

## ДОСЛІДЖЕННЯ ТА АНАЛІЗ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ПЕРЕТВОРЕНЬ ДЛЯ П'ЄЗОЕЛЕКТРИЧНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ

**Олійник В.Ю., 1С курс ЕЕЕ**  
**Присяжнюк О.І, 1С курс ЕЕЕ**

*Науковий керівник*

**Нестерчук Д.М., к.т.н., доцент**

*Таврійський державний агротехнологічний університет*

*etem@tsatu.edu.ua*

*etem@tsatu.edu.ua*

**Постановка проблеми.** П'єзоелектричні перетворювачі – це перетворювачі, принцип дії яких оснований на явищах прямого (електризація кристалів діелектриків під дією механічних напружень) та зворотного п'єзо ефектів (механічна деформація кристала під дією електричного поля).

Особливістю п'єзо ефекту є його знаковитливість, тобто зміна знаку заряду при заміні стискання розтягненням та зміна знаку деформації при зміні напрямку поля. До матеріалів, яким властивий п'єзо ефект, належать кварц, сегнетова сіль, а також п'єзокераміка: титанат барію та цирконат свинцю. Вхідною величиною для п'єзоелектричного перетворювача є механічна сила, а вихідною – ЕРС.

На рисунку 1 наведена схема п'єзоелектричного перетворювача [1].

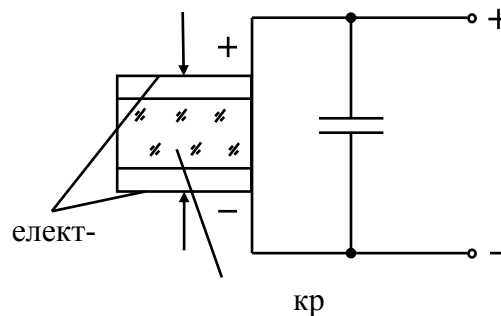


Рисунок 1 – Схема п'єзоелектричного перетворювача

Характеристика градування п'єзоелектричного перетворювача має вигляд

$$U = f(F) = \frac{d_{11}}{C} \cdot F, \quad (1)$$

де  $d_{11}$  – п'єзоелектричний модуль, який залежить від матеріалу та його стану.

Перевагами таких перетворювачів є малі габарити, висока надійність, простота конструкції, можливість вимірювати параметри, що швидко змінюються, а недоліками - значні похибки під час вимірювання сталої сили, оскільки заряд, що з'явився на гранях п'єзокристалу, може стікати через вхідний опір вторинного приладу, тому то п'єзоелектричні перетворювачі доцільно застосовувати для вимірювання змінної сили.

**Аналіз останніх досліджень.** За наведеною на рисунку 1 схемою стає доцільним розробити еквівалентну схему перетворювача, який з'єднаний кабелем з вимірювальним колом – рисунок 2. П'єзокристал разом з електродами утворюють конденсатор, ЕРС якого дорівнює

$$E = \frac{q}{C} = \frac{d_{11}}{C} \cdot F. \quad (2)$$

Згідно [1, 2] вихідна напруга перетворювача з підключеним до нього вимірювальним колом дорівнює

$$U = \frac{d_{11}}{C_{ex} + C_0} \cdot F. \quad (3)$$

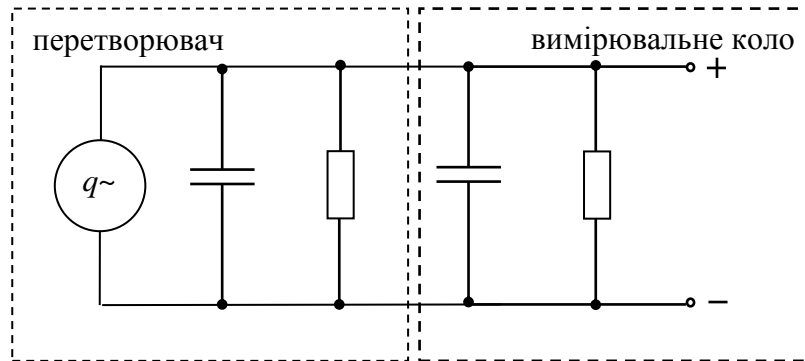


Рисунок 2 - Еквівалентна схема п'єзоелектричного перетворювача

**Мета статті.** Дослідження та аналіз енергетичних перетворень на прикладі п'єзоелектричного перетворювача для вимірювання прискорення вібрації.

**Основні матеріали дослідження.**

Електрична енергія вихідного сигналу п'єзоелектричного перетворювача отримується шляхом перетворення механічної енергії, яка надходить від об'єкту вимірювань.

Коло енергетичних перетворень можна представити у вигляді структурної схеми – рисунок 3.

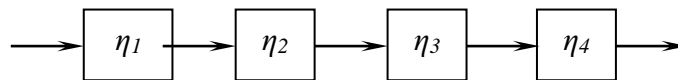


Рисунок 3 - Коло енергетичних перетворень п'єзоелектричного перетворювача

Коло енергетичних перетворень складається з: механічної коливальної потужності,  $P_{ex}$ , яка витрачається об'єктом вимірювання на коливання усього перетворювача; механічної коливальної потужності,  $P_{mex}$ , яка витрачається на деформацію пластин п'єзоелементу; електрична коливальна потужність,  $P_{ел}$ , яка розвивається п'єзоелементом лише на його власній ємності  $C_0$ ; коливальна (реактивна) потужність,  $P_c$ , на сумарній ємності після приєднання до перетворювача кола з ємністю  $C_{вх}$ ; активна потужність,  $P_R$ , яка виділяється перетворювачем на активному входному опорі  $R_{вх}$  вимірювального підсилювача.

Згідно [2, 3] ефективність перетворення п'єзоелектричного перетворювача за рисунком 3 визначається за виразом

$$\eta = \frac{P_R}{P_{ex}}, \quad (4)$$

$$P_{ex} = \frac{m_{\Sigma} \cdot v_m^2}{2} \cdot \frac{4}{T} = \frac{m_{\Sigma} \cdot v_m^2}{2\pi^2 \cdot f}, \quad (5)$$

$$P_R = \frac{U_{вух.м}^2}{2 \cdot R_{ex}} = \frac{d_{11}^2 \cdot m_0^2 \cdot a_m^2}{2 \cdot R_{ex} \cdot C_{\Sigma}^2}, \quad (6)$$

де  $m_{\Sigma}$  – маса перетворювача;  
 $v_m$  – амплітуда швидкості;  
 $T$  – період коливань;

$m_0$  - активна інерційна маса;

$C_\Sigma$  – сумарна вихідна ємність перетворювача, яка дорівнює сумі  $C_0$  та  $C_{ex}$ ;

$a_m$  - амплітуда прискорення;

$$\eta = \frac{d_{11}^2 \cdot m_0^2 \cdot \pi^2 \cdot f}{m_\Sigma \cdot R_{ex} \cdot C_\Sigma^2}. \quad (7)$$

Якщо враховувати, що похибка перетворення в області низьких частот позначається  $\gamma_{н.ч}$  та дорівнює  $1/(\omega^2 \cdot R_{ex}^2 \cdot C_\Sigma^2)$ , а в області верхніх частот похибка позначається як  $\gamma_{в.ч}$  та дорівнює,  $\approx \omega^2 / \omega_0^2$ , отже ефективність перетворення п'єзоелектричного перетворювача в кінцевому варіанті дорівнює

$$\eta = \frac{\pi}{\sqrt{2}} \cdot \gamma_{в.ч} \cdot \sqrt{\gamma_{н.ч}} \cdot \frac{\omega_0^2 \cdot S_U^2 \cdot C_\Sigma}{m_\Sigma}, \quad (8)$$

де  $S_U$  – чутливість перетворювача за напругою.

Аналіз інформації літературного джерела [2] показав, що добуток  $\omega_0^2 \cdot S_U^2 \cdot C_\Sigma$  має назву повний об'єм можливостей п'єзоелектричного перетворювача та має розмірність маси.

**Висновок.** Проведені теоретичні дослідження показали, що показник ефективності п'єзоелектричного перетворювача є інваріантним до поточної кутової швидкості сигналу, що перетворюється, а значення показника ефективності перетворювача є оберненим до сумарної маси перетворювача.

#### Список використаних джерел.

1. Нестерчук Д.М. Методи і засоби вимірювань електричних та неелектричних величин: навчальний посібник / Д.М.Нестерчук, С.О.Квітка, С.В.Галько. – Мелітополь: Видавничо-поліграфічний центр «Люкс», 2017. - 206 с.

2. Электрические измерения неэлектрических величин / А.М. Турчин, П.В. Новицкий, Е.С. Левшина. – Л.: Энергия, 1975. – 576 с.

3. Янчич В.В. Пьезоэлектрические датчики вибрационного и ударного ускорения: Учеб.пособие. – Р.-на-Дону, 2008. – 77 с.