

# Обеспечение безопасности кабельных линий с однофазными кабелями 6–500 кВ

Михаил ДМИТРИЕВ, к.т.н.,  
заместитель генерального директора по научной работе  
ПКБ «РосЭнергоМонтаж», г. Санкт-Петербург

## ВВЕДЕНИЕ

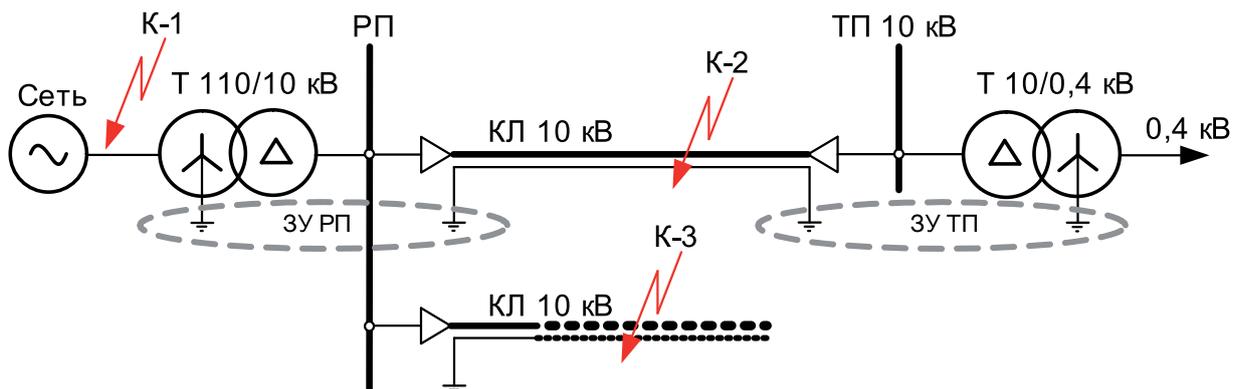
В настоящее время при строительстве трёхфазных кабельных линий (КЛ) 6–500 кВ широко применяются однофазные кабели с изоляцией из сшитого полиэтилена. В конструкции однофазного кабеля используется медный экран, который позволяет выравнивать электрическое поле по главной изоляции кабеля (изоляция «жила-экран»), а в случае заземления в одной или в нескольких точках — устранить потенциал электрического поля на поверхности кабеля. Наличие заземлённого медного экрана приводит к появлению специфических проблем кабельных линий с однофазными кабелями [1], одной из которых является вынос потенциала [2].

Возможность выноса потенциала напрямую влияет на безопасность кабельных сетей. Однако на

самом деле перечень проблем, которые требуют обсуждения с привлечением широкого круга специалистов, гораздо шире. Так, по мнению автора, внимания заслуживают следующие требования, описанные в статье:

- к заземлению экранов кабелей с учётом проблемы выноса по ним высокого потенциала на трансформаторные подстанции и в сеть 0,4 кВ;
- к заземлению опор воздушных линий электропередачи (ВЛ) и экранов кабелей в местах перехода ВЛ в КЛ;
- к заземлению в узлах транспозиции экранов КЛ;
- к величине магнитного поля КЛ и способам его ограничения;
- к ограничению наведённого потенциала на многоцепных КЛ.

Рис. 1. Короткие замыкания в схеме питания трансформаторной подстанции ТП



### ЗАЗЕМЛЕНИЕ ЭКРАНОВ КАБЕЛЕЙ И ВЫНОС ПОТЕНЦИАЛА

Рассмотрим укрупнённую схему электроснабжения (рис. 1), где потребители получают питание от трансформаторной подстанции (ТП), связанной кабельными линиями 10 кВ с районной подстанцией (РП) 110 кВ.

Пусть в распределительном устройстве (РУ) высокого напряжения 110 кВ на РП возникло короткое замыкание (точка К-1 на рис. 1), например, однофазное. В сетях 110 кВ с заземлённой нейтралью ток однофазного короткого замыкания (КЗ) в крупных городах может достигать 50 кА. Даже при сопротивлении заземления заземляющего устройства (ЗУ РП) не более 0,5 Ом на ЗУ появится потенциал до 25 кВ, который по заземлённым экранам кабельных линий 10 кВ будет передан на ЗУ ТП.

Соотношение потенциалов ЗУ РП и ЗУ ТП будет зависеть от сопротивлений их заземления, а также от эквивалентного сопротивления экранов всех однофазных кабелей, связывающих РП и ТП.

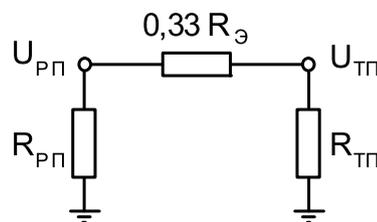
**Табл. Активное сопротивление экранов однофазных кабелей**

$F_{\text{э}}, \text{мм}^2$	$R_{\text{э}}, \text{Ом/1 км}$	$0,33 R_{\text{э}}, \text{Ом/1 км}$	$0,33 R_{\text{э}}, \text{Ом/5 км}$
35	0,571	0,190	0,952
50	0,400	0,133	0,667
70	0,286	0,095	0,476
95	0,211	0,070	0,351
120	0,167	0,056	0,278
150	0,133	0,044	0,222

В таблице приведены типовые сечения  $F_{\text{э}}$  медных экранов однофазных кабелей 10 кВ и их продольное активное сопротивление  $R_{\text{э}}$ . Так как при выносе потенциала экраны трёх фаз включены параллельно друг другу, то в табл. также указано их эквивалентное сопротивление  $0,33 R_{\text{э}}$ . Видно, что даже если РП и ТП связаны всего одной весьма протяжённой трёхфазной кабельной линией (пусть длиной 5 км), выполненной однофазными кабелями с экранами малого сечения (пусть 35 мм<sup>2</sup>), то всё равно эквивалентное сопротивление экранов  $0,33 R_{\text{э}}$  не превзойдёт 1 Ом.

В соответствии с [3], п. 1.7.101, сопротивление ЗУ ТП 10/0,4 кВ не должно превышать 4 Ом. Тогда на рис. 2 имеем  $R_{\text{РП}}=0,5 \text{ Ом}$ ,  $R_{\text{ТП}}=4 \text{ Ом}$ ,  $0,33 R_{\text{э}}=1 \text{ Ом}$ , откуда очевидно, что потенциал  $U_{\text{ТП}}$  заземляющего устройства ТП окажется лишь немногим меньше, чем опасный потенциал  $U_{\text{РП}}$  заземляющего устройства РП.

**Рис. 2. Схема замещения для оценки потенциала, выносимого с РП на ТП по заземлённым экранам одноцепной кабельной линии**



Вынос потенциала опасен:

- для персонала ТП, который может попасть под шаговое напряжение или напряжение прикосновения (для защиты требуется уравнивание потенциалов);
- для изоляции оборудования низкого напряжения 0,4 кВ, поскольку нейтраль 0,4 кВ силового трансформатора 10/0,4 кВ присоединена к ЗУ ТП (рис. 1).

Допустимое для низковольтного оборудования напряжение на заземляющем устройстве определяется электрической прочностью изоляции этого оборудования и временем отключения КЗ. Например, в [4] даны следующие значения критического напряжения на оборудовании электроустановки до 1 кВ, В:

- $U_0 + 250$  при времени отключения замыкания свыше 5 с;
- $U_0 + 1200$  при времени отключения замыкания до 5 с.

$U_0$  — фазное напряжение между проводами и нейтралью электроустановки до 1 кВ.

Если потенциал ЗУ РП может достигать 25 кВ, то вынесенный на ЗУ ТП потенциал заведомо превзойдёт указанные выше допустимые значения. Очевидно, что требуются меры борьбы с выносимым потенциалом. Рассмотрим их.

Если конфигурация и сопротивление заземляющего устройства подстанции (РП, ТП), а также время отключения коротких замыканий на ПС или на присоединённых к ней высоковольтных кабельных линиях не обеспечивают достаточную защиту изоляции низковольтного оборудования ПС, то рекомендуется:

- применять одностороннее заземление экранов кабельных линий 6—500 кВ, при котором экраны заземлены только со стороны питающей ПС (рис. 3б);
- использовать предложенное в [4, 5] разделение заземлителей высоковольтной и низковольтной частей ПС.

**Первое решение** может оказаться неприемлемым для кабельных линий большой длины, когда напряжение «экран-земля» на незаземлённых концах экранов будет превышать допустимое значение для

их изоляции (оболочки). Эта «критическая» длина кабельной линии будет определяться рядом факторов, в частности, токами жил кабелей линии в нормальном и аварийном режимах, а также взаимным расположением однофазных кабелей трёхфазной линии друг относительно друга. Для оценки напряжения на экране и критической длины КЛ можно воспользоваться рекомендациями из [1].

**Второе решение** является универсальным (вне зависимости от длины линии).

Если говорить об одностороннем заземлении экранов, то выполнять его надо именно со стороны РП. Если заземлить экраны со стороны ТП, то при однофазном замыкании в кабеле 10 кВ (точка К-2 на рис. 1) ток пойдёт от места замыкания по экрану кабеля в заземляющее устройство ТП. Например, при токе замыкания на землю 200 А (или нет компенса-

ции ёмкостных токов, или она есть, но дугогасящий реактор выведен в ремонт) при  $R_{\text{ТП}}=4$  Ом на ЗУ имеем длительно существующий потенциал  $U_{\text{ТП}}=800$  В, заведомо опасный для оборудования 0,4 кВ, — такой же вывод получен в [5].

При выполнении заземления экранов со стороны РП и при замыкании на землю в кабеле 10 кВ (точка К-2 на рис. 1) ток пойдёт через заземляющее устройство РП. Даже при токе 200 А при  $R_{\text{РП}}=0,5$  Ом имеем потенциал  $U_{\text{РП}}=100$  В, не представляющий опасности для оборудования 0,4 кВ, присоединенного к ЗУ РП.

Одностороннее заземление экранов со стороны РП имеет преимущества не только при однофазном замыкании в сети 10 кВ, но и при двойных КЗ. Например, при развитии однофазного замыкания в двойное короткое замыкание (повреждении изоляции на разных фазах в разных точках К-2 и К-3) ток двойного КЗ сети, составляющий до нескольких десятков кА, не будет замыкаться через ЗУ ТП и не сможет создать там проблем.

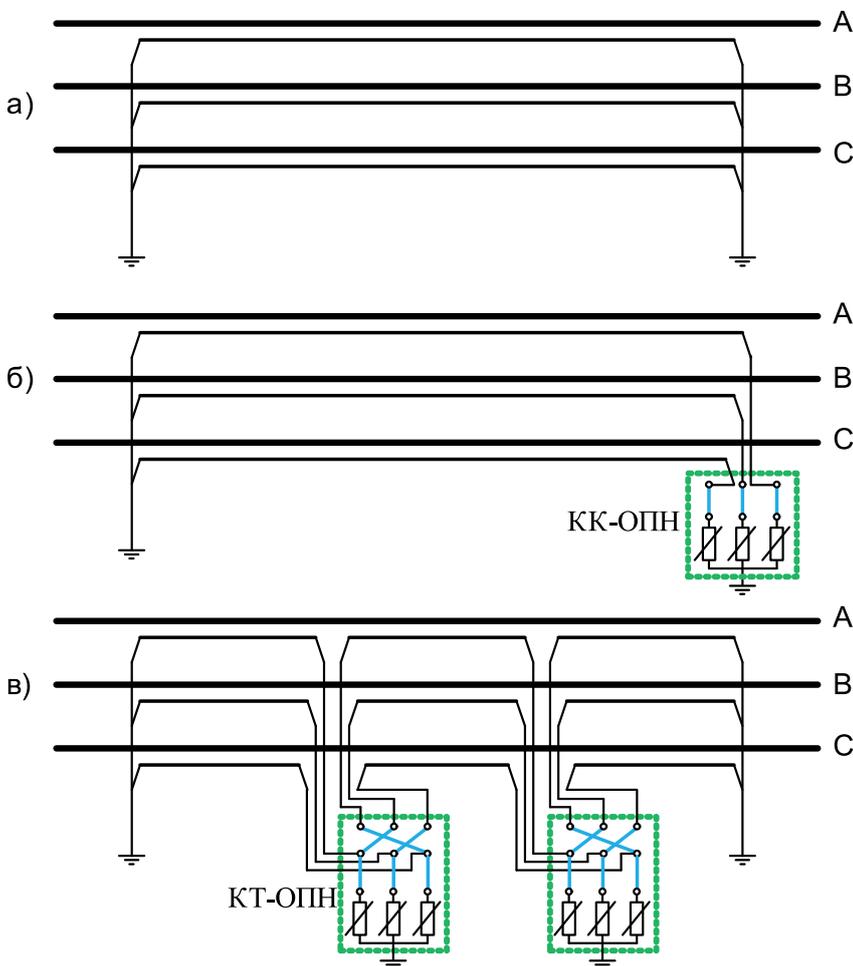
Итак, одностороннее заземление экранов КЛ 10 кВ со стороны питающей подстанции является не только самым простым и недорогим решением для борьбы с паразитными токами и потерями в экранах однофазных кабелей [1], но и удачным способом исключения выноса потенциала на ТП (заноса потенциала в сеть 0,4 кВ). Этот вывод справедлив не только для КЛ класса 10 кВ, но и для любой КЛ среднего напряжения 6—35 кВ.

В [1] показано, что в сетях с изолированной нейтралью 6—35 кВ одностороннее заземление экранов можно применять даже для кабельных линий большой длины в несколько километров. Это означает, что в сетях среднего напряжения 6—35 кВ одностороннее заземление экранов могло бы стать универсальным решением и для борьбы с потерями в экранах в нормальном режиме, и для борьбы с выносом потенциала по экранам при повреждении изоляции сети или кабелей. При этом наличие на экране напряжения промышленной частоты не представляет угрозы безопасности для персонала, поскольку место разземления экрана располагается в закрытой концевой кабельной коробке КК-ОПН.

Однако, к сожалению, в настоящее время из-за отсутствия ряда норма-

**Рис. 3. Основные схемы заземления экранов однофазных кабелей 6—500 кВ:**

- а* — заземление с двух сторон;
- б* — заземление с одной стороны;
- в* — транспозиция экранов.



тивных документов и весьма осторожной позиции эксплуатирующих организаций в сетях 6—35 кВ чаще встречается простое заземление экранов с двух сторон (рис. 3а), не нарушающее устаревших требований ПУЭ. В таких реалиях предложенное в [4, 5] раздельное заземление оборудования 6—35 и 0,4 кВ остаётся, пожалуй, единственным возможным решением по борьбе с выносом потенциала. Разумеется, что этот вопрос требует обсуждения с привлечением широкого круга специалистов отрасли.

### ЗАЗЕМЛЕНИЕ КОНЦЕВЫХ КОРОБОК КК И МЕТАЛЛИЧЕСКАЯ ШИНА

Согласно [1] в сетях 6—35 кВ с изолированной нейтралью одностороннее заземление экранов (схема рис. 3б) может применяться даже для КЛ большой длины (несколько километров). В сетях же 110—500 кВ с заземлённой нейтралью — лишь для коротких кабельных линий (длиной не более нескольких сотен метров).

Кабели такой малой длины чаще всего встречаются при выполнении заходов воздушных линий 6—500 кВ в распределительные устройства станций и подстанций. На рис. 4 показан пример подобного захода. Сопротивление РУ заведомо ниже, чем у опоры ВЛ, поэтому более надёжное заземление экранов КЛ обеспечивается со стороны РУ, а концевая кабельная коробка с ОПН (КК-ОПН) как раз может быть удобно размещена на теле опоры ВЛ, на некотором расстоянии от поверхности земли.

Положим, что на опоре ВЛ произошло КЗ одной или двух фаз, в результате чего в заземляющем устройстве опоры появится ток короткого замыкания (при симметричном коротком замыкании трёх фаз тока в ЗУ не будет, и этот случай не представляет интереса). Например, перекрытие изоляции одной или нескольких фаз могло быть вызвано разрядом молнии в тело опоры или в присоединённый к нему молниезащитный трос.

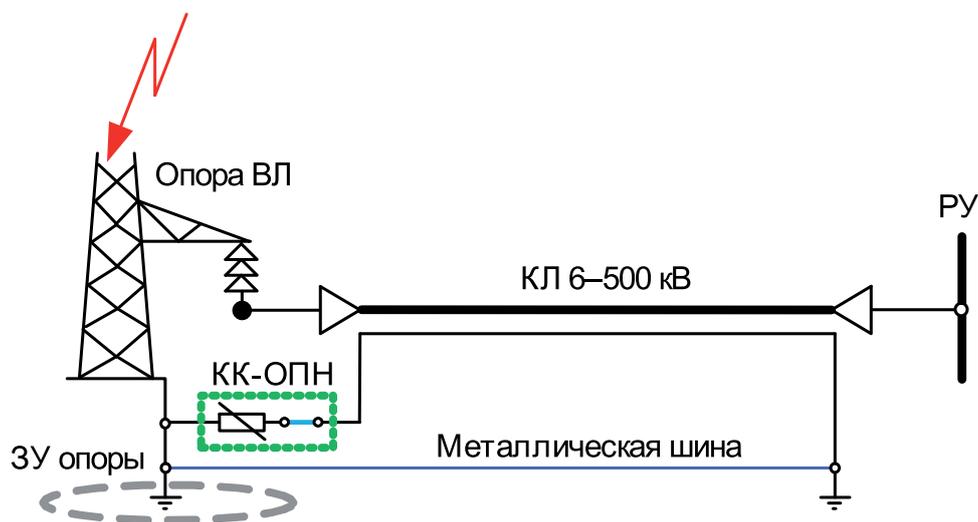
Даже если при коротком замыкании ток в ЗУ опоры будет всего 10 кА, то при типовом сопротивлении заземления опоры  $R_{оп} = 10$  Ом потенциал заземляющего устройства составит  $U_{оп} = 100$  кВ. Столь высокое напряжение частоты 50 Гц вызовет пробой трёх фаз ОПН класса 6 кВ, установлен-

ных в типовой коробке КК-ОПН, и далее высокий потенциал попадёт на медные экраны однофазных кабелей фаз А, В, С, воздействуя на их оболочку (изоляцию между экраном и землёй) и приводя к её пробую (возможно — к множественным пробоям).

Единственным способом минимизировать вероятность повреждения КК-ОПН и оболочки кабеля является снижение эквивалентного сопротивления заземления опоры. С этой целью ЗУ опоры можно соединить с заземляющим устройством РУ, которое имеет сопротивление не более 0,5 Ом. Например, согласно таблице, медная шина сечением 50 мм<sup>2</sup> имеет активное сопротивление 0,4 Ом/км — при длине кабельных заходов 500 м (обычно заходы короче) её активное сопротивление можно оценить всего в 0,2 Ом. Таким образом, эквивалентное сопротивление растеканию тока КЗ опоры уже составит менее  $0,2 + 0,5 = 0,7$  Ом (на самом деле следует учитывать и индуктивное сопротивление шины, снижающее эффективность её работы). Разумеется, для снижения сопротивления заземления опоры связь опоры с ЗУ распределительного устройства не обязательно выполнять медной шиной, а можно выполнить и стальной полосой.

Ранее в работе [6] было показано, что в сетях с заземлённой нейтралью 110—500 кВ для снижения наведённого напряжения на односторонне заземлённые экраны однофазных кабелей параллельно трассе кабеля, при наличии обоснования, можно прокладывать металлическую (медную) шину. В целях безопасности людей (при КЗ на шине может быть напряжение) и для того, чтобы скрыть медь, шину рекомендовалось помещать в полиэтиленовую оболочку. Например, подобная покрытая изоляцией медная шина установлена в Москве совместно с ка-

**Рис. 4. Кабельные заходы воздушной линии в распределительное устройство**



белем 500 кВ NEXANS, во Владивостоке — совместно с кабелем 110 кВ TAIHAN.

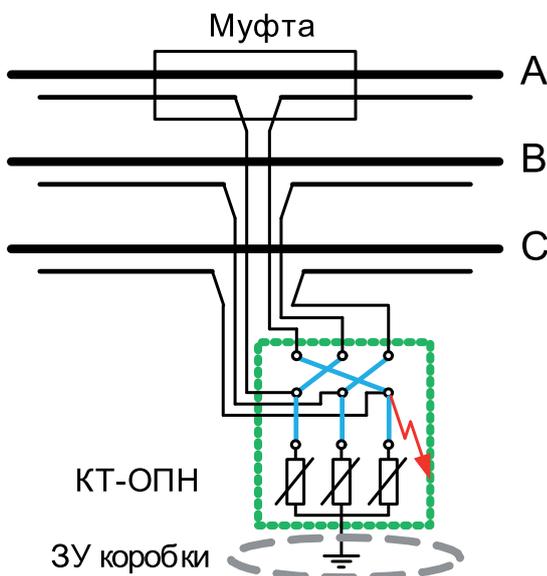
Однако здесь, в данной статье, металлическая шина, проложенная вдоль однофазных кабелей с односторонне заземлённым экраном, выполняет иные задачи, не такие как в [6]. Если в [6] шина снижала наведённый потенциал на экране при любых внешних КЗ, то здесь, на рис. 4, речь идёт лишь о коротком замыкании на переходной опоре и заносе высокого потенциала в экран кабеля с тела опоры через экранированный ОПН, установленный в коробке КК-ОПН.

Если в [6] шина работала только в сетях с заземлённой нейтралью 110—500 кВ, то на рис. 4 шина требуется не только для кабелей 110—500 кВ, но и для кабелей 6—35 кВ, то есть в сетях всех классов напряжения. Строго говоря, необходимость соединения концевых опор ВЛ с контуром заземления РУ отмечается и в ПУЭ [3].

Вопрос выбора материала, сечения, исполнения металлической шины требует отдельного рассмотрения, с учётом необходимости решения проблемы наводок на экраны и заноса потенциала ЗУ опоры ВЛ в экран кабеля через ОПН.

Если бы на рис. 4 кабельная линия имела схемы заземления экранов рис. 3а или рис. 3в, то тогда малое сопротивление заземления переходной опоры ВЛ было бы обеспечено автоматически за счёт связи опоры с заземляющим устройством РУ по экранам однофазных кабелей фаз А, В, С, т.е. применение шины не требовалось бы.

**Рис. 5. Узел транспозиции экранов однофазных кабелей**



### **ЗАЗЕМЛЕНИЕ КОРОБОК ТРАНСПОЗИЦИИ КТ И ПРАВИЛО «100 В»**

Транспозиция экранов является сложным техническим решением, поскольку требуется применение специальных транспозиционных муфт с выводами экранов наружу. Экраны кабеля выводятся из муфт при помощи провода с полиэтиленовой изоляцией соединительного (ППС), имеющего медную жилу и изоляцию класса 10 кВ. Провода ППС заводятся в специальные коробки транспозиции КТ-ОПН (рис. 5), где они снабжаются наконечниками, осуществляется их перекрёстное соединение друг с другом, а также устанавливаются ОПН 6 (10) кВ для защиты оболочки кабеля (изоляция экрана) от наведённых с жилы импульсных перенапряжений.

Коробки транспозиции размещаются в доступных для персонала местах — в специальных подземных колодцах транспозиции. Корпус коробки транспозиции должен быть механически прочным и герметичным, он выполняется из металла и требует присоединения к контуру заземления, который приходится преднамеренно создавать, поскольку места транспозиции экранов расположены по трассе кабеля на удалении от концевых распределительных устройств и имеющихся там контуров.

Назначение заземляющего устройства в узле транспозиции следующее:

- защитное заземление металлического корпуса коробки транспозиции на случай нарушения изоляции внутри коробки (см. красную стрелку на рис. 5);
- рабочее заземление ОПН для отведения импульсных токов в землю.

В отсутствие специальных требований и методик расчёта проектировщики и экспертные организации опираются на ПУЭ [3], где для электроустановок высокого напряжения указана необходимость иметь сопротивление заземления ниже 0,5 Ом.

Как правило, кабельные линии прокладываются в стеснённых условиях, и рядом с колодцами транспозиции экранов нет возможности обустроить контур заземления со столь малым сопротивлением как 0,5 Ом. Поэтому для кабельных сетей 6—500 кВ крайне важно создание методики расчёта достаточного сопротивления заземления коробок (колодцев) транспозиции экранов, и, желательно, чтобы требования к нему не были столь жёсткими, как это диктует ПУЭ.

В [7] предполагается, что сопротивление заземления коробок транспозиции достаточно иметь на уровне 5—10 Ом, если будут выполнены два важных условия:

- в нормальном режиме работы напряжение 50 Гц в узле транспозиции на экране относительно земли не превосходит 100 В;
- внутри колодца транспозиции организована система уравнивания потенциалов.

### ЗАЗЕМЛЕНИЕ ЭКРАНОВ И МАГНИТНОЕ ПОЛЕ КАБЕЛЕЙ

Современный однофазный кабель 6—500 кВ имеет медный экран из проволоки. Заземление такого экрана хотя бы в одной точке приводит к полному устранению электрического поля снаружи кабеля. Таким образом, вне зависимости от схемы заземления экранов (см. рис. 3) электрическое поле снаружи экранированного кабеля отсутствует.

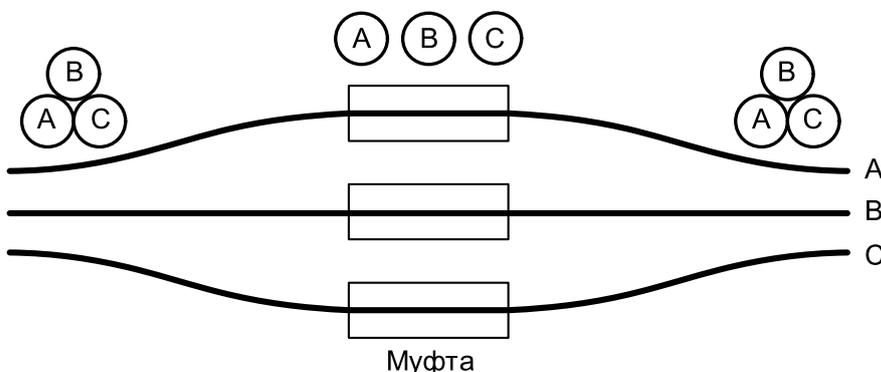
Магнитное же поле экранированной кабельной линии, напротив, напрямую зависит от схемы заземления экранов и от сечения экранов. Если медный экран кабеля заземлён в обоих его концах (см. рис. 3а) и имеет достаточно большое сечение, то в нормальном режиме в нём наводится ток частотой 50 Гц, сопоставимый по величине с вызвавшим его током в жиле, но противоположно направленный [1]. В результате магнитное поле такого кабеля будет отсутствовать, так как сложится из полей токов жилы и экрана, равных по величине, но противоположного знака.

На практике сечение экрана оказывается заметно меньше сечения жилы, и из-за этого повышенное сопротивление экрана ограничивает величину наведённого в экране тока промышленной частоты. Иными словами, в схеме рис. 3а ток в экране кабеля оказывается меньше тока в жиле и не способен до конца компенсировать магнитное поле тока в жиле, а значит — за пределами однофазного кабеля имеется магнитное поле 50 Гц. Тем более магнитное поле однофазного кабеля будет, если его экраны вообще лишены токов (схемы рис. 3б и 3в).

Единственной возможностью убрать магнитное поле кабельной линии 6—500 кВ, которая имеет одностороннее заземление экранов (рис. 3б) или транспозицию экранов (рис. 3в), является прокладка трёх фаз линии сомкнутым треугольником. В этом случае магнитное поле жил кабельной линии компенсируется не за счёт токов в экранах, которых в схемах рис. 3б и 3в нет, а за счёт того, что в нормальном режиме токи жил А, В, С равны друг другу по величине и имеют сдвиг в 120 электрических градусов.

Однако, даже если кабельная линия проложена треугольником, по её трассе обязательно имеются места, где фазные кабели приходится разводить и класть «в плоскости» на некотором удалении друг от друга. Например, это происходит вблизи от концевых или соединительных муфт (рис. 6), а также при выполнении проколов под препятствиями, где каждая из фаз располагается в собственной трубе.

**Рис. 6. Смена взаимного расположения фаз кабельной линии вблизи от муфты или от прокола**



Для магистральных кабельных линий рабочие токи жил значительны и могут достигать 1000 А и более. Для таких ответственных линий обязательно применяют меры по борьбе с токами в экранах или одностороннее заземление экранов, или их транспозицию. Поэтому единственным фактором, способствующим компенсации магнитных полей фаз, является их прокладка треугольником. Места же локального расхождения фазных кабелей приводят к резкому росту напряжённости магнитного поля вблизи от кабельной линии — в частности, на поверхности земли. В подобных случаях требуется расчёт магнитного поля линии, который можно выполнить по методике [8].

Если напряжённость магнитного поля или индукция превзойдёт санитарные нормы, то участки трассы КЛ вблизи от концевых и соединительных муфт могут потребовать установки магнитных экранов.

Если кабельная линия на всём своём протяжении имеет прокладку фазных кабелей на расстоянии друг от друга, то магнитные экраны могут потребоваться по всей её длине, а не только вблизи от муфтовых участков. Сложность такого решения является ещё одним аргументом, дополняющим соображения [1], в пользу того, чтобы прокладывать однофазные кабели А, В, С сомкнутым треугольником.

### БЕЗОПАСНОСТЬ РАБОТ НА МНОГОЦЕПНЫХ КАБЕЛЯХ

Компенсация магнитных полей фазных кабелей имеет ещё один важнейший аспект — от величины магнитного поля кабельной линии зависит влияние, которое она оказывает на соседние линии, проложенные параллельно.

Рассмотрим такой режим двухцепной кабельной линии, когда одна из цепей находится под нагрузкой, а другая отключена от сети, и на ней персонал выполняет работы (монтаж, испытания, диагностика, поиск повреждений, ремонт).

Работающая цепь своим магнитным полем будет наводить токи и напряжения промышленной частоты не только в собственных экранах, но и в экранах рядом расположенной отключённой цепи. Если три фазных кабеля работающей цепи на большей части трассы кабельной линии проложены сомкнутым треугольником, то минимально её магнитное поле и связанное с ним влияние на отключённую цепь, т.е. минимальны токи и напряжения, наводимые в экранах отключённой цепи. Если же три фазных кабеля работающей цепи проложены «в плоскости» («в ряд») с каким-то заметным расстоянием в свету между фазами, то влияние на отключённую цепь будет заметнее — для обслуживающего персонала появляется риск поражения электрическим током при работах, связанных с необходимостью прикосновения к медным экранам отключённой цепи.

Если фазы кабельной линии проложены в плоскости (в ряд), то для снижения степени её влияния на параллельные линии целесообразна периодическая смена положения фазных кабелей А, В, С друг относительно друга, т.е. транспозиция фазных кабелей (рис. 7). Оценка целесообразности транспозиции фазных кабелей — это отдельная инженерная задача, которая никак не связана с задачей выбора схемы соединения и заземления экранов, транспозиции экранов.

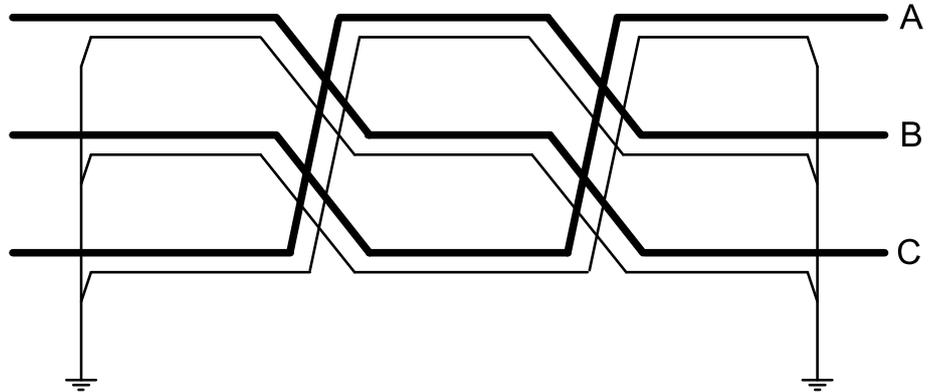
Гарантированным способом обеспечения безопасности работ на многоцепных линиях можно считать полное отключение всех параллельно следующих линий на время проведения таких работ.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Применение в сетях 6—500 кВ современных однофазных кабелей, приводит к необходимости решения ряда специфических проблем, связанных с наличием в их конструкции проводящих металлических экранов. В статье кратко рассмотрены такие требующие обсуждения и закрепления в нормативных документах вопросы, как:

- выбор схемы заземления экранов не только с учётом наводимых в экранах токов и напряжений, но и с учётом проблематики выноса потенциала;
- раздельное заземление высоковольтного оборудования и оборудования 0,4 кВ;
- требования к заземлению опор ВЛ по концам кабельных заходов и вставок;
- требования к заземлению в узлах транспозиции экранов КЛ;

**Рис. 7. Транспозиция фаз кабельной линии, рекомендуемая в случае прокладки фазных кабелей в плоскости (в ряд). В качестве примера показано двустороннее заземление экранов**



- необходимость применения магнитных экранов КЛ;
- необходимость применения транспозиции фаз КЛ.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Дмитриев М.В. Заземление экранов однофазных силовых кабелей 6—500 кВ. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2010. —152 с.
2. Дмитриев М.В., Тихонова М.Р. Вынос потенциала по экранам кабельных линий. Доклад на XIX заседании Ассоциации электроснабжения городов России «ПРОГРЕССЭЛЕКТРО». Ханты-Мансийск, февраль, 2013.
3. Правила устройства электроустановок. 7-е издание, переработанное и дополненное. М., 2003.
4. ГОСТ 50571.18-2000 (МЭК 60364-4-442-93) Ч.4. Требования по обеспечению безопасности. Раздел 442. Защита электроустановок до 1 кВ от перенапряжений, вызванных замыканиями на землю в электроустановках выше 1 кВ.
5. Фишман В.С. Возникновение и распространение опасных потенциалов в кабельных сетях 6—10 кВ // *Новости Электротехники*, № 5(83), 2013.
6. Дмитриев М.В., Кияткина М.Р. Эффективность применения металлической шины, параллельной однофазным кабелям // *Энергетик*, № 6, 2012, с. 20—22.
7. Дмитриев М.В. Требования к заземлению узлов транспозиции экранов однофазных силовых кабелей 6—500 кВ // *Новости Электротехники*, № 1(79), 2013.
8. 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.