ОТКРЫТОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО
ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ ВСЕРОССИЙСКИЙ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСКИЙ ИНСТИТУТ

ТЯЖПРОМЭЛЕКТРОПРОЕКТ
имени Ф.Б. ЯКУБОВСКОГО

РУКОВОДСТВО
ПО ВЫПОЛНЕНИЮ РАСЧЕТОВ ТОКОВ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ В СЕТЯХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

М3662

/Главный инженер института
Зименков М.Г.

Отдел - ОЭС

СОГЛАСОВАНО:
Начальник технического отдела института
Годгельф Л.Б.

Начальник отдела
Чугункин Е.В.

Руководитель темы
Корогодский В.И.

Председатель Совета НОТ
Е.В.Добрынин

Москва, 1979 г..

gost.e-ecolog.ru

Обозначение	Наименование	Кол. листов	Примечание
М3662-I	Обложка и титульный лист	2	
М3662-2	Содержание тома	I	
М3662-3	Текстовая часть	31	
М3662-4	Формулы расчета сопротивлений элементов схемы замещения /индуктивных/	3	
М3662-5	Формулы расчета сопротивлений элементов схемы замещения /активных/	3	
М3662-6	Расчет токов коротких замыканий Пример № I.	9	
М3662-7	Расчет токов коротких замыканий Пример № 2.	17	
М3662-8	Приложение 1. Таблицы сопротивлений элементов. Схемы замещения	8	
М3662-9	Приложение 2. Вспомогательные материалы для расчета токов к.з.	8	

Нач. ОТП | Взамен | Форма | Содержание тома (папки) основного комплекта рабоч. черт. и проектной документац. др. стадии проектир. | Взам. инв. № | Подп. и дата | Инв. № подл.

Нач. отд.	Чугункин		
Гл. спец.	Корогодский		
Н. контр.	Менчик		
Инж.	Кошинская		

М3662-2

Руководство по выполнению расчетов токов короткого замыкания в сетях промпредприятий

Стадия	Лист	Листов
	I	1

Содержание тома

ВНИПИ ТЯЖПРОМЭЛЕКТРОПРОЕКТ ИМЕНИ Ф.Б. ЯКУБОВСКОГО МОСКВА

Копировал

Формат 11

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
I. Введение	2
2. Составление расчетной схемы и схемы замещения	3
3. Выбор расчетного режима	9
4. Расчеты токов коротких замыканий	I4
4.I. Расчеты токов коротких замыканий в радиальной схеме	I4
4.2. Расчеты токов коротких замыканий в схеме, где точка короткого замыкания находится за общим для группы электродвигателей сопротивлением	2I
4.3. Расчеты токов коротких замыканий в схеме, где точка короткого замыкания находится за общим для группы электродвигателей и источника электроснабжения (системы) сопротивлением	25
5. Рекомендации по оформлению проектной документации	29
6. Литература	3I

Основн. комплект рабоч. чертежей и текстов. документов и проектной документации др. стад. проектирования

Нач. ОТП

Взамен Ф09-78

Форма Ф09-79 л-т 1 л-ов 2

Взам. инв. №

Подп. и дата

Инв. № подл.

Нач. отд.	Чугункин		
Н. контр.	Менчик		12.79
Гл. спец.	Корогодский		XII/79
Инж.	Шестаков		
Инж.	Кашинская		

М3662-3

Руководство по выполнению расчетов токов короткого замыкания в сетях промышленных предприятий

Стадия	Лист	Листов
	1	31

Текстовая часть

ВНИПИ ТЯЖПРОМЭЛЕКТРОПРОЕКТ ИМЕНИ Ф. Б. ЯКУБОВСКОГО МОСКВА

I. ВВЕДЕНИЕ

Руководство составлено отделом электроснабжения и подстанций Центрального производства (г. Москва) Всесоюзного ордена Трудового Красного Знамени научно-исследовательского и проектного института "Тяжпромэлектропроект" им. Ф.Б.Якубовского (ВНИПИ ТПЭП) по плану пересмотра действующих и разработки новых нормативных документов Госстроя СССР.

Руководство по своему назначению и содержанию соответствует требованиям главы СНиП I-I-74 "Система нормативных документов. Основные положения" и учитывает изменения и дополнения к этой главе, утвержденные постановлением Госстроя СССР № I63 от I0 августа I978 г.

В Руководстве рассматриваются применения отдельных положений главы I-4 Правил устройства электроустановок (ПУЭ), "Инструкции по проектированию электроснабжения промышленных предприятий" (СН-I74-75) и ГОСТ 687-70 "Выключатели переменного тока высокого напряжения. Общие технические требования" к расчету токов трехфазных коротких замыканий (т.к.з.) в сетях напряжением выше 3-I0 кВ для выбора и проверки электрических аппаратов и проводников по условиям коротких замыканий (к.з.).

Руководство содержит рекомендации по содержанию и оформлению проектной документации с расчетами токов к.з., и методические указания по нахождению необходимых значений т.к.з. и примеры расчетов в сетях напряжением 6-10кВ.

Кроме того, приведены некоторые вспомогательные и справочные материалы, которые могут понадобиться при проектировании.

При составлении Руководства широко использовались методические и проектные материалы ВНИПИ ТПЭП, а также "Руководящие указания по расчету коротких замыканий, выбору и проверке аппаратов и проводников по условиям короткого замыкания" (I-я редакция), разработанные Московским ордена Ленина Энергетическим Институтом и введенные в действие Решением Главного технического управления по эксплуатации энергосистем Министерства энергетики и электрификации СССР № 8-8/3 от 25 декабря 1975 г.

Руководство заменяет в части расчетов т.к.з. для выбора и проверки оборудования напряжением выше 1000 В нормаль проектной документации НП83-74 (I-я редакция) "Электроснабжение и подстанции. Расчеты".

В работе принимали участие С.Г.Шестаков, М. Кашинская и В.И.Корогодский.

Настоящая редакция Руководства является первой.

2. СОСТАВЛЕНИЕ РАСЧЕТНОЙ СХЕМЫ И СХЕМЫ ЗАМЕЩЕНИЯ

2.I. Расчетная схема для определения токов коротких замыканий представляет собой, как правило, однолинейную схему электрической сети, в которой работают электрические аппараты и проводники, подлежащие выбору и проверке по условиям короткого замыкания.

2.2. В расчетную схему вводятся все генераторы, синхронные компенсаторы, синхронные и асинхронные электродвигатели напряжением выше 1000 В, имеющие небольшую электрическую удаленность от точки к.з., а также трансформаторы, автотрансформаторы, реакторы, токопроводы, воздушные и кабельные линии, связывающие источники питания с местом короткого замыкания.

ПРИМЕЧАНИЕ: Считается, что электродвигатели имеют небольшую электрическую удаленность от точки к.з., (см. черт. М3662-6 лист 9), если они связаны с ней непосредственно, через линейные реакторы, линии электропередачи и токопроводы, в случаях, когда двигатели присоединены к обмотке трехобмоточного трансформатора с близким к нулю сопротивлением соответствующего луча схемы замещения при к.з. на шинах, связанных с другой обмоткой трансформатора, а также, если точка к.з. и электродвигатели связаны одной трансформацией.

2.3. Если значительно удаленные электрически от точки к.з. генераторы и синхронные компенсаторы (например, энергосистемы) заданы в виде обобщенного эквивалентного источника с известной величиной периодической составляющей начального тока $I_{по}$ или соответствующей мощностью $S_{по}$ при трехфазном к.з. в данной узловой точке, то этот эквивалентный источник изображается на схеме как генератор, присоединенный к указанной узловой точке.

2.4. В расчетной схеме показываются также электрические аппараты и проводники, подлежащие выбору и проверке по условиям короткого замыкания (по одному типопредставителю) за исключением трансформаторов тока, разъединителей, отделителей, короткозамыкателей и т.п.

2.5. При составлении расчетной схемы следует учитывать ближайшее (в течение примерно пяти лет) развитие сети, энергосистемы и электроустановок промышленного предприятия.

2.6. В расчетной схеме указывается:

а) для каждого обобщенного эквивалентного источника – наименование (например: "энергосистема" или "ТЭЦ"); заданная величина периодической составляющей начального тока $I_{по}$,(кА) или соответствующей мощности $S_{по}$,(МВ·А) трехфазного к.з. в месте присоединения указанного источника к сети, где рассчитываются токи к.з.;

б) для генераторов – условное обозначение (например, G1) номинальная мощность, $\cos\varphi_н$; x''_d и постоянная времени T_a, с;

в) для синхронных компенсаторов – условное обозначение (например, GC), номинальная мощность, x''_d и постоянная времени T_a, с;

г) для синхронных двигателей – условное обозначение (например, МБ или МІ), номинальная мощность; $\cos\varphi_н$; к.п.д.; x''_d или кратность пускового тока;

д) для асинхронных двигателей – условное обозначение (например, М или М2), номинальная мощность; $\cos\varphi_н$ к.п.д.; кратность пускового тока,

е) для трансформаторов и автотрансформаторов – условное обозначение (например, ТІ), номинальная мощность; номинальное напряжение обмоток; напряжение короткого замыкания;

ж) для реакторов – условное обозначение (например, LR1), номинальное индуктивное сопротивление (в омах) и номинальный коэффициент связи (только для сдвоенных реакторов);

з) для воздушных и кабельных линий электропередачи – условное обозначение (например, ВЛ или КЛ); удельное индуктивное и активное сопротивления $\left(\frac{Ом}{км}\right)$, длина линии, (км);

и) для токопроводов – условное обозначение (например, L); наибольшее удельное активное и индуктивное сопротивления фазы, длины токопровода.

Калька Формат А1

Примечание:
Значения номинальной мощности в п.п. 2.6(б÷д) указываются в(МВт), а в п. 2.6(е) – в(МВ·А)

2.7. Допускается при изображении на расчетной схеме однотипных, одинаково соединенных с точкой короткого замыкания электродвигателей, показывать их в виде одного эквивалентного двигателя, мощность которого записывается в виде: число объединенных двигателей умноженное на мощность единичного двигателя.

2.8. Схема замещения составляется на основании расчетной схемы, все элементы которой представляются соответствующими сопротивлениями, а элементы, генерирующие ток короткого замыкания, вводятся как внутренними индуктивными сопротивлениями, так и источниками Э.Д.С.

2.9. Все трансформаторные связи в расчетной схеме-на схеме замещения представляются электрическими.

2.10. При составлении схемы замещения и последующем расчете токов к.з. не учитывается:

- расхождение по фазе векторов Э.Д.С. источников питания;
- емкостные проводимости на землю линий электропередачи напряжением до 220 кВ включительно;
- насыщение магнитных систем генераторов, трансформаторов и электродвигателей;
- различие значений сверхпереходных сопротивлений по продольной и поперечной осям синхронных машин;
- возможная несимметрия трехфазной системы;
- качания генераторов и синхронных электродвигателей;
- влияние регулирования коэффициента трансформации силовых трансформаторов на величину напряжения короткого замыкания ($U_к$%) этих трансформаторов;
- влияние активных сопротивлений различных элементов расчетной схемы на величину периодической составляющей тока короткого замыкания в начальный момент времени, если суммар-

ное сопротивление схемы до точки к.з. не превышает 30-35% суммарного индуктивного сопротивления;

- переходные сопротивления в месте короткого замыкания;
- недвигательная нагрузка и электродвигатели напряжением ниже 1000 В;
- асинхронные электродвигатели напряжением выше 1000 В общей мощностью до 1000 кВт включительно непосредственно подключенные к точке к.з.;
- асинхронные электродвигатели напряжением выше 1000 В, общей мощностью до 2000 кВт. включительно отделенные от точки к.з. реактором или трансформацией.

2.11. Сопротивления и Э.Д.С. в схеме замещения могут быть выражены как в относительных, так и в именованных единицах (О мах). В настоящем Руководстве в качестве основного выбран способ расчета сопротивлений и Э.Д.С. в относительных единицах.

2.12. При составлении схемы замещения в относительных единицах следует задаться значением базисной мощности, а одну из ступеней трансформации исходной схемы выбрать за основную и определить базисный ток. Затем необходимо найти базисные токи и для других ступеней трансформации.

За значение базисной мощности рекомендуется принимать $S_б$ = 1000 мВА.

Базисное напряжение принимается равным среднему номинальному напряжению основной ступени соответственно номинальному напряжению сети по таблице 2-1.

Таблица 2-1

Номинальное напряжение сети, кВ	220	150	110	35	10	6	3
Базисное напряжение, кВ	230	154	115	37	10,5	6,3	3,15
Базисный ток, кА	2,51	3,75	5,03	15,62	55,05	91,75	183,51

Соответствующие значения базисных токов также приведены в таблице 2-I.

2.I3. Э.Д.С. источника электроснабжения, если им является энергетическая система с удаленными от места короткого замыкания генераторами, в относительных единицах принимается равной I.

2.I4. Сверхпереходные Э.Д.С. синхронных двигателей в относительных единицах рассчитывается по формуле:

$$\underset{*}{E}_g'' = \sqrt{\cos^2\varphi_н + (\sin\varphi_н + \underset{*}{x}_d'')^2}\ ; \quad (о.е)$$

где $\cos\varphi_н$ - номинальный коэффициент мощности двигателя

$\sin\varphi_н = \sqrt{1-\cos^2\varphi_н}$

$\underset{*}{x}_d''$ - сверхпериодное сопротивление синхронного двигателя (о.е)

Для наиболее характерных типов синхронных электродвигателей значения ЭДС допустимо принимать равным $\underset{*}{E}_g''$ = I,07. (среднее расчетное значение)

2.I5. Индуктивные сопротивления соответствующих элементов схемы замещения рассчитываются по формулам, приведенным в таблице на черт. М3662-4.

2.I6. Активные сопротивления соответствующих элементов схемы замещения рассчитываются по формулам, приведенным в таблице на черт. М3662-I5.

2.I7. Сопротивления элементов схем замещения в процессе короткого замыкания считаются неизменными.

2.I8. Схема замещения, в которой элементы расчетной схемы представлены индуктивными сопротивлениями, используется при расчетах всех видов тока короткого замыкания, а именно:

- начального значения периодической составляющей тока к.з.;

Инв. № подл. | Подп. и дата | Взам. инв. № | Основн. компл. работ, чертежей и текстов документов и проектной документации др. стад. проектиров. | Форма Ф09-79л-п2 | Взамен Ф09-78 | Нач. отп.

- значения периодической составляющей тока к.з. к моменту времени τ размыкания силовых контактов выключателя;
- значения апериодической составляющей тока к.з. к моменту времени τ;
- значение ударного тока к.з.

2.19. Кроме указанной в п. 2.18 схемы замещения для расчета значений апериодической составляющей тока к.з. к моменту времени τ и ударного тока к.з. для случая, когда точка к.з. находится за общим для группы электродвигателей сопротивлением или за общим для электродвигателей и системы сопротивлением (М3662-7) - используется схема замещения, в которой все элементы расчетной схемы представлены активными сопротивлениями. Допускается совмещать схему замещения с активными сопротивлениями со схемой по п. 2.18, указывая значения активных сопротивлений в скобках (см. пример расчета 2).

Примечание: $\tau = 0{,}15c$ - суммарное время срабатывания релейной защиты и выключателя

3. ВЫБОР РАСЧЕТНОГО РЕЖИМА

3.1. Выбор расчетного режима включает в себя определение места короткого замыкания и состояния расчетной схемы, при которых значения токов, проходящих через аппараты и проводники, подлежащие выбору и проверке по условиям к.з., оказываются наибольшими из возможных.

3.2. Для определения места короткого замыкания учитывают следующие положения:

3.2.1. Для выбора и проверки выключателей нереактированных линий 3-10 кВ, отходящих от сборных шин распределительных устройств, расчетным обычно является короткое замыкание за выключателем пассивного элемента (т.е. элемента не генерирующего ток короткого замыкания), считая от сборных шин. Остальные

выключатели по условиям короткого замыкания, как правило, не выбираются и не проверяются (рис.3-I и 3-2), так как они находятся в более легких по сравнению с проверяемым условиях.

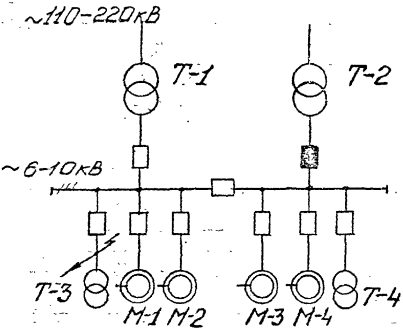
3.2.2. При отсутствии пассивных элементов среди отходящих нереактированных линий расчетным обычно является короткое замыкание за выключателем линии к наименьшему по мощности асинхронному, а при отсутствии асинхронных - синхронному двигателю (рис. 3-3).

3.2.3. Для выбора и проверки выключателей реактированных линий, независимо от того с какой стороны от реактора (до реактора или после него) они установлены, расчетным считается короткое замыкание за реактором, считая от сборных шин (рис. 3-4). При этом должны быть выполнены условия, указанные в § 1-4-7 ПУЭ.

3.2.4. Секционные выключатели, включенные последовательно с реактором должны быть выбраны и проверены по условиям короткого замыкания на участке между выключателем и реактором (рис. 3-4).

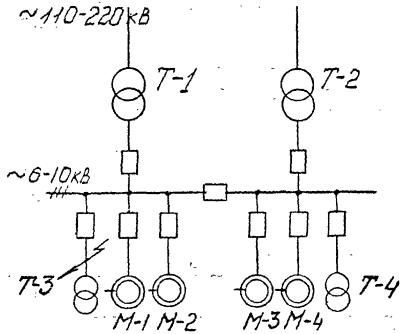
3.2.5. По режиму короткого замыкания не проверяются:

- проводники в цепях к индивидуальным электроприемникам и цеховым трансформаторам общей мощностью до I000 кВ.А с высшим напряжением до 20 кВ, если в электрической или технологической частях предусмотрена необходимая степень резервирования, если повреждение проводника при коротком замыкании не может вызвать взрыва, если возможна замена проводника без значительных затруднений;
- проводники в цепях измерительных трансформаторов напряжений;
- проводники к неответственным индивидуальным приемникам или распределительным пунктам небольшей мощности, если повреждение проводника не может вызвать взрыва;



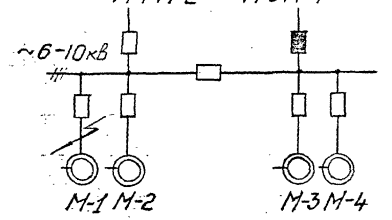
Для режима раздельной работы

Рис. 3-1



Для режима параллельной работы

Рис. 3-2



Для режима раздельной работы

Рис. 3-3.

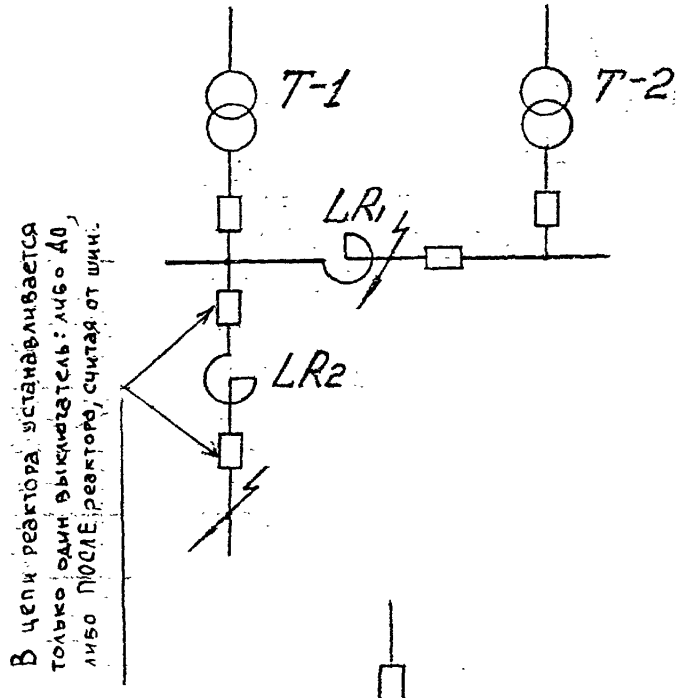

Т-1
Т-2
LR1
LR2
В цепи реактора устанавливается только один выключатель: либо АО, либо ПОСЛЕ реактора, считая от шин.

Рис. 3-4

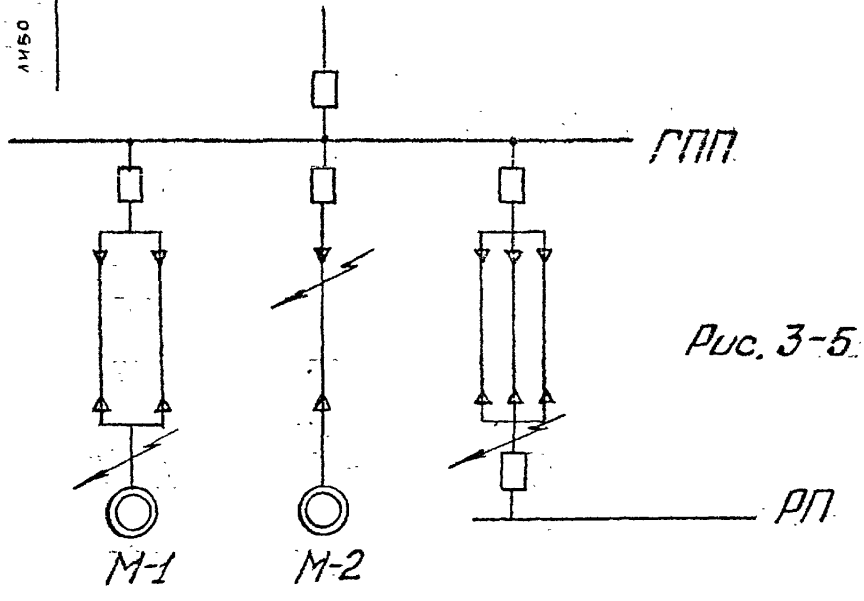

ГПП
РП
М-1
М-2

Рис. 3-5

- аппараты и проводники, защищенные плавкими предохранителями со вставками на $I_н \leq 60$ А – (по динамической стойкости) и независимо от номинального тока (по термическую стойкость);
- провода отходящих воздушных линий.

3.2.6. Проверка термической стойкости пучка, состоящего из двух и более параллельно включенных кабелей, производится по току короткого замыкания непосредственно за пучком (рис. 3-5). В этом случае каждый кабель пучка проверяется по току: $\frac{I_к}{n}$, где n – число кабелей в пучке.

3.3. При определении состояния расчетной схемы, обеспечивающего протекание через аппараты и проводники, подлежащие выбору и проверке по условиям короткого замыкания, наибольшего тока, рекомендуется принимать во внимание следующее:

3.3.1. Если в схеме электоснабжения предусмотрена раздельная работа питающих источников на сборные шины 3-10 кВ, разделенные нормально отключенным секционным выключателем, то расчетным состоянием исходной схемы обычно является режим, когда один из трансформаторов отключен, а секционный выключатель включен (рис. 3-1). При этом все электродвигатели должны находиться в работающем состоянии.

3.3.2. В схеме электроснабжения, в которой предусмотрена параллельная работа питающих источников, расчетным состоянием обычно является нормальный режим исходной схемы. При этом следует отдельно рассмотреть необходимость учета всех или части электродвигателей (рис.3-2).

3.4. При расчетах термической стойкости следует руководствоваться также п.1-4-8 ПУЭ, определяющим способ вычисления расчетного времени.

4. РАСЧЕТЫ ТОКОВ КОРОТКИХ ЗАМЫКАНИЙ

4.I. Расчеты токов коротких замыканий в радиальной схеме (рис. 4-1)

4.I.I. Для выполнения расчетов токов к.з. в радиальной схеме, в которой каждый двигатель связан с точкой к.з. индивидуальным внешним сопротивлением, схема замещения с индуктивными сопротивлениями путем преобразований приводится к простейшему виду.

4.I.2. На окончательно преобразованной схеме замещения должны быть показаны:

- ветвь источника электроснабжения (системы) с Э.Д.С. $\underset{*}{E}_c = 1$ и внешним результирующим сопротивлением $\underset{*}{X}_c$;
- ветви всех электродвигателей с соответствующими ЭДС и сопротивлениями.

Допускается объединять группу одинаковых двигателей, одинаково соединенных с точкой к.з., в один эквивалентный с соответствующим пересчетом сопротивления ветви по формуле:

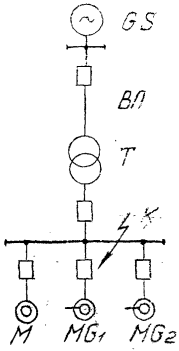
$$\underset{*}{X}_{M\Sigma} = \frac{\underset{*}{X}_M + \underset{*}{X}_{вн}}{n} \qquad (4\text{-}I)$$

где $\underset{*}{X}_M$ - сопротивление (о.е.) одного электродвигателя ;

$\underset{*}{X}_{вн}$ - сопротивление (о.е.) от зажимов электродвигателя до точки к.з. ;

n - количество одинаковых двигателей.

4.I.3. Начальное значение периодической составляющей тока короткого замыкания от источника электроснабжения (системы) составляет:



Радиальная схема

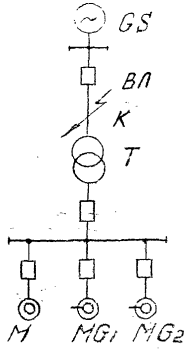


Схема с общим для группы двигателей сопротивлением

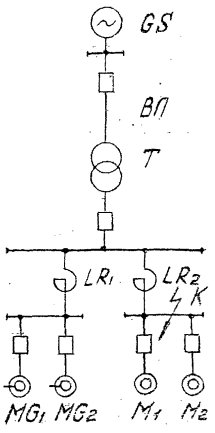


Схема с общим для группы двигателей и системы сопротивлением

Рис 4-1

$$I_{пос} = \frac{\underset{*}{E_c}}{\underset{*}{X_c}} I_б = \frac{1}{\underset{*}{X_c}} I_б \quad [кА] \qquad (4\text{-}2)$$

4.I.4. Начальное значение периодической составляющей тока короткого замыкания от группы из n одинаковых асинхронных двигателей рассчитывается по формуле:

$$I_{пом\Sigma} = \frac{n}{\underset{*}{X_м} + \underset{*}{X_{вн}}} I_б \quad (кА) \qquad (4\text{-}3)$$

или, если до выполнения расчета группа двигателей была объединена в один эквивалентный:

$$I_{пом\Sigma} = \frac{1}{\underset{*}{X_{м2}}} I_б \quad (кА) \qquad (4\text{-}4)$$

ПРИМЕЧАНИЕ: В случае, когда внешним сопротивлением в ветви электродвигателя можно пренебречь (например, при соединении точки к.з. с двигателем только кабелем) допускается начальное значение периодической составляющей тока к.з. от группы из n – одинаковых асинхронных двигателей вычислять по выражению:

$$I_{пом\Sigma} = n \underset{*}{I_{пуск}} \cdot I_н \quad (кА) \qquad (4\text{-}5)$$

где $\underset{*}{I_{пуск}}$ – номинальное значение краткости пускового тока;

$I_н$ – номинальный ток одного асинхронного двигателя;

n – количество одинаковых асинхронных двигателей.

4.I.5. Начальное значение периодической составляющей тока короткого замыкания от группы из n одинаковых синхронных двигателей рассчитывается по формуле:

$$I_{пом G\Sigma} = \frac{n \underset{*}{E''}}{\underset{*}{X_{мG}} + \underset{*}{X_{вн}}} \cdot I_б \ (кА) \qquad (4\text{-}6)$$

Инв. № подл. | Подп. и дата | Взам. инв. № | Основн. компл. работ, чертежей и текстов. документов и проектной документации др. стад. проектиров. | Форма Ф09-79л-м2 | Взамен Ф09-78 | Нач. отп.

где $\underset{*}{E}''$ – сверхпереходная Э.Д.С. синхронного двигателя (о.е)
$\underset{*}{X}_{MG}$ – сопротивление синхронного двигателя (о.е);
$\underset{*}{X}_{вн}$ – то же, что и в формуле (4-I).

Если до выполнения расчета группа двигателей была объединена в один эквивалентный с сопротивлением $\underset{*}{X}_{MG\Sigma}$, определенным по формуле (4-I), то:

$$I_{по\,MG\Sigma} = \frac{\underset{*}{E}''}{\underset{*}{X}_{MG\Sigma}} \cdot I_б \qquad (кА) \qquad (4\text{-}7)$$

ПРИМЕЧАНИЕ: В случае, когда внешним сопротивлением в ветви электродвигателя можно пренебречь (например, при соединении точки к.з. с двигателем только кабелем) допускается начальное значение периодической составляющей тока к.з. от группы из n одинаковых синхронных двигателей вычислять по выражению:

$$I_{по\,MG\Sigma} = \frac{\underset{*}{E}''}{\underset{*}{X}''_d} \cdot I_н \qquad (кА) \qquad (4\text{-}8)$$

где: X''_d – сверхпереходное сопротивление электродвигателя (о.е)
$I_н$ – номинальный ток электродвигателя (кА).

4.I.6. Значение периодической составляющей тока к.з. от источника электроснабжения (системы) к моменту времени τ размыкания силовых контактов выключателя принимается равным начальному значению периодической составляющей:

$$I_{п\tau c} = I_{пос} \qquad (кА) \qquad (4\text{-}9)$$

4.I.7. Значение периодической составляющей тока к.з. к моменту времени τ от асинхронных двигателей в общем случае подсчитывается по формуле:

$$I_{n\tau м} = I_{nом}\, e^{-\frac{\tau}{T_{ам}}} \qquad (кА) \qquad (4\text{-}10)$$

где $T_{ам}$ – расчетная постоянная времени, составляющая для большинства асинхронных двигателей 0,04–0,06 с.

Для момента времени τ = 0,15 с, если отношение $\frac{I_{nом}}{I_{пос} + I_{nомв}} \leq 3$, значение $I_{n\tau м}$ можно принимать равным нулю.

При этом погрешность расчетов не превысит 6%.

4.1.8. Значение периодической составляющей тока к.з. к моменту времени τ от синхронных двигателей рассчитывается по формуле:

$$I_{n\tau мв} = \gamma \cdot I_{nомв} \qquad (кА) \qquad (4\text{-}11)$$

где γ – коэффициент, определяемый в зависимости от типа двигателя и времени τ по кривым рис. П2-1 (М3662-9 лист 2)

При τ = 0,15 с можно пользоваться значениями γ, приведенными в таблице 4-1.

Таблица 4-1

Тип двигателя	СТМ	ВДС СДН	СТД
Значение коэффициента γ	0,72	0,65	0,6

Инв. № подл. | Подп. и дата | Взам. инв. № | Основн. компл. работ, чертежей и текстов, документов и проектной документации др. стад. проектиров. | Форма Ф09-79л-п2 | Взамен Ф09-78 | Нач. ОТП

4.I.9. Значение апериодической составляющей тока к.з. от источника электроснабжения (системы) к моменту времени τ вычисляется по формуле:

$$i_{a\tau c} = \sqrt{2} \cdot I_{noc} \cdot e^{-\frac{\tau}{T_a}} \quad (kA) \qquad (4\text{-}12)$$

где T_a – постоянная времени, значение которой приближенно определяется по табл. П2-I (М3662-9 лист 6)

4.I.10. Значение апериодической составляющей тока к.з. от асинхронных двигателей в общем случае подсчитывается по формуле:

$$i_{a\tau м} = \sqrt{2}\, I_{nом} \cdot e^{-\frac{\tau}{T_{aм}}} = \sqrt{2} \cdot I_{n\tau м} \quad (kA) \qquad (4\text{-}13)$$

где: $T_{aм}$ – расчетная постоянная времени (см.п.4.I.7).

Для момента времени τ = 0,15 с значение $i_{a\tau м}$ можно принимать равным нулю, если отношение

$$\frac{I_{nом}}{I_{noc} + I_{nом_6}} \leq 3$$

4.I.11. Значение апериодической составляющей тока к.з. от синхронных двигателей рассчитывается по формуле:

$$i_{a\tau} = \sqrt{2}\, I_{nом_6} \cdot e^{-\frac{\tau}{T_{aмб}}} \quad (kA) \qquad (4\text{-}14)$$

где $T_{aмб}$ – постоянная времени, значение которой определяется по рис. П2-2 в зависимости от типа и мощности двигателя (М3662-9 лист 3).

При наличии в ветви с электродвигателем постоянно включенного реактора с номинальным током 1000 А и более значение $T_{aмб}$ принимается на 0,02 с меньше, чем на рис. П2-2.

4.I.12. Составляющая ударного тока к.з. от источника электроснабжения (системы) определяется по выражению:

Инв. № подл. | Подп. и дата | Взам. инв. № | Основн. компл. работ, чертежей и текстов документов и проектной документации др. стад. проектиров. | Форма Ф09-79л-т2 | Взамен Ф09-78 | Нач. ОТП

$$i_{ус} = K_{ус} \cdot \sqrt{2} \cdot I_{пос} \quad (кА) \qquad (4\text{-}15)$$

где $K_{ус}$ – ударный коэффициент для ветви источника (системы), значение которого приближенно определяется по табл. П2-1 (М3662-9 лист 6).

4.1.13. Составляющая ударного тока к.з. от асинхронных двигателей вычисляется по формуле:

$$i_{ум} = K_{ум} \cdot \sqrt{2} \cdot I_{пом} \quad (кА) \qquad (4\text{-}16)$$

где $K_{ум}$ – ударный коэффициент для ветви асинхронного двигателя, принимаемый равным 1,6.

4.1.14. Составляющая ударного тока к.з. от синхронных двигателей определяется по формуле:

$$i_{умG} = K_{умG} \cdot \sqrt{2} \cdot I_{помG} \quad (кА) \qquad (4\text{-}17)$$

где $K_{умG}$ – ударный коэффициент для ветви синхронного двигателя, значение которого принимается по кривым рис. П2-2 в зависимости от типа и мощности двигателя (М3662-9, лист 3)

При наличии в ветви с электродвигателем постоянно-включенного реактора с номинальным током 1000 А и более ударный коэффициент принимается на 0,2 меньше, чем по кривым рис. П2-2.

4.1.15. Суммарное значение токов в месте к.з. находятся по формулам:

$$I_{по\Sigma} = I_{пос} + I_{пом} + I_{помG} \quad (кА) \qquad (4\text{-}18)$$

$$I_{п\tau\Sigma} = I_{п\tau с} + I_{п\tau м} + I_{п\tau мG} \quad (кА) \qquad (4\text{-}19)$$

$$i_{а\tau\Sigma} = i_{а\tau с} + i_{а\tau м} + i_{а\tau мG} \quad (кА) \qquad (4\text{-}20)$$

$$i_{у\Sigma} = i_{ус} + i_{ум} + i_{умG} \quad (кА) \qquad (4\text{-}21)$$

Инв. № подл. | Подп. и дата | Взам. инв. № | Основн. компл. работ, чертежей и текстов, документов и проектной документации др. стад. проектиров. | Форма Ф09-79л-т2 | Взамен Ф09-78 | Нач. ОТП

4-2. Расчеты токов коротких замыканий в схеме, где точка короткого замыкания находится за общим для группы электродвигателей сопротивлением

4.2.I. Расчеты токов коротких замыканий в схеме, где точка короткого замыкания находится за общим для группы электродвигателей сопротивлением, выполняются подобно тому как указывалось в п.4-I после приведения данной схемы путем соответствующих преобразований к простейшему виду радиальной схемы замещения с индуктивными и активными сопротивлениями.

4.2.2. На окончательно преобразованной схеме замещения должны быть показаны:

- ветвь источника электроснабжения (системы) с Э.Д.С. $\underset{*}{E}_c = 1$ и внешним результирующим сопротивлением, включающим сопротивления всех элементов от ЭДС до точки к.з. ;
- ветви эквивалентных двигателей, объединяющие несколько электродвигателей в один с соответствующими значениями ЭДС и сопротивлений, причем сопротивление ветви эквивалентного двигателя включает в себя не только сопротивление группы объединенных электродвигателей, но и общее для них сопротивление до точки к.з.

4.2.3. Расчет параметров ветви эквивалентного электродвигателя ведется по следующим соотношениям:

4.2.3.I. Сопротивления ветви эквивалентного двигателя:

$$\underset{*}{X}_э = \frac{1}{\sum\limits_{i=1}^{n} \frac{1}{\underset{*}{X}_i}} + \underset{*}{X}_0 \qquad (4\text{-}22)$$

$$\underset{*}{r}_э = \frac{1}{\sum\limits_{i=1}^{n} \frac{1}{\underset{*}{r}_i}} + \underset{*}{r}_o \qquad (4\text{-}23)$$

где: $\underset{*}{x}_i$ – относительное индуктивное сопротивление i-го двигателя;

$\underset{*}{r}_i$ – относительное активное сопротивление i-го двигателя;

$\underset{*}{x}_o$ – относительное индуктивное сопротивление, общее для группы из n двигателей;

$\underset{*}{r}_o$ – относительное активное сопротивление, общее для группы из n двигателей.

Для n одинаковых двигателей формулы 4-22 и 4-23 принимают вид:

$$\underset{*}{x}_э = \frac{\underset{*}{x}_i}{n} + \underset{*}{x}_o \qquad (4\text{-}24)$$

$$\underset{*}{r}_э = \frac{\underset{*}{r}_i}{n} + \underset{*}{r}_o \qquad (4\text{-}25)$$

4.2.3.2. Значение ЭДС эквивалентного двигателя принимается:

$\underset{*}{E}_э$ = I,07, если эквивалентный двигатель объединяет синхронные электродвигатели или группу синхронных и асинхронных двигателей.

и $\underset{*}{E}_э$ = I, если эквивалентный двигатель объединяет группу асинхронных двигателей.

4.2.4. Начальное значение периодической составляющей тока к.з. от источника электроснабжения (системы) составляет:

$$I_{пос} = \frac{E_{*c}}{X_{*c}} I_б \quad (кА) \qquad (4\text{-}26)$$

4.2.5. Начальное значение периодической составляющей от ветви эквивалентного двигателя вычисляется по формуле:

$$I_{поэ} = \frac{E_{*э}}{X_{*э}} I_б \quad (кА) \qquad (4\text{-}27)$$

4.2.6. Периодические составляющие тока к.з. к моменту времени τ = 0,15 с принимаются равными:

$$I_{п\tau с} = I_{пос} \quad (кА) \qquad (4\text{-}28)$$

$$I_{п\tau э} = I_{помэ} \quad (кА) \qquad (4\text{-}29)$$

Если эквивалентный двигатель заменяет группу асинхронных электродвигателей и отношение

$$\frac{I_{поэ1}}{I_{пос} + I_{поэ2}} \leq 3 \qquad (4\text{-}30)$$

где $I_{поэ1}$ - начальное значение периодической составляющей тока к.з. от рассматриваемого эквивалентного двигателя;

$I_{пос}$ - начальное значение периодической составляющей тока к.з. от источника электроснабжения (системы);

$I_{поэ2}$ - начальное значение периодической составляющей тока к.з. от эквивалентных двигателей, заменяющих группу, где имеются синхронные двигатели,

то значение периодической составляющей тока к.з. к моменту времени τ = 0,15 с от данного эквивалентного двигателя принимается равным нулю:

$$I_{п\tau э1} = 0$$

4.2.7. Апериодическая составляющая тока к.з. от источника электроснабжения (системы) к моменту времени τ = 0,15 с определяется по формуле

$$i_{a\tau c} = \sqrt{2}\, I_{пос} \cdot e^{-\frac{\tau}{T_{ac}}} \quad (кА) \qquad (4\text{-}31)$$

где $$T_{ac} = \frac{x_c}{\omega \cdot r_c} \quad (с.) \qquad (4\text{-}32)$$

4.2.8. Апериодическая составляющая тока к.з. к моменту времени τ = 0,15 с от ветви эквивалентного двигателя находится по выражению:

$$i_{a\tau э} = \sqrt{2} \cdot I_{поэ}\, e^{-\frac{\tau}{T_{aэ}}} \quad (кА) \qquad (4\text{-}33)$$

где $$T_{aэ} = \frac{x_э}{\omega \cdot r_э} \quad (с) \qquad (4\text{-}34)$$

Если эквивалентный двигатель заменяет группу асинхронных двигателей и при этом выполняется соотношение (4-30), то апериодическая составляющая тока к.з. к моменту времени τ = 0,15 с от ветви этого двигателя принимается равной нулю.

4.2.9. Составляющая ударного тока к.з. от источника электроснабжения (системы) определяется по выражению:

$$i_{у.с.} = K_{у.с.} \sqrt{2} \cdot I_{пос} \quad (кА) \qquad (4\text{-}35)$$

где $K_{у.с.}$ - ударный коэффициент для ветви источника (системы), значение которого определяется по кривым П2-4 (М3662-9, лист 5) в зависимости от величины T_{ac}

4.2.10. Составляющая ударного тока к.з. от ветви эквивалентного двигателя находится по формуле:

$$i_{уэ} = K_{уэ} \cdot \sqrt{2} \cdot I_{поэ} \quad (кА) \qquad (4\text{-}36)$$

Инв. № подл. | Подп. и дата | Взам. инв. № | Основн. компл. работ, чертежей и текстов документов и проектной документации др. стад. проектиров. | Форма Ф09-79л-т2 | Взамен Ф09-78 | Нач. ОТП

где $K_{уэ}$ – ударный коэффициент для ветви эквивалентного двигателя, значение которого принимается в зависимости от величины $T_{аэ}$ по кривым П2-4 (М3662-9 лист 5)

4.2.II. Суммарные значения токов в месте к.з. находятся по формулам:

$$I_{по\Sigma} = I_{пос} + \sum_{i=1}^{n} I_{поэi} \quad (кА) \qquad (4\text{-}37)$$

$$I_{п\tau\Sigma} = I_{п\tau с} + \sum_{i=1}^{n} I_{п\tau эi} \quad (кА) \qquad (4\text{-}38)$$

$$i_{а\tau\Sigma} = i_{а\tau с} + \sum_{i=1}^{n} i_{а\tau эi} \quad (кА) \qquad (4\text{-}39)$$

$$i_{у\Sigma} = i_{ус} + \sum_{i=1}^{n} i_{уэi} \quad (кА) \qquad (4\text{-}40)$$

4.3. Расчеты токов коротких замыканий в схеме, где точка короткого замыкания находится за общим для группы электродвигателей и источника электроснабжения (системы) сопротивлением

4.3.I. Для выполнения расчетов токов коротких замыканий в схеме, где точка короткого замыкания находится за общим для группы двигателей и источником электроснабжения (системы) сопротивлением, соответствующие схемы замещения с индуктивными и активными сопротивлениями путем преобразований приводятся к простейшему виду в два этапа (рис. П2-5).

4.3.2. На преобразованной, после первого этапа схеме замещения должны быть показаны (рис. П2-5 в):

- ветвь источника электроснабжения (системы) с ЭДС $\underset{*}{E_c} = 1$ и внешним результирующим сопротивлением $\underset{*}{X_c}$, включающим

Инв. № подл. | Подп. и дата | Взам. инв. № | Основн. компл. работ, чертежей и текстов документов и проектной документации др. спец. проектиров. | Форма Ф09-79л-т2 | Взамен Ф09-78 | Нач. ОТП

сопротивления всех элементов до точки подключения этой ветви к общему сопротивлению (Z_o);

- ветви эквивалентных двигателей, объединяющие несколько электродвигателей в один с соответствующими значениями ЭДС и сопротивлений; причем сопротивление ветви эквивалентного двигателя включает в себя как сопротивление группы объединенных электродвигателей, так и общее для этой группы сопротивление до точки подключения его к Z_o (рис. П2-5б).

4.3.3. Параметры ветви эквивалентного двигателя определяются по формулам 4-22÷4-25 и в соответствии с указаниями п. 4.2.3.

4.3.4. На окончательно преобразованной схеме замещения должны быть показаны (рис. П2-5г)

- эквивалентная ветвь, объединяющая подключенные совместно (в одной точке) к общему сопротивлению ветвь источника электроснабжения (системы) и ветви эквивалентных двигателей и само общее сопротивление;
- ветви индивидуальных двигателей, подключенных к точке к.з.;
- ветви эквивалентных двигателей, непосредственно подключенные к точке короткого замыкания.

4.3.5. Расчет параметров эквивалентной ветви ведется по следующим соотношениям:

4.3.5.I. Сопротивление эквивалентной ветви:

$$\underset{*}{X}'_э = \frac{1}{\frac{1}{\underset{*}{X}_c} + \sum^{n} \frac{1}{X_{эi}}} + \underset{*}{X}_o \qquad (4\text{-}41)$$

$$\underset{*}{r}'_э = \frac{1}{\frac{1}{\underset{*}{r}_c} + \sum_{i=1}^{n} \frac{1}{\underset{*}{r}_{эi}}} + r_o \qquad (4\text{-}42)$$

где $\underset{*}{X}_{эi}$ – относительное индуктивное сопротивление i-го эквивалентного двигателя;

$\underset{*}{r}_{эi}$ – относительное активное сопротивление i-го эквивалентного двигателя;

$\underset{*}{X}_{c}$ – относительное индуктивное сопротивление ветви источника электроснабжения (системы);

$\underset{*}{r}_{c}$ – относительное активное сопротивление ветви источника электроснабжения (системы);

$\underset{*}{X}_{o}$ – относительное индуктивное сопротивление, общее для двигателей и источника электроснабжения (системы);

$\underset{*}{r}_{o}$ – относительное активное сопротивление, общее для двигателей и источника электроснабжения (системы).

4.3.5.2. Значение Э.Д.С. в эквивалентной ветви принимается равным $\underset{*}{E}'_{э} = 1$.

4.3.6. Начальное значение периодической составляющей тока к.з. от эквивалентной ветви вычисляется по формуле:

$$I'_{поэ} = \frac{\underset{*}{E}'_{э}}{\underset{*}{X}'_{э}} I_{б} \quad кА \qquad (4\text{-}43)$$

4.3.7. Начальное значение периодической составляющей тока к.з. от ветви эквивалентного двигателя, непосредственно подключенной к точке к.з., определяется по формуле (4-27).

4.3.8. Начальное значение периодической составляющей тока к.з. от индивидуального двигателя, непосредственно подключенного к точке к.з. вычисляется по формулам (4-3)÷(4-8).

4.3.9. Периодические составляющие тока к.з. к моменту времени $\tau = 0{,}15$ с принимаются:

– для эквивалентной ветви:

$$I'_{п\tau э} = I'_{поэ} \quad (кА) \qquad (4\text{-}44)$$

Инв. № подл. | Подп. и дата | Взам. инв. № | Основн. компл. работ, чертежей и текстов, дизайнов и проектной документации др. стад. проектиров. | Форма Ф09-79л-т2 | Взамен Ф09-78 | Нач. ОТП

- для ветви эквивалентного двигателя, непосредственно подключенной к точке к.з.:

$$I_{n\tau э} = I_{n0э} \quad (кА) \qquad (4\text{-}45)$$

- для индивидуальных асинхронных и синхронных двигателей, непосредственно подключенных к точке к.з. - по формулам (4-10) и (4-11) с учетом пояснений п.п. 4.17 и 4.18.

4.3.10. Апериодическая составляющая тока к.з. от эквивалентной ветви к моменту времени τ = 0,15 с определяется по формуле:

$$i'_{a\tau э} = \sqrt{2} \cdot I'_{n0э} \cdot e^{-\frac{\tau}{T'_{aэ}}} \quad (кА) \qquad (4\text{-}46)$$

где $$T'_{aэ} = \frac{X'_{э}}{\omega \cdot r'_{э}} \quad (с) \qquad (4\text{-}47)$$

4.3.11. Апериодическая составляющая тока к.з. к моменту времени τ = 0,15 с от ветви эквивалентного двигателя, непосредственно подключенной к точке к.з. находится по выражению (4-33) с учетом (4-34) и пояснений п. 4.2.8.

4.3.12. Апериодические составляющие токов к.з. к моменту времени τ = 0,15 с от индивидуальных асинхронных и синхронных двигателей, непосредственно подключенных к точке к.з. определяются по формулам (4-13) и (4-14) с учетом пояснений п. 4.1.10.

4,3.13. Составляющая ударного тока к.з. от эквивалентной ветви вычисляется по формуле:

$$i'_{yэ} = K'_{yэ} \cdot \sqrt{2} \cdot I'_{n0э} \quad (кА) \qquad (4\text{-}48)$$

где $K'_{yэ}$ - ударный коэффициент для эквивалентной ветви, значение которого определяется по кривым П2-4 в зависимости от величины $T'_{aэ}$

Инв. № подл. | Подп. и дата | Взам. инв. № | Основн. компл. работ чертежей и текстов документов и проектной документации др. стад. проектиров. | Форма Ф09-79л-т2 | Взамен Ф09-78 | Нач. ОТП

4.3.14. Составляющая ударного тока к.з. от ветви эквивалентного двигателя, непосредственно подключенной к точке к.з. определяется по формуле (4-36).

4.3.15. Составляющие ударного тока к.з. от индивидуальных синхронных и асинхронных двигателей, непосредственно подключенных к точке к.з. вычисляются по выражениям (4-16),(4-17).

4.3.16. Суммарные значения токов к.з. в месте к.з. находятся по формулам:

$$I_{по\Sigma} = I'_{поэ} + \sum_{i=1}^{n} I_{поэi} + \sum_{i=1}^{k} I_{помi} + \sum_{i=1}^{m} I_{помвi} \qquad (4\text{-}49)$$

$$I_{п\tau\Sigma} = I'_{п\tau э} + \sum_{i=1}^{n} I_{п\tau эi} + \sum_{i=1}^{k} I_{п\tau мi} + \sum_{i=1}^{m} I_{п\tau мвi} \qquad (4\text{-}50)$$

$$i_{a\tau\Sigma} = i'_{a\tau э} + \sum_{i=1}^{n} i_{a\tau эi} + \sum_{i=1}^{k} i_{a\tau мi} + \sum_{i=1}^{m} i_{a\tau мвi} \qquad (4\text{-}51)$$

$$i_{a\tau\Sigma} = i'_{уэ} + \sum_{i=1}^{n} i_{уэi} + \sum_{i=1}^{k} i_{умi} + \sum_{i=1}^{m} i_{умвi} \qquad (4\text{-}52)$$

5. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ОФОРМЛЕНИЮ ПРОЕКТНОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ

5.1. В проектные материалы, передаваемые заказчику, включаются только результаты расчетов токов коротких замыканий. Сами расчеты могут быть оформлены по произвольной форме и должны быть включены в архивный том проекта совместно с другими расчетами по электроснабжению.

5.2. Результаты расчетов токов коротких замыканий для выбора и проверки аппаратов и проводников рекомендуется оформлять на отдельном от расчета т.к.з. для целей релейной защиты - чертеже.

На этом чертеже приводятся:

- исходная схема, схема замещения и окончательно преобразованная схема замещения (преобразования схемы замещения не показываются);
- базисные условия;
- итоговая таблица расчетов токов коротких замыканий.

5.3. При заполнении итоговой таблицы расчетов следует обратить внимание на заполнение граф "Значения токов к.з." соответственно графе "Генерирующие ветви". В графе "Генерирующие ветви" указываются элементы исходной схемы, непосредственно подключенные к точке к.з., по которым проходят токи к.з.

В графах "Значения токов к.з." для каждой из генерирующих ветвей указываются:

- начальное значение периодической составляющей тока к.з. - $I_{по}$;
- значение периодической составляющей тока к.з. для момента времени τ размыкания силовых контактов выключателя - $I_{п\tau}$;
- значение апериодической составляющей тока к.з. для момента времени τ размыкания силовых контактов выключателя - $i_{a\tau}$
- значение ударного тока i_y;

Кроме того, в соответствующих графах указываются суммарные значения токов к.з. (в графе "Всего") и величины токов, определяющие выбор выключателей соответствующего распределительного устройства (в графе "Расчетные значения"). Значения, приведенные в графах "Всего" и "Расчетные значения" выделяются рамкой.

5.4. Пример оформления результатов расчета токов к.з. приведен на М3662-7, лист 17.

31

6. ЛИТЕРАТУРА

6.1. Правила устройства электроустановок, Изд. "Энергия", Москва, 1966 г.

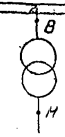
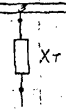
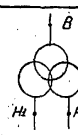
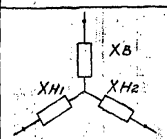
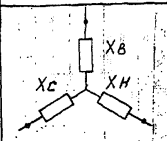
6.2. Руководящие указания по расчету коротких замыканий, выбору и проверке аппаратов и проводников по условиям короткого замыкания, МЭИ, каф. "Электрические станции", Москва, 1975 г.

6.3. Электромагнитные переходные процессы С.А. Ульянов, Изд. "Энергия", Москва, 1970 г.

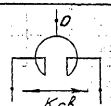
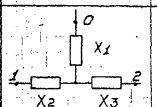
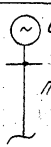
6.4. Справочник по проектированию электроснабжения линий электропередачи и сетей. Под редакцией Я.М. Большама, В.И. Круповича, М.П. Самовера. Изд. 2-ое Перераб. и доп. Москва, "Энергия", 1974 г.

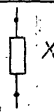
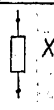
6.5. ГОСТ 687-70
Выключатели переменного тока высокого напряжения. Общие технические требования.

6.6. Нормаль проектной документации Н183-74 ч. I. Электрические нагрузки, токи к.з., заземление.

Наименование элементов сети	Схемы		Формулы для определения сопротивлений схем замещения, при $U_б = U_{ср}$	
	расчетная	замещения	о.е.	Ом
1	2	3	4	5
Трансформатор трехфазный двухобмоточный			$X_т = \frac{U_к\% \cdot S_б}{100 \cdot S_{нт}}$	$X_т = \frac{U_к\%}{100} \cdot \frac{U_{ср}^2}{S_н}$
Трансформатор трехфазный двухобмоточный с расщепленной обмоткой низшего напряжения			$X_В = \frac{U_{кВ-(Н1\|\|Н2)}\%}{100} \cdot \left(1 - \frac{K_р}{4}\right) \cdot \frac{S_б}{S_н}$ $X_{Н1} = X_{Н2} = \frac{U_{кВ-(Н1\|\|Н2)}\%}{100} \cdot \frac{K_р}{2} \cdot \frac{S_б}{S_н}$	$X_В = \frac{U_{кВ-(Н1\|\|Н2)}\%}{100} \cdot \left(1 - \frac{K_р}{4}\right) \cdot \frac{U_{ср}^2}{S_н}$ $X_{Н1} = X_{Н2} = \frac{U_{кВ-(Н1\|\|Н2)}\%}{100} \cdot \frac{K_р}{2} \cdot \frac{U_{ср}^2}{S_н}$
Трансформатор трехфазный трехобмоточный			$X_В = \frac{0,5}{100} \cdot (U_{кВС\%} + U_{кВН\%} - U_{кСН\%}) \cdot \frac{S_б}{S_н}$ $X_С = \frac{0,5}{100} \cdot (U_{кВС\%} + U_{кСН\%} - U_{кВН\%}) \cdot \frac{S_б}{S_н}$ $X_Н = \frac{0,5}{100} \cdot (U_{кВН\%} + U_{кСН\%} - U_{кВС\%}) \cdot \frac{S_б}{S_н}$	$X_В = \frac{0,5}{100} \cdot (U_{кВС\%} + U_{кВН\%} - U_{кСН\%}) \cdot \frac{U_{ср}^2}{S_н}$ $X_С = \frac{0,5}{100} \cdot (U_{кВС\%} + U_{кСН\%} - U_{кВН\%}) \cdot \frac{U_{ср}^2}{S_н}$ $X_Н = \frac{0,5}{100} \cdot (U_{кВН\%} + U_{кСН\%} - U_{кВС\%}) \cdot \frac{U_{ср}^2}{S_н}$

			М3662-4	
			Руководство по выполнению расчетов токов короткого замыкания в сетях промышленных предприятий	
				Лит. Лист 1 Листов 3
Нач. отд.	Чугункин			
Н. контр.	Коротецкий		Формулы расчета сопрот.	АНПИ

1	2	3	4	5
Реактор одинарный			$X_{*LR} = X_H \frac{S_б}{U_{ср}^2}$	$X_р = \frac{X_{р}\% \cdot U_{ср}}{100 \cdot \sqrt{3} \cdot I_н}$ ом $X_р = X_н$
Реактор сдвоенный			$X_{*1} = -K_{св} X_н \frac{S_б}{U_{ср}^2}$ $X_{*2} = X_{*3} = (1+K_{св}) X_н \frac{S_б}{U_{ср}^2}$	$X_1 = -K_{св} \frac{X_{р}\%}{100} \cdot \frac{U_{ср}}{\sqrt{3} I_н}$ ом $X_1 = -K_{св} X_н$ $X_2 = X_3 = (1+K_{св}) \frac{X_{р}\%}{100} \cdot \frac{U_{ср}}{\sqrt{3} I_н}$ ом $X_2 = X_3 = (1+K_{св}) \cdot X_н$
Линии электропередачи			$X_{*Л} = X_0 \cdot \ell \cdot \frac{S_б}{U_{ср}^2}$	$X_Л = X_0 \cdot \ell$
Система			$X_{*C} = \frac{S_б}{S_{к.з.}}$	$X_C = \frac{U_{ср}^2}{S_{к.з.}}$
Асинхронный двигатель			$X_{*M} = X''_{*H} \frac{S_б}{S_н}$ $X''_{*H} = \frac{1}{I_{пуск}}$	$X_Д = X''_{*H} \frac{U_{ср}^2}{S_н}$

1	2	3	4	5
Синхронный двигатель		 $X_д$	$X_м = X''_d \frac{S_б}{S_н} = X_б$	$X_м = X''_d \frac{U^2_{ср}}{S_н} = X_б$
Генератор		 $X_б$		

Примечание:

$I_н$, кА – номинальный ток

$U_б$, кВ – базисное напряжение

$U_{ср}$, кВ – среднее номинальное напряжение

$S_н$, МВ·А – номинальная мощность

$S_б$, МВ·А – базисная мощность

$S_{кз}$, МВ·А – мощность короткого замыкания

$U_к$% – напряжение короткого замыкания двухобмоточного трансформатора

$U_{кв-(н)(нн)}$% – напряжение короткого замыкания при параллельной работе ветвей расщепленной обмотки НН трансформатора

$U_{квс}$%, $U_{квн}$%, $U_{ксн}$% – напряжение короткого замыкания для каждой пары обмоток трехобмоточного трансформатора

$X_р$, Ом – индуктивное сопротивление реактора

X_0, $\frac{Ом}{км}$ – удельное индуктивное сопротивление на 1 км длины линии

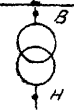
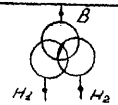
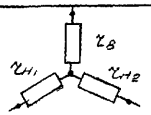
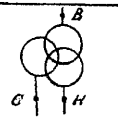
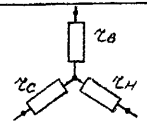
X''_d, о.е. – сверхпереходное индуктивное сопротивление синхронного двигателя или генератора

$x''_н$ о.е. – сверхпереходное индуктивное сопротивление асинхронного двигателя

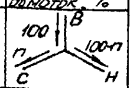
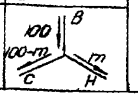
l, км – длина линии

$K_{св}$ – коэффициент связи, учитывающий взаимную индукцию между ветвями сдвоенного реактора

$K_р$ – коэффициент расщепления

Наименование элементов сети	Схемы		Формулы для определения сопротивлений схем замещения, при $U_б = U_{ср}$	
	расчетная	замещения	о. е.	Ом
1	2	3	4	5
Трансформатор трехфазный двухобмоточный			$r_т = \frac{\Delta P_к S_б}{S_н^2}$	$r_т = \frac{\Delta P_к U_{ср}^2}{S_н^2}$
Трансформатор трехфазный двухобмоточный с расщепленной обмоткой низкого напряжения			$r_в = \frac{\Delta P_{к\,в-(н1+н2)} S_б}{2 S_н^2}$ $r_{н1} = r_{н2} = 2 r_в$	$r_в = \frac{\Delta P_{к\,в-(н1+н2)} U_{ср}^2}{2 \cdot S_н^2}$ $r_{н1} = r_{н2} = 2 r_в$
Трансформатор трехфазный трехобмоточный			$r_в = \frac{r_{общ}}{1+n+\frac{(1-n)^2}{m}}$ (при $n \geq m$), или $r_в = \frac{r_{общ}}{1+m+\frac{(1-m)^2}{n}}$ (при $n \leq m$) $r_с = \frac{r_в}{n}$, $r_н = \frac{r_в}{m}$, где: $r_{общ(о.е)} = \frac{\Delta P_к' S_б}{S_н^2}$	$r_{общ(Ом)} = \frac{\Delta P_к' U_{ср}^2}{S_н'^2}$

Максимальные $\Delta P_к$ имеют место при следующих загрузках обмоток

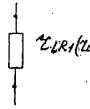
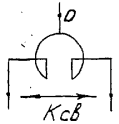
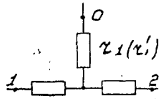
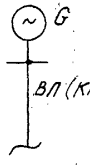
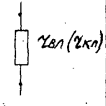
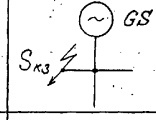
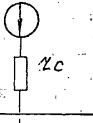
Мощность обмоток %			Максимальные $\Delta P_к$ при загрузке обмоток %
В	С	Н	
100	n	m	
	(n ≥ m)		
	n	m	
	(n ≤ m)		

Для наиболее часто встречающихся мощностей обмоток трансформаторов активные сопротивления определяются по следующей таблице

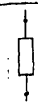
Мощность обмоток в % от номинальной			$r_в$	$r_с$	$r_н$
В	С	Н			
100	100	100	0,5 $r_{общ}$	0,5 $r_{общ}$	0,5 $r_{общ}$
100	67	100	0,5 $r_{общ}$	0,75 $r_{общ}$	0,5 $r_{общ}$
	100	67		0,5 $r_{общ}$	0,75 $r_{общ}$
100	67	67	0,55 $r_{общ}$	0,82 $r_{общ}$	0,82 $r_{общ}$
100	100	50	0,5 $r_{общ}$	0,5 $r_{общ}$	$r_{общ}$
100	50	50	0,5 $r_{общ}$	$r_{общ}$	$r_{общ}$
100	100	33	0,5 $r_{общ}$	0,5 $r_{общ}$	1,5 $r_{общ}$

				М3662-5
				Руководство по выполнению расчетов токов короткого замыкания в сетях промышленных предприятий
				Стадия / Лист 1 / Листов 3
Нач. отд.	Чугункин			
Н. контр.	Короговский			Формулы рас...
Гл. спец.				

Ф31-79 Л-1 Л-2 | Ф31-78 | 2

1	2	3	4	5
Реактор одинарный - до 1000 А (r_{LR1}) - 1500 А и выше (r_{LR2})			$r_{LR1} = \frac{\Delta P_H}{I_H^2}\frac{S_б}{U_{б0}} = r_{LR2}$, или $r_{LR1} = \frac{x_{LR1}}{15 \div 70}$ *) $r_{LR2} = \frac{x_{LR2}}{40 \div 80}$ *)	$r_{LR} = \frac{\Delta P_H}{I_H^2} = r_{LR2}$, или $r_{LR} = \frac{x_{LR1}}{15 \div 70}$ *) $r_{LR2} = \frac{x_{LR2}}{40 \div 80}$ *)
Реактор сдвоенный - до 1000 А (r_1, r_2, r_3) - 1500 А и выше (r_1, r_2', r_3')			$r_1 = 0 = r_1'$ $r_2 = r_3 = r_{LRH}\frac{S_б}{U_{ср}^2} = r_2' = r_3'$, или $r_2 = r_3 = \frac{x_2}{15 \div 70}$ *); $r_2' = r_3' = \frac{x_2'}{40 \div 80}$ *)	$r_1 = 0 = r_1'$ $r_2 = r_3 = r_{LRH} = r_2' = r_3'$, или $r_2 = r_3 = \frac{X_2}{15 \div 70}$ *); $r_2' = r_3' = \frac{X_2}{40 \div 80}$ *)
Линии электропередачи воздушные (ВЛ) кабельные (КЛ) 6-10 кВ			$r_{ВЛ} = r_0 \cdot \ell \frac{S_б}{U_{ср}^2} = r_{КЛ}$, или $r_{ВЛ} = \frac{x_{ВЛ}}{2 \div 8}$ *) $r_{КЛ} = \frac{x_{КЛ}}{0{,}2 \div 0{,}8}$ *)	$r_{ВЛ} = r_0 \cdot \ell = r_{КЛ}$, или $r_{ВЛ} = \frac{X_{ВЛ}}{2 \div 8}$ *) $r_{КЛ} = \frac{X_{КЛ}}{0{,}2 \div 0{,}8}$ *)
Система			$r_C = \frac{X_C}{\omega T_{АС}}$ $X_C = \frac{S_б}{S_{КЗ}}$	$r_C = \frac{X_C}{\omega T_{АД_2}}$ $X_C = \frac{U_{ср}}{S_{КЗ}}$
Асинхронный двигатель			$r_Д = \frac{X_Д}{\omega T_{АД}}$ $X_Д = X_H'' \frac{S_б}{S_H}$	$X_Д = X_H'' \frac{U_{ср}^2}{S_H}$ $r_Д = \frac{X_Д}{\omega T_{АД}}$

*) Уточняется по каталогу

1	2	3	4	5
Синхронный двигатель		 r_M	$r_M = \frac{X_д}{\omega T_{ад}}$ $X_M = X''_d \frac{S_б}{S_н}$	$r_M = \frac{X_д}{\omega T_{ад}}$ $X_M = X''_d \frac{U_{ср}^2}{S_н}$
Генератор		 r_G	$r_G = \frac{X_G}{\omega T_{аG}}$ $X_G = X''_d \frac{S}{S_н}$	$r_G = \frac{X_G}{\omega T_{аG}}$ $X_G = X''_d \frac{S_б}{S_н}$

Примечание:

$I_{н,кА}$ – номинальный ток

$U_{н,кВ}$ – номинальное напряжение

$U_{б,кВ}$ – базисное напряжение

$U_{ср,кВ}$ – среднее номинальное напряжение

$S_{н,МВ\cdot А}$ – номинальная мощность

$S_{б,МВ\cdot А}$ – базисная мощность

$S_{кз,МВ\cdot А}$ – мощность короткого замыкания

$\Delta P_{к,мВт}$ – потери короткого замыкания двухобмоточного трансформатора

$\Delta P_{кВ-(н1\|н2)мВт}$ – потери короткого замыкания при параллельном соединении ветвей расщепленной обмотки НН трансформатора

r_0, $\frac{Ом}{км}$ – удельное активное сопротивление на 1 км длины линии

$X''_{d,о.е.}$ – сверхпереходное индуктивное сопротивление синхронного двигателя или генератора

$x''_{н\,о.е.}$ – сверхпереходное индуктивное сопротивление асинхронного двигателя

l, км – длина линии

$\Delta P'_{к,мВт}$ – максимальное значение потерь короткого замыкания трехобмоточного трансформатора

$T_{ад,с}$ – постоянная времени затухания апериодической составляющей тока к.з. от двигателей

$\Delta P_{н,мВт}$ – потери активной мощности в реакторе при номинальном токе

$r_{ин,Ом}$ – активное сопротивление реактора

1

Пример I.

Рассчитать токи коротких замыканий для проверки и выбора выключателей в РУ-6-10 кВ расчетной схемы (см.рис. лист 9)

Решение

I. Выбор точек короткого замыкания.

При выборе и проверке выключателей определяется начальное значение периодической составляющей тока к.з. ($I_{по}$), периодическая ($I_{п\tau}$) и апериодическая ($i_{a\tau}$) составляющие тока к моменту времени размыкания контактов выключателя (τ = 0,15с) и ударный ток ($i_у$) при коротких замыканиях в следующих точках расчетной схемы:

т. К-1 – для выключателей Q_2; Q_4; Q_5

т. К-2 – для выключателей Q_3; Q_6; Q_7; Q_8

Выбор точек к.з. проведен с учетом рекомендаций главы 3 настоящих указаний.

2. Составление схемы замещения и определение э.д.с. и сопротивлений элементов схемы.

В схему замещения (черт. М3662-5 лист 9) вводятся индуктивные сопротивления элементов и э.д.с. источников в соответствии с расчетной схемой.

Расчет сопротивлений и э.д.с. источников проводится в относительных единицах при базисных условиях:

$$S_б = 1000 \text{ мВ.А}$$

$$U_{бI} = U_{срI} = 115 \text{ кВ}$$

				М3662-6		
				Руководство по выполнению расчетов токов короткого замыкания в сетях промышленных предприятий		
Нач.отд.	Чугункин				Стадия	Лист	Листов
Н.контр	Менчик		12.75			1	9
Гл.спец	Корогодский						
Инж.	Кашинская			Расчет токов коротких замыканий Пример № 1	ВНИПИ ТЯЖПРОМЭЛЕКТРОПРОЕКТ ИМЕНИ Ф.Б.ЯКУБОВСКОГО МОСКВА		
Инж.	Шестаков						

Инв. № подл. | Подп. и дата | Взам. инв. № | Основн. комплект рабоч. чертежей и текстов. документов и проектной документации др. стад. проектирования | Форма Ф09-79 л-т 1 л-ов 2 | Взамен Ф09-78 | Нач. ОТП

2

$U_{\delta II} = U_{cp II} = 10{,}5$ кВ

$U_{\delta III} = U_{cp III} = 6{,}3$ кВ.

Э.д.с. источника электроснабжения в схеме замещения приближенно принимаются равными единице: $E_1 = 1$ о.е., а синхронных электродвигателей $E_2 = E_3 = E_4 = E_5 = E_6 = 1{,}03$ о.е.

Индуктивные сопротивления элементов составят:

1. Система:

$X_1 = 0{,}5$ о.е. (значение взято из табл. III-5)

2. ВЛ-110 кВ:

$X_2 = 0{,}15$ о.е. (см. таблицу III-6)

3. Трансформатор:

$X_3 = 2{,}7$ о.е. (см. таблицу III-2)

$X_4 = 0{,}06$ о.е.

$X_5 = 1{,}56$ о.е.

4. Реакторы

- на напряжении 10 кВ

$X_6 = 1{,}81$ о.е.

- на напряжении 6 кВ

$X_7 = 1{,}81 \times 2{,}78 = 5{,}03$ о.е.

(см. табл. III-3 и примечание к ней)

5. Кабельные линии

- на напряжении 10 кВ

$$X_8 = X_9 = X_0 \cdot l \cdot \frac{S_\delta}{U^2_{\delta II}} = 0{,}077 \cdot 0{,}1 \frac{1000}{(10{,}5)^2} = 0{,}07 \text{ о.е.}$$

- на напряжении 6 кВ

$$X_{10} = X_{11} = X_{12} = \frac{1}{2} X_0 \cdot l \cdot \frac{S_\delta}{U^2_{\delta III}} = \frac{1}{2} \cdot 0{,}076 \cdot 0{,}1 \frac{1000}{(6{,}3)^2} = 0{,}1 \text{ о.е.}$$

Инв. № подл. | Подп. и дата | Взам. инв. № | Основн. компл. работ, чертежей и текстов. документов и проектной документации др. стад. проектиров. | Форма Ф09-19л-т2 | Взамен Ф09-78 | Нач. отп.

Копировал Формат 11

3

6. Синхронные двигатели

- напряжением 10 кВ

$$X_{13} = X_{14} = X_d'' \frac{S_б}{S_{нд}}$$

$$X_{13} = X_{14} = 0{,}148 \cdot \frac{1000 \cdot 0{,}9}{4} = 33{,}3 \text{ о.е.}$$

- напряжением 6 кВ

$$X_{15} = X_{16} = X_{17} = X_d'' \frac{S_б}{S_{нд}}$$

$$X_{15} = X_{16} = X_{17} = 0{,}144 \cdot \frac{1000 \cdot 0{,}9}{3{,}2} = 40{,}5 \text{ о.е}$$

3. Преобразование схемы замещения и определение результирующего сопротивления.

При преобразовании схемы замещения, относительно точек короткого замыкания можно пренебречь:

- сопротивлением ветви схемы замещения, содержащей двигатели непосредственно неприсоединенные к точке к.з., а именно для:

т.К-1 - сопротивлением ветви, содержащей X5, X7, X10, X11, X12, X15, X16, X17

т.К-2 - сопротивлением ветви, содержащей X4, X6, X8, X9, X13, X14

- внешним индивидуальным сопротивлением двигателей (сопротивлениями кабельных линий $X_8, X_9, X_{10}, X_{11}, X_{12}$), т.к. оно не превышает 10-20% от сопротивления двигателя.

т. К-1 - сопротивлением $X_8 = X_9 = 0{,}07$, т.к.
$0{,}07 < \cancel{(0{,}1}\ 0{,}20) \cdot X_{13} = 3{,}3$

т. К-2 - сопротивлением $X_{10} = X_{11} = X_{12} = 0{,}10$,
т.к. $0{,}77 < (0{,}10 \div 0{,}20) \cdot X_{15} = 4{,}05$

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Основн. компл. работ, чертежей и текстов. документов и проектной документации др. стад. проектиров.	Форма	Взамен	Нач. ОТП
				Ф09-79л-т2	Ф09-78	

Копировал Формат 11

4

Порядок преобразования схемы замещения показан на рис. П1-1

Результирующие сопротивления относительно точек, указанных на схеме (рис. П1-1), составят:

Точка К-I

$$X_{14} = X_{13} = 33.3, \text{ о.е.}$$

$$X_{18} = X_1 + X_2 + X_3 + X_4 + X_6 =$$
$$X_{18} = 0,5+0,15+2,7-0,06+1,81=5,1, \text{ о.е.}$$

Точка К-2

$$X_{15} = 40,5$$

$$X_{19} = X_1 + X_2 + X_3 + X_5 + X_7$$

$$X_{19} = 0,5+0,15+2,7+1,56+5,03=9,94, \text{ о.е.}$$

$$X_{20} = \frac{X_{16}}{2}$$

$$X_{20} = \frac{40,5}{2} = 20,25, \text{ о.е.}$$

Точки К-I и К-2

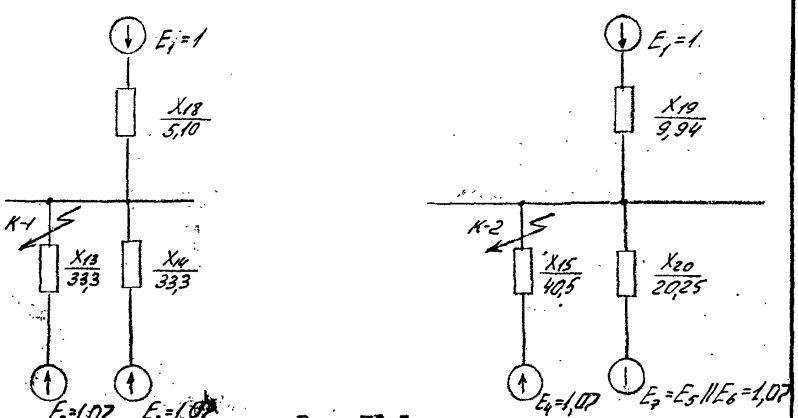


Рис. ПI-I

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Основн. компл. работ, чертежей и текстов. документов и проектной документации др. стад. проектиров.	Форма Ф09-79л-т2	Взамен Ф09-78	Нач. ОТП

М3662-6 Лист 4

Копировал Формат 11

4. Определение токов короткого замыкания.

Пример расчета токов к.з. в точке К-I расчетной схемы.

Ток короткого замыкания в этой точке, по которому выбирается и проверяется выключатель I0 кВ, складывается из тока от системы и тока от двигателя M_2 (Токи от двигателей M_3, M_4, M_5 не учитываются).

Значения периодических составляющих этих токов подсчитываются следующим образом:

I. В начальный момент времени

- от системы

$$I_{пос} = \frac{I_{б\,II} \cdot E_1}{x_{18}}$$

$$I_{пос} = \frac{55{,}05 \cdot I}{5{,}I} = 10{,}79 \text{ кА}$$

- от двигателя M_2

$$I_{пом_2} = \frac{I_{б\,II} \cdot E_3}{X_{14}}$$

$$I_{пом_2} = \frac{55{,}05 \cdot I{,}03}{33{,}3} = I{,}73 \text{ кА}$$

2. К моменту времени размыкания контактов выключателя $\tau = 0{,}I5$с

- ток от системы принимается незатухающим во времени, поэтому

$$I_{п\tau_c} = I_{пос} = 10{,}79 \text{ кА}$$

- от синхронного двигателя M_2

$$I_{п\tau_{M2}} = \gamma \cdot I_{пом_2}$$

где: $\gamma = 0{,}6$ - по расчетным кривым (рис.П2-I) для $t = \tau = 0{,}I5$с и двигателей типа СТД

$$I_{п\tau_{M2}} = 0{,}6 \cdot I{,}73 = I{,}06 \text{ кА}$$

Значение апериодической составляющей тока к.з. составит:

- от системы:

$$i_{a\tau c} = \sqrt{2} \cdot I_{noc} \cdot e^{-\tau/T_a}$$

$T_a = 0{,}1$ – (см. табл. П2-I поз.7)

$$i_{a\tau c} = \sqrt{2} . 10{,}79 e^{-\frac{0{,}15}{0{,}1}} = 1{,}42 . 10{,}79 . 0{,}22 = 3{,}37 \text{ кА}$$

- от синхронного двигателя M_2

$$i_{a\tau M2} = \sqrt{2} \cdot I_{noM2} \cdot e^{-\tau/T_a}$$

$T_a = 0{,}077$ – для двигателей Р = 4 мВт по кривым, приведенным на рис. П2-2

$$i_{a\tau M2} = \sqrt{2} . 1{,}73 e^{\frac{-0{,}15}{0{,}077}} = 0{,}32 \text{ кА}$$

Значения ударных токов определяются следующим образом:

- от системы

$$i_{yc} = \sqrt{2} \cdot K_{yc} \cdot I_{noc}$$

$K_{yc} = 1{,}9$ – (см. табл. П2-I поз.7)

$$i_{yc} = \sqrt{2} . 1{,}9 . 10{,}79 = 29{,}11 \text{ кА}$$

- от синхронного двигателя M_2

$$i_{yM2} = \sqrt{2} \cdot K_{yM} \cdot I_{noM}$$

$K_{yM} = 1{,}88$ – для двигателей Р = 4 мВт по кривым, приведенным на рисунке П2-2

$$i_{yM2} = \sqrt{2} . 1{,}88 . 1{,}73 = 4{,}7 \text{ кА}$$

Пример расчета токов к.з. в точке К-2 расчетной схемы

Ток к.з. в этой точке складывается из тока от системы и токов от двигателей M_4 и M_5. Токи от двигателей М1 и М2 не учитываются.

Значение периодической составляющей этих токов подсчитываются следующим образом:

Инв. № подл. | Подп. и дата | Взам. инв. № | Основн. компл. работ, чертежей и текстов, документов и проектной документации др. стад. проектиров. | Форма Ф09-79л-т2 | Взамен Ф09-78 | Нач. ОТП

I. В начальный момент короткого замыкания

- от системы:

$$I_{пос} = \frac{I_{б\,III}}{X_{19}}$$

$$I_{пос} = \frac{9I,75}{9,94} = 9,83 \text{ кА}$$

- от синхронных двигателей M_4 и M_5,

$$I_{по\,M4 \div M5} = \frac{I_{б\,III} \cdot E_7}{X_{20}} = \frac{9I,75 . I,07}{20,25} = 4,85 \text{ кА}$$

2. К моменту времени размыкания контактов выключателя

$$\tau = 0,I5 \text{ с}$$

- ток от системы принимается незатухающим во времени, поэтому

$$I_{п\tau c} = I_{пос} = 9,23 \text{ кА}$$

- от синхронных двигателей M_4 и M_5

$$I_{п\tau\,M4 \div M5} = \gamma \cdot I_{по\,M4 \div M5} = 0,6 . 4,85 = 2,8I \text{ кА}$$

$\gamma = 0,6$ - по расчетным кривым (рис. П2-I), для $\tau = 0,I5$с

Значение апериодической составляющей тока к.з. составляет:

- от системы

$$i_{a\tau c} = \sqrt{2} \cdot I_{пос} \cdot e^{-\tau/T_a}$$

$T_a = 0,I$ - (см. табл. П2-I, поз. 7)

$$i_{a\tau c} = \sqrt{2} . 9,23 . 0,22 = 2,88 \text{ кА}$$

- от синхронных двигателей M_4 и M_5

$$i_{a\tau\,M4 \div M5} = \sqrt{2} \cdot I_{по\,M4 \div M5} \cdot e^{-\tau/T_a}$$

$$i_{a\tau\,M4 \div M5} = \sqrt{2} . 4,85 . 0,I3 = 0,89 \text{ кА}$$

Та - 0,07 - для двигателей мощностью 3,2 мВт (по кривым рис. П2-2)

Инв.№подл. | Подп.и дата | Взам.инв.№ | Основн.компл. рабоч. чертежей и текстов конструкций, документации др. стад проектиров. | Форма | Взамен | Нач.ОТП
Ф09-79л-т2 | Ф09-78 | Адрианов

Значения ударных токов определяются следующим образом

– от системы

$$i_{yc} = \sqrt{2} \cdot K_{yc} \cdot I_{пос}$$

K_{yc} = I,9 (см. табл. П2-2 поз. 7)

$$i_{yc} = \sqrt{2} \cdot 1{,}9 \cdot 9{,}23 = 24{,}9 \text{ кА}$$

– от синхронных двигателей M_4 и M_5:

$$i_{yM4 \div M5} = \sqrt{2} \cdot K_{yM4 \div M5} \cdot I_{по\,M4 \div M5} = \sqrt{2} \cdot 1{,}87 \cdot 4{,}85 = 12{,}8 \text{ кА}$$

$K_{yM} = K_{yM4 \div M5}$ = I,87 – для двигателей мощностью 3,2 мВт по кривым (рис. П2-2)

Пример № 2

Рассчитать токи коротких замыканий для выбора и проверки выключателей РУ-10 кВ и кабелей к распределительному пункту РП5 расчетной схемы. *(см. лист 17)*.

Решение

I. Выбор точек короткого замыкания

Для выбора и проверки выключателей необходимо определить значение периодической составляющей тока к.з. ($I_{по}$) в начальный момент времени, периодической ($I_{пτ}$) и апериодической ($i_{aτ}$) составляющей к моменту времени (τ = 0,15 с) размыкания контактов выключателей и ударный ток (i_y) в следующих точках расчетной схемы:

т. К-1 - для выключателей Q_1 и Q_2

т. К-2 - для выключателей $Q_3, Q_8, Q_{13}, Q_{17}, Q_{18}$

т. К-3 - для выключателей $Q_4, Q_9, Q_{14}, Q_{19}, Q_{20}, Q_{21}, Q_{22}$

т. К-4 - для выключателей $Q_5, Q_{10}, Q_{15}, Q_{23}, Q_{24}, Q_{25}, Q_{26}$

т. К-5 - для выключателей $Q_6, Q_{11}, Q_{16}, Q_{27}, Q_{28}$

т. К-6 - для выключателей Q_7, Q_{12}, Q_{29}

Для проверки термической стойкости кабелей, питающих РП5, используется только значение периодической составляющей тока к.з. ($I_{по}$) определенный в т.К-6 расчетной схемы.

Выбор точек коротких замыканий проведен с учетом главы 3 настоящих указаний.

Примечание: В связи с небольшой длиной кабельных линий выбор выключателей, проводимый по токам к.з.

Инв. № подл. | Подп. и дата | Взам. инв. № | Основн. комплекты рабочих чертежей и технологической документации ВР. стад. проектирования

Форма ФО9-79 А-4 л.2 | Взамен ФО9-78 | Нач. ОТП

				М 3662 - 7		
				Руководство по выполнению расчетов токов короткого замыкания в сетях промышленных предприятий.		
Нач.отд.	Чугункин				Стадия	Лист	Листов
Н.контр.	Меник		12.79		ТП	1	17
Гл.спец.	Корогодский			РАСЧЕТ ТОКОВ КОРОТКИХ ЗАМЫКАНИЙ (ПРИМЕР №2)	ВНИПИ ТЯЖПРОМЭЛЕКТРОПРОЕКТ имени Ф.Б.ЯКУБОВСКОГО МОСКВА	
Инженер	Шестаков					
Инженер	Кашинская					

Копировал

Формат А4

В т.т. К-3 и К-4 проводится по токам к.з. в т. К'-3

2. Составление схемы замещения и определения э.д.с. и сопротивлений элементов схемы.

Схема замещения составляется на основании рекомендаций главы 2 (п.2.18 и 2.19), значения активных сопротивлений указаны в скобках (см. черт. М3662-7-17).

Расчет сопротивлений и э.д.с. проводится в относительных единицах при базисных условиях

$$S_б = 1000 \text{ мВ.А}$$
$$U_{бI} = 115 \text{ кВ}$$
$$U_{бII} = 10{,}5 \text{ кВ}$$

Э.Д.С. системы электроснабжения и асинхронных двигателей принимается равными единице

$$E_I = 1{,}0 \text{ о.е.}$$
$$E_{II+12} = 1{,}0 \text{ о.е.}$$

Э.д.с. синхронных двигателей принимается равной

$$E_{2+10} = 1{,}08 \text{ о.е.}$$

Сопротивления кабельных линий, питающих распределительные пункты считаются равными нулю и в схему замещения не вводятся.

Индуктивные (X) и активные (r) сопротивления остальных элементов схемы составят:

I. Система:

$$X_1 = \frac{S_б}{S_к}$$

$$X_1 = \frac{1000}{4650} = 0{,}21 \text{ о.е.}$$

Инв. № подл. | Подп. и дата | Взам. инв. № | Основн. компл. работ, чертежей и текстов, документов и проектной документации др. стад. проектиров. | Форма Ф09-79л-т2 | Взамен Ф09-78 | Нач. ОТП

$$r_1 = \frac{X_1}{\omega T_{ac}}$$

T_{ac} = 0,03 (см. табл. П-2 поз.8)

$$r_1 = \frac{0{,}71}{314 \cdot 0{,}03} = 0{,}02 \text{ о.е.}$$

2. ВЛ-110 кВ

$$X_2 = X_0 \cdot e \frac{S_б}{U_{б1}}$$

$$X_2 = 0{,}4 \cdot 1{,}43 \frac{1000}{115^2} = 0{,}04 \text{ о.е.}$$

$\frac{X}{r} = 6$ (см. примечание к табл. П1-6)

$$r_2 = \frac{X_2}{6} = \frac{0{,}04}{6} = 0{,}01 \text{ о.е.}$$

3. Трансформатор

X_3 = 0,32 о.е. (см. табл. П1-1)

X_4 = 2,70 о.е.

$$r_3 = \frac{P_{кВН} \cdot S_б}{2 \cdot S_н^2}$$

$$r_3 = \frac{0{,}245 \cdot 1000}{2 \cdot 63^2} = 0{,}03 \text{ о.е.}$$

$$r_4 = \frac{P_{кВН} \cdot S_б}{S_н^2} = 2 \cdot r_3$$

$$r_4 = \frac{0{,}245 \cdot 1000}{63^2} = 0{,}06 \text{ о.е}$$

4. Реакторы:

$X_6 = X_7 = X_8$ = 3,17 о.е. (см. табл. П1-3)

X_9 = 3,17 о.е.

$X_{16} = X_{17} = X_{18}$ = 3,17 о.е.

$$x = \frac{\Delta P_н \cdot S_б}{I_н^2 \cdot U_{бII}^2}$$

$$x_6 = x_8 = x_{13} = \frac{0{,}0II \cdot I000}{(I{,}6)^2 \quad (I0{,}5)^2} = 0{,}04, \text{ о.е.}$$

$$x_9 = \frac{0{,}005 \cdot I000}{I0{,}5^2} = 0{,}05, \text{ о.е.}$$

$$x_{16} = x_{17} = x_{18} = \frac{0{,}0I6 \quad I000}{(0{,}4)^2 \cdot (I0{,}5)^2} = 0{,}9I, \text{ о.е.}$$

5. Двигатели:

$$X = X''d \frac{S_б}{S_н} \quad ; \quad x = \frac{X}{\omega T_{ОМВ}}$$

– MG_1 и MG_2

$$X_{10} = X_{11} = 0{,}I44 \cdot \frac{I000 \cdot 0{,}9}{3{,}2} = 40{,}22 \text{ о.е.}$$

$$x_{10} = x_{11} = \frac{40{,}22}{3I4 \cdot 0{,}05} = 2{,}56 \text{ о.е.}$$

– $MG_3 \div MG_6$

$$X_{12} = X_{13} = X_{14} = X_{15} = 0{,}II6 \cdot \frac{I000 \cdot 0{,}9}{I{,}5} = 69{,}6, \text{ о.е.}$$

$$x_{12} = x_{13} = x_{14} = x_{15} = \frac{69{,}6}{3I4 \cdot 0{,}06} = 3{,}69, \text{ о.е.}$$

– $MG_7 \div MG_9$

$$X_{21} = X_{22} = X_{23} = 0{,}II8 \cdot \frac{I000 \cdot 0{,}9}{3{,}5} = 30{,}34, \text{ о.е.}$$

Инв. № подл. | Подп. и дата | Взам. инв. № | Основн. компл. работ, чертежей и текстов документов и проектной документации др. спец. проектировщ. | Форма Ф09-79л-т2 | Взамен Ф09-78 | Нач. ОТП

$$r_{21} = r_{22} = r_{23} = \frac{30,34}{314 \cdot 0,08} = 1,21, \text{ о.е.}$$

– M_{10} и M_{11}

$$X_{19} = X_{20} = \frac{1}{6,2} \quad \frac{1000 \cdot 0,9}{1} = 145,08, \text{ о.е.}$$

$$r_{19} = r_{20} = \frac{145,08}{314 \cdot 0,05} = 9,2, \text{ о.е.}$$

3. Преобразование схемы замещения и определение результирующего сопротивления.

При преобразовании схемы замещения относительно точек к.з. можно пренебречь сопротивлениями и э.д.с. ветви, содержащей асинхронные двигатели, (см. п. 2-10) а именно, для:

т.т. К-1. К-2, К-3, К-6 – сопротивлением X_8, X_9, X_{20} и э.д.с. E_{11} и E_{12}

т. К-5 – сопротивлением X_{19} и X_{20} и э.д.с. E_{11} и E_{12}

Порядок преобразования схемы замещения показан на чертеже. (М3662-7-17)

Результирующие сопротивления и э.д.с. относительно точек к.з., указанных на схеме составят:

Точка К-1

$$X_{24} = X_1 + X_2 + X_3 + X_4$$

$$X_{24} = 0,21 + 0,04 + 0,32 + 2,7 = 3,27, \text{ о.е.}$$

$$X_{25} = X_{10} // X_{11} = \frac{X_{10}}{2}$$

$$X_{25} = \frac{40,22}{2} = 20,11, \text{ о.е.}$$

Инв. № подл. | Подп. и дата | Взам. инв. № | Основн. компл. работ, чертежей и текстов документов и проектной документации др. стад. проектиров. | Форма Ф09-79л-т2 | Взамен Ф09-78 | Нач. ОТП

$$X_{26} = X_{25} + X_6 = 20{,}11 + 3{,}17 = 23{,}28, \text{ о.е}$$

$$X_{27} = X_{12} // X_{13} // X_{14} // X_{15} = \frac{X_{12}}{4}$$

$$X_{27} = \frac{69{,}6}{4} = 17{,}4, \text{ о.е.}$$

$$X_{28} = (X_{16} + X_{21}) // (X_{17} + X_{22}) // (X_{18} + X_{23}) = \frac{X_{16} + X_{21}}{3}$$

$$X_{28} = \frac{3{,}17 + 30{,}34}{3} = 11{,}17, \text{ о.е}$$

$$X_{29} = X_{27} // X_{28}$$

$$X_{29} = \frac{17{,}4 \cdot 11{,}7}{17{,}4 + 11{,}7} = 6{,}8, \text{ о.е.}$$

$$X_{30} = X_{29} + X_7 = 6{,}8 + 3{,}17 = 9{,}97, \text{ о.е.}$$

$$X_{31} = X_{19} // X_{20} = \frac{X_{19}}{2}$$

$$X_{31} = \frac{145{,}08}{2} = 72{,}54, \text{ о.е.}$$

$$X_{32} = X_8 + X_{31}$$

$$X_{32} = 3{,}17 + 72{,}54 = 75{,}71 \text{ о.е.}$$

$$X_{33} = X_{26} // X_{30} = 6{,}98 \text{ о.е}$$

$$E_{13} = E_2 // E_3 = 1{,}07 \text{ о.е.}$$

$$E_{14} = E_4 // E_5 // E_6 // E_7 = 1{,}07 \text{ о.е.}$$

$$E_{15} = E_8 // E_9 // E_{10} = 1{,}07 \text{ о.е.}$$

$$E_{16} = E_{14} // E_{15} = 1{,}07 \text{ о.е}$$

$$E_{17} = E_{16} // E_{13} = 1{,}07 \text{ о.е.}$$

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Основн. компл. работ, чертежей и текстов, документов и проектной документации др. стад. проектиров.	Форма	Взамен	Нач. ОТП
				Ф09-79л-т2	Ф09-78	

Копировал Формат 11

Результирующие активные сопротивления подсчитываются в том же порядке, что и индуктивные и составят:

$$r_{24} = 0{,}12,\ о.е$$

$$r_{33} = 0{,}33,\ о.е.$$

Точка К-2

$$X_{34} = X_{24} // X_{30}$$

$$X_{34} = \frac{3{,}27 \cdot 9{,}97}{3{,}27 + 9{,}97} = 2{,}46 \text{ о.е.}$$

$$X_{35} = X_6 + X_{34}$$

$$X_{35} = 3{,}17 + 2{,}46 = 5{,}63 \text{ о.е.}$$

$$E_{18} = E_1 // E_6 = 1{,}0 \text{ (см. п. 4.3.5.2 гл.4)}$$

$$r_{35} = 0{,}14,\ о.е. \quad r_{30} = 0{,}44,\ о.е.$$

Точка К-3

$$X_{36} = X_{24} // X_{26}$$

$$X_{36} = \frac{23{,}28 \cdot 3{,}27}{23{,}28 + 3{,}27} = 2{,}87 \text{ о.е.}$$

$$X_{37} = X_7 + X_{36}$$

$$X_{37} = 3{,}17 + 2{,}87 = 6{,}04,\ о.е.$$

$$E_{19} = E_1 // E_{13} = 1{,}0,\ о.е. \text{ (см.п. 43,52. гл.4)}$$

$$r_{37} = 0{,}15,\ о.е.$$

Точка К-5

$$X_{38} = X_{24} // X_{33}$$

$$X_{38} = \frac{6{,}98 \cdot 3{,}27}{6{,}98 + 3{,}27} = 2{,}23,\ о.е.$$

$X_{39} = X_8 + X_{38}$

$X_{39} = 3,17 + 2,23 = 5,4$, о.е.

$E_{20} = E_{17} // E_1 = 1,0$, о.е. (см. п.4.3.5.2, гл.4)

$r_{39} = 0,12$, о.е

Точка К-6

$X_{40} = X_{39} = 5,4$, о.е

$r_{40} = 0,13$ о.е.

4. Определение токов коротких замыканий.

Расчет токов проводится в соответствии с рекомендациями главы 4 настоящих указаний.

Точка К-I

I. Начальное значение периодической составляющей тока к.з. в этой точке составит:

- от системы

$$I_{пос} = \frac{E_1 \cdot I_{бII}}{X_{24}} = \frac{1 \cdot 55,05}{3,27} = 16,83 \text{ кА}$$

(см. гл. 4, п.4.2.4)

- от синхронных двигателей $MG_1 \div MG_9$

$$I_{поэ} = \frac{E_{17} I_{бII}}{X_{33}} = \frac{1,07 \cdot 55,05}{6,98} = 8,44 \text{ кА}$$

(см. п.4, п.4.2.5)

2. Периодические составляющие тока к.з. к моменту времени $\tau = 0,15$ с принимаются равными:

$I_{пτс} = I_{пос} = 16,83$ кА

$I_{пτэ} = I_{поэ} = 8,44$ кА

(см. гл. 4, п.4.2.6)

Инв. № подл. | Подп. и дата | Взам. инв. № | Основн. компл. работ, чертежей и текстов, документов и проектной документации др. стад. проектиров. | Форма Ф09-79л-т2 | Взамен Ф09-78 | Нач. ОТП

Копировал Формат 11

3. Апериодическая составляющая тока к.з. к моменту времени t = 0,15 с., определяется следующим образом:

- от системы

$$i_{at\,c} = \sqrt{2}\, I_{no\,c}\, e^{-\frac{t}{T_{a\,c}}}$$

где:

$$T_{a\,c} = \frac{X_{24}}{\omega\, r_{24}} = \frac{3{,}27}{314 \cdot 0{,}12} = 0{,}09 \text{ с.е}$$

$$i_{at\,c} = 1{,}41 \cdot 16{,}83 \cdot 0{,}15 = 3{,}56 \text{ кА}$$

(см. гл. 4, п.4.2.7)

- от синхронных двигателей $MG_1 \div MG_9$

$$i_{at\,э} = \sqrt{2}\, I_{no\,э}\, e^{-\frac{t}{T_{a\,э}}}$$

где:

$$T_{a\,э} = \frac{X_{33}}{\omega\, r_{33}} = \frac{6{,}98}{314 \cdot 0{,}33} = 0{,}07 \text{ с}$$

$$i_{at\,c} = 1{,}41 \cdot 8{,}22 \cdot 0{,}13 = 1{,}55 \text{ кА}$$

(см. гл. 4, п.4.2.8)

4. Составляющие ударных токов определяются по формулам:

- от системы

$$i_{y\,c} = \sqrt{2}\, K_{y\,c}\, I_{no\,c}$$

$$i_{y\,c} = 1{,}41 \cdot 1{,}9 \cdot 16{,}83 = 45{,}09 \text{ кА}$$

(см. гл. 4, п.4.2.9)

- от синхронных двигателей $MG_1 \div MG_9$

$$i_{y\,э} = \sqrt{2}\, K_{y\,э}\, I_{no\,э}$$

$$i_{y\,э} = 1{,}41 \cdot 1{,}88 \cdot 8{,}22 = 22{,}37 \text{ кА}$$

Значение K_y = 1,88 определяется по кривой рис. (П2-4) для T_a = 0,07 с (см. гл. 4, п. 4.2.10), $K_y = 1{,}9$ для $T_a = 0{,}09$с

Точка К-2

1. Начальное значение периодической составляющей тока к.з. в этой точке составит:

Инв.№ подл. | Подп. и дата | Взам.инв.№ | Основн. комплекты рабочих чертежей и текстовых документов, разработанных ГПИ Тяжпромэлектропроект. Форма 09-78.м2 | Взамен 09-78 | Нач. ОТП

- от системы и синхронных двигателей $MG_3 \div MG_9$

$$I'_{поэ} = \frac{E_{18} \cdot I_{бII}}{x_{35}} = \frac{1,0 \cdot 55,05}{5,63} = 9,8 \text{ кА}$$

(см. гл. 4, п.4.3.6)

- от синхронных двигателей MG_1 и MG_2

$$I_{поMG_1} = I_{поMG_2} = \frac{E_1 \cdot I_{бII}}{X_{10}} = \frac{1,07 \cdot 55,05}{40,22} = 1,46 \text{ кА}$$

(см. гл. 4 п.4.1.4 и 4.1.5)

2. Периодическая составляющая к моменту времени $\tau = 0,15$ с принимается равной:

- от системы и синхронных двигателей $MG_3 \div MG_9$

$$I'_{поэ} = I'_{п\tau э} = 9,8 \text{ кА}$$

(см. гл. 4, п.4.3.9)

- от синхронных двигателей MG_1 и MG_2

$$I_{п\tau MG_1} = I_{п\tau MG_2} = I_{поMG_1} \cdot \gamma$$

где: $\gamma = 0,6$ - по кривым рис. П2-1 для двигателя типа СТД

$$I_{п\tau MG_1} = I_{п\tau MG_2} = 1,46 \cdot 0,6 = 0,9 \text{ кА}$$

(см.гл.4, п.4.1.8)

3. Апериодическая составляющая тока к.з. к моменту времени $\tau = 0,15$ с определяется следующим образом:

- от системы и синхронных двигателей $MG_3 \div MG_9$

$$i'_{a\tau э} = \sqrt{2}\, I'_{поэ}\, e^{-\frac{\tau}{T'_{aэ}}}$$

Инв. № подл. | Подп. и дата | Взам. инв. № | Основн. компл. работ, чертежей и текстов, документов и проектной документации др. стад. проектиров. | Форма Ф09-79л-т2 | Взамен Ф09-78 | Нач. отп.

где:

$$T'_{аэ} = \frac{X_{35}}{\omega\, r_{35}} = \frac{5,63}{314 \cdot 0,14} = 0,12 \text{ с}$$

$$i'_{ачэ} = 1,41 \cdot 9,8 \cdot 0,28 = 3,9 \text{ кА}$$

(см.гл.4, п.4.3.10)

- от синхронных двигателей MG_1 и MG_2

$$i_{ачMG_1} = i_{ачMG_2} = \sqrt{2}\, I_{поMG_1} e^{-\tau/T_{аMG}}$$

где; $T_{аMG}$ = 0,07 с - по кривым рис. П-2-2 для двигателя 3,2 мВт типа СТД

$$i_{ачMG_1} = i_{ачMG_2} = 1,41 \cdot 1,46 \cdot 0,13 = 0,27 \text{ кА}$$

(см.гл.4, п.4.1.10)

4. Составляющие ударных токов определяются по формулам:

- от системы и синхронных двигателей $MG_3 \div MG_9$

$$i'_{уэ} = \sqrt{2}\, K'_{уэ} I'_{поэ}$$

где: $K'_{уэ}$ = 1,92 - по кривой рис.(П2-4) для $T_а$ = 0,12 с

$$i'_{уэ} = 1,41 \cdot 1,92 \cdot 9,8 = 26,53 \text{ кА}$$

(см.гл.4, п.4.3.13)

- от синхронных двигателей MG_1 и MG_2

$$i_{уMG_1} = i_{уMG_2} = \sqrt{2}\, K_{уMG_1} I_{поMG_1}$$

где: $K'_{уMG}$ = 1,87 - по кривым рис. П222 для двигателя 3,2 мВт типа СТД

$$i_{уMG_1} = i_{уMG_2} = 1,41 \cdot 1,87 \cdot 1,46 = 3,8 \text{ кА}$$

(см. гл. 4, п.4.1.14)

Точка K'_3

1. Начальное значение периодической составляющей тока к.з. в этой точке составит:

Копировал Формат 11

– от системы и синхронных двигателей MG_1 и MG_2

$$I'_{поэ1} = \frac{E_{19} \cdot I_{бII}}{X_{37}} = \frac{1,0 \cdot 55,05}{6,04} = 9,1 \text{ кА}$$

(см.гл.4, п.4.3,6)

– от синхронных двигателей $MG_3 \div MG_9$

$$I_{поэ2} = \frac{E_{14} \cdot I_{бII}}{X_{27}} = \frac{1,07 \cdot 55,05}{17,4} = 3,39 \text{ кА}$$

(см.гл.4, п.4.2:5)

– от синхронных двигателей $MG_7 \div MG_9$

$$I_{поэ3} = \frac{E_{15} \cdot I_{бII}}{\frac{X_{16}+X_{21}}{3}} = \frac{1,07 \cdot 55,05}{11,17} = 5,27 \text{ кА}$$

(см.гл.4, п.4.2.5)

2. Периодическая составляющая к моменту времени $\tau = 0,15$ с принимается равной

– от системы и синхронных двигателей MG_1 и MG_2

$$I'_{поэ1} = I'_{пτэ1} = 9,1 \text{ кА}$$

(см.гл.4, п.4.3.9)

– от синхронных двигателей $MG_3 \div MG_6$

$$I_{пτэ2} = j\, I_{поэ2}$$

где: $j = 0,73$ – по кривым рис. П2-I для двигателя типа СТМП

$$I_{пτэ2} = 0,73 \cdot 3,39 = 2,47 \text{ кА}$$

(см. гл.4, п.4.2.6)

– от синхронных двигателей $MG_7 \div MG_9$

$$I_{пτэ3} = j\, I_{поэ3}$$

где: $j = 0,73$ – по кривым рис. П2-I для двигателей типа СТМ

Инв.№ подл. | Подп. и дата | Взам. инв.№ | Инв.№ дубл. | Подп. и дата | Взамен | Нач. отп.
Форма Ф09-79л-т2 | Ф09-78
Изм. | Кол.уч. | Лист | № докум. | Подп. | Дата
Копировал | Формат 11

$$I_{n\tau э3} = 0{,}73 \cdot 5{,}27 = 3{,}85 \text{ кА}$$

(см. гл. 4, п.4.2.6)

3. Апериодическая составляющая тока к.з. к моменту времени $\tau = 0{,}15$ с определяется следующим образом:

- от системы и синхронных двигателей MG_1 и MG_2

$$i'_{a\tau э1} = \sqrt{2}\, I'_{n0э1}\, e^{-\frac{\tau}{T'_{aэ1}}}$$

где:

$$T'_{aэ1} = \frac{X_{37}}{\omega\, r_{37}} = \frac{6{,}04}{314 \cdot 0{,}15} = 0{,}13 \text{ с}$$

$$i'_{a\tau э1} = 1{,}41 \cdot 9{,}1 \cdot 0{,}3 = 3{,}85 \text{ кА}$$

(см. гл.4, п.4.3.10)

- от синхронных двигателей $MG_3 \div MG_6$

$$i_{a\tau э2} = \sqrt{2}\, I_{n0э2}\, e^{-\frac{\tau}{T_{aэ2}}}$$

где: $T_{aэ2} = 0{,}063$ с – по кривым рис. П2-2 для двигателей 1,5 мВт типа СТМП

$$i_{a\tau э2} = 1{,}41 \cdot 3{,}39 \cdot 0{,}09 = 0{,}43 \text{ кА}$$

(см.гл.4, п.4.2.8)

- от синхронных двигателей $MG_7 \div MG_9$

$$i_{a\tau э3} = \sqrt{2}\, I_{n0э3}\, e^{-\frac{\tau}{T_{aэ3}}}$$

где: $T_{aэ3} = T_{aMG} = 0{,}02 = 0{,}07$с (см.гл.4, п.4.1.11)

$T_{aMG} = 0{,}093$ – для двигателей 3,5 мВт типа СТМ по кривым рис. П2-2

$$i_{a\tau э3} = 1{,}41 \cdot 5{,}27 \cdot 0{,}13 = 0{,}93 \text{ кА}$$

(см.гл.4, п.4.2.8)

Инв. № подл. | Подп. и дата | Взам. инв. № | Основн. компл. работ, чертежей и текстов, документов и проектной документации др. стад. проектиров. | Форма Ф09-79л-т2 | Взамен Ф09-78 | Нач. ОТП

4. Составляющие ударных токов определяются по формулам:

- от системы и синхронных двигателей MG_1 и MG_2

$$i'_{уэ1} = \sqrt{2}\, K'_{уэ1} I'_{поэ1}$$

где: $K'_{уэ1}$ = I,93 - по кривой рис.(П2-4) для $T'_{аэ}$ = 0,I3с

$$i'_{уэ1} = I,4I \cdot I,93 \cdot 9,I = 24,64 \text{ кА}$$

(см.гл.4, п.4.3.I3)

- от синхронных двигателей $MG_3 \div MG_6$

$$i_{уэ2} = \sqrt{2}\, K_{уэ2} I_{поэ2}$$

где: $K_{уэ2}$ = I,85 - по кривым рис. П2-2 для двигателей I,5 мВт типа СТМП

$$i_{уэ2} = I,4I \cdot I,85 \cdot 3,39 = 8,84 \text{ кА}$$

(см.гл.4, п.4.2.I0)

- от синхронных двигателей

$$i_{уэ3} = \sqrt{2}\, K_{уэ3} I_{поэ3}$$

где: $K_{уэ3} = K_{умG} - 0,2 = I,67$ (см.гл.4, п.4.I.I4)

$K_{умG}$ = I,87 - по кривым рис. П2-2 для двигателей 3,5 мВт типа СТМ

$$i_{уэ3} = I,4I \cdot I,67 \cdot 5,27 = I2,41 \text{ кА}$$

(см.гл.4, п.4.2.I0)

Точка К-5

Значения токов к.з., генерируемых в эту точку в эквивалентной ветвью, обрединяющей синхронные двигатели и систему определяются следующим образом:

I. Начальное значение периодической составляющей тока к.з.

$$I'_{поэ} = \frac{E_{20} I_{бп}}{X_{39}} = \frac{I,0 \cdot 55,05}{5,4} = I0,2 \text{ кА}$$

(см.гл.4, п.4.3.6)

Инв.№ подл. | Подп.и дата | Взам.инв.№ | Основн. компл. работ, чертежей и текстов. документов и проектной документации др. стад. проектиров. | Форма Ф09-79л-т2 | Взамен Ф09-78 | Нач.ОТП

2. Периодическая составляющая тока к.з. к моменту времени

τ = 0,15 с

$$I'_{n\tau э} = I'_{n0э} = 10{,}2 \text{ кА}$$

(см.гл.4, п.4.3.9)

3. Апериодическая составляющая тока к.з. к моменту времени

τ = 0,15 с

$$i'_{a\tau э} = \sqrt{2}\, I'_{n0э}\, e^{\frac{-\tau}{T'_{aэ}}}$$

где:

$$T'_{aэ} = \frac{X_{39}}{\omega r_{39}} = \frac{5{,}4}{314 \cdot 0{,}12} = 0{,}14 \text{ с}$$

$$i'_{a\tau э} = 1{,}41 \cdot 10{,}2 \cdot 0{,}31 = 6{,}46 \text{ кА}$$

(см.гл.4, п.4.3.10)

4. Составляющая ударного тока:

$$i'_{yэ} = \sqrt{2}\, K'_{yэ}\, I'_{n0э} = 1{,}41 \cdot 10{,}2 \cdot 1{,}94 = 27{,}9$$

где: $K'_{yэ}$ = 1,94 – по кривой рис. (П2-4) для $T'_{aэ}$ = 0,14 с

(см.гл.4, п.4.3.13)

Точка К-6

Расчет токов к.з. в этой точке проводится аналогично расчету токов к.з. в т.К-5.

1. Начальное значение периодической составляющей тока к.з. в этой точке составит:

$$I'_{n0э} = \frac{E_{20} \cdot I_{бII}}{X_{40}} = \frac{1{,}0 \cdot 55{,}06}{5{,}4} = 10{,}2 \text{ кА}$$

(см.гл.4, п.4.3,6)

2. Периодическая составляющая к моменту времени τ = 0,15 с принимается равной:

$$I'_{n\tau э} = I'_{n0э} = 10{,}2 \text{ кА}$$

(см. гл. 4, п. 4.3.9)

3. Апериодическая составляющая к моменту времени $\tau = 0{,}15$ с определяется следующим образом:

$$i'_{a\tau э} = \sqrt{2}\, I'_{n0э}\, e^{-\frac{\tau}{T'_{aэ}}}$$

где:

$$T'_{aэ} = \frac{X_{40}}{\omega\, r_{40}} = \frac{5{,}4}{314 \cdot 0{,}13} = 0{,}13 \text{ с}$$

$$i'_{a\tau э} = 1{,}41 \cdot 10{,}2 \cdot 0{,}3 = 4{,}31 \text{ кА}$$

(см.гл.4, п.4.3.10)

4. Составляющая ударного тока определяется по формуле:

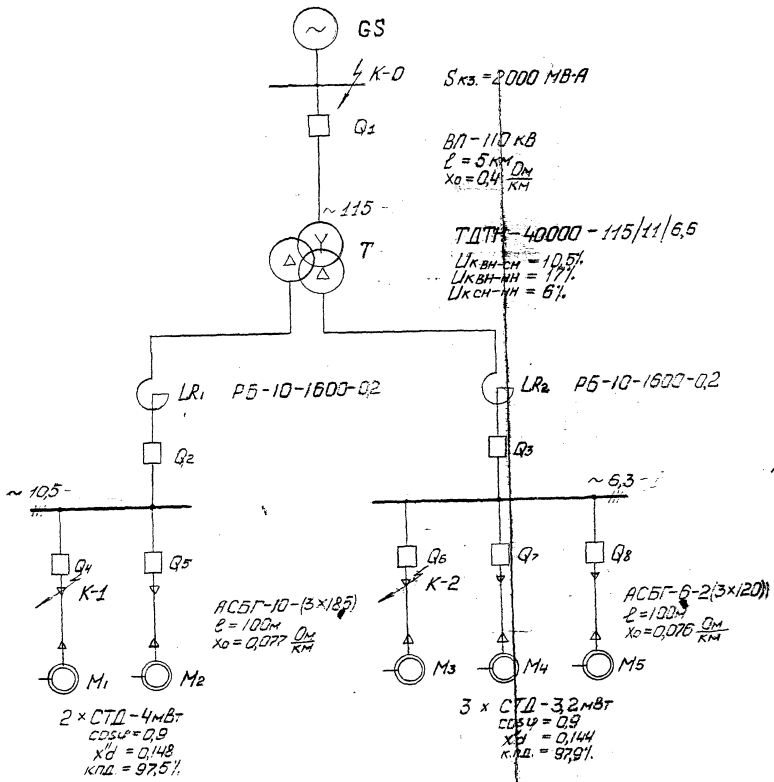
$$i'_{уэ} = \sqrt{2}\, K'_{уэ} I'_{n0э}$$

где: $K'_{уэ} = 1{,}93$ – по кривой рис.(П2-4) для $T'_{aэ} = 0{,}13$ с

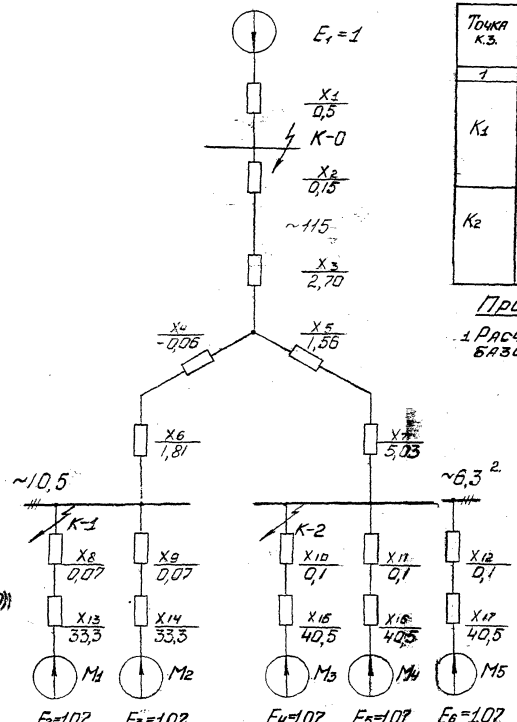
$$i'_{уэ} = 1{,}41 \cdot 1{,}93 \cdot 10{,}2 = 27{,}8 \text{ кА}$$

(см.гл.4, п.4.3.13)

а) Расчетная схема



б) Схема замещения



Точка к.з.	Базисное напряжение	Наименование генерирующей ветви	Значения токов коротких замыканий, кА			
			Iпо	Iпτ	iaτ	iу
1	2	3	4	5	6	7
K1	10,5	Система	10,79	10,79	3,37	29,11
		Двигатель М2	1,77	1,06	0,32	4,7
		Расчетные значения	12,56	11,85	3,69	33,81
K2	6,3	Система	9,23	9,23	2,88	24,9
		Двигатели М1÷М5	4,85	2,91	0,89	12,8
		Расчетные значения	14,08	12,14	3,77	37,7

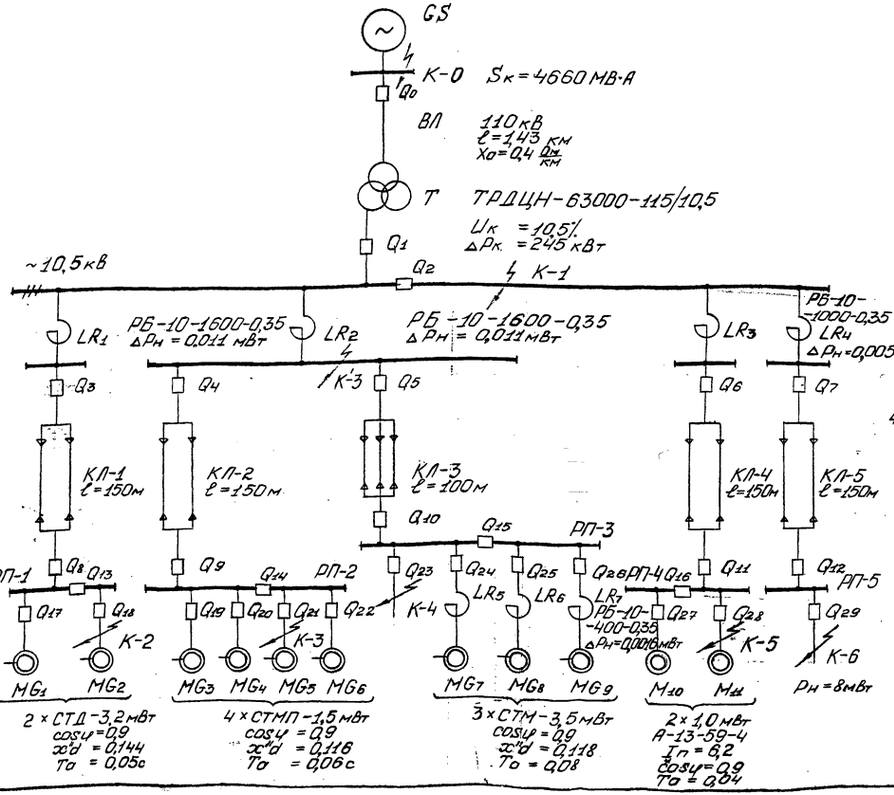
Примечание:

1. Расчет проведен в относительных единицах, при базисных условиях:

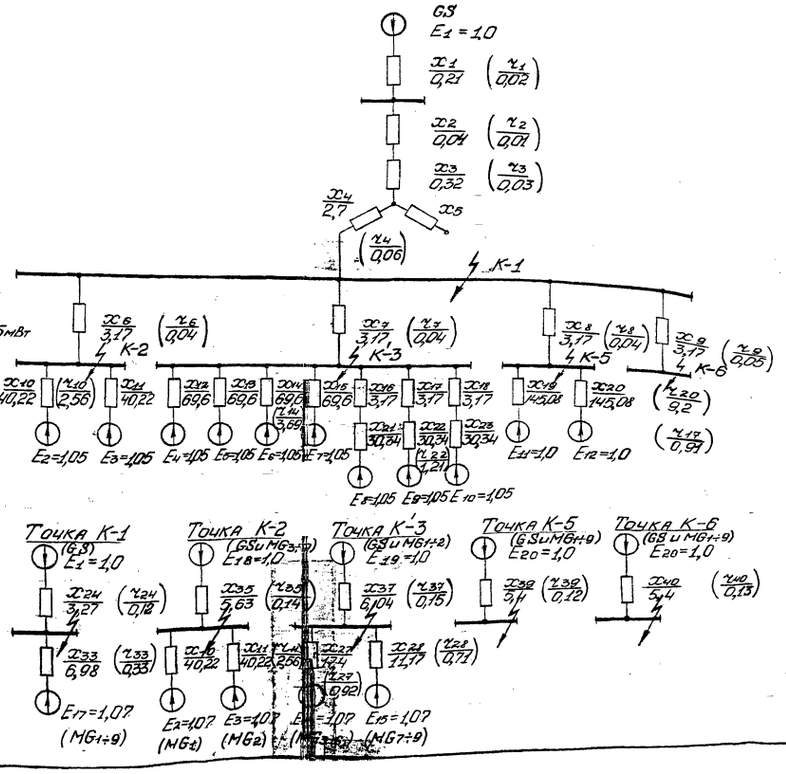
$S_б$ = 1000 МВ·А
$U_{бI}$ = 115 кВ
$U_{бII}$ = 10,5 кВ
$U_{бIII}$ = 6,3 кВ

2. При выборе выключателей следует использовать значения токов к.з., приведенные в графе „Расчетные значения".

а) Расчетная схема



б) Схема замещения



Итоговая таблица токов коротких замыканий

Место короткого замыкания (к.з.)	Точка к.з.	Среднее номинальное напряжение, кВ	Базисный ток, кА	Генерирующие ветви	Значения токов к.з., кА			
					τ = 0,15 с			
					Iпо	Iпτ	iaτ	iу
1	2	3	4	5	6	7	8	9
На шинах 10 кВ	К-1	10,5	55,05	Система	16,83	16,83	3,56	45,09
				Двигатели MG3÷9	8,44	8,44	1,55	22,37
				Всего	25,27	25,27	5,11	67,46
				Расчетные значения	25,27	25,27	5,11	67,46
В цепи двигателя MG2	К-2	10,5	55,05	Система и дв. MG3÷6	9,8	9,8	3,9	26,53
				Двигатель MG1	1,46	0,9	0,27	3,8
				Двигатель MG2	1,46	0,9	0,27	3,8
				Всего	12,72	11,6	4,44	34,13
				Расчетные значения	11,26	10,2	4,12	30,33
На шинах 10 кВ за реактором LR2	К'-3	10,5	55,05	Система и дв. MG1÷2	9,1	9,1	3,85	24,64
				Двигатели MG3÷6	3,39	2,42	0,43	6,84
				Двигатели MG7÷9	5,27	3,85	0,97	12,41
				Всего	14,76	15,42	5,25	45,89
				Расчетные значения	14,76	15,42	5,25	45,89
В цепи двигателя M11	К-5	10,5	55,05	Система и дв. MG1÷9	10,2	10,2	4,46	27,9
				Всего	10,2	10,2	4,46	27,9
				Расчетное значение	10,2	10,2	4,46	27,9
В цепи выключателя Q29	К-6	10,5	55,05	Система и дв. MG1÷9	10,2	10,2	4,31	27,8
				Всего	10,2	10,2	4,31	27,8
				Расчетные значения	10,2	10,2	4,31	27,8

Примечание: Расчет проведен в относительных единицах при базисных условиях:
Sб = 1000 МВ·А
Uб1 = 115 кВ
Uб2 = 10,5 кВ

ПI. Таблицы сопротивлений отдельных элементов схемы электроснабжения (о.е)

П.I.I Все сопротивления, указанные в таблицах приведены к базисной мощности $S_б$= I000 МВ.А

ПI.2 Сопротивления реакторов приведены к базисному напряжению Иб= I0,5 кВ.

ПI.3 При составлении таблиц использована следующая: литература:

- ГОСТ -I2965-74- Трансформаторы трехфазные силовые масляные общего назначения класса напряжения II0кВ.
- ГОСТ I5957-70 - Трансформаторы трехфазные силовые масляные общего назначения класса напряжения 220кВ.
- ГОСТ I4794-69 Реакторы токоограничивающие сухие.

Нач. отд	Чугункин		
Н.контр	Менчик		12.73
Гл.спец	Корогодский		
Инж	Кашинская		
Инж.	Шестаков		

М3662-8

Руководство по выполнению расчетов токов короткого замыкания в сетях промышленных предприятий

Стадия	Лист	Листов
	1	8

Приложение 1. Таблицы сопротивлений. Схемы замещения.

ВНИПИ ТЯЖПРОМЭЛЕКТРОПРОЕКТ ИМЕНИ Ф.Б.ЯКУБОВСКОГО МОСКВА

Инв. № подл. | Подп. и дата | Взам. инв. № | Основн. комплект рабоч. чертежей и текстов. документов и проектной документации др. стад. проектирования | Форма Ф09-79 л-т1 л-ов2 | Взамен Ф09-78 | Нач. ОТП

I. Понижающие трансформаторы с высшим напряжением II0-220 кВ

А. Двухобмоточные трансформаторы

Таблица II-I

Тип	Номинальная мощность МВ.А	Сочетание напряжений, кВ ВН	Сочетание напряжений, кВ НН	Напряжение короткого замыкания, Ик.%	Сопротивления для указанных схем соединения обмоток при $S_б$=I000МВА: $X_{*т}$	$X_{*в}$	$X_{*н1} = X_{*н2}$
I	2	3	4	5	6	7	8
ТМН	2,5	II0	6,6 II,0		42,00	-	-
	6,3	II5			I6,67	-	-
ТДН	I0				I0,50	-	-
	I6			I0,5	6,56	-	-
ТРДН	25		6,3-6,3 I0,5-I0,5 6,3-I0,5	10,5	4,2	0,84	6,72
ТДН	32				3,28	0,65	5,25
	40		38,5		2,62	0,52	4,20
ТРДЦН	63	II5	6,3-6,3 I0,5-I0,5 6,3-I0,5 38,5	I0,5	I,67	0,32	2,70
ТДЦН	80				I,3I	0,26	2,I0
ТРДЦН	I25		I0,5-I0,5		0,87	0,I7	I,40
ТРДН	32		6,6-6,6 II-II 6,6-II 38,4	10,5	3,79	0,75	6,09
					I,92	0,38	3,09

Фирма Ф09-79л-т2 | Взамен Ф09-78 | Нач. отд.

М3662-8 | Лист 2

Копировал | Формат 11

3

продолжение таблицы ПI-I

I	2	3	4	5	6	7	8
ТРДЦН	63	230	II-II 38,5	I2	I,22	0,24	I,95
	I00						
	I60				0,75	0,I5	I,2I

Б. Трехобмоточные трансформаторы

Таблица ПI-2

Тип	Номинальная мощность МВ.А	Сочетание напряжений кВ			Напряжение короткого замыкания $U_{к\%}$ для обмоток			Сопротивление при $S_б$= I000 МВ.А (о.е)		
		ВН	СН	НН	ВН-СН	ВН-НН	СН-НН	ХВ	ХС	Хн
I	2	3	4	5	6	7	8	9	I0	II
ТМТН	6,3	II5	38,5	6,6 II,0	I0,5	I7,0	6,0	I7,I4	-0,39	9,92
ТДТН	I0							I0,80	-0,25	6,25
	I6							6,75	-0,I6	3,9I
	25							4,32	-0,I0	2,50
	40		II,0	6,6				2,70	-0,06	I,56
	63		38,5	6,6; II			6,5	I,67	0	I,03
	80							I,3I	0	0,8I
ТДТН	25					20	6,5	5,20	-0,20	2,80
	40	230	22 38,5	6,6 II	I2,5	22	9,5	3,I2	0	2,37
ТДЦТН	63					24	I0,5	2,06	-0,I0	I,75

Инв.№ подл. | Подп.и дата | Взам.инв.№ | Основн. компл. работ, чертежей и текстов. документов и проектной документации др. стад. проектиров. | Форма Ф09-79л-т2 | Взамен Ф09-78 | Нач. ОТП

М3662-8

Лист 3

Копировал Формат II

4

Примечание:

Расчет сопротивлений проводился по следующим формулам:

I. для двухобмоточных трансформаторов

- без расщепления обмотки НН

$$\underset{*}{X}_{т} = \frac{U_{к\%}}{100} \cdot \frac{S_{б}}{S_{нт}}$$

- с расщепленной обмоткой НН

$$\underset{*}{X}_{В} = \frac{U_{к.в-(н_1 \| н_2)\%}}{100}\left(1 - \frac{K_p}{4}\right) \cdot \frac{S_{б}}{S_{нт}}$$

$$\underset{*}{X}_{н1} = \underset{*}{X}_{н2} = \frac{U_{к\,в-(н_1 \| н_2)\%}}{100} \; \frac{K_p}{2} \cdot \frac{S_{б}}{S_{нт}}$$

2. для трехобмоточных трансформаторов

$$\underset{*}{X}_{в} = \frac{0{,}5}{100}\left(U_{к\,вс\%} + U_{к\,вн\%} - U_{к\,сн\%}\right) \frac{S_{б}}{S_{нт}};$$

$$\underset{*}{X}_{с} = \frac{0{,}5}{100}\left(U_{к\,вс\%} + U_{к\,сн\%} - U_{к\,вн\%}\right) \frac{S_{б}}{S_{нт}};$$

$$\underset{*}{X}_{н} = \frac{0{,}5}{100}\left(U_{к\,вн\%} + U_{к\,сн\%} - U_{к\,вс\%}\right) \frac{S_{б}}{S_{нт}};$$

где: $S_{нт}$ – номинальная мощность трансформатора.

Инв. № подл. | Подп. и дата | Взам. инв. № | Основн. компл. работ, чертежей и текстов. документов и проектной документации др. стад. проектиров. | Форма Ф09-79л-т2 | Взамен Ф09-78 | Нач. отд.

5

2. Реакторы

$S_б$ = 1000 МВ.А

Иб = 10,5 кВ

Таблица П1-3

Серия	Номинальное напряжение, кВ	Длительно допустимый ток, А	Номинальный коэффициент связи	Сопротивление Хн, Ом	Сопротивление Х, о.е. *
1	2	3	4	5	6
РБ РБУ	10	400	-	0,35	3,17
			-	0,45	4,08
		630	-	0,25	2,27
			-	0,400	3,63
			-	0,56	5,08
		1000	-	0,14	1,27
			-	0,22	2,00
			-	0,28	2,54
			-	0,35	3,17
			-	0,45	4,08
			-	0,56	5,08
		1600	-	0,14	1,27
			-	0,20	1,81
			-	0,25	2,27
			-	0,35	3,17
РБД		2500	-	0,14	1,27
			-	0,2	1,81
РБГ			-	0,14	1,27

Нач. ОТП | Взамен | Форма | Основн. компл. работ, чертежей и текстов документов и проектной документации др. стад. проектиров. | Взам. инв. № | Подп. и дата | Инв. № подл.

Ф09-78 | Ф09-79л-т2

М3662-8

Лист 5

Продолжение таблицы ПI-3

I	2	3	4	5	6
РБГ	I0	2500	-	0,2	I,8I
РБГД			-	0,25	2,27
			-	0,35	3,I7
		4000	-	0,II	I,00
			-	0,I8	I,63
РБС		2x630	0,46	0,25	2,27
			0,5	0,4	3,63
			0,53	0,56	5,08
		2xI000	0,49	0,I4	I,27
			0,53	0,22	2,00
			0,53	0,28	2,54
РБСД			0,55	0,35	3,I7
			0,49	0,45	4,08
			0,5	0,56	5,08
РБС РБСУ		2xI600	0,56	0,I4	I,27
			0,5I	0,2	I,8I
РБСД				0,25	2,27
				0,35	3,I7
РБСДГ		2x2500		0,I4	I,27
				0,2	I,8I

Примечание:

Расчет сопротивлений проводился по формуле:

$$X_{*p} = x_{pн} \frac{S_\delta}{U_{\delta p}^2}, \text{ где } U_{\delta p} = 10{,}5 \text{ кВ}$$

Инв. № подл. | Подп. и дата | Взам. инв. № | Основн. компл. рабоч. чертежей и текстов. документов и проектной документации др. стад. проектиров. | Форма Ф09-79л-т2 | Взамен Ф09-78 | Нач. отп.

При Иб, отличном от Ибр сопротивление подсчитывается по следующей формуле:

$$\underset{*}{X}рп = K^2 \underset{*}{x}_p$$

где: $K = \frac{Ибр}{Ибп}$ – поправочный коэффициент, учитывающий действительное базисное напряжение Ибп той ступени, куда подсоединен реактор

Ниже приводится таблица поправочных коэффициентов при различных значениях Ибп

Таблица ПI-4

K^2	0,08	2,78
Ибп	37	6,3

3. Система

$S_б$= 1000 МВ.А

Таблица ПI-5

$S_{кз}$ МВ.А	1000	1500	[illegible]	2500	3000	3500	[illegible]	[illegible]	[illegible]
$\underset{*}{X}с$, о.е	1,0	0,67	0,5	0,4	0,33	0,29	0,25	0,22	0,20

Примечание:

Расчет сопротивлений системы проводился по формуле:

$$\underset{*}{X}с = S_б / S_{кз}$$

4. Воздушные линии электропередач

$S_б$= 1000 МВ.А

$X_с = 0,4 \frac{Ом}{км}$

Инв.№подл. | Подп.и дата | Взам.инв.№ | Основн.компл. работ, чертежей и текстов, документов и проектной документации др. стад. проектиров. | Форма Ф09-79л-т2 | Взамен Ф09-78 | Нач.ОТП

8

Таблица ПI-6

l, км \ Иб, кВ	II5	230
I	0,03	0,0I
2	0,06	0,02
3	0,09	0,03
4	0,I2	0,04
5	0,I5	0,05
6	0,I8	0,06
7	0,2I	0,07
8	0,24	0,08
9	0,27	0,09
I0	0,30	0,I0
II	0,33	0,II
I2	0,36	0,I2
I3	0,39	0,I3
I4	0,42	0,I4
I5	0,45	0,I5

Примечание:

1. Расчет сопротивлений проводился по формуле:

$$X_{*\Lambda} = x_0 \cdot l \cdot \frac{S_б}{U_б^2}$$

2. $\frac{X}{r} = 2 \div 8$ о.е.

Таблица базисных токов

Таблица ПI-7

Иб, кВ	230	II5	37	I5,75	I3,8	I0,5	6,3	3,I5
Iб кА	2,5I	5,03	I5,62	36,70	4I,89	55,05	9I,75	I83,50

Инв. № подл. | Подп. и дата | Взам. инв. № | Основн. компл. работ, чертежей и текстов. документов и проектной документации др. стад. проектиров. | Форма Ф09-79л-т2 | Взамен Ф09-78 | Нач. отп

М3662-8 Лист 8

Копировал Формат 11

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ РАСЧЕТА ТОКОВ К.З.

Нач. отд	Чугункин			М3662-9			
Н. контр	Менчик			Руководство по выполнению расчетов токов короткого замыкания в сетях промышленных предприятий			
Гл. спец	Корогодский				Стадия	Лист	Листов
Инж.	Кашинская					1	8
				Приложение 2. Вспомогательные материалы для расчета токов к.з	ВНИПИ ТЯЖПРОМЭЛЕКТРОПРОЕКТ ИМЕНИ Ф.Б.ЯКУБОВСКОГО МОСКВА		

Инв. № подл. | Подп. и дата | Взам. инв. № | Основн. комплект. рабоч. чертежей и текстов. документов и проектной документации др. стад. проектир. | Форма Ф09-79 л-т 1 л-т 2 | Взамен Ф09-78 | Нач. отп

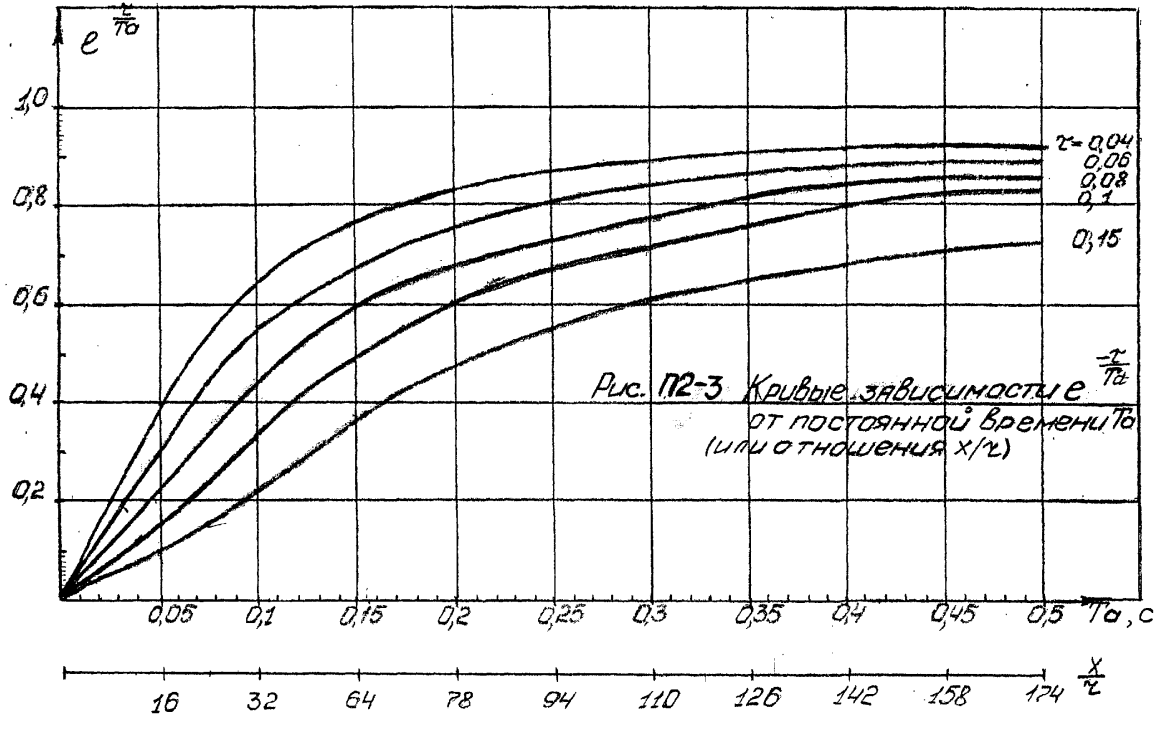


Рис. П2-3 Кривые зависимости $e^{\frac{-\tau}{T_a}}$ от постоянной времени T_a (или отношения x/r)

Рис. П2-3

М3662-9

Лист 4

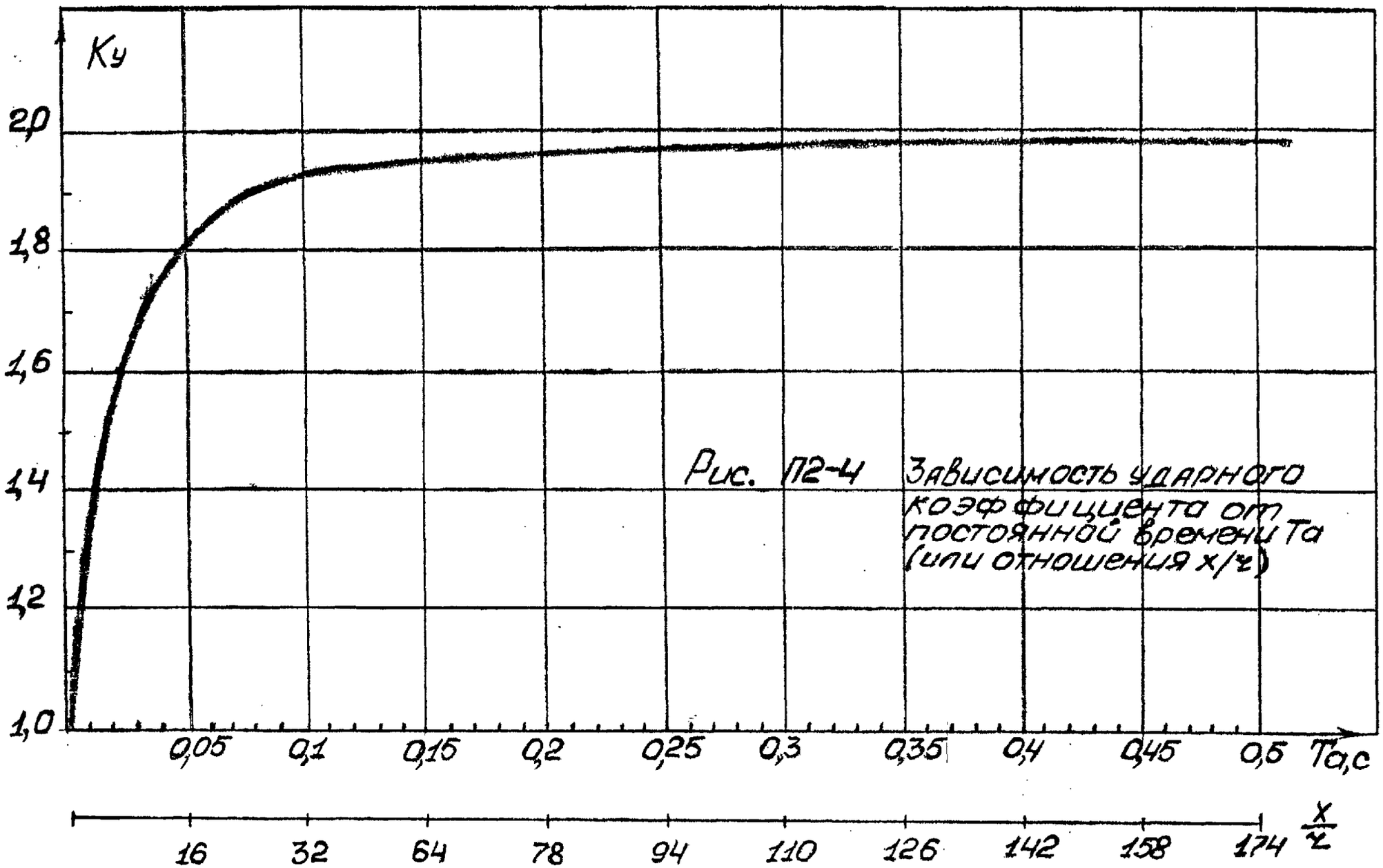


Рис. П2-4 Зависимость ударного коэффициента от постоянной времени Та (или отношения x/r)

Рис П2-4

Ориентировочные значения

постоянной времени затухания апериодической составляющей тока короткого замыкания и ударного коэффициента для характерных элементов и частей электрической системы

Таблица П2-I

№ п/п	Наименование элементов для частей электрической системы	T_a, с	K_y
I	2	3	4
I	Турбогенераторы мощностью I2-60 МВт	0,I6-0,25	I,94-I,955
2	То же, мощностью I00-I000 МВт	0,4-0,54	I,975-I,98
3	Блоки, состоящие из турбогенератора мощностью 60 мВт и трансформатора при номинальном генераторном напряжении		
	- 6,3 кВ	0,2	I,95
	- I0 кВ	0,I5	I,935
4	Блоки, состоящие из турбогенератора мощностью I00-200 мВт и повышающего трансформатора	0,26	I,965

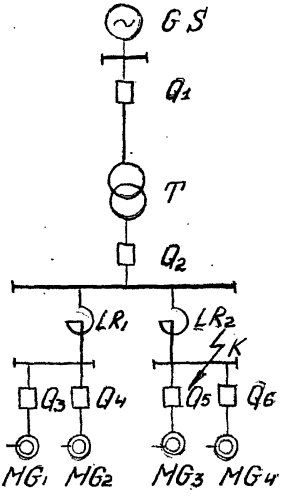
Инв.№подл. | Подп.и дата | Взам.инв.№ | Основн.компл.рабоч.чертежей и текстов.док-ментов и проектной документации др.спец.проектиров. | Форма ФО9-79л-т2 | Взамен ФО9-78 | Нач.ОТП

I	2	3	4
5	То же, при мощности генераторов		
	300 мВт	0,32	I,977
	500 мВт	0,35	I,983
	800 мВт	0,3	I,967
6	Система, связанная со сборными шинами КЭС или ГЭС воздушными линиями напряжением		
	-35 кВ	0,02	I,608
	-II0-I50 кВ	0,02-0,03	I,608-I,7I7
	-220-330 кВ	0,03-0,04	I,7I7-I,78
	-500-750 кВ	0,06-0,08	I,85-I,895
7	Система, связанная со сборными шинами 6-I0 кВ через трансформаторы мощностью:		
	- 80 мВ.А в единице и выше	0,06-0,I5	I,85-I,935
	- 32-80 мВ.А в единице	0,05-0,I	I,82-I,904
8	Ветви, защищенные реактором с номинальным током		
	- I000 А и выше	0,23	I,956
	- до 630 А	0,I	I,904
9	Распределительные сети напряжением 6-I0 кВ	0,0I	I,369

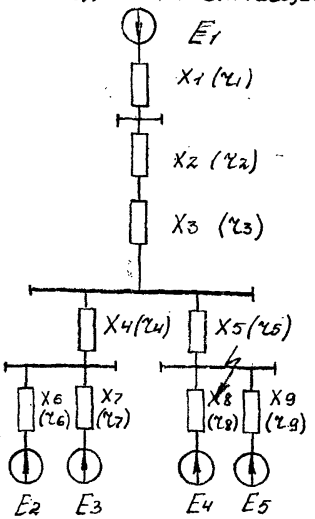
Инв. № подл. | Подп. и дата | Взам. инв. № | Основн. компл. работ, чертежей и текстов, док-ментов и проектной документации др. стад. проектиров. | Форма Ф09-79л-т2 | Взамен Ф09-78 | Нач. ОТП

Рис. П2-5

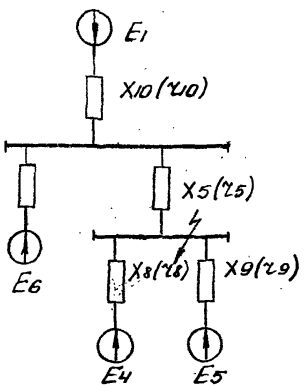
а). Расчетная схема



б). Схема замещения



в). Преобразованная после I этапа схема замещения

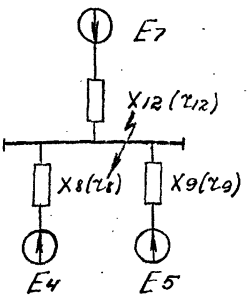


$X_{10} = X_1 + X_2 + X_3$

$X_{11} = X_6 // X_7 + X_4$

$E_6 = E_2 // E_3$

г). Окончательно преобразованная схема замещения



$X_{12} = X_{10} // X_{11} + X_5$.

$E_7 = E_1 // E_6$

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Основн. компл. работ, чертежей и текстов, документов и проектной документации др. стад. проектиров.	Форма	Взамен	Нач. ОТП
				Ф09-79л-т2	Ф09-78	

gost.e-ecolog.ru

М3662-9

Лист 8

Копировал Формат А1