***Лабораторная работа 3.06***

***Изучение электрических свойств сегнетоэлектриков***

*Выполнил: Лев Чечулин*

*Группа: М3113 (М3102)*

*Работа выполнена: 25.06.2021*

Цель работы:

1. Определение значений электрического смещения насыщения

𝐷𝑠, остаточной поляризации 𝑃𝑟, коэрцитивной силы 𝐸𝑐 для предельной петли гистерезиса сегнетоэлектрика.

2. Расчет диэлектрических потерь за цикл переполяризации сегнетоэлектрика.

3. Получение зависимостей смещения 𝐷 и диэлектрической проницаемости 𝜀 от напряженности электрического поля 𝐸.

4. Определение значений начальной и максимальной диэлектрической проницаемости.

Лабораторная установка:

Общий вид лабораторной установки показан на рис.3. Она состоит из рабочей части «Стенд С3-PM02. Петля гистерезиса сегнетоэлектрика» с объектом исследования и измерительного прибора «ИСХ1»

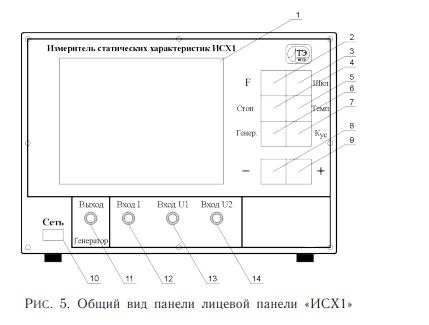
Изображение выглядит как текст, внутренний, электроника

Автоматически созданное описание

Стенд подключается к измерителю статических характеристик «ИСХ1» через разъем на задней панели прибора.

Изображение выглядит как текст

Автоматически созданное описание

Органы управления прибором «ИСХ1» показаны на рис. 5

1. Графический дисплей;

Экран дисплея, состоящий из двух частей: поле отображения сигнала и информационное поле:

Изображение выглядит как стол

Автоматически созданное описание

2. Кнопка выбора режима работы «F»;

3. Кнопка выбора шкалы «Шкл.»;

4. Кнопка запоминания оцифрованного сигнала «Стоп»;

5. Кнопка выбора температурного режима «Темп»;

6. Кнопка управления генератором «Генер.»;

7. Кнопка выбора коэффициента отклонения «Кус»;

8. Кнопка уменьшения выбранной величины «–»;

9. Кнопка увеличения выбранной величины «+»;

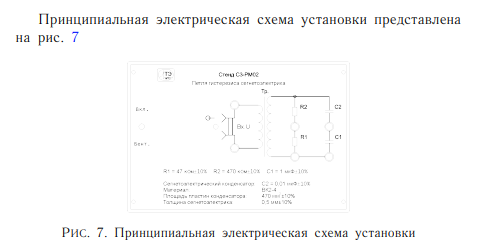
10. Кнопка выключателя «Сеть»;

11. Выход генератора;

12. Вход тока 𝐼;

13. Вход напряжения 𝑈1;

14. Вход напряжения 𝑈2;



**Снимем измерения и обработаем результаты:**

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| U, В | K\_x, В/дел | K\_y, В/дел | X, дел | Y, дел | E, В/м | D, Кл/м^2 | e |
| 17 | 5 | 5 | 2,8 | 3,3 | 308000 | 0,033 | 12106,54 |
| 15 | 5 | 5 | 2,4 | 3,1 | 264000 | 0,031 | 13268,28 |
| 13 | 5 | 5 | 2,1 | 2,8 | 231000 | 0,028 | 13696,28 |
| 11 | 5 | 5 | 1,8 | 2,4 | 198000 | 0,024 | 13696,28 |
| 9 | 2 | 2 | 3,2 | 3,7 | 140800 | 0,0148 | 11877,25 |
| 7 | 2 | 2 | 2,7 | 2,9 | 118800 | 0,0116 | 11033,12 |
| 5 | 2 | 1 | 2 | 3,3 | 88000 | 0,0066 | 8474,576 |
| 4,4 | 1 | 1 | 3,4 | 2,3 | 74800 | 0,0046 | 6948,85 |
| 3,8 | 1 | 0,5 | 3 | 3,2 | 66000 | 0,0032 | 5478,514 |
| 3,2 | 1 | 0,5 | 2,5 | 2,3 | 55000 | 0,0023 | 4725,218 |
| 2,6 | 1 | 0,2 | 2,1 | 3,5 | 46200 | 0,0014 | 3424,071 |
| 2 | 0,5 | 0,1 | 3,2 | 4,1 | 35200 | 0,00082 | 2632,255 |
| 1,4 | 0,5 | 0,1 | 2,2 | 2,4 | 24200 | 0,00048 | 2241,21 |
| 0,8 | 0,2 | 0,05 | 3,1 | 2,3 | 13640 | 0,00023 | 1905,33 |
| 0,2 | 0,05 | 0,02 | 2,9 | 1,1 | 3190 | 0,000044 | 1558,543 |

**Формулы для расчётов:**

Напряженность электрического поля 𝐸 в сегнетоэлектрике можно найти как отношение напряжения на обкладках конденсатора 𝐶2 к расстоянию 𝑑 между ними.

Изображение выглядит как текст

Автоматически созданное описание

Модуль вектора электрической индукции 𝐷⃗ равен поверхностной плотности заряда на обкладках:



Значения исходных величин:

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  |  | Δ |  |
| R1 = | 47000 | 4700 | Ом |
| R2 = | 470000 | 47000 |
| C1 = | 0,000001 | 0,0000001 | Ф |
| С2 = | 0,00000001 | 0,000000001 |
| Sпластины = | 0,0005 | 0,00005 | м^2 |
| dтолщины = | 0,0005 | 0,00005 | м |

Найдём значения диэлектрической проницаемости сегнетоэлектрика для всех значений напряженности электрического поля по такой формуле:

 ,

где e0 = 0,00000000000885 Ф/м.

**Теперь построим графики и проанализируем соотношения величин:**

Заметим, что между D и E нелинейное (но очень близкое к этому) соотношение. Однако, в точности можно сказать, что с увеличением напряжённости, модуль вектора электрической индукции так же становится больше.

В данном случае с увеличением напряжённости диэлектрическая проницаемость не всегда растёт.

Максимальное значение проницаемости, которое удалось выявить во время эксперимента, составляет 13696.

Теперь рассчитаем значения коэрцитивного поля 𝐸𝑐, электрической индукции в состоянии насыщения 𝐷𝑠 и остаточной поляризации Pr:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | число делений |
| Dr | 0,014 | 1,4 |
| Ds | 0,033 | 3,3 |
| Ec | 0,007 | 0,7 |
| Es | 308000 | 2,8 |
| Pr | 0,014 |  |
| S | 6,65 | дел^2 |

По найденным значениям 𝐸𝑠 и 𝐷𝑠 в делениях найдём значение тангенса угла диэлектрических потерь по формуле:



|  |  |
| --- | --- |
| tg = | 0,005207 |

Теперь оценим все погрешности:

Учитывая, что ΔX = ΔY = 0,05 получаются такие результаты

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| ΔD, Кл/м^2 | ΔE, В/м | Δe |
| 0,004678794 | 50299,94 | 2618,2799 |
| 0,004396716 | 43155,58 | 2871,5151 |
| 0,003973803 | 37802,84 | 2966,8379 |
| 0,003410441 | 32457,43 | 2971,3288 |
| 0,002097279 | 22979,94 | 2567,2057 |
| 0,001645897 | 19405,3 | 2387,1716 |
| 0,000935759 | 14408,02 | 1835,4597 |
| 0,000653945 | 12205,25 | 1503,8295 |
| 0,000453774 | 10774,87 | 1184,6884 |
| 0,000326973 | 8988,202 | 1023,4952 |
| 0,000198438 | 7560,567 | 741,30613 |
| 0,000116157 | 5744,984 | 568,85657 |
| 6,82088E-05 | 3958,642 | 485,6315 |
| 3,26973E-05 | 2226,479 | 412,4262 |
| 6,36379E-06 | 520,8699 | 339,96 |

Получается около 20% от значений. То есть относительная погрешность около 20%.

Вывод:

В работе исследованы зависимость диэлектрической проницаемости сегнетоэлектрика и модуля вектора электрической индукции от напряжённости электрического поля, как выяснилось, проницаемость не всегда растёт с ростом напряжённости. Максимальным значением проницаемости оказалось emax = 13696.

Также были определены значения электрического смещения насыщения

𝐷𝑠, остаточной поляризации 𝑃𝑟 и коэрцитивной силы 𝐸𝑐 для предельной петли гистерезиса сегнетоэлектрика.

Рассчитаны диэлектрические потери за цикл переполяризации сегнетоэлектрика.

Так же были найдены погрешности всех этих величин, которые оказались довольно немаленькими. Это из-за большого кол-ва вычислений и сложности точного замера площади петли гистерезиса.