МИНИСТЕРСТВО ТОПЛИВА И ЭНЕРГЕТИКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФИРМА ПО НАЛАДКЕ, СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ ТЕХНОЛОГИИ И ЭКСПЛУАТАЦИИ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ И СЕТЕЙ ОРГРЭС

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО РАСЧЕТУ ТОКОВ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ В СЕТИ НАПРЯЖЕНИЕМ ДО 1 кВ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ И ПОДСТАНЦИЙ С УЧЕТОМ ВЛИЯНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ДУГИ

СПО
ОРГРЭС
МОСКВА 1993

gost.e-ecolog.ru

МИНИСТЕРСТВО ТОПЛИВА И ЭНЕРГЕТИКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФИРМА ПО НАЛАДКЕ, СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ ТЕХНОЛОГИИ И ЭКСПЛУАТАЦИИ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ И СЕТЕЙ ОРГРЭС

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО РАСЧЕТУ ТОКОВ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ В СЕТИ НАПРЯЖЕНИЕМ ДО 1 кВ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ И ПОДСТАНЦИЙ С УЧЕТОМ ВЛИЯНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ДУГИ

СЛУЖБА ПЕРЕДОВОГО ОПЫТА ОРГРЭС

Москва 1993

Р А З Р А Б О Т А Н О предприятием "Сибтехэнерго"

И С П О Л Н И Т Е Л Ь М.А.ШИПА

У Т В Е Р Ж Д Е Н О фирмой по наладке, совершенствованию технологии и эксплуатации электростанций и сетей ОРГРЭС

Заместитель главного инженера Ф.Л.КОГАН

© СПО ОРГРЭС, 1993.

УДК 621.316.1.064.1.001.24

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО РАСЧЕТУ ТОКОВ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ В СЕТИ НАПРЯЖЕНИЕМ ДО 1 кВ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ И ПОДСТАНЦИЙ С УЧЕТОМ ВЛИЯНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ДУГИ

В настоящих Методических указаниях приведены требования и порядок расчета токов короткого замыкания (КЗ) в сетях переменного тока напряжением до 1 кВ с учетом влияния электрической дуги и подпитки от асинхронных электродвигателей при выборе защитной аппаратуры в сети и определении рабочих уставок ее срабатывания.

Методические указания предназначены для персонала электростанций, предприятий электрических сетей и проектных организаций, занимающихся расчетом КЗ и защит сети переменного тока напряжением до 1 кВ.

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1. Расчеты токов КЗ в сети переменного тока напряжением до 1 кВ производятся в целях выбора электрооборудования по условиям термической и электродинамической стойкости, отключающей способности, а также в целях определения уставок срабатывания защит и защитных аппаратов, установленных в сети.

1.2. Сети переменного тока напряжением до 1 кВ выполнены, как правило, с глухим заземлением нейтрали. В таких сетях возможны все виды металлических и дуговых КЗ. Как показывают многочисленные эксперименты, металлическое КЗ возможно лишь в случае его специальной подготовки с помощью болтового соединения токоведущих частей, либо термически стойкой штатной закоротки, установленной с помощью струбцины.

1.3. Наиболее вероятным видом КЗ является дуговое КЗ. Наи-

более благоприятными условиями для возникновения дуговых КЗ являются условия замкнутых пространств распределительных коробок электродвигателей, щитков, закрытых сборок и кабелей. Дуговые КЗ сопровождаются значительным выделением энергии. Ток дугового КЗ всегда меньше тока металлического КЗ в этой же точке сети. Исходя из этого, расчет токов металлического КЗ производится в целях проверки электродинамической и термической стойкости установленного в сети электрооборудования, а также для определения достаточности отключающей способности защитных аппаратов. Определение уставок срабатывания защит и защитных аппаратов следует производить по значению тока дугового КЗ в конце защищаемого участка сети.

I.4. При расчетах токов КЗ в сети напряжением до I кВ необходимо учитывать:

индуктивные сопротивления всех элементов короткозамкнутой цепи, включая проводники, трансформаторы тока, реакторы, токовые катушки автоматических выключателей;

активные сопротивления элементов короткозамкнутой цепи;

активные сопротивления контактов и контактных соединений;

токоограничивающее влияние электрической дуги;

значения параметров асинхронных электродвигателей, если их суммарный номинальный ток превышает I0% номинального значения периодической составляющей тока КЗ в месте КЗ, рассчитанного без учета влияния электродвигателей.

Кроме того, при расчетах токов КЗ рекомендуется учитывать изменение активного сопротивления проводников короткозамкнутой цепи вследствие их нагрева при КЗ.

I.5. При расчетах токов КЗ допускается не учитывать:

ток намагничивания трансформаторов;

насыщение магнитных систем электрических машин;

влияние асинхронных электродвигателей, если их суммарный номинальный ток не превышает I0% начального значения периодической составляющей тока в месте КЗ, рассчитанного без учета электродвигателей;

сопротивление внешней энергосистемы при расчете токов металлического КЗ в силовых сборках, сборках задвижек, а также КЗ за отходящими от сборок и шин кабелями;

сопротивление внешней энергосистемы при расчете всех видов дугового КЗ;

влияние асинхронных электродвигателей при расчете всех видов дуговых КЗ.

Коэффициенты трансформации трансформаторов допускается принимать равными отношению средних номинальных напряжений тех ступеней напряжения, которые связывают трансформаторы. При этом следует использовать следующую шкалу средних номинальных напряжений: 37; 24; 20; I5,75; I3,8; I0,5; 6,3; 3,I5; 0,69; 0,525; 0,4; 0,23 кВ.

2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕМЕНТОВ СЕТИ

2.I. Расчет токов КЗ в сети напряжением до I кВ целесообразно проводить в именованных единицах.

При составлении эквивалентных схем замещения следует в качестве основной ступени выбирать ступень пониженного напряжения, как правило 0,4 кВ, а активные и индуктивные сопротивления всех элементов схемы замещения выражать в миллиомах (мОм).

2.2. Сопротивление внешней системы включает в себя сопротивление прилегающей части энергосистемы на стороне высокого напряжения рабочего или резервного трансформатора питания РУ 6 (I0) кВ, сопротивление собственно трансформаторов рабочего и резервного питания РУ 6 (I0) кВ, а также сопротивление шинопроводов или кабельных связей, по которым осуществляется ввод рабочего или резервного питания на шины секций РУ 6 (I0) кВ. Сопротивление (в миллиомах) прилегающей части энергосистемы (X_c) может быть определено при известном значении тока трехфазного КЗ на стороне высокого напряжения по формуле

$$X_c = \frac{U^2_{ср.нн}}{\sqrt{3}\, I_{кз.вн}\, U_{ср.вн}} = \frac{U^2_{ср.нн}}{S_{кз}}\, 10^{-3}, \qquad (2.I)$$

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

$I_{кз.вн}$ – действующее значение периодической составляющей тока при трехфазном КЗ у выводов обмотки высшего напряжения трансформатора, кА;

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

$S_{КЗ}$ – мощность короткого замыкания у выводов обмотки высшего напряжения трансформатора, МВ·А.

2.3. Активное ($R_т$) и индуктивное сопротивления ($X_т$) (в миллиомах) трансформаторов питания СН 0,4 кВ, приведенные к ступени низшего напряжения, следует определять по формулам:

$$R_т = \frac{P_{КЗ} U^2_{нн.ном}}{S^2_{т.ном}} 10^6; \qquad (2.2)$$

$$X_т = \sqrt{U^2_{КЗ} - \left(\frac{100 P_{КЗ}}{S_{т.ном}}\right)^2} \cdot \frac{U_{нн.ном}}{S_{т.ном}}, \qquad (2.3)$$

где $U_{КЗ}$ – напряжение короткого замыкания трансформатора, %;

$P_{КЗ}$ – потери короткого замыкания в трансформаторе, кВт;

$U_{нн\,ном}$ – номинальное линейное напряжение обмотки низшего напряжения трансформатора, кВ;

$S_{т.ном}$ – номинальная мощность трансформатора, кВ·А.

Упрощенно индуктивное сопротивление трансформаторов (в миллиомах) определяется по формуле

$$X_т = \frac{U_{КЗ} U^2_{нн.ном}}{100 S_{т.ном}}. \qquad (2.4)$$

Расчет $X_т$ по формуле (2.4) не приводит к ощутимым погрешностям.

Активные и индуктивные сопротивления нулевой последовательности трансформаторов, обмотки которых соединены по схеме Δ/Y_0, практически равны соответственно активным и индуктивным сопротивлениям прямой последовательности. При соединении обмоток трансформаторов по схеме Y/Y_0 активные и индуктивные сопротивления

нулевой последовательности значительно больше соответствующих сопротивлений прямой последовательности и имеют значительный разброс, вследствие чего наиболее достоверные результаты могут быть получены путем непосредственного измерения этих сопротивлений для каждого конкретного трансформатора.

2.4. Принципиальная схема для проведения измерений значений сопротивлений нулевой последовательности трансформаторов со схемой соединения обмоток λ/λ^{o} приведена на рис.I. При этом значения сопротивлений Z_0, R_0, X_0 (в миллиомах) определяются по формулам:

$$Z_0 = \frac{3U}{I} 10^3; \qquad (2.5)$$

$$R_0 = \frac{3P}{I^2} 10^3; \qquad (2.6)$$

$$X_0 = \sqrt{Z_0^2 - R_0^2}\ , \qquad (2.7)$$

где U – напряжение на обмотке НН трансформатора, В;
I – ток в цепи обмотки НН трансформатора, А;
P – активная мощность, Вт.

При проведении измерений по обмоткам НН трансформатора следует пропускать ток $I \approx 0{,}3-0{,}4\, I_{нн.ном}$.

При этом в качестве трансформатора ТС может быть использован сварочный трансформатор.

Справочные данные для расчетов токов КЗ приведены в п р и л о ж е н и и I(табл.I-I7).

Ориентировочные значения сопротивлений трансформаторов приведены в табл.I.

Значения сопротивлений нулевой последовательности трансформаторов со схемой соединения обмоток Y/Y^{o} (см.табл.I) приведены на основании усреднения значений сопротивлений, полученных в результате измерений, проводимых Сибтехэнерго.

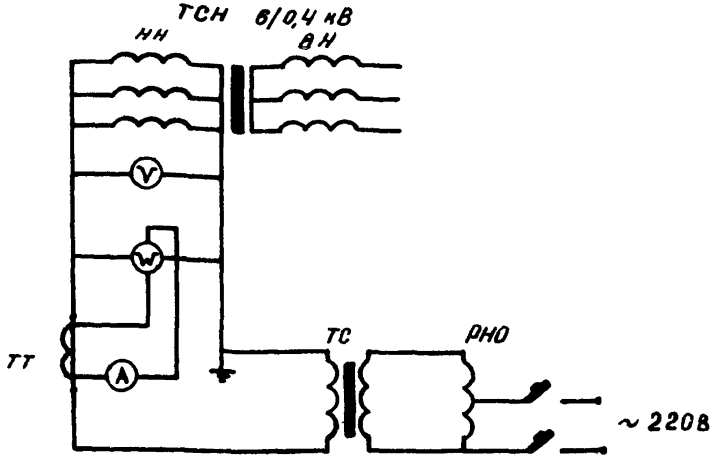

Рис.I. Принципиальная схема для измерений сопротивлений нулевой последовательности (X_0, R_0, Z_0) трансформаторов 6/0,4 кВ

2.5. Если в цепи короткого замыкания имеется реактор, то его активное и индуктивное сопротивления (в миллиомах) определяются по формулам:

$$R_p = \frac{P_{ном}}{I^2_{ном}} 10^3 ; \qquad (2.8)$$

$$X_p = \omega_c L_p , \qquad (2.9)$$

где $P_{ном}$ - потери мощности в фазе реактора при номинальном токе, Вт;

$I_{ном}$ - номинальный ток реактора, А;

ω_c - синхронная угловая частота напряжения сети, рад/с;

L_p - индуктивность фазы реактора, мГн.

Параметры реактора, устанавливаемого на вводе питания сборок РТЗО, приведены в табл.2. Значения активного и индуктивного сопротивления силовых и контрольных кабелей, а также комплектных шинопроводов приведены в табл.3-10.

При определении минимальных значений токов КЗ следует учитывать увеличение активного сопротивления кабеля вследствие его нагрева.

2.6. Значение активного сопротивления кабеля при нагреве его током КЗ (R_{ϑ}) определяется по формуле

$$R_{\vartheta} = C_{\vartheta} R \,, \qquad (2.10)$$

где C_{ϑ} – коэффициент, учитывающий увеличение активного сопротивления медного или алюминиевого кабеля. При приближенных расчетах значение коэффициента $C_{\vartheta} = 1{,}5$. При уточненных расчетах коэффициент C_{ϑ} следует определять в соответствии с рис.2-5;

R – активное сопротивление медного или алюминиевого кабеля при температуре $t = +20^{\circ}C$, мОм.

2.7. Сверхпереходное индуктивное сопротивление асинхронного электродвигателя $X''_{АД}$ (в миллиомах) рассчитывается по формуле

$$X''_{АД} = \sqrt{\left(\frac{U_{ф.ном}}{I^*_{п} I_{ном}} 10^3\right)^2 - R^2_{АД}} \,, \qquad (2.11)$$

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

$I^*_{п}$ – кратность пускового тока электродвигателя по отношению к его номинальному току;

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

$R_{АД}$ – суммарное активное сопротивление электродвигателя в момент КЗ, мОм.

Значение $R_{АД}$ определяется по формуле

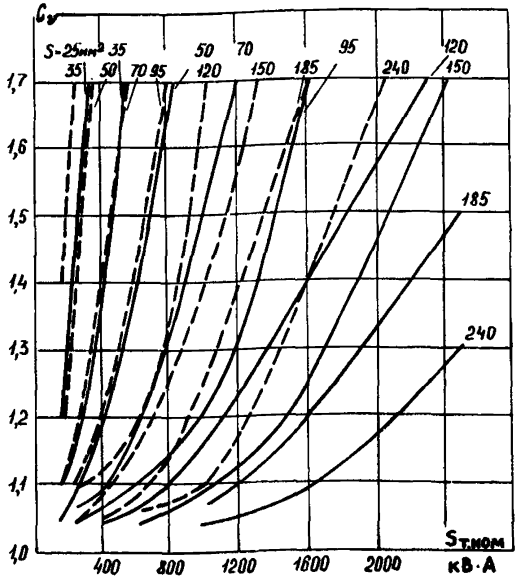

Рис.2. Кривые зависимости коэффициента увеличения активного сопротивления кабелей с алюминиевыми жилами (C_ϑ) при нагревании их током трехфазного КЗ от мощности трансформатора:
———— $t_{откл}$ =0,I с; – – – – $t_{откл}$ =0,4 с

$$R_{АД} = R_1 + 0{,}96\,R_2 \ , \qquad (2.I2)$$

где R_1 – активное сопротивление статора, мОм;
R_2 – активное сопротивление ротора, приведенное к статору, мОм.

Значение R_2 (в миллиомах) может быть определено по формуле

$$R_2 = \frac{0{,}36\,M_п^*\,(P_{ном} + P_{мх})}{I_п^{*2}\,I_{ном}^2\,(1 - S_{ном})}\,10^6 , \qquad (2.I3)$$

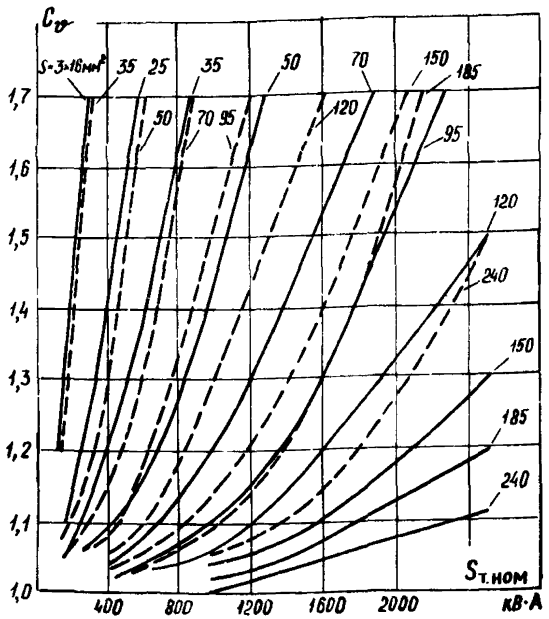

Рис.4. Кривые зависимости коэффициента увеличения активного сопротивления кабелей с медными жилами (C_U) при нагревании их током трехфазного КЗ от мощности трансформатора: ——— $t_{откл}$ = 0,I с; - - - - $t_{откл}$ = 0,4 с

$$R_1 = \frac{S_{ном}}{100} \cdot \frac{U^2_{ном} \cos\varphi \, \eta_{ном}}{P_{ном}} . \qquad (2.I4)$$

При проведении приближенных расчетов допустимо принять

$$X''_{АД} = 0,I8; \qquad R_{АД} = 0,36 X''_{АД}.$$

При этом значение $X''_{АД}$ в именованных единицах определяется по формуле

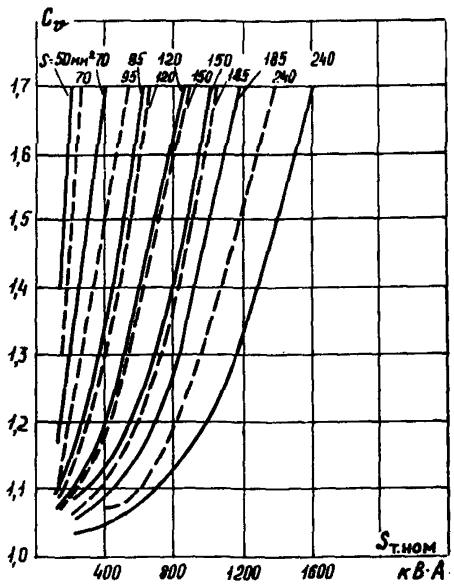

Рис.3. Кривые зависимости коэффициента увеличения активного сопротивления кабелей с алюминиевыми жилами ($C_{тр}$) при нагревании их током трехфазного КЗ от мощности трансформаторов:
———— $t_{откл}$ =0,7 с; – – – – $t_{откл}$ =1,0 с

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;

$S_{ном}$ – номинальное скольжение, отн.ед.

Активное сопротивление статора R_1 (в миллиомах), если оно не задано заводом-изготовителем, может быть измерено или определено по формуле

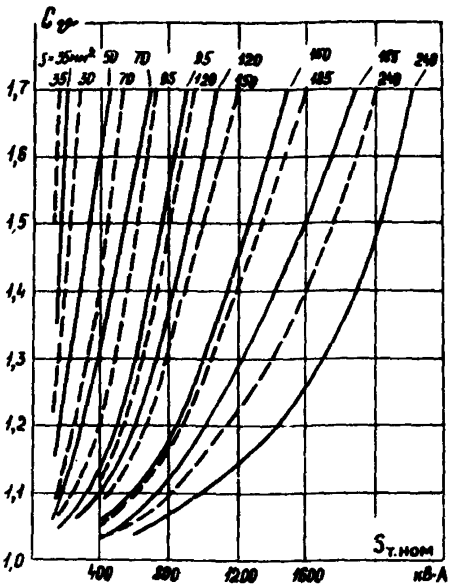

Рис.5. Кривые зависимости коэффициента увеличения активного сопротивления кабелей с медными жилами ($C_{ср}$) при нагревании их током трехфазного КЗ от мощности трансформатора: ——— $t_{откл}$ = 0,7 с; - - - - $t_{откл}$ = I,0 с

$$X''^{*}_{АД} = X''_{АД} \frac{U^2_{ном} \cos\varphi \eta_{ном}}{P_н} 10^3, \qquad (2.I5)$$

где $U_{ном}$ - номинальное напряжение электродвигателей, кВ;

$\cos\varphi$ - усредненное значение $\cos\varphi$ электродвигателей, подключенных к шинам РУСН 0,4 кВ;

$\eta_{ном}$ - усредненное значение коэффициента полезного действия электродвигателей, подключенных к шинам РУСН 0,4 кВ;

$P_н$ – суммарная активная мощность электродвигателей, подключенных к шинам РУСН 0,4 кВ, МВт.

Значение сверхпереходной ЭДС (в вольтах) асинхронного электродвигателя определяется по формуле

$$E''_{ф.АД} = \sqrt{(U_{ф(0)} \cos\varphi_{(0)} - I_{(0)} R_{АД})^2 + (U_{ф(0)} \sin\varphi_{(0)} - I_{(0)} X''_{АД})^2}\ , \quad (2.I6)$$

где $U_{ф(0)}$ – фазное напряжение на выводах электродвигателя в момент, предшествующий КЗ, В;

$\varphi_{(0)}$ – усредненное значение сдвига фаз напряжения и тока в момент, предшествующий КЗ;

$I_{(0)}$ – ток статора в момент, предшествующий КЗ, А.

При питании от сборных шин разнотипных электродвигателей значение эквивалентной сверхпереходной ЭДС определяется по формуле

$$E''_{ф.АД.э} = \frac{1}{y_э} \sum_{к=1}^{n} y_к E''_{ф.АД.к}\ , \quad (2.I7)$$

где $y_к = \frac{1}{Z_к} = \frac{1}{\sqrt{(X''_{АД} + X_{каб})^2 + (R_{АД} + R_{каб.к})^2}}$ – проводимость "К" ветви питания двигателя (включая двигатель);

$y_э = y_1 + y_2 + \ldots + y_n$ – **эквивалентная проводимость.**

3. РАСЧЕТ ТОКОВ МЕТАЛЛИЧЕСКОГО КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ

3.I. Начальное действующее значение периодической составляющей тока трехфазного металлического короткого замыкания (в килоамперах) определяется по формуле

$$I^{(3)}_{по.м} = \frac{U_{ср.нн}}{\sqrt{3}\, Z^{(3)}_{кз}} , \qquad (3.I)$$

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

$Z^{(3)}_{кз} = \sqrt{X^2_{1\Sigma} + R^2_{1\Sigma}}$ – полное сопротивление цепи при трехфазном коротком замыкании, мОм;

$$R_{1\Sigma} = R_{1т} + R_{1тт} + R_{1ш} + R_{1каб} + R_{пп} + R_{кв} + R_{пл.вст} ;$$

$$X_{1\Sigma} = X_c + X_{1т} + X_{1тт} + X_{1ш} + X_{1каб} + X_{кв} , \qquad (3.2)$$

где $R_{1т}, X_{1т}$ – активное и индуктивное сопротивления прямой последовательности обмоток трансформатора, мОм;

$R_{1тт}, X_{1тт}$ – активное и индуктивное сопротивления первичных обмоток трансформаторов тока, мОм;

$R_{1ш}, X_{1ш}$ – активное и индуктивное сопротивления прямой последовательности шинопроводов, мОм;

$R_{1каб}, X_{1каб}$ – активное и индуктивное сопротивления прямой последовательности кабелей, мОм;

$R_{пп}$ – сопротивление полюсов коммутационных и защитных аппаратов, мОм;

$R_{кв}$, $X_{кв}$ – активное и индуктивное сопротивления токовых катушек и контактов автоматических выключателей, мОм;

$R_{пл.вст}$ – сопротивление плавкой вставки, мОм;

X_c – индуктивное сопротивление внешней системы, мОм.

Значения сопротивлений плавких вставок приведены в табл.II.

Значения сопротивлений полюсов, включая активные сопротивления катушек автоматических выключателей, приведены в табл.I2-I5.

Значения этих сопротивлений приведены на основании данных заводов-изготовителей. В этом случае, если сопротивления катушек и контактов ($X_{кв}$ и $R_{кв}$) автоматических выключателей неизвестны, следует пользоваться данными, приведенными в табл.I6.

Значения сопротивлений первичных обмоток многовитковых трансформаторов тока приведены в табл.I7.

В том случае, если от сборных шин РУСН 0,4 кВ осуществляется питание асинхронных электродвигателей и их суммарный номинальный ток превышает I0% начального значения периодической составляющей тока в месте КЗ, рассчитанного без учета электродвигателей, следует учитывать их влияние на значение тока КЗ.

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

$$I_{по.ад} = \frac{E''_{ф.ад}}{\sqrt{(X''_{ад} + X_{1к})^2 + (R_{ад} + R_{1к})^2}}, \quad (3.3)$$

где $X_{1к}$ и $R_{1к}$ – индуктивное и активное сопротивления прямой последовательности кабелей подключения электродвигателей, мОм.

Двигатели, питающиеся от силовых сборок и сборок задвижек, не оказывают существенного влияния на значение тока КЗ непосредственно на выводах низкого напряжения трансформаторов 6/0,4 кВ и сборных шинах РУСН 0,4 кВ, а поэтому в практических расчетах токов этих замыканий влиянием удаленных электродвигателей допустимо пренебречь.

3.2. Ударный ток трехфазного металлического КЗ в сети СН 0,4 кВ определяется по формуле

$$i_{уд} = K_{уд} \sqrt{2}\, I^{(3)}_{по.м}, \quad (3.4)$$

где $K_{уд} = 1 + e^{-\frac{3,14 R_\Sigma}{X_\Sigma}}$ – ударный коэффициент;

$I^3_{по.м}$ – действующее значение периодической составляющей тока трехфазного КЗ, кА.

Значение ударного коэффициента может быть также определено по кривой $K_{уд} = f(X/R)$ рис.6.

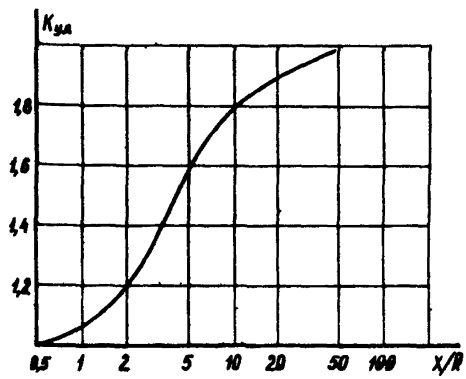

Рис.6. Кривая зависимости $K_{уд} = f(X/R)$

Значение ударного тока от асинхронных электродвигателей определяется по формуле

$$i_{уд.АД} = \sqrt{2}\, I_{по.АД} \left(e^{-\frac{0,01}{T_р}} + e^{-\frac{0,01}{T_а}} \right), \qquad (3.5)$$

где $T_р$ – расчетная постоянная времени затухания периодической составляющей тока статора, с;

$T_а$ – постоянная времени затухания апериодической составляющей тока статора, с.

Значения T_p и T_a рассчитываются по формулам:

$$T_p = \frac{X''_{АД} + X_{1каб}}{\omega_c \check{R}_2} ; \qquad (3.6)$$

$$T_a = \frac{X''_{АД} + X_{1каб}}{\omega_c (R_1 + R_{1каб})} , \qquad (3.7)$$

где ω_c – синхронная угловая частота, рад/с;

R_1; $\check{R}_2$ – соответственно активное сопротивление статора и активное сопротивление ротора, приведенное к статору.

При проведении приближенных расчетов значение $i_{уд.АД}$ определяется по формуле

$$i_{уд.АД} = \sqrt{2}\, I_{по.АД} \left(1 + e^{-\frac{3{,}14(R_{АД} + R_{1каб})}{X''^{*}_{АД} + X_{1каб}}}\right). \qquad (3.8)$$

Значение $X''^{*}_{АД}$ при этом определяется по (2.I5), а

$$R_{АД} = 0{,}36 X''_{АД} .$$

3.3. Начальное действующее значение периодической составляющей тока двухфазного металлического замыкания определяется по формуле

$$I_{по.м}^{(2)} = \frac{U_{ср.нн}}{\sqrt{3}\, Z_{кз}^{(2)}}, \qquad (3.9)$$

где $Z_{кз}^{(2)} = \frac{2}{\sqrt{3}}\sqrt{X_{1\Sigma}^2 + R_{1\Sigma}^2}$ – полное сопротивление цепи при двухфазном коротком замыкании, мОм.

3.4. Начальное действующее значение периодической составляющей тока однофазного металлического короткого замыкания определяется по формуле

$$I_{по.м}^{(1)} = \frac{U_{ср.нн}}{\sqrt{3}\, Z_{кз}^{(1)}}, \qquad (3.10)$$

где $Z_{кз}^{(1)} = \frac{1}{3}\sqrt{(2R_{1\Sigma} + R_{0\Sigma})^2 + (2X_{1\Sigma} + X_{0\Sigma})^2}$ – полное сопротивление цепи при однофазном коротком замыкании, мОм;

$R_{0\Sigma}$; $X_{0\Sigma}$ – соответственно суммарное активное и индуктивное сопротивления нулевой последовательности цепи, мОм;

$$R_{0\Sigma} = R_{0т} + R_{0тт} + R_{0ш} + R_{0\,каб} + R_{пп} + R_{кв};$$

$$X_{0\Sigma} = X_{0т} + X_{тт} + X_{0ш} + X_{0\,каб} + X_{кв},$$

где $R_{0т}$, $X_{0т}$ – активное и индуктивное сопротивления нулевой последовательности трансформатора, мОм;

$R_{0тт}$, $X_{тт}$ – активное и индуктивное сопротивления нулевой последовательности трансформатора тока, мОм;

$R_{0ш}$, $X_{0ш}$ – активное и индуктивное сопротивления нулевой последовательности шинопровода, мОм;

$R_{0\,каб}$, $X_{0\,каб}$ – активное и индуктивное сопротивление нулевой последовательности кабеля, мОм.

4. РАСЧЕТ ТОКОВ ДУГОВОГО КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ

4.1. Наиболее вероятная величина действующего значения периодической составляющей тока трехфазного дугового замыкания определяется по формуле

$$I^{(3)}_{дуг} = I^{(3)}_{по.м}\, K_c\,, \qquad (4.1)$$

где K_c – снижающий коэффициент, определяемый по $K_c = f(Z_{кз})$ (рис.7) для $Z^{(3)}_{кз} = \sqrt{X^2_{1\Sigma} + R^2_{1\Sigma}}$.

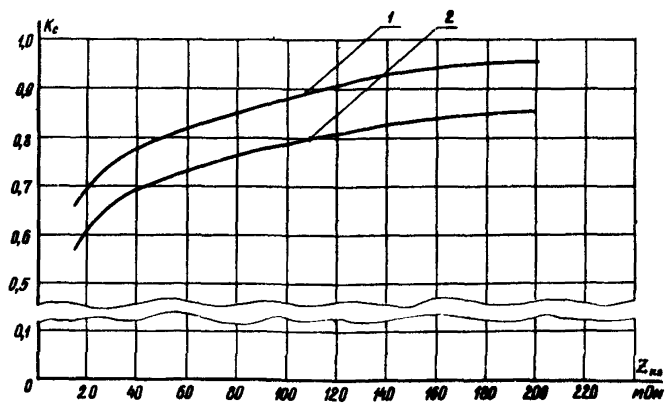

Рис.7. Кривые зависимости K_c от сопротивления цепи КЗ:
1 – начало процесса дугового замыкания $t_{кз} < 0{,}05$ с;
2 – установившийся процесс дугового замыкания $t_{кз} > 0{,}05$ с

При определении тока дугового замыкания в начальный момент замыкания $t_{КЗ} < 0{,}05$ с значение K_C определяется по кривой I $K_C = f(Z_{КЗ})$. При определении установившегося значения тока дугового замыкания $t_{КЗ} > 0{,}05$ с K_C определяется по кривой 2 $K_C = f(Z_{КЗ})$.

4.2. Наиболее вероятное действующее значение периодической составляющей тока двухфазного дугового замыкания определяется по формуле

$$I^{(2)}_{дуг} = I^{(2)}_{по.м}\, K_C\,, \qquad (4.2)$$

где K_C – то же, что в формуле (4.I) для

$$Z^{(2)}_{КЗ} = \frac{2}{\sqrt{3}} \sqrt{X^2_{1\Sigma} + R^2_{1\Sigma}}\,.$$

4.3. Наиболее вероятное действующее значение периодической составляющей тока однофазного дугового замыкания определяется по формуле

$$I^{(1)}_{дуг} = I^{(1)}_{по.м}\, K_C\,, \qquad (4.3)$$

где K_C – то же, что в формуле (4.I) для

$$Z^{(1)}_{КЗ} = \frac{1}{3} \sqrt{(2R_{1\Sigma} + R_{0\Sigma})^2 + (2X_{1\Sigma} + X_{0\Sigma})^2}\,.$$

При проведении расчетов токов КЗ с помощью ЭВМ удобнее пользоваться аналитическим выражением $K_C = f(Z_{КЗ})$.

Значение K_C для начального момента замыкания $t_{КЗ} < 0{,}05$ с определяется по формуле

$$K_C = 0{,}6 - 0{,}0025\, Z_{КЗ} + 0{,}II4 \sqrt{Z_{КЗ}} - 0{,}I3 \sqrt[3]{Z_{КЗ}}\,. \qquad (4.4)$$

Для установившегося процесса дугового КЗ значение K_C определяется по формуле

$$K_C = 0{,}55 - 0{,}002\, Z_{КЗ} + 0{,}I \sqrt{Z_{КЗ}} - 0{,}I2 \sqrt[3]{Z_{КЗ}}\,. \qquad (4.5)$$

В п р и л о ж е н и и 2 приведен пример расчета токов КЗ в сети СН 0,4 кВ.

В п р и л о ж е н и и 3 приведен текст программы, составленной на языке "*BASIC*" для ЭВМ Электроника МК-85, позволяющей произвести расчет токов металлического и дугового коротких замыканий в сети напряжением до I кВ.

П р и л о ж е н и е I

СПРАВОЧНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ РАСЧЕТОВ ТОКОВ КЗ

Т а б л и ц а I

Значения сопротивлений трансформаторов ТСЗ, ТСЗС

Мощность трансформатора, кВ·А	$U_{КЗ}$ %	Сопротивление трансформатора, мОм							
		Δ/Y₀				Y/Y₀			
		$R_1=R_2$	$X_1=X_2$	R_0	X_0	$R_1=R_2$	$X_1=X_2$	R_0	X_0
I60	5,5	I6,9	52,4	I6,9	52,4	-	-	-	-
	4,5	-	-	-	-	I6,6	4I,7	-	-
250	5,5	9,7	33,8	9,7	33,8	-	-	-	-
	4,5	-	-	-	-	9,4	27,2	-	-
400	5,5	5,4	2I,3	5,4	2I,3	-	-	-	-
	4,5	5,9	I7,0	5,9	I7,0	5,5	I7,I	-	-
630	5,5	2,9	I3,7	2,9	I3,7	3,I	I3,6	-	-
I000	8	I,9	I2,65	I,9	I2,65	2	I2,6	I54	59

Т а б л и ц а 2

Данные реактора

Мощность, Вт	Напряжение, В	Ток, А	Индуктивность, мГн	Частота, Гц
I40	380	50	0,48	50

Таблица 3

Значения сопротивлений трехжильных кабелей в алюминиевой оболочке

Номер кабеля	Сечение кабеля	Сопротивление, мОм/м			
		R_1	X_1	R_0	X_0
I	3 х 4	9,6I	0,092	I0,95	0,579
2	3 х 6	6,4I	0,087	7,69	0,523
3	3 х I0	3,84	0,082	5,04	0,46I
4	3 х I6	2,4	0,078	3,52	0,406
5	3 х 25	I,54	0,062	2,63	0,359
6	3 х 35	I,I	0,06I	2,07	0,298
7	3 х 50	0,769	0,06	I,64	0,25
8	3 х 70	0,549	0,059	I,3I	0,2II
9	3 х 95	0,405	0,057	I,06	0,I74
I0	3 х I20	0,32	0,057	0,92	0,I57
II	3 х I50	0,256	0,056	0,78	0,I35
I2	3 х I85	0,208	0,056	0,66	0,I22
I3	3 х 240	0,I6	0,055	0,553	0,I07

Таблица 4

Значения сопротивлений трехжильных кабелей в свинцовой оболочке

Номер кабеля	Сечение кабеля	Сопротивление, мОм/м			
		R_1	X_1	R_0	X_0
I4	3 х 4	9,6I	0,092	II,6	I,24
I5	3 х 6	6,4I	0,087	8,38	I,2
I6	3 х I0	3,84	0,082	5,78	I,I6
I7	3 х I6	2,4	0,078	4,32	I,I2
I8	3 х 25	I,54	0,062	3,44	I,07
I9	3 х 35	I,I	0,06I	2,96	I,0I

Окончание таблицы 4

Номер кабеля	Сечение кабеля	Сопротивление, мОм/м			
		R_1	X_1	R_0	X_0
20	3 х 50	0,769	0,06	2,6	0,963
2I	3 х 70	0,549	0,059	2,3I	0,884
22	3 х 95	0,405	0,057	2,I	0,793
23	3 х I20	0,32	0,057	I,96	0,742
24	3 х I50	0,256	0,056	I,82	0,67I
25	3 х I85	0,208	0,056	I,69	0,606
26	3 х 240	0,I6	0,055	I,55	0,535

Таблица 5

Значения сопротивлений трехжильных кабелей в непроводящей оболочке

Номер кабеля	Сечение кабеля	Сопротивление, мОм/м			
		R_1	X_1	R_0	X_0
27	3 х 4	9,6I	0,092	II,7	2,3I
28	3 х 6	6,4I	0,087	8,5I	2,274
29	3 х I0	3,84	0,082	5,94	2,24
30	3 х I6	2,4	0,078	4,5	2,2
3I	3 х 25	I,54	0,062	3,64	2,I7
32	3 х 35	I,I	0,06I	3,3	2,I4
33	3 х 50	0,769	0,06	2,869	2,08
34	3 х 70	0,549	0,059	2,649	2,07
35	3 х 95	0,405	0,057	2,505	2,05
36	3 х I20	0,32	0,057	2,42	2,03
37	3 х I50	0,256	0,056	2,36	2,0

Таблица 6

Значения сопротивлений четырехжильных кабелей в алюминиевой оболочке

Номер кабеля	Сечение кабеля	Сопротивление, мОм/м			
		R_1	X_1	R_0	X_0
38	3х4 + 1х2,5	9,61	0,098	10,87	0,57
39	3х6 + 1х4	6,41	0,094	7,6	0,463
40	3х10 + 1х6	3,84	0,088	4,94	0,401
41	3х16 + 1х10	2,4	0,084	3,39	0,336
42	3х25 + 1х16	1,54	0,072	2,41	0,256
43	3х35 + 1х16	1,1	0,068	1,93	0,232
44	3х50 + 1х25	0,769	0,066	1,44	0,179
45	3х70 + 1х35	0,549	0,065	1,11	0,145
46	3х95 + 1х50	0,405	0,064	0,887	0,124

Таблица 7

Значения сопротивлений четырехжильных кабелей в свинцовой оболочке

Номер кабеля	Сечение кабеля	Сопротивление, мОм/м			
		R_1	X_1	R_0	X_0
47	3х4 + 1х2,5	9,61	0,098	11,52	1,13
48	3х6 + 1х4	6,41	0,094	8,28	1,05
49	3х10 + 1х6	3,84	0,088	5,63	0,966
50	3х16 + 1х10	2,4	0,084	4,09	0,831
51	3х25 + 1х16	1,54	0,072	3,08	0,668
52	3х35 + 1х16	1,1	0,068	2,63	0,647
53	3х50 + 1х25	0,769	0,066	2,1	0,5
54	3х70 + 1х35	0,549	0,065	1,71	0,393
55	3х95 + 1х50	0,405	0,064	1,39	0,317

Окончание таблицы 7

Номер кабеля	Сечение кабеля	Сопротивление, мОм/м			
		R_1	X_1	R_0	X_0
56	3xI20 + Ix50	0,32	0,064	I,27	0,30I
57	3xI50 + Ix70	0,256	0,063	I,05	0,248
58	3xI85 + Ix70	0,208	0,063	0,989	0,244

Таблица 8

Значения сопротивлений четырехжильных кабелей в непроводящей оболочке

Номер кабеля	Сечение кабеля	Сопротивление, мОм/м			
		R_1	X_1	R_0	X_0
59	3x4 + Ix2,5	9,6I	0,098	II,7I	2,II
60	3x6 + Ix4	6,4I	0,094	8,7I	I,968
6I	3xI0 + Ix6	3,84	0,088	5,9	I,8II
62	3xI6 + IxI0	2,4	0,084	4,39	I,558
63	3x25 + IxI6	I,54	0,072	3,42	I,258
64	3x35 + IxI6	I,I	0,068	2,97	I,24I
65	3x50 + Ix25	0,769	0,066	2,449	0,949
66	3x70 + Ix35	0,549	0,065	2,039	0,74I
67	3x95 + Ix50	0,405	0,064	I,665	0,559
68	3xI20 + Ix50	0,32	0,064	I,54	0,545
69	3xI50 + Ix70	0,256	0,063	I,276	0,43

Таблица 9

Значения сопротивлений контрольных кабелей в непроводящей оболочке

Номер кабеля	Сечение кабеля	Сопротивление, мОм/м			
		R_1	X_1	R_0	X_0
70	I,5	I2,3	0,I05	I4	2,5

Окончание таблицы 9

Номер кабеля	Сечение кабеля	Сопротивление, мОм/м			
		R_1	X_1	R_0	X_0
7I	2,5	7,35	0,I02	I2,9	2,3
72	4	4,6	0,098	II,7I	2,II

Таблица I0

Значения сопротивлений комплектных шинопроводов

Тип шинопровода	Номинальное напряжение, кВ	Номинальный ток, А	Сопротивление фазы, мОм/м		Сопротивление нулевого проводника, мОм/м	
			R_1	X_1	R_0	X_0
ШМА4-I250	0,38/0,66	I250	0,034	0,0I6	0,054	0,053
ШМА4-I600	0,38/0,66	I600	0,030	0,0I4	0,037	0,042
ШМА4-3200	0,38/0,66	3200	0,0I0	0,005	0,064	0,035
ШМА-68Н	0,38/0,66	4000	0,0I3	0,0I5	0,007	0,045
ШРА-73	0,38	250	0,2I0	0,2I0	0,I20	0,2I0
ШРА-73	0,38	400	0,I50	0,I70	0,I62	0,I64
ШРА-73	0,38	630	0,I	0,I3	0,I62	0,I64
КЗШ-0,4	0,38	-	0,024	0,II7	0,20I	0,572
АДО-0,4 (КРУ-0,5)	0,5	-	0,0255	0,I2	0,2II	0,535

Таблица II

Значения сопротивлений плавких вставок предохранителей

Тип предохранителя	Номинальный ток патрона, А	Номинальный ток плавкой вставки, А	Сопротивление, мОм
НПН-2-60	60	6,3	83
		10	40
		16	23
		20	20
		25	16
		31,5	12
		40	8,75
		63	4,5
ПН2-100	100	30	3,4
		40	2,4
		50	1,8
		60	1,4
		80	1,05
		100	0,85
ПН2-250	250	80	1,05
		100	0,85
		120	0,63
		150	0,5
		200	0,41
		250	0,29
ПН2-400	400	200	0,39
		250	0,29
		300	0,24
		350	0,21
		400	0,16
ПН2-600	630	300	0,23
		400	0,15
		500	0,13
		600	0,1

Таблица I2

Значения сопротивлений полюсов
автоматических выключателей серии АВМ

Тип выключателя	Номинальный ток выключателя, А	Сопротивление полюса выключателя, мОм
АВМ-4	400	0,4
АВМ-I0	I000	0,I2
АВМ-I0	750	0,25
АВМ-I5	I500	0,I2
АВМ-20	2000	0,I
АВМ-20	I500	0,I2

Таблица I3

Значения сопротивлений полюсов
автоматического выключателя АЕ-20

Номинальный ток теплового расцепителя, А	Сопротивление полюса выключателя, мОм	Номинальный ток теплового расцепителя, А	Сопротивление полюса выключателя, мОм
0,6	2I700	I2,5	48
0,8	I2500	I6	3I
I,0	8000	20	20
I,25	5I00	25	I3
I,6	3I00	3I,5	8
2,0	2000	40	5
2,5	I300	50	3,2
3,I5	800	63	2
4,0	500	80	2,3
5,0	300	I00	I,5
6,3	200	I25	I,28
8,0	I25	I60	0,78
I0	80		

Таблица I4

Значения сопротивлений полюсов выключателя АП-50

Номинальный ток теплового расцепителя, А	Сопротивление полюса выключателя, мОм
I,6	3900
2,5	I600
4	625
6,4	244
I0	I00
I6	39
25	I6
40	6,2
50	4

Таблица I5

Значения сопротивлений полюсов выключателей АК-63

Номинальный ток расцепителя, А	Сопротивление полюса выключателя, мОм		Номинальный ток расцепителя, А	Сопротивление полюса выключателя, мОм	
	Исполнение МГ	Исполнение М		Исполнение МГ	Исполнение М
0,6	27000	I6600	8	I56	93
0,8	I5625	9375	I0	I00	60
I,0	I0000	6000	I2	69	4I
I,25	6400	3840	I2,5	64	38
I,6	3900	2343	I6	39	23
2,0	2500	I500	20	25	I5
2,5	I600	960	25	I6	9,6
3,I5	I000	604	3I,5	I0	6
4,0	625	375	40	6,25	3,75
5	400	240	50	4	2,4
6,3	25I	I5I	63	2,5I	I,5I

Таблица 16

Значения сопротивлений катушек и контактов ($X_{кв}$ и $R_{кв}$) автоматических выключателей в зависимости от номинального тока ($I_{ном}$) выключателей

$I_{ном}$ А	$R_{кв}$ мОм	$X_{кв}$ мОм	$I_{ном}$ А	$R_{кв}$ мОм	$X_{кв}$ мОм
50	7	4,5	600	0,41	0,13
70	3,5	2	1000	0,25	0,1
100	2,15	1,2	1600	0,14	0,08
140	1,3	0,7	2500	0,13	0,07
200	1,1	0,5	4000	0,1	0,05
400	0,65	0,17			

Таблица 17

Значения сопротивлений первичных обмоток многовитковых трансформаторов тока

Коэффициент трансформации трансформатора тока	Значение сопротивлений, мОм, первичных обмоток многовитковых ТТ класса точности			
	1		2	
	$X_{тт}$	$R_{тт}$	$X_{тт}$	$R_{тт}$
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	0,17	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 2

ПРИМЕР РАСЧЕТА ТОКОВ КЗ В СЕТИ СН 0,4 кВ

I. Расчетная проверка для схемы, приведенной на рис.8

Исходные данные

Система: $S_{КЗ}$ = I00 мВ·А, $U_{ср.вн}$ = 6,0 кВ.

Трансформатор Т: ТСЗС-I000/6,0. Схема соединения обмоток Y/Y$_0$.

$U_{КЗ}$ = 8%; S_T = I000 кВ·А; $U_{вн}$ = 6,3 кВ;

$P_{КЗ}$ = II,2 кВт; $X_{ОТ}$ = 59 мОм; $R_{ОТ}$ = I54 мОм.

Шинопровод Ш; ШМА-4-I600. Длина I5 м.

$R_{1ш1}$ = 0,03 мОм/м; $X_{1ш1}$ = 0,0I4 мОм/м;

$R_{0ш1}$ = 0,037 мОм/м; $X_{0ш2}$ = 0,042 мОм/м.

Шинопровод Ш2; АДО-0,4. Длина I0 м.

$R_{1ш2}$ = 0,0255 мОм/м; $X_{1ш2}$ = 0,I2 мОм/м;

$R_{0ш2}$ = 0,2II мОм/м; $X_{0ш2}$ = 0,535 мОм/м.

Кабельные линии

$КЛ_1$ АВВГ-2 (3хI85 + Iх70), длина - I50 м;

R_1 = 0,208 мОм/м; X_1 = 0,063 мОм/м;

R_0 = 0,989 мОм/м; X_0 = 0,244 мОм/м.

$КЛ_2$ АВВГ- 3х35 + IхI6, длина 20 м;

R_1 = I,I мОм/м; X_1 = 0,068 мОм/м;

R_0 = 2,63 мОм/м; X_0 = 0,647 мОм/м.

$КЛ_3$ АВВГ - 3хI85 + Iх70, длина 90 м;

R_1 = 0,208 мОм/м; X_1 = 0,063 мОм/м;

R_0 = 0,989 мОм/м; X_0 = 0,244 мОм/м.

Автоматические выключатели

QF I - "Электрон". $I_{ном}$ = I000 А, $R_{кв}$ = 0,25 мОм, $X_{кв}$ = 0,I мОм.

QF 2 - А3794С. $I_{ном}$ = 400 А, $R_{кв}$ = 0,65 мОм, $X_{кв}$ = 0,I7 мОм.

QF 3 - АЕ2056. $I_{ном}$ = I00 А, $R_{кв}$ = 2,I5 мОм, $X_{кв}$ = I,2 мОм.

QF 4 - "Электрон". $I_{ном}$ = 400 А, $R_{кв}$ = 0,65 мОм, $X_{кв}$ = 0,I7 мОм.

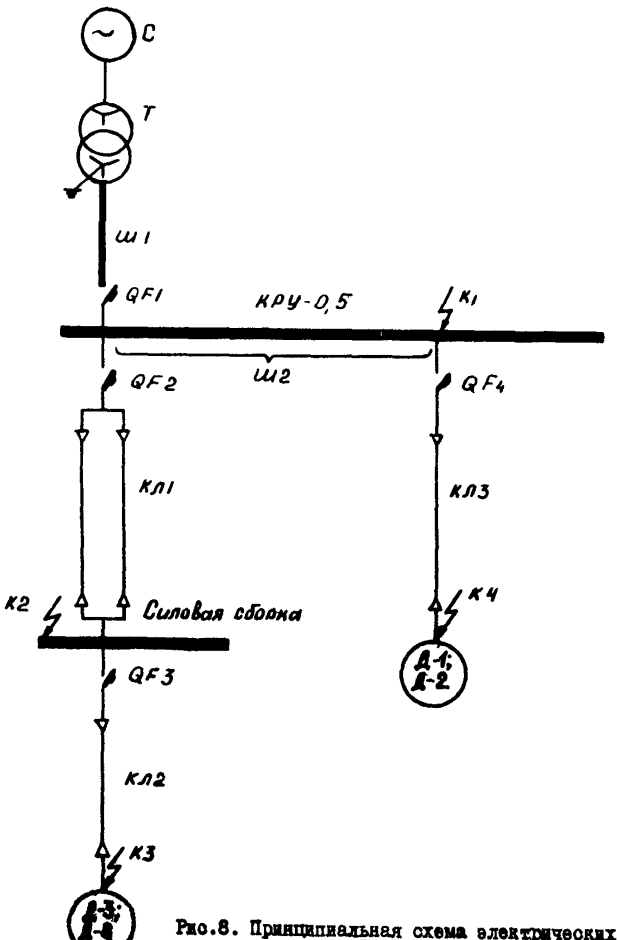

Рис.8. Принципиальная схема электрических соединений к примеру расчёта

Асинхронные электродвигатели: Д-I; Д-2.
Тип А03-3I5М-6УЗ; $P_{ном}$ = I32 кВт;

$\frac{I_п}{I_{ном}}$ = 7,0; $U_{ном}$ = 380 В; $I_{ном}$ = 200,5 А;

$\frac{M_{макс}}{M_{ном}} = \beta_н$ = 2,6; $cos\varphi$ = 0,9; n_c = I000 об/мн; $\eta_{ном}$ = 93,5%;

$S_{ном}$ = I,7%; $\frac{M_{пуск}}{M_{ном}}$ = I,6; $\frac{M_{мин}}{M_{ном}}$ = 0,8.

К силовой сборке подключены 6 асинхронных электродвигателей Д-3-Д-8 мощностью 40 кВт с номинальным током 79,3 А и пусковым током 550 А, двигатели не подвержены перегрузкам.

Одновременно могут работать и участвовать в самозапуске все двигатели.

2. Расчет параметров схемы замещения, элементов схемы

Сопротивление системы (X_c) рассчитывается по формуле (2.I)

$$X_c = \frac{(400)^2}{I00} \cdot I0^{-3} = I,6 \text{ мОм.}$$

Активное и индуктивное сопротивления прямой последовательности ($R_т$ и $X_т$) рассчитываются по формулам (2.2; 2.3):

$$R_т = \frac{II,2 \cdot 0,4^2}{I000^2} \cdot I0^6 = I,79 \text{ мОм;}$$

$$X_т = \sqrt{8^2 - (\frac{I00 \cdot II,2}{I000})^2} \cdot \frac{0,4^2}{I000} \cdot I0^4 = I2,67 \text{ мОм.}$$

Активное и индуктивное сопротивления шинопровода:

$R_{1ш1}$ = 0,03·I5 = 0,45 мОм;
$X_{1ш1}$ = 0,0I4·I5 = 0,2I мОм;
$R_{0ш1}$ = 0,037·I5 = 0,555 мОм;

$X_{ош1} = 0,042 \cdot I5 = 0,63$ мОм;
$R_{1ш2} = 0,0255 \cdot I0 = 0,255$ мОм;
$X_{1ш2} = 0,I2 \cdot I0 = I,2$ мОм;
$R_{ош2} = 0,2II \cdot I0 = 2,II$ мОм;
$X_{ош2} = 0,535 \cdot I0 = 5,35$ мОм.

Активное и индуктивное сопротивления кабельных линий:

КЛ1

$$R_{1К1} = 0,208 \cdot \frac{I50}{2} = I5,6 \text{ мОм};$$

$$X_{1К1} = 0,063 \cdot \frac{I50}{2} = 4,725 \text{ мОм};$$

$$R_{0К1} = 0,989 \cdot \frac{I50}{2} = 74,I7 \text{ мОм};$$

$$X_{0К1} = 0,244 \cdot \frac{I50}{2} = I8,3 \text{ мОм}.$$

КЛ2

$R_{1К2} = I,I \cdot 20 = 22$ мОм;
$X_{1К2} = 0,068 \cdot 20 = I,36$ мОм;
$R_{0К2} = 2,63 \cdot 20 = 52,6$ мОм;
$X_{0К2} = 0,647 \cdot 20 = I2,94$ мОм.

КЛ3

$R_{1К3} = 0,208 \cdot 90 = I8,72$ мОм;
$X_{1К3} = 0,063 \cdot 90 = 5,67$ мОм;
$R_{0К3} = 0,989 \cdot 90 = 89,0I$ мОм;
$X_{0К3} = 0,244 \cdot 90 = 2I,96$ мОм.

Расчет параметров Д-I; Д-2

Принимая $P_м = 0,02 P_{ном}$, определим активное сопротивление ротора, приведенное к статору по (2.I3)

$$R_2 = \frac{0,36 \cdot I,6 \ (I32 + I,02)}{7^2 \cdot 200,5^2 \ (I - 0,0I7)} \cdot I0^6 = 38,96 \text{ мОм}.$$

Определим активное сопротивление статора по (2.I4)

$$R_1 = \frac{I,7}{I00} \cdot \frac{0,38^2 \cdot 0,9 \cdot 0,935}{I32} = I,56 \text{ мОм}.$$

Определим суммарное активное сопротивление электродвигателя в момент КЗ по (2.I2)

$$R_{АД} = 1{,}56 + 0{,}96 \cdot 38{,}96 = 38{,}96 \text{ мОм}.$$

Определим значение сверхпереходного индуктивного сопротивления электродвигателя

$$X''_{АД} = \sqrt{\left(\frac{380 \cdot 10^3}{7 \cdot 200{,}5}\right)^2 - 38{,}96^2} = 267{,}93 \text{ мОм}.$$

Определим значение постоянной времени затухания периодической составляющей тока статора

$$T_p = \frac{267{,}93 + 5{,}67}{314 \cdot 38{,}96} = 0{,}022 \text{ с}.$$

Определим значение постоянной времени затухания апериодической составляющей тока статора

$$T_a = \frac{267{,}93 + 5{,}67}{314\ (1{,}56 + 18{,}72)} = 0{,}042 \text{ с}.$$

Определим значение сверхпереходной ЭДС электродвигателя по (2.I6)

$$E''_{ф.АД} = \sqrt{(380 \cdot 0{,}9 - 200{,}5 \cdot 0{,}0380)^2 + (380 \cdot 0{,}44 - \dots}$$
$$\dots - 200{,}5 \cdot 0{,}267)^2} = 353 \text{ В}.$$

3. Расчет токов трехфазного КЗ

Определим ток трехфазного металлического КЗ в точке К1

$$R_{1\Sigma} = 1{,}79 + 0{,}45 + 0{,}25 + 0{,}255 = 2{,}745 \text{ мОм};$$

$$X_{1\Sigma} = 1{,}6 + 12{,}67 + 0{,}21 + 0{,}1 + 1{,}2 = 15{,}78 \text{ мОм};$$

$$I^{(3)}_{по.м} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{15{,}78^2 + 2{,}745^2}} = 14{,}41 \text{ кА}.$$

Определим значение

$$Z^{(3)}_{КЗ} = \sqrt{15{,}78^2 + 2{,}745^2} = 16{,}01 \text{ мОм}.$$

Значение тока КЗ

$$I^{(3)}_{по.м} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 16{,}01} = 14{,}41 \text{ кА}.$$

Определим значение K_C для начального момента дугового КЗ ($t_{КЗ} < 0{,}05$ с) по $K_C = f(Z_{КЗ})$ при $Z^{(3)}_{КЗ} = 16{,}01$ мОм $K_C = 0{,}67$.

Определим значение K_C для установившегося тока дугового КЗ ($t_{КЗ} > 0{,}05$ с) при $Z^{(3)}_{КЗ} = 16{,}01$ мОм $K_C = 0{,}58$.

Определим наиболее вероятное значение тока трехфазного дугового замыкания по (4.1).

Для начального момента дугового КЗ

$$I^{(3)}_{дуг.нач} = 14{,}41 \cdot 0{,}67 = 9{,}65 \text{ кА}.$$

Для установившегося тока дугового КЗ

$$I^{(3)}_{дуг.уст} = 14{,}41 \cdot 0{,}58 = 8{,}35 \text{ кА}.$$

Определим значение $K_{уд}$ по $K_{уд} = f(X/R)$ (см.рис.6) для

$$\frac{X_{1\Sigma}}{R_{1\Sigma}} = \frac{15{,}78}{2{,}745} = 5{,}74, \quad K_{уд} = 1{,}6.$$

Определим значение ударного тока в точке К1

$$i_{уд} = 1{,}6 \cdot \sqrt{2} \cdot 14{,}41 = 32{,}6 \text{ кА}.$$

4. Определение действующего значения периодической составляющей тока КЗ в точке К1 от асинхронных электродвигателей

$$R'_{1\Sigma} = R_{1\Sigma} + R_{1к3}/2 + R_{АД}/2 =$$

$$= 2{,}745 + 18{,}72/2 + 38{,}96/2 = 31{,}58 \text{ мОм}.$$

$$X'_{1\Sigma} = X_{1\Sigma} + X_{1к3}/2 + X''_{АД}/2 =$$

$$= 15{,}78 + 5{,}67/2 + 267{,}93/2 = 152{,}58 \text{ мОм}.$$

$$I_{по.АД} = \frac{353}{\sqrt{31{,}58^2 + 152{,}58^2}} = 2{,}26 \text{ кА}.$$

Определим значение ударного тока в точке К1 от асинхронных электродвигателей

$$i_{уд.АД} = \sqrt{2} \cdot 2{,}26 \left(e^{\frac{-0{,}01}{0{,}022}} + e^{\frac{-0{,}01}{0{,}042}} \right) = 4{,}51 \text{ кА}.$$

Определим действующее значение периодической составляющей тока КЗ в точке К1 с учетом подпитки им асинхронных электродвигателей

$$I^{(3)}_{по.м\Sigma} = I^{(3)}_{по.м} + I_{по.АД} = 14{,}41 + 2{,}26 = 16{,}67 \text{ кА}.$$

Определим значение ударного тока КЗ в точке К1 с учетом подпитки от асинхронных электродвигателей

$$i_{уд\,\Sigma} = i_{уд} + i_{уд.АД} = 32{,}6 + 4{,}51 = 37{,}11 \text{ кА}.$$

5. Определение действующего значения периодической составляющей тока двухфазного металлического КЗ в точке К1

Полное сопротивление цепи двухфазного КЗ

$$Z_{КЗ}^{(2)} = \frac{2}{\sqrt{3}} \sqrt{15{,}78^2 + 2{,}745^2} = 18{,}48 \text{ мОм}.$$

Значение тока КЗ

$$I_{по.м}^{(2)} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 18{,}48} = 12{,}49 \text{ кА}.$$

Определим значение K_C для $t_{КЗ} < 0{,}05$ с при $Z_{КЗ}^{(2)} =$ = 18,48 мОм $K_C = 0{,}68$.

Определим значение K_C для $t_{КЗ} > 0{,}05$ с при $Z_{КЗ}^{(2)} =$ = 18,48 мОм $K_C = 0{,}6$.

Определим наиболее вероятное значение тока двухфазного дугового КЗ в точке К1

$$I_{дуг.наи}^{(2)} = 12{,}49 \cdot 0{,}68 = 8{,}49 \text{ кА};$$

$$I_{дуг.уст}^{(2)} = 12{,}49 \cdot 0{,}6 = 7{,}49 \text{ кА}.$$

6. Определение действующего значения периодической составляющей тока однофазного КЗ в точке К1

$$R_{0\Sigma} = 154 + 0{,}555 + 0{,}25 + 2{,}11 = 156{,}91 \text{ мОм};$$

$$X_{0\Sigma} = 59 + 0{,}63 + 0{,}1 + 5{,}35 = 65{,}08 \text{ мОм}.$$

Полное сопротивление цепи однофазного КЗ

$$Z_{K3}^{(1)} = \frac{I}{3}\sqrt{(2\cdot 2{,}745 + I56\cdot 9I)^2 + (2\cdot I5{,}78 + 65{,}08)^2} = 62{,}99 \text{ мОм}.$$

Значение тока КЗ

$$I_{по.м}^{(1)} = \frac{400}{\sqrt{3}\cdot 62{,}99} = 3{,}66 \text{ кА}.$$

Определим значение K_c для $t_{K3} < 0{,}05$ с при $Z_{K3}^{(1)} =$ $= 62{,}99$ мОм $K_c = 0{,}84$.

Определим значение K_c для $t_{K3} > 0{,}05$ с при $Z_{K3}^{(1)} =$ $= 62{,}99$ мОм $K_c = 0{,}74$.

Определим наиболее вероятное значение тока однофазного дугового КЗ в точке КI

$$I_{дуг.нач}^{(1)} = 3{,}66\cdot 0{,}84 = 3{,}07 \text{ кА};$$

$$I_{дуг.уст}^{(1)} = 3{,}66\cdot 0{,}74 = 2{,}73 \text{ кА}.$$

7. Определение действующего значения периодической составляющей тока трехфазного металлического КЗ в точке К2

$$R_{1\Sigma} = I{,}79 + 0{,}45 + 0{,}25 + I5{,}6 = I8{,}09 \text{ мОм};$$

$$X_{1\Sigma} = I{,}6 + I2{,}67 + 0{,}2I + 0{,}I + 4{,}725 = I9{,}305 \text{ мОм}.$$

Полное сопротивление цепи трехфазного КЗ

$$Z_{K3}^{(3)} = \sqrt{I9{,}305^2 + I8{,}09^2} = 26{,}45 \text{ мОм}.$$

Значение тока КЗ

$$I_{по.м}^{(3)} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 26,45} = 8,73 \text{ кА}.$$

Определим значение K_c для $t_{КЗ} <$ 0,05 с при $Z_{КЗ}^{(3)} =$ = 26,45 мОм $K_c = 0,74$.

Определим значение K_c для $t_{КЗ} >$ 0,05 с при $Z_{КЗ}^{(3)} =$ = 26,45 мОм $K_c = 0,67$.

Определим наиболее вероятное значение тока трехфазного дугового замыкания.

Для начального момента дугового КЗ

$$I_{дуг.нач}^{(3)} = 8,73 \cdot 0,74 = 6,46 \text{ кА}.$$

Для установившегося тока дугового КЗ

$$I_{дуг.уст}^{(3)} = 8,73 \cdot 0,67 = 5,84 \text{ кА}.$$

8. Определение действующего значения периодической составляющей тока двухфазного металлического КЗ в точке К2

Полное сопротивление цепи двухфазного КЗ

$$Z_{КЗ}^{(2)} = \frac{2}{\sqrt{3}} \cdot 26,45 = 30,54 \text{ мОм}.$$

Значение тока КЗ

$$I_{по.м}^{(2)} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 30,54} = 7,56 \text{ кА}.$$

Определим значение K_c для $t_{КЗ} <$ 0,05 с при $Z_{КЗ}^{(2)} =$ = 30,54 мОм $K_c = 0,75$.

Определим значение K_c для $t_{КЗ} >$ 0,05 с при $Z_{КЗ}^{(2)} =$ = 30,54 мОм $K_c = 0,67$.

Определим наиболее вероятное значение тока дугового двухфазного КЗ в точке К2.

Для начального момента дугового КЗ

$$I^{(2)}_{дуг.нач} = 7,56 \cdot 0,75 = 5,67 \text{ кА}.$$

Для установившегося тока дугового КЗ

$$I^{(2)}_{дуг.уст} = 7,56 \cdot 0,67 = 5,06 \text{ кА}.$$

9. Определение действующего значения периодической составляющей тока однофазного КЗ в точке К2

$$R_{0\Sigma} = 154 + 0,555 + 0,25 + 74,17 = 228,9 \text{ мОм};$$

$$X_{п\Sigma} = 59 + 0,63 + 0,1 + 18,3 = 78,03 \text{ мОм}.$$

Полное сопротивление цепи однофазного КЗ

$$Z^{(1)}_{КЗ} = \frac{1}{3}\sqrt{(2 \cdot 18,09 + 228,9)^2 + (2 \cdot 19,305 + 78,03)^2} = 96,5 \text{ мОм}.$$

Значение тока КЗ

$$I^{(1)}_{по.м} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 96,5} = 2,39 \text{ кА}.$$

Определим значение K_c для $t_{КЗ} < 0,05$ с при $Z^{(1)}_{КЗ} =$ $= 96,5$ мОм $K_c = 0,87$.

Определим значение K_c для $t_{КЗ} > 0,05$ с при $Z^{(1)}_{КЗ} =$ $= 96,5$ мОм $K_c = 0,78$.

Определим наиболее вероятное значение тока дугового однофазного КЗ в точке К2.

Для начального момента дугового КЗ

$$I^{(1)}_{дуг.нач} = 2,39 \cdot 0,87 = 2,08 \text{ кА}.$$

Для установившегося тока дугового КЗ

$$I^{(1)}_{дуг.уст} = 2,39 \cdot 0,78 = 1,86 \text{ кА}.$$

10. Определение действующего значения периодической составляющей тока трехфазного КЗ в точке КЗ

$$R_{1\Sigma} = 1,79 + 0,45 + 0,25 + 15,6 + 2,15 + 22 = 42,24 \text{ мОм};$$

$$X_{1\Sigma} = 1,6 + 12,67 + 0,21 + 0,1 + 4,725 + 1,2 + 1,36 = 21,86 \text{ мОм}.$$

Полное сопротивление цепи трехфазного КЗ

$$Z^{(3)}_{КЗ} = \sqrt{21,86^2 + 42,24^2} = 47,56 \text{ мОм}.$$

Значение тока КЗ

$$I^{(3)}_{по.м} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 47,56} = 4,85 \text{ кА}.$$

Определим значение K_c для $t_{КЗ} < 0,05$ с при $Z^{(3)}_{КЗ} =$ = 47,56 мОм $K_c = 0,8$.

Определим значение K_c для $t_{КЗ} > 0,05$ с при $Z^{(3)}_{КЗ} =$ = 47,56 мОм $K_c = 0,72$.

Определим наиболее вероятное значение тока трехфазного дугового замыкания в токе КЗ.

Для начального момента дугового КЗ

$$I^{(3)}_{дуг.нач} = 4,85 \cdot 0,8 = 3,88 \text{ кА}.$$

Для установившегося тока дугового КЗ

$$I^{(3)}_{дуг.уст} = 4,85 \cdot 0,72 = 3,49 \text{ кА}.$$

II. Определение действующего значения периодической составляющей тока двухфазного КЗ в точке КЗ

Полное сопротивление цепи двухфазного КЗ

$$Z_{КЗ}^{(2)} = \frac{2}{\sqrt{3}} \cdot 47{,}56 = 54{,}9I \text{ мОм}.$$

Значение тока КЗ

$$I_{по.м}^{(2)} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 54{,}9I} = 4{,}2 \text{ кА}.$$

Определим значение K_c для $t_{КЗ} < 0{,}05$ с при $Z_{КЗ}^{(2)} =$ $= 54{,}9I$ мОм $K_c = 0{,}8I$.

Определим значение K_c для $t_{КЗ} > 0{,}05$ с при $Z_{КЗ}^{(2)} =$ $= 54{,}9I$ мОм $K_c = 0{,}73$.

Определим наиболее вероятное значение тока двухфазного дугового КЗ в точке КЗ.

Для начального момента дугового КЗ

$$I_{дуг.нач}^{(2)} = 4{,}2 \cdot 0{,}8I = 3{,}4 \text{ кА}.$$

Для установившегося тока дугового КЗ

$$I_{дуг.уст}^{(2)} = 4{,}2 \cdot 0{,}73 = 3 \text{ кА}.$$

I2. Определение действующего значения периодической составляющей тока однофазного КЗ в точке КЗ

$$R_{0\Sigma} = I54 + 0{,}55 + 0{,}25 + 74{,}I7 + 2{,}I5 + 52{,}6 = 283{,}7 \text{ мОм};$$

$$X_{0\Sigma} = 59 + 0{,}63 + 0{,}I + I8{,}3 + I{,}2 + I2{,}94 = 92{,}I7 \text{ мОм}.$$

Полное сопротивление цепи КЗ

$$Z_{K3}^{(1)} = \frac{I}{3}\sqrt{(2\cdot 42{,}24 + 283{,}7)^2 + (2\cdot 2I{,}86 + 92{,}I7)^2} = I30{,}8 \text{ мОм}.$$

Значение тока КЗ

$$I_{по.м}^{(1)} = \frac{400}{\sqrt{3}\cdot I30{,}8} = I{,}76 \text{ кА}.$$

Определим значение K_c для $t_{K3} < 0{,}05$ с при $Z_{K3}^{(1)} =$ $= I30{,}8$ мОм $K_c = 0{,}92$.

Определим значение K_c для $t_{K3} > 0{,}05$ с при $Z_{K3}^{(1)} =$ $= I30{,}8$ мОм $K_c = 0{,}8I$.

Определим наиболее вероятное значение тока дугового однофазного КЗ в точке КЗ.

Для начального момента дугового КЗ

$$I_{дуг.нач}^{(1)} = I{,}76\cdot 0{,}92 = I{,}6I \text{ кА}.$$

Для установившегося тока дугового КЗ

$$I_{дуг.уст}^{(1)} = I{,}76\cdot 0{,}8I = I{,}42 \text{ кА}.$$

I3. Определение действующего значения периодической составляющей тока трехфазного КЗ в точке К4

$$R_{1\Sigma} = I{,}79 + 0{,}45 + 0{,}25 + 0{,}255 + 0{,}65 + I8{,}72 = 22{,}I \text{ мОм};$$

$$X_{1\Sigma} = I{,}6 + I2{,}67 + 0{,}2I + 0{,}I + I{,}2 + 0{,}I7 + 5{,}67 = 2I{,}62 \text{ мОм}.$$

Полное сопротивление цепи трехфазного КЗ

$$Z_{K3}^{(3)} = \sqrt{2I{,}62^2 + 22{,}I^2} = 30{,}9I \text{ мОм}.$$

Значение тока КЗ

$$I_{по.м}^{(3)} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 30{,}9I} = 7{,}47 \text{ кА}.$$

Определим значение K_C для $t_{КЗ} < 0{,}05$ с при $Z_{КЗ}^{(3)} =$ = 30,9I мОм $K_C = 0{,}75$.

Определим значение K_C для $t_{КЗ} > 0{,}05$ с при $Z_{КЗ}^{(3)} =$ = 30,9I мОм $K_C = 0{,}67$.

Определим наиболее вероятное значение тока трехфазного дугового КЗ в точке К4.

Для начального момента дугового КЗ

$$I_{дуг.нач}^{(3)} = 7{,}47 \cdot 0{,}75 = 5{,}6 \text{ кА}.$$

Для установившегося тока дугового КЗ

$$I_{дуг.уст}^{(3)} = 7{,}47 \cdot 0{,}67 = 5 \text{ кА}.$$

I4. Определение действующего значения периодической составляющей тока двухфазного КЗ в точке К4

Полное сопротивление цепи двухфазного КЗ

$$Z_{КЗ}^{(2)} = \frac{2}{\sqrt{3}} \cdot 30{,}9I = 35{,}6 \text{ мОм}.$$

Значение тока КЗ

$$I_{по.м}^{(2)} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 35{,}6} = 6{,}48 \text{ кА}.$$

Определим значение K_C для $t_{КЗ} < 0{,}05$ с при $Z_{КЗ}^{(2)} =$ = 35,6 мОм $K_{C.} = 0{,}77$.

Определим значение K_c для $t_{кз} > 0{,}05$ с при $Z^{(1)}_{кз} =$ $= 35{,}6$ мОм $K_c = 0{,}69$.

Определим наиболее вероятное значение тока двухфазного дугового КЗ в точке К4.

Для начального момента дугового КЗ

$$I^{(2)}_{дуг.нач} = 6{,}48 \cdot 0{,}77 = 4{,}98 \text{ кА}.$$

Для установившегося тока дугового КЗ

$$I^{(2)}_{дуг.уст} = 6{,}48 \cdot 0{,}69 = 4{,}47 \text{ кА}.$$

I5. Определение действующего значения периодической составляющей тока однофазного КЗ в точке К4

$$R_{0\Sigma} = 154 + 0{,}555 + 0{,}25 + 2{,}11 + 0{,}65 + 89{,}01 = 246{,}57 \text{ мОм};$$

$$X_{0\Sigma} = 59 + 0{,}63 + 0{,}1 + 5{,}35 + 0{,}17 + 21{,}96 = 87{,}21 \text{ мОм}.$$

Полное сопротивление цепи однофазного КЗ

$$Z^{(1)}_{кз} = \frac{1}{3}\sqrt{(2 \cdot 22{,}1 + 246{,}57)^2 + (2 \cdot 21{,}62 + 87{,}21)^2} = 106 \text{ мОм}.$$

Значение тока КЗ

$$I^{(1)}_{по.м} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 106} = 2{,}17 \text{ кА}.$$

Определим значение K_c для $t_{кз} < 0{,}05$ с при $Z_{кз} =$ $= 106$ мОм $K_c = 0{,}88$.

Определим значение K_c для $t_{кз} > 0{,}05$ с при $Z_{кз} =$ $= 106$ мОм $K_c = 0{,}79$.

Определим наиболее вероятное значение тока дугового однофазного КЗ в точке К4.

Для начального момента дугового КЗ

$$I'_{дуг.нач} = 2,17 \cdot 0,88 = 1,91 \text{ кА}.$$

Для установившегося тока дугового КЗ

$$I'_{дуг.уст} = 2,17 \cdot 0,79 = 1,71 \text{ кА}.$$

Результаты расчетов приведены в табл.18.

Таблица 18

Результаты расчетов токов КЗ

Точка КЗ	$I^{(3)}_{по.м}$ кА	$I^{(3)}_{дуг.нач}$ кА	$I^{(3)}_{дуг.уст}$ кА	$I_{по.АД}$ кА	$i_{уд}$ кА	$i_{уд.АД}$ кА	$I^{(3)}_{по.м\Sigma}$ кА
К1	14,41	9,65	8,35	2,26	32,6	4,51	16,67
К2	8,73	6,46	5,84	-	-	-	-
К3	4,85	3,88	3,49	-	-	-	-
К4	7,47	5,6	5	-	-	-	-

Точка КЗ	$i_{уд.\Sigma}$ кА	$I^{(2)}_{по.м}$ кА	$I^{(2)}_{дуг.нач}$ кА	$I^{(2)}_{дуг.уст}$ кА	$I^{(1)}_{по.м}$ кА	$I'_{дуг.нач}$ кА	$I'_{дуг.уст}$ кА
К1	37,11	12,49	8,49	7,42	3,66	3,07	2,73
К2	-	7,56	5,67	5,06	2,39	2,08	1,86
К3	-	4,2	3,4	3,0	1,76	1,61	1,42
К4	-	6,48	4,98	4,47	2,17	1,91	1,71

Приложение 3

ТЕКСТ ПРОГРАММЫ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ РАСЧЕТОВ ТОКОВ КЗ В СЕТИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА НАПРЯЖЕНИЕМ ДО I кВ НА ЭВМ "ЭЛЕКТРОНИКА МК-85"

О Г Л А В Л Е Н И Е

I. Общие положения 3

2. Определение параметров элементов сети 5

3. Расчет токов металлического короткого замыкания I4

4. Расчет токов дугового короткого замыкания 20

П р и л о ж е н и е I. Справочные данные для расчетов токов КЗ 22

П р и л о ж е н и е 2. Пример расчета токов КЗ в сети СН 0,4 кВ 32

П р и л о ж е н и е 3. Текст программы для проведения расчетов токов КЗ в сети переменного тока напряжением до I кВ на ЭВМ "Электроника МК-85" 49

Подписано к печати 23.06.93 Формат 60x84 1/16
Печать офсетная Усл.печ.л.3,02 Уч.-изд.л.3,0 Тираж 1100 экз.
Заказ № 93/93 Издат.№ 93078

Производственная служба передового опыта эксплуатации энергопредприятий ОРГРЭС
105023, Москва, Семеновский пер., д.15

Участок оперативной полиграфии СПО ОРГРЭС
109432, Москва, 2-й Кожуховский проезд, д.29, строение 6

МИНИСТЕРСТВО ТОПЛИВА И ЭНЕРГЕТИКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФИРМА ПО НАЛАДКЕ, СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ ТЕХНОЛОГИИ
И ЭКСПЛУАТАЦИИ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ И СЕТЕЙ ОРГРЭС

УДК 621.316.13.064.1.001.24

ИЗВЕЩЕНИЕ ОБ ИЗМЕНЕНИИ № 1

"Методических указаний по расчету токов короткого замыкания в сети напряжением до 1 кВ электростанций и подстанций с учетом влияния электрической дуги" (М.: СПО ОРГРЭС, 1993)

УТВЕРЖДЕНО фирмой по наладке, совершенствованию технологии и эксплуатации электростанций и сетей ОРГРЭС 12.10.93 г.

Дополнить Методические указания текстом приложения 3:

Текст программы для проведения расчетов токов КЗ в сети переменного тока напряжением до 1 кВ на ЭВМ "Электроника МК-85"

```
10  INPUT"X(1)=",X(1)
20  INPUT"R(1)=",R(1)
30  INPUT"X(0)=",X(0)
40  INPUT"R(0)=",R(0)
50  INPUT"U=",U
60  A=U*1000
70  B=SQR(3*(X(1)↑2+R(1)↑2))
80  C=2*SQR(X(1)↑2+R(1)↑2)
90  D=(SQR((2*R(1)+R(0)↑2+(2*X(1)+X(0))↑2))/3↑(1/2)
100 E=0,6-0,0025*D+0,114*SQRB-0,13*B↑(1/3)
110 F=0,55-0,002*B+0,1*SQRB-0,12*B↑(1/3)
120 G=0,6-0,0025*C+0,114*SQRC-0,13*C↑(1/3)
130 H=0,55-0,002*C+0,1*SQRC-0,12*C↑(1/3)
140 I=0,6-0,0025*D+0,114*SQRD-0,13D↑(1/3)
150 J=0,55-0,002*D+0,1*SQRD-0,12*D↑(1/3)
160 PRINT"I3M=";A/B
170 PRINT"I3DN=";A/B*E
180 PRINT"I3DU=";A/B*F
190 PRINT"I2M=";A/C
200 PRINT"I2DN=";A/C*G
210 PRINT"I2DU=";A/C*H
220 PRINT"I1M=";A/D
230 PRINT"I1DN=";A/D*I
240 PRINT"I1DU=";A/D*J
250 INPUT"CHANGE Y=",K
260 IF K=0 THEN 10
270 END
```

МИНИСТЕРСТВО ТОПЛИВА И ЭНЕРГЕТИКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Акционерное общество "Фирма по наладке, совершенствованию технологии и эксплуатации электростанций и сетей ОРГРЭС"

УДК 621.316.13.064.1.001.24

ИЗВЕЩЕНИЕ ОБ ИЗМЕНЕНИИ № 2

"МЕТОДИЧЕСКИХ УКАЗАНИЙ ПО РАСЧЕТУ ТОКОВ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ В СЕТИ НАПРЯЖЕНИЕМ ДО 1 кВ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ И ПОДСТАНЦИЙ С УЧЕТОМ ВЛИЯНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ДУГИ" (М.: СПО ОРГРЭС, 1993)

Приложения 2 и 3 изложить в следующей редакции:

Приложение 2

ПРИМЕР РАСЧЕТА ТОКОВ КЗ В СЕТИ СН 0,4 кВ

1. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ СХЕМЫ, ПРИВЕДЕННОЙ НА рис. 8

Система: $S_{кз}$ = 100 мВ·А, $U_{ср.вн}$ = 6,0 кВ.

Трансформатор Т: ТСЗС-1000/6,0. Схема соединения обмоток Y/Y$_н$.

$U_{кз}$ = 8%; $S_т$ = 1000 кВ·А; $U_{вн}$ = 6,3 кВ;

$P_{кз}$ = 11,2 кВт; $X_{от}$ = 59 мОм; $R_{от}$ = 154 мОм.

Шинопровод Ш1; ШМА-4-1600. Длина 15 м.

$R_{1ш1}$ = 0,03 мОм/м; $X_{1ш1}$ = 0,014 мОм/м;

$R_{0ш1}$ = 0,037 мОм/м; $X_{0ш1}$ = .0,042 мОм/м.

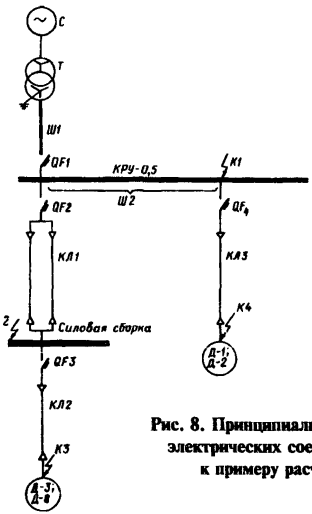

Рис. 8. Принципиальная схема электрических соединений к примеру расчета

Шинопровод Ш2; АДО-0,4. Длина 10 м.
$R_{1ш2}$ = 0,0255 мОм/м; $X_{1ш2}$ = 0,12 мОм/м;
$R_{0ш2}$ = 0,211 мОм/м; $X_{0ш2}$ = 0,535 мОм/м.

Кабельные линии

$КЛ_1$ АВВГ-2 (3х185 + 1х70), длина — 150 м;
R_1 = 0,208 мОм/м; X_1 = 0,063 мОм/м;
R_0 = 0,989 мОм/м; X_0 = 0,244 мОм/м.
$КЛ_2$ АВВГ—3х35 + 1х16, длина 20 м;
R_1 = 1,1 мОм/м; X_1 = 0,068 мОм/м;
R_0 = 2,63 мОм/м; X_0 = 0,647 мОм/м.
$КЛ_3$ АВВГ—3х185 + 1х70, длина 90 м;

R_1 = 0,208 мОм/м; X_1 = 0,063 мОм/м;
R_0 = 0,989 мОм/м; X_0 = 0,244 мОм/м.

Автоматические выключатели

QF_1 — "Электрон". $I_{ном}$ = 1000 А, $R_{кв}$ = 0,25 мОм, $X_{кв}$ = 0,1 мОм.

QF_2 — А3794С. $I_{ном}$ = 400 А, $R_{кв}$ = 0,65 мОм, $X_{кв}$ = 0,17 мОм.

QF_3 — АЕ2056. $I_{ном}$ = 100 А, $R_{кв}$ = 2,15 мОм, $X_{кв}$ = 1,2 мОм.

QF_4 — "Электрон". $I_{ном}$ = 400 А, $R_{кв}$ = 0,65 мОм, $X_{кв}$ = 0,17 мОм.

Асинхронные электродвигатели: Д-1; Д-2.

Тип АО3-315М-6У3; $P_{ном}$ = 132 кВт;

$\frac{I_п}{I_{ном}}$ = 7,0; $U_{ном}$ =380 В; $I_{ном}$ = 238,6 А;

$\frac{M_{макс}}{M_{ном}}$ = $в_н$ = 2,6; cosφ = 0,9; $n_с$ = 1000 об/мин;

$\eta_{ном}$ = 93,5%;

$S_{ном}$ = 1,7%; $\frac{M_{пуск}}{M_{ном}}$ = 1,6.

К силовой сборке подключены 6 асинхронных электродвигателей Д-3 — Д-8 мощностью 40 кВт с номинальным током 79,3 А и пусковым током 550 А, двигатели не подвержены перегрузкам.

Одновременно могут работать и участвовать в самозапуске все двигатели.

2. РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ СХЕМЫ ЗАМЕЩЕНИЯ, ЭЛЕМЕНТОВ СХЕМЫ

Сопротивление системы (X_c) рассчитывается по формуле (2.1)

$$X_c = \frac{(400)^2}{100} \cdot 10^{-3} = 1{,}6 \text{ мОм}.$$

Активное и индуктивное сопротивления прямой последовательности ($R_т$ и $X_т$) рассчитываются по формулам (2.2; 2.3):

$$R_т = \frac{11{,}2 \cdot 0{,}4^2}{1000^2} \cdot 10^6 = 1{,}79 \text{ мОм};$$

$$X_т = \sqrt{8^2 - \left(\frac{100 \cdot 11{,}2}{1000}\right)^2} \cdot \frac{0{,}4^2}{1000} \cdot 10^4 = 12{,}67 \text{ мОм}.$$

Активное и индуктивное сопротивления шинопровода:

$R_{1ш1} = 0{,}03 \cdot 15 = 0{,}45$ мОм;

$X_{1ш1} = 0{,}014 \cdot 15 = 0{,}21$ мОм;

$R_{0ш1} = 0{,}037 \cdot 15 = 0{,}555$ мОм;

$X_{0ш1} = 0{,}042 \cdot 15 = 0{,}63$ мОм;

$R_{1ш2} = 0{,}0255 \cdot 10 = 0{,}255$ мОм;

$X_{1ш2} = 0{,}12 \cdot 10 = 1{,}2$ мОм;

$R_{0ш2} = 0{,}211 \cdot 10 = 2{,}11$ мОм;

$X_{0ш2} = 0{,}535 \cdot 10 = 5{,}35$ мОм.

Активное и индуктивное сопротивления кабельных линий:

КЛ1

$$R_{1к1} = 0{,}208 \cdot \frac{150}{2} = 15{,}6 \text{ мОм};$$

$$X_{1к1} = 0{,}063 \cdot \frac{150}{2} = 4{,}725 \text{ мОм};$$

$$R_{0к1} = 0{,}989 \cdot \frac{150}{2} = 74{,}17 \text{ мОм};$$

$$X_{0к1} = 0{,}244 \cdot \frac{150}{2} = 18{,}3 \text{ мОм}.$$

КЛ2

$R_{1к2} = 1{,}1 \cdot 20 = 22$ мОм;

$X_{1к2} = 0{,}068 \cdot 20 = 1{,}36$ мОм;

$R_{0к2} = 2{,}63 \cdot 20 = 52{,}6$ мОм;

$X_{0к2} = 0{,}647 \cdot 20 = 12{,}94$ мОм.

КЛЗ

$R_{1к3} = 0{,}208 \cdot 90 = 18{,}72$ мОм;

$X_{1к3} = 0{,}063 \cdot 90 = 5{,}67$ мОм;

$R_{0к3} = 0{,}989 \cdot 90 = 89{,}01$ мОм;

$X_{0к3} = 0{,}244 \cdot 90 = 21{,}96$ мОм.

Расчет параметров Д-1, Д-2

Принимая $P_м = 0{,}02\ P_{ном}$, определим активное сопротивление ротора, приведенное к статору по (2.13)

$$R_2 = \frac{0{,}36 \cdot 1{,}6\,(132 + 0{,}02 \cdot 132)}{7^2 \cdot 238{,}6^2\,(1 - 0{,}017)} \cdot 10^6 = 28{,}28 \text{ мОм}.$$

Определим активное сопротивление статора по (2.14)

$$R_1 = \frac{1{,}7}{100} \cdot \frac{0{,}38^2 \cdot 0{,}9 \cdot 0{,}935}{132} \cdot 10^6 = 15{,}65 \text{ мОм}.$$

Определим суммарное активное сопротивление электродвигателя в момент КЗ по (2.12)

$$R_{ад} = 15{,}65 + 0{,}96 \cdot 28{,}28 = 42{,}8 \text{ мОм}.$$

Определим значение сверхпереходного индуктивного сопротивления электродвигателя (2.11)

$$X''_{ад} = \sqrt{\left(\frac{220 \cdot 10^3}{7 \cdot 238{,}6}\right)^2 - 42{,}8^2} = 124{,}6 \text{ мОм}.$$

Определим значение постоянной времени затухания периодической составляющей тока статора

$$T_р = \frac{124{,}6 + 5{,}67}{314 \cdot 28{,}28} = 0{,}0147 \text{ с}.$$

Определим значение постоянной времени затухания апериодической составляющей тока статора

$$T_а = \frac{124{,}6 + 5{,}67}{314\,(15{,}65 + 18{,}72)} = 0{,}0121 \text{ с}.$$

Определим значение сверхпереходной ЭДС электродвигателя по (2.16)

$$E''_{ф.ад} = \sqrt{(220 \cdot 0{,}9 - 238{,}6 \cdot 0{,}043)^2 + (220 \cdot 0{,}436 - 238{,}6 \cdot 0{,}1246)^2} = 199{,}07 = 199 \text{ В}.$$

3. РАСЧЕТ ТОКОВ ТРЕХФАЗНОГО КЗ

Определим ток трехфазного металлического КЗ в точке К1

$$R_{1\Sigma} = 1{,}79 + 0{,}45 + 0{,}25 + 0{,}255 = 2{,}745 \text{ мОм};$$

$$X_{1\Sigma} = 1{,}6 + 12{,}67 + 0{,}21 + 0{,}1 + 1{,}2 = 15{,}78 \text{ мОм};$$

$$I^{(3)}_{\text{по.м}} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{15{,}78^2 + 2{,}745^2}} = 14{,}41 \text{ кА}.$$

Определим значение

$$Z^{(3)}_{\text{кз}} = \sqrt{15{,}78^2 + 2{,}745^2} = 16{,}01 \text{ мОм}.$$

Значение тока КЗ

$$I^{(3)}_{\text{по.м}} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 16{,}01} = 14{,}41 \text{ кА}.$$

Определим значение K_c для начального момента дугового КЗ ($t_{\text{кз}}$<0,05 с) по $K_c = f(Z_{\text{кз}})$ при $Z^{(3)}_{\text{кз}} = 16{,}01$ мОм $K_c = 0{,}67$.

Определим значение K_c для установившегося тока дугового КЗ ($t_{\text{кз}}$>0,05 с) при $Z^{(3)}_{\text{кз}} = 16{,}01$ мОм $K_c = 0{,}58$.

Определим наиболее вероятное значение тока трехфазного дугового замыкания по (4.1).

Для начального момента дугового КЗ

$$I^{(3)}_{\text{дуг.нач}} = 14{,}41 \cdot 0{,}67 = 9{,}65 \text{ кА}.$$

Для установившегося тока дугового КЗ

$$I^{(3)}_{\text{дуг.уст}} = 14{,}41 \cdot 0{,}58 = 8{,}35 \text{ кА}.$$

Определим значение $K_{\text{уд}}$ по $K_{\text{уд}} = f(X/R)$ (см. рис. 6) для

$$\frac{X_{1\Sigma}}{R_{1\Sigma}} = \frac{15{,}78}{2{,}745} = 5{,}74, \quad K_{\text{уд}} = 1{,}6.$$

Определим значение ударного тока в точке К1

$$i_{\text{уд}} = 1{,}6 \cdot \sqrt{2} \cdot 14{,}41 = 32{,}6 \text{ кА}.$$

4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДЕЙСТВУЮЩЕГО ЗНАЧЕНИЯ ПЕРИОДИЧЕСКОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ТОКА КЗ В ТОЧКЕ *К1* ОТ АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

$$R'_{1\Sigma} = R_{1\Sigma} + R_{1кз}/2 + R_{ад}/2 =$$
$$= 2{,}745 + 18{,}72/2 + 42{,}8/2 = 33{,}505 \text{ мОм}.$$
$$X'_{1\Sigma} = X_{1\Sigma} + X_{1кз}/2 + X''_{ад}/2 =$$
$$= 15{,}78 + 5{,}67/2 + 124{,}6/2 = 80{,}915 \text{ мОм}.$$
$$I_{по\ ад} = \frac{199}{\sqrt{33{,}505^2 + 80{,}915^2}} = 2{,}27 \text{ кА}.$$

Определим значение ударного тока в точке К1 от асинхронных электродвигателей

$$i_{уд\ ад} = \sqrt{2} \cdot 2{,}27\left(e^{-\frac{0{,}01}{0{,}0147}} + e^{-\frac{0{,}01}{0{,}0121}}\right) = 3{,}02 \text{ кА}.$$

Определим действующее значение периодической составляющей тока КЗ в точке К1 с учетом подпитки от асинхронных электродвигателей

$$I^{(3)}_{по.м\Sigma} = I^{(3)}_{по.м} + I_{по\ ад} = 14{,}41 + 2{,}27 = 16{,}68 \text{ кА}.$$

Определим значение ударного тока КЗ в точке К1 с учетом подпитки от асинхронных электродвигателей

$$i_{уд\Sigma} = 32{,}6 + 3{,}02 = 35{,}62 \text{ кА}.$$

5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДЕЙСТВУЮЩЕГО ЗНАЧЕНИЯ ПЕРИОДИЧЕСКОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ТОКА ДВУХФАЗНОГО МЕТАЛЛИЧЕСКОГО КЗ В ТОЧКЕ *К1*

Полное сопротивление цепи двухфазного КЗ

$$Z^{(2)}_{кз} = \frac{2}{\sqrt{3}} \sqrt{15{,}78^2 + 2{,}745^2} = 18{,}48 \text{ мОм}.$$

Значение тока КЗ

$$I^{(2)}_{по.м} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 18{,}48} = 12{,}49 \text{ кА}.$$

Определим значение K_c для $t_{кз}<0{,}05$ с при $Z^{(2)}_{кз} = 18{,}48$ мОм $K_c = 0{,}68$.

Определим значение K_c для $t_{кз}$>0,05 с при $Z_{кз}^{(2)}$ = 18,48 мОм K_c = 0,6.

Определим наиболее вероятное значение тока двухфазного дугового КЗ в точке К1

$$I_{дуг.нач}^{(2)} = 12,49 \cdot 0,68 = 8,49 \text{ кА};$$

$$I_{дуг.уст}^{(2)} = 12,49 \cdot 0,6 = 7,49 \text{ кА}.$$

6. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДЕЙСТВУЮЩЕГО ЗНАЧЕНИЯ ПЕРИОДИЧЕСКОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ТОКА ОДНОФАЗНОГО КЗ В ТОЧКЕ *К1*

$$R_{0\Sigma} = 154 + 0,555 + 0,25 + 2,11 = 156,91 \text{ мОм};$$

$$X_{0\Sigma} = 59 + 0,63 + 0,1 + 5,35 = 65,08 \text{ мОм}.$$

Полное сопротивление цепи однофазного КЗ

$$Z_{кз}^{(1)} = \frac{1}{3}\sqrt{(2 \cdot 2,745 + 156 \cdot 91)^2 + (2 \cdot 15,78 + 65,08)^2} = 62,99 \text{ мОм}.$$

Значение тока КЗ

$$I_{по.м}^{(1)} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 62,99} = 3,66 \text{ кА}.$$

Определим значение K_c для $t_{кз}$<0,05 с при $Z_{кз}^{(1)}$ = 62,99 мОм K_c = 0,84.

Определим значение K_c для $t_{кз}$>0,05 с при $Z_{кз}^{(1)}$ = 62,99 мОм K_c = 0,74.

Определим наиболее вероятное значение тока однофазного дугового КЗ в точке К1

$$I_{дуг.нач}^{(1)} = 3,66 \cdot 0;84 = 3,07 \text{ кА};$$

$$I_{дуг.уст}^{(1)} = 3,66 \cdot 0,74 = 2,73 \text{ кА}.$$

7. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДЕЙСТВУЮЩЕГО ЗНАЧЕНИЯ ПЕРИОДИЧЕСКОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ТОКА ТРЕХФАЗНОГО МЕТАЛЛИЧЕСКОГО КЗ В ТОЧКЕ *К2*

$$R_{1\Sigma} = 1{,}79 + 0{,}45 + 0{,}25 + 0{,}65 + 15{,}6 = 18{,}74 \text{ мОм};$$

$$X_{1\Sigma} = 1{,}6 + 12{,}67 + 0{,}21 + 0{,}1 + 0{,}17 + 4{,}725 = 19{,}475 \text{ мОм}.$$

Полное сопротивление цепи трехфазного КЗ

$$Z_{кз}^{(3)} = \sqrt{18{,}74^2 + 19{,}475^2} = 27 \text{ мОм}.$$

Значение тока КЗ

$$I_{по.м}^{(3)} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 27} = 8{,}56 \text{ кА}.$$

Определим значение K_c для $t_{кз}<0{,}05$ с при $Z_{кз}^{(3)} = 27$ мОм $K_c = 0{,}74$.

Определим значение K_c для $t_{кз}>0{,}05$ с при $Z_{кз}^{(3)} = 27$ мОм $K_c = 0{,}67$.

Определим наиболее вероятное значение тока трехфазного дугового замыкания.

Для начального момента дугового КЗ

$$I_{дуг.нач}^{(3)} = 8{,}56 \cdot 0{,}74 = 6{,}33 \text{ кА}.$$

Для установившегося тока дугового КЗ

$$I_{дуг.уст}^{(3)} = 8{,}56 \cdot 0{,}67 = 5{,}74 \text{ кА}.$$

8. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДЕЙСТВУЮЩЕГО ЗНАЧЕНИЯ ПЕРИОДИЧЕСКОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ТОКА ДВУХФАЗНОГО МЕТАЛЛИЧЕСКОГО КЗ В ТОЧКЕ *К2*

Полное сопротивление цепи двухфазного КЗ

$$Z_{кз}^{(2)} = \frac{2}{\sqrt{3}} \cdot 27 = 31{,}18 \text{ мОм}.$$

Значение тока КЗ

$$I_{по.м}^{(2)} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 31{,}18} = 7{,}41 \text{ кА}.$$

Определим значение K_c для $t_{кз}$<0,05 с при $Z_{кз}^{(2)}$ = 31,18 мОм K_c = 0,75.

Определим значение K_c для $t_{кз}$>0,05 с при $Z_{кз}^{(2)}$ = 31,18 мОм K_c = 0,67.

Определим наиболее вероятное значение тока дугового двухфазного замыкания в точке К2.

Для начального момента дугового замыкания

$$I_{дуг.нач}^{(2)} = 7,41 \cdot 0,75 = 5,56 \text{ кА}.$$

Для установившегося тока дугового замыкания

$$I_{дуг.уст}^{(2)} = 7,41 \cdot 0,67 = 4,96 \text{ кА}.$$

9. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДЕЙСТВУЮЩЕГО ЗНАЧЕНИЯ ПЕРИОДИЧЕСКОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ТОКА ОДНОФАЗНОГО КЗ В ТОЧКЕ *К2*

$$R_{0\Sigma} = 154 + 0,555 + 0,25 + 0,65 + 74,17 = 229,625 \text{ мОм};$$

$$X_{0\Sigma} = 59 + 0,63 + 0,1 + 0,17 + 18,3 = 78,2 \text{ мОм}.$$

Полное сопротивление цепи однофазного КЗ

$$Z_{кз}^{(1)} = \frac{1}{3}\sqrt{(2 \cdot 18,74 + 229,625)^2 + (2 \cdot 19,475 + 78,2)^2} = 97,22 \text{ мОм}.$$

Значение тока КЗ

$$I_{по.м}^{(1)} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 97,22} = 2,38 \text{ кА}.$$

Определим значение K_c для $t_{кз}$<0,05 с при $Z_{кз}^{(1)}$ = 97,22 мОм K_c = 0,87.

Определим значение K_c для $t_{кз}$>0,05 с при $Z_{кз}^{(1)}$ = 97,22 мОм K_c = 0,78.

Определим наиболее вероятное значение тока дугового однофазного замыкания в точке К2.

Для начального момента дугового КЗ

$$I_{дуг.нач}^{(1)} = 2,38 \cdot 0,87 = 2,07 \text{ кА}.$$

Для установившегося тока дугового КЗ

$$I_{дуг.уст}^{(1)} = 2,38 \cdot 0,78 = 1,86 \text{ кА}.$$

10. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДЕЙСТВУЮЩЕГО ЗНАЧЕНИЯ ПЕРИОДИЧЕСКОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ТОКА ТРЕХФАЗНОГО КЗ В ТОЧКЕ *К3*

$$R_{1\Sigma} = 1{,}79 + 0{,}45 + 0{,}25 + 0{,}65 + 15{,}6 + 2{,}15 + 22 = 42{,}89 \text{ мОм};$$

$$X_{1\Sigma} = 1{,}6 + 12{,}67 + 0{,}21 + 0{,}1 + 0{,}17 + 4{,}725 + 1{,}2 + 1{,}36 = 22{,}035 \text{ мОм}.$$

Полное сопротивление цепи трехфазного КЗ

$$Z_{кз}^{(3)} = \sqrt{42{,}89^2 + 22{,}035^2} = 48{,}22 \text{ мОм}.$$

Значение тока КЗ

$$I_{по.м}^{(3)} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 48{,}22} = 4{,}79 \text{ кА}.$$

Определим значение K_c для $t_{кз}<0{,}05$ с при $Z_{кз}^{(3)} = 48{,}22$ мОм $K_c = 0{,}8$.

Определим значение K_c для $t_{кз}>0{,}05$ с при $Z_{кз}^{(3)} = 48{,}22$ мОм $K_c = 0{,}72$.

Определим наиболее вероятное значение тока трехфазного дугового замыкания в точке К3.

Для начального момента дугового КЗ

$$I_{дуг.нач}^{(3)} = 4{,}79 \cdot 0{,}8 = 3{,}83 \text{ кА}.$$

Для установившегося тока дугового КЗ

$$I_{дуг.уст}^{(3)} = 4{,}79 \cdot 0{,}72 = 3{,}45 \text{ кА}.$$

11. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДЕЙСТВУЮЩЕГО ЗНАЧЕНИЯ ПЕРИОДИЧЕСКОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ТОКА ДВУХФАЗНОГО КЗ В ТОЧКЕ *К3*

Полное сопротивление цепи двухфазного КЗ

$$Z_{кз}^{(2)} = \frac{2}{\sqrt{3}} \cdot 48{,}22 = 55{,}68 \text{ мОм}.$$

Значение тока КЗ

$$I_{по.м}^{(2)} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 55{,}68} = 4{,}15 \text{ кА}.$$

Определим значение K_c для $t_{кз}$<0,05 с при $Z^{(2)}_{кз}$ = 55,68 мОм K_c = 0,81.

Определим значение K_c для $t_{кз}$>0,05 с при $Z^{(2)}_{кз}$ = 55,68 мОм K_c = 0,73.

Определим наиболее вероятное значение тока двухфазного КЗ в точке КЗ.

Для начального момента дугового КЗ

$$I^{(2)}_{дуг.нач} = 4,15 \cdot 0,81 = 3,36 \text{ кА}.$$

Для установившегося тока дугового КЗ

$$I^{(2)}_{дуг.уст} = 4,15 \cdot 0,73 = 3,03 \text{ кА}.$$

12. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДЕЙСТВУЮЩЕГО ЗНАЧЕНИЯ ПЕРИОДИЧЕСКОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ТОКА ОДНОФАЗНОГО КЗ В ТОЧКЕ *К3*

$$R_{0\Sigma} = 154 + 0,555 + 0,25 + 0,65 + 74,17 + 2,15 + 52,6 = 284,375 \text{ мОм};$$

$$X_{0\Sigma} = 59 + 0,63 + 0,1 + 0,17 + 18,3 + 1,2 + 12,94 = 92,34 \text{ мОм}.$$

Полное сопротивление цепи КЗ

$$Z^{(1)}_{кз} = \frac{1}{3}\sqrt{(2 \cdot 42,89 + 284,375)^2 + (2 \cdot 22.035 + 92,34)^2} = 131,5 \text{ мОм}.$$

Значение тока КЗ

$$I^{(1)}_{по.м} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 131,5} = 1,76 \text{ кА}.$$

Определим значение K_c для $t_{кз}$<0,05 с при $Z^{(1)}_{кз}$ = 131,5 мОм K_c = 0,92.

Определим значение K_c для $t_{кз}$>0,05 с при $Z^{(1)}_{кз}$ = 131,5 мОм K_c = 0,81.

Определим наиболее вероятное значение тока дугового однофазного КЗ в точке КЗ.

Для начального момента дугового КЗ

$$I^{(1)}_{дуг.нач} = 1,76 \cdot 0,92 = 1,61 \text{ кА}.$$

Для установившегося тока дугового КЗ

$$I^{(1)}_{\text{дуг.уст}} = 1{,}76 \cdot 0{,}81 = 1{,}42 \text{ кА}.$$

13. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДЕЙСТВУЮЩЕГО ЗНАЧЕНИЯ ПЕРИОДИЧЕСКОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ТОКА ТРЕХФАЗНОГО КЗ В ТОЧКЕ *К4*

$$R_{1\Sigma} = 1{,}79 + 0{,}45 + 0{,}25 + 0{,}255 + 0{,}65 + 18{,}72 = 22{,}1 \text{ мОм};$$

$$X_{1\Sigma} = 1{,}6 + 12{,}67 + 0{,}21 + 0{,}1 + 1{,}2 + 0{,}17 + 5{,}67 = 21{,}62 \text{ мОм}.$$

Полное сопротивление цепи трехфазного КЗ

$$Z^{(3)}_{\text{кз}} = \sqrt{21{,}62^2 + 22{,}1^2} = 30{,}91 \text{ мОм}.$$

Значение тока КЗ

$$I^{(3)}_{\text{по.м}} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 30{,}91} = 7{,}47 \text{ кА}.$$

Определим значение K_c для $t_{\text{кз}}<0{,}05$ с при $Z^{(3)}_{\text{кз}} = 30{,}91$ мОм $K_c = 0{,}75$.

Определим значение K_c для $t_{\text{кз}}>0{,}05$ с при $Z^{(3)}_{\text{кз}} = 30{,}91$ мОм $K_c = 0{,}67$.

Определим наиболее вероятное значение тока трехфазного дугового КЗ в точке К4.

Для начального момента дугового КЗ

$$I^{(3)}_{\text{дуг.нач}} = 7{,}47 \cdot 0{,}75 = 5{,}6 \text{ кА}.$$

Для установившегося тока дугового КЗ

$$I^{(3)}_{\text{дуг.уст}} = 7{,}47 \cdot 0{,}67 = 5 \text{ кА}.$$

14. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДЕЙСТВУЮЩЕГО ЗНАЧЕНИЯ ПЕРИОДИЧЕСКОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ТОКА ДВУХФАЗНОГО КЗ В ТОЧКЕ *К4*

Полное сопротивление цепи двухфазного КЗ

$$Z^{(2)}_{\text{кз}} = \frac{2}{\sqrt{3}} \cdot 30{,}91 = 35{,}6 \text{ мОм}.$$

Значение тока КЗ

$$I^{(2)}_{\text{по.м}} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 35{,}6} = 6{,}48 \text{ кА}.$$

Определим значение K_c для $t_{\text{кз}}<0{,}05$ с при $Z^{(1)}_{\text{кз}} = 35{,}6$ мОм $K_c = 0{,}77$.

Определим значение K_c для $t_{\text{кз}}>0{,}05$ с при $Z^{(1)}_{\text{кз}} = 35{,}6$ мОм $K_c = 0{,}69$.

Определим наиболее вероятное значение тока двухфазного дугового КЗ в точке К4.

Для начального момента дугового КЗ

$$I^{(1)}_{\text{дуг.нач}} = 6{,}48 \cdot 0{,}77 = 4{,}98 \text{ кА}.$$

Для установившегося тока дугового КЗ

$$I^{(1)}_{\text{дуг.уст}} = 6{,}48 \cdot 0{,}69 = 4{,}47 \text{ кА}.$$

15. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДЕЙСТВУЮЩЕГО ЗНАЧЕНИЯ ПЕРИОДИЧЕСКОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ТОКА ОДНОФАЗНОГО КЗ В ТОЧКЕ *К4*

$$R_{0\Sigma} = 154 + 0{,}555 + 0{,}25 + 2{,}11 + 0{,}65 + 89{,}01 = 246{,}57 \text{ мОм};$$

$$X_{0\Sigma} = 59 + 0{,}63 + 0{,}1 + 5{,}35 + 0{,}17 + 21{,}96 = 87{,}21 \text{ мОм}.$$

Полное сопротивление цепи однофазного КЗ

$$Z^{(1)}_{\text{кз}} = \frac{1}{3}\sqrt{(2 \cdot 22{,}1 + 246{,}57)^2 + (2 \cdot 21{,}62 + 87{,}21)^2} = 106 \text{ мОм}.$$

Значение тока КЗ

$$I^{(1)}_{\text{по.м}} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 106} = 2{,}17 \text{ кА}.$$

Определим значение K_c для $t_{\text{кз}}<0{,}05$ с при $Z^{(1)}_{\text{кз}} = 106$ мОм $K_c = 0{,}88$.

Определим значение K_c для $t_{\text{кз}}>0{,}05$ с при $Z^{(1)}_{\text{кз}} = 106$ мОм $K_c = 0{,}79$.

Определим наиболее вероятное значение тока дугового однофазного КЗ в точке К4.

Для начального момента дугового КЗ

$$I^{(1)}_{\text{дуг.нач}} = 2{,}17 \cdot 0{,}88 = 1{,}91 \text{ кА}.$$

Для установившегося тока дугового КЗ

$$I^{(1)}_{\text{дуг.уст}} = 2{,}17 \cdot 0{,}79 = 1{,}71 \text{ кА}.$$

Результаты расчетов приведены в табл. 18.

Таблица 18

Результаты расчетов токов КЗ

Точка КЗ	$I^{(3)}_{\text{по.м}}$ кА	$I^{(3)}_{\text{дуг.нач}}$ кА	$I^{(3)}_{\text{дуг.уст}}$ кА	$I_{\text{по.ад}}$ кА	$i_{\text{уд}}$ кА	$i_{\text{уд.ад}}$ кА	$I^{(3)}_{\text{по.м}\Sigma}$ кА
К1	14,41	9,65	8,35	2,27	32,6	3,02	16,68
К2	8,56	6,33	5,74	—	—	—	—
К3	4,79	3,83	3,45	—	—	—	—
К4	7,47	5,6	5	—	—	—	—

Точка КЗ	$i_{\text{уд}\Sigma}$ кА	$I^{(2)}_{\text{по.м}}$ кА	$I^{(2)}_{\text{дуг.нач}}$ кА	$I^{(2)}_{\text{дуг.уст}}$ кА	$I^{(1)}_{\text{по.м}}$ кА	$I^{(1)}_{\text{дуг.нач}}$ кА	$I^{(1)}_{\text{дуг.уст}}$ кА
К1	35,62	12,49	8,49	7,42	3,66	3,07	2,73
К2	—	7,41	5,56	4,96	2,38	2,07	1,86
К3	—	4,15	3,36	3,03	1,76	1,61	1,42
К4	—	6,48	4,98	4,47	2,17	1,91	1,71

Приложение 3

ТЕКСТ ПРОГРАММЫ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ РАСЧЕТОВ ТОКОВ КЗ В СЕТИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА НАПРЯЖЕНИЕМ ДО 1 кВ НА ЭВМ "ЭЛЕКТРОНИКА МК-85"

```
10  INPUT"X(1)=",X(1)
20  INPUT"R(1)=",R(1)
30  INPUT"X(0)=",X(0)
40  INPUT"R(0)=",R(0)
50  INPUT"U=",U
60  A=U*1000
70  B=SQR(3*(X(1)↑2+R(1)↑2))
80  C=2*SQR(X(1)↑2+R(1)↑2)
90  D=(SQR((2*R(1)+R(0)↑2+(2*X(1)+X(0))↑2))/3↑(1/2)
100 E=0,6-0,0025*D+0,114*SQRB-0,13*B↑(1/3)
110 F=0,55-0,002*B+0,1*SQRB-0,12*B↑(1/3)
120 G=0,6-0,0025*C+0,114*SQRC-0,13*C↑(1/3)
130 H=0,55-0,002*C+0,1*SQRC-0,12*C↑(1/3)
140 I=0,6−0,0025*D+0,114*SQRD−0,13*D↑(1/3)
150 J=0,55-0,002*D+0,1*SQRD-0,12*D↑(1/3)
160 PRINT"I3M=";A/B
170 PRINT"I3DN=";A/B*E
180 PRINT"I3DU=";A/B*F
190 PRINT"I2M=";A/C
200 PRINT"I2DN=";A/C*G
210 PRINT"I2DU=";A/C*H
220 PRINT"I1M=";A/D
230 PRINT"I1DN=";A/D*I
240 PRINT"I1DU=";A/D*J
250 INPUT"CHANGE Y=",K
260 IF K=0 THEN 10
270 END
```

gost.e-ecolog.ru

Зак. № 95009(02) Тир. 1000 экз. Р. СПО ОРГРЭС