

ХАРКІВСЬКА ДЕРЖАВНА АКАДЕМІЯ
ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ

Садовий Костянтин Віталійович

УДК 621.39.037.372:621.373.121

**ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕФЕКТИВНОЇ АВТОНОМНОЇ РОБОТИ
ЗАДАЮЧИХ КВАРЦОВИХ ГЕНЕРАТОРІВ СИСТЕМ ТАКТОВОЇ
СИНХРОНІЗАЦІЇ ЦИФРОВИХ МЕРЕЖ ЗВ'ЯЗКУ НА ОСНОВІ
МОДУЛЯЦІЙНОГО МЕТОДУ**

Спеціальність 05.12.02 - Телекомунікаційні системи та управління ними

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків - 1999

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана у Харківському військовому університеті, Міністерство Оборони України.

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор, професор кафедри
приймальних та передаючих пристроїв ХВУ
Шмалій Юрій Семенович

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор, завідуючий
кафедрою багатоканального електрозв'язку ХДТУРЕ
Поповський Володимир Володимирович

кандидат технічних наук, старший науковий співробітник,
начальник лабораторії транспортних мереж УНДІЗ
Савчук Олександр Васильович

Провідна установа: Український науково-дослідний інститут радіо і
телебачення, Державний комітет зв'язку України, м. Одеса.

Захист відбудеться «30» червня 1999р. о 13 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д02.15.04 у Харківській державній академії залізничного транспорту (310050, м. Харків, пл. Фейєрбаха 7).

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Харківської державної академії залізничного транспорту.

Автореферат розісланий «21» травня 1999р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради

Книшев І.П.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. У останні десятиріччя бурхливий розвиток отримали цифрові засоби зв'язку, засновані на дискретизації та цифровій обробці повідомлень, що передаються, і які мають з цієї причини вельми істотні переваги в порівнянні з аналоговими засобами зв'язку.

У той же час одночасне ефективне функціонування різних за призначенням цифрових мереж зв'язку досягається головним чином шляхом прив'язки їх потоків інформації і внутрішніх тактових генераторів до єдиної часової шкали. Синхронізація повинна здійснюватися по ієрархічній структурі систем синхронізації, розділеній на рівні, що відрізняються похибкою прив'язки за часом.

Прецизійні кварцові генератори (КГ) є базовими джерелами часу і частоти для систем синхронізації другого і третього рівнів. Причому, єдиним параметром, за яким кварцовий генератор не має переваги в порівнянні з його найближчим конкурентом - квантовим рубідієвим стандартом частоти, є його довгострокова нестабільність частоти (старіння). Проте, реалізація КГ зі старінням частоти менш ніж 10^{-9} за місяць дозволяє ефективно використовувати їх в системах синхронізації другого і третього рівнів замість рубідієвих генераторів у режимі автономної роботи.

Початкові роботи з фазової синхронізації і стабілізації частоти відносяться до 20...30-х років, оскільки саме на початку 1930-х років розроблені основи теорії синхронізації, що базуються на роботах Ван дер Поля, Андрюнова і Вітта. Надалі основний внесок в розвиток теорії коливань, їх синхронізації і стабілізації зробили Л.І. Мандельшам, Н.Д. Папалексі, Н.Н. Боголюбов, Ю.Б. Кобзарьов, С.І. Євтянов, Г.Б. Альтшуллер, В.В. Шахгільдян, Ж.Ж. Ганьнейн, Р. Бессон, В. Лідсней, Дж. Віг та інші.

Задача по забезпеченню ефективної роботи (стабілізації частоти) задаючих кварцових генераторів систем синхронізації цифрових мереж зв'язку на основі використання модуляційного методу кварцової стабілізації частоти (ММКСЧ), запропонованого професором Шмалієм Ю.С., визначає актуальність цієї роботи.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами. Робота виконувалась згідно програми Міннауки «Ластівка» і програми Держстандарту «Метрологія 2.4», державної науково-технічної програми «Розробка стандарту частоти кварцового прецизійного» (постанова Держкомітету з питань науки і технології України N12 від 4 травня 1992 року), а також в рамках програми Головної астрономічної обсерваторії «Метрика-КВО».

Мета роботи: забезпечення підвищення довгострокової стабільності частоти задаючих кварцових генераторів систем тактової синхронізації на основі аналізу та використання їх статичних і динамічних модуляційних характеристик, що приводить до збільшення часу ефективної автономної синхронізації цифрових мереж зв'язку.

Задачі, рішенням яких досягається поставлена мета:

- побудова математичної моделі ДМХ з урахуванням впливу внутрішніх і зовнішніх шумів кола управління кварцового автогенератора;
- дослідження впливу складних кіл управління на ДМХ фільтрових і осциляторних схем при модуляції ємності варикапа;
- дослідження кореляційного взаємозв'язку між змінами частот основного і ангармонійного контурів при статичному управлінні;
- експериментальне дослідження модуляційних характеристик автогенератора з кварцовим резонатором SC-зрізу;
- дослідження електричних і резонансних властивостей п'єзопластин лантан-галієвого силікату (лангаситу, $\text{La}_3\text{Ga}_5\text{SiO}_{14}$) і можливості їх

використання для фільтрації сигналів основної та ангармонійної частот КГ.

Методи досліджень, що використовуються при вирішенні поставлених задач: методи статистичної теорії радіотехніки, математичної статистики, математичного аналізу, елементів теорії електро- і радіокіл. Експериментальні дослідження підтверджують теоретичні положення.

Наукова новизна досліджень полягає в тому, що:

- отримана нова математична модель ДМХ КГ в смузі ангармонійного контура;
- теоретично досліджені модуляційні характеристики генераторів, побудованих по схемі Батлера і Колпітца, з різними схемами управління частотою вихідного і керуючого сигналу і проведений їх порівняльний аналіз;
- досліджено вплив управління ємністю варикапа на частоти основного та ангармонійного резонансів при різних схемах управління, на основі чого зроблені рекомендації по їх використанню;
- зроблений аналіз впливу управління ємністю варикапа на ДМХ кварцового генератора з різними схемами управління;
- удосконалена методика і проведений експеримент по дослідженню ДМХ КГ з резонатором SC-зрізу, підтверджуючий теоретичні дослідження;
- експериментально досліджений вплив умов температурної обробки і β -опромінювання на електричні параметри п'єзопластин лангаситу та подані рекомендації щодо використання електричних фільтрів на їх основі для фільтрації сигналів з частотами основного та ангармонійного резонансів.

Практичне значення одержаних результатів. Отримані в дисертації результати проведених теоретичних і експериментальних досліджень дозволяють застосувати перспективний ММКСЧ для рішення задачі підвищення стабільності задаючого генератора системи синхронізації в нестационарному флуктуючому полі дестабілізуючих факторів із застосуванням складних схем управління основною та ангармонійною частотами.

Основні результати досліджень і технічні рішення, що обговорюються в дисертаційній роботі, були використані в науково-виробничому центрі «Сіхрон» (м. Харків) і відкритому акціонерному товаристві «ІРВА» (м. Київ) при розробці стандартів частоти кварцових і опорних генераторів по програмі Міннауки «Ластівка» (договір N2/781-97 від 13 серпня 1997 року) і програмі Держстандарту «Метрологія 2.4» (договір N196 від 1 січня 1996 року), при виконанні державної науково-технічної програми «Розробка стандарту частоти кварцового прецизійного» (шифр 6.08.00/276-92 «Лелека», постанова Держкомітету з питань науки і технології України N12 від 4 травня 1992 року), внаслідок якої був розроблений стандарт частоти кварцовий Ч1-88, а також в процесі створення уніфікованого ряду прецизійних кварцових генераторів для кварцових мір частоти і іншої апаратури служб часу і зв'язку в рамках програми Головної астрономічної обсерваторії «Метрика-КВО».

Особистий внесок здобувача у виконану роботу і публікації полягає в розробці математичних моделей, проведенні та аналізу розрахунків і експериментальних досліджень, формуванні висновків і рекомендацій. Основні напрямки і задачі досліджень формувались науковим керівником професором Шмалієм Ю.С., у співавторстві з яким опублікована більшість робіт автора.

Основні наукові положення, що виносяться на захист:

- математична модель ДМХ КГ в смузї ангармонійного контура з урахуванням впливу шумів кола управління;
- результати дослідження модуляційних характеристик фільтрових і осциляторних схем кварцових генераторів зі складними схемами управління частотою та їх порівняльний аналіз;
- схеми складних кіл управління частотою і рекомендації щодо їх використання в КГ, побудованих на основі ММКСЧ;
- методика і результати експериментального дослідження модуляційних характеристик кварцового автогенератора;
- результати дослідження п'єзопластин лангаситу і рекомендації щодо використання електричних фільтрів на їх основі для фільтрації сигналів основної та ангармонійних частот.

Апробація результатів дисертації.

Результати досліджень докладалися на 5-му Російському симпозиумі «Метрологія времени и пространства» (м.Менделеево, Росія, 1994р.), 1-й Українській науково-технічній конференції «Метрологічне забезпечення в галузі електричних, магнітних і радіотехнічних вимірювань» (м.Харків, 1994р.), Українській науково-технічній конференції «Метрологія та вимірювальна техніка» (м.Харків, 1995р.), International Symposium «Acoustoelectronics, Frequency Control and Signal Generation» (г.Москва, Росія, 1996г.), 50-th IEEE International Frequency Control Symposium (Honolulu, USA, 1996), 2-й Міжнародній конференції «Теорія і техніка передачі, прийому та обробки інформації» (м.Туапсе, Росія, 1996р.).

Публікації. Матеріали дисертаційної роботи опубліковані в 2 статтях, 4 доповідях в матеріалах симпозиумів, 4 тезах доповідей, викладені в 9 звітах про НДР.

Структура і об'єм дисертації. Дисертація складається з вступу, п'яти розділів, висновку і містить 141 сторінку машинописного тексту, 84 рисунка, 18 таблиць і списку використаної літератури із 137 найменувань.

ЗМІСТ РОБОТИ

У першому розділі приведені результати аналізу сучасного стану питання тактової синхронізації цифрових мереж зв'язку і стабілізації частоти. Аналіз проведений по джерелам науково-технічної інформації в напрямі пошуку шляхів створення прецизійних кварцових джерел опорних коливань (генераторів і стандартів частоти і часу), а також сучасних методів стабілізації частоти і шляхів їх реалізації.

Показано, що при зникненні сигналу синхронізації (рис.1) від ведучого генератора або генератора системи глобальної навігації GPS використання коливань на частоті ангармонійного контура (використання ММКСЧ) може збільшити час ефективної автономної роботи веденого генератора, який визначається допустимою (по міжнародним рекомендаціям G.811 та G.812) величиною максимальної похибки часового інтервалу (МПЧІ) (рис.2).

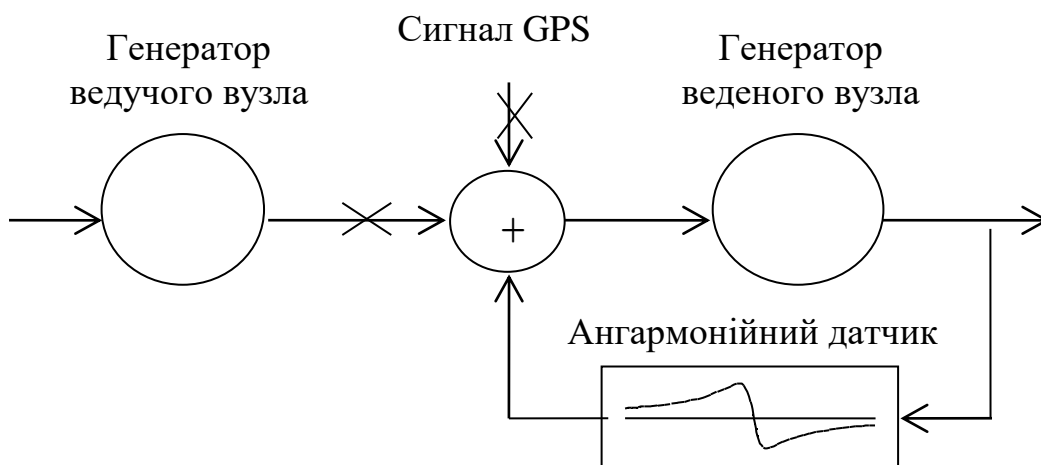


Рис.1. Узагальнена структура взаємодії двох вузлів системи тактової синхронізації цифрових мереж зв'язку

Тут також розглянуті фундаментальні обмеження стабільності частоти кварцових генераторів і резонаторів.

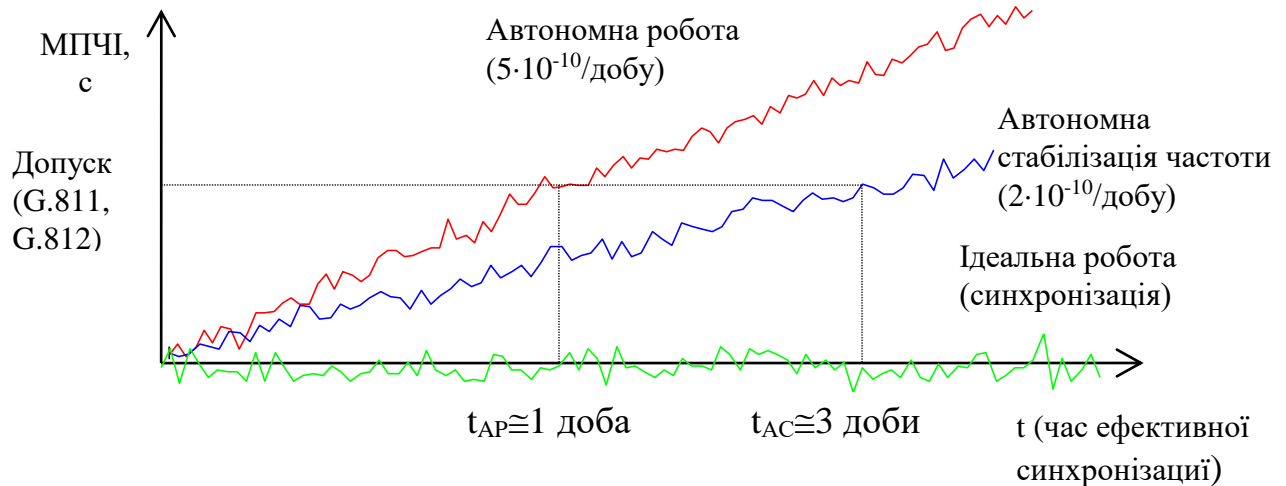


Рис.2. Вплив автономної стабілізації частоти генератора веденого вузла на час ефективної синхронізації

У другому розділі отримана модель частотно- та амплітудномодульованого (ЧМ-АМ) КГ з урахуванням впливу внутрішніх і зовнішніх шумів, включаючи шуми схеми управління частотою, що дозволяє аналізувати поведінку ДМХ в смузі ангармонійного контура (рис.3). Також отримана статистична математична модель динамічних модуляційних характеристик в смузі ангармонійного контура з урахуванням параметрів конкретної схеми прецизійних КГ та їх флуктуацій, яка представлена у вигляді нелінійних функціональних перетворень вузькосмугового випадкового процесу, діючого з виходу ангармонічного контура на вхід нелінійного пристрою (НП).

Отримані вирази для одновірної щільності розподілу імовірності (ЩРІ) функцій ДМХ у формі узагальненого закону Райса:

$$W_1(m_{A,\varphi}) = (m_{A,\varphi} / D^{0.5}) I_0(m_{A,\varphi} M_{A,\varphi}) \exp[-0.5(m_{A,\varphi}^2 + M_{A,\varphi}^2) / D], \quad (1)$$

$$m_{A,\varphi} \geq 0,$$

$$W_1(\varphi_{A,\omega}) = (1/2\pi) \exp(-M_{A,\varphi}/2D) \{ 1 + 2\pi(M_{A,\varphi}^{0.5}/D^{0.5}) \cos(\varphi_{A,\omega} - \phi_{A,\omega}) \times \\ \times \Phi[(M_{A,\varphi}/D^{0.5}) \cos(\varphi_{A,\omega} - \phi_{A,\omega})] \exp[0.5(M_{A,\varphi}/D) \cos^2(\varphi_{A,\omega} - \phi_{A,\omega})] \}, \quad (2)$$

$$\pi \geq \varphi_{A,\omega} \geq -\pi,$$

де $M_{A,\varphi} = [M^2\{X_1, Y_1\} + M^2\{X_2, Y_2\}]^{0.5}$, $\operatorname{tg}\varphi_{A,\omega} = M\{X_1, Y_1\} / M\{X_2, Y_2\}$, $I_n(x)$ - модифікована функція Бесселя n -го порядку, $\Phi(x) = (2\pi)^{-0.5} \int_{-\infty}^x \exp(-0.5t^2) dt$ - інтеграл імовірності, X_1, Y_1, X_2, Y_2 - випадкові процеси, що характеризують поведінку ДМХ.

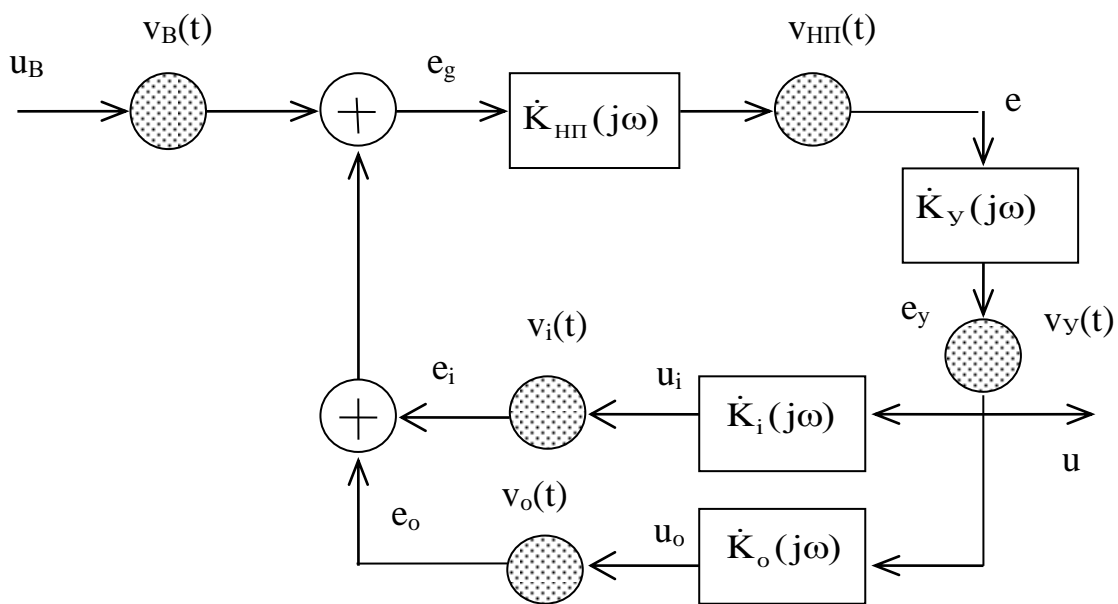


Рис.3.Схема ЧМ-АМ КГ з джерелами шумів - генераторами напруги (u_B - регулярна частина напруги найбільш потужної верхньої складової спектру ЧМ коливань основного кільця генерації за смугою ангармонійного контура; $v_B(t)$, $v_{HY}(t)$, $v_i(t)$, $v_o(t)$, $v_y(t)$ - напруги флуктуацій джерел вхідного сигналу, НП, i -го ангармонійного контура, основного контура та схеми управління; $K_{HP}(j\omega)$, $K_Y(j\omega)$, $K_i(j\omega)$, $K_o(j\omega)$ - частотні характеристики НП, схеми управління, i -ого та основного кола зворотного зв'язку)

Знайдені ЩРІ характеризують стаціонарні статистичні властивості функцій ДМХ прецизійного КГ при різних співвідношеннях між амплітудою верхньої складової спектра частотно- і амплітудно-модульованого (ЧМ-АМ) коливання і середньоквадратичним відхиленням шуму для різних розстроювань відносно частоти ангармонійного контура.

Розроблена математична модель функцій ДМХ в смузї ангармонійного контура дозволяє провести чисельний аналіз поведінки модуляційних характеристик кварцового генератора з урахуванням складних кіл управління.

У третьому розділі був проведений чисельний аналіз параметрів ДМХ і проведено порівняння впливу різних схем управління на модуляційні характеристики фільтрових і осциляторних схем КГ.

На основі розробленої узагальненої (рис.4) та еквівалентної (рис.5) схеми управління частотами основного та ангармонійного коливань отримані вирази:

$$r_y = \frac{r_1 r_2 (r_1 + r_2) + r_1 x_{yf2}^2 + r_2 x_{yf1}^2}{(r_1 + r_2)^2 + (x_{yf1} + x_{yf2})^2};$$

$$x_y = \frac{r_1^2 x_{yf2} + r_2^2 x_{yf1} + x_{yf1} x_{yf2} (x_{yf1} + x_{yf2})}{(r_1 + r_2)^2 + (x_{yf1} + x_{yf2})^2};$$
(3)

облік яких при розрахунку модуляційних характеристик дозволяє оцінювати впливи різних схем управління на ДМХ.

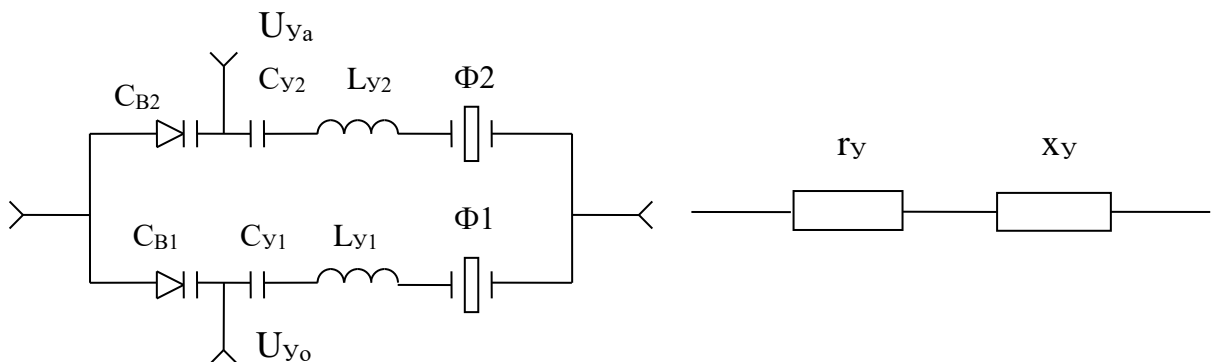
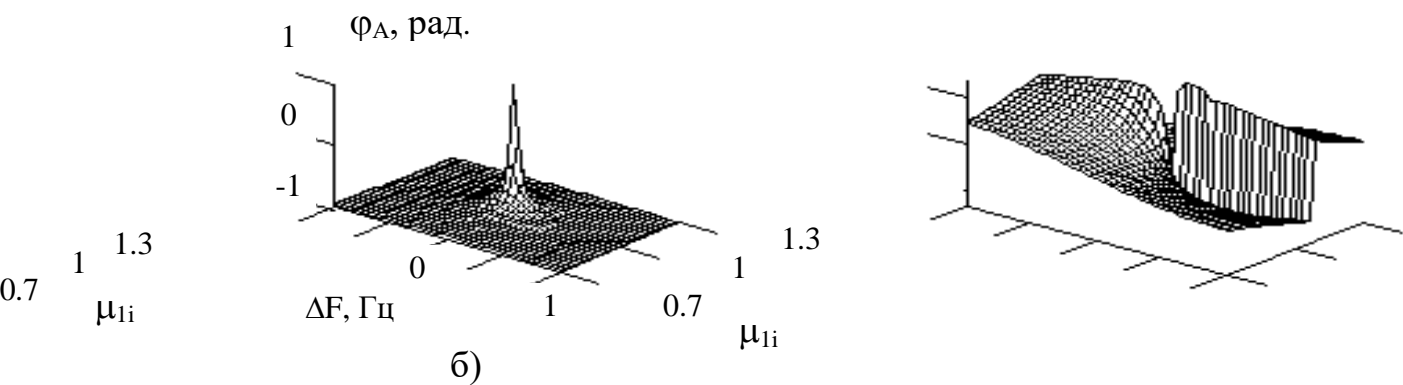


Рис.4.Узагальнена схема управління частотами основного та ангармонійного коливань

Рис.5.Еквівалентна схема управління частотою КГ

На рис.6 показані ДМХ фільтрової схеми КГ з базовою схемою управління (варикап), де видно явище регенеративного резонансу при збігу частоти модуляції з частотою ангармонійного резонансу, що полягає в

різкому збільшенні коефіцієнта амплітудної модуляції m_A і крутості фазової характеристики (аж до переходу через точку, де ці характеристики терплять розрив), при цьому фазова характеристика φ_A може розглядатися як дискримінаційна (рис.7), на основі якої виробляється сигнал відходу частоти від номінального значення.



К КГ від розстройки $\Delta F = f - f_A$ (f_A - ангармонійна регенерації μ_{li}): а)-амплітудна характеристика; б)-фазова характеристика

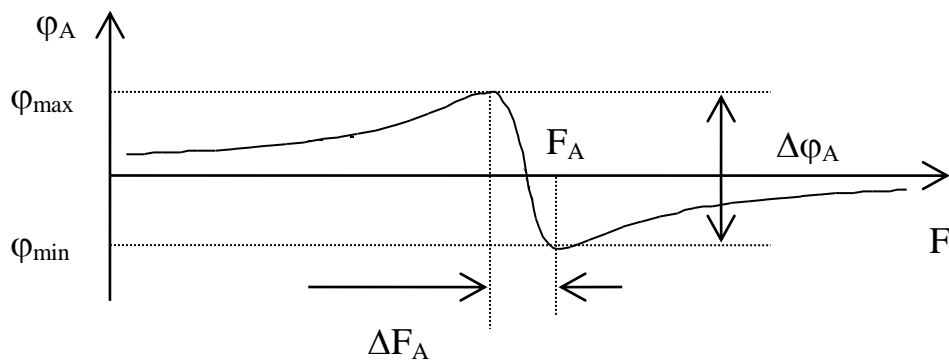


Рис.7. Дискримінаційна (фазова модуляційна) характеристика на частоті ангармонійного резонансу F_A ($F_A = f_A - f_o$, f_o - частота основного коливання): ΔF_A - смуга захвату; $\Delta \varphi_A$ - максимальний розмах

Аналіз модуляційних характеристик КГ з різними схемами управління частотою показав, що при введенні відповідних кіл управління стабілізуючі

властивості осциляторних схем генераторів і генераторів, побудованих по фільтровій схемі, мають однакову тенденцію до зміни, але стабілізуючі властивості осциляторних схем вищі, ніж у фільтрових (рис.8). При цьому введення в схему управління п'єзофільтра в коло ангармонічної частоти збільшує величину екстремума амплітудних ДМХ і крутість фазових ДМХ, що підвищує стабілізуючі властивості цих характеристик.

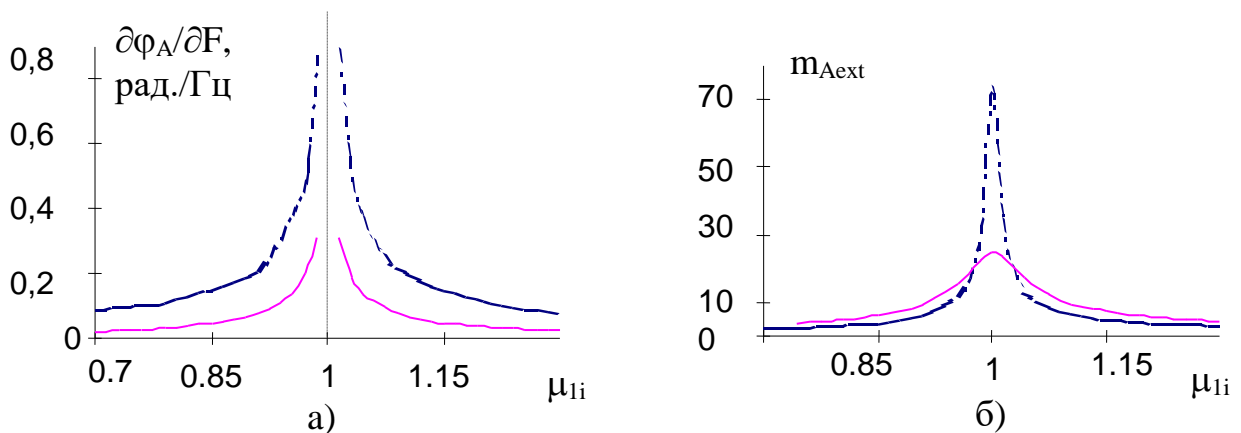


Рис.8. Залежність параметрів ДМХ фільтрового (суцільна лінія) і осциляторного (пунктирна лінія) КГ з базовою схемою управління від фактора регенерації μ_{1i} : а)-крутість фазової характеристики $\partial\varphi_A/\partial F$; б)-максимальне значення коефіцієнта амплітудної модуляції m_{Aext}

Показано, що теоретично розраховані ДМХ КГ і виміряні в фізичній моделі генератора з такими ж параметрами (по методиці, приведеній у четвертому розділі) практично співпадають для відповідних ангармонік, що говорить про адекватність розроблених теоретичних положень реальним процесам, що відбуваються при модуляції на частоті ангармонік.

У четвертому розділі приведені результати дослідження кореляційного взаємозв'язку між основною та ангармонійною частотами при корекції для різних схем управління. При цьому показано, що найкращою схемою, з точки зору незалежності управління, є схема що містить п'єзофільтри в колах основного та ангармонійного коливальних (рис.9).

Тут також була удосконалена методика, яка дозволила на основі запропонованої структурної схеми експериментальної установки для дослідження ДМХ (рис.10), практично вивчити поведінку модуляційних характеристик при управлінні і зміні режимів роботи (величин напруги живлення і рівня модуляції).

Температурно-частотні характеристики (ТЧХ) основної та ангармонійних

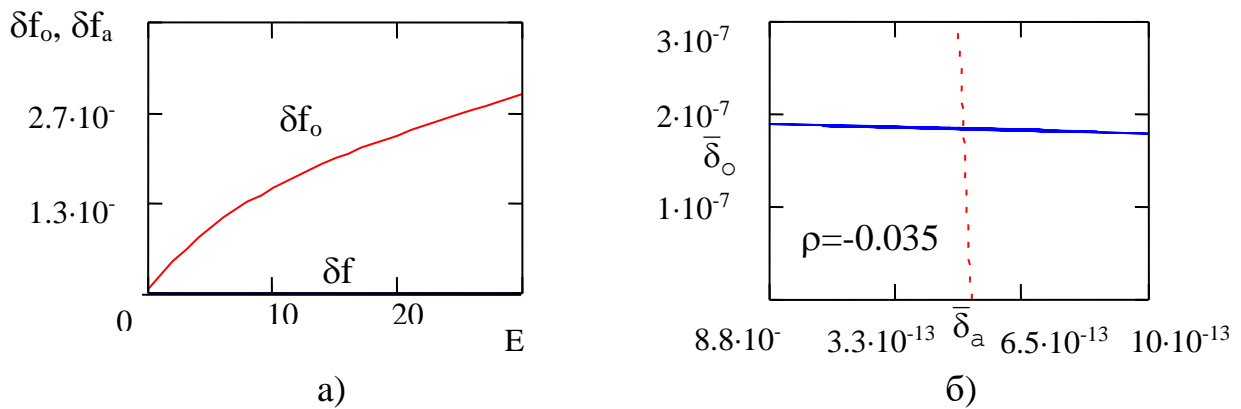


Рис.9.Вплив напруги зміщення на варикапі в колі основного контуру на відносний змін частот основного та ангармонічного резонансів з варикапом, індуктивністю, ємністю і лангаситом в колах управління основною та ангармонічною частотами: а)-детермінована складова; б)- лінії регресії, побудовані з обліком випадкових складових

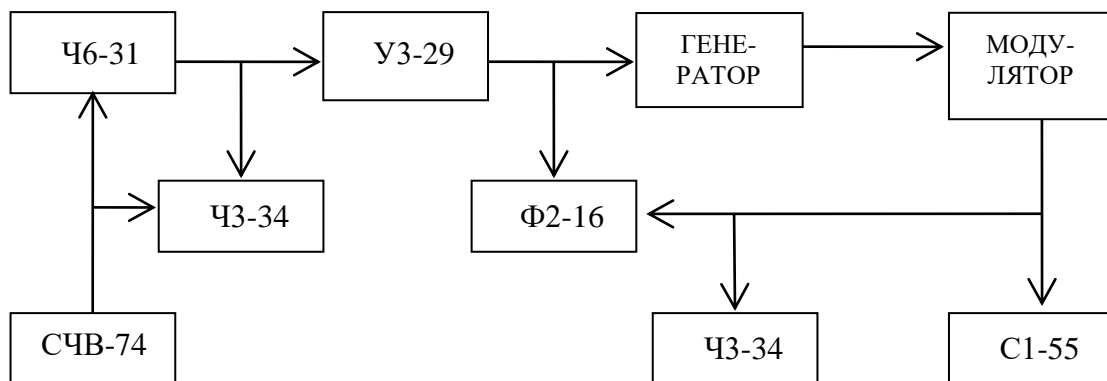


Рис.10.Структурна схема експериментальної установки при дослідженні ДМХ

мод кварцового резонатору SC-зрізу відрізняються тим, що в певному інтервалі температур, де крутість ТЧХ основної частоти рівна нулю (район точки термостатування), крутість ТЧХ ангармонійних мод відмінна від нуля і має величини від одиниць (моди h_{513} і h_{531}) до сотень (В-мода та її ангармоніка) Гц/°С, що дає можливість використання даних мод як вельми чутливих датчиків температурного відходу частоти основного коливання при використанні ММКСЧ.

У п'ятому розділі досліджувалась можливість використання лангаситових фільтрів в схемі управління частотою задаючих кварцових генераторів.

Досліджені пластини лангаситу Y-зрізу здійснюють товщинно-зсунуті коливання на першій механічній гармоніці і мають вельми багатий частотний спектр, інтенсивність мод якого залежить від наявності домішок, кількість яких залежить від режимів відпалу.

Параметри даних пластин лантан-галієвого силікату лежать в межах: $R_q=60..360$ Ом, $L_q=30..130$ мГн, $C_q=80..210 \cdot 10^{-3}$ пФ, $Q=1000..20000$ (в залежності від міри обробки при виготовленні), з чого слідує, що можливо на основі даного п'єзоелектрика реалізувати п'єзоелектричні фільтри з добротністю від сотень одиниць до десятків тисяч одиниць на частотах в кілька мегагерц. З цією метою накладні технологічні електроди (які використовувались при дослідженні) замінюються напиленими, які, на відміну від накладних, збільшують опір втрат не набагато. Крім того, було встановлено, що лангасит Y-зрізу малочутливий до β -опромінювання (до доз $1.4 \cdot 10^6$ Рад).

ВИСНОВКИ

Отримані теоретичні та експериментальні результати, що забезпечують можливість зменшення довгострокової нестабільності частоти КГ на основі використання модуляційного методу. При цьому:

1. Розроблена математична модель кварцового генератора, побудованого на основі ММКСЧ і що має в своєму складі коло управління частотою, з урахуванням внутрішніх і зовнішніх шумів.

2. Отримана статистична модель динамічних модуляційних характеристик з урахуванням конкретних параметрів КГ і схем управління частотою, на основі якої можливий ймовірностний аналіз властивостей ДМХ.

3. Теоретично досліджені динамічні модуляційні характеристики основних типів кварцових генераторів при різних схемах корекції частоти. Розроблені рекомендації по вибору типу КГ і кола управління з точки зору кращих стабілізуючих властивостей ДМХ.

4. Досліджений кореляційний взаємозв'язок в зміні частот різних коливань при управлінні. Показано, що найменший вплив на частоту сусіднього коливання можна отримати при використанні електричних фільтрів на основі п'єзоелементів в колі управління кожної частоти.

5. Проведено теоретичне дослідження впливу управління ємністю варикапа на ДМХ та отримано практичне підтвердження характеру змін модуляційних характеристик при корекції.

6. На основі проведеного експеримента по дослідженню динамічних модуляційних характеристик ємнісного трьохточного КГ отримано підтвердження правильності отриманої моделі ДМХ-дискримінаторів.

7. Досліджено вплив температурної обробки і β -опромінювання на параметри різних зразків п'єзопластин лангаситу. Аналіз зміни динамічних

параметрів показав, що протікання внутрішніх процесів в різних зразках співпадає у напрямі змін, але по інтенсивності є відмінності. Крім того, отримані дані кажуть про низьку чутливість зразків до β -опромінювання.

8.Отримані дані по дослідженню п'єзопластин лангаситу кажуть про можливість використання їх в п'єзореzonаторах як електричні фільтри для створення кіл незалежного управління частотами основного та ангармонійного резонансів в КГ, побудованих на основі ММКСЧ.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ ПРАЦЬ

1.Садовый К.В. Влияние ангармонических резонансов на динамические модуляционные характеристики прецизионного кварцевого автогенератора // Научные труды 5-го Российского симпозиума "Метрология времени и пространства", Менделеево ИМВП ГП ВНИИФТРИ, 1994. - С.294-298. - здобувач є єдиним автором.

2.Шмалий Ю.С., Романько В.Н., Садовый К.В. Исследование деградиционных процессов ангармонического спектра колебаний кварцевого резонатора // Научные труды 5-го Российского симпозиума "Метрология времени и пространства", Менделеево ИМВП ГП ВНИИФТРИ, 1994. - С. 299-305. - автором проведений експериментальний обмір спектру коливань кварцевого резонатора.

3.Садовый К.В. Определение эквивалентных динамических параметров основной моды колебаний пьезопластин Y-среза с накладными электродами // Сборник научных трудов ХВУ. Выпуск 6. - Харьков, 1996. - С.39-46. - здобувач є єдиним автором.

4.Шмалий Ю.С., Садовый К.В., Дубовик М.Ф. Электрические свойства автономных пьезопластин лангасита Y-среза // Сборник научных трудов

ХВУ. Выпуск 6. - Харьков, 1996. - С.47-54. - автором запропонована експериментальна установка для дослідження електричних параметрів лангаситових пластин та отримані результати цих досліджень необроблених пластин.

5.Dubovik M.F., Zagoruiko Yu.A., Korshikova T.I., Shmaly Yu.S., Sadovy K.V. Influence of thermal treatment on some electrophysical parameters of langasite samples // Proceedings 1996 International Symposium Acoustoelectronics, Frequency Control and Signal Generation. - Moscow: MPEI Publishers, 1996. - Pp.133-137. - автором одержані результати досліджень зміни динамічних параметрів п'єзопластин лантан-галієвого силікату в залежності від етапів їх обробки.

6.Dubovik M.F., Zagoruiko Yu.A., Korshikova T.I., Shmaly Yu.S., Sadovy K.V. Influence of thermal treatment and radiation on some electrophysical parameters of langasite crystals // Proc. of 50th IEEE IFCS, 1996, pp.84-89. - автором проведено моделювання процесу дослідження параметрів п'єзопластин лангаситу.

7.Шмалій Ю.С., Романько В.Н., Садовый К.В. Расчет динамических модуляционных характеристик кварцевого емкостного трехточечного автогенератора в полосе ангармонического контура // В кн.: I Українська науково-технічна конференція «Метрологія в електроніці» («Метрологічне забезпечення в галузі електричних, магнітних та радіотехнічних вимірювань»). Тези доповідей. - Харків. - 1994. - С.169. - автором запропоновані схеми управління частотами коливань.

8.Шмалій Ю.С., Романько В.Н., Садовый К.В. Динамические модуляционные характеристики прецизионного кварцевого автогенератора // В кн.: I Українська науково-технічна конференція «Метрологія в електроніці» («Метрологічне забезпечення в галузі електричних,

магнітних та радіотехнічних вимірювань»). Тези доповідей. - Харків. - 1994. - С.188. - автором удосконалена методика експериментальних досліджень і розроблена схема експериментальної установки.

9.Адаменко А.А., Дружинец В.В., Евдокименко Ю.И., Клейман А.С., Попова Т.В., Романько В.Н., Садовый К.В., Старицкий Ю.И., Ткаченко В.В., Шмалый Ю.С. Разработка измерительного стенда и узлов макетов стандарта частоты кварцевого. Отчет о НИР/ НПЦ «Сихрон». Регистр. №0193И039141, шифр «Лелека-1». - Харьков, 1993. - 111 с. - автором проведені дослідження ДМХ генераторів.

АНОТАЦІЯ

Садовый К.В. Забезпечення ефективної автономної роботи задаючих кварцових генераторів систем тактової синхронізації цифрових мереж зв'язку на основі модуляційного методу. - Рукопис.

Дисертація на здобуття вченого ступеня кандидата технічних наук по спеціальності 05.12.02 «Телекомунікаційні системи та управління ними» - Харківська Державна Академія залізничного транспорту, Харків, 1999.

Дисертація присвячена питанням досліджень по забезпеченню ефективної автономної роботи (стабілізації частоти) задаючих кварцових генераторів систем синхронізації цифрових мереж зв'язку на основі використання модуляційного методу. Основна увага при цьому приділена вивченню модуляційних характеристик кварцових генераторів, на основі яких формуються сигнали ангармонійних датчиків, що використовуються для управління основною частотою. Розроблені рекомендації по використанню складних схем управління частотою, до складу яких входять лангаситові п'єзофільтри. Основні результати роботи знайшли промислове застосування при проектуванні нових зразків кварцових генераторів.

Ключові слова: модуляційний метод, модуляційні характеристики, п'єзофільтр, лангасит, кореляційний аналіз.

SUMMARY

Sadovy K.V. Provision of effective autonomous operation of slave quartz oscillators of time synchronization systems of digital communication network based on the modulation method. - Manuscript.

Dissertation for the degree of Candidate of Technical Science on specialty 05.12.02 «Telecommunication systems and their control». - Kharkiv State Railway Academy, Kharkiv, 1999.

Dissertation is dedicated to the research in direction of providing of effective autonomous operation (frequency control) of slave quartz oscillators of digital communication network of time synchronization systems based on the modulation method. Major attention is given to study of the modulation model of crystal oscillators and to form on this base the anharmonic sensor intended for the frequency control. The recommendations are given for the frequency control circuits use with langasite piezofilters for effective sensor signal filtering. It is shown that the major results have been used while industrial production of precision crystal oscillators and standards.

Keywords: modulation method, modulated crystal oscillator model, piezo crystal filter, langasite, correlation analysis.

АННОТАЦІЯ

Садовый К.В. Обеспечение эффективной автономной работы задающих кварцевых генераторов систем тактовой синхронизации цифровых сетей связи на основе модуляционного метода . - Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.12.02 «Телекоммуникационные системы и управление ими» - Харьковская Государственная Академия железнодорожного транспорта, Харьков, 1999.

Диссертация посвящена вопросам исследований по обеспечению эффективной работы (стабилизации частоты) задающих кварцевых генераторов систем синхронизации цифровых сетей связи на основе использования модуляционного метода кварцевой стабилизации частоты. Основное внимание при этом уделено теоретическому и экспериментальному изучению динамических (ДМХ) и статических модуляционных характеристик кварцевых генераторов со сложными цепями управления, на основе которых формируются сигналы ангармонических датчиков, используемые для управления основной частотой. При этом исследовались модуляционные характеристики кварцевых генераторов построенных по схеме Батлера и Колпитца.

Получена модель КГ с учетом влияния внутренних и внешних шумов, включая шумы схемы управления частотой, позволяющая анализировать поведение ДМХ в полосе ангармонического контура, а также статистическая математическая модель динамических модуляционных характеристик в полосе ангармонического контура, с учётом параметров конкретной схемы прецизионных кварцевых генераторов и их флуктуаций, представленная в виде нелинейных функциональных преобразований узкополосного

случайного процесса, действующего с выхода ангармонического контура на вход нелинейного устройства.

Показано, что теоретически рассчитанные ДМХ кварцевого автогенератора и измеренные в физической модели генератора с такими же параметрами практически совпадают для соответствующих ангармоник, что говорит об адекватности разработанных теоретических положений реальным процессам, происходящим при модуляции на частоте ангармоник.

Разработаны рекомендации по использованию сложных схем управления частотой. При этом показано, что наилучшей схемой, с точки зрения независимости управления, является схема, содержащая пьезофильтры в цепях основного и ангармонического колебаний.

Была исследована возможность использования лангаситовых пьезофильтров для фильтрации сигналов основного и ангармонического колебаний и даны соответствующие рекомендации. Результаты исследований показали, что возможно на основе данного пьезоэлектрика реализовать пьезоэлектрические фильтры с добротностью от сотен единиц до десятков тысяч единиц на частотах в несколько мегагерц.

Основные результаты работы нашли промышленное применение при проектировании новых образцов высокостабильных кварцевых генераторов.

Ключевые слова: модуляционный метод, модуляционные характеристики, пьезофильтр, лангасит, корреляционный анализ.