Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
"Волжский государственный университет водного транспорта"

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ
Б.1.О.Д17 Общая электротехника

Профиль	Безопасность автоматизированных систем на транспорте (по видам)
Институт	экономики, управления и права
Кафедра	Кафедра электротехники и электрооборудования объектов водного транспорта
Специальность	10.05.03 Информационная безопасность автоматизированных систем

1. Объем дисциплины и виды учебной работы

Вид учебной работы	Всего часов/зачетных единиц	Семестры	
		3	4
Лекции	36 Часы	17	19
СРС	81 Часы	38	43
Практические занятия	17 Часы	17	
Лабораторные работы	19 Часы		19
Зачет	0 Часы		
Экзамен	27 Часы		27

2. Место дисциплины в структуре ООП

Код дисциплины	Наименование блока	Трудоемкость дисциплины, з.е.
Б.1.О.Д17	Блок 1 Дисциплины (модули) (Обязательная часть)	5

3. Разделы дисциплины и виды занятий

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Лекции	СРС	Практические занятия	Лабораторные работы	Зачет	Экзамен	Всего
1	Раздел 1 Основы электротехники, анализ физической сущности явлений и процессов лежащих в основах функционирования микроэлектронной техники							
1,1	Подраздел 1 Определение линейной цепи, основные элементы электрической цепи. Источники ЭДС и источники тока.	2 Часы	4 Часы					6 Часы
1,1	Подраздел 10 Резонансные явления в цепях переменного тока. Резонанс напряжений и резонанс токов.			2 Часы				2 Часы
1,11	Подраздел 11 Частотные характеристики. Энергетические соотношения при резонансах.	2 Часы	4 Часы					6 Часы
1,12	Подраздел 12 Частотные характеристики. Энергетические соотношения при резонансах.			2 Часы				2 Часы
1,13	Подраздел 13 Явление взаимоиндукции. Потоки и потокосцепления самоиндукции, взаимоиндукции и рассеяния. Коэффициент связи. Согласное и встречное включение катушек. Векторные диаграммы. Воздушный трансформатор,	1 Часы	2 Часы					3 Часы
1,14	Подраздел 14 Явление взаимоиндукции. Потоки и потокосцепления самоиндукции, взаимоиндукции и рассеяния. Коэффициент связи. Согласное и встречное включение катушек. Векторные диаграммы. Воздушный трансформатор,			1 Часы				1 Часы
1,15	Подраздел 15 Трехфазные цепи. Соединения в звезду и треугольник. Фазные и линейные напряжения и токи. Расчет симметричных и несимметричных трехфазных цепей.	2 Часы	5 Часы					7 Часы
1,16	Подраздел 16 Трехфазные цепи. Соединения в звезду и треугольник. Фазные и линейные напряжения и токи.			2 Часы				2 Часы
1,17	Подраздел 17 Мощность трехфазной системы. Измерение мощности.	2 Часы	5 Часы					7 Часы

1,18	Подраздел 18 Мощность трехфазной системы. Измерение мощности.			2 Часы				2 Часы
1,2	Подраздел 2 Определение линейной цепи, основные элементы электрической цепи. Источники ЭДС и источники тока.			2 Часы				2 Часы
1,3	Подраздел 3 Законы Ома и Кирхгофа. Преобразование цепей. Мощность электрического тока.	2 Часы	4 Часы					6 Часы
1,4	Подраздел 4 Законы Ома и Кирхгофа. Преобразование цепей. Мощность электрического тока.			2 Часы				2 Часы
1,5	Подраздел 5 Синусоидальные токи и напряжения. Среднее и действующее значения тока и напряжения. Мгновенная мощность и колебания энергии в цепях переменного тока.	2 Часы	5 Часы					7 Часы
1,6	Подраздел 6 Синусоидальные токи и напряжения. Среднее и действующее значения тока и напряжения. Мгновенная мощность и колебания энергии в цепях переменного тока.			2 Часы				2 Часы
1,7	Подраздел 7 Символический метод расчета цепей синусоидального тока. Основные законы электрических цепей в комплексной форме. Векторные и топографические диаграммы. Треугольники сопротивлений, проводимостей, мощностей. Методы расчета электрических цепей,	2 Часы	5 Часы					7 Часы
1,8	Подраздел 8 Символический метод расчета цепей синусоидального тока. Основные законы электрических цепей в комплексной форме. Векторные и топографические диаграммы. Треугольники сопротивлений, проводимостей, мощностей. Методы расчета электрических цепей,			2 Часы				2 Часы
1,9	Подраздел 9 Резонансные явления в цепях переменного тока. Резонанс напряжений и резонанс токов.	2 Часы	4 Часы					6 Часы
2	Раздел 2 Общая электротехника, основные физические законы и модели решения задач профессиональной деятельности							
2,1	Подраздел 1 Трансформатор. Устройство и принцип действия. Схема замещения. Режим холостого хода трансформатора. Опыт короткого замыкания трансформатора. КПД трансформатора. Падение напряжения на зажимах трансформатора,	2 Часы	4 Часы					6 Часы
2,1	Подраздел 10 Устройство и принцип действия синхронного генератора. Системы возбуждения синхронного генератора.				2 Часы			2 Часы
2,11	Подраздел 11 Параллельная работа синхронных генераторов	2 Часы	3 Часы					5 Часы
2,12	Подраздел 12 Параллельная работа синхронных генераторов				2 Часы			2 Часы
2,13	Подраздел 13 Управляемые трехфазные выпрямители. Широтно – импульсные преобразователи. Автономные инверторы и преобразователи частоты	2 Часы	5 Часы					7 Часы
2,14	Подраздел 14 Управляемые трехфазные выпрямители. Широтно – импульсные преобразователи. Автономные инверторы и преобразователи частоты				2 Часы			2 Часы
2,15	Подраздел 15 Системы электроснабжения. Расчет и выбор сечения питающего кабеля.	2 Часы	3 Часы					5 Часы
2,16	Подраздел 16 Системы электроснабжения. Расчет и выбор сечения питающего кабеля.				2 Часы			2 Часы
2,17	Подраздел 17 Цифровые электронные элементы	1 Часы	3 Часы					4 Часы
2,18	Подраздел 18 Цифровые электронные элементы				1 Часы			1 Часы
2,19	Подраздел 19 Электронагревательные установки. Расчет и выбор элементов электрооборудования. Электрическое освещение. Расчет освещенности.	2 Часы	5 Часы					7 Часы
2,2	Подраздел 20 Электронагревательные установки. Расчет и выбор элементов электрооборудования. Электрическое освещение. Расчет освещенности.				2 Часы			2 Часы
2,2	Подраздел 2 Трансформатор. Устройство и принцип действия. Схема замещения. Режим холостого хода трансформатора. Опыт короткого замыкания трансформатора. КПД трансформатора. Падение напряжения на зажимах трансформатора,				2 Часы			2 Часы

2,3	Подраздел 3 Классификация электрических машин. Основные определения. Устройство и принцип действия машины постоянного тока. Механические характеристики двигателя постоянного тока. Методы пуска двигателя постоянного тока. Режимы торможения двигателя постоянного тока	2 Часы	6 Часы					8 Часы
2,4	Подраздел 4 Классификация электрических машин. Основные определения. Устройство и принцип действия машины постоянного тока. Механические характеристики двигателя постоянного тока. Методы пуска двигателя постоянного тока. Режимы торможения двигателя постоянного тока				2 Часы			2 Часы
2,5	Подраздел 5 Устройство и принцип действия асинхронного двигателя. Механические характеристики АД. Способы пуска асинхронного двигателя. Тормозные режимы АД.	2 Часы	6 Часы					8 Часы
2,6	Подраздел 6 Устройство и принцип действия асинхронного двигателя. Механические характеристики АД. Способы пуска асинхронного двигателя. Тормозные режимы АД.				2 Часы			2 Часы
2,7	Подраздел 7 Типовая схема управления АД. Электрические аппараты защиты и управления	2 Часы	5 Часы					7 Часы
2,8	Подраздел 8 Типовая схема управления АД. Электрические аппараты защиты и управления				2 Часы			2 Часы
2,9	Подраздел 9 Устройство и принцип действия синхронного генератора. Системы возбуждения синхронного генератора.	2 Часы	3 Часы					5 Часы

4. Перечень планируемых результатов обучения, соотнесенных с планируемыми результатами освоения

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование и развитие у обучающегося следующих компетенций:

№ п/п	компетенции	Индикатор достижения		
		Знать	Уметь	Владеть
1	Способен анализировать физическую сущность явлений и процессов, лежащих в основе функционирования микроэлектронной техники, применять основные физические законы и модели для решения задач профессиональной деятельности	ОПК-4.З.1 физическую сущность явлений и процессов лежащих в основе функционирования электронной техники	ОПК-4.У.1 применять основные физические законы и модели при эксплуатации электротехники	ОПК-4.В.1 основными физическими законами и моделями при эксплуатации электронной техники

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование и развитие у обучающегося следующих требуемых Международной конвенцией о подготовке и дипломировании моряков и несении вахты 1978 года стандартов компетентности:

№ п/п	Таблица	Функция	Сфера компетентности
1			

5. Материально-техническое и учебно-методическое обеспечение программы

5.1 Помещения и оборудование

№ п/п	Вид помещений	Оснащение помещений	№ помещений
1	Учебные аудитории для проведения учебных занятий	оборудование и технические средства обучения (Стол рабочий (14 ед.); стул (28 ед.) (565) Стул (2 ед.); Парты (41 ед.); Мультимедийное оборудование (1 ед.) (768))	565,768
2	Помещения для самостоятельной работы обучающихся	компьютерная техника с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечение доступа в электронную информационно-образовательную среду университета	462

5.2 Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение, в том числе отечественного производства

№ п/п	Наименование
1	Microsoft Office Professional Plus 2016 (Договор №44/109-15 от 28.12.2015 (бессрочно))
2	Microsoft Office ProPlus 2013 (Договор №44/59-18 от 09.04.2018 (бессрочно))

5.3 Карта обеспеченности печатными и(или) электронными изданиями и электронными образовательными ресурсами

№ п/п	Наименование источника	Год издания	Ресурс	Количество экземпляров

1	Сычушкин, И.В.;Лабораторный практикум по электротехнике и электронике;для студ.очн.и заочн.обучения техн.спец.;Попов, С.В.Сычушкин, И.В.-Н.Новгород,ВГУВТ; <null> ;	2 017	Текст	48
2	Сычушкин, И.В.;Лабораторный практикум по электротехнике и электронике;для студ.очн.и заочн.обучения техн.спец.;Попов, С.В.Сычушкин, И.В.-Н.Новгород,<null>; <null> ;http://94.100.87.24:8080/marcweb/	2 017	Электронный ресурс	0
3	Иванов, И.И.;Электротехника и основы электроники;учебник;Иванов, И.И.Соловьев, Г.И.Фролов, В.Я.-СПб.,Лань; URL: https://e.lanbook.com/reader/book/155680/#2 (дата обращения: 22.09.2021) ;<null>	2 021	Электронный ресурс	0
4	Белов, Н.В.;Электротехника и основы электроники;учебное пособие;Белов, Н.В.Волков, Ю.С.-Санкт-Петербург,Лань; URL: https://reader.lanbook.com/book/210866#1 (дата обращения: 16.05.2022) ;<null>	2 022	Электронный ресурс	0
5	Бычков, Ю.А.;Основы теоретической электротехники;учебное пособие;Белянин, А.Н.Бычков, Ю.А.Золотницкий В.М.Чернышев, Э.П.-Санкт-Петербург,Лань; URL: https://reader.lanbook.com/book/210227#1 (дата обращения: 18.05.2022) ;<null>	2 022	Электронный ресурс	0
6	Атабеков, Г.И.;Теоретические основы электротехники.Линейные электрические цепи;учебное пособие;Атабеков, Г.И.-СПб.,Лань; URL: https://e.lanbook.com/reader/book/155669/#4 (дата обращения: 22.09.2021) ;<null>	2 021	Электронный ресурс	0
7	Григорьев, П. А.;Электротехника, электроника и электропривод;учебное пособие;Григорьев, П. А.Зайцева, Н.А.-М.,РУТ (МИИТ)[МГАВТ]; URL: https://e.lanbook.com/book/175982 (дата обращения: 25.04.2023) ;<null>	2 020	Электронный ресурс	0
8	Малышев, Ю.С.;Электротехника и электроника;методические указания к выполнению лабораторных работ для студентов: [по направлениям подготовки инженерных и неэлектрических специальностей];Малышев, Ю.С.Сычушкин, И.В.-Н.Новгород,<null>; <null> ;http://94.100.87.24:8080/marcweb/	2 022	Электронный ресурс	0
9	Малышев, Ю.С.;Электротехника и электроника;методические указания к выполнению лабораторных работ для студентов: [по направлениям подготовки инженерных и неэлектрических специальностей];Малышев, Ю.С.Сычушкин, И.В.-Н.Новгород,ВГУВТ; <null> ;	2 022	Текст	50
10	Крайнова, В.В. Методические указания по организации и выполнению внеаудиторной (самостоятельной) работы [Электронный ресурс] : для преподавателей и студ.по направлениям подготовки (спец.) высш.и сред.проф.образования / В. В. Крайнова ; ВГУВТ. - Н.Новгород, 2018. - 1 текст/файл. - Авторский вариант. – Режим доступа: http://94.100.87.24:8080/MarcWeb/Tmp/f15520.pdf	2 018	Электронный ресурс	0

Программа предусматривает возможность применения электронного обучения, дистанционных образовательных технологий.
Электронная информационно-образовательная среда университета с возможностью доступа к информационно- телекоммуникационной сети "Интернет" - Режим доступа: http://www.eios.vsuwt.ru/.

5.4 Современные профессиональные базы данных

№ п/п	Наименование
1	Статистический сборник: Транспорт в России- Режим доступа: http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/statistics/publications/catalog/doc_1136983505312
2	Центральная база статистических данных - Режим доступа: http://cbsd.gks.ru/

5.5 Информационные справочные системы

№ п/п	Наименование
1	Справочная правовая система «КонсультантПлюс» - Режим доступа: http://www.consultant.ru (договор от 02.02.2015 г.)
2	Справочная правовая система «Гарант» - Режим доступа: http://www.garant.ru (договор 62/16 от 01.09.2016 г. - бессрочный)
3	Справочная правовая система «КонсультантПлюс» - Режим доступа: http://www.consultant.ru (договор от 02.02.2015 г.)
4	Справочная правовая система «Гарант» - Режим доступа: http://www.garant.ru (договор 62/16 от 01.09.2016 г. - бессрочный)

6. Оценочные и методические материалы

Оценочные и методические материалы, определяющие процедуры оценивания индикаторов, характеризующих этапы формирования компетенций, являются приложением к программе.

№ п/п	Индикатор достижения компетенций	Сфера компетентности (МК ПДНВ)	Контролируемые разделы (темы)	Формы и методы контроля и оценки результатов обучения		Процедура оценивания	Критерии оценивания результата обучения и шкала оценивания			
				Вид контроля	Форма контроля		2	3	4	5
							не зачтено	зачтено		
1	ОПК-4.З.1, ОПК-4.У.1, ОПК-4.В.1		1.1,1.2,1.3,1.4	Текущий контроль	Контрольная работа	Проверяется правильность методики решения	Работа не выполнена или сделана не по заданному варианту, объяснение хода ее решения дано неполное, непоследовательное, с грубыми ошибками, без теоретического обоснования.	Даны ответы на задания контрольной работы без обоснования шагов решения, с ошибками, слабым теоретическим обоснованием, со значительными затруднениями и ошибками.	Работа выполнена полностью, но обоснования шагов решения недостаточно логичное, с единичными ошибками в деталях, некоторыми затруднениями в теоретическом обосновании.	Работа выполнена полностью, ответ на вопрос задачи дан правильный, объяснение хода ее решения подробное, последовательное, грамотное, с теоретическими обоснованиями
2	ОПК-4.З.1, ОПК-4.У.1, ОПК-4.В.1		1.5,1.6,1.7,1.8,1.9,1.10,1.11,1.12	Текущий контроль	Контрольная работа	Проверяется правильность методики решения	Работа не выполнена или сделана не по заданному варианту, объяснение хода ее решения дано неполное, непоследовательное, с грубыми ошибками, без теоретического обоснования.	Даны ответы на задания контрольной работы без обоснования шагов решения, с ошибками, слабым теоретическим обоснованием, со значительными затруднениями и ошибками.	Работа выполнена полностью, но обоснования шагов решения недостаточно логичное, с единичными ошибками в деталях, некоторыми затруднениями в теоретическом обосновании.	Работа выполнена полностью, ответ на вопрос задачи дан правильный, объяснение хода ее решения подробное, последовательное, грамотное, с теоретическими обоснованиями

3	ОПК-4.3.1, ОПК-4.У.1		1.13,1.14,1.15,1.16,1.17,1.18	Текущий контроль	Лабораторная работа	Защита отчета	Работа выполнена не полностью и объем выполненной части работы не позволяет сделать правильных выводов: если опыты, измерения, вычисления, наблюдения производились неправильно	Работа выполнена не полностью, но объем выполненной части позволяет получить правильные результаты и выводы, если в ходе проведения опыта, измерений, вычислений и наблюдений были допущены ошибки	Работа выполнена в полном объеме с соблюдением необходимой последовательности проведения опытов, измерений, вычислений и наблюдений; все опыты проводит в условиях и режимах, обеспечивающих получение правильных результатов и выводов; в отчете правильно и аккуратно выполняет все записи, таблицы, рисунки, чертежи, графики, вычисления; но допускает несколько недочетов, оформление отчета согласно установленным требованиям; при защите отчета обучающийся ответил в основном на все контрольные вопросы	Работа выполнена в полном объеме с соблюдением необходимой последовательности проведения опытов, измерений, вычислений и наблюдений; все опыты проводит в условиях и режимах, обеспечивающих получение правильных результатов и выводов; в отчете правильно и аккуратно выполняет все записи, таблицы, рисунки, чертежи, графики, вычисления; оформление отчета согласно установленным требованиям; при защите отчета обучающийся ответил на все контрольные вопросы
4	ОПК-4.3.1, ОПК-4.У.1, ОПК-4.В.1		1.	Промежуточная аттестация	Зачет	Ответы на вопросы, время подготовки 45 минут. 34 вопроса	Обучающийся демонстрирует фрагментарные знания основных разделов дисциплины, его базовых понятий и фундаментальных проблем. Слабо выражена способность к самостоятельному аналитическому мышлению, имеются затруднения в изложении материала, допущены грубые ошибки и незнание терминологии, отсутствуют ответы на дополнительные вопросы, необходимые умения и навыки			Обучающийся демонстрирует знание основных разделов дисциплины, его базовых понятий и фундаментальных проблем; приобретены необходимые умения и навыки, освоил вопросы практического применения полученных знаний, не допустил фактических ошибок при ответе, достаточно последовательно и логично изложен теоретический материал, допущены лишь незначительные нарушения последовательности изложения и некоторые неточности

5	ОПК-4.3.1, ОПК-4.У.1		2.1,2.2,2.3,2.4,2.5,2.6	Текущий контроль	Лабораторная работа	Защита отчета	Работа выполнена не полностью и объем выполненной части работы не позволяет сделать правильных выводов: если опыты, измерения, вычисления, наблюдения производились неправильно	Работа выполнена не полностью, но объем выполненной части позволяет получить правильные результаты и выводы, если в ходе проведения опыта, измерений, вычислений и наблюдений были допущены ошибки	Работа выполнена в полном объеме с соблюдением необходимой последовательности проведения опытов, измерений, вычислений и наблюдений; все опыты проводит в условиях и режимах, обеспечивающих получение правильных результатов и выводов; в отчете правильно и аккуратно выполняет все записи, таблицы, рисунки, чертежи, графики, вычисления; но допускает несколько недочетов, оформление отчета согласно установленным требованиям; при защите отчета обучающийся ответил в основном на все контрольные вопросы	Работа выполнена в полном объеме с соблюдением необходимой последовательности проведения опытов, измерений, вычислений и наблюдений; все опыты проводит в условиях и режимах, обеспечивающих получение правильных результатов и выводов; в отчете правильно и аккуратно выполняет все записи, таблицы, рисунки, чертежи, графики, вычисления; оформление отчета согласно установленным требованиям; при защите отчета обучающийся ответил на все контрольные вопросы
6	ОПК-4.3.1, ОПК-4.У.1		2.7,2.8,2.9,2.10,2.11,2.12,2.13,2.14,2.15,2.16,2.17,2.18,2.19,2.20	Текущий контроль	Лабораторная работа	Защита отчета	Работа выполнена не полностью и объем выполненной части работы не позволяет сделать правильных выводов: если опыты, измерения, вычисления, наблюдения производились неправильно	Работа выполнена не полностью, но объем выполненной части позволяет получить правильные результаты и выводы, если в ходе проведения опыта, измерений, вычислений и наблюдений были допущены ошибки	Работа выполнена в полном объеме с соблюдением необходимой последовательности проведения опытов, измерений, вычислений и наблюдений; все опыты проводит в условиях и режимах, обеспечивающих получение правильных результатов и выводов; в отчете правильно и аккуратно выполняет все записи, таблицы, рисунки, чертежи, графики, вычисления; но допускает несколько недочетов, оформление отчета согласно установленным требованиям; при защите отчета обучающийся ответил в основном на все контрольные вопросы	Работа выполнена в полном объеме с соблюдением необходимой последовательности проведения опытов, измерений, вычислений и наблюдений; все опыты проводит в условиях и режимах, обеспечивающих получение правильных результатов и выводов; в отчете правильно и аккуратно выполняет все записи, таблицы, рисунки, чертежи, графики, вычисления; оформление отчета согласно установленным требованиям; при защите отчета обучающийся ответил на все контрольные вопросы

7	ОПК-4.З.1, ОПК-4.У.1, ОПК-4.В.1		Промежуточная аттестация	Экзамен	Подготовка 60 минут. 17 билетов	Незнание или непонимание обучающимся основного материала; на большую часть вопросов по содержанию экзамена затрудняется дать ответ или не дает верных ответов	Знания имеют фрагментарный характер, отличаются поверхностностью и малой содержательностью; содержание билета раскрыто слабо, имеются неточности при ответе на основные вопросы билета; нарушена логика изложения, отсутствует осмысленность представляемого материала	Знания имеют достаточный содержательный уровень, однако отличаются слабой структурированностью; раскрыто содержание билета, имеются неточности при ответе на дополнительные вопросы; недостаточно раскрыта проблема по одному из вопросов билета	Знания отличаются глубиной и содержательностью, дается полный исчерпывающий ответ, как на основные вопросы билета, так и на дополнительные; обучающийся свободно владеет научными понятиями; логично и доказательно раскрывает проблему, предложенную в билете; обучающийся демонстрирует умение вести диалог и вступать в научную дискуссию

8	ОПК-4.З.1, ОПК-4.У.1, ОПК-4.В.1		1,2;	Промежуточная аттестация	Итоговый тест	Тест содержит 10 вопросов. Длительность подготовки 60 мин.	0-49% правильных ответов	50-69% правильных ответов	70-89% правильных ответов	90-100% правильных ответов

7. Разработчики:

	Доцент	Кафедра электротехники и электрооборудования объектов водного транспорта	Малышев Ю. С.
(ученая степень)	*(занимаемая должность)*	*(место работы)*	*(ФИО)*

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Волжский Государственный Университет Водного Транспорта»

Специальность 10.05.03 «Информационная безопасность автоматизированных систем»

Контрольная работа 1 (письменная) Электрические цепи постоянного тока. Формирует компетенцию ОПК-4.

Способен анализировать физическую сущность явлений и процессов, лежащих в основе функционирования микроэлектронной техники, применять основные физические законы и модели для решения задач профессиональной деятельности

ОПК-4.З.1- знать физическую сущность явлений и процессов лежащих в основе функционирования электронной техники;

ОПК-4.У.1 - уметь применять основные физические законы и модели при эксплуатации электротехники;

ОПК-4.В.1 - владеть основными физичскими законами и моделями при эксплуатации электронной техники

Оценочные средства по дисциплине «Общая электротехника»

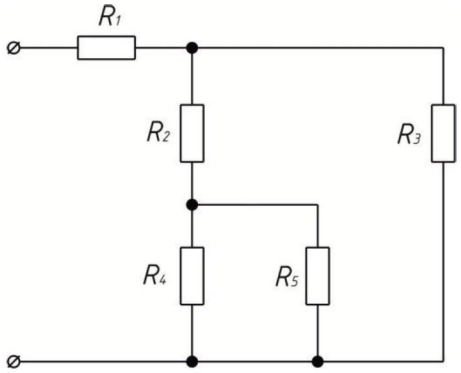
Заведующий кафедрой ЭиЭОВТ  О.С. Хватов

Нижний Новгород

ВАРИАНТ №1

Задача 1

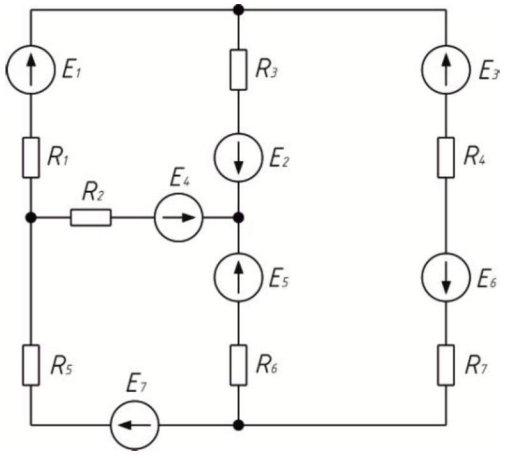
Рассчитать эквивалентное сопротивление электрической цепи относительно внешних зажимов, если заданы следующие параметры элементов.



R_1 = 20 Ом
R_2 = 48Ом
R_3 = 5Ом
R_4 = 64Ом
R_5 = 10 Ом

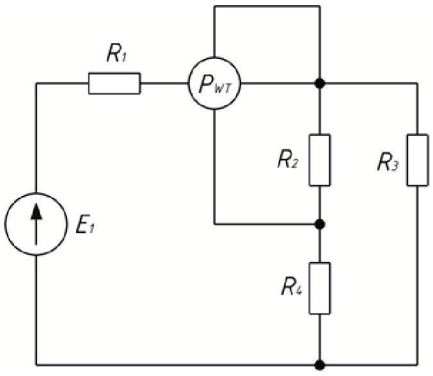
Задача 2

Составить систему уравнений по Iи II законам Кирхгофа для расчета следующей электрической цепи.



Задача 3

Рассчитать показания ваттметра включенного в цепь постоянного тока, если заданы следующие параметры элементов.

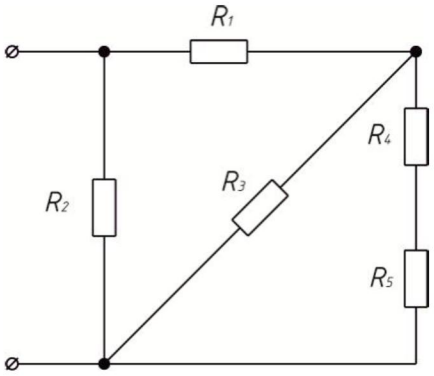


E_1 = 200 В
R_1 = 15Ом
R_2 = 60Ом
R_3 = 20Ом
R_4 = 80Ом

ВАРИАНТ №2

Задача 1

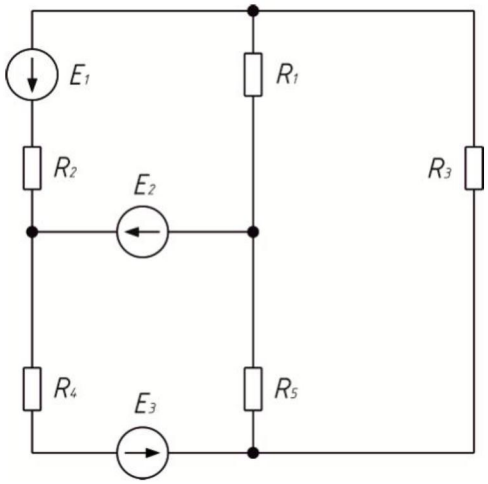
Рассчитать эквивалентное сопротивление электрической цепи относительно внешних зажимов, если заданы следующие параметры элементов.



R_1 = 240Ом
R_2 = 86Ом
R_3 = 140Ом
R_4 = 38Ом
R_5 = 6Ом

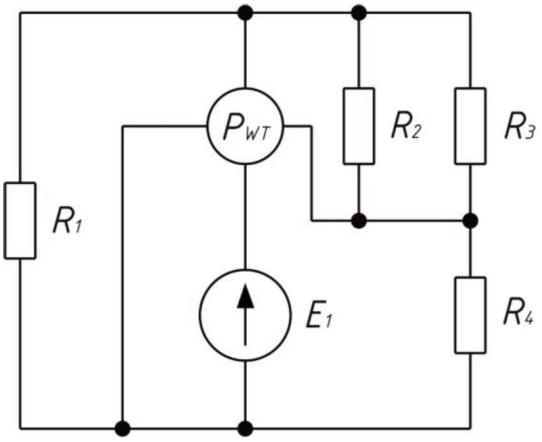
Задача 2

Составить систему уравнений по Iи II законам Кирхгофа для расчета следующей электрической цепи.



Задача 3

Рассчитать показания ваттметра включенного в цепь постоянного тока, если заданы следующие параметры элементов.

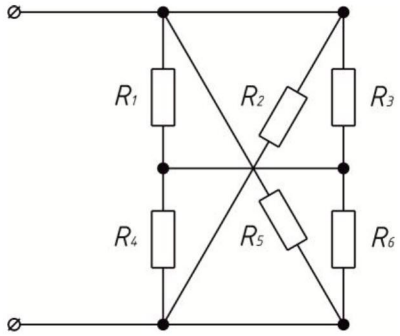


E_1 = 100 В
R_1 = 25Ом
R_2 = 260Ом
R_3 = 120Ом
R_4 = 10Ом

ВАРИАНТ №3

Задача 1

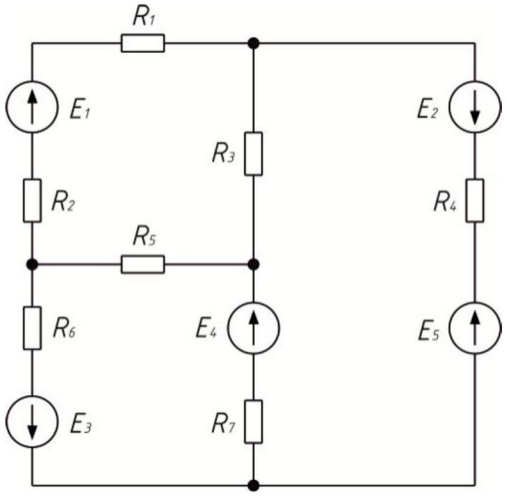
Рассчитать эквивалентное сопротивление электрической цепи относительно внешних зажимов, если заданы следующие параметры элементов.



R_1 = 8Ом
R_2 = 12Ом
R_3 = 50Ом
R_4 = 32Ом
R_5 = 45Ом
R_6 = 26Ом

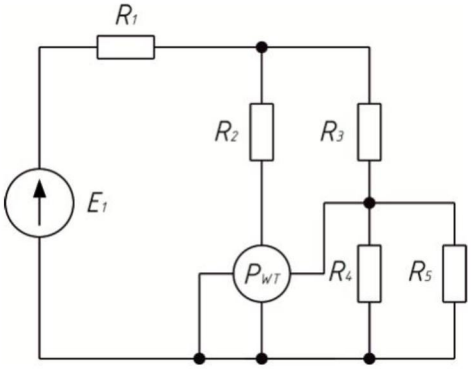
Задача 2

Составить систему уравнений по Iи II законам Кирхгофа для расчета следующей электрической цепи.



Задача 3

Рассчитать показания ваттметра включенного в цепь постоянного тока, если заданы следующие параметры элементов.

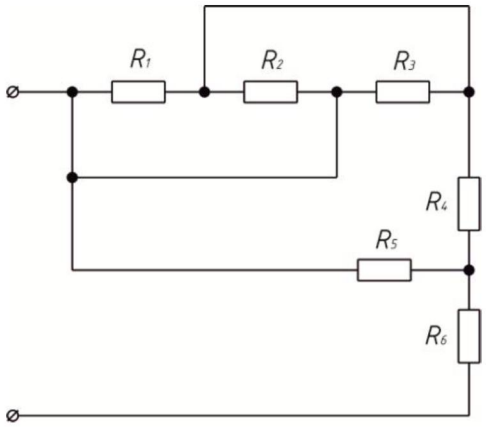


E_1 = 300 В
R_1 = 70Ом
R_2 = 36Ом
R_3 = 12Ом
R_4 = 110Ом
R_5 = 95Ом

ВАРИАНТ №4

Задача 1

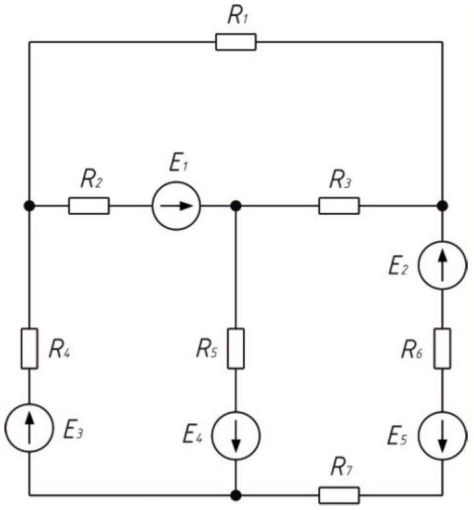
Рассчитать эквивалентное сопротивление электрической цепи относительно внешних зажимов, если заданы следующие параметры элементов.



R_1 = 15Ом
R_2 = 12Ом
R_3 = 47Ом
R_4 = 90Ом
R_5 = 450Ом
R_6 = 2Ом

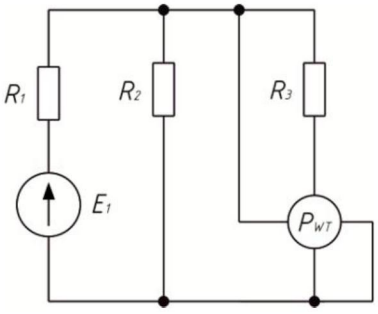
Задача 2

Составить систему уравнений по Iи II законам Кирхгофа для расчета следующей электрической цепи.



Задача 3

Рассчитать показания ваттметра включенного в цепь постоянного тока, если заданы следующие параметры элементов.

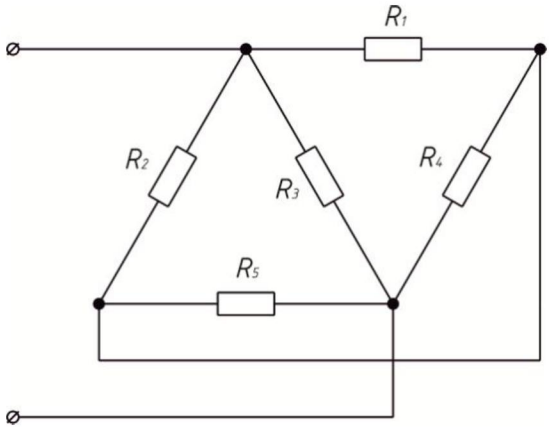


E_1 = 36 В
R_1 = 5Ом
R_2 = 56Ом
R_3 = 18Ом

ВАРИАНТ №5

Задача 1

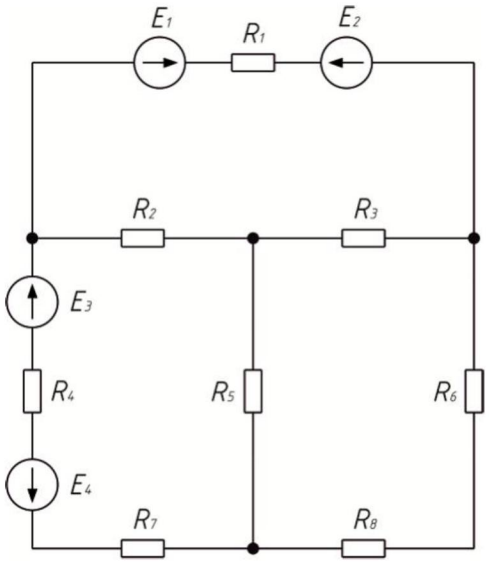
Рассчитать эквивалентное сопротивление электрической цепи относительно внешних зажимов, если заданы следующие параметры элементов.



R_1 = 20Ом
R_2 = 70Ом
R_3 = 16Ом
R_4 = 64Ом
R_5 = 128Ом

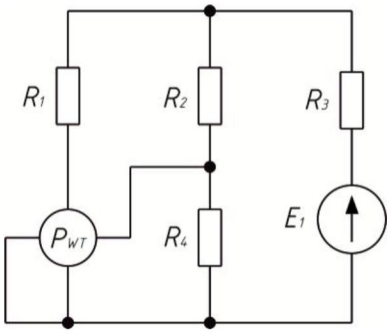
Задача 2

Составить систему уравнений по Iи II законам Кирхгофа для расчета следующей электрической цепи.



Задача 3

Рассчитать показания ваттметра включенного в цепь постоянного тока, если заданы следующие параметры элементов.

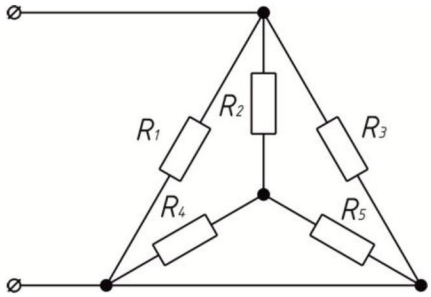


E_1 = 48 В
R_1 = 3Ом
R_2 = 400Ом
R_3 = 32Ом
R_4 = 45Ом

ВАРИАНТ №6

Задача 1

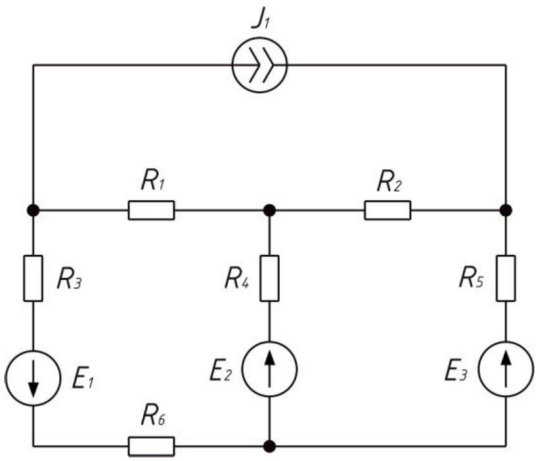
Рассчитать эквивалентное сопротивление электрической цепи относительно внешних зажимов, если заданы следующие параметры элементов.



R_1 = 16Ом
R_2 = 66Ом
R_3 = 170Ом
R_4 = 32Ом
R_5 = 650Ом

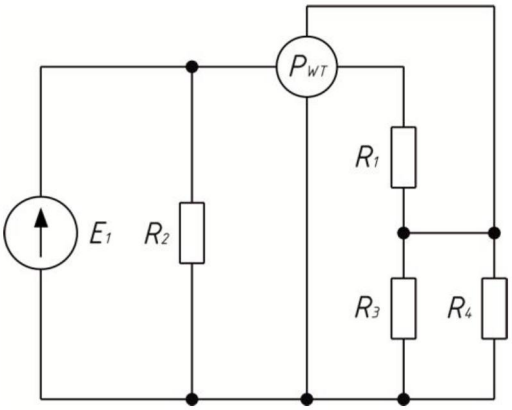
Задача 2

Составить систему уравнений по Iи II законам Кирхгофа для расчета следующей электрической цепи.



Задача 3

Рассчитать показания ваттметра включенного в цепь постоянного тока, если заданы следующие параметры элементов.

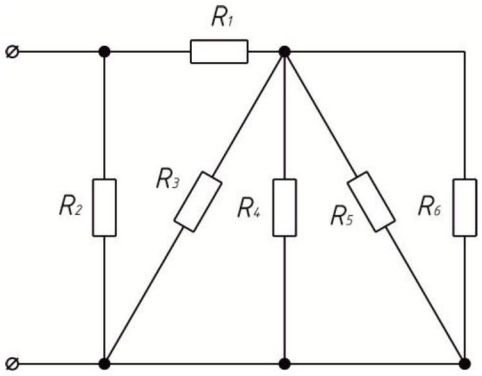


E_1 = 150 В
R_1 = 25Ом
R_2 = 185Ом
R_3 = 75Ом
R_4 = 15Ом

ВАРИАНТ №7

Задача 1

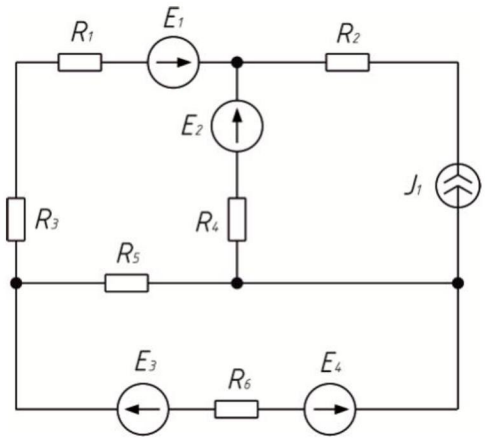
Рассчитать эквивалентное сопротивление электрической цепи относительно внешних зажимов, если заданы следующие параметры элементов.



R_1 = 4Ом
R_2 = 8Ом
R_3 = 56Ом
R_4 = 76Ом
R_5 = 10Ом
R_6 = 100Ом

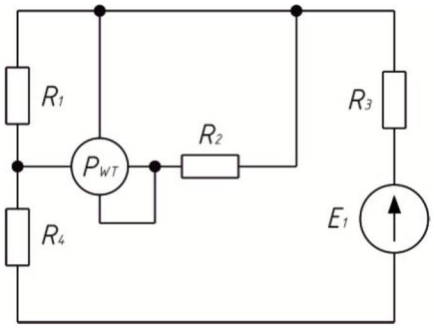
Задача 2

Составить систему уравнений по Iи II законам Кирхгофа для расчета следующей электрической цепи.



Задача 3

Рассчитать показания ваттметра включенного в цепь постоянного тока, если заданы следующие параметры элементов.

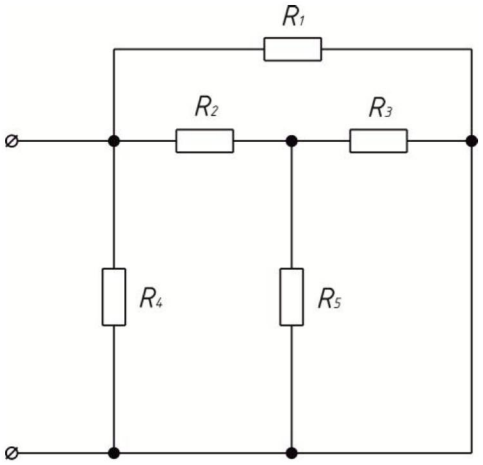


E_1 = 500 В
R_1 = 250Ом
R_2 = 450Ом
R_3 = 180Ом
R_4 = 650Ом

ВАРИАНТ №8

Задача 1

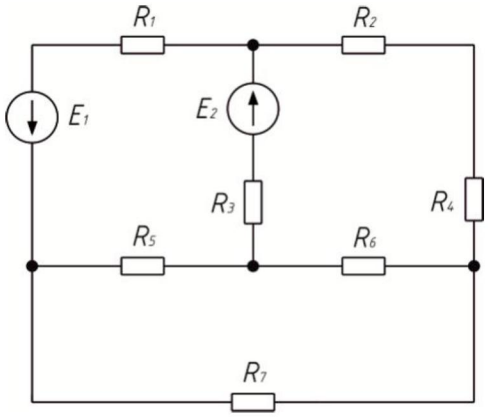
Рассчитать эквивалентное сопротивление электрической цепи относительно внешних зажимов, если заданы следующие параметры элементов.



R_1 = 300Ом
R_2 = 96Ом
R_3 = 14Ом
R_4 = 3Ом
R_5 = 150Ом

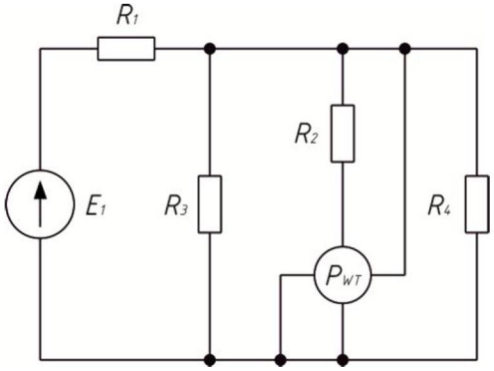
Задача 2

Составить систему уравнений по Iи II законам Кирхгофа для расчета следующей электрической цепи.



Задача 3

Рассчитать показания ваттметра включенного в цепь постоянного тока, если заданы следующие параметры элементов.

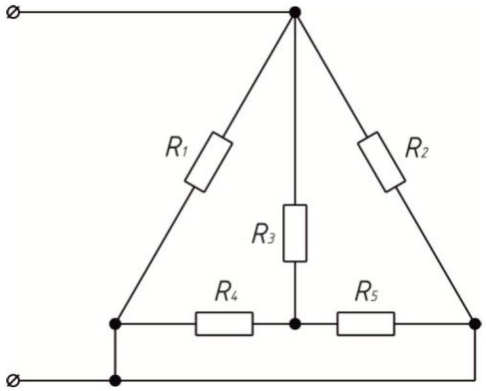


E_1 = 24 В
R_1 = 6,2Ом
R_2 = 150Ом
R_3 = 1,8Ом
R_4 = 2,2Ом

ВАРИАНТ №9

Задача 1

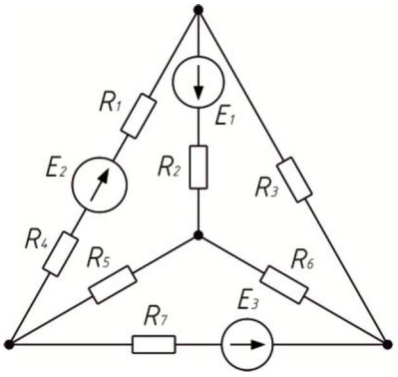
Рассчитать эквивалентное сопротивление электрической цепи относительно внешних зажимов, если заданы следующие параметры элементов.



R_1 = 30Ом
R_2 = 160Ом
R_3 = 4Ом
R_4 = 33Ом
R_5 = 210Ом

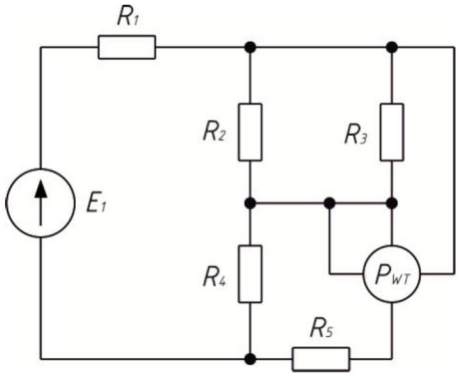
Задача 2

Составить систему уравнений по Iи II законам Кирхгофа для расчета следующей электрической цепи.



Задача 3

Рассчитать показания ваттметра включенного в цепь постоянного тока, если заданы следующие параметры элементов.

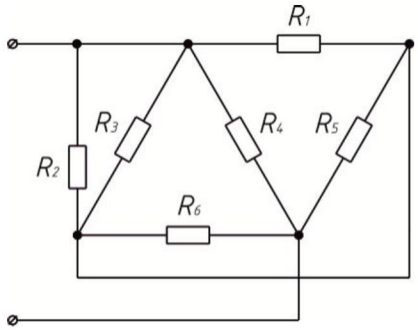


E_1 = 180 В
R_1 = 74Ом
R_2 = 88Ом
R_3 = 44Ом
R_4 = 56Ом
R_5 = 320Ом

ВАРИАНТ №10

Задача 1

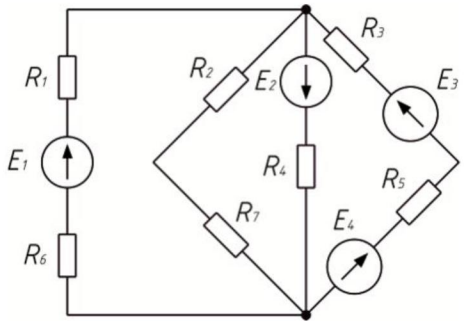
Рассчитать эквивалентное сопротивление электрической цепи относительно внешних зажимов, если заданы следующие параметры элементов.



R_1 = 100Ом
R_2 = 330Ом
R_3 = 50Ом
R_4 = 33Ом
R_5 = 480Ом
R_6 = 86Ом

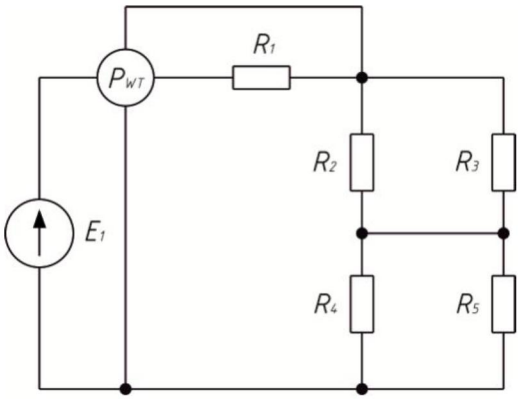
Задача 2

Составить систему уравнений по Iи II законам Кирхгофа для расчета следующей электрической цепи.



Задача 3

Рассчитать показания ваттметра включенного в цепь постоянного тока, если заданы следующие параметры элементов.

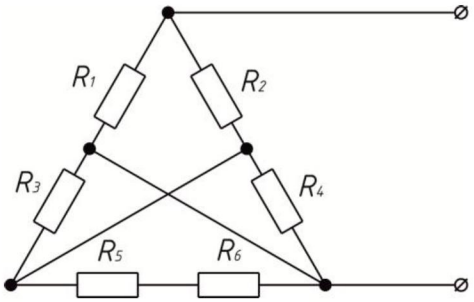


E_1 = 400 В
R_1 = 70Ом
R_2 = 80Ом
R_3 = 140Ом
R_4 = 560Ом
R_5 = 32Ом

ВАРИАНТ №11

Задача 1

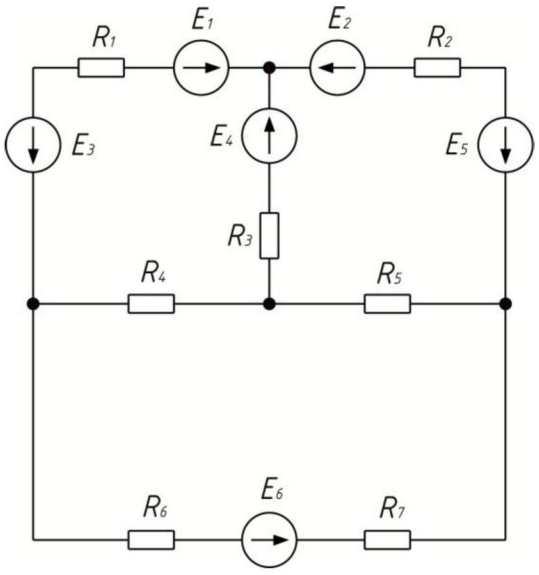
Рассчитать эквивалентное сопротивление электрической цепи относительно внешних зажимов, если заданы следующие параметры элементов.



R_1 = 105Ом
R_2 = 80Ом
R_3 = 256Ом
R_4 = 760Ом
R_5 = 10Ом
R_6 = 6Ом

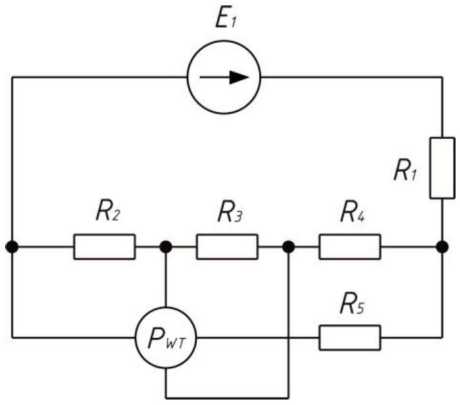
Задача 2

Составить систему уравнений по Iи II законам Кирхгофа для расчета следующей электрической цепи.



Задача 3

Рассчитать показания ваттметра включенного в цепь постоянного тока, если заданы следующие параметры элементов.

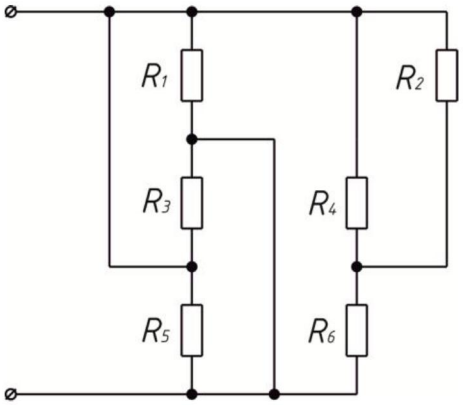


E_1 = 380 В
R_1 = 38Ом
R_2 = 80Ом
R_3 = 20Ом
R_4 = 16Ом
R_5 = 560Ом

ВАРИАНТ №12

Задача 1

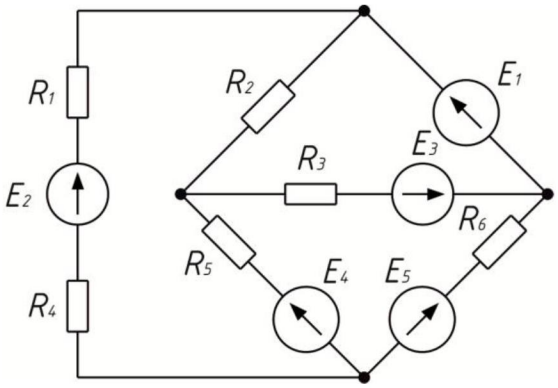
Рассчитать эквивалентное сопротивление электрической цепи относительно внешних зажимов, если заданы следующие параметры элементов.



R_1 = 9Ом
R_2 = 3Ом
R_3 = 72Ом
R_4 = 65Ом
R_5 = 24Ом
R_6 = 18Ом

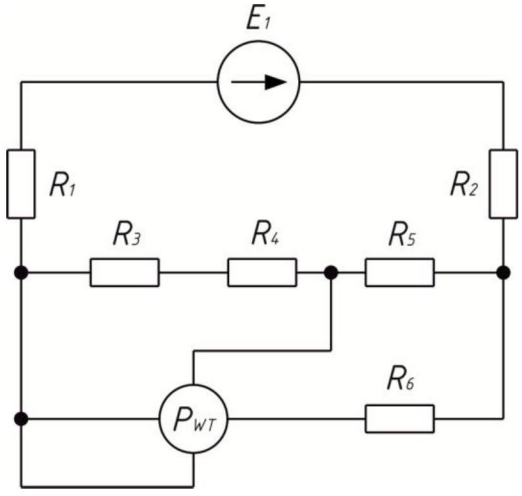
Задача 2

Составить систему уравнений по Iи II законам Кирхгофа для расчета следующей электрической цепи.



Задача 3

Рассчитать показания ваттметра включенного в цепь постоянного тока, если заданы следующие параметры элементов.

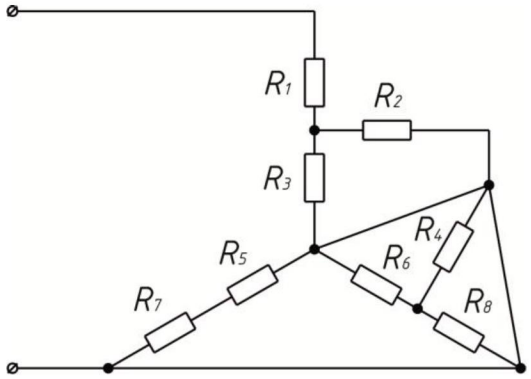


E_1 = 110 В
R_1 = 8Ом
R_2 = 22Ом
R_3 = 20Ом
R_4 = 15Ом
R_5 = 55Ом
R_6 = 110Ом

ВАРИАНТ №13

Задача 1

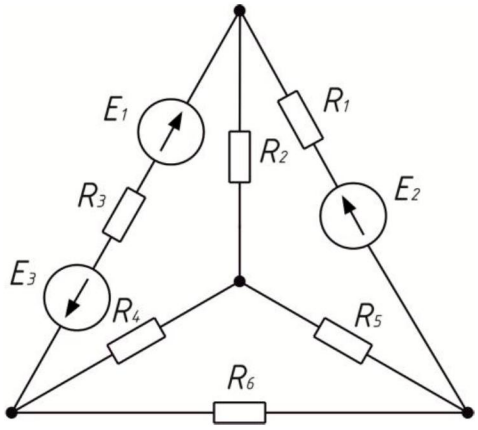
Рассчитать эквивалентное сопротивление электрической цепи относительно внешних зажимов, если заданы следующие параметры элементов.



R_1 = 12Ом
R_2 = 36Ом
R_3 = 88Ом
R_4 = 720Ом
R_5 = 16Ом
R_6 = 180Ом
R_7 = 47Ом
R_8 = 75Ом

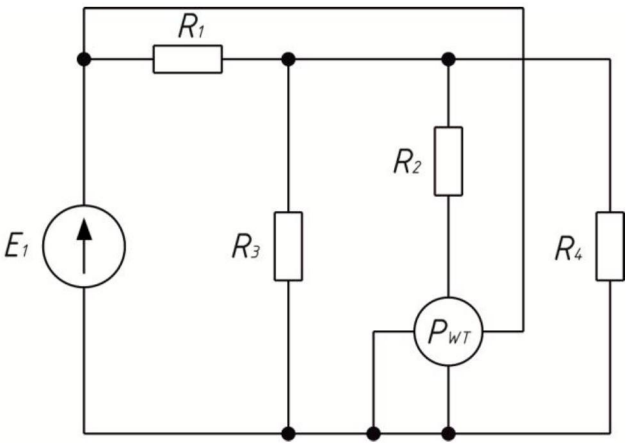
Задача 2

Составить систему уравнений по Iи II законам Кирхгофа для расчета следующей электрической цепи.



Задача 3

Рассчитать показания ваттметра включенного в цепь постоянного тока, если заданы следующие параметры элементов.

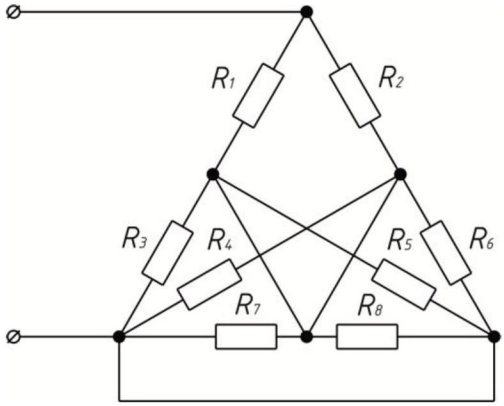


E_1 = 12 В
R_1 = 3Ом
R_2 = 20Ом
R_3 = 120Ом
R_4 = 6Ом

ВАРИАНТ №14

Задача 1

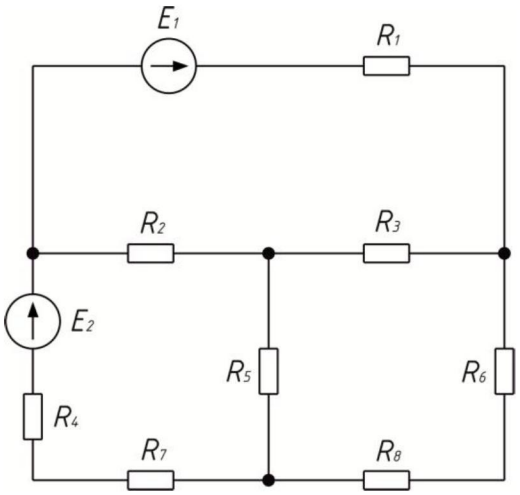
Рассчитать эквивалентное сопротивление электрической цепи относительно внешних зажимов, если заданы следующие параметры элементов.



R_1 = 980Ом
R_2 = 360Ом
R_3 = 880Ом
R_4 = 720Ом
R_5 = 180Ом
R_6 = 340Ом
R_7 = 470Ом
R_8 = 96Ом

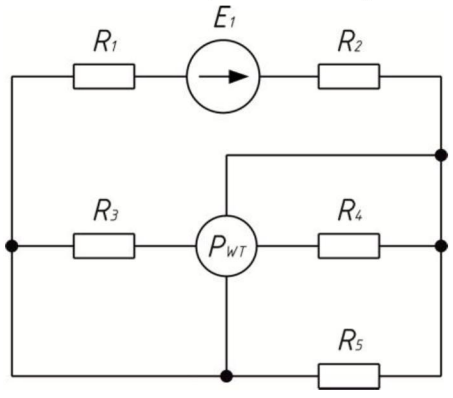
Задача 2

Составить систему уравнений по Iи II законам Кирхгофа для расчета следующей электрической цепи.



Задача 3

Рассчитать показания ваттметра включенного в цепь постоянного тока, если заданы следующие параметры элементов.

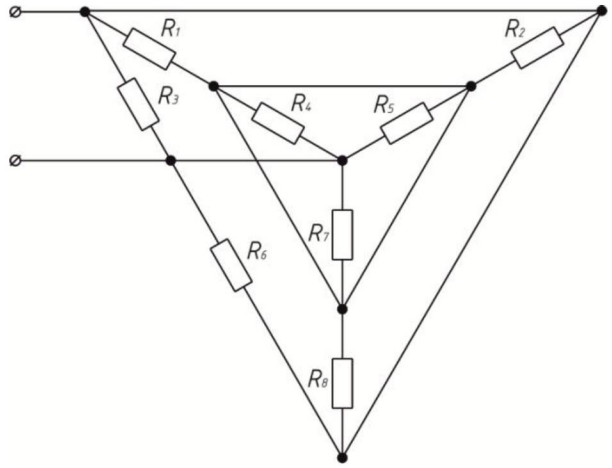


E_1 = 48 В
R_1 = 3Ом
R_2 = 8Ом
R_3 = 12Ом
R_4 = 6Ом
R_5 = 22Ом

ВАРИАНТ №15

Задача 1

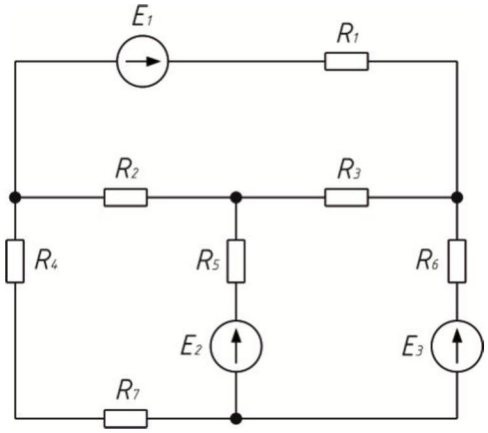
Рассчитать эквивалентное сопротивление электрической цепи относительно внешних зажимов, если заданы следующие параметры элементов.



R_1 = 560Ом
R_2 = 190Ом
R_3 = 88Ом
R_4 = 72Ом
R_5 = 220Ом
R_6 = 34Ом
R_7 = 48Ом
R_8 = 960Ом

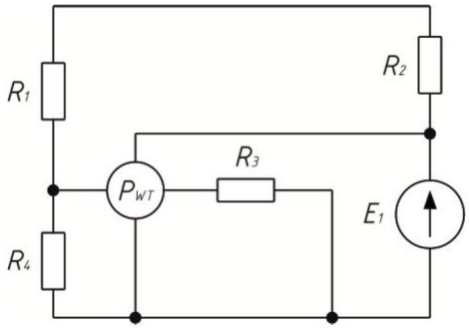
Задача 2

Составить систему уравнений по Iи II законам Кирхгофа для расчета следующей электрической цепи.



Задача 3

Рассчитать показания ваттметра включенного в цепь постоянного тока, если заданы следующие параметры элементов.



E_1 = 500 В
R_1 = 30Ом
R_2 = 800Ом
R_3 = 250Ом
R_4 = 600Ом

Зав. кафедрой профессор Хватов О.С.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Волжский Государственный Университет Водного Транспорта»

Специальность 10.05.03 «Информационная безопасность
автоматизированных систем»

Контрольная работа 2 (письменная) Электрические цепи переменного тока.
Формирует компетенцию ОПК-4.
Способен анализировать физическую сущность явлений и процессов, лежащих в основе функционирования микроэлектронной техники, применять основные физические законы и модели для решения задач профессиональной деятельности
ОПК-4.З.1- знать физическую сущность явлений и процессов лежащих в основе функционирования электронной техники;
ОПК-4.У.1 - уметь применять основные физические законы и модели при эксплуатации электротехники;
ОПК-4.В.1 - владеть основными физичскими законами и моделями при эксплуатации электронной техники

Оценочные средства по дисциплине «Общая электротехника»

Заведующий кафедрой ЭиЭОВТ О.С. Хватов

Нижний Новгород

Задание: Для схемы, изображенной на рис. 1, требуется определить мгновенные значения всех величин i(t), $u_r(t)$, $u_L(t)$, $u_C(t)$, Построить векторную диаграмму цепи. Параметры элементов цепи и положение выключателей схемы приведены в таблицах 1.1 и 1.2 соответственно. Расчет цепи выполнить с помощью комплексных: амплитуд токов и напряжений.

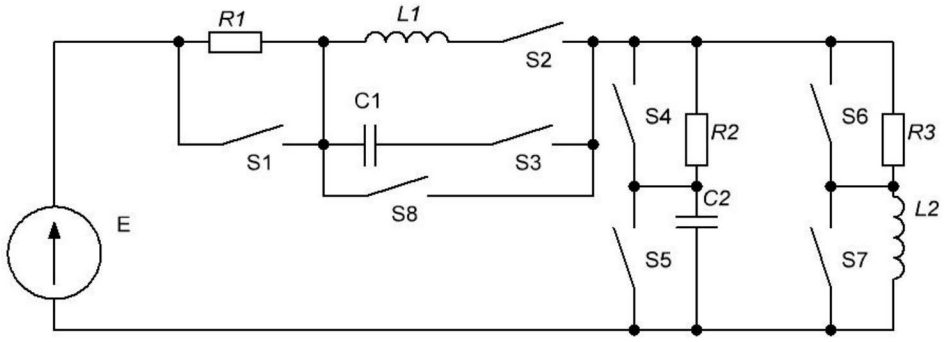


Рис. 1. Схема для расчета

Таблица 1.1

№ вар. Предпоследняя цифра шифра	R, Ом (R1=R2=R3)	L, Гн (L1=L2)	C, мкФ (C1=C2)	E, В
1	30	0,1	50	50sin314t
2	40	0,2	60	100sin314t
3	50	0,3	70	150sin314t
4	60	0,4	80	200sin314t
5	70	0,1	90	250sin314t
6	80	0,2	100	50sin314t
7	90	0,3	50	100sin314t
8	100	0,4	60	150sin314t
9	50	0,5	70	200sin314t
0	60	0,3	80	250sin314t

Таблица 1.2

№ вар. Последняя цифра шифра	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8
1								x
2	x		x		x			
3	x	x					x	
4			x		x			
5		x					x	
6			x		x	x		
7		x		x			x	
8	x		x		x	x		

9	x	x		x			x	
0				x				x

Зав. кафедрой профессор  Хватов О.С.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Волжский Государственный Университет Водного Транспорта»

Специальность 10.05.03 «Информационная безопасность автоматизированных систем»

РУКОВОДСТВО ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ НА СТЕНДЕ НТЦ-01.01 «ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОНИКИ»

Формирует компетенцию ОПК-4.
ОПК-4.З.1- знать физическую сущность явлений и процессов лежащих в основе функционирования электронной техники;
ОПК-4.У.1 - уметь применять основные физические законы и модели при эксплуатации электротехники;
ОПК-4.В.1 - владеть основными физичскими законами и моделями при эксплуатации электронной техники

Нижний Новгород

СОДЕРЖАНИЕ

Лабораторная работа №1.
Исследование режимов работы и методов расчета линейных цепей постоянного тока с одним источником питания.

Лабораторная работа №2.
Исследование режимов работы и методов расчета линейных цепей постоянного тока с двумя источниками питания.

Лабораторная работа №3.
Исследование режимов работы и методов расчета нелинейных цепей постоянного тока.

Лабораторная работа №4.
Определение параметров и исследование режимов работы электрической цепи переменного тока с последовательным соединением катушки индуктивности, резистора и конденсатора

Лабораторная работа №5. Исследование режимов работы линии электропередачи переменного тока при изменении коэффициента мощности нагрузки.

Лабораторная работа №6.
Определение параметров и исследование режимов работы трехфазной цепи при соединении потребителей звездой.

Лабораторная работа № 7.
Определение параметров и исследование режимов работы трехфазной цепи при соединении потребителей в треугольник

Лабораторная работа № 8.
Исследование линейных цепей несинусоидального периодического тока, содержащих катушку индуктивности и конденсатор.

Лабораторная работа №9.
Исследование параметров схемы замещения катушки индуктивности с замкнутым магнитопроводом и при наличии воздушного зазора в магнитопроводе.

Лабораторная работа №10.
Определение параметров и основных характеристик однофазного трансформатора.

Лабораторная работа №11.
Исследование асинхронного трехфазного электродвигателя с короткозамкнутым ротором.

Лабораторная работа №12.
Определение параметров и основных характеристик электродвигателя постоянного тока с независимым возбуждением

Лабораторная работа №13.
Определение параметров и основных характеристик генератора постоянного тока с независимым возбуждением.

Лабораторная работа № 14.
Исследование процесса зарядки конденсатора от источника постоянного напряжения при ограничении тока с помощью резистора.

Лабораторная работа №15.
Исследование схемы пуска асинхронного двигателя с

короткозамкнутым ротором.
Лабораторная работа №16. Однокаскадный транзисторный усилитель
Лабораторная работа №17. Исследование двухкаскадных усилителей с непосредственной связью.
Лабораторная работа №18. Исследование параметров транзисторного реле с времязадающей RC – цепью
Лабораторная работа №19. Исследование генераторов синусоидальных колебаний
Лабораторная работа №20. Исследование работы широтно-импульсного преобразователя напряжений (ШИП)
Лабораторная работа №21. Исследование работы триггера Шмидта и цифровых счётчиков в интегральном исполнении.

ВНИМАНИЕ! При выполнении данной и всех последующих работ все выключатели неиспользуемые в работе должны быть выключены.

Лабораторная работа №1

Исследование режимов работы и методов расчета линейных цепей постоянного тока с одним источником питания

***Цель работы*:**

- Приобретение практических навыков измерения токов, напряжений и сопротивлений с помощью амперметра и вольтметра и оценки погрешности;
- Закрепление навыков расчета линейных электрических цепей с одним источником питания;
- Исследование мостовой цепи постоянного тока с резистивным датчиком.

Технические характеристики измерительного моста:

R20 = 4,7 кОм; R22 = 10,0 кОм; R23 = 4,7 кОм;

Порядок выполнения лабораторной работы

1. Изучить схему лабораторной работы по ***рисунку 1.2***.

2. Перед выполнением лабораторной работы необходимо ввести стабилитрон ***VD8*** в режим стабилизации. Для этого вначале собирается схему по ***рисунку 1.1***.

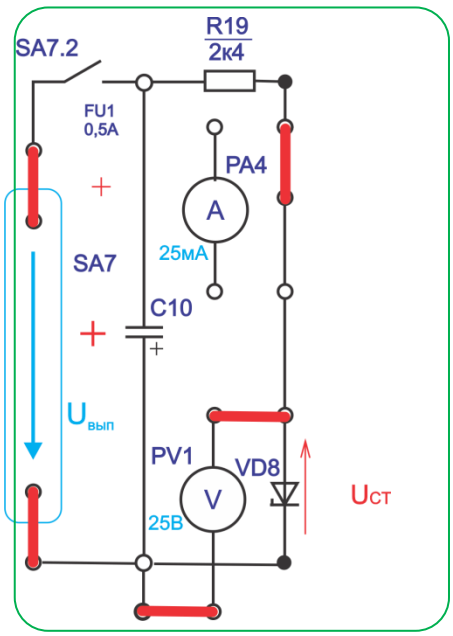


Рисунок 1.1

3. Перед включением стенда убедиться, что все переключатели находятся в начальном положении (выключены).

4. Включить стенд автоматическим выключателем ***QF1***.

5. Подключить питание схемы тумблером ***SA7*** (верхнее положение).

6. Переключателями в нижней части стенда установить напряжение на выходе ***ЛАТРа TV2*** таким, чтобы стабилитрон ***VD8*** вошел в режим стабилизации (приблизительно 16В на вольтметре ***PV1***. ***ВНИМАНИЕ! Предел измерения прибора PV1 - 100В***). Рекомендуется устанавливать ***ЛАТР TV2*** в положение не более ***«20»***. Напряжение на выходе ***ЛАТРа TV2*** регулируется двумя переключателями: левый – с шагом 10В и правый– с шагом 1В. Тумблер ***SA11*** должен находиться в верхнем положении.

7. Выключить ***SA7 .***

8. Собрать схему по ***рисунку 1.2.***

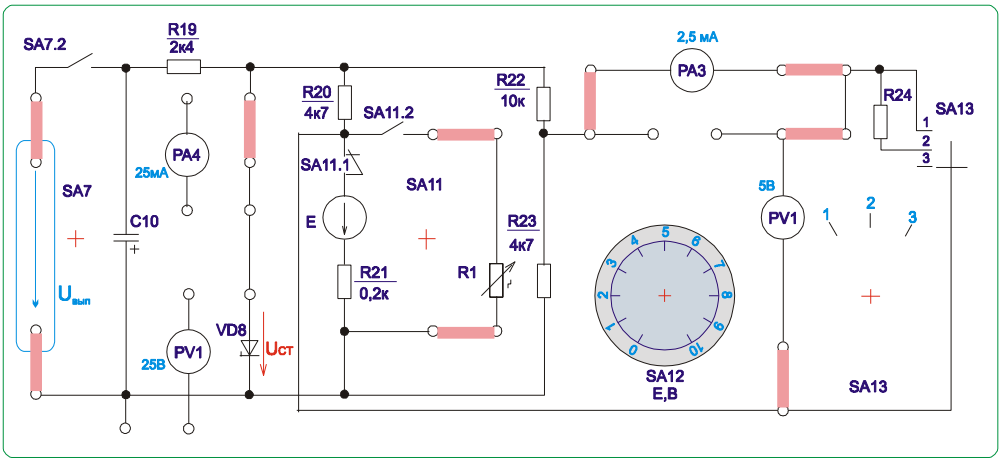


Рисунок 1.2

9. Включить ***SA7*** (при необходимости, полярность вольтметра можно изменить, нажав кнопку «+/-» над вольтметром ***PV1).*** Тумблер ***SA11*** - в верхнем положении, тумблер ***SA13*** - в среднем положении.

10. Установить максимальное рассогласование моста: номинал резистора ***R1*** переключением рукоятки «***x1»*** выставить в положение «0» или «10» (10 кОм) и зарегистрировать максимальное напряжение на ***PV1 (***приблизительно **3,5В**) и ток по прибору ***PA3 (***при нажатой кнопке над ***PA3*** ток приблизительно равен **0,5mA**) .

11. При максимальном рассогласовании моста определить величину сопротивления резистора ***R24*** по закону Ома:

$$R24 = \frac{U_{PV1}}{I_{PA3}} = 3{,}5/0{,}5*10^{-3} = 7 \text{ кОм}$$

Данные измерений и расчетов занести в ***таблицу 1.1.***

Таблица 1.1

R1, кОм	***U_{PV1}, В***	***I_{PA3}, mA***	***R24, кОм***
10			
0			

12. Снять экспериментальную зависимость ***$U_{ВЫХ}$ = f(R1)***, ступенчато изменяя сопротивление ***R1*** от 0 кОм до 10 кОм с шагом 1 кОм. ***SA13*** должен находиться в положении ***2 (НАГР)*** Данные измерений по прибору ***PV1*** занести в ***таблицу 1.2*** и построить график.

Таблица 1.2

R1,кОм	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
U_{PV1}, В											

13. Методом эквивалентного генератора рассчитать величину выходного напряжения моста ***$U_{ВЫХ}$*** при ***R1,*** заданном преподавателем (от 1 до 9 кОм), и сопоставить с экспериментальными данными.

Для расчета воспользоваться формулами:

$$U_{XX} = U_{ст.}\left(\frac{R1}{R20+R1} - \frac{R23}{R22+R23}\right) = 16(0,175 - 0,39) = 2,3 \text{ В}$$ (для R1=1кОм)

$$R_{К.З.} = \frac{R23 \times R22}{R23 + R22} + \frac{R1 \times R20}{R1 + R20} = 4,1\text{кОм}$$

$$I_{кз} = \frac{U_{Х.Х.}}{R_{К.З.}} = 0,57\text{mA}$$

$$I_{PA3} = \frac{U_{Х.Х.}}{R24 + R_{К.З.}}$$

$$U_{вых} = I_{PA3} \text{ x } R24$$

Расчеты занести в ***таблицу 1.3.***

Таблица 1.3

R1, кОм	*Uxx(PV1), В*	*Iкз(PA3), mA*	*Rкз, кОм*	*Uвых*
задан				

14. Провести опыты холостого хода и короткого замыкания.

Для режима хх:

при ***SA13*** в положении «3» и $R1 = 1\text{кОм}$ измеряем $U_{PV1} = U_{XX} = 2,2\text{В}$

Для режима кз:

при ***SA13*** в положении «1» и $R1 = 1\text{кОм}$ измеряем $I_{PA3} = I_{КЗ} = 0,62\text{mA}$

$R_{К.З.}$ – сопротивление относительно точек разрыва моста при закороченном источнике входного напряжения.

По экспериментальным данным определить $R_{К.З.}$:

$$R_{К.З.} = \frac{U_{Х.Х.}}{I_{К.З.}}$$

15 Рассчитать относительную погрешность измерений

16 Выключить стенд в следующем порядке:

- перевести тумблер ***SA7*** в нижнее положение;
- перевести переключатели ***ЛАТРа TV2*** в «0» положение.
- выключить стенд автоматическим выключателем ***QF1***
- переключатели блока резистора ***R1*** установить в крайнее левое положение «0»
- тумблер ***SA11*** – в нижнее положение;
- переключатель ***SA13*** в положение ***3 (XX)***;
- убедиться, что все остальные переключатели - в начальном положении.

Лабораторная работа №2
Исследование режимов работы и методов расчета линейных цепей постоянного тока с двумя источниками питания

Цель работы

- Приобретение практических навыков расчета цепей постоянного тока с несколькими источниками постоянного напряжения.
- Исследование моста постоянного тока с генераторным датчиком.

Технические характеристики измерительного моста

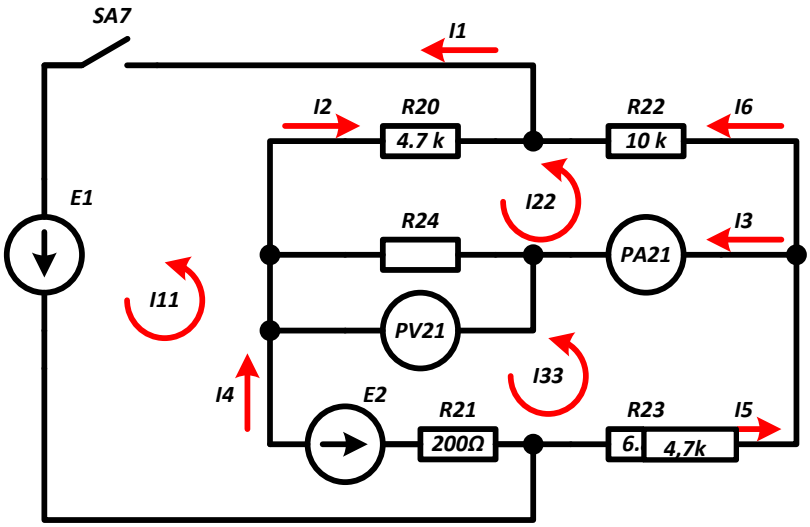


Рисунок 2.1- Схема измерительного моста

I11, I22, I33 - контурные токи;
I1, I2, I3, I4, I5, I6 – токи ветвей.
E1=$U_{ВХ}$=$U_{СТ}$≈16 В (измеряется прибором ***PV1***)
E2=10 В
R20 = 4,7 кОм; R22 = 10 кОм; R23 = 4,7 кОм; R21 = 200 Ом;

Порядок выполнения лабораторной работы

1. Изучить схему измерительного моста по ***рисунку 2.1.***

2. Методом контурных токов рассчитать величину выходного напряжения моста (на резисторе ***R24***) при значении Э.Д.С. ***E1=16В*** или заданном преподавателем.

Система уравнений для расчета контурных токов:

$$I11 \cdot (R20 + R21) - I22 \cdot R20 - I33 \cdot R21 = E1 - E2$$
$$I11 \cdot (R20 + R24 + R22) - I11 \cdot R20 - I33 \cdot R24 = 0$$
$$I33 \cdot (R21 + 23 + R24) - I22 \cdot R24 - I11 \cdot R21 = E2$$

Решив систему уравнений и определив значение контурных токов, определяют значение тока ***I3*** по формуле:

$$I3 = I33 - I22$$

Расчет выходного напряжения моста:

$U_{ВЫХ} = I3 \cdot R24$ (значение **R24** берется из **ЛР№1** равным **7кОм**)

3. Для выполнения практической части лабораторной работы собрать схему по ***рисунку 2.2***.

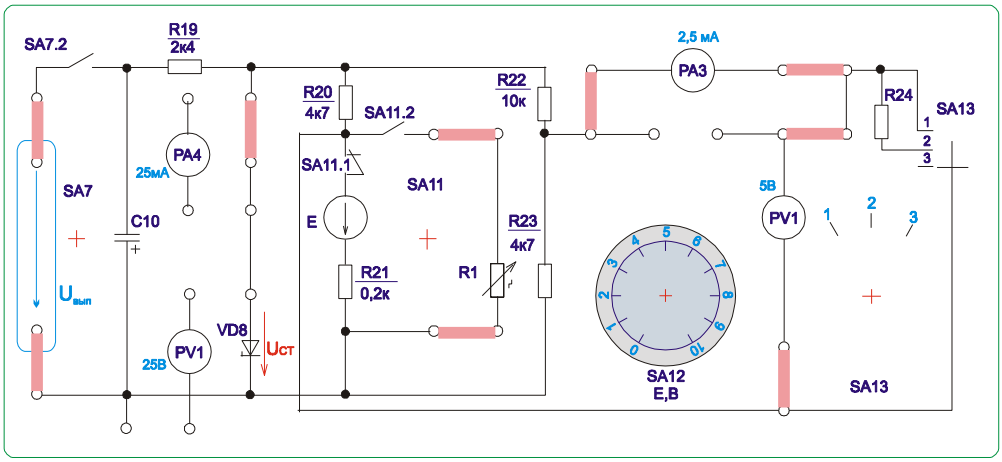


Рисунок 2.2

4. Перед включением стенда убедится, что все переключатели находятся в начальном положении (выключены).

5. Включить стенд автоматическим выключателем ***QF1***.

6. Подключить питание измерительного моста тумблер ***SA7*** (верхнее положение).

7. Переключателями в нижней части стенда установить напряжение на выходе ***ЛАТРа TV2*** таким, чтобы стабилитрон ***VD8*** вошел в режим стабилизации (приблизительно 16 В на вольтметре ***PV1. ВНИМАНИЕ! Предел измерения прибора PV1 - 100В***). Рекомендуется устанавливать ***ЛАТР TV2*** в положение не более ***«20»***. Напряжение на выходе ***ЛАТРа TV2*** регулируется двумя переключателями: левый – с шагом 10В и правый– с шагом 1В.

8. Тумблер ***SA11*** - в нижнем положении (выкл).

9. Снять экспериментальную зависимость $U_{ВЫХ} = f(E2)$, ступенчато изменяя ЭДС ***E2*** от 0 до 10В с шагом 1В (переключатель ***SA12***). ***SA13*** должен находится в положении ***2 (НАГР)*** Данные измерений по прибору ***PV1*** занести в ***таблицу 2.1*** и построить график.

Таблица 2.1

E2, В	***0***	***1***	***2***	***3***	***4***	***5***	***6***	***7***	***8***	***9***	***10***
$U_{ВЫХ}$***(PV1),В***											

10. Выключить стенд.

11. Сопоставить ***Uвых,*** снятое экспериментально для заданного ***E1,*** с расчетом по методу контурных токов.

12. Выключить стенд в следующем порядке:

- перевести тумблер ***SA7*** в нижнее положение;
- перевести тумблер ***SA3*** в нижнее положение;
- перевести переключатели ***ЛАТРа TV2*** в начальное положение;
- выключить стенд автоматическим выключателем ***QF1;***
- переключатель ***SA12*** (***E2)*** установить в крайнее левое положение «0»;
- переключатель ***SA13*** в положение ***3 (XX)***;
- убедиться, что все остальные переключатели - в начальном положении.

Лабораторная работа №3
Исследование режимов работы и методов расчета нелинейных цепей постоянного тока

Цель работы

- Ознакомление со свойствами и характеристиками стабилитронов.
- Изучение принципа действия и исследование характеристик параметрического стабилизатора напряжения.

Технические характеристики схемы для исследования стабилитрона:

Паспортные данные стабилитрона (установлены два последовательно) Д814А:

$U_{СТ.}$=8В;

$\Delta U_{СТ.}$=0,5В; *$U_{СТ.МАКС.}$=8,5В, $U_{СТ.МИН.}$=7В*

$r_{СТ}$ =6 Ом;

$I_{СТ.МАКС}$ = 40 mA;

$I_{СТ.МИН}$ = 3 mA;

Сопротивления резисторов:

R19 = 2,4 кОм; R20 = 4,7 кОм; R22 = 10 кОм; R23 = 4,7 кОм;

Порядок выполнения лабораторной работы

1. Изучить принцип действия параметрического стабилизатора напряжения и электрическую схему включения стабилитрона (***VD8***) на стенде совместно с выпрямителем и мостовой измерительной схемой без ***R24*** в качестве нагрузки.

Нагрузкой стабилитрона является измерительный мост постоянного тока и изменяется она путем изменения величины сопротивления переменного резистора ***R1*** (тублер ***SA11*** устанавливается в верхнее положение).

2. Рассчитать значение эквивалентного сопротивления нагрузки $R_{H.}$ для ***R1*** от 0 до 10кОм (с шагом 1 кОм) по формуле:

$$R_{\text{Н}} = \frac{(R20 + R1) \cdot (R22 + 23)}{R20 + R1 + R22 + R23}$$

Расчет занести в ***таблицу 3.1.***

Таблица 3.1.

R1, кОм	R_H***, кОм***
0	3,561
1	4,107
2	4,602
3	5,053
4	5,465
5	5,844
6	6,193
7	6,515
8	6,814
9	7,091
10	7,350

3 Рассчитать $U_{вх.мин.}$ с заданными $R_Б$=**R19=2,4кОм** и заданным преподавателем сопротивлением нагрузки $R_Н$ (например, при **R1 =8кОм**), при которых параметрический стабилизатор не выходит из режима стабилизации :

$$U_{\text{ВХ.МИН}} = R19 \cdot \left(\frac{U_{\text{СТ}}}{R_{\text{Н}}} + I_{\text{СТ.МИН.}}\right) + U_{\text{СТ}}$$

4 Для выполнения лабораторной работы собрать схему по ***рисунку 3.1***.

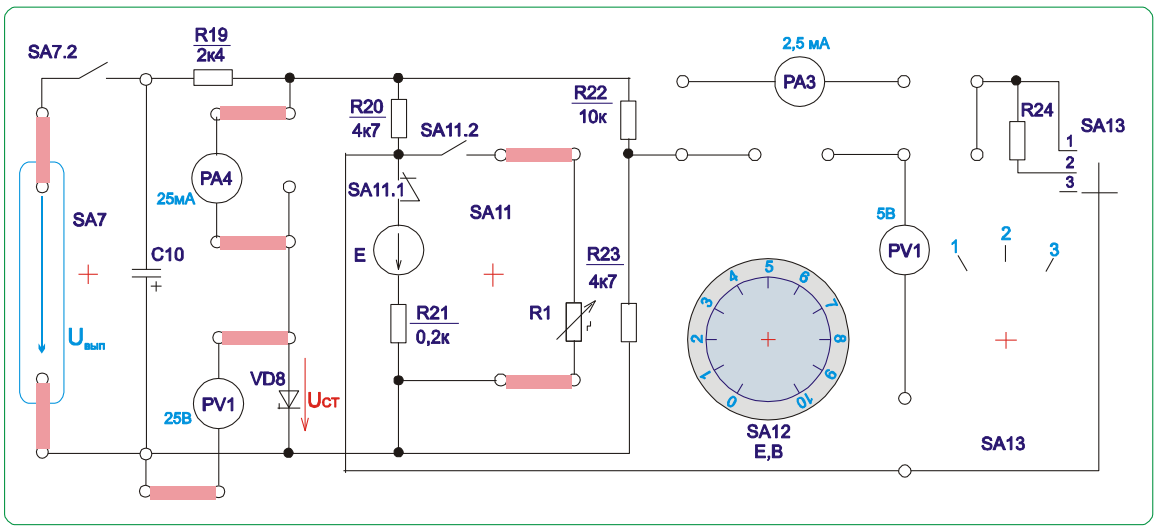


Рисунок 3.1

5 Перед включением стенда убедиться, что все переключатели находятся в начальном положении (выключены).

6 Тумблер ***SA11*** установить в верхнее положение.

7 Включить стенд автоматическим выключателем ***QF1.***

8 Подключить питание ***ЛАТРа TV2:*** тумблер ***SA3*** устанавливается в верхнее положение (включено).

9 Подключить питание измерительного моста: тумблер ***SA7*** (верхнее положение). Исследуемым нелинейным элементом является стабилитрон ***VD8***.

10 Определить экспериментально $U_{вх.мин}$ и $U_{ст.}$ Для этого: устанавливаем **R1** = **8кОм** и изменяем напряжение на выходе ***ЛАТРа TV2*** (не более 20В) от **0** до $U_{вх.мин}$ (до момента стабилизации напряжения на стабилитроне ***VD8,*** при котором напряжение $U_{ст.}$ на приборе ***PV1*** уже не изменяется).

Напряжение на выходе ***ЛАТРа TV2*** регулируется двумя переключателями: левый с шагом 10В и правый с шагом 1В. **ВНИМАНИЕ: напряжение на входе стабилизатора с учетом конденсатора С10 больше, чем $U_{ЛАТРа}$ и равно $\sqrt{2}$ х $U_{ЛАТРа.}$**

11 Снять экспериментально зависимость $U_{Вых.стабилитрона} = f(U_{вх.})$ и $I_{ст.} = f(U_{вх.})$ при заданном

преподавателем **R1=1-10кОм** и меняя $U_{ЛАТРа}$ от **0 до 20В**. Показания снимаем по приборам ***PV1 и PA4.***

Данные измерений занести в ***таблицу 3.2*** и построить графики.

Таблица 3.2

$U_{ВХ} = U_{ЛАТРа}\sqrt{2}$,В	$U_{ВЫХ.}$(PV1), В	$I_{СТ.}$(PA4), мА

12 Снять экспериментально зависимость $U_{ВЫХ.} = f(R_H)$, изменяя **R1** от **10кОм до 0**, при этом, $U_{ВХ}$ ***(на ЛАТРе)*** установить равным $U_{ВХ\ мин}$ (это минимальное напряжение для режима стабилизации) .

Выключить стенд в следующем порядке:

- перевести тумблер ***SA7*** в нижнее положение;
- перевести тумблер ***SA3*** в нижнее положение;
- перевести переключатели ***ЛАТРа TV2*** в начальное положение;
- выключить стенд автоматическим выключателем ***QF1;***
- убедиться, что все остальные переключатели - в исходном положении.

Лабораторная работа №4

Определение параметров и исследование режимов работы электрической цепи переменного тока с последовательным соединением катушки индуктивности, резистора и конденсатора

Цель работы

- Определение параметров схемы замещения индуктивной катушки с магнитопроводом.
- Изучение основных режимов работы электрической цепи при последовательном соединении ***R, L, C***.
- Изучение методов построения векторных диаграмм напряжений и токов.

Порядок выполнения лабораторной работы

1. Собрать схему, приведенную на ***рисунке 4.1.***

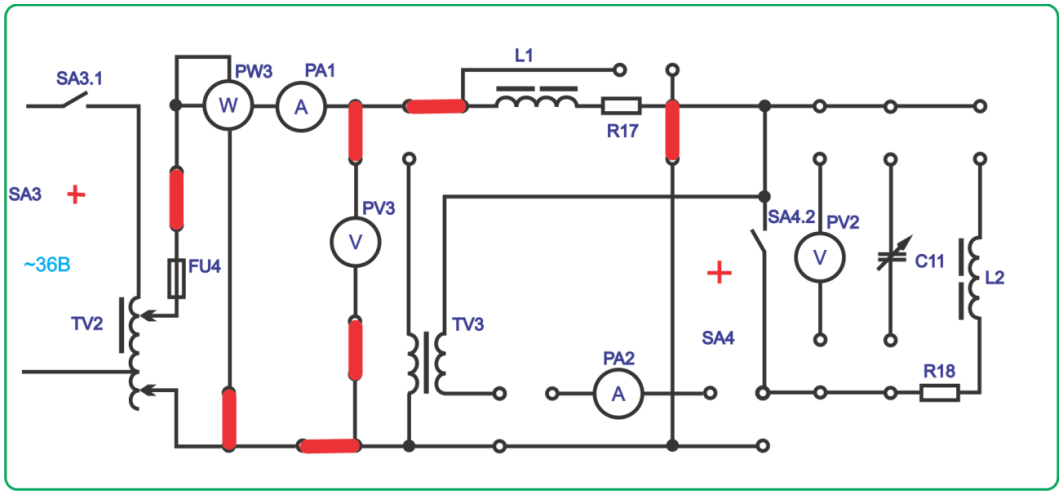


Рисунок 4.1

2. Перед включением стенда убедиться, что все переключатели находятся в начальном положении (выключены).

3. Включить стенд автоматическим выключателем ***QF1.***

4. Подключить питание ***ЛАТРа TV2***: тумблер ***SA3*** в устанавливается в верхнее положение « включено».

5. Установить номинальный ток катушки ***L1*** $I_н$***=0,1А.*** Для этого установить напряжение на выходе ***ЛАТРа TV2*** переключателями: левый – с шагом 10В и правый – с шагом 1В до **31-32 В.**

6. Снять показания приборов:

- ***PA1-*** ток ***($I_к$)*** через катушку (при нажатой кнопке над прибором ***PA1)*** ;
- ***PV3-*** напряжение ***($U_к$)*** на катушке;
- ***PW3*** **-** активная мощность***($P_к$)***, потребляемая катушкой, измеряется по прибору (***PW1+ PW2)*** при нажатой кнопке над прибором (≈ 0,8Вт)

ВНИМАНИЕ! Предел измерения приборов ***PV3 и PV2*** в данной работе ***50В***!

7. Выключить ***SA3***.

8. Выключить стенд автоматическим выключателем ***QF1.***

9. Вернуть переключатели ЛАТРа в начальные ***«0»*** положения.

10. Рассчитать индуктивность и активное сопротивление катушки ***L1*** по формулам:

$$R_{\Sigma} = \frac{P_К}{I_К^2}$$

$$Z_{\Sigma} = \frac{U_К}{I_К}$$

$$X_К = \sqrt{Z_{\Sigma}^2 - R_{\Sigma}^2}$$

$$L = \frac{X_К}{2 \cdot \pi \cdot f}$$

$$R_К = R_{\Sigma} - R17$$

$$Z_К = \sqrt{R_К^2 + X_К^2}$$

где ***R17 =51 Ом.***

11. Собрать схему по ***рисунку 4.2.***

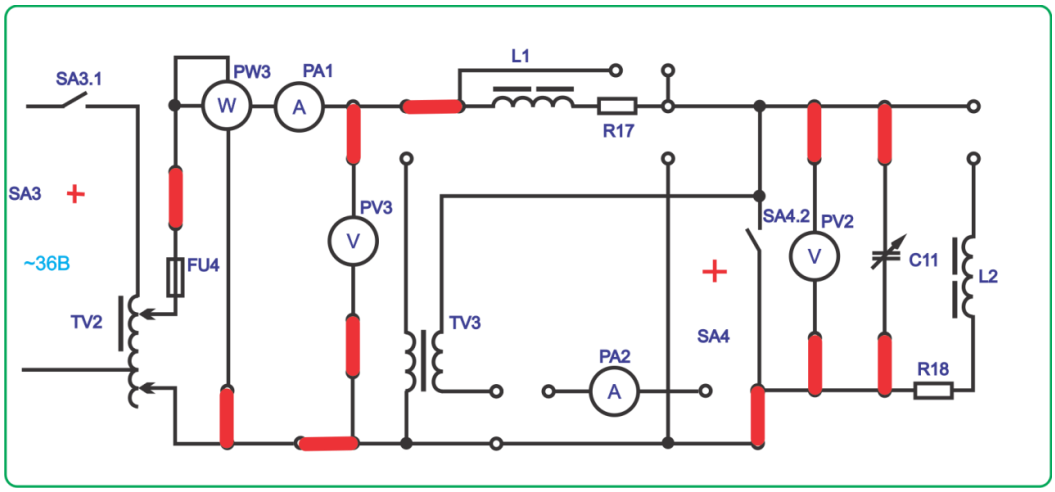


Рисунок 4.2

12. Рассчитать величину ёмкости ***C11***, при которой в цепи будет наблюдаться резонанс напряжений.

Расчет конденсатора для режима резонанса осуществляется по формулам:

$$X_К = X_{C11}$$

$$X_{C11} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C11}$$

$$C11 = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot X_К}$$

13. Рассчитать напряжение $U_{мин}$, при котором в режиме резонанса напряжений ток в цепи ***I*** не превысит ***0,065А*** (при большем значении тока прибор ***PV2*** – может зашкалить):

$$Uмин = I(R_К + R17)$$

14 Экспериментально проверить расчёты резонансной ёмкости и минимального напряжения $U_{мин.}$ ВНИМАНИЕ! Тумблер ***SA4*** должен находиться в выключенном положении (рычажок – внизу). Для этого: ЛАТР включить в «0» положение. С помощью тумблеров на наборном поле установить расчётную ёмкость конденсатора **C11≈10 мкФ** и, нажав кнопку над ***PA1,*** плавно увеличивать $U_{ЛАТРа}$ до увеличения тока на ***PA1*** до ***0,065А*** **($U_{ЛАТРа}$≈13В).** Записать значения напряжения ***PV3*** **(≈7В)*, PV2 (≈22В).***

Чтобы убедиться, что наступил режим резонанса напряжений, необходимо увеличить или уменьшить ёмкость, при этом ток на ***PA1*** уменьшится.

15 Определить расчетным путем значения **cosφ** в цепи при максимальном значении емкости
конденсатора ***C11***.
Значение ***C11max = 12,7 мкФ*** - при всех замкнутых выключателях на наборном поле.

Коэффициент мощности цепи: $\cos\varphi = \frac{\mathbf{R17}+\mathbf{R}_К}{\sqrt{(\mathbf{R17}+\mathbf{R}_К)^2+(X_К-X_С)^2}}$,

где $X_C = \frac{1}{2\pi f C_{11max}}$;

16 Для экспериментальной проверки величины **cosφ** при максимальном значении емкости конденсатора ***C11*** все тумблеры магазина конденсаторов перевести в верхнее положение и записать показания приборов ***(PW1+ PW2)*** ≈1Вт, ***PV3***≈9В, ***PA1***≈0,06А. Рассчитать **cos**φ, подставив экспериментальные данные:

$$\mathbf{cos}\varphi = \frac{\mathbf{P}}{\mathbf{U\,I}}$$

17 Для режима работы с максимальной ёмкостью построить векторную диаграмму: задать $\mathbf{U_{ЛАТРа}}$ равным **14В ,** конденсаторы – все включены (***C=12,7мкФ***), нажать кнопки над приборами ***PW и PA1*** и снять показания ***PW*** , ***PA1 ($I_Σ$), PV3 ($U_Σ$), PV2(Uc).*** Пример построения векторной диаграммы цепи при активно-индуктивном характере цепи дан на ***рисунке 4.3.***

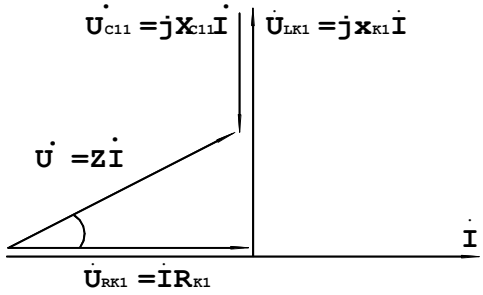


Рисунок 4.3

Выключить стенд в следующем порядке:

- перевести тумблер ***SA3*** в нижнее положение;
- перевести переключатели ***ЛАТРа TV2*** в начальное положение;
- выключить стенд автоматическим выключателем ***QF1;***
- тумблеры конденсатора ***C11*** вернуть в первоначальное положение (вниз);
- убрать перемычки;
- убедиться, что все остальные переключатели - в начальном состоянии.

Лабораторная работа №5
Исследование режимов работы линии электропередачи переменного тока при изменении коэффициента мощности нагрузки

Цель работы:

- Изучение эксплуатационных характеристик линии электропередачи переменного тока.
- Экспериментальное определение параметров нагрузки.
- Исследование режимов работы ЛЭП при изменении коэффициента мощности нагрузки.

Порядок выполнения лабораторной работы

1. Изучить схему замещения ЛЭП.

2. Собрать схему, приведенную на ***рисунке 5.1*** с зашунтированной ЛЭП ***(R17, L1).***

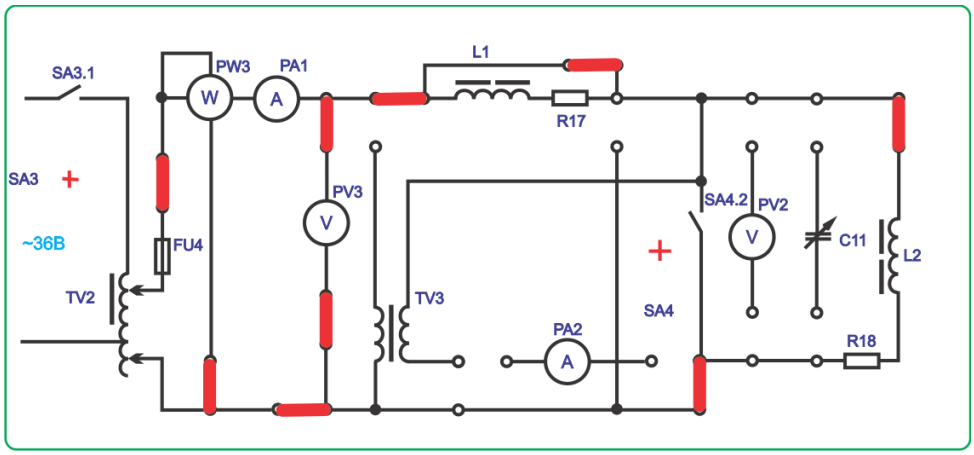


Рисунок 5.1

3. Закоротив условно представленную ЛЭП /**LI, R17**/ определяют параметры катушки L2, сопротивление R18 и cosφ для номинального режима (Uн = 25В).

4. Включить стенд автоматическими выключателем ***QF1*** и тумблером ***SA3.***

5. Подключить питание ***ЛАТРа TV2*** и установить номинальное напряжение U_H***=25В*** на потребителе (***L2, R18***).

6. Снять показания приборов (при нажатой кнопке над PA1):

- ***PA1 ($I_{П.}$)*** - ток потребителя (≈0,065А);
- ***PV3($U_{С.}$) –*** напряжение сети (25В);
- ***PW1+ PW1 ($P_{П.}$)*** - активная мощность, потребляемая из сети (≈0,8Вт). ВНИМАНИЕ! Пределы измерения приборов ***PV3 и PV2*** в данной работе ***50В***!

7. Выключить ***SA3***, ***QF1.***

8. Вернуть переключатель питания ***ЛАТРа TV2*** в ***«0»*** положение***.***

9. Рассчитать индуктивность и активное сопротивление катушки ***L2*** по формулам:

$$R_{18} = \frac{P_{П.}}{I_{П.}^2}$$

$$Z_{L2} = \frac{U_{С.}}{I_{П.}}$$

$$X_{L2} = \sqrt{Z_{L2}^2 - (R18)^2}$$

$$L2 = \frac{X_{L2}}{2 \cdot \pi \cdot f}$$

10. Рассчитать значение емкости ***C11***, при котором в цепи наступит резонанс токов $b_L = b_C$ и проверить экспериментально:

$$\frac{X_{L2}}{Z_{L2}^2} = \omega \cdot C11$$

$$C11 = \frac{X_{L2}}{Z_{L2}^2 \cdot \omega}$$

(С≈8мкФ)

Для экспериментальной проверки ***C11*** собрать схему по ***рисунку 5.2.***

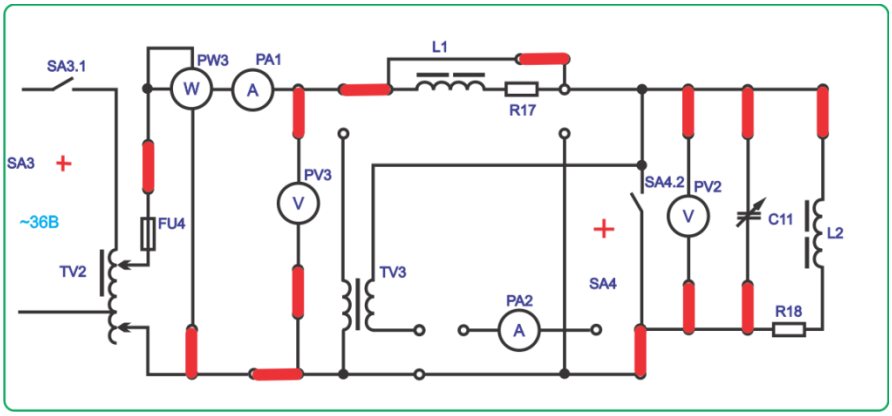


Рисунок 5.2

Установить на ЛАТРе ***25В*** по прибору ***PV3*** и магазином конденсаторов набрать расчётное значение ёмкости для режима резонанса. Чтобы убедиться, что наступил режим резонанса, необходимо увеличить или уменьшить ***C11***, при этом ток будет возрастать.

11. Определить расчетным путем значение емкости конденсатора ***C11*** для повышения коэффициента мощности нагрузки до значения $cos\varphi 2_{зад}$, заданного преподавателем (**от** $cos\varphi 2_H$ до ***0,9***) и проверить экспериментально.

- расчет коэффициента мощности нагрузки $cos\varphi 2_H$:

$$\cos\varphi 2_H = \frac{R18}{Z_{L2}}$$

- расчет значения емкости ***C11*** для повышения коэффициента мощности до значения $cos\varphi 2_{зад}$:

$$C11 = \frac{P_2}{\omega \cdot U_{11}^2}(tg\varphi 2_H - tg\varphi 2_{зад})$$

Проверить расчет $cos\varphi 2_{\text{Н}}$, собрав схему по ***рисунку 5.3.***

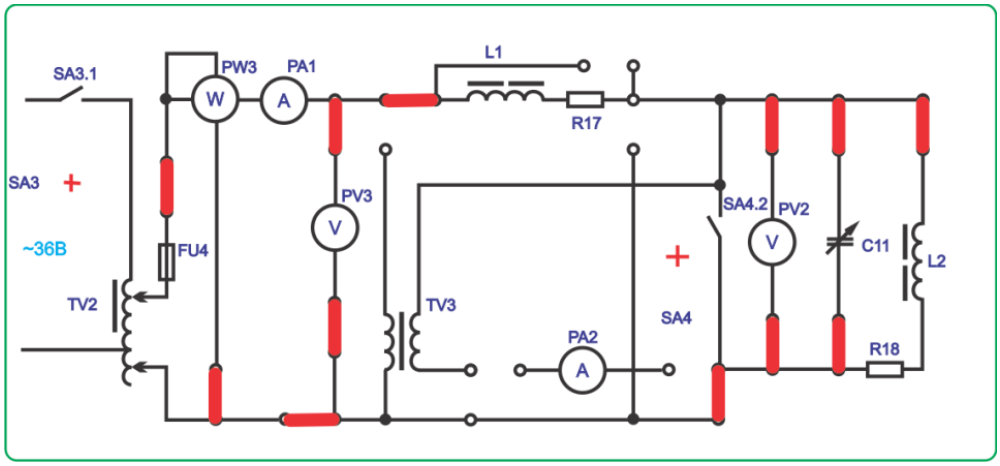


Рисунок 5.3

Для этого, включить ***ЛАТР*** на напряжение ***25В*** по прибору ***PV2 и*** записать показания приборов: ***PA1 (I), PV2(U), PW1+PW2(P).*** Рассчитать: $cos\varphi 2_{зад} = \frac{P}{U\,I}$

12. Построить зависимость $\eta = f(C11)$, для этого: собрать схему, приведенную на ***рисунке 5.3,*** с незашунтированной ЛЭП ***(R17, L1).***

13. Установить ***ЛАТРом*** номинальное напряжение $U_{Н.}$***=25В (PV2)*** на потребителе (***L2, R18***). При этом емкость конденсатора ***C11*** должна быть «***0***» (все тумблеры магазина конденсаторов - в нижнем положении).

14. Увеличивая емкость ***C11*** (0,4, 0,8…) и уменьшая при этом U_H до ***25 В (***по прибору ***PV2*** понижая напряжение ***ЛАТРом***) снять и построить зависимость $\eta = f(C11)$. Данные занести в ***таблицу 5.1.***

Таблица 5.1

Экспериментальные данные					***Расчетные значения***		
U_1***(PV3), В***	***U2(PV2), В***	***I(PA1), А***	***PW, Вт***	***C11, мкФ***	***y***	***cosφ2***	***η***
	25			0			
	25			0,4			
	25			0,8			
	25			1,6			

$$\eta = \frac{1}{1 + \frac{P2 \cdot R_{\Sigma}}{U2^2 \cdot cos\varphi 2^2}},$$

где значение сопротивления R_{Σ}***= R17 +*** R_{L1} берется из ***лр №4 (R17 =51 Ом)***

$$cos\varphi 2 = \frac{g}{y}$$

где ***q*** - активная проводимость нагрузки:

$$g = \frac{R18}{Z_{L2}^2}$$

y - полная проводимость нагрузки:

$$y = \sqrt{\left(\frac{R18}{Z_{L2}^2}\right)^2 + \left(\frac{X_{L2}}{Z_{L2}^2} - \omega \cdot C11\right)^2}$$

P2 - активная мощность, потребляемая нагрузкой:

$$\boldsymbol{P2 = P - P1 = P - I^2 \cdot (R17 + R_{L1})}$$

P **–** показания ваттметра ***PW1+PW2.***

15. Выключить стенд в следующем порядке:

- перевести тумблер ***SA3*** в нижнее положение;
- перевести переключатели **ЛАТРа** ***TV2*** в начальное положение;
- выключить стенд автоматическим выключателем ***QF1;***
- убрать перемычки;
- тумблеры магазина конденсаторов ***C11*** вернуть в первоначальное положение (вниз);
- убедиться, что все остальные переключатели - в начальном состоянии.

Лабораторная работа №6

Определение параметров и исследование режимов работы трехфазной цепи при соединении потребителей звездой

Цель работы

- Исследование трехфазной цепи при соединении потребителей звездой.
- Изучение методов расчета трехфазных цепей при соединении потребителей звездой.

Порядок выполнения лабораторной работы

1 Исследование симметричной резистивной нагрузки при наличии нейтрального провода

1.1 Собрать схему, приведенную на ***рисунке 6.1***.

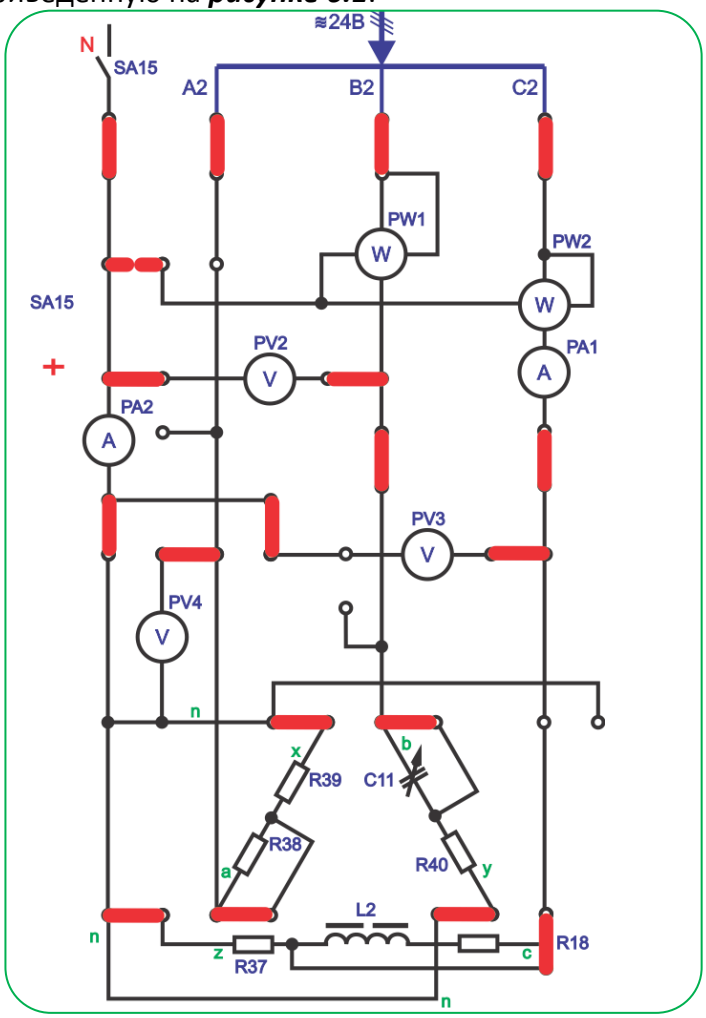


Рисунок 6.1

Перед включением стенда убедиться, что все переключатели находятся в начальном положении (выключены).

1.2 Включить стенд автоматическим выключателем ***QF1.***

1.3 Включить тумблер ***SA15.***

ВНИМАНИЕ! Предел измерения приборов ***PV2, PV3, PV4 - 50В.***

Убедиться, что ток в нейтрали (по прибору ***PA2)*** равен нулю. Следовательно, нагрузка симметричная ***R37 = R39 = R40.*** Измерить фазные напряжения при помощи вольтметров ***PV2, PV3, PV4*** и фазный ток **I1** в фазе «С» при помощи амперметра ***PA1***.

Убедиться в отсутствии тока в нейтральном проводе ***I2 = 0 (PA2).***

1.4 Выключить тумблер ***SA15*** и автоматический выключатель ***QF1.***

1.5 Определить значения сопротивлений резисторов ***R37, R39, R40*** по Закону Ома:

$$\boldsymbol{R37 = \frac{U_{C(PV3)}}{I_{C\,(PA1)}}}$$

Мощность, потребляемую симметричной нагрузкой, определить по формуле:

$$\boldsymbol{P = 3\, I^2_1\, R39,}$$

где ***R39=510 Ом***

2 Исследование равномерной нагрузки без нейтрального провода

В качестве равномерной нагрузки в фазы ***A, B*** и ***C*** добавляются соответственно ***R38, C11*** и ***L2+R18***.

2.1 Для получения равномерной нагрузки рассчитать величину емкости ***C11*** из условия:

$$|\boldsymbol{Z_a}| = |\boldsymbol{Z_b}| = |\boldsymbol{Z_c}|$$

$$\boldsymbol{Z_a = \sqrt{R40^2 + X^2_{C11}}}$$

$$\boldsymbol{Z_b = \sqrt{(R37 + R18)^2 + X^2_{L2}}}$$

$$\boldsymbol{Z_c = R38 + R39}$$

Приняв $\boldsymbol{Z_a = Z_b}$ определяют значение ***C11*** для получения равномерной нагрузки:

$$\boldsymbol{R40^2 + X^2_{C11} = (R37 + R18)^2 + X^2_{L2},}$$

где ***R18 =170 Ом, R38 =250 Ом,*** $\boldsymbol{X_{L2} = 375}$ ***Ом*** (из лабораторной работы ***№5)***.

$$\boldsymbol{X_{C11} = \sqrt{(R37 + R18)^2 - R40^2 + X^2_{L2}}}$$

$$\boldsymbol{C11 = \frac{1}{\omega \cdot X_{C11}}}$$

2.2 Исследовать равномерную нагрузку без нейтрального провода:

- отключить нейтральный провод тумблером ***SA15*** *(I2 = 0)*, а общую точку ваттметров PW1, PW2 подключить к фазе «**A**» (переключить перемычку, обозначенную пунктиром)
- набрать рассчитанное значение ***C11*** при помощи выключателей.
- разомкнуть перемычки, шунтирующие элементы ***R38, C11, L2, R41*** и таким образом получить равномерную нагрузку.
- включить автоматический выключатель ***QF1;***
- измерить фазные напряжения при помощи вольтметров ***PV1, PV3, PV4*** и фазный ток ***I1*** в фазе «**C**» при помощи амперметра ***PA1.*** Убедиться в неравенстве фазных напряжений.

2.3 Рассчитать напряжение смещения нейтрали:

$$\boldsymbol{\dot{U}_{nN} = \frac{\dot{U}_{A1} \cdot \underline{Y}_a + \dot{U}_{B1} \cdot \underline{Y}_b + \dot{U}_{C1} \cdot \underline{Y}_b}{\underline{Y}_a + \underline{Y}_b + \underline{Y}_c}}$$

Считая: $\boldsymbol{\dot{U}_a = \dot{U}_{A1} - \dot{U}_{nN},\ \dot{U}_b = \dot{U}_{B1} - \dot{U}_{nN}, \dot{U}_c = \dot{U}_{C1} - \dot{U}_{nN},}$

Определить токи в фазах:

$$\dot{I}_A = \frac{\dot{U}_{A1} - \dot{U}_{nN}}{\underline{Z}_a};\ \dot{I}_B = \frac{\dot{U}_{B1} - \dot{U}_{nN}}{\underline{Z}_b};\ \dot{I}_A = \frac{\dot{U}_{C1} - \dot{U}_{nN}}{\underline{Z}_c}$$

2.4 Рассчитать активную мощность, потребляемую нагрузкой по формуле:

$$P = I_A^2 \cdot R40 + I_B^2 \cdot (R37 + R18) + I_C^2 \cdot (R38 + R39)$$

Сравнить расчетное значение с показаниями ваттметров:

P=PW1+PW2

3 Исследование равномерной нагрузки с нейтральным проводом

3.1 Подключить нейтральный провод тумблером ***SA15,*** общую точку ваттметров подключить к нейтрали. Включить автоматический выключатель ***QF1.***

3.2 Исследовать равномерную нагрузку, измерив, фазные напряжения, мощность и ток в нейтральном проводе.

3.3 Рассчитать комплексные значения токов в фазах А, В, С:

$$\dot{U}_a = \dot{U}_b = \dot{U}_c$$

$$I_a = I_b = I_c$$

$$\dot{I}_A = \frac{\dot{U}_a}{\underline{Z}_a};\ \dot{I}_B = \frac{\dot{U}_b}{\underline{Z}_b};\ \dot{I}_A = \frac{\dot{U}_c}{\underline{Z}_c}$$

Определить ток в нейтральном проводе:

$$\dot{I}_N = \dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C$$

Сравнить расчетные значения токов с экспериментальными по п 3.2.

Выключить стенд в следующем порядке:

- Выключить тумблер ***SA15.***
- Выключить стенд автоматический выключатель ***QF1;***
- Убрать перемычки;
- Тумблеры конденсатора ***C11*** вернуть в первоначальное положение (вниз);
- Убедиться, что все остальные переключатели - в начальном положении.

Лабораторная работа № 7
Определение параметров и исследование режимов работы трехфазной цепи при соединении потребителей в треугольник

Цель работы

- Исследование трехфазной цепи при соединении потребителей в треугольник.
- Изучение методов расчета трехфазных цепей при соединении потребителей в треугольник.

Порядок выполнения лабораторной работы

Исследование трехфазной цепи при соединении потребителей в треугольник

1. Собрать схему, приведенную на ***рисунке 7.1***.

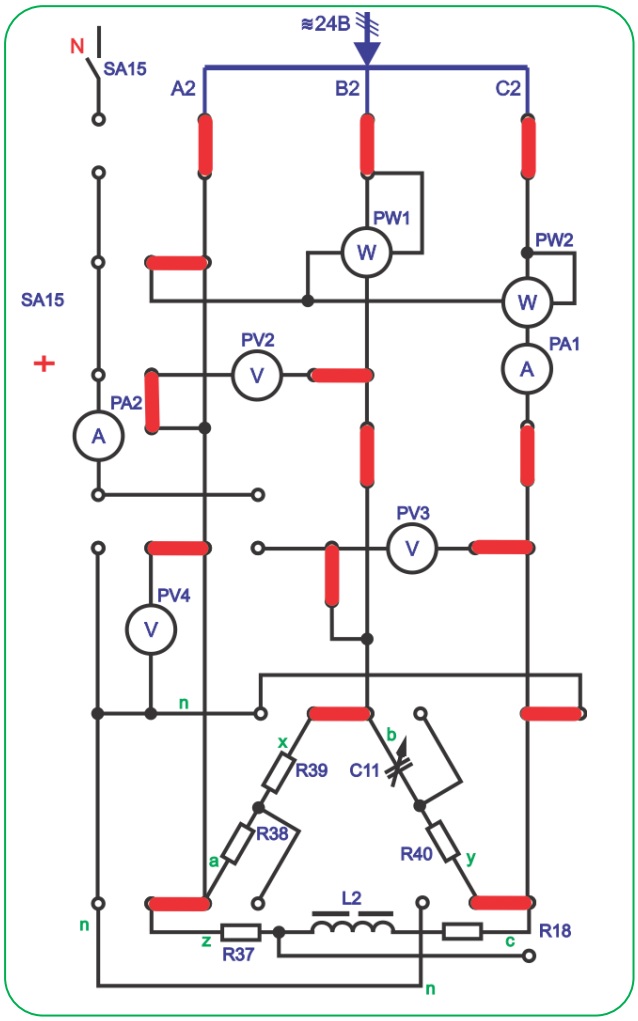


Рисунок 7.1

2 Перед включением стенда убедиться, что все переключатели находятся в начальном положении (выключены).

3 Включить стенд автоматическим выключателем ***QF1.***

4 На основании расчетов, сделанных в **лабораторной работе N6**, набрать на стенде равномерную нагрузку: установить расчетное значение конденсатора ***C11*** необходимыми переключателями (расчетное значение из ***ЛР №6***).

5 Измерить активную мощность нагрузки и линейный ток в линии **C** прибором ***PA1***.

6 Напряжение ***Uab*** измерить прибором ***PV2***, напряжение ***Ubc*** - прибором ***PV3, Uac-*** прибором ***PV4.***

7 Рассчитать комплексные значения фазных токов и определить линейный ток I_C. Фазные токи определяют по закону Ома:

$$\dot{I}_{AB} = \frac{\dot{U}_{AB}}{\underline{Z}_{AB}};\ \dot{I}_{BC} = \frac{\dot{U}_{BC}}{\underline{Z}_{BC}};\ \dot{I}_{AC} = \frac{\dot{U}_{AC}}{\underline{Z}_{AC}}$$

Значения линейных токов переделяются по первому закону Кирхгофа:

$$I_A = I_{AB} - I_{AC};\ I_B = I_{BC} - I_{AB};\ I_C = I_{AC} - I_{BC}$$

Модуль тока I_C сравнить с измеренным значением.

8 Рассчитать активную мощность потребителя:

$$P = I_{A1B1}^2 \cdot R40 + I_{B1C1}^2 \cdot (R37 + R18) + I_{A1C1}^2 \cdot (R38 + R39)$$

Результаты вычислений сравнить с экспериментальными данными измерений ваттметра (***PW1+PW2).***

9 Построить векторную диаграмму.

10 Выключить стенд в следующем порядке:

- выключить стенд автоматическим выключателем ***QF1;***
- убрать перемычки;
- тумблеры конденсатора ***C11*** вернуть в первоначальное положение (вниз);
- убедиться, что все остальные переключатели - в начальном состоянии.

Лабораторная работа № 8
Исследование линейных цепей несинусоидального периодического тока, содержащих катушку индуктивности и конденсатор

Цель работы

- Изучение методов расчета линейных электрических цепей несинусоидального периодического тока.
- Изучение влияния индуктивного и емкостного элементов на величину тока при несинусоидальном напряжении источника.
- Изучение принципа действия сглаживающих L-фильтров и методов расчета их параметров.

Основные теоретические соотношения

Действующие значения несинусоидальных напряжений и тока определяются:

$$U = \sqrt{U_0^2 + U_1^2 + U_2^2 + \cdots}\,;\; I = \sqrt{I_0^2 + I_1^2 + I_2^2 + \cdots}\quad , \qquad (1)$$

где U_0 *и* I_0 - постоянные составляющие несинусоидальных значений напряжения и тока, разложенные в ряд Фурье;

U_1, U_2, ..., I_1, I_2... - действующие значения отдельных гармонических составляющих напряжения и тока.

$$U_1 = \frac{U_{1M}}{\sqrt{2}};\; U_2 = \frac{U_{2M}}{\sqrt{2}};\ldots;\; I_1 = \frac{I_{1M}}{\sqrt{2}};\; I_2 = \frac{I_{2M}}{\sqrt{2}};\ldots, \qquad (2)$$

где U_{1M}, U_{2M}, … I_{1M}, I_{2M}, … - амплитудные значения отдельных составляющих напряжения и тока.

Угол включения тиристоров α регулируется за счет изменения напряжения управления с помощью ***R13.***

Гармонический состав напряжения управляемого выпрямителя описывается рядом Фурье:

$$U = U_0 + U_{1M} \cdot sin(2\omega t + \varphi_1) + U_{2M} \cdot sin(4\omega t + \varphi_2) + U_{3M} \cdot sin(6\omega t + \varphi_3) \quad (3)$$

Численные значения отдельных гармонических составляющих в долях амплитудного значения напряжения на входе выпрямителя и их начальные фазы приведены в ***таблице 8.1***.

Таблица 8.1

α	U_0	U_{1M}	U_{2M}	U_{3M}	φ_1	φ_2	φ_3
30	0,594	0,491	0,123	0,0546	83,8	52,7	2.56
45	0,543	0,543	0,121	0,06	73,7	5,91	77,7
60	0,477	0,551	0,110	0,098	60,0	-60,0	-16,1
75	0,401	0,532	0,131	0,124	44,0	45,8	87,8
90	0,318	0,474	0,175	0,111	26,6	-14,0	9,46
105	0,236	0,386	0,201	0,0874	8,15	-62,9	-86,9
120	0,159	0,281	0,189	0,0949	-10,9	73,0	-5,49
135	0,0932	0,174	0,140	0,0962	-30,4	31,1	-82,3

Для расчета постоянной составляющей тока:

$$I_0 = \frac{U_0}{R14}; \quad R14 = 1\text{кОм} \qquad (4)$$

Действующее значение токов гармонических составляющих можно определить из выражения вида:

$$I_K = \frac{U_K}{\sqrt{(R14 + R_{L1})^2 + (k\omega L1)^2}} \qquad (5)$$

где ***k = 2; 4; 6;*** …

$\omega = 2\pi f$

f = 50 Гц – частота сети

R14=1кОм

R_{L1}***-*** взять из расчетов ***ЛР №4*** за вычетом ***R17=51 Ом.***

Сдвиг по фазе между током и напряжением соответствующих гармонических составляющих:

$$\varphi_{ki} = arctg\frac{K\omega L1}{R14 + R_{L1}} \qquad (6)$$

Действующее значение несинусоидального тока:

$$I = \sqrt{I_0^2 + I_1^2 + I_2^2 + \ldots + I_K^2 + \ldots} \qquad (7)$$

По результатам измерения производится запись напряжения источника в виде ряда Фурье.

Порядок выполнения лабораторной работы

Исследование цепей несинусоидального периодического тока с активной и активно- индуктивной нагрузкой*.*

1. Собрать схему, приведенную на ***рисунке 8.1*** с установленной перемычкой ***П1*** (закорочена индуктивность ***L1***).
2. При выполнении данной работы возможно использование осциллографа для исследования несинусоидальных периодических напряжений.
3. Установить заданное преподавателем значение угла управления тиристорным выпрямителем с помощью резистора ***R13*** (например, ***60°).***
4. Включить тумблер ***SA5*** (в качестве нагрузки подключаем резистор ***R14***).

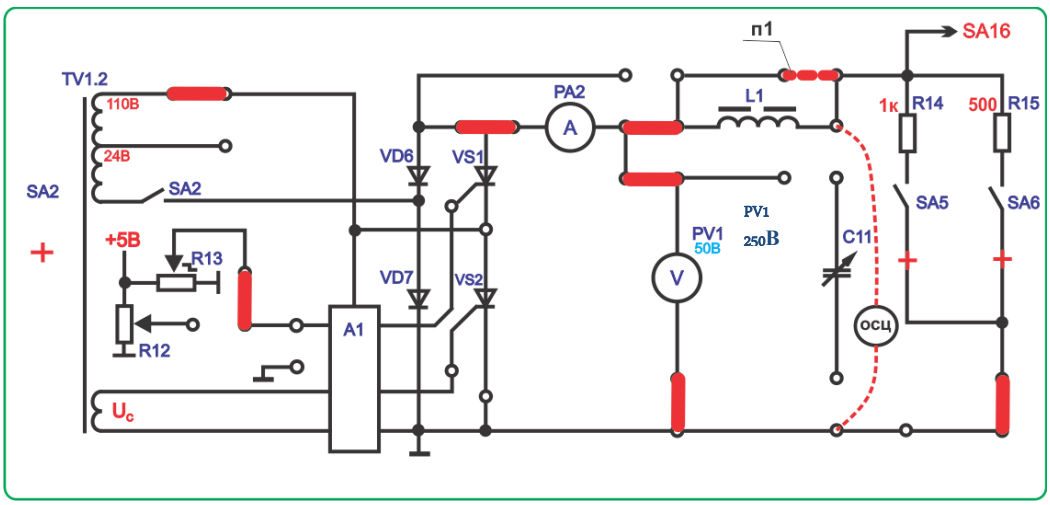


Рисунок 8.1

5. Перед включением стенда убедиться, что все переключатели находятся в начальном положении (выключены).

6. Включить автоматический выключатель ***QF1*** и тумблер ***SA2.*** ВНИМАНИЕ! Предел измерения прибора ***PV1-250В.***

7 Включить схему и измерить с помощью вольтметра ***PV1*** магнитоэлектрической системы среднее значение напряжения на выходе управляемого выпрямителя (УВ). С помощью осциллографа контролируется угол управления и измеряется амплитуда **Um** питающего напряжения.

8 Считая, что измеренное в **п. 7** напряжение равно $\mathbf{U_0}$ для заданного угла, и воспользовавшись **таблицей 8.1** определить $\mathbf{U_m}$ на входе УВ и действующие значения гармонических составляющих выходного напряжения УВ.

9 Записать напряжение УВ для заданного угла управления в виде ряда Фурье.

10 Используя данные **п. 8** и **ЛР №4**, рассчитать действующее значение тока для схемы **рис. 8.4** , где R_H – задается преподавателем (***R14 или R15 или R14//R15****).*

11 Собрать схему ***рис. 8.1*** (***L1*** **–** введен в цепь, перемычка **П1** - отсутствует) и при заданных $\mathbf{R_H}$ и угле управления измерить действующее значение тока (амперметр ***PA2***). Сравнить результаты расчета и эксперимента.

Выключить стенд в следующем порядке:

- выключить стенд автоматическим выключателем ***QF1;***
- убрать перемычки;
- тумблеры ***SA2 и SA5*** вернуть в первоначальное положение (вниз), резистор ***R13*** в положение $\boldsymbol{150^0}$.;
- убедиться, что все остальные переключатели - в начальном состоянии.

Лабораторная работа №9

Исследование параметров схемы замещения катушки индуктивности с замкнутым магнитопроводом и при наличии в магнитопроводе воздушного зазора

Цель работы

- Изучить методы определения параметров схемы замещения катушки индуктивности с замкнутым магнитопроводом.
- Построить вольтамперную характеристику (в.а.х.) катушки индуктивности с замкнутым магнитопроводом.

Порядок выполнения лабораторной работы

Построение вольтамперной характеристики (в.а.х.) катушки индуктивности с замкнутым магнитопроводом.

1. Собрать схему, приведенную на ***рисунке 9.1,*** для расчета параметров R_M и X_M катушки индуктивности с замкнутым магнитопроводом.

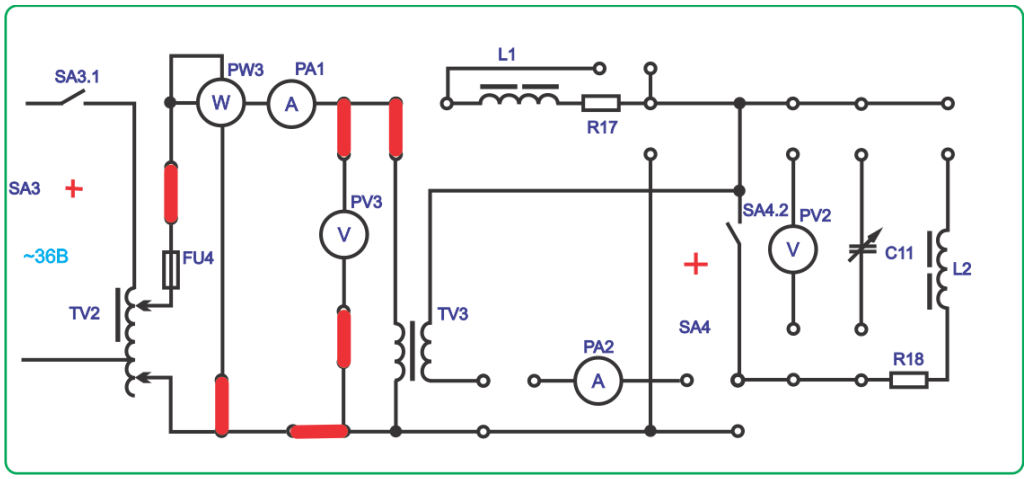


Рисунок 9.1

2. Перед включением стенда убедиться, что все переключатели находятся в начальном положении (выключены).

ВНИМАНИЕ! Тумблер SA4 должен находиться в выключенном положении (рычажок – внизу).

3. Включить стенд автоматическим выключателем ***QF1.***

4. Подключить питание ЛАТРа ***TV2*** (тумблер переключения пределов регулирования напряжения ЛАТРа в положение ***«0»***, тумблер ***SA3*** устанавливается в верхнее положение – включено).

5. Снять в.а.х. Для этого, изменяем напряжение на выходе ***ЛАТРа TV2*** переключателями: левый с шагом 10В и правый– с шагом 1÷2В. Снять показания приборов ***PA1, PV3, PW3*** (***PW1+PW2***) и занести их в ***таблицу 9.1.***

Таблица 9.1

Экспериментальные данные			***Расчетные значения***			
U (PV3), В	***I (PA1), А***	***P (PW3), Вт***	***S, ВА***	***Z, Ом***	***X_{TV2}, Ом***	***$R_К$, Ом***
0						
20						
30						
31						
32						
33						
34						
36						
37						

6. Выключить тумблер ***SA3.***

7. Выключить стенд автоматическим выключателем ***QF1.***

8. Вернуть тумблеры ***ЛАТРа TV2*** в начальные положения.

9. Построить график в.а.х. катушки индуктивности с замкнутым магнитопроводом ***I = f(U)*** по значениям, внесенным в ***таблицу 9.1.***

10. Определить параметры схемы замещения на линейном участке в.а.х. и в области насыщения, данные расчетов занести в ***таблицу 9.1.***

$$R_M = \frac{P\,(PW3)}{I^2(PA1)};\ Z_M = \frac{U(PV3)}{I(PA1)};\ X_M = \sqrt{(Z_M^2 - R_M^2)};$$

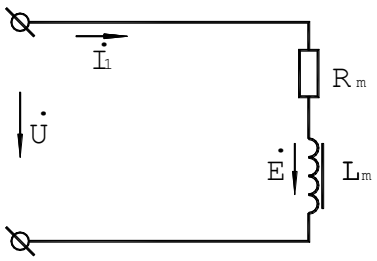


***Рисунок 9.2*- Схема замещения катушки индуктивности с замкнутым магнитопроводом**

На линейном участке кривой намагничивания материала замкнутого магнитопровода катушки значение R_M и X_M имеют небольшое значение, а в области насыщения величины R_M и X_M, уменьшаются. Следовательно, в.а.х. катушки индуктивности с замкнутым магнитопроводом имеет нелинейный характер.

Построение вольтамперной характеристики (в.а.х.) катушки индуктивности с зазором

1. Собрать схему, приведенную на ***рисунке 9.3,*** для расчета параметров R_M и X_M катушки индуктивности с зазором.

2. Перед включением стенда убедиться, что все переключатели находятся в начальном положении (выключены).

ВНИМАНИЕ! Тумблер SA4 должен находиться в выключенном положении (рычажок – внизу).

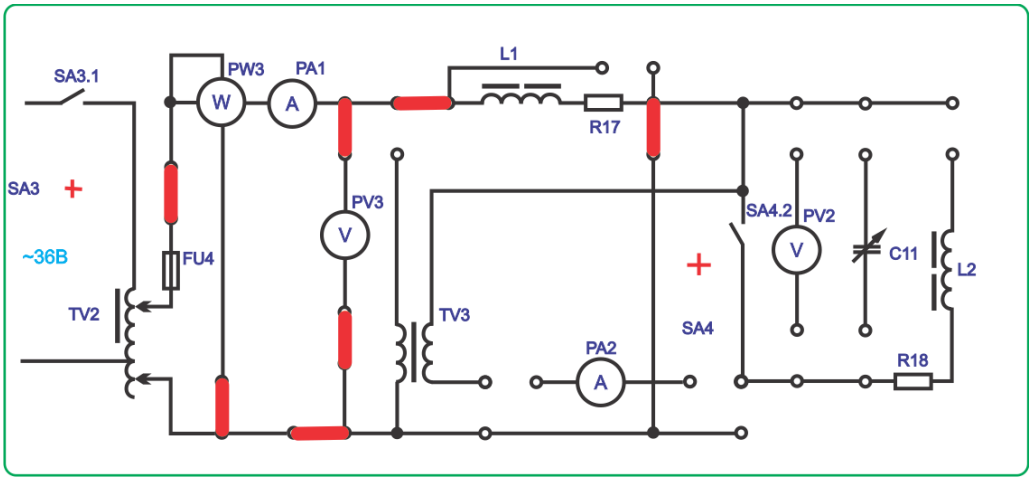


Рисунок 9.3

3. Включить стенд автоматическими выключателем ***QF1.***
4. Подключить питание ***ЛАТРа TV2*** тумблером ***SA3*** (верхнее положение – включено).
5. Снять в.а.х. Для этого, изменяем напряжение на выходе ***ЛАТРа TV2*** переключателями: левый с шагом 10В и правый с шагом 1÷2В. Снять показание приборов ***PA1, PV3, PW3*** и занести их в ***таблицу 9.2.***

Таблица 9.2

Экспериментальные данные			***Расчетные значения***			
U (PV3), В	***I (PA1), А***	***P (PW3), Вт***	***S, ВА***	***Z_M, Ом***	***X_M, Ом***	***R_M, Ом***
0						
5						
10						
20						
25						
30						
35						

6. Выключить стенд в следующем порядке:
   - выключить тумблер ***SA3***
   - выключить стенд автоматическим выключателем ***QF1.***
   - вернуть переключатели ***ЛАТРа TV2*** в начальные положения.
7. Построить график в.а.х. катушки индуктивности с зазором ***I = f(U)*** по значениям, внесенным в ***таблицу 9.2.***
8. Определить параметры схемы замещения на линейном участке в.а.х. и в области насыщения, данные расчетов занести в ***таблицу 9.2.***

$$R_M = \frac{PW3}{(PA1)^2};\ Z_M = \frac{PV3}{PA1};\ X_M = \sqrt{(Z_M^2 - R_M^2)};$$

Лабораторная работа №10
Определение параметров и основных характеристик однофазного трансформатора

Цель работы

- Изучение устройства и принципа действия однофазного трансформатора.
- Изучение схемы замещения трансформатора и определение ее параметров.
- Изучение влияния характера нагрузки на внешнюю характеристику и к.п.д. трансформатора.

Порядок выполнения лабораторной работы

Проведение опыта холостого хода трансформатора

1. Собрать схему, приведенную на ***рисунке 10.1,*** для проведения опыта х.х.

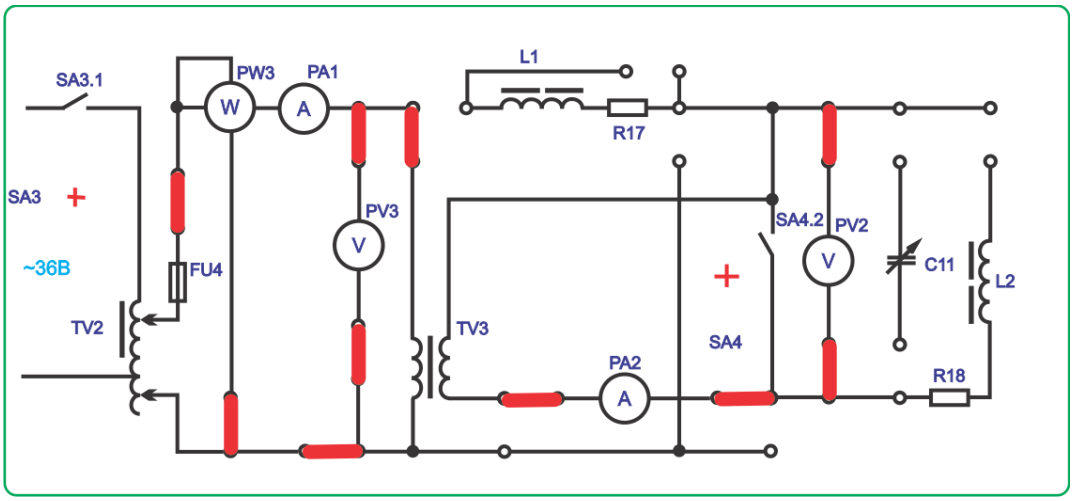


Рисунок 10.1

2. Перед включением стенда убедиться, что все переключатели находятся в начальном положении (выключены).
ВНИМАНИЕ! Тумблер SA4 должен находиться в выключенном положении (рычажок – внизу).

3. Включить стенд автоматическим выключателем ***QF1.***

4. Подключить питание ***ЛАТРа TV2*** (тумблер ***SA3*** устанавливается в верхнее положение – включено).

5. Задать переключателями напряжение на выходе ***ЛАТРа TV2*** - 36 В. Снять показание приборов ***PA1 (I_{10}), PV3 ($U_{1x.x.}$), PW1+ PW2 (P_0), PV2 (U_{2H})*** и занести их в ***таблицу 10.1.***

Таблица 10.1

Экспериментальные данные				***Расчетные значения***					
U_1 (PV3), В	***$I_{10,2}$ (PA1), А***	***P (PW1), Вт***	***U_{2H} (PV2), В***	***S, ВА***	***Z, Ом***	***XL, Ом***	***RK, Ом***	***φ, град***	***cosφ***

6. Выключить тумблер ***SA3***, вернуть переключатели ***ЛАТРа TV2*** в начальные положения «***0»***.

7. Рассчитать параметры схемы замещения трансформатора по опыту х.х. (***рисунки 10.2 и 10.3):***

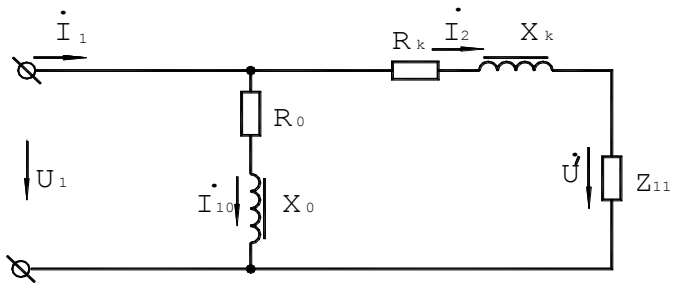


Рисунок 10.2- Схема замещения трансформатора

R_0, X_0 - параметры схемы замещения, определяемые из опыта холостого хода трансформатора,

R_K, X_K - параметры схемы замещения, определяемые из опыта короткого замыкания трансформатора.

n_{TP} - коэффициент трансформации.

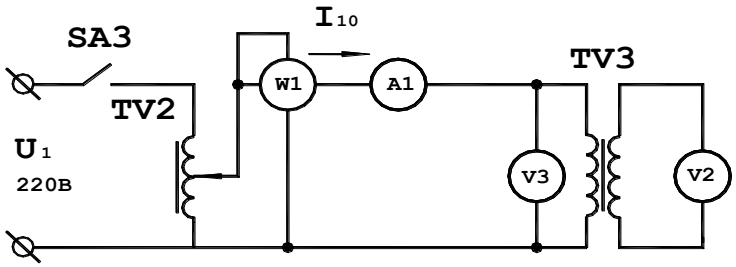


Рисунок 10.3

$$R_0 = \frac{P_0}{I^2{}_{10}}; \quad Z_0 = \frac{U_{1H}}{I_{10}}; \quad X_0 = \sqrt{\left(Z^2{}_0 - R^2{}_0\right)}; \quad n = \frac{U_{1H}}{U_2};$$

где n - коэффициент трансформации.

Проведение опыта короткого замыкания трансформатора

1 Внимание! В опыте **к.з.** до включения ***SA3*** вывести ***ЛАТР TV2*** в нулевое положение, тумблер ***SA4*** установить в верхнее положение (закоротить вторичную обмотку трансформатора ***TV3***). Опыт к.з. производят при пониженном напряжении на первичной обмотке трансформатора.

2 Включить тумблер ***SA3*** .

3 Установить переключателями напряжение на выходе ***ЛАТРа TV2*** примерно ***23 В***. Снять показание приборов ***PA2 ($I_{1н}$≈175мА*** при нажатой кнопке над прибором ***PA1), PV3 ($U_{1к.з.}$≈10В), PW1 ($P_{кз}$≈0,5 Вт)*** , ***PA1 (≈0,1А).***

4 Выключить тумблеры ***SA3*** и ***SA4***.

5 Вернуть переключатели ***ЛАТРа TV2*** в начальные положения «***0».***

6 Рассчитать параметры схемы замещения по показаниям приборов ***PW1, PV3, PA2***:

$$R_{\text{К}} = \frac{P_1}{I_{1\text{Н}}^2};\ Z_{\text{К}} = \frac{U_{1\text{К.З.}}}{I_{1\text{Н}}};\ X_{\text{К}} = \sqrt{(Z_{\text{К}}^2 - R_{\text{К}}^2)};$$

а также активные и реактивные сопротивления обмоток трансформатора:

$$R_1 = R'_2 = \frac{R_K}{2};\ X_1 = X'_2 = \frac{X_K}{2};\ R_2 = \frac{R'_2}{n^2};\ X_2 = \frac{X'_2}{n^2};$$

Изучение влияния характера нагрузки на внешнюю характеристику и к.п.д. трансформатора

1. Собрать схему, приведенную на ***рисунке 10.4***.

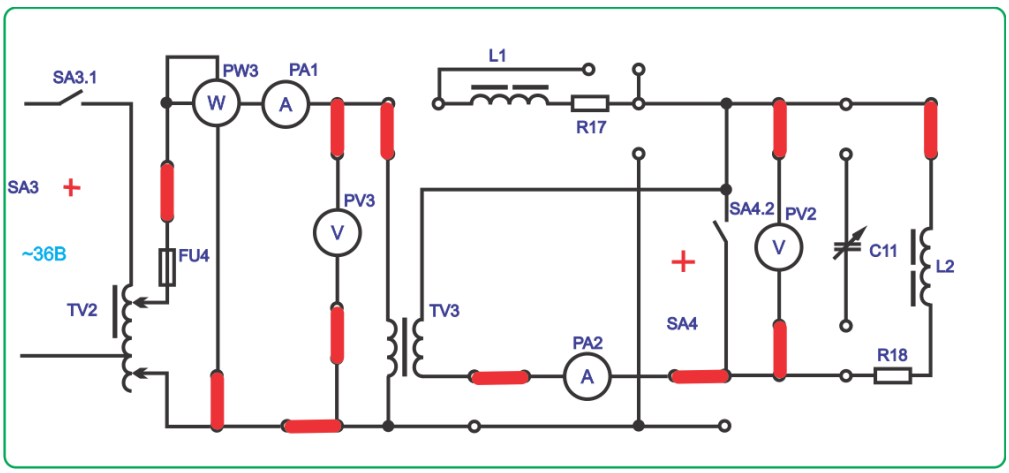


Рисунок 10.4

<u>ВНИМАНИЕ! Тумблер SA4 должен находиться в выключенном положении (рычажок – внизу).</u>

2. Установить питание ***ЛАТРа TV2*** - 36В (тумблер ***SA3*** устанавливается в верхнее положение – включено).

3. Снять параметры схемы при подключенной нагрузке ***L2+R18***: показания приборов ***PA1 (I_1), PV3 (U_1.), PW1+PW2 (P_1), PV2 (U_2), PA2(I_2)*** (показания снимаются при нажатой кнопке над прибором ***PA1***)

4 Для нагрузки ***R18, L2*** (**л.р. №5**) рассчитать потери напряжения, вторичное напряжение и к.п.д.:

- используя данные ***лабораторной работы №5*** определить ***cosφ*** нагрузки:

$$cos\varphi_{2\text{Н}} = \frac{R18}{Z_{L2}} \quad (\approx 0{,}3)$$

- определить к.п.д трансформатора и коэффициент загрузки трансформатора при подключении нагрузки ***R18+L2***:

$$\eta = \frac{\beta \cdot S_{\text{Н}} \cdot cos\varphi_{2\text{Н}}}{\beta \cdot S_{\text{Н}} \cdot cos\varphi_{2\text{Н}} + P_0 + \beta^2 \cdot P_{\text{К}}}$$

где $S_H = U_{1H} I_{1H} = U_{2H} I_{2H} = 3{,}5Bm$ - полная мощность трансформатора ***TV3***.

β - коэффициент загрузки трансформатора,

$$\beta = \frac{I_1}{I_{1H}} = \frac{I_2}{I_{2H}}$$

где

$$I_{2\text{Н}} = \frac{S_{\text{Н}}}{U_{2\text{Н}}};\ I_2 = \frac{U_{2\text{Н}}}{\sqrt{(R_{L2} + R_K)^2 + (X_{L2} + X_K)^2}}$$

$$\beta = \frac{I_2}{I_{2H}} = \frac{U_{2\text{Н}} \cdot U_{2\text{Н}}}{S_{\text{Н}} \cdot \sqrt{(R_{L2} + R_K)^2 + (X_{L2} + X_K)^2}}$$

- падение напряжения определяется из:

$$\Delta U_2\% = \beta \cdot \left(U_{k.a.} \cdot cos\varphi_2 + U_{k.p.} \cdot sin\varphi_2\right);$$

где

$$U_{k.a.} = \frac{I_{1H} \cdot R_K}{U_{1\text{Н}}} \cdot 100\% = \frac{P_K}{S_H} \cdot 100\%$$

$U_{k.a.}$ - активная составляющая напряжения короткого замыкания трансформатора;

$$U_{k.p.} = \frac{I_{1H} \cdot X_K}{U_{1\text{Н}}} \cdot 100\%$$

$U_{k.p.}$ - реактивная составляющая напряжения короткого замыкания трансформатора;

Вторичное напряжение на нагрузке должно составить:

$$U_2 = U_{2\text{Н}} \cdot \left(1 - \frac{\Delta U_2\%}{100\%}\right)$$

5 Выключить стенд в следующем порядке:

- выключить тумблер ***SA3;***
- выключить стенд автоматическим выключателем ***QF1;***
- вернуть переключатели ***ЛАТРа TV2*** в начальные положения «***0»;***
- убрать перемычки;
- убедиться, что все остальные переключатели - в начальном состоянии.

6 Результаты расчетов сверить с показаниями, полученными экспериментально.

Лабораторная работа №11
Исследование асинхронного трехфазного электродвигателя с короткозамкнутым ротором

Цель работы

- Изучение принципа действия трехфазного асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором.
- Изучение основных свойств характеристик электродвигателя.
- Построение механической характеристики электродвигателя *M = f(S)*.
- Построение рабочих характеристик электродвигателя

Паспортные данные исследуемого асинхронного двигателя:
Тип: УАД 062;
$P_Н$ = 40Вт; $P_{1потр}$=67Вт; $M_{ном}$=0,138Нм
$\eta_Н$ = 60 %; $\cos\varphi$ = 0,5; $n_Н$ = 2700 об/мин;
$I_Н$ = 0,25А; $U_П$ = 220В;

$$\lambda = \frac{M_К}{M_Н} = 1,5$$

$$\frac{M_П}{M_Н} = 1,5$$

$$\frac{I_П}{I_Н} = 6$$

Порядок выполнения лабораторной работы

1. Рассчитать по паспортным данным номинальный ток двигателя и номинальный момент.

- номинальный момент двигателя:

$$M_Н = 9,55\frac{P_Н}{n_Н} = 9,55\frac{40}{2700} = 0,141 \text{ Нм}$$

- потребляемая мощность:

$$P_{1ном}=3U_ф I_{1ф}\cos ф = 3*127*0,25*0,5=47Вт$$

2. Изучить и собрать схему испытания асинхронного двигателя. На схеме нагрузкой АД является генератор постоянного тока М2, якорь которого коммутируется транзисторным ключом ***VT7***, подключенным к широтно-импульсному модулятору ШИП. Тумблером ***SA16*** включается цепь возбуждения генератора ***M2***, тумблером ***SA19*** включают ШИП, ***SA18*** – измеритель скорости, кнопка ***SB3*** служит для пуска двигателя, кнопка ***SB4*** – для останова, переключателем ***SA17*** осуществляется переключение схемы соединения обмоток.

3. Собрать схему, приведенную на ***рисунке 11.1***.

4. Установить тумблер ***SA17*** в нижнее положение «***Y», р***езистор ***R43*** установить в положение ***"min".***

5. Тумблер ***SA21*** должен находиться в верхнем положении «***ВКЛ»***.

6. Включить стенд автоматическим выключателем ***QF1,*** нажать кнопку ***SB3.***

7. Подключить обмотку возбуждение нагрузочного генератора тумблером ***SA16***, ШИП - тумблером ***SA19*** и измеритель скорости тумблером ***SA18***. Сопротивлением ***R43*** установить потребляемую мощность ***P=47Вт***

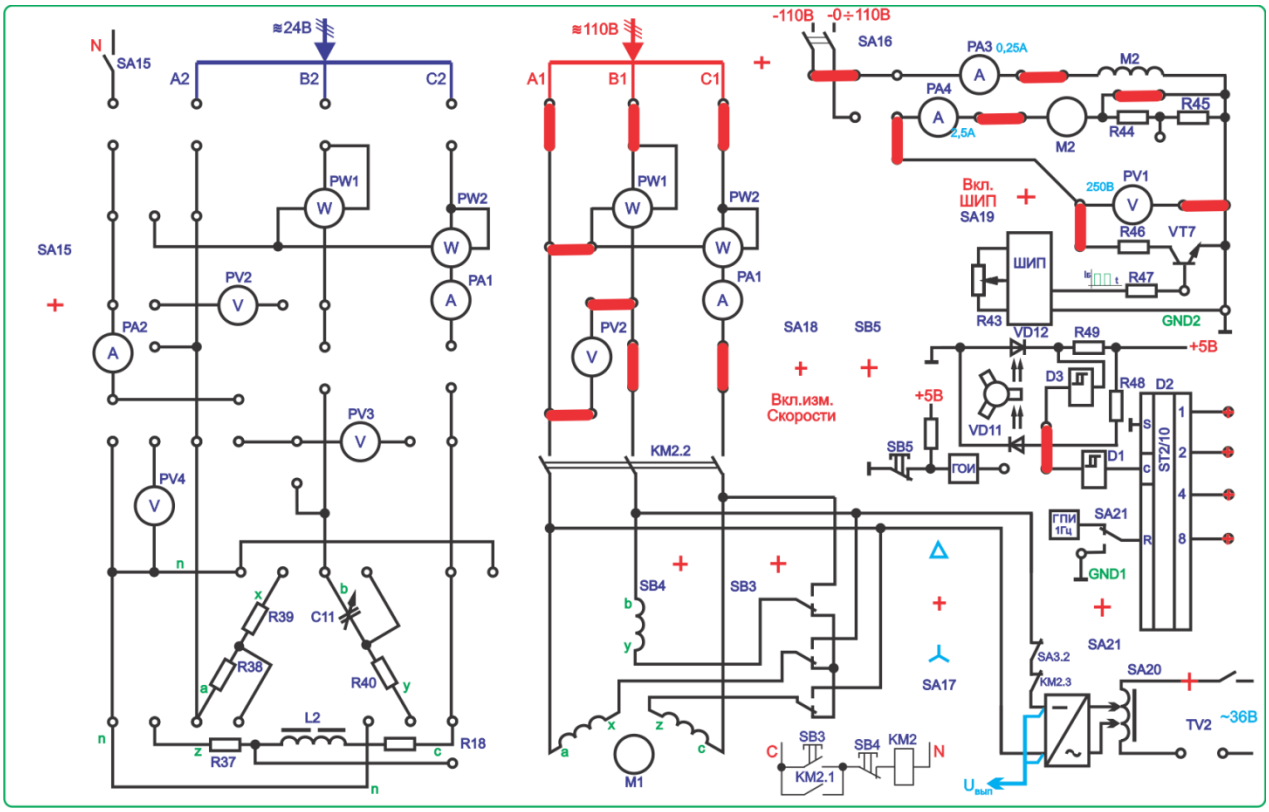


Рисунок 11

8. Измерить ток генератора ($I_я$) прибору ***PA4 (≈1А)*** и ток возбуждения ($I_в$) по прибору ***PA3*** (≈0,07А)

9. Вернуть рукоятку резистора ***R43*** в начальное положение ***“min”***, нажать ***SB4*** «Стоп».

10. Считая, что к валу АД приложена номинальная нагрузка для номинального режима $M_Н = M_0 + M_Г$ и $M_Г = C * I_{ЯГ}$, определить статический момент M_0 :

$$M_0 = M_{ном} - M_г$$

$$M_0 = 0{,}138 - 0{,}129 * 1А = 0{,}009 Нм$$

здесь M_0 (н*м) - статический момент нагрузки холостого хода;

$M_Г$ (н*м) – момент генератора постоянного тока;

$I_{ЯГ}$ (А) - ток якоря генератора постоянного тока (прибор ***PA4***);

$$C = \frac{M_{НГ}}{I_{ЯНГ}} = \frac{0{,}147}{0{,}8} = 0{,}129\text{,}$$

где $M_{НГ}$ =0,147Нм (**см. ЛРN°12**)– номинальный тормозной момент;

$I_{ЯНГ}$ =0,8А (**см. ЛРN°12**)– номинальный ток якоря генератора;

11. Включить SB3, увеличить ток якоря генератора резистором R43 по прибору PA1 до **0,03А** и снять показания приборов ***PW, $U_л$ (PV2), $I_я$ (PA4)***.

Увеличивая положение резистора ***R43*** снять пять значений по приборам ***PW, $U_л$ (PV2),***

$I_я$ (PA4 –ток якоря генератора) и ***PA1(*** ток фазы статора) до увеличения мощности ***PW*** до **100Вт.**

12. По результатам измерений построить:

- механическую характеристику ***M = f(S)***;

- две рабочих характеристики $\eta = f(P2)$ и $\cos\varphi_1 = f(P2)$.

13. Рассчитать механическую характеристику по формуле Клосса для номинального напряжения и сравнить с результатами эксперимента:

$$M = \frac{2 \cdot M_K}{S/S_K + S_K/S},$$

где $M_K = \lambda M_H$ - максимальный момент, развиваемый двигателем;

$\lambda = 1{,}5...2{,}5$ - коэффициент перегрузки двигателя;

$S_K = S_{\text{Н}} \cdot \left(\lambda + \sqrt{\lambda^2 - 1}\right)$ - критическое скольжение;

Формулы для расчета:

$$S = \frac{n_0 - n}{n_0}$$

где n_0 – синхронная частота вращения

$$n_0 = \frac{60 \cdot f}{\rho} = \frac{60 \cdot 50}{2} = 1500 \text{ Об/мин}$$

К.п.д. двигателя:

$$\eta = \frac{P2}{P1},$$

где **P2** - мощность на валу двигателя:

$$P2 = \frac{\pi \cdot n}{30} M$$

M - текущее значение момента на валу двигателя;

n - текущее значение частоты вращения двигателя;

P1 - мощность, потребляемая двигателем.

Коэффициент мощности двигателя:

$$\cos\varphi = \frac{P1}{S1},$$

где ***S1 = 3 Uф Iф*** - полная мощность двигателя;

14. Выключить стенд в следующем порядке:

- Выключить ***ШИП*** тумблером ***SA19*** (вниз)
- Выключить асинхронный двигатель, нажав на кнопку ***SB4***.
- Отключить обмотку возбуждения, выключив тумблер ***SA16.***
- Выключить стенд автоматическим выключателем ***QF1,*** вернуть рукоятку резистора ***R43*** в начальное положение ***"min".***
- убрать перемычки;
- убедиться, что все остальные переключатели - в начальном состоянии.

Лабораторная работа №12
Определение параметров и основных характеристик электродвигателя постоянного тока с независимым возбуждением

Цель работы

- Изучение конструкции и принципа действия ДПТ с независимым возбуждением.
- Изучение способов пуска, торможения и регулирования частоты вращения электродвигателя.
- Расчет и построение механических характеристик ДПТ.
- Построение рабочих характеристик электродвигателя.

Паспортные данные исследуемого двигателя постоянного тока:

Тип - СЛ-369,
Рн = 55 Вт,
Uн = 110 в,
Iян = 0,8 А,
Iвн = 0,1 А,
Мн = 0,147 Н М,
η = 0,55,
$n_н$ =3900 об/мин.

Основные теоретические соотношения

Момент рассчитывается по формуле:

$$\boldsymbol{M = C_M \cdot \Phi \cdot I_Я} \quad ,$$

где $\boldsymbol{C_M \cdot \Phi = \frac{M_Н}{I_{Я.Н.}}}$ - постоянная;

$M_Н$ – номинальный ток якоря ДПТ.

$C_М \cdot Ф$ – определять при номинальном токе возбуждения.

Уравнение механической характеристики:

$$\boldsymbol{n = \frac{U}{C_E \cdot \Phi_Н} - \frac{R_Я + R_{ДОБ}}{C_E \cdot C_M \cdot \Phi_Н^2} \cdot M}$$

где ***U*** - напряжение источника питания двигателя;

$Ф_Н$ – номинальное значение магнитного потока двигателя,

$R_Я$ – сопротивление обмотки якоря,

$R_{ДОБ}$ – сопротивление добавочного резистора в цепи якоря,

M - момент на валу двигателя,

C_E =0,1·C_M - конструктивная постоянная двигателя,

C_M - моментная постоянная двигателя,

$$\boldsymbol{C_E \cdot \Phi = \frac{U_Н - R_Я \cdot I_{Я.Н.}}{n_Н}}$$

К.П.Д. двигателя:

$$\eta = \frac{P2}{P1} = \frac{P2}{P2 + \Delta P} = \frac{P1 - \Delta P}{P1}$$

где ***P2*** - мощность на валу двигателя ,

P1 – мощность, потребляемая двигателем из сети ***P1 = U I = U $I_Я$ + U $I_В$;***

I – ток, потребляемый двигателем

ΔP - потери мощности в двигателе: $\Delta P = \Delta P_Я + \Delta P_В + \Delta P_М$;

где $\Delta P_Я = I^2_Я R_Я$;

$\Delta P_В = I^2_В R_В = U_В I_В$;

ΔPм - магнитные и механические потери, составляют несколько процентов от потребляемой мощности.

Сопротивление обмотки якоря:

$$R_Я = 0,5 \cdot (1 - \eta_Н) \cdot \frac{U_Н}{I_Н}$$

Порядок выполнения лабораторной работы.

1 Собрать схемы, приведенные на ***рисунках 12.1 и 12.2***.

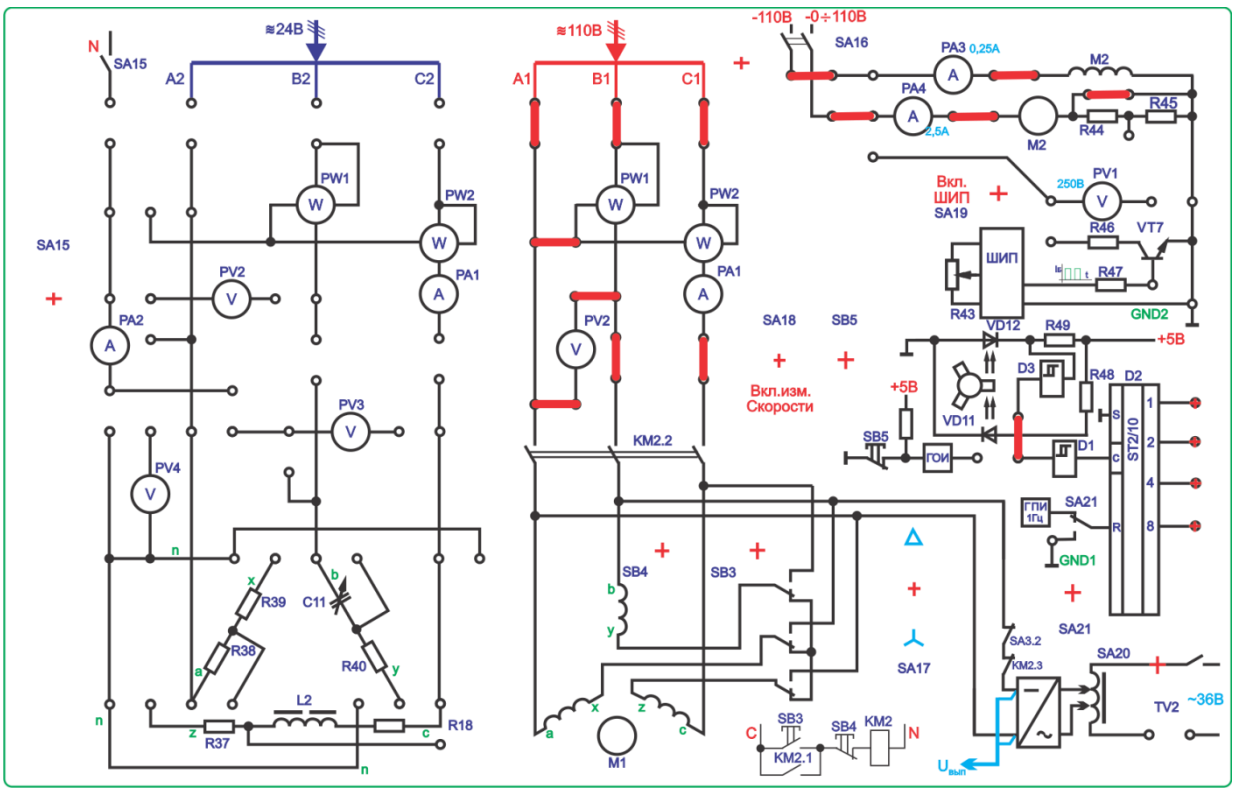


Рисунок 12.1

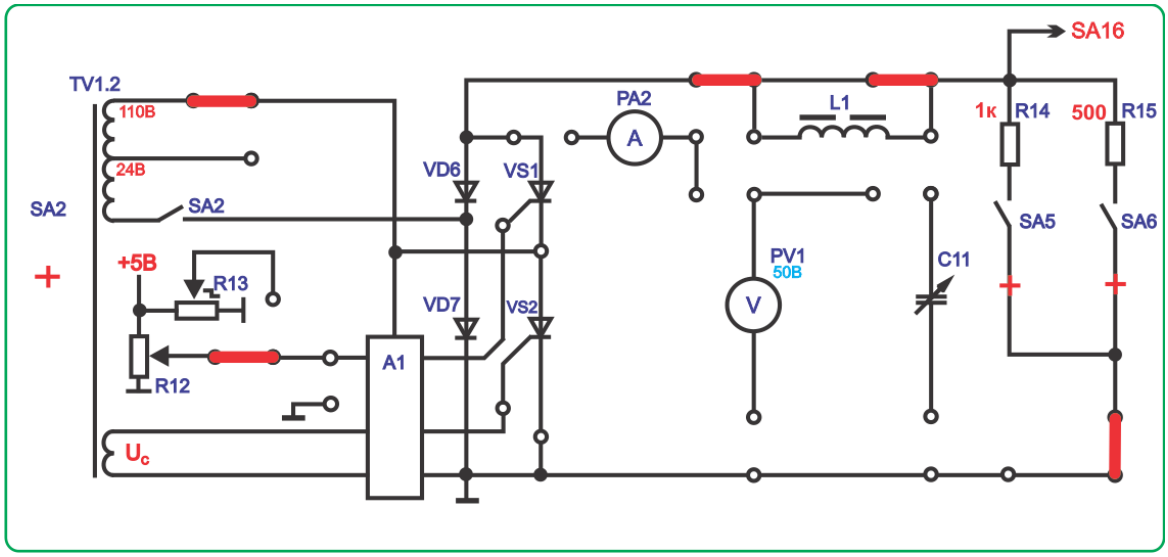


Рисунок 12.2

2 Установить тумблер ***SA17*** в нижнее положение ***Y.***

3 Тумблер ***SA21*** должен находиться в верхнем положении ***ВКЛ***.

4 Подключить резистор ***R14*** к управляемому выпрямителю тумблером ***SA5***.

5 Резистор ***R12*** установить в крайнее левое положение, переключатели ***ЛАТРа*** – в «0».

6 Включить стенд автоматическим выключателем ***QF1.***

7 Включить тумблер ***SA18*** (в верхнее положение ВКЛ) для включения измерителя скорости ***ИС***.

8 Для нагрузки используется асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором типа УАД 0,62 в режиме динамического торможения.

9 Подключить обмотку возбуждения и якорь к цепям питания при помощи тумблера ***SA16***.

10 Включить тумблеры ***SA2, SA3.***

11 Плавно вращая рукоятку резистора ***R12***, установить частоту вращения двигателя по прибору ***ИС 99%***).

12 Для нагрузки необходимо подключить ***ЛАТР TV2*** к статору асинхронного двигателя тумблером ***SA20***.

13 Снять показания приборов ***PV1 ($U_{вх\ уВ}$ =75В),PA3($I_В$), PA4($I_я$).***

14 Для нагрузки двигателя постоянно тока необходимо увеличивать ток динамического торможения асинхронного двигателя. Для этого необходимо постепенно увеличивать напряжение на выходе ***ЛАТРа TV2*** переключателями от ***10В до 50В*** через ***10В***. Последовательно снимать показания прибора ***PA4($I_я$)*** и частоту вращения по измерителю (в относительных единицах). **Внимание: «03» означает «103»).**

15 Значения занести в ***таблицу 12.1.***

Таблица 12.1- Естественная механическая характеристика

Опыт		Расчет		
n, %	Iя, А	nн, об/мин	М, Нм	η, %

16 Выключить тумблер ***SA2***, Переключатели вернуть в начальное положение. (При этом положение рукоятки резистора ***R12*** не менять!).

17 Выключить тумблер ***SA16***.

18 Построить естественную механическую характеристику.

19 Для снятия ***первой*** реостатной характеристики расшунтировать ***R44*** (убрать перемычку) и зашунтировать ***R45.***

20 Подключить обмотку возбуждения и якорь к цепям питания при помощи тумблера ***SA16***, включить тумблер ***SA2.***

21 Убедиться, что напряжение по прибору ***PV1=75В*** (при необходимости - откорректировать резистором ***R12)*** и увеличивая ЛАТРом нагрузку через каждые **10В** снять показания измерителя скорости и тока якоря ***(PA4).***

22 Значения занести в ***таблицу 12.2.***

Таблица 12.2- Реостатная механическая характеристика с R44.

Опыт		***Расчет***		
n, %	***Iя, А***	***nн, об/мин***	***М, Нм***	***η, %***

23 Выключить тумблер ***SA2***, переключатели вернуть в начальное положение. (При этом положение рукоятки резистора ***R12*** не менять!)

24 Выключить тумблер ***SA16***.

25 Для снятия ***второй*** реостатной характеристики расшунтировать ***R44 и R45*** (убрать перемычки).

26 Подключить обмотку возбуждения и якорь к цепям питания при помощи тумблера ***SA16***, включить тумблер ***SA2.***

27 Убедиться, что напряжение по прибору ***PV1=75В*** (при необходимости - откорректировать резистором ***R12)*** и увеличивая ЛАТРом нагрузку через каждые **10В** снять показания измерителя скорости и тока якоря ***(PA4).***

28 Значения занести в ***таблицу 12.3***.

Таблица 12.3- Реостатная механическая характеристика с (R44+R45)

Опыт		***Расчет***		
n, %	***Iя, А***	***nн, об/мин***	***М, Нм***	***η, %***

29 Выключить стенд в следующем порядке:

- выключить тумблеры ***SA2*** и ***SA20, SA16 (***вниз);
- выключить измеритель скорости тумблером ***SA18*** (вниз);
- выключить стенд автоматическим выключателем ***QF1***;
- вернуть рукоятку резистора ***R12*** в начальное положение ***“min”,*** убрать перемычки;

30 Рассчитать момент на валу и КПД двигателя при различных нагрузках на валу двигателя. Расчеты занести в ***таблицы 12.1, 12.2, 12.3***.

31 Построить реостатные механические характеристики двигателя по значениям, занесенным в таблицы ***12.2, 12.3***.

Лабораторная работа №13
Определение параметров и основных характеристик генератора постоянного тока с независимым возбуждением

Цель работы

- Изучение конструкции и принципа действия генератора постоянного тока с независимым возбуждением.
- Построение характеристик холостого хода и внешней характеристики генератора.

Паспортные данные исследуемого генератора постоянного тока (на базе двигателя):

Тип - СЛ-369, Рн = 55 Вт, Uн = 110 В,
Iян = 0,8 А, Iвн = 0,1 А, Мн = 0,147 Н М,
η = 0,55, $n_н$ =3900 об/мин.

Основные теоретические соотношения.

Уравнение электрического состояния (внешней характеристики) генератора:

$$U = E_Я - I_Я \cdot R_Я ,$$

где ***U*** - напряжение генератора,

$E_Я = C_E \cdot Ф \cdot n$,

Ф - магнитный поток обмотки возбуждения генератора,

n - частота вращения якоря,

Iя - ток якоря,

C_E - конструктивная постоянная генератора (**л.р. №12**);

К.П.Д. генератора:

$$\eta = \frac{U \cdot I_Я}{U \cdot I_Я + \Delta P_Я + R_Я \cdot I_Я^2 + \Delta P_М}$$

где ***ΔPм*** - магнитные и механические потери генератора, определяют для номинального режима и считают постоянными.

Порядок выполнения лабораторной работы

Снятие характеристики холостого хода

1 Собрать схемы, приведенные на ***рисунках 13.1*** и ***13.2. На*** **<u>схеме УВ вольтметр PV1 – не включать.</u>**

2 Установить тумблер ***SA17*** в нижнее положение ***Δ.***

3 Тумблер ***SA21*** должен находится в верхнем положении ***ВКЛ***.

4 Подключить резистор ***R14*** к управляемому выпрямителю тумблером ***SA5***.

5 Резисторы ***R12 и R43*** должны находиться в крайнем левом положении.

6 Включить стенд автоматическим выключателем ***QF1,***включить тумблер ***SA2.***

7 Включить тумблер ***SA18*** (в верхнее положение «***ВКЛ***») для включения измерителя скорости ***ИС*** (***SA19***- выключен)

8 Подключить обмотку возбуждения к цепям питания при помощи тумблера ***SA16***.

9 Нажать на кнопку ***SB3*** для подключения приводного асинхронного двигателя к сети через пускатель ***KM2***.

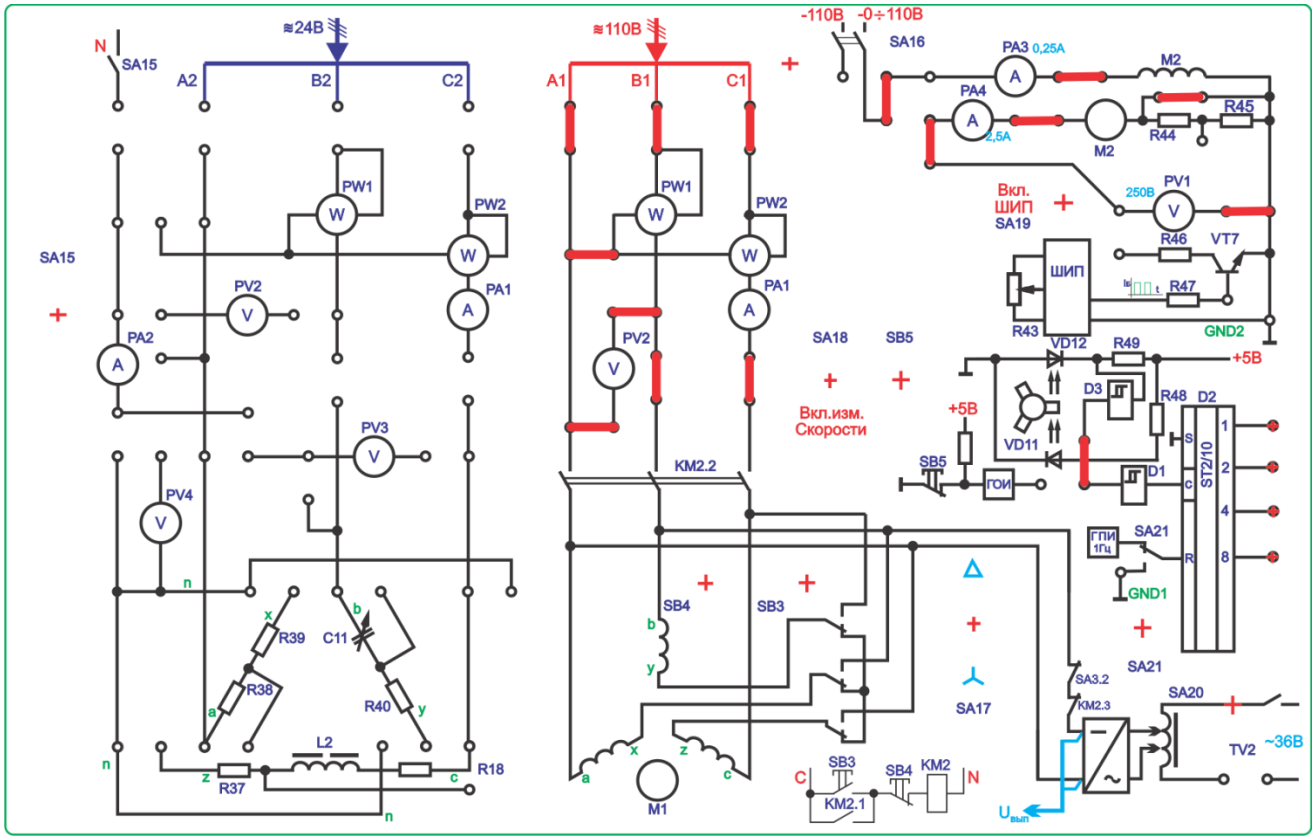


Рисунок 13.1

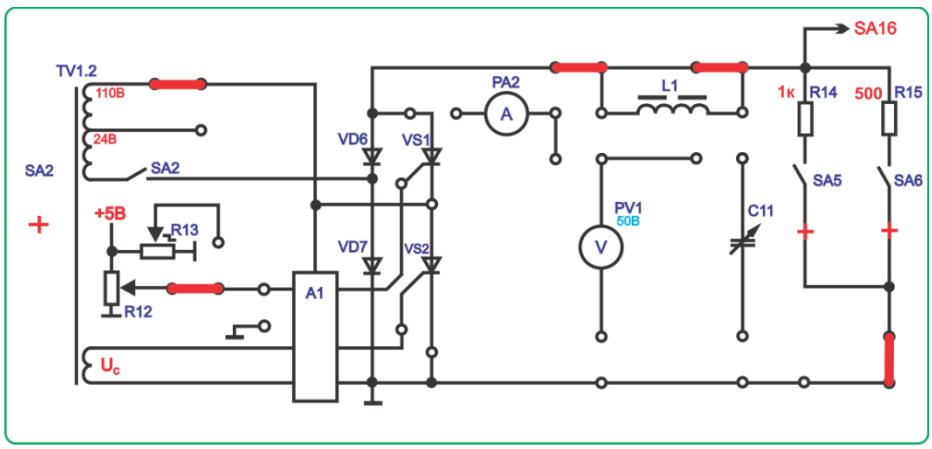


Рисунок 13.2

10 Плавно вращая рукоятку резистора ***R12*** задавать ток возбуждения по прибору ***PA3*** через ***0,025А до 0,1А***. Регистрируя показания приборов ***PA3 и PV1*** снять характеристику холостого хода, данные занести в ***таблицу 13.1***.

Таблица 13.1

Экспериментальные данные	
Iв, А	***E, В***

11 Вернуть рукоятку резистора ***R12*** в начальное положение, выключить тумблер ***SA2***.

12 Выключить асинхронный двигатель, нажав на кнопку ***SB4***.

13 Выключить тумблер ***SA16***.

Снятие внешней характеристики

1 Собрать схему по ***рисунку 13.3.***

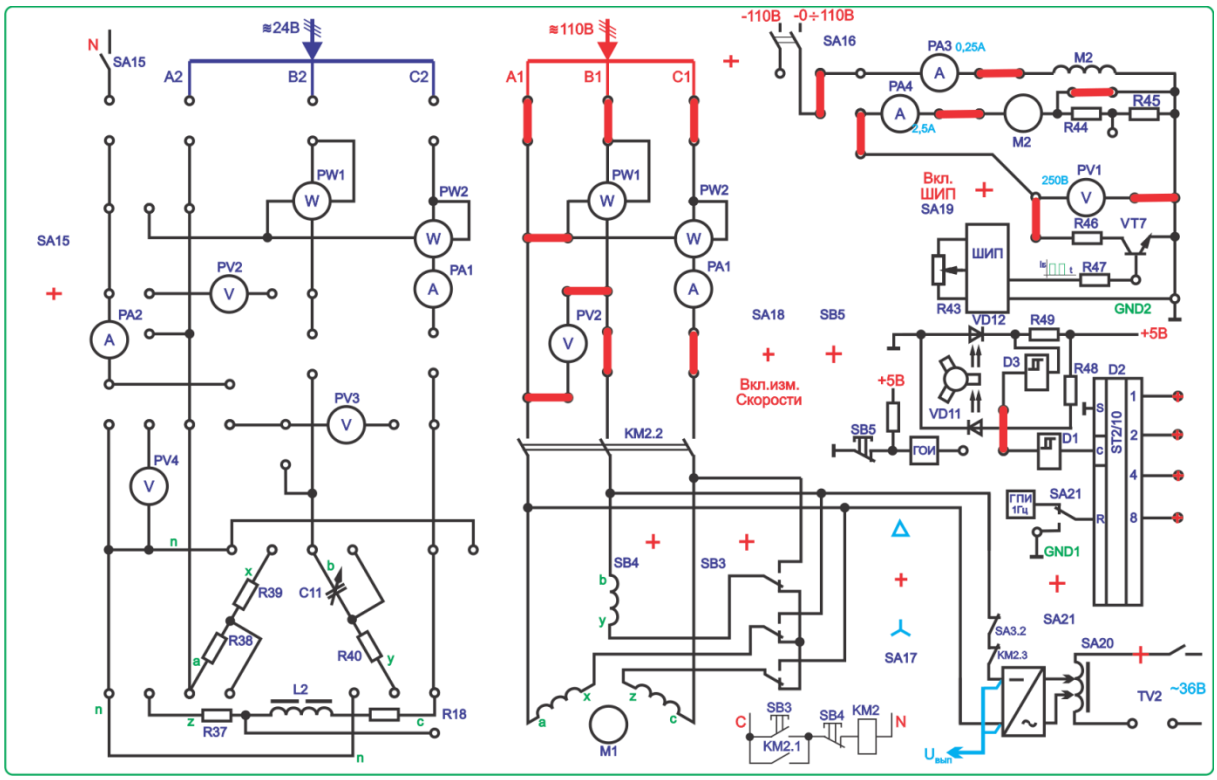


Рисунок 13.3

2 Включить тумблер ***SA16***.

3 Нажать на кнопку ***SB3*** для подключения приводного асинхронного двигателя к сети через пускатель ***KM2***.

4 Включить в качестве нагрузки для генератора ***ШИП*** тумблером ***SA19***.

5 Плавно вращая рукоятку резистора ***R43***, снять зависимость напряжения на генераторе (по прибору ***PV1***) от тока нагрузки (по прибору ***PA4***) через каждые 0,25А до 1А, данные занести в ***таблицу 13.2.***

Таблица 13.2

Iв (PA3), А	***Iя (PA4), А***	***U(PV1), В***

6 Выключить стенд в следующем порядке:

- Выключить асинхронный двигатель, нажав на кнопку ***SB4;***
- Выключить тумблеры ***SA16 и SA19*** (вниз);
- Вернуть рукоятку резистора ***R43*** в начальное положение ***“min”;***
- Выключить тумблеры ***SA5, SA21*** и тумблер измерителя скорости ***SA18*** (вниз);
- Выключить стенд автоматическим выключателем ***QF1,*** убрать перемычки;

7 По результатам измерений вычислить значения К.П.Д. генератора.

8 Построить зависимость $\eta = f(I_я)$.

9 Построить характеристики холостого хода $E_д = f(I_в)$ и внешнюю характеристику $U_н = f(I_н)$.

Лабораторная работа № 14
Исследование процесса зарядки конденсатора от источника постоянного напряжения при ограничении тока с помощью резистора

Цель работы

- Изучение процесса изменения напряжения на конденсаторе при его зарядке от источника постоянного напряжения.
- Закрепление навыков измерения напряжения компенсационным методом.
- Изучение практического применения выбора параметров RC-цепи для работы реле времени на биполярных транзисторах.

Основные теоретические соотношения

Для выполнения лабораторной работы собирается схема, представленная на рисунке 14.1.

Время заряда конденсатора до срабатывания реле регулируется с помощью переключателя ***SA10***, а также изменением величины постоянной времени $\tau = R1*C12$ цепи зарядки конденсатора /С12=220мкф/ с помощью декадного магазина сопротивлений ***R1***.

Запуск реле времени осуществляется переключателем ***SA8.*** О срабатывании реле сигнализирует светодиод ***VD9***. Время срабатывания реле фиксируется электронным секундомером, запуск которого осуществляется переключателем ***SA8***, а остановка отсчета осуществляется размыканием контактов ***K1*** электромагнитного реле ***K1.***

Делитель ***R28 – R33*** рассчитан таким образом, что реле, включенное в цепь коллектора транзистора ***VT4,*** срабатывает в зависимости от положения переключателя ***SA10*** при ***1·Uоп, 2·Uоп, 3·Uоп, 4·Uоп, 4,7·Uоп, 5·Uоп*** в Вольтах. Таким образом, напряжение на емкости определяют как:

$$U_C = N \cdot U_{ОП} + 0{,}6В,$$

где ***N = 1; 2; 3; 4; 4,7; 5*** - номер положения переключателя ***SA10***;

$U_{ОП} = 4В$.

Транзисторы ***VT5, VT6*** выполняют роль тиристора, который открывается, когда на базе ***VT4*** опорное напряжение $U_{ОП} = U_{СТ} + 1{,}2В$, и шунтирует стабилитрон, в результате ток эмиттера ***VT4*** скачком возрастает – срабатывает реле ***KV***.

По результатам измерений строится график изменения напряжения на конденсаторе ***Uc = f(t).***

При подключении конденсатора ***C1*** к источнику питания (***рисунок 14.1***) $U_{ПИТ} = 24В$ закон изменения напряжения на ***C1*** получают решая дифференциальное уравнение вида:

$$U_{\text{ПИТ}} = R \cdot C \cdot \frac{dU_C}{dt} + U_C$$

Решение имеет свободную $A = e^{-t/\tau}$ и вынужденную $U_C = U_{ПИТ}$ составляющие.

Окончательно

$$U_C = U_{\text{ПИТ}} \cdot (1 - e^{-t/\tau})$$

где $\tau = R1 \cdot C12$.

$A = -U_{ПИТ}$ – постоянная интегрирования, определяется из начальных условий: U_C до коммутации равно U_C после коммутации и равно 0.

Напряжение на эмиттере транзистора ***VT3*** определяют:

$$U_{ЭVT3} = U_C - U_{БЭVT3} = U_C - 0{,}6В.$$

Порядок выполнения лабораторной работы

Для заданного преподавателем значения постоянной времени цепи τ (значение сопротивления ***R1***) снять зависимость напряжения от времени заряда конденсатора.

1 Собрать схему, приведенную на ***рисунке 14.1.***

2 Включить стенд автоматическим выключателем ***QF1***

3 Установить заданное преподавателем сопротивление ***R1***.

4 Тумблером ***SA30*** включить секундомер.

5 Сбросить значение секундомера в нулевые показания кнопкой ***SB6***.

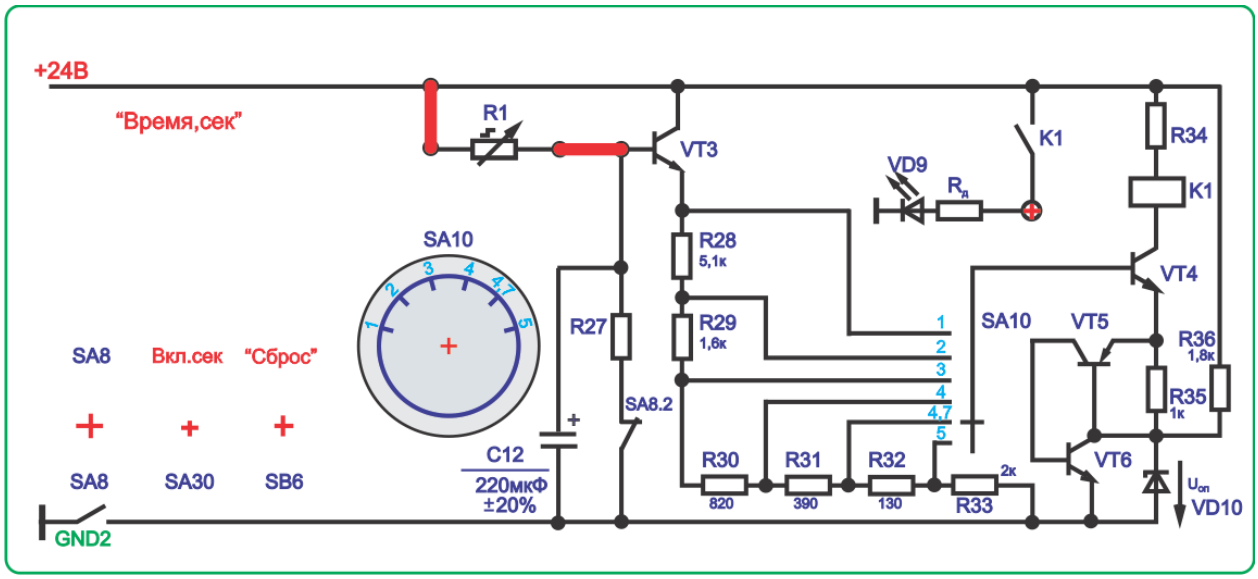


Рисунок 14.1

6 Провести первый опыт заряда конденсатора при положении ***«1»*** переключателя ***SA10***. Для этого, переключить тумблер ***SA8*** в верхнее положение. Когда засветится светодиод ***VD9***, записать показания секундомера в ***таблицу 14.1.***

7 Выключить тумблер ***SA8*** вниз.

8 Сбросить показания секундомера кнопкой ***SB6***.

9 Перевести тумблер ***SA10*** в положение ***«2».***

10 Провести остальные опыты аналогично ***пунктам 7 – 9*** для всех остальных положений переключателя ***SA10***.

11 Выключить стенд в следующем порядке:

- Выключить тумблер ***SA8***
- Тумблер ***SA10*** перевести в начальное положение ***«1»***
- Выключить секундомер тумблером ***SA30*** вниз
- Выключить стенд автоматическим выключателем ***QF1***.
- Вернуть все переключатели резистора ***R1*** в начальные положения ***«0»***.
- убрать перемычки;
- убедиться, что все остальные переключатели - в начальном состоянии.

12 Для полученных значений ***t*** рассчитать напряжения на конденсаторе и сравнить с экспериментальными данными. Данные расчетов занести в ***таблицу 14.1***.

13 По результатам измерений и расчетов построить график изменения напряжения на конденсаторе ***Uc = f(t).***

14 Воспользовавшись экспериментальной кривой заряда ***C12*** определить постоянную времени τ и сравнить с расчетным значением τ ***= R1*C12.***

Таблица 14.1

	Расчет R1=5 кОм		***опыт***
A (SA10)	***t, сек***	***Uc, В***	***t, сек***
1	0,268617	5,2	
2	0,577293	9,8	
3	1,00792	14,4	
4	1,725478	19	
4,7	2,861585	22,22	
5	4,503779	23,6	

Лабораторная работа №15
Исследование схемы пуска асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором

Цель работы

- Изучение схемы прямого пуска асинхронного двигателя
- Изучение способов снижения пускового тока асинхронного двигателя.

Основные теоретические соотношения

Для пуска асинхронного двигателя наиболее часто используются релейно-контакторные схемы управления. Они позволяют осуществить автоматический асинхронный пуск, изменение частоты вращения, останов, реверсирование, торможение и защиту двигателя. Как правило, силовая цепь коммутируется с помощью магнитного пускателя, а схема управления строится на основе всевозможных реле (напряжения, тока, времени, тепловых, контроля скорости и т.д.), контакты которых слаботочные.

Важным вопросом при пуске асинхронного двигателя является ограничение пускового тока, в связи с тем, что при прямом пуске кратность пускового тока высока, примерно 5,5 – 7.

На практике, для снижения пускового тока АД его обмотки кратковременно соединяют звездой.

Переключение с треугольника на звезду и обратно осуществляют специальным переключателем.

Такое переключение не производят, если обмотки АД соединены звездой: их номинальное линейное напряжение 380В.

Пусковой момент АД не велик, поэтому пуск обычно производят при отключенной нагрузке.

Порядок выполнения лабораторной работы

1 Изучить схему на ***рисунке 15.1***. Пояснить назначение кнопок ***SB3, SB4***, контакта ***KM2.1***.
2 Собрать схему пуска асинхронного двигателя по ***рисунку 15.1.***
3 Включить стенд автоматическим выключателем ***QF1*** и установить тумблер ***SA17*** в нижнее положение ***Y.***
4 Запустить двигатель нажатием на кнопку ***SB3*** и измерить пусковой ток прибором ***PA1.***
5 После разгона двигателя выключить его, нажав на кнопку ***SB4.***
6 Перевести тумблер ***SA17*** в верхнее положение ***Δ.***
7 Запустить двигатель нажатием на кнопку ***SB3***, определив при этом пусковой ток при соединении обмоток ***«треугольник».***
8 Перевести тумблер ***SA17*** в верхнее положение ***Y*** и запустить двигатель нажатием на кнопку ***SB3***.
9 После разгона быстро перевести тумблер ***SA17*** в верхнее положение ***Δ***, зафиксировав при этом бросок тока. Сравнить условия пуска АД по схеме ***«треугольник»*** с пуском при переключении обмоток со ***«звезды»*** на ***«треугольник».***

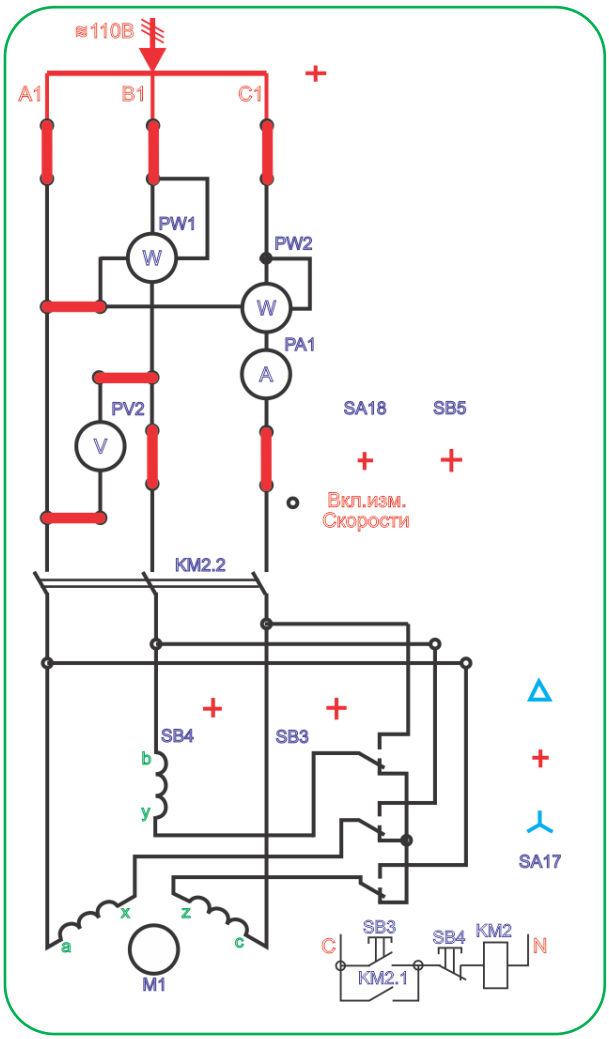


Рисунок 15.1

10 Выключить стенд в следующем порядке:

- Выключить стенд автоматическим выключателем ***QF1;***
- убрать перемычки;
- убедиться, что все остальные переключатели - в начальном состоянии.

Лабораторная работа №16
Однокаскадный транзисторный усилитель

Цель работы:

- Ознакомление с устройством биполярных транзисторов и их свойствами.
- Исследование работы усилителя с общим эмиттером.

Основные теоретические соотношения.

В качестве исследуемого транзистора используется ***КТ315Г*** типа ***N-P-N*** с параметрами:

Iк max = 100mA,
Pк max = 150 mBm,
Uкэ = 35B,
Uкб max = 35B,
Uэб max = 6B,
f21 = 100 МГц,
h21э = 50-350,
h11э = Uкэ нас = 0,4B.

Элементы на схеме имеют следующие параметры:
C2=10 мкФ, R5=75 кОм, R7=13 кОм, R8=2 кОм, C8=22 мкФ.

Транзистор - полупроводниковый элемент с тремя электродами, который служит для усиления или переключения сигнала.

Транзистор состоит из двух противоположно включенных диодов, которые обладают одним общим *n*- или *p*-слоем. Электрод, связанный с ним называют базой Б. Два других электрода называются эмиттером Э и коллектором К, рисунок 16.1.

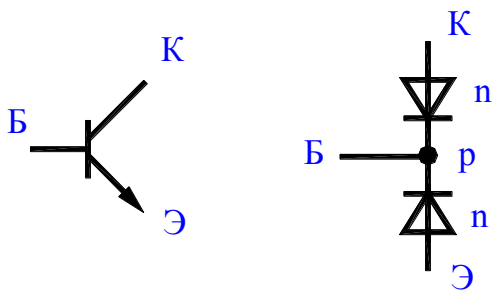


Рисунок 16.1

Режимы транзистора подробно описываются с помощью семейства его характеристик

Основная особенность транзистора состоит в том, что коллекторный ток $I_К$ является кратным базовому току $I_Б$. Отношение их изменений называют коэффициентом усиления по току.

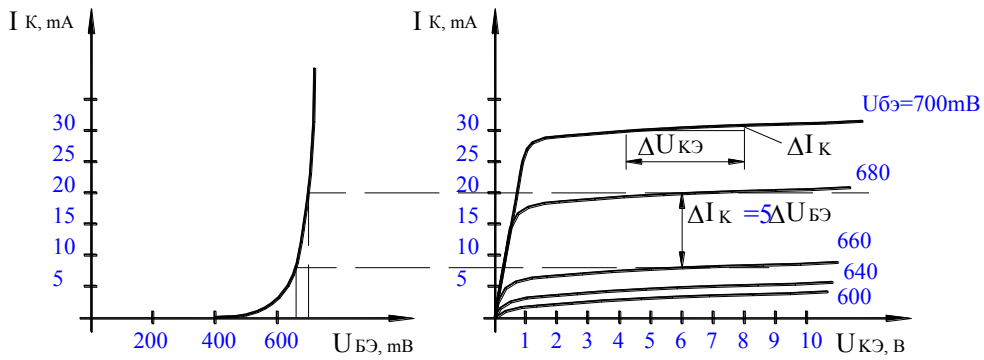


Рисунок 16.2

$$h_{FE} = \frac{\Delta I_K}{\Delta I_B}$$

Второй особенностью является тот факт, что коллекторный ток мало изменяется после достижения $U_{КЭ}$ определённого значения.

Третьей особенностью транзистора является то, что малого изменения входного напряжения оказывается достаточно для того, чтобы вызвать относительно большое изменение коллекторного тока. Изменение коллекторного тока ***Iк*** в зависимости от ***Uбэ*** характеризуется крутизной ***S***:

$$S = \frac{\Delta I_К}{\Delta U_{БЭ}}, U_{КЭ} = const$$

Учитывая, что передаточная функция транзистора имеет вид

$$I = I_S \cdot (T, U_{КЭ}) \cdot e^{U_{БЭ}/U_T},$$

крутизну можно определить:

$$S = \frac{I_К}{U_T}$$

где I_S - обратный ток,

T - температура перехода,

U_T - термический потенциал, при комнатной температуре равен ***25,5 mB***.

Зависимость коллекторного тока от напряжения коллектор-эмиттер характеризуется дифференциальным выходным сопротивлением

$$r_{КЭ} = \frac{\Delta U_{КЭ}}{\Delta I_К}$$

Зависимость тока базы от напряжения базы характеризуется дифференциальным входным сопротивлением

$$r_{БЭ} = \frac{\Delta U_{БЭ}}{\Delta I_Б} = \frac{h_{FE}}{S}$$

Кроме рассмотренных выше параметров транзистор характеризуется максимальным током коллектора $I_{КМАХ}$, максимальным напряжением коллектор-эмиттер $U_{КЭМАХ}$, максимальным напряжением база-эмиттер $U_{БЭМАХ}$, максимальным напряжением коллектор-база $U_{КБМАХ}$ и граничной частотой $f_{ГР}$.

Имеются три основные схемы включения транзистора в усилительные цепи. В зависимости от того, присоединён ли эмиттер, коллектор или база к общей точке, различают соответственно схемы с общим эмиттером, коллектором или базой. Рассмотрим схему с общим эмиттером, ***рисунок 16.3***.

Для анализа схемы с общим эмиттером приложим к ней входное напряжение $U_{ВХ} = 0{,}6В$ (для кремниевых транзисторов) такое, чтобы через коллектор протекал ток. Если теперь входное напряжение повысить на некоторую величину $\Delta U_{ВХ}$, то коллекторный ток увеличится в соответствии с выражением:

$$\Delta I_К = S \cdot \Delta U_{ВХ}$$

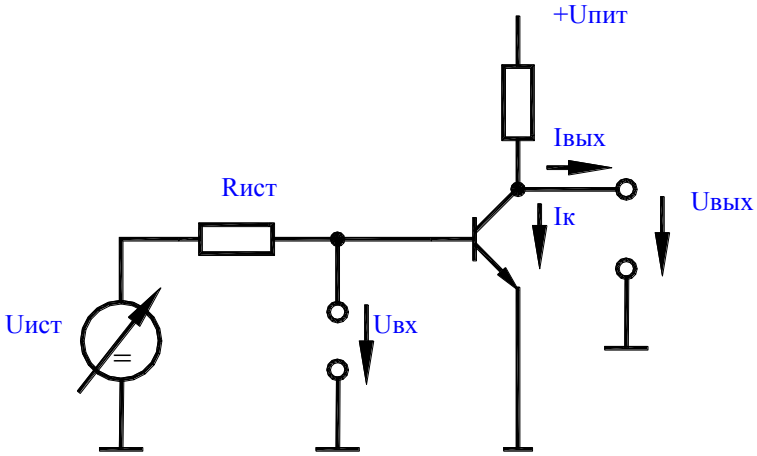


Рисунок 16.3

Так как коллекторный ток протекает через сопротивление $R_К$, то падение напряжения на $R_К$ тоже повышается и выходное напряжение $U_{ВЫХ}$ возрастает на величину

$$\Delta U_{ВЫХ} = -\Delta I_К \cdot R_К = -S \cdot R_К \cdot \Delta U_{ВХ}$$

Таким образом, схема обеспечивает коэффициент усиления по напряжению

$$K_U = \frac{\Delta U_{ВЫХ}}{\Delta U_{ВХ}} = -S \cdot R_К$$

Входное сопротивление такой схемы равно входному сопротивлению транзистора

$$r_{БЭ} = \frac{\Delta U_{БЭ}}{\Delta I_Б} = \frac{h_{FE}}{S} = h_{FE} \cdot \frac{U_T}{I_К}$$

Выходное сопротивление схемы определяют как сопротивление параллельно соединённых $R_К$ и $r_{КЭ}$

$$R_{ВЫХ} = \frac{\Delta U_{ВЫХ}}{\Delta I_{ВЫХ}} = \frac{R_К}{r_{КЭ}}$$

Рассмотренная схема имеет два недостатка. Первый – нелинейные искажения, второй – нестабильность рабочей точки.

Для уменьшения обоих недостатков используют отрицательную обратную связь. При этом часть выходного сигнала подаётся обратно на вход, с тем, чтобы противодействовать входному сигналу. Вследствие этого уменьшается усиление, однако с помощью отрицательной обратной связи можно обеспечить, чтобы усиление в основном определялось соотношением омических сопротивлений и практически не зависело от нелинейной передаточной характеристики транзистора.

В схеме, изображенной на ***рисунке 16.4***, отрицательная обратная связь реализована с помощью введённого в эмиттерную цепь сопротивления $R_Э$. В этом случае коэффициент усиления по напряжению определяется как:

$$K_U = \frac{\Delta U_{ВЫХ}}{\Delta U_{ВХ}} = \frac{-R_К}{R_Э}$$

Как видим, в последнее выражение не входят параметры транзистора, зависящие от тока.

Входное сопротивление такой схемы можно определить

$$r_{ВХ} = h_{FE} \cdot (S + R_Э)$$

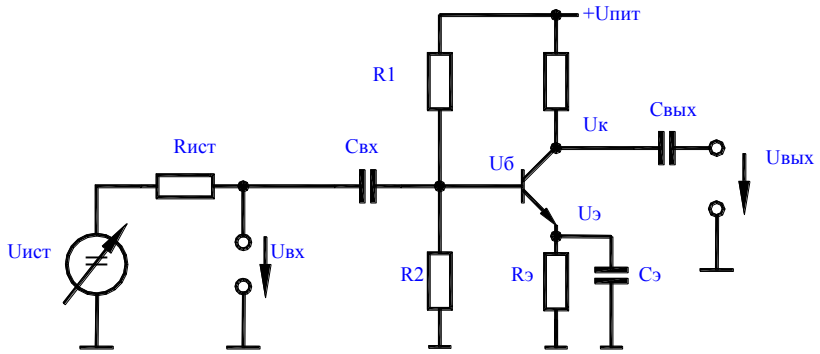


Рисунок 16.4

Вследствие отрицательной обратной связи по току выходное сопротивление растёт незначительно и в случае глубокой отрицательной обратной связи стремится к $R_К$.

Рабочая точка в схеме с общим эмиттером, как правило, задаётся делителем напряжения, ***рисунок 16.4,*** и $R_Э$. При расчёте последнего каскада руководствуются следующими соображениями:

- во-первых, схема не должна шунтировать источник сигнала. Для этого ток коллектора выбирают таким, чтобы параллельное соединение $r_{БЭ} = h_{FE} \cdot \frac{U_T}{I_К}$, ***R1, R2*** было значительно больше $r_{УСТ}$;

- во-вторых, сопротивление $r_{БЭ}$ не должно шунтировать делитель ***R1, R2***, т.е. сопротивление параллельного соединения ***R1, R2*** должно быть значительно меньше $r_{БЭ}$;

- в третьих, стабильность рабочей точки тем лучше, чем больше падение постоянного напряжения на $R_Э$, так как в этом случае изменение $U_{БЭ}$ остаётся меньше $U_Э$ и, следовательно, изменение коллекторного тока будет незначительным. При стандартном дрейфе от температуры напряжения $U_{БЭ}$ ***2мВ/К*** относительный дрейф напряжения на эмиттере $U_Э$, а значит и тока коллектора составит ***2мВ/$U_Э$***. Например, при $U_Э$ ***= 2В*** дрейф тока коллектора будет не более ***0,1%***;

- в четвёртых, при установке потенциала коллектора $U_К$ необходимо следить за тем, чтобы напряжение коллектор-эмиттер транзистора во время его работы не падало до напряжения насыщения: $U_{КЭн}$ ***= 0,3В***.

С другой стороны, потенциал коллектора при отсутствии сигнала нельзя выбирать очень большим так как падение напряжения на $R_К$ и коэффициент усиления по

напряжению будут малым. Поэтому, если положить, что выходной сигнал должен изменяться в пределах $\Delta U_{ВЫХ}$ для напряжения покоя на коллекторе получим:

$$U_К = U_Э + U_{КЭН} + |\Delta U_{ВЫХ}|$$

В соответствии с этими соображениями:

$$R_Э = U_Э / I_К;$$
$$R_К = (U_{ПИТ} - U_К) / I_К;$$
$$R1 = (Uпит - U_Б) / (I_{ДЕЛ} - I_Б);$$
$$R2 = U_Б / I_{ДЕЛ}$$

Здесь считаем:

$$U_Б = U_Э + U_{БЭ},$$
$$I_{ДЕЛ} = 10 * I_Б,$$
$$I_Б = I_К / h_{FE}.$$

Ёмкости $C_{ВХ}$, $C_{ВЫХ}$ в данной схеме являются разделительными. Ёмкость $C_Э$ предназначена для шунтирования $R_Э$ по переменному току. Последнее позволяет при частотах входного сигнала больше $f_{ГР} = S/(2\pi C_Э)$ обеспечить максимальный коэффициент усиления по напряжению $S \cdot R_К$. Режим покоя при этом задан сопротивлением $R_Э$.

Порядок выполнения лабораторной работы

1 Собрать схему по ***рисунку 16.1***

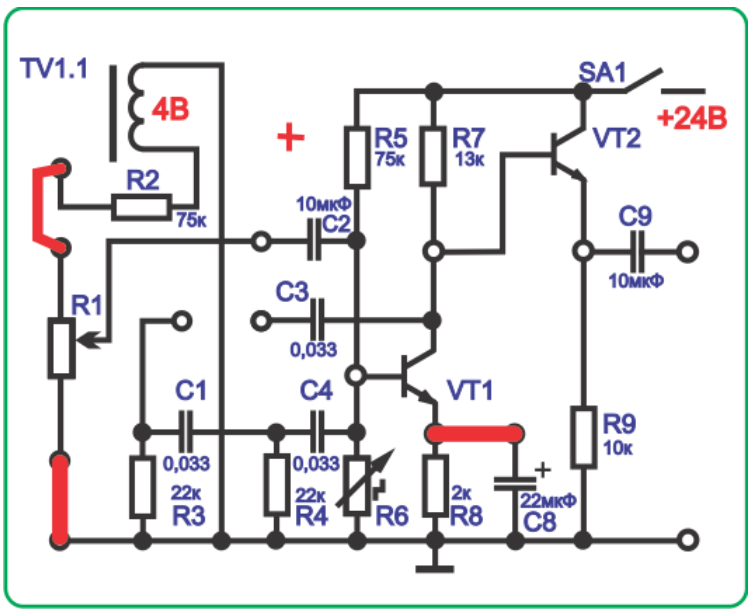


Рисунок 16.1

2 Перед включением стенда убедиться, что все переключатели находятся в начальном положении (выключены).

3 Включить стенд автоматическим выключателем ***QF1***

4 Включить тумблер ***SA1***

5 При разомкнутой перемычке между ***R1*** и ***R2*** помощью резистора ***R6*** выставить на коллекторе ***VT1*** половину напряжения питания (***24/2=12В)*** или напряжение, рассчитанное в соответствии с методическими указаниями.

6 Установить перемычку между ***R1*** и ***R2,*** ёмкость ***C8*** - отсоединена и, изменяя величину ***R1,*** снять зависимость $U_{вых} = f(U_{вх})$. Входное напряжение измерять мультиметром. Используя параметры схемы рассчитать коэффициент усиления по напряжению и сравнить с экспериментальным.

7 Зашунтировать ***R8*** конденсатором ***C8*** установив перемычку и снять зависимость $U_{вых} = f(U_{вх})$. Используя параметры схемы рассчитать коэффициент усиления по напряжению для переменного сигнала и сравнить с экспериментальным.

8 Выключить тумблер ***SA1***.

9 Выключить стенд в следующем порядке*:*

- выключить тумблер ***SA1*** вниз;
- выключить стенд автоматическим выключателем ***QF1***;
- убрать перемычки;
- убедиться, что все остальные переключатели - в начальном состоянии.

Лабораторная работа №17
Исследование двухкаскадных усилителей с непосредственной связью

Цель работы

- Изучение схемы с общим коллектором.
- Изучение основ построения многокаскадных усилителей.

Для выполнения лабораторной работы собирается схема, представленная на рисунке 17.3. В качестве исследуемого транзистора ***VT2*** используется ***КТ315Г*** типа N-P-N с параметрами:

Iк max = 100mA,
Pк max = 150 mBm,
Uкэ = 35B,
Uкб max = 35B,
Uэб max = 6B,
f21 = 100 МГц,
h21э = 50-350,
h11э = Uкэ нас = 0,4B,
Резистор R9 = 10 кОм.

Основные теоретические сведения

При разработке многокаскадных транзисторных схем одной из главных задач является необходимость согласования каскадов. Схемы нужно согласовать по уровням входных и выходных сигналов и по уровню входных и выходных сопротивлений. Последнее означает, что последующие каскады не должны шунтировать предыдущие.

Часто роль каскада согласующего большое сопротивление источника сигнала и малое сопротивление нагрузки выполняет схема с общим коллектором или эмиттерный повторитель ***рисунок 17.1***.

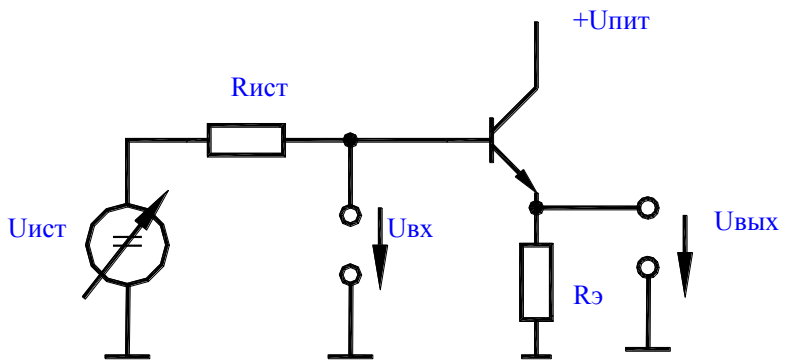


Рисунок 17.1

Принцип работы схемы с общим коллектором состоит в следующем. Если к базе приложить входное напряжение $U_{ВХ}$ большее чем **0,6В** (для кремниевых транзисторов), то протекает коллекторный ток, который вызывает падение напряжения на $R_Э$. Причём,

$$U_{ВЫХ} = U_{ВХ} - 0{,}6В.$$

Поскольку $U_{БЭ}$ при изменении тока коллектора меняется незначительно, выходное напряжение повторяет входное, и коэффициент усиления по напряжению равен $K_U = 1$.

Входное сопротивление эмиттерного повторителя не отличается от входного сопротивления схемы с общим эмиттером с отрицательной обратной связью по току:

$$R_{ВХ} = \beta \cdot \left(\frac{1}{S} + R_Э\right) = \beta \cdot R_Э$$

Выходное сопротивление определяется как сопротивление параллельно соединённых $\frac{1}{S} + \frac{R_{ИСТ}}{\beta}$ и ***Rэ.***

Очевидно, что входное сопротивление во много раз больше выходного.

Установка рабочей точки производится так же, как и в схеме с общим эмиттером и отрицательной обратной связью по току. Для выбора потенциала эмиттера имеется больше возможностей, так как потенциал коллектора не зависит от управляющего сигнала и равен ***Uпит***. Благодаря этому имеется возможность простой гальванической связи эмиттерного повторителя с выходом предыдущего каскада, как показано на ***рисунке. 17.2.***

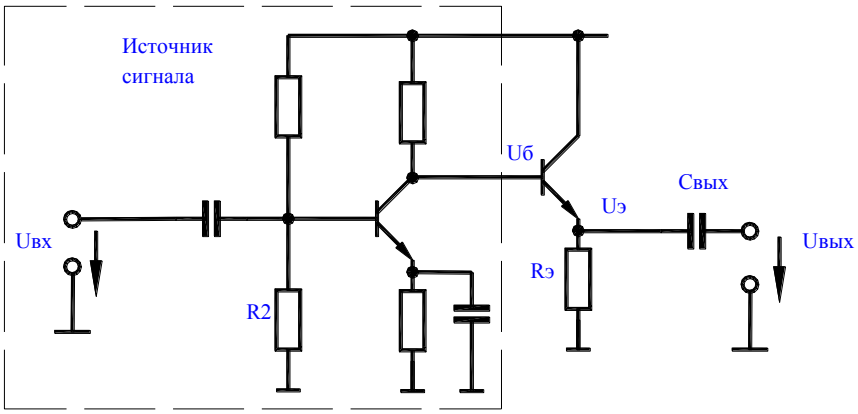


Рисунок. 17.2

Порядок выполнения лабораторной работы

1. Рассчитать входное сопротивление схемы с общим коллектором используя параметры элементов.
2. Убедиться, что входное сопротивление эмиттерного повторителя значительно больше выходного сопротивления схемы с общим эмиттером на транзисторе ***VT1.***
3. Собрать схему по ***рисунку 17.3***.
4. Перед включением стенда убедиться, что все переключатели находятся в начальном положении (выключены);
5. Включить стенд автоматическим выключателем ***QF1;***
6. Включить тумблер ***SA1***.

7 С помощью резистора ***R6*** выставить на коллекторе ***VT1*** половину напряжения питания ***24В/2=12В*** (измеряется дополнительным осциллографом). Установить резистором ***R1*** (делитель ***R1 - R2***) ***ΔUвых*** первого каскада примерно равным ***Uпит/2 =24В/2=12В.***

.

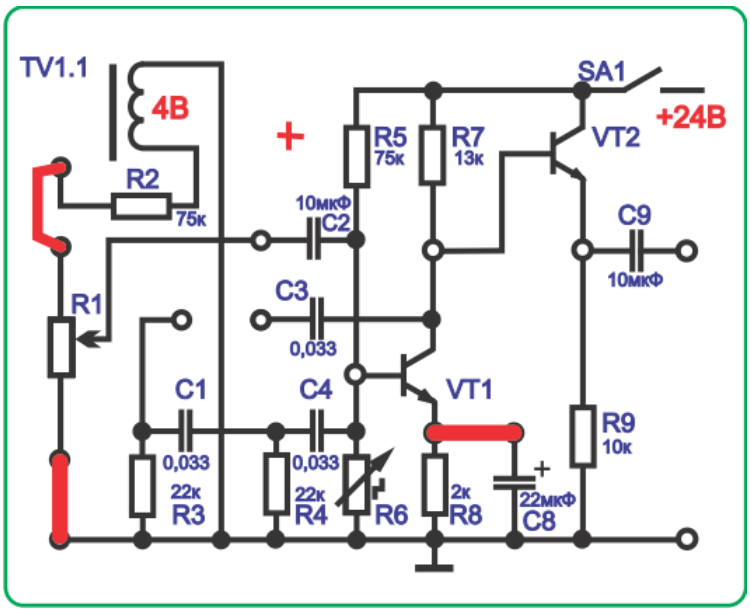


Рисунок 17.3

8 Снять осциллограмму напряжений на входе и выходе повторителя. Убедиться, что они смещены на ***0,6В***

9 Выключить стенд в следующем порядке*:*

- выключить тумблер ***SA1*** (вниз);
- выключить стенд автоматическим выключателем ***QF1;***
- убрать перемычки;
- убедиться, что все остальные переключатели - в начальном состоянии.

10 Рассчитать выходное сопротивление схемы с общим коллектором. Сравнить выходные сопротивления первого и второго каскадов. Сделать заключение.

Лабораторная работа №18
Исследование параметров транзисторного реле с времязадающей RC – цепью

Цель работы

- Ознакомление с принципом действия электронного реле времени на биполярном транзисторе.
- Градуирование шкалы реле времени, и определение относительной погрешности выдержки времени при изменении сопротивления резистора ***R1*** в данных пределах.

Основные теоретические соотношения

Исследование параметров транзисторного реле времени на биполярном транзисторе проводятся по схеме, представленной на рис.18.1, в которую входят биполярные транзисторы ***КТ315Г*** типа N-P-N и электромагнитное реле ***РЭС-9*** с переключающими контактами ***KV***.

Электронный секундомер определяет установленную выдержку времени, а светодиод ***VD9*** сигнализирует о срабатывании реле. Конденсатор ***C12*** емкостью 200 мкф и резистор ***R1*** соединены с базой транзистора ***VT3***, опыты проводятся при различных значениях сопротивления резистора R1. Исследуется и строится характеристика транзисторного реле, изучаются методы повышения стабильности срабатывания реле.

Электронное реле времени - устройство релейного типа с нормируемым временем срабатывания или отпускания реле после подачи или снятия входного управляющего сигнала. В электронном реле времени на биполярных транзисторах ***VT3 и VT4*** типа ***N-P-N*** задаваемая выдержка времени при срабатывании электромагнитного реле ***KV*** после подачи управляющего сигнала (включение питания тумблером ***SA8***) создается за счет переходного процесса, возникающего при заряде предварительно разряженного конденсатора ***C12*** через регулируемый резистор ***R1***. Изменением этого сопротивления ***R1*** можно регулировать длительность переходного процесса, и, следовательно, время срабатывания реле времени.

Порядок выполнения лабораторной работы

1. Рассчитать параметры реле времени в зависимости от изменения сопротивления ***R1*** (определить выдержки времени соответствующие положениям галетного переключателя ***SA10***). Формулы для расчета взять в ***лабораторной работе №14***.

2. Собрать схему, приведенную на ***рисунке 18.1.***

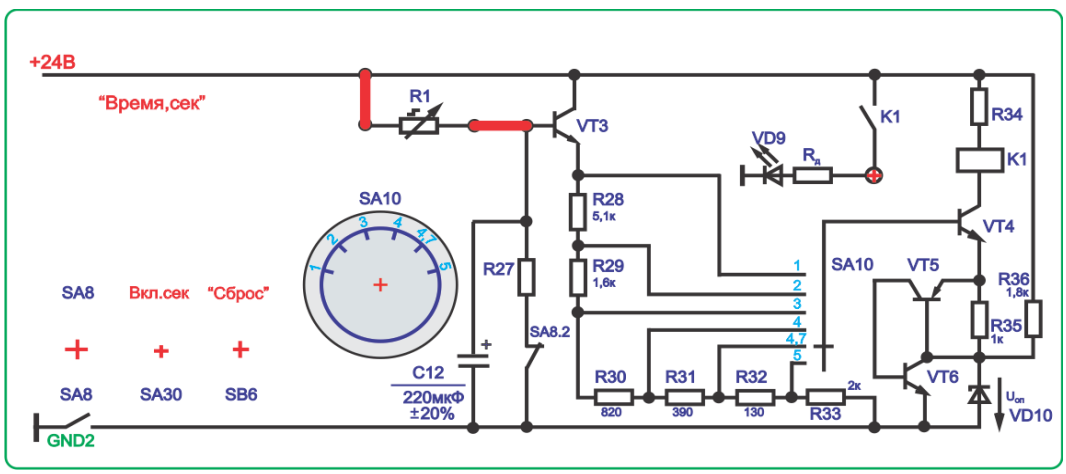


Рисунок 18.1

3. Включить стенд автоматическим выключателем ***QF1.***
4. Установить заданное преподавателем значение шкалы переключателя ***SA10*** (по умолчанию установить положение ***«3»***)
5. Тумблером ***SA30*** включить секундомер.
6. Сбросить значение секундомера в нулевые показания кнопкой ***SB6***.
7. Провести первый опыт заряда конденсатора при положении ***«1»*** переключателя «***x1»*** резистора ***R1 (1кОм).*** Переключить тумблер ***SA8*** в верхнее положение. Когда засветится светодиод ***VD9*** (реле сработало), записать показания секундомера в ***таблицу 18.1*** (счёт секундомера останавливается при срабатывании реле).
8. Выключить тумблер ***SA8*** вниз.
9. Сбросить показания секундомера кнопкой ***SB6***.
10. Перевести переключатель «***x1»*** резистора ***R1*** в положение ***«2»***.
11. Провести остальные опыты аналогично пункту ***7*** для всех остальных положений переключателя «***x1»*** резистора ***R1***.

Таблица 18.1

R1, кОм	***ty.ном, сек***	***ty****,(измеренная)* ***сек***	γ
1	***0,181869***		
2	***0,363739***		
3	***0,545608***		
4	***0,727477***		
5	***0,909346***		
6	***1,091216***		
7	***1,273085***		
8	***1,454954***		
9	***1,636824***		
10	***1,818693***		

12. Выключить стенд в следующем порядке:
    - выключить тумблер ***SA8***;
    - тумблер ***SA10*** перевести в начальное положение ***«1»***;
    - выключить секундомер тумблером ***SA30*** (вниз);
    - выключить стенд автоматическим выключателем ***QF1.***
    - вернуть все переключатели резистора ***R1*** в начальные положения ***«0»***.
    - убрать перемычки;
    - убедиться, что все остальные переключатели - в начальном состоянии.
13. Определить относительную погрешность выдержки времени для выбранного деления шкалы при изменении сопротивления резистора ***R1*** по формуле:

$$\gamma = \frac{t_{\text{у.ном}} - t_{\text{у}}}{t_{\text{у.ном}}} \cdot 100\%$$

где $t_{y.ном}$ - выдержка времени расчетная.
Данные расчета занести в ***таблицу 18.1.***

Лабораторная работа №19
Исследование генераторов синусоидальных колебаний

Цель работы

- Ознакомление с принципами построения генераторов синусоидальных колебаний
- Исследование режимов работы генератора

Параметры схемы

Для выполнения лабораторной работы собирается схема, приведенная на рис. 19.1. При исследовании режимов работы генератора используется осциллограф.

Выбором резистора ***R6*** добиваются режима устойчивых колебаний и определяют частоту и амплитуду синусоидальных колебаний.

C1 = C3 = C4 = 0,033 мкФ,

R3 = R4 = 22 кОм.

Основные теоретические соотношения

Электронный генератор – это устройство, преобразующее электрическую энергию источника постоянного тока в энергию незатухающих колебаний заданной формы и частоты.

По способу возбуждения генераторы подразделяют на генераторы с независимым возбуждением и генераторы с самовозбуждением (автогенераторы). Генераторы с независимым возбуждением являются усилителями колебаний, которые вырабатывают посторонние источники. Автогенераторы сами создают незатухающие колебания за счёт использования положительной обратной связи.

Среди автогенераторов можно выделить генераторы синусоидальных колебаний и импульсные генераторы. Генераторы синусоидальных колебаний подразделяют на автогенераторы типа LC и автогенераторы типа RC.

Незатухающие колебания в автогенераторах устанавливаются при выполнении двух условий, которые называют условиями самовозбуждения. Это условие баланса фаз, обеспечиваемое положительной обратной связью, и условие баланса амплитуд, зависящее от значения коэффициента обратной связи ***Кос***.

Баланс амплитуд имеет вид:

$$K_{OC} \cdot A = 1,$$

где ***A*** – коэффициент усиления непосредственно усилителя,

а баланс фаз:

$$\beta + \alpha = 0; 2\pi; \ldots,$$

где α - фазовый сдвиг между входом и выходом усилителя,

β - фазовый сдвиг обратной связи.

Для получения синусоидальных колебаний на низких частотах применяют генераторы RC типа. Простейшая схема такого генератора приведена на ***рисунке 19.1.***

Положительная обратная связь в данной схеме осуществляется через фазовращательную цепь, состоящую из трёх звеньев ***R6-C4***, ***R4-C1***, ***R3-C3.*** Поскольку усилитель на ***рисунке. 19.1*** инвертирует сигнал на угол π, то $\alpha = \pi$. Это означает, что суммарный фазовый сдвиг обратной связи должен быть тоже π, а каждого ***RC*** звена $\pi/3$.

Для выполнения условия баланса амплитуд коэффициент усиления усилителя должен быть больше ослабления, вносимого фазовращательной цепью. В приведённой схеме это ослабление равно ***29***.

Частота синусоидальных колебаний в схеме определяется параметрами обратной связи и, если ***R6 = R4 = R3 = R,*** а ***C1 = C3 = C4 = C***, *то :*

$$f = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot R \cdot C \cdot \sqrt{6}}$$

Порядок выполнения лабораторной работы

1. Рассчитать частоту генератора с фазовращающей цепью.
2. Записать условия возникновения устойчивых колебаний в исследуемой схеме.
3. Собрать схему по ***рисунку 19.1.***

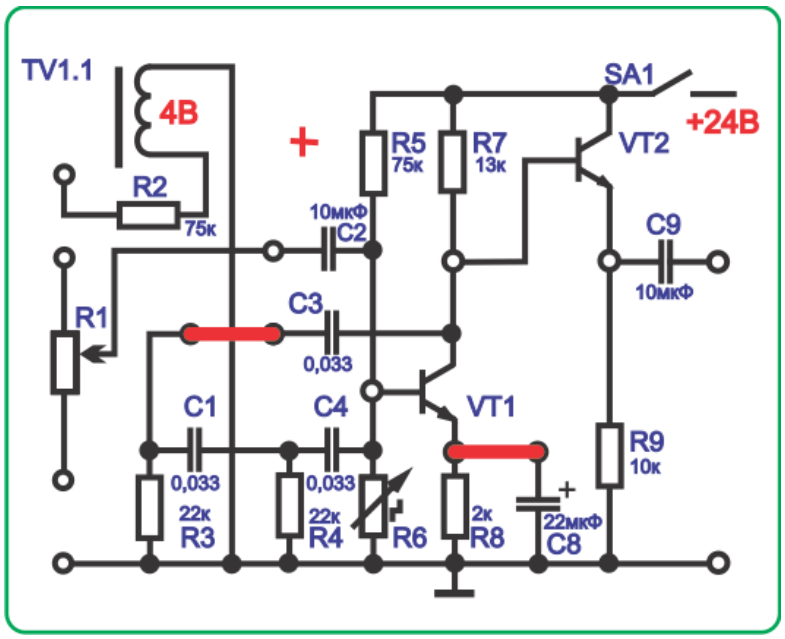


Рисунок 19.1

4. Перед включением стенда убедиться, что все переключатели находятся в начальном положении (выключены).
5. Включить стенд автоматическим выключателем ***QF1.***
6. Включить тумблер ***SA1***.
7. С помощью резистора ***R6*** (изменяя положение переключателя ***R6*** от ***«0»*** до ***«10»***) установить устойчивый симметричный режим автоколебаний по ***осциллограмме.***
8. Снять осциллограмму выходного напряжения генератора $U_{ВЫХ}(t)$.
9. Сравнить расчётную частоту с экспериментальной.
10. Выключить стенд в следующем порядке:
    - Выключить тумблер ***SA1*** (вниз);
    - Выключить стенд автоматическим выключателем ***QF1;***
    - убрать перемычки;
    - убедиться, что все остальные переключатели - в начальном состоянии.

Лабораторная работа №20
Исследование работы широтно-импульсного преобразователя напряжений (ШИП)

Цель работы

- Изучение устройства, принципа построения и области применения ШИП.
- Исследование режимов работы ШИП.

Основные теоретические сведения

Передача и преобразование сигналов лежит в основе систем связи, контроля, регулирования и управления.

По способу формирования сигнала управления или способу передачи информации системы можно подразделить на непрерывные и дискретные.

Системы с широтно-импульсной модуляцией являются разновидностью дискретных систем. При этом способе модуляции период ***T*** и амплитуда ***Au*** – неизменные, а длительность импульса **γ·T** изменяется в соответствии с каким-либо законом. Величину γ называют скважностью импульсов (***рисунок 20.1***).

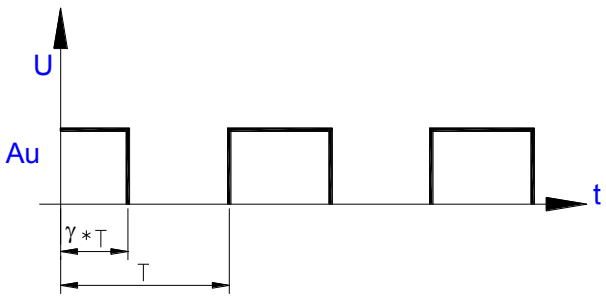


Рисунок 20.1

Порядок выполнения лабораторной работы

1 Собрать схему по ***рисунку 20.2.***

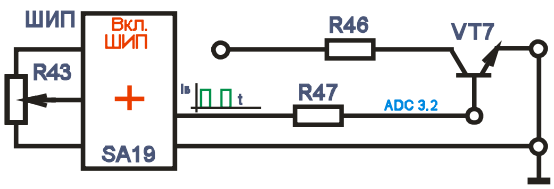


Рисунок 20.2

2 На рабочей панели стенда исследуемый ШИП изображен как функциональный блок с одноименным обозначением с вынесенным отдельно силовым регулирующим транзистором ***VT7*** и контрольным гнездом для снятия осциллограммы управляющего сигнала (на базе транзистора, подключенной к остальной схеме ШИП через резистор ***R47)***. Для снятия осциллограммы управляющего сигнала достаточно при работающем

стенде включить тумблер ***SA19*** «Вкл.ШИП». В работе исследуется ШИП напряжения путем наблюдения и измерения длительности периода сигнала на базе транзистора при изменении преобразуемого напряжения резистором ***R43 (Iя).***

3 Для наблюдения сигналов используется осциллограф.

4 Включить стенд автоматическим выключателем ***QF1, в***ключить тумблер ***SA19.***

5 Снять осциллограмму выходного напряжения ШИПа при нескольких положения движка потенциометра ***R43.***.

6 Определить скважность выходного сигнала.

7 Снять регулировочную характеристику ШИП: зависимость скважности от угла поворота ***R43*** (между соседними рисками регулятора 30^{O}).

8 Для изучения работы ШИП для регулирования тока в якоре генератора М2 в собирают схему, представленную на **рис. 20.3.**

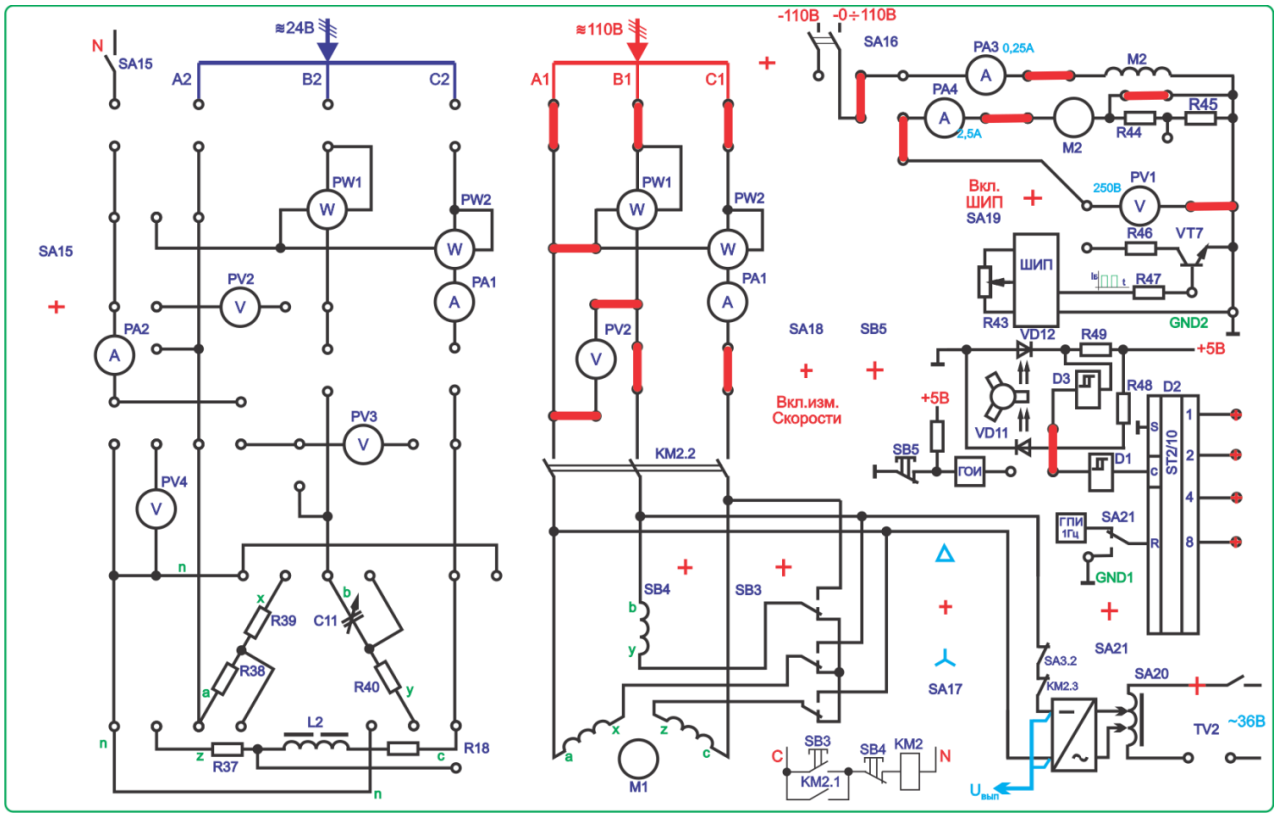


Рисунок 20.3

9 Запустить гонный двигатель М1 при положении ***SA17*** «***треугольник»***, включить питание обмотки возбуждения М2 тумблером ***SA16***. При «min» положении ***R43*** включить ШИП тумблером «Вкл.ШИП» ***SA19***. Плавно регулируя ток нагрузки снять внешнюю характеристику ШИП: зависимость тока нагрузки ***(Iя)*** от угла поворота ***R43.***

10 Выключить стенд в следующем порядке:

- выключить тумблер ***SA19*** (вниз)
- выключить стенд автоматическим выключателем ***QF1;***
- убрать перемычки;
- убедиться, что все остальные переключатели в начальном состоянии.

Лабораторная работа №21
Исследование работы триггера Шмидта и цифровых счётчиков в интегральном исполнении

Цель работы

- Изучение принципа действия цифровых счетчиков и триггера Шмидта.

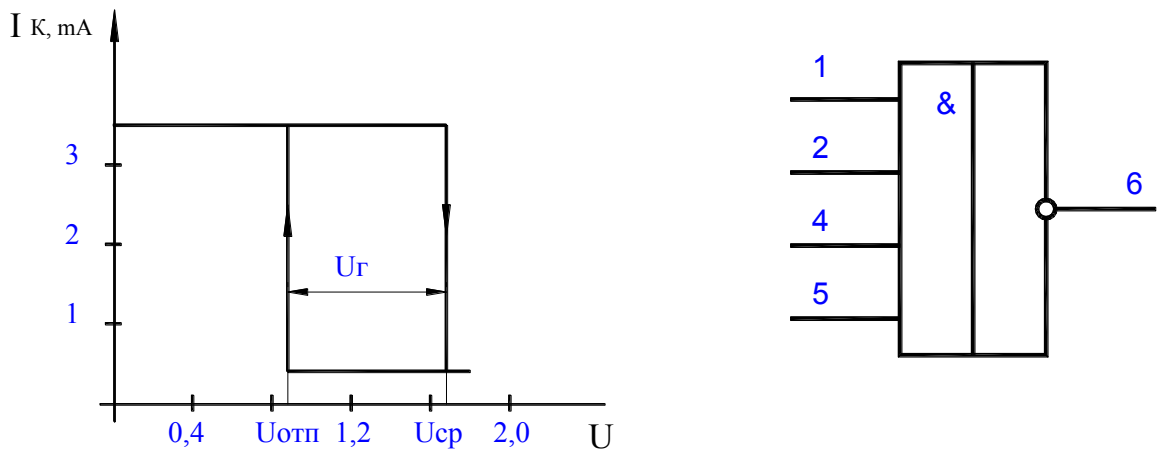
Теоретические сведения

Триггер Шмидта.

При входном импульсном сигнале с пологими фронтом и срезом импульс на выходе формирующего логического элемента также не будет прямоугольным, так как некоторое время ключевая схема будет находиться в усилительном режиме. Кроме того, на фронте и срезе выходного импульса будут присутствовать усиленные помехи, поступившие на схему из проводов питания. Импульс с зашумлённым и несформированным фронтом непригоден для переключения тактовых входов триггеров, регистров и счётчиков.

В таких случаях используют так называемую схему триггера Шмидта, состоящую из двухкаскадного усилителя, охваченного слабой положительной обратной связью.

Логические элементы со свойствами триггера Шмидта имеют внутреннюю положительную обратную связь, глубина которой подобрана так, чтобы получить передаточную характеристику со значительным гистерезисом. Передаточная характеристика элемента Шмидта микросхемы ***К155ТЛ1*** (***рисунок 21.1.б***) двухпороговая и имеет вид, показанный на ***рисунке. 21.1.а***.



а) ***б)***

Рисунок 21.1

Счетчики импульсов.

Подсчет числа импульсов является наиболее распространенной операцией в устройствах цифровой обработки информации. Повышенный интерес к таким устройствам объясняется их высокой точностью, возможностью применения регистрирующих приборов с непосредственным цифровым представлением результата, а также возможностью осуществления связи с ЭВМ.

В результате цифровой обработки информации измеряемый параметр (угол поворота, перемещение, скорость, частота, время, температура и т.д.) преобразуется в импульсы напряжения, число которых в соответствующем масштабе характеризует значение данного параметра. Эти импульсы подсчитываются счетчиками импульсов и выражаются в виде цифр.

По целевому назначению счетчики подразделяют на простые и реверсивные. Простые счетчики, в свою очередь, подразделяют на суммирующие и вычитывающие. Суммирующий счетчик предназначен для выполнения счета в прямом направлении, т.е. для сложения. С приходом счетного импульса на вход счетчика его показание увеличивается на единицу. Вычитающий счетчик служит для осуществления счета в обратном направлении, т.е. для вычитания. Каждый счетный импульс поступающий на вход вычитающего счетчика, уменьшает его показание на единицу. Реверсивные счетчики предназначены для выполнения операции счета, как в прямом, так и в обратном направлении, т.е. они могут работать в режиме сложения и вычитания.

Основными показателями счетчиков являются модуль счета (коэффициент счета ***К***) и быстродействие. Быстродействие счетчика характеризуется максимальной частотой ***fсч*** следования счетных импульсов и связанным с ней временем ***tуст*** установки счетчика. Счетчики импульсов выполняются на основе триггеров. Счет числа поступающих импульсов производится с использованием двоичной системы счисления.

Основным узлом двоичного счетчика (служащим также его разрядом) является триггер со счетным запуском, осуществляющий подсчет импульсов по модулю 2.

Многоразрядные двоичные суммирующие счетчики с непосредственной связью выполняются путем последовательного соединения счетных триггеров. Счетные импульсы подаются на счетный вход первого триггера. Счетные входы последующих триггеров связаны непосредственно с прямыми выходами предыдущих триггеров: вход второго триггера соединен с выходом первого триггера, вход третьего – с выходом второго и т.д.

Принцип действия двоичного счетчика с непосредственной связью рассмотрим на примере трехразрядного счетчика, показанного на ***рисунке 21.2.а***. Схема выполнена на Т-триггерах с внутренней задержкой. Работу схемы иллюстрируют временные диаграммы, приведенные на ***рисунке 21.2.б***.

Перед поступлением счетных импульсов все разряды счетчика устанавливаются в состояние **"0"** ***(Q1 = Q2 = Q3 = 0)*** подачей импульса на вход **"Установка нуля"**. При поступлении первого счетного импульса первый разряд подготавливается к переключению в противоположное состояние и после окончания действия входного импульса переходит в состояние *Q1 = 1*. В счетчик записывается число 1. Уровень 1 с выхода Q1 воздействует на счетный вход второго разряда, подготавливая его к переключению. По окончанию второго счетного импульса первый разряд счетчика переходит в состояние "0", а второй разряд переключается в состояние "1". В счетчике записывается число 2 с кодом 010.

Подобным образом осуществляется работа схемы с приходом последующих импульсов. Первый разряд счетчика, как видно из ***рисунка 21.2.б.***, переключается с приходом каждого входного импульса, второй разряд - каждого второго, а третий разряд срабатывает на каждый четвертый счетный импульс.

В процессе работы двоичного счетчика частота следования импульсов на выходе каждого последующего триггера уменьшается вдвое по сравнению с частотой его входных импульсов (***рисунок 21.2.б.***) Это свойство схемы используют для построения делителей частоты. При использовании схемы в качестве делителя частоты входной сигнал подают

на счетный вход первого триггера, а входной снимают с последнего триггера. Выходная и входная частоты связаны соотношением

$$f_{вых} = f_{вх}/К_{сч}.$$

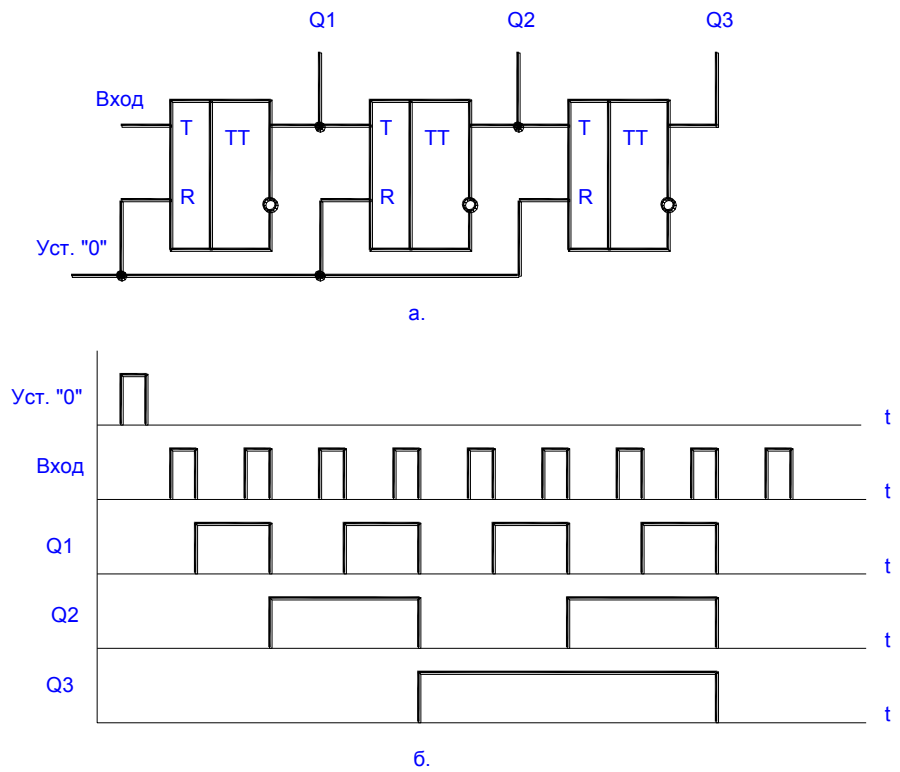


Рисунок 21.2

Счетчики с $К_{сч} = 10$ называют десятичными или декадными. Они нашли широкое применение для регистрации числа импульсов с последующим визуальным отображением результата.

Для построения счетчика с $К_{сч} = 10$ необходимо иметь 4-х разрядный двоичный счетчик, число состояний которого следует уменьшить с 16 до 10. Счетная последовательность десятичного счетчика может быть представлена в двоично-кодированном десятичном коде *(Q4 Q3 Q2 Q1 - 8 4 2 1)*, в котором каждая десятичная цифра кодируется 4-х разрядным числом. Счетная последовательность суммирующего десятичного счетчика в этом случае совпадает с двоичной последовательностью от 0000 до 1001, после чего следует 0, и последовательность повторяется.

Последовательное соединение двух схем десятичного счета дает пересчет на 100, трех на 1000 и т.д. Первая декада производит счет единиц входных импульсов от 0 до 9. Десятый импульс устанавливает разряды первой декады в состояние "0", а формируемый на его выходе импульс записывает "1" во вторую декаду, что соответствует числу 10. Вторая декада считает десятки (от 10 до 90), третья - сотни (от 100 до 900) и т. д.

Схема типового десятичного счётчика серии ***К155ИЕ2*** приведена на ***рисунке. 21.3***, таблица состояний – ***Таблица 21.1***. Для деления частоты на два используется тактовый вход С0 и вывод Q0. Для деления частоты в 5 раз подаётся входная последовательность на вывод 1. Выходной сигнал получаем на выходе Q3. Чтобы получить на выходах счётчика двоично-десятичный код, необходимо соединить выводы 12 и 1. Входная последовательность подаётся на тактовый вход С0.

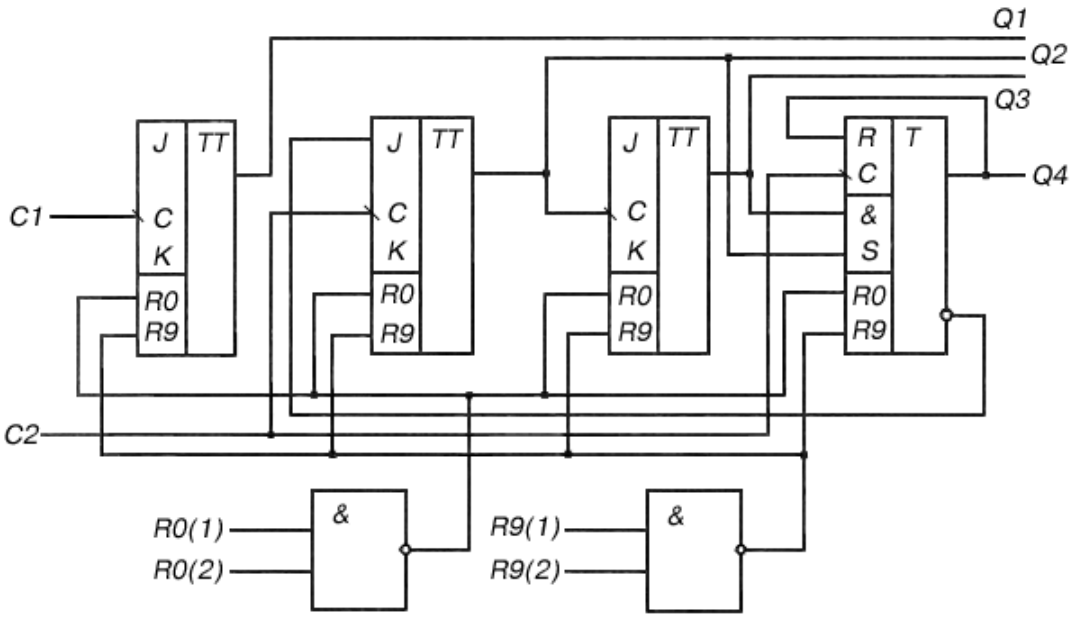


Рисунок 21.3

Таблица 21.1

Вход сброса и установки				***Выход***			
R1	***R2***	***S1***	***S2***	***Q0***	***Q1***	***Q2***	***Q3***
В	В	Н	Х	Н	Н	Н	Н
В	В	Х	Н	Н	Н	Н	Н
Х	Х	В	В	В	Н	Н	В
Н	Х	Н	Х	Счет			
Х	Н	Х	Н				
Н	Х	Х	Н				
Х	Н	В	Х				

Порядок выполнения лабораторной работы

1. Изучить принцип работы, назначение выводов и функциональные возможности счетчика типа ***К155ИЕ2***

2. Изобразить временные диаграммы, поясняющие работу счетчика.

3. Собрать схему для исследования счетчика, представленную на ***рисунке. 21.4.***

4. Перед включением стенда убедиться, что все переключатели находятся в начальном положении (выключены).

5. Включить стенд автоматическим выключателем ***QF1.***

6. Включить тумблер ***SA18*** вверх (Включение измерителя скорости).

7. Тумблер ***SA21*** должен находиться в нижнем положении.

8. С помощью кнопки ***SB5*** подавать последовательности импульсов ***1, 2, 3, и т.д***. на вход счетчика, составить таблицу состояний кода на выходах ***1, 2, 4, 8*** микросхемы ***D2*** от количества поданных импульсов. Выходной код фиксируется по ***светодиодам***.

9. Выключить стенд в следующем порядке:

- выключить тумблер ***SA18*** вниз;

- выключить стенд автоматическим выключателем ***QF1***;
- убрать перемычки;
- убедиться, что все остальные переключатели - в начальном состоянии.

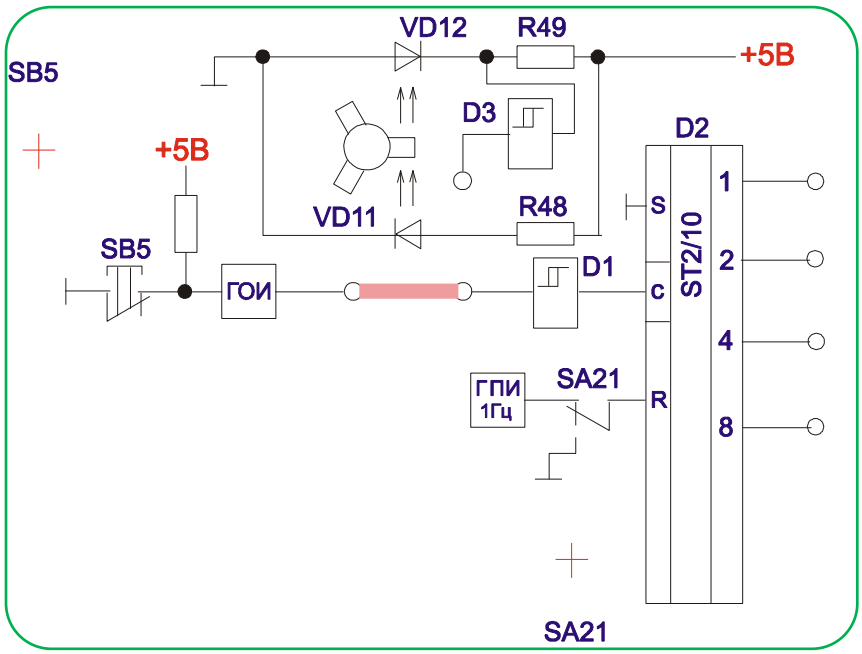


Рисунок 21.4

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Волжский Государственный Университет Водного Транспорта»

Специальность 10.05.03 «Информационная безопасность автоматизированных систем»

Вопросы для самоподготовки к зачету
Формирует компетенцию ОПК-4.
Способен анализировать физическую сущность явлений и процессов, лежащих в основе функционирования микроэлектронной техники, применять основные физические законы и модели для решения задач профессиональной деятельности
ОПК-4.З.1- знать физическую сущность явлений и процессов лежащих в основе функционирования электронной техники;
ОПК-4.У.1 - уметь применять основные физические законы и модели при эксплуатации электротехники;
ОПК-4.В.1 - владеть основными физичскими законами и моделями при эксплуатации электронной техники

Оценочные средства по дисциплине «Общая электротехника»

Заведующий кафедрой ЭиЭОВТ О.С. Хватов

Нижний Новгород

1. Линейные эл. Цепи. Основные законы, понятия, соотношения.
2. Цифровые интегральные схемы. Логические элементы.
3. Линейные цепи. Основные понятия, характеристики элементов. Схемы замещения нелинейных элементов.
4. Аналоговые интегральные схемы. Операционные усилители.
5. Ветвь, узел, контур. Законы Ома и Кирхгофа.
6. Непосредственные преобразователи частоты. Преобразователи частоты со звеном постоянного тока.
7. Расчет нелинейных цепей постоянного тока.
8. Преобразователи постоянного тока.
9. Методы расчета линейных эл. цепей с одним источником энергии.
10. Инверторы напряжения и инверторы тока.
11. Методы расчета линейных эл. цепей с несколькими источниками энергии.
12. Управляемые выпрямители.
13. Синусоидальный эл. ток. Среднее и действующее значения.
14. Трех фазные выпрямители. Основные схемы и соотношения.
15. Приемники эл. энергии. Их эквивалентирование при последовательном, параллельном и смешанном соединениях.
16. Однофазные выпрямители. Основные схемы соотношения.
17. Векторные диаграммы эл. цепей.
18. Транзисторы их свойства и характеристики.
19. Символический метод расчета линейной эл. цепи.
20. Полупроводниковые диоды и тиристоры, их свойства и характеристики.
21. Активная, реактивная и полная мощности. Баланс мощностей.
22. Полупроводниковые приборы, их классификация.
23. Коэффициент мощности. Способы его повышения.
24. Электроприводы судовых и общепромышленных механизмов.
25. Последовательное соединение резистора, катушки индуктивности и конденсатора. Треугольники напряжений и сопротивлений.
26. Параллельное соединение резистора, катушки индуктивности и конденсатора. Треугольники токов и проводимостей.
27. Резонанс напряжений.
28. Резонанс токов.
29. Трехфазные эл. цепи. Соединение нагрузки звездой.
30. Трехфазные цепи. Соединение нагрузки треугольником.
31. Мощность трехфазной цепи.
32. Электрические измерения в однофазных и трехфазных цепях. Измерение напряжения, тока, мощности.
33. Электроизмерительные приборы. Расширение пределов измерений. Измерительные трансформаторы.
34. Трансформаторы. Схемы замещения и векторные диаграммы.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Волжский Государственный Университет Водного Транспорта»

Специальность 10.05.03 «Информационная безопасность автоматизированных систем»

РУКОВОДСТВО ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ НА СТЕНДЕ НТЦ-01.01 «ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОНИКИ»

Формирует компетенцию ОПК-4.
ОПК-4.З.1- знать физическую сущность явлений и процессов лежащих в основе функционирования электронной техники;
ОПК-4.У.1 - уметь применять основные физические законы и модели при эксплуатации электротехники;
ОПК-4.В.1 - владеть основными физичскими законами и моделями при эксплуатации электронной техники

Нижний Новгород

СОДЕРЖАНИЕ

Лабораторная работа №1.
Исследование режимов работы и методов расчета линейных цепей постоянного тока с одним источником питания.

Лабораторная работа №2.
Исследование режимов работы и методов расчета линейных цепей постоянного тока с двумя источниками питания.

Лабораторная работа №3.
Исследование режимов работы и методов расчета нелинейных цепей постоянного тока.

Лабораторная работа №4.
Определение параметров и исследование режимов работы электрической цепи переменного тока с последовательным соединением катушки индуктивности, резистора и конденсатора

Лабораторная работа №5. Исследование режимов работы линии электропередачи переменного тока при изменении коэффициента мощности нагрузки.

Лабораторная работа №6.
Определение параметров и исследование режимов работы трехфазной цепи при соединении потребителей звездой.

Лабораторная работа № 7.
Определение параметров и исследование режимов работы трехфазной цепи при соединении потребителей в треугольник

Лабораторная работа № 8.
Исследование линейных цепей несинусоидального периодического тока, содержащих катушку индуктивности и конденсатор.

Лабораторная работа №9.
Исследование параметров схемы замещения катушки индуктивности с замкнутым магнитопроводом и при наличии воздушного зазора в магнитопроводе.

Лабораторная работа №10.
Определение параметров и основных характеристик однофазного трансформатора.

Лабораторная работа №11.
Исследование асинхронного трехфазного электродвигателя с короткозамкнутым ротором.

Лабораторная работа №12.
Определение параметров и основных характеристик электродвигателя постоянного тока с независимым возбуждением

Лабораторная работа №13.
Определение параметров и основных характеристик генератора постоянного тока с независимым возбуждением.

Лабораторная работа № 14.
Исследование процесса зарядки конденсатора от источника постоянного напряжения при ограничении тока с помощью резистора.

Лабораторная работа №15.
Исследование схемы пуска асинхронного двигателя с

короткозамкнутым ротором.
Лабораторная работа №16. Однокаскадный транзисторный усилитель
Лабораторная работа №17. Исследование двухкаскадных усилителей с непосредственной связью.
Лабораторная работа №18. Исследование параметров транзисторного реле с времязадающей RC – цепью
Лабораторная работа №19. Исследование генераторов синусоидальных колебаний
Лабораторная работа №20. Исследование работы широтно-импульсного преобразователя напряжений (ШИП)
Лабораторная работа №21. Исследование работы триггера Шмидта и цифровых счётчиков в интегральном исполнении.

ВНИМАНИЕ! При выполнении данной и всех последующих работ все выключатели неиспользуемые в работе должны быть выключены.

Лабораторная работа №1

Исследование режимов работы и методов расчета линейных цепей постоянного тока с одним источником питания

***Цель работы*:**

- Приобретение практических навыков измерения токов, напряжений и сопротивлений с помощью амперметра и вольтметра и оценки погрешности;
- Закрепление навыков расчета линейных электрических цепей с одним источником питания;
- Исследование мостовой цепи постоянного тока с резистивным датчиком.

Технические характеристики измерительного моста:

R20 = 4,7 кОм; R22 = 10,0 кОм; R23 = 4,7 кОм;

Порядок выполнения лабораторной работы

1. Изучить схему лабораторной работы по ***рисунку 1.2***.

2. Перед выполнением лабораторной работы необходимо ввести стабилитрон ***VD8*** в режим стабилизации. Для этого вначале собирается схему по ***рисунку 1.1***.

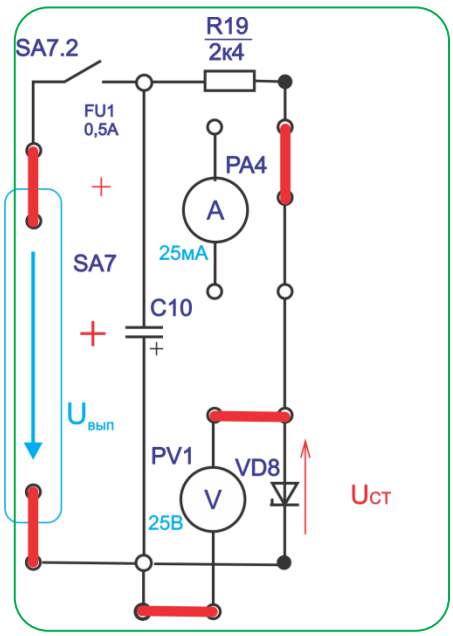


Рисунок 1.1

3. Перед включением стенда убедиться, что все переключатели находятся в начальном положении (выключены).

4. Включить стенд автоматическим выключателем ***QF1***.

5. Подключить питание схемы тумблером ***SA7*** (верхнее положение).

6. Переключателями в нижней части стенда установить напряжение на выходе ***ЛАТРа TV2*** таким, чтобы стабилитрон ***VD8*** вошел в режим стабилизации (приблизительно 16В на вольтметре ***PV1***. ***ВНИМАНИЕ! Предел измерения прибора PV1 - 100В***). Рекомендуется устанавливать ***ЛАТР TV2*** в положение не более ***«20»***. Напряжение на выходе ***ЛАТРа TV2*** регулируется двумя переключателями: левый – с шагом 10В и правый– с шагом 1В. Тумблер ***SA11*** должен находиться в верхнем положении.

7. Выключить ***SA7 .***

8. Собрать схему по ***рисунку 1.2.***

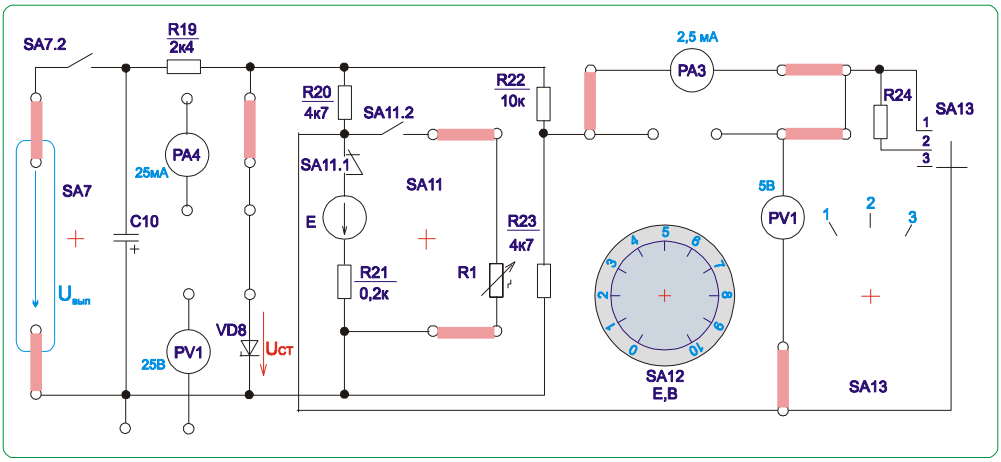


Рисунок 1.2

9. Включить ***SA7*** (при необходимости, полярность вольтметра можно изменить, нажав кнопку «+/-» над вольтметром ***PV1).*** Тумблер ***SA11*** - в верхнем положении, тумблер ***SA13*** - в среднем положении.

10. Установить максимальное рассогласование моста: номинал резистора ***R1*** переключением рукоятки «***x1»*** выставить в положение «0» или «10» (10 кОм) и зарегистрировать максимальное напряжение на ***PV1 (***приблизительно **3,5В**) и ток по прибору ***PA3 (***при нажатой кнопке над ***PA3*** ток приблизительно равен **0,5mA**) .

11. При максимальном рассогласовании моста определить величину сопротивления резистора ***R24*** по закону Ома:

$$R24 = \frac{U_{PV1}}{I_{PA3}} = 3{,}5/0{,}5*10^{-3} = 7 \text{ кОм}$$

Данные измерений и расчетов занести в ***таблицу 1.1.***

Таблица 1.1

R1, кОм	***U_{PV1}, В***	***I_{PA3}, mA***	***R24, кОм***
10			
0			

12. Снять экспериментальную зависимость ***$U_{ВЫХ}$ = f(R1)***, ступенчато изменяя сопротивление ***R1*** от 0 кОм до 10 кОм с шагом 1 кОм. ***SA13*** должен находиться в положении ***2 (НАГР)*** Данные измерений по прибору ***PV1*** занести в ***таблицу 1.2*** и построить график.

Таблица 1.2

R1,кОм	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
U_{PV1}, В											

13. Методом эквивалентного генератора рассчитать величину выходного напряжения моста ***$U_{ВЫХ}$*** при ***R1,*** заданном преподавателем (от 1 до 9 кОм), и сопоставить с экспериментальными данными.

Для расчета воспользоваться формулами:

$$U_{XX} = U_{ст.}\left(\frac{R1}{R20+R1} - \frac{R23}{R22+R23}\right) = 16(0,175 - 0,39) = 2,3 \text{ В}$$ (для R1=1кОм)

$$R_{К.З.} = \frac{R23 \times R22}{R23 + R22} + \frac{R1 \times R20}{R1 + R20} = 4,1\text{кОм}$$

$$I_{кз} = \frac{U_{Х.Х.}}{R_{К.З.}} = 0,57\text{mA}$$

$$I_{PA3} = \frac{U_{Х.Х.}}{R24 + R_{К.З.}}$$

$$U_{вых} = I_{PA3} \text{ x } R24$$

Расчеты занести в ***таблицу 1.3.***

Таблица 1.3

R1, кОм	*Uxx(PV1), В*	*Iкз(PA3), mA*	*Rкз, кОм*	*Uвых*
задан				

14. Провести опыты холостого хода и короткого замыкания.

Для режима хх:

при ***SA13*** в положении «3» и $R1 = 1\text{кОм}$ измеряем $U_{PV1} = U_{XX} = 2,2\text{В}$

Для режима кз:

при ***SA13*** в положении «1» и $R1 = 1\text{кОм}$ измеряем $I_{PA3} = I_{КЗ} = 0,62\text{mA}$

$R_{К.З.}$ – сопротивление относительно точек разрыва моста при закороченном источнике входного напряжения.

По экспериментальным данным определить $R_{К.З.}$:

$$R_{К.З.} = \frac{U_{Х.Х.}}{I_{К.З.}}$$

15 Рассчитать относительную погрешность измерений

16 Выключить стенд в следующем порядке:

- перевести тумблер ***SA7*** в нижнее положение;
- перевести переключатели ***ЛАТРа TV2*** в «0» положение.
- выключить стенд автоматическим выключателем ***QF1***
- переключатели блока резистора ***R1*** установить в крайнее левое положение «0»
- тумблер ***SA11*** – в нижнее положение;
- переключатель ***SA13*** в положение ***3 (XX)***;
- убедиться, что все остальные переключатели - в начальном положении.

Лабораторная работа №2
Исследование режимов работы и методов расчета линейных цепей постоянного тока с двумя источниками питания

Цель работы

- Приобретение практических навыков расчета цепей постоянного тока с несколькими источниками постоянного напряжения.
- Исследование моста постоянного тока с генераторным датчиком.

Технические характеристики измерительного моста

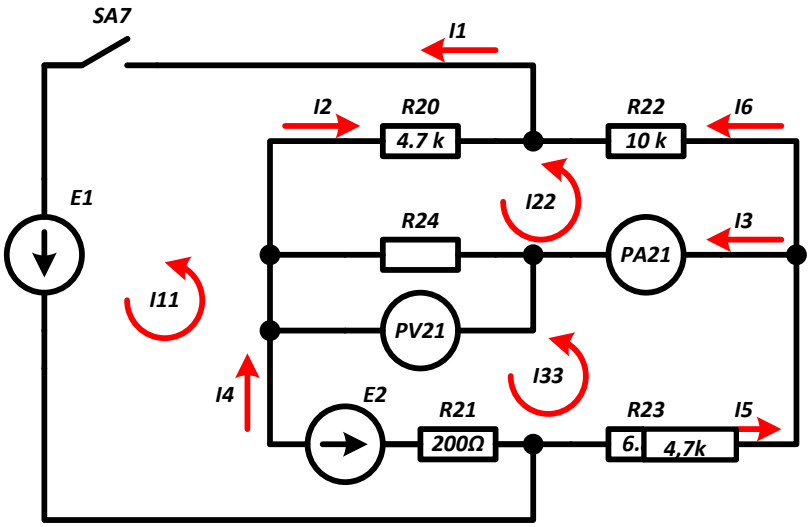


Рисунок 2.1- Схема измерительного моста

I11, I22, I33 - контурные токи;
I1, I2, I3, I4, I5, I6 – токи ветвей.
E1=$U_{ВХ}$=$U_{СТ}$≈16 В (измеряется прибором ***PV1***)
E2=10 В
R20 = 4,7 кОм; R22 = 10 кОм; R23 = 4,7 кОм; R21 = 200 Ом;

Порядок выполнения лабораторной работы

1. Изучить схему измерительного моста по ***рисунку 2.1.***

2. Методом контурных токов рассчитать величину выходного напряжения моста (на резисторе ***R24***) при значении Э.Д.С. ***E1=16В*** или заданном преподавателем.

Система уравнений для расчета контурных токов:

$$I11 \cdot (R20 + R21) - I22 \cdot R20 - I33 \cdot R21 = E1 - E2$$
$$I11 \cdot (R20 + R24 + R22) - I11 \cdot R20 - I33 \cdot R24 = 0$$
$$I33 \cdot (R21 + 23 + R24) - I22 \cdot R24 - I11 \cdot R21 = E2$$

Решив систему уравнений и определив значение контурных токов, определяют значение тока ***I3*** по формуле:

$$I3 = I33 - I22$$

Расчет выходного напряжения моста:

$U_{ВЫХ} = I3 \cdot R24$ (значение **R24** берется из **ЛР№1** равным **7кОм**)

3. Для выполнения практической части лабораторной работы собрать схему по ***рисунку 2.2***.

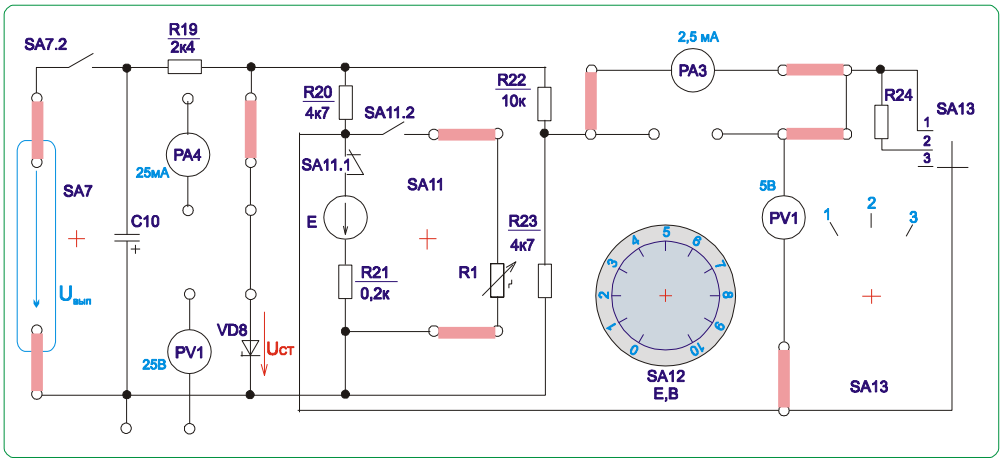


Рисунок 2.2

4. Перед включением стенда убедится, что все переключатели находятся в начальном положении (выключены).

5. Включить стенд автоматическим выключателем ***QF1***.

6. Подключить питание измерительного моста тумблер ***SA7*** (верхнее положение).

7. Переключателями в нижней части стенда установить напряжение на выходе ***ЛАТРа TV2*** таким, чтобы стабилитрон ***VD8*** вошел в режим стабилизации (приблизительно 16 В на вольтметре ***PV1. ВНИМАНИЕ! Предел измерения прибора PV1 - 100В***). Рекомендуется устанавливать ***ЛАТР TV2*** в положение не более ***«20»***. Напряжение на выходе ***ЛАТРа TV2*** регулируется двумя переключателями: левый – с шагом 10В и правый– с шагом 1В.

8. Тумблер ***SA11*** - в нижнем положении (выкл).

9. Снять экспериментальную зависимость $U_{ВЫХ} = f(E2)$, ступенчато изменяя ЭДС ***E2*** от 0 до 10В с шагом 1В (переключатель ***SA12***). ***SA13*** должен находится в положении ***2 (НАГР)*** Данные измерений по прибору ***PV1*** занести в ***таблицу 2.1*** и построить график.

Таблица 2.1

E2, В	***0***	***1***	***2***	***3***	***4***	***5***	***6***	***7***	***8***	***9***	***10***
$U_{ВЫХ}$***(PV1),В***											

10. Выключить стенд.

11. Сопоставить ***Uвых,*** снятое экспериментально для заданного ***E1,*** с расчетом по методу контурных токов.

12. Выключить стенд в следующем порядке:

- перевести тумблер ***SA7*** в нижнее положение;
- перевести тумблер ***SA3*** в нижнее положение;
- перевести переключатели ***ЛАТРа TV2*** в начальное положение;
- выключить стенд автоматическим выключателем ***QF1;***
- переключатель ***SA12*** (***E2)*** установить в крайнее левое положение «0»;
- переключатель ***SA13*** в положение ***3 (XX)***;
- убедиться, что все остальные переключатели - в начальном положении.

Лабораторная работа №3
Исследование режимов работы и методов расчета нелинейных цепей постоянного тока

Цель работы

- Ознакомление со свойствами и характеристиками стабилитронов.
- Изучение принципа действия и исследование характеристик параметрического стабилизатора напряжения.

Технические характеристики схемы для исследования стабилитрона:

Паспортные данные стабилитрона (установлены два последовательно) Д814А:

$U_{СТ.}$=8В;

$\Delta U_{СТ.}$=0,5В; *$U_{СТ.МАКС.}$=8,5В, $U_{СТ.МИН.}$=7В*

$r_{СТ}$ =6 Ом;

$I_{СТ.МАКС}$ = 40 mA;

$I_{СТ.МИН}$ = 3 mA;

Сопротивления резисторов:

R19 = 2,4 кОм; R20 = 4,7 кОм; R22 = 10 кОм; R23 = 4,7 кОм;

Порядок выполнения лабораторной работы

1. Изучить принцип действия параметрического стабилизатора напряжения и электрическую схему включения стабилитрона (***VD8***) на стенде совместно с выпрямителем и мостовой измерительной схемой без ***R24*** в качестве нагрузки.

Нагрузкой стабилитрона является измерительный мост постоянного тока и изменяется она путем изменения величины сопротивления переменного резистора ***R1*** (тублер ***SA11*** устанавливается в верхнее положение).

2. Рассчитать значение эквивалентного сопротивления нагрузки $R_{H.}$ для ***R1*** от 0 до 10кОм (с шагом 1 кОм) по формуле:

$$R_{\text{Н}} = \frac{(R20 + R1) \cdot (R22 + 23)}{R20 + R1 + R22 + R23}$$

Расчет занести в ***таблицу 3.1.***

Таблица 3.1.

R1, кОм	R_H***, кОм***
0	3,561
1	4,107
2	4,602
3	5,053
4	5,465
5	5,844
6	6,193
7	6,515
8	6,814
9	7,091
10	7,350

3 Рассчитать $U_{вх.мин.}$ с заданными $R_Б$=**R19=2,4кОм** и заданным преподавателем сопротивлением нагрузки $R_Н$ (например, при **R1 =8кОм**), при которых параметрический стабилизатор не выходит из режима стабилизации :

$$U_{\text{ВХ.МИН}} = R19 \cdot \left(\frac{U_{\text{СТ}}}{R_{\text{Н}}} + I_{\text{СТ.МИН.}}\right) + U_{\text{СТ}}$$

4 Для выполнения лабораторной работы собрать схему по ***рисунку 3.1***.

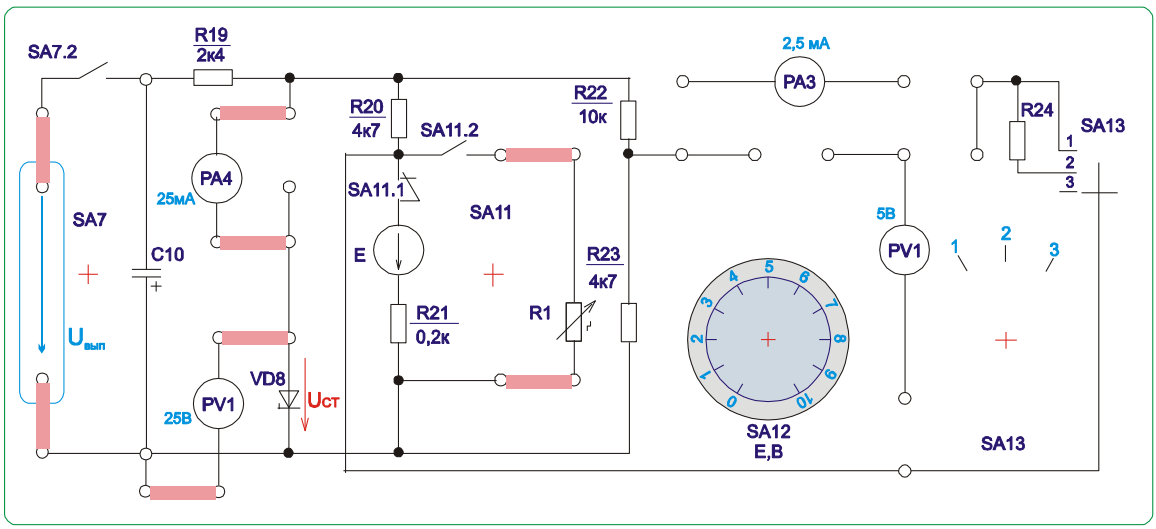


Рисунок 3.1

5 Перед включением стенда убедиться, что все переключатели находятся в начальном положении (выключены).

6 Тумблер ***SA11*** установить в верхнее положение.

7 Включить стенд автоматическим выключателем ***QF1.***

8 Подключить питание ***ЛАТРа TV2:*** тумблер ***SA3*** устанавливается в верхнее положение (включено).

9 Подключить питание измерительного моста: тумблер ***SA7*** (верхнее положение). Исследуемым нелинейным элементом является стабилитрон ***VD8***.

10 Определить экспериментально $U_{вх.мин}$ и $U_{ст.}$ Для этого: устанавливаем **R1** = **8кОм** и изменяем напряжение на выходе ***ЛАТРа TV2*** (не более 20В) от **0** до $U_{вх.мин}$ (до момента стабилизации напряжения на стабилитроне ***VD8,*** при котором напряжение $U_{ст.}$ на приборе ***PV1*** уже не изменяется).

Напряжение на выходе ***ЛАТРа TV2*** регулируется двумя переключателями: левый с шагом 10В и правый с шагом 1В. **ВНИМАНИЕ: напряжение на входе стабилизатора с учетом конденсатора С10 больше, чем $U_{ЛАТРа}$ и равно $\sqrt{2}$ х $U_{ЛАТРа.}$**

11 Снять экспериментально зависимость $U_{Вых.стабилитрона} = f(U_{вх.})$ и $I_{ст.} = f(U_{вх.})$ при заданном

преподавателем **R1=1-10кОм** и меняя $U_{ЛАТРа}$ от **0 до 20В**. Показания снимаем по приборам ***PV1 и PA4.***

Данные измерений занести в ***таблицу 3.2*** и построить графики.

Таблица 3.2

$U_{ВХ} = U_{ЛАТРа}\sqrt{2}$,В	$U_{ВЫХ.}$(PV1), В	$I_{СТ.}$(PA4), мА

12 Снять экспериментально зависимость $U_{ВЫХ.} = f(R_H)$, изменяя **R1** от **10кОм до 0**, при этом, $U_{ВХ}$ ***(на ЛАТРе)*** установить равным $U_{ВХ\ мин}$ (это минимальное напряжение для режима стабилизации) .

Выключить стенд в следующем порядке:

- перевести тумблер ***SA7*** в нижнее положение;
- перевести тумблер ***SA3*** в нижнее положение;
- перевести переключатели ***ЛАТРа TV2*** в начальное положение;
- выключить стенд автоматическим выключателем ***QF1;***
- убедиться, что все остальные переключатели - в исходном положении.

Лабораторная работа №4

Определение параметров и исследование режимов работы электрической цепи переменного тока с последовательным соединением катушки индуктивности, резистора и конденсатора

Цель работы

- Определение параметров схемы замещения индуктивной катушки с магнитопроводом.
- Изучение основных режимов работы электрической цепи при последовательном соединении ***R, L, C***.
- Изучение методов построения векторных диаграмм напряжений и токов.

Порядок выполнения лабораторной работы

1. Собрать схему, приведенную на ***рисунке 4.1.***

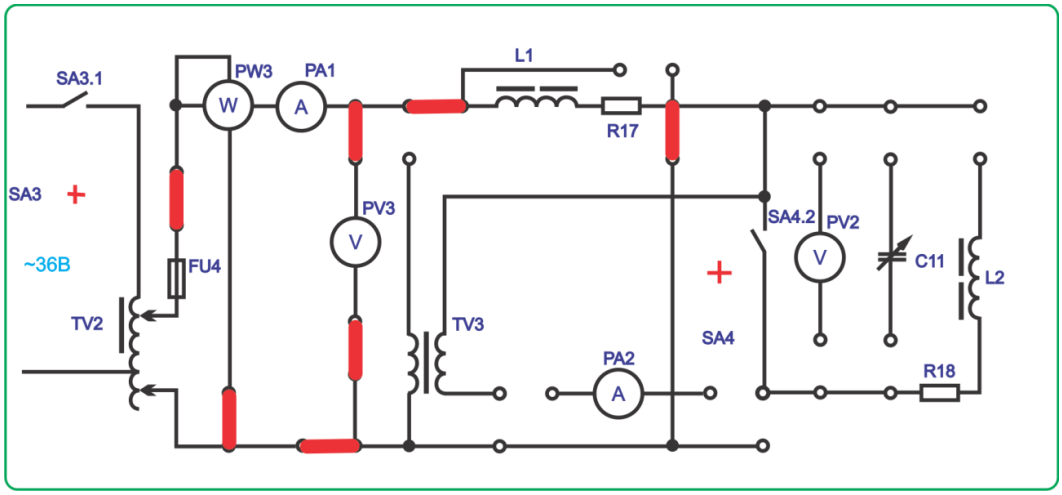


Рисунок 4.1

2. Перед включением стенда убедиться, что все переключатели находятся в начальном положении (выключены).

3. Включить стенд автоматическим выключателем ***QF1.***

4. Подключить питание ***ЛАТРа TV2***: тумблер ***SA3*** в устанавливается в верхнее положение « включено».

5. Установить номинальный ток катушки ***L1*** $I_н$***=0,1А.*** Для этого установить напряжение на выходе ***ЛАТРа TV2*** переключателями: левый – с шагом 10В и правый – с шагом 1В до **31-32 В.**

6. Снять показания приборов:

- ***PA1-*** ток ***($I_к$)*** через катушку (при нажатой кнопке над прибором ***PA1)*** ;
- ***PV3-*** напряжение ***($U_к$)*** на катушке;
- ***PW3*** **-** активная мощность***($P_к$)***, потребляемая катушкой, измеряется по прибору (***PW1+ PW2)*** при нажатой кнопке над прибором (≈ 0,8Вт)

ВНИМАНИЕ! Предел измерения приборов ***PV3 и PV2*** в данной работе ***50В***!

7. Выключить ***SA3***.

8. Выключить стенд автоматическим выключателем ***QF1.***

9. Вернуть переключатели ЛАТРа в начальные ***«0»*** положения.

10. Рассчитать индуктивность и активное сопротивление катушки ***L1*** по формулам:

$$R_{\Sigma} = \frac{P_К}{I_К^2}$$

$$Z_{\Sigma} = \frac{U_К}{I_К}$$

$$X_К = \sqrt{Z_{\Sigma}^2 - R_{\Sigma}^2}$$

$$L = \frac{X_К}{2 \cdot \pi \cdot f}$$

$$R_К = R_{\Sigma} - R17$$

$$Z_К = \sqrt{R_К^2 + X_К^2}$$

где ***R17 =51 Ом.***

11. Собрать схему по ***рисунку 4.2.***

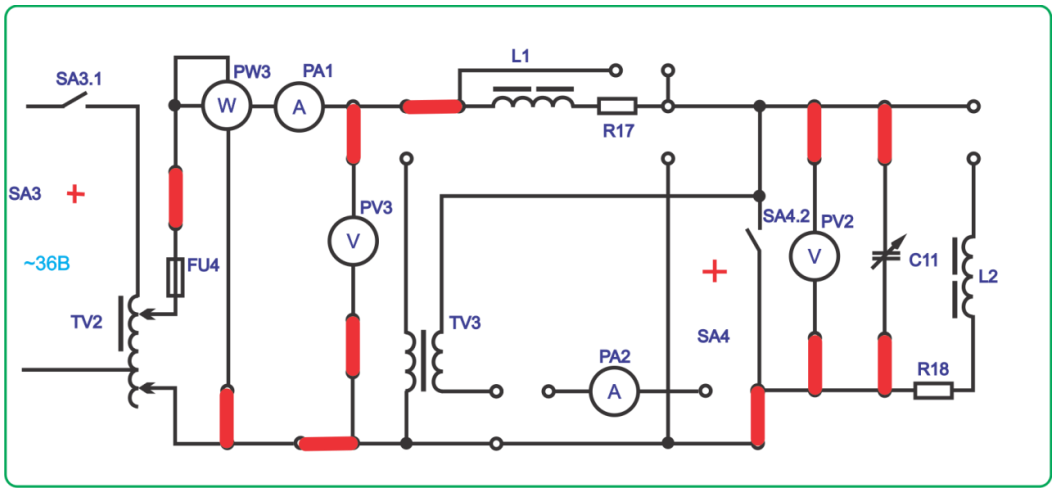


Рисунок 4.2

12. Рассчитать величину ёмкости ***C11***, при которой в цепи будет наблюдаться резонанс напряжений.

Расчет конденсатора для режима резонанса осуществляется по формулам:

$$X_К = X_{C11}$$

$$X_{C11} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C11}$$

$$C11 = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot X_К}$$

13. Рассчитать напряжение $U_{мин}$, при котором в режиме резонанса напряжений ток в цепи ***I*** не превысит ***0,065А*** (при большем значении тока прибор ***PV2*** – может зашкалить):

$$Uмин = I(R_К + R17)$$

14 Экспериментально проверить расчёты резонансной ёмкости и минимального напряжения $U_{мин.}$ ВНИМАНИЕ! Тумблер ***SA4*** должен находиться в выключенном положении (рычажок – внизу). Для этого: ЛАТР включить в «0» положение. С помощью тумблеров на наборном поле установить расчётную ёмкость конденсатора **C11≈10 мкФ** и, нажав кнопку над ***PA1,*** плавно увеличивать $U_{ЛАТРа}$ до увеличения тока на ***PA1*** до ***0,065А*** **($U_{ЛАТРа}$≈13В).** Записать значения напряжения ***PV3*** **(≈7В)*, PV2 (≈22В).***

Чтобы убедиться, что наступил режим резонанса напряжений, необходимо увеличить или уменьшить ёмкость, при этом ток на ***PA1*** уменьшится.

15 Определить расчетным путем значения **cosφ** в цепи при максимальном значении емкости
конденсатора ***C11***.
Значение ***C11max = 12,7 мкФ*** - при всех замкнутых выключателях на наборном поле.

Коэффициент мощности цепи: $\cos\varphi = \frac{\mathbf{R17}+\mathbf{R}_К}{\sqrt{(\mathbf{R17}+\mathbf{R}_К)^2+(X_К-X_С)^2}}$,

где $X_C = \frac{1}{2\pi f C_{11max}}$;

16 Для экспериментальной проверки величины **cosφ** при максимальном значении емкости конденсатора ***C11*** все тумблеры магазина конденсаторов перевести в верхнее положение и записать показания приборов ***(PW1+ PW2)*** ≈1Вт, ***PV3***≈9В, ***PA1***≈0,06А. Рассчитать **cos**φ, подставив экспериментальные данные:

$$\mathbf{cos}\varphi = \frac{\mathbf{P}}{\mathbf{U\,I}}$$

17 Для режима работы с максимальной ёмкостью построить векторную диаграмму: задать $\mathbf{U_{ЛАТРа}}$ равным **14В ,** конденсаторы – все включены (***C=12,7мкФ***), нажать кнопки над приборами ***PW и PA1*** и снять показания ***PW*** , ***PA1 ($I_Σ$), PV3 ($U_Σ$), PV2(Uc).*** Пример построения векторной диаграммы цепи при активно-индуктивном характере цепи дан на ***рисунке 4.3.***

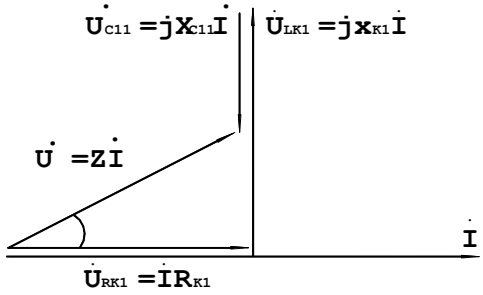


Рисунок 4.3

Выключить стенд в следующем порядке:

- перевести тумблер ***SA3*** в нижнее положение;
- перевести переключатели ***ЛАТРа TV2*** в начальное положение;
- выключить стенд автоматическим выключателем ***QF1;***
- тумблеры конденсатора ***C11*** вернуть в первоначальное положение (вниз);
- убрать перемычки;
- убедиться, что все остальные переключатели - в начальном состоянии.

Лабораторная работа №5
Исследование режимов работы линии электропередачи переменного тока при изменении коэффициента мощности нагрузки

Цель работы:

- Изучение эксплуатационных характеристик линии электропередачи переменного тока.
- Экспериментальное определение параметров нагрузки.
- Исследование режимов работы ЛЭП при изменении коэффициента мощности нагрузки.

Порядок выполнения лабораторной работы

1. Изучить схему замещения ЛЭП.

2. Собрать схему, приведенную на ***рисунке 5.1*** с зашунтированной ЛЭП ***(R17, L1).***

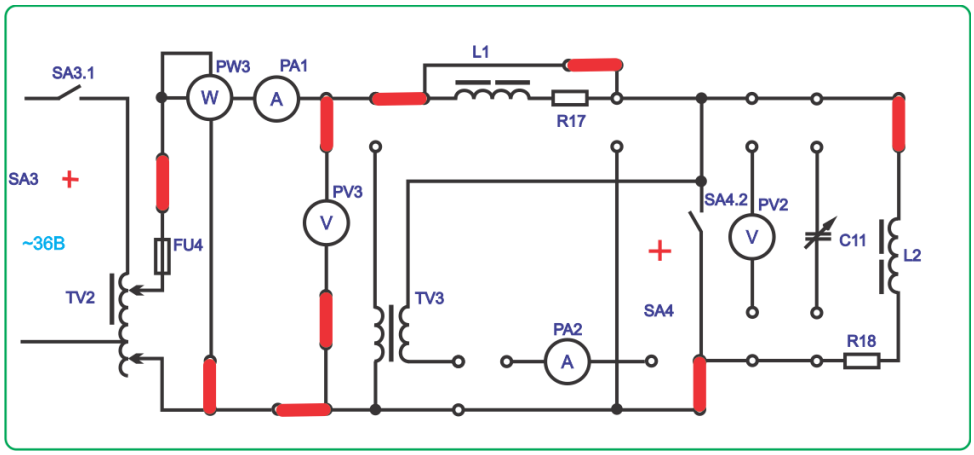


Рисунок 5.1

3. Закоротив условно представленную ЛЭП /**LI, R17**/ определяют параметры катушки L2, сопротивление R18 и cosφ для номинального режима (Uн = 25В).

4. Включить стенд автоматическими выключателем ***QF1*** и тумблером ***SA3.***

5. Подключить питание ***ЛАТРа TV2*** и установить номинальное напряжение U_H***=25В*** на потребителе (***L2, R18***).

6. Снять показания приборов (при нажатой кнопке над PA1):

- ***PA1 ($I_{П.}$)*** - ток потребителя (≈0,065А);
- ***PV3($U_{С.}$) –*** напряжение сети (25В);
- ***PW1+ PW1 ($P_{П.}$)*** - активная мощность, потребляемая из сети (≈0,8Вт). ВНИМАНИЕ! Пределы измерения приборов ***PV3 и PV2*** в данной работе ***50В***!

7. Выключить ***SA3***, ***QF1.***

8. Вернуть переключатель питания ***ЛАТРа TV2*** в ***«0»*** положение***.***

9. Рассчитать индуктивность и активное сопротивление катушки ***L2*** по формулам:

$$R_{18} = \frac{P_{П.}}{I_{П.}^2}$$

$$Z_{L2} = \frac{U_{С.}}{I_{П.}}$$

$$X_{L2} = \sqrt{Z_{L2}^2 - (R18)^2}$$

$$L2 = \frac{X_{L2}}{2 \cdot \pi \cdot f}$$

10. Рассчитать значение емкости ***C11***, при котором в цепи наступит резонанс токов $b_L = b_C$ и проверить экспериментально:

$$\frac{X_{L2}}{Z_{L2}^2} = \omega \cdot C11$$

$$C11 = \frac{X_{L2}}{Z_{L2}^2 \cdot \omega}$$

(С≈8мкФ)

Для экспериментальной проверки ***C11*** собрать схему по ***рисунку 5.2.***

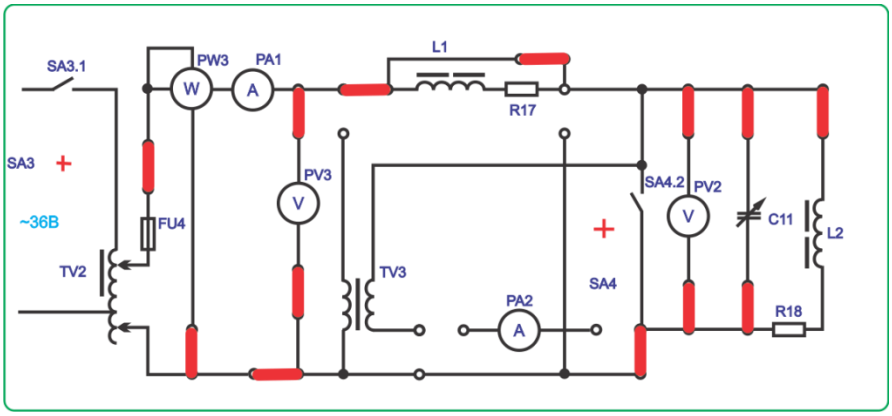


Рисунок 5.2

Установить на ЛАТРе ***25В*** по прибору ***PV3*** и магазином конденсаторов набрать расчётное значение ёмкости для режима резонанса. Чтобы убедиться, что наступил режим резонанса, необходимо увеличить или уменьшить ***C11***, при этом ток будет возрастать.

11. Определить расчетным путем значение емкости конденсатора ***C11*** для повышения коэффициента мощности нагрузки до значения $cos\varphi 2_{зад}$, заданного преподавателем (**от** $cos\varphi 2_H$ до ***0,9***) и проверить экспериментально.

- расчет коэффициента мощности нагрузки $cos\varphi 2_H$:

$$\cos\varphi 2_H = \frac{R18}{Z_{L2}}$$

- расчет значения емкости ***C11*** для повышения коэффициента мощности до значения $cos\varphi 2_{зад}$:

$$C11 = \frac{P_2}{\omega \cdot U_{11}^2}(tg\varphi 2_H - tg\varphi 2_{зад})$$

Проверить расчет $cos\varphi 2_{\text{Н}}$, собрав схему по ***рисунку 5.3.***

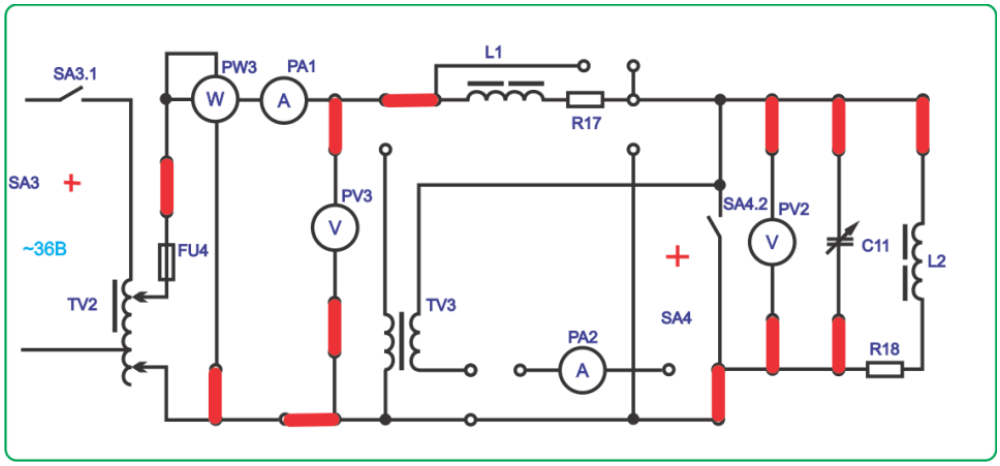


Рисунок 5.3

Для этого, включить ***ЛАТР*** на напряжение ***25В*** по прибору ***PV2 и*** записать показания приборов: ***PA1 (I), PV2(U), PW1+PW2(P).*** Рассчитать: $cos\varphi 2_{зад} = \frac{P}{U\,I}$

12. Построить зависимость $\eta = f(C11)$, для этого: собрать схему, приведенную на ***рисунке 5.3,*** с незашунтированной ЛЭП ***(R17, L1).***

13. Установить ***ЛАТРом*** номинальное напряжение $U_{Н.}$***=25В (PV2)*** на потребителе (***L2, R18***). При этом емкость конденсатора ***C11*** должна быть «***0***» (все тумблеры магазина конденсаторов - в нижнем положении).

14. Увеличивая емкость ***C11*** (0,4, 0,8…) и уменьшая при этом U_H до ***25 В (***по прибору ***PV2*** понижая напряжение ***ЛАТРом***) снять и построить зависимость $\eta = f(C11)$. Данные занести в ***таблицу 5.1.***

Таблица 5.1

Экспериментальные данные					***Расчетные значения***		
U_1***(PV3), В***	***U2(PV2), В***	***I(PA1), А***	***PW, Вт***	***C11, мкФ***	***y***	***cosφ2***	***η***
	25			0			
	25			0,4			
	25			0,8			
	25			1,6			

$$\eta = \frac{1}{1 + \frac{P2 \cdot R_{\Sigma}}{U2^2 \cdot cos\varphi 2^2}},$$

где значение сопротивления R_{Σ}***= R17 +*** R_{L1} берется из ***лр №4 (R17 =51 Ом)***

$$cos\varphi 2 = \frac{g}{y}$$

где ***q*** - активная проводимость нагрузки:

$$g = \frac{R18}{Z_{L2}^2}$$

y - полная проводимость нагрузки:

$$y = \sqrt{\left(\frac{R18}{Z_{L2}^2}\right)^2 + \left(\frac{X_{L2}}{Z_{L2}^2} - \omega \cdot C11\right)^2}$$

P2 - активная мощность, потребляемая нагрузкой:

$$\boldsymbol{P2 = P - P1 = P - I^2 \cdot (R17 + R_{L1})}$$

P **–** показания ваттметра ***PW1+PW2.***

15. Выключить стенд в следующем порядке:

- перевести тумблер ***SA3*** в нижнее положение;
- перевести переключатели **ЛАТРа** ***TV2*** в начальное положение;
- выключить стенд автоматическим выключателем ***QF1;***
- убрать перемычки;
- тумблеры магазина конденсаторов ***C11*** вернуть в первоначальное положение (вниз);
- убедиться, что все остальные переключатели - в начальном состоянии.

Лабораторная работа №6

Определение параметров и исследование режимов работы трехфазной цепи при соединении потребителей звездой

Цель работы

- Исследование трехфазной цепи при соединении потребителей звездой.
- Изучение методов расчета трехфазных цепей при соединении потребителей звездой.

Порядок выполнения лабораторной работы

1 Исследование симметричной резистивной нагрузки при наличии нейтрального провода

1.1 Собрать схему, приведенную на ***рисунке 6.1***.

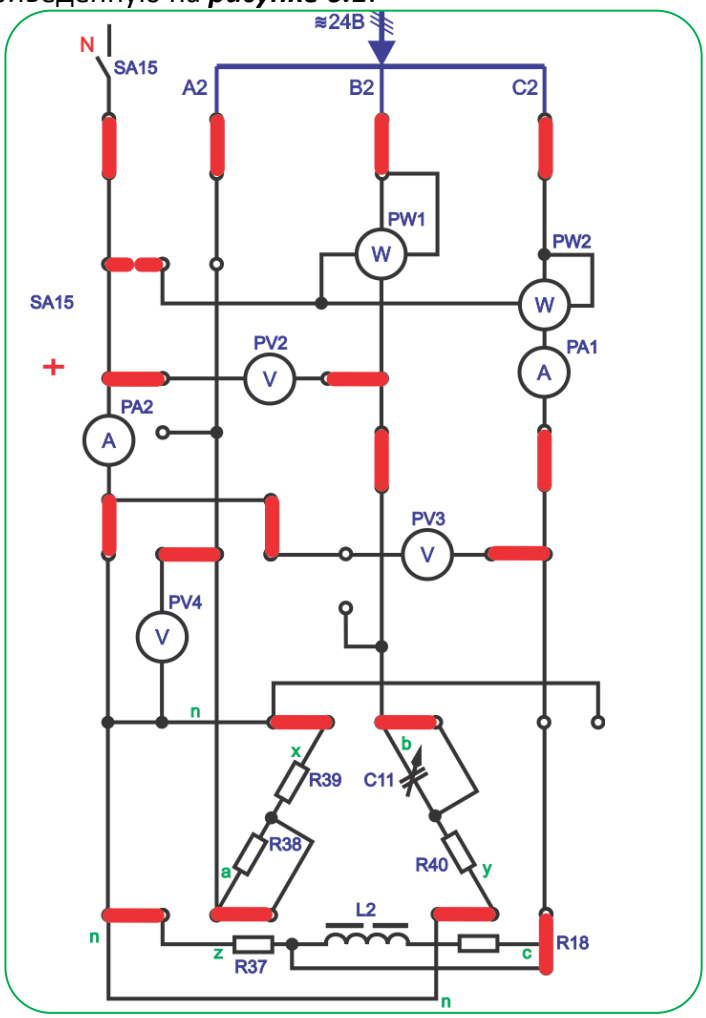


Рисунок 6.1

Перед включением стенда убедиться, что все переключатели находятся в начальном положении (выключены).

1.2 Включить стенд автоматическим выключателем ***QF1.***

1.3 Включить тумблер ***SA15.***

ВНИМАНИЕ! Предел измерения приборов ***PV2, PV3, PV4 - 50В.***

Убедиться, что ток в нейтрали (по прибору ***PA2)*** равен нулю. Следовательно, нагрузка симметричная ***R37 = R39 = R40.*** Измерить фазные напряжения при помощи вольтметров ***PV2, PV3, PV4*** и фазный ток **I1** в фазе «С» при помощи амперметра ***PA1***.

Убедиться в отсутствии тока в нейтральном проводе ***I2 = 0 (PA2).***

1.4 Выключить тумблер ***SA15*** и автоматический выключатель ***QF1.***

1.5 Определить значения сопротивлений резисторов ***R37, R39, R40*** по Закону Ома:

$$\boldsymbol{R37 = \frac{U_{C(PV3)}}{I_{C\,(PA1)}}}$$

Мощность, потребляемую симметричной нагрузкой, определить по формуле:

$$\boldsymbol{P = 3\, I^2_1\, R39,}$$

где ***R39=510 Ом***

2 Исследование равномерной нагрузки без нейтрального провода

В качестве равномерной нагрузки в фазы ***A, B*** и ***C*** добавляются соответственно ***R38, C11*** и ***L2+R18***.

2.1 Для получения равномерной нагрузки рассчитать величину емкости ***C11*** из условия:

$$|\boldsymbol{Z_a}| = |\boldsymbol{Z_b}| = |\boldsymbol{Z_c}|$$

$$\boldsymbol{Z_a = \sqrt{R40^2 + X^2_{C11}}}$$

$$\boldsymbol{Z_b = \sqrt{(R37 + R18)^2 + X^2_{L2}}}$$

$$\boldsymbol{Z_c = R38 + R39}$$

Приняв $\boldsymbol{Z_a = Z_b}$ определяют значение ***C11*** для получения равномерной нагрузки:

$$\boldsymbol{R40^2 + X^2_{C11} = (R37 + R18)^2 + X^2_{L2},}$$

где ***R18 =170 Ом, R38 =250 Ом,*** $\boldsymbol{X_{L2} = 375}$ ***Ом*** (из лабораторной работы ***№5)***.

$$\boldsymbol{X_{C11} = \sqrt{(R37 + R18)^2 - R40^2 + X^2_{L2}}}$$

$$\boldsymbol{C11 = \frac{1}{\omega \cdot X_{C11}}}$$

2.2 Исследовать равномерную нагрузку без нейтрального провода:

- отключить нейтральный провод тумблером ***SA15*** *(I2 = 0)*, а общую точку ваттметров PW1, PW2 подключить к фазе «**A**» (переключить перемычку, обозначенную пунктиром)
- набрать рассчитанное значение ***C11*** при помощи выключателей.
- разомкнуть перемычки, шунтирующие элементы ***R38, C11, L2, R41*** и таким образом получить равномерную нагрузку.
- включить автоматический выключатель ***QF1;***
- измерить фазные напряжения при помощи вольтметров ***PV1, PV3, PV4*** и фазный ток ***I1*** в фазе «**C**» при помощи амперметра ***PA1.*** Убедиться в неравенстве фазных напряжений.

2.3 Рассчитать напряжение смещения нейтрали:

$$\boldsymbol{\dot{U}_{nN} = \frac{\dot{U}_{A1} \cdot \underline{Y}_a + \dot{U}_{B1} \cdot \underline{Y}_b + \dot{U}_{C1} \cdot \underline{Y}_b}{\underline{Y}_a + \underline{Y}_b + \underline{Y}_c}}$$

Считая: $\boldsymbol{\dot{U}_a = \dot{U}_{A1} - \dot{U}_{nN},\ \dot{U}_b = \dot{U}_{B1} - \dot{U}_{nN}, \dot{U}_c = \dot{U}_{C1} - \dot{U}_{nN},}$

Определить токи в фазах:

$$\dot{I}_A = \frac{\dot{U}_{A1} - \dot{U}_{nN}}{\underline{Z}_a};\ \dot{I}_B = \frac{\dot{U}_{B1} - \dot{U}_{nN}}{\underline{Z}_b};\ \dot{I}_A = \frac{\dot{U}_{C1} - \dot{U}_{nN}}{\underline{Z}_c}$$

2.4 Рассчитать активную мощность, потребляемую нагрузкой по формуле:

$$P = I_A^2 \cdot R40 + I_B^2 \cdot (R37 + R18) + I_C^2 \cdot (R38 + R39)$$

Сравнить расчетное значение с показаниями ваттметров:

P=PW1+PW2

3 Исследование равномерной нагрузки с нейтральным проводом

3.1 Подключить нейтральный провод тумблером ***SA15,*** общую точку ваттметров подключить к нейтрали. Включить автоматический выключатель ***QF1.***

3.2 Исследовать равномерную нагрузку, измерив, фазные напряжения, мощность и ток в нейтральном проводе.

3.3 Рассчитать комплексные значения токов в фазах А, В, С:

$$\dot{U}_a = \dot{U}_b = \dot{U}_c$$

$$I_a = I_b = I_c$$

$$\dot{I}_A = \frac{\dot{U}_a}{\underline{Z}_a};\ \dot{I}_B = \frac{\dot{U}_b}{\underline{Z}_b};\ \dot{I}_A = \frac{\dot{U}_c}{\underline{Z}_c}$$

Определить ток в нейтральном проводе:

$$\dot{I}_N = \dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C$$

Сравнить расчетные значения токов с экспериментальными по п 3.2.

Выключить стенд в следующем порядке:

- Выключить тумблер ***SA15.***
- Выключить стенд автоматический выключатель ***QF1;***
- Убрать перемычки;
- Тумблеры конденсатора ***C11*** вернуть в первоначальное положение (вниз);
- Убедиться, что все остальные переключатели - в начальном положении.

Лабораторная работа № 7
Определение параметров и исследование режимов работы трехфазной цепи при соединении потребителей в треугольник

Цель работы

- Исследование трехфазной цепи при соединении потребителей в треугольник.
- Изучение методов расчета трехфазных цепей при соединении потребителей в треугольник.

Порядок выполнения лабораторной работы

Исследование трехфазной цепи при соединении потребителей в треугольник

1. Собрать схему, приведенную на ***рисунке 7.1***.

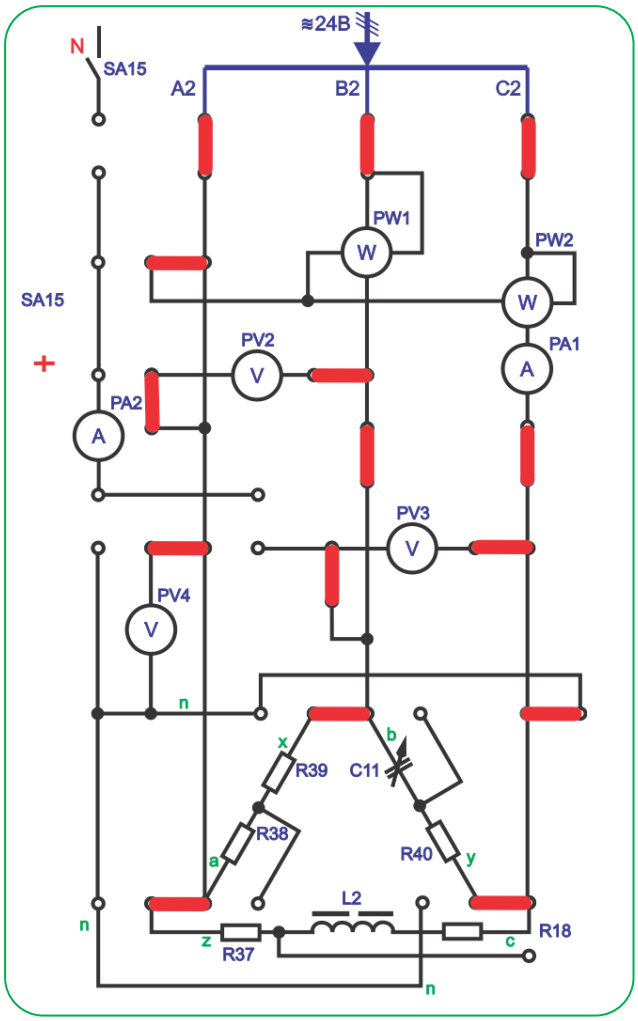


Рисунок 7.1

2 Перед включением стенда убедиться, что все переключатели находятся в начальном положении (выключены).

3 Включить стенд автоматическим выключателем ***QF1.***

4 На основании расчетов, сделанных в **лабораторной работе N6**, набрать на стенде равномерную нагрузку: установить расчетное значение конденсатора ***C11*** необходимыми переключателями (расчетное значение из ***ЛР №6***).

5 Измерить активную мощность нагрузки и линейный ток в линии **C** прибором ***PA1***.

6 Напряжение ***Uab*** измерить прибором ***PV2***, напряжение ***Ubc*** - прибором ***PV3, Uac-*** прибором ***PV4.***

7 Рассчитать комплексные значения фазных токов и определить линейный ток I_C. Фазные токи определяют по закону Ома:

$$\dot{I}_{AB} = \frac{\dot{U}_{AB}}{\underline{Z}_{AB}};\ \dot{I}_{BC} = \frac{\dot{U}_{BC}}{\underline{Z}_{BC}};\ \dot{I}_{AC} = \frac{\dot{U}_{AC}}{\underline{Z}_{AC}}$$

Значения линейных токов переделяются по первому закону Кирхгофа:

$$I_A = I_{AB} - I_{AC};\ I_B = I_{BC} - I_{AB};\ I_C = I_{AC} - I_{BC}$$

Модуль тока I_C сравнить с измеренным значением.

8 Рассчитать активную мощность потребителя:

$$P = I_{A1B1}^2 \cdot R40 + I_{B1C1}^2 \cdot (R37 + R18) + I_{A1C1}^2 \cdot (R38 + R39)$$

Результаты вычислений сравнить с экспериментальными данными измерений ваттметра (***PW1+PW2).***

9 Построить векторную диаграмму.

10 Выключить стенд в следующем порядке:

- выключить стенд автоматическим выключателем ***QF1;***
- убрать перемычки;
- тумблеры конденсатора ***C11*** вернуть в первоначальное положение (вниз);
- убедиться, что все остальные переключатели - в начальном состоянии.

Лабораторная работа № 8
Исследование линейных цепей несинусоидального периодического тока, содержащих катушку индуктивности и конденсатор

Цель работы

- Изучение методов расчета линейных электрических цепей несинусоидального периодического тока.
- Изучение влияния индуктивного и емкостного элементов на величину тока при несинусоидальном напряжении источника.
- Изучение принципа действия сглаживающих L-фильтров и методов расчета их параметров.

Основные теоретические соотношения

Действующие значения несинусоидальных напряжений и тока определяются:

$$U = \sqrt{U_0^2 + U_1^2 + U_2^2 + \cdots}\,;\; I = \sqrt{I_0^2 + I_1^2 + I_2^2 + \cdots}\quad , \qquad (1)$$

где U_0 *и* I_0 - постоянные составляющие несинусоидальных значений напряжения и тока, разложенные в ряд Фурье;

U_1, U_2, ..., I_1, I_2... - действующие значения отдельных гармонических составляющих напряжения и тока.

$$U_1 = \frac{U_{1M}}{\sqrt{2}};\; U_2 = \frac{U_{2M}}{\sqrt{2}};\ldots;\; I_1 = \frac{I_{1M}}{\sqrt{2}};\; I_2 = \frac{I_{2M}}{\sqrt{2}};\ldots, \qquad (2)$$

где U_{1M}, U_{2M}, … I_{1M}, I_{2M}, … - амплитудные значения отдельных составляющих напряжения и тока.

Угол включения тиристоров α регулируется за счет изменения напряжения управления с помощью ***R13.***

Гармонический состав напряжения управляемого выпрямителя описывается рядом Фурье:

$$U = U_0 + U_{1M} \cdot sin(2\omega t + \varphi_1) + U_{2M} \cdot sin(4\omega t + \varphi_2) + U_{3M} \cdot sin(6\omega t + \varphi_3) \quad (3)$$

Численные значения отдельных гармонических составляющих в долях амплитудного значения напряжения на входе выпрямителя и их начальные фазы приведены в ***таблице 8.1***.

Таблица 8.1

α	U_0	U_{1M}	U_{2M}	U_{3M}	φ_1	φ_2	φ_3
30	0,594	0,491	0,123	0,0546	83,8	52,7	2.56
45	0,543	0,543	0,121	0,06	73,7	5,91	77,7
60	0,477	0,551	0,110	0,098	60,0	-60,0	-16,1
75	0,401	0,532	0,131	0,124	44,0	45,8	87,8
90	0,318	0,474	0,175	0,111	26,6	-14,0	9,46
105	0,236	0,386	0,201	0,0874	8,15	-62,9	-86,9
120	0,159	0,281	0,189	0,0949	-10,9	73,0	-5,49
135	0,0932	0,174	0,140	0,0962	-30,4	31,1	-82,3

Для расчета постоянной составляющей тока:

$$I_0 = \frac{U_0}{R14}; \quad R14 = 1\text{кОм} \qquad (4)$$

Действующее значение токов гармонических составляющих можно определить из выражения вида:

$$I_K = \frac{U_K}{\sqrt{(R14 + R_{L1})^2 + (k\omega L1)^2}} \qquad (5)$$

где ***k = 2; 4; 6;*** …

$\omega = 2\pi f$

f = 50 Гц – частота сети

R14=1кОм

R_{L1}***-*** взять из расчетов ***ЛР №4*** за вычетом ***R17=51 Ом.***

Сдвиг по фазе между током и напряжением соответствующих гармонических составляющих:

$$\varphi_{ki} = arctg\frac{K\omega L1}{R14 + R_{L1}} \qquad (6)$$

Действующее значение несинусоидального тока:

$$I = \sqrt{I_0^2 + I_1^2 + I_2^2 + \ldots + I_K^2 + \ldots} \qquad (7)$$

По результатам измерения производится запись напряжения источника в виде ряда Фурье.

Порядок выполнения лабораторной работы

Исследование цепей несинусоидального периодического тока с активной и активно- индуктивной нагрузкой*.*

1. Собрать схему, приведенную на ***рисунке 8.1*** с установленной перемычкой ***П1*** (закорочена индуктивность ***L1***).
2. При выполнении данной работы возможно использование осциллографа для исследования несинусоидальных периодических напряжений.
3. Установить заданное преподавателем значение угла управления тиристорным выпрямителем с помощью резистора ***R13*** (например, ***60°).***
4. Включить тумблер ***SA5*** (в качестве нагрузки подключаем резистор ***R14***).

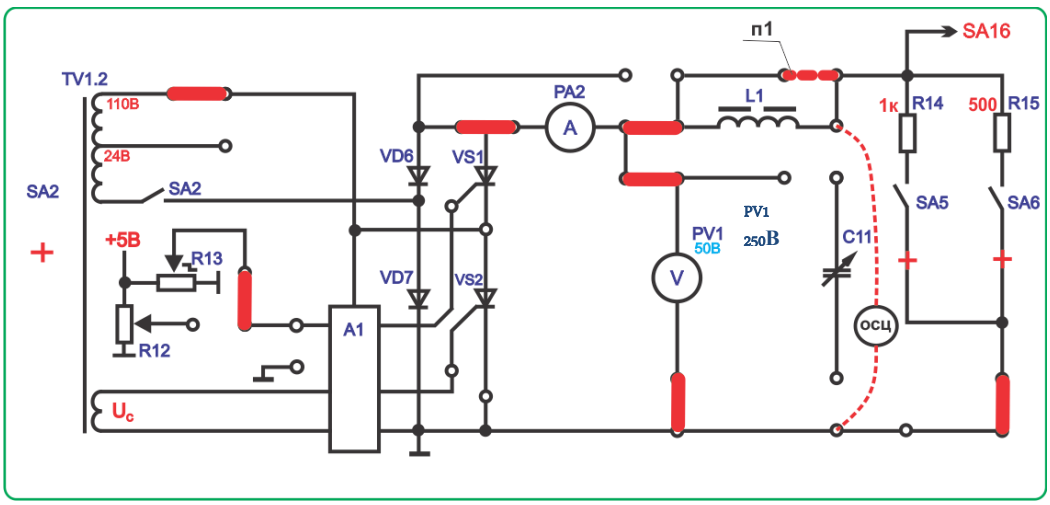


Рисунок 8.1

5. Перед включением стенда убедиться, что все переключатели находятся в начальном положении (выключены).

6. Включить автоматический выключатель ***QF1*** и тумблер ***SA2.*** ВНИМАНИЕ! Предел измерения прибора ***PV1-250В.***

7 Включить схему и измерить с помощью вольтметра ***PV1*** магнитоэлектрической системы среднее значение напряжения на выходе управляемого выпрямителя (УВ). С помощью осциллографа контролируется угол управления и измеряется амплитуда **Um** питающего напряжения.

8 Считая, что измеренное в **п. 7** напряжение равно $\mathbf{U_0}$ для заданного угла, и воспользовавшись **таблицей 8.1** определить $\mathbf{U_m}$ на входе УВ и действующие значения гармонических составляющих выходного напряжения УВ.

9 Записать напряжение УВ для заданного угла управления в виде ряда Фурье.

10 Используя данные **п. 8** и **ЛР №4**, рассчитать действующее значение тока для схемы **рис. 8.4** , где R_H – задается преподавателем (***R14 или R15 или R14//R15****).*

11 Собрать схему ***рис. 8.1*** (***L1*** **–** введен в цепь, перемычка **П1** - отсутствует) и при заданных $\mathbf{R_H}$ и угле управления измерить действующее значение тока (амперметр ***PA2***). Сравнить результаты расчета и эксперимента.

Выключить стенд в следующем порядке:

- выключить стенд автоматическим выключателем ***QF1;***
- убрать перемычки;
- тумблеры ***SA2 и SA5*** вернуть в первоначальное положение (вниз), резистор ***R13*** в положение $\boldsymbol{150^0}$.;
- убедиться, что все остальные переключатели - в начальном состоянии.

Лабораторная работа №9

Исследование параметров схемы замещения катушки индуктивности с замкнутым магнитопроводом и при наличии в магнитопроводе воздушного зазора

Цель работы

- Изучить методы определения параметров схемы замещения катушки индуктивности с замкнутым магнитопроводом.
- Построить вольтамперную характеристику (в.а.х.) катушки индуктивности с замкнутым магнитопроводом.

Порядок выполнения лабораторной работы

Построение вольтамперной характеристики (в.а.х.) катушки индуктивности с замкнутым магнитопроводом.

1. Собрать схему, приведенную на ***рисунке 9.1,*** для расчета параметров R_M и X_M катушки индуктивности с замкнутым магнитопроводом.

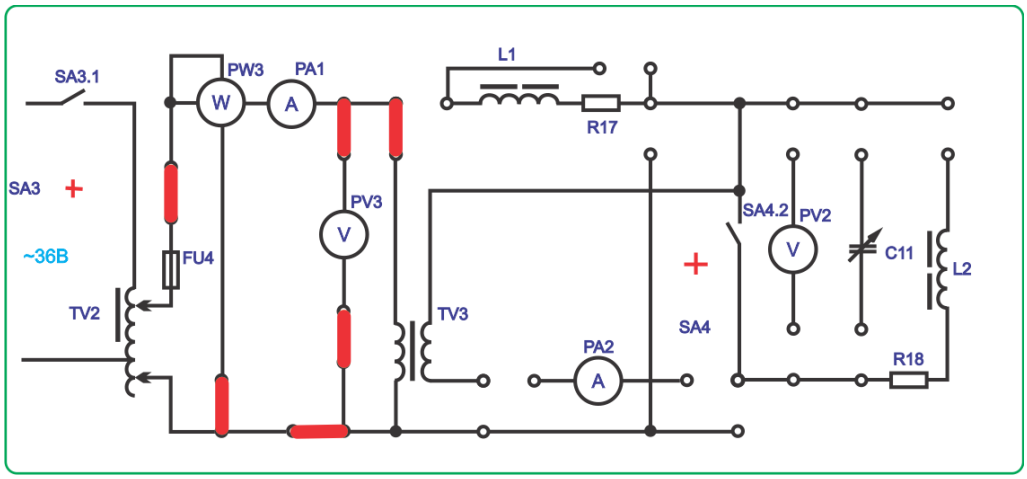


Рисунок 9.1

2. Перед включением стенда убедиться, что все переключатели находятся в начальном положении (выключены).

ВНИМАНИЕ! Тумблер SA4 должен находиться в выключенном положении (рычажок – внизу).

3. Включить стенд автоматическим выключателем ***QF1.***

4. Подключить питание ЛАТРа ***TV2*** (тумблер переключения пределов регулирования напряжения ЛАТРа в положение ***«0»***, тумблер ***SA3*** устанавливается в верхнее положение – включено).

5. Снять в.а.х. Для этого, изменяем напряжение на выходе ***ЛАТРа TV2*** переключателями: левый с шагом 10В и правый– с шагом 1÷2В. Снять показания приборов ***PA1, PV3, PW3*** (***PW1+PW2***) и занести их в ***таблицу 9.1.***

Таблица 9.1

Экспериментальные данные			***Расчетные значения***			
U (PV3), В	***I (PA1), А***	***P (PW3), Вт***	***S, ВА***	***Z, Ом***	***X_{TV2}, Ом***	***$R_К$, Ом***
0						
20						
30						
31						
32						
33						
34						
36						
37						

6. Выключить тумблер ***SA3.***

7. Выключить стенд автоматическим выключателем ***QF1.***

8. Вернуть тумблеры ***ЛАТРа TV2*** в начальные положения.

9. Построить график в.а.х. катушки индуктивности с замкнутым магнитопроводом ***I = f(U)*** по значениям, внесенным в ***таблицу 9.1.***

10. Определить параметры схемы замещения на линейном участке в.а.х. и в области насыщения, данные расчетов занести в ***таблицу 9.1.***

$$R_M = \frac{P\,(PW3)}{I^2(PA1)};\ Z_M = \frac{U(PV3)}{I(PA1)};\ X_M = \sqrt{(Z_M^2 - R_M^2)};$$

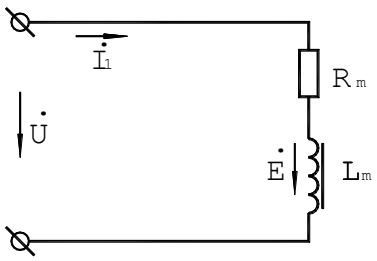


***Рисунок 9.2*- Схема замещения катушки индуктивности с замкнутым магнитопроводом**

На линейном участке кривой намагничивания материала замкнутого магнитопровода катушки значение R_M и X_M имеют небольшое значение, а в области насыщения величины R_M и X_M, уменьшаются. Следовательно, в.а.х. катушки индуктивности с замкнутым магнитопроводом имеет нелинейный характер.

Построение вольтамперной характеристики (в.а.х.) катушки индуктивности с зазором

1. Собрать схему, приведенную на ***рисунке 9.3,*** для расчета параметров R_M и X_M катушки индуктивности с зазором.

2. Перед включением стенда убедиться, что все переключатели находятся в начальном положении (выключены).

ВНИМАНИЕ! Тумблер SA4 должен находиться в выключенном положении (рычажок – внизу).

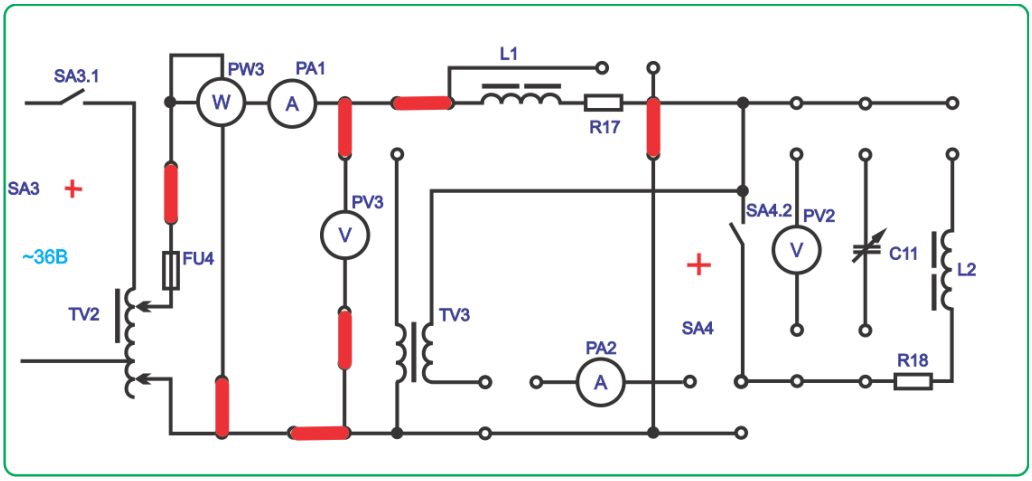


Рисунок 9.3

3. Включить стенд автоматическими выключателем ***QF1.***
4. Подключить питание ***ЛАТРа TV2*** тумблером ***SA3*** (верхнее положение – включено).
5. Снять в.а.х. Для этого, изменяем напряжение на выходе ***ЛАТРа TV2*** переключателями: левый с шагом 10В и правый с шагом 1÷2В. Снять показание приборов ***PA1, PV3, PW3*** и занести их в ***таблицу 9.2.***

Таблица 9.2

Экспериментальные данные			***Расчетные значения***			
U (PV3), В	***I (PA1), А***	***P (PW3), Вт***	***S, ВА***	***Z_M, Ом***	***X_M, Ом***	***R_M, Ом***
0						
5						
10						
20						
25						
30						
35						

6. Выключить стенд в следующем порядке:
   - выключить тумблер ***SA3***
   - выключить стенд автоматическим выключателем ***QF1.***
   - вернуть переключатели ***ЛАТРа TV2*** в начальные положения.
7. Построить график в.а.х. катушки индуктивности с зазором ***I = f(U)*** по значениям, внесенным в ***таблицу 9.2.***
8. Определить параметры схемы замещения на линейном участке в.а.х. и в области насыщения, данные расчетов занести в ***таблицу 9.2.***

$$R_M = \frac{PW3}{(PA1)^2};\ Z_M = \frac{PV3}{PA1};\ X_M = \sqrt{(Z_M^2 - R_M^2)};$$

Лабораторная работа №10
Определение параметров и основных характеристик однофазного трансформатора

Цель работы

- Изучение устройства и принципа действия однофазного трансформатора.
- Изучение схемы замещения трансформатора и определение ее параметров.
- Изучение влияния характера нагрузки на внешнюю характеристику и к.п.д. трансформатора.

Порядок выполнения лабораторной работы

Проведение опыта холостого хода трансформатора

1. Собрать схему, приведенную на ***рисунке 10.1,*** для проведения опыта х.х.

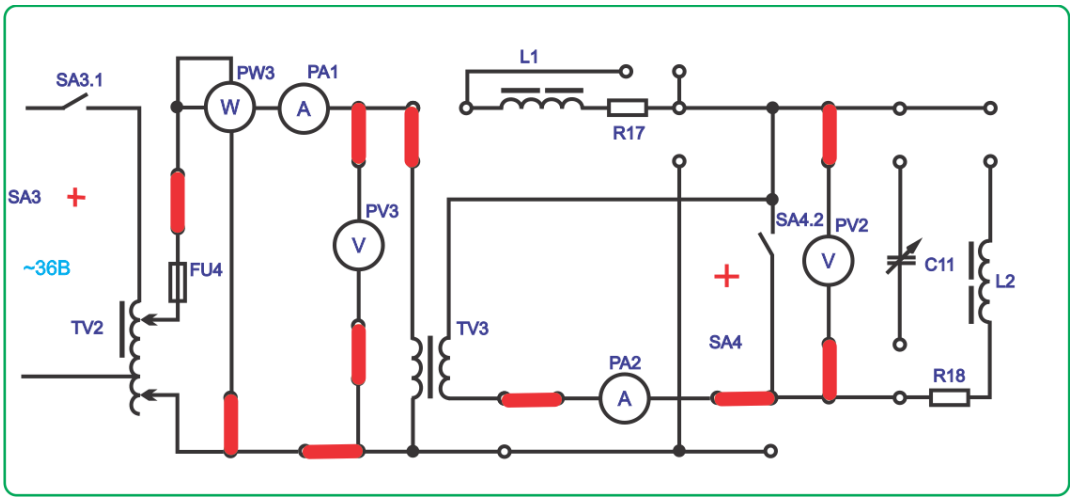


Рисунок 10.1

2. Перед включением стенда убедиться, что все переключатели находятся в начальном положении (выключены).
ВНИМАНИЕ! Тумблер SA4 должен находиться в выключенном положении (рычажок – внизу).

3. Включить стенд автоматическим выключателем ***QF1.***

4. Подключить питание ***ЛАТРа TV2*** (тумблер ***SA3*** устанавливается в верхнее положение – включено).

5. Задать переключателями напряжение на выходе ***ЛАТРа TV2*** - 36 В. Снять показание приборов ***PA1 (I_{10}), PV3 ($U_{1x.x.}$), PW1+ PW2 (P_0), PV2 (U_{2H})*** и занести их в ***таблицу 10.1.***

Таблица 10.1

Экспериментальные данные				***Расчетные значения***					
U_1 (PV3), В	***$I_{10,2}$ (PA1), А***	***P (PW1), Вт***	***U_{2H} (PV2), В***	***S, ВА***	***Z, Ом***	***XL, Ом***	***RK, Ом***	***φ, град***	***cosφ***

6. Выключить тумблер ***SA3***, вернуть переключатели ***ЛАТРа TV2*** в начальные положения «***0»***.

7. Рассчитать параметры схемы замещения трансформатора по опыту х.х. (***рисунки 10.2 и 10.3):***

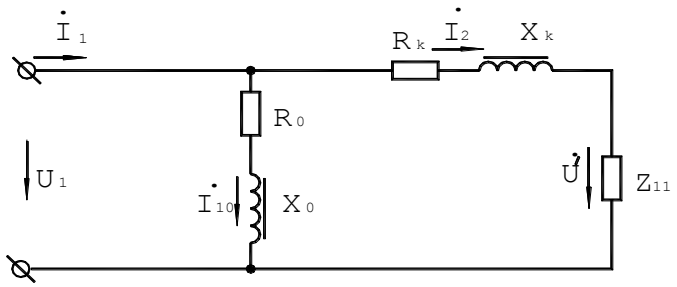


Рисунок 10.2- Схема замещения трансформатора

R_0, X_0 - параметры схемы замещения, определяемые из опыта холостого хода трансформатора,

R_K, X_K - параметры схемы замещения, определяемые из опыта короткого замыкания трансформатора.

n_{TP} - коэффициент трансформации.

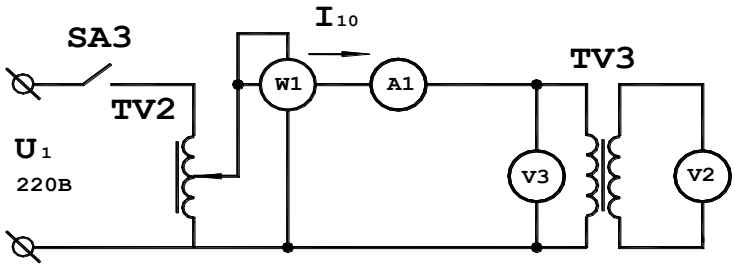


Рисунок 10.3

$$R_0 = \frac{P_0}{I^2{}_{10}}; \quad Z_0 = \frac{U_{1H}}{I_{10}}; \quad X_0 = \sqrt{\left(Z^2{}_0 - R^2{}_0\right)}; \quad n = \frac{U_{1H}}{U_2};$$

где n - коэффициент трансформации.

Проведение опыта короткого замыкания трансформатора

1 Внимание! В опыте **к.з.** до включения ***SA3*** вывести ***ЛАТР TV2*** в нулевое положение, тумблер ***SA4*** установить в верхнее положение (закоротить вторичную обмотку трансформатора ***TV3***). Опыт к.з. производят при пониженном напряжении на первичной обмотке трансформатора.

2 Включить тумблер ***SA3*** .

3 Установить переключателями напряжение на выходе ***ЛАТРа TV2*** примерно ***23 В***. Снять показание приборов ***PA2 ($I_{1н}$≈175мА*** при нажатой кнопке над прибором ***PA1), PV3 ($U_{1к.з.}$≈10В), PW1 ($P_{кз}$≈0,5 Вт)*** , ***PA1 (≈0,1А).***

4 Выключить тумблеры ***SA3*** и ***SA4***.

5 Вернуть переключатели ***ЛАТРа TV2*** в начальные положения «***0».***

6 Рассчитать параметры схемы замещения по показаниям приборов ***PW1, PV3, PA2***:

$$R_{\text{К}} = \frac{P_1}{I_{1\text{Н}}^2};\ Z_{\text{К}} = \frac{U_{1\text{К.З.}}}{I_{1\text{Н}}};\ X_{\text{К}} = \sqrt{(Z_{\text{К}}^2 - R_{\text{К}}^2)};$$

а также активные и реактивные сопротивления обмоток трансформатора:

$$R_1 = R'_2 = \frac{R_K}{2};\ X_1 = X'_2 = \frac{X_K}{2};\ R_2 = \frac{R'_2}{n^2};\ X_2 = \frac{X'_2}{n^2};$$

Изучение влияния характера нагрузки на внешнюю характеристику и к.п.д. трансформатора

1. Собрать схему, приведенную на ***рисунке 10.4***.

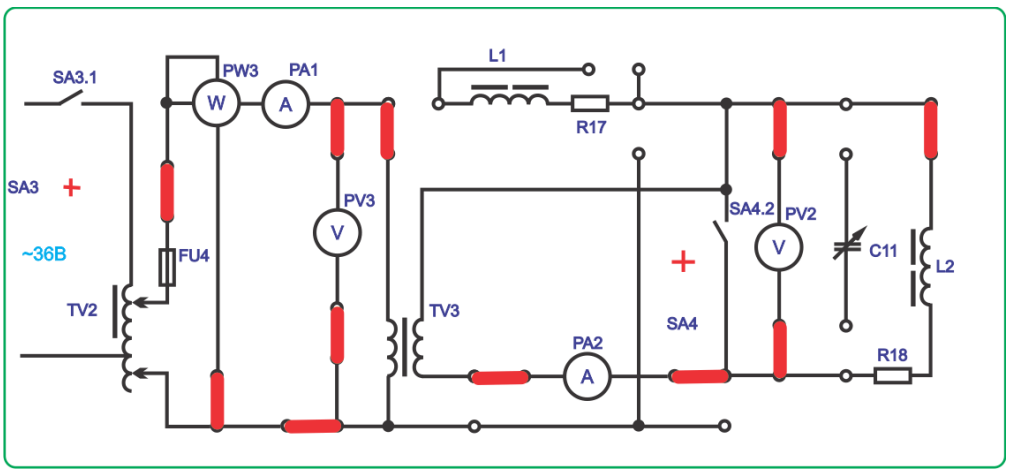


Рисунок 10.4

<u>ВНИМАНИЕ! Тумблер SA4 должен находиться в выключенном положении (рычажок – внизу).</u>

2. Установить питание ***ЛАТРа TV2*** - 36В (тумблер ***SA3*** устанавливается в верхнее положение – включено).

3. Снять параметры схемы при подключенной нагрузке ***L2+R18***: показания приборов ***PA1 (I_1), PV3 (U_1.), PW1+PW2 (P_1), PV2 (U_2), PA2(I_2)*** (показания снимаются при нажатой кнопке над прибором ***PA1***)

4 Для нагрузки ***R18, L2*** (**л.р. №5**) рассчитать потери напряжения, вторичное напряжение и к.п.д.:

- используя данные ***лабораторной работы №5*** определить ***cosφ*** нагрузки:

$$cos\varphi_{2\text{Н}} = \frac{R18}{Z_{L2}} \quad (\approx 0{,}3)$$

- определить к.п.д трансформатора и коэффициент загрузки трансформатора при подключении нагрузки ***R18+L2***:

$$\eta = \frac{\beta \cdot S_{\text{Н}} \cdot cos\varphi_{2\text{Н}}}{\beta \cdot S_{\text{Н}} \cdot cos\varphi_{2\text{Н}} + P_0 + \beta^2 \cdot P_{\text{К}}}$$

где $S_H = U_{1H} I_{1H} = U_{2H} I_{2H} = 3{,}5Bm$ - полная мощность трансформатора ***TV3***.

β - коэффициент загрузки трансформатора,

$$\beta = \frac{I_1}{I_{1H}} = \frac{I_2}{I_{2H}}$$

где

$$I_{2\text{Н}} = \frac{S_{\text{Н}}}{U_{2\text{Н}}};\ I_2 = \frac{U_{2\text{Н}}}{\sqrt{(R_{L2} + R_K)^2 + (X_{L2} + X_K)^2}}$$

$$\beta = \frac{I_2}{I_{2H}} = \frac{U_{2\text{Н}} \cdot U_{2\text{Н}}}{S_{\text{Н}} \cdot \sqrt{(R_{L2} + R_K)^2 + (X_{L2} + X_K)^2}}$$

- падение напряжения определяется из:

$$\Delta U_2\% = \beta \cdot \left(U_{k.a.} \cdot cos\varphi_2 + U_{k.p.} \cdot sin\varphi_2\right);$$

где

$$U_{k.a.} = \frac{I_{1H} \cdot R_K}{U_{1\text{Н}}} \cdot 100\% = \frac{P_K}{S_H} \cdot 100\%$$

$U_{k.a.}$ - активная составляющая напряжения короткого замыкания трансформатора;

$$U_{k.p.} = \frac{I_{1H} \cdot X_K}{U_{1\text{Н}}} \cdot 100\%$$

$U_{k.p.}$ - реактивная составляющая напряжения короткого замыкания трансформатора;

Вторичное напряжение на нагрузке должно составить:

$$U_2 = U_{2\text{Н}} \cdot \left(1 - \frac{\Delta U_2\%}{100\%}\right)$$

5 Выключить стенд в следующем порядке:

- выключить тумблер ***SA3;***
- выключить стенд автоматическим выключателем ***QF1;***
- вернуть переключатели ***ЛАТРа TV2*** в начальные положения «***0»;***
- убрать перемычки;
- убедиться, что все остальные переключатели - в начальном состоянии.

6 Результаты расчетов сверить с показаниями, полученными экспериментально.

Лабораторная работа №11
Исследование асинхронного трехфазного электродвигателя с короткозамкнутым ротором

Цель работы

- Изучение принципа действия трехфазного асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором.
- Изучение основных свойств характеристик электродвигателя.
- Построение механической характеристики электродвигателя *M = f(S)*.
- Построение рабочих характеристик электродвигателя

Паспортные данные исследуемого асинхронного двигателя:
Тип: УАД 062;
$P_Н$ = 40Вт; $P_{1потр}$=67Вт; $M_{ном}$=0,138Нм
$\eta_Н$ = 60 %; $\cos\varphi$ = 0,5; $n_Н$ = 2700 об/мин;
$I_Н$ = 0,25А; $U_П$ = 220В;

$$\lambda = \frac{M_К}{M_Н} = 1,5$$

$$\frac{M_П}{M_Н} = 1,5$$

$$\frac{I_П}{I_Н} = 6$$

Порядок выполнения лабораторной работы

1. Рассчитать по паспортным данным номинальный ток двигателя и номинальный момент.

- номинальный момент двигателя:

$$M_Н = 9,55\frac{P_Н}{n_Н} = 9,55\frac{40}{2700} = 0,141 \text{ Нм}$$

- потребляемая мощность:

$$P_{1ном}=3U_ф I_{1ф}\cos ф = 3*127*0,25*0,5=47Вт$$

2. Изучить и собрать схему испытания асинхронного двигателя. На схеме нагрузкой АД является генератор постоянного тока М2, якорь которого коммутируется транзисторным ключом ***VT7***, подключенным к широтно-импульсному модулятору ШИП. Тумблером ***SA16*** включается цепь возбуждения генератора ***M2***, тумблером ***SA19*** включают ШИП, ***SA18*** – измеритель скорости, кнопка ***SB3*** служит для пуска двигателя, кнопка ***SB4*** – для останова, переключателем ***SA17*** осуществляется переключение схемы соединения обмоток.

3. Собрать схему, приведенную на ***рисунке 11.1***.

4. Установить тумблер ***SA17*** в нижнее положение «***Y», р***езистор ***R43*** установить в положение ***"min".***

5. Тумблер ***SA21*** должен находиться в верхнем положении «***ВКЛ»***.

6. Включить стенд автоматическим выключателем ***QF1,*** нажать кнопку ***SB3.***

7. Подключить обмотку возбуждение нагрузочного генератора тумблером ***SA16***, ШИП - тумблером ***SA19*** и измеритель скорости тумблером ***SA18***. Сопротивлением ***R43*** установить потребляемую мощность ***P=47Вт***

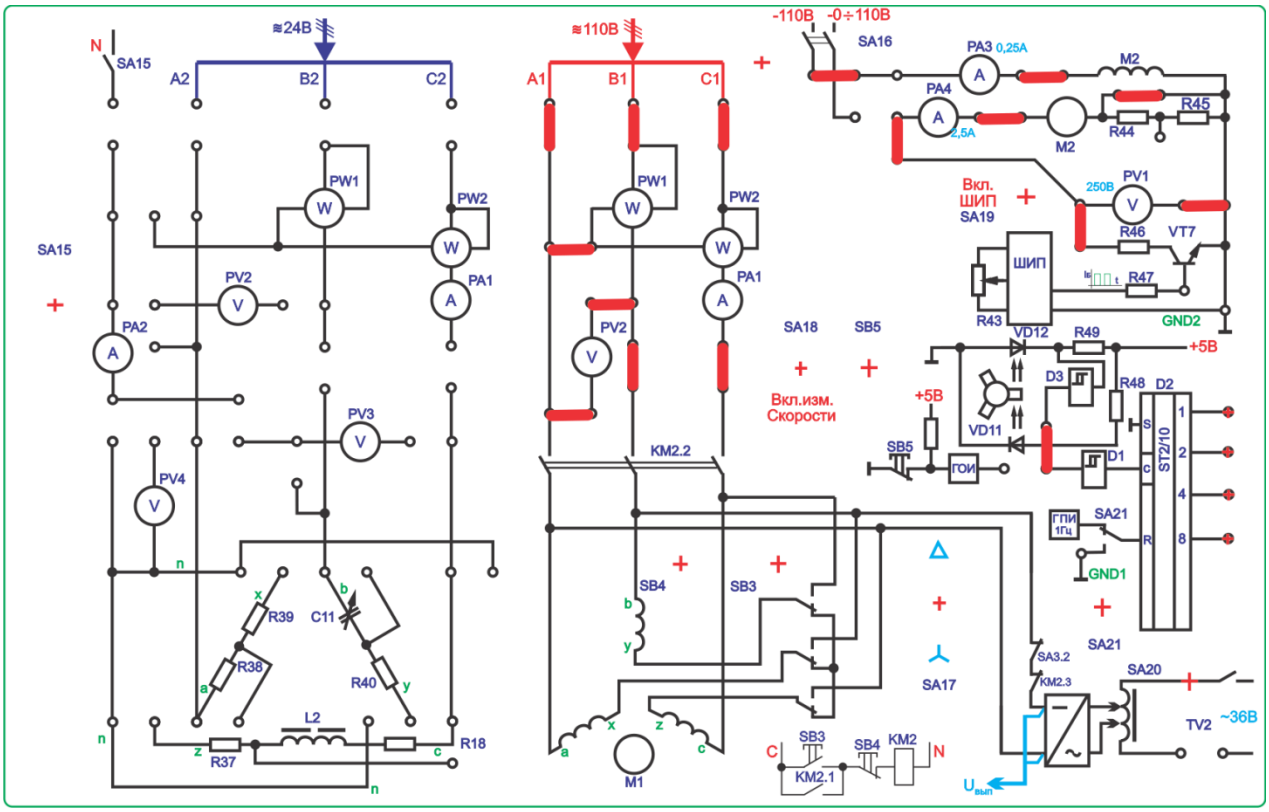


Рисунок 11

8. Измерить ток генератора ($I_я$) прибору ***PA4 (≈1А)*** и ток возбуждения ($I_в$) по прибору ***PA3*** (≈0,07А)

9. Вернуть рукоятку резистора ***R43*** в начальное положение ***“min”***, нажать ***SB4*** «Стоп».

10. Считая, что к валу АД приложена номинальная нагрузка для номинального режима $M_Н = M_0 + M_Г$ и $M_Г = C * I_{ЯГ}$, определить статический момент M_0 :

$$M_0 = M_{ном} - M_г$$

$$M_0 = 0{,}138 - 0{,}129 * 1А = 0{,}009 Нм$$

здесь M_0 (н*м) - статический момент нагрузки холостого хода;

$M_Г$ (н*м) – момент генератора постоянного тока;

$I_{ЯГ}$ (А) - ток якоря генератора постоянного тока (прибор ***PA4***);

$$C = \frac{M_{НГ}}{I_{ЯНГ}} = \frac{0{,}147}{0{,}8} = 0{,}129\text{,}$$

где $M_{НГ}$ =0,147Нм (**см. ЛРN°12**)– номинальный тормозной момент;

$I_{ЯНГ}$ =0,8А (**см. ЛРN°12**)– номинальный ток якоря генератора;

11. Включить SB3, увеличить ток якоря генератора резистором R43 по прибору PA1 до **0,03А** и снять показания приборов ***PW, $U_л$ (PV2), $I_я$ (PA4)***.

Увеличивая положение резистора ***R43*** снять пять значений по приборам ***PW, $U_л$ (PV2),***

$I_я$ (PA4 –ток якоря генератора) и ***PA1(*** ток фазы статора) до увеличения мощности ***PW*** до **100Вт.**

12. По результатам измерений построить:

- механическую характеристику ***M = f(S)***;

- две рабочих характеристики $\eta = f(P2)$ и $\cos\varphi_1 = f(P2)$.

13. Рассчитать механическую характеристику по формуле Клосса для номинального напряжения и сравнить с результатами эксперимента:

$$M = \frac{2 \cdot M_K}{S/S_K + S_K/S},$$

где $M_K = \lambda M_H$ - максимальный момент, развиваемый двигателем;

$\lambda = 1{,}5...2{,}5$ - коэффициент перегрузки двигателя;

$S_K = S_{\text{Н}} \cdot \left(\lambda + \sqrt{\lambda^2 - 1}\right)$ - критическое скольжение;

Формулы для расчета:

$$S = \frac{n_0 - n}{n_0}$$

где n_0 – синхронная частота вращения

$$n_0 = \frac{60 \cdot f}{\rho} = \frac{60 \cdot 50}{2} = 1500 \text{ Об/мин}$$

К.п.д. двигателя:

$$\eta = \frac{P2}{P1},$$

где **P2** - мощность на валу двигателя:

$$P2 = \frac{\pi \cdot n}{30} M$$

M - текущее значение момента на валу двигателя;

n - текущее значение частоты вращения двигателя;

P1 - мощность, потребляемая двигателем.

Коэффициент мощности двигателя:

$$\cos\varphi = \frac{P1}{S1},$$

где ***S1 = 3 Uф Iф*** - полная мощность двигателя;

14. Выключить стенд в следующем порядке:

- Выключить ***ШИП*** тумблером ***SA19*** (вниз)
- Выключить асинхронный двигатель, нажав на кнопку ***SB4***.
- Отключить обмотку возбуждения, выключив тумблер ***SA16.***
- Выключить стенд автоматическим выключателем ***QF1,*** вернуть рукоятку резистора ***R43*** в начальное положение ***"min".***
- убрать перемычки;
- убедиться, что все остальные переключатели - в начальном состоянии.

Лабораторная работа №12
Определение параметров и основных характеристик электродвигателя постоянного тока с независимым возбуждением

Цель работы

- Изучение конструкции и принципа действия ДПТ с независимым возбуждением.
- Изучение способов пуска, торможения и регулирования частоты вращения электродвигателя.
- Расчет и построение механических характеристик ДПТ.
- Построение рабочих характеристик электродвигателя.

Паспортные данные исследуемого двигателя постоянного тока:

Тип - СЛ-369,
Рн = 55 Вт,
Uн = 110 в,
Iян = 0,8 А,
Iвн = 0,1 А,
Мн = 0,147 Н М,
η = 0,55,
$n_н$ =3900 об/мин.

Основные теоретические соотношения

Момент рассчитывается по формуле:

$$\boldsymbol{M = C_M \cdot \Phi \cdot I_Я} \quad ,$$

где $\boldsymbol{C_M \cdot \Phi = \frac{M_Н}{I_{Я.Н.}}}$ - постоянная;

$M_Н$ – номинальный ток якоря ДПТ.

$C_М \cdot Ф$ – определять при номинальном токе возбуждения.

Уравнение механической характеристики:

$$\boldsymbol{n = \frac{U}{C_E \cdot \Phi_Н} - \frac{R_Я + R_{ДОБ}}{C_E \cdot C_M \cdot \Phi_Н^2} \cdot M}$$

где ***U*** - напряжение источника питания двигателя;

$Ф_Н$ – номинальное значение магнитного потока двигателя,

$R_Я$ – сопротивление обмотки якоря,

$R_{ДОБ}$ – сопротивление добавочного резистора в цепи якоря,

M - момент на валу двигателя,

C_E =0,1·C_M - конструктивная постоянная двигателя,

C_M - моментная постоянная двигателя,

$$\boldsymbol{C_E \cdot \Phi = \frac{U_Н - R_Я \cdot I_{Я.Н.}}{n_Н}}$$

К.П.Д. двигателя:

$$\eta = \frac{P2}{P1} = \frac{P2}{P2 + \Delta P} = \frac{P1 - \Delta P}{P1}$$

где ***P2*** - мощность на валу двигателя ,

P1 – мощность, потребляемая двигателем из сети ***P1 = U I = U $I_Я$ + U $I_В$;***

I – ток, потребляемый двигателем

ΔP - потери мощности в двигателе: $\Delta P = \Delta P_Я + \Delta P_В + \Delta P_М$;

где $\Delta P_Я = I^2_Я R_Я$;

$\Delta P_В = I^2_В R_В = U_В I_В$;

ΔPм - магнитные и механические потери, составляют несколько процентов от потребляемой мощности.

Сопротивление обмотки якоря:

$$R_Я = 0,5 \cdot (1 - \eta_Н) \cdot \frac{U_Н}{I_Н}$$

Порядок выполнения лабораторной работы.

1 Собрать схемы, приведенные на ***рисунках 12.1 и 12.2***.

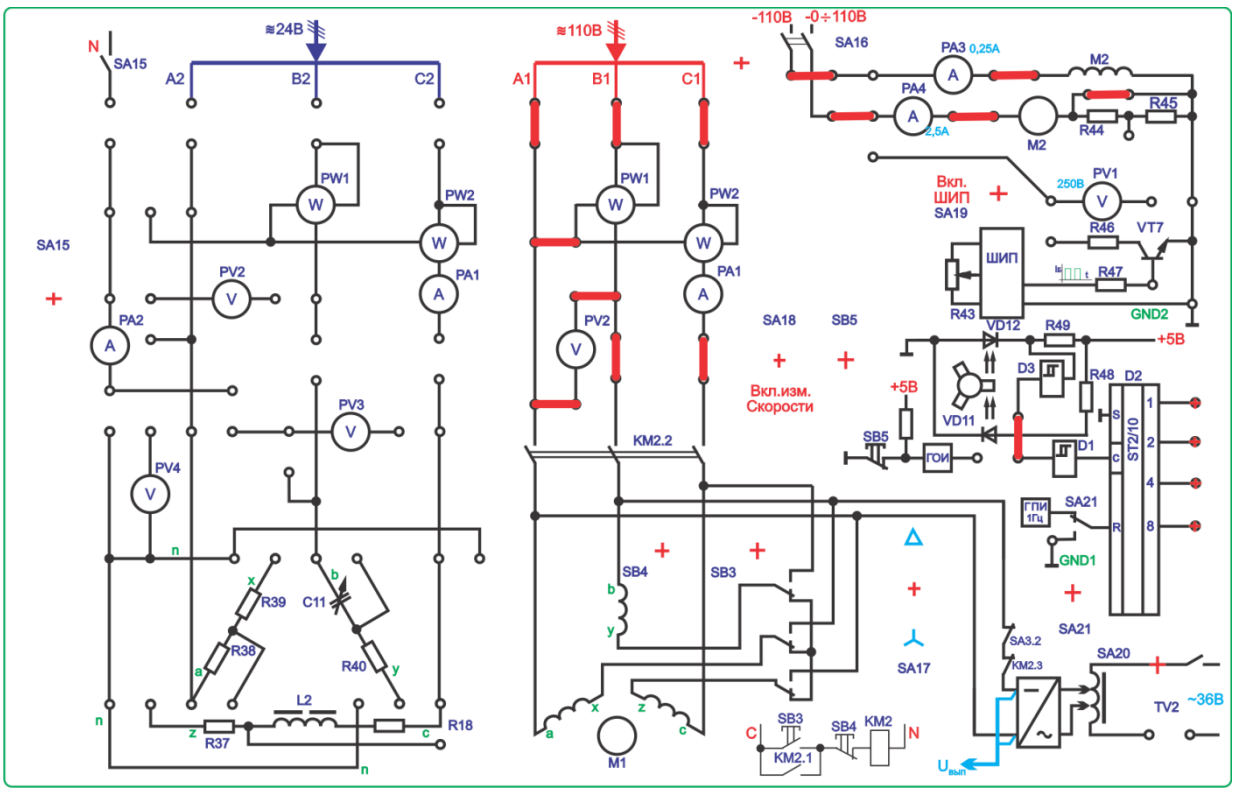


Рисунок 12.1

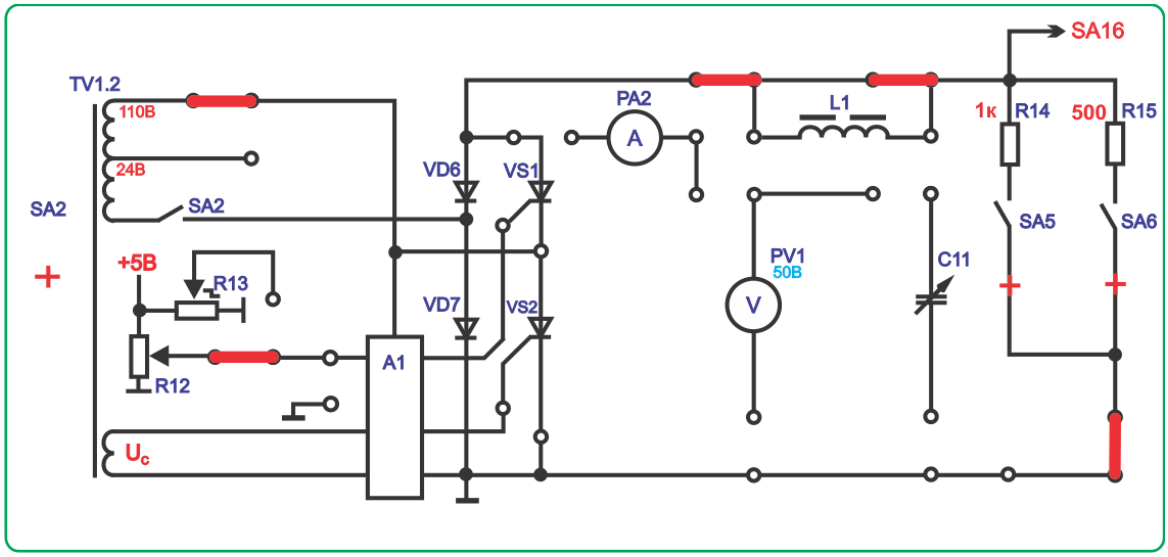


Рисунок 12.2

2 Установить тумблер ***SA17*** в нижнее положение ***Y.***

3 Тумблер ***SA21*** должен находиться в верхнем положении ***ВКЛ***.

4 Подключить резистор ***R14*** к управляемому выпрямителю тумблером ***SA5***.

5 Резистор ***R12*** установить в крайнее левое положение, переключатели ***ЛАТРа*** – в «0».

6 Включить стенд автоматическим выключателем ***QF1.***

7 Включить тумблер ***SA18*** (в верхнее положение ВКЛ) для включения измерителя скорости ***ИС***.

8 Для нагрузки используется асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором типа УАД 0,62 в режиме динамического торможения.

9 Подключить обмотку возбуждения и якорь к цепям питания при помощи тумблера ***SA16***.

10 Включить тумблеры ***SA2, SA3.***

11 Плавно вращая рукоятку резистора ***R12***, установить частоту вращения двигателя по прибору ***ИС 99%***).

12 Для нагрузки необходимо подключить ***ЛАТР TV2*** к статору асинхронного двигателя тумблером ***SA20***.

13 Снять показания приборов ***PV1 ($U_{вх\ уВ}$ =75В),PA3($I_В$), PA4($I_я$).***

14 Для нагрузки двигателя постоянно тока необходимо увеличивать ток динамического торможения асинхронного двигателя. Для этого необходимо постепенно увеличивать напряжение на выходе ***ЛАТРа TV2*** переключателями от ***10В до 50В*** через ***10В***. Последовательно снимать показания прибора ***PA4($I_я$)*** и частоту вращения по измерителю (в относительных единицах). **Внимание: «03» означает «103»).**

15 Значения занести в ***таблицу 12.1.***

Таблица 12.1- Естественная механическая характеристика

Опыт		Расчет		
n, %	Iя, А	nн, об/мин	М, Нм	η, %

16 Выключить тумблер ***SA2***, Переключатели вернуть в начальное положение. (При этом положение рукоятки резистора ***R12*** не менять!).

17 Выключить тумблер ***SA16***.

18 Построить естественную механическую характеристику.

19 Для снятия ***первой*** реостатной характеристики расшунтировать ***R44*** (убрать перемычку) и зашунтировать ***R45.***

20 Подключить обмотку возбуждения и якорь к цепям питания при помощи тумблера ***SA16***, включить тумблер ***SA2.***

21 Убедиться, что напряжение по прибору ***PV1=75В*** (при необходимости - откорректировать резистором ***R12)*** и увеличивая ЛАТРом нагрузку через каждые **10В** снять показания измерителя скорости и тока якоря ***(PA4).***

22 Значения занести в ***таблицу 12.2.***

Таблица 12.2- Реостатная механическая характеристика с R44.

Опыт		***Расчет***		
n, %	***Iя, А***	***nн, об/мин***	***М, Нм***	***η, %***

23 Выключить тумблер ***SA2***, переключатели вернуть в начальное положение. (При этом положение рукоятки резистора ***R12*** не менять!)

24 Выключить тумблер ***SA16***.

25 Для снятия ***второй*** реостатной характеристики расшунтировать ***R44 и R45*** (убрать перемычки).

26 Подключить обмотку возбуждения и якорь к цепям питания при помощи тумблера ***SA16***, включить тумблер ***SA2.***

27 Убедиться, что напряжение по прибору ***PV1=75В*** (при необходимости - откорректировать резистором ***R12)*** и увеличивая ЛАТРом нагрузку через каждые **10В** снять показания измерителя скорости и тока якоря ***(PA4).***

28 Значения занести в ***таблицу 12.3***.

Таблица 12.3- Реостатная механическая характеристика с (R44+R45)

Опыт		***Расчет***		
n, %	***Iя, А***	***nн, об/мин***	***М, Нм***	***η, %***

29 Выключить стенд в следующем порядке:

- выключить тумблеры ***SA2*** и ***SA20, SA16 (***вниз);
- выключить измеритель скорости тумблером ***SA18*** (вниз);
- выключить стенд автоматическим выключателем ***QF1***;
- вернуть рукоятку резистора ***R12*** в начальное положение ***“min”,*** убрать перемычки;

30 Рассчитать момент на валу и КПД двигателя при различных нагрузках на валу двигателя. Расчеты занести в ***таблицы 12.1, 12.2, 12.3***.

31 Построить реостатные механические характеристики двигателя по значениям, занесенным в таблицы ***12.2, 12.3***.

Лабораторная работа №13
Определение параметров и основных характеристик генератора постоянного тока с независимым возбуждением

Цель работы

- Изучение конструкции и принципа действия генератора постоянного тока с независимым возбуждением.
- Построение характеристик холостого хода и внешней характеристики генератора.

Паспортные данные исследуемого генератора постоянного тока (на базе двигателя):

Тип - СЛ-369, Рн = 55 Вт, Uн = 110 В,
Iян = 0,8 А, Iвн = 0,1 А, Мн = 0,147 Н М,
η = 0,55, $n_н$ =3900 об/мин.

Основные теоретические соотношения.

Уравнение электрического состояния (внешней характеристики) генератора:

$$U = E_Я - I_Я \cdot R_Я ,$$

где ***U*** - напряжение генератора,

$E_Я = C_E \cdot Ф \cdot n$,

Ф - магнитный поток обмотки возбуждения генератора,

n - частота вращения якоря,

Iя - ток якоря,

C_E - конструктивная постоянная генератора (**л.р. №12**);

К.П.Д. генератора:

$$\eta = \frac{U \cdot I_Я}{U \cdot I_Я + \Delta P_Я + R_Я \cdot I_Я^2 + \Delta P_М}$$

где ***ΔPм*** - магнитные и механические потери генератора, определяют для номинального режима и считают постоянными.

Порядок выполнения лабораторной работы

Снятие характеристики холостого хода

1 Собрать схемы, приведенные на ***рисунках 13.1*** и ***13.2. На*** **<u>схеме УВ вольтметр PV1 – не включать.</u>**

2 Установить тумблер ***SA17*** в нижнее положение ***Δ.***

3 Тумблер ***SA21*** должен находится в верхнем положении ***ВКЛ***.

4 Подключить резистор ***R14*** к управляемому выпрямителю тумблером ***SA5***.

5 Резисторы ***R12 и R43*** должны находиться в крайнем левом положении.

6 Включить стенд автоматическим выключателем ***QF1,***включить тумблер ***SA2.***

7 Включить тумблер ***SA18*** (в верхнее положение «***ВКЛ***») для включения измерителя скорости ***ИС*** (***SA19***- выключен)

8 Подключить обмотку возбуждения к цепям питания при помощи тумблера ***SA16***.

9 Нажать на кнопку ***SB3*** для подключения приводного асинхронного двигателя к сети через пускатель ***KM2***.

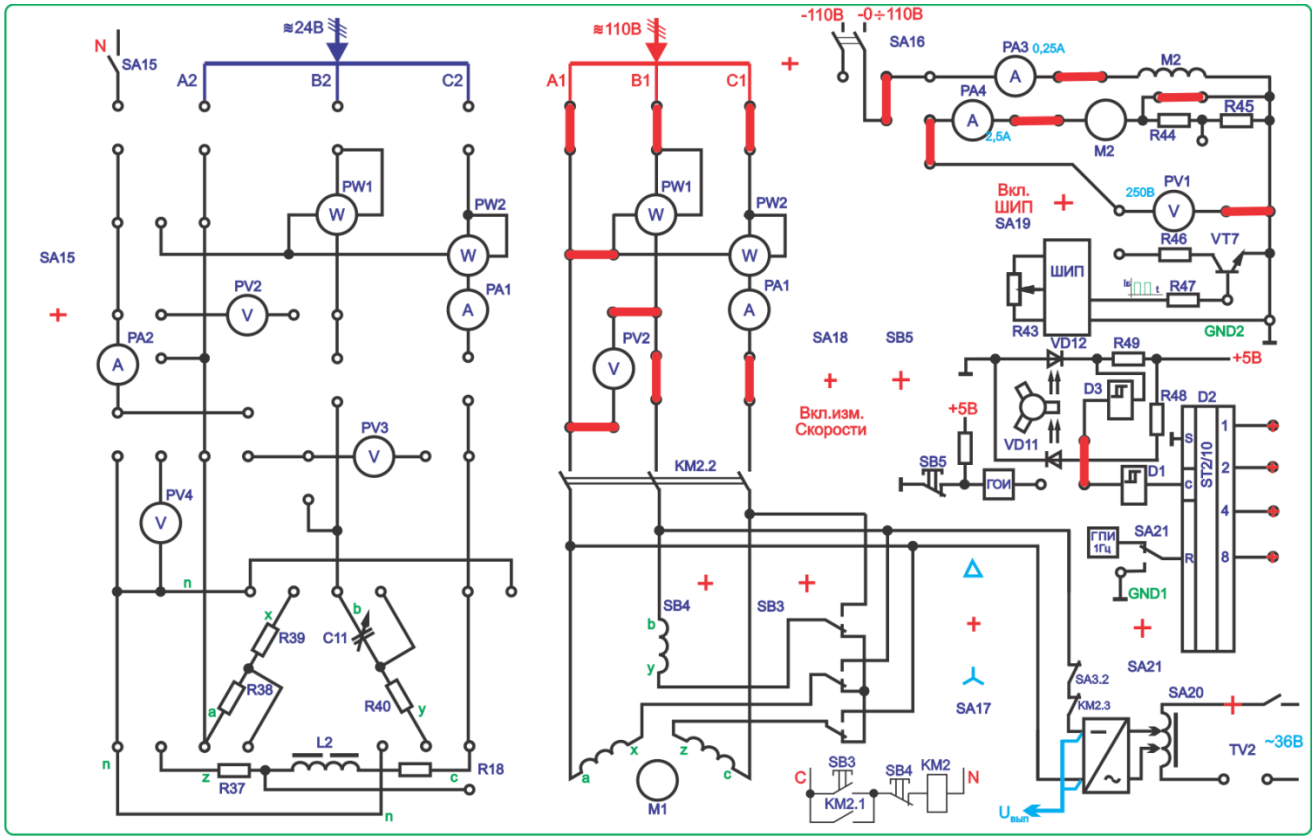


Рисунок 13.1

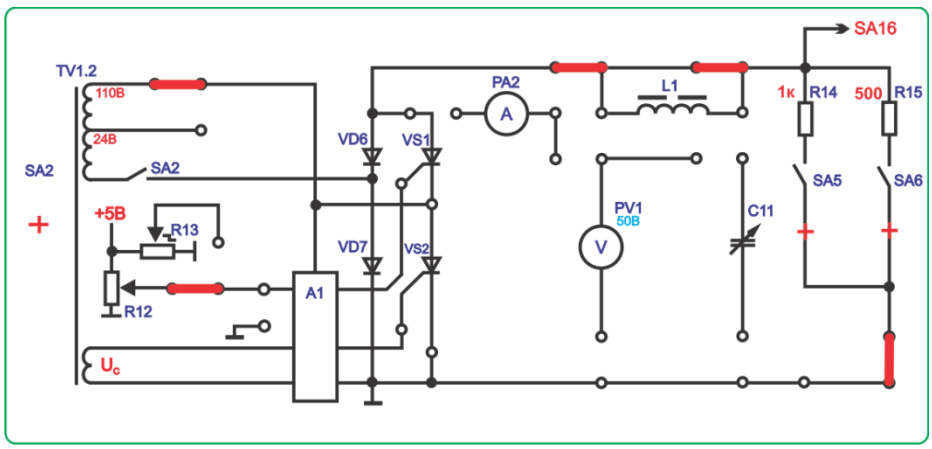


Рисунок 13.2

10 Плавно вращая рукоятку резистора ***R12*** задавать ток возбуждения по прибору ***PA3*** через ***0,025А до 0,1А***. Регистрируя показания приборов ***PA3 и PV1*** снять характеристику холостого хода, данные занести в ***таблицу 13.1***.

Таблица 13.1

Экспериментальные данные	
Iв, А	***E, В***

11 Вернуть рукоятку резистора ***R12*** в начальное положение, выключить тумблер ***SA2***.

12 Выключить асинхронный двигатель, нажав на кнопку ***SB4***.

13 Выключить тумблер ***SA16***.

Снятие внешней характеристики

1 Собрать схему по ***рисунку 13.3.***

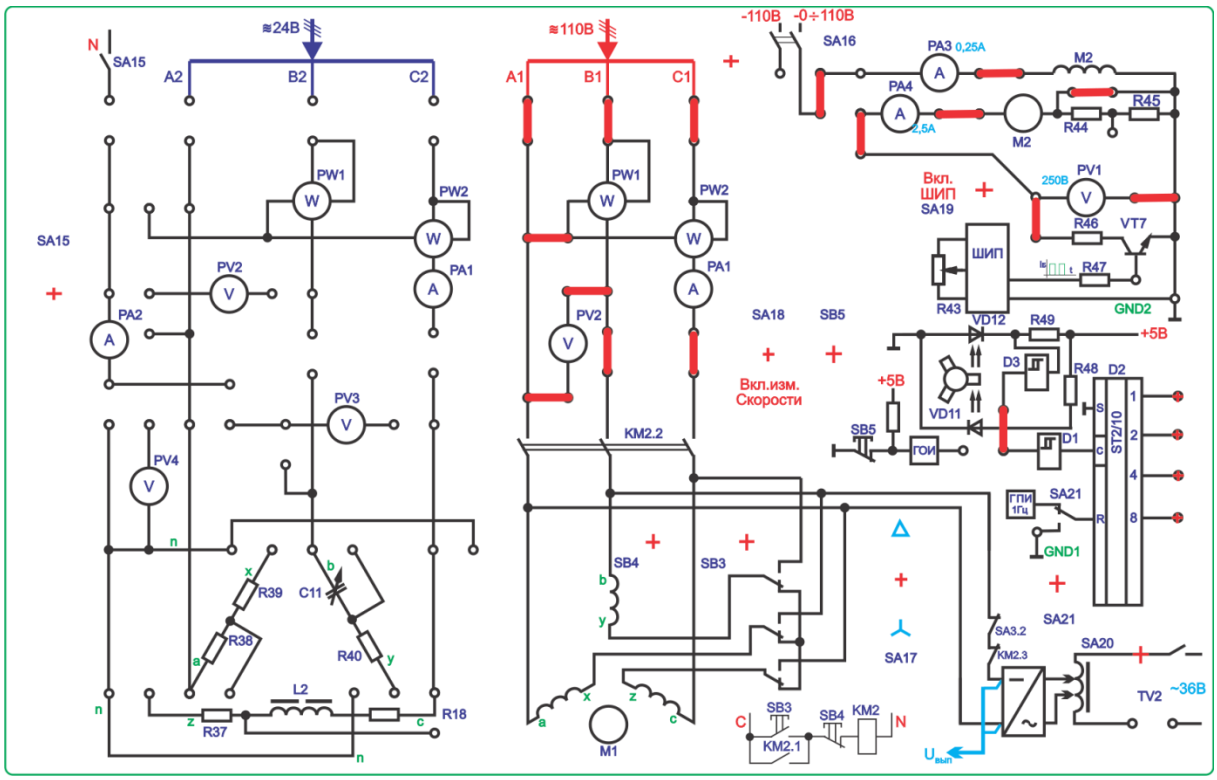


Рисунок 13.3

2 Включить тумблер ***SA16***.

3 Нажать на кнопку ***SB3*** для подключения приводного асинхронного двигателя к сети через пускатель ***KM2***.

4 Включить в качестве нагрузки для генератора ***ШИП*** тумблером ***SA19***.

5 Плавно вращая рукоятку резистора ***R43***, снять зависимость напряжения на генераторе (по прибору ***PV1***) от тока нагрузки (по прибору ***PA4***) через каждые 0,25А до 1А, данные занести в ***таблицу 13.2.***

Таблица 13.2

Iв (PA3), А	***Iя (PA4), А***	***U(PV1), В***

6 Выключить стенд в следующем порядке:

- Выключить асинхронный двигатель, нажав на кнопку ***SB4;***
- Выключить тумблеры ***SA16 и SA19*** (вниз);
- Вернуть рукоятку резистора ***R43*** в начальное положение ***“min”;***
- Выключить тумблеры ***SA5, SA21*** и тумблер измерителя скорости ***SA18*** (вниз);
- Выключить стенд автоматическим выключателем ***QF1,*** убрать перемычки;

7 По результатам измерений вычислить значения К.П.Д. генератора.

8 Построить зависимость $\eta = f(I_я)$.

9 Построить характеристики холостого хода $E_д = f(I_в)$ и внешнюю характеристику $U_н = f(I_н)$.

Лабораторная работа № 14
Исследование процесса зарядки конденсатора от источника постоянного напряжения при ограничении тока с помощью резистора

Цель работы

- Изучение процесса изменения напряжения на конденсаторе при его зарядке от источника постоянного напряжения.
- Закрепление навыков измерения напряжения компенсационным методом.
- Изучение практического применения выбора параметров RC-цепи для работы реле времени на биполярных транзисторах.

Основные теоретические соотношения

Для выполнения лабораторной работы собирается схема, представленная на рисунке 14.1.

Время заряда конденсатора до срабатывания реле регулируется с помощью переключателя ***SA10***, а также изменением величины постоянной времени $\tau = R1*C12$ цепи зарядки конденсатора /С12=220мкф/ с помощью декадного магазина сопротивлений ***R1***.

Запуск реле времени осуществляется переключателем ***SA8.*** О срабатывании реле сигнализирует светодиод ***VD9***. Время срабатывания реле фиксируется электронным секундомером, запуск которого осуществляется переключателем ***SA8***, а остановка отсчета осуществляется размыканием контактов ***K1*** электромагнитного реле ***K1.***

Делитель ***R28 – R33*** рассчитан таким образом, что реле, включенное в цепь коллектора транзистора ***VT4,*** срабатывает в зависимости от положения переключателя ***SA10*** при ***1·Uоп, 2·Uоп, 3·Uоп, 4·Uоп, 4,7·Uоп, 5·Uоп*** в Вольтах. Таким образом, напряжение на емкости определяют как:

$$U_C = N \cdot U_{ОП} + 0{,}6В,$$

где ***N = 1; 2; 3; 4; 4,7; 5*** - номер положения переключателя ***SA10***;

$U_{ОП} = 4В$.

Транзисторы ***VT5, VT6*** выполняют роль тиристора, который открывается, когда на базе ***VT4*** опорное напряжение $U_{ОП} = U_{СТ} + 1{,}2В$, и шунтирует стабилитрон, в результате ток эмиттера ***VT4*** скачком возрастает – срабатывает реле ***KV***.

По результатам измерений строится график изменения напряжения на конденсаторе ***Uc = f(t).***

При подключении конденсатора ***C1*** к источнику питания (***рисунок 14.1***) $U_{ПИТ} = 24В$ закон изменения напряжения на ***C1*** получают решая дифференциальное уравнение вида:

$$U_{\text{ПИТ}} = R \cdot C \cdot \frac{dU_C}{dt} + U_C$$

Решение имеет свободную $A = e^{-t/\tau}$ и вынужденную $U_C = U_{ПИТ}$ составляющие.

Окончательно

$$U_C = U_{\text{ПИТ}} \cdot (1 - e^{-t/\tau})$$

где $\tau = R1 \cdot C12$.

$A = -U_{ПИТ}$ – постоянная интегрирования, определяется из начальных условий: U_C до коммутации равно U_C после коммутации и равно 0.

Напряжение на эмиттере транзистора ***VT3*** определяют:

$$U_{ЭVT3} = U_C - U_{БЭVT3} = U_C - 0{,}6В.$$

Порядок выполнения лабораторной работы

Для заданного преподавателем значения постоянной времени цепи τ (значение сопротивления ***R1***) снять зависимость напряжения от времени заряда конденсатора.

1 Собрать схему, приведенную на ***рисунке 14.1.***

2 Включить стенд автоматическим выключателем ***QF1***

3 Установить заданное преподавателем сопротивление ***R1***.

4 Тумблером ***SA30*** включить секундомер.

5 Сбросить значение секундомера в нулевые показания кнопкой ***SB6***.

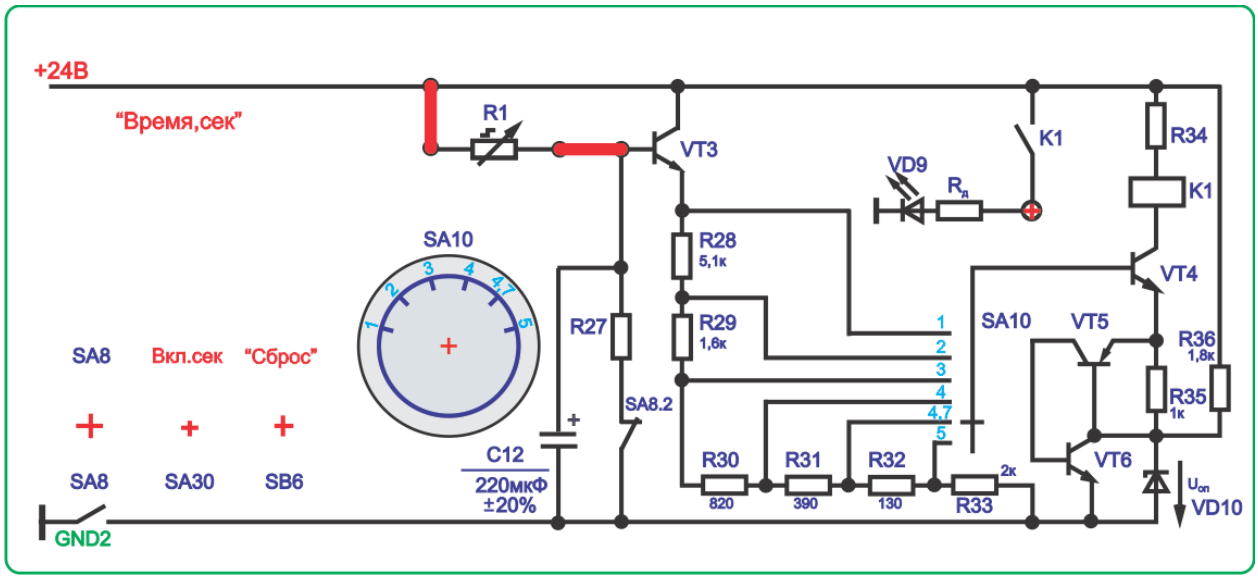


Рисунок 14.1

6 Провести первый опыт заряда конденсатора при положении ***«1»*** переключателя ***SA10***. Для этого, переключить тумблер ***SA8*** в верхнее положение. Когда засветится светодиод ***VD9***, записать показания секундомера в ***таблицу 14.1.***

7 Выключить тумблер ***SA8*** вниз.

8 Сбросить показания секундомера кнопкой ***SB6***.

9 Перевести тумблер ***SA10*** в положение ***«2».***

10 Провести остальные опыты аналогично ***пунктам 7 – 9*** для всех остальных положений переключателя ***SA10***.

11 Выключить стенд в следующем порядке:

- Выключить тумблер ***SA8***
- Тумблер ***SA10*** перевести в начальное положение ***«1»***
- Выключить секундомер тумблером ***SA30*** вниз
- Выключить стенд автоматическим выключателем ***QF1***.
- Вернуть все переключатели резистора ***R1*** в начальные положения ***«0»***.
- убрать перемычки;
- убедиться, что все остальные переключатели - в начальном состоянии.

12 Для полученных значений ***t*** рассчитать напряжения на конденсаторе и сравнить с экспериментальными данными. Данные расчетов занести в ***таблицу 14.1***.

13 По результатам измерений и расчетов построить график изменения напряжения на конденсаторе ***Uc = f(t).***

14 Воспользовавшись экспериментальной кривой заряда ***C12*** определить постоянную времени τ и сравнить с расчетным значением τ ***= R1*C12.***

Таблица 14.1

	Расчет R1=5 кОм		***опыт***
A (SA10)	***t, сек***	***Uc, В***	***t, сек***
1	0,268617	5,2	
2	0,577293	9,8	
3	1,00792	14,4	
4	1,725478	19	
4,7	2,861585	22,22	
5	4,503779	23,6	

Лабораторная работа №15
Исследование схемы пуска асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором

Цель работы

- Изучение схемы прямого пуска асинхронного двигателя
- Изучение способов снижения пускового тока асинхронного двигателя.

Основные теоретические соотношения

Для пуска асинхронного двигателя наиболее часто используются релейно-контакторные схемы управления. Они позволяют осуществить автоматический асинхронный пуск, изменение частоты вращения, останов, реверсирование, торможение и защиту двигателя. Как правило, силовая цепь коммутируется с помощью магнитного пускателя, а схема управления строится на основе всевозможных реле (напряжения, тока, времени, тепловых, контроля скорости и т.д.), контакты которых слаботочные.

Важным вопросом при пуске асинхронного двигателя является ограничение пускового тока, в связи с тем, что при прямом пуске кратность пускового тока высока, примерно 5,5 – 7.

На практике, для снижения пускового тока АД его обмотки кратковременно соединяют звездой.

Переключение с треугольника на звезду и обратно осуществляют специальным переключателем.

Такое переключение не производят, если обмотки АД соединены звездой: их номинальное линейное напряжение 380В.

Пусковой момент АД не велик, поэтому пуск обычно производят при отключенной нагрузке.

Порядок выполнения лабораторной работы

1 Изучить схему на ***рисунке 15.1***. Пояснить назначение кнопок ***SB3, SB4***, контакта ***KM2.1***.
2 Собрать схему пуска асинхронного двигателя по ***рисунку 15.1.***
3 Включить стенд автоматическим выключателем ***QF1*** и установить тумблер ***SA17*** в нижнее положение ***Y.***
4 Запустить двигатель нажатием на кнопку ***SB3*** и измерить пусковой ток прибором ***PA1.***
5 После разгона двигателя выключить его, нажав на кнопку ***SB4.***
6 Перевести тумблер ***SA17*** в верхнее положение ***Δ.***
7 Запустить двигатель нажатием на кнопку ***SB3***, определив при этом пусковой ток при соединении обмоток ***«треугольник».***
8 Перевести тумблер ***SA17*** в верхнее положение ***Y*** и запустить двигатель нажатием на кнопку ***SB3***.
9 После разгона быстро перевести тумблер ***SA17*** в верхнее положение ***Δ***, зафиксировав при этом бросок тока. Сравнить условия пуска АД по схеме ***«треугольник»*** с пуском при переключении обмоток со ***«звезды»*** на ***«треугольник».***

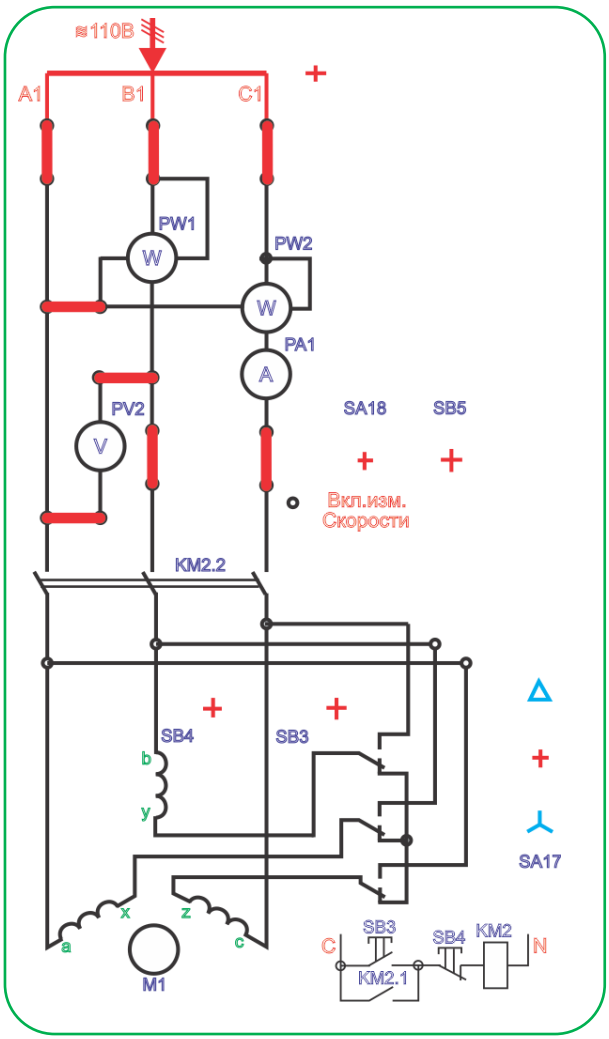


Рисунок 15.1

10 Выключить стенд в следующем порядке:

- Выключить стенд автоматическим выключателем ***QF1;***
- убрать перемычки;
- убедиться, что все остальные переключатели - в начальном состоянии.

Лабораторная работа №16
Однокаскадный транзисторный усилитель

Цель работы:

- Ознакомление с устройством биполярных транзисторов и их свойствами.
- Исследование работы усилителя с общим эмиттером.

Основные теоретические соотношения.

В качестве исследуемого транзистора используется ***КТ315Г*** типа ***N-P-N*** с параметрами:

Iк max = 100mA,
Pк max = 150 mBm,
Uкэ = 35B,
Uкб max = 35B,
Uэб max = 6B,
f21 = 100 МГц,
h21э = 50-350,
h11э = Uкэ нас = 0,4B.

Элементы на схеме имеют следующие параметры:
C2=10 мкФ, R5=75 кОм, R7=13 кОм, R8=2 кОм, C8=22 мкФ.

Транзистор - полупроводниковый элемент с тремя электродами, который служит для усиления или переключения сигнала.

Транзистор состоит из двух противоположно включенных диодов, которые обладают одним общим *n*- или *p*-слоем. Электрод, связанный с ним называют базой Б. Два других электрода называются эмиттером Э и коллектором К, рисунок 16.1.

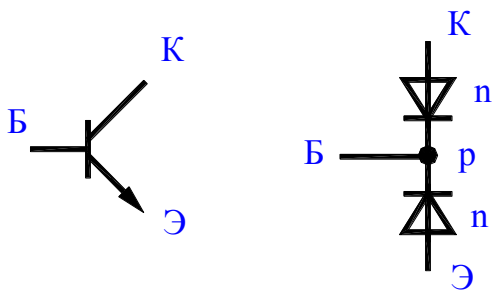


Рисунок 16.1

Режимы транзистора подробно описываются с помощью семейства его характеристик

Основная особенность транзистора состоит в том, что коллекторный ток $I_К$ является кратным базовому току $I_Б$. Отношение их изменений называют коэффициентом усиления по току.

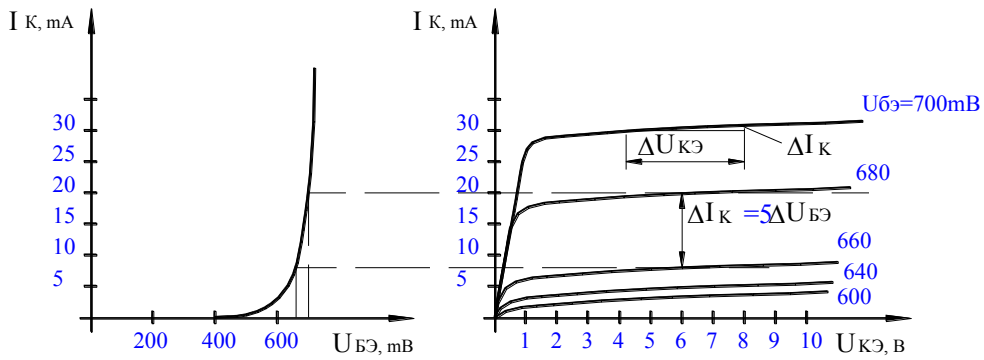


Рисунок 16.2

$$h_{FE} = \frac{\Delta I_K}{\Delta I_B}$$

Второй особенностью является тот факт, что коллекторный ток мало изменяется после достижения $U_{КЭ}$ определённого значения.

Третьей особенностью транзистора является то, что малого изменения входного напряжения оказывается достаточно для того, чтобы вызвать относительно большое изменение коллекторного тока. Изменение коллекторного тока ***Iк*** в зависимости от ***Uбэ*** характеризуется крутизной ***S***:

$$S = \frac{\Delta I_К}{\Delta U_{БЭ}}, U_{КЭ} = const$$

Учитывая, что передаточная функция транзистора имеет вид

$$I = I_S \cdot (T, U_{КЭ}) \cdot e^{U_{БЭ}/U_T},$$

крутизну можно определить:

$$S = \frac{I_К}{U_T}$$

где I_S - обратный ток,

T - температура перехода,

U_T - термический потенциал, при комнатной температуре равен ***25,5 mB***.

Зависимость коллекторного тока от напряжения коллектор-эмиттер характеризуется дифференциальным выходным сопротивлением

$$r_{КЭ} = \frac{\Delta U_{КЭ}}{\Delta I_К}$$

Зависимость тока базы от напряжения базы характеризуется дифференциальным входным сопротивлением

$$r_{БЭ} = \frac{\Delta U_{БЭ}}{\Delta I_Б} = \frac{h_{FE}}{S}$$

Кроме рассмотренных выше параметров транзистор характеризуется максимальным током коллектора $I_{КМАХ}$, максимальным напряжением коллектор-эмиттер $U_{КЭМАХ}$, максимальным напряжением база-эмиттер $U_{БЭМАХ}$, максимальным напряжением коллектор-база $U_{КБМАХ}$ и граничной частотой $f_{ГР}$.

Имеются три основные схемы включения транзистора в усилительные цепи. В зависимости от того, присоединён ли эмиттер, коллектор или база к общей точке, различают соответственно схемы с общим эмиттером, коллектором или базой. Рассмотрим схему с общим эмиттером, ***рисунок 16.3***.

Для анализа схемы с общим эмиттером приложим к ней входное напряжение $U_{ВХ} = 0{,}6В$ (для кремниевых транзисторов) такое, чтобы через коллектор протекал ток. Если теперь входное напряжение повысить на некоторую величину $\Delta U_{ВХ}$, то коллекторный ток увеличится в соответствии с выражением:

$$\Delta I_К = S \cdot \Delta U_{ВХ}$$

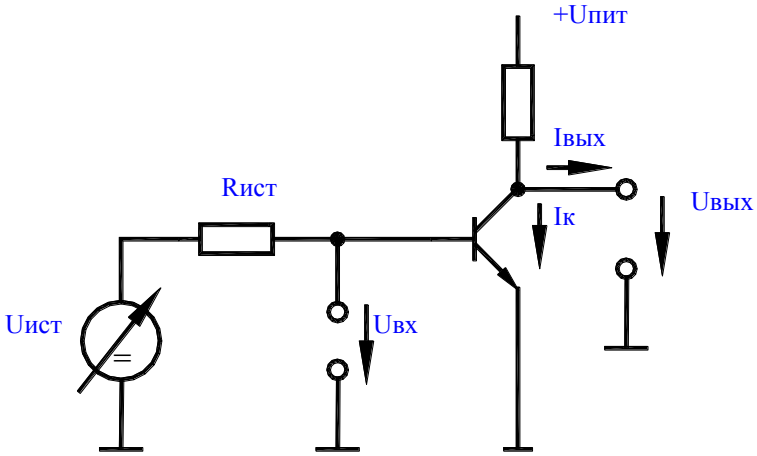


Рисунок 16.3

Так как коллекторный ток протекает через сопротивление $R_К$, то падение напряжения на $R_К$ тоже повышается и выходное напряжение $U_{ВЫХ}$ возрастает на величину

$$\Delta U_{ВЫХ} = -\Delta I_К \cdot R_К = -S \cdot R_К \cdot \Delta U_{ВХ}$$

Таким образом, схема обеспечивает коэффициент усиления по напряжению

$$K_U = \frac{\Delta U_{ВЫХ}}{\Delta U_{ВХ}} = -S \cdot R_К$$

Входное сопротивление такой схемы равно входному сопротивлению транзистора

$$r_{БЭ} = \frac{\Delta U_{БЭ}}{\Delta I_Б} = \frac{h_{FE}}{S} = h_{FE} \cdot \frac{U_T}{I_К}$$

Выходное сопротивление схемы определяют как сопротивление параллельно соединённых $R_К$ и $r_{КЭ}$

$$R_{ВЫХ} = \frac{\Delta U_{ВЫХ}}{\Delta I_{ВЫХ}} = \frac{R_К}{r_{КЭ}}$$

Рассмотренная схема имеет два недостатка. Первый – нелинейные искажения, второй – нестабильность рабочей точки.

Для уменьшения обоих недостатков используют отрицательную обратную связь. При этом часть выходного сигнала подаётся обратно на вход, с тем, чтобы противодействовать входному сигналу. Вследствие этого уменьшается усиление, однако с помощью отрицательной обратной связи можно обеспечить, чтобы усиление в основном определялось соотношением омических сопротивлений и практически не зависело от нелинейной передаточной характеристики транзистора.

В схеме, изображенной на ***рисунке 16.4***, отрицательная обратная связь реализована с помощью введённого в эмиттерную цепь сопротивления $R_Э$. В этом случае коэффициент усиления по напряжению определяется как:

$$K_U = \frac{\Delta U_{ВЫХ}}{\Delta U_{ВХ}} = \frac{-R_К}{R_Э}$$

Как видим, в последнее выражение не входят параметры транзистора, зависящие от тока.

Входное сопротивление такой схемы можно определить

$$r_{ВХ} = h_{FE} \cdot (S + R_Э)$$

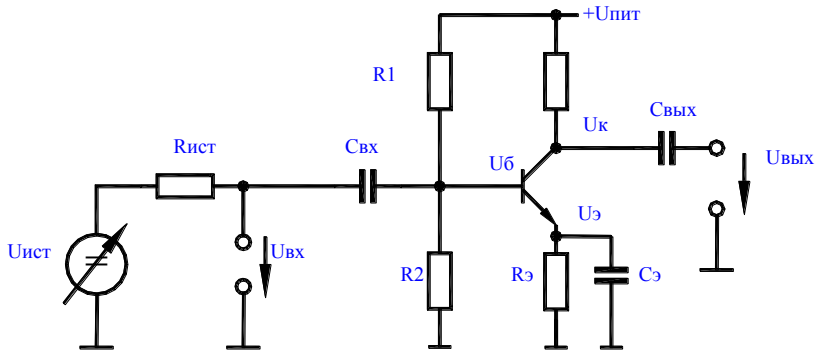


Рисунок 16.4

Вследствие отрицательной обратной связи по току выходное сопротивление растёт незначительно и в случае глубокой отрицательной обратной связи стремится к $R_К$.

Рабочая точка в схеме с общим эмиттером, как правило, задаётся делителем напряжения, ***рисунок 16.4,*** и $R_Э$. При расчёте последнего каскада руководствуются следующими соображениями:

- во-первых, схема не должна шунтировать источник сигнала. Для этого ток коллектора выбирают таким, чтобы параллельное соединение $r_{БЭ} = h_{FE} \cdot \frac{U_T}{I_К}$, ***R1, R2*** было значительно больше $r_{УСТ}$;

- во-вторых, сопротивление $r_{БЭ}$ не должно шунтировать делитель ***R1, R2***, т.е. сопротивление параллельного соединения ***R1, R2*** должно быть значительно меньше $r_{БЭ}$;

- в третьих, стабильность рабочей точки тем лучше, чем больше падение постоянного напряжения на $R_Э$, так как в этом случае изменение $U_{БЭ}$ остаётся меньше $U_Э$ и, следовательно, изменение коллекторного тока будет незначительным. При стандартном дрейфе от температуры напряжения $U_{БЭ}$ ***2мВ/К*** относительный дрейф напряжения на эмиттере $U_Э$, а значит и тока коллектора составит ***2мВ/$U_Э$***. Например, при $U_Э$ ***= 2В*** дрейф тока коллектора будет не более ***0,1%***;

- в четвёртых, при установке потенциала коллектора $U_К$ необходимо следить за тем, чтобы напряжение коллектор-эмиттер транзистора во время его работы не падало до напряжения насыщения: $U_{КЭн}$ ***= 0,3В***.

С другой стороны, потенциал коллектора при отсутствии сигнала нельзя выбирать очень большим так как падение напряжения на $R_К$ и коэффициент усиления по

напряжению будут малым. Поэтому, если положить, что выходной сигнал должен изменяться в пределах $\Delta U_{ВЫХ}$ для напряжения покоя на коллекторе получим:

$$U_К = U_Э + U_{КЭН} + |\Delta U_{ВЫХ}|$$

В соответствии с этими соображениями:

$$R_Э = U_Э / I_К;$$
$$R_К = (U_{ПИТ} - U_К) / I_К;$$
$$R1 = (Uпит - U_Б) / (I_{ДЕЛ} - I_Б);$$
$$R2 = U_Б / I_{ДЕЛ}$$

Здесь считаем:

$$U_Б = U_Э + U_{БЭ},$$
$$I_{ДЕЛ} = 10 * I_Б,$$
$$I_Б = I_К / h_{FE}.$$

Ёмкости $C_{ВХ}$, $C_{ВЫХ}$ в данной схеме являются разделительными. Ёмкость $C_Э$ предназначена для шунтирования $R_Э$ по переменному току. Последнее позволяет при частотах входного сигнала больше $f_{ГР} = S/(2\pi C_Э)$ обеспечить максимальный коэффициент усиления по напряжению $S \cdot R_К$. Режим покоя при этом задан сопротивлением $R_Э$.

Порядок выполнения лабораторной работы

1 Собрать схему по ***рисунку 16.1***

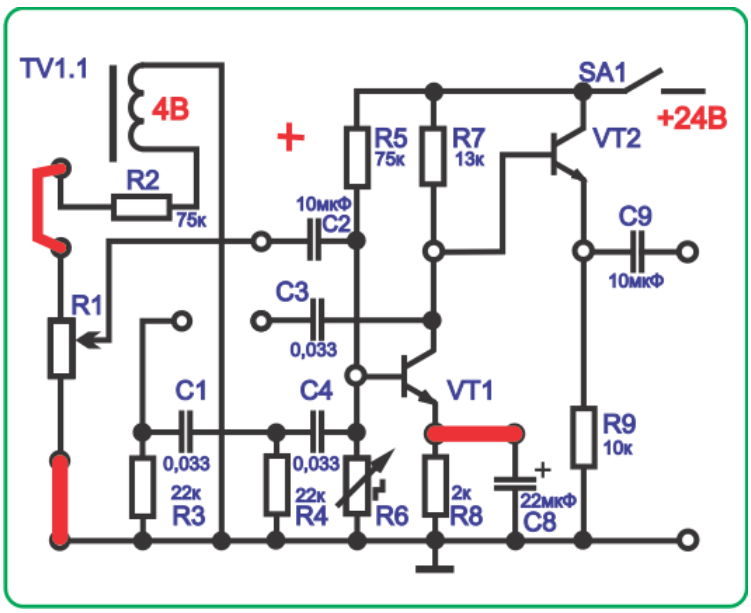


Рисунок 16.1

2 Перед включением стенда убедиться, что все переключатели находятся в начальном положении (выключены).

3 Включить стенд автоматическим выключателем ***QF1***

4 Включить тумблер ***SA1***

5 При разомкнутой перемычке между ***R1*** и ***R2*** помощью резистора ***R6*** выставить на коллекторе ***VT1*** половину напряжения питания (***24/2=12В)*** или напряжение, рассчитанное в соответствии с методическими указаниями.

6 Установить перемычку между ***R1*** и ***R2,*** ёмкость ***C8*** - отсоединена и, изменяя величину ***R1,*** снять зависимость $U_{вых} = f(U_{вх})$. Входное напряжение измерять мультиметром. Используя параметры схемы рассчитать коэффициент усиления по напряжению и сравнить с экспериментальным.

7 Зашунтировать ***R8*** конденсатором ***C8*** установив перемычку и снять зависимость $U_{вых} = f(U_{вх})$. Используя параметры схемы рассчитать коэффициент усиления по напряжению для переменного сигнала и сравнить с экспериментальным.

8 Выключить тумблер ***SA1***.

9 Выключить стенд в следующем порядке*:*

- выключить тумблер ***SA1*** вниз;
- выключить стенд автоматическим выключателем ***QF1***;
- убрать перемычки;
- убедиться, что все остальные переключатели - в начальном состоянии.

Лабораторная работа №17
Исследование двухкаскадных усилителей с непосредственной связью

Цель работы

- Изучение схемы с общим коллектором.
- Изучение основ построения многокаскадных усилителей.

Для выполнения лабораторной работы собирается схема, представленная на рисунке 17.3. В качестве исследуемого транзистора ***VT2*** используется ***КТ315Г*** типа N-P-N с параметрами:

Iк max = 100mA,
Pк max = 150 mBm,
Uкэ = 35B,
Uкб max = 35B,
Uэб max = 6B,
f21 = 100 МГц,
h21э = 50-350,
h11э = Uкэ нас = 0,4B,
Резистор R9 = 10 кОм.

Основные теоретические сведения

При разработке многокаскадных транзисторных схем одной из главных задач является необходимость согласования каскадов. Схемы нужно согласовать по уровням входных и выходных сигналов и по уровню входных и выходных сопротивлений. Последнее означает, что последующие каскады не должны шунтировать предыдущие.

Часто роль каскада согласующего большое сопротивление источника сигнала и малое сопротивление нагрузки выполняет схема с общим коллектором или эмиттерный повторитель ***рисунок 17.1***.

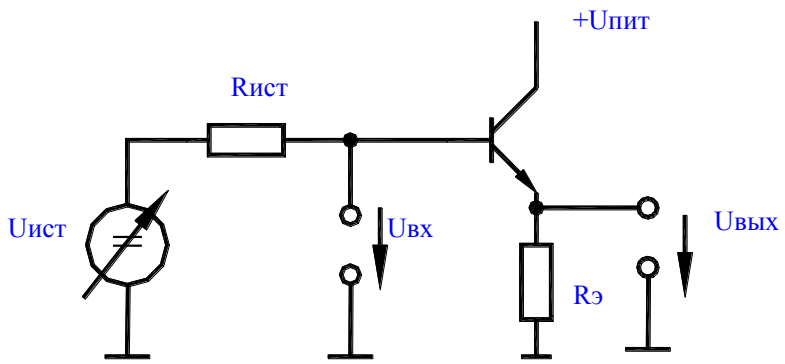


Рисунок 17.1

Принцип работы схемы с общим коллектором состоит в следующем. Если к базе приложить входное напряжение $U_{ВХ}$ большее чем **0,6В** (для кремниевых транзисторов), то протекает коллекторный ток, который вызывает падение напряжения на $R_Э$. Причём,

$$U_{ВЫХ} = U_{ВХ} - 0{,}6В.$$

Поскольку $U_{БЭ}$ при изменении тока коллектора меняется незначительно, выходное напряжение повторяет входное, и коэффициент усиления по напряжению равен $K_U = 1$.

Входное сопротивление эмиттерного повторителя не отличается от входного сопротивления схемы с общим эмиттером с отрицательной обратной связью по току:

$$R_{ВХ} = \beta \cdot \left(\frac{1}{S} + R_Э\right) = \beta \cdot R_Э$$

Выходное сопротивление определяется как сопротивление параллельно соединённых $\frac{1}{S} + \frac{R_{ИСТ}}{\beta}$ и ***Rэ.***

Очевидно, что входное сопротивление во много раз больше выходного.

Установка рабочей точки производится так же, как и в схеме с общим эмиттером и отрицательной обратной связью по току. Для выбора потенциала эмиттера имеется больше возможностей, так как потенциал коллектора не зависит от управляющего сигнала и равен ***Uпит***. Благодаря этому имеется возможность простой гальванической связи эмиттерного повторителя с выходом предыдущего каскада, как показано на ***рисунке. 17.2.***

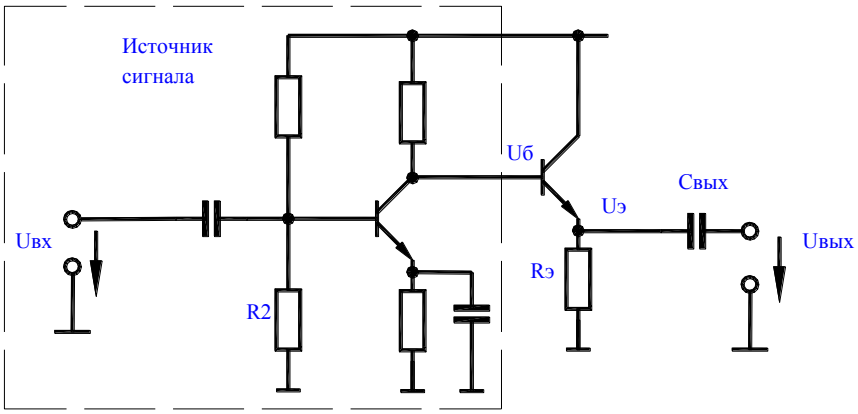


Рисунок. 17.2

Порядок выполнения лабораторной работы

1. Рассчитать входное сопротивление схемы с общим коллектором используя параметры элементов.
2. Убедиться, что входное сопротивление эмиттерного повторителя значительно больше выходного сопротивления схемы с общим эмиттером на транзисторе ***VT1.***
3. Собрать схему по ***рисунку 17.3***.
4. Перед включением стенда убедиться, что все переключатели находятся в начальном положении (выключены);
5. Включить стенд автоматическим выключателем ***QF1;***
6. Включить тумблер ***SA1***.

7 С помощью резистора ***R6*** выставить на коллекторе ***VT1*** половину напряжения питания ***24В/2=12В*** (измеряется дополнительным осциллографом). Установить резистором ***R1*** (делитель ***R1 - R2***) ***ΔUвых*** первого каскада примерно равным ***Uпит/2 =24В/2=12В.***

.

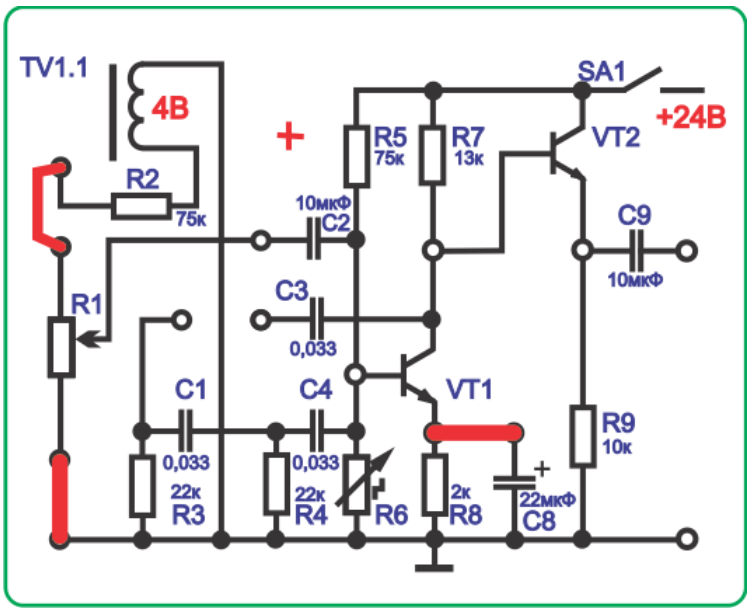


Рисунок 17.3

8 Снять осциллограмму напряжений на входе и выходе повторителя. Убедиться, что они смещены на ***0,6В***

9 Выключить стенд в следующем порядке*:*

- выключить тумблер ***SA1*** (вниз);
- выключить стенд автоматическим выключателем ***QF1;***
- убрать перемычки;
- убедиться, что все остальные переключатели - в начальном состоянии.

10 Рассчитать выходное сопротивление схемы с общим коллектором. Сравнить выходные сопротивления первого и второго каскадов. Сделать заключение.

Лабораторная работа №18
Исследование параметров транзисторного реле с времязадающей RC – цепью

Цель работы

- Ознакомление с принципом действия электронного реле времени на биполярном транзисторе.
- Градуирование шкалы реле времени, и определение относительной погрешности выдержки времени при изменении сопротивления резистора ***R1*** в данных пределах.

Основные теоретические соотношения

Исследование параметров транзисторного реле времени на биполярном транзисторе проводятся по схеме, представленной на рис.18.1, в которую входят биполярные транзисторы ***КТ315Г*** типа N-P-N и электромагнитное реле ***РЭС-9*** с переключающими контактами ***KV***.

Электронный секундомер определяет установленную выдержку времени, а светодиод ***VD9*** сигнализирует о срабатывании реле. Конденсатор ***C12*** емкостью 200 мкф и резистор ***R1*** соединены с базой транзистора ***VT3***, опыты проводятся при различных значениях сопротивления резистора R1. Исследуется и строится характеристика транзисторного реле, изучаются методы повышения стабильности срабатывания реле.

Электронное реле времени - устройство релейного типа с нормируемым временем срабатывания или отпускания реле после подачи или снятия входного управляющего сигнала. В электронном реле времени на биполярных транзисторах ***VT3 и VT4*** типа ***N-P-N*** задаваемая выдержка времени при срабатывании электромагнитного реле ***KV*** после подачи управляющего сигнала (включение питания тумблером ***SA8***) создается за счет переходного процесса, возникающего при заряде предварительно разряженного конденсатора ***C12*** через регулируемый резистор ***R1***. Изменением этого сопротивления ***R1*** можно регулировать длительность переходного процесса, и, следовательно, время срабатывания реле времени.

Порядок выполнения лабораторной работы

1. Рассчитать параметры реле времени в зависимости от изменения сопротивления ***R1*** (определить выдержки времени соответствующие положениям галетного переключателя ***SA10***). Формулы для расчета взять в ***лабораторной работе №14***.

2. Собрать схему, приведенную на ***рисунке 18.1.***

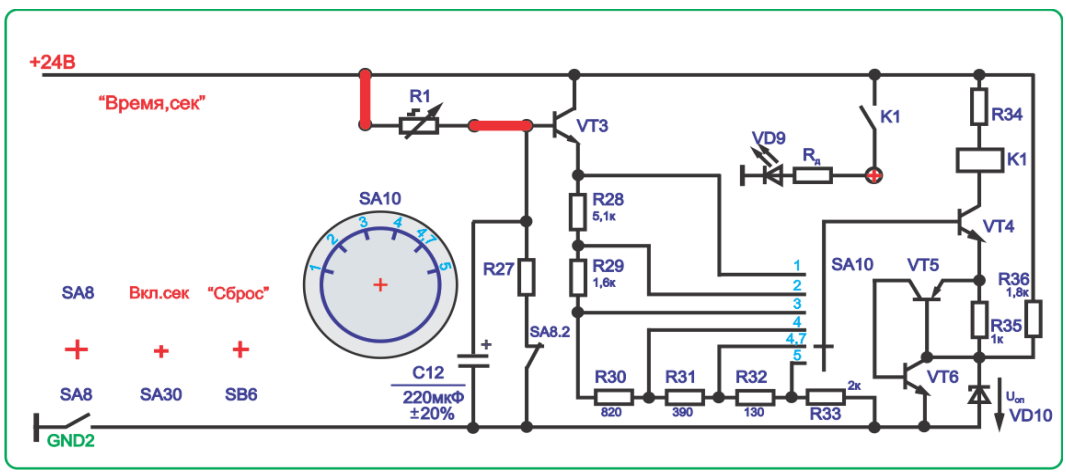


Рисунок 18.1

3. Включить стенд автоматическим выключателем ***QF1.***
4. Установить заданное преподавателем значение шкалы переключателя ***SA10*** (по умолчанию установить положение ***«3»***)
5. Тумблером ***SA30*** включить секундомер.
6. Сбросить значение секундомера в нулевые показания кнопкой ***SB6***.
7. Провести первый опыт заряда конденсатора при положении ***«1»*** переключателя «***x1»*** резистора ***R1 (1кОм).*** Переключить тумблер ***SA8*** в верхнее положение. Когда засветится светодиод ***VD9*** (реле сработало), записать показания секундомера в ***таблицу 18.1*** (счёт секундомера останавливается при срабатывании реле).
8. Выключить тумблер ***SA8*** вниз.
9. Сбросить показания секундомера кнопкой ***SB6***.
10. Перевести переключатель «***x1»*** резистора ***R1*** в положение ***«2»***.
11. Провести остальные опыты аналогично пункту ***7*** для всех остальных положений переключателя «***x1»*** резистора ***R1***.

Таблица 18.1

R1, кОм	***ty.ном, сек***	***ty****,(измеренная)* ***сек***	γ
1	***0,181869***		
2	***0,363739***		
3	***0,545608***		
4	***0,727477***		
5	***0,909346***		
6	***1,091216***		
7	***1,273085***		
8	***1,454954***		
9	***1,636824***		
10	***1,818693***		

12. Выключить стенд в следующем порядке:
    - выключить тумблер ***SA8***;
    - тумблер ***SA10*** перевести в начальное положение ***«1»***;
    - выключить секундомер тумблером ***SA30*** (вниз);
    - выключить стенд автоматическим выключателем ***QF1.***
    - вернуть все переключатели резистора ***R1*** в начальные положения ***«0»***.
    - убрать перемычки;
    - убедиться, что все остальные переключатели - в начальном состоянии.
13. Определить относительную погрешность выдержки времени для выбранного деления шкалы при изменении сопротивления резистора ***R1*** по формуле:

$$\gamma = \frac{t_{\text{у.ном}} - t_{\text{у}}}{t_{\text{у.ном}}} \cdot 100\%$$

где $t_{y.ном}$ - выдержка времени расчетная.
Данные расчета занести в ***таблицу 18.1.***

Лабораторная работа №19
Исследование генераторов синусоидальных колебаний

Цель работы

- Ознакомление с принципами построения генераторов синусоидальных колебаний
- Исследование режимов работы генератора

Параметры схемы

Для выполнения лабораторной работы собирается схема, приведенная на рис. 19.1. При исследовании режимов работы генератора используется осциллограф.

Выбором резистора ***R6*** добиваются режима устойчивых колебаний и определяют частоту и амплитуду синусоидальных колебаний.

C1 = C3 = C4 = 0,033 мкФ,

R3 = R4 = 22 кОм.

Основные теоретические соотношения

Электронный генератор – это устройство, преобразующее электрическую энергию источника постоянного тока в энергию незатухающих колебаний заданной формы и частоты.

По способу возбуждения генераторы подразделяют на генераторы с независимым возбуждением и генераторы с самовозбуждением (автогенераторы). Генераторы с независимым возбуждением являются усилителями колебаний, которые вырабатывают посторонние источники. Автогенераторы сами создают незатухающие колебания за счёт использования положительной обратной связи.

Среди автогенераторов можно выделить генераторы синусоидальных колебаний и импульсные генераторы. Генераторы синусоидальных колебаний подразделяют на автогенераторы типа LC и автогенераторы типа RC.

Незатухающие колебания в автогенераторах устанавливаются при выполнении двух условий, которые называют условиями самовозбуждения. Это условие баланса фаз, обеспечиваемое положительной обратной связью, и условие баланса амплитуд, зависящее от значения коэффициента обратной связи ***Кос***.

Баланс амплитуд имеет вид:

$$K_{OC} \cdot A = 1,$$

где ***A*** – коэффициент усиления непосредственно усилителя,

а баланс фаз:

$$\beta + \alpha = 0; 2\pi; \ldots,$$

где α - фазовый сдвиг между входом и выходом усилителя,

β - фазовый сдвиг обратной связи.

Для получения синусоидальных колебаний на низких частотах применяют генераторы RC типа. Простейшая схема такого генератора приведена на ***рисунке 19.1.***

Положительная обратная связь в данной схеме осуществляется через фазовращательную цепь, состоящую из трёх звеньев ***R6-C4***, ***R4-C1***, ***R3-C3.*** Поскольку усилитель на ***рисунке. 19.1*** инвертирует сигнал на угол π, то $\alpha = \pi$. Это означает, что суммарный фазовый сдвиг обратной связи должен быть тоже π, а каждого ***RC*** звена $\pi/3$.

Для выполнения условия баланса амплитуд коэффициент усиления усилителя должен быть больше ослабления, вносимого фазовращательной цепью. В приведённой схеме это ослабление равно ***29***.

Частота синусоидальных колебаний в схеме определяется параметрами обратной связи и, если ***R6 = R4 = R3 = R,*** а ***C1 = C3 = C4 = C***, *то :*

$$f = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot R \cdot C \cdot \sqrt{6}}$$

Порядок выполнения лабораторной работы

1. Рассчитать частоту генератора с фазовращающей цепью.
2. Записать условия возникновения устойчивых колебаний в исследуемой схеме.
3. Собрать схему по ***рисунку 19.1.***

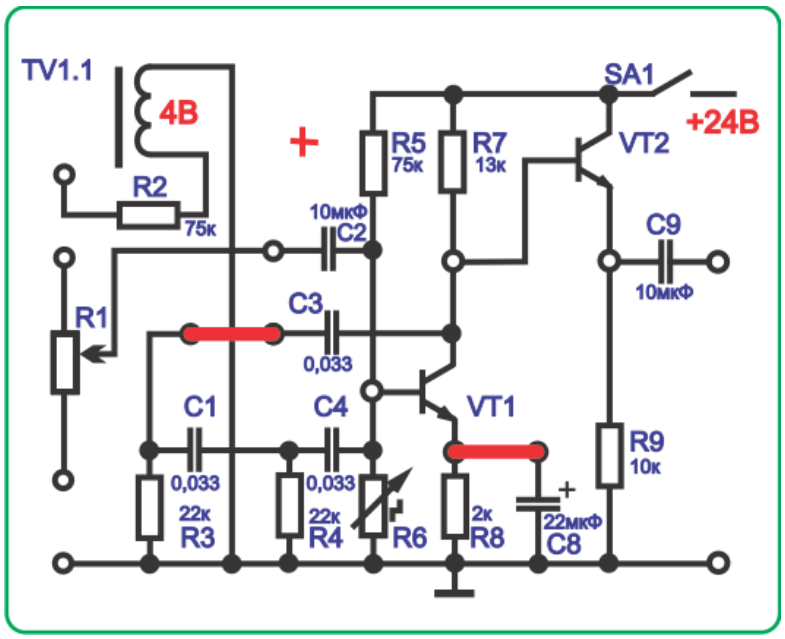


Рисунок 19.1

4. Перед включением стенда убедиться, что все переключатели находятся в начальном положении (выключены).
5. Включить стенд автоматическим выключателем ***QF1.***
6. Включить тумблер ***SA1***.
7. С помощью резистора ***R6*** (изменяя положение переключателя ***R6*** от ***«0»*** до ***«10»***) установить устойчивый симметричный режим автоколебаний по ***осциллограмме.***
8. Снять осциллограмму выходного напряжения генератора $U_{ВЫХ}(t)$.
9. Сравнить расчётную частоту с экспериментальной.
10. Выключить стенд в следующем порядке:
    - Выключить тумблер ***SA1*** (вниз);
    - Выключить стенд автоматическим выключателем ***QF1;***
    - убрать перемычки;
    - убедиться, что все остальные переключатели - в начальном состоянии.

Лабораторная работа №20
Исследование работы широтно-импульсного преобразователя напряжений (ШИП)

Цель работы

- Изучение устройства, принципа построения и области применения ШИП.
- Исследование режимов работы ШИП.

Основные теоретические сведения

Передача и преобразование сигналов лежит в основе систем связи, контроля, регулирования и управления.

По способу формирования сигнала управления или способу передачи информации системы можно подразделить на непрерывные и дискретные.

Системы с широтно-импульсной модуляцией являются разновидностью дискретных систем. При этом способе модуляции период ***T*** и амплитуда ***Au*** – неизменные, а длительность импульса **γ·T** изменяется в соответствии с каким-либо законом. Величину γ называют скважностью импульсов (***рисунок 20.1***).

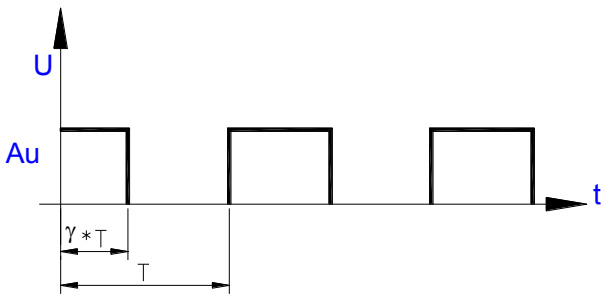


Рисунок 20.1

Порядок выполнения лабораторной работы

1 Собрать схему по ***рисунку 20.2.***

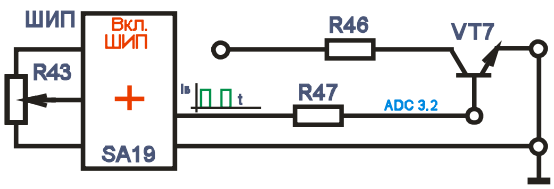


Рисунок 20.2

2 На рабочей панели стенда исследуемый ШИП изображен как функциональный блок с одноименным обозначением с вынесенным отдельно силовым регулирующим транзистором ***VT7*** и контрольным гнездом для снятия осциллограммы управляющего сигнала (на базе транзистора, подключенной к остальной схеме ШИП через резистор ***R47)***. Для снятия осциллограммы управляющего сигнала достаточно при работающем

стенде включить тумблер ***SA19*** «Вкл.ШИП». В работе исследуется ШИП напряжения путем наблюдения и измерения длительности периода сигнала на базе транзистора при изменении преобразуемого напряжения резистором ***R43 (Iя).***

3 Для наблюдения сигналов используется осциллограф.

4 Включить стенд автоматическим выключателем ***QF1, в***ключить тумблер ***SA19.***

5 Снять осциллограмму выходного напряжения ШИПа при нескольких положения движка потенциометра ***R43.***.

6 Определить скважность выходного сигнала.

7 Снять регулировочную характеристику ШИП: зависимость скважности от угла поворота ***R43*** (между соседними рисками регулятора 30^{O}).

8 Для изучения работы ШИП для регулирования тока в якоре генератора М2 в собирают схему, представленную на **рис. 20.3.**

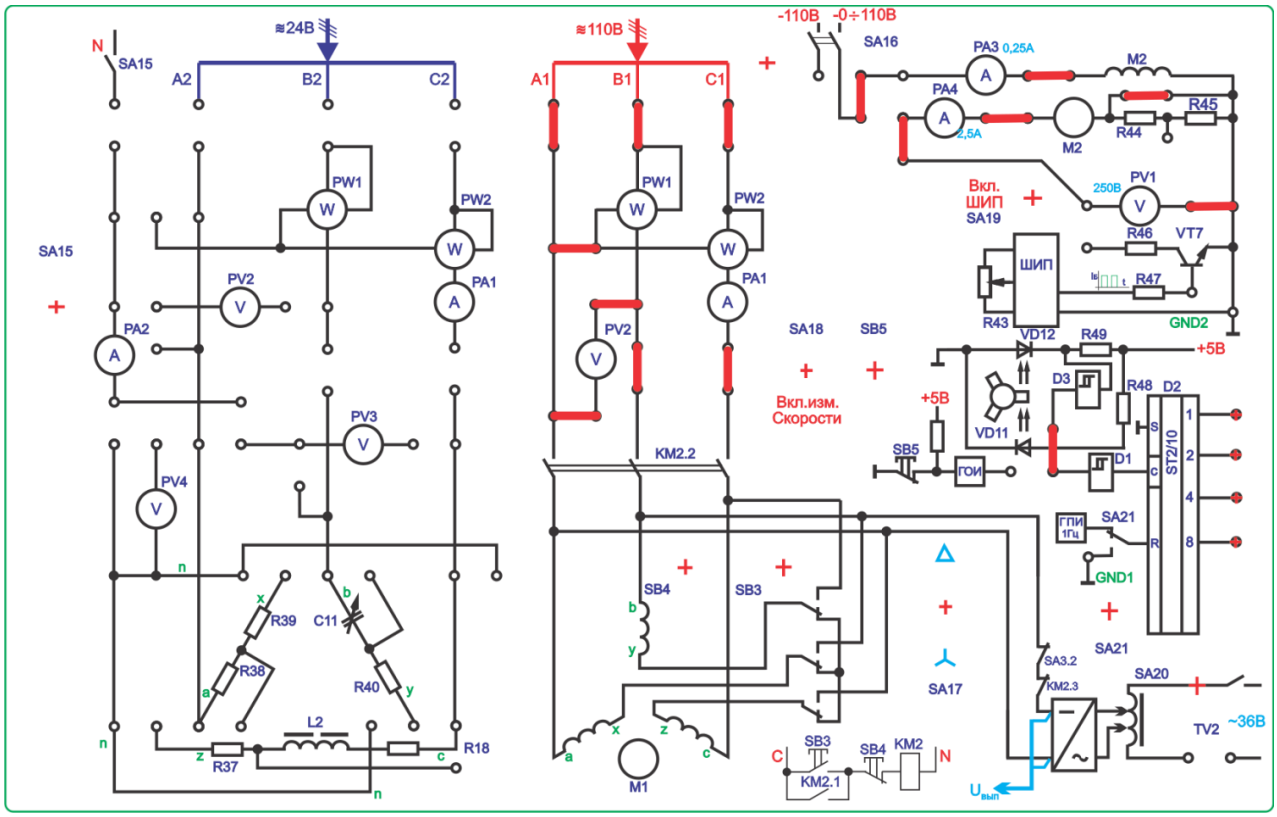


Рисунок 20.3

9 Запустить гонный двигатель М1 при положении ***SA17*** «***треугольник»***, включить питание обмотки возбуждения М2 тумблером ***SA16***. При «min» положении ***R43*** включить ШИП тумблером «Вкл.ШИП» ***SA19***. Плавно регулируя ток нагрузки снять внешнюю характеристику ШИП: зависимость тока нагрузки ***(Iя)*** от угла поворота ***R43.***

10 Выключить стенд в следующем порядке:

- выключить тумблер ***SA19*** (вниз)
- выключить стенд автоматическим выключателем ***QF1;***
- убрать перемычки;
- убедиться, что все остальные переключатели в начальном состоянии.

Лабораторная работа №21
Исследование работы триггера Шмидта и цифровых счётчиков в интегральном исполнении

Цель работы

- Изучение принципа действия цифровых счетчиков и триггера Шмидта.

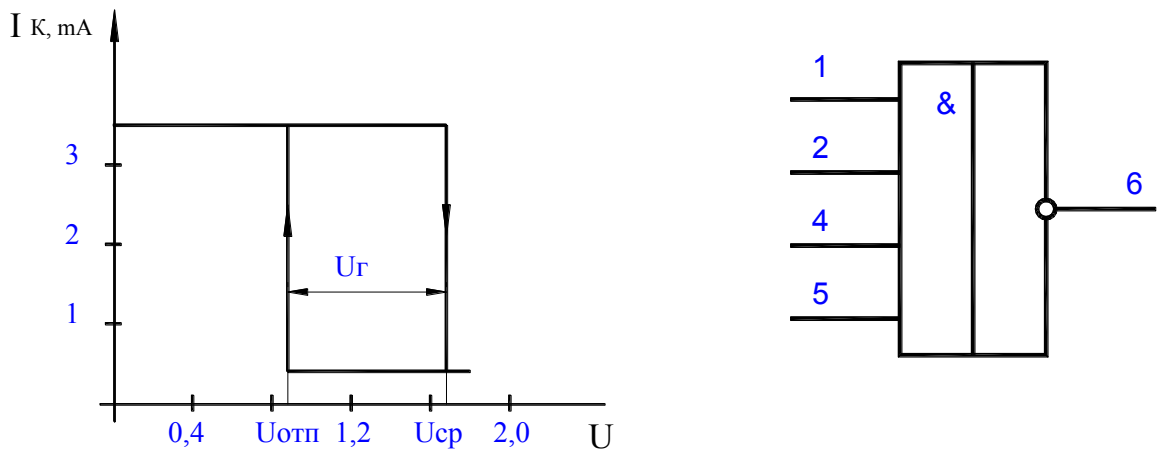
Теоретические сведения

Триггер Шмидта.

При входном импульсном сигнале с пологими фронтом и срезом импульс на выходе формирующего логического элемента также не будет прямоугольным, так как некоторое время ключевая схема будет находиться в усилительном режиме. Кроме того, на фронте и срезе выходного импульса будут присутствовать усиленные помехи, поступившие на схему из проводов питания. Импульс с зашумлённым и несформированным фронтом непригоден для переключения тактовых входов триггеров, регистров и счётчиков.

В таких случаях используют так называемую схему триггера Шмидта, состоящую из двухкаскадного усилителя, охваченного слабой положительной обратной связью.

Логические элементы со свойствами триггера Шмидта имеют внутреннюю положительную обратную связь, глубина которой подобрана так, чтобы получить передаточную характеристику со значительным гистерезисом. Передаточная характеристика элемента Шмидта микросхемы ***К155ТЛ1*** (***рисунок 21.1.б***) двухпороговая и имеет вид, показанный на ***рисунке. 21.1.а***.



а) ***б)***

Рисунок 21.1

Счетчики импульсов.

Подсчет числа импульсов является наиболее распространенной операцией в устройствах цифровой обработки информации. Повышенный интерес к таким устройствам объясняется их высокой точностью, возможностью применения регистрирующих приборов с непосредственным цифровым представлением результата, а также возможностью осуществления связи с ЭВМ.

В результате цифровой обработки информации измеряемый параметр (угол поворота, перемещение, скорость, частота, время, температура и т.д.) преобразуется в импульсы напряжения, число которых в соответствующем масштабе характеризует значение данного параметра. Эти импульсы подсчитываются счетчиками импульсов и выражаются в виде цифр.

По целевому назначению счетчики подразделяют на простые и реверсивные. Простые счетчики, в свою очередь, подразделяют на суммирующие и вычитывающие. Суммирующий счетчик предназначен для выполнения счета в прямом направлении, т.е. для сложения. С приходом счетного импульса на вход счетчика его показание увеличивается на единицу. Вычитающий счетчик служит для осуществления счета в обратном направлении, т.е. для вычитания. Каждый счетный импульс поступающий на вход вычитающего счетчика, уменьшает его показание на единицу. Реверсивные счетчики предназначены для выполнения операции счета, как в прямом, так и в обратном направлении, т.е. они могут работать в режиме сложения и вычитания.

Основными показателями счетчиков являются модуль счета (коэффициент счета ***К***) и быстродействие. Быстродействие счетчика характеризуется максимальной частотой ***fсч*** следования счетных импульсов и связанным с ней временем ***tуст*** установки счетчика. Счетчики импульсов выполняются на основе триггеров. Счет числа поступающих импульсов производится с использованием двоичной системы счисления.

Основным узлом двоичного счетчика (служащим также его разрядом) является триггер со счетным запуском, осуществляющий подсчет импульсов по модулю 2.

Многоразрядные двоичные суммирующие счетчики с непосредственной связью выполняются путем последовательного соединения счетных триггеров. Счетные импульсы подаются на счетный вход первого триггера. Счетные входы последующих триггеров связаны непосредственно с прямыми выходами предыдущих триггеров: вход второго триггера соединен с выходом первого триггера, вход третьего – с выходом второго и т.д.

Принцип действия двоичного счетчика с непосредственной связью рассмотрим на примере трехразрядного счетчика, показанного на ***рисунке 21.2.а***. Схема выполнена на Т-триггерах с внутренней задержкой. Работу схемы иллюстрируют временные диаграммы, приведенные на ***рисунке 21.2.б***.

Перед поступлением счетных импульсов все разряды счетчика устанавливаются в состояние **"0"** ***(Q1 = Q2 = Q3 = 0)*** подачей импульса на вход **"Установка нуля"**. При поступлении первого счетного импульса первый разряд подготавливается к переключению в противоположное состояние и после окончания действия входного импульса переходит в состояние *Q1 = 1*. В счетчик записывается число 1. Уровень 1 с выхода Q1 воздействует на счетный вход второго разряда, подготавливая его к переключению. По окончанию второго счетного импульса первый разряд счетчика переходит в состояние "0", а второй разряд переключается в состояние "1". В счетчике записывается число 2 с кодом 010.

Подобным образом осуществляется работа схемы с приходом последующих импульсов. Первый разряд счетчика, как видно из ***рисунка 21.2.б.***, переключается с приходом каждого входного импульса, второй разряд - каждого второго, а третий разряд срабатывает на каждый четвертый счетный импульс.

В процессе работы двоичного счетчика частота следования импульсов на выходе каждого последующего триггера уменьшается вдвое по сравнению с частотой его входных импульсов (***рисунок 21.2.б.***) Это свойство схемы используют для построения делителей частоты. При использовании схемы в качестве делителя частоты входной сигнал подают

на счетный вход первого триггера, а входной снимают с последнего триггера. Выходная и входная частоты связаны соотношением

$$f_{вых} = f_{вх}/К_{сч}.$$

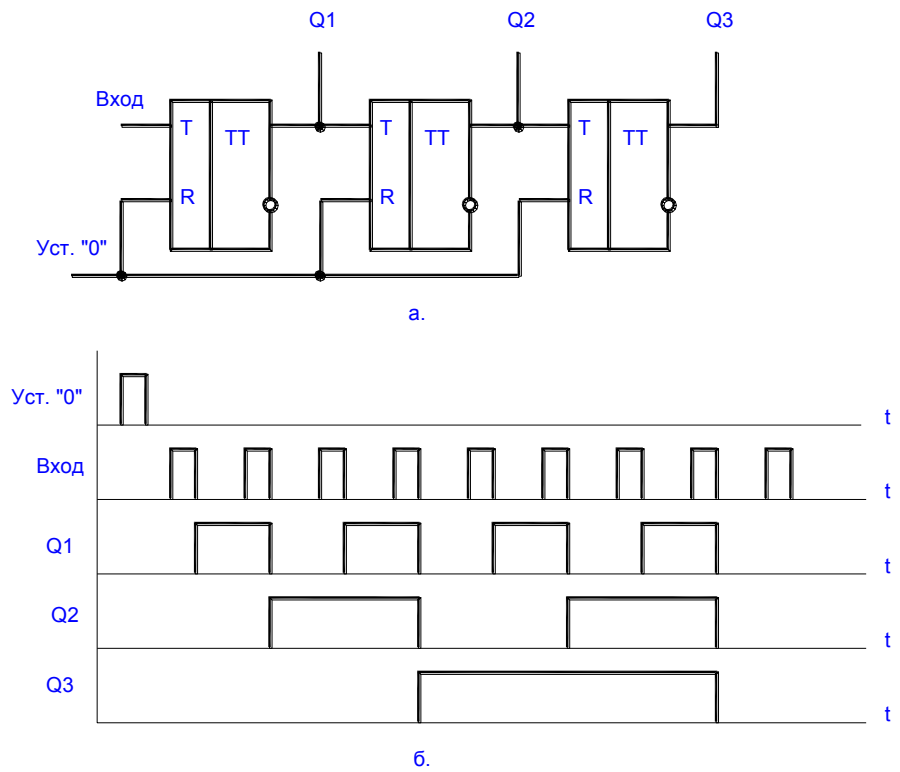


Рисунок 21.2

Счетчики с $К_{сч} = 10$ называют десятичными или декадными. Они нашли широкое применение для регистрации числа импульсов с последующим визуальным отображением результата.

Для построения счетчика с $К_{сч} = 10$ необходимо иметь 4-х разрядный двоичный счетчик, число состояний которого следует уменьшить с 16 до 10. Счетная последовательность десятичного счетчика может быть представлена в двоично-кодированном десятичном коде *(Q4 Q3 Q2 Q1 - 8 4 2 1)*, в котором каждая десятичная цифра кодируется 4-х разрядным числом. Счетная последовательность суммирующего десятичного счетчика в этом случае совпадает с двоичной последовательностью от 0000 до 1001, после чего следует 0, и последовательность повторяется.

Последовательное соединение двух схем десятичного счета дает пересчет на 100, трех на 1000 и т.д. Первая декада производит счет единиц входных импульсов от 0 до 9. Десятый импульс устанавливает разряды первой декады в состояние "0", а формируемый на его выходе импульс записывает "1" во вторую декаду, что соответствует числу 10. Вторая декада считает десятки (от 10 до 90), третья - сотни (от 100 до 900) и т. д.

Схема типового десятичного счётчика серии ***К155ИЕ2*** приведена на ***рисунке. 21.3***, таблица состояний – ***Таблица 21.1***. Для деления частоты на два используется тактовый вход С0 и вывод Q0. Для деления частоты в 5 раз подаётся входная последовательность на вывод 1. Выходной сигнал получаем на выходе Q3. Чтобы получить на выходах счётчика двоично-десятичный код, необходимо соединить выводы 12 и 1. Входная последовательность подаётся на тактовый вход С0.

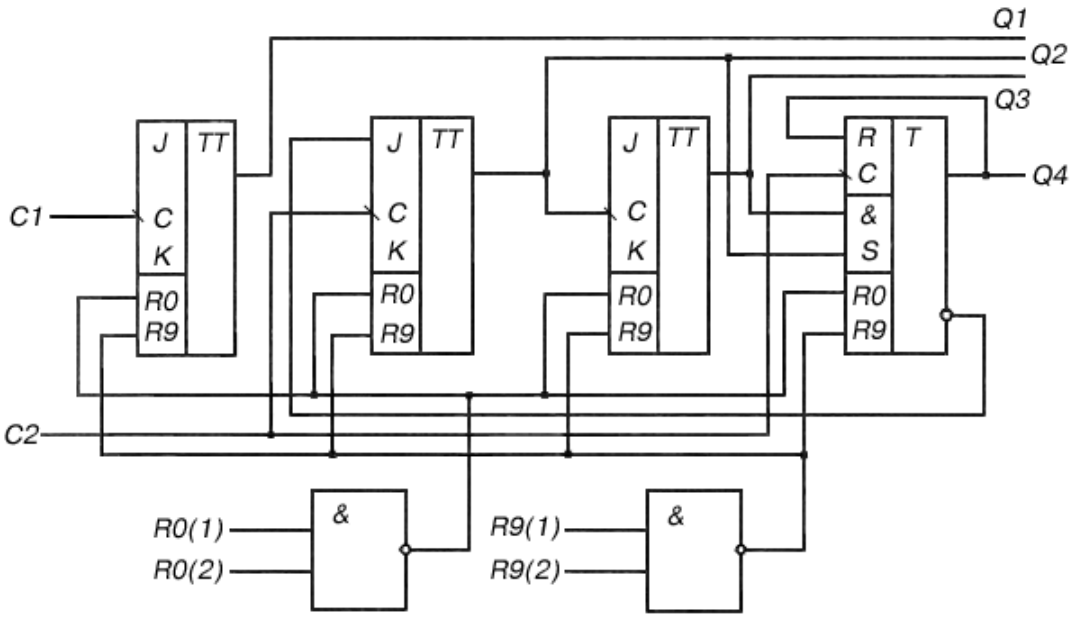


Рисунок 21.3

Таблица 21.1

Вход сброса и установки				***Выход***			
R1	***R2***	***S1***	***S2***	***Q0***	***Q1***	***Q2***	***Q3***
В	В	Н	Х	Н	Н	Н	Н
В	В	Х	Н	Н	Н	Н	Н
Х	Х	В	В	В	Н	Н	В
Н	Х	Н	Х	Счет			
Х	Н	Х	Н				
Н	Х	Х	Н				
Х	Н	В	Х				

Порядок выполнения лабораторной работы

1. Изучить принцип работы, назначение выводов и функциональные возможности счетчика типа ***К155ИЕ2***

2. Изобразить временные диаграммы, поясняющие работу счетчика.

3. Собрать схему для исследования счетчика, представленную на ***рисунке. 21.4.***

4. Перед включением стенда убедиться, что все переключатели находятся в начальном положении (выключены).

5. Включить стенд автоматическим выключателем ***QF1.***

6. Включить тумблер ***SA18*** вверх (Включение измерителя скорости).

7. Тумблер ***SA21*** должен находиться в нижнем положении.

8. С помощью кнопки ***SB5*** подавать последовательности импульсов ***1, 2, 3, и т.д***. на вход счетчика, составить таблицу состояний кода на выходах ***1, 2, 4, 8*** микросхемы ***D2*** от количества поданных импульсов. Выходной код фиксируется по ***светодиодам***.

9. Выключить стенд в следующем порядке:

- выключить тумблер ***SA18*** вниз;

- выключить стенд автоматическим выключателем ***QF1***;
- убрать перемычки;
- убедиться, что все остальные переключатели - в начальном состоянии.

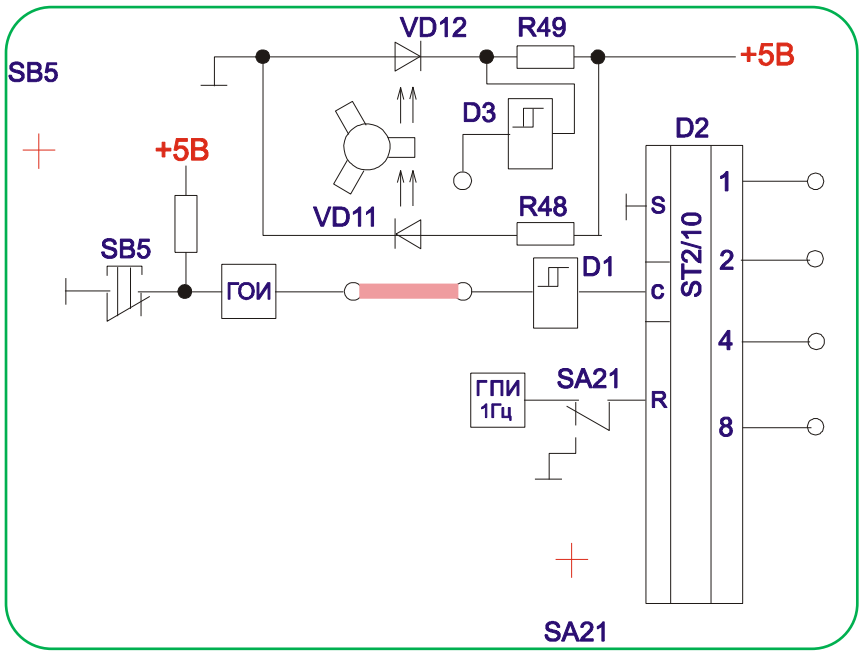


Рисунок 21.4

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Волжский Государственный Университет Водного Транспорта»

Специальность 10.05.03 «Информационная безопасность автоматизированных систем»

РУКОВОДСТВО ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ НА СТЕНДЕ НТЦ-01.01 «ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОНИКИ»

Формирует компетенцию ОПК-4.
ОПК-4.З.1- знать физическую сущность явлений и процессов лежащих в основе функционирования электронной техники;
ОПК-4.У.1 - уметь применять основные физические законы и модели при эксплуатации электротехники;
ОПК-4.В.1 - владеть основными физичскими законами и моделями при эксплуатации электронной техники

Нижний Новгород

СОДЕРЖАНИЕ

Лабораторная работа №1.
Исследование режимов работы и методов расчета линейных цепей постоянного тока с одним источником питания.

Лабораторная работа №2.
Исследование режимов работы и методов расчета линейных цепей постоянного тока с двумя источниками питания.

Лабораторная работа №3.
Исследование режимов работы и методов расчета нелинейных цепей постоянного тока.

Лабораторная работа №4.
Определение параметров и исследование режимов работы электрической цепи переменного тока с последовательным соединением катушки индуктивности, резистора и конденсатора

Лабораторная работа №5. Исследование режимов работы линии электропередачи переменного тока при изменении коэффициента мощности нагрузки.

Лабораторная работа №6.
Определение параметров и исследование режимов работы трехфазной цепи при соединении потребителей звездой.

Лабораторная работа № 7.
Определение параметров и исследование режимов работы трехфазной цепи при соединении потребителей в треугольник

Лабораторная работа № 8.
Исследование линейных цепей несинусоидального периодического тока, содержащих катушку индуктивности и конденсатор.

Лабораторная работа №9.
Исследование параметров схемы замещения катушки индуктивности с замкнутым магнитопроводом и при наличии воздушного зазора в магнитопроводе.

Лабораторная работа №10.
Определение параметров и основных характеристик однофазного трансформатора.

Лабораторная работа №11.
Исследование асинхронного трехфазного электродвигателя с короткозамкнутым ротором.

Лабораторная работа №12.
Определение параметров и основных характеристик электродвигателя постоянного тока с независимым возбуждением

Лабораторная работа №13.
Определение параметров и основных характеристик генератора постоянного тока с независимым возбуждением.

Лабораторная работа № 14.
Исследование процесса зарядки конденсатора от источника постоянного напряжения при ограничении тока с помощью резистора.

Лабораторная работа №15.
Исследование схемы пуска асинхронного двигателя с

короткозамкнутым ротором.
Лабораторная работа №16. Однокаскадный транзисторный усилитель
Лабораторная работа №17. Исследование двухкаскадных усилителей с непосредственной связью.
Лабораторная работа №18. Исследование параметров транзисторного реле с времязадающей RC – цепью
Лабораторная работа №19. Исследование генераторов синусоидальных колебаний
Лабораторная работа №20. Исследование работы широтно-импульсного преобразователя напряжений (ШИП)
Лабораторная работа №21. Исследование работы триггера Шмидта и цифровых счётчиков в интегральном исполнении.

ВНИМАНИЕ! При выполнении данной и всех последующих работ все выключатели неиспользуемые в работе должны быть выключены.

Лабораторная работа №1

Исследование режимов работы и методов расчета линейных цепей постоянного тока с одним источником питания

***Цель работы*:**

- Приобретение практических навыков измерения токов, напряжений и сопротивлений с помощью амперметра и вольтметра и оценки погрешности;
- Закрепление навыков расчета линейных электрических цепей с одним источником питания;
- Исследование мостовой цепи постоянного тока с резистивным датчиком.

Технические характеристики измерительного моста:

R20 = 4,7 кОм; R22 = 10,0 кОм; R23 = 4,7 кОм;

Порядок выполнения лабораторной работы

1. Изучить схему лабораторной работы по ***рисунку 1.2***.

2. Перед выполнением лабораторной работы необходимо ввести стабилитрон ***VD8*** в режим стабилизации. Для этого вначале собирается схему по ***рисунку 1.1***.

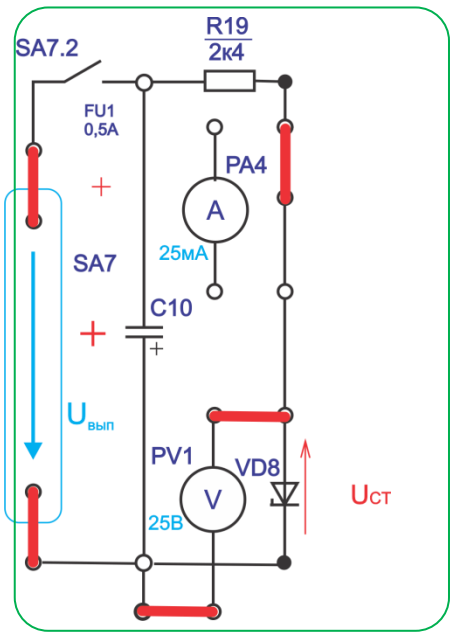


Рисунок 1.1

3. Перед включением стенда убедиться, что все переключатели находятся в начальном положении (выключены).

4. Включить стенд автоматическим выключателем ***QF1***.

5. Подключить питание схемы тумблером ***SA7*** (верхнее положение).

6. Переключателями в нижней части стенда установить напряжение на выходе ***ЛАТРа TV2*** таким, чтобы стабилитрон ***VD8*** вошел в режим стабилизации (приблизительно 16В на вольтметре ***PV1***. ***ВНИМАНИЕ! Предел измерения прибора PV1 - 100В***). Рекомендуется устанавливать ***ЛАТР TV2*** в положение не более ***«20»***. Напряжение на выходе ***ЛАТРа TV2*** регулируется двумя переключателями: левый – с шагом 10В и правый– с шагом 1В. Тумблер ***SA11*** должен находиться в верхнем положении.

7. Выключить ***SA7 .***

8. Собрать схему по ***рисунку 1.2.***

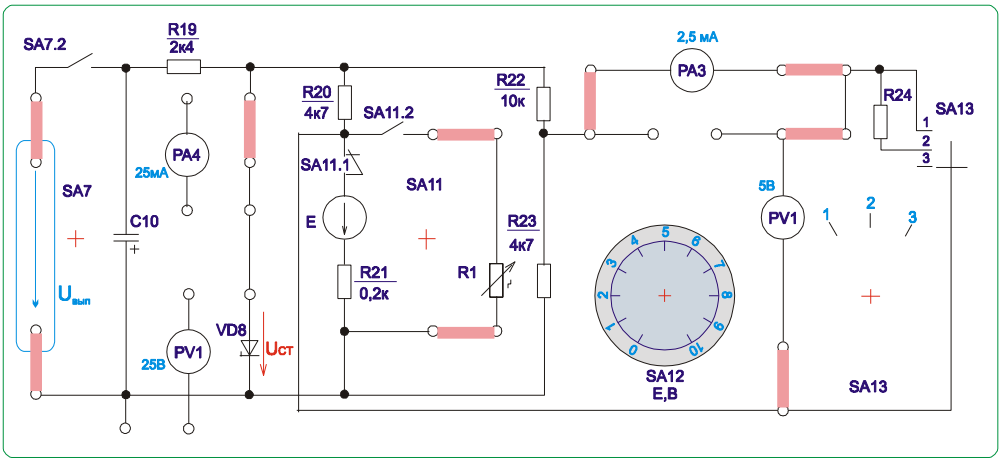


Рисунок 1.2

9. Включить ***SA7*** (при необходимости, полярность вольтметра можно изменить, нажав кнопку «+/-» над вольтметром ***PV1).*** Тумблер ***SA11*** - в верхнем положении, тумблер ***SA13*** - в среднем положении.

10. Установить максимальное рассогласование моста: номинал резистора ***R1*** переключением рукоятки «***x1»*** выставить в положение «0» или «10» (10 кОм) и зарегистрировать максимальное напряжение на ***PV1 (***приблизительно **3,5В**) и ток по прибору ***PA3 (***при нажатой кнопке над ***PA3*** ток приблизительно равен **0,5mA**) .

11. При максимальном рассогласовании моста определить величину сопротивления резистора ***R24*** по закону Ома:

$$R24 = \frac{U_{PV1}}{I_{PA3}} = 3{,}5/0{,}5*10^{-3} = 7 \text{ кОм}$$

Данные измерений и расчетов занести в ***таблицу 1.1.***

Таблица 1.1

R1, кОм	***U_{PV1}, В***	***I_{PA3}, mA***	***R24, кОм***
10			
0			

12. Снять экспериментальную зависимость ***$U_{ВЫХ}$ = f(R1)***, ступенчато изменяя сопротивление ***R1*** от 0 кОм до 10 кОм с шагом 1 кОм. ***SA13*** должен находиться в положении ***2 (НАГР)*** Данные измерений по прибору ***PV1*** занести в ***таблицу 1.2*** и построить график.

Таблица 1.2

R1,кОм	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
U_{PV1}, В											

13. Методом эквивалентного генератора рассчитать величину выходного напряжения моста ***$U_{ВЫХ}$*** при ***R1,*** заданном преподавателем (от 1 до 9 кОм), и сопоставить с экспериментальными данными.

Для расчета воспользоваться формулами:

$$U_{XX} = U_{ст.}\left(\frac{R1}{R20+R1} - \frac{R23}{R22+R23}\right) = 16(0,175 - 0,39) = 2,3 \text{ В}$$ (для R1=1кОм)

$$R_{К.З.} = \frac{R23 \times R22}{R23 + R22} + \frac{R1 \times R20}{R1 + R20} = 4,1\text{кОм}$$

$$I_{кз} = \frac{U_{Х.Х.}}{R_{К.З.}} = 0,57\text{mA}$$

$$I_{PA3} = \frac{U_{Х.Х.}}{R24 + R_{К.З.}}$$

$$U_{вых} = I_{PA3} \text{ x } R24$$

Расчеты занести в ***таблицу 1.3.***

Таблица 1.3

R1, кОм	*Uxx(PV1), В*	*Iкз(PA3), mA*	*Rкз, кОм*	*Uвых*
задан				

14. Провести опыты холостого хода и короткого замыкания.

Для режима хх:

при ***SA13*** в положении «3» и $R1 = 1\text{кОм}$ измеряем $U_{PV1} = U_{XX} = 2,2\text{В}$

Для режима кз:

при ***SA13*** в положении «1» и $R1 = 1\text{кОм}$ измеряем $I_{PA3} = I_{КЗ} = 0,62\text{mA}$

$R_{К.З.}$ – сопротивление относительно точек разрыва моста при закороченном источнике входного напряжения.

По экспериментальным данным определить $R_{К.З.}$:

$$R_{К.З.} = \frac{U_{Х.Х.}}{I_{К.З.}}$$

15 Рассчитать относительную погрешность измерений

16 Выключить стенд в следующем порядке:

- перевести тумблер ***SA7*** в нижнее положение;
- перевести переключатели ***ЛАТРа TV2*** в «0» положение.
- выключить стенд автоматическим выключателем ***QF1***
- переключатели блока резистора ***R1*** установить в крайнее левое положение «0»
- тумблер ***SA11*** – в нижнее положение;
- переключатель ***SA13*** в положение ***3 (XX)***;
- убедиться, что все остальные переключатели - в начальном положении.

Лабораторная работа №2
Исследование режимов работы и методов расчета линейных цепей постоянного тока с двумя источниками питания

Цель работы

- Приобретение практических навыков расчета цепей постоянного тока с несколькими источниками постоянного напряжения.
- Исследование моста постоянного тока с генераторным датчиком.

Технические характеристики измерительного моста

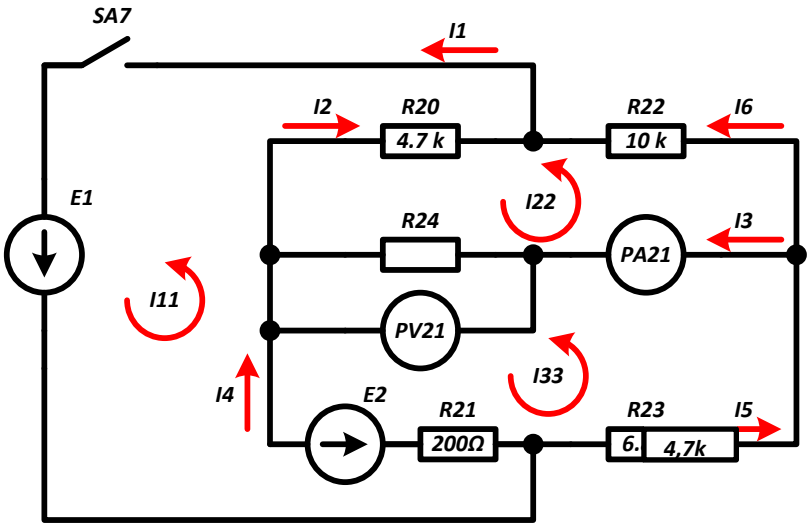


Рисунок 2.1- Схема измерительного моста

I11, I22, I33 - контурные токи;
I1, I2, I3, I4, I5, I6 – токи ветвей.
E1=$U_{ВХ}$=$U_{СТ}$≈16 В (измеряется прибором ***PV1***)
E2=10 В
R20 = 4,7 кОм; R22 = 10 кОм; R23 = 4,7 кОм; R21 = 200 Ом;

Порядок выполнения лабораторной работы

1. Изучить схему измерительного моста по ***рисунку 2.1.***

2. Методом контурных токов рассчитать величину выходного напряжения моста (на резисторе ***R24***) при значении Э.Д.С. ***E1=16В*** или заданном преподавателем.

Система уравнений для расчета контурных токов:

$$I11 \cdot (R20 + R21) - I22 \cdot R20 - I33 \cdot R21 = E1 - E2$$
$$I11 \cdot (R20 + R24 + R22) - I11 \cdot R20 - I33 \cdot R24 = 0$$
$$I33 \cdot (R21 + 23 + R24) - I22 \cdot R24 - I11 \cdot R21 = E2$$

Решив систему уравнений и определив значение контурных токов, определяют значение тока ***I3*** по формуле:

$$I3 = I33 - I22$$

Расчет выходного напряжения моста:

$U_{ВЫХ} = I3 \cdot R24$ (значение **R24** берется из **ЛР№1** равным **7кОм**)

3. Для выполнения практической части лабораторной работы собрать схему по ***рисунку 2.2***.

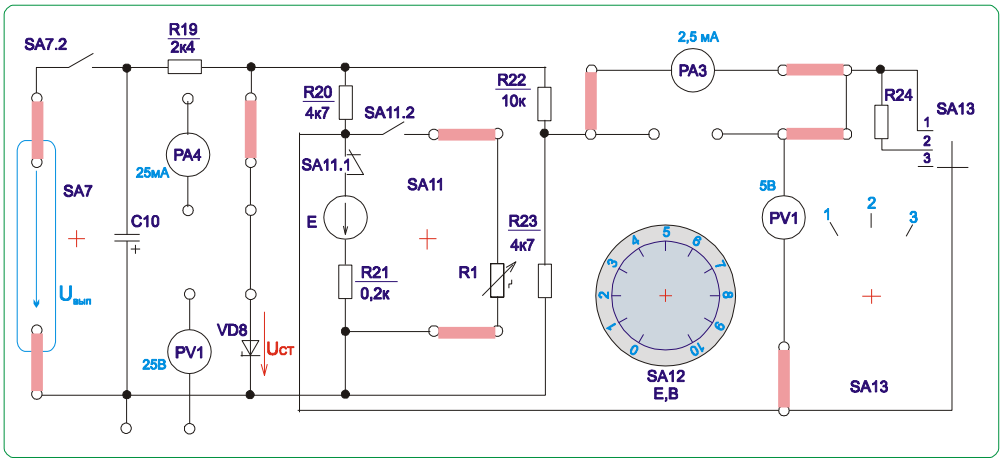


Рисунок 2.2

4. Перед включением стенда убедится, что все переключатели находятся в начальном положении (выключены).

5. Включить стенд автоматическим выключателем ***QF1***.

6. Подключить питание измерительного моста тумблер ***SA7*** (верхнее положение).

7. Переключателями в нижней части стенда установить напряжение на выходе ***ЛАТРа TV2*** таким, чтобы стабилитрон ***VD8*** вошел в режим стабилизации (приблизительно 16 В на вольтметре ***PV1. ВНИМАНИЕ! Предел измерения прибора PV1 - 100В***). Рекомендуется устанавливать ***ЛАТР TV2*** в положение не более ***«20»***. Напряжение на выходе ***ЛАТРа TV2*** регулируется двумя переключателями: левый – с шагом 10В и правый– с шагом 1В.

8. Тумблер ***SA11*** - в нижнем положении (выкл).

9. Снять экспериментальную зависимость $U_{ВЫХ} = f(E2)$, ступенчато изменяя ЭДС ***E2*** от 0 до 10В с шагом 1В (переключатель ***SA12***). ***SA13*** должен находится в положении ***2 (НАГР)*** Данные измерений по прибору ***PV1*** занести в ***таблицу 2.1*** и построить график.

Таблица 2.1

E2, В	***0***	***1***	***2***	***3***	***4***	***5***	***6***	***7***	***8***	***9***	***10***
$U_{ВЫХ}$***(PV1),В***											

10. Выключить стенд.

11. Сопоставить ***Uвых,*** снятое экспериментально для заданного ***E1,*** с расчетом по методу контурных токов.

12. Выключить стенд в следующем порядке:

- перевести тумблер ***SA7*** в нижнее положение;
- перевести тумблер ***SA3*** в нижнее положение;
- перевести переключатели ***ЛАТРа TV2*** в начальное положение;
- выключить стенд автоматическим выключателем ***QF1;***
- переключатель ***SA12*** (***E2)*** установить в крайнее левое положение «0»;
- переключатель ***SA13*** в положение ***3 (XX)***;
- убедиться, что все остальные переключатели - в начальном положении.

Лабораторная работа №3
Исследование режимов работы и методов расчета нелинейных цепей постоянного тока

Цель работы

- Ознакомление со свойствами и характеристиками стабилитронов.
- Изучение принципа действия и исследование характеристик параметрического стабилизатора напряжения.

Технические характеристики схемы для исследования стабилитрона:

Паспортные данные стабилитрона (установлены два последовательно) Д814А:

$U_{СТ.}$=8В;

$\Delta U_{СТ.}$=0,5В; *$U_{СТ.МАКС.}$=8,5В, $U_{СТ.МИН.}$=7В*

$r_{СТ}$ =6 Ом;

$I_{СТ.МАКС}$ = 40 mA;

$I_{СТ.МИН}$ = 3 mA;

Сопротивления резисторов:

R19 = 2,4 кОм; R20 = 4,7 кОм; R22 = 10 кОм; R23 = 4,7 кОм;

Порядок выполнения лабораторной работы

1. Изучить принцип действия параметрического стабилизатора напряжения и электрическую схему включения стабилитрона (***VD8***) на стенде совместно с выпрямителем и мостовой измерительной схемой без ***R24*** в качестве нагрузки.

Нагрузкой стабилитрона является измерительный мост постоянного тока и изменяется она путем изменения величины сопротивления переменного резистора ***R1*** (тублер ***SA11*** устанавливается в верхнее положение).

2. Рассчитать значение эквивалентного сопротивления нагрузки $R_{H.}$ для ***R1*** от 0 до 10кОм (с шагом 1 кОм) по формуле:

$$R_{\text{Н}} = \frac{(R20 + R1) \cdot (R22 + 23)}{R20 + R1 + R22 + R23}$$

Расчет занести в ***таблицу 3.1.***

Таблица 3.1.

R1, кОм	R_H***, кОм***
0	3,561
1	4,107
2	4,602
3	5,053
4	5,465
5	5,844
6	6,193
7	6,515
8	6,814
9	7,091
10	7,350

3 Рассчитать $U_{вх.мин.}$ с заданными $R_Б$=**R19=2,4кОм** и заданным преподавателем сопротивлением нагрузки $R_Н$ (например, при **R1 =8кОм**), при которых параметрический стабилизатор не выходит из режима стабилизации :

$$U_{\text{ВХ.МИН}} = R19 \cdot \left(\frac{U_{\text{СТ}}}{R_{\text{Н}}} + I_{\text{СТ.МИН.}}\right) + U_{\text{СТ}}$$

4 Для выполнения лабораторной работы собрать схему по ***рисунку 3.1***.

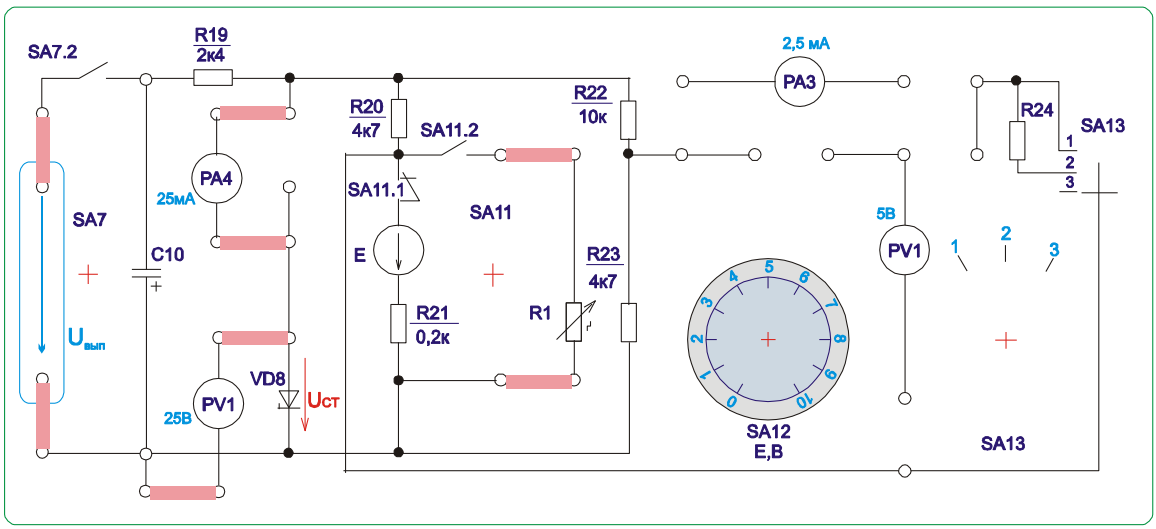


Рисунок 3.1

5 Перед включением стенда убедиться, что все переключатели находятся в начальном положении (выключены).

6 Тумблер ***SA11*** установить в верхнее положение.

7 Включить стенд автоматическим выключателем ***QF1.***

8 Подключить питание ***ЛАТРа TV2:*** тумблер ***SA3*** устанавливается в верхнее положение (включено).

9 Подключить питание измерительного моста: тумблер ***SA7*** (верхнее положение). Исследуемым нелинейным элементом является стабилитрон ***VD8***.

10 Определить экспериментально $U_{вх.мин}$ и $U_{ст.}$ Для этого: устанавливаем **R1** = **8кОм** и изменяем напряжение на выходе ***ЛАТРа TV2*** (не более 20В) от **0** до $U_{вх.мин}$ (до момента стабилизации напряжения на стабилитроне ***VD8,*** при котором напряжение $U_{ст.}$ на приборе ***PV1*** уже не изменяется).

Напряжение на выходе ***ЛАТРа TV2*** регулируется двумя переключателями: левый с шагом 10В и правый с шагом 1В. **ВНИМАНИЕ: напряжение на входе стабилизатора с учетом конденсатора С10 больше, чем $U_{ЛАТРа}$ и равно $\sqrt{2}$ х $U_{ЛАТРа.}$**

11 Снять экспериментально зависимость $U_{Вых.стабилитрона} = f(U_{вх.})$ и $I_{ст.} = f(U_{вх.})$ при заданном

преподавателем **R1=1-10кОм** и меняя $U_{ЛАТРа}$ от **0 до 20В**. Показания снимаем по приборам ***PV1 и PA4.***

Данные измерений занести в ***таблицу 3.2*** и построить графики.

Таблица 3.2

$U_{ВХ} = U_{ЛАТРа}\sqrt{2}$,В	$U_{ВЫХ.}$(PV1), В	$I_{СТ.}$(PA4), мА

12 Снять экспериментально зависимость $U_{ВЫХ.} = f(R_H)$, изменяя **R1** от **10кОм до 0**, при этом, $U_{ВХ}$ ***(на ЛАТРе)*** установить равным $U_{ВХ\ мин}$ (это минимальное напряжение для режима стабилизации) .

Выключить стенд в следующем порядке:

- перевести тумблер ***SA7*** в нижнее положение;
- перевести тумблер ***SA3*** в нижнее положение;
- перевести переключатели ***ЛАТРа TV2*** в начальное положение;
- выключить стенд автоматическим выключателем ***QF1;***
- убедиться, что все остальные переключатели - в исходном положении.

Лабораторная работа №4

Определение параметров и исследование режимов работы электрической цепи переменного тока с последовательным соединением катушки индуктивности, резистора и конденсатора

Цель работы

- Определение параметров схемы замещения индуктивной катушки с магнитопроводом.
- Изучение основных режимов работы электрической цепи при последовательном соединении ***R, L, C***.
- Изучение методов построения векторных диаграмм напряжений и токов.

Порядок выполнения лабораторной работы

1. Собрать схему, приведенную на ***рисунке 4.1.***

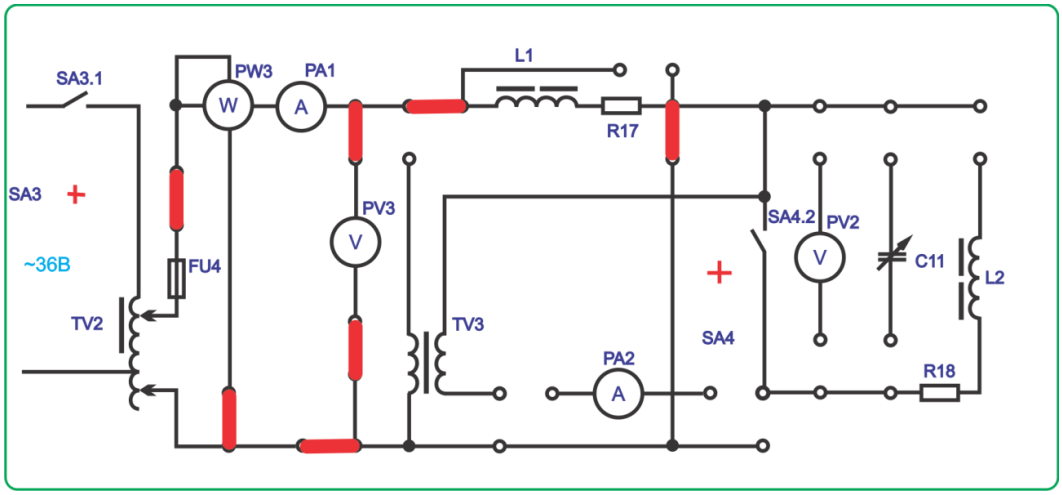


Рисунок 4.1

2. Перед включением стенда убедиться, что все переключатели находятся в начальном положении (выключены).

3. Включить стенд автоматическим выключателем ***QF1.***

4. Подключить питание ***ЛАТРа TV2***: тумблер ***SA3*** в устанавливается в верхнее положение « включено».

5. Установить номинальный ток катушки ***L1*** $I_н$***=0,1А.*** Для этого установить напряжение на выходе ***ЛАТРа TV2*** переключателями: левый – с шагом 10В и правый – с шагом 1В до **31-32 В.**

6. Снять показания приборов:

- ***PA1-*** ток ***($I_к$)*** через катушку (при нажатой кнопке над прибором ***PA1)*** ;
- ***PV3-*** напряжение ***($U_к$)*** на катушке;
- ***PW3*** **-** активная мощность***($P_к$)***, потребляемая катушкой, измеряется по прибору (***PW1+ PW2)*** при нажатой кнопке над прибором (≈ 0,8Вт)

ВНИМАНИЕ! Предел измерения приборов ***PV3 и PV2*** в данной работе ***50В***!

7. Выключить ***SA3***.

8. Выключить стенд автоматическим выключателем ***QF1.***

9. Вернуть переключатели ЛАТРа в начальные ***«0»*** положения.

10. Рассчитать индуктивность и активное сопротивление катушки ***L1*** по формулам:

$$R_{\Sigma} = \frac{P_К}{I_К^2}$$

$$Z_{\Sigma} = \frac{U_К}{I_К}$$

$$X_К = \sqrt{Z_{\Sigma}^2 - R_{\Sigma}^2}$$

$$L = \frac{X_К}{2 \cdot \pi \cdot f}$$

$$R_К = R_{\Sigma} - R17$$

$$Z_К = \sqrt{R_К^2 + X_К^2}$$

где ***R17 =51 Ом.***

11. Собрать схему по ***рисунку 4.2.***

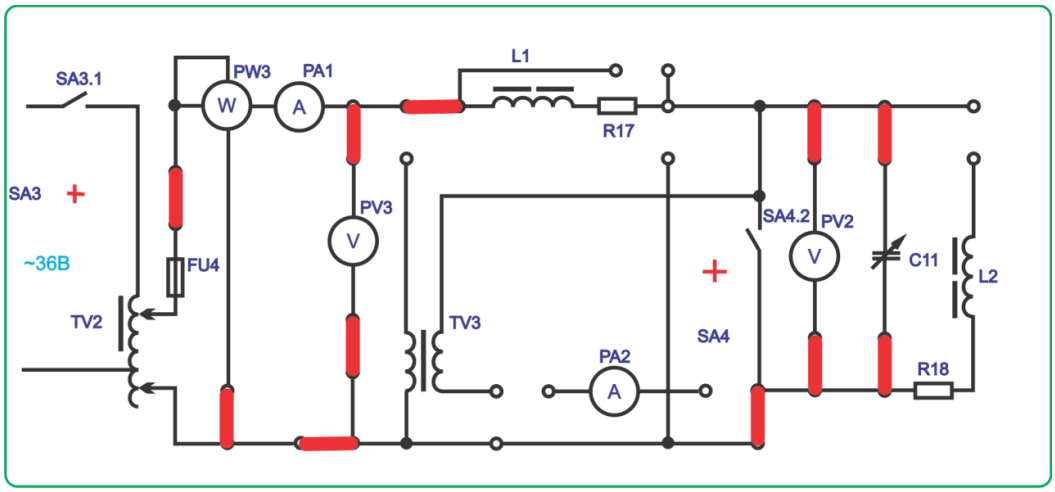


Рисунок 4.2

12. Рассчитать величину ёмкости ***C11***, при которой в цепи будет наблюдаться резонанс напряжений.

Расчет конденсатора для режима резонанса осуществляется по формулам:

$$X_К = X_{C11}$$

$$X_{C11} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C11}$$

$$C11 = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot X_К}$$

13. Рассчитать напряжение $U_{мин}$, при котором в режиме резонанса напряжений ток в цепи ***I*** не превысит ***0,065А*** (при большем значении тока прибор ***PV2*** – может зашкалить):

$$Uмин = I(R_К + R17)$$

14 Экспериментально проверить расчёты резонансной ёмкости и минимального напряжения $U_{мин.}$ ВНИМАНИЕ! Тумблер ***SA4*** должен находиться в выключенном положении (рычажок – внизу). Для этого: ЛАТР включить в «0» положение. С помощью тумблеров на наборном поле установить расчётную ёмкость конденсатора **C11≈10 мкФ** и, нажав кнопку над ***PA1,*** плавно увеличивать $U_{ЛАТРа}$ до увеличения тока на ***PA1*** до ***0,065А*** **($U_{ЛАТРа}$≈13В).** Записать значения напряжения ***PV3*** **(≈7В)*, PV2 (≈22В).***

Чтобы убедиться, что наступил режим резонанса напряжений, необходимо увеличить или уменьшить ёмкость, при этом ток на ***PA1*** уменьшится.

15 Определить расчетным путем значения **cosφ** в цепи при максимальном значении емкости
конденсатора ***C11***.
Значение ***C11max = 12,7 мкФ*** - при всех замкнутых выключателях на наборном поле.

Коэффициент мощности цепи: $\cos\varphi = \frac{\mathbf{R17}+\mathbf{R}_К}{\sqrt{(\mathbf{R17}+\mathbf{R}_К)^2+(X_К-X_С)^2}}$,

где $X_C = \frac{1}{2\pi f C_{11max}}$;

16 Для экспериментальной проверки величины **cosφ** при максимальном значении емкости конденсатора ***C11*** все тумблеры магазина конденсаторов перевести в верхнее положение и записать показания приборов ***(PW1+ PW2)*** ≈1Вт, ***PV3***≈9В, ***PA1***≈0,06А. Рассчитать **cos**φ, подставив экспериментальные данные:

$$\mathbf{cos}\varphi = \frac{\mathbf{P}}{\mathbf{U\,I}}$$

17 Для режима работы с максимальной ёмкостью построить векторную диаграмму: задать $\mathbf{U_{ЛАТРа}}$ равным **14В ,** конденсаторы – все включены (***C=12,7мкФ***), нажать кнопки над приборами ***PW и PA1*** и снять показания ***PW*** , ***PA1 ($I_Σ$), PV3 ($U_Σ$), PV2(Uc).*** Пример построения векторной диаграммы цепи при активно-индуктивном характере цепи дан на ***рисунке 4.3.***

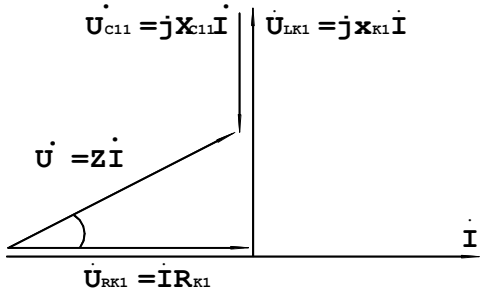


Рисунок 4.3

Выключить стенд в следующем порядке:

- перевести тумблер ***SA3*** в нижнее положение;
- перевести переключатели ***ЛАТРа TV2*** в начальное положение;
- выключить стенд автоматическим выключателем ***QF1;***
- тумблеры конденсатора ***C11*** вернуть в первоначальное положение (вниз);
- убрать перемычки;
- убедиться, что все остальные переключатели - в начальном состоянии.

Лабораторная работа №5
Исследование режимов работы линии электропередачи переменного тока при изменении коэффициента мощности нагрузки

Цель работы:

- Изучение эксплуатационных характеристик линии электропередачи переменного тока.
- Экспериментальное определение параметров нагрузки.
- Исследование режимов работы ЛЭП при изменении коэффициента мощности нагрузки.

Порядок выполнения лабораторной работы

1. Изучить схему замещения ЛЭП.

2. Собрать схему, приведенную на ***рисунке 5.1*** с зашунтированной ЛЭП ***(R17, L1).***

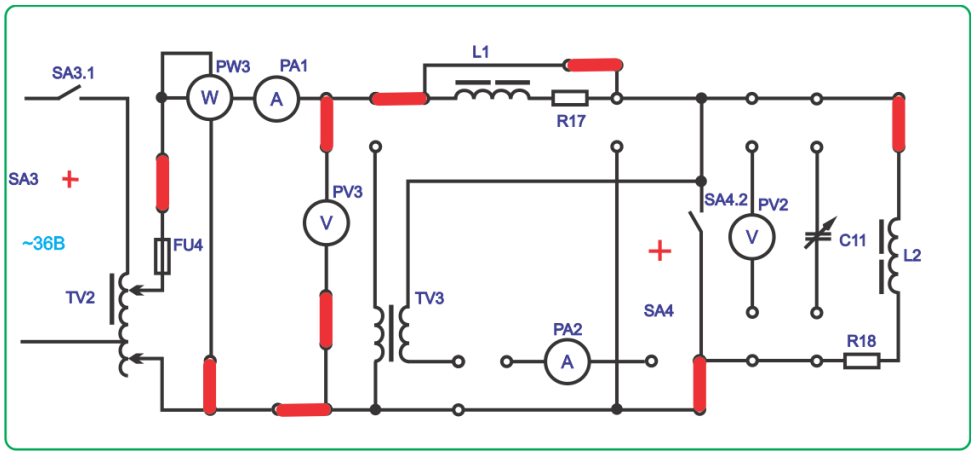


Рисунок 5.1

3. Закоротив условно представленную ЛЭП /**LI, R17**/ определяют параметры катушки L2, сопротивление R18 и cosφ для номинального режима (Uн = 25В).

4. Включить стенд автоматическими выключателем ***QF1*** и тумблером ***SA3.***

5. Подключить питание ***ЛАТРа TV2*** и установить номинальное напряжение U_H***=25В*** на потребителе (***L2, R18***).

6. Снять показания приборов (при нажатой кнопке над PA1):

- ***PA1 ($I_{П.}$)*** - ток потребителя (≈0,065А);
- ***PV3($U_{С.}$) –*** напряжение сети (25В);
- ***PW1+ PW1 ($P_{П.}$)*** - активная мощность, потребляемая из сети (≈0,8Вт). ВНИМАНИЕ! Пределы измерения приборов ***PV3 и PV2*** в данной работе ***50В***!

7. Выключить ***SA3***, ***QF1.***

8. Вернуть переключатель питания ***ЛАТРа TV2*** в ***«0»*** положение***.***

9. Рассчитать индуктивность и активное сопротивление катушки ***L2*** по формулам:

$$R_{18} = \frac{P_{П.}}{I_{П.}^2}$$

$$Z_{L2} = \frac{U_{С.}}{I_{П.}}$$

$$X_{L2} = \sqrt{Z_{L2}^2 - (R18)^2}$$

$$L2 = \frac{X_{L2}}{2 \cdot \pi \cdot f}$$

10. Рассчитать значение емкости ***C11***, при котором в цепи наступит резонанс токов $b_L = b_C$ и проверить экспериментально:

$$\frac{X_{L2}}{Z_{L2}^2} = \omega \cdot C11$$

$$C11 = \frac{X_{L2}}{Z_{L2}^2 \cdot \omega}$$

(С≈8мкФ)

Для экспериментальной проверки ***C11*** собрать схему по ***рисунку 5.2.***

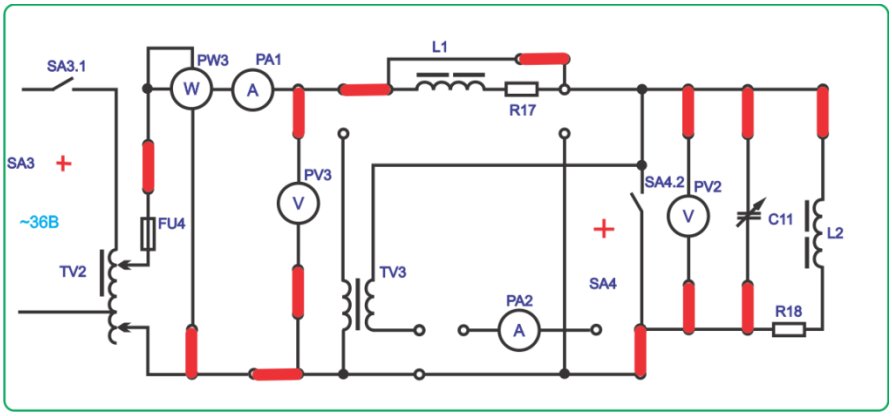


Рисунок 5.2

Установить на ЛАТРе ***25В*** по прибору ***PV3*** и магазином конденсаторов набрать расчётное значение ёмкости для режима резонанса. Чтобы убедиться, что наступил режим резонанса, необходимо увеличить или уменьшить ***C11***, при этом ток будет возрастать.

11. Определить расчетным путем значение емкости конденсатора ***C11*** для повышения коэффициента мощности нагрузки до значения $cos\varphi 2_{зад}$, заданного преподавателем (**от** $cos\varphi 2_H$ до ***0,9***) и проверить экспериментально.

- расчет коэффициента мощности нагрузки $cos\varphi 2_H$:

$$\cos\varphi 2_H = \frac{R18}{Z_{L2}}$$

- расчет значения емкости ***C11*** для повышения коэффициента мощности до значения $cos\varphi 2_{зад}$:

$$C11 = \frac{P_2}{\omega \cdot U_{11}^2}(tg\varphi 2_H - tg\varphi 2_{зад})$$

Проверить расчет $cos\varphi 2_{\text{Н}}$, собрав схему по ***рисунку 5.3.***

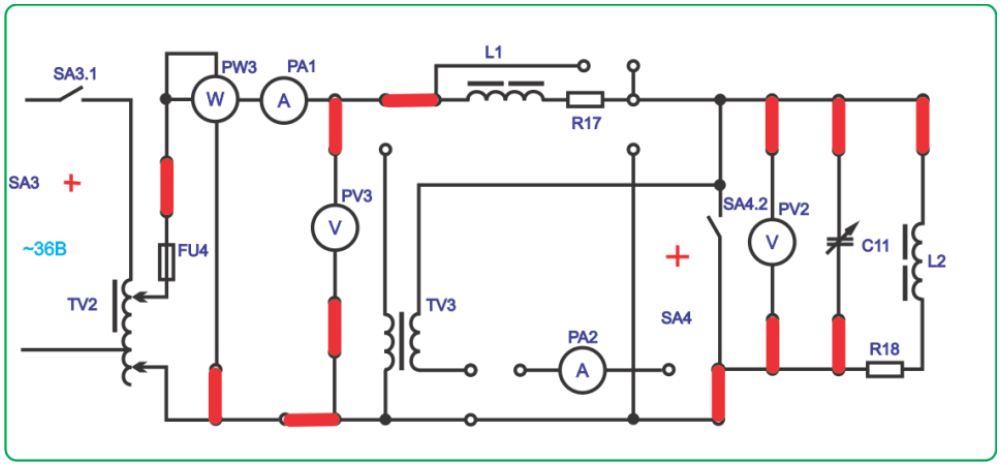


Рисунок 5.3

Для этого, включить ***ЛАТР*** на напряжение ***25В*** по прибору ***PV2 и*** записать показания приборов: ***PA1 (I), PV2(U), PW1+PW2(P).*** Рассчитать: $cos\varphi 2_{зад} = \frac{P}{U\,I}$

12. Построить зависимость $\eta = f(C11)$, для этого: собрать схему, приведенную на ***рисунке 5.3,*** с незашунтированной ЛЭП ***(R17, L1).***

13. Установить ***ЛАТРом*** номинальное напряжение $U_{Н.}$***=25В (PV2)*** на потребителе (***L2, R18***). При этом емкость конденсатора ***C11*** должна быть «***0***» (все тумблеры магазина конденсаторов - в нижнем положении).

14. Увеличивая емкость ***C11*** (0,4, 0,8…) и уменьшая при этом U_H до ***25 В (***по прибору ***PV2*** понижая напряжение ***ЛАТРом***) снять и построить зависимость $\eta = f(C11)$. Данные занести в ***таблицу 5.1.***

Таблица 5.1

Экспериментальные данные					***Расчетные значения***		
U_1***(PV3), В***	***U2(PV2), В***	***I(PA1), А***	***PW, Вт***	***C11, мкФ***	***y***	***cosφ2***	***η***
	25			0			
	25			0,4			
	25			0,8			
	25			1,6			

$$\eta = \frac{1}{1 + \frac{P2 \cdot R_{\Sigma}}{U2^2 \cdot cos\varphi 2^2}},$$

где значение сопротивления R_{Σ}***= R17 +*** R_{L1} берется из ***лр №4 (R17 =51 Ом)***

$$cos\varphi 2 = \frac{g}{y}$$

где ***q*** - активная проводимость нагрузки:

$$g = \frac{R18}{Z_{L2}^2}$$

y - полная проводимость нагрузки:

$$y = \sqrt{\left(\frac{R18}{Z_{L2}^2}\right)^2 + \left(\frac{X_{L2}}{Z_{L2}^2} - \omega \cdot C11\right)^2}$$

P2 - активная мощность, потребляемая нагрузкой:

$$\boldsymbol{P2 = P - P1 = P - I^2 \cdot (R17 + R_{L1})}$$

P **–** показания ваттметра ***PW1+PW2.***

15. Выключить стенд в следующем порядке:

- перевести тумблер ***SA3*** в нижнее положение;
- перевести переключатели **ЛАТРа** ***TV2*** в начальное положение;
- выключить стенд автоматическим выключателем ***QF1;***
- убрать перемычки;
- тумблеры магазина конденсаторов ***C11*** вернуть в первоначальное положение (вниз);
- убедиться, что все остальные переключатели - в начальном состоянии.

Лабораторная работа №6

Определение параметров и исследование режимов работы трехфазной цепи при соединении потребителей звездой

Цель работы

- Исследование трехфазной цепи при соединении потребителей звездой.
- Изучение методов расчета трехфазных цепей при соединении потребителей звездой.

Порядок выполнения лабораторной работы

1 Исследование симметричной резистивной нагрузки при наличии нейтрального провода

1.1 Собрать схему, приведенную на ***рисунке 6.1***.

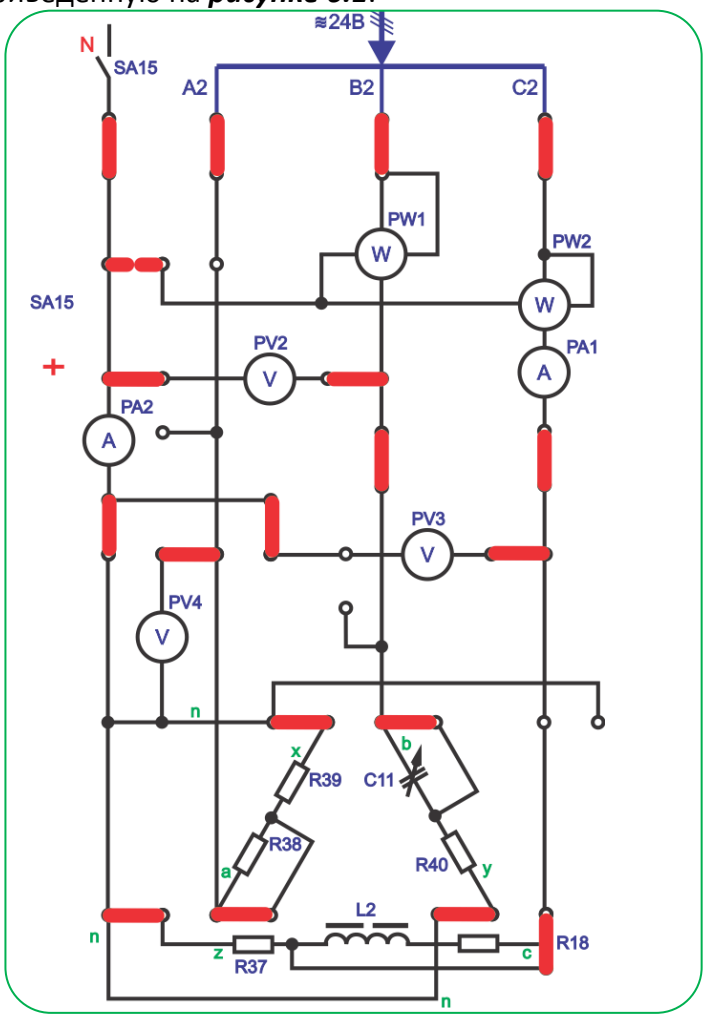


Рисунок 6.1

Перед включением стенда убедиться, что все переключатели находятся в начальном положении (выключены).

1.2 Включить стенд автоматическим выключателем ***QF1.***

1.3 Включить тумблер ***SA15.***

ВНИМАНИЕ! Предел измерения приборов ***PV2, PV3, PV4 - 50В.***

Убедиться, что ток в нейтрали (по прибору ***PA2)*** равен нулю. Следовательно, нагрузка симметричная ***R37 = R39 = R40.*** Измерить фазные напряжения при помощи вольтметров ***PV2, PV3, PV4*** и фазный ток **I1** в фазе «С» при помощи амперметра ***PA1***.

Убедиться в отсутствии тока в нейтральном проводе ***I2 = 0 (PA2).***

1.4 Выключить тумблер ***SA15*** и автоматический выключатель ***QF1.***

1.5 Определить значения сопротивлений резисторов ***R37, R39, R40*** по Закону Ома:

$$\boldsymbol{R37 = \frac{U_{C(PV3)}}{I_{C\,(PA1)}}}$$

Мощность, потребляемую симметричной нагрузкой, определить по формуле:

$$\boldsymbol{P = 3\, I^2_1\, R39,}$$

где ***R39=510 Ом***

2 Исследование равномерной нагрузки без нейтрального провода

В качестве равномерной нагрузки в фазы ***A, B*** и ***C*** добавляются соответственно ***R38, C11*** и ***L2+R18***.

2.1 Для получения равномерной нагрузки рассчитать величину емкости ***C11*** из условия:

$$|\boldsymbol{Z_a}| = |\boldsymbol{Z_b}| = |\boldsymbol{Z_c}|$$

$$\boldsymbol{Z_a = \sqrt{R40^2 + X^2_{C11}}}$$

$$\boldsymbol{Z_b = \sqrt{(R37 + R18)^2 + X^2_{L2}}}$$

$$\boldsymbol{Z_c = R38 + R39}$$

Приняв $\boldsymbol{Z_a = Z_b}$ определяют значение ***C11*** для получения равномерной нагрузки:

$$\boldsymbol{R40^2 + X^2_{C11} = (R37 + R18)^2 + X^2_{L2},}$$

где ***R18 =170 Ом, R38 =250 Ом,*** $\boldsymbol{X_{L2} = 375}$ ***Ом*** (из лабораторной работы ***№5)***.

$$\boldsymbol{X_{C11} = \sqrt{(R37 + R18)^2 - R40^2 + X^2_{L2}}}$$

$$\boldsymbol{C11 = \frac{1}{\omega \cdot X_{C11}}}$$

2.2 Исследовать равномерную нагрузку без нейтрального провода:

- отключить нейтральный провод тумблером ***SA15*** *(I2 = 0)*, а общую точку ваттметров PW1, PW2 подключить к фазе «**A**» (переключить перемычку, обозначенную пунктиром)
- набрать рассчитанное значение ***C11*** при помощи выключателей.
- разомкнуть перемычки, шунтирующие элементы ***R38, C11, L2, R41*** и таким образом получить равномерную нагрузку.
- включить автоматический выключатель ***QF1;***
- измерить фазные напряжения при помощи вольтметров ***PV1, PV3, PV4*** и фазный ток ***I1*** в фазе «**C**» при помощи амперметра ***PA1.*** Убедиться в неравенстве фазных напряжений.

2.3 Рассчитать напряжение смещения нейтрали:

$$\boldsymbol{\dot{U}_{nN} = \frac{\dot{U}_{A1} \cdot \underline{Y}_a + \dot{U}_{B1} \cdot \underline{Y}_b + \dot{U}_{C1} \cdot \underline{Y}_b}{\underline{Y}_a + \underline{Y}_b + \underline{Y}_c}}$$

Считая: $\boldsymbol{\dot{U}_a = \dot{U}_{A1} - \dot{U}_{nN},\ \dot{U}_b = \dot{U}_{B1} - \dot{U}_{nN}, \dot{U}_c = \dot{U}_{C1} - \dot{U}_{nN},}$

Определить токи в фазах:

$$\dot{I}_A = \frac{\dot{U}_{A1} - \dot{U}_{nN}}{\underline{Z}_a};\ \dot{I}_B = \frac{\dot{U}_{B1} - \dot{U}_{nN}}{\underline{Z}_b};\ \dot{I}_A = \frac{\dot{U}_{C1} - \dot{U}_{nN}}{\underline{Z}_c}$$

2.4 Рассчитать активную мощность, потребляемую нагрузкой по формуле:

$$P = I_A^2 \cdot R40 + I_B^2 \cdot (R37 + R18) + I_C^2 \cdot (R38 + R39)$$

Сравнить расчетное значение с показаниями ваттметров:

P=PW1+PW2

3 Исследование равномерной нагрузки с нейтральным проводом

3.1 Подключить нейтральный провод тумблером ***SA15,*** общую точку ваттметров подключить к нейтрали. Включить автоматический выключатель ***QF1.***

3.2 Исследовать равномерную нагрузку, измерив, фазные напряжения, мощность и ток в нейтральном проводе.

3.3 Рассчитать комплексные значения токов в фазах А, В, С:

$$\dot{U}_a = \dot{U}_b = \dot{U}_c$$

$$I_a = I_b = I_c$$

$$\dot{I}_A = \frac{\dot{U}_a}{\underline{Z}_a};\ \dot{I}_B = \frac{\dot{U}_b}{\underline{Z}_b};\ \dot{I}_A = \frac{\dot{U}_c}{\underline{Z}_c}$$

Определить ток в нейтральном проводе:

$$\dot{I}_N = \dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C$$

Сравнить расчетные значения токов с экспериментальными по п 3.2.

Выключить стенд в следующем порядке:

- Выключить тумблер ***SA15.***
- Выключить стенд автоматический выключатель ***QF1;***
- Убрать перемычки;
- Тумблеры конденсатора ***C11*** вернуть в первоначальное положение (вниз);
- Убедиться, что все остальные переключатели - в начальном положении.

Лабораторная работа № 7
Определение параметров и исследование режимов работы трехфазной цепи при соединении потребителей в треугольник

Цель работы

- Исследование трехфазной цепи при соединении потребителей в треугольник.
- Изучение методов расчета трехфазных цепей при соединении потребителей в треугольник.

Порядок выполнения лабораторной работы

Исследование трехфазной цепи при соединении потребителей в треугольник

1. Собрать схему, приведенную на ***рисунке 7.1***.

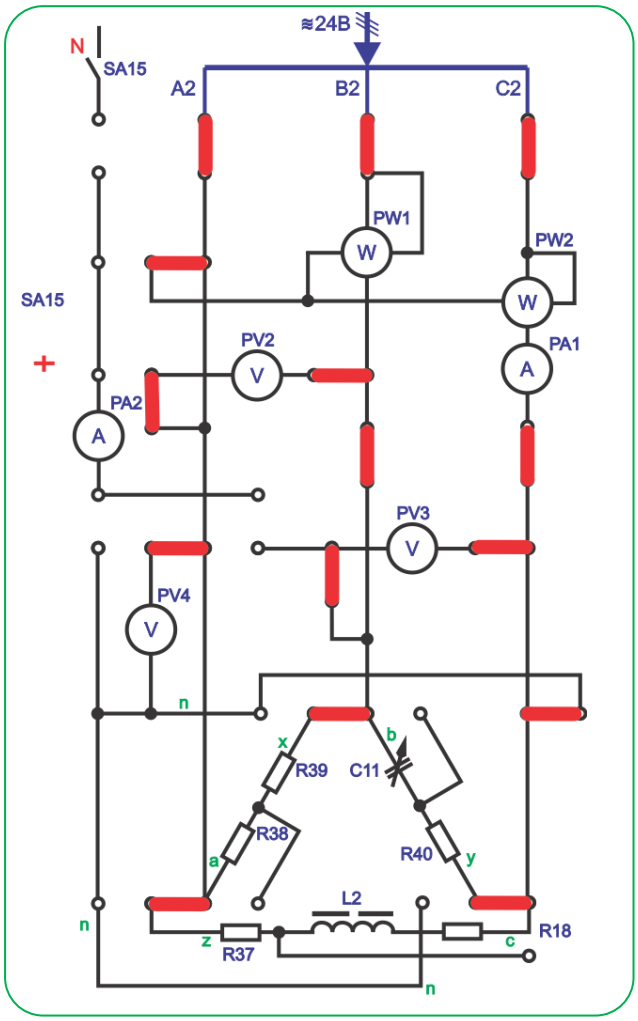


Рисунок 7.1

2 Перед включением стенда убедиться, что все переключатели находятся в начальном положении (выключены).

3 Включить стенд автоматическим выключателем ***QF1.***

4 На основании расчетов, сделанных в **лабораторной работе N6**, набрать на стенде равномерную нагрузку: установить расчетное значение конденсатора ***C11*** необходимыми переключателями (расчетное значение из ***ЛР №6***).

5 Измерить активную мощность нагрузки и линейный ток в линии **C** прибором ***PA1***.

6 Напряжение ***Uab*** измерить прибором ***PV2***, напряжение ***Ubc*** - прибором ***PV3, Uac-*** прибором ***PV4.***

7 Рассчитать комплексные значения фазных токов и определить линейный ток I_C. Фазные токи определяют по закону Ома:

$$\dot{I}_{AB} = \frac{\dot{U}_{AB}}{\underline{Z}_{AB}};\ \dot{I}_{BC} = \frac{\dot{U}_{BC}}{\underline{Z}_{BC}};\ \dot{I}_{AC} = \frac{\dot{U}_{AC}}{\underline{Z}_{AC}}$$

Значения линейных токов переделяются по первому закону Кирхгофа:

$$I_A = I_{AB} - I_{AC};\ I_B = I_{BC} - I_{AB};\ I_C = I_{AC} - I_{BC}$$

Модуль тока I_C сравнить с измеренным значением.

8 Рассчитать активную мощность потребителя:

$$P = I_{A1B1}^2 \cdot R40 + I_{B1C1}^2 \cdot (R37 + R18) + I_{A1C1}^2 \cdot (R38 + R39)$$

Результаты вычислений сравнить с экспериментальными данными измерений ваттметра (***PW1+PW2).***

9 Построить векторную диаграмму.

10 Выключить стенд в следующем порядке:

- выключить стенд автоматическим выключателем ***QF1;***
- убрать перемычки;
- тумблеры конденсатора ***C11*** вернуть в первоначальное положение (вниз);
- убедиться, что все остальные переключатели - в начальном состоянии.

Лабораторная работа № 8
Исследование линейных цепей несинусоидального периодического тока, содержащих катушку индуктивности и конденсатор

Цель работы

- Изучение методов расчета линейных электрических цепей несинусоидального периодического тока.
- Изучение влияния индуктивного и емкостного элементов на величину тока при несинусоидальном напряжении источника.
- Изучение принципа действия сглаживающих L-фильтров и методов расчета их параметров.

Основные теоретические соотношения

Действующие значения несинусоидальных напряжений и тока определяются:

$$U = \sqrt{U_0^2 + U_1^2 + U_2^2 + \cdots}\,;\; I = \sqrt{I_0^2 + I_1^2 + I_2^2 + \cdots}\quad , \qquad (1)$$

где U_0 *и* I_0 - постоянные составляющие несинусоидальных значений напряжения и тока, разложенные в ряд Фурье;

U_1, U_2, ..., I_1, I_2... - действующие значения отдельных гармонических составляющих напряжения и тока.

$$U_1 = \frac{U_{1M}}{\sqrt{2}};\; U_2 = \frac{U_{2M}}{\sqrt{2}};\ldots;\; I_1 = \frac{I_{1M}}{\sqrt{2}};\; I_2 = \frac{I_{2M}}{\sqrt{2}};\ldots, \qquad (2)$$

где U_{1M}, U_{2M}, … I_{1M}, I_{2M}, … - амплитудные значения отдельных составляющих напряжения и тока.

Угол включения тиристоров α регулируется за счет изменения напряжения управления с помощью ***R13.***

Гармонический состав напряжения управляемого выпрямителя описывается рядом Фурье:

$$U = U_0 + U_{1M} \cdot sin(2\omega t + \varphi_1) + U_{2M} \cdot sin(4\omega t + \varphi_2) + U_{3M} \cdot sin(6\omega t + \varphi_3) \quad (3)$$

Численные значения отдельных гармонических составляющих в долях амплитудного значения напряжения на входе выпрямителя и их начальные фазы приведены в ***таблице 8.1***.

Таблица 8.1

α	U_0	U_{1M}	U_{2M}	U_{3M}	φ_1	φ_2	φ_3
30	0,594	0,491	0,123	0,0546	83,8	52,7	2.56
45	0,543	0,543	0,121	0,06	73,7	5,91	77,7
60	0,477	0,551	0,110	0,098	60,0	-60,0	-16,1
75	0,401	0,532	0,131	0,124	44,0	45,8	87,8
90	0,318	0,474	0,175	0,111	26,6	-14,0	9,46
105	0,236	0,386	0,201	0,0874	8,15	-62,9	-86,9
120	0,159	0,281	0,189	0,0949	-10,9	73,0	-5,49
135	0,0932	0,174	0,140	0,0962	-30,4	31,1	-82,3

Для расчета постоянной составляющей тока:

$$I_0 = \frac{U_0}{R14}; \quad R14 = 1\text{кОм} \qquad (4)$$

Действующее значение токов гармонических составляющих можно определить из выражения вида:

$$I_K = \frac{U_K}{\sqrt{(R14 + R_{L1})^2 + (k\omega L1)^2}} \qquad (5)$$

где ***k = 2; 4; 6;*** …

$\omega = 2\pi f$

f = 50 Гц – частота сети

R14=1кОм

R_{L1}***-*** взять из расчетов ***ЛР №4*** за вычетом ***R17=51 Ом.***

Сдвиг по фазе между током и напряжением соответствующих гармонических составляющих:

$$\varphi_{ki} = arctg\frac{K\omega L1}{R14 + R_{L1}} \qquad (6)$$

Действующее значение несинусоидального тока:

$$I = \sqrt{I_0^2 + I_1^2 + I_2^2 + \ldots + I_K^2 + \ldots} \qquad (7)$$

По результатам измерения производится запись напряжения источника в виде ряда Фурье.

Порядок выполнения лабораторной работы

Исследование цепей несинусоидального периодического тока с активной и активно- индуктивной нагрузкой*.*

1. Собрать схему, приведенную на ***рисунке 8.1*** с установленной перемычкой ***П1*** (закорочена индуктивность ***L1***).
2. При выполнении данной работы возможно использование осциллографа для исследования несинусоидальных периодических напряжений.
3. Установить заданное преподавателем значение угла управления тиристорным выпрямителем с помощью резистора ***R13*** (например, ***60°).***
4. Включить тумблер ***SA5*** (в качестве нагрузки подключаем резистор ***R14***).

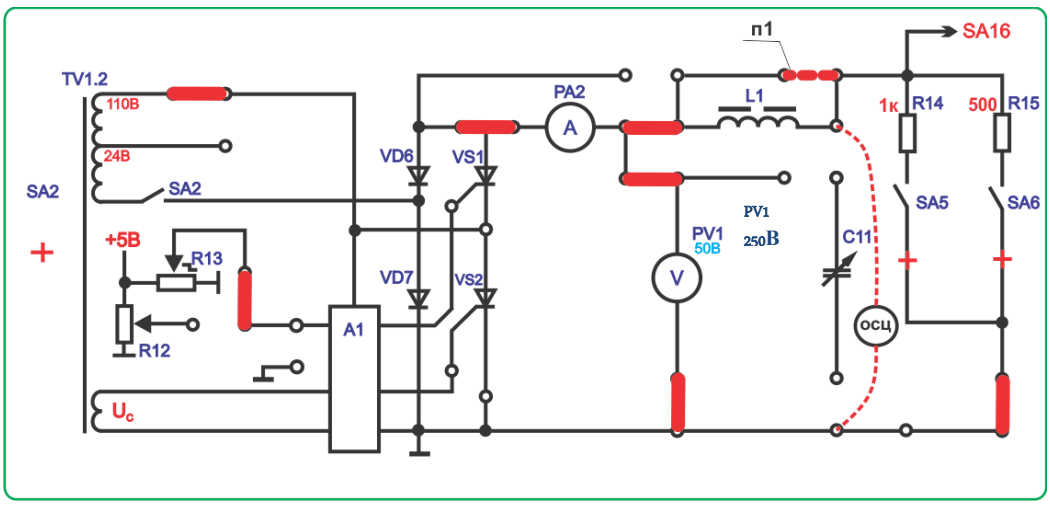


Рисунок 8.1

5. Перед включением стенда убедиться, что все переключатели находятся в начальном положении (выключены).

6. Включить автоматический выключатель ***QF1*** и тумблер ***SA2.*** ВНИМАНИЕ! Предел измерения прибора ***PV1-250В.***

7 Включить схему и измерить с помощью вольтметра ***PV1*** магнитоэлектрической системы среднее значение напряжения на выходе управляемого выпрямителя (УВ). С помощью осциллографа контролируется угол управления и измеряется амплитуда **Um** питающего напряжения.

8 Считая, что измеренное в **п. 7** напряжение равно $\mathbf{U_0}$ для заданного угла, и воспользовавшись **таблицей 8.1** определить $\mathbf{U_m}$ на входе УВ и действующие значения гармонических составляющих выходного напряжения УВ.

9 Записать напряжение УВ для заданного угла управления в виде ряда Фурье.

10 Используя данные **п. 8** и **ЛР №4**, рассчитать действующее значение тока для схемы **рис. 8.4** , где R_H – задается преподавателем (***R14 или R15 или R14//R15****).*

11 Собрать схему ***рис. 8.1*** (***L1*** **–** введен в цепь, перемычка **П1** - отсутствует) и при заданных $\mathbf{R_H}$ и угле управления измерить действующее значение тока (амперметр ***PA2***). Сравнить результаты расчета и эксперимента.

Выключить стенд в следующем порядке:

- выключить стенд автоматическим выключателем ***QF1;***
- убрать перемычки;
- тумблеры ***SA2 и SA5*** вернуть в первоначальное положение (вниз), резистор ***R13*** в положение $\boldsymbol{150^0}$.;
- убедиться, что все остальные переключатели - в начальном состоянии.

Лабораторная работа №9

Исследование параметров схемы замещения катушки индуктивности с замкнутым магнитопроводом и при наличии в магнитопроводе воздушного зазора

Цель работы

- Изучить методы определения параметров схемы замещения катушки индуктивности с замкнутым магнитопроводом.
- Построить вольтамперную характеристику (в.а.х.) катушки индуктивности с замкнутым магнитопроводом.

Порядок выполнения лабораторной работы

Построение вольтамперной характеристики (в.а.х.) катушки индуктивности с замкнутым магнитопроводом.

1. Собрать схему, приведенную на ***рисунке 9.1,*** для расчета параметров R_M и X_M катушки индуктивности с замкнутым магнитопроводом.

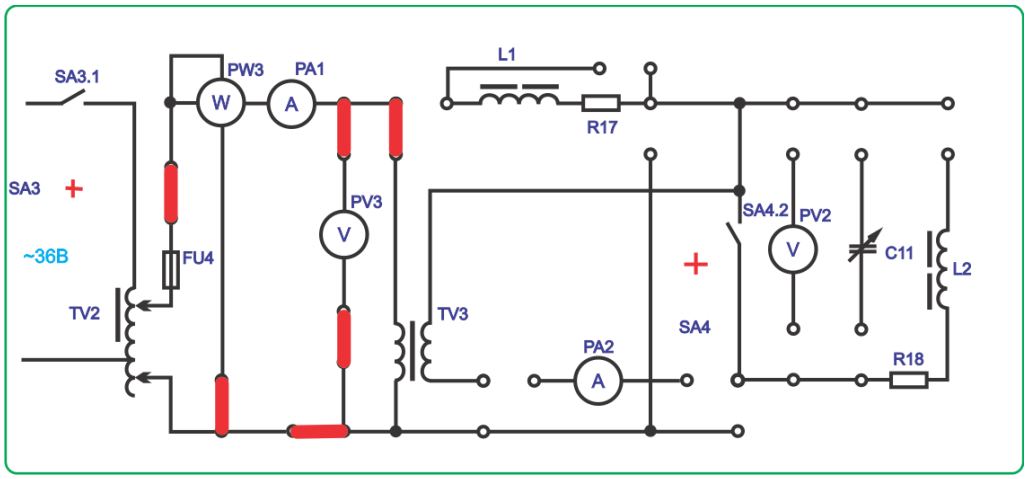


Рисунок 9.1

2. Перед включением стенда убедиться, что все переключатели находятся в начальном положении (выключены).

ВНИМАНИЕ! Тумблер SA4 должен находиться в выключенном положении (рычажок – внизу).

3. Включить стенд автоматическим выключателем ***QF1.***

4. Подключить питание ЛАТРа ***TV2*** (тумблер переключения пределов регулирования напряжения ЛАТРа в положение ***«0»***, тумблер ***SA3*** устанавливается в верхнее положение – включено).

5. Снять в.а.х. Для этого, изменяем напряжение на выходе ***ЛАТРа TV2*** переключателями: левый с шагом 10В и правый– с шагом 1÷2В. Снять показания приборов ***PA1, PV3, PW3*** (***PW1+PW2***) и занести их в ***таблицу 9.1.***

Таблица 9.1

Экспериментальные данные			***Расчетные значения***			
U (PV3), В	***I (PA1), А***	***P (PW3), Вт***	***S, ВА***	***Z, Ом***	***X_{TV2}, Ом***	***$R_К$, Ом***
0						
20						
30						
31						
32						
33						
34						
36						
37						

6. Выключить тумблер ***SA3.***

7. Выключить стенд автоматическим выключателем ***QF1.***

8. Вернуть тумблеры ***ЛАТРа TV2*** в начальные положения.

9. Построить график в.а.х. катушки индуктивности с замкнутым магнитопроводом ***I = f(U)*** по значениям, внесенным в ***таблицу 9.1.***

10. Определить параметры схемы замещения на линейном участке в.а.х. и в области насыщения, данные расчетов занести в ***таблицу 9.1.***

$$R_M = \frac{P\,(PW3)}{I^2(PA1)};\ Z_M = \frac{U(PV3)}{I(PA1)};\ X_M = \sqrt{(Z_M^2 - R_M^2)};$$

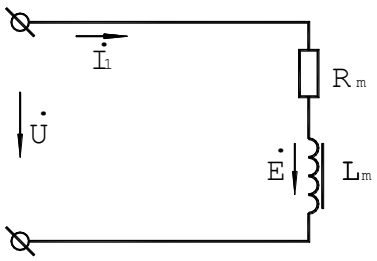


***Рисунок 9.2*- Схема замещения катушки индуктивности с замкнутым магнитопроводом**

На линейном участке кривой намагничивания материала замкнутого магнитопровода катушки значение R_M и X_M имеют небольшое значение, а в области насыщения величины R_M и X_M, уменьшаются. Следовательно, в.а.х. катушки индуктивности с замкнутым магнитопроводом имеет нелинейный характер.

Построение вольтамперной характеристики (в.а.х.) катушки индуктивности с зазором

1. Собрать схему, приведенную на ***рисунке 9.3,*** для расчета параметров R_M и X_M катушки индуктивности с зазором.

2. Перед включением стенда убедиться, что все переключатели находятся в начальном положении (выключены).

ВНИМАНИЕ! Тумблер SA4 должен находиться в выключенном положении (рычажок – внизу).

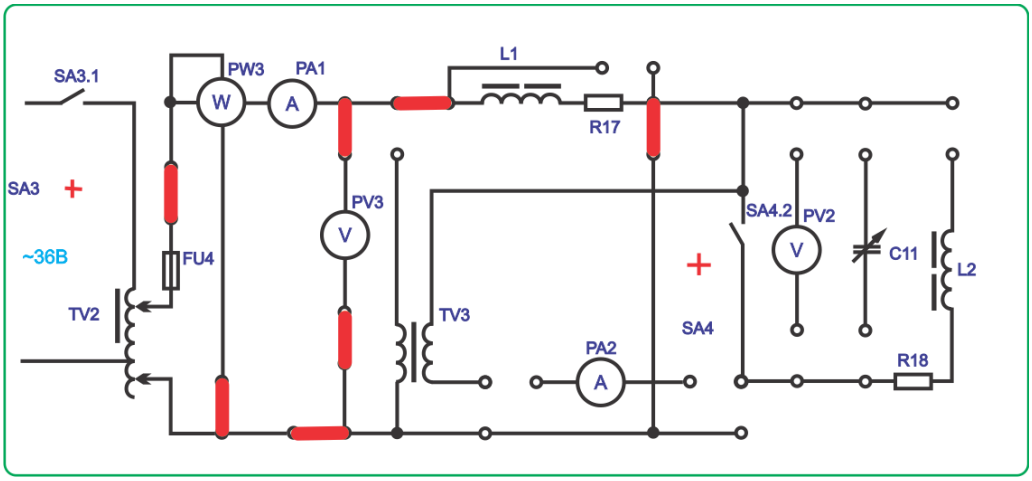


Рисунок 9.3

3. Включить стенд автоматическими выключателем ***QF1.***
4. Подключить питание ***ЛАТРа TV2*** тумблером ***SA3*** (верхнее положение – включено).
5. Снять в.а.х. Для этого, изменяем напряжение на выходе ***ЛАТРа TV2*** переключателями: левый с шагом 10В и правый с шагом 1÷2В. Снять показание приборов ***PA1, PV3, PW3*** и занести их в ***таблицу 9.2.***

Таблица 9.2

Экспериментальные данные			***Расчетные значения***			
U (PV3), В	***I (PA1), А***	***P (PW3), Вт***	***S, ВА***	***Z_M, Ом***	***X_M, Ом***	***R_M, Ом***
0						
5						
10						
20						
25						
30						
35						

6. Выключить стенд в следующем порядке:
   - выключить тумблер ***SA3***
   - выключить стенд автоматическим выключателем ***QF1.***
   - вернуть переключатели ***ЛАТРа TV2*** в начальные положения.
7. Построить график в.а.х. катушки индуктивности с зазором ***I = f(U)*** по значениям, внесенным в ***таблицу 9.2.***
8. Определить параметры схемы замещения на линейном участке в.а.х. и в области насыщения, данные расчетов занести в ***таблицу 9.2.***

$$R_M = \frac{PW3}{(PA1)^2};\ Z_M = \frac{PV3}{PA1};\ X_M = \sqrt{(Z_M^2 - R_M^2)};$$

Лабораторная работа №10
Определение параметров и основных характеристик однофазного трансформатора

Цель работы

- Изучение устройства и принципа действия однофазного трансформатора.
- Изучение схемы замещения трансформатора и определение ее параметров.
- Изучение влияния характера нагрузки на внешнюю характеристику и к.п.д. трансформатора.

Порядок выполнения лабораторной работы

Проведение опыта холостого хода трансформатора

1. Собрать схему, приведенную на ***рисунке 10.1,*** для проведения опыта х.х.

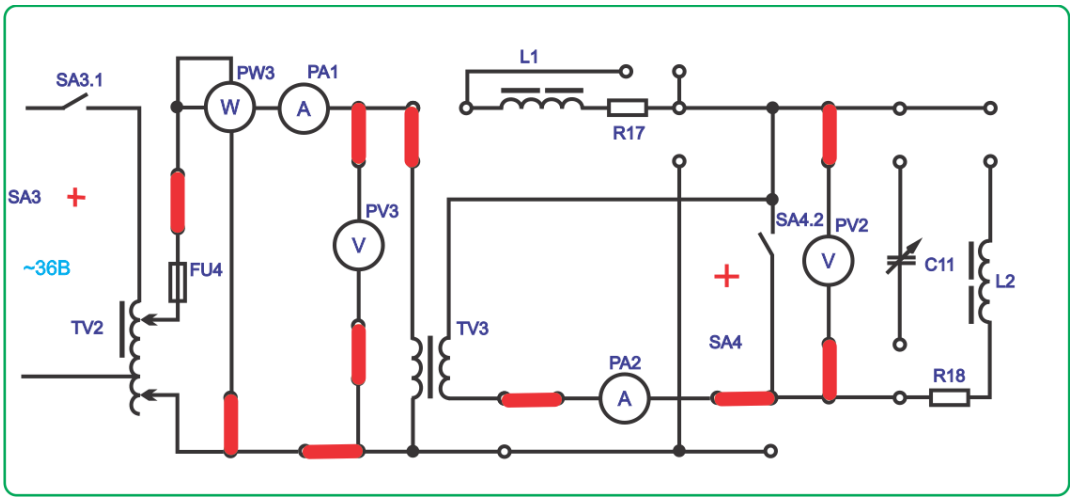


Рисунок 10.1

2. Перед включением стенда убедиться, что все переключатели находятся в начальном положении (выключены).
ВНИМАНИЕ! Тумблер SA4 должен находиться в выключенном положении (рычажок – внизу).

3. Включить стенд автоматическим выключателем ***QF1.***

4. Подключить питание ***ЛАТРа TV2*** (тумблер ***SA3*** устанавливается в верхнее положение – включено).

5. Задать переключателями напряжение на выходе ***ЛАТРа TV2*** - 36 В. Снять показание приборов ***PA1 (I_{10}), PV3 ($U_{1x.x.}$), PW1+ PW2 (P_0), PV2 (U_{2H})*** и занести их в ***таблицу 10.1.***

Таблица 10.1

Экспериментальные данные				***Расчетные значения***					
U_1 (PV3), В	***$I_{10,2}$ (PA1), А***	***P (PW1), Вт***	***U_{2H} (PV2), В***	***S, ВА***	***Z, Ом***	***XL, Ом***	***RK, Ом***	***φ, град***	***cosφ***

6. Выключить тумблер ***SA3***, вернуть переключатели ***ЛАТРа TV2*** в начальные положения «***0»***.

7. Рассчитать параметры схемы замещения трансформатора по опыту х.х. (***рисунки 10.2 и 10.3):***

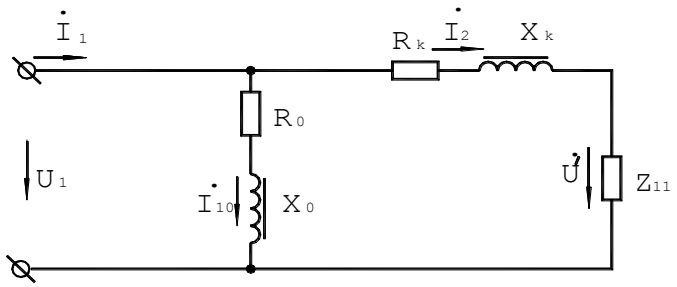


Рисунок 10.2- Схема замещения трансформатора

R_0, X_0 - параметры схемы замещения, определяемые из опыта холостого хода трансформатора,

R_K, X_K - параметры схемы замещения, определяемые из опыта короткого замыкания трансформатора.

n_{TP} - коэффициент трансформации.

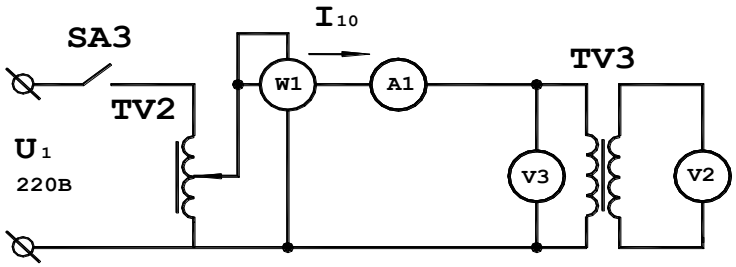


Рисунок 10.3

$$R_0 = \frac{P_0}{I^2{}_{10}}; \quad Z_0 = \frac{U_{1H}}{I_{10}}; \quad X_0 = \sqrt{\left(Z^2{}_0 - R^2{}_0\right)}; \quad n = \frac{U_{1H}}{U_2};$$

где n - коэффициент трансформации.

Проведение опыта короткого замыкания трансформатора

1 Внимание! В опыте **к.з.** до включения ***SA3*** вывести ***ЛАТР TV2*** в нулевое положение, тумблер ***SA4*** установить в верхнее положение (закоротить вторичную обмотку трансформатора ***TV3***). Опыт к.з. производят при пониженном напряжении на первичной обмотке трансформатора.

2 Включить тумблер ***SA3*** .

3 Установить переключателями напряжение на выходе ***ЛАТРа TV2*** примерно ***23 В***. Снять показание приборов ***PA2 ($I_{1н}$≈175мА*** при нажатой кнопке над прибором ***PA1), PV3 ($U_{1к.з.}$≈10В), PW1 ($P_{кз}$≈0,5 Вт)*** , ***PA1 (≈0,1А).***

4 Выключить тумблеры ***SA3*** и ***SA4***.

5 Вернуть переключатели ***ЛАТРа TV2*** в начальные положения «***0».***

6 Рассчитать параметры схемы замещения по показаниям приборов ***PW1, PV3, PA2***:

$$R_{\text{К}} = \frac{P_1}{I_{1\text{Н}}^2};\ Z_{\text{К}} = \frac{U_{1\text{К.З.}}}{I_{1\text{Н}}};\ X_{\text{К}} = \sqrt{(Z_{\text{К}}^2 - R_{\text{К}}^2)};$$

а также активные и реактивные сопротивления обмоток трансформатора:

$$R_1 = R'_2 = \frac{R_K}{2};\ X_1 = X'_2 = \frac{X_K}{2};\ R_2 = \frac{R'_2}{n^2};\ X_2 = \frac{X'_2}{n^2};$$

Изучение влияния характера нагрузки на внешнюю характеристику и к.п.д. трансформатора

1. Собрать схему, приведенную на ***рисунке 10.4***.

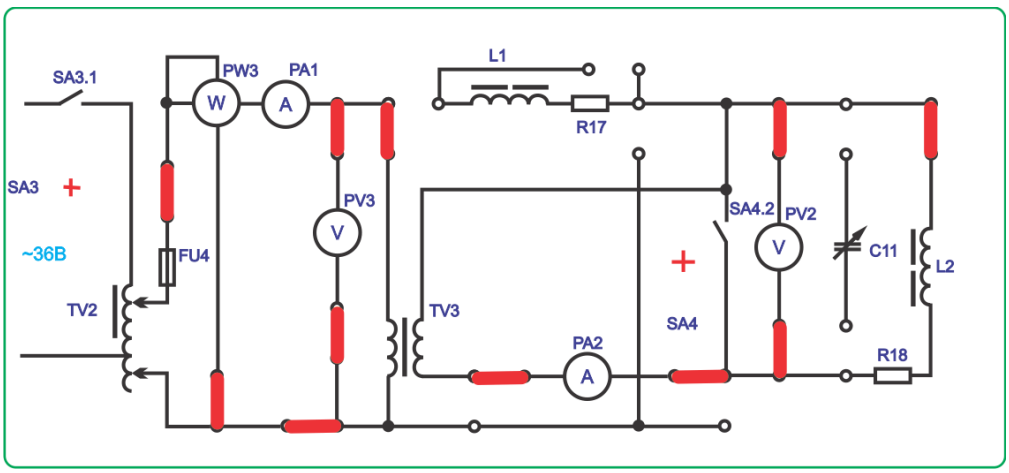


Рисунок 10.4

<u>ВНИМАНИЕ! Тумблер SA4 должен находиться в выключенном положении (рычажок – внизу).</u>

2. Установить питание ***ЛАТРа TV2*** - 36В (тумблер ***SA3*** устанавливается в верхнее положение – включено).

3. Снять параметры схемы при подключенной нагрузке ***L2+R18***: показания приборов ***PA1 (I_1), PV3 (U_1.), PW1+PW2 (P_1), PV2 (U_2), PA2(I_2)*** (показания снимаются при нажатой кнопке над прибором ***PA1***)

4 Для нагрузки ***R18, L2*** (**л.р. №5**) рассчитать потери напряжения, вторичное напряжение и к.п.д.:

- используя данные ***лабораторной работы №5*** определить ***cosφ*** нагрузки:

$$cos\varphi_{2\text{Н}} = \frac{R18}{Z_{L2}} \quad (\approx 0{,}3)$$

- определить к.п.д трансформатора и коэффициент загрузки трансформатора при подключении нагрузки ***R18+L2***:

$$\eta = \frac{\beta \cdot S_{\text{Н}} \cdot cos\varphi_{2\text{Н}}}{\beta \cdot S_{\text{Н}} \cdot cos\varphi_{2\text{Н}} + P_0 + \beta^2 \cdot P_{\text{К}}}$$

где $S_H = U_{1H} I_{1H} = U_{2H} I_{2H} = 3{,}5Bm$ - полная мощность трансформатора ***TV3***.

β - коэффициент загрузки трансформатора,

$$\beta = \frac{I_1}{I_{1H}} = \frac{I_2}{I_{2H}}$$

где

$$I_{2\text{Н}} = \frac{S_{\text{Н}}}{U_{2\text{Н}}};\ I_2 = \frac{U_{2\text{Н}}}{\sqrt{(R_{L2} + R_K)^2 + (X_{L2} + X_K)^2}}$$

$$\beta = \frac{I_2}{I_{2H}} = \frac{U_{2\text{Н}} \cdot U_{2\text{Н}}}{S_{\text{Н}} \cdot \sqrt{(R_{L2} + R_K)^2 + (X_{L2} + X_K)^2}}$$

- падение напряжения определяется из:

$$\Delta U_2\% = \beta \cdot \left(U_{k.a.} \cdot cos\varphi_2 + U_{k.p.} \cdot sin\varphi_2\right);$$

где

$$U_{k.a.} = \frac{I_{1H} \cdot R_K}{U_{1\text{Н}}} \cdot 100\% = \frac{P_K}{S_H} \cdot 100\%$$

$U_{k.a.}$ - активная составляющая напряжения короткого замыкания трансформатора;

$$U_{k.p.} = \frac{I_{1H} \cdot X_K}{U_{1\text{Н}}} \cdot 100\%$$

$U_{k.p.}$ - реактивная составляющая напряжения короткого замыкания трансформатора;

Вторичное напряжение на нагрузке должно составить:

$$U_2 = U_{2\text{Н}} \cdot \left(1 - \frac{\Delta U_2\%}{100\%}\right)$$

5 Выключить стенд в следующем порядке:

- выключить тумблер ***SA3;***
- выключить стенд автоматическим выключателем ***QF1;***
- вернуть переключатели ***ЛАТРа TV2*** в начальные положения «***0»;***
- убрать перемычки;
- убедиться, что все остальные переключатели - в начальном состоянии.

6 Результаты расчетов сверить с показаниями, полученными экспериментально.

Лабораторная работа №11
Исследование асинхронного трехфазного электродвигателя с короткозамкнутым ротором

Цель работы

- Изучение принципа действия трехфазного асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором.
- Изучение основных свойств характеристик электродвигателя.
- Построение механической характеристики электродвигателя *M = f(S)*.
- Построение рабочих характеристик электродвигателя

Паспортные данные исследуемого асинхронного двигателя:
Тип: УАД 062;
$P_Н$ = 40Вт; $P_{1потр}$=67Вт; $M_{ном}$=0,138Нм
$\eta_Н$ = 60 %; $\cos\varphi$ = 0,5; $n_Н$ = 2700 об/мин;
$I_Н$ = 0,25А; $U_П$ = 220В;

$$\lambda = \frac{M_К}{M_Н} = 1,5$$

$$\frac{M_П}{M_Н} = 1,5$$

$$\frac{I_П}{I_Н} = 6$$

Порядок выполнения лабораторной работы

1. Рассчитать по паспортным данным номинальный ток двигателя и номинальный момент.

- номинальный момент двигателя:

$$M_Н = 9,55\frac{P_Н}{n_Н} = 9,55\frac{40}{2700} = 0,141 \text{ Нм}$$

- потребляемая мощность:

$$P_{1ном}=3U_ф I_{1ф}\cos ф = 3*127*0,25*0,5=47Вт$$

2. Изучить и собрать схему испытания асинхронного двигателя. На схеме нагрузкой АД является генератор постоянного тока М2, якорь которого коммутируется транзисторным ключом ***VT7***, подключенным к широтно-импульсному модулятору ШИП. Тумблером ***SA16*** включается цепь возбуждения генератора ***M2***, тумблером ***SA19*** включают ШИП, ***SA18*** – измеритель скорости, кнопка ***SB3*** служит для пуска двигателя, кнопка ***SB4*** – для останова, переключателем ***SA17*** осуществляется переключение схемы соединения обмоток.

3. Собрать схему, приведенную на ***рисунке 11.1***.

4. Установить тумблер ***SA17*** в нижнее положение «***Y», р***езистор ***R43*** установить в положение ***"min".***

5. Тумблер ***SA21*** должен находиться в верхнем положении «***ВКЛ»***.

6. Включить стенд автоматическим выключателем ***QF1,*** нажать кнопку ***SB3.***

7. Подключить обмотку возбуждение нагрузочного генератора тумблером ***SA16***, ШИП - тумблером ***SA19*** и измеритель скорости тумблером ***SA18***. Сопротивлением ***R43*** установить потребляемую мощность ***P=47Вт***

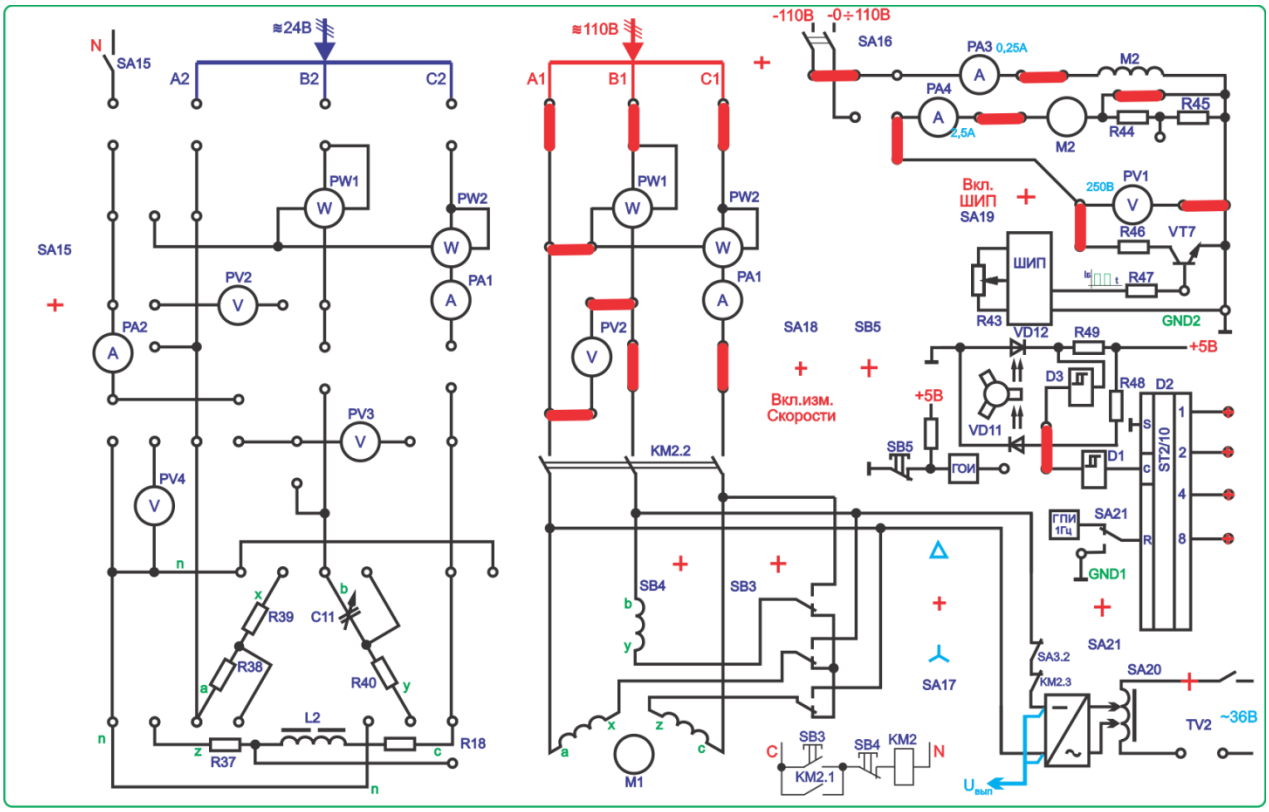


Рисунок 11

8. Измерить ток генератора ($I_я$) прибору ***PA4 (≈1А)*** и ток возбуждения ($I_в$) по прибору ***PA3*** (≈0,07А)

9. Вернуть рукоятку резистора ***R43*** в начальное положение ***“min”***, нажать ***SB4*** «Стоп».

10. Считая, что к валу АД приложена номинальная нагрузка для номинального режима $M_Н = M_0 + M_Г$ и $M_Г = C * I_{ЯГ}$, определить статический момент M_0 :

$$M_0 = M_{ном} - M_г$$

$$M_0 = 0{,}138 - 0{,}129 * 1А = 0{,}009 Нм$$

здесь M_0 (н*м) - статический момент нагрузки холостого хода;

$M_Г$ (н*м) – момент генератора постоянного тока;

$I_{ЯГ}$ (А) - ток якоря генератора постоянного тока (прибор ***PA4***);

$$C = \frac{M_{НГ}}{I_{ЯНГ}} = \frac{0{,}147}{0{,}8} = 0{,}129\text{,}$$

где $M_{НГ}$ =0,147Нм (**см. ЛРN°12**)– номинальный тормозной момент;

$I_{ЯНГ}$ =0,8А (**см. ЛРN°12**)– номинальный ток якоря генератора;

11. Включить SB3, увеличить ток якоря генератора резистором R43 по прибору PA1 до **0,03А** и снять показания приборов ***PW, $U_л$ (PV2), $I_я$ (PA4)***.

Увеличивая положение резистора ***R43*** снять пять значений по приборам ***PW, $U_л$ (PV2),***

$I_я$ (PA4 –ток якоря генератора) и ***PA1(*** ток фазы статора) до увеличения мощности ***PW*** до **100Вт.**

12. По результатам измерений построить:

- механическую характеристику ***M = f(S)***;

- две рабочих характеристики $\eta = f(P2)$ и $\cos\varphi_1 = f(P2)$.

13. Рассчитать механическую характеристику по формуле Клосса для номинального напряжения и сравнить с результатами эксперимента:

$$M = \frac{2 \cdot M_K}{S/S_K + S_K/S},$$

где $M_K = \lambda M_H$ - максимальный момент, развиваемый двигателем;

$\lambda = 1{,}5...2{,}5$ - коэффициент перегрузки двигателя;

$S_K = S_{\text{Н}} \cdot \left(\lambda + \sqrt{\lambda^2 - 1}\right)$ - критическое скольжение;

Формулы для расчета:

$$S = \frac{n_0 - n}{n_0}$$

где n_0 – синхронная частота вращения

$$n_0 = \frac{60 \cdot f}{\rho} = \frac{60 \cdot 50}{2} = 1500 \text{ Об/мин}$$

К.п.д. двигателя:

$$\eta = \frac{P2}{P1},$$

где **P2** - мощность на валу двигателя:

$$P2 = \frac{\pi \cdot n}{30} M$$

M - текущее значение момента на валу двигателя;

n - текущее значение частоты вращения двигателя;

P1 - мощность, потребляемая двигателем.

Коэффициент мощности двигателя:

$$\cos\varphi = \frac{P1}{S1},$$

где ***S1 = 3 Uф Iф*** - полная мощность двигателя;

14. Выключить стенд в следующем порядке:

- Выключить ***ШИП*** тумблером ***SA19*** (вниз)
- Выключить асинхронный двигатель, нажав на кнопку ***SB4***.
- Отключить обмотку возбуждения, выключив тумблер ***SA16.***
- Выключить стенд автоматическим выключателем ***QF1,*** вернуть рукоятку резистора ***R43*** в начальное положение ***"min".***
- убрать перемычки;
- убедиться, что все остальные переключатели - в начальном состоянии.

Лабораторная работа №12
Определение параметров и основных характеристик электродвигателя постоянного тока с независимым возбуждением

Цель работы

- Изучение конструкции и принципа действия ДПТ с независимым возбуждением.
- Изучение способов пуска, торможения и регулирования частоты вращения электродвигателя.
- Расчет и построение механических характеристик ДПТ.
- Построение рабочих характеристик электродвигателя.

Паспортные данные исследуемого двигателя постоянного тока:

Тип - СЛ-369,
Рн = 55 Вт,
Uн = 110 в,
Iян = 0,8 А,
Iвн = 0,1 А,
Мн = 0,147 Н М,
η = 0,55,
$n_н$ =3900 об/мин.

Основные теоретические соотношения

Момент рассчитывается по формуле:

$$\boldsymbol{M = C_M \cdot \Phi \cdot I_Я} \quad ,$$

где $\boldsymbol{C_M \cdot \Phi = \frac{M_Н}{I_{Я.Н.}}}$ - постоянная;

$M_Н$ – номинальный ток якоря ДПТ.

$C_М \cdot Ф$ – определять при номинальном токе возбуждения.

Уравнение механической характеристики:

$$\boldsymbol{n = \frac{U}{C_E \cdot \Phi_Н} - \frac{R_Я + R_{ДОБ}}{C_E \cdot C_M \cdot \Phi_Н^2} \cdot M}$$

где ***U*** - напряжение источника питания двигателя;

$Ф_Н$ – номинальное значение магнитного потока двигателя,

$R_Я$ – сопротивление обмотки якоря,

$R_{ДОБ}$ – сопротивление добавочного резистора в цепи якоря,

M - момент на валу двигателя,

C_E =0,1·C_M - конструктивная постоянная двигателя,

C_M - моментная постоянная двигателя,

$$\boldsymbol{C_E \cdot \Phi = \frac{U_Н - R_Я \cdot I_{Я.Н.}}{n_Н}}$$

К.П.Д. двигателя:

$$\eta = \frac{P2}{P1} = \frac{P2}{P2 + \Delta P} = \frac{P1 - \Delta P}{P1}$$

где ***P2*** - мощность на валу двигателя ,

P1 – мощность, потребляемая двигателем из сети ***P1 = U I = U $I_Я$ + U $I_В$;***

I – ток, потребляемый двигателем

ΔP - потери мощности в двигателе: $\Delta P = \Delta P_Я + \Delta P_В + \Delta P_М$;

где $\Delta P_Я = I^2_Я R_Я$;

$\Delta P_В = I^2_В R_В = U_В I_В$;

ΔPм - магнитные и механические потери, составляют несколько процентов от потребляемой мощности.

Сопротивление обмотки якоря:

$$R_Я = 0,5 \cdot (1 - \eta_Н) \cdot \frac{U_Н}{I_Н}$$

Порядок выполнения лабораторной работы.

1 Собрать схемы, приведенные на ***рисунках 12.1 и 12.2***.

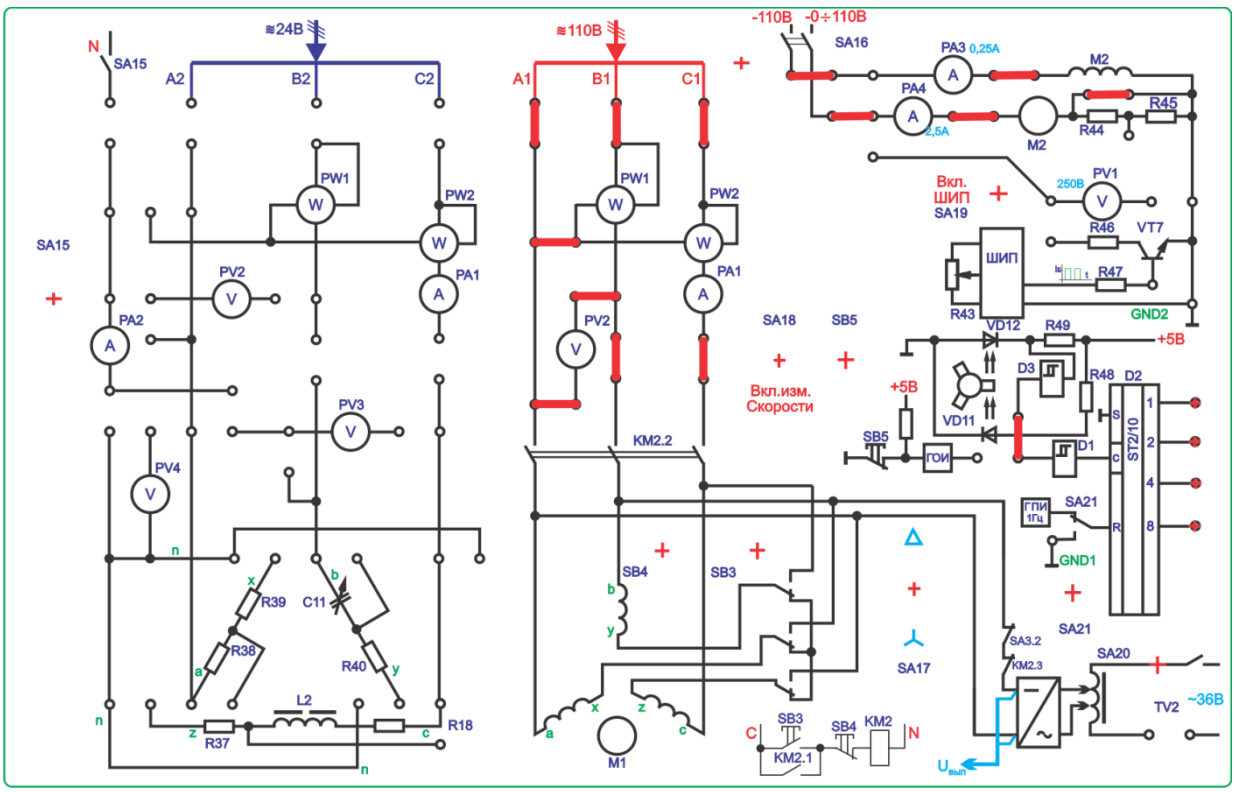


Рисунок 12.1

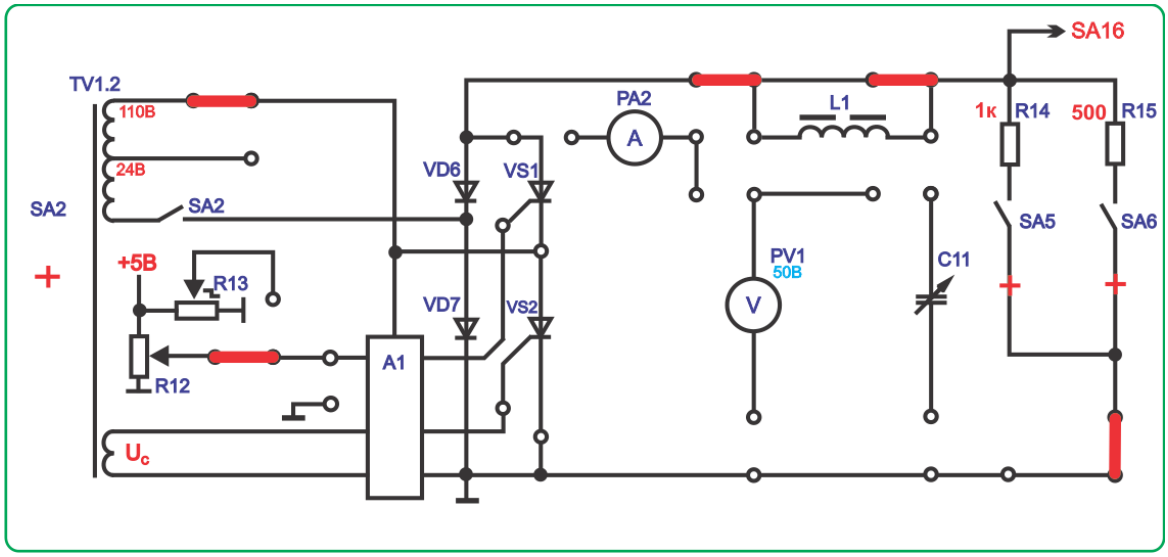


Рисунок 12.2

2 Установить тумблер ***SA17*** в нижнее положение ***Y.***

3 Тумблер ***SA21*** должен находиться в верхнем положении ***ВКЛ***.

4 Подключить резистор ***R14*** к управляемому выпрямителю тумблером ***SA5***.

5 Резистор ***R12*** установить в крайнее левое положение, переключатели ***ЛАТРа*** – в «0».

6 Включить стенд автоматическим выключателем ***QF1.***

7 Включить тумблер ***SA18*** (в верхнее положение ВКЛ) для включения измерителя скорости ***ИС***.

8 Для нагрузки используется асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором типа УАД 0,62 в режиме динамического торможения.

9 Подключить обмотку возбуждения и якорь к цепям питания при помощи тумблера ***SA16***.

10 Включить тумблеры ***SA2, SA3.***

11 Плавно вращая рукоятку резистора ***R12***, установить частоту вращения двигателя по прибору ***ИС 99%***).

12 Для нагрузки необходимо подключить ***ЛАТР TV2*** к статору асинхронного двигателя тумблером ***SA20***.

13 Снять показания приборов ***PV1 ($U_{вх\ уВ}$ =75В),PA3($I_В$), PA4($I_я$).***

14 Для нагрузки двигателя постоянно тока необходимо увеличивать ток динамического торможения асинхронного двигателя. Для этого необходимо постепенно увеличивать напряжение на выходе ***ЛАТРа TV2*** переключателями от ***10В до 50В*** через ***10В***. Последовательно снимать показания прибора ***PA4($I_я$)*** и частоту вращения по измерителю (в относительных единицах). **Внимание: «03» означает «103»).**

15 Значения занести в ***таблицу 12.1.***

Таблица 12.1- Естественная механическая характеристика

Опыт		Расчет		
n, %	Iя, А	nн, об/мин	М, Нм	η, %

16 Выключить тумблер ***SA2***, Переключатели вернуть в начальное положение. (При этом положение рукоятки резистора ***R12*** не менять!).

17 Выключить тумблер ***SA16***.

18 Построить естественную механическую характеристику.

19 Для снятия ***первой*** реостатной характеристики расшунтировать ***R44*** (убрать перемычку) и зашунтировать ***R45.***

20 Подключить обмотку возбуждения и якорь к цепям питания при помощи тумблера ***SA16***, включить тумблер ***SA2.***

21 Убедиться, что напряжение по прибору ***PV1=75В*** (при необходимости - откорректировать резистором ***R12)*** и увеличивая ЛАТРом нагрузку через каждые **10В** снять показания измерителя скорости и тока якоря ***(PA4).***

22 Значения занести в ***таблицу 12.2.***

Таблица 12.2- Реостатная механическая характеристика с R44.

Опыт		***Расчет***		
n, %	***Iя, А***	***nн, об/мин***	***М, Нм***	***η, %***

23 Выключить тумблер ***SA2***, переключатели вернуть в начальное положение. (При этом положение рукоятки резистора ***R12*** не менять!)

24 Выключить тумблер ***SA16***.

25 Для снятия ***второй*** реостатной характеристики расшунтировать ***R44 и R45*** (убрать перемычки).

26 Подключить обмотку возбуждения и якорь к цепям питания при помощи тумблера ***SA16***, включить тумблер ***SA2.***

27 Убедиться, что напряжение по прибору ***PV1=75В*** (при необходимости - откорректировать резистором ***R12)*** и увеличивая ЛАТРом нагрузку через каждые **10В** снять показания измерителя скорости и тока якоря ***(PA4).***

28 Значения занести в ***таблицу 12.3***.

Таблица 12.3- Реостатная механическая характеристика с (R44+R45)

Опыт		***Расчет***		
n, %	***Iя, А***	***nн, об/мин***	***М, Нм***	***η, %***

29 Выключить стенд в следующем порядке:

- выключить тумблеры ***SA2*** и ***SA20, SA16 (***вниз);
- выключить измеритель скорости тумблером ***SA18*** (вниз);
- выключить стенд автоматическим выключателем ***QF1***;
- вернуть рукоятку резистора ***R12*** в начальное положение ***“min”,*** убрать перемычки;

30 Рассчитать момент на валу и КПД двигателя при различных нагрузках на валу двигателя. Расчеты занести в ***таблицы 12.1, 12.2, 12.3***.

31 Построить реостатные механические характеристики двигателя по значениям, занесенным в таблицы ***12.2, 12.3***.

Лабораторная работа №13
Определение параметров и основных характеристик генератора постоянного тока с независимым возбуждением

Цель работы

- Изучение конструкции и принципа действия генератора постоянного тока с независимым возбуждением.
- Построение характеристик холостого хода и внешней характеристики генератора.

Паспортные данные исследуемого генератора постоянного тока (на базе двигателя):

Тип - СЛ-369, Рн = 55 Вт, Uн = 110 В,
Iян = 0,8 А, Iвн = 0,1 А, Мн = 0,147 Н М,
η = 0,55, $n_н$ =3900 об/мин.

Основные теоретические соотношения.

Уравнение электрического состояния (внешней характеристики) генератора:

$$U = E_Я - I_Я \cdot R_Я ,$$

где ***U*** - напряжение генератора,

$E_Я = C_E \cdot Ф \cdot n$,

Ф - магнитный поток обмотки возбуждения генератора,

n - частота вращения якоря,

Iя - ток якоря,

C_E - конструктивная постоянная генератора (**л.р. №12**);

К.П.Д. генератора:

$$\eta = \frac{U \cdot I_Я}{U \cdot I_Я + \Delta P_Я + R_Я \cdot I_Я^2 + \Delta P_М}$$

где ***ΔPм*** - магнитные и механические потери генератора, определяют для номинального режима и считают постоянными.

Порядок выполнения лабораторной работы

Снятие характеристики холостого хода

1 Собрать схемы, приведенные на ***рисунках 13.1*** и ***13.2. На*** **<u>схеме УВ вольтметр PV1 – не включать.</u>**

2 Установить тумблер ***SA17*** в нижнее положение ***Δ.***

3 Тумблер ***SA21*** должен находится в верхнем положении ***ВКЛ***.

4 Подключить резистор ***R14*** к управляемому выпрямителю тумблером ***SA5***.

5 Резисторы ***R12 и R43*** должны находиться в крайнем левом положении.

6 Включить стенд автоматическим выключателем ***QF1,***включить тумблер ***SA2.***

7 Включить тумблер ***SA18*** (в верхнее положение «***ВКЛ***») для включения измерителя скорости ***ИС*** (***SA19***- выключен)

8 Подключить обмотку возбуждения к цепям питания при помощи тумблера ***SA16***.

9 Нажать на кнопку ***SB3*** для подключения приводного асинхронного двигателя к сети через пускатель ***KM2***.

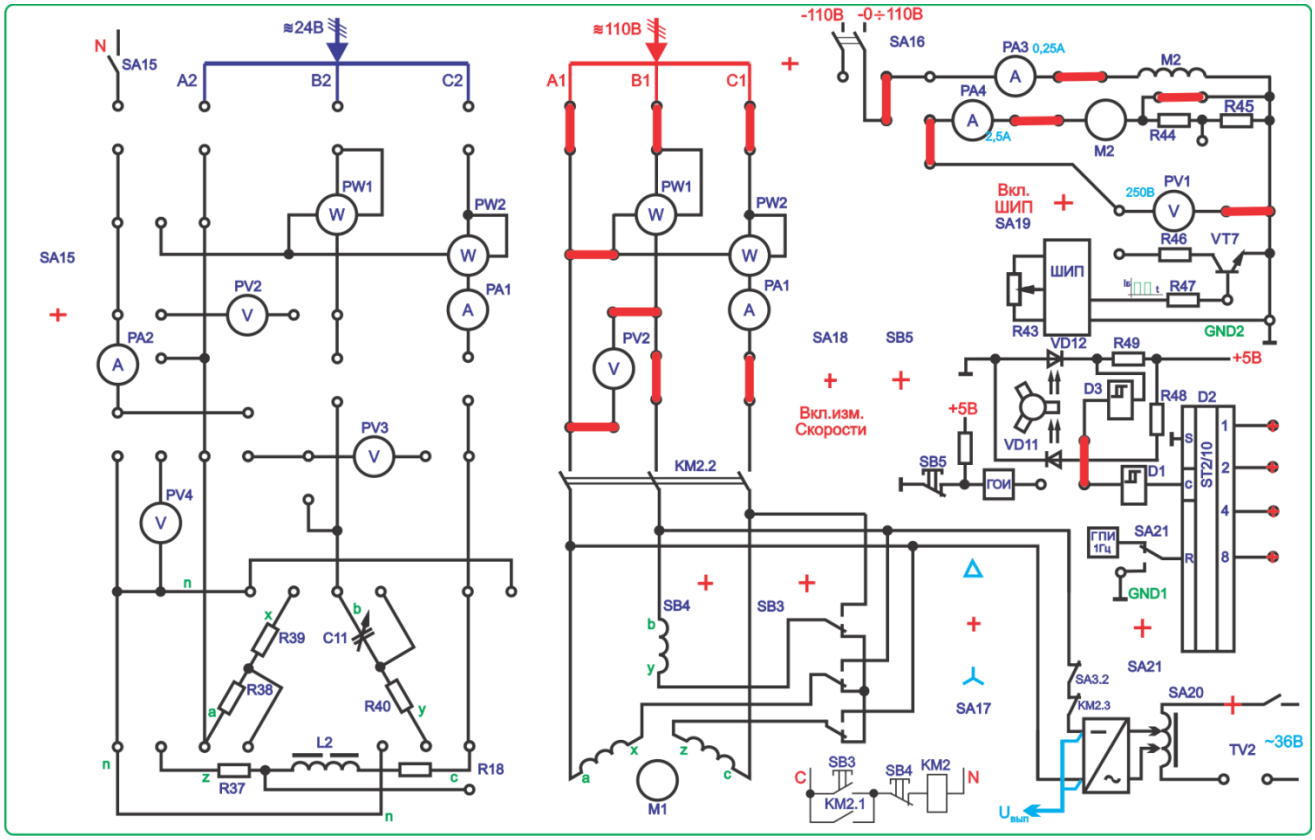


Рисунок 13.1

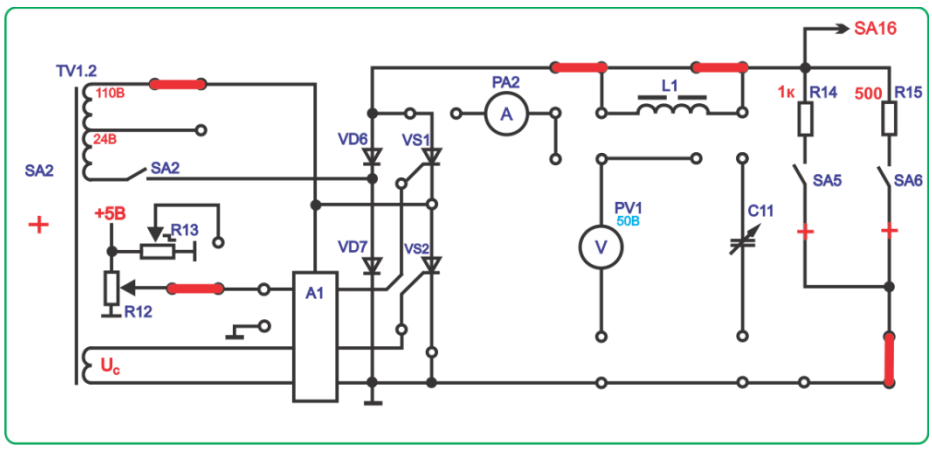


Рисунок 13.2

10 Плавно вращая рукоятку резистора ***R12*** задавать ток возбуждения по прибору ***PA3*** через ***0,025А до 0,1А***. Регистрируя показания приборов ***PA3 и PV1*** снять характеристику холостого хода, данные занести в ***таблицу 13.1***.

Таблица 13.1

Экспериментальные данные	
Iв, А	***E, В***

11 Вернуть рукоятку резистора ***R12*** в начальное положение, выключить тумблер ***SA2***.

12 Выключить асинхронный двигатель, нажав на кнопку ***SB4***.

13 Выключить тумблер ***SA16***.

Снятие внешней характеристики

1 Собрать схему по ***рисунку 13.3.***

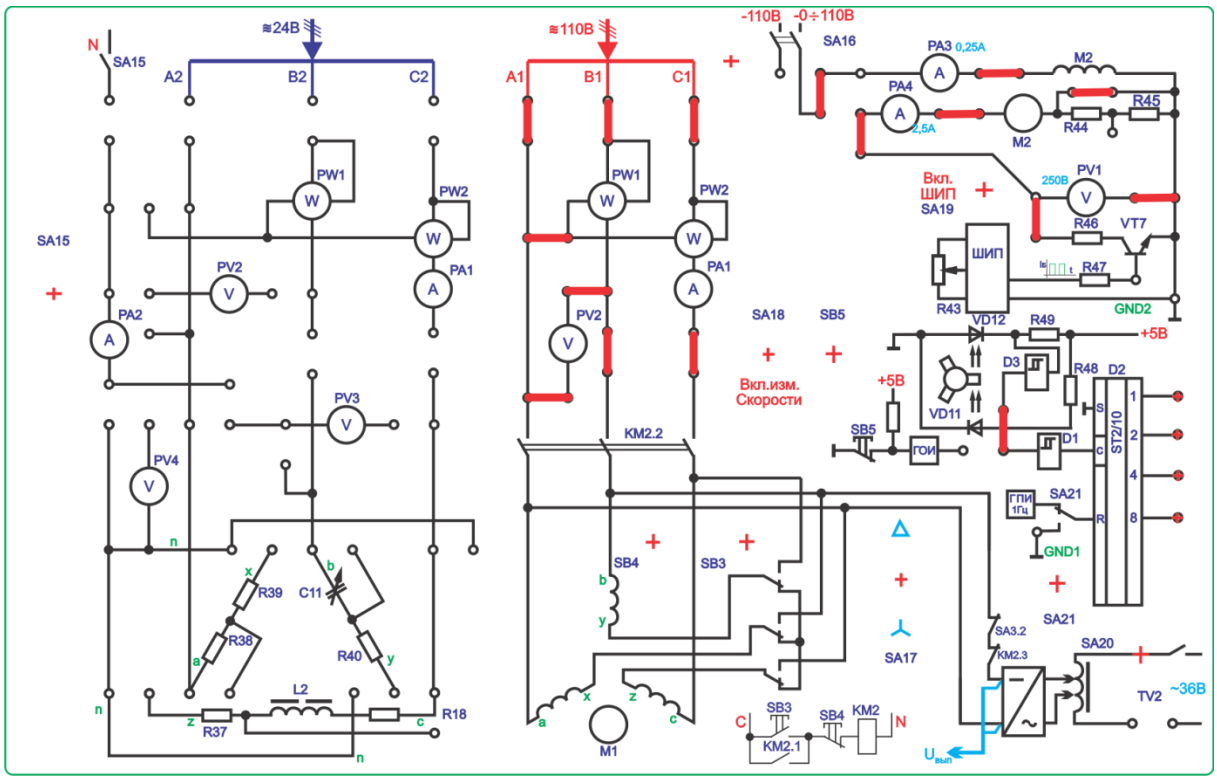


Рисунок 13.3

2 Включить тумблер ***SA16***.

3 Нажать на кнопку ***SB3*** для подключения приводного асинхронного двигателя к сети через пускатель ***KM2***.

4 Включить в качестве нагрузки для генератора ***ШИП*** тумблером ***SA19***.

5 Плавно вращая рукоятку резистора ***R43***, снять зависимость напряжения на генераторе (по прибору ***PV1***) от тока нагрузки (по прибору ***PA4***) через каждые 0,25А до 1А, данные занести в ***таблицу 13.2.***

Таблица 13.2

Iв (PA3), А	***Iя (PA4), А***	***U(PV1), В***

6 Выключить стенд в следующем порядке:

- Выключить асинхронный двигатель, нажав на кнопку ***SB4;***
- Выключить тумблеры ***SA16 и SA19*** (вниз);
- Вернуть рукоятку резистора ***R43*** в начальное положение ***“min”;***
- Выключить тумблеры ***SA5, SA21*** и тумблер измерителя скорости ***SA18*** (вниз);
- Выключить стенд автоматическим выключателем ***QF1,*** убрать перемычки;

7 По результатам измерений вычислить значения К.П.Д. генератора.

8 Построить зависимость $\eta = f(I_я)$.

9 Построить характеристики холостого хода $E_д = f(I_в)$ и внешнюю характеристику $U_н = f(I_н)$.

Лабораторная работа № 14
Исследование процесса зарядки конденсатора от источника постоянного напряжения при ограничении тока с помощью резистора

Цель работы

- Изучение процесса изменения напряжения на конденсаторе при его зарядке от источника постоянного напряжения.
- Закрепление навыков измерения напряжения компенсационным методом.
- Изучение практического применения выбора параметров RC-цепи для работы реле времени на биполярных транзисторах.

Основные теоретические соотношения

Для выполнения лабораторной работы собирается схема, представленная на рисунке 14.1.

Время заряда конденсатора до срабатывания реле регулируется с помощью переключателя ***SA10***, а также изменением величины постоянной времени $\tau = R1*C12$ цепи зарядки конденсатора /С12=220мкф/ с помощью декадного магазина сопротивлений ***R1***.

Запуск реле времени осуществляется переключателем ***SA8.*** О срабатывании реле сигнализирует светодиод ***VD9***. Время срабатывания реле фиксируется электронным секундомером, запуск которого осуществляется переключателем ***SA8***, а остановка отсчета осуществляется размыканием контактов ***K1*** электромагнитного реле ***K1.***

Делитель ***R28 – R33*** рассчитан таким образом, что реле, включенное в цепь коллектора транзистора ***VT4,*** срабатывает в зависимости от положения переключателя ***SA10*** при ***1·Uоп, 2·Uоп, 3·Uоп, 4·Uоп, 4,7·Uоп, 5·Uоп*** в Вольтах. Таким образом, напряжение на емкости определяют как:

$$U_C = N \cdot U_{ОП} + 0{,}6В,$$

где ***N = 1; 2; 3; 4; 4,7; 5*** - номер положения переключателя ***SA10***;

$U_{ОП} = 4В$.

Транзисторы ***VT5, VT6*** выполняют роль тиристора, который открывается, когда на базе ***VT4*** опорное напряжение $U_{ОП} = U_{СТ} + 1{,}2В$, и шунтирует стабилитрон, в результате ток эмиттера ***VT4*** скачком возрастает – срабатывает реле ***KV***.

По результатам измерений строится график изменения напряжения на конденсаторе ***Uc = f(t).***

При подключении конденсатора ***C1*** к источнику питания (***рисунок 14.1***) $U_{ПИТ} = 24В$ закон изменения напряжения на ***C1*** получают решая дифференциальное уравнение вида:

$$U_{\text{ПИТ}} = R \cdot C \cdot \frac{dU_C}{dt} + U_C$$

Решение имеет свободную $A = e^{-t/\tau}$ и вынужденную $U_C = U_{ПИТ}$ составляющие.

Окончательно

$$U_C = U_{\text{ПИТ}} \cdot (1 - e^{-t/\tau})$$

где $\tau = R1 \cdot C12$.

$A = -U_{ПИТ}$ – постоянная интегрирования, определяется из начальных условий: U_C до коммутации равно U_C после коммутации и равно 0.

Напряжение на эмиттере транзистора ***VT3*** определяют:

$$U_{ЭVT3} = U_C - U_{БЭVT3} = U_C - 0{,}6В.$$

Порядок выполнения лабораторной работы

Для заданного преподавателем значения постоянной времени цепи τ (значение сопротивления ***R1***) снять зависимость напряжения от времени заряда конденсатора.

1 Собрать схему, приведенную на ***рисунке 14.1.***

2 Включить стенд автоматическим выключателем ***QF1***

3 Установить заданное преподавателем сопротивление ***R1***.

4 Тумблером ***SA30*** включить секундомер.

5 Сбросить значение секундомера в нулевые показания кнопкой ***SB6***.

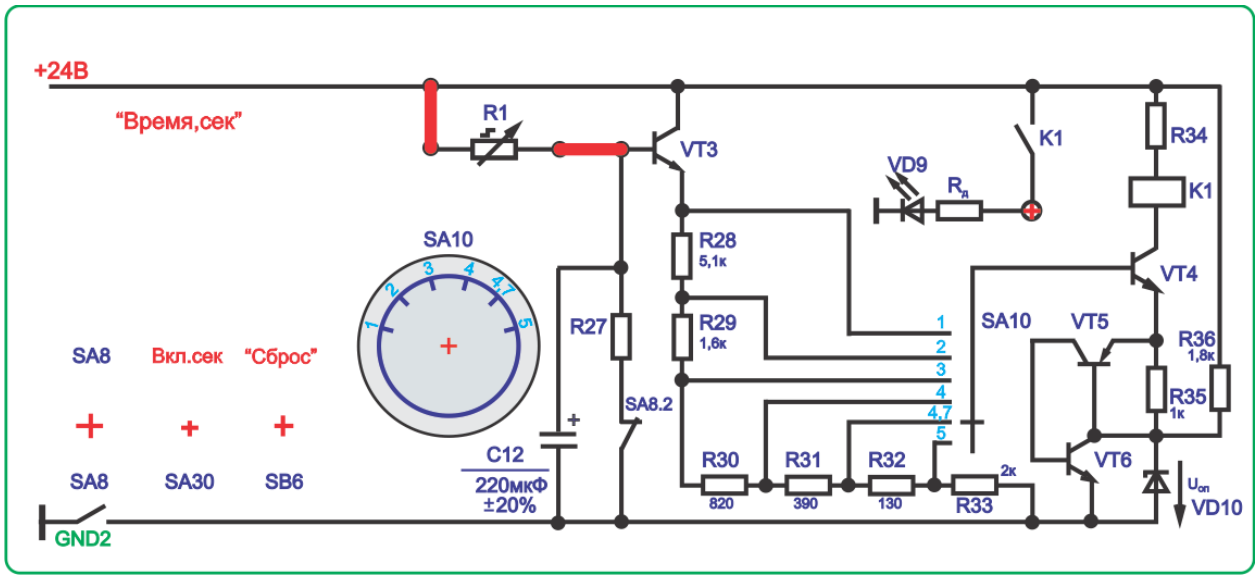


Рисунок 14.1

6 Провести первый опыт заряда конденсатора при положении ***«1»*** переключателя ***SA10***. Для этого, переключить тумблер ***SA8*** в верхнее положение. Когда засветится светодиод ***VD9***, записать показания секундомера в ***таблицу 14.1.***

7 Выключить тумблер ***SA8*** вниз.

8 Сбросить показания секундомера кнопкой ***SB6***.

9 Перевести тумблер ***SA10*** в положение ***«2».***

10 Провести остальные опыты аналогично ***пунктам 7 – 9*** для всех остальных положений переключателя ***SA10***.

11 Выключить стенд в следующем порядке:

- Выключить тумблер ***SA8***
- Тумблер ***SA10*** перевести в начальное положение ***«1»***
- Выключить секундомер тумблером ***SA30*** вниз
- Выключить стенд автоматическим выключателем ***QF1***.
- Вернуть все переключатели резистора ***R1*** в начальные положения ***«0»***.
- убрать перемычки;
- убедиться, что все остальные переключатели - в начальном состоянии.

12 Для полученных значений ***t*** рассчитать напряжения на конденсаторе и сравнить с экспериментальными данными. Данные расчетов занести в ***таблицу 14.1***.

13 По результатам измерений и расчетов построить график изменения напряжения на конденсаторе ***Uc = f(t).***

14 Воспользовавшись экспериментальной кривой заряда ***C12*** определить постоянную времени τ и сравнить с расчетным значением τ ***= R1*C12.***

Таблица 14.1

	Расчет R1=5 кОм		***опыт***
A (SA10)	***t, сек***	***Uc, В***	***t, сек***
1	0,268617	5,2	
2	0,577293	9,8	
3	1,00792	14,4	
4	1,725478	19	
4,7	2,861585	22,22	
5	4,503779	23,6	

Лабораторная работа №15
Исследование схемы пуска асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором

Цель работы

- Изучение схемы прямого пуска асинхронного двигателя
- Изучение способов снижения пускового тока асинхронного двигателя.

Основные теоретические соотношения

Для пуска асинхронного двигателя наиболее часто используются релейно-контакторные схемы управления. Они позволяют осуществить автоматический асинхронный пуск, изменение частоты вращения, останов, реверсирование, торможение и защиту двигателя. Как правило, силовая цепь коммутируется с помощью магнитного пускателя, а схема управления строится на основе всевозможных реле (напряжения, тока, времени, тепловых, контроля скорости и т.д.), контакты которых слаботочные.

Важным вопросом при пуске асинхронного двигателя является ограничение пускового тока, в связи с тем, что при прямом пуске кратность пускового тока высока, примерно 5,5 – 7.

На практике, для снижения пускового тока АД его обмотки кратковременно соединяют звездой.

Переключение с треугольника на звезду и обратно осуществляют специальным переключателем.

Такое переключение не производят, если обмотки АД соединены звездой: их номинальное линейное напряжение 380В.

Пусковой момент АД не велик, поэтому пуск обычно производят при отключенной нагрузке.

Порядок выполнения лабораторной работы

1 Изучить схему на ***рисунке 15.1***. Пояснить назначение кнопок ***SB3, SB4***, контакта ***KM2.1***.
2 Собрать схему пуска асинхронного двигателя по ***рисунку 15.1.***
3 Включить стенд автоматическим выключателем ***QF1*** и установить тумблер ***SA17*** в нижнее положение ***Y.***
4 Запустить двигатель нажатием на кнопку ***SB3*** и измерить пусковой ток прибором ***PA1.***
5 После разгона двигателя выключить его, нажав на кнопку ***SB4.***
6 Перевести тумблер ***SA17*** в верхнее положение ***Δ.***
7 Запустить двигатель нажатием на кнопку ***SB3***, определив при этом пусковой ток при соединении обмоток ***«треугольник».***
8 Перевести тумблер ***SA17*** в верхнее положение ***Y*** и запустить двигатель нажатием на кнопку ***SB3***.
9 После разгона быстро перевести тумблер ***SA17*** в верхнее положение ***Δ***, зафиксировав при этом бросок тока. Сравнить условия пуска АД по схеме ***«треугольник»*** с пуском при переключении обмоток со ***«звезды»*** на ***«треугольник».***

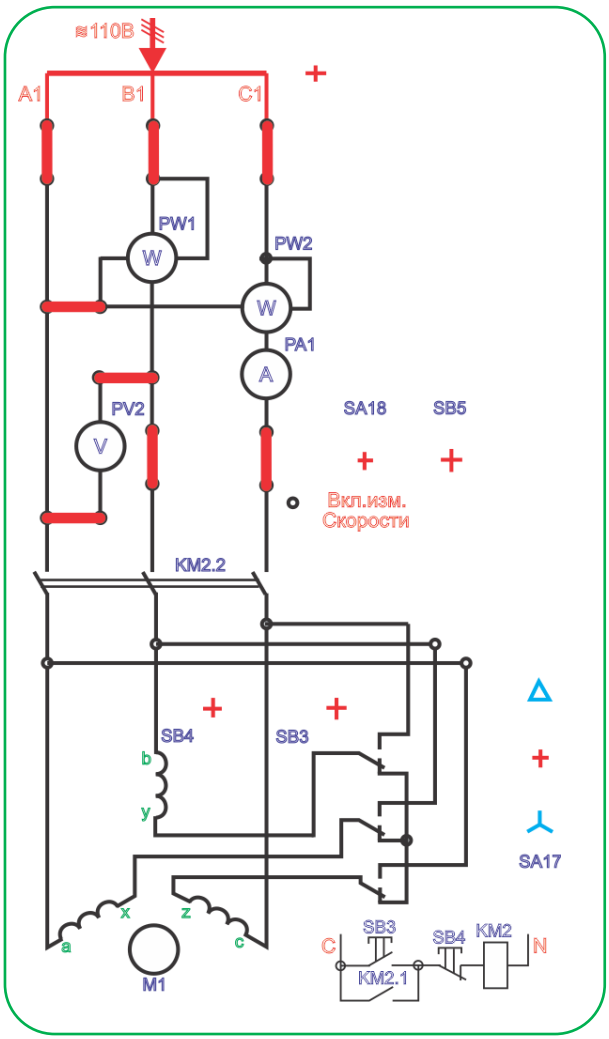


Рисунок 15.1

10 Выключить стенд в следующем порядке:

- Выключить стенд автоматическим выключателем ***QF1;***
- убрать перемычки;
- убедиться, что все остальные переключатели - в начальном состоянии.

Лабораторная работа №16
Однокаскадный транзисторный усилитель

Цель работы:

- Ознакомление с устройством биполярных транзисторов и их свойствами.
- Исследование работы усилителя с общим эмиттером.

Основные теоретические соотношения.

В качестве исследуемого транзистора используется ***КТ315Г*** типа ***N-P-N*** с параметрами:

Iк max = 100mA,
Pк max = 150 mBm,
Uкэ = 35B,
Uкб max = 35B,
Uэб max = 6B,
f21 = 100 МГц,
h21э = 50-350,
h11э = Uкэ нас = 0,4B.

Элементы на схеме имеют следующие параметры:
C2=10 мкФ, R5=75 кОм, R7=13 кОм, R8=2 кОм, C8=22 мкФ.

Транзистор - полупроводниковый элемент с тремя электродами, который служит для усиления или переключения сигнала.

Транзистор состоит из двух противоположно включенных диодов, которые обладают одним общим *n*- или *p*-слоем. Электрод, связанный с ним называют базой Б. Два других электрода называются эмиттером Э и коллектором К, рисунок 16.1.

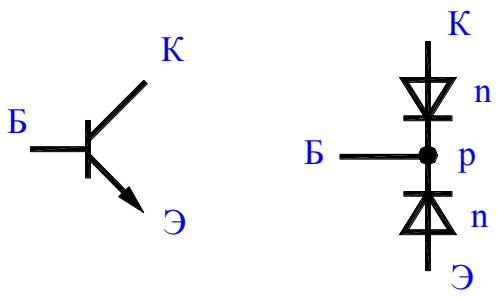


Рисунок 16.1

Режимы транзистора подробно описываются с помощью семейства его характеристик

Основная особенность транзистора состоит в том, что коллекторный ток $I_К$ является кратным базовому току $I_Б$. Отношение их изменений называют коэффициентом усиления по току.

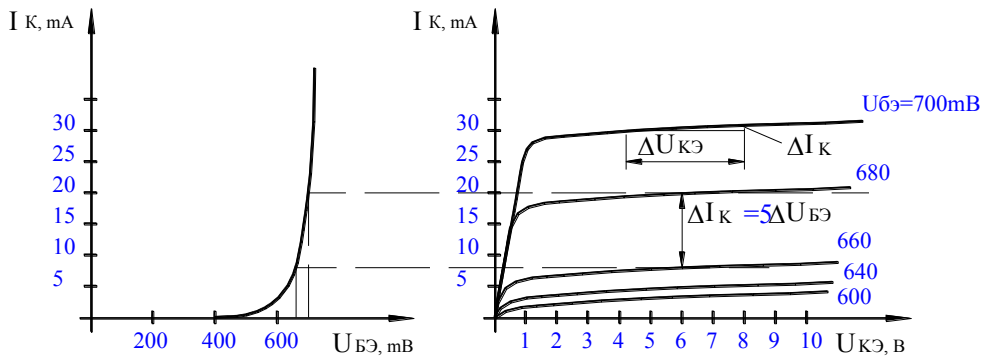


Рисунок 16.2

$$h_{FE} = \frac{\Delta I_K}{\Delta I_B}$$

Второй особенностью является тот факт, что коллекторный ток мало изменяется после достижения $U_{КЭ}$ определённого значения.

Третьей особенностью транзистора является то, что малого изменения входного напряжения оказывается достаточно для того, чтобы вызвать относительно большое изменение коллекторного тока. Изменение коллекторного тока ***Iк*** в зависимости от ***Uбэ*** характеризуется крутизной ***S***:

$$S = \frac{\Delta I_К}{\Delta U_{БЭ}}, U_{КЭ} = const$$

Учитывая, что передаточная функция транзистора имеет вид

$$I = I_S \cdot (T, U_{КЭ}) \cdot e^{U_{БЭ}/U_T},$$

крутизну можно определить:

$$S = \frac{I_К}{U_T}$$

где I_S - обратный ток,

T - температура перехода,

U_T - термический потенциал, при комнатной температуре равен ***25,5 mB***.

Зависимость коллекторного тока от напряжения коллектор-эмиттер характеризуется дифференциальным выходным сопротивлением

$$r_{КЭ} = \frac{\Delta U_{КЭ}}{\Delta I_К}$$

Зависимость тока базы от напряжения базы характеризуется дифференциальным входным сопротивлением

$$r_{БЭ} = \frac{\Delta U_{БЭ}}{\Delta I_Б} = \frac{h_{FE}}{S}$$

Кроме рассмотренных выше параметров транзистор характеризуется максимальным током коллектора $I_{КМАХ}$, максимальным напряжением коллектор-эмиттер $U_{КЭМАХ}$, максимальным напряжением база-эмиттер $U_{БЭМАХ}$, максимальным напряжением коллектор-база $U_{КБМАХ}$ и граничной частотой $f_{ГР}$.

Имеются три основные схемы включения транзистора в усилительные цепи. В зависимости от того, присоединён ли эмиттер, коллектор или база к общей точке, различают соответственно схемы с общим эмиттером, коллектором или базой. Рассмотрим схему с общим эмиттером, ***рисунок 16.3***.

Для анализа схемы с общим эмиттером приложим к ней входное напряжение $U_{ВХ} = 0{,}6В$ (для кремниевых транзисторов) такое, чтобы через коллектор протекал ток. Если теперь входное напряжение повысить на некоторую величину $\Delta U_{ВХ}$, то коллекторный ток увеличится в соответствии с выражением:

$$\Delta I_К = S \cdot \Delta U_{ВХ}$$

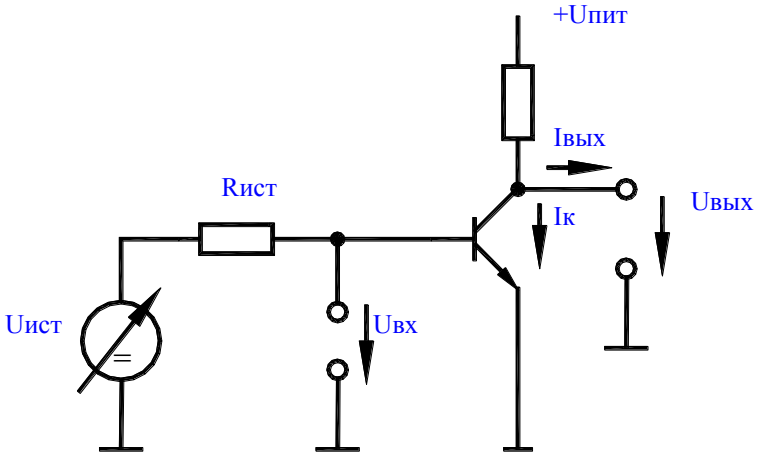


Рисунок 16.3

Так как коллекторный ток протекает через сопротивление $R_К$, то падение напряжения на $R_К$ тоже повышается и выходное напряжение $U_{ВЫХ}$ возрастает на величину

$$\Delta U_{ВЫХ} = -\Delta I_К \cdot R_К = -S \cdot R_К \cdot \Delta U_{ВХ}$$

Таким образом, схема обеспечивает коэффициент усиления по напряжению

$$K_U = \frac{\Delta U_{ВЫХ}}{\Delta U_{ВХ}} = -S \cdot R_К$$

Входное сопротивление такой схемы равно входному сопротивлению транзистора

$$r_{БЭ} = \frac{\Delta U_{БЭ}}{\Delta I_Б} = \frac{h_{FE}}{S} = h_{FE} \cdot \frac{U_T}{I_К}$$

Выходное сопротивление схемы определяют как сопротивление параллельно соединённых $R_К$ и $r_{КЭ}$

$$R_{ВЫХ} = \frac{\Delta U_{ВЫХ}}{\Delta I_{ВЫХ}} = \frac{R_К}{r_{КЭ}}$$

Рассмотренная схема имеет два недостатка. Первый – нелинейные искажения, второй – нестабильность рабочей точки.

Для уменьшения обоих недостатков используют отрицательную обратную связь. При этом часть выходного сигнала подаётся обратно на вход, с тем, чтобы противодействовать входному сигналу. Вследствие этого уменьшается усиление, однако с помощью отрицательной обратной связи можно обеспечить, чтобы усиление в основном определялось соотношением омических сопротивлений и практически не зависело от нелинейной передаточной характеристики транзистора.

В схеме, изображенной на ***рисунке 16.4***, отрицательная обратная связь реализована с помощью введённого в эмиттерную цепь сопротивления $R_Э$. В этом случае коэффициент усиления по напряжению определяется как:

$$K_U = \frac{\Delta U_{ВЫХ}}{\Delta U_{ВХ}} = \frac{-R_К}{R_Э}$$

Как видим, в последнее выражение не входят параметры транзистора, зависящие от тока.

Входное сопротивление такой схемы можно определить

$$r_{ВХ} = h_{FE} \cdot (S + R_Э)$$

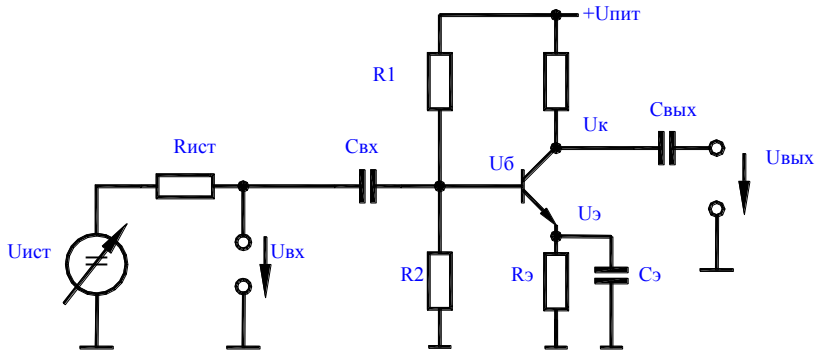


Рисунок 16.4

Вследствие отрицательной обратной связи по току выходное сопротивление растёт незначительно и в случае глубокой отрицательной обратной связи стремится к $R_К$.

Рабочая точка в схеме с общим эмиттером, как правило, задаётся делителем напряжения, ***рисунок 16.4,*** и $R_Э$. При расчёте последнего каскада руководствуются следующими соображениями:

- во-первых, схема не должна шунтировать источник сигнала. Для этого ток коллектора выбирают таким, чтобы параллельное соединение $r_{БЭ} = h_{FE} \cdot \frac{U_T}{I_К}$, ***R1, R2*** было значительно больше $r_{УСТ}$;

- во-вторых, сопротивление $r_{БЭ}$ не должно шунтировать делитель ***R1, R2***, т.е. сопротивление параллельного соединения ***R1, R2*** должно быть значительно меньше $r_{БЭ}$;

- в третьих, стабильность рабочей точки тем лучше, чем больше падение постоянного напряжения на $R_Э$, так как в этом случае изменение $U_{БЭ}$ остаётся меньше $U_Э$ и, следовательно, изменение коллекторного тока будет незначительным. При стандартном дрейфе от температуры напряжения $U_{БЭ}$ ***2мВ/К*** относительный дрейф напряжения на эмиттере $U_Э$, а значит и тока коллектора составит ***2мВ/$U_Э$***. Например, при $U_Э$ ***= 2В*** дрейф тока коллектора будет не более ***0,1%***;

- в четвёртых, при установке потенциала коллектора $U_К$ необходимо следить за тем, чтобы напряжение коллектор-эмиттер транзистора во время его работы не падало до напряжения насыщения: $U_{КЭн}$ ***= 0,3В***.

С другой стороны, потенциал коллектора при отсутствии сигнала нельзя выбирать очень большим так как падение напряжения на $R_К$ и коэффициент усиления по

напряжению будут малым. Поэтому, если положить, что выходной сигнал должен изменяться в пределах $\Delta U_{ВЫХ}$ для напряжения покоя на коллекторе получим:

$$U_К = U_Э + U_{КЭН} + |\Delta U_{ВЫХ}|$$

В соответствии с этими соображениями:

$$R_Э = U_Э / I_К;$$
$$R_К = (U_{ПИТ} - U_К) / I_К;$$
$$R1 = (Uпит - U_Б) / (I_{ДЕЛ} - I_Б);$$
$$R2 = U_Б / I_{ДЕЛ}$$

Здесь считаем:

$$U_Б = U_Э + U_{БЭ},$$
$$I_{ДЕЛ} = 10 * I_Б,$$
$$I_Б = I_К / h_{FE}.$$

Ёмкости $C_{ВХ}$, $C_{ВЫХ}$ в данной схеме являются разделительными. Ёмкость $C_Э$ предназначена для шунтирования $R_Э$ по переменному току. Последнее позволяет при частотах входного сигнала больше $f_{ГР} = S/(2\pi C_Э)$ обеспечить максимальный коэффициент усиления по напряжению $S \cdot R_К$. Режим покоя при этом задан сопротивлением $R_Э$.

Порядок выполнения лабораторной работы

1 Собрать схему по ***рисунку 16.1***

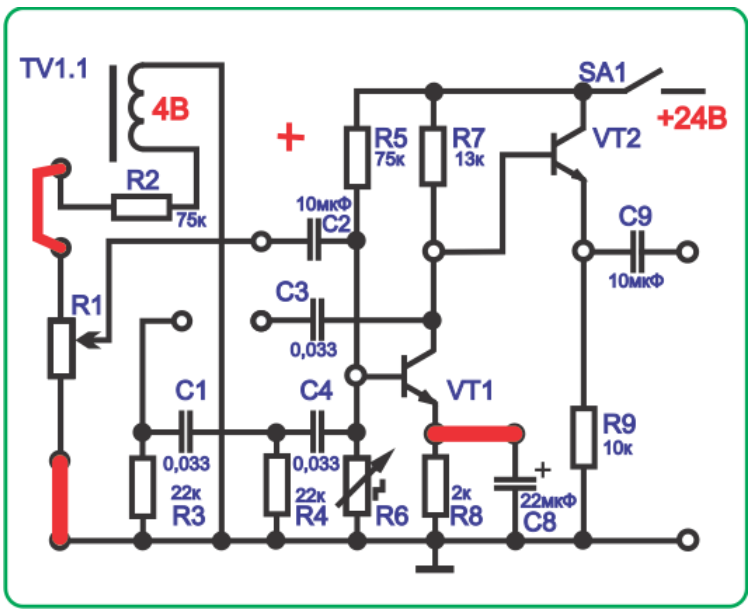


Рисунок 16.1

2 Перед включением стенда убедиться, что все переключатели находятся в начальном положении (выключены).

3 Включить стенд автоматическим выключателем ***QF1***

4 Включить тумблер ***SA1***

5 При разомкнутой перемычке между ***R1*** и ***R2*** помощью резистора ***R6*** выставить на коллекторе ***VT1*** половину напряжения питания (***24/2=12В)*** или напряжение, рассчитанное в соответствии с методическими указаниями.

6 Установить перемычку между ***R1*** и ***R2,*** ёмкость ***C8*** - отсоединена и, изменяя величину ***R1,*** снять зависимость $U_{вых} = f(U_{вх})$. Входное напряжение измерять мультиметром. Используя параметры схемы рассчитать коэффициент усиления по напряжению и сравнить с экспериментальным.

7 Зашунтировать ***R8*** конденсатором ***C8*** установив перемычку и снять зависимость $U_{вых} = f(U_{вх})$. Используя параметры схемы рассчитать коэффициент усиления по напряжению для переменного сигнала и сравнить с экспериментальным.

8 Выключить тумблер ***SA1***.

9 Выключить стенд в следующем порядке*:*

- выключить тумблер ***SA1*** вниз;
- выключить стенд автоматическим выключателем ***QF1***;
- убрать перемычки;
- убедиться, что все остальные переключатели - в начальном состоянии.

Лабораторная работа №17
Исследование двухкаскадных усилителей с непосредственной связью

Цель работы

- Изучение схемы с общим коллектором.
- Изучение основ построения многокаскадных усилителей.

Для выполнения лабораторной работы собирается схема, представленная на рисунке 17.3. В качестве исследуемого транзистора ***VT2*** используется ***КТ315Г*** типа N-P-N с параметрами:

Iк max = 100mA,
Pк max = 150 mBm,
Uкэ = 35B,
Uкб max = 35B,
Uэб max = 6B,
f21 = 100 МГц,
h21э = 50-350,
h11э = Uкэ нас = 0,4B,
Резистор R9 = 10 кОм.

Основные теоретические сведения

При разработке многокаскадных транзисторных схем одной из главных задач является необходимость согласования каскадов. Схемы нужно согласовать по уровням входных и выходных сигналов и по уровню входных и выходных сопротивлений. Последнее означает, что последующие каскады не должны шунтировать предыдущие.

Часто роль каскада согласующего большое сопротивление источника сигнала и малое сопротивление нагрузки выполняет схема с общим коллектором или эмиттерный повторитель ***рисунок 17.1***.

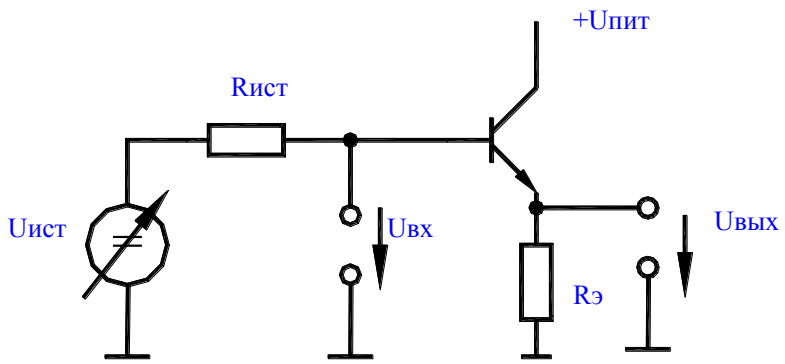


Рисунок 17.1

Принцип работы схемы с общим коллектором состоит в следующем. Если к базе приложить входное напряжение $U_{ВХ}$ большее чем **0,6В** (для кремниевых транзисторов), то протекает коллекторный ток, который вызывает падение напряжения на $R_Э$. Причём,

$$U_{ВЫХ} = U_{ВХ} - 0{,}6В.$$

Поскольку $U_{БЭ}$ при изменении тока коллектора меняется незначительно, выходное напряжение повторяет входное, и коэффициент усиления по напряжению равен $K_U = 1$.

Входное сопротивление эмиттерного повторителя не отличается от входного сопротивления схемы с общим эмиттером с отрицательной обратной связью по току:

$$R_{ВХ} = \beta \cdot \left(\frac{1}{S} + R_Э\right) = \beta \cdot R_Э$$

Выходное сопротивление определяется как сопротивление параллельно соединённых $\frac{1}{S} + \frac{R_{ИСТ}}{\beta}$ и ***Rэ.***

Очевидно, что входное сопротивление во много раз больше выходного.

Установка рабочей точки производится так же, как и в схеме с общим эмиттером и отрицательной обратной связью по току. Для выбора потенциала эмиттера имеется больше возможностей, так как потенциал коллектора не зависит от управляющего сигнала и равен ***Uпит***. Благодаря этому имеется возможность простой гальванической связи эмиттерного повторителя с выходом предыдущего каскада, как показано на ***рисунке. 17.2.***

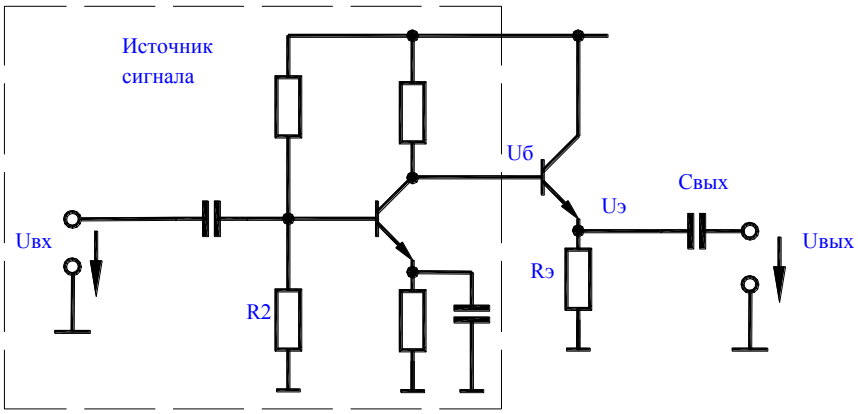


Рисунок. 17.2

Порядок выполнения лабораторной работы

1. Рассчитать входное сопротивление схемы с общим коллектором используя параметры элементов.
2. Убедиться, что входное сопротивление эмиттерного повторителя значительно больше выходного сопротивления схемы с общим эмиттером на транзисторе ***VT1.***
3. Собрать схему по ***рисунку 17.3***.
4. Перед включением стенда убедиться, что все переключатели находятся в начальном положении (выключены);
5. Включить стенд автоматическим выключателем ***QF1;***
6. Включить тумблер ***SA1***.

7 С помощью резистора ***R6*** выставить на коллекторе ***VT1*** половину напряжения питания ***24В/2=12В*** (измеряется дополнительным осциллографом). Установить резистором ***R1*** (делитель ***R1 - R2***) ***ΔUвых*** первого каскада примерно равным ***Uпит/2 =24В/2=12В.***

.

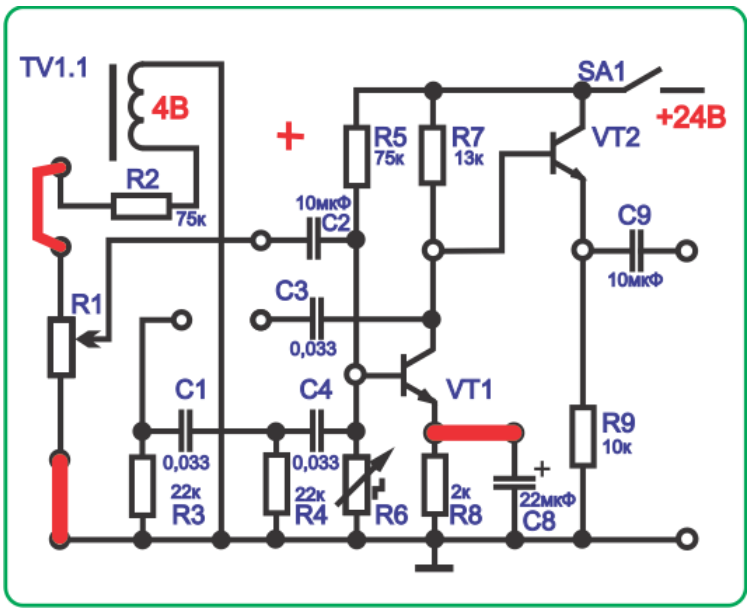


Рисунок 17.3

8 Снять осциллограмму напряжений на входе и выходе повторителя. Убедиться, что они смещены на ***0,6В***

9 Выключить стенд в следующем порядке*:*

- выключить тумблер ***SA1*** (вниз);
- выключить стенд автоматическим выключателем ***QF1;***
- убрать перемычки;
- убедиться, что все остальные переключатели - в начальном состоянии.

10 Рассчитать выходное сопротивление схемы с общим коллектором. Сравнить выходные сопротивления первого и второго каскадов. Сделать заключение.

Лабораторная работа №18
Исследование параметров транзисторного реле с времязадающей RC – цепью

Цель работы

- Ознакомление с принципом действия электронного реле времени на биполярном транзисторе.
- Градуирование шкалы реле времени, и определение относительной погрешности выдержки времени при изменении сопротивления резистора ***R1*** в данных пределах.

Основные теоретические соотношения

Исследование параметров транзисторного реле времени на биполярном транзисторе проводятся по схеме, представленной на рис.18.1, в которую входят биполярные транзисторы ***КТ315Г*** типа N-P-N и электромагнитное реле ***РЭС-9*** с переключающими контактами ***KV***.

Электронный секундомер определяет установленную выдержку времени, а светодиод ***VD9*** сигнализирует о срабатывании реле. Конденсатор ***C12*** емкостью 200 мкф и резистор ***R1*** соединены с базой транзистора ***VT3***, опыты проводятся при различных значениях сопротивления резистора R1. Исследуется и строится характеристика транзисторного реле, изучаются методы повышения стабильности срабатывания реле.

Электронное реле времени - устройство релейного типа с нормируемым временем срабатывания или отпускания реле после подачи или снятия входного управляющего сигнала. В электронном реле времени на биполярных транзисторах ***VT3 и VT4*** типа ***N-P-N*** задаваемая выдержка времени при срабатывании электромагнитного реле ***KV*** после подачи управляющего сигнала (включение питания тумблером ***SA8***) создается за счет переходного процесса, возникающего при заряде предварительно разряженного конденсатора ***C12*** через регулируемый резистор ***R1***. Изменением этого сопротивления ***R1*** можно регулировать длительность переходного процесса, и, следовательно, время срабатывания реле времени.

Порядок выполнения лабораторной работы

1. Рассчитать параметры реле времени в зависимости от изменения сопротивления ***R1*** (определить выдержки времени соответствующие положениям галетного переключателя ***SA10***). Формулы для расчета взять в ***лабораторной работе №14***.

2. Собрать схему, приведенную на ***рисунке 18.1.***

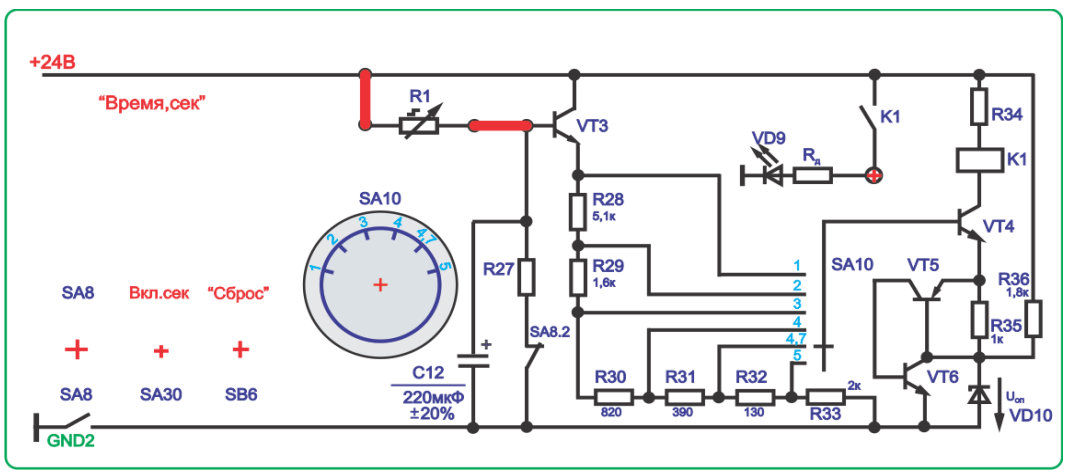


Рисунок 18.1

3. Включить стенд автоматическим выключателем ***QF1.***
4. Установить заданное преподавателем значение шкалы переключателя ***SA10*** (по умолчанию установить положение ***«3»***)
5. Тумблером ***SA30*** включить секундомер.
6. Сбросить значение секундомера в нулевые показания кнопкой ***SB6***.
7. Провести первый опыт заряда конденсатора при положении ***«1»*** переключателя «***x1»*** резистора ***R1 (1кОм).*** Переключить тумблер ***SA8*** в верхнее положение. Когда засветится светодиод ***VD9*** (реле сработало), записать показания секундомера в ***таблицу 18.1*** (счёт секундомера останавливается при срабатывании реле).
8. Выключить тумблер ***SA8*** вниз.
9. Сбросить показания секундомера кнопкой ***SB6***.
10. Перевести переключатель «***x1»*** резистора ***R1*** в положение ***«2»***.
11. Провести остальные опыты аналогично пункту ***7*** для всех остальных положений переключателя «***x1»*** резистора ***R1***.

Таблица 18.1

R1, кОм	***ty.ном, сек***	***ty****,(измеренная)* ***сек***	γ
1	***0,181869***		
2	***0,363739***		
3	***0,545608***		
4	***0,727477***		
5	***0,909346***		
6	***1,091216***		
7	***1,273085***		
8	***1,454954***		
9	***1,636824***		
10	***1,818693***		

12. Выключить стенд в следующем порядке:
    - выключить тумблер ***SA8***;
    - тумблер ***SA10*** перевести в начальное положение ***«1»***;
    - выключить секундомер тумблером ***SA30*** (вниз);
    - выключить стенд автоматическим выключателем ***QF1.***
    - вернуть все переключатели резистора ***R1*** в начальные положения ***«0»***.
    - убрать перемычки;
    - убедиться, что все остальные переключатели - в начальном состоянии.
13. Определить относительную погрешность выдержки времени для выбранного деления шкалы при изменении сопротивления резистора ***R1*** по формуле:

$$\gamma = \frac{t_{\text{у.ном}} - t_{\text{у}}}{t_{\text{у.ном}}} \cdot 100\%$$

где $t_{y.ном}$ - выдержка времени расчетная.
Данные расчета занести в ***таблицу 18.1.***

Лабораторная работа №19
Исследование генераторов синусоидальных колебаний

Цель работы

- Ознакомление с принципами построения генераторов синусоидальных колебаний
- Исследование режимов работы генератора

Параметры схемы

Для выполнения лабораторной работы собирается схема, приведенная на рис. 19.1. При исследовании режимов работы генератора используется осциллограф.

Выбором резистора ***R6*** добиваются режима устойчивых колебаний и определяют частоту и амплитуду синусоидальных колебаний.

C1 = C3 = C4 = 0,033 мкФ,

R3 = R4 = 22 кОм.

Основные теоретические соотношения

Электронный генератор – это устройство, преобразующее электрическую энергию источника постоянного тока в энергию незатухающих колебаний заданной формы и частоты.

По способу возбуждения генераторы подразделяют на генераторы с независимым возбуждением и генераторы с самовозбуждением (автогенераторы). Генераторы с независимым возбуждением являются усилителями колебаний, которые вырабатывают посторонние источники. Автогенераторы сами создают незатухающие колебания за счёт использования положительной обратной связи.

Среди автогенераторов можно выделить генераторы синусоидальных колебаний и импульсные генераторы. Генераторы синусоидальных колебаний подразделяют на автогенераторы типа LC и автогенераторы типа RC.

Незатухающие колебания в автогенераторах устанавливаются при выполнении двух условий, которые называют условиями самовозбуждения. Это условие баланса фаз, обеспечиваемое положительной обратной связью, и условие баланса амплитуд, зависящее от значения коэффициента обратной связи ***Кос***.

Баланс амплитуд имеет вид:

$$K_{OC} \cdot A = 1,$$

где ***A*** – коэффициент усиления непосредственно усилителя,

а баланс фаз:

$$\beta + \alpha = 0; 2\pi; \ldots,$$

где α - фазовый сдвиг между входом и выходом усилителя,

β - фазовый сдвиг обратной связи.

Для получения синусоидальных колебаний на низких частотах применяют генераторы RC типа. Простейшая схема такого генератора приведена на ***рисунке 19.1.***

Положительная обратная связь в данной схеме осуществляется через фазовращательную цепь, состоящую из трёх звеньев ***R6-C4***, ***R4-C1***, ***R3-C3.*** Поскольку усилитель на ***рисунке. 19.1*** инвертирует сигнал на угол π, то $\alpha = \pi$. Это означает, что суммарный фазовый сдвиг обратной связи должен быть тоже π, а каждого ***RC*** звена $\pi/3$.

Для выполнения условия баланса амплитуд коэффициент усиления усилителя должен быть больше ослабления, вносимого фазовращательной цепью. В приведённой схеме это ослабление равно ***29***.

Частота синусоидальных колебаний в схеме определяется параметрами обратной связи и, если ***R6 = R4 = R3 = R,*** а ***C1 = C3 = C4 = C***, *то :*

$$f = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot R \cdot C \cdot \sqrt{6}}$$

Порядок выполнения лабораторной работы

1. Рассчитать частоту генератора с фазовращающей цепью.
2. Записать условия возникновения устойчивых колебаний в исследуемой схеме.
3. Собрать схему по ***рисунку 19.1.***

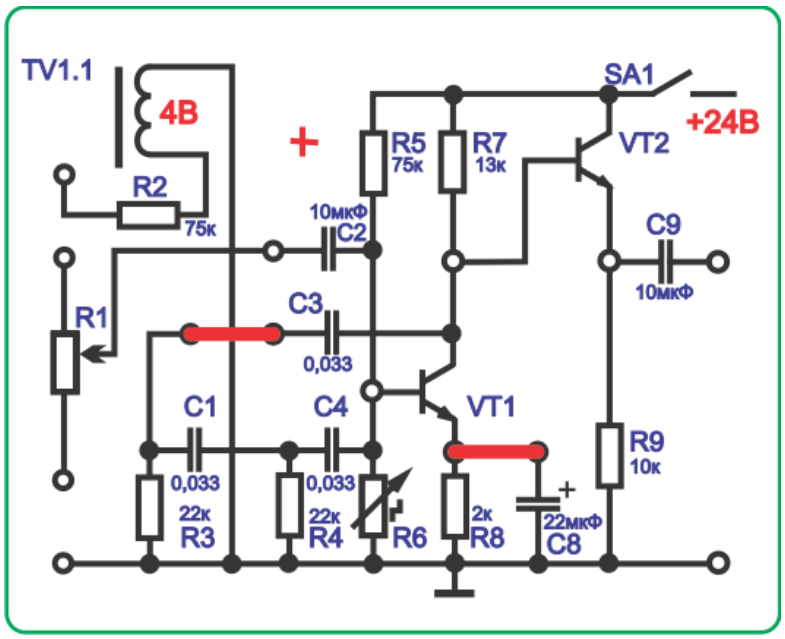


Рисунок 19.1

4. Перед включением стенда убедиться, что все переключатели находятся в начальном положении (выключены).
5. Включить стенд автоматическим выключателем ***QF1.***
6. Включить тумблер ***SA1***.
7. С помощью резистора ***R6*** (изменяя положение переключателя ***R6*** от ***«0»*** до ***«10»***) установить устойчивый симметричный режим автоколебаний по ***осциллограмме.***
8. Снять осциллограмму выходного напряжения генератора $U_{ВЫХ}(t)$.
9. Сравнить расчётную частоту с экспериментальной.
10. Выключить стенд в следующем порядке:
    - Выключить тумблер ***SA1*** (вниз);
    - Выключить стенд автоматическим выключателем ***QF1;***
    - убрать перемычки;
    - убедиться, что все остальные переключатели - в начальном состоянии.

Лабораторная работа №20
Исследование работы широтно-импульсного преобразователя напряжений (ШИП)

Цель работы

- Изучение устройства, принципа построения и области применения ШИП.
- Исследование режимов работы ШИП.

Основные теоретические сведения

Передача и преобразование сигналов лежит в основе систем связи, контроля, регулирования и управления.

По способу формирования сигнала управления или способу передачи информации системы можно подразделить на непрерывные и дискретные.

Системы с широтно-импульсной модуляцией являются разновидностью дискретных систем. При этом способе модуляции период ***T*** и амплитуда ***Au*** – неизменные, а длительность импульса **γ·T** изменяется в соответствии с каким-либо законом. Величину γ называют скважностью импульсов (***рисунок 20.1***).

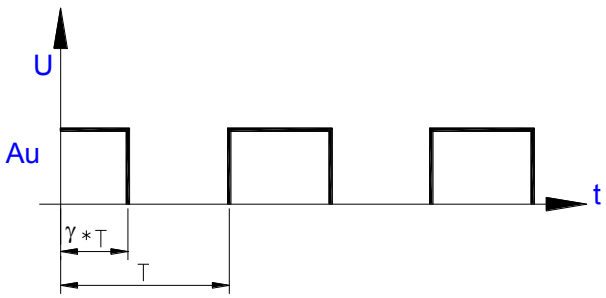


Рисунок 20.1

Порядок выполнения лабораторной работы

1 Собрать схему по ***рисунку 20.2.***

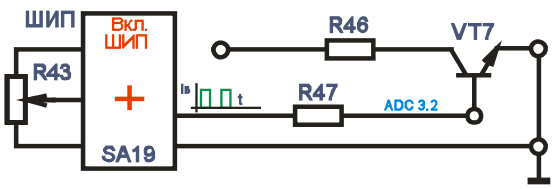


Рисунок 20.2

2 На рабочей панели стенда исследуемый ШИП изображен как функциональный блок с одноименным обозначением с вынесенным отдельно силовым регулирующим транзистором ***VT7*** и контрольным гнездом для снятия осциллограммы управляющего сигнала (на базе транзистора, подключенной к остальной схеме ШИП через резистор ***R47)***. Для снятия осциллограммы управляющего сигнала достаточно при работающем

стенде включить тумблер ***SA19*** «Вкл.ШИП». В работе исследуется ШИП напряжения путем наблюдения и измерения длительности периода сигнала на базе транзистора при изменении преобразуемого напряжения резистором ***R43 (Iя).***

3 Для наблюдения сигналов используется осциллограф.

4 Включить стенд автоматическим выключателем ***QF1, в***ключить тумблер ***SA19.***

5 Снять осциллограмму выходного напряжения ШИПа при нескольких положения движка потенциометра ***R43.***.

6 Определить скважность выходного сигнала.

7 Снять регулировочную характеристику ШИП: зависимость скважности от угла поворота ***R43*** (между соседними рисками регулятора 30^{O}).

8 Для изучения работы ШИП для регулирования тока в якоре генератора М2 в собирают схему, представленную на **рис. 20.3.**

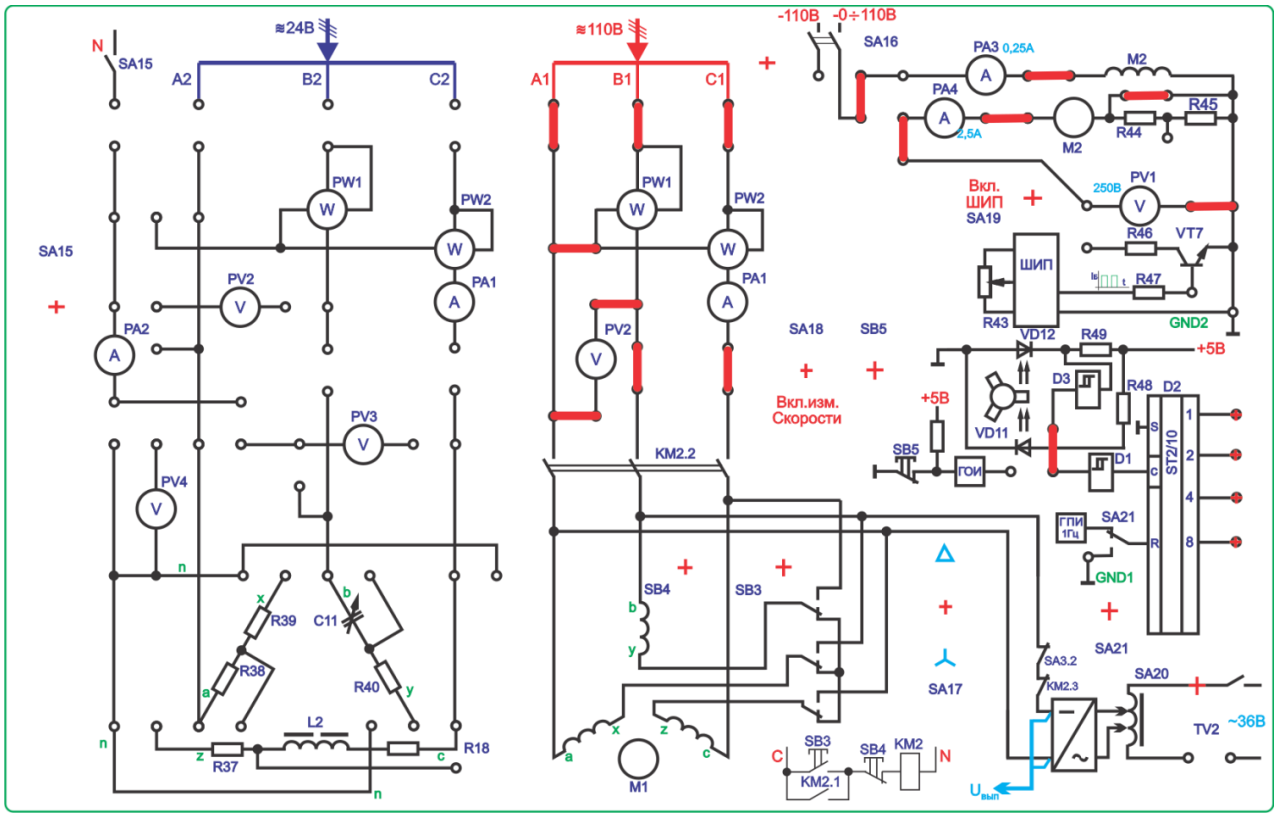


Рисунок 20.3

9 Запустить гонный двигатель М1 при положении ***SA17*** «***треугольник»***, включить питание обмотки возбуждения М2 тумблером ***SA16***. При «min» положении ***R43*** включить ШИП тумблером «Вкл.ШИП» ***SA19***. Плавно регулируя ток нагрузки снять внешнюю характеристику ШИП: зависимость тока нагрузки ***(Iя)*** от угла поворота ***R43.***

10 Выключить стенд в следующем порядке:

- выключить тумблер ***SA19*** (вниз)
- выключить стенд автоматическим выключателем ***QF1;***
- убрать перемычки;
- убедиться, что все остальные переключатели в начальном состоянии.

Лабораторная работа №21
Исследование работы триггера Шмидта и цифровых счётчиков в интегральном исполнении

Цель работы

- Изучение принципа действия цифровых счетчиков и триггера Шмидта.

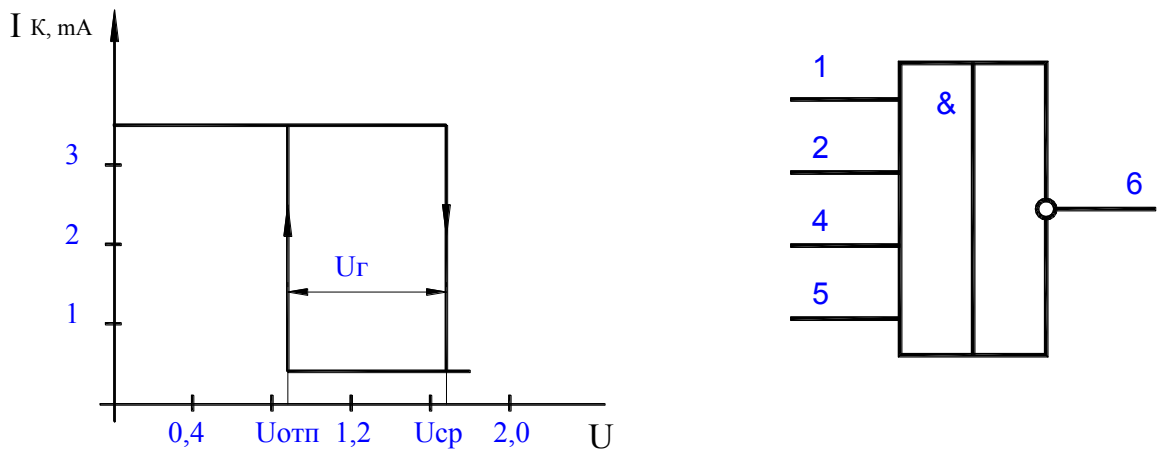
Теоретические сведения

Триггер Шмидта.

При входном импульсном сигнале с пологими фронтом и срезом импульс на выходе формирующего логического элемента также не будет прямоугольным, так как некоторое время ключевая схема будет находиться в усилительном режиме. Кроме того, на фронте и срезе выходного импульса будут присутствовать усиленные помехи, поступившие на схему из проводов питания. Импульс с зашумлённым и несформированным фронтом непригоден для переключения тактовых входов триггеров, регистров и счётчиков.

В таких случаях используют так называемую схему триггера Шмидта, состоящую из двухкаскадного усилителя, охваченного слабой положительной обратной связью.

Логические элементы со свойствами триггера Шмидта имеют внутреннюю положительную обратную связь, глубина которой подобрана так, чтобы получить передаточную характеристику со значительным гистерезисом. Передаточная характеристика элемента Шмидта микросхемы ***К155ТЛ1*** (***рисунок 21.1.б***) двухпороговая и имеет вид, показанный на ***рисунке. 21.1.а***.



а) ***б)***

Рисунок 21.1

Счетчики импульсов.

Подсчет числа импульсов является наиболее распространенной операцией в устройствах цифровой обработки информации. Повышенный интерес к таким устройствам объясняется их высокой точностью, возможностью применения регистрирующих приборов с непосредственным цифровым представлением результата, а также возможностью осуществления связи с ЭВМ.

В результате цифровой обработки информации измеряемый параметр (угол поворота, перемещение, скорость, частота, время, температура и т.д.) преобразуется в импульсы напряжения, число которых в соответствующем масштабе характеризует значение данного параметра. Эти импульсы подсчитываются счетчиками импульсов и выражаются в виде цифр.

По целевому назначению счетчики подразделяют на простые и реверсивные. Простые счетчики, в свою очередь, подразделяют на суммирующие и вычитывающие. Суммирующий счетчик предназначен для выполнения счета в прямом направлении, т.е. для сложения. С приходом счетного импульса на вход счетчика его показание увеличивается на единицу. Вычитающий счетчик служит для осуществления счета в обратном направлении, т.е. для вычитания. Каждый счетный импульс поступающий на вход вычитающего счетчика, уменьшает его показание на единицу. Реверсивные счетчики предназначены для выполнения операции счета, как в прямом, так и в обратном направлении, т.е. они могут работать в режиме сложения и вычитания.

Основными показателями счетчиков являются модуль счета (коэффициент счета ***К***) и быстродействие. Быстродействие счетчика характеризуется максимальной частотой ***fсч*** следования счетных импульсов и связанным с ней временем ***tуст*** установки счетчика. Счетчики импульсов выполняются на основе триггеров. Счет числа поступающих импульсов производится с использованием двоичной системы счисления.

Основным узлом двоичного счетчика (служащим также его разрядом) является триггер со счетным запуском, осуществляющий подсчет импульсов по модулю 2.

Многоразрядные двоичные суммирующие счетчики с непосредственной связью выполняются путем последовательного соединения счетных триггеров. Счетные импульсы подаются на счетный вход первого триггера. Счетные входы последующих триггеров связаны непосредственно с прямыми выходами предыдущих триггеров: вход второго триггера соединен с выходом первого триггера, вход третьего – с выходом второго и т.д.

Принцип действия двоичного счетчика с непосредственной связью рассмотрим на примере трехразрядного счетчика, показанного на ***рисунке 21.2.а***. Схема выполнена на Т-триггерах с внутренней задержкой. Работу схемы иллюстрируют временные диаграммы, приведенные на ***рисунке 21.2.б***.

Перед поступлением счетных импульсов все разряды счетчика устанавливаются в состояние **"0"** ***(Q1 = Q2 = Q3 = 0)*** подачей импульса на вход **"Установка нуля"**. При поступлении первого счетного импульса первый разряд подготавливается к переключению в противоположное состояние и после окончания действия входного импульса переходит в состояние *Q1 = 1*. В счетчик записывается число 1. Уровень 1 с выхода Q1 воздействует на счетный вход второго разряда, подготавливая его к переключению. По окончанию второго счетного импульса первый разряд счетчика переходит в состояние "0", а второй разряд переключается в состояние "1". В счетчике записывается число 2 с кодом 010.

Подобным образом осуществляется работа схемы с приходом последующих импульсов. Первый разряд счетчика, как видно из ***рисунка 21.2.б.***, переключается с приходом каждого входного импульса, второй разряд - каждого второго, а третий разряд срабатывает на каждый четвертый счетный импульс.

В процессе работы двоичного счетчика частота следования импульсов на выходе каждого последующего триггера уменьшается вдвое по сравнению с частотой его входных импульсов (***рисунок 21.2.б.***) Это свойство схемы используют для построения делителей частоты. При использовании схемы в качестве делителя частоты входной сигнал подают

на счетный вход первого триггера, а входной снимают с последнего триггера. Выходная и входная частоты связаны соотношением

$$f_{вых} = f_{вх}/К_{сч}.$$

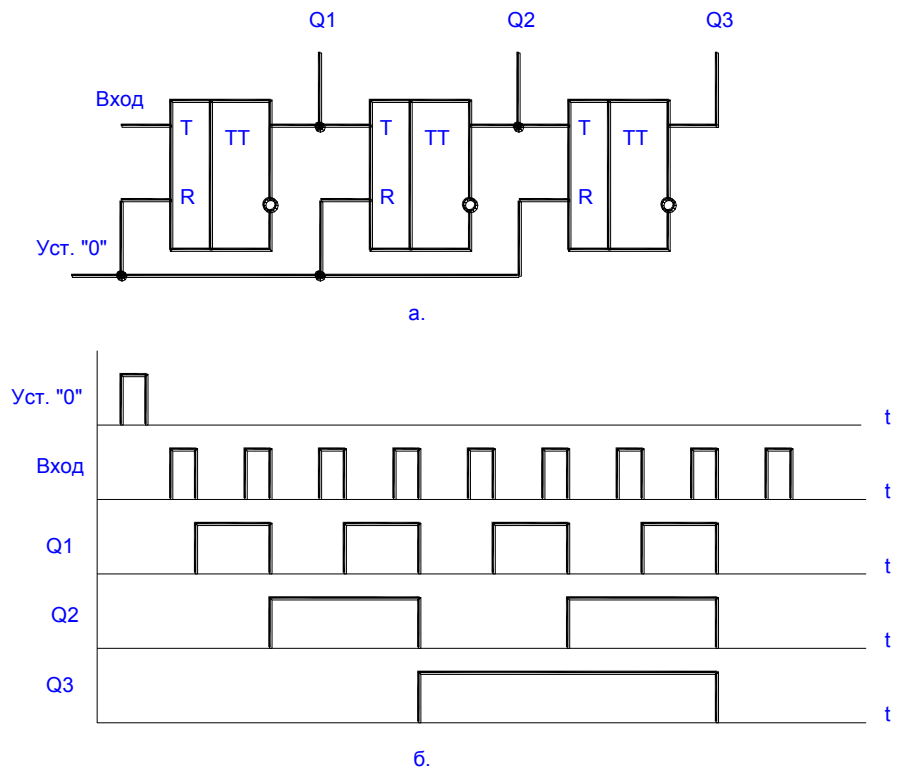


Рисунок 21.2

Счетчики с $К_{сч} = 10$ называют десятичными или декадными. Они нашли широкое применение для регистрации числа импульсов с последующим визуальным отображением результата.

Для построения счетчика с $К_{сч} = 10$ необходимо иметь 4-х разрядный двоичный счетчик, число состояний которого следует уменьшить с 16 до 10. Счетная последовательность десятичного счетчика может быть представлена в двоично-кодированном десятичном коде *(Q4 Q3 Q2 Q1 - 8 4 2 1)*, в котором каждая десятичная цифра кодируется 4-х разрядным числом. Счетная последовательность суммирующего десятичного счетчика в этом случае совпадает с двоичной последовательностью от 0000 до 1001, после чего следует 0, и последовательность повторяется.

Последовательное соединение двух схем десятичного счета дает пересчет на 100, трех на 1000 и т.д. Первая декада производит счет единиц входных импульсов от 0 до 9. Десятый импульс устанавливает разряды первой декады в состояние "0", а формируемый на его выходе импульс записывает "1" во вторую декаду, что соответствует числу 10. Вторая декада считает десятки (от 10 до 90), третья - сотни (от 100 до 900) и т. д.

Схема типового десятичного счётчика серии ***К155ИЕ2*** приведена на ***рисунке. 21.3***, таблица состояний – ***Таблица 21.1***. Для деления частоты на два используется тактовый вход С0 и вывод Q0. Для деления частоты в 5 раз подаётся входная последовательность на вывод 1. Выходной сигнал получаем на выходе Q3. Чтобы получить на выходах счётчика двоично-десятичный код, необходимо соединить выводы 12 и 1. Входная последовательность подаётся на тактовый вход С0.

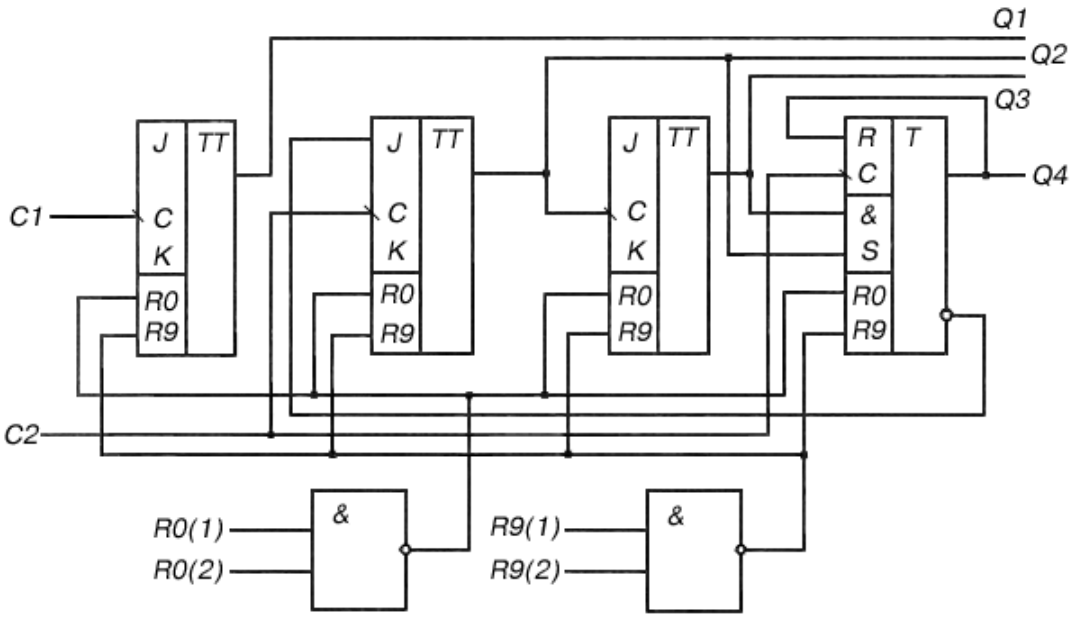


Рисунок 21.3

Таблица 21.1

Вход сброса и установки				***Выход***			
R1	***R2***	***S1***	***S2***	***Q0***	***Q1***	***Q2***	***Q3***
В	В	Н	Х	Н	Н	Н	Н
В	В	Х	Н	Н	Н	Н	Н
Х	Х	В	В	В	Н	Н	В
Н	Х	Н	Х	Счет			
Х	Н	Х	Н				
Н	Х	Х	Н				
Х	Н	В	Х				

Порядок выполнения лабораторной работы

1. Изучить принцип работы, назначение выводов и функциональные возможности счетчика типа ***К155ИЕ2***

2. Изобразить временные диаграммы, поясняющие работу счетчика.

3. Собрать схему для исследования счетчика, представленную на ***рисунке. 21.4.***

4. Перед включением стенда убедиться, что все переключатели находятся в начальном положении (выключены).

5. Включить стенд автоматическим выключателем ***QF1.***

6. Включить тумблер ***SA18*** вверх (Включение измерителя скорости).

7. Тумблер ***SA21*** должен находиться в нижнем положении.

8. С помощью кнопки ***SB5*** подавать последовательности импульсов ***1, 2, 3, и т.д***. на вход счетчика, составить таблицу состояний кода на выходах ***1, 2, 4, 8*** микросхемы ***D2*** от количества поданных импульсов. Выходной код фиксируется по ***светодиодам***.

9. Выключить стенд в следующем порядке:

- выключить тумблер ***SA18*** вниз;

- выключить стенд автоматическим выключателем ***QF1***;
- убрать перемычки;
- убедиться, что все остальные переключатели - в начальном состоянии.

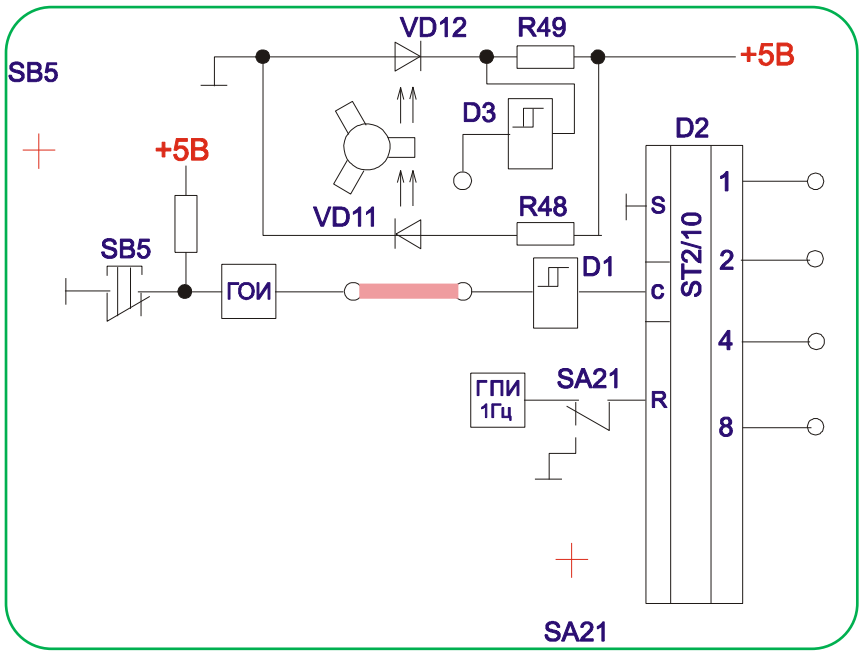


Рисунок 21.4

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО МОРСКОГО И РЕЧНОГО ТРАНСПОРТА

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
« Волжский государственный университет водного транспорта»
(ФГБОУ ВО ВГУВТ)

Ул. Нестерова, 5 Н. Новгород, 603600
МГТК 8312 Тел. 419-79-51
Факс 419-78-61
E-MAIL:rector@vgavt.nnov.su

Кафедра “Электротехника и электрооборудование объектов водного транспорта”
IV семестр II курса
специальность 10.05.03 "Информационная безопасность автоматизированных систем"

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 1

по дисциплине "Общая электротехника".

1. Линейные эл. Цепи. Основные законы, понятия, соотношения.
2. Цифровые интегральные схемы. Логические элементы.

Зав. кафедрой профессор Хватов О.С.

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО МОРСКОГО И РЕЧНОГО ТРАНСПОРТА

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
« Волжский государственный университет водного транспорта»
(ФГБОУ ВО ВГУВТ)

Ул. Нестерова, 5 Н. Новгород, 603600
МГТК 8312 Тел. 419-79-51
Факс 419-78-61
E-MAIL:rector@vgavt.nnov.su

Кафедра “Электротехника и электрооборудование объектов водного транспорта”
IV семестр II курса
специальность 10.05.03 "Информационная безопасность автоматизированных систем"

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 2

по дисциплине "Общая электротехника".

1. Линейные цепи. Основные понятия, характеристики элементов. Схемы замещения нелинейных элементов.
2. Аналоговые интегральные схемы. Операционные усилители.

Зав. кафедрой профессор Хватов О.С.

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО МОРСКОГО И РЕЧНОГО ТРАНСПОРТА

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
« Волжский государственный университет водного транспорта»
(ФГБОУ ВО ВГУВТ)

Ул. Нестерова, 5 Н. Новгород, 603600
МГТК 8312 Тел. 419-79-51
Факс 419-78-61
E-MAIL:rector@vgavt.nnov.su

Кафедра “Электротехника и электрооборудование объектов водного транспорта”
IV семестр II курса
специальность 10.05.03 "Информационная безопасность автоматизированных систем"

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 3

по дисциплине "Общая электротехника".

1. Ветвь, узел, контур. Законы Ома и Кирхгофа.
2. Преобразователи частоты со звеном постоянного тока.

Зав. кафедрой профессор Хватов О.С.

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО МОРСКОГО И РЕЧНОГО ТРАНСПОРТА

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
« Волжский государственный университет водного транспорта»
(ФГБОУ ВО ВГУВТ)

Ул. Нестерова, 5 Н. Новгород, 603600
МГТК 8312 Тел. 419-79-51
Факс 419-78-61
E-MAIL:rector@vgavt.nnov.su

Кафедра “Электротехника и электрооборудование объектов водного транспорта”
IV семестр II курса
специальность 10.05.03 "Информационная безопасность автоматизированных систем"

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 4

по дисциплине "Общая электротехника".

1. Расчет нелинейных цепей постоянного тока.
2. Преобразователи постоянного тока.

Зав. кафедрой профессор Хватов О.С.

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО МОРСКОГО И РЕЧНОГО ТРАНСПОРТА

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
« Волжский государственный университет водного транспорта»
(ФГБОУ ВО ВГУВТ)

Ул. Нестерова, 5 Н. Новгород, 603600
МГТК 8312 Тел. 419-79-51
Факс 419-78-61
E-MAIL:rector@vgavt.nnov.su

Кафедра “Электротехника и электрооборудование объектов водного транспорта”
IV семестр II курса
специальность 10.05.03 "Информационная безопасность автоматизированных систем"

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 5

по дисциплине "Общая электротехника".

1. Методы расчета линейных эл. цепей с одним источником энергии.
2. Инверторы напряжения и инверторы тока.

Зав. кафедрой профессор Хватов О.С.

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО МОРСКОГО И РЕЧНОГО ТРАНСПОРТА

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
« Волжский государственный университет водного транспорта»
(ФГБОУ ВО ВГУВТ)

Ул. Нестерова, 5 Н. Новгород, 603600
МГТК 8312 Тел. 419-79-51
Факс 419-78-61
E-MAIL:rector@vgavt.nnov.su

Кафедра “Электротехника и электрооборудование объектов водного транспорта”
IV семестр II курса
специальность 10.05.03 "Информационная безопасность автоматизированных систем"

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 6

по дисциплине "Общая электротехника".

1. Методы расчета линейных эл. цепей с несколькими источниками энергии.
2. Параллельное соединение резистора, катушки индуктивности и конденсатора. Треугольники токов и проводимостей.

Зав. кафедрой профессор Хватов О.С.

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО МОРСКОГО И РЕЧНОГО ТРАНСПОРТА

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
« Волжский государственный университет водного транспорта»
(ФГБОУ ВО ВГУВТ)

Ул. Нестерова, 5 Н. Новгород, 603600
МГТК 8312 Тел. 419-79-51
Факс 419-78-61
E-MAIL:rector@vgavt.nnov.su

Кафедра “Электротехника и электрооборудование объектов водного транспорта”
IV семестр II курса
специальность 10.05.03 "Информационная безопасность автоматизированных систем"

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 7

по дисциплине "Общая электротехника".

1. Синусоидальный эл. ток. Среднее и действующее значения.
2. Трех фазные выпрямители. Основные схемы и соотношения.

Зав. кафедрой профессор Хватов О.С.

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО МОРСКОГО И РЕЧНОГО ТРАНСПОРТА

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
« Волжский государственный университет водного транспорта»
(ФГБОУ ВО ВГУВТ)

Ул. Нестерова, 5 Н. Новгород, 603600
МГТК 8312 Тел. 419-79-51
Факс 419-78-61
E-MAIL:rector@vgavt.nnov.su

Кафедра “Электротехника и электрооборудование объектов водного транспорта”
IV семестр II курса
специальность 10.05.03 "Информационная безопасность автоматизированных систем"

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 8

по дисциплине "Общая электротехника".

1. Приемники эл. энергии. Их эквивалентирование при последовательном, параллельном и смешанном соединениях.
2. Однофазные выпрямители. Основные схемы соотношения.

Зав. кафедрой профессор Хватов О.С.

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО МОРСКОГО И РЕЧНОГО ТРАНСПОРТА

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
« Волжский государственный университет водного транспорта»
(ФГБОУ ВО ВГУВТ)

Ул. Нестерова, 5 Н. Новгород, 603600
МГТК 8312 Тел. 419-79-51
Факс 419-78-61
E-MAIL:rector@vgavt.nnov.su

Кафедра “Электротехника и электрооборудование объектов водного транспорта”
IV семестр II курса
специальность 10.05.03 "Информационная безопасность автоматизированных систем"

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 9

по дисциплине "Общая электротехника".

1. Векторные диаграммы эл. цепей.
2. Транзисторы их свойства и характеристики.

Зав. кафедрой профессор Хватов О.С.

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО МОРСКОГО И РЕЧНОГО ТРАНСПОРТА

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
« Волжский государственный университет водного транспорта»
(ФГБОУ ВО ВГУВТ)

Ул. Нестерова, 5 Н. Новгород, 603600
МГТК 8312 Тел. 419-79-51
Факс 419-78-61
E-MAIL:rector@vgavt.nnov.su

Кафедра “Электротехника и электрооборудование объектов водного транспорта”
IV семестр II курса
специальность 10.05.03 "Информационная безопасность автоматизированных систем"

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 10

по дисциплине "Общая электротехника".

1. Символический метод расчета линейной эл. цепи.
2. Полупроводниковые диоды и тиристоры, их свойства и характеристики.

Зав. кафедрой профессор Хватов О.С.

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО МОРСКОГО И РЕЧНОГО ТРАНСПОРТА

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
« Волжский государственный университет водного транспорта»
(ФГБОУ ВО ВГУВТ)

Ул. Нестерова, 5 Н. Новгород, 603600
МГТК 8312 Тел. 419-79-51
Факс 419-78-61
E-MAIL:rector@vgavt.nnov.su

Кафедра “Электротехника и электрооборудование объектов водного транспорта”
IV семестр II курса
специальность 10.05.03 "Информационная безопасность автоматизированных систем"

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 11

по дисциплине "Общая электротехника".

1. Активная, реактивная и полная мощности. Баланс мощностей.
2. Полупроводниковые приборы, их классификация.

Зав. кафедрой профессор Хватов О.С.

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО МОРСКОГО И РЕЧНОГО ТРАНСПОРТА

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
« Волжский государственный университет водного транспорта»
(ФГБОУ ВО ВГУВТ)

Ул. Нестерова, 5 Н. Новгород, 603600
МГТК 8312 Тел. 419-79-51
Факс 419-78-61
E-MAIL:rector@vgavt.nnov.su

Кафедра “Электротехника и электрооборудование объектов водного транспорта”
IV семестр II курса
специальность 10.05.03 "Информационная безопасность автоматизированных систем"

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 12

по дисциплине "Общая электротехника".

1. Коэффициент мощности. Способы его повышения.
2. Электроприводы транспортных механизмов.

Зав. кафедрой профессор Хватов О.С.

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО МОРСКОГО И РЕЧНОГО ТРАНСПОРТА

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
« Волжский государственный университет водного транспорта»
(ФГБОУ ВО ВГУВТ)

Ул. Нестерова, 5 Н. Новгород, 603600
МГТК 8312 Тел. 419-79-51
Факс 419-78-61
E-MAIL:rector@vgavt.nnov.su

Кафедра “Электротехника и электрооборудование объектов водного транспорта”
IV семестр II курса
специальность 10.05.03 "Информационная безопасность автоматизированных систем"

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 13

по дисциплине "Общая электротехника".

1. Последовательное соединение резистора, катушки индуктивности и конденсатора. Треугольники напряжений и сопротивлений.
2. Управляемые выпрямители

Зав. кафедрой профессор Хватов О.С.

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО МОРСКОГО И РЕЧНОГО ТРАНСПОРТА

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
« Волжский государственный университет водного транспорта»
(ФГБОУ ВО ВГУВТ)

Ул. Нестерова, 5 Н. Новгород, 603600
МГТК 8312 Тел. 419-79-51
Факс 419-78-61
E-MAIL:rector@vgavt.nnov.su

Кафедра “Электротехника и электрооборудование объектов водного транспорта”
IV семестр II курса
специальность 10.05.03 "Информационная безопасность автоматизированных систем"

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 14

по дисциплине "Общая электротехника".

1. Резонанс токов.
2. Трехфазные эл. цепи. Соединение нагрузки звездой.

Зав. кафедрой профессор Хватов О.С.

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО МОРСКОГО И РЕЧНОГО ТРАНСПОРТА

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
« Волжский государственный университет водного транспорта»
(ФГБОУ ВО ВГУВТ)

Ул. Нестерова, 5 Н. Новгород, 603600
МГТК 8312 Тел. 419-79-51
Факс 419-78-61
E-MAIL:rector@vgavt.nnov.su

Кафедра “Электротехника и электрооборудование объектов водного транспорта”
IV семестр II курса
специальность 10.05.03 "Информационная безопасность автоматизированных систем"

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 15

по дисциплине "Общая электротехника".

1. Резонанс напряжений.
2. Трехфазные цепи. Соединение нагрузки треугольником.

Зав. кафедрой профессор Хватов О.С.

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО МОРСКОГО И РЕЧНОГО ТРАНСПОРТА

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
« Волжский государственный университет водного транспорта»
(ФГБОУ ВО ВГУВТ)

Ул. Нестерова, 5 Н. Новгород, 603600
МГТК 8312 Тел. 419-79-51
Факс 419-78-61
E-MAIL:rector@vgavt.nnov.su

Кафедра “Электротехника и электрооборудование объектов водного транспорта”
IV семестр II курса
специальность 10.05.03 "Информационная безопасность автоматизированных систем"

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 16

по дисциплине "Общая электротехника".

1. Мощность трехфазной цепи.
2. Электрические измерения в однофазных и трехфазных цепях. Измерение напряжения, тока, мощности.

Зав. кафедрой профессор Хватов О.С.

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО МОРСКОГО И РЕЧНОГО ТРАНСПОРТА

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
« Волжский государственный университет водного транспорта»
(ФГБОУ ВО ВГУВТ)

Ул. Нестерова, 5 Н. Новгород, 603600
МГТК 8312 Тел. 419-79-51
Факс 419-78-61
E-MAIL:rector@vgavt.nnov.su

Кафедра “Электротехника и электрооборудование объектов водного транспорта”
IV семестр II курса
специальность 10.05.03 "Информационная безопасность автоматизированных систем"

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 17

по дисциплине "Общая электротехника".

1. Электроизмерительные приборы. Расширение пределов измерений. Измерительные трансформаторы.
2. Трансформаторы. Схемы замещения и векторные диаграммы.

Зав. кафедрой профессор  Хватов О.С.

ИТОГОВОЕ ТЕСТОВОЕ ЗАДАНИЕ

по дисциплине: «Общая электротехника» специальности 10.05.03 «Информационная безопасность автоматизированных систем».

Общее время выполнения: 60 минут.

Общая инструкция: внимательно прочитайте каждый вопрос и выберите или дайте ответ в соответствии с предложенной инструкцией.

Оцениваемые компетенции:

ОПК-4. Способен анализировать физическую сущность явлений и процессов, лежащих в основе функционирования микроэлектронной техники, применять основные физические законы и модели для решения задач профессиональной деятельности.

БАЗОВЫЙ УРОВЕНЬ

Базовый уровень:

1. Что такое электрический ток?		
#	**Ответы**	**Ответ курсанта**
А.	Упорядоченное движение заряженных частиц	
Б.	Давление электронов в проводнике	
В.	Сопротивление проводника движению зарядов	
Г.	Мощность, потребляемая нагрузкой	

2. Какое соединение потребителей называется параллельным?		
#	**Ответы**	**Ответ курсанта**
А.	Когда конец первого элемента соединён с началом второго	
Б.	Когда все элементы соединены последовательно в одну цепь	
В.	Когда элементы соединены треугольником	
Г.	Когда начала и концы всех элементов соединены в общих точках	

3. Какой полупроводниковый прибор используется для выпрямления переменного тока в судовых источниках питания?		
#	**Ответы**	**Ответ курсанта**
А.	Транзистор	
Б.	Диод	
В.	Тиристор	
Г.	Стабилитрон	

4. Как изменяется общее сопротивление цепи при последовательном соединении резисторов?		
#	**Ответы**	**Ответ курсанта**
А.	Остаётся неизменным	
Б.	Уменьшается и становится меньше наименьшего из резисторов	
В.	Равно сумме сопротивлений всех резисторов	
Г.	Зависит только от первого резистора в цепи	

5. Какая формула используется для расчёта активной мощности в цепи переменного тока?		
#	**Ответы**	**Ответ курсанта**
А.	$P = U \times I \times \cos\varphi$	
Б.	$P = U \times I \times \sin\varphi$	
В.	$P = I^2 \times R$	
Г.	$P = U^2 / R$	

ПРОДВИНУТЫЙ УРОВЕНЬ

6. Вопрос с несколькими вариантами ответа. Какие из перечисленных устройств являются источниками электрической энергии?		
#	**Ответы**	**Ответ курсанта**
А.	Аккумуляторная батарея	
Б.	Электрическая лампа накаливания	
В.	Солнечная батарея (фотоэлемент)	
Г.	Резистор (сопротивление)	
Д.	Электрогенератор	

7. Вопрос с утверждением. Ответьте «Да, верно» или «Нет, не верно». Обоснуйте свой ответ.

Утверждение: **устройство, которое преобразует электрическую энергию трехфазного переменного тока в механическую, с отставанием скорости вращения ротора от скорости вращения поля статора, называется синхронным двигателем.**

#	Ответы	Ответ курсанта
А.	Да, верно	
Б.	Нет, не верно	

8. Вопрос на соответствие. Установите соответствие между названием прибора и тем, что он измеряет.

№	Прибор
1. Амперметр	А) Электрическое напряжение
2. Вольтметр	Б) Силу электрического тока
3. Омметр	В) Электрическое сопротивление
4. Ваттметр	Г) Электрическую мощность
5. Счётчик электроэнергии	Д) Потреблённую электрическую энергию за время

Форма ответов

1	2	3	4	5

ВЫСОКИЙ УРОВЕНЬ

9. Практическая задача.

К батарейке напряжением 9 В подключена лампочка сопротивлением 30 Ом.

Опишите порядок расчёта (числовой ответ приводить необязательно, важно показать логику):

а) какой закон используется для расчёта силы тока;

б) как найти силу тока, протекающего через лампочку;

в) как рассчитать мощность, потребляемую лампочкой.

Ваш ответ:

10. В трехфазную сеть с линейным напряжением 380 В включают трехфазный двигатель, каждая из обмоток которого рассчитана на 220 В. Как следует соединить обмотки двигателя? Поясните свой ответ.

Ваш ответ: