

УЧЕТ КОММУТАЦИОННЫХ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ ПРИ РАСЧЕТЕ
НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ИЗОЛЯЦИИ

В. С. ДМИТРЕВСКИЙ

(Представлена научным семинаром кафедры электроизоляционной и кабельной
техники)

Расчет надежности электрической изоляции должен учитывать воздействие рабочих и коммутационных перенапряжений. Надежность электрической изоляции при действии напряжения U и времени τ находится как вероятность безотказной работы в течение времени τ .

Кратность напряжений $k = \frac{U}{U_{\phi}}$ является случайной функцией и подчиняется нормальному закону распределения [1].

Время жизни изоляции может быть выражено [2, 3].

$$\tau = \frac{A}{E^m} \quad (1)$$

или при условии, что заданы размеры конструкции

$$\tau = \frac{B}{U^m}, \quad (2)$$

где τ — время до пробоя изоляции;

A, B — постоянные, зависящие от вида материала и конструкции;

E, U — соответственно напряжение и напряженность поля, действующие на изоляцию;

m — показатель.

Нетрудно получить распределение времени до пробоя изоляции при каком-то напряжении. Используя выражение 2, можно, вводя масштабный коэффициент, перейти от одного напряжения к другому, например, от испытательного — к рабочему. Однако для практических расчетов необходимо знать распределение времени до отказа изоляции при воздействии рабочего напряжения и коммутационных напряжений. Полагая, что отказы изоляции под действием рабочего перенапряжения и коммутационных перенапряжений являются независимыми, вероятность отказов можно найти как сумму вероятностей двух независимых событий, т. е. [4].

$$Q(\tau) = Q_1(\tau) + Q_2(\tau) - 2Q_1(\tau)Q_2(\tau). \quad (3)$$

В этом уравнении $Q_1(\tau)$ — вероятность отказа изоляции при действии рабочего напряжения, $Q_2(\tau)$ то же, но при действии коммутационных перенапряжений.

Для того, чтобы воспользоваться распределением времени до отказа при эксплуатационных условиях, введем понятие эффективной величины напряжения. Эффективное напряжение — это такое напряжение, при котором время до отказа изоляции равно времени до отказа изоля-

ции при действии амплитуд перенапряжений, при условии, что последние следуют одно за другим без пауз. Эффективное напряжение можно найти

$$U_{\text{э}} = U_{\text{ф}} \sqrt[m]{\int_1^{\infty} \kappa^m f(\kappa) d\kappa}. \quad (4)$$

Учитывая, что распределение кратности перенапряжений является нормальным, получим

$$U_{\text{э}} = U_{\text{ф}} \sqrt[m]{\int_1^{\infty} \kappa^m \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} e^{-\frac{(\kappa-\bar{\kappa})^2}{2\sigma^2}} d\kappa}. \quad (4a)$$

Интеграл в уравнении 4а не выражается через простейшие функции. Его можно вычислить на счетно-решающих машинах или заменить интеграл суммой

$$U_{\text{э}} = U_{\text{ф}} \sqrt[m]{\sum_1^{\infty} \kappa^m \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} e^{-\frac{(\kappa-\bar{\kappa})^2}{2\sigma^2}} \Delta\kappa}. \quad (4б)$$

Если перенапряжения ограничиваются аппаратами защиты, то интеграл в (4а) и сумма (4б) берутся до максимальной кратности перенапряжений, которую допускает существующая защита.

Время действия каждого перенапряжения равно t_n , а пауза между ними — t_0 .

В общем случае t_n и t_0 случайные величины. Однако решая задачу в первом приближении, можно воспользоваться математическими ожиданиями t_n и t_0 . Тогда эффективное время действия напряжения при перенапряжении найдется:

$$\tau_{\text{д}} = \beta \frac{t_n \tau}{t_0}, \quad (5)$$

где τ — время эксплуатации изоляции;

β — коэффициент ускорения старения изоляции при чередовании воздействия напряжения и отдыха.

Так в [5] показано, что при приложении переменного напряжения в течение 30 мин с паузами 15 мин дает $\beta=2$, а при приложении в течение 1 мин с паузами в 30 мин $\beta=30$.

Нами получено, что при воздействии аperiodических импульсов напряжения число импульсов до пробоя изоляции в 2—3 раза больше числа полупериодов переменного тока.

Пользуясь уравнением (2), (4) и (5), можно получить $Q_2(\tau)$, если известно распределение времен отказов изоляции при каком-либо напряжении.

Предлагаемая методика может быть использована для любой электроизоляционной конструкции, для которой известно уравнение кривой жизни (2).

ЛИТЕРАТУРА

1. А. Е. Артемьев, Н. Н. Тиходеев, С. С. Шур. Статистические основы выбора изоляции линий электропередачи, изд. «Энергия», 1965.
2. В. Т. Ренне. Электрическая прочность бумажных конденсаторов. В сб. «Пробой диэлектриков и полупроводников», изд. «Энергия», 1964.
3. Л. А. Бибергаль, Э. А. Наги, С. С. Соломоник. Кабели и провода для электронной аппаратуры, изд. «Энергия», 1964.
4. А. Д. Епифанов. Надежность автоматических систем, изд. «Машиностроение», 1964.
5. Т. Ю. Баженова. Использование ионизационных характеристик для сравнительной оценки некоторых новых видов изоляции. В сб. «Ионизационное старение, короностойкость и методы испытаний высоковольтной изоляции», ЦИНТИ электропромышленности, 1963.