

Экспериментальный тур- задача №1

Эффект Холла и магниторезистивный эффект

Оборудование и материалы

1. Три цифровых мультиметра.
2. Датчик Холла, закрепленный на печатной плате, имеющий четыре вывода М, N, P, Q (М – черная проволока, N – желтая проволока, P – красная проволока, Q – зеленая проволока). Два проводника прикреплены к выводам М и N, другая пара проводников прикреплена в выводам Р и Q.
3. Постоянный магнит в форме диска радиусом $r = 14$ мм и толщиной $t = 4$ мм. Его магнитный момент направлен перпендикулярно поверхности диска. На поверхности магнита записана величина магнитного поля B_0 (в Теслах) на поверхности магнита.
 При выполнении эксперимента держите датчик Холла вдали от магнита, если Вы не используете его.
4. Катушка из N витков намотана на ториодальный сердечник, изготовленный из ферромагнитного материала. Средний радиус сердечника равен $\rho = 25$ мм. В сердечнике имеется прорезь шириной $d = 3$ мм.
5. Два отдельных гальванических элемента по 1.5 В каждый, находящиеся в коробке. Элемент, соединенный последовательно с переменным сопротивлением 10 кОм, будем называть *батареей 1*. Она является источником питания для датчика Холла. Второй элемент, называемый *батареей 2*, используйте как источник питания для катушки только при проведении измерений.
6. Транспортёр с маленьким отверстием в центре.
7. Кусок плексигласа с маленькой иглой, закрепленной в нем.
8. Держатель для печатной платы с датчиком Холла.
9. Небольшой кусочек пластилина для прикрепления датчика к игле.
10. Соединительные провода, сопротивлением которых можно пренебречь.
11. Миллиметровая бумага.

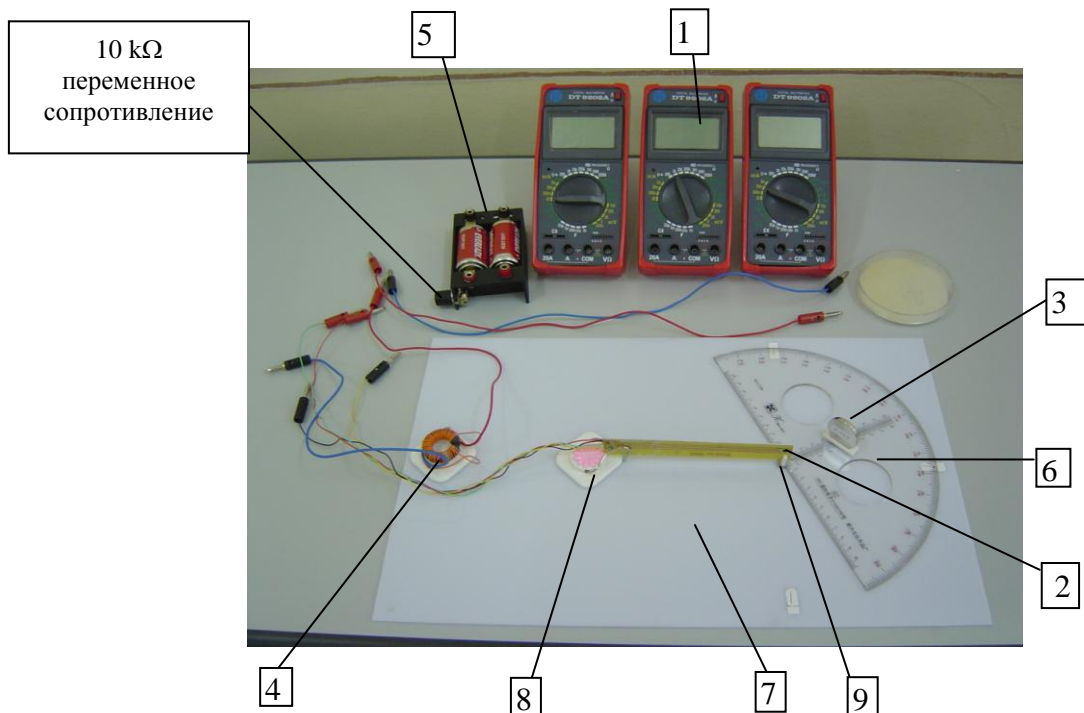


Рис. 1

ЭКСПЕРИМЕНТ

I. Введение

Магниторезистивный эффект и эффект Холла.

Рассмотрим проводник в форме параллелепипеда длиной a , шириной b и толщиной d (Рис. 2). Ток I в образце течет в направлении ребра a . Если проводник поместить в магнитное поле \vec{B} , то магнитное поле будет влиять на сопротивление R проводника. Это явление называют *магниторезистивным эффектом* (МРЭ). Пусть ΔR есть приращение сопротивления проводника, R_0 – сопротивление проводника в отсутствии магнитного поля, тогда величина МРЭ определяется как отношение $\Delta R/R_0$.

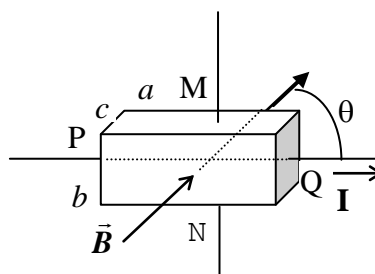


Рис. 2

Допустим, что приложенное магнитное поле является однородным и вектор магнитной индукции \vec{B} параллелен верхней грани проводника, как показано на Рисунке 2. Если носителями заряда в образце являются электроны, то сила Лоренца будет отклонять их вверх и, в результате на верхней грани образца будет избыток отрицательного заряда. Этот эффект называется *эффектом Холла*. Напряжение, возникающее между электродом М (на верхней грани) и N (на нижней грани) называется *напряжением Холла*. Оно может быть измерено с помощью вольтметра.

Измеренная между электродами М и N разность потенциалов задается выражением

$$U_{MN} = U_H + V_{MN} \quad (1)$$

где U_H - это напряжение Холла, V_{MN} - это разность потенциалов в отсутствие магнитного поля, обусловленная некоторыми случайными причинами (например, электроды М и N не расположены точно друг против друга и т.п.).

Обычно напряжение Холла пропорционально выражению $I \cdot B \cdot \sin \theta$, и величина МРЭ пропорциональна выражению $B^2 \cdot \sin^2 \theta$, где θ - это угол между вектором магнитной индукции \vec{B} и направлением тока. Однако, в случае образца неправильной формы зависимость величин U_H и $\Delta R/R_0$ от $B \cdot \sin \theta$ может быть более сложной.

Эффект Холла используют для изготовления устройств, позволяющих измерять магнитное поле. Такие устройства называют *датчиками Холла*. Для датчика Холла выражение для U_H задается в виде

$$U_H = \alpha I \cdot B \cdot \sin \theta \quad (2)$$

где величина α называется *чувствительностью* датчика Холла.

II Измерительный образец

Измерительный образец в этом эксперименте представляет собой промышленный датчик Холла. От состоит из маленькой тонкой полупроводниковой пластики, покрытой пластмассой, с 4 омическими электродами, прикрепленными к выводам М, N, P, Q (Рис.3). Он используется здесь как для изучения эффекта Холла, так и для изучения МРЭ.



Рис. 3

Помещая датчик в магнитное поле, и используя омметр для измерения сопротивления между электродами М и N, можно сделать вывод о величине МРЭ.

Пропуская ток ($I \sim 1 \text{ мА}$) между электродами P и Q, мы можем изучить эффект Холла, измеряя напряжение между электродами M и N при помощи милливольтметра.

III Эксперимент

1. Определение чувствительности α датчика Холла

Пропустим через датчик ток $I \sim 1 \text{ мА}$. Расстояние между датчиком и центром магнита установите и сохраняйте равным $y = 2 \text{ см}$. Подберите ориентации магнита таким образом, чтобы напряжение Холла было максимальным. Измерьте напряжение Холла для нескольких значений I и определите чувствительность датчика Холла.

Для магнита, имеющего форму диска радиуса r и толщины t , величина магнитной индукции в точке, расположенной на оси диска на расстоянии y от его поверхности дается выражением (при $y \gg t$)

$$B(y) = \frac{1}{2} B_0 \left[\frac{y+t}{\sqrt{(y+t)^2 + r^2}} - \frac{y}{\sqrt{y^2 + r^2}} \right] \quad (1)$$

где B_0 – это величина магнитной индукции на поверхности магнита. Значение B_0 записано на поверхности магнита. [2.0 балла]

2. Изучение зависимости U_H от угла θ между \vec{B} и направлением тока.

Пропустим через датчик ток $I \sim 1 \text{ мА}$. Расстояние между датчиком и центром магнита установите и сохраняйте равным $y = 2 \text{ см}$. Положите магнит на транспортёр так, чтобы плоскость магнита была перпендикулярна линии, соединяющей датчик и центр магнита.

- Нарисуйте схему экспериментальной установки.
- Измерьте величину U_H как функцию угла θ для $-90^\circ \leq \theta \leq 90^\circ$. Занесите данные в таблицу.
- Проверьте пропорциональность между U_H и $\sin \theta$ используя графическое построение в подходящих координатах. [2.5 балла]

3. Изучение зависимости $\Delta R/R_0$ от величины B , для магнитного поля \vec{B} перпендикулярного к плоскости образца.

МРЭ существует для достаточно сильного магнитного поля. Поэтому рекомендуется использовать максимально возможное по величине магнитное поле.

- Нарисуйте схему экспериментальной установки.
- Выполните измерения и занесите данные в таблицу.
- Допуская, что $\Delta R/R_0 \sim B^k$, определите значение k используя графическое построение в подходящих координатах. [4 балла]

4. Определение относительной магнитной проницаемости μ ферромагнитного материала сердечника тороидальной катушки.

Определите относительную магнитную проницаемость μ ферромагнитного материала сердечника, измеряя силу тока I , выполняя измерения в следующей последовательности:

- Поместите датчик Холла в прорезь сердечника катушки
- Присоедините катушку и амперметр к батарее 2. В этом случае используйте только гнезда “СОМ” и “20А” амперметра.
- Измерьте ток I в катушке и индукцию магнитного поля B в прорези.
- Рассчитайте значение μ , используя следующее соотношение:

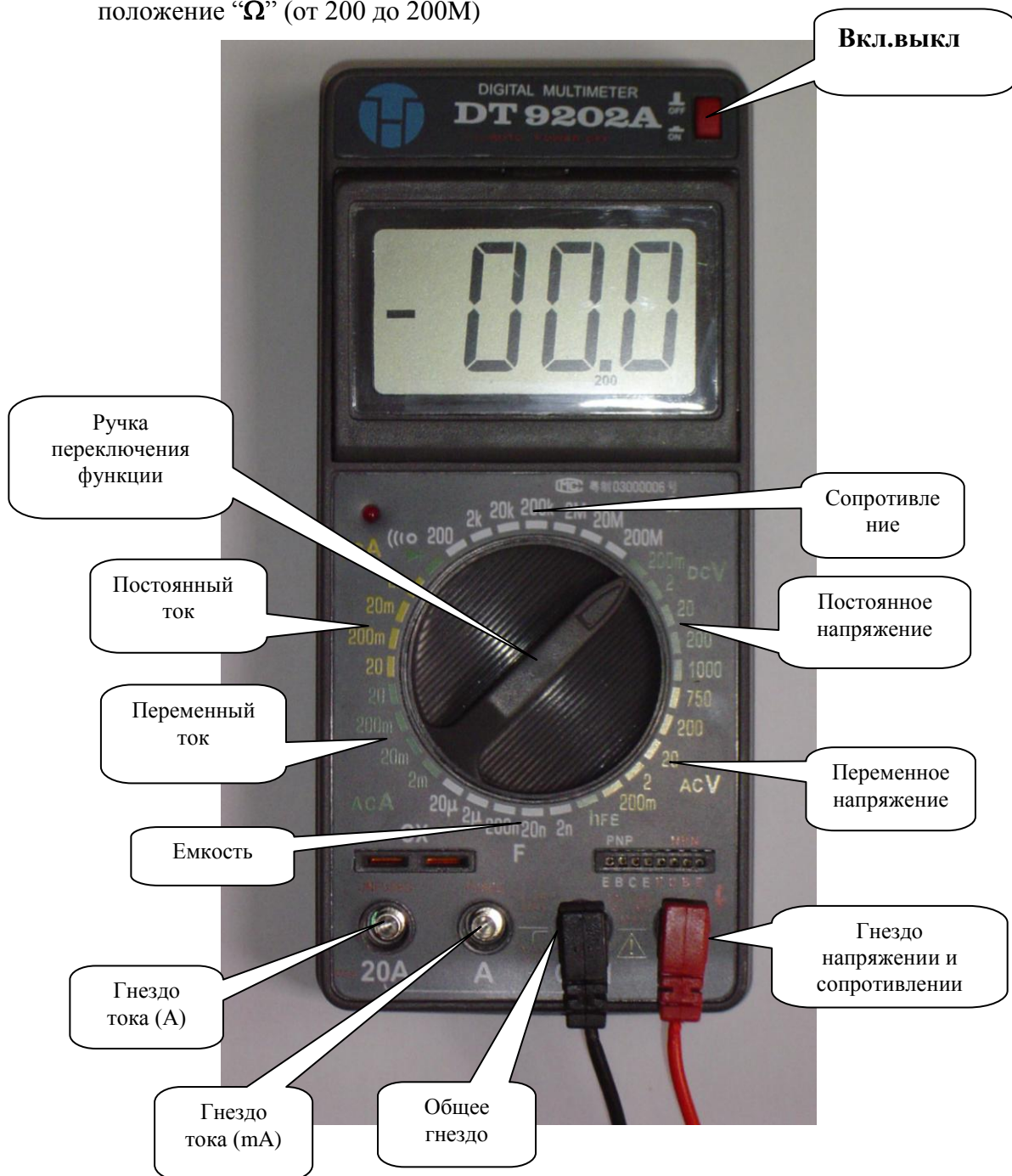
$$\frac{B(2\pi r - d)}{\mu} + Bd = 4\pi \cdot 10^{-7} N \cdot I \quad [1.5 балла]$$

Средний радиус сердечника $r=25 \text{ мм}$; N – число витков; ширина прорези $d=3 \text{ мм}$

ПРИЛОЖЕНИЕ

Инструкция по использованию цифрового мультиметра

1. Для включения прибора нажмите кнопку “Вкл/Выкл”
2. При использовании мультиметра в качестве миллиамперметра используйте гнезда мультиметра “COM” и “A”. Поверните “Ручку переключения функций” в положение “DCA” (от 2m до 200m)
3. При использовании мультиметра в качестве амперметра используйте гнезда мультиметра “COM” и “20A”. Поверните “Ручку переключения функций” в положение “DCA” (20)
4. При использовании мультиметра в качестве милливольтметра используйте гнезда мультиметра “COM” и “VΩ”. Поверните “Ручку переключения функций” в положение “DCV” (от 200m до 1000m)
5. При использовании мультиметра в качестве омметра используйте гнезда мультиметра “COM” и “VΩ”. Поверните “Ручку переключения функций” в положение “Ω” (от 200 до 200M)



Страна _____

Код участника _____

ЛИСТ ОТВЕТОВ
ЗАДАЧА № 1 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ТУРА
Эффект Холла и магниторезистивный эффект

1.

Чувствительность датчика

$\alpha =$

2

Схема установки, измеренные данные и покажите что U_H пропорционально $\sin\theta$

3

Схема установки

Значение k

4

Значение μ

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ ТУР - ЗАДАЧА № 2 ЧЕРНЫЙ ЯЩИК

Оборудование и материалы

1. Двухлучевой осциллограф
2. Генератор функций, способный генерировать импульсы синусоидальной, треугольной и прямоугольной формы с частотой в диапазоне от 0.02Гц до 2МГц.
3. «Черный ящик» с двумя группами разъемов: группа $ABCD$ и группа $A'B'C'D'$. Кроме того, имеется также два разъема для эталонного резистора $R_n = 5$ кОм, которые изолированы от первых двух групп.
4. Соединительные провода, сопротивлением которых можно пренебречь.
5. Миллиметровая бумага.

Предупреждение: Вы не разрешается открывать черный ящик

ЭКСПЕРИМЕНТ

В черной ящике имеется две группы пассивных элементов (то есть, таких как сопротивления R , емкости C , индуктивности (индуктивные катушки) L). Первая группа из трех элементов Z_1, Z_2, Z_3 , соединенных «звездой», как показано на Рисунке 1. Эти элементы подсоединены к разъемам A, B, C и D , является общим разъемом для этой группы элементов. Вторая группа состоит из трех элементов Z'_1, Z'_2, Z'_3 , соединенных таким же способом и подсоединенных к разъемам A', B', C' и D' , причем для этой группы элементов общим разъемом является A' (Рисунок 2).

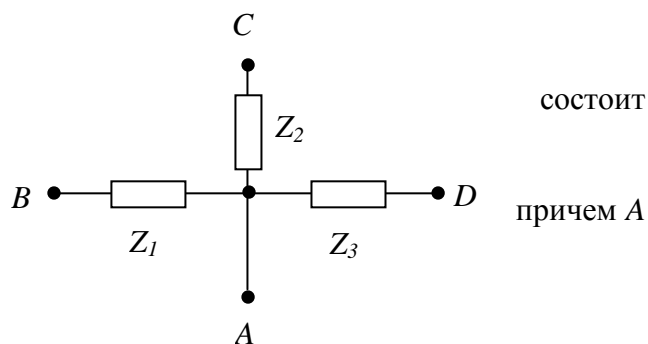


Рисунок 1

1. Используя осциллограф и генератор функций, определите тип и параметры (то есть, сопротивление величины R , емкость величины C и индуктивность величины L) каждого из элементов Z_1, Z_2, Z_3 и Z'_1, Z'_2, Z'_3 . [5 баллов]

2. Соедините пять точек B, C, B', C' и D' между собой. Мы получим новый черный ящик, клеммами которого будем считать разъемы D, D', A' . Мы будем называть его $DD'A'$.

a. Нарисуйте электрическую схему этого черного ящика.

b. Приложите синусоидальный сигнал от генератора к разъемам D и A' . Нарисуйте графики

- отношения амплитуд напряжений $K = \frac{U_{D'A'}}{U_{DA'}}$
- и сдвига фаз φ между этими напряжениями как функций от частоты f приложенного сигнала.

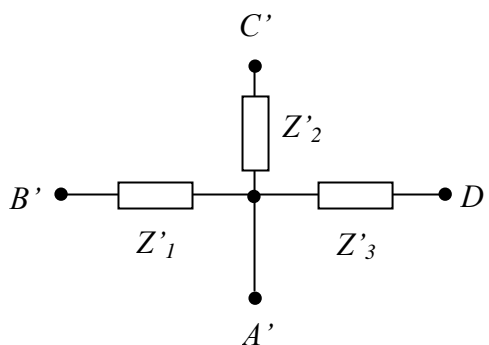


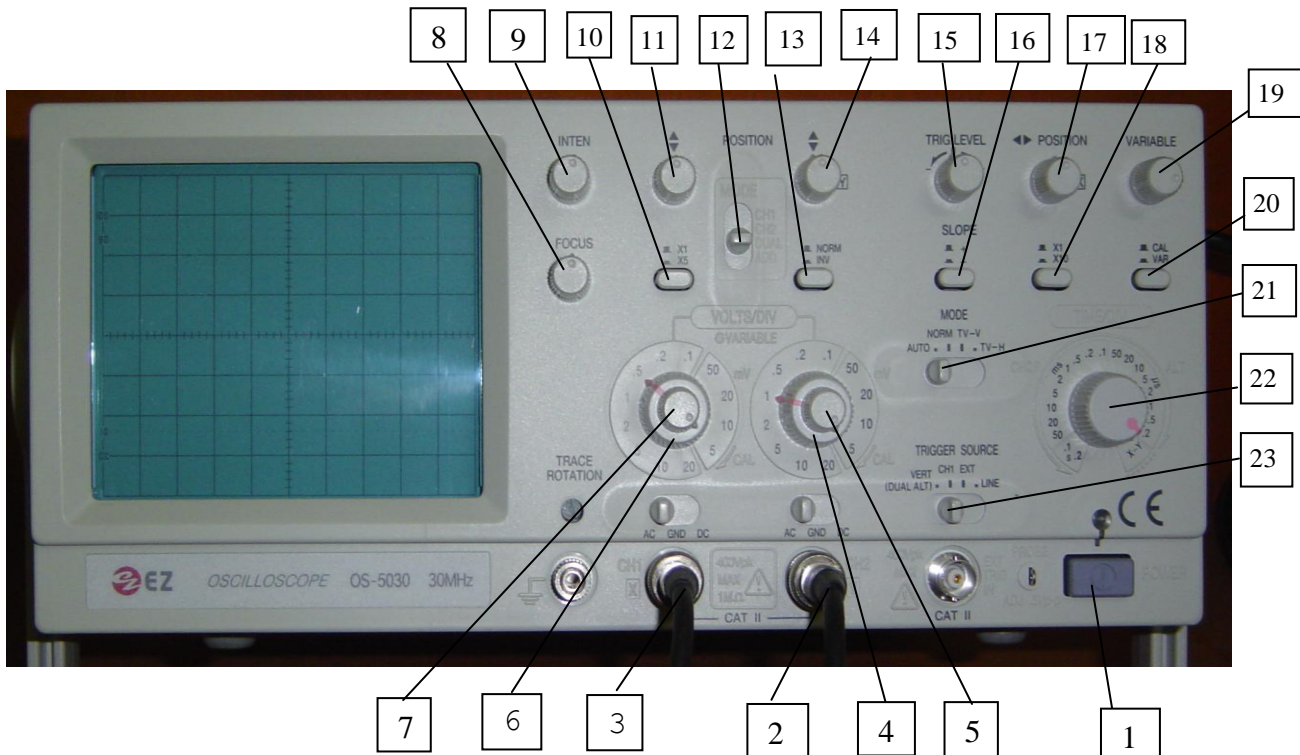
Рисунок 2

с. Эти графики имеют особые точки при некоторой частоте f_0 . Определите значение этой частоты f_0 , значения отношения $K = \frac{U_{D'A'}}{U_{DA'}}$ и фазового сдвига φ при этой частоте.

d. Выведите зависимость между f_0 и параметрами элементов черного ящика и рассчитайте значение частоты f_0 . [5 баллов]

ИНСТРУКЦИИ К ПРИБОРАМ

1. Осциллограф

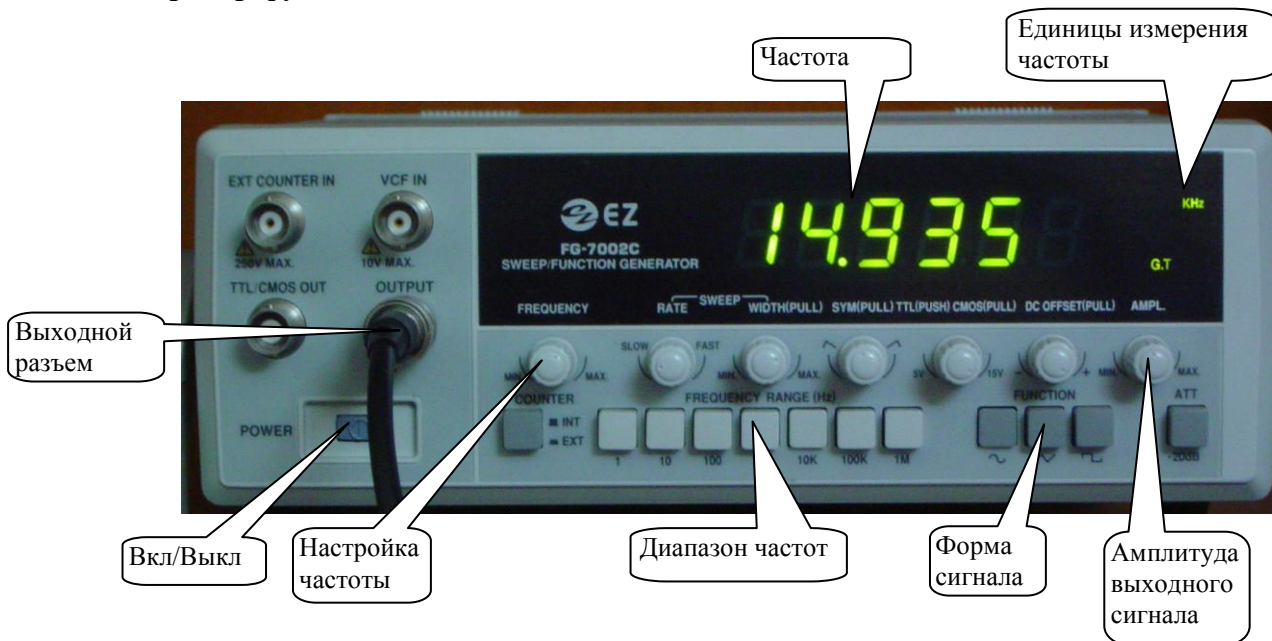


Кнопка	Функции кнопки
1. Кнопка Вкл/Выкл	Включение/выключение прибора
2. Разъем CP2 или Y IN	Для подачи входного сигнала на вертикальный усилитель CH2, или усилитель по оси Y (вертикали)
3. Разъем CP1 или X IN	Для подачи входного сигнала на вертикальный усилитель CH2, или усилитель по оси X (горизонтали)
4. Переключатель CH2 VOLTS/DIV	Переключатель для выбора коэффициента усиления входного сигнала подаваемого на разъем CH2 вертикального усилителя.
5. 7 VARIABLE Control	Обеспечивает непрерывную точную (тонкую) настройку коэффициента усиления между двумя соседними положениями переключателя VOLTS/DIV. VOLTS/DIV настройка является точной только тогда, когда ручка тонкой настройки с щелчком останавливается при повороте по часовой стрелке
6. Переключатель CH1 VOLTS/DIV	Для выбора коэффициента усиления входного сигнала подаваемого на разъем CH1 вертикального усилителя
8. FOCUS	Получение максимальной резкости следа луча на экране
9. INTEN	Настройка яркости экрана. Поворот по часовой стрелке увеличивает яркость

10. X5 MAG	Если переключатель установлен на X5 MAG, то в 5 раз увеличивается чувствительность по вертикальной оси. Другими словами, измеряемое напряжение будет составлять 1/15 от значения индикатора VOLTS/DIV
11. CH1 Position control	Для вертикального позиционирования следа луча CH1 на экране. Поворот по часовой стрелке сдвигает след луча вверх, поворот против часовой стрелки – вниз.
12. V MODE	Переключатель для выбора режима вертикального усилителя В <u>CH1</u> положении на экране отражается только входной сигнал CH1. В <u>CH2</u> положении на экране отражается только входной сигнал CH2. В <u>DUAL</u> положении на экране отражаются оба входных сигнала CH1 и CH2.
13. CH2 INV	В положении INV сигнал, добавленный к CH2 будет инвертирован (перевернут)
14. CH2 Position	Для вертикального позиционирования следа луча CH2 на экране. Поворот по часовой стрелке сдвигает след луча вверх, поворот против часовой стрелки – вниз
15. Trigger LEVEL control	Служит для выбора амплитуды триггерного сигнала, при котором происходит синхронизация осциллографа.
16. Trigger Slope	Этим переключателем выбирают положительный или отрицательный наклон сигнала триггерного сигнала инициализации блока развертки. При отжатом переключателе выбирается положительный (+) наклон. При нажатом переключателе выбирается отрицательный (-) наклон.
17. Horizontal Position	Для горизонтального позиционирования следа луча на экране. Поворот по часовой стрелке сдвигает след луча вправо, поворот против часовой стрелки – влево
18. X10 MAG	Если переключатель находится в положении X10 MAG время развертки увеличивается в 10 раз и в этом случае время развертки становится равным 1/10 от значения индикатора TIME/DIV
19. VARIABLE Control	Обеспечивает непрерывную точную (тонкую) настройку частоты развертки между двумя соседними положениями переключателя TIME/DIV. TIME/DIV настройка является точной только тогда, когда ручка тонкой настройки

	с щелчком останавливается при повороте по часовой стрелке
20. VARIABLE Control	
21. Trigger MODE	Этот переключатель определяет режим включения развертки
22. TIME/DIV	Переключатель выбирает то или иное время развертки основного блока развертки
23. Trigger Source	Переключатель для выбора подходящего источника триггера

2. Генератор функций



- Для включения прибора нажмите на кнопку **Вкл/Выкл**, для выключения еще раз нажмите на нее.
- Выберите нужный **диапазон частот** и нажмите соответствующую кнопку.
- **Частота** отражается на цифровом экране.
- Используйте кнопку **настройки частоты** для выбора нужной частоты в выбранном диапазоне..
- Выберите **форму сигнала** (синусоидальный, треугольный или прямоугольный), нажимая соответствующую кнопку формы сигнала.

Страна _____

Код участника _____

ЛИСТ ОТВЕТОВ
ЗАДАЧА № 2 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ТУРА
Черный ящик

1. Тип и параметр элемента

Элемент	Тип (R или L или C)	Параметр
Z_1		
Z_2		
Z_3		
Z'_1		
Z'_2		
Z'_3		

2

2а

Электрическая схема черного ящика DD'A'

2с

$f_0 =$
$\varphi =$
$K = \frac{U_{D'A'}}{U_{DA'}} =$

--

2d

Выражение для f_0
Значение f_0
Сравнение