



**Некоммерческое
акционерное
общество**

**АЛМАТИНСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ
ЭНЕРГЕТИКИ И
СВЯЗИ ИМЕНИ
ГУМАРБЕКА
ДАУКЕЕВА**

Кафедра
электроэнергетических систем

ПЕРЕХОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ

Методические указания и задания к выполнению расчетно-графических работ для студентов, обучающихся по образовательным программам 6В07101 – Электроэнергетика, 6В07119 – Электроэнергетические системы

Алматы 2022

СОСТАВИТЕЛИ: А. А. Абдурахманов, А. К. Садыкова. Переходные процессы в электроэнергетике. Методические указания и задания к выполнению расчетно-графических работ для студентов, обучающихся по образовательным программам 6В07101 – Электроэнергетика, 6В07119 – Электроэнергетические системы. – НАО АУЭС. - Алматы: АУЭС, 2022. – 16 с.

Методическая разработка предназначена для выполнения расчетно-графических работ по дисциплине «Переходные процессы в электроэнергетике» и содержит задания, методические указания к выполнению РГР, а также список необходимой литературы.

Ил. – 7, табл. – 6, библиогр. – 7 назв.

Рецензент: доцент каф. ЭТ

А.С. Баймаганов

Печатается по плану издания некоммерческого акционерного общества «Алматинский университет энергетики и связи имени Г. Даукеева» на 2022 г.

©НАО Алматинский университет энергетики и связи имени Гумарбека Даукеева, 2022 г.

Содержание

Введение.....	4
1. Расчетно-графическая работа № 1. Расчет несимметричных коротких замыканий.....	5
2. Расчетно-графическая работа № 2. Расчет коротких замыканий в симметричной трехфазной сети.....	7
3. Расчетно-графическая работа № 3. Динамическая устойчивость при коротком замыкании на линии	13
Список литературы	16

Введение

Переходные процессы являются распространенным режимом электроэнергетических систем, в том числе и входящих в их состав систем электроснабжения. Переходные процессы происходят как при нормальных условиях эксплуатации – включении и отключении электрических нагрузок, источников питания, отдельных линий электропередачи, так и при авариях – коротких замыканиях, обрывах фаз, пусках крупных электрических машин и т. п. При любом переходном процессе происходит в определенной мере изменение электромагнитной энергии в элементах систем электроснабжения, нарушается баланс между механическим и электромагнитным моментами на валу каждого вращающегося генератора электрической системы и работающего электродвигателя в системе электроснабжения. Поэтому переходные процессы характеризуются совокупностью электромагнитных и механических изменений во всей электрической системе. Эти процессы взаимно связаны.

Методические указания к выполнению расчетно-графических работ являются составной частью учебно-методического комплекса дисциплины (УМКД) по дисциплине «Переходные процессы в электроэнергетике» для электроэнергетических специальностей, обучающихся по программе бакалавров.

Тематика и содержание расчетно-графических работ (РГР) составлены в соответствии с требованиями государственных образовательных стандартов и рекомендациями типовой программы дисциплины «Переходные процессы в электроэнергетике», рекомендованной Минобразованием Республики Казахстан для направлений подготовки бакалавров и специалистов в области техники и технологии.

Целью РГР является развитие инженерного мышления, приобретение знаний, необходимых для изучения специальных дисциплин, связанных с проектированием и эксплуатацией электротехнического оборудования.

Выполнение студентами РГР способствует получению ими знаний, умений и навыков, необходимых для квалифицированного использования того или иного электротехнического устройства в процессе решения проектно-конструкторских задач, а также правильного выбора необходимых электротехнических, электронных и электроизмерительных устройств; умению правильно эксплуатировать эти устройства. В процессе выполнения РГР приобретаются практические навыки по построению моделей и схем замещения электрических систем, электромагнитных устройств, электрических машин.

Каждое задание расчетно-графической работы содержит условие задачи, поясняющий текст, а также рекомендации по преобразованию схемы и ссылки на литературу. В зависимости от специальности задание может корректироваться преподавателем в соответствии с учебной программой дисциплины.

1. Расчетно-графическая работа № 1. Расчет несимметричных коротких замыканий

1.1 Задание 1

В схеме, представленной на рисунке 1.1, происходят поочередно различные несимметричные короткие замыкания.

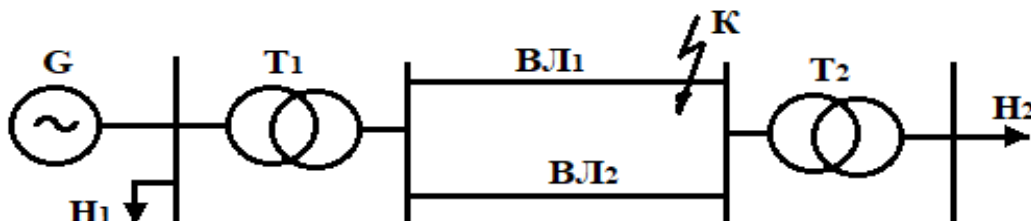


Рисунок 1.1 – Схема электрической сети

Требуется определить токи в месте несимметричного короткого замыкания (однофазного, двухфазного, двухфазного на землю). Параметры схемы приведены к базисным условиям при $S_б = 100$ МВА, $U_б = U_{ср.н}$ и представлены в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Исходные данные к выполнению работы

Последняя цифра транскрипта	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Первая буква фамилии	А, Е, Л	Б, Ж, М	В, З, Н	Г, И, О	Д, Й, П	Ы, К, Р	С, Ч, Э	Т, Ш, Ю	Щ, У, Я	Ф, Х, Ц,
$X_{Г1}$	0,9	0,92	0,88	0,89	0,93	0,9	0,94	0,87	0,95	0,86
$X_{Г2}$	0,45	0,43	0,44	0,41	0,42	0,46	0,47	0,44	0,48	0,4
E_c	1,66	1,67	1,69	1,70	1,65	1,68	1,69	1,64	1,63	1,65
X_{T1}	0,21	0,19	0,22	0,25	0,18	0,16	0,22	0,20	0,25	0,19
X_{T2}	0,21	0,19	0,22	0,25	0,18	0,16	0,22	0,20	0,25	0,19
Последняя цифра транскрипта	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Первая буква фамилии	Ф, Ш, Я	Х, Г, Н	Й, К, Э	А, Т, Ч	Е, Щ, Ю	Л, С, У	М, В, Ы	Ж, О, Д	П, Р, Ц	Б, З, И
$X_{Л12(1)}$	0,19	0,21	0,16	0,24	0,22	0,18	0,26	0,16	0,18	0,27
$X_{Л12(0)}$	0,57	0,61	0,52	0,59	0,58	0,55	0,63	0,54	0,56	0,64
$X_{Н2}$	3,6	3,4	3,3	3,8	3,9	3,5	4,0	3,5	3,6	3,9
$X_{Н2(2)}$	1,05	1,07	1,03	1,08	1,06	1,04	2,0	1,02	1,03	1,07
$X_{Н1}$	2,4	2,6	2,2	2,5	2,7	2,1	2,3	2,1	2,4	2,6
$X_{Н1(2)}$	0,7	0,9	0,5	0,85	0,75	0,56	0,82	0,65	0,58	0,75

1.2 Задание 2

Для схемы, представленной на рисунке 1.1, построить векторные диаграммы напряжений на шинах ВН и НН трансформатора Т-1 для двухфазного короткого замыкания на землю. Данные для расчета принять из таблицы 1.

1.3 Методические указания

К несимметричным коротким замыканиям относятся двухфазное, двухфазное на землю и однофазное КЗ.

Для несимметричных КЗ характерны неодинаковые значения фазных токов и напряжений и различные углы сдвига между токами, а также между токами и соответствующими напряжениями.

Эта особенность несимметричных КЗ существенно усложняет их расчет, так как при расчетах трехфазных КЗ предполагается полная симметрия трех фаз рассматриваемой схемы, что позволяет составлять схему замещения и вести расчет для одной из фаз.

Поскольку при несимметричных КЗ токи и напряжения в разных фазах различны, для выполнения расчета обычным способом потребовалось бы составлять схему замещения для всех трех фаз рассматриваемой сети с учетом взаимной индукции между фазами. Это серьезно усложнило бы расчет даже в случае сравнительно простых схем.

Для упрощения расчетов несимметричных КЗ применяется метод симметричных составляющих, который заключается в замене несимметричного режима трехфазной сети симметричным режимом или замене несимметричного повреждения условным трехфазным коротким замыканием.

По этому методу любая несимметричная трехфазная система может быть однозначно разложена на три симметричные системы, или последовательности – прямую, обратную и нулевую.

Для расчетов токов несимметричных коротких замыканий необходимо составить схемы замещения прямой, обратной и нулевой последовательности и определить их параметры.

Схема замещения прямой последовательности составляется аналогично схеме замещения для расчета трехфазных КЗ, так как токи трехфазного КЗ являются токами прямой последовательности: система токов симметрична, уравновешена и имеет прямое чередование фаз.

Для всех элементов расчетной схемы $X_1 = X^{(3)}$, т. е. сопротивление прямой последовательности соответствует индуктивному сопротивлению при симметричном режиме.

Схема замещения обратной последовательности составляется из тех же элементов, что и схема прямой последовательности, так как пути прохождения тока для обеих последовательностей одинаковы; ЭДС генераторов в схеме принимаются равными нулю.

Для составления схемы замещения нулевой последовательности выявляются контуры, по которым могут проходить токи, имеющие одинаковое направление во всех фазах. В точке КЗ, где фазы условно закорочены и приложено напряжение $U_{к,0}$, контуры объединяются, и поэтому составление схемы замещения целесообразно начинать с этой точки. Чтобы получилась замкнутая цепь для прохождения токов нулевой последовательности, в схеме должна быть, по крайней мере, одна заземленная нейтраль. Если таких нейтралей несколько, то полученные цепи включаются параллельно.

В схему замещения элементы вводятся своими сопротивлениями нулевой последовательности.

Токи короткого замыкания определяются следующим образом:
для однофазного короткого замыкания:

$$I_{кз}^{(1)} = 3I_{кА1} = \frac{3 \cdot E}{x_{1\Sigma} + x_{2\Sigma} + x_{0\Sigma}}, \text{ кА} \quad (1.1)$$

для двухфазного короткого замыкания:

$$I_{кз}^{(1)} = 3I_{кА1} = \frac{\sqrt{3} \cdot E}{x_{1\Sigma} + x_{2\Sigma}}, \text{ кА} \quad (1.2)$$

для двухфазного замыкания на землю токи поврежденных фаз в месте короткого замыкания:

$$I_{кВ}^{(1.1)} = \left(a^2 - \frac{x_{1\Sigma} + a \cdot x_{0\Sigma}}{x_{1\Sigma} + x_{0\Sigma}} \right) \cdot I_{кА1}^{(1.1)}, \text{ кА} \quad (1.3)$$

$$I_{кС}^{(1.1)} = \left(a - \frac{x_{1\Sigma} + a^2 \cdot x_{0\Sigma}}{x_{1\Sigma} + x_{0\Sigma}} \right) \cdot I_{кА1}^{(1.1)}, \text{ кА} \quad (1.4)$$

2. Расчетно-графическая работа № 2. Расчет коротких замыканий в симметричной трехфазной сети

2.1 Задание 1

На рисунке 2.1 представлена схема понижающей подстанции с участками распределительных сетей 35, 6 и 3 кВ. Подстанция присоединена к узлу системы, которая может рассматриваться как источник бесконечной мощности с неизменным напряжением 115 кВ, с приложенной реактивностью $x=8,8$ Ом.

Требуется определить начальное значение периодической слагающей тока и ударный ток при трехфазном коротком замыкании поочередно в точках К.З.

Для линий с проводами марки ПС рекомендуются следующие параметры:

При токах от 20 до 200 А: для ПС-50 $z=3,75+j1,36$ Ом/км, для ПС-35 $z=5,0+j1,8$ Ом/км, для ПС-25 $z=6,1+j2,21$ Ом/км.

$$z = \frac{150}{q} + j0,5, \quad (2.1)$$

При токах выше 200 А:
где q – сечение провода, мм².

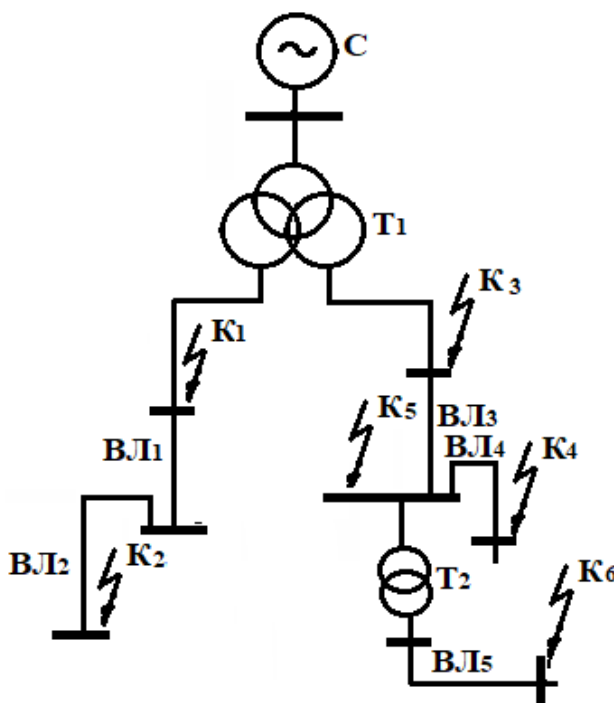


Рисунок 2.1 – Схема понижающей подстанции

Таблица 2.1 – Исходные данные к выполнению работы

Последняя цифра шифра	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Первая буква фамилии	А, Е, Л	Б, Ж, М	В, З, Н	Г, И, О	Д, Й, П	Ы, К, Р	С, Ч, Э	Т, Ш, Ю	Щ, У, Я	Ф, Х, Ц,
Т-1	1	2	3	3	1	2	1	3	2	1
Т-2	4	5	6	4	5	4	5	6	4	5

Продолжение таблицы 2.1

Последняя цифра шифра	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Первая буква фамилии	Ф, Ш, Я	Х, Г, Н	Й, К, Э	А, Т, Ч	Е, Щ, Ю	Л, С, У	М, В, Ы	Ж, О, Д	П, Р, Ц	Б, З, И
Л-1	АС-70	АС-95	АС-120	АС-120	АС-70	АС-95	АС-95	АС-120	АС-70	АС-70
Л-2	ПС-50	ПС-35	ПС-50	ПС-35	ПС-50	ПС-35	ПС-50	ПС-35	ПС-50	ПС-35
Л-3	ПС-35	ПС-25	ПС-35	ПС-25	ПС-35	ПС-25	ПС-35	ПС-25	ПС-35	ПС-25
Л-4	ПС-35	ПС-50	ПС-35	ПС-50	ПС-35	ПС-50	ПС-35	ПС-50	ПС-35	ПС-50
Л-5	ПС-25	ПС-35	ПС-25	ПС-35	ПС-25	ПС-35	ПС-25	ПС-35	ПС-25	ПС-35

Таблица 2.2 – Тип устанавливаемых трансформаторов

Тип трансформатора	Марка устанавливаемого трансформатора
1	ТДТН-25000/110
2	ТДТН-40000/110
3	ТДТН-63000/110
4	ТМ-6300/35/6,3
5	ТД-10000/35/6,3
6	ТД-16000/35/6,3

2.2 Задание 2

Для схемы (см. рисунок 2.2) требуется определить:

- а) величины собственного реактивного сопротивления относительно узла 1 и взаимного реактивного сопротивления между этим узлом и узлами 2, 3, 4 и 5, используя способ токораспределения;
- б) те же величины путем преобразования схемы;
- в) коэффициенты распределения и взаимные реактивности между точками, 2, 4, 5 (где имеются источники) и точкой 3 (где предполагается потенциал, равный нулю).

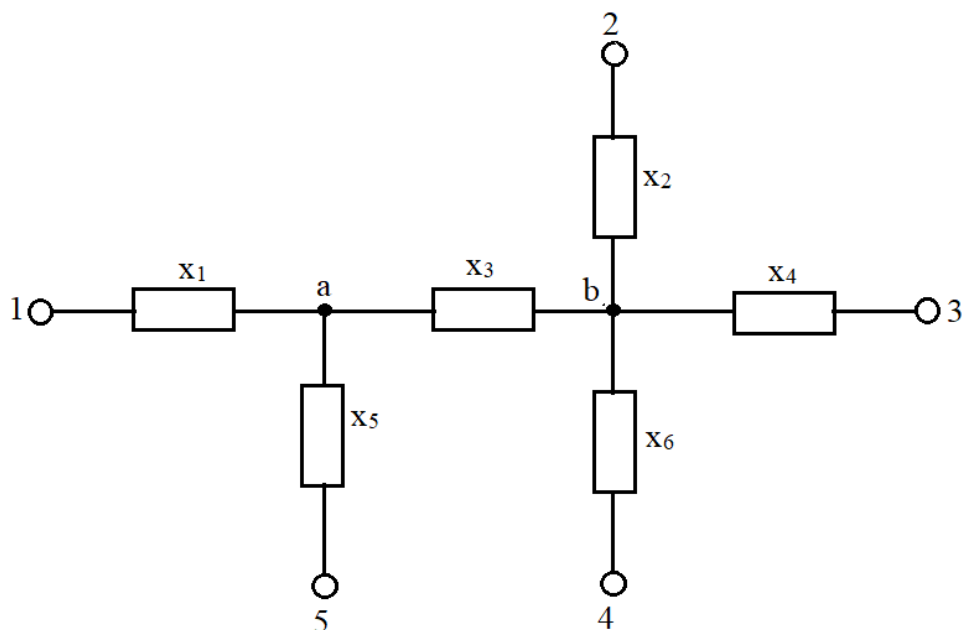


Рисунок 2.2 – Исходная схема для расчета

Таблица 2.3 – Исходные данные к выполнению работы

Последняя цифра шифра	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Первая буква фамилии	А, Е, Л	Б, Ж, М	В, З, Н	Г, И, О	Д, Й, П	Ы, К, Р	С, Ч, Э	Т, Ш, Ю	Щ, У, Я	Ф, Х, Ц
x_1	$j1,4$	$j1,5$	$j1,3$	$j1,5$	$j1,35$	$j1,6$	$j1,2$	$j1,9$	$j1,42$	$j1,3$
x_2	$j0,4$	$j0,5$	$j0,3$	$j0,5$	$j0,35$	$j0,6$	$j0,2$	$j0,9$	$j0,42$	$j0,3$
x_3	$j0,5$	$j0,6$	$j0,4$	$j0,55$	$j0,35$	$j0,77$	$j0,44$	$j0,85$	$j0,2$	$j0,4$
Последняя цифра шифра	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Первая буква фамилии	Ф, Ш, Я	Х, Г, Н	Й, К, Э	А, Т, Ч	Е, Щ, Ю	Л, С, У	М, В, Ы	Ж, О, Д	П, Р, Ц	Б, З, И
x_4	$j2,1$	$j2,0$	$j2,2$	$j1,8$	$j2,5$	$j1,7$	$j1,5$	$j1,5$	$j2,3$	$j1,9$
x_5	$j4,1$	$j4,0$	$j4,2$	$j3,8$	$j5,5$	$j5,7$	$j3,5$	$j4,5$	$j5,3$	$j6,9$
x_6	$j0,21$	$j0,5$	$j0,2$	$j0,8$	$j0,5$	$j0,75$	$j0,59$	$j0,57$	$j0,45$	$j0,99$

2.3 Задание 3

Составить схему замещения для схемы (рисунок 4), выразив ее элементы в именованных и относительных единицах; при этом сделать точное и приближенное приведение схемы. Вычислить начальные значения периодической слагающей тока при трехфазном коротком замыкании поочередно в точках $K-1$, $K-2$ и $K-3$. Оценить влияние

регулирования напряжения у трансформатора Т-1 и линейного регулировочного автотрансформатора ЛРА на величины указанных токов.

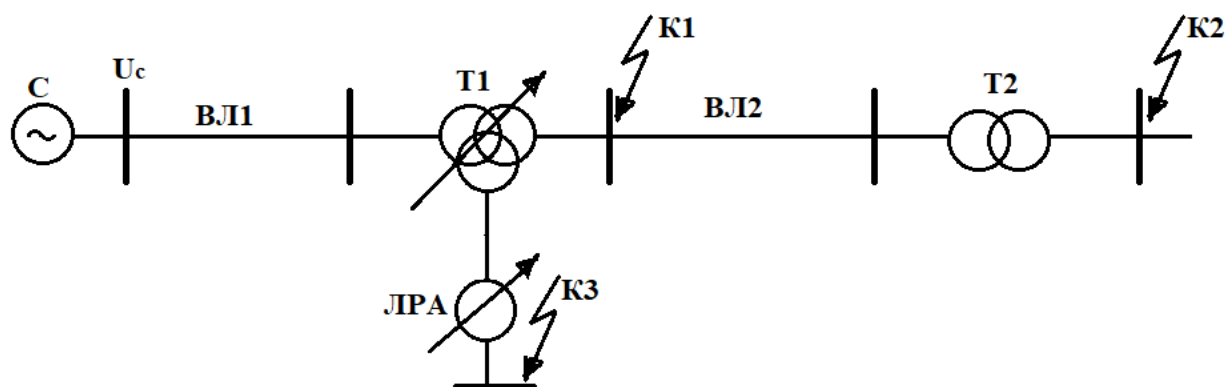


Рисунок 2.3 – Исходная схема для расчета

Таблица 2.4 – Исходные данные к выполнению работы

Последняя цифра транскрипта	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Первая буква фамилии	А, Е, Л	Б, Ж, М	В, З, Н	Г, И, О	Д, Й, П	Ы, К, Р	С, Ч, Э	Т, Ш, Ю	Щ, У, Я	Ф, Х, Ц, Ъ
Т-1	1	2	3	3	1	2	1	3	2	1
Л-1, км	60	50	40	65	45	55	60	65	55	40
ЛРА	4 МВА, 10 кВ±10%, Uk=0,5%									
Последняя цифра транскрипта	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Первая буква фамилии	Ф, Ш, Я	Х, Г, Н	Й, К, Э	А, Т, Ч	Е, Щ, Ю	Л, С, У	М, В, Ы	Ж, О, Д	П, Р, Ц	Б, З, И
Т-2	4	5	6	4	5	4	5	6	4	5
Л-2, км	10	12	15	11	10	9	12	13	14	9
Uc, кВ	115	115	116	116	117	117	116	115	117	116

Удельное сопротивление обоих участков линии составляет 0,4 Ом/км. Тип трансформаторов выбирается из таблицы 2.4.

2.4 Методические указания

Расчет токов короткого замыкания начинается с представления схемы замещения, нахождения всех ее параметров. Для этого необходимо выбрать базисную ступень напряжения и привести все параметры к этой ступени по выражению:

$$X_{сб} = X_c \cdot \left(\frac{U_6}{U_c}\right)^2, \text{ Ом} \quad (2.1)$$

Реактивное сопротивление обмоток высшего и среднего напряжений составляет:

$$X_{тб} = \frac{u_k, \%}{100} \cdot \frac{U^2}{S_T} \cdot \frac{U}{U_6}, \text{ Ом.} \quad (2.2)$$

Периодическая слагающая тока будет определяться как:

$$I_{по} = \frac{U}{\sqrt{3} \cdot X_{рез}}, \text{ кА,} \quad (2.3)$$

где $X_{рез}$ – суммарное сопротивление от системы до точки короткого замыкания.

Величина ударного тока определяется по формуле:

$$i_y = \sqrt{2} \cdot k_y \cdot I_{по}, \text{ кА,} \quad (2.4)$$

где k_y – ударный коэффициент тока трехфазного короткого замыкания, о.е.

Ударный коэффициент тока трехфазного короткого замыкания определяем из соотношения:

$$k_y = 1 + e^{-\frac{t}{T_a}}, \text{ о.е.} \quad (2.5)$$

где T_a – постоянная времени затухания ударного тока трехфазного короткого замыкания, с

Постоянная времени определяем по формуле

$$T_a = \frac{X_{рез}}{\omega \cdot R_{рез}}, \text{ с} \quad (2.6)$$

где $X_{рез}$, $R_{рез}$ – результирующие реактивное и активное сопротивление соответственно от системы до точки короткого замыкания.

3. Расчетно-графическая работа № 3. Анализ динамической устойчивости при коротком замыкании на линии

На рисунке 3.1 в точке К происходит внезапное двухфазное короткое замыкание на землю. В момент времени t_1 оно переходит в трехфазное, а затем в момент времени t_2 поврежденная линия отключается.

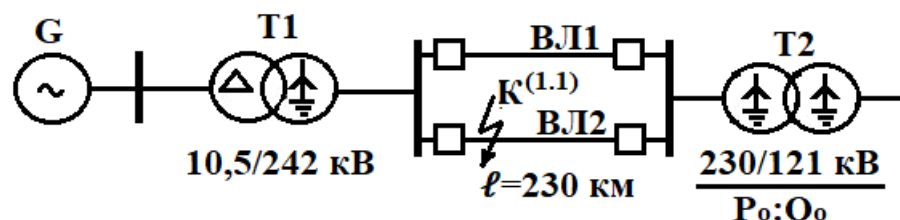


Рисунок 3.1 – Схема электрической сети

Требуется определить, сохранится ли динамическая устойчивость, если моменту времени t_1 соответствует угол 50° , $t_2 - 70^\circ$.

Параметры исходного режима и параметры электропередачи при $S_6 = 220$ МВА и базисном напряжении на ступени 220 кВ $U_6 = 209$ кВ приведены в таблице 6.

Таблица 3.1 – Исходные данные к выполнению работы

Последняя цифра транскрипта	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Первая буква фамилии	А, Е, Л	Б, Ж, М	В, З, Н	Г, И, О	Д, Й, П	Ы, К, Р	С, Ч, Э	Т, Ш, Ю	Щ, У, Я	Ф, Х, Ц, Ч
P_0	1	0,95	1,05	1,1	1,07	1,02	0,98	1,08	1,01	0,97
Q_0	0,2	0,19	0,22	0,24	0,18	0,23	0,21	0,17	0,24	0,22
U_c	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
x_d'	0,295	0,297	0,294	0,298	0,295	0,296	0,299	0,29	0,297	0,294
Последняя цифра транскрипта	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Первая буква фамилии	Ф, Ш, Я	Х, Г, Н	Й, К, Э	А, Т, Ч	Е, Щ, Ю	Л, С, У	М, В, Ы	Ж, О, Д	П, Р, Ц	Б, З, И
x_{T1}	0,138	0,133	0,135	0,130	0,136	0,139	0,140	0,143	0,134	0,135
x_{T2}	0,122	0,12	0,125	0,123	0,121	0,124	0,126	0,128	0,118	0,115
x_L	0,244	0,246	0,240	0,247	0,241	0,242	0,243	0,248	0,239	0,245
X_{L0}	0,732	0,73	0,734	0,733	0,738	0,74	0,731	0,7	0,736	0,735
T_{j6}	8,18	8,20	8,15	8,23	8,15	8,13	8,25	8,32	8,27	8,35

3.1 Методические указания

Наиболее распространенным видом возмущений, приводящим к необходимости анализа динамической устойчивости, является короткое замыкание. Схема замещения для режима короткого замыкания показана на рисунке 3.2. В точке К включено шунтирующее сопротивление $X_{\Delta}^{(n)}$, состоящее из суммарных сопротивлений $X_{\Sigma 2}$ и $X_{\Sigma 0}$ обратной и нулевой последовательностей.

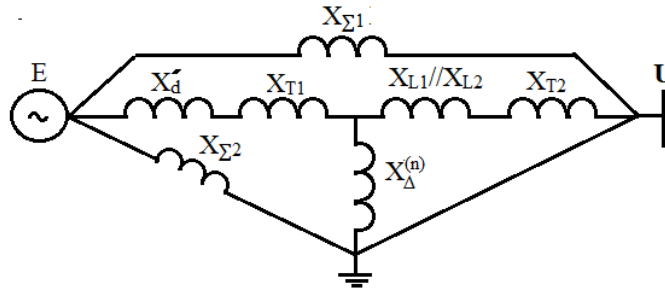


Рисунок 3.2 – Схема замещения для режима короткого замыкания

После возникновения КЗ мощность, передаваемая от генератора в систему, изменится, как и суммарное сопротивление $X_{\Sigma 1}$, связывающее генератор с системой. Это сопротивление может быть найдено из схемы замещения (см. рисунок б) следующим образом:

$$X_{\Sigma 1} = (X'_d + X_{T1}) + (X_{L1}/X_{L2} + X_{T2}) + \frac{(X'_d + X_{T1}) \cdot (X_{L1}/X_{L2} + X_{T2})}{X_{\Delta}^{(n)}}, \quad (3.1)$$

Сопротивления $X_{\Sigma 2}$ и $X_{\Sigma 0}$ находятся по аналогичным выражениям преобразования звезды в треугольник, но они не влияют на значение мощности генератора в аварийном режиме и могут не учитываться. В момент КЗ из-за изменения параметров схемы происходит переход с одной характеристики мощности на другую (рисунок 7). Так как ротор обладает определенной инерцией, то угол δ мгновенно измениться не может и отдаваемая мощность уменьшается до значения $P_{(0)}$. Мощность турбины при этом не изменяется ввиду запаздывания ее регуляторов. На валу турбины-генератора возникает некоторый избыточный момент, определяемый избытком мощности ($\Delta P = P_0 - P_{(0)}$). Под влиянием этого момента ротор генератора начинает ускоряться, угол δ увеличивается. Так как линия имеет защиту, то через определенное время она отключится выключателями. Это время определяется как

$$t_{\text{откл.}} = t_3 + t_{\text{выкл.}}, \quad (3.2)$$

$$t_{\text{откл}} = t_3 + t_{\text{выкл}}, \quad (3.3)$$

где t_3 – собственное время срабатывания защиты;
 $t_{\text{выкл}}$ – время срабатывания выключателей.

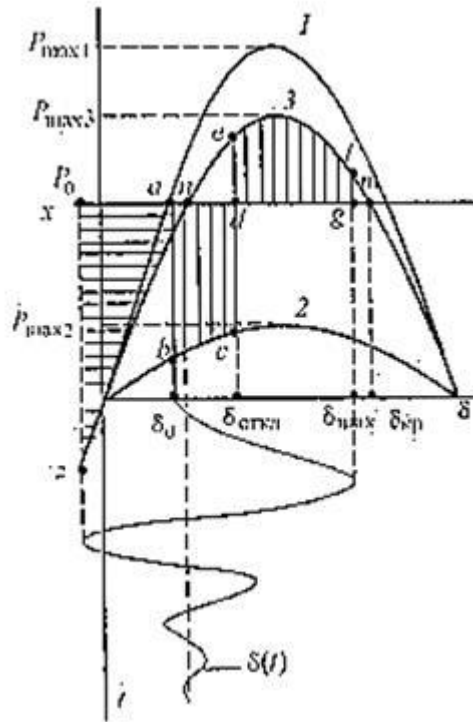


Рисунок 3.3 – Динамический переход при несимметричном КЗ

Времени $t_{\text{откл}}$ соответствует угол отключения КЗ $\delta_{\text{откл}}$. Отключение КЗ вызывает переход с характеристики мощности аварийного режима 2 на характеристику послеаварийного режима 3. При этом избыточный момент теряет знак, превращаясь из ускоряющего в тормозящий. Ротор, тормозясь, продолжает движение в сторону увеличения угла из-за накопленной в процессе ускорения кинетической энергии. Это движение будет продолжаться до тех пор, пока площадь торможения f_{defg} не станет равной площади ускорения f_{abcd} . В точке f скорость ротора становится синхронной. Но движение ротора не прекращается, так как на него действует тормозной избыточный момент, определяемый избытком мощности $\Delta P_{\text{торм}} = P_f - P_0$. Ротор, ускоряясь, начинает движение в обратную сторону. Его скорость максимальна в точке n . После точки n относительная скорость начинает уменьшаться и становится равной нулю в точке z . Эта точка определяется из равенства площадок f_{nefgd} и f_{xnz} . Из-за потерь колебания ротора будут затихать около нового положения равновесия после аварийного режима – точки n .

Список литературы

1. Вайнштейн Р.А., Коломиец Н.В., Шестакова В.В. Режимы заземления нейтрали в электрических системах: учебное пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2006.
2. Переходные процессы в электроэнергетических системах / И.П. Крючков, В.А. Старшинов, Ю.П. Гусев, М.В. Пираторов. – М.: Издательский дом МЭИ, 2008.
3. Куликов, Ю.А. Переходные процессы в электрических системах: учеб. пособие / Ю.А. Куликов. – Изд. 2-е, испр. и доп. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2006.
4. В.Н. Сажин, К.К. Тохтибакиев, Кнь О.А. Переходные процессы в электроэнергетике. Конспект лекций для специальности 5В071800 – Электроэнергетика. – Алматы: АУЭС, 2011. – 62 с.
5. Сборник задач по дисциплинам «Электромагнитные переходные процессы» и «Переходные процессы в электроэнергетических системах» / сост.: С.М. Силюк, В.А. Булат, Е.В. Булойчик. – Минск: БНТУ, 2010. – 71 с.
6. Евминов, Л.И. Электромагнитные переходные процессы в электрических системах : учебное пособие / Л.И. Евминов, Г.И. Селиверстов; М-во образования Респ. Беларусь, Гомел. гос. техн. ун-т им. П. О. Сухого. – Гомель: ГГТУ им. П. О. Сухого, 2010. – 418 с.
7. Крючков, И.П. Электромагнитные переходные процессы в электрических системах: учебное пособие для вузов / И. П. Крючков. – Москва: Изд-во МЭИ, 2000. – 168 с.

Сводный план, поз. 5. 2022 г.

Абдугани Абдужаллилович Абдурахманов
Айкүміс Қанатқызы Садықова

ПЕРЕХОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ

Методические указания и задания к выполнению расчетно-графических работ для студентов специальностей
6В07101 – Электроэнергетика, 6В07119 – Электроэнергетические системы

Редактор:
Специалист по стандартизации:

Жанабаева Е.Б.
Ануарбек Ж.А.

Подписано в печать _____
Тираж 50 экз.
Объем 1,0 уч.-из. л.

Формат 60×84 1/16
Бумага типографская № 1
Заказ ____ цена 500 тг.

Копировально-множительное бюро
некоммерческого акционерного общества
«Алматинский университет энергетики и связи»
050013, Алматы, Байтурсынова, 126/1