

# **РУКОВОДЯЩИЕ УКАЗАНИЯ ПО ОГРАНИЧЕНИЮ ТОКОВ ОДНОФАЗНЫХ КОРОТКИХ ЗАМЫКАНИЙ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ 110 - 220 кВ ЭНЕРГОСИСТЕМ**

ИСПОЛНИТЕЛИ К.М. АНТИПОВ, В.М. МАКСИМОВ, В.Ф. МОГУЗОВ (Главтехуправление); Ч.М. ДЖУВАРЛЫ, Е.В. ДМИТРИЕВ, А.М. ГАШИМОВ (Институт физики АН АзССР); Г.А. ДОРФ, Ю.Н. ЛЬВОВ (ВНИИЭ); И.И. МАГДА (ПО "Днепроэнерго")

СОГЛАСОВАНЫ с Всесоюзным научно-исследовательским, проектно-конструкторским и технологическим институтом трансформаторостроения (ВИГ) 30.05.84

УТВЕРЖДЕНЫ Главным техническим управлением по эксплуатации энергосистем Минэнерго СССР 10.12.84

Начальник В.И. ГОРИН

Руководящие указания устанавливают основные положения по ограничению токов однофазных коротких замыканий в электрических сетях 110 - 220 кВ энергосистем Минэнерго СССР.

## **1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ**

1.1. Основной целью ограничения токов однофазных коротких замыканий (КЗ) является приведение их значений в соответствие с допустимыми, указанными в технических условиях и стандартах на проводники, аппараты и оборудование распределительных устройств электрических станций, подстанций и линий электропередачи, а также на повышение надежности работы названного оборудования.

1.2. Ограничение токов однофазных КЗ - в электрических сетях 110 кВ должно выполняться при их значениях, больших  $30 \div 35$  кА, а в электрических сетях 220 кВ - при токах, больших  $35 \div 40$  кА.

Ограничению подлежат также токи сквозных КЗ, протекающих через обмотки автотрансформаторов со средним напряжением до 220 кВ включительно, если их кратность на стороне среднего напряжения превышает 80 % допустимой по техническим условиям и стандартам при питании со стороны высокого напряжения и отсутствии нагрузки (источника питания) со стороны низшего напряжения.

1.3. В условиях Крайнего Севера ограничение токов однофазных КЗ должно выполняться, исходя из параметров оборудования и требований к охране окружающей среды.

1.4. При реализации мероприятий по ограничению токов однофазного КЗ должен соблюдаться системный подход к решению вопроса, при котором расстановке токоограничивающих устройств на объектах рассматриваемой энергосистемы должен предшествовать расчет токов КЗ во всей сети энергосистемы с учетом указанных устройств.

1.5. Значения эквивалентных сопротивлений на границах раздела энергосистемы, где проводятся мероприятия по ограничению тока КЗ, с соседними энергосистемами должны сообщаться последним не позднее, чем за 30 дн до ввода в работу токоограничивающих устройств.

## **2. РЕКОМЕНДУЕМЫЕ СПОСОБЫ ОГРАНИЧЕНИЯ ТОКОВ ОДНОФАЗНЫХ КЗ**

2.1. До внедрения в эксплуатацию аппаратов и оборудования, серийно выпускаемых и рассчитанных на воздействие существующих значений токов однофазных КЗ в электрических сетях 110 - 220 кВ, рекомендуется применять следующие способы их ограничения:

- деление сети;
- частичное разземление нейтралей трансформаторов;
- заземление нейтралей через реакторы.

2.2. При выборе способа ограничения токов однофазных КЗ следует исходить из следующих основных факторов:

- допустимых уровней повышения напряжения промышленной частоты на неповрежденных фазах сети;
- допустимых уровней напряжения на нейтралях трансформаторов и автотрансформаторов;
- допустимых параметров восстанавливающегося напряжения при отключении токов КЗ;
- обеспечения селективности и чувствительности защит;
- технических параметров, габаритных размеров и технико-экономических характеристик устройств для ограничения токов КЗ;
- надежности электроснабжения потребителей;
- наличия на объекте автотрансформаторов;
- наличия на стороне низшего напряжения трансформаторов на подстанциях, выполненных отпайками от ВЛ, генерирующих источников и электродвигателей большой мощности;
- технико-экономических показателей;
- ограничения по площади на действующем объекте.

2.3. Деление сети (стационарное и автоматическое) для ограничения токов КЗ должно выполняться в следующих случаях:

- деление существенно не снижает надежности работы сети, не увеличивает сквозных токов однофазного КЗ через автотрансформаторы свыше кратности, указанной в п. 1.2, и не вызывает увеличения параметров восстанавливающегося напряжения более значений, указанных в ГОСТ 687-78;
- ограничение тока однофазного КЗ в сочетании с опережающим делением при двух- и трехфазных КЗ неэффективно.

2.4. Частичное разземление нейтралей трансформаторов 110 кВ подстанций, выполненных на отпайках от ВЛ, допустимо при отсутствии на стороне низшего напряжения трансформатора генерирующих источников и электродвигателей большой мощности.

Частичное разземление нейтралей трансформаторов 110 кВ в распределительных устройствах электростанций допустимо при отсутствии на них автотрансформаторов связи с сетями других классов напряжения. При этом должны быть приняты меры, исключающие действия релейной защиты и системной автоматики, которые могут привести к выделению участков сети без трансформаторов с заземленными нейтральями; проверено отсутствие существенного возрастания параметров восстанавливающегося напряжения при отключении однофазного КЗ.

Разземленные нейтрали трансформаторов должны быть защищены вентильными разрядниками в соответствии с существующими нормативными документами, стандартами и техническими условиями на трансформаторы.

2.5. Заземление нейтралей трансформаторов 110 - 220 кВ и автотрансформаторов через реакторы рекомендуется осуществлять в распределительных устройствах электростанций и подстанций с автотрансформаторами, а также при отсутствии автотрансформаторов, если по условиям надежности частичное разземление нейтралей недопустимо.

### **3. ВЫБОР ТОКООГРАНИЧИВАЮЩИХ РЕАКТОРОВ И МЕСТ ИХ УСТАНОВКИ**

3.1. До проведения мероприятий по ограничению токов КЗ в электрической сети 110 - 220 кВ должен быть выполнен расчет токов однофазного КЗ для нормального

(максимального) режима и выявлены точки, в которых необходимо ограничение токов с учетом перспективы развития сети.

3.2. Расчет токов однофазного КЗ должен производиться для нормальной схемы сети. При расчете токов КЗ в сети, где выполнено деление КЗ, последнее не должно предусматриваться.

3.3. При выборе токоограничивающих реакторов необходимо руководствоваться следующим:

- уровень напряжения на нейтрали трансформатора или автотрансформатора при включении в нейтраль реактора в указанных ниже режимах (пп. 3.4, 3.5) не должен превышать приведенного в приложении 1 допустимого уровня напряжения с учетом его продолжительности;

- за расчетное время воздействия тока однофазного КЗ на реактор и длительность повышения напряжения частоты 50 Гц на нейтрали, на оборудовании и изоляции неповрежденных фаз должно приниматься время действия первых ступеней резервных токовых защит нулевой последовательности трансформаторов и автотрансформаторов;

- реактор, включаемый в нейтраль, должен длительно выдерживать прохождение тока естественной несимметрии сети, ограничивать ток КЗ до заданного значения, выдерживать воздействие токов КЗ, а также токов при неполнофазных режимах в сети в течение расчетного времени;

- при включении в нейтраль реакторов должно сохраняться эффективное заземление нейтрали автотрансформаторов (напряжение на неповрежденных фазах при однофазном КЗ, а также напряжение "фаза-земля" при неполнофазных режимах не должно во всех случаях превышать значения  $1,37 U_{ф.н.р.}$ , соответствующего напряжению гашения вентильных разрядников);

- при включении в нейтраль реактора для ограничения грозовых перенапряжений на нейтрали трансформаторов и автотрансформаторов параллельно реактору должна быть включена резисторная установка с номинальным значением сопротивления  $850 \pm 150 \text{ Ом}$  (приложение 1).

3.4. Расчетным режимом для определения значения сопротивления реактора, включаемого в нейтраль автотрансформатора со средним напряжением 220 кВ, и уровня напряжения на нейтрали является режим включения (трехфазного) автотрансформатора со стороны высокого напряжения на однофазное КЗ на стороне среднего напряжения.

3.5. Расчетным режимом для определения значения сопротивления реактора, включаемого в нейтраль автотрансформатора со средним напряжением 110 или 150 кВ, и уровня напряжения на нейтрали является сохранение эффективного заземления нейтрали автотрансформатора при отключении его со стороны среднего напряжения.

3.6. Значение индуктивного сопротивления токоограничивающего реактора, включаемого в нейтраль силового (блочного) трансформатора электростанции, выбирается из условия сохранения эффективного заземления нейтрали автотрансформаторов и рассматриваемого блочного трансформатора, а также ограничения напряжения на их нейтральных до уровня, не превышающего указанный в приложении 1.

3.7. Расчетные формулы и схемы замещения для определения значения индуктивного сопротивления токоограничивающих реакторов приведены в приложении 2.

Рекомендуемые значения индуктивных сопротивлений реакторов, рассчитанных при сопротивлениях примыкающей системы  $X_1 = X_2 = X_0 = 0$ , и типы реакторов, предназначенных для включения в нейтрали силовых (блочных) трансформаторов и автотрансформаторов, даны в приложении 3.

Значения индуктивных сопротивлений токоограничивающих реакторов рассчитаны на основе положений пп. 3.3 - 3.7 и значений предельных мощностей (токов) КЗ, указанных в технических условиях и стандартах на трансформаторы и автотрансформаторы.

Выбор значений сопротивлений реакторов более указанных в приложении 3 для соответствующих типов трансформаторов и автотрансформаторов не рекомендуется. При

необходимости более глубокого ограничения токов однофазных КЗ сопротивления реакторов могут быть приняты с учетом реального сопротивления прямой, обратной и нулевой последовательностей сети высшего напряжения. Расчет и выбор реакторов должен быть произведен с учетом изложенного в пп. 3.3 ÷ 3.6 и приложения 2. При этом необходимо корректировать значения сопротивлений реакторов по мере развития энергосистемы.

3.8. При выбранных значениях сопротивления и местах установки токоограничивающих реакторов должны быть произведены расчет токов однофазного КЗ в сети с учетом изложенного в п. 3.2 и сравнение их с допустимыми значениями.

3.9. В случаях, когда при исключении стационарного деления сети токи трехфазного КЗ становятся выше допустимых для оборудования, следует предусматривать опережающее деление сети при трехфазных и двухфазных КЗ.

3.10. При получении от установки реакторов большего, чем требуется эффекта токоограничения, целесообразно часть трансформаторов блоков электростанций (один-два) оставить с глухозаземленной нейтралью и повторно произвести расчет токов однофазного КЗ в сети.

3.11. Схема включения реакторов в нейтрали силовых трансформаторов и автотрансформаторов приведена на рис. 1.

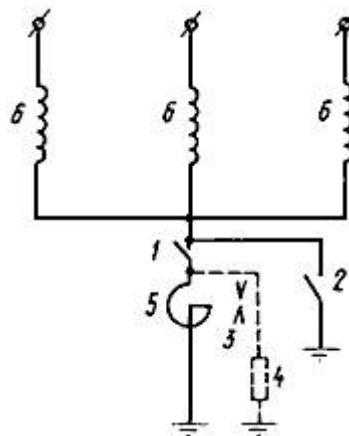


Рис. 1. Схема включения реакторов в нейтрали трансформаторов и автотрансформаторов:

- 1, 2 - разъединители РНД-35-100 УХЛ1;
- 3 - роговой разрядник (устанавливается при соответствующем обосновании);
- 4 - резисторная установка БРУ-Н; 5 - реактор ТРОС-35-Х-Х;
- 6 - фазные обмотки ВН трансформатора (автотрансформатора)

3.12. При выбранных значениях сопротивлений реакторов и местах их расстановки в сети 110 - 220 кВ следует:

- перестроить уставки релейных защит для обеспечения необходимой чувствительности;
- оценить (при необходимости) на "слабых связях" в электрических сетях влияние реакторов на статическую устойчивость параллельной работы при ОАПВ.

3.13. После выполнения токоограничивающих мероприятий в сети 110 - 220 кВ не допускается шунтирование в нормальном режиме реакторов, установленных в нейтралях автотрансформаторов.

3.14. Примеры выполнения токоограничивающих мероприятий и расчета их эффективности приведены в приложении 4.

3.15. Токоограничивающий реактор, устанавливаемый в нейтраль автотрансформатора (со средним напряжением 110 кВ) с вольтодобавочным трансформатором со стороны нейтрали, выбирается без учета трансформатора.

Значение сопротивления реактора, включаемого в нейтраль автотрансформатора со средним напряжением 150 кВ и вольтодобавочным трансформатором со стороны нейтрали, принимается вдвое меньшим, чем значение, полученное в соответствии с п. 3.5.

Выбор токоограничивающего реактора, устанавливаемого в нейтраль автотрансформатора со средним напряжением 220 кВ и вольтодобавочным трансформатором со стороны нейтрали, должен быть согласован с Главтехуправлением.

### Приложение 1

#### УРОВНИ ДОПУСТИМЫХ ЗНАЧЕНИЙ НАПРЯЖЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЧАСТОТЫ НА ОБОРУДОВАНИИ

Класс напряжения, кВ	Вид электрооборудования	Напряжение испытательное (1 мин), кВ	Допустимое напряжение	
			Длительность, с	Значение, кВ
110	Трансформаторы	85	0,1	85
			1,0	75
			3	65
			Длительно	40,5
		100	0,1	100
			1,0	90
			3	75
			Длительно	50
220	Трансформаторы и автотрансформаторы	85	0,1	85
			1,0	75
			3	65
			Длительно	40,5
		200	0,1	160
			1,0	140
			3	135
			Длительно	126
35	Токоограничивающие реакторы (ТРОС-35-Х-Х)	85 (80)*	0,1	-
			1,0	75
			3,0	65
			20	25
			Длительно	1,0-4,5**
35	Резисторная установка (БРУ-Н)	-	0,1	85
			1,0	75
			3,0	65
			20	25
			1800	4
			3600	3
			Длительно	1,5
			<p>* Испытательное напряжение (1 мин) внутренней изоляции реакторов (относительно корпуса).</p> <p>** Допустимое напряжение в зависимости от типа реактора.</p>	

### Приложение 2

#### РАСЧЕТНЫЕ ФОРМУЛЫ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЗНАЧЕНИЯ ИНДУКТИВНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ТОКООГРАНИЧИВАЮЩИХ РЕАКТОРОВ, ВКЛЮЧАЕМЫХ В НЕЙТРАЛИ АВТОТРАНСФОРМАТОРОВ

1. Режим при трехфазном включении автотрансформатора со стороны высокого напряжения на однофазное КЗ на стороне среднего напряжения 220 кВ.

Значение сопротивления (Ом) токоограничивающего реактора находится из выражения:

$$X_p = \frac{U_N [(X_{BC_1} + X_{BC_2} + X_{CO_0}) (X_{BO_0} + n^2 X_0 + X_{HO_0}) + (X_{BO_0} + n^2 X_0) X_{HO_0}]}{3(U_{BH_*} - U_N) (X_{BO_0} + n^2 X_0 - X_{CO_0} - X_{BC_1} - X_{BC_2})}, \quad (1.1)$$

где  $U_N$  - допустимое напряжение на нейтрали автотрансформатора, кВ ( $U_N = 65$  кВ);

$U_{BH_*}$  - номинальное фазное напряжение сети со стороны высшего напряжения автотрансформатора, кВ;

$X_{BO_0}$ ,  $X_{CO_0}$ ,  $X_{HO_0}$  - сопротивления схемы нулевой последовательности со стороны соответственно высшего, среднего и низшего напряжений автотрансформатора, Ом, представленного нетрадиционной схемой замещения (рис. 2);

$X_0$  - результирующее сопротивление нулевой последовательности сети высшего напряжения, приведенное к стороне среднего напряжения, Ом.

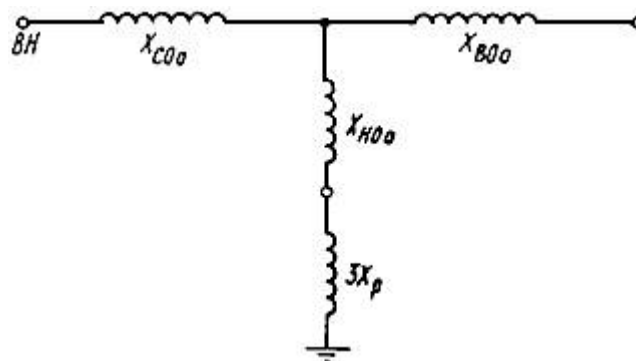


Рис. 2. Нетрадиционная схема замещения нулевой последовательности автотрансформаторов с реактором в нейтрали

$X_{BO_0}$ ,  $X_{CO_0}$ ,  $X_{HO_0}$  определяются по формулам:

$$X_{BO_0} = n^2 X_{BH} + (n-1)n \cdot X_{HH} \quad (1.2)$$

$$X_{CO_0} = -(n-1)X_{HH} + X_{CH} \quad (1.3)$$

$$X_{HO_0} = nX_{HH}, \quad (1.4)$$

где  $n$  - коэффициент трансформации автотрансформатора (ВН - СН).

$$n - 1 = \frac{U_{BH} - U_{CH}}{U_{CH}}$$

$X_{BH}$ ,  $X_{CH}$ ,  $X_{HH}$  - результирующие сопротивления схемы прямой (обратной) последовательности со стороны соответственно высшего, среднего и низшего напряжений автотрансформатора, представленного традиционной схемой замещения (рис. 3), приведенные к напряжению на стороне среднего напряжения, Ом;

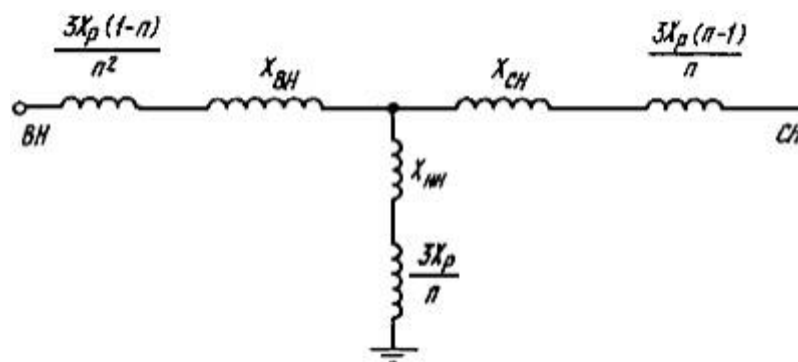


Рис. 3. Традиционная схема замещения нулевой последовательности автотрансформатора с реактором в нейтрали

$$\begin{aligned} X_{BC1} &= X_{BH1} + X_{CH1} + (X_1 - X_{1ГОСТ}) \\ X_{BC2} &= X_{BH2} + X_{CH2} + (X_2 - X_{2ГОСТ}), \end{aligned} \quad (1.5)$$

где  $X_1, X_2$  - соответствующие результирующие сопротивления прямой и обратной последовательностей сети высшего напряжения, приведенные к стороне среднего напряжения, Ом;

$X_{1ГОСТ}, X_{2ГОСТ}$  - сопротивления соответственно прямой и обратной последовательностей, определенные по нормируемым ГОСТ на автотрансформаторы значениям динамической устойчивости обмоток, приведенные к стороне среднего напряжения, Ом.

В приложении 3 приведены рекомендуемые значения индуктивных сопротивлений токоограничивающих реакторов, вычисленные по (1.1) и (1.6).

2. Режим после отключения автотрансформатора со средним напряжением 110 - 150 кВ со стороны среднего напряжения.

Значение сопротивления (Ом) токоограничивающего реактора находится из выражения:

$$X_p = \frac{(3X_{BC1} - X_{CO_0})(X_{BO_0} + X_{HO_0}) - X_{BO_0}X_{HO_0}}{3(X_{BC1} + X_{CO_0} + X_{HO_0})} \quad (1.6)$$

### Расчетные формулы для определения значения индуктивного сопротивления токоограничивающих реакторов, включаемых в нейтрали блочных трансформаторов электростанций

1. Значение сопротивления (Ом) токоограничивающего реактора, включаемого в нейтраль блочного трансформатора, принимается исходя из следующих выражений:

$$X_p \leq 3,7X_{T1} \quad (2.1)$$

- для трансформатора класса напряжения 110 кВ;

$$X_p \leq 3X_{T1} \quad (2.2)$$

- для трансформатора класса напряжения 150 кВ;

$$X_p \leq 2X_{T1} \quad (2.3)$$

- для трансформатора класса напряжения 220 кВ,

где  $X_{T1}$  - сопротивление прямой последовательности блочного трансформатора.

### Учет сопротивления реактора в традиционной схеме замещения нулевой последовательности автотрансформатора

1. Сопротивление реактора, включаемого в нейтраль автотрансформатора, учитывается в каждой из трех ветвей схемы замещения нулевой последовательности

автотрансформатора (см. рис. 3) с третичной обмоткой, соединенной в треугольник, значением, умноженным на соответствующий коэффициент: в ветвь ВН  $3X_p \cdot (1-n)$ , в ветвь СН  $3X_p \cdot (n-1)n$ , в ветвь НН -  $3X_p n$ , где сопротивления приведены к напряжению стороны ВН. При приведении сопротивлений к напряжению стороны СН значения следует разделить на  $n^2$ .

### Учет реактора в нетрадиционной схеме замещения нулевой последовательности автотрансформатора

1. При расчетах токов КЗ в схемах автотрансформаторов с сопротивлениями в нейтралях рекомендуется использовать новую схему замещения автотрансформатора, имеющую точку, в которой может быть определен потенциал нейтрали по отношению к земле. Она применима в схемах замещения всех последовательностей сети, в которой параметры сети со стороны высшего и среднего напряжения приведены каждая к своему классу напряжения.

2. Нетрадиционная схема нулевой последовательности представлена на рис. 2, а ее параметры находятся по выражениям (1.2), (1.3), (1.4).

### Приложение 3

Рекомендуемые значения индуктивных сопротивлений токоограничивающих реакторов, предназначенных для включения в нейтралю автотрансформаторов, приведены в табл. ПЗ.1.

Таблица ПЗ.1

Тип автотрансформатора	Рекомендуемое значение сопротивления реактора, Ом	Тип реактора
1. АДЦТН 125000/220	40	ТРОС-35-100-40
2. АДЦТН 200000/220	30	ТРОС-35-150-30
3. АДЦТН 250000/220	20	ТРОС-35-200-20
4. АДЦТН 125000/330	20	ТРОС-35-150-20
5. АДЦТН 200000/330	10	ТРОС-35-200-10
6. АДЦТН 250000/500	6	ТРОС-35-300-6
7. АДЦТ 250000/330	20/10*	ТРОС-35-150-20(10)
8. АДЦТ 240000/330	40	ТРОС-35-60-40
9. АОДЦТН 133000/330/220	20	ТРОС-35-100-20
10. АОДЦТН 167000/500	10	ТРОС-35-200-10
11. АОДЦТН 267000/500	6	ТРОС-35-300-6

\* Для автотрансформатора с вольтодобавочным трансформатором.

Рекомендуемые значения индуктивных сопротивлений токоограничивающих реакторов, предназначенных для включения в нейтралю блочных трансформаторов, приведены в табл. ПЗ.2

Таблица ПЗ.2

Тип трансформатора	Рекомендуемое значение сопротивления реактора, Ом	Тип реактора
1. ТДЦ 400000/110	10	ТРОС-35-100-10
2. ТДЦ 250000/110	20	ТРОС-35-100-20
3. ТДЦ 200000/110	20	ТРОС-35-50-20
4. ТДЦ 125000/110	30	ТРОС-35-50-30
5. ТЦ 400000/150	20	ТРОС-35-100-20
6. ТЦ 250000/150	30	ТРОС-35-50-30
7. ТДЦ 400000/220	20	ТРОС-35-50-20
8. ТДЦ 250000/220	40	ТРОС-35-50-40
9. ТДЦ 200000/220	40	ТРОС-35-50-40
10. ТДЦ 125000/220	40	ТРОС-35-50-40



## Приложение 4

### ПРИМЕРЫ РАСЧЕТА ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕРОПРИЯТИЙ ПО ОГРАНИЧЕНИЮ ТОКОВ ОДНОФАЗНОГО КЗ

#### 1. ГРЭС-1.

РУ 110 кВ ГРЭС содержит три блока по 50 МВт ( $B_1, B_2, B_3$ ), один блок 100 МВт ( $B_5$ ), два блока по 165 МВт ( $B_6, B_7$ ), два автотрансформатора связи 330/110 кВ по 200 МВ·А каждый ( $AT_1, AT_2$ ).

Ток однофазного КЗ на шинах 110 кВ ГРЭС составляет 37 кА, трехфазного - 31,5 кА. Номинальный ток отключения выключателей 110 кВ ГРЭС - 35 кА, поэтому в РУ 110 кВ ГРЭС необходимо ограничение токов однофазного КЗ.

В соответствии с приложением 3 для автотрансформаторов выбираем реакторы с сопротивлением  $X_{РАТ1} = X_{РАТ2} = 10$  Ом, для блоков 165 МВт:  $X_{РБ6} = X_{РБ7} = 20$  Ом, для блока 100 МВт:  $X_{РБ5} = 30$  Ом, для блока 50 МВт:  $X_{РБ1} = X_{РБ2} = X_{РБ3} = 40$  Ом.

Схемы замещения прямой, обратной и нулевой последовательностей сети 110 кВ ГРЭС представлены на рис. 4.

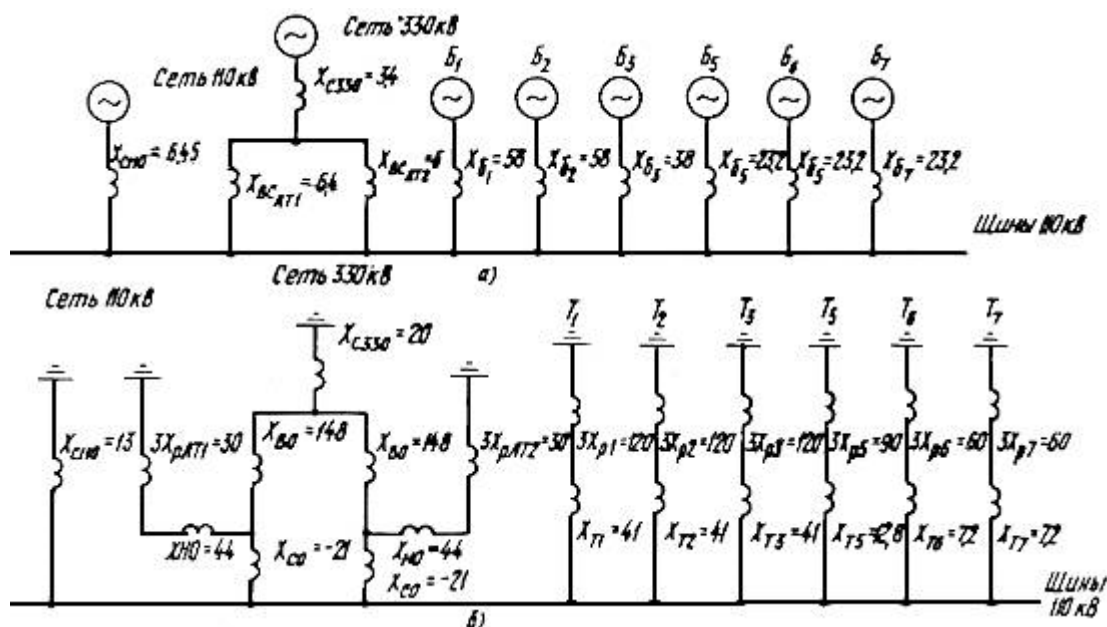


Рис. 4. Схемы замещения сети 110 кВ ГРЭС-1:

- а - схема прямой и обратной последовательностей (автотрансформаторы введены традиционной схемой);
- б - схема нулевой последовательности (автотрансформаторы введены нетрадиционной схемой)

Результирующее сопротивление схемы прямой последовательности равно  $X_1 = 2,1$  Ом, нулевой последовательности без реакторов - 1,2 Ом, с реактором - 4,8 Ом.

В результате включения токоограничивающих реакторов в нейтрали трансформаторов и автотрансформаторов ток однофазного КЗ на шинах 110 кВ ГРЭС уменьшается до 22 кА. Суммарный сквозной ток через автотрансформаторы  $AT_1$  и  $AT_2$  уменьшается с 12,75 до 7,5 кА, т.е. в 1,7 раза.

Если оставить глухо заземленными нейтрали трансформаторов  $T_1, T_2, T_3$  и  $T_5$ , то ток однофазного КЗ ограничится до 28 кА, а сквозной ток через автотрансформаторы в выводах СН ограничится в 1,6 раза.

#### 2. ГРЭС-2.

РУ 220 кВ ГРЭС содержит четыре блока по 300 МВт ( $B_1, B_2, B_3, B_4$ ), два автотрансформатора 500/220 кВ по  $3 \times 267$  МВ·А каждый. К третичной обмотке каждого автотрансформатора подключен генератор 300 МВт. Ток однофазного КЗ на шинах 220 кВ

ГРЭС составляет 45,7 кА, трехфазного - 37 кА. Номинальный ток отключения выключателей - 40 кА. Поэтому на ГРЭС необходимо ограничение тока однофазного КЗ.

В соответствии с приложением 3 для автотрансформаторов выбираем реакторы с сопротивлением  $X_{РАТ} = 6$  Ом, для блоков 300 МВт:  $X_{РБ1} = X_{РБ2} = X_{РБ3} = X_{РБ4} = 30$  Ом.

Схемы замещения прямой, обратной и нулевой последовательностей сети 220 кВ ГРЭС представлены на рис. 5.

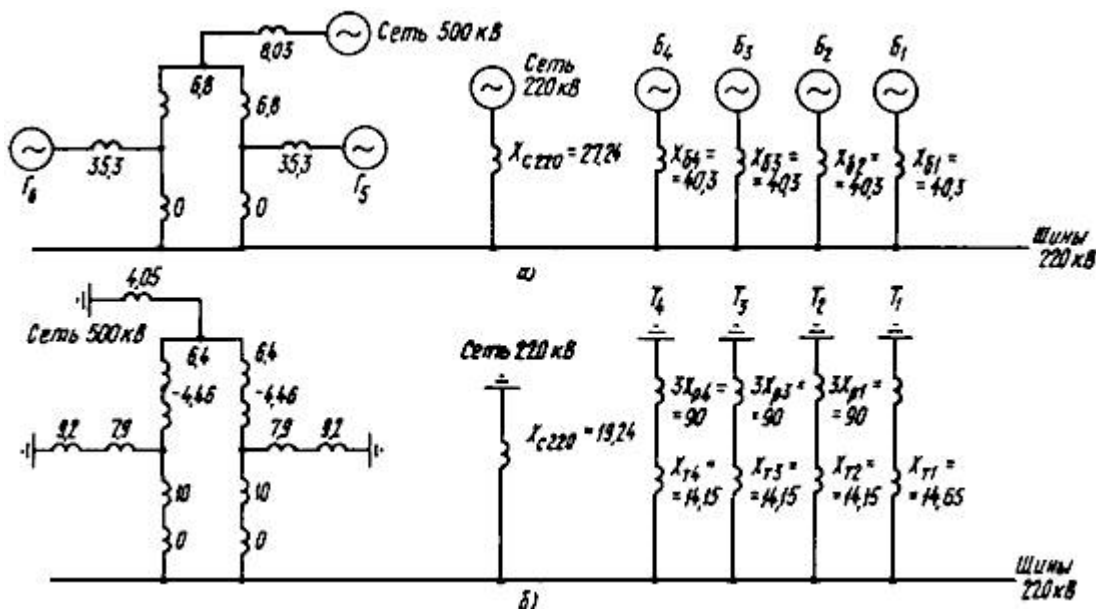


Рис. 5. Схемы замещения сети 220 кВ ГРЭС-2:

- а - схема прямой и обратной последовательностей (автотрансформаторы введены традиционной схемой);
- б - схема нулевой последовательности (автотрансформаторы введены традиционной схемой)

Результирующее сопротивление схемы прямой последовательности равно 3,6 Ом, нулевой последовательности без реакторов - 1,52 Ом, с реакторами - 4,72 Ом.

В результате включения токоограничивающих реакторов ток однофазного КЗ на шинах 220 кВ ГРЭС уменьшается до 33,4 кА. Суммарный сквозной ток через автотрансформаторы АТ<sub>1</sub> и АТ<sub>2</sub> уменьшается с 25 до 17,3 кА, т.е. почти в 1,5 раза.

### 3. Подстанция 330 кВ.

РУ 330 кВ содержит один автотрансформатор 330/110 кВ 200 МВ·А и два автотрансформатора 330/110 кВ по 125 МВ·А. Ток однофазного КЗ на шинах 110 кВ РУ составляет 15,2 кА. Кратность сквозных токов в общих обмотках автотрансформаторов при однофазном КЗ близка к нормированному значению динамической стойкости. В соответствии с приложением 3 для автотрансформатора 200 МВ·А выбирается реактор с сопротивлением 10 Ом, для автотрансформаторов 125 МВ·А - реакторы по 20 Ом. Заземление нейтрали автотрансформаторов через реакторы ограничивает сквозной ток КЗ в общих обмотках в 1,5 раза. Наибольшее напряжение на нейтрали автотрансформатора при однофазном КЗ на шинах 110 кВ составляет 27 кВ.

Схемы замещения для расчетов токов КЗ и напряжения на нейтрали представлены на рис. 6.

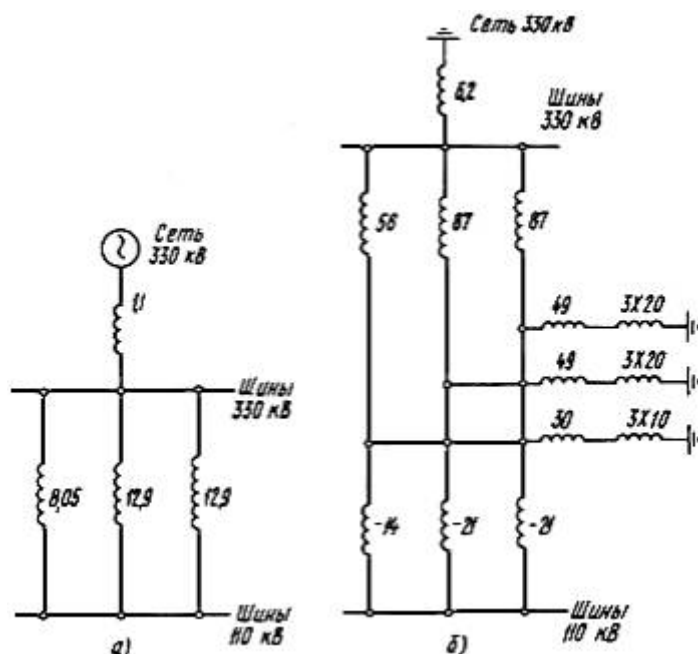


Рис. 6. Схемы замещения участка сети, примыкающего к подстанции 330 кВ:

а - схема прямой и обратной последовательностей;

б - схема нулевой последовательности (автотрансформаторы введены нетрадиционной схемой)

### Содержание

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

2. РЕКОМЕНДУЕМЫЕ СПОСОБЫ ОГРАНИЧЕНИЯ ТОКОВ ОДНОФАЗНЫХ КЗ

3. ВЫБОР ТОКООГРАНИЧИВАЮЩИХ РЕАКТОРОВ И МЕСТ ИХ УСТАНОВКИ

Приложение 1 УРОВНИ ДОПУСТИМЫХ ЗНАЧЕНИЙ НАПРЯЖЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЧАСТОТЫ НА ОБОРУДОВАНИИ

Приложение 2 РАСЧЕТНЫЕ ФОРМУЛЫ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЗНАЧЕНИЯ ИНДУКТИВНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ТОКООГРАНИЧИВАЮЩИХ РЕАКТОРОВ, ВКЛЮЧАЕМЫХ В НЕЙТРАЛИ АВТОТРАНСФОРМАТОРОВ

Приложение 3

Приложение 4 ПРИМЕРЫ РАСЧЕТА ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕРОПРИЯТИЙ ПО ОГРАНИЧЕНИЮ ТОКОВ ОДНОФАЗНОГО КЗ