

Испытания оболочки кабельных линий 6–500 кВ, защищённых ОПН

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

СХЕМЫ СОЕДИНЕНИЯ И ЗАЗЕМЛЕНИЯ ЭКРАНОВ С ЗАЩИТНЫМИ ОПН

В настоящее время проектирование и строительство кабельных сетей 6–500 кВ ведётся с применением однофазных кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена. Такие кабели имеют медную или алюминиевую жилу, слой изоляции, медный экран, требующий заземления, оболочку, препятствующую проникновению воды.

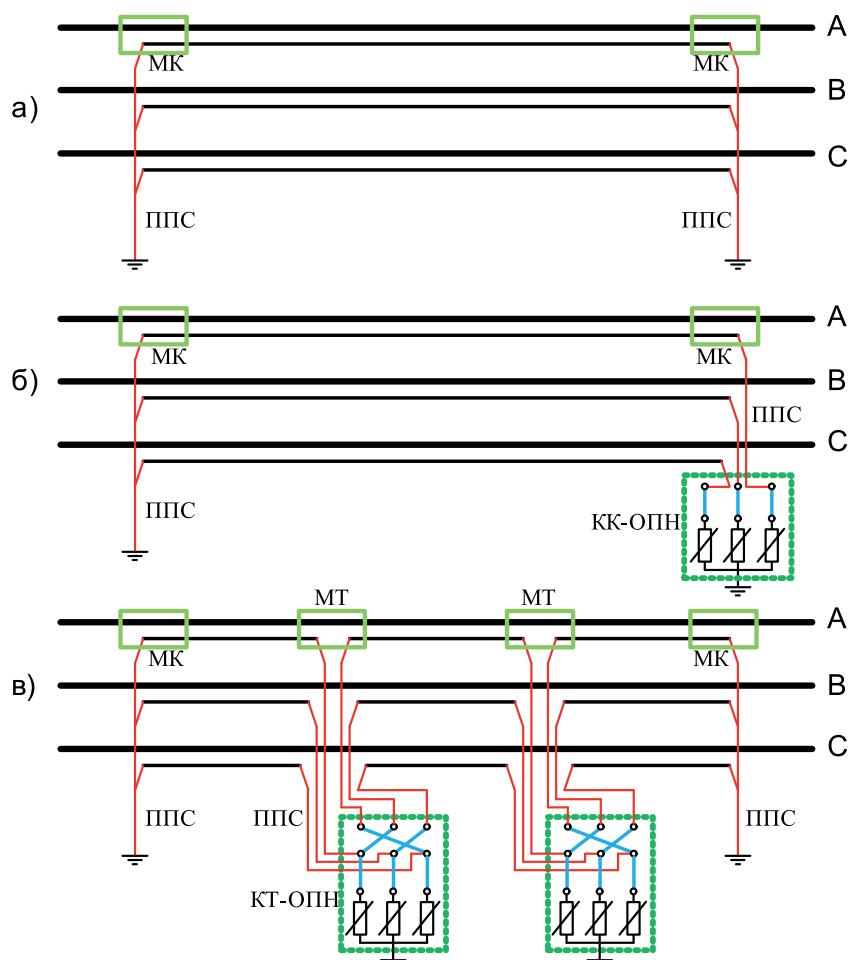
Поскольку простое двустороннее заземление экранов (рис. 1а) приводит к появлению в них наведённых токов промышленной частоты и вызванных ими потерь активной мощности [1, 2], то на практике применяют альтернативные схемы — одностороннее заземление экранов (рис. 1б) или их транспозицию (рис. 1в).

Для защиты оболочки кабеля от импульсных перенапряжений, наводимых с жилы кабеля, в местах разземления экранов или их транспозиции устанавливаются ограничители перенапряжений нелинейные (ОПН). Они размещаются в концевых коробках КК-ОПН или коробках транспозиции КТ-ОПН, связь которых с концевыми муфтами (МК) и транспозиционными муфтами (МТ) выполняется при помощи провода, соединённого с полиэтиленовой изоляцией (ППС).

Провод ППС имеет медную жилу, покрытую слоем изоляции, электрическая прочность которой близка к прочности оболочки силового кабеля и имеет такую же стойкость к воздействию повышенных температур.

Сечение жилы провода ППС принимается равным сечению медного экрана силового кабеля на том основании, что эти токоведущие части включены последовательно [3].

Рис. 1. Основные схемы соединения и заземления экранов однофазных силовых кабелей 6–500 кВ



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

Как показано на рис. 1, провод ППС может использоваться не только для присоединения к экранам кабеля коробок с ОПН, но и для вывода экранов из концевых муфт и их заземления по концам кабеля.

ИСПЫТАНИЯ ОБОЛОЧКИ КАБЕЛЯ С ОТКЛЮЧЁННЫМИ ОПН

Электрическая прочность оболочки однофазного кабеля 6—500 кВ существенно зависит от наличия/отсутствия её повреждений. Однако, как правило, прочность оболочки не хуже, чем у типового оборудования, применяемого в электрических сетях номинальным напряжением 6 (10) кВ. По этой причине для защиты оболочки от импульсных перенапряжений в концевых коробках и коробках транспозиции наиболее часто применяются стандартные ОПН класса напряжения 6 кВ [3].

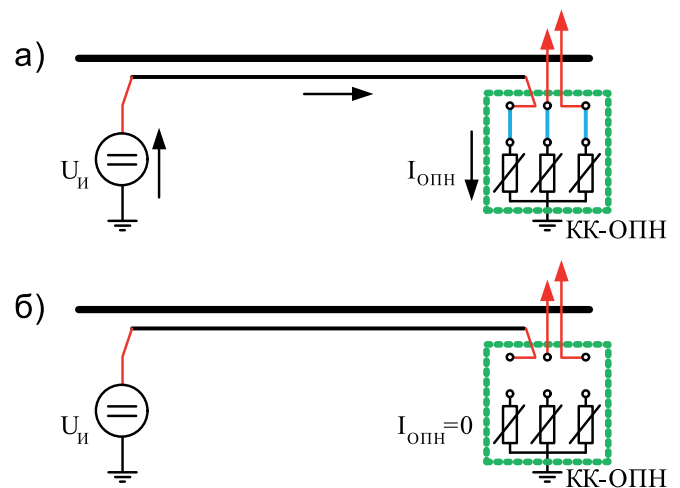
От целостности оболочки однофазного кабеля зависит надёжность его работы, поскольку основным назначением оболочки является исключение попадания влаги в главную изоляцию из сшитого полиэтилена. Из-за этого сразу после монтажа кабеля и далее с некоторой периодичностью в процессе эксплуатации оболочку каждого кабеля проверяют, для чего разземляют экран и прикладывают между ним и землёй постоянное испытательное напряжение $U_{и}=10$ кВ на время, равное 1 минуте [4].

При приложении испытательного постоянного напряжения 10 кВ под его воздействием оказывается не только непосредственно оболочка кабеля, но и все ОПН, подключённые между экраном и землёй в концевых коробках или в коробках транспозиции. Под действием испытательного напряжения 10 кВ любые ОПН, применяемые в настоящее время для защиты оболочки, будут пропускать через себя с экрана кабеля в землю постоянный ток $I_{ОПН}$ в несколько мА и даже более, который испытательная установка будет ошибочно классифицировать уже как повреждение оболочки кабеля.

Следовательно, перед проведением испытаний оболочки кабельных линий требуется отключение всех ОПН, установленных в концевых кабельных коробках или коробках транспозиции. После проведения испытаний оболочки такие ОПН должны быть возвращены на свои места.

На рис. 2 в качестве примера показана схема испытаний оболочки кабельной линии, имеющей одностороннее заземление экранов. При приложении к оболочке испытательного напряжения $U_{и}$ в ОПН, установленном в концевой коробке КК-ОПН, будет протекать ток проводимости $I_{ОПН}$. Следовательно, испытательное оборудование будет фиксировать снижение сопротивления оболочки (рис. 2а), т.е. в результате таких испытаний будет принято ошибочное решение искать место повреждения оболочки и

Рис. 2. Испытания оболочки кабельной линии постоянным напряжением 10 кВ



а — с присоединёнными ОПН;
б — с отключёнными ОПН.

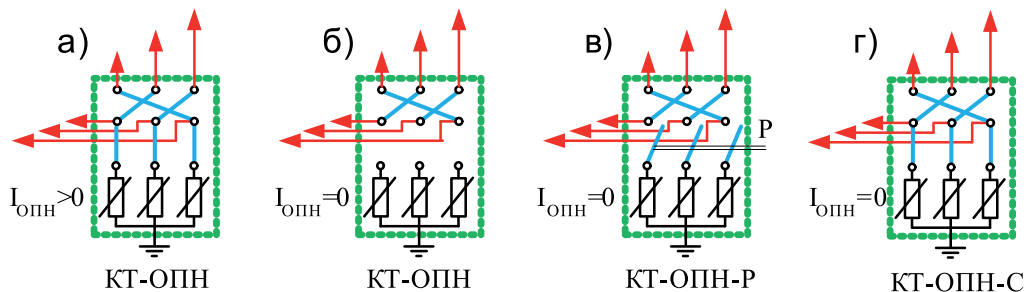
выполнять её ремонт, хотя на самом деле оболочка цела. Для исключения подобных ошибок на время испытаний надо отключать ОПН (рис. 2б).

Процедура отсоединения/присоединения ОПН требует открытия/закрытия кабельных коробок, что нежелательно. Прежде всего это касается не концевых коробок, а коробок транспозиции, которые установлены по трассе линии в колодцах транспозиции, расположенных под землей. Такие колодцы нередко оказываются заполненными грунтовой, дождевой, талой водой, и поэтому к герметичности коробок транспозиции предъявляются самые высокие требования. Периодическое вскрытие коробок транспозиции с целью манипуляций ОПН (переход от схемы рис. 3а к схеме рис. 3б и обратно), безусловно, нарушит герметичность коробок. Также следует учитывать, что значительное время занимают:

- предварительная откачка воды из колодца, необходимая для того, чтобы начать работы по вскрытию коробки транспозиции и извлечению из неё ОПН;
- отвинчивание/завинчивание от 15 до 30 болтов, расположенных по периметру крышки коробки транспозиции;
- повторение перечисленных операций для каждого из колодцев транспозиции, которых по трассе кабеля может быть $(3N-1)$, где N — число полных циклов транспозиции экранов ($N=1$ для рис. 1в).

Очевидно, что описанные периодические испытания оболочки кабельных линий постоянным напряжением 10 кВ, требующие предварительного отсоединения ОПН, являются излишне трудоёмкими, снижающими надёжность и герметичность схем заземления экранов.

Рис. 3. Коробка транспозиции экранов однофазных кабелей



а — с подключёнными ОПН;

б — с ОПН, отключёнными в результате вскрытия коробки;

в — с ОПН, отключёнными разъединителем без вскрытия коробки;

г — со специальными ОПН, имеющими малый ток проводимости.

ИСПЫТАНИЯ ОТКЛЮЧЁННЫХ ОПН

Помимо проверки целостности оболочки кабеля целесообразна периодическая проверка исправности самих ОПН. Испытания ОПН класса напряжения 6 кВ могут быть проведены следующим образом:

- измерение сопротивления ОПН мегаомметром на постоянном напряжении 2,5 кВ (при этом сопротивление должно быть не менее 3000 МОм);
- измерение тока проводимости ОПН при приложении к нему переменного напряжения промышленной частоты 50 Гц, равного по величине наибольшему рабочему напряжению ОПН (при этом ток должен соответствовать значению, указанному в паспорте ОПН; как правило, ток не должен превосходить 0,5 мА).

Подобные испытания ОПН проводятся на отключённых от кабельных коробок ОПН, то есть как раз в то время, когда выполняются испытания оболочки кабельной линии постоянным напряжением 10 кВ.

ИСПЫТАНИЯ ОБОЛОЧКИ БЕЗ ВСКРЫТИЯ КОРОБОК

В настоящее время по названным причинам полная проверка состояния оболочки кабеля и средств её защиты от перенапряжений оказывается достаточно трудоёмкой: во-первых, испытывается сама оболочка, а во-вторых, отдельно испытываются отключённые ОПН.

Неудобства заключаются в следующем:

- подготовка испытаний занимает большое время из-за манипуляций с коробками;
- нарушается заводская герметичность кабельных коробок с ОПН;
- требуются установки отдельно для испытаний оболочки, а отдельно — для ОПН.

Очевидно, что основные сложности возникают именно с расположенными по трассе кабеля коробками транспозиции. Если говорить о надёжности оболочки и ОПН, то оболочка кабеля требует более ча-

стой проверки по сравнению с ОПН. Во-первых, оболочка непосредственно соприкасается с грунтом, подвержена механическим воздействиям, тогда как ОПН установлены в кабельной коробке, имеющей металлический корпус. Во-вторых, последствия повреждения оболочки для кабельной линии чреваты проникновением воды в главную изоляцию, т.е. куда как более серьёзны в сравнении с повреждением ОПН. Поэтому есть предпосылки к тому, чтобы миними-

зировать проверки ОПН или даже вовсе от них отказаться. В таком случае в узлах транспозиции экранов можно было бы применять коробки транспозиции, в которых предусмотрена возможность отключения/подключения ОПН при помощи разъединителя (рис. 3в), управление состоянием которого вынесено на наружную боковую поверхность коробки.

При удачном расположении коробки транспозиции КК-ОПН-Р в верхней части колодца манипуляция разъединителем может выполняться без откачки воды из колодца — просто стоя на коленях на краю колодца и протянув руку. Возможность выполнять работы, не спускаясь в колодец, позволит снять вопросы безопасности обслуживания двухцепных кабельных линий, у которых в одном и том же колодце транспозиции расположены коробки сразу от первой и второй цепей (рис. 4).

Так в настоящее время персонал выполняет работы с коробкой транспозиции одной из цепей, тогда как рядом в колодце находится коробка транспозиции другой цепи, находящейся под напряжением. Если вдруг коробка работающей цепи имеет внутренние повреждения, то на её корпусе может быть потенциал, который при неверном выполнении заземляющего устройства колодца может представлять опасность для спустившегося в колодец человека, обслуживающего отключённую цепь. Чтобы во время работ в колодцах транспозиции не подвергать персонал риску, в некоторых регионах России на время работ отключается не только интересующая цепь кабельной линии, но и параллельные ей линии, что снижает надёжность сети.

Отсутствие необходимости спускаться в колодец транспозиции, откачивать воду, вскрывать коробки, достигаемое за счёт добавления в конструкцию коробки разъединителя, ускорит проведение периодических испытаний оболочки, сделает такие испытания безопасными, позволит не отключать параллельные цепи, повысит надёжность сети.

**СОВМЕСТНЫЕ
ИСПЫТАНИЯ
ОБОЛОЧКИ И ОПН**

Применение кабельных коробок, оснащённых разъединителем, существенно упрощает испытания оболочки кабельных линий, однако в случае необходимости проверки ОПН вскрытия коробок избежать не удастся. Поэтому решается рис. 4б хотя и является серьёзным шагом в сторону совершенствования систем испытаний и диагностики кабельных

линий, но в то же время не является идеальным. Кардинальным прорывом могло бы стать совмещение испытаний оболочки кабельной линии и ОПН, установленных для её защиты. Это было бы возможно только в результате применения в концевых коробках и коробках транспозиции специальных ОПН, для которых ток проводимости при воздействии постоянного испытательного напряжения 10 кВ был бы достаточно мал и не воспринимался как повреждение оболочки кабеля. Переход на применение таких специализированных защитных ОПН-С позволил бы вообще не производить каких-либо манипуляций с кабельными коробками (рис. 3г).

Лишь в тех редких случаях, когда при приложении постоянного напряжения 10 кВ испытательное оборудование зафиксировало появление тока, протекающего с экрана на землю, потребуется вскрытие коробок и отсоединение ОПН с целью выяснения причин появления тока — он связан с повреждением оболочки кабеля или же он связан с повреждением ОПН?

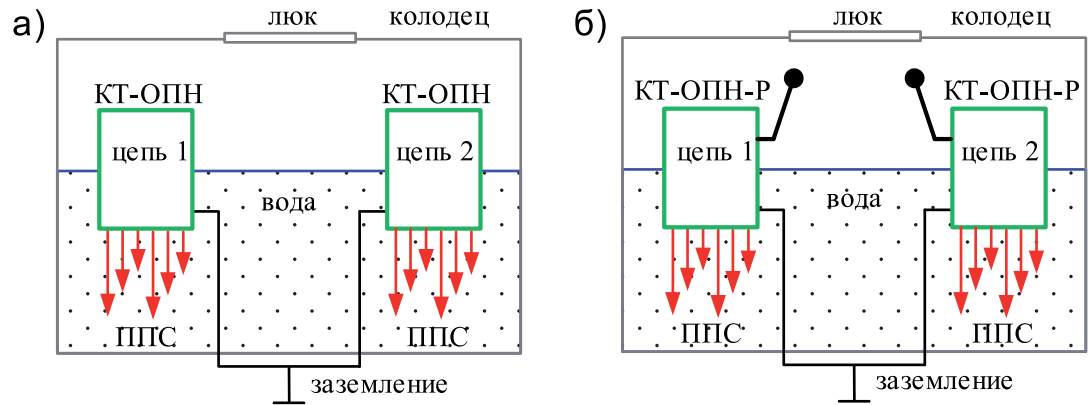
ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. В настоящее время в кабельных сетях с номинальным напряжением 6—500 кВ типовыми стали схемы одностороннего заземления экранов или их транспозиции. При этом в местах разземления экранов или их транспозиции для защиты оболочки кабеля от импульсных перенапряжений устанавливаются ОПН, размещаемые в концевых кабельных коробках и коробках транспозиции.

2. Наличие в экранах защитных ОПН заметно усложняет периодические испытания оболочки кабельных линий постоянным напряжением 10 кВ, поскольку на время таких испытаний требуется отключение от экранов ОПН.

3. Особенно обременительно отключение ОПН в коробках транспозиции, так как оно требует откачки воды из колодцев транспозиции, откручивания боль-

Рис. 4. Колодец транспозиции двухцепной кабельной линии



а — для испытаний оболочки требуется откачка воды, вскрытие коробок, отсоединение ОПН; б — достаточно открыть люк и повернуть рукоятку разъединителя испытываемой цепи.

шого числа болтов, закрывающих крышку коробки транспозиции, рано или поздно приводит к нарушению герметичности узла транспозиции, сбоям в его работе.

4. Для ускорения испытаний оболочки кабеля в схемах заземления экранов кабелей рекомендуется применение кабельных коробок, у которых имеется возможность отключения/подключения ОПН за счёт манипуляций ручкой разъединителя, расположенной снаружи коробки на её боковой стенке.

5. Лучшим решением проблемы испытаний оболочки кабеля мог бы стать переход на применение в кабельных коробках специальных ОПН со сниженным током проводимости. Переход на применение коробок с такими ОПН позволит, во-первых, не отключать ОПН на время испытаний, а во-вторых, одновременно в процессе приложения постоянного напряжения 10 кВ проверять как целостность оболочки кабеля, так и исправность самих ОПН.

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 расчета устройств заземления экранов, защиты от перенапряжений изоляции силовых кабелей на напряжение 110—500 кВ с изоляцией из сшитого полиэтилена» (Москва, ОАО «ФСК ЕЭС», 2011).
3. Дмитриев М.В. Выбор и реализация схем заземления экранов однофазных кабелей 6—500 кВ // «ЭЛЕКТРОЭНЕРГИЯ. Передача и распределение», № 6 (21), 2013, с. 90—97.
4. СТО 56947007-29.060.20.072-2011 «Силовые кабельные линии напряжением 110—500 кВ. Организация эксплуатации и технического обслуживания. Нормы и требования» (Москва, ОАО «ФСК ЕЭС», 2011).