

# Содержание лекционного курса ТООЭ (часть II) (группы ЭЛ-01...18-23)

## **5. Трехфазные электрические цепи**

### **Лекция 1**

- 5.1. Понятие о многофазных источниках и электрических цепях.
- 5.2. Связанные и несвязанные трехфазные электрические цепи.
- 5.3. Симметричные системы ЭДС, напряжений и токов в трехфазных электрических цепях.
- 5.4. Способы соединения источников и приемников в трехфазных электрических цепях.

### **Лекция 2**

- 5.5. Расчет установившихся режимов в трехфазных электрических цепях.
  - 5.5.1. Расчет симметричных режимов в трехфазных электрических цепях.
  - 5.5.2. Расчет несимметричных режимов в трехфазных электрических цепях.
- 5.6. Мгновенные, активные, реактивные, полные и комплексные мощности в трехфазных электрических цепях.
- 5.7. Измерение активной мощности в симметричных и несимметричных трехфазных электрических цепях.

## **6. Высшие гармоники и симметричные составляющие ЭДС, токов и напряжений трехфазных электрических цепей**

### **Лекция 3**

- 6.1. Несинусоидальная трехфазная система ЭДС.
- 6.2. Высшие гармоники в трехфазных электрических цепях. Соединение источника звездой.
- 6.3. Высшие гармоники в трехфазных электрических цепях. Соединение источника треугольником.
- 6.4. Расчет трехфазных электрических цепей с источниками ЭДС, содержащими высшие гармоники.

### **Лекция 4**

- 6.5. Метод симметричных составляющих. Симметричные составляющие трехфазной системы величин.
- 6.6. Свойства трехфазных электрических цепей в отношении симметричных составляющих напряжений и токов.
- 6.7. Сопротивления симметричной трехфазной электрической цепи для токов различных последовательностей.
- 6.8. Определение токов в симметричной трехфазной электрической цепи при несимметричном источнике.
- 6.9. Расчет трехфазных электрических цепей с поперечной и продольной несимметрией методом симметричных составляющих.
  - 6.9.1. Расчет при поперечной несимметрии.

### **Лекция 5**

- 6.9.2. Расчет при продольной несимметрии.
- 6.9.3. Расчет при межфазном замыкании.
- 6.10. Метод системных схем замещения.
  - 6.10.1. Определение сопротивлений симметричных составляющих по схеме замещения асинхронного двигателя.
  - 6.10.2. Определение сопротивлений симметричных составляющих по схеме замещения синхронного генератора.

## **7. Переходные процессы в линейных электрических цепях**

### **Лекция 6**

- 7.1. Переходные процессы в линейных электрических цепях: определение, причины возникновения, идеализация (допущения), законы коммутации, независимые и зависимые начальные условия.

7.2. Классический метод расчета переходных процессов в линейных электрических цепях.  
7.2.1. Свободные, принужденные, преходящие и установившиеся составляющие переходных токов и напряжений.

7.2.2. Методика расчета переходных процессов классическим методом (один накопитель).

7.2.3. Переходные процессы в линейных электрических цепях с одним накопителем:

- процесс включения простейшей  $RL$ -цепи на постоянное и синусоидальное напряжение;
- процесс включения простейшей  $RC$ -цепи на постоянное и синусоидальное напряжение.

### **Лекция 7**

7.2.4. Методика расчета переходных процессов классическим методом (два накопителя).

7.2.5. Переходные процессы в линейных электрических цепях с двумя накопителями:

- разряд конденсатора на  $RL$ -нагрузку (апериодический, колебательный и предельно апериодический процессы разряда конденсатора на  $RL$ -нагрузку);
- процесс включения  $RLC$ -цепи на постоянное напряжение;
- процесс включения  $RLC$ -цепи на синусоидальное напряжение.

### **Лекция 8**

7.3. Операторный метод расчета переходных процессов в линейных электрических цепях.

7.3.1. Преобразование Лапласа. Связь оригиналов и изображений (таблицы соответствия простейших оригиналов и функций).

7.3.2. Компонентные уравнения элементов электрической цепи в операторной форме. Законы Кирхгофа в операторной форме. Операторные схемы замещения электрических цепей.

7.3.3. Методика применения операторного метода расчета переходных процессов.

7.3.4. Переход от изображения к оригиналу. Теорема разложения.

7.3.5. Определение преходящих составляющих переходных токов и напряжений операторным методом.

7.3.6. Свойства корней характеристического уравнения электрической цепи.

### **Лекция 9**

7.4. Применение интеграла Дюамеля для расчета переходных процессов в линейных электрических цепях.

7.4.1. Переходная функция и переходная проводимость.

7.4.2. Импульсные возмущения и процессы. Воздействие источников произвольной формы на электрическую цепь.

7.4.3. Использование формул Дюамеля при воздействии ЭДС произвольной формы.

### **Лекция 10**

7.5. Некорректные задачи при мгновенных коммутациях. Обобщенные законы коммутации.

7.6. Численные методы расчета переходных процессов в линейных электрических цепях.

7.6.1. Расчет переходных процессов на основе методов численного интегрирования.

7.6.2. Расчет переходных процессов методом дискретных схем замещения.

7.7. «Жесткие» и «дребезжащие» модели линейных электрических цепей.

7.8. Метод переменных состояния.

## **8. Установившиеся и переходные процессы в нелинейных цепях**

### **Лекция 11**

8.1. Нелинейные электрические цепи. Общие сведения и особенности расчета.

8.2. Методы анализа нелинейных электрических цепей постоянного тока.

8.2.1. Аналитические методы.

8.2.2. Графические методы.

8.2.3. Численный анализ нелинейных электрических цепей постоянного тока.

### **Лекция 12**

8.3. Нелинейные магнитные цепи при постоянных потоках.

8.3.1. Основные понятия и законы магнитных цепей.

8.3.2. Допущения, принимаемые при расчете магнитных цепей.

8.3.3. Расчет магнитных цепей при постоянных потоках.

### **Лекция 13**

8.4. Нелинейные электрические цепи переменного тока.

8.4.1. Трудности, возникающие при расчете нелинейных электрических цепей переменного тока.

8.4.2. Допущения при расчете установившихся режимов в нелинейных электрических цепях переменного тока.

8.4.3. Методы расчета нелинейных цепей электрических переменного тока.

8.5. Цепи с вентилями.

### **Лекция 14**

8.6. Индуктивные и емкостные нелинейные элементы в цепях переменного тока.

8.6.1. Элементы теории ферромагнетизма.

8.6.2. Потери в сердечниках из ферромагнитного материала.

8.6.3. Формы кривых тока и напряжения в катушке с ферромагнитным сердечником. Расчет по мгновенным значениям.

### **Лекция 15**

8.7. Метод эквивалентных синусоид. Эквивалентные схемы и векторные диаграммы катушки с ферромагнитным сердечником.

8.7.1. Схемы замещения и векторные диаграммы катушки с ферромагнитным сердечником без учета активного сопротивления обмотки и рассеяния.

8.7.2. Схемы замещения и векторные диаграммы катушки с ферромагнитным сердечником с учетом активного сопротивления обмотки и рассеяния.

8.8. Нелинейные электрические цепи, содержащие катушки с ферромагнитным сердечником и конденсаторы.

8.8.1. Феррорезонанс напряжений.

8.8.2. Феррорезонанс токов.

### **Лекция 16**

8.9. Особенности расчета переходных процессов в нелинейных цепях.

8.10. Методы расчета переходных процессов в нелинейных цепях.

8.10.1. Метод условной линеаризации.

8.10.2. Метод кусочно-линейной аппроксимации.

8.10.3. Метод аналитической аппроксимации нелинейной характеристики.

8.10.4. Метод усреднения.

8.10.5. Численные методы расчета переходных процессов.

8.11. Изображение траекторий переходных процессов на фазовой плоскости.

Лектор:

доцент кафедры ТОЭ, к.э.н., к.т.н., доцент

Михеев Д.В.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

### Учебники и учебные пособия:

1. Зевеке Т.В., Ионкин П.А., Нетушил А.В., Страхов С.В. Основы теории цепей // М.: Энергоатомиздат, 1989. С. 528. ISBN 5-283-00523-2.
2. Жохова М.П., Михеев Д.В. Теоретические основы электротехники: В 3 ч. Ч. 2. Трехфазные цепи, переходные процессы, нелинейные цепи // М.: Издательство МЭИ, 2025. ISBN 978-5-7046-2895-8 (978-5-7046-3147-7 (Ч.2)).

### Сборники задач и практических упражнений:

3. Сборник задач по теоретическим основам электротехники. В 2-х т. Т. 1: учебное пособие для вузов по направлениям «Электроэнергетика и электротехника», «Электроника и наноэлектроника» / П.А. Бутырин и др.; Ред. П.А. Бутырин. М.: Изд. дом МЭИ, 2012. ISBN 978-5-383-00627-6.

### Лабораторный практикум:

4. Алексейчик Л.В., Гостинцева Л.И., Гусев Г.Г., Жохова М.П., Илюшкина Е.А., Козьмина И.С., Любимова Г.А., Михеев Д.В., Разевиг Т.А., Титов А.А., Толчеев О.В., Шакирзянов Ф.Н. Трехфазные цепи, переходные процессы, нелинейные цепи постоянного и синусоидального тока: лабораторный практикум по курсу «Теоретические основы электротехники» // М.: Изд-во МЭИ, 2018. 152 с. ISBN 978-5-7046-2014-3.
5. Жохова М.П., Тульский В.Н., Карпунина М.В., Ковалева Т.Ю., Козьмина И.С., Михеев Д.В., Жохов Д.Е. Анализ электрических цепей с использованием Matlab: учебное пособие // М.: Издательство МЭИ, 2022. 160 с. ISBN 978-5-7046-2589-6.