

## ПОЛЯРИЗАЦИЯ КЕРАМИЧЕСКИХ ДИСПЕРСНЫХ СИСТЕМ

*М. М. Некрасов, В. С. Савощенко*

Киев

К макроскопически неоднородным диэлектрикам относятся диэлектрики, содержащие распределенные мелкие включения примесей, влаги, распределенные воздушные включения и т. д. Небольшой элемент диэлектрика с включением представляет собой слоистый неоднородный диэлектрик. На поверхности раздела слоев такого диэлектрика возникают заряды. Дипольные включения (мельчайшие капельки воды) образуют микроемкости, окруженные зарядами. Возникновение зарядов в местах распределенных включений и перераспределение их при наложении электрического поля дает спадание тока со временем. Дипольные включения, например мелкие капельки воды, также создают спадание тока со временем при медленно устанавливающейся их поляризации [1].

Я. И. Френкель в своей работе [2] рассматривает механизм поляризации дисперсной фазы и определяет эффективную (макроскопическую) диэлектрическую проницаемость  $\epsilon$  для диэлектриков, содержащих  $N$  шариков (диполей) в единице объема

$$\epsilon = \epsilon_0 \left\{ 1 + 3f \left[ \frac{\epsilon - \epsilon_0}{(\epsilon + 2\epsilon_0)} + \frac{3}{5} \frac{\epsilon \epsilon_0 a^2}{(\epsilon + 2\epsilon_0)} \chi^2 \right] \right\},$$

где  $\epsilon_0$  — диэлектрическая проницаемость среды;

$f$  — относительный объем шароподобных дипольных включений;

$a$  — радиус сферического проводника (включения);

$\chi$  — эффективная толщина диффузионного ионного слоя, который образуется на поверхности включений

$$\chi = \sqrt{\frac{8\pi\bar{n}e^2}{\epsilon KT}};$$

$\bar{n}$  — усредненная концентрация ионов;

$e$  — заряд иона;

$K$  — постоянная Больцмана;

$T$  — температура в градусах Кельвина.

Позднее в своих работах Я. И. Френкель [3, 4] развивает эту теорию для случая переменных полей. Все результаты, полученные раньше, остаются в силе, если заменить параметром  $\gamma$  (5)

$$\gamma = \sqrt{\chi^2 + \frac{i\omega}{D}},$$

где  $\omega$  — круговая частота колебаний;

$D$  — коэффициент диффузии ионов, связанный с электрическим временем релаксации.

Некоторые соединения, содержащие кристаллизационную воду (например  $\text{NaBiO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  и  $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ) после их прокалывания могут впитывать влагу в определенном количестве при выдержке их на воздухе при температуре  $+20^\circ\text{C}$  и влажности  $> 63\%$ . Частицы влаги при этом находятся в виде шарообразных изолированных капель.

Из этих соединений были изготовлены образцы диаметром 15 мм и толщиной 1 мм прессованием под давлением  $250 \text{ кг/см}^2$ ; затем они обжигались при температуре  $400\text{--}500^\circ\text{C}$  в окислительной среде со скоростью подъема  $75^\circ\text{C}$  в ч. Electroды наносились методом вжигания низкотемпературной серебряной пасты. После этого образцы находились не менее 12 часов в атмосфере с влажностью около 63% (необходимые условия для получения дисперсной фазы).

В результате наложения электрического поля на такие образцы имеет место внутрислоевая поляризация, а также и поляризация дисперсной фазы с очень большой постоянной времени. О существовании такой поляризации говорит остаточный заряд (э. д. с.), который увеличивается с увеличением приложенного напряжения до некоторого предельного значения.

При наложении на образцы напряжения постоянного тока, а потом снятия этого напряжения образцы давали э. д. с. Замеры э. д. с. проводились ламповым вольтметром типа А4М-2. Зависимость остаточной э. д. с. от величины приложенного постоянного напряжения для этих соединений приведена в табл. 1.

Таблица 1

Система	Постоянное напряжение, в	2,7	5,1	6,4	15	25	100
		$\text{NaBiO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	0,47	0,74	0,96	2,8	3
Система	Постоянное напряжение, в	2,7	5,1	6,4	15	25	100
		$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	0,25	0,63	1,6	3,1	3,9

Из данных табл. 1 можно сделать вывод, что с увеличением приложенного напряжения (напряжения поляризации) э. д. с. поляризации увеличивается. Все же уже при  $V \geq 15$  в наступает насыщение. Остаточная э. д. с., обусловленная поляризацией дисперсной фазы, спадает со временем. Скорость спадания э. д. с. со временем можно проследить по данным табл. 2.

Таблица 2

Система	Скорость спадания э. д. с. со временем, сек									
	0	3	6	9	12	15	18	21	24	
$\text{NaBiO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	7,2	2,6	1,8	1,5	1,3	0,9	0,6	0,3	0,25	
$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	4	3,3	3,1	2,6	2,4	2,2	2,1	2,0	1,8	

Продолжение табл. 2

Система \ Скорость спадания э. д. с. со вре- менем, сек	27	30	35	40	50	60	70	80	90
	$\text{NaBiO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	0,20	0,18	0,17	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
$\text{Na}_2\text{V}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	1,3	1,1	0,45	0,4	0,4	0,35	0,3	0,25	0,2

Если образцы поляризовать не напряжением постоянного тока, а однополупериодным выпрямленным напряжением 50 *в*, то э. д. с. поляризации будет меньшей (см. табл. 3)

Таблица 3

Приложенное пульсирующее напряжение, <i>в</i>	2,7	5,1	6,4	15	25	100
Э. д. с., для $\text{NaBiO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	0,3	0,46	0,72	0,9	1,5	1,8
Э. д. с., для $\text{Na}_2\text{V}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	0,35	0,5	0,9	1,6	2,1	2,5

Скорость спадания электродвижущей силы поляризации зависит от величины сопротивления, на которое нагружен образец. При сопротивлениях нагрузки (разрядных сопротивлениях), больших внутреннего сопротивления образца (500—800 *ком*), скорость спадания э. д. с. практически не зависит от величины разрядного сопротивления образца. При меньших сопротивлениях нагрузки спадание э. д. с. резко возрастает.

При буферном подключении образцов остаточная э. д. с. поляризации уменьшает пульсацию выпрямленного напряжения на выходе фильтра. Ниже приводятся данные по эквивалентности полученных элементов величинам емкости конденсаторов с переменной составляющей напряжения (пульсации) на выходе фильтра после однополупериодного выпрямления (табл. 4).

Таблица 4

Э. д. с. образца, <i>в</i>	Нагрузка фильтра	<i>U</i> рабочего фильтра, <i>в</i>	Пульсации на выходе, <i>в</i>	Эквивалентная емкость конденсатора, <i>мкф</i>
1,6	1 <i>мгом</i>	5	2,3	3
3,2	1 »	5	1,75	5
3,8	1 »	7	1,9	4
3,8	1 »	5	1,55	7
3,8	1 »	9	2,5	2,8
0,5	5 <i>ком</i>	5	3,1	1,7
0,3	2 »	5	4	0,5

Лучшие данные получаются при работе фильтра на нагрузку, которая не превышает внутреннее сопротивление образца, т. е. 500—800 *ом*, и на напряжение не больше 5—7 *в*. Подключение этих элементов в схе-

му фильтров равнозначно подключению электролитического конденсатора емкостью 5 мкф. Объем таких фильтровых конденсаторов значительно меньше обыкновенных электролитических конденсаторов.

Так, например, объем одного такого элемента, равнозначного электролитическому конденсатору в 5 мкф, равен 0,1 см<sup>3</sup>. Таким образом, 1 см<sup>3</sup> такого элемента эквивалентен емкости в 50 мкф. При использовании поляризации дисперсной фазы можно получить новый тип конденсаторов (малогабаритных) для низкочастотных фильтров, работающих при напряжении до 6—8 в, заменяя в них электролитические конденсаторы.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. М. Н. Некрасов. Неоднородные диэлектрики. Изд-во КПИ, 1964.
2. Я. И. Френкель. Электрические колебания в дисперсных фазах. «Коллоидный журнал» X, вып. 2, 1948.
3. Frenkel J. Orientation and repture of lineus maero molecules in dilute under tew influence of viscous flou. Acta physikadimia, USSR, 1944, vol. XIX.
4. Я. И. Френкель, Е. М. Фрадкина. Об электрических параметрах дисперсных систем. «Коллоидный журнал», X, вып. 3, 1948.
5. Е. М. Фрадкина. Электрические параметры дисперсных систем. ЖЭТФ, X, вып. 11, 1950.