



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **86099** (13) **U**  
(51) МПК (2013.01)  
H03L 9/00

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІ  
УКРАЇНИ

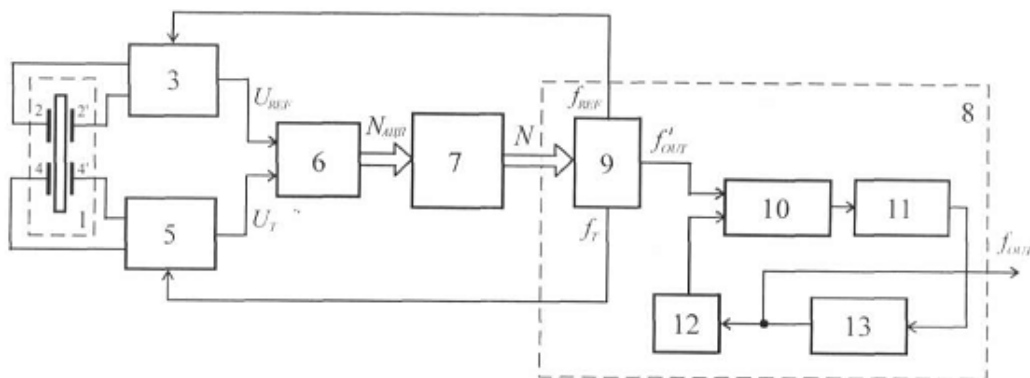
## (12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

(21) Номер заявки: <b>u 2013 08554</b>	(72) Винахідник(и): <b>Підченко Сергій Константинович (UA), Таранчук Алла Анатоліївна (UA), Стецюк Віктор Іванович (UA), Кальватинський Олександр Вікторович (UA)</b>
(22) Дата подання заявки: <b>08.07.2013</b>	(73) Власник(и): <b>ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ, вул. Інститутська, 11, м. Хмельницький, 29016 (UA)</b>
(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: <b>10.12.2013</b>	
(46) Публікація відомостей про видачу патенту: <b>10.12.2013, Бюл.№ 23</b>	

## (54) ПРИСТРІЙ ГЕНЕРУВАННЯ

### (57) Реферат:

Пристрій генерування сигналів містить багаточастотний кварцовий резонатор з двома парами електродів для збудження коливань опорної та термочутливої мод, схему виділення різницевої частоти, схему формування сигналу компенсації, синтезатор прямого синтезу для формування коливання опорної частоти в схемі перенесення спектра коливань на базі системи фазового автопідстроювання частоти. Вихідний сигнал схеми компенсації використовують як сигнал налаштування синтезатора прямого синтезу, а вихід схеми перенесення спектра коливань є виходом пристрою генерування сигналів. Додатково введені перший кварцовий дискримінатор опорної моди коливань, другий кварцовий дискримінатор термочутливої моди коливань, двоканальний аналого-цифровий перетворювач, багатоканальний синтезатор прямого синтезу.



Фіг. 1

UA 86099 U



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

Відомий пристрій генерування [1], який містить активну триточкову частину на біполярному транзисторі, двочастотний кварцовий резонатор, включений між базою та колектором транзистора та пасивний фільтр для виділення різницевої частоти, включений між базою та емітером транзистора. Недоліками даного пристрою є низька стійкість багаточастотного режиму коливань, велика сумарна потужність збудження кварцового резонатора та наявність лише часткової компенсації температурної нестабільності тільки для низькочастотного коливання різницевої частоти, що значно знижує точнісні характеристики пристрою та обмежує його функціональні 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  $n$ , 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  $M(T)$  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 термодинамічну 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.

Найбільш близьким аналогом до запропонованого пристрою є пристрій генерування [3], який містить багаточастотний кварцовий резонатор з двома парами електродів для збудження коливань опорної та термочутливої мод, схему виділення різницевої частоти, схему формування сигналу компенсації, синтезатор прямого синтезу для формування коливань опорної частоти в схемі перенесення спектра коливань на базі системи фазового автопідстроювання частоти, причому вихідний сигнал схеми компенсації використовується як сигнал налаштування синтезатора прямого синтезу, а вихід схеми перенесення спектра коливань є виходом пристрою генерування сигналів.

Недоліком даного пристрою є також використання осциляторного збудження двочастотного кварцового резонатора в умовах підвищеної сумарної потужності збудження, що суттєво збільшує термодинамічну складову нестабільності частоти вихідного сигналу.

В основу корисної моделі поставлена задача підвищення стабільності частоти вихідного сигналу пристрою генерування.

Для досягнення поставленої задачі запропоновано пристрій генерування сигналів, який містить багаточастотний кварцовий резонатор 1 з двома парами електродів для збудження коливань опорної 2, 2' та термочутливої 4, 4' мод, під'єднаних до відповідних кварцових дискримінаторів опорної моди коливань 3 та термочутливої моди коливань 5, двоканальний аналого-цифровий перетворювач (АЦП) 6, схему формування сигналу компенсації 7 та схему перенесення спектра 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.

Багаточастотний кварцовий резонатор 1 має дві пари електродів, одна пара із яких 2, 2' використовується для збудження коливань опорної моди, а друга пара електродів 4, 4' - для збудження термочутливої моди, причому обидві пари електродів знаходяться на одній п'єзопластині, що мінімізує градієнтні та динамічні похибки, викликані різноманітними факторами впливу, в першу чергу температури. Багаточастотне збудження п'єзоколивальної системи (ПКС) необхідне для суміщення функції стабілізації частоти з вимірювальною функцією, що забезпечує одночасну ідентифікацію факторів впливу (температури) і дозволяє трактувати ПКС як багатомірний об'єкт, в моделі якого явно фігурують контрольовані збурення:

$$y_i(p) = y_{\zeta_i}(p) + \Delta y_{\hat{e}_i}(p) + \Delta y_{i\hat{e}_i}(p) = W_{ii}(p)x_{\zeta_i}(p) + \sum_{j=1, j \neq i}^m W_{ij}(p)x_{\zeta_j}(p) + \sum_{k=1}^n A_{ik}(p)x_{\hat{e}_k}(p) + \Delta y_{i\hat{e}_i}(p) \quad (1)$$

де  $X_{\zeta}(p) = \{x_{\zeta_i}\}_{i=1}^m$  - вектор заданого керування;  $X_{\hat{e}}(p) = \{x_{\hat{e}_k}\}_{k=1}^n$  - вектор контрольованого збурення;  $W(p)$ ,  $A(p)$  - передатні функції каналів керування і каналів збурення відповідно;  $\Delta y_{i\hat{e}_i}(p)$  - додатковий рух за рахунок неконтрольованих збурень [4].

- 5 Температура є одним з найбільш значимих факторів впливу на параметри п'єзореzonансного пристрою. Залежність резонансної частоти і динамічних параметрів кварцового резонатора (КР) від температури визначається переважно фізичними властивостями п'єзоелемента, а також впливом електродів, елементів кріплення і кварцоутримувача. Зміна температури може бути зумовлена як зовнішніми факторами впливу, так і внутрішніми (за рахунок саморозігріву п'єзопластини), але в будь-якому випадку призводить до зміни власної частоти кварцового резонатора. Загальний зсув власної частоти п'єзоелемента (ПЕ) з урахуванням термодинамічних процесів представляється як:

$$\Delta f/f_0 = \left( \frac{\Delta f(T)}{f_0} \right)_{\partial \times \partial} + \left( \frac{\Delta f(\Delta T_R(\psi))}{f_0} \right)_{\partial \ddot{\alpha} \partial} \quad (2)$$

- 15 де  $\left( \frac{\Delta f(T)}{f_0} \right)_{\text{ТЧХ}} = \sum_{i=1}^3 a_i (T - T_H)^i \Big|_{T=T_{\text{ПЕ}_{\text{сеп}}}}$  - статична (псевдостатична) складова нестабільності п'єзоелемента, яка визначається його температурно-частотною характеристикою (ТЧХ) відносно номінальної температури  $T_H$  та середньою температурою ПЕ  $T_{\text{ПЕ}_{\text{сеп}}}$ ;

$\left( \frac{\Delta f(\Delta T_R(\psi))}{f_0} \right)_{\text{ТДХ}}$  - термодинамічна складова нестабільності, яка виникає за рахунок

- 20 спотворення температурного поля п'єзоелемента  $\Delta T_R(\psi)$  в напрямку радіус-вектора  $r$  за швидких змін потужності збудження або зовнішньої температури;

$a_i$ ,  $i = \overline{1,3}$  - температурні коефіцієнти частоти першого, другого і третього порядку.

На фіг. 2 приведені типові ТЧХ кварцових резонаторів АТ-зрізу для коливань опорної моди  $\delta f_{\text{REF}} = \frac{\Delta f_{\text{REF}}}{f_{0_{\text{REF}}}}$  та термочутливої моди  $\delta f_T = \frac{\Delta f_T}{f_{0_T}}$ , де  $f_{0_{\text{REF}}}$  та  $f_{0_T}$  - номінальні значення частот для температури  $T_i$ .

- 25 Для ідентифікації температурних збурень використовуються оцінююча функція різницевого коливання мод  $f_{\text{REF}}$  і  $f_T$  з різними температурно-частотними характеристиками (бажано за знаком):

$$\delta_{\text{REF}}(t) - \delta_T(t) = \frac{\Delta f_{\text{REF}}(t)}{f_{0_{\text{REF}}}} - \frac{\Delta f_T(t)}{f_{0_T}} = \xi_f(t) \quad (3)$$

- 30 Тоді, розглядаючи різницю (3) як лінійну поблизу температури  $k$ -того значення температури  $T_k$  (фіг. 2) та здійснюючи перехід до скінченних різностей отримуємо:

$$\xi_f(t) = \xi_{fk}(1 + \lambda_k \Delta T_k(t)), \quad k = \overline{1,m} \quad (4)$$

де  $\xi_{fk} = \xi_f(t) \Big|_{T(t)=T_k} = \sum_{j=1}^3 A_j \cdot (T_k - T_i)^j$  - відносне різницеве розладнання за температури  $T_k$ ;

$$\lambda_k = \left. \frac{\partial \xi_f(t) / \partial T}{\xi_f(t)} \right|_{T(t)=T_e} = \frac{1}{T_k} \cdot \frac{\sum_{j=1}^3 j A_j \cdot T_e^{j-1}}{\sum_{j=1}^3 A_j \cdot T_k^{j-1}} - \text{нормована крутизна перетворення температура-}$$

частота;

5  $A_j, j = \overline{1,3}$  - коефіцієнти різницевої температурно-частотної характеристики. В той же час, різкі зміни теплового режиму КР (умов його збудження) призводять до суттєвого спотворення ТЧХ, що потребує врахування термодинамічної складової нестабільності (ТДХ), яка за швидких змін температури може перевищувати зсуви частот у псевдостатичних режимах КР. У даному випадку, відповідно до (2), загальна нестабільність для і-тої частоти КР представляється у вигляді:

$$\delta_i(t) = \sum_{j=1}^3 a_{ij} (T - T_i)^j + \tilde{a}_i \frac{dT}{dt}; \quad i = \overline{1,2}, \quad (5)$$

10

де  $\tilde{a}_i$  - термодинамічний коефіцієнт, а коефіцієнти різницевої ТЧХ (4) як

$$A_1 = (a_{11} - a_{21}) + (\tilde{a}_1^t - \tilde{a}_2^t), \quad A_j = (a_{1j} - a_{2j}), \quad j = \overline{2,3}; \quad \tilde{a}_i^t = \tilde{a}_i / \Delta t, \quad i = \overline{1,2}. \quad (6)$$

15 На фіг. 3 приведені типові часові залежності термодинамічної складової нестабільності частоти  $[(\Delta f/f)_{\Delta \hat{O}}]_{\Delta \hat{O}}$  для різних потужностей стрибкоподібного збудження резонаторів АТ-зрізів. Аналіз отриманих даних (таблиця 1) показує, що зміни потужності збудження КР  $\Delta P_{\hat{O}} \geq 100 \hat{O}$  є занадто великими для високостабільних ПРП. В той же час, обмеження варіацій потужності збудження на рівні до  $\Delta P_{\hat{O}} \leq 100 \hat{O}$  дозволяє в межах  $2\delta = 1 \cdot 10^{-7} \dots 1 \cdot 10^{-8}$  термодинамічною складовою нестабільності частоти знехтувати [4].

20

Таблиця 1

P <sub>çá</sub> , мкВт	Верхня межа нестабільності частоти 2δ		
	1·10 <sup>-7</sup>	1·10 <sup>-8</sup>	1·10 <sup>-9</sup>
10	-	-	67 с
100	-	54 с	108,5 с
500	35 с	94,5 с	133 с
1000	52,5 с	109,5 с	141,5 с

25 Для зменшення термодинамічної складової нестабільності частоти, яка є характерною для осциляторних схем кварцових генераторів із-за змін умов збудження КР (варіацій P<sub>çá</sub>) та розв'язання протиріччя між стійкістю режиму генерації та стабільністю коливань за частотою пропонується перший та другий резонатори багаточастотного КР використати як опорні контури частотних дискримінаторів коливань мод f<sub>REF</sub> та f<sub>T</sub>, які працюють в режимі мікрозбудження, що забезпечує високу крутизну перетворення та стабільність частот дискримінації (фіг. 1). Перша пара електродів 2, 2' багаточастотного кварцового резонатора 1 під'єднана до кіл дискримінації першого кварцового дискримінатора 3 опорної моди коливань f<sub>REF</sub>, а друга пара електродів 4, 4' кварцового резонатора 1 під'єднана до кіл дискримінації другого кварцового дискримінатора 5 термочутливої моди коливань f<sub>T</sub>. 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 багатоканальний синтезатор частоти прямого синтезу (DDS) 9. На виході першого частотного дискримінатора 3 формується напруга U<sub>REF</sub>, пропорційна зсуву частоти Δf<sub>REF</sub>, яка поступає на перший вхід двоканального аналого-цифрового перетворювача 6, на виході другого частотного дискримінатора 5 формується напруга U<sub>T</sub>, пропорційна зсуву частоти Δf<sub>T</sub>, яка поступає на другий вхід двоканального аналого-цифрового перетворювача 6. На виході аналого-цифрового перетворювача 6 формується

30

35

двопараметрична цифрова послідовність  $N_{\text{АЦП}}$ , яка подається на схему формування сигналу компенсації 7. Схема сигналу компенсації 7 формує цифровий код  $N$ , який використовується для налаштування багатоканального синтезатора прямого синтезу 9. Перший канал синтезатора прямого синтезу 9 використовується для формування коливання опорної частоти  $f_{\text{REF}}$ , яке поступає на вхід першого кварцового дискримінатора 3, а другий канал - для формування коливання термочутливої частоти, яке надходить на вхід другого кварцового дискримінатора 5, утворюючи тим самим двоканальну систему АПЧ.

Типова схема та дискримінаційні характеристики кварцового частотного дискримінатора приведені на фіг. 4. Він виконаний на інтегральній спеціалізованій мікросхемі ТВА120S (К174УР1), яка містить підсилювач-обмежувач вхідного сигналу, квадратурний частотний детектор балансного типу та низькочастотний підсилювач сигналу неузгодження з електронним керуванням коефіцієнтом передачі. 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.

Схема перенесення спектра коливальних 8 складається із фазового детектора 10, фільтра низьких частот 11, генератора керованого напругою 13 та дільника частоти 12 і являє собою систему фазового автоматичного підлаштування частоти (ФАПЧ). На вхід системи ФАПЧ (на перший вхід фазового детектора 10) подається термокомпенсоване коливання опорної частоти  $f_{\text{OUT}}$  з виходу синтезатора прямого синтезу 9, а на другий вхід фазового детектора 10 коливання  $f_{\text{OUT}}$  з генератора керованого напругою 13 через дільник 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

$f_{\text{OUT}} = n \cdot f_{\text{REF}}$ , де  $n$  - коефіцієнт ділення дільника частоти 12.

Запропонований пристрій генерування забезпечує більш високу стабільність частоти вихідних коливальних за рахунок підвищення точності компенсації температурної нестабільності кварцового резонатора в двочастотному режимі збудження з поточною ідентифікацією його теплового стану та зменшення термодинамічної похибки ідентифікації на один-два порядки в залежності від типу резонатора.

Джерела інформації:

1. А. с. 1086550 СССР, МКИ Н 03 В5/32. Частотно-модулированный кварцевый генератор / В.Я. Баржин, А.А. Зеленский, В.Ф. Солодовник [и др.] - № 3283123/18-09; заявл. 23.04.81; опубл. 7.07.83; Бюл. № 17.

2. V. Stofanik. An improvement in the temperature-compensated DDS / V. Stofanik, I. Balaz, M. Minarik // Proc. of the 2001 IEEE/EIA International Frequency Control Symposium. - P. 662-664.

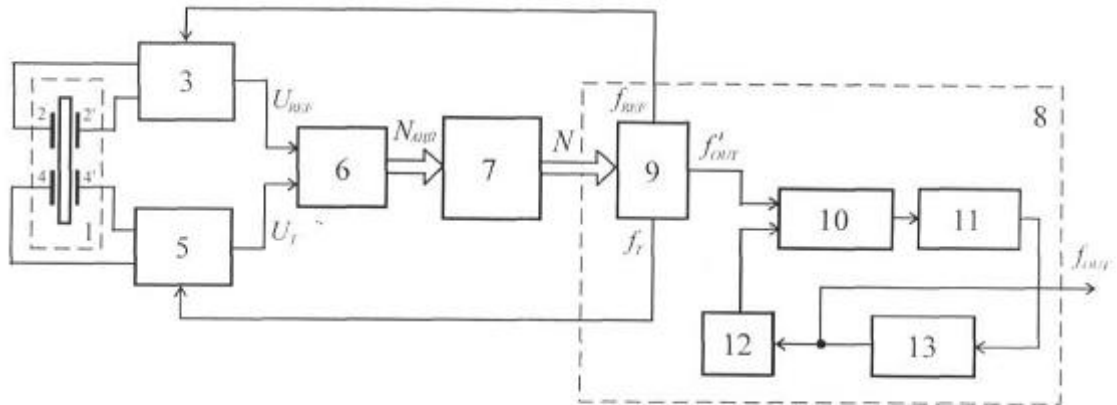
3. Patent 0194277 Unites States, IPK H03L 9/00. Oscillation Device / Kazuo Akaike, Sayama-shi (JP), Kaoru Kobayashi, Sayama-shi (JP). Nihon Dempa Kogyo i Shibuya-ku Corporation, Japan - № 13/353942; Filed Jan. 19, 2012; Date of Patent Jan. 28, 2011-22 p.: fig.

4. Теорія і реалізаційні основи інваріантних п'єзореzonансних коливальних систем / Ф.Ф. Колпаков, С.К. Підченко. - Харків: Нац. аерокосм. ун-т "Харьк. авіац. ін-т", 2011. - 327 с.

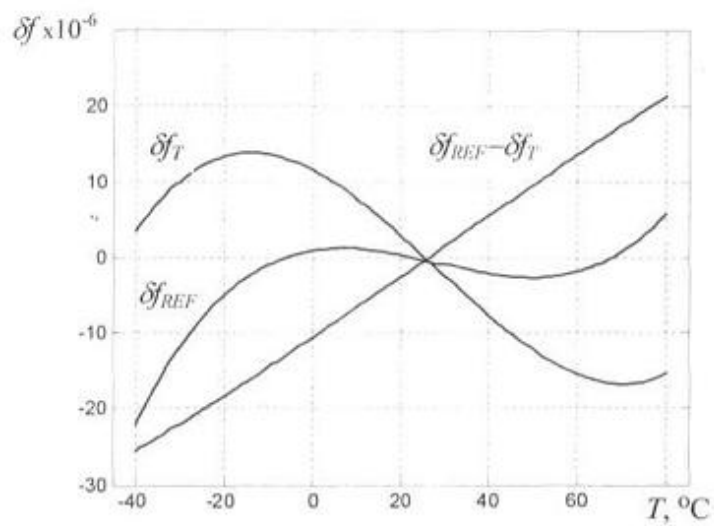
#### ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

Пристрій генерування сигналів, який містить багаточастотний кварцовий резонатор з двома парами електродів для збудження коливальних опорної та термочутливої мод, схему виділення різницевої частоти, схему формування сигналу компенсації, синтезатор прямого синтезу для формування коливання опорної частоти в схемі перенесення спектра коливальних на базі системи фазового автопідстроювання частоти, причому вихідний сигнал схеми компенсації використовується як сигнал налаштування синтезатора прямого синтезу, а вихід схеми перенесення спектра коливальних є виходом пристрою генерування сигналів, який **відрізняється** тим, що додатково введені перший кварцовий дискримінатор опорної моди коливальних, коло дискримінації якого підключено до першої пари електродів багаточастотного кварцового резонатора, другий кварцовий дискримінатор термочутливої моди коливальних, коло дискримінації якого підключено до другої пари електродів багаточастотного кварцового резонатора, двоканальний аналого-цифровий перетворювач, причому вихід першого дискримінатора підключений до першого входу аналого-цифрового перетворювача, а вихід другого дискримінатора підключений до другого входу аналого-цифрового перетворювача, а вихід аналого-цифрового перетворювача підключений до входу схеми формування сигналу

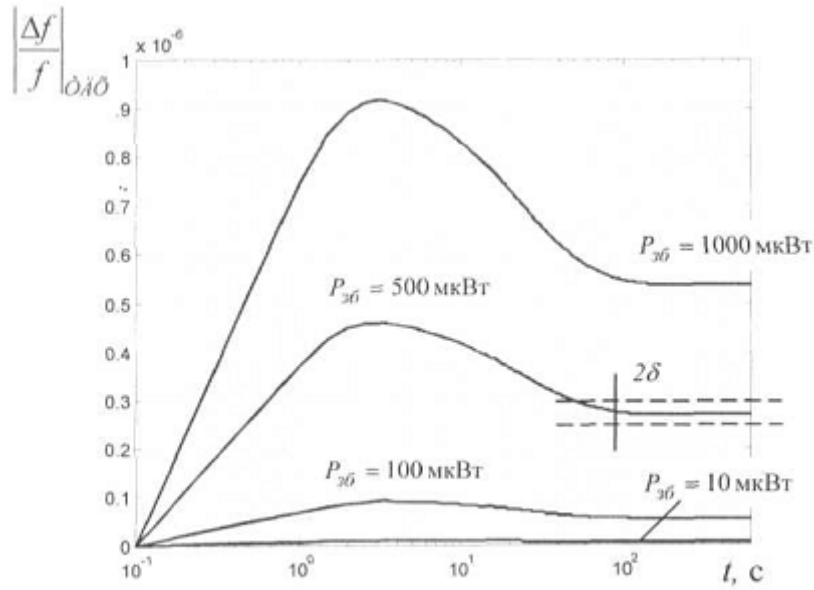
- компенсації, багатоканальний синтезатор прямого синтезу, перший канал якого використаний для дискримінації частоти опорної моди кварцового резонатора, другий канал якого використаний для дискримінації частоти термочутливої моди кварцового резонатора, а третій канал якого використаний для формування опорного коливання в схемі перенесення спектра, причому 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.



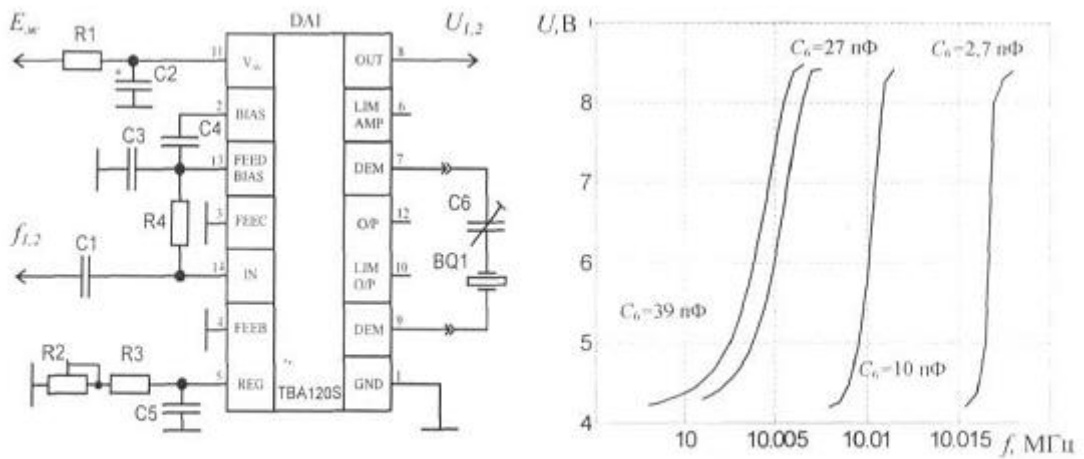
Фиг. 1



Фиг. 2



Фиг. 3



Фиг. 4

Комп'ютерна верстка М. Ломалова

Державна служба інтелектуальної власності України, вул. Урицького, 45, м. Київ, МСП, 03680, Україна

ДП "Український інститут промислової власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601