

УДК.621.317

Л.В. ТРОЦИШИНА

ВИМІРЮВАННЯ ЧАСТОТИ СИГНАЛІВ З ОБМЕЖЕНИМ ТА АПРІОРИ НЕВІДОМИМ ЧАСОМ ІСНУВАННЯ

Хмельницький національний університет

11, вул. Інститутська, м. Хмельницький, Україна.

т. 0382-72-8874, E-mail: vottp.tiv.@gmail.com

Анотація: У статті розглянуто питання розв'язання важливого завдання вимірювання частоти в радіотехнічних та телекомунікаційних системах за умови невизначеності та короткочасності існування сигналу. Приведено структурну схему та описано роботу частотоміра за методом коінциденції.

Аннотация: В статье рассмотрены вопросы решения важной задачи измерения частоты в радиотехнических и телекоммуникационных системах при неопределенности и короткого времени существования сигнала. Приведены структурная схема и описана работа частотомера по методу коинциденции.

Abstract: The question of solving the important task of measuring frequencies in the radio and telecommunication systems in conditions of uncertainty and short-time existence of the signal. The structural scheme and describes the method coincidence Frequency.

Ключові слова: частота, вимірювання, метод коінциденції.

ВСТУП

Вимірювання частоти є одним із основних видів вимірювань у засобах телекомунікацій, а також радіотехнічних системах різного призначення, де вимоги до точності та швидкодії вимірювання вказаного параметру визначає ефективність та надійність таких систем. Класичні методи цифрового вимірювання частоти не здатні одночасно підвищувати вказані параметри, тому єдиним можливим напрямком є використання теорії фазочастотних вимірювань та перетворень радіосигналів, яка однозначно довела, що метод коінциденції забезпечує максимально можливі характеристики за вказаним критерієм. Так в роботах [1-3] питання вимірювання частоти за методом коінциденції знайшли своє відображення, але частина питань залишилась недослідженою.

Особливу увагу необхідно приділити детальному дослідженню не лише процесу утворення шкали вимірювального перетворення, а і аналізу порівняльних характеристик, які є визначальними для вірного розуміння всієї процедури вимірювань та використання їх результатів.

Нагадаємо, що в основу покладена концепція саме фазочастотного підходу до визначення частоти, яка використовує модель

$$f = \frac{1}{2\pi} \frac{d\Psi(t)}{dt}, \quad (1)$$

на відміну від класичної

$$f = \frac{1}{T}, \quad (2)$$

особливості роботи із якими викладено в [1, 4-7], і результати наглядного порівняння в єдиних координатах наводяться вперше.

Незалежно від схеми вимірювання за методом коінциденції, рівняння вимірювальної шкали має вигляд

$$f_x = \frac{N_x}{N_{on}} f_{on}. \quad (3)$$

де f_x, f_{on} – відповідно вимірювана та опорна частоти, N_x, N_{on} – відповідно ціле число фазових циклів вимірюваної та опорної частот зафіксованих лічильниками між двома коінциденціями (збігами).

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

Задача високоточного та швидкісного вимірювання частоти є і буде актуальною не лише для завдань класичних вимірювань, а також для питань проектування, моделювання давачів із частотним виходом, вимірювальних приладів, де інформаційним параметром є частота, а також і різного роду частотовимірювальних систем. Як відомо [5, 8], класичні методи вимірювання частоти реалізують, як правило алгоритм визначення її значенням шляхом інтегрування, або визначення через період сигналу $f = 1/T$, в той же час існує інший принциповий підхід [1-5], який спираючись саме на концепцію фазочастотного підходу до визначення пов'язаних між собою інтегро-диференціальною залежністю параметрів (частоти та фази), встановлює причинно-наслідковий зв'язок між ними, і констатує, що первинним (головним) є визначення повного фазового зсуву - $\Psi(t)$, а частота визначається як похідна –

$$f(t) = \frac{1}{2\pi} d\Psi(t). \quad (4)$$

Більше, того, саме теорія Фазочастотних вимірювань і перетворень радіосигналів (ФЧВ і ПР) [5] вказує на наявність у вимірювальної шкали не лише цілої частини (класичний електронно-лічильний частотомір), а також і дробової, що дозволяє одночасно підвищувати і точність і швидкодію вимірювання частоти саме радіосигналів (обмежених у часі).

Тому **метою** даної статті є спроба наглядно підтвердити справедливості висновків теорії ФЧВ і ПР на прикладі частотоміра коінциденції [1-7] та розв'язати проблему вимірювання частоти при обмеженому часі доступу до сигналу.

Принцип роботи частотоміра (рис.1) за методом збігу (співпадіння, коінциденції) пояснює рис.2.



Рис.1. Частотомір коінциденції

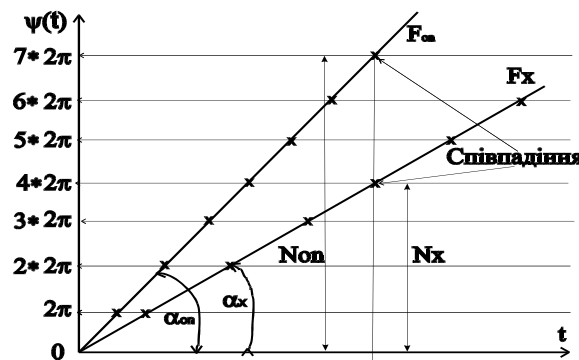


Рис.2. Принцип квантування цілих фазових циклів та їх збігу

Якщо частоти не є кратними одна одній, що через деякий час (час вимірювання) відбудеться часовий збіг (коінциденція) пересікань ліній частот, тобто співпадіння їхніх нуль-переходів, що несуть в собі інформації про результати вимірювання та не містять методичної складової, яка залежить від часу вимірювання, значення частоти знаходять використовуючи відому формулу [2]:

$$f_x = \frac{N_x}{N_{on}} f_{on}, \quad (5)$$

яка, на відміну від попередніх, не містить методичної похибки яка залежить від часу вимірювання. Час вимірювання змінний, і може бути визначений з формулою:

$$t_{вим} = \frac{N_{on}}{f_{on}}. \quad (6)$$

Щоб з'ясувати динаміку збільшення кількості поділок на шкалі частотоміра коінциденції (подвійного збігу), проведено комп'ютерне моделювання можливих значень раціональних чисел, які можуть бути у дробів, що утворюються. Таким чином утвориться матриця можливих значень шкали частотоміра, які можуть бути вимірні за методом коінциденції (рис.3 – рис.4).

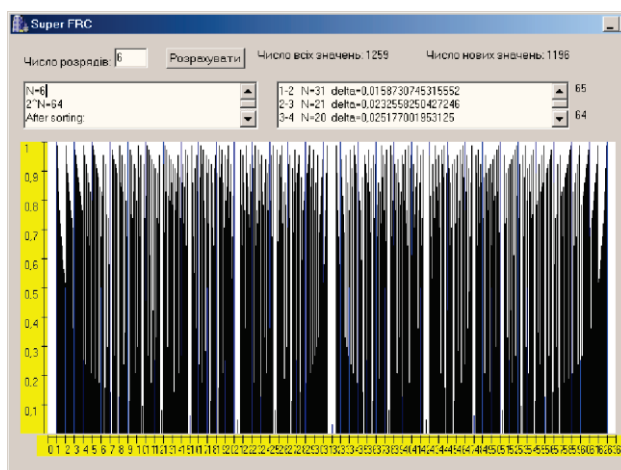


Рис.3. Шкала частотоміра при N=6

1.000000	1.000000	1.000000	1.000000	1.000000	1.000000	1.000000	1.000000
1.000978	1.001957	1.003922	1.007874	1.015873	1.032258	1.066667	1.142857
1.001957	1.003922	1.007874	1.015873	1.032258	1.066667	1.142857	1.230769
1.002938	1.005894	1.011858	1.024000	1.049180	1.103448	1.230769	1.333333
1.003922	1.007874	1.015873	1.032258	1.066667	1.142857	1.230769	1.454545
1.004907	1.009862	1.019920	1.040650	1.084746	1.185185	1.454545	1.600000
1.005894	1.011858	1.024000	1.049180	1.103448	1.230769	1.600000	1.777778
1.006882	1.013861	1.028112	1.057851	1.122807	1.280000	1.777778	2.000000
1.007874	1.015873	1.032258	1.066667	1.142857	1.280000	2.000000	2.307692
1.008867	1.017893	1.036437	1.075630	1.163836	1.428571	2.307692	2.666667
1.009862	1.019920	1.040650	1.084746	1.185185	1.428571	2.666667	3.000000
1.010859	1.021956	1.044898	1.094017	1.207547	1.523810	3.000000	3.428571
1.011858	1.024000	1.049180	1.103448	1.230769	1.600000	3.428571	3.933333
1.012859	1.026052	1.053498	1.113043	1.254902	1.684211	3.933333	4.454545
1.013861	1.028112	1.057851	1.122807	1.280000	1.777778	4.454545	5.000000
1.014866	1.030181	1.062241	1.132743	1.306122	1.882353	5.000000	5.625000
1.015873	1.032258	1.066667	1.142857	1.333333	2.000000	5.625000	6.333333
1.016882	1.034343	1.071130	1.153153	1.361702	2.064516	6.333333	7.142857
1.017893	1.036437	1.075630	1.163836	1.391304	2.133333	7.142857	8.000000
1.018906	1.038540	1.080169	1.174312	1.422222	2.206897	8.000000	8.933333
1.019920	1.040650	1.084746	1.185185	1.454545	2.287174	8.933333	9.933333
1.020937	1.042770	1.089362	1.196262	1.488372	2.370370	9.933333	11.000000
1.021956	1.044898	1.094017	1.207547	1.523810	2.461539	11.000000	12.142857
1.022977	1.047035	1.098712	1.219048	1.560976	2.560000	12.142857	13.333333
1.024000	1.049180	1.103448	1.230769	1.600000	2.666667	13.333333	14.545455
1.025025	1.051335	1.108225	1.242718	1.641026	2.782609	14.545455	15.818182
1.026052	1.053498	1.113043	1.254902	1.684211	2.909091	15.818182	17.142857
1.027081	1.055670	1.117904	1.267307	1.729170	3.000000	17.142857	18.545455
1.028112	1.057851	1.122807	1.280000	1.777778	3.047619	18.545455	20.000000
1.029146	1.060041	1.127755	1.292929	1.828571	3.096774	20.000000	21.545455
1.030181	1.062241	1.132743	1.306122	1.882353	3.146667	21.545455	23.142857
1.031219	1.064449	1.137778	1.319588	1.939394	3.203448	23.142857	24.818182
1.032258	1.066667	1.142857	1.333333	1.993939	3.268421	24.818182	26.545455
1.033300	1.068894	1.147872	1.347368	2.051746	3.428571	26.545455	28.333333
1.034343	1.071130	1.153153	1.361702	2.064516	3.555556	28.333333	30.250000

Рис.4. Детальні значення збільшення роздільної заданості шкали при N=10

ВИМІРЮВАННЯ ЧАСТОТИ РАДІОІМПУЛЬСНИХ СИГНАЛІВ ЗА ДОПОМОГОЮ ЧАСТОТОМІРА КОІНЦИДЕНЦІЇ

Вимірювання частоти як звичайних (необмежених у часі), так і радіосигналів, за схемами підключення не має принципової різниці, але при невиконанні умови, коли час вимірювання є більшим або рівним часу існування (доступу) до сигналу вірне вимірювання відбуватися не може.

Для практичних досліджень теоретичних висновків та результатів моделювання було проведено практичні дослідження двох зразків вимірювачів частоти за методом коінциденції (рис.5.), які являють собою частотомір FETRONICS RFM-01 (звершений прилад із індикатором), а також швидкодіючий вимірювальний перетворювач у вигляді блока з USB виходом, для підключення до комп'ютера.

Спочатку проведено перевірку роботи та ідентичності показів результатів вимірювання для синусних сигналів генератора із необмеженим часом доступу рис. 6, при цьому результати вимірювань

майже не відрізняються, що для серійних частотомірів (ЧЗ-34, ЧЗ-57), що для частотомірів за методом коінциденції, різниця полягає лише у швидкодії.

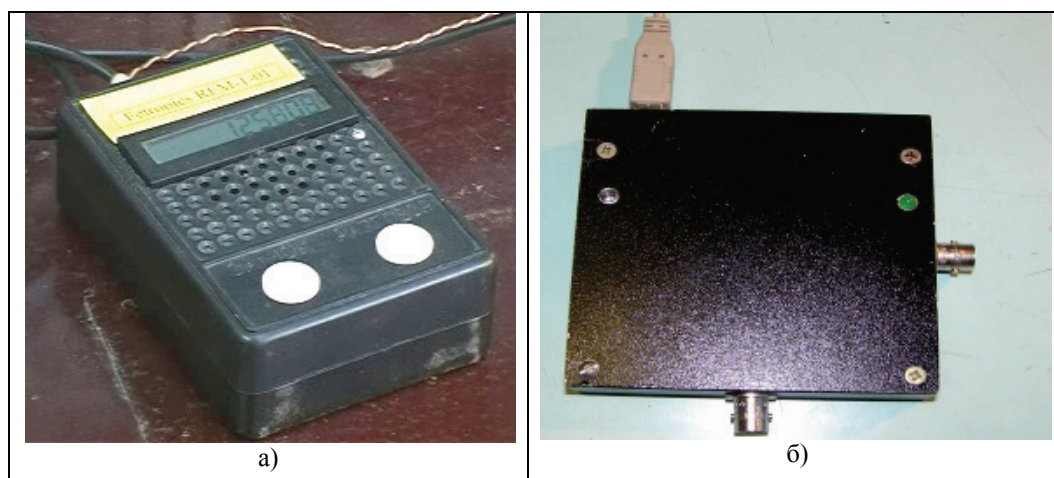


Рис.5. Частотомір FETRONICS RFM-01 (а), і вимірювальний перетворювач частоти за методом коінциденції (б)

У випадку наявності класичного радіоімпульсного сигналу, який є типовим для сучасних РТС ТКС і телевізійних систем (рис. 7) самого широкого призначення, питання часу доступу до сигналу стає домінуючим, і класичні схеми вимірювання принципово не здатні забезпечити роздільчу здатність вимірювання менше 1Гц, за час вимірювання менший 1с (сучасні обчислювальні частотоміри [8-10] шляхом використання методів інтерполяції можуть зменшити час доступу, так як частоту вони обчислюють шляхом вимірювання періоду), і точність вимірювання катастрофічно зменшується вже при часі вимірювання 1-10мс.

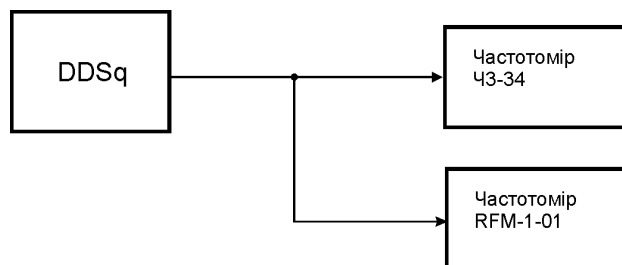


Рис. 6. Схема установки для порівняння швидкодії

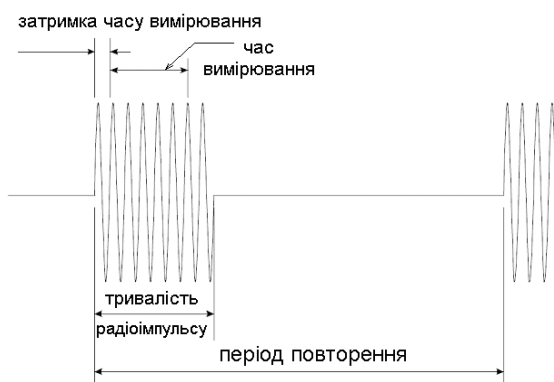


Рис. 7. Радіоімпульсний сигнал та точності вимірювання частотомірів ЧЗ-34 та RFM-1-01

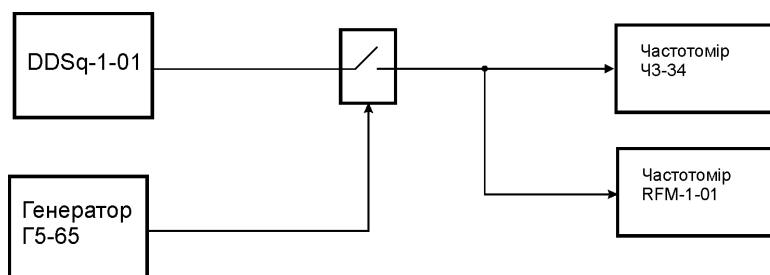


Рис. 8. Схема установки для дослідження можливості вимірювання частоти частотомірами ЧЗ-34 та RFM-1-01 у присутності радіочастотного заповнення

Для оцінки істотних переваг частотоміра над класичними саме за параметрами точність (роздільна здатність шкали) та швидкодія, наведемо графік залежностей збільшення роздільної здатності в логарифмічному масштабі (рис.9), звідки видно, що при $N=10$, можливо забезпечити вимірювання частоти із розрізненням в 1Гц, за час 1мс, наприклад, на частоті 1МГц, що на три порядки (десяткових)!!!, краще ніж забезпечують сучасні прилади у світі [7, 10].

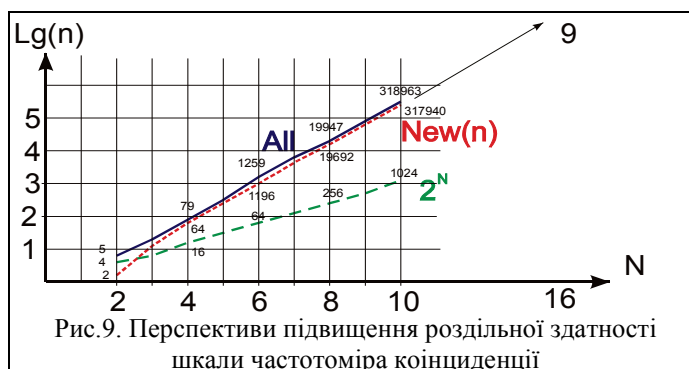


Рис.9. Перспективи підвищення роздільної здатності шкали частотоміра коінциденції

Даний метод не лише забезпечує одночасне підвищення і точності, і швидкодії вимірювання частоти, а також забезпечує суттєву лінеаризацію шкали вимірювання із збільшенням розрядності представлення інформації і є дуже перспективним для використання у швидкодіючих вимірюваних перетворювачах.

Враховуючи, що саме в РТС і ТКС сигнали мають досить обмежений та наперед невизначений час існування, але лише частотомір коінциденції здатен забезпечити максимальну точність вимірювання частоти за мінімальний час доступу до сигналу [7].

Встановлено, що в рамках фазочастотного підходу до вимірювання частоти за методом коінциденції (співпадіння) можливо утворити вимірювальну шкалу з розрізнювальною здатністю на декілька порядків вищою ніж у існуючих цифрових методів при одночасному зменшенні часу вимірювання [5, 7]. Тільки використання фазочастотного підходу до визначення частоти, і застосування фазочастотних вимірювань, де первинною є повна фаза сигналу, а частота визначається як похідна, принципово вирішує зазначені вище проблеми, підвищуючи одночасно і точність і швидкодію вимірювання частоти. Використання в цифрових вимірювачах фазочастотної моделі вимірювань усуває методичну похибку, залежність від часу вимірювання, і теоретично обмежена інструментальною та розрядною сіткою цифрового представлення результатів вимірювання.

ПОРІВНЯННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ СУЧАСНИХ ВІДОМИХ ТА РОЗРОБЛЕНОГО МЕТОДУ І ЧАСТОТОМІРА КОІНЦИДЕНЦІЇ ЗА КРИТЕРІЄМ ТОЧНІСТЬ x ШВИДКОДІЯ

Для знаходження конкретних цифрових значень покращення визначального для випадку вимірювання частоти в РТС і ТКС (сигналу типу радіоімпульс рис.7) є сенс провести саме порівняння трипараметрової величини, яка пов'яже визначальні параметри для випадку вимірювання частоти цифровими методами. Лише за цих умов, якісні характеристики та переваги методу коінциденції набудуть аналітичної доказової бази і можуть слугувати методичним матеріалом уже для проектування частотомірів коінциденції із наперед заданими параметрами точності та швидкодії вимірювання частоти в РТС і ТКС.

Такими параметрами виступають:

f_{on} – частота опорного генератора (опорна частота вимірювань);

f_x – частота сигналу, який підлягає вимірюванню;

$T_c(T_{вим})$ – час вимірювання, він же час доступу до сигналу;

Δ_f – абсолютна похибка вимірювання частоти (роздільна здатність).

Так відомі методи [8-10] прийнято оцінювати за узагальненою формулою:

$$f_o \geq 3 \frac{f_x}{\Delta_f T_c} \quad (7)$$

Дана форма запису є незручною для порівняння тому перепишемо її у вигляді:

$$\delta_{f_x} = \frac{3}{f_{on} T_{вим}} \quad (8)$$

Для методу коінциденції можливо записати систему рівнянь, які пов'язують вказані параметри і розглянуті в [1-7].

$$\left\{ \begin{array}{l} T_{вим} = \frac{N_{on}}{f_{op}} \\ f_x = \frac{N_x}{N_{on}} f_{on} \\ \Delta f_x \cong \frac{f_x}{2^{2n_{on}-2}} \\ \delta_{f_x} \cong \frac{1}{2^{2n_{on}-2}} \end{array} \right. \quad (9)$$

Якщо перші два рівняння відомі і є наслідком методу коінциденції, то третя і четверта формули (досить наближена оцінка) є аналітичним відображенням збільшення густини поділок на шкалі відношень за умови розрядності цифрових значень в двійковій системі n_{on} , а N_{on}, N_x відповідно цифрові значення чисельника та знаменника дробово-раціональної шкали вимірювань.

Із системи рівнянь (9) досить легко можливо знайти всі параметри частотоміра, і необхідний нам для порівняння комплексний параметр, який пов'язує визначальні величини, який можна записати як:

$$\delta_{f_x} \cong \frac{4}{T_{вим}^2 f_{on}^2} = \left(\frac{2}{T_{вим} f_{on}} \right)^2 \quad (10)$$

Звідки вираш методу коінциденції над іншими відомими цифровими методами можливо оцінити як:

$$B = \frac{\delta_{f_{класи}}}{\delta_{f_{ккоін}}} = \frac{\frac{3}{f_{on} T_{вим}}}{\left(\frac{2}{T_{вим} f_{on}} \right)^2} = \frac{3}{4} \cdot f_{on} T_c = \frac{3}{4} \cdot N_{on} = 3 \cdot 2^{n_{on}-2} \quad (11)$$

Вказаний аналітичний вираз оцінки вирашу у комплексному параметрі (точність вимірювання х швидкість вимірювання) показує таку ж функціональну залежність, яку ми спостерігали досліджуючи кількість поділок на шкалі вимірювання частотоміра коінциденції в залежності від розрядності (значень) представлення результатів у лічильниках чисельника та знаменника [1-7].

МЕТОДИКА ПРОЕКТУВАННЯ ТА МЕТРОЛОГІЧНОГО РОЗРАХУНКУ ВИМІРЮВАЧА ЧАСТОТИ ЗА МЕТОДОМ КОІНЦИДЕНЦІЇ

Проектування частотомірів за методом коінциденції подібне до розрахунків класичного обчислювального частотоміра із тією різницею, що вона базується на фазочастотному підході до визначення частоти (Теорія ФЧВ і ПР), а також використання дробово-раціональної шкали вимірювань (шкали відношень) яка утворюється при використанні методу коінциденції.

За основу беруть систему рівнянь (9). Як правило, достатніми є використання 16-20 розрядних лічильників, де легко знайти оцінки родільчої здатності шкали вимірювань:

Так, для $N = 16$, $\delta_{f_x} \cong \frac{1}{2^{2N_{on}-2}} = \frac{1}{2^{2 \cdot 16 - 2}} = \frac{1}{2^{30}} \sim 10^{-9}$.

Для $N = 20$, $\delta_{f_x} \cong \frac{1}{2^{2N_{on}-2}} = \frac{1}{2^{2 \cdot 20 - 2}} = \frac{1}{2^{38}} \sim 10^{-12}$, що забезпечує роздільчу здатність в од. Герц в діапазоні 1-40 ГГц, в якому працюють сучасні РТС і ТКС.

Питання часу вимірювання визначається вибором f_{on} - частоти опорного генератора (опорна частота вимірювань), яка для сучасної елементної бази може лежати в цьому ж діапазоні. Наприклад для $f_{on} = 1 \text{ ГГц}$, $T_{вим} = \frac{N_{on}}{f_{op}} = \frac{2^{16}}{10^9} \sim 65$ мікросекунд (максимальне значення).

Наглядним є використання графіка залежності роздільчої здатності в залежності від часу вимірювання для «найкращого у світі» частотоміра CNT-90 з нанесеними разом характеристиками частотоміра коінциденції (рис.10). При опорних частотах вище 10 МГц частотомір коінциденції значно більш точно і швидко вимірює частоту радіосигналів.

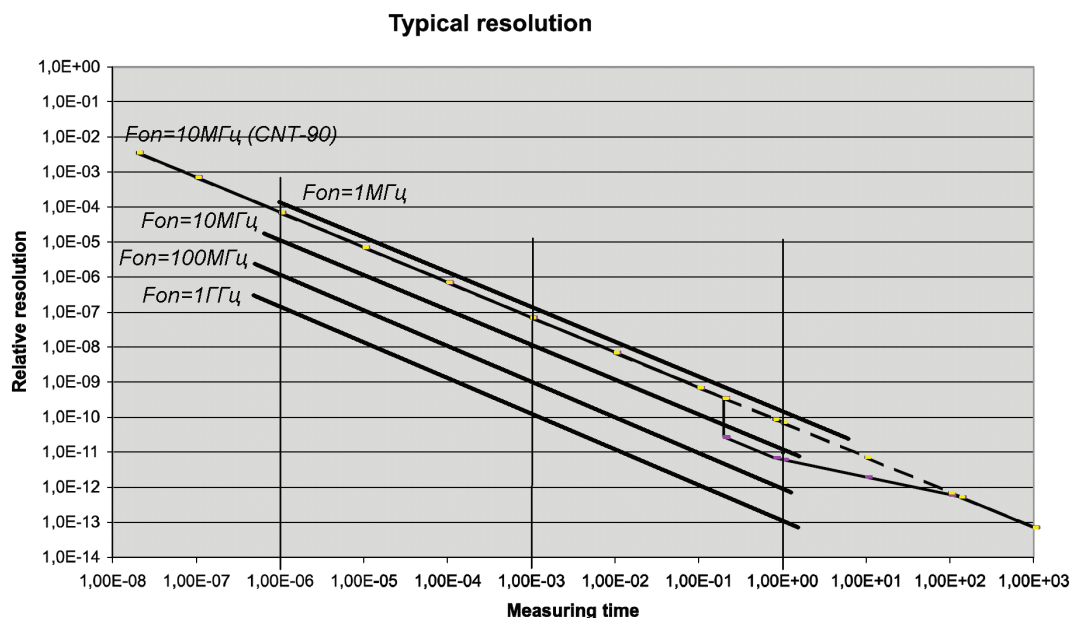


Рис. 10. Порівняння характеристик частотомірів коінциденції із «найкращим у світі» частотоміром CNT-90

ПЕРСПЕКТИВИ ПОКРАЩЕННЯ МЕТРОЛОГІЧНИХ ТА ТАКТИКО-ТЕХНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРИСТРОЇВ ВИМІРЮВАННЯ ЧАСТОТИ ЗА МЕТОДОМ КОІНЦИДЕНЦІЇ У СУЧАСНИХ РАДІОТЕХНІЧНИХ І ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ

Завершуючи розгляд застосувань методу коінциденції та частотомірів реалізованих за його принципами необхідно відзначити, що навіть найпростіша схема вимірювань, яка не містить будь-яких додаткових вимірювальних чи інших перетворень, навіть у порівнянні з найсучаснішими частотомірами дає суттєві переваги за параметром точність x швидкість вимірювання частоти, що є визначальним при апriorі невідомому часі доступу до сигналу. Саме таким є сигнали РТС і ТКС, тому використання нових частотомірів як вищого рівня в ієрархії цифрових методів вимірювання частоти дозволить досягти поставлених в роботі завдань, і на 10-100 разів покращити суперечливий параметр.

Але необхідно відзначити, що так само як методи інтерполяції дозволяють покращити (зменшити похибку дискретності) у відомих схемах частотомірів, в рамках теорії ФЧВ і ПР розроблено багатофазні та багатоканальні методи підвищення роздільної здатності (еквівалентної частоти квантування) у 2K разів, де K може сягати 8-32, без суттєвого ускладнення апаратури [4].

Тому саме вказані методи дозволять досягнути потенційно можливих результатів вимірювань у РТС і ТКС [3, 4] шляхом використання паралельно із існуючими, або їх заміною вузлів та блоків вимірювання частоти. Таким чином тактико-технічні характеристики таких модернізованих систем будуть здатні до вирішення нових задач, які до цього стримувались використанням класичних

вимірювачів частоти. Крім того, методи Теорії ФЧВ і ПР, використовуючи методи пірамідальних напівсуматорів секвент [5], дозволять спростити процедури підсумовування багатофазних та багатоканальних інформаційних потоків що прискорить час цифрової обробки результатів та отримання кінцевого значення частоти вимірних сигналів із розділення у одиниці Герц за час одиниці мілісекунд.

ВИСНОВКИ

1. Розроблено структурні схеми частотоміра коінциденції та вимірювального перетворювача, які є досить простими і порівняно не дорогими у виготовленні, але при цьому здатні значно підвищити точність вимірювання і зменшити час доступу до сигналу, при цьому також можливе наближення і навіть зменшення методичної похибки нижче рівня інструментальної

2. На діючих макетах частотоміра коінциденції та вимірювального перетворювача частоти в код проведені експериментальні дослідження, які показали, що розроблені вимірювачі частоти здатні одночасно вимірювати частоту і точно і швидко, завдяки новому підходу до визначення частоти.

3. Проведено додаткові порівняльні дослідження саме цифрових методів обробки сигналів для вимірювання частоти, та встановлено перевагу запропоновано методу коінциденції, який забезпечує найкращі тактико-технічні характеристики сучасних РТС і ТКС під час вимірювання частоти сигналів із невідомим та обмеженим часом доступу.

4. Розроблено практичні рекомендації по застосуванню вимірювальних перетворювачів частоти за методом коінциденції в сучасних радіотехнічних та телекомунікаційних системах, для забезпечення суттєвого покращення їх тактико-технічних характеристик.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Троцишин І.В. Ієрархія цифрових методів вимірювання частоти та методологія їх застосування у радіотехнічних та телекомунікаційних с системах / І.В.Троцишин, ВТ.Кондратов, Л.В. Троцишина. // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах., – 2008. – №2. – С. 226–233.
2. Троцишин І.В. Утворення квантованих значень вимірювального перетворення на основі дробово–раціональної шкали вимірювань / І.В.Троцишин, О.П.Войтюк, Л.В. Троцишина. // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2009. – №1. – С. 12–20.
3. Л.В.Троцишина. Методи та засоби часових вимірювань за методом коінциденції / Л.В.Троцишина. // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2007. – №1. – С. 175–183.
4. Троцишина Л.В. Вимірювання частоти за методом коінциденції в радіотехнічних та телекомунікаційних системах / Троцишина Л.В // Матеріали 6–ої міжнародної молодіжної науково–технічної конференції “Современные проблемы радиотехники и телекоммуникаций РТ–2010”. – Севастополь, 2010. – С.94.
5. Троцишин І.В. Вимірювання та перетворення фазочастотних параметрів радіосигналів / І.В. Троцишин. – Хмельницький : ПП Ковальський В. В., 2002. – 382 с.
6. Троцишин І.В. Вимірювання частоти електричних та радіосигналів: - ілюзії та реальність (чому та звідки беруться “парадокси” і шляхи їх усунення) .І.В.Троцишин // Метрологія та вимірювальна техніка (Метрологія–2006) : матеріали V–ї міжнародної науково–технічної конференції. – Харків, 2006. – С.235 – 240.
7. Троцишин І.В. Концепція фазочастотного підходу та дробово–раціональна шкала частотних вимірювань – основа теорії фазочастотних вимірювань та перетворень радіосигналів / І.В. Троцишин // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2008. – № 1. – С. 7–21.
8. Измерения в электронике : справочник / В. А. Кузнецов [и др.] ; под ред. В. А. Кузнецова. – М. : Энергоатомиздат, 1987. – 512 с.
9. CNT–91 & CNT–90 50ps&100ps Timer/Counter/Analyzers.[Електронний ресурс]. – Режим доступу:// www.pendulum-instruments.com/pdf/.../12-pd_cnt-90_rev15_200906.pdf.
10. Fundamentals of the Electronic Counters . Application Note 200. Electronic Counter Series. Hewlett–Packard Co.[Електронний ресурс]. – Режим доступу://[http/ www. Agilent.com](http://www.Agilent.com). Agilent Technologies, Undertanding Frequency Counter Specifications.

Надійшла до редакції 10.11.2010р.

ТРОЦИШИНА Л.В. – магістр, викладач кафедри радіотехніки та зв’язку, Хмельницький національний університет, м. Хмельницький, Україна.