

РАДІОЕЛЕКТРОНІКА ТА РАДІОЕЛЕКТРОННЕ АПАРАТОБУДУВАННЯ

УДК 621.373.5

С. К. Підченко, канд. техн. наук, доц.;
А. А. Таранчук, канд. техн. наук, доц.; В. І. Стецюк

ЛАБОРАТОРНИЙ СТЕНД ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ВІБРОЧУТЛИВОСТІ КВАРЦОВИХ РЕЗОНАТОРІВ

Розглянуто особливості побудови лабораторного стенду для дослідження характеристик вібро-чутливості кварцових резонаторів на основі потужної аудіоколивальної системи. Запропоновано методику визначення коефіцієнтів віброчутливості, яка базується на використанні кварцового резонатора як опорного контуру дискримінатора частотних розладнень.

Вступ

Широке розповсюдження кварцових резонаторів (КР) пояснюється як їх високими технічними характеристиками, так і низкою інших переваг, які виводять КР на перше місце у порівнянні з іншими пристроями. Так, високоточні кварцові генератори здатні забезпечити нестабільність частоти на рівні $10^{-8} \dots 10^{-10}$ за відносно помірної їх вартості. Одночасно цезієві, водневі та рубідієві стандарти частоти, які забезпечують вищу точність ($10^{-11} \dots 10^{-13}$), широкого використання не набули через їх високу вартість і значно гірші масо-габаритні та енергетичні показники.

Досить часто КР працюють у складних експлуатаційних умовах, зазнаючи впливу нестационарного теплового потоку, вібрації, акустичних шумів, деформацій тощо. Якщо з погляду варіацій температури КР притаманна визначена інерційність, то щодо вібраційних впливів — дії цього ефекту незначні. Особливо негативно вплив вібрації проявляється у частотних вимірювальних перетворювачах механічних величин, де використовуються КР з підвищеною силовою чутливістю [1].

1. Постановка задачі

Кварцовий резонатор має набір власних частот механічних коливань, спектр яких визначається розмірами і конструктивним виконанням п'єзопластини (вібратора) та кварцоутримувача, способом кріплення, пружними властивостями п'єзоматеріалу та типом деформацій в процесі коливання.

Віброчутливість кварцових резонаторів описується векторною величиною $\vec{\Gamma}$, компоненти якої визначають характеристики силочутливості за трьома ортогональними напрямками. Застосувавши принцип суперпозиції до відхилень резонансних частот КР під дією вібрації, девіацію частоти f , зумовлену дією вібраційного прискорення за вільним напрямком, можна записати у вигляді

$$\Delta f = \Delta f_x + \Delta f_y + \Delta f_z = \gamma_x a_x + \gamma_y a_y + \gamma_z a_z = \vec{\Gamma} \cdot \vec{A}, \quad (1)$$

де $\vec{\Gamma}$ — вектор чутливості до вібраційного прискорення, модуль якого виражається через коефіцієнти чутливості $\gamma_x, \gamma_y, \gamma_z$ повздовж кристалографічних осей п'єзоелемента x, y, z :

$$|\vec{\Gamma}| = \sqrt{\gamma_x^2 + \gamma_y^2 + \gamma_z^2}; \quad (2)$$

$\vec{A} = (a_x, a_y, a_z)^T$ – вектор-стовбець вібраційних прискорень [2].

Враховуючі високу різноманітність та складність сучасних конструкцій КР особливого значення набуває експериментальне визначення коефіцієнтів віброчутливості $\gamma_x, \gamma_y, \gamma_z$, що є основою для розробки та перевірки адекватності моделей характеристик віброчутливості кварцових резонаторів.

2. Особливості побудови лабораторного стенду для дослідження віброчутливості кварцових резонаторів

Для експериментального дослідження вібродинамічних характеристик п'єзрезонансних пристроїв (ПРП) розроблено спеціальний лабораторний стенд, який дозволяє проводити вивчення поведінки КР під дією зовнішніх механічних навантажень шляхом автоматичного вимірювання параметрів та статистичної обробки результатів за допомогою ПЕОМ [3].

Основою лабораторний стенду (рис. 1) є вібростіл, побудований на основі потужної (200 Вт) аудіоколивальної системи. Керування аудіоколивальною системою здійснюється за допомогою ПЕОМ, для чого використовується спеціальне програмне забезпечення, яке дозволяє формування тестових сигналів з необхідними параметрами. Сформовані тестові сигнали з виходу аудіоінтерфейсу ПЕОМ, надходять на підсилювач потужності низької частоти (ПНЧ) та гучномовець, імітуючи тим самим необхідні механічні вібрації та прискорення.

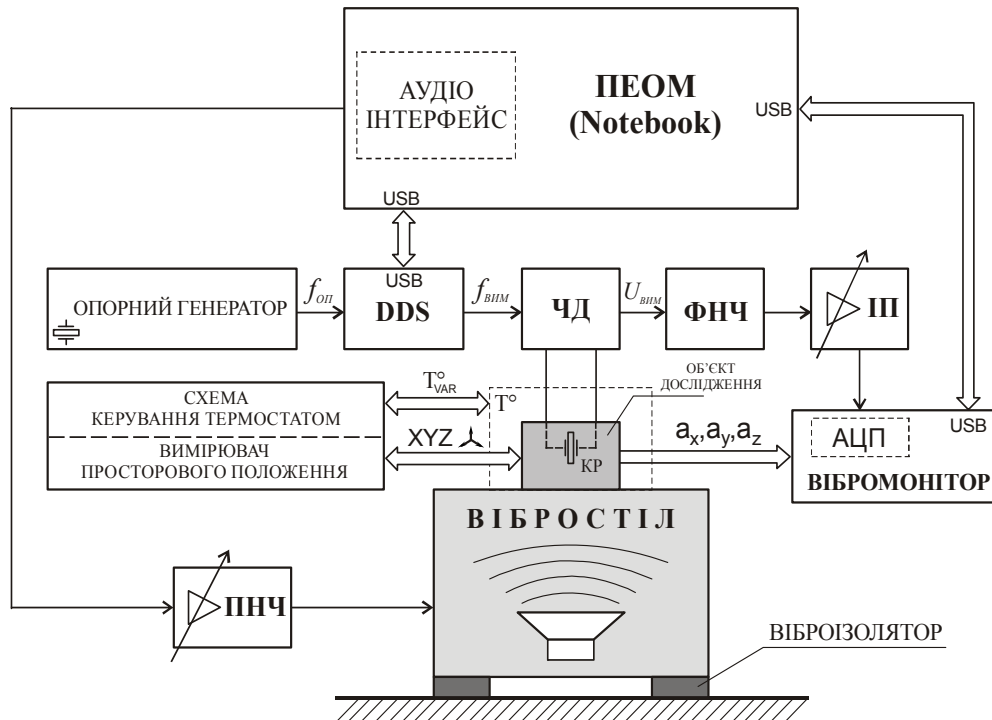


Рис. 1. Структура лабораторного стенду для дослідження характеристик віброчутливості п'єзрезонансних пристроїв

Для підвищення точності вимірювань досліджуваного КР, включеного як опорний контур у схему частотного дискримінатора (ЧД), який виконаний на мікросхемі ТВА120S (рис. 2). Ця мікросхема містить у собі квадратурний частотний детектор балансного типу, підсилювач-обмежувач вхідного сигналу і низькочастотний підсилювач сигналу неузгодження з електронним керуванням коефіцієнтом передачі. Цей кварцовий ЧД забезпечує крутизну дискримінаційної характеристики не гірше, ніж 0,2 В/кГц, при цьому діапазон електронного регулювання коефіцієнта передачі складає 60 дБ [4].

На частотний дискримінатор подається сигнал вимірювальної частоти $f_{вим}$, що відповідає частоті гармоніки (ангармоніки) КР, для якої виконуються дослідження.

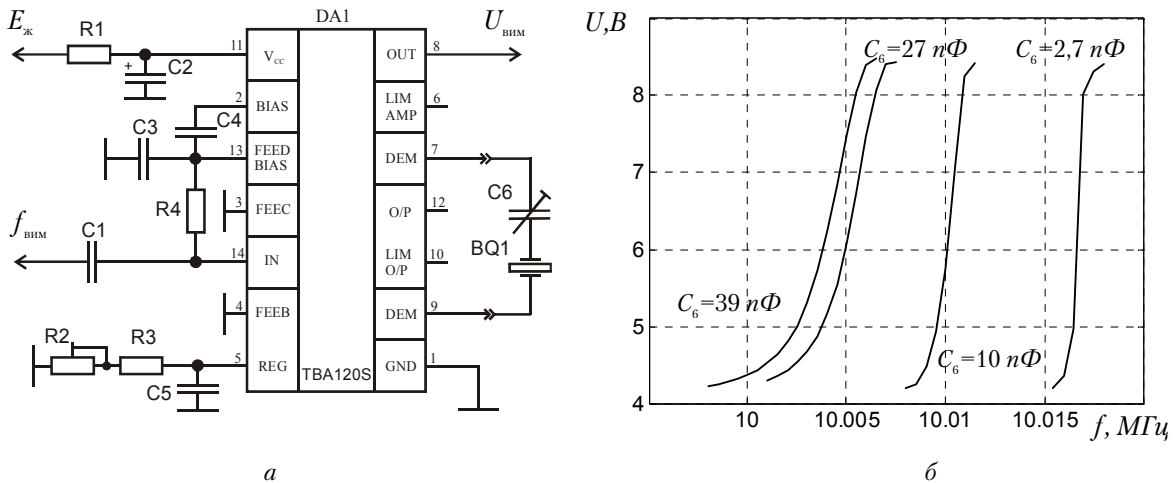


Рис. 2: а — типова схема кварцового дискримінатора; б — його характеристики

Сигнал $f_{\text{вим}}$ формується за допомогою цифрового мікроелектронного синтезатора частоти прямого синтезу (DDS) AD9851, який дозволяє екстремально швидко програмне перестроювання в широкому діапазоні частот, у тому числі і за лінійним законом для дослідження резонансів КР. Мінімальний крок зміни частоти на виході DDS складає 0,1 Гц в діапазоні частот від 1 МГц до 50 МГц. Керування DDS здійснюється за допомогою ПЕОМ. В якості опорного генератора синтезатора обрано високостабільний термостатований кварцовий генератор типу «Гиацинт-М», який забезпечує в лабораторних умовах добову відносну стабільність частоти f_{on} на рівні $5 \cdot 10^{-9}$.

Перед початком вимірювань необхідно здійснити початкове позиціонування об'єкта дослідження (кварцового резонатора) за допомогою вимірювача просторового положення та тривісного MEMS-акселерометра SMB380 (рис. 1), інформація з якого надходить через цифровий інтерфейс I²C/SPI. На кристалі акселерометра розміщений також датчик температури, інформація з якого використовується схемою керування термостатом.

Під дією вібраційних впливів змінюється власна резонансна частота КР, що призводить до змін напруги $U_{\text{вим}}$ на виході ЧД. Після фільтрації (ФНЧ) сигнал $U_{\text{вим}}$ подається на інструментальний підсилювач (ІП), реалізований на малошумлячому інтегральному підсилювачі AD620, який забезпечує максимальний коефіцієнт підсилення 10000 в смузді частот до 10 кГц. Після підсилення сигнал розладнання фіксується спеціальним пристроєм — вібромонітором, на який одночасно подається інформація про величину прискорень a_x, a_y, a_z за відповідними осями. Отримані результати вимірювання передаються через інтерфейс USB до ПЕОМ (Notebook), де записуються у вигляді масиву даних та графічного файлу для подальшої обробки і аналізу.

3. Експериментальне дослідження характеристик лабораторного стенду

На рис. 3 показані вібраційні характеристики електромеханічної системи вібростенду, як реакція на електричне збурення імпульсним сигналом. Вібраційні прискорення зафіксовані за допомогою датчика ADXL320, який дозволяє проводити вимірювання до 5g в діапазоні частот від 0,5 Гц — 2,5 кГц із роздільною здатністю 2 мг та за номінального значення крутизни характеристики перетворення 175 мВ/г [5].

Аналіз отриманих даних показує, що за даних умов тривалість переходного процесу складає близько 3 мс



Рис. 3. Реакція електромеханічної системи на збурення імпульсним сигналом: канал № 1 — сигнал з датчика прискорення; канал № 2 — сигнал на виводах гучномовця

забезпечуючи максимальне прискорення біля 2g, що повністю відповідає умовам вимірювання віброчастотних характеристик кварцових резонаторів. Зовнішній вигляд лабораторного стенду показаний на рис. 4.

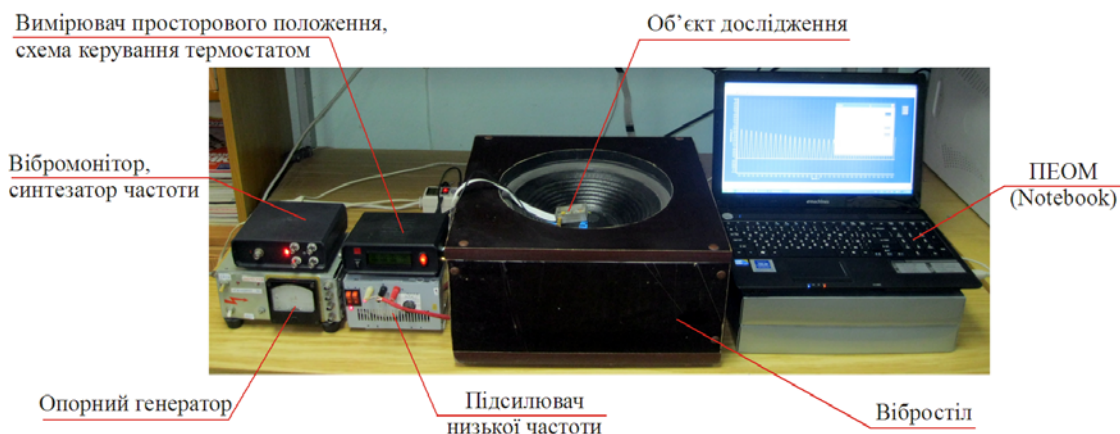


Рис. 4. Зовнішній вигляд лабораторного стенду для дослідження віброчутливості ПРП

Висновки

Запропонована методика визначення зсувів власних резонансних частот кварцових резонаторів під дією зовнішнього віброприскорення, яка базується на використанні кварцового резонатора в якості опорного контуру дискримінатора частотних розладнань. Ця методика дозволяє значно спростити та підвищити точність проведення цих досліджень.

Розроблений та практично реалізований лабораторний стенд для визначення віброхарактеристик КР, який дозволяє формувати вібраційні впливи довільного характеру з максимальним прискоренням до 5g та автоматичною фіксацією частотних розладнань.

Експериментально встановленні характеристики запропонованого лабораторного стенду підтвердили високу ефективність використання потужних аудіоколивальних систем для експериментального визначення коефіцієнтів віброчутливості γ_x , γ_y , γ_z кварцових резонаторів та пристроїв на їх основі.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Теорія і реалізаційні основи інваріантних п'єзрезонансних коливальних систем / Ф. Ф. Колпаков, С. К. Підченко. — Харків : Нац. аерокосм. ун-т «Харківський авіаційний інститут», 2011. — 327 с.
2. Підченко С. К. Математичне моделювання силочастотних характеристик кварцових резонаторів / С. К. Підченко, А. А. Таранчук, В. І. Стецюк // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. — Харків : ХАІ, 2011. — № 2 (50). — С. 27—31.
3. Підченко С. К. Апаратурні засоби дослідження вібраційної чутливості п'єзрезонансних систем / С. К. Підченко, В. І. Стецюк // Сучасні проблеми радіоелектроніки, телекомунікацій та приладобудування (СПРТП-2009) : матеріали IV-ї міжнародної науково-технічної конференції 8—10 жовтня 2009 р. — Вінниця, 2009. Частина 2. — 24 с.
4. Підченко С. К. Прецизійний кварцовий дискримінатор з підвищеною розрізняювальною здатністю / С. К. Підченко, В. І. Стецюк // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах : матеріали VII-ї міжнар. наук.-техн. конференції. — Хмельницький, 2000. — 147 с.
5. Analog Devices Inc. [Електронний ресурс]: Small and Thin ± 5 g iMEMS[®] Accelerometer. — 2004. Rev. 1. — Page 1—16. — Режим доступу : http://www.analog.com/static/imported-files/data_sheets/ADXL320.pdf

Рекомендована кафедрою електроніки

Стаття надійшла до редакції 18.11.11
Рекомендована до друку 6.12.11

Підченко Сергій Костянтинович — доцент.

Кафедра радіоелектронних виробів і телекомунікацій;

Таранчук Алла Анатолівна — доцент, **Стецюк Віктор Іванович** — старший викладач.

Кафедра радіотехніки та зв'язку.

Хмельницький національний університет, Хмельницький