

$$\alpha = \frac{D_L + D_C}{2} - \sqrt{D_L D_C} = \frac{|D_L + D_C|}{2},$$

и легко рассчитывается через разницу углов потерь энергии в проводниках  $\delta_L$  и в материале изоляции  $\delta_C$ . Из рисунка видно, что перекоп добротности приводит к незначительному уменьшению коэффициента фазы  $\beta$  и значительному увеличению коэффициента затухания  $\alpha$ ; действительная часть показателя добротности практически равна модулю, но появляется мнимая часть, что приводит к увеличению потерь. Одновременно перекоп добротности приводит к появлению мнимой части у волнового сопротивления и искажениям в передаче сигналов.

При стремлении улучшить качество линии за счёт применения новых материалов или изменения геометрии следует помнить о балансе между добротностью проводников и изоляции, мнимая добротность приносит не пользу, а вред.

С применением комплексного показателя добротности электрических линий  $qe^{-j\epsilon}$  формула постоянной распространения может быть записана в виде

$$\Gamma = \sqrt{r_0 g_0} (1 + jqe^{-j\alpha}) = \sqrt{r_0 g_0} (1 + qe^{j(\pi/2 - \alpha)}) = \sqrt{L_0 C_0} (1/q + \alpha + j).$$

Расчёт комплексного показателя добротности электрической линии позволит объективнее оценить потенциальные возможности линии, сравнить качество линий с новой точки зрения, а также найти пути возможного улучшения как самих линий, так и режимов их использования.

УДК 621.315

## О НЕРАЗРУШАЮЩЕМ КОНТРОЛЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ИЗОЛЯЦИИ

С. Л. КУРИЛИН

Белорусский государственный университет транспорта

И. В. МОЛОЖАВСКИЙ  
КПУП «Гомельводоканал»

Электрическая изоляция при эксплуатации стареет, что, в конце концов, приводит к её пробое и выходу электроустановок из строя. Старение изоляции происходит в результате химических реакций, вызванных воздействием плазмы, а также озона и других активных веществ, образующихся при частичных разрядах.

Частичные разряды (ЧР) происходят в местах наибольшей напряжённости электрического поля, там, где наблюдается его неоднородность. Разрушение изоляции происходит в виде специфических дефектов, которые раньше называли водяными дендритами (гр. *dendron* – дерево), а теперь используют термин «водные триинги» (англ. *tree* – дерево). Дендрит прорастает в изоляционный слой подобно корням дерева, при этом постепенно увеличивается мощность разряда, а эффективная толщина изоляции уменьшается, что, в конце концов, приводит к пробое. Процессы прорастания дендритов длятся годами и десятилетиями, современный уровень развития техники позволяет их контролировать, прогнозируя момент выхода электрооборудования из строя и оценивая остаточный ресурс службы. Этот подход коренным образом отличается от прежней методики периодических испытаний изоляции повышенным напряжением, регламентированной ПТЭ, согласно которой под действием многократных испытательных перенапряжений происходит либо пробой изоляции, которая ещё могла бы послужить, либо возникают дефекты, которые приводят к ускорению процесса старения.

Частичные разряды сопровождаются колебаниями в звуковом и ультразвуковом диапазонах, а также радиочастотным электромагнитным излучением. Неразрушающий контроль электрической изоляции проводится путём обнаружения ЧР с помощью акустических и электромагнитных датчиков и обработки полученной при этом информации по различным методикам, которые являются «ноу-хау» производителей диагностического оборудования; здесь очень важно «отстроиться» от помех, создаваемых другим, работающим рядом электрооборудованием.

Различают два варианта измерения ЧР при контроле изоляции:

1 Комплексное обследование электрооборудования, при котором напряжение постепенно повышают, фиксируя моменты и места появления ЧР. Такую обследованию должна предшествовать проверка изоляции на влажность, т. к. при слишком большой влажности ЧР могут не возникнуть. Для определения мест возникновения ЧР в кабелях используют принцип рефлектометрии. В технически передовых странах предварительной диагностике с контролем ЧР обязательно подвергается все вводимое в строй электрооборудование, а последующие периодические обследования позволяют наблюдать процесс старения изоляции в динамике.

2 Непрерывный контроль изоляции работающего оборудования, при котором используют ту особенность, что под действием переменного напряжения возникновение и гашение ЧР происходят каждые полпериода; информацией служит фаза синусоидального напряжения в эти моменты, мощность и спектр акустического сигнала и электромагнитного излучения.

Основными характеристиками диагностического оборудования являются:

- частотные и динамические диапазоны акустических и электромагнитных датчиков, а также их количество;
- точность определения места возникновения ЧР в кабеле и максимальная длина контролируемой кабельной линии;
- форма представления информации, методика её обработки и достоверность прогноза;
- требования к квалификации обслуживающего персонала.

Измерительные комплексы и отдельные приборы для неразрушающего контроля изоляции методами измерения ЧР, имеющие различную степень сложности, предлагаются иностранными и российскими производителями по различным ценам. Сведений об эксплуатации этого и аналогичного диагностического оборудования в Республике Беларусь не имеется, крупные предприятия проявляют интерес к его приобретению. Из оборудования, предназначенного для комплексного обследования кабельных линий, следует отметить систему *OWTS* интегральной оценки работоспособности бумажно-масляных кабелей и кабелей с изоляцией *XLPI*, немецкой фирмы *Seba-KMT*; из устройств, предназначенных для контроля изоляции под напряжением – серию приборов пермской фирмы «Виброцентр».

В связи с общепризнанным фактом старения кабельных линий альтернативы внедрению методов неразрушающего контроля изоляции нет, вопрос стоит о соотношении цены и эффективности, а также об адаптации методики, приборов и программного обеспечения к нашим условиям. Следует отметить, что для комплексного контроля методы измерения ЧР должны использоваться совместно с измерением  $\text{tg}\delta$  на частоте 0,1 Гц, а лучше – измерением емкости и  $\text{tg}\delta$  в диапазоне частот от 0,1 до 1 Гц (дielekтрическая спектроскопия).

УДК 674.812

## ПРИМЕНЕНИЕ СПОСОБА ТЕРМОКОНТРАСТНЫХ ВАНН ДЛЯ ПРОПИТКИ МОДИФИЦИРОВАННОЙ ДРЕВЕСИНЫ ТРИБОТЕХНИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ

*В. В. МАКЕЕВ, В. Б. ВРУБЛЕВСКИЙ*

*Белорусский государственный университет транспорта*

Применение прессованной древесины в качестве антифрикционного материала возможно после проведения ее модифицирования смазочным материалом (СМ). Прессование и пропитка СМ придают ей по сравнению с натуральной древесиной комплекс повышенных физико-механических и антифрикционных свойств.

Одним из наиболее перспективных методов получения вкладышей подшипников скольжения является торцово-прессовое деформирование (ТПД), которое позволяет при помощи гибкой дискретной системы сформировать бездефектный древесный вкладыш влажностью  $W = 20 \pm 3\%$ , степень прессования которого по внутренней и наружной поверхностям составляет соответственно  $\epsilon_{\text{вн}} = 48 \dots 52\%$ ,  $\epsilon_{\text{н}} = 12 \dots 18\%$ .

Для придания древесному вкладышу свойства самосмазываемости его пропитывают смазочным материалом (СМ), модифицированным высокомолекулярной полимерной присадкой.

Цель работы – исследовать процесс пропитки древесины ТПД для увеличения степени наполнения ее загущенным смазочным материалом. Для этого вкладыши, запрессованные в промежуточные стальные цилиндрические обоймы, помещались в *горячую* ванну ( $t = 130 \pm 5^\circ\text{C}$ ) со СМ на основе минерального масла с растворенной высокомолекулярной полимерной присадкой дисперсностью 40 мкм, массовая доля которой составляла  $k_{\text{мас}} = 2\%$ . Завершающая стадия пропитки и одновременного охлаждения древесных вкладышей проводилась в емкостях со смазочным материалом с различной массовой долей растворенной высокомолекулярной присадки  $k = 0,1 \dots 1\%$ . Температура СМ составляла  $t = 20 \pm 5^\circ\text{C}$ .

Для определения количества влаги, которая выделяется в процессе пропитки в горячей ванне, непропитанные древесные вкладыши ТПД влажностью  $W = 20 \pm 3\%$  помещались в термощкаф при температуре  $t = 130 \pm 5^\circ\text{C}$ .

Анализ полученных данных показывает, что влажность древесины снижается до  $W = 3\%$  за 40 минут пребывания в термощкафу при температуре  $t = 130 \pm 5^\circ\text{C}$  и в дальнейшем существенно не изменяется. Масса