

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
УДМУРТСКОЙ РЕСПУБЛИКИ**

**Автономное профессиональное образовательное учреждение Удмуртской Республики
«Техникум радиоэлектроники и информационных технологий имени А.В.
Воскресенского»**

ПРАКТИЧЕСКИЕ РАБОТЫ

**Дисциплина ОП.03 Теория электрических цепей
программы подготовки специалистов среднего звена
специальность 11.02.15 Инфокоммуникационные сети и системы связи**

Разработал преподаватель: Лихачёва Л.И.

Практическая работа № 1

Тема: Расчет значений магнитной проницаемости и электромагнитной индукции

1. **Цель работы.** Изучение явления гистерезиса ферромагнитных материалов и электромагнитной индукции.
2. **Содержание работы.** Снятие основной кривой намагничивания и максимальной петли гистерезиса, определение ее параметров.
3. **Краткие сведения о явлении гистерезиса ферромагнитных материалов.**

Экспериментально установлено, что все вещества в той или иной степени обладают магнитными свойствами. Поэтому сила магнитного взаимодействия между токами изменяется в зависимости от того, в какой среде они находятся. Это означает, что индукция магнитного поля, создаваемого электрическими токами в веществе, отличается от индукции магнитного поля, создаваемого теми же токами в вакууме.

Физическая величина, показывающая, во сколько раз индукция магнитного поля B в однородной среде отличается по модулю от индукции B_0 магнитного поля в вакууме, называется магнитной проницаемостью :

$$\mu = B/B_0.$$

Магнитные свойства веществ определяются магнитными свойствами элементарных частиц (электронов, протонов и нейтронов), входящих в состав атомов. Поскольку магнитные свойства протонов и нейтронов, конкретно это их магнитные моменты, на три порядка слабее магнитных свойств электронов, именно последние определяют магнитные свойства веществ. Именно спиновые поля электронов и магнитные поля, обусловленные их орбитальными движениями в атоме, определяют широкий спектр магнитных свойств веществ.

Слабромагнитные вещества делятся на две большие группы – парамагнетики и диамагнетики. Парамагнитные образцы при внесении во внешнее магнитное поле намагничиваются так, что их собственное магнитное поле оказывается направленным по внешнему полю, а диамагнитные образцы намагничиваются против внешнего поля. Поэтому у парамагнетиков $\mu > 1$, а у диамагнетиков $\mu < 1$. Отличие μ от единицы у пара- и диамагнетиков весьма мало. Будучи помещенными в неоднородное магнитное поле, образцы из пара- и диамагнетика, между полюсами электромагнита, ведут себя по-разному – парамагнетики втягиваются в область сильного поля, а диамагнетики выталкиваются. Пара- и диамагнетизм объясняется поведением электронных орбит во внешнем магнитном поле. Диамагнитными свойствами обладают атомы любых веществ. Однако во многих случаях диамагнетизм атомов маскируется более сильным парамагнитным эффектом.

Вещества, способные сильно намагничиваться в магнитном поле, называются ферромагнетиками. Магнитная проницаемость ферромагнетиков по порядку величины лежит в пределах 10^2 – 10^5 . К группе ферромагнетиков относятся четыре химических элемента: железо, никель, кобальт, гадолиний. Из них наибольшей магнитной проницаемостью обладает железо. Поэтому вся эта группа и получила название ферромагнетиков. В эту группу входят также многочисленные сплавы названных выше некоторых других химических элементов. Ферромагнитные материалы делятся на две большие группы – на магнито-мягкие и магнито-жесткие материалы. Магнито-мягкие ферромагнитные материалы почти полностью размагничиваются, когда внешнее магнитное поле становится равным нулю. Магнито-жесткие материалы сохраняют в значительной мере свою намагниченность и после удаления их из магнитного поля.

Магнитная индукция B в веществе характеризует результирующее магнитное поле, созданное как внешними по отношению к веществу источниками, так и созданное спиновым и орбитальным движениями электронов в атомах вещества.

Магнитное поле исключительно внешних источников удобно описывать величиной напряженности H . Тогда для однородного изотропного вещества индукция магнитного поля B связана с напряженностью H соотношением $B = \mu \mu_0 H$.

Магнитная проницаемость μ ферромагнетиков не является постоянной величиной; она сильно зависит от внешнего поля, то есть от напряженности H . Типичная зависимость $\mu(H)$ приведена на рис. 1.

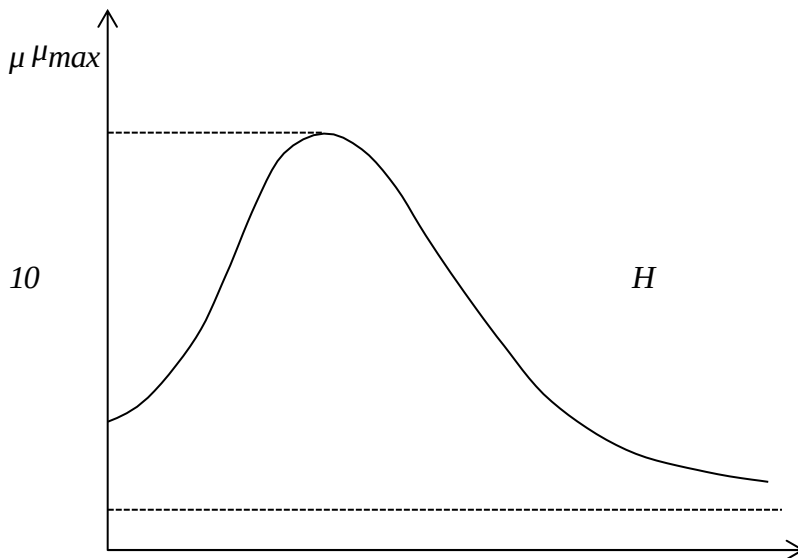


Рис. 1. Зависимость магнитной проницаемости μ ферромагнетиков от напряженности поля.

В таблицах обычно приводятся значения максимальной магнитной проницаемости. Непостоянство магнитной проницаемости приводит к сложной нелинейной зависимости индукции B магнитного поля в ферромагнетике от внешнего магнитного поля. Кривая намагничивания ферромагнетиков называется петлей гистерезиса (запаздывания) в том смысле, что при росте напряженности H магнитного поля уменьшается скорость роста суммарного поля, слагающегося из внешнего магнитного поля и созданного магнетиком в результате его намагничивания. Так называемая предельная петля гистерезиса изображена на рис. 2.

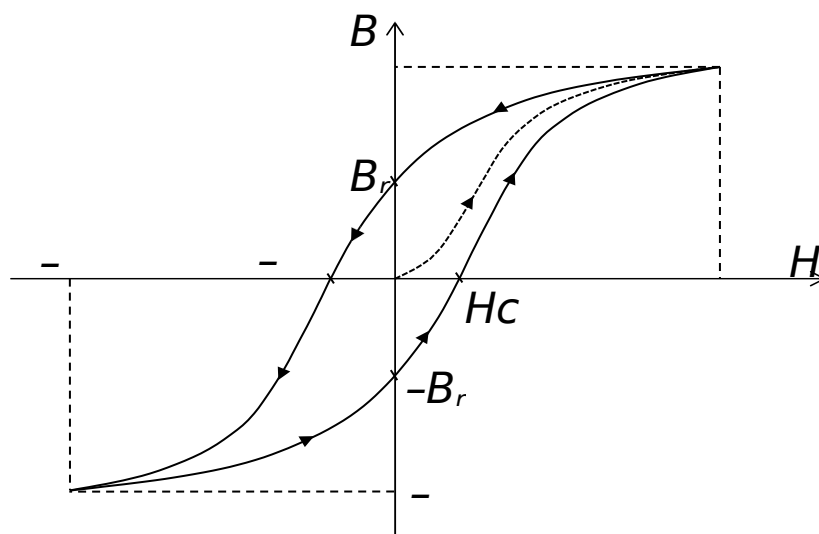


Рис.2. Петля гистерезиса ферромагнетика.

Пунктир – линия первоначального намагничивания; сплошная линия – предельный цикл перемагничивания.

При увеличении напряженности поля H от нуля, полная индукция B поля растёт

по линии первоначального намагничивания (пунктирная кривая) с уменьшающейся скоростью до состояния насыщения B_s . Здесь намагниченность образца достигает максимального значения. Если теперь уменьшать напряженность (левая кривая) и довести ее вновь до нулевого значения, то ферромагнетик сохранит остаточную намагниченность – поле внутри образца будет равно B_r . Эта остаточная намагниченность превращает образец в постоянный магнит. Чтобы полностью размагнитить образец, необходимо, изменив знак внешнего поля, довести напряженность до значения $(-H_c)$, которое принято называть коэрцитивной силой. Дальнейшее увеличение по модулю напряженности $(-H_c)$ вновь приведет к насыщению ферромагнетика, но уже с противоположным направлением индукции магнитного поля $(-B_s)$. Далее процесс перемагничивания продолжается по стрелкам вверх.

У магнито-мягких материалов значения коэрцитивной силы H_c невелико, и петля гистерезиса таких материалов узкая. Материалы с большим значением коэрцитивной силы, то есть имеющие широкую петлю гистерезиса, относятся к магнито-жестким.

Качественно ферромагнетизм объясняется наличием собственных (спиновых) магнитных полей у электронов. В кристаллах ферромагнитных материалов возникают условия, при которых, вследствие сильного взаимодействия спиновых магнитных полей соседних электронов, энергетически выгодной становится их параллельная ориентация. В результате такого взаимодействия внутри кристалла ферромагнетика возникают самопроизвольно намагниченные области размером порядка 10^{-2} – 10^{-4} см, называемые доменами (рис.3). Каждый домен представляет собой небольшой постоянный магнит, состоящий из 10^4 – 10^5 атомов, магнитные моменты которых ориентированы в одном направлении.

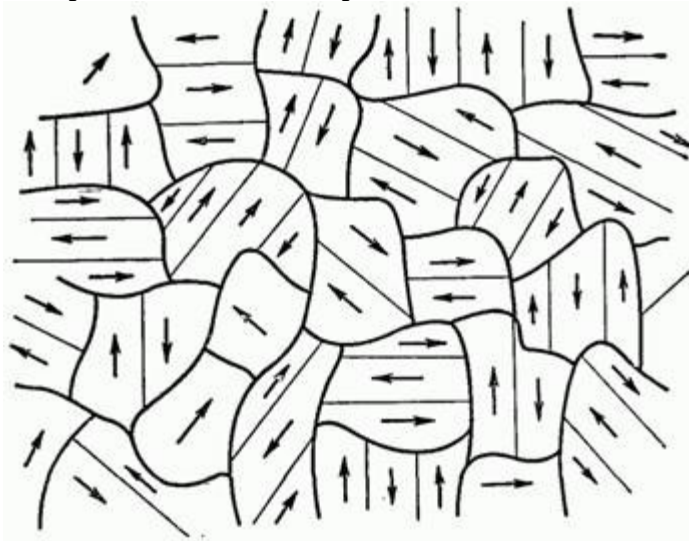


Рис.3. Доменная структура ферромагнетиков в размагниченном состоянии.

Стрелками обозначены магнитные моменты доменов.

4. Описание измерительной установки и методика измерений.

Схема установки приведена на рис. 4.

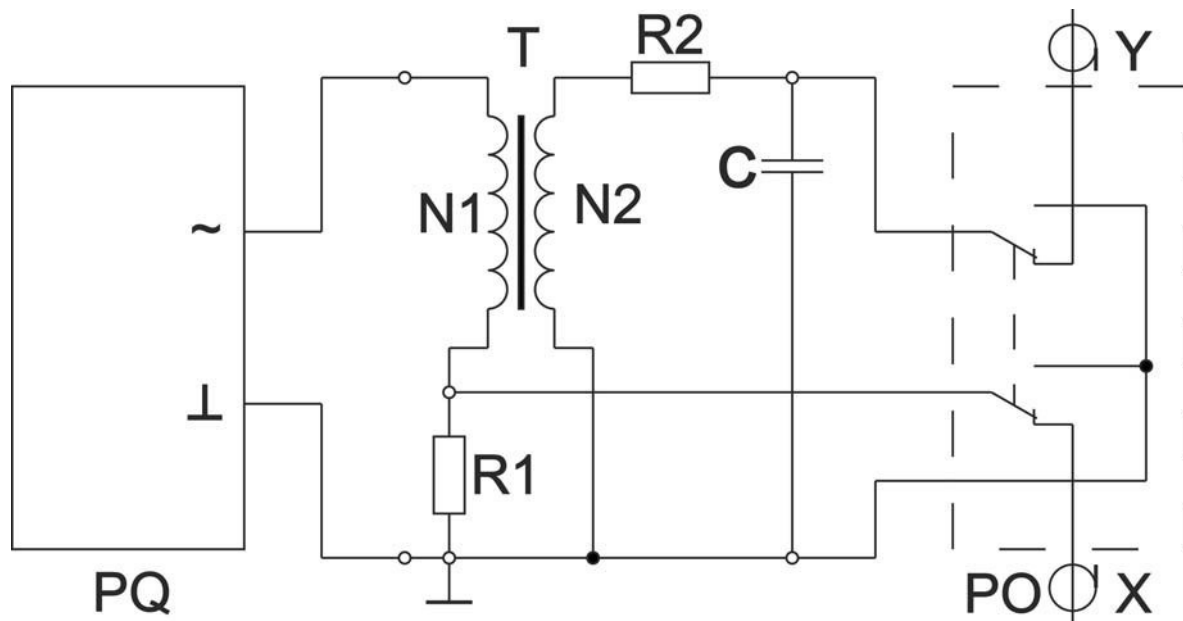


Рис. 4. Электрическая схема измерений.

Исследуемый образец представляет собой ферритовое кольцо прямоугольного сечения размерами: $D=31$ мм – внешний диаметр; $d=18,5$ мм – внутренний диаметр; $h=7$ мм – высота. На кольцо равномерно по длине намотаны две обмотки с одинаковым количеством $N_1=N_2=250$ витков провода.

Таким образом, образец с двумя обмотками представляет собой трансформатор T . Напряжение на первичную обмотку трансформатора подается с выхода звукового генератора PQ через сопротивление $R_1=0,51$ Ом. А напряжение на этом сопротивлении U_X пропорционально току I_1 , протекающему через первичную обмотку трансформатора

$$U_X = I_1 R_1. \quad (1)$$

Известно, что индукция магнитного поля внутри тороидального (кольцевого) трансформатора связана с током через первичную обмотку соотношением где

$$H = N_1 I_1 / \langle l \rangle, \quad (2)$$

-средняя длина линии напряженности внутри кольца. Комбинируя эти три формулы, получим связь напряженности внутри кольца с напряжением U_X :

$$l = 0.5\pi (D + d) \quad (3)$$

$$H = \frac{N_1}{l} \frac{U_X}{R_1} \quad (4)$$

$$K = \frac{N_1}{l R_1} \frac{1}{6308} \frac{A}{B} \quad (5)$$

Переменный ток в первичной обмотке создает в образце переменное магнитное поле и, как следствие, переменный магнитный поток. Он пронизывает все витки вторичной обмотки и по закону электромагнитной индукции наводит в ней ЭДС. Согласно этому, напряжение на вторичной обмотке равно

$$\frac{U_2}{2} = \frac{N_2}{2} S \frac{dB}{dt}, \quad (6)$$

где

$$S = 0.5(D - d)h \quad (7)$$

- площадь поперечного сечения кольца (и площадь витков обмоток).

Напряжение U_2 на вторичной обмотке, таким образом, пропорционально не индукции магнитного поля в образце, а ее производной по времени. Для нахождения индукции поля в образце нужно проинтегрировать напряжение на вторичной обмотке. Эту функцию с достаточной точностью выполняет подключенная к вторичной обмотке цепочка R_2C , называемая интегрирующей.

Известно, что при выполнении условия $R_2 \gg \frac{1}{\omega C}$, где ω – частота переменного напряжения, выполняется также условие $U_{R2} \approx U_C$. Поэтому можно считать, что $U_2 \approx U_{R2} = I_2 R_2$. И заряд на конденсаторе C оказывается связан с током во вторичной обмотке трансформатора T соотношением

$q = I_2 dt = \frac{U_2}{R_2} dt = \frac{N_2 S B}{R_2} dt$. Напряжение на конденсаторе C оказывается пропорциональным индукции магнитного поля B

$$\frac{U_Y}{2} = \frac{U_C}{2} = \frac{q}{C} = \frac{N_2 S}{R_2 C} B = K_B B, \text{ где} \quad (8)$$

$$K_B = \frac{N_2 S}{R_2 C} = 1,554 \frac{Tl}{B} \quad (9)$$

Обобщая описание метода измерения, можно сказать, что напряжение U_X на резисторе R_1 пропорционально индукции магнитного поля H в образце с коэффициентом пропорциональности K_H , а напряжение на конденсаторе U_Y пропорционально индукции магнитного поля в образце с коэффициентом пропорциональности K_B . Эти напряжения подаются соответственно на входы горизонтальной (X) и вертикальной (Y) разверток осциллографа через модуль разводки проводов PO .

Представленные соотношения позволяют определить с достаточной точностью магнитные свойства ферромагнитного материала по полученной экране осциллографа экспериментальной зависимости B от H (петле гистерезиса):

1. индукцию насыщения B_s ;
2. остаточную магнитную индукцию B_r ;
3. коэрцитивную силу H_c ;
4. максимальное значение магнитной проницаемости μ_{max} ;
5. объемную плотность потерь энергии на перемагничивание w , Дж/м³.

5. Приборы для выполнения работы.

1. модуль образца с интегрирующей цепочкой;
2. модуль разводки проводов PO ;
3. генератор звуковых и ультразвуковых частот ГЗ-48;
4. персональный компьютер со встроенной звуковой картой;
5. соединительные провода.

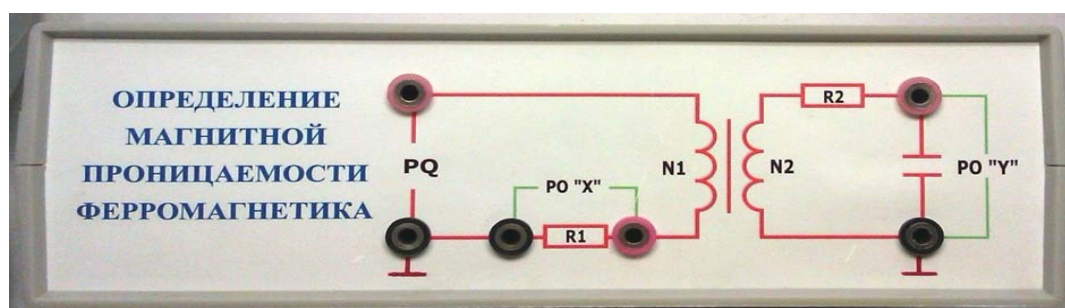


Рис.5. Передняя панель модуля образца

В качестве электронного осциллографа используется персональный компьютер, а указанные сигналы поступают на два входа его звуковой карты. Звуковая карта в своем составе имеет пару аналого-цифровых преобразователей, преобразующих напряжения U_X и U_Y в цифровой код. Весь процесс управления экспериментом, визуализации данных и их сохранения контролирует программа **gister.exe**. Графический интерфейс программы представлен на рис. 6.

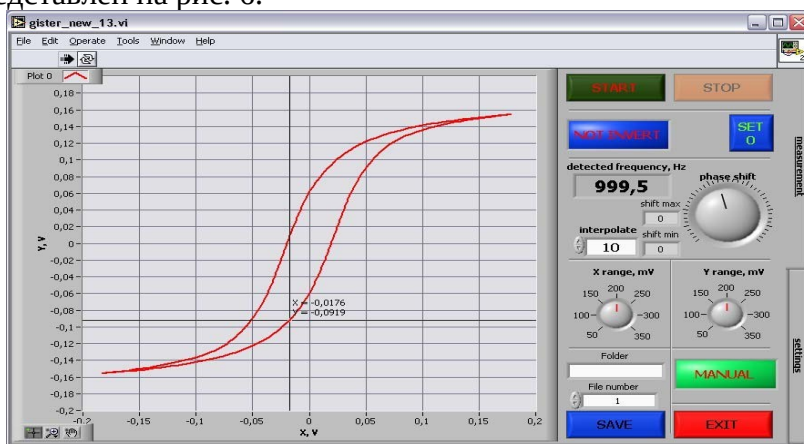


Рис.6. Интерфейс программы **gister.exe** в режиме «Измерение».

На графической панели – предельная (с насыщением) петля гистерезиса и курсор с координатами точки.

№	Элемент	управ индик	Функция
1.	START	кнопка	запускает программу
2.	STOP	кнопка	останавливает программу
3.	NOT INVERT	кнопка	меняет местами X и Y входы (INVERT)
4.	SET 0	кнопка	установка нуля входов X и Y
5.	detected frequency	индик	индикатор измеренной частоты

6.	shift max(min)	индик	индикаторы сдвига фазы по максимумам (минимумам) сигнала каналов X и Y
7.	phase shift	регулят	коррекция сдвига фазы по входам X и Y
8.	interpolate	перекл	число точек интерполяции графика
9.	X (Y) range	перекл	регулировка масштаба по осям X и Y ^(п.1)
10.	folder	строка ввода	сюда вводится имя папки для сохраняемых данных ^(п.2)
11.	MANUAL	кнопка	переключатель способа регулировки масштаба по осям X и Y ^(п.1)
12.	File number	перекл	номер записываемого файла ^(п.3) .
13.	SAVE	кнопка	сохраняет файл ^(п.2)
14.	EXIT	кнопка	закрывает программу

Интерфейс состоит из графической панели (слева) и панели управления (справа). Панель управления имеет две вкладки «measurement» (измерение) и «settings» (настройки). Последняя применяется для системных установок и в работе не используется. Функции кнопок и индикаторов представлены в таблице.

Примечания.

1. Если кнопка в состоянии «MANUAL», то масштаб по осям можно регулировать переключателем «X (Y) range». Если кнопка в состоянии «AUTOMATIC», то масштаб устанавливается автоматически и не регулируется.
2. В строку «folder» необходимо ввести инициалы студентов, выполняющих данную работу. При этом будет создана папка с данным именем, в которую будут сохраняться измеренные данные. Если строку оставить пустой, то будет выдано сообщение об ошибке и данные не сохранятся. К папке данных можно перейти по ярлыку SAVES на рабочем столе компьютера.
3. При сохранение в папку с данными каждый раз записывается файл, имя которого имеет формат: {data}_{_}{номер}{.dat}. Номер соответствует значению элемента управления «File number».

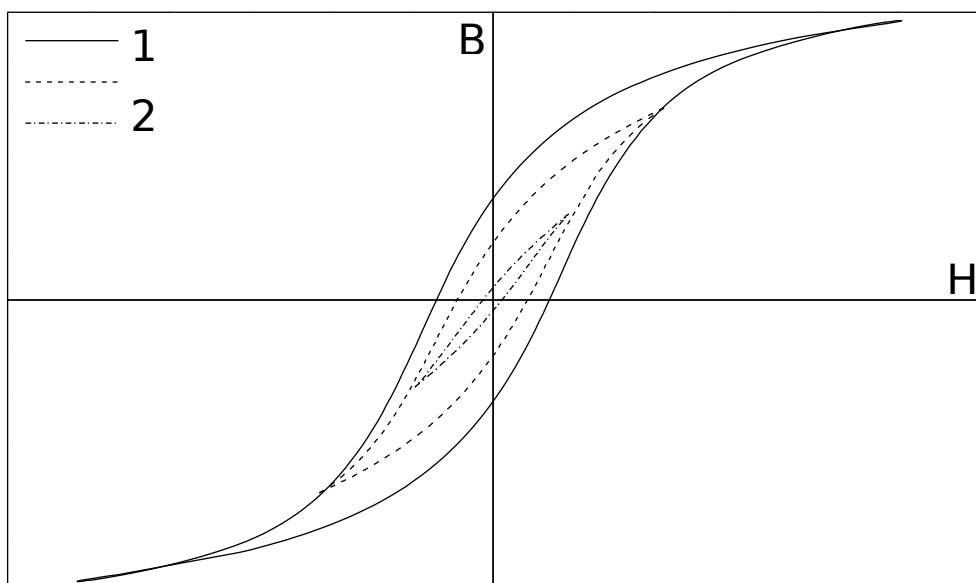


Рис.7. Семейство петель гистерезиса.

1– предельная (с насыщением); 2 и 3 – неопределенные (без насыщения).

6. Порядок выполнения работы и обработка результатов измерений.

Задание 1. Построение основной кривой намагничивания.

- 1.1. Ознакомившись с описанием установки и методом измерения, проверить соединение приборов в соответствии со схемой, изображенной на рис. 4.
- 1.2. Подготовить приборы к работе. Установить следующие параметры выходного сигнала генератора: форма сигнала – синусоидальная, частота сигнала в диапазоне – 0.8 – 1.1 кГц, выходное напряжение - 0 В.
- 1.3. Включить генератор, запустить программу **gister.exe** (ярлык на Рабочем столе) и развернуть интерфейс программы на весь экран. Запустить измерения кнопкой «START».
- 1.4. Произвести калибровку нулей АЦП. Для этого на модуле разводки проводов *PO* переключатель перевести в положение «Калибр. 0», нажать кнопку «SET 0» и вернуть переключатель в положение «Измерение».
- 1.5. Увеличивая выходное напряжение генератора, получить в графическом окне предельную петлю гистерезиса (кривая 1 на рис.7).
- 1.6. Регулировкой масштаба по осям *X* и *Y* «*X (Y) range*» развернуть график на все графическое окно.
- 1.7. Остановить измерения кнопкой «STOP». При помощи курсора снять *X* и *Y* координаты верхней правой вершины. Эти координаты равны напряжениям на соответствующих входах: $X=U_x$; $Y=U_y$. Занесите значения напряжений в таблицу.

№ петли	$U_x, В$	$K_H, A/(м·В)$	$H, A/м$	$U_y, В$	$K_B, Тл/В$	$B, Тл$
1		6308			1,554	
2						
3						
4						
5						
6						
7						

- 1.8. Запустить измерения кнопкой «START».
- 1.9. Уменьшая величину выходного напряжения, получить семейство петель гистерезиса (см. рис. 7) – не менее 7 петель. Для каждой петли снять координаты *X* и *Y* ее вершины, повторяя пункты 1.6–1.8.
- 1.10. Используя коэффициенты пересчета K_H и K_B , рассчитать значения *H* и *B* вершин каждой петли гистерезиса и записать их в таблицу.
- 1.11. По полученным данным построить кривую намагничивания для данного образца $B=f(H)$ (пунктирная кривая на рисунке 2). График строить в EXCEL.

Задание 2. Изучение максимальной петли гистерезиса.

Цель опыта – определение характерных точек петли гистерезиса образца (см. рис.2) на частоте 1 кГц:

B_s - индукции насыщения, Тл
 H_s - напряженности насыщения, А/м

B_r - остаточной индукции, Тл
 H_c - коэрцитивной силы, А/м
 μ_{mx} - максимальной магнитной проницаемости

- 2.1. Получить в графическом окне максимальную петлю гистерезиса (кривая 1 на

рис. 5), повторив пункты 1.5 и 1.6 (если вы не выполняли *Задание 1*, то необходимо выполнить пункты 1.1 – 1.6).

- 2.2. Остановить измерения кнопкой «STOP». При помощи курсора снять нужные координаты характерных точек петли. Эти координаты равны напряжениям на входах: $X=U_X$; $Y=U_Y$. Занесите значения напряжений в таблицу, колонки 3 и 4.

парам	K	Положит.	Отрицат.	среднее	значение
		U_+ , Вольт	U_- , Вольт	$0,5(U_+ - U_-)$	B или H
B_s	1,554 Тл/В				
H_s	6308 А/(м·В)				
B_r	1,554 Тл/В				
H_c	6308 А/(м·В)				

- 2.3. Рассчитать среднее значение напряжений и занести в 5 колонку. Умножая средние значения напряжения на соответствующий коэффициент пересчета K , вычислить значения магнитного поля B или H в характерных точках петли.
- 2.4. Максимальное значение магнитной проницаемости среды определить следующим образом. Учитывая связь индукции магнитного поля с напряженностью

выражаем магнитную проницаемость

$$\mu = \frac{dB}{dH} = \mu_0 \mu_0 dH, \quad (10)$$

Таким образом, магнитная проницаемость образца пропорциональна производной индукции по напряженности. Далее, произвести следующие действия.

2.4.1. Записать файл данных предельной петли гистерезиса (в строку «Folder» ввести инициалы всех исполнителей работы и нажать кнопку «SAVE»).

2.4.2. Открыть приложение EXCEL.

2.4.3. Открыть файл: «Файл» → «Открыть». В открывшемся окне выбрать «Рабочий стол», войти в ярлык «SAVES», в котором найти папку с вашими инициалами. Во вкладке «Тип файла:» выбрать «Все файлы». В появившемся списке ваших файлов выбрать файл. В появившемся окне «Мастер импорт» выбрать «Готово».

2.4.4. Пересчитать вольты в значения H и B : первый столбец (U_X) и второй столбец (U_Y) умножить соответственно на K_H и K_B . Таким образом, в первом столбце окажутся значения H , а во втором B .

2.4.5. Произвести численное дифференцирование, заноса данные в третий столбец:

$$dB = B \quad B_i \quad B_i, \quad i = [1, N - 1], \quad (12)$$

$$\frac{dH}{dN} = \frac{H_i - H_{i-1}}{N_i - N_{i-1}}$$

где N – число строк таблицы. Для этого в первую ячейку пустой колонки

введите формулу $B_2 - B_1 / H_2 - H_1$ и растяните формулу до

предпоследней строки. **Напоминаем, что обозначения H и B относятся к физическим величинам, а не к именам колонок!**

2.4.6. Построить график производной от напряженности поля и предъявить его преподавателю.

2.4.7. Определить максимальное значение производной, используя функцию МАКС для третьего столбца (эта функция в категории *Статистические*).

2.4.8. По формуле (11) рассчитать максимальное значение магнитной проницаемости образца.

Задание 3. Определение потерь на перемагничивание ферромагнетика

Известно, что площадь внутри петли гистерезиса равна энергии, затраченной на перемагничивания 1 м^3 ферромагнетика за один цикл:

$$\oint B dH = \frac{W}{V} = \frac{\text{Дж}}{\text{м}^3} \quad (13)$$

Таким образом, определение потерь на перемагничивание сводится к расчету площади петли.

Внимание! Для студентов, уже выполнивших Задание 2, данное Задание

выполнять, начиная с пункта 3.7.

3.1. Получить в графическом окне максимальную петлю гистерезиса (кривая 1 на рис. 5), выполнив пункты 1.1 – 1.6.

3.2. Остановить измерения кнопкой «STOP».

3.3. Записать файл данных предельной петли гистерезиса: в строку «Folder» ввести инициалы всех исполнителей работы и нажать кнопку «SAVE».

3.4. Открыть приложение EXCEL.

3.5. Открыть файл: «Файл» → «Открыть». В открывшемся окне выбрать

«Рабочий стол», войти в ярлык «SAVES», в котором найти папку с вашими инициалами. Во вкладке «Тип файла:» выбрать «Все файлы». В появившемся списке ваших файлов выбрать файл. В появившемся окне «Мастер импорт» выбрать «Готово».

3.6. Пересчитать вольты в значения H и B : первый столбец (U_x) и второй столбец (U_y) умножить соответственно на K_H и K_B . Таким образом, в первом столбце окажутся значения H , а во втором B .

3.7. Произвести интегрирование зависимости $B(H)$. Известно, что графическим представлением интеграла является площадь под графиком данной функции (см. рис. 8).

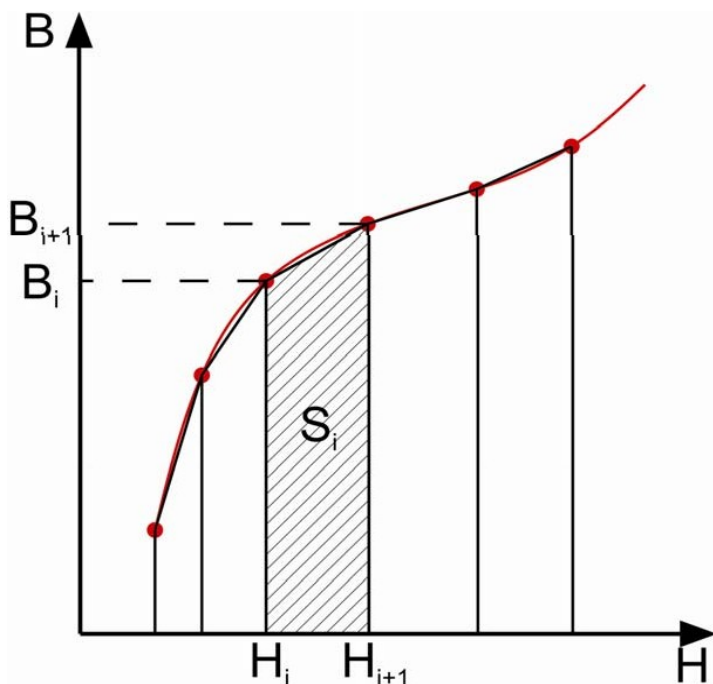


Рис.8. Участок графика с разбиением его площади на трапеции.

График функции в численном виде представлен точками с координатами (H_i, B_i) . Площадь под всем графиком приблизительно равна сумме площадей трапеций S_i , построенных между соседними точками. Поэтому интеграл функции может быть вычислен по формуле

$$S = S_1 + S_2 + \dots + S_N = \frac{B_1 + B_2}{2} (H_2 - H_1) + \dots + \frac{B_{N-1} + B_N}{2} (H_N - H_{N-1}) \quad (14)$$

или в компактном виде

$$S = \sum_{i=1}^{N-1} \frac{B_i + B_{i+1}}{2} (H_{i+1} - H_i) \quad (15)$$

Для вычисления интеграла в первую ячейку пустой колонки введите формулу $0,5 * B_1 + B_2 * H_2 - H_1$ и растяните формулу до предпоследней строки. **Напоминаем, что обозначения H и B относятся к физическим величинам, а не к именам колонок!**

Затем просуммируйте получившиеся значения в столбце функцией СУММ (эта функция в категории *Математические*).

Полученное значение интеграла будет отрицательным из-за неоднозначности функции петли $B=B(H)$. Необходимо взять его по модулю. Таким образом, вы определили потери энергии на перемагничивание за один цикл для ферромагнетика единичного объема. На том же листе необходимо для отчета построить график предельной петли гистерезиса.

7. Контрольные вопросы

1. Покажите вид основной кривой намагничивания $B = f(H)$ и графика зависимости магнитной проницаемости от напряженности магнитного поля $\mu = f(H)$ для ферромагнетиков.
2. Какой вид имеет основная кривая намагничивания ферромагнетика?
3. Назовите характерные свойства ферромагнетиков и особенности их

намагничивания.

4. От каких величин зависит: а) напряженность H магнитного поля сердечника; б) индукция B магнитного поля ферромагнитного сердечника; в) магнитная проницаемость μ сердечника тороида?

5. Какие измеряемые величины и какие формулы используют для определения следующих величин: а) напряженности H магнитного поля в сердечнике; б) магнитной индукции насыщения B_s ?

6. Укажите способ включения и назначение следующих элементов:

а) сопротивления R_1 в цепи первичной обмотки; б) интегратора в цепи вторичной обмотки.

7. Назовите величины, пропорционально которым изменяются значения напряжений U_x и U_y .

8. Литература

1. Савельев И.В. Курс физики, кн.2. Электричество и магнетизм. – М.: Высшая школа, 2003. – §§ 7.7, 7.8, 7.9.

2. Трофимова Т.И. Курс физики. – М.: Высшая школа, 2003. – §§ 131, 132, 133, 135, 136.

Практическая работа №2

Тема: Расчёт цепи со смешанным соединением конденсаторов

Цель: закрепить знания методов расчета электрической емкости и зарядов конденсаторов при их смешанном соединении.

Теоретические сведения

Электрический конденсатор — это система из двух проводников (обкладок, пластин), разделенных диэлектриком.

Конденсаторы обладают свойством накапливать на своих обкладках электрические заряды, равные по величине и противоположные по знаку.

Электрический заряд q каждой из обкладок пропорционален напряжению U между ними:

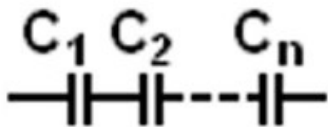
$$q = C \cdot U$$

Величину C , равную отношению заряда одной из обкладок конденсатора к напряжению между ними, называют *электрической емкостью конденсатора* и выражают в фарадах (Ф).

Емкость конденсатора зависит от геометрических размеров, формы, взаимного расположения и расстояния между обкладками, а также от свойств диэлектрика.

Конденсаторы могут быть соединены последовательно, параллельно и смешанно (последовательно-параллельно).

Последовательное соединение



При таком на обкладках всех конденсаторов будут одинаковые по величине заряды:

$$q = q_1 = q_2 = \dots = q_n$$

Напряжения на конденсаторах будут различны, так как они зависят от их емкостей:

$$U_1 = \frac{q_1}{C_1}; U_2 = \frac{q_2}{C_2} \dots U_n = \frac{q_n}{C_n}$$

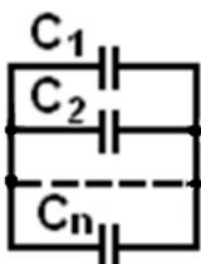
Общее напряжение:

$$U = U_1 + U_2 + \dots + U_n$$

Общая, или эквивалентная, емкость

$$C = \frac{q}{U} \text{ или } \frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_n}$$

Параллельное соединение



При параллельном соединении напряжение на всех конденсаторах одинаковое. Заряды на обкладках отдельных конденсаторов при различной их емкости:

$$q_1 = C_1 \cdot U, \quad q_1 = C_2 \cdot U \dots q_n = C_n \cdot U$$

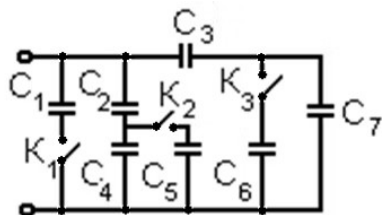
Заряд, полученный всеми параллельно соединенными конденсаторами:

$$q = q_1 + q_2 + \dots + q_n$$

Общая (эквивалентная) емкость:

$$C = C_1 + C_2 + \dots + C_n$$

Задание



1. Определить эквивалентную емкость батареи конденсаторов, соединенных по схеме, при соответствующих положениях ключей.

2. Для случая, когда ключи K1, K2 и K3 разомкнуты, найти заряды на каждом конденсаторе и общий заряд схемы.

Порядок выполнения расчета

Задание 1

1. Для своих данных начертить исходную схему.
2. Рассчитать последовательное соединение C3-C7:
3. Рассчитать параллельное соединение C4-C5:
4. Рассчитать последовательное соединение C2-C45:
5. Найти эквивалентную емкость, рассчитав параллельное соединение C245-C37:

Задание 2

Вариант	Положение ключей			C ₁ , мкФ	C ₂ , мкФ	C ₃ , мкФ	C ₄ , мкФ	C ₅ , мкФ	C ₆ , мкФ	C ₇ , мкФ
	K ₁	K ₂	K ₃							
1	0	0	0	2	1	3	1	3	1	1
2	1	0	0	3	1	1	2	2	1	3
3	0	1	0	1	1	2	2	3	3	0,5
4	0	0	1	2	1	1	1	3	2	1
5	1	1	0	1	2	2	3	1	2	2
6	1	0	1	0,5	3	3	2	1	3	1
7	0	1	1	2	3	3	0,5	1	1	2
8	1	1	1	2	1	1	2	1	3	3
9	1	0	0	1	0,5	1	3	3	0,5	2
10	0	0	1	1	3	1	2	2	3	2

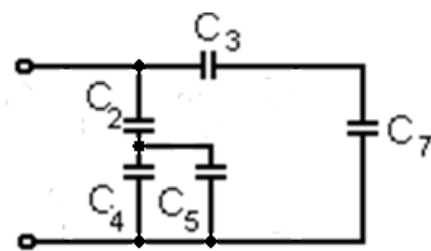
2. Для случая, когда ключи К1, К2 и К3 разомкнуты, найти заряды на каждом конденсаторе и общий заряд схемы.

№ варианта	C ₂ , мкФ	C ₃ , мкФ	C ₄ , мкФ	C ₇ , мкФ	U ₂ , В	U ₃ , В	U ₄ , В	U ₇ , В
1	5	10	2	4	10	10	25	25
2	3	2	4	5	20	25	15	10
3	4	5	3	2	30	20	40	50
4	5	4	4	5	40	50	50	40
5	4	4	10	3	50	30	20	40
6	6	5	12	4	30	20	12	4
7	10	13	8	5	40	25	50	65
8	8	4	4	8	10	20	20	10
9	20	8	6	5	15	25	50	40
10	2	7	2	3	50	30	50	70

1. Для своих данных начертить исходную схему.
2. Рассчитать заряды на каждом конденсаторе:
3. Рассчитать общий заряд схемы:
4. Проверка:

Порядок выполнения расчета

Вариант	Положение ключей			C ₁ , мкФ	C ₂ , мкФ	C ₃ , мкФ	C ₄ , мкФ	C ₅ , мкФ	C ₆ , мкФ	C ₇ , мкФ
	K ₁	K ₂	K ₃							
1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1



Задание 1

1. Для своих данных начертить исходную схему.
2. Рассчитать последовательное соединение C3-C7:

$$\frac{1}{C_{37}} = \frac{1}{C_3} + \frac{1}{C_7} = \frac{1}{1} + \frac{1}{1} = 2 \quad C_{37} = \frac{1}{2} \text{ мкФ}$$

3. Рассчитать параллельное соединение C4-C5:

$$C_{45} = C_4 + C_5 = 1 + 1 = 2 \text{ мкФ}$$

4. Рассчитать последовательное соединение C2-C45:

$$\frac{1}{C_{245}} = \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_{45}} = \frac{1}{1} + \frac{1}{2} = \frac{3}{2}$$

$$C_{245} = \frac{2}{3} \text{ мкФ}$$

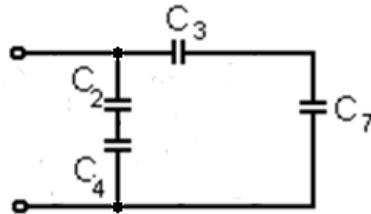
5. Найти эквивалентную емкость, рассчитав параллельное соединение C₂₄₅-C₃₇:

$$C = C_{245} + C_{37} = \frac{2}{3} + \frac{1}{2} = \frac{7}{6} = 1\frac{1}{6} \text{ мкФ}$$

Задание 2

1. Для своих данных начертить исходную схему.

№ варианта	C ₂ , мкФ	C ₃ , мкФ	C ₄ , мкФ	C ₇ , мкФ	U ₂ , В	U ₃ , В	U ₄ , В	U ₇ , В
1	7	5	4	6	20	30	35	25



2. Рассчитать заряды на каждом конденсаторе:

$$q_2 = C_2 \cdot U_2 = 7 \cdot 20 = 140 \text{ Кл}$$

$$q_3 = C_3 \cdot U_3 = 5 \cdot 30 = 150 \text{ Кл}$$

$$q_4 = C_4 \cdot U_4 = 4 \cdot 35 = 140 \text{ Кл}$$

$$q_7 = C_7 \cdot U_7 = 6 \cdot 25 = 150 \text{ Кл}$$

3. Рассчитать общий заряд схемы:

$$q = q_{24} + q_{37}$$

$$q_{24} = q_2 = q_4$$

$$q_{37} = q_3 = q_7$$

$$q = 140 + 150 = 290 \text{ Кл}$$

4. Проверка:

$$q = C \cdot U = \frac{58}{11} \cdot 55 = 290 \text{ Кл},$$

где

$$C = \frac{C_2 \cdot C_4}{C_2 + C_4} + \frac{C_3 \cdot C_7}{C_3 + C_7} = \frac{7 \cdot 4}{7 + 4} + \frac{5 \cdot 6}{5 + 6} = \frac{28 + 30}{11} = \frac{58}{11} \text{ мкФ}$$

$$U = U_2 + U_4 = U_3 + U_7 = 20 + 35 = 30 + 25 = 55 \text{ В}$$

Практическая работа №3

Тема: Расчет простейших последовательных, параллельных и последовательно-параллельных электрических цепей

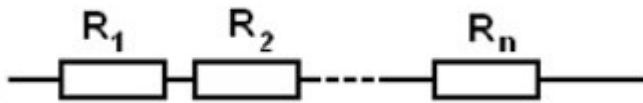
Цель: закрепить знания методов расчета эквивалентного сопротивления резисторов при их смешанном соединении.

Теоретические сведения

Отдельные проводники электрической цепи могут быть соединены между собой последовательно, параллельно и смешанно (последовательно-параллельно).

Последовательное соединение

Проводники соединены таким образом, что по ним проходит один и тот же ток.



Сила тока в цепи:

$$I = I_1 = I_2 = \dots = I_n$$

Общее напряжение:

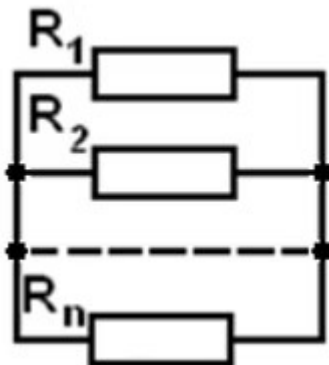
$$U = U_1 + U_2 + \dots + U_n$$

Эквивалентное сопротивление:

$$R = R_1 + R_2 + \dots + R_n$$

Параллельное соединение

Два или более число проводников присоединены к двум узловым точкам.



Сила тока в цепи:

$$I = I_1 + I_2 + \dots + I_n$$

Общее напряжение:

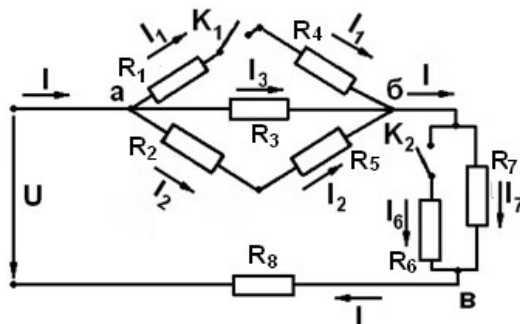
$$U = U_1 = U_2 = \dots = U_n$$

Эквивалентное сопротивление:

$$R = \frac{U}{I} \text{ или } \frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}$$

Задание

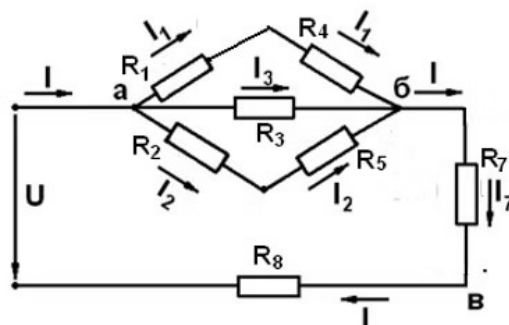
Определить общее сопротивление цепи, токи во всех ветвях и напряжения на каждом сопротивлении, если напряжение $U=120$ В.



Вариант	Положение ключей		$R_1,$	$R_2,$	$R_3,$	$R_4,$	$R_5,$	$R_6,$	$R_7,$	$R_8,$
			Ом	Ом	Ом	Ом	Ом	Ом	Ом	Ом
	K_1	K_2								
1	1	0	2	1,5	3	1	1,5	3	6	3
2	0	1	2	1,5	3	1	1,5	3	6	3
3	1	0	2	1,5	3	1	1,5	3	6	3
4	0	1	2	1,5	3	1	1,5	3	6	3
5	1	0	1	3	6	1,5	3	1,5	2	4
6	0	1	1	3	6	1,5	3	1,5	2	4
7	0	1	1	3	6	1,5	3	1,5	2	4
8	1	0	1	3	6	1,5	3	1,5	2	4
9	0	1	6	4	2	3	2	8	4	2
10	1	0	2	1,5	1	3	1,5	6	3	3

Порядок выполнения расчета

1. Для своих данных начертить исходную схему.



Вариант	Положение ключей		$R_1,$	$R_2,$	$R_3,$	$R_4,$	$R_5,$	$R_6,$	$R_7,$	$R_8,$
			Ом	Ом	Ом	Ом	Ом	Ом	Ом	Ом
	K_1	K_2								
1	1	0	1,5	2	1	3	1,5	3	3	6

2. Рассчитать последовательное соединение R1-R4:

$$R_{14} = R_1 + R_4 = 1,5 + 3 = 4,5 \text{ Ом}$$

3. Рассчитать параллельное соединение R14-R3:

$$\frac{1}{R_{134}} = \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_{14}} = \frac{1}{1} + \frac{1}{4,5} = \frac{11}{9} \quad R_{134} = \frac{9}{11} \text{ Ом}$$

4. Рассчитать последовательное соединение R2-R5:

$$R_{25} = R_2 + R_5 = 2 + 1,5 = 3,5 \text{ Ом}$$

5. Рассчитать параллельное соединение R134-R25:

$$\frac{1}{R_{12345}} = \frac{1}{R_{134}} + \frac{1}{R_{25}} = \frac{11}{9} + \frac{1}{3,5} = \frac{95}{63} \quad R_{12345} = \frac{63}{95} \text{ Ом}$$

6. Найти эквивалентное сопротивление, рассчитав последовательное соединение R12345-R78:

$$R = R_{12345} + (R_7 + R_8) = \frac{63}{95} + (3 + 6) = 9,7 \text{ Ом}$$

7. Найти общий ток в цепи:

$$I = \frac{U}{R} = \frac{120}{9,7} = 12,4 \text{ А}$$

8. Найти токи на сопротивлениях R7 и R8:

$$I_7 = I_8 = I = 12,4 \text{ А}$$

9. Найти напряжения на сопротивлениях R7 и R8:

$$U_7 = IR_7 = 12,4 \cdot 3 = 37,2 \text{ В} \quad U_8 = IR_8 = 12,4 \cdot 6 = 74,4 \text{ В}$$

10. Найти напряжение между точками а и б:

$$U_{аб} = U - U_7 - U_8 = 120 - 37,3 - 74,5 = 8,4 \text{ Ом}$$

11. Найти ток на сопротивлениях R1 и R4:

$$I_1 = \frac{U_{аб}}{R_{14}} = \frac{8,4}{4,5} = 1,8 \text{ А}$$

12. Найти ток на сопротивлениях R2 и R5:

$$I_2 = \frac{U_{аб}}{R_{25}} = \frac{8,4}{3,5} = 2,3 \text{ А}$$

13. Найти ток на сопротивлении R3:

$$I_3 = \frac{U_{аб}}{R_3} = \frac{8,4}{1} = 8,4 \text{ А}$$

14. Проверка:

$$I = I_1 + I_2 + I_3$$

$$1,8 + 2,3 + 8,4 = 12,5 \text{ A}$$

$$12,5 \text{ A} \approx 12,4 \text{ A}$$

Практическая работа № 4

Тема: Расчёт цепи методом эквивалентных преобразований

1.1 Задачи для самостоятельного решения

Задача 1.2.1 Для цепи (рисунок 20), определить входное сопротивление (эквивалентное) относительно входных зажимов, если известно:

$R_1 = 10 \text{ Ом}$, $R_2 = R_3 = R_4 = 20 \text{ Ом}$

Задача 1.2.2 Для цепи (рисунок 21), найти входное сопротивление,

если известно: $R_1 = 7 \text{ Ом}$, $R_2 = 10 \text{ Ом}$, $R_3 = 3 \text{ Ом}$, $R_4 = 5 \text{ Ом}$, $R_5 = 2 \text{ Ом}$, $R_6 = 8 \text{ Ом}$, $R_7 = 6 \text{ Ом}$.

a

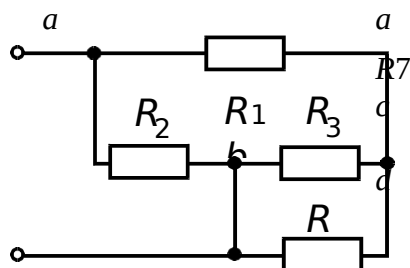


Рисунок 1

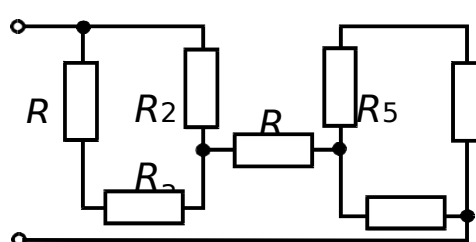


Рисунок 2

Задача 1.2.3 Определить эквивалентное сопротивление цепи (рисунок 22) между зажимами B и D, если $R_1 = R_3 = 2 \text{ Ом}$, $R_2 = R_4 = R_5 = R_6 = 3 \text{ Ом}$.

Задача 1.2.4 Определить токи и напряжения на отдельных участках схемы (рисунок 23), если напряжение на входе $U = 240 \text{ В}$, а сопротивления

участков схемы: $R_1 = R_2 = 0,5 \text{ Ом}$, $R_3 = R_5 = 10 \text{ Ом}$, $R_4 = R_6 = R_7 = 3 \text{ Ом}$

R_1

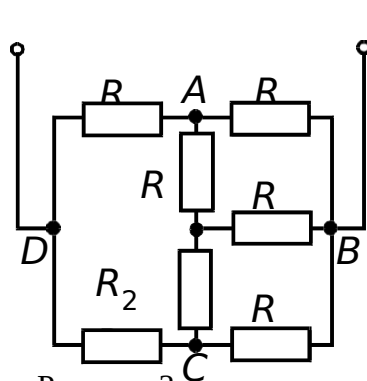


Рисунок 3

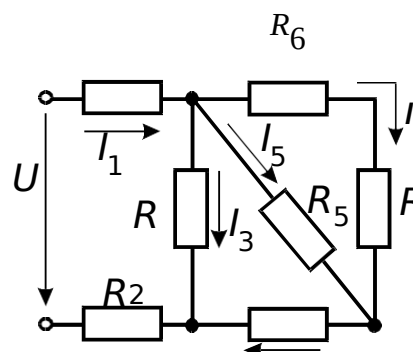


Рисунок 4

Задача 1.2.5 Найти ток в сопротивлении

R_4 (рисунок 24), если:

$E = 100 \text{ В}$, $R_1 = 2 \text{ Ом}$, $R_2 = R_3 = 10 \text{ Ом}$, $R_4 = 10 \text{ Ом}$, $R_5 = 3 \text{ Ом}$.

Задача 1.2.6 Определить величину сопротивления R_2 (рисунок 25),

если $R_1 = 3 \text{ Ом}$, показания амперметров $A_1 = 5 \text{ A}$, $A_2 = 25 \text{ A}$.

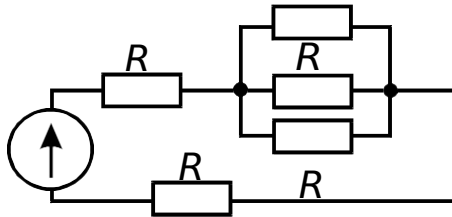
R_2 E 

Рисунок 5

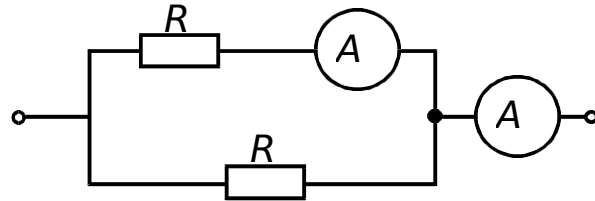


Рисунок 6

Задача 1.2.7 Используя метод преобразования определить параметры эквивалентной схемы $E_{\text{ЭКВ}}$, $R_{\text{ЭКВ}}$, если $E_1=80$ В, $E_2=20$ В, $E_3=10$ В, $R_1=R_2=20$ Ом, $R_3=10$ Ом (рисунок 26).

Задача 1.2.8 Найти напряжение на зажимах источника тока $J=10$ А (рисунок 27), если: $R_1=R_2=R_3=2$ Ом, $R_4=R_5=6$ Ом.

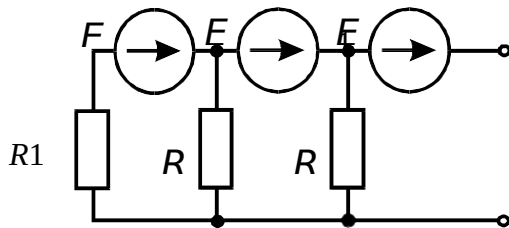


Рисунок 7

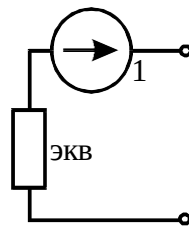
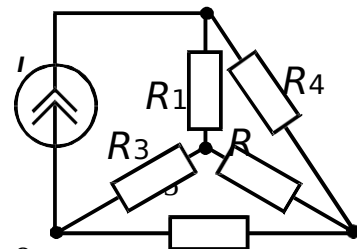


Рисунок 8



Задача 1.2.9 Используя преобразование цепи найти ток I_3 и напряжение U_{ab} , если: $E_1=40$ В, $E_2=80$ В, $E_3=10$ В, $R_1=R_2=R_3=R_4=R_5=10$ Ом (рисунок 28).

Задача 1.2.10 Методом эквивалентных преобразований определить ток I_3 (рисунок 29), если: $E_1=40$ В, $E_2=20$ В, $E_4=10$ В, $J=5$ А, $R_1=R_2=R_3=R_4=10$ Ом, $R_5=4$ Ом, $R_6=4$ Ом.

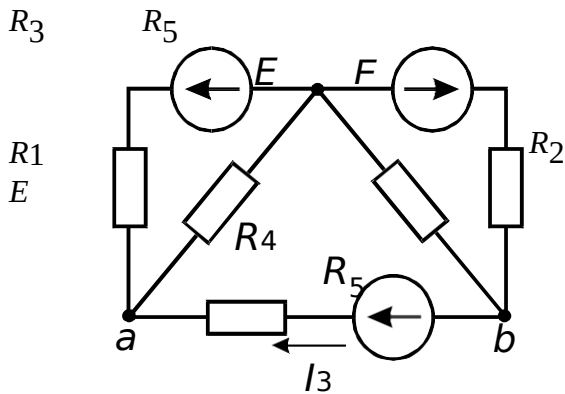


Рисунок 9

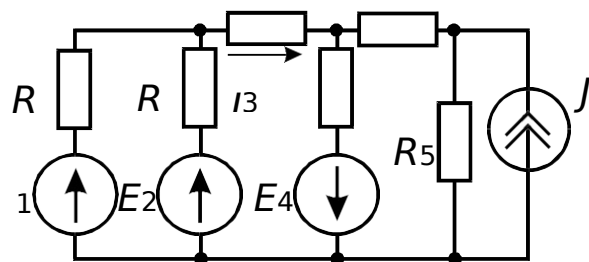


Рисунок 10

Задача 1.2.11 В цепи (рисунок 30) ЭДС источника питания $E = 12$ В, сопротивления ветвей равны: $R_1 = 1,5$ Ом; $R_2 = 1,5$ Ом; $R_3 = 4,5$ Ом; $R_4 = 6$ Ом; $R_5 = 3$ Ом. Определить токи во всех ветвях цепи двумя способами: а) преобразованием звезды сопротивлений $R_1 - R_2 - R_3$ в эквивалентный

треугольник; б) преобразованием одного из треугольников сопротивлений в эквивалентную звезду.

Задача 1.2.12 Цепь (рисунок 31) присоединена к сети с постоянным напряжением $U = 120$ В. ЭДС и внутренние сопротивления источников следующие: $E_1 = 100$ В, $E_2 = 90$ В, $R_{01} = 0,5$ Ом, $R_{02} = 0,2$ Ом. Значения сопротивлений в ветвях: $R_1 = 1,5$ Ом, $R_2 = 1,5$ Ом, $R_3 = 0,5$ Ом. Определить показание вольтметра, токи во всех ветвях и составить баланс мощностей.

+
 R_5
 U
—

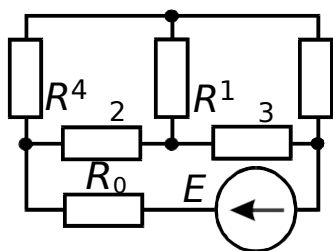


Рисунок 11

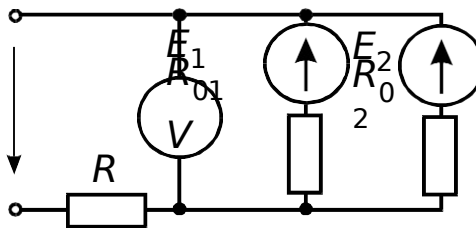


Рисунок 12

Задача 1.2.13 В цепи (рисунок 32) ЭДС источников питания равны $E_1 = 110$ В, $E_2 = 104$ В, а сопротивления ветвей $R_1 = 5$ Ом; $R_2 = 6$ Ом; $R_3 = R_4 = R_5 = 1,5$ Ом, $R_6 = 2$ Ом. Определить ток в ветви с сопротивлением R_6 методом эквивалентных преобразований.

Задача 1.2.14 В цепи (рисунок 33) известны значения $U = 100$ В и сопротивлений ветвей $R = 2$ Ом. Определить показания ваттметра W для четырех случаев: а) ключи K_1 , K_2 , K_3 разомкнуты; б) ключ K_1 замкнут, K_2 и K_3 – разомкнуты; в) ключи K_1 , K_2 замкнуты, K_3 – разомкнут; г) ключи K_1 , K_2 , K_3 замкнуты.

R_3

U

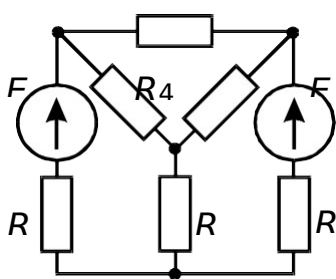


Рисунок 13

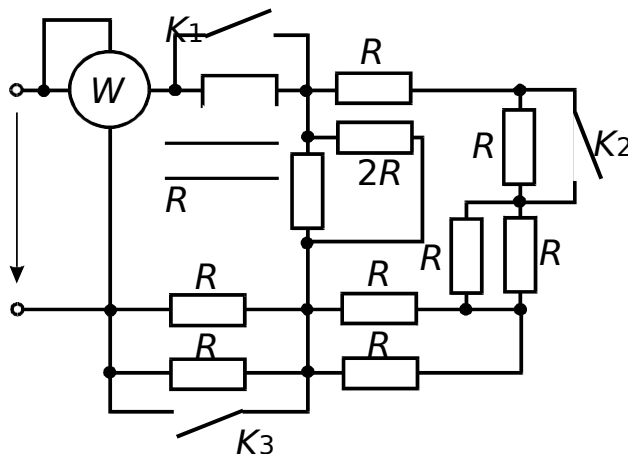


Рисунок 14

Задача 1.2.15 В цепи (рисунок 34) известны значения тока источника тока $J = 1 \text{ мА}$ с внутренней проводимостью $g_0 = 2 \times 10^{-6} \text{ См}$ и проводимости двух параллельно включенных потребителей $g_1 = 1 \times 10^{-5} \text{ См}$ и $g_2 = 2 \times 10^{-5} \text{ См}$. Определить токи I_0, I, I_1, I_2 , параметры эквивалентного источника напряжения.

Задача 1.2.16 Определить напряжения U_{ed}, U_{ec}, U_{cd} и токи в ветвях цепи (рисунок 35), если $I_5 = 20 \text{ А}$, $R_1 = R_3 = 8 \text{ Ом}$, $R_2 = R_4 = 4 \text{ Ом}$, $R_5 = R_6 = 2 \text{ Ом}$, $R_7 = 3 \text{ Ом}$.

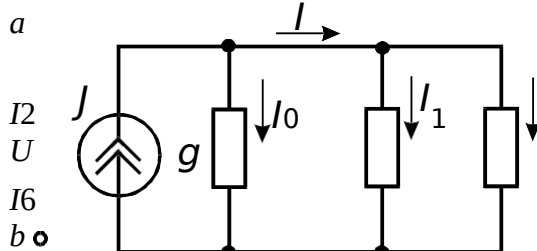


Рисунок 15

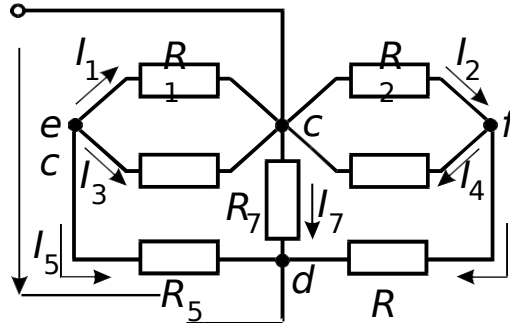


Рисунок 16

Практическая работа №5

Тема: Расчёт неразветвленной цепи переменного тока символическим методом

Учебная цель: закрепить навыки расчета цепей переменного тока с применением комплексных чисел при последовательном соединении активных и реактивных сопротивлений.

Обеспеченность занятия (средства обучения):

- Методические указания по выполнению практической работы;
- Калькулятор;
- Карандаш;
- Шариковая ручка;
- Линейка.

Краткие теоретические материалы по теме практической работы

Метод основан на символическом изображении действительных синусоидальных функций времени комплексными числами. Комплексное число $\underline{A}$ изображено вектором $\underline{A}$, проекция которого на действительную ось равна его действительной (вещественной) части A' , а проекция на мнимую ось – мнимой части jA'' (рисунок 8.1).

Комплексное число $\underline{A} = A' + jA''$ характеризуется следующими параметрами:

- длина вектора $\underline{A}$ или модуль вектора:

$$A = \sqrt{(A')^2 + (A'')^2}$$

- угол α , образованный вектором $\underline{A}$ и положительной полуосью действительных величин, называемый аргументом вектора $\underline{A}$, определяется через его тангенс:

$$\alpha = \arctan \frac{A''}{A'}$$

Существует три формы записи комплексного числа:

- алгебраическая $\underline{A} = A' + jA''$;
- тригонометрическая $\underline{A} = A \cos \alpha + jA \sin \alpha$;
- показательная $\underline{A} = A e^{j\alpha}$

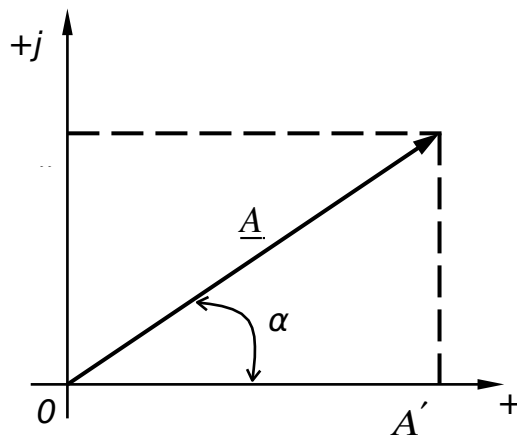


Рисунок 8.1 – Разложение вектора на составляющие, совпадающие по направлению с осями координат

Поворотный множитель $e^{j\alpha}$ показывает, что вектор повернут относительно положительной полуоси действительных величин на угол α против направления движения часовой стрелки. Отрицательному значению угла α соответствует поворот вектора по часовой стрелке.

Ток, напряжение и сопротивление в комплексной форме.

Если ток и напряжение изменяются по синусоидальному закону

$i = I_m \sin(\omega t + \Psi_i)$, $u = U_m \sin(\omega t + \Psi_u)$, то их можно изобразить векторами и, следовательно, записать комплексными числами:

$$\underline{I} = I e^{j\Psi_i}$$

$$\underline{U} = U e^{j\Psi_u}$$

где $\underline{I}$ и $\underline{U}$ – комплексны тока и напряжения. Точка над комплексами указывает, что ток и напряжение изменяются по синусоидальному закону с определенной частотой ω ;

I и U – модули комплексов тока и напряжения, они же действующие

значения тока $I = \frac{I_m}{\sqrt{2}}$ и напряжения $U = \frac{U_m}{\sqrt{2}}$;

Ψ_i

Ψ_u

– аргументы комплексов тока и напряжения, они же начальные фазы.

Комплекс полного сопротивления $\underline{Z}$ определяется отношением комплекса напряжения к комплексу тока, т.е.

$$\underline{Z} = \frac{\underline{U}}{\underline{I}} = Z e^{j\varphi}$$

Комплексные числа, не зависящие от времени, обозначаются прописными буквами с черточкой внизу.

Модулем комплекса полного сопротивления является кажущееся

сопротивление цепи $Z = \frac{U}{I}$, а аргументом – угол сдвига фаз между током и I напряжением φ .

Алгебраическая форма записи комплекса полного сопротивления $\underline{Z}$:

$$\underline{Z} = Z e^{j\varphi} = Z \cos \varphi + j Z \sin \varphi = R + jX$$

Вещественная часть комплекса полного сопротивления есть активное сопротивление R , а коэффициент при мнимой единице j – реактивное сопротивление X . Знак перед поворотным

множителем (мнимой единицей)

указывает на характер цепи. Знак «плюс» соответствует цепи индуктивного характера, а знак «минус» - цепи емкостного характера.

Любую цепь переменного тока можно рассчитывать по законам постоянного тока, если все величины представить в комплексной форме. В этом и заключается достоинство символического метода расчета.

Комплекс полной мощности цепи $\underline{S}$ определяется произведением комплекса напряжения U и сопряженного комплекса тока I^* (над сопряженным комплексом синусоидальной величины ставят «звёздочку»):

$$\underline{S} = UI^* = Se^{j\varphi}$$

Таким образом, модулем комплекса полной мощности $\underline{S}$ является кажущаяся мощность цепи $S = UI$, а аргументом – угол сдвига фаз между током и напряжением.

Если комплекс полной мощности $\underline{S}$ перевести в показательной формы в алгебраическую, то получится:

$$\underline{S} = UIe^{j\varphi} = UI \cos \varphi + jUI \sin \varphi = P + jQ$$

То есть вещественная часть комплекса полной мощности – активная мощность P , а коэффициент при мнимой единице – реактивная мощность Q .

Знак перед мнимой единицей j , в любой форме записи комплекса мощности указывает на характер цепи. Знак «плюс» соответствует цепи индуктивного характера, а знак «минус» - цепи емкостного характера.

Комплексы величин токов, напряжений, сопротивлений, мощностей и других параметром цепи синусоидального тока необходимо выражать в двух видах записи комплексного числа: показательной и алгебраической. В этом случае сразу определяются действующие значения тока, напряжения, кажущееся сопротивление, его активные и реактивные части (R и X), угол

сдвига фаз φ между током и напряжением, характер цепи, кажущаяся мощность S , активная P и реактивная мощность Q .

Инструкция по выполнению практической работы.

1. Запишите условие задачи: Цепь переменного тока со смешанным соединением сопротивлений содержит активные и реактивные сопротивления, величины которых заданы в таблице 8.1. К цепи приложено напряжение $u = U_m \sin \omega t$.

2. Начертите схему, согласно своему варианту (таблица 8.1).

3. Используя значения таблицы 8.1, запишите исходные данные согласно своему варианту.

4. Рассчитайте напряжения во всех участках цепи, используя символический метод расчета.

5. Рассчитайте силу тока I в цепи.

6. Рассчитайте активную P , реактивную Q и полную S мощности цепи.

7. Начертите в масштабе векторную диаграмму напряжений.

Контрольные вопросы.

1. Какие формы записи комплексных чисел вам известны?

2. Какая форма комплексных чисел наиболее удобна для их сложения и вычитания?

3. Какая форма комплексных чисел наиболее удобна для их умножения и деления?

4. Какие комплексные числа называются сопряженными?

5. Если напряжение задано комплексным числом, как определить его мгновенное

значение?

Таблица 8.1 – Исходные данные

Вариант	R ₁	R ₂	R ₃	X _{C1}	X _{C2}	X _{C3}	X _{L1}	X _{L2}	X _{L3}	C ₁	C ₂	C ₃	L ₁	L ₂	L ₃	f	P	Q	S	I	U	№ схемы
	Ом	Ом	Ом	Ом	Ом	Ом	Ом	Ом	Ом	мкФ	мкФ	мкФ	Гн	Гн	Гн	Гц	Вт	ВАр	ВА	А	В	
1	5	4	6	2	—	—	7	—	—	—	500	—	—	0,03	—	50	—	—	—	—	100	1
2	15	20	—	—	15	—	8	—	—	35,38	—	450	—	0,02	—	450	—	—	—	—	150	2
3	10	15	4	12	—	—	10	—	—	—	500	—	—	0,02	—	350	—	—	—	—	200	3
4	5	3	6	—	—	—	4	3	—	79,6	900	—	—	—	0,007	250	—	—	—	—	100	4
5	2	3	—	7	—	—	6	8	—	—	600	—	—	—	0,02	150	—	—	—	—	140	5
6	4	—	—	5	8	—	8	10	—	—	—	350	—	—	0,01	100	—	—	—	—	100	6
7	4	3	—	8	—	7	6	—	—	—	1000	—	—	0,007	—	500	—	—	—	—	150	7
8	7	4	2	—	—	—	6	—	—	40	650	—	—	0,01	—	400	—	—	—	—	200	8
9	3	7	—	—	—	—	6	9	—	400	800	—	—	—	0,008	300	—	—	—	—	150	9
10	2	6	—	4	—	8	8	12	6,3	—	600	—	—	—	—	50	—	—	—	—	100	10
11	5	4	8	3	9	—	6	7	—	—	—	700	—	—	0,004	50	—	—	—	—	200	11
12	10	15	25	20	—	—	12	—	—	—	400	—	—	0,03	—	250	—	—	—	—	100	12
13	5	7	10	15	—	—	9	6	88	—	400	—	—	—	—	200	—	—	—	—	150	13
14	7	9	—	—	5	—	8	—	—	75,8	—	100	—	0,001	—	700	—	—	—	—	200	14
15	3	2	—	8	6	—	5	4	—	—	—	200	—	—	0,003	400	—	—	—	—	60	15
16	5	8	—	8	6	—	6	4	—	—	—	200	—	—	0,003	500	—	—	—	—	80	16
17	7	8	—	2	6	—	4	—	—	—	—	200	—	0,002	—	600	—	—	—	—	100	17
18	7	8	9	4	—	—	7	—	—	—	300	—	—	0,03	—	100	—	—	—	—	150	18

Таблица 8.1 – Исходные данные

Вариант	R ₁	R ₂	R ₃	X _{C1}	X _{C2}	X _{C3}	X _{L1}	X _{L2}	X _{L3}	C ₁	C ₂	C ₃	L ₁	L ₂	L ₃	f	P	Q	S	I	U	№ схе мы
	Ом	Ом	Ом	Ом	Ом	Ом	Ом	Ом	Ом	мкФ	мкФ	мкФ	Гн	Гн	Гн	Гц	Вт	ВАр	ВА	А	В	
19	4	8	5	7	—	—	10	—	8	—	200	—	—	0,04	—	200	—	—	—	—	200	19
20	6	7	—	—	7	—	—	4	3	200	—	—	0,03	—	—	200	—	—	—	—	60	20
21	19	—	—	20	—	15	15	—	25	—	500	—	—	0,02	—	250	—	—	—	—	100	21
22	2	4	—	—	8	6	10	—	—	700	—	—	—	0,03	—	100	—	—	—	—	150	22
23	2	4	6	—	3	—	5	—	—	650	—	—	—	0,02	—	50	—	—	—	—	200	23
24	5	8	—	6	—	—	4	3	—	—	800	—	—	—	0,006	100	—	—	—	—	100	24
25	8	6	—	14	5	—	8	10	—	—	—	700	—	—	0,01	150	—	—	—	—	120	25
26	10	15	20	14	10	10	8	6	—	—	—	—	—	—	0,04	50	—	—	—	—	150	26
27	7	5	8	6	—	—	11	—	—	—	330	—	—	0,02	—	50	—	—	—	—	200	27
28	6	7	8	8	—	—	10	11	—	—	700	—	—	—	0,008	300	—	—	—	—	100	28
29	7	8	—	4	9	—	4	—	—	—	—	200	—	0,02	—	600	—	—	—	—	150	29
30	5	8	—	8	6	—	6	4	—	—	—	200	—	—	0,003	500	—	—	—	—	90	30

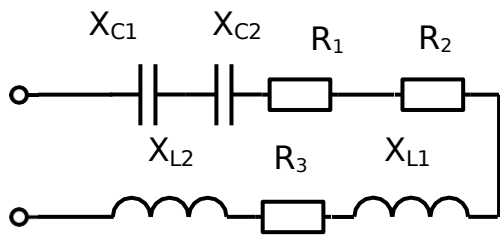


Схема 1

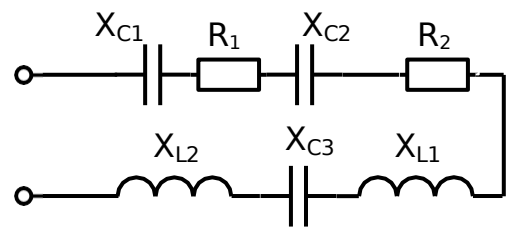


Схема 2

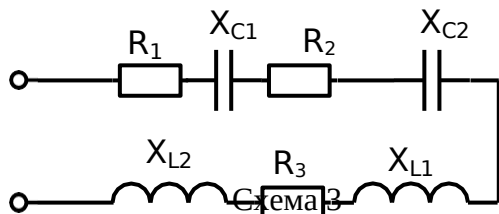


Схема 3

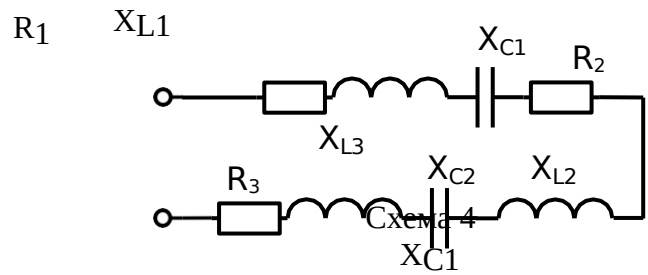


Схема 4

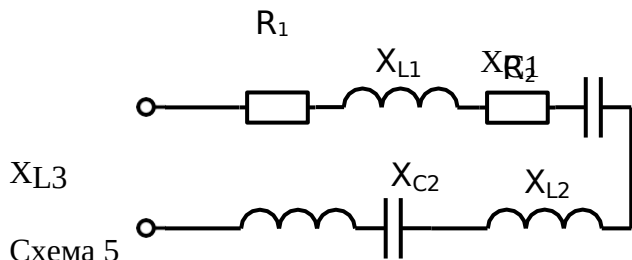


Схема 5

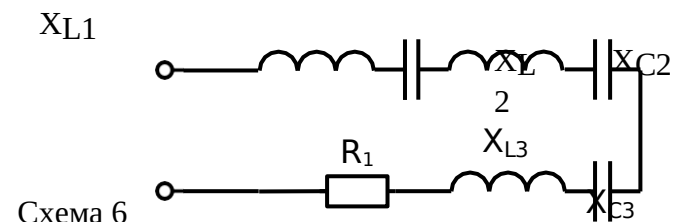


Схема 6

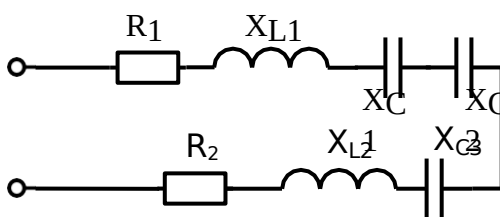


Схема 7

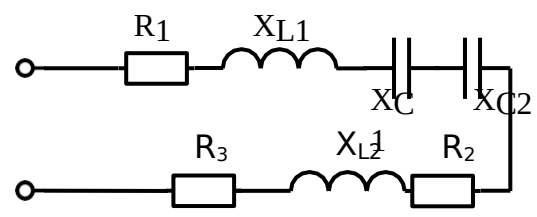


Схема 8

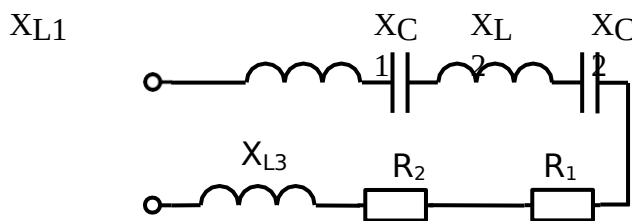


Схема 9

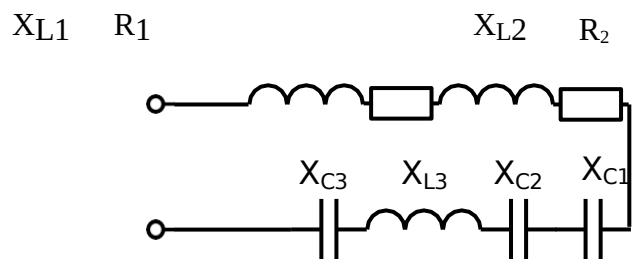


Схема 10

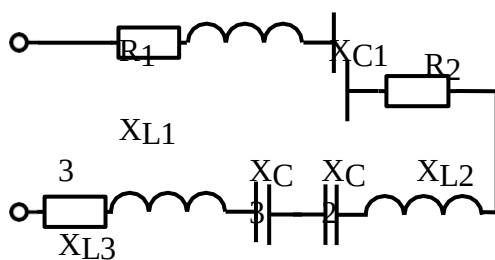


Схема 11

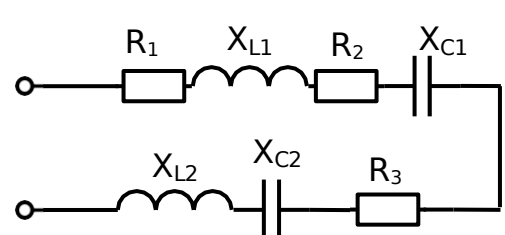


Схема 12

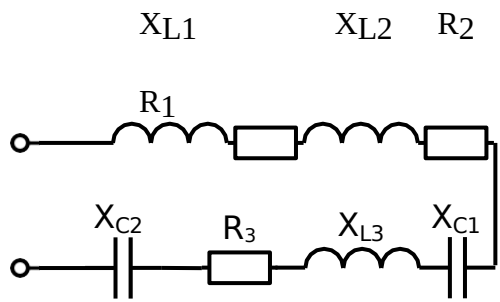


Схема 13

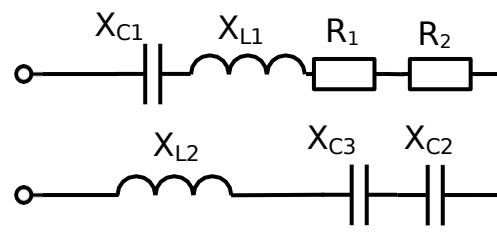


Схема 14

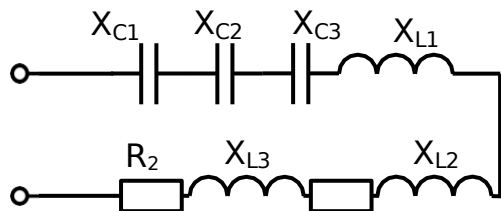


Схема 15

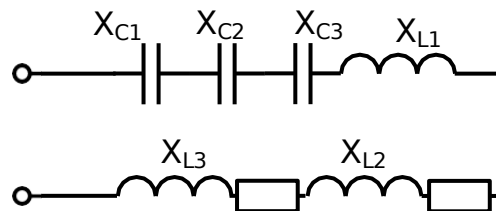


Схема 16

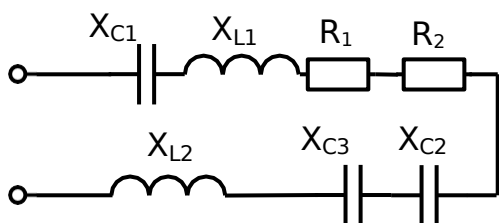


Схема 17

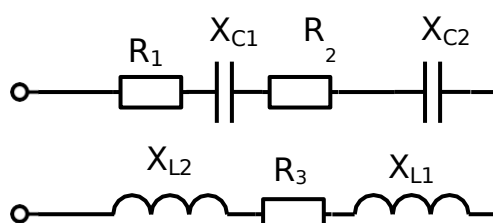
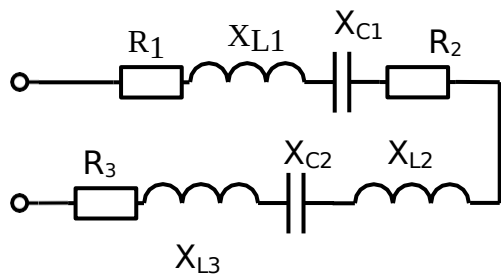


Схема 18



X_{L3}

Схема 19

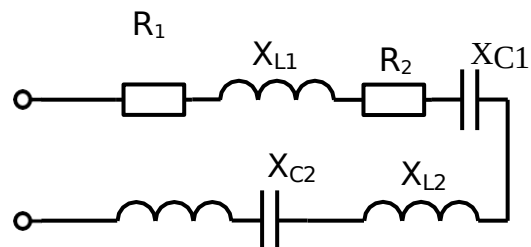


Схема 20

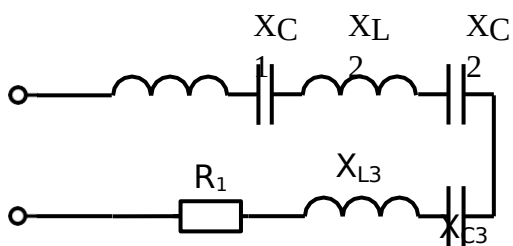


Схема 21

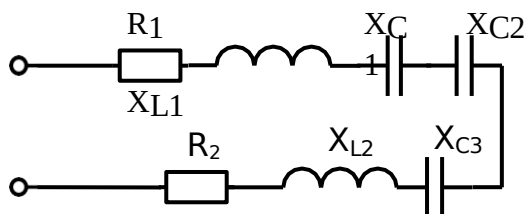


Схема 22

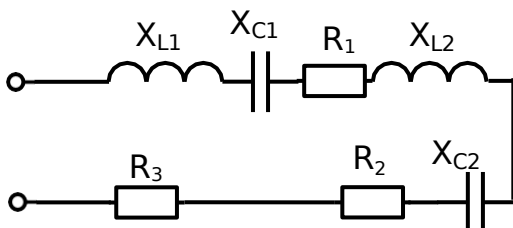


Схема 23

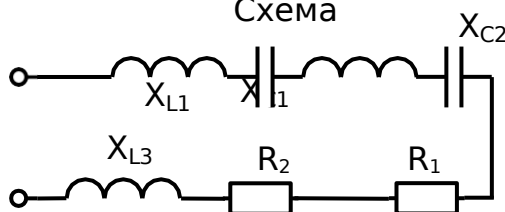


Схема 24

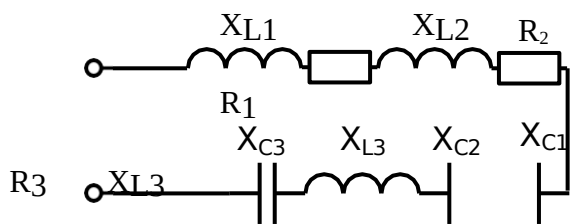


Схема 25

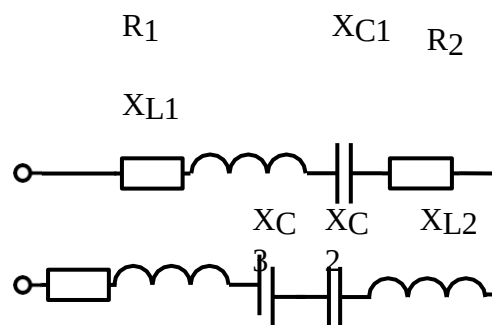


Схема 26

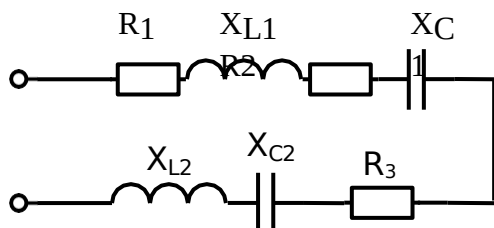


Схема 27

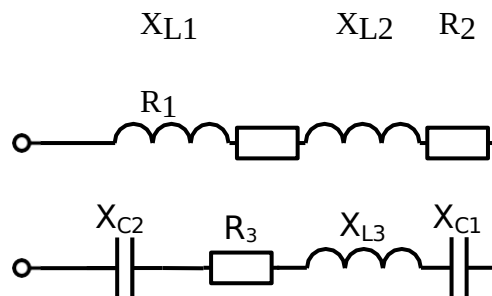


Схема 28

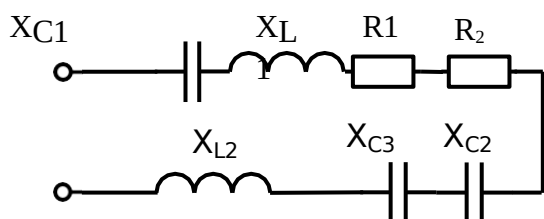
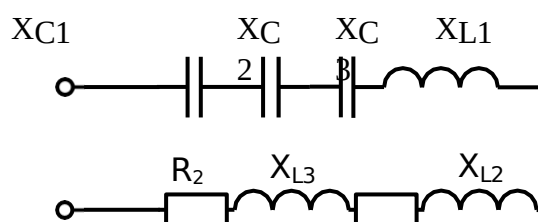


Схема 29



Схема

Содержание отчета по практической

Номер практической работы, ее тема.

1. Учебная цель работы.
 2. Схема и исходные данные согласно своему варианту.
 3. Расчеты пунктов 4-6.
 4. Векторная диаграмма напряжений в масштабе.
- Ответы на контрольные вопросы

Практическая работа № 8

Тема: Исследование электрической цепи постоянного тока с нелинейными элементами

Цель работы: получение навыков экспериментального исследования цепей постоянного тока с нелинейными элементами.

1.1 Подготовка к работе

Повторить раздел «Нелинейные электрические цепи постоянного тока».

Ответить на вопросы и выполнить следующее:

1) Какие нелинейные элементы называются симметричными и какие несимметричными? Изобразить их вольт-амперные характеристики.

2) В чем различие между статическим и дифференциальным сопротивлениями нелинейных элементов?

3) Нарисовать схему для снятия вольт-амперной характеристики нелинейного элемента при питании цепи от источника постоянного напряжения, которое может плавно регулироваться. Предусмотреть в схеме необходимые приборы.

4) Показать графический расчёт цепи с одним источником ЭДС и нелинейными сопротивлениями, соединёнными последовательно.

5) Показать графический расчёт цепи с нелинейными сопротивлениями, соединёнными параллельно.

6) Показать графический расчёт цепи со смешанным соединением нелинейных сопротивлений.

7) Показать графический расчёт цепей с нелинейными элементами методом двух узлов.

1.2 Порядок выполнения работы

1.2.1 Снять вольт-амперные характеристики трех нелинейных элементов (по указанию преподавателя).

1.2.2 Собрать цепь с последовательным соединением двух нелинейных элементов. Предусмотреть включение приборов для

измерения тока в цепи и напряжений на отдельных элементах и на зажимах источника. Установить на входе напряжение $15 \div 20$ В и записать показания всех измерительных приборов.

1.2.3 Собрать цепь с параллельным соединением двух нелинейных элементов. Предусмотреть включение приборов для измерения общего тока и токов в параллельных ветвях, а также напряжения на зажимах источника. Записать показания всех приборов при напряжении питания $15 \div 20$ В.

1.2.4 Собрать схему согласно рисунку 1.1. Записать показания всех приборов при напряжении на входе порядка $15 \div 20$ В.

1.2.5 Собрать схему с двумя источниками э.д.с. согласно рисунку 1.2. Измерить э.д.с. источников, напряжение на каждом элементе и токи в ветвях.

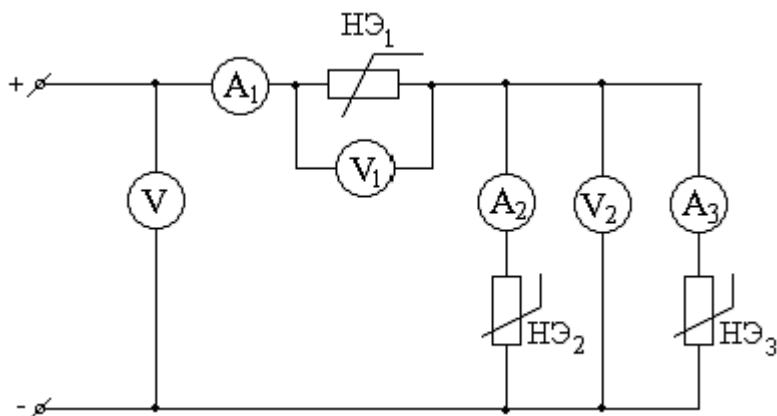


Рисунок 1.1 - Схема смешанного соединения НЭ

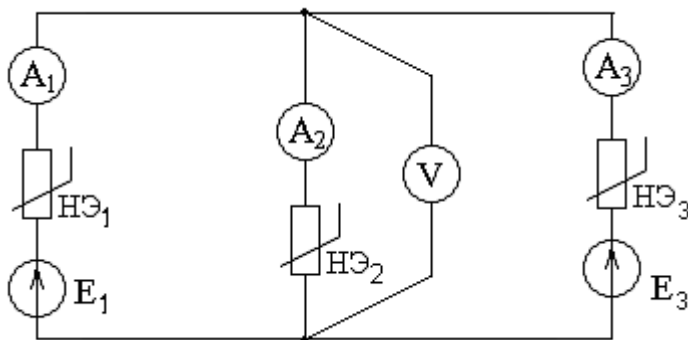


Рисунок 1.2 - Схема с двумя источниками э.д.с.

1.3 Оформление и анализ результатов работы

1.3.1 Построить вольт-амперные характеристики трех нелинейных элементов.

1.3.2 Произвести графический расчет схемы п.1.3.2 и сравнить расчётные значения с экспериментальными данными.

1.3.3 Произвести графический расчет схемы п.1.3.3 и сравнить расчётные значения с экспериментальными данными.

1.3.4 Произвести графический расчет схемы п.1.3.4 и сравнить результаты расчёта с экспериментальными данными.

1.3.5 Произвести графический расчет схемы п.15.3.5 и сравнить результаты расчета с экспериментальными данными.

1.3.6 Сделать выводы о проделанной работе.

Практическая работа №9

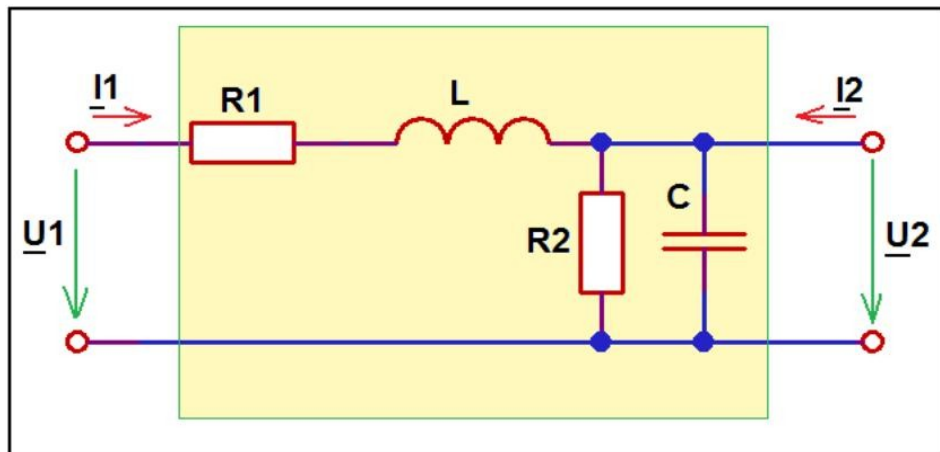
Тема: Расчет параметров четырехполюсников

1 Цель работы

С помощью программы Micro-Cap определить А-параметры пассивного линейного четырехполюсника с помощью опытов холостого хода и короткого замыкания. Получить практические

навыки в проведении машинных экспериментов и обработки их результатов.

2 Схема



3 Формулы

$$\begin{cases} \underline{U}_1 = \underline{A}_{11}\underline{U}_2 - \underline{A}_{12}\underline{I}_2 \\ \underline{U}_1 = \underline{A}_{21}\underline{U}_2 - \underline{A}_{22}\underline{I}_2 \\ \underline{U}_1 = \underline{I}_1(\underline{Z}_1 + \underline{Z}_2) \end{cases}$$

$$\underline{U}_2 = \underline{I}_1 \underline{Z}_2$$

$$\underline{A}_{11} = \frac{\underline{U}_1}{\underline{U}_2} = \frac{\underline{I}_1(\underline{Z}_1 + \underline{Z}_2)}{\underline{I}_1 \underline{Z}_2} = 1 + \frac{\underline{Z}_1}{\underline{Z}_2}$$

$$\underline{A}_{12} = \underline{Z}_1, \underline{A}_{21} = \underline{Z}_2, \underline{A}_{22} = 1$$

$$\underline{Z}_{BX} = \frac{\underline{A}_{11}}{\underline{A}_{21}}$$

4 Предварительный расчет

Пусть $R1 = 1.5 \text{ кОм}$, из исходных данных возьмем: $R2 = 10 \text{ Ом}$, $C = 1 \text{ мкФ}$, $L = 10 \text{ мГн}$. По этим данным рассчитаем А-параметры четырехполюсника, комплексное входное сопротивление.

По предварительному расчету

f , кГц	$ \underline{A}_{11} $	φ_{11} , градус	$ \underline{A}_{12} $, Ом	φ_{12} , градус	$ \underline{A}_{21} $, См	φ_{21} , градус	$ \underline{A}_{22} $	φ_{22} , градус	Z_{BX} , Ом
3	155	17,7	1512	7, 2	0,10 2	10,7	1	0	15 20
5	162	29	1532	12	0,10 5	17,4	1	0	15 43
7	172	39,5	1563	17	0,11 0	23,7	1	0	15 64

Получено экспериментально

f , кГц	$ \underline{A}_{11} $	φ_{11} , градус	$ \underline{A}_{12} $, Ом	φ_{12} , градус	$ \underline{A}_{21} $, См	φ_{21} , градус	$ \underline{A}_{22} $	φ_{22} , градус	Z_{BX} , Ом
3	155	17,7	1512	7,162	0,102	10,7	1	0	1520
5	161	29	1533	11,829	0,105	17,4	1	0	1533
7	170	39,5	1563	16,342	0,110	23,7	1	0	1545

Графики модулей и аргументов А-параметров

График зависимости фазы A11 от частоты

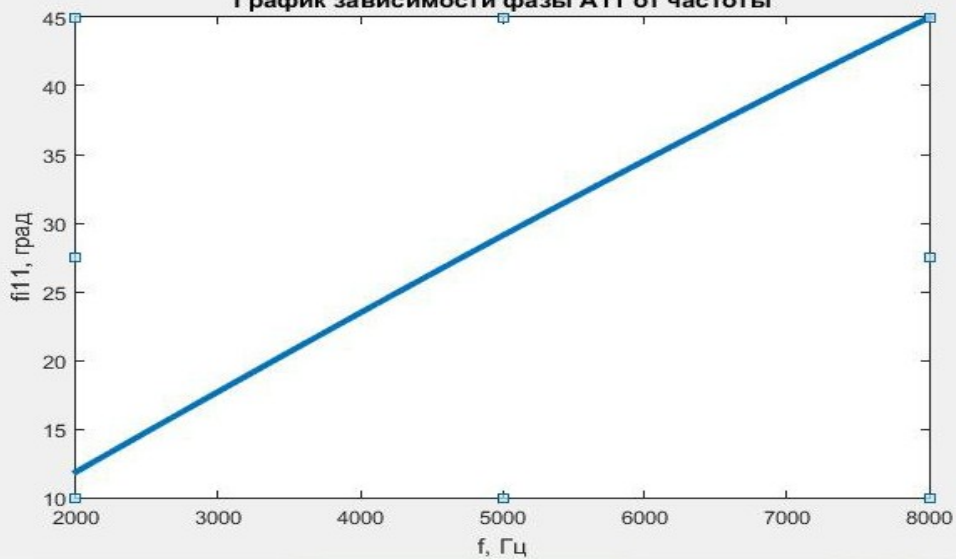


График зависимости $|A_{12}|$ от частоты

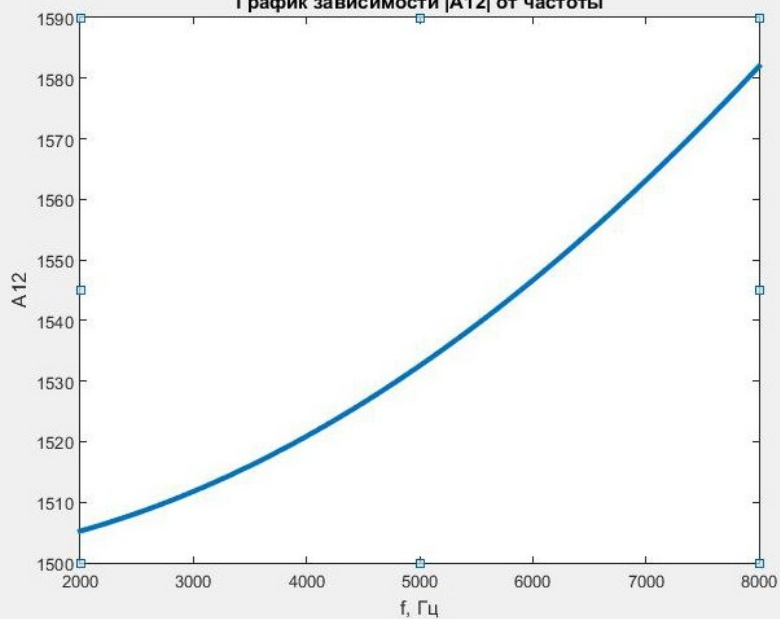


График зависимости фазы A12 от частоты

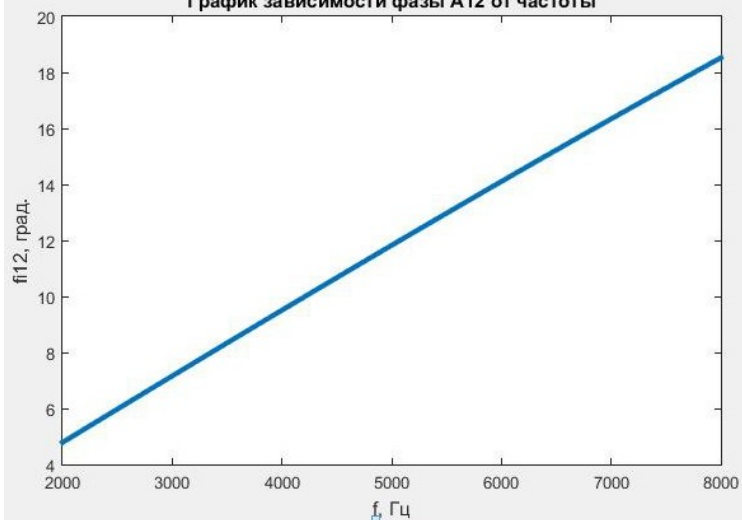


График зависимости $|A_{21}|$ от частоты

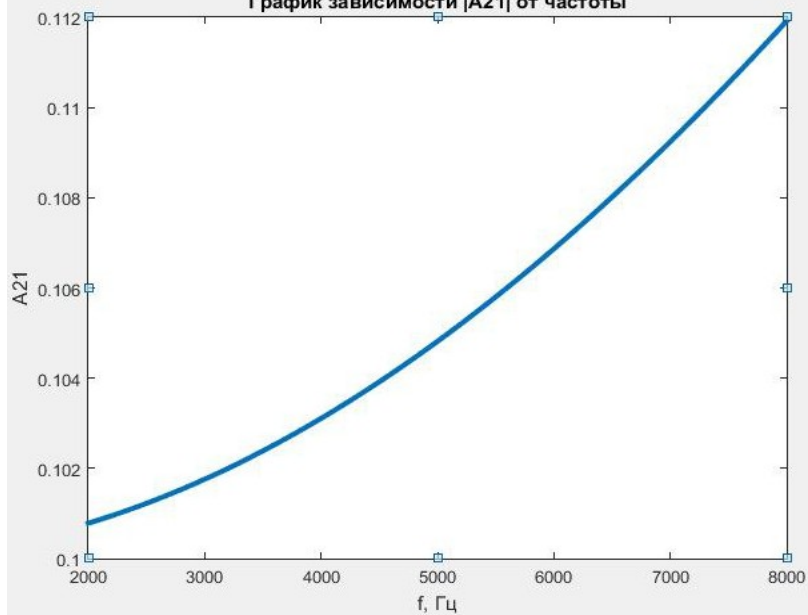


График зависимости фазы A21 от частоты

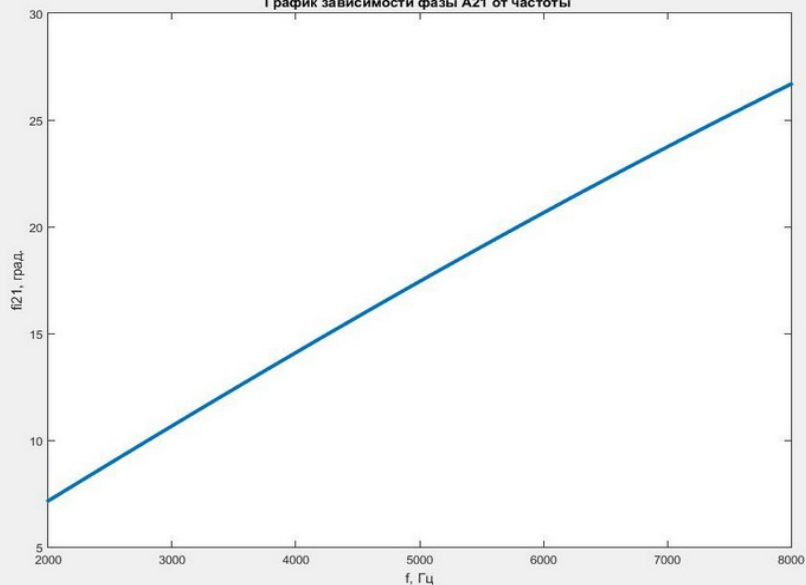
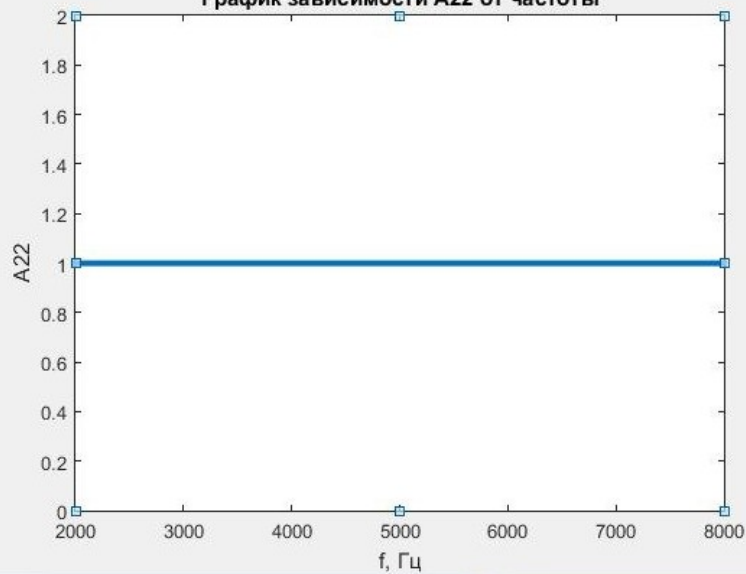
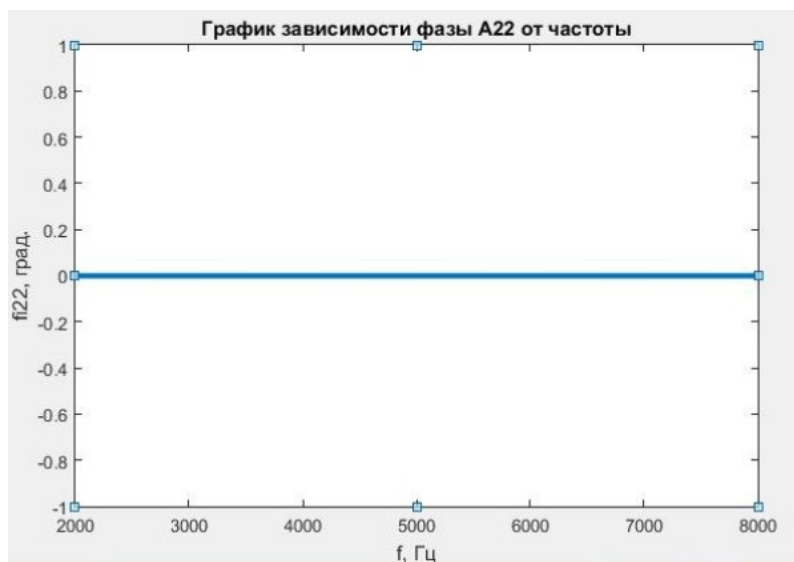


График зависимости A22 от частоты





Экспериментальная часть

Получим А-параметры пассивного линейного четырехполюсника (Рис.1) экспериментально. Для этого будем использовать режим холостого хода (A_{11} и A_{21}) и режим короткого замыкания (A_{12} и A_{22}). Соберем схему четырехполюсника в программе схемотехнического моделирования Micro-Cap (Рис. 3)

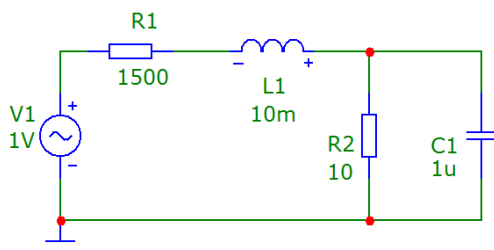
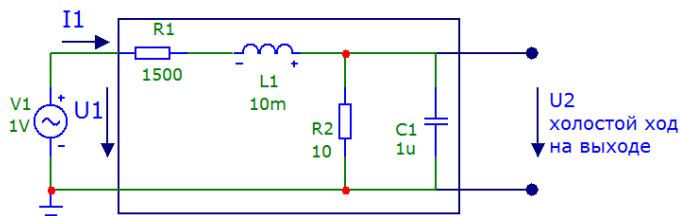


Рис.3

Определяем $\underline{A}_{11}$ и $\underline{A}_{21}$ параметры в режиме холостого хода:
Преобразуем схему (Рис.4)



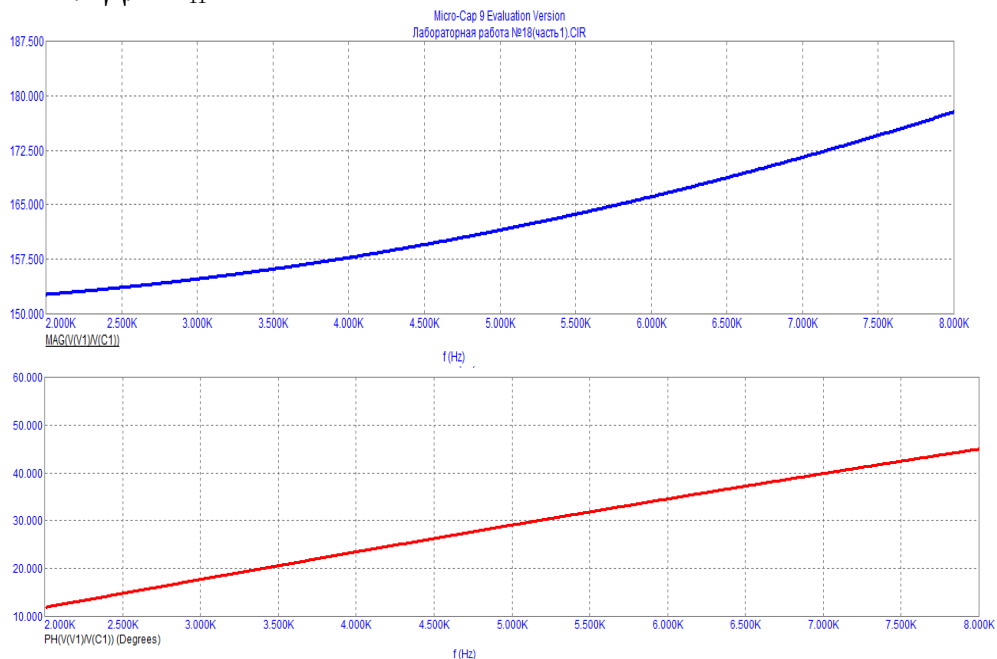
$$A_{11} = U_1/U_2, I_2 = 0$$

$$A_{21} = I_1/U_2, I_2 = 0$$

Рис.4

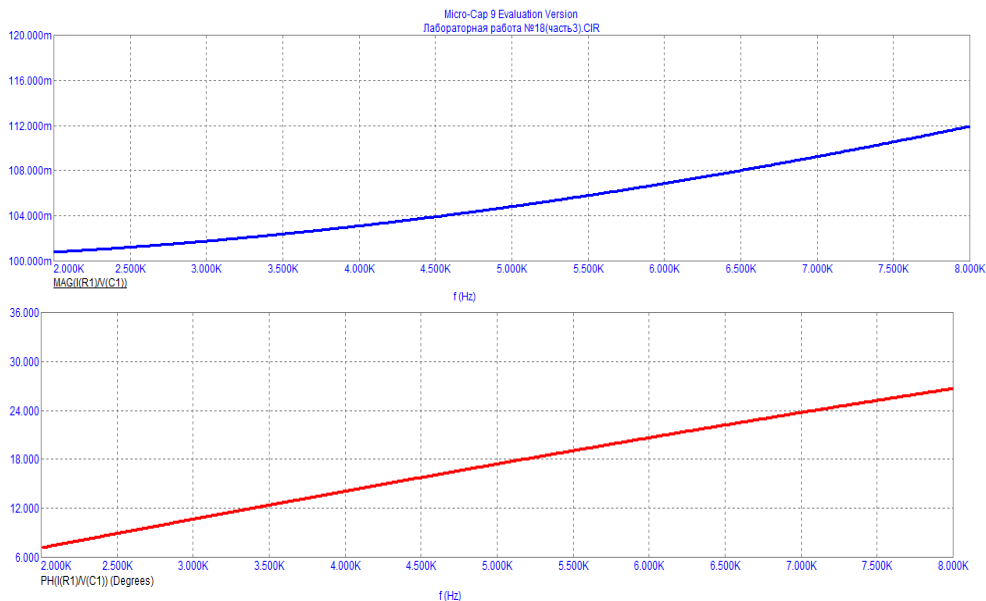
Строим графики для A_{11} и A_{21} параметров:

1. Для A_{11}



Вывод: с увеличением частоты увеличивается значение коэффициента A_{11} и его фаза.

2. Для A_{21}



Вывод: При увеличении частоты возрастает значение коэффициента $\underline{A}_{21}$ (проводимость) и значение его фазы. Определяем $\underline{A}_{12}$ и $\underline{A}_{22}$ параметры в режиме короткого замыкания: Преобразуем схему (Рис.7)

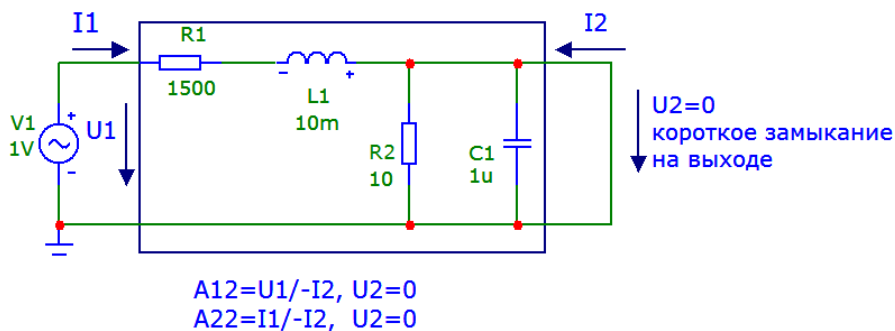
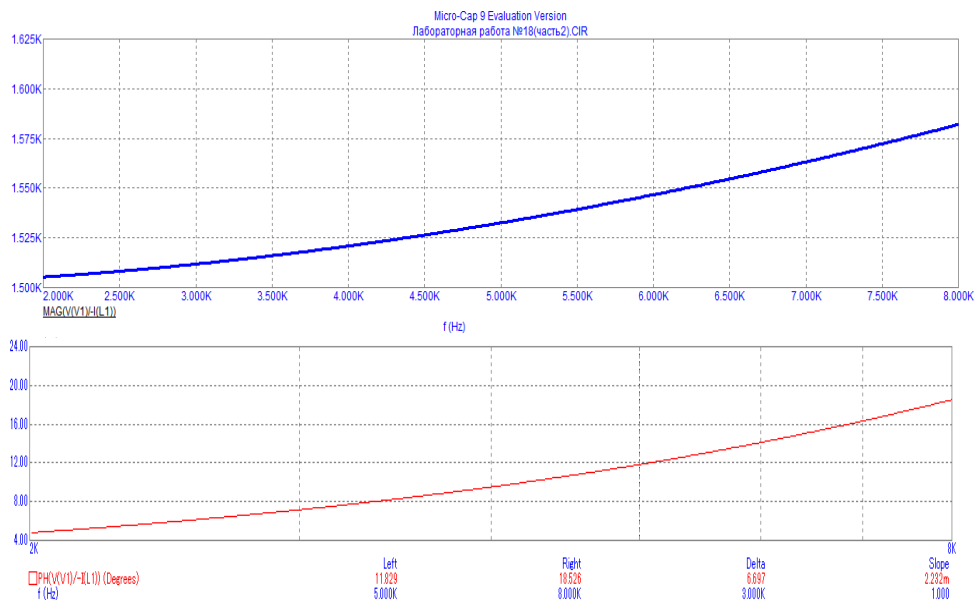


Рис.7

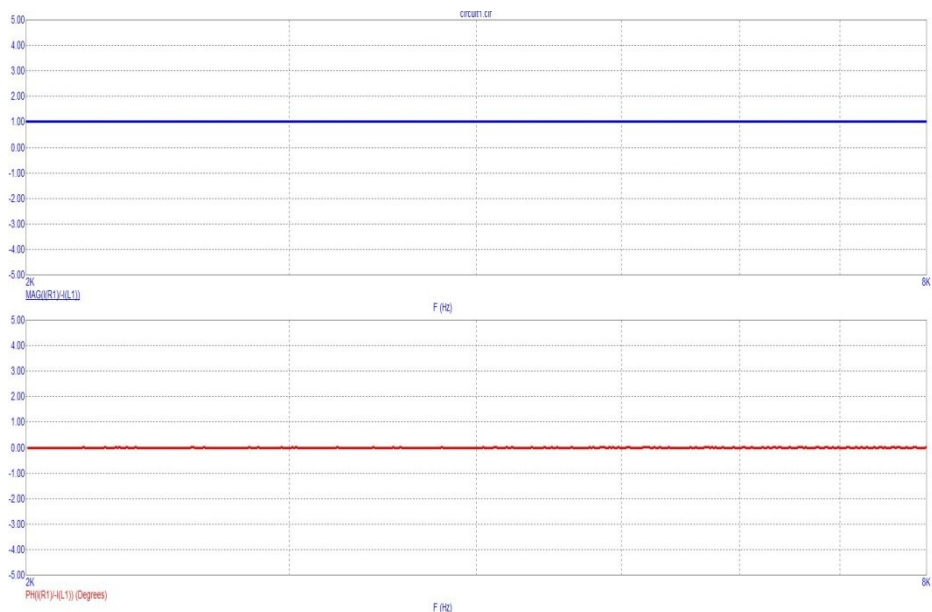
Строим графики для $\underline{A}_{12}$ и $\underline{A}_{22}$ параметров:

1. Для $\underline{A}_{12}$



Вывод: При увеличении частоты возрастает значение коэффициента $\underline{A}_{12}$ (сопротивление) и значение его фазы.

2. Для $\underline{A}_{22}$



Вывод: При увеличении частоты значение коэффициента $\underline{A}_{22}$ и значение его фазы остаются неизменными, поскольку $\underline{A}_{22} = \text{const}$.

Вопросы для самопроверки:

1. Каковы основные формы записи уравнений пассивного линейного четырехполюсника?

Форма	Уравнения
А-форма	$\dot{U}_1 = \underline{A}_{11}\dot{U}_2 + \underline{A}_{12}\dot{I}_2 ;$ $\dot{I}_1 = \underline{A}_{21}\dot{U}_2 + \underline{A}_{22}\dot{I}_2 ;$
Y-форма	$\dot{I}_1 = \underline{Y}_{11}\dot{U}_1 + \underline{Y}_{12}\dot{U}_2 ;$ $\dot{I}'_2 = \underline{Y}_{21}\dot{U}_1 + \underline{Y}_{22}\dot{U}_2 ;$
Z-форма	$\dot{U}_1 = \underline{Z}_{11}\dot{I}_1 + \underline{Z}_{12}\dot{I}'_2 ;$ $\dot{U}_2 = \underline{Z}_{21}\dot{I}_1 + \underline{Z}_{22}\dot{I}'_2 ;$

Н-форма	$\dot{U}_1 = \underline{H}_{11}\dot{I}_1 + \underline{H}_{12}\dot{U}_2 ;$ $\dot{I}'_2 = \underline{H}_{21}\dot{I}_1 + \underline{H}_{22}\dot{U}_2 ;$
G-форма	$\dot{I}_1 = \underline{G}_{11}\dot{U}_1 + \underline{G}_{12}\dot{I}'_2 ;$ $\dot{U}_2 = \underline{G}_{21}\dot{U}_1 + \underline{G}_{22}\dot{I}'_2 ;$
В-форма	$\dot{U}_2 = \underline{B}_{11}\dot{U}_1 + \underline{B}_{12}\dot{I}'_1 ;$ $\dot{I}'_2 = \underline{B}_{21}\dot{U}_1 + \underline{B}_{22}\dot{I}'_1 .$

2. Какие опыты необходимо выполнить для определения А-параметров четырехполюсника?

Необходимо выполнить 2 опыта: рассмотреть четырехполюсник в режиме холостого хода и в режиме короткого замыкания.

3. В каких единицах измеряются А, Z, Y, Н-параметры четырехполюсника?

А-параметры: $\underline{A}_{11}$ и $\underline{A}_{22}$ являются безразмерными; $\underline{A}_{12}$ измеряется в Омах(Ом); $\underline{A}_{21}$ измеряется в Сименсах(См)

Z-параметры измеряются в Омах (Ом)

Y-параметры измеряются в Сименсах (См)

Н-параметры: $\underline{H}_{12}$ и $\underline{H}_{21}$ являются безразмерными; $\underline{H}_{11}$ измеряется в Омах(Ом); $\underline{H}_{22}$ измеряется в Сименсах(См)

4. Напишите выражения, с помощью которых рассчитывают входное и выходное сопротивление четырехполюсника?

$$\underline{Z}_{\text{вх}} = \underline{Z}_1 + \underline{Z}_2$$

$$\underline{Z}_{\text{вых}} = \underline{Z}_2$$

5. Что называется, прямой передачей? Приведите пример.

Прямая передача – передача, происходящая от входа к выходу. Примером служит интегрирующая цепь (Рис.1)

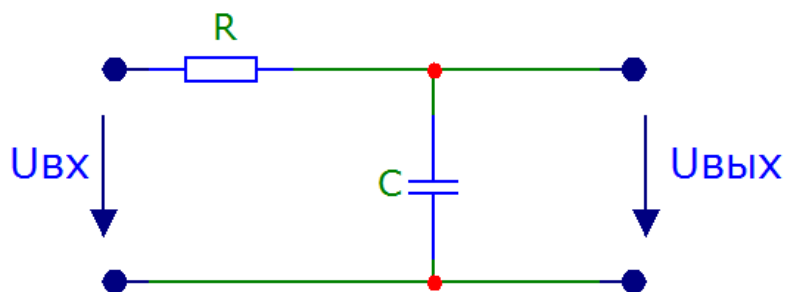


Рис.1

Форма отчета

1. Сделать выводы по параметрам
2. Ответить на контрольные вопросы