

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

«СТАВРОПОЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ»

Институт механики и энергетики

Кафедра Электроснабжения и эксплуатации электрооборудования

Методические указания

по выполнению и защите курсовой работы по дисциплине «Переходные
процессы в электроэнергетических системах» для студентов очной, и заочной
форм обучения направления подготовки

13.03.02 Электроэнергетика и электротехника,
профиль - системы электроснабжения городов, промышленных предприятий,
сельского хозяйства, и их объектов

Ставрополь 2026

Методические указания к выполнению курсовой работы по дисциплине «Переходные процессы в электроэнергетических системах» для студентов электроэнергетического факультета, обучающихся по направлению подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника», профилю подготовки «Системы электроснабжения городов, промышленных предприятий, сельского хозяйства, и их объектов».

В методических указаниях к выполнению курсовой работы даны краткие сведения из теории, порядок выполнения курсовой работы, требуемый порядок оформления и защиты курсовой работы.

Составитель: доцент кафедры электроснабжения и эксплуатации электрооборудования, кандидат физико-математических наук, доцент Ястребов С.С.

Содержание

1 Цели и задачи работы	4
2 Рекомендуемые темы курсовых работ	4
3 Требования к структуре работы с описанием требований и рекомендаций к каждому разделу	20
4 Список рекомендованных основных и дополнительных источников литературы.....	22
5 Требования к защите работы	23
6 Критерии оценки работы	24
Приложение 1	27
Приложение 2	28
Приложение 3	30

1 Цели и задачи работы

Цель выполнения курсовой работы по дисциплине «Переходные процессы в электроэнергетических системах» заключается в приобретении навыков расчета токов коротких замыканий в системах электроснабжения.

Задачи работы:

- расчёт установившегося тока для заданных типов коротких замыканий и ударный ток для трехфазных коротких замыканий в заданных точках расчетной схемы;

- для заданного элемента сети построить графики мгновенного значения тока в фазах $i(t)$

- построение векторных диаграмм токов и напряжений в заданных точках расчетной схемы в аварийных режимах.

2 Рекомендуемые темы курсовых работ

Тема курсовой работы «Расчет аварийных режимов работы системы электроснабжения», задание выдается студентам индивидуально, по вариантам

Задание для выполнения курсовой работы.

Рассчитать установившийся ток для всех типов коротких замыканий и ударный ток для трехфазных коротких замыканий в заданных точках. В точке 1 рассчитать токи трехфазного, двухфазного на землю и однофазного на землю короткого замыкания, в точке 2 рассчитать токи двухфазного и трехфазного короткого замыкания, построить векторные диаграммы токов и напряжений установившегося аварийного режима в месте повреждения для несимметричных коротких замыканий. Для заданного элемента сети построить графики мгновенного значения тока в фазах $i(t)$ в диапазоне $t= 0..1$ с (за ноль принимается время возникновения аварийного режима) при трехфазном коротком замыкании в точке 2, без учета нагрузочного тока

предшествующего режима. В графической части должны быть приведены: исходная схема, расчётные схемы, векторные диаграммы, графики тока $i(t)$.

Задание выполняется по вариантам, которые приведены в таблице 1.

При расчетах принять следующее:

1. РПН трансформаторов в среднем положении (номинальный коэффициент трансформации)

2. Базовые номинальные напряжения ступеней:

I – 10,5 кВ

II – 115 кВ

III – 10,5 кВ

IV – 38,5 кВ

V – 230 кВ

3. Базовая мощность $S_b=1000$ МВА, нагрузки рассчитываются с использованием усредненных параметров $X''=0,35$

4. Средние значения ЭДС в момент возникновения КЗ в относительных единицах при номинальных условиях для:

электроэнергетических систем GS 1,0

турбогенераторов мощностью до 100 МВт 1,08

турбогенераторов мощностью 100–500 МВт 1,13

гидрогенераторов с демпферными обмотками 1,13

синхронных компенсаторов 1,20

синхронных электродвигателей 1,1

асинхронных электродвигателей 0,9

обобщенной нагрузки 0,85

5. Значения активных сопротивлений для отдельных элементов схемы замещения определяются приближенно из рекомендованных для элементов ЭЭС соотношений x/r .

для системы GS $x/r=50$

генераторов G1, G2, $x/r=45$

Для линий, трансформаторов используются соответствующие параметры, рассчитываемы из их паспортных данных (таблица 2-4 руководящие указания к РЗ, вып. 11), для нагрузки принять $\cos\varphi=0,8$.

6. Для системы принять $SGS = 1200 \text{ МВ}\cdot\text{А}$; $X(1)=0,25$, $X(1)=X(2)$; $X(0)=1,5\cdot X(1)$; Для трансформаторов и для обобщенной нагрузки принять $X(1)=X(2)=X(0)$.

7. Для воздушных ВЛ принять $X(1)=X(2)$, $X(0)=3,5\cdot X(1)$ для одноцепных ВЛ, $X(0)=5,5\cdot X(1)$ для двухцепных ВЛ

Таблица 1. Данные для расчетов

№ варианта	Л1	Л2	Л3	Л4	Л5	Л6	Г1, Г2	Т1	Т2	Т3	Т4	LR1	LR2	SH1, МВА	SH2, МВА	SH3, МВА	SH4, МВА	Точка 1	Точка 2	Элемент для построения i(t)	№ Схемы
1.	АС-120 30 км	АС-150 20 км	АС-185 35 км	АС-50 15 км	ААБ-95 5 км	-	ТВС-32-2УЗ	ТД-40000/ 110-У1	ТД-40000/110-У1	ТДН-16000/ 110	ТМН-6300/10	-	РБДГ 10-2500-0,35	10	5	2	1,5	К1	К4	Л3	1
2.	АС-150 45 км	АС-120 20 км	АС-150 15 км	АС-50 10 км	ААБ-95 4 км	АС0-240 30 км	ТВФ-63-2УЗ	ТД-63000/ 110-У1	-	ТРДН-25000/ 110	ТРДН-25000/ 110	-	РБДГ 10-2500-0,25	10	10	3	2	К1	К4	Л6	2
3.	АС-150 45 км	АС-185 15 км	АС-240 30 км	АС-50 20 км	ААБ-95 6 км	-	ТВФ-63-2Е	ТД-63000/ 110-У1	ТД-63000/110-У1	ТДН-10000/ 110	ТМН-2500/10	РБДГ 10-2500-0,2	РБДГ 10-2500-0,25	8	5	3	1	К1	К4	Л2	3
4.	АС-185 15 км	АС-150 20 км	АС-240 50 км	АС-50 10 км	ААБ-120 3 км	-	ТВФ-120-2УЗ	ТДЦ-125000/ 110-У1	АТДЦГН-63000/20/110	ТДН-10000/ 110	ТМН-16000/ 110	-	РБДГ 10-2500-0,25	9	10	1	4	К1	К4	Л1	4
5.	АС-185 15 км	АС-150 20 км	АС-240 50 км	АС-70 10 км	АС-95 3 км	-	ТВФ-110-2	ТДЦ-125000/ 110-У1	-	ТДТН-16000/ 110	ТДТН-25000/ 110	-	РБДГ 10-2500-0,25	5	10	10	12	К1	К4	Т3**	5
6.	АС-120 10 км	АС-185 25 км	АС-150 30 км	АС-70 12 км	АС-95 15 км	АС-70 15 км	Т-6-2УЗ	ТД-16000/ 110-У1	АТДЦГН-125000/20/110	ТДТН-25000/ 110	ТДТН-40000/ 110	-	РБДГ 10-2500-0,25	2	5	15	10	К1	К4	Т1**	6
7.	АС-240* 60 км	АС-150 28 км	АС-185 20 км	АС-70 15 км	ААБ-95 5 км	АС0-240 30 км	ТВФ-63-2УЗ	ТДЦ-100000/ 110-У1	-	ТРДН-16000/ 110	ТРДН-16000/ 110	РБДГ 10-4000-0,18	РБДГ 10-2500-0,25	8	9	3	4	К1	К4	Л3	7
8.	АС-185 15 км	АС-150 20 км	АС-240 50 км	АС-50 15 км	ААБ-95 5 км	-	ТВФ-63-2УЗ	ТД-63000/ 110-У1	ТД-40000/110-У1	ТДН-16000/ 110	ТМН-6300/10	-	РБДГ 10-2500-0,35	10	5	2	1,5	К2	К5	Л1	1
9.	АС-185 15 км	АС-150 20 км	АС-240 50 км	АС-50 10 км	ААБ-95 4 км	АС0-240 30 км	ТВФ-63-2Е	ТД-63000/ 110-У1	-	ТРДН-25000/ 110	ТРДН-25000/ 110	-	РБДГ 10-2500-0,25	10	10	3	2	К2	К5	Л2	2
10.	АС-120 10 км	АС-185 25 км	АС-150 30 км	АС-50 20 км	ААБ-95 6 км	-	ТВФ-120-2УЗ	ТДЦ-125000	ТДЦ-125000/110-У1	ТДН-10000/ 110	ТМН-2500/10	РБДГ 10-	РБДГ 10-2500-0,25	8	5	3	1	К2	К5	Л3	3

№ варианта	Л1	Л2	Л3	Л4	Л5	Л6	Г1, Г2	Т1	Т2	Т3	Т4	LR1	LR2	SH1, MBA	SH2, MBA	SH3, MBA	SH4, MBA	Точка 1	Точка 2	Элемент для построения i(t)	№ Схемы
								/110-У1				4000-0,18									
11.	АС-240* 60 км	АС-150 28 км	АС-185 20 км	АС-50 10 км	ААБ-120 3 км	-	ТВФ-110-2	ТДЦ-125000 /110-У1	АТДЦТН-200000/20/110	ТДН-10000/ 110	ТДН-16000/ 110	-	РБДГ 10-2500-0,25	9	10	1	4	К2	К5	Л1	4
12.	АС-120 30 км	АС-150 20 км	АС-185 35 км	АС-70 10 км	АС-95 3 км	-	Т-6-2У3	ТД-16000/ 110-У1	-	ТДТН-16000/ 110	ТДТН-25000/ 110	-	РБДГ 10-2500-0,25	5	10	10	12	К2	К5	Т3**	5
13.	АС-150 45 км	АС-120 20 км	АС-150 15 км	АС-70 12 км	АС-95 15 км	АС-70 15 км	ТВФ-63-2У3	ТДЦ-100000 /110-У1	АТДЦТН-125000/20/110	ТДТН-25000/ 110	ТДТН-40000/ 110	-	РБДГ 10-2500-0,25	2	5	15	10	К2	К5	Т4**	6
14.	АС-150 45 км	АС-185 15 км	АС-240 30 км	АС-70 15 км	ААБ-95 5 км	АС0-240 30 км	ТВС-32-2У3	ТД-40000/ 110-У1	-	ТРДН-25000/ 110	ТРДН-25000/ 110	РБДГ 10-2500-0,35	РБДГ 10-2500-0,25	10	10	3	4	К2	К5	Л2	7
15.	АС-185 40 км	АС-150 10 км	АС-150 45 км	АС-50 12 км	ААБ-95 5 км	-	ТВФ-120-2У3	ТДЦ-125000 /110-У1	ТДЦ-125000/10-У1	ТДН-10000/ 110	ТМН-6300/10	-	РБДГ 10-2500-0,35	10	5	2	1,5	К3	К6	Л1	1
16.	АС-150 25 км	АС-120 15 км	АС-150 20 км	АС-50 15 км	ААБ-120 4 км	АС-185 45 км	ТВФ-110-2	ТДЦ-125000 /110-У1	-	ТРДН-16000/ 110	ТРДН-16000/ 110	-	РБДГ 10-2500-0,25	10	10	3	2	К3	К6	Л6	2
17.	АС-150 45 км	АС-185 15 км	АС-240 30 км	АС-50 20 км	ААБ-95 6 км	-	Т-6-2У3	ТД-16000/ 110-У1	ТД-63000/110-У1	ТДН-16000/ 110	ТМН-6300/10	РБДГ 10-2500-0,2	РБДГ 10-2500-0,25	8	5	3	1	К3	К6	Л2	3
18.	АС-185 15 км	АС-150 20 км	АС-240 50 км	АС-50 10 км	ААБ-120 3 км	-	ТВФ-63-2У3	ТДЦ-100000 /110-У1	АТДЦТН-63000/20/110	ТДН-10000/ 110	ТМН-16000/ 110	-	РБДГ 10-2500-0,25	9	10	1	4	К3	К6	Л3	4
19.	АС-185 15 км	АС-150 40 км	АС-240 30 км	АС-70 10 км	АС-95 3 км	-	ТВС-32-2У3	ТД-40000/ 110-У1	-	ТДТН-16000/ 110	ТДТН-25000/ 110	-	РБДГ 10-2500-0,25	5	10	10	12	К3	К6	Т4**	5

№ варианта	Л1	Л2	Л3	Л4	Л5	Л6	Г1, Г2	Т1	Т2	Т3	Т4	LR1	LR2	SH1, МВА	SH2, МВА	SH3, МВА	SH4, МВА	Точка 1	Точка 2	Элемент для построения i(t)	№ Схемы
20.	АС-120 10 км	АС-185 15 км	АС-150 40 км	АС-70 12 км	АС-95 15 км	АС-70 15 км	ТВФ-63-2У3	ТД-63000/ 110-У1	АТДЦТН- 125000/2 20/110	ТДТН-25000/ 110	ТДТН-40000/ 110	-	РБДГ 10-2500- 0,25	2	5	15	10	К3	К6	Т3**	6
21.	АС-240* 60 км	АС-120 20 км	АС-150 15 км	АС-70 15 км	ААБ-95 5 км	-	ТВФ-63-2Е	ТД-63000/ 110-У1	-	ТРДН-16000/ 110	ТРДН-16000/ 110	РБДГ 10-4000- 0,18	РБДГ 10-2500- 0,25	8	9	3	4	К3	К6	Л3	7
22.	АС-120 30 км	АС-185 15 км	АС-240 30 км	АС-50 15 км	ААБ-95 5 км	-	ТВФ-120- 2У3	ТДЦ-125000 /110- У1	ТД-40000/11 0-У1	ТДН-16000/ 110	ТМН-6300/1 10	-	РБДГ 10-2500- 0,35	10	5	2	1,5	К1	К7	Л2	1
23.	АС-150 45 км	АС-150 20 км	АС-240 50 км	АС-50 10 км	ААБ-95 4 км	АС0-240 30 км	ТВФ-110-2	ТДЦ-125000 /110- У1	-	ТРДН-25000/ 110	ТРДН-25000/ 110	-	РБДГ 10-2500- 0,25	10	10	3	2	К1	К7	Л5	2
24.	АС-150 45 км	АС-150 20 км	АС-240 50 км	АС-50 20 км	ААБ-95 6 км	-	Т-6- 2У3	ТД-16000/ 110-У1	ТД-63000/11 0-У1	ТДН-10000/ 110	ТМН-2500/1 10	РБДГ 10-2500- 0,2	РБДГ 10-2500- 0,25	8	5	3	1	К1	К7	Л2	3
25.	АС-185 15 км	АС-185 25 км	АС-150 30 км	АС-50 10 км	ААБ-120 3 км	-	ТВФ-63-2У3	ТДЦ-100000 /110- У1	АТДЦТН- 63000/22 0/110	ТДН-10000/ 110	ТМН-16000/ 110	-	РБДГ 10-2500- 0,25	9	10	1	4	К1	К7	Л1	4
26.	АС-185 15 км	АС-150 28 км	АС-185 20 км	АС-70 10 км	АС-95 3 км	-	ТВС-32-2У3	ТД-40000/ 110-У1	-	ТДТН-16000/ 110	ТДТН-25000/ 110	-	РБДГ 10-2500- 0,25	5	10	10	12	К1	К7	Т3**	5
27.	АС-120 10 км	АС-150 20 км	АС-185 35 км	АС-120 12 км	АС-120 15 км	АС-70 15 км	ТВФ-63-2У3	ТД-63000/ 110-У1	АТДЦТН- 125000/2 20/110	ТДТН-40000/ 110	ТДТН-40000/ 110	-	РБДГ 10-2500- 0,25	2	5	25	25	К1	К7	Л1	6
28.	АС-240* 60 км	АС-120 20 км	АС-150 15 км	АС-70 15 км	ААБ-95 5 км	-	ТВФ-63-2Е	ТД-63000/ 110-У1	-	ТРДН-10000/ 110	ТРДН-16000/ 110	РБДГ 10-4000- 0,18	РБДГ 10-2500- 0,25	8	9	3	4	К1	К7	Л1	7

№ варианта	Л1	Л2	Л3	Л4	Л5	Л6	Г1, Г2	Т1	Т2	Т3	Т4	LR1	LR2	SH1, МВА	SH2, МВА	SH3, МВА	SH4, МВА	Точка 1	Точка 2	Элемент для построения i(t)	№ Схемы
29.	АС-120 30 км	АС-185 15 км	АС-240 30 км	АС-50 15 км	ААБ-95 5 км	-	ТВФ-120-2У3	ТДЦ-125000/110-У1	ТД-40000/110-У1	ТДН-10000/110	ТМН-6300/110	-	РБДГ 10-2500-0,35	10	5	2	1,5	К2	К5	Л1	1
30.	АС-150 45 км	АС-150 20 км	АС-240 50 км	АС-50 10 км	ААБ-95 4 км	АС0-240 30 км	ТВФ-110-2	ТДЦ-125000/110-У1	-	ТРДН-16000/110	ТРДН-16000/110	-	РБДГ 10-2500-0,25	10	10	3	2	К2	К5	Л2	2
31.	АС-150 45 км	АС-150 20 км	АС-240 50 км	АС-50 20 км	ААБ-95 6 км	-	Т-62-2У3	ТДЦ-100000/110-У1	ТД-63000/110-У1	ТДН-10000/110	ТМН-2500/110	РБДГ 10-4000-0,1	РБДГ 10-2500-0,25	8	5	3	1	К2	К5	Л3	3
32.	АС-185 15 км	АС-185 25 км	АС-150 30 км	АС-50 10 км	ААБ-120 3 км	-	ТВФ-63-2У3	ТДЦ-100000/110-У1	АТДЦТН-63000/220/110	ТДН-10000/110	ТМН-16000/110	-	РБДГ 10-2500-0,25	9	10	1	4	К2	К8	Л2	4
33.	АС-185 15 км	АС-150 28 км	АС-185 20 км	АС-70 10 км	АС-95 3 км	-	ТВС-32-2У3	ТД-40000/110-У1	-	ТДТН-16000/110	ТДТН-25000/110	-	РБДГ 10-2500-0,25	5	10	10	12	К2	К5	Т3**	5
34.	АС-120 10 км	АС-150 20 км	АС-185 35 км	АС-70 12 км	АС-95 15 км	АС-70 15 км	ТВФ-63-2У3	ТД-63000/110-У1	АТДЦТН-125000/220/110	ТДТН-40000/110	ТДТН-25000/110	-	РБДГ 10-2500-0,25	2	5	10	15	К2	К8	Т1**	6
35.	АС-240* 60 км	АС-120 20 км	АС-150 15 км	АС-70 15 км	ААБ-95 5 км	-	ТВФ-63-2Е	ТД-63000/110-У1	-	ТРДН-25000/110	ТРДН-25000/110	РБДГ 10-4000-0,18	РБДГ 10-2500-0,25	15	15	3	4	К2	К5	Л3	7
36.	АС-120 30 км	АС-185 15 км	АС-240 30 км	АС-50 15 км	ААБ-95 5 км	-	ТВФ-120-2У3	ТДЦ-125000/110-У1	ТД-40000/110-У1	ТДН-16000/110	ТМН-6300/110	-	РБДГ 10-2500-0,35	10	5	2	1,5	К3	К4	Т4**	1
37.	АС-150 45 км	АС-150 20 км	АС-240 50 км	АС-50 10 км	ААБ-95 4 км	АС0-240 30 км	ТВФ-110-2	ТДЦ-125000/110-У1	-	ТРДН-16000/110	ТРДН-16000/110	-	РБДГ 10-2500-0,25	10	10	3	2	К3	К4	Л3	2

№ варианта	Л1	Л2	Л3	Л4	Л5	Л6	Г1, Г2	Т1	Т2	Т3	Т4	LR1	LR2	SH1, MBA	SH2, MBA	SH3, MBA	SH4, MBA	Точка 1	Точка 2	Элемент для построения i(t)	№ Схемы
38.	АС-150 45 км	АС-150 20 км	АС-240 50 км	АС-50 20 км	ААБ-95 6 км	-	Т-6-2УЗ	ТД-16000/ 110-У1	ТД-63000/110-У1	ТДН-16000/ 110	ТМН-6300/10	РБДГ 10-2500-0,35	РБДГ 10-2500-0,25	8	5	3	1	К3	К4	Л1	3
39.	АС-185 15 км	АС-185 25 км	АС-150 30 км	АС-50 10 км	ААБ-120 3 км	-	ТВФ-63-2УЗ	ТДЦ-100000/ 110-У1	АТДЦГН-63000/220/110	ТДН-16000/ 110	ТМН-10000/ 110	-	РБДГ 10-2500-0,25	9	10	1	4	К3	К9	Л3	4
40.	АС-185 15 км	АС-120 18 км	АС-150 10 км	АС-70 10 км	АС-95 3 км	-	ТВС-32-2УЗ	ТД-40000/ 110-У1	-	ТДТН-16000/ 110	ТДТН-25000/ 110	-	РБДГ 10-2500-0,25	5	10	10	12	К3	К4	Т4**	5
41.	АС-120 10 км	АС-150 20 км	АС-185 35 км	АС-70 12 км	АС-95 15 км	АС-70 11 км	ТВФ-63-2УЗ	ТД-63000/ 110-У1	АТДЦГН-125000/220/110	ТДТН-16000/ 110	ТДТН-25000/ 110	-	РБДГ 10-2500-0,25	2	5	15	10	К3	К9	Л1*	6
42.	АС-240* 50 км	АС-120 20 км	АС-150 15 км	АС-70 15 км	ААБ-95 5 км	-	ТВФ-63-2Е	ТД-63000/ 110-У1	-	ТРДН-25000/ 110	ТРДН-25000/ 110	РБДГ 10-4000-0,18	РБДГ 10-2500-0,25	8	9	3	4	К3	К4	Л1***	7
43.	АС-120 45 км	АС-150 15 км	АС-185 25 км	АС-50 10 км	ААБ-95 9 км	-	ТВС-32-2УЗ	ТД-63000/ 110-У1	ТД-40000/110-У1	ТДН-16000/ 110	ТМН-6300/10	-	РБДГ 10-2500-0,25	10	5	2	2,5	К2	К6	Л3	1
44.	АС-150 20 км	АС-120 18 км	АС-150 35 км	АС-50 5 км	ААБ-95 6 км	АС0-240 20 км	ТВФ-63-2УЗ	ТД-40000/ 110-У1	-	ТРДН-25000/ 110	ТРДН-25000/ 110	-	РБДГ 10-2500-0,35	5	5	3	1,5	К2	К6	Л6	2
45.	АС-150 15 км	АС-185 35 км	АС-240 40 км	АС-50 8 км	ААБ-95 3 км	-	ТВФ-63-2Е	ТД-63000/ 110-У1	ТД-40000/110-У1	ТДН-10000/ 110	ТМН-2500/10	РБДГ 10-2500-0,2	РБДГ 10-2500-0,25	8	8	3	2	К2	К6	Л2	3

* - двухцепная линия, параметры для одной цепи

** - при расчете параметры привести к стороне ВН

*** Рассчитывать для одной цепи

Таблица 2 Расчётные данные турбогенераторов

Тип	Rном, МВт	Uном, кВ	Cos (φ ном)	пном, об/мин	ηном, %	ОКЗ	xd'', отн. ед.	xd', отн. ед.	xd, отн. ед.	xs, отн. ед.	x2, отн. ед.	x0, отн. ед.	Td0, с	Td' (3), с	Td'' (3), с	Ta (3), с	J, т×м 2	Система возбуждения или тип возбудителя
Т-6-2УЗ	6	10,5	0,8	3000	97,40	0,692	0,119	0,172	1,710	0,112	0,145	0,058	7,26	0,726	0,091	1,132	1,30	Бесщёточная
ТВС-32-2УЗ	32	10,5	0,8	3000	98,30	0,437	0,153	0,260	2,648	0,118	0,187	0,074	10,4	1,010	0,126	0,212	1,35	ВТС-170С-3000
ТВФ-63-2УЗ	63	10,5	0,8	3000	98,40	0,537	0,153	0,268	2,180	0,121	0,186	0,088	6,20	1,090	0,14	0,240	2,40	Статич. тиристорная самовозбуждения
ТВФ-63-2Е	63	10,5	0,8	3000	98,30	0,756	0,136	0,202	1,513	–	0,166	0,067	6,15	0,820	1,103	0,247	2,21	Статич. тиристорная самовозбуждения
ТВФ-120-2УЗ	100	10,5	0,8	3000	98,40	0,499	0,192	0,278	1,910	–	0,234	0,097	6,50	0,900	0,12	0,400	3,25	ВТД-490-3000
ТВФ-110-2	110	10,5	0,8	3000	98,40	–	0,189	0,271	2,040	–	0,230	0,106	6,70	0,890	0,03	0,410	–	ВТД-490-3000

Таблица 2 Данные для генераторных трансформаторов (Т1 и Т2)

Тип изделия, обозначение нормативного документа	Номинальное напряжение, кВ		Схема и группа соединения обмоток	Потери, кВт		Напряжение короткого замыкания, %
	ВН	НН		холостого хода	короткого замыкания	
ТД-16000/110-У1,	121	6,3; 10,5	Y _Н /D-11	13,0	80,0	10,5
ТД-25000/110-У1,	121	6,3; 10,5	Y _Н /D-11	19,0	120,0	10,5
ТД-40000/110-У1,	121	6,3; 10,5	Y _Н /D-11	23,0	160,0	10,5
ТДЦ-100000/110-У1	121	10,5	Y _Н /D-11	60,0	350,0	11

ТДЦ-125000/110-У1	121	10,5; 11,0; 13,8	У _Н /D-11	65,0	420,0	11
ТДЦ-160000/110-У1,	121	10,5	У _Н /D-11			11

Таблица 3 – Данные для двухобмоточных трансформаторов

Тип	S _{ном} , МВА	Пределы регулирования	Каталожные данные						
			У _{ном} обмоток		U _к , %	ΔP _к , кВт	P _х , кВт	I _х , %	
			ВН	НН					
ТМН-2500/110	2,5	+10*1,5 % -8*1,5 %	110	6,6;11	10,5	22	5,5	1,5	
ТМН-6300/110	6,3	±9*1,78 %	115	6,6;11	10,5	44	11,5	0,8	
ТДН-10000/110	10	±9*1,78 %	115	6,6;11	10,5	60	14	0,7	
ТДН-16000/110	16	±9*1,78 %	115	6,5;11	10,5	85	19	0,7	
ТРДН(ТРДНФ25000/110	25	±9*1,78 %	115	6,3/6,5;6,3/10,5;10,5/10,5	10,5	120	27	0,7	
ТДНЖ-25000/110	25	±9*1,78 %	115	27,5	10,5	120	30	0,7	
ТД-40000/110	40	±2*2,5 %	121	3,15;6,3;10,5	10,5	160	50	0,65	
ТРДН-40000/110	40	±9*1,78 %	115	6,3/6,3;6,3/10,5;10,5/10,5	10,5	172	36	0,65	
ТРДЦН-63000/110	63	±9*1,78 %	115	6,3/6,3;6,3/10,5;10,5/10,5	10,5	260	59	0,6	
ТРДЦНК-63000/110	63	±9*1,78 %	115	6,3/6,3;6,3/10,5;10,5/10,5	10,5	245	59	0,6	
ТДЦ-80000/110	80	±2*2,5 %	121	6,3;10,5;13,8	10,5	310	70	0,6	
ТРДЦН(ТРДЦНК)-80000/110	80	±9*1,78 %	115	6,3/6,3;6,3/10,5;10,5/10,5	10,5	310	70	0,6	
ТДЦ-125000/110	125	±2*2,5 %	121	10,5;13,8	10,5	400	120	0,55	
ТРДЦН-125000/110	125	±9*1,78 %	115	10,5/10,5	10,5	400	100	0,55	
ТДЦ-200000/110	200	±2*2,5 %	121	13,8;15,75;18	10,5	550	170	0,5	
ТДЦ-250000/110	250	±2*2,5 %	121	15,75	10,5	640	200	0,5	
ТДЦ-400000/110	400	±2*2,5 %	121	20	10,5	900	320	0,45	

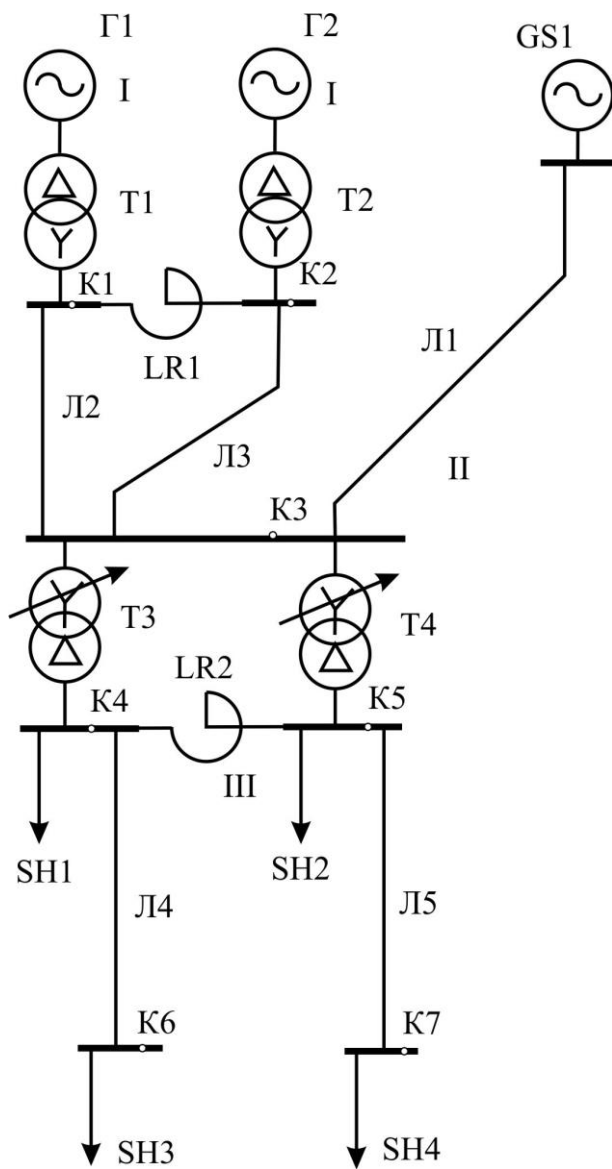
Таблица 4 – Данные для трехобмоточных трансформаторов

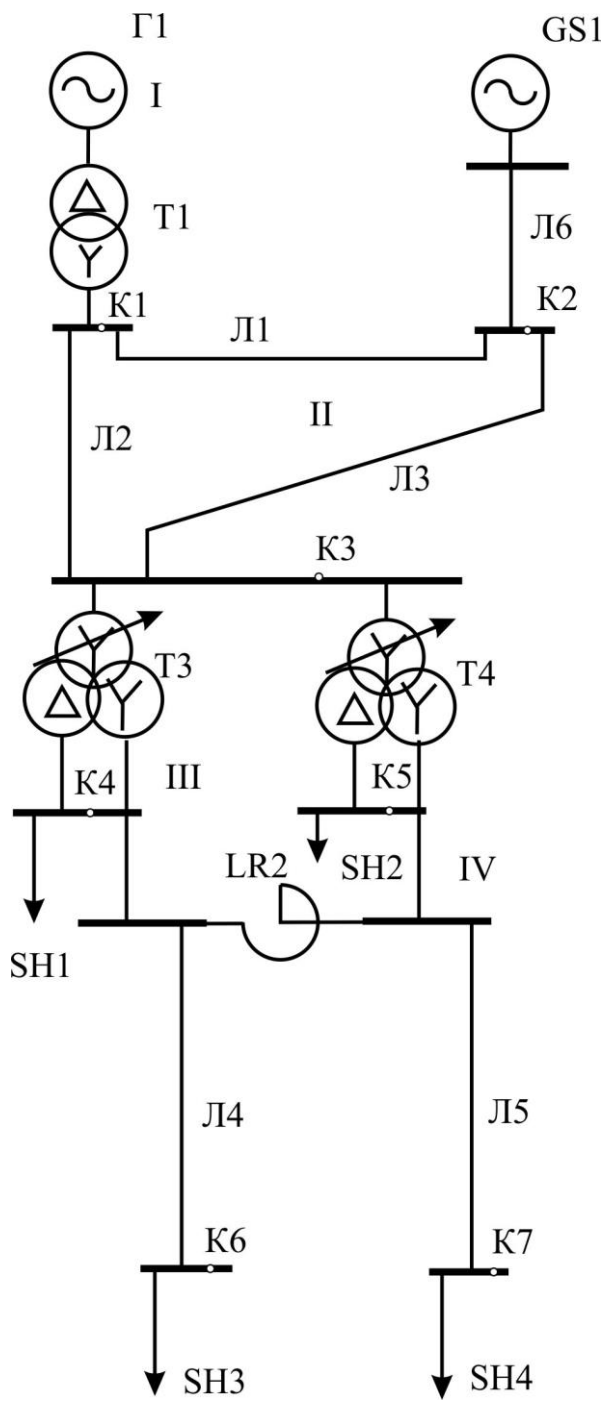
		Каталожные данные				
		У _{ном} обмоток	U _к , %	ΔP _к , кВт	P _х , кВт	I _х , %

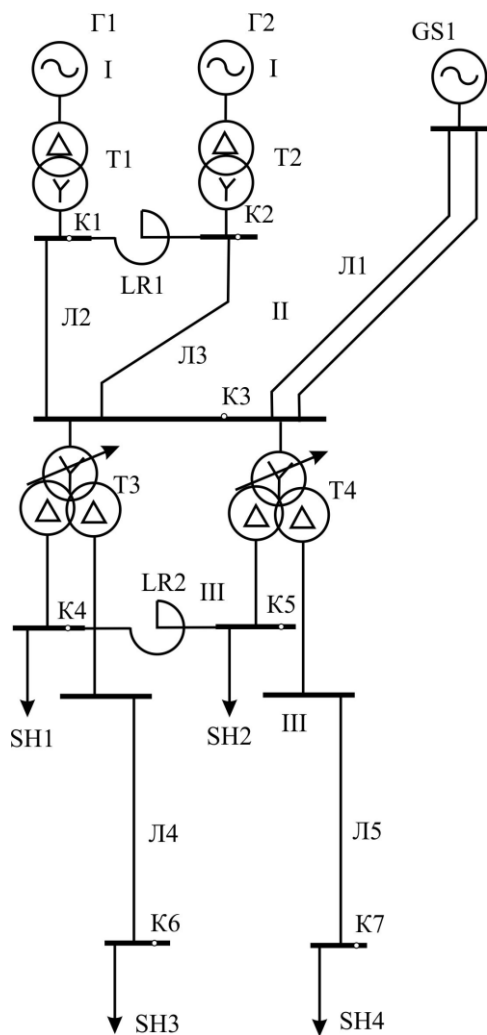
Тип	Сном, МВА	ВН	СН	НН	ВН	СН	НН			
ТДТН-10000/110	10	115	38,5	6,6;11	10,5	17	6	76	17	1,1
ТДТН-16000/110	16	115	38,5	6,6;11	10,5	17	6	100	23	1
ТДТН-25000/110	25	115	11;38,5	6,6;11	10,5	17,5	6,5	140	31	0,7
ТДТНЖ-25000/110	25	115	38,5;27,5	6,6;11; 27,5	10,5(17)	17(10,5)	6	140	42	0,9
ТДТН-40000/110	40	115	11;22;38,5	6,6;11	10,5(17)	17(10,5)	6	200	43	0,6
ТДТНЖ-40000/110	40	115	27,5;35,5	6,6;11; 27,5	10,5(17)	17(10,5)	6	200	63	0,8
ТДТН(ТДЦНТ) –63000/110	63	115	38,5	6,6;11	10,5	17	6,5	290	56	0,7
ТДТН(ТДЦТН, ТДЦТНК) –80000/110	80	115	38,5	6,6;11	11(17)	18,5(10,5)	7(6,5)	390	82	0,6

Таблица 5 – Данные для автотрансформаторов 220 кВ

Тип	Сном, МВА	Пределы регулирования	Каталожные данные										
			Уном обмоток			U _к , %			ΔP _к , кВт			P _х , кВт	I _х , %
			ВН	СН	НН	ВН	СН	НН	ВН	СН	НН		
АТДЦТН-63000/220/110	63	±6*2 %	230	121	6,6;11;27,5; 38,5	11	35,7	21,9	215	-	-	45	0,5
АТДЦТН-125000/220/110	125	±6*2 %	230	121	6,6;11;38,5	11	45	28	305	-	-	65	0,5
АТДЦТН-200000/220/110	200	±6*2 %	230	121	6,6;11;15,75;38,5	11	32	20	430	-	-	125	0,5
АТДЦТН-250000/220/110	250	±6*2 %	230	121	10,5;38,5	11,5	33,4	20,8	520	-	-	145	0,5







7)

3 Требования к структуре работы с описанием требований и рекомендаций к каждому разделу

Структура курсового проекта.

Типовое содержание курсовой работы:

Титульный лист (приложение 1)

Задание

Введение

1. Основные теоретические положения, принимаемые допущения.
2. Схемы замещения и применяемые для расчета выражения
3. Результаты расчета, их графическое представление

Заключение.

Приложения:

П1 Расчеты

П2 Графический материал

Оформление: стандартные поля MS Word, шрифт 14, Times new romans, 1,5 интервал, формулы набраны в редакторе формул (equation или mathtype), Все расчеты в программах должны быть в приложении 1 (если использовались). Объем работы от 20 до 40 страниц (10-25 страниц основная часть, от 5 до 15 страниц приложения). Если курсовой проект сдается в электронном виде, то окончательный файл оформляется как PDF документ, отправляется на проверку преподавателю. Страницы должны быть пронумерованы (снизу страницы, справа), на титульном листе и задании нумерация страниц не ставится, перед введением в работе должно быть вставлено содержание (В MS WORD вкладка ссылки – оглавление – автособираемое оглавление¹, при этом название разделов работы задается как «УРОВЕНЬ 1» во вкладке «Абзац»)

Во введении приводятся:

Актуальность темы исследования - обоснование теоретической и практической важности выбранной для исследования проблемы.

Цель и задачи курсовой работы (проекта) - краткая и четкая формулировка цели проведения исследования и нескольких задач, решение которых необходимо для достижения поставленной цели.

Предмет исследования - формулировка конкретного вопроса или анализируемой проблемы.

Объект исследования.

Методы исследования

Заключение - краткое изложение основных, наиболее существенных результатов проведенного анализа, сформулированных в виде выводов, соответствующих цели и поставленным во введении задачам исследования.

В списке использованных источников литературы должны быть представлены основные источники по теме:

- нормативно-правовые документы (ГОСТы, кодексы, стандарты, законы);
- учебники и учебные пособия;
- отраслевые периодические издания;
- научные статьи, монографии и материалы научных конференций;
- интернет-ресурсы (официальные сайты организаций, базы данных и т.д.)
- материалы лабораторных и полевых исследований;
- данные, собранные во время практик;

Список должен содержать не менее 10 современных источников, изученных обучающимися (преимущественно даты издания не более 5 лет относительно года написания курсовой работы, кроме учебников, справочников и другой действующей нормативно-технической документации).

4 Список рекомендованных основных и дополнительных источников литературы.

Основная литература

1 Мякишев, В. М. Переходные процессы в линейных электрических цепях (в примерах) : учеб. пособие; ВО - Бакалавриат/Самарский государственный технический университет. - Москва:ООО ""Научно-издательский центр ИНФРА-М"", 2022. - 347 с. – URL: <http://znanium.com/catalog/document?id=378782>.

2 Ополева, Г. Н. Электроснабжение промышленных предприятий и городов : учеб. пособие ; ВО - Бакалавриат/Г. Н. Ополева. - Москва:Издательский Дом ""ФОРУМ"", 2022. - 416 с. – URL: <http://znanium.com/catalog/document?id=386067>.

3 Сибикин, Ю. Д. Электроснабжение : учеб. пособие ; ВО - Бакалавриат, Специалитет. - Москва:ООО ""Научно-издательский центр ИНФРА-М"", 2022. - 328 с. – URL: <http://znanium.com/catalog/document?id=415558>.

4 Хорольский, В. Я. Эксплуатация систем электроснабжения : учеб. пособие ; ВО - Бакалавриат/Ставропольский государственный аграрный университет. - Москва:ООО ""Научно-издательский центр ИНФРА-М"", 2022. - 288 с. – URL: <http://znanium.com/catalog/document?id=399460>.

Дополнительная литература

1. Электромагнитные переходные процессы в электроэнергетических системах: метод. указания по практ. занятиям / сост.: А. Э. Бобров, А. М. Дяков, В. Б. Зорин, Л. И. Пилюшенко. – Красноярск: ИПК СФУ, 2009. – 92 с.

2. Электромагнитные переходные процессы в электрических системах: учебное пособие / Т. Я. Окуловская, Т. Ю. Паниковская, В. А. Смирнов. 4-е изд., переаб. и доп. – Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ – УПИ, 2006. – 85 с.

3. РД 153-34.0-20.527-98. Руководящие указания по расчёту токов короткого замыкания и выбору электрооборудования / под ред. Б. Н. Неклепаева. – М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2002. – 152 с.

4. Руководящие указания по релейной защите. Вып. 11. Расчёты токов короткого замыкания для релейной защиты и системной автоматики в сетях 110 – 750 кВ. – М.: Энергия, 1979. – 152 с.

5. Электромагнитные переходные процессы в электроэнергетических системах: учеб. пособие / А. Э. Бобров, А. М. Дяков, В. Б. Зорин и др. – Красноярск: ИПК СФУ, 2009. – 176 с.

5 Требования к защите работы

В целях выполнения требований по хранению курсовых работ законченная и оформленная в соответствии с установленными требованиями

курсовая работа и сопроводительный материал предоставляется преподавателю для защиты в распечатанном виде.

Курсовая работа допускается к защите при выполнении следующих условиях:

- степень оригинальности текста курсовой работы (проекта) не ниже 25% для работ, выполненных обучающимися по образовательным программам бакалавриата и специалитета, не ниже 35% - по образовательным программам магистратуры;

- наличия рецензии преподавателя, принимающего курсовую работу (Приложение 2).

Защита курсовых работ относится к промежуточной аттестации и проводится в конце семестра. Защита курсовых работ (проектов) назначается кафедрой, дирекцией/деканатом вносится в расписание промежуточной аттестации и отражается в расписании учебных занятий.

Защиту курсовых работ проводит ведущий преподаватель, а в случае возникновения спорных ситуаций создается комиссия, в состав которой входит заведующий кафедрой и преподаватели кафедры.

Защита работы проходит в форме публичного выступления (5-7 мин.) с представлением результатов работы в виде презентации (5-7 слайдов) и ответов на вопросы преподавателя/комиссии (5 мин).

Для защиты курсовой работы обучающийся готовит текст доклада. В тексте выступления отражается:

- актуальности выбранной темы;
- цели и основные задачи курсовой работы;
- основное содержание курсовой работы;
- основные выводы и практические рекомендации.

6. Критерии оценки работы

Выполненная и защищенная курсовая работа оценивается в соответствии с учетом балльно-рейтинговой системы оценивания и критериями оценки, которые указаны в рабочей программе дисциплины.

В соответствии с Положением о балльно-рейтинговой системе оценки знаний студентов, обучающихся по образовательным программам высшего образования курсовую работу (проект) необходимо оценить по следующим критериям с учетом установленных максимальных баллов:

Критерий	Максимальное значение в баллах	Набранных баллов
Оформление курсовой работы/проекта	10	
Содержание курсовой работы/проекта	60	
Защита курсовой работы/проекта	30	
ИТОГО	100	

Содержание критериев оценки курсовой работы (проекта):

1. Оформление курсовой работы:

-10 баллов - курсовая работа соответствует всем требованиям к ее оформлению. При оформлении курсовой работы использовались современные средства визуализации информации.

-5 баллов - курсовая работа частично соответствует требованиям к ее оформлению, представленный материал проиллюстрирован не качественно. При оформлении курсовой работы современные средства визуализации информации не использовались.

2. Содержание курсовой работы:

-60 баллов - в курсовой работе подобраны необходимые информационные источники, информация использована корректно, все вопросы и разделы освещены полностью, для выводов приведены достаточные обоснования;

-40 баллов - в курсовой работе подобраны не все необходимые информационные источники, информация использована не везде корректно,

не все вопросы и разделы освещены полностью, для выводов не приведены достаточные обоснования;

-20 баллов - в курсовой работе отсутствуют некоторые разделы, или их название не отвечает содержанию.

3. Защита курсовой работы:

-30 баллов - студент продемонстрировал полное понимание всех положений защищаемой работы, четкость и правильность изложения ответов на все вопросы, заданные преподавателем;

-20 баллов - студент продемонстрировал понимание основных положений защищаемой работы, четкость и правильность изложения ответов на большую часть вопросов, заданных преподавателем;

-10 баллов - студент дал недостаточно полные ответы на вопросы, на некоторые из них дал ошибочные ответы или не ответил.

Перевод оценки из 100-балльной в пятибалльную систему оценки знаний осуществляется следующим образом:

-89-100 - оценка «отлично»,

-77 - 88 баллов - оценка «хорошо»,

-65 - 76 баллов - оценка «удовлетворительно»,

-менее 64 баллов - оценка «неудовлетворительно».

При неудовлетворительной оценке курсовой работы обучающийся имеет право на повторную защиту после доработки и внесения исправлений.

У обучающегося, не сдавшего в установленный срок курсовую работу и/или не защитившего её по неуважительной причине, образуется академическая задолженность.

Оценка за курсовую работу фиксируется в зачетной книжке обучающегося и в электронной ведомости. Распечатанный и подписанный оригинал ведомости храниться в деканате факультета/института в соответствии со номенклатурой дел и сроками хранения документов 5 лет.

Приложение 1

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
Ставропольский государственный аграрный университет
Институт механики и энергетики
Кафедра Электроснабжения и эксплуатации электрооборудования

Курсовая работа
по дисциплине

Переходные процессы в электроэнергетических системах
На тему «Расчет аварийных режимов работы системы электроснабжения»

Выполнил: студент 3 курса

«___» _____ 202_ года

По направлению подготовки 13.03.02 – «Электроэнергетика и
электротехника»

Профиль: Системы электроснабжения городов, промышленных предприятий,
сельского хозяйства, и их объектов

Форма обучения:

Проверил: канд. физ-мат. наук,
доцент кафедры

Электроснабжения и эксплуатации
электрооборудования

Ястребов С.С.

Зарегистрирована

«___» _____ 202_ года

Критерий	Максимальное значение в баллах	Набрано баллов
Оформление курсовой работы/проекта	10	
Содержание курсовой работы/проекта	60	
Защита курсовой работы/проекта	30	
ИТОГО	100	

Оценка «___» Дата _____ Подпись _____

Ставрополь, 2024 г.

Приложение 2

Кафедра: Электроснабжения и эксплуатации электрооборудования

РЕЦЕНЗИЯ на курсовую работу

Тема _____

Обучающийся (Ф.И.О.) _____

Курс _____ Группа _____

Преподаватель (Ф.И.О.) _____

Выполнение общих требований к курсовой работе (проекту)

1	Объем работы соответствует установленным требованиям	Да/нет
2	Степень оригинальности курсовой работы (проекта) соответствует установленным требованиям	Да/нет (указать %)

Критерии оценивания курсовой работы (проекта)

Критерии	Количество баллов	Содержание критерия оценки	Итоговый балл
Оформление курсовой работы (проекта)	10	Курсовая работа соответствует всем требованиям к ее оформлению. При оформлении курсовой работы использовались современные средства визуализации информации.	
	5	Курсовая работа частично соответствует требованиям к ее оформлению, представленный материал проиллюстрирован не качественно. При оформлении курсовой работы (проекта) современные средства визуализации информации не использовались.	
Содержание курсовой работы (проекта)	60	В курсовой работе подобраны необходимые информационные источники, информация использована корректно, все вопросы и разделы освещены полностью, для выводов приведены достаточные обоснования.	

	40	В курсовой работе подобраны не все необходимые информационные источники, информация использована не везде корректно, не все вопросы и разделы освещены полностью, для выводов не приведены достаточные обоснования.	
	20	В курсовой работе отсутствуют некоторые разделы, или их название не отвечает содержанию.	
Защита курсовой работы (проекта)	30	Студент продемонстрировал полное понимание всех положений защищаемой работы, четкость и правильность изложения ответов на все вопросы, заданные преподавателем.	
	20	Студент продемонстрировал понимание основных положений защищаемой работы, четкость и правильность изложения ответов на большую часть вопросов, заданных преподавателем.	
	10	Студент дал недостаточно полные ответы на вопросы, на некоторые из них дал ошибочные ответы или не ответил.	
ИТОГО:			<i>Указывается итоговый балл по всем критериям</i>

Рекомендации:

Ведущий преподаватель _____ / _____
 (ФИО) (подпись)

Приложение 3

Введение

Система электроснабжения потребителей является одним из основных видов снабжения энергоресурсом для обеспечения нужд производственного процесса в агропромышленном комплексе и для обеспечения комфортного уровня жизни населений, санитарного благополучия и многих других процессов.

Для ее надежного функционирования необходимо правильно выбрать элементы, оборудования и защитную аппаратуру системы электроснабжения. Это выполняется на основе расчетов ее нормальных режимов работы, в основу которых положены нагрузки в узлах системы электроснабжения, а параметрами являются токи в линиях и трансформаторах, напряжения в узлах нагрузки. Кроме нормальных режимов работы, необходимо рассчитать и аварийные режимы работы системы электроснабжения, в основе которых лежат возможные короткие замыкания, возникающие в различных точках системы электроснабжения.

В результате расчетов токов коротких замыканий и остаточных напряжений при коротких замыканиях проводится выбор оборудования по току термической и динамической стойкости, выбор уставок защитной аппаратуры и проверка работы защит системы электроснабжения, что является необходимым при её проектировании.

Поэтому целью данной работы является проведение расчетов аварийных режимов работы при возникновении повреждений на различных элементах системы электроснабжения. В работе исследуются как симметричные, так и не симметричные короткие замыкания.

1 Основные теоретические положения, принимаемые допущения

Расчет токов коротких замыканий (КЗ) в современной системе электроснабжения (СЭС) с учетом всех параметров представляет собой весьма сложную и трудоемкую задачу, для решения которой используются специализированные программные комплексы. Для решения задачи расчета токов КЗ без использования специализированного программного обеспечения обычно используют ряд допущений, не вносящих значительных погрешностей в расчеты токов КЗ. К таким допущениям при решении практических задач расчета токов КЗ относят следующие:

1. Отсутствие качаний синхронных, что приводит к тому, что ЭДС всех источников имеет одинаковую фазу.

2. Неучет насыщения магнитных систем генераторов, реакторов и трансформаторов, что позволяет считать все схемы линейными.

3. Сохранение симметрии трехфазной системы (возникает только локальная несимметрия в месте повреждения).

4. Пренебрежение активными сопротивлениями элементов СЭС (активное сопротивление учитывается: при оценке постоянных времени затухания апериодических составляющих токов КЗ, при расчетах токов КЗ в установках напряжением ниже 1000 В, в протяженной кабельной сети или воздушной сети с проводами небольшого сечения).

5. Приближенный учет крупных комплексных нагрузок постоянными индуктивными сопротивлениями.

6. Неучет емкостных проводимостей воздушных линий (ВЛ) электропередачи напряжением до 220 кВ включительно при условии, что установки продольной емкостной компенсации не применяются.

7. Неучет токов намагничивания трансформаторов и автотрансформаторов.

Для решения задачи расчета токов КЗ в рассматриваемой СЭС составляют расчетную схему замещения, под которой понимают упрощенную

однолинейную схему электрических соединений СЭС с указанием всех элементов и их параметров, которые оказывают влияние на расчет токов КЗ и поэтому должны быть учтены. По расчетной схеме замещения составляют электрическую схему замещения. Для этого все элементы СЭС заменяют электрическими сопротивлениями, элементы системы имеют следующее обозначение (линии – W, трансформаторы – T, автотрансформаторы – AT, токоограничивающие реакторы – LR), а источники питания (синхронные генераторы – G и компенсаторы – GC, крупные синхронные и асинхронные электродвигатели – M, эквивалентные энергосистемы, обозначаемые на расчетных схемах GS, обобщенные нагрузки мощных узлов – H), кроме того, указывают значения ЭДС.

Способы определения параметров схемы замещения в относительных единицах. Для проведения расчетов в относительных единицах нужно все ЭДС и сопротивления элементов схемы замещения выразить в относительных единицах с помощью выбранных базисных условий. Выбрать базисные условия необходимо так, чтобы вычисления были проще и порядок числовых значений относительно базисных величин был достаточно удобен для оперирования ими. Как базисную мощность S_b (MVA) рекомендуется использовать простое круглое число (100, 1000 и т. п.) либо часто встречающуюся в исходной схеме номинальную мощность (или кратную ей). Следует отметить, что величина S_b на всех ступенях напряжения одна и та же. В качестве U_b целесообразно использовать номинальное напряжение $U_{ном}$ на заданном участке схемы сети или его среднюю величину $U_{ср}$. Определение параметров схемы замещения в относительных единицах возможно двумя способами. Первый способ. Вначале рассчитывают приведенные к основной ступени напряжения параметры схемы замещения в именованных единицах измерения, а затем выбирают на основной ступени базисные условия S_b , U_b , I_b и выполняют соответствующий пересчет параметров элементов схемы замещения:

$$E_{*(\sigma)} = \dot{E} / U_{\sigma} \quad (1.1)$$

$$Z_{*(\sigma)} = \dot{Z} / Z_{\sigma} = \dot{Z} \cdot S_{\sigma} / U_{\sigma}^2 \quad (1.2)$$

Недостаток такого способа – громоздкость.

Второй способ. Для составления эквивалентной схемы замещения в относительных единицах необходимо прежде всего на одной из ступеней напряжения заданной схемы (выделение основной ступени здесь не предусмотрено) выбрать базисные единицы и затем трансформацией определить базисные единицы на каждой другой ступени напряжения. В этом случае

$$\dot{U}_{\sigma} = U_{\sigma} / (K_1 \cdot K_2 \cdot \dots \cdot K_n) \quad (1.3)$$

$$\dot{I}_{\sigma} = K_1 \cdot K_2 \cdot \dots \cdot K_n \cdot I_{\sigma} \quad (1.4)$$

$$\dot{I}_{\sigma} = S_{\sigma} / (\sqrt{3} \cdot \dot{U}_{\sigma}) \quad (1.5)$$

здесь \dot{U}_{σ} и \dot{I}_{σ} – базисные напряжения и ток той ступени, где находится расчетное сопротивление или ЭДС E . После этого следует подсчитать все величины в относительных базисных единицах, имея в виду, что в расчетных выражениях под $U_{\sigma i}$, $I_{\sigma i}$ и $Z_{\sigma i}$ всегда надо понимать базисные напряжения, ток и сопротивления i -й ступени трансформации, на которой находятся подлежащие приведению величины:

$$E_{*(\sigma)} = E_i / U_{\sigma i} \quad (1.6)$$

$$Z_{*(\sigma)} = Z_i / Z_{\sigma i} = Z_i \cdot S_{\sigma} / U_{\sigma i}^2 \quad (1.7)$$

$$Z_{*(\sigma)} = Z_{*(H)j} \cdot \frac{S_{\sigma}}{S_{номj}} \cdot \left(\frac{U_{номj}}{U_{\sigma i}} \right)^2 \quad (1.8)$$

Здесь следует обратить внимание на то, что нахождение базисных напряжений и токов должно следовать физической закономерности, т. е. При переходе на ступень высшего класса напряжения \dot{U}_{σ} должно возрасти, а \dot{I}_{σ} уменьшиться; если осуществляется переход на ступень низшего класса напряжения – наоборот. Решение практических задач вторым способом менее трудоемко и потому получило широкое распространение. Когда приведение

схемы производится приближенно, пересчет к базисным условиям значительно упрощается, если за U_b принимать значение U_{cp} соответствующей ступени. Так, трансформации базисных единиц не требуется, поскольку на всех ступенях напряжения выполняется условие $U_b = U_{cp}$, относительные базисные и номинальные значения ЭДС и напряжений совпадают:

$$E_{*(b)} = E_{*(n)} \cdot U_{cp} / U_b = E_{*(n)} \quad (1.9)$$

а выражения для пересчета относительных сопротивлений принимают более простой вид:

$$Z_{*(b)} = Z_{*(n)} \cdot \frac{S_b}{S_{ном}} \quad (1.10)$$

Электрические сопротивления различных элементов схемы замещения ЭЭС для начального момента времени КЗ определяются по паспортным (каталожным) значениям параметров, которые должны быть заданы или которыми можно задаться.

Они определяются для следующих элементов ЭЭС:

1. Для синхронных генераторов G и компенсаторов GC, синхронных электродвигателей M:

$$x_{G,GC,M}'' = x_d'' \cdot \frac{S_b}{S_{ном}} \quad (1.11)$$

где x_d'' – сверхпереходное индуктивное сопротивление синхронной машины в относительных единицах при номинальных условиях.

Для электроэнергетической системы GS:

$$X_{GS} = X_{1,GS} \cdot \frac{S_b}{S_{GS}} \quad (1.12)$$

$$X_{GS} = \frac{S_b}{S_k} \quad (1.13)$$

где $X_{1,GS}$ – сопротивление системы токам прямой последовательности в относительных единицах при мощности системы, равной S_{GS} ;

S_k – мощность короткого замыкания от системы GS.

Для двухобмоточных трансформаторов T:

$$X_T = \frac{U_k \cdot S_6}{100 \cdot S_{НОМ}} \quad (1.14)$$

где U_k – напряжение короткого замыкания трансформатора, %.

Для двухобмоточных трансформаторов с расщепленными обмотками низшего напряжения на две (схема замещения трехлучевой звезды):

$$X_{ТВН} = \frac{U_k \cdot S_6}{100 \cdot S_{НОМ}} \quad (1.15)$$

$$X_{ТВ} = 0,125 \cdot X_{ТВН} \quad (1.16)$$

$$X_{ТН1} = X_{ТН2} = 1,75 \cdot X_{ТВН} \quad (1.17)$$

где U_k – напряжение КЗ трансформатора пары обмоток высшего и низшего напряжений, %;

в $X_{ТВ}$ – сопротивление обмотки высшего напряжения;

$X_{ТН1}, X_{ТН2}$ – сопротивления обмоток низшего напряжения.

Для автотрансформаторов и трехобмоточных трансформаторов Т (схема замещения трехлучевой звезды):

$$U_{кВ} = 0,5(U_{кВС} + U_{кВН} - U_{кСН}) \quad (1.18)$$

$$X_B = \frac{U_{кВ} \cdot S_6}{100 \cdot S_{НОМ}} \quad (1.19)$$

$$U_{кС} = 0,5(U_{кВС} + U_{кСН} - U_{кВН}) \quad (1.20)$$

$$X_C = \frac{U_{кС} \cdot S_6}{100 \cdot S_{НОМ}} \quad (1.21)$$

$$U_{кН} = 0,5(U_{кВН} + U_{кСН} - U_{кВС}) \quad (1.22)$$

$$X_H = \frac{U_{кН} \cdot S_6}{100 \cdot S_{НОМ}} \quad (1.23)$$

где X_B, X_C, X_H – сопротивления схемы замещения обмоток высшего, среднего и низшего напряжений;

$U_{кВС}, U_{кВН}, U_{кСН}$ – напряжения КЗ между обмотками с напряжениями высшее – среднее, высшее – низшее, среднее – низшее.

Для реакторов LR :

$$X_{LR} = X_P \cdot \frac{S_6}{U_6^2} \quad (1.24)$$

где X_p – сопротивление реактора, Ом;

U_6 – базисное напряжение на ступени, где задано X_p (расположен реактор).

Для воздушных линий электропередачи W:

$$X_w = X_{(1)} \cdot l \cdot \frac{S_6}{U_6^2} \quad (1.25)$$

где $X_{(1)}$ – удельное индуктивное сопротивление токам прямой последовательности, Ом/км;

l – длина линии, км;

U_6 – базисное напряжение на ступени напряжения рассматриваемой линии.

Для кабельных линий электропередачи:

$$Z_w = R_w + jX_w = (r_{(1)} + jX_{(1)}) \cdot l \cdot \frac{S_6}{U_6^2} \quad (1.26)$$

где $r_{(1)}$ $X_{(1)}$ и – удельные активное и индуктивное сопротивления токам прямой последовательности, Ом/км;

l – длина линии, км;

U_6 – базисное напряжение на ступени напряжения рассматриваемой линии.

Для нагрузок:

$$X_{нагр} = X''_{нагр} \cdot \frac{S_6}{S_{нагр}} \quad (1.27)$$

где $x''_{нагр}$ – индуктивное сопротивление нагрузки в момент возникновения КЗ, принимаемое равным 0,35, выраженное в относительных единицах при полной рабочей мощности нагрузки $S_{нагр}$, МВ·А, и среднем номинальном напряжении той ступени, где эта нагрузка присоединена.

В схемах замещения за электрическими сопротивлениями источников питания указываются электродвижущие силы. При отсутствии данных об электродвижущих силах и во всех приближенных расчетах рекомендуется принимать средние значения ЭДС в момент возникновения КЗ в относительных единицах при номинальных условиях для:

электроэнергетических систем GS 1,0
 турбогенераторов мощностью до 100 МВт 1,08
 турбогенераторов мощностью 100–500 МВт 1,13
 гидрогенераторов с демпферными обмотками 1,13
 синхронных компенсаторов 1,20
 синхронных электродвигателей 1,1
 асинхронных электродвигателей 0,9
 обобщенной нагрузки 0,85

Каждому электрическому сопротивлению схемы замещения и электродвижущей силе присваивается порядковый номер (сопротивление обозначается в виде дроби, числитель которой порядковый номер, а знаменатель – его значение в относительных единицах при базисных условиях).

Схемы замещения путем последовательных эквивалентных преобразований приводятся к простейшим эквивалентным схемам замещения: эквивалентный источник – эквивалентное сопротивление – узел КЗ. При этом используются известные из курса теоретических основ электротехники способы эквивалентного преобразования схем.

При параллельном соединении n сопротивлений с приложенными за этими сопротивлениями ЭДС $X_{\text{экв}}$ определяется по выражению для параллельного соединения сопротивлений, а эквивалентная ЭДС:

$$E_{\text{экв}} = \frac{1}{y_{\text{экв}}} \sum_{i=1}^n y_i \cdot E_i \quad (1.28)$$

Где $y_{\text{экв}} = \sum_{i=1}^n y_i$

При сложении двух параллельных сопротивлений с разными ЭДС:

$$X_{\text{экв}} = \frac{X_1 \cdot X_2}{X_1 + X_2} \quad (1.29)$$

$$E_{\text{экв}} = \frac{X_1 \cdot E_2 + E_1 \cdot X_2}{X_1 + X_2} \quad (1.30)$$

Треугольник сопротивлений схемы замещения X_{AB} , X_{BC} , X_{AC} может быть преобразован в эквивалентную звезду сопротивлений X_A , X_B , X_C по следующим выражениям:

$$X_A = \frac{X_{AB} \cdot X_{AC}}{X_{AB} + X_{BC} + X_{CA}} \quad (1.31)$$

$$X_B = \frac{X_{AB} \cdot X_{BC}}{X_{AB} + X_{BC} + X_{CA}} \quad (1.32)$$

$$X_C = \frac{X_{BC} \cdot X_{AC}}{X_{AB} + X_{BC} + X_{CA}} \quad (1.33)$$

При преобразовании звезды сопротивлений схемы замещения в эквивалентный треугольник сопротивлений со сторонами:

$$X_{AB} = X_A + X_B + \frac{X_A \cdot X_B}{X_C} \quad (1.34)$$

$$X_{BC} = X_C + X_B + \frac{X_C \cdot X_B}{X_A} \quad (1.35)$$

$$X_{CA} = X_A + X_C + \frac{X_A \cdot X_C}{X_B} \quad (1.36)$$

Для оценки эквивалентных постоянных времени затухания апериодической составляющей тока КЗ при практических расчетах можно ориентироваться на следующие соотношения индуктивных и активных сопротивлений x/r , характеризующих отдельные элементы ЭЭС:

турбогенераторы 15–150

гидрогенераторы 40–90

трансформаторы 7–50

реакторы 6–10 кВ 15–80

воздушные линии электропередачи 2–8

кабельные линии электропередачи 0,2–0,8

обобщенные нагрузки 2,5

Для электроэнергетической системы GS в качестве первого приближения можно принимать $x/r = 50$. Первые цифры приведенных соотношений

характеризуют электрические элементы с меньшей мощностью, токами и сечением проводников.

После приведения схемы ЭЭС к простейшей эквивалентной с параметрами E_{Σ} , x_{Σ} , r_{Σ} начальное значение периодической составляющей тока КЗ по I определяется по выражению:

$$I_{по} = \frac{E_{\Sigma} - U_k}{X_{\Sigma}} \quad (1.37)$$

где U_k – аварийное напряжение в узле КЗ.

Постоянная затухания аperiodической составляющей тока КЗ:

$$T_a = \frac{X_{\Sigma}}{\omega \cdot r_{\Sigma}} \quad (1.38)$$

где $\omega=314$ рад/с - угловая скорость

И, наконец, для получения значений аварийных токов и напряжений в именованных единицах нужно найденные их относительные величины умножить на соответствующие базисные единицы данной ступени трансформации.

Для определения ударного тока необходимо найти ударный коэффициент.

$$K_y = 1 + e^{-\frac{0,01}{T_a}} \quad (1.39)$$

Где T_a - постоянная затухания аperiodической составляющей тока.

Ударный ток можно определить по выражению:

$$i_y = \sqrt{2} \cdot K_y \cdot I_{n0} \quad (1.40)$$

Начальное значение аperiodической составляющей тока КЗ определяется следующим образом. Наибольшее начальное значение аperiodической составляющей тока КЗ i_{a0} получается в одной из трех фаз при возникновении КЗ в режиме холостого хода ЭЭС в предположении, что периодическая составляющая тока КЗ в момент возникновения КЗ проходит через свой положительный или отрицательный максимум:

$$i = i_n + i_a = 0 \quad (1.41)$$

$$i_{a|0|} = -i_{n|0|} \quad (1.42)$$

Предполагается, что указанные условия характеризуют фазу А. При этом периодическая составляющая проходит отрицательный максимум:

$$i_{a|0|A} = -i_{n|0|A} = \sqrt{2} \cdot I_{n0} \quad (1.43)$$

Для построения кривых изменения токов во времени во всех фазах выполняются следующие расчеты.

Полный ток КЗ в любой момент времени во всех фазах определяется суммой периодической $i_{пт}$ и аperiodической $i_{ат}$ составляющей тока:

$$i(t) = i_n(t) + i_a(t) \quad (1.44)$$

Значение периодического тока в любой момент времени в фазе А, кА,

$$i_{nA}(t) = \sqrt{2} \cdot I_{n0} \cdot \sin(\omega t + \alpha + \varphi_k) \quad (1.45)$$

где $\alpha = 0$ – фаза включения, град; $\varphi_k = 90$ – угол сдвига тока, град.

Аperiodический ток в любой момент времени в фазе А, кА,

$$i_{aA}(t) = i_{a|0|} \cdot e^{\frac{-t}{T_a}} \quad (1.46)$$

Значение периодического тока в любой момент времени в фазе В, кА

$$i_{nB}(t) = \sqrt{2} \cdot I_{n0} \cdot \sin(\omega t + \alpha + \varphi_k - 120) \quad (1.47)$$

Аperiodический ток в любой момент времени в фазе В, кА,

$$i_{aB}(t) = \frac{i_{a|0|}}{2} \cdot e^{\frac{-t}{T_a}} \quad (1.48)$$

Значение периодического тока в любой момент времени в фазе С, кА

$$i_{nC}(t) = \sqrt{2} \cdot I_{n0} \cdot \sin(\omega t + \alpha + \varphi_k + 120) \quad (1.49)$$

Аperiodический ток в любой момент времени в фазе В, кА,

$$i_{aC}(t) = \frac{i_{a|0|}}{2} \cdot e^{\frac{-t}{T_a}} \quad (1.50)$$

При несимметричных коротких замыканиях составляются схемы замещения не только прямой, но и обратной и нулевой последовательности.

Схема замещения обратной последовательности будет аналогична схеме замещения прямой последовательности, только в ней отсутствуют ЭДС.

Конфигурация схемы замещения нулевой последовательности ЭЭС определяется схемой соединений обмоток трансформаторов. Составление схемы замещения нулевой последовательности начинается от точки несимметричного КЗ. В эту схему включаются те элементы, которые обеспечивают путь протекания тока нулевой последовательности. Ток нулевой последовательности протекает по обмотке, соединенной в звезду с заземленной нейтралью, наводится магнитным путем в другой обмотке данного трансформатора, соединенной в треугольник, за пределы которой не выходит. Следовательно, все элементы, которые будут находиться за обмоткой трансформатора, соединенной в треугольник, в схеме замещения нулевой последовательности участвовать не будут. В схеме замещения нулевой последовательности сопротивления обмоток трансформаторов, входящих в схему нулевой последовательности, остаются такими же, как и в схеме замещения прямой последовательности, а сопротивления линий электропередачи и системы GS необходимо пересчитать. ЭДС источников принимаются равными нулю.

Схемы замещения по обратной и нулевой последовательности сводятся упрощением в виду, аналогичному для прямой последовательности. Для расчетов токов несимметричных КЗ необходимо воспользоваться выражениями из таблицы 1.1.

Таблица 1.1 - Основные выражения для расчета токов несимметричных КЗ

Определяемая величина ее обозначение	Симметричные составляющие токов и напряжений в месте несимметрии при коротких замыканиях		
	однофазном	двухфазном	двухфазном на землю
Ток прямой последовательности, I_{KA1}	$\frac{\dot{E}_{\Sigma}}{j(X_{1\Sigma} + X_{2\Sigma} + X_{0\Sigma})}$	$\frac{\dot{E}_{\Sigma}}{j(X_{1\Sigma} + X_{2\Sigma})}$	$\frac{\dot{E}_{\Sigma}}{j\left(X_{1\Sigma} + \frac{X_{2\Sigma} \cdot X_{0\Sigma}}{X_{2\Sigma} + X_{0\Sigma}}\right)}$
Ток обратной последовательности, I_{KA2}	\dot{I}_{KA1}	$-\dot{I}_{KA1}$	$-\dot{I}_{KA1} \cdot \frac{X_{0\Sigma}}{X_{2\Sigma} + X_{0\Sigma}}$
Ток нулевой последовательности, I_{KA0}	\dot{I}_{KA1}	-	$-\dot{I}_{KA1} \cdot \frac{X_{2\Sigma}}{X_{2\Sigma} + X_{0\Sigma}}$

Определяемая величина ее обозначение	Симметричные составляющие токов и напряжений в месте несимметрии при коротких замыканиях		
	однофазном	двухфазном	двухфазном на землю
Напряжение прямой последовательности, U_{KA1}	$\dot{I}_{KA1} \cdot j \cdot (X_{2\Sigma} + X_{0\Sigma})$	$\dot{I}_{KA1} \cdot j \cdot X_{2\Sigma}$	$\dot{I}_{KA1} \cdot j \cdot \frac{X_{2\Sigma} \cdot X_{0\Sigma}}{X_{2\Sigma} + X_{0\Sigma}}$
Напряжение обратной последовательности, U_{KA2}	$-\dot{I}_{KA1} \cdot j \cdot X_{2\Sigma}$	\dot{U}_{KA1}	\dot{U}_{KA1}
Напряжение нулевой последовательности, U_{KA0}	$-\dot{I}_{KA1} \cdot j \cdot X_{0\Sigma}$	-	\dot{U}_{KA1}

Таким образом, с использованием вышеприведенных выражений возможно рассчитать токи КЗ и напряжения в узлах схемы.

2 Расчет ток коротких замыканий

При расчетах токов коротких замыканий используем фрагмент схемы ЭЭС, приведенный в приложении к заданию. Данные для расчета приведены так же в приложении к заданию. Точки коротких замыканий, и элемент сети, для которого необходимо построить мгновенное значение тока, приведен в приложении к заданию.

2.1 Расчёт установившегося ток для всех типов коротких замыканий и ударный ток для трехфазных коротких замыканий в заданных точках

В точке 1 рассчитаем токи трехфазного, двухфазного на землю и однофазного на землю короткого замыкания.

Полная схема замещения сети по прямой последовательности представлена на рисунке 2.1, параметры элементов схемы замещения приведены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 - Параметры схемы замещения элементов сети

№ линии	Л1	Л2	Л3	Л4	Л5	
Провод	АС-185	АС-185	АС-150	АС-50	ААБ-120	
Рл, ом	2,3	3,8	5,6	5,6	0,7	
Лл, км	15	25	30	10	3	
Хл, ом	6	10	12	4	0,24	
Хл/Рл	2,64	2,64	2,14	0,71	0,34	
Хл, о.е.	0,45	0,76	0,91	36,28	2,18	
Рл, о.е.	0,17	0,29	0,42	50,79	6,35	
	Г1, Г2		Т1	Т2	Т3	Т4
S ном	79	S ном	100	25	10	16
X _{dii}	1,94	ХТ	1,05	0,00	0	0
X ₂	2,36	ХТВ	0	4,3	10,75	6,72
X ₀	1,12	ХТС	0	0	0,00	0,00
		ХТН	0	2,7	6,75	4,22
Нагрузки	S1	S2	S3	S4		
	38,89	35,00	350,00	87,50		

В точке 2 рассчитаем токи двухфазного и трехфазного короткого замыкания, построим векторные диаграммы токов и напряжений установившегося аварийного режима в месте повреждения для несимметричных коротких замыканий.

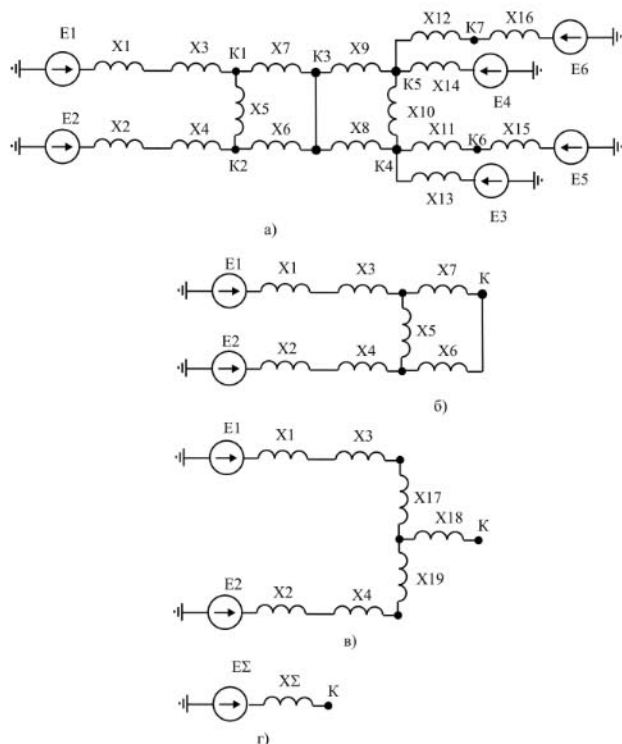


Рисунок 2.1 - Схемы замещения по прямой последовательности

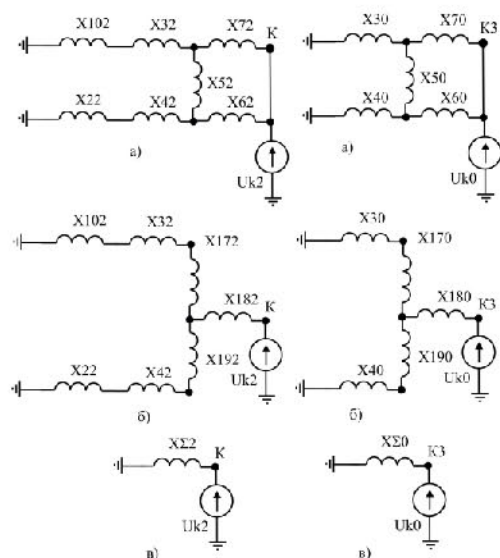


Рисунок 2.2 – Схемы замещения по обратной и нулевой последовательности

Для заданного элемента сети построим графики мгновенного значения тока в фазах $i(t)$ в диапазоне $t= 0..1$ с (за ноль принимается время

возникновения аварийного режима) при трехфазном коротком замыкании в точке 2, без учета нагрузочного тока предшествующего режима.

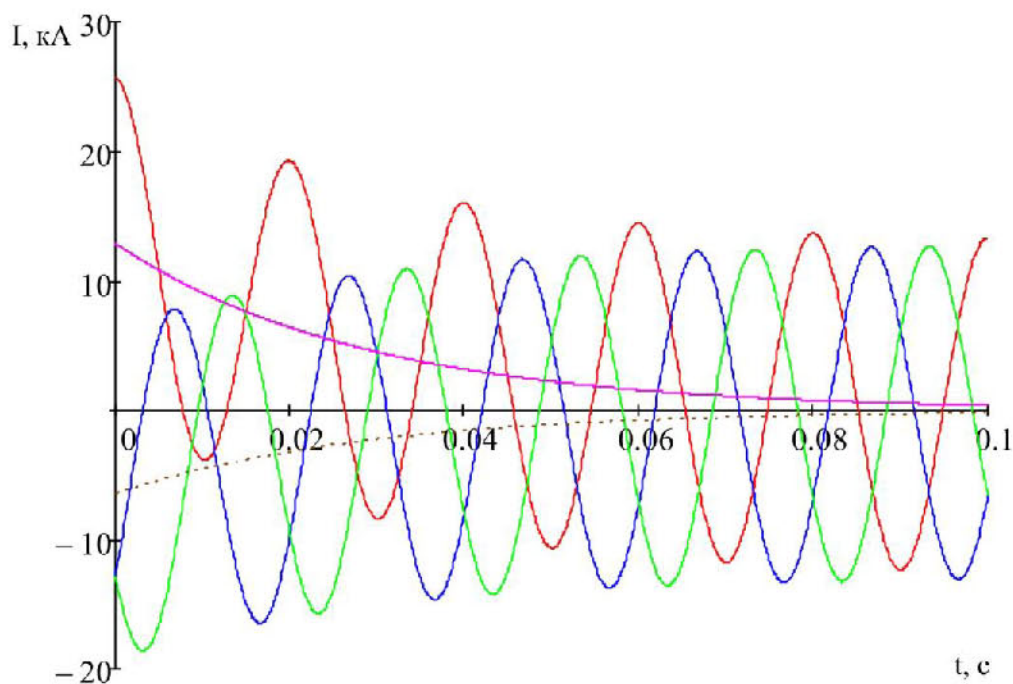


Рисунок 2.4 – Мгновенные значения тока в элементе сети

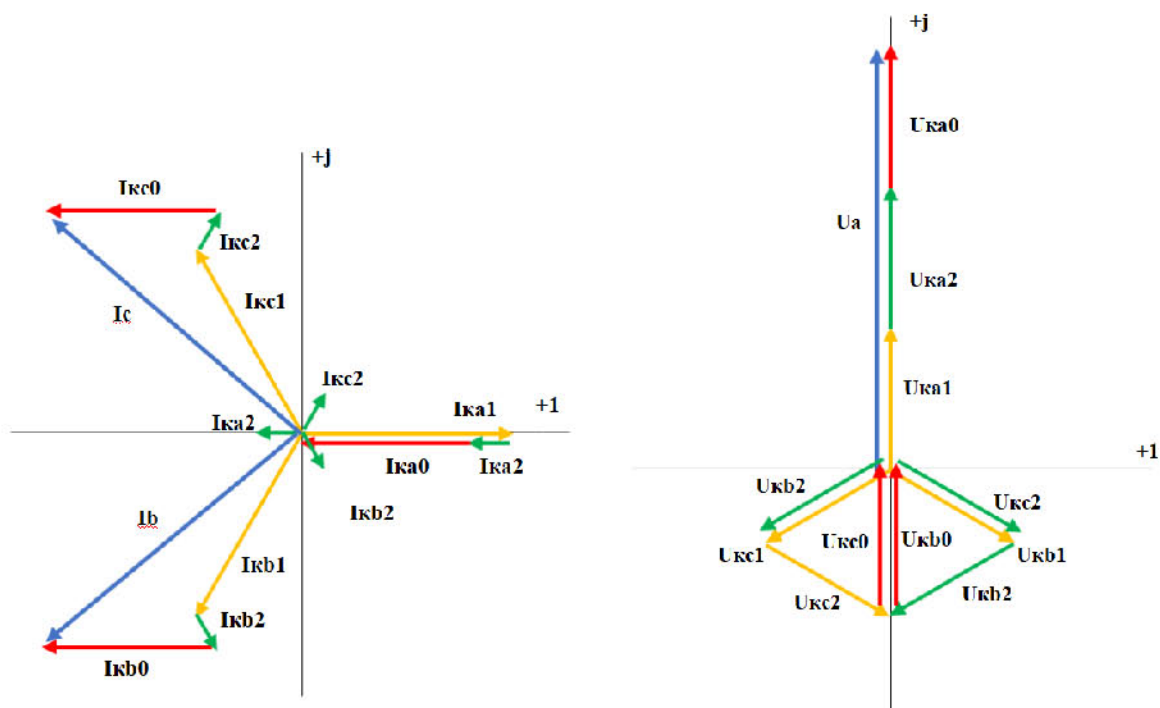


Рисунок 2.5 - Векторные диаграммы токов и напряжений

Результаты расчета токов коротких замыканий сведем в таблицу 2.2

	Точка 1	Точка 2
X1сумм	0,429	1,694
X2сумм	0,329	1,914
X0сумм	0,468	1,835
Ik 3ф, о.е	2,334	0,590
Ik 2ф, о.е	1,608	0,277
Ik 1ф, о.е	0,816	
Ik 3ф, кА	11,729	32,488
Ik 2ф, кА	8,082	15,257
Ik 1ф, кА	4,099	

Заключение

В ходе выполнения данной курсовой работы был рассчитан установившийся ток для всех типов коротких замыканий и ударный ток для трёхфазных коротких замыканий в данных точках.

В точке 1 рассчитаны токи трёхфазного, двухфазного на землю и однофазного на землю короткого замыкания.

В точке 2 рассчитаны токи двухфазно и трёхфазного короткого замыкания.

Для несимметричных коротких замыканий построены векторные диаграммы токов и напряжений установившегося аварийного режима в месте повреждения.

Для заданного элемента сети построен график мгновенного значения тока в фазах $i(t)$ при трёхфазном короткого замыкании в точке 2.

Список литературы

1. Электромагнитные переходные процессы в электроэнергетических системах: метод. указания по практ. занятиям / сост.: А. Э. Бобров, А. М. Дяков, В. Б. Зорин, Л. И. Пилюшенко. – Красноярск: ИПК СФУ, 2009. – 92 с.
2. Электромагнитные переходные процессы в электрических системах: учебное пособие / Т. Я. Окуловская, Т. Ю. Паниковская, В. А. Смирнов. 4-е изд., переаб. и доп. – Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ – УПИ, 2006. – 85 с.
3. РД 153-34.0-20.527-98. Руководящие указания по расчёту токов короткого замыкания и выбору электрооборудования / под ред. Б. Н. Неклепаева. – М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2002. – 152 с.
4. Руководящие указания по релейной защите. Вып. 11. Расчёты токов короткого замыкания для релейной защиты и системной автоматики в сетях 110 – 750 кВ. – М.: Энергия, 1979. – 152 с.
5. Электромагнитные переходные процессы в электроэнергетических системах: учеб. пособие / А. Э. Бобров, А. М. Дяков, В. Б. Зорин и др. – Красноярск: ИПК СФУ, 2009. – 176 с.