



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **150736** (13) **U**  
(51) МПК (2022.01)  
**H03D 3/16** (2006.01)  
**H03L 1/00**  
**H03L 9/00**

НАЦІОНАЛЬНИЙ ОРГАН  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІ  
ДЕРЖАВНЕ ПІДПРИЄМСТВО  
"УКРАЇНСЬКИЙ ІНСТИТУТ  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІ"

## (12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

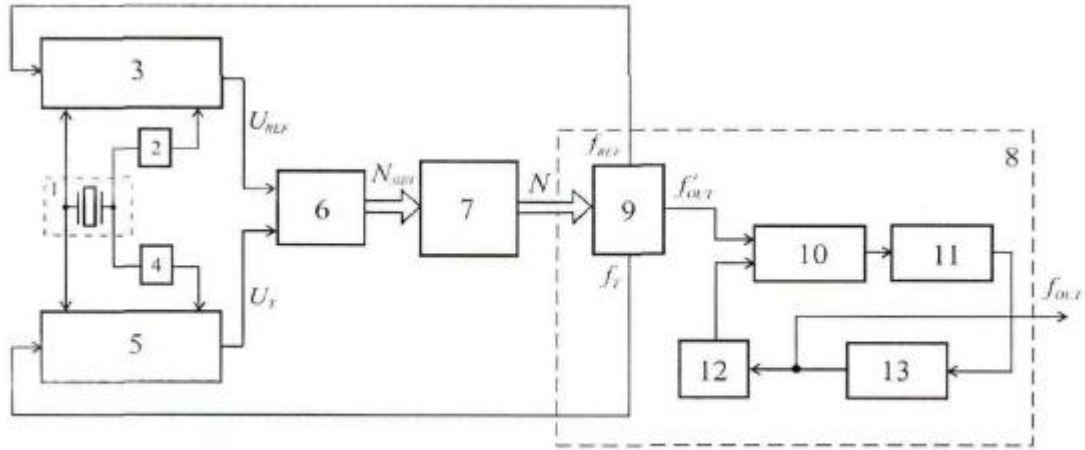
(21) Номер заявки: <b>u 2021 05921</b>	(72) Винахідник(и): <b>Підченко Сергій Костянтинович (UA), Таранчук Алла Анатоліївна (UA), Чумаков Володимир Іванович (UA), Гула Ігор Володимирович (UA), Гавронський Віталій Євгенович (UA), Слободян Максим Олегович (UA)</b>
(22) Дата подання заявки: <b>21.10.2021</b>	(73) Володілець (володільці): <b>ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ, вул. Інститутська, 11, м. Хмельницький, 29016 (UA)</b>
(24) Дата, з якої є чинними права інтелектуальної власності: <b>07.04.2022</b>	
(46) Публікація відомостей про державну реєстрацію: <b>06.04.2022, Бюл.№ 14</b>	

## (54) ПРИСТРІЙ ГЕНЕРУВАННЯ

### (57) Реферат:

Пристрій генерування сигналів містить перший кварцовий дискримінатор опорної моди коливань, другий кварцовий дискримінатор термочутливої моди коливань, двоканальний аналого-цифровий перетворювач. Вихід першого дискримінатора підключений до першого входу аналого-цифрового перетворювача. Вихід другого дискримінатора підключений до другого входу аналого-цифрового перетворювача. А вихід аналого-цифрового перетворювача підключений до входу схеми формування сигналу компенсації, багатоканальний синтезатор прямого синтезу, перший канал якого використаний для дискримінації частоти опорної моди коливань кварцового резонатора. Другий канал якого використаний для дискримінації частоти термочутливої моди коливань кварцового резонатора. А третій канал якого використаний для формування опорного коливання в схемі перенесення спектра. Вихід першого каналу синтезатора прямого синтезу підключений до входу першого кварцового дискримінатора. Вихід другого каналу синтезатора прямого синтезу підключений до входу другого кварцового дискримінатора. А вихід третього каналу синтезатора прямого синтезу підключений до входу схеми перенесення спектра. Використаний двополосний кварцовий резонатор з однією парою електродів функція стабілізації коливань якого суміщена з функцією ідентифікації поточного стану п'єзокристалічного елемента. Додатково введені перший смуговий фільтр та другий смуговий фільтр. Перший вивід кварцового резонатора підключений до перших виводів кіл дискримінації першого та другого кварцових дискримінаторів. Другий вивід кварцового резонатора підключений до входів першого та другого смугових фільтрів. А вихід першого смугового фільтра підключений до другого виводу кола дискримінації першого кварцового дискримінатора, а вихід другого смугового фільтра підключений до другого виводу кола дискримінації другого кварцового дискримінатора.

UA 150736 U



Фиг. 1

Корисна модель належить до пристроїв генерування та формування сигналів, зокрема до високостабільних джерел опорних коливань на основі цифрового синтезу частоти з колами термокомпенсації, і може бути використаний в області цифрового радіозв'язку, радіомовлення та телебачення, радіолокації, радіонавігації та вимірювальної техніки.

5 Відомий пристрій генерування на основі двочастотного генератора [1], який містить підсилювач на транзисторі, два фазуючих конденсатора, навантажувальний LC-контур, два кола керування з послідовно включених варикапа і резистора, двосекційну котушку індуктивності, перша секція якої через розділовий конденсатор підключена до анода першого варикапа, друга секція якої через розділовий конденсатор підключена до анода другого

10 варикапа, а загальна точка обох секцій з'єднана з базою транзистора, послідовно з'єднаних фазообертача і атенюатора, причому вхід фазообертача підключений до виходу генератора, а вихід атенюатора підключений до бази транзистора підсилювача.

Недоліками даного пристрою є низька стабільність двочастотного режиму коливань, що обумовлено використанням низькодобротних LC-контурів завдання частот генерації та компенсація температурної нестабільності тільки для низькочастотного коливання різницевої частоти. Це значно знижує точнісні характеристики пристрою та обмежує його функціональні

15 можливості.

Також відомий пристрій генерування [2], який містить опорний двочастотний кварцовий генератор, який збуджується на двох частотах  $f_1$  та  $f_3$  першої та третьої механічних гармонік кварцового резонатора, перший дільник частоти на три, другий дільник частоти з коефіцієнтом щ, змішувач, на виході якого виділяється сигнал різницевої частоти  $\Delta f = f_1 - f_3/3$ , лічильник імпульсів для формування температурно-залежного цифрового коду  $N(T)$ , мікроконтролер для формування на основі коду  $N(t)$  спеціального коду керування  $M(T)$  та цифровий синтезатор частоти прямого синтезу, програмною зміною частоти якого на основі коду керування  $M(T)$

20 проводиться компенсація температурної нестабільності опорної частоти  $f_3$ , причому вихід цифрового синтезатора частоти є виходом пристрою генерування.

Недоліком даного пристрою є використання осциляторного збудження двочастотного кварцового резонатора в умовах підвищеної сумарної потужності збудження, що суттєво збільшує температурну складову нестабільності частоти вихідного сигналу. Окрім цього, використання синтезатора частоти прямого синтезу для формування вихідного сигналу значно погіршує його спектральний склад та обмежує частотний діапазон пристрою.

25

Найбільш близьким до запропонованого пристрою є пристрій генерування [3], який містить полічастотний кварцовий резонатор з двома парами електродів для збудження коливань опорної та термочутливої мод, під'єднаних до відповідних кварцових дискримінаторів опорної та термочутливої мод коливань, двоканальний аналого-цифровий перетворювач, схему формування сигналу компенсації та схему перенесення спектру коливань на базі системи фазового автопідстроювання частоти, яка складається із синтезатора прямого синтезу, фазового детектора, фільтра низької частоти, дільника частоти та генератора керованого

30 напругою.

Недоліком даного пристрою є використання полічастотного кварцового резонатора з роздільними електродами, що через наявність просторових градієнтів між областями збудження коливань призводить до суттєвих динамічних похибок термокомпенсації та збільшення термодинамічної нестабільності частоти вихідного сигналу пристрою генерування. Окрім цього, практична реалізація пристрою-прототипу [3] потребує виготовлення спеціальних полічастотних кварцових резонаторів, що значно погіршує технологічність конструкції пристрою генерування та обмежує його широке використання.

35

В основу корисної моделі поставлена задача підвищення стабільності частоти вихідного сигналу пристрою генерування та покращення технологічності його конструкції.

Поставлена задача вирішується тим, що пристрій генерування сигналів містить перший кварцовий дискримінатор опорної моди коливань, другий кварцовий дискримінатор термочутливої моди коливань, двоканальний аналого-цифровий перетворювач. Вихід першого дискримінатора підключений до першого входу аналого-цифрового перетворювача. Вихід другого дискримінатора підключений до другого входу аналого-цифрового перетворювача. А вихід аналого-цифрового перетворювача підключений до входу схеми формування сигналу компенсації, багатоканальний синтезатор прямого синтезу, перший канал якого використаний для дискримінації частоти опорної моди коливань кварцового резонатора. Другий канал якого використаний для дискримінації частоти термочутливої моди коливань кварцового резонатора. А третій канал якого використаний для формування опорного коливання в схемі перенесення спектру. Вихід першого каналу синтезатора прямого синтезу підключений до входу першого

40

45

50

55

60

входу другого кварцового дискримінатора. А вихід третього каналу синтезатора прямого синтезу підключений до входу схеми перенесення спектру. Використаний двополюсний кварцовий резонатор з однією парою електродів функція стабілізації коливань якого суміщена з функцією ідентифікації поточного стану п'єзокристалічного елемента. Додатково введені перший  
 5 смуговий фільтр та другий смуговий фільтр. Перший вивід кварцового резонатора підключений до перших виводів кіл дискримінації першого та другого кварцових дискримінаторів. Другий вивід кварцового резонатора підключений до входів першого та другого смугових фільтрів. А вихід першого смугового фільтру підключений до другого виводу кола дискримінації першого кварцового дискримінатора, а вихід другого смугового фільтру підключений до другого виводу  
 10 кола дискримінації другого кварцового дискримінатора.

Суть корисної моделі пояснюють креслення.

На фіг.1 пристрій генерування сигналів, який містить двополюсний багаточастотний кварцовий резонатор 1, смугові фільтри опорної моди коливань 2 та термочутливої моди коливань 4, кварцові дискримінатори опорної моди коливань 3 та термочутливої моди коливань  
 15 5, двоканальний аналого-цифровий перетворювач (АЦП) 6, схему формування сигналу компенсації 7, схему перенесення спектру коливань 8 на базі системи фазового автопідстроювання частоти, яка складається із синтезатора прямого синтезу 9, фазового детектора 10, фільтра низької частоти (ФНЧ) 11, дільника частоти 12 та генератора керованого напругою (ГКН) 13.

Пристрій генерування працює наступним чином.

Двополюсний багаточастотний кварцовий резонатор 1 використовується в режимі одночасного збудження опорної та термочутливої мод коливань, що мінімізує градієнтні та динамічні похибки, викликані різноманітними факторами впливу, в першу чергу температури. Двочастотне збудження кварцового резонатора (КР) необхідне для суміщення функції  
 25 стабілізації частоти з вимірювальною функцією, що забезпечує одночасну ідентифікацію теплового стану КР [4].

Тепловий стан КР є одним з найбільш значимих факторів, який визначає стабільність коливань, які генерується. Залежність власних резонансних частот КР від теплового стану резонатора визначається фізичними властивостями п'єзоелемента та конструктивними  
 30 особливостями електродів, кварцоутримувачів тощо. Зміна теплового стану КР може бути зумовлена як зовнішніми факторами (зміна температури навколишнього середовища), так і внутрішніми (за рахунок саморозігріву п'єзопластини).

В запропонованому пристрої генерування (фіг. 1) можуть використовуватись стандартні КР, наприклад, резонатори АТ - зрізів (YXl/β) з коливаннями першої і третьої гармонік або спеціально для цього сконструйовані двообернуті резонатори SC-зрізів (YXbl/γ/β). Резонатор SC-зрізу (γ=22°52', β=-34°06') має можливість одночасного збудження трьох мод коливань (А, В, С), при цьому, мода В має температурний коефіцієнт частоти близько 25·10<sup>-6</sup> 1/С° за умови її високої лінійності на фіг. 2.

Для ідентифікації температурних збурень використовуються оцінююча функція Δf(T) різницевого коливання температурної (В) та опорної (С) мод f<sub>T</sub> та f<sub>REF</sub> з різними температурно-частотними характеристиками (ТЧХ):

$$\Delta A(T) = \Delta f_{REF}(T) - \Delta f_T(T), \quad (1)$$

де Δf<sub>REF</sub>(T), Δf<sub>T</sub>(T) - температурні зсуви частот опорної та температурної мод коливань f<sub>REF</sub> і f<sub>T</sub>.

Оскільки всі моди (А, В, С) займають один і той-же об'єм резонатора, це дозволяє використовувати моду (С) для генерації опорних коливань, а моду (В) в якості датчика миттєвої температури в активній зоні, що виключає градієнтні та динамічні похибки, які притаманні стандартним методам термокомпенсації та термостатування [4].

В той же час, різкі зміни теплового режиму КР (умов його збудження) призводять до суттєвого спотворення ТЧХ, що потребує врахування термодинамічної складової нестабільності частоти, яка за швидких змін температури може перевищувати зсуви частот у псевдостатичних режимах КР.

На фіг. 3 приведені типові термодинамічні характеристики  $\left| \left( \frac{\Delta f}{f} \right)_{ТДХ} \right|$  для різних потужностей стрибкоподібного збудження резонаторів SC-зрізів. Аналіз даних показує, що зміни потужності збудження КР ΔP<sub>зб</sub> ≥ 100 мкВт є занадто великими для високостабільних пристроїв генерування. В той же час, обмеження варіацій потужності збудження на рівні до ΔP<sub>зб</sub> ≤ 10 мкВт дозволяє в межах 2δ = 1·10<sup>-8</sup>...1·10<sup>-9</sup> для резонаторів SC - зрізів термодинамічною складовою нестабільності частоти знехтувати. При цьому, спостерігається досить значне скорочення

тривалості часу перехідного процесу за частотою (більш ніж в 2...3 рази), яке, втім, суттєво зменшується за варіацій потужностей збудження  $\Delta P_{36} \geq 500$  мкВт [4].

Для підвищення стабільності частоти вихідного сигналу пристрою генерування та покращення технологічності його конструкції пропонується двополісний двочастотний кварцовий резонатор 1, функція стабілізації коливань якого суміщена з функцією ідентифікації поточного стану п'єзокристалічного елемента використати в якості опорного контуру частотних дискримінаторів коливань моди  $f_{REF}$  та коливань моди  $f_T$ , які працюють в режимі мікробудження, що забезпечує високу крутизну перетворення та стабільність частот дискримінації (фіг. 1). Двочастотний кварцовий резонатор підключений до кіл дискримінації першого кварцового дискримінатора 3 опорної моди коливань  $f_{REF}$  через перший смуговий фільтр 2, а до кіл дискримінації другого кварцового дискримінатора 5 термочутливої моди коливань  $f_T$  через другий смуговий фільтр 4, що унеможлиблює конкуренцію коливань мод  $f_{REF}$  і  $f_T$  та забезпечує високу стійкість двочастотного режиму збудження КР 1.

Обидва частотні дискримінатори здійснюють функцію перетворення "частота-напруга" і є основними елементами двоканальної системи автоматичної системи підстроювання частоти (АПЧ), яка також містить двоканальний АЦП 6, схему формування сигналу компенсації 7 та двоканальний синтезатор частоти прямого синтезу (DDS) 9. На виході першого частотного дискримінатора 3 формується напруга  $U_{REF}$ , пропорційна зсуву частоти  $\Delta f_{REF}$ , яка поступає на перший вхід АЦП 6, на виході другого частотного дискримінатора 5 формується напруга  $U_T$ , пропорційна зсуву частоти  $\Delta f_T$ , яка поступає на другий вхід АЦП 6. На виході АЦП 6 формується двопараметрична цифрова послідовність  $N_{АЦП}$ , яка надходить на схему формування сигналу компенсації 7. Схема сигналу компенсації 7 формує цифровий код  $N$ , який використовується для налаштування триканального когерентного синтезатора прямого синтезу (КСПС) 9. Перший канал КСПС 9 використовується для формування коливання опорної частоти  $f_{REF}$ , яке поступає на вхід першого кварцового дискримінатора 3, а другий канал КСПС - для формування коливання термочутливої частоти  $f_T$ , яке надходить на вхід другого кварцового дискримінатора 5, утворюючи тим самим двоканальну систему АПЧ.

Перший кварцовий дискримінатор 3 та другий кварцовий дискримінатор 5 побудовані за аналогічними схемами на основі інтегральних спеціалізованих мікросхем TBA120S (K174УР1) на фіг. 4.

Інтегральна мікросхема TBA120S містить підсилювач-обмежувач вхідного сигналу, квадратурний частотний детектор балансного типу та низькочастотний підсилювач сигналу неузгодження з електронним керуванням коефіцієнтом передачі за допомогою резистора  $R_2$  ( $R_2'$ ). Багаточастотний кварцовий резонатор 1 BQ1 підключений до кіл дискримінації (виводи 7 (7') та 9 (9')) через смугові LC фільтри 2 та 4 (L1C6 та L1'C6'). Даний кварцовий дискримінатор частоти забезпечує крутизну дискримінаційної характеристики не гірше, ніж 0,2...0,5 В/кГц, при цьому діапазон електронного регулювання коефіцієнта передачі складає 60 дБ (фіг. 4).

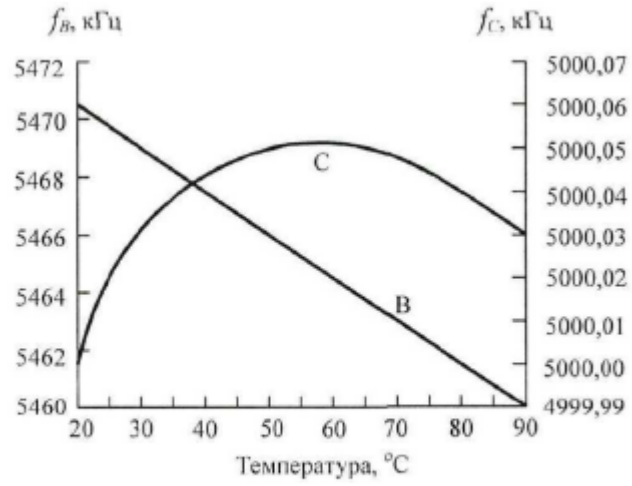
Схема перенесення спектру коливань 8 складається із фазового детектора 10, фільтра низьких частот 11, генератора керованого напругою 13 і дільника частоти 12 та являє собою систему фазового автоматичного підлаштування частоти (ФАПЧ). На вхід системи ФАПЧ (на перший вхід фазового детектора 10) подається термокомпенсоване коливання опорної частоти  $f'_{OUT}$  з третього виходу КСПС 9, а на другий вхід фазового детектора 10 - коливання з генератора керованого напругою 13 з частотою  $f'_{OUT}/n$ , де  $n$  - коефіцієнт ділення дільника частоти 12. На виході фазового детектора 10 формується сигнал помилки, пропорційний різниці фаз сигналів на його входах, який після корекції за допомогою фільтра нижніх частот 11, що визначає динамічні властивості системи ФАПЧ, використовується для керування частотою генератора керованого напругою 13. Отже, частота вихідного сигналу пристрою генерування буде дорівнювати  $f_{OUT} = n \cdot f'_{OUT}$ .

Запропонований пристрій генерування забезпечує більш високу стабільність частоти вихідних коливань за рахунок підвищення точності компенсації температурної нестабільності кварцового резонатора в двочастотному режимі збудження з поточною ідентифікацією його теплового стану та зменшення термодинамічної похибки ідентифікації в порівнянні зі схемами з окремим сенсором температури на один - півтора порядку, в залежності від типу кварцового резонатора.

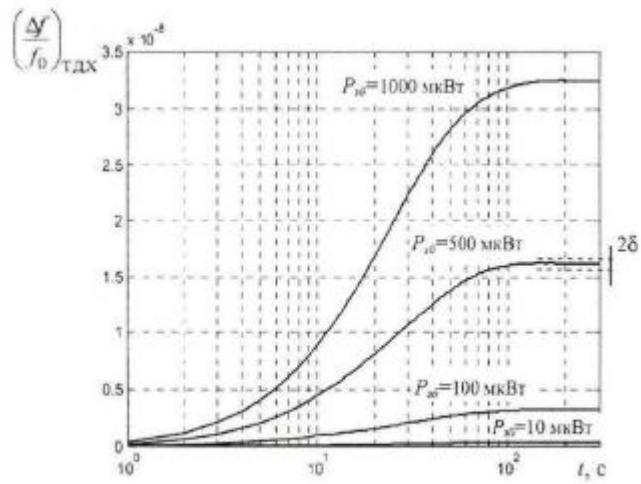
Джерела інформації:

1. Пат. 29643А Україна, МКІ 6 Н03С 3/09. Частотно-модульований генератор /Ф.Ф. Колпаков, С.К. Підченко, Г.Л. Хільченко; заявник і патентовласник Хмельниць. нац. університет. - № 96041345; заявл. 5.04.1996; опубл. 15.11.2000, Бюл. № 6-Й. - 5 с: іл.

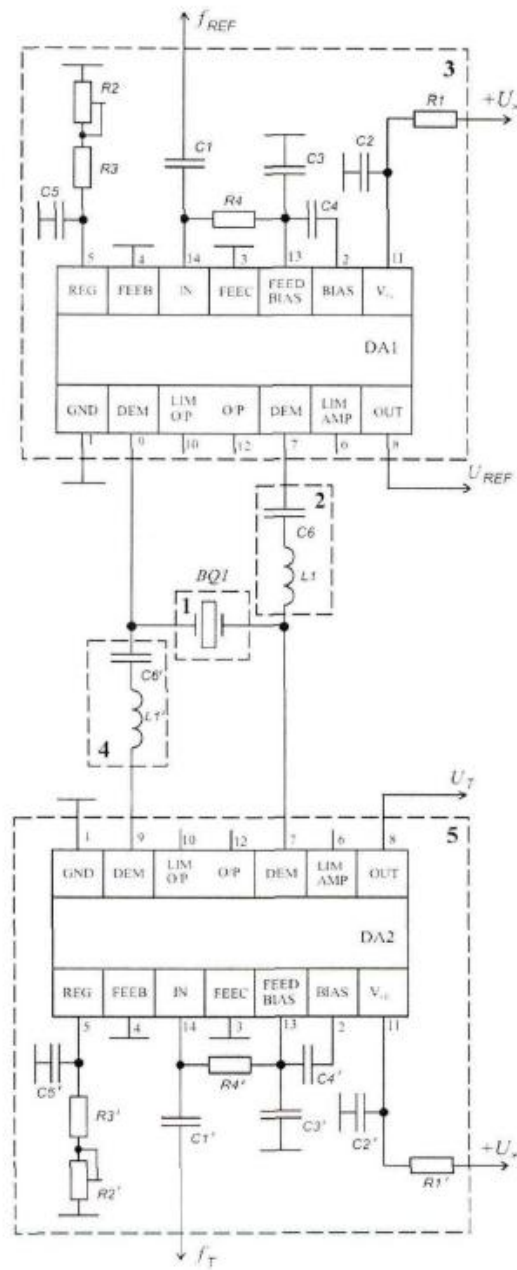




Фиг. 2



Фиг. 3



Фиг. 4