

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ  
Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования  
«СЕВЕРО-ЗАПАДНЫЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЗАОЧНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра электротехники и электромеханики

# **ДИАГНОСТИКА НЕИСПРАВНОСТЕЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН**

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС

**Информация о дисциплине  
Рабочие учебные материалы  
Информационные ресурсы дисциплины  
Блок контроля освоения дисциплины**

Институт энергетический

Специальность  
140601.65- электромеханика

Санкт- Петербург  
Издательство СЗТУ  
2009

Утверждено редакционно-издательским советом университета

УДК 621. 313

**Диагностика неисправностей электрических машин:** учебно-методический комплекс (информация о дисциплине, рабочие учебные материалы, информационные ресурсы дисциплины, блок контроля освоения дисциплины) / сост. В. Е. Воробьев, – СПб.: Изд-во СЗТУ, 2009. – 44 с.

Учебно-методический комплекс составлен в соответствии с требованиями государственного образовательного стандарта высшего профессионального образования.

В дисциплине рассматривается современный подход к выбору диагностических параметров и методы определения технического состояния электрических машин.

Рассмотрено на заседании кафедры электротехники и электромеханики 20 апреля 2009 г; одобрено методической комиссией энергетического института 21 апреля 2009 г.

Рецензенты : кафедра электротехники и электромеханики СЗТУ (зав. кафедрой В. И. Рябуха, д-р техн. наук, проф.); Г. А. Борисов, канд. техн. наук, доц. кафедры робототехники и автоматизации производственных систем СПб ГЭТУ (ЛЭТИ).

Составитель В.Е. Воробьев, канд. техн. наук.

© Северо-Западный государственный заочный технический университет, 2009

© Воробьев В. Е., 2009

# 1.ИНФОРМАЦИЯ О ДИСЦИПЛИНЕ

## 1.1 Предисловие

Дисциплина “Диагностика неисправностей электрических машин” изучается студентами специальности 140601.65 в одном семестре. Она состоит из следующих разделов: неисправности электрических машин; диагностика технического состояния изоляции; диагностика неисправностей подшипниковых узлов; диагностика неисправностей электромагнитных систем.

**Целью изучения дисциплины** является рассмотрение современного подхода к проблеме определения технического состояния электрических машин и методологии диагностики основных видов их неисправностей.

**Задача изучения дисциплины** – изучение существующих методов определения технического состояния электрических машин.

В результате изучения дисциплины студент должен овладеть основами знаний по дисциплине, формируемыми на нескольких уровнях:

- **иметь** представление о перспективных направлениях развития технической диагностики применительно к электрическим машинам;
- **знать** основополагающие методы определения технического состояния основных типов электрических машин;
- **уметь** пользоваться ими в своей будущей практической деятельности;
- **владеть** методологией определения технического состояния электрических машин.

### **Место дисциплины в учебном процессе.**

Теоретической базой дисциплины являются курсы “Математика, ч.2”, “Теоретические основы электротехники”, “Электрические машины”, “Конструкция электрических машин”.

Полученные студентами знания могут быть использованы при дипломном проектировании и в будущей профессиональной деятельности.

## 1.2. Содержание дисциплины и виды учебной работы

### 1.2.1. Объем дисциплины и виды учебной работы

Вид учебной работы	Всего часов		
	Форма обучения		
	очная	очно-заочная	заочная
Общая трудоемкость дисциплины	100		
Работа под руководством преподавателя (включая ДОТ)	60	60	60
В том числе аудиторные занятия:			
лекции	36	18	6
практические занятия (ПЗ)	–	–	–
лабораторные работы (ЛР)	12	6	6
семинары (С)			
другие виды аудиторных занятий			
Самостоятельная работа студентов	40	40	40
Промежуточный контроль, количество	4	5	5
В том числе курсовая работа (проект)			
Контрольная работа	–	1	1
Вид итогового контроля (зачет, экзамен)	Зачет		

### 1.2.2. Перечень видов практических занятий и контроля:

- одна контрольная работа (для очно-заочной и заочной форм обучения);
- лабораторные работы;
- тесты (по разделам дисциплины);
- зачет.

## **2. РАБОЧИЕ УЧЕБНЫЕ МАТЕРИАЛЫ**

### **2.1 Рабочая программа (Объем 100 часов)**

#### **Введение (4 часа)**

Особенности электрических машин как объекта технической диагностики. Задачи, решаемые в процессе диагностирования.

#### **Раздел 1. Неисправности электрических машин(8 часов)**

##### **Тема1.1 Характеристики состояния. Виды отказов (2 часа)** [ 2], с.5; [3], с.118...121

Этапы в существовании электрической машины. Понятия: исправность, работоспособность, правильность функционирования, отказ.

Отказы: внезапные и постепенные, их характеристика и причины.

##### **Тема 1.2. Статистические данные о неисправностях (отказах) электрических машин (6 часов)** [2], с.5...11; [3], с. 154...161; 191...194; 207...213

Асинхронные двигатели. Синхронные машины. Коллекторные машины постоянного тока. Электрические микромашины.

#### **Раздел 2. Диагностика технического состояния изоляции. (38 часов)**

##### **Тема 2.1 Характеристика условий работы изоляции и ее дефекты (4 часа)** [2], с. 12...14

Неисправность изоляции – одна из главных причин отказов электрических машин. Основные факторы, воздействующие на изоляцию, и характер вызываемых ими дефектов.

## **Тема 2.2. Общая характеристика стандартных методов оценки состояния изоляции (8 часов)**

[2], с. 14...16

Измерение сопротивления изоляции, коэффициент абсорбции. Испытание изоляции повышенным напряжением стандартной частоты. Испытание изоляции повышенным выпрямленным напряжением.

## **Тема 2.3. Ненормированные методы испытаний и измерений, предназначенные для выявления дефектов изоляции (10 часов)**

[2], с.16...21

Метод частичных разрядов: высоковольтные и низковольтные электрические машины. Метод контроля местных перегревов в турбогенераторах с косвенным охлаждением.

## **Тема 2.4. Косвенные методы оценки технического состояния изоляции (16 часов)**

[2], с.22...27

Особенности стандартных и ненормированных методов оценки технического состояния изоляции электрических машин как причина необходимости введения обобщенных (косвенных) диагностических параметров.

Выявление витковых замыканий в обмотках возбуждения синхронных машин. Метод оценки состояния витковой изоляции обмоток статоров (якорей). Оценка технического состояния межфазной изоляции.

## **Раздел 3. Диагностика неисправностей подшипниковых узлов (30 часов)**

### **Тема 3.1. Дефекты подшипниковых узлов качения (4 часа)**

[2], с.28...29

Дефекты изготовления подшипников качения. Дефекты сборки подшипниковых узлов. Повреждения подшипниковых узлов в процессе эксплуатации.

**Тема 3.2. Общая характеристика виброакустических методов оценки технического состояния подшипниковых узлов качения (12 часов)**  
[2], с.29...33

Виброактивность подшипниковых узлов как средство оценки их технического состояния. Использование параметров низкочастотной вибрации для оценки качества изготовления подшипников качения.

Основное эмпирическое правило акустической диагностики. Возможности методов, основанных на определении параметров высокочастотной вибрации: измерение общего уровня вибрации, метод ударных импульсов, измерение параметров амплитудной модуляции высокочастотной вибрации.

**Тема 3.3. Методы диагностики технического состояния подшипниковых узлов качения (10 часов)**  
[2], с.33...37

Акустико-эмиссионный метод обнаружения дефектов подшипниковых узлов. Метод оценки технического состояния подшипниковых узлов, основанный на анализе высокочастотной вибрации, создаваемой силами трения качения. Диагностика технического состояния подшипниковых узлов качения путем контроля режима работы смазки.

**Тема 3.4. Диагностика технического состояния подшипниковых узлов скольжения (4 часа)**  
[2], с.37...39

Особенности работы подшипниковых узлов скольжения. Наиболее часто встречающиеся дефекты этих узлов. Качество функционирования системы смазки и состояние подшипниковых узлов.

**Раздел 4. Диагностика неисправностей электромагнитных систем (18 часов)**

**Тема 4.1. Общая характеристика дефектов электромагнитных систем (6 часов)**  
[2], с.40

Наиболее часто встречающиеся неисправности электромагнитных систем электрических машин. Их причины. Особенности диагностических признаков.

**Тема 4.2. Методы обнаружения и идентификация дефектов электромагнитных систем (12 часов)**  
[2], с.41...47

Диагностика неисправностей магнитных цепей: асинхронных двигателей, синхронных машин, коллекторных машин постоянного тока.

Диагностические признаки неисправностей электрических цепей: статоров и якорей, обмоток возбуждения синхронных машин и коллекторных машин постоянного тока, обмоток типа “беличье колесо” асинхронных двигателей.

Диагностика технического состояния контактных узлов.

**Заключение (2 часа)**

Тенденции и перспективы совершенствования и развития методов диагностики неисправностей электрических машин.



## 2.2. Тематический план дисциплины

### 2.2.1. Тематический план дисциплины для студентов очно-заочной формы обучения

№  п/п	Название раздела, темы	Количество часов по очной форме обучения	Виды занятий и контроля							
			лекции		лр		Самост. работа	Тесты	лр	Контр. работа
			Ауд.	ДОТ	Ауд.	ДОТ				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Всего		100	18	36	6		40	4	2	1
	Введение	4	2				2			
1	Раздел 1. Неисправности электрических машин	8	2	2			4	№ 1		
1.1	Характеристики состояния. Виды отказов	2		2						
1.2	Статистические данные о неисправностях (отказах) электрических машин	6	2				4			
2	Раздел 2. Диагностика технического состояния изоляции	38	6	16	3		13	№ 2	№1	
2.1	Характеристика условий работы изоляции и ее дефекты	4	2				2			
2.2	Общая характеристика стандартных методов оценки состояния изоляции	8		2	1		5			
2.3	Ненормированные методы испытаний и измерений, предназначенные для выявления дефектов изоляции	10		4			6			
2.4	Косвенные методы оценки технического состояния изоляции	16	4	10	2					

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
3	Раздел 3. Диагностика неисправностей подшипниковых узлов	30	4	10			16	№3		
3.1	Дефекты подшипниковых узлов качения	4					4			
3.2	Общая характеристика виброакустических методов оценки технического состояния подшипниковых узлов качения	12	2	4			6			
3.3	Методы диагностики состояния подшипниковых узлов качения	10	2	4			4			
3.4	Диагностика технического состояния подшипниковых узлов скольжения	4		2			2			
4	Раздел 4. Диагностика неисправностей электромагнитных систем	18	4	8	3		3	№4	№2	
4.1	Общая характеристика дефектов электромагнитных систем	6	2	2			2			
4.2	Методы обнаружения и идентификации дефектов электромагнитных систем	12	2	6	3		1			
	Заключение	2					2			

2.2.2. Тематический план дисциплины для студентов заочной  
формы обучения

№  п/п	Название раздела, темы	Количество часов по очной форме обучения	Виды занятий и контроля							
			лекции		лр		Самост. работа	Тесты	лр	Контр. работа
			Ауд.	ДОГ	Ауд.	ДОГ				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
	Всего	100	6	48	6		40	4	2	1
	Введение	4	2				2			
1	Раздел 1. Неисправности электрических машин	8	2	2			4	№ 1		
1.1	Характеристики состояния. Виды отказов	2	2							
1.2	Статистические данные о неисправностях (отказах) электрических машин	6		2			4			
2	Раздел 2. Диагностика технического состояния изоляции	38	2	20	3		13	№ 2	№1	
2.1	Характеристика условий работы изоляции и ее дефекты	4		2			2			
2.2	Общая характеристика стандартных методов оценки состояния изоляции	8		2	1		5			
2.3	Ненормированные методы испытаний и измерений, предназначенные для выявления дефектов изоляции	10		4			6			
2.4	Косвенные методы оценки технического состояния изоляции	16	2	12	2					

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
3	Раздел 3. Диагностика неисправностей подшипниковых узлов	30		14			16	№3		
3.1	Дефекты подшипниковых узлов качения	4					4			
3.2	Общая характеристика виброакустических методов оценки технического состояния подшипниковых узлов качения	12		10			2			
3.3	Методы диагностики состояния подшипниковых узлов качения	10		2			8			
3.4	Диагностика технического состояния подшипниковых узлов скольжения	4		2			2			
4	Раздел 4. Диагностика неисправностей электромагнитных систем	18		12	3		3	№4	№2	
4.1	Общая характеристика дефектов электромагнитных систем	6		6						
4.2	Методы обнаружения и идентификации дефектов электромагнитных систем	12		6	3		3			
	Заключение	2					2			

### 2.3. Структурно-логическая схема дисциплины



## 2.4. Временной график изучения дисциплины при использовании информационно-коммуникационных технологий

№ п/п	Наименование раздела	Продолжительность изучения (из расчета 4 часа в день)
1	Введение	1
2	Раздел 1. Неисправности электрических машин	2
3	Раздел 2. Диагностика технического состояния изоляции	9,5
4	Раздел 3. Диагностика неисправностей подшипниковых узлов	7,5
5	Раздел 4. Диагностика неисправностей электромагнитных систем	4,5
6	Заключение	0,5
	Итого	25 дней

## 2.5 Практический блок

### 2.5.1. Лабораторный практикум (Очно-заочная и заочная формы обучения)

Номер и название раздела (темы)	Наименование лабораторной работы	Кол-во часов	
		Ауд.	ДОТ
Раздел 2. Диагностика технического состояния изоляции	№ 1. Определение неисправностей обмотки статора асинхронного двигателя	3	0
Раздел 4. Диагностика неисправностей электромагнитных систем	№ 2. Исследование причин искрения щеток коллекторной машины постоянного тока	3	0

## 2.6. Балльно-рейтинговая система оценки знаний

Для успешного овладения дисциплиной при изучении теоретического материала рабочим учебным планом предусмотрено выполнение двух лабораторных работ и одной контрольной работы (для студентов очно-заочной и заочной форм обучения).

Базисные рейтинг-баллы равны 100, в том числе:

- 60 баллов – теоретический материал (по результатам тестирования);
- 20 баллов – лабораторные занятия;
- 20 баллов – контрольная работа (для очно-заочной и заочной форм обучения).

Оценка теоретических знаний производится по результатам контрольного мероприятия, которым является тестирование. Тестирование проводится по всем четырем разделам изучаемой дисциплины. Тест по каждому разделу содержит 5 вопросов, каждый правильный ответ оценивается в 3 балла. Таким образом, максимальное количество баллов за тестирование составляет  $5 \cdot 3 \cdot 4 = 60$ . Повторное тестирование в случае необходимости проводится по новому варианту тестов.

За успешное выполнение каждой лабораторной работы начисляется 10 баллов, всего за лабораторный практикум можно получить  $10 \cdot 2 = 20$  баллов.

Контрольная работа содержит одну задачу комплексного характера. За ее правильное выполнение начисляется 20 баллов.

Таким образом, максимальное количество баллов составляет

$$5 \cdot 3 \cdot 4 + 2 \cdot 10 + 20 = 100$$

При наборе двух третей от этой суммы ( 67 баллов) зачет по дисциплине выставляется автоматически.

### **3.ИНФОРМАЦИОННЫЕ РЕСУРСЫ ДИСЦИПЛИНЫ**

#### **3.1.Библиографический список**

##### **Основной:**

1. Кузнецов, Н.Л. Надежность электрических машин: учебное пособие для вузов /Н.Л. Кузнецов. – М.: Изд. Дом МЭИ, 2006. – 429 с.

##### **Дополнительный:**

2. Воробьев, В.Е. Диагностика неисправностей электрических машин: письменные лекции / В.Е. Воробьев. – СПб.: Изд-во СЗТУ, 2002. – 53 с.
3. Ермолин, Н.П. Надежность электрических машин / Н.П. Ермолин, И.П., Жерихин. – Л.: Энергия, 1976. – 247 с.



### **3.2. Методические указания к выполнению лабораторных работ**

В настоящее время прогностические методы контроля технического состояния электрических машин используются только применительно к крупным энергетическим машинам (турбо- и гидрогенераторы, корабельные энергетические установки и т.п.) либо – к ответственным электроприводам (двигатели прокатных станов, машины собственных нужд атомных станций и т.д.).

В подавляющем большинстве случаев ремонт электрической машины обусловлен ее отказом, а поэтому первым его этапом всегда является процедура дефектации.

Поскольку с технической точки зрения натурное воспроизведение многообразных причин отказов электрической машины весьма затруднительно, то предлагаемые ниже лабораторные работы построены в виде практических занятий.

#### **ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1**

Определение неисправностей обмотки статора асинхронного двигателя.

##### **1.Цель работы**

Целью работы является изучение методов определения характера и места нахождения различных повреждений обмотки статора асинхронных двигателей.

##### **2.Общие положения**

В подавляющем большинстве случаев (85...95) % отказы асинхронных двигателей мощностью свыше 5 кВт происходят из-за повреждения обмотки статора.

Объясняется это как спецификой работы изоляции, так и несовершенством методов и средств своевременного выявления развивающихся дефектов.

Во время эксплуатации изоляция электрических машин подвергается различным воздействиям, под влиянием которых происходит ее старение, т.е. необратимое ухудшение свойств. В соответствии с рекомендациями МЭК должны учитываться тепловые, механические и электрические воздействия на изоляцию, а также – воздействие окружающей среды.

Механизм и последствия такого комплексного воздействия на изоляцию в настоящее время мало изучены. Каждый из перечисленных видов воздействия может в определенных условиях оказаться основным. В этом случае данному воздействию будет соответствовать определенный характер старения изоляции и вызываемые им дефекты.

Тепловое старение изоляции является следствием постепенного химического изменения входящих в ее состав органических веществ. Признаки такого старения – расслоение изоляции, ее распухание – появление большого количества воздушных включений.

В течение всего периода эксплуатации электрической машины ее изоляция подвергается непрерывному воздействию рабочего напряжения. Различные части изоляции при этом находятся под различным напряжением. По современным представлениям пробой высоковольтной изоляции при длительном действии напряжения имеет ионизационный характер, т.е. обусловлен постепенным разрушением изоляции частичными разрядами, происходящими в имеющихся в толще изоляции газовых включениях.

К основным воздействиям окружающей среды относятся: действие влаги, масла, пыли и абразивных частиц, окружающего газа.

Механическим воздействиям изоляция подвергается как во время изготовления и ремонтов, так и во время эксплуатации. Механические воздействия приводят к возникновению в изоляции деформаций растяжения, сжатия, изгиба, смятия, кручения, а также – к трению поверхностей стержней обмотки о прилегающие к ним детали. При неблагоприятных обстоятельствах это приводит к появлению таких дефектов изоляции как трещины, складки, расслоение, местное уменьшение толщины.

Таким образом, старение изоляции рассматривается как следствие окислительной, термической и ионизационной деструкции, а также – как механическое разрушение под действием тепла, кислорода, озона, химически агрессивных веществ, повторяющихся механических воздействий и т.п.

Основными дефектами изоляции являются местные дефекты, охватывающие лишь незначительную часть ее площади. Такой характер дефектов определяется прежде всего тем, что интенсивность указанных выше воздействий на изоляцию распределена обычно весьма неравномерно по ее площади, а с другой стороны, сопротивляемость изоляции этим воздействиям неодинакова в различных частях.

В конечном итоге указанные дефекты изоляции приводят к отказу электрической машины из-за витковых коротких замыканий, пробоя межфазной или корпусной изоляции.

### 3. Возможные неисправности и их причины

Ниже дается описание наиболее часто встречающихся неисправностей обмотки статора и перечень возможных их причин.

1. Обмотка статора местами сильно греется. Сила тока в отдельных фазах неодинакова. Двигатель сильно гудит и развивает пониженный крутящий момент.

Возможные причины:

- межвитковое соединение в обмотке статора;
- неправильно соединены катушки одной фазы: одна или несколько катушек “перевернуты”;
- обмотка одной фазы замкнута на “землю” в двух местах;
- короткое замыкание между фазами.

2. Двигатель не идет в ход, при разворачивании от руки работает толчками и ненормально гудит, в одной фазе статора тока нет.

Возможные причины:

- обрыв в одной фазе сети;
- внутренний обрыв в обмотке статора при соединении фаз звездой.

3. Двигатель хорошо идет в ход и хорошо работает с номинальной нагрузкой, но сила тока в фазах различна (в одной фазе на 73 % больше, чем в двух других) и частота вращения ротора ниже номинальной. Обмотка одной фазы статора остается холодной.

Указанная неисправность обусловлена внутренним обрывом в одной фазе обмотки статора при соединении фаз треугольником.

4. Двигатель плохо идет в ход и сильно гудит, сила тока во всех трех фазах различна и при холостом ходе превышает номинальное значение.

Описанное явление может быть вызвано тем, что одна фаза обмотки статора “перевернута”.

#### 4. Методы обнаружения неисправностей

*Короткие замыкания в обмотке статора.* Возможны следующие замыкания:

- между витками одной катушки;
- между катушками или катушечными группами одной фазы;
- между катушками разных фаз.

Основным признаком, по которому можно найти замыкание в обмотке переменного тока, является нагрев короткозамкнутого контура. Для этого необходимо ощупать обмотку после ее отключения.

В некоторых случаях короткозамкнутую часть обмотки можно определить сразу по внешнему виду – по обуглившейся изоляции.

Следует иметь в виду, что при наличии параллельных ветвей в обмотке короткое замыкание в одной из ветвей фазы может вызвать нагрев и другой ветви, не имеющей короткого замыкания, так как последняя оказывается замкнутой витками дефектной ветви.

Фазу, имеющую замыкание, можно найти по несимметрии потребляемого из сети тока.

При соединении обмоток звездой (рис 1,а) в фазе, имеющей замыкание, ток (A3) будет больше, чем в двух других.

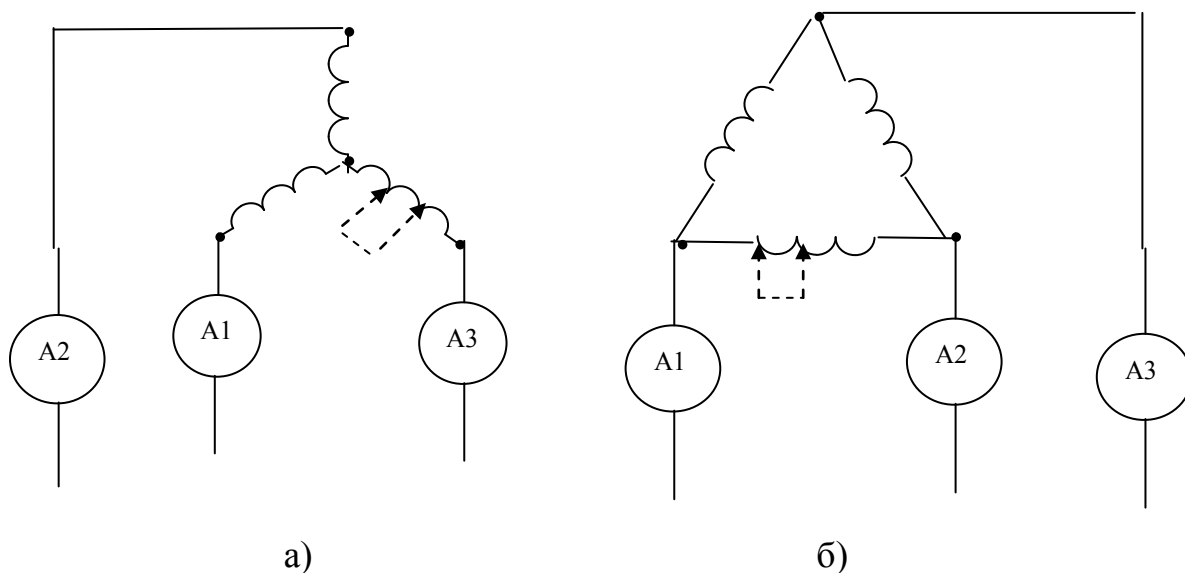


Рис.1

При соединении обмотки треугольником (рис. 1,б) в двух фазах сети, к которым присоединена дефектная фаза, токи (A1 и A2) будут больше, чем в третьей фазе (A3).

При определении дефектной фазы опыт рекомендуется проводить при пониженном напряжении ( $1/3 \dots 1/4$  от номинального).

Фаза, имеющая замыкание, может быть определена и по значению ее сопротивления постоянному току (измеренному мостом либо методом амперметра-вольтметра). Меньшее сопротивление будет иметь фаза с замыканием.

Если же нет возможности разъединить фазы, то производят измерение трех межфазных сопротивлений.

В случае соединения фаз звездой наибольшим будет междуфазное сопротивление измеренное на концах фаз не имеющих замыканий. Два других сопротивления будут равны между собой и меньше первого.

В случае соединения фаз треугольником наименьшее сопротивление будет на концах фазы, имеющей замыкание. Два других измерения дадут большие значения сопротивления, причем оба они будут одинаковы.

Катушечные группы или катушки, имеющие замыкания, могут быть найдены при питании переменным током всей обмотки или только дефектной фазы по нагреву или по значению падения напряжения на их концах.

Катушечные группы или катушки, имеющие замыкание, будут сильно нагреты и иметь меньшее падение напряжения. В этом случае, как и выше, дефектные катушки можно найти по значению сопротивления постоянному току.

В сложных случаях (при замыкании большого числа катушек или когда короткозамкнутую ветвь по каким-либо причинам не удастся выявить), прибегают к методу деления обмотки на части. Для этого обмотку делят сначала пополам и проверяют мегомметром соединение этих частей между собой. Затем одну из этих частей делят снова на две части и каждую из них проверяют на соединение с первой половиной и т.д. до тех пор пока не будут найдены катушки, имеющие соединения.

Способ последовательного деления на равные части позволяет обойтись меньшим числом распаек, чем при делении всей обмотки на катушечные группы.

Если замыкание произошло между двумя фазами, то место соединения находят аналогично предыдущему случаю, разъединяя обмотку пофазно. Катушки одной из фаз, имеющей соединение, разделяют на две части и мегомметром проверяют наличие соединений каждой такой половины со второй фазой. Затем ту часть, которая соединена с другой фазой, снова разделяют на две части и каждую из них снова проверяют и т. д.

Метод последовательного деления на части применим и при нахождении замыкания в обмотках, имеющих параллельные ветви. В этом случае необходимо дефектные фазы разделить на параллельные ветви и прежде всего определить, между какими ветвями имеется соединение, а уже затем применять к ним этот метод.

*Обрывы и плохой контакт.* Прежде чем приступить к отысканию обрывов или плохого контакта в обмотке, необходимо убедиться в отсутствии этих дефектов вне обмотки. Так признаки обрыва или плохого контакта в статорных обмотках могут быть следствием перегорания предохранителя, недостаточного прилегания контактов пусковой аппаратуры, неплотности контактов выводных концов и т.п. После того как установлено, что дефект находится в самой обмотке, необходимо приступить к тщательному осмотру всех паек.

Фаза, имеющая обрыв может быть найдена мегомметром. Для этого в случае соединения фаз звездой один проводник мегомметра присоединяют к нейтрали, а вторым поочередно касаются концов всех фаз. В случае соединения треугольником необходимо разъединить обмотку в одной точке и проверить каждую фазу в отдельности.

При недоступной нейтрали обмотки соединенной звездой фазу, имеющую обрыв, можно найти по показаниям амперметра или при помощи мегомметра. Для этого касаются проводниками от мегомметра попарно всех выводов обмотки.

В случае соединения фаз треугольником найти фазу, имеющую обрыв, при помощи мегомметра без разъединения обмотки не представляется возможным. В этом случае фазу, имеющую обрыв, можно найти, измеряя омическое сопротивление обмотки между выводами. При измерениях между точками А и В (рис.2), а

также между точками В и С (концами фазы, имеющей обрыв) сопротивление будет равно сумме сопротивлений двух других фаз.

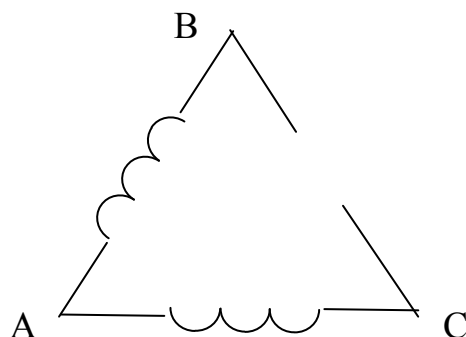


Рис.2

Чтобы найти катушечную группу или катушку имеющую обрыв, одним проводником мегомметра касаются одного конца фазы, а другим – поочередно всех соединительных проводников между катушечными группами или катушками. После прохода частей обмотки с обрывом мегомметр дает большие показания соответственно сопротивлению изоляции испытуемой обмотки. При этом испытании удобно пользоваться острыми щупами во избежание зачистки соединительных проводов.

Количество зачисток или проколов можно уменьшить. Для этого надо одним проводником от мегомметра коснуться сначала середины обмотки фазы и этим определить половину имеющую обрыв, а затем коснуться средней точки дефектной половины и т.д., пока не будет найдена катушка с обрывом.

Наиболее вероятные места обрывов во “всыпных” обмотках находятся в межкатушечных соединениях, а в стержневых обмотках – в пайках (в хомутиках).

*Замыкание обмотки на корпус.* Фазу обмотки, замкнутую на корпус, можно определить мегомметром после разъединения (при наличии шести выводных концов) или распайки фаз.

Точное определение места замыкания обеспечивается “прожиганием”. Применительно к низковольтным электрическим машинам операция состоит в том, что один конец фазы присоединяют к полюсу сети, а второй – к корпусу через предохранитель (30...40) А. Прохождение тока через место замыкания вызовет появление дыма. Напряжение надо постепенно повышать до полного пробоя.

Место замыкания обмотки на корпус можно найти также методом деления ее на части либо методом питания постоянным током.

Деление на части состоит в том, что мегомметром определяют фазу, имеющую замыкание на корпус, делят ее пополам распайкой межкатушечных соединений, а затем опять мегомметром определяют часть обмотки, имеющей соединение с корпусом. Подобное деление продолжается до тех пор, пока не будет найдена дефектная катушка или катушечная группа.

Метод питания постоянным током (рис. 3) заключается в том, что оба конца фазы, имеющей замыкание на корпус, соединяют между собой и к ним присоединяют один из зажимов сети постоянного тока. Другой зажим присоединяют к корпусу машины. Чтобы можно было регулировать силу тока, в цепь включается реостат. Источник постоянного тока не должен быть заземлен, а если один полюс его все же заземлен, то его следует присоединить к корпусу машины.

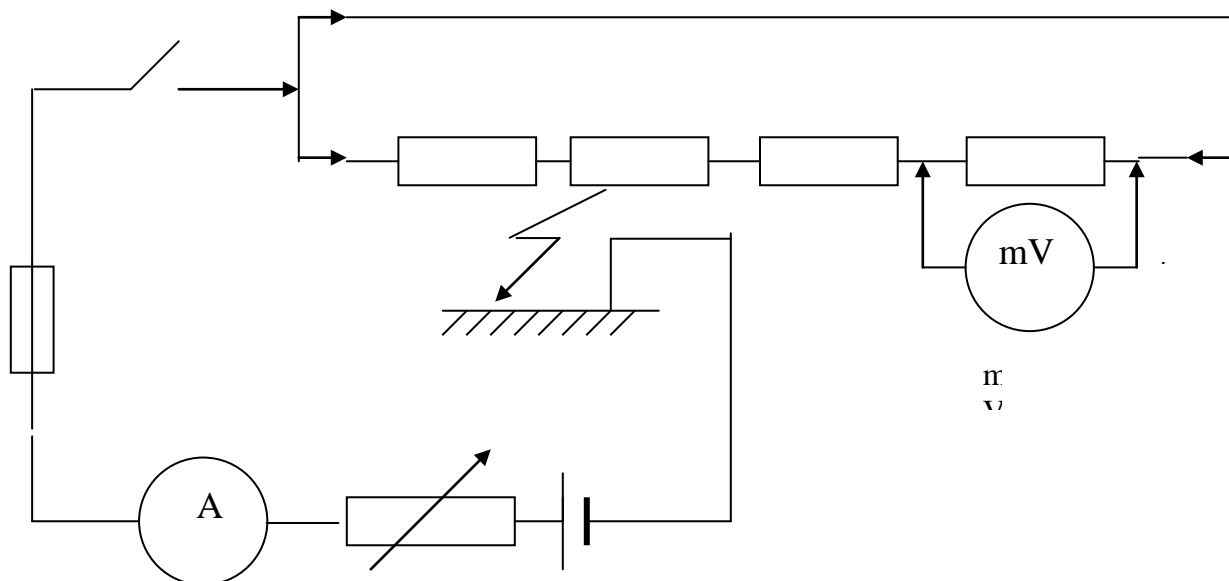


Рис.3

При замыкании обмотки на корпус направления токов в двух частях обмотки, разграниченных точкой замыкания будут противоположны. Если поочередно касаться двумя проводами присоединенными к милливольтметру концов каждой катушечной группы, то стрелка прибора будет все время отклоняться в одном направлении до тех пор, пока концы прибора не минуют концов катушечной группы замкнутой на корпус. В последнем случае отклонение стрелки изменится на обратное. На концах дефектной катушечной группы направление отклонения стрелки прибора будет зависеть от того к какому концу ближе находится место замыкания на корпус.

Кроме того, значение падения напряжения на концах катушечной группы замкнутой на корпус будет меньше, чем у других катушек, если замыкание на корпус находится вблизи концов этой катушечной группы. Для нахождения дефектной катушки поступают аналогично предыдущему.

На рис.4 показаны случаи замыкания на корпус одной из катушечных групп. Оставив неизменной схему питания постоянным током, измеряют последовательно падения напряжения попарно между точками а-б, б-в, в-г, г-д и наблюдают за направлением отклонения стрелки прибора.

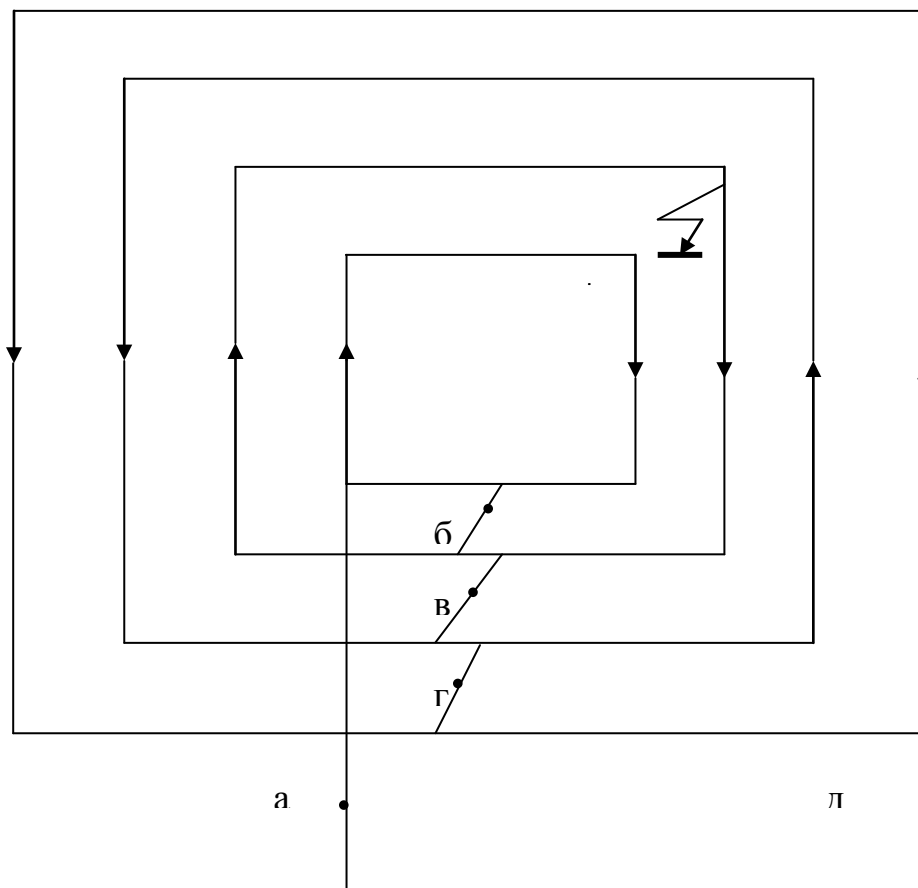


Рис.4

Отклонение стрелки прибора в точках а-б будет противоположно отклонению в точках в-г и г-д, в точках же б-в направление отклонения будет зависеть от места нахождения корпусного замыкания, а падение напряжения будет меньше, чем на зажимах других катушек.

## 5. Порядок выполнения работы

Для каждой из неисправностей, описанных в разделе 3, в соответствии с методами, описанными в разделе 4, необходимо привести способ установления ее причины и места нахождения.

## 6. Содержание отчета

Отчет по лабораторной работе должен включать в себя:

- формулировку цели работы;
- перечень возможных неисправностей с описанием способов установления их причин и места нахождения.



## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2

### Исследование причин искрения щеток коллекторной машины постоянного тока

#### 1. Цель работы

Целью работы является изучение причин искрения щеток коллекторной машины постоянного тока и способов их устранения.

#### 2. Общие положения

Процессы в скользящих контактах зависят от ряда электрических факторов: индуктивности цепей, в которых они работают, плотности тока под щеткой, а для коллекторных машин, кроме того, – и от напряжения между пластинами коллектора, а также – сбалансированности реактивной и коммутирующей ЭДС в секциях якоря замкнутых щеткой.

По мере увеличения частоты вращения и окружной скорости рабочих поверхностей решающее значение приобретают механические факторы: отклонение формы поверхности коллектора от цилиндрической, качество поверхности, уровень вибрации якоря, щеток и траверсы щеткодержателей.

Следует отметить также существенное влияние на трение и износ контактных поверхностей химического состава, температуры и влажности среды, охлаждающий узел токосъема.

Для оценки качества коммутации используется то обстоятельство, что газоразрядные процессы в скользящем контакте сопровождаются излучением света. Причем, существует связь между интенсивностью указанных процессов и интенсивностью (яркостью, количеством светящихся точек и т.п.) свечения (искрения).

Классификация степеней искрения ( $1; 1\frac{1}{4}; 1\frac{1}{2}; 2; 3$ ) приведена в ГОСТ 183-74.

В основу классификации положена интенсивность искрения и состояние поверхностей коллектора и щеток. Следует подчеркнуть, что визуальная оценка состояния коллектора в определенной мере субъективна.

Главным критерием качества коммутации является надежное выполнение электрической машиной ее рабочих функций, т.е. стабильность степени искрения при работе машины по рабочему циклу установленному ТУ или ГОСТ.

Основное условие безыскровой работы заключается в том, чтобы к моменту, когда сбегаящая кромка коллекторной пластины, выходящей из-под щетки, покидает зону устойчивого контакта, ток между этой пластиной и щеткой обращался бы в нуль. В этом случае в зоне газового разряда нет разрыва тока и невозможны перенапряжения вызывающие разряд.

Сформулированное выше является также условием того, чтобы к моменту, когда прекращается соприкосновение сбегавшей пластины с зоной устойчивого контакта, был бы полностью закончен процесс реверсирования тока в секции.

При разрыве тока освобождается энергия, запасенная в магнитном поле секции, вызывающая импульс напряжения и газоразрядные процессы.

Таким образом, для обеспечения безыскровой работы процесс коммутации должен быть ускоренным. Ускорение достигается с помощью внешнего магнитного поля, например поля добавочных полюсов, индуктирующего в секциях замкнутых щеткой так называемую коммутирующую ЭДС ( $e_k$ ) направленную против реактивной ЭДС ( $e_p$ ).

Если бы удалось обеспечить условие  $e_k = -e_p$  для каждого момента времени коммутации и для каждой секции, то не было бы ограничения мощности электрических машин постоянного тока по коммутации.

Однако в реальной электрической машине вследствие ряда конструктивных (размещение обмотки в пазах) и технологических (механической несимметрии, разницы в сопротивлениях секций и т.п.) причин создаются неодинаковые условия коммутации отдельных секций и следовательно не может быть получена одинаково совершенная коммутация для каждой секции обмотки якоря. Возможность достижения высокой степени компенсации зависит от коммутационных свойств обмотки и щеток, параметров коммутирующего поля, технологических причин.

### 3. Причины, определяющие качество коммутации

Как следует из вышеизложенного качество коммутации коллекторных машин постоянного тока обусловлено большим числом разнообразных факторов. Поэтому не представляется возможным сразу дать однозначный ответ о причине(х) искрения щеток – необходим последовательный их анализ и поочередное устранение.

Искрение щеток может быть обусловлено следующими причинами:

- 1 – щетки установлены неправильно;
- 2 – расстояние по окружности коллектора между щетками отдельных бракетов неравномерно;
- 3 – щетки в плохом состоянии и неправильно установлены в щеткодержателях;
- 4 – щеткодержатели установлены неправильно;
- 5 – щеточный бракет слабо закреплен, а поэтому вибрирует;
- 6 – щетки слабо прилегают к коллектору;
- 7 – щетки слишком сильно прижаты к коллектору;
- 8 – поставлены щетки неподходящей марки;
- 9 – нажатие на щетки неодинаково;
- 10 – плохой контакт в токособирающих кольцах: ослаблены стяжные болты, загрязнены или окислены контактные поверхности в местах со-

- единения бракетов щеткодержателей и токособирательных колец между щеткодержателями и бракетами, между щетками и щеткодержателями;  
11 – наблюдается повышенная вибрация щеточного аппарата;  
12 – главные и добавочные полюсы расположены неравномерно.

#### 4. Методика обнаружения и устранения причин неблагоприятной коммутации

Ниже приводятся способы определения и устранения *некоторых* из указанных в разделе 3 причин искрения щеток.

Необходимое положение щеток может быть достигнуто правильной установкой траверсы и щеткодержателей. Последние следует устанавливать на пальцах траверсы или бракетах так, чтобы ось расположения щеток была бы параллельна оси коллектора. Для этого нужно одинаковые щеткодержатели установить по линейке расположенной параллельно оси коллектора. Установка радиальных щеткодержателей не зависит от направления вращения якоря. Установка реактивных щеткодержателей (наклоненных к вертикали под углом  $30...40^0$ ) зависит от направления вращения якоря. При правильной установке острый край щетки должен быть направлен против направления вращения, т.е. – являться набегающим.

По окружности коллектора щетки должны быть установлены так, чтобы расстояния между сбегающими краями щеток соседних бракетов траверсы были бы практически одинаковы. В противном случае возможно искрение под щетками, т.к. они замыкают накоротко витки обмотки несколько сдвинутые с нейтрали. Для правильной установки щеток нужно на коллектор под щетки положить полоску бумаги размеченную на равные части соответственно числу бракетов. Указанным способом можно выдерживать одинаковые расстояния с точностью 1 мм, что является достаточным для нормальной работы машины.

Расстояние от обоймы щеткодержателя до поверхности коллектора должно составлять (2,5... 3 мм у крупных машин, (1,5...2,5) мм у машин типа ПН 28,5...ПН 50 и около 1 мм у машин типа ПН 5...ПН 17,5.

Причиной искрения под щетками также может быть повышенный зазор между щеткой и обоймой щеткодержателя или, наоборот, защемление щетки в щеткодержателе при работе. Нормально указанный зазор должен составлять 0,2...0,3 мм.

Нажатие на щетку, создаваемое пружиной щеткодержателя, должно соответствовать определенному удельному давлению, зависящему от марки щеток и окружной скорости коллектора. Для уменьшения механических потерь на трение щеток о коллектор стремятся установить минимальное нажатие, при котором щетки работают без искрения. Следует учитывать, что чем больше окружная скорость тем большим устанавливают нажатие, чтобы щетки могли следовать за всеми неровностями поверхности коллектора и удовлетворительно работать при возмож-

ных вибрациях щеткодержателей. Разница в нажатии на отдельные щетки не должна превышать 10 % от его среднего значения.

Проверка нажатия щеток производится динамометром, закрепленным за рычажок щеткодержателя, прижимающего щетку к коллектору. Значение нажатия может быть определено, если между щеткой и коллектором проложить лист бумаги и производить постепенное натяжение динамометра. Показание динамометра, при котором бумага может быть легко изъята и будет соответствовать нажатию щетки на коллектор.

Щетки должны быть установлены на нейтрالي. Проверку правильного положения траверсы производят индуктивным методом при неподвижном якоре после пришлифовки щеток. Предварительно траверсу устанавливают в таком положении, чтобы линия щеток приходилась примерно против середины главных полюсов. Обмотку возбуждения отключают и к ней через реостат от аккумуляторной батареи подводят постоянный ток. Значение тока не должно превышать (5...10) % от номинального. К зажимам якоря присоединяют милливольтметр на (45...60) мВ с добавочным сопротивлением, позволяющим измерять прибором напряжение (1,5...3) В. Желательно, чтобы прибор имел шкалу с нулем посередине. Затем производят замыкание и размыкание тока возбуждения. При этом в якоре наводится ЭДС, а стрелка прибора отклоняется в ту или иную сторону в зависимости от положения щеток. При щетках, находящихся на нейтрالي, ЭДС должна быть практически равна нулю. Траверсу со щетками передвигают до тех пор пока не будет достигнуто это положение щеток. По мере перемещения траверсы и уменьшения отклонения стрелки прибора постепенно уменьшают и его пределы измерения. Рекомендуются проверять положение траверсы при различных положениях якоря.

Коллектор и щетки требуют тщательного ухода – они должны быть всегда чистыми. Особенно вредна для них металлическая и угольная пыль, которая смешиваясь с попавшим на контактные поверхности маслом, образует грязь и вызывает искрение.

Угольные щетки должны иметь зеркально блестящую поверхность по всей площади соприкосновения с коллектором. Щетки должны быть притерты к поверхности коллектора. Для этого под щетки подкладывают стеклянную бумагу, обращенную рабочей поверхностью к щеткам. После этого бумагу передвигают взад и вперед при нормальном давлении пружин на щетки. После притирки щеток производится очистка коллектора, щеток и щеткодержателей для удаления угольной пыли (желательно пылесосом). Контактная поверхность коллектора должна быть строго цилиндрической и иметь гладкий полированный вид, без неровностей, царапин и горелых мест. Слюда не должна выступать за поверхность коллектора.

Допустимое биение коллекторов быстроходных машин с окружной скоростью до 50 м/с не должно превышать (0,02...0,03) мм. В тихоходных машинах может быть допущено без ущерба для работы машины значительно большее биение

– порядка (0,1...0,2) мм. При большом биении коллектора производят его обточку резцом или шлифовку.

Выбор марки и конструкции щеток в значительной степени влияет на работу электрической машины и определяет надежность ее эксплуатации. Для устранения дефектов работы щеточного контакта данной конкретной машины необходимо учитывать разнообразные свойства и характеристики различных марок и конструкций щеток, выбирая оптимальные варианты. Физико-механические и коллекторные характеристики щеток, а также другие технические и эксплуатационные требования и оценки необходимые при выборе щеток приведены в ГОСТ 2332-75.2.

Кроме перечисленных выше причин неудовлетворительной коммутации, повышенное искрение под щеткой возможно при неточном расположении главных и добавочных полюсов. Поэтому необходима проверка равномерности их установки – расстояний между краями башмаков соседних главных полюсов, а также – между краями башмаков добавочных и соседних главных полюсов. Практика показывает, что расстояния в первом случае не должны отличаться друг от друга более чем на 1,5 мм при диаметре якоря до 600 мм и более чем на 2 мм при диаметре якоря свыше 660 мм. Во втором случае расстояния не должны отличаться друг от друга более чем на 1 мм.

## 5. Порядок выполнения работы

Для каждой из причин неудовлетворительной коммутации, приведенной в разделе 3 и описанной в разделе 4, изложить способ ее определения и устранения.

## 6. Содержание отчета

Отчет по лабораторной работе должен включать в себя:

- формулировку цели работы;
- перечень возможных причин искрения щеток с описанием способов их установления и устранения.

## **4. БЛОК КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **4.1. Общие указания**

Блок контроля освоения дисциплины включает:

1. Задание на контрольную работу и методические указания к ее выполнению.

Контрольная работа состоит из одного задания. Порядок выбора индивидуального задания указан в пункте 4.2.1. "Задание на контрольную работу".

2. Блок тестов текущего контроля.

Приводятся 4 теста текущего контроля (по одному тесту на каждый раздел дисциплины). Они предлагаются в качестве тренировочных (репетиционных). После работы с этими тестами можно проверить ответы – они приведены на стр. 41. Завершив работу с тренировочным тестом по разделу, студент должен пройти аналогичный контрольный тест. Задание на контрольное тестирование студенты получают у преподавателя, либо на учебном сайте СЗТУ. Время ответа и число попыток ответа для контрольного теста ограничено.

3. Блок итогового контроля.

Изучение дисциплины завершается сдачей теоретического зачета. Вопросы для подготовки к зачету приведены в данном блоке.

### **4.2. Задание на контрольную работу и методические указания к ее выполнению**

#### **4.2.1. Задание на контрольную работу**

Целью контрольной работы является:

- предварительное формирование набора (сочетания) диагностических параметров, обеспечивающих идентификацию наиболее часто встречающихся неисправностей;
- обоснование экспериментальных методов, позволяющих определить эффективность и полноту принятых диагностических параметров.

В качестве объекта диагностирования выбрана самая распространенная электрическая машина – трехфазный асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором.

Варианты задания, определяемые по последней цифре шифра зачетной книжки, приведены в табл.1.

Студенты, обучающиеся с применением элементов ДОТ, выполняют контрольную работу на учебном сайте СЗТУ.

Таблица 1

Номер варианта	Выходные события (признаки наличия неисправностей)
0	4.1; 4.2
1	4.2; 4.4
2	4.3; 4.5
3	4.4; 4.5
4	4.6; 4.7
5	4.5; 4.7
6	4.8; 4.9
7	4.5; 4.10
8	4.3; 4.11a
9	4.7; 4.12

#### 4.2.2. Методические указания к выполнению контрольной работы

Техническое состояние электрической машины в любой произвольный момент времени в общем случае характеризуется бесконечным числом показателей. Последние могут быть определены прямо или косвенно через доступные измерения, т.е. диагностические параметры при условии предварительного установления связей между первыми и вторыми.

Необходимая и достаточная совокупность диагностических параметров определяется на основе так называемой диагностической модели, которая представляет собой формализованное (математическое) описание связей между параметрами, определяющими техническое состояние объекта.

Применительно к электрической машине создание такой модели связано с большими трудностями, так как :

- общеизвестная система уравнений в основном электромагнитные процессы;
- кроме основных процессов диагностическая модель должна включать в себя также и математическое описание побочных (второстепенных) процессов таких как вибрация, нагрев, термодинамические усилия, старение материалов и узлов электрической машины и т.п.;
- полученная таким образом модель оказывается, во-первых, громоздкой, а во-вторых, малодостоверной в силу недостаточной изученности указанных процессов.

Поэтому в настоящее время анализ электрической машины в диагностическом плане строится на методах не требующих знания взаимосвязей между ее показателями качества в виде строгих аналитических зависимостей. В частности для определения предварительного набора диагностических параметров может быть использован метод построения так называемой блок-схемы структурно-следственных связей. Схема отражает физическую связь между множеством параметров технического состояния и параметрами подлежащими контролю (диагностическими параметрами). При этом связь устанавливается не с помощью математических, числовых или иных подобных им зависимостей, а посредством перечня возможных неисправностей и их симптомов.

В соответствии с указанной схемой устанавливается связь между:

- признаками наличия неисправностей – так называемыми “выходными событиями” (обозначаются как  $4.k$ , где  $k=1,2,3,\dots$ ), которые могут быть проконтролированы, т.е. их можно наблюдать: видеть, слышать, чувствовать, наконец – измерить;
- последствиями конкретных неисправностей – так называемыми “входными событиями” (обозначаются как  $2.i$ , где  $i=1,2,3,\dots$ ). При этом соответствие между входными и выходными событиями определяется посредством “внутренних событий”, отражающих причинную связь первых двух;
- физически существующими, т.е. конкретными неисправностями (обозначаются как  $1.j$ , где  $j=1,2,3,\dots$ ).

В соответствии с признаками неисправностей (выходными событиями), указанными в задании, по блок-схеме структурно-следственных связей (рис.5) устанавливаются соответствующие входные события, т.е. последствия объективно существующих конкретных неисправностей.

Результаты заносятся в таблицу по форме 1 и отмечаются в столбцах знаком (+), если событие наступило или знаком (–), если нет.

Форма 1

Выходные события	Входные события				
	$2.i$	...	...	...	...
$4.k$					
...					
...					

Группируя входные события по признаку принадлежности их к определенному выходному событию или к их группе, заполняют таблицу по форме 2.



Форма 2

Выходные события	Входные события		
	2.j; 2.(j+1);...	...	...
4.k			
...			
...			

На основании рис.6 заполняется таблица по форме 3, в которой входные события таблицы по форме2 заменяются соответствующими конкретными неисправностями.

Форма 3

Контролируемые события	Конкретные неисправности		
	1.j; 1.(j+1);...	...	...
4.k			
...			
...			

На основании последней таблицы формируется массив диагностических параметров, который позволил бы путем проведения соответствующих экспериментов идентифицировать каждую неисправность, обуславливающую соответствующие выходные события указанные в задании.

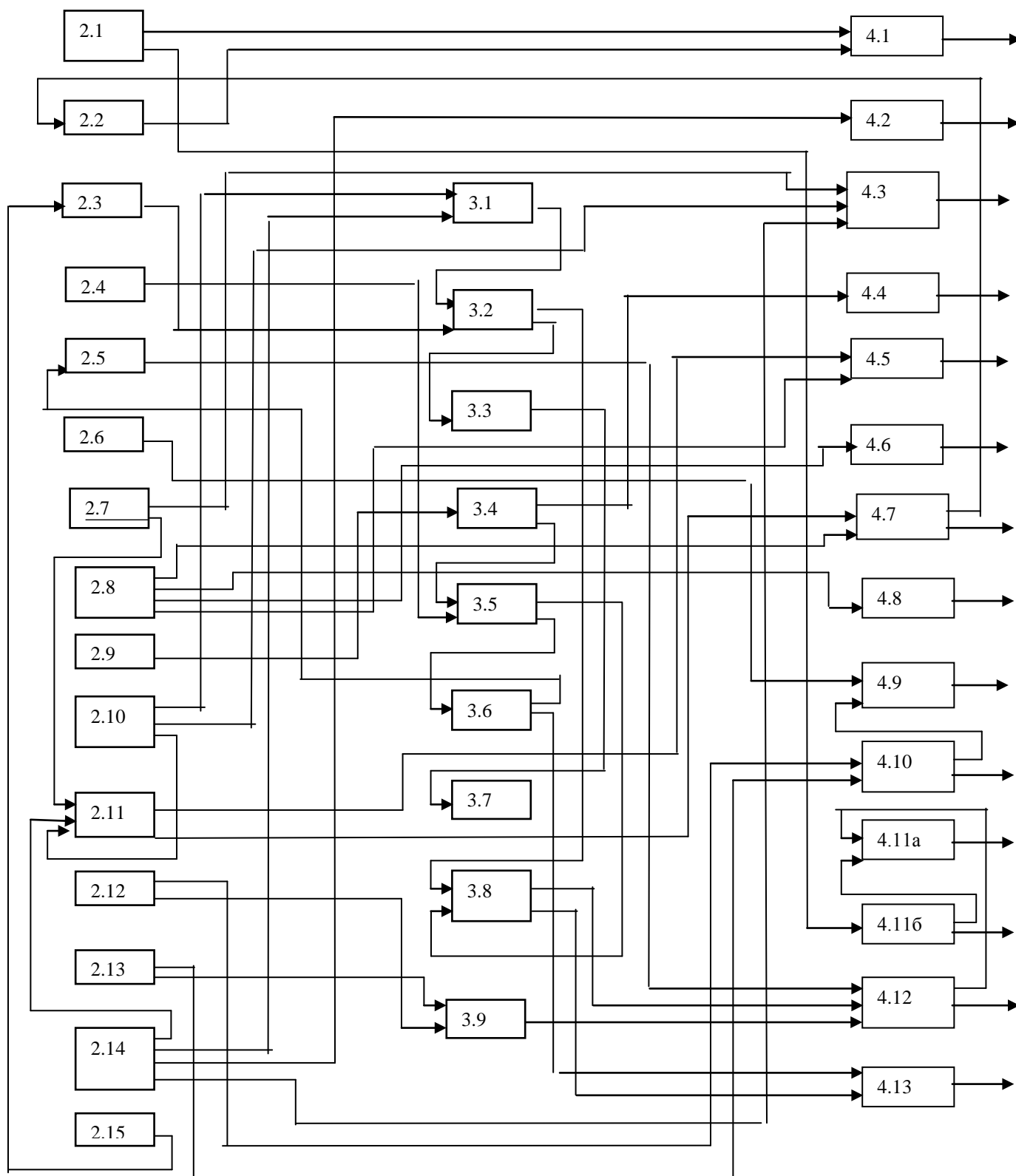


Рис.5. Блок-схема причинно-следственных связей

### *Выходные события (признаки наличия неисправностей)*

- 4.1 – равномерный перегрев всей машины;
- 4.2 – сила тока превышает нормальное значение;
- 4.3 – асимметрия токов по фазам;
- 4.4 – пульсация амплитуды тока статора;
- 4.5 – пониженный пусковой момент;
- 4.6 – перегрев короткозамкнутой обмотки ротора;
- 4.7 – двигатель не развивает номинальной скорости при номинальном моменте;
- 4.8 – колебания скорости при номинальном моменте;
- 4.9 – перегрев подшипников при работе нормально нагретой машины;
- 4.10 – перегрев подшипников при работе машины как в холодном, так и в нагретом состоянии;
- 4.11,а – общий шум выше нормы;
- 4.11,б – аэродинамический шум выше допуска;
- 4.12 – вибрация в подшипниковом узле выше допуска;
- 4.13 – уровень вибрации резко падает при отключении двигателя.

### *Внутренние события, отражающие причинную связь входных и выходных событий*

- 3.1 – невращающаяся асимметрия магнитного поля;
- 3.2 – невращающаяся сила одностороннего магнитного притяжения ротора к статору;
- 3.3 – невращающийся прогиб вала;
- 3.4 – вращающаяся асимметрия магнитного поля в воздушном зазоре;
- 3.5 – вращающаяся сила одностороннего притяжения ротора к статору;
- 3.6 – вращающийся магнитный прогиб вала;
- 3.7 – задевание ротора о статор при работе машины;
- 3.8 – магнитная вибрация ротора выше нормы;
- 3.9 – собственная вибрация подшипника выше допуска.

### *Входные события*

- 2.1 – уменьшение сечения вентиляционных путей;
- 2.2 – уменьшение производительности вентилятора;
- 2.3 – невращающаяся неравномерность воздушного зазора;
- 2.4 – вращающаяся неравномерность воздушного зазора;
- 2.5 – дисбаланс ротора;
- 2.6 – отсутствие возможности температурной компенсации удлинения вала;
- 2.7 – образование короткозамкнутого контура в обмотке статора;
- 2.8 – увеличение сопротивления обмотки ротора;
- 2.9 – нарушение симметрии обмотки ротора;
- 2.10 – обрыв в обмотке статора;
- 2.11 – ослабление МДС обмотки статора;
- 2.12 – изменение геометрических форм составных частей подшипника;
- 2.13 – увеличение потерь на трение деталей подшипника;
- 2.14 – неправильное соединение фаз или катушек внутри фазы обмотки статора;
- 2.15 – радиальное смещение ротора относительно статора.

### *Перечень конкретных неисправностей*

- 1.1 – межвитковое короткое замыкание в обмотке статора;
- 1.2 – одна фаза статора “перевернута”;
- 1.3 – одна катушка (секция) фазы статора “перевернута”;
- 1.4 – межвитковое короткое замыкание в лобовых частях;
- 1.5 – плохой контакт в обмотке короткозамкнутого ротора;
- 1.6 – обрыв обмотки статора;
- 1.7 – фазы обмотки статора соединены в звезду, а не в треугольник;
- 1.8 – износ посадочных мест в подшипниковых щитах;
- 1.9 – износ подшипника;
- 1.10 – прогиб вала;
- 1.11 – несоосность вала и активного железа;
- 1.12 – отсутствие теплового зазора;
- 1.13 – слишком тугая посадка внешнего кольца в подшипниковом щите;
- 1.14 – недостаток смазки;
- 1.15 – повреждение лопаток вентилятора.

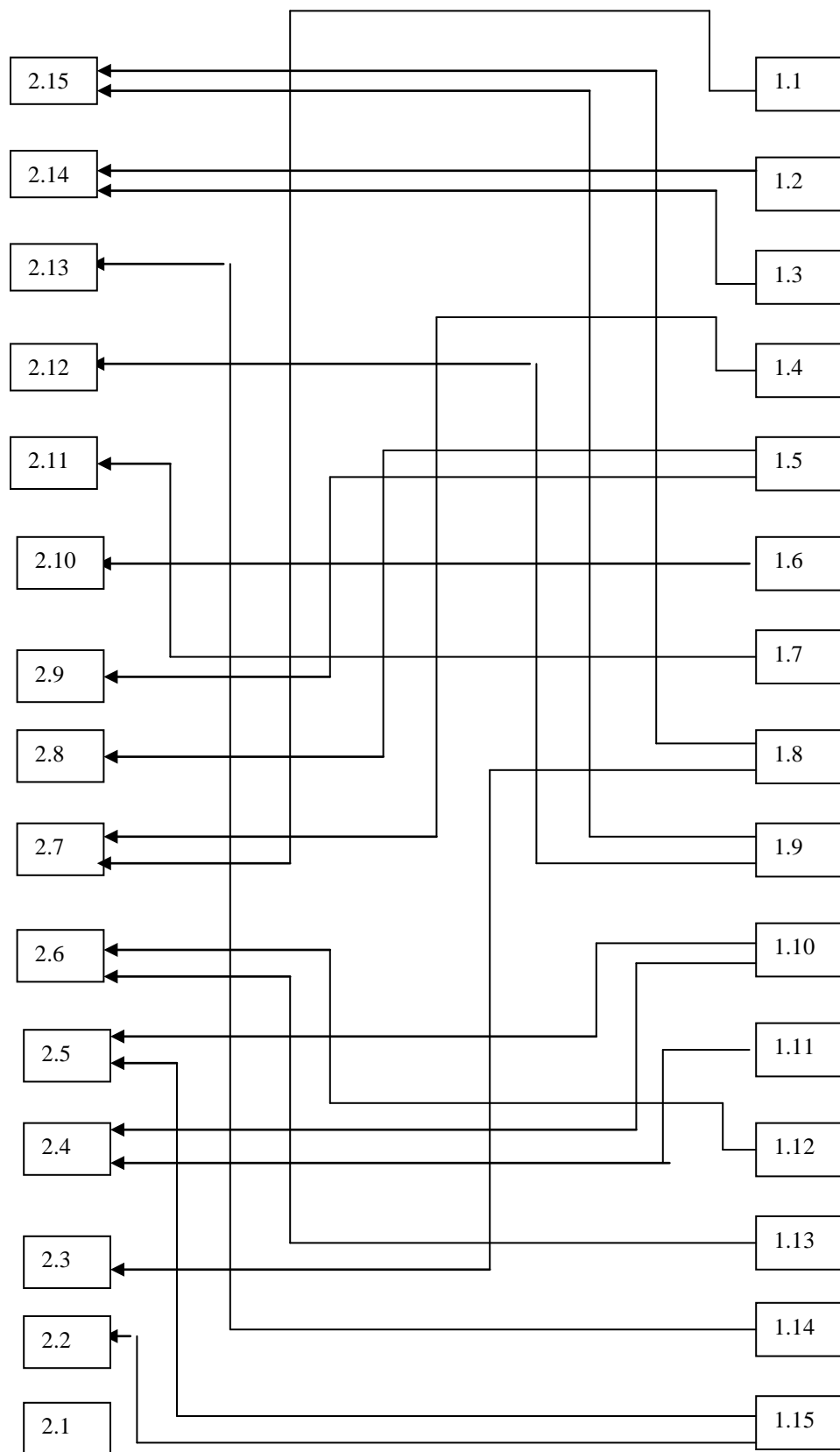


Рис. 6. Схема “наложения” конкретных неисправностей на выходные события

### 4.3. Текущий контроль (Тренировочные тесты)

#### Тест № 1 (к разделу 1)

1. Электрическая машина считается исправной, если:
  - А) соответствует всем предъявляемым к ней требованиям;
  - В) в состоянии выполнять все функции, предусмотренные ее рабочим алгоритмом (работоспособна);
  - С) не имеет неисправностей, нарушающих ее работу в рассматриваемый момент времени (правильно функционирует).
2. Наиболее “слабым” (чаще всего выходящим из строя) узлом асинхронных двигателей общепромышленного применения является:
  - А) подшипниковые узлы;
  - В) обмотка ротора;
  - С) изоляция обмотки статора.
3. Особенности эксплуатации синхронных машин являются:
  - А) сравнительно высокая квалификация обслуживающего персонала;
  - В) наличие периодических планово-предупредительных ремонтов и испытаний;
  - С) более качественное их проектирование и изготовление;
  - Д) продолжительный (до 20 лет) срок службы.
4. Статистика показывает, что одной из основных причин отказов синхронных машин являются:
  - А) ошибки при эксплуатации;
  - В) дефекты конструкционного характера;
  - С) заводские (производственные) дефекты.
5. Самой распространенной причиной отказов коллекторных машин постоянного тока является:
  - А) отказ обмотки якоря;
  - В) неисправности щеточного аппарата;
  - С) выход из строя коллектора;
  - Д) повреждения обмотки возбуждения;
  - Е) нарушение мест пайки обмотки якоря и коллектора.

#### Тест № 2 (к разделу 2)

1. Частый выход из строя изоляции электрических машин обусловлен:
  - А) физическими свойствами изоляционных материалов;
  - В) конструкцией изоляции;
  - С) спецификой ее работы;
  - Д) несовершенством средств контроля ее технического состояния.

2. Под термином “старение” изоляции понимают:

- А) ее механическое разрушение;
- В) необратимое ухудшение ее свойств;
- С) снижение электрической прочности;
- Д) изменение химического состава.

3. Основными дефектами изоляции электрических машин являются местные дефекты (охватывающие лишь незначительную часть ее площади), что обусловлено:

- А) неравномерным распределением по объему изоляции воздействующих на нее факторов;
- В) неодинаковой сопротивляемостью изоляции этим воздействиям;
- С) большой площадью изоляции;
- Д) особенностями конструкции изоляции;
- Е) классом ее нагревостойкости.

4. В силу большого числа факторов, воздействующих на изоляцию, совокупного их влияния и большого числа физических параметров, от которых зависит способность изоляции выполнять свои функции, методы оценки состояния изоляции должны быть:

- А) комплексными;
- В) косвенными;
- С) многоступенчатыми.

5. К стандартным (нормированным) методам оценки состояния изоляции относятся методы:

- А) объективно характеризующие ее состояние;
- В) позволяющие быстро получить результат;
- С) проверенные многолетним опытом.

### Тест № 3 (к разделу 3)

1. Измеряя параметры низкочастотной вибрации подшипникового узла качения, можно контролировать только:

- А) дефекты изготовления собственно подшипника;
- В) дефекты, связанные с износом подшипника;
- С) качество сборки подшипникового узла;
- Д) качество смазки.

2. При оценке технического состояния подшипниковых узлов качения виброакустическими методами измерение параметров высокочастотной вибрации осуществляется в диапазоне частот:

- А) 500...1000 Гц;
- В) 5...10 кГц;
- С) 10...20 кГц.

3. Виброакустические методы диагностики состояния подшипниковых узлов скольжения (по сравнению с подшипниковыми узлами качения) не получили широкого применения из-за:

- А) низкой виброактивности подшипниковых узлов;
- В) сложности измерения сигналов;
- С) меньшего распространения подшипниковых узлов скольжения.

4. Оценка технического состояния подшипниковых узлов качения путем контроля режима работы смазки основана на измерении:

- А) уровня вибрации;
- В) температуры подшипникового узла;
- С) времени выбега ротора;
- Д) падения напряжения между внутренним и наружным кольцами подшипника.

5. Идентификация любого дефекта подшипниковых узлов качения возможна, если в качестве диагностирующего признака принимается:

- А) величина виброускорения;
- В) амплитуда высокочастотной вибрации;
- С) частотный спектр виброакустического сигнала;
- Д) параметры низкочастотной модуляции высокочастотного сигнала.

#### Тест № 4 (к разделу 4)

1. Вибродиагностика неисправностей электромагнитных систем основана на анализе таких составляющих вибрации, как амплитуда, частота и фаза в области:

- А) низких частот;
- В) средних частот;
- С) высоких частот.

2. Динамический эксцентриситет наиболее сильно проявляется в машинах:

- А) коллекторных постоянного тока;
- В) асинхронных;
- С) синхронных.

3. Диагностическим признаком статического эксцентриситета является амплитудная модуляция низкочастотной вибрации частотой:

- А)  $\omega_1$ ;
- В)  $2\omega_1$ ;
- С)  $0.5\omega_1$ .

4. Электрическая асимметрия статоров асинхронных и синхронных машин вызывает появление пульсирующих моментов частотой:

- А)  $\omega_1$ ;
- В)  $2\omega_1$ ;
- С)  $0.5\omega_1$ .



5. При электрической асимметрии ротора синхронного генератора напряжение на зажимах и ток статора модулированы частотой:

- A)  $\omega_p$ ;
- B)  $2\omega_p$ ;
- C)  $0.5\omega_p$ .

### Ответы на тренировочные тесты

№ теста	Раздел	Номера вопросов / Номера ответов					
1	Раздел 1	Номер вопроса	1	2	3	4	5
		Номер ответа	A	C	A, B	C	C
2	Раздел 2	Номер вопроса	1	2	3	4	5
		Номер ответа	D	B	A, B	B	C
3	Раздел 3	Номер вопроса	1	2	3	4	5
		Номер ответа	A	C	A	D	D
4	Раздел 4	Номер вопроса	1	2	3	4	5
		Номер ответа	A, B	B	B	B	A

#### 4.4. Итоговый контроль

Вопросы для подготовки к теоретическому зачету.

1. Характеристики состояния электрических машин. Виды отказов.
2. Статистическая характеристика отказов асинхронных двигателей.
3. Особенности эксплуатации синхронных машин. Статистические данные по их отказам.
4. Статистическая характеристика отказов коллекторных машин постоянного тока.
5. Специфика электрических микромашин. Статистика их отказов.
6. Особенности выбора диагностических параметров электрических машин.
7. Общая характеристика универсальных методов технической диагностики.
8. Общая характеристика виброакустических методов технической диагностики.
9. Специфика работы изоляции электрических машин.
10. Общая характеристика стандартных методов оценки технического состояния изоляции.
11. Оценка технического состояния изоляции электрических машин путем контроля ее местных перегревов.
12. Особенности современного подхода к выбору диагностических параметров, определяющих качество изоляции электрических машин.
13. Метод выявления витковых замыканий в обмотках возбуждения синхронных машин.
14. Общая характеристика метода оценки состояния изоляции электрических машин путем анализа параметров частичных разрядов.
15. Оценка состояния пазовой изоляции путем использования явления частичных разрядов.
16. Метод оценки состояния изоляции электрических машин с “высыпными” обмотками.
17. Методика выявления зарождающихся дефектов межфазной изоляции.
18. Дефекты подшипниковых узлов качения. Их причины.
19. Высокочастотная вибрация и техническое состояние подшипниковых узлов качения.
20. Общая характеристика виброакустических методов диагностики дефектов подшипниковых узлов качения.
21. Диагностика неисправностей подшипниковых узлов качения с помощью явления акустической эмиссии.
22. Оценка технического состояния подшипниковых узлов качения по высокочастотной вибрации, создаваемой силами трения качения.
23. Характеристика признаков предельного состояния подшипниковых узлов качения.

24. Диагностика неисправностей подшипниковых узлов качения путем контроля режима работы смазки.
25. Особенности диагностики технического состояния подшипниковых узлов скольжения.
26. Неисправности электромагнитных систем электрических машин и их причины.
27. Особенности диагностических признаков неисправностей электромагнитных систем электрических машин.
28. Диагностические признаки неисправностей магнитных систем электрических машин.
29. Диагностические признаки неисправностей электрических цепей электрических машин.
30. Общая характеристика методов диагностики неисправностей обмоток роторов асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором.
31. Метод диагностики неисправностей обмоток роторов асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором, основанный на использовании штатных режимов работы.
32. Диагностические признаки неисправностей контактных узлов электрических машин.

## СОДЕРЖАНИЕ

1. ИНФОРМАЦИЯ О ДИСЦИПЛИНЕ.....	3
1.1. Предисловие.....	3
1.2.Содержание дисциплины и виды учебной работы.....	4
2. РАБОЧИЕ УЧЕБНЫЕ МАТЕРИАЛЫ.....	5
2.1.Рабочая программа.....	5
2.2. Тематический план дисциплины.....	9
2.3. Структурно-логическая схема дисциплины.....	13
2.4. Временной график изучения дисциплины при использовании информационно-коммуникационных технологий.....	14
2.5. Практический блок.....	14
2.6.Балльно- рейтинговая система оценки знаний.....	15
3. ИНФОРМАЦИОННЫЕ РЕСУРСЫ ДИСЦИПЛИНЫ.....	16
3.1.Библиографический список.....	16
3.2. Методические указания к выполнению лабораторных работ.....	17
4. БЛОК КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ.....	30
4.1. Общие указания .....	30
4.2.Задание на контрольную работу и методические указания к ее выполнению.....	30
4.3. Текущий контроль.....	38
4.4. Итоговый контроль.....	42

Воробьев Виктор Евгеньевич  
Диагностика неисправностей электрических машин  
Учебно-методический комплекс

Информация о дисциплине  
Рабочие учебные материалы  
Информационные ресурсы дисциплины  
Блок контроля освоения материала

Редактор М. Ю. Комарова  
Сводный темплан 2009 г.  
Лицензия ЛР № 020308 от 14.02.97

---

Подписано в печать		Формат 60×84 1/16	
Б. кн. – журн.	П.л. 3,0	Б.л. 1,5	Изд-во
СЗТУ      Тираж			Заказ

---

Северо-Западный государственный заочный технический университет

Издательство СЗТУ, член Издательско-полиграфической ассоциации  
университетов России  
191186, Санкт-Петербург, ул. Миллионная, д. 5