

Краткие сообщения

04;12

Зависимость фазы появления частичных разрядов в полиэтиленовой изоляции от стадии роста дендрита

© М.М. Резинкина, О.Л. Резинкин, М.И. Носенко

E-mail: MarinaR@kpi.kharkov.ua

(Поступило в Редакцию 15 мая 2000 г.)

Широкое применение полиэтилена в качестве изоляции, в особенности кабелей, вызывает интерес к исследованию в нем процессов ионизационного старения, приводящих к пробое. Для диагностики кабелей используется измерение частичных разрядов (ЧР). В настоящее время делаются попытки распознавания вида дефекта по измеренным ЧР (см., например, [1]). В работе [2] описаны теоретические и экспериментальные исследования, целью которых было определение стадии развития дендрита в полиэтилене по характеру последовательности фаз появления ЧР относительно приложенного напряжения. Согласно [2], такие последовательности на каждом периоде приложенного напряжения строго детерминированы в зависимости от длительности роста дендрита. Однако, как показывает практика, данные процессы имеют стохастический характер, поэтому периодическое повторение фаз появления ЧР вряд ли возможно, что показали и наши измерения.

Зарегистрировав ЧР в кабеле, необходимо оценить, насколько опасны вызывающие их дендриты: происходит ли их рост в длину, активен ли этот процесс. Данная работа направлена на экспериментальное исследование корреляции между стадией роста дендрита и характеристиками сопутствующих этому ЧР.

Как отмечается в [3], в процессе роста дендрита уровень кажущихся зарядов ЧР существенно не меняется, оставаясь в пределах 10^{-11} – 10^{-12} С. Согласно [12], наиболее характерные изменения в процессе развития триинга претерпевают фазы появления ЧР. Технически регистрация фаз появления ЧР без фиксирования величины их кажущегося заряда и временной развертки тока ЧР является наиболее простым, дешевым и доступным для использования на практике способом диагностики. Для регистрации фазы начала ЧР относительно уровня приложенного напряжения использовались аналого-цифровой преобразователь и персональный компьютер.

В большинстве случаев при лабораторных исследованиях подобных процессов применяется электродная система игла–плоскость (см., например, [3–6]), так как она позволяет локализовать месторасположение дендрита, а также исключить статистическое время задержки его появления и наблюдать начальную стадию его развития.

Для экспериментов использовались образцы, представляющие собой отрезки кабеля РК-100-7-13 со снятой

оплеткой, деформированные в нагретом состоянии до размеров $15 \times 15 \times 5$ мм. Перпендикулярно жиле кабеля в образец вводилась игла с радиусом острия порядка $2 \mu\text{m}$, играющая роль высоковольтного электрода. Расстояние между жилой и кончиком иглы 1.5 мм. Исследования проводились при заземленной жиле и приложении к игле напряжения $U = 7 \text{ kV}$ и 9 kV промышленной частоты. Чтобы избежать появления короны и перекрытия промежутка по поверхности, а также обеспечить оптическую регистрацию дендрита, образцы помещались в прозрачную кювету с трансформаторным маслом.

Предварительные эксперименты показали, что для рассматриваемой электродной системы $U = 7 \text{ kV}$ близко к начальному напряжению появления ЧР. При этом напряжении рост дендрита в длину практически прекращается через 25–30 мин после начала его развития, а затем происходят лишь сгущение и утолщение ветвей. Напротив, $U = 9 \text{ kV}$ близко к пробивному напряжению рассматриваемой электродной системы, и рост доминирующей ветви дендрита происходил весьма активно во всех образцах. При этом напряжении можно проследить, какова динамика изменения характеристик статистических распределений фаз появления ЧР дендритов, активно растущих в длину.

Для сравнения статистических характеристик ЧР обычно используют третий и четвертый центральные моменты [1]: асимметрию A^+ , A^- и эксцесс \mathcal{E}^+ и \mathcal{E}^- на положительной и отрицательной полуволнах приложенного напряжения соответственно. Полученные статистические распределения имеют, как правило, многомодальный вид, поэтому асимметрия и эксцесс, рассчитанные непосредственно по экспериментальным данным, не отражают характер среднего распределения, сглаживающего данные пульсации. Статистические распределения фаз появления ЧР относительно приложенного напряжения являются сложными функциями, изменяющимися на разных стадиях развития дендрита. Поэтому в данном случае наиболее универсальным подходом к их сглаживанию является использование полиномов. Для описания формы распределений фаз появления ЧР с помощью таких величин, как асимметрия и эксцесс, использовалась аппроксимация экспериментального статистического распределения с помощью полиномов десятой–двадцатой степени. Одновременно с регистрацией ЧР

осуществлялось оптическое наблюдение за вызывающими их дендритами. На рис. 1, 2 представлены типичные статистические распределения частоты фаз появления ЧР при $U = 7 \text{ kV}$ и 9 kV на начальной стадии роста дендрита (рис. 1), а также более поздней стадии (рис. 2): для $U = 9 \text{ kV}$ непосредственно перед пробоем промежутка, для $U = 7 \text{ kV}$ — через 1.5 h после начала развития дендрита, когда произошло прекращение его роста в длину. На рисунках приведены сглаженные распределения, аппроксимированные полиномом двадцатой степени.

Проведенные экспериментальные исследования показали, что форма распределения фаз появления ЧР существенно меняется во времени и может использоваться для распознавания стадии развития дендрита, а также степени активности роста его доминирующей ветви. На начальной стадии независимо от уровня приложенного напряжения статистические распределения фаз имеют сходный характер: они несимметричны на положительной и отрицательной полувольте приложенного напряжения, причем на положительной полувольте распределения положительно асимметричны при средних значениях $A^+ = 0.278$ для 9 kV и $A^+ = 0.372$ для 7 kV , а на отрицательной — слабо отрицательно асимметричны с $A^- = -0.09$ для 9 kV , $A^- = -0.145$ для 7 kV . Данные распределения имеют средний отрицательный эксцесс на положительной и отрицательной полуволнах приложенного напряжения: $\mathcal{E}^+ = -0.607$, $\mathcal{E}^- = -0.753$ при 9 kV и $\mathcal{E}^+ = -0.409$, $\mathcal{E}^- = -0.628$ при 7 kV . По мере развития дендрита особенности распределений частоты фаз появления ЧР и характеризующие их ас-

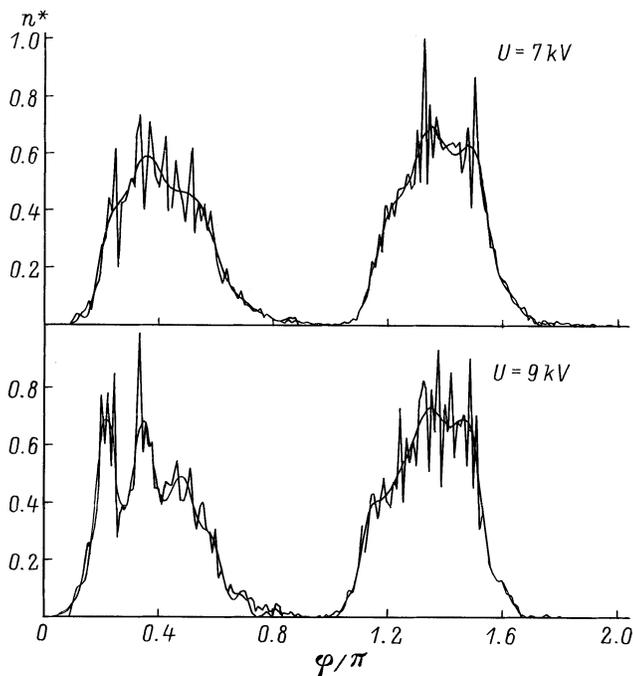


Рис. 1. Зависимость относительного количества ЧР в полиэтиленовой изоляции $n^* = n/n_{\text{max}}$ от фазы их появления φ на начальной стадии развития дендрита (n , n_{max} — количество ЧР и максимальное количество ЧР соответственно).

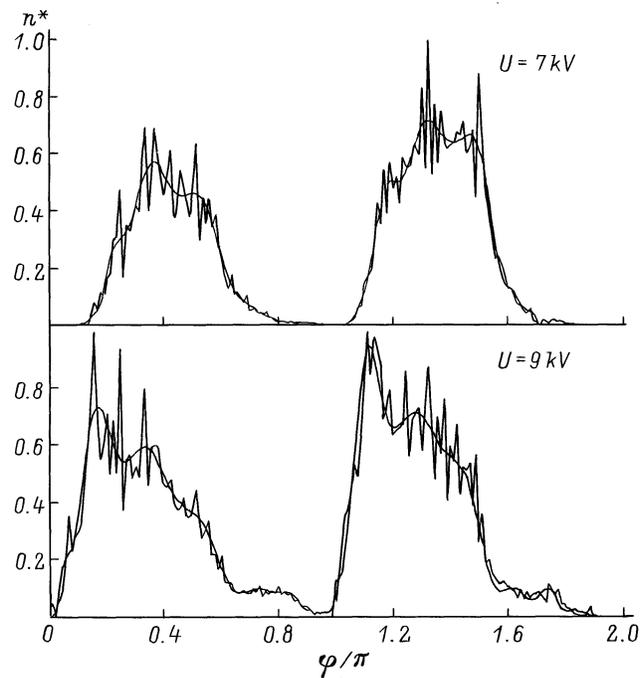


Рис. 2. Зависимость n^* от φ через 12 min после начала развития дендрита перед его перекрытием разрядного промежутка ($U = 9 \text{ kV}$) и через 1.5 h после начала развития дендрита, когда его рост в длину практически прекращается ($U = 7 \text{ kV}$).

симметрия и эксцесс в зависимости от того, происходит ли дальнейший рост длины дендрита, меняются по-разному. Так, если рост доминирующей ветви дендрита активен, его характеристики по мере завершения пробоя изоляционного промежутка изменяются: формы распределения фаз появления ЧР на отрицательной и положительной полуволнах приложенного напряжения приобретают схожий характер: становятся отрицательно асимметричными — $A^+ = -0.558$, $A^- = -0.371$ с менее сглаженными вершинами — $\mathcal{E}^+ = -0.19$, $\mathcal{E}^- = -0.388$ ($U = 9 \text{ kV}$). Если же рост длины дендрита прекращается и происходит лишь его сужение, распределение фаз ЧР имеет явно выраженный несимметричный характер на положительной и отрицательной полуволнах приложенного напряжения: $A^+ = -0.225$, $A^- = -0.029$, $\mathcal{E}^+ = -0.407$, $\mathcal{E}^- = -0.739$ ($U = 7 \text{ kV}$).

Выводы

1. На начальной стадии развития, а также при прекращении роста дендрита в длину статистические распределения фаз появления ЧР имеют следующие особенности: у них сглаженные вершины, они несимметричны на положительной и отрицательной полувольте приложенного напряжения, причем на положительной полувольте они положительно асимметричны, а на отрицательной практически симметричны или отрицательно асимметричны (рис. 1, 2, $U = 7 \text{ kV}$).

2. В случае активного роста дендрита в длину, когда он становится опасным с точки зрения перекрытия межэлектродного промежутка, распределения фаз появления ЧР на отрицательной и положительной полуволне становятся сходными: они положительно асимметричные и слабо заостренные (рис. 2, $U = 9 \text{ kV}$).

Список литературы

- [1] *Kreuger F.H., Galski E., Krivda A.* // IEEE Trans. on Electr. Insulation. Vol. 28. N 6. Dec. 1993. P. 917–931.
- [2] *Hoof M., Patch R.* // 9th Intern. Symposium on High Voltage Engineering. 1995. Vol. 5. P. 5606.
- [3] *Кучинский Г.С.* Частичные разряды в высоковольтных конструкциях. Л.: Энергия, 1979. 233 с.
- [4] *Krause G.* // 7th Intern. Symposium on High Voltage Engineering. Dresden, 1991. Vol. 7. P. 107–110.
- [5] *Kawamura H., Nawata M.* // 10th Intern. Symposium on High Voltage Engineering. Montreal (Canada), 1997.
- [6] *Sagle G.* // Ibid.