

ВЫСОКОМОЛЕКУЛЯРНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ

Том (4) IX

1967

№ 12

УДК 678.744:678.01:53

О ВЛИЯНИИ ИМПУЛЬСНОГО γ -НЕЙТРОННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА ДИЭЛЕКТРИЧЕСКУЮ ПРОНИЦАЕМОСТЬ ПОЛИМЕТИЛМЕТАКРИЛАТА

В. В. Зубов, В. Ф. Хохряков, Ю. Ф. Тутуров

За последние годы появилось значительное число работ, посвященных изучению свойств диэлектрических материалов, находящихся в поле излучений высокой энергии — γ -излучения, нейтронного и др. Как правило, облучение исследуемых объектов в данных работах проводилось на стационарных источниках и реакторах, а предметом исследования являлись такие макроскопические характеристики, как электропроводность, механические и диэлектрические свойства изоляционных материалов.

В иностранной литературе опубликован также ряд работ по влиянию импульсного γ -нейтронного излучения в основном на электропроводность материалов [1—3].

Эта статья посвящена методике измерения диэлектрической проницаемости и тангенса угла диэлектрических потерь изоляционных материалов в процессе их облучения импульсным γ -нейтронным потоком, а также экспериментальным результатам по исследованию влияния импульсного γ -нейтронного излучения на диэлектрическую проницаемость полиметилметакрилата (ПММА).

Экспериментальная часть

Исследуемые образцы из ПММА облучали γ -нейтронными импульсами колоколообразной формы с полушириной от 50 мксек до 1—2 мсек. Максимальная интенсивность нейтронной и гамма-компонент в импульсе не превышала соответственно $2 \cdot 10^{18}$ н/см²/сек, 10^9 р/сек. Энергетический спектр нейтронов близок к делительному.

Образцы из ПММА приготавливали в виде дисков диаметром 110 мм и толщиной 1 мм. Использовали трехэлектродную систему подключения. Электроды наносили вакуумным распылением меди на образец. Начальная емкость образцов 100 пФ. Образцы располагали в герметичной колбе с осушителем.

Изменение диэлектрической проницаемости измеряли прибором, в основу которого был положен описанный ниже принцип. Одновременно с регистрацией $\Delta\epsilon / \epsilon_0$ (в качестве регистратора использовали двухлучевой катодный осциллограф) фиксировали сигнал, повторяющий форму импульса излучения.

Измерительная аппаратура располагалась вне зоны действия облучения и соединялась с образцом кабелями длиной 20 м.

Методика измерений. Измерение диэлектрической проницаемости и тангенса угла потерь при облучении материалов импульсным γ -нейтронным потоком связано с рядом трудностей. Эти трудности заключаются в следующем.

1. Измерительная аппаратура не может располагаться в непосредственной близости от образца и соединяется с ним кабелями, длина которых иногда достигает нескольких десятков метров. При этом емкость кабелей, их сопротивление изоляции могут меняться в процессе эксперимента.

2. Изменения исследуемых параметров носят быстропеременный характер.

3. В момент импульса излучения на подводящих кабелях возникают электромагнитные помехи, по спектру близкие к спектру измеряемых величин.

Таким образом, измерительная аппаратура должна исключать: 1) влияние изменяющихся параметров кабеля; 2) электромагнитные помехи и 3) обладать достаточным быстродействием. Существующие приборы для измерения ϵ и $\operatorname{tg} \delta$ не удовлетворяют этим требованиям.

В данной статье рассматривается дистанционный метод измерения ε и $\operatorname{tg} \delta$, а также их изменений на частотах $f \ll v/4L$ (где v — скорость распространения волны в линии, L — длина линии), позволяющий преодолеть указанные трудности. Вопрос измерения ε и $\operatorname{tg} \delta$ на частотах сравнимых и больших, чем $f_k = v/4L$, остается до настоящего времени открытым.

Предлагаемый метод по существу является разновидностью мостовых методов измерения и отличается от них несколько необычным соотношением плеч, что позволило в пределах заданной точности исключить влияние изменяющихся параметров

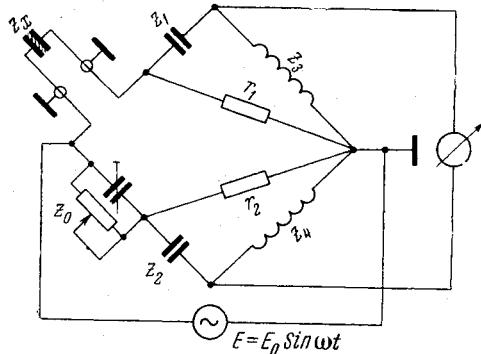


Рис. 1. Принципиальная схема измерения

кабеля на результаты эксперимента. Принципиальная и эквивалентная схемы измерения приведены на рис. 1, 2.

Можно показать, что если колебательный контур, образованный индуктивностью вспомогательного плеча моста (z_3) и емкостью (z_1), включен последовательно с образцом, настроен в резонанс с частотой генератора (аналогично настраивается, идентичный первому, контур в цепи эталонного конденсатора), то условием баланса

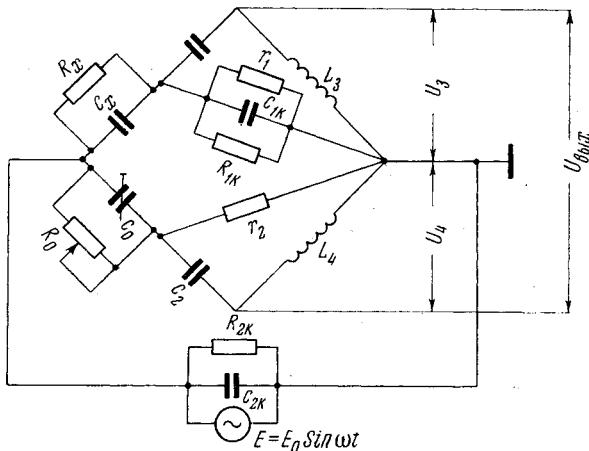


Рис. 2. Эквивалентная схема измерения

моста для случая, когда можно пренебречь влиянием активных сопротивлений контуров, индуктивностей и активных сопротивлений жил кабелей, а также принять внутреннее сопротивление генератора равным нулю, а входное сопротивление индикатора равным ∞ , будет обычное соотношение

$$z_x z_y = z_0 z_3, \text{ или } z_x = z_0. \quad (1)$$

При этом соотношение (1) не зависит от емкости и сопротивления изоляции кабелей.

Изменение емкости исследуемого образца определяется по изменению модуля напряжения U_3 относительно модуля напряжения U_4 , а приращение тангенса угла потерь — по сдвигу фазы между ними. Расчеты приводят к следующим выражениям:

$$|U_3| - |U_4| = E_0 \frac{c_{x0}}{c_1} \cdot \frac{\Delta c_x}{c_{x0}}, \quad \varphi_3 - \varphi_4 \approx \Delta \delta_x \approx \Delta \operatorname{tg} \delta_x, \quad (2)$$

а инерционность схемы — $T_{\text{в}}$ при условии $c_x \ll c_{1K}$, $r_1 \ll R_x$, R_{1K}

$$3\omega^2 c_{1K}^2 r_1^2 \left(1 + \frac{c_1}{c_{1K}} \right) \leq 0,1, \quad \left| 9\omega^2 c_{1K}^2 r_1^2 \left(-1 + \frac{c_1}{2c_{1K}} \right) \right| \leq 0,1 \quad (3)$$

будет равна $T_{\text{в}} = 3 - 5 \cdot 2/\omega^2 c_{1K} r_1 \left(1 + \frac{c_1}{c_{1K}} \right)$.

Был изготовлен макет со следующими техническими параметрами:

- 1) рабочая частота — 100 кГц; 2) диапазон измеряемых емкостей 50 — 150 пФ;
- 3) основная погрешность измерения начальных значений емкостей $\pm 3\% \pm 0,5 \text{ пФ}/c_{x0}$;
- 4) основная погрешность измерения приращения емкости не превышает 3% (без учета погрешности регистрирующего устройства); 5) диапазон измерения начальных значений тангенса угла потерь 0,01—0,1; 6) основная погрешность измерения начального значения тангенса угла потерь $\pm 5 \div 10\% \pm 8 \cdot 10^{-3}$; 7) основная погрешность измерения приращения тангенса угла потерь $\pm 5 + 10\% \pm 2 \cdot 10^{-3}$; 8) инерционность системы при изменении приращений $\Delta c_x / c_{x0}$, $\Delta \operatorname{tg} \delta_x$, $\sim 25\text{--}30 \text{ мксек}$.

Указанные погрешности были рассчитаны и определены экспериментально при подсоединении образцов к схеме кабелем типа РК-19 длиной в 20 м и относительном изменении его емкости — $\Delta c_{1K} / c_{1K}$ на 20%.

Как было сказано выше, на подводящих кабелях в момент импульса излучения возникает электромагнитная наводка по частотному спектру, близкая к спектру регистрируемых сигналов. Был проведен ряд экспериментов, показавших, что амплитуда электромагнитной наводки существенно зависит от сопротивления, на которое нагружен кабель. В рассматриваемой измерительной схеме подводящие концы кабелей нагружены на сопротивления, которые позволили снизить амплитуду электромагнитной наводки до уровня, лежащего ниже порога чувствительности аппаратуры.

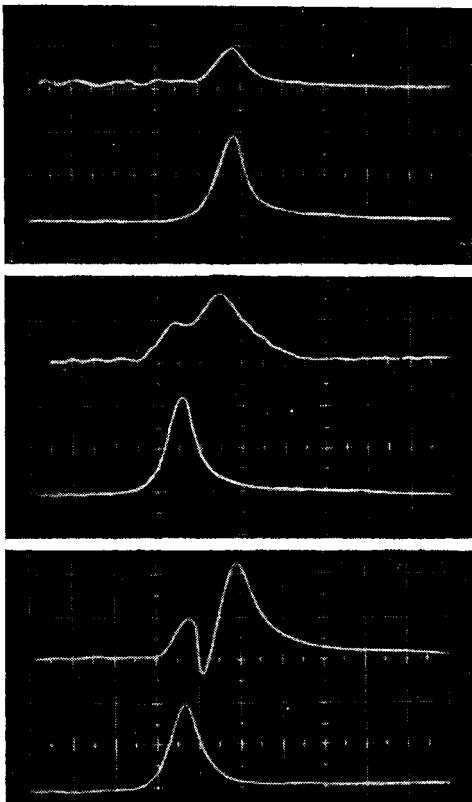


Рис. 3. Осциллограммы изменения $\epsilon - \Delta \epsilon / \epsilon_0$ во время облучения. Нижние кривые — формы импульса излучения
а — $I_{\text{н}} = 2 \cdot 10^{16} \text{ н/см}^2 \text{ сек}$, $I_Y = 1,4 \cdot 10^7 \text{ р/сек}$, $\tau_{1/2} = 280 \text{ мксек}$; б — $I_{\text{н}} = 2 \cdot 10^{17} \text{ н/см}^2 \text{ сек}$, $I_Y = 1,4 \cdot 10^8 \text{ р/сек}$, $\tau_{1/2} = 70 \text{ мксек}$; в — $I_{\text{н}} = 4 \cdot 10^{17} \text{ н/см}^2 \text{ сек}$, $I_Y = 3 \cdot 10^8 \text{ р/сек}$, $\tau_{1/2} = 60 \text{ мксек}$

симальным значением интенсивности γ -нейтронных импульсов в интервале $180 \geq \tau_{1/2} \geq 70 \text{ мксек}$ наблюдается незначительное, затем все большее смещение во времени максимума изме-

Результаты экспериментов

Были проведены две серии измерений.

В первой серии опытов образец располагали непосредственно у источника излучения. Расстояние от образца до источника фиксировали и не меняли в течение всего цикла облучения импульсами разной полуширины и интенсивности. Характерные осциллограммы изменения диэлектрической проницаемости ПММА, совмещенные с осциллограммами импульса излучения, представлены на рис. 3, а — в. Как видно из осциллограмм, характер изменения диэлектрической проницаемости сложен и зависит не только от интенсивности, но и от полуширины импульса излучения.

Обнаружено, что а) при облучении образца импульсами с полушириной $\tau_{1/2} \geq 250 \text{ мксек}$ максимальное изменение ϵ (диэлектрическая проницаемость увеличивалась) по времени совпадает с максимумом в импульсе; б) при полуширинах

нения ε относительно максимального значения интенсивности излучения; в) при полуширинах $70 \geq \tau_{1/2} \geq 50$ мксек на переднем фронте изменения диэлектрической проницаемости появляется излом, который с увеличением интенсивности деформирует кривую в двугорбую; при этом максимальное увеличение диэлектрической проницаемости наблюдается практически в момент окончания импульса излучения.

По-видимому, изменение диэлектрической проницаемости ПММА связано с двумя процессами, проявляющимися при различных интенсивностях и имеющими свои характерные, значительно отличающиеся друг от друга времена релаксации. Первый — процесс увеличения ε , имеющий характерное время релаксации в интервале 120—160 мксек, второй — процесс уменьшения ε с $\tau_p < 50$ мксек.

Во второй серии опытов образцы облучали импульсами приблизительно одной и той же полуширины ($\tau_{1/2} \sim 50$ —60 мксек) и интенсивности. Интенсивность γ -нейтронного потока, падающего на образец, регулировали изменением расстояния от образца до источника излучения. Как и в первом случае при облучении образца импульсами с полуширинаами $\tau_{1/2} < 70$ мксек изменение ε носило характер двугорбой кривой. Максимальное увеличение ε наблюдали в момент окончания импульсов, а глубина провала увеличивалась с увеличением интенсивности излучения. Замечено также, что время спада $\Delta\varepsilon / \varepsilon_0$ до уровня 1/2 от $\Delta\varepsilon_{\max} / \varepsilon_0$ увеличивалось с увеличением γ -нейтронного потока.

Для качественного объяснения наблюдавшихся эффектов можно привлечь ряд моделей, однако имеющихся экспериментальных данных пока еще недостаточно, чтобы отдать предпочтение одной из них. Величины относительных изменений ε — $\Delta\varepsilon_{\max} / \varepsilon_0$ приведены в таблице.

Относительные изменения $\varepsilon = \Delta\varepsilon_{\max} / \varepsilon_0$ полиметилметакрилата
при импульсном γ -нейтронном облучении

Полуширина импульса излучения, $\tau_{1/2}$ мксек	Максимальная интенсивность нейтронов в импульсе I_n , Н/см ² сек	Максимальная мощность дозы γ -квантов I_γ , р/сек	Относительное изменение диэлектрической проницаемости $\frac{\Delta\varepsilon_{\max}}{\varepsilon_0}$, %
280	$2 \cdot 10^{16} \pm 20\%$	$1,4 \cdot 10^7 \pm 20\%$	$4 \pm 0,6$
140	$7 \cdot 10^{16} \pm 20\%$	$5 \cdot 10^7 \pm 20\%$	$9 \pm 0,8$
70	$2 \cdot 10^{17} \pm 20\%$	$1,4 \cdot 10^8 \pm 20\%$	$9,5 \pm 0,8$
60	$4 \cdot 10^{17} \pm 20\%$	$3 \cdot 10^8 \pm 20\%$	11 ± 1
50	$5 \cdot 10^{17} \pm 20\%$	$3,5 \cdot 10^8 \pm 20\%$	11 ± 1

В заключение авторы выражают глубокую благодарность В. А. Храмову за экспериментальную проверку возможностей измерения тангенса угла потерь методикой, изложенной в данной работе, И. С. Погребову за помощь в проведении измерений на реакторе и Ю. А. Зысину за постоянный интерес к работе.

Выводы

Описывается метод измерения диэлектрической проницаемости и тангенса угла потерь диэлектрических материалов в процессе их облучения импульсным γ -нейтронным потоком. Приводятся экспериментальные данные по влиянию импульсного γ -нейтронного излучения на диэлектрическую проницаемость полиметилметакрилата.

Поступила в редакцию
25 I 1967

ЛИТЕРАТУРА

1. H. W. Wieglein, H. Nutley, J. M. Ferry, IEEE Trans. on Nucl. Sci., NS-10, 131, 1963.
 2. S. E. Harrison, F. N. Coppage, A. W. Shyder, IEEE Trans. on Nucl. Sci., NS-10, 118, 1963.
 3. D. M. Compton, G. T. Cheney, R. A. Poll, J. Appl. Phys., 36, 234, 1965.
-

EFFECT OF IMPULSE γ -NEUTRON IRRADIATION ON PERMITTIVITY OF POLYMETHYLMETHACRYLATE

V. V. Zubov, V. F. Khokhryakov, Yu. F. Tuturov

Summary

Method of measurements of permittivity and tangent of losses of dielectric in course of their irradiation with impulse γ -neutrons is described. The data on the effect of impulse γ -neutron irradiation on permittivity of polymethylmethacrylate are given.