

УДК 621.315.2

ВЫБОР ЭКРАНОВ КАБЕЛЕЙ С ИЗОЛЯЦИЕЙ ИЗ СШИТОГО ПОЛИЭТИЛЕНА

Алехнович Д.С., Угаров М.С.

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

Кабели с изоляцией из сшитого полиэтилена (СПЭ), имеющие ряд преимуществ по сравнению с кабелями с бумажной пропитанной изоляцией, начиная с 80-х годов XX века, применяются в электрических сетях напряжением 6-10 кВ и выше городов и промышленных предприятий Беларуси. Как известно, трехфазная линия электропередачи может быть выполнена одним трехжильным кабелем или тремя одножильными. Линия, выполненная трехжильным кабелем, требует меньших затрат на сооружение и эксплуатацию. Поэтому в распределительных сетях напряжением 6-10 кВ, как правило, применяются трехжильные кабели. Однако трехжильные кабели могут иметь сечение токопроводящих жил до 300 мм², что ограничивает их пропускную способность. Питающие линии промышленных предприятий, имеющие большие токи нагрузки, могут выполняться спаренными трехжильными или одножильными кабелями. Одножильные кабели с изоляцией из сшитого полиэтилена выпускаются в Беларуси и России с сечением токопроводящих жил до 800 мм², а в зарубежных странах – до 2000 мм². Такие кабели обеспечивают высокую пропускную способность линии электропередачи. Конструктивное исполнение одножильного кабеля с изоляцией из СПЭ показано на рисунке 1.

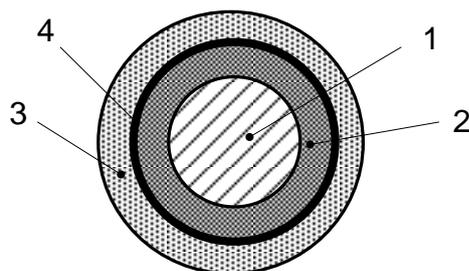


Рисунок 1- Конструкция одножильного кабеля с изоляцией из сшитого полиэтилена:
1-токопроводящая жила; 2 – изоляция жилы; 3 – защитная оболочка; 4 - экран

Токопроводящая жила кабеля 1 может быть алюминиевой или медной, изоляция жилы 2 – из СПЭ, оболочка 3 – из полиэтилена или поливинилхлоридного пластика. У одножильного кабеля с полимерной изоляцией на напряжение выше 1 кВ наряду с токоведущей жилой имеется экран 4 из медных проволок и (или) лент.

Кроме металлического экрана в одножильном кабеле есть еще два так называемых полупроводящих экрана. Один из них наносится на внешнюю поверхность токопроводящей жилы, а второй – поверх слоя фазной изоляции кабеля. Полупроводящие экраны осуществляют локальное выравнивание напряженности электрического поля на неровных поверхностях многопроволочной токопроводящей жилы и металлического экрана [1].

Одной из основных функций металлического экрана является выравнивание электрического поля внутри кабеля, вызывающего старение полимерной фазной изоляции. Однако выравнивание поля возможно только при заземлении экрана. Поэтому при выборе кабеля необходимо не только определять площади сечения токопроводящей жилы и экрана, но и принимать решения по схемам соединения и заземления экранов в трехфазных электрических сетях.

Трехфазная линия электропередачи, состоящая из одножильных кабелей, представляет собой систему из трех изолированных проводников, расположенных по вершинам равностороннего треугольника или в одной плоскости. На рисунке 2 показано возможное расположение при прокладке трех одножильных кабелей, имеющих внешний диаметр d .

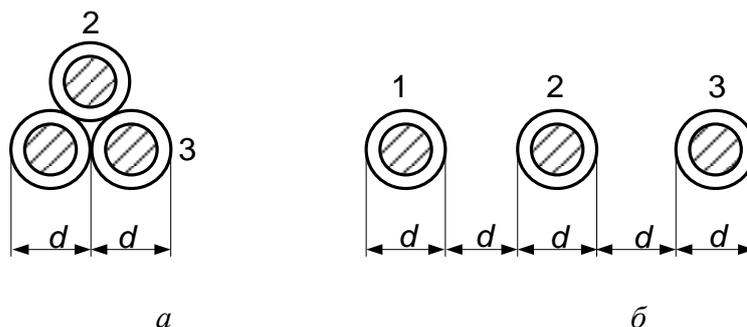


Рисунок 2-Расположение одножильных кабелей при прокладке:
a- по вершинам равностороннего треугольника; *б*- в одной плоскости

В случае расположения кабелей по вершинам равностороннего треугольника линия имеет меньшие габариты и одинаковые сопротивления жил. Однако при такой схеме несколько ухудшаются условия охлаждения кабелей, что снижает длительно допустимые по нагреву токи. Тем не менее, такое расположение одножильных кабелей наиболее часто применяется при сооружении трехфазной линии электропередачи в системах электроснабжения.

При проектировании систем электроснабжения, как правило, применяют заземление экранов в двух точках по концам линии (рисунок 3) [2]. В первую очередь это связано с наличием заземляющих устройств на источниках питания (ИП) и в пунктах приема электроэнергии. В то же время существуют и другие схемы заземления экранов одножильных кабелей, применяемых в трехфазных электрических сетях напряжением выше 1 кВ [1,3].

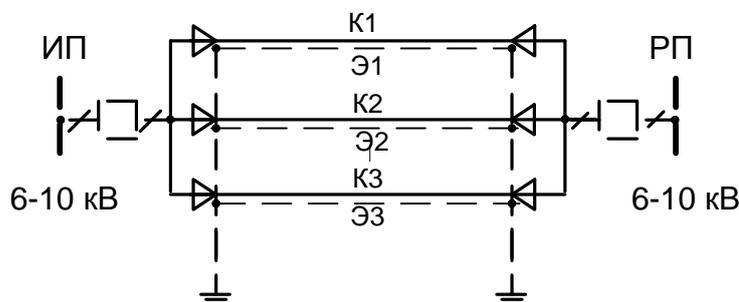


Рисунок 3- Схема заземления экранов по концам кабелей:
 ИП – источник питания; РП – распределительный пункт;
 К1, К2, К3-кабели; Э1, Э2, Э3- экраны кабелей

Экран выполняет важную защитную функцию в рабочем и аварийном режимах. При протекании переменного тока по токопроводящей жиле одножильного кабеля в экране индуцируется ЭДС. При однофазном замыкании на землю (ОЗЗ) в электрических сетях с изолированной нейтралью напряжением 6 – 35 кВ по экрану протекает ток ОЗЗ. Поэтому экран должен рассчитываться на протекание максимальное значение такого тока на время, необходимое для устранения ОЗЗ.

Однако в соответствии с инструкциями производителей кабелей площадь сечения экрана выбирается только по току короткого замыкания (КЗ). В руководствах по применению кабелей даются минимальные сведения по выбору сечений токопроводящих жил в виде конечных расчетных формул без пояснений [4]. Поэтому целесообразно рассмотреть методику выбора сечения экрана по условию термической стойкости более подробно.

При токе короткого замыкания I_k за время t (с момента возникновения аномального режима до отключения линии релейной защитой) в одном метре экрана одножильного

кабеля в соответствии с законом Джоуля-Ленца выделяется количество теплоты, определяемое по формуле

$$Q = I_k^2 \cdot R_s \cdot t, \quad (1)$$

где R_s - активное сопротивление медного экрана кабеля, Ом, значение которого вычисляется по выражению

$$R_s = \rho_s / F_s, \quad (2)$$

где ρ_s - удельное активное сопротивление проводникового материала, из которого сделан экран, Ом/(мм²·м);

F_s - площадь поперечного сечения экрана, мм².

С учетом (2) выражение (1) запишем как

$$Q = I_k^2 \cdot \rho_s \cdot t / F_s. \quad (3)$$

Из формулы (3) выразим значение тока КЗ

$$I_k = \sqrt{\frac{Q \cdot F_s}{\rho_s \cdot t}}. \quad (4)$$

Для экранов, как и для токопроводящих жил кабелей, производителями устанавливаются допустимые односекундные токи КЗ, которые определяются по формуле

$$I_{к1с} = \sqrt{\frac{Q_{дон} \cdot F_s}{\rho_s}}, \quad (5)$$

где $Q_{дон}$ - допустимое количество теплоты, выделяемой в экране в течение 1 с, не вызывающее тепловое старение и повреждение экрана.

Значения допустимых односекундных токов КЗ для медных экранов, рассчитанных исходя из конечной температуры экрана 350 °С, приведены в таблице 1 [4].

Таблица 1-Допустимые односекундные токи КЗ в медных экранах

Площадь сечения экрана, мм ²	Допустимый односекундный ток КЗ, кА
16	3,3
25	5,1
35	7,1
50	10,2
70	14,2
95	19,3
120	24,4

Длительность действия тока КЗ в реальных электрических сетях может быть разной. Однако тепловое воздействие на экран не должно превышать $Q_{дон}$. Тогда при условии $Q = Q_{дон}$ представим выражение (4) как

$$I_k = \sqrt{\frac{Q_{доп} \cdot F_э}{\rho_э}} \cdot \sqrt{\frac{1}{t}} . \quad (6)$$

Формулу (6) с учетом (5) запишем в виде

$$I_k = I_{к1с} \cdot \frac{1}{\sqrt{t}} . \quad (7)$$

Представим выражение (7) как

$$I_k = k \cdot I_{к1с} , \quad (8)$$

где k - поправочный коэффициент на допустимый односекундный ток КЗ, который учитывает фактическую продолжительность тока КЗ.

В соответствии с инструкциями производителей кабелей с изоляцией из СПЭ по термической стойкости сечение экрана выбирается по условию

$$k \cdot I_{к1с} \geq I_k . \quad (9)$$

Допустимый односекундный ток КЗ экрана кабеля можно определить по такой формуле:

$$I_{к1с} = A \cdot F_э , \quad (10)$$

где A - допустимая плотность тока в экране кабеля в течение 1 с, кА/мм².

Для медного экрана в расчетах принимают $A=0,203$ кА/мм². Тогда условие (9) можно записать в виде

$$0,203 \cdot k \cdot F_э \geq I_k / \quad (11)$$

Из условия (11) выразим площадь сечения экрана кабеля:

$$F_э \geq \frac{I_k}{0,203k} . \quad (12)$$

С учетом того, что $k=1/\sqrt{t}$, сечение экрана кабеля можно определить по формуле

$$F_э \geq \frac{I_k \cdot \sqrt{t}}{0,203} . \quad (13)$$

В соответствии с [5] при выборе экрана кабеля напряжением 6-10 кВ в качестве расчетного вида КЗ следует принимать одновременное замыкание на землю различных фаз в двух разных точках схемы (двойное замыкание на экран). В электрических сетях с изолированной, компенсированной и заземленной через высокоомный резистор нейтралью расчет по формулам (9), (12) и (13) производится по току двухфазного КЗ. Этот вычисляется по выражению

$$I_k = \frac{\sqrt{3}}{2} I_{к(3)} , \quad (14)$$

где $I_{к(3)}$ - ток трехфазного КЗ в расчетной точке, кА.

При двухстороннем заземлении экранов кабелей (рисунок 2) образуется электрический контур, замыкающийся через землю. В данном случае, из-за наличия электромагнитного поля в кабеле по экранам протекают токи, которые обуславливают потери мощности, передаваемой по кабелю. Эти потери меньше при расположении одножильных кабелей треугольником (рисунок 2, а).

Если не принять специальные меры, токи в экранах могут быть значительными и сопоставимыми с токами токопроводящих жил кабелей. При этом ток в экране кабеля возрастает при увеличении нагрузки линии.

В [1] приводится информация о токах линии напряжением 10 кВ, выполненной одножильными кабелями, имеющими сечения токопроводящих жил 500 мм^2 , а экранов – 95 мм^2 . При токе нагрузки в нормальном режиме 186 А ток в экране, полученный путем измерения, составлял 115 А, т.е. 61,8% рабочего тока линии. Увеличение тока кабельной линии до 700 А приводило к повышению тока в экранах до 430 А, что недопустимо для экрана сечением 95 мм^2 .

Большие токи в экранах могут вызывать повреждения и отказы одножильных кабелей и, как следствие, нарушения электроснабжения потребителей. Такие случаи имели место в системах электроснабжения крупных промышленных предприятий в разных странах, имеющих недостаточный опыт применения таких кабелей, в том числе и в Республике Беларусь. Многие кабельные линии, ранее введенные в эксплуатацию, для которых выбор экранов одножильных кабелей производился только по термической стойкости, работают только благодаря небольшой нагрузке в нормальных режимах.

Следовательно, при проектировании систем электроснабжения необходимо не только определять сечения экранов одножильных кабелей, но и выполнять другие электрические расчеты, учитывающие специфику выбора кабелей с изоляцией из СПЭ. Важно правильно выбрать способ соединения и заземления экранов, так как это существенно влияет на величину тока, потери мощности и электроэнергии в экране, напряжение на экране относительно земли и сопротивление токопроводящих жил кабеля [1].

Выводы

1. При проектировании и эксплуатации систем электроснабжения следует учитывать достоинства, недостатки и особенности кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена, уделять должное внимание схемам соединения и заземления экранов одножильных кабелей в трехфазных сетях.

2. Выбор сечений, схем соединения и заземления экранов одножильных кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена должен сопровождаться расчетами по определению индуктированных напряжений и токов, а также потерь мощности и электроэнергии в экранах.

Литература

1. Дмитриев, М.В. Заземление экранов однофазных силовых кабелей 6-500 кВ / М.В. Дмитриев. - СПб.: Изд-во Политехн. университета, 2010.-152 с.
2. Радкевич, В.Н. Электроснабжение промышленных предприятий. / В.Н. Радкевич, В.Б. Козловская, И.В. Колосова. – Минск: ИВЦ Минфина, 2015. – 589 с.
3. Невар, Г.А. Схемы соединения экранов одножильных кабелей в трёхфазных электрических сетях. / Г.А. Невар, В.Н. Радкевич, В.Б. Козловская. - Энергия и менеджмент. - №2, 2010.- С.4-7.
4. Руководство по выбору, прокладке, монтажу, испытаниям и эксплуатации кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена на напряжение от 6 до 35 кВ. – Харьков: ЗАО «Южкбель», 2007. – 104 с.
5. СТП 09110.17.202-06. Методические рекомендации по монтажу и эксплуатации кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена на напряжение от 6, 10 кВ. Минск: ГПО «Белэнерго», 2007. – 58 с.