

Релейная защита и автоматика систем электроснабжения

Лекция № ____

Расчет токов короткого замыкания.

Составил: Кузнецов Д. Б.

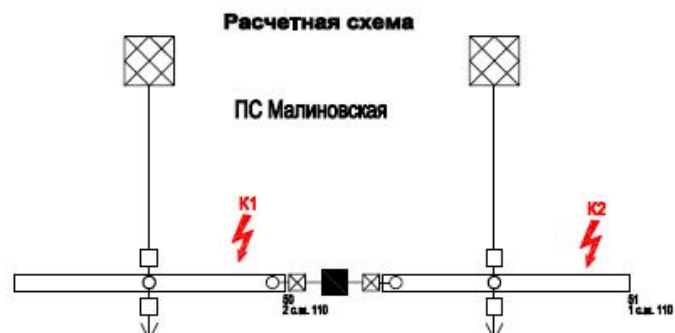
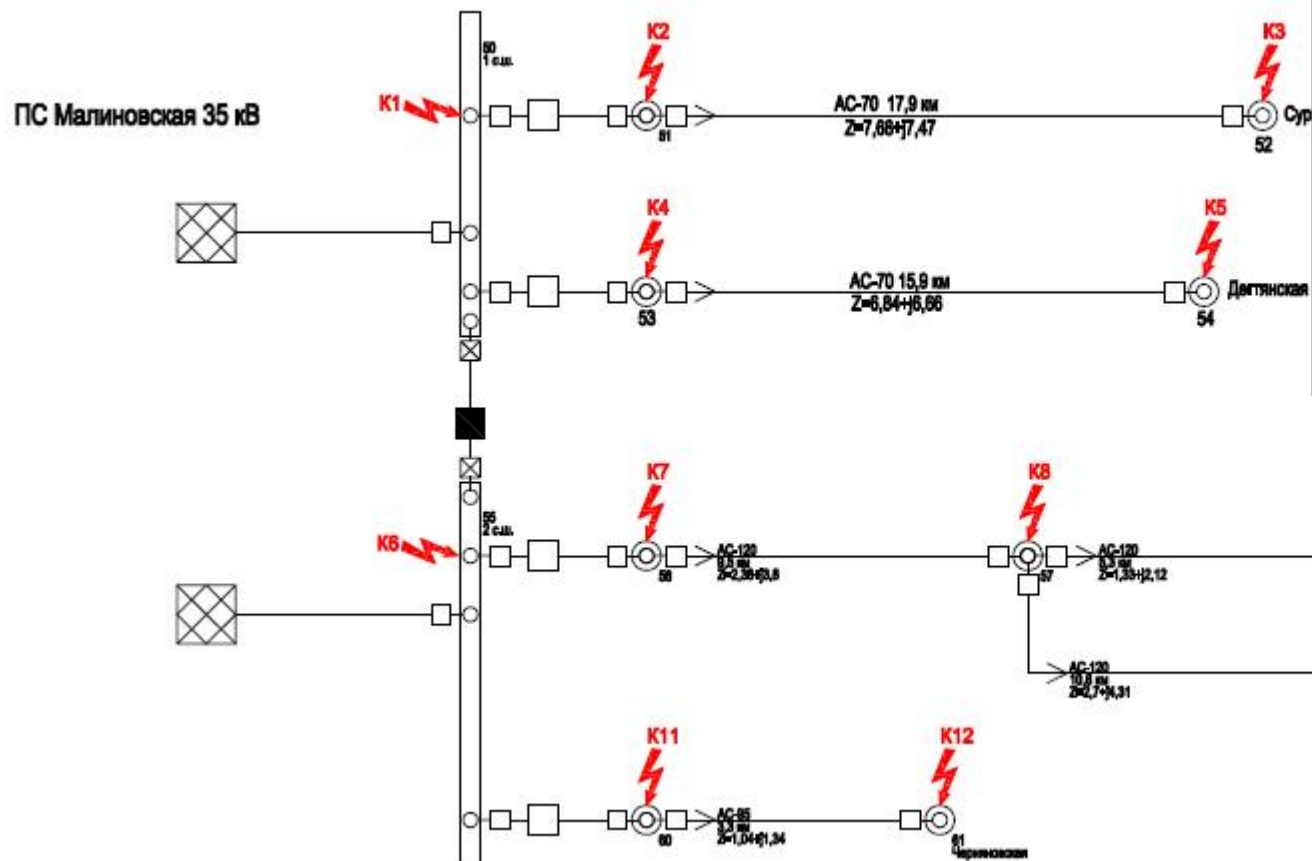


Таблица 2. Максимальный режим

Номер КЗ	Обозначение узла-ветви	Номер узла
K1	2 с.ш. 110	50
K2	1 с.ш. 110	51
K4	53	53
K5	Сторона НН 1Т до реактора	54
K7	55	55

Расчетная схема. Сеть 35 кВ.



Компания ЭНЕРГОМАШВИН

В.Г. Гловацкий, И.В. Пономарев

СОВРЕМЕННЫЕ СРЕДСТВА РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ
И АВТОМАТИКИ ЭЛЕКТРОСЕТЕЙ

3 электронная версия

18,88	14,80
6,33	3,71
18,88	14,80
6,33	3,71
6,33	3,71

Понятие о симметричных составляющих

При однофазном или двухфазном КЗ, когда трехфазная система становится несимметричной, нельзя выполнять расчет только для одной из фаз, как это делается при трехфазных симметричных повреждениях. Для определения токов, проходящих при несимметричных КЗ, потребовалось бы составлять несколько уравнений Кирхгофа для многих контуров и узлов, образующихся в рассматриваемой несимметричной трехфазной системе. Решение этих уравнений с учетом индуктивных связей между фазами даже при сравнительно простой схеме сети является весьма сложной задачей.

С целью упрощения расчетов несимметричных режимов в трехфазной сети предложен метод симметричных составляющих. *Сущность этого метода состоит в том, что любую трехфазную несимметричную систему векторов токов или напряжений можно заменить суммой трех симметричных систем:*

- прямой последовательности, в которой векторы, вращающиеся против часовой стрелки, следуют друг за другом в чередовании A, B, C ;
- обратной последовательности, отличающейся обратным чередованием векторов A, C, B ;
- нулевой последовательности, в которой векторы всех фаз совпадают по направлению.

Ток (напряжение) КЗ равняется сумме токов (напряжений) прямой, обратной и нулевой последовательности.

$$I_{K3} = I_1 + I_2 + I_0;$$

$$U_{K3} = U_1 + U_2 + U_0$$

Производится расчет этих трех симметричных систем по расчетным схемам, составленным для одной из фаз, и определяются полные фазные токи и напряжения.

$$\dot{I}_A = \dot{I}_{A1} + \dot{I}_{A2} + \dot{I}_{A0};$$

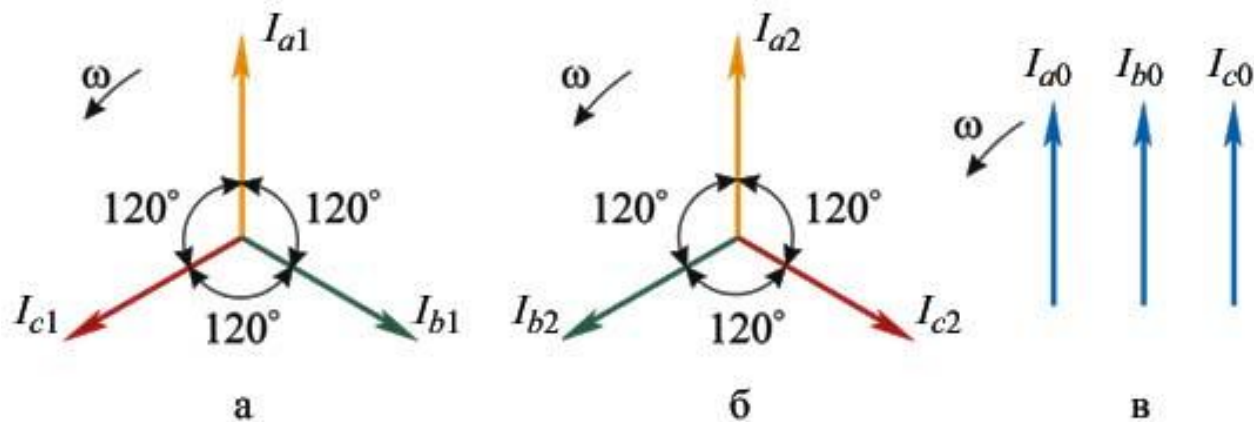
$$\dot{U}_A = \dot{U}_{A1} + \dot{U}_{A2} + \dot{U}_{A0};$$

$$\dot{I}_B = \dot{I}_{B1} + \dot{I}_{B2} + \dot{I}_{B0};$$

$$\dot{U}_B = \dot{U}_{B1} + \dot{U}_{B2} + \dot{U}_{B0};$$

$$\dot{I}_C = \dot{I}_{C1} + \dot{I}_{C2} + \dot{I}_{C0};$$

$$\dot{U}_C = \dot{U}_{C1} + \dot{U}_{C2} + \dot{U}_{C0};$$



В нормальном симметричном режиме, а также при симметричном КЗ, полные токи и напряжения равны

току и напряжению прямой последовательности. Составляющие обратной и нулевой последовательностей в симметричном режиме равны нулю.

Составляющие обратной последовательности возникают при появлении в сети любой несимметрии: однофазного или двухфазного КЗ, обрыва фазы, несимметрии нагрузки. Наибольшие значения ток и напряжение обратной последовательности имеют в месте несимметрии. Составляющие нулевой последовательности появляются при КЗ на землю (однофазных и двухфазных), а также при обрыве одной или двух фаз. При междуфазных КЗ без земли (двухфазных и трехфазных) токи и напряжения нулевой последовательности равны нулю. Падения напряжения прямой, обратной и нулевой последовательности образуются от протекания токов лишь соответствующих последовательностей. Каждый элемент системы обладает соответствующим значением сопротивления для каждой последовательности токов.

Сопротивления прямой последовательности всех элементов сети представляют собой обычные сопротивления этих элементов в симметричном режиме.

Для трансформатора, так как его обмотки неподвижны друг относительно друга, сопротивления самоиндукции и взаимной индукции обмоток его сопротивление не зависит от порядка чередования фаз.

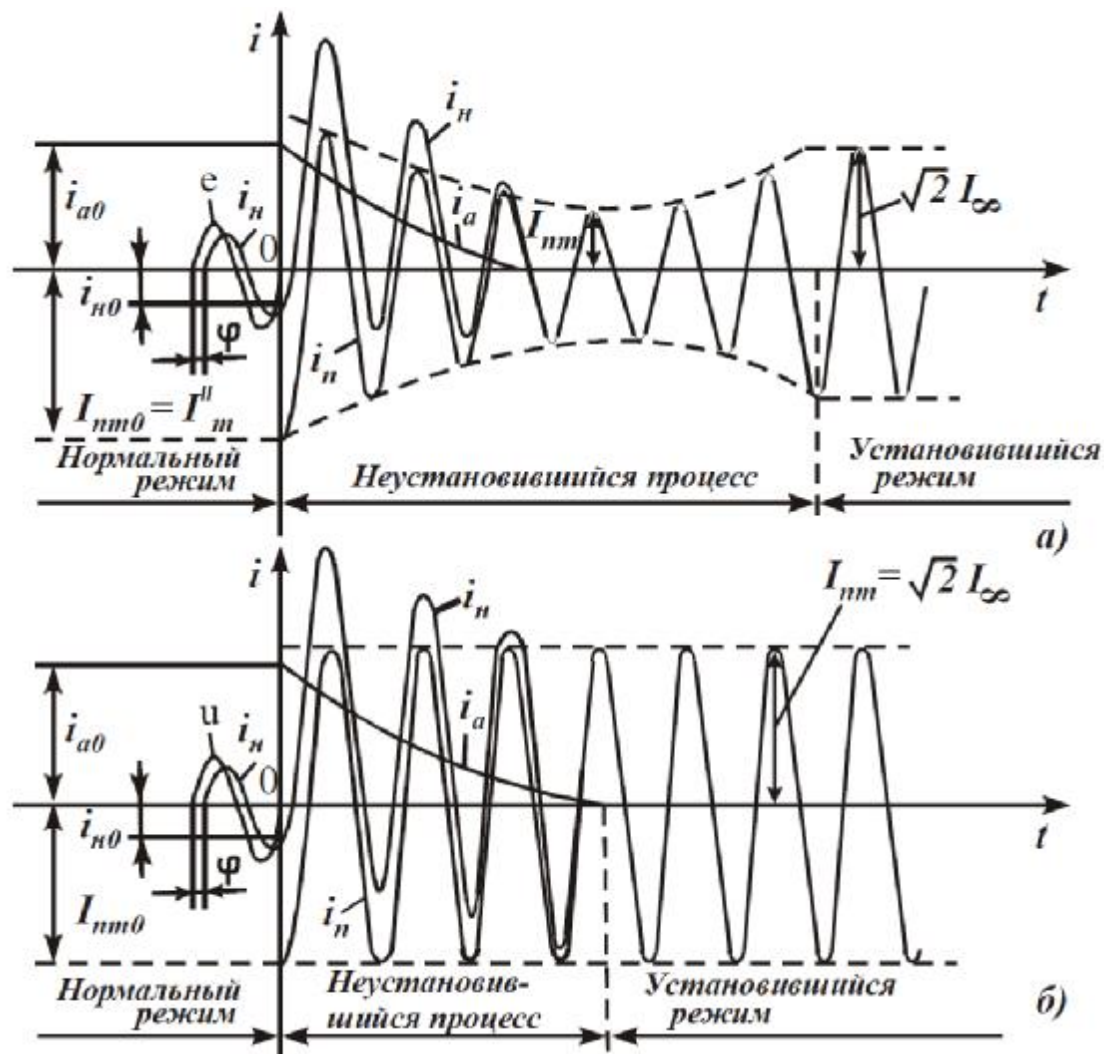
Поэтому, его сопротивления прямой и обратной последовательностей равны: $z_1 = z_2$. Это справедливо так же для воздушных и кабельных

линий. Значение сопротивления нулевой последовательности трансформатора z_0 зависит от его

конструкции и схемы соединения обмоток. Токи нулевой последовательности могут протекать в трансформатор только со стороны обмотки U_0 , нейтраль которой заземлена, или при наличии нулевого провода, так как только в этом случае может существовать замкнутый контур для токов одинакового направления.

При соединении обмоток в трансформатора в треугольник токи нулевой последовательности могут протекать только в фазах этой обмотки, если эти токи протекают по другой обмотке, соединенной в U_0 . Однако ни протекать из сети, ни проникать в сеть из обмоток трансформатора, соединенных в треугольник, токи нулевой последовательности не могут. Это следует из того положения, что линейные токи, равные разности двух фазных токов, не могут содержать составляющих нулевой последовательности, которые совпадают по направлению и равны по величине в каждой фазе.

В обмотках трансформатора, соединенных звездой, токи нулевой последовательности вообще протекать не могут, не зависимо от схемы соединения другой обмотки. Протекание токов нулевой последовательности в обмотках трансформатора сопровождается образованием магнитных потоков нулевой последовательности в его магнитопроводе.



- а) – в сети, питающейся от генератора с АРВ;
 б) – в сети, питающейся от системы неограниченной мощности.

Рассчитать трехфазное КЗ — это, значит, определить токи и напряжения при этом виде повреждения как в точке КЗ, так и в отдельных ветвях и узлах схемы. Ток в процессе КЗ не остается постоянным, а изменяется, как показано на рисунке; ток, увеличившийся в первый момент времени, затухает до некоторого значения, а затем под действием автоматического регулятора возбуждения (АРВ) достигает установившегося значения. Промежуток времени, в течение которого

происходит изменение значения тока КЗ, определяет продолжительность переходного процесса. После того как изменение значения тока прекращается, до момента отключения КЗ продолжается установившийся режим КЗ. В зависимости от назначения выполняемого расчета (выбор уставок релейной защиты или проверка электрооборудования на термическую и электродинамическую стойкость) нас могут интересовать значения тока в разные моменты времени КЗ. Из-за наличия в сети индуктивных сопротивлений, препятствующих мгновенному изменению тока при возникновении КЗ, значение тока нагрузки I_H не изменяется скачком, а нарастает по определенному закону от нормального до аварийного значения. Для упрощения расчета и анализа ток, проходящий во время переходного процесса КЗ, рассматривают как состоящий из двух составляющих: *апериодической и периодической*.

Апериодической называется постоянная по знаку составляющая тока i_{ω} , которая возникает в первый момент КЗ и сравнительно быстро затухает до нуля (рисунок).

Периодическая составляющая тока КЗ в начальный момент времени I_{nto} называется начальным током КЗ. Начальный ток КЗ называют также сверхпереходным i_n , так как для его определения в схему замещения вводятся сверхпереходные сопротивления генератора x''_d и ЭДС E''_d .

Значение начального тока КЗ используют, как правило, для выбора уставок и проверки чувствительности релейной защиты.

Установившимся называется периодический ток КЗ после окончания переходного процесса,

обусловленного затуханием апериодической составляющей и действием АРВ.

Методика расчета токов короткого замыкания в сетях 6-35 кВ

Расчет производится на основании схемы замещения, для которой должны быть рассчитаны все элементы.

Активные и реактивные сопротивления линий электропередачи 6-35 кВ соизмеримы, поэтому при расчете токов короткого замыкания учитываются как активные, так и реактивные сопротивления. Эти величины можно рассчитать, зная тип, длину и сечение линии, используя справочники. В приложении приводятся справочные данные по электрическим параметрам ряда наиболее часто применяемых типов линий. Эти данные удельные. Величины активного и реактивного сопротивления участка линии получаются умножением удельных параметров линии на их длину в км.

Активные и реактивные сопротивления трансформатора определяются по его паспортным данным, в ряде случаев, из-за отсутствия паспорта, приходится брать эти данные по ГОСТу.

Данные для двухобмоточных трансформаторов определяются по выражениям:

$$Z_{mp} = \frac{U_k \cdot U_{mp}^2}{S_{mp}}$$

где: Z_{mp} – полное сопротивление трансформатора в Ом;

U_k – напряжение короткого замыкания в относительных величинах (%);

U_{mp} – номинальное напряжение стороны ВН трансформатора в кВ;

S_{mp} – номинальная мощность трансформатора в мВА.

$$R_{mp} = \frac{P_k \cdot U_{mp}^2}{S_{2mp}}$$

где: R_{mp} – активное сопротивление трансформатора в Ом;

P_k – потери короткого замыкания при номинальном токе трансформатора в Вт;

U_{mp} – номинальное напряжение стороны ВН трансформатора в кВ;

S_{mp} – номинальная мощность трансформатора в кВА.

Реактивное сопротивление трансформатора:

$$X_{k4} = \sqrt{Z_{mp}^2 - R_{mp}^2}$$

В большинстве случаев для практических расчетов можно пренебречь активным сопротивлением трансформатора, его сопротивление принимается равным Z и считается реактивным (X). Исключение: трансформаторы напряжением 6-35 кВ с алюминиевыми обмотками.

При расчете токов КЗ за трансформаторами с РПН, имеющих большой диапазон переключения ответвлений, следует учесть изменение сопротивления при изменении коэффициента трансформации.

Сопротивление источника питания определяется по величине тока КЗ на шинах, от которых отходит защищаемая линия. Эти токи известны из расчета уставок трансформатора.

$$X_{ш} = \frac{U_{ш}}{\sqrt{3} \cdot I_{кз}}$$

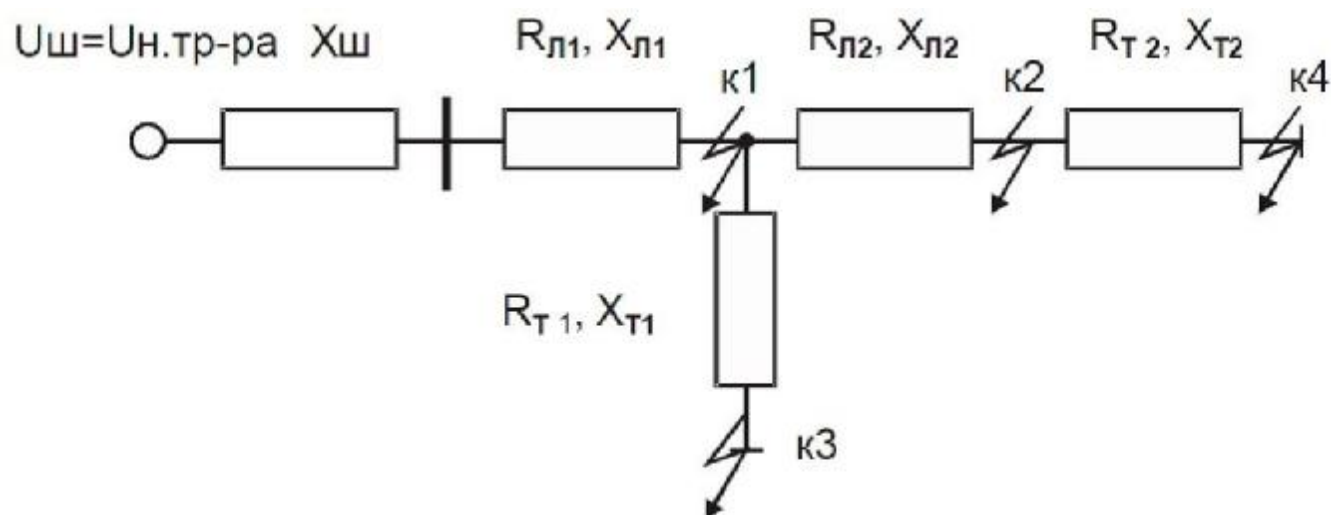
где: $X_{ш}$ – реактивное сопротивление на шинах в Ом;

$U_{ш}$ – напряжение на шинах (номинальное напряжение питающего трансформатора);

$I_{кз}$ – ток КЗ на шинах.

Должны быть выполнены расчеты для минимального и максимального режима.

После выполнения расчетов для всех участков линии и питаемых трансформаторов строится схема замещения:



Расчетная схема замещения.

Для определения тока КЗ в нужной точке, необходимо сложить отдельно активные и реактивные сопротивления всех участков до точки КЗ. Затем сложить геометрически суммарные активные и реактивные сопротивления. По полученному полному сопротивлению Z_k определить ток КЗ. Например для точки К4:

$$\begin{aligned}
 X_{k4} &= X_{ш} + X_{л1} + X_{л2} + X_{Т2} \\
 R_{k4} &= R_{л1} + R_{л2} + R_{Т2} \\
 I_{k4} &= \frac{U_{ш}}{\sqrt{3 \cdot Z_{k4}}}
 \end{aligned}
 \qquad
 X_{k4} = \sqrt{X_{k4}^2 + R_{k4}^2}$$

Методика расчетов токов КЗ для выбора уставок трансформатора

Для расчета токов короткого замыкания необходимо собрать следующие данные: Сопротивление источника питания на шинах, куда подключен трансформатор, в максимальном и минимальном режиме. Обычно задается величина тока или мощности короткого замыкания. Сопротивление источника питания по величине тока КЗ на шинах определяется по формуле:

$$Z_{ш} = \frac{U_{ш}}{\sqrt{3} \cdot I_{КЗ}}$$

где:

$Z_{ш}$ – реактивное сопротивление на шинах в Ом;

$U_{ш}$ – напряжение на шинах (номинальное напряжение питающего трансформатора) в кВ;

$I_{КЗ}$ – ток КЗ на шинах в кА.

Сопротивление источника питания по величине мощности КЗ на шинах определяется по формуле:

$$Z_{ш} = \frac{U_{ш}^2}{S_{КЗ}}$$

где:

$Z_{ш}$ – реактивное сопротивление на шинах в Ом;

$U_{ш}$ – напряжение на шинах (номинальное напряжение питающего трансформатора) в кВ;

$S_{КЗ}$ – мощность КЗ на шинах в МВт.

Активные и реактивные сопротивления трансформатора определяются по его паспортным данным, в ряде случаев, из-за отсутствия паспорта, приходится брать эти данные по ГОСТу.

В паспорте трансформатора приводится напряжение короткого замыкания U_k в %, которое указывает, какое напряжение будет на выводах трансформатора при токе КЗ за трансформатором равном номинальному.

Для двухобмоточных трансформаторов эти данные определяются по выражениям:

$$Z_{mp} = \frac{U_k \cdot U_{mp}^2}{S_{mp}}$$

где:

Z_{mp} – полное сопротивление трансформатора в Ом;

U_k – напряжение короткого замыкания в относительных величинах;

U_{mp} – номинальное напряжение стороны ВН трансформатора в кВ;

S_{mp} – номинальная мощность трансформатора в мВА.

Реактивное сопротивление трансформатора:

$$X_{k4} = \sqrt{Z_{mp}^2 - R_{mp}^2}$$

Для трехобмоточных трансформаторов
схема замещения состоит из трех
сопротивлений обмоток ВН, СН и НН,
соединенных в «звезду»:

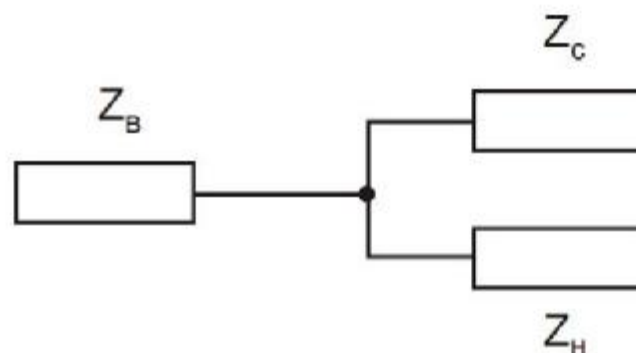


Схема замещения трехобмоточного трансформатора.

Напряжения короткого замыкания даются суммарно для каждой пары обмоток. Поэтому, после определения сопротивления каждой пары обмоток, их нужно пересчитать в сопротивления отдельных обмоток по формулам:

$$Z_B = \frac{Z_{BC} + Z_{BH} - Z_{CH}}{3}$$

$$Z_C = \frac{Z_{BC} + Z_{CH} - Z_{BH}}{3}$$

$$Z_H = \frac{Z_{BH} + Z_{CH} - Z_{BC}}{3}$$

Для трансформаторов с расщепленной обмоткой НН схема замещения также состоит из трех сопротивлений обмоток ВН, НН₁ и НН₂, соединенных в «звезду». Однако в паспорте приводится только одно напряжение короткого замыкания $U_k\%$. Оно соответствует режиму короткого замыкания за двумя, соединенными параллельно обмотками низкого напряжения, После его пересчета в сопротивление, сопротивления отдельных обмоток считаются по формулам:

$$Z_B = 0,125 \cdot Z_{ВН}$$

$$Z_{H1} = Z_{H2} = 1,75 \cdot Z_{ВН}$$

Для трансформаторов имеющих большой диапазон изменения коэффициента трансформации (с РПН) необходимо учитывать изменения величины тока КЗ при регулировании и рассчитывать токи КЗ для среднего и крайних положений переключателя. Ток КЗ рассчитывается по формуле:

$$I_{K3} = \frac{U_{ном}}{\sqrt{3} \cdot Z_{K3}}$$

$U_{ном}$ – номинальное напряжение, принимается напряжение среднего положения переключателя трансформатора или 1,05 соответствующей ступени напряжения. (230, 115, 38,5 кВ и т.д.);

Z_{K3} – сопротивление короткого замыкания, равное сумме сопротивлений системы на стороне ВН, сопротивления обмотки ВН и обмотки за которой выполняется короткое замыкание:

$$Z_{K3} = Z_C + Z_B + Z_{H(C)}$$

Особенности расчета ТКЗ трансформаторов 10 / 0.4кВ

При расчете учитываются рекомендации «Методических указаний по расчету токов короткого замыкания в сети напряжением до 1 кВ электростанций и подстанций с учетом влияния электрической дуги»

При расчете токов короткого замыкания на стороне 0.4кВ необходимо учитывать некоторые данные, ряд которых не учитываются при расчете ТКЗ на более высоких напряжениях:

- 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.

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

Определение параметров элементов сети

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). 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:

$$X_c = \frac{U_{ср.нн}^2}{\sqrt{3} \cdot I_{КЗвн} \cdot U_{ср.вн}} = \frac{U_{ср.нн}^2 \cdot 10^{-3}}{S_{КЗ}}$$

где:

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

$I_{КЗвн}$ – 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 низшего напряжения трансформатора, В;

$S_{КЗ}$ – мощность короткого замыкания у выводов обмотки высшего напряжения трансформатора мВА.

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

$$R_T = \frac{P_{K3} \cdot U_{нн. ном.}^2}{S_{T. ном.}^2} \cdot 10^6$$

$$X_T = \frac{U_{K3} \cdot U_{нн. ном.}^2}{100 S_{T. ном.}}$$

где: U_{K3} – напряжение короткого замыкания трансформатора, %;

P_{K3} – потери короткого замыкания в трансформаторе, кВт;

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

$S_{T. ном.}$ – номинальная мощность трансформатора, кВА.

Активные и индуктивные сопротивления нулевой последовательности трансформаторов, обмотки которых соединены по схеме Д/Уо (треугольник - звезда с заземленным нулем), практически равны соответственно активным и индуктивным сопротивлениям прямой последовательности. При соединении обмоток трансформаторов по схеме У/Уо (звезда - звезда с заземленным нулем) 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.

В литературе имеются расчетные результаты и замеры сопротивлений подобных трансформаторов.

Данные в таблицах приводятся в 2-х видах:

Отдельно дается X_1, R_1, X_0, R_0 . По этим данным расчет ТКЗ ведется методом симметричных составляющих:

$$I_1 = I_2 = I_0 = \frac{U_\phi}{\sqrt{(2R_1 + R_0)^2 + (2X_1 + X_0)^2}}$$

$$I_{K3}^{(1)} = I_1 + I_2 + I_0$$

Дается величина « $\frac{1}{3} Z_T^{(1)}$ »

которая равняется:

$$\frac{1}{3} Z_T^{(1)} = \frac{1}{3} \sqrt{(2R_1 + R_0)^2 + (2X_1 + X_0)^2}$$

Расчет ТКЗ производится по формуле:

$$I_{K3}^{(1)} = \frac{U_\phi}{\frac{1}{3} \cdot Z_T^{(1)}}$$

Сопротивление нулевой последовательности трансформатора схемы Д/Уо равно сопротивлению прямой и токи КЗ при однофазном и трехфазном замыкании одинаковы.

Сопротивление нулевой последовательности трансформатора схемы **Y/Yo** значительно, больше чем прямой последовательности. Вследствие этого, при однофазных коротких замыканиях ток КЗ меньше и этот режим является расчетным при проверке чувствительности защиты. Переходное активное сопротивление контактов в короткозамкнутой цепи для упрощенных расчетов рекомендуется принять равным **15 мОм**. Это соизмеримо с сопротивлением трансформаторов и рассчитанный таким образом ток на трансформаторах 1000кВА получается в 2 раза меньше, чем при металлическом КЗ. Более точные результаты можно получить учетом сопротивлений всех элементов входящих в цепь КЗ. В упомянутой методике приводятся данные по некоторым видам аппаратуры, контрольных кабелей и токопроводов.

Учет сопротивления электрической дуги.

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

$$I_{\text{дуг.}} = I_{\text{нм}} \cdot K_C$$

где:

$I_{\text{нм}}$ – периодическая составляющая тока металлического КЗ с учетом активных и реактивных составляющих всех элементов;

K_C – коэффициент снижения тока КЗ под действием электрической дуги. Величина K_C определяется по характеристике приведенной на рисунке 1.25.

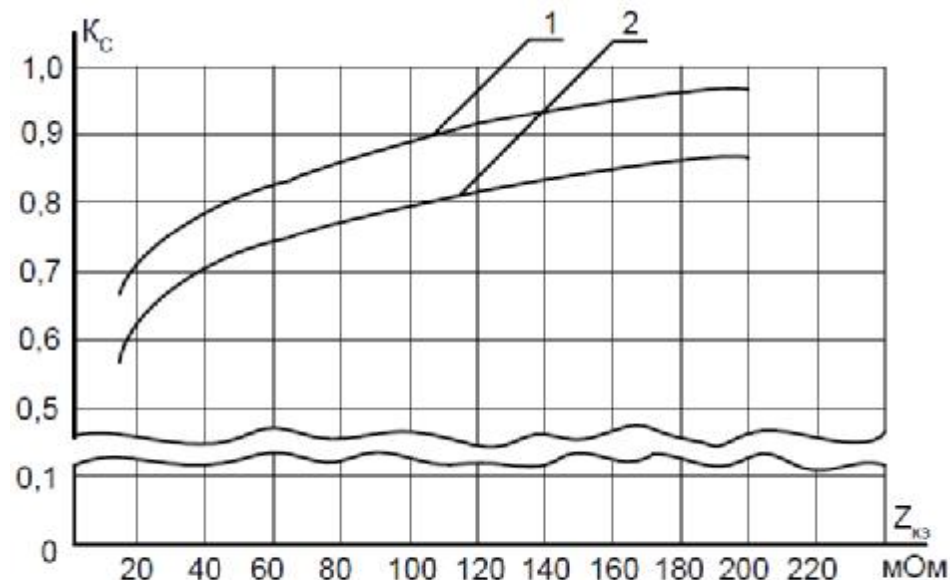


Рис. 1.25 Кривые зависимости K_c от сопротивления цепи КЗ.
Кривая 1 – начало дугового замыкания $t_{кз} < 0.05$ сек,
Кривая 2 – установившийся процесс короткого замыкания.

Сопротивление цепи КЗ определяется по формулам:

- трехфазное КЗ – $Z_{K3}^{(3)} = \sqrt{X_{1\Sigma}^2 + R_{1\Sigma}^2}$
- двухфазное КЗ – $Z_{K3}^{(2)} = \frac{2}{\sqrt{3}} \sqrt{X_{1\Sigma}^2 + R_{1\Sigma}^2}$
- однофазное КЗ – $Z_{K3}^{(1)} = \frac{1}{3} \sqrt{(2X_{1\Sigma} + X_{0\Sigma})^2 + (2R_{1\Sigma} + R_{0\Sigma})^2}$

Учет увеличения активного сопротивления кабеля при его нагреве

Увеличение активного сопротивления кабеля целесообразно учитывать при расчете тока КЗ за кабелем при определении минимальных токов КЗ:

$$R_v = C_v \cdot R$$

C_v -коэффициент учитывающий увеличение активного сопротивления кабеля при его нагреве электрическим током. Для упрощенных расчетов можно принять C_v равным 1.5, предполагая нагрев кабеля до предельно возможной величины;

R -активное сопротивление кабеля при температуре $+20^0$.

Предложения по расчету ТКЗ для выбора уставок защиты трансформаторов

При расчете всех видов КЗ для отстройки защит от КЗ за трансформатором используется ток металлического короткого замыкания за трансформатором.

При расчете токов КЗ для проверки чувствительности защит при КЗ за трансформатором мощностью 400кВА и менее используется ток короткого замыкания за трансформатором с добавлением в цепь переходного сопротивления 15мОм и нормированным коэффициентом чувствительности. При использовании тока металлического короткого замыкания за трансформатором, коэффициент чувствительности защиты должен быть не менее 2.

При расчете токов КЗ для проверки чувствительности защит при КЗ за трансформатором мощностью 630

кВА и более необходимо производить подробный расчет с учетом сопротивления элементов цепи и сопротивления дуги.

Учет роста сопротивления кабеля при нагреве токами короткого замыкания производится при расчете токов КЗ в конце кабелей 0.4кВ для проверки чувствительности защиты.

Пересчет токов КЗ на сторону ВН

Рекомендации по расчету ТКЗ, указанные выше, относились к стороне низкого напряжения. Для выбора уставок защиты на стороне ВН, эти токи должны быть пересчитаны на сторону ВН. При этом следует учесть особенности, связанные с группой соединения обмоток трансформатора. Наиболее распространенными группами являются треугольник - звезда с заземленным нулем (Д/Уо -11), звезда - треугольник (У/Д-11), и звезда - звезда с заземленным нулем (У/Уо -12). Токи трехфазного КЗ пересчитываются через коэффициент трансформации трансформатора.

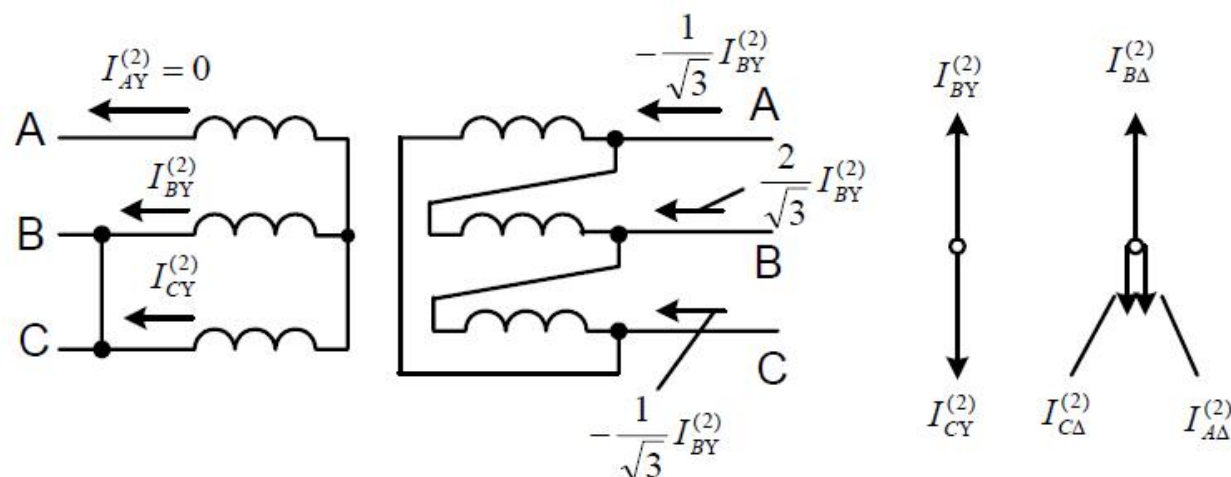
$$I_{вн}^{(3)} = \frac{I_{нн}^{(3)}}{k_T}$$

Для простоты условно принимаем коэффициент трансформации

трансформатора $k_T = 1$. При этом отношение линейных токов обмоток с соединением У и Д равно 1, а токов в фазах равно:

$$I_Y / I_{\Delta} = w_{\Delta} / w_Y = \sqrt{3} \quad \text{или} \quad w_{\Delta} = \sqrt{3} w_Y$$

При двухфазном КЗ между фазами В и С ток КЗ в фазе А со стороны звезды отсутствует.

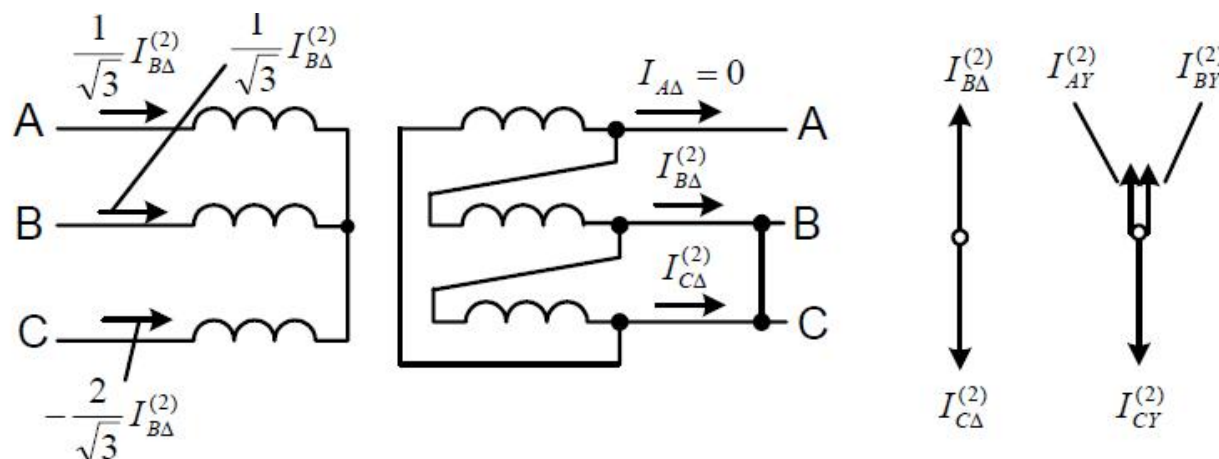


$$I_{AY} = 0, \text{ ПОЭТОМУ, } I_{CY} = -I_{BY}$$

$$I_{A\Delta}^{(2)} = -\frac{1}{\sqrt{3}} I_{BY}^{(2)}; \quad I_{B\Delta B\Delta}^{(2)} = \frac{2}{\sqrt{3}} I_{BY}^{(2)}; \quad I_{C\Delta}^{(2)} = -\frac{1}{\sqrt{3}} I_{CY}^{(2)}$$

Таким образом, при двухфазном КЗ за трансформатором со схемой Δ/Y между фазами В и С звезды на стороне треугольника токи КЗ проходят во всех трех фазах. Причем, в одной фазе течет ток в два раза больше, чем ток двух других фаз, и в $2/\sqrt{3}$ раз больший тока I_{KY} и совпадает с ним по фазе.

Аналогичный результат получится и при двухфазном КЗ за трансформатором со схемой Y/Δ -11. При

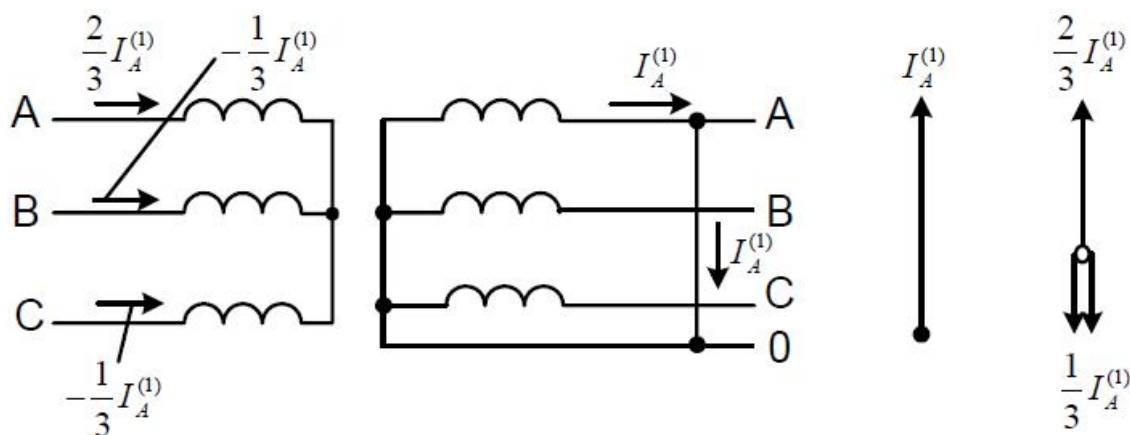


двухфазном КЗ за трансформатором со схемой Y/Δ между фазами В и С треугольника в этих фазах протекает ток КЗ, в фазе А ток КЗ отсутствует. На стороне Y то-ки КЗ проходят во всех трех фазах звезды, причем, в одной фазе течет ток в два раза больше, чем ток двух других фаз и в $2/\sqrt{3}$ раз больший $I_{KЗ\Delta}$.

При однофазном КЗ за трансформатором со схемой соединения обмоток Y/Y по стороне НН ток проходит только в поврежденной фазе А, и имеет значение:

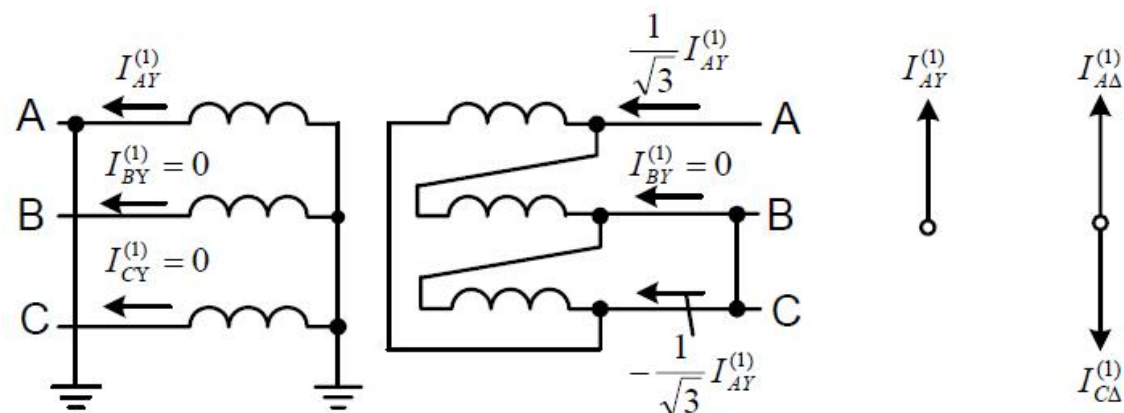
$$I_A^{(1)} = I_{1A} + I_{2A} + I_{0A}; \text{ где } I_{1A} = I_{2A} = I_{0A}$$

Токи I_0 не могут протекать в обмотке ВН, соединенной в звезду, поэтому, в одноименной фазе будет протекать ток равный $\frac{2}{3}I_A^{(1)}$, а в двух других фазах $\frac{1}{3}I_A^{(1)}$.



При однофазном КЗ за трансформатором со схемой обмоток Δ/Y ток $I_{AY}^{(1)}$ на стороне НН течет только в фазе А, $I_{BY}^{(1)} = I_{CY}^{(1)} = 0$. Со стороны треугольника ВН токи проходят в двух фазах - А и С, они составляют:

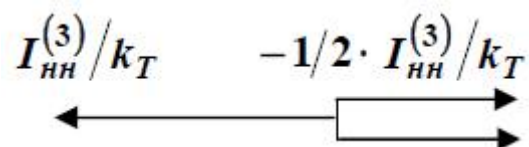
$$I_{A\Delta}^{(1)} = \frac{1}{\sqrt{3}} I_{AY}^{(1)}; \quad I_{B\Delta}^{(1)} = 0; \quad I_{C\Delta}^{(1)} = -\frac{1}{\sqrt{3}} I_{AY}^{(1)}$$



Исходя из рассмотренных выше примеров, для практических расчетов токи проходящие в фазах трансформаторов с учетом видов КЗ, схем соединения обмоток и реальных коэффициентов трансформации трансформатора удобно рассчитывать относительно тока трехфазного КЗ. Ниже даны формулы пересчета, взятые из литературы. Токи трехфазного КЗ пересчитываются через коэффициент трансформации трансформатора.

$$I_{вн}^{(3)} = \frac{I_{нн}^{(3)}}{k_T}$$

Токи двухфазного КЗ за трансформатором со схемой (Δ/Y_0) на стороне ВН проходят во всех трех фазах, причем в одной фазе течет ток равный току трехфазного КЗ, а в двух других текут половинки этого тока.



$$I_{вНА}^{(2)} = I_{вНА}^{(3)} = I_{HH}^{(3)} / k_T; \quad I_{вНВ}^{(2)} = -1/2 I_{HH}^{(3)} / k_T; \quad I_{вНС}^{(2)} = -1/2 I_{HH}^{(3)} / k_T; \quad I_1 = I_2 = I_{вНА}^{(2)} / \sqrt{3};$$

где I_1 и I_2 токи прямой и обратной последовательности.

Токи двухфазного КЗ за трансформатором со схемой (Y/Y_0) на стороне ВН проходят в двух фазах, одноименных с поврежденными, и по величине равны этому току.

$$I_{вНА}^{(2)} = I_{HH}^{(2)} / k_T; \quad I_{вНВ}^{(2)} = -I_{HH}^{(2)} / k_T; \quad I_1 = I_2 = I_{вНА}^{(2)} / \sqrt{3};$$

где I_1 и I_2 токи прямой и обратной последовательности.

При однофазном КЗ за трансформатором со схемой (Δ/Y_0) на стороне ВН токи проходят по двум фазам, они равны по величине и противоположно направлены.

$$\begin{array}{c}
 \begin{array}{ccc}
 I_{HH}^1 / k_T & & -I_{HH}^{(1)} / k_T \\
 \leftarrow & | & \rightarrow
 \end{array} \\
 I_{внА}^{(1)} = \frac{I_{HH}^{(1)}}{\sqrt{3} k_T}; \quad I_{внВ}^{(1)} = -\frac{I_{HH}^{(1)}}{\sqrt{3} k_T}; \quad I_1 = I_2 = I_{вн}^{(1)} / \sqrt{3} = 1/3 \cdot I_{HH}^{(1)} / k_T; \\
 \text{где } I_1 \text{ и } I_2 \text{ токи прямой и обратной последовательности.}
 \end{array}$$

Токи однофазного КЗ за трансформатором со схемой (Y/Y_0) на стороне ВН проходят во всех трех фазах, причем в одной фазе течет ток равный 2/3 тока однофазного КЗ, а в двух других текут половинки этого тока.

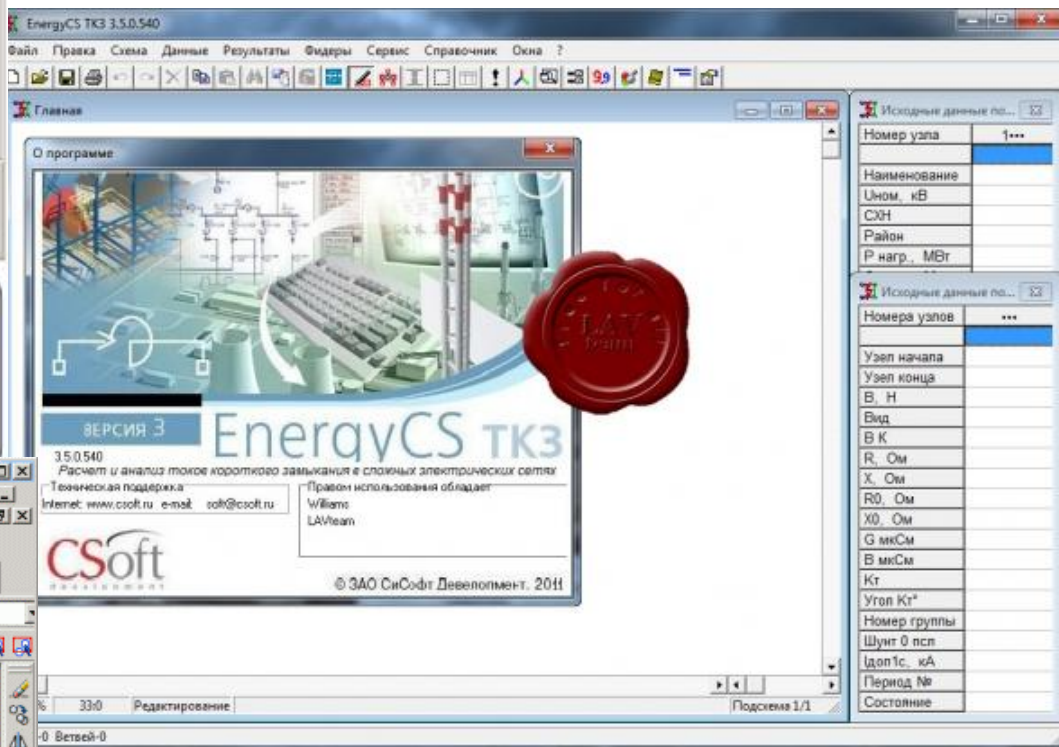
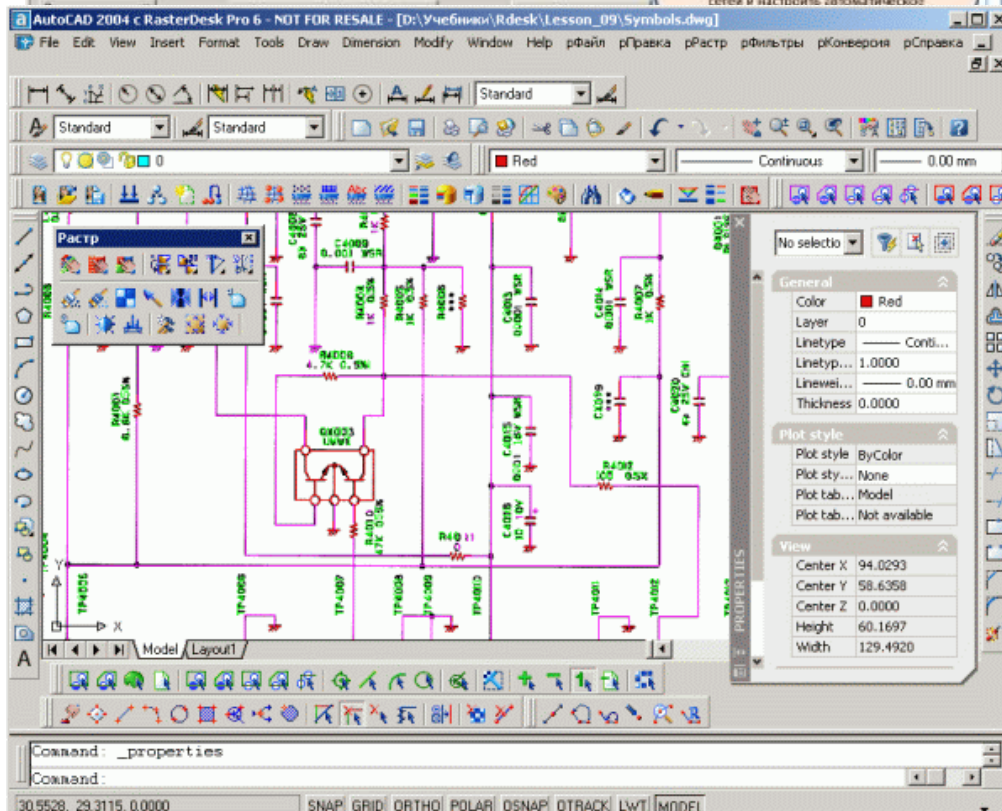
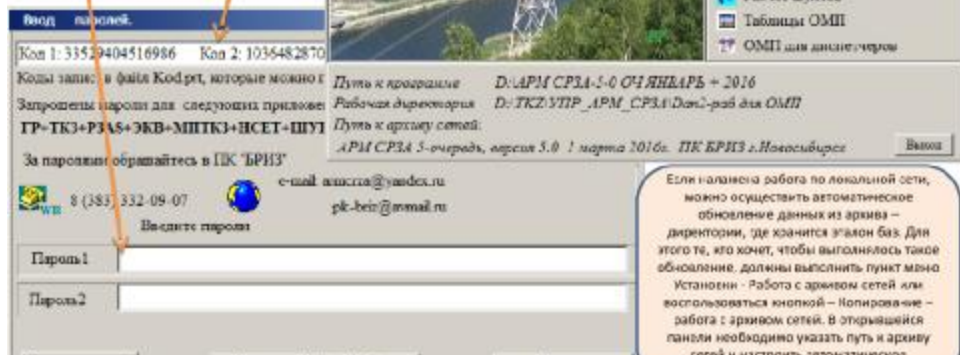
$$\begin{array}{c}
 \begin{array}{ccc}
 2/3 \cdot I_{HH}^1 / k_T & & -1/3 \cdot I_{HH}^{(1)} / k_T \\
 \leftarrow & \boxed{\quad} & \rightarrow
 \end{array} \\
 I_{внА}^{(1)} = 2/3 \cdot I_{HH}^{(1)} / k_T; \quad I_{внВ}^{(1)} = -I_{HH}^{(1)} / k_T / 3; \quad I_{внС}^{(1)} = -I_{HH}^{(1)} / k_T / 3; \quad I_1 = I_2 = I_{внА} / 2; \\
 \text{где } I_1 \text{ и } I_2 \text{ токи прямой и обратной последовательности.}
 \end{array}$$

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПЭВМ ДЛЯ РАСЧЕТА КОРОТКИХ ЗАМЫКАНИЙ


Как видно, расчеты вручную требуют значительных трудозатрат. По этим причинам после появления ЭВМ, а далее ПЭВМ начались попытки применить их для расчета уставок релейной защиты. Эти программы для распределителей были относительно простыми и разрабатывались непосредственно теми, кто занимался расчетами на любительском уровне. В дальнейшем к разработке программ подключились профессионалы, и простые программы превратились в сложные комплексы программ, позволяющие автоматизировать выполнение всех этапов расчета: подготовку данных, расчет параметров, составление схемы замещения, расчет аварийных величин, выбор уставок защиты и сохранение результатов.

APM CP3A

При первоначальной установке программа требует пароли по выданным ею ранее кодам



	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Табл.1.1. РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ И ТКЗ ЗА ТРАНСФОРМАТОРОМ								
2	1. Расчет параметров трансформатора								
3	Полож. РПН	Напр. ВН	Ток ВН	Ток НН	Напр. КЗ	ХкзВНп.	Хкз. ННп	ХкзВНр	Хкз. ННр
4	1 (U макс)	133,4	108,33	688,14	0,1172	83,43	1,03	156,42	1,938
5	10 (Усредн.)	115	125,66	688,14	0,105	55,55	0,93	104,15	1,736
6	19 (U мин)	96,6	149,59	688,14	0,0984	36,73	0,87	68,87	1,627
7	в короткого замыкания								
8	м					2. Минимальный режим			
9						Нр	IkзННр	ХкзВНр	IkзВНр
10							5,044	178,42	0,373
11							6,323	126,15	0,527
12							7,657	90,87	0,732
							1,11	1,05	1,07
							4,733	5,771	6,730

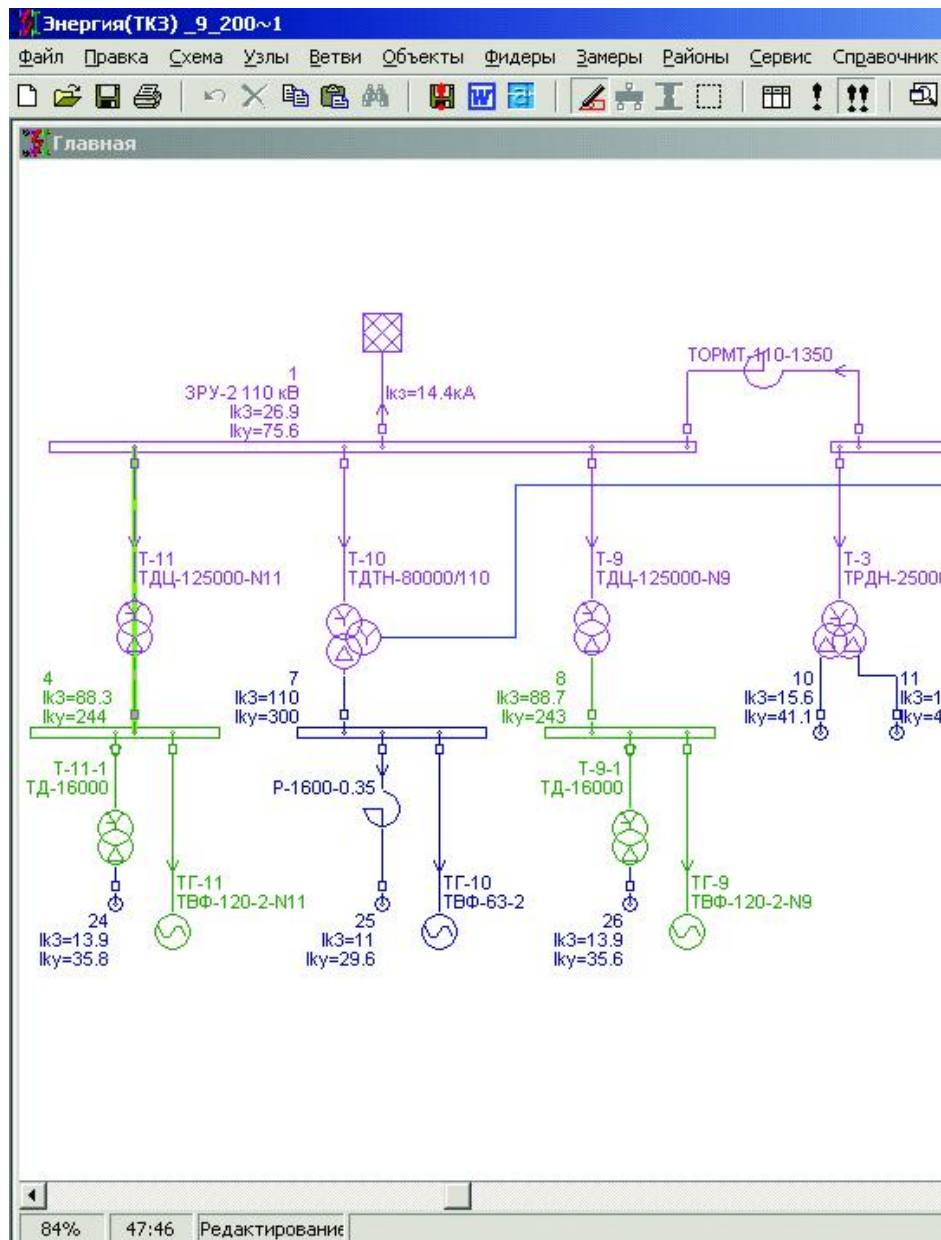


Компания ЭНЕРГОМАШВИН

В.Г. Гловацкий, И.В. Пономарев

СОВРЕМЕННЫЕ СРЕДСТВА РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ
И АВТОМАТИКИ ЭЛЕКТРОСЕТЕЙ

3 электронная версия



EnergyCS ТКЗ 3.5.0.540

Файл Правка Схема Данные Результаты Фидеры Сервис Справочник Окна ?

Главная

О программе

версия 3

EnergyCS ткз

3.5.0.540

Расчет и анализ токов короткого замыкания в сложных электрических сетях

Техническая поддержка:
Internet: www.csoft.ru e-mail: csoft@csoft.ru

Правом использования обладает:
Williams
LAVteam

© ЗАО СиСофт Девелопмент. 2011

Исходные данные по...

Номер узла	1...
Наименование	
Уном, кВ	
СХН	
Район	
Р нагр, МВт	

Исходные данные по...

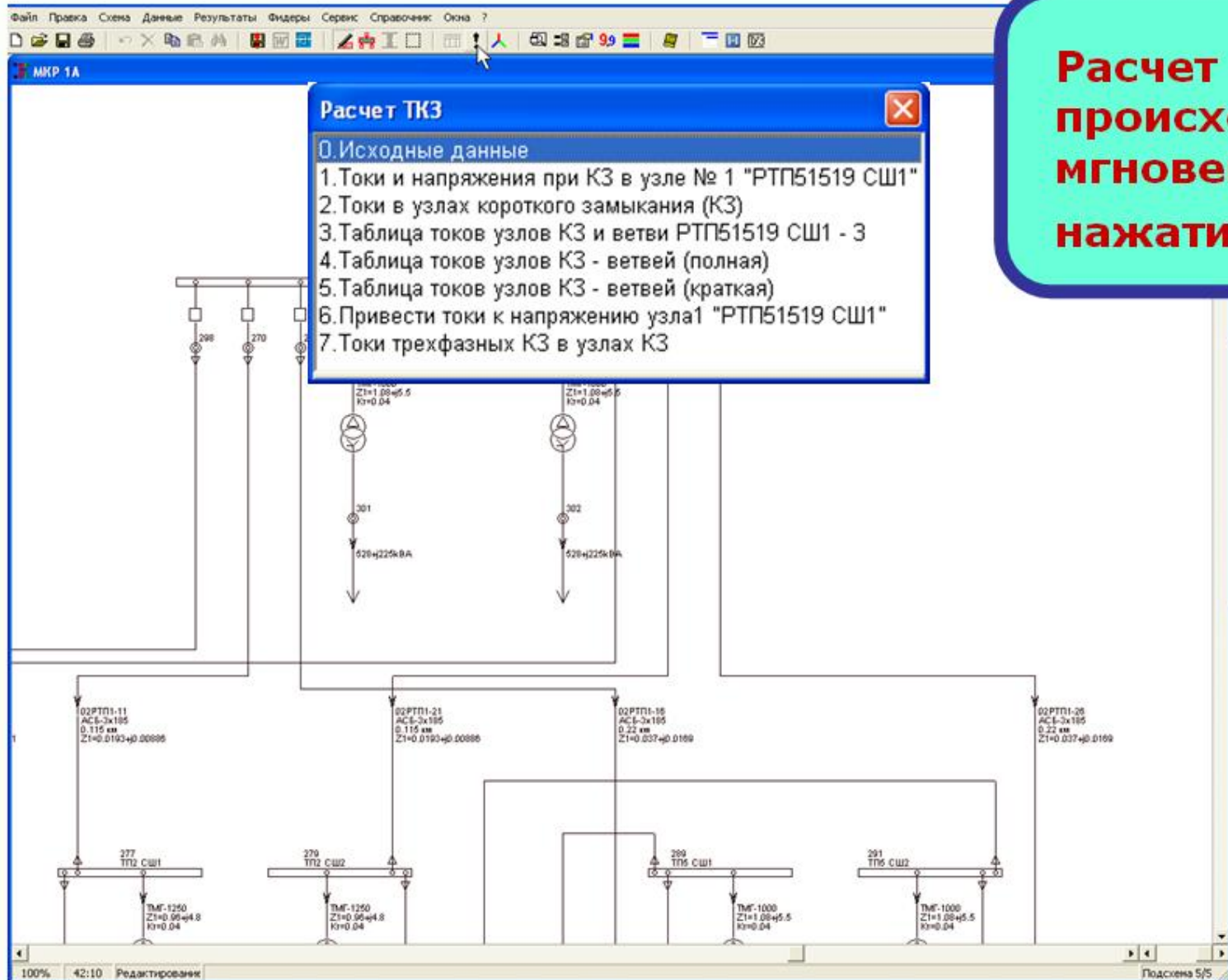
Номера узлов	...
Узел начала	
Узел конца	
В, Н	
Вид	
В, К	
R, Ом	
X, Ом	
R0, Ом	
X0, Ом	
G мкСм	
B мкСм	
Кт	
Угол Кт°	
Номер группы	
Шунт 0 псл	
Iдоп1с, кА	
Период №	
Состояние	

Узлов-0 Ветвей-0

130% 330 Редактирование Подсхема 1/1

Ветви. Исходны

Номера узлов	35
	24
	13
	10
	6
Узел начала	3РУ-0.38
Узел конца	
В, Н	
Вид	
В, К	
R, Ом	0.341
X, Ом	13.8
G мкСм	9.29
B мкСм	0
Кт	0.0868
Угол, Кт°	0
Iдоп, А	596



**Расчет
происходит
мгновенно при
нажатии кнопки !**

