Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ»

им. В.И. Ульянова (Ленина)»

кафедра физики

**ОТЧЁТ**

**по лабораторной работе № 6**

**«Исследование прямого пьезоэлектрического эффекта»**

Выполнил: Максимов Ю Е

Группа № 3115

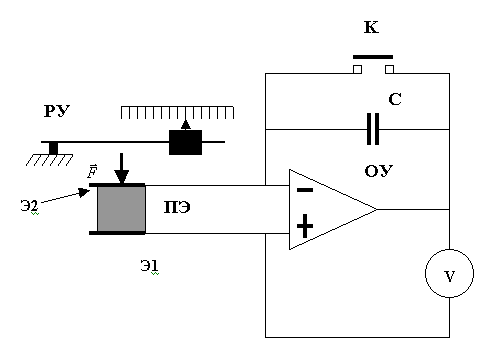
Преподаватель:

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Вопросы | | Задачи ИДЗ | | | | | Даты коллоквиума | Итог |
| 121 | 110 | 95 | 110 | 127 | 135 | 89 |
|  |  |  |  |  |  |  | 5.03.2021 |  |
|  |
|  |
|  |
|  |

Санкт-Петербург, 2023

**Приборы и принадлежности:** установка для исследования пьезоэлектрического эффекта.

**Цель работы:** исследование поляризации диэлектрика под действием механических на­пряжений (прямой пьезоэффект) и определение пьезомодуля продольных колебаний в пьезокерамике.



Установка для исследования пьезо­электрического эффекта (см. рису­нок), используемая в работе, состо­ит из операционного усилителя (ОУ), включенного по схеме интег­ратора, измерительных электродов (Э1 и Э2), подключенных к входу операционного усилителя, вольт­метра V, измеряющего напряжение на выходе операционного усилителя и рычажного устройства (РУ), по­зволяющего регулировать силу на­грузки F на исследуемый пьезоэлектрик (ПЭ), который помещается между измерительными электрода­ми. Пьезоэлектрик цилиндрической формы нагружается силой F, кото­рая меняется за счет перемещения груза вдоль рычага. Отсчет силы производится по шкале.

Силу можно сделать равной нулю, слегка приподнимая кверху рычаг с грузом. Так как потенциалы электродов Э1 и Э2 равны то, обусловленный действием силы Р, связанный заряд на поверхности ПЭ ра­вен индуцированному на электродах Э1 и Э2 заряду. Если силу сделать равной нулю, то заряды, индуцированные на электродах нейтрализуются. Измерение протекшего при нейтрализации заряда Q осуществляется операционным усилителем ОУ с конденсато­ром С в цепи обратной связи. При снятии нагрузки F весь заряд Q перейдет на конден­сатор С и напряжение V на конденсаторе (т. е. на выходе ОУ)



где σ - поверхностная плотность связанных (поляризационных) зарядов, S - площадь торцевой поверхности ПЭ.

**Задание по подготовке к работе:** при подготовке к работе учащийся должен

1) изучить описание работы и продумать ответы на контрольные вопросы;

2) подготовите общую часть отчета по лабораторной работе, содержащую титульный лист, краткое описание исследуемых закономерностей, задачи эксперимента, описание (схема или эскиз) лабораторной установки и методики проведения эксперимента;

3) подготовить протокол наблюдений с соответствующими таблицами.

# Исследуемые закономерности

**Пьезоэлектрический эффект.** В некоторых кристаллах поляризация возникает не только под действием внешнего электрического поля, но и при механической деформации. Это явление получило название пьезоэлектрического эффекта. Пьезоэлектрическими свойствами могут обладать только ионные кристаллы. Если кристаллические решетки положительных и отрицательных ионов,из которых построены такие кристаллы, под действием внешних сил деформируются по-разному, то в противоположных местах на поверхности кристалла выступают элек­трические заряды разных знаков. Это и есть прямой пьезоэлектрический эффект.

Пьезоэлектриками являются монокристаллы, природные или выращенные искусствен­но, такие как кварц, сегнетова соль, а также поликристаллические твердые растворы, подвергнутые предварительной поляризации в электрическом поле, так называемые пьезокерамики.

Чтобы обнаружить, использовать или измерить пьезоэлектрические заряды на опреде­ленные грани пьезоэлектрика накладывают электроды. При деформации на разомкну­тых электродах появляется разность потенциалов, если электроды замкнуты, на них об­разуются индуцированные заряды, равные по величине и противоположные по знаку поляризационным зарядам. Если деформацию убрать, то пьезоэлектрические заряды исчезнут, а между электродами пройдет суммарный заряд, который можно измерить. Этот заряд равен пьезоэлектрическому заряду.

Количественной характеристикой пьезоэффекта является совокупность модулей, т.е. коэффициентов пропорциональности в соотношениях между механическими и элек­трическими величинами. Например, поляризация Р, возникающая в пьезоэлектрике под действием однородного механического напряжения Т, выражается соотношением

P = dT (2)

где d - один из пьезомодулей. Для продольных колебаний в пьезокерамике значение ко­эффициента d порядка 10-10 Кл/Н.

Учитывая, что модуль вектора поляризации P равен поверхностной плотности поляризационных зарядов σ, получим, что при механическом напряжении на пьезоэлектрике в 1 Н/м2, на его поверхности образуется заряд с плотностью σ = 10-10 Кл/м2. Так как Р = σ и T= F/S, получаем,

Q = UC = σS = dTS = dF

то есть, выражение, аналогичное формуле (2), а именно:

Q = dF (3)

Прямой пьезоэффект используется в устройствах для восприятия акустических сигна­лов и преобразования их в электрические с целью измерения, передачи, воспроизведе­ния, записи или анализа.

**Указания по проведению наблюдений:**

1. Включить измерительную установку.
2. Перемещением груза установить по шкале значение силы Fi, начав с наименьшего. За­писать установленное значение в протокол наблюдений.
3. Нажатием кнопки К разрядить конденсатор С.
4. Снять нагрузку с ПЭ, для чего поднять кверху рычаг с грузом и записать максималь­ное значение изменения выходного напряжения Ui.
5. Наблюдения по п. 2, 3 и 4 выполнить для разных значений Fi, (не менее 10 значений, более или менее равномерно распределенных по шкале).

## Задание по обработке результатов

1. Рассчитать значения величины связанных поляризованных зарядов на исследуемом образце, воспользовавшись измеренными значениями Ui . Значение емкости конденсатора С указано на панели установки.
2. Определение значения пьезомодуля d. Пьезомодуль d определяется из наклона прямых, которые могут быть построены по выражениям (2) и (3).

Обработка экспериментальных результатов, соответствующих линейным зависимостям, обычно проводится по методу наименьших квадратов. В нашем случае обработка результатов сводится к поиску параметров прямой вида y = kx, для которой значение k находится из минимума суммы квадратов отклонений экспериментальных значений от проводимой прямой. Для этого минимизируется соотношение вида

, (4)

из которого прямым дифференцированием по k находится условие искомого минимума суммы квадратов отклонений.

В работе рекомендуется построить график зависимости связанных поляризованных зарядов от приложенной силы (3), проведя через полученные экспериментальные значения прямую с угловым коэффициентом d = , который и будет искомым значением пьезомодуля.

Погрешность определения пьезомодуля Δd оценивается из выражения

,

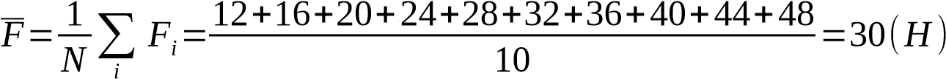
где N – число наблюдений.

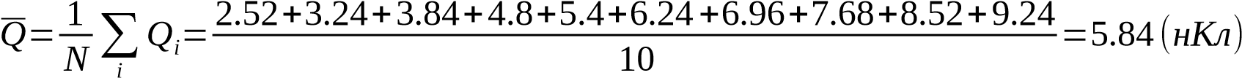
1. Показания прибора, а также полученные в ходе вычисления по формуле Q = UC значения величины связанных поляризационных зарядов, указаны ниже в таблице:

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| i | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| Fi, Н | 12 | 16 | 20 | 24 | 28 | 32 | 36 | 40 | 44 | 48 |
| Vi, В | 2,4 | 3.2 | 3.4 | 4 | 5.4 | 5.6 | 6.4 | 6.6 | 6.6 | 7.6 |
| Q­­i, нКл | 2,8 | 3,84 | 4 | 4,8 | 6,48 | 6,72 | 7,62 | 7,92 | 7,92 | 9,12 |

1. **Определение значения пьезомодуля *d***.



 F = 30(H)

 Q = 6.12(нКЛ)

1. Вычислим остаточный заряд:

*Q*0=*Qср*−*d Fср*= 6.12\*10-9-0,20\*10-9\*30 =0,36\*10-9=0,36(нКл)

График зависимости связанных поляризационных зарядов от приложенной силы

С помощью инструментов MS Excel было исследовано, что линия тренда задаётся уравнением:

Теоретическая зависимость

Следовательно:

**Вывод:** В данной работе мы выяснили, что связный поляризационный заряд линейно зависит от силы , то есть выражается формулой: . С помощью метода наименьших квадратов мы нашли значения и , значения которых оказались примерно равны коэффициентам линии тренда на графике, что доказывает так же применимость метода наименьших квадратов для данных вычислений.

.