

**Министерство науки и высшего образования РФ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Национальный исследовательский университет «МЭИ»**

**Направление подготовки/специальность: 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника**

**Наименование образовательной программы: Электромеханика**

**Уровень образования: высшее образование - бакалавриат**

**Форма обучения: Очная**

**Оценочные материалы  
по дисциплине  
Анализ процессов в электрических машинах и трансформаторах в  
неноминальных и аварийных режимах работы**

**Москва  
2023**

## ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ РАЗРАБОТАЛ:

Разработчик

|  |  |                              |
|--|--|------------------------------|
|  | Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» |                              |
|  | Сведения о владельце ЦЭП МЭИ                       |                              |
|  | Владелец   | Иванов А.С.                  |
|  | Идентификатор                                      | R28e5c30d-IvanovAIS-37175ef6 |

А.С. Иванов

## СОГЛАСОВАНО:

Руководитель  
образовательной  
программы

|  |  |                                |
|--|--|--------------------------------|
|  | Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» |                                |
|  | Сведения о владельце ЦЭП МЭИ                       |                                |
|  | Владелец   | Ширинский С.В.                 |
|  | Идентификатор                                      | Rac9f4bfa-ShirinskiSV-a85b725f |

С.В.  
Ширинский

Заведующий  
выпускающей  
кафедрой

|  |  |                              |
|--|--|------------------------------|
|  | Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» |                              |
|  | Сведения о владельце ЦЭП МЭИ                       |                              |
|  | Владелец   | Киселев М.Г.                 |
|  | Идентификатор                                      | R572ca413-KiselevMG-f37ee096 |

М.Г. Киселев

## ОБЩАЯ ЧАСТЬ

Оценочные материалы по дисциплине предназначены для оценки: достижения обучающимися запланированных результатов обучения по дисциплине, этапа формирования запланированных компетенций и уровня освоения дисциплины.

Оценочные материалы по дисциплине включают оценочные средства для проведения мероприятий текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации.

Формируемые у обучающегося компетенции:

1. ПК-6 Способен проводить работы по обработке технической информации и результатов исследований, ее анализу и применению для проектирования объектов профессиональной деятельности

ИД-3 Применяет приближенные методы расчета и выбора основных элементов электрических машин и аппаратов

2. ПК-8 Способен участвовать в планировании, подготовке и выполнении типовых экспериментальных исследований по заданной методике и анализировать полученные результаты

ИД-1 Применяет основные методы, способы и средства получения, хранения, переработки информации, использует компьютер для обработки информации

ИД-3 Разрабатывает упрощенные модели электромеханических преобразователей энергии и протекающих в них процессов

и включает:

**для текущего контроля успеваемости:**

Форма реализации: Защита задания

1. КМ-3 Защита лабораторной работы «Исследование несимметричной нагрузки трёхфазного трансформатора» (Лабораторная работа)

2. КМ-4 Защита лабораторной работы «Исследование трёхфазного асинхронного двигателя в ненормальных режимах» (Лабораторная работа)

3. КМ-5 Защита лабораторной работы «Работа трёхфазного асинхронного двигателя в неполнофазных режимах» (Лабораторная работа)

4. КМ-6 Защита лабораторной работы «Асинхронный генератор» (Лабораторная работа)

Форма реализации: Проверка задания

1. КМ-1 Расчет токов при несимметричной нагрузке трансформаторов (Контрольная работа)

2. КМ-2 Высшие гармоники ЭДС обмоток машин переменного тока (Контрольная работа)

3. КМ-7 Контрольная работа «Несимметричная нагрузка синхронных генераторов» (Контрольная работа)

## БРС дисциплины

7 семестр

| Раздел дисциплины | Веса контрольных мероприятий, % |      |      |      |      |      |      |      |
|-------------------|---------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|
|                   | Индекс КМ:                      | КМ-1 | КМ-2 | КМ-3 | КМ-4 | КМ-5 | КМ-6 | КМ-7 |
|                   | Срок КМ:                        | 4    | 6    | 8    | 10   | 12   | 14   | 16   |

|  |   |   |   |   |  |  |  |
|--|---|---|---|---|--|--|--|
| Введение. Несимметричная нагрузка трансформаторов.   |   |   |   |   |  |  |  |
| Неноминальные режимы работы трансформаторов и электрических машин. Их виды и причины возникновения. Предмет курса.   | + |   |   |   |  |  |  |
| Кривая установившегося тока холостого хода трансформатора при учете насыщения и гистерезиса. Влияние схемы соединения обмоток трехфазного трансформатора на высшие гармоники в потоке и намагничивающем токе. Формы кривых намагничивающего тока, магнитного потока и ЭДС.   | + |   |   |   |  |  |  |
| Несимметричная нагрузка трансформаторов. Метод симметричных составляющих. Нулевая последовательность при различных схемах соединения обмоток и конструкциях магнитопровода трехфазных трансформаторов. Физический смысл и способ экспериментального определения параметров нулевой последовательности. Влияние схемы соединения обмоток и конструкции магнитопровода на распределение токов при несимметричной нагрузке и несимметричных коротких замыканиях. Расчет токов при несимметричной нагрузке и коротких замыканиях трансформаторов. Несимметричная нагрузка автотрансформаторов. | + |   | + |   |  |  |  |
| Высшие временные и пространственные гармоники в машинах переменного тока   |   |   |   |   |  |  |  |
| Причины возникновения временных и пространственных гармоник. ЭДС в обмотке при синусоидальном и несинусоидальном распределении магнитного поля в воздушном зазоре. Улучшение формы кривой ЭДС. Способы борьбы с высшими гармониками. Коэффициент распределения, коэффициент укорочения, коэффициент скоса.   |   | + |   |   |  |  |  |
| Способы борьбы с высшими гармониками. ЭДС в обмотке при несинусоидальном распределении магнитного поля в воздушном зазоре.   |   | + |   |   |  |  |  |
| Высшие гармоники МДС обмоток. МДС трёхфазной обмотки. Прямо- и обратноразбегающие поля.  |   | + |   |   |  |  |  |
| Работа асинхронного двигателя в несимметричных режимах   |   |   |   |   |  |  |  |
| Процесс пуска асинхронного двигателя. Виды механических характеристик нагрузки электродвигателя. Условия устойчивой  |   |   |   | + |  |  |  |

|   |  |  |  |   |   |   |   |
|---|--|--|--|---|---|---|---|
| работы электродвигателя.  |  |  |  |   |   |   |   |
| Влияние высших пространственных гармоник магнитного поля на пуск и работу асинхронного двигателя. Асинхронные и синхронные моменты высших гармоник.   |  |  |  | + |   |   |   |
| Работа асинхронного двигателя при ненормальных напряжениях и частоте. Переключение обмоток слабо нагруженных асинхронных двигателей с треугольника на звезду. Допустимые отклонения напряжения и частоты при работе асинхронного двигателя. Работа асинхронного двигателя при несинусоидальном питающем напряжении. Особенности работы асинхронного двигателя при питании от преобразователя частоты. |  |  |  | + |   |   |   |
| Работа асинхронного двигателя при несимметрии питающего напряжения, несимметрии сопротивлений цепей статора, несимметричном соединении фаз симметричной обмотки.  |  |  |  | + |   |   |   |
| Работа асинхронного двигателя при несимметричном сопротивлении фаз ротора. Виды дефектов короткозамкнутых обмоток ротора и причины их появления.  |  |  |  | + |   |   |   |
| Работа асинхронного двигателя в неполнофазных режимах   |  |  |  |   |   |   |   |
| Работа асинхронного двигателя при обрыве фазы ротора. Эффект Гёргесса.  |  |  |  |   | + |   |   |
| Работа асинхронного двигателя при обрыве линейного и фазного проводов статора в схемах «звезда» и «треугольник».  |  |  |  |   | + |   |   |
| Защита двигателей от работы в несимметричных и неполнофазных режимах.   |  |  |  |   | + |   |   |
| Принципы определения неисправностей асинхронных электродвигателей.  |  |  |  |   | + |   |   |
| Включение трёхфазного асинхронного двигателя в однофазную сеть.   |  |  |  |   | + |   |   |
| Генераторный режим асинхронной машины   |  |  |  |   |   |   |   |
| Работа асинхронного генератора параллельно с сетью большой мощности.  |  |  |  |   |   | + |   |
| Автономный асинхронный генератор, условие самовозбуждения, подбор конденсаторов, стабилизация напряжения и частоты автономного асинхронного генератора.   |  |  |  |   |   | + |   |
| Несимметричная нагрузка синхронных генераторов  |  |  |  |   |   |   |   |
| Параллельная работа синхронного генератора с электрической системой, напряжения которой несимметричны.  |  |  |  |   |   |   | + |

|   |    |    |    |    |    |    |    |
|---|----|----|----|----|----|----|----|
| Работа синхронного генератора на автономную несимметричную нагрузку.  |    |    |    |    |    |    | +  |
| Режимы несимметричных коротких замыканий генераторов. Расчёт токов несимметричных коротких замыканий генераторов. |    |    |    |    |    |    | +  |
| Вес КМ:   | 10 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 |

\$Общая часть/Для промежуточной аттестации\$

## СОДЕРЖАНИЕ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ

### I. Оценочные средства для оценки запланированных результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с индикаторами достижения компетенций

| Индекс компетенции | Индикатор   | Запланированные результаты обучения по дисциплине  | Контрольная точка   |
|--------------------|---|--|---|
| ПК-6               | ИД-3 <sub>ПК-6</sub><br>Использует приближенные методы расчета и выбора основных элементов электрических машин и аппаратов  | Знать:<br>методы теоретического и экспериментального исследования несимметричных режимов работы электрических машин и трансформаторов<br>Уметь:<br>рассчитывать режимы работы электрических машин и трансформаторов и характеризующие их параметры | КМ-1 Расчет токов при несимметричной нагрузке трансформаторов (Контрольная работа)<br>КМ-3 Защита лабораторной работы «Исследование несимметричной нагрузки трёхфазного трансформатора» (Лабораторная работа)   |
| ПК-8               | ИД-1 <sub>ПК-8</sub><br>Использует основные методы, способы и средства получения, хранения, переработки информации, использует компьютер для обработки информации | Знать:<br>методы определения и устранения неисправностей электрических машин и трансформаторов<br>Уметь:<br>определять причины неисправностей электрических машин и трансформаторов<br>использовать программные                                    | КМ-2 Высшие гармоники ЭДС обмоток машин переменного тока (Контрольная работа)<br>КМ-4 Защита лабораторной работы «Исследование трёхфазного асинхронного двигателя в неноминальных режимах» (Лабораторная работа)<br>КМ-7 Контрольная работа «Несимметричная нагрузка синхронных генераторов» (Контрольная работа) |

|      |   |   |  |
|------|---|---|--|
|      |   | средства для анализа несимметричных режимов работы электрических машин  |  |
| ПК-8 | ИД-ЗПК-8 Разрабатывает упрощенные модели электромеханических преобразователей энергии и протекающих в них процессов | Знать:<br>методы математического анализа и моделирования несимметричных режимов работы электрических машин и трансформаторов<br>Уметь:<br>разрабатывать простые модели электромеханических преобразователей энергии и протекающих в них процессов | КМ-5 Защита лабораторной работы «Работа трёхфазного асинхронного двигателя в неполнофазных режимах» (Лабораторная работа)<br>КМ-6 Защита лабораторной работы «Асинхронный генератор» (Лабораторная работа) |



## II. Содержание оценочных средств. Шкала и критерии оценивания

### КМ-1. КМ-1 Расчет токов при несимметричной нагрузке трансформаторов

**Формы реализации:** Проверка задания

**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 10

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Студенты выдаётся задача по нахождению токов в обмотках трансформатора при заданных линейных токах во торичной цепи в несимметричном режиме. Студент решает задачу и сдаёт её на проверку преподавателю.

**Краткое содержание задания:**

Найти токи в фазах первичной обмотки трансформатора и смещение нулевой точки при заданных токах вторичной цепи

**Контрольные вопросы/задания:**

|   |  |                      |                           |              |                                |                    |                        |                   |                |                 |          |            |            |                    |           |        |        |                    |                      |
|---|--|----------------------|---------------------------|--------------|--------------------------------|--------------------|------------------------|-------------------|----------------|-----------------|----------|------------|------------|--------------------|-----------|--------|--------|--------------------|----------------------|
| У<br>ме<br>ть:<br>ра<br>сс<br>чи<br>ты<br>ва<br>ть<br>ре<br>жи<br>м<br>ы<br>ра<br>бо<br>ты<br>эл<br>ек<br>тр<br>ич<br>ес<br>ки<br>х<br>ма<br>ш<br>ин<br>и<br>тр<br>ан<br>сф<br>ор<br>ма<br>то | 1. Рассчитать токи первичной сети трансформатора и определить смещение нулевой точки звезды фазных напряжений в первичной обмотке (для соединения обмоток по схеме «звезда»).  |                      |                           |              |                                |                    |                        |                   |                |                 |          |            |            |                    |           |        |        |                    |                      |
|   | Задать линейные токи вторичной сети:<br>$I_a = I_n \cdot \exp(0)$<br>$I_b = I_n \cdot 0,1 \cdot n \cdot \exp(-j \cdot 2 \cdot \pi / 3)$<br>$I_c = I_n \cdot 0,5 \cdot \exp(-j \cdot \pi / 3 + n)$ ,<br>где $I_n$ – номинальный ток вторичной цепи трансформатора, $n$ – номер варианта по журналу. |                      |                           |              |                                |                    |                        |                   |                |                 |          |            |            |                    |           |        |        |                    |                      |
|   | Основные данные трехфазных двухобмоточных трансформаторов с естественным масляным охлаждением с алюминиевыми (№ 1—18) и медными (№ 19—32) обмотками  |                      |                           |              |                                |                    |                        |                   |                |                 |          |            |            |                    |           |        |        |                    |                      |
| Общие данные  |  | Обмотки              |                           |              |                                |                    |                        | Магнитная система |                |                 |          | Бак        |            | Контрольные данные |           |        |        |                    |                      |
| №   | Мощность, S, кВ·А  | Схемы группировки, В | Номинальные напряжения, В | Число витков | Сечение витка, мм <sup>2</sup> | Внутренний диаметр | Радиальные размеры, см | Каналы жд         | Высота обмотки | Диаметр стержня | Активное | Высота, см | Расстояние | Магнитная          | Магнитная | Рк, Вт | Рх, Вт | И <sub>0</sub> , % | Напряжение - нулевой |



|  |      |         |        |      |      |       |       |       |      |      |      |     |      |      |       |       |      |      |      |     |     |      |     |     |     |    |
|--|------|---------|--------|------|------|-------|-------|-------|------|------|------|-----|------|------|-------|-------|------|------|------|-----|-----|------|-----|-----|-----|----|
|  | 00   | /Y-0    | 000    | 40   | 125  | 2     | .43   | 9.6   | 5    |      | .2   | 2   | 9    | 1.5  | 0.2   | 0.79  | 3    | 1.5  | 6.5  | 10  | 50  | 970  | 65  | .5  | .6  | 0  |
|  | 600  | Y/Д-11  | 6300   | 400  | 1180 | 130   | 5.75  | 63.4  | 12.5 | 3.1  | 2.3  | 1   | 49   | 11.5 | 90.2  | 107.9 | 53.5 | 11.5 | 26.5 | 210 | 150 | 1970 | 365 | 4.5 | 2.6 | 50 |
|  | 700  | Y/Y-000 | 100000 | 4000 | 1850 | 74    | 3.52  | 110.8 | 12.3 | 3.25 | 2.1  | 1   | 50   | 11.5 | 90.2  | 107.9 | 53.5 | 11.5 | 26   | 210 | 150 | 1970 | 365 | 4.5 | 2.6 | 50 |
|  | 860  | Y/Y-0   | 30000  | 2394 | 330  | 20.7  | 235.6 | 14.8  | 3.7  | 2.7  | 0.9  |     | 46.5 | 14   | 134.2 | 141.1 | 51.5 | 13.5 | 30.7 | 295 | 220 | 2650 | 565 | 4.5 | 2.4 | 50 |
|  | 960  | Д/Y-11  | 33000  | 6930 | 730  | 88    | 10.85 | 77.5  | 15   | 3.6  | 2.8  | 0.9 | 47   | 14   | 134.2 | 141.1 | 52   | 13.5 | 31.5 | 295 | 220 | 2650 | 565 | 4.5 | 2.4 | 50 |
|  | 1060 | Y/Д-111 | 60000  | 6970 | 152  | 10.25 | 44.8  | 14.7  | 3.85 | 2.5  | 1    |     | 47   | 14   | 134.2 | 141.1 | 51.5 | 13.5 | 31   | 295 | 225 | 2650 | 565 | 4.5 | 2.4 | 50 |
|  | 1160 | Y/Y-000 | 100000 | 4073 | 51   | 6.15  | 132.6 | 14.8  | 3.95 | 2.45 | 0.95 |     | 46.5 | 14   | 134.2 | 141.1 | 51.5 | 13.5 | 30.7 | 295 | 225 | 2650 | 565 | 4.5 | 2.4 | 50 |
|  | 1250 | Y/Y-0   | 33000  | 2358 | 25   | 3.35  | 34.8  | 16    | 4.5  | 2.5  | 1    |     | 55   | 15   | 155.1 | 168.1 | 59   | 14.5 | 33.5 | 340 | 260 | 3700 | 820 | 4.5 | 2.3 | 60 |
|  | 1350 | Д/Y-111 | 66000  | 4400 | 1206 | 10.65 | 181   | 16    | 4.5  | 2.5  | 1.1  |     | 55   | 15   | 155.1 | 168.1 | 60   | 14.5 | 34   | 340 | 260 | 3700 | 850 | 4.5 | 2.3 | 60 |
|  | 1450 | Y/Д-111 | 60000  | 6930 | 126  | 17.8  | 64.4  | 16    | 4    | 2.5  | 1.2  |     | 54   | 15   | 155.1 | 168.1 | 59   | 14.5 | 34   | 340 | 260 | 3700 | 820 | 4.5 | 2.3 | —  |
|  | 155  | Y/      | 100    | 400  | 142  | 119   | 16    | 4     | 2    | 0.9  |      |     | 55   | 15   | 155   | 166   | 59   | 14   | 33   | 34  | 26  | 37   | 82  | 4.5 | 2.6 | 60 |

|  |        |                  |                            |                       |                  |                  |             |                  |                  |          |             |             |             |                  |                  |                  |                  |             |             |             |                  |                  |                       |                  |        |        |        |
|--|--------|------------------|----------------------------|-----------------------|------------------|------------------|-------------|------------------|------------------|----------|-------------|-------------|-------------|------------------|------------------|------------------|------------------|-------------|-------------|-------------|------------------|------------------|-----------------------|------------------|--------|--------|--------|
|  | 0      | Y<br>-<br>0      | 0<br>0<br>0                | 0<br>0<br>5           | 0<br>0<br>5      | 1<br>8           |             | 5<br>5           | 4<br>5           | 5        |             |             | 5<br>1      | 8<br>1           |                  | 5                | 0                | 0           | 0           | 0           | 5                | 3                |                       |                  |        |        |        |
|  | 1<br>6 | 6<br>3<br>0      | Д<br>/<br>Y<br>-<br>1<br>1 | 6<br>0<br>0<br>0      | 4<br>0<br>0<br>4 | 6<br>2<br>4      | 2<br>9<br>2 | 4<br>6<br>9      | 21               | 5<br>2   | 3<br>1<br>5 | 0<br>9<br>3 | 5<br>9<br>2 | 0                | 2<br>7<br>1<br>6 | 2<br>8<br>2<br>6 | 6<br>6           | 1<br>9<br>5 | 4<br>0<br>5 | 7<br>9<br>0 | 4<br>8<br>0      | 7<br>0<br>0<br>0 | 1<br>4<br>2<br>0      | 5                | 1<br>5 | 7<br>0 |        |
|  | 1<br>7 | 1<br>0<br>0<br>0 | Д<br>/<br>Y<br>-<br>1<br>1 | 6<br>0<br>0<br>0      | 4<br>0<br>0<br>4 | 4<br>4<br>1      | 1<br>7      | 4<br>0<br>7      | 7<br>5<br>4      | 25       | 4<br>4<br>5 | 1<br>9<br>5 | 3<br>0<br>5 | 6<br>8           | 2<br>4           | 3<br>7<br>1      | 3<br>7<br>2<br>5 | 7<br>8      | 2<br>3      | 4<br>8      | 1<br>5<br>0<br>0 | 9<br>0<br>0      | 1<br>0<br>0<br>0<br>0 | 2<br>4<br>0<br>0 | 5      | 1<br>4 | 7<br>0 |
|  | 1<br>8 | 1<br>6<br>0<br>0 | Y<br>/<br>Y<br>-<br>0      | 1<br>0<br>0<br>0      | 4<br>0<br>0<br>3 | 3<br>7<br>6      | 1<br>5      | 6<br>3<br>1      | 1<br>4<br>0<br>3 | 29.<br>4 | 4<br>3<br>5 | 3<br>6      | 1<br>1      | 9<br>7           | 2<br>6           | 4<br>3<br>5      | 4<br>4<br>0<br>7 | 1<br>0<br>7 | 2<br>5      | 5<br>2      | 2<br>4<br>0<br>0 | 1<br>1<br>2<br>0 | 1<br>4<br>5<br>0<br>0 | 3<br>1<br>0<br>0 | 5      | 1<br>3 | 7<br>0 |
|  | 1<br>9 | 2<br>5           | Y<br>/<br>Y<br>-<br>0      | 3<br>3<br>0<br>0      | 2<br>3<br>0      | 1<br>0<br>3<br>2 | 7<br>2      | 2<br>7<br>8      | 2<br>2<br>3      | 9.8      | 1<br>8      | 2<br>2      | 1<br>4<br>5 | 2<br>8           | 9                | 5<br>6<br>1      | 5<br>7<br>7      | 3<br>4      | 8<br>5      | 2<br>1<br>3 | 9<br>5           | 6<br>0           | 4<br>9<br>0           | 1<br>2<br>0      | 4<br>5 | 3      | 4<br>0 |
|  | 2<br>0 | 2<br>5           | Y<br>/<br>Y<br>-<br>0      | 1<br>1<br>0<br>0<br>0 | 2<br>3<br>0      | 3<br>4<br>4<br>1 | 7<br>2      | 0<br>7<br>8<br>5 | 3<br>2<br>4      | 9.8      | 2<br>7      | 1<br>2<br>5 | 1<br>3<br>5 | 2<br>8<br>0<br>5 | 9                | 5<br>6<br>1      | 5<br>7<br>7      | 3<br>4      | 8<br>5      | 2<br>1<br>3 | 9<br>5           | 6<br>0           | 4<br>9<br>0           | 1<br>2<br>0      | 4<br>5 | 3      | 4<br>0 |
|  | 2<br>1 | 4<br>0           | Y<br>/<br>Y<br>-<br>0      | 3<br>0<br>0<br>0      | 2<br>3<br>0      | 9<br>3<br>8      | 7<br>2      | 4<br>0<br>1      | 5<br>4<br>2      | 9.8      | 2<br>7      | 1<br>5<br>5 | 1<br>0<br>5 | 4<br>3           | 9                | 5<br>6<br>1      | 5<br>7<br>7      | 4<br>9<br>5 | 8<br>5      | 2<br>1<br>3 | 1<br>1<br>0      | 7<br>5           | 8<br>5<br>0           | 1<br>4<br>5      | 4<br>5 | 2<br>8 | 4<br>0 |
|  | 2<br>2 | 4<br>0           | Y<br>/<br>Y<br>-<br>0      | 6<br>0<br>0<br>0      | 4<br>0<br>0      | 1<br>8<br>7<br>7 | 1<br>2<br>5 | 2<br>0<br>6      | 2<br>7<br>8      | 9.8      | 2<br>5      | 1<br>6<br>5 | 0<br>9<br>5 | 4<br>3           | 9                | 5<br>6<br>1      | 5<br>7<br>7      | 4<br>9<br>5 | 8<br>5      | 2<br>1<br>3 | 1<br>1<br>0      | 7<br>5           | 8<br>5<br>0           | 1<br>4<br>5      | 4<br>5 | 2<br>8 | 4<br>0 |
|  | 2<br>3 | 4<br>0           | Y<br>/<br>Y<br>-<br>0      | 1<br>0<br>0<br>0      | 4<br>0<br>0      | 3<br>1<br>2<br>8 | 1<br>2<br>5 | 1<br>2<br>3      | 2<br>7<br>8      | 9.8      | 2<br>7      | 1<br>6<br>5 | 0<br>9<br>5 | 4<br>3           | 9                | 5<br>6<br>1      | 5<br>7<br>7      | 4<br>9<br>5 | 8<br>5      | 2<br>1<br>3 | 1<br>1<br>0      | 7<br>5           | 8<br>5<br>0           | 1<br>4<br>5      | 4<br>5 | 2<br>8 | 4<br>0 |
|  | 2<br>4 | 1<br>6<br>0      | Y<br>/<br>Y<br>-<br>0      | 1<br>1<br>0<br>0<br>0 | 4<br>4<br>0      | 1<br>4<br>5<br>0 | 5<br>8      | 4<br>6<br>8      | 1<br>2<br>0      | 14.<br>9 | 3<br>7      | 2<br>7      | 0<br>9      | 4<br>5           | 1<br>4           | 1<br>3<br>5<br>2 | 1<br>3<br>7<br>6 | 5<br>2      | 1<br>3<br>5 | 3<br>0<br>7 | 2<br>2<br>5      | 1<br>7<br>5      | 2<br>1<br>0<br>0      | 4<br>6<br>0      | 4<br>5 | 1<br>7 | 5<br>0 |
|  | 2<br>5 | 2<br>5<br>0      | Y<br>/<br>Y<br>-<br>0      | 1<br>1<br>0<br>0<br>0 | 4<br>4<br>0      | 1<br>1<br>0<br>0 | 4<br>4      | 7<br>3           | 1<br>5<br>4<br>8 | 17       | 3<br>6<br>5 | 2<br>6      | 1<br>2      | 4<br>9           | 1<br>6           | 1<br>6<br>6      | 1<br>7<br>2      | 5<br>5<br>5 | 1<br>5<br>5 | 3<br>3      | 3<br>1<br>5      | 2<br>2<br>5      | 3<br>0<br>0<br>0      | 6<br>5<br>0      | 4<br>5 | 2<br>3 | 6<br>0 |
|  | 2      | 2                | Y                          | 1                     | 1                | 1                | 3           | 7                | 2                | 17       | 3           | 2           | 1.          | 4                | 1                | 1                | 1                | 5           | 1           | 3           | 3                | 2                | 3                     | 6                | 4      | 2      | —      |

|     |           |             |           |       |         |     |         |           |    |         |         |       |         |     |           |           |       |         |         |         |         |           |         |       |       |     |
|-----|-----------|-------------|-----------|-------|---------|-----|---------|-----------|----|---------|---------|-------|---------|-----|-----------|-----------|-------|---------|---------|---------|---------|-----------|---------|-------|-------|-----|
| 650 | / Д - 1 1 | 1 0 0 0     | 9 0 0     | 1 0 0 | 3 3 0   | .   | 1 0     |           | .  | .       | 2       | 9     | 6       | 6   | 7         | 5         | 5     | 3       | 1       | 2       | 0       | 5         | .       | .     |       |     |
| 27  | 4 0 0     | Y / Д - 1 1 | 1 1 0 0 0 | 1 9 0 | 8 6 9   | 2 6 | 1 1     | 3 0 9 . 6 | 19 | 3 . 6   | 2 . 7 5 | 1 . 3 | 5 5 . 2 | 1 8 | 2 2 2 . 6 | 2 3 0 . 6 | 6 2   | 1 7 . 5 | 3 6     | 4 6 5   | 3 0 0   | 4 1 0 0   | 9 0 0   | 5     | 1 . 5 | —   |
| 28  | 4 0 0     | Y / Y - 0 0 | 1 1 0 0 0 | 4 4 0 | 8 7 5   | 3 5 | 1 1     | 2 4 2     | 19 | 3 . 6   | 2 . 7 5 | 1 . 3 | 5 5 . 6 | 1 8 | 2 2 2 . 6 | 2 3 0 . 6 | 6 2   | 1 7 . 5 | 3 6     | 4 6 5   | 3 0 0   | 4 1 0 0   | 9 0 0   | 5     | 1 . 5 | 6 0 |
| 29  | 6 3 0     | Д / Д - 0   | 1 1 0 0 0 | 1 9 0 | 1 1 5 8 | 2 0 | 1 1 . 1 | 5 6 4     | 21 | 4 . 4 5 | 3 . 4   | 1 . 4 | 5 8     | 2 0 | 2 7 1 . 6 | 2 8 2 . 6 | 6 6   | 1 9 . 5 | 4 0 . 5 | 8 0 0   | 4 8 0   | 5 0 0 0   | 1 4 0 0 | 5 . 5 | 1 . 6 | —   |
| 30  | 6 3 0     | Д / Y - 1 1 | 1 1 0 0 0 | 4 4 0 | 1 1 7 0 | 2 7 | 1 1 . 1 | 4 1 7 . 6 | 21 | 4 . 4 5 | 3 . 4   | 1 . 4 | 5 8     | 2 0 | 2 7 1 . 6 | 2 8 2 . 6 | 6 6   | 1 9 . 5 | 4 0 . 5 | 8 4 0   | 4 8 0   | 5 1 0 0   | 1 4 0 0 | 5 . 5 | 1 . 6 | 7 0 |
| 31  | 6 3 0     | Y / Y - 0   | 6 6 0 0   | 4 2 0 | 4 0 9   | 2 6 | 3 4 . 8 | 4 1 2 . 8 | 21 | 4 . 4   | 3 . 4   | 1 . 4 | 6 0     | 2 0 | 2 7 1 . 6 | 2 8 2 . 6 | 6 6   | 1 9 . 5 | 4 0 . 5 | 8 4 0   | 4 8 0   | 5 1 0 0   | 1 4 0 0 | 5 . 5 | 1 . 6 | 7 0 |
| 32  | 1 6 0 0   | Д / Y - 1 1 | 1 1 0 0 0 | 4 4 0 | 7 7 9   | 1 8 | 2 5 . 8 | 1 1 2 0   | 27 | 4 . 5 5 | 3 . 6   | 1 . 9 | 9 7     | 2 6 | 4 6 3 . 5 | 4 6 9 . 5 | 1 0 7 | 2 5     | 5 2     | 2 4 0 0 | 1 1 2 0 | 1 2 5 0 0 | 2 4 0 0 | 5 . 5 | 1 . 3 | 7 0 |

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 90*

*Описание характеристики выполнения знания:* Записан правильный ответ, решение задачи верное и выбран рациональный путь решения. Записан правильный ответ, решение задачи верное, но есть один недочет (негрубые арифметические ошибки, отсутствие пояснений к вводимым обозначениям, используемым формулам и законам, отсутствие обоснований применимости используемых законов, отсутствие на рисунке к решению используемых при решении задачи величин, отсутствие размерности результата).

*Оценка: 4*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 80*

*Описание характеристики выполнения знания:* Задача решена в основном верно, но было допущено несколько негрубых ошибок (отсутствие рисунка, поясняющего решение задачи,

грубые арифметические ошибки, искажающие смысл полученного ответа, неверные единицы измерения используемых величин, отсутствие ответа в общем виде (решение задачи сразу с использованием заданных числовых значений величин), отсутствие численного ответа при полученном ответе в общем виде (если в условии заданы числовые значения), отсутствие записи используемого закона в общем виде).

Оценка: 3

Нижний порог выполнения задания в процентах: 70

Описание характеристики выполнения знания: Задача решена в основном верно, но была допущена одна или две ошибки, приведшие к неправильному ответу.

Оценка: 2

Описание характеристики выполнения знания: В задаче получен неверный ответ, связанный с грубыми ошибками, отражающими непонимание студентом изучаемого раздела, или записано «дано» для данной задачи и (или) приведенные записи не относятся к решению данной задачи, или решение задачи отсутствует полностью.

## КМ-2. КМ-2 Высшие гармоники ЭДС обмоток машин переменного тока

**Формы реализации:** Проверка задания

**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 15

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Студенты выдаётся задача по расчёту ЭДС, наведённых в обмотке статора электрической машины от высших гармоник магнитного поля. Студент решает задачу и сдает её на проверку преподавателю.

### Краткое содержание задания:

Для трёхфазного асинхронного двигателя определить ЭДС, наводимые в одной фазе обмотки статора  $n$ -й гармоникой магнитного поля (для  $n = 5, 7, 11$ ).

Определить ЭДС, наведённую в обмотке ротора основной гармоникой при неподвижном роторе, при номинальной частоте вращения и при частоте вращения, равной половине номинальной.

### Контрольные вопросы/задания:

|   |   |
|---|---|
| <p>Уметь: использовать программные средства для анализа несимметричных режимов работы электрических машин</p> | <p>1. Для трёхфазного асинхронного двигателя определить ЭДС, наводимые в одной фазе обмотки статора <math>n</math>-й гармоникой магнитного поля (для <math>n = 5, 7, 11</math>).</p> <p>Определить ЭДС, наведённую в обмотке ротора основной гармоникой при неподвижном роторе, при номинальной частоте вращения и при частоте вращения, равной половине номинальной.</p> <p>Номинальные данные двигателя: <math>P_{2n} = 10</math> кВт, <math>U_{1n} = 220/380</math> В, <math>\eta_{ном} = 85\%</math>, <math>\cos\phi_{ном} = 0,82</math>, <math>n_{ном} = 1420</math> об/мин, <math>f_1 = 50</math> Гц.</p> <p>Данные ротора: <math>U_2 = 160</math> В, <math>I_2 = 40</math> А.</p> <p>Обмоточные данные статора: <math>Z_1 = 36</math>, <math>w_1 = 114</math>, <math>y_1 = 1-8</math>.</p> <p>Обмоточные данные ротора: <math>Z_2 = 48</math>, <math>y_2 = 1-11</math>, <math>w_2 = 48</math>.</p> <p>Амплитуды высших гармоник потока <math>\Phi_{mv}</math> принять равными <math>\Phi_{m1} / v</math>.</p> <p>Для этого следует определить амплитуду первой</p> |
|---|---|

гармоники магнитного потока  $\Phi_{m1}$ , пренебрегая падением напряжения на полном сопротивлении обмотки статора.

2. Для трёхфазного асинхронного двигателя определить ЭДС, наводимые в одной фазе обмотки статора  $n$ -й гармоникой магнитного поля (для  $n = 5, 7, 11$ ).

Определить ЭДС, наведённую в обмотке ротора основной гармоникой при неподвижном роторе, при номинальной частоте вращения и при частоте вращения, равной половине номинальной.

Номинальные данные двигателя:  $P_{2н} = 10$  кВт,  $U_{1н} = 500$  В (Y),  $\eta_{ном} = 85\%$ ,  $\cos\phi_{ном} = 0,82$ ,  $n_{ном} = 1420$  об/мин,  $f_1 = 50$  Гц.

Данные ротора:  $U_2 = 160$  В,  $I_2 = 40$  А.

Обмоточные данные статора:  $Z_1 = 36$ ,  $w_1 = 150$ ,  $y_1 = 1-8$ .

Обмоточные данные ротора:  $Z_2 = 48$ ,  $y_2 = 1-11$ ,  $w_2 = 48$ .

Амплитуды высших гармоник потока  $\Phi_{mv}$  принять равными  $\Phi_{m1} / v$ .

Для этого следует определить амплитуду первой гармоники магнитного потока  $\Phi_{m1}$ , пренебрегая падением напряжения на полном сопротивлении обмотки статора.

3. Для трёхфазного асинхронного двигателя определить ЭДС, наводимые в одной фазе обмотки статора  $n$ -й гармоникой магнитного поля (для  $n = 5, 7, 11$ ).

Определить ЭДС, наведённую в обмотке ротора основной гармоникой при неподвижном роторе, при номинальной частоте вращения и при частоте вращения, равной половине номинальной.

Номинальные данные двигателя:  $P_{2н} = 13$  кВт,  $U_{1н} = 220/380$  В,  $\eta_{ном} = 86\%$ ,  $\cos\phi_{ном} = 0,82$ ,  $n_{ном} = 1420$  об/мин,  $f_1 = 50$  Гц.

Данные ротора:  $U_2 = 198$  В,  $I_2 = 46$  А.

Обмоточные данные статора:  $Z_1 = 36$ ,  $w_1 = 90$ ,  $y_1 = 1-8$ .

Обмоточные данные ротора:  $Z_2 = 48$ ,  $y_2 = 1-11$ ,  $w_2 = 48$ .

Амплитуды высших гармоник потока  $\Phi_{mv}$  принять равными  $\Phi_{m1} / v$ .

Для этого следует определить амплитуду первой гармоники магнитного потока  $\Phi_{m1}$ , пренебрегая падением напряжения на полном сопротивлении обмотки статора.

4. Для трёхфазного асинхронного двигателя определить ЭДС, наводимые в одной фазе обмотки статора  $n$ -й гармоникой магнитного поля (для  $n =$

5,7,11).

Определить ЭДС, наведённую в обмотке ротора основной гармоникой при неподвижном роторе, при номинальной частоте вращения и при частоте вращения, равной половине номинальной.

Номинальные данные двигателя:  $P_{2н} = 13$  кВт,  $U_{1н} = 500$  В (Y),  $\eta_{ном} = 86\%$ ,  $\cos\phi_{ном} = 0,82$ ,  $n_{ном} = 1420$  об/мин,  $f_1 = 50$  Гц.

Данные ротора:  $U_2 = 198$  В,  $I_2 = 46$  А.

Обмоточные данные статора:  $Z_1 = 36$ ,  $w_1 = 114$ ,  $y_1 = 1-8$ .

Обмоточные данные ротора:  $Z_2 = 48$ ,  $y_2 = 1-11$ ,  $w_2 = 48$ .

Амплитуды высших гармоник потока  $\Phi_{mv}$  принять равными  $\Phi_{m1} / v$ .

Для этого следует определить амплитуду первой гармоники магнитного потока  $\Phi_{m1}$ , пренебрегая падением напряжения на полном сопротивлении обмотки статора.

5. Для трёхфазного асинхронного двигателя определить ЭДС, наводимые в одной фазе обмотки статора  $n$ -й гармоникой магнитного поля (для  $n = 5,7,11$ ).

Определить ЭДС, наведённую в обмотке ротора основной гармоникой при неподвижном роторе, при номинальной частоте вращения и при частоте вращения, равной половине номинальной.

Номинальные данные двигателя:  $P_{2н} = 7,5$  кВт,  $U_{1н} = 220/380$  В,  $\eta_{ном} = 84\%$ ,  $\cos\phi_{ном} = 0,82$ ,  $n_{ном} = 960$  об/мин,  $f_1 = 50$  Гц.

Данные ротора:  $U_2 = 140$  В,  $I_2 = 35$  А.

Обмоточные данные статора:  $Z_1 = 54$ ,  $w_1 = 162$ ,  $y_1 = 1-8$ .

Обмоточные данные ротора:  $Z_2 = 36$ ,  $y_2 = 1-6$ ,  $w_2 = 60$ .

Амплитуды высших гармоник потока  $\Phi_{mv}$  принять равными  $\Phi_{m1} / v$ .

Для этого следует определить амплитуду первой гармоники магнитного потока  $\Phi_{m1}$ , пренебрегая падением напряжения на полном сопротивлении обмотки статора.

6. Для трёхфазного асинхронного двигателя определить ЭДС, наводимые в одной фазе обмотки статора  $n$ -й гармоникой магнитного поля (для  $n = 5,7,11$ ).

Определить ЭДС, наведённую в обмотке ротора основной гармоникой при неподвижном роторе, при номинальной частоте вращения и при частоте вращения, равной половине номинальной.

Номинальные данные двигателя:  $P_{2н} = 7,5$  кВт,



$U_{1н} = 500 \text{ В (Y)}$ ,  $\eta_{ном} = 84\%$ ,  $\cos\phi_{ном} = 0,82$ ,  
 $n_{ном} = 960 \text{ об/мин}$ ,  $f_1 = 50 \text{ Гц}$ .  
Данные ротора:  $U_2 = 140 \text{ В}$ ,  $I_2 = 35 \text{ А}$ .  
Обмоточные данные статора:  $Z_1 = 54$ ,  $w_1 = 216$ ,  
 $y_1 = 1-8$ .  
Обмоточные данные ротора:  $Z_2 = 36$ ,  $y_2 = 1-6$ ,  
 $w_2 = 60$ .

Амплитуды высших гармоник потока  $\Phi_{mv}$  принять равными  $\Phi_{m1} / v$ .

Для этого следует определить амплитуду первой гармоники магнитного потока  $\Phi_{m1}$ , пренебрегая падением напряжения на полном сопротивлении обмотки статора.

7. Для трёхфазного асинхронного двигателя определить ЭДС, наводимые в одной фазе обмотки статора  $n$ -й гармоникой магнитного поля (для  $n = 5, 7, 11$ ).

Определить ЭДС, наведённую в обмотке ротора основной гармоникой при неподвижном роторе, при номинальной частоте вращения и при частоте вращения, равной половине номинальной.

Номинальные данные двигателя:  $P_{2н} = 10 \text{ кВт}$ ,  
 $U_{1н} = 220/380 \text{ В}$ ,  $\eta_{ном} = 85\%$ ,  $\cos\phi_{ном} = 0,83$ ,  
 $n_{ном} = 960 \text{ об/мин}$ ,  $f_1 = 50 \text{ Гц}$ .

Данные ротора:  $U_2 = 100 \text{ В}$ ,  $I_2 = 36 \text{ А}$ .  
Обмоточные данные статора:  $Z_1 = 54$ ,  $w_1 = 126$ ,  
 $y_1 = 1-8$ .  
Обмоточные данные ротора:  $Z_2 = 36$ ,  $y_2 = 1-6$ ,  
 $w_2 = 60$ .

Амплитуды высших гармоник потока  $\Phi_{mv}$  принять равными  $\Phi_{m1} / v$ .

Для этого следует определить амплитуду первой гармоники магнитного потока  $\Phi_{m1}$ , пренебрегая падением напряжения на полном сопротивлении обмотки статора.

8. Для трёхфазного асинхронного двигателя определить ЭДС, наводимые в одной фазе обмотки статора  $n$ -й гармоникой магнитного поля (для  $n = 5, 7, 11$ ).

Определить ЭДС, наведённую в обмотке ротора основной гармоникой при неподвижном роторе, при номинальной частоте вращения и при частоте вращения, равной половине номинальной.

Номинальные данные двигателя:  $P_{2н} = 10 \text{ кВт}$ ,  
 $U_{1н} = 500 \text{ В (Y)}$ ,  $\eta_{ном} = 85\%$ ,  $\cos\phi_{ном} = 0,83$ ,  
 $n_{ном} = 960 \text{ об/мин}$ ,  $f_1 = 50 \text{ Гц}$ .

Данные ротора:  $U_2 = 100 \text{ В}$ ,  $I_2 = 36 \text{ А}$ .  
Обмоточные данные статора:  $Z_1 = 54$ ,  $w_1 = 170$ ,  
 $y_1 = 1-8$ .  
Обмоточные данные ротора:  $Z_2 = 36$ ,  $y_2 = 1-6$ ,

$$w_2 = 60.$$

Амплитуды высших гармоник потока  $\Phi_{mv}$  принять равными  $\Phi_{m1} / v$ .

Для этого следует определить амплитуду первой гармоники магнитного потока  $\Phi_{m1}$ , пренебрегая падением напряжения на полном сопротивлении обмотки статора.

9. Для трёхфазного асинхронного двигателя определить ЭДС, наводимые в одной фазе обмотки статора  $n$ -й гармоникой магнитного поля (для  $n = 5, 7, 11$ ).

Определить ЭДС, наведённую в обмотке ротора основной гармоникой при неподвижном роторе, при номинальной частоте вращения и при частоте вращения, равной половине номинальной.

Номинальные данные двигателя:  $P_{2n} = 5,5$  кВт,  $U_{1n} = 220/380$  В,  $\eta_{ном} = 82\%$ ,  $\cos\phi_{ном} = 0,72$ ,  $n_{ном} = 710$  об/мин,  $f_1 = 50$  Гц.

Данные ротора:  $U_2 = 115$  В,  $I_2 = 32$  А.

Обмоточные данные статора:  $Z_1 = 56$ ,  $w_1 = 190$ ,  $y_1 = 1-7$ .

Обмоточные данные ротора:  $Z_2 = 36$ ,  $y_2 = 1-5$ ,  $w_2 = 60$ .

Амплитуды высших гармоник потока  $\Phi_{mv}$  принять равными  $\Phi_{m1} / v$ .

Для этого следует определить амплитуду первой гармоники магнитного потока  $\Phi_{m1}$ , пренебрегая падением напряжения на полном сопротивлении обмотки статора.

10. Для трёхфазного асинхронного двигателя определить ЭДС, наводимые в одной фазе обмотки статора  $n$ -й гармоникой магнитного поля (для  $n = 5, 7, 11$ ).

Определить ЭДС, наведённую в обмотке ротора основной гармоникой при неподвижном роторе, при номинальной частоте вращения и при частоте вращения, равной половине номинальной.

Номинальные данные двигателя:  $P_{2n} = 5,5$  кВт,  $U_{1n} = 500$  В (Y),  $\eta_{ном} = 82\%$ ,  $\cos\phi_{ном} = 0,72$ ,  $n_{ном} = 710$  об/мин,  $f_1 = 50$  Гц.

Данные ротора:  $U_2 = 115$  В,  $I_2 = 32$  А.

Обмоточные данные статора:  $Z_1 = 56$ ,  $w_1 = 250$ ,  $y_1 = 1-7$ .

Обмоточные данные ротора:  $Z_2 = 36$ ,  $y_2 = 1-5$ ,  $w_2 = 60$ .

Амплитуды высших гармоник потока  $\Phi_{mv}$  принять равными  $\Phi_{m1} / v$ .

Для этого следует определить амплитуду первой гармоники магнитного потока  $\Phi_{m1}$ , пренебрегая

|  |  |
|--|--|
|  | падением напряжения на полном сопротивлении обмотки статора. |
|--|--|

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 90*

*Описание характеристики выполнения знания:* Записан правильный ответ, решение задачи верное и выбран рациональный путь решения. Записан правильный ответ, решение задачи верное, но есть один недочет (негрубые арифметические ошибки, отсутствие пояснений к вводимым обозначениям, используемым формулам и законам, отсутствие обоснований применимости используемых законов, отсутствие на рисунке к решению используемых при решении задачи величин, отсутствие размерности результата).

*Оценка: 4*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 80*

*Описание характеристики выполнения знания:* Задача решена в основном верно, но было допущено несколько негрубых ошибок (отсутствие рисунка, поясняющего решение задачи, грубые арифметические ошибки, искажающие смысл полученного ответа, неверные единицы измерения используемых величин, отсутствие ответа в общем виде (решение задачи сразу с использованием заданных числовых значений величин), отсутствие численного ответа при полученном ответе в общем виде (если в условии заданы числовые значения), отсутствие записи используемого закона в общем виде).

*Оценка: 3*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 70*

*Описание характеристики выполнения знания:* Задача решена в основном верно, но была допущена одна или две ошибки, приведшие к неправильному ответу.

*Оценка: 2*

*Описание характеристики выполнения знания:* В задаче получен неверный ответ, связанный с грубыми ошибками, отражающими непонимание студентом изучаемого раздела, или записано «дано» для данной задачи и (или) приведенные записи не относятся к решению данной задачи, или решение задачи отсутствует полностью.

**КМ-3. КМ-3 Защита лабораторной работы «Исследование несимметричной нагрузки трёхфазного трансформатора»**

**Формы реализации:** Защита задания

**Тип контрольного мероприятия:** Лабораторная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 15

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Защита отчёта по лабораторной работе. Проверяется качество и полнота отчёта, студенту задаются дополнительные вопросы

**Краткое содержание задания:**

1. Для схем соединения обмоток У/У<sub>н</sub>-О, У/Д/У<sub>н</sub>-11-0, Д/У<sub>н</sub>-11, У/З<sub>н</sub>-11 при однофазной и двухфазной нагрузках (У/З<sub>н</sub>-11 — выполняется по указанию преподавателя):
  - а) определить расчетным путем и сравнить с опытными данными первичные линейные и фазные токи;
  - б) измерить вторичные линейные и фазные напряжения.
2. Опытным путем определить сопротивление зоп схемы замещения для токов нулевой последовательности трансформатора, имеющего схему соединения обмоток У/У<sub>н</sub>-0.

**Контрольные вопросы/задания:**

|   |  |
|---|--|
| <p>Знать: методы теоретического и экспериментального исследования несимметричных режимов работы электрических машин и трансформаторов</p> | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Приведите примеры несимметричной нагрузки трансформаторов.</li> <li>2. К чему приводит несимметричная нагрузка трансформаторов?</li> <li>3. К каким неприятным последствиям в эксплуатации приводит несимметрия фазных напряжений?</li> <li>4. В каких случаях при несимметричной нагрузке появляется ток нулевой последовательности?</li> <li>5. По каким путям замыкаются индукционные линии потока нулевой последовательности в трехстержневом трансформаторе, в групповом трансформаторе?</li> <li>6. Каково влияние обмотки, соединенной в треугольник на смещение нулевой точки звезды фазных напряжений из центра тяжести треугольника линейных напряжений?</li> <li>7. Объясните определение из опыта п. 2 сопротивления нулевой последовательности трансформатора?</li> <li>8. В каких случаях ток нулевой последовательности, протекающий по вторичной обмотке, является намагничивающим током, создающим магнитный поток нулевой последовательности?</li> </ol> |
|---|--|

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 90*

*Описание характеристики выполнения знания: Оценка "отлично" выставляется если задание выполнено в полном объеме или выполнено преимущественно верно*

*Оценка: 4*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 80*

*Описание характеристики выполнения знания: Оценка "хорошо" выставляется если большинство вопросов раскрыто. выбрано верное направление для решения задач*

*Оценка: 3*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 60*

*Описание характеристики выполнения знания: Оценка "удовлетворительно" выставляется если задание преимущественно выполнено*

*Оценка: 2*

*Описание характеристики выполнения знания: Оценка "неудовлетворительно" выставляется если задание выполнено неверно или преимущественно не выполнено*

**КМ-4. КМ-4 Защита лабораторной работы «Исследование трёхфазного асинхронного двигателя в ненормальных режимах»**

**Формы реализации:** Защита задания

**Тип контрольного мероприятия:** Лабораторная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 15

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Защита отчёта по лабораторной работе. Проверяется качество и полнота отчёта, студенту задаются дополнительные вопросы

**Краткое содержание задания:**

Исследовать трёхфазный асинхронный двигатель при работе с ненормальным питающим напряжением, при обрыве фазы ротора, исследовать синхронный режим работы асинхронного двигателя (синхронизированного асинхронного двигателя).

**Контрольные вопросы/задания:**

|  |  |
|--|--|
| <p>Знать: методы определения и устранения неисправностей электрических машин и трансформаторов</p> | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Как изменяются потери в стали и электрические потери в зависимости от приложенного напряжения <math>U_1</math>?</li> <li>2. Как изменяются механические потери, потери в стали и электрические потери при изменении нагрузки на валу двигателя?</li> <li>3. Объясните изменение тока статора <math>I_1</math>, <math>\cos\phi</math> в зависимости от приложенного напряжения <math>U_1</math> при различных моментах нагрузки на валу двигателя.</li> <li>4. Как влияет изменение напряжения на перегрузочную способность двигателя?</li> <li>5. В каком случае средняя наработка до отказа двигателя больше: при работе на максимальном КПД или максимальном <math>\cos\phi</math>?</li> <li>6. Объясните, почему при <math>s = 2</math> момент двигателя от обратной последовательности <math>M_2 = 0</math>.</li> <li>7. Чем объяснить разницу энергетических показателей асинхронного двигателя при симметричном и несимметричном напряжениях питания?</li> <li>8. От каких факторов зависит снижение перегрузочной способности двигателя при несимметричном напряжении питания? Может ли увеличиваться перегрузочная способность двигателя в этих условиях?</li> <li>9. Объясните работу двигателя при обрыве фазы ротора.</li> <li>10. Какое влияние на пуск двигателя оказывает включение добавочного сопротивления в цепь ротора с оборванной одной фазой ротора?</li> <li>11. Объясните работу двигателя при включённых в цепь ротора выпрямителях.</li> </ol> |
|--|--|

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 90*

*Описание характеристики выполнения знания: Оценка "отлично" выставляется если задание выполнено в полном объеме или выполнено преимущественно верно*

*Оценка: 4*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 80*

*Описание характеристики выполнения знания: Оценка "хорошо" выставляется если большинство вопросов раскрыто. выбрано верное направление для решения задач*

*Оценка: 3*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 60*

*Описание характеристики выполнения знания: Оценка "удовлетворительно" выставляется если задание преимущественно выполнено*

*Оценка: 2*

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "неудовлетворительно" выставляется если задание выполнено неверно или преимущественно не выполнено

### **КМ-5. КМ-5 Защита лабораторной работы «Работа трёхфазного асинхронного двигателя в неполнофазных режимах»**

**Формы реализации:** Защита задания

**Тип контрольного мероприятия:** Лабораторная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 15

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Защита отчёта по лабораторной работе. Проверяется качество и полнота отчёта, студенту задаются дополнительные вопросы

#### **Краткое содержание задания:**

Исследовать работу трёхфазного асинхронного двигателя при обрыве фазы статора при схемах соединения обмотки статора «звезда» и «треугольник», пуск трёхфазного асинхронного двигателя от однофазной сети

#### **Контрольные вопросы/задания:**

|   |  |
|---|--|
| Знать: методы математического анализа и моделирования несимметричных режимов работы электрических машин и трансформаторов | <ol style="list-style-type: none"><li>1.Как поведёт себя трёхфазный асинхронный двигатель, обмотка которого соединена по схеме «звезда», при обрыве фазы статора?</li><li>2.Как поведёт себя трёхфазный асинхронный двигатель, обмотка которого соединена по схеме «треугольник», при обрыве линейного провода статора?</li><li>3.Как поведёт себя трёхфазный асинхронный двигатель, обмотка которого соединена по схеме «треугольник», при обрыве фазного провода обмотки статора?</li><li>4.Почему ухудшаются КПД и <math>\cos\phi</math> однофазного двигателя по сравнению с трёхфазным?</li><li>5.Запустится ли трёхфазный асинхронный двигатель при обрыве фазы статора? Ответ объясните</li></ol> |
|---|--|

#### **Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 90*

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "отлично" выставляется если задание выполнено в полном объеме или выполнено преимущественно верно

*Оценка: 4*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 70*

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "хорошо" выставляется если большинство вопросов раскрыто. выбрано верное направление для решения задач

*Оценка: 3*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 60*

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "удовлетворительно" выставляется если задание преимущественно выполнено

*Оценка: 2*

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "неудовлетворительно" выставляется если задание выполнено неверно или преимущественно не выполнено

## КМ-6. КМ-6 Защита лабораторной работы «Асинхронный генератор»

**Формы реализации:** Защита задания

**Тип контрольного мероприятия:** Лабораторная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 15

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Защита отчёта по лабораторной работе. Проверяется качество и полнота отчёта, студенту задаются дополнительные вопросы

**Краткое содержание задания:**

Исследовать асинхронный генератор при работе на автономную нагрузку и параллельно с сетью бесконечно большой мощности

**Контрольные вопросы/задания:**

|  |  |
|--|--|
| Уметь: разрабатывать простые модели электромеханических преобразователей энергии и протекающих в них процессов | <ol style="list-style-type: none"><li>1.Продемонстрируйте, как осуществить генераторный режим асинхронной машины, подключенной к сети переменного тока</li><li>2.Рассчитайте требуемую ёмкость конденсаторов для автономного асинхронного генератора</li><li>3.Объясните характер зависимостей токов статора и ротора в функции скольжения.</li><li>4.Нарисуйте схему, по которой к асинхронному генератору целесообразней подключать конденсаторы</li></ol> |
|--|--|

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 90*

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "отлично" выставляется если задание выполнено в полном объеме или выполнено преимущественно верно

*Оценка: 4*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 80*

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "хорошо" выставляется если большинство вопросов раскрыто. выбрано верное направление для решения задач

*Оценка: 3*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 60*

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "удовлетворительно" выставляется если задание преимущественно выполнено

*Оценка: 2*

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "неудовлетворительно" выставляется если задание выполнено неверно или преимущественно не выполнено

## КМ-7. КМ-7 Контрольная работа «Несимметричная нагрузка синхронных генераторов»

**Формы реализации:** Проверка задания

**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 15

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Студенты выдаётся задача по нахождению токов в обмотке статора синхронного генератора при несимметричной нагрузке. Студент решает задачу и сдаёт её на проверку преподавателю.

### Краткое содержание задания:

Определить токи обратной последовательности, сопротивление обратной последовательности и напряжение обратной последовательности при заданных токах нагрузки

### Контрольные вопросы/задания:

|  |   |
|--|---|
| Уметь: определять причины неисправностей электрических машин и трансформаторов | <ol style="list-style-type: none"><li>1. Фазное напряжение обратной последовательности турбогенератора, работающего параллельно с электрической системой, напряжения которой несимметричны, <math>U_{C2} = 15 - j100</math> В. Полная номинальная мощность генератора <math>S_N = 7,5</math> МВА, номинальное линейное напряжение <math>U_{н.л} = 10,5</math> кВ, сопротивление обмотки якоря для токов обратной последовательности <math>Z_2 = j2,1</math> Ом. Возможна ли длительная работа генератора при заданной несимметрии напряжения систем, если токи в фазах не превышают номинальные значения?</li><li>2. Турбогенератор работает параллельно с электрической системой, фазные напряжения которой <math>U_{cA} = -0,23</math> кВ, <math>U_{cB} = 0,01 + j0,173</math> кВ, <math>U_{cC} = 0,09 - j0,156</math> кВ. Определить допустимость длительной работы генератора параллельно с такой системой, если сопротивление обмотки якоря для токов обратной последовательности <math>Z_2 = j0,0225</math> Ом, номинальный ток генератора <math>I_N = 1,8</math> кА. Токи в фазах не превышают номинальные значения.</li><li>3. Определить ЭДС возбуждения, токи обратной и нулевой последовательности турбогенератора при его работе параллельно с электрической системой, фазные напряжения которой <math>U_{cC} = -3,64</math> кВ; <math>U_{cB} = 1,75 + j3,03</math> кВ; <math>U_{cA} = 1,8 - j3,12</math> кВ. Ток прямой последовательности в фазе А генератора <math>I_{An} = 825</math> А, угол между напряжением <math>U_{A1}</math> и этим током <math>\varphi = 37^\circ</math>. Сопротивления обмотки якоря для токов прямой, обратной и нулевой последовательности <math>Z_1 = j15,4</math> Ом, <math>Z_2 = j0,18</math> Ом, <math>Z_0 = j0,53</math> Ом.</li><li>4. Найти установившиеся значения токов однофазного, двухфазного и двойного однофазного короткого замыкания синхронного генератора, имеющего сопротивление обмотки якоря для токов прямой, обратной и нулевой последовательности: <math>Z_1 = j230</math> Ом, <math>Z_2 = j2,1</math> Ом, <math>Z_0 = j0,97</math> Ом. ЭДС возбуждения <math>E_f = 7030</math> В.</li><li>5. Чему равны токи однофазного, двухфазного и трехфазного короткого замыкания синхронного генератора, если сопротивления обмотки якоря для токов прямой, обратной и нулевой последовательности: <math>Z^*1 = j2,19</math>, <math>Z^*2 = j0,24</math>, <math>Z^*0 = j0,096</math>?</li></ol> |
|--|---|

### Описание шкалы оценивания:

Оценка: 5



*Нижний порог выполнения задания в процентах: 90*

*Описание характеристики выполнения знания: Оценка "отлично" выставляется если задание выполнено в полном объеме или выполнено преимущественно верно*

*Оценка: 4*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 80*

*Описание характеристики выполнения знания: Оценка "хорошо" выставляется если большинство вопросов раскрыто. выбрано верное направление для решения задач*

*Оценка: 3*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 60*

*Описание характеристики выполнения знания: Оценка "удовлетворительно" выставляется если задание преимущественно выполнено*

*Оценка: 2*

*Описание характеристики выполнения знания: Оценка "неудовлетворительно" выставляется если задание выполнено неверно или преимущественно не выполнено*

# СОДЕРЖАНИЕ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

## 7 семестр

**Форма промежуточной аттестации:** Экзамен

### Пример билета

1. Виды ненормальных и несимметричных режимов работы трансформаторов и электрических машин и причины их возникновения.
2. Кривая установившегося тока холостого хода трансформатора при учёте насыщения и гистерезиса
3. Задача

### Процедура проведения

Экзамен проводится в устной форме. Студенту выдаётся билет с двумя вопросами. На подготовку ответа отводится 60 минут.

### *1. Перечень компетенций/индикаторов и контрольных вопросов проверки результатов освоения дисциплины*

**1. Компетенция/Индикатор:** ИД-3ПК-6 Применяет приближенные методы расчета и выбора основных элементов электрических машин и аппаратов

### Вопросы, задания

1. Влияние схемы соединения обмоток трёхфазного трансформатора на высшие гармоники в магнитном потоке и намагничивающем токе (трансформаторы со схемой соединения  $Y/Y$  и  $\Delta/Y$ ).
2. Несимметричная нагрузка трансформаторов. Причины и последствия. Суть метода симметричных составляющих.
3. Экспериментальное определение параметров схемы замещения для токов нулевой последовательности трансформатора. Влияние конструкции магнитопровода трансформатора на смещение нулевой точки при несимметричной нагрузке (трансформатор в стальном баке и без бака, трёхстержневой, броневой и групповой трансформаторы).
4. Расчёт токов при несимметричных нагрузках и коротких замыканиях трансформаторов на примере подключения однофазной нагрузки к трансформатору со схемой соединения  $Y/Y0$  при известном токе нагрузки.
5. Причины возникновения временных и пространственных гармоник в электрических машинах переменного тока. Влияние высших гармоник на работу электрических машин. Способы борьбы с высшими гармониками.
6. Процесс пуска и условия устойчивой работы асинхронного двигателя. Влияние высших гармоник магнитного поля на процесс пуска асинхронного двигателя.
7. Процесс пуска и условия устойчивой работы асинхронного двигателя. Критерий устойчивости. Виды механических характеристик нагрузочных устройств и производственных механизмов.
8. Асинхронный генератор в режиме работы параллельно с сетью бесконечной мощности: принцип действия, векторная и энергетическая диаграммы. Достоинства и недостатки по сравнению с синхронным генератором.
9. Работа трёхфазного асинхронного двигателя при напряжении, отличном от номинального.
10. Работа трёхфазного асинхронного двигателя при частоте, отличной от номинальной.

11. Работа трёхфазного асинхронного двигателя при несимметрии сопротивлений обмоток ротора. Эффект Гёргесса. Виды и причины дефектов обмотки ротора.
12. Работа трёхфазного асинхронного двигателя в однофазной сети. Схемы подключения. Пуск двигателя. Соотношение между мощностями асинхронного двигателя при его работе в трёхфазном и однофазном режимах.

### Материалы для проверки остаточных знаний

1. Скольжение  $s$ , % асинхронного двигателя при частоте вращения магнитного поля 3000 об/мин и частоте вращения ротора 2940 об/мин:

Ответы:

- 3;                     2;                     5;                     2,2.

Верный ответ: 2

2. Как изменится ток фазы  $A$  трёхфазного асинхронного двигателя при обрыве фазы  $C$  ?

Ответы:

- не изменится;                     увеличится в 2 - 2.5 раза;  
 увеличится в 1,5 - 2 раза;                     нет правильного ответа.

Верный ответ: увеличится в 1,5 - 2 раза;

3. Частота напряжения питания асинхронного двигателя несколько увеличена. Каким образом можно обеспечить работу асинхронного двигателя в режиме, близком к номинальному?

Ответы:

- уменьшить напряжение питания;  
 уменьшить механическую нагрузку на валу;  
 увеличить механическую нагрузку на валу;  
 увеличить напряжение питания.

Верный ответ: увеличить напряжение питания.

4. Что произойдёт, если конденсатор автономного асинхронного генератора заменить катушками индуктивности?

Ответы:

- напряжение генератора резко увеличится;  
 напряжение генератора уменьшится до нуля;  
 скольжение резко увеличится;  
 уменьшится  $\cos \varphi$ .

Верный ответ:  напряжение генератора уменьшится до нуля;

**2. Компетенция/Индикатор:** ИД-1<sub>ПК-8</sub> Применяет основные методы, способы и средства получения, хранения, переработки информации, использует компьютер для обработки информации

### Вопросы, задания

1. Виды ненормальных и несимметричных режимов работы трансформаторов и электрических машин и причины их возникновения.
2. Учёт потерь в стали трансформатора. Влияние гистерезиса на форму кривой тока холостого хода трансформатора
3. Токи и потоки нулевой последовательности в трансформаторе. Схемы замещения и их параметры для токов нулевой последовательности при различных схемах соединения обмоток трёхфазных трансформаторов ( $Y/Y_0$  и  $\Delta/Y_0$ ).
4. Расчёт токов при несимметричных нагрузках и коротких замыканиях трансформаторов на примере подключения однофазной нагрузки к трансформатору со схемой соединения  $Y/Y$  при известном токе нагрузки.
5. Высшие гармоники МДС обмоток электрических машин. МДС трёхфазной обмотки.



2. Влияние конструкции магнитопровода трансформатора со схемой соединения  $Y/Y$  на формы кривых намагничивающего тока, магнитного потока и ЭДС (трёхстержневой, броневой, групповой трансформаторы, трансформатор в баке и без бака).
3. Схема соединения обмоток трансформатора по схеме «зигзаг». Принцип, назначение. Компенсационная обмотка трансформатора.
4. Расчёт токов при несимметричных нагрузках и коротких замыканиях трансформаторов на примере подключения однофазной нагрузки к трансформаторам со схемами соединения  $\Delta/Y0-11$  и  $\Delta/Y-11$  при известном токе нагрузки.
5. ЭДС в обмотке при несинусоидальном распределении магнитного поля в воздушном зазоре. Обмоточный коэффициент для высших гармоник.
6. Асинхронные и синхронные моменты высших гармоник магнитного поля в асинхронном двигателе.
7. Автономный асинхронный генератор: принцип действия, условие самовозбуждения, расчёт конденсаторов возбуждения.
8. Автономный асинхронный генератор: принцип действия, внешние характеристики при изменении скорости вращения, характера нагрузки и ёмкости конденсаторов возбуждения.
9. Работа трёхфазного асинхронного двигателя при несимметрии питающего напряжения. Метод симметричных составляющих.
10. Работа трёхфазного асинхронного двигателя при несимметрии сопротивлений обмоток статора, несимметричном соединении фаз обмотки статора.

### Материалы для проверки остаточных знаний

1. Намагничивающая сила обмоток машин переменного тока на два магнитных зазора равна

Ответы:

- $F = 2 \cdot w \cdot i$ ;                        $F = w \cdot i$ ;                        $F = w \cdot i/2$

Верный ответ:  $F = w \cdot i$ ;

2. Как изменится пусковой момент асинхронного двигателя при пуске переключением «звезда - треугольник» по сравнению с прямым пуском:

Ответы:

- уменьшится в 1,73 раза;     уменьшится в 3 раза;     увеличится в 1,73 раза;     увеличится в 3 раза.

Верный ответ: уменьшится в 3 раза

3. Какие явления возникают в асинхронном двигателе, включенном на напряжение, превышающее номинальное?

Ответы:

- увеличение потерь в стали;                       увеличение вращающего момента;  
 уменьшение коэффициента мощности;  все явления, указанные выше.

Верный ответ: все явления, указанные выше

4. Напряжение, подведённое к обмотке статора асинхронного двигателя, увеличилось в 2 раза. Как изменится вращающий момент?

Ответы:

- увеличится в 4 раза;                       увеличится в 2 раза;  
 увеличится в 0,8 раза;                       не изменится.

Верный ответ: увеличится в 4 раза;

### II. Описание шкалы оценивания

Оценка: 5

Описание характеристики выполнения знания: Оценка «ОТЛИЧНО» выставляется студенту, правильно выполнившему практическое задание, который показал при ответе на вопросы экзаменационного билета и на дополнительные вопросы, что владеет материалом изученной

дисциплины, свободно применяет свои знания для объяснения различных явлений и решения задач.

*Оценка: 4*

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка «ХОРОШО» выставляется студенту, правильно выполнившему практическое задание и в основном правильно ответившему на вопросы экзаменационного билета и на дополнительные вопросы, но допустившему при этом не принципиальные ошибки.

*Оценка: 3*

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка «УДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНО» выставляется студенту, который в ответах на вопросы экзаменационного билета допустил существенные и даже грубые ошибки, но затем исправил их сам, а также не выполнил практическое задание из экзаменационного билета, но либо наметил правильный путь его выполнения, либо по указанию экзаменатора решил другую задачу из того же раздела дисциплины.

*Оценка: 2*

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка «НЕУДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНО» выставляется студенту, который: а) не ответил на вопросы экзаменационного билета и не смог решить, либо наметить правильный путь решения задачи из билета; б) не смог решить, либо наметить правильный путь решения задачи из экзаменационного билета и другой задачи на тот же раздел дисциплины, выданной взамен нее; в) при ответе на дополнительные вопросы обнаружил незнание большого раздела экзаменационной программы.

### ***III. Правила выставления итоговой оценки по курсу***

Оценка определяется по совокупности результатов текущего контроля успеваемости в соответствии с Положением о балльно-рейтинговой системе для студентов НИУ «МЭИ»