

УМОВИ ЗБУДЖЕННЯ МОНОКРИСТАЛІЧНОГО РЕЗОНАНСНОГО СЕНСОРА

© Байцар Роман, Рак Володимир, Дармограй Тетяна, 2008

Національний університет “Львівська політехніка”, вул. С. Бандери, 12, Львів, Україна

Проаналізовано умови збудження монокристалічного резонатора частотного сенсора та оптимізовано параметри електронної схеми автогенератора, що забезпечує високу стабільність роботи і необхідний фазовий зсув у широкому діапазоні частот

Проанализированы условия возбуждения резонатора монокристалла частотного сенсора и оптимизированы параметры электронной схемы автогенератора, который обеспечивает высокую стабильность работы и необходимый фазовый сдвиг в широком диапазоне частот

Excitement conditions of the monocrystalline resonator of a frequency sensor are analysed and electric scheme parameters of an autogenerator that provides high work stability and necessary phase shifting within the vaste frequency range are optimised

Чутливі елементи з нитчатого кристалів (НК) Si (Si-Ge) мають досконалу кристалічну структуру, високі пружно-міцнісні властивості, що дає змогу реалізувати на їхній базі коливну систему з максимально можливою добротністю.

Коливна система (рис. 1) складається з НК 1, жорстко защемленого двома кінцями у вузлах кріплення 2 на певній відстані від збуджувального електрода 3, що є одночасно і пружним елементом (ПЕ) резонатора. Для зчитування частоти коливань через НК пропускають струм, який підводиться платиновими дротинами 4. Коливання збуджуються електростатичною силою, що виникає між НК та електродом збудження від імпульсів напруги, яку до них прикладають.

Під час поперечних механічних коливань НК двічі за період буде відхилений від свого середнього положення, тобто він двічі за період буде максимально розтягнутий і відповідно двічі зміниться опір кристала внаслідок тензоефекту.

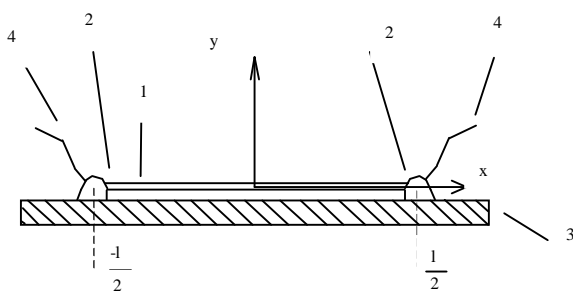


Рис. 1. Будова коливної системи на основі нитчатого кристала

У разі протікання через кристал струму на його кінцях виникне пульсуюча напруга з частотою, у два рази більшою, ніж частота механічних коливань. Падіння напруги на кристалі, що коливається, визначимо за формулою

$$U_{\kappa}(t) = k \cdot e_l(t) \cdot R_{\kappa} \cdot I_{\kappa}, \quad (1)$$

де k – коефіцієнт тензочутливості ≥ 100 ; R_{κ} – опір кристала та I_{κ} – струм кристала –сталі.

З (1) видно, що частота електричного сигналу визначається $e_l(t)$.

Частотно-фазові співвідношення між механічними коливаннями та зміною відносного видовження кристала $e_l(t)$ показані на рис. 2.

На рис. 2 видно, що відносне видовження $e_l(t)$ набуває максимального значення тоді, коли кристал перебуває в одному з крайніх положень. Оскільки між механічними коливаннями та електричним сигналом існує тісний причинно-наслідковий зв'язок (електричний сигнал не може існувати без механічних коливань НК), то часові співвідношення між ними будуть завжди зберігатися. Ці часові співвідношення легко перерахувати у фазові відносно обох типів коливань. Приймавши нульове значення амплітуди механічних коливань та нульове значення амплітуди електричного сигналу за початки періодів, можна прийти до висновку, що між ними існує часовий зсув (рис. 2), що дорівнює $1/4$ періоду електричного сигналу або фазовому куту $-\frac{\pi}{2}$.

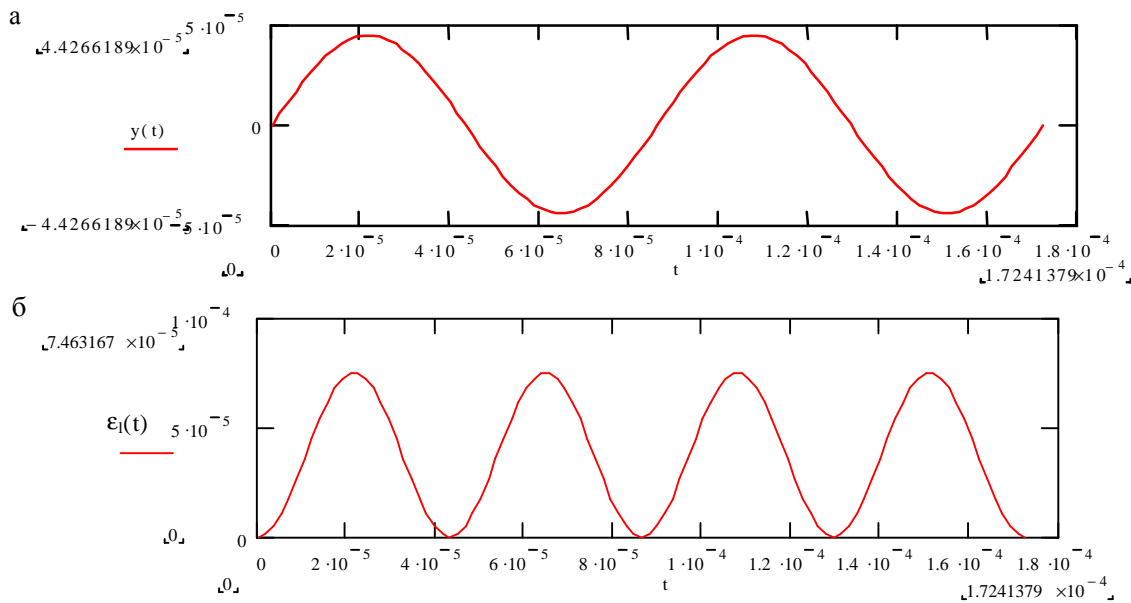


Рис. 2. Частотно-фазові співвідношення між механічними коливаннями НК та зміною відносного видовження кристала: а- відхилення центральної точки НК; б- відносне видовження НК

З курсу теоретичної механіки [1] відомо, що при резонансі між збуджувальною силою та механічними коливаннями, спричиненими цією силою, існує фазовий зсув, що дорівнює куту $-\frac{p}{2}$. Оскільки частота електричного сигналу вдвічі більша від частоти механічних коливань, то для електричного сигналу таке відставання буде дорівнювати $-p$. З урахуванням особливості виникнення електричного сигналу, проілюстрованого рис. 2, загальний фазовий зсув електричного сигналу у механічному резонаторі буде дорівнювати $-\frac{3}{2}p$.

Розглянемо систему [2] (рис.3), яка складається з активного основного елемента з передавальною функцією $K(p)$. Вихід елемента з'єднаний з входом ланкою зворотного зв'язку з передавальною функцією $\beta(p)$.

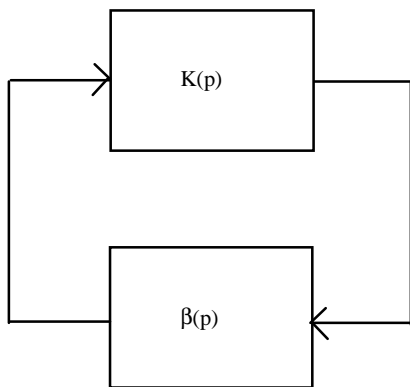


Рис. 3. Система зі зворотним зв'язком

Зовнішній сигнал відсутній, тобто система автономна. Рівняння стану системи записується на підставі того, що вихідний сигнал буде дорівнювати

$$U_{вих}(p) = K(p) \cdot b(p) \cdot U_{вих}(p) \tag{2}$$

Звідси

$$[1 - b(p) \cdot K(p)] \cdot U_{вих}(p) = 0 \tag{3}$$

Оскільки $U_{вих}(p)$, не може дорівнювати 0, бо інакше система не буде збуджена, рівність справедлива лише за тих значень p , за яких вони є коренями характеристичного рівняння

$$[b(p) \cdot K(p)] = 1, \tag{4}$$

де p_1, p_2, \dots – корені цього рівняння.

Запишемо (4) у параметричній формі

$$b(i\omega) \cdot K(i\omega) \geq 1, \tag{5}$$

де b – передавальна функція ланки зворотного зв'язку; K – передавальна функція активного елемента; ω – кругова частота; i – уявна одиниця.

Параметром є частота ω , котра змінюється у межах від 0 до $+\infty$. Якщо крива, що описується рівнянням (3), на комплексній площині охоплює точку з координатами $(1, i0)$, то така система нестійка (критерій Найквіста). У ній виникають періодичні автоколивання, тобто коливання, які існують без зовнішньої періодичної дії. Пристрої, які генерують автоколивання, називаються автоколивними системами або автогенераторами.

Запишемо у показниковій формі умову збудження для замкнутої системи

$$b \cdot e^{j\theta_b} \cdot K \cdot e^{j\theta_K} \geq 1 \quad (6)$$

де θ_b та θ_K – фазовий зсув ланки зворотного зв'язку та фазовий зсув активного елемента.

Як випливає з (6), добуток повинен дорівнювати

$$|b| \cdot |K| \geq 1, \quad (7)$$

$$\theta_b + \theta_K = n \cdot 2 \cdot \pi, \quad (8)$$

де $n = \pm 0, \pm 1, \pm 2, \dots$

Вище було встановлено, що фазовий зсув між збуджувальною силою та електричним сигналом на резонансній частоті $\theta_{НСР} = -\frac{3\pi}{2}$.

На частотах, що вимірюються десятками кілогерц, фазовий зсув операційних підсилювачів із замкнутим зворотним зв'язком $\theta_K \approx 0$. Тоді

$$\theta_{НСР} + \theta_K \approx -\frac{3\pi}{2}. \quad (9)$$

Фазова умова генерації не виконується.

Для того, щоб вона виконувалась, елемент зворотного зв'язку повинен виконувати додаткове обернення фази електричного сигналу на кут $-\frac{\pi}{2}$.

Тому у зворотний зв'язок схеми генератора необхідно ввести фазообертач. Якщо НСР працює у режимі автоколивань, то частота імпульсів збудження повинна збігатися з частотою механічних коливань. Оскільки частота електричного сигналу вдвічі більша від частоти механічних коливань, то у зворотному зв'язку генератора необхідно розмістити подільник частоти на два. Це визначає функціональну схему генератора для НСР, що зображена на рис. 4.

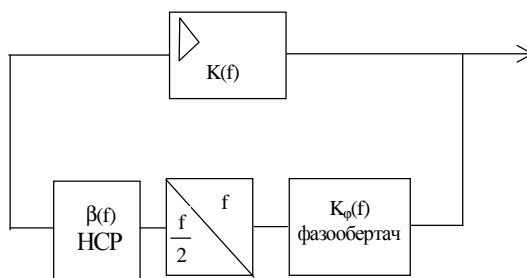


Рис. 4. Функціональна схема автогенератора

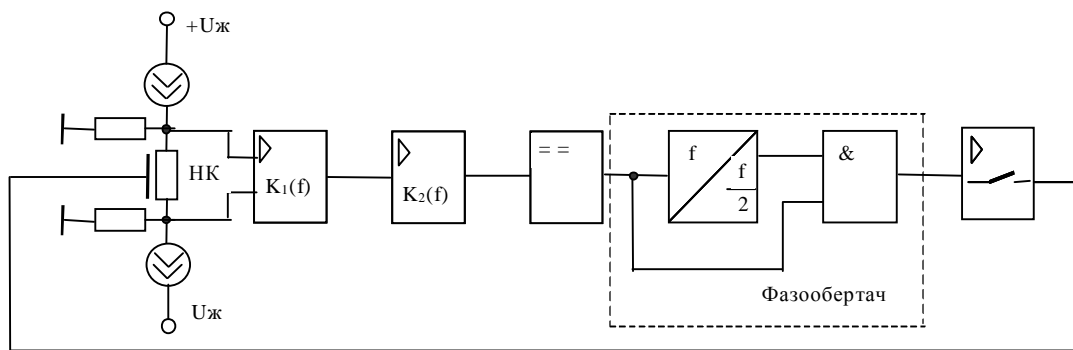


Рис. 5. Функціональна схема АГ із фазообертачем на логічних елементах

При моделюванні стаціонарного режиму модель генератора із замкнутим зворотним зв'язком буде описуватись рівнянням

$$K_3(f) \cdot e^{i\theta_\Sigma(f)} \leq 1 \cdot e^{i\theta_\Sigma(f)}, \quad (10)$$

де $K_3(f)$ – добуток модулів коефіцієнтів підсилення основних елементів АГ з НСР включно; $\theta_\Sigma(f)$ –

загальний фазовий зсув основних елементів автогенератора разом з фазовим зсувом НСР.

Якщо, $f = f_p$ (f_p – резонансна частота), то згідно з (6) $K_3(f_p) \cdot e^{i\theta_\Sigma}$ повинен бути дійсним і дорівнювати 1. Схема, в якій ця умова найкраще виконується, буде оптимальною. Вибрана за допомогою математичної моделі схема показана на рис. 5.

Вона складається із двох джерел струму, двох каскадів підсилення, порогового елемента, фазообертача, що містить подільник частоти на 2, та вихідного ключового каскаду. Для забезпечення симетрії вхідного опору схеми щодо НК перший каскад підсилення диференційний. На його обох входах встановлено два джерела струму.

У фазообертачі цієї схеми використано фазочастотні співвідношення між механічними коливаннями НК та його електричним сигналом (див. рис. 2).

Оскільки ці співвідношення зберігаються на будь-якій резонансній частоті, то фазообертач, в якому вони використовуються, забезпечує необхідний фазовий зсув $-\pi/2$ у широкому діапазоні частот.

1. Никитин Н. Н. Курс теоретической механики // Учебное издание. – М.: Высшая школа, 1990. – 607 с.
2. Баскаков С. И. Радиотехнические цепи и сигналы // Учебное издание. – М.: Высшая школа, 1988. – 448 с

УДК 539.226

САМОКАЛІБРАЦІЯ КАБЕЛЬНИХ ТЕРМОПЕРЕТВОРЮВАЧІВ З ВИКОРИСТАННЯМ ЕВТЕКТИЧНОГО МІКРОРЕПЕРА

© Гук Олександр¹, Навоцька Юлія², Прохоренко Віктор², Прохоренко Сергій², 2008

¹ АТЗТ “НВО “Термоприлад” ім.В.Лаха”, вул. Наукова, 3, Львів, Україна thermo@mail.lviv.ua

² Національний університет “Львівська політехніка”, вул. С. Бандери, 12, Львів, Україна vprokhor@polynet.lviv.ua

Розроблено конструкцію самокалібратора термомпарі з використанням мінімальної маси евтектичного функціонального матеріалу.

Разработано конструкцию самокалибратора термомпары с использованием минимальной массы функционального эвтектического материала.

It is developed a design of the self-calibrator thermocouple with use of the minimal weight of functional eutectic material.

Згідно з чинними стандартами практично у всіх галузях промисловості вимірювання середніх температур здійснюється за допомогою хромель-копелевих та хромель-алюмелевих термоперетворювачів. Зокрема, довготривалі температурні вимірювання у відповідальних вузлах енергетичного обладнання (зокрема, атомних електростанцій) реалізуються з використанням кабельних термоперетворювачів. Допустима похибка з огляду на дрейф, термометричної характеристики, що наростає у часі, як на сучасні вимоги, має надто високе значення. Так, можлива похибка вимірювання температури (в інтервалі 500÷600 °С) становить 5К [1]. Настільки значна похибка не дає можливості знизити рекомендовану мінімальну різницю між температурою використовуваної перегрітої пари та максимальним розрахунковим значенням температури для трубопроводів парової установки, що, своєю чергою, знижує можливість підвищення коефіцієнта корисної дії електростанцій [1].

Часовий дрейф термоелектричної характеристики сенсора при довготривалих вимірюваннях зумовлений поступовою деградацією структури в результаті штучного старіння термоелектричного матеріалу. Проте не можна вилучати і малопередбачувані стресові ситуації, пов'язані з механічним, радіаційним та складнішого типу пошкодженням термоперетворювачів [2].

Згідно з [2] існує зворотна та незворотна нестабільності службових властивостей термоелектродів. Зворотна нестабільність термометричних характеристик виникає у інтервалі 250÷550 °С у хромель-алюмелевій термомпарі. Цей вид нестабільності пояснюється ближнім впорядкуванням атомів хрому у кристалічній ґратці нікелю і її частково уникають попереднім відпалом хромелю. Незворотна нестабільність зумовлена зміною хімічного складу у ході тривалої експлуатації термоелектродів, а тому її уникнути неможливо. Щоправда, вона сягає лише $\pm 1\%$, і враховується у похибці вимірювання.