

**O'ZBEKISTON RESPUBLIKASI OLIY TA'LIM, FAN VA INNOVATSIYALAR VAZIRLIGI**



**BUXORO MUHANDISLIK-TEXNOLOGIYA INSTITUTI**



**«SANOAT INJINIRINGIDA INNOVATSION YECHIMLAR»  
mavzusida  
XALQARO ILMIY-AMALIY ANJUMANI  
MATERIALLARI**



**(2023 yil, 24-25 noyabr)**

**BUXORO – 2023**

**ЎЗБЕКИСТОН RESPUBLIKASI OLIY TAʼLIM, FAN VA INNOVATSIYALAR  
VAZIRLIGI**



**БУХОРО МУҲАНДИСЛИК-ТЕХНОЛОГИЯ ИНСТИТУТИ**



**«САНОАТ ИНЖИНИРИНГИДА ИННОВАЦИОН ЕЧИМЛАР»  
мавзусида  
ХАЛҚАРО ИЛМИЙ-АМАЛИЙ АНЖУМАНИ  
МАТЕРИАЛЛАРИ**



**(2023 йил, 24-25 ноябр)**

**БУХОРО – 2023**

# МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОУПРУГИХ ПРОЦЕССОВ ТОНКИХ ТЕЛ СЛОЖНОЙ ФОРМЫ

Профессор, к.т.н., Нуралиев Ф.М., Тахиров Б.Н. Мардонов Ш.З.

<sup>1</sup>Ташкентский университет информационных технологий

<sup>2</sup>Бухарский государственный университет

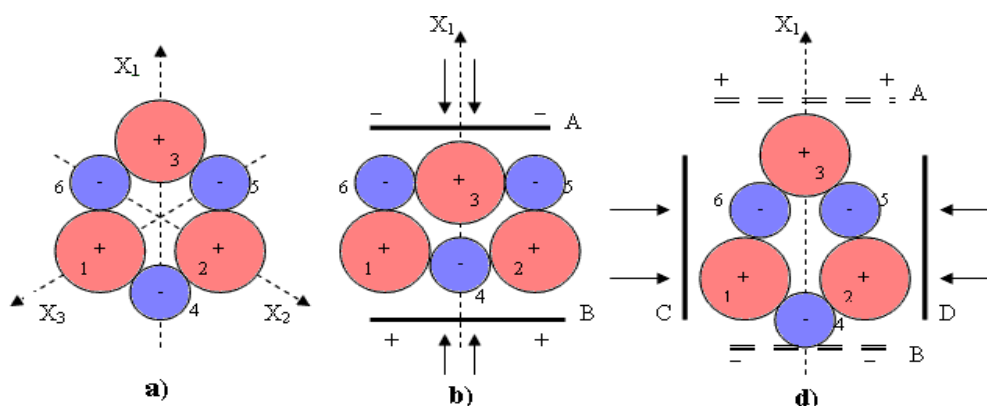
<sup>3</sup>Бухарский государственный университет

[b.n.taxirov@buxdu.uz](mailto:b.n.taxirov@buxdu.uz) +998936889365

## Аннотация

В данной статье рассматриваются свойства пьезоэлектриков, математическое моделирование пьезоэлектриков, устройство пьезоэлектрических датчиков, принцип действия и схемы подключения.

Пьезоэлектрический эффект может быть создан только в кристаллах, не имеющих центра симметрии. Примерный обзор появления пьезоэлектрического эффекта можно сделать, например, с помощью кристаллов кварца. Распределение зарядов в пьезоэлектрических покрытиях показано на (рис. 1).



**Рисунок 1. Распределение зарядов в пьезоэлектрических покрытиях**

Обозначения:

1, 2, 3-положительные ионы кремния;

4, 5, 6-отрицательные ионы кислорода;

X1, X2, X3-оси симметрии.

В молекулярной связи, представленной на (рис.1B), если механическое действие передается вдоль полярной оси X1, то Ион кремния 3 и Ион кислорода 4 образуют связь между окружающими их боковыми ионами. Это приводит к отрицательным зарядам в плоскости A и положительным зарядам в плоскости B.

При сжатии в направлении, перпендикулярном X1 в (рис.1), ионы кремния получают одинаковые противоположно направленные сдвиги заряженных частиц 1 и 2. Ионы кислорода 5 и 6 ведут себя одинаково. При этом симметрия ячейки относительно плоскости, проходящей через середину между плоскостями C и D, сохраняется, и заряды в этих плоскостях не возникают. При этом Ион кремния 3 и Ион кислорода 4 смещаются наружу, из-за чего в плоскости A возникают положительные заряды, а в плоскости B-отрицательные (это поперечный пьезоэлектрический эффект). Из рассмотренной модели следует, что замена сжатия напряжением приводит к распределению электрических зарядов, а поляризация прямо пропорциональна деформации кристалла. Когда к пьезоматериалу прикладывается давление или ускорение, на краях кристалла создается эквивалентное количество электрического заряда. Электрический

заряд будет линейно связан с давлением, передаваемым извне. Пьезоэлектрический датчик нельзя использовать для измерения статического давления. При постоянном давлении выход будет равен нулю.

Вычисляем такие параметры, как перераспределение зарядов в покрытиях при передаче внешнего воздействия на пьезоэлектрический кристалл, а также изменение емкости покрытий и напряжения между ними.

- 1) Количество перераспределяемого заряда в пьезокристаллическом покрытии

$$q = K_0 * F_x \text{ (Кл/Н)} \quad (1)$$

$K_0$  – пьезоэлектрическая постоянная;

$F_x$  – сила.

- 2) Емкость одной пластины

$$C_0 = 0.89 \frac{\epsilon_r * S_x}{d} = 0.89 \frac{\epsilon_r * \pi * D^2}{4 * d} = 0.89 \frac{\epsilon_r * \pi ab}{4 * d} \text{ (пФ)} \quad (2)$$

$C_0$  - емкость одной пластины ;

$\epsilon_r$  - диэлектрическая проницаемость;

$D$  – диаметр пластины;

$a$  и  $b$  – стороны пластины (прямоугольник);

$d$  – толщина пластины.

- 3) Напряжение между слоями

$$U = \frac{10^{12} * n * q}{C_k + n * C_0} = \frac{q * 10^{12}}{C_k / n + C_0} \text{ (В)} \quad (3)$$

$C_k$  - измеряемая емкость цепи

$n$  – количество пластин;

- 4) Чувствительность датчика

$$S_d = \frac{U}{F_x} \text{ (В/Н)} \quad (4)$$

$S_d$  – чувствительность датчика

Этот эффект можно увидеть в кварцевых часах. В повседневной работе наручные часы используют кварцевый резонатор, который работает как генератор.

### Литература

1. Шафиев Т. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЙ АЛГОРИТМ И ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРЫ ПРОМЫШЛЕННЫХ РЕГИОНОВ // ЦЕНТР НАУЧНЫХ ПУБЛИКАЦИЙ (buxdu.uz). – 2022. – Т. 9. – №. 9.
2. Ф.М. Нуралиев. Математическое моделирование влияния электромагнитных // Узбекский журнал "Проблемы вычислительной и прикладной математики" № 1 2016 - С. 23-28.
3. Нуралиев Ф. М., Тахиров Б. Н. ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ДАТЧИКИ И ИХ МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ // Educational Research in Universal Sciences. – 2023. – Т. 2. – №. 10. – С. 436-442.
4. Шадманов И. У., ШАДМАНОВА К. У., ФАТУЛЛАЕВА М. Ш. ПРОБЛЕМЫ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ И ПРИКЛАДНОЙ МАТЕМАТИКИ // ПРОБЛЕМЫ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ И ПРИКЛАДНОЙ МАТЕМАТИКИ Учредители: Научно-инновационный центр информационно-коммуникационных технологий. – №. S2. – С. 254-271.