

ДЕРЖАВНЕ НАУКОВО-ВИРОБНИЧЕ ОБ'ЄДНАННЯ
"МЕТРОЛОГІЯ"

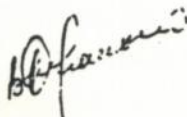
На правах рукопису

РОМАНЬКО Володимир Миколайович

СТАНДАРТИ ЧАСТОТИ КВАРЦОВІ
З АВТОНОМНОЮ І НЕАВТОНОМНОЮ КОМПЕНСАЦІЄЮ
ДОВГОЧАСНОЇ НЕСТАБІЛЬНОСТІ НА ОСНОВІ
МОДУЛЯЦІЙНОГО МЕТОДУ

05.11.15 - Метрологія і метрологічне забезпечення

Автореферат дисертації
на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук



Дисертація є рукопис.

Робота виконана у Харківському військовому університеті.

Науковий керівник: доктор технічних наук,
професор ШМАЛІЙ Юрія Семенович

Офіційні опоненти: доктор технічних наук,
професор КЛЕЙМАН Олександр Самуїлович
кандидат технічних наук,
доцент ШЕВЕЛЬОВ Володимир Олексійович

Провідна установа: Київський Науково-дослідний інститут
радіовимірвальної апаратури,
Мінмашпром, м. Київ

Захист дисертації відбудеться "14" липня 1994 р.
о 15 год. 00 хв. на засіданні спеціалізованої ради
К 041.08.01 при науково-виробничому об'єднанні "Метрологія"
за адресою: 310078, м. Харків, вул. Мирносицька, 42
(тел. 43-33-49).

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці ДНВО
"Метрологія".

Автореферат розісланий "2" червня 1994 р.

Вчений секретар
спеціалізованої ради



Б.С.Купко

ЛНБ ім. В Стефаніка
АН України

ЛНБ України ім. В. Стефаніка



00756594 (-)

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. На сучасному етапі розвитку науки і техніки широко проявляється тенденція зведення вимірювань різноманітних фізичних величин до вимірювань частоти, не кажучи про широке примінення кварцових і квантових мір частоти в різних областях радіоелектроніки як пристроїв, формуючих і зберігаючих одиницю вимірювання часу і частоти з заданим ступенем точності.

Кварцові міри частоти, зрівняно з квантовими, являються більш простими технічними устроями, мають меншу вартість, масу, габарити, високу економічність, надійність, більший строк служби з діапазоном робочих частот. Але, порівняння їх метрологічних характеристик показує, що найвищий досягнутий рівень довгочасної нестабільності частоти (ДНЧ) кварцових мір 10^{-11} /добу на 2-3 порядки гірший відповідній нестабільності квантових і не відповідає вимогам, які пред'являються до опорних генераторів високочотних радіотехнічних систем.

Звідси очевидна актуальність проблеми створення і реалізації кварцових мір частоти з автономним і неавтономним зменшенням довгочасної нестабільності частоти, що дозволяє значно підвищити ефективність високочотних радіотехнічних систем метрологічного та іншого призначення.

Аналіз публікацій, зв'язаний з дослідженням методів зменшення ступеню впливу вектора дестабілізуючих факторів на параметри опорних кварцових автогенераторів (ОКАГ), дозволив обґрунтувати можливість зменшення ДНЧ на основі використання внутрішньої природньої надмірності частотного спектра кварцового резонатора (КР) шляхом введення в схему генератора пошукового модулюючого сигналу або, відповідно сучасній термінології, на основі модуляційного методу кварцової стабілізації частоти (МІМКСЧ).

Мета праці і задачі дослідження. Метою праці є розробка, дослідження і реалізація в математичних моделях і схемно-конструктивних рішеннях стандартів частоти кварцових (СЧК) з автономною і неавтономною компенсацією довготривалої нестабільності на основі модуляційного методу кварцової стабілізації частоти. Реалізація мети дослідження викликала потребу розглянути такі взаємопов'язані науково-технічні задачі як теоретичного, так і експериментального характеру:

1. Провести відносне обґрунтування рівня модулюючого сигналу, який забезпечує еталонні властивості модуляційних характеристик ангармонійного контуру.
2. Встановити стохастичний взаємозв'язок деградаційних процесів основної та ангармонійної мод коливань КР.
3. Розробити структурні і функціональні схеми СЧК з компенсацією ДНЧ на основі ММКСЧ.
4. Здійснити макетування і проведення випробування дослідних зразків стандарта частоти і його основних вузлів.
5. Упровадити результати досліджень в промислові розробки.

Методи досліджень. При рішенні поставлених задач у праці використовувались методи теорії відносностей і статистичної радіотехніки, спектрально-кореляційного і регресивного аналізу, елементи теорії автоматичного управління і математичної статистики.

Наукова новизна результатів, одержаних у праці і винесених на захист, полягає у тому, що в ній вперше:

1. Досліджені лімітні статистичні властивості моментних функцій щільності розподілу імовірності динамічних модуляційних характеристик (ДМХ).
2. Обґрунтований вибір значення крутизни дискримінаційної характеристики фазових ДМХ в залежності від потрібної точності

оцінки вимірювань резонансної частоти ангармонійного контуру під дією вектора дестабілізуючих факторів.

3. Одержаний аналітичний вираз коефіцієнтів Ратайського для ангармонійних мод КР АТ-зрізів з урахуванням розподілу енергії коливань по поверхні п'єзопластини.

4. Одержана емпірична залежність динамічної індуктивності і ємкості КР від величини і кута прикладання полярних сил до контура п'єзопластини.

5. Установлений стохастичний взаємозв'язок у вигляді лінійної парної регресії між процесами "старіння" основної і одержаної модуляційним методом різностної частотами ОКАГ.

Практична цінність одержаних результатів полягає у тому, що на їх основі стало можливим створення і реалізація кварцових мір частоти з автономним і неавтономним зменшенням довгочасної нестабільності в нестационарно флектуючому полі дестабілізуючих факторів. При цьому:

1. Запропонована номограма по визначенню мінімального рівня амплітудних ДМХ для різних рівнів спектральної щільності шуму на виході ОКАГ обабіч ангармонійного контуру.

2. Обґрунтовано примінення ангармонійної моди h_{pq} ($p, q \neq 1$) в якості датчика "старіння" основної моди h_{11} і встановлено, що коефіцієнт пропорційності лінійної регресії "старіння" між модами h_{pq} і h_{11} для КР АТ-зрізу типу РК-187М складає $7 \pm 3,5$ при коефіцієнті кореляції 0,85...0,97.

3. Розроблена методика тривалого (більше одного року) прогнозування і вимірювання довгочасної нестабільності частоти прецизійних ОКАГ.

4. Розроблена структурна, функціональна схеми СЧК з компенсацією ДНЧ, принципова схема його основних вузлів.

Упровадження результатів. Проведені теоретичні і експеримен-

тальні випробування дозволили в рамках Державної науково-технічної програми ДКНТ України "Розробка стандарту частоти кварцового прецизійного", шифр 6.8.276 "Лелека", на базі підприємств КНДіРВА, створити макети і дослідні зразки стандарту частоти кварцового, якому присвоєний класифікаційний номер ЧІ-86.

Бперше в світовій практиці створення прецизійних ОКАГ за допомогою модуляційного методу сформовано, крім основної робочої частоти, різнична частота, яка являється датчиком "старіння". Використання системи компенсації ДНЧ дозволяє одержати відносну похибку по частоті на інтервалі часу 1 рік не більше $1 \cdot 10^{-9}$, що відповідає рівню краших світових зразків.

Крім того результати дослідів введені в дію в Науково-виробничому центрі "Сіхрон" при створенні уніфікованого ряду прецизійних КАГ на 5 і 10 МГц, розроблених в рамках програми ГАО України "Метрика-КВ0". Впровадження підтверджено відповідними актами.

Апробація роботи. Результати випробувань доповідались на 3-му Міжгалузовому науково-технічному семінарі "Кварцова стабілізація частоти" (м. Харків, 1991), на 4-й та 5-й школі-семінарі "Устрої акустоелектроніки" (м. Ростов-Ярославський, 1991р; м. Пенза, 1992 р.), на 6-й науково-технічній конференції "Радіоприйом і обробка сигналів" (м. Нижній Новгород, 1993 р.), на засіданнях постійно діючого семінару "Кварцова стабілізація частоти" (м. Харків, 1991, ..., 1994 рр).

Результати, викладені в дисертації, одержані автором в лабораторіях Харківського вишого військового авіаційного училища радіоелектроніки і Науково-метрологічного центру Харківського університету.

Публікації. Матеріали дисертаційної роботи в основному викладені в 23 наукових працях, із них 8 статей и тезисів доповідей.

4 винаходи.

Об'єм і структура дисертації. Дисертаційна робота складається із вступу, п'яти розділів, висновку, списку літератури і складається з 148 сторінок машинописного тексту, які обліковуються, 69 рисунків, 9 таблиць, бібліографічного списку, який вклучає 220 найменувань літератури.

ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі показана актуальність теми, сформульовані цілі і основні задачі дисертаційної роботи, приведена її структура і коротка характеристика.

В першому розділі досліджена проблема розробки СЧК з маловдовгочасною нестабільністю, для чого розглянуті метрологічні характеристики існуючих мір частоти, принципи побудови СЧК, основні методи зменшення експлуатаційної нестабільності з обґрунтуванням примінення ИМКСЧ для рішення проблеми одержання занадто малої довгочасної нестабільності.

Проведений аналіз метрологічних характеристик, досягнутий у серійно випускаемій продукції різних виробників показав, що основною проблемою, яку треба вирішувати в процесі розробки кварцових мір частоти, є зниження річної ДНЧ, яка знаходиться тепер на рівні $10^{-6} \dots 10^{-8}$, що на декілька порядків гірше короткочасної нестабільності і істотно обмежує забезпечення високих тактико-технічних показників високочотних радіотехнічних систем.

В наш час за рахунок традиційних технологічних і схемно-конструктивних удосконалювань базових структур ОКАГ, найбільш перспективними характеристиками володіє модель 8600/8601 виробництва фірми OSCILLOQUARTZ SA, Єврейцарія, в якій впроваджені фундаментальні дослідження по програмі "EVA"-принципу". Але, не дивлячись на унікальність і високу вартість технології, яка пот-

ребує значних зусиль по її відтворенню, значення річної ДНЧ $\delta = 5 \cdot 10^{-9}$ продовжує залишатися значною величиною, більш ніж на порядок перевищуючу температурну нестабільність.

В зв'язку з цим виникає необхідність в розгляданні можливості примінення нетрадиційних методів стабілізації частоти:

- створення багаточастотних структур ОКАГ з синхронними і асинхронними автоколивальними системами на основі прецизійних багатомодових КР або з їх збудженням на електричних і механічних гармоніках;

- використання внутрішнього природного надлишку частотного спектра КР шляхом введення в схему одночастотних структур ОКАГ модульового сигналу.

Проведена зрівняльна характеристика різних напрямів використання вміщеної в КР надмірній інформації про паразитний вплив вектора дестабілізуючих факторів на параметри КАГ для стабілізації його частоти.

Показано, що зменшення ДНЧ більш ніж на 1...2 порядку можливо на основі примінення МИКСЧ, запропонованого і обгрунтованого Ю.С.Шмалієм в середині 80-х років. Багомість методу складається в використанні феноменологічних властивостей ангармонізма КР для побудови систем, інваріантних до впливу дестабілізуючих факторів шляхом переносу інформації про фазові координати вектора стану ЧМ-АМ ОКАГ на параметри ДИХ з послідовним їх вимірюванням і технічною реалізацією систем стабілізації.

Проведений аналіз методів зменшення впливу джерел експлуатаційної нестабільності на метрологічні характеристики кварцових мір частоти, а також короткий аналіз принципів побудови СЧК визначили цілі і задачі досліджень.

Другий розділ присвячений дослідженню можливостей модуляційного методу для створення СЧК з компенсацією ДНЧ. В ній про-

ведено моделювання вимірвачив експлуатаційних нестабільностей частоти на основі природних нерівномірностей ДМХ, обґрунтована фізико-математична модель "старіння" ангармонійного спектру обертоної моди КР, установлений стохастичний взаємозв'язок деградаційних процесів основної і ангармонійної мод коливань п'єзопластини.

При дослідженні впливу інформаційного або флюктуаційного сигналів на частоту ЧМ-АМ ОКАГ вихідний сигнал останнього в зневажанні вищими гармоніками частот генерації ω_0 і модуляції Ω показаний в виді

$$S(t) = S_0 \left\{ 1 + m_A(t) \cos[\Omega t - \varphi_A(t)] \right\} \cos \left\{ \omega_0 t - m_\varphi(t) \sin[\Omega t - \varphi_\omega(t)] + \varphi_0 \right\}, \quad (I)$$

де $m_A(t) = \varepsilon_A K_A(t)$, $m_\varphi(t) = \varepsilon_\omega \omega_0 K_\omega(t) / \Omega$ - коефіцієнт АМ і індекс ЧМ; S_0 , ω_0 - стаціонарні амплітуда і частота коливань; φ_0 - початковий фазовий набіг; $K_A(t)$, $\varphi_A(t)$ - амплітудно-частотна і фазочастотна модуляційні характеристики (АЧМХ і ФЧМХ) АМ; $K_\omega(t)$, $\varphi_\omega(t)$ - АЧМХ і ФЧМХ ЧМ; ε_A , ε_ω - відносна девіація амплітуди і частоти. При цьому ДМХ розглядається як стаціонарні випадкові процеси, спектри яких знаходяться в області частот набагато нижчих частоти власних коливань ω_0 .

Проведений імовірний аналіз ДМХ ОКАГ обабіч ангармонійних резонансів КР. Показано, що щільності розподілу імовірностей (ЩРІ) ФЧМХ і АЧМХ сигналу (I) підлегли узагальнюючому закону Райса.

На рис. I приведені криві поведінки математичних чекань $\bar{m}_{A,\varphi}$ і регулярної складової \bar{E} , розраховані з урахуванням параметрів конкретної схеми КАГ і нормованих по дисперсії флюктуації ДМХ $D = \sigma^2$. Їх аналіз показує, що ангармонійний контур

КАГ без зовнішньої модуляції збуджений внутрішнім джерелом шуму і має розподіл амплітуд, відповідний закону Релея для співвідношення середньо-квадратичного значення АЧМХ $M_{A,\varphi}/\sigma = 1$ на частоті модуляції $\Omega = \Omega_i$, де $i \equiv n, q$ - номер ангармонійного контура. Вимушене збудження контура сигналом складової спектра ЧМ коливань призводить до зменшення полоси ДМХ, яка асимптотично прагне до полоси нагруженого ангармонійного контуру без джерел шуму.

Дисперсії фазових ДМХ

$$D_{\varphi_{A,\omega}} = \pi^2/3 + 4\pi \sum_{n=1}^{\infty} \left(-\frac{M_{A,\varphi}}{\sqrt{D}}\right)^n \frac{\Gamma(1+n/2) F_1(n/2; n+1; -0,25 M_{A,\varphi}^2/D)}{\pi n^2 n! 2^{n/2}},$$

де $\Gamma(n)$, $F_1(\alpha, \beta, x)$ - гама і вироджена гіпергеометрична функції, з розстройкою збільшуються (рис. 2), а амплітудних, розрахованих як

$$D_{m_{A,\varphi}} = 2D(1+0,5 M_{A,\varphi}^2/D) - (\bar{m}_{A,\varphi})^2,$$

зменшуються, що обумовлено характером поведінки кривих узагальненого закону Райса. Тут, як і в випадку математичних очікувань, наближення до математичних рівнів можна вважати достатнім при $M_{A,\varphi}/\sigma > 5$, при цьому ШПІ в полосі ангармонійного контура переходять в гаусовські.

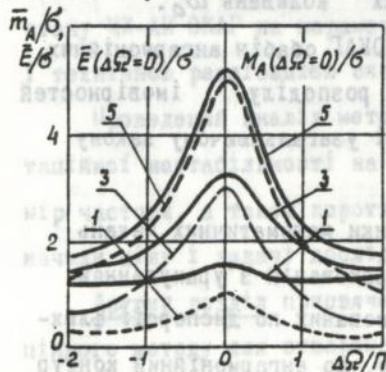


Рис. 1

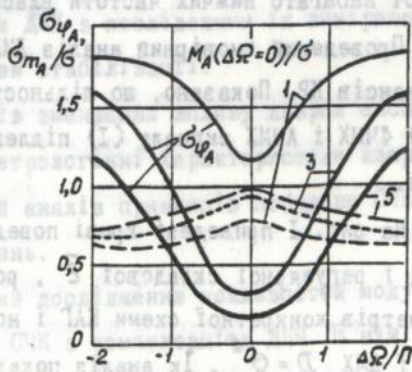


Рис. 2

Проведений аналіз імовірних властивостей ДМХ ЧМ-АМ ОКАГ дозволив одержати номограму по розрахунку коефіцієнта амплітудної модуляції, при якому забезпечуються еталонні властивості ангармонійного контура з урахуванням рівня шумів на виході генератора. Обґрунтовано примінення ЧМХ АМ в якості дискримінатора слідчого пристрою, який забезпечує вимірювання параметрів вектора дестабілізуючих факторів з заданою точністю.

Особисто для причезійних ОКАГ, використовуваних при побудові СЧК, одержані розрахункові значення коефіцієнта АМ \bar{m}_A величиною 2...3 % і крутизни дискримінаційної характеристики $\bar{\varphi}_A$ більше 1000 Гц/град. при розв'язанні відносних змін частот ангармонійного контура $1 \cdot 10^{-11}$. Розрахунки були підтверджені результатами експериментальних дослідів.

Другий і третій принцип побудови систем КСЧ, які реалізуються на основі модуляційного методу, по суті приводять до необхідності вибирати такі ангармонійні резонанси КР, у яких чутливість параметрів еквівалентної електричної схеми (ЕЕС) до вимірювання складових вектора дестабілізуючих факторів відмінна від чутливості для основних коливань. Однак, якщо сукупність основних факторів, визиваючих "старіння" КР, піддається дуже точному переліку, тут необхідно відмітити роботи Смагіна, Ярославського, Лавренцова, то розробка фізико-математичних моделей деградаційних процесів була і залишається складною проблемою. В основу досліджень механізму "старіння" ангармонійного спектра покладені фундаментальні роботи Тірстена по визначенню амплітуди зміщень поверхонь коливаючоїся пр'єзопластины для ангармонійних мод.

При дослідженні механізму релаксації механічних напруг проведено теоретичні розрахунки і експериментальні дослідження по визначенню коефіцієнта силочутливості $K_f(\psi)$ ангармонійних мод,

відомого для основної моди під назвою коефіцієнта Ратайського. Результати досліджень представлені в виді тригонометричного ряду в формі, запропонованій Мизаном і зручні для проведення інженерних розрахунків.

$$K_f^{pq}(\psi) = \sum_{s=0}^3 A_s \cos 2S\psi + \sum_{r=1}^2 B_r \sin 2r\psi,$$

де ψ - кут прикладення сили до контура п'єзопластини.

На рис. 3 пред'явлена залежність коефіцієнта Ратайського $K_f^{pq}(\psi)$ для КР АТ-зрізу, побудована при значеннях коефіцієнтів A_s , B_r , визначених по МНК і приведених в таблиці.

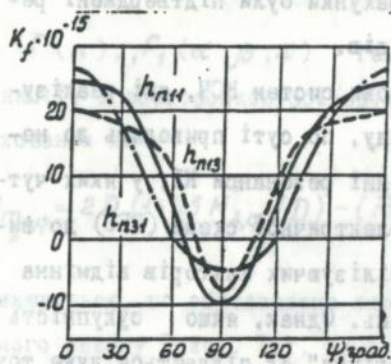


Рис. 3

Таблиця

A_s, B_r	h_{n11}	h_{n13}	h_{n31}
A_0	10,750	10,625	10,950
A_1	16,788	13,595	16,922
A_2	-4,250	-5,583	-0,950
A_3	1,217	1,667	-1,10
B_1	0,178	0,233	0,907
B_2	0,061	0,318	0,520

Для обліку впливу поверхневих процесів на ЧХ ангармонічного спектра коливань КР запропоновані розрахункові формули у вигляді нормованих інтегральних сум від добутку поліномів Ерміта. Об'ємні процеси, основу яких складають рух дислокацій і дифузія залишків металу електродів приводять до перерозподілу пружних напруг, що еквівалентно зміненню параметрів ЕЕС КР. Запропоновані емпіричні залежності по визначенню динамічних індуктивності і ємкості ЕЕС.

Експеримент по дослідженню ЧХ АТ-зрізу типу РК-187М показав, що в середньому між процесами їх "старіння" існує лінійна

регресія.

Проведені досліді дозволили обґрунтувати примінення ангармонійної моди в якості датчика "старіння" для основних коливань п'єзопластини.

Б третьому розділі розроблені і досліджені структури СЧК з компенсацією ДНЧ на основі ММКСЧ, проведено моделювання системи компенсації (СК) ДНЧ, здійснений аналіз якості роботи автономного і неавтономного зменшення ДНЧ.

СКДНЧ забезпечує потрібні зміни частоти f_r керованого ОКАГ по інформаційним сигналам, заложеним в значенні різничної частоти $F_{прq} = f_{прq} - f_{пч}$, звідси до $f_{прq}$ пред'являються вимоги її відносності основним положенням модуляційного методу стабілізації частоти.

Розроблена узагальнена структурна схема СЧК при ручному "Р", директорному "Д" та автоматичному "А" режимах компенсації ДНЧ (рис. 4).



Рис. 4

На основі моделі парної лінійної регресії функція "старіння" основної і ангармонійної резонансних частот одержана математична модель СКДНЧ, яка дозволяє вирішити задачу стабілізації заданого значення вихідної частоти ОКАГ за рахунок формування потрібного значення напруги зміщення на варікапі, який включений в частото задачий ланцюг ОКАГ,

$$u_v(t) = u_3 + \Phi_x(F_{\text{пр}q}),$$

де $u_3 = u_v(t=0)$, $\Phi_x\{\cdot\}$ - функціональний перетворювач частоти в напругу.

При зустрічно-паралельному ввіччєнні ланцюгів структурної схеми СКДНЧ і компенсаційному методі вимірювань, основними складовими її сумарної відносної похибки δ_x в стаціонарному режимі роботи являються: відносна похибка δ_n вимірювача $F_{\text{пр}q}$, відносна похибка δ_T , обумовлена зміненням температури навколишнього середовища, відносна похибка наближення δ_n , що виникає в результаті апроксимації "ідеальних" функцій перетворювача $\Phi_x\{\cdot\}$, заданими багаточленами.

На рис. 5 приведені одержані для макету СЧК "Мелека" ЧЧК для відносних змін основної δ_{f_r} і різничної δ_{f_p} частот, причому різнична приведена до основної через коефіцієнт регресії, розрахований по МНК. На рис. 6 показане поле експериментальних точок з нанесеними лініями регресії. Коефіцієнт регресії δ_{f_r} по δ_{f_p} становить 10,2 при коефіцієнті кореляції $\rho = 0,97$.

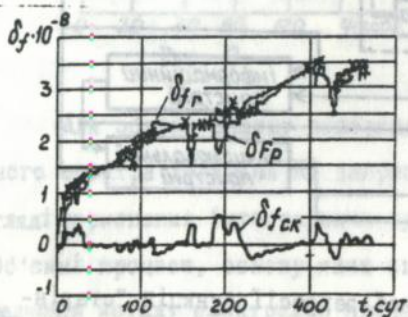


Рис. 5

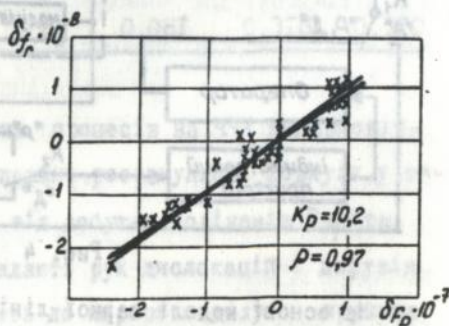


Рис. 6

Результати чисельного моделювання СКДНЧ $\delta_{f_{\text{СК}}}$ для макета СЧК в ході експеримента тривалістю більше одного року (рис. 5) показали, що середньоквадратичне відхилення основної частоти від

номінального значення не перевищує $2 \cdot 10^{-9}$, що дозволить зменшити ДНЧ не менш ніж в 20 разів.

В четвертому розділі приведені основні результати розробок структурних, функціональних і принципових схем СЧК з автономною і неавтономною компенсацією ДНЧ, проведених в рамках ОКР "Лелека" заданої ДКНТ України відповідно з програмою 6.8.276.

Використовуючи ММСЧ, розроблений і досліджений ОКАГ "Чайка", який лежить в основі уніфікованого ряду прецизійних генераторів на 5 і 10 МГц з інформацією про дії дестабілізуючих факторів.

Розроблений алгоритм компенсації ДНЧ на протязі всього строку експлуатації стандарта на основі оцінки коефіцієнта регресії основної і різничної частот на протязі одного місяця.

Проведено досконалий опис двочастотного кварцового генератора з модулятором, в основу створення якого закладені основні принципи ММСЧ.

Приорітет розробки структури СЧК з СКДНЧ і двочастотного КГ з модулятором захищені заявками на видання патентів України на винахід.

Для дослідження метрологічних характеристик макетів і дослідних зразків СЧК на етапах розробки і впровадження в промислове виготовлення розроблена вимірвальна стойка, основу якої складають технологічні вимірвачі нестабільності частоти в часовій і частотній області з обробкою надходячої інформації на ІВМ сумісних ПЗВМ.

П'ятий розділ присвячений питанням експериментального дослідження основних метрологічних характеристик стандарта частоти кварцового і його вузлів.

Незважаючи на те, що основні методи випробувань гостовані, нормовані або викладені в публікаціях Міжнародної електротехніч-

ної комісії, різноманітність виникаючих задач потребує часто індивідуального підходу, який приводить до створення унікальних дослідних стендів і установок.

Описуються методики вимірювань параметрів ЕЕС КР з максимально досягаємою точністю і принципи побудови вимірвальних стендів для дослідження довгочасної нестабільності його спектра коливань.

В виді таблиць і графіків приводяться результати досліджень тензочутливості ангармонійного спектра КР АТ- і СЦ-зрізів. Показані ЧЧХ для основної f_r , різничної F_p частот двочастотних опорних кварцових генераторів і діаграми розсіяння, які являються геометричною формою систематизації дослідного матеріалу.

ВИСНОВОК

В процесі розробки на основі модуляційного методу кварцової стабілізації, дослідження і реалізації в математичних моделях і схемно-конструктивних рішеннях стандарта частоти кварцового з автономною і неавтономною компенсацією довгочасної нестабільності і дослідження його основних метрологічних характеристик одержані такі результати:

1. Проведено математичне моделювання вимірвачів експлуатаційних нестабільностей частоти на основі природніх нерівномірностей ДМХ ЧМ ОКАГ, досліджені статистичні властивості ДМХ в полі ангармонійного контуру з урахуванням співвідношення між рівнем модулюючого сигналу і рівнем флюктуації схеми, одержані розрахункові формули їх одномірних ШРІ і основних моментних функцій з урахуванням параметрів конкретної схеми КАГ, які використовують ММКСЧ. Розроблена методика оцінки помилок вимірювань параметрів вектора дестабілізуючих факторів за допомогою ДМХ.

2. Досліджений механізм "старіння" ангармонійного спектра

обертонної моди коливань прецизійних КР. Запропонована модель парної регресії стохастичного взаємозв'язку деградаційних процесів основної і ангармонійної частот КР. Для КР типу РК-1Е7М одержаний коефіцієнт регресії $7 \pm 3,5$. Різниця в швидкості і характері "старіння" однотипних резонаторів підтверджують індивідуальність цього процесу, обумовлену конструктивними і технологічними відмінностями (нехай навіть у межах встановлених допусків) окремих зразків.

3. На основі регресійного аналізу розроблена методика тривалого (більше одного року) прогнозування і вимірювання довгочасної нестабільності основної частоти прецизійних двочастотних ОКАГ по значенню різничної частоти, одержаної модуляційним методом, з помилками, які не перевищують похибку вимірювань при проведенні експеримента по дослідженню ЧЧХ.

4. Розроблена узагальнена структурна схема СЧК з компенсацій довгочасної нестабільності при неавтономних і автономних режимах роботи. Розроблені алгоритми компенсації ДНЧ в автономному і неавтономному режимах роботи, проведено чисельне і експериментальне моделювання компенсуючої функції по результатах вимірювань різничної частоти F_p з урахуванням нелінійності функціональних прямих і зворотних перетворень керуючої напруги на варікапі.

5. Розроблені структурна, функціональна і принципова схеми, а також конструкція СЧК з компенсацій ДНЧ на протязі всього строку експлуатації по підсумках експерименту по дослідженню ЧЧХ основної і різничної частоти на протязі одного місяця.

6. Бизначені складові основної і додаткові статичні похибки СКДНЧ. Встановлено, що за рахунок прийняття спеціальних схемно-конструктивних рішень сумарна відносна похибка компенсації ДНЧ приймає значення $(2...3) \cdot 10^{-9}$.

7. Проведені випробування і досліджені основні метрологічні характеристики вузлів, макетів і дослідних експериментальних зразків СЧК ЧІ-88. Встановлено, що його параметри відповідають параметрам кварцових стандартів, які випускаються провідними фірмами світу. Еперше в світовій практиці створення прецизійних ОКАГ за допомогою модуляційного методу, сформована, крім основної робочої частоти, різнична частота, яка є датчиком "старіння".

Використання СКДЧ дозволяє одержати відносну похибку по частоті на інтервалі часу 1 рік не більше $1 \cdot 10^{-9}$, що на порядок покращує відповідну метрологічну характеристику стандартів, аналогічних НРІОБЕ.

СПИСОК НАУКОВИХ РОБІТ, ОПУБЛІКОВАНИХ ПО ТЕМІ

ДИСЕРТАЦІЯ

1. Романько Б.Н., Шмалий Ю.С. Вероятностные свойства динамических модуляционных характеристик кварцевых генераторов // Известия Высших учебных заведений. Радиозлектроника. - К., 1991, т. 35, № II. - С. 37-44.
2. Романько Б.Н., Сулейманов О.И. Особенности радиосвязи декаметровыми волнами // В сб. Моделирование и оценка эффективности АСУ и линий радиосвязи. - Харьков. Вып. I, ч. 3, 1989. - С. 108-109.
3. Романько Б.Н., Трушляков С.А., Шмалий Ю.С. Бесплески ДМХ на локальных частотах модуляции в различных схемах кварцевых автогенераторов // В сб. Кварцевая стабилизация частоты. Тезисы докладов III Межотраслевого научно-технического семинара. - Харьков: ХБЗАУРЭ, 1991. - С. 25-26.
4. Романько Б.Н., Трушляков С.А., Шмалий Ю.С. Предельные стабилизирующие свойства ДМХ адаптивных кварцевых генераторов //

- Устройства акустоэлектроники. Тезисы докладов IV школы-семинара, Ростов-Ярославский, 1991. - С. 52.
5. Романько В.Н. Влияние шумов кварцевых автогенераторов на всплески ДМХ // В сб. Кварцевая стабилизация частоты. Тезисы докладов III Межотраслевого научно-технического семинара. - Харьков: ХЕВАУРЗ, 1991. - С. 24-25.
 6. Романько В.Н. Изменение параметров ангармонических резонансов кварцевых резонаторов при воздействии упругого напряжения // В сб. Радиоприем и обработка сигналов. Тезисы докладов IV научно-технической конференции. - Нижний Новгород, 1993. - С. 100.
 7. Романько В.Н., Шмалий Ю.С. Влияние упругого напряжения на параметры эквивалентной электрической схемы кварцевого резонатора // В сб. Устройства акустоэлектроники. Тезисы докладов V школы-семинара. - Пенза, 1992. - С. 33.
 8. Романько В.Н., Шмалий Ю.С. Кварцевый генератор с малой долговременной нестабильностью частоты // В сб. Радиоприем и обработка сигналов. Тезисы докладов VI научно-технической конференции. - Нижний Новгород, 1993. - С. 100.
 9. А.с. I633508, СССР, МКИ H04 7/10, 7/02. Устройство обнаружения шумоподобных сигналов /Е.Л.Белоусов, В.М.Корчагин, В.Н.Романько и др./ Заявлено 29.12.88, опубл. 07.03.91. Бюл. № 9.
 10. А.с. I774515, СССР, МКИ H04 27/14. Демодулятор частотно-манипулированных сигналов / В.Н.Романько, А.О.Мареха, В.Н.Попутников / Заявлено 22.10.90, опубл. 07.11.92. Бюл. № 41.
 11. Заявка № 5032056/12 (064109). Электронный замок /Г.М.Прихно, С.А.Трушляков, В.Н.Романько / Приоритет от 12.09.91, положительное решение о выдаче А.с. 29.06.92.
 12. Заявка № 4948125/09 (052510). Термокомпенсированный кварцевый генератор /В.Н.Романько, С.А.Трушляков, Ю.С.Шмалий/ Приоритет от 24.06.91. Положительное решение о выдаче А.С. 2.06.92.

В.Н. Романько

- 7. Промисловий інженер, кандидат технічних наук, доцент
В. М. Романюк, доктор фізико-математичних наук, професор, академік НАН України
- 8. Романюк В. Н., інженер, кандидат технічних наук, доцент, професор, академік НАН України
- 9. Романюк В. Н., інженер, кандидат технічних наук, доцент, професор, академік НАН України
- 10. Романюк В. Н., інженер, кандидат технічних наук, доцент, професор, академік НАН України
- 11. Романюк В. Н., інженер, кандидат технічних наук, доцент, професор, академік НАН України
- 12. Романюк В. Н., інженер, кандидат технічних наук, доцент, професор, академік НАН України

Підписано до друку 24.05.1991р. Формат 60 x 90 1/16. 1 друк. л.
Тираж 100 экз. Заказ № 495.

Надруковано на роталпринті ДНВО "Метрологія"
м. Харків-78, вул. Мирососницька, 40.

457986

AB 30.515