

О.Л. РЕЗИНКИН, канд. техн. наук, зав. каф., НТУ "ХПИ",
Харьков
С.В. ГОНЧАРЕНКО, студент, НТУ "ХПИ", Харьков

СТЕНД ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ИМПУЛЬСНОЙ ПОЛЯРИЗАЦИИ СЕГНЕТОЭЛЕКТРИКОВ

The experimental stand intended for research of ferroelectric materials in pulse electric fields is developed. The stand allows to carry out research the test sample material induction dependence from electric field intensity at voltage of 1 to 20 kV and temperature of 20 to 150 °C.

Разработан экспериментальный стенд, предназначенный для исследования сегнетоэлектриков в сильных электрических полях. Стенд позволяет получить величину электрической индукции в исследуемом образце при воздействии импульсного электрического поля при напряжении от 1 до 20 кВ и диапазоне температур от 20 до 150°C.

Розроблено експериментальний стенд, призначений для дослідження сегнетоелектриків у сильних електричних полях. Стенд дозволяє визначити величину електричної індукції в середині зразку при дії імпульсного електричного поля при напрузі від 1 до 20 кВ в діапазоні від 20 до 150°C.

Введение. Сегнетоэлектрики – это вещества, обладающие большой диэлектрической проницаемостью, высоким пьезомодулем, наличием петли диэлектрического гистерезиса и поэтому широко используются во многих областях современной технике, в том числе и в импульсной высоковольтной технике.

Данные материалы применяются для изготовления малогабаритных конденсаторов, пьезоэлементов, нелинейных емкостных элементов, модуляторов лазерного излучения, параметрических генераторов и для создание нелинейных твердотельных волновых систем. Такие нелинейные волновые системы в которых, в качестве рабочего тела обострителя использовались сегнетоэлектрические материалы могут применяются в частности как основные элементы формирующих, преобразующих и генерирующих устройств. А преимуществом использования сегнетоэлектриков, в сравнении с ферритами и полупроводниками, является возможность создания передающих линий с более низким волновым и соответственно выходным сопротивлением. Следствием этого является возможность получения значительно больших токов в нагрузке [1].

Для образования ударных волн в формирующей линии, рабочая

среда должна обладать особыми свойствами, основными из которых являются: достаточно сильная нелинейная зависимость диэлектрической проницаемости от приложенного напряжения, низкие диэлектрические потери, малое время релаксации. Кроме того, такие материал должны иметь высокую электрическую прочность. К сожалению, поведение сегнетоэлектриков в сильных электрических полях изучено слабо. Это связано с тем, что в сегнетоэлектрической фазе эти материалы имеют большие диэлектрические потери, что приводит к сильному их нагреву. Кроме того, для сегнетоэлектриков характерна сильная зависимость диэлектрической проницаемости от температуры. Поэтому для технологии синтеза сегнетоэлектрических материалов с заданными электрофизическими свойствами необходимо располагать методикой исследования их свойств, при разных значениях приложенного напряжения в широком диапазоне частот.

Цель работы – разработка методики исследования свойств сегнетоэлектриков в сильных импульсных электрических полях.

Экспериментальная установка. Для того чтобы понизить нагрев исследуемого диэлектрика и уменьшить среднюю мощность источника напряжения было предложено создать экспериментальный стенд, в котором используется импульсный режим работы [2].

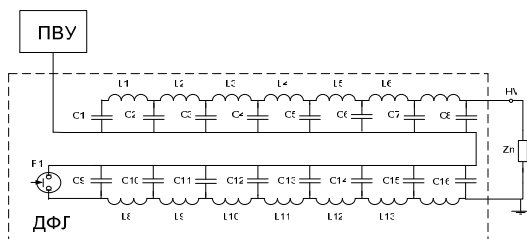


Рис. 1. Электрическая схема формирующей линии Блюмляйна ПВУ – повысительно-выпрямительное устройство; ДФЛ – двойная формирующая линия; F1 – искровой разрядник; $L1-L14 = 0.19$ мкГн – индуктивность звена линии; $C1-C16 = 0.01$ мкФ – емкость звена линии; Zn – комплексная нагрузка.

Для исследования импульсной поляризации образцов сегнетокерамики в сильных импульсных монотонно нарастающих электрических полях при длительности фронта составляющей десятки наносекунд разработан высоковольтный экспериментальный стенд. Монотонно нарастающее напряжение на образцах исследуемых нелинейных диэлектриков формировалось при помощи двойной формирующей

линии. Основное ее преимущество, которое проявляется при практической реализации генераторов на ее основе, – это равенство друг другу значений индуктивностей и емкостей ячеек, что существенно облегчает конструирование и изготовление линий [3].

Данная линия может заряжаться при помощи повысительно-выпрямительного устройства ПВУ до 20 кВ. Коммутация линии производится искровым разрядником F1, в котором искажения поля рабочего зазора осуществляется механическим перемещением вспомогательного электрода.

Расчет и подбор основных элементов данной искусственной линии производилась с помощью программы схемотехнического моделирования Micro-Cap 9 [4].

После сборки линии Бломляйна полученный импульс напряжения на нагрузке зафиксировали при помощи осциллографа Tektronix TDS1012B с делителями-пробниками HP9258. Осциллограммы с нагрузки приведены на рис. 2.

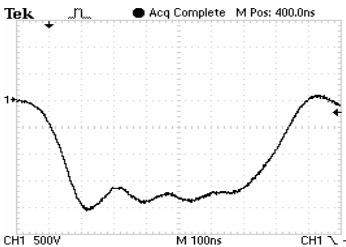


Рис. 2. Осциллограммы с нагрузки экспериментального стенда.

Из данной осциллограммы можно определить параметры полученного импульса зная, что 500В/дел по вертикальной оси и 100 нс/дел по горизонтальной оси, тогда: длительность фронта $\tau_f = 115$ нс; длительность спада $\tau_c = 240$ нс; длительность импульса $\tau = 700$ нс; при зарядном напряжении $U_3 = 2$ кВ получили импульс амплитудой $U_a = 1,7$

кВ; волновое сопротивление линии $\rho_l = 8,7$ Ом.

Исследование зависимости электрической индукции D от напряженности электрического поля E проводилось при помощи схемы Сойера-Тауэра [5], переработанной для применения в импульсном режиме работы (рис. 3).

Использован осциллографический метод исследования параметров импульсной поляризации активных диэлектриков. Емкость линейного эталонного конденсатора C_m , выбирается намного большей, чем емкость исследуемого образца C_x . В этом случае напряжение на C_m , гораздо меньше, чем на C_x и, следовательно, напряжение на горизонтальной развертке осциллографа приблизительно равно напряжению на C_x , и пропорционально напряженности электрического поля в исследуемом нелинейном образце: $E = U_{cx}/d_a$, где d_a – толщина диэлектрика. Напряжение на вертикальной развертке равно напряжению на эталонной емкости, пропорциональному заряду на ее обкладках.

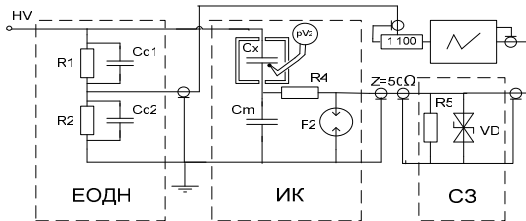


Рис. 3. Модифицированная схема Сойера – Тауэра: ЕОДН – емкостно-оммический делитель напряжения; ИК – маслонаполненная испытательная камера; СЗ – схема защиты; Сх – исследуемый образец; С_м – измерительный конденсатор; рV2 – измерительный прибор термопары; F2, R4, R5, VD2 – элементы схемы защиты, HV – высоковольтный ввод.

Поскольку заряды на обкладках C_m и C_x , равны (емкости C_m и C_x , включены последовательно), то это напряжение также пропорционально электрической индукции поля в исследуемом нелинейном образце ($D = C_m \cdot U_{cm} / S_s$, где S_s – эффективная площадь обкладок конденсатора.)

Напряженность электрического поля измеряется при помощи ЕОДН (емкостно-омического делителя напряжения), который подключается параллельно к схеме Сойера-Тауэра и снимает напряжение с высоковольтного ввода, подходящего к образцу. Данный делитель напряжения ДН представляет собой двухступенчатый смешанный ДН с параллельным соединением элементов без учета индуктивностей и распределенных емкостей относительно земли.

Омическая часть ЕОДН состоит из последовательно соединенных сопротивлений R_1 и R_2 , причем сопротивление $R_2 = 0,065$ Ом значительно меньше, чем $R_1 = 2,2$ Ом. Под коэффициентом деления понимают отношение воздействующего на делитель напряжения $u_1(t)$ к напряжению, снимаемому с R_2 напряжения $u_2(t)$:

$$k = u_1(t)/u_2(t) = (R_1 + R_2)/R_2.$$

В нашем случае коэффициент деления $k = 33$.

Емкости C_{d1} выбираем 40 пФ чтобы паразитная емкость высоковольтного плеча не влияла на форму импульса, тогда емкость плеча низкого напряжения C_{d2} выбираем исходя из условия $C_{d1}R_1 = C_{d2}R_2$ получаем 1,6 нФ.

Для защиты измерительных приборов в случае пробоя образца была разработана схема защиты СЗ. Схема защиты состоит из дополнительного омического делителя R4-R5, разрядника F2, который срабатывает при достижении на нем 90 вольт и супрессора VD который

открывается при 10 вольтах.

Методика исследований. Для исследования зависимости диэлектрической проницаемости в сегнетоэлектрике от температуры, исследуемый образец помещается в камеру с нагревательным устройством НУ. При помощи термопары рV2 контролируется температура образца. С точки зрения исследований в области создания нелинейных волновых систем основной интерес представляет изучение свойств диэлектриков вблизи и непосредственно за температурой фазового перехода, соответствующего превращению структуры твердого тела из сегнетоэлектрической фазы в параэлектрическую. При этом еще наблюдается сильная нелинейность диэлектрической проницаемости при сравнительно низких диэлектрических потерях. Такие свойства сегнетоэлектриков наблюдаются в довольно узком температурном диапазоне. Поэтому нагревательное устройство должно обеспечивать возможность поддерживать температуру всего объема образца с точностью не ниже $\pm 2^\circ$.

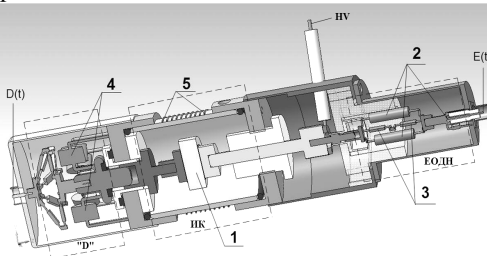


Рис. 4 Измерительный узел: ЕОДН – емкостно-омический делитель напряжения; ИК – маслonaполненная измерительная камера; "D" – регистратор электрической индукции; HV – высоковольтный ввод; 1 – исследуемый образец; 2, 3 – конденсаторы и резисторы ЕОДН; 4 – измерительные конденсаторы для регистрации $D(t)$; 5 – нагревательный элемент.

Разработанный измерительный узел (рис. 4) объединил импульсный емкостно-омический делитель напряжения ЕОДН, маслonaполненную камеру для исследуемого образца ИК, измерительные конденсаторы для осциллографирования электрической индукции "D", систему защиты осциллографа при пробое образца и систему термостатирования.

Данный измерительный узел полностью экранирован и представляет собой герметичную коаксиальную систему, что позволяет уменьшить влияние помех и снизить паразитные индуктивности отдельных элементов. Также измерительный узел оснащен коаксиальными выводами для регистрации "E" и "D". Синхронная регистрация напряжений пропорциональных E и D проводилась двухканальным осциллографом Tektronix TDS 1012B. Регистрируемые сигналы записывались в виде текстовых файлов, пригодных для обра-

ботки редактора электронных таблиц Microsoft Excel. В результате численной обработки сигналов, зарегистрированных цифровым осциллографом можно получить зависимости электрической индукции, а также нормальной и дифференциальной проницаемости от напряженности приложенного поля для исследуемого диэлектрика.

Для тестирования представленного измерительного узла была проведена синхронная регистрация сигналов на его выходных разъемах $D(t)$ и $E(t)$ при установленном образце линейного диэлектрика (рис. 5).

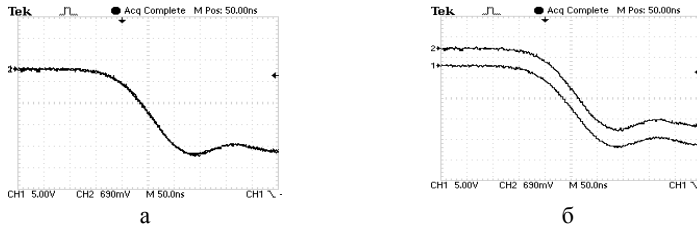


Рис. 5. Результаты тестового эксперимента: а – на выходе с импульсного делителя; б – на выходе с схемы Сойера-Тауера.

Расхождение формы полученных в тестовом эксперименте осциллограмм не превысило погрешности осциллографа.

Выводы. Анализируя современное состояние экспериментальных методов исследования нелинейных диэлектриков, а также результаты предварительных экспериментов, можно сделать вывод, что данная схема может быть широко использована для исследования сегнетоэлектриков в импульсных электрических полях в широком диапазоне температур и при различных скоростях нарастания напряжения на образце.

Список литературы: 1. Кремнев В.К., Месяц Г.А. Методы умножения и трансформации импульсов в сильноточной электронике. – М.: Наука, 1987. 2. Резинкин О.Л., Лисачук Г.В., Вытришко В.В. Использование нелинейности электрофизических свойств сегнетокерамики для генерирования мощных ударных электромагнитных волн // Технічна електродинаміка. Тем. вип. Силова електроніка та енергоефективність. – 2005. – Ч. 4. – С. 100-103. 3. Бренштейн Э.А., Рудяченко Н.К. Импульсные радиопередающие устройства. – М.: Госэнергоиздат, 1963. 4. Резевиг В.Д. Схемотехническое моделирование с помощью Micro-Cap 7. – М.: Горячая линия-Телеком, 2004. 5. Sawyer C.B., Tower C. N. Phys. Rev. – 1930. – Vol. 35. – P. 269.

Поступила в редколлегию 15.02.2012
Рецензент д.т.н., проф. Рудаков В.В.