

Я. М. Бунич, А. Н. Глазков, К. А. Кастовский
Электрооборудование промышленных предприятий
М., Стройиздат, 1981

Величину тока однофазного короткого замыкания в А, возникающего в петле фаза - нулевой провод при однофазном замыкании на корпус, определяют по формуле

$$I_K = \frac{U_\phi}{Z_n + Z_m/3} \quad , \quad (XV.1)$$

где U_ϕ - фазовое напряжение сети, В;

$Z_n = \sqrt{(r_\phi + r_n)^2 + x^2}$ - полное сопротивление петли фаза-нуль, Ом;

r_ϕ и r_n - активное сопротивление фазных и зануляющих проводников, Ом;

x - реактивное сопротивление, Ом (определяется только для электропроводок в стальных трубах);

$Z_m/3$ - сопротивление трансформатора, Ом.

Значения активных сопротивлений жил проводов и кабелей и алюминиевой оболочки трехжильных кабелей, используемой в качестве зануляющего проводника, приведены в табл. XV.1 (реактивное сопротивление не учитывается в силу его незначительности). Сопротивления даны при температуре нагрева жил при полной токовой нагрузке, допускаемой по нормам (для проводов и кабелей с резиновой и пластмассовой изоляцией 70° С, для кабелей с бумажной изоляцией 80° С).

Величины активного и реактивного сопротивлений стальных труб электропроводки, используемых в качестве зануляющих проводников, приведены в табл. XV.2. Поскольку удельное сопротивление стальных труб зависит от величины проходящего по ним тока, приведенные в таблице значения активных и реактивных сопротивлений определены по величине тока однофазного короткого замыкания, который может пройти по петле фаза - нуль при указанных в таблице сечениях проводов и диаметров труб.

Таблица XV.1. Активное сопротивление жил проводов и кабелей и алюминиевой оболочки трехжильных кабелей

| Сечение жил, мм ² | Сопротивление, Ом/км | | | | | |
|------------------------------|--|--------|------------------------------|--------|--|--------|
| | проводов и кабелей с резиновой и пластмассовой изоляцией | | кабелей с бумажной изоляцией | | алюминиевой оболочки трехжильных кабелей | |
| | алюминиевых | медных | алюминиевых | медных | алюминиевых | медных |
| 1 | - | 22,2 | - | 23 | - | - |
| 1,5 | - | 14,7 | - | 15,3 | - | - |
| 2,5 | 15 | 8,88 | 15,5 | 9,18 | - | - |
| 4 | 9,36 | 5,56 | 9,6 | 5,75 | - | - |
| 6 | 6,25 | 3,7 | 6,46 | 3,83 | 1,045 | 0,985 |
| 10 | 3,74 | 2,21 | 3,87 | 2,28 | 1,038 | 0,876 |
| 16 | 2,34 | 1,39 | 2,42 | 1,44 | 0,775 | 0,748 |
| 25 | 1,5 | 0,888 | 1,55 | 0,918 | 0,691 | 0,679 |
| 35 | 1,07 | 0,636 | 1,11 | 0,657 | 0,616 | 0,61 |
| 50 | 0,75 | 0,444 | 0,775 | 0,458 | 0,498 | 0,492 |
| 70 | 0,536 | 0,318 | 0,555 | 0,329 | 0,41 | 0,405 |
| 95 | 0,395 | 0,234 | 0,408 | 0,242 | 0,361 | 0,367 |

Таблица XV.2. Сопротивление стальных труб

| Три одножильных провода сечением, мм ² | Условный проход трубы, мм | Сопротивление, Ом/км | | Три одножильных провода сечением, мм ² | Условный проход трубы, мм | Сопротивление, Ом/км | |
|---|---------------------------|----------------------|---------------------|---|---------------------------|----------------------|---------------------|
| | | активное r | реактивное x | | | активное r | реактивное x |
| 2,5 | 15 | 4,04 | 2,42 | 10 | 20 | 2,30 | 1,38 |
| 2,5 | 20 | 3,10 | 1,86 | 16 | 25 | 1,50 | 0,90 |
| 4 | 15 | 3,10 | 1,86 | 25 | 25 | 1,15 | 0,69 |
| 4 | 20 | 2,68 | 1,6 | 35-50 | 40 | 1,05 | 0,63 |
| 6 | 15 | 2,60 | 1,56 | 70 | 50 | 0,85 | 0,57 |
| 6 | 20 | 2,30 | 1,38 | 95 | 70 | 0,54 | 0,32 |

Для выбора зануляющих проводников из полосовой стали в табл. XV.3 приведены размеры стальных полос, эквивалентных по проводимости алюминиевым и медным проводам указанных в таблице сечений.

Таблица XV.3. Зануляющие проводники из полосовой стали

| Сечение проводов, мм ² | | Размеры стальной зануляющей полосы, мм, при фазном проводе | | Сечение проводов, мм ² | | Размеры стальной зануляющей полосы, мм, при фазном проводе | |
|-----------------------------------|---------|--|--------|-----------------------------------|---------|--|--------|
| фазных | нулевых | алюминиевом | медном | фазных | нулевых | алюминиевом | медном |
| 2,5 | 1,5 | 15×3 | 15×3 | 25 | 16 | 40×3 | 50×5 |
| 4 | 2,5 | 15×3 | 15×3 | 35 | 16 | 50×3 | 60×5 |
| 6 | 4 | 15×3 | 15×3 | 50 | 25 | 60×5 | 80×6 |
| 10 | 6 | 15×3 | 20×4 | 70 | 35 | 80×6 | 80×6 |
| 16 | 10 | 20×4 | 40×4 | 95 | 35 | 80×8 | 100×8 |

Расчетные сопротивления трансформаторов $Z_{T/3}$ при вторичном напряжении 400/230 В приведены в табл. XV.4.

Таблица XV.4. Расчетные сопротивления трансформаторов

| Мощность трансформатора, кВ·А | Сопротивление $Z_{T/3}$, Ом, при соединении обмоток | |
|-------------------------------|--|---|
| | звезда - звезда с выведенным нулем | треугольник - звезда с выведенным нулем |
| 100 | 0,259 | 0,0754 |
| 160 | 0,162 | 0,047 |
| 250 | 0,104 | 0,030 |
| 400 | 0,065 | 0,019 |
| 630 | 0,043 | 0,014 |
| 1000 | 0,027 | 0,009 |
| 1600 | 0,018 | 0,0055 |

Пример. Во взрывоопасном помещении установлен электродвигатель мощностью 40 кВт, с номинальным током $I_n = 77$ А и пусковым током $I_p = 577$ А. Электродвигатель присоединен к распределительному щиту кабелем длиной 95 м. Питание щита осуществляется от трансформатора мощностью 630 кВ·А кабелем длиной 30 м, сечением $3 \times 95 + 1 \times 35$ мм² с алюминиевыми жилами. Трансформатор имеет соединение звезда - звезда с выведенным нулем.

Требуется выбрать марку кабеля, сечение жил и защитный аппарат к электродвигателю; проверить действие защиты при замыкании фазы на корпус электродвигателя.

Решение. Выбираем к электродвигателю кабель ВБВ с медными жилами сечением $3 \times 25 + 11 \times 16$ мм², с допускаемой нагрузкой 105 А, что составляет 138% номинального тока электродвигателя (по ПУЭ требуется не менее 125%). В

качестве защитного аппарата устанавливается автоматический выключатель АЗ124 на номинальный ток 100 А, с комбинированным расцепителем - тепловым на 100 А для защиты от перегрузки и электромагнитным для защиты от токов короткого замыкания с установкой мгновенного срабатывания на 800 А. При пуске электродвигателя автомат не отключится, так как пусковой ток электродвигателя 577 А, а электромагнитный расцепитель срабатывает при 800 А.

Для проверки действия защиты при однофазном коротком замыкании на корпус электродвигателя определим суммарное сопротивление петли фаза - нуль.

1. Сопротивление трансформатора 630 кВ·А 0,043 Ом;
2. Активное сопротивление фазных шин алюминиевого кабеля 95 мм² = 0,408 Ом/км;
сопротивление нулевой жилы 35 мм² = 1,11 Ом/км (табл. XV.1).

Сопротивление на участке длиной 30 м (0,030 км): фазной жилы 95 мм² ... 0,408·0,03 = 0,01224 Ом; нулевой жилы 35 мм² ... 1,110·0,03 = 0,03330 Ом.

3. Активное сопротивление фазных жил медного кабеля 25 мм² = 0,888 Ом/км;
сопротивление нулевой жилы 16 мм² = 1,39 Ом/км.

Сопротивление на участке 95 м (0,095 км):
фазной жилы 25 мм², ... 0,888·0,095 = 0,08436 Ом,
нулевой жилы 16 мм² ... 1,390·0,095 = 0,13205 Ом.

4. Полное сопротивление петли фаза-нуль: $R_{\Sigma} = 0,043 + 0,01224 + 0,03330 + 0,08436 + 0,13205 = 0,30495$ Ом.

Ток однофазного короткого замыкания определится по формуле (IV.1):

$$I_k = \frac{220}{0,30495} = 721 \text{ A}$$

что превышает номинальный ток теплового элемента расцепителя автоматического выключателя в $721/100 = 7,21$ раз (для взрывоопасных установок требуется не менее чем в 6 раз). Таким образом, выбранный автомат надежно отключает поврежденный участок.

Аналогичным образом ведется расчет при использовании в качестве зануляющих проводников алюминиевой оболочки кабеля, стальных труб электропроводки и стальных полос.