

42А Расчёт тока короткого замыкания в сети 0,4 кВ

1. [Введение](#)
2. [Основные понятия и принцип расчёта](#)
3. [Методика расчёта тока КЗ](#)
4. [Пример расчета тока КЗ](#)

1. Введение

В соответствии с пунктом 3.1.8. ПУЭ электрические сети должны иметь защиту от [токов короткого замыкания](#), обеспечивающую по возможности наименьшее время отключения. При этом указано что защита должна проверяться по отношению **наименьшего расчётного тока короткого замыкания** (далее — тока КЗ) к номинальному току плавкой вставки предохранителя или расцепителя автоматического выключателя. (Подробнее о выборе защиты от токов короткого замыкания читайте статью: [Расчёт электрической сети и выбор аппаратов защиты](#))

В сетях 0,4 кВ с [глухозаземленной нейтралью](#) наименьшим током КЗ является ток однофазного короткого замыкания методика расчёта которого и приведена в данной статье.

2. Основные понятия и принцип расчёта

Сама формула расчёта тока короткого замыкания проста, она выходит из закона Ома для полной цепи и имеет следующий вид:

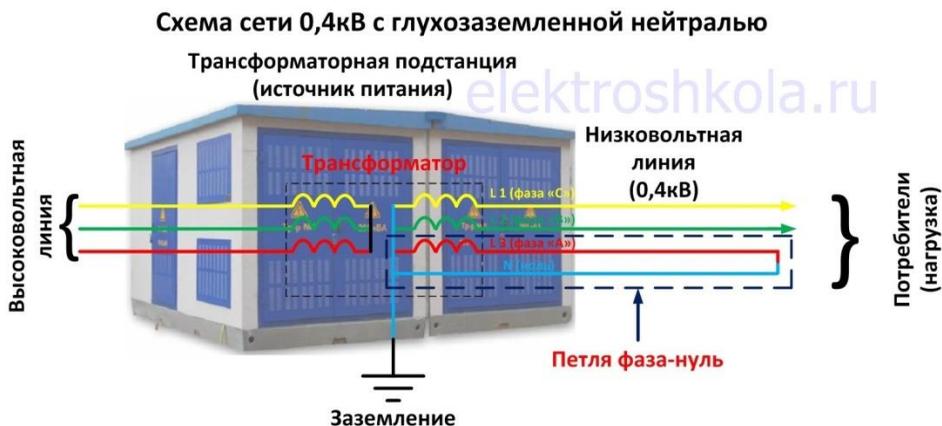
$$I_{кз} = U_{\phi} / Z_{\phi-0}$$

где:

- U_{ϕ} — фазное напряжение сети (230 Вольт);
- $Z_{\phi-o}$ — полное сопротивление петли (цепи) фаза-нуль в Омах.

Что такое петля фаза-нуль (фаза-ноль)?

Это электрическая цепь, состоящая из фазного и нулевого проводников, а так же обмотки трансформатора к которым они подключены.

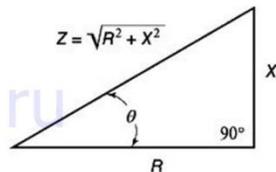
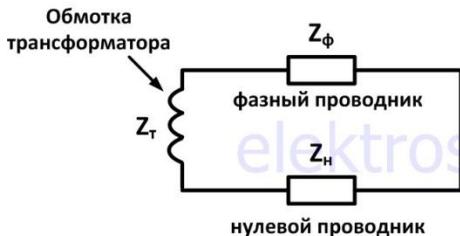


В свою очередь сопротивление данной электрической цепи и называется **сопротивлением петли фаза нуль**.

Как известно, есть три типа сопротивлений: **активное (R)**, **реактивное (X)** и **полное (Z)**. Для расчёта тока короткого замыкания необходимо использовать полное сопротивление, определить которое можно из треугольника сопротивлений:

Сопротивление петли фаза-нуль ($Z_{\Phi-0}$)

Треугольник сопротивлений



Z_T – полное сопротивление обмотки трансформатора
 Z_Φ – полное сопротивление фазного проводника
 Z_N – полное сопротивление нулевого проводника
 R_T – активное сопротивление обмотки трансформатора
 R_Φ – активное сопротивление фазного проводника
 R_N – активное сопротивление нулевого проводника
 X_T – реактивное сопротивление обмотки трансформатора
 X_Φ – реактивное сопротивление фазного проводника
 X_N – реактивное сопротивление нулевого проводника

$$Z_T = \sqrt{R_T^2 + X_T^2}$$

$$Z_\Phi = \sqrt{R_\Phi^2 + X_\Phi^2}$$

$$Z_N = \sqrt{R_N^2 + X_N^2}$$

$$\text{Полное сопротивление петли фаза-нуль } Z_{\Phi-0} = Z_T + Z_\Phi + Z_N$$

Примечание: Сумма полных сопротивлений нулевого и фазного проводников называется **полным сопротивлением питающей линии**.

Рассчитать точное сопротивление петли фаза-нуль довольно сложно, т.к. на её сопротивление влияет множество различных факторов, начиная с переходных сопротивлений контактных соединений и сопротивлений внутренних элементов аппаратов защиты, заканчивая температурой окружающей среды. Поэтому для практических расчётов используются упрощённые методики расчёта токов КЗ одна из которых и приведена ниже.

Справочно: Расчётным путём ток короткого замыкания определяется, как правило, только для новых и реконструируемых [электроустановок](#) на этапе проектирования электрической сети и выбора аппаратов ее защиты. В [действующих электроустановках](#) наиболее

целесообразно определять ток короткого замыкания путём проведения соответствующих измерений (путём непосредственного измерения тока КЗ, либо путём косвенного измерения, т.е. измерения сопротивления петли-фаза-нуль и последующего расчёта тока КЗ).

3. Методика расчета тока кз

1) Определяем полное сопротивление питающей линии до точки короткого замыкания:

$$Z_{л} = \sqrt{(R_{л}^2 + X_{л}^2)}, \text{ Ом}$$

где:

- $R_{л}$ — Активное сопротивление линии, Ом;
- $X_{л}$ — Реактивное сопротивление линии, Ом.

Примечание: Расчёт производится для каждого участка линии с различным сечением и/или материалом проводника, с последующим суммированием сопротивлений всех участков ($Z_{пл} = Z_{л1} + Z_{л2} + \dots + Z_{лN}$).

Активное сопротивление линии определяется по формуле:

$$R_{л} = L_{\text{фо}} * \rho / S, \text{ Ом}$$

где:

- $L_{\text{фо}}$ — Сумма длин фазного и нулевого проводника линии, м;
- ρ — Удельное сопротивление проводника (для алюминия — 0,028, для меди — 0,0175), Ом* мм²/м;
- S — Сечение проводника, мм².

Примечание: формула приведена с учётом, что сечения и материал фазного и нулевого проводников линии одинаковы, в противном случае расчёт необходимо выполнять по данной формуле для каждого из проводников индивидуально с последующим суммированием их сопротивлений.

Реактивное сопротивление линии определяется по формуле:

$$X_{л} = L_{\phi 0} * 0,6 / 1000, \text{ Ом}$$

2) Определяем сопротивление питающего трансформатора

Сопротивление трансформатора зависит от множества факторов, таких как мощность, конструкция трансформатора и главным образом схема соединения его обмоток. Для упрощённого расчёта сопротивление трансформатора при однофазном КЗ ($Z_{\text{ТР}(1)}$) можно принять из следующей таблицы:

Значения сопротивления $Z_{тр(1)}$ масляных трансформаторов с низшим напряжением 400/230 В (выпускаемых с 1967 г.)

| Мощность трансформатора, кВ · А | Высшее напряжение, кВ | $Z_{тр(1)}$, приведенное к напряжению 400 В, Ом | Мощность трансформатора, кВ · А | Высшее напряжение, кВ | $Z_{тр(1)}$, приведенное к напряжению 400 В, Ом |
|--|-----------------------|--|---|-----------------------|--|
| 1. Схема соединений звезда – звезда с выведенной нейтралью | | | 2. Схема соединений треугольник - звезда с выведенной нейтралью | | |
| 25 | 6 и 10 | 1,04 | 400 | 6 и 10 | 0,019 |
| 40 | 6 и 10 | 0,65 | 630 | 6 и 10 | 0,014 |
| 63 | 6 и 10 | 0,41 | 1000 | 6 и 10 | 0,009 |
| | 20 | 0,38 | 1600 | 6 и 10 | 0,006 |
| 100 | 6 – 35 | 0,26 | 3. Схема соединений звезда - зигзаг с выведенной нейтралью | | |
| 160 | 6 – 35 | 0,16 | ----- | | |
| 250 | 6 – 35 | 0,1 | 25 | 6 и 10 | 0,3 |
| 400 | 6 – 35 | 0,065 | 40 | 6 и 10 | 0,19 |
| 630 | 6 – 35 | 0,042 | 63 | 6 и 10 | 0,12 |
| 1000 | 6 и 10 | 0,027 | 100 | 6 и 10 | 0,075 |
| | 35 | 0,0255 | 160 | 6 и 10 | 0,05 |
| 1600 | 6 и 10 | 0,018 | 250 | 6 и 10 | 0,03 |
| | 35 | 0,017 | 20 и 35 | | 0,043 |

Примечание. Для трансформаторов с низшим напряжением 230/127 В указанное в таблице сопротивление должно быть уменьшено в 3 раза.

Источник: Учебное пособие "РАСЧЕТЫ ТОКОВ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ В СЕТЯХ 0,4 кВ" И.Л. НЕБРАТ

3) Рассчитываем ток короткого замыкания

Ток однофазного короткого замыкания определяем по следующей формуле:

$$I_{кз} = U_{\phi} / (Z_{тр(1)} + Z_{пл}), \text{ Ампер}$$

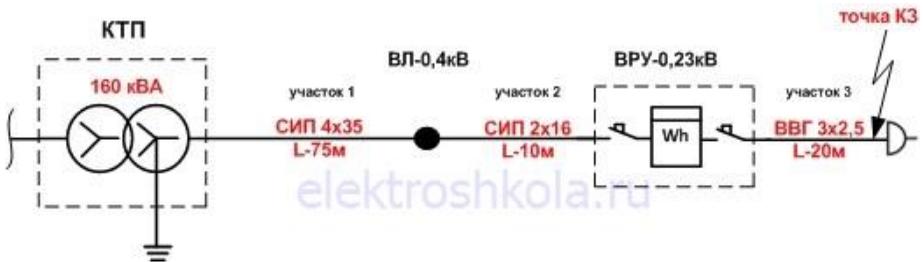
где:

- U_{ϕ} — Фазное напряжение сети в Вольтах (для сетей 0,4кВ принимается равным 230 Вольт);
- $Z_{тр(1)}$ — Сопротивление питающего трансформатора при однофазном кз в Омах (из таблицы выше);

- $Z_{пл}$ — Полное сопротивление питающей линии (цепи фаза-ноль) от питающего трансформатора до точки короткого замыкания в Омах.

4 Пример расчёта тока КЗ

Для примера возьмем следующую упрощённую однолинейную схему:



1. Определяем полное сопротивление питающей линии до точки короткого замыкания

Как видно из схемы всего имеется три участка сети, расчёт сопротивления необходимо производить для каждого в отдельности, после чего сложить рассчитанные сопротивления всех участков.

- Участок 1

$$R_{л1} = L_{\text{фо}} \cdot \rho / S = 150 \cdot 0,028 / 35 = 0,12 \text{ Ом};$$

$$X_{л1} = L_{\text{фо}} \cdot 0,6 / 1000 = 150 \cdot 0,6 / 1000 = 0,09 \text{ Ом};$$

$$Z_{л1} = \sqrt{(R_{л1}^2 + X_{л1}^2)} = \sqrt{(0,12^2 + 0,09^2)} = 0,15 \text{ Ом}.$$

- Участок 2

$$R_{л2} = L_{\Phi o} * p / S = 20 * 0,028 / 16 = 0,035 \text{ Ом};$$

$$X_{л2} = L_{\Phi o} * 0,6 / 1000 = 20 * 0,6 / 1000 = 0,012 \text{ Ом};$$

$$Z_{л2} = \sqrt{(R_{л2}^2 + X_{л2}^2)} = \sqrt{(0,035^2 + 0,012^2)} = 0,037 \text{ Ом}.$$

- Участок 3

$$R_{л3} = L_{\Phi o} * p / S = 40 * 0,0175 / 2,5 = 0,28 \text{ Ом};$$

$$X_{л3} = L_{\Phi o} * 0,6 / 1000 = 40 * 0,6 / 1000 = 0,024 \text{ Ом};$$

$$Z_{л3} = \sqrt{(R_{л3}^2 + X_{л3}^2)} = \sqrt{(0,28^2 + 0,024^2)} = 0,281 \text{ Ом}.$$

Таким образом полное сопротивление питающей линии (цепи фаза-ноль) от питающего трансформатора до точки КЗ составит:

$$Z_{пл} = Z_{л1} + Z_{л2} + Z_{л3} = 0,15 + 0,037 + 0,281 = 0,468 \text{ Ом}.$$

2. Определяем сопротивление трансформатора

Как видно из схемы источником питания является трансформатор на 160 кВА, со схемой соединения обмоток «звезда — звезда с выведенной нейтралью». Определяем сопротивление трансформатора по таблице выше:

$$Z_{ТР(1)} = 0,16 \text{ Ом}$$

3. Рассчитываем ток короткого замыкания

$$I_{к3} = U_{\Phi} / (Z_{ТР(1)} + Z_{пл}) = 230 / (0,16 + 0,468) = 366 \text{ Ампер}$$