 - меню растяжки по горизонтали (позволяет масштабировать осциллограмму в горизонтальном направлении),


 - длина памяти (определяет максимальное число осциллограмм запоминаемых осциллографом).

**Панель навигации буфера обмена**  позволяет просматривать осциллограммы сохраненные в буфере обмена осциллографа.


**Панель увеличения**  позволяет выбирать для просмотра отдельные участки осциллограмм.


**Панель настройки канала**  позволяет настраивать параметры каналов осциллографа по отдельности. Содержит следующие меню и клавиши:


 - меню диапазона входного сигнала (позволяет устанавливать масштаб вертикальной оси осциллографа).

 - меню связи канала. Можно выбрать одно из двух значений: AC- в этом режиме осциллограф игнорирует постоянное смещение (отбрасываются

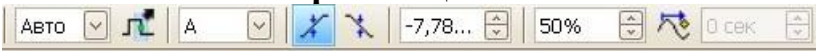


колебания с частотой ниже одного герца), что позволяет с высокой точностью измерять переменную составляющую сигнала. В данном режиме нет возможности определить значение потенциала относительно земли. В режиме DC показывается величина сигнала относительно земли (учитывается и постоянная и переменная составляющие).

 - меню дополнительных параметров канала (позволяет выбирать масштаб изображения сигнала, устанавливать смещение, менять разрешение, применять фильтры сигнала).

 - меню управления внутренним генератором сигнала (позволяет настраивать форму сигнала, его частоту и амплитуду).

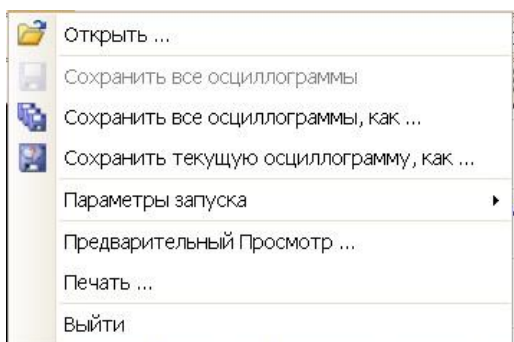
**Панель Запуска/Остановки**   позволяет запускать либо останавливать обработку сигнала осциллографом (клавиши  и ).

### Панель синхронизации

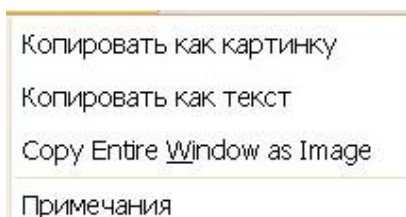
 позволяет выбрать режим синхронизации (“Никакой”, “Авто”, “Повтор”, “Однократный”), канал синхронизации (A или B), выбрать синхронизацию по нарастающему  или спадающему  фронту, определить уровень сигнала, при котором происходит запуск развертки.

### Рабочее окно программы

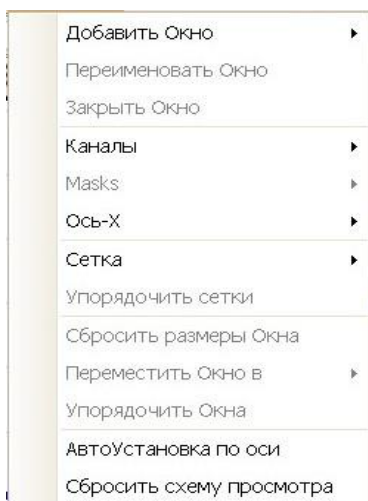
В верхней части рабочего окна программы находится строка меню, содержащая следующие подменю:



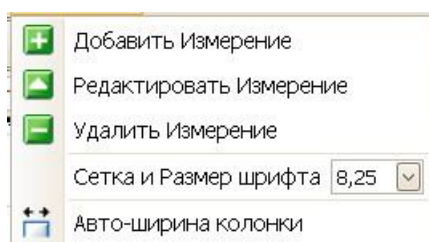
«Файл» – позволяет сохранять и загружать осциллограммы, определяет параметры запуска осциллографа.



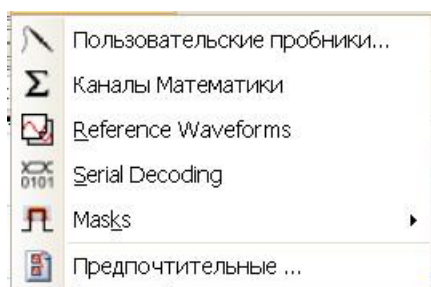
«Редактировать» – позволяет сохранить текущую осциллограмму в виде графического или текстового файла.



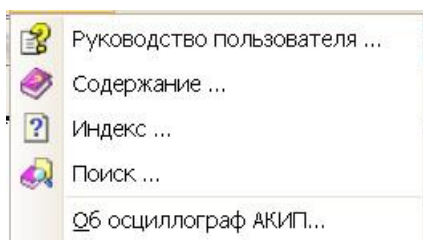
**«Просмотр»** – позволяет выбирать вид окна просмотра («Осциллограф», «Спектр», «XY») и добавлять новые окна просмотра. Подключает изображение каналов осциллографа, определяет выбор горизонтальной оси, вид сетки окон, позволяет настраивать вид осциллограммы.



**«Измерения»** – позволяет добавлять различные виды измерений автоматически осуществляемых осциллографом.



**«Инструменты»** – позволяет устанавливать характеристики пробников используемых при измерениях, добавлять каналы математической обработки данных, настраивать режим работы осциллографа.



**«Помощь»** - содержит руководство пользователя, справку по работе осциллографа, сведения о программном обеспечении.

### Библиографический список

1. Савельев И.В. Курс общей физики.- М.: Наука, Физматлит, 1982, кн.1-3.
2. Детлаф А.А., Яворский Б.М. Курс физики. - М.: Высшая школа, 1999.
3. Трофимова Т.И. Курс физики. — М: Высшая школа, 2001.
4. Курс физики.: в 2-х т., под ред. Лозовского В.Н., С-П.: «Лань», 2001.
5. Матвеев А.Н. Электричество и магнетизм. — М: Высшая школа, 1983.