

О.М. Безвесільна, д.т.н., проф.
Національний технічний університет України "КПІ"
Л.О. Чепюк, ст.викл.
Житомирський державний технологічний університет

ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ЧУТЛИВОЇ СИСТЕМИ СТРУННИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ

Наявність великої кількості вимірювальних перетворювачів, що відрізняються за принципом дії, конструкції та типу вихідного сигналу, призводить до необхідності застосування різних видів вторинних перетворювачів. Таким чином різко зростають витрати на експлуатацію, ремонт і перевірку засобів метрологічного забезпечення. Тому є необхідність застосовувати уніфіковані вимірювальні перетворювачі. Одними з перспективних є струнні вимірювальні перетворювачі різних фізичних величин у частоту. Це зумовлено тим, що похибка відтворення еталону частоти знаходиться на рівні $(5\div 8)10^{-13}$, і на сучасному рівні розвитку науки і техніки частота є одною з найбільш точно вимірюємих фізичних величин.

Струна в колі перетворення сили натягу в частоту поперечних коливань є головною ланкою. Матеріал струни повинен відповідати таким вимогам: стабільність та температурна незалежність пружних якостей, висока міцність при вібрації, зменшення пружних наслідків і внутрішніх втрат коливальної енергії, конкретне значення температурного коефіцієнта лінійного розширення, можливість отримання максимальної чутливості перетворювача при малих похибках. Для роботи струн в режимі заданої сили використовують неферромагнітні сплави, частіше всього це берилієва бронза і вольфрамові сплави. Берилієва бронза має малий електричний питомий опір, що відповідає стабільності вібраційних генераторів.

Розглянемо методику визначення розмірів струни. Переріз струни вибирається по підходящій величині напруги в струні. Меншу похибку від власної частоти жорсткості при рівному перерізі забезпечують стрічкові струни (1/9:1/11) з малим відношенням товщини до ширини.

Величини M – вага, l – довжина, S – площа поперечного перерізу струни розраховуємо з системи рівнянь:

$$\begin{cases} \frac{1}{2l} \sqrt{\frac{Mg}{\rho S}} = 980 \text{Гц} \\ \frac{2}{l} \sqrt{\frac{EI}{Mg}} = 0,8 \\ \frac{\sigma}{E} = 0,8 \cdot 10^{-3} \end{cases}, \quad (1)$$

де $I = \frac{bh^3}{12}$ – момент інерції поперечного перерізу струни, h – товщина, b – ширина струни, $h=b/10$,

$\sigma=Mg/S$ – напруга в матеріалі струни, $S=b \cdot h$ – площа поперечного перерізу струни.

Для вибору типу демпфіруючої рідини скористуємось наступним виразом:

$$h = k\mu q \frac{S_n}{S_0}, \quad (2)$$

де k – поправочний коефіцієнт ($k=34$); μ – коефіцієнт динамічної в'язкості рідини; q – товщина вантажу; S_n – площа вантажу, $S_n = \pi dn^2/4$; S_0 – площа кільцевої щілини, через яку протікає рідина.

$$S_0 = \frac{\pi[(d+2g)^2 \cdot d^2]}{4}.$$

(3)

Запишемо рівняння вимушених повздовжних коливань вантажу, які виникають при дії на струнний перетворювач періодичних збуджуючих дій типу $a \cdot \sin \Omega t$, де a – амплітуда збуджуючих прискорень спрямованих вздовж струни, Ω – частота:

$$M \frac{d^2 x}{dt^2} + h \frac{dx}{dt} + k(x + \Delta l) = M(g + a \sin \Omega t), \quad (4)$$

де $\frac{hdx}{dt}$ - сила тертя, що створюється демпфіруючим пристроєм; x – пружна деформація струни під дією сили $M \frac{d^2x}{dt^2}$; $\frac{dx}{dt}$ - швидкість переміщення нижнього кінця струни, рівна швидкості переміщення вантажу; Δl – пружна деформація струни під дією сили Mg .

Якщо збурюючі прискорення відсутні $Mg=k\Delta l_0$, то приймаємо:

$$\frac{d^2x}{dt^2} + \frac{h}{m} \frac{dx}{dt} + \frac{k}{M} x = a \sin \Omega t, \text{ де } 2\delta = \frac{h}{M} \text{ і } \omega^2 = \frac{k}{M}. \quad (5)$$

Отже в результаті отримаємо закон вимушених коливань масивного тіла: $x=x_0\sin(\Omega t+\gamma)$. Їх амплітуди:

$$x_0 = \frac{a}{\sqrt{(\omega^2 - \Omega^2)^2 + 4\delta^2\Omega^2}} = \frac{a/\omega^2}{\sqrt{\left(1 - \frac{\Omega^2}{\omega^2}\right)^2 + \frac{4\delta^2\Omega^2}{\omega^4}}}. \quad (6)$$

$$\text{Фазовий зсув буде: } \gamma = \arctg \frac{2\delta\Omega}{\omega^2 - \Omega^2}.$$

З урахуванням динамічної характеристики та наявності затування при дії збурюючих прискорень частоти $2\pi\Omega < f$ частота поперечних коливань струни буде:

$$f = \frac{1}{2l} \sqrt{\frac{E}{\rho l}} \sqrt{\Delta l + x_0 \sin \Omega t} = \alpha \sqrt{g + \frac{a \sin \Omega t}{\sqrt{\left(1 - \frac{\Omega^2}{\omega^2}\right)^2 + 4\frac{\delta^2\Omega^2}{\omega^4}}}}. \quad (7)$$

Середнє значення частоти струни за інтервал часу T дорівнює:

$$\bar{f} = \frac{1}{T} \int_0^T f(t) dt = \frac{1}{T} \int_0^T \alpha \sqrt{g + \frac{a \sin \Omega t}{\sqrt{\left(1 - \frac{\Omega^2}{\omega^2}\right)^2 + 4\frac{\delta^2\Omega^2}{\omega^4}}}} dt. \quad (8)$$

Розкладемо цю формулу в ряд, враховуючи $a \ll g$ і отримаємо, що з достатньою точністю можна рахувати середнє значення частоти коливань струни за деякий достатньо великий інтервал часу

$$T \gg \frac{1}{2\pi\Omega}:$$

$$\bar{f} = \alpha g \left[1 - \frac{1}{16} \frac{a^2}{g^2} \frac{1}{\left(1 - \frac{\Omega^2}{\omega^2}\right)^2 + \frac{4\delta^2\Omega^2}{\omega^4}} \right]. \quad (9)$$

Коефіцієнт приглушення завод характеризує ступінь зміни впливу вібрації на пружну струну в порівнянні з впливом на нерозтягну струну:

$$\xi = \frac{1}{\left(1 - \frac{\Omega^2}{\omega^2}\right)^2 + \frac{4\delta^2\Omega^2}{\omega^4}}. \quad (10)$$

Приглушити вплив збурюючих прискорень можна також при низьких частотах вібрації, якщо сильно демпфірувати вантаж з коефіцієнтом затування порядку $2\delta=10^4$ 1/с.

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ

БЕЗВЕСІЛЬНА Олена Миколаївна – Заслужений діяч науки і техніки України, доктор технічних наук, професор кафедри приладобудування Національного технічного університету України “Київський політехнічний інститут”.

Наукові інтереси:

- прилади та методи вимірювання механічних величин;
- комп'ютеризовані інформаційні системи.

E-mail: bezvesilna@mail.ru

ЧЕПЮК Ларіна Олексіївна – старший викладач кафедри автоматичного управління в технічних системах Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

- прилади та методи вимірювання механічних величин;
- комп'ютеризовані інформаційні системи.

E-mail: cheruyuk.larina@mail.ru

Службова адреса: Житомирський державний технологічний університет, вул. Черняхівського, 103, м. Житомир, 10005

Службовий телефон: (0412) 37-84-82