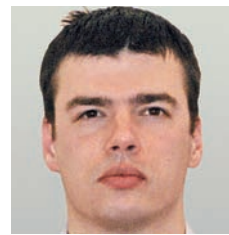


С позицией авторов предыдущего материала не совсем согласен М.В. Дмитриев, который еще в 2013 г. сформулировал подходы к определению достаточной величины сопротивления заземления для узлов (колодцев) транспозиции экранов КЛ [1]. Кроме того, он считает, что нормировать этот параметр необходимо только в комплексе с нормированием напряжения на экране в узле транспозиции в штатном режиме работы кабеля.

Один из дискуссионных моментов – в материале петербургских проектировщиков отсутствуют конкретные цифры. Этот пробел восполняет Михаил Викторович Дмитриев.



**Михаил Дмитриев,**  
к.т.н., доцент,  
Санкт-Петербургский  
политехнический университет  
Петра Великого

## ЗАЗЕМЛЕНИЕ КОЛОДЦЕВ ТРАНСПОЗИЦИИ КЛ 6–500 кВ

Вопросы организации заземления колодцев транспозиции в настоящее время не прописаны ни в одном нормативном документе по кабельным линиям, хотя сама транспозиция экранов применяется в нашей стране уже более 10 лет.

Учитывая всю важность вопросов безопасности, нельзя не приветствовать, что свое мнение высказывают специалисты проектных организаций. По основным вопросам они в целом согласны и с [1], и с проектом ГОСТ, хотя неожиданно выступили против устоявшего понятия «шаговое напряжение». Нельзя не отметить, что в статье дается неплохое предложение заменять грунт вблизи от тела колодца на щебень и подобные ему материалы, обладающие высоким удельным сопротивлением, что приводит к снижению напряжения прикосновения (шага).

В настоящее время в нашей стране на многих кабельных линиях 6–500 кВ, выполненных однофазными кабелями с изоляцией из сшитого полиэтилена, проектные и эксплуатирующие организации идут на применение транспозиции экранов,

позволяющей снизить потери активной мощности в экранах и повысить длительно допустимый ток линии.

Для решения этих задач достаточно одного полного цикла транспозиции, но для снижения напряжения, наведенного на экраны относительно земли, порой надо увеличить число циклов до двух (рис. 1) или трех.

Перекрестное соединение экранов выполняется в коробках транспозиции (КТ-ОПН), а глухое заземление выполняется в концевых коробках (КК) и, если на линии несколько полных циклов, то еще оно делается и в промежуточных коробках (КП). Муфты кабеля соединяются с коробками при помощи проводов марки ППС.

Если коробки КК обычно устанавливаются на территории распределительного устройства, то коробки КТ-ОПН и КП размещаются по трассе линии в специальных колодцах (рис. 2), требующих организации заземляющего устройства (ЗУ).

По общему мнению, главным расчетным случаем для определения требований к  $R_{ЗУ}$  является длительно существующее повреждение в коробке транспозиции, из-за которого в экранах и местах их заземления возникают токи 50 Гц в несколько единиц или десятков А, протекающие месяцами до момента их обнаружения.

На рис. 2 показан железобетонный колодец, в котором установлены коробки КТ-ОПН сразу от двух цепей кабельной линии. При обслуживании одной цепи вторая находится под током и напряжением, и поэтому человек № 1 может оказаться под воздействием напряжения прикосновения. Для повышения безопасности рекомендуется сделать в колодце уравнивание потенциалов, например, за счет укладки на пол металлической сетки или листа. После этого главная опасность сохранится лишь для тех людей, кто находится на поверхности земли рядом с металлической крышкой колодца: человек № 2 находится под действием шагового напряжения, а человек № 3, который тянется к крышке, окажется под действием примерно такого же по величине напряжения, но оно уже будет квалифицироваться как напряжение прикосновения.

Напряжение 50 Гц, которое будет действовать на людей № 2 и № 3, в [1] и ГОСТ названо шаговым, поскольку случайный прохожий вряд ли будет тянуться к крышке люка, а скорее он окажется в ситуации человека № 2.

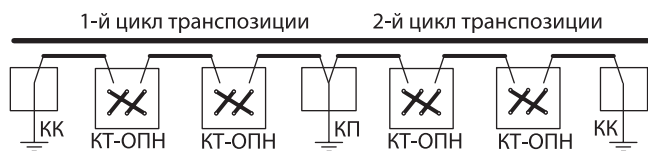
Шаговое напряжение (оно же напряжение прикосновения к крышке люка), по моему мнению, не должно превосходить значения 20–30 В.

### ПРИМЕР РАСЧЕТА ШАГОВОГО НАПЯЖЕНИЯ

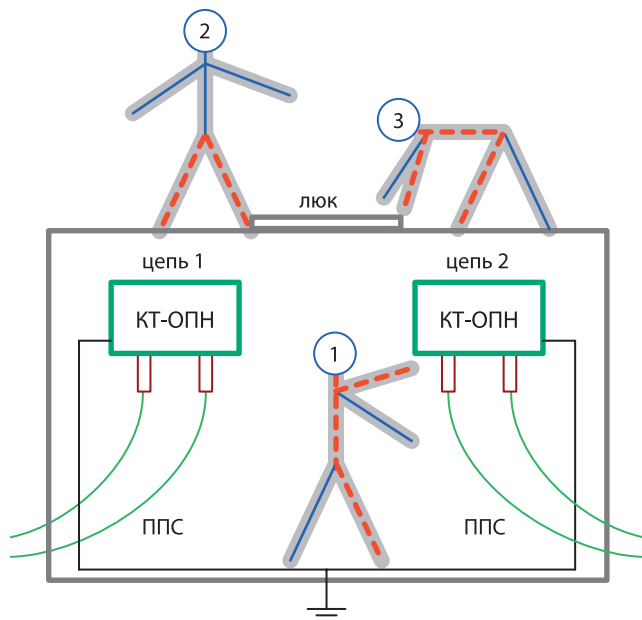
В качестве примера возьмем линию 110 кВ, выполненную тремя однофазными кабелями 800/185 мм<sup>2</sup>, проложенными в трубах диаметром 225 мм. В таком случае отношение расстояния между осями к диаметру кабеля составляет около  $s/d = 3$ , что удобно для сопоставления результатов с выводами, сделанными в [1]. Линия имеет один полный цикл транспозиции экранов.

На рис. 3 представлены расчеты тока, стекающего с поврежденной коробки в ЗУ колодца, взятого по отношению к току в жиле кабеля. Эти расчеты, сделанные в ЕМТР, даны лишь для того, чтобы показать, что ток в ЗУ принципиально зависит

• Рис. 1. Два полных цикла транспозиции экранов



• Рис. 2. Обслуживание колодца транспозиции



от длины кабельной линии (рассмотрены длины 1500, 3000, 4500, 6000 метров).

Считаю, что ток в ЗУ не является информативным параметром, и поэтому на рис. 4 дано напряжение на корпусе коробки (оно же напряжение на ЗУ). Его можно получить, например, умножением цифр рис. 3 на сопротивления заземления  $R_{ЗУ}$ .

Представленные на рис. 4 напряжения в обозначениях [1] это  $U_{ЗУ} = K_{ЗУ} \cdot U_{Э}$ , где  $U_{Э}$  – напряжение 50 Гц на экране в узле транспозиции в нормальном режиме, а  $K_{ЗУ}$  – коэффициент, показывающий, как падает напряжение  $U_{Э}$  после замыкания экрана через корпус коробки на заземляющее устройство ЗУ.

Удобство рис. 4 заключается в том, что в случае  $R_{ЗУ} \rightarrow \infty$  при замыкании экрана на корпус коробки напряжение  $U_{ЗУ}$  оказывается равно напряжению экрана  $U_{Э}$ , а оно без труда определяется проектировщиками и всегда присутствует в проекте по методике [2]. Так, в условиях примера  $U_{Э}$  составляет для 4-х длин соответственно 50, 100, 150, 200 В.

Умножение напряжений рис. 4 на коэффициент шага  $K_{Ш}$  позволит определить искомое шаговое напряжение  $U_{Ш} = K_{Ш} \cdot U_{ЗУ}$  вблизи от крышки люка. Напомним, что в статье [1] для типового ж/б колодца была дана оценка  $K_{Ш} = 0,3$ .

Например, для линии 3 x 1000 = 3000 м в нормальном режиме  $U_{Э} = 100$  В. При повреждении в коробке и сопротивлении  $R_{ЗУ} = 4$  Ом напряжение на ЗУ по рис. 4 будет  $U_{ЗУ} = 90$  В, шаговое напряжение  $U_{Ш} = 27$  В, что укладывается в допустимый диапазон 20–30 В. Аналогично в условиях примера можно получить достаточные  $R_{ЗУ}$ :

- 0,5 Ом для линии 3 x 2000 м = 6000 м ( $U_{Э} = 200$  В);
- 1 Ом для линии 3 x 1500 м = 4500 м ( $U_{Э} = 150$  В);
- 4 Ом для линии 3 x 1000 м = 3000 м ( $U_{Э} = 100$  В);
- 20 Ом для линии 3 x 500 = 1500 м ( $U_{Э} = 50$  В).

Значение 20 Ом считается предельным по условиям работы ОПН, хотя с точки зрения шагового напряжения для линии 3 x 500 = 1500 м можно принять даже  $R_{ЗУ} > 20$  Ом.

Приведенные расчеты являются очень важными, так как показывают, что нормировать сопротивление заземления  $R_{ЗУ}$  колодцев транспозиции имеет смысл только в том случае, когда вместе с ним одновременно нормируется напряжение  $U_{Э}$  в узле транспозиции в нормальном режиме работы кабеля. Напомним, что именно по этой причине в [1] было предложено правило «100 В», выполнение которого более-менее гарантировало безопасность вне зависимости от конкретного значения сопротивления и позволяло иметь  $R_{ЗУ} = 4$  Ом (или даже вплоть до  $R_{ЗУ} = 20$  Ом).

Что касается заземления экранов в узлах КК и КП (рис. 1), то при определении требований к их  $R_{ЗУ}$  следует учитывать не только вопросы длительного стекания в ЗУ тока, вызванного повреждением в одной из коробок КТ-ОПН по трассе, но и процессы при повреждениях главной изоляции силового кабеля. Считаю, что в узлах КК и КП, как это и принято при заземлении силового оборудования, должно быть обеспечено  $R_{ЗУ} = 0,5$  Ом для КЛ 110-500 кВ и  $R_{ЗУ} = 4$  Ом для КЛ 6-35 кВ.

### НОВОЕ ПОКОЛЕНИЕ КОЛОДЦЕВ И КОРОБОК ТРАНСПОЗИЦИИ

В настоящее время у колодцев транспозиции имеются две главные проблемы: отсутствие герметичности и необходимость выполнения контура заземления с очень малым сопротивлением заземления 0,5 Ом, которое требует Ростехнадзор. Обе эти проблемы, как ожидается, удастся решить с приходом в кабельные сети полимерных колодцев транспозиции (фото 1) и стеклопластиковых коробок (фото 2).

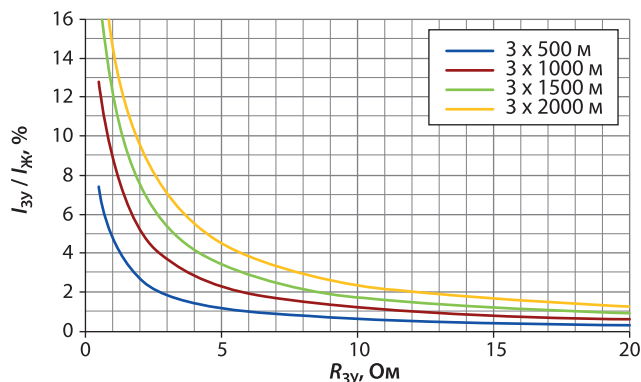
Первые кабельные линии с новым оборудованием, как ожидается, появятся в «Ленэнерго» и «МЭС Северо-Запада» уже летом 2016 г. Преимуществами нового оборудования стали герметичность, коррозионная стойкость, и, что очень важно, электробезопасность, причем вне зависимости от величины сопротивления контура заземления  $R_{ЗУ}$ .

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Дмитриев М.В. Требования к заземлению узлов транспозиции экранов однофазных силовых кабелей 6–500 кВ // Новости ЭлектроТехники. 2013. № 1(79).
2. Дмитриев М.В. Заземление экранов однофазных силовых кабелей 6–500 кВ. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2010.

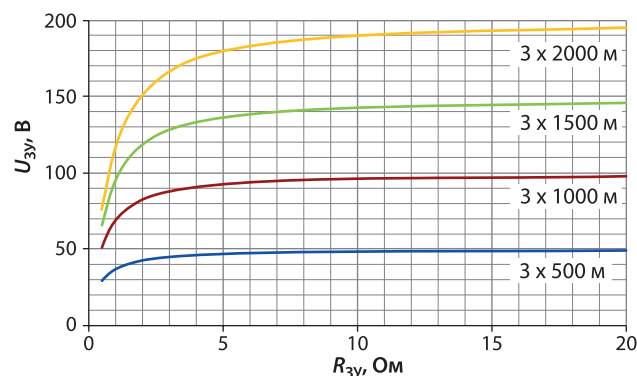
Относительная величина тока, стекающего с экрана кабеля 110 кВ 800/185 мм<sup>2</sup> в ЗУ

Рис. 3 •



Напряжение на ЗУ в условиях рис. 3 при токе в жиле кабеля 800 А

Рис. 4 •



Нижний модуль полимерного колодца транспозиции, где установлены металлическая коробка транспозиции и муляж стеклопластиковой

Фото 1 •



Стеклопластиковая коробка транспозиции

Фото 2 •

