

УДК 621.311

СПОСОБЫ СОЕДИНЕНИЯ ЭКРАНОВ КАБЕЛЕЙ С ИЗОЛЯЦИЕЙ ИЗ СШИТОГО ПОЛИЭТИЛЕНА

Угаров М.С.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Радкевич В.Н.

Проектирование электрических сетей напряжением 6-500 кВ с применением кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена (СПЭ) сопряжено с рядом трудностей, когда трехфазные линии электропередачи формируются однофазными кабелями. Главная проблема – отсутствие четких методик и нормативных документов по выбору сечения экранов, способа соединения и заземления экранов. Также эти трудности вызваны отсутствием необходимого оборудования для реализации определенных систем соединения экранов, а именно – концевых коробок с ограничителями перенапряжения (ОПН) и коробок транспозиции с ОПН отечественного производства. Тем не менее, некоторый опыт разработки и эксплуатации кабельных сетей, выполненных кабелями с изоляцией из сшитого полиэтилена, а особенно результаты исследований [1, 2], позволяют сформулировать рекомендации, которые могут сделать проектирование таких сетей более простым и определенным.

Основное предназначение экрана – выравнивание электрического поля, воздействующего на изоляцию жилы. Экраны выполняются из меди, жилы – из меди или алюминия. Конструкция одножильного кабеля с изоляцией из СПЭ в упрощенном виде представлена на рис. 1. В экране, заземленном с обоих концов (рис.2), протекают три вида токов: токи смещения, вихревые токи (токи Фуко) – величиной в несколько ампер, и токи, текущие вдоль экрана, вызванные взаимной индуктивностью жилы и экрана – величиной десятки или сотни ампер в нормальном режиме.

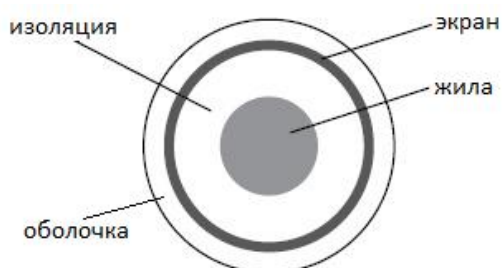


Рисунок 1. Конструкция однофазного кабеля

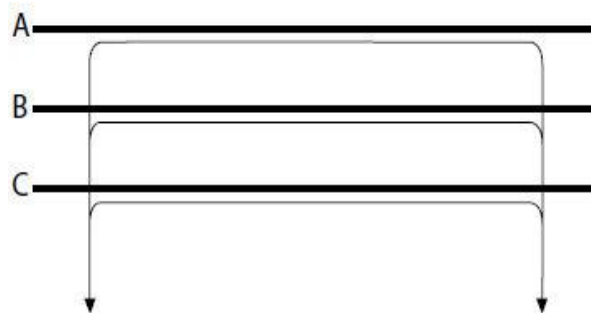


Рисунок 2. Заземление экранов с двух концов

При прокладке одножильные кабели могут располагаться в плоскости (рис. 3) или треугольником (рис.4). В расчетах используется среднее геометрическое расстояние между центрами токоведущих жил s , для каждого типа способа прокладки определяемое по своей формуле [3]. Следует отметить, что от значения s зависит отношение потерь мощности в экране к потерям в жиле, что будет показано далее.

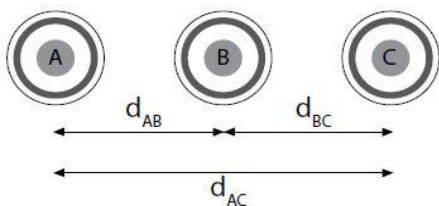


Рисунок 3. Расположение кабелей в ряд

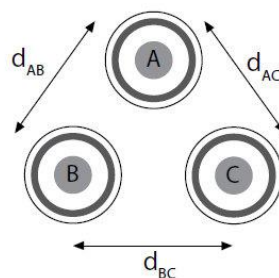


Рисунок 4. Расположение кабелей треугольником

Для способа, показанного на рис. 3:

$$s = \sqrt[3]{2} \cdot d_{AB} \tag{1}$$

Для способа, показанного на рис. 4:

$$s = d_{AB} = d_{BC} = d_{AC} \tag{2}$$

В [2] показано, что отношение потерь мощности в экране $P_Э$ к потерям в жиле $P_Ж$ для случая заземления экрана по концам кабеля (рис.2) независимо от его длины равно

$$\frac{P_Э}{P_Ж} = \frac{R_Э / R_Ж}{(1 + \frac{R_Э^2}{X^2})} \tag{3}$$

где $R_Э$ - активное сопротивление экрана, Ом;

$R_Ж$ - активное сопротивление жилы, Ом;

X - взаимное индуктивное сопротивление между жилой и экраном, Ом, определяемое по формуле:

$$X \approx \omega L_K \frac{\mu_0}{2\pi} \ln\left(\frac{2s}{d_Э}\right) \tag{4}$$

где ω - круговая частота переменного напряжения, с⁻¹;

L_K - взаимная индуктивность между жилой и экраном, Гн

s - среднее расстояние между осями соседних фаз кабеля, м;

μ_0 - магнитная проницаемость вакуума, $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м;

$d_Э$ - средний диаметр экрана кабеля, м.

Диаметр экрана $d_Э$ можно выразить так: $d_Э = d - 2\Delta_{об}$,

где d - внешний диаметр кабеля по каталогу, м;

$\Delta_{об}$ - толщина оболочки экрана, для кабелей 6-220 кВ составляет около (0,005-0,006) м.

В идеальном случае отношение (3) должно стремиться к нулю, что по понятным причинам невозможно. Это отношение позволяет оценить вклад паразитных потерь экранов в нагрев кабеля и является важным критерием при проектировании кабельных линий электропередачи. При расчете данного критерия следует учитывать, что экран кабеля выполняется из меди, а жила - из меди или алюминия. Кроме того, видно, что это отношение будет минимальным при наименьшем возможном X , то есть при наименьшем возможном отношении $s/d_Э$ при прокладке кабелей сомкнутым треугольником. Следует учитывать, что ввиду электродинамических усилий нужно прочно скреплять кабели, проложенные сомкнутым треугольником, немагнитными хомутами, лентами, стяжками и скобами с шагом 1-1,5 м.

Согласно [2] следует, что удовлетворительное отношение $P_Э / P_Ж = 0,1...0,2$ возможно для кабелей с жилами сечением до 400 мм² и сечением экрана до 50 мм², проложенных сомкнутым треугольником. В других случаях приходится значительно снижать токи в экранах, что возможно при разземлении экранов на одном из концов (рис. 5) и транспозиции экранов (рис. 6).

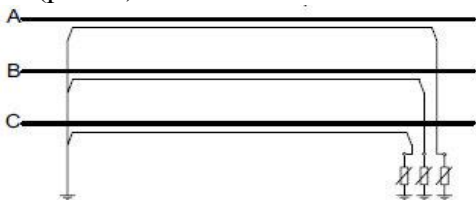


Рисунок 5. Разземление экранов

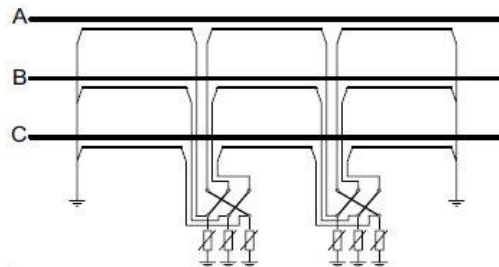


Рисунок 6. Транспозиция экранов

Ранее применению таких схем соединения экранов препятствовало отсутствие коробок (ящиков) разземления экранов (концевых коробок) и коробок (ящиков) транспозиции экранов соответственно. Эти электромонтажные коробки можно было приобрести лишь с кабельной продукцией зарубежных изготовителей. В последнее время такое оборудование стало выпускаться и в России.



Рисунок 7. Коробка транспозиции экранов

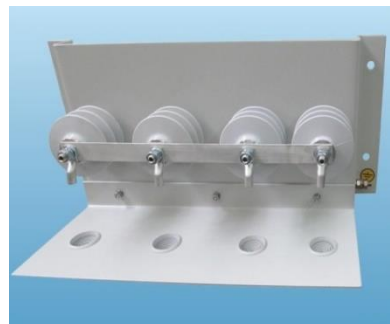


Рисунок 8. Коробка концевая с ОПН

Для обеспечения термической стойкости экранов к токам короткого замыкания (КЗ) необходимо повышать сечение, а, следовательно, уменьшать сопротивление экрана, что приведет к большей величине токов и потерь в экранах. Поэтому в сетях с глухо- и эффективно-заземленной нейтралью напряжением выше 110 кВ применять заземление с двух концов неэффективно, а рациональным решением будет разземление экранов для высоковольтных кабелей небольшой длины и их транспозиция для высоковольтных кабелей значительной длины [1].

Обычно в сетях рассматриваются короткие замыкания вида К(1) - однофазное, К(1,1) – двойное на землю, К(2) – двухфазное, К(3) - трехфазное. Однофазное КЗ вида К(1) является расчетным для сетей напряжение 110 кВ и выше, в сетях до 35 кВ расчетное – К(1,1). Выбор сечений экранов по этим видам КЗ приводит к тому, что для сетей с изолированной нейтралью принимают экраны сечением не менее 70 мм², а для сетей с заземленной нейтралью – экраны сечением не менее 185 мм². Ясно, что по условию (3) такие сечения не могут быть применены при заземлении экранов с двух сторон. В электрических сетях напряжением 6-35 кВ использование транспозиции или разземления не всегда экономически целесообразно. Применение экранов до 50 мм² становится возможным при уменьшении величины токов КЗ путем заземления нейтрали такой сети для определения и отключения однофазных повреждений (что не позволит им развиваться в многофазные) или путем уменьшения величины тока КЗ вида К(1,1).

В Беларуси ведется работа по созданию нормативной документации по проектированию сетей с кабелями с изоляцией из СПЭ. При проектировании кабельных сетей некоторые проектировщики пользуются компьютерной программой «ЭКРАН» российской разработки [1].

Выводы

1. В электрических сетях напряжением 6-500 кВ одножильные кабели рекомендуется прокладывать только сомкнутым треугольником, скрепляя их немагнитными хомутами, лентами, стяжками и скобами с шагом 1-1,5 м, а на изгибах трассы – с шагом не более 1 м.

2. В сетях напряжением 6-35 кВ сечение экрана необходимо выбирать в соответствии с рекомендациями изготовителей. Расчет сечения экрана с учетом их заземления с двух концов (рис.1) производить по току двойного замыкания на землю, так как наибольшие токи двойного замыкания на землю возникают, когда оба повреждения в сети находятся вблизи друг от друга и вблизи от центра питания (сборных шин). В такой ситуации величины токов двойного замыкания на землю сопоставимы с токами трехфазного КЗ. Именно поэтому в сетях 6-35 кВ иногда при выборе сечения экрана оперируют токами трехфазного короткого замыкания, хотя на самом деле повреждение трех фаз кабеля маловероятно. При

экономической нецелесообразности применения транспозиции экранов в сетях 6-35 кВ рекомендуется принимать сечение экранов до 50 мм² и сечение жил до 400 мм² при обязательном условии ограничения токов двойного замыкания на землю вида К(1,1) до допустимых по термической стойкости (т.е. 10,1 кА);

3. В сетях напряжением 110-500 кВ выбор сечения экрана по термической стойкости следует производить по току однофазного КЗ вида К(1); Для кабельных линий небольшой длины целесообразно применять заземление экранов с одной стороны по условию допустимого напряжения на незаземленном конце кабеля (рис.5). При значительной длине кабельной линии рекомендуется заземлять экраны с двух концов с обязательной транспозицией экранов (рис.6).

Литература

1. Дмитриев, М.В. Выбор сечения экранов однофазных силовых кабелей / М.В. Дмитриев // КАБЕЛЬ-news. – 2009. - №5. – с. 68-73.
2. Дмитриев, М.В. Заземление экранов однофазных силовых кабелей 6-500 кВ / М.В. Дмитриев. - СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2010. – 154 с.
3. ГОСТ Р МЭК 60287-1-1-2009. Кабели электрические. Вычисление номинальной токовой нагрузки. Часть 1-1. Уравнения для расчета номинальной токовой нагрузки (100 %-ный коэффициент нагрузки) и расчет потерь. Общие положения – М.: Стандартинформ. – 24 с.