

МЕЖГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ

**КОРОТКИЕ ЗАМЫКАНИЯ
В
ЭЛЕКТРОУСТАНОВКАХ**

**МЕТОДЫ РАСЧЕТА В ЭЛЕКТРОУСТАНОВКАХ
ПЕРЕМЕННОГО ТОКА НАПРЯЖЕНИЕМ ДО 1 кВ**

Издание
официальное

МЕЖГОСУДАРСТВЕННЫЙ СОВЕТ ПО СТАНДАРТИЗАЦИИ,
МЕТРОЛОГИИ И СЕРТИФИКАЦИИ
Минск

Предисловие

1 РАЗРАБОТАН Госстандартом России

ВНЕСЕН Техническим секретариатом Межгосударственного Совета по стандартизации, метрологии и сертификации

2 ПРИНЯТ Межгосударственным Советом по стандартизации, метрологии и сертификации 21 октября 1993 г.

За принятие проголосовали:

Наименование государства	Наименование национального органа по стандартизации
Республика Беларусь	подстандарт
Республика Кыргызстан	Кыргызстандарт
Республика Молдова	М о л д с в а с т а к д а р т
Российская Федерация	Госстандарт России
Республика Таджикистан	Таджикстандарт
Туркменией и	Т у р к м с н г л а в г о с и н с п е к ц и я
Украина	Госстандарт Украины

3 ВВЕДЕН ВЗАМЕН ГОСТ Р 50270—92

© Издательство стандартов, 1994

Настоящий стандарт не может быть полностью или частично воспроизведен, тиражирован и распространен в качестве официального издания без разрешения Технического секретариата Межгосударственного Совета по стандартизации, метрологии и сертификации

КОРОТКИЕ ЗАМЫКАНИЯ
В ЭЛЕКТРОУСТАНОВКАХМетоды расчета в электроустановках
переменного тока напряжением до 1 кВ

ГОСТ 28249 __ 93

Short-circuits in electrical installations.
Calculation methods in a. c. electrical instalations
with voltage below 1 kV

ОКП 34 0900

Дата введения 01.01.95

Настоящий стандарт распространяется на трехфазные электроустановки напряжением до 1 кВ промышленной частоты, соединенные к энергосистеме или к автономным источникам электроэнергии, устанавливает общую методику расчета токов симметричных и несимметричных коротких замыканий (КЗ) в начальный и произвольный момент времени с учетом параметров синхронных и асинхронных машин, трансформаторов, реакторов, кабельных и воздушных линий, шинопроводов и узлов комплексной нагрузки.

Стандарт не устанавливает методику расчета токов:

— при сложных несимметриях в электроустановках (например, одновременное КЗ и обрыв проводника фазы), при повторных КЗ и при КЗ в электроустановках с нелинейными элементами;

— при электромеханических переходных процессах с учетом изменения частоты вращения электрических машин;

— при КЗ внутри электрических машин и трансформаторов.

Пункты 1.5, 1.7, 2.4.2, 2.11, 2.12, 3.6 и приложения являются рекомендуемыми, остальные пункты — обязательными.

Издание официальное

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1. Настоящий стандарт устанавливает общую методику расчета токов в электроустановках переменного тока напряжением

до 1 кВ, необходимых для выбора и проверки электрооборудования по условиям КЗ, для выбора коммутационных аппаратов, уставок релейной защиты и заземляющих устройств.

1.2. Стандарт устанавливает методику расчетов максимальных и минимальных значений тока при симметричных и несимметричных КЗ, виды которых определены в соответствии с ГОСТ 26522.

1.3. Величины, подлежащие расчету, и допускаемая погрешность их расчета зависят от указанных п. 1.1 целей.

Допускаются упрощенные методы расчетов токов КЗ, если их погрешность не превышает 10%.

Расчету для выбора и проверки электрооборудования по условиям КЗ подлежат:

- 1) начальное значение периодической составляющей тока КЗ;
- 2) апериодическая составляющая тока КЗ;
- 3) ударный ток КЗ;
- 4) действующее значение периодической составляющей тока КЗ в произвольный момент времени, вплоть до расчетного времени размыкания поврежденной цепи.

Для других целей, указанных в п. 1.1, расчету подлежат максимальное и минимальное значения периодической составляющей тока в месте КЗ в начальный и произвольный момент времени, вплоть до расчетного времени размыкания поврежденной цепи. Для целей выбора заземляющих устройств расчету подлежит значение тока однофазного КЗ.

1.4. При расчетах токов КЗ в электроустановках до 1 кВ необходимо учитывать:

- 1) индуктивные сопротивления всех элементов короткозамкнутой цепи, включая силовые трансформаторы, проводники, трансформаторы тока, реакторы, токовые катушки автоматических выключателей;
- 2) активные сопротивления элементов короткозамкнутой цепи;
- 3) активные сопротивления различных контактов и контактных соединений;
- 4) значения параметров синхронных и асинхронных электродвигателей.

1.5. При расчетах токов КЗ рекомендуется учитывать:

- 1) сопротивление электрической дуги в месте КЗ;
- 2) изменение активного сопротивления проводников короткозамкнутой цепи вследствие их нагрева при КЗ;
- 3) влияние комплексной нагрузки (электродвигатели, преобразователи, термические установки, лампы накаливания) на ток КЗ, если номинальный ток электродвигателей нагрузки превышает 1,0 % начального значения периодической составляющей тока КЗ, рассчитанного без учета нагрузки.

1.6. При расчетах токов КЗ допускается:

- 1) максимально упрощать и эквивалентировать всю внешнюю сеть по отношению к месту КЗ и индивидуально учитывать только автономные источники электроэнергии и электродвигатели, непосредственно примыкающие к месту КЗ;
- 2) не учитывать ток намагничивания трансформаторов;
- 3) не учитывать насыщение магнитных систем электрических машин;
- 4) принимать коэффициенты трансформации трансформаторов равными отношению средних номинальных напряжений тех ступеней напряжения сетей, которые связывают трансформаторы. При этом следует использовать следующую шкалу средних номинальных напряжений: 37; 24; 20; 15,75; 13,8; 10,5; 6,3; 3,15; 0,69; 0,525; 0,4; 0,23 кВ;
- 5) не учитывать влияния асинхронных электродвигателей, если их суммарный номинальный ток не превышает 1,0 % начального значения периодической составляющей тока в месте КЗ, рассчитанного без учета электродвигателей,

1.7. Токи КЗ в электроустановках напряжением до 1 кВ рекомендуется рассчитывать в именованных единицах.

При составлении эквивалентных схем замещения параметры элементов исходной расчетной схемы следует приводить к ступени напряжения сети, на которой находится точка КЗ, а активные и индуктивные сопротивления всех элементов схемы замещения выражать в миллиомах.

1.8. При расчете токов КЗ в электроустановках, получающих питание непосредственно от сети энергосистемы, допускается считать, что понижающие трансформаторы подключены к источнику неизменного по амплитуде напряжения через эквивалентное индуктивное сопротивление системы. Значение этого сопротивления (X_c) в миллиомах, приведенное к ступени низшего напряжения сети, рассчитывают по формуле

$$X_c = \frac{U^2}{\sqrt{3} V_H \sum_{k=1}^n \frac{1}{V_{Hk}^2}} \quad \text{Ю-з} , \quad (1)$$

где $U_{ср.нн}$ — среднее номинальное напряжение сети, подключенной к обмотке низшего напряжения трансформатора, В;

$U_{ср.вн}$ — среднее номинальное напряжение сети, к которой подключена обмотка высшего напряжения трансформатора, В;

$I_{к.вн} = I_{повн}$ — действующее значение периодической составляющей тока при трехфазном КЗ у выводов обмотки высшего напряжения трансформатора, кА;

S_k — условная мощность короткого замыкания у выводов обмотки высшего напряжения трансформатора, МВ*А.

При отсутствии указанных данных эквивалентное индуктивное сопротивление системы в миллиомах допускается рассчитывать по формуле

$$X_c = \frac{1}{\sqrt{3}} \frac{U_{ср.вн}^2}{I_{откл.ном} \cdot S_{сп.вн}} \quad (12)$$

где $I_{откл.ном}$ — номинальный ток отключения выключателя, установленного на стороне высшего напряжения понижающего трансформатора цепи.

Примечание. В случаях, когда понижающий трансформатор подключен к сети энергосистемы через реактор, воздушную или кабельную линию (длиной более 1 км) необходимо учитывать не только индуктивные, но и активные сопротивления этих элементов.

1.9. При расчете токов КЗ в электроустановках с автономными источниками электроэнергии необходимо учитывать значения параметров всех элементов автономной электрической системы, включая автономные источники (синхронные генераторы), распределительную сеть и потребители.

2. РАСЧЕТ СОПРОТИВЛЕНИЙ РАЗЛИЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ЭЛЕКТРОУСТАНОВКИ

2.1. Активное и индуктивное сопротивления силовых трансформаторов

2.1.1. Активное и индуктивное сопротивления прямой последовательности понижающих трансформаторов (R_T, X_m) в миллиомах, приведенные к ступени низшего напряжения сети, рассчитывают по формулам:

$$R_T = \frac{P_{к.ном}}{S_{Т.НОМ}^2} \frac{U_{НН.НОМ}^2}{10^6} \quad (3)$$

$$X_T = \frac{10^4 P_{к.ном}}{S_{Т.НОМ}^2} \frac{U_{НН.НОМ}^2}{10^6} \quad (4)$$

где $S_{т.ном}$ — номинальная мощность трансформатора, кВ*А;

$P_{к.ном}$ — потери короткого замыкания в трансформаторе, кВт;

($U_{н.ном}$ — номинальное напряжение обмотки низшего напряжения трансформатора, кВ;

u_k — напряжение короткого замыкания трансформатора, %.

2.1.2. Активные и индуктивные сопротивления нулевой последовательности понижающих трансформаторов, обмотки которых соединены по схеме Д/У₀, при расчете КЗ в сети низшего напряжения следует принимать равными соответственно активным и индуктивным сопротивлениям прямой последовательности. При других схемах соединения обмоток трансформаторов активные и индуктивные сопротивления нулевой последовательности необходимо принимать в соответствии с указаниями изготовителей.

2.2. Активное и индуктивное сопротивления реакторов

2.2.1. Активное сопротивление токоограничивающих реакторов ($I_{ip} — I_{*2p} = G_{op}$) в миллиомах рассчитывают по формуле

$$I_{ip} = \frac{D P_{p.ном}}{I_{p.ном}^2} \cdot 10^8, \quad (5)$$

где $D P_{p.ном}$ — потери активной мощности в фазе реактора при номинальном токе, Вт;

$I_{p.ном}$ — номинальный ток реактора, А.

2.2.2. Индуктивное сопротивление реакторов ($X_{1p} = X_{2p} = X_{0p}$) в миллиомах принимают как указано изготовителем или рассчитывают по формуле

$$X_{1p} = (\omega(L - M)) \cdot 10^3, \quad (6)$$

где ω — угловая частота напряжения сети, рад/с;

L — индуктивность катушки трехфазного реактора, Гн;

M — взаимная индуктивность между фазами реактора, Гн.

2.3. Активное и индуктивное сопротивления шинопроводов

При определении активного и индуктивного сопротивлений прямой и нулевой последовательностей шинопроводов следует использовать данные завода изготовителя, эксперимента или применять расчетный метод. Рекомендуемый метод расчета сопротивлений шинопроводов и параметры некоторых комплектных шинопроводов приведены в приложении 1.

2.4. Активное и индуктивное сопротивление кабелей

2.4.1. Значения параметров прямой (обратной) и нулевой последовательности кабелей, применяемых в электроустановках до 1 кВ, принимают, как указано изготовителем или в приложении 2.

2.4.2. При определении минимального значения тока КЗ рекомендуется учитывать увеличение активного сопротивления кабеля к моменту отключения цепи вследствие нагревания кабеля током КЗ. Значение активного сопротивления кабеля в миллиомах с учетом нагрева его током КЗ (r_g) рассчитывают по формуле

$$r_g^* = r_g \cdot c_s \quad (7)$$

где c_s — коэффициент, учитывающий увеличение активного сопротивления кабеля. При приближенных расчетах значение коэффициента c_s допускается принимать равным 1.5. При уточненных расчетах коэффициент c_s следует определять в соответствии с черт. 5—8 приложения 2 в зависимости от материала и сечения жил кабеля, тока КЗ и продолжительности КЗ;

r_g^* — активное сопротивление кабеля при температуре Φ_0 , равный плюс 20 °С, мОм.

2.5. Активное и индуктивное сопротивления воздушных линий и проводов

Методика расчета параметров воздушных линий и проводов приведена в приложении 3.

2.6. Активные сопротивления контактов и контактных соединений

Переходное сопротивление электрических контактов любого вида следует определять на основании данных экспериментов или с использованием расчетных методик. Данные о контактных соединениях приведены в приложении 4. При приближенном учете сопротивлений контактов принимают: $r_k = 0,1$ мОм — для контактных соединений кабелей; $r_k = 0,01$ мОм — для шинопроводов; $r_k = 1,0$ мОм — для коммутационных аппаратов.

2.7. Активные и индуктивные сопротивления трансформаторов тока

При расчете токов КЗ в электроустановках напряжением до 1 кВ следует учитывать как индуктивные, так и активные сопротивления первичных обмоток всех многовитковых измерительных трансформаторов тока, которые имеются в цепи КЗ. Значения активных и индуктивных сопротивлений нулевой последовательности принимают равными значениям сопротивлений прямой последовательности. Параметры некоторых многовитковых трансформаторов тока приведены в приложении 5. Активным и индуктивным сопротивлением одновитковых трансформаторов (на токи более 500 А) при расчетах токов КЗ можно пренебречь.

2.8. Активные и индуктивные сопротивления катушек автоматических выключателей

Расчеты токов КЗ в электроустановках напряжением до 1 кВ следует вести с учетом индуктивных и активных сопротивлений

катушек (расцепителей) максимального тока автоматических выключателей, принимая значения активных и индуктивных сопротивлений нулевой последовательности равными соответствующим сопротивлениям прямой последовательности. Значения сопротивлений катушек расцепителей и контактов некоторых автоматических выключателей приведены в приложении 6.

2.9. Параметры автономных источников электроэнергии и синхронных электродвигателей

При расчете начального значения периодической составляющей тока КЗ автономные источники, а также синхронные электродвигатели следует учитывать сверхпереходным сопротивлением по продольной оси ротора (x^{\wedge}), а при определении постоянной времени затухания апериодической составляющей тока КЗ — индуктивным сопротивлением для токов обратной последовательности x_2 и активным сопротивлением обмотки статора $г$. При

приближенных расчетах принимают: $X_{\text{тф}}(\text{НОМ}) = 0,15$; $x_2 = x_c$; $г = 0,15^*$.

2.10. Параметры асинхронных электродвигателей

При расчетах начального значения периодической составляющей тока КЗ от асинхронных электродвигателей последние следует вводить в схему замещения сверхпереходным индуктивным сопротивлением. При необходимости проведения уточненных расчетов следует также учитывать активное сопротивление статора. Их значения рекомендуется определять, как указано в приложении 7. При приближенных расчетах принимают: сверхпереходное индуктивное сопротивление асинхронного двигателя

$X_{\text{ад}}(\text{НОМ}) = 0,18$; активное сопротивление статора асинхронного

двигателя $г_{\text{дд}} = 0,36х_{\text{дд}}$

2.11. Расчетные параметры комплексных нагрузок

2.11.1. При расчете токов КЗ от комплексных нагрузок следует учитывать их параметры прямой, обратной и нулевой последовательностей. Рекомендуемые значения сопротивлений прямой (Z_1) и обратной (Z_2) последовательностей отдельных элементов комплексной нагрузки приведены в табл. 1. Значения модулей полных сопротивлений прямой ($Z_{\text{щг}}$), обратной ($Z_{2\text{нг}}$) и нулевой ($Z_{0\text{нг}}$) последовательностей некоторых узлов нагрузки в зависимости от их состава допускается определять, как указано в приложении 8.

Таблица 1

Параметры элементов комплексной нагрузки

Потребители комплексной нагрузки	Обозначения на схемах	C05φ _{ном}	Значения сопротивлений, отн. ед.	
			Z _L *	*
Асинхронные электродвигатели	АД	0,8	0,07H-/0.1'8	0,07+/-0Дв
Синхронные электродвигатели	сд	0,9	0,034-/0,16	0.03+/-0Д6
Лампы накаливания	лн	1.0	1.0	1,36
Газоразрядные источники света	лг	0,86	0,85-1- /0,53	0,38-}/-0,24
Преобразователи	п	од	0,9 +/-0,44	1,66+/-0,81
Электротермические установки	ЭУ	0,9	1 + /0,40	0,4 +/-0,2

2.11.2. В приближенных расчетах для узлов, содержащих до 70 % асинхронных двигателей, допускается значения модулей полных сопротивлений комплексной нагрузки принимать равными $Z_{jHr}—Z_{2Hr} = 0,4$; $Z_{oHr} = 3,0$.

2.12. Активное сопротивление дуги в месте КЗ

При определении минимального значения тока КЗ следует учитывать влияние на ток КЗ активного сопротивления электрической дуги в месте КЗ.

Приближенные значения активного сопротивления дуги приведены в табл. 2.

Для других расчетных условий КЗ значения активного сопротивления дуги допускается рассчитывать, по приложению 9.

3. РАСЧЕТ НАЧАЛЬНОГО ЗНАЧЕНИЯ ПЕРИОДИЧЕСКОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ТОКА ТРЕХФАЗНОГО КЗ

3.1. Методика расчета начального действующего значения периодической составляющей тока КЗ в электроустановках до 1 кВ зависит от способа электроснабжения — от энергосистемы или от автономного источника.

3.2. При электроснабжении электроустановки от энергосистемы через понижающий трансформатор начальное действующее значение периодической составляющей трехфазного тока КЗ

Значения активного сопротивления дуги

Расчетные условия КЗ	Активное сопротивление дуги (г _д), мОм, при (КЗ за трансформаторами мощностью, кВ-А					
	250	400	630	1000	1600	2500
КЗ вблизи выводов низшего напряжения трансформатора: — в разделке кабелей напряжением: 0,4 кВ 0,525 кВ 0,69 кВ — в шинпроводе ти- па ШМА напряжени- ем: 0,4 кВ 0,525 кВ 0,69 кВ КЗ в конце шино- провода типа ШМА длиной 100—150 м напряжением: 0,4 кВ 0,525 кВ 0,69 кВ	15	10	7	5	4	3
	14	8	6	4/5	3,5	2,5
	12	7	5	4	3	2
	—	—	—	6	4	3
	—	—	—	5	3,5	2,5
	—	—	—	4	3	2
	—	—	—	6—8	5—7	4—6
	—	—	—	5-7	4—6	3—6
	—	—	—	4—6	3'—5	2—4
	—	—	—	—	—	—
	—	—	—	—	—	—
	—	—	—	—	—	—

(/по) в килоамперах без учета подпитки от электродвигателей рассчитывают по формуле

где $U_{ср.нн}$ — среднее номинальное напряжение сети, в которой произошло короткое замыкание, В;

—соответственно суммарное активное и суммарное индуктивное сопротивления прямой последовательности цепи КЗ, мОм. Эти сопротивления равны:

$$G_{xx} = G_{т-р} + G_{р4} + G_{ТА} + G_{кв} + G_{ш} + G_{К+} + iK6 + G_{вл} + G_{д}$$

$$X_{\text{л}} = X_{т-р} + X_{р4} + X_{ТА} + X_{кв} + X_{ш} + X_{К+} + iK6 + X_{вл} + X_{д}$$

где $G_{т}$ и $X_{т}$ — активное и индуктивное сопротивления прямой последовательности понижающего трансформатора, мОм;

z_{TA} и x_{TA} — активное и индуктивное сопротивления первичных обмоток трансформаторов тока, МОм;

x_c — эквивалентное индуктивное сопротивление системы до понижающего трансформатора, МОм, приведенное к ступени низшего напряжения;

r_p — активное и индуктивное сопротивления реакторов, МОм;

r_{KB} и x_{KB} — активное и индуктивное сопротивления токовых катушек автоматических выключателей, МОм;

$r_{шц}$ и $x_{шц}$ — активное и индуктивное сопротивления шинпроводов, МОм;

r_k — суммарное активное сопротивление различных контактов, МОм;

r_{1KB} , $z_{вЛ}$ и x_{1KB} , $x_{вЛ}$ — активные и индуктивные сопротивления прямой последовательности кабельных и воздушных линий, МОм;

r_d — активное сопротивление дуги в месте КЗ, МОм, принимаемое по данным табл. 2 или рассчитываемое как указано в приложении 9, в зависимости от условий КЗ.

3.3. Если электроснабжение электроустановки осуществляется от энергосистемы через понижающий трансформатор и вблизи места КЗ имеются синхронные и асинхронные электродвигатели или комплексная нагрузка, то начальное действующее значение периодической составляющей тока КЗ с учетом подпитки от электродвигателей или комплексной нагрузки следует определять как сумму токов от энергосистемы (см. п. 3.2) и от электродвигателей или комплексной нагрузки.

Начальное действующее значение периодической составляющей тока КЗ от синхронных электродвигателей ($I_{посд}$) в килоамперах рассчитывают по формуле

$$I_{посд} = \frac{E''}{\sqrt{(\Gamma_{сд} + \Gamma)^2 + X_d^2}}$$

где E'' — сверхпереходная ЭДС синхронного электродвигателя (фазное значение), В;

X_d и $\Gamma_{сд}$ — соответственно сверхпереходное индуктивное и активное сопротивления электродвигателя, МОм;

значения этих сопротивлений допускается определять как указано в п. 2.9;

x_{Σ} и G_{12} — суммарное индуктивное и суммарное активное сопротивления прямой последовательности цепи, включенной между электродвигателем и точкой КЗ, мОм.

Для синхронных электродвигателей, которые до КЗ работали с перевозбуждением, сверхпереходную ЭДС ($E_{ф.сд}$) в вольтах рассчитывают по формуле

$$E_{ф.сд} = \frac{U_{ф} |I_0| + I_0 \frac{U_{ф}}{\sin(\rho_0)} - I_0 \omega \cdot r_f \cos(\rho_0)}{\sin(\rho_0)}, \quad (Ю)$$

где $U_{ф}$ — фазное напряжение на выводах электродвигателя в момент, предшествующий КЗ, В;

I_0 — ток статора в момент, предшествующий КЗ, А;

ρ_0 — угол сдвига фаз напряжения и тока в момент, предшествующий КЗ, град, эл.;

X_d — сверхпереходное сопротивление по продольной оси синхронного электродвигателя, мОм.

Для синхронных электродвигателей, работавших до КЗ с не перевозбуждением, сверхпереходную ЭДС ($E_{ф.сд}$) в вольтах рассчитывают по формуле

$$E_{ф.сд} = \sqrt{\left(\frac{U_{ф}}{\sin(\rho_0)} - I_0 X_d \sin(\rho_0) \right)^2 + \left(I_0 r_f \cos(\rho_0) \right)^2}. \quad (И)$$

Начальное действующее значение периодической составляющей тока КЗ от асинхронных электродвигателей ($I_{пОАД}$) в килоамперах рассчитывают по формуле

$$I_{пОАД} = \frac{U_{ф.А}}{\sqrt{X_{дд}^2 + (G_{дд} + G_{1X})^2}} \quad (12)$$

где $X_{дд}$ и $G_{дд}$ — соответственно сверхпереходное индуктивное и активное сопротивления электродвигателя, мОм; значения этих сопротивлений допускается определять, как указано в п. 2.10;

$E_{ф.дд}$ — сверхпереходная ЭДС асинхронного электродвигателя, которую можно рассчитать по формуле

$$E_{ф.Ад} = U_{ф} \sqrt{\left(\cos(\rho_0) - I_0 G_{дд} \right)^2 + \left(I_0 \sin(\rho_0) - I_0 X_{дд} \right)^2} \quad (13)$$

При необходимости учета комплексной нагрузки соответствующее начальное действующее значение периодической сос-

ставляющей тока КЗ следует рассчитывать, как указано в приложении 10.

3.4. В электроустановках с автономными источниками электроэнергии начальное действующее значение периодической составляющей тока КЗ без учета подпитки от электродвигателей ($I_{\text{по}}$) в килоамперах рассчитывают по формуле

$$I_{\text{по}}^3 = \frac{E_{\text{ф}}^2}{\sqrt{r_{1\Sigma}^2 + x_{1\Sigma}^2}}, \quad (14)$$

где $r_{1\Sigma}$ и $x_{1\Sigma}$ — соответственно суммарное активное и суммарное индуктивное сопротивление цепи КЗ, мОм. Эти сопротивления равны:

$$r_{12} = r_{\text{ТА}} + r_{\text{кв}} + r_{\text{ш}} + r_{\text{к}} + r_{\text{б}} + r_{\text{вл}}$$

$$x_{12} = x_{\text{Нл}} + x_{\text{ТА}} + x_{\text{кв}} + x_{\text{ш}} + x_{\text{к}} + x_{\text{б}} + x_{\text{вл}}$$

где $E_{\text{ф}}$ — эквивалентная сверхпереходная ЭДС (фазное значение), В; значение этой ЭДС следует рассчитывать так же, как и для синхронных электродвигателей (см. п. 3.3).

3.5. При необходимости учета синхронных и асинхронных электродвигателей или комплексной нагрузки в автономной электрической системе начальное действующее значение периодической составляющей тока КЗ следует определять как сумму токов от автономных источников (см. п. 3.4) и от электродвигателей или комплексной нагрузки (см. п. 3.3).

3.6. При необходимости учета влияния на ток КЗ активного сопротивления электрической дуги рекомендуется использовать указания приложения 9 (п. 4).

4. РАСЧЕТ АПЕРИОДИЧЕСКОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ТОКА КЗ

4.1. Наибольшее начальное значение аperiodической составляющей тока КЗ ($I_{\text{ао}}$) в общем случае считают равным амплитуде периодической составляющей тока в начальный момент КЗ

$$I_{\text{ао}} = K_{27} I_{\text{п}} \quad (15)$$

4.2. В радиальных сетях аperiodическую составляющую тока КЗ в произвольный момент времени ($t_{\text{ат}}$) рассчитывают по формуле

$$I_{\text{ат}} = I_{\text{ао}} e^{-t_{\text{ат}}/\tau_a}, \quad (16)$$

где t — время, с;

T_a — постоянная времени затухания
ляющей тока КЗ с, равная

апериодической состав-

(17)

где $x\%$ и — результирующие индуктивное и активное сопро-
тивления цепи КЗ, мОм;

ω — синхронная угловая частота напряжения се-
ти, рад/с.

При определении $x\%$ и ω синхронные генераторы, синхрон-
ные и асинхронные электродвигатели должны быть введены в
схему замещения в соответствии с требованиями пп. 2.9 и 2.10.

Комплексная нагрузка должна быть введена в схему замеще-
ния в соответствии с требованиями разд. 2.

4.3. Если точка КЗ делит расчетную схему на радиальные, не-
зависимые друг от друга ветви, то апериодическую составляю-
щую тока КЗ в произвольный момент времени следует опреде-
лять как сумму апериодических составляющих токов отдельных
ветвей по формуле

$$i_{\Sigma} = \sum_{i=1}^m i_{i0} e^{-\frac{t}{T_a}} \quad (18)$$

где m — число независимых ветвей схемы;

i_{i0} — начальное значение апериодической составляющей то-
ка КЗ в i -й ветви, кА.

5. РАСЧЕТ УДАРНОГО ТОКА КЗ

5.1. Ударный ток трехфазного КЗ ($I_{уд}$) в электроустановках
с одним источником энергии (энергосистема или автономный ис-
точник) рассчитывают по формуле

$$I_{уд} = \frac{I_{\Sigma}}{\sqrt{3}} (1 + \sin(\varphi_{ке} - \alpha)) = \frac{I_{\Sigma}}{\sqrt{3}} D_{уд}, \quad (19)$$

где $D_{уд} = (1 + \sin(\varphi_{ке} - \alpha))$ — ударный коэффициент, который
может быть определен по кривым
черт. 1;

T_a — постоянная времени затухания апериодической состав-
ляющей тока КЗ (см. п. 4.2);

α — угол сдвига по фазе напряжения или ЭДС источника и
периодической составляющей тока КЗ, который рассчи-
тывают по формуле

$$\sigma_{PK} = \arctg A_n / r_{12} ;$$

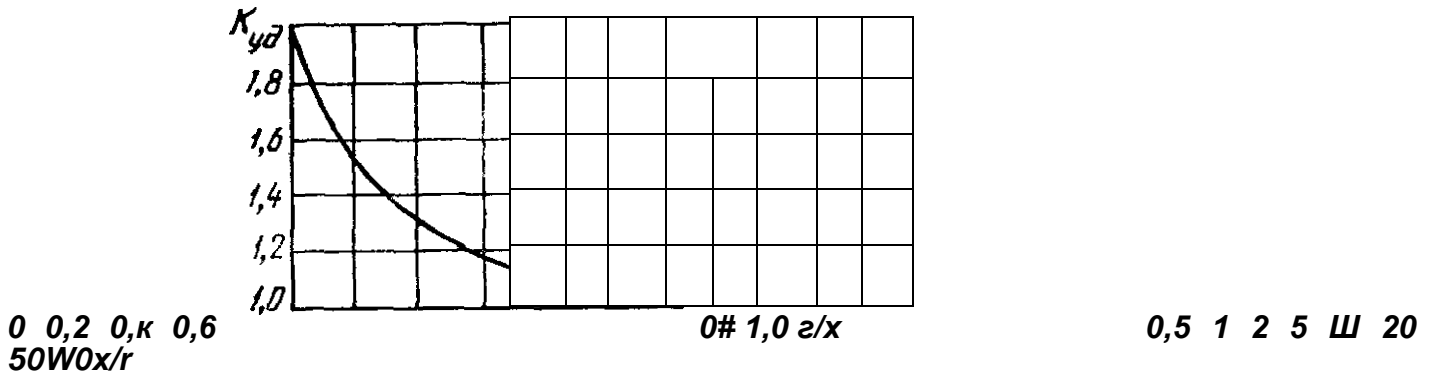
$t_{уд}$ — время от начала КЗ до появления ударного тока, с, равное

$$t_{уд} = 0,01 \frac{\sigma_{PK}^{*2} + (P_{PK})}{\dots}$$

Кривые зависимости ударного коэффициента $K_{уд}$

от

отношений r/x и x/r



A — индуктивное сопротивление цепи КЗ; r — активное сопротивление цепи КЗ

Иетпр. 1

5.2. При расчете ударного тока КЗ на выводах автономных источников, а также синхронных и асинхронных электродвигателей допускается считать, что:

ударный ток наступает через 0,01 с после начала КЗ; амплитуда периодической составляющей тока КЗ в момент времени $t=0,01$ с равна амплитуде этой составляющей в начальный момент КЗ.

5.3. Ударный ток от асинхронного электродвигателя ($I_{уд.АД}$) в килоамперах рассчитывают с учетом затухания амплитуды периодической составляющей тока КЗ по формуле

$$I_{уд.АД} = K_2 \frac{I_{н.ОАД} (E_{7p} - U_{\dots})}{0,01 \dots} \quad (20)$$

где T_p — расчетная постоянная времени затухания периодической составляющей тока статора, с;

T_a — постоянная времени затухания аperiodической составляющей тока статора, с.

При этом T_p и T_a допускается рассчитывать по формулам

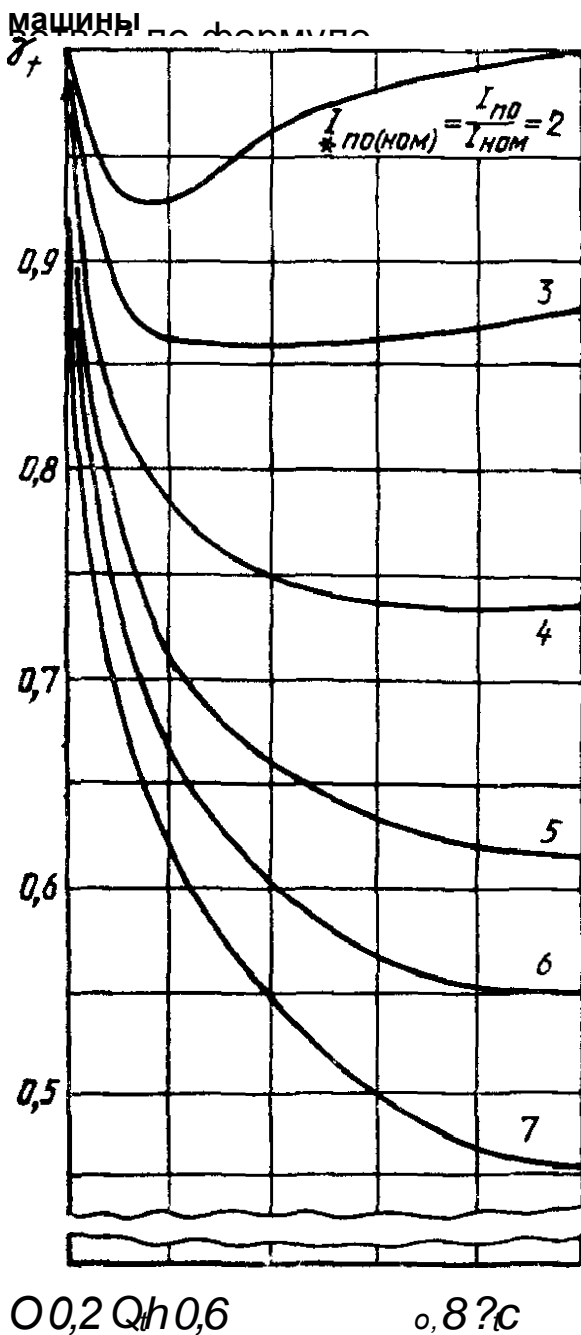
$$T_p = \frac{L_{\dots}}{K^* \dots}$$

$$T_a = \frac{x_{AD} \text{ "Бл-ТКО" }}{y}$$

где ω_0 — синхронная угловая частота, рад/с;

g_i и Γ — соответственно активное сопротивление статора и активное сопротивление ротора, приведенное к статору, которые допускается рассчитывать, как указано в приложении 7.

5.4. Если точка КЗ делит расчетную схему на радиальные, не зависящие друг от друга ветви, то ударный ток кз ($i_{уд}$) определяют изменение периодической составляющей тока КЗ



как сумму ударных токов отдельных

$$i_{уд} = 1 \sqrt{2} / \sqrt{1 + \frac{v^2}{\Gamma}} \approx 0. \quad (21)$$

$f=1$
 где m — число независимых ветвей схемы;
 $T_{па}$ — начальное действующее значение периодической составляющей тока КЗ в i -й ветви,
 $tyxi$ —

T_{ai} — время появления ударного тока в i -й ветви, с;
 постоянная времени затухания апериодической составляющей тока КЗ в i -й ветви, с.

6. РАСЧЕТ ПЕРИОДИЧЕСКОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ТОКА КЗ ОТ АВТОНОМНЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В ПРОИЗВОЛЬНЫЙ МОМЕНТ ВРЕМЕНИ

6.1. В темах тавляющей электроэнергии раторов) времени решения мы	сложных расчет тока в следует соответствующей дифференциальных	автономных периодической КЗ (синхронных произвольный выполнять соответствующей	сис- сос- источников гене- момент путем систе- уравнений
--	--	--	---

переходных процессов с использованием ЭВМ.

6.2. В приближенных расчетах для определения действующего значения периодической составляющей тока КЗ в произвольный момент времени от автономных источников при радиальной схеме применяют кривые, приведенные на черт. 2. Расчетные кривые характеризуют изменение этой составляющей во времени при разных удаленностях точки КЗ. Значения периодической составляющей тока КЗ в произвольный момент времени отнесены к начальному значению этой составляющей, т. е.

Удаленность точки КЗ от синхронной машины ($I_{п0(ном)}$) характеризуется отношением действующего значения периодической составляющей тока этой машины в начальный момент КЗ к ее номинальному току, т. е.

$$I_{п0(ном)} = \frac{I_{п0}}{I_{НО}}$$

Действующее значение периодической составляющей тока КЗ в произвольный момент времени от синхронной машины (или нескольких однотипных синхронных машин, находящихся в одинаковых условиях по отношению к точке КЗ) ($I_{п*}$) следует определять по формуле

$$I_{п*} = \sqrt{I_{п0(ном)}^2 + I_{НО}^2} \quad (22)$$

причем при нескольких машинах под номинальным током следует понимать сумму номинальных токов всех машин.

7. РАСЧЕТ ПЕРИОДИЧЕСКОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ТОКА КЗ ОТ СИНХРОННЫХ И АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ В ПРОИЗВОЛЬНЫЙ МОМЕНТ ВРЕМЕНИ

7.1. Точный расчет периодической составляющей тока КЗ от синхронных и асинхронных электродвигателей в произвольный момент времени следует выполнять путем решения системы дифференциальных уравнений переходных процессов.

7.2. При приближенных расчетах для определения действующего значения периодической составляющей тока КЗ от синхронных электродвигателей в произвольный момент времени при радиальной схеме используют типовые кривые, приведенные на черт.

7.3. При приближенных расчетах для определения действующего значения периодической составляющей тока КЗ от асинхронных электродвигателей в произвольный момент времени при радиальной схеме используют кривые, приведенные на черт. 3. Значения периодической составляющей тока КЗ в произвольный момент времени отнесены к начальному значению этой составляющей, т. е.

$$I_{\text{пМД}}^* / I_{\text{пОАД}} = \dots$$

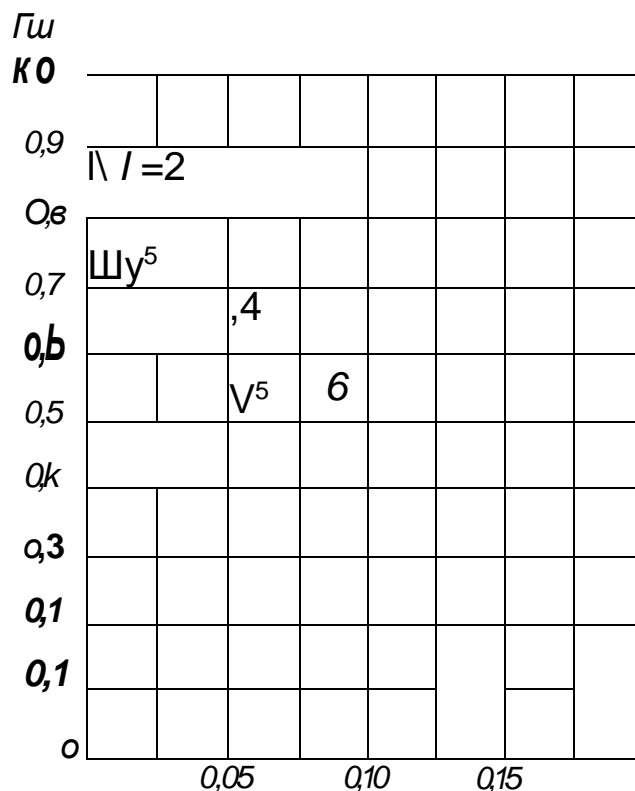
Удаленность точки КЗ от асинхронного электродвигателя характеризуется отношением действующего значения периодической составляющей тока этого электродвигателя в начальный момент КЗ к его номинальному току

$$I_{\text{пО(ном)}}^* / I_{\text{пАД ном}}^* = \dots$$

Действующее значение периодической составляющей тока КЗ в произвольный момент времени от асинхронного электродвигателя ($I_{\text{пАД}}^*$) (или нескольких асинхронных электродвигателей, находящихся в одинаковых условиях по отношению к точке КЗ) рассчитывают по формуле

$$I_{\text{пАД}}^* = Y_{\text{АД}} / I_{\text{пО(ном)}}^* / I_{\text{пОАД}}^* - \dots$$

Изменение периодической составляющей тока КЗ от асинхронных двигателей



Черт. 3

(23)

8. РАСЧЕТ ТОКОВ НЕСИММЕТРИЧНЫХ КЗ

8.1. Составление схем замещения

8.1.1. Расчет токов несимметричных КЗ выполняют с использованием метода симметричных составляющих. При этом предварительно необходимо составить схемы замещения прямой, обратной и нулевой последовательностей.

8.1.2. В схему замещения прямой последовательности должны быть введены все элементы расчетной схемы, причем при расчете

начального значения тока несимметричного КЗ автономные источники, синхронные и асинхронные электродвигатели, а также комплексная нагрузка должны быть введены сверхпереходными ЭДС и сверхпереходными сопротивлениями.

Схема замещения обратной последовательности также должна включать все элементы расчетной схемы. При этом ЭДС обратной последовательности синхронных и асинхронных машин, а также комплексной нагрузки, следует принимать равными нулю. Сопротивление обратной последовательности синхронных машин следует принимать по данным каталога, асинхронных машин — принимать равным сверхпереходному сопротивлению, а комплексных нагрузок — в соответствии с табл. 1.

Сопротивление обратной последовательности трансформаторов, реакторов, воздушных и кабельных линий следует принимать равным сопротивлению прямой последовательности.

8.2. Расчет токов однофазного КЗ

8.2.1. Если электроснабжение электроустановки напряжением до 1 кВ осуществляется от энергосистемы через понижающий трансформатор, то начальное значение периодической составляющей тока однофазного КЗ от системы ($I_{по}$) в килоамперах рассчитывают по формуле

$$I_{по}^{(1)} = \frac{U_{3\phi}}{\sqrt{3} \cdot Z_{\Sigma 2}} \quad (24)$$

где $U_{3\phi}$ и $Z_{\Sigma 2}$ определяют в соответствии с п. 3.2 настоящего стандарта;

$Z_{\Sigma 2}$ и X_{02} — суммарное активное и суммарное индуктивное сопротивления нулевой последовательности расчетной схемы относительно точки КЗ, мОм. Эти сопротивления равны:

$$Z_{\Sigma 2} = G_{0,t} + j(X_{0,t} + X_{0кб} + X_{0кв} + X_{0к6} + X_{0вл})$$

и X_{02}

$X_{0кб} + X_{0кв} + X_{0к6} + X_{0вл}$

где $G_{0,t}$ и $X_{0,t}$ — активное и индуктивное сопротивления нулевой последовательности понижающего трансформатора;

$G_{0ш}$ и $X_{0ш}$ — активное и индуктивное сопротивления нулевой последовательности шинпровода;

$G_{0кб}$ и $X_{0кб}$ — активное и индуктивное сопротивления нулевой последовательности кабеля;

$G_{0вл}$ и $X_{0вл}$ — активное и индуктивное сопротивления нулевой последовательности воздушной линии ($G_{0вл} = G_{1вл}$, $X_{0вл} = X_{1вл}$).

8.2.2. В электроустановках с автономными источниками энергии начальное значение периодической составляющей тока однофазного КЗ ($I_{п0}$) в килоамперах рассчитывают по формуле

$$I_{п0} = \frac{3E_{\text{ф}}}{V \sqrt{(R_{\text{с}} + X_{\text{от}})^2}} \quad (25)$$

где $E_{\text{ф}}$ — эквивалентная сверхпереходная ЭДС автономных источников, В, которую определяют в соответствии с п. 3.4.

Значения $R_{\text{с}}$ и $X_{\text{от}}$ определяют в соответствии с п. 3.4, а $I_{\text{с}}^{(2)}$ и $I_{\text{с}}^{(3)}$ — по п. 8.2.1.

8.2.3. Начальное значение периодической составляющей тока однофазного КЗ с учетом синхронных и асинхронных электродвигателей в килоамперах рассчитывают, как указано в п. 8.2.2.

8.2.4. При необходимости определения периодической составляющей тока однофазного КЗ в произвольный момент времени применяют методы расчета, приведенные в разд. 2, 6 и 7.

8.3. Расчет токов двухфазного КЗ

8.3.1. При электроснабжении электроустановок напряжением до 1 кВ от энергосистемы через понижающий трансформатор начальное значение периодической составляющей тока двухфазного КЗ ($I_{\text{п0}}^{(2)}$) в килоамперах рассчитывают по формуле

$$I_{\text{п0}}^{(2)} = 2 \frac{I_{\text{ср.НН}}}{V} \quad (26)$$

где

$$I_{\text{ср.НН}} = I_{\text{с}}^{(2)} + I_{\text{с}}^{(3)} \cdot \frac{X_{\text{с}}}{X_{\text{с}} + X_{\text{т}}};$$

$$X_{\text{с}} = X_{\text{с}} + X_{\text{т}} + X_{\text{д}} - I_{\text{с}}^{(2)} \cdot X_{\text{с}} - I_{\text{с}}^{(3)} \cdot X_{\text{с}} + I_{\text{с}}^{(2)} \cdot X_{\text{т}} + I_{\text{с}}^{(3)} \cdot X_{\text{т}} + I_{\text{с}}^{(2)} \cdot X_{\text{д}} + I_{\text{с}}^{(3)} \cdot X_{\text{д}};$$

8.3.2. В электроустановках с автономными источниками энергии начальное значение периодической составляющей тока двухфазного КЗ ($I_{\text{п0}}^{(2)}$) в килоамперах рассчитывают по формуле

$$I_{\text{п0}}^{(2)} = \frac{I_{\text{с}}^{(2)} + I_{\text{с}}^{(3)} \cdot \frac{X_{\text{с}}}{X_{\text{с}} + X_{\text{т}}}}{V} \quad (27)$$

8.3.3. Начальное значение периодической составляющей тока двухфазного КЗ с учетом асинхронных электродвигателей ($I_{\text{п0АД}}^{(2)}$) в килоамперах рассчитывают по формуле

где $E_{ф\mathcal{E}}$ — эквивалентная ЭДС асинхронных электродвигателей, и источника электроэнергии, В;

$z\%$ и — суммарные активное и индуктивное сопротивления относительно точки КЗ (с учетом параметров асинхронных электродвигателей), мОм.

8.3.4. Начальное действующее значение периодической составляющей тока двухфазного КЗ с учетом синхронных электродвигателей в килоамперах определяют, как указано в п. 8.3.3.

8.3.5. При необходимости определения периодической составляющей тока двухфазного КЗ в произвольный момент времени применяют методы расчета, приведенные в разд. 6 и 7.

ПРИЛОЖЕНИЕ /
Рекомендуемое

РАСЧЕТ СОПРОТИВЛЕНИЙ ШИНОПРОВОДОВ

Л. Необходимые для расчетов токов КЗ параметры шинопроводов могут быть взяты из нормативно-технической документации или получены расчетным методом. Параметры шинопроводов серии ШМА и ШРА даны в табл. 3.

Активное сопротивление одной фазы шинопровода ($r_{ш}$) в миллиомах при температуре θ рассчитывают по формуле

$$r_{ш} = r_{шнорм} \frac{T + \alpha}{T_норм + \alpha} \quad \text{Кд-10}, \quad (29)$$

где $r_{шнорм}$ — удельное сопротивление материала шины при нормированной температуре $T_{норм}$, Ом*мм²/м;

$T_{норм}$ — нормированная температура, при которой задано удельное сопротивление, °С;

l — длина шины одной фазы, м;

s — сечение шины, мм²;

T — постоянная, зависящая от материала проводника, °С: для твердотянутой меди $T = 2142$ °С; для отожженной меди $T = 234$ °С; для алюминия $T = 2316$ °С;

$K_{я}$ — коэффициент добавочных потерь, учитывающий влияние поверхностного эффекта, эффекта близости, а также добавочных потерь от расположенных вблизи металлических элементов.

Значение коэффициента добавочных потерь можно оценить, исходя из результатов экспериментальных исследований токопроводов аналогичных конструкций или рассчитать (приблизительно) по формуле

/С_{дик}» КБК пэ»

где $K \#$ — коэффициент, учитывающий изменение температуры шины (значения приведены в приложении 3);

$Kб$ — коэффициент близости;

$/\langle пэ$ — коэффициент поверхностного эффекта.

Т а б л и ц а 3

Параметры комплектных шинопроводов

Тип шинопровода	Номинальное напряжение, кВ	Номинальный ток, А	Сопротивление фазы, мОм/м		Сопротивление нулевого проводника, мОм/м	
			r_1	x_1	$r_{нп}^1$	
ШМА4—1250	0,38/0,66	1250	0;0)34	01,0116	01,064	0,063
ШМА4—1500	0,38/0,66	1600	0,000	0,014	0,637	0,042
ШМА4 ¹ —30СО	01,38/0,66	3(200'	0,010	0,006	0,064	0,03Б
ШМА68П	0,38/0,66	2500	0,020'	0,0)20	а,070	0,046
ШМА68П	0,38/0,66	4000'	0,013	0,015	0,070	0,046
ШРА73	0,313	2150	0,210	0,210	0,120	0,218
ШРА73	0,38	400	0,100	0,170	0,162	0,164
ШРА73	0,38	630'	0,1	0,13i	0,162	0,164

Значения коэффициентов K_b и $/C_{пэ}$ для медных и алюминиевых шин зависят от размеров поперечного сечения, расположения и числа шин. Для одиночных шин прямоугольного сечения, имеющих размеры 25X3 — 100X10 мм, при расположении шин «на ребро» значения коэффициента $K_{пэ}$ составляют 1,02—1,1. Значения коэффициента $K_{лэ}$ для пакетов шин допускается принимать как для одиночных шин.

Коэффициент добавочных потерь K_d для алюминиевых шин сечением ЮОХЮ мм² в зависимости от числа шин n должен иметь следующие значения: при $n \sim 1 /C_d \wedge 1,18$; при $n = 2$ 1,25; при $n \sim 3 /C_d \sim 1,6$; при $n = 4 /C_d \wedge 1,721$.

При прокладке шинопровода в галерее или туннеле коэффициент добавочных потерь следует брать на 0,25 больше, чем при его прокладке на открытом воздухе.

2. Индуктивное сопротивление прямой последовательности фазы шинопровода ($l \cdot 1ш$) в миллиомах на метр рассчитывают по формуле

$$*_{l_{ш}} = 0,1451g \quad (30)$$

где d — расстояние между шинами, м;

g_0 — среднее геометрическое расстояние, м, рассчитываемое по одной из приведенных ниже формул-

1) для шины прямоугольного сечения

$$g_0 = 0,22(b+h),$$

где b и h — размеры сторон прямоугольника;

2) для шины квадратного сечения:

$$g_0 = 0,456,$$

где b — размер стороны квадрата;

G. 23 ГОСТ 28249—93

3) для трубчатой шины квадратичного сечения

$$g_0 = 0,58 C_{\text{вн}} \text{ ц}$$

где b — размер наружной (внешней) стороны квадратного сечения;

C — коэффициент, значения которого должны соответствовать приведенным в табл. 4.

Таблица 4

Значения коэффициента C

Отношение внутреннего радиуса трубы круглого сечения k к внешнему радиусу или внутренней стороне **трубы** квадратного сечения к внешней стороне

Значение коэффициента C

0,1	0,78
0,2	0,79
0,3	0,81
0,4	0,83
0,5	0,85
0,6	0,88
0,7	0,91
0,8	0,94
0,9	0,97
1,0	1,00

Среднее геометрическое расстояние g_0 для пакета шин можно рассчитать по следующим формулам:

1) для двухполосного пакета:

$$g_0 = \frac{b+h}{d} k$$

где b и h — соответственно толщина и ширина одной полосы шины (см. черт. 4), мм;

d — расстояние между продольными осями (центрами масс) сечений шин пакета (см. черт. 4), мм;

k — коэффициент, зависящий от отношения d/h , его определяют по кривой, приведенной на черт. 4;

2) для трехполосного пакета

$$\ln g_0 = -g \left[31 \ln \left(\frac{d}{h} \right) - 21 \ln^2 \left(\frac{d}{h} \right) + 12 \ln^3 \left(\frac{d}{h} \right) - 2 \ln^4 \left(\frac{d}{h} \right) + \ln^5 \left(\frac{d}{h} \right) \right],$$

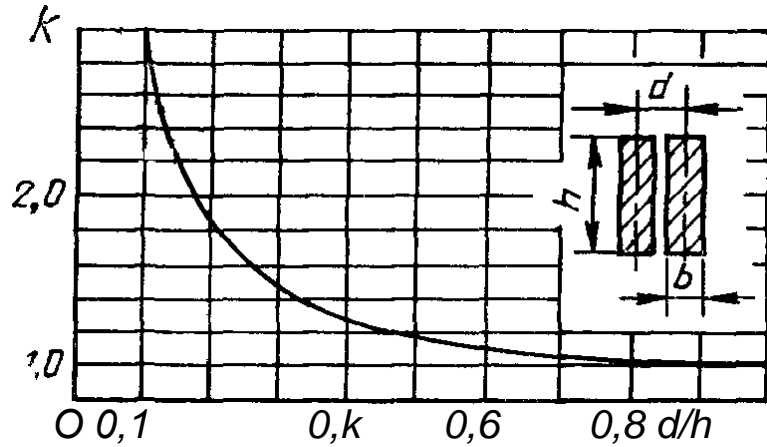
где d_1 и d_3 — расстояния между центрами масс сечений соответствующих шин пакета;

g_1 и g_3 — коэффициенты, зависящие от отношения d/h , определяемые по кривой, приведенной на черт. 4.

d_1/h и d_3/h

Значения средних геометрических расстояний (g_0) наиболее употребляемых **жакетов** шин с зазорами между шинами, равными толщине шины, должны соответствовать приведенным в табл. 5.

Коэффициент k для определения среднего геометрического расстояния между шинами прямоугольного сечения



Черт 4

Таблица 5
Значения g_0 некоторых пакетов шин
Сечение пакета, мм²

Сечение пакета, мм ²	g_0 , см
2(80XЮ)	1,53
2(100X10)	3,0
2(120X10)	3,45
3(80XЮ)	2,99
3(ШОХЮ)	3,50
3(120XЮ)	3,95

3. В качестве допустимой (расчетной) температуры нагрева шинопровод* в продолжительном режиме следует принимать $\theta = 70^\circ\text{C}$

4. Активное и индуктивное сопротивления нулевой последовательное! фазы шинопровода ($r_{0ш}$ и $x_{0ш}$) в миллиомах на метр принимают (ориентировочно)

$$r_{0ш} = 1 \text{ шЧ} \cdot 3 \Gamma_{ип};$$

$$*x_{0ш} = (7,5 - 9 \cdot 4) \times 1 \text{ ш.}$$

АКТИВНЫЕ И ИНДУКТИВНЫЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ КАБЕЛЕЙ

Таблица 6

Параметры кабеля с алюминиевыми жилами в алюминиевой оболочке

Сечение кабеля, мм ²	Сопротивление трехжильного кабеля в алюминиевой оболочке, мОм/м			
	$\Gamma_1 = \Gamma_2$	$X_i - X_2$	Γ_0	X_0
3X4	9,61	0,(192)	10,95	0,579
3X6	6,41	0,С87	7,69	0,523
3X10	3,84	0,082	5,04	0,461
3X1)6	2,4	0,078	3,52	0i,406
3X25	1,54	0,062	2,63	0,359
3X35	и	6,061	2,07	0 298
3X50	0,769	0,66	1,64	0,267
3X70	0,549	0,060	1,34	0,211
3X05	6,406	0,С67	1,06	0,174
3X120	0,32	0,С67	0,92)	0,157
3X160	6 266	0 066	0,78	0,136
3X186	5,208	0,066	0,66	0,12!2
3X240	6,16	0,066	0,553	0,107

Таблица 7

Параметры кабеля с алюминиевыми жилами в свинцовой оболочке

Сечение кабеля, мм ²	Сопротивление трехжильного кабеля в свинцовой оболочке, мОм/м			
	$\Gamma_1 = \Gamma_2$	$X_i = x_2$	$\Gamma_С$	X_0
3X4	9,61	0,092	и 6	1,24
3X6	6,41	01,087	8,3(8	1,2
3X10	3),84	0,080	5,78	1,16
3X16	2,4	0,078	4,32	li,12
3X26	1,54	0,062	3,44	1,07
3>X36	И	0,061	2,96	1, ОН
3X50	9,760	0,06	2,6	0,963
3X70	0,549	0,069	2,3)1	0,884
3X95	0 405	0,057	2,1	0,793
3X120	0,32	0',067	1,96	0,742
3X160	0,266	0,066	1,82	0,671
3X166	0^,208	0^1,056	1,69	0,606
3X240	0,16	0,055	1,55	0,535

Таблица 8

**Параметры кабеля с алюминиевыми жилами
в непроводящей оболочке**

Сечение кабеля, мм ²	Сопrotивление трехжильного кабеля в непроводящей оболочке, мОм/м			
	$\Gamma_1 = \Gamma_2$		$r\%$	X_t
3X4	9,61	0,092	11,7	2,31
3X6	6,41	0,087	8,51	2,274
3XЮ	3,84	0,082	5,94	2,24
3X16	2,4	0,078	4,5	2,2
&X25	1,54	0,062	3,64	2,17
3X36	1,1	0,061	3,3	2,14
3X50	0,769	0,06	2,869	2,08
3X70	0,549	0,059	2,649	2,07
3X95	0,405	0,057	2,505	2,05
3X120	0,32	0,057	2,42	2,03
3X160	0,266	0,056	2,36	2,0

Таблица 9

Параметры кабеля с алюминиевыми жилами в алюминиевой оболочке

Сечение кабеля, мм ²	Сопrotивление четырехжильного кабеля в алюминиевой оболочке, мОм/м			
	$\varepsilon_1 - \Gamma_1$	$X_i = X_2$	Γ_C	X_o
3X4+1X2,5	9,61	0,098	10,87	0,57
3X6+1X4	6,41	0,094	7,6	0,463
3XЮ+1X6	3,84	0,088	4,94	0,401
3X16+1XЮ	2,4	0,084	3,39	0,336
3X26+1X16	1,54	0,072	2,41	0,256
3X35+1X16	и	0,068	1,95	0,232
3X50+1X25	0,769	0,066	1,44	0,179
3X70+1X35	0,549	0,066	1,п	0,145
3X96+1X50	0,405	0,064	0,887	0,124

С. 26 ГОСТ 28249—93

Таблица 10

Параметры кабеля с алюминиевыми жилами в свинцовой оболочке

Сечение кабеля, мм*	Сопротивление четырехжильного кабеля в свинцовой оболочке, мОм/м			
	$\Gamma_1 = \Gamma_2$	$X = x_2$	γ^*0	x_0
3X4+1X2.5	9,61	0,098	11,52	1,131
3X6+ 1X 4	6,41	0,094	8,26	1,05
ЭХ 104-1X6	3,84	0,083	5,63	0,966
ЭХ1641XЮ	2,4	0,084	4,09	0,831
3X25+1X16	1,54	0,072	3,03	0,668
3X36+1X16	1 1	0,968	2,63	0,647
3X504-1X25	0,769	0,066	2,1	0,6
31X70+1X35	0,549	0,065	1,71	0,393
3X95+ 1X50'	0,4 06	0,054	1,39	0 317
3X1'204-1'X50	0,32	0,064	1,27	0,301
3X1501+1X70	0,256	0 063	1,05	0,248
3X1854-1X70	0,2(08	0 063	0,939	0,244

Таблица 11

Параметры кабеля с алюминиевыми жилами в непроводящей оболочке

Сопротивление четырехжильного кабеля в непроводящей
оболочке мОм/м

Сечение кабеля, мм ²	$\Gamma_1 = \Gamma_2$	$A = \lambda_2$	Γ_c	X_c
3X44-1X2,5	9,61	0,098	11,71	2,11
3X®+ 1X4	6,41	0,094	8 71	1,968
3X10+1X6	3,84	0,088	5,9	1,811
3X16+1X10'	2,4	0,084	4,39	1,558
3 X254-1X1©	1,54	0,0721	3,42	1,268
3X35+ 1X16	И	Сi,03.8	2 97	1,241
3X50+1X25	0,759	0,066	2,449	0,949
3X70+1X35	0 540	0,065	2,039	0,741
2 X9541X50	0,405	0,094	1,666	0,559
3X12014-1X50	0,32	0,054	1,54	0,545
3X150 41X70	0,256	0,063	1,276	0,46

Таблица 12

Параметры кабеля с медными жилами в стальной оболочке *

Сечение токопроводящей жилы, мм ²	Сопротивление трехжильного кабеля, мОм/м, при температуре жилы 65 °С			
	$r_1 = r_2$	$x_1 = x_2$	r_0	
3X6	3,54	0,094	4,0*7	1,60
3X10'	2,13	0,0186	2,66	1 65
3'ХИ6	1,33	0,062	1,66	1,61
3'X26	0,85	0,062	1,36	1,57
3X36	0,61	0,079	1,14	1,54
3X50	0,43	0,078	0,96	1,51
3X70	0,3	0,065	0,83	1,4»
3X05	0,22'	0,064	0,76	1,45
3X120'	0,1»	0,062	0,71	1,4»
3X150	0,14	0,061	0,67	1,41
3X155	0,115	0,061	01,65	1,39
3X240	0,069	0,06	0,62	1,36

* Заземление выполнено медным проводом сечением 120 мм².

Параметры кабеля с медными жилами в стальной оболочке

Таблица 13

Сопротивление четырехжильного кабеля, мОм/м, при температуре жилы 65 °С

токопроводящей жилы, мм ²	$r_1 = r_2$	$x_1 = x_2$	r_0	L^*
3X6+1X4	3,54'	0,1*	4,19	1,56
31X10+1X6	2,13	0,096	2,82	1,46
3X16+1XЮ	1,33'	0,019	2,07	1,3®
3X215+1X16	0,85	0,069	1,63	4,11
3X36+1X16	0,61	0,066	1,37	1,09
31X50+1X25	0,43	0,086	1,18	0,88
3X70+1X25	л %	0+73	1,06	0,851
3X70+1X35		0',074	1,011	0,654
3X95+1X35	0,22	0,072	0,92	0,69
3X96+1X50			0,84	0i,54
3X120+1X35			0,88	0,68
3X120+1X70	0,18	0,07	0,7	0,47
3X150+1X50			0,74	0,54
3X150+1X70			0,66	0,42
3X135+1X50	п 14, и,	и,и/	0,7	0,54
3X185+1X95	0,115	0,069	0,54	0,34

Параметры кабеля с медными жилами в стальной оболочке

Таблица 1

Сечение токопроводящей жилы, мм ²	Сопротивление четырехжильного кабеля, мОм/м, при температуре жилы 65 °С			
	$\Gamma[\Gamma 2$		Γ_0	*0
4X6	3,54	0,1	4,24	1,49
4X10	2,13	0,003	2,88	1,34
4X16	1,33	0,09	2,, 1(2'	1,14
4X25	0,85	0,089	1,63	0,91
4X35	0,61	0,086	1,33	0,74
4X50	0,43	0,085	1,05	0,58
4X70	0,3	0,0(73	0,83	0,42
4X95	0,22	0,072	0,66	0,35
4XИ2Ю	0,18	0,07	0,54	0,31
4X150	0,14	0,07	0,45	0,28
4X1*85	0,115	0,069	0,37	0,27

УВЕЛИЧЕНИЕ АКТИВНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ КАБЕЛЕЙ

Значения коэффициента, учитывающего увеличение активного сопротивления медного кабеля при нагреве его током КЗ, определяют в зависимости от сечения кабеля, тока КЗ и продолжительности КЗ по кривым, приведенным на черт 5 или б, а алюминиевого кабеля — по кривым, приведенным на черт 7 или 8.

Данные, указанные на черт. 5—8, получены при следующих расчетных условиях: КЗ происходит в радиальной схеме, содержащей ветвь (трансформатор, кабель) с источником неизменной по амплитуде ЭДС,

температура кабеля изменяется от $\Phi_{нач} = 20^\circ\text{C}$ до Одопк — 200°C , продолжительность КЗ (откл) составляет 0,2; 0,6; 1,0, 1,5 с

Температуру нагрева кабеля определяют с помощью уравнения нагрева однородного проводника при адиабатическом процессе, преобразованного к виду

$$dt = \frac{\rho}{1 + \dots} \text{ норм}$$

где I_{nt} — ток КЗ к моменту времени t , кА,
 ρ & $\rho_{норм}$ — удельные сопротивления, Ом-м, материала кабеля при температуре θ и начальной нормированной температуре $\theta_{норм}$;
 s — сечение кабеля, мм²,

X — плотность материала проводника, кг/м³,

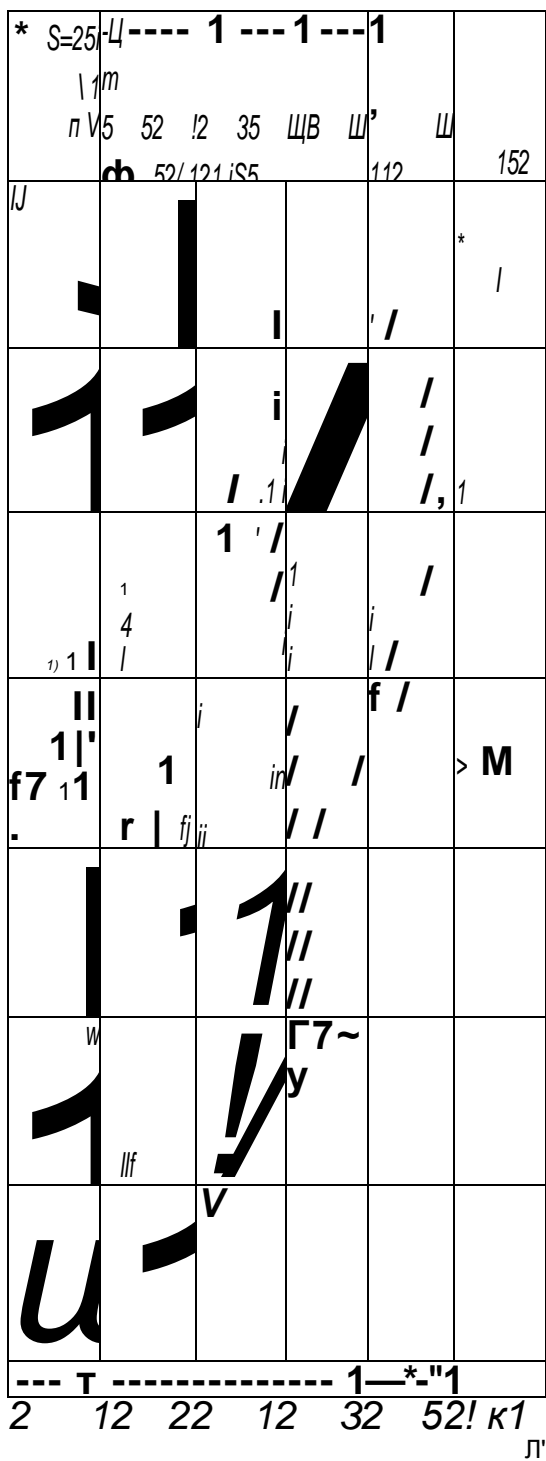
g — ускорение силы тяжести, м/с²,

C_0 — удельная теплоемкость материала кабеля при температуре $\Phi_0 = \theta_{нач} = \theta_{норм}$, Дж/ (КГ*К)

ρ — температурный коэффициент теплоемкости, 1 /К;

α — температурный коэффициент удельного сопротивления, 1/К

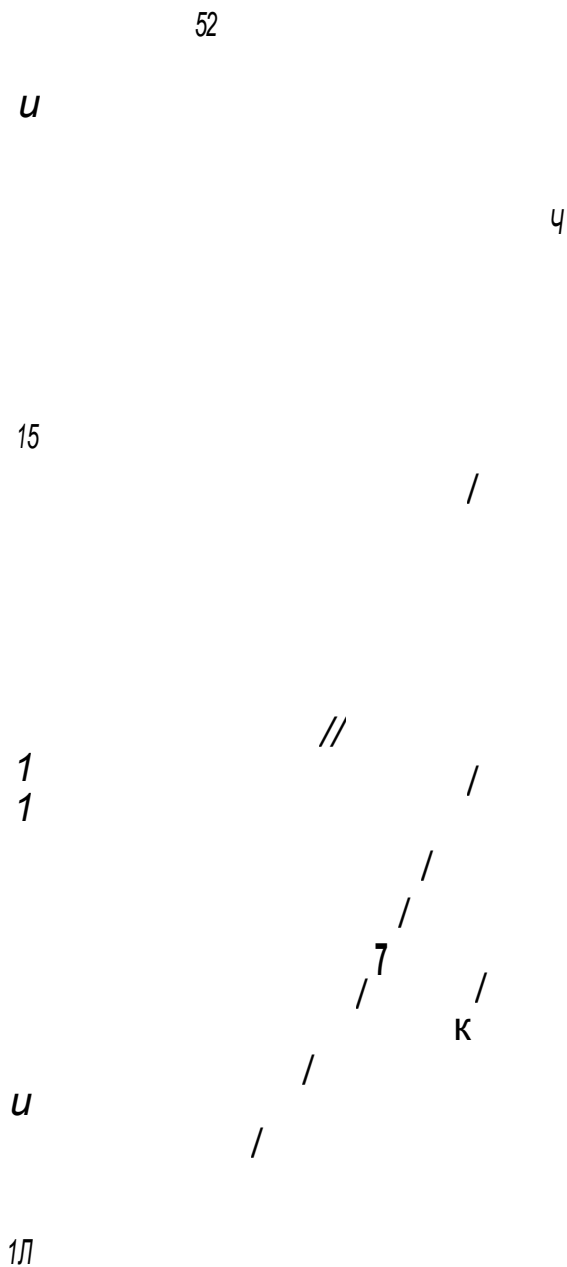
Зависимости коэффициента увеличения активного
сопротивления кабелей разных сечений
с медными жилами от тока КЗ
при продолжительностях КЗ 0,2 с (сплошные
линии) и 0,6 с (пунктирные линии)



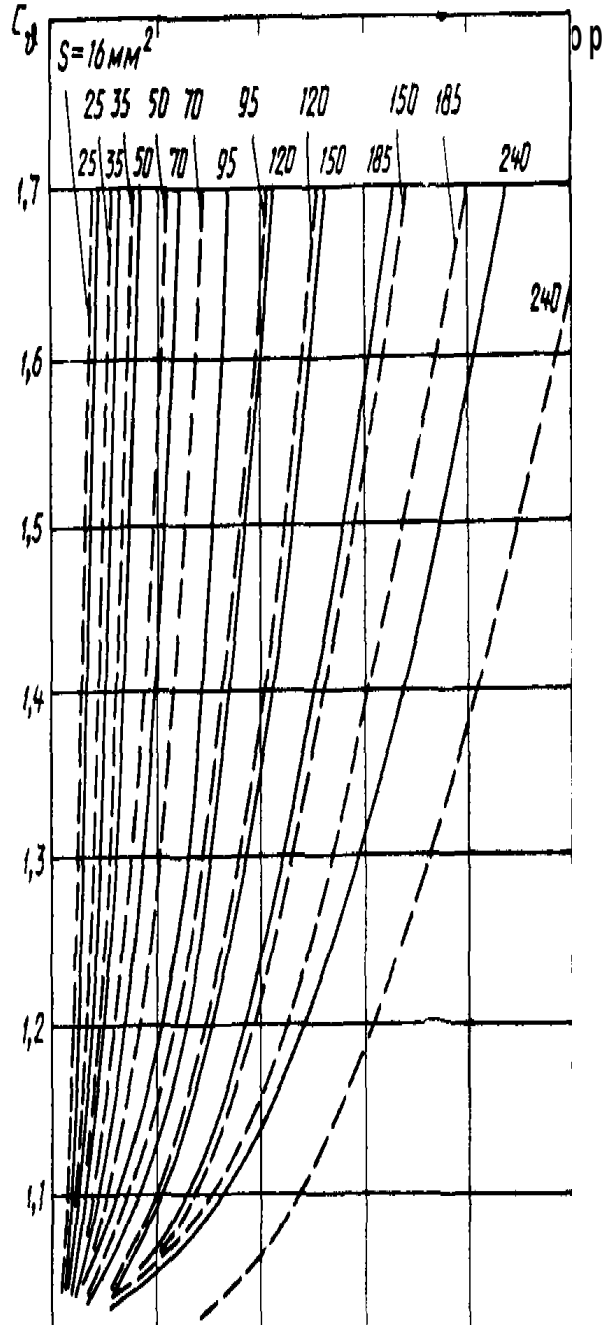
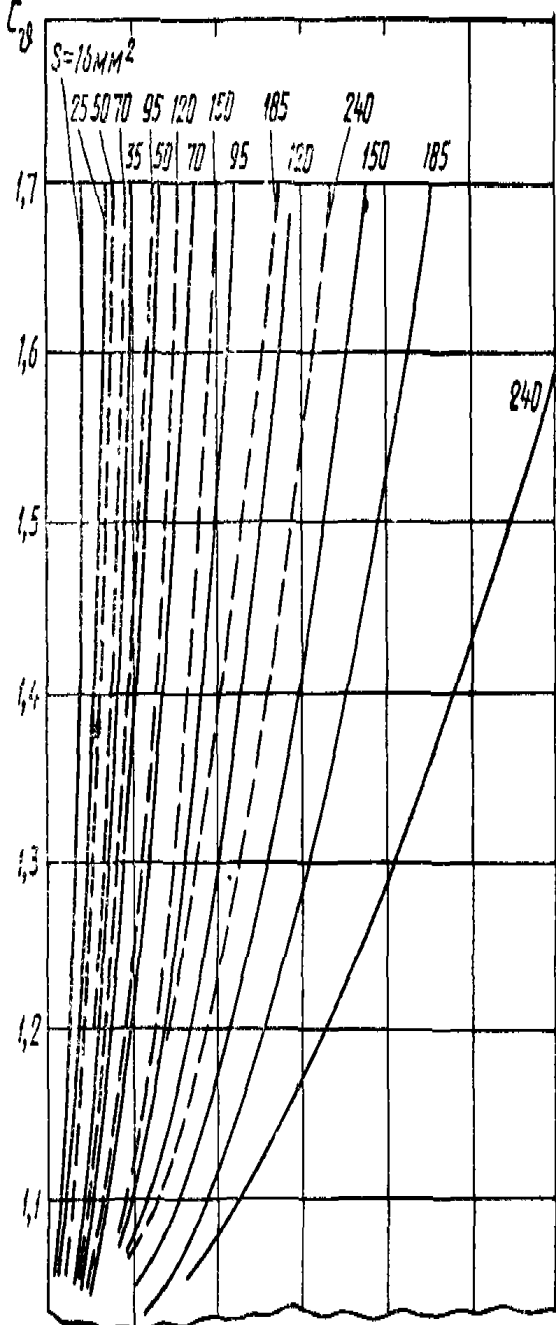
Черт. 5

Зависимости коэффициента увеличений

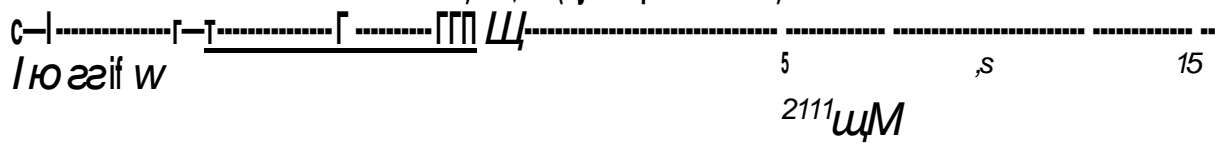
сечений с медными жилами от тока КЗ
при продолжительностях КЗ 1,0 с (сплошные
линии) и 1,5 с (пунктирные линии)



Черт. 6



Зависимости коэффициента увеличения
 активного сопротивления кабелей разных
 сечений с алюминиевыми жилами от тока КЗ
 при продолжительностях КЗ 0,2 с (сплошные
 линии) и 0,6 с (пунктирные линии)



Черт. 7

Черт. 8

Изменение удельного сопротивления материала
температуры определяют по выражению

кабеля при повышении

$$R = R_{\text{норм}} \cdot c$$

где

$$c = m + b \cdot T$$

ПРИЛОЖЕНИЕ 3
Рекомендуемое

РАСЧЕТНЫЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ ПРОВОДОВ, ПРОЛОЖЕННЫХ ОТКРЫТО НА ИЗОЛЯТОРАХ, И ПРОВОДОВ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИИ

1. Расчетное сопротивление проводов

1.1. Активное сопротивление прямой последовательности одной фазы проводника (r) в миллиомах рассчитывают по формуле

$$r = c_{\text{норм}} \cdot R_{\text{норм}} \cdot \left(\frac{T}{T_{\text{норм}}} \right)^m \quad (31)$$

где $c_{\text{норм}}$ — коэффициент, учитывающий увеличение сопротивления с повышением температуры (см. приложение 2). В качестве расчетной температуры нагрева для проводов с резиновой и пластмассовой изоляцией принимают $T = 65^\circ\text{C}$;

$K_c = 1,02$ — коэффициент, учитывающий увеличение сопротивления многопроволочных жил проводов и кабелей вследствие скрутки. Для однопроволочных проводов $K_c = 1,0$;

A_p — коэффициент поверхностного эффекта при переменном токе. Для медных и алюминиевых проводов коэффициент принимают равным единице;

$R_{\text{норм}}$ — удельное сопротивление провода при $T = 20^\circ\text{C}$. Для медных проводов

$R_{\text{норм}} = 0,0178 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$, для алюминиевых проводов

$R_{\text{норм}} = 0,02994 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$;

s — сечение проводника, мм^2 ;

l — длина проводника, м.

1.2. Индуктивное сопротивление прямой последовательности (x) одной фазы провода круглого сечения в миллиомах на метр рассчитывают по формуле

$$x = 0,1451 g \cdot g \quad (32)$$

где a — расстояние между проводниками, м;

A_p — радиус проводника, м.

С. 32 ГОСТ 28249—93

1.3. Если фазный и нулевой проводники выполнены из круглых проводов одинакового сечения и проложены параллельно, то индуктивное сопротивление цепи фаза — нуль ($x_{ф_н}$) в миллиомах на метр рассчитывают по формуле

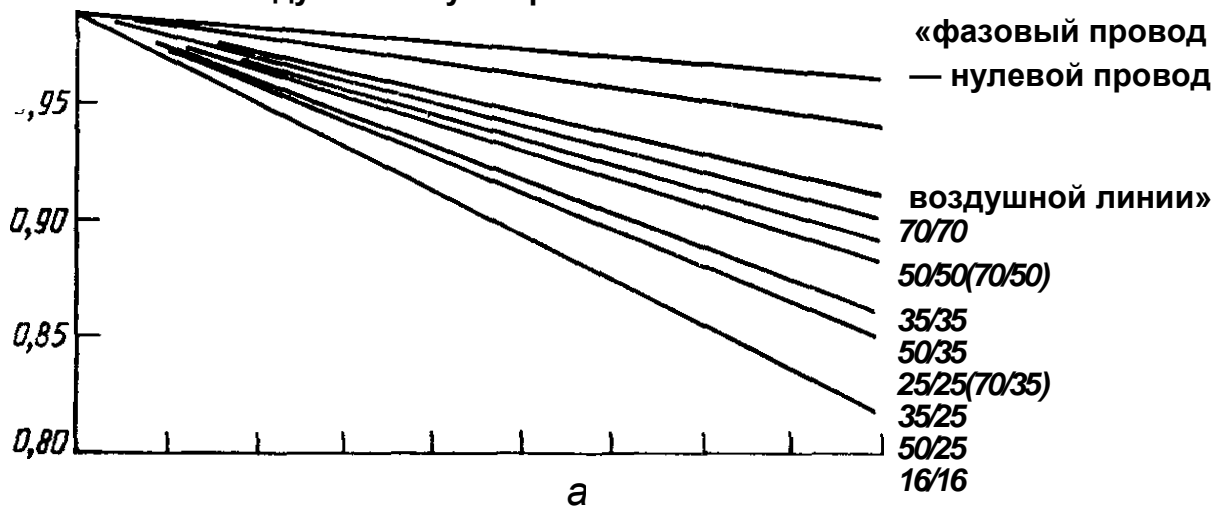
$$x_{ф_н} = 0,29 I_g \quad \blacksquare \quad (33)$$

При прямоугольной форме сечения нулевого проводника сопротивление цепи фаза — нуль определяют по сечению фазного проводника.

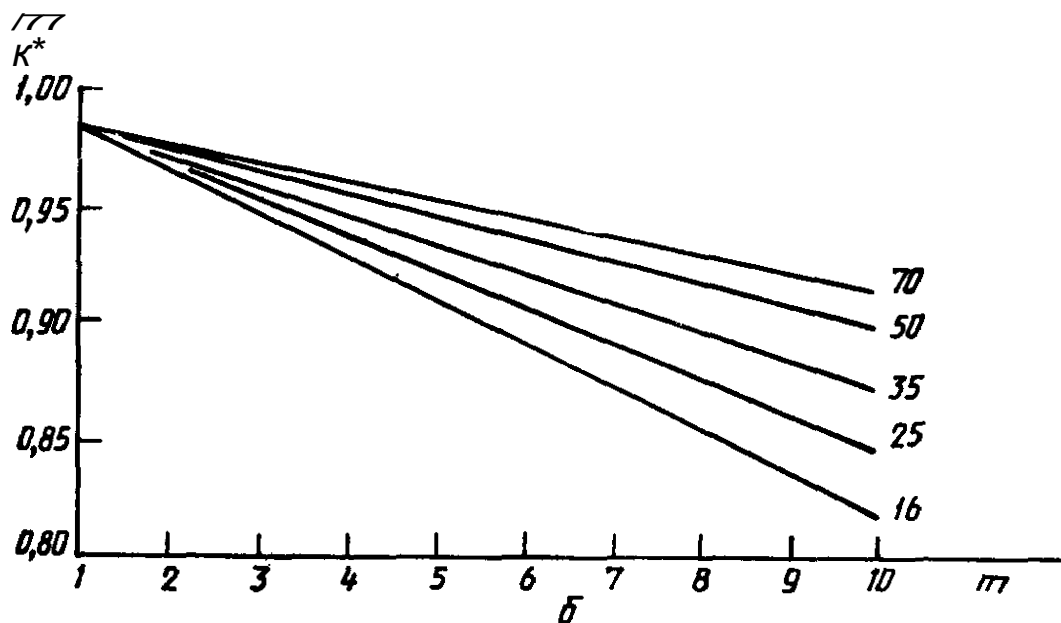
1.4* Активное и индуктивное сопротивления нулевой последовательности воздушных линий, имеющих нулевой провод с повторным заземлением, зависят от числа заземлений и коэффициента сезонности.

При определении активного и индуктивного сопротивлений петли фазный провод — нулевой провод ($G_{ф_н}$, $x_{ф_н}$) используют соответственно формулы 31 и 33 или расчетные данные, приведенные в табл. 15. Активное и индуктивное сопротивления петли с промежуточными заземлениями определяют умножением расчетных сопротивлений на соответствующие поправочные коэффициенты K_l и K_x в зависимости от числа промежуточных заземлений (l/p), черт. 9, и на коэффициент сезонности $K_{сз}$ (табл. 16). Значения коэффициента K_R на рис. 9а даны при разных сечениях проводов петли — фазного (указаны в числителе) и нулевого (указаны в знаменателе), а K_x на рис. 9б — при разных сечениях нулевого и любых сечениях фазного провода.

Поправочные коэффициенты (K_α и K_x) к активному
и индуктивному сопротивлениям петли



25/16



Примечания:

1. На верхнем рисунке справа от кривых даны сечения проводов петли: в числителе — фазового провода, в знаменателе — нулевого провода.

2. На нижнем рисунке справа от кривых даны сечения нулевых проводов петли. Эти кривые можно с достаточной точностью использовать при всех возможных сочетаниях сечений фазового и нулевого проводов*

Черт. 9

**Значения сопротивления петли «фазный провод — нулевой провод»
без учета заземляющих устройств**

Сечение фазного провода, мм ²	Активное (в числителе) и индуктивное 1в знаменателе! сопротивления петли, мОм, при сечении нулевого провода, мм ²				
	16	25	35	50	70
16	3,68				
	0,68				
25	2,98	2,28			
	0,67	0,66			
39	---	1,99	4,70		
		0,65	0,64		
50	---	1,73	1,44	1,18	
		0,64	0,63	0,62	
70			1,27	1,01	0,84
			0,62	0,61	0,60

Таблица 16

**Признаки климатических зон и значения
сезонного коэффициента $K_{сз}$**

Данные, характеризующие климатические зоны, и тип	Климатические зоны				
	1. Климатические признаки зон				
1. Средняя многолетняя температура (январь), °С	(-15)- (-00)	(-10)- -(-14)	0—(-10)	0—(-15)	0—(-15)
2. Средняя многолетняя высшая температура (июль), °С	(+16) -(+18)	(+18)- —(+22)	(+22)- —(+24)	(-1-24)- (+26)	
3. Продолжительность заморзания вод, сут.	170—190	150	100	0	
2. Значение коэффициента $K_{сз}$					
4. Вертикальные электроды длиной 3 м бине заложения ширины 0,7—0,8 м					
5. То же, при электродах 5 м					
	при глу- их вер- длине	0,61	0,67	0,77	
		0,74	0,80	0,87	

Продолжение табл. 16

Данные, характеризующие климатические зоны, и тип применяемых электродов	Климатические зоны			
	1	2	3	4
6. То же, для горизонтальных электродов длиной 10 м при глубине заложения 0,7—0,8 м	0,18	0,28	0,4	0,67

* Сезонный коэффициент определяет снижение сопротивления по сравнению с максимальным сопротивлением в сезон промерзания или высыхания.

ПРИЛОЖЕНИЕ 4
Рекомендуемое

РАСЧЕТ СОПРОТИВЛЕНИЯ КОНТАКТОВ И КОНТАКТНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Значения переходных сопротивлений контактных соединений кабелей, разъемных контактов коммутационных аппаратов и шинопроводов в миллиомах приведены соответственно в табл. 17—19.

Таблица 17

Сопротивления контактных соединений кабелей

Сечение алюминиевого кабеля, мм*	16	25	85	50	70	95	120	150	240
Сопротивление, мОм	0,085	0,064	0,056	0,043	0,029	0,027	0,024	0,001	0,012

Таблица 18

Сопротивления контактных соединений шинопроводов

Номинальный ток, А	250	400	630	1600	2500	4000
Серия шинопроводов	ШРА-73	ШРА-73	ШРА-73	ШМА-73	ШМА-68Н	ШМА-68Н
Сопротивление контактного соединения, мОм	0,0-09	0,006	0,004	0,003	0,002	0,001

Приближенные значения сопротивлений разъемных контактов

коммутационных аппаратов напряжением до 1 кВ

Номинальный ГОК аппарата, А	Активное сопротивление, мОм, разъёмных соединений		
	автоматического выключателя	рубильника	разъединителя
50	1,30		
70	1,00	—	—
100	0,75	0,50	—
150	0,65	—	—
200	0,60	0,40	—
400	0,40	0,20	0,20
600	0,25	0,15	0,15
10Ш	ОД 2	0,08	0,08
3000	—	—	—

ПРИЛОЖЕНИЕ 5
Справочное

ПАРАМЕТРЫ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ ТОКА

При отсутствии данных изготовителя об индуктивных (*ТА) и активных (ГТА) сопротивлениях измерительных трансформаторов тока допускается использовать значения, приведенные в табл. 20.

Таблица 20

Сопротивления первичных обмоток многовитковых трансформаторов тока

Коэффициент трансформации трансформатора тока	Сопротивление первичной обмотки многовиткового трансформатора, мОм, класса точности			
	1		3	
	*ТА	ГТА	*ТА	ГТА
20/5	67	42	17	19
30/5	30	20	8	8,2
40/5	17	11	4,2	4,8
50/5	11	7	2,8	3
75/5	4,8	3	1,2	1,3
100/5	2,7	1,7	0,7	0,75
150/5	1,2	0,75	0,3	0,33
200/5	0,67	0,42	0Л 7	0,19
300/5	0,3	0,2	0,08	0,088
400/5	0,17	0,11	0,04	0,05
500/5	0,07	0,05	0,02	0,02

ПРИЛОЖЕНИЕ 6
Рекомендуемое**СОПРОТИВЛЕНИЕ КАТУШЕК АВТОМАТИЧЕСКИХ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ**

При отсутствии данных изготовителей об индуктивных ($X_{кв}$) и активных ($G_{кв}$) сопротивлениях катушек расцепителей и переходных сопротивлениях подвижных контактов автоматических выключателей допускается использовать значения этих сопротивлений, приведенные в табл. 21.

Т а б л и ц а 2 1

Сопротивления катушек и контактов автоматических выключателей

Номинальный ток выключателя, А	Сопротивление катушки и контакта, МОм	
	ГкВ	*кВ
50	7	4,5
70	3,5	2
100	2,15	1,2
140	1,3	0,7
200	1,1	0,5
400	0,65	0,17
600	0,41	0,13
1000	0,25	0,1
1600	0,14	0,08
2500	0,13	0,07
4000	0,1	0,05

Примечание. В таблице указаны суммарные сопротивления катушек и контактов автоматических выключателей (серий А 3700 «Электрон» и ВА), для которых эти сопротивления зависят от их номинального тока и не зависят от типа выключателя.

ПРИЛОЖЕНИЕ 7
Рекомендуемое**РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ**

При расчете периодической составляющей тока КЗ, обусловленного асинхронными электродвигателями напряжением до 1 кВ, необходимо учитывать не только их индуктивные, но и активные сопротивления.

Суммарное активное сопротивление, характеризующее асинхронный электродвигатель в начальный момент КЗ ($I_{ад}$) в миллиомах рассчитывают по формуле

$$I_{ад} = I_{д} \cdot 0,96 G_a, \quad (35)$$

где Γ_1 — активное сопротивление статора, мОм;

Γ_2 активное сопротивление ротора, приведенное к статору, при этом Γ_2 в миллиомах рассчитывают по формуле

$$\Gamma_2 = \frac{0,36 \Gamma_1 p (Y_{НОМ} \cdot \lambda^2 \cdot M_{п})}{1 \cdot p \cdot D_{НОМ}} \cdot 10^{-6}, \quad * \quad (36 >$$

где $M_{п}$ — кратность пускового момента электродвигателя по отношению к его

номинальному моменту;

$P_{ном}$ — номинальная мощность электродвигателя, кВт;

$P_{мх}$ — механические потери в электродвигателе (включая добавочные потери), кВт;

$I_{п}$ — кратность пускового тока электродвигателя по отношению к его

*

номинальному току;

$I_{ном}$ — номинальный ток электродвигателя, А;

$\$_{ном}$ — номинальное скольжение, отн. ед.

Активное сопротивление статора электродвигателя (Γ_1) в миллиомах, если оно не задано изготовителем, рассчитывают по формуле

$$\Gamma_1 = \frac{5 \cdot M_{ом} \cdot U_{ном} \cdot \cos \varphi_{ном}}{100 \cdot I_{ном}^2} \quad (37)$$

где $\$_{ном}$ — номинальное скольжение асинхронного электродвигателя, %.

Сверхпереходное индуктивное сопротивление асинхронного электродвигателя ($X_{п}$) в миллиомах рассчитывают по формуле

$$X_{п} = \sqrt{\frac{U_{ф.ном}^2}{3 \cdot I_{ном}^2} - \Gamma_1^2} \quad (38)$$

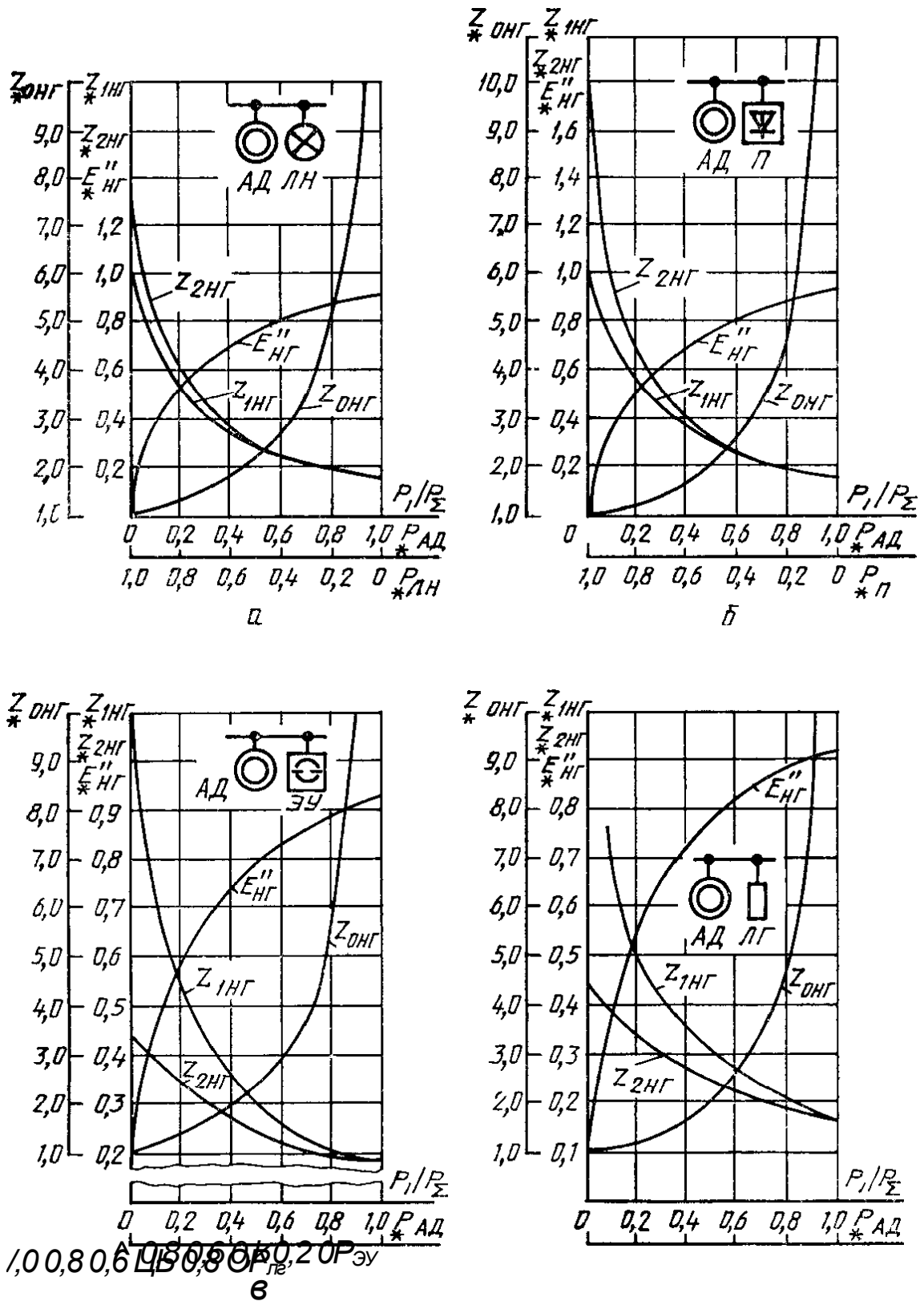
где $U_{ф.ном}$ — номинальное фазное напряжение электродвигателя, В.

ПАРАМЕТРЫ КОМПЛЕКСНОЙ НАГРУЗКИ

1. В состав комплексной нагрузки могут входить асинхронные и синхронные электродвигатели, преобразователи, электротермические установки, конденсаторные батареи, лампы накаливания и газоразрядные источники света.

2. При определении начального значения периодической составляющей тока КЗ комплексную нагрузку в схему прямой последовательности следует вводить эквивалентной сверхпереходной ЭДС и сопротивлением прямой последовательности $Z_{пр}$ в схему обратной и нулевой последовательностей — сопротивлениями обратной $Z_{обр}$ и нулевой $Z_{0нр}$ последовательностей.

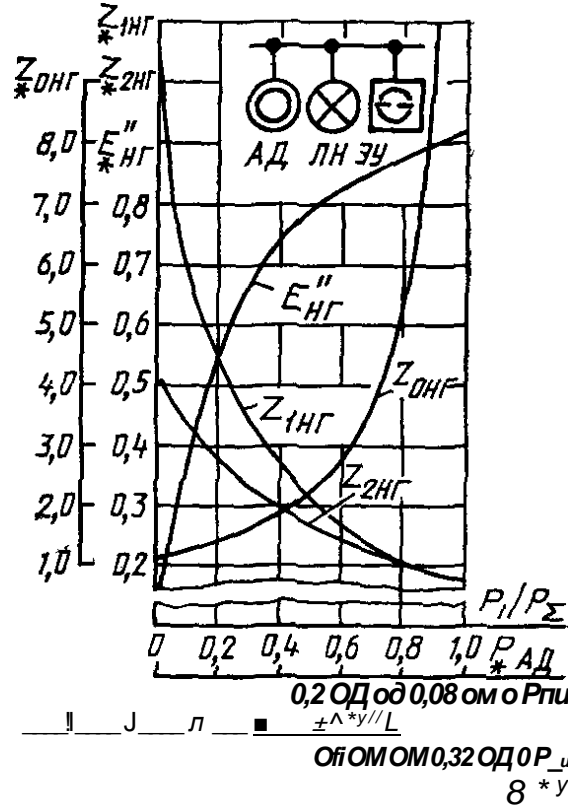
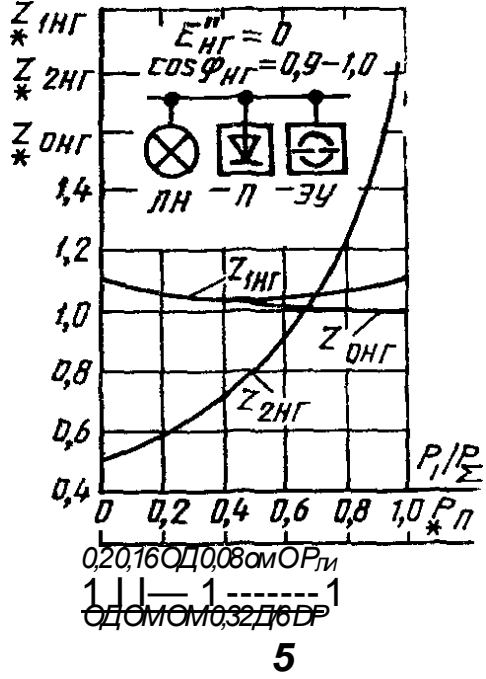
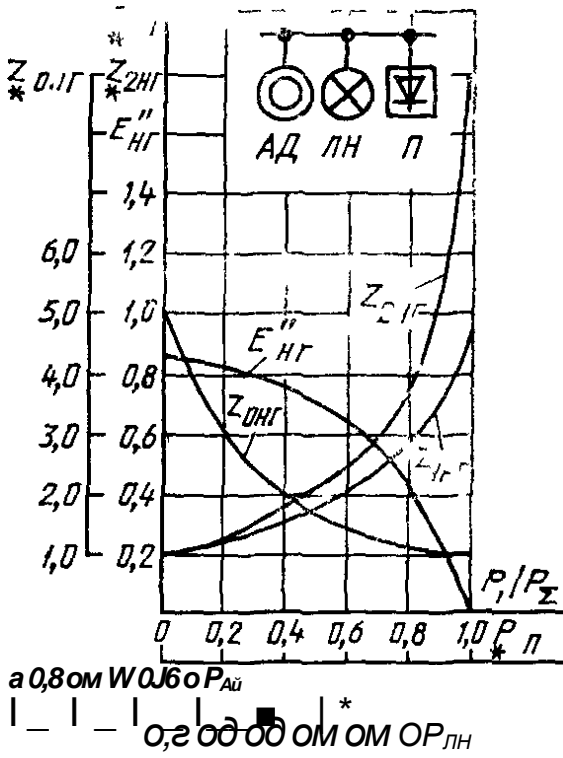
Зависимость параметров комплексной нагрузки

НГ » Λ 2НГ ч Λ 0НГ » Σ НГ от ее состава

Черт 10

Зависимость параметров комплексной нагрузки

«ЩГ, «ЛН» «%ОНГ» «ЛНГ» от ее состава



Черт. 1]]

3 Значения модулей полных сопротивлений, $Z_{2нг}$ и $\Lambda_{онг} > \Lambda_{так}$, же эквивалентной сверхпереходной ЭДС комплексной нагрузки в от-носительных единицах при отсутствии других, более полных данных, могут быть определены по кривым, приведенным на черт. 10 и 11 в зависимости от относительного состава потребителей узла нагрузки $P_{if}P\%$, где $P\%$ — суммарная номинальная активная мощность нагрузки, кВт; P_r^* — установленная мощность / потребителя нагрузки, кВт ($P_{дд}$ — асинхронные двигатели, $P_{сд}$ — синхронные двигатели, $P_{\delta н}$ — лампы накаливания, $P_{э у}$ — электро-термические установки, $P_{лг}$ — газонаполненные лампы, P^* — преобразова-тели).

Сопротивление прямой (обратной, нулевой) последовательности Ангиом *

($\Lambda_{2нгном} > \Lambda_{онгном}$) в относительных единицах при номинальных условиях до-

$$\frac{1}{\#} \Lambda_{нг ном} = S_{\Sigma} \frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{S_i}{\sqrt{r_{1i}^2 + x_{1i}^2}}}, \quad (39)$$

пускается рассчитывать по формуле

где Γ_e и x_m — активная и индуктивная составляющие сопротивления прямой (обратной, нулевой) последовательности /-го потребителя, включая составляющие сопротивления элементов, связывающих потребитель с шинами узла (до 1 кВ); их значения в относительных единицах при суммарной номинальной мощности S_j^* , кВт/А, и среднем номинальном напряжении той ступени напряжения сети, где она присоединена, приведены в табл. 1;

S_i — полная установленная мощность /-го потребителя нагрузки, кВт-А.

ПРИЛОЖЕНИЕ 9
Рекомендуемое

УЧЕТ ВЛИЯНИЯ АКТИВНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ДУГИ НА ТОК КЗ

1. Учет электрической дуги в месте КЗ рекомендуется производить введением в расчетную схему активного сопротивления дуги Γ_d .

2. Переходное активное сопротивление дуги в месте КЗ (Γ_d) в миллиомах зависит в основном от тока КЗ и длины дуги и рассчитывается по формуле

$$\Gamma_d = 16 \frac{V_{л}}{I_{под}^{0.85}}, \quad (40)$$

где $I_{под}$ — начальное действующее значение периодической составляющей то-

С. 44 ГОСТ 28249—93

ка в месте КЗ, кА, определяемое с учетом сопротивления дуги;

l_d — длина дуги, см, которая может быть принята равной¹

$l_d = 4a$ при $a < 5$ мм;

$l_a = 20,41 \ln e^{-0,75ax}$ при $a = (5-j-50)$ мм;

$l_l = a$ при $a > 50$ мм.

где Z_L и Z_C — соответственно суммарное активное и суммарное индуктивное

сопротивления цепи КЗ, мОм;

a — расстояние между фазами проводников, мм.

Для электроустановок 0,4 кВ активное сопротивление электрической дуги может быть определено по кривым, приведенным на черт. 12—22.

На черт. 1,2—21 представлены расчетные кривые зависимости активного сопротивления дуги R_d от площади сечения (S) и длины алюминиевого кабеля ($l_{кб}$), определяемой расстоянием от выводов низшего напряжения (0,4 кВ) трансформаторов различной мощности до места КЗ. Кривые построены с использованием формулы (40) при трехфазном и однофазном КЗ и при $l_d = \lambda = 3a$

На черт. 22 представлены расчетные кривые зависимости активного сопротивления дуги от типа и длины шинпровода, подключенного к выводам 0,4 кВ трансформаторов различной мощности, определяемой расстоянием до места КЗ. Кривые справедливы для шинпроводов серии ШМА и построены с использованием формулы (40) при условии, что $l_d = 21a$.

При определении активного сопротивления дуги в случае КЗ в кабеле длиной $l_{кб}$, подключенном к трансформатору через шинпровод длиной $l_{ш}$ или через кабель другого сечения, результирующую длину проводника шинпровод — кабель (кабель — кабель) выражают через длину поврежденного кабеля:

$$\lambda = \frac{2l_{кб} \sqrt{R_{к-бН} + R_{ш}}}{\sqrt{R_{кб}}} > \quad (41)$$

где $R_{ш}$ и $R_{кб}$ — полные сопротивления прямой последовательности шинпровода и кабеля, мОм.

3. Влияние активного сопротивления дуги на ток КЗ можно также учитывать путем умножения расчетного тока КЗ, найденного без учета сопротивления дуги в месте КЗ, на зависящий от сопротивления цепи КЗ поправочный коэффициент K_c . Значение коэффициента K_c , полученного экспер-иментально при КЗ за трансформаторами мощностью 630—1000 кВ-А,

можно определить по кривым черз. 23.

Y/V

Сопротивление цепи КЗ (Гк) определяют в зависимости от вида КЗ:

при трехфазном AD —

при двухфазном K

при однофазном

42 * >

Приведенным на черт. 23 кривым $K_c f(z_K)$ соответствуют выражения

$$K_c = 0,6 - 0,0025 z_K + 0,114 \sqrt{z_K} - 0,13 \sqrt[3]{z_K};$$

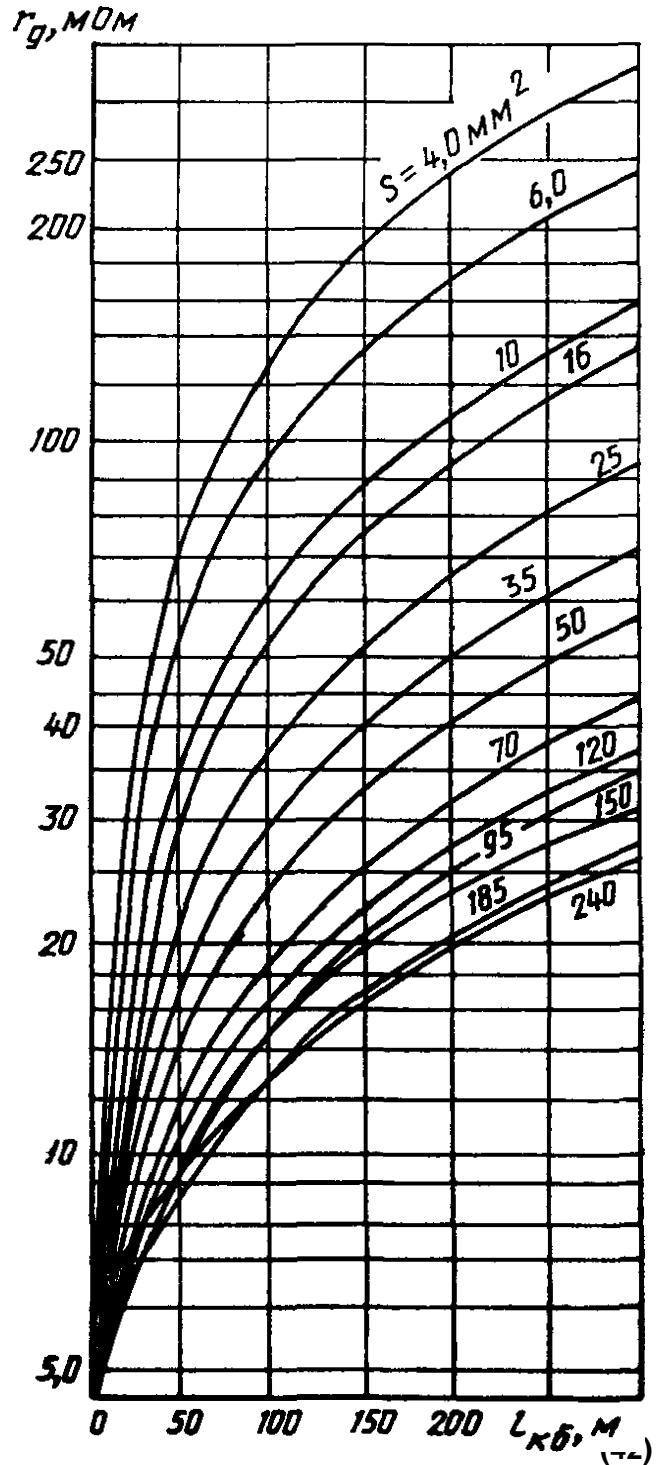
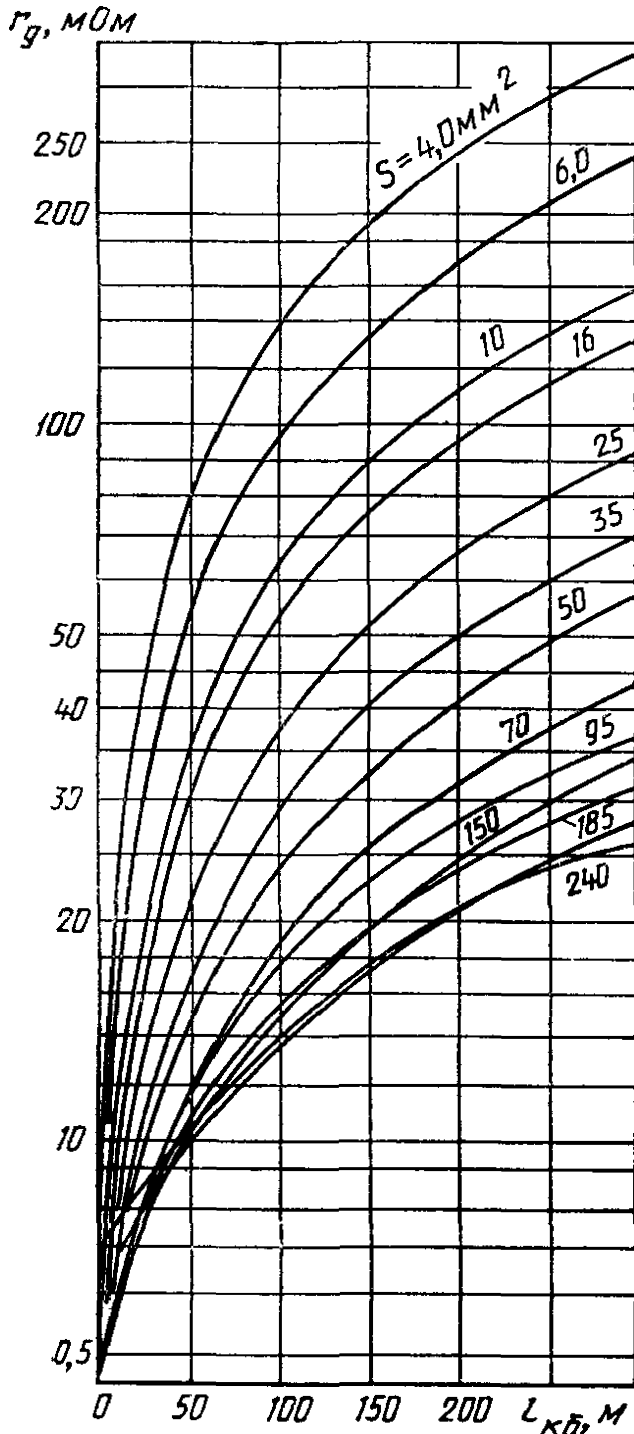
Черт $K_c = 0,55 - 0,002 z_K + 0,1 \sqrt{z_K} - 0,12 \sqrt[3]{z_K}$.ерт 13

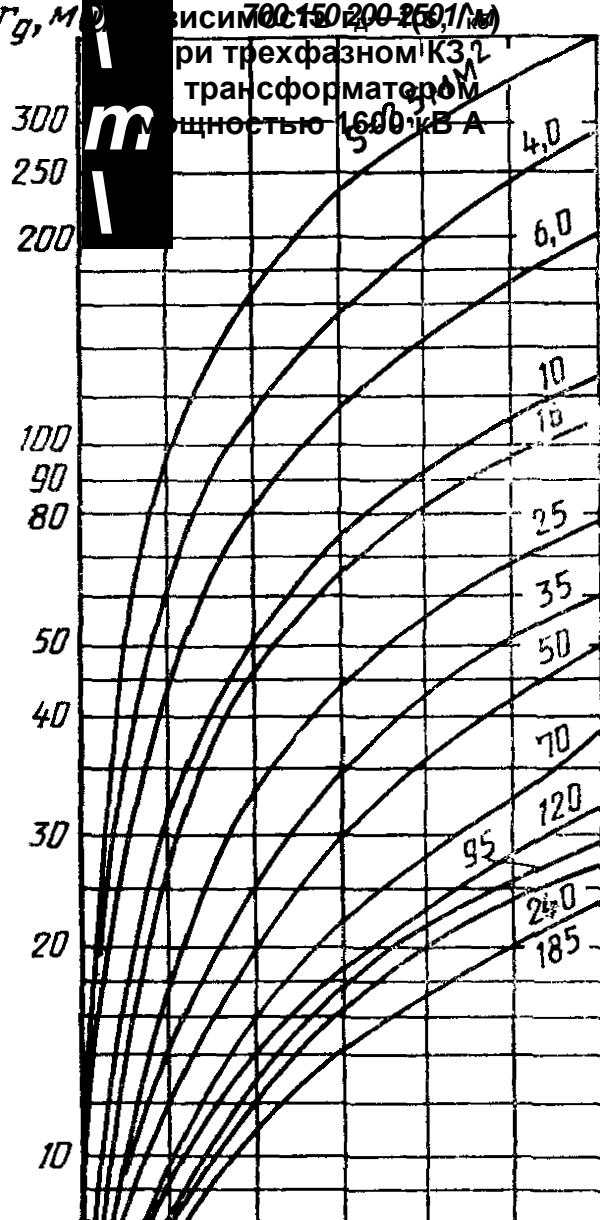
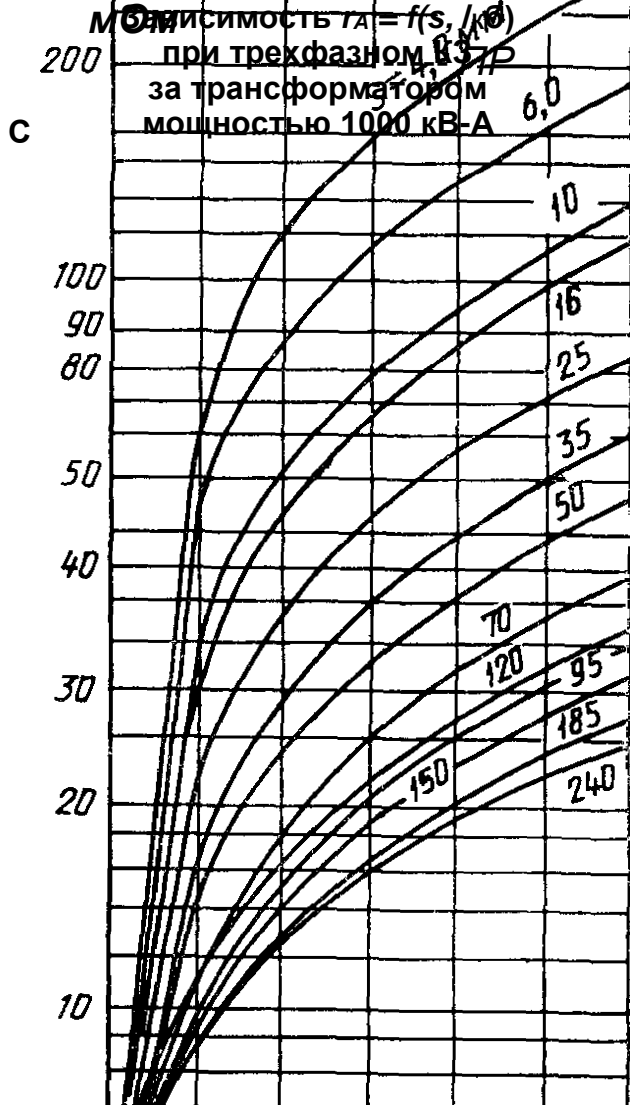
С. 46 ГОСТ 28249—93

4 При определении минимального значения тока КЗ в автономной электрической системе приближенный учет влияния активного сопротивления электрической дуги на ток КЗ допускается производить умножением расчетного тока КЗ, найденного без учета сопротивления дуги, на поправочный коэффициент K_c . Значение этого коэффициента допускается принять равным 0,7—0,8

**Зависимость $r_A = f(s, l_{кб})$
при трехфазном КЗ
за трансформатором
мощностью 630 кВ*А**

**Зависимость $r_A = f(s, l_{кб})$
при трехфазном КЗ
за трансформатором
мощностью 750 кВ*А**

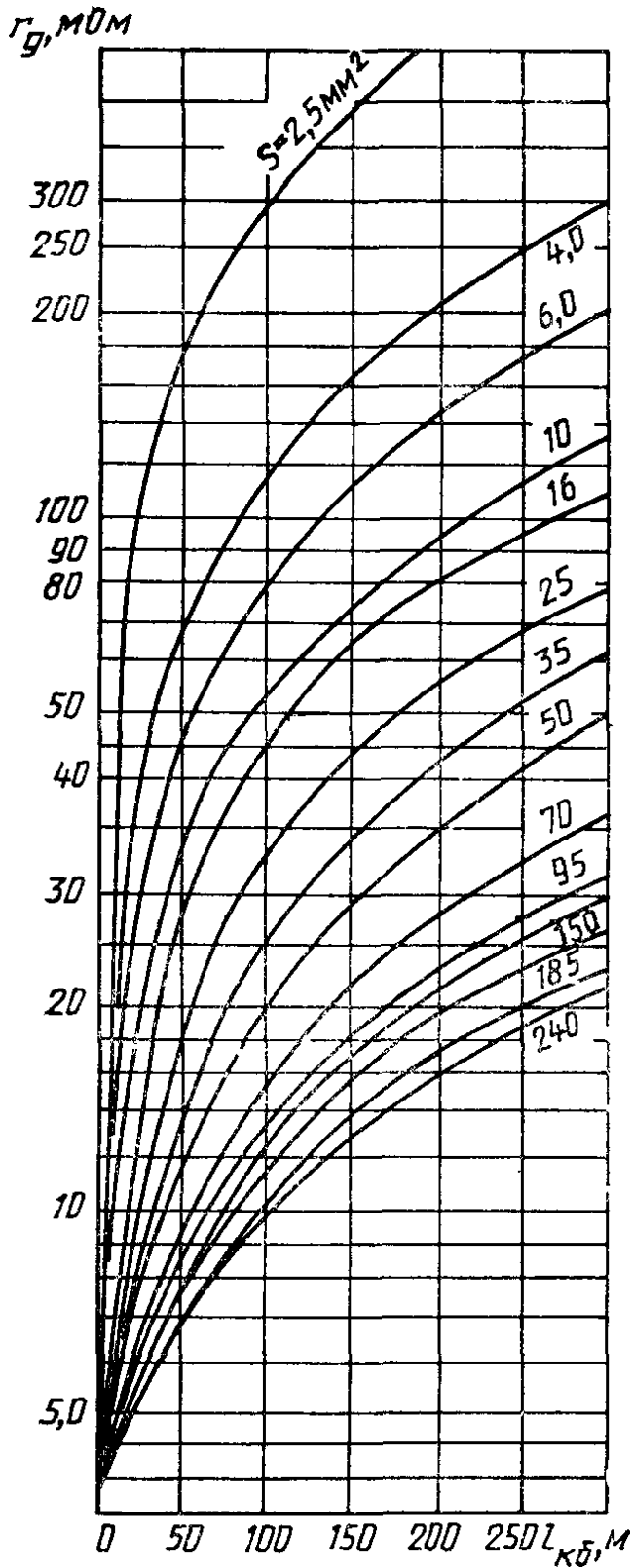




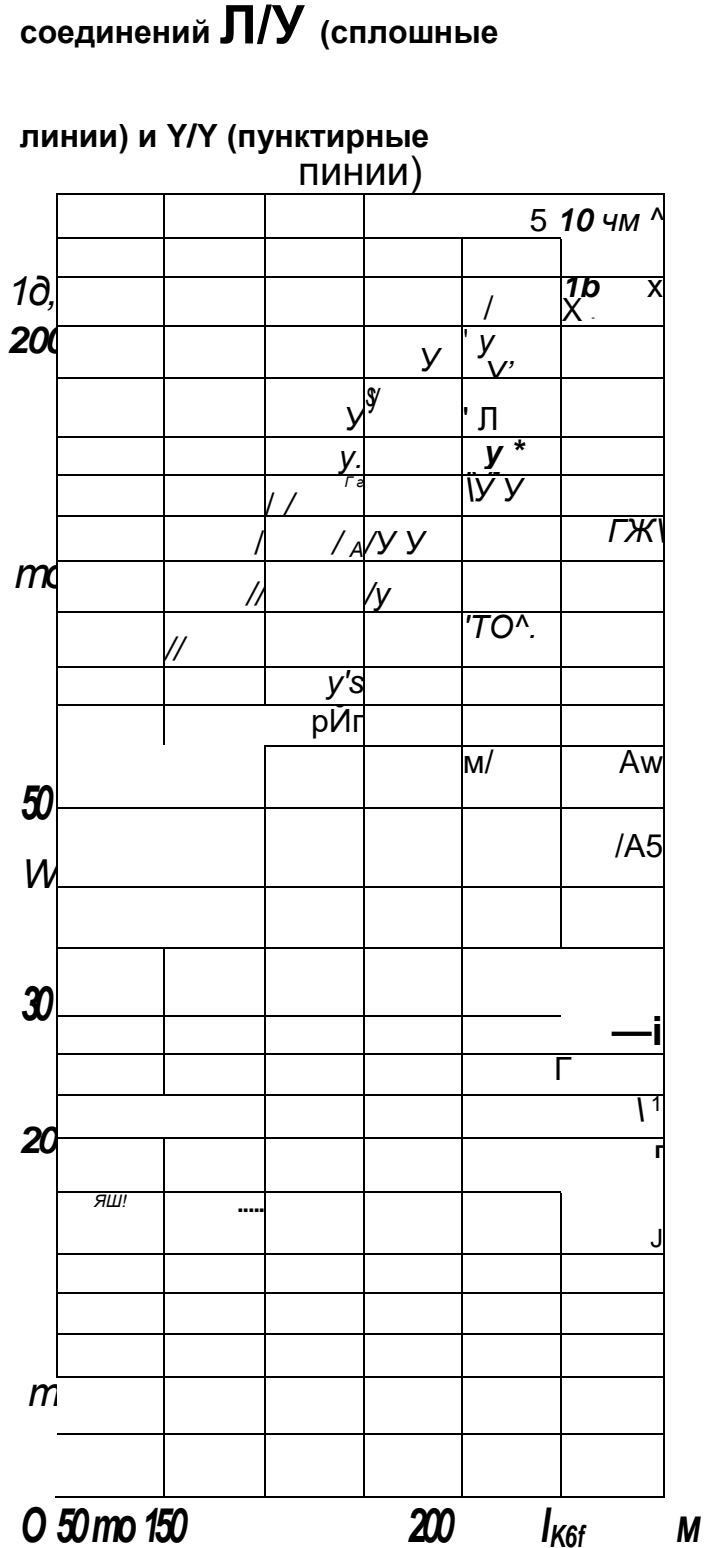
m=Щ

О 50 ПО 150 2DD L^M

Зависимость $r_d = f(s, I_{кв})$
при трехфазном КЗ
за трансформатором
мощностью 2500 кВ·А



Зависимость $r_A = f(s, I_{кв})$ при
однофазном КЗ за трансформатором
мощностью 1000 кВ·А при схеме
соединений Л/У (сплошные
линии) и Y/Y (пунктирные
линии)



Зависимость $r_A=f(s, 1_{кб})$ при
однофазном КЗ за трансформатором
мощностью 630 кВ-А при схеме

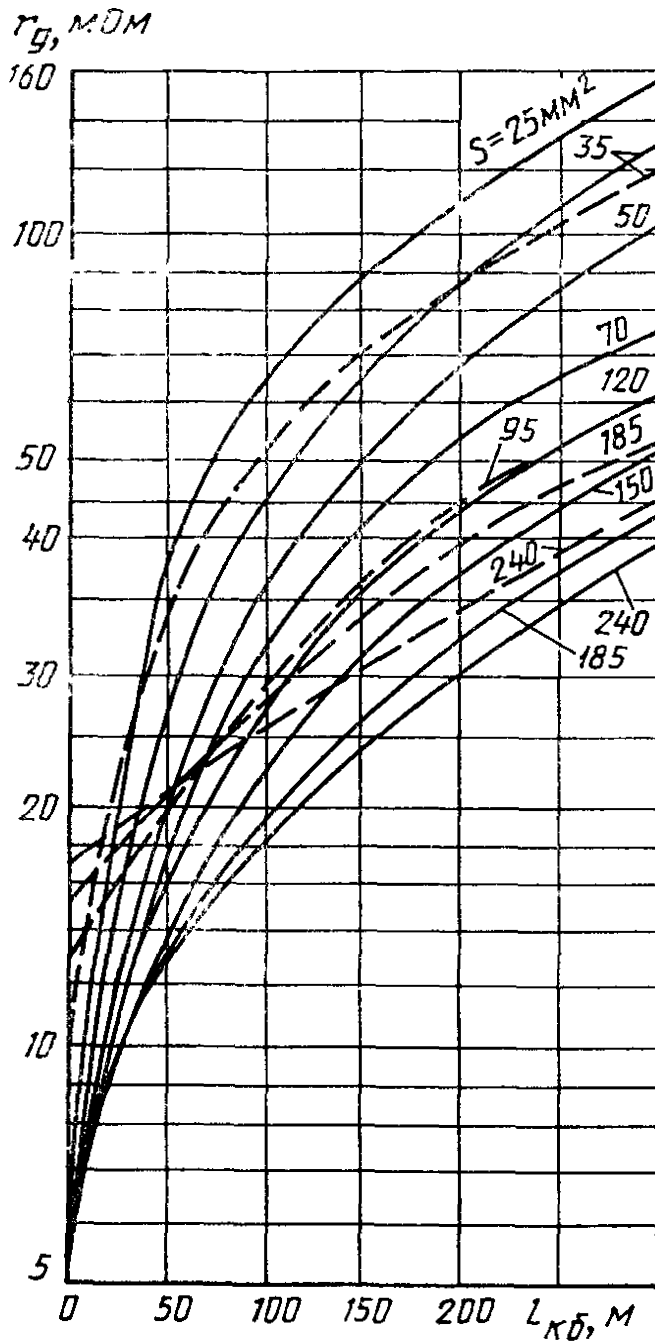
соединений Д/У (сплошные

линии) и УЛ (пунктирные
линии)

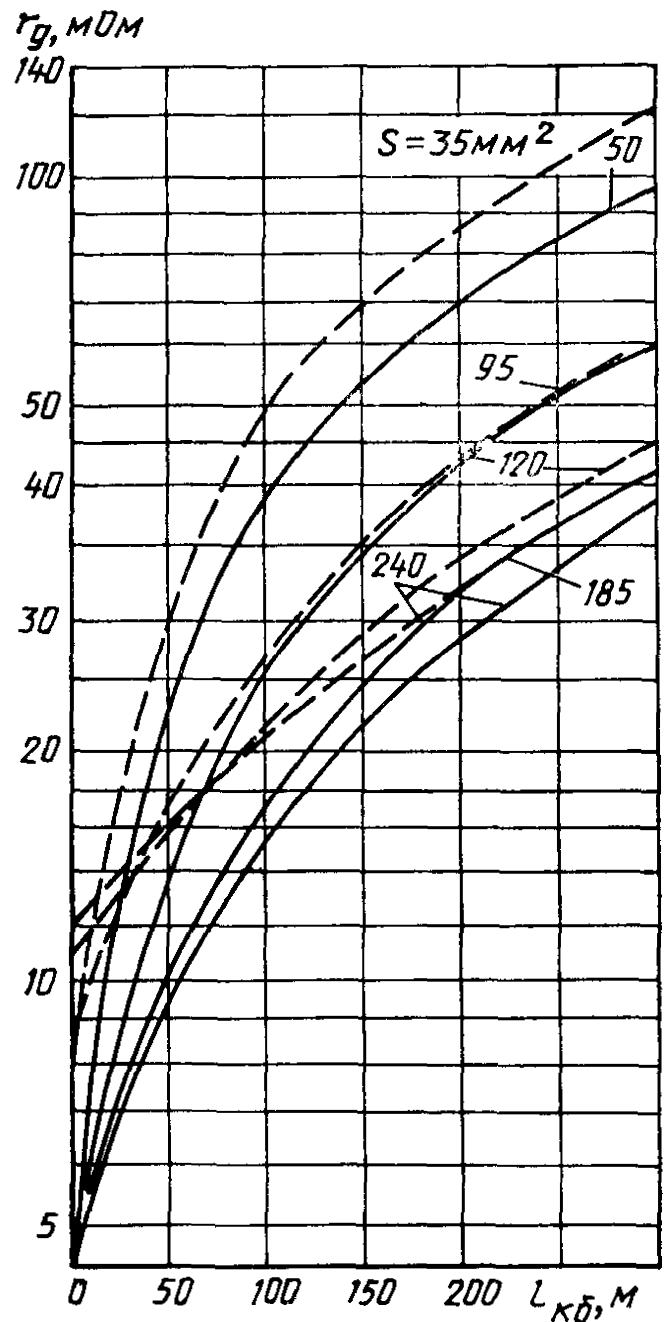
линии) и У/У (пунктирные

линии)

соединений Д/У (сплошные



Черт. 18



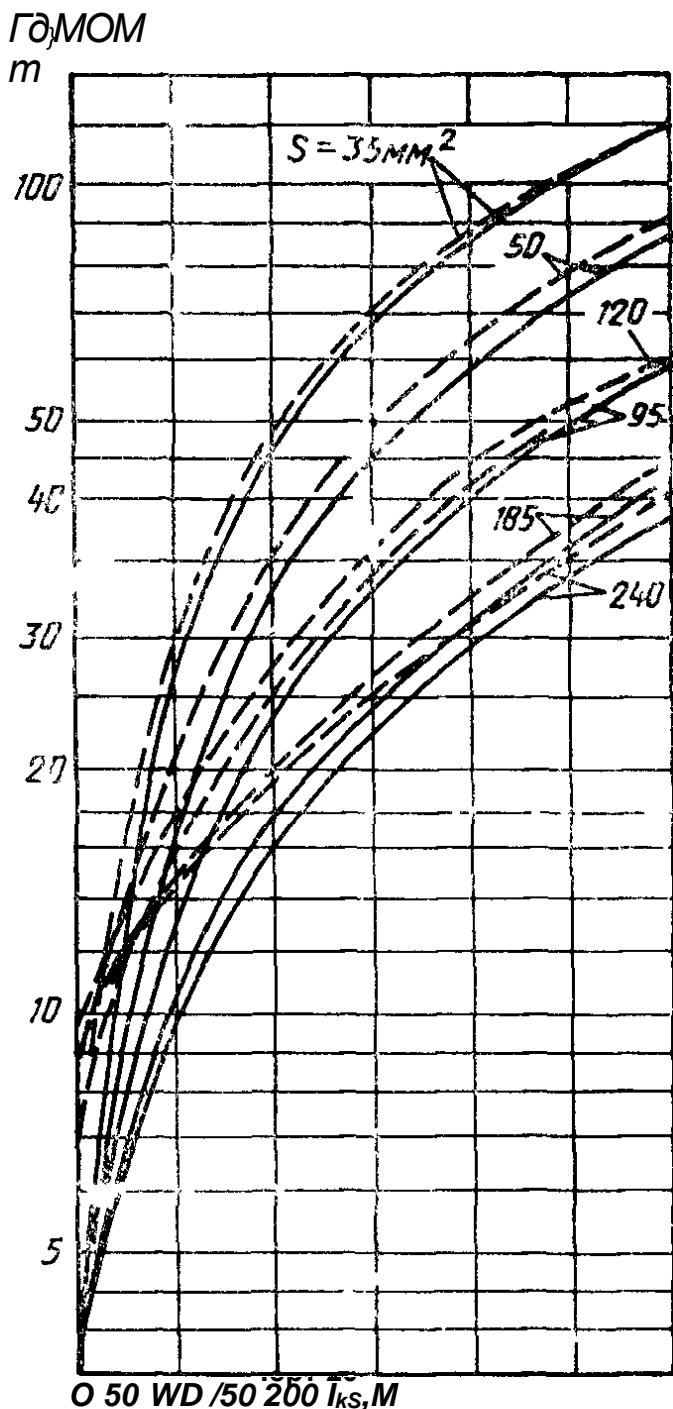
Черт. 19

**Зависимость $r_A = f(s, I_{к6})$ при
однофазном КЗ за трансформатором
мощностью 1000 кВ А при схеме**

Зависимость $\gamma_d = f(s, I_{кБ})$ при однофазном КЗ за трансформатором мощностью 1600 кВ А при схеме

соединений Д/у (сплошные

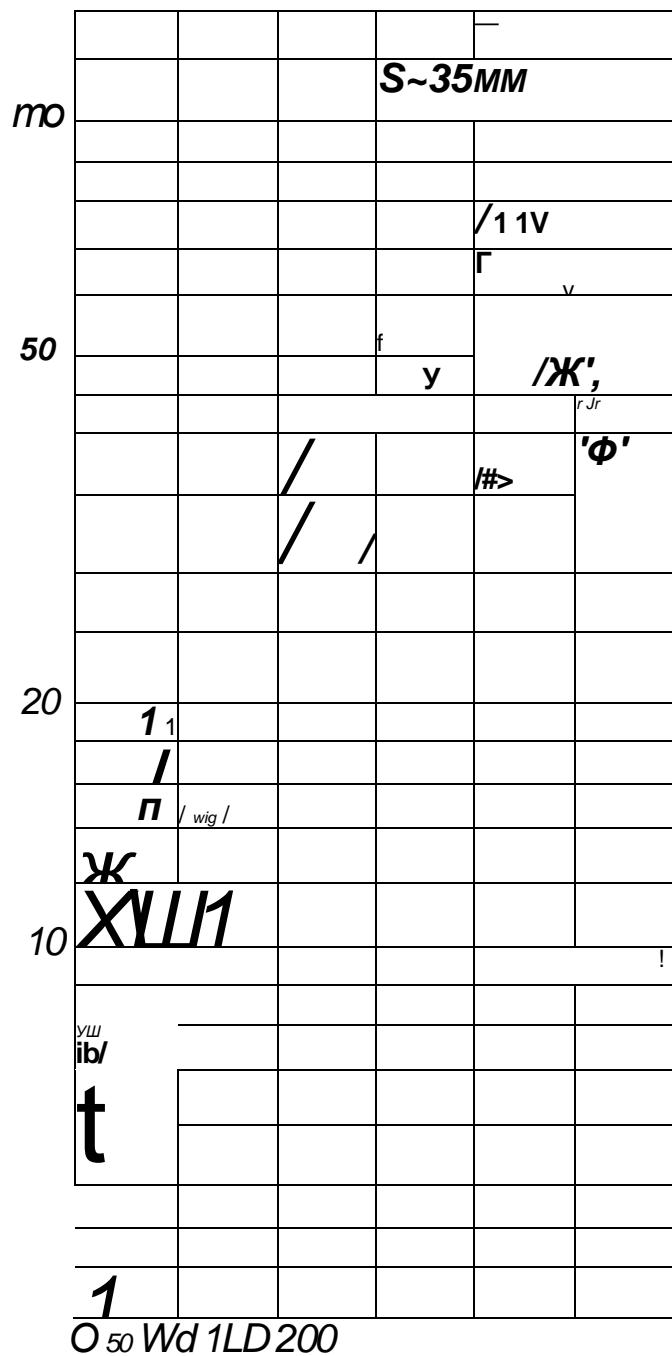
линии) и (пунктирные линии)



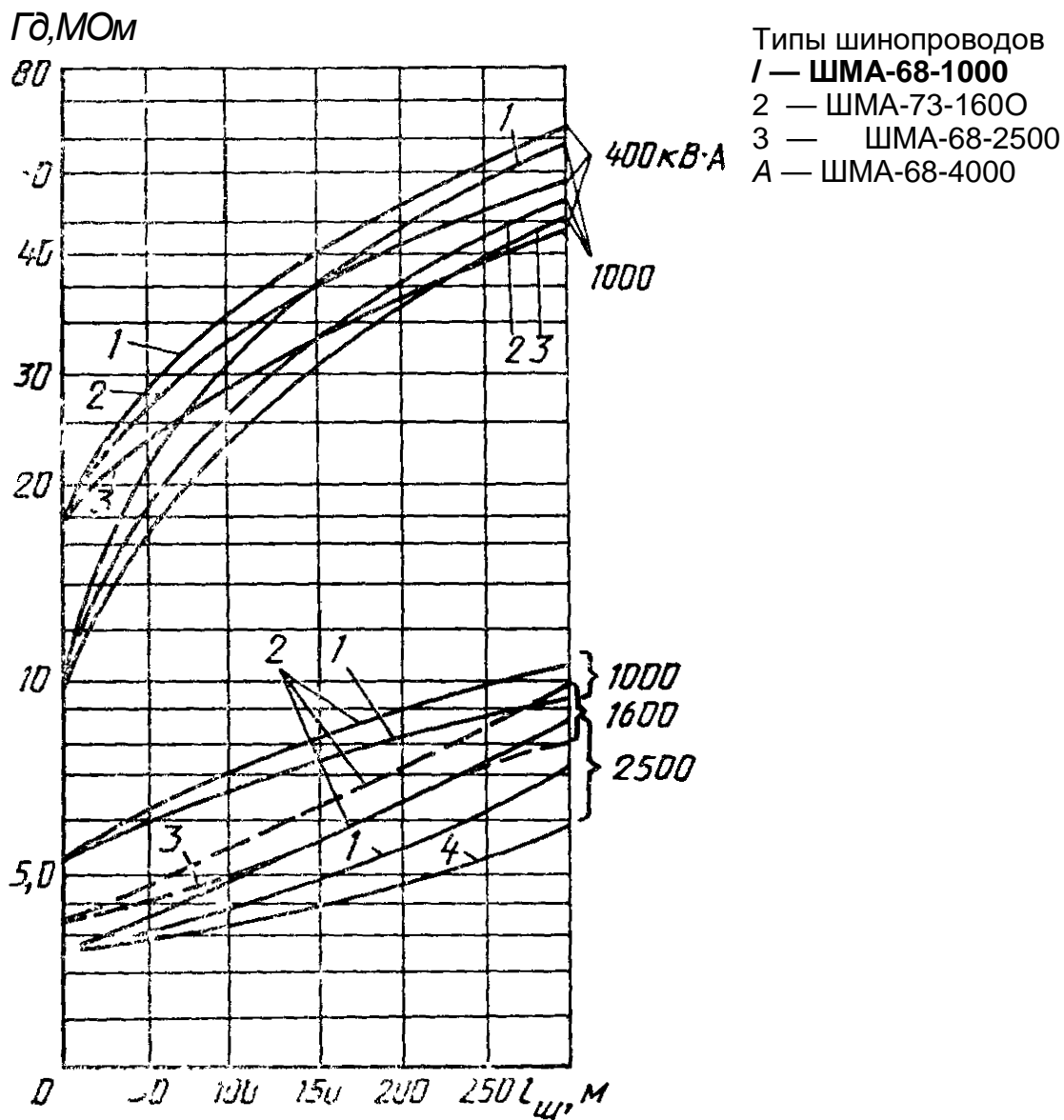
Зависимость $\gamma_d = f(I_{кБ})$ при однофазном КЗ за трансформатором мощностью 2500 кВ А

(Д/ф)

гддМММ

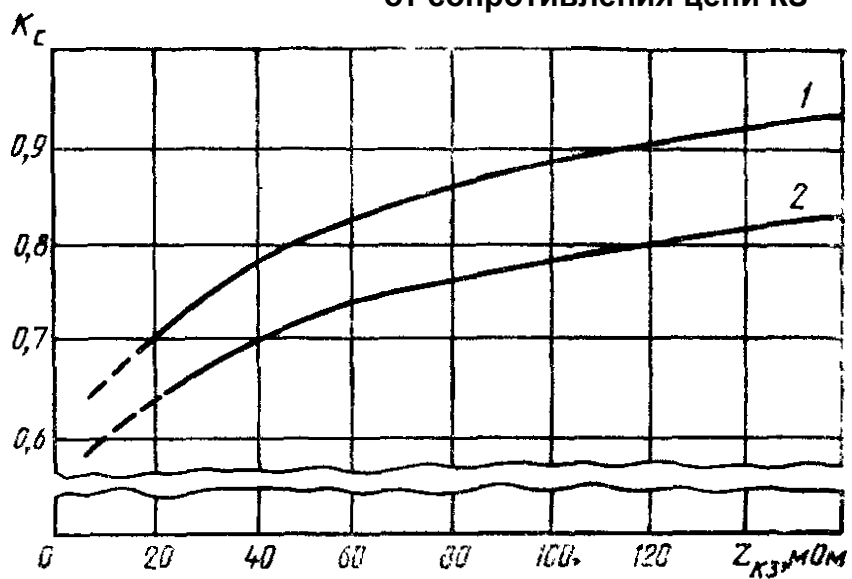


Зависимость $r_a=f$ (тип, $l_{ш}$) при трехфазном КЗ
за трансформаторами мощностью 1000, 1600 и 2500 кВ·А



Черт. 22

Зависимость коэффициента K_c , найденного экспериментально, для начального момента КЗ (кривая 1) и установившегося КЗ (кривая 2) от сопротивления цепи КЗ



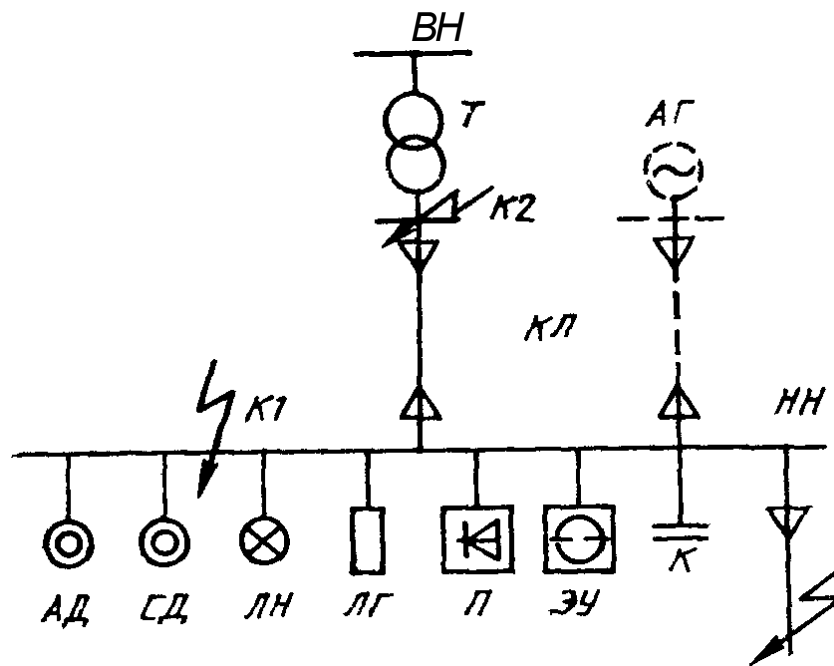
Черт. 23

УЧЕТ ВЛИЯНИЯ КОМПЛЕКСНОЙ НАГРУЗКИ НА ТОК КЗ

Метод учета комплексной нагрузки при расчете тока КЗ зависит от характера исходной схемы замещения комплексной нагрузки (черт. 24) и положения точки КЗ (черт. 25).

В радиальной схеме (черт. 25а) допускается не учитывать влияние статических потребителей (преобразователи, электротермические установки, электрическое освещение). Начальное значение периодической составляющей тока КЗ, ударный ток, а также периодическую составляющую тока КЗ в произвольный момент от асинхронных и синхронных электродвигателей следует рассчитывать в соответствии с требованиями разд. 3, 5^А 7.

Состав узла комплексной нагрузки

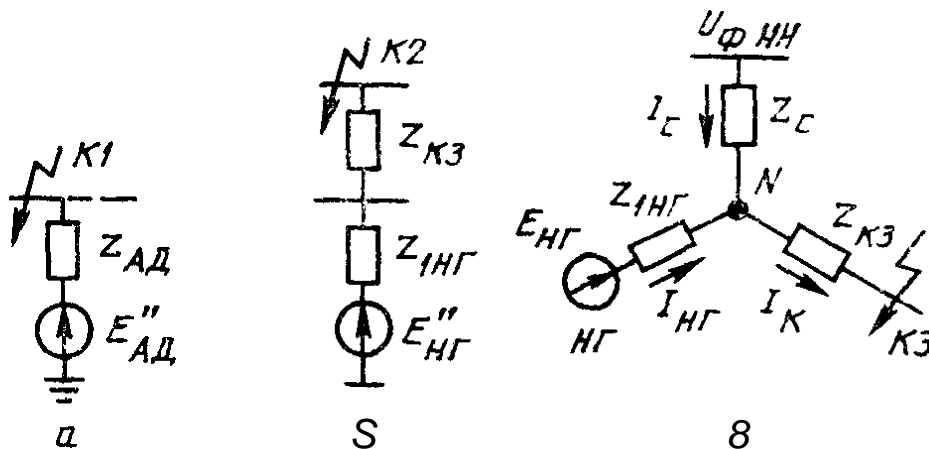


АД — асинхронные двигатели; АД — асинхронные двигатели;
 СД — синхронные двигатели;
 ЛН — лампы накаливания; ЛГ — лампы газоразрядные; Я — преобразователи; ЭУ — электротермические установки; К — конденсаторные батареи; КЛ — кабельная линия; АГ — автономный источник электроэнергии; К1, К2, КЗ — точка КЗ; Т — трансформатор

Черт. 24

Преобразование схемы замещения комплексной нагрузки

При КЗ за общим для узла нагрузки сопротивлением (черт. 25б) иачаль



Черт 25

ное значение периодической составляющей тока трехфазного КЗ (побыг) ^в килоамперах следует определять с учетом влияния двигательной и статической

$$\begin{aligned}
 & \text{^пoНГ} \quad \text{У} \quad \text{НГ} \text{ ^ср.НН} \quad \text{Х} \\
 & /3 \quad \text{1НГ} \quad U_{\text{ср.НН}} \quad \cos \langle \rho_{\text{НГ}} - |r_{12}| \rangle + \\
 & \text{Х} \quad \text{1НГ} \quad U_{\text{ср.НН}}^2 \quad \text{зшсрщ} \quad (43)
 \end{aligned}$$

нагрузок, используя формулу

где $Z_{\text{нГ}}$ — эквивалентная ЭДС и сопротивление прямой последовательности узла нагрузки; их значения в относительных единицах определяют по кривым, приведенным на черт. 10 и 11 приложения 8 в зависимости от относительного состава потребителей;

ε_{12} и $X|\varepsilon$ — соответственно суммарное активное и суммарное индуктивное сопротивления цепи короткого замыкания, МОм (см. п. 3.4);

S^{\wedge} — суммарная номинальная мощность нагрузки, кВ*А;

$U_{\text{ср.нн}}$ — среднее номинальное напряжение сети, соответствующее обмотке низшего напряжения трансформаторов, В.

Значения ударного тока и периодической составляющей тока КЗ в произвольный момент времени от электродвигателей следует определять в соответствии с требованиями разд. 5 и 7.

При коротком замыкании за общим для нагрузки и системы сопротивлением (черт. 25в) и близких значениях отношения x/r ветвей расчетной схемы

С. 56 ГОСТ 25249—93

начальное значение периодической составляющей тока КЗ (/пок) допускается рассчитывать по формуле

$$I_{\text{пок}} = \frac{E_{\text{нг}}}{Z_c Z_{1\text{нг}} + Z_c Z_k} \quad (44)$$

где $E_{\text{нг}}$ — ЭДС узла нагрузки;
 t_{ii} — коэффициент трансформации трансформатора;

$Z_{\text{шг}}$, Z_c , Z_k — модули сопротивлений ветвей исходной схемы замещения (черт. 25 в), причем

$$Z_{\text{шг}} = \frac{R_{\text{шг}} + jX_{\text{шг}}}{S_2}$$

рассчитывается как указано в л. 3.2;

$$R_k = \frac{1}{\sigma} ;$$

R_{12k} и X_{12k} — соответственно суммарное активное и суммарное индуктивное сопротивление цепи КЗ.

Ударный ток следует определять в соответствии с требованиями разд. 5.

ПРИЛОЖЕНИЕ 11
 Рекомендуемое

ПРИМЕРЫ РАСЧЕТА ТОКОВ КЗ

Пример 1. Для схемы, приведенной на черт. 26 определить токи при трех-, двух-, и однофазном КЗ в точке К1. Для трехфазного КЗ определить максимальные и минимальные значения тока КЗ.

-Исходные данные

Система С

$S_k = 200 \text{ МВ} \cdot \text{А}$; $U_{\text{ср вн}} = 6,0 \text{ кВ}$.

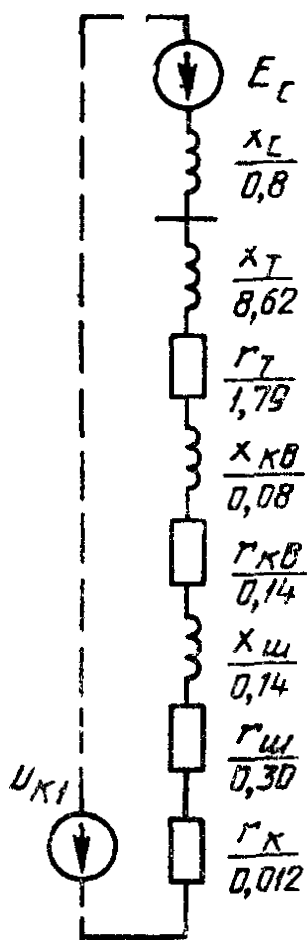
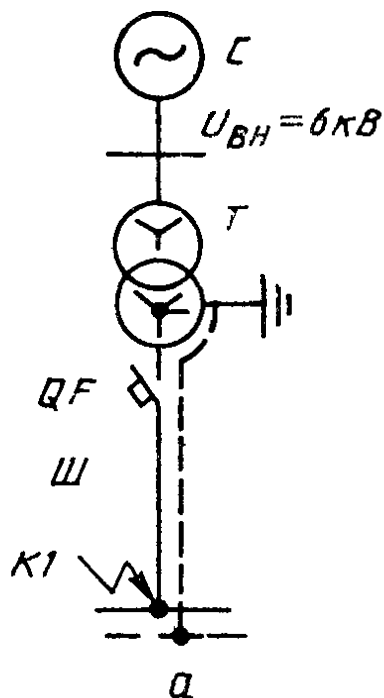
Трансформатор Т: ТС — 1000/6

напряжения 10 кВ - А ; кВ;

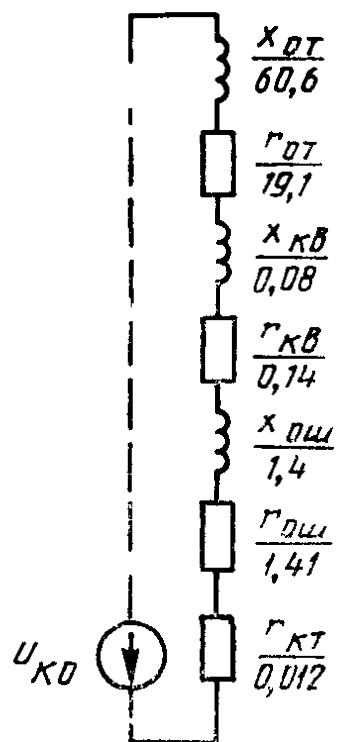
$S_{\text{ном}} = 1,2 \text{ кВт}$;

$n_k = 5,5 \%$.

Расчетная схема к примеру 1
и ее преобразование



Черт. 26



Автоматический выключатель «Электрон»

$$/ -кв = 0,14 \text{ мОм}; * \{ \mathcal{E} = 0,08 \text{ мОм}.$$

Шинопровод ШМА-4-1ШЗШ:

$$\Gamma_{ш} = 0,030 \text{ мОм/м}; X_{ш} = 0,014 \text{ мОм/м};$$

$$\Gamma_{нп} = 0,037 \text{ мОм/м} \quad x_{нп} \sim 0,042 \text{ мОм/м}; l_{ш} = 10 \text{ м}.$$

Болтовые контактные соединения: $\Gamma_k = 0,003 \text{ мОм}; l = 4$.

1.2. Расчет параметров схемы замещения

1.2.1. Параметры схемы замещения прямой последовательности

Сопротивление системы (x_c), рассчитанное по формуле 1, составит:

$$x_c \sim \frac{(400)^3}{200} \cdot 10^{-3} = 0,8 \text{ мОм}.$$

Активное и индуктивное сопротивления трансформаторов (Γ_T) и (x_T), рассчитаны по формулам 3 и 4, составят;

$$11,2 - 0,42$$

$$\frac{(1000)^2}{*10^3} = 1,79 \text{ мОм};$$

Активное и индуктивное сопротивления шинпровода:

$$X_m = 5,5^3 \cdot \left(\frac{100 \cdot 11,2}{1000} \cdot 10^{-3} + \frac{0,4^2}{1000} \right) \cdot 10^4 = 8,62 \text{ мОм}.$$

$$\Gamma_{ш} = 0,030 \cdot 10 = 0,30 \text{ мОм}; \quad l_{гш} = 0,014 \cdot 10 = 0,14 \text{ мОм},$$

Активное сопротивление болтовых контактных соединений:

$$\Gamma_k = 0,003 \cdot 4 = 0,012 \text{ мОм}.$$

Активное сопротивление дуги определяют, как указано в приложении 9 черт. 22: $\Gamma_d = 5,6 \text{ мОм}.$

1.2.2. Параметры схемы замещения нулевой последовательности.

$$\Gamma_{от} = 19,1 \text{ мОм}; \quad x_{от} = 60,6 \text{ мОм};$$

$$0,37 \cdot 10 = 0,37 \text{ мОм}; \quad x^{\wedge} = 0,042 \cdot 10 = 0,42 \text{ мОм}.$$

1.3. Расчет токов трехфазного КЗ

$$I_{\Sigma} = \Gamma_T + \Gamma_{ш} + \Gamma_{кв} \cdot 10^{-3} = 1,794 + 0,30 + 0,14 + 0,013 = 2,24 \text{ мОм} \quad |$$

$$I_{\Sigma}^2 = x_c^2 + \Gamma_T^2 + \Gamma_{ш}^2 + \Gamma_{кв}^2 = 0,80 + 8,62 + 0,14 + 0,08 = 9,64 \text{ мОм}^2,$$

$$I_{\Sigma}^2 = \Gamma_d^2 + \Gamma_d = 2,24 + 5,6 = 7,84 \text{ мОм}^2;$$

$$\text{по шах} \quad \frac{400}{\sqrt{2,24^2 + 9,64^2}} = 23,33 \text{ кА};$$

$$I_{\text{ном}} = \frac{400}{\sqrt{7^2 + 9^2}} = 18,6 \text{ кА}.$$

$$* \text{уд.тах} \quad \text{/по шах}^{\wedge} \text{уд}^{\wedge} \text{)}^2 \cdot 23,33 \cdot 1,45 = 47,84 \text{ кА};$$

$$* \text{уд.пнп} \text{ "К 2" } \quad \text{/по тш}^{\wedge} \text{уд}^{\wedge} \text{-/2} \text{ " } 18,6 \cdot 1,08 = 28,32 \text{ кА},$$

где /Суд определяют по кривой черт. 2.

$$I_{a0 \max} = 2 / I_{п0 \max} = 32,9 \text{ кА};$$

$$I_{a0 \min} = T^2 / I_{п0 \min} = 26,23 \text{ кА}.$$

1.4 Расчет токов однофазного КЗ

$$X_{от} = X_{от} + X_{ош} + X_{кв} + X_{к} = 19(1 + 0,3 + 3,0,37 + 0,14 + 0,012) = 20,66 \text{ МОм},$$

$$X_{от} = X_{от} + X_{ош} + X_{кв} + X_{к} = 19(1 + 0,3 + 3,0,37 + 0,14 + 0,012) = 20,66 \text{ МОм};$$

$$I_{<>} = \frac{400}{\sqrt{(2 - 2,24 \cdot 4 - 20,66)^2 + (2 - 9,64 + 62,08)^2}} = 8,13 \text{ кА}$$

Ток однофазного КЗ с учетом активного сопротивления дуги

$$I_{<>} = \frac{400}{\sqrt{(2 - 7,844 \cdot 29,26)^2 + (2 - 9,64 + 62,08)^2}} = 7,46 \text{ кА}.$$

1.5. Расчет токов двухфазного КЗ

$$I_{\$/} = \frac{400}{\sqrt{2 \cdot (2,24^2 + 9,64^2)}} = 20,21 \text{ кА}.$$

Ток двухфазного КЗ с учетом активного сопротивления дуги:

$$I_{п0}^{(2)} = \frac{400}{\sqrt{2 \cdot (2,24 + 2,8)^2 + 9,64^2}} = 18,39 \text{ кА}.$$

Результаты расчета токов КЗ сведены в табл. 22

Таблица 22

Результаты расчета токов КЗ к примеру 1

Точка КЗ	Вид КЗ	Максимальное значение тока КЗ, кА			Минимальное значение тока КЗ, кА		
		+0	I_{a0}	$I_{уд}$	$I_{п0}$	I_{a0}	$I_{уд}$
К1	K³⁾	23,33	32,9	47,84	18,6	26,23	28,32
К1	K¹⁾	8,13	—	—	7,46	—	—
К1	K²⁾	20,21	—	—	18,39	—	—

Пример. 2. Для схемы, приведенной на черт. 27, определить максимальные и минимальные значения токов при трехфазном КЗ в точках К1 и К2

2.1. Исходные данные

Система С (7_{ср.вн}=10,5 кВ; /откл НО*=11 кА •

Трансформатор Т. ТС~ ШОО/Ю^О

$$S_{Тном} = 1600 \text{ кВ} \cdot \text{А}, t_{вн} = 10,5 \text{ кВ},$$

$\langle \underline{L_T} = 0.4 \text{ кВ, } P_{\text{НОМ}} = 16 \text{ кВт, } i_{\text{к}} = 5,5 \% \rangle$

Шинопроводы

Ш1: ИМА4-320Q $I_{\text{НОМ}} = 3200 \text{ А, } r_{1\text{Ш}} = 0.01 \text{ мОм/м,}$
 $x_{1\text{Ш}} \sim 0,005 \text{ мОм/м, } l_4 = 10 \text{ м.}$

Ш2, Ш3 ШМА4-1600 $I_{\text{НОМ}} = 1600 \text{ А, } r_{1\text{Ш}} = 0,03 \text{ мОм/м,}$
 $r_{1\text{Ш}} = 0,014 \text{ мОм/м, } l_2 = 20 \text{ м, } l_3 \sim 30 \text{ м.}$

Ш4, Ш5 ШРА-73УЗ $I_{\text{НОМ}} = 600 \text{ А, } r_{1\text{Ш}} = 0,1 \text{ мОм/м,}$
 $0,13 \text{ мОм/м, } l_4 = 50 \text{ м, } l_5 = 40 \text{ м.}$

Кабельные линии

КЛ1, КЛ2, КЛ3 5 ААШБ—3Х185 : $r_{1\text{КБ}} = 0,208 \text{ мОм/м, } x_{1\text{КБ}} = 0,055 \text{ мОм/м,}$
 $l_x = 150 \text{ м, } l_2 = 20 \text{ м.}$

Измерительные трансформаторы тока
 ТА1, ТА2. $I_{\text{НОМ}} = 500 \text{ А, } \Delta_{\text{ТА1}} = \Delta_{\text{ТА2}} = \Delta \text{ мОм,}$
 $—X_{jA2 \sim 3} \gg 07 \text{ мОм,}$

ТА3, ТА4, ТА5 $I_{\text{НОМ}} = 200 \text{ А, } \Delta_{\text{ТА3}} = \Delta_{\text{ТА4}} = \Delta_{\text{ТА5}} = \Delta \text{ мОм ;}$
 $X_{\text{ТА3} \sim \text{ТА4} \sim \text{ТА5}} \gg \Delta \text{ мОм.}$

Активное сопротивление болтовых контактных соединений:

$\Delta_{\text{к}} = 0,03 \text{ мОм,}$

Автоматические выключатели типа «Электрон»

QF1 j QF4. $I_{\text{НОМ}} = 1000 \text{ А, } \Delta_{\text{КВ1}} = \Delta_{\text{КВ4}} = 0,25 \text{ мОм,}$
 $\Delta_{\text{КВ1}} = \Delta_{\text{КВ4}} \gg 1 \text{ мОм,}$

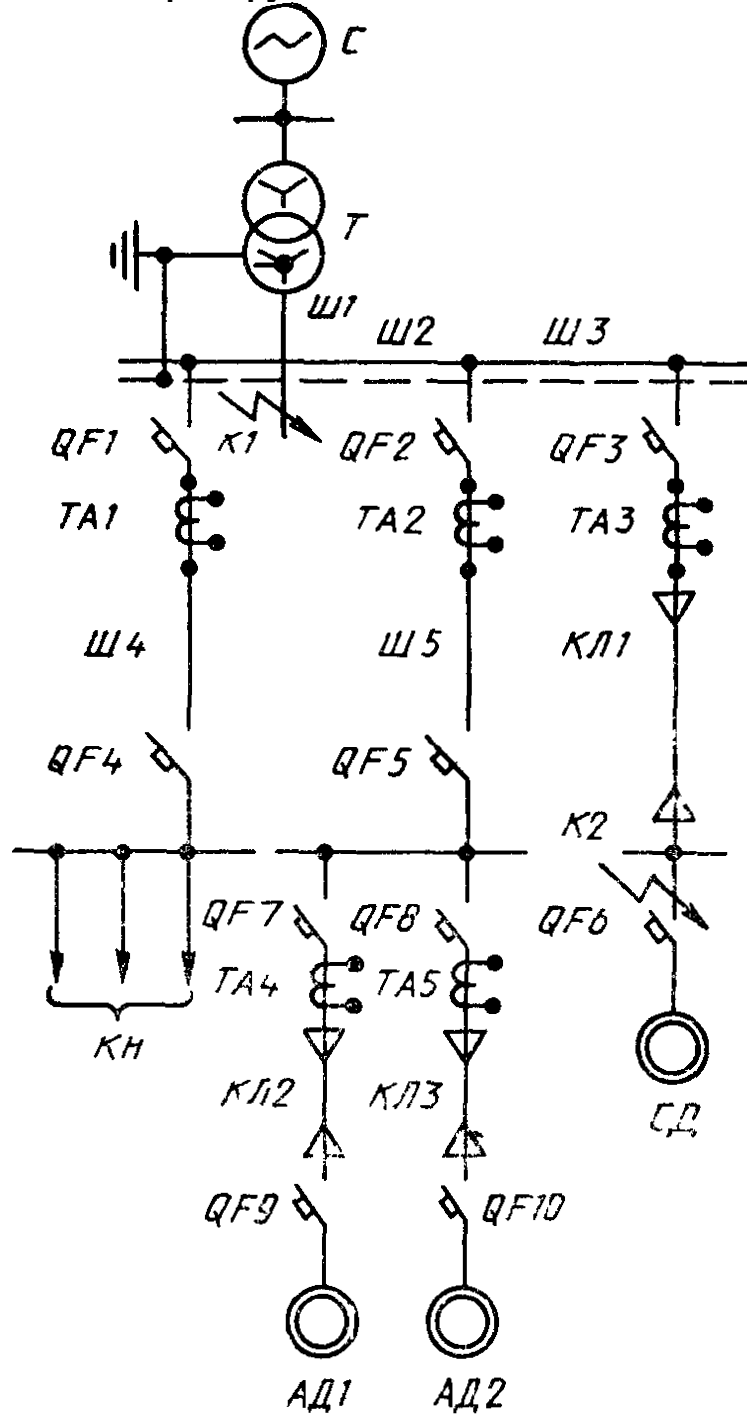
QF2, QF3, QF5, QF6

$I_{\text{НОМ}} = 400 \text{ А, } \Delta_{\text{КВ2}} = \Delta_{\text{КВ3}} = \Delta_{\text{КВ5}} = \Delta_{\text{КВ6}} = 0,65 \text{ мОм,}$
 $\Delta_{\text{КВ7}} = \Delta_{\text{КВ8}} = \Delta_{\text{КВ9}} = \Delta_{\text{КВ10}} = 0,17 \text{ мОм,}$
 QF7, QF8, QF9, QF10: $I_{\text{НОМ}} = 200 \text{ А,}$
 $\Delta_{\text{КВ7}} = \Delta_{\text{КВ8}} = \Delta_{\text{КВ9}} = \Delta_{\text{КВ10}} \gg 1 \text{ мОм,}$
 $\Delta_{\text{КВ7}} = \Delta_{\text{КВ8}} = \Delta_{\text{КВ9}} = \Delta_{\text{КВ10}} = 0,5 \text{ мОм.}$

Синхронный двигатель СД.

СД-12-24-12А : $P = 125 \text{ кВт, } U_{\text{НОМ}} = 380 \text{ В,}$
 $I_{\text{НОМ}} = 234 \text{ А, } \cos \phi_{\text{НОМ}} = 0,811, \Delta_{\text{пуск}} / \Delta_{\text{НОМ}} = 8,5;$
 $\frac{M_{\text{пуск}}}{M_{\text{НОМ}}} = 1,2, \quad \frac{M_{\text{max}}}{M_{\text{НОМ}}}$

Расчетная схема к примеру 2



Черт. 27

Асинхронные двигатели АД1 и АД2.

А03—315М—6У3 :P—132 кВт, $I_{\text{пуск}}/I_{\text{ном}}=7,0$;

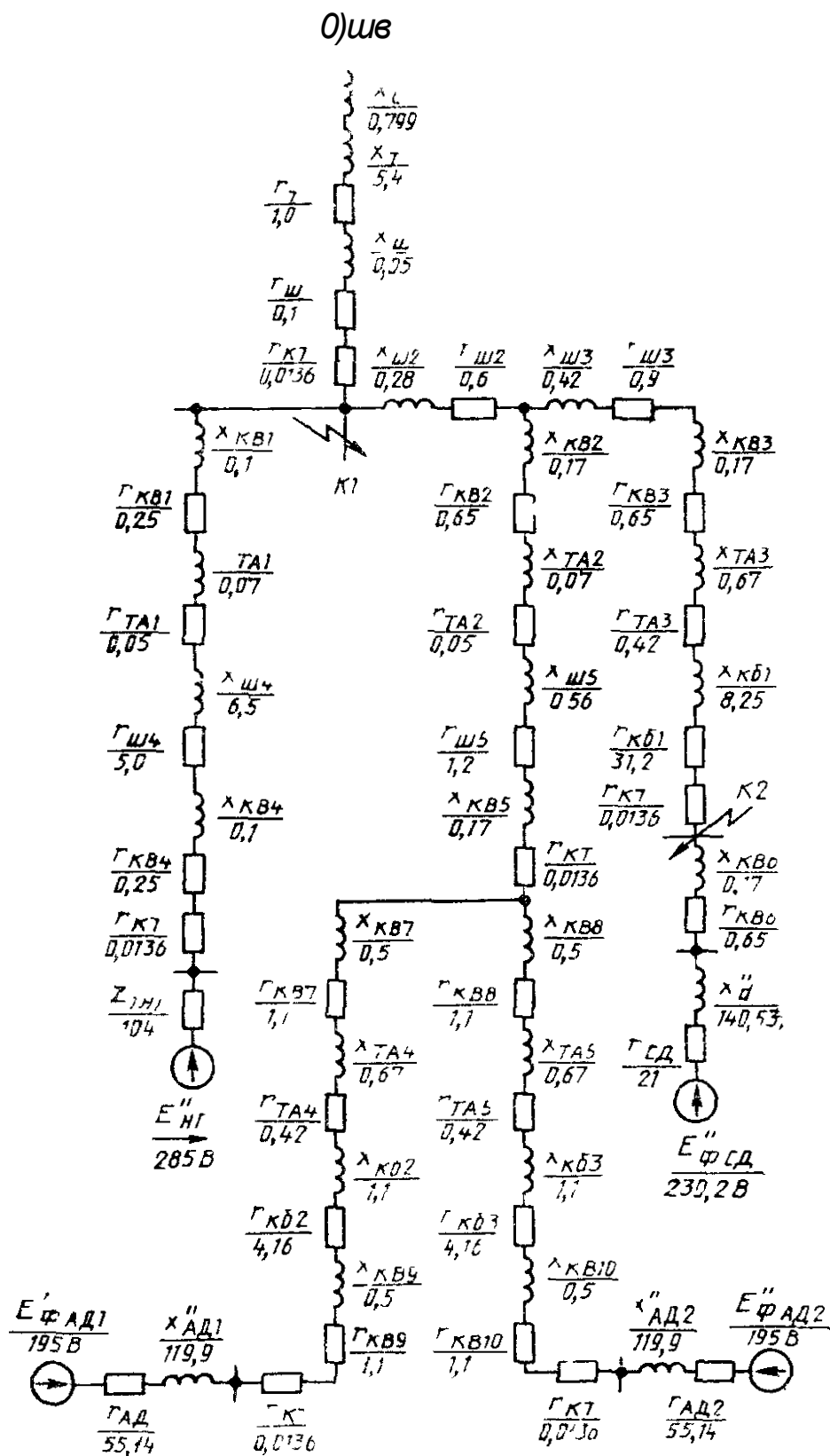
$U_{\text{ном}}=380$ В, $I_{\text{ном}}=238,0$ А, $A_{1\text{тах}}/M_{\text{ном}}=I_{\text{ном}}^2 \cdot 6$;

$I_{\text{пуск}}/I_{\text{ном}}=7$

$\cos \varphi_{\text{ном}}=0,9$

$n_{тс} = 1000$ об/мин; $\tau = 93,596$; $s_{НОУ} = 1,1$ %.

Схема замещения к примеру 2



Черт 28

Комплексная нагрузка КН.

Суммарная активная мощность составляет 35Ц кВт, cos φ=0,8. В состав нагрузки входят асинхронные двигатели (АД), лампы накаливания (ЛН), преобразователи (П) в следующем соотношении* Ядд =175 кВт, Pдн кВт, Pп —140¹ кВт.

2.2. Расчет параметров схемы замещения (черт. 23)

2.2.1. Параметры схемы замещения прямой последовательности

Сопротивление системы (xс), рассчитанное по формуле (2) настоящего стандарта, составит:

$$x_c = \frac{(400)^2 \cdot 10^{-3}}{3 \cdot 11 \cdot 10^5} \approx 0,8 \text{ МОм.}$$

Активное (rт) и индуктивное (xт) сопротивления трансформаторов, рассчитанное по формулам (3), (4) настоящего стандарта, составят:

$$r_T = \frac{16 \cdot 0,4^2}{(1000)^3} \cdot 10^6 = 0,16 \text{ мОм};$$

$$x_T = \sqrt{5,5^2 - 100 - 16} \cdot 0,4^2 \cdot 10^4 = 5,4 \text{ МОм.}$$

Активное и индуктивное сопротивления шинпроводов.

- Ш1 : rш1=0,01 • 10=0,1 мОм; xш1=0,005•10=0,05 мОм;
- Ш2 : rш2=0,03•20=0,6 мОм; xш2=0,014•20=0,28 мОм;
- Ш3 : rш3=0,03•30 = 0,9 мОм; xш3=0,014•30=0,42 мОм;
- Ш4 : rш4=0,1 •50=5,0 мОм xш4=0,13•50—6,5 мОм;
- Ш5 : rш5=0,1•40=4,0 мОм; xш6=0,13•40=5,2 мОм;

Активное и индуктивное сопротивления кабельных линий:

- КЛ1 с r1кб1=0,203* 150=31,2 мОм; xкб1=0,055* 150=8,25 мОм;
- КЛ2.КЛ3 : r1кб2—r1кб3=0,208•20=4,16 мОм ;
- xкб 3 0 ,055 *20= 1,1 мОм •

Расчет параметров АД1 и АД21

Принимая Pмх=0»02-Pноч'» ^х^^ном^дд^и — 0 ,017£ддном *

получаем:

$$r_a = \frac{0,36 - 1,6 \cdot (132 - 1,02)}{7,0^2 - 200,5^2 - (1 - 0,017)} \cdot 10^6 = 40 \text{ мОм}$$

$$T_{00}^{5 \text{ МОм}} = \frac{\Lambda_{НОМ} \cos \phi_{НОМ} P_{НОМ} 1,7}{НОМ \cdot 10U \cdot 132} \cdot 0,38^2 \cdot 0,9 \cdot 10^6 = 16,74 \text{ мОм};$$

$$\frac{y''_{НОМ}}{ЛД} \sim \frac{\psi}{y_{мл, \dots, \dots}^{пуск-ном}} = \frac{380 \cdot 10^3}{7 \cdot 238,5} = 132 \text{ мОм};$$

$$r_{АД} = 16,74 + 96 \cdot 40 = 55,14 \text{ мОм};$$

$$r_{дд} = 132^2 - 55,14^2 = 119,9 \text{ мОм};$$

$$\begin{matrix} \Lambda & 119,9+3,09 & \text{л л1} & & 119,9+3,09 \\ TP \sim 314-40 & & & -0,01 \text{ с; } T_a = & 314(16,74+6,76) = 0,02 \text{ с}^{-1} \end{matrix}$$

$$\Lambda \phi_{AD} = \sqrt{(220-0,9-2^{38},6-0,055)^2 + (220 \cdot L,44-238,6-0,145)^2} - 195 \text{ В}$$

Расчет параметров СД:

$$\begin{aligned} \Gamma_{CD} &= \Lambda \cdot \Lambda \cdot d' \\ &= 0,382 \cdot 10^6 \\ \Lambda_{CD} \text{ ном} &= 125 = 936,9 \text{ мОм;} \\ &= 140,53 \text{ мОм; } \Gamma_{CD} = 21 \text{ мОм;} \end{aligned}$$

$$E\phi'_{CD} = \gamma(220-234-0,14 \cdot 0,585)^a - h(234 \cdot 0,021 \cdot 0,811)^2 = 239,2 \text{ В.}$$

Расчет параметров комплексной нагрузки НГ
Параметры комплексной нагрузки определяют по кривым черт. 11а приложения 8, при этом

$$\begin{matrix} *A_D = 350 = C \cdot 5 & & 175 & & 35 & & 140 \\ & & \text{, л} & & 350 = 0,1; *П \sim 350 = 0,4; \\ \text{1НГ} & \text{Ю} \cdot \frac{380-10^3}{3} \cdot \text{у3} & \text{"-б30} & & 104 \text{ мОм; } 2_{2\text{НГ}} & \text{—} & 121 \text{ мОм; } \text{£} \$ 1 \Lambda = 285 \text{ В.} \end{matrix}$$

$$2_{2\text{НГ}} \ll 0,35; \quad \text{£} \Lambda = 0,75 \text{ или в именованных единицах;}$$

2.3. Расчет токов трехфазного КЗ

2.3.1. Ток трехфазного КЗ в расчетной точке К1¹ без учета влияния электродвигателей и комплексной нагрузки

$$\Gamma_{\text{хв}} = r_r + r_{\text{нл}} + r_K = 1,0 + 0,1 + 0,012 = 1,11 \text{ мОм;}$$

$$= X_c + X_r + X_{ш1} = 0,799 + 5,4 + 0,05 = 6,25 \text{ мОм;}$$

$$*5 \nu = *12 + \Gamma_D \Lambda = 5,11 \text{ мОм;}$$

400

$$I_{\text{ок}} = \frac{U}{\Gamma_{\text{хв}} + \Gamma_{\text{ш}} + \Gamma_D} = \frac{112 \cdot 10^6}{6,25 + 5,11} = 33,38 \text{ кА}$$

100

$$\begin{matrix} \text{Пнк 1} & \text{ГП1П} & / \text{ " " 1} & / & \text{ " j ~ TM 28 < 6 кА *} \\ \text{ПОК1 mm} & & \text{у 3} & \text{у 5 (12 \Lambda 6 \text{ за 2})} & \end{matrix}$$

$$\Gamma_{\text{удк1}} \text{ гпах} = \text{У2} - 36,38 - 1,55 = 79,75 \text{ кА;}$$

$$* \text{уд КJ min} \sim \text{V2} - 28,6 - 1,10 = 44,9 \text{ кА ;}$$

$$\Lambda_{\text{ао}} \text{ гпах} = 34,45 \text{ кА; } I_{\text{ао min}} \sim 40,45 \text{ кА}$$

2.3.2. Необходимость учета влияния электродвигателей и комплексной нагрузки на ток при металлическом КЗ в точке КК определенная в соответствии с п. 1.4 настоящего стандарта, показывает, что

$$I_{2AD} = \frac{2}{\Gamma_{\text{д ном}}} \cdot \Lambda^2 \cdot 238 = 476 \text{ А больше, чем}$$

$0,01 / \text{пок} \text{ шах} = 0,01 \cdot T \cdot 3180 = 3613,8 \text{ А, поэтому асинхронные двигатели следует учитывать.}$

/ с дном =234 Л меньше, чем 0,01f-363(8Gt=3j63,8 А, поэтому синхронный двигатель не следует учитывать

$$I_{\text{кв1}} = \frac{350 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0,8} = 630 \text{ А больше, чем, } 0,01 \cdot 36380 = 363,8 \text{ А,}$$

поэтому влияние комплексной нагрузки следует учитывать

Таким образом, при расчете суммарного тока КЗ в точке К1 следует учитывать влияние асинхронных двигателей и комплексной нагрузки. Такой же вывод следует и при условии учета электрической дуги

Расчет составляющей тока КЗ в точке К1 от комплексной нагрузки.

$$r_{\text{is}} = r_{\text{кв1}} + r_{\text{та1}} + r_{\text{ш4}} + r_{\text{кв4}} + r_{\text{к}} = 0,25 + 0,05 + 5,0 + 0,25 + 0,0126 = 5,56 \text{ мОм,}$$

$$x_{12} = x_{\text{ш4}} + x_{\text{в4}} = 0,1 - j0,07 + j6,54 - j0,1 = -j6,77 \text{ мОм,}$$

$$r_{\text{is}} + r_{\text{д}} = 5,56 + 4 = 9,56 \text{ мОм,}$$

$$I_{\text{кз}} = \frac{U}{\sqrt{(104 - 0,8 - 5,56)^2 + (104 - 0,6 + 6,77)^2}} = 1,46 \text{ кА;}$$

$$I_{\text{аОНГта}} = \frac{U}{285} = 1,46 \text{ кА, } I_{\text{аОНГт}} = I_{\text{аОНГта}} = 1,46 \text{ кА;}$$

$$I_{\text{аОНГт}} = \frac{U}{285} = 1,42 \text{ кА,}$$

$$I_{\text{аОНГтт}} = \frac{U}{2} = 1,42 \text{ кА, } I_{\text{аОНГтт}} = \frac{U}{2} = 1,42 \text{ кА.}$$

Расчет составляющей тока КЗ в точке К1 от асинхронных двигателей.

$$r_{12} = \frac{1}{2} (r_{\text{ад1}} + r_{\text{кв4}} + r_{\text{кб2}} + r_{\text{та4}} + r_{\text{кв5}}) + r_{\text{к5}} + r_{\text{ш5}} + r_{\text{та2}} + r_{\text{кв2}} + r_{\text{ш2}} + r_{\text{кГС}};$$

$$r_{12} = \frac{1}{2} (55,14 + 1,1 + 4,16 + 1 - 0,67 + 1,1) + 0,65 + 4,0 + 0,05 + 0,65 + 0,6 + 0,12 = 37,16 \text{ мОм,}$$

1

$$r_{12} = \frac{1}{2} (x_{\text{ад}} + x_{\text{кв}} + x_{\text{кб2}} + x_{\text{та}} + x_{\text{кв7}}) + x_{\text{кв5}} + r_{\text{ш5}} + x_{\text{та2}} + x_{\text{кв2}} + r_{\text{ш2}} + r_{\text{кГС}}$$

$$r_{12} = \frac{1}{2} (145,9 + 0,5 + 1,1 + 0,67 + 0,5) + 0,17 + 5,2 + 0,07 + 0,17$$

$$+ 0,28 = 80,23 \text{ мОм,}$$

$$I_{\text{аОНГта}} = \frac{U}{\sqrt{37,16^2 + 80,23^2}} = 2,21 \text{ кА}$$

$$I_{\text{аОНГта}} = \frac{U}{2} = 2,4 = 3,12 \text{ кА;}$$

$$I_{\text{аОНГта}} = \frac{U}{2} = 3,12 (e^{-0,01/0,01} + e^{-0,01,0,2}) = 3,84 \text{ кА;}$$

195

$$= 2,16 \text{ кА;}$$

$$\begin{aligned} \text{по АД ТТ} \quad & \sqrt{(37 \cdot 16 + 4)^2 + 80,23^*} \\ \text{аО АД ТТ} \quad & = \sqrt{2 \cdot 2,16} = 3,05 \text{ кА;} \end{aligned}$$

$\epsilon_{уд} АД \sin 3,05 \text{ кА}$.

2.3.3. Ток трехфазного КЗ в расчетной точке К2 без учета влияния электродвигателей и комплексной нагрузки

$$I_{о} = \sqrt{I_{ш1}^2 + I_{ш34}^2 + I_{ЛГБ}^2 + I_{ТАЗ3}^2 + I_{ТК613}^2 + I_{К.ВЗ}^2} = \sqrt{0,1^2 + 0,6^2 + 0,9^2 + 0,012^2 + 0,42^2 + 31,2^2 + 0,65^2 + 34,88^2} \text{ мОм};$$

$$I_{12} = \sqrt{I_{с}^2 + I_{Т}^2 + I_{б}^2 + I_{и}^2 + I_{r}^2 + I_{in2}^2 + I_{W3}^2 + I_{m}^2 + I_{Т;А3}^2 + I_{i}^2 + I_{К61}^2 + I_{KB3}^2} = \sqrt{0,8^2 + 5,4^2 + 0,05^2 + 0,7^2 + 0,67^2 + 8,25^2 + 3^2 + 17^2} = 16,04 \text{ мОм};$$

$$I_{п0 \text{ к2 шах}} = \sqrt{I_{УЗ}^2 + I_{ш,042}^2} = 6,02 \text{ кА};$$

$$I_{уд \text{ к2 шах}} = 6,02 - 1,0 = 5,02 \text{ кА};$$

$$I_{а0 \text{ к2 шах}} = 8,50 \text{ кА}.$$

При определении минимального значения тока следует учесть влияние электрической дуги и увеличение активного сопротивления кабеля вследствие нагревания его током КЗ:

$$I_{2} = \sqrt{I_{12}^2 + I_{А}^2 + I_{К61}^2} (C_{\&} - 1),$$

где $I_{д}$ — сопротивление дуги, определяемое в соответствии с черт. 15 приложения 9, при этом в соответствии с (42) $I_{к61} \approx 158 \text{ м}$;

$C_{\&}$ — коэффициент, определяемый для $\alpha_{откл} = 0,6 \text{ с}$ в соответствии с черт. 7 приложения 2.

$$I_{2} = \sqrt{34,88^2 + 16,3^2 + 31,2^2} (1,05 - 1) = 52,74 \text{ мОм};$$

$$I_{п0 \text{ к2 шш}} = \sqrt{I_{УЗ}^2 + I_{52,74^2 + 16,04^2}} = 5,93 \text{ кА};$$

$$I_{уд \text{ к2 шш}} = 5,93 - 1,0 = 4,93 \text{ кА};$$

$$I_{а0 \text{ к2 шш}} = 8,50 \text{ кА}.$$

Таблица 23
Результаты расчета токов КЗ к примеру 2

Точка КЗ	Вид КЗ	Составляющие тока КЗ по ветвям	Максимальное значение тока КЗ, кА			Минимальное значение тока КЗ, кА		
			$I_{п0}$	$I_{а0}$	$I_{уд}$	$I_{п0}$	$I_{ас}$	$I_{уд}$
К1	К(3)	Т	36,38	54,45	79,75	28,6	40,45	44,9
К1	К(3)	НГ	1,46	2,06	2,06	1,42	2,0	2,0
К1	К(3>	АД	2,21	3,12	3,84	2,16	3,05	3,05
К1	К(3)	К1	40,24	59,9	85,65	32,37	45,76	50,68
К2	К<3)	Т	6,02	8,5	10,5	4,19	5,93	5,93

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ДАННЫЕ

**ССЫЛОЧНЫЕ
ТЫ**

НОРМАТИВНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ

ДОКУМЕН-

Обозначение НТД, на который
дана ссылка

Номер пункта

ГОСТ 269212—85

1,2

Редактор *Л. Д. Курочкина*
Технический редактор *О. Н. Никитина*
Корректор *Е. Ю. Гебрук*

Сдано в наб 03.11.94. Подп. в печ. 11.11.94. Уел. п. л. 3,72. Уел, кр-отт. 3,95. Уч.-изд. л. 3,60.
Тир. 584 экз. С 1809

Ордена «Знак Почета» Издательство стандартов, 107076, Москва, Колодезный пер., 14.
Калужская типография стандартов, ул Московская, 256. Зак, 1915
ПЛР №040138