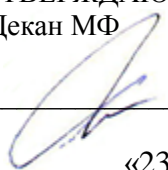


ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«КАМЧАТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
(ФГБОУ ВО «КамчатГТУ»)

Мореходный факультет

Кафедра «Энергетические установки и электрооборудование судов»

УТВЕРЖДАЮ  
Декан МФ

 /С.Ю. Труднев/  
«23» октября 2024 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

**ЭЛЕМЕНТЫ И ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА СУДОВОЙ АВТОМАТИКИ**

по направлению подготовки  
13.03.02 «Энергетика и электротехника»  
(уровень бакалавриат)

профиль: «Электрооборудование и автоматика судов»  
квалификация: бакалавр

Рабочая программа дисциплины составлена на основании ФГОС ВО по направлению подготовки 13.03.02 «Энергетика и электротехника» (уровень бакалавриат), учебного плана подготовки, принятого на заседании ученого совета ФГБОУ ВО «КамчатГТУ» 02.10.2024 г., протокол № 2

Составитель рабочей программы

Доцент кафедры «ЭУЭС»



Толстова Л.А.

Рабочая программа рассмотрена на заседании кафедры «ЭУЭС»

«17» октября 2024 г, протокол № 4

Заведующий кафедрой «ЭУЭС»

к.т.н., доцент

«23» октября 2024 г.



Белов О.А.

## 1. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Целью освоения дисциплины «Элементы и функциональные устройства судовой автоматики» является формирование глубоких знаний в области номенклатуры, принципов построения, алгоритмов функционирования, методов анализа устройств судовой автоматики, также выработка умений и навыков, необходимых для расчета и выбора элементов, диагностики и настройки.

Задачи изучения дисциплины заключаются в приобретении студентами теоретических и практических знаний, необходимых для грамотной эксплуатации элементов и функциональных устройств судовой автоматики, комплексное формирование общекультурных и профессиональных компетенций обучающихся.

Предметом данного курса является всестороннее изучение судовых элементов судовой автоматики: датчиков, усилительных элементов, функциональных преобразовательных элементов, в том числе АЦП и ЦАП, исполнительных двигателей.

## 2. ТРЕБОВАНИЯ К РЕЗУЛЬТАТАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование профессиональных компетенций:

ПК-1 Способен осуществлять безопасное техническое использование, техническое обслуживание, диагностирование судового электрооборудования, электроники и электротехнических средств автоматики машинного отделения, включая системы управления главной двигательной установки, вспомогательных механизмов, гребной электрической установки и электростанции.

ПК-3 Способен осуществлять безопасное техническое использование, техническое обслуживание, диагностирование судового электрооборудования, электроники и электротехнических средств автоматики палубных механизмов, тралового и грузоподъемного оборудования.

Планируемые результаты обучения при изучении дисциплины, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы, представлены в таблице.

Таблица - Планируемые результаты обучения при изучении дисциплины, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы:

Код компетенции	Наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения	Планируемый результат обучения по дисциплине	Код показателя освоения
ПК-1	Способен производить оценку технического состояния электрооборудования	ИД-1 <sub>ПК-1</sub> . Знает устройство (конструкцию) электрооборудования и устройств автоматики	<b>Знать:</b> – устройство, принцип действия и эксплуатационные характеристики отдельных элементов и системы в целом; – физические процессы и свойства элементов в статических и динамических режимах работы; – организацию технической эксплуатации, технического обслуживания и ремонта судовых элементов автоматики; – основы безопасной эксплуатации и требования Регистра РФ, предъявляемые к судовым системам и элементам автоматики.	3(ПК-1)1
		ИД-2 <sub>ПК-1</sub> . Знает гребные электрические установки судов, электродвигатели и системы управления		3(ПК-1)2
		ИД-3 <sub>ПК-1</sub> . Знает высоковольтные технологии, включая специальный тип высоковольтных систем и паспорты, связанные с рабочим напряжением более 1000 вольт		3(ПК-1)3
		ИД-4 <sub>ПК-1</sub> Умеет анализировать параметры технического состояния электрооборудования ИД-5 <sub>ПК-1</sub> Умеет рабо-		3(ПК-1)4

		<p>гатель с технической документацией по эксплуатации электрооборудования и автоматики</p>	<p><b>Уметь:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– выбирать состав действующих технических элементов автоматики</li> <li>– оценивать режим работы и техническое состояние работающих элементов автоматики или системы по контрольным параметрам и признакам их нормальной работы;</li> <li>– осуществлять поиск и устранение неисправностей, организовывать техническое обслуживание и ремонт элементов автоматики или системы.</li> </ul> <p><b>Владеть:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>–приёмами эксплуатации судовых элементов автоматики;</li> <li>–построением и чтением электрических схем;</li> <li>–использованием технической документации и ведением судовой эксплуатационной документации.</li> </ul>	<p><b>У(ПК-1)1</b></p> <p><b>У(ПК-1)2</b></p> <p><b>У(ПК-1)3</b></p>
			<p><b>Владеть:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>–приёмами эксплуатации судовых элементов автоматики;</li> <li>–построением и чтением электрических схем;</li> <li>–использованием технической документации и ведением судовой эксплуатационной документации.</li> </ul>	<p><b>В(ПК-1)1</b></p> <p><b>В(ПК-1)2</b></p> <p><b>В(ПК-1)3</b></p>
ПК-3	Способен планировать и вести деятельность по техническому обслуживанию и ремонту электрооборудования	<p>ИД-1<sub>ПК-3</sub>. Знает устройство (конструкцию) электрооборудования и устройств автоматики</p> <p>ИД-2<sub>ПК-3</sub>. Знает назначение и технические характеристики электрооборудования и устройств автоматики палубных механизмов, тралового и грузоподъемного оборудования</p> <p>ИД-3<sub>ПК-3</sub>. Умеет анализировать параметры технического состояния электрооборудования</p> <p>ИД-4<sub>ПК-3</sub>. Умеет работать с технической документацией по эксплуатации электрооборудования и автоматики</p>	<p><b>Знать:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– принцип работы судовых элементов автоматики и систем;</li> <li>– основные принципы и правила подготовки судовых элементов автоматики и систем к действию;</li> <li>– основные принципы диагностирования и алгоритмы поиска неисправностей судовых автоматизированных электроэнергетических систем</li> </ul>	<p><b>З(ПК-3)1</b></p> <p><b>З(ПК-3)2</b></p> <p><b>З(ПК-3)3</b></p>
			<p><b>Уметь:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– читать электрические схемы;</li> <li>– находить неисправность в системе;</li> </ul>	<p><b>У(ПК-3)1</b></p> <p><b>У(ПК-3)2</b></p>
			<p><b>Владеть:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– навыками эксплуатации судовых элементов автоматики и систем;</li> <li>– основными положениями правил технической эксплуатации элементов и систем</li> </ul>	<p><b>В(ПК-3)1</b></p> <p><b>В(ПК-3)2</b></p>

### 3. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

Учебная дисциплина «Элементы и функциональные устройства автоматики» относится к части, формируемой участниками образовательных отношений в структуре основной профессиональной образовательной программы.

*Связь с предшествующими и последующими дисциплинами*

Данная дисциплина базируется на совокупности таких дисциплин, как «Физика», «Теоретические основы электротехники», «Судовые электрические машины», «Судовая электроника», «Теория автоматического управления».

Результаты освоения дисциплины используются при изучении последующих дисциплин профессионального цикла ООП, обеспечивающих дальнейшую подготовку в указанной области: «Основы технической эксплуатации судового электрооборудования и средств автоматики», «Системы управления энергетическими процессами и технологическими процессами».

Знания, умения и навыки, полученные по программе дисциплины, используются и углубляются при прохождении студентами практик и научно-исследовательской работы, выполнении выпускной квалификационной работы.

### 4. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

#### 4.1 Тематический план дисциплины

*Заочная форма обучения*

Наименование разделов и тем	Всего часов	Аудиторные занятия	Контактная работа по видам учебных занятий			Самостоятельная работа	Формы текущего контроля	Итоговый контроль знаний
			Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы			
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Тема 1. Общие понятия об элементах судовых автоматизированных систем управления.	7	2	2			5	Контроль СРС, защита практических и лабораторных работ, опрос	
Тема 2. Статические характеристики элементов автоматики.	10	2	2			8		
Тема 3. Динамические характеристики элементов автоматики.	12	2	2			10		
Тема 4. Математическое описание элементов автоматики.	8					8		
Тема 5. Структурные схемы измерительных преобразователей.	10	2		2		8		
Тема 6. Индуктивные и емкостные преобразователи в судовой автоматике.	10	2			2	8	Контроль СРС, защита практических и лабораторных работ, опрос	
Тема 7. Индукционные чувствительные элементы.	12	2		2		10		
Тема 8. Сельсины.	8	2	2			6		
Тема 9. Датчики судовой автоматики.	18	2			2	16		
Тема 10. Следящая система с синусно-косинусными поворотными трансформаторами.	10					10		
Тема 11. Усилительные элементы судовой автоматики.	7	2		2		5	Контроль СРС, защита практических и лабораторных работ, опрос	
Тема 12. Магнитные усилители судовой автоматики.	12	4	2	2		8		
Тема 13. Гидравлические и пневматические элементы судовой автоматики.	16					16		
Тема 14. Функциональные элементы автоматики.	14	4	2		2	10		
Тема 15. Исполнительные элементы судовой автоматики. Условия устойчивой работы исполнительных двигателей.	17	2			2	15		

Экзамен	9							Защита Кр	9
Всего	180	28	12	8	8	143			9

#### 4.2 Содержания дисциплины по темам

*Тема 1 Лекция 1.* Общие понятия об элементах судовых автоматизированных систем управления.

Рассматриваемые вопросы:

Классификация элементов автоматики. Датчики. Усилители. Преобразователи. Функциональные устройства судовой автоматики.

*Тема 2. Лекция 2.* Статические характеристики элементов автоматики.

Рассматриваемые вопросы:

Статический режим работы элементов автоматики. Статические характеристики элементов автоматики. Коэффициент усиления.

*Практическое занятие 1.* Измерительные схемы параметрических датчиков: изучение измерительных схем параметрических датчиков

*Лабораторное занятие 1.* Исследование потенциометрических датчиков: изучение принципа действия, схем включения потенциометрических датчиков (задающих устройств), исследование влияния нагрузки на характеристики устройств.

*Основные понятия:* Датчики. Усилители. Преобразователи. Функциональные устройства судовой автоматики. Статические характеристики элементов автоматики. Измерительные схемы параметрических датчиков. Схемы включения потенциометрических датчиков.

*Вопросы для самоконтроля.*

1. На какие классы делятся электрические датчики по принципу действия.
2. Какие измерительные схемы используются в датчиках.
3. В чем состоит назначение потенциометрических преобразователей в системах автоматики?
4. Какие достоинства и недостатки можно выделить у потенциометрических датчиков?

*Литература:* [7, с. 57-62, 7, с. 2-10]

*Тема 3. Лекция 3.* Динамические характеристики элементов автоматики.

Рассматриваемые вопросы:

Переходная характеристика. Характерные переходные характеристики. Динамические параметры элементов автоматики.

*Тема 4. Лекция 4.* Математическое описание элементов автоматики.

Рассматриваемые вопросы:

Уравнения статики. Уравнения динамики.

*Практическое занятие 2.* Чувствительные элементы параметрических датчиков: классификация современных чувствительных элементов параметрических датчиков.

*Лабораторное занятие 2.* Исследование датчиков температуры: изучение принципов действия, характеристики схем включения датчиков температуры–термопары, терморезистора и термистора.

*Основные понятия:* Переходная характеристика. Динамические параметры элементов автоматики. Уравнения статики. Уравнения динамики. Чувствительные элементы параметрических датчиков. Схемы включения датчиков температуры–термопары, терморезистора и термистора.

*Вопросы для самоконтроля.*

1. Устройство и принцип действия термоэлементов судовой автоматики.
2. Сферы применения термоэлементов в судовой автоматике.
3. По каким характеристикам выбирается тип термопары.

*Литература:* [7, с. 52-68, 7, с. 10-15]

*Тема 5. Лекция 5.* Структурные схемы измерительных преобразователей.

Рассматриваемые вопросы:

Структурные схемы прямого преобразования. Структурные схемы с аналоговым выходом. Структурная схема дифференциального преобразователя.

*Тема 6. Лекция 6.* Индуктивные и емкостные преобразователи в судовой автоматике.

Рассматриваемые вопросы:

Индуктивные преобразователи в судовой автоматике. Емкостные преобразователи в судовой автоматике.

*Практическое занятие 3.* Генераторные чувствительные элементы: Термоэлектрические чувствительные элементы (термопары), фотоэлектрические чувствительные элементы (фотодиоды).

*Лабораторное занятие 3.* Исследование асинхронного тахогенератора: устройство и принцип действия асинхронных тахогенераторов переменного тока. Рабочие характеристики асинхронного тахогенератора переменного тока с полым немагнитным ротором.

*Основные понятия:* Структурные схемы прямого преобразования. Структурные схемы с аналоговым выходом. Структурная схема дифференциального преобразователя. Индуктивные и емкостные преобразователи в судовой автоматике. Термоэлектрические чувствительные элементы (термопары), фотоэлектрические чувствительные элементы (фотодиоды). Рабочие характеристики асинхронного тахогенератора переменного тока с полым немагнитным ротором.

*Вопросы для самоконтроля.*

1. Опишите структурные схемы измерительных преобразователей.
2. Устройство и принцип действия индуктивных и емкостных преобразователей.
3. Принцип действия термопары.
4. Опишите термоэлектрический эффект.
5. Где на судах используются фоторезисторы и пьезоэлементы.

*Литература:* [7, с. 68-76, 7, с. 16-22]

*Тема 7. Лекция 7.* Индукционные чувствительные элементы.

Рассматриваемые вопросы: Тахогенератор постоянного тока. Асинхронные тахогенераторы. Вращающиеся трансформаторы.

*Тема 8. Лекция 8.* Сельсины. Рассматриваемые вопросы:

Устройство и принцип действия. Индикаторный и трансформаторный режимы работы.

*Практическое занятие 4.* Индукционные чувствительные элементы: Индукционный частотный преобразователь частоты вращения. Поворотные (вращающиеся) трансформаторы.

*Лабораторное занятие 4.* Исследование сельсинов: Индикаторный и трансформаторный режимы работы сельсинов.

*Основные понятия:* Тахогенератор постоянного тока. Асинхронные тахогенераторы. Вращающиеся трансформаторы. Устройство и принцип действия сельсинов. Индикаторный и трансформаторный режимы работы сельсинов. Поворотные (вращающиеся) трансформаторы.

*Вопросы для самоконтроля.*

1. Устройство и принцип действия тахогенератора постоянного тока.
2. Устройство и принцип действия асинхронного тахогенератора.
3. Устройство и принцип действия сельсинов.
4. Поясните различие в режимах работы сельсинов.
5. Где в судовой автоматике применяют индукционные чувствительные элементы.
6. Как подразделяют в зависимости от закона изменения выходного напряжения поворотные трансформаторы.

*Литература:* [7, с. 76-82, 7, с. 23-30]

*Тема 9. Лекция 9.* Датчики судовой автоматике. Рассматриваемые вопросы:

Датчики уровня в судовой автоматике. Датчики давления в судовой автоматике.

*Тема 10. Лекция 10.* Следящая система с синусно-косинусными поворотными трансформаторами.

Рассматриваемые вопросы: Состав системы. Структурная схема системы. Принцип действия следящей системы.

*Практическое занятие 5.* Обратные связи в судовых усилителях: обратная связь по напряжению, по току, последовательная обратная связь, параллельная обратная связь.

*Лабораторное занятие 5.* Исследование неинверсивного магнитного усилителя: статические характеристики неинверсивного МУ.

*Основные понятия:* Датчики уровня в судовой автоматике. Датчики давления в судовой автоматике. Следящая система с синусно-косинусными поворотными трансформаторами. Обратная связь по напряжению, по току, последовательная обратная связь, параллельная обратная связь. Неревверсивный МУ.

*Вопросы для самоконтроля.*

1. Устройство и принцип действия датчиков уровня и давления.
2. Следящая система с синусно-косинусными поворотными трансформаторами: Состав системы. Структурная схема системы. Принцип действия следящей системы.
3. Какие физические процессы лежат в основе работы МУ?
4. Каково значение обратных связей в МУ?
5. Укажите области применения МУ в судовой автоматике.

*Литература:* [7, с. 82-86, с. 31-36]

*Тема 11. Лекция 11.* Усилительные элементы судовой автоматике.

Рассматриваемые вопросы: Классификация усилительных элементов судовой автоматике. Электромашинные усилители.

*Тема 12. Лекция 2.5.* Магнитные усилители судовой автоматике. Рассматриваемые вопросы:

Принцип действия и статические характеристики. Типы и основные схемы магнитных усилителей. Физические процессы в неревверсивных магнитных усилителях.

*Практическое занятие 6.* Стабилизаторы в судовой автоматике: Параметрические стабилизаторы. Компенсационные стабилизаторы. Стабилитроны, стабисторы.

*Лабораторное занятие 6.* Исследование типовых регуляторов на базе операционного усилителя: устройство и принцип действия операционного усилителя. Схемы операционных усилителей.

*Лабораторное занятие 7.* Исследование типовых регуляторов на базе операционного усилителя: моделирование пропорциональных регуляторов на базе операционного усилителя.

*Лабораторное занятие 8.* Исследование типовых регуляторов на базе операционного усилителя: моделирование пропорционально-интегральных и пропорционально-интегрально- дифференциальных регуляторов на базе операционного усилителя.

*Основные понятия:* Электромашинные усилители. Принцип действия магнитного усилителя. Статические характеристики МУ. Типы и основные схемы магнитных усилителей. Физические процессы в неревверсивных магнитных усилителях. Параметрические стабилизаторы. Компенсационные стабилизаторы. Стабилитроны, стабисторы. Схемы операционных усилителей.

*Вопросы для самоконтроля.*

1. Классификация усилительных элементов судовой автоматике.
2. Устройство и принцип действия электромашинного усилителя.
3. Устройство и принцип действия магнитного усилителя.
4. Опишите основные схемы магнитных усилителей.
5. Как классифицируют стабилизаторы по принципу действия
6. Основные параметры стабилизаторов.
7. Опишите виды и схемы типовых регуляторов на базе операционного усилителя.

*Литература:* [7, с. 87-91, с. 36-44]

*Тема 13. Лекция 13.* Гидравлические и пневматические элементы судовой автоматике.

Рассматриваемые вопросы: Общая характеристика. Классификация гидравлических и пневматических элементов судовой автоматике.

*Тема 14. Лекция 14.* Функциональные элементы автоматике. Рассматриваемые вопросы:

Функциональные потенциометры и резисторы. Функциональные преобразователи. Логические функциональные элементы автоматике.

*Тема 15. Лекция 15.* Исполнительные элементы судовой автоматике. Условия устойчивой работы исполнительных двигателей. Рассматриваемые вопросы: Классификация электрических исполнительных устройств. Электродвигатели постоянного тока как исполнительные элементы автоматике. Асинхронные двигатели как исполнительные элементы автоматике. Первое условие устойчивой работы исполнительных двигателей. Второе условие устойчивой работы исполнительных двигателей.



*Практическое занятие 7.* Исполнительные двигатели в судовой автоматике: Классификация электрических исполнительных устройств. Общие понятия и условия устойчивой работы исполнительных двигателей. Электрические исполнительные двигатели постоянного тока. Асинхронные исполнительные двигатели.

*Практическое занятие 8.* Эксплуатация элементов автоматики: Эксплуатация потенциометрических датчиков. Эксплуатация термореле и термопар.

*Практическое занятие 9.* Эксплуатация элементов автоматики: Эксплуатация асинхронных тахогенераторов. Эксплуатация сельсинов. Эксплуатация магнитных усилителей.

*Практическое занятие 10.* Эксплуатация элементов автоматики: Эксплуатация функциональных устройств автоматики: эксплуатация операционных усилителей, эксплуатация логических элементов, эксплуатация электронных блоков на основе микропроцессоров.

*Лабораторное занятие 9.* Исследование исполнительного двигателя постоянного тока.

*Лабораторное занятие 10.* Диагностирование работоспособности транзисторов, диодов и тиристоров.

*Основные понятия:* Гидравлические и пневматические элементы судовой автоматики. Функциональные потенциометры и резисторы. Функциональные преобразователи. Логические функциональные элементы автоматики. Электродвигатели постоянного тока как исполнительные элементы автоматики. Асинхронные двигатели как исполнительные элементы автоматики. Первое условие устойчивой работы исполнительных двигателей. Второе условие устойчивой работы исполнительных двигателей. Эксплуатация потенциометрических датчиков. Эксплуатация термореле и термопар. Эксплуатация асинхронных тахогенераторов. Эксплуатация сельсинов. Эксплуатация магнитных усилителей. Эксплуатация операционных усилителей, эксплуатация логических элементов, эксплуатация электронных блоков на основе микропроцессоров.

*Вопросы для самоконтроля.*

1. Какие гидравлические и пневматические элементы используются в судовой автоматике.
2. Опишите функциональные элементы судовой автоматики.
3. Исполнительные элементы судовой автоматики.
4. Эксплуатация основных элементов судовой автоматики

*Литература:* [7, с. 91-113, с. 44-57]

## **5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ**

### **5.1 Внеаудиторная самостоятельная работа курсантов / студентов**

Самостоятельная работа студентов (СРС) по дисциплине «Элементы и функциональные устройства судовой автоматики» является важной составляющей частью подготовки студентов по и выполняется в соответствии с требованиями к освоению основной образовательной программы подготовки ФГОС ВО.

Самостоятельная работа предназначена для развития навыков самостоятельного поиска необходимой информации по заданным вопросам или поставленной проблеме (теме).

В целом внеаудиторная самостоятельная работа студента при изучении дисциплины включает в себя следующие виды работ:

- проработка (изучение) материалов лекций;
- чтение и проработка рекомендованной основной и дополнительной литературы;
- подготовка к практическим занятиям;
- поиск и проработка материалов из Интернет-ресурсов, периодической печати;
- подготовка презентаций для иллюстрации материалов на заданную тему;
- подготовка к текущему и итоговому (промежуточная аттестация) контролю знаний по дисциплине (экзамен).

Основная доля самостоятельной работы студентов приходится на проработку рекомендованной литературы с целью освоения теоретического курса, подготовку к практическим занятиям, тематика которых полностью охватывает содержание дисциплины.

Для проведения практических и лабораторных занятий, для самостоятельной работы используется учебно-методическое пособие Толстова Л.А. Учебно-методическое пособие по дисциплине «Элементы и функциональные устройства судовой автоматики» для студентов очной и заочной форм обучения.

Студентам заочной формы обучения необходимо параллельно с изучением теории выполнить контрольную работу. Во время экзаменационно-лабораторной сессии защитить контрольную работу и сдать экзамен по дисциплине.

## **6. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине представлен в приложении к рабочей программе дисциплины и включает в себя:

- перечень компетенций с указанием этапов их формирования в процессе освоения образовательной программы;
- описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания;
- типовые контрольные задания или материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций;
- методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций.

### **Критерии оценивания качества устного ответа на экзамене**

*Оценка «5» (отлично)* выставляется, если обучающийся показывает всесторонние и глубокие знания программного материала, знание основной и дополнительной литературы; последовательно и четко отвечает на вопросы билета и дополнительные вопросы; уверенно ориентируется в проблемных ситуациях; демонстрирует способность применять теоретические знания для анализа практических ситуаций, делать правильные выводы, проявляет творческие способности в понимании, изложении и использовании программного материала; подтверждает полное освоение компетенций, предусмотренных программой.

*Оценка «4» (хорошо)* выставляется, если обучающийся показывает полное знание программного материала, основной и дополнительной литературы; дает полные ответы на теоретические вопросы, допуская некоторые неточности; правильно применяет теоретические положения к оценке практических ситуаций; демонстрирует хороший уровень освоения материала и в целом подтверждает освоение компетенций, предусмотренных программой.

*Оценка «3» (удовлетворительно)* выставляется, если обучающийся показывает знание основного материала в объеме, необходимом для предстоящей профессиональной деятельности; при ответе на вопросы не допускает грубых ошибок, но испытывает затруднения в последовательности их изложения; не в полной мере демонстрирует способность применять теоретические знания для анализа практических ситуаций, подтверждает освоение компетенций, предусмотренных программой на минимально допустимом уровне.

*Оценка «2» (неудовлетворительно)* выставляется, если обучающийся имеет существенные пробелы в знаниях основного учебного материала по разделу; не способен аргументировано и последовательно его излагать, допускает грубые ошибки в ответах, неправильно отвечает на задаваемые преподавателем вопросы или затрудняется с ответом; не подтверждает освоение компетенций, предусмотренных программой.

### *Вопросы для подготовки к промежуточной аттестации (экзамен)*

1. Электромагнитные исполнительные элементы автоматики.
2. Классификация элементов автоматики.
3. Статические характеристики элементов автоматики.
4. Динамические характеристики элементов автоматики.
5. Классификация измерительных преобразователей и датчиков.
6. Датчики уровня в системах судовой автоматики.
7. Измерительные схемы параметрических датчиков.
8. Тахометры, тахогенераторы.
9. Сигнализаторы уровня в судовой автоматике.
10. Реле давления в судовой автоматике.
11. Реле температуры в судовой автоматике.
12. Тензорезисторные преобразователи.
13. Термопреобразователи сопротивления медные, платиновые.
14. Термоэлектрические преобразователи (термопары).
15. Индуктивные преобразователи.
16. Трансформаторные преобразователи.
17. Пьезоэлектрические преобразователи.
18. Емкостные преобразователи.
19. Тахогенераторы как измерительные элементы судовой автоматики.
20. Асинхронный тахогенератор.
21. Магнитные усилители. Классификация, область применения, достоинства.
22. Магнитные усилители. Принцип работы.
23. Магнитные дроссели. Принцип работы.
24. Реверсивный магнитный усилитель.
25. Электромашинный усилитель с поперечным полем.
26. Сельсины. Использование в индикаторном режиме.
27. Сельсины. Использование в трансформаторном режиме.
28. Вращающиеся (поворотные) трансформаторы
29. Датчик активного тока.
30. Датчик обратной мощности.
31. Функциональные преобразователи как элементы автоматики.
32. Исполнительные двигатели судовой автоматики. Условия устойчивой работы исполнительных двигателей.
33. Шаговые электродвигатели.
34. Двухфазный асинхронный двигатель.
35. Судовые гидравлические и пневматические усилители.
36. Операционные усилители.
37. Тахогенераторы как элементы обратной связи в судовой автоматике.
38. Датчик угла рассогласования.
39. Датчик перемещения рейки топливного насоса судового дизеля.
40. Магнитоупругий датчик крутящего момента в судовой автоматике.

## **7. РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА**

### **7.1 Основная литература**

1. Жадобин Н.Е., Крылов А.П., Малышев В.А. Элементы и функциональные устройства судовой автоматики: Учебник.2-еизд., перераб. и доп. – СПб.: Элмор, 1998. 440с.

### **7.2 Дополнительная литература**

2. К, Буль, О.Б. Буль и др. Электро-механические аппараты автоматики. М.: Высшая школа. 2008. 210с.

3. Н, И, Волков, В. П. Миловзоров. Электромашинные устройства автоматики. М.: Высшая школа.2007. с.320

4. Международная конвенция о подготовке и дипломировании моряков и несении вахты 1978 г. (ПДМНВ-78) с поправками ( консолидированный текст), - СПб.: ЗАО «ЦНИИМФ», 2010г. – 806с.

5. Функциональные устройства судовых автоматизированных систем. Под редакцией профессора д.т.н. М. Н. Катханова. Л.: Судостроение. 1991, с.330.

### **7.3 Методическое обеспечение:**

6. Ушакевич А.А. Элементы и функциональные устройства судовой автоматики: Учебное пособие для студентов очной и заочной форм обучения / А.А. Ушакевич. – Петропавловск-Камчатский: КамчатГТУ, 2010. – 149 с.

7. Толстова Л.А. Учебно-методическое пособие по дисциплине «Элементы и функциональные устройства судовой автоматики» для студентов очной и заочной форм обучения / Л.А. Толстова. – Петропавловск-Камчатский: КамчатГТУ, 2016. –114 с.

## **8. ПЕРЕЧЕНЬ РЕСУРСОВ ИНФОРМАЦИОННО-ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ «ИНТЕРНЕТ»**

1. Электронно-библиотечная система «eLibrary»: [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.elibrary.ru>

## **9. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ**

**Рекомендации по освоению лекционного материала, подготовке к лекциям** Лекции являются основным видом учебных занятий в высшем учебном заведении. В ходе лекционного курса проводится изложение современных научных взглядов и освещение основных проблем изучаемой области знаний. Значительную часть теоретических знаний студент должен получать самостоятельно из рекомендованных основных и дополнительных информационных источников (учебников, Интернет-ресурсов, электронной образовательной среды университета). В тетради для конспектов лекций должны быть поля, где по ходу конспектирования делаются необходимые пометки. В конспектах рекомендуется применять сокращения слов, что ускоряет запись. Вопросы, возникшие в

ходе лекций, рекомендуется делать на полях и после окончания лекции обратиться за разъяснениями к преподавателю. После окончания лекции рекомендуется перечитать записи, внести поправки и дополнения на полях. Конспекты лекций рекомендуется использовать при подготовке к практическим занятиям и лабораторным работам, экзамену, контрольным тестам, коллоквиумам, при выполнении самостоятельных заданий.

**Рекомендации по подготовке к практическим занятиям.** Для подготовки к практическим занятиям необходимо заранее ознакомиться с перечнем вопросов, которые будут рассмотрены на занятии, рекомендуемой основной и дополнительной литературы. Необходимо прочитать соответствующие разделы из основной и дополнительной литературы, рекомендованной преподавателем, выделить основные понятия и процессы, их закономерности и движущие силы и взаимные связи. При подготовке к занятию не нужно заучивать учебный материал. На практических занятиях нужно выяснять у преподавателя ответы на интересующие или затруднительные вопросы, высказывать и аргументировать свое мнение.

**Рекомендации по организации самостоятельной работы.** Самостоятельная работа включает изучение учебной литературы, поиск информации в сети Интернет, подготовку к практическим занятиям, экзамену, выполнение самостоятельных практических заданий (рефератов, расчетно-графических заданий/работ, оформление отчетов по лабораторным работам и практическим заданиям, решение задач, изучение теоретического материала, вынесенного на самостоятельное изучение, изучение отдельных функций прикладного программного обеспечения и т.д.).

Необходимым условием успешного освоения дисциплины является прочное знание принципов описания и анализа динамических звеньев, заложенных при изучении дисциплин «Математический анализ», «Теоретические основы электротехники» и «Теория автоматического управления». Поэтому обучающийся должен при наличии пробелов в предшествующем образовании обратить первоочередное внимание на указанные разделы. Большое значение имеет навык чтения схем электронных устройств, поскольку современные функциональные устройства судовой автоматики выполнены на микроэлектронной элементной базе. Однако понимания принципов работы электронных схем невозможно достичь только изучением теоретического материала. Представления об изучаемых устройствах должны быть закреплены в процессе выполнения лабораторных работ. Настоятельно рекомендуется получить у преподавателя в личное пользование электронную версию методических указаний по выполнению лабораторных работ и перед выполнением каждой работы подготовиться по теоретическим вопросам. При выполнении лабораторных работ следует осознавать, что моделирование функциональных устройств всегда оставляет некоторую свободу в выборе способа реализации функций устройства. Поэтому следует не копировать «слепо» готовые решения, а наоборот, пытаться найти способ построения адекватной модели самостоятельно.

Все рекомендации по выполнению практических и лабораторных работ содержатся в методических указаниях [РП, 6.3, п.6, 7].

## **10. КУРСОВОЙ ПРОЕКТ (РАБОТА)**

Выполнение курсового проекта (работы) не предусмотрено учебным планом.

## **11. ПЕРЕЧЕНЬ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ПРИ ОСУЩЕСТВЛЕНИИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ, ВКЛЮЧАЯ ПЕРЕЧЕНЬ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ И ИНФОРМАЦИОННО-СПРАВОЧНЫХ СИСТЕМ**

### ***11.1 Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса***

1. электронные образовательные ресурсы, представленные в п. 7 и 8данной рабочей программы;
2. использование слайд-презентаций;

### ***11.2. Перечень программного обеспечения, используемого при осуществлении образовательного процесса***

При освоении дисциплины используется лицензионное программное обеспечение:

1. текстовый редактор MicrosoftWord;
2. электронные таблицы MicrosoftExcel;
3. презентационный редактор MicrosoftPowerPoint.

### ***11.3 Перечень информационно-справочных систем***

- Сайт об электромеханике электротехнике электронике [elektromehhanika.org](http://elektromehhanika.org)

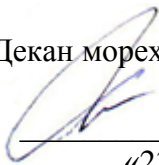
## **12. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

1. для проведения занятий лекционного типа, практических и лабораторных занятий, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации, самостоятельной работы учебная аудитория № 3-403 с комплектом учебной мебели на 32 посадочных места;
2. доска аудиторная;
3. комплект лекций в MicrosoftWord по темам курса «ЭиФУСА»;
4. мультимедийное оборудование (ноутбук, проектор);
5. плакаты;
6. обучающие программные пакеты;
7. методические пособия;
8. компьютеры;
9. плакаты;
10. схемы.

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«КАМЧАТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
(ФГБОУ ВО «КамчатГТУ»)

Факультет МОРЕХОДНЫЙ

Кафедра «ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ И ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ СУДОВ»

УТВЕРЖДАЮ  
Декан мореходного факультета  
  
С.Ю. Труднев  
«23» октября 2024 г.

**ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДИСЦИПЛИНЫ**  
**«Элементы и функциональные устройства судовой автоматики»**

по направлению подготовки  
13.03.02 «Энергетика и электротехника»  
(уровень бакалавриат)

профиль: «Электрооборудование и автоматика судов»  
квалификация: бакалавр

Петропавловск-Камчатский  
2024

Фонд оценочных средств дисциплины составлен на основании ФГОС ВО по специальности 13.03.02 «Энергетика и электротехника» (уровень бакалавриат), учебного плана подготовки специалистов, принятого на заседании ученого совета ФГБОУ ВО «КамчатГТУ» 02.10.2024 г., протокол № 2.

Составитель фонда оценочных средств  
Доцент кафедры «ЭУЭС»

  
\_\_\_\_\_  
(подпись)

Толстова Л.А.  
(ФИО.)

Фонд оценочных средств рассмотрен на заседании кафедры «Энергетические установки и электрооборудование судов»

«17» октября 2024 г, протокол № 4

Заведующий кафедрой «Энергетические установки и электрооборудование судов»

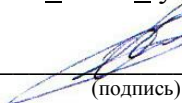
«23» октября 2024 г.



Белов О.А.

**АКТУАЛЬНО НА**

2025 / 2026 учебный год

  
\_\_\_\_\_  
(подпись)

Белов О.А.  
(ФИО. зав.кафедрой)

2026 / 2027 учебный год

\_\_\_\_\_  
(подпись)

\_\_\_\_\_  
(ФИО. зав.кафедрой)

2027 / 2028 учебный год

\_\_\_\_\_  
(подпись)

\_\_\_\_\_  
(ФИО. зав.кафедрой)

2028 / 2029 учебный год

\_\_\_\_\_  
(подпись)

\_\_\_\_\_  
(ФИО. зав.кафедрой)

2029 / 2030 учебный год

\_\_\_\_\_  
(подпись)

\_\_\_\_\_  
(ФИО. зав.кафедрой)



Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации студентов по дисциплине «**Элементы и функциональные устройства судовой автоматике**» представлен в приложении к рабочей программе дисциплины и включает в себя:

1. паспорт фонда оценочных средств по дисциплине;
2. перечень компетенций с указанием этапов их формирования в процессе освоения образовательной программы;
3. описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание их шкал оценивания;
4. методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков, характеризующих этапы формирования компетенций.

## 1 Паспорт фонда оценочных средств по дисциплине «**Элементы и функциональные устройства судовой автоматике**»

№	Контролируемые разделы (темы) дисциплины	Код контролируемой компетенции (или ее части)	Наименование оценочного средства
1	Датчики судовой автоматике	ПК-1, ПК-3	Контроль СРС, защита практических и лабораторных работ, опрос
2	Усилительные элементы судовой автоматике		
3	Функциональные элементы автоматике		
4	Исполнительные двигатели		
5	Эксплуатация элементов и функциональных устройств автоматике		

## 2 Перечень компетенций с указанием этапов их формирования в процессе освоения образовательной программы

№ п/п	Код контролируемой компетенции	Наименование контролируемой компетенции	Наименование дисциплины формирующей компетенцию	Этапы формирования компетенции				
				1 курс	2 курс	3 курс	4 курс	5 курс
1	ПК-1	Способен производить оценку технического состояния электрооборудования	Судовые информационно-измерительные системы	1				
			Техническая эксплуатация судна					5
			Ремонт и монтаж судового электрооборудования и средств автоматике					5
			Производственная практика			3	4	
			Итоговая государственная аттестация					5
2	ПК-3	Способен планировать и вести деятельность по техническому обслуживанию и ремонту электрооборудования	Судовые электроприводы			3		
			<b>Теория автоматического управления</b>			3		
			Техническая эксплуатация судна					5
			Судовые электрические и электронные аппараты					5
			Производственная практика			3	4	

## 3 Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание их шкал оценивания

### Критерии оценивания качества устного ответа

**Оценка «5» (отлично)** выставляется, если обучающийся показывает всесторонние и глубокие знания программного материала, знание основной и дополнительной литературы; последовательно и четко отвечает на вопросы билета и дополнительные вопросы; уверенно ориентируется в проблемных ситуациях; демонстрирует способность применять теоретические знания для анализа практических ситуаций, делать правильные выводы, проявляет творческие способности в понимании, изложении и использовании программного материала; подтверждает полное освоение компетенций, предусмотренных программой.

**Оценка «4» (хорошо)** выставляется, если обучающийся показывает полное знание программного материала, основной и дополнительной литературы; дает полные ответы на теоретические вопросы, допуская некоторые неточности; правильно применяет теоретические положения к оценке практических ситуаций; демонстрирует хороший уровень освоения материала и в целом подтверждает освоение компетенций, предусмотренных программой.

**Оценка «3» (удовлетворительно)** выставляется, если обучающийся показывает знание основного материала в объеме, необходимом для предстоящей профессиональной деятельности; при ответе на вопросы не допускает грубых ошибок, но испытывает затруднения в последовательности их изложения; не в полной мере демонстрирует способность применять теоретические знания для анализа практических ситуаций, подтверждает освоение компетенций, предусмотренных программой на минимально допустимом уровне.

**Оценка «2» (неудовлетворительно)** выставляется, если обучающийся имеет существенные пробелы в знаниях основного учебного материала по разделу; не способен аргументировано и последовательно его излагать, допускает грубые ошибки в ответах, неправильно отвечает на задаваемые преподавателем вопросы или затрудняется с ответом; не подтверждает освоение компетенций, предусмотренных программой.

## **Вопросы для подготовки к промежуточной аттестации**

1. Электромагнитные исполнительные элементы автоматики.
2. Классификация элементов автоматики.
3. Статические характеристики элементов автоматики.
4. Динамические характеристики элементов автоматики.
5. Классификация измерительных преобразователей и датчиков.
6. Датчики уровня в системах судовой автоматики.
7. Измерительные схемы параметрических датчиков.
8. Тахометры, тахогенераторы.
9. Сигнализаторы уровня в судовой автоматике.
10. Реле давления в судовой автоматике.
11. Реле температуры в судовой автоматике.
12. Тензорезисторные преобразователи.
13. Термопреобразователи сопротивления медные, платиновые.
14. Термоэлектрические преобразователи (термопары).
15. Индуктивные преобразователи.
16. Трансформаторные преобразователи.
17. Пьезоэлектрические преобразователи.
18. Емкостные преобразователи.
19. Тахогенераторы как измерительные элементы судовой автоматики.
20. Асинхронный тахогенератор.
21. Магнитные усилители. Классификация, область применения, достоинства.
22. Магнитные усилители. Принцип работы.
23. Магнитные дроссели. Принцип работы.
24. Реверсивный магнитный усилитель.
25. Электромашинный усилитель с поперечным полем.
26. Сельсины. Использование в индикаторном режиме.
27. Сельсины. Использование в трансформаторном режиме.

28. Вращающиеся (поворотные) трансформаторы
29. Датчик активного тока.
30. Датчик обратной мощности.
31. Функциональные преобразователи как элементы автоматики.
32. Исполнительные двигатели судовой автоматики. Условия устойчивой работы исполнительных двигателей.
33. Шаговые электродвигатели.
34. Двухфазный асинхронный двигатель.
35. Судовые гидравлические и пневматические усилители.
36. Операционные усилители.
37. Тахогенераторы как элементы обратной связи в судовой автоматике.
38. Датчик угла рассогласования.
39. Датчик перемещения рейки топливного насоса судового дизеля.
40. Магнитоупругий датчик крутящего момента в судовой автоматике.

## Опрос

*Опрос* проводит преподаватель по всем темам дисциплины. Знания, умения, навыки студента при проведении опроса оцениваются «зачтено», «не зачтено». Основой для определения оценки служит уровень освоения курсантами и студентами материала, предусмотренного данной рабочей программой.

### Оценивание студента во время дискуссии, опроса по дисциплине «Элементы и функциональные устройства судовой автоматики»

Оценка	Требования к знаниям
«Зачтено»	Оценка «зачтено» выставляется обучающемуся, который усвоил предусмотренный программный материал; правильно, с применением примеров, показал систематизированные знания по темам дисциплины, способен связать теорию с практикой, тему вопроса с другими темами данного курса, других изучаемых дисциплин.
«Не зачтено»	Оценка «не зачтено» выставляется в следующих случаях: 1. Обучающийся не справился с заданием, не может ответить на вопросы предложенные преподавателем, не обладает целостным представлением об изучаемой теме и ее взаимосвязях. 2. Ответ на вопрос полностью отсутствует. 3. Отказ от ответа.

В начале каждого лабораторного занятия студенту необходимо внимательно изучить теоретическую часть, понять устройство и принцип действия исследуемого элемента. Исследования проводятся на лабораторном стенде бригадой из 2-х человек.

По каждой лабораторной работе бригада студентов должна представить оформленный отчет и защитить его. Требования к оформлению отчета по лабораторной работе приведены в Приложении, а также в конце описания каждой работы. Как правило, отчет должен включать в себя следующие элементы: цель работы; основные теоретические сведения; результаты выполнения работы (формулы, таблицы, графики, их обработка) и выводы; ответы на контрольные вопросы. Контрольные вопросы содержатся в методических указаниях: Толстова Л.А. Учебно-методическое пособие по дисциплине «Элементы и функциональные устройства судовой автоматики» для курсантов и студентов специальности 26.05.07 «Эксплуатация судового электрооборудования и средств автоматики» очной и заочной форм обучения / Л.А. Толстова. – Петропавловск-Камчатский: КамчатГТУ, 2016. –114 с.

После выполнения каждой практической работы, необходимо ответить на вопросы тест-контроля. Тесты содержатся в методических указаниях: Толстова Л.А. Учебно-методическое пособие по дисциплине «Элементы и функциональные устройства судовой автоматики» для курсантов и студентов специальности 26.05.07 «Эксплуатация судового электрооборудования и

средств автоматики» очной и заочной форм обучения / Л.А. Толстова. – Петропавловск-Камчатский: КамчатГТУ, 2016. –114 с.

## **Методические указания по выполнению КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ**

Студент заочного факультета обязан выполнить 1 контрольную работу.

С целью качественного выполнения контрольной работы необходимо проанализировать лекционные конспекты и конспекты самостоятельной работы по пройденной теме. Проанализировать примеры решения задач методических указаний. В случае необходимости воспользоваться соответствующей технической литературой или консультацией преподавателя.

В ходе выполнения контрольной работы заниматься самоконтролем, т.е. обращать внимание за получаемыми числовыми данными электрических или магнитных параметров и анализировать поведение электрических машин главного контура применительно к полученным данным, тем самым вы обнаружите появившуюся ошибку в расчете.

Рекомендации по оформлению контрольной работы содержатся в методических указаниях: Толстова Л.А. «Элементы и функциональные устройства судовой автоматики» - методические указания к самостоятельной и контрольной работам по дисциплине для студентов обучающихся по специальности 26.05.07 «Эксплуатация судового электрооборудования и средств автоматики» заочной сокращенной формы обучения / Л.А. Толстова. – Петропавловск-Камчатский: КамчатГТУ, 2017. –27 с.

### **4 Методические материалы определяющие, процедуры оценивания знаний, умений, навыков и или опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций.**

Оценка знаний, умений и навыков и (или) опыта деятельности, характеризующие этапы формирования компетенций по дисциплине проводятся в форме текущего контроля, промежуточной и итоговой аттестации.

Текущий контроль проводится в течение сессии с целью определения уровня усвоения обучающимися знаний, формирования умений и навыков, своевременного выявления преподавателем недостатков в подготовке обучающихся и принятия необходимых мер по её коррективке, а так же для совершенствования методики обучения, организации учебной работы и оказания индивидуальной помощи обучающемуся.

Промежуточная и итоговая аттестации по дисциплине проводится в виде контрольного опроса.

За знания, умения и навыки, приобретенные обучающимися в период их обучения, выставляются оценки: «ОТЛИЧНО», «ХОРОШО», «УДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНО», «НЕУДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНО».

Для оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности в университете применяется система оценки качества освоения образовательной программы.

Оценка проводится при проведении текущего контроля успеваемости и промежуточных аттестаций обучающихся.

Рейтинговая оценка знаний является интегрированным показателем качества теоретических и практических знаний и навыков студентов по дисциплине и складывается из следующих компонентов:

Процедура оценивания – порядок действий при подготовке и проведении аттестационных испытаний и формировании оценки.

Аттестационные испытания проводятся ведущим преподавателем по данной дисциплине. Присутствие посторонних лиц в ходе проведения аттестационных испытаний без разрешения ректора или проректора не допускается (за исключением работников университета, выполняю-

щих контролирующие функции в соответствии со своими должностными обязанностями). В случае отсутствия ведущего преподавателя аттестационные испытания проводятся преподавателем, назначенным письменным распоряжением заведующим кафедрой.

Инвалиды и лица с ограниченными возможностями здоровья, допускаются на аттестационные испытания в сопровождении ассистентов-сопровождающих.

– Во время аттестационных испытаний обучающиеся могут пользоваться программой учебной дисциплины, а также с разрешения преподавателя справочной и нормативной литературой, калькуляторами.

– Время подготовки ответа при сдаче зачета/экзамена в устной форме должно составлять не менее 20/30 минут соответственно, (по желанию обучающегося ответ может быть досрочным). Время ответа – не более 15 минут.

– Оценка результатов устного аттестационного испытания объявляется обучающимся в день его проведения. При проведении письменных аттестационных испытаний или компьютерного тестирования – в день их проведения или не позднее следующего рабочего дня после их проведения.

– Результаты выполнения аттестационных испытаний, проводимых в письменной форме, форме итоговой контрольной работы или компьютерного тестирования, должны быть объявлены обучающимся и выставлены в зачётные книжки не позднее следующего рабочего дня после их проведения.

## **Критерии оценивания результатов освоения дисциплины**

Итоговая оценка выставляется по следующим критериям:

**Оценка «отлично»** выставляется за глубокое знание предусмотренного программой материала, содержащегося в основных и дополнительных рекомендованных литературных источниках, за умение четко, лаконично и логически последовательно отвечать на поставленные вопросы, за умение анализировать изучаемые явления в их взаимосвязи и диалектическом развитии, применять теоретические положения при решении практических задач; обучающийся подтверждает полное освоение компетенций, предусмотренных программой.

**Оценка «хорошо»** выставляется за твердое знание основного (программного) материала, включая расчеты (при необходимости), за грамотные, без существенных неточностей ответы на поставленные вопросы, за умение применять теоретические положения для решения практических задач; обучающийся демонстрирует хороший уровень освоения материала и в целом подтверждает освоение компетенций, предусмотренных программой.

**Оценка «удовлетворительно»** выставляется за общее знание только основного материала, за ответы, содержащие неточности или слабо аргументированные, с нарушением последовательности изложения материала, за слабое применение теоретических положений при решении практических задач; обучающийся подтверждает освоение компетенций, предусмотренных программой на минимально допустимом уровне.

**Оценка «неудовлетворительно»** выставляется за незнание значительной части программного материала, за существенные ошибки в ответах на вопросы, за неумение ориентироваться в расчетах, за незнание основных понятий дисциплины; не подтверждает освоение компетенций, предусмотренных программой.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Камчатский государственный технический университет»  
Мореходный факультет  
Кафедра «Энергетические установки и электрооборудование судов»

## **ЭЛЕМЕНТЫ И ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА СУДОВОЙ АВ- ТОМАТИКИ**

Методические указания к лабораторной работе  
*для студентов,*  
*обучающихся по направлению подготовки 13.03.02*  
*«Электроэнергетика и электротехника»*  
*профиль «Электрооборудование и*  
*автоматика судов»*  
*заочной формы обучения*

Петропавловск-Камчатский

2024

**Толстова Людмила Александровна, доцент кафедры ЭУЭС**

Элементы и функциональные устройства судовой автоматики: методические указания к лабораторной работе по дисциплине для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника» профиль «Электрооборудование и автоматика судов» заочной формы обучения / О.А. Белов – Петропавловск-Камчатский: КамчатГТУ, 2024. – с.69

Методические указания к лабораторной работе составлены в соответствии с федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования по направлению подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника» профиль «Электрооборудование и автоматика судов», утвержденного приказом Министерства науки и высшего образования Российской Федерации от 28 февраля 2018 г. № 144 (уровень бакалавриат).

Обсуждены:

на заседании кафедры ЭУЭС «17» октября 2024 г., протокол № 4

Зав. кафедрой ЭУЭС  О.А. Белов

Методические указания к лабораторной работе по дисциплине «Элементы и функциональные устройства судовой автоматики» рассмотрены и утверждены на заседании УМС протокол № 2 от «02» октября 2024 г.

## 1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1. Лабораторная работа студентов (ЛРС) по дисциплине «Элементы и функциональные устройства судовой автоматики» является важной составляющей частью подготовки студентов по направлению подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника» профиль «Электрооборудование и автоматика судов» и выполняется в соответствии с ФГОС ВО. Основной целью ЛРС является:

- развитие навыков ведения самостоятельной работы;
- приобретение опыта систематизации полученных результатов исследований, формулировку новых выводов и предложений как результатов выполнения работы;
- развитие умения использовать научно-техническую литературу и нормативно-методические материалы в практической деятельности;
- приобретение опыта публичной защиты результатов самостоятельной работы.

В соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника» профиль «Электрооборудование и автоматика судов» изучение дисциплины «Элементы и функциональные устройства судовой автоматики» направлено на формирование у выпускника следующей профессиональной компетенции:

- способность производить оценку технического состояния электрооборудования (**ПК-1**);
- способность планировать и вести деятельность по техническому обслуживанию и ремонту электрооборудования (**ПК-3**).

1.2. В результате изучения дисциплины студент должен знать:

- нормальные, аварийные, послеаварийные и ремонтные режимы работы отдельных воздушных и кабельных линий электропередачи, допустимые перегрузки по току и температурам воздушных и кабельных линий электропередачи;
- марки, конструктивное исполнение кабелей; основы трудового законодательства Российской Федерации в объеме, необходимом для выполнения трудовых обязанностей;
- передовой производственный опыт организации эксплуатации и ремонта линий электропередачи;
- порядок сдачи в ремонт и приемки из ремонта кабельных линий электропередачи;
- правила пользования инструментом и приспособлениями, применяемыми при ремонте и монтаже энергетического оборудования;
- правила технической эксплуатации электроустановок потребителей: техническое обслуживание и ремонт силовых кабелей;



- технические характеристики, конструктивные особенности основного оборудования и сооружений воздушных и кабельных линий;
- организационно-распорядительные, нормативно-технические и методические документы по вопросам эксплуатации высоковольтных линий электропередачи;
- основы экономики и организации производства, труда и управления в энергетике;
- правила технической эксплуатации электрических станций, сетей: техническое обслуживание и ремонт силовых кабелей;
- правила организации технического обслуживания и ремонта оборудования, зданий и сооружений электростанций и сетей.

### 1.3. В результате изучения дисциплины студент должен уметь:

- вести техническую и отчетную документацию;
- выявлять дефекты на кабельных линиях электропередачи;
- применять справочные материалы, анализировать научно-техническую информацию в области эксплуатации кабельных линий электропередачи;
- применять автоматизированные системы мониторинга и диагностики кабельных линий;
- работать с текстовыми редакторами, электронными таблицами, электронной почтой и браузерами, специализированными компьютерными программами;
- планировать и организовывать работу подчиненных работников;
- применять автоматизированные системы мониторинга и диагностики кабельных линий электропередачи;
- проводить визуальные и инструментальные обследования и испытания;
- разрабатывать предложения по текущему и перспективному планированию работ по техническому обслуживанию и ремонту кабельных линий электропередач.

### 1.4. В результате изучения дисциплины студент должен владеть:

- навыками подготовки, согласования и передачи исполнителям ремонта утвержденных дефектных ведомостей, проектов проведения работ, карт организации труда и технологической ремонтной документации, необходимой для производства работ на закрепленном оборудовании;
- подготовки статистической отчетности в соответствии с утвержденным перечнем;
- проведения тренировок, занятий по отработке действий персонала при чрезвычайных ситуациях, обучению безопасным приемам и методам труда, и оказанию первой помощи пострадавшим;

- сбора и анализа информации об отказах новой техники и электрооборудования;
- навыками оформления заявок на оборудование, материалы, запасные части, и др. необходимые для технического обслуживания и ремонта материальные ресурсы, а также проектно-конструкторскую и нормативно-техническую документацию, контроль выполнения заявок;
- навыками подготовки предложений в планы-графики осмотров, ремонта и технического обслуживания кабельных линий электропередачи;
- контролирует подготовку исходных и технических условий для проектирования строительства и реконструкции высоковольтных линий электропередачи;
- контроль подготовки планов-графиков осмотров, ремонта и технического обслуживания кабельных линий и контроль их выполнения;
- навыками контроля подготовки утвержденных дефектных ведомостей, проектов проведения работ и карт организации труда;
- навыками проведения аттестации и подготовки к сертификации рабочих мест на соответствие требованиям охраны труда;
- проверяет корректность расчетов, выполненных с целью обоснования планов и программ деятельности по техническому обслуживанию и ремонту кабельных линий электропередач.

## 2. ВВЕДЕНИЕ

Современные техника и технологии немислимы без автоматических систем контроля, регулирования и управления в любой сфере деятельности человека: различных видах производств, судовой автоматике, социальной сфере, бытовой технике и др. Дисциплина «Элементы и функциональные устройства судовой автоматике» относится к федеральному компоненту ФГОС ВПО раздел специальные дисциплины. В последние годы на судах флота наблюдается широкое внедрение средств автоматизации. Современное судно представляет собой сложный комплекс различных технических средств и систем, от надежной работы которых в полной мере зависят эффективность и безопасность использования судна.

Лабораторный практикум включает в себя изучение основных элементов и функциональных устройств судовой автоматике. В лабораторных работах представлены устройства судовой автоматике широко применяемые на практике в системах регулирования и управления судовыми техническими средствами.

В начале каждого лабораторного занятия студенту необходимо внимательно изучить теоретическую часть, понять устройство и принцип действия исследуемого элемента. Исследования проводятся на лабораторном стенде бригадой из 2-х человек.

По каждой лабораторной работе бригада студентов должна представить оформленный отчет и защитить его. Требования к оформлению отчета по лабораторной работе приведены в Приложении, а также в конце описания каждой работы. Как правило, отчет должен включать в себя следующие элементы:

- цель работы;
- основные теоретические сведения;
- результаты выполнения работы я (формулы, таблицы, графики, их обработка) и выводы;
- ответы на контрольные вопросы.

Содержание лабораторного практикума «Элементы и функциональные устройства автоматике» предусматривает дальнейшее использование полученных знаний при освоении дисциплины «Системы управления энергетическими и технологическими процессами», а также при выполнении курсовых и выпускных квалификационных работ.

В результате освоения лабораторных занятий студент должен приобрести *навыки*

- проводить сбор и анализ данных о режимах работы судовых систем автоматике;
- работы с программным обеспечением по вычислительным операциям и методам построения графиков и диаграмм;
- по использованию, обобщению и анализу информации о состоянии технического объекта;

- к использованию и генерированию новых идей, выявлению проблем, связанных с реализацией профессиональных функций, формулированию задач и путей их решения;
- к применению базовых знаний фундаментальных и профессиональных дисциплин для проведения технико-экономического анализа.

*Результатом освоения дисциплины "Элементы и функциональные устройства судовой автоматики" является овладение обучающимися:*

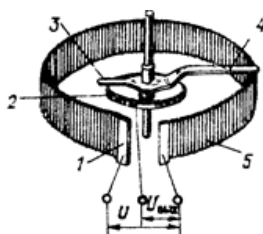
- способностью определять производственную программу по техническому обслуживанию, ремонту и другим услугам при эксплуатации судового электрооборудования и средств автоматики в соответствии с существующими требованиями (ПК-25).

## **Лабораторное занятие 1.**

### **Исследование потенциометрических датчиков**

*Цель занятия:* изучение принципа действия, схем включения потенциометрических датчиков (задающих устройств), исследование влияния нагрузки на характеристики устройств.

#### 1. Основные теоретические сведения.



Потенциометрические преобразователи служат для преобразования углового или линейного перемещений в электрический сигнал. Наибольшее применение нашли проволочные потенциометрические преобразователи с непрерывной намоткой. Потенциометрический датчик (потенциометрический преобразователь) представляет собой переменное электрическое сопротивление, величина выходного напряжения которого зависит от положения токосъемного контакта. Конструктивно потенциометр (рис. 1.1) представляет собой каркас 1 различной конфигурации, выполненный из изоляционного термостойкого материала. На каркас в один слой наматывается изолированный провод 5. Для обмотки используется проволока из сплавов с большим удельным сопротивлением и малым температурным коэффициентом сопротивления (манганин, константан, нихром, специальные сплавы платины, обладающие высокой износоустойчивостью и повышенной коррозионной стойкостью). По очищенной от изоляции контактной дорожке обмотки перемещается движок 4, выполненный в виде упругой пластины из серебра или фосфористой бронзы, либо в виде двух-трёх проволок из платины. Движок соединён щёткой 3 с токосъемным кольцом 2.

Рис.1.1 Потенциометр ( проволочный потенциометрический преобразователь).

В лабораторной работе исследуется датчик, токосъемник которого может совершать угловое перемещение. При перемещении движка потенциометра выходное напряжение  $u_{\text{вых}}$  изменяется пропорционально входному углу поворота  $\varphi_x$ . Здесь осуществляется преобразование углового перемещения в электрическое напряжение. Для режима холостого хода ( $R_H = \infty$ , рис. 1.2) статическая регулировочная характеристика датчика линейна, так как справедливо соотношение:

$$U_{\text{ВЫХ}} = \frac{U}{R} \cdot R_x, \quad (1.1)$$

где  $U$  - напряжение питания датчика (потенциометра):

$R$  - сопротивление потенциометра:

$R_x$  - сопротивление части обмотки потенциометра, соответствующее углу перемещения  $\varphi_x$  (рис.1.2).

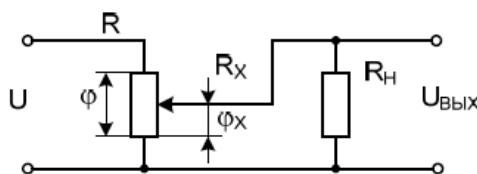


Рис.1.2 Однотактный потенциометрический датчик.

Учитывая, что,

$$\frac{R_x}{R} = \frac{\varphi_x}{\varphi} \quad (1.2)$$

где  $\varphi$  – полный угол поворота датчика

потенциометра, получим:

$$U_{\text{ВЫХ}} = \frac{U}{\varphi} \varphi_x = K \cdot \varphi_x \quad (1.3)$$

где  $K$  – коэффициент преобразования потенциометра на холостом ходу (х.х.).

В относительных единицах выражение (1) принимает вид:

$$e_{x0} = \bar{\varphi}_x \quad (1.4)$$

где  $e_{x0} = \frac{U_{\text{ВЫХ}}}{U}$  относительное значение напряжения на выходе;

$\bar{\varphi}_x = \frac{\varphi_x}{\varphi}$  – относительное значение угла поворота датчика потенциометра;

а с учетом нагрузки  $R_H \neq \infty$  получим, что

$$U_{\text{ВЫХ}} = \frac{R_X \cdot R_H}{R \cdot R_H + R \cdot R_X - R_X^2} \cdot U$$

(1.5)

или в относительных единицах

$$e_X = \frac{r_X \cdot \beta}{\beta + r_X(1 - r_X)} = \frac{\beta \cdot \bar{\varphi}_X}{\beta + \bar{\varphi}_X(1 - \bar{\varphi}_X)}, \quad (1.6)$$

$r_X = \frac{R_X}{R}$  – относительное значение сопротивления обмотки потенциометра, соответствующее углу поворота  $\varphi_X$ ;  $\beta = \frac{R_H}{R}$  – коэффициент нагрузки.

Относительная ошибка, вызываемая нагрузкой, определится выражением:

$$\delta = e_{X_0} - e_X = r_X - \frac{r_X \cdot \beta}{\beta + r_X(1 - r_X)} = \frac{r_X^2(1 - r_X)}{\beta + r_X(1 - r_X)}$$

Или

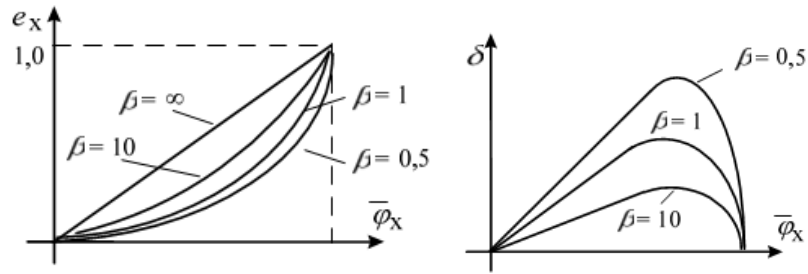
$$\delta = e_{X_0} - e_X = \bar{\varphi}_X - \frac{\beta \cdot \bar{\varphi}_X}{\beta + \bar{\varphi}_X(1 - \bar{\varphi}_X)} = \frac{\bar{\varphi}_X^2(1 - \bar{\varphi}_X)}{\beta + \bar{\varphi}_X(1 - \bar{\varphi}_X)}. \quad (1.7)$$

Если в выражении (1.6) принять постоянным коэффициент нагрузки  $\beta = const$ , то, изменяя  $\bar{\varphi}_X$  получим статическую регулировочную характеристику  $e_X = F(\bar{\varphi}_X)$  при  $R_H = const$ .

Изменяя  $R_H$  при постоянном значении  $\bar{\varphi}_X$  получим статическую внешнюю характеристику  $e_X = f(R_H)$  при  $\bar{\varphi}_X = const$ .

Из приведенных на рисунке 1.3 зависимостей следует, что с увеличением величины сопротивления нагрузки, т.е. с увеличением значения коэффициента нагрузки  $\beta$ , искажение зависимости  $e_X$  и величина ошибки  $\delta$  уменьшаются.

Приведенная статическая регулировочная характеристика (рис.1.3, а) позволяет заключить, что рассмотренный потенциометрический датчик не реагирует на знак входного сигнала, т.е. он относится к классу однопольных элементов.



а) Статические регулировочные характеристики при  $\beta=0,5;1;10;\infty$

б) Зависимости относительной ошибки от входного сигнала при  $\beta=0,5;1;10$ .

Рис.1.3 Характеристики однотактного потенциометра.

Рассмотренный датчик (рис. 1.2) позволяет измерять перемещение одного знака, т. е. полярность выходного напряжения остаётся неизменной, а изменяется только по величине. В тех случаях, когда необходимо получить информацию о перемещении вперёд или назад, вверх или вниз, вправо или влево относительно какого-то нулевого положения, на потенциометрах собирается так называемая двухтактная (реверсивная) потенциометрическая схема.

Существует несколько схем включения потенциометров, образующих двухтактный потенциометрический датчик. На рис. 1.4 приведена одна из них.

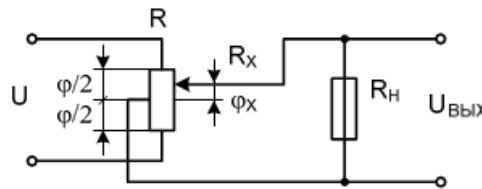


Рис.1.4 Двухтактный потенциометрический датчик.

Для данной реверсивной схемы (рис.1. 3) напряжение на нагрузке

$$e_x = \frac{\beta \cdot r_x}{2\beta + r_x(1 - 0,5r_x)} = \frac{\beta \cdot \bar{\varphi}_x}{2\beta + \bar{\varphi}_x(1 - 0,5\bar{\varphi}_x)}, \quad (1.8)$$

где

$$r_x = \frac{R_x}{0,5R} = \frac{\varphi_x}{0,5\varphi}. \quad (1.9)$$

Знак величины  $e_x$  определяется местоположением токосъемника относительно средней точки (т.е. больше (меньше), выше (ниже) какого-то фиксированного значения).

Кроме того, существуют другие схемы специальных двухтактных потенциометрических датчиков, две из которых показаны на рис.1.5. Схема, показанная на рис.1.5, а обладает несимметричной регулировочной характеристикой,

так как нагрузка подключается к делителю напряжения 1:10. Схема на рис. 1.5, б подключается между токоёмниками двух потенциометров, которые располагаются на одной оси вращения.

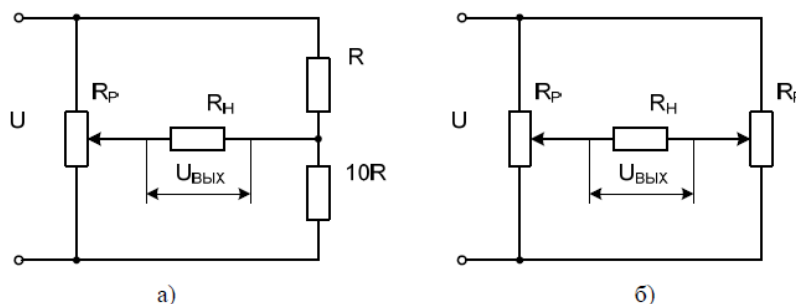


Рис.1.5 Специальные двухтактные потенциометрические датчики.

Достоинствами потенциометрических датчиков являются малая масса и габариты, сравнительная простота конструкции, возможность питания от источника как постоянного, так и переменного тока, безынерционность. К недостаткам следует отнести наличие скользящего контакта, который обуславливает низкую надёжность.

Датчики с использованием потенциометров нашли широкое применение в системах управления рулевыми устройствами, гребными электрическими установками (ГЭУ).

## 2. Приборы и оборудование.

2.1. Переменный резистор  $R_p$  типа ППБ-50Г, размещенный на лабораторном стенде.

2.2. Микроультиметр цифровой ММЦ-01 – 2 шт.

2.3. Нагрузочные сопротивления.

2.4. Соединительные провода.

## 3. Порядок выполнения лабораторной работы.

3.1. Известным Вам способом определить величину сопротивления резистора  $R_p$ , размещенного на лабораторном стенде.

3.2. Определить полный угол поворота движка в делениях.

3.3. Найти на стенде такие три сопротивления нагрузки  $R_{H1}$ ,  $R_{H2}$ ,  $R_{H3}$ , для которых  $0,5 \leq \beta_1 \leq 0,9$ ;  $1 \leq \beta_2 \leq 9$ ;  $10 \leq \beta_3 \leq 20$ .

3.4. Собрать схему, изображенную на рис.1. 1, для  $0,5 \leq \beta_1 \leq 0,9$  и напряжения питания  $U = 20$  В.

3.5. Снять характеристику одноконтурного потенциометрического датчика.

3.5.1. К выходу датчика подключить цифровой прибор на пределе измерения 20 В и нагрузочное сопротивление  $R_{H1}$ .

3.5.2. Поворачивая рукоятку потенциометра  $R_p$ , через каждые 30 деле-



ний фиксировать по прибору выходное напряжение.

3.5.3. Результаты наблюдений занести в табл. 1.1.

Таблица 1.1.

X, дел	0	30	60	...	300	Примечания
$U_{\text{ВЫХ1}}, \text{В}$						$\beta_1 = (0,5 \leq \beta_1 \leq 0,9)$
$U_{\text{ВЫХ2}}, \text{В}$						$\beta_2 = (1 \leq \beta_2 \leq 9)$
$U_{\text{ВЫХ3}}, \text{В}$						$\beta_3 = (10 \leq \beta_3 \leq 20)$
$U_{\text{ВЫХ4}}, \text{В}$						$\beta_4 = \infty$

3.5.4. Пункт 3.4 повторить для коэффициента нагрузки  $1 \leq \beta_2 \leq 9; 10 \leq \beta_3 \leq 20; \beta_4 = \infty$ .

3.6. Снять характеристику двухтактного потенциометрического датчика.

3.6.1. Комбинированный прибор и сопротивление нагрузки подключить между выходом датчика и средней точкой потенциометра (в соответствии с рис.1. 3).

3.6.2. Поворачивая рукоятку потенциометра  $R_P$  на 30 делений, фиксировать изменение выходного напряжения и наблюдать за полярностью этого напряжения. Считать при этом, что X меняется в пределах -150 дел. ...+150 дел.

3.6.3. Результаты наблюдений занести в табл. 1.2.

Таблица 1.2

$X_{\text{ИЗМ.}}, \text{дел}$	0	30	60	...	300	Примечания
X, дел	-150	-120	-90	...	150	
$U_{\text{ВЫХ1}}, \text{В}$						$\beta_1 = (0,5 \leq \beta_1 \leq 0,9)$
$U_{\text{ВЫХ2}}, \text{В}$						$\beta_2 = (1 \leq \beta_2 \leq 9)$
$U_{\text{ВЫХ3}}, \text{В}$						$\beta_3 = (10 \leq \beta_3 \leq 20)$
$U_{\text{ВЫХ4}}, \text{В}$						$\beta_4 = \infty$

3.7. Снять характеристику специального двухтактного потенциометрического датчика (по заданию преподавателя).

3.7.1. Для заданной схемы вывести выражение для  $e_X$  аналогично (3) и (6).

3.7.2. Комбинированный прибор и сопротивление нагрузки подключить на выходе датчика ( $U_{\text{вых}}$  в соответствии с рис.1. 4, а или б).

3.7.3. Поворачивая рукоятку потенциометра  $R_P$  (или двух потенциометров для схемы рис.1.4, б) на 30 делений, фиксировать изменение выходного напряжения и наблюдать за полярностью этого напряжения.

3.7.4. Результаты наблюдений занести в табл. 1.3, аналогичную табл. 1.1.

#### 4. Содержание отчета.

4.1. Зарисовать схемы включения потенциометрического датчика и привести табл. 1.1, 1.2 и 1.3. для заданных значений  $\beta$ .

Построить регулировочные характеристики для каждой схемы датчика:

$$U_{\text{вых}} = f(\varphi) \text{ при } \beta = \text{const.}$$

4.2. Построить рассчитанные по выражениям (3), (6) и полученные в п. 3.7.1 нагрузочные характеристики для каждой схемы датчика

$$U_{\text{вых}} = F(\beta) \text{ при } \varphi = \text{const.}$$

4.3. Определить чувствительность датчика для каждой схемы при заданных преподавателем значениях  $\beta$  и  $\varphi$ , сравнить их между собой и объяснить разницу.

4.4. Построить зависимость ошибки от входного сигнала по экспериментальным данным для разных значений  $\beta$ :

$$\delta = f(\varphi_x)_{\beta = \text{const}} = \frac{U_{\text{ВЫХ}}(\varphi_x)_{\beta = \infty} - U_{\text{ВЫХ}}(\varphi_x)_{\beta = \text{const}}}{U_{\text{ВЫХ}}(\varphi_x)_{\beta = \infty}}.$$

4.5. Рассчитать зависимость ошибки от входного сигнала по формулам подобным (4) или (5) для тех же значений  $\beta$ , что и эксперимент, сравнить.

4.6. Сделать выводы по работе.

#### 5. Контрольные вопросы

5.1. В чем состоит назначение потенциометрических преобразователей в системах автоматики?

5.2. Что представляет собой потенциометрический преобразователь?

5.3. Приведите и объясните статическую характеристику однотактного потенциометрического датчика?

5.4. В чем особенность двухтактной схемы включения потенциометрического датчика?

5.5. Какие достоинства и недостатки можно выделить у потенциометрических датчиков?

5.6. В каких устройствах судовой автоматики используются потенциометрические преобразователи.

#### 6. Список рекомендуемой литературы

1. Жадобин Н.Е., Крылов А.П., Малышев В.А. Элементы и функциональные устройства судовой автоматики: Учебник. 2-е изд., перераб. и доп. – СПб.:Элмор, 1998. 440с.
2. Ушакевич А.А. Элементы и функциональные устройства автоматики. Учебное пособие. КамчатГТУ, Петропавловск-Камчатский, 2010. 149 с.

## Лабораторное занятие 2.

### Исследование датчиков температуры.

*Цель занятия:* изучение принципов действия, характеристик и схем включения датчиков температуры – термопары, терморезистора и термистора.

#### 1. Основные теоретические данные.

В современной автоматике существует множество технологических процессов, требующих точного контроля температуры при производстве продукции либо протекании процессов. Температуру можно измерить с помощью различных датчиков, которые оценивают температуру по изменению каких-либо физических параметров. Существует большое количество датчиков температуры, но наиболее часто употребляются термопары, термосопротивления, жидкостные и инфракрасные термометры.

#### *Измерение температуры с помощью термопар.*

Термоэлектрические датчики (термопары) относятся к датчикам генераторного типа. Их работа основана на одном из термоэлектрических явлений – появлении термоэлектродвижущей силы (термо-ЭДС). Сущность этого явления заключается в следующем. Если составить электрическую цепь из двух разнородных металлических проводников (или полупроводников), причем с одного конца проводники спаять, а место соединения нагреть, то в такой цепи возникает ЭДС. Эта ЭДС будет пропорциональна температуре места спая (точнее, разности температур места спая и свободных, неспаянных концов). Коэффициент пропорциональности зависит от материала проводников и в определенном интервале температуры остается постоянным. Цепь, составленная из двух разнородных материалов, называется *термопарой*; проводники, составляющие термопару, называются *термоэлектродами*; места соединения термоэлектродов – спаями. Спай, помещаемый в среду, температуру которой надо измерить, называется горячим или рабочим. Спай, относительно которого измеряется температура, называется холодным или свободным. Возникающая при различии температур горячего и холодного спаев ЭДС называется *термо-ЭДС*. По значению этой термо-ЭДС можно определить температуру окружающей среды.

Возникновение термо-ЭДС объясняется наличием свободных электронов в металлах. Эти свободные электроны хаотически движутся между положительными ионами, образующими остов кристаллической решетки. В разных металлах свободные электроны обладают при одной и той же температуре раз-

ными скоростями и энергиями. При соединении двух разнородных металлов (электродов) свободные электроны из одного электрода проникают в другой. При этом металл с большей энергией и скоростью свободных электронов больше их теряет. Следовательно, он приобретает положительный потенциал. Металл с меньшей энергией свободных электронов приобретает отрицательный потенциал. Возникает контактная разность потенциалов – термо-ЭДС. Эта термо-ЭДС зависит не только от температуры горячего спая  $T_1$  (т.е., от измеряемой температуры), но и от температуры холодного спая  $T_2$  и определяется разностью этих температур:

$$U = \alpha_1 \cdot (T_1 - T_2), \quad (2.1)$$

где  $\alpha_1$  – коэффициент пропорциональности или термоэлектрическая чувствительность.

Только при условии поддержания температуры  $T_2$ , равной стандартному значению,

измеряемая термо-ЭДС может рассматриваться как функция, прямопропорциональная значению  $T_1$ . В промышленности принята стандартная температура для  $T_2$  равная  $0^\circ\text{C}$ ; следовательно, ЭДС будет определяться по формуле:

$$U_{\text{ВЫХ}} = V_1 = \alpha_1 \cdot (T_1 - 0) = \alpha_1 \cdot T_1. \quad (2.2)$$

Для измерения термо-ЭДС, вырабатываемой термопарой, в цепь термопары включают измерительный прибор (милливольтметр). Милливольтметр включают либо разомкнув свободный спай (рис.2.1, а), либо в разрыв одного из термоэлектродов (рис.2.1,б).

Как видно из схем включения измерительного прибора, в случае разомкнутого свободного спая (рис.2.1, а) у термопары три спая: один горячий 1 и два холодных 2 и 3, которые должны иметь постоянную температуру.

При включении милливольтметра в разрыв одного из термоэлектродов (рис.2.1,б) имеется четыре спая: один горячий 1, один холодный 2 (он должен иметь постоянную температуру), два нейтральных 3 и 4 (они должны находиться при одинаковой, но не обязательно постоянной температуре). Для обеих схем термо-ЭДС и показания прибора будут одинаковыми, если соответственно одинаковыми будут температуры горячих и холодных спаев.

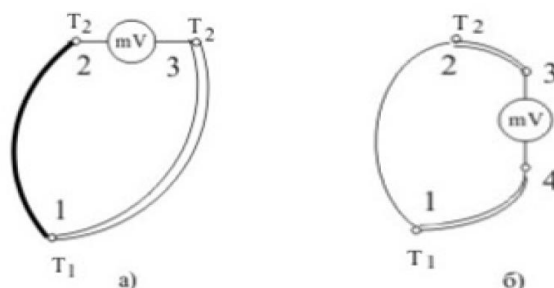


Рис.2.1. Включение милливольтметра при измерении температуры термопарой.

Способ изготовления спая (сваркой, спайкой и т.п.) на термо-ЭДС не влияет,

если только размеры спая таковы, что температура его во всех точках одинакова.

Примеры термопар, построенных на разных комбинациях металлов, показаны в табл.2.1. Выбор конкретной термопары зависит от рабочего диапазона температуры и желаемой чувствительности.

Таблица 2.1

Тип термопары	$\alpha_1$ (мкВ / °С)	Рабочий диапазон (°С)
медь-константан	45	от -150 до +350
железо-константан	53	от -150 до +1000
хромель-алюмель	40	от -200 до +500
хромель-константан	80	от 0 до +500
платина-(платина-родий)	6.3	от 0 до +1500

### Измерение температуры с помощью термосопротивлений.

Принцип действия термосопротивлений основан на том, что электрическое сопротивление материала изменяется при изменении его температуры. Существуют два основных вида этих датчиков – металлические терморезисторы и полупроводниковые термисторы.

Типичный *терморезистор* состоит из тонкого платинового провода, намотанного на сердечник и покрытого защитным покрытием. Обычно сердечник и покрытие сделаны из стекла и керамики. Как следует из их названия, работа терморезисторов основана на изменении сопротивления в металле, при более или менее линейной прямопропорциональной зависимости сопротивления от температуры:

$$R_{RTD} = \alpha \cdot T + 100, \quad (2.3)$$

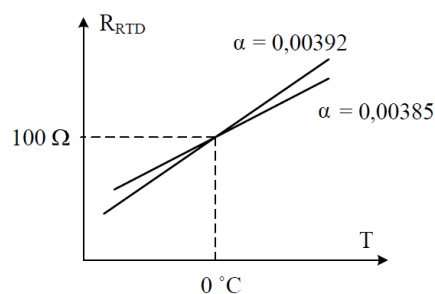
где  $R_{RTD}$  – сопротивление терморезистора в Омах;

$\alpha$  – температурный коэффициент ( $\alpha = 0,00385$  [Ом/°С]);

T – температура в градусах Цельсия.

Графически зависимости сопротивления  $R_{RTD}$  стандартного датчика Pt100 от температуры T представлены на рис.2.2. При этом можно видеть, что принятые как промышленный стандарт датчики имеют сопротивление 100 Ом при 0 °С. При этом среднее значение наклона зависимости сопротивления от температуры для терморезистора для данного датчика зависит от чистоты в нем платины и определяется температурным коэффициентом  $\alpha$ .

Наиболее часто используют терморезистор, получаемый из платины определенной чистоты и состава, со значением  $\alpha = 0,00385$ . Кроме того, существует еще один стандартный датчик, получаемый из немного другого пла-



тинового состава. У него немного большее значение  $\alpha = 0,00392$ , и он применяется в основном в США.

Рис.2.2. Зависимости сопротивления стандартных термодатчиков от температуры.

Термисторы используют свойство изменения сопротивления керамического полупроводника при изменении температуры; его сопротивление падает нелинейно с ростом температуры:

$$R_T = R_0 \cdot e^{\beta \left( \frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right)}, \quad (2.4)$$

где  $R_T$  – сопротивление термистора при температуре  $T$  ( $^{\circ}\text{K}$ );

$R_0$  – сопротивление термистора при исходной температуре  $T_0$  ( $^{\circ}\text{K}$ );

$\beta$  – постоянная, зависящая от материала ( $^{\circ}\text{K}$ ). Значение  $\beta$  находится между 3000 и 4000К.

Регулировочная характеристика  $R_T = f(T)$  термистора представлена на рис.2.3 и является отрицательной и существенно нелинейной. Это затрудняет использование этого датчика. Однако, эта трудность может быть устранена использованием термисторов в парах, таким образом, что нелинейности взаимно компенсируется. Более того, производители предлагают специальные устройства, которые внутренне компенсируют нелинейность характеристики термистора.

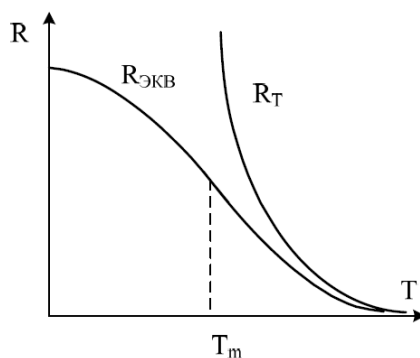


Рис.2.3. Регулировочная характеристика термистора.

Наконец, нелинейность регулировочной характеристики  $R_T = f(T)$  может быть скомпенсирована использованием параллельно включенного сопротивления со значением  $R_p$  (рис.2.4).

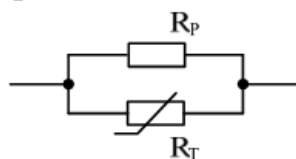


Рис.2.4. Включение дополнительного сопротивления для компенсации нелинейности терморезистора.

Эквивалентное сопротивление  $R_{ЭКВ}$  двух параллельно включен-

ных сопротивлений вычисляется по формуле:

$$R_{\text{ЭКВ}} = \frac{R_P \cdot R_T}{R_P + R_T}. \quad (2.5)$$

Если нужно выбрать  $R_P$  таким образом, чтобы линеаризовать кривую в окрестности рабочей температуры  $T_m$ , то следует найти значение  $R_P$  по формуле:

$$R_P = R_{T_m} \cdot \frac{\beta - 2 \cdot T_m}{\beta + 2 \cdot T_m}. \quad (2.6)$$

После линеаризации характеристика термистора будет представлять собой линейную зависимость  $R_{\text{ЭКВ}} = f(T)$  в окрестностях точки с температурой  $T_m$  (кривая  $R_{\text{ЭКВ}}$  на рис.2.3).

Термисторы обычно обозначаются в соответствии с их сопротивлением при температуре 250 °С. Наиболее часто встречается значение сопротивления номиналом 2252 Ом, среди других часто встречающихся 5000 и 10000 Ом.

### *Жидкостные и инфракрасные датчики температуры.*

Типичным примером *жидкостного датчика* является домашний термометр, обычно содержащий одну из двух основных жидкостей: ртуть или органическую жидкость (например, спирт). При увеличении температуры жидкая среда расширяется, а, значит, увеличивается её объём. Если поместить её в герметично закрытый сосуд, то можно наблюдать изменение объёма по изменению высоты столба жидкости. Датчики с расширяющейся жидкостью не требуют электрического питания, не представляют риска взрыва и стабильны даже после повторяющихся циклов работы. С другой стороны, они не дают данные, которые можно легко записать или передать.

*Инфракрасные датчики* являются бесконтактными. Они измеряют количество световой энергии, излучаемой поверхностью. Свет излучают все вещества, независимо от их температуры. Во многих технологических процессах эта энергия излучается в инфракрасном диапазоне. При увеличении температуры увеличиваются количество инфракрасного излучения и его средняя частота, которые и измеряются датчиком.

## 2. Приборы и оборудование.

- 2.1. Микроультиметр цифровой ММЦ-01 – 2 шт. (или 3 шт.).
- 2.2. Термопара ТХК.
- 2.3. Терморезистор.
- 2.4. Термистор.
- 2.5. Магнитоэлектрический вольтметр М4213 с температурной

шкалой.

## 2.6. Соединительные провода.

### 3. Порядок выполнения лабораторной работы.

3.1. К гнездам нагревательного элемента подключить напряжение 30 В.

3.2. К гнездам термопары подключить микроультиметр на пределе измерения 200 мВ и магнитоэлектрический вольтметр, имеющий температурную шкалу (0 - 600) °С.

3.3. Наблюдая по магнитоэлектрическому «термометру» за повышением температуры, фиксировать по цифровому прибору значения термо-ЭДС через каждые 20 °С.

3.4. При этом фиксировать по цифровым микроультиметрам сопротивления  $R_1$  и  $R_2$ .

3.5. Результаты наблюдения занести в табл. 2.2.

Таблица 2.2

$T$	°С	0	20	40	...	200
$E_T$	мВ					
$R_1$	Ом					
$R_2$	Ом					

### 4. Содержание отчета.

4.1. Зарисовать исследуемые схемы и привести таблицу 2.2.

4.2. По данным табл. 2.2 построить градуировочную характеристику термопары:  $E_T=f(T)$ , а также зависимости  $R=f(T)$  и  $R_2=f(T)$  в одних осях.

4.3. Рассчитать чувствительность термопары по формуле:

$$S_T = \frac{\Delta E_T}{\Delta T},$$

где  $\Delta T=20^\circ\text{C}$ .

4.4. Рассчитать чувствительности терморезистора и термистора по формуле

$$S_R = \frac{\Delta R_{\text{ВЫХ}}}{\Delta T},$$

где  $\Delta T=20^\circ\text{C}$  и сравнить их между собой.

4.5. По экспериментально полученной регулировочной характеристике термистора найти сопротивление параллельно включенного сопротивления  $R_P$ , если необходимо линеаризовать характеристику в



окрестностях точки с температурой  $T_m$ , заданной преподавателем. Затем построить характеристику  $R_{ЭКВ} = f(T)$  на одном графике с экспериментальной характеристикой.

4.6. Ответить на контрольные вопросы.

4.7. Сделать выводы по работе, в частности, сравнить различные датчики по чувствительности, линейности характеристики, диапазону работы, и т.п., предложить в связи с этим варианты использования исследованных схем.

## 5. Контрольные вопросы.

5.1. К какому типу датчиков относят термоэлектрические датчики. На чем основана их работа?

5.2. Что называют термопарой, термоэлектродами, горячим спаем, холодным спаем?

5.3. От чего зависит термо-ЭДС термопары, приведите формулу.

5.4. По каким характеристикам выбирается тип термопары?

5.5. Как определить температуру с помощью терморезистора?

5.6. Проанализировать регулировочную характеристику термистора. Каким образом можно сделать её более линейной?

5.7. Сравнить между собой термопару, терморезистор и термистор и выделить их основные достоинства и недостатки.

5.8. Какие еще датчики пригодны для контроля температуры? Дать краткую характеристику.

## 6. Список литературы.

1. Жадобин Н.Е., Крылов А.П., Малышев В.А. Элементы и функциональные устройства судовой автоматики: Учебник. 2-е изд., перераб. и доп. – СПб.: Элмор, 1998. 440с.
2. Ушакевич А.А. Элементы и функциональные устройства автоматики. Учебное пособие. КамчатГТУ, Петропавловск-Камчатский, 2010. 149 с.

## Лабораторное занятие 3.

### Исследование асинхронного тахогенератора.

*Цель занятия:* Знакомство с устройством и принципом действия асинхронных тахогенераторов переменного тока. Изучение рабочих свойств асинхронного тахогенератора переменного тока с полым немагнитным ротором.

## 1. Основные теоретические данные.

*Асинхронные тахогенераторы* служат для преобразования механического вращения в электрический сигнал; они также могут применяться для выполнения операции электрического дифференцирования и выработки ускоряющих и демпфирующих сигналов в схемах автоматического регулирования. Асинхронные тахогенераторы бывают двух видов: с полым немагнитным ротором и с обычным короткозамкнутым ротором. В системах автоматического регулирования, как правило, применяются только асинхронные тахогенераторы с полым ротором.

Конструктивно асинхронный тахогенератор представляет собой двухфазный асинхронный электродвигатель с короткозамкнутым ротором. Для уменьшения массы и момента инерции ротор изготавливается полым из высокоомных материалов (константана, манганина и др.), сопротивление которых мало меняется при изменении температуры. Полый ротор асинхронного тахогенератора выполняется в виде тонкостенного цилиндра, а статор состоит из двух сердечников – внешнего и внутреннего. Две однофазные обмотки статора, сдвинутые на угол  $90^\circ$ , размещены на внешнем или внутреннем сердечнике, набранном из листов электротехнической стали (рис. 3.1).

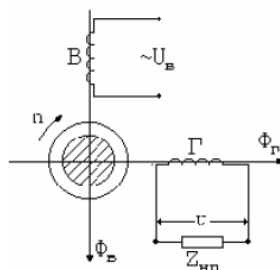


Рис.3.1. Асинхронный тахогенератор с полым ротором.

На обмотку возбуждения (В) подается напряжение  $U_v$  от сети переменного тока, и с генераторной обмотки (Г) снимается выходной сигнал. Обмотка возбуждения создает пульсирующий магнитный поток  $\Phi_v$ , направленный по продольной оси машины. При неподвижном роторе магнитный поток  $\Phi_v$  будет наводить трансформаторную ЭДС  $E_{тр}$  в полем роторе как во вторичной обмотке трансформатора. Полый ротор можно считать состоящим из элементарных проводников, замкнутых накоротко на торцах. Контуры токов, обусловленных трансформаторной ЭДС, располагаются в плоскостях, перпендикулярных продольной оси машины. Эти токи создают магнитный поток  $\Phi_{d1}$ , направленный согласно правилу Ленца навстречу магнитному потоку  $\Phi_v$ . В результате взаимодействия магнитных потоков при неподвижном роторе ( $n=0$ ) в тахогенераторе создается магнитный поток  $\Phi_d$ , направленный по продольной оси, и силовые линии этого потока не пересекают витки (они скользят вдоль витков) генераторной обмотки. Поэтому ЭДС в этой обмотке не наводится ( $E_{вых}=0$ ). При вра-

щении ротора ( $n \neq 0$ ) в его элементарных проводниках наводится ЭДС вращения  $E_{вр}$ , равная

$$E_{вр} = k_1 n \dot{\Phi}_q \quad (3.1)$$

где  $k_1$  - коэффициент, зависящий от конструктивных параметров тахогенератора.

Под действием ЭДС вращения по ротору протекают токи  $I_{вр}$ , контуры которых при большом активном сопротивлении ротора располагаются в плоскостях, параллельных продольной оси. Эти токи создают магнитный поток  $\Phi_q$ , направленный по поперечной оси. Так как токи  $I_{вр}$  пропорциональны ЭДС  $E_{вр}$ , то и магнитный поток  $\Phi_q$  изменяется пропорционально частоте вращения ротора  $n$ :

$$\Phi_q = k_2 n \quad (3.2)$$

Частота потока  $\Phi_q$  совпадает с частотой напряжения обмотки возбуждения. Магнитный поток  $\Phi_q$  наводит в генераторной обмотке выходную ЭДС  $E_{вых}$ . Частота выходной ЭДС не зависит от частоты вращения ротора и равна частоте напряжения обмотки возбуждения. А вот действующее значение выходной ЭДС при неизменном напряжении обмотки возбуждения зависит только от частоты вращения ротора и определяется по формуле

$$E_{вых} = 4.44 W_{эог} f \Phi_{qmax}, \quad (3.3)$$

где  $W_{эог}$  - эффективное число витков генераторной обмотки;

$f$  - частота напряжения питания обмотки возбуждения;

$\Phi_{qmax}$  - амплитудное значение потока по поперечной оси.

Основной характеристикой асинхронного тахогенератора является выходная характеристика, под которой понимается зависимость напряжения  $U$  на зажимах выходной обмотки от скорости вращения при неизменной величине и характере нагрузки и постоянном напряжении  $U_v$ . Основным требованием, предъявляемым к асинхронным тахогенераторам, является обеспечение линейности выходной характеристики.

При работе тахогенератора в режиме холостого хода ( $Z_{нг} = \infty$ ) в выходной обмотке индуцируется ЭДС.

$$\dot{U} = \frac{jkU_v v}{A - Bv^2} \quad (3.4)$$

где  $U_v$  - напряжение возбуждения;

$k$  - коэффициент трансформации обмоток статора;

$A$  и  $B$  - комплексные коэффициенты, зависящие от параметров схемы замещения тахогенератора;

$v = n/n_0$  - относительная скорость вращения поля;

$n_0$  - синхронная скорость вращения поля.

Наличие в знаменателе выражения ЭДС члена, содержащего квадрат относительной скорости вращения, обуславливает нелинейность выходной характеристики даже при  $Z_{нг} = \infty$ . Эта нелинейность вызвана наличием падения напряжения в статорной обмотке  $B$ . Однако при малых относительных скоростях

членом знаменателя, содержащим квадрат относительной скорости, можно пренебречь. В этом случае зависимость  $U=f(v)$  принимает линейный вид.

Уравнение выходной характеристики тахогенератора при наличии нагрузки в выходной обмотке ( $Z_{нг}=\infty$ ) имеет сложный вид. Для выяснения влияния величины и характера нагрузки на форму выходной характеристики тахогенератора рассмотрим кривые, приведенные на рисунках 3.2...3.4. На рис. 3.2 показаны выходные характеристики для случая чисто активной нагрузки тахогенератора. Анализ характеристик показывает, что в случае активной нагрузки увеличение нагрузочного сопротивления приводит к повышению выходного напряжения  $U$ . На этом же рисунке приведены прямые, построенные при пренебрежении членом знаменателя, содержащим  $v^2$ .

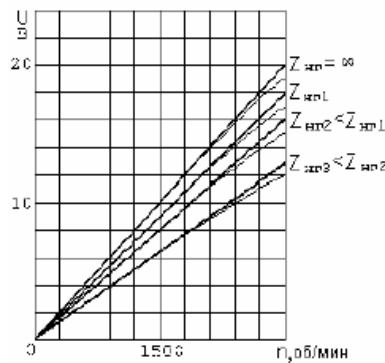


Рис. 3.2. Выходные характеристики тахогенератора при различных активных сопротивлениях нагрузки.

На рис. 3.3 и 3.4 показано изменение величины выходного напряжения от величины и характера нагрузки  $Z_{нг}$ . Все кривые построены для  $v = const$ . Из рис. 3.3 и 3.4 видно, что при активной и индуктивной нагрузках имеет место почти одинаковая зависимость выходного напряжения от величины сопротивления нагрузки. Если же нагрузка тахогенератора носит чисто емкостный характер, то при уменьшении ее сопротивления напряжение  $U$  сначала растет, а затем резко снижается. Подключив к выходным зажимам тахогенератора смешанную активно-емкостную нагрузку (пунктирная линия на рис. 3.4), можно добиться почти полной независимости выходного напряжения (при данной скорости вращения) от величины нагрузки. Такое подключение нагрузки носит название компаундирования по амплитуде.

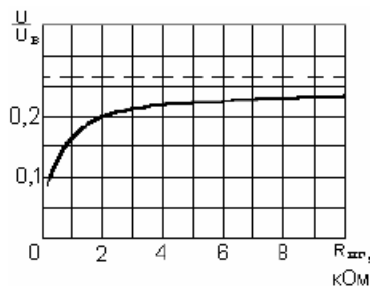


Рис. 3.3. Зависимость выходного напряжения тахогенератора от сопротивления нагрузки при  $n=const$ .

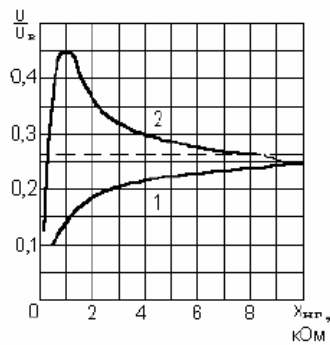


Рис. 3.4. Зависимость выходного напряжения от величины индуктивного и емкостного сопротивления нагрузки при  $n = \text{const}$ : 1 – индуктивное сопротивление; 2 – емкостное сопротивление.

Зависимость фазы выходного напряжения  $U$  по отношению к фазе напряжения возбуждения  $U_b$  ( $\psi$ ) от скорости вращения ( $v$ ) представлена на рис. 3.5.

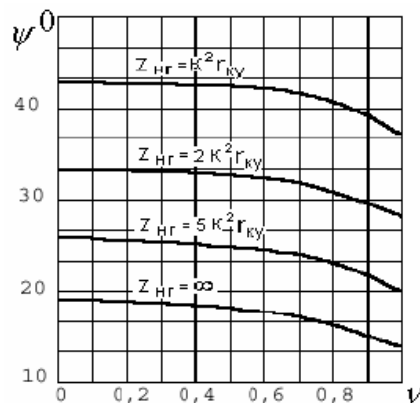


Рис. 3.5. Зависимость фазового угла от величины нагрузочного сопротивления и скорости вращения тахогенератора.

Как видно из рис. 3.5, фазовый угол  $\psi$  растет с уменьшением внешнего нагрузочного сопротивления и уменьшается при возрастании скорости вращения. При малых относительных скоростях вращения величины фазового угла изменяется мало. На рис. 3.5 представлены кривые  $\psi = f(v)$  при чисто активном нагрузочном сопротивлении. Изменение характера нагрузки приводит к изменению кривой  $\psi = f(v)$ . Применяя смешанную активно-индуктивную нагрузку, можно добиться почти полной независимости величины угла  $\psi$  (при данной скорости вращения) от величины нагрузки. Такое подключение нагрузки носит название компаундирования по фазе. Можно показать, что условия компаундирования по амплитуде и фазе противоречат одно другому. Поэтому в тех случаях, когда к выходным зажимам тахогенератора подключено переменное сопротивление, следует осуществлять компаундирование по той величине (амплитуде или фазе), которая не должна зависеть в данной схеме от характера нагрузки. Амплитудная и фазовая погрешности тахогенератора могут быть уменьшены также за счет увеличения активного сопротивления ротора и частоты питающей сети. Если при неподвижном роторе тахогенератора к обмотке возбуждения подвести напряжение  $U_b$ , то на генераторной обмотке  $\Gamma$  появится небольшое напряжение  $U_0$ , обусловленное трансформаторной связью между обмотками

вследствие несовершенства квадратуры обмоток. Это приводит к смещению выходной характеристики относительно начала координат. Такая погрешность может быть уменьшена включением активного сопротивления и емкости в цепь статора тахогенератора с мостиковой схемой соединения обмоток (рис.3.6) и специальным размещением обмоток в тахогенераторе с отдельными обмотками. У современных типов тахогенераторов остаточная ЭДС составляет величину порядка 24...100 мВ, а переменная составляющая этой ЭДС, определяемая между максимальным и минимальным значениями остаточной ЭДС, в пределах одного оборота ротора, ниже 7 мВ.

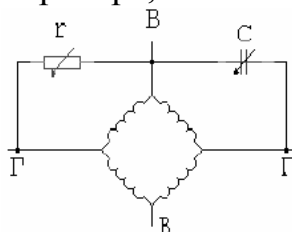


Рис. 3.6. Схема компенсации нулевой погрешности.

Асинхронные тахогенераторы имеют ряд преимуществ по сравнению с тахогенераторами постоянного тока: простота устройства, эксплуатационная надёжность, отсутствие коллектора и щёток, высокое быстродействие.

С помощью асинхронного тахогенератора кроме частоты вращения можно измерять ускорение. В этом случае на обмотку возбуждения подаётся постоянное напряжение питания, тогда напряжение, снимаемое с генераторной обмотки будет пропорционально угловому ускорению ротора.

Асинхронные тахогенераторы нашли широкое применение в автоматических системах регулирования для осуществления обратных связей по скорости.

*Тахогенератор постоянного тока* по принципу действия и конструктивному выполнению является электрической коллекторной машиной, которая работает в генераторном режиме.

Тахогенератор (рис. 3.7, а) состоит из вращающейся части – якоря 3 и неподвижной части – статора.

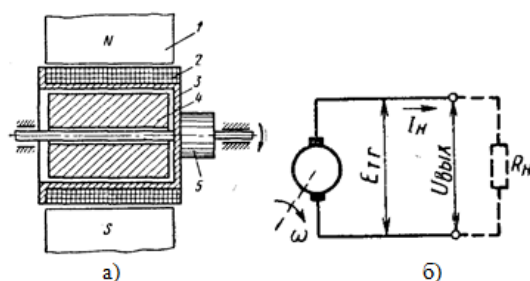


Рис. 3.7. Конструкция и схема тахогенератора постоянного тока: 1 – постоянный магнит; 2 – обмотка; 3 – якорь в виде тонкостенного цилиндра; 4 – ферромагнитный сердечник; 5 – коллектор.

На статоре устанавливают постоянный магнит 1, что обеспечивает постоянство магнитного поля машины. При этом ЭДС, наводимая в обмотке 2 вращения вала. Если в тахогенераторе магнитное поле создавать обмоткой возбуждения, то его можно будет менять за счёт тока возбуждения, тогда ЭДС тахогенератора будет зависеть и от частоты вращения и от силы тока возбуждения. Это

позволяет использовать тахогенератор с независимым возбуждением для умножения двух величин, одна из которых выражена током возбуждения, а другая – частота вращения.

Тахогенераторы постоянного широко применяются для измерения частоты вращения гребных валов, измерительным прибором в этом случае служит вольтметр постоянного тока, шкала которого имеет ноль посередине.

## 2. Приборы и оборудование.

Приборы и оборудование для проведения лабораторной работы представлены на рис.3.8.

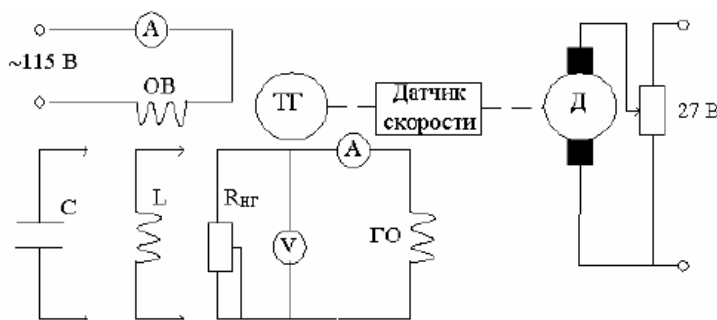


Рис. 3.8. Схема установки для испытания асинхронного тахогенератора.

## 3. Порядок выполнения лабораторной работы.

3.1. Ознакомиться с конструкцией асинхронного тахогенератора.

3.2. Записать основные технические данные исследуемого тахогенератора и измерительных приборов, используемых во время проведения работы.

3.3. Собрать схему рис. 3.8.

3.4. Определить остаточную ЭДС тахогенератора при неподвижном роторе и ее переменную

составляющую. Для этого к обмотке  $B$  невращающегося тахогенератора подводится номинальное напряжение. Напряжение на генераторной обмотке тахогенератора измеряется электронным вольтметром. Величина остаточной ЭДС зависит от положения ротора. Изменяя положение ротора, можно определить ( $U_{0\max}$  и  $U_{0\min}$ ) зависимость остаточной ЭДС от угла поворота ротора. По данным измерений можно определить переменную составляющую этой ЭДС  $U = U_{0\max} - U_{0\min}$ . Под остаточной ЭДС  $U_{0\max}$  понимается наибольшая величина ЭДС генераторной обмотки в пределах одного оборота ротора.

3.5. Выходные характеристики тахогенератора снимаются в диапазоне изменения скоростей вращения от нуля до  $n_{\max}$  для двух режимов его работы:

а) холостого хода ( $Z_{нг} = \infty$ );

б) активной нагрузки  $R_{нг} = 500 \text{ Ом}$ .

За максимальную рабочую скорость вращения тахогенератора  $n_{max}$  принимается максимальная скорость вращения приводного двигателя, регистрируемая на цифровом индикаторе счетчика скорости. Во время опыта напряжение (ток) возбуждения тахогенератора поддерживается постоянным.

Снять выходные характеристики тахогенератора  $U=f(n)$  при  $U_B=U_{вн}$  в диапазоне изменения скоростей вращения от 0 до  $1,5n_n$ ,  $n_n = n_{max}/1,5$  :

- а) для режима холостого хода;
- б) для активной нагрузки  $R_{нг} = 500 \text{ Ом}$ .

Данные заносятся в таблицу 3.1.

Таблица 3.1

№ п.п.	$Z_{нг} = \infty$		$R_{нг} = 500 \text{ Ом}$		Примечание
	N	U	n	U	
	об/мин	В	об/мин	В	

3.6. Снять зависимость выходного напряжения тахогенератора от характера нагрузки (внешние характеристики) при  $U_B=U_{вн}$ . Для выявления зависимости выходного напряжения тахогенератора от характера нагрузки следует снять внешние характеристики  $U=f(Z_{нг})$  при чисто активных  $R_{нг}$ , индуктивных  $X_L$  и емкостных  $X_C$  сопротивлениях нагрузки поочередно, включая (в верхнее положение) тумблеры  $R, L, C$  и соответствующие тумблеры их величин. Точные значения величин  $R_{нг}$ ,  $X_{Снг}$ ,

$X_{Lнг}$  определяются по формуле  $Z_{нг} = U / I_{нг}$ , где  $I_{нг}$  - показания амперметра, включенного в цепь нагрузки.

Снять зависимость для:

- а) для активной нагрузки  $U=f(R_{нг})$ ;
- б) для емкостной нагрузки  $U=f(X_{Снг})$ ;
- в) для индуктивной нагрузки  $U=f(X_{Lнг})$ .

Данные эксперимента занести в таблице 3.2 и построить внешние характеристики асинхронного тахогенератора при различном характере нагрузки и постоянной скорости вращения

$n_n = n_{max}/1,5$ .

Таблица 3.2.

№ п. п.	$n = n_n = const$					Примечание
	U	$I_{нг}$	$R_{нг}$	$X_{Снг}$	$X_{Lнг}$	
	В	мА	кОм	кОм	кОм	



3.7. Определение крутизны выходной характеристики. Под крутизной выходной характеристики тахогенератора понимается удельная ЭДС, т.е. ЭДС (или напряжение), отнесенная к одному обороту в минуту. Крутизна выходной характеристики при максимальной рабочей скорости вращения может быть определена из внешних характеристик тахогенератора при различных нагрузках ( $R_{нг}$ ,  $X_{Снг}$ ,  $X_{Лнг}$ ) и из выходной характеристики при  $Z_{нг}=\infty$  как отношение

$$C' = \frac{U}{n_n}, \frac{мВ}{об / мин},$$

где  $C'$  - крутизна характеристики;

$U$  – выходное напряжение при номинальной скорости вращения привода тахогенератора.

#### 4. Содержание отчета.

4.1. Построить в одной координатной системе выходные характеристики тахогенератора при  $R_{нг} = \infty$  и  $R_{нг} = 500 \text{ Ом}$ .

4.2. Построить зависимости выходного напряжения от величины и характера нагрузки  $U=f(Z_{нг})$  при  $U = const$ .

4.3. По экспериментальным характеристикам тахогенератора определить их крутизну при различных значениях  $Z_{нг}$ .

4.4. Ответить на контрольные вопросы.

#### 5. Контрольные вопросы.

5.1. Для чего служат асинхронные тахогенераторы.

5.2. Виды асинхронных тахогенераторов.

5.3. Что конструктивно представляет собой асинхронные тахогенераторы с полым ротором.

5.4. Объясните принцип действия асинхронного тахогенератора с полым ротором.

5.5. Как объяснить выходные характеристики асинхронного тахогенератора при различных величинах выходного напряжения и характере нагрузок.

5.6. Объясните зависимость фазового угла от внешнего нагрузочного сопротивления и скорости вращения тахогенератора.

5.7. Зачем в тахогенераторах применяют схему компенсации.

5.8. Преимущества асинхронных тахогенераторов.

5.9. Для чего в системах автоматики применяют тахогенераторы.

5.10. Как устроен и работает тахогенератор постоянного тока.

#### 6. Список литературы.

1. Жадобин Н.Е., Крылов А.П., Малышев В.А. Элементы и функциональные устройства судовой автоматики: Учебник. 2-е изд., перераб. и доп. – СПб.: Элмор, 1998. 440с.
2. Ушакевич А.А. Элементы и функциональные устройства автоматики.

## Лабораторное занятие 4.

### Исследование сельсинов.

*Цель занятия:* Знакомство с устройством и принципом действия сельсинов. Изучение индикаторного и трансформаторного режимов работы сельсинов.

#### 1. Основные теоретические данные.

*Сельсины* – индукционные микромашины переменного тока. Используются в системах синхронной связи для обеспечения синхронного поворота двух или более осей, механически не связанных между собой; в качестве датчиков положения; в качестве задающих устройств. Сельсинами называются электрические машины переменного тока, обладающие способностью самосинхронизации.

Сельсины имеют две обмотки: обмотку возбуждения и обмотку синхронизации. В зависимости от числа фаз обмотки возбуждения различают однофазные и трёхфазные сельсины. В судовых автоматических системах контроля и регулирования нашли применение однофазные сельсины. Обмотка синхронизации выполняется по типу трёхфазных обмоток, фазы которых сдвинуты в пространстве на  $120^\circ$  и соединены между собой в звезду.

Конструктивное исполнение сельсинов и схема показаны на рисунках 4.1 и 4.2 соответственно.

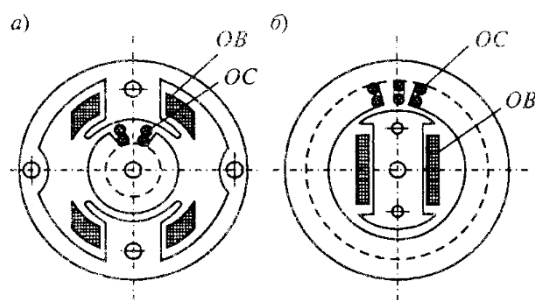


Рис. 4.1. Конструктивное исполнение сельсинов  
а) – с обмоткой возбуждения на статоре, б) – с обмоткой возбуждения на роторе;  
OB - обмотка возбуждения; OC - обмотки синхронизации.

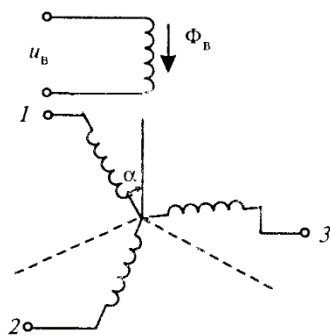


Рис. 4.2. Схема сельсина.

При расположении обмотки возбуждения на статоре в цепи обмотки синхронизации имеются три скользящих контакта (кольца со щётками), повышающих момент трения сельсина. В сельсинах с обмоткой возбуждения на роторе число скользящих контактов уменьшается до двух, но при этом через щётки и кольца непрерывно проходит ток обмотки возбуждения, который может вызвать подгорание контактов. Принцип действия сельсинов не зависит от места расположения каждой обмотки. Однако чаще применяют сельсины с обмоткой возбуждения на роторе и обмоткой синхронизации на статоре. Меньшее число скользящих контактов обеспечивает более высокую надёжность, меньший момент трения и меньший объём сельсина.

Обмотка возбуждения сельсина питается от сети переменного тока. Под действием приложенного напряжения обмотка возбуждения создаёт пульсирующий магнитный поток, который распределяется в воздушном зазоре по косинусоидальному закону, и в каждой из трёх синхронизирующих обмоток наводится ЭДС. А так как эти обмотки смещены друг относительно друга на  $120^\circ$ , то в каждой из них наводится ЭДС, разные по своему значению и зависящие от угла поворота  $\alpha$  ротора. Допустим, что при повороте ротора на произвольный угол  $\alpha$  магнитный поток обмотки возбуждения пронизывает первую фазу под углом  $\alpha$ , а вторую и третью - соответственно под углами  $\alpha + 120^\circ$  и  $\alpha + 240^\circ$ . Тогда действующие значения ЭДС по фазам равны:

$$E_1 = E_n \cos \alpha; \quad (4.1)$$

$$E_2 = E_n \cos (\alpha + 120^\circ); \quad (4.2)$$

$$E_3 = E_n \cos (\alpha + 240^\circ), \quad (4.3)$$

где  $E_n$  - наибольшее действующее значение ЭДС в фазе, т.е. в тот момент, когда ось обмотки фазы совпадает с осью обмотки возбуждения.

В автоматических системах сельсины обычно используются в паре: сельсин – датчик (СД) и сельсин-приёмник (СП). Различают два основных режима работы сельсинов: индикаторный и трансформаторный. Однофазные сельсины в обоих режимах могут использоваться как в качестве сельсина-датчика, так и в качестве сельсина-приёмника, но с учётом специфических требований выпускаемые сельсины предназначаются для работы только в качестве датчика или приёмника. В судовых автоматических системах встречается одиночный режим работы сельсина в датчиках угловых перемещений.

*Индикаторный режим работы сельсинов.* Индикаторный режим работы сельсинов используется для дистанционной передачи угловых перемещений при незначительном моменте сопротивлений. В судовых автоматических системах контроля индикаторный режим работы применяется в машинных телеграфах, указателях положения пера руля, указателях направления вращения и нагрузки главных судовых дизелей, репитерах (повторителях) показаний гирокомпаса.

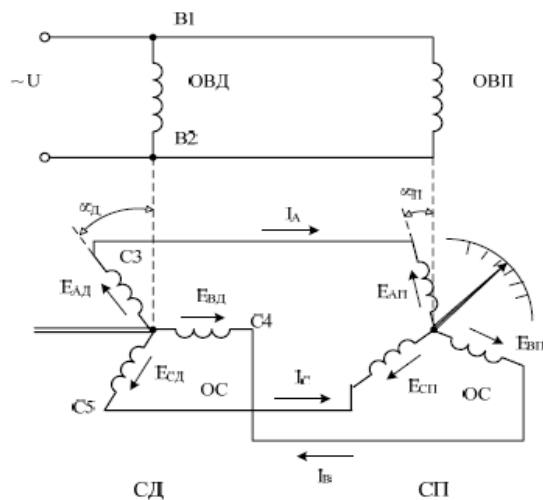
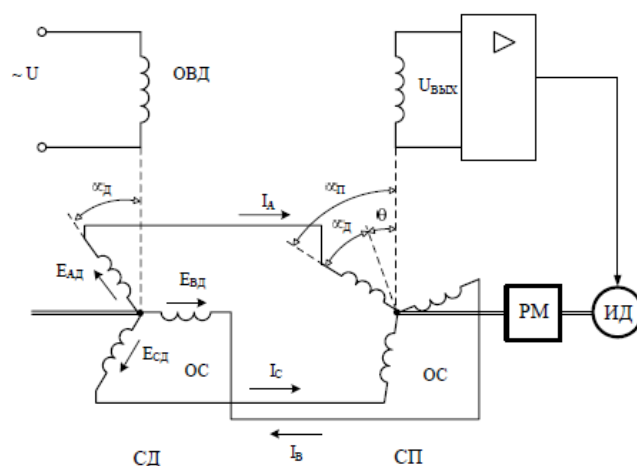


Рис.4.3. Схема однофазных сельсинов в индикаторном режиме.

На рисунке 4.3 показана простейшая схема включения сельсинов в индикаторном режиме. Схема состоит из двух одинаковых сельсинов (приёмника и датчика) и линии связи. Обмотки возбуждения приёмника и датчика подключены к сети переменного тока, а обмотки синхронизации соединяются между собой линией связи. Под действием переменных магнитных потоков обмоток возбуждения в каждой фазе обмоток синхронизации будет наводиться ЭДС, действующие значения которых зависят от угла поворота ротора. В том случае, когда углы поворота роторов обоих сельсинов одинаковы, то и ЭДС в одноимённых фазах синхронизирующих обмоток тоже будут одинаковыми. Ввиду того, что одноимённые фазы обмоток синхронизации приёмника и датчика включены встречно, результирующая ЭДС, равная разности ЭДС фаз приёмника и датчика, будет равна нулю, и ток в цепи фаз синхронизирующей обмотки будет отсутствовать. Если повернуть ротор сельсина-датчика на какой-то угол  $\alpha_D$ , то ЭДС в фазах синхронизирующей обмотки изменится. Нарушится равновесие ЭДС фаз сельсина - датчика и сельсина-приёмника. Под действием разности ЭДС в отдельных фазах обмоток синхронизации и линии связи будут протекать уравнительные токи. В результате взаимодействия этих токов с магнитным потоком обмотки возбуждения в роторах обоих сельсинов возникает так называемый синхронизирующий момент, который будет существовать до тех пор, пока углы поворота обоих роторов не станут одинаковыми. Синхронизирующий момент сельсина-датчика стремится повернуть ротор в исходное положение, а синхронизирующий момент сельсина-приёмника стремится повернуть ротор в сторону поворота ротора сельсина-датчика.

Если повернуть ротор сельсина - датчика на угол  $\alpha_d$  и не дать ему вращаться под действием синхронизирующего момента, а ротору сельсина- приёмника дать возможность вращаться. то под действием синхронизирующего момента последний начнёт поворачиваться до тех пор, пока не исчезнет синхронизирующий момент. При достижении ротором сельсина-приёмника угла поворота  $\alpha_p$ , равного  $\alpha_d$ , ЭДС одноимённых фаз сравняются, уравнивающие токи исчезнут, синхронизирующий момент станет равным нулю, и ротор остановится. Таким образом, сельсинная пара обладает свойством самосинхронизации. При наличии у реальных сельсинов моментов трения, электрической и магнитной асимметрии возникает погрешность сельсинной пары, которая характеризует зону нечувствительности, в пределах которой ротор сельсина-приёмника может занимать любое положение при одном и том же положении ротора сельсина-датчика. Погрешность угла передачи (разность углов поворота роторов датчика и приёмника) с использованием сельсинов колеблется от  $\pm 30'$  до  $\pm 90'$

*Трансформаторный режим работы сельсина (рисунок 4.4).*



*Рис.4.4. Сельсин-трансформаторная система.*

В этом режиме работа сельсина-приёмника отличается от его работы в индикаторном режиме тем, что на однофазную обмотку сельсина-приёмника не подаётся напряжение, а, наоборот, с этой обмотки снимается напряжение, наводимое пульсирующим магнитным потоком трёхфазной обмотки, которая выполняет в этом случае функцию первичной, в то время как однофазная - функцию вторичной обмотки. Сельсин-приёмник, работающий в таком режиме называют сельсин-трансформатором (СТ).

Входным сигналом в данной схеме является угол поворота ротора сельсина-датчика  $\alpha$ , а выходным – ЭДС, наводимая в однофазной обмотке сельсина-приёмника.

При подаче питания переменного напряжения ( $U \sim$ ) на однофазную обмотку сельсина – датчика (СД) в его трёхфазной обмотке наводится ЭДС, действующее значение которой в каждой фазе разное и зависит от угла поворота ротора. Трёхфазная обмотка сельсина-приёмника представляет собой симметричную пассивную (в трёхфазной обмотке сельсина-приёмника отсутствует ЭДС) для

трёхфазной обмотки сельсина-датчика. Поэтому, в отличие от индикаторного режима, в трёхфазных обмотках всё время проходят токи. Результирующий магнитный поток, создаваемый трёхфазной обмоткой сельсина-приёмника, остается по величине неизменным, а направление магнитных силовых линий этого потока зависит от соотношения токов в каждой фазе. При повороте ротора сельсина-датчика происходит изменение ЭДС в каждой фазе трёхфазной обмотки. Это приводит к изменению токов в трёхфазных обмотках обоих сельсинов. В результате изменяется соотношение токов в трёхфазной обмотке сельсина-приёмника, и это приводит к изменению направления магнитных силовых линий результирующего магнитного потока. Когда магнитный поток совпадает с осью однофазной обмотки, т.е. магнитные силовые линии перпендикулярно пересекают витки однофазной обмотки, то в ней наводится максимальная ЭДС. При повороте ротора сельсина-датчика на  $90^\circ$  направление магнитных силовых линий в сельсине-приёмнике также изменится на  $90^\circ$ . Теперь магнитные силовые линии не будут пересекать витки однофазной обмотки (они будут скользить вдоль витков, не пересекая их), и ЭДС в однофазной обмотке не наводится.

Выходная ЭДС  $E_y$  сельсина-трансформатора определяется по формуле:

$$E_y = E_{y\max} \cos\theta, \quad (4.4)$$

где  $E_{y\max}$  – максимальное действующее значение ЭДС, наводимой в однофазной обмотке сельсина-приёмника;

$\theta$  – угол рассогласования.

Угол рассогласования является углом между осями однофазных обмоток сельсинов. При согласованном положении роторов сигнал на выходе получается максимальным и изменяется по косинусоидальному закону. Это не очень удобно: входной сигнал нулевой, а выходной максимальный; при повороте ротора сельсина-датчика как по часовой стрелке, так и против на один и тот же угол, выходные сигналы абсолютно одинаковые. Более удобно, чтобы в согласованном положении выходной сигнал был нулевым и давал информацию о направлении вращения. Для этого между роторами сельсинов создают угол рассогласования, равный  $90^\circ$ , и принимают это положение за согласованное, и тогда статическая характеристика вместо косинусоидальной становится синусоидальной. Согласование осуществляется поворотом ротора на угол  $90^\circ$ , тогда ЭДС на выходе будет определяться выражением

$$E_y = E_{y\max} \sin\theta$$

На рисунке 4.5 показана зависимость выходной ЭДС сельсинов в трансформаторном режиме от угла рассогласования.

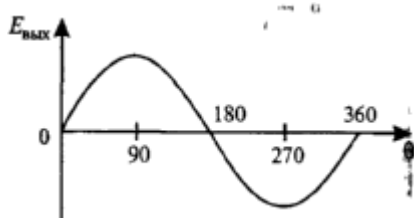


Рис.4.5. Зависимость выходной ЭДС сельсинов в трансформаторном режиме от угла рассогласования.

Изменение знака угла рассогласования приводит к изменению фазы выходного напряжения на  $180^0$ . Выходное напряжение в следящей системе подается на фазочувствительный усилитель (рис. 4.4). Знак напряжения, снимаемого с выхода усилителя, зависит от фазы выходного напряжения сельсинной пары. Напряжение с усилителя подается на исполнительный двигатель ИД, который, воздействуя на объект регулирования, одновременно поворачивает ротор сельсина-приемника в соответствующую сторону. После поворота сельсина-приемника на угол  $\alpha_{п} = \alpha_{д}$  вектор магнитного потока будет перпендикулярен к оси выходной обмотки и выходное напряжение станет равным нулю. Для получения строгой синусоидальной зависимости  $E_{\text{вых}}=f(\theta)$  необходимо, чтобы магнитный поток распределялся вдоль воздушного зазора по синусоидальному закону. Сельсины, работающие в трансформаторном режиме, обычно имеют неявнополюсную магнитную систему. В зависимости от значения статической погрешности сельсины в трансформаторном режиме делятся на несколько классов точности. У сельсинов высшего класса точности погрешность не превышает  $\pm 1'$  а у сельсинов низшего класса достигает  $\pm 18'$ .

Меньшая погрешность сельсинов в трансформаторном режиме по сравнению с индикаторным объясняется тем, что в трансформаторном режиме погрешность определяется только магнитной и электрической асимметрией сельсинов, а не значением момента трения. Сельсин-приемник потребляет энергию не от сети (в отличие от индикаторного режима работы), а от сельсина-датчика, что приводит к ограничению количества приемников, которое может быть подключено к одному датчику. При увеличении количества приемников происходит перегрев датчика. Динамические свойства сельсина-датчика соответствуют свойствам безынерционного звена.

*Датчик угловых перемещений.* Трансформаторный режим работы сельсинов нашёл широкое применение в датчиках угловых перемещений. На рисунке 4.6 показана схема включения сельсина, служащего для управления рулевым электроприводом в простом режиме работы авторулевого.

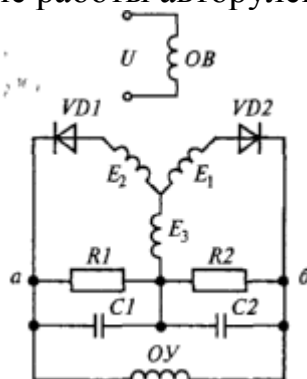


Рис.4.6. Схема сельсинного датчика углового перемещения.

Если изменить исходное положение ротора сельсина на  $-60^0$ , то для ЭДС фаз обмотки синхронизации можно написать следующие выражения:

$$\begin{aligned}
 E_1 &= E_H \sin(\varphi + 30^\circ); \\
 E_2 &= E_H \sin(\varphi - 210^\circ); \\
 E_3 &= E_H \sin(\varphi - 90^\circ).
 \end{aligned}
 \tag{4.5}$$

где  $E_H$  – наибольшее действующее значение ЭДС.

Сельсин является источником переменного напряжения, изменяющегося в функции положения его ротора, который механически связан со штурвалом управления рулевым электроприводом. Напряжение сельсина через выпрямители  $VD1, VD2$  подается на резисторы  $R1$  и  $R2$ , где происходит сравнение соответствующих выпрямленных напряжений. Конденсаторы  $C1$  и  $C2$  служат для сглаживания пульсации этих напряжений. Выпрямленное выходное напряжение снимается с точек  $a, b$  и служит для питания обмотки управления  $OU$  электромашинного усилителя. При отсутствии выпрямителей выходное напряжение

$$\text{было бы равно } U_{ab} = E_1 - E_2 = E_H [\sin(\varphi + 30^\circ) - \sin(\varphi - 210^\circ)] = \sqrt{3} E_H \sin \varphi. \tag{4.6}$$

Очевидно,  $U_{ab}=0$  при  $\varphi=0$ .

С учетом действия выпрямителей выходное напряжение будет изменяться по другому закону. При изменении угла  $\varphi$  от  $0$  до  $\pm 30^\circ$   $U_{ab}$  изменяется в соответствии с графиком рисунка 4.7.

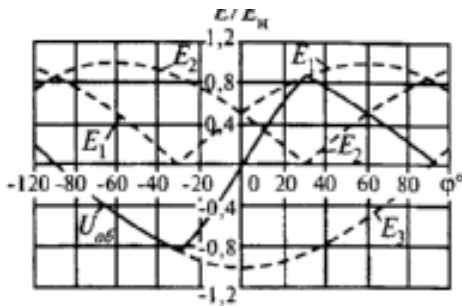


Рис.4.7. Кривая выходного напряжения датчика угловых перемещений.

При изменении угла от  $30$  до  $90^\circ$  напряжение  $E_2$ , благодаря действию выпрямителя  $VD1$  не меняет своего знака в сравнении с предыдущим диапазоном, поэтому для данного участка можно записать следующее выражение:

$$\begin{aligned}
 U_{ab} &= E_H [\sin(\varphi + 30^\circ) + \sin(\varphi - \\
 &- 210^\circ)] = E_H \cos \varphi.
 \end{aligned}
 \tag{4.7}$$

Аналогично, благодаря действию выпрямителя  $VD2$ , для участка от  $-30$  до  $-90^\circ$  справедливо выражение

$$U_{ab} = - E_H \cos \varphi. \tag{4.8}$$

Подключение резисторов  $R1$  и  $R2$  приводит к изменению выходного напряжения, практически не меняя функциональную зависимость его угла поворота. При  $\varphi=0, 90, 180, 270, 360^\circ$   $U_{ab}=0$  (рис.4.6). Этим значениям угла поворота соответствуют равные падения напряжения на резисторах  $R1, R2$ . Нулевое положение сельсинов обычно выбирают при угле, равном  $90^\circ$ , так как при данном значении угла ЭДС третьей фазы равна нулю и схема работает с минималь-



ными потерями. Как видно из рассмотренной схемы (рис. 4.5), третья фаза не оказывает влияния на выходное напряжение. Но из-за внутреннего соединения фаз обмотки синхронизации сельсина используется описанная схема.

При рассмотрении работы сельсинов не учитывалось сопротивление кабельной линии, которое в некоторых случаях может привести к возникновению дополнительной погрешности.

Различная длина кабельных линий от источника питания до обмоток возбуждения датчика и приемника может вызвать появление уравнительного тока между обмотками синхронизации в согласованном положении сельсинов, а увеличение длины кабельной линии между обмотками синхронизации приводит к снижению тока в обмотках и, следовательно, к уменьшению точности передачи. В трансформаторном режиме работы сельсинов увеличение кабельной линии между обмотками синхронизации приводит к уменьшению выходной ЭДС из-за снижения тока.

## 2. Приборы и оборудование

В работе используются следующие приборы и оборудование.

- Бесконтактные сельсины-датчики типа БД-1404А.
- Линия связи с сопротивлением фазы  $R_{Л} = 11 \text{ Ом}$ .
- Микромультиметр цифровой типа ММЦ-01.
- Осциллограф С1-68.
- Соединительные провода.

## 3. Порядок выполнения лабораторной работы

### 3.1. Исследование индикаторного режима.

3.1.1. Собрать на стенде схему рис. 4.3, для чего необходимо соединить соответствующие гнезда обмоток возбуждения СД и СП С1 и С2 и подключить их к источнику переменного напряжения  $\sim 110 \text{ В}$ .

Обмотки синхронизации СД и СП соединены на стенде через линии связи  $R_{Л}$ .

3.1.2. Снять зависимость угла поворота ротора СП от угла поворота ротора СД, поворачивая ротор СД

$$\alpha_{П} = f(\alpha_{Д}) .$$

Результаты занести в табл. 4.1.

Таблица 4.1

, град	0	30	60	...	360
$\langle П$ , град					
$\otimes \langle$ , град					

3.1.3. Рассчитать ошибку индикаторной передачи

$$\Delta\alpha = \alpha_{П} - \alpha_{Д} .$$

3.1.4. Результаты расчетов занести в табл. 4.1.

### 3.2. Исследование трансформаторного режима.

3.2.1. Собрать схему рис. 4.4, для чего в отличие от предыдущей схемы отключить обмотку возбуждения сельсина-приемника от источника напряжения и подключить её к микроультиметру на пределе измерения 200 В переменного напряжения.

3.2.2. Повернуть ротор СП на угол  $90^\circ$  относительно положения ротора СД и зафиксировать его.

3.2.3. Поворачивая ротор СД снять зависимость выходного напряжения СП от положения ротора СД

$$U_{\text{ВЫХ}} = f(\alpha_{\text{Д}})$$

Результаты занести в табл.4.2.

Таблица 4.2

$\alpha_{\text{Д}}$ , град	0	30	60	...	360
$U_{\text{вых}}$ , В					
$U_{\text{вых.расч}}$ , В					
$U_{\text{вых}}$ , В					

3.2.4. Рассчитать теоретическое действующее значение выходного напряжения СП

$$U_{\text{ВЫХ\_расч}} = U_{\text{ВЫХМ}} \cdot |\sin \alpha_{\text{Д}}|,$$

где за значение  $U_{\text{выхм}}$  взять максимальное значение, определенное экспериментально.

Рассчитать отклонение экспериментального значения выходного напряжения от расчетного

$$\Delta U = U_{\text{ВЫХ}} - U_{\text{ВЫХ\_расч}}$$

Результаты расчетов занести в таблицу 4.2.

## 4. Содержание отчета

4.1. Цель работы.

4.2. Технические данные используемых сельсинов.

4.3. Для каждого пункта программы работы представить:

принципиальную электрическую схему;

таблицы экспериментальных и расчетных данных;

графики функциональных экспериментальных и расчетных зависимостей.

4.4. Ответы на контрольные вопросы.

4.5. Выводы по работе.

## 5. Контрольные вопросы

- 5.1. Дайте определение сельсинов. Какие сельсины используются в судовой автоматике.
- 5.2. Конструктивное исполнение сельсинов.
- 5.3. Принцип действия сельсинов.
- 5.4. Индикаторный режим сельсинов.
- 5.5. Трансформаторный режим сельсинов.
- 5.6. Датчик угловых перемещений.

## 6. Список литературы.

1. Жадобин Н.Е., Крылов А.П., Малышев В.А. Элементы и функциональные устройства судовой автоматике: Учебник. 2-е изд., перераб. и доп. – СПб.: Элмор, 1998. 440с.
2. Ушакевич А.А. Элементы и функциональные устройства автоматике. Учебное пособие. КамчатГТУ, Петропавловск-Камчатский, 2010. 149 с.

## Лабораторное занятие 5.

### Исследование нереверсивного магнитного усилителя.

*Цель занятия:* Исследование основных характеристик нереверсивного магнитного усилителя в статическом режиме работы.

#### 1. Основные теоретические сведения.

Работа магнитных усилителей основана на изменении магнитной проницаемости ферромагнитных материалов по отношению к переменному току при наличии подмагничивающего постоянного поля. Для уяснения принципа работы магнитного усилителя рассмотрим цепь (рис. 5.1, а), состоящую из сопротивлений нагрузки  $R_n$  и рабочей цепи обмотки  $W_p$  с ферромагнитным сердечником. Цепь присоединена к источнику переменного напряжения схемы  $U_c$ . Если принять сопротивление обмотки чисто индуктивным  $X_p$ , а ток близким к синусоидальному, то

$$I = \frac{U_c}{\sqrt{R_n^2 + X_p^2}} = \frac{U_c}{\sqrt{R_n^2 + \omega^2 L_p^2}}, \quad (5.1)$$

где

$$L_p = \frac{4\pi \cdot 10^{-7} W_p^2 S}{l} \mu. \quad (5.2)$$

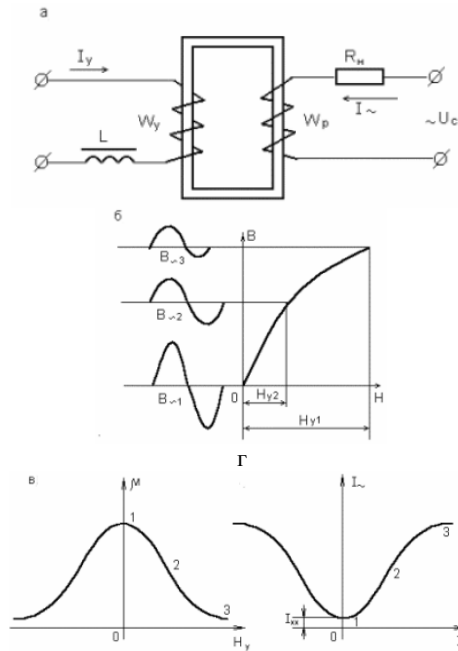


Рис.5.1. К принципу действия магнитного усилителя.

Сопротивление  $X_p$  зависит от магнитной проницаемости материала сердечника ( $\mu$ ), основная кривая намагничивания которого показана на рис. 5.1,б. При отсутствии постоянного тока  $I_y$  в обмотке управления  $W_y$  по нагрузке течет ток, называемый током холостого хода, определяемый магнитной проницаемостью в положении 1 и соответствующим ей сопротивлением  $X_p$ .

При этом амплитуда изменения индукции  $B \sim$  максимальна (см. рис. 5.1, б) и основная часть напряжения схемы уравнивается ЭДС самоиндукции рабочей обмотки. Появление тока управления  $I_y$  приводит к появлению напряженности постоянного магнитного поля  $H_y$ , и частный цикл кривой намагничивания перемещается из положения 1 в положение 2 или 3. По мере возрастания  $I_y$  магнитная проницаемость материалов падает (рис. 5.1, в), снижается индуктивное сопротивление  $X_p$  рабочих обмоток и ток в нагрузке увеличивается (рис. 5.1, г); амплитуда изменения индукции (см. рис. 5.1, б) уменьшается и часть напряжения схемы уравнивается на рабочей обмотке. Оставшаяся часть напряжения схемы прикладывается к нагрузке.

Таким образом, путем изменения тока в МУ появляется возможность управления током в нагрузке. Это обеспечивается за счет управления перераспределением падений напряжений на рабочих обмотках магнитного усилителя и на нагрузке. Напряжение тока  $I_y$  такого магнитного усилителя не имеет значения, поскольку кривая намагничивания симметрична относительно начала координат. Из-за этого свойства подобные магнитные усилители получили название нереверсивных усилителей. Рассмотренный магнитный усилитель имеет характеристику вход-выход (т.е. зависимость выходной величины  $NI$  от входной  $I_y$ ), нечувствительную к знаку управляющего сигнала (см. рис. 5.1, г).

Для повышения коэффициента усиления МУ в них используются различные виды положительных обратных связей (ПОС). Принцип работы положительной

обратной связи состоит в компенсации действия  $H_{\sim}$  самим током нагрузки  $I_{\sim}$ . Если выходная величина  $I_{\sim}$ , создаваемая напряженностью постоянного магнитного поля  $H_{пос}$  подается обратно на вход магнитного усилителя в специальную внешнюю обмотку обратной связи (рис. 5.2,а), то такая обратная связь называется внешней. В этом случае (рис. 5.2,б) величины напряженности  $H_y$  могут составлять лишь небольшую часть общей напряженности  $H_{\sim}$ , т.е.  $H_{\sim} = H_y + H_{пос}$ . Следовательно, прежний ток в нагрузке достигается при значительно меньшем токе управления.

На рис. 5.2,в показано изменение напряженностей  $\sim H$ ,  $-H$  и  $H_{пос}$  в этот же полупериод в другом сердечнике усилителя. В следующий полупериод сердечники меняются ролями.

Эффект компенсации  $H_{\sim}$  можно получить по схеме рис. 5.2,г. Диоды, включенные последовательно с рабочими обмотками, "компенсируют"  $\sim H$  с точностью до своих обратных токов.

На рис. 5.2,д видно, что напряженность  $H_y$ , а значит, и ток  $I_y$  определяются величиной напряженности  $H_{\sim}обр$ , которую создает обратный ток диода.

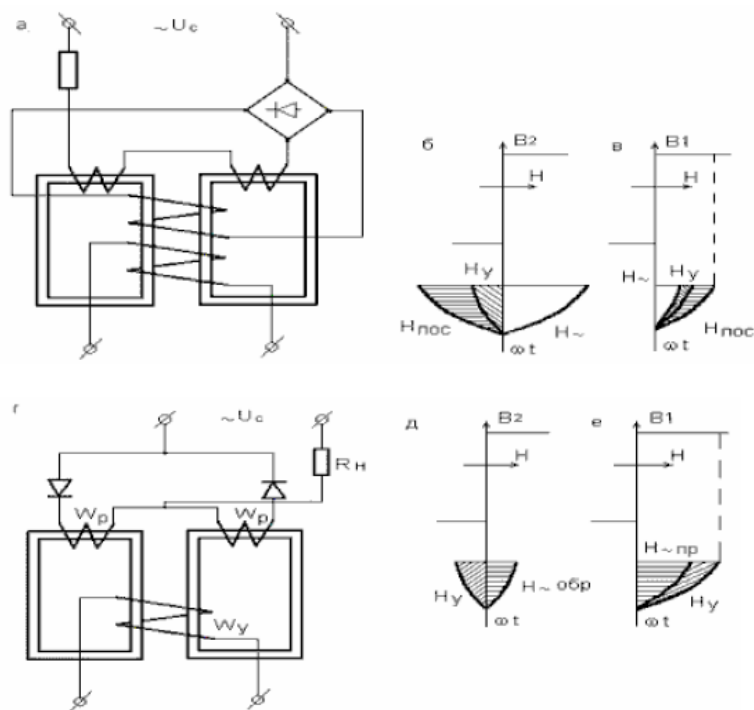


Рис.5.2. Способы осуществления обратных связей в магнитных усилителях.

На рис. 5.2,е показано направление напряженностей  $H_{\sim}пр$  и  $H_y$  в тот же полупериод в другом сердечнике. В следующий полупериод сердечники меняются ролями. В схеме рис. 5.2,г рабочие обмотки выполняются так, чтобы создаваемые ими однополупериодные импульсы напряженности  $\sim H$  образовали бы относительно обмотки управления (см. стрелки на рис. 5.2,г) постоянную составляющую напряженности. Эта составляющая действует согласно с напряженностью обмоток управления и производит эффект положительной обратной связи без дополнительной обмотки "внутренним" образом. Поэтому такая схема

называется усилителем с внутренней обратной связью. Количественно обратная связь характеризуется коэффициентом обратной связи, представляющим собой отношение постоянной составляющей напряженности обратной связи к среднему значению напряженности переменного поля:

$$K_{mo} = \frac{H_{noc}}{H_{\sim cp}} = \frac{W_{mo}}{W_p}. \quad (5.3)$$

Коэффициент обратной связи устанавливает степень компенсации напряженности  $H_{\sim}$  напряженностью  $H_{noc}$  в том сердечнике, в котором в данный полупериод напряженности переменного и постоянного полей вычитаются. Графический учет влияния обратной связи на характеристику вход-выход магнитного усилителя с внешней обратной связью (рис. 5.3) производится дополнительным построением линий положительной обратной связи, проводимой под углом

$$\gamma = \arctg K_{noc}. \quad (5.4)$$

Из построения (рис. 5.3,а) видно, что значительная часть напряженности постоянного поля  $H_{\sim}$ , необходимая для получения тока в нагрузке, соответствующей точке А, создается напряженностью  $H_{noc}$  (отрезок АВ), остальная часть — напряженностью  $H_y$  (отрезок ВС) от обмотки управления. Характеристикой вход—выход усилителя с положительной обратной связью может служить та же кривая, что и без неё, если за ось ординат принять линию ПОС. Однако для удобства ее пересчитывают в обычную прямоугольную систему координат способом, показанным на рис. 5.3,б. Если  $K_{noc}$  станет больше единицы, то линия ПОС пройдет под углом  $\gamma > 45^\circ$  и характеристика вход—выход, перестроенная тем же методом, примет петлеобразный вид (рис. 5.3,в), магнитный усилитель перейдет в реальный режим, т.е. будет работать как бесконтактное реле, у которого значения токов управления, соответствующие напряженности  $H_{отп}$  и  $H_{сраб}$ , соответствуют токам отпускания и срабатывания электромагнитных реле.

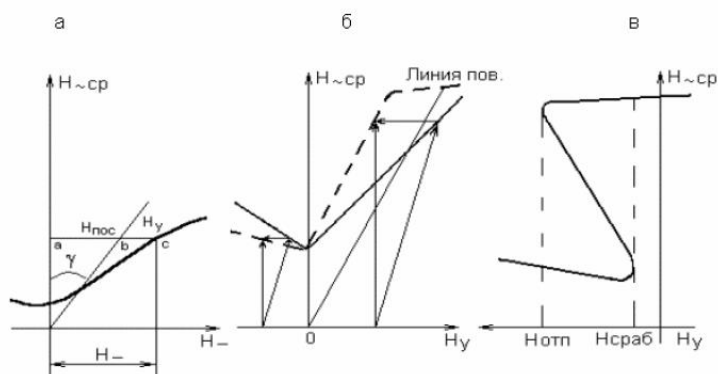


Рис.6.3. Влияние обратной связи на характеристику вход-выход магнитного усилителя.

В магнитных усилителях с внутренней обратной связью удобно за выходную величину принимать напряжение нагрузки

$$U_{\text{вых}} = U_c - U_p = U_c - W_p S \frac{dB}{dt}. \quad (5.5)$$

Выполнив некоторые преобразования и используя выражение КПД рабочей цепи

$$\eta = \frac{R_H}{R_z} = \frac{R_H}{R_H + R_p + R_g}, \quad (5.6)$$

напряжение на нагрузке можно выразить формулой

$$U_{\text{н.ср}} = \eta U_{\text{вых}} = \eta (U_{\text{с.ср}} - 2fW_p S |\Delta B|), \quad (5.7)$$

где  $\Delta B$  – изменение индукции при данном  $H_y$ . Характеристикой вход-выход в этом случае является зависимость среднего значения напряжения на нагрузке от величины сигнала управления, представленного на рис. 6.4,а. Эту характеристику для участка 1...2 можно получить из уравнения напряжения на нагрузке при известной зависимости  $\Delta B (H_y)$  (рис. 5.4,б), называемой кривой размагничивания. Для участка 2...3 при больших отрицательных значениях напряженности управления  $H_y$  характер процессов соответствует усилителю без обратной связи и напряжение на нагрузке определяется выражением

$$U_{\text{н.ср}} = I_{\text{н.ср}} R_H = (I_y \frac{W_y}{W_p} + \frac{H_{\text{ср}}}{W_p}) R_z. \quad (5.8)$$

## 2. Приборы и оборудование.

Магнитный усилитель (рис. 5.4) состоит из двух тороидальных сердечников, на которые намотаны следующие обмотки:  $W_{oc}$  – обмотка обратной связи;  $W_{см}$  – обмотка смещения;  $W_p$  – рабочая обмотка;  $W_y$  – обмотка управления. Рабочие обмотки соединены таким образом, что в обмотках  $W_{см}$ ,  $W_{oc}$ ,  $W_y$  не наводится переменная ЭДС. На панели установки имеется переключатель П9 для коммутации со схемами 1, 2, 3 и переключатель П10 для выбора вида нагрузки. Переключатели П1, П4, П5 служат для изменения направления токов смещения, обратной связи и управления соответственно; П3 – для включения внешней обратной связи. Кроме того, на панели установлены тумблеры “Включить—Выключить” для включения переменного напряжения.

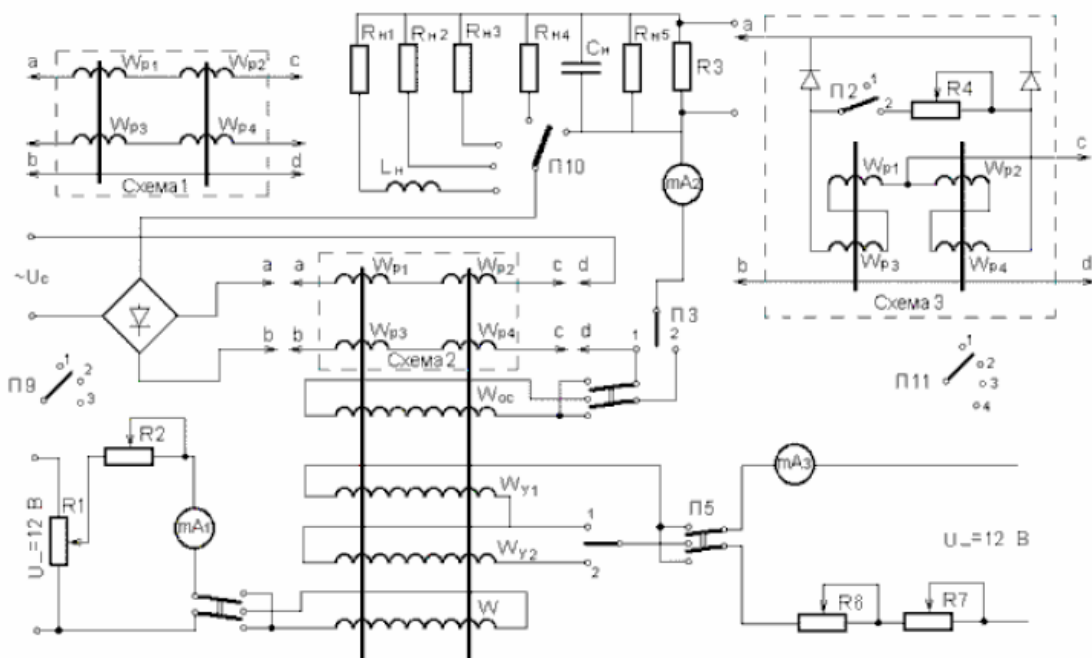


Рис. 5.4. Принципиальная электрическая схема лабораторной установки.

### 3. Порядок выполнения лабораторной работы.

*Снятие статических характеристик МУ без обратной связи:*

- 3.1. Включить схему согласно рис. 5.4.
- 3.2. Переключатель П9 установить в положение “Сх.1”.
- 3.3. Все тумблеры, кроме П1, установить в положение “1”. Тумблер П1 поставить в среднее положение.
- 3.4. Включить стенд в сеть  $\sim 220$  В.
- 3.5. Снять зависимость  $I f(I y) H =$  при двух направлениях тока управления для всех видов нагрузки (П5 – в верхнее и нижнее положения).
- 3.6. Снять зависимость  $I f(I y) H =$  для одного из видов нагрузки при двух последовательно соединенных обмотках управления (П6 – в положение “2”).

*Снятие статических характеристик МУ с внешней обратной связью:*

- 3.7. Включить (П3) обмотку внешней обратной связи  $W_{oc}$  и снять зависимость  $I H = f(I y)$  при различной полярности сигнала управления для одной из нагрузок.
- 3.8. Изменить направление тока (П4) через обмотку  $W_{oc}$  и снять зависимость  $I H = f(I y)$ .
- 3.9. Установить переключатель П9 в положение “Сх.2” и снять характеристику  $I H = f(I y)$  при различной полярности сигнала управления для одной из нагрузок (П3 в положение “1”).
- 3.10. Повторить предыдущий пункт при включенной обмотке обратной связи (П3 в положение 2)  $W_{oc}$  для двух положений переключателя П4.
- 3.11. Подать ток в обмотку смещения  $W_{см}$  (П1) и снять зависимость  $I H = f(I y)$ .



3.12. Регулируя величину тока смещения, получить характеристику вход-выход с минимальным током  $I_{xx}$  для МУ (Сх.2) при отключенной обмотке обратной связи (ПЗ – в положение “1”).

*Снятие статических характеристик МУ с внутренней обратной связью:*

3.13. Установить переключатель П9 в положение "Сх.3".

3.14. Отключить (ПЗ) обмотку обратной связи и смещения (П1).

3.15. Снять зависимость  $I_H = f(I_y)$  при различной полярности сигнала управления для одной из нагрузок.

3.16. Установить переключатель П2 в положение “1” и снять зависимость  $I_H = f(I_y)$  при различных значениях сопротивления шунта (максимуме и минимуме).

*Снятие статических характеристик МУ в релейном режиме.*

3.17. Установить переключатель П9 в положение "Сх.3", ПЗ - в положение 2 и получить с помощью П4 внешнюю положительную обратную связь. Снять релейную характеристику вход—выход.

3.18. С помощью смещения получить характеристики бесконтактного магнитного реле с нормально замкнутыми и нормально разомкнутыми контактами, предварительно получив минимальный ток  $I_{xx}$ .

3.19. Исследовать влияние величины обратной связи на ширину релейной характеристики, подключив поочередно (П11)  $4W_{oc}$ .

#### 4. Содержание отчета.

4.1. Принципиальная схема установки.

4.2. Таблицы экспериментальных данных по каждому пункту.

4.3. Графики экспериментальных зависимостей.

4.4. Краткие выводы по всем пунктам проделанной работы.

#### 5. Контрольные вопросы.

5.1. Какие физические процессы лежат в основе работы МУ?

5.2. Каково значение обратных связей в МУ?

5.3. Какие факторы влияют на вид характеристики вход—выход?

5.4. Как построить характеристику вход—выход?

5.5. Укажите области применения МУ.

#### 6. Список литературы.

1. Жадобин Н.Е., Крылов А.П., Малышев В.А. Элементы и функциональные устройства судовой автоматики: Учебник. 2-е изд., перераб. и доп. – СПб.: Элмор, 1998. 440с.
2. Ушакевич А.А. Элементы и функциональные устройства автоматики. Учебное пособие. КамчатГТУ, Петропавловск-Камчатский, 2010. 149 с.

## Лабораторное занятие 6.

### Исследование типовых регуляторов на базе операционного усилителя.

*Цель занятия:* изучение типовых схем реализации регуляторов для систем управления на основе операционных усилителей: экспериментальное определение их характеристик: формирование навыков составления структурных схем и навыков компьютерного моделирования электронных схем.

#### 1. Основные теоретические сведения.

Современные системы управления различными объектами, в том числе электроприводами, включают в себя аналоговые элементы, которыми могут быть: регуляторы и усилительные элементы для их построения, задатчики регулируемых величин, датчики различных величин, вычислительные устройства, источники питания, а так же вспомогательные элементы связи.

Аналоговые элементы, используемые для построения конкретной автоматической системы управления должны быть согласованы по входным и выходным сигналам, иметь единое напряжение питания, одинаковые электронные компоненты, технологическую основу.

Основной элемент аналоговых систем автоматического управления - операционный усилитель.

Операционный усилитель (ОУ) - это усилитель с большим коэффициентом усиления по напряжению, применяемый в основном в качестве активного элемента в схеме с обратной связью. С помощью ОУ выполняют традиционные математические операции, такие как: суммирование, вычитание, интегрирование и дифференцирование, а также реализуют всевозможные усилители постоянного и переменного тока, активные фильтры, модуляторы и демодуляторы, аналоговые умножители и делители, функциональные преобразователи, компараторы, генераторы, формирователи напряжений и т.д.

Операционный усилитель тем точнее реализует заданную конкретной схемой включения внешних цепей функцию, чем ближе его параметры будут к параметрам идеального ОУ:

- напряжение на выходе  $O$   $B$  при напряжении на входе  $O$   $B$ :
- входное сопротивление равно бесконечности:
- коэффициент усиления по напряжению равен бесконечности:
- полоса пропускания равна бесконечности:
- скорость нарастания выходного напряжения равно бесконечности:
- выходное сопротивление равно нулю.

Операционный усилитель (ОУ) - это многокаскадный усилитель постоянного тока с дифференциальным входом, по своим характеристикам приближающийся к "идеальному усилителю" (рис. 6.1).

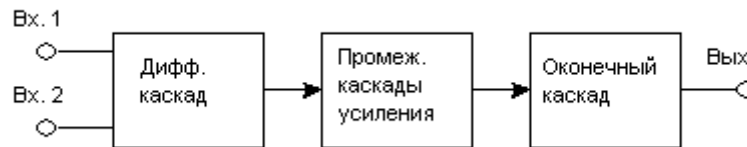


Рис.6.1. Блок - схема операционного усилителя.

Все операции ОУ выполняет с помощью дифференциального каскада и промежуточных каскадов усиления - цепей положительной и отрицательной обратной связи, в состав которых могут входить резисторы, емкости и индуктивности, диоды, стабилитроны, транзисторы и другие электронные элементы.

На рисунке 6.2 показано одно из схематичных изображений операционного усилителя.

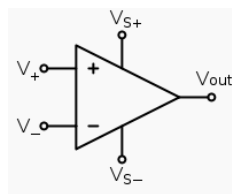


Рис.6.2. Схематичное изображение операционного усилителя.

Выводы имеют следующее значение:

$V_+$ : неинвертирующий вход

$V_-$ : инвертирующий вход

$V_{out}$ : выход

$V_{S+}$ : плюс источника питания (также может обозначаться как  $E$ ,  $V_{DD}$ ,  $V_{CC}$ , или  $V_{CC+}$ )

$V_{S-}$ : минус источника питания (также может обозначаться как  $E$ ,  $V_{SS}$ ,  $V_{EE}$ , или  $V_{CC-}$ )

Указанные пять выводов присутствуют в любом ОУ, они необходимы для его функционирования. Однако, существуют операционные усилители, не имеющие неинвертирующего входа. В частности, такие ОУ находят применение в аналоговых вычислительных машинах (АВМ). Входная цепь ОУ обычно выполняется по дифференциальной схеме, а это значит, что входные сигналы можно подавать на любой из двух входов, один из которых изменяет полярность выходного напряжения и поэтому называется инвертирующим, а другой не изменяет полярности выходного напряжения и называется неинвертирующим. Инвертирующий вход на схемах можно отмечать кружочком или ставить около него знак минус (-). Неинвертирующий вход или совсем не отмечается, или около него пишется знак плюс (+). Два вывода ОУ используются для подачи на него напряжения питания  $+E$  и  $-E$ . Положительное и отрицательное напряжения питания обычно имеют одно и то же значение, а их общий вывод одновременно является общим выводом для входных и выходного сигналов (обычно выводы питания на схемах ОУ не изображают).

На упрощенной принципиальной схеме ОУ (рис.6.3) дифференциальный каскад выполнен на транзисторах  $VT_1, VT_2, VT_3$ . Вход 1 называют инвертирующим,

так как при заземленном входе 2 сигнал, поданный на инвертирующий вход на выходе окажется сдвинутым по фазе на 180градусов. При подаче сигнала на вход 2(неинвертирующий вход) выходной сигнал окажется в одинаковой фазе с сигналом на входе (получается синфазный выходной сигнал). За входным каскадом следует один или несколько промежуточных, которые обеспечивают усиление входного сигнала по току и напряжению. На рис.6.3 в качестве промежуточного каскада используется дифференциальный усилитель на транзисторах VT4 и VT5.

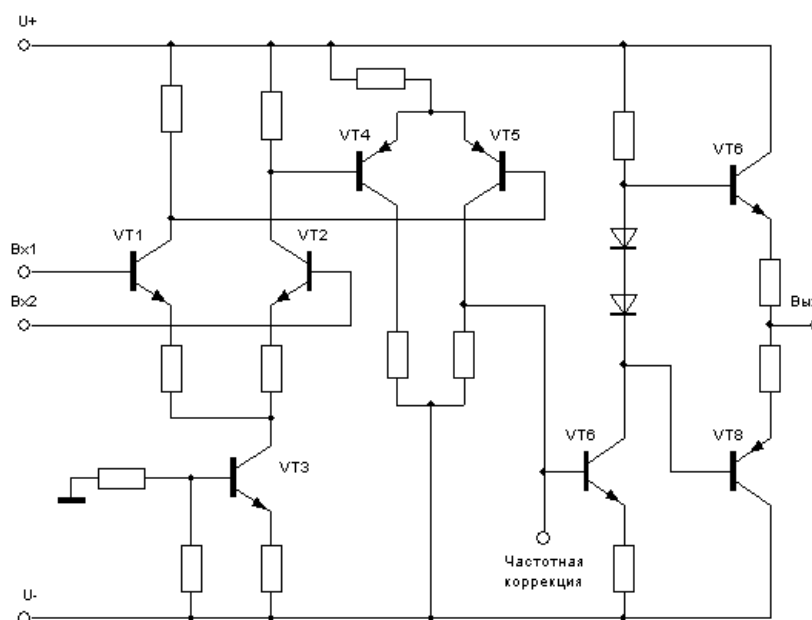


Рис. 6.3. Упрощенная схема операционного усилителя.

Оконечный каскад обеспечивает ток, достаточный для питания ожидаемой нагрузки. Обычно в качестве окончного каскада используется простой или комплементарный эмиттерный повторитель (транзисторы VT7,VT8 на рисунке 6.3). ОУ могут содержать в своей семе до 24 транзисторов. В настоящее время они имеют многокаскадную структуру на базе микропроцессорной технологии. Отечественная промышленность выпускает несколько серий операционных усилителей: К140. К544. К553. К1401 и другие.

Реальный ОУ обладает конечным коэффициентом усиления, график зависимости выходного напряжения от входного (регулирующая характеристика) представляет собой в общем случае нелинейную характеристику, наклон которой определяется коэффициентом усиления по напряжению ОУ:

$$K_{UH} = \frac{U_{ВЫХ}}{U_{ВХ}} . \quad (6.1)$$

Операционные усилители в схемах регуляторов используются как в качестве собственно регуляторов, так и в качестве суммирующих усилителей, инверторов, повторителей, ключевых элементов, функциональных преобразователей и т.д.: необходимые свойства придаются усилителю с помощью выбора соответствующих входных цепей и цепей обратных связей.

При использовании ОУ в качестве регулятора на его входе происходит сравнение сигналов задания и фактического значения регулируемой величины в виде токов, определяемых входными напряжениями. Поэтому на входе ОУ имеются цепи, в общем случае, состоящие из активных и реактивных сопротивлений, преобразующие входные напряжения во входные токи ОУ.

Входные токи изменяются во времени соответственно свойствам входных цепей, в которых они формируются. Анализировать работу регуляторов можно либо исследуя зависимость выходного напряжения регулятора от тока рассогласования либо исследуя зависимость выходного напряжения от напряжения на одном из входов, считая, что управление на втором входе отсутствует, т.е. рассматривая зависимость от каждого из входных напряжений в отдельности. Этот прием правомерен, если входные цепи и цепи обратной связи линейны. Для реализации регуляторов чаще всего используется схема суммирующего инвертирующего усилителя. Обобщенная схема П-регулятора на основе ОУ для этого случая приведена на рис.6.4.

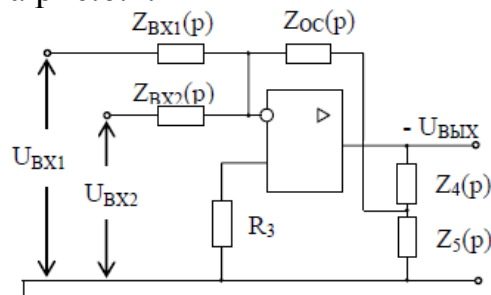


Рис.6.4. Обобщенная схема П- регулятора на основе инвертирующего усилителя.

Примеры реализации простейших типовых схем регуляторов с использованием инверсного (инвертирующего) входа усилителя.

**Пример 1. Пропорциональный регулятор (П-регулятор).**

Принципиальная схема регулятора приведена на рис. 6.5, а.

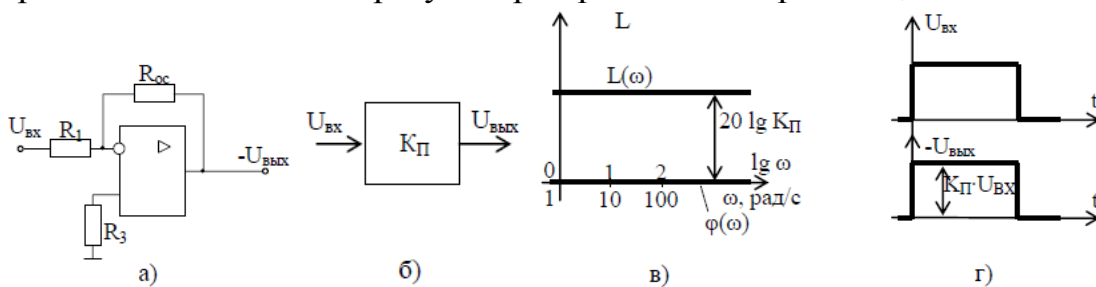


Рис.6.5. Принципиальная схема пропорционального регулятора а), структурная – б), частотные характеристики в), временные – г).

Передаточная функция П-регулятора имеет вид:

$$W(p)_{\Pi} = \frac{-U_{ВЫХ}(p)}{U_{ВХ}(p)} = \frac{R_{ОС}}{R_1} = K_p = K_{\Pi} \quad (6.2)$$

где  $K_p$  - коэффициент усиления регулятора, может быть больше и меньше единицы, если  $K_p = 1$ . то такую схему называют инвертором. П-регулятор относится к регуляторам с очень большим быстродействием. На скачкообразный сигнал на входе он реагирует таким же скачкообразным сигналом на выходе (рис. 6.5,

г), его временные и частотные характеристики ограничиваются только характеристиками ОУ и его внешней коррекцией.

**Пример 2. Пропорционально-интегральный регулятор (ПИ-регулятор).**

Схема регулятора приведена на рис. 6.6. а,б.

Передаточная функция ПИ-регулятора имеет вид:

$$W(p)_{\text{пи}} = \frac{-U_{\text{ввых}}(p)}{U_{\text{вх}}(p)} = \frac{R_{\text{ос}} \cdot C_{\text{ос}} \cdot p + 1}{R_1} = \frac{T_{\text{из}} \cdot p + 1}{T_{\text{и}} p} = K_p \cdot \frac{T_{\text{из}} \cdot p + 1}{T_{\text{из}} \cdot p} = K_n + \frac{1}{T_{\text{и}} \cdot p}, \quad (6.3)$$

где  $T_{\text{из}} = R_{\text{ос}} \cdot C_{\text{ос}}$  – постоянная времени изодрома, с;

$T_{\text{и}} = R_1 \cdot C_{\text{ос}} = T_{\text{из}} / K_p$  – постоянная времени интегрирования, с;

$K_p = R_{\text{ос}} / R_1 = T_{\text{из}} / T_{\text{и}}$  – коэффициент усиления регулятора;

$K_n = K_p$ .

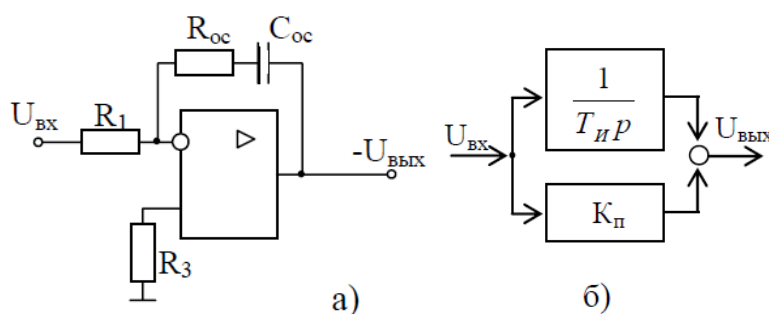


Рис.6.6. Принципиальная (а) и структурная (б) схемы пропорционально-интегрального регулятора.

Частотные характеристики ПИ-регуляторы представлены на рисунке 6.6 в.

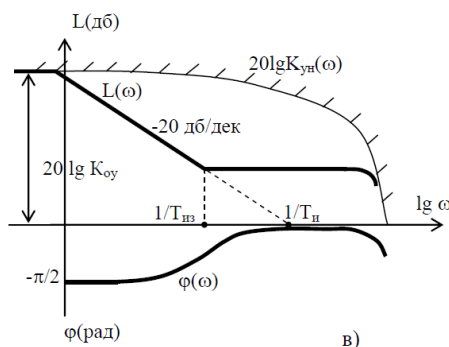


Рис. 6.6. Частотные характеристики ПИ-регулятора.

Временные характеристики ПИ-регулятора при скачкообразном входном сигнале показаны на рисунке 6.6. г.

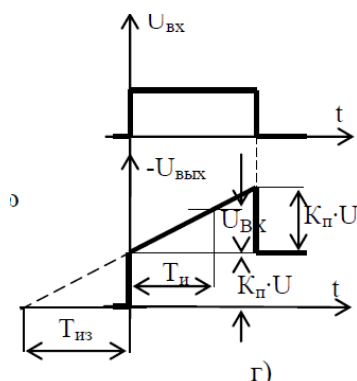


Рис.6.6. Временные характеристики ПИ-регулятора при скачкообразном входном сигнале.

**Пример 3.** Пропорционально-интегрально-дифференциальный регулятор (ПИД-регулятор). Схема регулятора приведена на рис. 6.7. а, б. Передаточная функция ПИД-регулятора имеет вид:

$$W(p) = \frac{-U_{\text{ВЫХ}}(p)}{U_{\text{ВХ}}(p)} = \frac{(T_{\text{ИЗ}} \cdot p + 1) \cdot (T_{\text{УП}} \cdot p + 1)}{T_{\text{И}} \cdot p} = K_P \cdot \frac{(T_{\text{ИЗ}} \cdot p + 1) \cdot (T_{\text{УП}} \cdot p + 1)}{T_{\text{И}} \cdot p} = K_{\text{П}} + \frac{1}{T_{\text{И}} \cdot p} + T_{\text{Д}} \cdot p, \quad (6.4)$$

где

$$K_P = \frac{R_{\text{ОС}}}{R_1}; \quad T_{\text{ИЗ}} = R_{\text{ОС}} \cdot C_{\text{ОС}}; \quad T_{\text{УП}} = R_1 \cdot C_1; \quad T_{\text{И}} = R_1 \cdot C_{\text{ОС}1};$$

$$K_{\text{П}} = \frac{T_{\text{ИЗ}} + T_{\text{УП}}}{T_{\text{И}}}; \quad T_{\text{Д}} = \frac{T_{\text{ИЗ}} \cdot T_{\text{УП}}}{T_{\text{И}}}. \quad (6.5)$$

Условия работы ПИД-регулятора

$$T_{\text{ИЗ}} > T_{\text{УП}}; \quad K_{\text{П}}^2 \cdot \frac{T_{\text{И}}}{T_{\text{Д}}} \geq 4.$$

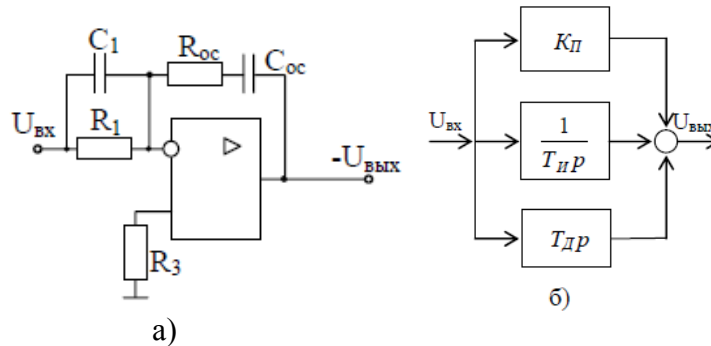


Рис. 6.7. Принципиальная а) и структурная б) схемы ПИД-регулятора.

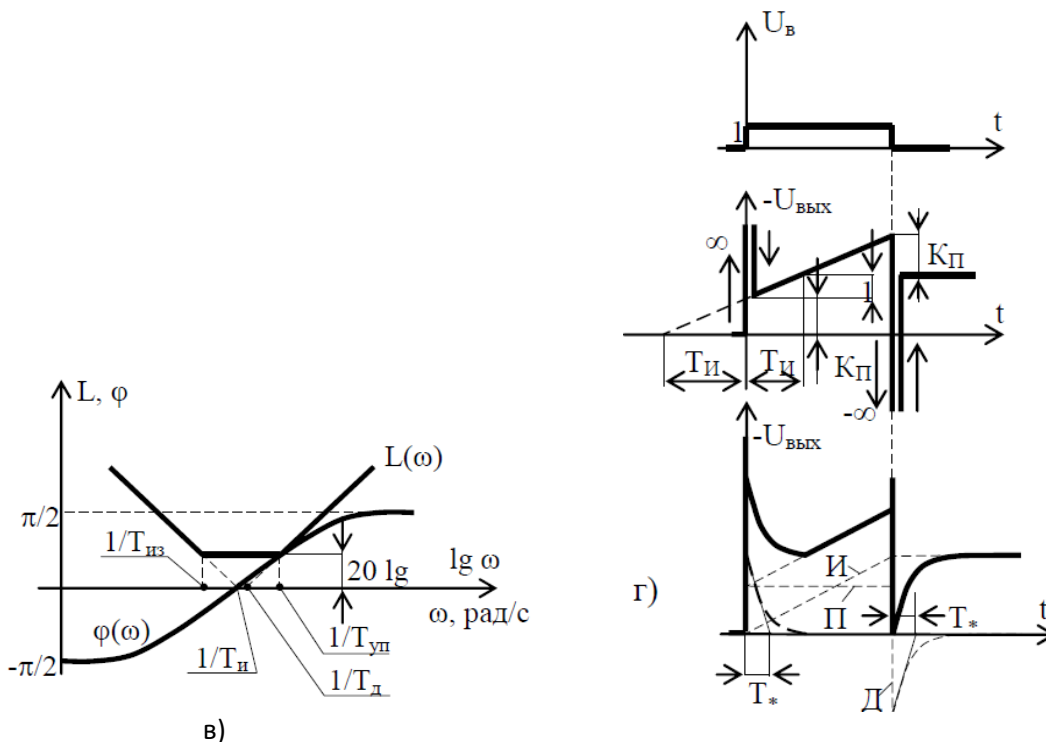


Рис. 6.8. Частотные характеристики ПИД-регулятора – в); временные характеристики ПИД-регулятора при скачкообразном входном сигнале – г).

*Методические указания к выполнению лабораторной работы.*

1. Записать дифференциальное уравнение регулятора по его передаточной функции.

В качестве примера рассмотрим передаточную функцию пропорционально-интегрального регулятора:

$$W(p)_{ПИ} = \frac{-U_{ВЫХ}(p)}{U_{ВХ}(p)} = K_P \cdot \frac{T_{ИЗ} \cdot p + 1}{T_{ИЗ} \cdot p} \quad (6.6)$$

или

$$-U_{ВЫХ}(p) \cdot T_{ИЗ} \cdot p = U_{ВХ}(p) \cdot K_P \cdot (T_{ИЗ} \cdot p + 1). \quad (6.7)$$

Заменяем оператор  $p$  на символ дифференцирования и получим:

$$-T_{ИЗ} \cdot \frac{dU_{ВЫХ}(t)}{dt} = K_P \cdot U_{ВХ}(t) + T_{ИЗ} \cdot K_P \cdot \frac{dU_{ВЫХ}(t)}{dt}. \quad (6.8)$$

2. Для снятия временной характеристики регулятора, на вход регулятора подать постоянный по величине или периодический прямоугольный (однополярный или разнополярный) входной сигнал, при котором не происходит насыщения регулятора. С помощью осциллографа (моделирующего пакета) зафиксировать реакцию регулятора на этот сигнал.

3. По полученной временной характеристике П-регулятора вычислить коэффициент усиления П-регулятора  $K_{П}$  по формуле, пользуясь рисунком 6.8 а),б):

$$K_{П} = \frac{\Delta U_{ВЫХ}}{\Delta U_{ВХ}}. \quad (6.9)$$

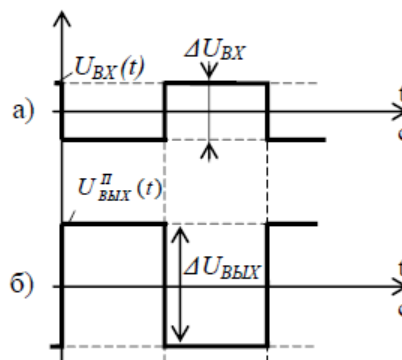


Рис. 6.8. Временные характеристики к определению коэффициента усиления П-регулятора.

Для снятия регулировочной характеристики регулятора изменять величину входного сигнала, построить регулировочную характеристику регулятора  $U_{ВЫХ} = f(U_{ВХ})$  и, вычисляя коэффициенты усиления, построить зависимость коэффициента усиления П-регулятора от амплитуды входного сигнала  $K_{П} = f(U_{ВХ})$ .



4. Для экспериментального определения постоянной времени интегрирования И-регулятора

установить  $U_{ВЫХ} = 0$  при  $U_{ВХ} = 0$ .

На вход регулятора подать периодический прямоугольный разно-полярный входной сигнал величиной  $U_{ВХ}$  (рис.6.8. а)), при котором не происходит насыщения регулятора.

Передаточная функция И- регулятора имеет вид:

$$W(p)_И = \frac{1}{T_I \cdot p}, \quad (6.10)$$

где  $T_I$  - постоянная времени интегрирования И-регулятора.

Сняв временную характеристику И – регулятора (рис.6.9), постоянную времени интегрирования И-регулятора можно вычислить по формуле:

$$T_I = \frac{U_{ВХ}}{\Delta U_{ВЫХ}^{(И)}} \cdot T \quad (6.11)$$

где  $T$  - длительность полупериода периодического входного сигнала.

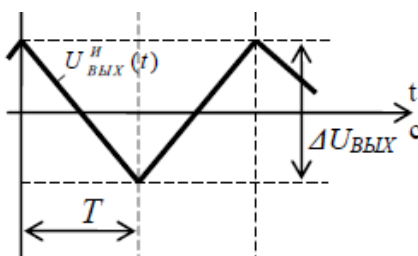
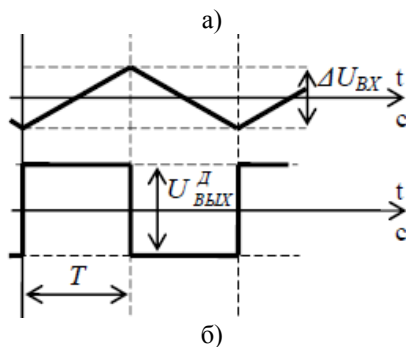


Рис.6.9. Временная характеристика И-регулятора.

5. Для экспериментального определения постоянной времени дифференцирования Д-регулятора на вход регулятора подать периодический пилообразный входной сигнал, при котором не происходит насыщения регулятора и снять временную характеристику Д-регулятора (рис. 6.10. а и б). Тогда постоянная времени дифференцирования Д- регулятора может быть вычислена по формуле:

$$T_D = \frac{\Delta U_{ВЫХ}^{(Д)}}{\Delta U_{ВХ}} \cdot T$$



## 2. Приборы и оборудование.

При выполнении лабораторной работы может быть использован один из моделирующих пакетов: MATLAB либо CLASSIC.

### 3. Порядок выполнения лабораторной работы.

- 3.1. Для П – регулятора снять временную характеристику, вычислить коэффициент усиления регулятора  $K_n$  (пункт 3 методических указаний).
- 3.2. Для снятия регулировочной характеристики П – регулятора, изменять величину входного сигнала, фиксируя значения  $U_{ВЫХ}$  и построить регулировочную характеристику регулятора  $U_{ВЫХ} = f(U_{ВХ})$ . Вычисляя коэффициенты усиления, построить зависимость коэффициента усиления П-регулятора от амплитуды входного сигнала  $K_{П} = f(U_{ВХ})$ .
- 3.3. Вычислить постоянную времени интегрирования И – регулятора (пункт 4 методических указаний).
- 3.4. Вычислить постоянную времени дифференцирования Д – регулятора (пункт 5 методических указаний).
- 3.5. Снять частотные характеристики для ПИ и ПИД – регуляторов. Для этого на вход регуляторов подать гармонический сигнал.

### 4. Содержание отчета.

- 4.1. Цель работы.
- 4.2. Для каждого типа исследуемого регулятора представить:
  - принципиальную схему;
  - структурную схему;
  - временную характеристику;
  - графики экспериментально снятых частотных характеристик;
  - расчеты параметров регуляторов.
- 4.3. Ответы на контрольные вопросы.
- 4.4. Выводы по работе, в частности, охарактеризовать каждый исследуемый регулятор с точки зрения использования его в системах автоматического управления.

### 5. Контрольные вопросы.

- 5.1. Дайте определение операционного усилителя (ОУ).
- 5.2. Какие математические операции моделирует ОУ.
- 5.3. Приведите блок-схему и схематическое изображение ОУ.
- 5.4. Упрощенная принципиальная схема ОУ.
- 5.5. Приведите принципиальные схемы П-, ПИ-, ПИД-регуляторов.

## 7. Список литературы.

1. Жадобин Н.Е., Крылов А.П., Малышев В.А. Элементы и функциональные устройства судовой автоматики: Учебник. 2-е изд., перераб. и доп. – СПб.: Элмор, 1998. 440с.
2. Ушакевич А.А. Элементы и функциональные устройства автоматики. Учебное пособие. КамчатГТУ, Петропавловск-Камчатский, 2010. 149 с.
3. Штумпф Э.П. Судовая электроника и силовая преобразовательная техника: Учебник-СПб: Судостроение, 1993.- 352с.

### Лабораторное занятие 7.

#### Исследование исполнительного двигателя постоянного тока.

*Цель занятия:* ознакомление с конструкцией и рабочими характеристиками исполнительного двигателя постоянного тока при якорном и полюсном управлениях.

#### 1. Основные теоретические сведения.

Исполнительные двигатели предназначены для преобразования электрического сигнала (напряжения управления) в механическое вращение вала.

Как правило, исполнительные двигатели постоянного тока (кроме двигателей с постоянными магнитами) имеют две обмотки: обмотку возбуждения - подключаемую к сети постоянного тока, и обмотку управления, на которую подается напряжение (сигнал) лишь тогда, когда необходима работа двигателя. В качестве обмотки управления могут быть использованы как обмотка якоря, так и обмотка полюсов. В зависимости от этого различают *двигатели* соответственно с *якорным или полюсным управлением*. В современных автоматических устройствах чаще используется якорное управление. Полюсное управление имеет ограниченное распространение, и то лишь для двигателей весьма малой мощности.

В исполнительном двигателе с якорным управлением обмоткой возбуждения является обмотка полюсов, подключаемая к сети с постоянным напряжением  $U_B = U_{НВ}$  (номинальное напряжение на обмотке возбуждения) на все время работы схемы. Обмоткой управления является обмотка якоря, на которую подается сигнал (напряжение управления  $U_y$ ) лишь тогда, когда необходимо вращение якоря двигателя (рис. 7.1.). При отсутствии напряжения управления якорь двигателя неподвижен.

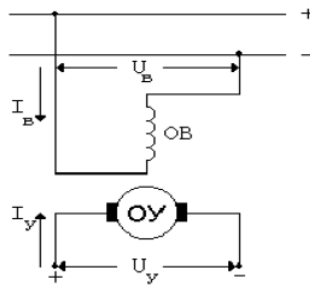


Рис. 7.1. Схема якорного управления исполнительного двигателя постоянного тока.

Для исполнительного двигателя постоянного тока с якорным управлением можно получить следующее уравнение механической характеристики в относительных единицах:

$$v = a - m, \quad (7.1)$$

где  $m = M/M_{no}$  - вращающий момент двигателя в относительных единицах:

$M_{no}$  - пусковой момент двигателя при  $U_y = U_{yH}$ ;

$a$  - коэффициент сигнала, являющийся отношением напряжения управления  $U_y$  к напряжению возбуждения  $U_B$ ;

$v = n/n_0$  - скорость двигателя в относительных единицах:  $n_0$  - скорость идеального холостого хода при  $m = 0$  и  $a = 1$ .

Механические характеристики исполнительного двигателя с якорным управлением являются линейными.

На рис. 7.2,а представлено семейство относительных механических характеристик  $v = f(m)$  при  $a = const$ , построенных на основании уравнения для различных значений коэффициента сигнала  $a$ .

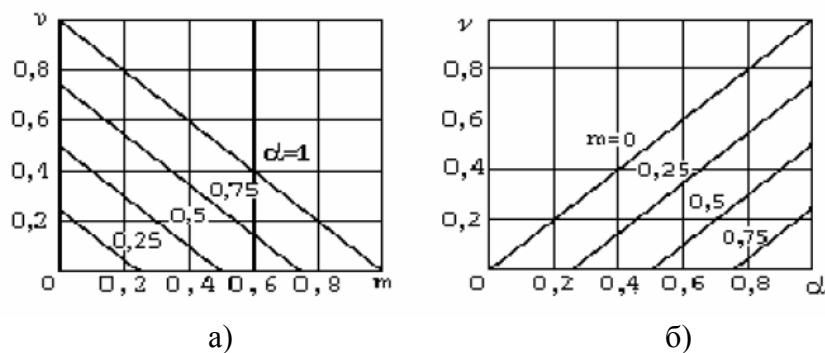


Рис.7.2. Механические (а) и регулировочные (б) характеристики двигателя постоянного тока при якорном управлении.

Скорость идеального холостого хода двигателя  $n_0$  определить опытным путем невозможно, так как нельзя разгрузить двигатель до момента, равного нулю. При холостом ходе двигателя существуют потери, покрываемые за счет хотя и малого, но все же конечного по величине электромагнитного момента. Эту скорость можно рассчитать по формуле, используя экспериментальные данные:

$$n_0 = n \frac{U_{yH}}{U_{yH} - I_y R_y}, \quad (7.2)$$

где  $R_y$  - сопротивление цепи якоря двигателя;  $n$  и  $I_y$  - скорость вращения и ток якоря, измеренные при некоторой нагрузке двигателя и  $a = 1$ .  
 Регулировочной характеристикой исполнительного двигателя является зависимость  $v=f(a) m=const$ .

Уравнение регулировочной характеристики при якорном управлении двигателя  $r=f(a)$  при  $m=const$  является линейным. Линейность регулировочных и механических характеристик является ценным преимуществом якорного управления исполнительными двигателями постоянного тока.

На рис. 7.2,б показано семейство регулировочных характеристик для различных значений относительного момента.

Мощность возбуждения исполнительного двигателя с якорным управлением равна электрическим потерям в сопротивлении обмотки возбуждения  $R_B$ .

$$P_B = I_B^2 R_B = \frac{U_B^2}{R_B} \quad (7.3)$$

Эта мощность при неизменном напряжении возбуждения  $U_6$  постоянна, она не зависит от нагрузки, а величина ее незначительна по сравнению с мощностью, потребляемой якорем.

За единицу мощности исполнительного двигателя постоянного тока принимается мощность якоря при  $a=1$  и  $v=0$

$$P_{\text{упо}} = \frac{U_{\text{яН}}^2}{R_y} = \frac{U_{\text{вН}}^2}{R_y} \quad (7.4)$$

Мощность управления

$$P_y = U_y I_y = \alpha^2 \frac{U_B^2}{R_y} - \alpha v \frac{U_B^2}{R_y} \quad (7.5)$$

Эта мощность в относительных единицах равна

$$P_y = \frac{P_y}{P_{\text{упо}}} = \alpha^2 - \alpha v \quad (7.6)$$

Мощность управления равна полной механической мощности, развиваемой двигателем (включая потери на трение и вентиляционные потери), плюс потери в якоре (в обмотке и стали якоря). Эта мощность является, по существу, полной мощностью, потребляемой двигателем, за исключением мощности возбуждения  $P_e$ .

Значительная мощность управления является серьезным недостатком двигателя с якорным управлением, так как в случае питания обмотки управления от усилителя приходится значительно увеличивать габариты последнего.

Характеристики  $P_y = f(v)$  при  $a = const$  являются линейными. Семейство этих характеристик при различных значениях коэффициента сигнала показано на рис. 7.3.а.

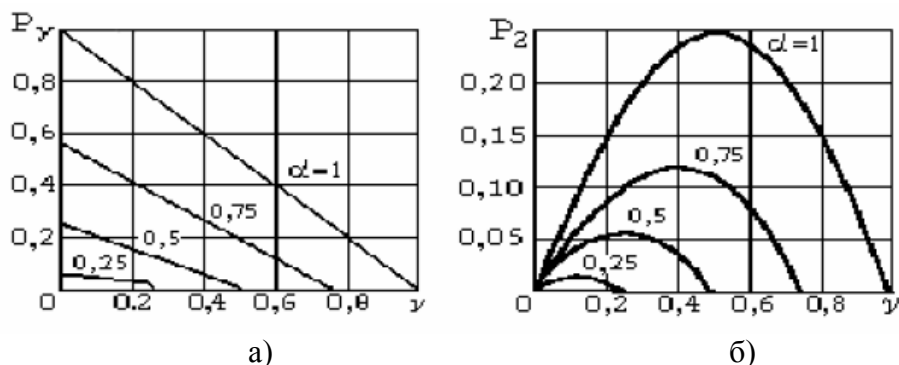


Рис. 7.3. Зависимости мощностей управления (а) и полной механической мощности (б) от относительной скорости вращения при якорном управлении.

Полная механическая мощность якоря  $P_2^1$ , равная сумме полезной мощности  $P_1$  двигателя на его валу, а также механических и вентиляционных потерь  $P_{мех}$ , определяется по формуле

$$P_2^1 = P_y - I_y^2 R_y \quad (7.7)$$

Относительное значение этой мощности

$$P_2' = \frac{P_2^1}{P_{упо}} = \alpha v - v^2 \quad (7.8)$$

При пуске ( $V=0$ ) и холостом ходе ( $m=0$ ) полная механическая мощность равна нулю. Она достигает максимума при скорости

$$v_m = \frac{\alpha}{2} \quad (7.9)$$

Максимальное значение полной механической мощности в относительных единицах

$$P_{2m}' = \frac{\alpha^2}{4} \quad (7.10)$$

Семейство характеристик  $P_2^1 - f(v)$  при различных значениях коэффициентов сигнала показано на рис. 7.3,б.

Как видно из рис. 7.3,б, снижение коэффициента сигнала, т.е. напряжения управления, резко уменьшает максимальное значение полной механической (и, следовательно, полезной) мощности двигателя.

В исполнительных двигателях с полюсным управлением обмоткой управления является обмотка полюсов, а обмоткой возбуждения - обмотка якоря (рис. 7.4).

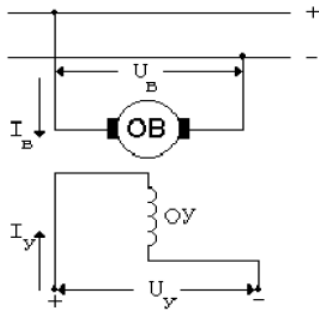


Рис. 7.4. Схема полюсного управления исполнительным двигателем постоянного тока.

При полюсном управлении якорь двигателя постоянно подключен к сети с напряжением  $U_B = const$ , что при неподвижном якоре приводит к подгоранию контактов щётка—коллектор. На обмотку полюсов напряжение управления (сигнал) подается лишь тогда, когда необходимо вращение якоря.

Для исполнительного двигателя с полюсным управлением уравнение механической характеристики в относительных единицах  $v = f(m)$  при  $a = const$  имеет следующий вид:

$$v = \frac{\alpha - m}{\alpha^2}, \quad (7.11)$$

где относительные значения  $m$ ,  $a$  и  $v$  определяются так же, как и для двигателя с якорным управлением.

Механические характеристики  $v = f(m)$  при  $a = const$  для двигателя с полюсным управлением являются линейными. Они приведены на рис. 7.5. В отличие от двигателя с якорным управлением жесткость механических характеристик при изменении коэффициента сигнала  $a$  здесь не остается постоянной.

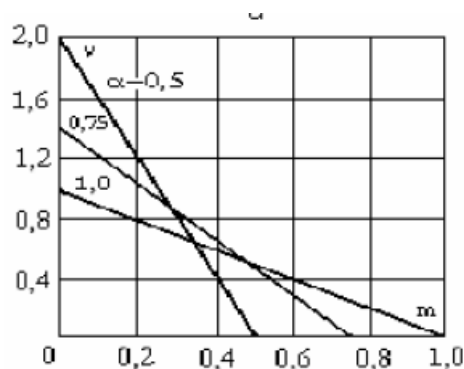


Рис. 7.5. Механические характеристики двигателя постоянного тока при полюсном управлении.

Чем меньше  $a$ , тем меньше жесткость характеристик, т.е. тем больше изменение скорости вращения двигателя, соответствующее некоторым изменениям момента сопротивления на валу. Скорость идеального холостого хода двигателя с полюсным управлением обратно пропорциональна коэффициенту сигнала

$$v = \frac{1}{\alpha}. \quad (7.12)$$

Это означает, что при уменьшении напряжения управления скорость холостого хода увеличивается.

Как следует из выражения (2.8), уравнение регулировочной характеристики  $v=f(a)$  при  $m=const$  нелинейно, что является недостатком полюсного управления. Другим недостатком полюсного управления, ограничивающим область его применения, является неоднозначность регулировочных характеристик при малых моментах нагрузки ( $m < 0,5$ ). Под неоднозначностью регулировочных характеристик понимается то обстоятельство, что одна и та же скорость вращения может быть получена при двух различных по величине напряжениях управления (рис. 7.6).

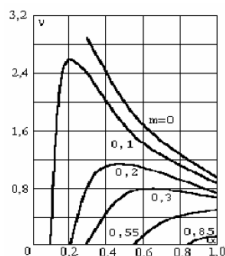


Рис. 7.6. Регулировочные характеристики двигателя постоянного тока при полюсном управлении.

Обычно исполнительные двигатели с полюсным управлением применяются лишь в тех случаях, когда момент сопротивления на валу двигателя не опускается ниже  $0,5 M_{но}$ . Этим исключаются неоднозначность регулировочных характеристик и возможность разноса двигателя при отсутствии напряжения управления.

Мощностью возбуждения двигателя с полюсным управлением является мощность, подведенная к якору:

$$P_B = U_B I_B. \quad (7.13)$$

Эта мощность составляет преобладающую часть мощности, потребляемой двигателем. Мощность управления двигателя при полюсном управлении идет лишь на покрытие электрических потерь в обмотках полюсов:

$$P_y = I_y^2 R_y = \frac{U_y^2}{R_y} = \alpha^2 \frac{U_B^2}{R_y}. \quad (7.14)$$

Мощность управления в относительных единицах определяется следующим образом:

$$P_y = \frac{P_y}{P_{упо}} = \alpha^2 \frac{R_B}{R_y}. \quad (7.15)$$

Здесь  $R_B$  - сопротивление в цепи якоря;  $R_y$  - сопротивление обмотки полюсов. Величина мощности управления  $P_y$  по сравнению с мощностью возбуждения  $P_6$  весьма незначительна, особенно при малых напряжениях управления. Малая величина мощности управления является, по существу, единственным преимуществом полюсного управления перед якорным.

Полная механическая мощность на валу двигателя в относительных единицах выражается следующим уравнением:



$$P_2' = m v = \alpha v - \alpha^2 v^2, \quad (7.16)$$

где

$$m = \alpha - \alpha^2 v. \quad (7.17)$$

Максимум этой мощности достигается при скорости

$$v_m = \frac{1}{2\alpha} = \frac{v_0}{2}, \quad (7.18)$$

где  $v_0$  - скорость идеального холостого хода двигателя, соответствующая данному значению  $a$ .

Максимальная величина полной механической мощности не зависит от коэффициента сигнала  $a$ . В относительных единицах при любом значении  $a$

$$P_{2m}' = 0,25. \quad (7.19)$$

Семейство кривых  $P_2' = f(v)$  при  $a = const$  представлено на рис. 7.7.

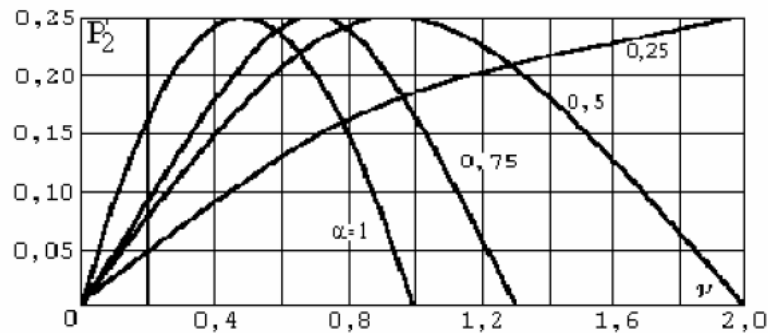


Рис.7.7. Зависимость полной механической мощности от скорости вращения при полюсном управлении.

## 2. Приборы и оборудование.

В работе используется установка рис.7.8.

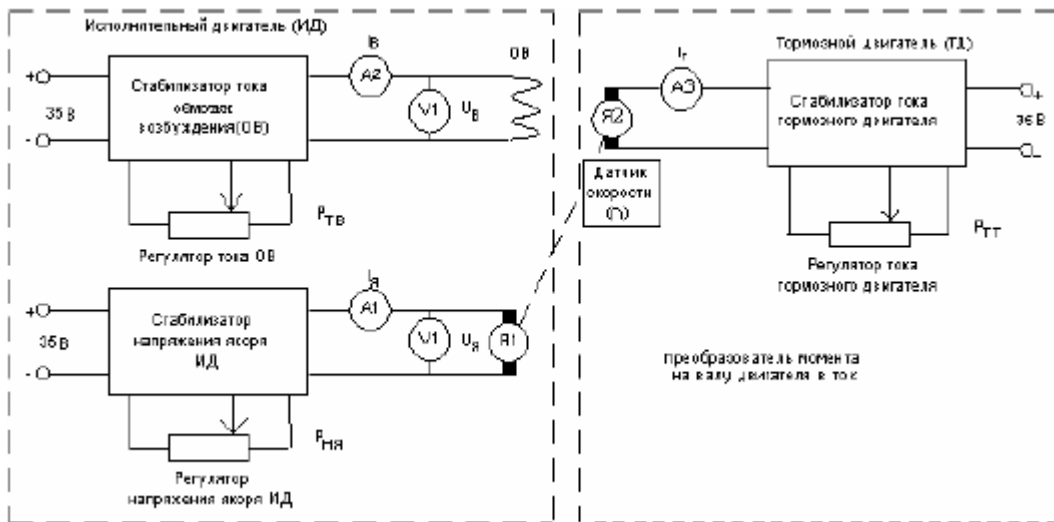


Рис. 7.8. Схема установки для испытания исполнительного двигателя постоянного тока (ИД).

### 3. Порядок выполнения работы.

3.1. Ознакомиться с устройством исполнительных двигателей постоянного тока. Записать основные технические данные ( $P_{ян}$ ,  $U_{вн}$ ,  $P_n$ ,  $M_n$ ,  $I_{ян}$ ,  $n_n$ ) испытуемого двигателя. Установить на обмотке возбуждения полюсов исполнительного двигателя (ИД) максимальное напряжение (ручку регулировки тока обмотки возбуждения в крайнее правое положение), а в цепи якоря ИД минимальное напряжение (ручку регулировки напряжения в цепи якоря в крайнее левое положение). Переключения пределов показаний амперметров осуществлять при отключенном питании (рис.7.8). Включить лабораторный макет тумблером "Сеть".

3.2. Измерить сопротивления цепи якоря ( $R_я$ ) и обмотки полюсов ( $R_в$ ) двигателя и привести значения этих сопротивлений к рабочей температуре  $75\text{ }^\circ\text{C}$ . С целью исключения перегрева двигателя эксперименты по измерению сопротивления якоря производить за короткий промежуток времени. Для этого установить максимальный тормозной момент (перевести ручку регулировки тока тормозного двигателя в крайнее правое положение) и плавно повышать напряжение в цепи якоря до полной остановки вала ИД ( $n=0$ ). Снять показания вольтметров  $V1$ ,  $V2$  и амперметров  $A1, A2$  (см. рис. 7.8). По формуле  $R = U/I$  определить сопротивления в цепи якоря  $R_я$  и обмотки возбуждения  $R_в$ . Замеры тока  $I_я$  и напряжения  $U_я$  произвести при нескольких пространственных положениях якоря (повторить представленную выше процедуру остановки вращения вала ИД). Под усредненным значением сопротивления якоря  $R_я$  понимается среднее арифметическое всех замеров

$$R_я = (\sum_{i=1}^N R_{яi}) / N.$$

Сопротивления  $R_я$ ,  $R_в$ . измеренные при температуре окружающей среды, приводятся к рабочей температуре по формуле

$$R_{75} = \frac{235 + 75}{235 + \theta} R,$$

где  $\theta$  - температура обмотки двигателя до ее нагрева ( $20^{\circ}\text{C}$ ); в качестве  $R$  выбираем  $R_{я}, R_{в}$ .

3.3. Снять механические характеристики двигателя  $n = f(m)$  при якорном управлении для четырех значений напряжения управления ( $U_y = U_{я}$ ). Для снятия механических характеристик необходимо:

- произвести калибровку тормозного момента ИД;
- установить номинальное напряжение  $u_{ян} = U_{вн} = 27 \text{ В}$  на вольтметрах  $VI, V2$  и с помощью регулятора  $P_{тт}$  тока  $I_m$  тормозного двигателя выставить на амперметре  $A1$  ток  $I_{ян}$ :

снять показания  $I_T$  с прибора  $A3$ ;

- по известному номинальному моменту испытуемого двигателя  $M_n$  определить коэффициент пересчета момента  $K_n = M_n / I_{мн}$ . Таким образом, момент на валу ИД определяется зависимостью  $M = K_n I_m$  и отсчитывается по показаниям прибора  $A3$ . О скорости вращения исследуемого двигателя судят по показаниям датчика скорости на цифровом табло.

Рекомендуемые соотношения напряжений  $U_{я}(VI), U_{в}(V2)$  и различных коэффициентов  $a = U_{я}/U_{в}$  для якорного управления составят:

$(a = 1, U_{в} = 24 \text{ В}, U_{я} = 24 \text{ В}), (a = 0,75, U_{в} = 24 \text{ В}, U_{я} = 18 \text{ В});$

$(a = 0,5, U_{в} = 24 \text{ В}, U_{я} = 12 \text{ В}), (a = 0,25, U_{в} = 24 \text{ В}, U_{я} = 6 \text{ В}).$

Относительные коэффициенты  $v = n/n_0, m_n = M/M_{п0}$  где  $n, M$ - текущие (для различных  $a$ ) значения числа оборотов и момента на валу ИД.

Данные экспериментов при снятии механических характеристик и расчетные данные заносятся в табл. 7.1.

На основании результатов опытов:

1. Для механической характеристики двигателя, при  $a = (u_{я}/u_{в}) = 1$ , рассчитать скорость идеального холостого хода по формуле

$$n_0 = n_n \frac{U_{ян}}{U_{ян} - I_{ян} R_{я75}} \text{ (об/мин)},$$

где  $n_n$  (об/мин).  $I_{ян}$  (А) - номинальная скорость вращения и номинальный ток якоря двигателя;  $R_{я75}$  (Ом) - сопротивление цепи якоря двигателя при температуре  $75^{\circ}\text{C}$ ;  $U_{ян} = U_{вн}$  (В) - номинальное напряжение в цепи якоря.

2. Определить величину пускового момента двигателя  $M_{п0}$  при  $a = 1$  и  $n = 0$  по формуле

$$M_{п0} = M_n \frac{I_{яп}}{I_{ян}} = M_n \frac{U_{ян}}{I_{ян} R_{я75}} \text{ (Н·мм)},$$

где  $M_n$  (Н·мм) - номинальный момент двигателя.

3. Рассчитать и построить в относительных единицах механические регулировочные характеристики двигателя при якорном управлении и сравнить их с характеристиками, приведенными на рис. 7.2, а.б.

4. Рассчитать номинальную мощность управления двигателя

$$P_{уя} = \frac{U_{ян}^2}{R_{я75}} \text{ (Вт)}$$

и потери мощности в цепи возбуждения при якорном управлении.

5. Для семейства механических характеристик при якорном управлении, полученных опытным путем, рассчитать мощность управления  $P_y$  и полную механическую мощность  $P_2^1$  двигателя в относительных единицах

$$P_y = \alpha^2 - \alpha v; \quad P_2^1 = (\alpha - v)v.$$

Построить семейство механических характеристик в относительных единицах

$$P_2^1 = f(v)$$

при  $a=1; 0,75; 0,5; 0,25$ .

Сравнить полученные характеристики с теоретическими, приведенными на рис. 7.3.

Таблица 7.1

Опытные данные								Расчетные данные							
$R_{я}, \text{OM}$	$R_{в}, \text{OM}$	$I_{т}, \text{A}$	$I_{я}, \text{A}$	$I_{в}, \text{A}$	$n, \text{об/мин}$	$R_{я} 75^\circ, \text{OM}$	$R_{в} 75^\circ, \text{OM}$	$n_0, \text{об/мин}$	$M_{п0}, \text{H}\cdot\text{мм}$	$v, -$	$m, -$	$P_{ун}, \text{Вт}$	$P_{в}, \text{Вт}$	$P_y, -$	$P_2^1$
$\alpha = 1$															
$\alpha = 0,75$															
$\alpha = 0,5$															
$\alpha = 0,25$															

#### 4. Содержание отчета.

- 4.1. Принципиальная схема установки.
- 4.2. Таблицы экспериментальных данных по каждому пункту.
- 4.3. Графики экспериментальных зависимостей.
- 4.4. Краткие выводы по всем пунктам проделанной работы.

#### 5. Контрольные вопросы.

- 5.1. Для чего предназначены исполнительные двигатели.
- 5.2. Устройство и классификация исполнительных двигателей постоянного тока.

- 5.3. Приведите схемы якорного и полюсного управления исполнительного двигателя постоянного тока.
- 5.4. Объясните ход механических и регулировочных характеристик исполнительного двигателя постоянного тока при якорном управлении.
- 5.5. Как приводятся сопротивления  $R_{я}$ ,  $R_{в}$  к рабочей температуре.
- 5.6. Как снять механические характеристики исполнительного двигателя постоянного тока при якорном управлении.
- 5.7. Какие величины и как необходимо рассчитать в лабораторном занятии.

## 6. Список литературы.

1. Жадобин Н.Е., Крылов А.П., Малышев В.А. Элементы и функциональные устройства судовой автоматики: Учебник. 2-е изд., перераб. и доп. – СПб.: Элмор, 1998. 440с.
2. Ушакевич А.А. Элементы и функциональные устройства автоматики. Учебное пособие. КамчатГТУ, Петропавловск-Камчатский, 2010. 149 с.

## Лабораторное занятие 8.

### Диагностирование работоспособности транзисторов, динисторов и тиристоров.

*Цель занятия:* Познакомится с методиками диагностирования основных электронных элементов автоматики.

*Задание:* В импульсных стабилизаторах используется ключевой режим работы. Получить у преподавателя набор электронных элементов и проверить их работоспособность.

#### 1. Основные теоретические сведения.

##### *Транзисторы.*

Отказ транзисторов может наступить в результате обрыва выводов, а также потери запирающей способности (пробой). Работоспособность транзисторов определяется соответствием их основных параметров техническим характеристикам, установленным для каждого типа транзистора. Измерение параметров производится специальными или встроенными в некоторые типы тестеров измерителями параметров полупроводниковых приборов. При отсутствии таких измерителей можно использовать метод проверочной схемы.

Неработоспособный транзистор в цепи, находящейся под напряжением, может быть определен с помощью вольтметра постоянного тока. В связи с многообразием типов транзисторов и схемных решений эффективность поиска зависит от наличия технической информации по конкретному техническому средству (карта напряжений и др.) и возможности сравнения измерений, полученных на нескольких транзисторах (выполняющих одинаковые функции), если работоспособность одного из них вызывает сомнение.

Неработоспособный транзистор может быть определен с помощью омметра путем измерения сопротивления переходов в прямом и обратном направлениях. В случае пробоя перехода сопротивление будет равно нулю, а при сгорании транзистора сопротивления переходов в обоих направлениях будут равны бесконечности.

Для проверки работоспособности транзистора типа *p-n-p* можно использовать проверочную схему, приведенную на рис. 8.1, для проверки транзистора типа *n-p-n* - схему на рис. 8.2. В этих схемах переменные резисторы  $R_6$  и  $R_H$  служат для ограничения токов базы и нагрузки (коллектора) до величин, определяемых техническими условиями, справочными данными на транзистор данного типа или технической документацией на конкретную схему устройства. Ориентировочно для мало-мощных транзисторов  $R_6 = 500 - 1.000$  Ом, для транзисторов средней мощности  $R_6 = 10-50$  Ом, для транзисторов большой мощности  $R_6 = 0-2$  Ом.

При замкнутом выключателе  $SA_1$  с помощью амперметра  $PA_1$  (на пределе «мА» или «мкА») измеряется начальный ток коллектора  $I_{к.н.}$ . Отсутствие начального тока свидетельствует о разрыве цепи Э-К, а превышение  $I_{к.н.}$  предельной величины (вплоть до значения  $U_1/R_к$ ) может наблюдаться как в результате разрушения перехода Э-К, так и в результате разрушения перехода Э-Б.

При замкнутых выключателях  $SA_1$  и  $SA_2$  путем изменения тока базы (с помощью резистора  $R_p$ ) проверяют управляемость транзистора, а также статический коэффициент усиления по току, как отношение изменения тока коллектора к вызвавшему его изменению тока базы.

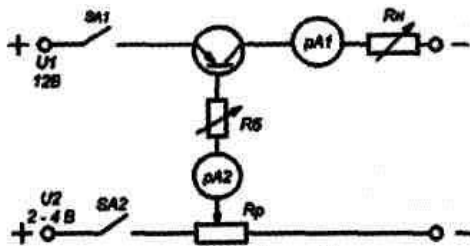


Рис. 8.1. Схема проверки работоспособности транзисторов типа *p-n-p*.

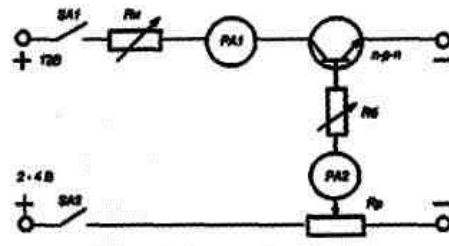


Рис.8.2. Схема проверки работоспособности транзисторов типа *n-p-n*.

Косвенно о работоспособности транзистора можно судить по работоспособности его *p-n*-переходов и целостности выводов, проверяемых с помощью омметра.

Расположение и полярность выводов транзисторов при отсутствии указаний в паспорте или на корпусе прибора следует определять, руководствуясь принципиальной и монтажной схемами объекта.

Во время ремонта и настройки электронной аппаратуры часто возникает необходимость проверки работоспособности установленных в ней транзисторов. На рис. 8.3 изображена схема простейшего устройства - пробника, позволяющего определить исправность мало-мощных транзисторов без отсоединения его электродов от остального монтажа электронного устройства.

Выводы проверяемого транзистора подключают с помощью щупов к зажимам  $VT_x$ . Транзистор  $VT_1$  вместе с проверяемым  $VT_x$  образует симметричный мультивибратор. При исправном транзисторе  $VT_1$  генерируемые мультивибратором низкочастотные колебания усиливаются транзистором  $VT_2$  и поступают на громкоговоритель  $B_1$ . Переключателем  $S_1$  изменяют полярность питания, подаваемого на испытуемый транзистор в соответствии с его структурой (*n-p-n*- или *p-n-p*-).

При проверке цепей, содержащих диод, размыкают контакты выключателя  $S_3$ , к

щупам «Цепь» подсоединяют испытуемый диод, а к щупам  $VT_x$  - исправный транзистор. Если колебания мультивибратора прослушиваются с одинаковой громкостью при изменении полярности подключения испытуемого диода, то он пробит. Отсутствие звука в случае любой полярности подключения диода означает, что в нем произошел обрыв. В случае исправного диода уровень громкости значительно меняется при изменении полярности включения диода.

При проверке исправности транзисторов и диодов электронная схема должна быть отключена от источника питания. Отрицательный вывод источника питания пробника должен быть соединен с отрицательным выводом питания проверяемого устройства.

### *Динисторы и тиристоры.*

Отказ динисторов и тиристоров может произойти вследствие:

- обрыва цепи внутри прибора (сгорания) или обрыва выводов;
- потери запирающей способности в прямом или обратном направлении (пробой);
- потери управляемости тиристором (сгорание цепи управляющего электрода).

Работоспособность динисторов и тиристоров определяется проверками на пробой (потерю запирающей способности в прямом и обратном направлении), обрыв внутренней цепи (разрушение р-п-р-п- структуры) и потерю управляемости тиристором.

Неработоспособный динистор в цепи, находящейся под напряжением, может быть определен с помощью вольтметра переменного тока. Если вольтметр показывает полное напряжение питания, произошло сгорание прибора; если половину - пробой в прямом направлении; если менее одной трети до 2-3 В (в зависимости от режима работы) - пробой в обратном направлении. Напряжение на работоспособном динисторе при протекании через него номинального тока обычно не превышает 1,5 В.

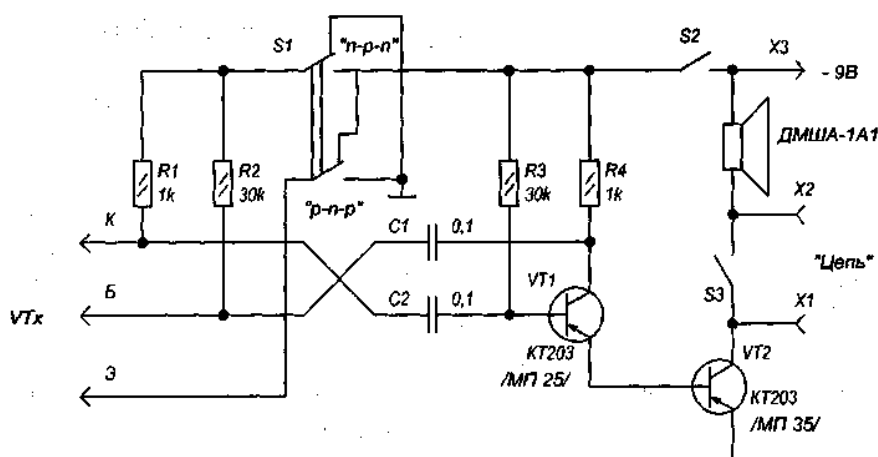


Рис. 8.3. Пробник для проверки транзисторов.

Неработоспособный тиристор в цепи, находящейся под напряжением, также может быть определен с помощью вольтметра переменного тока. Значения напряжений зависят от схемы управления, углов управления и причины неработоспособности тиристора. Ориентировочно при сгорании напряжение на тиристоре будет выше, а при пробое ниже, чем у аналогичного работоспособного прибора.

Проверка динисторов и тиристоров на пробой может производиться омметром путем измерения сопротивления в прямом и обратном направлениях. В случае пробоя в одном из направлений соответствующие показания будут равны или близки к нулю. Значения сопротивлений работоспособного прибора в прямом и обратном направлениях должны быть не менее 1 МОм.

Проверку динистора на отсутствие разрушения р-п-р-п-структуры рекомендуется

производить с помощью специальной измерительной схемы (рис. 8.4).

Питание на схему подается от регулируемого источника постоянного тока. Величина балластного сопротивления  $R_6$  выбирается из расчета ограничения предельной величины тока, протекающего через динистор, до 0,6 номинального значения. При проверке напряжение на входе схемы постепенно повышают, чтобы убедиться в том, что напряжение включения динистора находится в пределах установленных значений. Момент включения и величину напряжения включения контролируют амперметром и вольтметром. Отсутствие включения динистора свидетельствует о нарушении  $p-n-p-n$ -структуры. Проверку на отсутствие разрушения  $p-n-p-n$ -структуры и потерю управляемости тиристора рекомендуется производить с помощью схемы, приведенной на рис. 8.5.

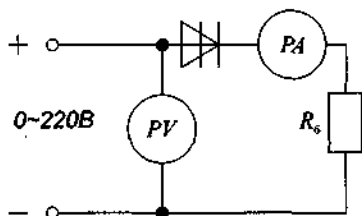


Рис. 8.4. Схема проверки динистора.

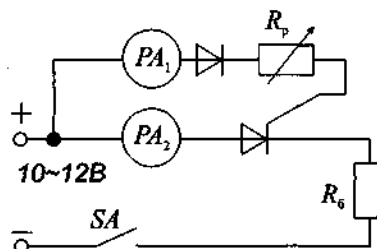


Рис. 8.5. Схема проверки отсутствия разрушения структуры тиристора.

На вход схемы подается напряжение постоянного тока 10-12 В. Ток управления регулируется с помощью переменного резистора  $R_p$ , который выбирается из условия обеспечения максимального тока управления. Токи управления для тиристорov отечественного производства не превышают 15 мА для приборов малой мощности, 100 мА - для приборов средней мощности и 2 А - для приборов большой мощности (обычно значения токов управления примерно на порядок меньше максимальных). Сопротивление резистора базы  $R_6$  выбирается из условия ограничения прямого тока тиристора до 30—50 мА для приборов малой мощности и 400-500 мА для приборов средней и большой мощности. Момент и токи включения контролируются амперметрами. Невозможность включения тиристора свидетельствует о разрушении  $p-n-p-n$ -структуры, отсутствие тока в цепи управления - о потере управляемости.

При работе тиристорov в некоторых схемах с емкостной коммутацией, а также при работе с тепловыми перегрузками значения прямого и обратного токов утечки возрастают. Проверка токов утечки производится при включении тиристора по схеме на рис. 8.6.

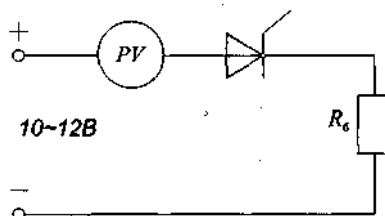


Рис. 8.6. Схема проверки токов утечки тиристора.

Паспортные значения токов утечки приводятся для предельных прямых и обратных напряжений, поэтому полученные данные измерений нужно сравнивать с данными измерений работоспособных тиристорov.



## 2. Приборы и оборудование.

1. Амперметры.
2. Миллиамперметры.
3. Вольтметры.
4. Мультиметр.
5. Пробник.
6. Набор транзисторов, диодов, тиристоров.

## 3. Порядок выполнения работы.

- 3.1. Оценить работоспособность транзистора с помощью мультиметра.
- 3.2. Оценить работоспособность транзистора с помощью схем рис.8.1,8.2.
- 3.3. Оценить работоспособность диода с помощью вольтметра.
- 3.4. Оценить работоспособность диода с помощью схемы 8.4.
- 3.5. Оценить работоспособность тиристора с помощью схемы 8.5.
- 3.6. Оценить токи утечки тиристора с помощью схемы 8.6.

## 4. Содержание отчета.

- 4.1. Привести технические характеристики исследуемых электронных элементов.
- 4.2. Привести результаты оценки работоспособности исследуемых электронных элементов.

## 5. Контрольные вопросы.

- 5.1. Причины отказов транзисторов.
- 5.2. Как оценить работоспособность транзистора в цепи, находящейся под напряжением.
- 5.3. Нарисуйте схему проверки работоспособности транзисторов типа  $n-p-n$  и  $p-n-p$ .
- 5.4. Приведите схему пробника для проверки транзистора и поясните принцип его работы.
- 5.5. Причины отказов диодов.
- 5.6. Причины отказов тиристоров.
- 5.7. Приведите схему проверки диода на разрушение. Поясните принцип работы схемы.
- 5.8. Приведите схему проверки тиристора на разрушение. Поясните принцип работы схемы.
- 5.9. Приведите схему проверки тока утечки тиристора. Поясните принцип работы схемы.

## 6. Список литературы.

1. Жадобин Н.Е., Крылов А.П., Малышев В.А. Элементы и функциональные устройства судовой автоматики: Учебник.2-е изд., перераб. и доп. – СПб.: Элмор, 1998. 440с.
2. Ушакевич А.А. Элементы и функциональные устройства автоматики. Учебное пособие. КамчатГТУ, Петропавловск-Камчатский, 2010. 149 с.

## 3. ЛИТЕРАТУРА

### Основная литература:

1. Жадобин Н.Е., Крылов А.П., Малышев В.А. Элементы и функциональные устройства судовой автоматики: Учебник.2-еизд., перераб. и доп. – СПб.: Элмор, 1998. 440с.
2. Ушакевич А.А. Элементы и функциональные устройства автоматики. Учебное пособие. КамчатГТУ, Петропавловск-Камчатский, 2010. 149 с.

### Дополнительная литература:

3. Функциональные устройства судовых автоматизированных систем. Под редакцией профессора д.т.н. М. Н. Катханова. Л.: Судостроение. 1991, с.330.
4. Б. К, Буль, О.Б. Буль и др. Электро-механические аппараты автоматики. М.: Высшая школа. 2008. 210 с.
5. Н, И, Волков, В. П. Миловзоров. Электромашинные устройства автоматики. М.: Высшая школа.2007. 320 с.