

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ  
Учреждение образования  
«Витебский государственный технологический университет»

## **ЭЛЕКТРОТЕХНИКА, АВТОМАТИКА И АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ**

Рабочая тетрадь для студентов специальностей  
1-50 01 01 «Производство текстильных материалов»,  
1-50 02 01 «Производство одежды, обуви и кожгалантерейных материалов»,  
1-54 01 01 «Метрология, стандартизация и сертификация»  
дневной и заочной форм обучения

Витебск  
2022

УДК 621.3 (075.08)

Составители:

С. А. Клименкова, А. С. Соколова, А. М. Самусев

Рекомендовано к изданию редакционно-издательским советом УО «ВГТУ», протокол № 10 от 29.06.2022.

**Электротехника, автоматика и автоматизация производственных процессов:** рабочая тетрадь / сост. С. А. Клименкова, А. С. Соколова, А. М. Самусев. – Витебск : УО «ВГТУ», 2022. – 46 с.

В рабочей тетради приведены материалы, необходимые для выполнения лабораторных работ по дисциплине «Электротехника, автоматика и автоматизация производственных процессов». Издание предназначено для специальностей 1-50 01 01 «Производство текстильных материалов», 1-50 02 01 «Производство одежды, обуви и кожгалантерейных материалов», 1-54 01 01 «Метрология, стандартизация и сертификация» для дневной и заочной форм обучения.

УДК 621.3 (075.08)

© УО «ВГТУ», 2022

## СОДЕРЖАНИЕ

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 1. ИССЛЕДОВАНИЕ ОСНОВНЫХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ПРОСТЕЙШЕЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ ПОСТОЯННОГО ТОКА .....	4
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 2. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ПРОВЕРКА МЕТОДА НЕПОСРЕДСТВЕННОГО ПРИМЕНЕНИЯ ЗАКОНОВ КИРХГОФА ДЛЯ РАСЧЕТА СЛОЖНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ ПОСТОЯННОГО ТОКА .....	7
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 3. ИССЛЕДОВАНИЕ ЯВЛЕНИЯ РЕЗОНАНСА НАПРЯЖЕНИЙ.....	8
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 4. ИССЛЕДОВАНИЕ ТРЕХФАЗНОЙ ЦЕПИ ПРИ СОЕДИНЕНИИ ФАЗ ИСТОЧНИКА И ПРИЕМНИКА ЗВЕЗДОЙ .....	13
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 5. ИССЛЕДОВАНИЕ ТРЕХФАЗНОЙ ЦЕПИ ПРИ СОЕДИНЕНИИ ТРЕУГОЛЬНИКОМ .....	16
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 6. ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМОВ ХОЛОСТОГО ХОДА И КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ ОДНОФАЗНОГО ТРАНСФОРМАТОРА.....	19
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 7. ИССЛЕДОВАНИЕ ПОТЕНЦИОМЕТРИЧЕСКИХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ..	22
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 8. ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО УСИЛИТЕЛЯ.....	26
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 9. АНАЛОГОВОЕ ИЗМЕРЕНИЕ УГЛА И ПРЕОБРАЗОВАНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЯ В ЦИФРОВОЙ СИГНАЛ.....	30
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 10. ИЗУЧЕНИЕ СХЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО СВЯЗЫВАНИЯ НЕСКОЛЬКИХ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ .....	32
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 11. ТАРИРОВКА ПЕРВИЧНОГО ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ДАВЛЕНИЯ С ЛИНЕЙНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКОЙ ПО УРОВНЮ .....	35
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 12. ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ В РАСЧЕТАХ НА ЭВМ.....	38
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 13. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КАЧЕСТВЕННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ СИСТЕМЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ.....	40
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 14. ИССЛЕДОВАНИЕ АВТОМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ПОЗИЦИОННОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ТЕПЛОВОГО ОБЪЕКТА .....	42
ЛИТЕРАТУРА.....	45

# ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 1. ИССЛЕДОВАНИЕ ОСНОВНЫХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ПРОСТЕЙШЕЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ ПОСТОЯННОГО ТОКА

**Цель работы:** исследование распределения энергии на элементах простейшей электрической цепи постоянного тока при переходе от одного режима работы цепи к другому.

## Порядок выполнения работы

1. Необходимо, используя омметр, выбрать из комплекта элементов наборного поля два резистора  $R_1$  и  $R_2$ , имитирующих сопротивление проводов линии электропередачи ( $R_1 + R_2 = R_{Л} \approx 500 \text{ Ом}$ ).

Выбираем:

$$R_1 = \underline{\hspace{2cm}} \text{ Ом};$$

$$R_2 = \underline{\hspace{2cm}} \text{ Ом}.$$

2. Собираем схему, представленную на рисунке 1.1.

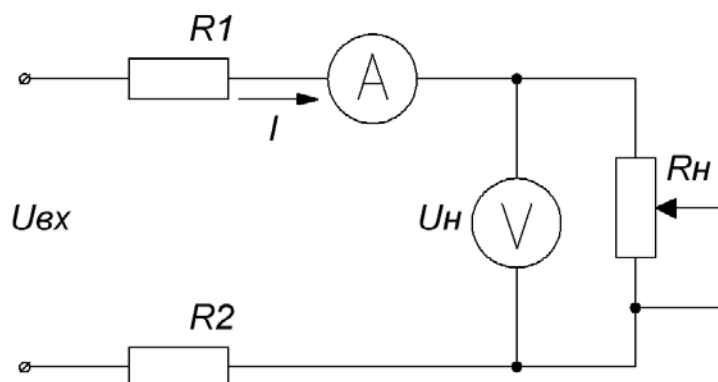


Рисунок 1.1 – Схема моделирования

Ее реализация в программе Electronics Workbench (рис. 1.2).

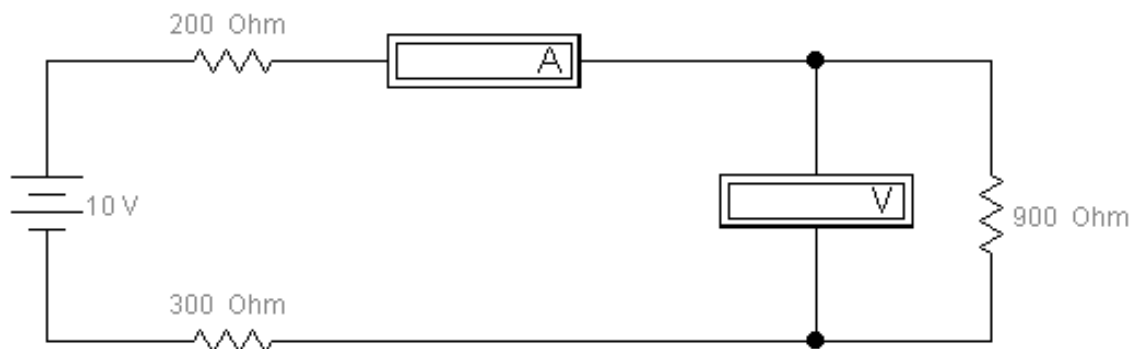


Рисунок 1.2 – Схема моделирования в Electronics Workbench

3. Исследуем работу схемы, изменяя сопротивления переменного резистора  $R_H$  согласно таблице 1.1. Сюда же заносим показания приборов.

Таблица 1.1 – Экспериментальные и расчетные данные

Режим работы	$R_H, Ом$	$U_{BX}, В$	Экспериментальные данные		Расчётные данные					
			$U_H, В$	$I, mA$	$U_L, В$	$P, Вт$	$P_H, Вт$	$P_L, Вт$	$R, Ом$	$\eta, \%$
	0,001	10								
	100	10								
	200	10								
	300	10								
	400	10								
	500	10								
	600	10								
	700	10								
	800	10								
	900	10								
	$\infty$	10								

4. Рассчитываем величины, содержащиеся в таблице 1.1 в графе «Расчётные данные», по следующим формулам:

---



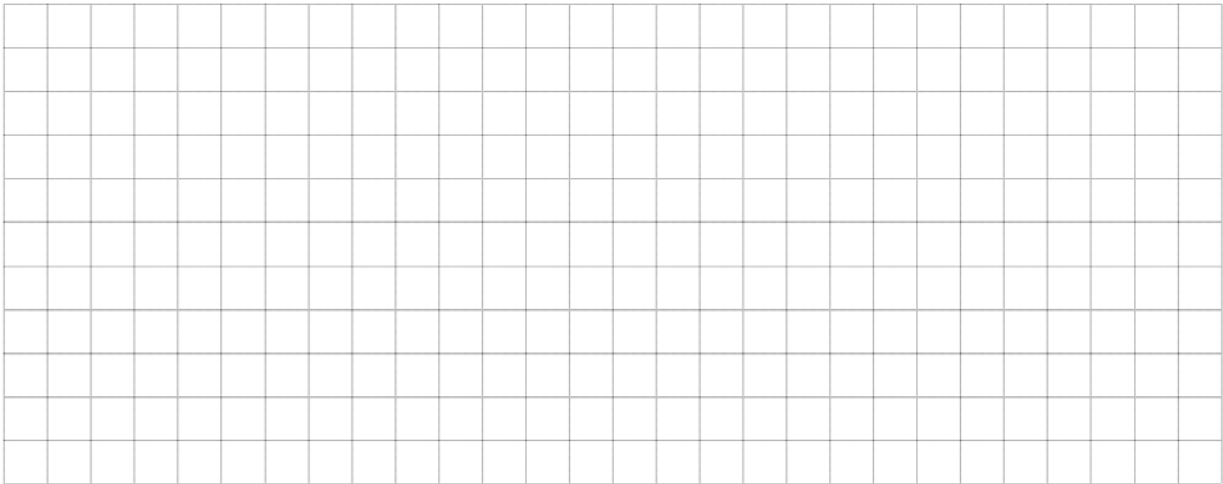
---



---

5. На основании экспериментальных и расчётных данных строим графики следующих зависимостей:

$$U_{BX}(I); U_H(I); U_{II}(I)$$



$$P_{BX}(I); P_H(I); P_{II}(I)$$



$$R(I); \eta(I)$$



## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 2. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ПРОВЕРКА МЕТОДА НЕПОСРЕДСТВЕННОГО ПРИМЕНЕНИЯ ЗАКОНОВ КИРХГОФА ДЛЯ РАСЧЕТА СЛОЖНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ ПОСТОЯННОГО ТОКА

**Цель работы:** изучение правил расчета сложной электрической цепи постоянного тока методом непосредственного применения законов Кирхгофа и ее экспериментальное исследование.

### *Порядок выполнения работы*

1. Выбираем произвольно из комплекта элементов наборного поля резисторы  $R_1 \dots R_5$ .
2. Собираем схему, представленную на рисунке 2.1.

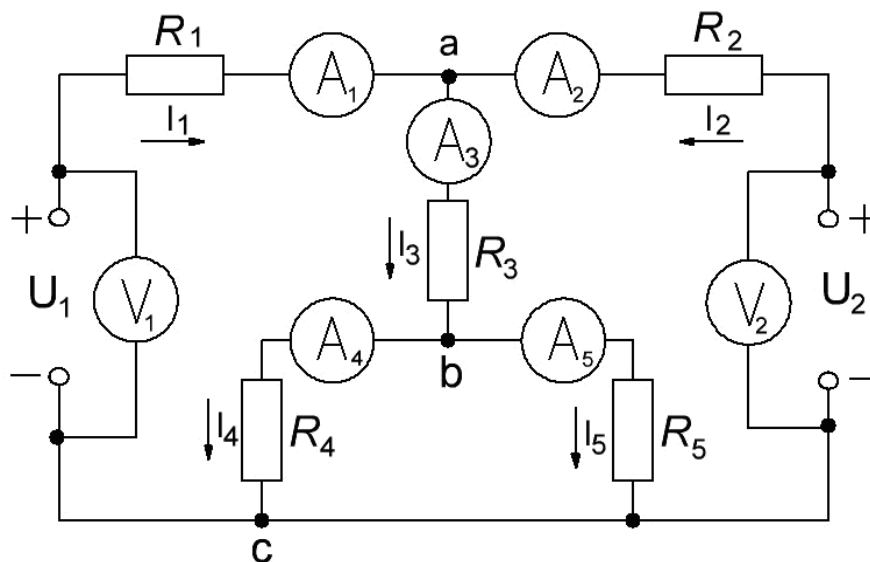


Рисунок 2.1 – Схема моделирования электрической цепи постоянного тока

3. Устанавливаем заданное преподавателем значение напряжения регулируемого источника  $U_2$  и измеряем напряжение  $U_1$ . Запишем значения напряжений в таблицу 2.2.

4. Измеряем значения токов  $I_1 \dots I_5$  и заносим их в таблицу 2.1. При этом учитываем их направления (рис. 2.1).

Таблица 2.1 – Экспериментальные и расчетные данные

	$U_1, B$	$U_2, B$	$I_1, mA$	$I_2, mA$	$I_3, mA$	$I_4, mA$	$I_5, mA$
Экспериментальные данные							
Расчетные данные							

5. При помощи омметра измеряем сопротивления резисторов  $R_1 \dots R_5$ . Данные заносим в таблицу 2.2.

Таблица 2.2 – Значения сопротивлений резисторов

$R_1, \text{ Ом}$	$R_2, \text{ Ом}$	$R_3, \text{ Ом}$	$R_4, \text{ Ом}$	$R_5, \text{ Ом}$

6. Считая ЭДС источников равными их напряжениям  $U_1$  и  $U_2$  и используя данные таблицы 2.2, рассчитываем значения токов в ветвях цепи методом непосредственного применения законов Кирхгофа. Результаты расчета заносим в таблицу 2.1.

---

7. Сравним расчетные и экспериментальные данные. Составляем уравнение баланса мощностей для электрической цепи, представленной на рисунке 2.1.

---

### ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 3. ИССЛЕДОВАНИЕ ЯВЛЕНИЯ РЕЗОНАНСА НАПРЯЖЕНИЙ

**Цель работы:** исследование режимов работы цепи переменного тока, содержащей последовательное соединение резистивного, индуктивного и емкостного элементов.

#### *Порядок выполнения работы*

1. По заданным преподавателем значениям емкости (индуктивности) рассчитываем значение индуктивности (емкости), необходимой для выполнения условия резонанса напряжений на частоте, равной  $4 \text{ кГц}$ , а также значение активного сопротивления, необходимого для выполнения следующего условия:  $U_L = U_C > U_R$ .

---

2. Соберем схему, представленную на рисунке 3.1, задав требуемые номиналы сопротивления, индуктивности, емкости ( $R, L, C$ ).



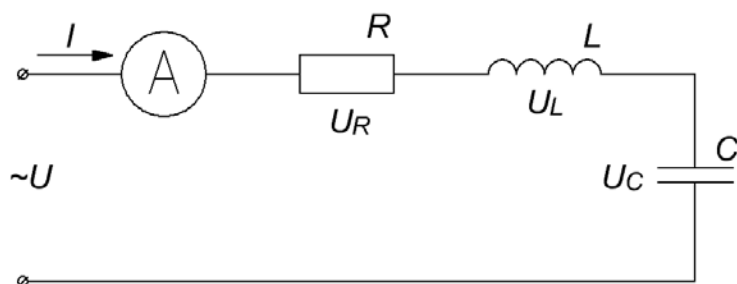


Рисунок 3.1 – Схема моделирования

3. Устанавливаем на входе цепи напряжение 10 ... 15 В и заносим его значение в таблицу 3.1.

4. Исследуем работу схемы, изменяя частоту  $f$  согласно таблице 3.1. Сюда же заносим показания приборов.

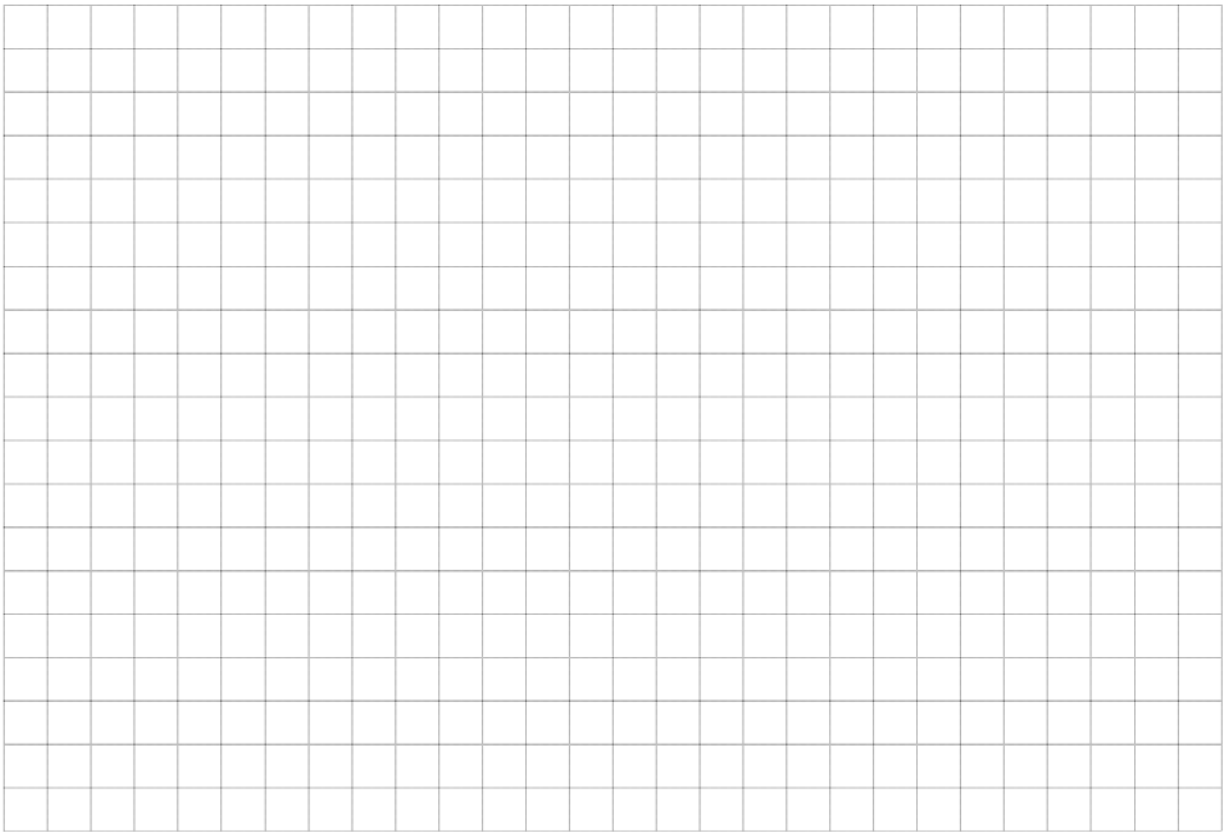
Таблица 3.1 – Экспериментальные и расчетные данные

$f$ , кГц	$U$ , В	Экспериментальные данные				Расчётные данные			
		$U_R$ , В	$U_L$ , В	$U_C$ , В	$I$ , мА	$Z$ , Ом	$X_L$ , Ом	$X_C$ , Ом	$\cos\varphi$
0,001									
1									
2									
3									
4									
5									
6									
7									
8									

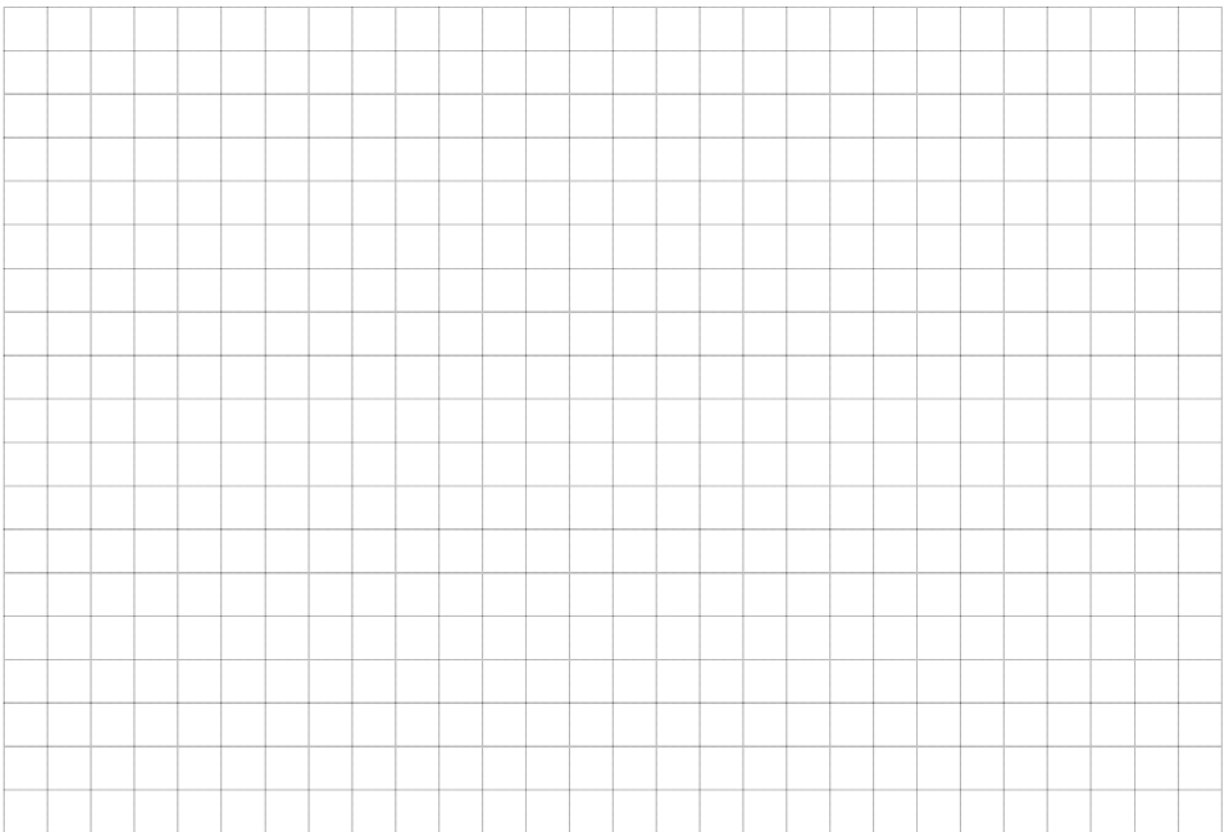
5. Рассчитываем величины, содержащиеся в таблице 3.1 в графе «Расчётные данные», по следующим формулам:

6. На основании экспериментальных и расчётных данных строим:  
 а. Три векторные диаграммы токов и напряжений для случаев:

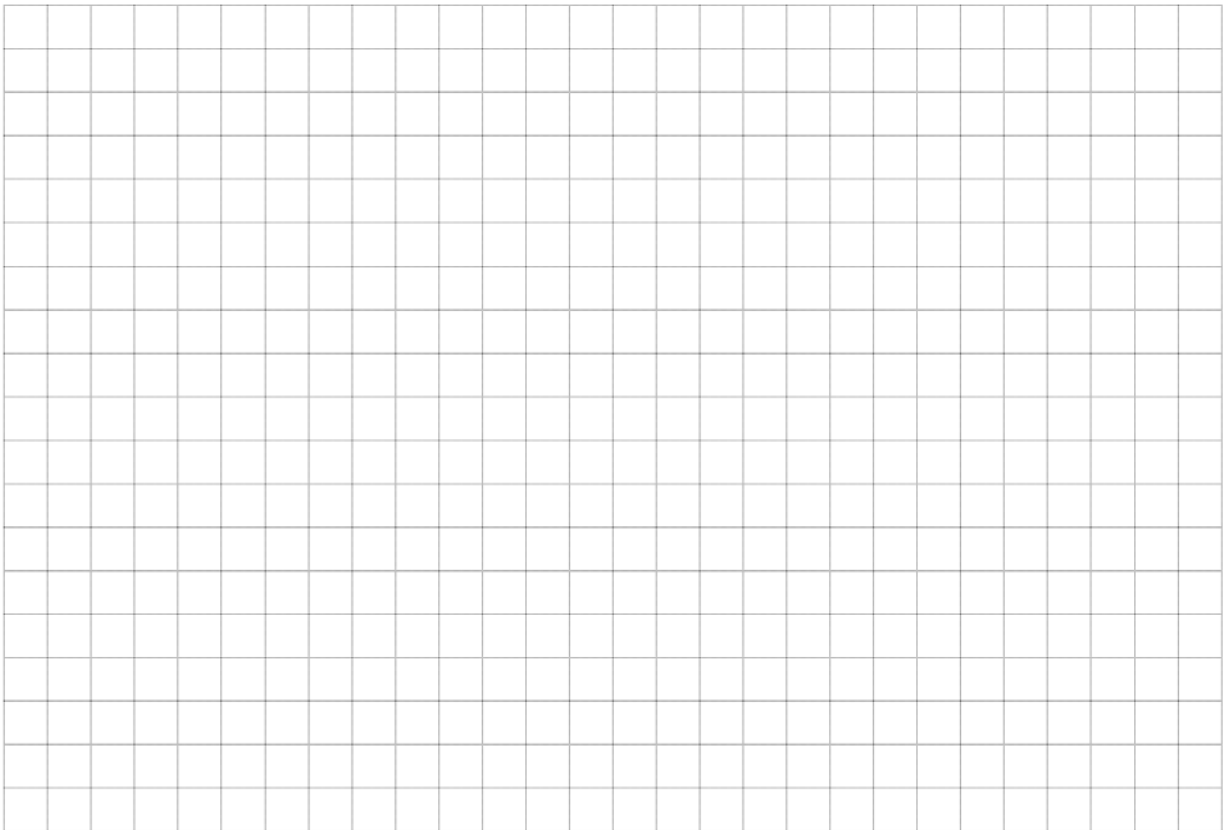
$$X_L > X_C$$



$$X_L = X_C$$



$$X_L < X_C$$

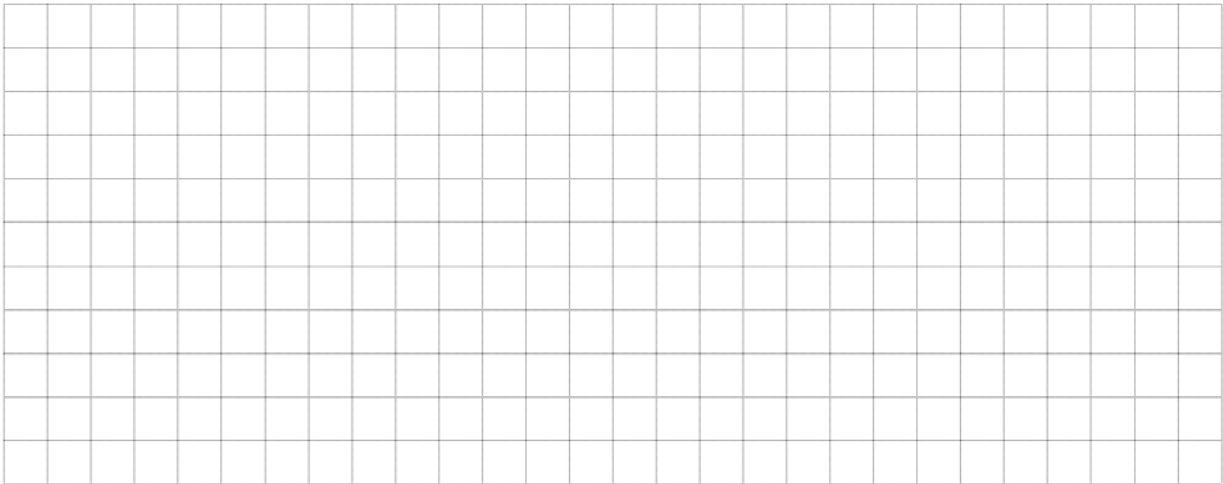


б. Зависимости:

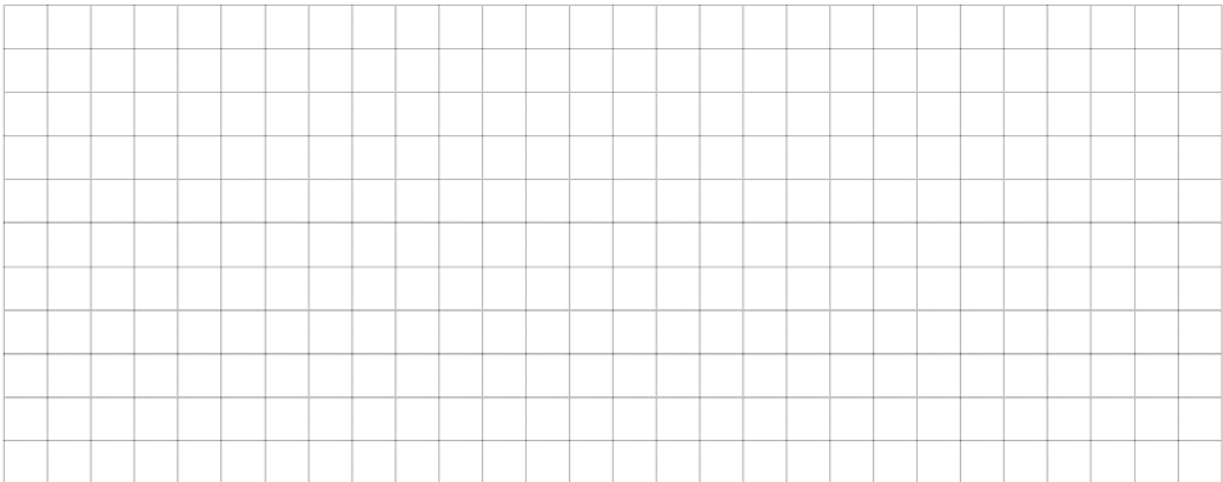
$$I(f)$$



$$U(f); U_R(f); U_L(f); U_C(f)$$



$$Z(f)$$



$$\cos \varphi(f)$$



# ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 4. ИССЛЕДОВАНИЕ ТРЕХФАЗНОЙ ЦЕПИ ПРИ СОЕДИНЕНИИ ФАЗ ИСТОЧНИКА И ПРИЕМНИКА ЗВЕЗДОЙ

**Цель работы:** изучить особенности работы и свойства трехфазной цепи при соединении звездой фаз источника и приемника.

## *Порядок выполнения работы*

1. Собираем схему, представленную на рисунке 4.1. В качестве фазных напряжений используем источники синусоидального напряжения, установив в их настройках:

- напряжение: 10 В;
  - частота: 50 Гц;
  - фазовый сдвиг: для А –  $0^\circ$ , для В –  $120^\circ$ , для С –  $240^\circ$ .
- Задаем сопротивление нагрузки 500 Ом.

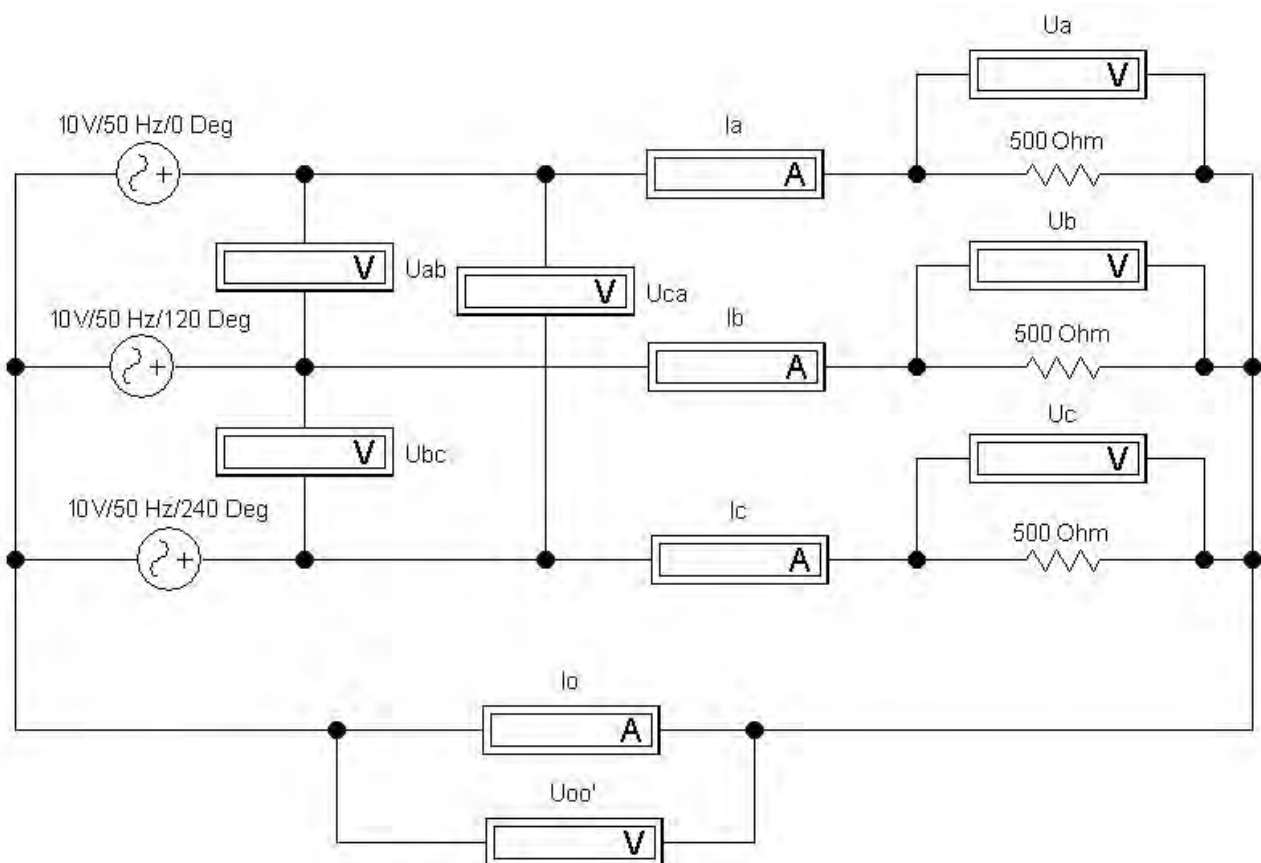


Рисунок 4.1 – Схема моделирования в Electronics Workbench

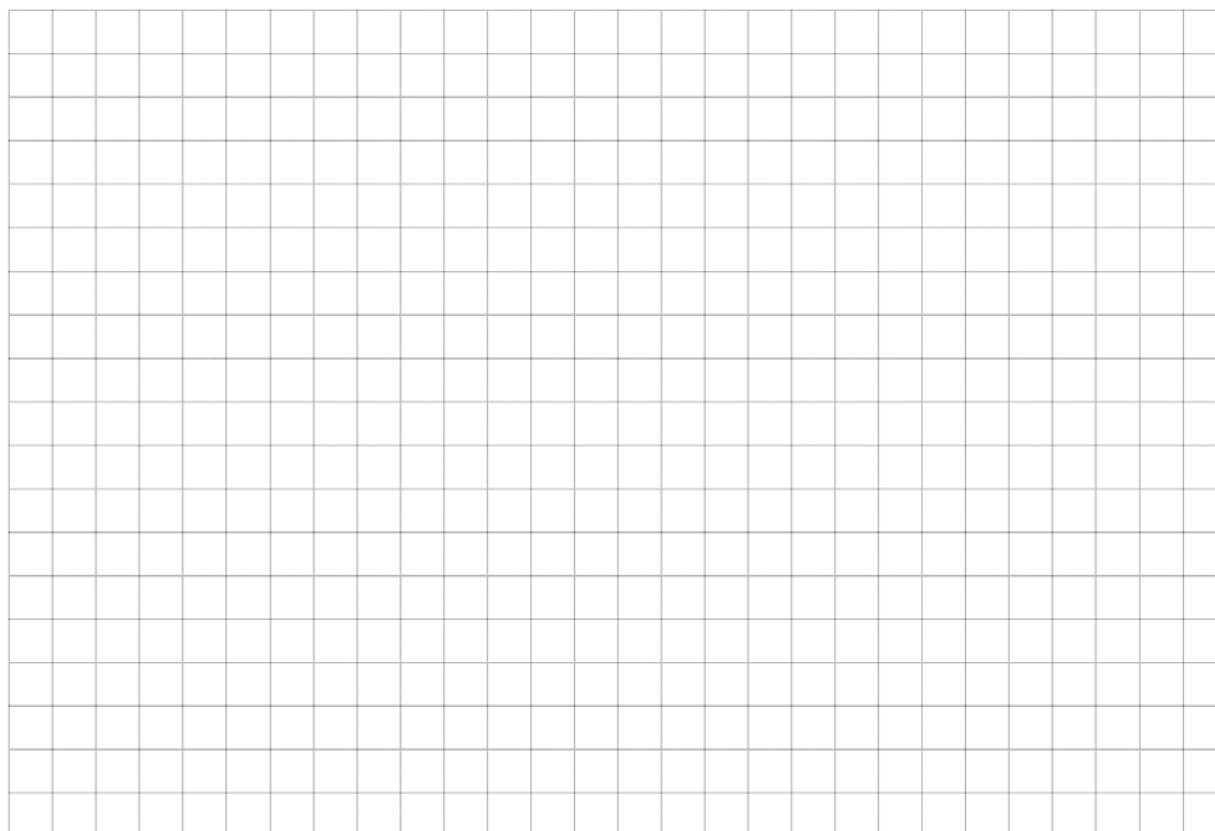
2. Исследуем работу цепи, изменяя режимы ее работы согласно таблице 4.1. Сюда же заносим результаты измерений.

Таблица 4.1 – Экспериментальные данные

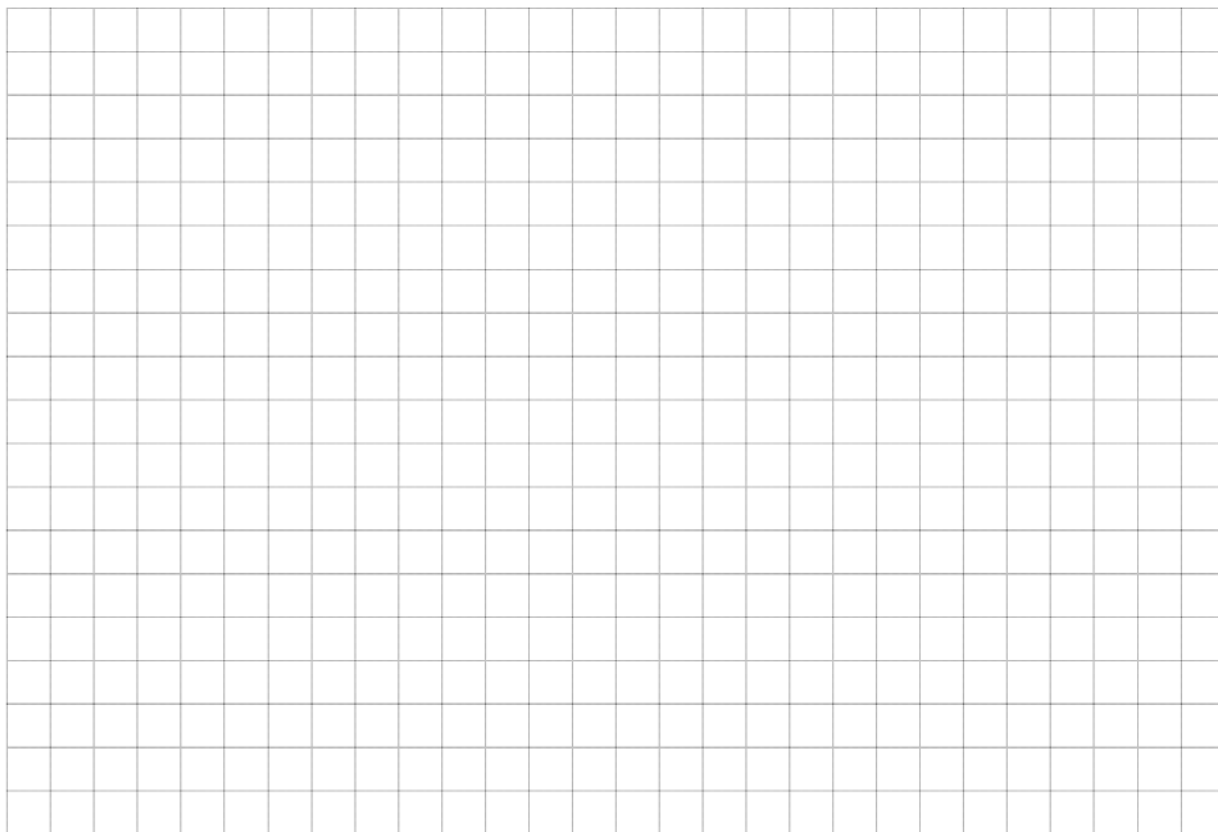
Режим	$I_A,$ <i>мА</i>	$I_B,$ <i>мА</i>	$I_C,$ <i>мА</i>	$I_0,$ <i>мА</i>	$U_A,$ <i>В</i>	$U_B,$ <i>В</i>	$U_C,$ <i>В</i>	$U_{AB},$ <i>В</i>	$U_{BC},$ <i>В</i>	$U_{CA},$ <i>В</i>	$U_{00'},$ <i>В</i>
Четырехпроводная схема											
Симметричная нагрузка											
Несимметричная нагрузка											
Разгрузка фазы А											
Трехпроводная схема											
Симметричная нагрузка											
Несимметричная нагрузка											
Разгрузка фазы А											
Короткое замыкание фазы А											

3. Строим векторные диаграммы для трех заданных режимов:

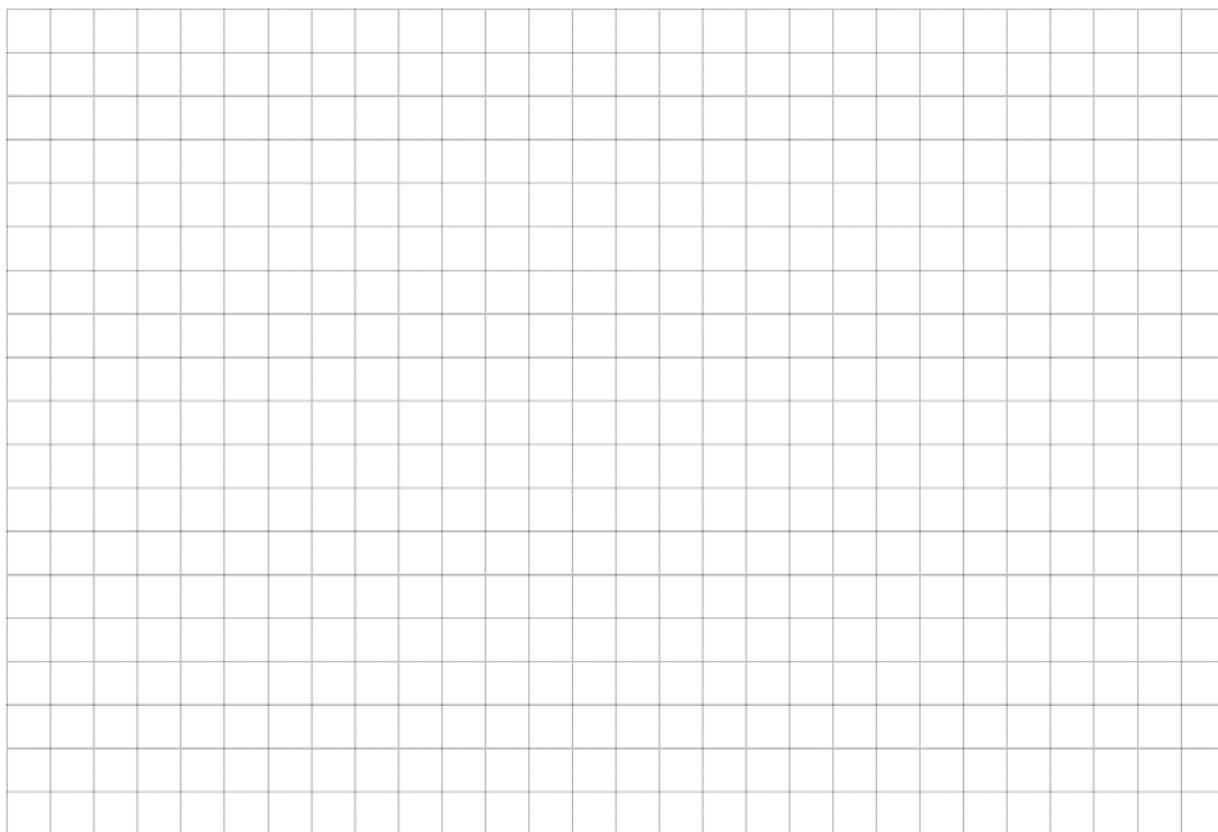
Режим \_\_\_\_\_



Режим \_\_\_\_\_



Режим \_\_\_\_\_



# ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 5. ИССЛЕДОВАНИЕ ТРЕХФАЗНОЙ ЦЕПИ ПРИ СОЕДИНЕНИИ ТРЕУГОЛЬНИКОМ

**Цель работы:** изучить особенности работы и свойства трехфазной цепи при соединении треугольником фаз источника и приемника.

## *Порядок выполнения работы*

1. Собираем схему, представленную на рисунке 5.1. В качестве фазных напряжений используем источники синусоидального напряжения, установив в их настройках:

- напряжение:  $10\text{ В}$ ;
- частота:  $50\text{ Гц}$ ;
- фазовый сдвиг: для фазы А –  $0^\circ$ , для фазы В –  $120^\circ$ , для фазы С –  $240^\circ$ ;
- параметр Fault: для фазы А – Open, для фаз В и С – Short.

Задаем сопротивление нагрузки  $500\text{ Ом}$ .

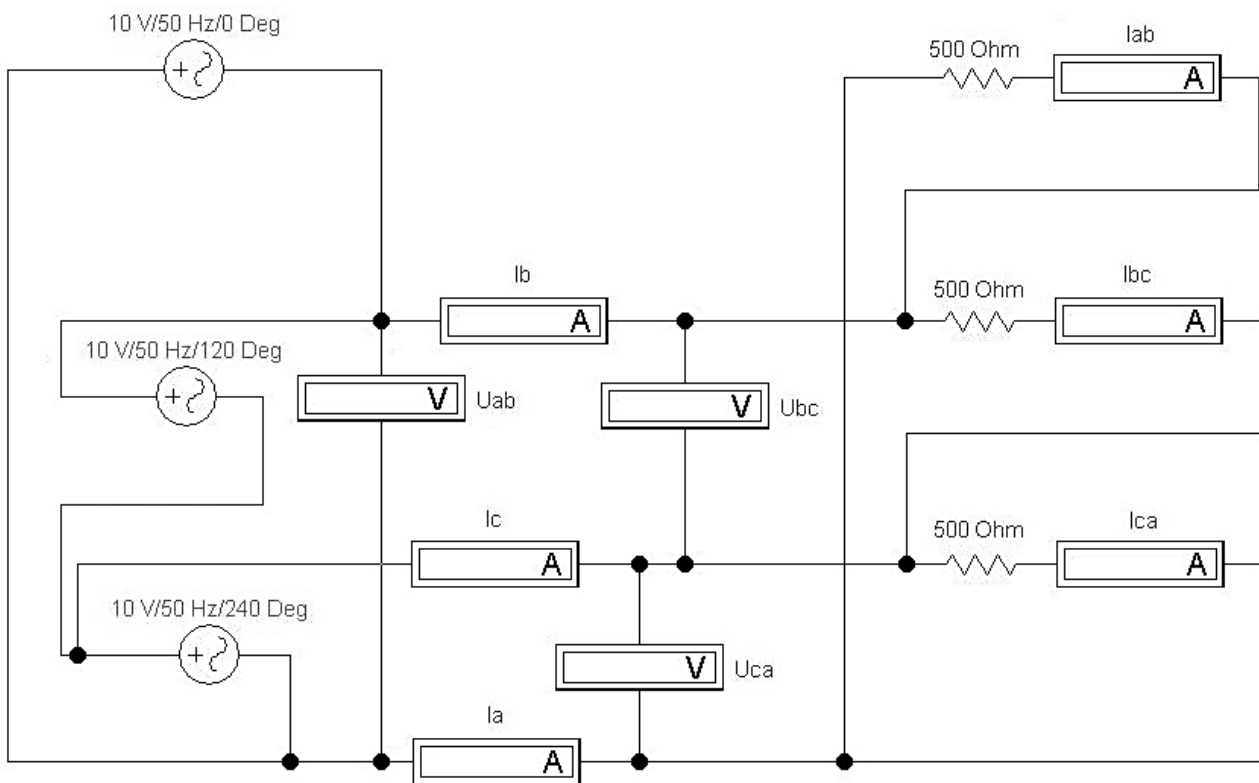


Рисунок 5.2 – Схема моделирования в Electronics Workbench

2. Исследуем работу цепи, изменяя режимы ее работы согласно таблице 5.1. Сюда же заносим результаты измерений.



Таблица 5.1 – Экспериментальные данные

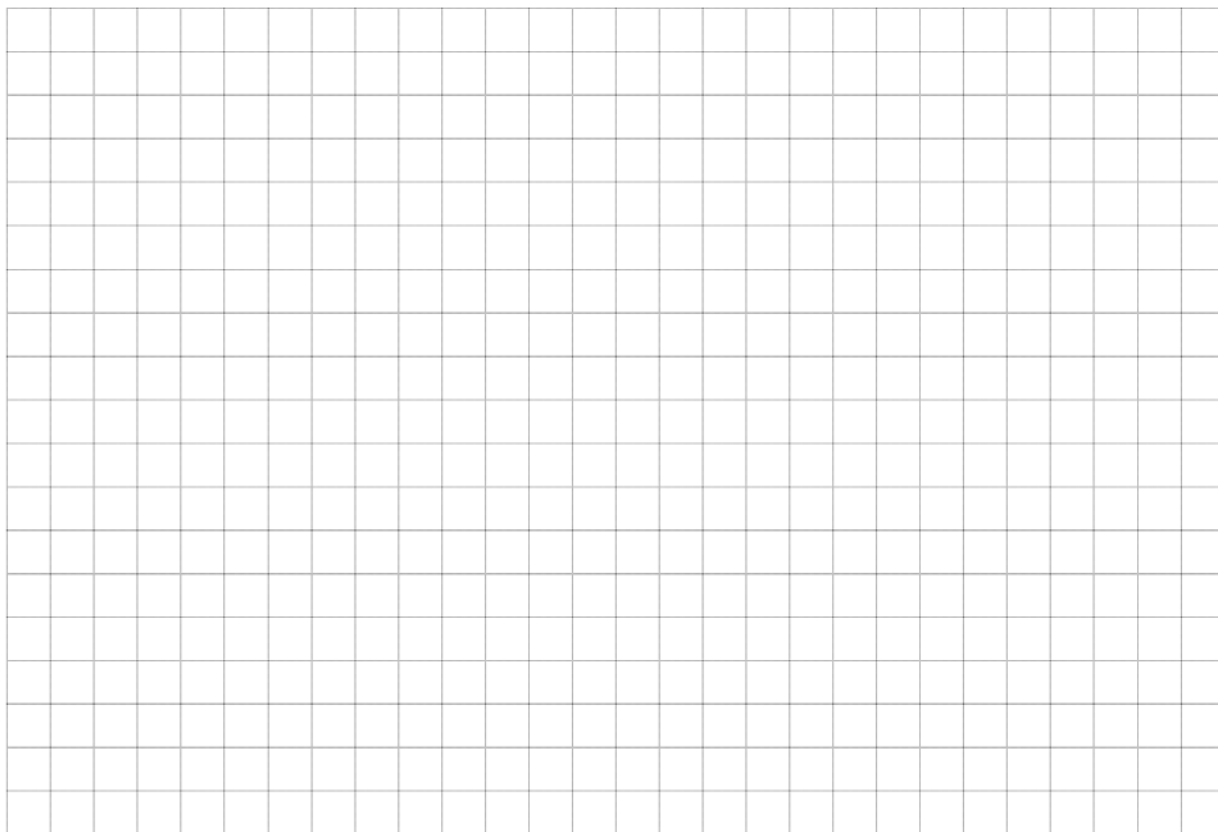
Режимы	$I_A,$ <i>мА</i>	$I_B,$ <i>мА</i>	$I_C,$ <i>мА</i>	$I_{AB},$ <i>мА</i>	$I_{BC},$ <i>мА</i>	$I_{CA},$ <i>мА</i>	$U_{AB},$ <i>В</i>	$U_{BC},$ <i>В</i>	$U_{CA},$ <i>В</i>
Симметричная нагрузка									
Несимметричная нагрузка									
Разгрузка фазы А									
Обрыв линейного провода									

3. Строим векторные диаграммы для трех режимов:

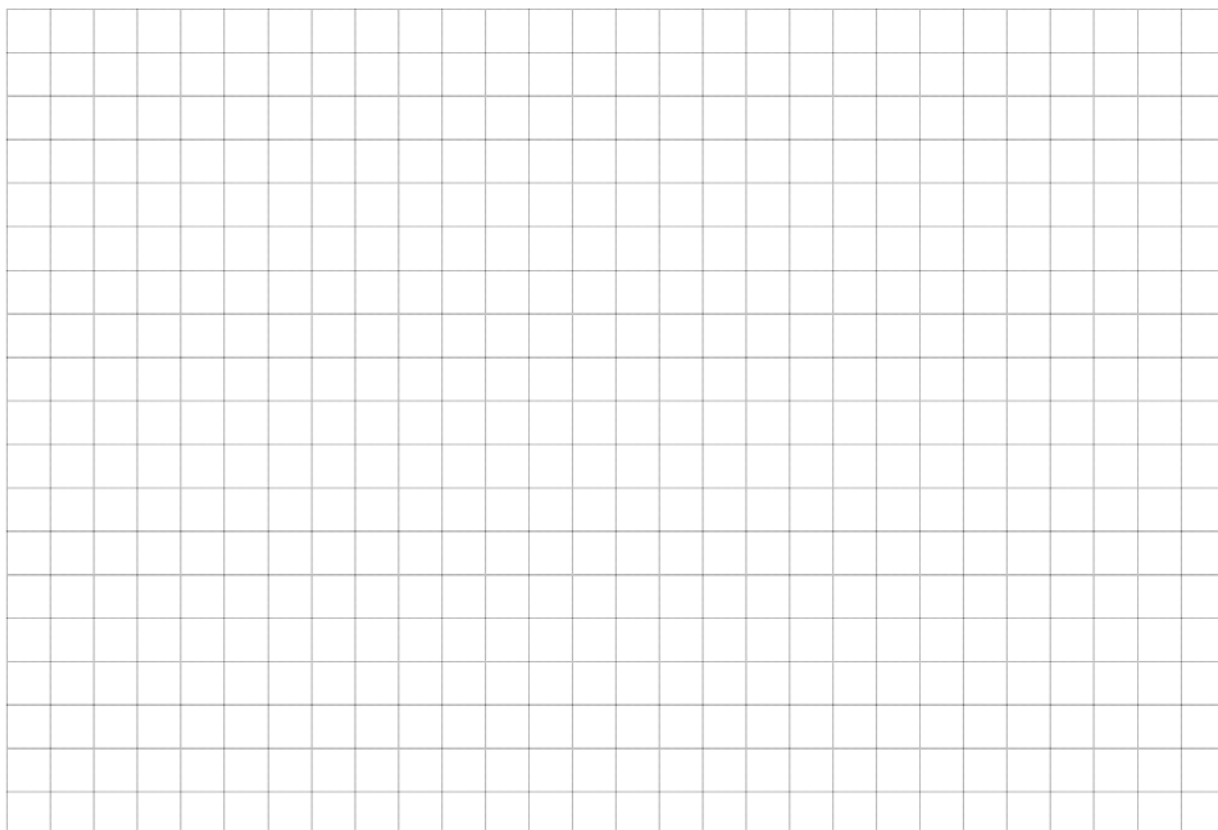
Режим «Симметричная нагрузка»



Режим «Несимметричная нагрузка»



Режим «Разгрузка фазы А»



## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 6. ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМОВ ХОЛОСТОГО ХОДА И КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ ОДНОФАЗНОГО ТРАНСФОРМАТОРА

**Цель работы:** изучение предельных режимов работы и определение основных параметров однофазного трансформатора.

### *Порядок выполнения работы*

1. Для исследования трансформатора  $TV_2$  в режиме холостого хода соберем электрическую цепь, схема которой представлена на рисунке 6.1.

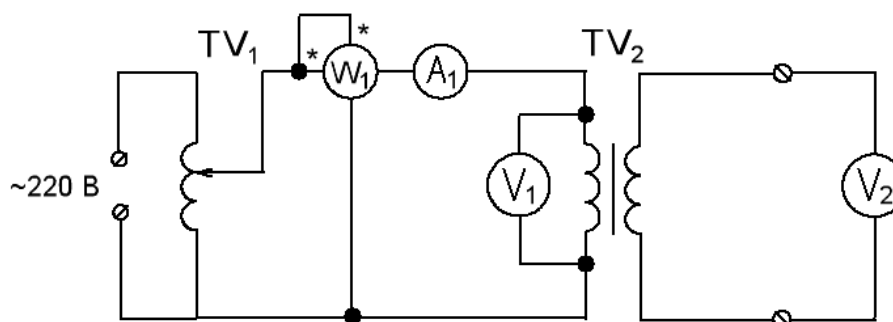


Рисунок 6.1 – Схема моделирования

2. Исследуем работу схемы, изменяя величину напряжения  $U_{10}$ , согласно таблице 6.1. Сюда же заносим показания приборов.

Таблица 6.1 – Экспериментальные и расчетные данные для режима холостого хода

Экспериментальные данные				Расчетные данные					
$U_{10}, B$	$U_{20}, B$	$I_{10}, A$	$P_0, Вт$	$Z_0, Ом$	$R_0, Ом$	$X_0, Ом$	$\cos\varphi_0$	$\varphi_0, ^\circ$	$K$
60									
100									
140									
180									
220									

3. Рассчитываем величины, содержащиеся в таблице 6.1 в графе «Расчётные данные», по следующим формулам:

4. На основании экспериментальных данных строим графики следующих зависимостей:

$$I_{10}(U_{10})$$



$$P_0(U_{10})$$



5. Для исследования трансформатора  $TV_2$  в режиме короткого замыкания соберем электрическую цепь, схема которой представлена на рисунке 6.2.

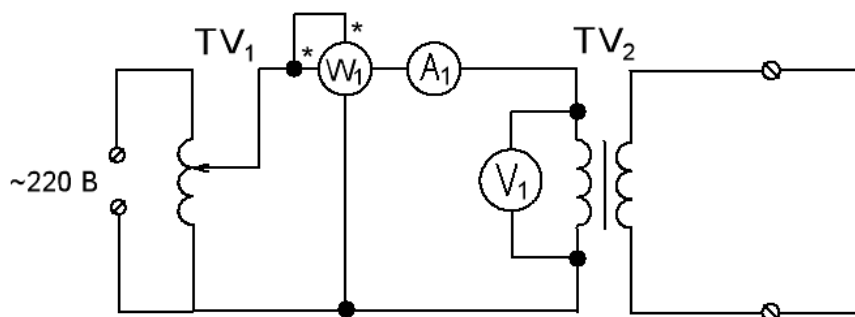


Рисунок 6.2 – Схема моделирования

6. Исследуем работу схемы, изменяя величину тока  $I_{1к}$ , согласно таблице 6.2. Сюда же заносим показания приборов.

Таблица 6.2 – Экспериментальные и расчетные данные для режима короткого замыкания

Экспериментальные данные			Расчетные данные					
$U_{1к}, B$	$I_{1к}, A$	$P_{к}, Вт$	$Z_{к}, Ом$	$R_{к}, Ом$	$X_{к}, Ом$	$\cos\varphi_{к}$	$\varphi_{к}, ^\circ$	$U_{к}, \%$
	0,12							
	0,14							
	0,16							
	0,18							
	0,2							

7. Рассчитываем величины, содержащиеся в таблице 6.1 в графе «Расчётные данные», по следующим формулам:

8. На основании экспериментальных данных строим графики следующих зависимостей:

$$I_{1к}(U_{1к})$$





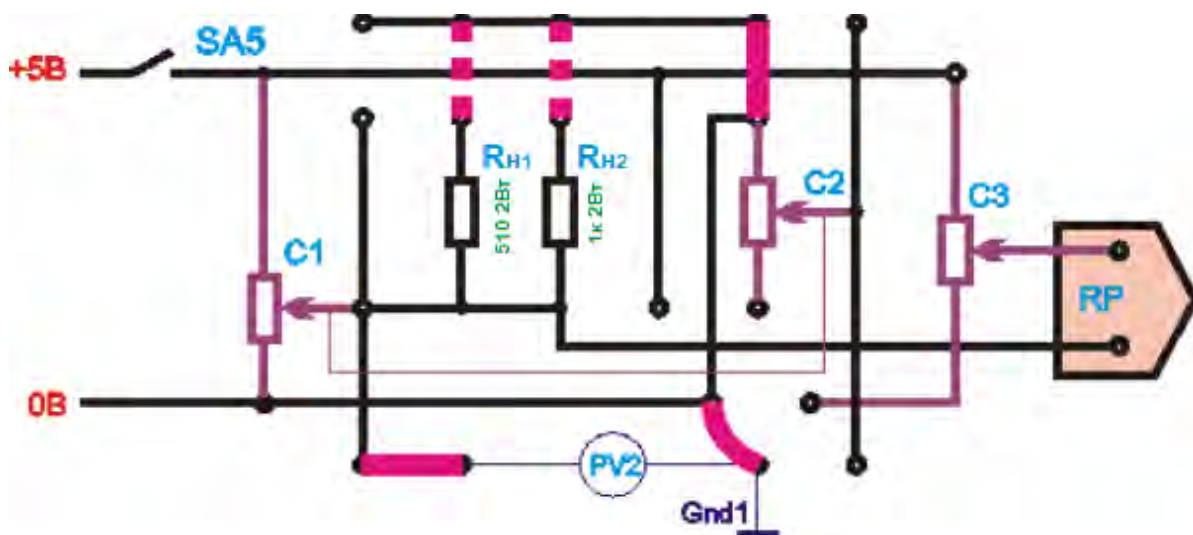


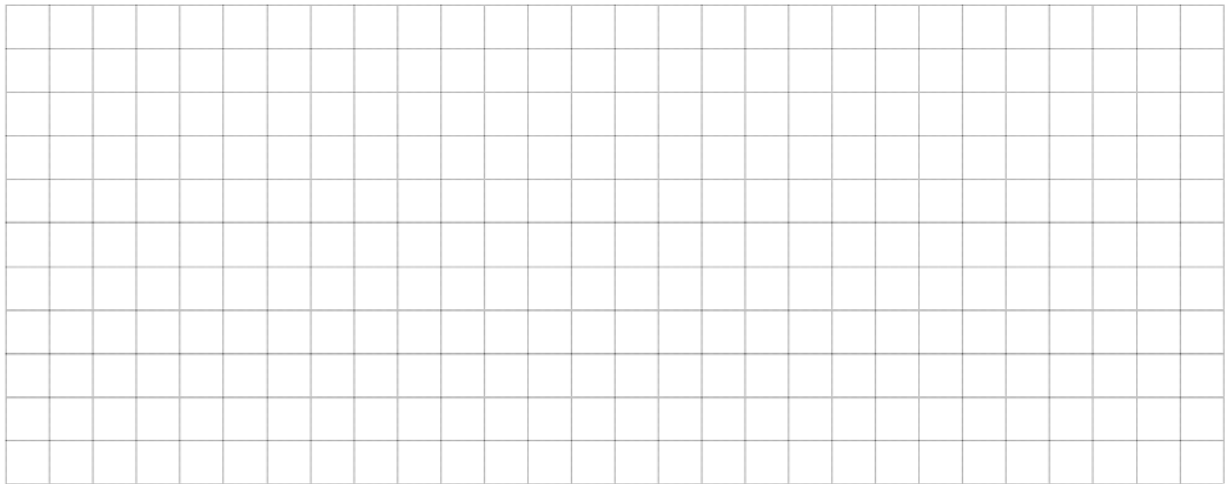
Рисунок 7.1 – Схема одноактного потенциметрического преобразователя

4. Плавно перемещая ручку потенциометра C1, снимаем статическую характеристику  $U_{ВЫХ}(\varphi)$  при подключении нагрузки  $R_{H1}$  и  $R_{H2}$ . Данные заносим в таблицу 7.3.

Таблица 7.3 – Статическая характеристика  $U_{ВЫХ}(\varphi)$  на холостом ходу и при подключении нагрузки  $R_{H1}$  и  $R_{H2}$

$\varphi, ^\circ$	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	360
$U_{ВЫХ},$ $B$ (х.х.)													
$U_{ВЫХ},$ $B$ ( $R_{H1}$ )													
$U_{ВЫХ},$ $B$ ( $R_{H2}$ )													

5. На основании экспериментальных данных строим графики статической характеристики  $U_{ВЫХ}(\varphi)$  на холостом ходу и при подключении нагрузки  $R_{H1}$  и  $R_{H2}$ :



### Исследование мостовой потенциометрической схемы

6. Соберем схему, представленную на рисунке 7.2.

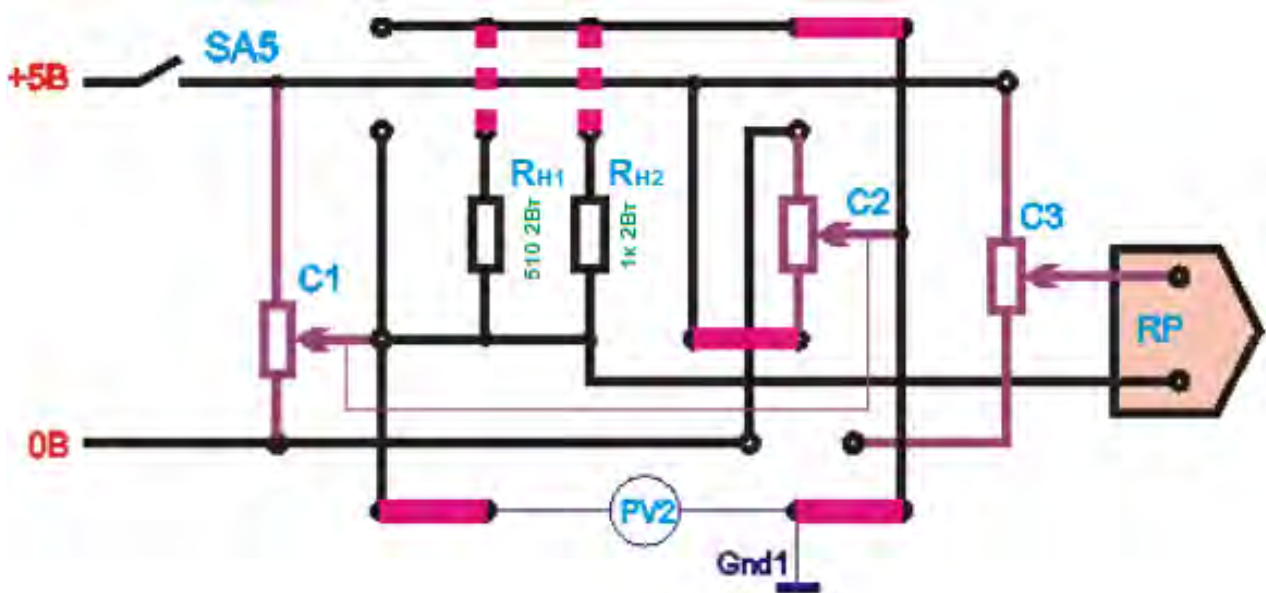


Рисунок 7.2 – Схема мостового потенциометрического преобразователя

7. Плавно поворачивая ручку потенциометра C1, C2, снимаем статические характеристики  $U_{ВЫХ}(\varphi)$  в режиме холостого хода. Данные заносим в таблицу 7.4.

8. Плавно поворачивая ручку потенциометра C1, C2, снимаем статические характеристики  $U_{ВЫХ}(\varphi)$  при подключении нагрузки  $R_{H1}$  и  $R_{H2}$ . Данные заносим в таблицу 7.4.



Таблица 7.4 – Статическая характеристика  $U_{ВЫХ}(\varphi)$  на холостом ходу и при подключении нагрузки  $R_{H1}$  и  $R_{H2}$

$\varphi, ^\circ$	$U_{ВЫХ}, B$ (х.х.)		$U_{ВЫХ}, B$ ( $R_{H1}$ )		$U_{ВЫХ}, B$ ( $R_{H2}$ )	
	направление		направление		направление	
	прав.	лев.	прав.	лев.	прав.	лев.
0						
30						
60						
90						
120						
150						
180						
210						
240						
270						
300						
330						
360						

9. На основании экспериментальных данных строим графики статической характеристики  $U_{ВЫХ}(\varphi)$  на холостом ходу и при подключении нагрузки  $R_{H1}$  и  $R_{H2}$ :



## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 8. ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО УСИЛИТЕЛЯ

**Цель работы:** изучение устройства, принципа действия и характеристик дроссельного магнитного усилителя. Знакомство с назначением обратной связи и ее действием в магнитном усилителе.

### Порядок выполнения работы

1. Собираем схему, представленную на рисунке 8.1.

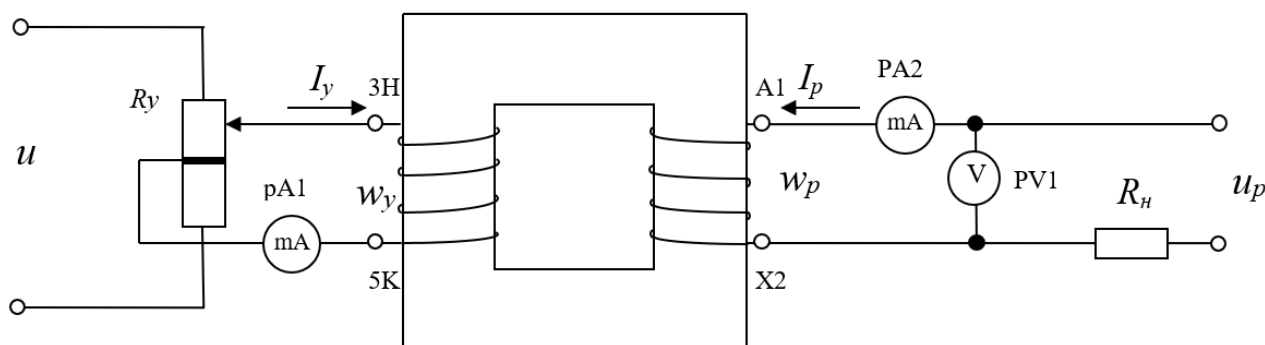


Рисунок 8.1 – Схема дроссельного магнитного усилителя

2. Снимаем зависимость  $Z(I_y)$ , изменяя величину тока управления  $I_y$  в обмотке управления  $W_y$  согласно таблице 8.1. При этом измеряем ток  $I_n$ , напряжение  $U$  на рабочей обмотке  $W_p$ . Данные заносим в таблицу 8.1.

Таблица 8.1 – Экспериментальные данные

$I_y, \text{mA}$	0	1	2	3	4	5	6	7
$I_n, \text{mA}$								
$U, \text{B}$								
$Z, \text{Om}$								

3. Вычисляем величину полного сопротивления  $Z$  по формуле:

---

4. На основании экспериментальных данных строим характеристику  $Z(I_y)$ :



5. Собираем схему, представленную на рисунке 8.2.

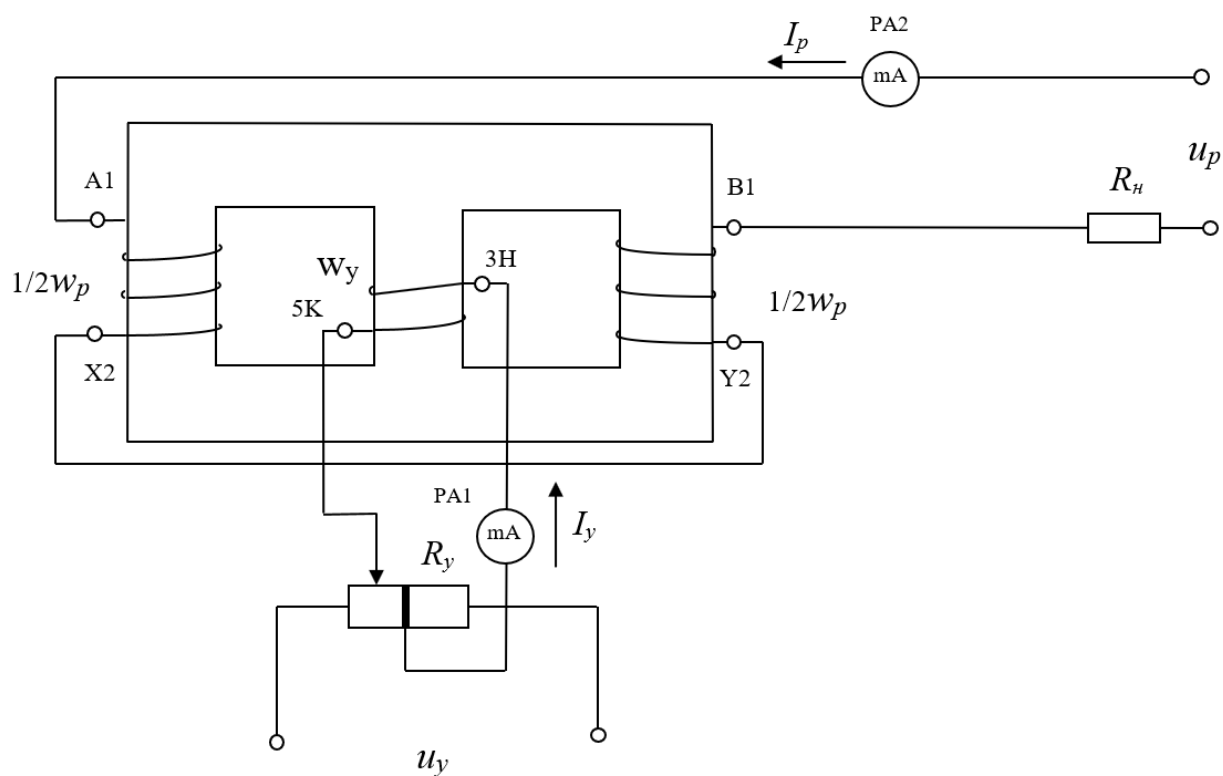


Рисунок 8.2 – Схема симметричного магнитного усилителя

6. Снимаем характеристику «вход – выход»  $I_n(I_y)$  для дроссельного магнитного усилителя, изменяя величину тока управления  $I_y$  согласно таблице 8.2. При этом измеряем величину тока  $I_p$  в рабочей цепи. Данные заносим в таблицу 8.2.

Таблица 8.2 – Экспериментальные данные

$I_y, \text{мА}$	-7	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	7
$I_n, \text{мА}$															

7. Собираем схему, представленную на рисунке 8.3.

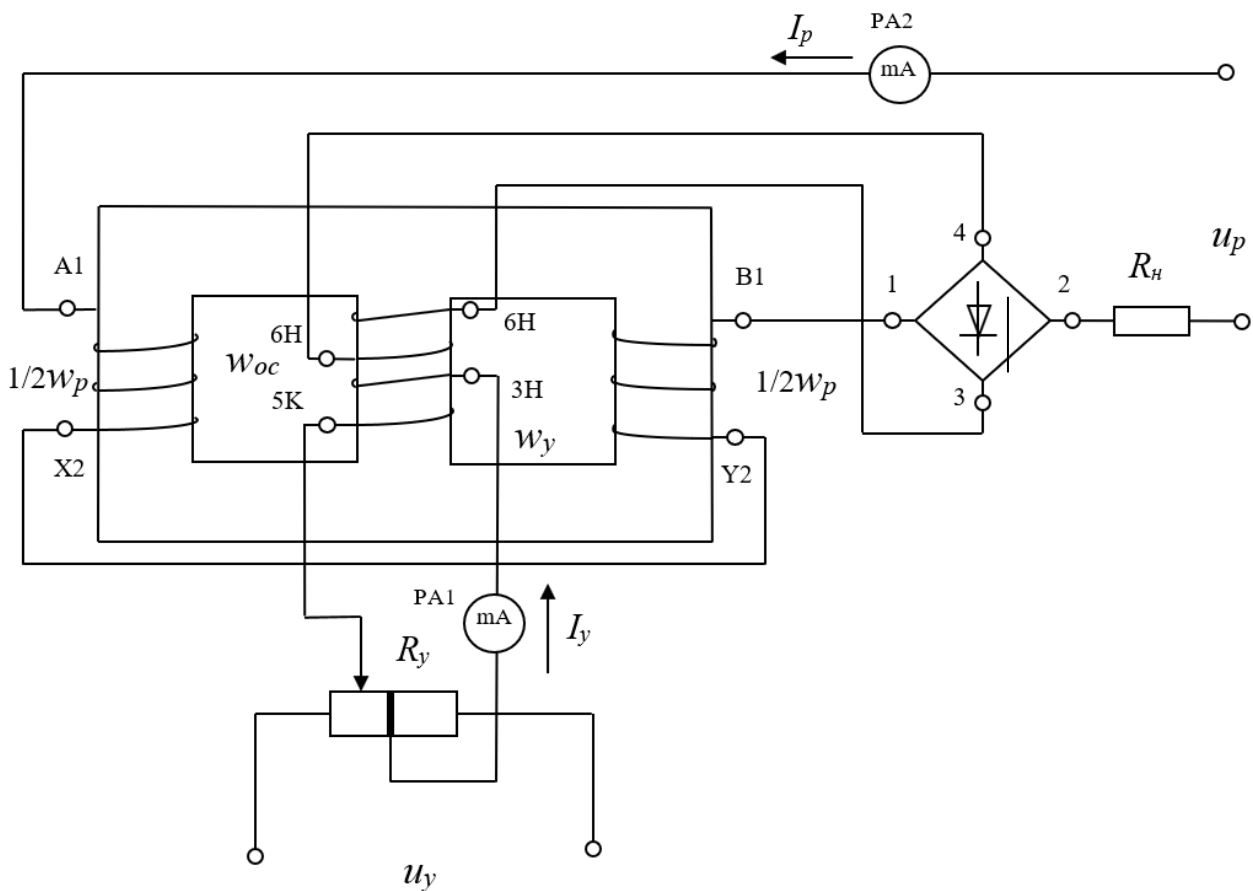


Рисунок 8.3 – Схема магнитного усилителя с обратной связью

8. Снимаем характеристику «вход – выход»  $I_n(I_y)$  для дроссельного магнитного усилителя с обратной связью, изменяя величину тока управления  $I_y$  от +7 мА до 0 для случая положительной обратной связи и от -7 мА до 0 – для случая отрицательной обратной связи. При этом измеряем величину рабочего тока  $I_p$ . Данные заносим в таблицу 8.3.

Таблица 8.3 – Экспериментальные данные

$I_y, \text{мА}$	-7	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	7
$I_n, \text{мА}$															

9. На основании экспериментальных данных (табл. 8.2 и 8.3) строим характеристики «вход – выход»  $I_n(I_y)$  для симметричного МУ и МУ с ОС:



10. Пользуясь данными таблиц 8.2 и 8.3 и учитывая, что  $R_n = 200 \text{ Ом}$ , а  $R_y = 400 \text{ Ом}$ , рассчитываем коэффициенты усиления по току  $K_i$ , по напряжению  $K_u$  и по мощности  $K_p$  для случаев, когда обратная связь отсутствует, ОС положительная и ОС отрицательная, по следующим формулам:

---



---



---

Полученные данные заносим в таблицу 8.4.

Таблица 8.4 – Коэффициенты усиления для дроссельного магнитного усилителя

$K$	$K_i$	$K_u$	$K_p$
Без ОС			
ОС положительная			
ОС отрицательная			

# ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 9. АНАЛОГОВОЕ ИЗМЕРЕНИЕ УГЛА И ПРЕОБРАЗОВАНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЯ В ЦИФРОВОЙ СИГНАЛ

**Цель работы:** изучение методов измерения аналоговых сигналов при помощи операционных усилителей (ОУ). Знакомство с методами построения преобразователей угол-код.

## Порядок выполнения работы

1. Собираем схему, представленную на рисунке 9.1.

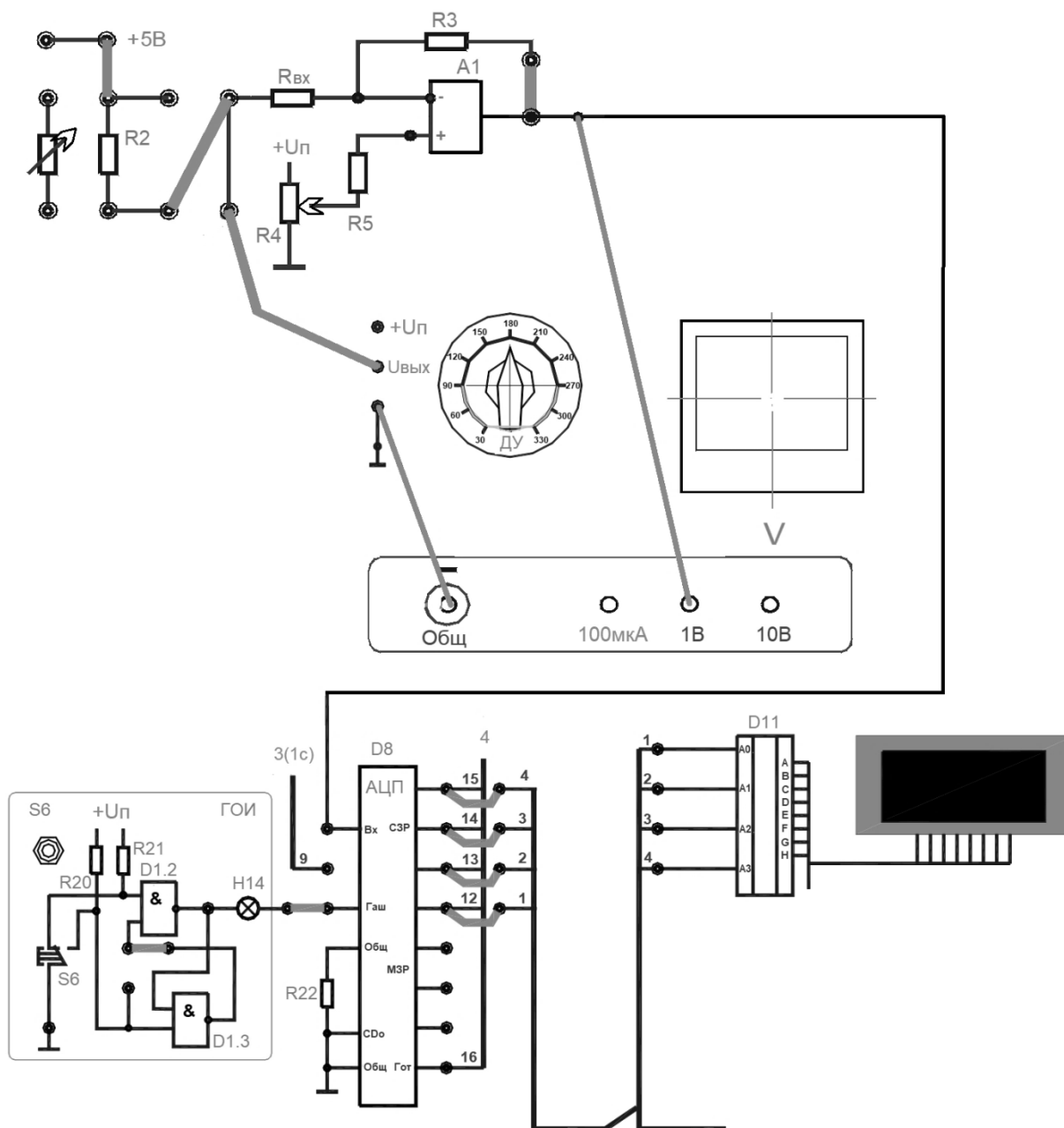


Рисунок 9.1 – Схема аналогового измерения угла с последующим преобразованием в цифровой сигнал

2. Задаваясь различными значениями угла  $\alpha$  согласно таблице 9.1, определяем величину сигнала на выходе инвертирующего усилителя на ОУ  $U$ , а также значение сигнала после аналого-цифрового преобразования. Полученные данные заносим в таблицу 9.1.

Таблица 9.1 – Экспериментальные данные

$\alpha, ^\circ$	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330
$U, мВ$											
Код											

3. Подаем питание +5В на ЦДУ. Для различных значений угла согласно таблице 9.2 определяем соответствующую двоичную величину на выходе датчика.

Таблица 9.2 – Экспериментальные данные

$\alpha, ^\circ$	КОД				Значения
	1	2	4	8	
30					
60					
90					
120					
150					
180					
210					
240					
270					
300					
330					

# ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 10. ИЗУЧЕНИЕ СХЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО СВЯЗЫВАНИЯ НЕСКОЛЬКИХ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

**Цель работы:** изучение средств и способов связывания нескольких асинхронных двигателей. Изучение схем последовательного включения двухфазных асинхронных двигателей.

## *Порядок выполнения работы*

1. Собираем схему управления тремя двигателями (рис. 10.1), работающей согласно тактограмме, представленной на рисунке 10.2.

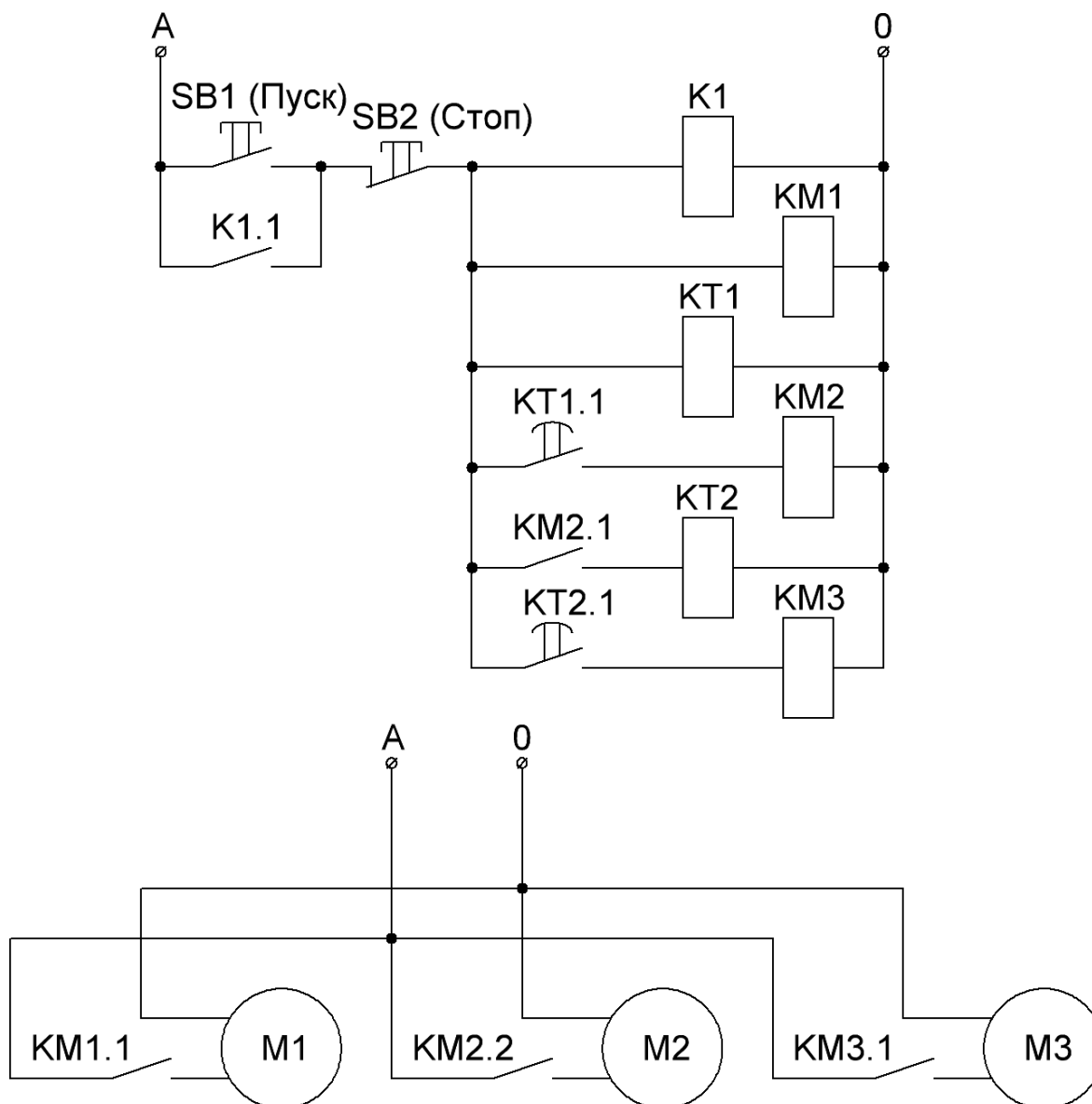


Рисунок 10.1 – Схема управления тремя двигателями



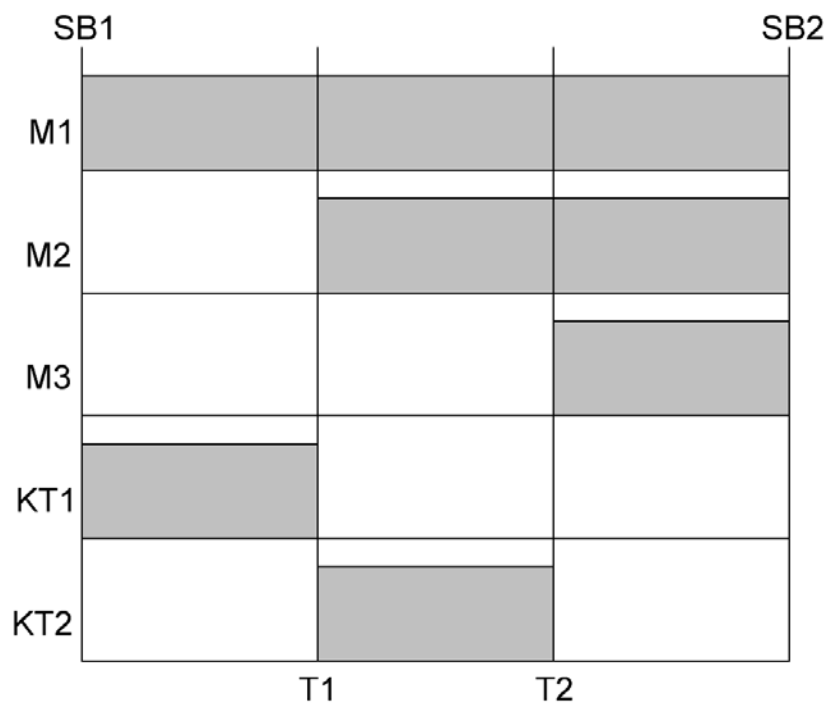


Рисунок 10.2 – Тактограмма работы системы

2. После проверки преподавателем запускаем систему и убеждаемся в правильности ее работы.

3. Составляем схему управления для системы, тактограмма которой задана на рисунке 10.3.

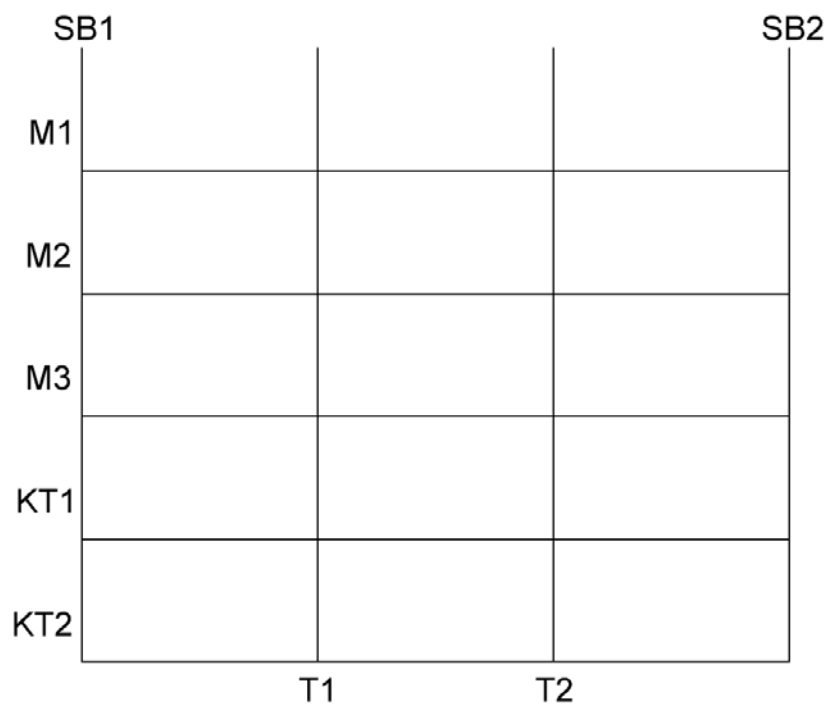


Рисунок 10.3 – Тактограмма работы системы

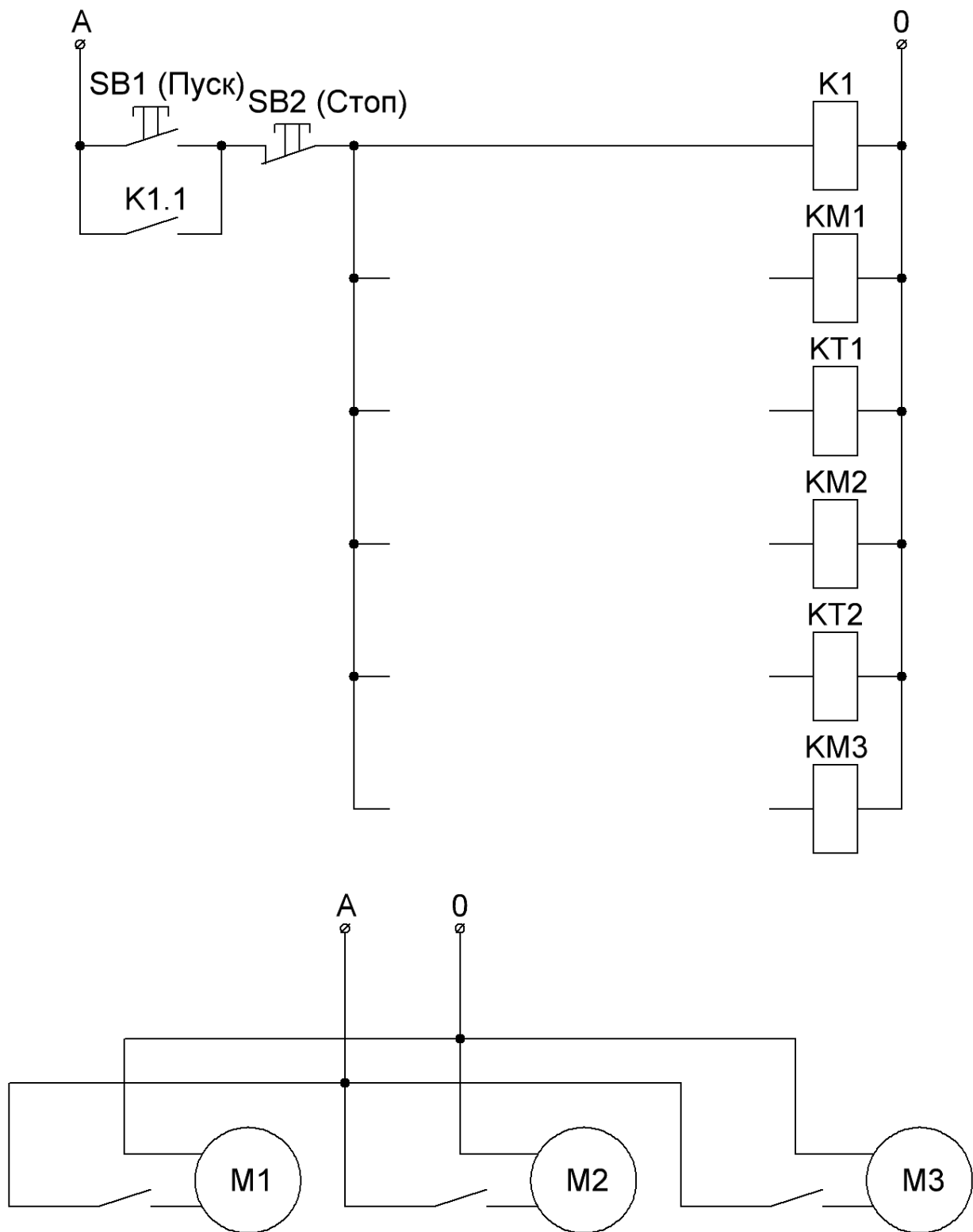


Рисунок 10.1 – Разработанная схема управления тремя двигателями

# ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 11. ТАРИРОВКА ПЕРВИЧНОГО ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ДАВЛЕНИЯ С ЛИНЕЙНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКОЙ ПО УРОВНЮ

**Цель работы:** определение погрешности измерений технологических параметров автоматизированной системы управления. Тарировка датчика давления по уровню.

## Порядок выполнения работы

1. Знакомимся с работой лабораторно-технического комплекса СГЛ-100Л, упрощенная технологическая схема которого представлена на рисунке 11.1.

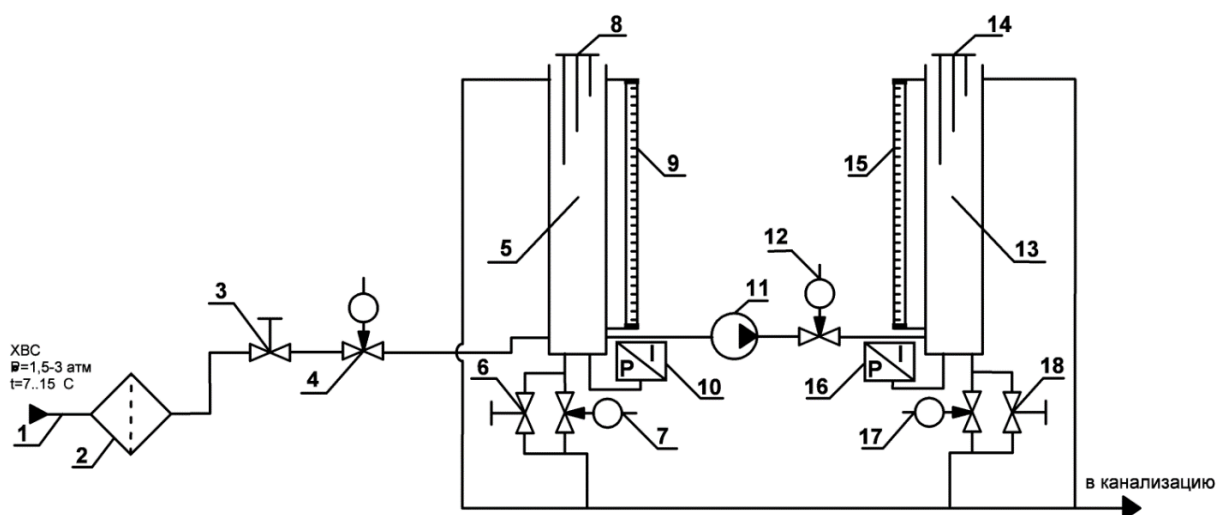


Рисунок 11.1 – Упрощенная технологическая схема лабораторно-технического комплекса СГЛ-100Л

На схеме цифрами обозначены следующие технические средства:

1 – \_\_\_\_\_ ;

2 – \_\_\_\_\_ ;

3 – \_\_\_\_\_ ;

4 – \_\_\_\_\_ ;

5 – \_\_\_\_\_ ;

6 – \_\_\_\_\_ ;

- 7 – \_\_\_\_\_;
- 8 – \_\_\_\_\_;
- 9 – \_\_\_\_\_;
- 10 – \_\_\_\_\_;
- 11 – \_\_\_\_\_;
- 12 – \_\_\_\_\_;
- 13 – \_\_\_\_\_;
- 14 – \_\_\_\_\_;
- 15 – \_\_\_\_\_;
- 16 – \_\_\_\_\_;
- 17 – \_\_\_\_\_;
- 18 – \_\_\_\_\_.

2. Выполняем лабораторную работу. Для этого:

- a. Включаем подачу ХВС шаровым краном.
- b. Подключаем питание сети, включаем автомат управляющего ПЛК.
- c. Дожидаемся загрузки главного экрана ПО стенда.
- d. Нажимаем на кнопку «Подготовка к началу работы».
- e. Нажимаем на кнопку «Далее».
- f. Выбираем лабораторную работу 1 из списка и нажимаем кнопку «Далее».
- g. Для начала лабораторной работы нажимаем кнопку «Старт».
- h. При достижении точки снятия параметров вводим значение уровня визуально по пьезометру и нанесенной за ним шкалы в поле ввода, после чего нажимаем на кнопку «Следующий шаг».
- i. Выполняем пункт 8 до достижения последней точки – появления сообщения «Окончание лабораторной работы».
- j. Нажимаем на кнопку «Далее».
- k. Полученные данные заносим в таблицу 11.1.
- l. Для построения графика нажимаем на кнопку «Построить график».
- m. Для перехода на главную страницу нажимаем кнопку «К главной». В появившемся предупреждении о сливе воды нажимаем кнопку «Да».

- п. После окончания слива воды повторно нажимаем кнопку «К главной».
- о. Отключаем подачу ХВС шаровым краном.
- р. Выключаем автомат управляющего ПЛК, отключаем питание сети.

Таблица 11.1 – Экспериментальные и расчетные данные

Экспериментальные данные			Расчетные данные	
Уровень (визуально), мм	Давление, Па	Уровень (расчетный), мм	Абсолютная погрешность, мм	Относительная погрешность, %

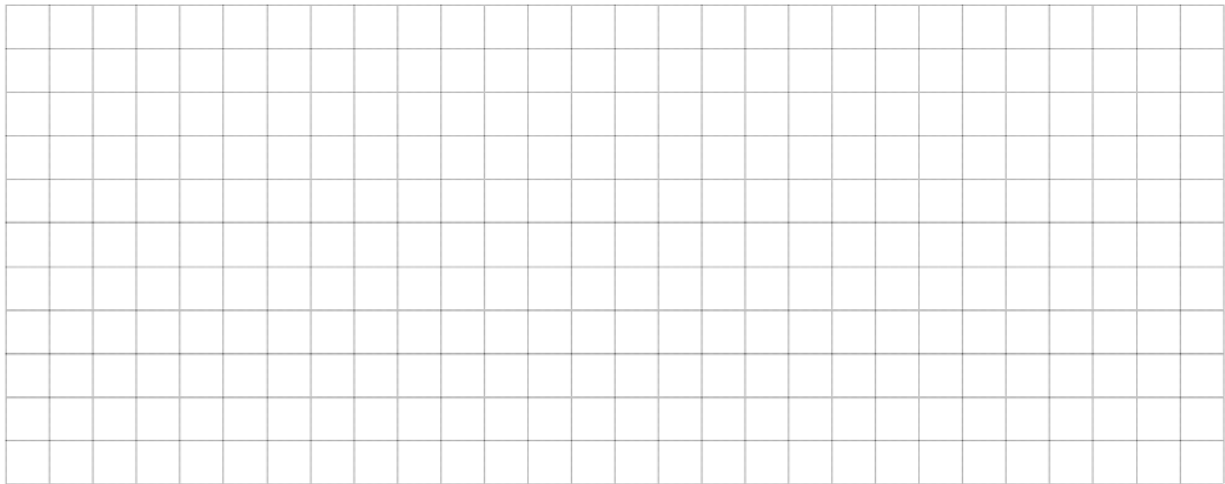
3. На основе полученных данных рассчитываем абсолютную и относительную погрешность первичного измерительного преобразователя по формулам:

---



---

4. На основании экспериментальных и расчетных данных строим график зависимости  $P(h)$ :



## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 12. ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ В РАСЧЕТАХ НА ЭВМ

**Цель работы:** исследование устойчивости одноконтурных системах автоматического регулирования и управления.

### *Порядок выполнения работы*

1. Структурная схема исследуемой системы автоматического управления представлена на рисунке 12.1.

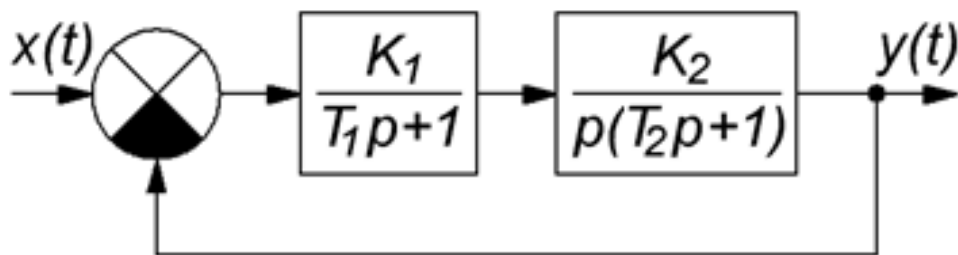


Рисунок 12.2 – Структурная схема исследуемой системы

Параметры системы:

$$K_1 = \underline{\hspace{2cm}}; \quad K_2 = \underline{\hspace{2cm}};$$
$$T_1 = \underline{\hspace{2cm}} \text{ c}; \quad T_2 = \underline{\hspace{2cm}} \text{ c}.$$

2. Запишем передаточную функцию системы в разомкнутом состоянии:

3. Находим характеристическое уравнение:

---

---

---

4. Посчитаем значения коэффициентов характеристического уравнения:

---

---

---

---

Коэффициенты характеристического уравнения \_\_\_\_\_,  
положительны/отрицательны  
следовательно, необходимое условие устойчивости \_\_\_\_\_.  
выполняется/не выполняется

5. Составляем матрицу Гурвица:

$$\left[ \begin{array}{c} \\ \\ \\ \end{array} \right]$$

6. Находим значения определителей Гурвица до  $(n-1)$ -го порядка включительно:

---

---

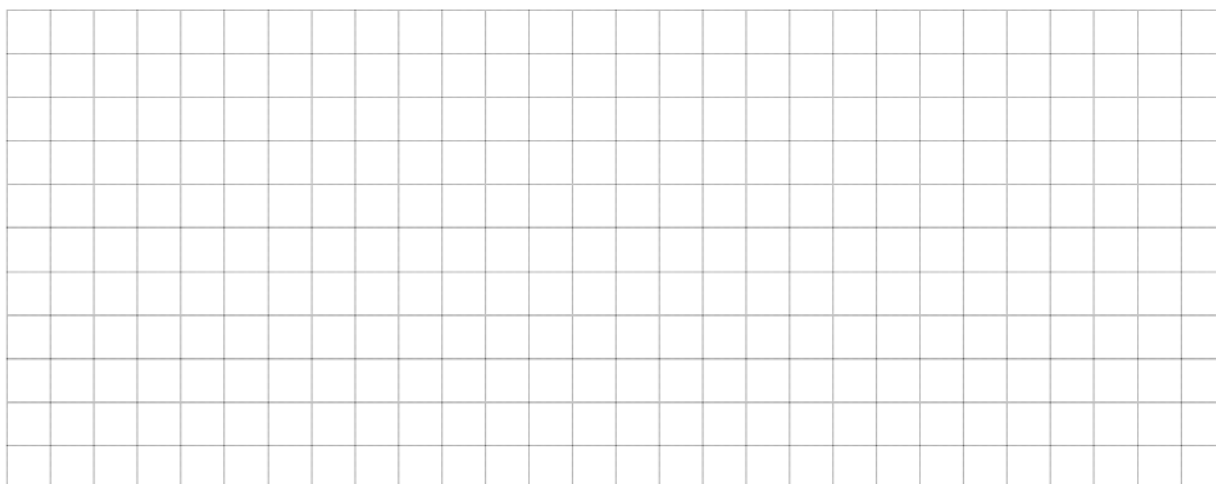
---

---

Вывод: так как определители \_\_\_\_\_, то система  
указать какие больше/меньше 0

\_\_\_\_\_.  
устойчива/неустойчива

7. Выполним компьютерное моделирование рассматриваемой системы в программе SamSim. Получаем график переходной характеристики:



Как видим результаты моделирования \_\_\_\_\_ расчетам.  
соответствуют/не соответствуют

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 13. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КАЧЕСТВЕННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ СИСТЕМЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ

**Цель работы:** изучение основных законов регулирования. Определение основных показателей качества процесса регулирования.

### *Порядок выполнения работы*

1. В программе SamSim собираем систему автоматического управления с ПИД-регулятором, структурная схема которой представлена на рисунке 13.1.

Параметры системы:

$$\begin{aligned} K_p &= \underline{\hspace{2cm}}; & T_i &= \underline{\hspace{2cm}} \text{ с}; & T_d &= \underline{\hspace{2cm}} \text{ с}; \\ K_1 &= \underline{\hspace{2cm}}; & K_2 &= \underline{\hspace{2cm}}; & & \\ T_1 &= \underline{\hspace{2cm}} \text{ с}; & T_2 &= \underline{\hspace{2cm}} \text{ с}; & \tau &= \underline{\hspace{2cm}} \text{ с}. \end{aligned}$$



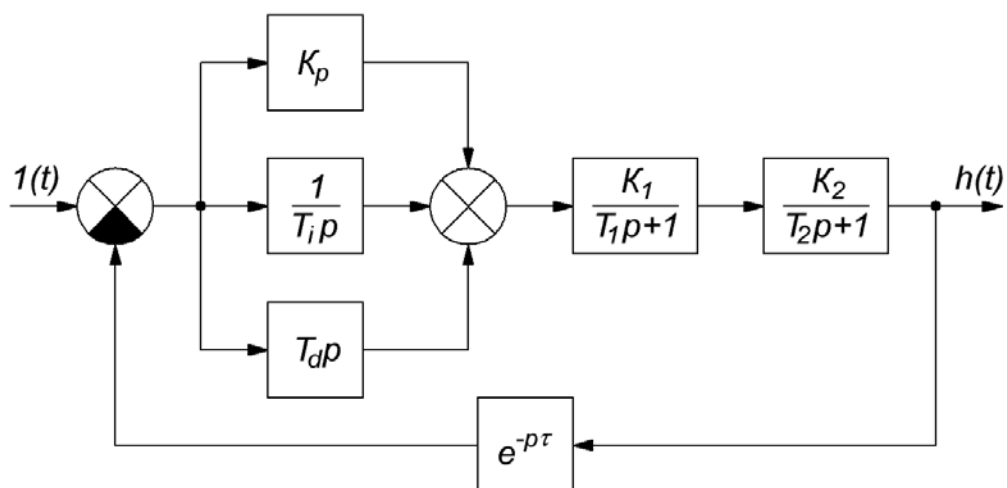


Рисунок 13.1 – Структурная схема моделируемой системы с ПИД-регулятором

2. Получаем график переходного процесса:



3. По полученному графику переходного процесса определяем такие прямые показатели качества, как перерегулирование  $\sigma$ , время регулирования  $t_p$ , степень затухания  $\Psi$ , колебательность  $n$  по формулам

Полученные данные заносим в таблицу 13.1.

Таблица 13.1 – Прямые показатели качества САУ с ПИД-регулятором

$T, c$	$\tau, c$	$\tau/T$	$h_{\max}$	$\sigma, \%$	$\Psi$	$t_p, c$	$n$

# ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 14. ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО ПОЗИЦИОННОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ТЕПЛООВОГО ОБЪЕКТА

**Цель работы:** изучение конструкции и принципа действия промышленных позиционных регуляторов. Исследование переходного процесса в системе двухпозиционного регулирования. Оценка качества переходного процесса.

## *Порядок выполнения работы*

1. В программе SamSim собираем систему двухпозиционного регулирования температуры, функциональная и структурная схемы которой представлены на рисунках 14.1, 14.2.

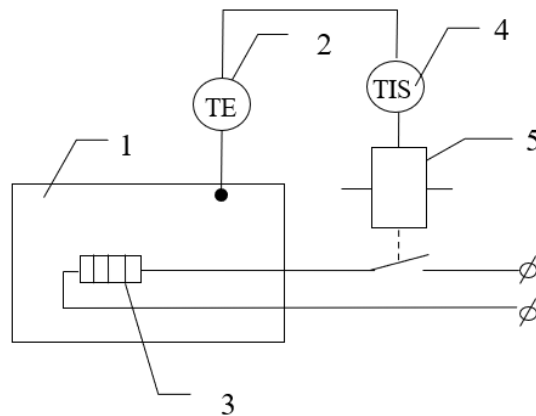


Рисунок 14.1 – Функциональная схема системы двухпозиционного регулирования температуры

На функциональной схеме цифрами обозначены следующие технические средства:

- 1 – \_\_\_\_\_;
- 2 – \_\_\_\_\_;
- 3 – \_\_\_\_\_;
- 4 – \_\_\_\_\_;
- 5 – \_\_\_\_\_.

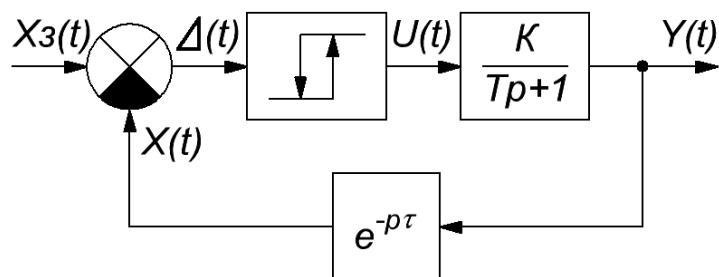


Рисунок 14.2 – Структурная схема системы двухпозиционного регулирования температуры

Параметры системы:

$X_3 =$  \_\_\_\_\_ ;  
 $A =$  \_\_\_\_\_ ;       $B =$  \_\_\_\_\_ ;  
 $a_1 =$  \_\_\_\_\_ ;       $a_2 =$  \_\_\_\_\_ ;       $y_0 =$  \_\_\_\_\_ ;  
 $K =$  \_\_\_\_\_ ;       $T =$  \_\_\_\_\_ мин;       $\tau =$  \_\_\_\_\_ мин.

2. Получаем графики переходного процесса и управляющего воздействия  $U(t)$ :



3. По включению и выключению управляющего воздействия определяем  $2\Sigma$ . Полученные данные заносим в таблицу 14.1.

Таблица 14.1 – Значения зоны неоднозначности

Температура		$2\Sigma, \text{ }^\circ\text{C}$
вкл.	откл.	

4. По полученному графику переходного процесса определяем  $X_{\max}$  и  $X_{\min}$ , среднее значение размаха автоколебаний  $\Delta X_3$  и периода автоколебаний  $T_{a.3}$ .

5. Аналитически рассчитываем значения  $\Delta X_p$  и  $T_{a.p}$  по формулам:

Полученные данные заносим в таблицу 14.2.

Таблица 14.2 – Расчётные данные

$A_p$	$2\sigma$	$2\sigma^*$	$\Delta X_p$	$T_{a.p}, \text{мин}$	$\Delta X_9$	$T_{a.9}, \text{мин}$

## ЛИТЕРАТУРА

1. Автоматика и автоматизация производственных процессов: лабораторный практикум / УО «ВГТУ»; сост. А. А. Кузнецов. – Витебск, 2015. – 75 с.
2. Ким, Д. П. Теория автоматического управления. Линейные системы : учебник и практикум для академического бакалавриата / Д. П. Ким. – 3-е изд., испр. и доп. – М. : Издательство Юрайт, 2019. – 311 с.
3. Кузнецов, Э. В. Электротехника и электроника: учебник и практикум для академического бакалавриата, для студентов высших учебных заведений, обучающихся по инженерно-техническим направлениям : [в 3 т.]. Т. 1 : Электрические и магнитные цепи / Э. В. Кузнецов; под общ. ред. В. П. Лунина. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва: Юрайт, 2019. – 255 с.
4. Киселев, В. И. Электротехника и электроника: учебник и практикум для академического бакалавриата, для студентов высших учебных заведений, обучающихся по инженерно-техническим направлениям : [в 3 т.]. Т. 2 : Электромагнитные устройства и электрические машины / В. И. Киселев, Э. В. Кузнецов, А. И. Копылов; под общ. ред. В. П. Лунина. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва: Юрайт, 2019. – 184 с.
5. Шойко, В. П. Автоматическое регулирование в электрических системах: учебное пособие / В. П. Шойко; Министерство образования и науки Российской Федерации, Новосибирский государственный технический университет. – 2-е изд. – Новосибирск: НГТУ, 2018. – 195 с.
6. Электротехника и электроника: учебник и практикум для академического бакалавриата, для студентов высших учебных заведений, обучающихся по инженерно-техническим направлениям : [в 3 т.]. Т. 3 : Основы электроники и электрические измерения / Э. В. Кузнецов, Е. А. Куликова, П. С. Культиасов, В. П. Лунин; под общ. ред. В. П. Лунина. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва: Юрайт, 2019. – 234 с.

Учебное издание

# ЭЛЕКТРОТЕХНИКА, АВТОМАТИКА И АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ

Рабочая тетрадь

Составители:

Клименкова Светлана Александровна

Соколова Анна Сергеевна

Самусев Артем Михайлович

Редактор *Т.А. Осипова*

Корректор *Т.А. Осипова*

Компьютерная верстка *А.С. Соколова*

---

Подписано к печати 01.07.2022. Формат 60x90<sup>1/8</sup>. Усл. печ. листов 5,8.  
Уч.-изд. листов 3,6. Тираж 40 экз. Заказ № 183.

Учреждение образования «Витебский государственный технологический университет»  
210038, г. Витебск, Московский пр., 72.

Отпечатано на ризографе учреждения образования

«Витебский государственный технологический университет».

Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,  
распространителя печатных изданий № 1/172 от 12 февраля 2014 г.

Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,  
распространителя печатных изданий № 3/1497 от 30 мая 2017 г.