

# Выбор и реализация схем заземления экранов однофазных кабелей 6—500 кВ

В настоящее время в энергетике страны уже имеется представление о тех проблемах, которые появились с началом массового применения однофазных кабелей 6—500 кВ с изоляцией из сшитого полиэтилена (СПЭ). Для решения этих проблем специалистами отрасли найдены простые и удобные технические решения.

Михаил ДМИТРИЕВ,  
главный специалист ПТО ПЦ «Севзапэнергосетьпроект»  
ОАО «СевЗапНТЦ», Санкт-Петербург, к.т.н.

**Р**ассмотрим один из важных вопросов создания кабельных линий с однофазными кабелями — выбор и монтаж схем заземления экранов кабелей.

## ОСНОВНЫЕ СХЕМЫ СОЕДИНЕНИЯ ЭКРАНОВ

На рис. 1 представлены три основные схемы соединения и заземления экранов трёхфазных кабельных линий с однофазными кабелями. Схемы отличаются друг от друга наводимыми на экраны токами и напряжениями, а также потерями мощности в экранах. Выбор оптимальной схемы заземления возможен только после расчёта всех этих величин, например по методике [1, 2].

В схеме рис. 1а расчёту подлежат токи в экранах и вызванные ими паразитные потери активной мощности. В схемах же рис. 1б, в токов и потерь в экранах нет, но требуется проверка напряжения на экране относительно земли.

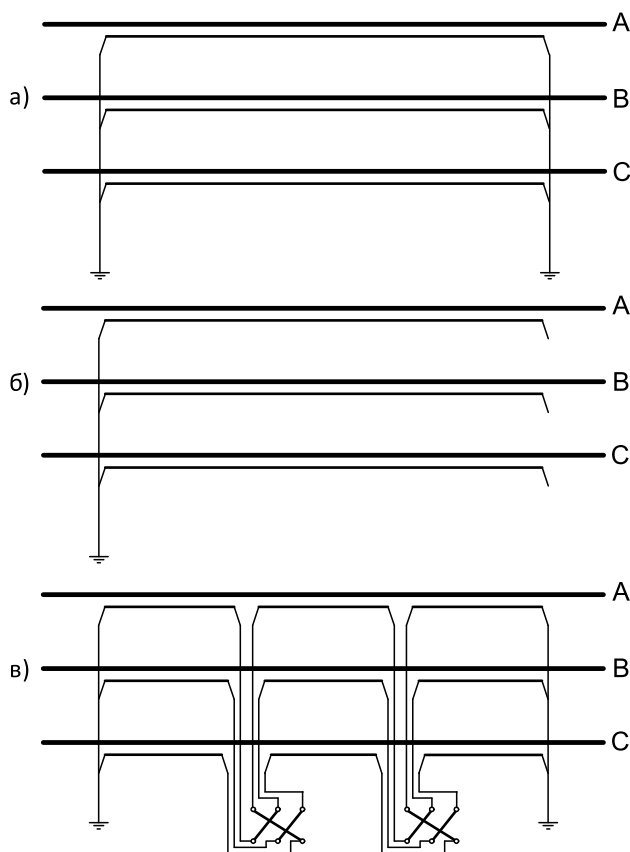
## РАСЧЁТ ТОКОВ И ПОТЕРЬ МОЩНОСТИ В ЭКРАНАХ

При расчёте токов  $I_{\Sigma}$  и потерь  $P_{\Sigma}$  в экранах важную роль играет не только их конкретная величина, но и то, как сильно они заметны на фоне токов  $I_{\text{ж}}$  и потерь  $P_{\text{ж}}$  в жиле кабеля.

На рис. 2 для однофазных кабелей, имеющих заземлённые в обоих концах экраны, приведены результаты расчётов [1] отно-



**Рис. 1. Основные схемы соединения и заземления экранов трёхфазных групп однофазных кабелей**

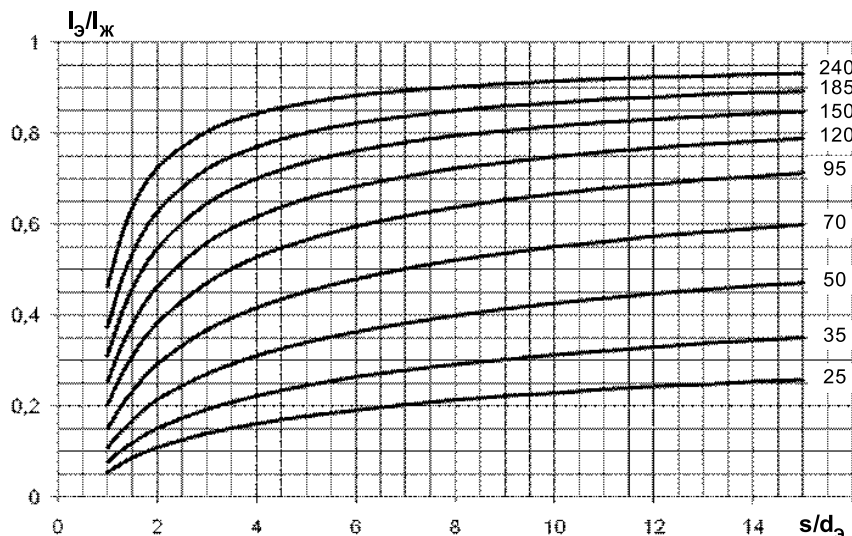


- а) двустороннее заземление;  
б) одностороннее заземление;  
в) транспозиция экранов

сительных значений наведённых в экранах токов  $I_{\text{Э}}/I_{\text{Ж}}$  для типовых сечений экрана  $F_{\text{Э}}$  (от 25 до 240 мм<sup>2</sup>) в зависимости от соотношения  $s/d_{\text{Э}}$ , в котором:

$s = \sqrt[3]{d_{AB} \cdot d_{BC} \cdot d_{AC}}$  — среднее расстояние между осями трёх фаз А, В, С;

**Рис. 2. Токи в заземлённых по концам экранах трёхфазной группы однофазных кабелей в зависимости от сечения экрана  $F_{\text{Э}}$  (мм<sup>2</sup>) и взаимного расположения фаз  $s/d_{\text{Э}}$**



$d_{\text{Э}} = d - 2\Delta_{\text{об}}$  — диаметр экрана кабеля;

$d$  — диаметр кабеля по каталогу;

$\Delta_{\text{об}}$  — толщина оболочки кабеля по каталогу (почти всегда составляет 5–6 мм).

С помощью рис. 2 несложно найти относительные потери мощности:

$$\frac{P_{\text{Э}}}{P_{\text{Ж}}} = \frac{I_{\text{Э}}^2 \cdot (R_{\text{Э}}^* \cdot L_{\text{К}})}{I_{\text{Ж}}^2 \cdot (R_{\text{Ж}}^* \cdot L_{\text{К}})} = \left(\frac{I_{\text{Э}}}{I_{\text{Ж}}}\right)^2 \cdot \frac{\rho_{\text{Э}}}{\rho_{\text{Ж}}} \cdot \frac{F_{\text{Ж}}}{F_{\text{Э}}}, \quad (1)$$

где  $R_{\text{Ж}}^* = \frac{\rho_{\text{Ж}}}{F_{\text{Ж}}}$ ,  $R_{\text{Э}}^* = \frac{\rho_{\text{Э}}}{F_{\text{Э}}}$  — погонные активные сопротивления жилы и экрана;

$F_{\text{Ж}}$ ,  $F_{\text{Э}}$  — сечения жилы и экрана;

$\rho_{\text{Ж}}$ ,  $\rho_{\text{Э}}$  — удельное сопротивление материала жилы и экрана (для меди  $2 \cdot 10^{-8}$  Ом·м, для алюминия  $3,2 \cdot 10^{-8}$  Ом·м);

$L_{\text{К}}$  — длина кабеля, м.

Потери в однофазном кабеле нагревают его изоляцию, температура которой не должна превышать длительно допустимого значения. Поэтому очевидно, что при отсутствии потерь в экранах ток пропускной способности будет больше, чем в случае наличия таких потерь. Коэффициент, характеризующий степень использования пропускной способности кабеля по току, согласно [1] равен

$$K_{\text{И}} = \frac{1}{\sqrt{1 + P_{\text{Э}}/P_{\text{Ж}}}}. \quad (2)$$

Соотношение  $P_{\text{Э}}/P_{\text{Ж}}$  паразитных потерь в экране и неизбежных потерь в жиле однофазных кабелей является важным критерием для выбора способа соединения их экранов. Указанное соотношение никак не зависит от длины кабеля, и поэтому получается так, что при заданном типе однофазных кабелей и способе их прокладки специальные мероприятия по борьбе с токами в экранах одинаково необходимы и для коротких кабелей, и для кабелей большой длины. Вместе с тем ясно, что затраты на реализацию мероприятий по борьбе с потерями в экранах могут быть ощутимы по сравнению со стоимостью короткого кабеля, но пренебрежимо малы на фоне цены длинного кабеля. Поэтому целесообразным представляется введение дополнительного критерия выбора способа соединения экранов, который учитывал бы экономические аспекты. Пусть это будет стоимость потерь мощности в экранах.

Потери мощности в экране одной фазы  $P_{\text{Э}}$  (Вт) удобно находить как:

$$P_{\text{Э}} = (P_{\text{Э}}/P_{\text{Ж}}) \cdot P_{\text{Ж}}, \quad (3)$$

где  $P_{\text{Э}}/P_{\text{Ж}}$  — относительные потери в экране по (1);

$P_{\text{Ж}} = I_{\text{Ж}}^2 (R_{\text{Ж}}^* \cdot L_{\text{К}})$  — потери мощности в жиле одной фазы (Вт);

$I_{\text{Ж}}$  — среднегодовой ток в жиле (А).

Стоимость паразитных потерь мощности за 1 год работы кабеля:

$$C_{1\text{год}} = W_{1\text{год}} \cdot \Pi, \quad (4)$$

где  $\Pi$  — цена потерь электроэнергии руб./(\кВт·ч);

$W_{1\text{год}} = \frac{3P_{\text{Э}}}{1000} \cdot 8760$  — потери энергии в экранах трёх фаз за год (\кВт·ч)/год;

8760 — число часов в году.

Для всех однофазных кабелей вне зависимости от класса их номинального напряжения из (1) – (4) следует, что эффективного снижения паразитных потерь в экранах и связанного с ними ущерба можно добиться:

- применяя кабели с малым сечением экрана  $F_3$  (с большим  $R_3^*$ );
- прокладывая фазы кабеля сомкнутым треугольником, так как в этом случае достигается минимальное соотношение  $s/d_3$ .

Если прокладка фаз кабеля сомкнутым треугольником не позволяет снизить токи и потери в экранах до приемлемого уровня, то тогда следует отказаться от схемы простого заземления экранов с двух сторон кабеля и перейти к другим:

- заземление экранов с одной стороны (рис. 1б);
- транспозиция экранов (рис. 1в).

### РАСЧЁТ НАПРЯЖЕНИЯ НА ЭКРАНЕ ОТНОСИТЕЛЬНО ЗЕМЛИ

В [1] было показано, что напряжение на экране прямо пропорционально току в жиле  $I_{ж}$  и длине кабеля  $L_K$ . Кроме того, напряжение на экране зависит от:

- расстояния между фазами  $s$ , диаметра экрана  $d_3$ , соотношения  $s/d_3$ ;
- эквивалентной глубины протекания тока в земле  $D_3$ , которая вычисляется как

$$D_3 = 2,24 \sqrt{\frac{\rho_3}{\omega \cdot \mu_0}},$$

где  $\rho_3$  – удельное сопротивление грунта ( $Ом \cdot м$ );  
 $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$  – абсолютная магнитная проницаемость вакуума ( $Гн/м$ );

$\omega = 2\pi f$  – круговая частота напряжений и токов ( $рад/с$ ).

На рис. 3 и 4 представлены результаты расчётов напряжения на экране по формулам из [1]. Напряжение  $U_3$  на экране относительно земли определено для тока в жиле  $I_{ж} = 1000$  А и длины кабеля  $L_K = 1000$  м.

Если кабель проложен в распределительном устройстве, на территории предприятия и т.п., то глубина  $D_3$  мала (1, 3, 10 м) и определяется наличием в земле контура заземления, различных металлических конструкций. В остальных случаях  $D_3$  зависит от сопротивления грунта  $\rho_3$  (10, 100, 1000  $Ом \cdot м$ ). Из-за этого на рис. 4 указаны одновременно и значения глубины  $D_3$ , и сопротивления  $\rho_3$ .

При одностороннем заземлении экранов для произвольных тока жилы и длины кабеля напряжение на разземлённом конце экрана может быть найдено как:

$$U_3 = U_3^{PNC} \cdot \frac{I_{ж}}{1000} \cdot \frac{L_K}{1000}, \quad (5)$$

где в нормальном режиме или при внешнем трёхфазном коротком замыкании сети надо использовать данные рис. 3, а при внешнем однофазном коротком замыкании сети – данные рис. 4.

При транспозиции экранов, имеющей  $N$  полных циклов, напряжение в узле транспозиции может быть найдено как:

$$U_3 = \frac{U_3^{PNC}}{3N} \cdot \frac{I_{ж}}{1000} \cdot \frac{L_K}{1000}, \quad (6)$$

где всегда надо использовать данные рис. 3, поскольку для транспозиции экранов однофазное короткое замыкание сети не является расчётным случаем [1].

Полученное в результате расчётов напряжение на экране  $U_3$  не должно быть более допустимых для оболочки кабеля значений, которые составляют по [1, 2]:

- в нормальном режиме – 100 В;
- при коротком замыкании в сети – 5000 В (этот критерий является определяющим).

### ПРИМЕР ВЫБОРА СХЕМЫ И МОНТАЖА ОДНОСТОРОННЕГО ЗАЗЕМЛЕНИЯ ЭКРАНОВ

#### Выбор схемы

Кабельная линия 110 кВ длиной  $L_K = 600$  м с медной жилой  $F_{ж} = 800$  мм<sup>2</sup> и медным экраном  $F_3 = 240$  мм<sup>2</sup> проложена сомкнутым треугольником.

Ток нормального режима  $I_{ж} = 1000$  А, ток трёхфазного короткого замыкания 38 кА, ток однофазного короткого замыкания 42 кА.

Требуется выбрать оптимальную схему заземления экранов.

Для кабеля 110 кВ 800/240 по каталогу диаметр  $d = 80$  мм. При типовой толщине оболочки  $\Delta_{об} = 5$  мм находим диаметр экрана  $d_3 = d - 2\Delta_{об} = 70$  мм. При прокладке треугольником  $d_{AB} = d_{BC} = d_{AC} = d$ , тогда среднее расстояние между осями фаз:

$s = \sqrt[3]{d_{AB} \cdot d_{BC} \cdot d_{AC}} = d = 80$  мм. Отношение  $s/d_3 = 80/70 = 1,14$ .

Согласно рис. 2 при  $s/d_3 = 1,14$  и  $F_3 = 240$  мм<sup>2</sup> имеем  $I_3/I_{ж} = 0,5$ .

По (1), (2) находим относительные потери и пропускную способность:

$$\frac{P_3}{P_{ж}} = \left(\frac{I_3}{I_{ж}}\right)^2 \cdot \frac{\rho_3}{\rho_{ж}} \cdot \frac{F_{ж}}{F_3} = 0,5^2 \cdot \frac{2 \cdot 10^{-8}}{2 \cdot 10^{-8}} \cdot \frac{800}{240} = 0,83 \text{ о.е.};$$

$$K_{и} = \frac{1}{\sqrt{1 + P_3/P_{ж}}} = \frac{1}{\sqrt{1 + 0,83}} = 0,74 \text{ о.е. (74\%)}$$

По (3), (4) находим потери в экранах и их стоимость:

$$P_{ж} = I_{ж}^2 \cdot (R_{ж}^* \cdot L_K) = 1000^2 \cdot \left(\frac{2 \cdot 10^{-8}}{800 \cdot 10^{-6}} \cdot 600\right) = 15 \cdot 10^3 \text{ Вт};$$

$$P_3 = (P_3/P_{ж}) \cdot P_{ж} = 0,83 \cdot (15 \cdot 10^3) = 12,5 \cdot 10^3 \text{ Вт};$$

$$W_{1200} = \frac{3P_3}{1000} \cdot 8760 = \frac{3 \cdot (12,5 \cdot 10^3)}{1000} \cdot 8760 = 330 \cdot 10^3 \text{ (кВт} \cdot \text{ч)/год};$$

$$C_{1200} = W_{1200} \cdot C = (330 \cdot 10^3) \cdot 1 = 330 \cdot 10^3 \text{ руб./год},$$

где цена потерь принята равной  $C = 1$  руб./кВтч.

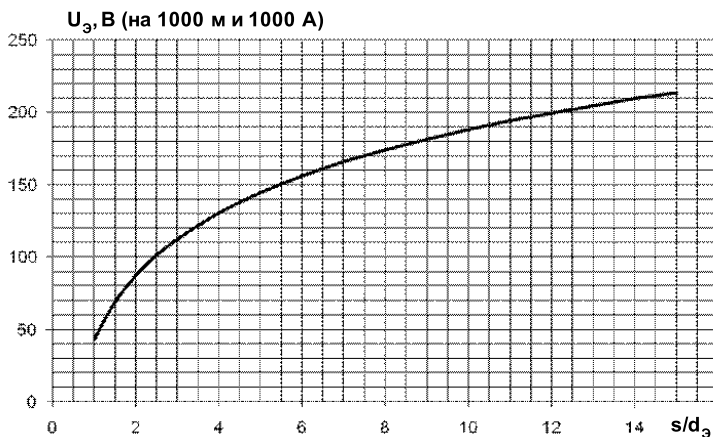
Из расчётов следует, что при заземлении экранов с двух сторон пропускная способность кабеля может быть использована лишь на 74% от своего предельного значения, а стоимость потерь мощности в экранах составляет 330 тыс. руб. в год. Очевидно, что такая схема заземления невыгодна и недопустима.

Рассмотрим одностороннее заземление экранов. Сравнивая рис. 3 и 4, видно, что наведённое напряжение при однофазном коротком замыкании больше, чем при трёхфазном. Согласно рис. 4 при типовом удельном сопротивлении грунта  $\rho_3 = 100$   $Ом \cdot м$  и диаметре экрана  $d_3 = 70$  мм наводимое на экран напряжение составляет  $U_3^{PNC} = 650$  В на 1000 А и 1000 м.

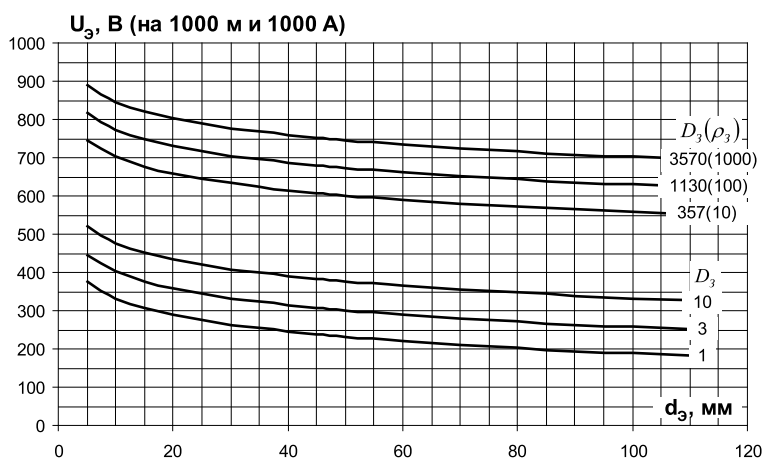
По формуле (5) при токе однофазного короткого замыкания 42 кА находим напряжение на экране:

$$U_3 = U_3^{PNC} \cdot \frac{I_{ж}}{1000} \cdot \frac{L_K}{1000} = 650 \cdot \frac{42000}{1000} \cdot \frac{600}{1000} = 16380 \text{ В},$$

**Рис. 3. Напряжение на экране кабеля 6–500 кВ относительно земли для кабеля длиной 1000 м при токе жилы 1000 А в зависимости от соотношения  $s/d_3$**



**Рис. 4. Напряжение на экране кабеля 6–500 кВ относительно земли для кабеля длиной 1000 м при токе жилы 1000 А в зависимости от диаметра экрана  $d_3$  и глубины  $D_3$**



которое оказалось значительно больше допустимого значения в 5000 В.

Если при одностороннем заземлении экранов в сети с заземлённой нейтралью 110–500 кВ в результате расчётов по формуле (5) напряжение экран-земля окажется больше допустимого значения 5 кВ, то можно предусмотреть прокладку вдоль кабеля специальной за-

землённой по концам медной шины. В [3] показано, что эффект от её использования основан на снижении закладываемой в расчёты величины  $D_3$ , что согласно рис. 4 приведёт к уменьшению наводимого напряжения.

Например, в соответствии с рис. 4 при глубине  $D_3 = 1$  м и диаметре экрана  $d_3 = 70$  мм наводимое напряжение составляет  $U_э^{ПИС} = 200$  В на 1000 А и 1000 м.

По формуле (5) при токе однофазного короткого замыкания 42 кА находим напряжение на экране:

$$U_э = U_э^{ПИС} \cdot \frac{I_{Ж}}{1000} \cdot \frac{L_K}{1000} =$$

$$200 \cdot \frac{42000}{1000} \cdot \frac{600}{1000} = 5040 \text{ В,}$$

которое уже допустимо.

Итак, для рассматриваемой кабельной линии 110 кВ 800/240 принимаем одностороннее заземление экранов. Вдоль кабеля на расстоянии не более 1 м от него должна быть проложена медная проводящая шина, заземлённая по концам.

На незаземлённом конце экрана для защиты оболочки кабеля от импульсных перенапряжений между экраном и землёй должны быть установлены ОПН класса напряжения 6 кВ, как это было показано в [1, 4].

#### Монтаж схемы

На том конце кабеля, где экраны разземлены, для размещения экранных ОПН предусматривают специальную трёхфазную концевую коробку (КК/ОПН). Для удобства монтажа и обслуживания кабельной линии на противоположном её конце (где экраны имеют глухое заземление без ОПН) также устанавливают концевую коробку (КК), не имеющую ОПН и называемую коробкой заземления.

На каждом из концов силового кабеля экраны выводятся из концевой муфты при помощи провода соединительного с полиэтиленовой изоляцией (ППС) и далее заходят в коробку КК/ОПН, где присоединяются к ОПН, или в коробку КК, где присоединяются к шине, смонтированной на опорных изоляторах и заземляемой отдельным (уже четвёртым) проводом ППС.



Рис. 5

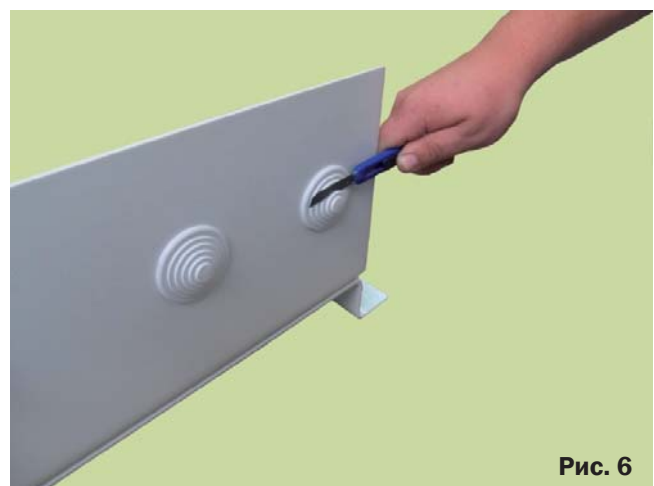


Рис. 6



Рис. 7



Рис. 8



Рис. 9



Рис. 10

Провод ППС имеет такую же прочность, как оболочка силового кабеля (класс изоляции 6 кВ), а его сечение принимается равным сечению экрана силового кабеля (в данном примере — 240 мм<sup>2</sup>).

В качестве примера рассмотрим монтаж коробки КК без ОПН (рис. 5–10):

- рис. 5 — снять крышку с коробки и установить коробку на место эксплуатации;
- рис. 6 — на нижней панели ножом срезать силиконовый сальник на диаметр, который соответствует диаметру провода ППС;
- рис. 7 — разделить ППС в соответствии с размерами наконечников, идущих в комплекте с коробкой;
- рис. 8 — надеть на ППС термоусаживаемую трубку (ТУТ), далее обжать наконечник на разделанном конце провода ППС;

- рис. 9 — надеть наконечник на шпильку ОПН и закрепить гайкой, после чего подвергнуть трубку ТУТ термоусадке термопистолетом или газовой горелкой;
- рис. 10 — выполнить операции, показанные на рис. 6–9, для остальных проводов ППС и далее закрыть коробку крышкой.

### ПРИМЕР ВЫБОРА СХЕМЫ И МОНТАЖА ТРАНСПОЗИЦИИ ЭКРАНОВ

#### Выбор схемы

Кабельная линия 10 кВ длиной  $L_K = 6000$  м с медной жилой  $F_{ж} = 630$  мм<sup>2</sup> и медным экраном  $F_3 = 95$  мм<sup>2</sup> проложена сомкнутым треугольником.

Ток нормального режима  $I_{ж} = 700$  А, ток трёхфазного короткого замыкания 20 кА, ток однофазного замыкания на землю неважен, так как не влияет на расчёты.

Требуется выбрать оптимальную схему заземления экранов.

Для кабеля 10 кВ 630/95 по каталогу диаметр  $d = 50$  мм. При типовой толщине оболочки  $\Delta_{об} = 5$  мм находим диаметр экрана  $d_3 = d - 2\Delta_{об} = 40$  мм.

При прокладке треугольником  $d_{AB} = d_{BC} = d_{AC} = d$ , тогда среднее расстояние между осями фаз  $s = \sqrt[3]{d_{AB} \cdot d_{BC} \cdot d_{AC}} = d = 50$  мм. Отношение  $s/d_3 = 50/40 = 1,25$ .

Согласно рис. 2 при  $s/d_3 = 1,25$  и  $F_3 = 95$  мм<sup>2</sup> имеем  $I_3/I_{ж} = 0,25$ .

По формулам (1), (2) находим относительные потери и пропускную способность:

$$\frac{P_3}{P_{ж}} = \left(\frac{I_3}{I_{ж}}\right)^2 \cdot \frac{\rho_3}{\rho_{ж}} \cdot \frac{F_{ж}}{F_3} = 0,25^2 \cdot \frac{2 \cdot 10^{-8}}{2 \cdot 10^{-8}} \cdot \frac{630}{95} = 0,41 \text{ о.е.};$$

$$K_{И} = \frac{1}{\sqrt{1 + P_3/P_{ж}}} = \frac{1}{\sqrt{1 + 0,41}} = 0,84 \text{ о.е. (84%).}$$

По формулам (3), (4) находим потери в экранах и их стоимость:

$$P_{ж} = I_{ж}^2 \cdot (R_{ж}^* \cdot L_K) = 700^2 \cdot \left(\frac{2 \cdot 10^{-8}}{630 \cdot 10^{-6}} \cdot 6000\right) = 93 \cdot 10^3 \text{ Вт};$$

$$P_3 = (P_3/P_{ж}) \cdot P_{ж} = 0,41 \cdot (93 \cdot 10^3) = 38 \cdot 10^3 \text{ Вт};$$

$$W_{1год} = \frac{3P_3}{1000} \cdot 8760 = \frac{3 \cdot (38 \cdot 10^3)}{1000} \cdot 8760 = 990 \cdot 10^3 \text{ (кВт}\cdot\text{ч)/год};$$

$$C_{1год} = W_{1год} \cdot C = (990 \cdot 10^3) \cdot 1 = 990 \cdot 10^3 \text{ руб./год},$$

где цена потерь принята равной  $C = 1$  руб./кВт·ч.

Из расчётов следует, что при заземлении экранов с двух сторон пропускная способность кабеля может быть использована лишь на 84% от своего предельного значения, а годовая стоимость потерь мощности в экранах составляет 990 тысяч рублей в год. Очевидно, что такая схема заземления невыгодна и недопустима.

Заранее ясно, что для линии длиной 6000 м одно-стороннее заземление экранов не подойдёт. Поэтому рассмотрим один полный цикл транспозиции экранов  $N = 1$ .

В сетях 6–35 кВ с изолированной нейтралью при определении напряжения на экране расчётным является трёхфазное короткое замыкание. Согласно рис. 3 при  $s/d_3 = 1,25$  наводимое напряжение составляет  $U_3^{PIS} = 50$  В на 1000 А и 1000 м.

По (6) при токе однофазного короткого замыкания 20 кА находим напряжение на экране:

$$U_3 = \frac{U_3^{PIS}}{3N} \cdot \frac{I_{ж}}{1000} \cdot \frac{L_K}{1000} = \frac{50}{3 \cdot 1} \cdot \frac{20000}{1000} \cdot \frac{6000}{1000} = 2000 \text{ В},$$

которое меньше допустимого значения в 5000 В (если бы напряжение оказалось больше допустимого, то следовало бы повторить расчёты уже для  $N = 2, 3...$ ).

Итак, для рассматриваемой кабельной линии 10 кВ 630/95 принимаем один полный цикл транспозиции экранов  $N = 1$ . Если не будет возможности разместить пункты транспозиции экранов на отметках 1/3 и 2/3 трассы кабеля, то тогда надо провести расчёты с помощью методики [5] на те условия транспозиции, которые реализуемы.

В узлах транспозиции экранов для защиты оболочки кабеля от импульсных перенапряжений между экраном и землёй должны быть установлены ОПН класса напряжения 6 кВ, как это было показано в [1, 4].

#### Монтаж схемы

Для размещения ОПН в узлах транспозиции предусматривают специальную коробку транспозиции (КТ/ОПН), устанавливаемую в так называемом колодце транспозиции (как правило, это железобетонный колодец типа ККС-5). Экраны силового кабеля выводятся из



Рис. 11



Рис. 12

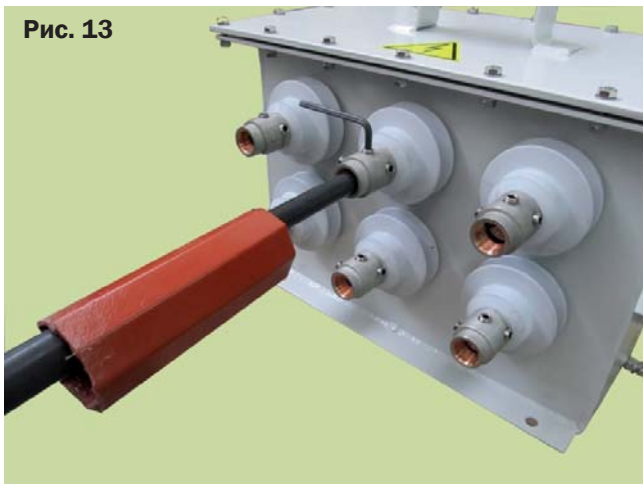


Рис. 13



Рис. 14

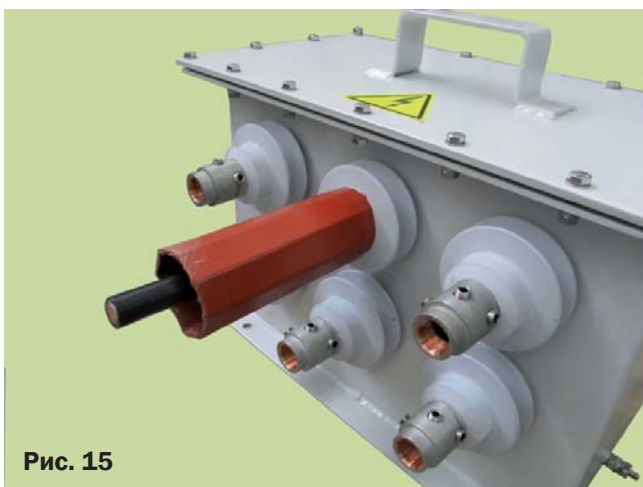


Рис. 15



Рис. 16



Рис. 17



Рис. 18

транспозиционных муфт фаз А, В, С кабеля при помощи проводов соединительных с полиэтиленовой изоляцией (ППС) и далее заходят в КТ/ОПН, где присоединяются к ОПН.

Провод ППС имеет такую же прочность, как оболочка силового кабеля (класс изоляции 6 кВ), а его сечение принимается равным сечению экрана силового кабеля (в данном примере — 95 мм<sup>2</sup>).

Последовательность монтажа коробки транспозиции, которая не требует её открытия и нарушения герметичности, следующая (рис. 11–18):

- рис. 11 — подготовить коробку к монтажу (установить в колодце транспозиции);
- рис. 12 — разделить провод ППС, сняв с него изоляцию на необходимую длину, затем одеть термоусаживаемую трубку «термофит»;
- рис. 13 — защищённый конец ППС вставить в проходной изолятор и затянуть винты при помощи торцевого ключа-шестигранника;
- рис. 14 — обмотать провод ППС при помощи «скотча 23» в два слоя, начиная от юбки проходного изолятора;
- рис. 15 — надвинуть термоусаживаемую трубку «термофит» на юбку проходного изолятора до упора;
- рис. 16 — выполнить термоусадку трубки «термофит» при помощи термопистолета или газовой горелки, начиная от юбки проходного изолятора;
- рис. 17 — завершить термоусадку;

- рис. 18 — выполнить операции, показанные на рис. 12–17, для остальных проводов ППС и далее закрыть крышку колодца транспозиции.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

За последние годы специалистами отрасли проделана большая работа, которая позволила создать всё необходимое для обоснованного выбора и практической реализации оптимальных схем соединения и заземления экранов трёхфазных групп однофазных силовых кабелей 6–500 кВ.

Выбор схемы заземления экранов можно провести при помощи приведённых в статье обобщающих зависимостей или в программе ЭКРАН.

На незаземлённом конце экрана или в узлах транспозиции для защиты оболочки кабеля от импульсных перенапряжений следует устанавливать ОПН класса 6 кВ. Установка ОПН класса 3 кВ недопустима.

Размещение ОПН удобно производить в специальных быстромонтируемых концевых кабельных коробках КК/ОПН или в коробках транспозиции КТ/ОПН.

Вывод экранов силового кабеля из муфт и его присоединение к ОПН удобно выполнять при помощи соединительного провода с полиэтиленовой изоляцией ППС класса 6(10) кВ, сечение жилы которого равно сечению

экрана силового кабеля. Соединение муфт с ОПН проводами класса 0,4; 1,5; 3 кВ недопустимо.

Автор благодарит М.Ю. Гангрского (ООО «ЗЭУ-кабель») за помощь в подготовке материала.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Дмитриев М.В. Заземление экранов однофазных силовых кабелей 6–500 кВ.—СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2010. —152 с.
2. СТО 56947007-29.060.20.103-2011. Силовые кабели. Методика расчёта устройств заземления экранов, защиты от перенапряжений изоляции силовых кабелей на напряжение 110–500 кВ с изоляцией из сшитого полиэтилена.
3. Дмитриев М.В., Кияткина М.Р. Эффективность применения металлической шины, параллельной однофазным кабелям. // Энергетик, № 6, 2012, с. 20–22.
4. Дмитриев М.В. Перенапряжения на изоляции экранов однофазных силовых кабелей 6–500 кВ и защита от них. // КАБЕЛЬ-news, № 11, ноябрь 2008, с. 56–62.
5. Дмитриев М.В., Кияткина М.Р. Транспозиция экранов кабелей 6–500 кВ. Практические аспекты использования // Новости Электротехники, № 2(74), 2012, с. 80–84.



В ООО «КАБЕЛЬ» — издатель и учредитель журнала «ЭЛЕКТРОЭНЕРГИЯ. Передача и распределение» вышла из печати книга академика РАЕН, профессора Владимира Абрамовича Непомнящего

## «НАДЁЖНОСТЬ ОБОРУДОВАНИЯ ЭНЕРГОСИСТЕМ»

В монографии исследована надёжность оборудования электростанций и электрических сетей напряжением 1150–10(6) кВ, разработана методика сбора и статистической обработки информации о надёжности оборудования. На основе статистических данных и расчётов определены основные параметры надёжности и динамика их изменения в процессе эксплуатации. Выявлены статистические законы распределения отказов и времени восстановления элементов энергосистем. Проведено их сравнение с зарубежными данными.

Тираж книги 5 000 экз.,  
объём 196 с., формат 170 x 235 мм.  
Для приобретения издания  
необходимо позвонить по  
многоканальному телефону  
+7 (495) 645-12-21 или написать по  
e-mail: info@eepr.ru.