

Выбор испытательного напряжения при измерении частичных разрядов в кабелях на среднее напряжение

Л.А. Ковригин, д-р техн. наук, Пермский государственный технический университет
Кафедра «Конструирования и технологии электрической изоляции»
Л.Г. Сидельников, к-т техн. наук, ОАО «Тест», г. Пермь

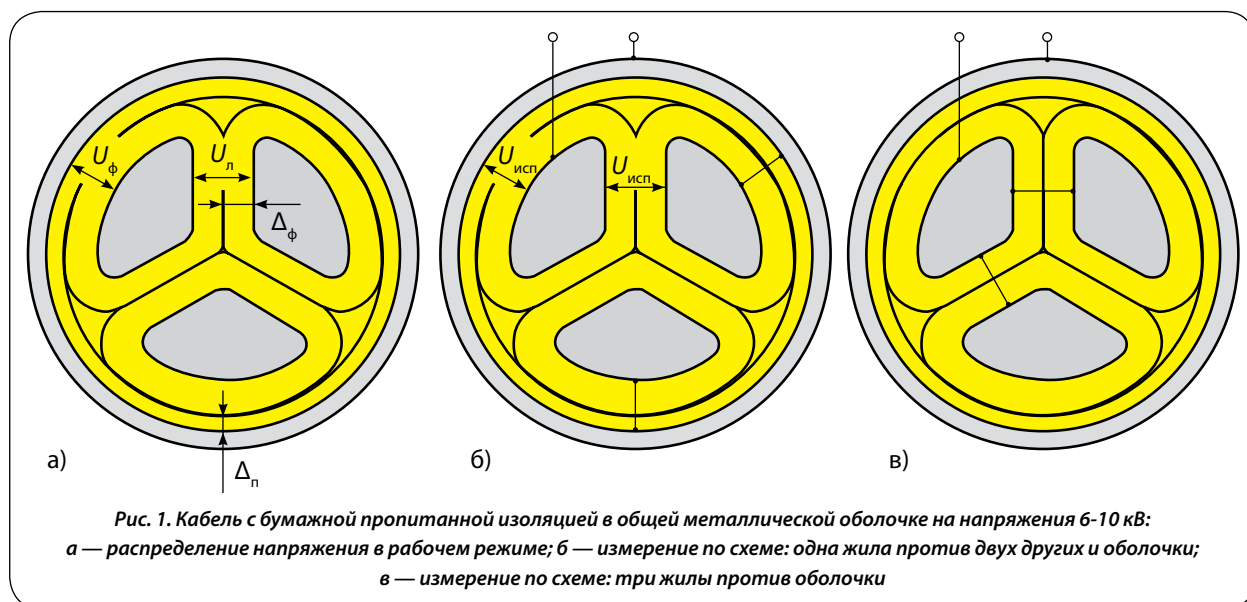
Система OWTS (Oscillating Wave Test System), предназначенная для профилактики изоляции кабельных линий на средние напряжения, широко применяется в Европе. Существенным достоинством OWTS является то, что эта система позволяет определить:

- 1) место возникновения частичных разрядов в кабельной линии;
- 2) уровень частичных разрядов при различных напряжениях;
- 3) тангенс угла диэлектрических потерь;
- 4) емкость.

В России, в отличие от Европы, Америки, Японии и т.д., сети на среднее напряжение (3–35 кВ) работают с изолированной нейтралью. Это обстоятельство существенно влияет на режим работы изоляции. В системах с заземленной нейтралью напряжение на изоляции кабеля не может превышать фазного. Например, в кабеле на класс напряжения 35 кВ на изоляцию воздействует только фазное напряжение $35/\sqrt{3} = 20$ кВ. В системах с изолированной нейтралью в нормальном режиме работы, т.е. когда

на нейтрали нулевой потенциал, на изоляцию воздействует также фазное напряжение. Однако в случае однофазного замыкания на землю, напряжение на нейтрали возрастает до фазного, а на неповрежденных фазах — до линейного. Следовательно, некоторое время изоляция находится под линейным напряжением. Отсюда встает вопрос, при каком напряжении измерять частичные разряды?

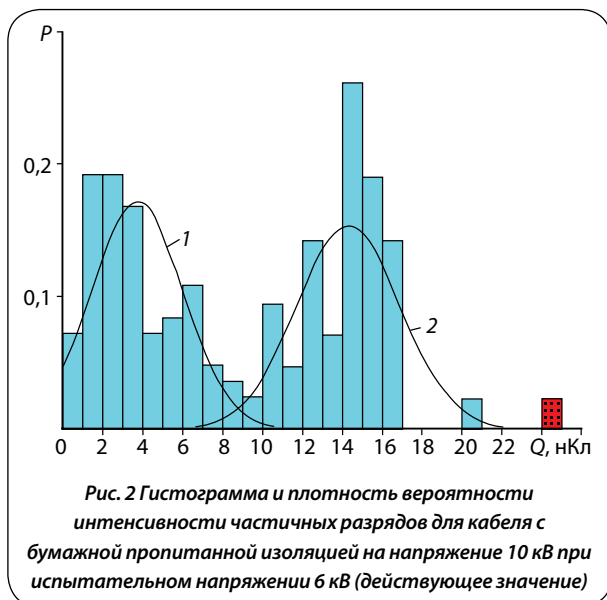
Другая отличительная особенность электрических сетей России — это повсеместное применение на напряжения 6–10 кВ кабелей с бумажной пропитанной изоляцией в общей свинцовой или алюминиевой оболочке (рис. 1). Например, в кабеле на напряжения 10 кВ толщина фазной изоляции Δ_ϕ составляет 2,75 мм, поясной — $\Delta_n = 1,25$ мм. Линейное напряжение (рис. 1а), существующее между фазами, приложено на изоляцию толщиной $2 \cdot \Delta_\phi = 5,5$ мм; фазное напряжение приложено на изоляцию толщиной $2,75 + 1,25 = 4,0$ мм. В связи с этим имеются трудности в выборе величины испытательного напряжения, при котором нужно измерять частичные разряды.



На рис. 1б представлена схема измерения: одна жила против двух других и оболочки. Для испытания изоляции, находящейся между жилой и оболочкой, необходимо приложить фазное напряжение $U_{исп} = U_{\phi} = 10/\sqrt{3} = 20$ кВ, для испытания изоляции, находящейся между жилами, необходимо приложить линейное напряжение $U_{исп} = U_{л} = 10$ кВ. Ясно, что для кабелей, имеющих общую металлическую оболочку, выполнить эти условия невозможно. В том случае, если прикладывается фазное напряжение, изоляция между фазами будет недогружена, в том случае, если прикладывается линейное напряжение, изоляция между фазой и оболочкой будет перегружена.

Еще одна трудность при выборе испытательного напряжения возникает в связи с тем, что класс напряжения — это линейное напряжение на приемнике электроэнергии, на генераторе напряжение на 15% больше, т.е. со стороны генератора на изоляцию воздействует *наибольшее рабочее напряжение* $U_{раб. макс} = 1,15U_{н}$. Когда кабель находится без нагрузки на всей его длине действует наибольшее рабочее напряжение.

На рис. 2 представлена гистограмма частичных разрядов для кабеля с бумажной пропитанной изоляцией на напряжение 10 кВ. Измерения проводились при напряжении $10/\sqrt{3} = 6$ кВ (зарядное напряжение соответствует амплитуде $10\sqrt{2}/\sqrt{3} = 8$ кВ). Общее число измерений — 129. Гистограмма имеет два максимума, поэтому она была представлена двумя кривыми плотности распределения вероятности интенсивности ЧР. Для кривой 1 среднее значение интенсивности ЧР составляет 3,8 нКл, для кривой 2 — 14,4 нКл.



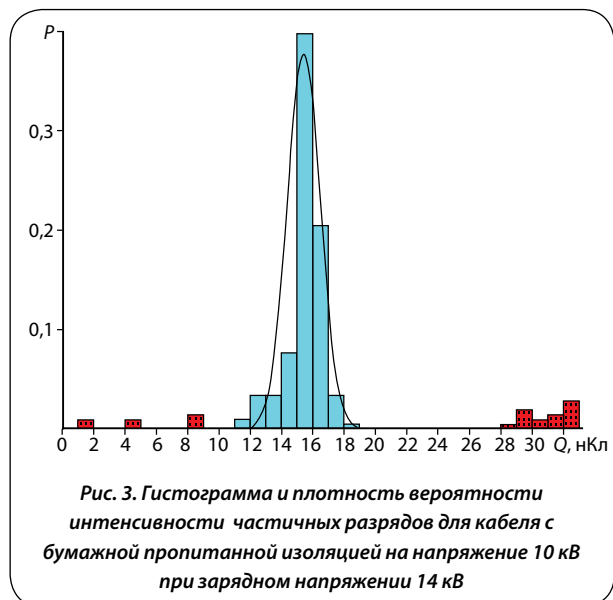
Оценка принадлежности измеренных величин той или иной совокупности производилась по формуле

$$|x_i - \bar{x}| \leq S \left[t^2(\sqrt{P_0}, n) + \frac{1}{n} t^2(P_0, n) \right]^{\frac{1}{2}}, \quad (1)$$

где x_i — измеренные значения; \bar{x} — среднее значение; S — среднее квадратичное отклонение; t — критерий Стьюдента; P_0 — доверительная вероятность; n — число измерений.

Доверительная вероятность была принята $P_0 = 0,99$, так как точность измерения системой OWTS составляет 1%. Вычисления показали, что интенсивность ЧР более 23,6 нКл не принадлежит совокупности 2, т.е. эти разряды вызваны другой причиной, чем разряды, принадлежащие совокупности 2. Такие разряды, скорее всего, обусловлены образованием короны на концах кабеля или разрядами по поверхности концевой муфты.

На рис. 3 представлена гистограмма частичных разрядов для того же кабеля что и на рис. 1, но измерения производились при напряжении 10 кВ (зарядное напряжение соответствует амплитуде $10\sqrt{2} = 14$ кВ). Заштрихованные на гистограмме области не соответствуют генеральной совокупности. Анализируя рис. 1 и 2, можно заключить, что при испытательном напряжении 6 кВ (действующее напряжение) в изоляции между фазой и оболочкой возникают разряды со средней интенсивностью 14,4 нКл, в изоляции между фазами интенсивность меньше — 3,8 нКл, так как больше толщина изоляции. При подъеме испытательного напряжения до



10 кВ (действующее напряжение) в изоляции между фазами интенсивность возрастает до 15,5 нКл, т. е. максимум 1 (рис. 2) перемещается в сторону максимума 2. Максимум становится более острым: среднее квадратичное отклонение уменьшается от 2,6 до 1,1 нКл.

Для того, чтобы отличить разряды, которые происходят в изоляции между жилой и оболочкой, от разрядов между фазами, необходимо измерять по двум схемам. Первая схема: одна жила против двух других и оболочки (рис. 1б); вторая схема: три жилы, соединенные вместе, против оболочки (рис. 1в).

На рис. 4 представлена гистограмма и плотность вероятности интенсивности частичных разрядов для кабеля со сшитой полиэтиленовой изоляцией на напряжение 35 кВ. Гистограмма, построенная для напряжения 14 кВ, имеет один максимум в отличие от кабелей с бумажной пропитанной изоляцией (рис. 2). Это связано с тем, что каждая изолированная токопроводящая жила имеет отдельный электрический экран, поэтому электрическое поле находится между круглой жилой и круглым экраном, толщина изоляции всюду одинакова. В противоположность этому, у кабелей с бумажной пропитанной изоляцией в общей металлической оболочке, толщина изоляции между фазами больше, чем между фазой и землей.

С увеличением испытательного напряжения от 14 кВ (действующее значение) до 25 кВ среднее значение ЧР увеличивается от 5,3 до 15 нКл, т.е. кривая 1 трансформируется в кривую 2; среднее квадратичное отклонение возрастает от 2,6 до 6,4 нКл.

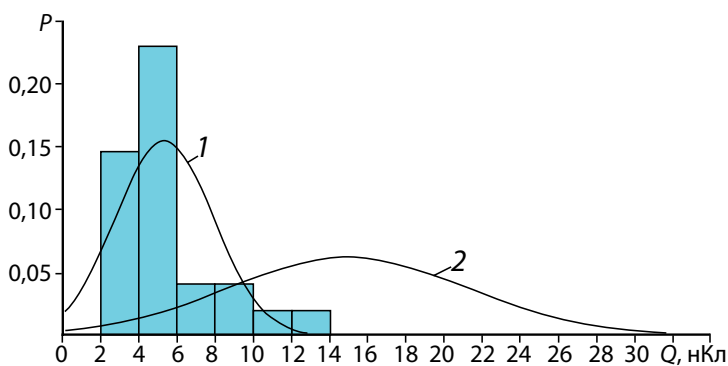


Рис. 4. Гистограмма и плотность вероятности интенсивности частичных разрядов для кабеля со сшитой полиэтиленовой изоляцией на напряжение 35 кВ при испытательном напряжении: 1 — 14 кВ (действующее значение); 2 — 25 кВ

Кабели с бумажной пропитанной изоляцией и полиэтиленовой изоляцией ведут себя по-разному. При низких напряжениях (рис. 2, кривая 1 и рис. 4, кривая 1) разброс значений — одинаковый ($S = 2,62$ нКл), при больших значениях напряжения у бумажной пропитанной изоляции разброс уменьшается ($S = 1,1$ нКл), у полиэтиленовой — увеличивается ($S = 6,4$ нКл). В полиэтиленовой изоляции возникают новые очаги с малой интенсивностью и в имеющихся очагах интенсивность ЧР возрастает. В бумажной пропитанной изоляции новые очаги ионизации не возникают, происходит увеличение интенсивность ЧР в существующих очагах: кривая 1 (рис. 2) смещается в сторону кривой 2.

Дальнейшие работы по измерению ЧР при напряжениях, указанных в настоящей работе, позволят выработать норму частичных разрядов в кабельных линиях применительно для территории России.

Выводы

1. Заключение о соответствии нормам уровня частичных разрядов кабельной линии должно производиться по значениям ЧР, снятых при следующих напряжениях.

1.1. У кабелей на напряжения 20 и 35 кВ, имеющих отдельный экран по каждой изолированной токопроводящей жиле, частичные разряды должны измеряться при фазном наибольшем рабочем напряжении, т.е. $U_{исп} = 1,15U_n/\sqrt{3}$ (действующее напряжение); зарядное напряжение должно соответствовать амплитудному значению $U_{зар} = \sqrt{2}U_{исп}$.

1.2. У кабелей на напряжения 6 и 10 кВ, не имеющих отдельный экран по каждой изолированной токопроводящей жиле, частичные разряды должны измеряться при фазном и линейном наибольшем рабочем напряжении, т.е. $U_{исп1} = 1,15U_n/\sqrt{3}$ и $U_{исп2} = 1,15U_n$ (действующее напряжение); зарядное напряжение должно соответствовать амплитудному значению $U_{зар} = \sqrt{2}U_{исп}$.

2. У кабелей на напряжения 6 и 10 кВ, не имеющих отдельный экран по каждой токопроводящей жиле, частичные разряды должны измеряться по двум схемам:

- 1) одна жила против двух других и оболочки;
- 2) три жилы, соединенные вместе, против оболочки.

3. С увеличением напряжения в полиэтиленовой изоляции возникают новые очаги ЧР, в бумажной пропитанной изоляции увеличивается интенсивность ЧР в существующих очагах ионизации.