

## Лабораторная работа №1

Трехфазное короткое замыкание в цепи, питающейся от источника бесконечной мощности

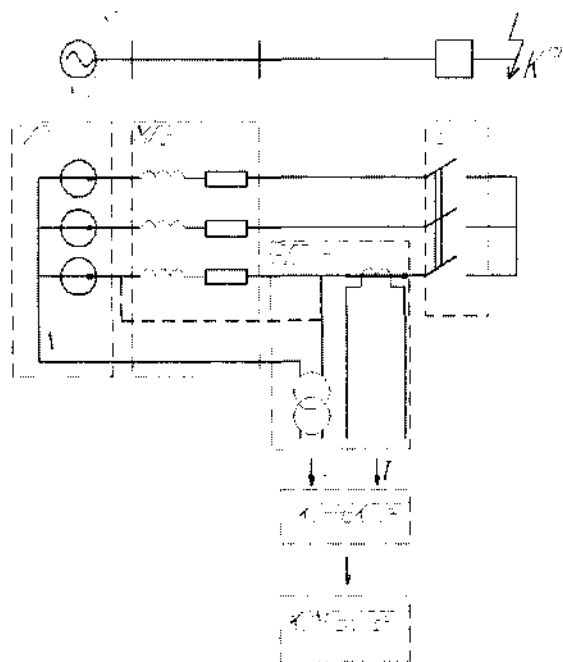


Рисунок 1

### Анализ схемы

В модели линии электропередач выставить  $R=0$ ,  $C=0$ ,  $L=\max$ .

Возможно ли такую цепь рассматривать, как чисто индуктивную? Для этого определить угол сдвига фаз между током и напряжением  $\varphi = \arctg\left(\frac{x}{r}\right)$  и сделать вывод.

Определить постоянную времени цепи  $T=L/R$ .

### Опыт №1. Исследование установившихся режимов сети

1.1 Режим холостого хода.

Снять осциллограмму синусоиды напряжения. *Здесь и далее: все осциллограммы, необходимые для представления в отчете, копировать в отдельно созданный файл Microsoft Word, названный по номеру группы и бригады. Каждую осциллограмму в файле подписывать.*

1.2 Режим короткого замыкания.

**ВНИМАНИЕ!** Первый раз проводить опыт короткого замыкания только под руководством преподавателя.

Снять осциллограмму синусоид напряжения на источнике и тока трехфазного КЗ.

а) Сравнить амплитуды синусоид напряжения в опытах 1.1 и 1.2. И сделать вывод о том, что источник можно рассматривать, как источник бесконечной мощности.

б) По положению синусоид тока КЗ и напряжения на источнике друг относительно друга и индуктивному характеру цепи убедиться в том, что ток отстает от напряжения. В противном случае поменять полярность сигнала, пропорционального току.

в) Определить угол сдвига между кривыми тока и напряжения в опыте 1.2.\* Сравнить с расчетным. Сделать вывод о том, можно ли цепь считать чисто индуктивной.

### Опыт №2. Исследование угла включения при КЗ в предварительно ненагруженной цепи

Сделать 10 опытов короткого замыкания. Представить осциллограммы напряжения в месте КЗ и тока для этих опытов, в каждой из них определить угол включения и максимальное мгновенное значение тока короткого замыкания.\*

Сделать вывод о связи угла включения и максимума тока КЗ.

### Опыт №3. Исследование ударного тока КЗ

Сделать 10 опытов КЗ. И, используя знания, полученные в опыте №2, установить, получен ли среди этих 10 опытов ударный ток. Если нет, то сделать еще 10 опытов. И т.д., пока не будет получен ударный ток. В отчете предоставить только осциллограмму, на которой зафиксирован ударный ток.

**ОБЯЗАТЕЛЬНО** зафиксировать номер осциллограммы по счету, в которой появился ударный ток. Сделать вывод о вероятности его появления. Обработать осциллограмму – определить ударный коэффициент; зная ударный коэффициент, определить постоянную времени цепи и сравнить ее с расчетной.\*

Сделать вывод по опыту №3.

### Опыт №4. Индивидуальное задание

Сделать 10-15 опытов короткого замыкания. По указанию руководителя, каждому студенту определяется своя осциллограмма.

Задание на обработку осциллограммы:

- 1) определить угол включения, при котором произошло КЗ;
- 2) выделить аperiodическую составляющую тока КЗ;
- 3) определить постоянную времени цепи 2-мя способами:
  - а) как подкасательную к аperiodической составляющей;
  - б) как часть от полного времени переходного процесса.

Сравнить полученные значения между собой и с расчетной величиной.

Сделать выводы.

\* Обратит внимание на то, что нулевая линия у кривой тока не совпадает с нулевой линией кривой напряжения.

Для точности определения амплитуды тока - смотреть двойную амплитуду (от  $-\max$  до  $+\max$ ), и разделить ее на 2.

При обработке осциллограмм нанести свою нулевую линию для кривой тока.

## Лабораторная работа №2

Несимметричные короткие замыкания. Сравнение токов при различных видах КЗ

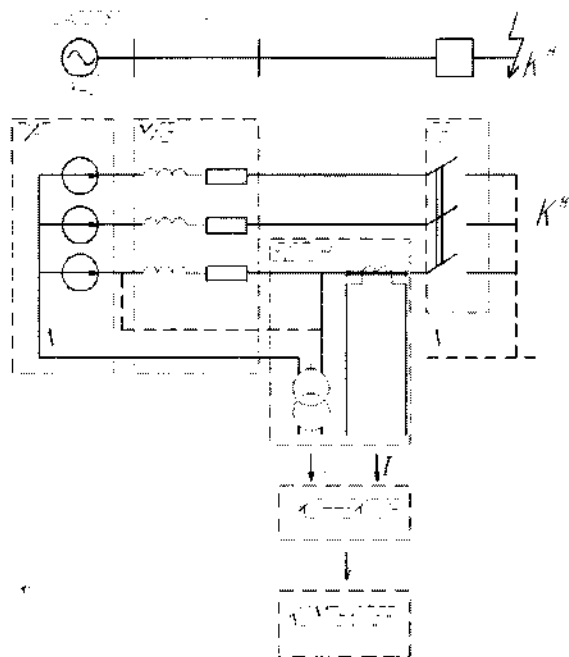


Рисунок 1

В данной работе необходимо провести сравнение токов несимметричных КЗ с током трехфазного КЗ.

**Предварительная подготовка** (может проводиться непосредственно перед началом лабораторной работы).

Предварительная подготовка заключается в определении коэффициента  $K_{n-3} = \frac{I_k^n}{I_k^3}$ , где  $n=2; 1; 1,1$  – вид несимметричного КЗ.

### Опыт №1. Трехфазное КЗ

Снять осциллограммы установившихся значений напряжения на источнике питания и тока трехфазного КЗ. По положению синусоид тока КЗ и напряжения на источнике друг относительно друга и индуктивному характеру цепи убедиться в том, что ток отстает от напряжения. В противном случае поменять полярность сигнала, пропорционального току.

### Опыт №2. Двухфазное КЗ

Снять осциллограмму установившегося значения тока при двухфазном КЗ. По осциллограммам опытов 1 и 2 определить значение коэффициента  $K_{2-3}$ , сравнить с теоретическим. Сделать вывод.

### Опыт №3. Однофазное КЗ

Снять осциллограмму установившегося значения тока при однофазном КЗ. По осциллограммам опытов 1 и 3 определить значение коэффициента  $K_{1-3}$ , сравнить с теоретическим. Сделать вывод.

### Опыт №4. Двухфазное КЗ на землю

Снять осциллограмму установившегося значения тока при двухфазном КЗ на землю.

По осциллограммам опытов 1 и 4 определить значение коэффициента  $K_{1,1-3}$ , сравнить с теоретическим. Сделать вывод.

\* Обратите внимание на то, что нулевая линия у кривой тока не совпадает с нулевой линией кривой напряжения.

Для точности определения амплитуды тока - смотреть двойную амплитуду (от  $-\max$  до  $+\max$ ), и разделить ее на 2.

При обработке осциллограмм нанести свою нулевую линию для кривой тока.

# ПЕРЕХОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

ДЛЯ СТУДЕНТОВ 4-ГО КУРСА, ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО НАПРАВЛЕНИЮ  
140400 – ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА И ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

## ПРОГРАММА КУРСА

### 1. Общие сведения

Основные определения. Причины возникновения переходных процессов и их следствия. Система относительных единиц. Составление схемы замещения. Преобразование схем замещения.

### 2. Переходные процессы в простейших трехфазных цепях

Постановка задачи и ограничения. Трехфазное короткое замыкание в неразветвленной цепи. Действующие значения полных величин и их составляющих.

### 3. Установившиеся режимы короткого замыкания

Основные характеристики и параметры синхронной машины. Приведение цепи ротора к статору. Влияние и учет нагрузки. Расчет токов КЗ при отсутствии автоматического регулирования возбуждения. Влияние автоматического регулирования возбуждения.

### 4. Начальный момент нарушения режима

Переходные и сверхпереходные ЭДС и реактивности синхронной машины. Сравнение реактивностей. Характеристики двигателей и нагрузки. Практический расчет начального сверхпереходного и ударного токов КЗ.

### 5. Практические методы расчета переходного процесса КЗ

Общие замечания. Приближенный учет системы. Расчет для выбора выключателей по отключающей способности. Метод типовых кривых.

### 6. Несимметричные короткие замыкания

Применяемость метода симметричных составляющих к исследованию переходных процессов. Параметры элементов системы для токов прямой, обратной и нулевой последовательностей. Схемы отдельных последовательностей. Двухфазное КЗ. Однофазное КЗ. Двухфазное КЗ на землю. Правило эквивалентности прямой последовательности. Трансформация симметричных составляющих.

### 7. Замыкания в распределительных сетях и системах электроснабжения

Общие замечания. Простое замыкание на землю. Учет изменения параметров проводников сети. Учет местных источников и нагрузок. Расчет токов КЗ в установках напряжением до 1000 В.

# КУРСОВАЯ РАБОТА

Курсовая работа включает в себя задачу №3 из раздела «Практические методы расчета токов короткого замыкания», выполняемую студентами в 7 семестре, две задачи из раздела «Несимметричные короткие замыкания», а именно: задачу № 4.1 и одну из задач № 4.2, 4.3, 4.4, 4.5, 4.6 по указанию руководителя.

## ПРАКТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ РАСЧЕТА ТОКОВ КОРОТКИХ ЗАМЫКАНИЙ

### Задача 3

По заданной схеме сети (рис. 1...4) провести расчет периодической составляющей тока трехфазного короткого замыкания в указанной точке для моментов времени  $t=0$  и  $t=0,15$  с по методу типовых кривых. Определить значение ударного тока.

При расчетах следует принять мощность системы равной бесконечности, а ее сопротивление  $X_c=0,12$  при  $S_6=100$  МВА. Все генераторы снабжены АРВ и работают в номинальном режиме с коэффициентом мощности  $\cos\varphi=0,8$ .

Исходные данные к схемам на рис. 1...4 приведены в табл. 11.

### Указания к решению

Метод типовых кривых положен в основу «Руководящих указаний по расчету коротких замыканий», разработанных Московским энергетическим институтом. Указанный метод, как и все другие практические методы, является приближенным и его рекомендуется применять при выборе электрических аппаратов и проводников.

Определение действующего значения периодической составляющей тока трехфазного КЗ в произвольный момент времени

1. Схема анализируется с целью ее упрощения. На этом этапе из нее исключаются те элементы, по которым токи при КЗ не протекают или протекают заведомо малые токи. К элементам, по которым токи не протекают, можно отнести, например, элементы схемы, включенные между точками одинакового потенциала. К элементам, по которым протекают малые токи – те элементы схемы, по которым в точку КЗ протекают токи от асинхронных двигателей малой (до 5 МВт) мощности, удаленных от точки КЗ на две и более трансформации (реактирование может быть приравнено к трансформации).

2. Принимаются базисные величины на основной ступени, в качестве которой, как правило, выбирают ступень КЗ. Затем, если это необходимо, через них определяют базисные величины на всех других ступенях.

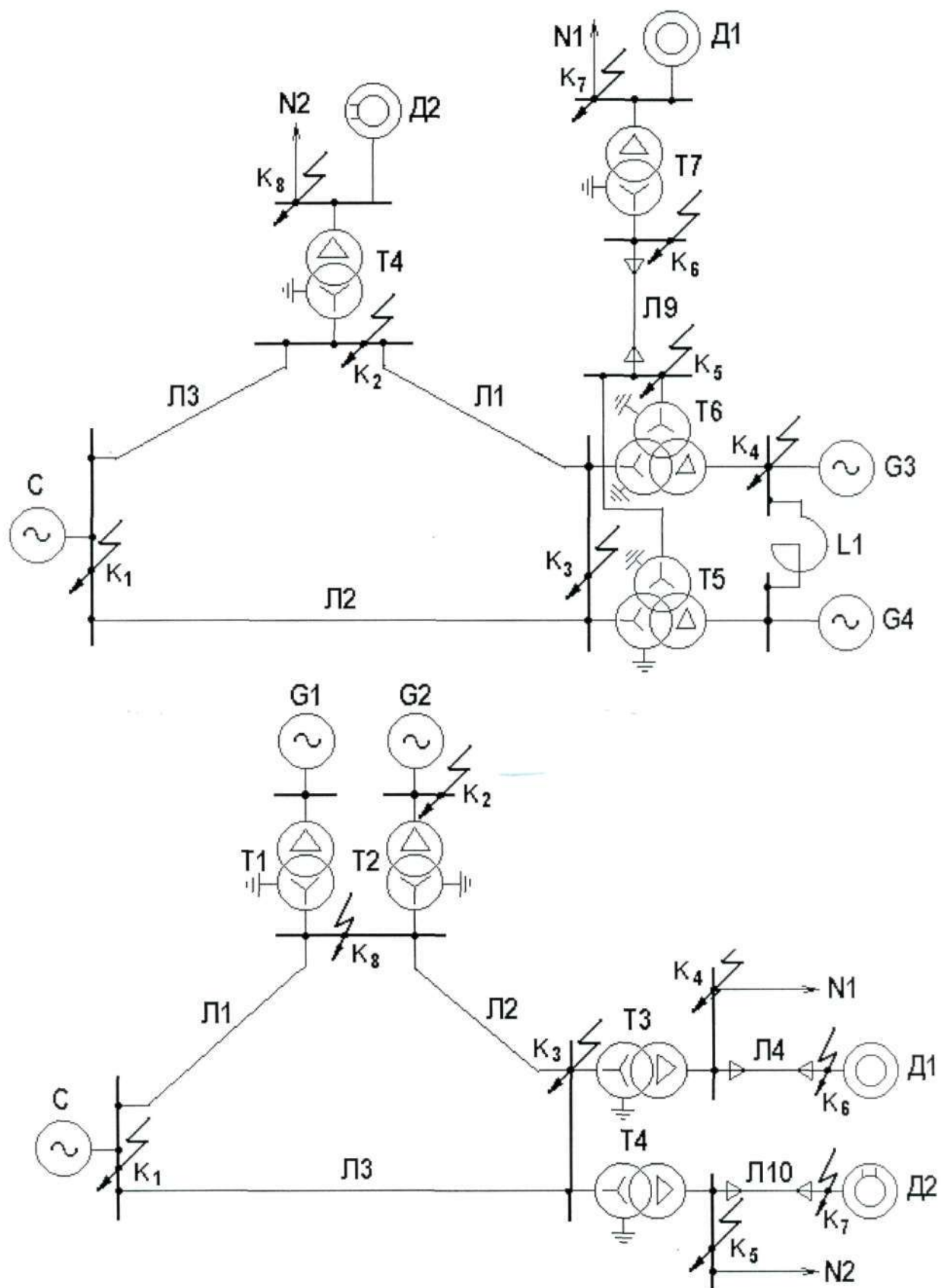


Рис. 1



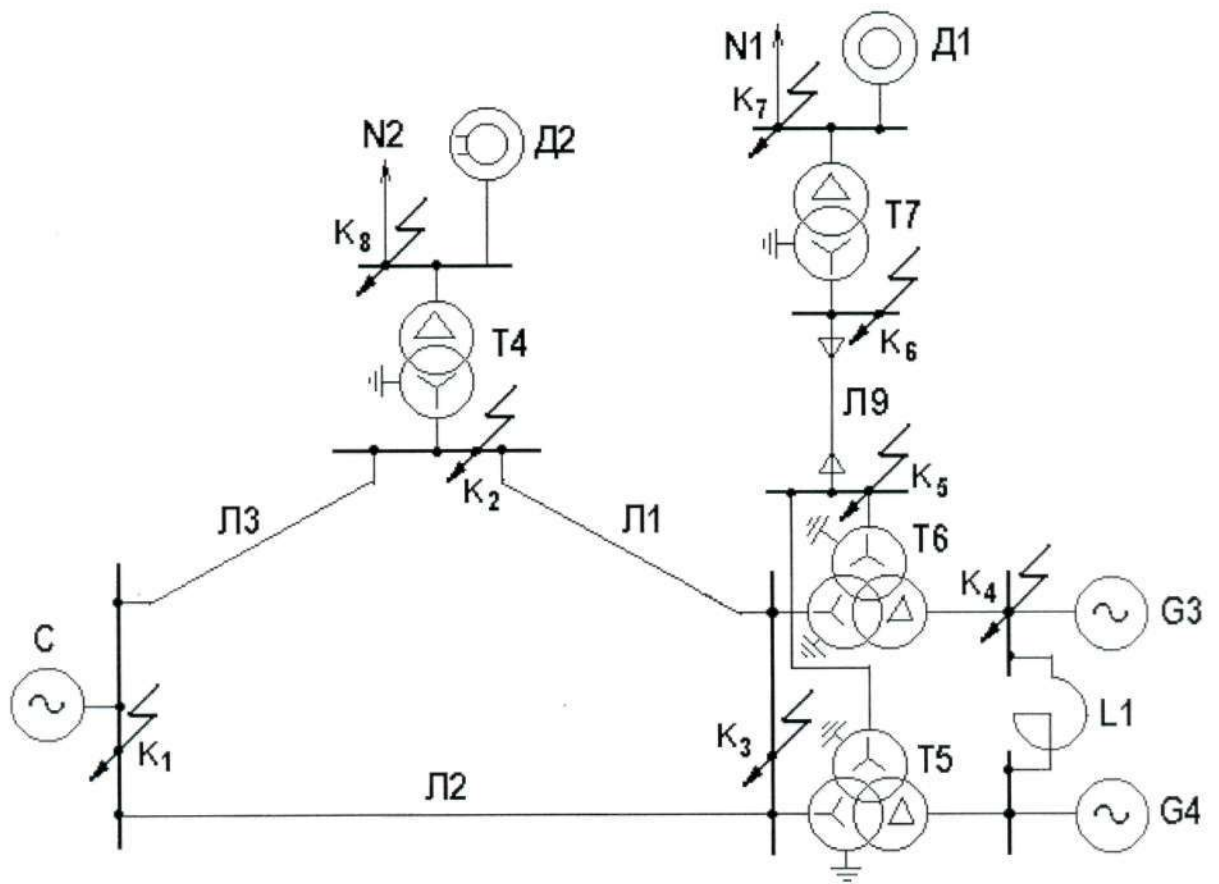


Рис. 2

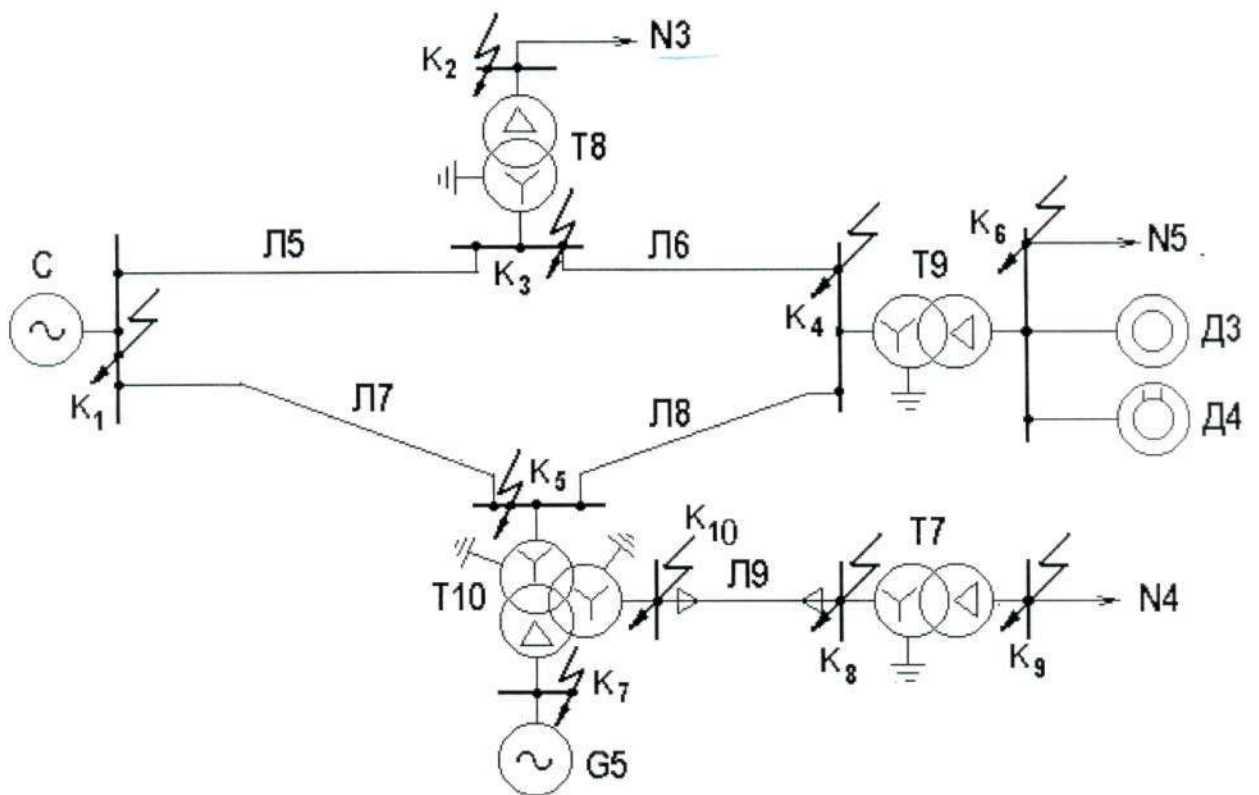


Рис. 3

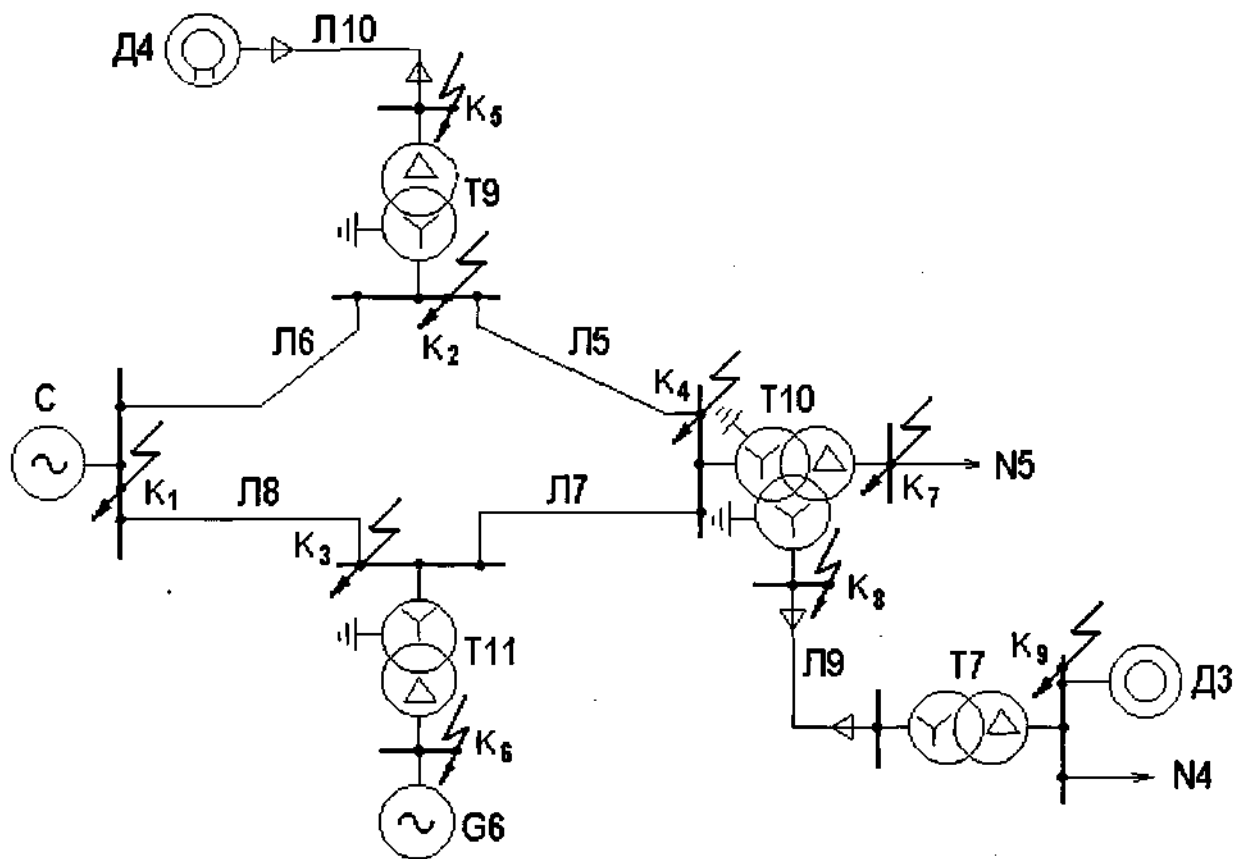


Рис. 4

3. Составляется схема замещения для начального момента КЗ, в которую все источники вводятся своими сверхпереходными ЭДС  $E''$  и реактивностями  $X_d''$ . Высоковольтные асинхронные двигатели вводятся в схему замещения отдельно, если они связаны с точкой КЗ непосредственно или через линейные реакторы, кабели, токопроводы, одну ступень трансформации. В противном случае они, и прочие электроприемники учитываются в виде обобщенной нагрузки.

При наличии исходной информации величина сверхпереходной ЭДС в начальный момент КЗ может быть определена для синхронных генераторов и электродвигателей, работающих с перевозбуждением по известной формуле

$$E_{|0|}'' = E_0'' = \sqrt{(U_0 + I_0 X_d'' \sin \varphi_0)^2 + (I_0 X_d'' \cos \varphi_0)^2},$$

а для синхронных двигателей, работающих с недовозбуждением и асинхронных двигателей,

$$E_{|0|}'' = E_0'' = \sqrt{(U_0 - I_0 X_d'' \sin \varphi_0)^2 + (I_0 X_d'' \cos \varphi_0)^2}.$$

Таблица 1

Элементы схем и их параметры		Номер элемента										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Транс- фор- мато- ры	$S_{\text{ном}}$ , МВА	80	80	25	40	80	80	25	40	40	63	80
	$P_{\text{к}}$ , кВт	310	310	120	175	390	390	120	175	175	180	310
	$U_{\text{к}}$ , %	10,5	10,5	10,5	10,5	в-с. в-н, с-н 10,5 17 6		10,5	10,5	10,5	См. №5	10,5
Линии	$L$ , км	25	20	15	1	30	25	40	20	0,8	1,2	
	$U_{\text{ном}}$ , кВ	115	115	115	6,3	330	330	330	330	37	10,5	
Гене- рато- ры	$P_{\text{ном}}$ , МВт	60	60	50	50	50	60					
	$U_{\text{ном}}$ , кВ	10,5	10,5	6,3	6,3	10,5	10,5					
	$X''_{d^* (\text{ном})}$	0,2	0,2	0,22	0,22	0,2	0,15					
Наг- рузки	$S_{\text{наг}}$ , МВА	10	25	25	15	20						
	$U_{\text{ном}}$ , кВ	6	10	10	10,5	10						
	$E''_{d^* (\text{ном})}$	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85						
	$X''_{* (\text{ном})}$	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35						
Дви- гатели	Тип	АТМ	СДН	А	СТМ							
	$P_{\text{н}}$ , МВт	4	4	1	12							
	$U_{\text{ном}}$ , кВ	6	10	10	10							
	$\eta$ , %	96	96	94	95							
	$\cos \varphi_{\text{ном}}$	0,91	0,9	0,88	0,9							
	$X''_{d^* (\text{ном})}$	–	0,22	–	0,2							
	$I_{\text{пуск}}$	6,3	–	6,2	–							
Реак- торы	$U_{\text{ном}}$ , кВ	6	10									
	$I_{\text{ном}}$ , кА	6	4									
	$X_L$ , %	6	8									

Реактивное сопротивление линий: воздушных – 0,4 Ом/км; кабельных – 0,08 Ом/км.

При определении ЭДС асинхронного двигателя величину сверхпереходной реактивности следует определить как величину, обратную относительному значению пускового тока.



При отсутствии исходной информации для определения ЭДС, их значения могут быть приняты по табл. 2.

Все параметры схемы замещения выражаются в относительных единицах, приведенных к базисным условиям. Найденные величины указываются в схеме замещения. Сопротивления и ЭДС на схеме замещения обозначаются в виде дроби, в числителе которой указывается порядковый номер, а в знаменателе – численное значение.

Таблица 2

Тип машины	$E''_{*(ном)}$	$X''_{*(ном)}$
Турбогенератор мощностью до 100 МВт	1,08	0,125
Турбогенератор мощностью свыше 100 МВт	1,13	0,2
Гидрогенератор с успокоительной обмоткой	1,13	0,2
Гидрогенератор без успокоительной обмотки	1,18	0,27
Синхронный компенсатор	1,2	0,2
Синхронный двигатель	1,1	0,2
Асинхронный двигатель	0,9	0,2
Обобщенная нагрузка	0,85	0,35

4. Производится преобразование схемы замещения.

4.1. Некоторые источники можно объединить в отдельные группы, например, электрически равноудаленные от точки КЗ однотипные и равной мощности синхронные генераторы, компенсаторы, синхронные или асинхронные двигатели. В дальнейшем эти группы следует рассматривать как отдельные источники.

4.2. Схема замещения преобразуется в многолучевую звезду, в центре которой расположена точка КЗ, а по концам ветвей источники с ЭДС  $E''_{i|0|*б}$ . Здесь  $i$  – номер ветви звезды, соответствующий номеру источника.

Для преобразования схемы замещения и приведения ее к простейшему виду используются расчетные выражения, известных из теории линейных электрических цепей. К ним относятся: последовательное и параллельное сложение сопротивлений; преобразование звезды в треугольник и обратно, многолучевой звезды в многоугольник с диагоналями; замена нескольких генерирующих ветвей с разными ЭДС, присоединенными к общему узлу, одной эквивалентной; совмещение точек с одинаковым потенциалом; разрезание схемы в узлах, к которым подключены источники бесконечной мощности; преобразование схемы с использованием коэффициентов токораспределения.

Обязательным при преобразовании схемы замещения является приведение всех промежуточных схем, которые должны быть оформлены как и исходная. В этих схемах элементы, перешедшие из предыдущей без изменения, обозначаются теми же порядковыми номерами, а всем другим присваиваются новые номера в порядке возрастания.

5. По закону Ома определяются действующие значения периодической составляющей токов КЗ ветвей для начального момента времени

$$I_{\Pi|0}^{*6} = \frac{E_{i|0}^{*6}}{X_{i*6}}, \text{ где } X_{i*6} - \text{сопротивление } i\text{-го луча схемы.}$$

При определении тока от АД в начальный момент КЗ можно пренебречь внешними сопротивлениями, если они не превышают 20% сверхпереходного сопротивления электродвигателей. При сравнении их необходимо приводить к одним условиям. Тогда начальная величина действующего значения периодической составляющей тока от АД, приведенная, например, к номинальным условиям,  $I_{\Pi\text{АД}|0} = K_{\text{Д}} I_{\text{пуск}} I_{\text{ном. АД}}$ , где коэффициент  $K_{\text{Д}} = 1,2$  для двигателей типа ВДД и ДВДА и  $K_{\text{Д}} = 1$  для двигателей других серий.

6. Проводится оценка удаленности генераторов от точки КЗ. Критерием удаленности при этом служит значение относительного тока источника в момент КЗ  $\beta = I_{\Pi\Gamma|0}^{*6} / I_{\Gamma\text{ном.}}$ . Если полученная величина меньше 1,5 точка КЗ считается значительно удаленной от источника. Такие условия, как правило, имеют место при КЗ за двумя трансформаторами связи, за линейными реакторами с небольшим номинальным током, в распределительных сетях 6 – 10 кВ и т.д. Ветви, для которых выполняется указанное условие, могут быть объединены с системой в один эквивалентный источник бесконечной мощности, действующее значение периодической составляющей тока от этого источника затухать не будет.

7. С учетом пункта 6 проводится «коррекция» многолучевой звезды.

8. Определяется действующее значение периодической составляющей тока, посылаемого в точку КЗ каждой группой источников в заданный момент времени.

8.1. От источника бесконечной мощности.

$$I_{\Pi\Gamma t} = I_{\Pi\Gamma|0} = I_{\Pi|0}^{*6} I_{\Gamma 6}.$$

Известно, что периодическая составляющая тока КЗ от источника бесконечной мощности имеет постоянную амплитуду и для любого момента времени

8.2. От синхронных генераторов и компенсаторов.

По соответствующей известной величине относительного тока генератора (компенсатора)  $\beta = I_{\Pi\Gamma|0}^{*6} / I_{\Gamma\text{ном.}}$  и кривой (рис. 5) для заданного момента времени  $t$  находится отношение  $\gamma_{\Gamma t} = I_{\Pi\Gamma t} / I_{\Pi\Gamma|0}$ . Затем определяется искомый ток

$$I_{\Pi\Gamma t} = \gamma_{\Gamma t} I_{\Pi\Gamma|0}^{*6} I_{\Gamma 6}.$$

8.3. От синхронных двигателей.

По кривой (рис. 6) находится соотношение  $\gamma_{\text{СД} t}$ , с использованием которого находится искомый ток  $I_{\Pi\text{СД} t}$ .

8.4. От асинхронных двигателей (АД).

Действующее значение периодической составляющей тока КЗ от АД



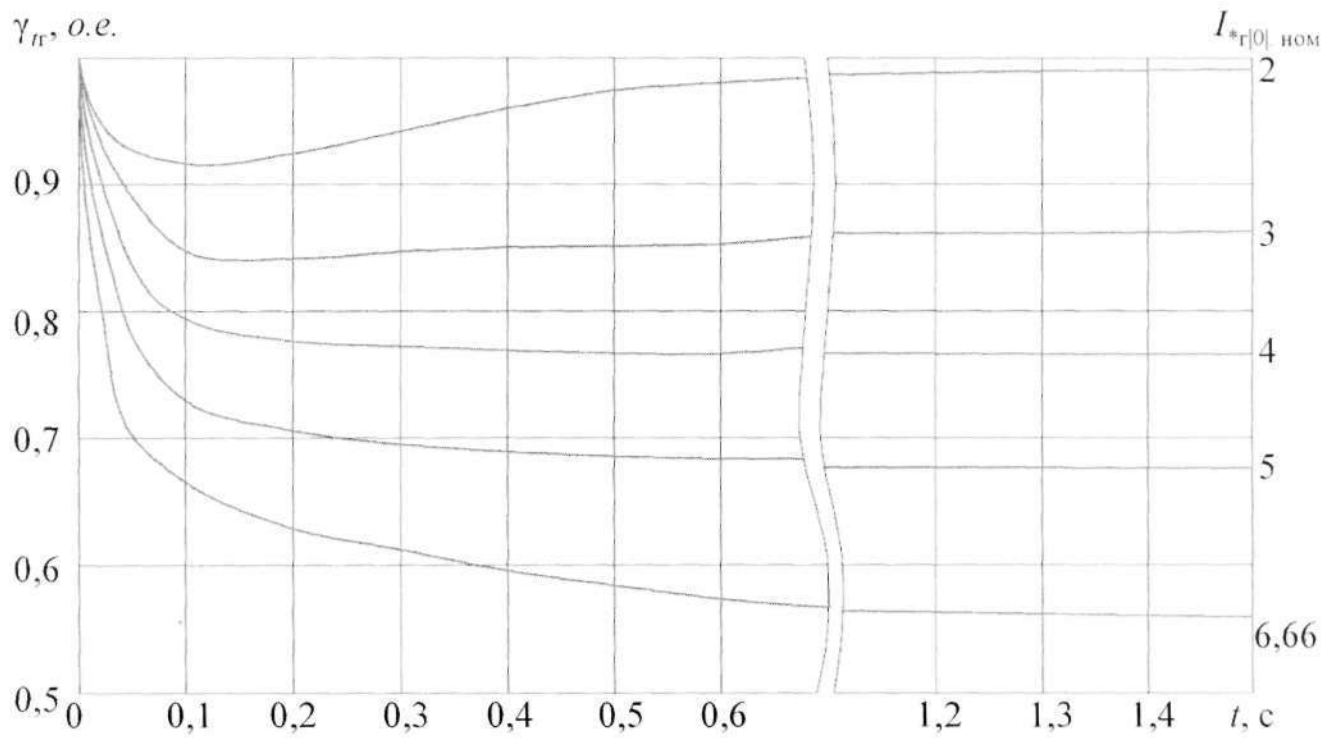


Рис. 5

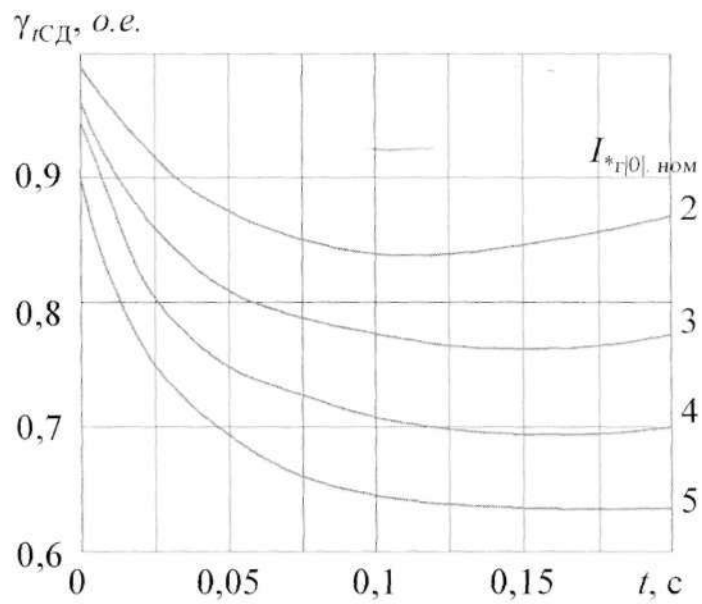


Рис. 6

$$I_{\text{ПВД}} = I_{\text{ПВД}|0|*6} I_6 e^{-\frac{t}{T'_p}},$$

где  $T'_p$  – расчетная постоянная времени затухания периодической составляющей тока АД при КЗ,

$$T'_p = T'_{pД} \left( 1 + \frac{X_{\text{вн}}}{X_{\text{Д}}} \right).$$

Здесь  $T'_{pД}$  – постоянная времени затухания периодической составляющей тока асинхронного двигателя при КЗ на его выводах, определяемая из табл. 3;  $X_{\text{вн}}$  – внешнее индуктивное сопротивление до точки КЗ.

Таблица 3

Параметр	Двигатель						
	А	АО	ДАЗО	АТД	АТМ	ВДД, ДВДА	ДАМСО
$T'_{pД}, \text{с}$	0,04	0,04	0,09	0,06/ $S_{\text{н}}^*$	0,075	0,06	0,044
$T'_a, \text{с}$	0,04	0,04	0,02	0,058	0,043	0,05	0,035
$K_y$	1,56	1,49	1,5	–	1,67	1,66	1,55

Отметим, что при  $t \geq 0,2$  с асинхронные двигатели можно не учитывать в токе КЗ, так как постоянные времени затухания как периодической, так и аperiodической составляющих их тока малы.

#### Расчет ударного тока КЗ

При расчетах токов КЗ принимают, что ударный ток имеет место через 0,01 с после начала КЗ. Ударный ток в месте КЗ определяется путем суммирования ударных токов в ветвях, связанных с точкой КЗ. Для каждой ветви ударный ток определяется по выражению

$$i_y = K_y \sqrt{2} I_{\text{П}|0|}.$$

Значения ударных коэффициентов для ветвей содержащих генераторы и источники бесконечной мощности приведены в табл. 4.

Таблица 4

Элемент или часть системы электроснабжения и их краткая характеристика	$K_y$
Турбогенератор: мощностью до 60 МВт мощностью от 100 до 1000 МВт	1,94 ... 1,995 1,975 ... 1,98
Блок турбогенератор мощностью до 60 МВт – трансформатор при номинальном напряжении генератора: 6,3 кВ 10,5 кВ	1,95 1,935
Блок турбогенератор 100 ... 200 МВт – трансформатор	1,965
Блок турбогенератор 300 ... 800 МВт – трансформатор	1,967 ... 1,983
Система, с которой подстанция связана воздушной линией напряжением 35 ... 220 кВ	1,6 ... 1,717
Система, связанная со сборными шинами 6 ... 10 кВ через трансформатор мощностью: 32 ... 80 МВА более 80 МВА	1,82 ... 1,9 1,85 ... 1,935
Присоединения, подключенные через реакторы с номинальным током: 630 А и менее 1000 А и более	1,904 1,956
Распределительные сети напряжением 6 ... 10 кВ	1,37

Для ветвей, содержащих синхронные двигатели ударный коэффициент определяется по выражению

$$K_{yCD} = 1 + e^{-\frac{0,01}{T_a}},$$

где постоянная времени

$$T_a = \frac{X_d'' + X_{BH}}{\omega \left( \frac{X_d''}{\omega T_{aД}} + R_{BH} \right)}.$$



Здесь  $T_{ад}$  – постоянная времени затухания апериодической составляющей тока двигателя при КЗ на его выводах, определяемая по кривым (рис.7).

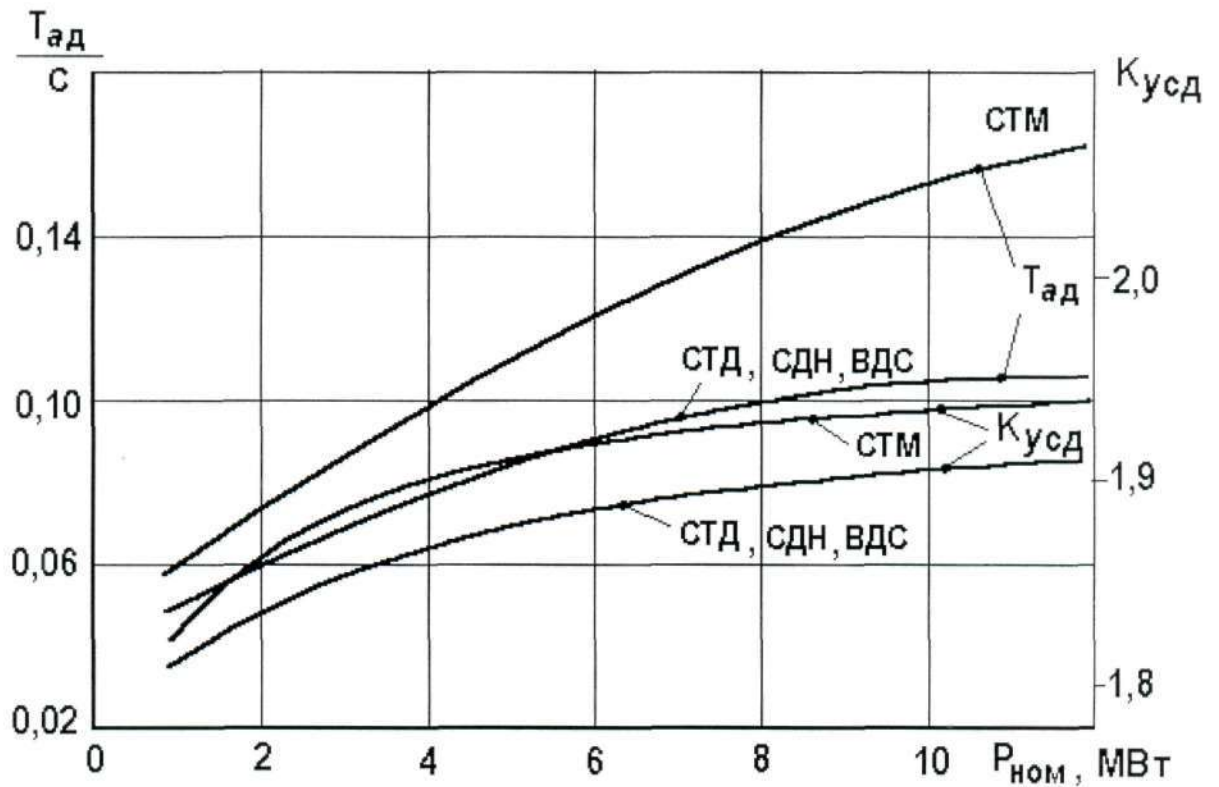


Рис. 7

Для ветвей, содержащих асинхронные двигатели,

$$K_y = e^{-\frac{0,01}{T_p}} + e^{-\frac{0,01}{T_a}} .$$

Значение постоянной времени  $T_a$  может быть определено из табл. 3.

## НЕСИММЕТРИЧНЫЕ КОРОТКИЕ ЗАМЫКАНИЯ

Теоретический материал, необходимый для решения задач данного раздела изложен в учебниках [1, 2].

Решение задач целесообразно начинать с составления схем замещения для токов отдельных последовательностей. Определение тока прямой последовательности особой фазы следует проводить по правилу эквивалентности прямой последовательности.

При переходе через трансформатор для определения токов и напряжений удобно пользоваться комплексными коэффициентами трансформации для прямой  $\dot{K}_1 = Ke^{j30^\circ N}$  и обратной  $\dot{K}_2 = Ke^{-j30^\circ N}$  последовательностей, где  $K$  – модуль коэффициента трансформации,  $N$  – номер группы соединения обмоток. В этом случае при известных значениях токов и напряжений, например со стороны обмотки, соединенной в звезду, токи и напряжения прямой и обратной последовательностей особой фазы (допустим  $a$ ) со стороны обмотки, соединенной в треугольник определяются как:

$$\begin{aligned} \dot{U}_{ka1}^{(n)} &= \dot{U}_{kA1}^{(n)} / \dot{K}_1, & \dot{U}_{ka2}^{(n)} &= \dot{U}_{kA2}^{(n)} / \dot{K}_2, \\ \dot{I}_{ka1}^{(n)} &= \dot{I}_{kA1}^{(n)} \dot{K}_1^*, & \dot{I}_{ka2}^{(n)} &= \dot{I}_{kA2}^{(n)} \dot{K}_2^*. \end{aligned}$$

### Задача 4.1

По условиям задачи № 3 определить ток несимметричного КЗ для начального момента времени. Принять: для всех источников (система, генераторы, электродвигатели, обобщенная нагрузка)  $X_2 = X_d''$ ; для линий  $X_0 = (2,5-4,5)X_1$ ; для трансформаторов  $X_{\mu 0} = 80\%$ , для системы  $X_0 = 0,2$ . Вид несимметричного КЗ задан в табл. 5, где О – однофазное КЗ, Д – двухфазное КЗ, ДЗ – двухфазное КЗ на землю.

Таблица 5

№ рисунка	Номер точки КЗ									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<del>9</del> 1	О	Д	О	Д	Д	Д	Д	ДЗ	–	–
<del>10</del> 2	ДЗ	О	ДЗ	Д	О	ДЗ	Д	Д	–	–
<del>11</del> 3	ДЗ	Д	О	О	ДЗ	Д	Д	Д	Д	Д
<del>12</del> 4	О	О	ДЗ	ДЗ	Д	Д	Д	О	Д	–

### Задача 4.2

Трехстержневой трансформатор, питающийся от источника бесконечной мощности с напряжениями на ступенях  $U_1$  и  $U_2$  с соединением обмоток  $Y/Y_0-12$ , заменили на трансформатор с группой соединения обмоток  $\Delta/Y_0-11$  такой же мощности.

Требуется определить влияние этой замены на величину установившегося тока однофазного КЗ; соотношения между токами однофазного и трехфазного КЗ для обеих групп соединения обмоток. Вычертить векторные диаграммы токов и напряжений, а также токораспределение в обмотках трансформаторов на схеме в трехлинейном изображении. Исходные данные для решения задачи приведены в табл. 6. Активным сопротивлением трансформаторов пренебречь.

Таблица 6

Вариант	Параметры				
	$S_{\text{ном}}$ , кВА	$U_1$ , кВ	$U_2$ , кВ	$U_k$ , %	$X_{\mu 0}$
1	400	35	0,4	6,5	100
2	630	10	0,4	5,5	80
3	1000	6,3	0,4	5,5	76
4	2500	35	0,4	6,5	50
5	1000	10	0,4	5,5	70
6	1600	35	0,4	6,5	83
7	1600	10	0,4	5,5	94
8	250	35	0,4	6,5	88
9	400	10	0,4	6,5	74
10	160	10	0,4	4,5	58
11	630	35	0,4	7,5	90
12	630	35	0,4	6,5	60
13	400	10	0,4	4,5	55
14	630	10	0,4	6,5	65
15	400	35	0,4	7,5	72
16	630	35	0,4	6,5	92
17	400	10	0,4	5,5	80
18	1600	6,3	0,4	5,5	70
19	2500	10	0,4	5,5	60
20	1600	10	0,4	6,5	78
21	1000	35	0,4	6,5	63
22	1600	35	0,4	5,5	80
23	400	10	0,4	6,5	88
24	400	10	0,4	5,5	90
25	250	10	0,4	5,5	70

### Задача 4.3

Трансформатор со схемой соединения обмоток  $Y/\Delta$  и группой № питается от источника бесконечной мощности. На обмотке низкого напряжения, соединенной в треугольник, произошло двухфазное КЗ.

Найти токораспределение на обеих ступенях трансформатора и вычертить векторные диаграммы для установившегося режима КЗ.

Исходные данные для решения приведены в табл.7.

Таблица 7

Вариант	Параметры					
	$S_{ном}, \text{MVA}$	$U_Y, \text{kV}$	$U_{\Delta}, \text{kV}$	$U_K, \%$	№	$K_{(фаз)}^{(2)}$
1	10	119	10,5	10,5	1	<i>a,b</i>
2	6,3	115	11	10,5	9	<i>b,c</i>
3	16	123	10,7	10,5	3	<i>a,c</i>
4	10	111	6,6	10,5	7	<i>a,b</i>
5	25	108	11	10,5	5	<i>b,c</i>
6	32	104	10,6	10,5	11	<i>a,c</i>
7	4	37	6,6	5,5	1	<i>a,b</i>
8	2,5	11	0,42	5,5	11	<i>b,c</i>
9	1,6	9,9	0,36	5,5	7	<i>a,c</i>
10	1,0	10,5	0,44	5,5	5	<i>a,b</i>
11	0,63	37	0,38	6,5	3	<i>b,c</i>
12	40	121	10,4	10,5	9	<i>a,b</i>
13	32	240	12	12	5	<i>a,c</i>
14	16	34	6	8	7	<i>b,c</i>
15	10	36	10,2	7,5	1	<i>a,b</i>
16	40	104	10,8	10,5	3	<i>a,c</i>
17	6,3	37	6,4	5,5	5	<i>a,b</i>
18	1,6	10,8	0,42	5,5	7	<i>b,c</i>
19	2,5	9,7	0,36	5,5	9	<i>a,c</i>
20	1,0	10,3	0,41	5,5	11	<i>a,b</i>
21	0,63	36	0,39	6,5	1	<i>b,c</i>
22	40	118	10,3	10,5	3	<i>a,b</i>
23	32	236	11	12	5	<i>a,c</i>
24	25	34	6,4	8	9	<i>b,c</i>
25	16	35	10,5	7,5	7	<i>a,b</i>

### Задача 4.4

Для определения мощности установившегося однофазного КЗ к ваттметру через фильтры напряжения и тока нулевой последовательности (трансформатор напряжения и 3 трансформатора тока, соединенные в двойную звезду) подведены соответственно  $3\dot{I}_0$  и  $3\dot{U}_0$  (рис. 8).

Определить показания ваттметра, если известны сопротивления  $\dot{Z}_{1\Sigma} = \dot{Z}_{2\Sigma} = Ze^{j\varphi_k}$ ,  $\dot{Z}_{0\Sigma} = Z_{0\Sigma}e^{j\varphi_0}$ , и номинальное напряжение  $U_{\text{ном}}=110$  кВ. Вычертить векторные диаграммы токов и напряжений. Исходные данные для решения задачи приведены в табл.8.

Таблица 8

Параметры	Вариант												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Z, Ом	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75
$\varphi_k$ ,град	80	75	70	65	60	55	50	45	40	35	30	70	50
$Z_{0\Sigma}$ , Ом	75	70	65	60	55	50	45	40	35	30	25	20	15
$\varphi_0$ ,град	50	70	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80

Окончание таблицы 8

Параметры	Вариант												
	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
Z, Ом	45	50	55	60	65	70	75	40	35	30	25	20	15
$\varphi_k$ ,град	60	55	50	45	40	35	30	70	50	45	40	35	30
$Z_{0\Sigma}$ , Ом	65	60	55	50	45	40	35	30	25	20	15	70	75
$\varphi_0$ ,град	50	70	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80



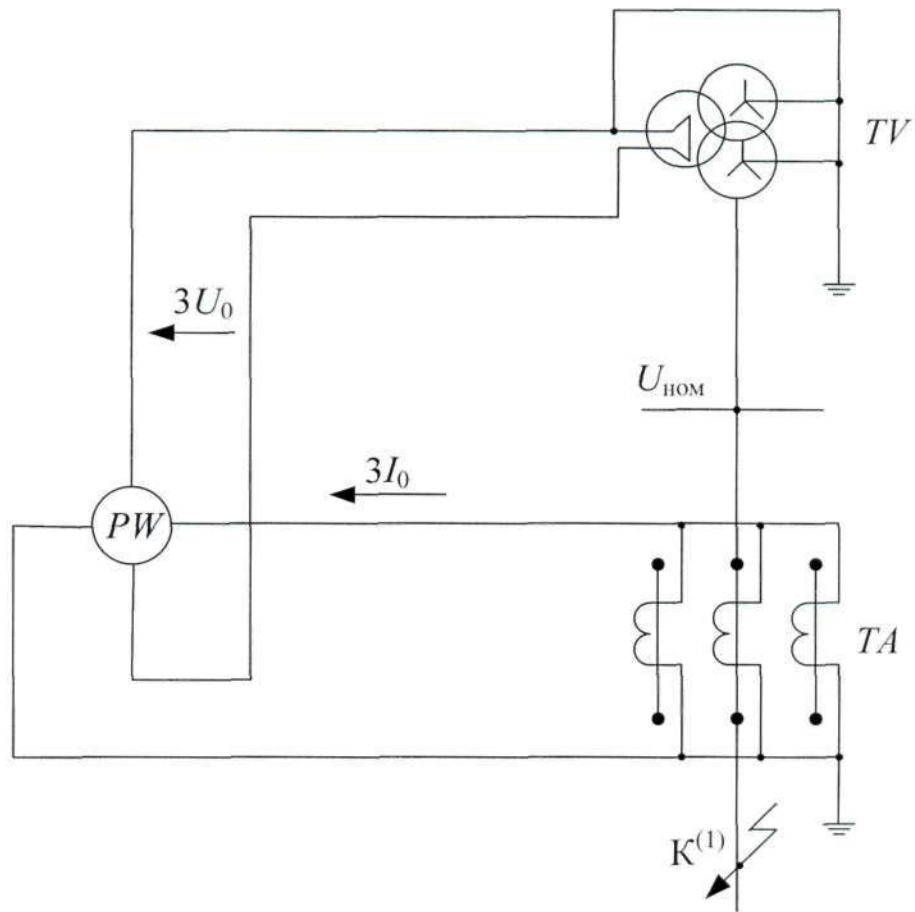


Рис.8

### Задача 4.5

Блок, состоящий из турбогенератора  $G$  с параметрами:  $P_{ном}$ ;  $\cos\varphi_{ном}=0,85$ ;  $U_{н}$ ;  $X''_{d*}=X_{2*}$  и понижающего трансформатора  $T$  с параметрами:  $S_T$ ;  $K_T$ ;  $U_K$ ;  $\Delta Y-11$ , работает на холостом ходу с номинальным напряжением.

Определить фазные величины токов и напряжений генератора и трансформатора (на стороне звезды) в начальный момент двухфазного КЗ (рис. 9). Вычертить векторные диаграммы токов и напряжений. Исходные данные для решения приведены в табл. 9.

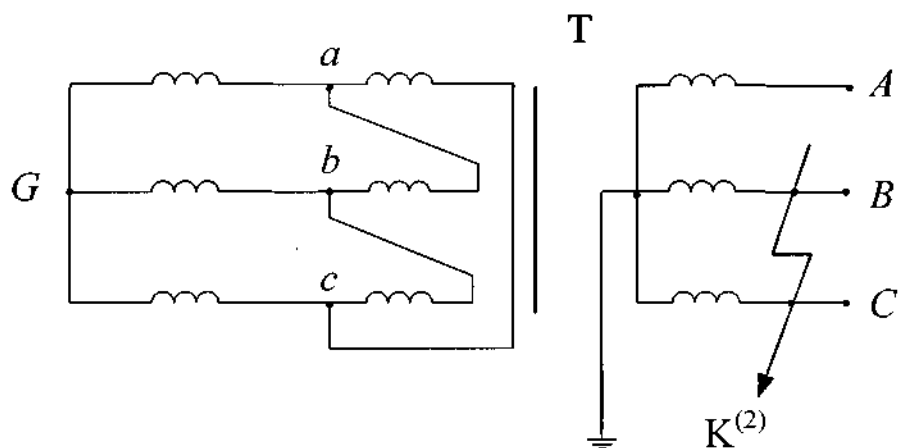


Рис. 9

Таблица 9

Вариант	Параметры						
	$P_{\text{НОМ}}, \text{ МВт}$	$U_{\text{НОМ}}, \text{ кВ}$	$X_{d^*}$	$S_T, \text{ МВА}$	$K_T$	$U_K, \%$	$K_{(\text{фаза})}^{(1)}$
1	6	6,3	0,1	10	6,3/114	10,5	<i>a</i>
2	12	6,3	0,125	16	6,3/115	10,5	<i>b</i>
3	20	10,5	0,12	40	10,5/36	8,5	<i>c</i>
4	25	10,5	0,16	40	10,5/37	9,5	<i>a</i>
5	30	10,5	0,12	60	10,5/112	11	<i>b</i>
6	50	10,5	0,15	63	10,5/118	11	<i>c</i>
7	60	10,5	0,15	80	10,5/115	12	<i>a</i>
8	120	10,5	0,19	200	10,5/114	10,5	<i>b</i>
9	165	18,0	0,2	200	18,0/230	10,5	<i>c</i>
10	200	15,75	0,18	250	15,75/242	10,5	<i>a</i>
11	220	15,75	0,2	320	15,75/235	11	<i>b</i>
12	300	20,0	0,25	400	20,0/240	9,5	<i>c</i>
13	320	20,0	0,25	400	20,0/238	10,5	<i>a</i>
14	6	6,3	0,11	10	6,3/38	8,5	<i>b</i>
15	12	6,3	0,12	16	6,3/35	11	<i>c</i>
16	20	10,5	0,125	40	10,5/114	9,5	<i>a</i>
17	25	10,5	0,15	40	10,5/115	12	<i>b</i>
18	30	10,5	0,14	60	10,5/118	10,5	<i>c</i>
19	50	10,5	0,13	80	10,5/115	10,5	<i>a</i>
20	60	10,5	0,17	80	10,5/114	10,5	<i>b</i>
21	120	10,5	0,21	200	10,5/112	11	<i>c</i>
22	165	18,0	0,22	200	18,0/121	11	<i>a</i>
23	200	15,75	0,22	250	15,75/120	12	<i>b</i>
24	220	15,75	0,23	320	15,75/240	10,5	<i>c</i>
25	300	20,0	0,24	400	20,0/235	10,5	<i>a</i>

## Задача 4.6

Решить задачу 4.5 для однофазного КЗ на стороне звезды с заземленной нейтралью повышающего трансформатора в указанной фазе.

### Указания к решению

Так как по условию задач 4.5 и 4.6 токораспределение требуется находить в начальный момент КЗ, то генератор в схему замещения должен быть введен сверхпереходными ЭДС и реактивностью. Величина сверхпереходной ЭДС зависит от предшествующего режима работы и в режиме холостого хода равна напряжению на выводах генератора.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ульянов, С.А. Электромагнитные переходные процессы в электрических системах / С.А. Ульянов – М.: Энергия, 1970. – 520 с.
2. Ульянов, С.А. Электромагнитные переходные процессы в электрических системах / С.А. Ульянов – М.: Энергия, 1964. – 704 с.
3. Переходные процессы в системах электроснабжения / В.Н. Винославский, Г.Г. Пивняк, Л.И. Несен и др.; под ред. В.Н. Винославского. – Киев: Высшая шк. Головное издательство, 1989. – 422 с.
4. Столбов, Ю.А. Электромагнитные переходные процессы в системах электроснабжения: учебное пособие с примерами и иллюстрациями / Ю.А. Столбов. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2000. – 380 с.
5. Куликов, Ю.А. Переходные процессы в электрических системах: учебное пособие / Ю.А. Куликов. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2003. – 251 с.
6. Переходные процессы в электроэнергетических системах: учебник для вузов / И.П. Крючков, В.А. Старшинов, Ю.П. Гусев, М.В. Пиратов; под ред. И.П. Крючкова. – М.: Издательский дом МЭИ, 2008. – 416 с.
7. Руководящие указания по расчету токов короткого замыкания и выбору электрооборудования / под ред. Б.Н. Неклепаева – М.: Изд-во НЦЭНАС, 2002 – 152с.
8. Ульянов, С.А. Сборник задач по электромагнитным переходным процессам в электрических системах / С.А. Ульянов – М.: Энергия, 1968. – 496 с.
9. Вопросы устойчивости электрических систем / П.С. Жданов; под ред. Л.А. Жукова. – М.: Энергия, 1979. – 456 с.