

Министерство образования и науки Самарской области
Министерство имущественных отношений Самарской области
Государственное бюджетное образовательное учреждение
среднего профессионального образования
Тольяттинский индустриально-педагогический колледж
(ГБОУ СПО ТИПК)

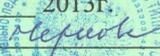
ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ

**по дисциплине «Электротехника и электроника»
для студентов специальностей**

051001 Профессиональное обучение (отрасль - автомобильный транспорт),
190631 Техническое обслуживание и ремонт автомобильного транспорта

Еремеева В.В.. Лабораторный практикум по дисциплине «Электротехника и электроника» для студентов специальностей среднего профессионального образования 051001 Профессиональное обучение (отрасль-автомобильный транспорт), 190631 Техническое обслуживание и ремонт автомобильного транспорта. Тольятти, Изд-во ГБОУ СПО ИПК, 2013.- 69 с.

Практикум содержит методические рекомендации для студентов к выполнению лабораторных работ по дисциплине «Электротехника и электроника». Раскрывает методы сборки и тестирования реальных и виртуальных электрических схем, способы измерений электротехнических величин, методы учета погрешностей измерений, содержит указания к выполнению работ по исследованию режимов работы трансформаторов, содержит методики измерения и построения вольт-амперных характеристик полупроводниковых приборов, электронных систем и т.д. с помощью лабораторного оборудования и виртуальных схем, описывает использование инновационных педагогических технологий при проведении лабораторных работ в лаборатории «Электротехники, электроники и автоматизации производства».

Утверждено
протокол заседания научно-методического совета ГБОУ СПО ТИПК
№ 4 от «14» апреля 2013г.
Председатель Чернова С.Н.  /



Содержание

Введение.....	4
Лабораторная работа №1. Изучение соединений резисторов.....	Ошибка! Закладка не определена.
Лабораторная работа №2. Исследование неразветвленной цепи переменного тока с R и L.....	9
Лабораторная работа №3. Исследование разветвленной цепи переменного тока.	18
Лабораторная работа №4. Исследование трехфазной цепи переменного тока при соединении приёмников «звездой».....	18
Лабораторная работа №5. Измерение электрического сопротивления постоянному току методом «вольтметра-амперметра».....	23
Лабораторная работа №6. Исследование режимов работы однофазного трансформатора.....	29
Лабораторная работа №7. Исследование работы трехфазного асинхронного электродвигателя. Пуск вход и снятие рабочих характеристик.....	32
Лабораторная работа №8. Исследование работы трехфазного асинхронного двигателя. Пуск вход и снятие рабочих характеристик.....	37327
Лабораторная работа №9. Снятие вольтамперной характеристики полупроводникового диода.....	432
Лабораторная работа №10. Снятие входных и выходных характеристик биполярного транзистора.....	47
Лабораторная работа №11. Измерение напряжений с помощью электронных вольтметров.	59
Список источников и литературы.....	64
Список оборудования.....	65

Введение

Цель проведения лабораторного практикума по дисциплине «Электротехника и электроника» - выработка практических навыков и умений по измерению, расчетам электрических параметров различных схем и устройств, по сборке электрических схем, по проектированию, измерению и расчетам электронных устройств.

В результате выполнения лабораторного практикума обучающийся должен уметь:

- пользоваться измерительными приборами;
- производить проверку электронных и электрических элементов автомобиля;
- производить подбор элементов электрических цепей и электронных схем.
- В результате выполнения лабораторного практикума обучающийся должен знать:
- методы расчёта и измерения основных параметров электрических, магнитных и электронных цепей;
- компоненты автомобильных электронных устройств;
- методы электрических измерений;
- устройство и принцип действия электрических машин.

Профессиональные компетенции, формируемые в результате выполнения лабораторного практикума:

- ПК 1.1. Организовывать и проводить работы по техническому обслуживанию и ремонту автотранспорта.

- ПК 1.2. Осуществлять технический контроль при хранении, эксплуатации, техническом обслуживании и ремонте автотранспортных средств.

- ПК 1.3. Разрабатывать технологические процессы ремонта узлов и деталей.

- ПК 2.3. Организовывать безопасное ведение работ при техническом обслуживании и ремонте автотранспорта.

Занятия проводятся в специально оборудованной лаборатории, оснащение которой позволяет провести все виды указанных работ.

Перед выполнением лабораторных работ необходимо ознакомиться с инструкцией по технике безопасности, проверить рабочее место на наличие опасных факторов, подготовить рабочее место к работе, подготовить ручку и бланк отчета по лабораторной работе.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1.

Тема «Изучение соединений резисторов».

Цель практического занятия: изучить способы соединения резисторов и рассчитать общее сопротивление.

Содержание работы.

1.1. Исходные данные

Заданы:

- 1) схемы исследуемых резистивных цепей (рис. 1.1, 1.2, 1.3).
- 2) параметры отдельных элементов схем (табл. 1.1).
- 3) рабочие схемы исследуемых цепей и схемы включения измерительных приборов (рис. 1.4, 1.5, 1.5).

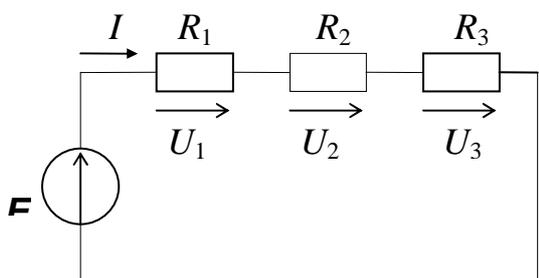


Рисунок 1.1 – Последовательное соединение

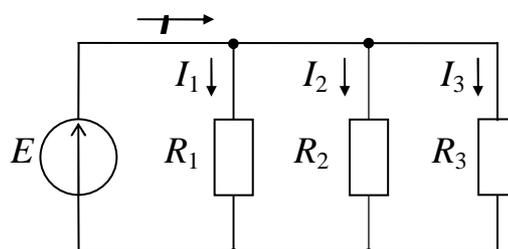


Рисунок 1.2 – Параллельное соединение

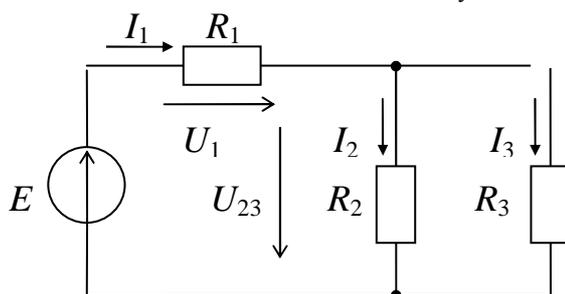


Рисунок 1.3 – Смешанное соединение

Таблица 1.1-Варианты заданий

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1) E , В	100	95	90	100	95	90	85	90	95	100
2) E , В	40	35	30	45	40	35	30	40	35	45
3) E , В	70	65	60	75	70	65	60	65	70	75
R_1 , Ом	50	45	40	50	50	40	40	50	45	50
R_2 , Ом	70	75	60	75	80	75	70	70	65	75
R_3 , Ом	90	95	80	95	100	95	90	95	85	100

Таблица 1.2-Таблица для заполнения результатов работы

Схема	I , А	I_1 , А	I_2 , А	I_3 , А	U , В	U_1 , В	U_2 , В	U_3 , В	1 з. К-фа	2 з. К-фа
1)вычис.										
1)измер.										
2)вычис.										
2)измер.										
3)вычис.										
3)измер.										

1.2. Теоретические сведения и методические указания

Электрическое состояние любой сложной схемы (цепи) определяется системой уравнений, составленных для нее по 1-му и 2-му законам Кирхгофа.

1-ый закон Кирхгофа: алгебраическая сумма токов в узле схемы (цепи) равна нулю или $\sum I=0$.

2-ой закон Кирхгофа: алгебраическая сумма падений напряжений в замкнутом контуре схемы (цепи) равна алгебраической сумме ЭДС или $\sum U=\sum E$.

Расчет токов и напряжений в схемах с одним источником энергии рекомендуется выполнять методом преобразования (свертки) схемы. Суть метода состоит в том, что на первом этапе сложная схема преобразуется (сворачивается) к одному элементу R_3 , на выводах источника ЭДС E и определяется ток источника $I=E/R_3$. Расчетные формулы для свертки схемы имеют вид:

$R_3 = R_1 + R_2 + R_3$ – для последовательного соединения элементов,

$1/R_3 = 1/R_1 + 1/R_2 + 1/R_3$ – для параллельного соединения элементов.

На заключительном втором этапе выполняется расчет токов и напряжений в остальных ветвях схемы на основе уравнений Ома и Кирхгофа.

1.3. Расчетная часть

1. Выполнить расчет последовательно каждой из заданных схем (рис. 1.1, 1.2, 1.3) при значениях параметров элементов, указанных в табл. 1.1 согласно номеру варианта. Для каждой из схем определить токи в ветвях и напряжения на отдельных элементах. Результаты расчета записать в табл. 1.2.

2. Для каждой из схем составить уравнения баланса между токами согласно 1-му закону Кирхгофа и между напряжениями согласно 2-му закону Кирхгофа. Полученные уравнения записать в табл. 1.2.

1.4. Экспериментальная часть

1. Собрать на стенде электрическую цепь согласно рабочей схеме рис.1.2. Установить заданные параметры отдельных элементов цепи и выполнить измерения тока в цепи I и напряжений на отдельных элементах U, U_1, U_2, U_3 . Результаты измерений внести в табл. 1.2.

2. Собрать на стенде электрическую цепь согласно рабочей схеме рис. 1.3. Установить заданные параметры отдельных элементов цепи и выполнить измерения токов в отдельных ветвях цепи (I, I_1, I_2, I_3) и напряжений на отдельных элементах U . Результаты измерений внести в табл. 1.2.

3. Собрать электрическую цепь согласно рабочей схеме рис. 1.4. Установить заданные параметры отдельных элементов цепи и выполнить измерения токов в отдельных ветвях цепи (I_1, I_2, I_3) и напряжений на отдельных элементах U, U_1, U_2, U_3 . Результаты измерений внести в табл. 1.2.

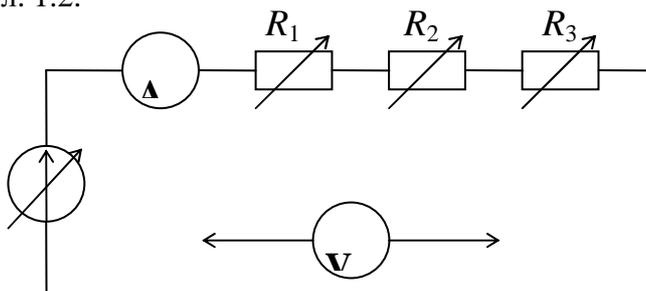


Рисунок 1.4 – Последовательное соединение

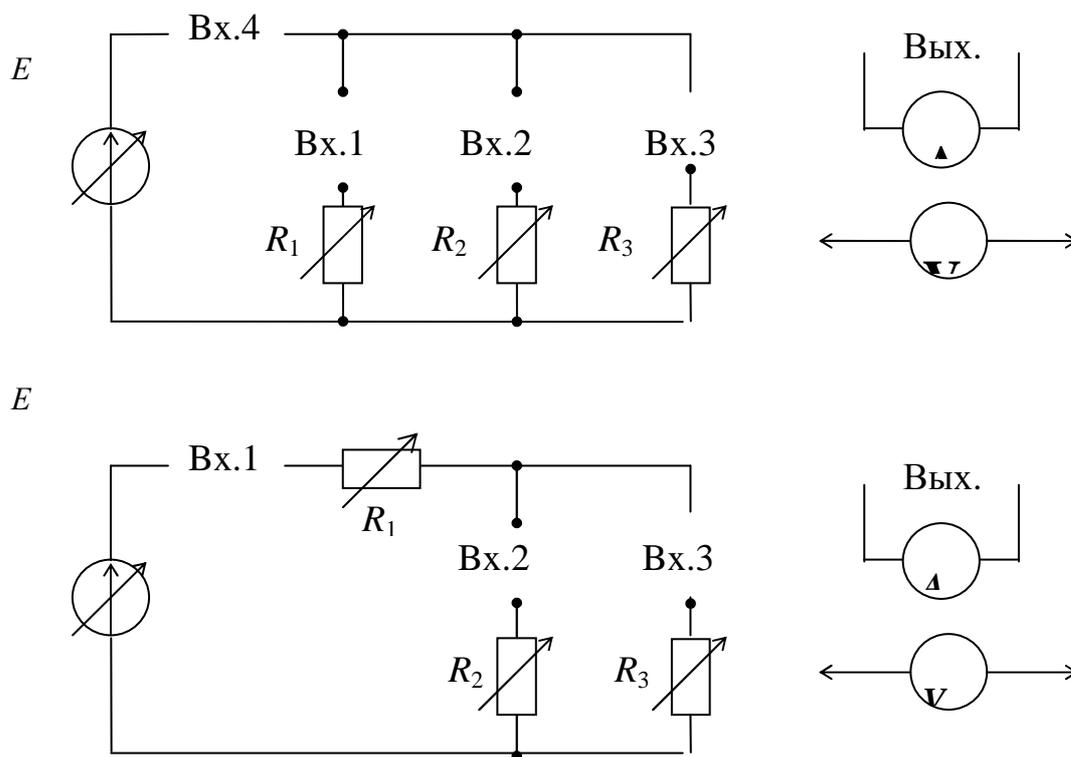


Рисунок 1.5 – Последовательное соединение

1.5. Анализ результатов работы

1. Сравнить количественные данные измерений с соответствующими результатами расчета. Если численные значения одной и той же физической величины (тока или напряжения), полученные расчетным и экспериментальным путем, отличаются более чем на 10% следует установить ошибку в Ваших действиях и ее устранить.

2. Проверить численный баланс токов в узлах схемы согласно 1-му закону Кирхгофа и численный баланс напряжений в контурах схемы согласно 2-му закону Кирхгофа.

1.6. Содержание отчета

Отчет по данной лабораторной работе должен содержать:

- 1) титульный лист по стандартной форме;
- 2) цель работы;
- 3) исходные данные (эквивалентные схемы исследуемых цепей и параметры их элементов);
- 4) таблицы с результатами вычислений и измерений;
- 5) основные расчетные формулы и уравнения;
- 6) выводы и заключение о степени соответствия расчетных и экспериментальных результатов.

Контрольные вопросы

1. Какие методы можно применять для расчета токов и напряжений в простых цепях постоянного тока?
2. В чем сущность метода преобразования (свертки) схемы?
3. По какой формуле определяется эквивалентное сопротивление для последовательно включенных резисторов? для параллельно включенных резисторов?
4. Из каких законов физики вытекают 1-й и 2-й законы Кирхгофа? Дать определение и написать формулы 1-го и 2-го законов Кирхгофа.

Примечание.

Практическая работа рассчитана на 2 часа.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2.

Тема «Исследование неразветвленной цепи переменного тока с R и L».

Цель лабораторной работы: исследование процессов, происходящих в неразветвленной цепи однофазного переменного тока с R и L, построение векторных диаграмм.

Содержание работы.

2.1. Исходные данные

Заданы:

- 1) эквивалентная схема исследуемой цепи, состоящая из источника ЭДС, резистора R и катушки индуктивности L (рис. 2.1).
- 2) расчетные параметры элементов схемы E_m, R_p, L_p (табл. 2.1).
- 3) рабочая схема исследуемой цепи и схема включения измерительных приборов (рис. 2.2).

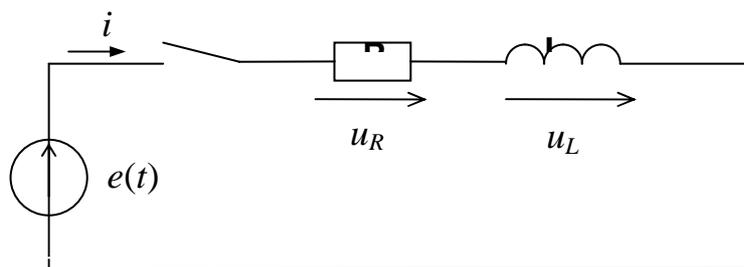


Рис. 2.1 - Эквивалентная схема исследуемой цепи

Т а б л и ц а 2.1-Варианты заданий

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$E_m, В$	50	55	60	65	70	50	55	60	65	70
$f, Гц$	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
$R_p, Ом$	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95
$L_p, мГн$	150	165	185	200	215	235	250	265	285	300

2.2. Теоретические сведения и методические указания

Переходным называется процесс в электрической цепи или схеме, возникающий в ней при переходе от одного (старого) установившегося состояния к другому (новому) установившемуся состоянию. Переходные процессы в цепи возникают в результате различных коммутаций, следствием которых являются скачкообразные изменения параметров отдельных элементов или структуры схемы цепи. Так как запасы энергии в реактивных элементах схемы не могут измениться скачкообразно, то для перехода схемы в новое энергетическое состояние требуется некоторое время, называемое временем переходного процесса T_n .

Независимыми начальными условиями называются значения токов в катушках $i_L(0)$ и напряжений на конденсаторах $u_C(0)$ в момент коммутации при $t = 0$, которые определяют начальные запасы энергии в реактивных элементах схемы.

При включении схемы R, L с нулевыми начальными условиями $i_L(0) = 0$ к источнику постоянной ЭДС $e(t) = E_m = const$ напряжения на отдельных элементах будут изменяться во времени по закону:

$$u_R(t) = E \cdot (1 - e^{-pt}), \quad u_L(t) = E \cdot e^{-pt}.$$

Здесь $p = -R / L$ – есть коэффициент затухания (корень характеристического уравнения), характеризующий скорость затухания переходного процесса. Постоянная времени $\tau = \frac{1}{|p|} = \frac{L}{R}$, практическая продолжительность переходного процесса $T_n = 4\tau = 4L / R$.

При включении схемы R, L с нулевыми начальными условиями $i_L(0) = 0$ к источнику синусоидальной ЭДС $e(t) = E_m \cdot \sin(\omega t + \alpha)$ напряжение на резисторе будет изменяться во времени по закону:

$$u_R(t) = u_{Ry}(t) + u_{Rcb}(t) = U_{Rm} \cdot \sin(\omega t + \alpha) + A \cdot e^{pt}.$$

Амплитуда и начальная фаза установившейся составляющей напряжения $u_{Ry}(t) = U_{Rm} \cdot \sin(\omega t + \alpha - \varphi)$ определяются из расчета схемы в установившемся синусоидальном режиме:

$$Z = \sqrt{R^2 + X_L^2}, \quad I_m = E_m / Z, \quad U_{Rm} = I_m \cdot R, \quad \varphi = \arctg(X_L / R).$$

Амплитуда свободной составляющей напряжения A определяет интенсивность переходного процесса. Она зависят от параметров элементов схемы и от начальной фазы источника ЭДС: $A = -U_{Rm} \cdot \sin(\alpha - \varphi)$.

При значении начальной фазы $(\alpha - \varphi) = \pm 90^\circ$ амплитуда свободной составляющей напряжения максимальна, переходной процесс протекает с максимальной интенсивностью. При значении начальной фазы $(\alpha - \varphi) = 0^\circ$ амплитуда свободной составляющей напряжения равна нулю, включение цепи происходит без переходного процесса.

2.3. Расчетная часть

1. Определить в общем виде функции $u_R(t)$ и $u_L(t)$ в переходном режиме при включении схемы с нулевыми начальными условиями к источнику постоянной ЭДС $e(t) = E_m = const$. Для 3-х сочетаний значений параметров элементов а) $R = R_p, L = L_p$; б) $R = 2R_p, L = L_p$; в) $R = R_p, L = 2L_p$ определить для исследуемых функций коэффициент затухания p , постоянную времени τ и продолжительность переходного процесса T_n . Результаты расчетов внести в табл. 2.2.

2. В выбранных масштабах m_u и m_t построить в одной системе координат семейство графических диаграмм для исследуемых функций $u_R(t)$ и $u_L(t)$ в переходном режиме для 3-х сочетаний значений параметров элементов а), б), в). Построение графических диаграмм выполнить на ЭВМ.

1) Определить графически постоянную времени переходного процесса τ для каждого из 3-х сочетаний значений параметров элементов а), б), в). Результаты расчетов внести в табл. 2.2.

2) Определить в общем виде функцию $u_R(t)$ и в переходном режиме при включении схемы с нулевыми начальными условиями к источнику синусоидальной ЭДС $e(t) = E_m \cdot \sin(\omega t + \alpha)$.

3) Для значений параметров элементов $R = R_p, L = L_p$ определить амплитуды установившейся и свободной составляющих напряжения на резисторе U_{Rm} и A_m в переходном режиме, а также значения начальной фазы источника α , при которых амплитуда свободной составляющей переходного процесса: а) максимально положительна, б) равна нулю, в) максимально отрицательна. Результаты расчетов внести в табл. 2.3.

4) В выбранных масштабах m_u и m_t построить в одной системе координат семейство графических диаграмм для исследуемых функций $u_R(t)$ в переходном режиме для значений начальной фазы источника α согласно а), б), в). Построение диаграмм выполнить на ЭВМ.

5) Определить графически на диаграммах п. 7 свободные составляющие переходного процесса для заданных значений начальной фазы источника α согласно а), б), в).

Т а б л и ц а 2.2-Таблица для заполнения результатов работы

Параметры	p, c^{-1}	τ, c	T_n, c	τ, c (граф.)
а) $R = R_p, L = L_p$				
б) $R = 2R_p, L = L_p$				
в) $R = R_p, L = 2L_p$				

Т а б л и ц а 2.3-Таблица для заполнения результатов работы

U_{Rm}, B	A_m, B	а) $\alpha, гр$	б) $\alpha, гр$	в) $\alpha, гр$

2.4. Экспериментальная часть

Собрать электрическую цепь по рабочей схеме рис. 2.2. Установить заданные параметры отдельных элементов. Для каждого из заданных значений параметров элементов получить на экране электронного осциллографа исследуемую функцию напряжения $u_R(t)$. Сравнить полученные осциллограммы с расчетными графическими диаграммами.

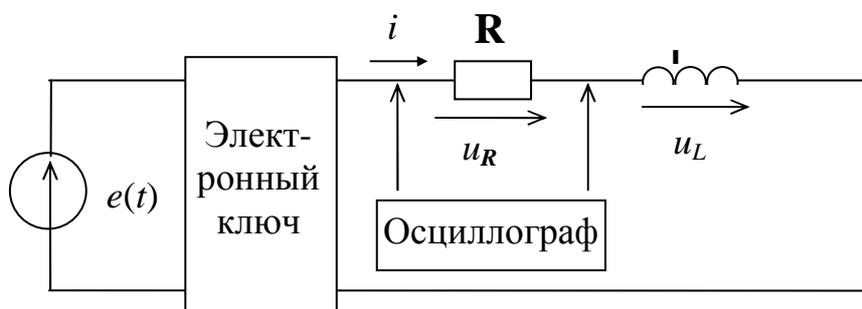


рис. 2.2 - Рабочая схема исследуемой цепи и схема включения измерительных приборов

2.5. Анализ результатов работы

Сравнить результаты эксперимента с данными расчета и дать заключение о степени их соответствия. В случае их существенного расхождения указать возможные причины.

2.6. Содержание отчета

Отчет по данной лабораторной работе должен содержать:

- 1) титульный лист по стандартной форме;
- 2) цель работы;
- 3) исходные данные (эквивалентные схемы исследуемых цепей и параметры их элементов);
- 4) таблицы с результатами вычислений и измерений;
- 5) основные расчетные формулы и уравнения;
- 6) графические диаграммы функций;

7) выводы и заключение о степени соответствия расчетных и экспериментальных результатов.

Контрольные вопросы

1. Что называется переходным процессом в электрической цепи? Какими уравнениями можно описать переходной процесс? Запишите уравнение для исследуемой цепи.

2. Что такое коэффициент затухания, постоянная времени и продолжительность переходного процесса? Напишите формулы для названных величин для исследуемой цепи.

3. Как по графической диаграмме функции определить постоянную времени переходного процесса?

4. Почему интенсивность переходного процесса в цепи при включении ее к источнику синусоидальной ЭДС зависит от начальной фазы, т.е. от момента включения?

5. Какие методы расчета переходного процесса вы знаете? Назовите их.

Примечание.

Лабораторная работа рассчитана на 2 часа.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3.

Тема «Исследование разветвленной цепи переменного тока».

Цель лабораторной работы: исследование процессов, происходящих в неразветвленной цепи однофазного переменного тока с R, L и C, построение векторных диаграмм.

Содержание работы.

3.1. Исходные данные

Заданы:

- 1) эквивалентная схема исследуемой сложной цепи (рис. 3.1).
- 2) параметры элементов схемы в комплексной форме: $\underline{E} = E \cdot e^{j\alpha}$, $\underline{Z} = R + jX$ (табл. 3.1).
- 3) рабочая схема исследуемой цепи (рис. 3.3) и схемы включения измерительных приборов (рис. 3.4).

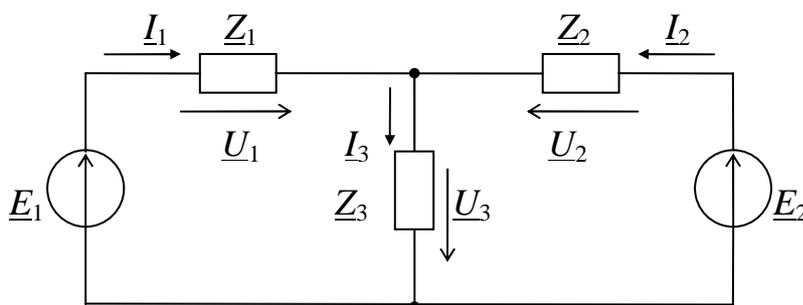


Рис. 3.1 Эквивалентная схема

Т а б л и ц а 3.1 -Варианты заданий

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$E_1, В$	50	55	60	65	60	45	50	55	60	65
$\alpha_1, гр$	-120	0	0	0	-120	120	0	0	120	-120
$E_2, В$	60	65	60	55	50	60	65	60	55	50
$\alpha_2, гр$	0	120	-120	120	0	0	120	-120	0	0
$R_1, Ом$	45	35	40	30	50	45	35	40	45	50
$X_1, Ом$	0	-30	35	0	-30	40	0	25	-35	0
$R_2, Ом$	40	50	45	35	55	30	40	60	45	30
$X_2, Ом$	35	0	-30	40	0	-35	25	0	20	-40
$R_3, Ом$	30	25	35	40	30	45	25	40	50	35
$X_3, Ом$	-45	40	0	-35	40	0	-30	-35	0	25

3.2. Теоретические сведения и методические указания

Электрическое состояние любой сложной схемы (цепи) определяется системой уравнений, составленных для нее по 1-му и 2-му законам Кирхгофа в комплексной форме.

1-ый закон Кирхгофа: алгебраическая сумма комплексных токов в узле схемы (цепи) равна нулю или $\sum \underline{I} = 0$.

2-ой закон Кирхгофа: алгебраическая сумма комплексных падений напряжений в замкнутом контуре схемы (цепи) равна алгебраической сумме комплексных ЭДС, или $\sum \underline{U} = \sum \underline{E}$.

Для любой сложной схемы в соответствии с законом сохранения энергии должен выполняться баланс (равенство) отдельно для активных мощностей источников и приемников энергии $\sum P_{ист} = \sum P_{пр}$, и отдельно для реактивных мощностей источников и приемников энергии $\sum Q_{ист} = \sum Q_{пр}$.

Расчет токов в сложной схеме с двумя комплексными источниками ЭДС следует выполнять одним из методов расчета сложных схем по выбору (метод законов Кирхгофа, метод контурных токов, метод двух узлов), при этом уравнения следует составлять в комплексной форме. При расчете схемы в комплексной форме за базовый вектор (начало отсчета значений углов) рекомендуется принять фазное напряжение фазы А в трехфазной системе, т. е. $\underline{U}_A = U_\phi \cdot e^{j0}$.

При выполнении экспериментальной части работы комплексные ЭДС с заданной начальной фазой через интервал в 120° получаются от симметричного трехфазного генератора. Комплексные сопротивления ветвей $\underline{Z} = R \pm jX$ при сборке цепи реализуются путем последовательного включения регулируемого резистора R и регулируемой катушки L при $X > 0$ или регулируемого конденсатора C при $X < 0$.

Для измерения токов и мощностей в нескольких ветвях цепи применяется коммутатор токовых цепей, позволяющий включать приборы (амперметр и ваттметр) поочередно в любую ветвь цепи.

Показание фазометра равно углу сдвига фаз между вектором напряжения $\underline{U} = U \cdot e^{j\alpha}$ и вектором тока $\underline{I} = I \cdot e^{j\beta}$, которые подведены к обмоткам прибора, т.е. $\varphi = \alpha - \beta$. Если к фазометру подведен один из базовых векторов с начальной фазой, равной нулю, то показание фазометра будет численно равно начальной фазе (аргументу) второго вектора. Начальные фазы токов (аргументы комплексных величин) измеряются фазометром по отношению к базовому вектору напряжения $\underline{U}_o = U \cdot e^{j0}$ (рис. 3.2 а), а начальные фазы напряжений - по отношению к базовому вектору тока $\underline{I}_o = I \cdot e^{j0}$ (рис. 3.2 б). Базовый вектор тока, совпадающий с началом отсчета углов ($\underline{I}_o = I_o \cdot e^{j0}$), на стенде получается от специального источника (рис. 3.2 б).

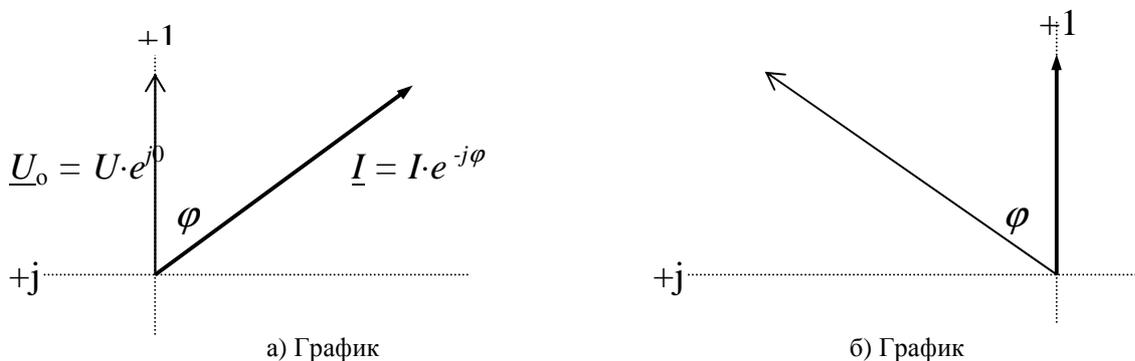


Рис. 3.2

3.3. Расчетная часть

1. Выполнить расчет схемы в комплексной форме одним из методов по выбору (метод законов Кирхгофа, метод контурных токов, метод двух узлов). В результате расчета определить токи в ветвях схемы $\underline{I}_1, \underline{I}_2, \underline{I}_3$, напряжения на отдельных элементах $\underline{U}_1, \underline{U}_2, \underline{U}_3$, активные и реактивные мощности отдельных источников и приемников энергии. Результаты расчета для токов и напряжений записать в виде комплексных чисел ($\underline{U} = U \cdot e^{j\alpha}, \underline{I} = I \cdot e^{j\alpha}$) в табл. 3.2, 3.3, 3.4.

2. По результатам расчета в выбранных масштабах построить топографическую диаграмму потенциалов (напряжений) и векторную диаграмму токов, при этом потенциал точки n принять равным нулю.

3. По результатам расчета проверить балансы активных ($\Sigma P_{\text{ист}} = \Sigma P_{\text{пр}}$) и реактивных ($\Sigma Q_{\text{ист}} = \Sigma Q_{\text{пр}}$) мощностей.

Т а б л и ц а 3.2-Таблица для заполнения результатов работы

Величины	$\underline{E}_1, В$	$\underline{E}_2, В$	$\underline{I}_1, А$	$\underline{I}_2, А$	$\underline{I}_3, А$	$\underline{U}_1, В$	$\underline{U}_2, В$	$\underline{U}_3, В$
Вычис.								
Измер.								

Т а б л и ц а 3.3 -Таблица для заполнения результатов работы

Величины	$P_{E1}, Вт$	$P_{E2}, Вт$	$P_1, Вт$	$P_2, Вт$	$P_3, Вт$	$\Sigma P_{ис}, Вт$	$\Sigma P_{пр}, Вт$
Вычис.							
Измер.							

Т а б л и ц а 3.4-Таблица для заполнения результатов работы

Величины	$Q_{E1}, вар$	$Q_{E2}, вар$	$Q_1, вар$	$Q_2, вар$	$Q_3, вар$	$\Sigma Q_{ис}, вар$	$\Sigma Q_{пр}, вар$
Вычис.							

3.4. Экспериментальная часть

1. Собрать электрическую цепь согласно рабочей схеме рис. 3.3. Установить заданные параметры элементов цепи.

2. Собрать цепь измерительных приборов по схеме рис. 3.4а. Включить источники энергии (ЭДС) и установить заданные напряжения на их выводах. Измерить комплексные токи в ветвях цепи $\underline{I}_1, \underline{I}_2, \underline{I}_3$. Модули комплексных токов измерить амперметром, а начальные фазы – фазометром (см. метод. указания). Результаты измерений в виде комплексных чисел ($\underline{I} = I \cdot e^{j\alpha}$) внести в табл. 3.3.

3. Собрать цепь измерительных приборов по схеме рис. 3.4б. Выполнить измерения комплексных ЭДС $\underline{E}_1, \underline{E}_2$ и комплексных напряжений на отдельных участках цепи $\underline{U}_1, \underline{U}_2, \underline{U}_3$. Модули комплексных напряжений измерить вольтметром, а начальные фазы – фазометром. Результаты измерений в виде комплексных чисел ($\underline{U} = U \cdot e^{j\alpha}$) внести в табл. 3.2.

4. Собрать цепь измерительных приборов по схеме рис. 3.4в. Выполнить измерения активных мощностей отдельных источников и отдельных приемников энергии. Результаты измерений внести в табл. 3.3.

3.5. Анализ результатов работы

1. Для расчетной схемы проверить баланс токов в узле в соответствии с 1-м законом Кирхгофа ($\Sigma \underline{I} = 0$), баланс напряжений и ЭДС в контурах в соответствии со 2-м законом Кирхгофа ($\Sigma \underline{U} = \Sigma \underline{E}$), а также баланс активных ($\Sigma P_{ист} = \Sigma P_{пр}$) и реактивных ($\Sigma Q_{ист} = \Sigma Q_{пр}$) мощностей источников и приемников энергии. Проверить выполнение этих балансов для экспериментальных результатов измерений.

2. Сопоставить результаты измерений с соответствующими данными расчета, в случае их существенного различия установить возможные причины.

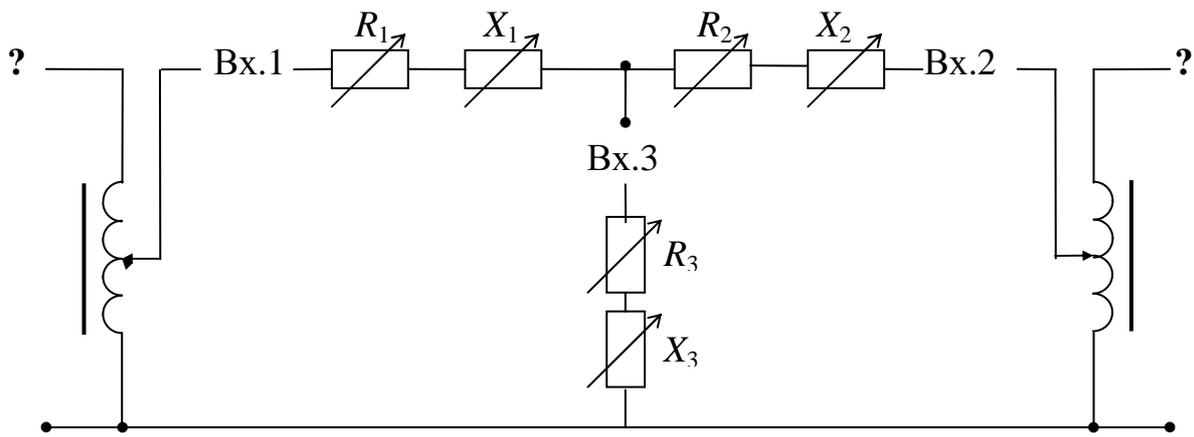


Рис. 3.3 Рабочая схема

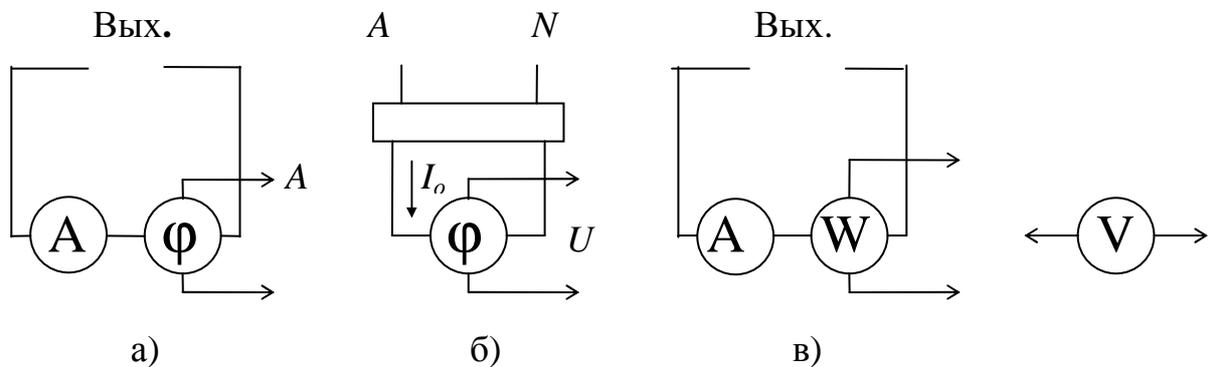


Рис. 3.4 Схемы включения

3.5. Содержание отчета

Отчет по данной лабораторной работе должен содержать:

- 1) титульный лист по стандартной форме;
- 2) цель работы;
- 3) исходные данные (эквивалентную схему исследуемой цепи и параметры ее элементов);
- 4) таблицы с результатами вычислений и измерений;
- 5) основные расчетные формулы и уравнения;
- 6) векторную диаграмму токов и топографическую диаграмму потенциалов;
- 7) выводы и заключение о степени соответствия расчетных и экспериментальных результатов.

Контрольные вопросы

1. В чем сущность комплексного метода расчета цепей переменного тока? Как выражаются параметры отдельных элементов в комплексной форме?
2. Как составить систему уравнений для расчета токов в сложной схеме по законам Кирхгофа? по методу контурных токов? по методу узловых потенциалов?
3. Как строится топографическая диаграмма потенциалов и векторная диаграмма токов для сложной цепи переменного тока?
4. Как составляется баланс активных мощностей? Как составляется баланс реактивных мощностей?
5. Как измеряются комплексные токи и напряжения?

Примечание.

Лабораторная работа рассчитана на 2 часа.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №4.

Тема «Исследование трехфазной цепи переменного тока при соединении приёмников «звездой»».

Цель лабораторной работы: исследование процессов, происходящих в цепи трехфазного переменного тока, при соединении приемников «звездой», построение векторных диаграмм токов и напряжений.

Содержание работы.

4.1. Исходные данные

Заданы:

- 1) эквивалентная схема исследуемой трехфазной цепи с нагрузкой, соединённой звездой без нулевого провода (рис. 4.1). На входе схемы действует симметричный трехфазный генератор с напряжением $U_{л} / U_{\phi} = 127/73\text{В}$.
- 2) комплексные сопротивления фаз для 3 типов нагрузки:
 - 1) симметричная нагрузка $R_A = R_B = R_C = R_{\phi}$;
 - 2) несимметричная однородная нагрузка $R_A \neq R_B \neq R_C$;
 - 3) несимметричная неоднородная нагрузка $\underline{Z}_A = R_A$, $\underline{Z}_B = R_B + jX_B$, $\underline{Z}_C = R_C + jX_C$ (табл. 12.1).
- 3) рабочая схема исследуемой цепи и схемы включения измерительных приборов (рис. 4..2).

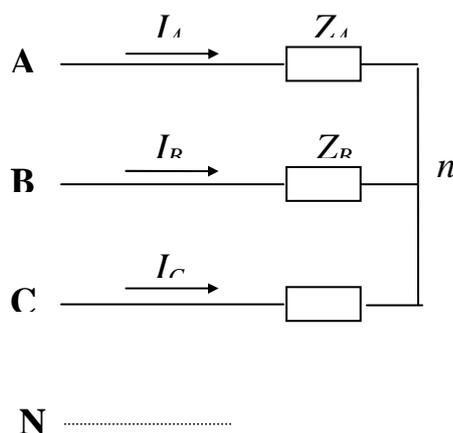


Рис. 4.1 - Эквивалентная схема исследуемой трехфазной цепи с нагрузкой

Т а б л и ц а 4.1-Варианты заданий

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1) R_{ϕ} , Ом	80	90	100	110	120	85	95	105	115	125
2) R_A , Ом	80	90	100	110	120	85	95	105	115	125
R_B , Ом	75	140	85	160	95	130	70	150	80	160
R_C , Ом	130	70	150	80	160	75	140	85	150	95
3) R_A , Ом	80	90	100	110	120	85	95	105	115	125
R_B , Ом	46	75	64	83	65	72	62	79	71	105
X_B , Ом	66	-50	77	-72	101	-45	72	-69	91	-68
R_C , Ом	68	81	79	63	98	57	75	60	94	79
X_C , Ом	-42	39	-62	90	-69	63	-58	86	-66	97

4.2. Теоретические сведения и методические указания

Симметричный трехфазный генератор обеспечивает на выходе два уровня напряжения – линейное U_L и фазное U_ϕ , соотношение между которыми составляет $U_L/U_\phi = \sqrt{3}$. В промышленных условиях номинальное напряжение трехфазного генератора $U_L/U_\phi = 380/220\text{В}$, в лаборатории ТОО уровень этого напряжения снижен по соображениям техники безопасности до $U_L/U_\phi = 127/73\text{В}$. Наличие двух уровней напряжения в трехфазном генераторе позволяет подключать к нему приемники с различными номинальными напряжениями, что обеспечивается способом соединения фаз приемника между собой. Если отдельные фазы приемника рассчитаны на фазное напряжение генератора, то они соединяются по схеме звезды (с нулевым проводом или без него).

При отсутствии нулевого провода симметрия фазных напряжений на приемнике нарушается и зависит от характера нагрузки. При несимметричной нагрузке между нулевыми точками приемника и генератора возникает напряжение \underline{U}_n (напряжение смещения нейтрали), в результате чего фазные напряжения на приемнике перекашиваются, становятся несимметричными.

Расчет токов и напряжений в фазах приемника выполняется, как правило, по методу двух узлов. Фазные напряжения генератора принимаются симметричными: $\underline{U}_A = U_\phi \cdot e^{j0}$, $\underline{U}_B = U_\phi \cdot e^{-j120}$, $\underline{U}_C = U_\phi \cdot e^{j120}$, а потенциал его нейтрали равным нулю $\varphi_N = 0$. Определяется напряжение (потенциал) нейтрали приемника

$$\underline{U}_n = \frac{\frac{\underline{U}_A}{\underline{Z}_A} + \frac{\underline{U}_B}{\underline{Z}_B} + \frac{\underline{U}_C}{\underline{Z}_C}}{1/\underline{Z}_A + 1/\underline{Z}_B + 1/\underline{Z}_C},$$

а затем находят его фазные напряжения:

$$\underline{U}_{An} = \underline{U}_A - \underline{U}_n; \quad \underline{U}_{Bn} = \underline{U}_B - \underline{U}_n; \quad \underline{U}_{Cn} = \underline{U}_C - \underline{U}_n.$$

Линейные (фазные) токи определяются по закону Ома:

$$\underline{I}_A = \underline{U}_{An}/\underline{Z}_A; \quad \underline{I}_B = \underline{U}_{Bn}/\underline{Z}_B; \quad \underline{I}_C = \underline{U}_{Cn}/\underline{Z}_C.$$

Для измерения токов в нескольких ветвях цепи применяется коммутатор токовых цепей, позволяющий включать измерительные приборы (амперметр, ваттметр, фазометр) поочередно в любую ветвь цепи.

Показание фазометра равно углу сдвига фаз между вектором напряжения $\underline{U} = U \cdot e^{j\alpha}$ и вектором тока $\underline{I} = I \cdot e^{j\beta}$, которые подведены к обмоткам прибора, т.е. $\varphi = \alpha - \beta$. Если к фазометру подведен базовый вектор напряжения $\underline{U}_0 = U \cdot e^{j0}$ с начальной фазой, равной нулю, и измеряемый вектор тока $\underline{I} = I \cdot e^{j\beta}$, то показание фазометра будет численно равно начальной фазе (аргументу) вектора тока со знаком минус, т.е. $\varphi = 0 - \beta = -\beta$. В качестве базового вектора напряжения принимается фазное напряжение фазы А генератора $\underline{U}_0 = \underline{U}_A = U_\phi \cdot e^{j0}$. Если к фазометру подведен базовый вектор тока $\underline{I}_0 = I \cdot e^{j0}$ с начальной фазой, равной нулю, и измеряемый вектор напряжения $\underline{U} = U \cdot e^{j\alpha}$, то показание фазометра будет численно равно начальной фазе (аргументу) вектора напряжения, т.е. $\varphi = \alpha - 0 = \alpha$. Базовый вектор тока, совпадающий с началом отсчета углов ($\underline{I}_0 = I_0 \cdot e^{j0}$), на стенде получается от специального источника.

4.3. Расчетная часть

1. Произвести расчет схемы трехфазной цепи для каждого из заданных видов нагрузки (п. 1, 2, 3) в комплексной форме. В результате расчета определить напряжение смещения нейтрали \underline{U}_n , напряжения на фазах нагрузки \underline{U}_{an} , \underline{U}_{bn} , \underline{U}_{cn} , линейные (фазные) токи \underline{I}_A , \underline{I}_B , \underline{I}_C . Результаты расчета записать в виде комплексных чисел ($\underline{U} = U \cdot e^{j\alpha}$, $\underline{I} = I \cdot e^{j\alpha}$) в табл. 4.2.

2. Для каждого из заданных видов нагрузки (п. 1, 2, 3) определить активные мощности каждой из фаз генератора P_{EA}, P_{EB}, P_{EC} и каждой из фаз приемника P_{HA}, P_{HB}, P_{HC} , а также мощность всей цепи P_{Σ} . Результаты расчета записать в табл. 4.3.

3. По результатам расчета для каждого вида нагрузки построить векторные диаграммы токов и напряжений.

Т а б л и ц а 4.2-Таблица для заполнения результатов работы

Тип нагрузки	U_L / U_{ϕ}	$U_{An}, В$	$U_{Bn}, В$	$U_{Cn}, В$	$U_L, В$	$I_A, А$	$I_B, А$	$I_C, А$
1)вычис.								
1)измер.								
2)вычис.								
2)измер.								
3)вычис.								
3)измер.								

Т а б л и ц а 4.3-Таблица для заполнения результатов работы

Тип нагр.	$P_{EA}, Вт$	$P_{EB}, Вт$	$P_{EC}, Вт$	$P_{HA}, Вт$	$P_{HB}, Вт$	$P_{HC}, Вт$	$P_{\Sigma}, Вт$
1) вычис.							
1) измер.							
2) вычис.							
2) измер.							
3) вычис.							
3) измер.							

4.4. Экспериментальная часть

1. Собрать электрическую цепь в соответствии с рабочей схемой рис. 4.2. Включить источник энергии. Измерить линейные (U_{AB}, U_{BC}, U_{CA}) и фазные (U_A, U_B, U_C) напряжения на зажимах трехфазного генератора. Среднеарифметические значения этих напряжений записать в табл. 4.2.

2. Установить параметры нагрузки согласно п. 1 исходных данных и произвести измерения комплексных линейных (фазных) токов I_A, I_B, I_C . Модули комплексных токов измерить амперметром, а начальные фазы – фазометром по схеме рис. 4.2. Результаты измерений записать в табл. 4.2. Измерить (вольтметром) фазные напряжения (U_{An}, U_{Bn}, U_{Cn}) на фазах нагрузки. Результаты измерений записать в табл. 4.2. Измерить (ваттметром) активные мощности фаз генератора P_{EA}, P_{EB}, P_{EC} и фаз нагрузки P_{HA}, P_{HB}, P_{HC} . Результаты измерений записать в табл. 4.3.

3. Установить параметры нагрузки согласно п. 2 исходных данных и произвести измерения комплексных линейных (фазных) токов I_A, I_B, I_C , фазных напряжений (U_{An}, U_{Bn}, U_{Cn}) на фазах нагрузки, активных мощностей фаз генератора P_{EA}, P_{EB}, P_{EC} и фаз нагрузки P_{HA}, P_{HB}, P_{HC} . Результаты измерений записать в табл. 4.2 и в табл. 4.3.

4. Установить параметры нагрузки согласно п. 3 исходных данных и произвести измерения комплексных линейных (фазных) токов I_A, I_B, I_C , фазных напряжений (U_{An}, U_{Bn}, U_{Cn}) на фазах нагрузки, активных мощностей фаз генератора P_{EA}, P_{EB}, P_{EC} и фаз нагрузки P_{HA}, P_{HB}, P_{HC} . Результаты измерений записать в табл. 4.2 и в табл. 4.3.

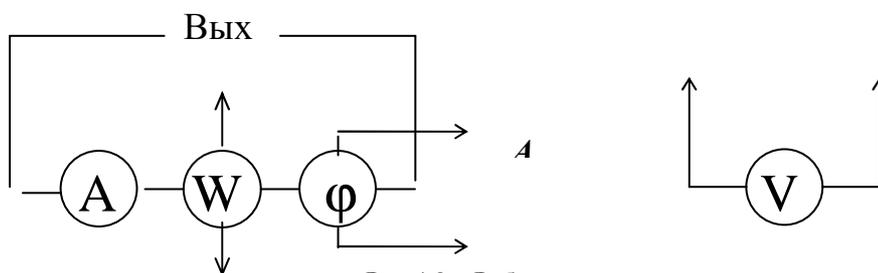
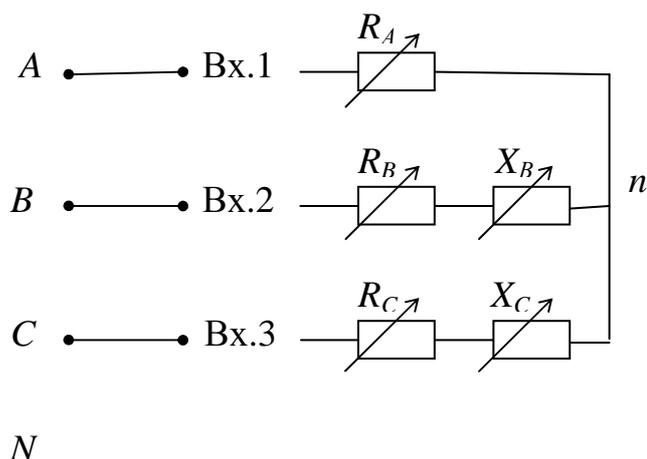


Рис 4.2 – Рабочая схема

4.5 .Анализ результатов работы

1. Сравнить результаты эксперимента с данными расчета и дать заключение о степени их соответствия. В случае их существенного расхождения указать возможные причины.

2. На основе анализа результатов работы определить, как влияет несимметрия нагрузки и ее характер на симметрию фазных напряжений.

3. Сделать вывод о роли нулевого провода для обеспечения нормальной работы несимметричной трехфазной цепи.

4.6. Содержание отчета

Отчет по данной лабораторной работе должен содержать:

- 1) титульный лист по стандартной форме;
- 2) цель работы;
- 3) исходные данные (эквивалентную схему исследуемой цепи и параметры ее элементов);
- 4) таблицы с результатами вычислений и измерений;
- 5) основные расчетные формулы и уравнения;
- 6) векторные диаграммы токов и напряжений;
- 7) выводы и заключение о степени соответствия расчетных и экспериментальных результатов.

Контрольные вопросы

1. В каких случаях трехфазная нагрузка включается по схеме звезды без нулевого провода?
2. Какова роль нулевого провода в трехфазной цепи?
3. Могут ли напряжения на отдельных фазах нагрузки в несимметричном режиме: 1) увеличиться до линейного? 2) быть равными нулю? 3) быть симметричными?
4. По какой схеме включаются в трехфазную сеть асинхронные электродвигатели?
5. Какие напряжения (токи) приемника называются линейными, а какие -фазными? Назовите их.

Примечание.

Лабораторная работа рассчитана на 2 часа.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №5.

Тема «Измерение электрического сопротивления постоянному току методом «вольтметра-амперметра»».

Цель лабораторной работы: научиться измерять электрическое сопротивление постоянному току методом «вольтметра-амперметра» и производить расчет.

Содержание работы.

5.1. Подготовка к лабораторной работе.

- 1) уясните цель и содержание работы.
- 2) изучите принципиальную схему лабораторной установки, ознакомьтесь с прилагающимися к ней приборами, уясните назначение элементов схемы и методику измерений.
- 3) повторите правила техники безопасности.

5.2. Краткая теория.

Изучение сопротивлений на постоянном токе с помощью вольтметра и амперметра. Эти измерения можно производить по двум схемам, показанным на рисунках 5.1 (а,б).

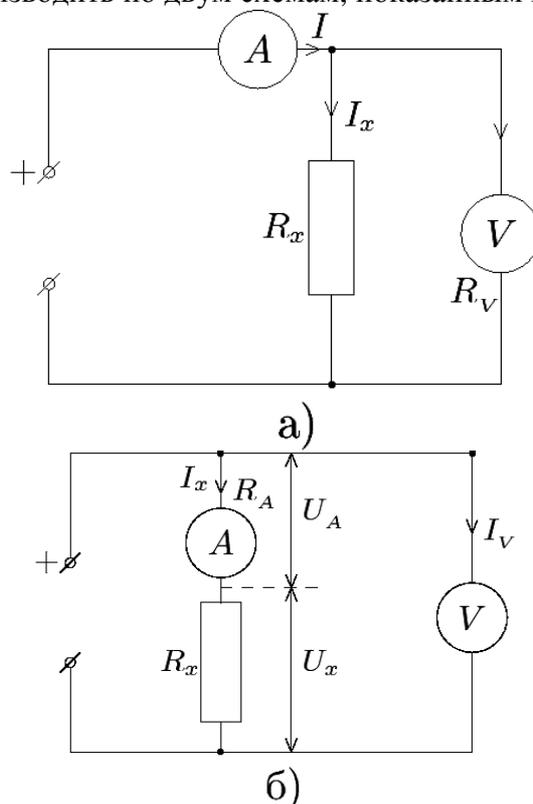


Рис.5.1

Ценность этих систем заключается в том, что по элементу электрической цепи, сопротивление которого измеряется, можно пропустить такой же ток, как и в условиях его работы, что очень важно при измерениях сопротивлений, значения которых зависят от тока. Идея косвенного измерения сопротивления амперметром и вольтметром основана на использовании закона Ома для участка цепи, не содержащей источника ЭДС, т.е. измеряемое сопротивление подсчитывается по величинам напряжения и тока:

$$R'_x = \frac{U}{I}, \quad (5.1)$$

где U и I показания вольтметра и амперметра. При этом получается лишь приближенное значение измеряемого сопротивления, т.к. в случае схемы **а**) рис.5.1 амперметр измеряет суммарный ток исследуемого элемента цепи и вольтметра:

$$I = I_x + I_V > I_x, \quad (5.2)$$

а в случае схемы **б**) рис.5.1 вольтметр измеряет суммарное напряжение амперметра и исследуемого элемента цепи:

$$U = U_a + U_x > U_x. \quad (5.3)$$

Действительное значение сопротивления R_x определяется так:
для схемы **а**) рис.5.1:

$$R_x = \frac{U}{I_x} = \frac{U}{I - I_V} = \frac{U}{I - \frac{U}{R_V}}, \quad (5.4)$$

для схемы **б**) рис.5.1:

$$R_x = \frac{U_x}{I} = \frac{U - U_a}{I} = \frac{U - IR_a}{I}. \quad (5.5)$$

Как видно из выражений (5.4) и (5.5), при подсчёте величины искомого сопротивления по приближённой формуле (5.1), будет иметь место погрешность.

Так как в практике измерений сопротивлений этим методом подсчёт сопротивлений часто производят по приближённой формуле (5.1), то необходимо знать, какую схему следует выбрать для того, чтобы величина погрешности была невелика.

Рассмотрим выражения для относительных погрешностей обеих схем. Для схемы **а**) рис.5.1 погрешность равна:

$$\varepsilon = \frac{R'_x - R_x}{R_x} = \frac{\frac{R_x \cdot R_V}{R_x + R_V} - R_x}{R_x} = \frac{R_V}{R_x + R_V} - 1 = \frac{R_V - R_x - R_V}{R_x + R_V} = \frac{-R_x}{R_x + R_V}. \quad (5.6)$$

Замечание:

$$R_x = \frac{R_x \cdot R_x}{R_x + R_x},$$

т.к. R_x и R_V соединены параллельно.

Для схемы **б**) рис.5.1 относительная погрешность определяется выражением:

$$\varepsilon = \frac{R'_x - R_x}{R_x} = \frac{R_x + R_a - R_x}{R_x} = \frac{R_a}{R_x}. \quad (5.7)$$

Замечание:

$$R'_x = R_x + R_a,$$

т.к. R_x и R_a соединены последовательно.

Из выражений (5.6) и (5.7) вытекают следующие выводы:

1. схема **а)** рис.5.1 при использовании приближённой формулы (5.1) даёт заниженную величину измеряемого сопротивления по сравнению с его действительным значением. При этом погрешность тем меньше, чем больше сопротивление вольтметра R_V по сравнению с измеряемым сопротивлением. Поэтому пользоваться схемой **а)** рис.5.1 следует в тех случаях, когда

$$R_V \gg R_x .$$

2. схема **б)** рис.5.1 при расчёте по формуле (5.1) даёт завышенную величину измеряемого сопротивления по сравнению с его действительным значением. При этом погрешность тем меньше, чем меньше сопротивление амперметра R_A по сравнению с измеряемым сопротивлением. Поэтому пользоваться схемой **б)** рис.5.1 следует в тех случаях когда

$$R_A \ll R_x .$$

Именно поэтому в большинстве случаев практики схему **а)** рис.5.1 применяют для измерений малых сопротивлений, а схему **б)** рис.5.1- для измерения средних и больших сопротивлений.

Вместе с тем следует иметь в виду, что для любого значения R_x при определённом соотношении сопротивлений R_x , R_A и R_V , схема включения приборов не влияет на величину погрешности. Это имеет место для такого значения R_x , при котором абсолютные значения погрешностей, вычисленные по формуле (5.6) и (5.7), равны между собой

$$\frac{R_x}{R_x + R_V} = \frac{R_A}{R_x} .$$

Из этого условия получаем

$$R_x^2 - R_A R_x - R_A R_V = 0 .$$

Решая это квадратное уравнение и пренебрегая величиной $\frac{R_A^2}{4R_A R_V}$ по сравнению с $\frac{R_A}{2}$ и величиной $\frac{R_A}{2}$ по сравнению с $\sqrt{R_A R_V}$, что можно сделать ввиду малости сопротивления амперметра, найдём что

$$R_x \approx \sqrt{R_A R_V} . \tag{5.8}$$

Очевидно, что при соблюдении условия (5.8), выбор любой из двух схем включения приборов практически безразличен и произволен.

5.3. Описание экспериментальной установки

Принципиальная схема установки для измерения сопротивлений на постоянном токе вольтметром-амперметром представлена на рис.5.2.

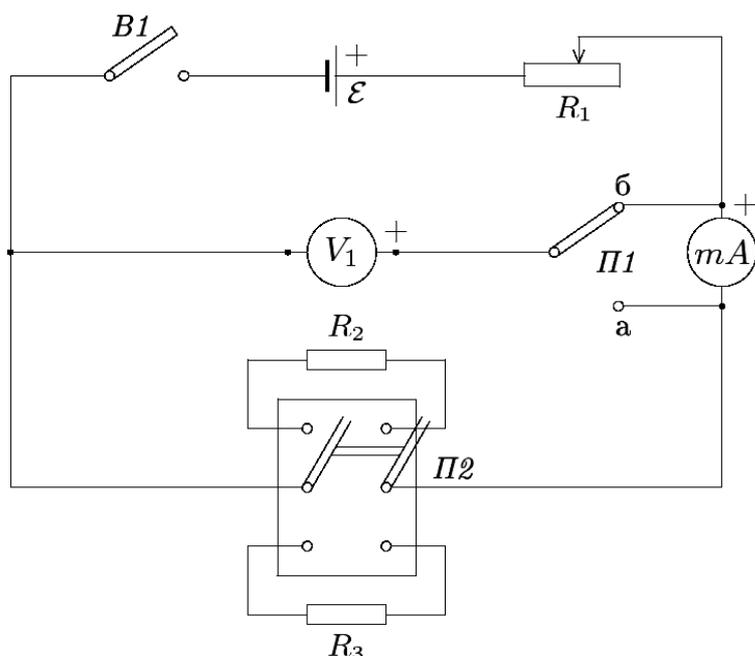


Рис.5.2. Принципиальная схема установки

В состав экспериментальной установки входят:

- источник постоянного тока с ЭДС \mathcal{E} порядка 0,5В,
- выключатель однополюсный $B1$ на источнике питания,
- реостат ползунковый $R1$ на 500Ом,
- вольтметр,
- переключатель однополюсной на два положения $\Pi1$,
- миллиамперметр,
- переключатель двухполюсной на два положения $\Pi2$,
- резистор $R2$,
- резистор $R3$.

Реостат $R1$ служит для регулирования силы тока в измерительной цепи.

Резисторы $R2$ и $R3$ являются субъектами, сопротивление которых подлежит измерению. Такую же роль выполняет и магазин сопротивлений.

Конструктивно резисторы $R2$ и $R3$ расположены на панели переключателя $\Pi1$, который обеспечивает поочерёдное включение их в измерительную схему. При необходимости переключатель $\Pi2$ с резисторами $R2$ и $R3$ заменяется магазином сопротивлений.

Переключатель $\Pi1$ позволяет реализовать две возможные схемы измерения сопротивлений методом вольтметра-амперметра (см. схемы на рис.5.1).

5.4 Задание и порядок его выполнения

1. Собрать схему исследования (рис.5.1) и получить разрешение на проведение измерений.
2. Составить перечень используемых электроизмерительных приборов в установке и записать их технические характеристики:

№ п/п	Наименование приборов и его назначение в схеме	Заводской номер прибора	Система и тип прибора	Класс точности	Пределы измерения и цена деления	Абсолютная погрешность	Сопротивление прибора
1							
2							
3							

3. Рассчитать абсолютные погрешности измерительных приборов для используемых в работе пределов измерения, определить цену деления соответствующих шкал и занести их в таблицу 1.
4. Произвести однократные косвенные измерения сопротивлений резисторов R_2 и R_3 по схемам **а)** и **б)**. Экспериментальные данные занести в таблицу 2.

Таблица 2

Схема А								Схема Б							
R_2				R_3				R_2				R_3			
U		I		U		I		U		I		U		I	
дел	B	дел	mA	дел	B	дел	mA	дел	B	дел	mA	дел	B	дел	mA

5. Рассчитать величины измеренных сопротивлений резисторов по приближённой формуле (5.1) и точным формулам (5.4) и (5.5) для схем **а)** и **б)** соответственно. Определить погрешности косвенных измерений. Результаты расчётов занести в таблицу 3.

Таблица 3

Схема	Резистор	Номинальное значение сопротивления резистора			Расчётное значение сопротивлений резисторов						
		R_i Ом	ΔR_i Ом	$\frac{\Delta R_i}{R_i} \%$	по точной формуле			по приближённой формуле			
					R_{xi} Ом	ΔR_{xi} Ом	$\frac{\Delta R_{xi}}{R_{xi}} \%$	R_{xi} Ом	ΔR_{xi} Ом	$\frac{\Delta R_{xi}}{R_{xi}} \%$	
А	R_2										
	R_3										
Б	R_2										
	R_3										

6. По данным таблицы дать аргументированное заключение о применимости исследованных схем для измерения сопротивлений на постоянном токе вольтметром и амперметром.
7. С разрешения преподавателя или лаборанта разобрать экспериментальную установку.

5.5. Содержание отчёта

1. Название и цель лабораторной работы.
2. Принципиальная схема экспериментальной установки (рис.5.1)
3. Перечень использованных в работе измерительных приборов и их технические данные (таблица 1).
4. Таблицы экспериментальных и расчётных данных (2 и 3), а также содержание расчётов сопротивлений и соответствующих погрешностей.
5. Краткие выводы с анализом полученных результатов.
6. Дата выполнения работы и подпись исполнителя.

Контрольные вопросы.

1. Объясните сущность метода измерения сопротивлений с помощью вольтметра и амперметра. Приведите возможные схемы включения приборов. Выведите расчётные формулы.

2. Оцените возможные систематические погрешности измерения сопротивлений методом вольтметра-амперметра для двух возможных схем включения приборов, если измеряемое сопротивление рассчитывается по формуле

$$R = \frac{U}{I},$$

где U и I показания соответствующих приборов. Какой из схем следует отдать предпочтение при измерении малых и при измерении больших сопротивлений?

3. Как рассчитать максимальную абсолютную погрешность электроизмерительного прибора?

Примечание.

Лабораторная работа рассчитана на 2 часа.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №6.

Тема «Исследование режимов работы однофазного трансформатора».

Цель лабораторной работы: научиться исследовать режимы работы однофазного трансформатора

Содержание работы.

6.1. План работы.

- 1) сборка схемы опыта;
- 2) исследование режимов работы трансформатора;
- 3) составление отчета.

6.2. Теоретические сведения и методические указания

Трансформатор – статическое электромагнитное устройство, имеющее две или более индуктивно связанных обмоток и предназначенное для преобразования посредством явления электромагнитной индукции одной (первичной) системы переменного тока в другую (вторичную) систему переменного тока. В зависимости от назначения трансформаторы разделяются на силовые трансформаторы общего назначения и трансформаторы специального назначения (сварочные, измерительные, печные).

Простейший силовой трансформатор состоит из магнитопровода (сердечника), выполненного из ферромагнитного материала и двух обмоток, расположенных на стержнях магнитопровода. Одна из обмоток, присоединенная к источнику переменного тока, называется первичной. К другой обмотке, называемой вторичной, присоединен потребитель. Мощность с первичной обмотки на вторичную передается электромагнитным путем

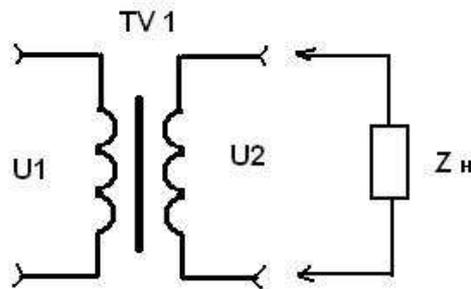


Рисунок 6.1 – Последовательное соединение

Трансформатор – это аппарат переменного тока. Если же его первичную обмотку подключить к источнику постоянного тока, то магнитный поток в магнитопроводе трансформатора тоже будет постоянным как по величине, так и по направлению, поэтому в обмотках трансформатора не будет наводиться ЭДС, а, следовательно, электроэнергия из первичной цепи не будет передаваться во вторичную. Трансформаторы классифицируются: по назначению; по способу охлаждения; по числу трансформируемых фаз; по форме магнитопровода; по числу обмоток на фазу.

Отношение ЭДС обмотки высшего напряжения к ЭДС обмотки низшего напряжения называется коэффициентом трансформации

$$K = E_1 / E_2 = w_1 / w_2$$

6.3. Ход работы.

1.Собрать схему опыта в соответствии с рисунком.

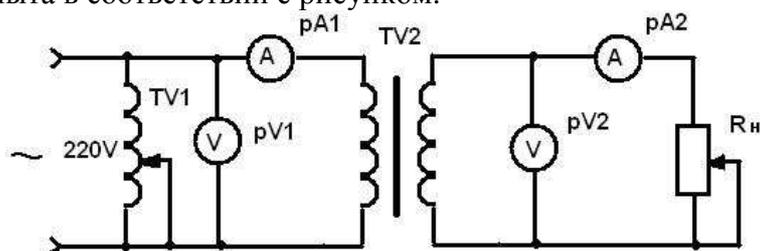


Рисунок – 6.2

ОБОРУДОВАНИЕ:

TV1- автотрансформатор;

TV2- исследуемый трансформатор;

PV1,PV2- вольтметр, 50В, 300В;

PA1,PA2- амперметр, 1А, 2А;

R н – реостат;

2.Исследовать режимы работы трансформатора.

2.1. В режиме холостого хода (без нагрузки во вторичной цепи трансформатора) изменяя величину первичного напряжения автотрансформатором TV1, провести замеры напряжения и тока на первичной и вторичной обмотках. Результаты замеров занести в таблицу 6.1.

Холостой ход

Таблица №6.1-Таблица для заполнения результатов работы

	0	50	70	100	120	150	180	200	220	230
U ₂ , В										
I ₁ , А										
I ₂ , А										
К										

По результатам таблицы 6.1 рассчитать коэффициент трансформации

$$K = \frac{U_2}{U_1}$$

2.2. Подключить нагрузку R на вторичную обмотку трансформатора. Подать на трансформатор номинальное напряжение. Для нескольких значений R провести замеры тока и напряжения на вторичной и первичной обмотках. Результат замера записать в таблицу 6.2. Нагрузочный режим

Таблица №6.2-Таблица для заполнения результатов работы

	R	R1	R2	R3	R4
U ₂ , В					
I ₂ , А					
I ₁ , А					

По результатам табл.6.2 построить внешнюю характеристику трансформатора $U_2 = f(I_2)$

По характеристике выявить максимально допустимый ток I_2 , при котором напряжение на вторичной обмотке не уменьшается более 5 % от номинального.

6.4. Содержание отчета

Отчет по данной лабораторной работе должен содержать:

- 1) титульный лист по стандартной форме;
- 2) цель работы;
- 3) исходные данные;
- 4) таблицы с результатами вычислений и измерений;
- 5) основные расчетные формулы и уравнения;
- 6) график внешней характеристики трансформатора.

6.5. Контрольные вопросы.

1. Что называется трансформатором?
2. Классификация трансформаторов.
3. Устройство трансформатора.
4. Принцип работы трансформатора.
5. Схемы соединений обмоток трансформатора.

Примечание.

Лабораторная работа рассчитана на 2 часа.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №7.

Тема «Исследование работы трехфазного асинхронного электродвигателя. Пуск вход и снятие рабочих характеристик».

Цель лабораторной работы: исследование работы трехфазного асинхронного электродвигателя. Пуск вход и снятие рабочих характеристик.

Содержание работы.

7.1 Краткие теоретические сведения.

Трёхфазный асинхронный двигатель с фазным ротором, или асинхронный двигатель с контактными кольцами, применяется значительно реже, чем двигатель с короткозамкнутым ротором. Фазный ротор используется, когда необходимо плавно регулировать частоту вращения двигателя в установившемся режиме или обеспечивать большой пусковой момент при соблюдении ограничений по пусковому току.

Пуск асинхронного двигателя с фазным ротором производится путем включения в цепь обмотки ротора пускового реостата, который отключается после выхода двигателя на установившийся режим работы. Регулирование скорости вращения в установившемся режиме также производится при помощи реостата, изменяющего суммарное активное сопротивление обмотки ротора и, соответственно, скольжение двигателя.

Для оценки свойств электрической машины и пригодности ее для работы в заданных условиях необходимо иметь рабочие характеристики машины. Для асинхронного двигателя применяются два основных метода опытного определения рабочих характеристик: непосредственный и косвенный. Непосредственный метод получения рабочих характеристик путем изменения момента нагрузки на валу применяется обычно для двигателей малой мощности. Асинхронные двигатели с фазным ротором изготавливаются, как правило, на средние и большие мощности, поэтому их характеристики определяются косвенным методом.

7.2 Ход работы.

7.2.1. Экспериментальная часть

а) Определить номинальное напряжение обмотки статора и обмотки ротора.

б) Осуществить пуск двигателя с включением в цепь ротора пускового реостата.

в) Осуществить регулирование частоты вращения двигателя путем изменения активного сопротивления обмотки ротора с помощью реостата.

г) Провести опыт холостого хода и снять зависимости тока и потребляемой из сети мощности от приложенного к статору напряжения при отсутствии нагрузки на валу двигателя $\langle I_0, P_0 = f(U_0) \rangle$.

д) Провести опыт нагрузки двигателя и снять зависимости скорости, потребляемого тока и мощности из сети от момента нагрузки на валу при номинальном напряжении питания двигателя $\langle n, I, P = f(M) \rangle$ при трех значениях сопротивления реостата: $\langle R = 0 \rangle$, $\langle R = 0,5 R'_{275} \rangle$, $\langle R = 1,5 R'_{275} \rangle$.

е) Провести опыт короткого замыкания и снять зависимости момента и тока короткого замыкания от приложенного к статору напряжения $\langle M_k, I_k = f(U_k) \rangle$.

7.2.2 Анализ и обработка результатов измерений

а) Рассчитать коэффициент трансформации номинальных напряжений статора и ротора.

б). По результатам опыта холостого хода построить характеристики холостого хода $I_0, P_0 = f(U_0)$ и произвести разделение потерь холостого хода.

в) По результатам опыта нагрузки рассчитать и построить рабочие характеристики двигателя $M, s, n, I, P_1, \cos \varphi, \eta = f(P_2)$ при трех значениях сопротивления реостата: $R = 0$, $R = 0,5 R'_{275}$, $R = 1,5 R'_{275}$.

г) По результатам опыта короткого замыкания построить характеристики короткого замыкания $M_k, I_k = f(U_k)$ и определить кратности пускового момента и пускового тока при номинальном напряжении питания.

д) По результатам опытов рассчитать параметры электрической схемы замещения двигателя.

е) Используя найденные параметры схемы замещения, построить механическую характеристику $M = f(s)$.

В качестве базы для проведения эксперимента используется асинхронный двигатель с фазным ротором А56/2 со следующими параметрами:

кратность максимального момента - 2,0

коэффициент полезного действия - 75%

коэффициент мощности - 0,74

Паспортные данные:

$P_n = 2,8$ кВт;

схема соединения статора Δ/Y :

$I_n = 22,8/13,0$ А;

$U_n = 127/220$ В;

$n_n = 920$ об/мин;

сопротивление фазы обмотки статора $R_1 = 0,46$ Ом

схема соединения ротора Y:

$U_{rn} = 90$ В

$I_{rn} = 21,2$ А

7.3. Порядок выполнения работы

Определение коэффициента трансформации обмоток

Коэффициент трансформации обмоток определяется как отношение напряжения обмотки статора к напряжению обмотки ротора при номинальном напряжении, приложенном к обмотке статора. Обмотка ротора разомкнута и соединена в звезду, а обмотка статора - в треугольник, двигатель при этом не вращается.

Пуск и регулирование двигателя с помощью реостата

Пуск двигателя производят с помощью реостата, подключенного к цепи ротора. Перед пуском реостат устанавливают в положение "номинальный режим", по мере увеличения частоты вращения ротора сопротивление пускового реостата постепенно снижают вплоть до его уменьшения до нулевого значения. Регулирование скорости АД с фазным ротором в установившемся режиме осуществляют, изменяя сопротивление реостата.

Характеристики холостого хода

Характеристиками холостого хода называются зависимости I_0 , P_{10} , $\cos \varphi_0 = f(U_1)$ при $P_2=0$ или $M=0$, где I_0 - ток статора; P_{10} - мощность, потребляемая двигателем при холостом ходе; $\cos \varphi_0$ - коэффициент мощности при холостом ходе; P_2 - мощность на валу; M - момент на валу.

Во время проведения опыта холостого хода устанавливают момент, равный нулю, и изменяют питающее напряжение от $(1,1 \div 1,2)U_n$ до $(0,4 \div 0,5)U_n$ (всего не менее 10 точек). Для каждой точки сохраняют показания приборов для последующей обработки.

$$\cos \varphi = \frac{P_{10}}{\sqrt{3}U_1 I_0}$$

Коэффициент мощности рассчитывают по формуле: >

Рабочие характеристики

При проведении опыта нагрузки устанавливают напряжение питания, равное номинальному U_n , и изменяют момент нагрузки в диапазоне от 0 до $1,25M_n$ (всего не менее 10 точек). Для каждой точки сохраняют показания приборов для последующей обработки.

Опыт проводят при трех значениях сопротивления реостата: > $R=0$ >, > $R = 0,5R'_{2,75}$ >, > $R = 1,5R'_{2,75}$ >.

Номинальный момент двигателя (M_n) может быть рассчитан, используя паспортные данные двигателя, по формуле $M_n = P_{2n} / \omega_{2n} \cdot 10^3$, где P_{2n} - номинальная мощность на валу двигателя, кВт; $\omega_{2n} = 2\pi n_{2n} / 60$ - номинальная угловая частота вращения, 1/с; n_{2n} - номинальная частота вращения, об/мин.

По данным опыта вычисляются s , P_2 , $\cos \varphi_1$, h для построения рабочих характеристик.

Скольжение s и частота вращения ротора n_2 связаны выражением $s = (n_1 - n_2) / n_1$, где n_1 - частота вращения магнитного поля (синхронная частота вращения).

Мощность на валу двигателя, кВт: $P_{2n} = M \omega_{2n} \cdot 10^3$, где ω_{2n} - угловая частота вращения

ротора, 1/с. >
 $\cos \varphi_1 = \frac{P_1}{\sqrt{3}U_1 I_1}$; $\eta = \frac{P_2}{P_1} 100\%$.

Характеристики короткого замыкания

Опыт короткого замыкания проводится при заторможенном роторе и пониженном напряжении на зажимах статора. Напряжение питания изменяют от 0 до значения, при котором ток короткого замыкания не станет равным $I_k = 1,3I_n$ (достаточно 5-6 точек). Для каждой точки сохраняют показания приборов для последующей обработки.

По данным опыта короткого замыкания определяют пусковые свойства двигателя: кратность пускового тока K_i и кратность пускового момента K_M . Если при некотором напряжении U_k измерены ток I_k и момент M_k , то пусковой момент двигателя без учета насыщения будет равен $M_p = M_k \cdot I_n^2 / I_k^2$, где I_n - пусковой ток двигателя при номинальном напряжении U_n , определяемый из выражения $I_p = I_k \cdot U_n / U_k$. Кратность пускового момента $K_M = M_p / M_n$. Кратность пускового тока $K_i = I_p / I_n$.

Определение параметров схемы замещения двигателя

Параметры схемы замещения определяются по результатам опыта короткого замыкания.

- Полное сопротивление короткого замыкания > $Z_k = U_k / I_k$ >;

- Активное сопротивление короткого замыкания при температуре 20°C >

$$R_k = P_k / 3 I_k^2$$

- Индуктивное сопротивление короткого замыкания $X_k = \sqrt{Z_k^2 - R_k^2}$;
- Активное сопротивление короткого замыкания при температуре 75°C

$$R_{k75} = 1,22 R_k;$$

- Полное сопротивление короткого замыкания при температуре 75°C

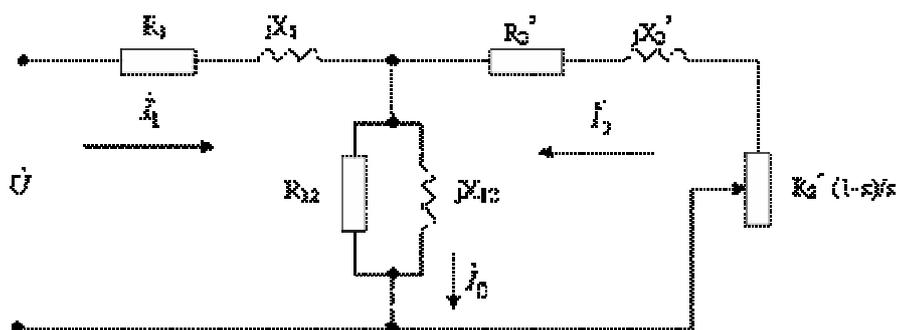
$$Z_{k75} = \sqrt{R_{k75}^2 + X_k^2};$$

- Активное сопротивление фазы обмотки ротора при температуре 75°C

$R'_{275} = R_{k75} - R_{175}$, где R_{175} - приведенное к температуре 75°C активное сопротивление фазы обмотки статора.

Индуктивные сопротивления рассеяния фаз статора и ротора X_1 и

X'_2 по отдельности не известны, зато известно суммарное индуктивное сопротивление короткого замыкания. Для расчетов можно ориентировочно принять $X_1 \approx 0,6 X_k$ и $X'_2 \approx 0,4 X_k$.



Построение механической характеристики

Механическая характеристика двигателя рассчитывается по формуле:

$$M = \frac{m_1 U_1^2 R'_{275}}{\Omega_1 s \left[\left(R_{175} + \frac{R'_{275}}{s} \right)^2 + (X_1 + X'_2)^2 \right]}$$

где m_1 - число фаз обмотки статора;

$$\Omega_1 = \frac{2\pi f}{p}$$

f - синхронная угловая частота вращения поля;

p - число пар полюсов.

Механическая характеристика строится при изменении скольжения в диапазоне от 0 до 1,0.

Номинальный момент двигателя (M_n) может быть рассчитан, используя паспортные данные двигателя, по формуле $M_n = P_{2n} / \omega_{2n} \cdot 10^3$, где P_{2n} - номинальная мощность на валу двигателя, кВт; $\omega_{2n} = 2\pi n_{2n} / 60$ - номинальная угловая частота вращения, 1/с; n_{2n} - номинальная частота вращения, об/мин.

Скольжение s и частота вращения ротора n_2 связаны выражением $s = (n_1 - n_2) / n_1$, где n_1 - частота вращения магнитного поля (синхронная частота вращения).

Мощность на валу двигателя, кВт: $P_{2n} = M_n \omega_{2n} \cdot 10^3$, где ω_{2n} - угловая частота вращения ротора, 1/с.

Контрольные вопросы

1. Объясните устройство и принцип работы трехфазного асинхронного двигателя с фазным ротором.
2. Перечислите способы пуска в ход асинхронных двигателей с фазным ротором.
3. Каких значений может достигать кратность пускового начального тока при прямом включении двигателя в сеть?
4. Объясните, чем вызвана необходимость пуска двигателя с включенным в цепь ротора пусковым реостатом.
5. Как зависят пусковой ток и пусковой момент двигателя от напряжения?
6. В каком случае возможно применение способа пуска двигателя переключением со звезды на треугольник?
7. Какие достоинства и недостатки присутствуют при регулировании частоты вращения ротора с помощью реостата, включенного в цепь фазного ротора?
8. Почему изменяется скольжение асинхронного двигателя с изменением нагрузки?
9. Как изменяется максимальный момент двигателя при регулировании с помощью реостата?
10. Объясните характер изменения Π , $\cos \varphi_1$ и η при изменении полезной мощности P_2 .
11. Как определяется к.п.д. двигателя косвенным методом?
12. Какая мощность называется электромагнитной?
13. Перечислите виды потерь мощности в асинхронном двигателе. От чего эти потери зависят?
14. Как определяются электрические потери в короткозамкнутой обмотке ротора?
15. Как изменятся Π , $\cos \varphi_1$ и η асинхронного двигателя при обрыве одной фазы питающей сети и той же нагрузке на валу?
16. Почему при обрыве одной фазы питающей сети и неизменной нагрузке на валу частота вращения двигателя снижается?

Примечание.

Лабораторная работа рассчитана на 4 часа.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №8.

Тема «Исследование работы трехфазного асинхронного двигателя. Пуск вход и снятие рабочих характеристик».

Цель лабораторной работы: исследование работы трехфазного асинхронного двигателя. Пуск вход и снятие рабочих характеристик.

Содержание работы.

8.1. Ход работы.

Изучение механических характеристик электродвигателей постоянного тока с параллельным и независимым возбуждением

Схемы таких электродвигателей приведены на рис. 8.1

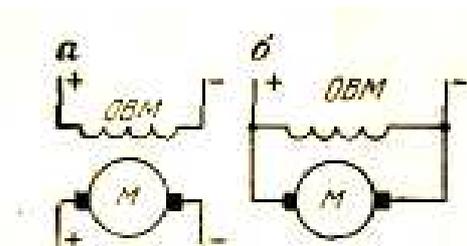


Рис 8.1 Схемы электродвигателей

Вращающий момент двигателя определяется из выражения
 $M = k\Phi I$ (8.1)

а э. д. с. двигателя

$$E = k\Phi\omega \quad (8.2)$$

В формулах: ω — угловая скорость, рад/с; U — подводимое напряжение, В; I — ток в цепи якоря, А; $R_{\text{я}}$ — сопротивление обмотки якоря, Ом; $R_{\text{р}}$ — сопротивления реостата в цепь якоря. Ом; Φ — магнитный поток возбуждения двигателя, Вб; k — коэффициент, зависящий от конструкции машины.

Подставив в уравнение (8.1) значение тока якоря из формул (8.2), получим уравнение механической характеристики электродвигателя (8.3)

Поскольку выражение (8.3) — это уравнение прямой, значит механические характеристики двигателей параллельного и независимого возбуждения прямолинейны (рис.). Характеристика $R = R_{\text{я}}$ называется естественной, остальные — искусственными.

Скорость идеального холостого хода определяется из уравнения (8.3) при условии, что $M = 0$.

Величину сопротивления якоря двигателя параллельного и независимого возбуждения ориентировочно можно определить из выражения:

Номинальное значение к.п.д. можно вычислить, как:

Где $P_{ном}$ – номинальная мощность электродвигателя, кВт.

Угловая скорость двигателя на естественной механической характеристике при номинальном моменте называется номинальной.

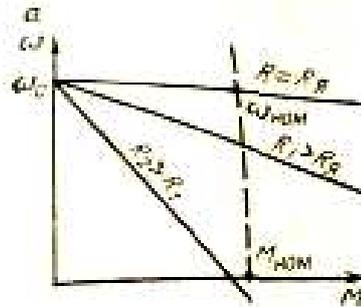


Рис 8.2 - График

Согласно уравнениям (8.2) и (8.3) увеличение сопротивления реостата в цепи якоря приводит к увеличению угла наклона механической характеристики, т.е. к снижению скорости.

Тормозные режимы электродвигателя

Для двигателя последовательного возбуждения возможны лишь два режима электрического торможения: противовключением и динамическое. Режима рекуперативного торможения у двигателей этого типа нет, так как Э.Д.С. не может быть выше напряжения сети в связи с тем, что скорость идеального холостого хода не имеет конечной величины [см. формулу (8.2)].

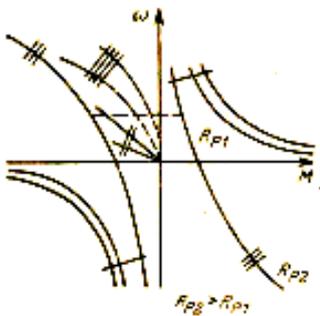


Рис.8.4 график

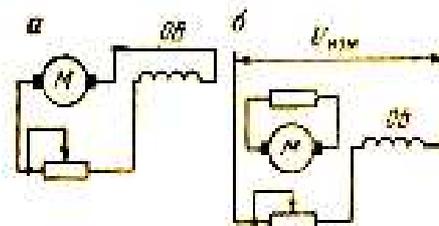


Рис. 8.3 схема

Динамическое торможение может быть осуществлено двумя способами: с самовозбуждением (рис.8.3) и с независимым возбуждением (рис.8.4). При торможении с самовозбуждением необходимо сохранить направление тока возбуждения таким же, как при нормальной работе двигателя. Без этого машина размагнитится, и торможения не получится.

Механические характеристики режима динамического торможения (см. рис8.3, четыре засечки) нелинейны вследствие непостоянного магнитного потока. В области, обозначенной пунктирными линиями, торможение практически отсутствует. Рассмотренный режим используют редко, в основном как аварийный при исчезновении напряжения сети.

Механические характеристики динамического торможения с независимым возбуждением аналогичны соответствующим характеристикам двигателя параллельного возбуждения (см. рис. 8.3, две засечки). Такой способ торможения нашел широкое

применение в приводе рудничных электровозов, ходового механизма роторных экскаваторов и др.

Торможение противовключением осуществляется, как и у двигателей параллельного возбуждения, двумя способами: включением в цепь якоря реостата с большим сопротивлением и изменением полярности обмотки якоря.

При первом способе механическая характеристика будет продолжением характеристики двигательного режима. При торможении противовключением по второму способу характеристика располагается в квадранте II (линия с тремя засечками).

Двигатель со смешанным возбуждением имеет две обмотки возбуждения: последовательную $OB_{\text{посл}}$ и параллельную $OB_{\text{пар}}$ (см. рис. 8.4), которые совместно создают поток возбуждения машины.

Двигатели со смешанным возбуждением допускают все три режима электрического торможения: рекуперативное с отдачей энергии в сеть, динамическое и противовключением.

Для асинхронного двигателя возможны следующие режимы торможения:

рекуперативное с отдачей энергии в сеть, противовключением и динамическое.

Рекуперативное торможение с отдачей энергии в сеть происходит при угловой скорости выше синхронной (ω). С сверхсинхронной скоростью ротор может вращаться, например, при спуске ковша экскаватора или при спуске груза лебедкой. В режиме рекуперативного торможения момент и ток ротора имеют отрицательные знаки, и машина работает в режиме асинхронного генератора, превращая механическую энергию, сообщаемую валу машины спускающимся грузом, в электрическую и отдавая ее в сеть. Механическая характеристика этого режима является продолжением характеристики двигательного режима и располагается во II квадранте (см. рис.8.3).

Режим торможения противовключением аналогичен соответствующему режиму двигателя постоянного тока с независимым возбуждением. Этот режим, может быть, достигнут двумя путями:

1) увеличением сопротивления реостата в цепи ротора. В точке, a момент двигателя меньше момента статического сопротивления и поэтому груз увлекает за собой ротор в направлении, обратном направлению вращения магнитного поля статора. Это вызывает быстрое возрастание Э.Д.С., тока ротора и тормозного момента. В точке b момент, создаваемый опускающимся грузом, и тормозной момент двигателя уравниваются, и скорость опусканий становится постоянной. При необходимости ускорения опускания груза в цепь ротора вводят следующую ступень реостата реверсом, т. е. переключением двух фаз статора. В результате вращающееся поле статора изменяет направление вращения, а ротор по инерции вращается в прежнем направлении. Ток и момент при этом изменяют свои знаки: момент становится тормозным, что вызывает быструю остановку двигателя. Вследствие встречного вращения ротора и поля статора Э.Д.С. ротора достигает большой величины. Для ограничения броска тока при переходе в режим противовключения в цепь фазного ротора двигателя вводят ступень противовключения.

Механическая характеристика электродвигателей постоянного тока с последовательным возбуждением

Обладая весьма мягкой механической характеристикой (рис), двигатель с последовательным возбуждением сравнительно плавно преодолевает перегрузку, имеет высокий пусковой момент и мало перегружает сеть при пуске и вынужденной остановке под нагрузкой. Это послужило основанием к применению такого рода двигателей для привода рудничных электровозов, ходовой части роторных экскаваторов.

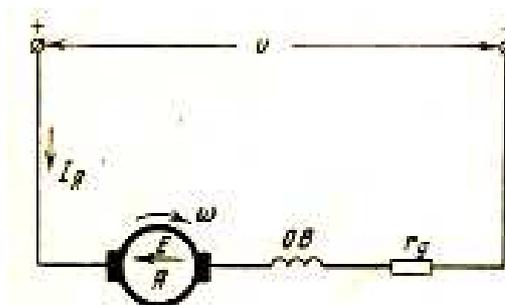


Рис. 8.5 - Схема

При нагрузках менее 15—20% номинальной скорость вследствие снижения магнитного потока недопустимо возрастает, а при холостом ходе, когда $\Phi \approx 0$, скорость может достигнуть величины, при которой произойдет авария (разнос двигателя). Поэтому двигатель с последовательным возбуждением нельзя пускать вхолостую.

У этих двигателей обмотка возбуждения ОВ включена последовательно с якорем, и по ней протекает тот же ток, что и по обмотке якоря. Поэтому при изменении нагрузки будет изменяться и магнитный поток, оказывая большое влияние на скорость двигателя. Наиболее наглядно это видно из уравнения скоростной характеристики, которое показывает, что при изменении магнитного потока скорость двигателя может изменяться в широких пределах, придавая механической характеристике большую мягкость. Однако вследствие насыщения магнитной цепи магнитный поток изменяется не пропорционально току. Наибольшее изменение магнитного потока и, следовательно, скорости будет при малых нагрузках, когда машина ненасыщена. Зависимость магнитного потока от тока возбуждения (характеристика намагничивания) является сложной нелинейной функцией и не имеет аналитического выражения. Поэтому нет и аналитической зависимости для механической характеристики.

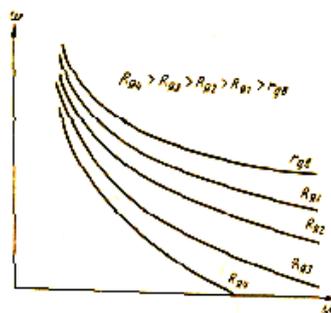


Рис.8.6 - График

На рис.8.6 приведены естественные и искусственные механические характеристики двигателя последовательного возбуждения при различных добавочных сопротивлениях в цепи якоря. Введение сопротивления в цепь якоря делает характеристику еще более мягкой.

Изучение схем пуска двигателей, функции времени.

При пуске двигатель преодолевает момент инерции привода и механизма, а также силу трения, которая при трогании с места всегда больше, чем при работе, так как коэффициент трения покоя обычно превышает коэффициент трения движения. Кроме того, пуск многих горных машин и конвейеров часто осуществляется в условиях заштыбовки и завала, поэтому при пуске двигатель должен развивать значительно больший вращающий момент, чем при работе с установившейся скоростью.

В начальный момент пуска ток двигателя резко возрастает, так как в неподвижном якоре двигателя постоянного тока отсутствует противо-Э.Д.С., а в неподвижном роторе включенного в сеть двигателя переменного тока индуцируется большая э.д.с. Большие пусковые токи могут вызвать перегрев обмоток, искрение щеток и значительные

электродинамические усилия в обмотках двигателя, вызывающие повреждения изоляции. По условиям коммутации двигателя постоянного тока должны иметь пусковой ток не выше 0% номинального.

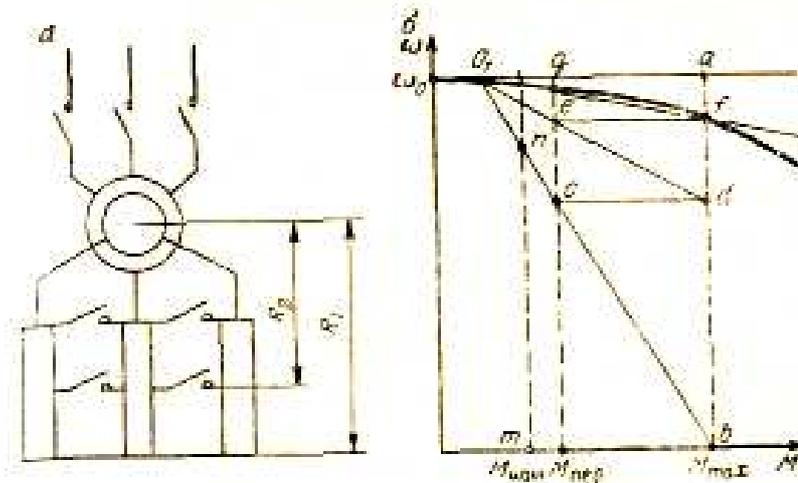


Рис.8.7 График и схема

При большом пусковом токе возникают колебания напряжения шахтной электросети, отрицательно влияющие на работу как самого двигателя, так и других приемников, подключенных к сети, поскольку при этом снижаются вращающие моменты двигателей, световые потоки ламп и т. д. Кроме пускового тока, необходимо ограничивать ускорения и особенно стараться избежать рывка, величина которого является производной от ускорения (m/s^3). Чрезмерное ускорение и рывок опасны для прочности конструкции. Особенно это недопустимо в транспортных устройствах для перевозки подъема людей из шахты. В зависимости от величины статического момента различают следующие режимы пуска: легкий, когда начальный статический момент M_c , не превышает 40% номинального значения (насосы, вентиляторы, турбокомпрессоры, преобразовательные электромашинные агрегаты).

Пуск двигателей в простейших системах электропривода осуществляют с помощью пускового реостата. Большинство асинхронных электродвигателей с короткозамкнутым ротором, применяют для привода горных машин, запускают непосредственным включением на полное напряжение сети. И лишь для мощных синхронных и асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором в ряде случаев применяются пуск при пониженном напряжении с мощностью автотрансформаторов и реакторов, включаемых на время пуска в цепь статора. В сложных системах электропривода постоянного тока пуск осуществляют плавным увеличением напряжения на якоре.

Для облегчения тяжелых условий пуска (например, мощных конвейеров) иногда используют специальные средства — различные виды муфт (электромагнитные, гидравлические и др.). В этих случаях двигатель пускается вхолостую и передача движения исполнительному органу осуществляется включением муфты до полного разгона двигателя. Однако при этом увеличивается общее время пуска рабочей машины, хотя время работы двигателя большими пусковыми токами уменьшается.

Нормальный пуск применяют для двигателей с продолжительным режимом работы (конвейеры, насосы, роторные экскаваторы, буровые станки, вентиляторы и др.), а форсированный — для двигателей приводов, работающих с большой частотой включения (подъемные машины, рабочие двигатели одноковшовых экскаваторов и др.). Во втором случае в целях экономии времени пуск производят с предельно допустимыми моментами и токами.

При наличии упругих элементов и кинематического зазора между отдельными звеньями механизма большие моменты двигателя при пуске могут вызвать механические перенапряжения, удары, поломки машины и др. Тогда искусственно понижают начальный момент двигателя до $(0,3—0,5) M_{ном}$.

Кроме обмотки возбуждения, питаемой постоянным током, ротор синхронного двигателя снабжается специальной пусковой короткозамкнутой обмоткой, с помощью которой двигатель пускается в ход как асинхронный. В установившемся режиме пусковая обмотка сглаживает колебания угловой скорости и тока статора при изменении нагрузки, напряжения и частоты сети. Постоянный ток в обмотку возбуждения подают лишь тогда, когда частота вращения ротора становится близкой к синхронной (подсинхронной). И поэтому двигатель втягивается в синхронизм. Чем меньше скольжение и величина статического момента, тем благоприятнее условия вхождения двигателя в синхронизм.

Асинхронный пуск синхронного двигателя возможен как при том, так и при пониженном напряжении. В последнем случае пуск осуществляют в следующем порядке: статор включают пониженное напряжение (при этом двигатель втягивается в синхронизм) и затем переключают его на полное напряжение.

Контрольные вопросы:

1. Что называется двигателем?
2. Устройство электродвигателя.
3. Каким свойством обладают электродвигатели и генераторы?
4. Что такое механическая характеристика?

Примечание.

Лабораторная работа рассчитана на 4 часа.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №9.

Тема «Снятие вольтамперной характеристики полупроводникового диода».

Цель лабораторной работы: научиться собирать электрическую схему и снимать вольтамперную характеристику полупроводникового диода.

Содержание работы.

9.1. План работы.

- 1) Сборка схемы опыта;
- 2) Снятие прямой ветви ВАХ;
- 3) Снятие обратной ветви ВАХ;
- 4) Определение параметров диода;
- 5) Составление отчета

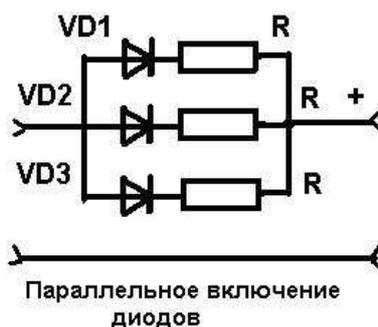
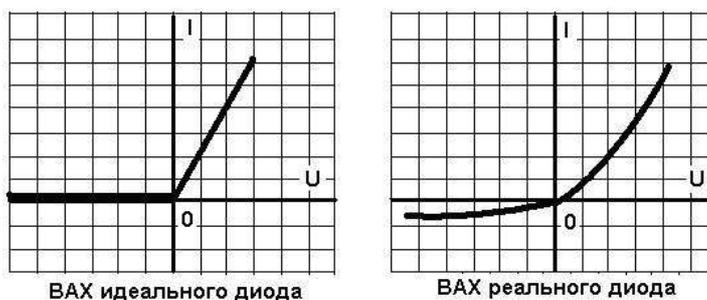
9.2. Краткие теоретические сведения.

Полупроводниковым диодом называют прибор с двумя выводами (анод и катод) и одним электронно-дырочным переходом. Принцип действия диодов основан на использовании односторонней электропроводимости, электрического пробоя и других свойств p - n перехода. Полупроводниковые диоды в основном служат для преобразования энергии и реже – для усиления электрических сигналов.

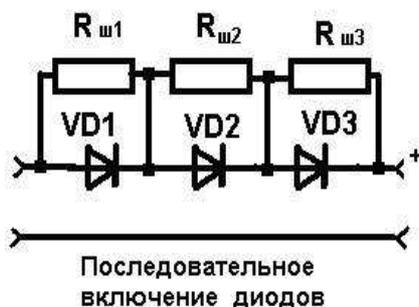
Диоды разделяются на: выпрямительные; импульсные; стабилитроны; туннельные; варикапы, в качестве усилителей электрических сигналов по мощности могут быть использованы туннельные диоды.

Основной материал диодов - кремний и германий. По конструкции диоды выполняются плоскостные и точечные. Основной характеристикой диода служит его вольт - амперная характеристика, вид которой совпадает с видом вольт - амперной характеристики (ВАХ) p - n перехода. ВАХ диода зависит от температуры окружающей среды.

Диод обладает односторонней проводимостью (как и n - p переход). Включение диода в электрическую цепь, когда плюс (+) источника подсоединен к области p (анод), а минус (-) – к области n (катод), называется прямым. В этом случае сопротивление перехода n - p мало, диод открыт, через него проходит ток. Включение диода, при котором к области p подсоединен минус источника, а области n –плюс, называется обратным. В этом случае сопротивление перехода резко возрастает, переход закрыт, ток через переход не проходит. При достижении обратным напряжением некоторого критического значения обратный ток перехода возрастает. Этот режим называется пробоем p - n перехода. Различают два вида пробоя: электрический и тепловой. Электрический пробой бывает обратимым и необратимым. При обратимом электрическом пробое при отключении источника обратного напряжения вентиляльные свойства (односторонняя проводимость) электронно-дырочного перехода полностью восстанавливается. Тепловой пробой приводит к разрушению кристалла и является аварийным режимом.



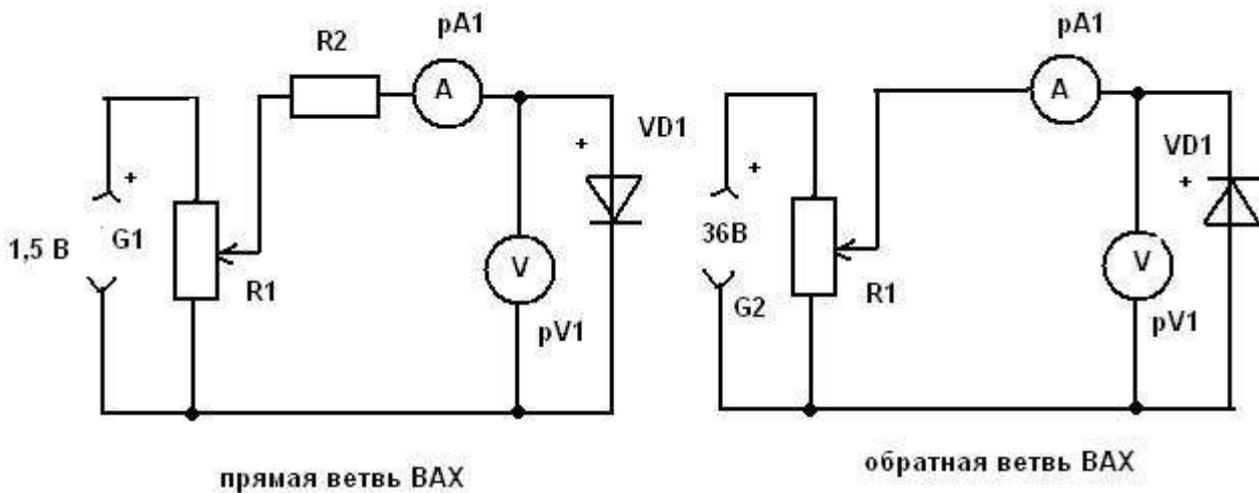
Выпрямительным называют полупроводниковый диод, предназначенный для преобразования переменного тока в постоянный. Принцип работы выпрямительного диода основан на выпрямительном свойстве р-п перехода. В зависимости от максимально допустимого среднего значения прямого тока диоды делятся на диоды малой (300 мА), средней (300мА – 10А) и большой мощности (10А – 1000 А). Конструктивно выпрямительный диод выполнен в металлическом герметическом сварном корпусе.



Очень часто требуемые допустимые выпрямленный ток и максимальное обратное напряжение превышают номинальные значения параметров существующих выпрямительных диодов. В этих случаях задача решается соответственно параллельным и последовательным соединением диодов. Последовательное включение выпрямительных диодов делается тогда, когда необходимо увеличить суммарное допустимое обратное напряжение, прикладываемое к каждому из них. Параллельное включение выпрямительных диодов,

делается для увеличения допустимых значений выпрямленных токов. Кроме рассмотренных выпрямительных диодов, промышленность выпускает другие типы: высокочастотные и сверх высокочастотные – применяются в качестве выпрямительных на больших и сверхбольших частотах; импульсные – предназначенные для работы в импульсном режиме; варикапы – для использования зависимости емкости р - п перехода от обратного напряжения (регулируемые емкости); стабилитроны и стабистоны – для стабилизации напряжения; туннельные – для генерации и усиления электрических сигналов сверхвысокой частоты; обращенные – для выпрямления сигналов сверхвысокой частоты; модуляторные – для модуляции высокочастотного сигнала и др.

9.3 Описание работы.



1.Собрать схему опыта в соответствии с рисунком 1 для снятия прямой ветви ВАХ диода. Подключить схему к источнику постоянного напряжения, изменяя прямое напряжение от 0 до 1 вольта, производить замеры тока диода. Результат замера занести в таблицу №1. По данным таблицы № 1 построить прямую ветвь ВАХ исследуемого диода.

ОБОРУДОВАНИЕ:

- VD1 – исследуемый диод;
- G1 – источник постоянного напряжения;
- R1 – потенциометр (делитель напряжения);
- pV1 – вольтметр постоянного тока, 0-15 В;
- pA1 – амперметр постоянного тока, 0- 50 мА;

9.4 Экспериментальная часть

Прямая ветвь ВАХ

Табл.№1-Таблица

для заполнения результатов работы

U пр. В	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0
I пр. mA						

2. Собрать схему опыта в соответствии с рисунком 2 для снятия обратной ветви ВАХ диода. Подключить схему к источнику постоянного напряжения, изменяя обратное напряжение от 0 до 25 вольт, производить замеры обратного тока диода. Результат замера занести в таблицу № 2. По данным таблицы № 2 построить обратную ветвь ВАХ исследуемого диода.

Обратная ветвь ВАХ

Табл. № 2-Таблица для заполнения результатов работы

U обр. В	0	5	10	15	20	25
I обр. mA						

Контрольные вопросы:

1. Что называют полупроводниковым диодом?
2. Основное свойство диода.
3. Как преобразует электрический ток полупроводниковый диод?
4. Назовите разновидности диодов.

Примечание.

Лабораторная работа рассчитана на 2 часа.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №10.

Тема «Снятие входных и выходных характеристик биполярного транзистора».

Цель лабораторной работы: научиться собирать электрическую схему и снимать входные и выходные характеристики биполярного транзистора.

Содержание работы.

10.1. План работы.

- 1) Сборка схемы опыта;
- 2) Снятие входных характеристик транзистора;
- 3) Снятие выходных характеристик транзистора ;
- 4) Определение параметров транзистора;
- 5) Составление отчета

10.2 Краткие теоретические сведения

Транзистор - это полупроводниковый прибор, позволяющий усиливать электрические сигналы и имеющий три или более выводов.

Биполярный транзистор представляет собой трехслойную полупроводниковую структуру с чередующимся типом электропроводности слоев и содержит два р-n-перехода (рис. 10.1, а). В зависимости от чередования слоев существуют транзисторы типов р-n-р и n-p-n). Их условное обозначение на электронных схемах показано на рис.10.1,б,в. В качестве исходного материала для получения трехслойной структуры используют германий и кремний.

Трехслойная транзисторная структура создается по силовой или диффузионной технологии (рис. 10,г). Пластина полупроводника n-типа является основанием, базой. Два наружных р-слоя создаются в результате диффузии в них акцепторной примеси. Один из слоев называется эмиттером, а другой коллектором. Так же называются и внешние выводы от этих слоев. Соответственно называются и переходы эмиттерный и коллекторный.

Функция эмиттерного перехода - инжектирование носителей заряда в базу, функция коллекторного перехода - сбор носителей заряда, прошедших через базовый слой (экстракция). Площадь коллекторного перехода делают больше площади эмиттерного перехода для того, чтобы носители заряда, инжектируемые эмиттером и проходящие через базу, полнее собирались коллектором.

В транзисторах типа n-p-n функции всех трех слоев и их названия аналогичны, изменяется лишь тип носителей заряда, проходящих через базу: в транзисторах типа р-n-р - это дырки, в транзисторах типа n-p-n - электроны.

Принцип действия биполярного транзистора рассмотрим на примере структуры р-n-р (рис. 10.1.а).

Соотношение концентраций основных носителей заряда в эмиттерном и коллекторном слоях транзистора несущественно. Концентрация основных носителей заряда в базе должна быть много меньше концентрации основных носителей заряда в эмиттере.

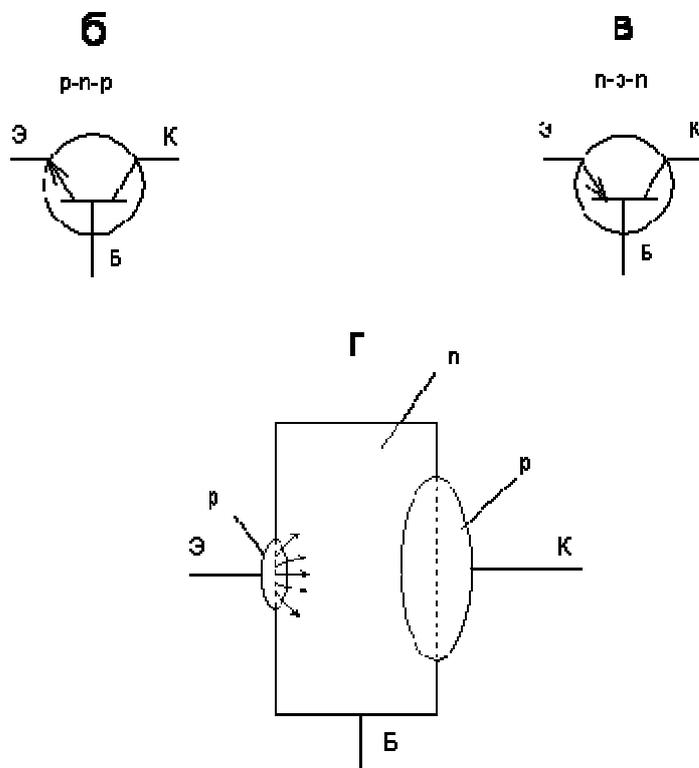
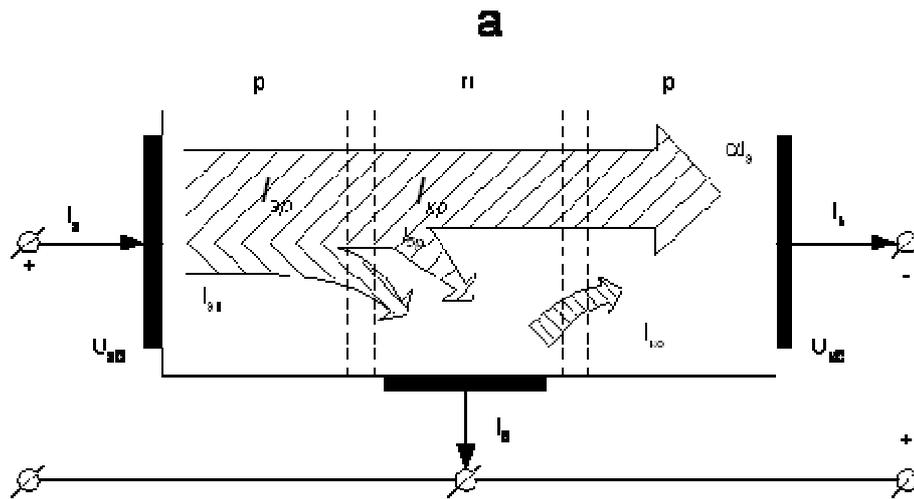


Рис. 10.1 - Разновидности биполярного транзистора

При отсутствии внешних напряжений на границах раздела трех слоев образуются объемные заряды, в эмиттерном и коллекторном переходах создается внутреннее электрическое поле.

Внешние напряжения подключают к транзистору таким образом, чтобы обеспечивалось смещение эмиттерного перехода в прямом направлении, а коллекторного перехода - в обратном направлении. Это достигается с помощью двух источников напряжения $U_{эб}$ и $U_{кб}$. Напряжение подключается положительным полюсом к эмиттеру, отрицательным к базе, напряжение $U_{кб}$ - отрицательным полюсом к коллектору, положительным к базе.

Поскольку в эмиттерном переходе внешнее напряжение действует в прямом направлении, потенциальный барьер для дырок основных носителей зарядов эмиттерного слоя уменьшается, и дырки из эмиттера под действием диффузии будут в большом количестве переходить (инжектировать) в область базы. Аналогично увеличится диффузионный поток электронов - основных носителей заряда области базы - в эмиттер. Ток эмиттерного перехода и цепи эмиттера можно записать в виде

$$I_{\Sigma} = I_{\Sigma p} + I_{\Sigma n}$$

Дырочная составляющая тока $I_{\Sigma p}$ создается потоком дырок, переходящих из эмиттера в базу. Большинство дырок в последующем достигает коллектора и вызывает коллекторный ток транзистора. Электронная составляющая тока $I_{\Sigma n}$ обусловлена движением электронов из базы в эмиттер. Она замыкается через источник U_{Σ} и не создает тока в коллекторной цепи. Таким образом, функция эмиттерного перехода и процессы в эмиттерном переходе сводятся к инжекции основных носителей заряда эмиттера в базу.

С точки зрения качества эмиттерного перехода необходимо, чтобы электронная составляющая эмиттерного тока $I_{\Sigma n}$ была существенно меньше его дырочной составляющей $I_{\Sigma p}$. Это достигается значительным (на два - три порядка) превышением концентрации основных носителей заряда в эмиттере над концентрацией основных носителей заряда в базе.

Процессы в базовом слое определяются в основном поведением дырок, перешедших в базу через эмиттерный переход. Инжектируемые дырки, попадая в базовый слой, повышают концентрацию дырок в базе вблизи эмиттера по сравнению с равновесной концентрацией. Возникает градиент концентрации дырок в базе и развивается диффузионное движение дырок в базе в сторону коллектора, т.е. в направлении меньшей концентрации.

Концентрация дырок в базе на границе с коллекторным переходом устанавливается близкой к нулю, так как дошедшие до коллекторного перехода под действием диффузии дырки (являющиеся для базы неосновными носителями) ускоряются полем коллекторного перехода, смещенного в обратном направлении, и переносятся в коллектор. Таким образом, ток коллектора создается за счет увеличения дрейфовой составляющей тока коллекторного перехода, обусловленного инжекцией дырок из эмиттера в базу.

Ширина базового слоя очень мала, значительно меньше диффузионной длины. Поэтому время жизни неосновных носителей заряда в базе во много раз больше времени, необходимого для диффузии к коллекторному переходу.

В установившемся режиме объемный заряд дырок в базе скомпенсирован объемным зарядом электронов, т.е. база является электрически нейтральной. Электроны, компенсирующие объемный заряд дырок, поступают по цепи базы от источника U_{Σ} .

Наличие дырок и электронов в базе приводит к тому, что в процессе диффузии некоторая часть дырок рекомбинирует с электронами. В результате количество дырок, дошедших до коллектора, будет меньше количества дырок, поступивших из эмиттера, и соответственно дырочная составляющая коллекторного тока $I_{\Sigma p}$ будет меньше дырочной составляющей эмиттерного тока $I_{\Sigma p}$.

Рекомбинация дырок с электронами создает недостаток электронов, требующихся для компенсации дырок, постоянно входящих в базу из эмиттера. Необходимые электроны поступают по цепи базы от источника, создавая базовый ток рекомбинации $I_{\Sigma r}$. Следовательно, разность между дырочными составляющими эмиттерного и коллекторного токов представляет собой ток базы, обусловленный рекомбинацией:

$$I_{\Sigma} - I_{\Sigma p} = I_{\Sigma r}$$

Коллекторный p-n-переход предназначен для перевода своим полем дырок, достигших его, в коллекторную область. В нем происходит экстракция дырок из базы в коллектор.

Дырочная составляющая коллекторного тока транзистора связана с током эмиттера соотношением

$$I_{\Sigma p} = a I_{\Sigma}$$

где a - коэффициент передачи тока эмиттера.

Способы приближения к единице коэффициента α основаны на увеличении разности концентраций основных носителей заряда в слоях эмиттера и базы, увеличении времени жизни дырок в базе, уменьшении ширины базового слоя в создании ускоряющего поля в слое базы ($a = 0,950 \dots 0,998$).

Наличие коллекторного перехода, включенного в обратном направлении, приводит к появлению дополнительной неуправляемой составляющей тока коллектора, обусловленной протеканием обратного тока коллекторного перехода $I_{ко}$. Как известно обратный ток $I_{ко}$ перехода мал, он создается дрейфом неосновных носителей заряда, в данном случае он определяется исходными равновесными концентрациями дырок в базе и электронов в коллекторе. Поскольку концентрации неосновных носителей заряда зависят от температуры, величина обратного тока также зависит от нее, поэтому этот ток часто называют тепловым, как и для диода. От величины тока эмиттера $I_{ко}$ не зависит.

Таким образом, ток коллектора I_k состоит из дырочной составляющей $I_{кр}$ и теплового тока $I_{ко}$

$$I_k = I_{кр} + I_{ко}$$

Ток базы I_b равен алгебраической сумме электронной составляющей тока эмиттера $I_{эп}$, рекомбинационной составляющей $I_{бр}$ теплового тока $I_{ко}$:

$$I_b = I_{эп} + I_{бр} - I_{ко}$$

Управляющее свойство транзистора, характеризующее изменение выходного (коллекторного) тока I_k под действием входного (эмиттерного) тока $I_э$ (или напряжения $U_{эб}$), обуславливается изменением дырочной составляющей коллекторного тока $I_{кр}$ за счет изменения дырочной составляющей эмиттерного тока $I_{эр}$. Следовательно, биполярный транзистор управляется током

$$I_k = I_э + I_{ко} \quad (1)$$

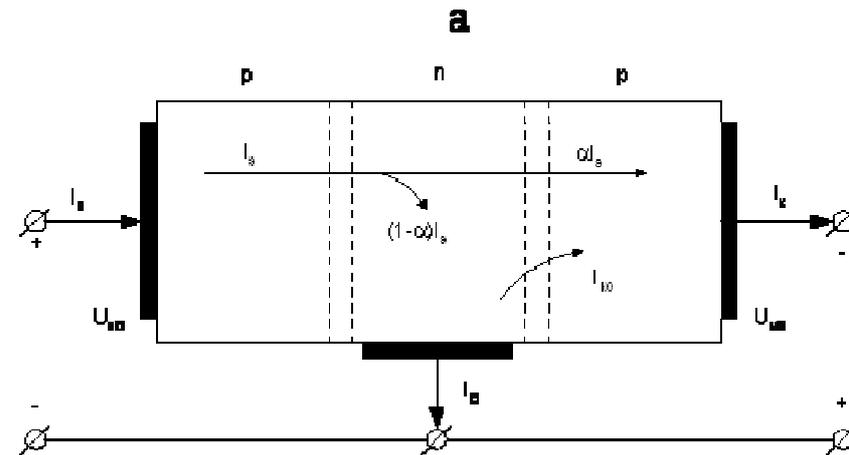
Основное соотношение для токов на выводах транзистора соответствует первому закону Кирхгофа:

$$I_э = I_k + I_b$$

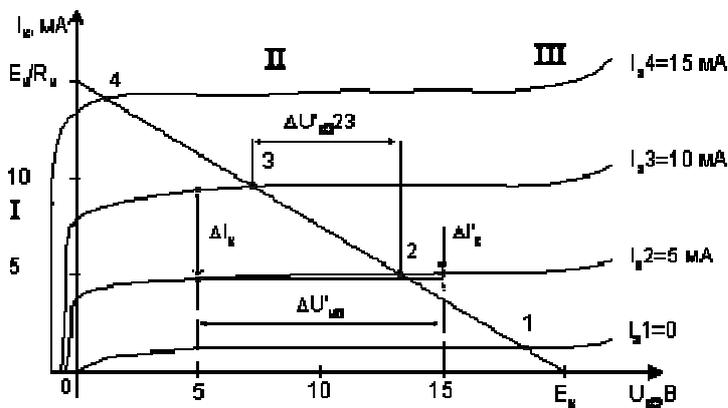
С учетом теплового тока $I_{ко}$ и коэффициента передачи тока эмиттера, а ток I_b можно выразить таким образом:

$$I_b = I_э - I_k = (1-a) I_э - I_{ко},$$

откуда видно, что ток базы является незначительным по сравнению с током эмиттера.



б



в

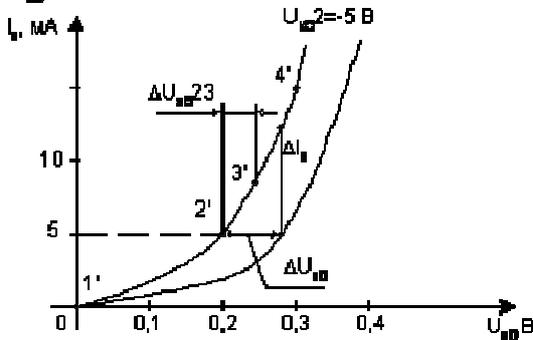


Рис 10.2.

Особенностью характеристик в области II является слабая зависимость тока коллектора I_k от напряжения $U_{кб}$. Ток коллектора определяется током эмиттера.

Некоторое увеличение тока I_k при увеличении отрицательного напряжения $U_{кб}$ обуславливается увеличением коэффициента передачи тока эмиттера, а вследствие возникающего эффекта модуляции толщины базового слоя (эффекта модуляции базы), а также некоторого роста обратного тока $I_{к0}$.

Эффект модуляции базы связан с расширением коллекторного перехода за счет увеличения объемного заряда в нем, вызванного повышением обратного напряжения на коллекторном переходе, которое практически равно $U_{кб}$. Поскольку расширение перехода происходит главным образом за счет базового слоя, как более высокоомного, то повышение напряжения $U_{кб}$ приводит к уменьшению толщины базового слоя, а следовательно, к уменьшению числа рекомбинаций дырок с электронами в нем, увеличению коэффициента α , и соответственно тока коллектора I_k .

Некоторое возрастание тока I_k на выходных характеристиках при повышении напряжения $U_{кб}$ вследствие увеличения коэффициента α за счет эффекта модуляции базы характеризуется ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫМ СОПРОТИВЛЕНИЕМ коллекторного перехода

$$r_{\text{кб}} = \left. \frac{dU_{\text{кб}}}{dI_{\text{к}}} \right|_{I_{\text{э}}=\text{const}} \approx \frac{\Delta U'_{\text{кб}}}{\Delta I'_{\text{кб}}},$$

которое может быть найдено из коллекторных (выходных) характеристик как отношение приращений напряжений и тока. Для маломощных транзисторов величина $r_{\text{кб}}$ - составляет 0,5 -1 Мом.

При- $I_{\text{э}} = 0$ зависимость $I_k = F(U_{кб})$ представляет собой обратную ветвь ВАХ коллекторного p-n-перехода. Обратный ток коллекторного p-n-перехода определяет составляющую $I_{\text{к0}}$ в коллекторном токе транзистора.

В области II выходные характеристики практически линейны, сопротивление $r_{\text{кб}}$ можно принять неизменным и зависимость $I_k = F(U_{кб})$ можно представить в аналитической форме:

$$I_k = \alpha I_{\text{э}} + I_{\text{к0}} + U_{\text{кб}} / r_{\text{кб}}$$

и тем самым уточнить соотношение, полученное без учета эффекта модуляции базы.

Наличие составляющей $I_{\text{к0}}$ является одной из главных причин температурной зависимости выходных характеристик транзистора.

Для транзистора существует предел повышения коллекторного напряжения ввиду возможного электрического пробоя коллекторного перехода (область III), который может перейти в тепловой пробой. Величина допустимого напряжения $U_{кб}$ указывается в справочниках.

ВХОДНЫЕ характеристики транзистора в схеме с ОБ (рис. 2,в) представляют собой зависимость $I_{\text{э}} = F(U_{\text{эб}}) | U_{\text{кб}} = \text{const}$ и по виду близки к прямой ветви ВАХ p-n-перехода (диода). Входная характеристика, снятая при $U_{\text{кб}}=0$, проходит через начало координат. Характеристики, снятые при больших напряжениях $U_{\text{кб}}$, располагаются левее и выше. Это обусловливается эффектом модуляции базы, приводящим к повышению градиента концентрации дырок в базе, возникновению внутренней обратной связи и увеличению тока $I_{\text{э}}$.

Входные характеристики транзистора характеризуются входным дифференциальным сопротивлением

$$r_{\text{вх}} = \left. \frac{dU_{\text{эб}}}{dI_{\text{э}}} \right|_{U_{\text{кб}} \approx \frac{\Delta U_{\text{кб}}}{\Delta I_{\text{к}}} = \text{const}}$$

На рис. 3.а показана T-образная схема замещения транзистора в физических параметрах, отражающая взаимосвязь приращений токов и напряжений на выводах транзистора в активной режиме. Схема содержит следующие элементы: $r_{\text{э}}$ - дифференциальное сопротивление эмиттерного перехода, $r_{\text{эб}}/I_{\text{э}}$; $r_{\text{к}}$ - дифференциальное сопротивление коллекторного перехода; $I_{\text{э0}}$ - источник тока, управляемый током эмиттера, который отражает основное усилительное свойство транзистора - зависимость тока коллектора от тока эмиттера; $r_{\text{б}}$ -объемное сопротивление базы (составляет 100 - 400 Ом в зависимости от типа транзистора).

10.3 Снятие статических характеристик транзистора, включенного по схеме с ОЭ.

В схеме с ОЭ (рис. 4,а) вывод эмиттера является общим для входной и выходной цепей транзистора. Напряжение $U_{эб}$ определяет напряжение на эмиттерном переходе. Напряжение на коллекторном переходе определяется как разность: $U_{кб} = U_{кэ} - U_{эб}$.

ВЫХОДНЫЕ характеристики транзистора в схеме с ОЭ определяют зависимость коллекторного тока от напряжения между коллектором и эмиттером $I_k = F(U_{кэ})$ при $I_b = \text{const}$ (рис. 4,б). Как и для схемы с ОБ, здесь можно выделить три характерные области: I- начальную область; II - область относительно слабой зависимости I_k от $U_{кэ}$; III- пробой коллекторного перехода.

Выходные характеристики транзистора в схеме с ОЭ отличаются от соответствующих характеристик в схеме с ОБ. В частности, они начинаются из точки с координатами 0, 0 и участок I располагается в первом квадранте. При $U_{кэ} = 0$ напряжение на коллекторном переходе равно $U_{эб}$, коллекторный переход смещен в прямом направлении и инжектирует дырки в базу. Потоки дырок через коллекторный переход (от коллектора в базу и от эмиттера в коллектор) взаимно уравниваются и ток $I_k = 0$. По мере повышения напряжения $U_{кэ}$ в области I прямое напряжение на коллекторном переходе снижается, его инжекция уменьшается и ток I_k возрастает. На границе с областью II прямое напряжение на коллекторном переходе снижается до нуля, поскольку $U_{кэ}$ становится равным по величине $U_{эб}$. В области II $|U_{кэ}| > |U_{эб}|$ и на коллекторном переходе действует обратное напряжение. Точка перехода из области I в область II соответствует напряжению $U_{кэ}$ порядка 5,5 - 1,5 В.

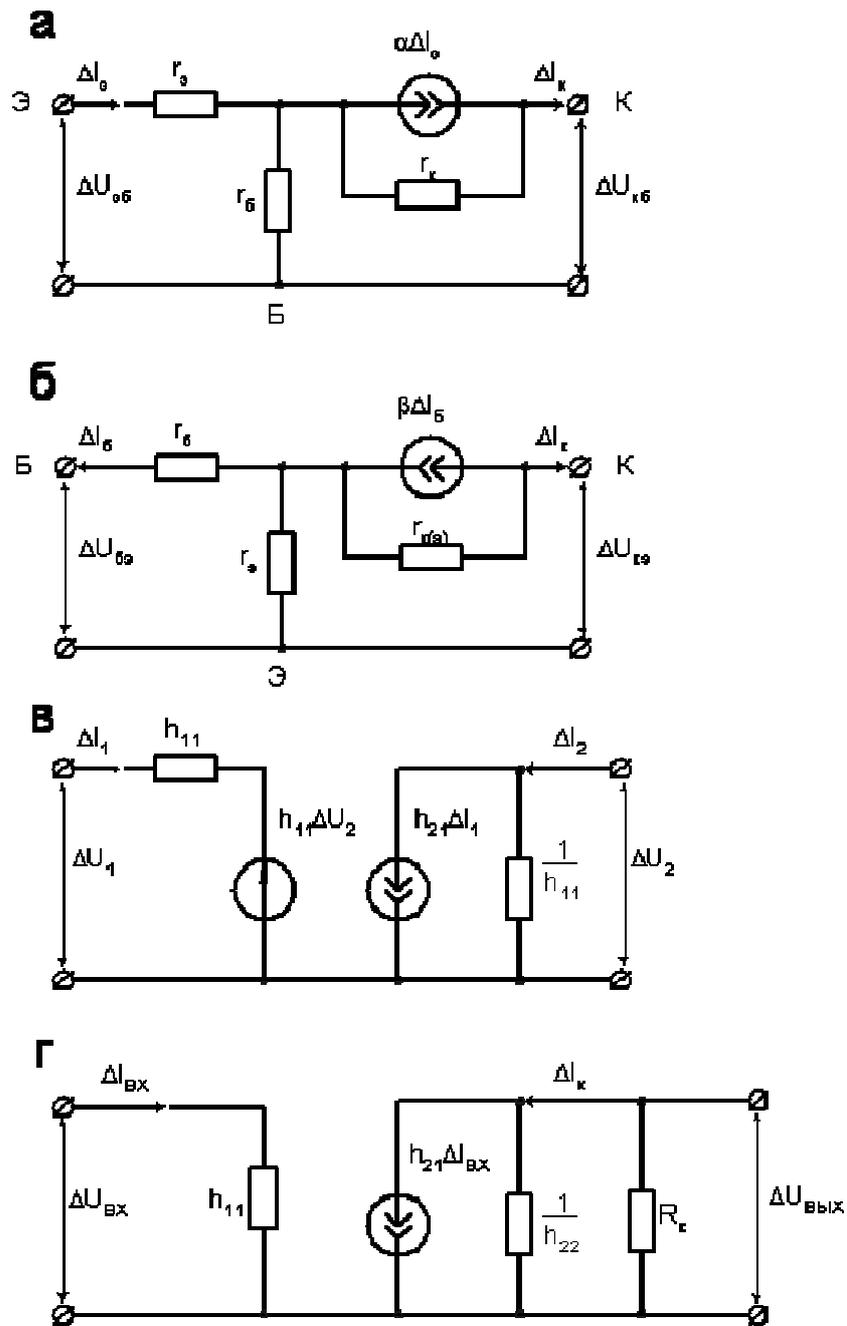


Рис.10.3

Отличие характеристик для схемы с ОЭ в области II видно, если выразить ток коллектора I_k через ток базы I_b . Заменим в выражении (2) ток эмиттера суммой $I_b + I_k$, после подстановки получим

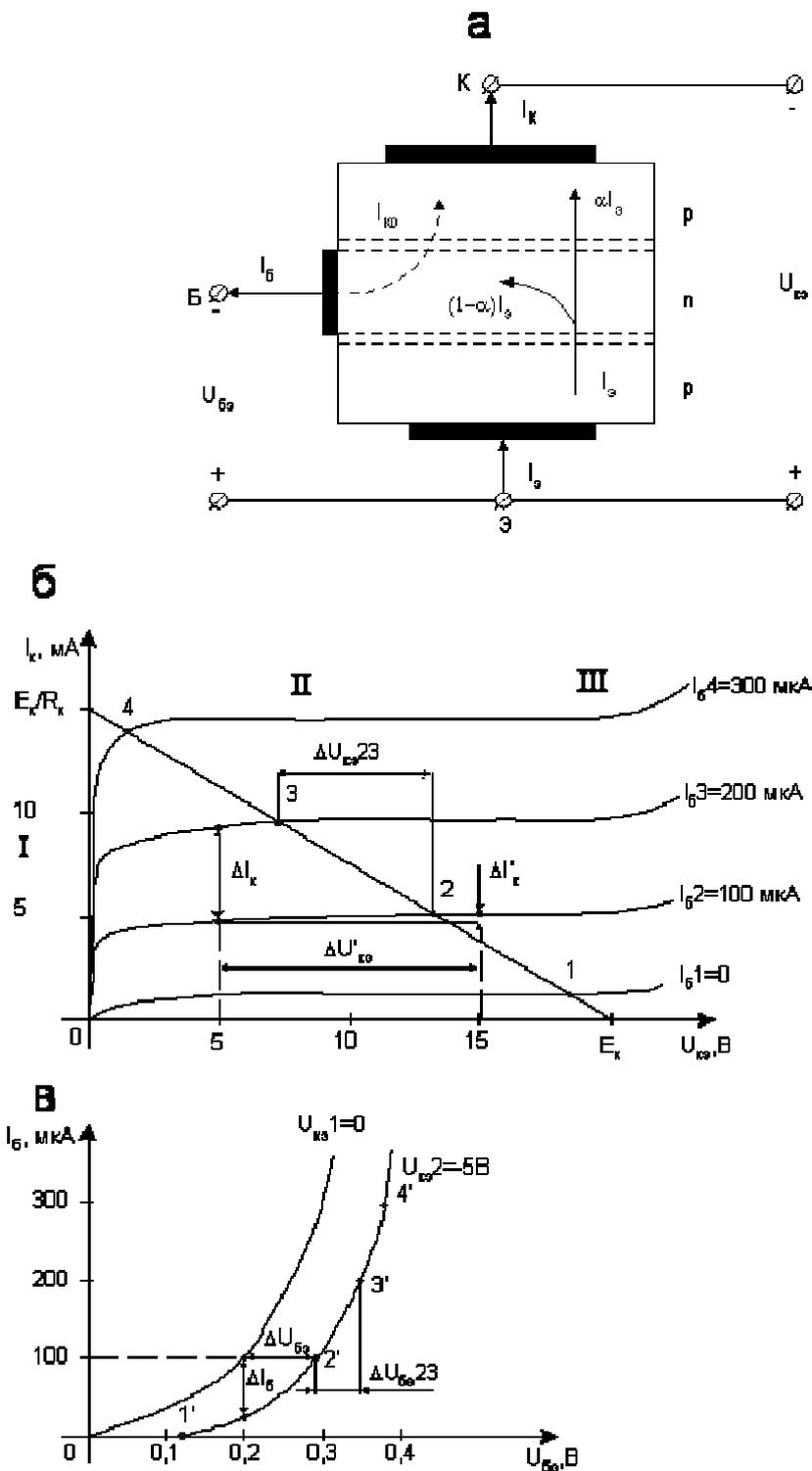


Рис.10.4 (а)-Схема включения диода, (б,в)-Вольт - амперная характеристика.

$$I_k = \frac{\alpha}{1-\alpha} I_b + \frac{I_{кэ0}}{1-\alpha} + \frac{U_{кэ}}{r_x(1-\alpha)}$$

Или

$$I_k = \beta I_b + I_{кэ0} + U_{кэ} / r_{x(\beta)}$$

где b - коэффициент передачи тока базы, $b=a/(1-a)$; $I_{кэ0}$ - начальный ток коллектора при $I_b=0$, $I_{кэ0} = I_{к0}/(1-a)= I_{к0}(1+b)$; $r_{к(э)}$ - дифференциальное сопротивление коллекторного перехода в схеме с ОЭ; $r_{к(э)}= r_{к}(1-a)= r_{кб}/(1+b)$.

Коэффициент b показывает связь тока коллектора с входным током I_b . Если для транзисторов коэффициент $a = 0,95... 0,998...$, то $b \gg 1$, $b20 \dots 1000$. Транзистор в схеме с ОЭ дает усиление по току. Это является важнейшим преимуществом включения транзистора по схеме с ОЭ, чем и определяется более широкое распространение этой схемы включения по сравнению со схемой с ОБ.

Так же, как и в схеме с ОБ, выходные характеристики имеют некоторый наклон к оси абсцисс (рис. 10.4,б), вызванные эффектом модуляции базы. Однако, этот наклон в схеме с ОЭ больше, чем в схеме с ОБ, так как малые изменения коэффициента, а под действием изменения напряжения на коллекторном переходе дают значительные изменения коэффициента $b= a/(1-a)$. Это явление учитывается последним слагаемым в правой части уравнения (3). В результате дифференциальное сопротивление с $r_{к(э)}$ коллекторного перехода в схеме с ОЭ в $(1+b)$ раз меньше дифференциального сопротивления $r_{к}$, в схеме с ОБ и составляет 30 - 40 кОм.

При уменьшении сопротивления R_k увеличивается угол наклона нагрузочной прямой и одному и тому же приращению входного напряжения и тока коллектора будет соответствовать меньшее приращение входного напряжения, т.е. коэффициент усиления уменьшится. При изменениях напряжения питания наклон нагрузочной прямой не изменяется, она перемещается параллельно себе самой. При этом коэффициент усиления не изменяется, изменяются только диапазоны изменения токов и напряжений. Аналогичные построения можно сделать для схемы с ОБ (рис. 6) на статических характеристиках (рис. 2).

Коэффициент усиления можно рассчитать, используя схему замещения транзистора.

На рис. 3, г показана схема замещения транзисторного каскада с нагрузкой для приращений токов и напряжений. Такая схема замещения получена из принципиальной схемы: транзистор замещен эквивалентной схемой в h - параметрах (без учета h_{12}), а источник заменен короткозамкнутой цепью, поскольку напряжение на его выходе постоянно и не изменяется.

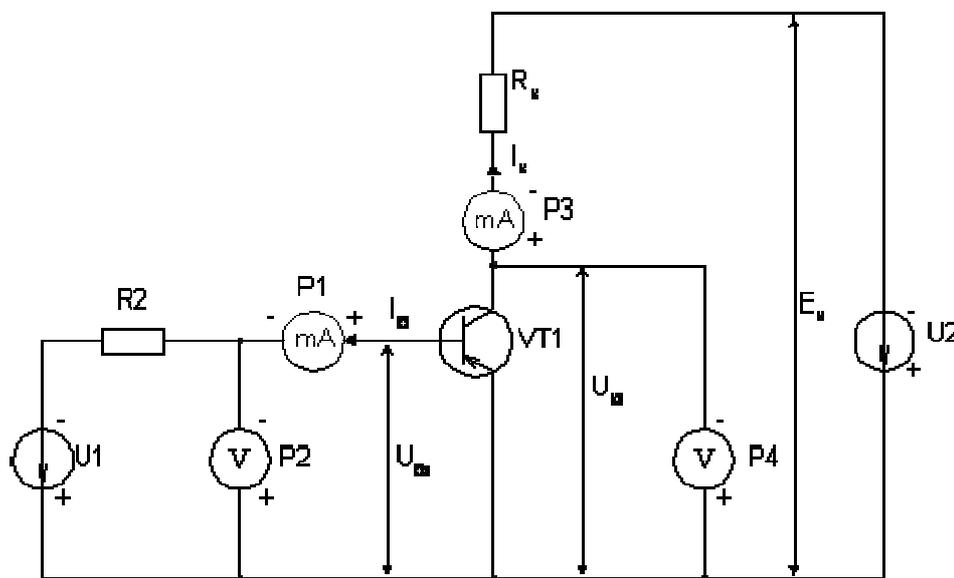


Рис.10.5 Схема транзистора собранного по схеме с общим эмиттером

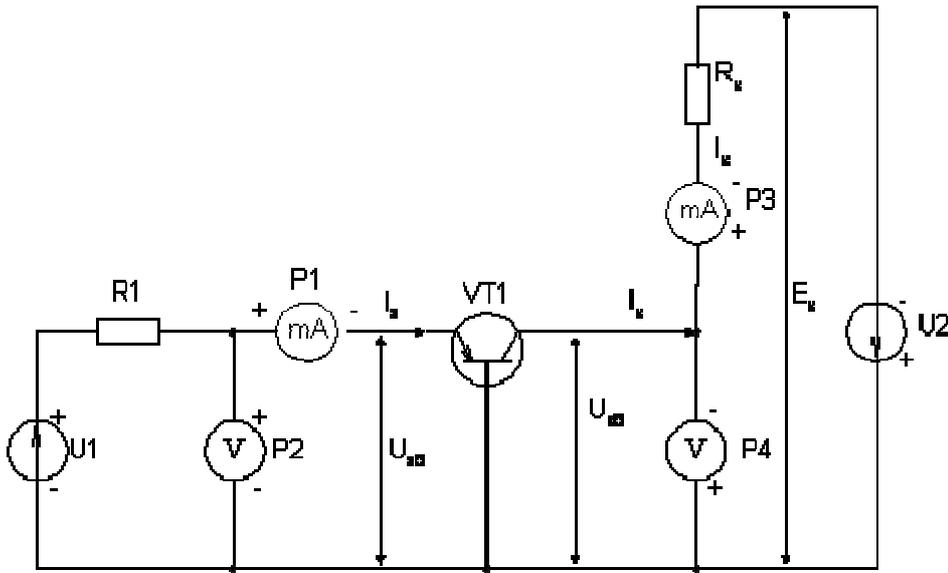


Рис.10.6 Схема транзистора собранного по схеме с общей базой.

10.3 Ход работы

Оборудование:

1. Биполярный германиевый транзистор типа p-n-p;
2. Источник питания;
3. Амперметр;
4. Вольтметр.

Опыт 1. Снятие входных характеристик биполярного транзистора собранного по схеме с общей базой (марка ГТ 320А)

1. Собрать электрическую схему по рис.10.6.
2. Измерить $I_э$ и $U_эб$ при напряжении $U_{кб} = U_{кэ} = 0$ и при $U_{кб} = U_{кэ} = -5В$. Данные записать в таблицу 10.1.

Таблица №10.1-Таблица для заполнения результатов работы

		1	2	3	4	5	6
$U_{кб} = U_{кэ} = 0$	$I_э$						
	$U_эб$						
$U_{кб} = U_{кэ} = -5В$	$I_э$						
	$U_эб$						

3. Построить график входных характеристик.

Опыт 2. Снятие выходных характеристик биполярного транзистора собранного по схеме с общей базой.

1. Собрать электрическую схему по рис.10.6.
2. Измерить $I_к$ и $U_{кб}$. Данные записать в таблицу 10.2.

Таблица №10.2-Таблица для заполнения результатов работы

I _э , мА	I _к	1	2	3	4
	U _{кб}				
I _э =0	I _к				
	U _{кб}				
I _э =20	I _к				
	U _{кб}				
I _э =40	I _к				
	U _{кб}				
I _э =60	I _к				
	U _{кб}				
I _э =80	I _к				
	U _{кб}				

3. Построить график выходных характеристик.

Контрольные вопросы:

1. Что называется биполярным транзистором?
2. Каковы функции транзисторов в электрических схемах?
3. Какие ещё виды транзисторов вы знаете?
4. Перечислите основные выводы транзистора?
5. Что такое «эмиттер»?
6. Что такое «коллектор»?
7. Что называется коэффициентом усиления транзистора по току?
8. Что называют полевым транзистором?

Примечание:

Лабораторная работа рассчитана на 2 часа.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №11.

Тема «Измерение напряжений с помощью электронных вольтметров».

Цель лабораторной работы:

1. Изучение принципов работы электронных вольтметров;
2. Изучение методов измерения напряжений электронными вольтметрами;
3. Изучение источников методических погрешностей, возникающих при измерении переменных напряжений с помощью электронных вольтметров;
4. Определение класса точности электронного вольтметра.

Содержание работы.

11.1. План работы.

1. Собрать схему для проведения опыта
2. Измерить переменные напряжения с помощью вольтметра В8-27. Оценить инструментальные погрешности измерения переменных напряжений;
3. Определить входное сопротивление R_V и входную емкость C_V вольтметра В8-27;
4. Провести многократное косвенное измерение коэффициента передачи K_{II} четырехполюсника с помощью вольтметра В8-27 путем измерения переменных напряжений на входе и выходе четырехполюсника.
5. Оформить отчет по лабораторной работе.

Оборудование:

1. Генератор сигналов высокочастотный Г4-117 (Диапазон генерируемых частот от 20 Гц до 10МГц.)
2. Вольтметр универсальный цифровой В7-28 (Обеспечивает измерение переменного напряжения в диапазоне от 100 мкВ до 300 В на пределах измерений 1; 10; 100; 300 В.)

11.2. Краткие теоретические сведения.

Электронные вольтметры переменного тока могут быть классифицированы.

– По назначению:

– вольтметры переменного напряжения (широкополосные, селективные, фазочувствительные);

– вольтметры импульсного напряжения;

– универсальные.

– По характеру измеряемого значения напряжения, вольтметры измеряющие:

– средневыпрямленное значение;

– действующее значение;

– амплитудное (пиковое) значение.

– По частотному диапазону:

– низкочастотные;

– высокочастотные;

– сверхвысокочастотные.

- По схеме входа:

– с открытым входом;

– с закрытым входом.

- По типу отсчетного устройства:

– стрелочные;

– световые;

– цифровые.

- По способу измерения:

– вольтметры непосредственного измерения;

– вольтметры сравнения.

Для электронных вольтметров согласно ГОСТ 9781-75 установлены классы точности: 0,1; 0,2; 0,5; 1,0; 1,5; 2,5; 4,0; 6,0.

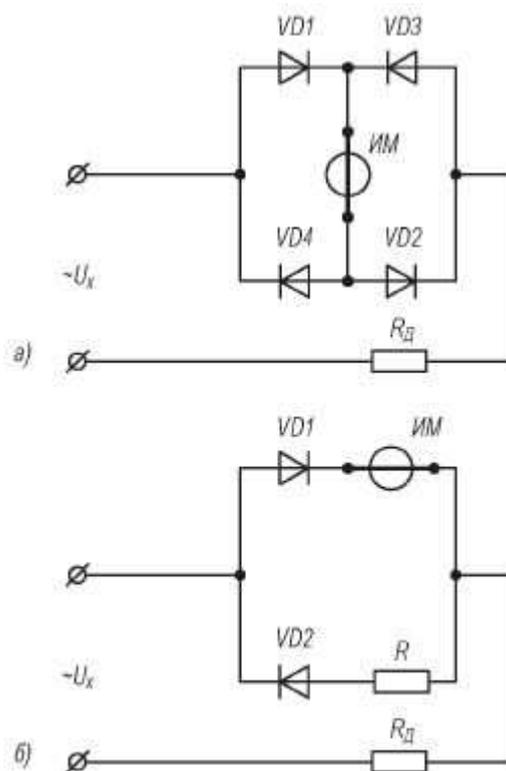


Рис. 11.1. Схемы вольтметров выпрямительной системы

По сравнению с вольтметрами выпрямительной системы они обладают большей чувствительностью (1 мкВ), большим входным сопротивлением (более 1 МОм) и значительно более широким частотным диапазоном – до сотен мегагерц. Входное устройство обеспечивает значение активной составляющей входного сопротивления в пределах от 0,5 до 100 МОм (типичное значение 1...10 МОм).

Регулирование пределов измеряемых напряжений выполняется с помощью делителей напряжения или изменением отрицательной обратной связи в усилителях.

При измерении напряжений 100...200 В после первого каскада усиления устанавливают частотно-компенсированные делители с низкоомным входом.

При измерении напряжений до 1 кВ высокоомные частотно-компенсированные резистивные делители включаются перед первым усилительным каскадом.

При напряжениях порядка 1 кВ и выше применяются внешние емкостные делители.

Входные устройства электронных вольтметров выполняются с симметричным, но чаще всего с несимметричным входом относительно точки с нулевым потенциалом.

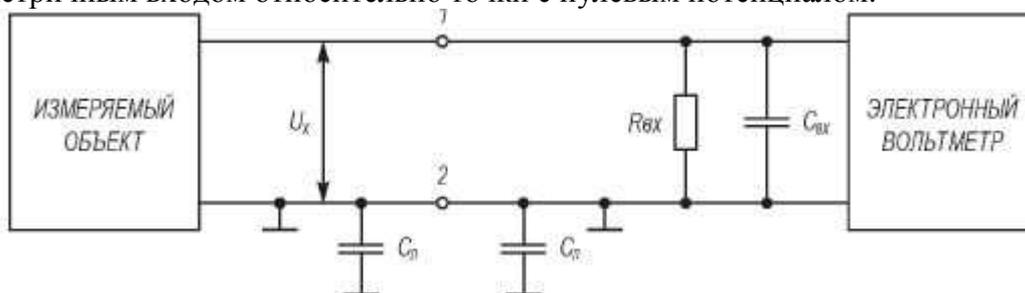


Рис. 11.2. Схема подключения вольтметра с несимметричным входом

Использование симметричного входа позволяет проводить относительные измерения напряжения в одной точке относительно другой.

При использовании несимметричного входа, при подключении вольтметра, вывод соединенный с корпусом прибора следует подключать к точке наименьшего или нулевого

потенциала. Несоблюдение этого может привести к тому, что измеряемый объект будет нагружен паразитной емкостью корпуса C п вольметра относительно земли (Рис. 11.2). Широко используются две основные системы электронных вольтметров переменного напряжения (Рис. 11.3).

Первая – детектор-усилитель (Рис. 11.3а).

В таких вольтметрах происходит преобразование (выпрямление) измеряемого переменного напряжения в постоянное, которое затем усиливается и измеряется микроамперметром. Они позволяют измерять напряжения частотой до 300 МГц, так как их детектор выполнен в виде выносного пробника.

Недостатком таких вольтметров является низкая чувствительность (примерно такая же, как у вольтметров постоянного тока).

Вторая – усилитель-детектор Рис. 11.3б. В таких вольтметрах измеряемое переменное напряжение сначала усиливается, а затем выпрямляется и измеряется. Такие приборы обладают высокой чувствительностью – до единиц микровольт, однако их частотный диапазон редко превышает несколько мегагерц.

Сочетание схем, приведенных на Рис. 11.1 и Рис. 11.3, позволяет создать универсальный вольтметр для измерения постоянных и переменных напряжений. Такие вольтметры имеют общий усилитель постоянного тока, отсчетное устройство и переключатель в цепи постоянного и переменного тока.

Для измерений напряжения на частотах выше 100 кГц применяются схемы с удвоением напряжения (рис. 11.4).

Вольтметры с удвоением напряжения могут применяться только тогда, когда цепи разрядного тока не содержат конденсаторов.

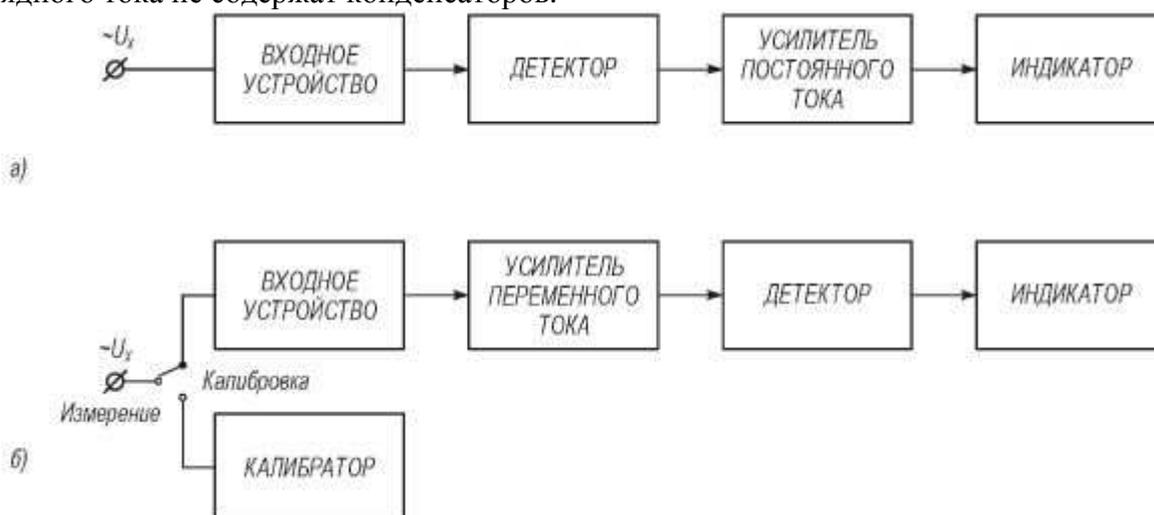


Рис. 11.3. Структурные схемы электронных вольтметров

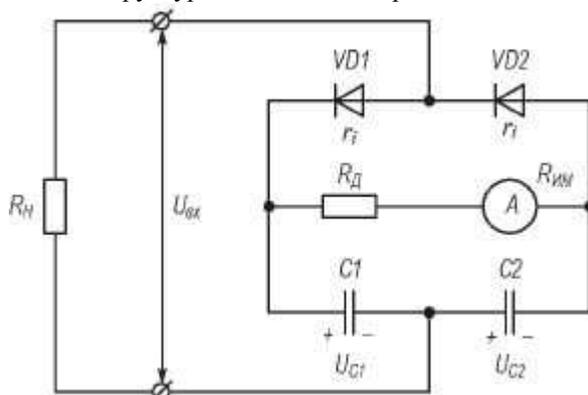


Рис. 11.4. Схема вольтметра с удвоением напряжения

При положительном полупериоде входного напряжения $U_{вх}$ конденсатор C_1 заряжается через диод VD_1 до амплитудного значения U_m . При отрицательном полупериоде диод VD_1 закрыт и конденсатор C_1 разряжается через R_D , $R_{ИМ}$, VD_2 и R_n . При отрицательном полупериоде конденсатор C_2 заряжается через диод VD_2 . Разрядный ток протекает через аналогичную цепочку в том же направлении.

Электронные вольтметры могут иметь два пиковых детектора: – высокочастотный, с емкостью конденсатора

30...100 пФ; – низкочастотный, с конденсатором большой емкости для измерения на низких частотах.

Для правильной интерпретации показаний импульсного вольтметра сигналы следует наблюдать осциллографом.

Входное сопротивление вольтметра (рис. 11.5) с пиковым детектором примерно равно $R/2$.

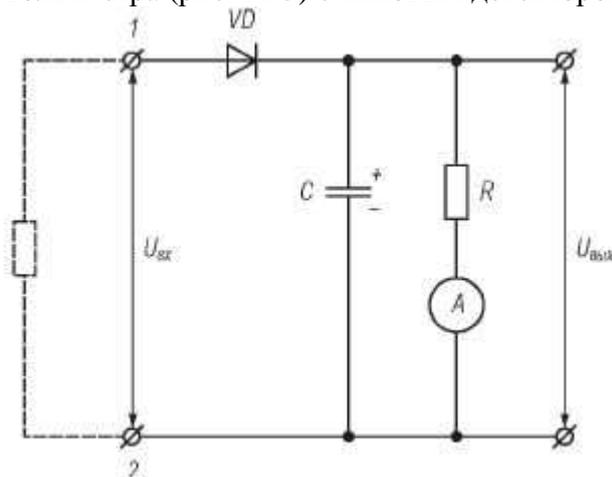


Рис. 11.5. Схема амплитудного детектора с открытым входом

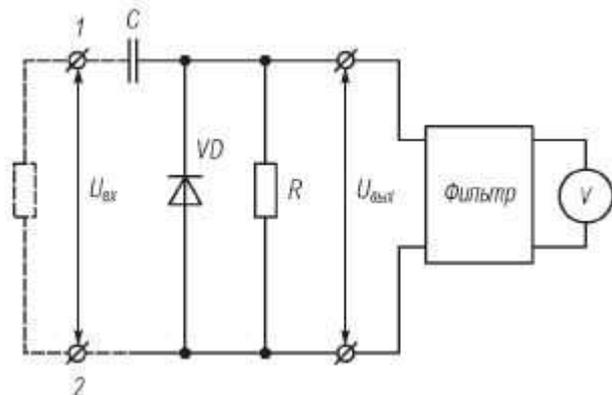


Рис. 11.6. Схема амплитудного детектора с закрытым входом

11.3 Ход работы.

1. Подключить электронный вольтметр к исследуемой цепи.
2. Произвести измерения соответствующих параметров.
3. Данные измерений записать в таблицы 1, 2, 3.
6. Произвести расчёт погрешности измерения переменных напряжений (расчётные данные записать в таблицу №1);
7. Произвести расчёт входного сопротивления R_V и входной емкости C_V вольтметра В8-27 (расчётные данные записать в таблицу №2);
8. Провести многократное косвенное измерение коэффициента передачи $K_{Д}$ четырехполюсника с помощью вольтметра В8-27 путем измерения переменных напряжений на входе и выходе четырехполюсника. данные записать в таблицу №3.

Таб.1 - Таблица для заполнения результатов работы

№ п/п	f, кГц	U, В	U _{пр} , В	U _v , В	δ _u %	Δ _u %
1						
2						
3						
4						

$$\Delta u = |U_v - U|$$

$$\delta u = (\Delta u / U) * 100\%$$

Таб.2 - Таблица для заполнения результатов работы

U _{ГВ} , В	f _н , Гц	U _{ГН} , В	R ₀ , кОм	U _{RV} , В	R _v , кОм	\bar{R}_v , кОм	f _в , Гц	U _{ГВ} , В	C ₀ , пФ	U _{cv} , В	C _v , пФ	\bar{C}_v , пФ
			560						30			
			1000						20			
			270						10			

$$R_v = \frac{R_0}{U_{zn} / U_{rv} - 1}$$

$$C_v = C_0 \left(\frac{U_{zg}}{U_{cv}} - 1 \right)$$

Таб.3 - Таблица для заполнения результатов работы

№ измер.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
U _н , В																	
Результат	$K_{II} = \quad , P_{\delta} = 0.99$																

№ измер.	18	19	20	21	22	23
U _н , В						
Результат						

Контрольные вопросы:

1. Что представляет собой электронный вольтметр?
2. По какой схеме выполняют электронные вольтметры?
3. Каков диапазон измеряемых напряжений?
4. При помощи какого устройства переменное напряжение преобразуется в постоянное?
5. Каким входным сопротивлением обладают электронные вольтметры?
6. Каков диапазон частот электронных вольтметров?
7. Недостатки электронных вольтметров.

Примечание:

Лабораторная работа рассчитана на 2 часа.

Заключение

Выполнение лабораторных работ направлено на развитие творческого мышления и профессиональных способностей студентов, умения делать самостоятельные выводы, выработку практических навыков и умений по измерению, расчетам электрических параметров различных схем и устройств, по сборке электрических схем, по проектированию, измерению и расчетам электронных устройств. Их необходимо выполнять в полном соответствии с основными положениями теории.

В процессе лабораторных работ студенты учатся применять основные определения и законы теории электрических цепей, рассчитывать параметры и элементы электрических и электронных устройств, собирать электрические схемы и проверять их работу, учитывать на практике свойства цепей с распределёнными параметрами и нелинейных электрических цепей, различать непрерывные и дискретные сигналы и их параметры.

Методика выполнения большинства работ должна соответствовать указаниям и требованиям Государственных стандартов. Каждый опыт должен быть проведен правильно и точно.

Список источников и литературы

1. Берёзкина Т.Ф., Гусев Н.Г. Масленников В.В. Задачник по общей электротехнике с основами электроники: Учебное пособие для студентов неэлектротехнических специальностей средних специальных учебных заведений. – М.: Высшая школа, 2001.

2. Данилов И.А., Иванов П.М. Общая электротехника с основами электроники: Учебное пособие для студентов неэлектротехнических специальностей средних специальных учебных заведений. – М.: Высшая школа, 2000.

3. Касаткин А.С. Основы электротехники: Учебное пособие для средних профессионально-технических училищ. – М.: Высшая школа, 2001.

4. Синдеев Ю.Г. Электротехника (с основами электроники): Учебное пособие для профессиональных училищ и колледжей. – Ростов-на-Дону: Феникс, 2001.

Список оборудования

- мультимедийный учебный комплекс по темам:
«Цепи постоянного тока», «Цели переменного тока», «Электронные устройства», «Цифровая электроника», «Операционные усилители».
- стационарные лабораторные стенды;
- набор измерительных приборов и оборудования стендов;
- комплект приборов по направлению «Физические основы электротехники и электроники»;
- комплект экспериментальных панелей по направлению «Электротехника и электроника»;
- педагогические программные средства вычислительной техники:
встроенные персональные компьютеры;
- оверхед-проектор «Горизонт»-250 X.