

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



ОРГРЭС  
МОСКВА 1993

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

РАЗРАБОТАНО предприятием "Сибтехэнерго"

ИСПОЛНИТЕЛЬ М.А.ШИПА

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

Заместитель главного инженера

Ф.Л.КОГАН

---

**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. Наил-

более благоприятными условиями для возникновения дуговых КЗ являются условия замкнутых пространств распределительных коробок электродвигателей, щитков, закрытых оборок 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.

1.4. При расчетах токов КЗ в сети напряжением до 1 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 10% 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.

1.5. 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 10% 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 оборок 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; 15,75; 13,8; 10,5; 6,3; 3,15; 0,69; 0,525; 0,4; 0,23 кВ.

## 2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕМЕНТОВ СЕТИ

2.1. Расчет токов КЗ в сети напряжением до 1 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 (10) кВ, сопротивление собственно трансформаторов рабочего и резервного питания РУ 6 (10) кВ, а также сопротивление шинопроводов или кабельных связей, по которым осуществляется ввод рабочего или резервного питания на шины секций РУ 6 (10) кВ. Сопротивление (в миллиомах) прилегающей части энергосистемы ( $X_c$ ) может быть определено при известном значении тока трехфазного КЗ на стороне высокого напряжения по формуле

$$X_c = \frac{U_{ср. нн}^2}{\sqrt{3} I_{кз. вн} U_{ср. вн}} = \frac{U_{ср. нн}^2}{S_{кз}} 10^{-3}, \quad (2.1)$$

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 ( $R_T$ ) и индуктивное сопротивления ( $X_T$ ) (в миллиомах) трансформаторов питания СН 0,4 кВ, приведенные к ступени низшего напряжения, следует определять по формулам:

$$R_T = \frac{P_{кз} U_{нн.ном}^2}{S_{т.ном}^2} 10^6; \quad (2.2)$$

$$X_T = \sqrt{U_{кз}^2 - \left(\frac{100 P_{кз}}{S_{т.ном}}\right)^2} \cdot \frac{U_{нн.ном}}{S_{т.ном}}, \quad (2.3)$$

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

$$X_T = \frac{U_{кз} U_{нн.ном}^2}{100 S_{т.ном}}. \quad (2.4)$$

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

Активные и индуктивные сопротивления нулевой последовательности трансформаторов, обмотки которых соединены по схеме  $\Delta/Y_0$ , 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  $\lambda/\lambda^0$  приведена на рис. I. При этом значения сопротивлений  $Z_0, R_0, X_0$  (в миллиомах) определяются по формулам:

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

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

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

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 приложении I (табл. I-I7).

Ориентировочные значения сопротивлений трансформаторов приведены в табл. I.

Значения сопротивлений нулевой последовательности трансформаторов со схемой соединения обмоток  $Y/Y^0$  (см. табл. I) приведены на основании усреднения значений сопротивлений, полученных в результате измерений, проводимых Сибтехэнерго.

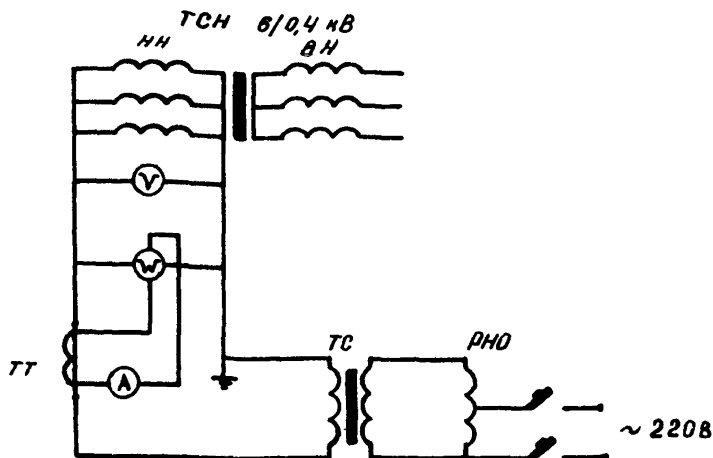


Рис.1. Принципиальная схема для измерений сопротивлений нулевой последовательности ( $X_0, R_0, Z_0$ ) трансформаторов 6/0,4 кВ

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

$$R_p = \frac{P_{ном}}{I_{ном}^2} 10^3 ; \quad (2.8)$$

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

где  $P_{ном}$  - потери мощности в фазе реактора при номинальном токе, Вт;  
 $I_{ном}$  - номинальный ток реактора, А;  
 $\omega_c$  - синхронная угловая частота напряжения сети, рад/с;  
 $L_p$  - индуктивность фазы реактора, мГн.

Параметры реактора, устанавливаемого на вводе питания сборок РТ30, 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 ( $R_{\gamma}$ ) определяется по формуле

$$R_{\gamma} = C_{\gamma} R, \quad (2.10)$$

где  $C_{\gamma}$  - коэффициент, учитывающий увеличение активного сопротивления медного или алюминиевого кабеля. При приближенных расчетах значение коэффициента  $C_{\gamma} = 1,5$ .

При уточненных расчетах коэффициент  $C_{\gamma}$  следует определять в соответствии с рис.2-5;

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

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

$$X''_{\text{ад}} = \sqrt{\left( \frac{U_{\text{ф.ном}}}{I_{\text{п}}^* I_{\text{ном}}} 10^3 \right)^2 - R_{\text{ад}}^2}, \quad (2.11)$$

где  $U_{\text{ф.ном}}$  - номинальное фазное напряжение электродвигателя, В;  
 $I_{\text{п}}^*$  - кратность пускового тока электродвигателя по отношению к его номинальному току;  
 $I_{\text{ном}}$  - номинальный ток электродвигателя, А;  
 $R_{\text{ад}}$  - суммарное активное сопротивление электродвигателя в момент КЗ, мОм.

Значение  $R_{\text{ад}}$  определяется по формуле

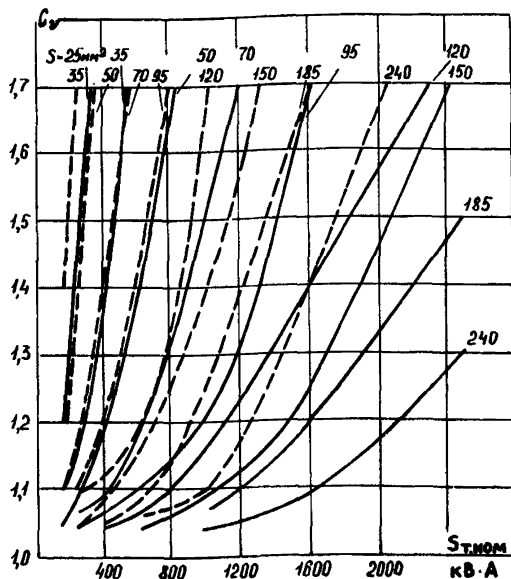


Рис.2. Кривые зависимости коэффициента увеличения активного сопротивления кабелей с алюминиевыми жилами ( $C_1$ ) при нагревании их током трехфазного КЗ от мощности трансформатора:  
 —————  $t_{откл} = 0,1$  с; - - - -  $t_{откл} = 0,4$  с

$$R_{ад} = R_1 + 0,96 R_2, \quad (2.12)$$

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

$$R_2 = \frac{0,36 M_n^* (P_{ном} + P_{мх})}{I_n^{*2} I_{ном}^2 (1 - S_{ном})} 10^6, \quad (2.13)$$

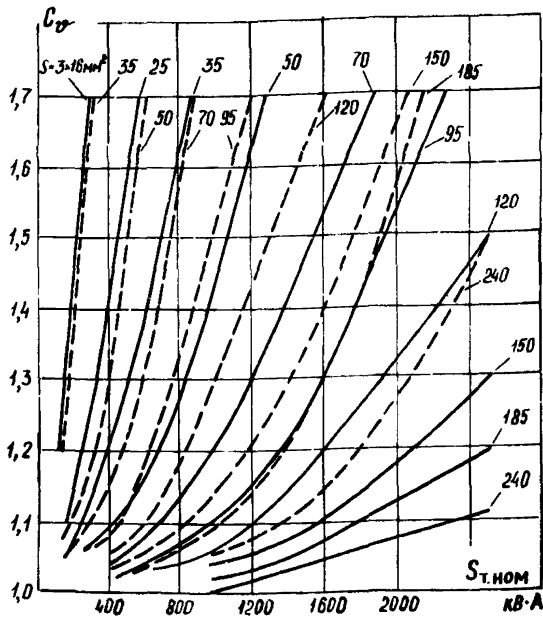


Рис.4. Кривые зависимости коэффициента увеличения активного сопротивления кабелей с медными жилами ( $C_v$ ) при нагревании их током трехфазного КЗ от мощности трансформатора:  
 —————  $t_{откл} = 0,1$  с; - - - - -  $t_{откл} = 0,4$  с

$$R_1 = \frac{S_{ном}}{100} \cdot \frac{U_{ном}^2 \cos \varphi \eta_{ном}}{P_{ном}} \quad (2.14)$$

При проведении приближенных расчетов допустимо принять

$$X''_{ад} = 0,18; \quad R_{ад} = 0,36 X''_{ад}.$$

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

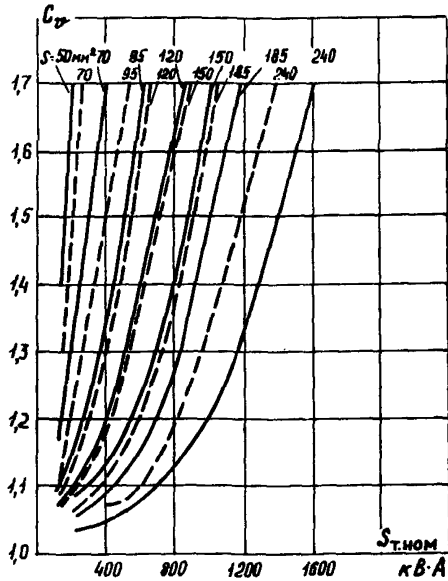


Рис.3. Кривые зависимости коэффициента увеличения активного сопротивления кабелей с алюминиевыми жилами ( $C_p$ ) при нагревании их током трехфазного КЗ от мощности трансформаторов: —  $t_{откл} = 0,7$  с; ---  $t_{откл} = 1,0$  с

где  $M_n^*$  — 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

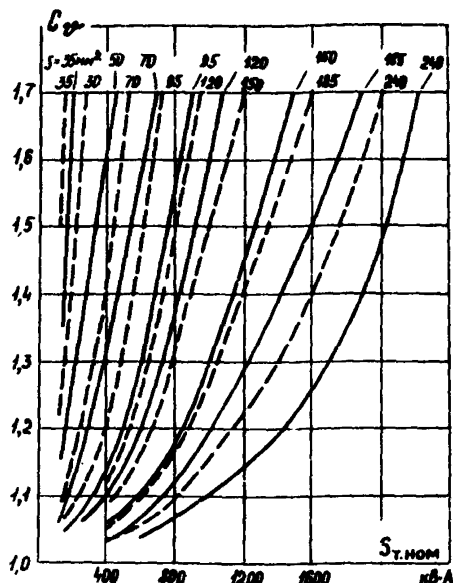


Рис.5. Кривые зависимости коэффициента увеличения активного сопротивления кабелей с медными жилами ( $C_p$ ) при нагревании их током трехфазного КЗ от мощности трансформатора:  
 —————  $t_{откл} = 0,7$  с; - - - - -  $t_{откл} = 1,0$  с

$$\chi''^*_{АД} = \chi''_{АД} \frac{U_{ном}^2 \cos \varphi \eta_{ном}}{P_H} 10^3, \quad (2.15)$$

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;

$P_H$  - суммарная активная мощность электродвигателей, подключенных к шинам РУСН 0,4 кВ, МВт.

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

$$E''_{\varphi.ад} = \sqrt{(U_{\varphi(o)} \cos \varphi_{(o)} - I_{(o)} R_{ад})^2 + (U_{\varphi(o)} \sin \varphi_{(o)} - I_{(o)} X''_{ад})^2}, \quad (2.16)$$

где  $U_{\varphi(o)}$  - фазное напряжение на выводах электродвигателя в момент, предшествующий КЗ, В;  
 $\varphi_{(o)}$  - усредненное значение сдвига фаз напряжения и тока в момент, предшествующий КЗ;  
 $I_{(o)}$  - ток статора в момент, предшествующий КЗ, А.

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

$$E''_{\varphi.ад.э} = \frac{1}{y_3} \sum_{k=1}^n y_k E''_{\varphi.ад.к}, \quad (2.17)$$

где  $y_k = \frac{1}{Z_k} = \frac{1}{\sqrt{(X''_{ад} + X_{каб})^2 + (R_{ад} + R_{каб.к})^2}}$  - проводимость "к" ветви питания двигателя (включая двигатель);

$y_3 = y_1 + y_2 + \dots + y_n$  - эквивалентная проводимость.

### 3. РАСЧЕТ ТОКОВ МЕТАЛЛИЧЕСКОГО КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ

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

$$I_{п.м.}^{(3)} = \frac{U_{ср.нн}}{\sqrt{3} Z_{к3}^{(3)}}, \quad (3.1)$$

где

$$U_{ср.нн} - \text{среднее номинальное напряжение сети, в которой произошло короткое замыкание, В;}$$

$$Z_{к3}^{(3)} = \sqrt{X_{1\Sigma}^2 + R_{1\Sigma}^2} - \text{полное сопротивление цепи при трехфазном коротком замыкании, МОм;}$$

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

$$X_{1\Sigma} = X_C + X_{1T} + X_{1TT} + X_{1ш} + X_{1каб} + X_{кв}, \quad (3.2)$$

где

- $R_{1T}, X_{1T}$  - активное и индуктивное сопротивления прямой последовательности обмоток трансформатора, МОм;
- $R_{1TT}, X_{1TT}$  - 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 10% 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  $I_{пв.ад}$  (в килоамперах) рассчитывается по формуле

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

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

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

$$i_{уд} = K_{уд} \sqrt{2} I_{пв.м}^{(3)}, \quad (3.4)$$

где  $K_{y\partial} = 1 + e^{-\frac{3,14 R_r}{X_{\Sigma}}}$  - ударный коэффициент;

$I_{по.м}^3$  - действующее значение периодической составляющей тока трехфазного КЗ, кА.

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

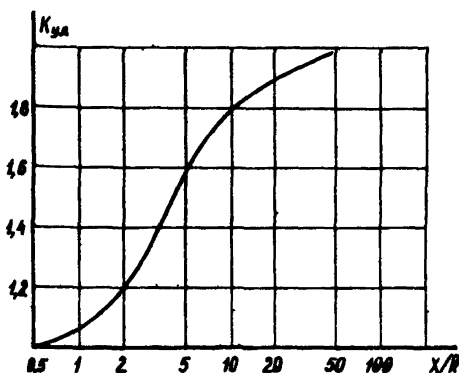


Рис.6. Кривая зависимости  $K_{y\partial} = f(X/R)$

Значение ударного тока от асинхронных электродвигателей определяется по формуле

$$i_{y\partial.ад} = \sqrt{2} I_{по.ад} \left( e^{-\frac{0.01}{T_p}} + e^{-\frac{0.01}{T_a}} \right), \quad (3.5)$$

где  $T_p$  - расчетная постоянная времени затухания периодической составляющей тока статора, с;  
 $T_a$  - постоянная времени затухания аperiodической составляющей тока статора, с.

Значения  $T_p$  и  $T_a$  рассчитываются по формулам:

$$T_p = \frac{X''_{AD} + X_{1каб}}{\omega_c \tilde{R}_2} ; \quad (3.6)$$

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

где  $\omega_c$  - синхронная угловая частота, рад/с;  
 $R_1; \tilde{R}_2$  - соответственно активное сопротивление статора и активное сопротивление ротора, приведенное к статору.

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

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

Значение  $X''_{AD}$  при этом определяется по (2.15), а  $R_{AD} = 0,36 X''_{AD}$ .

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

$$I_{п.м}^{(2)} = \frac{U_{ср.мн}}{\sqrt{3} Z_{кз}^{(2)}}, \quad (3.9)$$

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

$$I_{п.м}^{(1)} = \frac{U_{ср.мн}}{\sqrt{3} Z_{кз}^{(1)}}, \quad (3.10)$$

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;

$$R_{0\Sigma} = R_{0T} + R_{0TT} + R_{0ш} + R_{0каб} + R_{пп} + R_{кв};$$

$$X_{0\Sigma} = X_{0T} + X_{0TT} + X_{0ш} + X_{0каб} + X_{кв},$$

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

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

$R_{0ш}, X_{0ш}$  - активное и индуктивное сопротивления нулевой последовательности шинпровода, 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

$$I_{дуг}^{(3)} = I_{пв.м}^{(3)} K_c, \quad (4.1)$$

где  $K_c$  - снижающий коэффициент, определяемый по  $K_c = f(Z_{кз})$  (рис.7) для  $Z_{кз}^{(3)} = \sqrt{X_{1\Gamma}^2 + R_{1\Gamma}^2}$ .

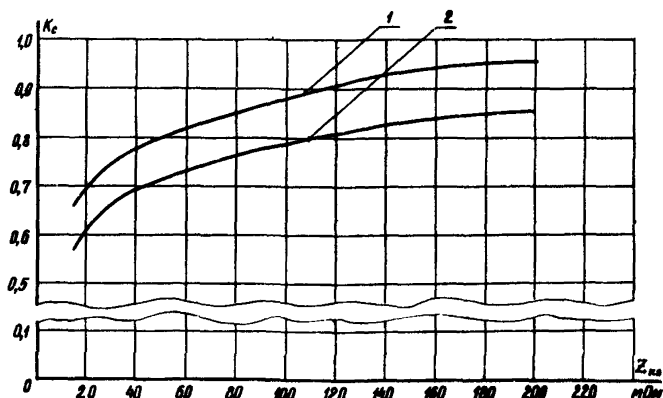


Рис.7. Кривые зависимости  $K_c$  от сопротивления цепи КЗ:  
1 - начало процесса дугового замыкания  $t_{кз} < 0,05$  с;  
2 - установившийся процесс дугового замыкания  $t_{кз} > 0,05$  с

При определении тока дугового замыкания в начальный момент замыкания  $t_{K3} < 0,05$  с значение  $K_C$  определяется по кривой I  $K_C = f(Z_{K3})$ . При определении установившегося значения тока дугового замыкания  $t_{K3} > 0,05$  с  $K_C$  определяется по кривой 2  $K_C = f(Z_{K3})$ .

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

$$I_{dy2}^{(2)} = I_{п.м}^{(2)} K_C, \quad (4.2)$$

где  $K_C$  - то же, что в формуле (4.1) для

$$Z_{K3}^{(2)} = \frac{2}{\sqrt{3}} \sqrt{X_{1\Sigma}^2 + R_{1\Sigma}^2}.$$

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

$$I_{dy2}^{(1)} = I_{п.м}^{(1)} K_C, \quad (4.3)$$

где  $K_C$  - то же, что в формуле (4.1) для

$$Z_{K3}^{(1)} = \frac{1}{3} \sqrt{(2R_{1\Sigma} + R_{0\Sigma})^2 + (2X_{1\Sigma} + X_{0\Sigma})^2}.$$

При проведении расчетов токов КЗ с помощью ЭВМ удобнее пользоваться аналитическим выражением  $K_C = f(Z_{K3})$ .

Значение  $K_C$  для начального момента замыкания  $t_{K3} < 0,05$  с определяется по формуле

$$K_C = 0,6 - 0,0025 Z_{K3} + 0,114 \sqrt{Z_{K3}} - 0,13 \sqrt[3]{Z_{K3}}. \quad (4.4)$$

Для установившегося процесса дугового КЗ значение  $K_C$  определяется по формуле

$$K_C = 0,55 - 0,002 Z_{K3} + 0,1 \sqrt{Z_{K3}} - 0,12 \sqrt[3]{Z_{K3}}. \quad (4.5)$$

В приложении 2 приведен пример расчета токов КЗ в сети СН 0,4 кВ.

В приложении 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.

## Приложение I

### СПРАВОЧНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ РАСЧЕТОВ ТОКОВ КЗ

Таблица I

Значения сопротивлений трансформаторов ТС, ТСЗС

Мощность трансформатора, кВ·А	$U_{K3}$ %	Сопротивление трансформатора, мОм							
		$\Delta/\gamma_0$				$\gamma/\gamma_0$			
		$R_1=R_2$	$X_1=X_2$	$R_0$	$X_0$	$R_1=R_2$	$X_1=X_2$	$R_0$	$X_0$
160	5,5	16,9	52,4	16,9	52,4	-	-	-	-
	4,5	-	-	-	-	16,6	41,7	-	-
250	5,5	9,7	33,8	9,7	33,8	-	-	-	-
	4,5	-	-	-	-	9,4	27,2	-	-
400	5,5	5,4	21,3	5,4	21,3	-	-	-	-
	4,5	5,9	17,0	5,9	17,0	5,5	17,1	-	-
630	5,5	2,9	13,7	2,9	13,7	3,1	13,6	-	-
1000	8	1,9	12,65	1,9	12,65	2	12,6	154	59

Таблица 2

### Данные реактора

Мощность, Вт	Напряжение, В	Ток, А	Индуктивность, мГн	Частота, Гц
140	380	50	0,48	50

Т а б л и ц а 3

Значения сопротивлений трехжильных кабелей  
в алюминиевой оболочке

Номер кабеля	Сечение кабеля	Сопротивление, мОм/м			
		$R_l$	$X_l$	$R_0$	$X_0$
I	3 x 4	9,6I	0,092	10,95	0,579
2	3 x 6	6,4I	0,087	7,69	0,523
3	3 x 10	3,84	0,082	5,04	0,46I
4	3 x 16	2,4	0,078	3,52	0,406
5	3 x 25	1,54	0,062	2,63	0,359
6	3 x 35	1,1	0,06I	2,07	0,298
7	3 x 50	0,769	0,06	1,64	0,25
8	3 x 70	0,549	0,059	1,3I	0,2II
9	3 x 95	0,405	0,057	1,06	0,174
10	3 x 120	0,32	0,057	0,92	0,157
II	3 x 150	0,256	0,056	0,78	0,135
12	3 x 185	0,208	0,056	0,66	0,122
13	3 x 240	0,16	0,055	0,553	0,107

Т а б л и ц а 4

Значения сопротивлений трехжильных кабелей  
в свинцовой оболочке

Номер кабеля	Сечение кабеля	Сопротивление, мОм/м			
		$R_l$	$X_l$	$R_0$	$X_0$
14	3 x 4	9,6I	0,092	11,6	1,24
15	3 x 6	6,4I	0,087	8,38	1,2
16	3 x 10	3,84	0,082	5,78	1,16
17	3 x 16	2,4	0,078	4,32	1,12
18	3 x 25	1,54	0,062	3,44	1,07
19	3 x 35	1,1	0,06I	2,96	1,0I

О к о н ч а н и е   т а б л и ц ы   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
21	3 х 70	0,549	0,059	2,31	0,884
22	3 х 95	0,405	0,057	2,1	0,793
23	3 х 120	0,32	0,057	1,96	0,742
24	3 х 150	0,256	0,056	1,82	0,671
25	3 х 185	0,208	0,056	1,69	0,606
26	3 х 240	0,16	0,055	1,55	0,535

Т а б л и ц а   5

Значения сопротивления трехжильных кабелей  
в непроводящей оболочке

Номер кабеля	Сечение кабеля	Сопротивление, мОм/м			
		$R_1$	$X_1$	$R_0$	$X_0$
27	3 х 4	9,61	0,092	11,7	2,31
28	3 х 6	6,41	0,087	8,51	2,274
29	3 х 10	3,84	0,082	5,94	2,24
30	3 х 16	2,4	0,078	4,5	2,2
31	3 х 25	1,54	0,062	3,64	2,17
32	3 х 35	1,1	0,061	3,3	2,14
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 120	0,32	0,057	2,42	2,03
37	3 х 150	0,256	0,056	2,36	2,0

Т а б л и ц а 6

Значения сопротивлений четырехжильных кабелей  
в алюминиевой оболочке

Номер кабеля	Сечение кабеля	Сопротивление, мОм/м			
		$R_1$	$X_1$	$R_0$	$X_0$
38	3x4 + 1x2,5	9,6I	0,098	10,87	0,57
39	3x6 + 1x4	6,4I	0,094	7,6	0,463
40	3x10 + 1x6	3,84	0,088	4,94	0,40I
4I	3x16 + 1x10	2,4	0,084	3,39	0,336
42	3x25 + 1x16	1,54	0,072	2,4I	0,256
43	3x35 + 1x16	1,1	0,068	1,93	0,232
44	3x50 + 1x25	0,769	0,066	1,44	0,179
45	3x70 + 1x35	0,549	0,065	1,1I	0,145
46	3x95 + 1x50	0,405	0,064	0,887	0,124

Т а б л и ц а 7

Значения сопротивлений четырехжильных кабелей  
в свинцовой оболочке

Номер кабеля	Сечение кабеля	Сопротивление, мОм/м			
		$R_1$	$X_1$	$R_0$	$X_0$
47	3x4 + 1x2,5	9,6I	0,098	11,52	1,13
48	3x6 + 1x4	6,4I	0,094	8,28	1,05
49	3x10 + 1x6	3,84	0,088	5,63	0,966
50	3x16 + 1x10	2,4	0,084	4,09	0,83I
5I	3x25 + 1x16	1,54	0,072	3,08	0,668
52	3x35 + 1x16	1,1	0,068	2,63	0,647
53	3x50 + 1x25	0,769	0,066	2,1	0,5
54	3x70 + 1x35	0,549	0,065	1,7I	0,393
55	3x95 + 1x50	0,405	0,064	1,39	0,317

О к о н ч а н и е    т а б л и ц ы    7

Номер кабеля	Сечение кабеля	Сопротивление, мОм/м			
		$R_1$	$X_1$	$R_0$	$X_0$
56	3x120 + 1x50	0,32	0,064	1,27	0,301
57	3x150 + 1x70	0,256	0,063	1,05	0,248
58	3x185 + 1x70	0,208	0,063	0,989	0,244

Т а б л и ц а    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 + 1x2,5	9,61	0,098	11,71	2,11
60	3x6 + 1x4	6,41	0,094	8,71	1,968
61	3x10 + 1x6	3,84	0,088	5,9	1,811
62	3x16 + 1x10	2,4	0,084	4,39	1,558
63	3x25 + 1x16	1,54	0,072	3,42	1,258
64	3x35 + 1x16	1,1	0,068	2,97	1,241
65	3x50 + 1x25	0,769	0,066	2,449	0,949
66	3x70 + 1x35	0,549	0,065	2,039	0,741
67	3x95 + 1x50	0,405	0,064	1,665	0,559
68	3x120 + 1x50	0,32	0,064	1,54	0,545
69	3x150 + 1x70	0,256	0,063	1,276	0,43

Т а б л и ц а    9

Значения сопротивлений контрольных кабелей  
в непроводящей оболочке

Номер кабеля	Сечение кабеля	Сопротивление, мОм/м			
		$R_1$	$X_1$	$R_0$	$X_0$
70	1,5	12,3	0,105	14	2,5

Окончание таблицы 9

Номер кабеля	Сечение кабеля	Сопротивление, мОм/м			
		$R_1$	$X_1$	$R_0$	$X_0$
71	2,5	7,35	0,102	12,9	2,3
72	4	4,6	0,098	11,71	2,11

Таблица 10

Значения сопротивлений комплектных  
шинопроводов

Тип шинопро- вода	Номиналь- ное напря- жение, кВ	Номи- наль- ный ток, А	Сопротивление фазн, мОм/м		Сопротивление нулевого про- водника, мОм/м	
			$R_1$	$X_1$	$R_0$	$X_0$
ШМА4-1250	0,38/0,66	1250	0,034	0,016	0,054	0,053
ШМА4-1600	0,38/0,66	1600	0,030	0,014	0,037	0,042
ШМА4-3200	0,38/0,66	3200	0,010	0,005	0,064	0,035
ШМА-68Н	0,38/0,66	4000	0,013	0,015	0,007	0,045
ШРА-73	0,38	250	0,210	0,210	0,120	0,210
ШРА-73	0,38	400	0,150	0,170	0,162	0,164
ШРА-73	0,38	630	0,1	0,13	0,162	0,164
КЗШ-0,4	0,38	-	0,024	0,117	0,201	0,572
АШО-0,4 (КРУ-0,5)	0,5	-	0,0255	0,12	0,211	0,535

Т а б л и ц а II

Значения сопротивлений плавких вставок  
предохранителей

Тип предохра- нителя	Номинальный ток патрона, А	Номинальный ток плавкой вставки, А	Сопротивление, МОм
ПН-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	600	300	0,23
		400	0,15
		500	0,13
		600	0,1

Т а б л и ц а 12

Значения сопротивлений полюсов  
автоматических выключателей серии АВМ

Тип выключа- теля	Номинальный ток выклю- чателя, А	Сопротивление полюса выключателя, МОм
АВМ-4	400	0,4
АВМ-10	1000	0,12
АВМ-10	750	0,25
АВМ-15	1500	0,12
АВМ-20	2000	0,1
АВМ-20	1500	0,12

Т а б л и ц а 13

Значения сопротивлений полюсов  
автоматического выключателя АЕ-20

Номинальный ток теплово- го расцепи- теля, А	Сопротивление полюса выклю- чателя, МОм	Номинальный ток теплово- го расцепи- теля, А	Сопротивление полюса выклю- чателя, МОм
0,6	21700	12,5	48
0,8	12500	16	31
1,0	8000	20	20
1,25	5100	25	13
1,6	3100	31,5	8
2,0	2000	40	5
2,5	1300	50	3,2
3,15	800	63	2
4,0	500	80	2,3
5,0	300	100	1,5
6,3	200	125	1,28
8,0	125	160	0,78
10	80		

Т а б л и ц а 14

Значения сопротивлений полюсов  
выключателя АП-50

Номинальный ток теплового расцепителя, А	Сопротивление полюса выключателя, мОм
1,6	3900
2,5	1600
4	625
6,4	244
10	100
16	39
25	16
40	6,2
50	4

Т а б л и ц а 15

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	16600	8	156	93
0,8	15625	9375	10	100	60
1,0	10000	6000	12	69	41
1,25	6400	3840	12,5	64	38
1,6	3900	2343	16	39	23
2,0	2500	1500	20	25	15
2,5	1600	960	25	16	9,6
3,15	1000	604	31,5	10	6
4,0	625	375	40	6,25	3,75
5	400	240	50	4	2,4
6,3	251	151	63	2,51	1,51

Т а б л и ц а 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	2,16	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			

Т а б л и ц а 17

Значения сопротивлений первичных обмоток  
многовитковых трансформаторов тока

Коэффициент трансформа- ции 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

# ПРИМЕР РАСЧЕТА ТОКОВ КЗ В СЕТИ СН 0,4 кВ

## 1. Расчетная проверка для схемы, приведенной на рис.8

### Исходные данные

Система:  $S_{кз} = 100 \text{ МВ} \cdot \text{А}$ .  $U_{ср. вн} = 6,0 \text{ кВ}$ .

Трансформатор Т: ТСЗС-1000/6,0. Схема соединения обмоток  $Y/Y_0$ .

$U_{кз} = 8\%$ ;  $S_T = 1000 \text{ кВ} \cdot \text{А}$ ;  $U_{вн} = 6,3 \text{ кВ}$ ;

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

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

$R_{1ш1} = 0,03 \text{ МОм/м}$ ;  $X_{1ш1} = 0,014 \text{ МОм/м}$ ;

$R_{0ш1} = 0,037 \text{ МОм/м}$ ;  $X_{0ш1} = 0,042 \text{ МОм/м}$ .

Шинопровод III2; АДО-0,4. Длина 10 м.

$R_{1ш2} = 0,0255 \text{ МОм/м}$ ;  $X_{1ш2} = 0,12 \text{ МОм/м}$ ;

$R_{0ш2} = 0,211 \text{ МОм/м}$ ;  $X_{0ш2} = 0,535 \text{ МОм/м}$ .

### Кабельные линии

КЛ<sub>1</sub> АВВГ-2 (3х185 + 1х70), длина - 150 м;

$R_1 = 0,208 \text{ МОм/м}$ ;  $X_1 = 0,063 \text{ МОм/м}$ ;

$R_0 = 0,989 \text{ МОм/м}$ ;  $X_0 = 0,244 \text{ МОм/м}$ .

КЛ<sub>2</sub> АВВГ- 3х35 + 1х16, длина 20 м;

$R_1 = 1,1 \text{ МОм/м}$ ;  $X_1 = 0,068 \text{ МОм/м}$ ;

$R_0 = 2,63 \text{ МОм/м}$ ;  $X_0 = 0,647 \text{ МОм/м}$ .

КЛ<sub>3</sub> АВВГ - 3х185 + 1х70, длина 90 м;

$R_1 = 0,208 \text{ МОм/м}$ ;  $X_1 = 0,063 \text{ МОм/м}$ ;

$R_0 = 0,989 \text{ МОм/м}$ ;  $X_0 = 0,244 \text{ МОм/м}$ .

### Автоматические выключатели

QF1 - "Электрон".  $I_{ном} = 1000 \text{ А}$ ,  $R_{кз} = 0,25 \text{ МОм}$ ,

$X_{кз} = 0,1 \text{ МОм}$ .

QF2 - АЗ794С.  $I_{ном} = 400 \text{ А}$ ,  $R_{кз} = 0,65 \text{ МОм}$ ,

$X_{кз} = 0,17 \text{ МОм}$ .

QF3 - АЕ2056.  $I_{ном} = 100 \text{ А}$ ,  $R_{кз} = 2,15 \text{ МОм}$ ,

$X_{кз} = 1,2 \text{ МОм}$ .

QF4 - "Электрон".  $I_{ном} = 400 \text{ А}$ ,  $R_{кз} = 0,65 \text{ МОм}$ ,

$X_{кз} = 0,17 \text{ МОм}$ .

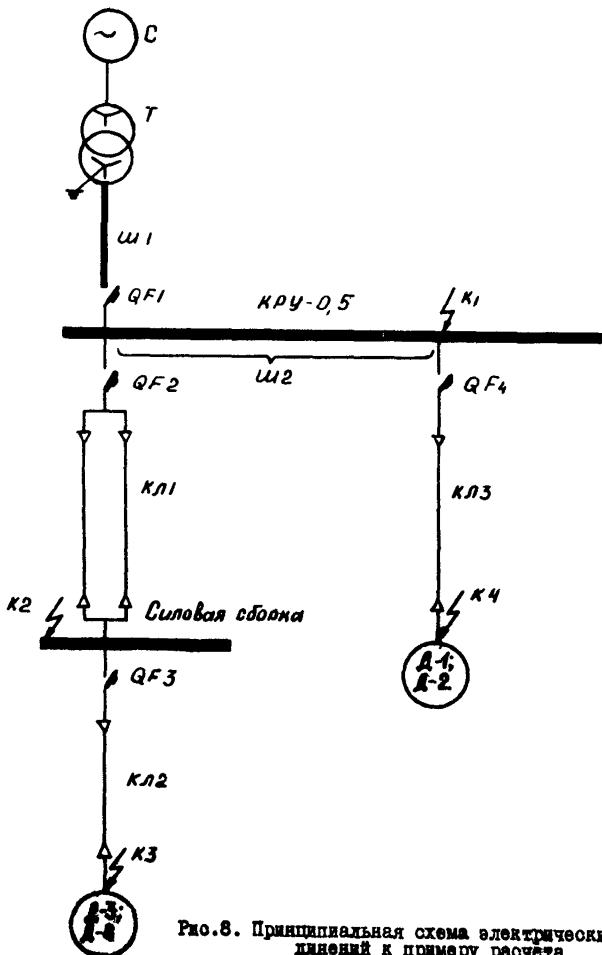


Рис.8. Принципиальная схема электрических соединений к примеру расчета

Асинхронные электродвигатели: Д-1; Д-2.

Тип АОЗ-3И5М-6УЗ;  $P_{ном} = 132$  кВт;

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

$$\frac{M_{макс}}{M_{ном}} = \beta_n = 2,6; \quad \cos \varphi = 0,9; \quad n_c = 1000 \text{ об/мин}; \quad \eta_{ном} = 93,5\%;$$

$$S_{ном} = 1,7\%; \quad \frac{M_{пуск}}{M_{ном}} = 1,6; \quad \frac{M_{мин}}{M_{ном}} = 0,8.$$

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 (2.1)

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

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

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

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

Активное и индуктивное сопротивления шинпровода:

$$R_{ш1} = 0,03 \cdot 15 = 0,45 \text{ МОм};$$

$$X_{ш1} = 0,014 \cdot 15 = 0,21 \text{ МОм};$$

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

$$\begin{aligned}X_{0ш1} &= 0,042 \cdot 15 = 0,63 \text{ мОм}; \\R_{1ш2} &= 0,0255 \cdot 10 = 0,255 \text{ мОм}; \\X_{1ш2} &= 0,12 \cdot 10 = 1,2 \text{ мОм}; \\R_{0ш2} &= 0,211 \cdot 10 = 2,11 \text{ мОм}; \\X_{0ш2} &= 0,535 \cdot 10 = 5,35 \text{ мОм}.\end{aligned}$$

Активное и индуктивное сопротивления кабельных линий:

КЛ1

$$\begin{aligned}R_{1К1} &= 0,208 \cdot \frac{150}{2} = 15,6 \text{ мОм}; \\X_{1К1} &= 0,063 \cdot \frac{150}{2} = 4,725 \text{ мОм}; \\R_{0К1} &= 0,989 \cdot \frac{150}{2} = 74,17 \text{ мОм}; \\X_{0К1} &= 0,244 \cdot \frac{150}{2} = 18,3 \text{ мОм}.\end{aligned}$$

КЛ2

$$\begin{aligned}R_{1К2} &= 1,1 \cdot 20 = 22 \text{ мОм}; \\X_{1К2} &= 0,068 \cdot 20 = 1,36 \text{ мОм}; \\R_{0К2} &= 2,63 \cdot 20 = 52,6 \text{ мОм}; \\X_{0К2} &= 0,647 \cdot 20 = 12,94 \text{ мОм}.\end{aligned}$$

КЛ3

$$\begin{aligned}R_{1К3} &= 0,208 \cdot 90 = 18,72 \text{ мОм}; \\X_{1К3} &= 0,063 \cdot 90 = 5,67 \text{ мОм}; \\R_{0К3} &= 0,989 \cdot 90 = 89,01 \text{ мОм}; \\X_{0К3} &= 0,244 \cdot 90 = 21,96 \text{ мОм}.\end{aligned}$$

Расчет параметров Д-1; Д-2

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

$$R_2 = \frac{0,36 \cdot 1,6 (132 + 1,02)}{7^2 \cdot 200,5^2 (1 - 0,017)} \cdot 10^6 = 38,96 \text{ мОм}.$$

Определим активное сопротивление статора по (2.14)

$$R_1 = \frac{1,7}{100} \cdot \frac{0,38^2 \cdot 0,9 \cdot 0,935}{132} = 1,56 \text{ мОм}.$$

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

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

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 (2.16)

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

### 3. Расчет токов трехфазного КЗ

Определим ток трехфазного металлического КЗ в точке К1

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

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

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

Определим значение

$$Z_{K3}^{(3)} = \sqrt{15,78^2 + 2,745^2} = 16,01 \text{ мОм.}$$

Значение тока КЗ

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

Определим значение  $K_C$  для начального момента дугового КЗ

$$(t_{K3} < 0,05 \text{ с}) \text{ по } K_C = f(Z_{K3}) \text{ при } Z_{K3}^{(3)} = 16,01 \text{ мОм} \\ K_C = 0,67.$$

Определим значение  $K_C$  для установившегося тока дугового КЗ  
( $t_{K3} > 0,05 \text{ с}$ ) при  $Z_{K3}^{(3)} = 16,01 \text{ мОм}$   $K_C = 0,58$ .

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

Для начального момента дугового КЗ

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

Для установившегося тока дугового КЗ

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

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

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

Определим значение ударного тока в точке КІ

$$i_{y\partial} = 1,6 \cdot \sqrt{2} \cdot I_{4,4I} = 32,6 \text{ кА.}$$

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

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

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

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

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

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

Определим значение ударного тока в точке КІ от асинхронных электродвигателей

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

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

$$i_{по.м\Sigma}^{(3)} = I_{по.м}^{(3)} + I_{по.АД} = I_{4,4I} + 2,26 = 16,67 \text{ кА.}$$

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

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

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

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

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

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

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

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

$$R_{о\sigma} = 154 + 0,555 + 0,25 + 2,11 = 156,91 \text{ МОм;}$$

$$X_{о\sigma} = 59 + 0,63 + 0,1 + 5,35 = 65,08 \text{ МОм.}$$

Полное сопротивление цепи однофазного КЗ

$$Z_{K3}^{(1)} = \frac{1}{3} \sqrt{(2 \cdot 2,745 + 156 \cdot 91)^2 + (2 \cdot 15,78 + 65,08)^2} = 62,99 \text{ мОм.}$$

Значение тока КЗ

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

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

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

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

$$R_{1\Sigma} = 1,79 + 0,45 + 0,25 + 15,6 = 18,09 \text{ мОм;}$$

$$X_{1\Sigma} = 1,6 + 12,67 + 0,21 + 0,1 + 4,725 = 19,305 \text{ мОм.}$$

Полное сопротивление цепи трехфазного КЗ

$$Z_{K3}^{(3)} = \sqrt{19,305^2 + 18,09^2} = 26,45 \text{ мОм.}$$

Значение тока КЗ

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

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

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

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

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

Для установившегося тока дугового КЗ

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

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

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

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

Полное сопротивление цепи однофазного КЗ

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

Значение тока КЗ

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

Определим значение  $K_C$  для  $t_{\text{КЗ}} < 0,05$  с при  $Z_{\text{КЗ}}^{(1)} = 96,5 \text{ мОм}$   $K_C = 0,87$ .

Определим значение  $K_C$  для  $t_{\text{КЗ}} > 0,05$  с при  $Z_{\text{КЗ}}^{(1)} = 96,5 \text{ мОм}$   $K_C = 0,78$ .

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

Для начального момента дугового КЗ

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

Для установившегося тока дугового КЗ

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

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

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

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

Полное сопротивление цепи трехфазного КЗ

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

Значение тока КЗ

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

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

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

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

Для начального момента дугового КЗ

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

Для установившегося тока дугового КЗ

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

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

Полное сопротивление цепи двухфазного КЗ

$$Z_{КЗ}^{(2)} = \frac{2}{\sqrt{3}} \cdot 47,56 = 54,91 \text{ мОм.}$$

Значение тока КЗ

$$I_{по.м}^{(2)} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 54,91} = 4,2 \text{ кА.}$$

Определим значение  $K_c$  для  $t_{КЗ} < 0,05$  с при  $Z_{КЗ}^{(2)} = 54,91 \text{ мОм}$   $K_c = 0,81$ .

Определим значение  $K_c$  для  $t_{КЗ} > 0,05$  с при  $Z_{КЗ}^{(2)} = 54,91 \text{ мОм}$   $K_c = 0,73$ .

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

Для начального момента дугового КЗ

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

Для установившегося тока дугового КЗ

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

II.2. Определение действующего значения периодической составляющей тока однофазного КЗ в точке КЗ

$$R_{0\Sigma} = 154 + 0,55 + 0,25 + 74,17 + 2,15 + 52,6 = 283,7 \text{ мОм;}$$

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

Полное сопротивление цепи КЗ

$$Z_{K3}^{(1)} = \frac{1}{3} \sqrt{(2 \cdot 42,24 + 283,7)^2 + (2 \cdot 21,86 + 92,17)^2} = 130,8 \text{ мОм.}$$

Значение тока КЗ

$$I_{п.м}^{(1)} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 130,8} = 1,76 \text{ кА.}$$

Определим значение  $K_c$  для  $t_{K3} < 0,05$  с при  $Z_{K3}^{(1)} = 130,8 \text{ мОм}$   
 $K_c = 0,92.$

Определим значение  $K_c$  для  $t_{K3} > 0,05$  с при  $Z_{K3}^{(1)} = 130,8 \text{ мОм}$   
 $K_c = 0,81.$

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

Для начального момента дугового КЗ

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

Для установившегося тока дугового КЗ

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

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

$$Z_{K3}^{(3)} = \sqrt{21,62^2 + 22,1^2} = 30,91 \text{ мОм.}$$

Значение тока КЗ

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

Определим значение  $K_C$  для  $t_{КЗ} < 0,05$  с при  $Z_{КЗ}^{(3)} = 30,91$  МОм  $K_C = 0,75$ .

Определим значение  $K_C$  для  $t_{КЗ} > 0,05$  с при  $Z_{КЗ}^{(3)} = 30,91$  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

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

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

Полное сопротивление цепи двухфазного КЗ

$$Z_{КЗ}^{(2)} = \frac{2}{\sqrt{3}} \cdot 30,91 = 35,6 \text{ МОм.}$$

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  $t_{K3} > 0,05$  с при  $Z_{K3}^{(1)} = 35,6$  мОм  $K_c = 0,69$ .

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

Для начального момента дугового КЗ

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

Для установившегося тока дугового КЗ

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

#### 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

$$Z_{K3}^{(1)} = \frac{1}{3} \sqrt{(2 \cdot 22,1 + 246,57)^2 + (2 \cdot 21,62 + 87,21)^2} = 106 \text{ мОм.}$$

Значение тока КЗ

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

Определим значение  $K_c$  для  $t_{K3} < 0,05$  с при  $Z_{K3} = 106$  мОм  $K_c = 0,88$ .

Определим значение  $K_c$  для  $t_{K3} > 0,05$  с при  $Z_{K3} = 106$  мОм  $K_c = 0,79$ .

Определим наиболее вероятное значение тока дугового одно-  
фазного 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.

Т а б л и ц а 18

Результаты расчетов токов КЗ

Точка КЗ	$I_{по.м}^{(3)}$ кА	$I_{дуг.нач}^{(3)}$ кА	$I_{дуг.уст}^{(3)}$ кА	$I_{по.лл}$ кА	$i_{уд}$ кА	$i_{уд.лл}$ кА	$I_{по.м.Σ}^{(3)}$ 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	$i_{уд.Σ}$ кА	$I_{по.м}^{(2)}$ кА	$I_{дуг.нач}^{(2)}$ кА	$I_{дуг.уст}^{(2)}$ кА	$I_{по.м}^{(1)}$ 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

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 ЭЕМ "ЭЛЕКТРОНИКА МК-85"

---

## О Г Л А В Л Е Н И Е

1. Общие положения .....	3
2. Определение параметров элементов сети .....	5
3. Расчет токов металлического короткого замыкания .....	14
4. Расчет токов дугового короткого замыкания .....	20
П р и л о ж е н и е 1. 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 1 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 № 23/93

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 технологий  
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 $\Delta$ .

$U_{кз} = 8\%$ ;  $S_t = 1000$  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.

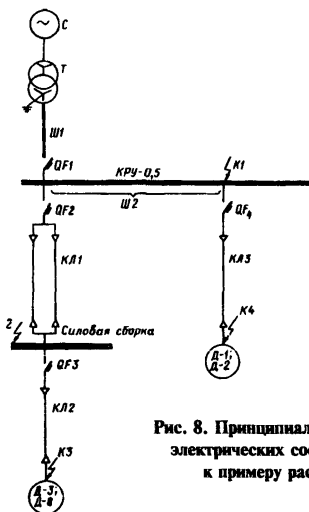


Рис. 8. Принципиальная схема электрических соединений к примеру расчета

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<sub>1</sub> 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<sub>2</sub> 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<sub>3</sub> АВВГ—3х185 + 1х70, длина 90 м;

$$R_1 = 0,208 \text{ мОм/м}; X_1 = 0,063 \text{ мОм/м}; \\ R_0 = 0,989 \text{ мОм/м}; X_0 = 0,244 \text{ мОм/м}.$$

#### Автоматические выключатели

$$QF_1 - \text{“Электрон”}. I_{\text{ном}} = 1000 \text{ А}, R_{\text{кв}} = 0,25 \text{ мОм}, \\ X_{\text{кв}} = 0,1 \text{ мОм}. \\ QF_2 - \text{А3794С}. I_{\text{ном}} = 400 \text{ А}, R_{\text{кв}} = 0,65 \text{ мОм}, \\ X_{\text{кв}} = 0,17 \text{ мОм}. \\ QF_3 - \text{АЕ2056}. I_{\text{ном}} = 100 \text{ А}, R_{\text{кв}} = 2,15 \text{ мОм}, \\ X_{\text{кв}} = 1,2 \text{ мОм}. \\ QF_4 - \text{“Электрон”}. I_{\text{ном}} = 400 \text{ А}, R_{\text{кв}} = 0,65 \text{ мОм}, \\ X_{\text{кв}} = 0,17 \text{ мОм}.$$

Асинхронные электродвигатели: Д-1; Д-2.

Тип АОЗ-315М-6У3;  $P_{\text{ном}} = 132 \text{ кВт}$ ;

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

$$\frac{M_{\text{макс}}}{M_{\text{ном}}} = \mu_{\text{н}} = 2,6; \cos \varphi = 0,9; n_{\text{с}} = 1000 \text{ об/мин};$$

$$\eta_{\text{ном}} = 93,5\%;$$

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

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

Сопrotивление системы ( $X_{\text{с}}$ ) рассчитывается по формуле (2.1)

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

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

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

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

Активное и индуктивное сопротивления шинпровода:

$$R_{1m1} = 0,03 \cdot 15 = 0,45 \text{ мОм;}$$

$$X_{1m1} = 0,014 \cdot 15 = 0,21 \text{ мОм;}$$

$$R_{0m1} = 0,037 \cdot 15 = 0,555 \text{ мОм;}$$

$$X_{0m1} = 0,042 \cdot 15 = 0,63 \text{ мОм;}$$

$$R_{1m2} = 0,0255 \cdot 10 = 0,255 \text{ мОм;}$$

$$X_{1m2} = 0,12 \cdot 10 = 1,2 \text{ мОм;}$$

$$R_{0m2} = 0,211 \cdot 10 = 2,11 \text{ мОм;}$$

$$X_{0m2} = 0,535 \cdot 10 = 5,35 \text{ мОм.}$$

Активное и индуктивное сопротивления кабельных линий:

КЛ1

$$R_{1k1} = 0,208 \cdot \frac{150}{2} = 15,6 \text{ мОм;}$$

$$X_{1k1} = 0,063 \cdot \frac{150}{2} = 4,725 \text{ мОм;}$$

$$R_{0k1} = 0,989 \cdot \frac{150}{2} = 74,17 \text{ мОм;}$$

$$X_{0k1} = 0,244 \cdot \frac{150}{2} = 18,3 \text{ мОм.}$$

КЛ2

$$R_{1k2} = 1,1 \cdot 20 = 22 \text{ мОм;}$$

$$X_{1k2} = 0,068 \cdot 20 = 1,36 \text{ мОм;}$$

$$R_{0k2} = 2,63 \cdot 20 = 52,6 \text{ мОм;}$$

$$X_{0k2} = 0,647 \cdot 20 = 12,94 \text{ мОм.}$$

КЛЗ

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

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

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

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

### Расчет параметров Д-1, Д-2

Принимая  $P_m = 0,02 P_{ном}$ , 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

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

Определим значение постоянной времени затухания апериодической составляющей тока статора

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

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

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

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

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

Определим значение

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

Значение тока КЗ

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

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

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

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

Для начального момента дугового КЗ

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

Для установившегося тока дугового КЗ

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

## 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

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

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

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

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

**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

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

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

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

Определим наиболее вероятное значение тока трехфазного дугового замыкания.

Для начального момента дугового КЗ

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

Для установившегося тока дугового КЗ

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

**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

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

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

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

Для установившегося тока дугового замыкания

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

## 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

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

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

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

Для установившегося тока дугового КЗ

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

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

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

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

Полное сопротивление цепи трехфазного КЗ

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

Значение тока КЗ

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

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

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

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

Для начального момента дугового КЗ

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

Для установившегося тока дугового КЗ

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

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

Полное сопротивление цепи двухфазного КЗ

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

Значение тока КЗ

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

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

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

Определим наиболее вероятное значение тока двухфазного КЗ в точке КЗ.

Для начального момента дугового КЗ

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

Для установившегося тока дугового КЗ

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

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

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

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

Полное сопротивление цепи КЗ

$$Z_{кз}^{(1)} = \frac{1}{3} \sqrt{(2 \cdot 42,89 + 284,375)^2 + (2 \cdot 22,035 + 92,34)^2} = 131,5 \text{ мОм.}$$

Значение тока КЗ

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

Определим значение  $K_c$  для  $t_{кз} < 0,05$  с при  $Z_{кз}^{(4)} = 131,5$  мОм  
 $K_c = 0,92$ .

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

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

Для начального момента дугового КЗ

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

Для установившегося тока дугового КЗ

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

### 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

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

Значение тока КЗ

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

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

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

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

Для начального момента дугового КЗ

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

Для установившегося тока дугового КЗ

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

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

Полное сопротивление цепи двухфазного КЗ

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

Значение тока КЗ

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

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

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

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

Для начального момента дугового КЗ

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

Для установившегося тока дугового КЗ

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

### 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

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

Значение тока КЗ

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

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

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

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

Для начального момента дугового КЗ

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

Для установившегося тока дугового КЗ

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

Результаты расчетов приведены в табл. 18.

Таблица 18

**Результаты расчетов токов КЗ**

Точка КЗ	$I_{\text{по.м}}^{(3)}$ кА	$I_{\text{дуг.нач}}^{(3)}$ кА	$I_{\text{дуг.уст}}^{(3)}$ кА	$I_{\text{по.ад}}$ кА	$i_{\text{уд}}$ кА	$i_{\text{уд.ад}}$ кА	$I_{\text{по.м}\Sigma}^{(3)}$ 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	$I_{\text{по.м}}^{(2)}$ кА	$I_{\text{дуг.нач}}^{(2)}$ кА	$I_{\text{дуг.уст}}^{(2)}$ кА	$I_{\text{по.м}}^{(1)}$ кА	$I_{\text{дуг.нач}}^{(1)}$ кА	$I_{\text{дуг.уст}}^{(1)}$ 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

**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

```