

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«МУРМАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

**Кафедра строительства,
энергетики и транспорта**

Методические указания
к контрольной работе для студентов

по дисциплине:

Электроэнергетика

для направления подготовки (специальности)

13.03.02

код направления подготовки

«Электроэнергетика и электротехника». Профиль – «Электроснабжение»

наименование направления подготовки

Для всех форм обучения

код и наименование специальности, форма обучения

Мурманск
2021

Составил: Васильева Елена Витальевна, доцент кафедры строительства, электроэнергетики и транспорта Мурманского государственного технического университета

Методические указания к контрольной работе студентов рассмотрены и одобрены на заседании кафедры СЭиТ 01.07. 2021 г., протокол № 05

Методические указания составлены на основе ФГОС ВО по направлению подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника», утвержденного приказом Минобрнауки РФ от 03.09.2015 № 955, учебного плана в составе ОПОП по направлению подготовки/специальности 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника», профиль «Электроснабжение».

Процесс изучения дисциплины «Электроэнергетика» направлен на формирование элементов следующих компетенций в соответствии с ФГОС ВО: ОПК-2. Способность применять соответствующий физико-математический аппарат, методы анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования при решении профессиональных задач.

ПК-5. Готовность определять параметры оборудования объектов профессиональной деятельности

В результате изучения дисциплины студент должен:

Знать: способы производства электроэнергии; методы расчета электрических нагрузок;

общие сведения об электрических станциях, подстанциях и ЛЭП; показатели качества электроэнергии и способы его обеспечения; компенсацию реактивной мощности.

Уметь: выполнять выбор основного электрооборудования РУ предприятий и подстанций и обосновывать его; производить расчет электрических нагрузок предприятия; выполнять расчет режимов работы электрических сетей предприятия; выполнять чертежи принципиальных электрических схем объектов профессиональной деятельности.

Владеть: методиками расчета электрических нагрузок предприятия; навыками построения схем и чертежей объектов профессиональной деятельности; анализом результатов, получаемых в результате расчета режимов работы предприятия.

ОГЛАВЛЕНИЕ

1 .ВВЕДЕНИЕ	4
2. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЕ	5
3. СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	10
4.ПРИЛОЖЕНИЕ 1	11

ВВЕДЕНИЕ

Контрольная работа это один из видов самостоятельной работы студентов, направленный на выявление уровня усвоения учебного материала по определенной теме дисциплины «Электроэнергетика» за определенный период обучения. Студентам предлагается произвести расчет токов короткого замыкания в сетях промышленного предприятия по заданному преподавателем варианту из Приложения 1.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЕ

Цель работы: освоить методику расчета токов короткого в промышленных электросетях.

1.Задание для контрольной работы

Промышленное предприятие получает электрическую энергию от энергосистемы ограниченной мощности и ТЭЦ с двумя турбогенераторами (рисунок 2). Требуется рассчитать:

1) периодическую составляющую тока I'' в начальный момент трехфазного короткого замыкания (КЗ) в заданных точках схемы;

2) определить ударный ток i_u и наибольшее действующее значение полного тока КЗ I_u в тех же точках.

Исходные данные по вариантам приведены в таблицах 14 – 18.

Выключатели, номера которых для заданного варианта не указаны (по таблице 14) – выключены.

Точки короткого замыкания К2 и К4 считать расположенными в середине линии.

Удельное индуктивное сопротивление линий электропередачи принимается равным 0,4 Ом/км.

По заданию преподавателя расчеты могут выполняться в относительных или именованных единицах.

2.Методические указания к выполнению задания

Для выполнения задания, рекомендуется следующий порядок расчета токов при трехфазном замыкании:

- а) по расчетной схеме (рисунок 2) составить схему замещения;
- б) привести схему замещения к наиболее простому виду;
- в) по закону Ома определить начальное значение периодической составляющей тока КЗ I'' , затем ударный ток i_u и наибольшее действующее значение полного тока КЗ I_u .

2.1 Составление схемы замещения

Схема замещения составляется для каждой расчетной точки КЗ.

В схеме замещения, составленной по расчетной схеме, трансформаторные связи заменяются электрическими. Элементы расчетной схемы, связывающие систему и генераторы, с местом КЗ, вводят в схему замещения сопротивлениями, а саму систему и генераторы -сопротивлениями и ЭДС. Сопротивления и ЭДС схемы замещения должны быть приведены к одной расчетной ступени напряжения в точке КЗ

$$\dot{E}'' = E'' (U_{cp} / U_b); \quad X'' = X'' (U_{cp} / U_b)^2,$$

где \dot{E}'' и X'' – соответственно приведенные значения ЭДС и сопротивления, U_{cp} – среднее напряжение ступени, с которой производится пересчет на базовое напряжение U_b .

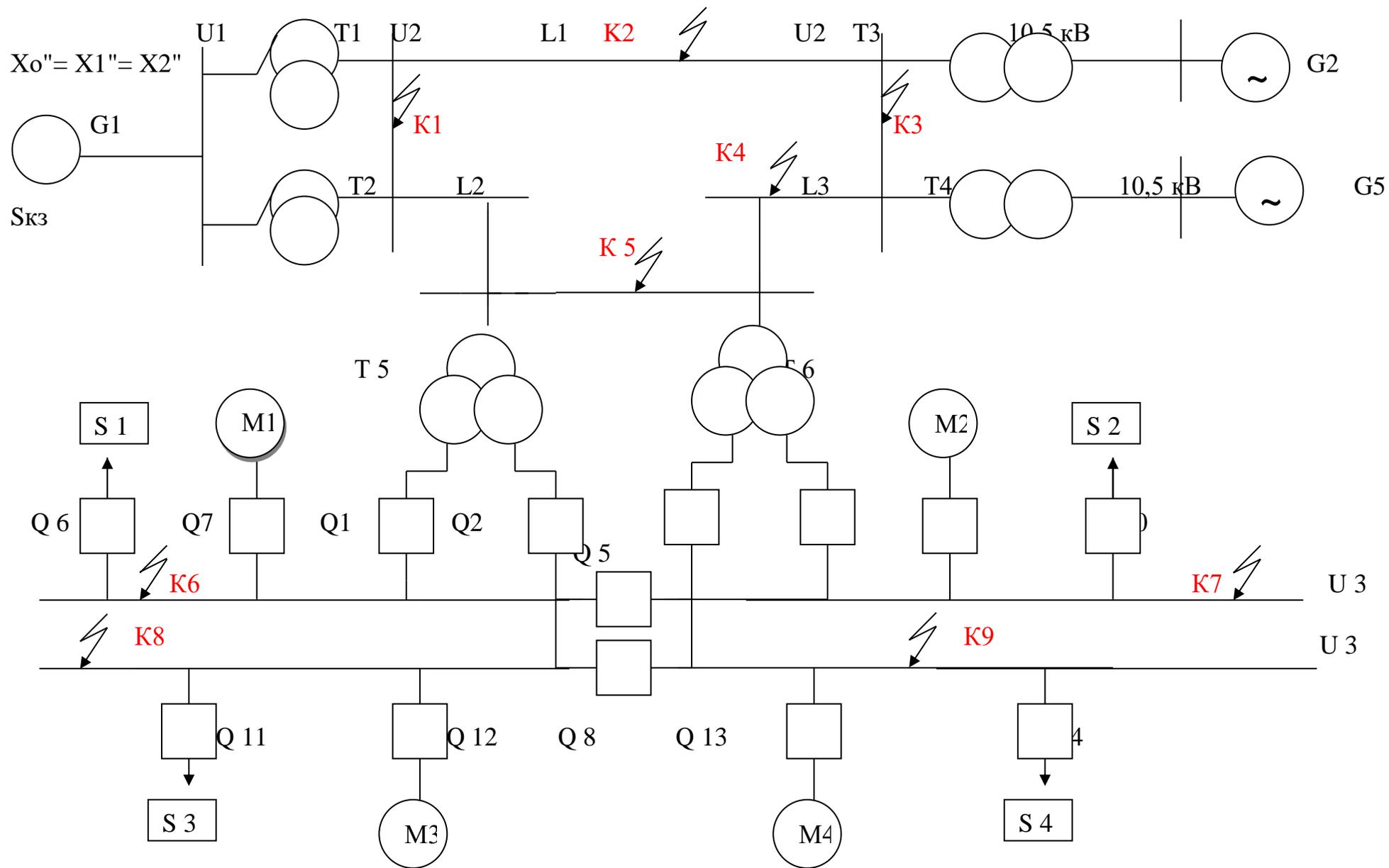


Рисунок 2 – Расчетная схема электроснабжения промышленного предприятия

2.2 Определение сопротивлений элементов схемы замещения

Сопротивления всех элементов схемы замещения следует привести к базовым единицам, за базовую мощность S_b рекомендуется принять 100 или 1000 МВ · А. За базовое напряжение U_b принимается среднее напряжение $U_{ср}$ в соответствующей точке КЗ по шкале 6,3; 10,5; 37; 115; 230; 340 кВ.

Расчетные выражения сопротивления приведены в таблице 19.

2.3 Преобразование схемы замещения

С помощью преобразований схема замещения упрощается и приводится к наиболее простому виду (рисунок № 3).

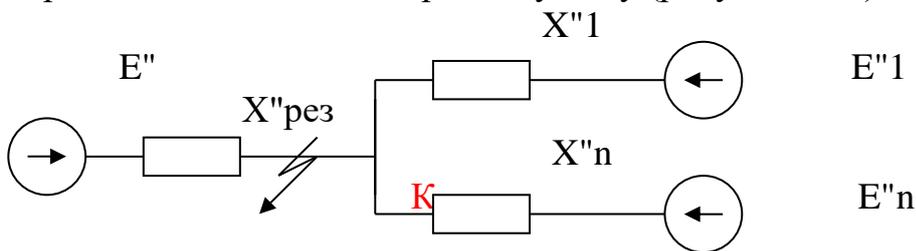


Рисунок – 3 Окончательная схема замещения для расчета токов КЗ

Основные пути упрощения схемы замещения:

- замена параллельно, последовательно или смешанно включенных сопротивлений элементов одним эквивалентным;
- преобразование «треугольника» в эквивалентную «звезду» и наоборот;
- замена двух или нескольких источников питания одним эквивалентным.

При упрощении схемы замещения следует придерживаться определенной последовательности операций. Преобразование схемы замещения выполняется в направлении от источников питания к месту КЗ.

Каждому сопротивлению схемы замещения присваивается определенный номер, который сохраняется до конца расчета. Номер сопротивления и его численной значение проставляются около соответствующего символа в виде дроби: числитель – номер сопротивления, знаменатель – его численной значение в относительных или именованных единицах.

Полученная путем окончательного преобразования схема замещения (рисунок 3) содержит несколько генерирующих ветвей: от системы, от ТЭЦ, от синхронных и асинхронных двигателей, от общей нагрузки.

2.4 Определение начального значения периодической составляющей тока КЗ

Начальное значение периодической составляющей тока КЗ определяют отдельно для каждой генерирующей ветви по формулам:

$$I''^i = (E''^i / X''^i) I_b, \text{ кА}$$

где E''^i – начальное значение ЭДС генерирующей ветви; X''^i – индуктивное сопротивление генерирующей ветви; I_b – базовый ток, кА:

$$I_b = S_b / \sqrt{3} U_b,$$

где S_b – базовая мощность, МВ•А; U_b – базовое напряжение, кВ.

При этом принимают следующие значения ЭДС $E''_{отн}$, выраженные в относительных единицах, приведенных к номинальным условиям:

- а) для системы $E''_{отн} = 1,0$;
- б) для турбогенераторов $E''_{отн} = 1,08$;
- в) для синхронных двигателей $E''_{отн} = 1,1$;
- г) для асинхронных двигателей $E''_{отн} = 0,9$;
- д) для обобщенной нагрузки $E''_{отн} = 0,85$.

Результирующая ЭДС $E''_{отн \text{ рез}}$ рез отдельных источников питания находят по формуле:

$$E''_{отн \text{ рез}} = \left(\sum_{i=1}^n E''_{отн i} / X_{i \text{ отн}} \right) \cdot \left(\sum_{i=1}^n 1 / X_{i \text{ отн}} \right),$$

где $X_{i \text{ отн}}$ – приведенное сопротивление генерирующей ветви.

Суммарное значение периодической составляющей определяют по формуле:

$$I'' = \sum_{i=1}^n I''^i$$

2.5 Определение ударного тока КЗ

В разветвленной схеме с несколькими генерирующими ветвями ударный ток КЗ определяют по выражению:

$$i_y = \sum_{i=1}^n i_{y i},$$

где $i_{y i}$ – ударный ток КЗ в отдельной генерирующей ветви.

Для каждой генерирующей ветви ударный ток КЗ находят из условия:

$$i_y = K_y \sqrt{2} I'',$$

где K_y – ударный коэффициент, $K_y = 1 + e^{-0,01/T_a}$,

T_a – постоянная времени затухания апаериодической составляющей тока КЗ, с.

Для генерирующих ветвей от асинхронных двигателей K_y определяют по выражению:

$$K_y = 1 + e^{-0,01/T_n} + e^{-0,01/T_a},$$

где T_n – постоянная времени затухания периодической составляющей силы тока, с.

2.6 Определение наибольшего действующего значения тока КЗ

В разветвленной схеме наибольшее действующее значение тока КЗ I_y определяется арифметической суммой в отдельных ветвях I_{yi} :

$$I_y = \sum_{i=1}^n I_{yi} .$$

Общее выражение для отдельной генерирующей ветви:

$$I_y = I'' \sqrt{(1 + 2(K_y - 1))^2} .$$

Для генерирующих ветвей от асинхронных двигателей:

$$I_y = I'' \sqrt{\left(e^{-0,01/T_n} \right)^2 + \left(e^{-0,01/T_a} \right)^2}$$

Список рекомендуемой литературы

1. Быстрицкий Г.Ф. Основы энергетики. – М.: КноРус, 2013. – 278 с. ил.
2. Герасименко А.А. Передача и распределение электрической энергии. – М.: КноРус, 2015. – 724 с. ил.
3. Кудрин Б.И. Электроснабжение. – М.: Академия, 2013. – 672 с. ил.
4. Кудрин Б.И. Электроснабжение. – М.: Академия, 2013. – 672 с. ил.
5. Шаров Ю.В. Электроэнергетика. – М.: Инфра-М, 2016. – 384 с. ил.
6. Кудинов А.А. Тепловые электрические станции. Схемы и оборудование: Учебное пособие. – М.: Инфра-М, 2015. – 376 с. ил.
7. Грунтович Н.В. Монтаж, наладка и эксплуатация электрооборудования. – М.: Инфра-М, 2013. – 271 с. ил.
8. Анчарова Т.В. Электроснабжение и электрооборудование зданий и сооружений: Учебник. – М.: Инфра-М, 2016. – 416 с. ил.
9. Сибикин Ю.Д. Технология энергоснабжения: Учебник – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Форум, 2015. – 352 с. ил.
10. Сибикин Ю.Д. Электрические подстанции. – М.: РадиоСофт, 2014. – 141 с. ил.
11. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии/ под ред. В.В. Денисова. – М.: Феникс, 2015. – 382 с. ил.
12. Шабад В.К. Электромеханические переходные процессы в электроэнергетических системах. – М.: Академия, 2013. – 193 с. ил.
13. Сибикин Ю.Д., Сибикин М.Ю. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии. – М.: КноРус, 2016. – 240 с. ил.
14. Важов В.Ф. Техника высоких напряжений: Учебник. – М.: Инфра-М, 2016. – 264 с. ил.
15. Ушаков В.Я. Электроэнергетические системы и сети. – М.: Юрайт, 2016. – 446 с. ил.
16. Климова Г.Н. Электроэнергетические системы и сети. Энергосбережение. 2-е изд. – М.: Юрайт, 2016. – 179 с. ил.
17. Бачаров Ю.Н. Техника высоких напряжений. – М.: Юрайт, 2016. – 264 с. ил.
18. Хрущев Ю.В. Электроэнергетические системы и сети. Электрические переходные процессы. – М.: Юрайт, 2016. – 153 с. ил.
19. Исмагилов Ф.Р. Основные вопросы проектирования воздушных линий электропередач: Учебное пособие. – М.: Машиностроение, 2015. – 211 с. ил.
20. Фролов Ю.М., Шелякин В.П. Основы электроснабжения. – СПб.: Лань, 2013. – 432 с. ил.
21. Почаевец В.С. Электрические подстанции: Учебник. – М.: Маршрут, 2012. – 492 с. ил.

Приложение 1

Таблица 14 – Исходные данные

№ варианта	Точки КЗ	Скз, МВ•А	U 1 /U 2 /U 3, кВ	L 1 /L 2 /L 3, км	Номера выключателей находящихся в включенном состоянии	Q, во
1	1 4 6	4500	330 / 220 / 10	120 / 140 / 100	1, 4, 5, 6, 7, 9	
2	2 5 7					
3	3 2 6					
4	4 3 7					
5	5 1 6					
6	1 5 8	2500	220 / 110 / 6	40 / 60 / 50	2, 5, 8, 11, 12, 13, 14	
7	2 4 8					
8	3 1 9					
9	4 2 8					
10	5 3 9					
11	1 2 6	4000	330 / 220 / 6	100 / 170 / 80	1, 4, 5, 7, 9, 10	
12	2 3 7					
13	3 4 6					
14	4 5 7					
15	5 1 6					
16	1 2 8	2000	220 / 110 / 10	60 / 50 / 30	2, 3, 8, 12, 13, 14	
17	2 3 9					
18	3 4 8					
19	4 5 8					
20	5 1 9					
21	1 3 6	3500	330 / 110 / 6	70 / 80 / 40	1, 4, 5, 6, 7, 9, 10	
22	2 4 7					
23	3 5 6					
24	4 1 7					
25	5 2 6					
26	1 4 9	3000	330 / 110 / 10	40 / 60 / 50	2, 3, 8, 11, 12, 13	
27	1 4 8					
28	3 2 9					
29	4 5 9					
30	5 1 8					

Таблица 15 – Автотрансформаторы Т1 и Т2

№ варианта	Sn обмоток, МВ•А			Un обмоток, кВ			Uк между обмотками, %		
	В	С	Н	В	С	Н	В - С	В - Н	С - Н
1 – 5	240	240	-	330	242	11	9,6	74	60
6 – 10	200	200	-	230	121	6,6	11	32	20
11 – 15	240	240	-	330	242	11	7,3	70	60
16 – 20	125	125	-	230	121	6,6	11	45	28
21 – 25	200	200	-	330	115	10,5	10	34	22,5
26 – 30	125	125	-	330	115	6,3	10	35	24

Таблица – 16 Генераторы G2 и G3, трансформаторы T3 и T4

№ варианта	Генераторы G2 и G3			Трансформаторы T3и T4	
	P _н , МВт	cos φ	X''d, %	S _н , МВ•А	U _к , %
1 – 10	60	0,8	19,5	63	10,5
11 – 20	63	0,8	18	63	10,5
21 - 30	100	0,8	19,1	125	10,5

Таблица 17 – Трансформаторы T5 и T6

№ варианта	S _н , МВ•А	U _к , %	№ варианта	S _н , МВ•А	U _к , %
1 – 5	40	12	16 – 20	40	10, 5
6 – 10	125	10,5	21 – 25	63	10, 5
11 - 15	63	12	26 - 30	80	10, 5

Таблица 18 – Электрические нагрузки

№ варианта	Асинхронные двигатели M1 и M3			Синхронные двигатели M2 и M4			Обобщенная нагрузка, МВ•А			
	P _н , МВт	cos φ	I _п / I _н	P _н , МВт	cos φ	X''d, %	S1	S2	S3	S4
1 – 5	3,2	0,86	5,2	4	0,9	14,3	10	20	20	10
6 – 10	8	0,92	5,6	10	0,93	12,6	50	60	40	50
11 – 15	4	0,87	5,3	6,3	0,89	15,2	20	30	10	40
16 – 20	2,5	0,85	5	4	0,95	14,3	20	10	10	20
21 – 25	3,2	0,86	5,2	5	0,87	13,7	30	10	20	20
26 - 30	5	0,9	5,4	8	0,92	14,5	40	50	20	30

Таблица 19 - Расчетные формулы для определения сопротивлений схемы замещения

Элемент схемы	Исходный параметр	Именованные единицы, Ом	Относительные единицы
<i>Система</i>	$S_{кз}$	$X'' = U_{б}^2 / S_{кз}$	$X''_{отн} = S_{б} / S_{кз}$
Генератор	$S_H, X''_d, \%$	$X'' = (X''_d \% / 100) \cdot (U_{б}^2 / S_H)$	$X''_{отн} = (X''_d \% / 100) \cdot (S_{б} / S_H)$
Автотрансформатор	$U_{к\text{ в-с}}, \%, S_H$	$X'' = (U_{к\text{ в-с}} \% / 100) \cdot (U_{б}^2 / S_H)$	$X''_{отн} = (U_{к\text{ в-с}} \% / 100) \cdot (S_{б} / S_H)$
Трансформатор	$U_k, \%, S_H$	$X'' = (U_k \% / 100) \cdot (U_{б}^2 / S_H)$	$X''_{отн} = (U_k \% / 100) \cdot (S_{б} / S_H)$
Трансформатор с расщепленной обмоткой	$U_{к\text{ в}}, \%, U_{к\text{ н1}}, \%, U_{к\text{ н2}}, \%, S_H$	$X'' = (U_{к\text{ в}} \% + U_{к\text{ н}} \%) / 100 \cdot (U_{б}^2 / S_H)$	$X''_{отн} = (U_{к\text{ в}} \% + U_{к\text{ н}} \%) / 100 \cdot (S_{б} / S_H)$
ЛЭП	X_0, L	$X'' = (X_0 L) \cdot (U_{б}^2 / U_{ср}^2)$	$X''_{отн} = (X_0 L) \cdot (S_{б} / U_{ср}^2)$
Асинхронный двигатель	$I_n / I_H, S_H$	$X'' = (I_n / I_H) \cdot (U_{б}^2 / S_H)$	$X''_{отн} = (I_n / I_H) \cdot (S_{б} / S_H)$
Синхронный двигатель	$X''_d, \%, S_H$	$X'' = (X''_d \% / 100) \cdot (U_{б}^2 / S_H)$	$X''_{отн} = (X''_d \% / 100) \cdot (S_{б} / S_H)$
Обобщенная нагрузка	S_H	$X'' = 0,35 (U_{б}^2 / S_H)$	$X''_{отн} = 0,35 (S_{б} / S_H)$