

**УПРОЩЕННОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТОКОВ
КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ В СЕТЯХ НАПРЯЖЕНИЕМ ДО
1000 вольт ПО ИЗВЕСТНОЙ ДЛИНЕ И СЕЧЕНИЮ
ПИТАЮЩЕЙ ЛИНИИ**

И. Ф. АНТОНОВ, Б. И. КУДРИН

(Представлена научным семинаром кафедр электрических станций
и электрических систем и сетей)

Для проверки устойчивости шин, коммутационных и защитных аппаратов и действенности систем заземления «Правилами устройства электроустановок» [1, гл. 1—43] предусмотрено определение величины трехфазного и однофазного токов короткого замыкания (т.к.з.). При определении величины т.к.з. необходимо учитывать активные и индуктивные сопротивления всех элементов короткозамкнутой цепи, что значительно усложняет расчеты, делая их очень трудоемкими.

Г. В. Мирером и М. К. Тульчиным [2] разработана методика упрощенного расчета величины т.к.з. для питающих и распределительных сетей (жилых и общественных зданий), выполняемых кабелями или проводами, прокладываемыми в трубах и каналах. При разработке методики предполагалось, что известны активные составляющие потерь напряжения и расчетный ток нагрузки для каждого участка линии.

Распределительные электрические сети крупных цехов образуются, как правило, магистральными линиями с большим числом ответвлений к сборкам, распределительным пунктам и др. При сложившейся практике проектирования из-за большой трудоемкости расчетов не определяют потерю напряжения у каждого электроприемника. Для обеспечения требуемой величины напряжения у всех потребителей потерю напряжения определяют только до наиболее удаленных электроприемников. Таким образом, при пользовании методикой [2] необходимо сначала определить величину активной составляющей потери напряжения на каждом участке и только затем определить величину т.к.з., что практически не сокращает продолжительность расчетов.

Предлагаемая методика определения величин т.к.з. для цеховых распределительных сетей может быть применена при проектировании сетей промышленных предприятий и основана на использовании известных длин и сечений питающих линий.

При расчете т.к.з. приняты следующие допущения:

а) не учитывается сопротивление сети высокого напряжения; мощность электрической системы считается бесконечно большой, а периодическая слагающая т.к.з. — незатухающей;

б) применяется алгебраическое сложение полных сопротивлений;

в) за номинальное напряжение сети принимается номинальное напряжение электроприемников, а не напряжение холостого хода трансформаторов;

г) при расчете не учитываются переходные сопротивления контактов.

Принятые допущения действуют в сторону как некоторого увеличения, так и снижения т. к. з. Погрешность предлагаемого метода расчета по сравнению с общепринятыми методами не превышает $3 \div 5\%$.

Упрощенное определение трехфазного т. к. з.

Периодическая составляющая т. к. з. может быть определена по формуле [2]:

$$I_V^{(3)} = \frac{100}{\sum_{i=1}^n \frac{k_1 \Delta U_i}{I_{pi}} + \frac{U_k \%}{I_{нт}}}, \quad (1)$$

k_1 — коэффициент, характеризующий отношение падения напряжения на данном участке линии к активной составляющей потери напряжения на этом же участке;

$$k_1 = \frac{\Delta U}{\Delta U_a} = \frac{z}{r \cos \varphi} = \frac{z_0}{r_0 \cos \varphi};$$

I_p — расчетный ток данного участка сети, *a*;
 $U_{к\%}$ — напряжение короткого замыкания трансформатора, %;
 $I_{нт}$ — номинальный ток трансформатора, *a*;
 z_0, r_0 — полное и активное сопротивление одного километра линии, *ом/км*;

$\cos \varphi$ — коэффициент мощности электроприемника.

Коэффициент k_1 практически не зависит от сечения линии ввиду незначительной величины индуктивного сопротивления кабелей и проводов. Значение k_2 рекомендуется в соответствии с [2] принимать по данным табл. 1. Из этой таблицы видно, что произведение коэффициента мощности на коэффициент k_1 близко к единице.

Таблица 1

Коэффициент мощности	0,6	0,65	0,70	0,75	0,8	0,85	0,90	0,95	1,00
k_1	1,67	1,55	1,44	1,35	1,27	1,18	1,11	1,06	1,01

Примем величину активной составляющей потери напряжения на каждом участке равной

$$\Delta U_a = \frac{I_p r \cos \varphi \sqrt{3}}{10 U_n}, \quad \% \quad (2)$$

где

U_n — номинальное напряжение сети, *кв*;
 r — активное сопротивление участка сети, *ом*.

Выразим величину активного сопротивления через известные длину и сечение участка сети

$$r = \frac{l}{\gamma S}, \quad \text{ом}, \quad (3)$$

l — длина участка сети, *м*;
 S — сечение участка сети, *кв. мм*;

γ — удельная проводимость материала сети, м/ом кв. мм. Для меди и алюминия удельная проводимость принимается соответственно равной 53 и 32.

Подставив в (1) значения (2) и (3), приняв произведение коэффициента k_1 на коэффициент мощности равным единице и произведя преобразования, получим

$$I_V^{(3)} = \frac{10^5}{\sum_{i=1}^n \frac{100I\sqrt{3}}{U_{н\gamma}S} + \frac{U_k}{I_{нт}} \cdot 10^3}, a. \quad (4)$$

Для упрощения анализа (4) введем коэффициенты:

$$k_2 = \frac{100I\sqrt{3}}{U_{н\gamma}},$$

$$k_3 = \frac{U_k}{I_{нт}} \cdot 10^3.$$

Для сетей напряжением 380 в, выполненных проводами и кабелями с алюминиевыми жилами, $k_2 = 14,2$, то же с медными жилами $k_2 = 8,6$.

Коэффициент k_3 зависит от паспортных характеристик трансформатора и для серийных масляных трансформаторов мощностью 630, 750 и 1000 ква при низшем напряжении 0,4 кв соответственно равен 5,8; 5,1; 3,8. Для крупных цехов современных промышленных предприятий характерны разветвленные распределительные сети, у которых сумма отношений длины участков к сечению участков сети достаточно велика по сравнению с коэффициентом k_3 и поэтому величиной его можно пренебречь. В этом случае формула (4) примет вид

$$I_V^{(3)} = \frac{10^5}{k_2 \sum_{i=1}^n \frac{l_i}{S_i}}, a. \quad (5)$$

Амплитудное значение ударного тока трехфазного короткого замыкания определяется формулой

$$i_y = k_y \sqrt{2} I_V^{(3)}, a, \quad (6)$$

k_y — ударный коэффициент.

Он может быть принят равным 1,3 при коротком замыкании на распределительных щитах до 525 в, питаемых от трансформаторов 560—1000 ква с напряжением короткого замыкания 5,5%, и равным 1,0 в удаленных точках распределительной сети.

Наибольшее действующее значение полного тока короткого замыкания определяется по формуле

$$I_y^{(3)} = I_V^{(3)} \sqrt{1 + 2(k_y - 1)^2}, a. \quad (7)$$

Определяем величину трехфазного т. к. з. в точке сети на рис. 1 для обычной схемы питающей и распределительной сети цеха с учетом сопротивлений всех элементов цепи короткого замыкания и по предлагаемой упрощенной методике. Активное и индуктивное сопротивления силового трансформатора, катушек (расцепителей) максимального тока автоматов, кабелей и проводов, активное сопротивление переходных контактов автоматов находятся обычным образом [3] и суммируются как последовательно соединенные. Результирующее полное сопротивление

для примера рис. 1 составляет 390 мом. Ток трехфазного короткого замыкания по обычной методике

$$I_V^{(3)} = \frac{U_{\text{ср}} \cdot 1000}{z_{\text{рез}} \cdot \sqrt{3}} = \frac{400 \cdot 1000}{390 \sqrt{3}} = 595 \text{ а.}$$

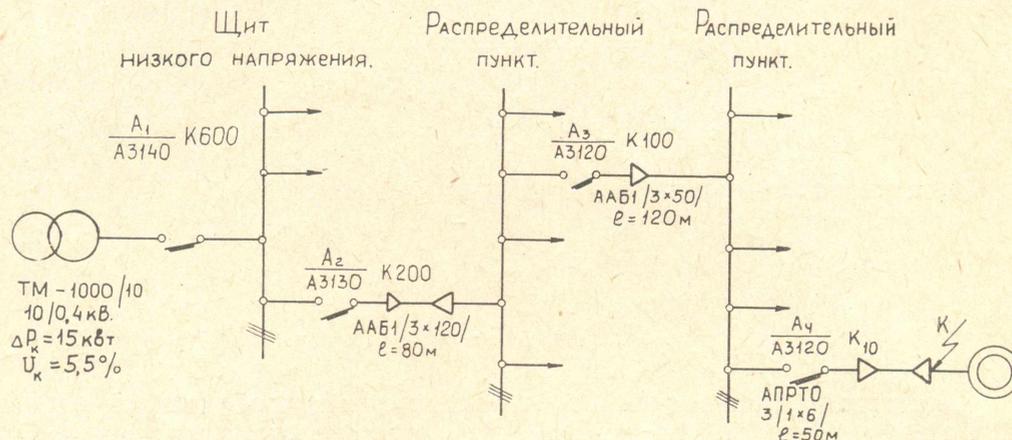


Рис. 1. Расчетная схема для определения т.к.з.

Определяем ток трехфазного короткого замыкания по упрощенной методике (5)

$$I_V^{(3)} = \frac{10^5}{k_2 \sum_{i=1}^n \frac{l_i}{S_i}} = \frac{10^5}{14,2 \left(\frac{80}{120} + \frac{120}{50} + \frac{50}{6} \right)} = 612 \text{ а.}$$

Погрешность при определении тока короткого замыкания составляет 2,9%, что обеспечивает необходимую инженерную точность.

Упрощенное определение однофазного т.к.з.

Периодическая составляющая может быть определена формулой [4]

$$I_V^{(1)} = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{k_4 \Delta U_a \%}{100 I_p} + \frac{z_m}{3 U_{\phi}}}, \text{ а,} \quad (8)$$

k_4 — коэффициент, зависящий от сечения проводника, способа прокладки сети и коэффициента мощности нагрузки;

z_m — полное сопротивление трансформатора току замыкания на корпус, ом;

U_{ϕ} — номинальное фазное напряжение сети, в;

Активная составляющая потери напряжения определяется формулой

$$\Delta U_a \% = \frac{I_p r_{\phi_0} l \cos \varphi 100}{U_{\phi}}, \quad (9)$$

r_{ϕ_0} — активное сопротивление 1 км фазного провода, ом/км;

l — длина участка сети, км.

С целью упрощения введем коэффициент k_5 , зависящий от конструктивного выполнения сети, и k_6 , зависящий от мощности трансформатора и способа соединения его обмотки:

$$k_5 = k_4 \cos \varphi,$$

$$k_6 = \frac{z_m}{3U_\Phi}.$$

Таблица 2

Сечение фазного провода, кв. мм	Провода в трубах		Кабели четырехжильные		Кабели трехжильные с алюминиевой оболоч.	
	сечение нулевого провода, кв. мм	k_5	сечение нулевого провода, кв. мм	k_5	сечение нулевого провода, кв. мм	k_5
2,5	2,5	2,0	—	—	—	—
4	2,5	2,6	2,5	2,6	—	—
6	4	2,5	4	2,5	32,8	1,2
10	6	2,6	6	2,6	37,6	1,3
16	10	2,6	10	2,6	43,3	1,3
25	16	2,6	16	2,6	45,2	1,5
35	16	3,2	16	3,2	56,8	1,5
50	25	3,0	25	3,0	66,8	1,6
70	35	3,1	25	3,8	83,6	1,7
95	50	2,9	35	3,5	103,8	1,7
120	70	2,7	35	4,3	117,6	1,8
150	70	3,1	50	3,8	—	—
185	95	2,8	50	5,4	—	—

Таблица 3

Мощность трансформатора, кВа	Схема соединения обмоток	k_6	Мощность трансформатора, кВа	Схема соединения обмоток	k_6
100	Y/Y ₀	1,18	160	Δ/Y ₀	0,25
160	Y/Y ₀	0,74	180	Y/Y ₀	0,68
180	Y/Y ₀	0,68	250	Δ/Y ₀	0,16
250	Y/Y ₀	0,47	320	Y/Y ₀	0,38
320	Y/Y ₀	0,38	400	Δ/Y ₀	0,10
400	Y/Y ₀	0,29	560	Y/Y ₀	0,22
400	Δ/Y ₀	0,10	630	Δ/Y ₀	0,06
560	Y/Y ₀	0,22	750	Y/Y ₀	0,16
630	Y/Y ₀	0,19	1000	Δ/Y ₀	0,04
630	Δ/Y ₀	0,06	1000	Y/Y ₀	0,12
1000	Y/Y ₀	0,13			
1000	Δ/Y ₀	0,04			

Коэффициенты k_5 и k_6 принимаются соответственно по табл. 2 и табл. 3. Подставив в (8) значение (9) при номинальном фазном напряжении сети 220 в, после преобразования получим упрощенную формулу для определения периодической слагающей т. к. з.:

$$I_V^{(1)} = \frac{b}{k_5 \sum_{i=1}^n \frac{l_i}{S_i} + k_6}, \quad a, \quad (10)$$

где $b=7000$ при применении алюминиевых проводников и 11 200 для медных.

Выводы

1. Для разветвленных цеховых распределительных сетей переменного тока напряжением до 1000 в расчет т. к. з. возможен по известной длине и сечению питающей линии с достаточной для практики точностью.
2. При мощности питающего трансформатора свыше 560 ква расчет тока короткого замыкания можно выполнять без учета сопротивления трансформатора.
3. Точность расчета увеличивается при удалении точки короткого замыкания и уменьшении сечения питающей электроприемник линии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Правила устройств электроустановок. Госэнергоиздат. М., 1966.
2. Г. В. Мирер, И. К. Тульчин. Упрощенное определение т. к. з. в сетях переменного тока напряжением до 1000 в. «Промышленная энергетика», 1966, № 8.
3. Я. М. Большаков и др. Справочник по электроустановкам промышленных предприятий, т. 1, ч. I, Госэнергоиздат, 1963.
4. Г. В. Мирер, И. К. Тульчин. Упрощенное определение токов однофазного короткого замыкания в осветительных сетях. «Светотехника», 1969, № 10.