



ТОМСКИЙ  
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ



# Переходные процессы в системах электроснабжения

## ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 1

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

Томск – 2022



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

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.
<b>Раздел 1. Общие вопросы курса</b>	Лекции	2
	Практические занятия	4
	Лабораторные занятия	2
<b>Раздел 2. Короткие замыкания</b>	Лекции	5
	Практические занятия	4
	Лабораторные занятия	5
	Самостоятельная работа	20
<b>Раздел 3. Несимметричные аварийные режимы</b>	Лекции	5
	Практические занятия	4
	Лабораторные занятия	5
	Самостоятельная работа	30
<b>Раздел 4. Основные понятия, принимаемые при расчете устойчивости системы электроснабжения</b>	Лекции	4
	Практические занятия	4
	Лабораторные занятия	4
	Самостоятельная работа	10



## Рейтинг дисциплины

Оценочные мероприятия		Кол-во	Баллы
Текущий контроль			80
П	Посещение занятий	28	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
<b>ИТОГО</b>			<b>100</b>

Оценочные мероприятия		Кол-во	баллы
ДП1	Реферат	1	10
<b>ИТОГО</b>			<b>10</b>



## 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 принципы

---

**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.

**Режим работы системы** – это совокупность процессов, характеризующих состояние системы электроснабжения в любой момент времени. Различают *установившиеся нормальные* и *переходные аварийные* режимы СЭС.



## Основные принципы

---

**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 принципы

---

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.

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.





### **Индивидуальное домашнее задание**

Расчет режимов короткого замыкания в системах электроснабжения

**Задание 1.** Составление расчетной схемы замещения простейшей системы электроснабжения

**Задание 2.** Расчет режима трехфазного КЗ системы электроснабжения

**Задание 3.** Расчет несимметричного режима простейшей системы электроснабжения



## Индивидуальное домашнее задание

---

### Формальные требования к оформлению ИДЗ

1. ИДЗ должно иметь титульный лист, оформленный в соответствии со стандартами ТПУ. На титульном листе указываются номер индивидуального задания, номер варианта, название дисциплины; фамилия, имя, отчество студента; номер группы.
2. Шрифт –Times New Roman, размер 12–14 pt, для набора формул рекомендуется использовать редактор формул MathType. Основные нормы оформления изложены в стандарте ТПУ (Приказ № 6/од от 10.02.2014)
3. Решение следует располагать в той же последовательности, что и пункты задания.



## Индивидуальное домашнее задание

---

### Формальные требования к оформлению ИДЗ

5. Решение должно быть подробным, с включением промежуточных расчётов, схем преобразования, указанием использованных формул и обязательной подстановкой цифр.
6. Страницы задания должны иметь сквозную нумерацию.
7. В задание включается список использованной литературы.
8. Студент должен быть готов защитить свои индивидуальные задание в конце семестра, изучив теоретический материал, содержащийся в указанных пособиях. Защита домашнего задания может происходить как в индивидуальной беседе с преподавателем, так и письменно по выполненным пунктам задания.



## Индивидуальное домашнее задание

---

### Формальные требования к оформлению ИДЗ

9. Расчет следует выполнять в программе Mathcad, который предоставляется для проверки к отчету.

10. Загрузка промежуточных заданий (по срокам) происходит на платформу электронного обучения

Курс «Переходные процессы в системах электроснабжения»

<https://stud.lms.tpu.ru/course/view.php?id=866>



## Задание 1.

---

### **Расчетная схема замещения простейшей системы электроснабжения**

Для соответствующего варианта (выдается преподавателем) для простейшей СЭС и силового оборудования выполнить:

**1. Сформировать исходные данные своего варианта**

2. Пронумеровать и обозначить на принципиальной схеме ступени напряжения
3. Выбрать базисные напряжения ступеней и базисную мощность для приближенного метода расчета
4. Рассчитать параметры схемы замещения в системе относительных единиц (результаты представить в виде таблицы)
5. Рассчитать параметры схемы замещения в системе именованных единиц (результаты представить в виде таблицы)
6. Нарисовать схему замещения



## Исходные данные

---

В основу индивидуального домашнего задания положен типовой **фрагмент схемы электроснабжения энергоемкого промышленного предприятия**, которая содержит три класса напряжения: 110, 6 (10) кВ и установки до 1000 В.

Схемы содержат сети 0,4; 0,6; 110 кВ с эффективно заземленной нейтралью и сети 6 (10) кВ, у которых нейтрали обмоток трансформаторов не заземлены; в схемах присутствуют синхронные и асинхронные двигатели, которые накладывают определенную сложность в расчеты режимов КЗ. В сетях напряжением до 1000 В некоторую неопределенность вносит учет переходных сопротивлений коммутационных аппаратов и неподвижных контактных соединений.



## Исходные данные

---

Для упрощения расчетов принимают ряд допущений:

- трехфазную систему считают симметричной;
- не учитывают насыщения магнитных систем, что позволяет считать все цепи линейными, следовательно, может быть применен принцип наложения;
- пренебрегают намагничивающими токами силовых трансформаторов и емкостными проводимостями всех элементов короткозамкнутой сети (кроме воздушных линий 330 кВ и выше и кабельных линий 110 кВ и выше);
- в течение всего процесса КЗ ЭДС генераторов системы считают совпадающими по фазе;
- электродвижущие силы всех источников питания, значительно удаленных от места КЗ, считают неизменными.



## Исходные данные

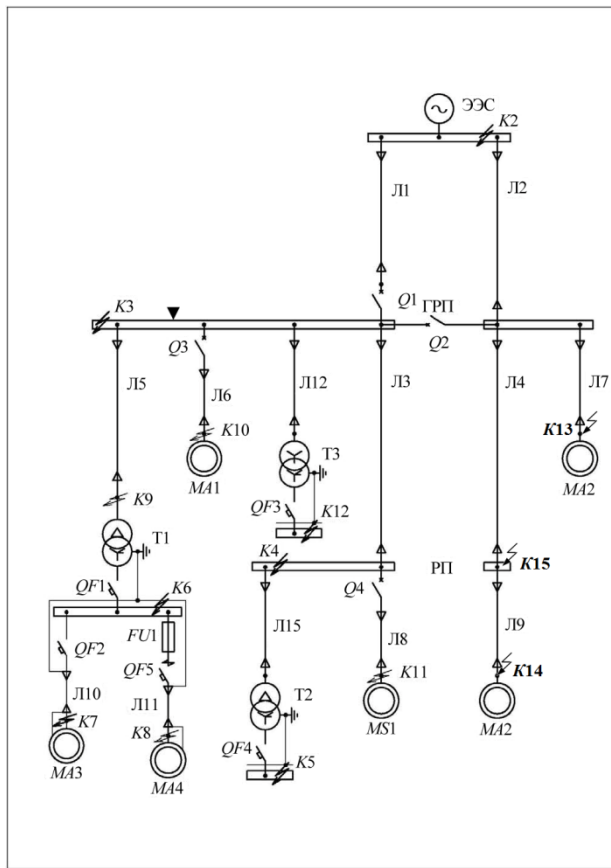
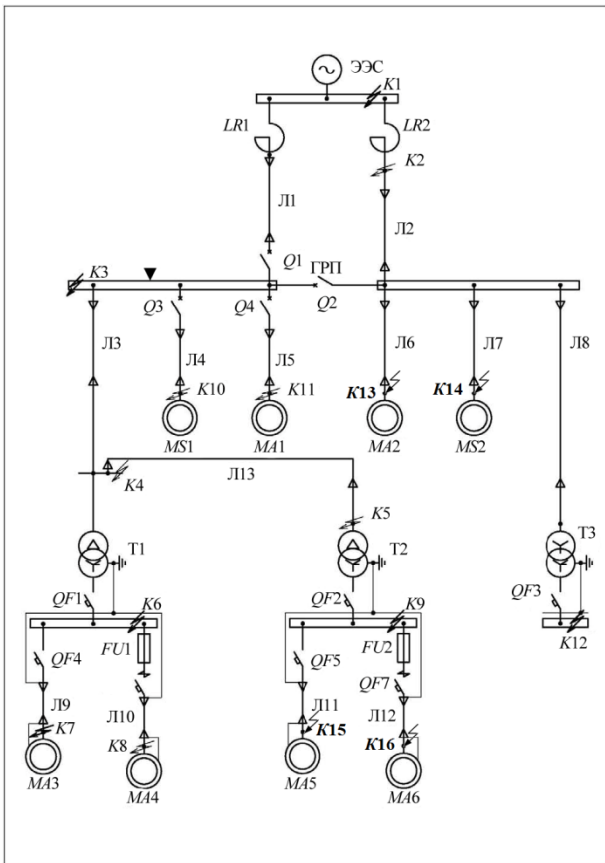
---

Исходные данные представлены принципиальными схемами СЭС, вариантами для точек расчета, параметрами схем СЭС и справочными данными силового оборудования.

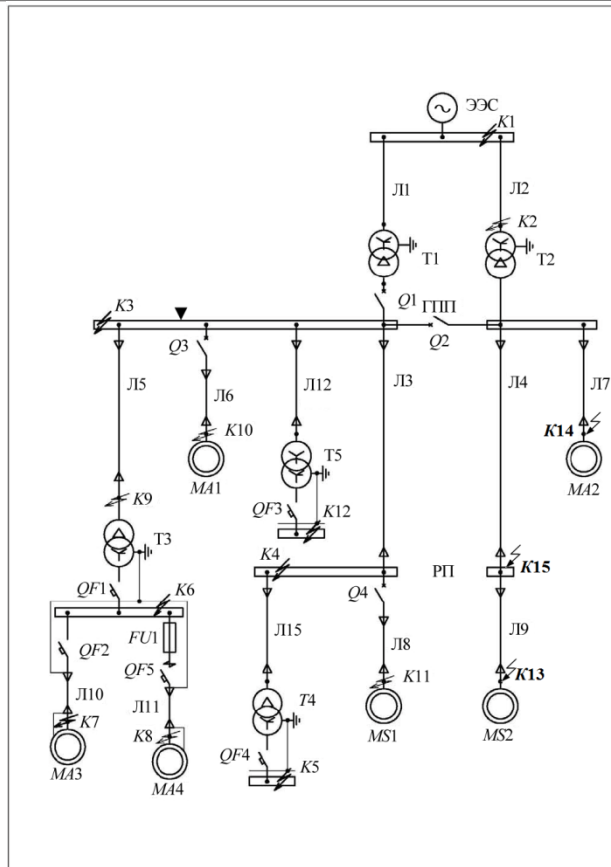
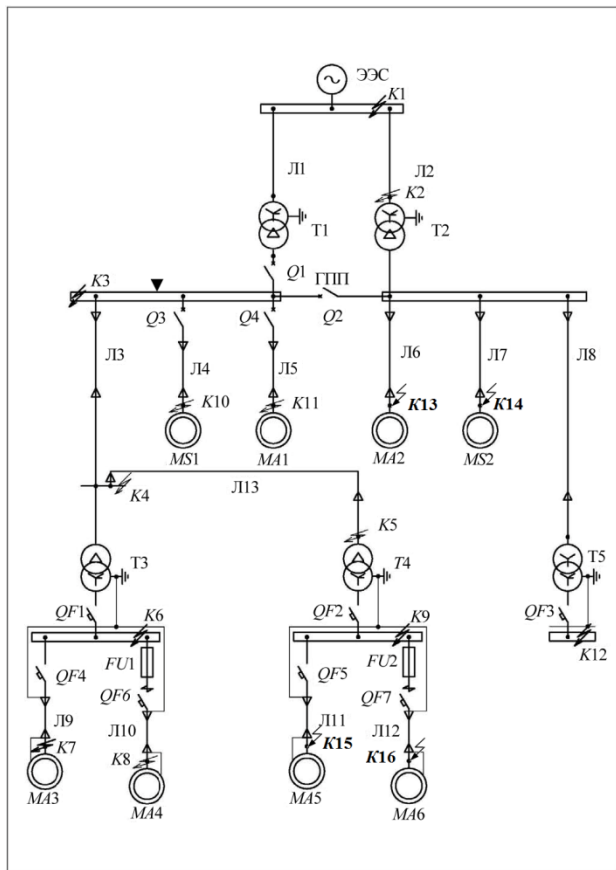
<b>№ п/п</b>	<b>ФИО</b>	<b>вариант</b>	<b>точки для расчета токов КЗ</b>
<b>1</b>	Иванов Иван Иванович	сх 2 вар 07	К2, К3, К13, К6, К7, К9, К12



# Исходные данные



# Исходные данные



## Исходные данные

**Параметры схемы СЭС № 1, 2  
(первая цифра варианта)**

№ вар-та	№ схемы СЭС	Параметры энергосистемы		Реакторы	Синхронные двигатели MS1 и MS2	Длина / кабельных линий Л3 и Л4 в схеме № 2, км
		ЭДС $E_c$ , кВ	мощность $K^{(3)}$ в узле подключения к СЭС $S_k^{(3)}$ , МВ·А			
1	1	10,5	600	РБ 10-1000-0,22	СТД-800	–
2	1	10,5	650	РБ 10-1600-0,35	СТД-1000	–
3	1	6,3	400	РБ 10-1000-0,14	СТД-2000	–
4	1	6,3	500	РБ 10-1600-0,20	СТД-2500	–
5	1	10,5	550	РБ 10-1000-0,22	СТД-1250	–
6	2	6,3	250		СТД-1600	4
7	2	10,5	300		СТД-630	3
8	2	10,5	320		СТД-2000	4
9	2	10,5	280		СТД-800	2
0	2	10,5	340		СТД-2500	3

*Примечания:*

1. Линии Л3 и Л4 в схеме № 2 состоят из трёх параллельных кабелей; сечение фазы каждого кабеля составляет  $185 \text{ мм}^2$ .

2. В схеме 1 сечение линии Л3 должно быть примерно в два раза больше сечения линии Л13.

## Исходные данные

**Параметры схемы СЭС № 1, 2  
(вторая цифра варианта)**

№ варианта	Длина $l$ линий Л1 и Л2 в схемах № 1, 2, км	Параметры трансформаторов			Асинхронные двигатели МА1, МА2	Асинхронные двигатели МА3, МА5	Асинхронные двигатели МА4, МА6
		тип и мощность трансформаторов Т1, Т2, Т3	номинальное напряжение на низкой стороне $U_{НН}$ , кВ				
			Т1, Т2	Т3			
1	2,5	ТМ-1600	0,69	0,4	2АЗМ1-800	4А315s4	4А200l6
2	3	ТМ-1600	0,40	0,4	2АЗМ-1000	4А280m2	4А200m2
3	3	ТМ-1000	0,40	0,4	2АЗМ-2000	4А280s4	4А250s6
4	3,5	ТМ-1000	0,69	0,4	2АЗМ-2500	4А250m4	4А250m6
5	4	ТМ-630	0,40	0,4	2АЗМ-1250	4А250s2	4А160m4
6	10	ТМ-1600	0,69	0,4	2АЗМ-1600	4А280s4	4А250s2
7	12	ТМ-400	0,69	0,4	2АЗМ1-630	4А200m6	4А250m6



Параметры трансформаторов  
в схемах СЭС № 1, 2, 3, 4

Тип трансформатора	$S_{\text{ном}}$ , МВ·А	$U_{\text{ВН}}$ , кВ	$U_{\text{НН}}$ , кВ	$u_k$ , %	$\Delta P_k$ , МВт	$R_{0T}$ , мОм	$X_{0T}$ , мОм
ТМН-6300/110	6,3	115	10,5; 6,3	10,5	0,044		
ТДН-10000/110	10,0	115	10,5; 6,3	10,5	0,058		
ТДН-16000/110	16,0	115	10,5; 6,3	10,5	0,085		
ТРДН-25000/110	25,0	115	10,5; 6,3	10,5	0,120		
ТРДН-40000/110	40,0	115	10,5; 6,3	10,5	0,170		
ТМ-400/10; 6	0,4	10,5; 6,3	0,69; 0,4	4,5	0,0059	55,6	149
ТМ-630/10; 6	0,63	10,5; 6,3	0,69; 0,4	5,5	0,0085	30,2	95,8
ТМ-1000/10; 6	1,0	10,5; 6,3	0,6				
ТМ-1600/10; 6	1,6	10,5; 6,3	0,6				
ТМ-2500/10; 6	2,5	10,5; 6,3	0,6				

Параметры кабелей к трансформаторам  
в схемах СЭС № 1, 2, 3, 4

Тип трансформатора	$U_{\text{ВН}}$ , кВ	$F_2$ , мм <sup>2</sup>	$l$ , км	$U_{\text{НН}}$ , кВ	$I_{\text{ном(А.ВК)}}$ , А
ТМ-400/10; 6	6,3; 10,5	25/16	0,2	0,69; 0,4	630/1000
ТМ-630/10; 6	6,3; 10,5	35/25	0,25	0,69; 0,4	1000/1600
ТМ-1000/10; 6	6,3; 10,5	70/50	0,3	0,69; 0,4	1600/2500
ТМ-1600/10; 6	6,3; 10,5	95/70	0,4	0,69; 0,4	2500/4000
ТМ-2500/10; 6	6,3; 10,5	150/120	0,5	0,69; 0,4	4000/6000



## Задание 1.

---

### **Расчетная схема замещения простейшей системы электроснабжения**

Для соответствующего варианта (выдается преподавателем) для простейшей СЭС и силового оборудования выполнить:

1. Сформировать исходные данные своего варианта

**2. Пронумеровать и обозначить на принципиальной схеме ступени напряжения**

3. Выбрать базисные напряжения ступеней и базисную мощность для приближенного метода расчета

4. Рассчитать параметры схемы замещения в системе относительных единиц (результаты представить в виде таблицы)

5. Рассчитать параметры схемы замещения в системе именованных единиц (результаты представить в виде таблицы)

6. Нарисовать схему замещения



## Задание 1.

---

### **Расчетная схема замещения простейшей системы электроснабжения**

Для соответствующего варианта (выдается преподавателем) для простейшей СЭС и силового оборудования выполнить:

1. Сформировать исходные данные своего варианта
2. Пронумеровать и обозначить на принципиальной схеме ступени напряжения

### **3. Выбрать базисные напряжения ступеней и базисную мощность для приближенного метода расчета**

4. Рассчитать параметры схемы замещения в системе относительных единиц (результаты представить в виде таблицы)
5. Рассчитать параметры схемы замещения в системе именованных единиц (результаты представить в виде таблицы)
6. Нарисовать схему замещения



## Задание 1.

---

За **базовое напряжение** принимают среднее номинальное напряжение той ступени, где производится расчет токов КЗ. Среднее значение напряжения принимают на 5 % выше номинального напряжения сети. Шкала  $U_{\text{ср.ном.}} = 230, 115, 37, 10.5, 6.3, 0.4, 0.23$  кВ.

За **базовую мощность** для удобства подсчетов принимают 100, 1000 МВА или номинальную мощность самого большого трансформатора.





## Задание 1.

---

### **Расчетная схема замещения простейшей системы электроснабжения**

Для соответствующего варианта (выдается преподавателем) для простейшей СЭС и силового оборудования выполнить:

1. Сформировать исходные данные своего варианта
2. Пронумеровать и обозначить на принципиальной схеме ступени напряжения
3. Выбрать базисные напряжения ступеней и базисную мощность для приближенного метода расчета
- 4. Рассчитать параметры схемы замещения в системе относительных единиц (результаты представить в виде таблицы)**
- 5. Рассчитать параметры схемы замещения в системе именованных единиц (результаты представить в виде таблицы)**
6. Нарисовать схему замещения




## Задание 1.

---

Все сопротивления схемы замещения подсчитывают в **именованных** (Ом) или в **относительных** единицах.

При расчете в относительных единицах задаются базовыми величинами: напряжением  $U_б$  и мощностью  $S_б$ .

## Энергосистема

<p>1.</p> 	<p><b>Параметры электроэнергетической системы (ЭЭС)</b></p> <p><math>E_c</math> – ЭДС электроэнергетической системы в узле подключения к СЭС предприятия, кВ;</p> <p><math>S_k^{(3)}</math> – мощность системы при трехфазном КЗ в узле подключения, МВА</p> <p><math>U_{\delta}</math> – базисное напряжение на ступени системы, кВ.</p>
---	---

### 1. Расчетные параметры в именованных единицах

$$x_c = \frac{E_c^2}{S_k^{(3)}} \cdot \left( \frac{U_{осн}}{U_{\delta}} \right)^2 \quad \text{– реактивное сопротивление системы Ом;}$$

$$E_c = E_c \cdot \frac{U_{осн}}{U_{\delta}} \quad \text{– ЭДС системы, кВ.}$$

### 2. Расчетные параметры в относительных базисных единицах

$$x_{*c(\delta)} = \frac{E_c^2}{S_k^{(3)}} \frac{S_{\delta}}{U_{\delta}^2} \quad \text{– реактивное сопротивление системы, от. ед.};$$

$$E_{*c(\delta)} = E_c / U_{\delta} \quad \text{– ЭДС системы, от. ед.};$$



# Трансформатор



## Параметры двухобмоточного трансформатора

$S_{\text{НОМ}}$  – номинальная мощность, МВА;

$U_{\text{ВН}} / U_{\text{НН}}$  – соответственно номинальное напряжение обмоток высокого и низкого напряжения трансформатора, кВ;

$u_k$  – напряжение короткого замыкания, %;

$\Delta P_k$  – потери короткого замыкания, МВт.

Для трансформаторов с  $U_{\text{ВН}} = 110$  кВ и выше активное сопротивление по сравнению с реактивным мало, поэтому им можно пренебречь. Тогда реактивное сопротивление приравнивают к полному, т.е.  $x_T \approx Z_T$ , (Ом).

## 1. Расчетные параметры в именованных единицах

$$Z_T = \frac{u_k U_{\text{осн}}^2}{100 S_{\text{НОМ}}} \text{ – полное сопротивление трансформатора, Ом;}$$

$$R_T = \frac{\Delta P_k U_{\text{осн}}^2}{S_{\text{НОМ}}^2} \text{ – активное сопротивление трансформатора, Ом;}$$

$$x_T = \sqrt{Z_T^2 - R_T^2} \text{ – реактивное сопротивление трансформатора Ом.}$$

## 2. Расчетные параметры в относительных базисных единицах

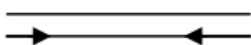
$$Z_{*T(\delta)} = \frac{u_k S_{\delta}}{100 S_{\text{НОМ}}} \text{ – полное сопротивление трансформатора, от. ед.;}$$

$$R_{*T(\delta)} = \frac{\Delta P_k S_{\delta}}{S_{\text{НОМ}}^2} \text{ – активное сопротивление трансформатора, от. ед.;}$$

$$x_{*T(\delta)} = \sqrt{Z_{*T(\delta)}^2 - R_{*T(\delta)}^2} \text{ – реактивное сопротивление трансформатора, от. ед.,}$$



3.



**Параметры воздушной (ВЛ) и кабельной (КЛ) линии**

$r_{\text{ПГ}}$ ,  $x_{\text{ПГ}}$  – погонные активное и индуктивное сопротивления одной цепи линии, Ом/км;

$L$  – протяженность (ВЛ) или (КЛ) линии, км;

$n$  – число параллельных линий;

$U_{\text{НОМ}}$  – номинальное напряжение линии, кВ.

$U_{\text{б}}$  – базисное напряжение ступени, на которой находится линия, кВ.

**1. Расчетные параметры в именованных единицах на ступени ВЛ, КЛ**

$$r_{\text{Л}} = r_{\text{ПГ}} \frac{L}{n} \cdot \left( \frac{U_{\text{осн}}}{U_{\text{б}}} \right)^2; x_{\text{Л}} = x_{\text{ПГ}} \frac{L}{n} \cdot \left( \frac{U_{\text{осн}}}{U_{\text{б}}} \right)^2; \text{ – эквивалентное активное и}$$

индуктивное сопротивления  $n$  параллельных линий (Ом).

**2. Расчетные параметры в относительных базисных единицах**

$$r_{*\text{Л(б)}} = r_{\text{ПГ}} \frac{L}{n} \cdot \frac{S_{\text{б}}}{U_{\text{б}}^2}; x_{*\text{Л(б)}} = x_{\text{ПГ}} \frac{L}{n} \cdot \frac{S_{\text{б}}}{U_{\text{б}}^2}; \text{ – эквивалентное активное и индуктивное}$$

сопротивления  $n$  параллельных линий, (от. ед.),

# Синхронный двигатель

4.



## Параметры синхронного двигателя (MS)

$P_{\text{НОМ}}$  – номинальная активная мощность, МВт;

$U_{\text{НОМ}}$  – номинальное напряжение, кВ;

$I_{\text{НОМ}}$  – номинальный ток, А;

$\cos\varphi_{\text{НОМ}}$  – номинальный коэффициент мощности, от. ед.;

$\eta_{\text{НОМ}}$  – номинальный коэффициент полезного действия, от. ед.;

$I_{*\text{ПСК}}$  – кратность пускового тока, от. ед.;

$M_{*\text{ПСК}}$  – кратность начального пускового момента, от. ед.

$U_{\text{б}}$  – базисное напряжение ступени, на которой находится двигатель, кВ.

## Расчетные параметры СД, приведенные к номинальным (рассчитывают всегда)

$$S_{\text{НОМ}} = \frac{P_{\text{НОМ}}}{\eta_{\text{НОМ}} \cdot \cos\varphi_{\text{НОМ}}} \text{ – полная номинальная мощность, МВА;}$$

$$R_{*\text{СД(НОМ)}} = \left[ 0,25(1 - \eta_{\text{НОМ}}) \cos\varphi_{\text{НОМ}} \right] \cdot \left( \frac{U_{\text{НОМ}}^2}{S_{\text{НОМ}}} \right) \text{ – активное сопротивление}$$

статорной обмотки, от. ед.

$$X_{*\text{СД(НОМ)}}'' = \left\{ \frac{1}{I_{*\text{ПСК}}} \sqrt{1 - \left( \frac{M_{*\text{ПСК}} \cdot \cos\varphi_{\text{НОМ}}}{I_{*\text{ПСК}}} \right)^2} \right\} \text{ – сверхпереходная реактив-}$$

ность двигателя, от. ед.

Допустимо использовать упрощенную формулу расчета сверхпереходной реактивности для синхронных двигателей напряжением 6 (10) кВ

$$X_{*\text{СД(НОМ)}}'' = 1 / I_{*\text{ПСК}} \text{ – сверхпереходная реактивность двигателя, от. ед.;$$

$$E_{*\text{СД(НОМ)}}'' = \sqrt{(\cos\varphi_{\text{НОМ}})^2 + (\sin\varphi_{\text{НОМ}} + X_{*\text{СД(НОМ)}}'')^2} \text{ – сверхпереходная ЭДС двигателя, от. ед.;$$

## 1. Расчетные параметры в именованных единицах на ступени напряжения СД

$$R_{\text{СД}} = R_{*\text{СД(НОМ)}} \cdot \left( \frac{U_{\text{ОСН}}}{U_{\text{б}}} \right)^2 \text{ – активное сопротивление статорной обмотки, Ом;}$$

$$X_{\text{СД}}'' = X_{*\text{СД(НОМ)}}'' \cdot \left( \frac{U_{\text{НОМ}}^2}{S_{\text{НОМ}}} \right) \cdot \left( \frac{U_{\text{ОСН}}}{U_{\text{б}}} \right)^2 \text{ – сверхпереходная реактивность дви-}$$

гателя, Ом

$$E_{\text{СД}}'' = (E_{*\text{СД(НОМ)}}'' \cdot U_{\text{НОМ}}) \cdot \frac{U_{\text{ОСН}}}{U_{\text{б}}} \text{ – сверхпереходная ЭДС двигателя, кВ.}$$

## 2. Расчетные параметры в относительных базисных единицах

$$R_{*\text{СД(б)}} = R_{*\text{СД(НОМ)}} \cdot \left( \frac{S_{\text{б}}}{S_{\text{НОМ}}} \right) \text{ – активное сопротивление статорной обмотки, от. ед.;$$

$$X_{*\text{СД(б)}}'' = X_{*\text{СД(НОМ)}}'' \cdot \left( \frac{U_{\text{НОМ}}^2}{S_{\text{НОМ}}} \right) \cdot \left( \frac{S_{\text{б}}}{U_{\text{б}}^2} \right) \text{ – сверхпереходная реактивность дви-}$$

теля, от. ед.;

$$E_{*\text{СД(б)}}'' = E_{*\text{СД(НОМ)}}'' \cdot U_{\text{НОМ}} / U_{\text{б}} \text{ – сверхпереходная ЭДС двигателя, от. ед.,}$$

## Асинхронный двигатель

5.



### Параметры асинхронного двигателя (МА)

$P_{\text{ном}}$  – номинальная активная мощность, МВт;  
 $U_{\text{ном}}$  – номинальное напряжение, кВ;  
 $I_{\text{ном}}$  – номинальный ток, А;  
 $\cos\varphi_{\text{ном}}$  – номинальный коэффициент мощности, от. ед.;  
 $\eta_{\text{ном}}$  – номинальный коэффициент полезного действия, от. ед.;  
 $s_{\text{ном}}$  – номинальное скольжение, от. ед.;  
 $I_{*\text{пск}}$  – кратность пускового тока, от. ед.;  
 $M_{*\text{max}}$  – кратность максимального вращающего момента, от. ед.;  
 $R_{*\text{АД(ном)}}$  – активное сопротивление статорной обмотки для АД напряжением 0,38; 0,66 кВ, от. ед.  
 $U_6$  – базисное напряжение ступени, на которой находится асинхронный двигатель, кВ.

Расчетные параметры АД, приведенные к номинальным (расчитывают всегда)

$$S_{\text{ном}} = \frac{P_{\text{ном}}}{\eta_{\text{ном}} \cdot \cos\varphi_{\text{ном}}} - \text{полная номинальная мощность, МВА};$$

Для асинхронного двигателя напряжением 6, 10 кВ:

$$R_{*\text{АД(ном)}} = \frac{s_{\text{ном}}}{\eta_{\text{ном}}} \left( \frac{U_{\text{ном}}^2}{S_{\text{ном}}} \right) - \text{активное сопротивление статорной, от. ед.};$$

Для асинхронных двигателей напряжением 0,38; 0,66 кВ:

$$R_{*\text{АД(ном)}} = R_{*\text{АД(ном)}} \left( \frac{U_{\text{ном}}^2}{S_{\text{ном}}} \right) - \text{активное сопротивление статорной обмотки}$$

где  $R_{*\text{АД(ном)}}$  – активное сопротивление статорной обмотки паспортное значение;

$$X_{*\text{АД(ном)}}'' = \frac{0,475}{M_{*\text{max}} \cdot \cos\varphi_{\text{ном}}} - \text{сверхпереходная реактивность двигателя,}$$

от. ед.

Допустимо использовать упрощенную формулу расчета сверхпереходной реактивности для асинхронных двигателей напряжением 6 (10) кВ:

$$X_{*\text{АД(ном)}}'' = 1 / I_{*\text{пск}} - \text{сверхпереходная реактивность двигателя, от. ед.};$$

$$E_{*\text{АД(ном)}}'' = \sqrt{(\cos\varphi_{\text{ном}})^2 + (\sin\varphi_{\text{ном}} - X_{*\text{АД(ном)}}'')^2} - \text{сверхпереходная ЭДС двигателя, от. ед.};$$

## Асинхронный двигатель

### 1. Расчетные параметры АД в именованных единицах

$$R_{\text{АД}} = R_{*\text{АД}(\text{НОМ})} \cdot \left( \frac{U_{\text{ОСН}}}{U_{\text{б}}} \right)^2 - \text{активное сопротивление статорной обмотки,}$$

Ом.

$$X''_{\text{АД}} = X''_{*\text{АД}(\text{НОМ})} \cdot \left( \frac{U_{\text{НОМ}}^2}{S_{\text{НОМ}}} \right) \left( \frac{U_{\text{ОСН}}}{U_{\text{б}}} \right)^2 - \text{сверхпереходная реактивность двига-}$$

теля, Ом;

$$E''_{\text{АД}} = (E''_{*\text{АД}(\text{НОМ})}) \cdot U_{\text{НОМ}} \cdot \frac{U_{\text{ОСН}}}{U_{\text{б}}} - \text{сверхпереходная ЭДС двигателя, кВ.}$$

### 2. Расчетные параметры в относительных базисных единицах

$$R_{*\text{АД}(\text{б})} = R_{*\text{АД}(\text{НОМ})} \left( \frac{S_{\text{б}}}{U_{\text{б}}^2} \right) - \text{активное сопротивление статорной обмотки асин-}$$

хронного двигателя, от. ед.

$$X''_{*\text{АД}(\text{б})} = X''_{*\text{АД}(\text{НОМ})} \cdot \left( \frac{U_{\text{НОМ}}^2}{S_{\text{НОМ}}} \right) \left( \frac{S_{\text{б}}}{U_{\text{б}}^2} \right) - \text{сверхпереходная реактивность асин-}$$

хронного двигателя, от. ед.;

$$E''_{*\text{АД}(\text{б})} = E''_{*\text{АД}(\text{НОМ})} \cdot \left( \frac{U_{\text{НОМ}}}{U_{\text{б}}} \right) - \text{сверхпереходная ЭДС асинхронного двига-}$$

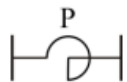
теля, от. ед.,





## Токоограничивающий реактор

6.



**Параметры токоограничивающего реактора**

$U_{р.ном}$  – номинальное напряжение, кВ;

$I_{р.ном}$  – номинальный ток, А;

$X_{р.ном}$  – номинальное реактивное сопротивление, Ом;

$\Delta P_{р.}$  – номинальные потери активной мощности на фазу, кВт.

$U_{\delta}$  – базисное напряжение ступени, на которой находится реактор, кВ.

**1. Расчетные параметры в именованных единицах на ступени напряжения реактора**

$$R_p = \frac{\Delta P_p \cdot 10^{-3}}{I_{р.ном}^2} \cdot \left( \frac{U_{осн}}{U_{\delta}} \right)^2 - \text{активное сопротивление реактора, Ом;}$$

$$X_p = X_{р.ном} \cdot \left( \frac{U_{осн}}{U_{\delta}} \right)^2 - \text{реактивное сопротивление, Ом}$$

**2. Расчетные параметры в относительных базисных единицах**

$$R_{*р(\delta)} = \frac{\Delta P_p \cdot 10^{-3}}{I_{р.ном}^2} \cdot \left( \frac{S_{\delta}}{U_{\delta}^2} \right) - \text{активное сопротивление реактора, от. ед.};$$

$$X_{*р(\delta)} = X_p \left( \frac{S_{\delta}}{U_{\delta}^2} \right) - \text{реактивное сопротивление, от. ед.,}$$



## Задание 1.

---

### **Расчетная схема замещения простейшей системы электроснабжения**

Для соответствующего варианта (выдается преподавателем) для простейшей СЭС и силового оборудования выполнить:

1. Сформировать исходные данные своего варианта
2. Пронумеровать и обозначить на принципиальной схеме ступени напряжения
3. Выбрать базисные напряжения ступеней и базисную мощность для приближенного метода расчета
4. Рассчитать параметры схемы замещения в системе относительных единиц (результаты представить в виде таблицы)
5. Рассчитать параметры схемы замещения в системе именованных единиц (результаты представить в виде таблицы)
- 6. Нарисовать схему замещения**




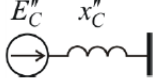
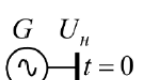
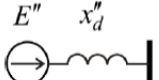
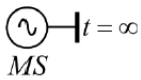
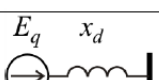
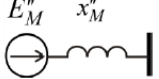
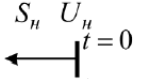
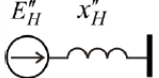
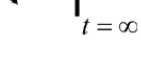
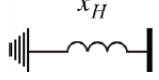
## Схема замещения

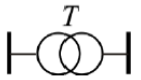
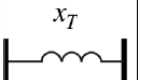
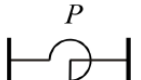
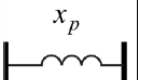
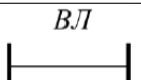
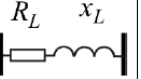
---

Для расчета токов КЗ составляется расчетная схема – упрощенная однолинейная схема электроустановки, в которой учитывают все источники питания (генераторы, синхронные компенсаторы, энергосистемы), трансформаторы, воздушные и кабельные линии, реакторы. При составлении расчетной схемы исходят из условий длительной работы электроустановок рассчитываемой сети.

По расчетной схеме составляется схема замещения, в которой указываются сопротивления всех элементов и намечаются точки для расчета токов КЗ. Генераторы, трансформаторы большой мощности, воздушные линии, реакторы обычно представляются в схеме замещения их индуктивными сопротивлениями, так как активные сопротивления во много раз меньше индуктивных. Кабельные линии 6-10 кВ, трансформаторы, мощностью до 1000 кВА в схеме замещения представляются индуктивными и активными сопротивлениями.

## Исходные данные

Наименование элемента	Принципиальная схема	Схема замещения	Расчетные выражения сопротивлений в именованных единицах
Система			$x_C'' = \frac{U_{\text{ср.н}}^2}{S_{\text{кз}}''}$
Синхронный генератор, синхронный двигатель	 $t = 0$		$x_d'' = x_{d^{*(н)}}'' \frac{U_{\text{НОМ}}^2}{S_{\text{НОМ}}}$
	 $t = \infty$ <i>MS</i>		$x_d = x_{d^{*(н)}} \frac{U_{\text{НОМ}}^2}{S_{\text{НОМ}}}$
Асинхронный двигатель	 $t = 0$		$x_{\text{Ад}}'' = \frac{U_{\text{НОМ}}^2}{I_{\text{п}^*} S_{\text{НОМ}}}$
Обобщенная нагрузка	 $t = 0$		$x_{\text{Н}}'' = 0,35 \frac{U_{\text{НОМ}}^2}{S_{\text{НОМ}}}$
	 $t = \infty$		$x_{\text{Н}} = 1,2 \frac{U_{\text{НОМ}}^2}{S_{\text{НОМ}}}$

Трансформатор			$x_T = \frac{u_{\text{к}\%} U_{\text{НОМ}}^2}{100 S_{\text{НОМ}}}$
Реактор			$x_p = \frac{x_{\text{p}\%} U_{\text{НОМ}}}{100 \sqrt{3} I_{\text{НОМ}}}$
Воздушная или кабельная линии			$R_L = r_0 l$ $x_L = x_0 l$
	