

# ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ЭЛЕКТРОНИКА

## Рабочая тетрадь

Преподаватель \_\_\_\_\_

Факультет \_\_\_\_\_

Студент \_\_\_\_\_

Группа \_\_\_\_\_ Вариант \_\_\_\_\_

Зачёт \_\_\_\_\_

«\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2021 г.

Москва 2021

УДК 621.3.01 (075.8)

**ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ЭЛЕКТРОНИКА:** Рабочая тетрадь/

А.В. Кравцов, Л.В. Навроцкая и А.В. — М.: ФГОУ ВПО МГАУ и НПО, 2021.

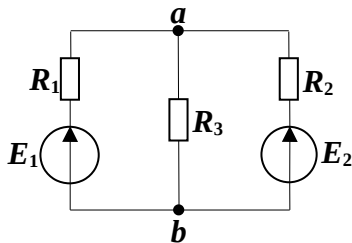
Рекомендуемая литература

1. Горбунов А.Н. и др. Электротехника. — М.: МГАУ, 2005.
2. Вольнский Б.Л. и др. Электротехника. — М.: Энергоатомиздат, 1987.

## ЧАСТЬ 1 ЛИНЕЙНЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЦЕПИ

### Семинар 1

Расчёт электрической цепи постоянного тока



1 Для заданной электрической цепи при:

$E_1=E_2=12\text{ В}$  и  $R_1=R_2=1\text{ Ом}$ ;  $R_3=2\text{ Ом}$

- рассчитать по законам Кирхгофа все токи в цепи;
- проверить выполнение первого закона Кирхгофа;
- составить баланс мощностей.

Расчёт цепи

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

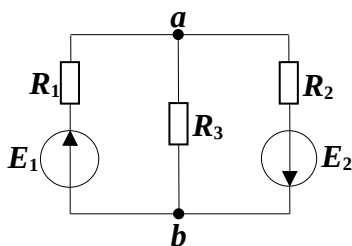
.....

(самостоятельно)

2 Для заданной электрической цепи при:

$E_1=E_2=12\text{ В}$  и  $R_1=R_2=1\text{ Ом}$ ;  $R_3=2\text{ Ом}$

- рассчитать по законам Кирхгофа все токи в цепи;
- проверить выполнение первого закона Кирхгофа;
- составить баланс мощностей.



Расчёт цепи

## САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА

Каждый студент выполняет четыре задачи, приводя в работе подробное решение с пояснениями, строит диаграммы и графики.

Номер задания, рисунка и исходные данные выбираются следующим образом. **Номер рисунка соответствует порядковому номеру в алфавите первой буквы фамилии. Если порядковый номер буквы – более 10, номер рисунка принимается соответствующим последней цифре** «А»номера фамилии. «Б» и «В» – соответствуют порядковым номерам в алфавите соответственно первых букв имени и отчества (если порядковые номера первых букв – более десяти, номера принимаются также по последней цифре).

Например, Ф.И.О. – Сергеев Владимир Петрович. С – 19; В – 3; П – 17; следовательно, принимаем А=9; Б =3; В =7.

Тогда исходные данные к первой задаче будут:

- номер рисунка с электрической схемой: 1–А, т.е. 1.9;
- значение ЭДС $E_1$ :  $10 + Б = 10 + 3 = 13$  В;
- значение ЭДС $E_2$ :  $20 + В = 20 + 7 = 27$  В;
- значение ЭДС $E_3$ :  $40 + А = 40 + 9 = 49$  В;
- сопротивление $R_1$ :  $1 + Б = 1 + 3 = 4$  Ом;
- сопротивление  $R_2$ :  $2 + В = 2 + 7 = 9$  Ом;
- сопротивление  $R_3$ :  $3 + А = 3 + 9 = 12$  Ом;
- сопротивление  $R_4$ :  $4 + Б + А = 4 + 3 + 9 = 16$  Ом;
- сопротивление  $R_5$ :  $5 + Б + В = 5 + 3 + 7 = 15$  Ом;
- сопротивление  $R_6$ :  $6 + А + В = 6 + 9 + 7 = 22$  Ом.

При выполнении РГР необходимо:

1. Соблюдать очередность задач, изложенных в задании.
  2. Приводить размерность всех величин в системе единиц СИ.
  3. Записывать конечные результаты вычислений не более чем с двумя знаками после запятой.
  4. Обеспечить при оформлении графического материала соответствие требованиям ЕСКД.
  5. Привести в конце работы перечень используемой литературы и дату выполнения работы.
- Расчетно-графические работы, не подписанные исполнителем, к рецензированию не принимаются.

### ЗАДАЧА 1

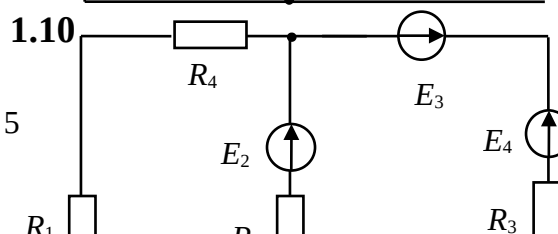
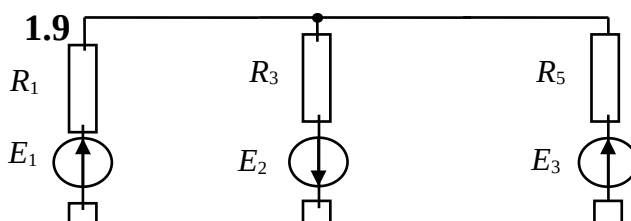
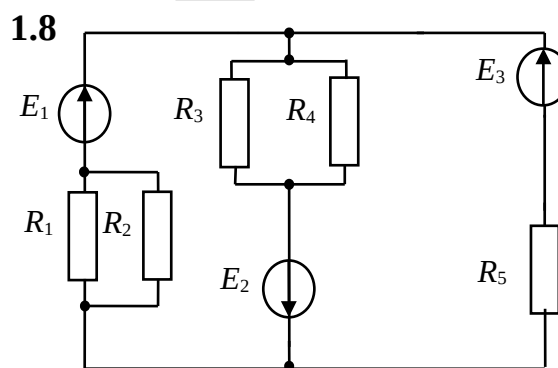
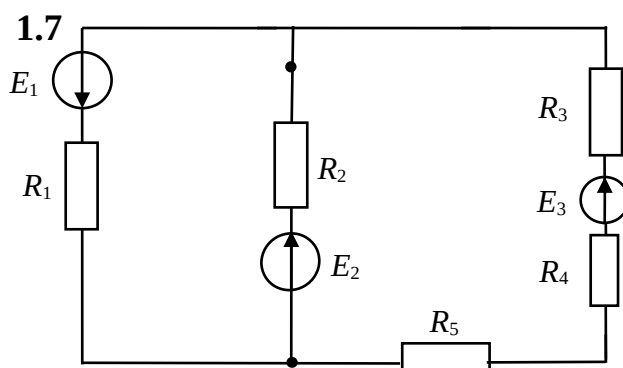
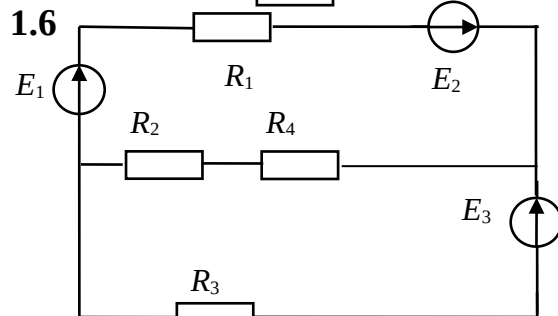
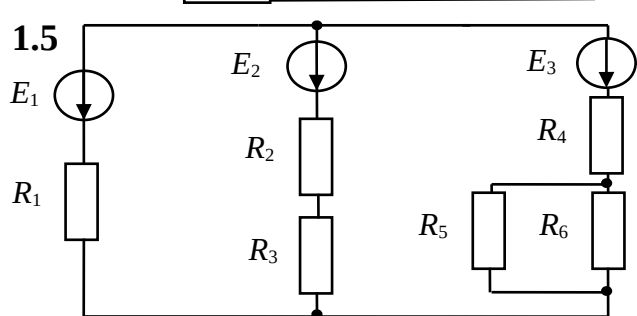
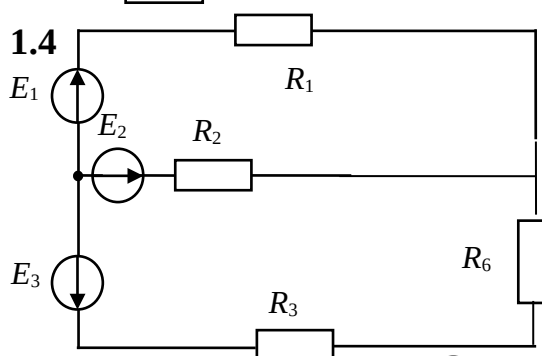
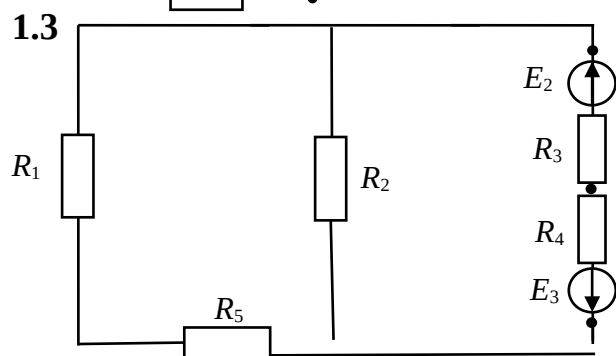
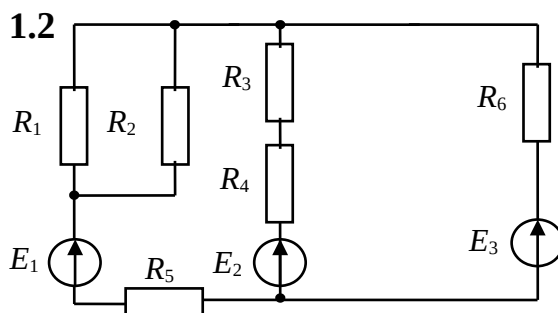
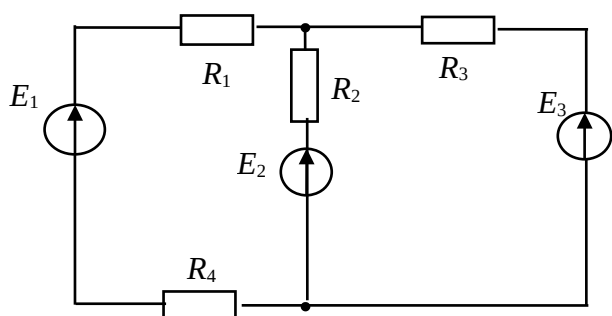
Выполнить указанные ниже задания для электрической схемы, изображенной на рис. 1.1–1.10, по данным таблицы 1.1:

1. Начертить электрическую схему и записать исходные данные в соответствии с вариантом.
2. Записать систему уравнений по первому и второму законам Кирхгофа, необходимую для определения токов в ветвях системы.

3. Определить напряжения в узлах методом узловых напряжений, предварительно упростив схему (если это необходимо преобразовать схему к трем узлам).
4. Проверить правильность решения, применив первый закон Кирхгофа.
5. Составить уравнение баланса мощности и проверить его.
6. Построить в масштабе потенциальную диаграмму для внешнего контура.

Таблица 1.1

№-рис.	$E_1, В$	$E_2, В$	$E_3, В$	$R_1, Ом$	$R_2, Ом$	$R_3, Ом$	$R_4, Ом$	$R_5, Ом$	$R_6, Ом$
1-А	$10+В$	$20+В$	$40+А$	$1 + В$	$2 + В$	$3 + А$	$4+В+А$	$5+В+В$	$6+В+А$





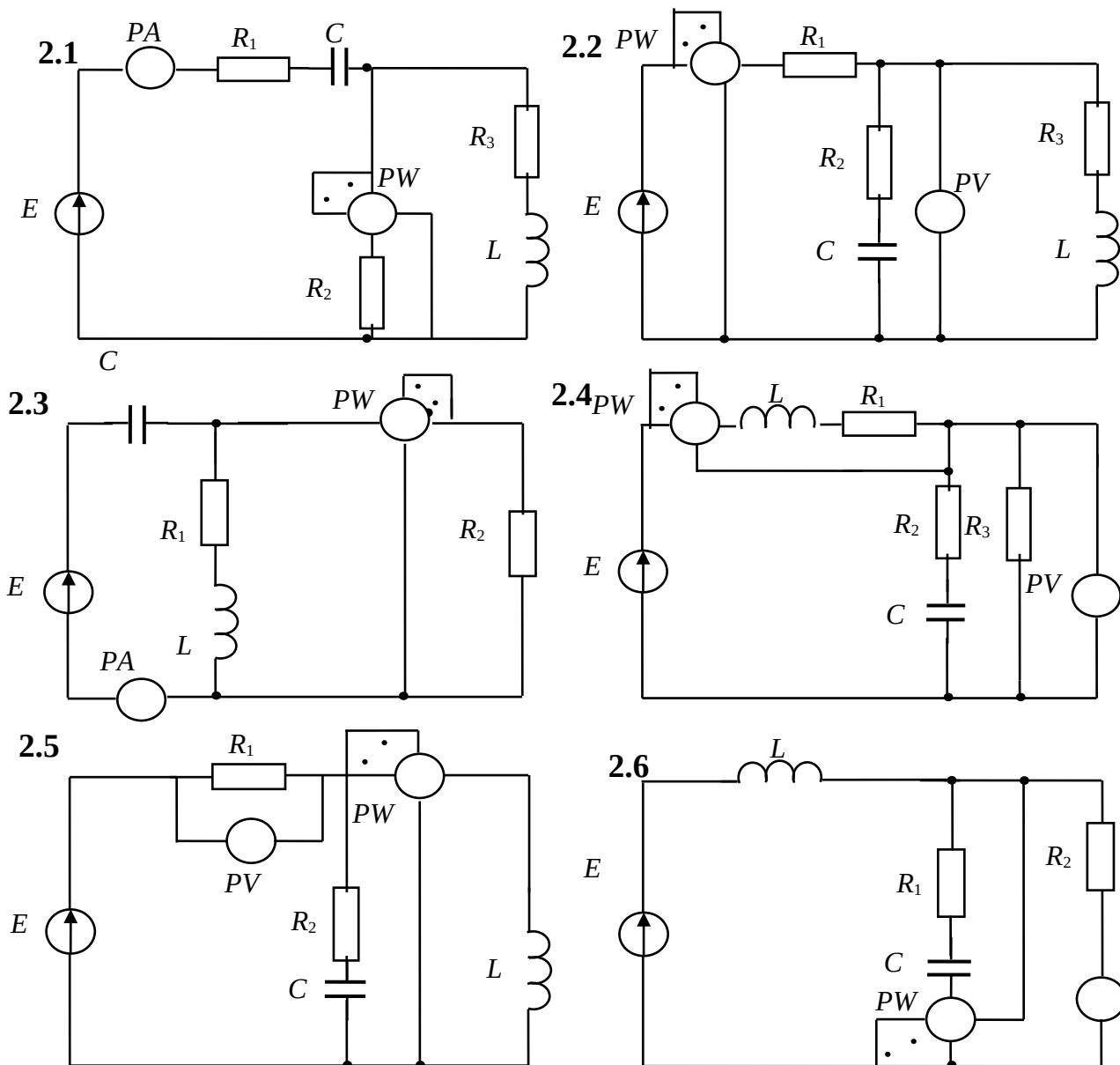
## ЗАДАЧА 2

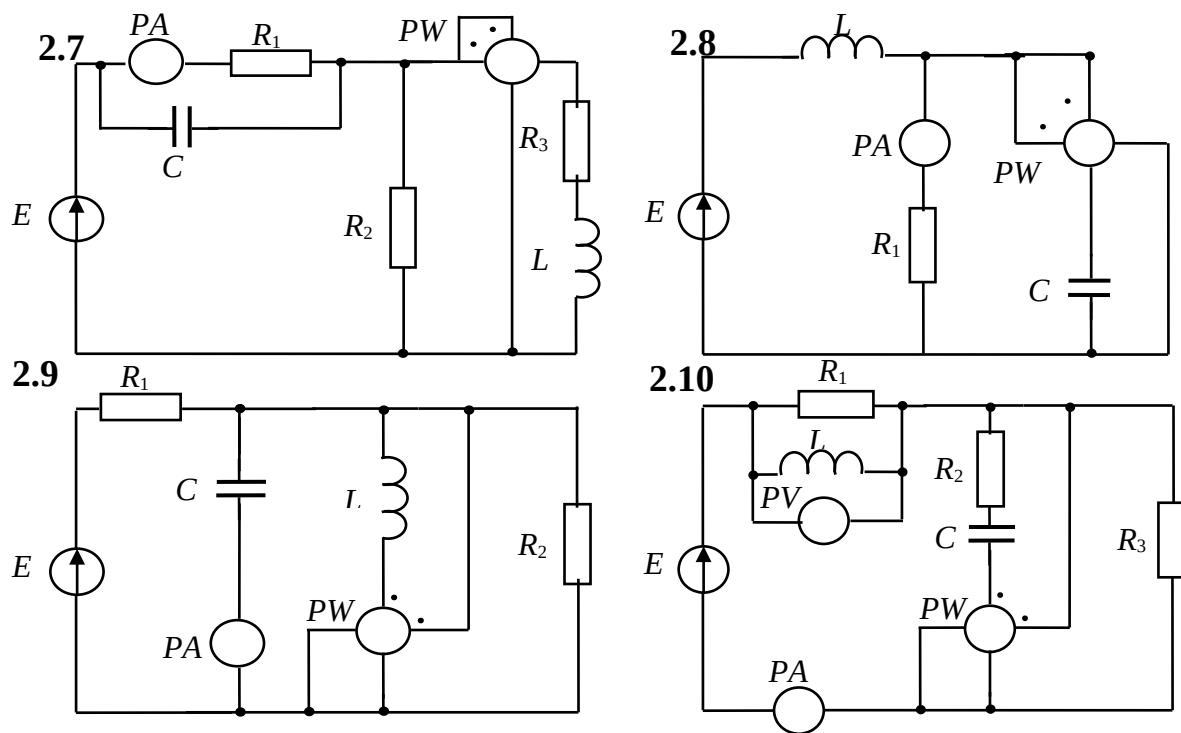
Выполнить указанные ниже задания для электрической схемы (рис.2.1–2.10) по данным таблицы 2.1.

- 1.Начертить схему и записать исходные данные в соответствии с вариантом.
- 2.Определить действующие значения токов в ветвях цепи и напряжений на отдельных участках.
- 3.Определить численные значения и знаки углов сдвига фаз токов и напряжений.
- 4.Записать мгновенные значения токов в ветвях цепи.
- 5.Составить уравнения баланса активной, реактивной и полной мощности и проверить их.
- 6.Построить векторную диаграмму токов.
- 7.Определить показания приборов.

Таблица 2.1.

№рисунка	$E, В$	$f, Гц$	$C, мкФ$	$L, мГн$	$R, Ом$
2 - А	$100 + 10 \times Б$	50	$300 + В$	$20 + А$	$4 + А + В$





### ЗАДАЧА 3.

Выполнить указанные ниже задания для трехфазной электрической цепи (рис. 3.1–3.10) по данным таблицы 3.1.

1. Определить действующие значения фазных и линейных токов, тока в нейтральном проводе (для четырехпроводной схемы), а также численные значения их фазовых углов, записать мгновенные значения этих токов.

2. Определить действующие значения фазных и линейных напряжений, а также численные значения и знаки их фазовых углов, значение угла сдвига фаз между напряжением и током каждой фазы, мгновенные значения этих напряжений.

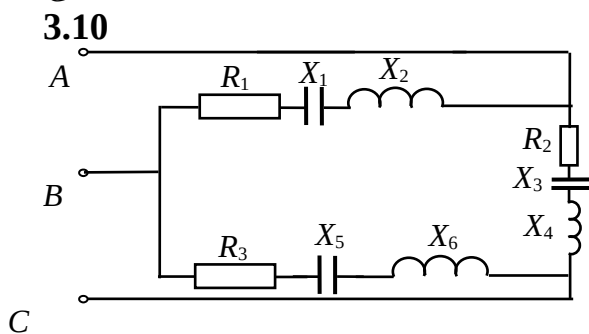
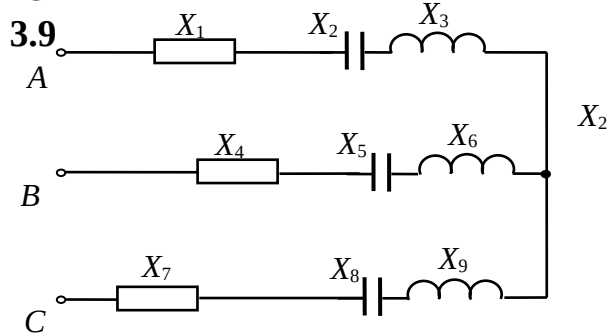
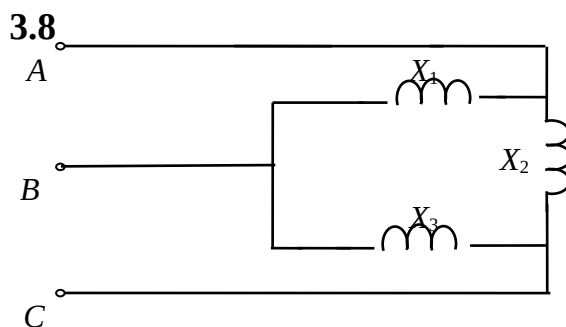
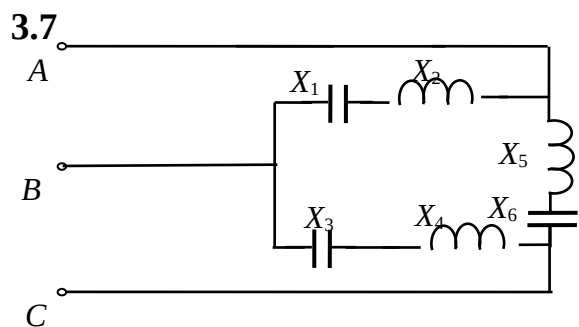
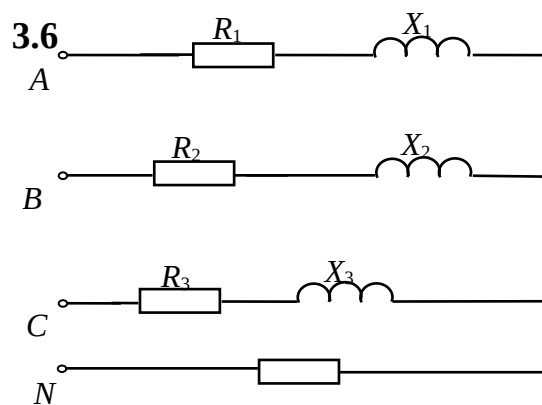
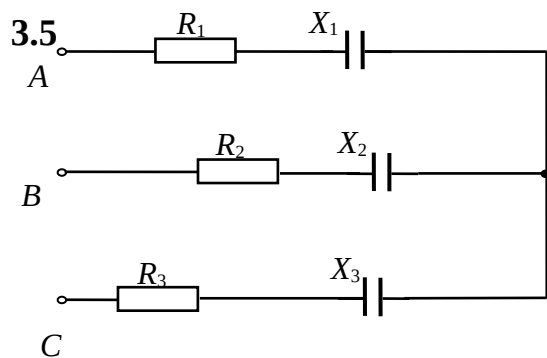
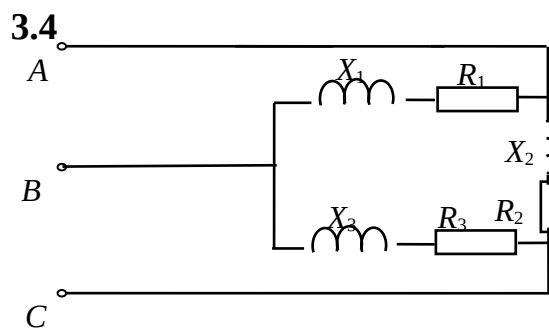
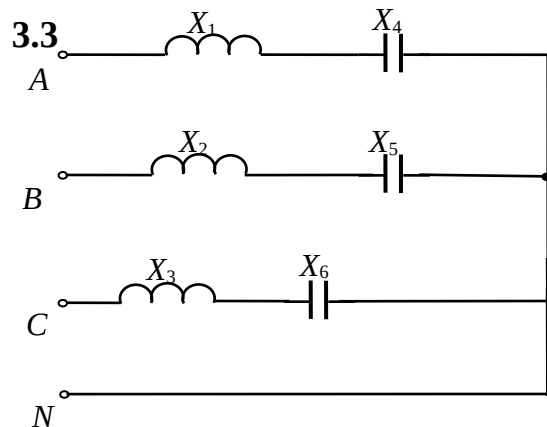
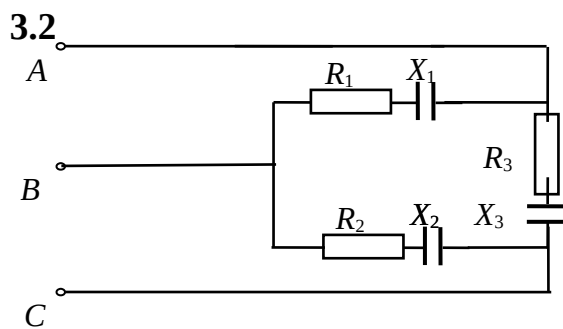
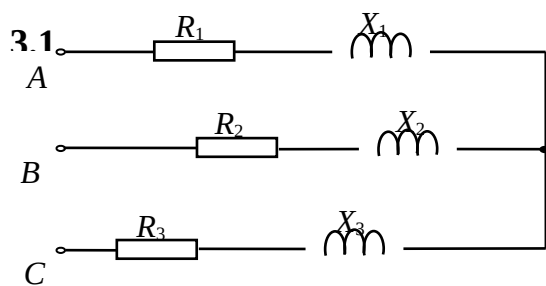
4. Определить активную, реактивную и полную мощность всей цепи и каждой фазы отдельно.

7. Построить совмещенную векторную диаграмму напряжений и токов.

Таблица 3.1.

№ рисунка	$U_n, \text{В}$	$f, \text{Гц}$	$R, \text{Ом}$	$X, \text{Ом}$
3–А	380	50	$20+B+B$	$50+A+B$

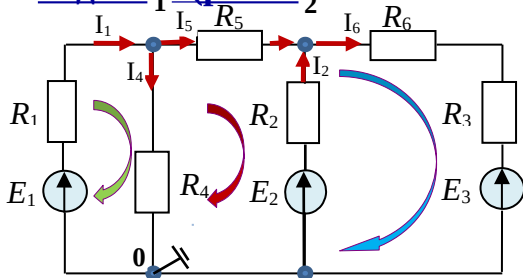




## Решение типовых задач

### Раздел 1. Линейные электрические цепи постоянного тока.

#### Задача 1 (рис. 1)



Задано:  $E_1=20$  В,  $E_2=30$  В,  $E_3=50$  В,  $R_1=5$  Ом,  $R_2=4$  Ом,  $R_3=2$  Ом,  $R_4=6$  Ом,  $R_5=R_6=10$  Ом.

При составлении уравнений Кирхгофа необходимо выполнить следующие действия: пронумеровать узлы, выбрать положительные направления токов и напряжений, выбрать систему независимых контуров и положительные направления их обхода.

для узлов:  $I_1 - I_4 - I_5 = 0$ ,  $I_2 + I_5 - I_6 = 0$

для контуров:  $u_1 - u_4 + u_5 = -E_2$ ,  $u_3 + u_2 + u_6 = E_2 - E_3$ .

По методу узловых напряжений, обозначая через  $\varphi_1$  и  $\varphi_2$  потенциалы первого и второго узла, получаем следующую систему уравнений:

$$\begin{aligned} (1/R_1 + 1/R_4 + 1/R_5)\varphi_1 - (1/R_5)\varphi_2 &= E_1/R_1 \\ -(1/R_5)\varphi_1 + (1/R_2 + 1/R_5 + 1/(R_3 + R_6))\varphi_2 &= E_2/R_2 + E_3/(R_3 + R_6). \end{aligned}$$

Подставляя, числа получаем:  $0.466\varphi_1 - 0.1\varphi_2 = 4$ ,  $-0.1\varphi_1 + 0.433\varphi_2 = 11.66$  (В).

Решая эту систему, определяем узловые потенциалы:  $\varphi_1 = 15.11$  (В),  $\varphi_2 = 30.43$  (В).

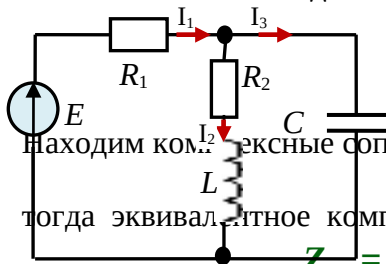
Найдем токи по закону Ома:  $I_1 = (E_1 - \varphi_1)/R_1 = 0.978$ ,  $I_2 = (E_2 - \varphi_2)/R_2 = -0.1075$  (А),

$I_3 = I_6 = (\varphi_2 - E_3)/(R_3 + R_6) = -1.63$ ,  $I_4 = \varphi_1/R_4 = 2.51$ ,  $I_5 = (\varphi_1 - \varphi_2)/R_5 = -1.532$  (А).

### Раздел 2. Линейные электрические цепи синусоидального тока.

#### Задача 2 (рис.2)

Задано:  $E=100$  В,  $f=50$  Гц,  $L=30$  мГн,  $R_1=5$  Ом,  $C=200$  мкф,  $R_2=2$  Ом.



Находим комплексные сопротивления индуктивности

и ёмкости:  $Z_C = 1/j\omega C = -j15.9$  (Ом);  $Z_L = j\omega L = j9.42$  (Ом),

тогда эквивалентное комплексное сопротивление цепи:

$$Z_{\text{экв}} = R_1 + (Z_C (R_2 + Z_L)) / (R_2 + Z_C + Z_L) = 15.99 + j19.73 \text{ (Ом)},$$

ток в цепи равен:  $I = E/Z_{\text{экв}} = 2.479 - j3.059$  (А),

$$U_{R1} = R_1 I = 12.39 - j15.29 \text{ (В)},$$

$$U_C = E - R_1 I = 87.61 + j15.29 \text{ (В)},$$

$$I_C = U_C/Z_C = -0.961 + j5.51 \text{ (А)},$$

$$I_L = I - I_C = 3.436 - j8.569 \text{ (А)},$$

$$U_{R2} = R_2 I_{R2} = 6.872 - j17.138 \text{ (В)},$$

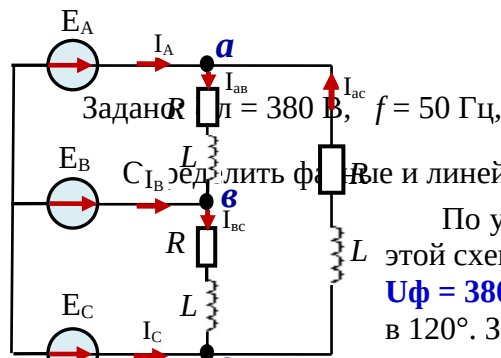
$$U_L = U_C - U_{R2} = 80.73 + j32.42 \text{ (В)},$$

Баланс мощностей:  $E I^* = U_{R1} I_{R1}^* + U_{R2} I_{R2}^* + U_L I_L^* + U_C I_C^* \text{ (ВА)},$

Подставляя значения, получаем  $247.9 + j305.9 = 247.9 + j305.5$ .

### Раздел 3. Трёхфазные цепи.

#### Задача 3 (рис. 3)



$R = 20$  Ом,  $X_L = 50$  Ом.

По условию задачи дано только линейное напряжение равно 380 В. Но в этой схеме треугольника линейное напряжение равно фазному и поэтому  $U_L = U_\phi = 380$  В. Фазные напряжения отличаются друг от друга фазами или углами в  $120^\circ$ . Запишем фазные напряжения для каждой фазы в показательном виде:

$U_{\phi A} = 380 \cdot e^{j0^\circ}$  (В);  $U_{\phi B} = 380 \cdot e^{-j120^\circ}$  (В);  $U_{\phi C} = 380 \cdot e^{+j120^\circ}$  (В).

Рис. 3. Трёхфазная симметричная система

Сопротивление одинаково в каждой фазе, определяется оно следующим образом:

$$\underline{Z} = \underline{R} + j\underline{X}_L = 20 + j50 = \sqrt{20^2 + 50^2} \cdot e^{j \arctg(X_L/R)} = 53,85 \cdot e^{j68,19^\circ} \text{ Ом}$$

Действующее значение тока в каждой фазе определяем по закону Ома:

$$\text{ток в фазе } \underline{ab} \text{ определяем: } \underline{I_{ab}} = \frac{U_{ab}}{Z} = \frac{380 \cdot e^{j0^\circ}}{53,85 \cdot e^{j68,19^\circ}} = 7,057 \cdot e^{-j68,19^\circ} \text{ А;}$$

$$\text{ток в фазе } \underline{bc} \text{ определяем: } \underline{I_{bc}} = \frac{U_{bc}}{Z} = \frac{380 \cdot e^{-j120^\circ}}{53,85 \cdot e^{j68,19^\circ}} = 7,057 \cdot e^{-j188,19^\circ} \text{ А;}$$

$$\text{ток в фазе } \underline{ac} \text{ определяем: } \underline{I_{ac}} = \frac{U_{ac}}{Z} = \frac{380 \cdot e^{j120^\circ}}{53,85 \cdot e^{j68,19^\circ}} = 7,057 \cdot e^{j51,81^\circ} \text{ А.}$$

Линейные токи в треугольнике больше фазных в корень из трёх и отстают от них на угол  $30^\circ$  т.е.:

$$\underline{I_L} = \sqrt{3} \cdot \underline{I_\Phi} \cdot e^{-j30^\circ}$$

$$\underline{I_{LA}} = \sqrt{3} \cdot \underline{I_{aB}} \cdot e^{-j30^\circ} = \sqrt{3} \cdot 7,057 \cdot e^{-j68,19^\circ} \cdot e^{-j30^\circ} = 12,209 \cdot e^{-j98,19^\circ} \text{ А;}$$

$$\underline{I_{LB}} = \sqrt{3} \cdot \underline{I_{bC}} \cdot e^{-j30^\circ} = \sqrt{3} \cdot 7,057 \cdot e^{-j188,19^\circ} \cdot e^{-j30^\circ} = 12,209 \cdot e^{-j218,19^\circ} \text{ А;}$$

$$\underline{I_{LC}} = \sqrt{3} \cdot \underline{I_{cA}} \cdot e^{-j30^\circ} = \sqrt{3} \cdot 7,057 \cdot e^{j51,81^\circ} \cdot e^{-j30^\circ} = 12,209 \cdot e^{j21,81^\circ} \text{ А;}$$

**Действующее значение линейных токов в корень из трех раз больше фазных.** Тогда векторная диаграмма будет иметь следующий вид (рис. 4).

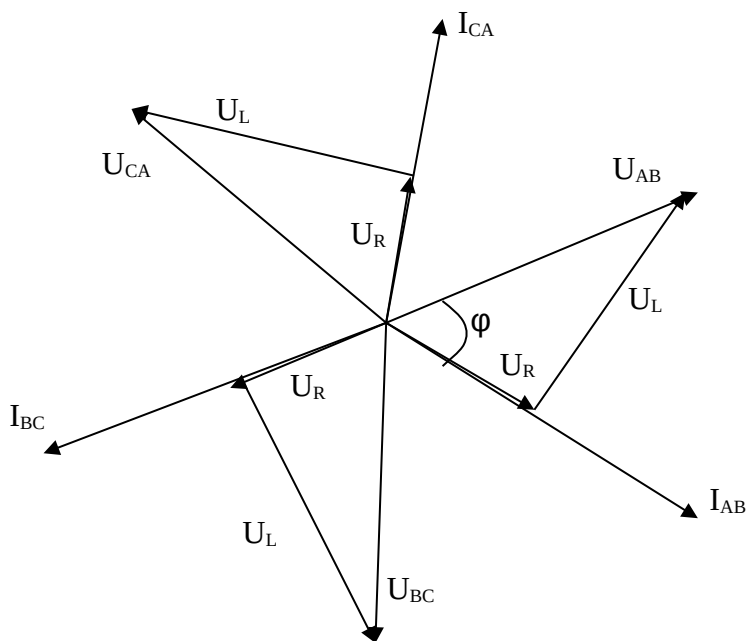


Рис. 4. Векторная диаграмма линейных напряжений и фазных токов.

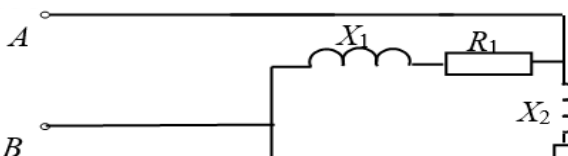
Мгновенные значения фазных токов следующие:

$$i_{AB}(t) = \sqrt{2} \cdot 7,057 \sin(\omega t - 68,19^\circ);$$

$$i_{BC}(t) = \sqrt{2} \cdot 7,057 \sin(\omega t - 188,19^\circ);$$

$$i_{CA}(t) = \sqrt{2} \cdot 7,057 \sin(\omega t + 51,81^\circ).$$

#### ЗАДАЧА № 4.





## Задача 1

Выполнить указанные ниже задания для электрической схемы, изображенной на рисунке 1, по данным таблицы 1:

Начертить электрическую схему и записать исходные данные в соответствии с вариантом.

Записать систему уравнений по первому и второму законам **Кирхгофа**, необходимую для определения токов в ветвях системы.

Определить токи в ветвях методом контурных токов, предварительно упростив (если это необходимо) схему.

Проверить правильность решения, используя первый закон Кирхгофа.

Составить уравнение баланса мощности и проверить его.

Построить в масштабе потенциальную диаграмму для внешнего контура.

Таблица 1 – Исходные данные **ПРИМЕР: А = 1, Б = 2, В = 3.**

$E_1, \text{В}$	$E_2, \text{В}$	$E_3, \text{В}$	$R_1, \text{Ом}$	$R_2, \text{Ом}$	$R_3, \text{Ом}$	$R_6, \text{Ом}$
$10+B=12$	$20+B=23$	$40+A=41$	$1+B=3$	$2+B=5$	$3+A=4$	$6+B+A=10$

1. Произвольно выбираем направление токов в ветвях. Ветвь-часть цепи от узла до узла и по ветви всегда протекает один и тот же ток. (Токи красим **красным** цветом).

2. Произвольно выбираем обходы контуров.

3. Если направление тока и обхода контура в ветви совпадают, то падение напряжения ( $U_R = I \cdot R$ , В) на сопротивлениях ветви берём со знаком **+**.

4. Если направление Э.Д.С. (Е-источник напряжения, В) и направление тока в ветви совпадают, то Э.Д.С. в уравнении 2 закона Кирхгофа берётся со знаком **+**.

5. По первому закону Кирхгофа составляем количество уравнений **равное числу узлов минус единица**.

6. По второму закону Кирхгофа составляем количество уравнений **равное числу независимых контуров**.

Решение:

1. Составим систему уравнений, необходимую для определения токов в цепи по законам Кирхгофа. Схема электрической цепи, изображенная на рис. 1, содержит 2 узла и 3 ветви. Для определения токов в ветвях исходной цепи по законам Кирхгофа необходимо составить:  $n-1=1$  уравнение по первому закону, где  $n$  – количество узлов в цепи;  $m=2$  уравнения по второму закону, где  $m$  – количество независимых контуров. Выбираем на схеме условно-положительные направления токов в ветвях (см. рис. 2). Составим уравнения по первому закону Кирхгофа для узла  $a$ ; по второму закону Кирхгофа – для контуров  $I, II$ . Направление обхода контуров показано на рисунке 2.

$$\begin{cases} I_1 + I_2 + I_3 = 0 \\ I_1(R_1 + R_6) - I_2 R_3 = E_1 - E_2, \\ -I_2 R_3 + I_3 R_2 = -E_2 + E_3. \end{cases}$$

Решаем эту систему уравнений методом подстановки или составляем матрицу и используем калькулятор. Если используем метод подстановки, то выражаем из первого уравнения ток  $I_1$  через ток  $I_2$  и ток  $I_3$  через ток  $I_2$  из третьего уравнения и оба выраженных тока подставляем в уравнение 1, решив его относительно одного неизвестного тока  $I_2$ . Затем вычислить и выраженные через  $I_2$  токи  $I_1$  и  $I_3$ .

Или составить матрицу, т.е. записать в каждом уравнении токи по возрастающей: на первое место поставить первый ток  $I_1$ , на второе ток  $I_2$  и на третье место поставить третий ток  $I_3$ , затем знак равенства и всё остальное после него. Если в уравнении нет какого либа тока, то на его место ставим 0 (нуль):

$$\begin{aligned} I_1 + I_2 + I_3 &= 0 \\ I_1(R_1 + R_6) - I_2 R_3 &= E_1 - E_2 \\ 0 - I_2 R_3 + I_3 R_2 &= -E_2 + E_3. \end{aligned}$$

Теперь записываем матрицу множителей при токах, оставляем неизменными Э.Д.С. после знака равенства:

$$\begin{aligned} 1 \quad 1 \quad 1 &= 0 \\ (R_1 + R_6) - R_3 &= E_1 - E_2 \\ 0 - R_3 R_2 &= -E_2 + E_3. \end{aligned}$$

Подставляем значения сопротивлений и Э.Д.С. в матрицу, получим:

$$1 \quad 1 \quad 1 = 0$$

$$(R_1 + R_6) - R_3 = E_1 - E_2$$

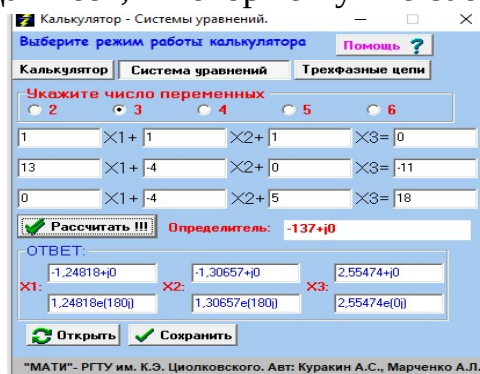
$$0 - R_3 R_2 = -E_2 + E_3.$$



Elcalc.exe

Щелкаем по нему дважды, и он открывается: мышкой щелкаем по надписи: система уравнений и появляются ячейки. Поскольку у нас с вами три уравнения, то нажимаем на цифру 3 выше ячеек. Появляются три ряда ячеек, в которые нужно забить ваши три ряда цифр матрицы:

$$\begin{aligned} 1 \quad 1 \quad 1 &= 0 \\ 13 \quad -4 \quad 0 &= -11 \\ 0 \quad -45 &= 18 \end{aligned}$$



Нажать кнопку рассчитать и в верхней

строчке результатов получаем токи: цифры до знака **+j0**.

Получаем токи:  $I_1 = -1,248 \text{ A}$ ,  $I_2 = -1,307 \text{ A}$ ,  $I_3 = 2,555 \text{ A}$ .

Если в процессе решения задачи ток получился со знаком минус, то это значит, что направление его было выбрано не верно и его нужно изменить на противоположное перечеркнув прежнее направление одной чертой и поставить новое противоположное направление тока, а значение тока взять со знаком плюс (+).

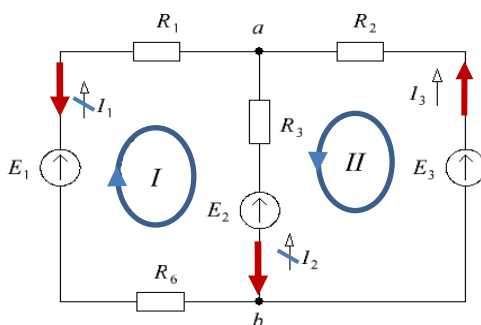


Рисунок 2 – Схема электрической цепи

2. Определим токи в ветвях, пользуясь методом контурных токов.

Выбираем направление контурных токов в соответствии с ранее выбранным направлением обхода контуров (см. рис. 2).

Для рассматриваемой двухконтурной цепи система уравнений относительно контурных токов, примет вид:

$$\begin{cases} I_{11} R_{11} + I_{22} R_{12} = E_{11}, \\ I_{11} R_{21} + I_{22} R_{22} = E_{22}, \end{cases}$$

Рассчитаем значения коэффициентов системы:

– собственные сопротивления контуров:

$$R_{11} = R_1 + R_3 + R_6 = 17 \text{ Ом}; R_{22} = R_2 + R_3 = 9 \text{ Ом}$$

– сопротивления на общей ветви:

$$R_{12} = R_{21} = R_3 = 4 \text{ Ом};$$

– контурные ЭДС:

$$E_{11} = E_1 - E_2 = -11 \text{ В}; E_{22} = -E_2 + E_3 = 18 \text{ В}.$$

После подстановки численных значений коэффициентов и необходимых преобразований система уравнений примет вид:

$$\begin{cases} 17 \cdot I_{11} + 4 \cdot I_{22} = -11 \\ 4 \cdot I_{11} + 9 \cdot I_{22} = 18 \end{cases}$$

В результате расчёта системы уравнений с использованием калькулятора получим:

$$I_{11} = -1,248 \text{ А}; I_{22} = 2,555 \text{ А}.$$

Поскольку в одной ветви протекает только один ток, то контурный ток  $I_{11}$  равен току ветви  $I_1 = -1,248 \text{ А}$ ; а контурный ток  $I_{22}$  равен току ветви  $I_3 = 2,555 \text{ А}$ .

Ток в смежной ветви равен сумме токов, если они по этой ветви текут в одну сторону и разности этих токов, если они по этой ветви текут в разные стороны, причём из большего тока всегда вычитают меньший. В данном случае если не изменять направление тока со знаком минус, токи будут течь в одну сторону по общей смежной ветви и поэтому ток в этой ветви будет равен сумме контурных токов:  $I_2 = I_{11} + I_{22} = 2,555 - 1,248 = 1,307 \text{ А}$ .

В результате расчётов токи в обоих случаях получились одинаковыми.

3. Проверим правильность решения, используя первый закон Кирхгофа.

Подставим полученные значения токов в уравнение, составленное по первому закону Кирхгофа:  $I_1 + I_2 + I_3 = 0$ , токи, входящие в узел всегда берём со знаком **+**, а токи, выходящие из узла со знаком **–** и получим равенство:  **$-1,248 - 1,307 + 2,555 = 0$** .

Равенство соблюдается, следовательно, токи определены, верно.

4. Составим баланс мощностей для исходной электрической цепи.

$$\sum_i E_i I_i = \sum_i I_i^2 R_i$$

Мощность источника напряжения, т.е. Э.Д.С. ( $P_{ист.} = E \cdot I$ ) берём со знаком плюс (**+**), если направление Э.Д.С. ( $E$ ) и направление тока ( $I$ ) в ветви совпадают, и минус, если не совпадают.

$$-E_1 \cdot I_1 - E_2 \cdot I_2 + E_3 \cdot I_3 = I_1^2 \cdot (R_1 + R_6) + I_2^2 \cdot R_3 + I_3^2 \cdot R_2$$



$-12 \cdot 1,248 - 23 \cdot 1,307 + 41 \cdot 2,555 = 1,248^2 \cdot 13 + 2,555^2 \cdot 5 + 1,307^2 \cdot 4$   
 $-14,976 - 30,061 + 104,755 = 20,248 + 32,64 + 6,833 = 59,718 \text{ Вт} \approx 59,721 \text{ Вт},$   
 баланс мощностей соблюдается, следовательно, задача решена правильно.

5. Построим в масштабе потенциальную диаграмму для внешнего контура.

Изобразим схему внешнего контура цепи и обозначим на ней дополнительные точки (см. рис. 3).

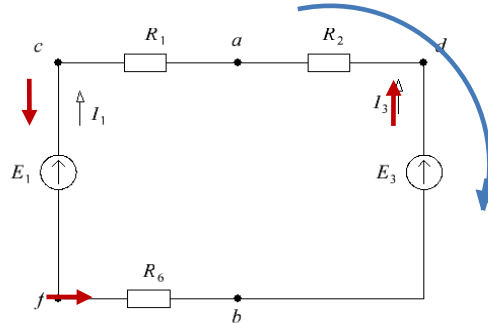


Рисунок 3 – Схема внешнего контура электрической цепи

Принимаем  $\varphi_a = 0$

При расчёте потенциалов контура применяется исключение из правила:

Если токи обходят контур в одном направлении, то падение напряжения на сопротивлении ( $U_R = I \cdot R$ ) берётся со знаком минус (-).

Определим потенциалы точек внешнего контура цепи:

$$\begin{aligned}
 \varphi_d &= \varphi_a + I_3 \cdot R_2 = 0 + 2,555 \cdot 5 = 12,775 \text{ В}, \\
 \varphi_b &= \varphi_d - E_3 = 12,775 - 41 = -28,225 \text{ В}, \\
 \varphi_f &= \varphi_b + I_1 \cdot R_6 = -28,225 + 1,248 \cdot 10 = -15,745 \text{ В}, \\
 \varphi_c &= \varphi_f + E_1 = -15,745 + 12 = -3,745 \text{ В}, \\
 \varphi_a &= \varphi_c - I_1 \cdot R_1 = -3,745 + 1,248 \cdot 3 = 3,744 \approx 0.
 \end{aligned}$$

Потенциальная диаграмма по внешнему контуру цепи изображена на рис.4.

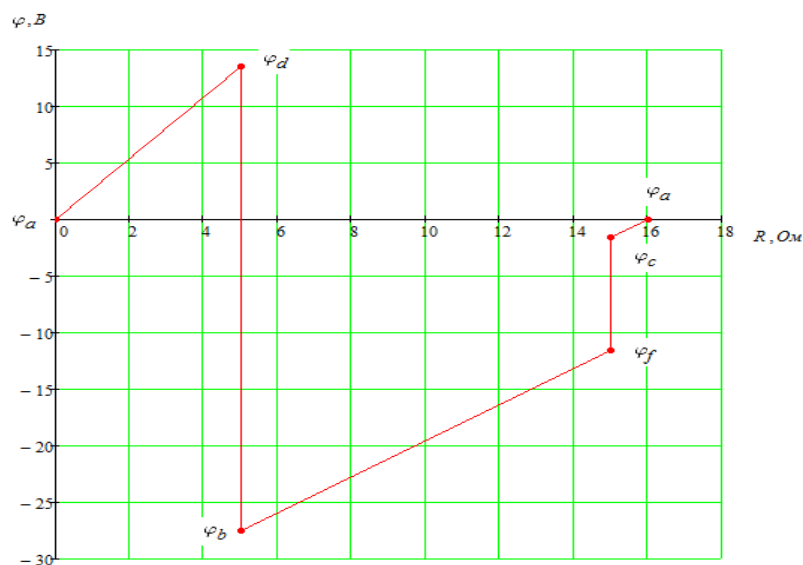


Рисунок 4 – Потенциальная диаграмма внешнего контура цепи



## Задача 2

Выполнить указанные ниже задания для электрической схемы (рис. 5) по данным таблицы 2.

Начертить схему и записать исходные данные в соответствии с вариантом.

Определить действующие значения токов в ветвях цепи и напряжений на отдельных участках.

Определить численные значения и знаки углов сдвига фаз токов и напряжений.

Записать мгновенные значения токов в ветвях цепи.

Составить уравнения баланса активной, реактивной и полной мощности и проверить их.

Построить векторную диаграмму токов.

Определить показания приборов.

Таблица 2 – Исходные данные

$E, В$	$f, Гц$	$C, мкФ$	$L, мГн$	$R, Ом$
$100 + 10 \times B$	50	$300 + B$	$20 + A$	$4 + A + B$
100	50	303	21	8

**A = 1, B = 0, B = 3.**

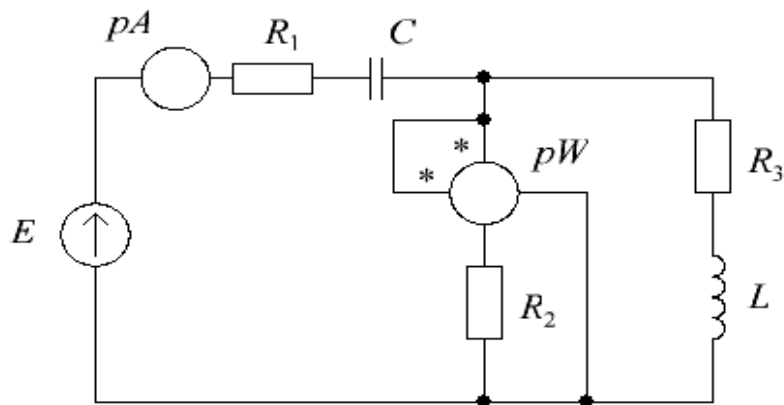


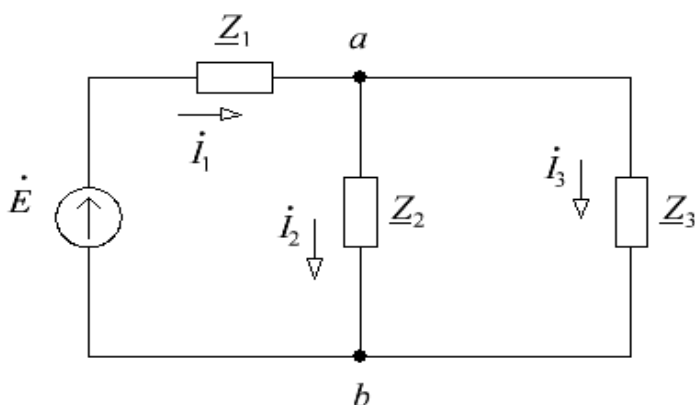
Рисунок 5 – Схема электрической цепи

Решение:

1. Составим схему замещения исходной цепи, обозначим токи в ветвях (см. рис. 6).

Определим сопротивления реактивных элементов:

$$X_L = 2\pi fL = 2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 21 \times 10^{-3} = 6,597 \text{ Ом},$$



$$X_C = \frac{1}{2\pi fC} = \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 303 \times 10^{-6}} = 10,505 \text{ Ом.}$$

Рисунок 6 – Схема замещения

электрической цепи

$$Z_2 = R_2 = 8 \text{ Ом,}$$

$$Z_3 = R_3 + jX_L = 8 + j6,597 = 10,369 e^{j39,5^\circ} \text{ Ом.}$$

Определим сопротивления ветвей цепи:

$$Z_1 = R_1 - jX_C = 8 - j10,505 = 13,205 e^{-j52,7^\circ} \text{ Ом.}$$

2. Определим действующие значения токов в ветвях цепи.

Так как цепь имеет один источник, расчет токов целесообразно проводить методом преобразований.

Определим общее сопротивление параллельно соединенных  $Z_2$  и  $Z_3$ :

$$Z_{23} = \frac{Z_2 Z_3}{Z_2 + Z_3} = \frac{8 \cdot 10,369 e^{j39,5^\circ}}{8 + 8 + j6,597} = 4,793 e^{j17,1^\circ} = 4,581 + j1,41 \text{ Ом.}$$

Общее сопротивление цепи относительно зажимов источника определим как общее сопротивление последовательно соединенных  $Z_1$  и  $Z_{23}$ :

$$Z_{ЭКВ} = Z_1 + Z_{23} = 8 - j10,505 + 4,581 + j1,41 = 12,581 - j9,096 = 15,525 e^{-j35,9^\circ} \text{ Ом.}$$

Определим по закону Ома ток  $I_1$ :

$$I_1 = \frac{E}{Z_{ЭКВ}} = \frac{100}{15,525 e^{-j35,9^\circ}} = 6,441 e^{j35,9^\circ} = 5,22 + j3,774 \text{ А.}$$

Определим напряжение между узлами  $a$  и  $b$ :

$$U_{ab} = I_1 Z_{23} = 6,441 e^{j35,9^\circ} \cdot 4,793 e^{j17,1^\circ} = 30,875 e^{j53^\circ} = 18,595 + j24,647 \text{ В.}$$

Определим по закону Ома токи  $I_2$  и  $I_3$ :

$$I_2 = \frac{U_{ab}}{Z_2} = \frac{30,875 e^{j53^\circ}}{8} = 3,859 e^{j53^\circ} = 2,324 + j3,081 \text{ А.}$$

$$I_3 = \frac{U_{ab}}{Z_3} = \frac{30,875 e^{j53^\circ}}{10,369 e^{j39,5^\circ}} = 2,977 e^{j13,5^\circ} = 2,896 + j0,693 \text{ А,}$$

3. Определим действующие значения падений напряжений на каждом элементе электрической цепи.

$$U_{R1} = I_1 \cdot R_1 = 6,441 e^{j35,9^\circ} \cdot 8 = 51,531 e^{j35,9^\circ} = 41,76 + j30,191 \text{ В,}$$

$$U_C = I_1 \cdot (-jX_C) = 6,441 e^{j35,9^\circ} \cdot 10,505 e^{-j90^\circ} = 67,668 e^{-j54,1^\circ} = 39,645 - j54,838 \text{ В,}$$

$$U_{R2} = U_{ab} = 30,875 e^{j53^\circ} = 18,595 + j24,647 \text{ В.}$$

$$U_{R3} = I_3 \cdot R_3 = 2,977 e^{j13,5^\circ} \cdot 8 = 23,82 e^{j13,5^\circ} = 23,166 + j5,543 \text{ В,}$$

$$U_L = I_3 \cdot jX_L = 2,977 e^{j13,5^\circ} \cdot 6,597 e^{j90^\circ} = 19,643 e^{j103,5^\circ} = -4,571 + j19,104 \text{ В,}$$

4. Определим численные значения и знаки углов сдвига фаз токов и напряжений:

$$\phi = \arcsin \frac{X_{ЭКВ}}{Z_{ЭКВ}} = \arcsin \frac{-9,096}{15,525} = -35,9^\circ,$$

$$\phi_1 = \arcsin \frac{-X_C}{Z_1} = \arcsin \frac{-10,505}{13,205} = -52,7^\circ,$$

$$\phi_2 = \arcsin \frac{0}{Z_2} = \arcsin \frac{0}{8} = 0^\circ,$$

$$\phi_3 = \arcsin \frac{X_L}{Z_3} = \arcsin \frac{6,597}{10,369} = 39,5^\circ.$$

5. Запишем мгновенные значения токов в ветвях цепи:

$$i_1(t) = 6,441\sqrt{2} \sin(314t + 35,7^\circ) \text{ А},$$

$$i_2(t) = 3,859\sqrt{2} \sin(314t + 53^\circ) \text{ А},$$

$$i_3(t) = 2,977\sqrt{2} \sin(314t + 13,5^\circ) \text{ А},$$

$$\text{где } \omega = 2\pi f = 2\pi \cdot 50 = 314 \text{ рад/с.}$$

6. Составим балансы активной, реактивной и полной мощностей.

Определим полную мощность цепи, отдаваемую источником в комплексном виде:

$$\tilde{S}_{И} = E \tilde{I}_1 = 100 \cdot 6,441 e^{-j35,9^\circ} = 644,1 e^{-j35,9^\circ} = 522,005 - j377,383 \text{ ВА},$$

где  $\tilde{I}_1$  - комплексно-сопряженный ток.

Определим активную, реактивную и полную мощности, потребляемые цепью:

- суммарная активная мощность приемников:

$$P_{np} \sum \tilde{I} = I_1^2 R_1 + I_2^2 R_2 + I_3^2 R_3 = 6,441^2 \cdot 8 + 3,859^2 \cdot 8 + 2,977^2 \cdot 8 = 522,005 \text{ Вт},$$

- суммарная реактивная мощность приемников:

$$Q_{np} \sum \tilde{I} = I_1^2 (-X_C) + I_3^2 X_L = 6,441^2 \cdot (-10,505) + 2,977^2 \cdot 6,597 = -377,383 \text{ вар.}$$

- полная мощность приемников:

$$S_{np} \sum \tilde{I} = \sqrt{P_{np}^2 \sum \tilde{I}^2 + Q_{np}^2 \sum \tilde{I}^2} = \sqrt{522,005^2 + (-377,383)^2} = 644,132 \text{ ВАр.}$$

Из проведенных вычислений следует, что баланс мощностей соблюдается:

$$P_{ист} = P_{пр}, Q_{ист} = Q_{пр}, S_{ист} = S_{пр}.$$

7. Построим в масштабе векторные диаграммы токов и напряжений (см. рис. 7).

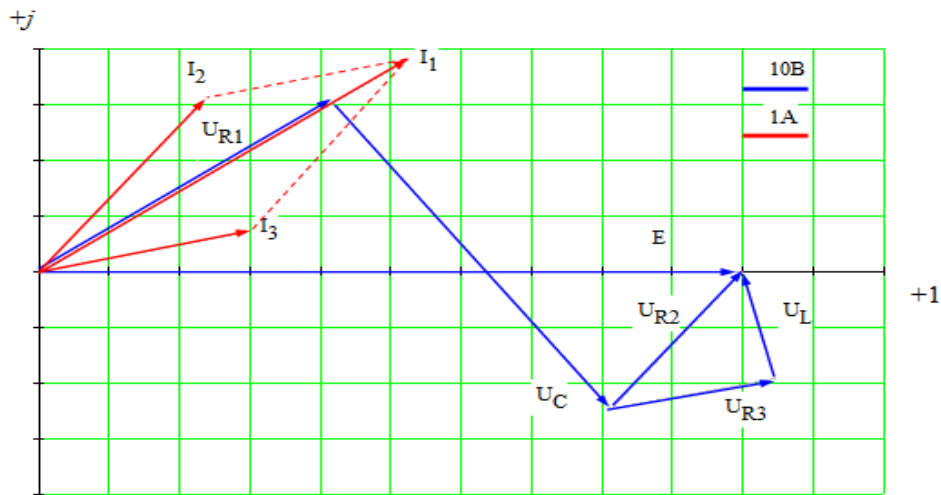


Рисунок 7 – Векторная диаграмма токов и напряжений

8. Определим показание амперметра.

Амперметр покажет действующее значение тока в первой ветви:

$$I_A = I_1 = 6,441 \text{ А.}$$

9. Определим показание ваттметра.

Ваттметр измеряет активную мощность, потребляемую сопротивлением  $R_2$ .

$$P_w = I_2 U_{ab} \cos \phi = 3,859 \cdot 30,875 \cdot 1 = 119,156 \text{ Вт,}$$

где  $\phi = 0$  – угол сдвига фаз между напряжением  $\dot{U}_{ab}$  и током  $\dot{I}_2$ .

### Задача 3

Выполнить указанные ниже задания для трехфазной электрической цепи (рис. 8) по данным таблицы 3.

1. Определить действующие значения фазных и линейных токов, тока в нейтральном проводе (для четырехпроводной схемы), а также численные значения и знаки углов сдвига фаз, записать мгновенные значения этих токов.

2. Определить активную мощность всей цепи и каждой фазы отдельно.

Таблица 3 – Исходные данные

$$A = 1, \quad B = 0, \quad V = 3$$

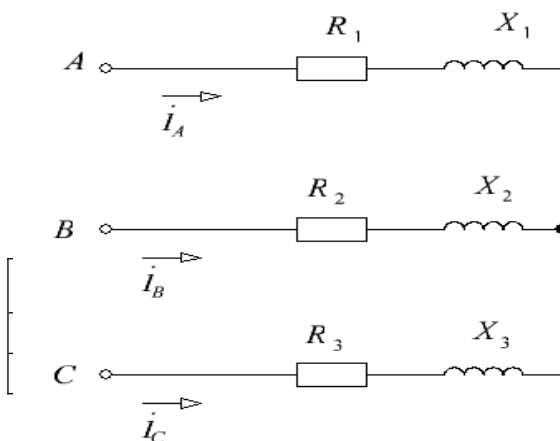


Рисунок 8. Схема электрической цепи

Построить совмещенную векторную диаграмму напряжений и токов (только для симметричного режима).

Решение:

1. Определим фазные напряжения

	$R, \text{ Ом}$	$X, \text{ Ом}$
	$20 + B + V$	$50 + A + B$
	23	54

2. источника в комплексном виде:

$$\dot{U}_A = \frac{\dot{U}_L}{\sqrt{3}} = \frac{380}{\sqrt{3}} = 219,393 \text{ В,}$$

$$\begin{aligned}\dot{U}_B &= \dot{U}_A e^{-j120^\circ} = 219,393 e^{-j120^\circ} = -109,697 - j190 \\ \dot{U}_C &= \dot{U}_A e^{j120^\circ} = 219,393 e^{j120^\circ} = -109,697 + j190 \text{ В.}\end{aligned}$$

2. Определим в комплексном виде полные сопротивления каждой фазы с учетом характера элементов:

$$\underline{Z}_a = \underline{Z}_b = \underline{Z}_c = R + jX_L = 23 + j54 = 58,694 e^{j66,9^\circ} \text{ Ом.}$$

3. Так как нагрузка симметрична, напряжение смещения нейтрали равно нулю.

4. Определим фазные и линейные токи в трехфазной цепи по закону Ома:

$$\dot{I}_A = \frac{\dot{U}_A}{\underline{Z}_a} = \frac{219,393}{58,694 e^{j66,9^\circ}} = 3,738 e^{-j66,9^\circ} = 1,465 - j3,439 \text{ А,}$$

$$\dot{I}_B = \frac{\dot{U}_B}{\underline{Z}_b} = \frac{219,393 e^{-j120^\circ}}{58,694 e^{j66,9^\circ}} = 3,738 e^{j173,1^\circ} = -3,711 + j0,451 \text{ А,}$$

$$\dot{I}_C = \frac{\dot{U}_C}{\underline{Z}_c} = \frac{219,393 e^{j120^\circ}}{58,694 e^{j66,9^\circ}} = 3,738 e^{j53,1^\circ} = 2,246 + j2,988 \text{ А.}$$

5. Углы сдвига фаз между напряжениями и фазными токами:

$$\phi_a = \phi_b = \phi_c = \arcsin \frac{R}{Z} = \arcsin \frac{23}{58,694} = 66,9^\circ.$$

6. Запишем мгновенные значения токов в ветвях цепи:

$$i_A(t) = 3,738 \sqrt{2} \sin(314t - 66,9^\circ) \text{ А,}$$

$$i_B(t) = 3,738 \sqrt{2} \sin(314t + 173,1^\circ) \text{ А,}$$

$$i_C(t) = 3,738 \sqrt{2} \sin(314t + 53,1^\circ) \text{ А,}$$

$$\text{где } \omega = 2\pi f = 2\pi \cdot 50 = 314 \text{ рад/с.}$$

7. Определим активную мощность во всей цепи и каждой фазе отдельно. С учетом симметрии нагрузки:

$$P_A = P_B = P_C = I_A^2 R = 3,738^2 \cdot 23 = 321,355 \text{ Вт,}$$

$$P_{np \Sigma} = 3 P_A = 3 \cdot 321,355 = 964,064 \text{ Вт.}$$

8. Построим векторную диаграмму токов и топографическую диаграмму напряжений (см. рис. 9).

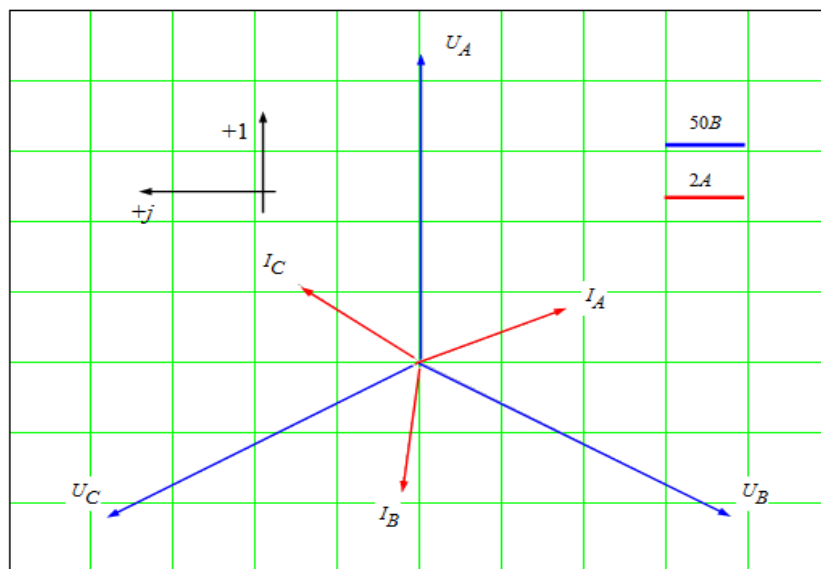


Рисунок 9 – Векторная диаграмма токов и напряжений

### Список используемой литературы

1. Бессонов, Л. А. Теоретические основы электротехники [Текст] / Л. А. Бессонов. - М.: Высш. шк., 1984. - 527 с.
2. Зевеке, Г. В. Основы теории цепей [Текст] / Г. В. Зевеке, П. А. Ионкин, А. В. Нетушил, С. В. Страхов. - М. : Энергоатомиздат, 1989. - 529 с.
3. Поливанов, К. М. Теоретические основы электротехники [Текст] / К. М. Поливанов. - М.: Энергия, 1975. - 239 с.
4. Атабеков, Г. И. Теоретические основы электротехники [Текст] / Г. И. Атабеков. - М. : Энергия, 1978. - 245 с.

### Лабораторно-практическое занятие № 1

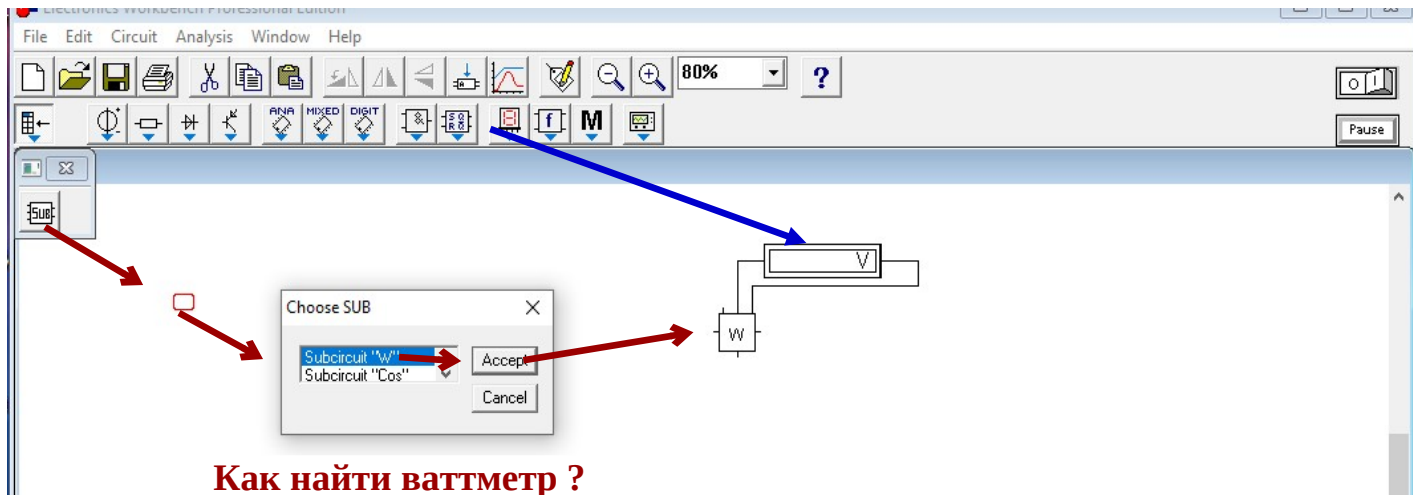
### ЛИНЕЙНАЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ЦЕПЬ ПОСТОЯННОГО ТОКА

**Цель работы:** исследование цепи постоянного тока.

- 1.1. Рассчитать цепь при заданных параметрах.
- 1.2. Исследовать цепь при изменении сопротивления нагрузки
- 1.3. Сравнить результаты расчета и исследования цепи.
- 1.4. Записать выводы по результатам.

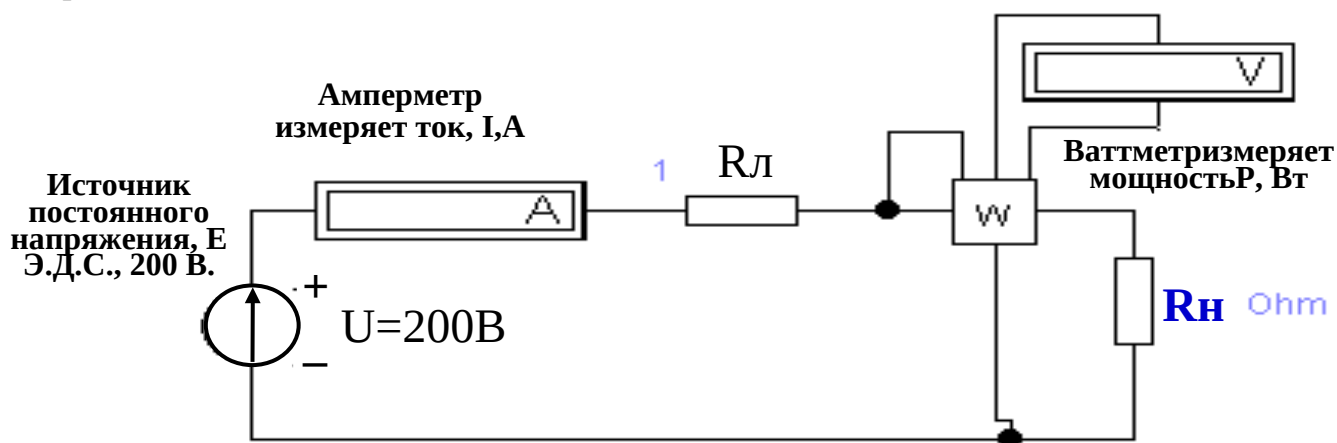
Подготовка к работе

- 2.1. Изучить пп.1.4 учебника [1] или 1.6 и 1.7 учебника [2].



### Как найти ваттметр ?

Цепь представляет собой модель линии электропередачи постоянного тока сопротивлением  $R_{\text{Л}}$  и с **изменяющимся сопротивлением нагрузки  $R_{\text{Н}}$  (0, 100, 300, 500, 700 Ом)** (рис. 1). При выполнении работы сопротивление линии  $R_{\text{Л}}$  принять равным **100 Ом**, а напряжение на входе цепи  **$U = 200 \text{ В}$** .



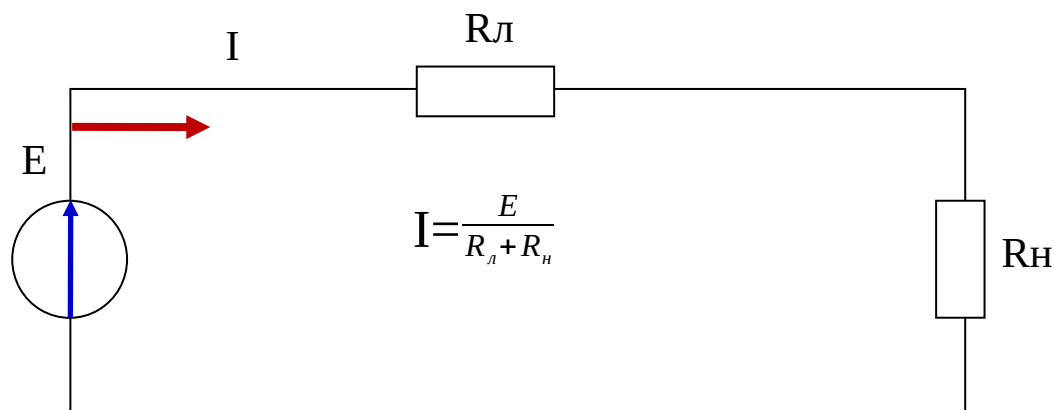
**Рис. 1. Схема цепи**

2.2. **Рассчитать** следующие параметры цепи для различных значений сопротивлений нагрузки  $R_{\text{Н}}$ :

- мощность, отдаваемую **источником**,  $P_{\text{ист.}}$ , Вт;
- **ток  $I$** , А;
- мощность, потребляемую **приемником (нагрузкой)**,  $P_{\text{Н}} = I^2 R$ , Вт;
- **КПД  $\eta = P_{\text{нагр}} \cdot 100 \%$  / Рист.**

Расчет приложить к отчету, а результаты записать в таблицу.

### Расчётная схема



3.1. Подготовленный конспект отчета *представить* преподавателю.

3.2. «Собрать» цепь. *Выбрать* параметры цепи в соответствии со своим вар-том.

3.3. Изменяя сопротивление нагрузки, сделав дважды по резистору в соответствии с заданием поставить значение сопротивления из таблицы 1, *записать* в эту таблицу показания амперметра и ваттметра (показания вольтметра, подключенного к ваттметру, считать в ваттах).

#### 4. По результатам работы

4.1. **Рассчитать** по результатам измерений мощности и КПД цепи. Результаты *записать* в таблицу 1.

4.2. **Построить** зависимости от  $R_H$ :

– тока в цепи  $I(R_H)$ ;

– мощности источника и нагрузки  $P_{ист.}(R_H)$ ,  $P_H(R_H)$ ;

– КПД  $\eta(R_H)$ ,  $(\eta = P_{нагр} \cdot 100 \% / P_{ист.})$

*Отметить* на кривых рассчитанные значения.

4.3. **Записать** выводы о характере изменения тока, мощностей и КПД цепи от  $R_H$ .

#### 5. Содержание отчета

5.1. Заполненная таблица.

5.2. Расчет цепи.

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
$R, \text{ Ом}$	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240	250
№	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
$R, \text{ Ом}$	20	30	40	50	60	70	80	90	100	260	270	280	290	300	310

5.3. **Графики**  $I(R_H)$ ;  $P_{ист.}(R_H)$ ;  $P(R_H)$  и  $\eta(R_H)$ .

Таблица.1

Таблица.2

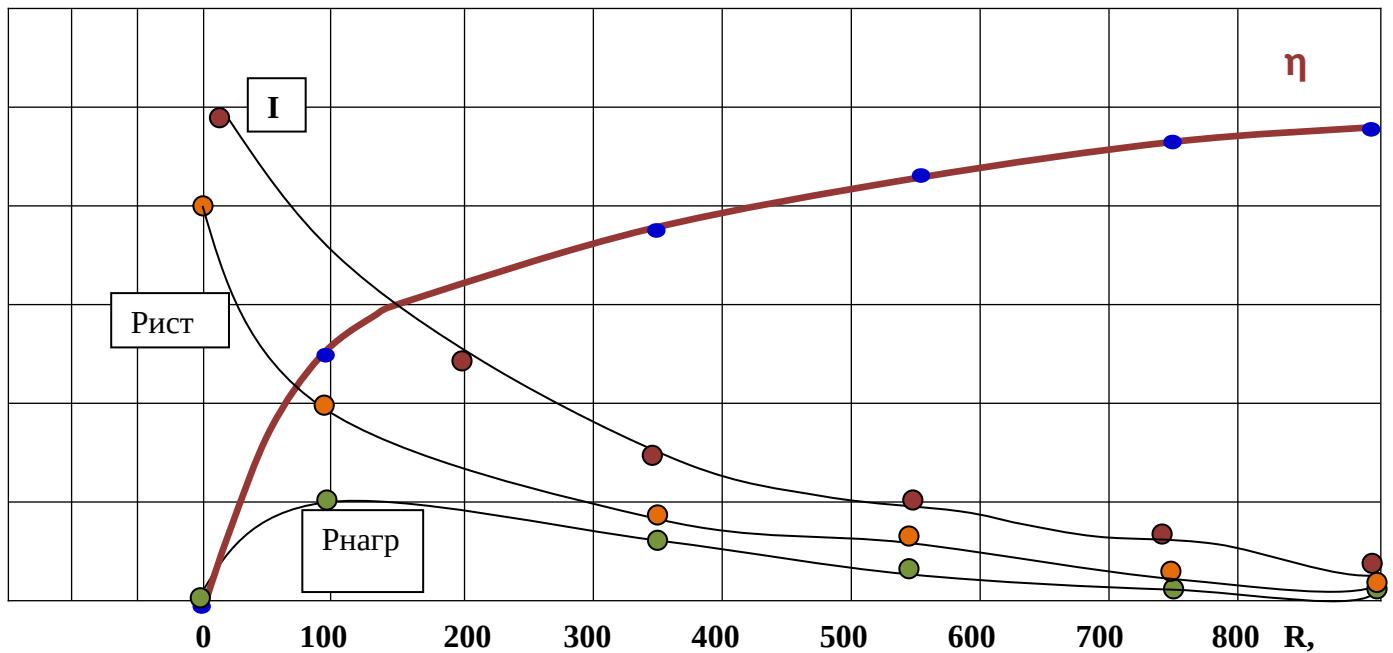
Параметры цепи	$R_H=0$	$R_H=R_{л}=100 \text{ Ом}$	$R_H=R + 100 \text{ Ом}$	$R_H=R + 300 \text{ Ом}$	$R_H=R + 500 \text{ Ом}$	$R_H=R + 700 \text{ Ом}$
Ток $I, \text{ А}$	2	1	0.49	0.33	0.25	0.2
Мощность источника, $P_{ист.}=E \cdot I, \text{ Вт}$	400	200	98	66	50	40
Мощность нагрузки, $P_H=I^2 \cdot R, \text{ Вт}$	0	100	74.431	55.539	44.375	36.4
К.П.Д. цепи, $\eta=(P_{нагр} / P_{ист.}) \cdot 100\%$	0	0.5	0.7595	0.8415	0.8875	0.91

5.4. Выводы.



## Графики

$I, A; P_i, P_n, W_T; \eta, \%$



Выводы:

## Лабораторная работа №2 РЕАКТИВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ ЦЕПИ СИНУСОИДАЛЬНОГО ТОКА

### 1 Задание

1.1 Рассчитать и построить зависимости реактивного сопротивления катушки и конденсатора от частоты источника питания.

1.2 Снять экспериментально и построить зависимости реактивного сопротивления катушки от частоты источника питания.

1.3 Сравнить рассчитанные и полученные результаты.

1.4 Записать вывод по результатам.

### 2 Выполнение задания

#### 2.1 Подготовка к работе на компьютере

2.1.1 Цепь представляет собой аналог индуктивной катушки и конденсатора.

2.1.2 Напряжение источника синусоидального  $E = 10 \cdot N, В$  и  $R = N, Ом$ , а также параметры катушки и конденсатора согласно варианту (где  $N$  – Ваш номер в журнале группы).

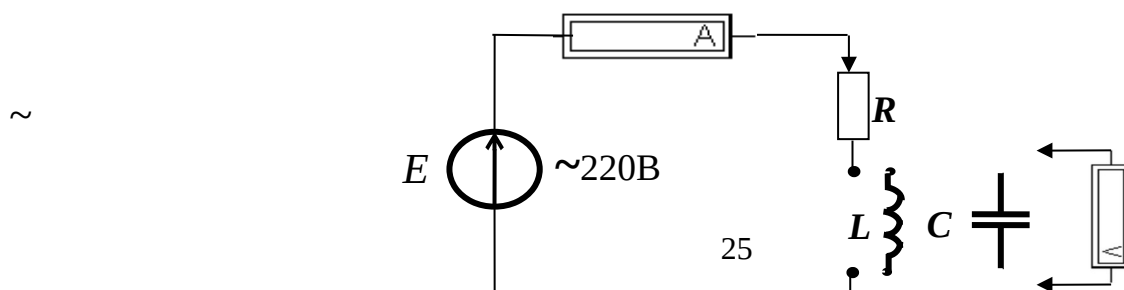


Схема цепи

Таблица 1

N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
C, мкФ	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240	250
L, мГн	92, 10	84, 60	77, 94	72, 37	67, 55	63, 50	59, 55	56, 20	53, 25	50, 80	48, 15	46, 05	44, 05	42, 22	40, 53

16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
260	270	280	290	300	310	320	330	340	350	360	370	380	390	400
38, 97	37, 53	36, 19	34, 94	33, 77	32, 68	31, 66	30, 70	29, 80	28, 95	28, 14	27, 38	26, 66	25, 98	25, 33

Таблица 2

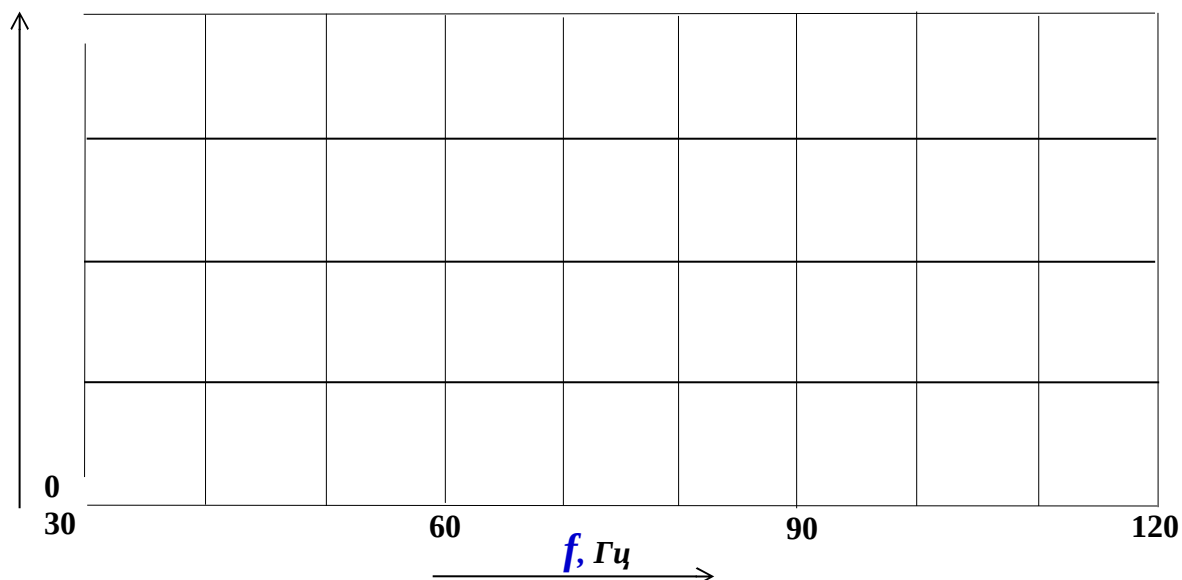
Элементы и параметры цепи		Ч а с т о т а, $f$ Гц									
		30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
катушка	РАС счет	$X_L = 2\pi f L \cdot 10^{-3} =$									
	ЭКС	$U_L, B$									
	пери	$I_L, A$									
	мент	$X_L = U_L / I_L$									
конденсатор	РАС счет	$X_C = \frac{1}{2\pi f C \cdot 10^{-6}} =$									
	ЭКС	$U_C, B$									
	пери	$I_C, A$									
	мент	$X_C = U_C / I_C$									

2.1.3 **Рассчитать** сопротивления катушки  $X_L$  и конденсатора  $X_C$  при изменении частоты источника питания (задана в таблице 2). Расчёт приложить к отчёту, а результаты **записать** в таблицу 2.

2.1.4 **Построить** (плавными линиями) на одном графике расчётные кривые изменения сопротивлений катушки  $X_L(f)$  и конденсатора  $X_C(f)$  от **частоты**.

### Графики к работе №2

$X, \text{ Ом}$



2 Отметить на построенных графиках расчётную частоту, при которой в цепи возможен резонанс напряжений.

## 2.2 Работа на компьютере

2.2.1 Подготовленный отчёт, расчёт и (расчётные графики) *показать* преподавателю.

2.2.2 «Собрать» цепь.

2.2.3 **Выбрать** параметры цепи и источника в соответствии со своим вариантом. Двойным нажатием на мышку выбираем сопротивления вольтметра (типа «АС») и амперметра (типа «АС»).

2.2.4 **Поочерёдно подключить катушку, а затем конденсатор, изменяя частоту ЭДС** источника в соответствии с заданием в таблице 2, *записать* в эту таблицу показания приборов (действующие значения).

2.2.5 **Рассчитать** сопротивления катушки  $X_L$  и конденсатора  $X_C$  при изменении частоты источника питания. Расчёт приложить к отчёту, а результаты *записать* в таблицу 2

2.2.6. **Построить** (плавными линиями) на одном графике (см. п.2.1.4.) экспериментальные кривые изменения сопротивлений катушки  $X_L$  и конденсатора  $X_C$  от частоты.  
Расчёт сопротивлений

---

---

---

---

---

## Лабораторно-практическое занятие №3 РЕЗОНАНСЫ В ЦЕПИ СИНУСОИДАЛЬНОГО ТОКА 1. РЕЗОНАНС НАПРЯЖЕНИЙ

1. Собрать схемы с последовательным (рис.1) и параллельным (рис.2) соединением резистора, катушки и конденсатора. **При последовательном** соединении сопротивлений  $R$ ,  $X_L$ ,  $X_C$  равенство  $X_L = X_C$  в цепи возникает **резонанс напряжений** при котором  $U_L = U_C$ .

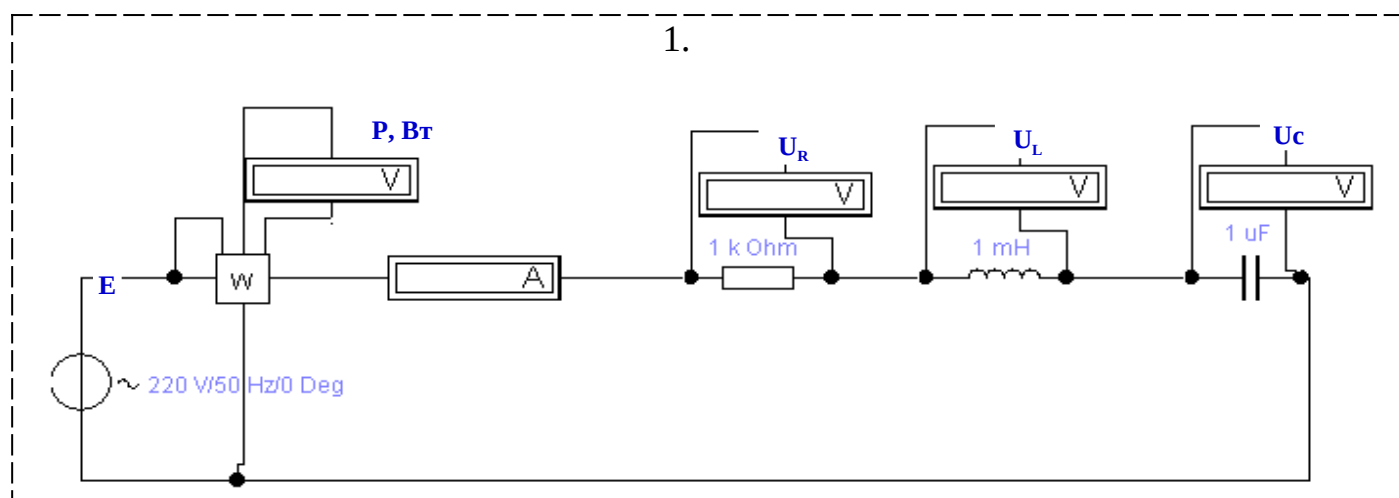


Рис.1.

При выполнении работы принять:  $E = 220V$ ; значения  $R_1, L_1, C_1$ ;  $R_2, L_2, C_2$  заданы в

таблицах 2.1 ( $N$  – Ваш номер в журнале группы).

# 1. Параметры цепи при последовательном соединении элементов $R, L, C$ .

Таблица № 1.

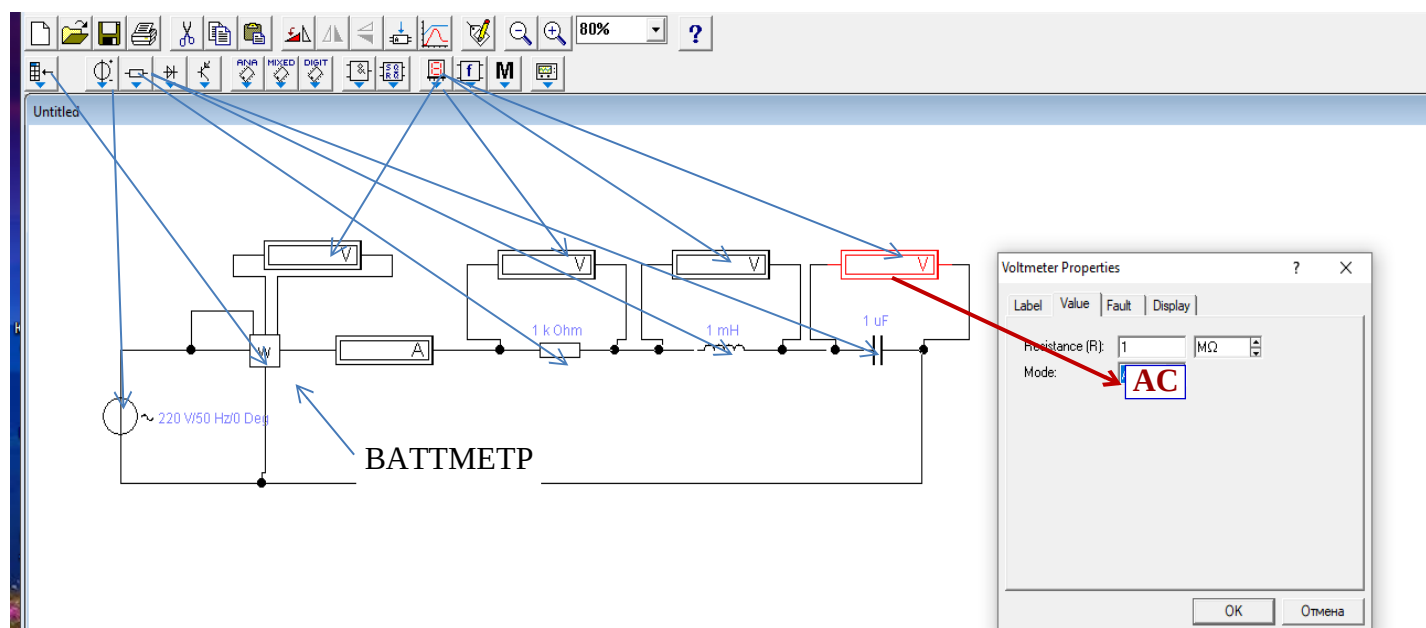
Вар. $N$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
$R, \text{Ом}$	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10
$C, \text{мкФ}$	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240	250
$L, \text{мГн}$	90	82	75	70	65	68	58	54	53	50	46	47	43	41	39

1.3. Дважды щелкнув по измерительным приборам нужно все амперметры и вольтметры перевести из **DC** в **AC**, т.е. с измерения постоянных величин в измерение переменных величин, кроме **BATTMETRA** он остаётся в **DC**.

1.4. Включить питание схемы. Изменяя значение ёмкости от центрального резонансного её значения **С<sub>р</sub>** (ставим в таблицу 2 из данных вашего варианта в таблице 1) добавляя ей значения через 10 мкФ и уменьшая её значения через **10** мкФ. Для каждого

16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
10	10	10	10	10	10	9	9	9	8	8	8	8	8	7
260	270	280	290	300	310	320	330	340	350	360	370	380	390	400
37	36	35	34	33	32	31	30	29	28	27	26	25	24	23

значения ёмкости (**8–10 точек**) **измерить ток  $I$** , напряжения  **$U, U_R, U_L, U_C$**  и мощность цепи результаты **записать** в таблицу 2, выделив в ней значения параметров при резонансе напряжений.



Формулы для расчёта параметров таблицы 2.

$$R = \frac{U_R}{I}, \quad X_C = \frac{U_C}{I}, \quad X_L = \frac{U_L}{I}, \quad Z = \frac{U}{I}, \quad X = X_L - X_C, \quad \varphi = \arctg \frac{X_L - X_C}{R}, \quad S = U \cdot I, \quad Q = I^2 \cdot X,$$

$$\cos \varphi = \frac{P}{S}$$

Таблица № 2.

№ п/п	C, мкФ		Измерить						Рассчитать								
			$P, \text{Вт}$	$I, \text{А}$	$U, \text{В}$	$U_R, \text{В}$	$U_K, \text{В}$	$U_C, \text{В}$	$R, \text{Ом}$	$X_C, \text{Ом}$	$\varphi, ^\circ$	$Z, \text{Ом}$	$X_L, \text{Ом}$	$X, \text{Ом}$	$S, \text{В}\cdot\text{А}$	$Q, \text{вар}$	$\cos \varphi$
1.	Ср-40				220												
2	Ср-30																
3.	Ср-20																
4.	Ср-10																
<u>5.</u>	<b>Ср</b>																
6.	Ср+10																
7.	Ср+20																
8.	Ср+30																
9.	Ср+40																

## 2. РЕЗОНАНС ТОКОВ

Резонанс токов возникает при параллельном соединении **R, L, C** и при

$$B_C = B_L \text{ - равенство проводимостей}$$

1.4 Собрать цепь в соответствии со схемой (рис.2).

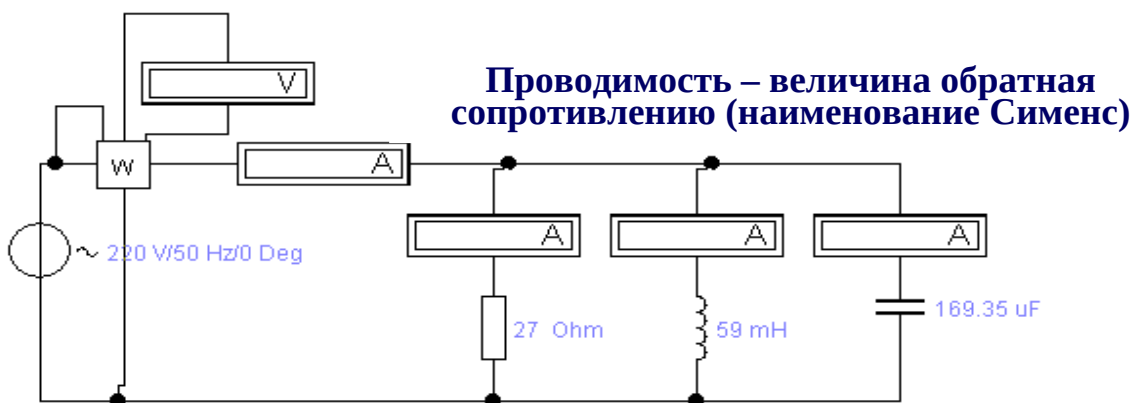


Рис.2.

**Параметры цепи при параллельном соединении R, L и C**

1.5. Выбрать параметры цепи и источника в соответствии со своим вариантом

1.6. Изменяя также ёмкость (C) конденсатора, записать показания приборов (действующие значения), выделив в таблице 2.3 резонанс токов.

1.7. Рассчитать по результатам измерений в цепи с параллельным соединением резистора, катушки и конденсатора её параметры.

1.8. Построить по результатам измерений и вычислений на одном поле графики  $I(C)$ ,  $U_R(C)$ ,  $U_L(C)$ ,  $U_C(C)$  на другом графики  $X_C(C)$ ,  $X_L(C)$ ,  $S(C)$ ,  $\cos\varphi(C)$ .

1.9. Построить в масштабе векторную диаграмму для режима резонанса напряжений.

1.10. Построить по результатам измерений и вычислений графики  $I(C)$ ,  $I_C(C)$ ,  $Y(C)$ ,  $\cos\varphi$ .  $Y$  – полная проводимость цепи;  $G$  – активная проводимость;  $B$  – реактивная проводимость ц.

$$Y = \frac{I}{U}, \quad G = \frac{I_R}{U}, B_L = \frac{I_L}{U} \quad B_C = \frac{I_C}{U}, \quad B = B_C - B_L, \quad \cos\varphi = \frac{P}{S}$$

Таблица № 3.

№ п/п	C, мкФ		Измерить						Рассчитать			
			P, Вт	U, В	I, А	$I_R$ , А	$I_L$ , А	$I_C$ , А	Y, См	G, См	B, См	$\cos\varphi$
1.	C-40			220								
2.	C-30											
3.	C-20											
4.	C-10											
5.	<b>Ср</b>											
6.	C+10											
7.	C+20											
8.	C+30											
9.	C+40											
10.	C+50											

11. Построить в масштабе векторную диаграмму для режима резонанса токов.

Содержание отчета

1. Расчеты параметров цепей.

2. Заполненные таблицы 2.2; 2.3.

3. Векторная диаграмма в момент резонансов напряжений и графики.

**Векторные диаграммы**

(равенство векторов напряжений на катушке и конденсатора в момент резонанса)

Графики

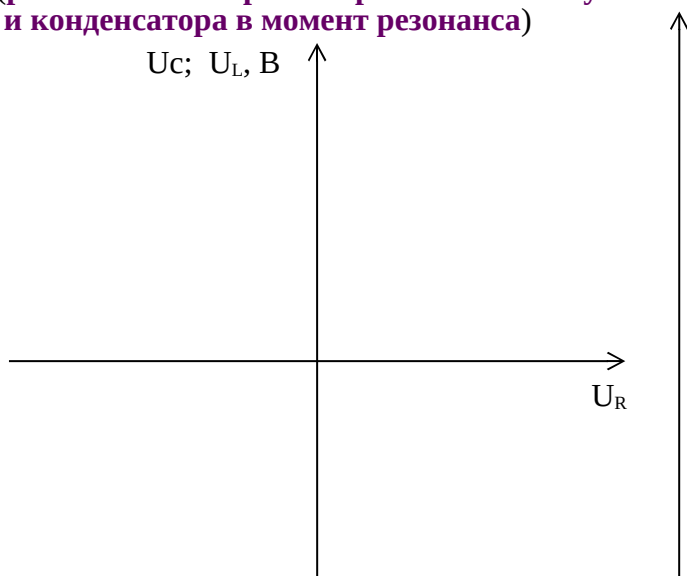


Рис.2.3. Цепь с последовательным соединением элементов  $R$ - $L$ - $C$

**Векторные диаграммы**Графики

(равенство векторов токов, протекающих по катушке и конденсатору в момент резонанса)

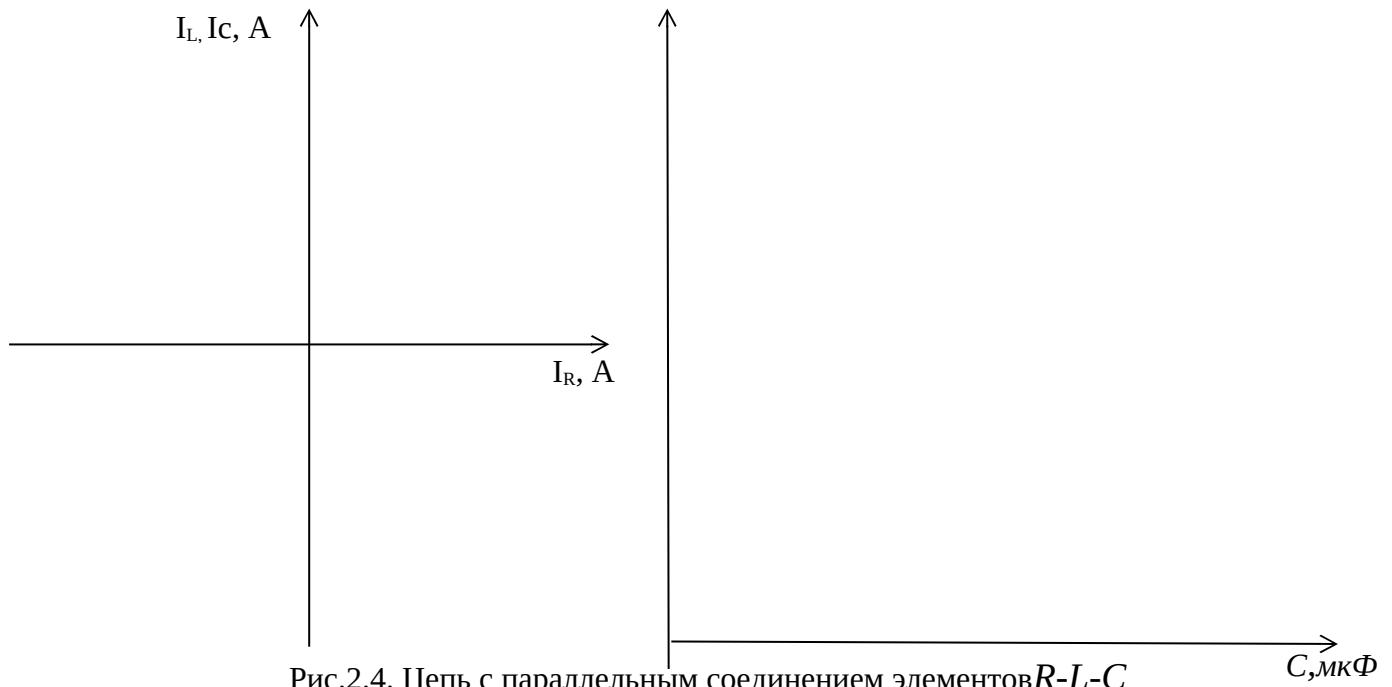


Рис.2.4. Цепь с параллельным соединением элементов  $R$ - $L$ - $C$

Выводы:

## Лабораторно-практическое занятие №4 ТРЕХФАЗНЫЕ ЦЕПИ

- 1.1. Изучить схемы соединения трехфазных цепей.
- 1.2. Экспериментально определить соотношения между фазными и линейными напряжениями и токами.
- 1.3. Построить векторные диаграммы напряжений и токов для симметричных режимов.

### 2. Выполнение работы

Трехфазной цепью называют электрическую цепь, содержащую трехфазный источник ЭДС, трехфазный приемник электрической энергии и соединяющие их провода. Трехфазными является большинство электротехнических систем и устройств (линии электропередачи, электрические машины и др.).

2.1. **Выбрать 3-и ЭДС источника по 220 В и установить начальные фазы E:** у  $E_A, \Psi_A=0^\circ, u_{E_B}, \Psi_B=240^\circ, u_{E_C}, \Psi_C=120^\circ$ .

2.2. **Собрать трёхфазную цепь, соединённую звездой только с нейтральным проводом.** Провести измерения параметров схемы.

**Измерить** действующие значения фазных и линейных напряжений и токов трехфазной цепи в симметричном режиме ( $R_A=R_B=R_C=N \cdot 10$ ) сопротивления по фазам одинаковые и равно  $R_\phi=100 \text{ Ом}$ ). Результаты расчета записать в таблицу № 3.1.

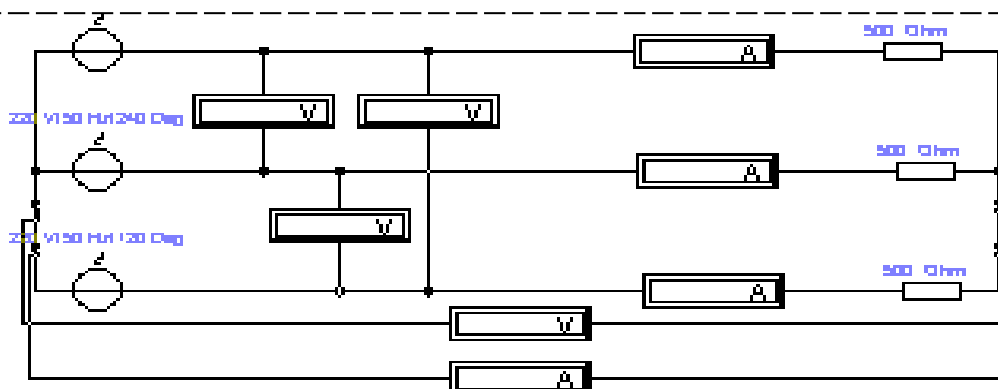


Рис.3.1.

«Соединение «звездой» Таблица № 3.1

Режим цепи		Измерить											Рассчитать			
		$U_A$ , нагр. В	$U_B$ , нагр. В	$U_C$ , нагр. В	$U_{nn}^1$ В	$U_{AB}$ В	$U_{BC}$ В	$U_{AC}$ В	$I_A$ , А	$I_B$ , А	$I_C$ , А	$I_N$ , А	$P_A$ , Вт	$P_B$ , Вт	$P_C$ , Вт	$P_{\Sigma}$ , Вт
с нейтр. провод.	симм.	220	220	220	-	381	381	381	2	2	2	0	440	440	440	1320
	несим.	220	220	220	-	381	381	381	7.33	2.75	2	5	218	4298	440	4957
без нейтр. провод	симм.	220	220	220	0	381	381	381	2	2	2	-	440	440	440	1320
	несим.	130	268	284	91	381	381	381	4.3	3.4	2.6	-	554	924	743	2223



2.4. Отсоединить нейтральный провод и подключить только вольтметр, повторить измерения.

Установить в цепи несимметричный режим  $R_A \neq R_B \neq R_C$ , изменив значения двух фазных сопротивлений на **50 Ом и 150 Ом**. Повторить измерения параметров цепи, **как с нейтральным проводом, так и без него, т.е. с вольтметром**, измеряющим  $U_{nn}$  (напряжением смещения нейтрали). Результаты записать в ту же таблицу № 3.1.

2.6. Собрать цепь в соответствии со схемой «треугольника» (рис.3.2).

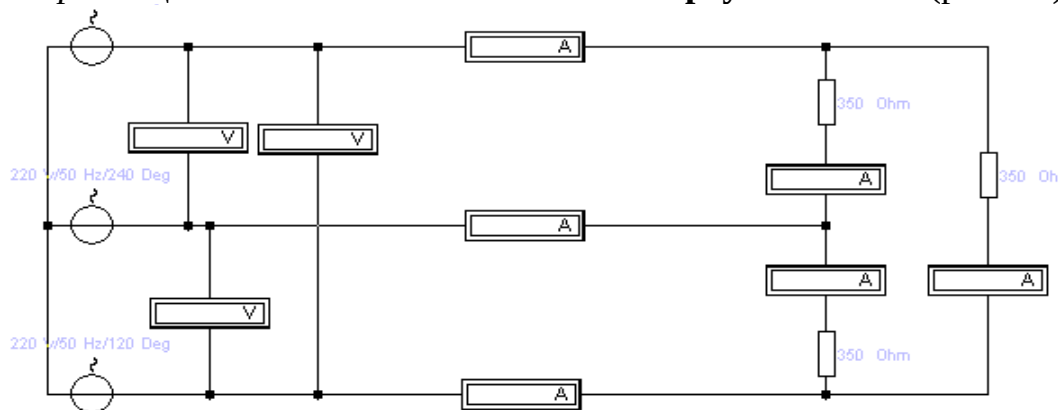


Рис.3.2.

2.7. Симметричный режим ( $R_{ab}=R_{bc}=R_{ac}=N \cdot 10$ ). Измерить напряжения на фазах симметричной (одинаковой) нагрузки и токи в цепи, результаты записать в первую строчку таблицы № 3.2.

2.8. Несимметричный режим ( $R_{ab} \neq R_{bc} \neq R_{ac}$ ). В фазе **аво** оборвать провод между сопротивлением и амперметром, произвести замер параметров. Исправив повреждение фазы, оборвать линейный провод сразу после ЭДС **А**, произвести замеры параметров и записать их во 2и 3 строки таблицы № 3.2.

Соединение «треугольником» Таблица № 3.2

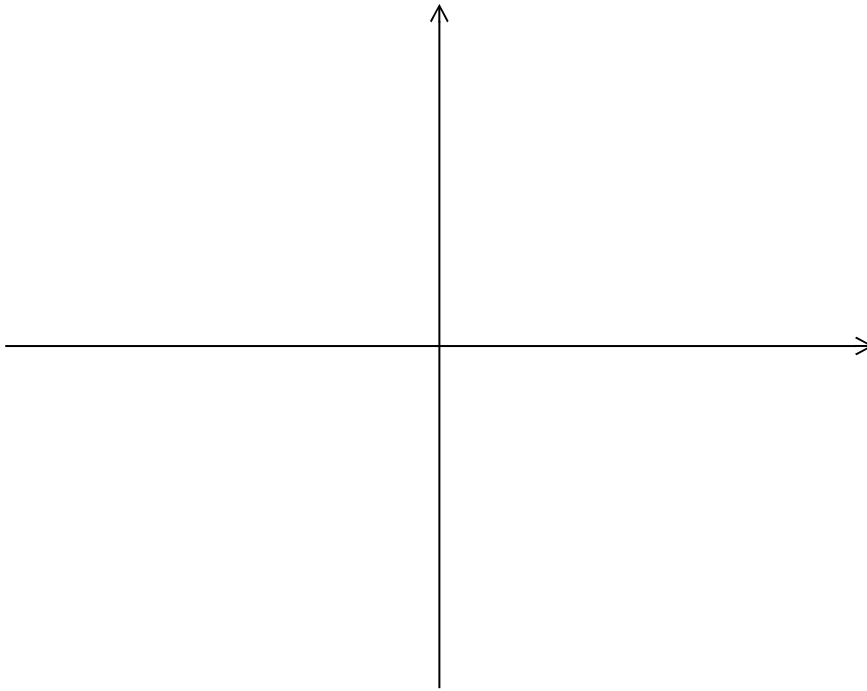
Режимы цепи	Измерить									Рассчитать				
	$U_{ав}, В$	$U_{бс}, В$	$U_{са}, В$	$I_{ав}, А$	$I_{бс}, А$	$I_{са}, А$	$I_A, А$	$I_B, А$	$I_C, А$	$P_{ав}, Вт$	$P_{бс}, Вт$	$P_{са}, Вт$	$P_{зф}, Вт$	Соотношение $\frac{U_L}{U_\Phi}$
Симметричный	381	381	381	3.46	3.46	3.46	6	6	6					
Несимметричный	обрыв фазы	381	381	-	3.46	3.46	3.46	3.46	3.46					
	Обрыв линии	190	381	190	1.73	3.46	1.73	0	5.19 6	5.19 6				

### 3. По результатам работы

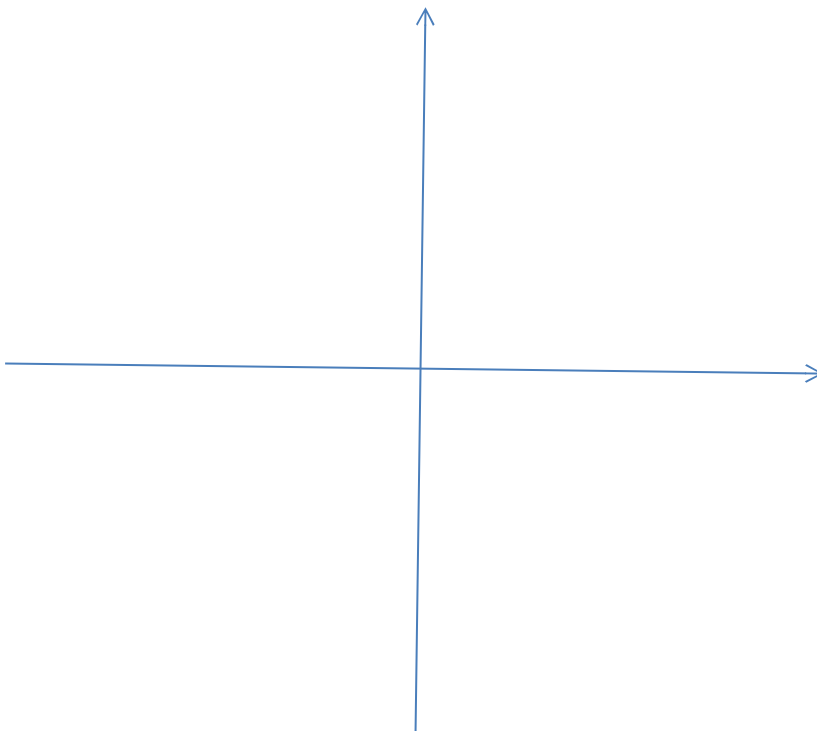
3.1. Рассчитать мощности цепей. Результаты записать в таблицы.

3.2. Построить в масштабе векторные диаграммы симметричных режимов («звезды» и «треугольника»).

## Векторные диаграммы



## Схема «звезда»



## Схема «треугольник»

## Лабораторная работа №5 ОДНОФАЗНЫЙ ТРАНСФОРМАТОР

**Цель работы.** Изучить устройство, принцип действия, режимы работы и снять характеристики однофазного трансформатора.

Для определения основных параметров трансформатора: коэффициента трансформации, потерь мощности, КПД и других проводят опыты холостого хода и короткого замыкания трансформатора, а для получения его характеристик испытывают трансформатор в рабочем режиме. Для этого к нему подключают резистор.

При опыте холостого хода установить на первичной обмотке трансформатора  $U_{1H} = 220\text{В}$ .

### Режим холостого хода

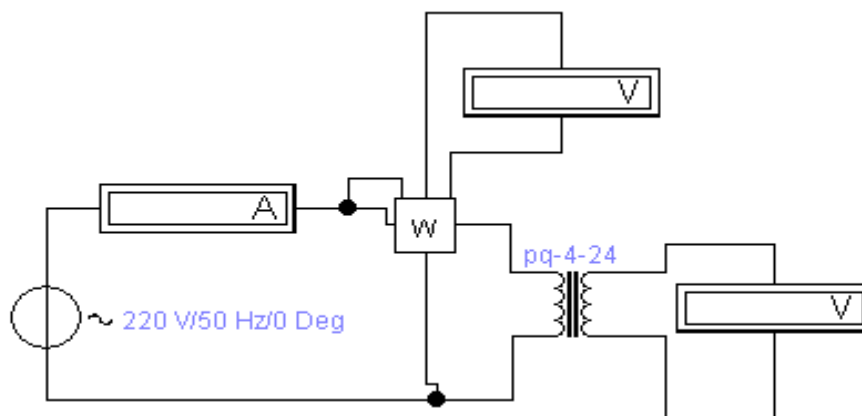
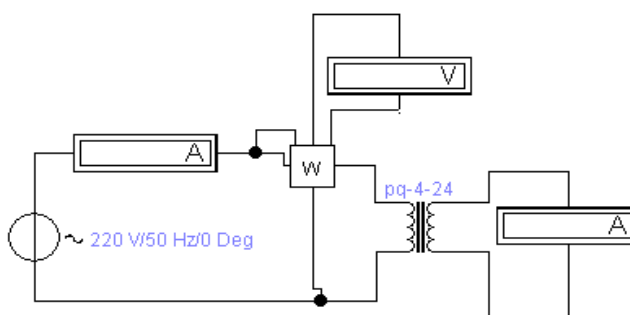


Таблица 4.1

Измерить				Вычислить				
$U_{1H}$ В	$U_{2H}$ В	$I_{1X}$ А	$P_X$ Вт	$n$	$\omega_1$ витк.	$\omega_2$ витк.	$\Delta P_M$ Вт	$\cos\varphi_X$

### Режим короткого замыкания



Таблиц 4.2

Измерить				Вычислить				
$U_{1K}$ В	$I_{1K}$ А	$I_{2K}$ А	$P_K$ Вт	$Z_K$ Ом	$R_K$ Ом	$X_K$ Ом	$\Delta P_O$ Вт	$\cos\varphi_K$

## Рабочий режим

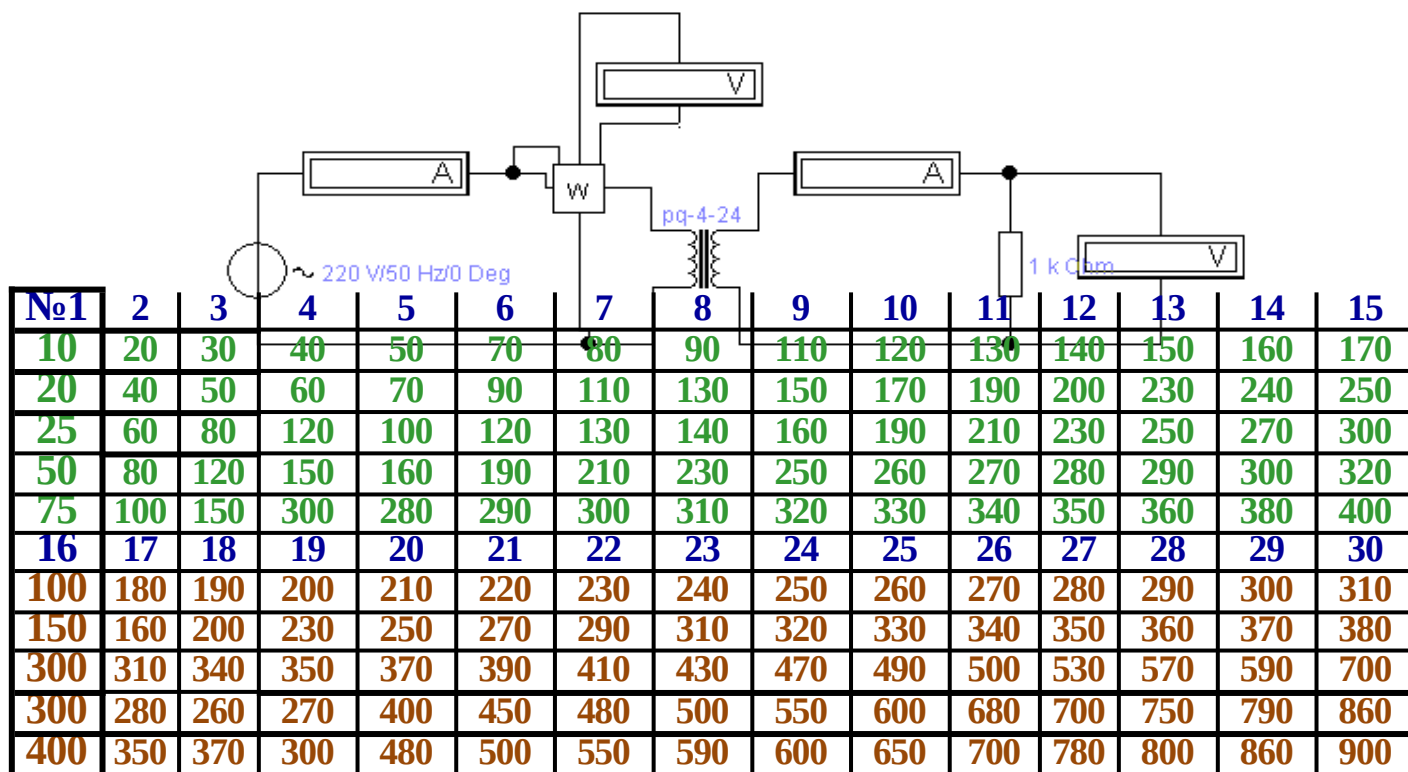


Таблица 4.3

Таблица № 4.4

R, Ом	Измерить					Вычислить		
	$U_1, В$	$I_1, А$	$P_1, Вт$	$U_2, В$	$I_2, А$	$P_2, Вт$	$\cos\varphi$	$\eta, \%$

1.5.Используя данные опытов холостого хода, короткого замыкания и зависимость  $P_1(I_2)$  определить, как изменяются потребляемая трансформатором из сети мощность  $P_1$ , отдаваемая (полезная) мощность  $P_2$ , потери в магнитоприводе  $\Delta P_M$ , потери в обмотках  $\Delta P_o$ , а также коэффициент полезного действия  $\eta$ . По результатам табл.4.3 построить в одной системе координат внешнюю характеристику трансформатора  $U_2(I_2)$ , зависимости  $P_1(I_2)$ , коэффициента мощности  $\cos(\varphi)$  и К.П.Д.  $\eta = P_2 \cdot 100 \% / P_1$  трансформатора от тока нагрузки ( $I_2$ ). Потери в магнитоприводе трансформатора  $\Delta P_M = P_{1xx}$ , Вт; потери в обмотках (проводах) трансформатора  $\Delta P_{пр} = P_{1кз}$ , Вт;  $\eta = w_1/w_2$ .

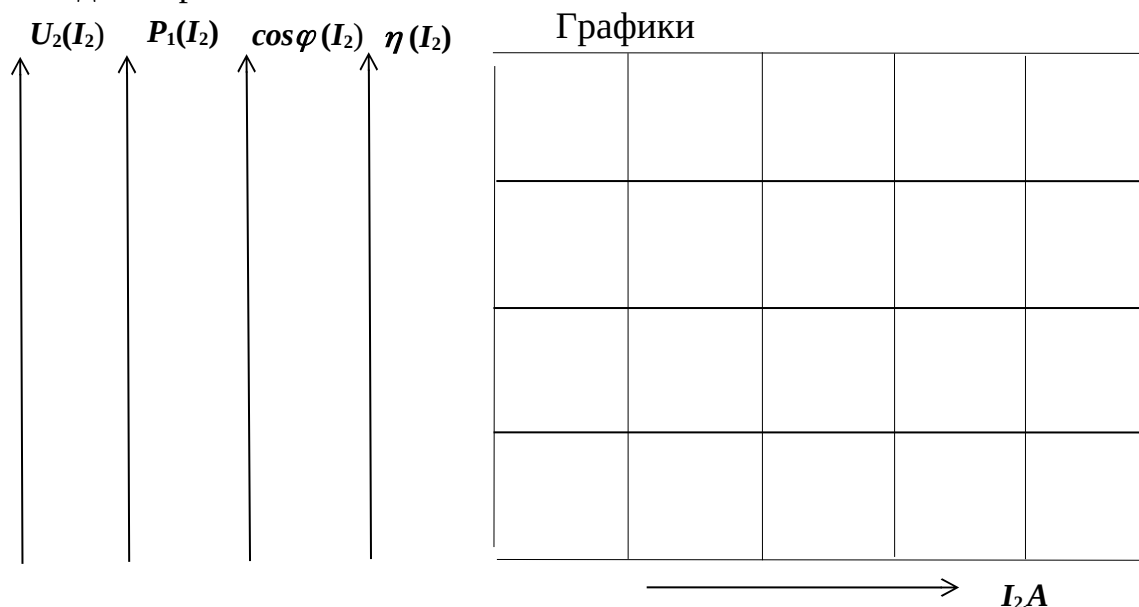
## 2.Содержание отчета

2.1.Схемы включения трансформатора и приборов для опытов холостого хода, короткого замыкания и рабочего режима.

2.2.Таблицы параметров трансформатора, опытов холостого хода, короткого замыкания и рабочего режима.

2.3.Графики (три в одной системе координат).

2.4.Выводы по работе.



**Таблица № 4.1.Х.Х.**

$$I_{1H} = S/U_{1H}, I_{2H} = S/U_{2H}, \quad \cos \varphi = \frac{P}{S}, \quad P = I^2 \cdot R, \quad R = \frac{U_1}{I_1}, \quad \eta = \frac{P_2}{P_1} \cdot 100\%.$$

$n = \frac{U_{\text{наминальное высшее (большее)}}}{U_{\text{наминальное нисшее (меньшее)}}}$ ,  $\omega_1 \omega_2$  – число витков трансформатора берётся из паспортных данных трансформатора, дважды щёлкнув по картинке трансформатора, а затем мышкой на **Edit**, там и выбираем номинальные значения трансформатора.

$\Delta P_m$  = потери мощности в корпусе трансформатора,

$$\cos \varphi_x = P_{\text{ваттметра}} / (U_{1H} \cdot I_{1X}), \quad \cos \varphi = P_x / S = P_x / U_{1H} I_{1H},$$

**Таблица №4.2.К.З.**

$$Z_K = U_{1K} / I_{1K}, \quad R_K = Z_K \cdot \cos \varphi, \quad X_K = Z_K \cdot \sin \varphi, \quad \Delta P_o = P_K, \quad \cos \varphi_K = \frac{P_K}{S_K} = \frac{P_K}{U_{1K} I_{1K}}$$

**ТАБЛИЦА № 4.4. РАБОЧИЙ РЕЖИМ**

$$P_2 = I^2 \cdot R_{BT}, \quad \cos \varphi = \frac{P}{S}, \quad \eta = \frac{P_2}{P_1} \cdot 100\%.$$

6.1 Как устроен и действует однофазный трансформатор.

6.2 Как определить коэффициент трансформации?

6.3 Каковы особенности устройства магнитопровода трансформатора?.

6.4 Какие потери мощности в трансформаторе имеют место?

6.5 Почему трансф-ры используют только в электроустановках переменного тока?

**Вывод:**

# Лабораторная работа № 6

## ДВИГАТЕЛЬ ПОСТОЯННОГО ТОКА

### 1 Задание

1.1 Изучить устройство, принцип действия, схемы возбуждения и режимы работы двигателя постоянного тока.

1.2 Выбрать параметры двигателя постоянного тока параллельного возбуждения и снять его характеристики.


1.3 Записать выводы по результатам.

### 2 Выполнение задания

#### 2.1 Подготовка к работе на компьютере

2.1.1 Двигатель постоянного тока – электрическая машина, предназначенная для преобразования электрической энергии в механическую энергию. Устройство, принцип действия, схемы возбуждения и режимы работы двигателя постоянного тока приведены в учебниках, которые следует *изучить* при подготовке к лабораторной работе. В работе используется двигатель постоянного тока параллельного возбуждения.

#### 2.2 Работа на компьютере



2.2.1 **Выбор двигателя.** Для этого нажатием клавиши «мыши» на изображении машины открыть окно и поместить изображение двигателя на рабочий стол. Дважды нажав на нем левую клавишу «мыши», открыть окно. В окне *Model* нажать  и открыть окно параметров двигателя (рисунок 1). Выбрать сопротивление цепи возбуждения (Field resistance)  $R_F = 50 + 2 \cdot N$ , Ом, а цепи якоря  $R_a$  оставить по умолчанию. Установить номинальное напряжение двигателя (Rated armature voltage)  $V_{AN} = 70 + 2 \cdot N$ , В (где  $N$  – Ваш номер в журнале группы).

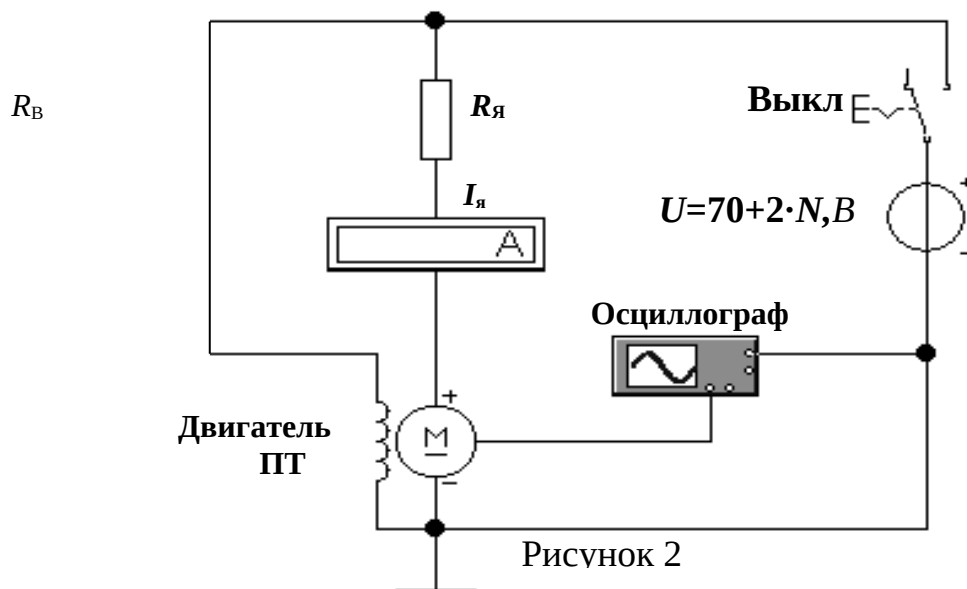
#### DC Motor Model 'ideal'

Sheet1	Sheet2
Armature resistance (RA):	1 Ω
Armature inductance (LA):	0.001 H
Field resistance (RF):	$50 + 2 \cdot N$ Ω
Field inductance (LF):	0.001 H
Shaft friction (BF):	0.01 N*m*s/rad
Machine rotational inertia (J):	0.01 N*m*s <sup>2</sup> /rad
Rated rotational speed (NN):	1800 RPM
Rated armature voltage (VAN):	$70 + 2 \cdot N$ V
Rated armature current (IAN):	8.8 A
Rated field voltage (VFN):	115 V

Рисунок

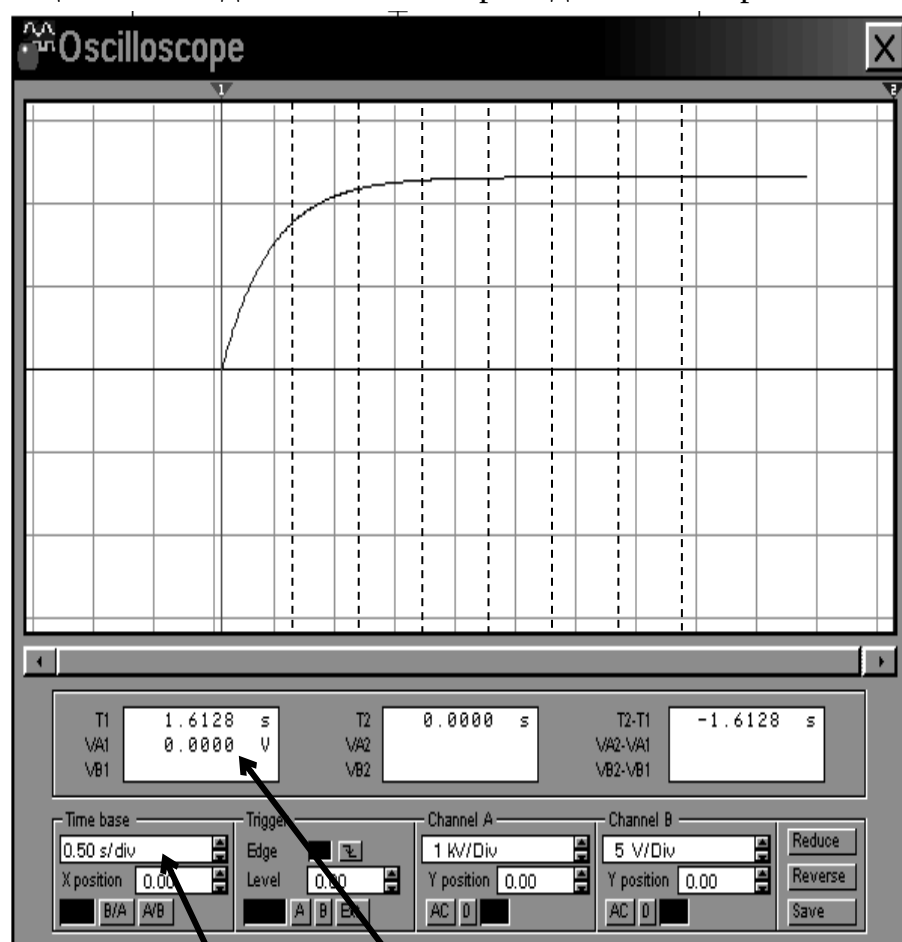
2.2.2 **«Собрать»** схему (рисунок 2). Установить напряжение источника питания электродвигателя:  $U = 70 + 2 \cdot N$ , В. Сопротивления амперметра (типа «DC») и вольтметра (типа «DC») *не изменять*.

Для выбора осциллографа (прибор для измерения и визуального наблюдения изменения измеряемой величины во времени) открыть на панели инструментов окно, а затем на раб.столе  появится  осциллограф. (см. расположение контактов). Чтобы увеличить лицевую панель осциллографа следует два раза нажать левую клавишу «мыши» на его изображении. В открывшемся окне осциллографа – нажать «Expand».



2.2.3. В работе нужно снять **семейство пусковых и регулировочных** характеристик двигателя.

Для этого изменяя сопротивление  $R_я$  от 0 (0.0000001) через 2 Ом до 10 Ом получаем на экране осциллографа изображение зависимости числа оборотов якоря  $n_я$  от времени его работы  $t$  (вольтметр на рисунке 3 показывает число оборотов якоря в минуту). Если нужно выключить схему нажимаем на клавиатуре пробел и ключ разрывает цепь. Последовательность проведения экспериментов следующая:



развертка      число оборотов

Рисунок 3

–включаем цепь клавишей  в правом верхнем углу экрана;  
–через 2...3 интервала времени – горизонтальные клетки, нажать клавишу пробел - «Выкл». Затем после остановки двигателя опять его запускаем через пробел, т.е. через ключ в схеме. При достижении кривой максимального (установившегося) значения нажать на «паузу» (в правом верхнем углу экрана);  
–по  установившемуся изображению кривой, перемещая «мышью» визирную вертикальную линейку (красную или синюю, показанную пунктиром на рисунке 3), **измеряем через 0,5 с** (каждая клетка по горизонтали) 7 значений

оборотов двигателя (не считая 0). При этом нулевой отсчет может быть в интервале от 0 до 0,5 с.

Записать в таблицу 1 показания всех приборов

Таблица 1

n	R <sub>я</sub> , Ом				R <sub>я</sub> , Ом				R <sub>я</sub> , Ом				R <sub>я</sub> , Ом								
	t, с	n <sub>я</sub> , об/м	I <sub>я</sub> , А	M, Н·м	t, с	n <sub>я</sub> , об/м	I <sub>я</sub> , А	M, Н·м	t, с	n <sub>я</sub> , об/м	I <sub>я</sub> , А	M, Н·м	t, с	n <sub>я</sub> , об/м	I <sub>я</sub> , А	M, Н·м					
0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	4	0	0	0	0		0	0	0	0		

3 По результатам работы

3.1. Построить семейство пусковых характеристик двигателя  $n_{я}(t)$ ,  $n_{я}(R_{я})$ .

3.2. Рассчитать момент на валу двигателя по формуле  $M \leq k \cdot I_{я}^2$  (где  $k$  – конструктивный коэффициент, равный 1). Результаты записать в таблицу 1.

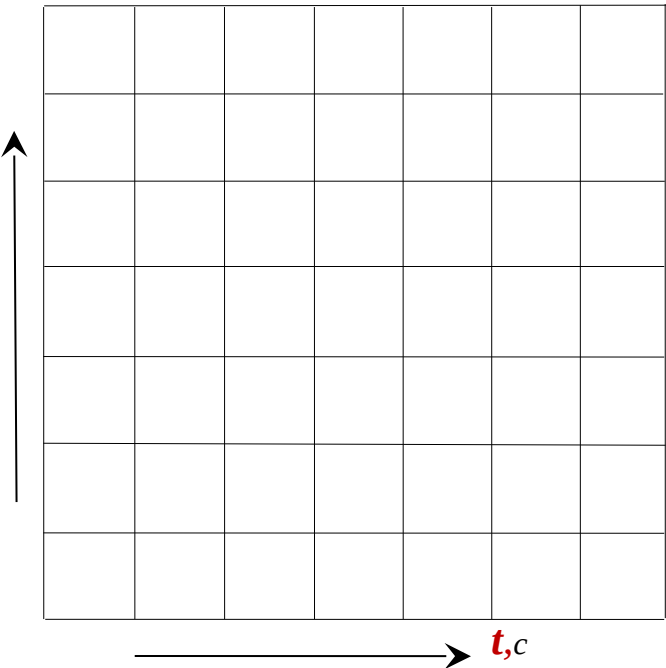
3.3 Построить семейство регулировочных характеристик двигателя  $n_{я}(M)$ .

3.4. Записать выводы по результатам.

Графики к лабораторной работе №6

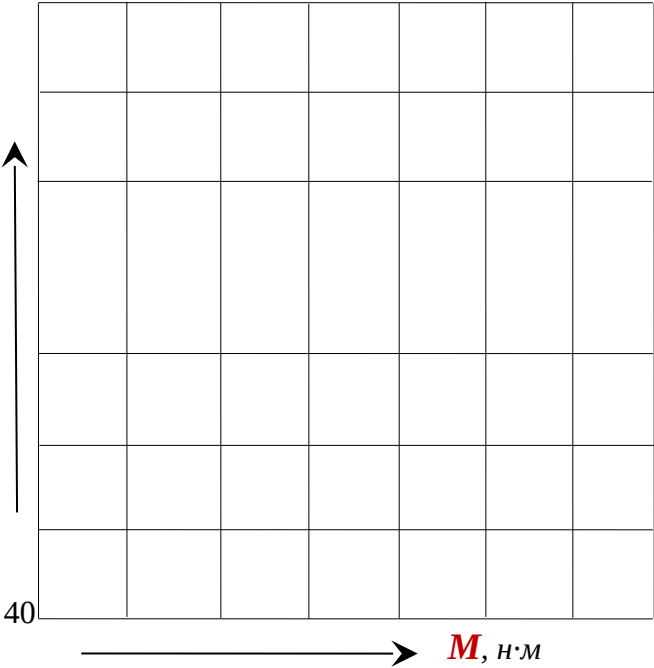
пусковые характеристики двигателя

$n_{я}$ , об/мин



регулировочные характеристики двигателя

$n_{я}$ , об/мин





#### **4.Содержание отчета:**

- 4.1. Заполненная таблица параметров двигателя.
- 4.2. Семейство характеристик двигателя (семь в каждой системе координат).
- 4.3. Выводы по работе.

#### **5 Контрольные вопросы:**

5.1. Расскажите устройство и назначение основных элементов конструкции машины постоянного тока.

5.2. Поясните физическую сущность явления реакции якоря.

5.3. Изобразите схемы двигателей параллельного, последовательного и смешанного возбуждения.

5.4. На примере двигателя параллельного возбуждения поясните процессы и особенности пуска двигателя.

## Лабораторно-практическое занятие №7

### НЕУПРАВЛЯЕМЫЕ ДВУХПОЛУПЕРИОДНЫЕ ВЫПРЯМИТЕЛИ

#### 1 Задание

1.1 Изучить принцип действия диода.

1.2 Изучить схемы двухполупериодных выпрямителей и принцип действия сглаживающих фильтров.

1.3 Исследовать работу сглаживающего фильтра при двухполупериодном выпрямлении.

1.4 Записать выводы по результатам.

#### 2 Выполнение задания

2.1 Подготовка к работе на компьютере

2.1.1. Выпрямителем называют устройство,

служащее для преобразования переменного напряжения и тока в постоянные, которые не необходимы для питания ряда электронных устройств. Преобразование переменного тока в постоянный осуществляется с помощью нелинейных элементов, односторонней проводимостью.

Это свойство характерно для полупроводниковых приборов.

В данной работе будут исследоваться выпрямители на полупроводниковых приборах, которые в настоящее время находят наибольшее применение. Простейшие вентили (диоды) являются неуправляемыми, а вентили (тиристоры, транзисторы, электронные лампы), имеющие третий (управляющий) электрод, составляют широкий класс управляемых вентилях.

Основные параметры выпрямителя:

- $U_{cp}(I_{cp})$  - среднее значение выпрямленного напряжения (тока) на нагрузке;
- $U_{m.or}$  - амплитуда основной гармоники выпрямленного напряжения;
- $q_n = U_{m.or}/U_{cp}$  - коэффициент пульсации выпрямленного напряжения.

Основными схемами однофазных выпрямителей являются: однополупериодная и двухполупериодная (мостовая или со средней точкой).

Для преобразования (выпрямления) переменного тока в постоянный ток используют выпрямители. Схемы выпрямления бывают одно- или двухполупериодные. После выпрямления в нагрузке протекает пульсирующий ток. Для сглаживания пульсаций применяют **фильтры**. Сглаживающие фильтры предназначены для уменьшения пульсаций выпрямленного напряжения на нагрузке до значений, при которых не сказывается их отрицательное влияние на работу электронной аппаратуры.

Они должны пропускать постоянную составляющую выпрямленного напряжения и заметно ослаблять его гармонически составляющие.

Действие фильтра по уменьшению пульсации напряжения (тока) на нагрузке характеризуется **коэффициентом сглаживания**  $K_c$ , представляющим собой отношение коэффициента

пульсации на выходе выпрямителя  $q_n$  (до фильтра) к коэффициенту пульсации на нагрузке  $q_{n1}$  (после фильтра), т. е.

$$K_c = \frac{q_n}{q_{n1}}$$

Различают пассивные и активные сглаживающие фильтры. Принцип работы **пассивных LC-фильтров** основан на способности индуктивных катушек (дросселей) и конденсаторов изменять свои сопротивления при изменении частоты протекающего через них тока.

На рисунке 1 приведены схемы простейших однофазных сглаживающих **LC-фильтров** широкого применения.

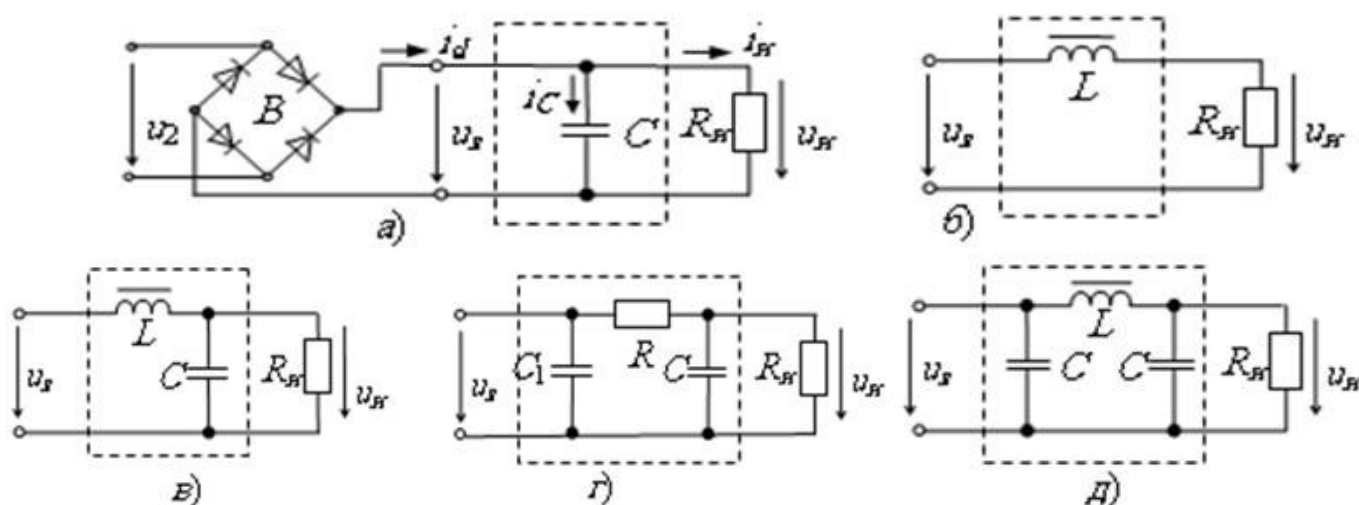


Рисунок 1-Схемы простейших однофазных сглаживающих **LC-фильтров** Широкого применения

Ёмкостный фильтр **C** (рисунок 1, а) включается параллельно высокоомной нагрузке  $R_n$ , что исключает прохождение через нагрузку высокочастотных гармонических составляющих тока.

Сглаживание пульсаций напряжения и тока нагрузки происходит за счёт периодической зарядки конденсатора **C** фильтра (когда напряжение  $u_B > u_C$ ) и последующей его разрядки на сопротивление нагрузки при  $u_B < u_C$ .

Временные диаграммы выпрямленного напряжения  $u_B$  двухполупериодного выпрямителя и напряжения на нагрузке  $u_n$ , поясняющие принцип действия **C-фильтра**, изображены на рисунке 2, а.

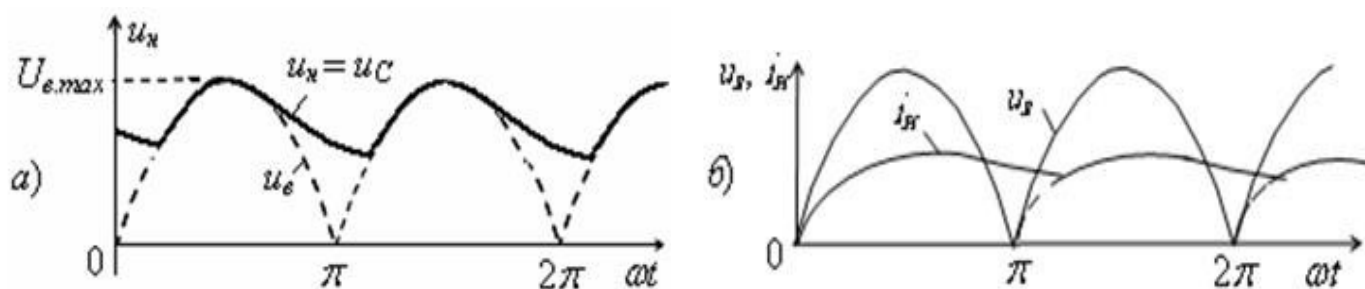


Рисунок 2-Временные диаграммы

2.1.2. В схемах двухполупериодных выпрямителей (рисунки 1 и 2) диоды VD1–VD10 преобразуют синусоидальное напряжение источника в пульсирующее. Нагрузкой служит резистор  $R = 1 \text{ кОм}$ . Параллельно ему подключён конденсатор с ёмкостью  $C$  – простейший сглаживающий фильтр. Вольтметр PV показывает среднее значение выпрямленного напряжения  $U_{\text{ср}}$  на нагрузке. Для измерения максимальных значений выпрямленного напряжения в работе используется осциллограф.

## 2.2 Работа на компьютере

2.2.1 Поочерёдно «собрать» схемы выпрямителей (рисунки 5.1; 5.2 и 5.3).

Для выбора диода двойным нажатием клавиши «мыши» на его изображении открыть окно параметров (см. рисунок 5.1 «Инструкции пользователю программой...»). В окне **DiodeProperties** выбрать **Models**, затем в окне **Library– Philips**, а в окне **Model** – выбрать сверху по порядку номер диода, который соответствует Вашему номеру в журнале группы.

Выбрать следующие параметры источника синусоидального напряжения:  $E=10\text{В}$ ; частота  $f=50 \text{ Гц}$ ; начальная фаза  $\psi_e$  ЭДС однофазного источника равна  $0^\circ$ , в трёхфазном – отличаются в фазах на  $120^\circ$ , а в пятифазном – на  $72^\circ$ , начиная с  $0^\circ$ . Сопротивление вольтметра (типа «DC») не изменять.

Для выбора осциллографа открыть . На рабочем столе появится осциллограф.

2.2.2 «Включить» схему и, изменяя ёмкость конденсатора в соответствии с заданием в таблице ( $C= 0,0000001, 10, 50, 100, 200$  и  $300 \text{ мкФ}$ ), записать в таблицу показания вольтметра PV (средние значения напряжения  $U_{\text{ср}}$ ).

Для измерения максимального значения напряжения  $U_{\text{м}}$  использовать осциллограф. Двойным нажатием левой клавиши «мыши» на изображении осциллографа открыть его лицевую панель и, нажав **Expand**, увеличить окно. Установить усиление каналов **Cannel «A»–20V/Div**, а развертку **Timebaze–5 ms/div** для наблюдения на экране двух-трёх периодов напряжения.

Максимальное напряжение измерять с помощью визирной вертикальной линии (красного или синего цвета). Перемещая линию по горизонтали, каждый раз её следует устанавливать на максимальном значении кривой выпрямленного напряжения. Отсчитывать напряжение можно в окне осциллографа (рис.5.4).

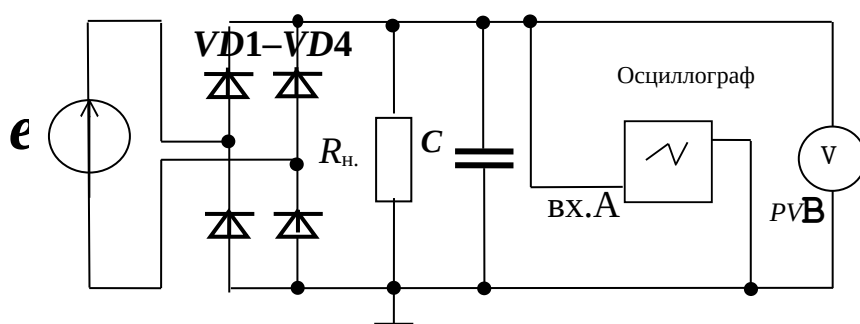
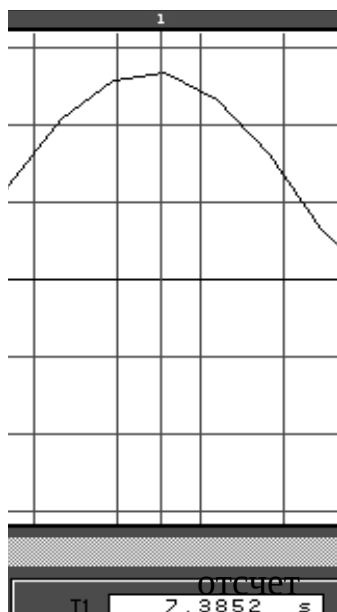
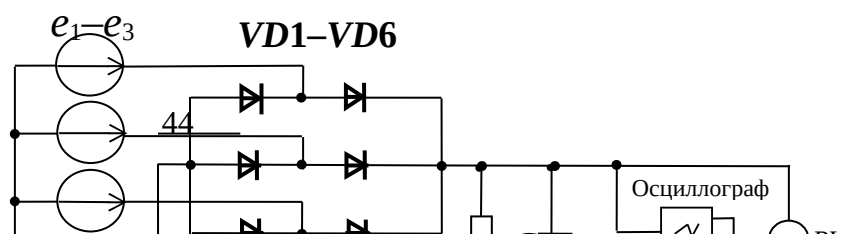


Рис. 3





3.3 Записать выводы о влиянии схем выпрямления и ёмкости конденсатора на коэффициент пульсаций выпрямленного напряжения.

#### 4 Содержание отчёта

4.1 Заполненная таблица и осциллограммы напряжений.

4.2 Графики зависимостей  $\gamma$  ( $C$ ).

4.3 Выводы.

#### 5 Контрольные вопросы

5.1 Какое свойство диода используют для преобразования переменного тока в постоянный?

5.2 Для каких целей применяют выпрямители?

5.3 Каковы отличительные особенности двухполупериодной схемы выпрямления (по сравнению с однополупериодной)?

5.4 Как влияет конденсатор на пульсацию выпрямленного напряжения?

Графики к работе №6

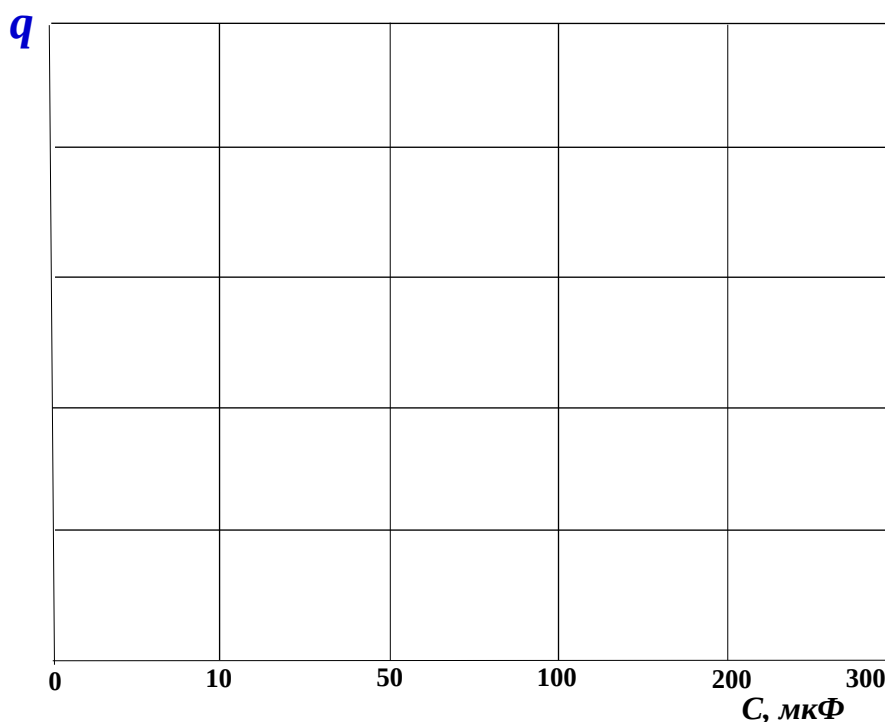


Рисунок 5.5

Вывод:

## Лабораторно-практическое занятие №8

### УСИЛИТЕЛЬ ПОСТОЯННОГО ТОКА

1.1 Изучить схемы и характеристики усилителей постоянного тока.

1.2 Экспериментально снять **амплитудные** и **частотные** характеристики усилителя при изменении глубины обратной связи.

1.3 Записать выводы по результатам.

Усилители постоянного тока – электронные устройства, предназначенные для усиления медленно изменяющихся во времени сигналов. В настоящее время наиболее важной разновидностью УПТ является **операционный усилитель (ОУ)**.

**Операционный усилитель ОУ**) – это усилитель постоянного тока (УПТ) в интегральном исполнении с двумя входами (инвертирующим и неинвертирующим), или как говорят, с дифференциальным входом, с большим коэффициентом усиления для дифференциального сигнала, с большим входным и малым выходным сопротивлениями.

Первоначально операционными (решающими) усилителями назывались УПТ для выполнения математических операций в аналоговых вычислительных машинах (суммирование, вычитание, интегрирование и т.д.). С появлением ОУ в интегральном исполнении их область применения существенно расширилась, и они превратились в универсальные электронные компоненты для построения разнообразных электронных устройств.

**Операционный усилитель(ОУ, OpAmp)** – усилитель постоянного тока с дифференциальным входом и, как правило, единственным выходом, имеющий высокий коэффициент усиления. ОУ почти всегда используются в схемах **с глубокой отрицательной обратной связью, которая, благодаря высокому коэффициенту усиления ОУ, полностью определяет коэффициент передачи полученной схемы.**

В настоящее время ОУ получили широкое применение, как в виде отдельных чипов, так и в виде функциональных блоков в составе более сложных интегральных схем. Такая популярность обусловлена тем, что ОУ является универсальным блоком с

характеристиками, близкими к идеальным, на основе которого можно построить множество различных электронных узлов.

Существует несколько вариантов подачи сигнала на входы. Основными являются **дифференциальный** и **синфазный** сигналы. Все операционные усилители работают в режиме с очень глубокой обратной связью. А коэффициент усиления по напряжению может достигать даже значений в несколько миллионов.

**Дифференциальным** (симметричным) называется такой входной сигнал  $U_{вх.д}$ , при котором его половина  $u_{вх.д}/2$  подаётся относительно общей точки схемы на один вход, а другая половина подаётся в противофазе на второй вход, т.е.

$$u_{вх1} = \frac{U_{вх.д}}{2}, \quad u_{вх2} = -\frac{U_{вх.д}}{2} = -u_{вх1}.$$

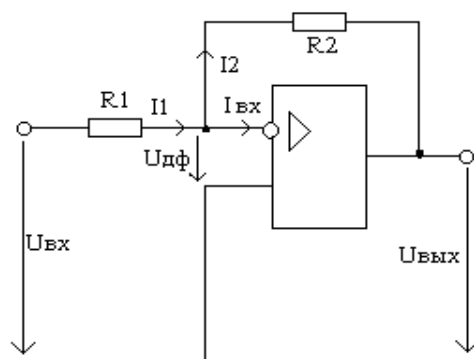
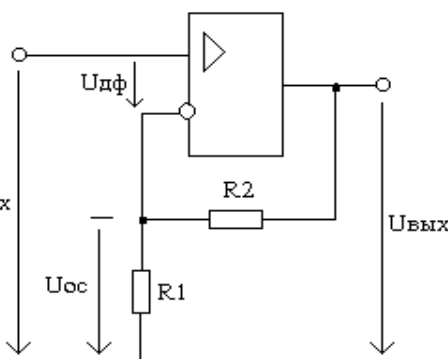
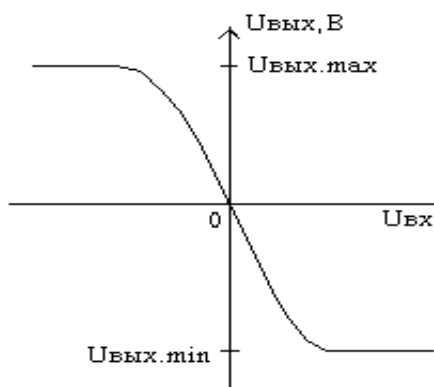
**ОУ** имеет два входа:

- 1) **инвертирующий**, напряжение на котором сдвинуто по фазе на  $180^\circ$  относительно выходного;
- 2) **неинвертирующий**, на котором напряжение совпадает по фазе с выходным.

## Основные параметры ОУ

**Коэффициент усиления** по напряжению  $K_u$ , измеренный на низких частотах, без **О.О.С.**

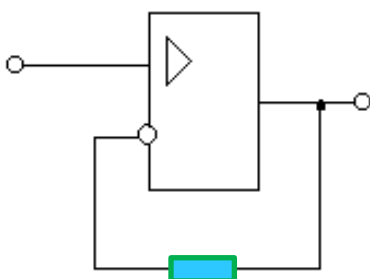
$$K_{u.дф} = \frac{U_{вых}}{U_{вх.дф}}.$$



$$U_{вх.дф} = U_{вх.1} - U_{вх.2}$$

Существует две схемы соединения сопротивлений Отрицательной Обратной Связи (О.О.С.):

**Первая схема с последовательной О.О.С. по напряжению**, вторая - с параллельной О.О.С. по напряжению.



Если в **цепи О.С.** применяются **резисторы**, то получаются схемы **масштабных усилителей**. **Достоинством этой схемы является высокое входное сопротивление О.О.С.** (последовательного типа). Если бы  $R_{вх.сф} \rightarrow \infty$ , то:

$$R_{вх.о.с} = (1 + \chi K_u) \cdot R_{вх.дф} = \frac{K_u}{K_{u.о.с}} \cdot R_{вх.дф}$$



На самом деле  **$R_{вх.о.с}$**  для дифференциального сигнала не может превысить  **$R_{вх.сф}$**  для синфазного сигнала.

2.1.2 По формуле, приведённой в таблицах 6.1 и 6.2, **рассчитать** глубину обратной связи усилителя  **$\beta$**  для трёх значений сопротивления  **$R_2$**  (с учётом варианта  **$N$**  – вашего номера в журнале группы). Результаты **записать** в таблицы 6.1 и 6.2.

## 2.2 Работа на компьютере

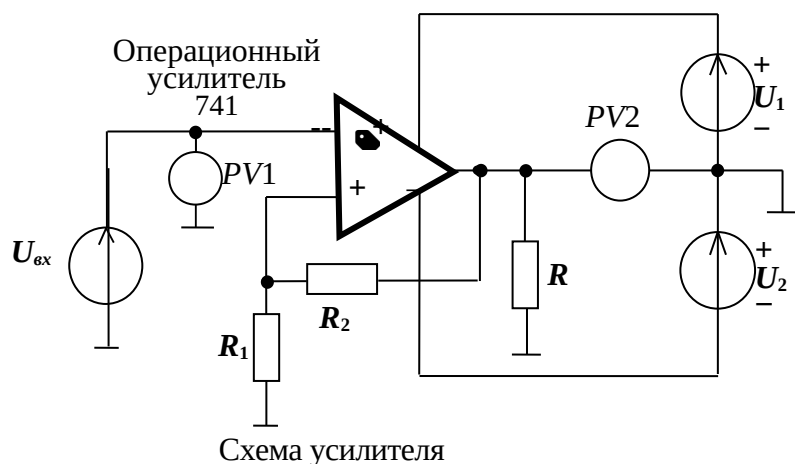
2.2.1 **Показать** преподавателю подготовленный отчёт.

2.2.2 «Собрать» схему (рисунок). В качестве усилителя постоянного тока **выбрать** операционный усилитель модели 741. Для этого в окне элементов (см. рисунок 6.1 «Инструкции пользователю программой») нажать клавишу с изображением из открывшегося окна «мышью» переместить в рабочее окно операционный усилитель, над изображением которого появится надпись «741».

Источником входного напряжения  **$U_{вх}$**  выбрать источник синусоидальной ЭДС (~220, 50 Гц и начальной фазой равной 0°).

Сопротивления резисторов в схеме:  **$R_1=1\text{ кОм}$ ,  $R_3=1\text{ кОм}$ ,  $R_2$**  – задано в таблицах 6.1 и 6.2. Сопротивления вольтметров (типа «АС») оставить без изменений 1 МОм, а **напряжения источников питания (постоянного тока)  $U_1$  и  $U_2$  – по 15В**.

2.2.3 Поочерёдно устанавливая глубину обратной связи  **$\beta$**  для заданных входных напряжений (см. таблицу 1) и резистора  **$R_2$** , **снять семейство амплитудных характеристик усилителя  $U_{вых.}(U_{вх.})$** . Результаты **записать** в эту таблицу.



2.2.4 Поочерёдно устанавливая глубину обратной связи  **$\beta$**  при входном напряжении, равном 1 мВ (см. таблицу 2), **снять семейство частотных характеристик  $U_{вых.}(f)$** . Результаты **записать** в эту таблицу.

## 3. По результатам занятия

3.1 По показаниям вольтметров **рассчитать** коэффициенты усиления  **$K_{и}$**  и **коэффициенты обратной связи  $K_{о.с.}$**  (формулы приведены в

таблицах 1 и 2). Результаты **записать** в эти таблицы.

3.2 **Построить** (по данным таблицы 2) экспериментальные и расчётные зависимости  **$K_{и}$**  и  **$K_{о.с.}$**  от частоты при  **$R_2=30 \cdot N, \text{кОм}$** .

3.3 **Записать выводы** о характере полученных зависимостей.

Таблица 6.1

<b><math>\beta = R_1 / (R_1 + R_2)</math></b>			<b>0,2</b>	<b>0,4</b>	<b>0,6</b>	<b>0,8</b>	<b>1,0</b>	<b>1,2</b>	<b>1,4</b>	<b>1,6</b>
<b><math>U_{вх}, \text{мВ}</math> (при <math>f = 1000 \text{ Гц}</math>)</b>										
<b><math>U_{вых.}, \text{В}</math> при глубине обратной связи</b>		<b><math>R_2 = 10 \cdot N,</math> <b>кОм</b></b>	0.0002	0.0004	0.0006	0.0007	0.0009	0.0012	0.0014	0.00159
		<b><math>R_2 = 30 \cdot N,</math> <b>кОм</b></b>	0.0002	0.0004 2	0.0007	0.00009	0.0011	0.0014	0.0016	0.0018
		<b><math>R_2 = 50 \cdot N,</math> <b>кОм</b></b>	0.0002	0.0004	0.0006	0.0008	0.001	0.0012	0.0014	0.0016

рассчи- тать	$K_u = U_{\text{вых}}/U_{\text{вх.}}$ (при $R_2 = 30 \cdot N, \text{кОм}$ )								
	$K_{o.c.} = K_u / (1 + \beta \cdot K_u)$								

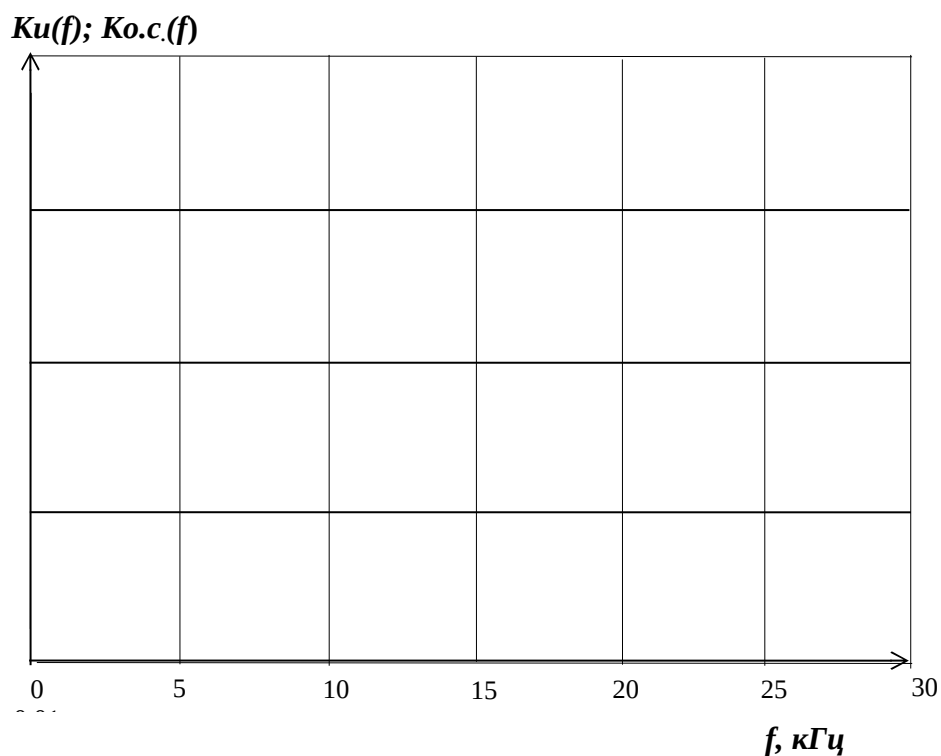
4.2 Графики зависимостей  $K_u(f)$  и  $K_{o.c.}(f)$ .

4.3 Выводы.

Таблица 6.2

$f, \text{кГц}$ (при $U_{\text{вх}} = 1 \text{ мВ}$ )			0,01	5	10	15	20	25	30
$U_{\text{вых.}}, \text{В}$ при глубине обратной связи	$\beta = R_1 /$	$R_2 = 10 \cdot N, \text{кОм}$	0.0009 3	0.0009 35	0.0009 4	0.0009 5	0.00096	0.00096	0.00097
		$R_2 = 30 \cdot N, \text{кОм}$	0.00016	0.016	0.014	0.0127	0.011	0.0010	0.0086
		$R_2 = 50 \cdot N, \text{кОм}$	0.02 8	0.02 4	0.019	0.01 5	0.01 2	0.01	0.0086
рассчи- тать	$K_u = U_{\text{вых.}}/U_{\text{вх.}}$ (при $R_2 = 30 \cdot N, \text{кОм}$ )								
	$K_{o.c.} = K_u / (1 + \beta K_u)$								

Графики



Выводы:

## СОДЕРЖАНИЕ

	стр
Тематические планы дисциплины.....	3
Инструкция по охране труда.....	3
Общие требования к оформлению отчёта и порядок защиты лабораторных работ...	4
Инструкция пользователю программой ElectronicsWorkbench.....	4
Рекомендуемая литература.....	5
Самостоятельная работа.....	7
<b>Часть I. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЦЕПИ.....</b>	<b>9</b>
Семинар «Расчёт электрической цепи постоянного тока».....	9
Л.р. № 1. Неразветвленная цепь постоянного тока.....	14
Л.р. № 2. Реактивные элементы цепи синусоидального тока.....	16
Л.р. № 3. Резонансы в цепях синусоидального тока.....	23
Л.р. № 4. Трёхфазные цепи.....	23
<b>Часть II. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ И АППАРАТЫ.....</b>	<b>25</b>
Л.р. № 5. Однофазный трансформатор.....	25
Л.р. № 6 Машины постоянного тока.....	28
<b>Часть III. ЭЛЕКТРОННЫЕ ПРИБОРЫ И УСТРОЙСТВА.....</b>	<b>31</b>
Л.р. № 7. Неуправляемые двухполупериодные выпрямители.....	31
Л.р. № 8. Усилитель постоянного тока.....	34

**ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ЭЛЕКТРОНИКА. Рабочая тетрадь**  
Кравцов Анатолий Васильевич, Навроцкая Людмила Васильевна.

ElektronicsWorkbench