



ТОМСКИЙ
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ



Переходные процессы в системах электроснабжения

ЛЕКЦИЯ № 1

Преподаватель: Никитин Дмитрий Сергеевич
к.т.н., доцент ОЭЭ ИШЭ ТПУ
248 ауд. 8 корп., вн. тел. 1978

Томск – 2023



Контактная (аудиторная) работа, ч	Лекции	16
	Практические занятия	16
	Лабораторные занятия	16
	ВСЕГО	48
Самостоятельная работа, ч		50
ИТОГО, ч		108

Лекции – 1 раз в 2 недели

Практические занятия – 1 раз в 2 недели

Лабораторные работы – после ломки, 1 раз в неделю

План дисциплины

Разделы дисциплины	Виды учебной деятельности	Объем времени, ч.
Раздел 1. Общие вопросы курса	Лекции	2
	Практические занятия	4
	Лабораторные занятия	2
Раздел 2. Короткие замыкания	Лекции	5
	Практические занятия	4
	Лабораторные занятия	5
	Самостоятельная работа	20
Раздел 3. Несимметричные аварийные режимы	Лекции	5
	Практические занятия	4
	Лабораторные занятия	5
	Самостоятельная работа	30
Раздел 4. Основные понятия, принимаемые при расчете устойчивости системы электроснабжения	Лекции	4
	Практические занятия	4
	Лабораторные занятия	4
	Самостоятельная работа	10



Рейтинг дисциплины

Оценочные мероприятия		Кол-во	Баллы
Текущий контроль			80
П	Посещение занятий	16	8
ТК1	Допуск к выполнению лабораторной работы	4	30
ТК2	Защита отчета по лабораторной работе	4	
ТК3	Выполнение и защита ИДЗ	2	30
ТК4	Контрольная работа	2	12
Промежуточная аттестация			20
ПА1	Экзамен	1	20
		ИТОГО	100

Оценочные мероприятия		Кол-во	баллы
ДП1	Реферат	1	10
		ИТОГО	10



Литература

- 1. Мастерова О.А** Переходные процессы в системах электроснабжения уч. пос.– Томск: Изд. ТПУ, 2009. – 167 с.
- 2. Готман В.И.** Переходные процессы в системах электроснабжения. Расчет режимов короткого замыкания в системе электроснабжения промышленного предприятия: уч. пос. по курсовой работе – Томск: Изд. ТПУ, 2012. – 70 с.
- 3. Куликов Ю. А.** Переходные процессы в электрических системах: - Новосибирск: НГТУ, М.: Мир: ООО «Издательство Аст», 2003, 2008 – 283 с.



Основные термины

Энергетическая система (энергосистема) – совокупность электростанций, электрических и тепловых сетей, соединенных между собой и связанных общностью режима в непрерывном процессе производства, преобразования и распределения электрической и тепловой энергии при общем управлении этим режимом.

Электроэнергетическая система (ЭЭС) – это часть энергетической системы, в которой производится, преобразуется, передается и потребляется электрическая энергия.

Система электроснабжения промышленного предприятия (СЭС ПП) представляет совокупность электроустановок, предназначенных для обеспечения потребителей промышленного предприятия электрической энергией. Подстанции, распределительные устройства, токопроводы, воздушные и кабельные линии являются составной частью системы электроснабжения промышленных предприятий.



Основные термины

Электрическая сеть – совокупность электроустановок для передачи и распределения ЭЭ, состоящая из подстанций и распределительных устройств (РУ), соединенных линиями электропередачи (ЛЭП), и работающая на определенной территории.

Электрическая сеть предприятия объединяет понизительные и преобразовательные подстанции, распределительные пункты (РП), электроприемники (ЭП) и ЛЭП на территории предприятия.



Основные термины

Переходные процессы – переход от одного установившегося режима к другому, характеризующийся совокупностью **электромагнитных** и **электромеханических** изменений в системе, которые взаимосвязаны и представляют собой единое целое.



Стадии переходного процесса

1-я стадия (от нескольких сотых до $0,1 \dots 0,2$ с) – из-за большой инерции вращающихся машин в энергосистеме преобладают электромагнитные изменения. Эта стадия называется **электромагнитным** переходным процессом.

2-я стадия – стадия, когда проявляются механические свойства системы, оказывающие существенное влияние на переходные процессы. Эта стадия называется **электромеханическим** переходным процессом.



Режим работы и его параметры

Режим работы системы – это совокупность процессов, характеризующих состояние системы электроснабжения в любой момент времени.

Режим (состояние) характеризуется

параметрами режима:

напряжения, токи, мощности, фазовые углы и т.д., которые связаны между собой параметрами системы.

параметры системы:

сопротивления, проводимости, коэффициенты трансформации, постоянные времени и т.д. – определяются физическими свойствами элементов.



Режимы работы электрической системы

- 1. Установившийся (нормальный) режим** – состояние системы, когда параметры режима изменяются в небольших пределах, что позволяет их считать условно постоянными.
- 2. Нормальные переходные режимы** – имеют место при нормальной эксплуатации системы (изменение нагрузки, коммутационные переключения и т. д.).



Режимы работы электрической системы

3. Аварийные переходные режимы возникают при значительных возмущениях: короткие замыкания, внезапное отключение и включение мощных элементов, несинхронные включения синхронных машин (СМ) и т. д.

4. Послеаварийные установившиеся наступают после отключения повреждённых элементов электрической системы. При этом параметры послеаварийного режима могут быть как близкими к параметрам предшествующего (нормального) режима, так и значительно отличаться от них.



Причины переходных процессов

Основными причинами возникновения переходных процессов в системе электроснабжения являются:

- 1) включение и отключение двигателей и других приемников электроэнергии;
- 2) короткие замыкания в системе, а также повторное включение и отключение короткозамкнутых цепей;
- 3) возникновение местной несимметрии в системе.

Из всего многообразия электромагнитных переходных процессов наиболее распространенными являются переходные процессы, вызванные **короткими замыканиями (КЗ)**.



Короткие замыкания

Коротким замыканием (КЗ) называется преднамеренное или случайное, не предусмотренное нормальным режимом работы, электрическое соединение двух точек электрической сети между собой или землей, при котором токи в ветвях электроустановки резко возрастают, превышая наибольший допустимый ток продолжительного режима.

КЗ являются одним из основных видов аварий в системах электроснабжения, в связи с чем расчет токов КЗ является **важнейшей задачей проектирования** таких систем.

Вследствие КЗ нарушается нормальная работа СЭС; короткие замыкания оказывают на электрооборудование неблагоприятное термическое и электродинамическое действие как в месте повреждения, так и при прохождении аварийных токов по неповрежденным элементам СЭС.



Основные причины возникновения КЗ

1. **Механические повреждения** элементов электрических сетей.
2. **Нарушение изоляции** электрооборудования, вызванное ее естественным старением или термическим разрушением, загрязнением поверхности изоляторов.
3. Перекрытие изоляции вследствие **прямых ударов молнии**.
4. **Ошибочные действия персонала** подстанций при проведении переключений.
5. **Перекрытие токоведущих частей** животными и птицами.
6. Действие короткозамыкателей для создания **преднамеренных КЗ**.



Последствия режима КЗ

1. **Нарушение устойчивости** энергосистемы или двигательной нагрузки.
2. **Термическое повреждение** электрооборудования, связанное с его недопустимым нагревом токами КЗ.
3. **Механическое повреждение** электрооборудования, вызванное воздействием больших электромагнитных сил между токоведущими частями.
4. **Увеличение токов** в проводниках и **снижение напряжения** в узлах схемы.
5. Возникновение **поперечной несимметрии** при несимметричных КЗ и **продольной несимметрии** при нарушении симметрии какого-либо промежуточного элемента трехфазной цепи (например, отключение одной фазы линии электропередачи)



Виды коротких замыканий

В сетях с изолированной или компенсированной нейтралью ($U_{\text{ном}} = 3; 6; 10; 35 \text{ кВ}$) замыкание одной фазы на землю называется **простым**.

В месте замыкания часто образуется дуга, сопротивление которой имеет нелинейный характер. Помимо этого в месте короткого замыкания возникает сопротивление, вызванное загрязнением, остатками изоляции и т. п. В случае когда переходное сопротивление и сопротивление дуги малы и ими пренебрегают, замыкание называется **металлическим**.

В сетях трехфазного электрического тока короткие замыкания могут быть **трехфазные, двухфазные и однофазные**. Трехфазные и двухфазные короткие замыкания – это **симметричные КЗ**. В сетях с глухозаземленной нейтралью возможны **несимметричные однофазные КЗ** при замыкании одной фазы на землю или корпус электроустановки.



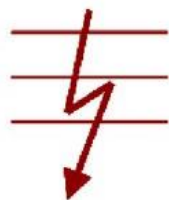
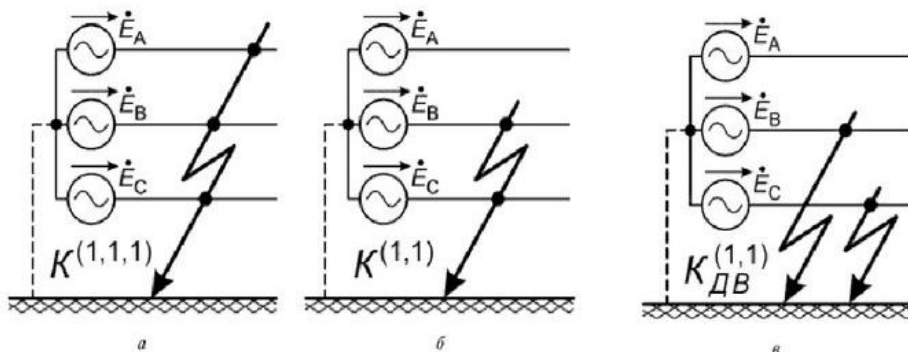
Вероятность разных видов коротких замыканий

Вид короткого замыкания	Относительная вероятность КЗ (%) в сетях различных напряжений (кВ)				
	6...20	35	110	220	500
Однофазное К ⁽¹⁾	61	67	83	88	95
Двухфазное К ⁽²⁾	17	18	5	3	2
Двухфазное на землю К ^(1,1)	11	7	8	7	2
Трехфазное К ⁽³⁾	11	8	4	2	1

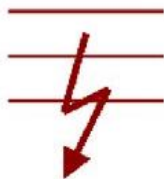
Наибольшую вероятность имеют однофазные КЗ; при этом она возрастает с увеличением класса напряжения сети. Это обусловлено увеличением междуфазного расстояния (в среднем с 0,7 м в сети 6–10 кВ до 14 м в сети 500 кВ). Иногда в процессе развития аварии первоначальный вид короткого замыкания переходит в другой (например, однофазное КЗ – в двухфазное на землю).

Классификация электрических сетей

Условные обозначения видов КЗ



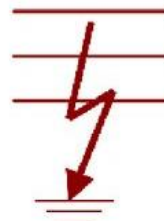
$K(3)$



$K(2)$



$K(1)$



$K(1,1)$



Классификация электрических сетей

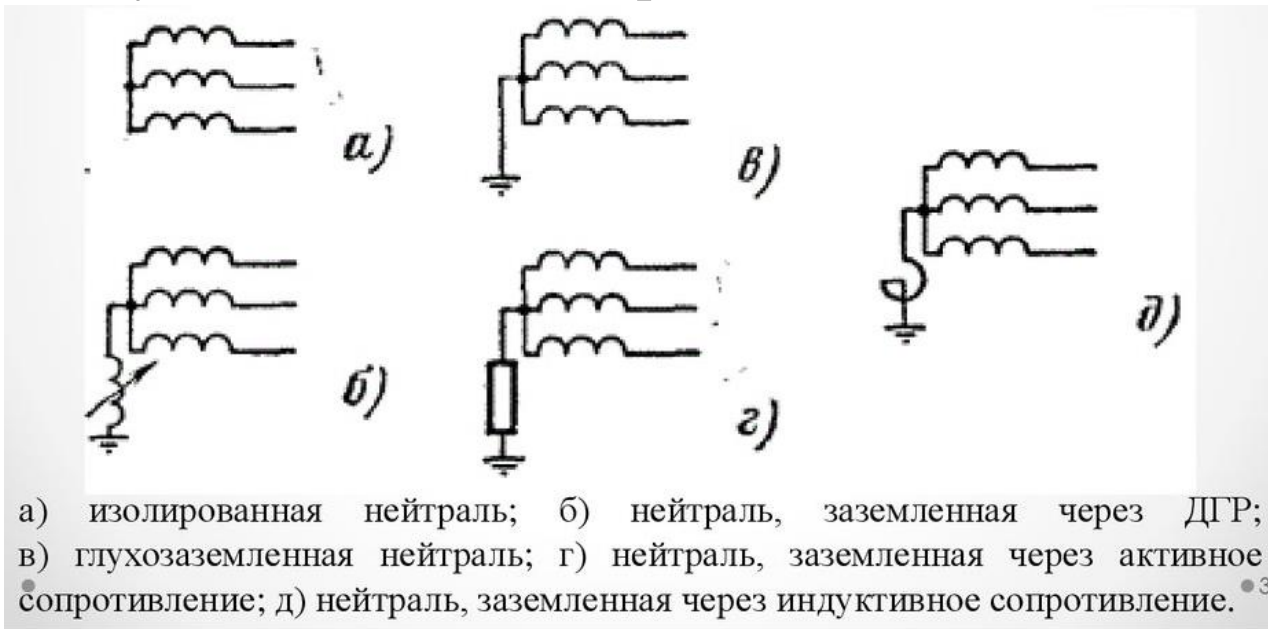
Номинальные напряжения электрических сетей и присоединяемых к ним источников и приемников электрической энергии устанавливаются ГОСТом. Шкала номинальных напряжений для сетей переменного тока частотой 50 Гц:

- до 1000 В: 12, 24, 36, 42, 127, 220, 380 В;
- выше 1000 В: 3, 6, 10, 20, 35, 110, 150, 220, 330, 500, 750, 1150 кВ.



Классификация электрических сетей

1. Сети с изолированной или компенсированной нейтралью – распределительные сети систем электроснабжения ($U = 3; 6; 10; 35$ кВ).
2. Сети с глухозаземленной нейтралью – ($U = 0,4; 110$ кВ и выше)





Определение токов КЗ при проектировании СЭС

КЗ являются одним из основных видов аварий в системах электроснабжения, в связи с чем расчет токов КЗ является **важнейшей задачей проектирования** таких систем.

Вследствие КЗ нарушается нормальная работа СЭС; короткие замыкания оказывают на электрооборудование неблагоприятное термическое и электродинамическое действие как в месте повреждения, так и при прохождении аварийных токов по неповрежденным элементам СЭС.

На стадии проектирования любой системы электроснабжения необходимо определить **максимально возможные** (в начале каждого участка) и **минимально возможные** (в конце участка) **токи КЗ**. По максимальным токам производится проверка сечений проводников, коммутационных и защитных аппаратов на термическую и динамическую стойкость к токам КЗ; расчет минимальных токов необходим для правильного выбора уставок аппаратов защиты.



Определение токов КЗ при проектировании СЭС

Освоение методики расчета параметров режима КЗ необходимо для определения условий работы потребителей в аварийных режимах, выбора и проверки электрооборудования, проектирования и настройки устройств релейной защиты и автоматики, различных защитных устройств.



Типовые задачи, требующие учета режима КЗ

1. Определение условий работы потребителей в аварийных режимах.
2. Анализ и оценка динамической устойчивости работы двигательной нагрузки.
3. Выбор аппаратов и проводников и их проверка по условиям термической и электродинамической стойкости.
4. Проектирование и настройка устройств релейной защиты и противоаварийной автоматики.
5. Определение числа заземленных нейтралей и их размещение в ЭС.
6. Выбор конструкции шинопроводов на большие рабочие токи.
7. Сопоставление, оценка и выбор схемы электрических соединений.
8. Определение влияния линий электропередачи на линии связи.



Допущения при расчете переходных процессов в СЭС

- 1) сохранение симметрии трехфазной системы (она нарушается лишь в месте повреждения);
- 2) пренебрежение токами намагничивания трансформаторов и автотрансформаторов;
- 3) отсутствие насыщения магнитных систем (т. е. линейность всех элементов схемы);
- 4) пренебрежение активными сопротивлениями (исключение – расчет токов КЗ в сетях, выполненных проводами низкого сечения, в сетях до 1000 В и при оценке постоянных времени);
- 5) пренебрежение емкостными проводимостями линий (исключение – расчет простых замыканий на землю);
- 6) учет нагрузок постоянными сопротивлениями;
- 7) отсутствие качаний синхронных машин.