

УДК 681.586.773

# ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ П'ЄЗОЕЛЕКТРИЧНИХ ПЛАСТИН

**В.Я. Журавльов**

Кандидат технічних наук, доцент\*

**О.Д. Меньяло**

Кандидат технічних наук, доцент\*

\*Кафедра проектування та експлуатації електронних апаратів  
Харківський національний технічний університет  
радіоелектроніки  
пр. Леніна, 14, м. Харків, Україна, 61166  
Контактний тел.:(057) 702-14-94

*В статті приводяться результати статистичного дослідження параметрів п'єзоелектричних пластин, підрахований та проаналізований кореляційний зв'язок визначального параметру та резонансної частоти, підтверджено гіпотезу про нормальний розподіл статистичних параметрів партії пластин*

*Ключові слова: п'єзоелектричні пластини, частота власних коливань, визначальний параметр, кореляційний зв'язок*

*В статье приводятся результаты статистического исследования параметров пьезоэлектрических пластин, подсчитана и проанализирована статистическая связь определяющего параметра и резонансной частоты, подтверждено гипотезу о нормальном законе распределения статистических параметров партии пластин*

*Ключевые слова: пьезоэлектрические пластины, частота собственных колебаний, определяющий параметр, корреляционная связь*

*The results of statistical research of parameters of piezoelectric plates are presented in the article, calculated and analysed determining a parameter and resonance frequency, a hypothesis is confirmed about normal distribution of statistical parameters of party of plates*

*Keywords: piezoelectric plates, frequency of own vibrations, determining parameter, correlation connection*

## 1. Вступ

Останнім часом значне поширення отримали пристрої, в основі роботи яких лежить п'єзоелектричний ефект. Такими являються п'єзоелектричні датчики, різноманітні перетворювачі фізичних величин в електричні, джерела стабілізованих електричних коливань, а також спеціальні медичні та діагностичні пристрої. Основним вихідним матеріалом при виробництві таких пристроїв є п'єзоелектричні пластини різних типорозмірів. Найбільш характерним та розповсюдженим параметром цих пластин є частота власних коливань, яка залежить від досить багатьох геометричних, технологічних та фізичних факторів. Приймаючи до уваги, що кількість цих факторів досить велика, а можливості їх контролю обмежені, бачиться доцільним статистичний підхід до таких досліджень, який і був реалізований в даному дослідженні.

Незважаючи на те, що п'єзоелектричні пластини характеризуються багатьма параметрами, основними серед яких при виробництві є частота власних коливань, амплітуда збудження коливань (що суттєво ха-

рактеризує їх добротність), геометричні розміри, деякі технологічні параметри, такі як шорсткість поверхні, відповідні допуски та інші.

Найбільш цікавим та необхідним для практичного застосування є зв'язок між власною частотою та геометричними параметрами, що її визначає. Таким параметром є, як правило, товщина пластини.

## 2. Дослідження статистичного зв'язку п'єзоелектричних пластин

В даній роботі було проведено дослідження статистичного зв'язку геометричних розмірів пластин, що визначають їх власну частоту коливань, для випадково відібраної партії пластин. Для дослідження таким чином було відібрано декілька партій, що мали форму прямокутних та дископодібних пластин. Загальна кількість зразків у кожній партії коливалась від 50 до 80 екземплярів. Складність дослідження була пов'язана з відсутністю на поверхні пластин електропровідного шару. Тому для досліджень був виготовлений спеціальний кристалоутримувач з дозованою силою стискування, який дозволяв оперативно проводити відповідні вимірювання. Власні коливання в пластинах збуджувались за допомогою генератора електричних коливань, а резонанс фіксувався за допомогою осцилографа.

Обробка результатів експерименту проводилася методами кореляційно-регресійного аналізу для дво-мірної випадкової величини з застосуванням відповідного програмного забезпечення.

Найбільш цікаві результати були отримані при дослідженні кореляції між частотою задаючим параметром пластини  $d$  – її товщиною та частотою власних коливань  $f$  для пластин прямокутної форми. Для визначення коефіцієнта кореляції  $r$  використовувалась відома формула [1]

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (d - m_d)(f - m_f)}{n \sigma_d \cdot \sigma_f},$$

де  $d$  – частотою задаючий розмір пластини;  
 $f$  – частота власних коливань;

$m_d = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n d_i$  – статистичне математичне сподівання розміру пластини  $d$ ;

$m_f = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n f_i$  – статистичне математичне сподівання частоти власних коливань  $f$ ;

$n$  – кількість п'єзоелектричних пластин;

$\sigma_d = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (d_i - m_d)^2}$  – середнє квадратичне відхилення розміру пластин від математичного сподівання;

$\sigma_f = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (f_i - m_f)^2}$  – середнє квадратичне очікування частоти власних коливань пластин від математичного сподівання.

Застосування кореляційного аналізу для вирішення поставленої задачі було здійснено на статистичному матеріалі, що отримано при дослідженні пластин, які надані виробником. Враховуючи апріорну інформацію, було зроблено припущення про лінійну регресію визначаючого розміру та власної частоти коливань. В цьому випадку відповідне рівняння буде мати вигляд

$$Y = bx + a,$$

де  $a$  і  $b$  – відповідні параметри рівняння регресії, які можуть бути визначені виходячи з основних статистичних показників,

$$b = r_{df} \frac{\sigma_f}{\sigma_d},$$

$$a = f - bd.$$

Обробка результатів досліджень показала, що коефіцієнт кореляції, як і очікувалось, мав негативний знак і для різних партій пластин досить суттєво відрізняється. Так наприклад, він є максимальними для партії пластин дископодібної форми  $r = -0.83 \dots -0.89$ , при частоті власних коливань  $f = 7.5$  мГц. В той же час пластини прямокутної форми мали менший коефіцієнт кореляції  $r = -0.71 \dots -0.75$  при частоті власних коливань  $5.0$  мГц.

В якості прикладу на рис. 1 наведено експериментальні дані та рівняння регресії для партії цих пластин.

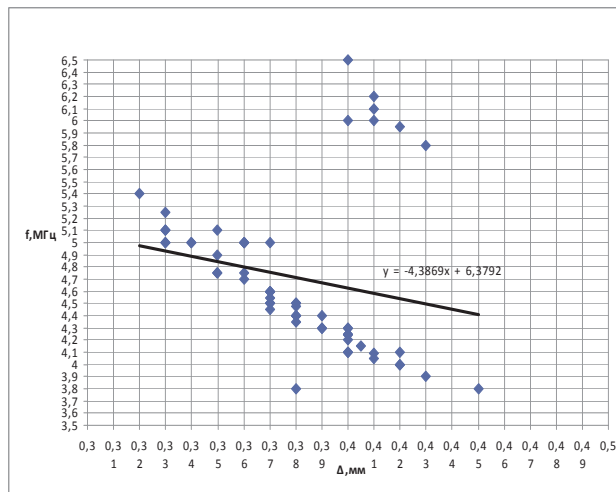


Рис. 1. Рівняння регресії партії п'єзоелектричних пластин

Тоді з урахуванням відповідних експериментальних даних конкретний числовий вид рівняння регресії буде мати вигляд

$$Y = -4.39x + 6.38,$$

або враховуючи конкретні фізичні величини  $f = -4.39d + 6.38$ .

Суттєвим результатом дослідження було те, що в кожній партії 5-7% пластин мали надзвичайно низький рівень власних коливань, що свідчить про їх низьку добротність. Виходячи з цього, при необхідності підвищення якості партії пластин може бути рекомендовано проведення цілеспрямованих відсіюючих вибірок з метою вилучення певних екземплярів пластин.

### 3. Висновки

Таким чином, в результаті дослідження кореляції п'єзоелектричних пластин була підтверджена їх працездатність та можливість їх використання в якості частотостабілізуючих та частотою задаючих елементів, а також одержано статистичні матеріали, які в подальшому будуть використані для підвищення якості виробництва п'єзоелектричних пластин.

Одержана залежність частоти власних коливань від визначаючого розміру дає можливість прогнозувати якість пластин на етапі їх виробництва, використовуючи прості методи вимірювання. Проведені дослідження підтвердили гіпотезу про нормальний закон розподілу основних параметрів пластин для різних виборок.

### Література

1. Вентцель Е.С. Теория вероятностей: Учебник для вузов.-7-е изд. Стереотип-М.: Высшая школа, 2001 – 575с.
2. Федоров В.К. Сергеев Н.П., Кондрашкин А.А. Контроль и испытание в проектировании и производстве радиоэлектронных средств.- М.: «РИЦ Техносфера», 2005.-504с.