

**Некоммерческое
акционерное
общество**



**АЛМАТИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ЭНЕРГЕТИКИ И СВЯЗИ**

Электрические станции, сети и
системы

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СТАНЦИИ И ПОДСТАНЦИИ

Методические указания по выполнению расчетно-графической работы №3
для студентов специальностей 5В071800 – Электроэнергетика,
5В081200 – Энергообеспечение сельского хозяйства

Алматы 2014

СОСТАВИТЕЛИ: С.Е. Соколов, Г.Х. Хожин, Е.Г. Михалкова. Электрические станции и подстанции. Методические указания по выполнению расчетно-графической работы №3 для студентов специальностей 5В071800 – Электроэнергетика, 5В081200 – Энергообеспечение сельского хозяйства. - Алматы: АУЭС, 2014. - 25 с.

Данные методические указания предназначены для выполнения расчетно-графической работы №3 по дисциплине «Электрические станции и подстанции» и содержат: цель и задачи, объем и содержание работы. Приведен конкретный пример расчета.

Ил. – 7, табл. -7, библиогр. - 8 назв.

Рецензент: доцент Башкиров М.В.

Печатается по плану издания некоммерческого акционерного общества «Алматинский университет энергетики и связи» на 2014 г.

©НАО «Алматинский университет энергетики и связи», 2014 г.

1 Цель и задачи РГР

Целью РГР № 3 является закрепление теоретических знаний и развитие у студентов самостоятельности в решении конкретных задач, приобретение практических навыков по расчету токов короткого замыкания в электроустановках, выбору коммутационных аппаратов и составлению упрощенную принципиальную схему электрических соединений ТЭЦ. Данная расчетно-графическая работа № 3 является продолжением РГР № 1,2 по дисциплине «Электрические станции и подстанции».

Задачи РГР № 3:

- 1) по выбранной структурной схеме из РГР № 2 составить расчетную схему и схему замещения;
- 2) у руководителя РГР № 3 получить точку короткого замыкания в РУНН, либо в РУСН, или в РУВН электростанций;
- 3) определить сопротивления элементов схемы и приведение их к базисным условиям;
- 4) преобразовывая схему замещения, определить результирующие сопротивления;
- 5) определить начальное значение периодической составляющей тока короткого замыкания, затем апериодическую составляющую тока короткого замыкания, ударный ток и ток короткого замыкания для заданного момента времени;
- 6) произвести выбор коммутационных аппаратов (высоковольтных выключателей и разъединителей);
- 7) составить упрощенную принципиальную схему электрических соединений ТЭЦ.

2 Объем и содержание расчетно-графической работы

РГР № 3 состоит из расчетно-пояснительной записки с упрощенной принципиальной схемой электрических соединений электростанции.

Расчетно-пояснительная записка в объеме 20-25 страниц выполняется четко и в сжатой форме на стандартных листах форматом А4 (210x297) в соответствии со стандартом АУЭС с применением ЭВМ. В записке должны быть приведены все расчеты и кратко изложены основные положения, принятые в работе решения.

Принципиальная схема электрических соединений выполняется на одном листе формата А-3 или А-2 в условных графических обозначениях в соответствии со стандартом. На принципиальной схеме должны быть показаны все генераторы, трансформаторы (автотрансформаторы), рабочие и резервные трансформаторы собственных нужд, сборные шины РУ всех напряжений и отходящие от них линии, выключатели и разъединители, схемы соединений обмоток силовых трансформаторов (автотрансформаторов) [3,4].

2.1 Исходные данные

Исходные данные для выполнения РГР № 3 представлены в РГР №1 и РГР№2 по дисциплине «Электрические станции и подстанции».

2.2 Содержание расчетно-пояснительной записки

При выполнении расчетно-графической работы № 3 по дисциплине «Электрические станции и подстанции» студент осваивает методы расчетов тока короткого замыкания для выбора и проверки параметров электрооборудования, электрических аппаратов и токоведущих частей электроустановок. При этом основная цель расчета состоит в определении периодической составляющей тока короткого замыкания и ударного тока короткого замыкания для наиболее тяжелого режима работы электроустановок. Учет апериодической составляющей производят приближенно, допуская при этом, что она имеет максимальное значение в рассматриваемой фазе.

Содержание расчетно-пояснительной записки:

- 1) составление расчетной схемы;
- 2) составление схемы замещения;
- 3) получение у руководителя РГР № 3 точку короткого замыкания;
- 4) определение сопротивления элементов схемы и приведение их к базисным условиям;
- 5) преобразовывая схему замещения, определение результирующего сопротивления схемы;
- 6) определение периодической и апериодической составляющей токов короткого замыкания. Затем определить ударный ток короткого замыкания и ток короткого замыкания для заданного момента времени;
- 7) выбор коммутационных аппаратов (высоковольтных выключателей и разъединителей);
- 8) составление упрощенную принципиальную схему электрических соединений электростанций.

3 Расчет токов короткого замыкания и выбор коммутационных аппаратов

3.1 Общие положения

В расчетно-графической работе №3 для выбора и проверки электрооборудования достаточно определение тока трехфазного короткого замыкания, расчет которого выполняется в следующем порядке:

- а) по главной схеме электрических соединений составляется расчетная схема и далее электрическая схема замещения;
- б) путем преобразований схема замещения приводится к наиболее простому виду так, чтобы источник питания или группа источников, характери-

зующиеся определенным значением результирующей э.д.с, были связаны с точкой к. з. одним результирующим сопротивлением;

в) по величине результирующей э.д.с. и результирующему сопротивлению определяется величина начального значения периодической составляющей тока короткого замыкания – I , затем апериодическая составляющая тока к.з., ударный ток и периодическая составляющая тока в отдельных ветвях; при необходимости определяются составляющие тока к. з. для заданного момента времени - t .

Расчетная схема установки должна отражать нормальный режим работы. На схеме намечают расчетные точки к.з., которые выбирают так, чтобы данные аппараты и проводники находились в наиболее тяжелых условиях работы, с точки зрения протекания тока к.з.

3.2 Определение сопротивлений элементов сети. Преобразование схем

Для определения сопротивления элементов сети на расчетной схеме обычно указываются их параметры в именованных, а в большинстве случаев в относительных единицах или в процентах (напряжение к.з трансформаторов, индуктивные сопротивления генераторов и др.

Если расчет выполняется в относительных единицах, то необходимо предварительно привести все сопротивления элементов схемы замещения к одним и тем же базовым условиям. В качестве базисных величин принимают базисные мощности и базисные напряжения, по которым определяются базисный ток и базисное сопротивление.

Базисную мощность можно задавать любой величины, лучше кратную десяти $S_0=100$ МВА или 1000 МВА. За базисное напряжение принимается среднее эксплуатационное напряжение той ступени, на которой предполагается короткое замыкание (0,4; 3,15; 6,3; 10,5; 13,8; 15,75; 20; 37; 115; 154; 230; 340; 515 кВ).

Поскольку базисный ток определяется согласно выражению

$$I_0 = \frac{S_0}{\sqrt{3} \cdot U_0}, \quad (3.1)$$

то путем несложных преобразований можно получить выражения для сопротивления всех элементов короткозамкнутой цепи в относительных единицах при базисных условиях [4, 7, 8].

Расчетные выражения для определения приведенных значений сопротивлений приведены в таблице 3.1.

Для трехобмоточных трансформаторов или автотрансформаторов напряжения к.з, приведенные к номинальной мощности трансформатора или АТ, даны для каждой пары обмоток $U_{КВ-Н}\%$, $U_{КС-Н}\%$, $U_{КВ-С}\%$.

Таблица 3.1 - Расчетные выражения для определения приведенных значений сопротивлений

Элемент электроустановки	Исходный параметр	Именованные единицы, Ом	Относительные единицы
Генератор	$x_{d^{*}НОМ}''$ $S_{НОМ}$	$x = x_{d^{*}(НОМ)}'' \cdot \frac{U_{\delta}^2}{S_{НОМ}}$	$x_* = x_{d^{*}(НОМ)}'' \cdot \frac{S_{\delta}}{S_{НОМ}}$
	x_d'' % $S_{НОМ}$	$x = \frac{x_d''}{100} \cdot \frac{U_{\delta}^2}{S_{НОМ}}$	$x_* = \frac{x_d''}{100} \cdot \frac{S_{\delta}}{S_{НОМ}}$
Система	S_K	$x = \frac{U_{\delta}^2}{S_K}$	$x_* = \frac{S_{\delta}}{S_K}$
	$I_{НОМ.отк}$	$x = \frac{U_{\delta}^2}{\sqrt{3} \cdot I_{НОМ.отк} \cdot U_{cp}}$	$x_* = \frac{S_{\delta}}{\sqrt{3} \cdot I_{НОМ.отк} \cdot U_{cp}}$
	$x_{*c(НОМ)}$ $S_{НОМ}$	$x = x_{*c(НОМ)} \cdot \frac{U_{\delta}^2}{S_{НОМ}}$	$x_* = x_{*c(НОМ)} \cdot \frac{S_{\delta}}{S_{НОМ}}$
Трансформатор	$x_T\%$ $S_{НОМ}$	$x = \frac{x_T\%}{100} \cdot \frac{U_{\delta}^2}{S_{НОМ}}$	$x_* = \frac{x_T\%}{100} \cdot \frac{S_{\delta}}{S_{НОМ}}$
Реактор	x_p $I_{НОМ}$	$x = x_p \cdot \frac{U_{\delta}^2}{U_{cp}^2}$	$x_* = x_p \cdot \frac{S_{\delta}}{U_{cp}^2}$
Линии электропередачи	$x_{y\delta}$ l	$X = x_{y\delta} \cdot l \cdot \frac{U_{\delta}^2}{U_{cp}^2}$	$x_* = x_{y\delta} \cdot l \cdot \frac{S_{\delta}}{U_{cp}^2}$

П р и м е ч а н и е.

$S_{НОМ}$ - номинальные мощности элементов (генератора, трансформатора, энергосистемы), МВ·А;

S_{δ} - базовая мощность, МВ·А;

S_{δ} - мощность КЗ энергосистемы, МВ·А ;

$I_{НОМ.отк}$ = номинальный ток отключения выключателя, кА;

$x_{*cc(НОМ)}$ - относительное номинальное сопротивление энергосистемы;

x_T - относительное сопротивление трансформатора, определяемое через u_k - напряжение к.з. трансформатора [4, таблица 3.2];

U_{δ} - базовое напряжение, кВ;

U_{cp} - среднее напряжение в месте установки данного элемента, кВ;

$x_{y\delta}$ - индуктивное сопротивление линии на 1 км длины Ом/км;

l - длина линии, км.

Схемы замещения силовых трансформаторов и расчетные выражения для определения индуктивных сопротивлений для каждой пары обмоток приведены в таблице 3.2 [4].

Значения сопротивлений, найденные по формулам таблицы 3.2 [4], указываются в схеме замещения. Каждому сопротивлению присваивается определенный номер, который сохраняется за ним до конца расчета.

Для этого каждый элемент в схеме замещения обозначают дробью: в числителе ставят порядковый номер элемента, а в знаменателе - значение относительного индуктивного сопротивления. Далее необходимо определить результирующее сопротивление путем преобразования схемы.

Основные формулы для преобразования схем и определения токораспределения приведены в таблице 3.6 [4].

3.3 Определение начального значения периодической составляющей тока к.з., предельного и ударного тока к.з.

Начальный сверхпереходный ток определяется: при расчете в относительных единицах

$$I_{n,0} = \frac{E_*''}{X_{pez*}} \cdot I_\sigma, \quad (3.2)$$

где $I_\sigma = S_\sigma / \sqrt{3} \cdot U_\sigma$ - базисный ток, определяемый при $U_\sigma = U_{cp}$;

E_*'' - сверхпереходная э.д.с. генераторов в о. е; при расчетах можно принять одно усредненное значение э. д. с. в пределах (1,1-1,15) [3, 4].

Ударный ток к.з. определяется по выражению:

$$i_y = \sqrt{2} \cdot K_y \cdot I_{n,0}, \quad (3.4)$$

где K_y - ударный коэффициент, зависящий от постоянной времени затухания апериодической составляющей тока к.з.

$$\hat{E}_y = 1 + e^{-\frac{0,01}{T_a}}, \quad (3.5)$$

T_a - постоянная времени цепи короткого замыкания.

Из графика рисунок 3.24 [4] по известному T_a можно определить соответствующее значение K_y . Если к.з. произошло на выводах генератора, то

для его ветви постоянная T_a может быть взята из каталогов. В частности, можно воспользоваться данными таблицы 3.2.

Таблица 3.2 – Значения T_a и K_y для современных генераторов

Тип генератора или синхронного компенсатора	T_a, c	K_y
ТВФ-63-2УЗ	0,39	1,975
ТВФ-63-2УЗ	0,24	1,959
ТВФ-63-2ЕУЗ	0,247	1,96
ТВФ-110-2ЕУЗ	0,41	1,976
ТВФ-120-2УЗ	0,4	1,975
ТВВ-160-2ЕУЗ	0,408	1,976
ТВВ-220-2ЕУЗ	0,307	1,968
ТВВ-320-2ЕУЗ	0,388	1,974
ТВМ-300-УЗ	0,392	1,975
ТВВ-500-2ЕУЗ	0,34	1,971
ТВВ-800-2ЕУЗ	0,33	1,97
ТВВ-1000-4УЗ	0,33	1,97
ТВВ-1000-2УЗ	0,33	1,97
ТВВ-1200-2УЗ	0,38	1,973

Если к.з произошло на некотором удалении от генераторов, то для каждой ветви результирующей схемы замещения постоянная времени T_a может быть найдена ориентировочно по выражению:

$$T_a \approx \frac{x_{\delta\dot{a}\zeta}}{\omega \cdot r_{\delta\dot{a}\zeta}}, \quad (3.6)$$

где $x_{рез}$ и $r_{рез}$ - соответственно результирующие индуктивные и активные сопротивления цепи к.з.

Для упрощения обычно можно не рассчитывать T_a , а воспользоваться средними значениями T_a и K_y приведенными в таблице 3.3, для характерных точек электросетей.

3.4 Определение токов к. з. для выбора коммутационных аппаратов

Значения периодической и аperiodической составляющей тока к.з. для времени $t > 0$ необходимо знать для выбора коммутационной аппаратуры.

Таблица 3.3 – Значения постоянной времени затухания апериодической составляющей тока к.з. и ударного коэффициента

Элемент или часть энергосистемы	T_a, c	K_y
Турбогенератор мощностью, МВт: 12-60 100-1000	0,16-0,25 0,4-0,54	1,94-1,955 1,975-1,98
Блок, состоящий из турбогенератора мощностью 60 МВт и трансформатора, при номинальном напряжении генератора, кВ: 6,3 10	0,2 0,15	1,95 1,935
Блок, состоящий из турбогенератора и повышающего трансформатора, при мощности генератора, МВт: 100 - 200 300 500 800	0,26 0,32 0,35 0,3	1,965 1,97 1,973 1,967
Система, связанная со сборными шинами, где рассматривается КЗ, воздушными линиями напряжением, кВ: 35 110-150 220-330 500-750	0,02 0,02-0,03 0,03-0,04 0,06-0,08	1,608 1,608-1,717 1,717-1,78 1,85-1,895
Система, связанная со сборными шинами, где рассматривается КЗ, через трансформаторы единичной мощностью, МВ-А: 80 и выше 32-80 5,6-32	0,06-0,15 0,05-0,1 0,02-0,05	1,85-1,935 1,82-1,904 1,6-1,82
Ветви, защищенные реактором с номинальным током, А: 1000 и выше 630 и ниже	0,23 0,1	1,956 1,904
Распределительные сети напряжением 6-10 кВ	0,01	1,369

Расчетное время, для которого требуется определять токи к.з., вычисляется как $\tau = t_{c,св} + 0,01$ с, где $t_{c,св}$ - собственное время выключателя (каталожные данные для каждого типа выключателя). Для современных выключателей оно не превышает 0,2 с.

Апериодическая составляющая тока к.з.:

$$i_{a,t} = i_{a,0} e^{-\frac{\tau}{T_a}}, \quad (3.7)$$

а при условии максимального значения

$$i_{a,t} = \sqrt{2}I_{n,o}e^{-\frac{\tau}{T_a}} \quad (3.8)$$

Для ускорения расчетов значение $e^{-\frac{\tau}{T_a}}$ можно взять из таблицы 3.4.

Таблица 3.4 – Расчет значений $e^{-\frac{\tau}{T_a}}$

τ, c	$e^{-\frac{\tau}{T_a}}$ при T_a, c ,					
	0,04	0,045	0,05	0,1	0,2	0,3
0	1	1	1	1	1	1
0,01	0,773	0,8	0,81	0,9	0,95	0,97
0,02	0,636	0,61	0,67	0,81	0,9	0,94
0,03	0,472	0,512	0,548	0,74	0,86	0,9
0,04	0,368	0,411	0,44	0,67	0,818	0,87
0,05	0,286	0,329'	0,368	0,606	0,778	0,85 0,818
0,06	0,233	0,264	0,301	0,548	0,74	0,79
0,07	0,174	0,212	0,247	0,496	0,7	0,77
0,08	0,135	0,168	0,202	0,449	0,67	0,74
0,09	0,105	0,135	0,142	0,406	0,637	

При определении значений периодической составляющей тока к.з. для моментов времени до 0,5 с рекомендуется метод типовых кривых [4].

Этот метод основан на использовании кривых изменения во времени отношений действующих значений периодической составляющей тока к.з. от генератора в произвольный момент времени ($I_{n,t,\Gamma}$) и в начальный момент короткого замыкания ($I_{n,0,\Gamma}$) при разных удаленностях точки повреждения. Последние характеризуются отношением $I_{n,0,\Gamma}/I'_{ном}$, где $I'_{ном}$ - номинальный ток генератора, приведенный к той ступени напряжения, где находится точка к.з.; этот ток можно определить по формуле

$$I'_{ном} = \frac{P_{ном}}{\sqrt{3}U_{ср} \cos \varphi_{ном}}; \quad (3.9)$$

здесь $P_{ном}$ и $\cos \varphi_{ном}$ - номинальные значения мощности МВт, и коэффициент мощности генератора соответственно;

$U_{ср}$ - среднее напряжение той ступени, кВ, на которой находится точка к.з.

Типовые кривые $I_{n,t,\Gamma}/I_{n,0,\Gamma} = f(t)$ при различных значениях отношения $I_{n,0,\Gamma}/I'_{ном}$ приведены на рисунке 3.2.

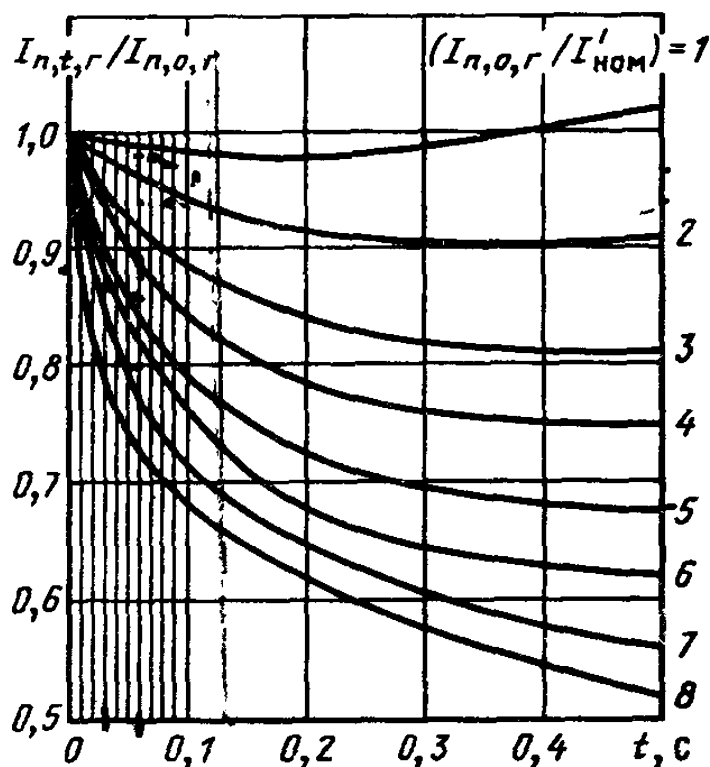


Рисунок 3.1 – Типовые кривые определения затухания периодической составляющей тока к.з.

4 Выбор коммутационных аппаратов

Выбор выключателей допустимо производить по следующим параметрам:

- 1) по напряжению установки $U_{уст} \leq U_{ном}$;
- 2) по длительному току $I_{норм} \leq I_{ном}$; $I_{max} \leq I_{ном}$;
- 3) по отключающей способности.

В первую очередь производится проверка на симметричный ток отключения по условию

$$I_{n,\tau} \leq I_{отк,ном} \quad (4.1)$$

Затем проверяется возможность отключения аperiodической составляющей тока КЗ

$$I_{\dot{a},\tau} \leq I_{\dot{a},\dot{m}} = \sqrt{2}\beta_i I_{\dot{i}\dot{e},\dot{m}} / 100, \quad (4.2)$$

где $I_{a,ном}$ - номинальное допустимое значение аperiodической составляющей в отключаемом токе для времени τ ;

β_i - нормированное значение содержания аperiodической составляющей в отключаемом токе, % (по каталогам или по рисунку 4.54, [4]);

$I_{a,\tau}$ - аperiodическая составляющая тока к.з. в момент расхождения контактов τ ;

τ - наименьшее время от начала к.з. до момента расхождения дугогасительных контактов:

$$\tau = t_{з,мин} + t_{c,в}; \quad (4.3)$$

здесь $t_{з,мин} = 0,01$ с – минимальное время действия релейной защиты;

$t_{c,в}$ - собственное время отключения выключателя.

Если условие $I_{n,\tau} \leq I_{отк,ном}$ соблюдается, а $I_{a,\tau} > I_{a,ном}$, то допускается проверку по отключающей способности производить по полному току к.з.:

$$(\sqrt{2}I_{n,\tau} + I_{a,\tau}) \leq \sqrt{2}I_{отк,ном} (1 + \beta_n / 100) \quad (4.4)$$

По включающей способности проверка производится по условию

$$i_y \leq i_{вкл}, \quad I_{n,0} \leq I_{вкл}, \quad (4.5)$$

где i_y - ударный ток к.з. в цепи выключателя;

$I_{n,0}$ - начальное значение периодической составляющей тока к.з. в цепи выключателя;

$I_{вкл}$ - номинальный ток включения (действующее значение периодической составляющей);

$i_{вкл}$ - наибольший ток включения (по каталогу).

На электродинамическую стойкость выключатель проверяется по предельным сквозным токам к.з.:

$$I_{n,0} \leq I_{дин}; \quad i_y \leq i_{дин}, \quad (4.6)$$

где $i_{дин}$ - наибольший пик (ток электродинамической стойкости) по каталогу;

$I_{дин}$ - действующее значение периодической составляющей предельного сквозного тока к.з.

На термическую стойкость выключатель проверяется по тепловому импульсу тока к.з.

$$B_k \leq I_{тер}^2 \cdot t_{тер}, \quad (4.7)$$

где B_k - тепловой импульс тока к.з. по расчету;

$I_{тер}$ - среднеквадратичное значение тока за время протекания (ток термической стойкости) по каталогу;

$t_{тер}$ - длительность протекания тока термической стойкости по каталогу, с.

Разъединители выбираются по длительному номинальному току и номинальному напряжению и проверяются на термическую и динамическую устойчивость по условиям, путем сравнения каталожных и расчетных данных. Расчетные величины те же, что и для выключателей [4].

5 Пример расчета токов к.з. и выбора коммутационных аппаратов

5.1 Расчет токов к.з.

Составить схему замещения для расчета трехфазного к.з. и определить начальные значения периодической составляющей тока короткого замыкания $I_{н,0}$ в цепях электростанции, расчетная схема и исходные данные которой представлены на рисунке 5.1.

Параметры отдельных элементов. Исходные данные: параметры отдельных элементов: Т1 и Т2 – ТДН – 40000/110, 40 МВА, $u_k = 10,5\%$; Т3 – ТД – 125000/110, 125 МВА, $u_k = 10,5\%$; Т4 и Т5 – ТДТН – 40000/110, 40 МВА, $u_k = 10,5\%$; G1 и G2 – ТВФ – 60 – 3, 75 МВА, $x''_{d*н.о.м} = 0,146$; G3 – ТВФ – 100-2, $x''_{d*н.о.м} = 0,183$; LR – РБДГ10 – 2500 – 0,25, $I_{н.о.м} = 3$ 2,5 кА, $x_p = 0,25$ Ом.

Решение. Выполним расчет в относительных единицах.

Схема замещения для расчета трехфазных к.з. представлена на рисунке 5.1.

Каждому сопротивлению в схеме присваивается свой порядковый номер, которой сохраняется за данным сопротивлением в течение всего расчета.

В схеме сопротивление имеет дробные обозначение, где числитель – номер сопротивления, знаменатель – численное значение сопротивления.

Нагрузку, расположенную вблизи генераторов G1 и G2, учитываем уменьшением э.д.с. генераторов до $E''_*=1$. Влиянием относительно малой нагрузки собственных нужд (с.н.) и удаленных от мест к.з. нагрузок пренебрегаем.

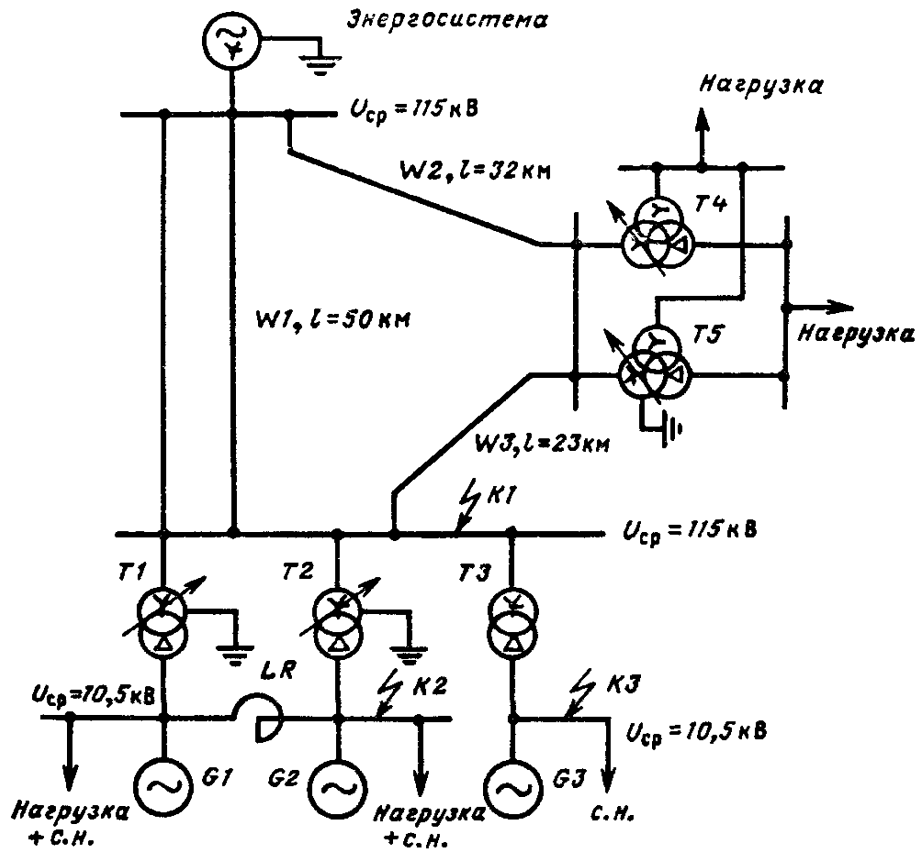


Рисунок 5.1 – Пример расчетной схемы для определения ток к.з.

Определим сопротивления схемы (рисунок 5.2) при базовой мощности $S_б=1000\text{МВ А}$.

Сопротивления генераторов G1 и G2:

$$x_* = x_{*2} = x''_{d*iii} \frac{S_a}{S_{iii}} = 0,146 \frac{1000}{75} = 1,95.$$

В дальнейшем для упрощения обозначенной индекс «*» опускаем, подразумевая, что все полученные значения сопротивлений даются в относительных единицах и приведены к базовым условиям.

Таким образом, $x_1 = x_2 = 1,95$.

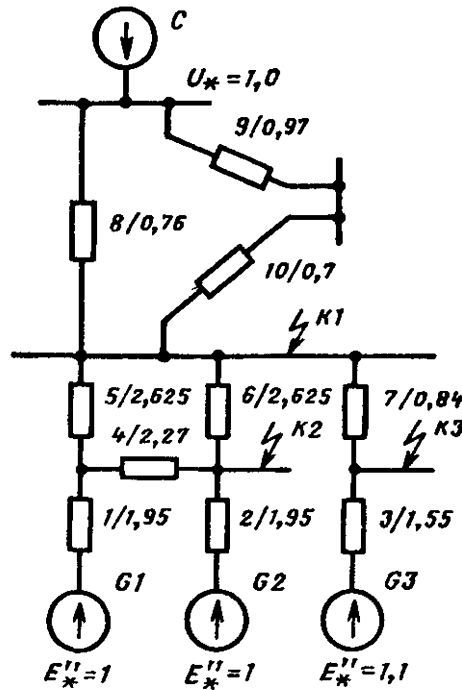


Рисунок 5.2 – Общая схема замещения

Для генераторов G1 и G2 э.д.с., как это было отмечено выше, принимаем равными единице.

Сопротивление генератора G3:

$$x_3 = 0,183 \frac{1000}{118} = 1,55.$$

Определим ЭДС генератора G3:

$$E''_* \sqrt{(I_0 x_d'' \cos \varphi_0)^2 + (U_{(0)} + I_{(0)} x_d'' \sin \varphi_{(0)})^2} = \sqrt{(1 \cdot 0,183 \cdot 0,85)^2 + (1 + 1 \cdot 0,183 \cdot 0,53)^2} \approx 1,1.$$

$$\text{где } I_{(0)} = 1; U_{(0)} = 1; \cos \varphi_{(0)} = 0,85; \sin \varphi_{(0)} = 0,53.$$

Значения параметров в относительных единицах взяты в предположении, что генератор G3 до к.з. имел номинальную загрузку.

Сопротивление реактора:

$$x_4 = x_p \frac{S_d}{U_{cp}^2} = 0,25 \frac{1000}{10,5^2} = 2,27,$$

Сопротивление трансформаторов T1 и T2:

$$x_5 = x_6 = \frac{u_k \%}{100} \cdot \frac{S_a}{S_{\text{ин}}} = \frac{10,5}{100} \cdot \frac{1000}{40} = 2,625,$$

Сопротивление трансформатора Т3:

$$x_7 = \frac{10,5}{100} \cdot \frac{1000}{125} = 0,84,$$

Сопротивление линий электропередачи:

W1 (двухцепной):

$$x_8 = \frac{x_{\text{од}} l}{2} \cdot \frac{S_a}{U_{\text{н\delta}}^2} = \frac{0,4 \cdot 50}{2} \cdot \frac{1000}{115^2} = 0,76,$$

(удельное сопротивление линий 110 кВ принято равным 0,4 Ом/км)

W2:

$$x_9 = x_{\text{од}} l \frac{S_a}{U_{\text{н\delta}}^2} = 0,4 \cdot 32 \frac{1000}{115^2} = 0,97.$$

W3:

$$x_{10} = 0,4 \cdot 23 \frac{1000}{115^2} = 0,7.$$

Короткое замыкание в точке К1 (шины 110 кВ станции). Ветви генераторов G1 и G2 симметричны относительно точки к.з. К1. Поэтому сопротивление реактора x_4 можно исключить из схемы замещения, так как оно включено между узлами одинакового потенциала и не влияет на ток. С учетом этого схема замещения для к.з. в точке К1 будет иметь вид, показанный на рисунок 5.3, а.

Упростим схему.

Резльтирующее сопротивление цепи генератора G3:

$$x_{11} = x_3 + x_7 = 1,55 + 0,84 = 2,39.$$

Резльтирующее сопротивление цепи однотипных генераторов G1 и G2 суммарной мощностью 150 МВ·А (рисунок 5.3, б):

$$x_{12} = (x_1 + x_5) \parallel (x_2 + x_6) = \frac{1,95 + 2,625}{2} = 2,29.$$

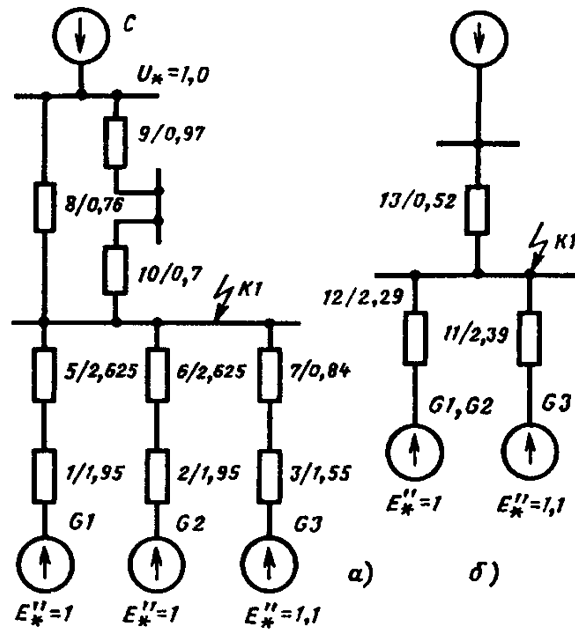


Рисунок 5.3 – Схема замещения для точки к.з. К1

Результирующее сопротивление ветви энергосистемы (шин неизменного напряжения)

$$x_{13} = (x_9 + x_{10}) \parallel x_8 = \frac{(0,97 + 0,7) \cdot 0,76}{0,97 + 0,7 + 0,76} = 0,52.$$

Начальное значение периодической составляющей тока к.з.

$$I_{n.0} = \frac{E_*''}{x_*} I_{\sigma},$$

где x_* - результирующее сопротивление ветви схемы;

I_{σ} - базовый ток:

$$I_{\sigma} = \frac{S_{\sigma}}{\sqrt{3}U_{cp.K1}} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 115} = 5,03 \text{ кА}.$$

Значения токов по ветвям:

генераторов G1 и G2

$$I_{n.0} = \frac{1}{2,29} \cdot 5,03 = 2,2 \text{ кА};$$

генератора G:

$$I_{n.0} = \frac{1,1}{2,39} \cdot 5,03 = 2,31 \text{ кА};$$

Энергосистемы:

$$I_{n.0} = \frac{1}{0,52} \cdot 5,03 = 9,67 \text{ кА};$$

Суммарный ток к.з. в точке К1:

$$I_{n.0K1} = 2,2 + 2,31 + 9,67 = 14,18 \text{ кА}.$$

Короткое замыкание в точке К2 (на выводах генератора G2). Используя частично результаты преобразований предыдущего расчета, схему замещения для данной точки к.з. можно представить в виде, показанном на рисунок 5.4, а. Генератор G3 находится на значительной электрической удаленности от места к.з., поэтому для упрощения расчетов его целесообразно включить в состав ветви системы, соответственно скорректировав ее сопротивление (рисунок 5.4, б):

$$x_{14} = x_{13} \parallel x_{11} = \frac{0,52 \cdot 2,39}{0,52 + 2,39} = 0,427.$$

Таким образом, к точке к.з. ток будет поступать от трех источников, причем генератор G2 включен в точке к.з. непосредственно.

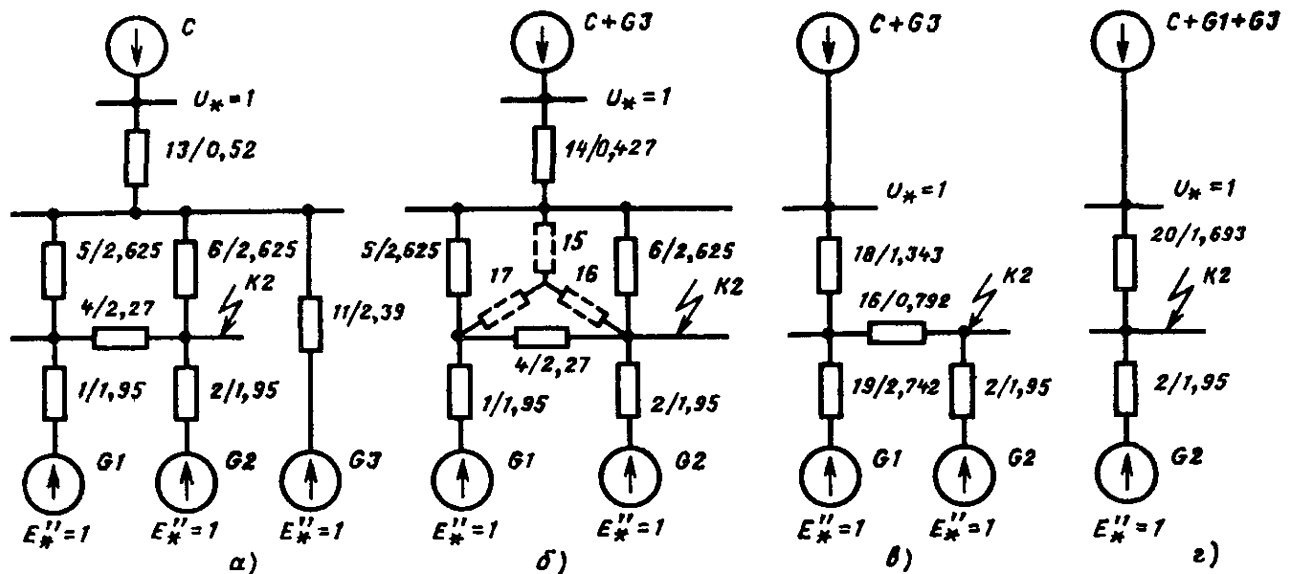


Рисунок 5.4 – Схема замещения для точки к.з. К2

Ток к.з. от генератора G2:

$$I_{n.0} = \frac{E_*''}{x_*} I_{\bar{\sigma}},$$

где - $I_{\bar{\sigma}}$ базовые значение тока при среднем напряжении в точке к.з:

$$I_{\bar{\sigma}} = \frac{S_{\bar{\sigma}}}{\sqrt{3}U_{cp.K2}} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 55 \text{кА},$$

$$U_{cp.K2} = 10,5 \text{кВ}.$$

Таким образом, ток трехфазного к.з. от генератора G2

$$I_{n.0} = \frac{1,0}{1,95} \cdot 55 = 28,2 \text{кА}.$$

Ток короткого замыкания в точке К2 от энергосистемы, генераторов G1 и G3 легче всего определить, объединив эти источники в единую эквивалентную ветвь. Промежуточный шаг на этом пути уже сделан – ветви G и G3 объединены и представлены общим сопротивлением x_{14} .

Преобразуем треугольник сопротивлений x_4, x_5, x_6 в эквивалентную звезду x_{15}, x_{16}, x_{17} . [4]:

$$x_{15} = \frac{x_5 x_6}{x_4 + x_5 + x_6} = \frac{2,625 \cdot 2,625}{2,27 + 2,625 + 2,625} = 0,916;$$

$$x_{16} = \frac{x_4 x_6}{x_4 + x_5 + x_6} = \frac{2,27 \cdot 2,625}{7,52} = 0,792;$$

$$x_{17} = \frac{x_4 x_5}{x_4 + x_5 + x_6} = \frac{2,27 \cdot 2,625}{7,52} = 0,792.$$

Схема замещения рисунок 5.4, б преобразуется к виду рисунок 5.4, в, где

$$x_{18} = x_{14} + x_{15} = 0,427 + 0,916 = 1,343;$$

$$x_{19} = x_1 + x_{17} = 1,95 + 0,792 = 2,742.$$

Конечная схема замещения для расчета токов к.з. в точке К2 будет иметь вид, представленный на рисунок 5.4, г. Сопротивление эквивалентной ветви

$$x_{20} = x_{16} + x_{18} \parallel x_{19} = 0,792 + \frac{1,343 \cdot 2,742}{1,343 + 2,742} = 1,693.$$

Суммарный ток эквивалентного источника

$$I_{n.0} = \frac{E_*''}{x_{20}} I_0 = \frac{1}{1,693} \cdot 55 = 32,49 \text{ кА}.$$

Начальное значение периодической составляющей тока к.з. в точке К2 (суммарное значение)

$$I_{n.0} K2 = 28,2 + 32,49 = 60,69 \text{ кА}.$$

Короткое замыкание в точке К3. Генераторы G1 и G2 находятся на значительной электрической удаленности от точки к.з., поэтому для упрощения расчетов их целесообразно включить в состав ветви энергосистемы, соответственно скорректировав ее сопротивление. Итоговая схема замещения представлена на рисунок 5.5.

Здесь

$$x_{21} = x_7 + x_{12} \parallel x_{13} = 0,84 + \frac{0,52 \cdot 2,29}{0,52 + 2,29} = 1,26$$

(см. схемы на рисунках 5.2, 5.3, а,б).

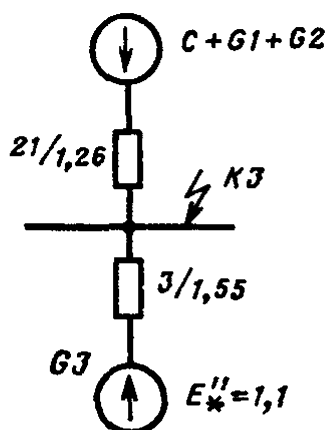


Рисунок 5.5 – Схема замещения для точки к.з. К3

Токи по ветвям схемы при КЗ в точке к.з. при $U_{cp} = 10,5$ и $I_{\sigma} = 55 \text{ кА}$; генератора G3:

$$I_{n.0} = \frac{E_*''}{x_3} I_{\sigma} = \frac{1,1}{1,55} \cdot 55 = 39,03 \text{ кА};$$

Энергосистемы:

$$I_{n.0} = \frac{I}{x_{21}} I_{\sigma} = \frac{1,0}{1,26} \cdot 55 = 43,65 \text{ кА};$$

Суммарный ток при трехфазном к.з в точке КЗ:

$$I_{n.0КЗ} = 39,03 + 43,65 = 82,68 \text{ кА};$$

5.2 Выбор коммутационных аппаратов

Пример. Выбрать выключатель Q1 и разъединитель QS1 в цепи генератора ТВФ-63-2, работающего на шины 10,5 кВ, и выключатель Q2 и разъединитель QS2 в цепи блока с генератором ТВФ-120-2 (рисунок 5.6). Расчетные токи даны в таблице 5.1.

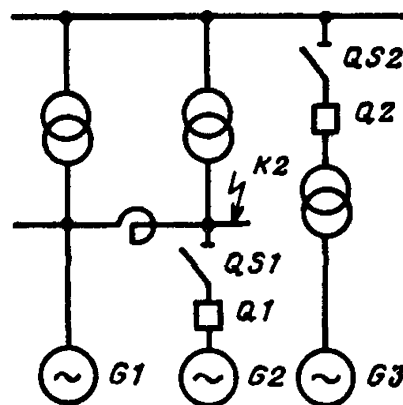


Рисунок 5.6 – Упрощенная схема

Решение. Выбор Q1, QS1. Определяем расчетные токи продолжительного режима:

$$I_{норм} = \frac{P_{норм}}{\sqrt{3} U_{норм} \cos \varphi_{норм}} = \frac{63 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 10,5 \cdot 0,8} = 43,30 \text{ А}.$$

Таблица 5.1 – Расчетные токи к.з. для выбора выключателя и разъединителя

Точка к.з.	Источник	$I_{n,0}$, кА	$I_{n,r}$, кА	i_y , кА	$I_{a,r}$, кА
К1	G1 и G2	2,2	2	6,04	1,94
	G3	2,21	2,01	6,12	2,38
	Система	9,67	9,67	22,08	0,69
	Суммарное значение	14,08	13,68	34,24	5,01
К2	G2	28,3	20,4	78,4	27,93
	Система + G1, G2	32	27,8	85,2	15,3
	Суммарное значение	60,3	48,2	163,6	43,23

$$I_{\max} = \frac{P_{\text{ном}}}{\sqrt{3}U_{\text{ном}} \cdot 0,95 \cos \varphi_{\text{ном}}} = \frac{63 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 10,5 \cdot 0,95 \cdot 0,8} = 4558 \text{ А.}$$

Расчетные токи к.з. по таблице 5.1.

$$I_{n,0} = 32 \text{ кА}; I_{n,r} = 27,8 \text{ кА}; i_y = 85,2 \text{ кА};$$

$$I_{a,r} = 15,3 \text{ кА}; B_K = 32^2 (4 + 0,14) = 4239 \text{ кА}^2 \cdot \text{с.}$$

Выбираем по справочнику [6] выключатель маломасляной МГГ-10-5000-45У3 (масляный генераторный, горшковый, 10 кВ, номинальный ток отключения 45 кА, для умеренного климата, закрытой установки).

Выбираем разъединитель РВК-10-5000 по справочнику [6], $i_{\text{дин}} = 200 \text{ кА}; i_{\text{дин}} = 200 \text{ кА}; i_{\text{мер}} = 70 \text{ кА}; i_{\text{мер}} = 10 \text{ с}$. Расчетные и каталожные данные сведены в таблицу 5.2.

Выбор Q2, QS2. Расчетный ток продолжительного режима в цепи блока «генератор – трансформатор» определяется по наибольшей электрической мощности генератора ТВФ-120-2 (125 МВА):

$$I_{\text{норм}} = I_{\max} = \frac{125 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 110} = 656 \text{ А.}$$

Расчетные токи к.з. по таблице 5.1 с учетом того, что все цепи на стороне ВН проверяются по суммарному току К3 на шинах:

$$I_{n,0} = 14,08 \text{ кА}; I_{n,r} = 13,68 \text{ кА}; i_y = 34,24 \text{ кА}; I_{a,r} = 5,01 \text{ кА};$$

$$B_K = 14,08^2 (0,18 + 0,14) = 63,44 \text{ кА}^2 \cdot \text{с.}$$

Таблиц 5.2 - Расчетные и справочные данные

Расчетные данные	Справочные данные	
	Выключатель МГГ-10-5000-45У3	Разъединитель РВК-10-5000
$U_{лет} = 10,5кВ$ $I_{max} = 4558А$ $I_{П,τ} = 27,8кА$ $i_{a,τ} = 15,3кА$ $\sqrt{2}I_{I,τ} = i_{a,τ} = \sqrt{2} \cdot 27,8 + 15,3 = 54,5\hat{A}$ $I_{I,0} = 32\hat{A}$ $i_y = 85,2\hat{A}$ $\hat{A}_e = 4239\hat{A}^2 \cdot \tilde{n}$	$U_{\hat{m}} = 10\hat{A}$ $I_{\hat{m}} = 5000А$ $I_{\hat{i}\hat{o}\hat{e},\hat{m}} = 45\hat{A}$ $i_{a,\hat{m}} = \sqrt{2}\beta_i I_{\hat{i}\hat{o}\hat{e},\hat{m}} / 100 = \sqrt{2} \cdot 0,1 \cdot 45 = 6,34\hat{A}$ $\sqrt{2}I_{\hat{i}\hat{o}\hat{e},\hat{m}} (1 + \beta_i / 100) = \sqrt{2} \cdot 45(1 + 0,1) = 69,8\hat{A}$ $I_{\hat{a}\hat{e}\hat{i}} = 45\hat{A}$ $i_{\hat{a}\hat{e}\hat{i}} = 120\hat{A}$ $I_{мер}^2 t_{мер} = 45^2 \cdot 4 = 8100кА^2 \cdot с$	$U_{\hat{m}} = 10\hat{A}$ $I_{\hat{m}} = 5000\hat{A}$ $-$ $-$ $-$ $-$ $i_{дин} = 200кА$ $I_{мер}^2 t_{мер} = 70^2 \cdot 10 = 49000кА^2 \cdot с$
<p>Примечание - По условию отключения аperiodической составляющей тока КЗ выключатель не проходит, согласно ГОСТ 687 – 78Е в этом случае проверка по полному току к.з. [7].</p>		

Выбираем по справочнику 02.00.06-81 масляный баковый выключатель У-110-2000-40У1 (серия «Урал», 110 кВ, 2000 А, ток отключения 40 кА, для умеренного климата, открытой установки). Привод к выключателю ШПЭ-44У1. Выбираем по справочнику 02.10.05-81 разъединитель типа РНДЗ-110/1000У1 (разъединитель для наружной установки, двухколонковый, с заземляющим ножом, на 110 кВ, 1000 А). Привод – ПР-У1. Все расчетные и справочные данные сведены в таблицу 5.3.

Таблица 5.3 – Расчетные и справочные данные

Расчетные данные	Справочные данные	
	Выключатель У-110-2000-40У1	Разъединитель РНДЭ-10/1000У1
$U_{уст} = 110кВ$ $I_{max} = 656А$ $I_{П,τ} = 13,68кА$ $i_{П,τ} = 5,01кА$ $I_{П,0} = 14,08кА$ $i_y = 34,24кА$ $B_K = 63,44кА^2 \cdot с$	$U_{ном} = 110кВ$ $I_{ном} = 2000А$ $I_{отк,ном} = 40кА$ $i_{a,ном} = \sqrt{2}(\beta_n I_{отк,ном}) / 100 = \sqrt{2} \cdot 0,20 \cdot 40 = 11,3кА$ $I_{дин} = 40кА$ $i_{дин} = 102кА$ $I_{мер}^2 t_{мер} = 40^2 \cdot 3 = 4800кА^2 \cdot с$	$U_{ном} = 110кВ$ $I_{ном} = 1000А$ $-$ $-$ $-$ $i_{дин} = 80кА$ $I_{мер}^2 t_{мер} = 31,5^2 \cdot 3 = 30000кА^2 \cdot с$

Список литературы

1. Соколов С.Е., Хожин Г.Х., Михалкова Е.Г. Электрические станции и подстанции. Методические указания по выполнению расчетно-графической работе №1 для специальности 5в071800 – «Электроэнергетика» и 5В081200 – «Энергообеспечение сельского хозяйства». - Алматы: АУЭС, 2014. – 13 с.
2. Соколов С.Е., Хожин Г.Х., Михалкова Е.Г. Электрические станции и подстанции. Методические указания по выполнению расчетно-графической работе №1 для специальности 5в071800 – «Электроэнергетика» и 5В081200 – «Энергообеспечение сельского хозяйства». - Алматы: АУЭС, 2014. – 13 с.
3. Балаков Ю.Н. Проектирование схем электроустановок. 2-е изд. – М.: МЭИ, 2006 г. – 288 с.
4. Рожкова Л.Д., Козулин В.С. Электрооборудование станций и подстанций: Учебник для техникумов. – 3 изд. - М.: Академия, 2006. -448 с.
5. Электротехнический справочник. Под общ. ред. профессоров Московского МЭИ, Герасимова В. Г., Дьякова А. Ф., Ильинского Н. Ф., Лабунцова В. А., Морозкина В. П., Орлова И. Н. (главный редактор), Попова А. И., Строева В. А. — 9-е издание, стереотипное. — М.: Издательство МЭИ, 2004. — 964 с.
6. Неклепаев, Б. Н. Электрическая часть электростанций и подстанций: Справочные материалы для курсового и дипломного проектирования : [учебное пособие] / Б. Н. Неклепаев, И. П. Крючков . – 5-е изд., стер . – СПб. : БХВ-Петербург, 2013 . – 608 с. (Учебная литература для вузов) . - ISBN 978-5-9775-0833-9 .
7. Кузембаева Р.М., Соколов С.Е., Хожин Г.Х. Электрические станции и подстанции. Конспект лекций для студентов всех форм обучения специальности 050718 – Электроэнергетика. – Алматы: АИЭС, 2007. – 57 с.
8. Хожин Г.Х. Электроэнергетика («Электр станциялары болімі»): оқулық. Алматы; ЖШС РПБК «Дәуір», 2011 – 416 бет.

Содержание

1 Цель и задачи РГР.....	3
2 Объем и содержание расчетно-графической работы.....	3
2.1 Исходные данные	4
2.2 Содержание расчетно-графической работы.....	4
3 Расчет токов короткого замыкания и выбор коммутационных аппаратов.....	4
3.1 Общие положения.....	4
3.2 Определение сопротивлений элементов сети. Преобразование схем.....	5
3.3 Определение начального значения периодической составляющей тока к.з., предельного и ударного тока к.з.....	7
3.4 Определение токов к. з. для выбора коммутационных аппаратов	8

4 Выбор коммутационных аппаратов.....	11
5 Пример расчета токов к.з и выбора коммутационных аппаратов.....	13
5.1 Расчет токов к.з.....	13
5.2 Выбор коммутационных аппаратов.....	21
Список литературы.....	2
	4

Сводный план 2014 г., поз. 8

Сергей Евгеньевич Соколов
Гамиль Хожаевич Хожин
Елена Григорьевна Михалкова

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СТАНЦИИ И ПОДСТАНЦИИ

Методические указания по выполнению расчетно-графической работы №3
для студентов специальностей 5В071800 – Электроэнергетика,
5В081200 – Энергообеспечение сельского хозяйства

Редактор Н. М. Голева
Специалист по стандартизации Н.К. Молдабекова

Подписано в печать
Тираж 150 экз.
Объем 1,6 уч. изд. л.

Формат 60x84 1/16
Бумага типографская №1
Заказ №_____ Цена 800 тенге

Копировально-множительное бюро
Некоммерческого акционерного общества
«Алматинский университет энергетики и связи»
050013, Алматы, ул. Байтурсынова, 126