

interval autocorrelation of probing signals while synthesis of the corresponding transient response of the matched filter potentially increases the degree of recognition.

Conclusion

The presence of an additional modulation of the radio signals, in any case, increases the noise immunity and the degree of recognition. As the result of the study, the gain can range from several times to several tens of times. However, the deterministic nature of the modulation of these components requires additional processing algorithms, namely the constant (dynamic sounding out period) adaptation of the transient response of the matched filter in the receiver. It should be noted that in this approach the potential recognition signals are also limited, but not their duration, and bandwidth of the receiver and the laws of distribution of components in the fluctuation amplitude and phase envelopes.

Literature

1. Вамберский М.В. Передающие устройства СВЧ: Учебное пособие для радиотехнических спец. вузов / М.В. Вамберский, В.И. Казанцев, С.А. Шелухин. – М.: Высш. шк., 1984. – 448 с.
2. Кравченко Ф. Алгебра логики, атомарные функции и вейвлеты в физических приложениях / Ф. Кравченко, В.Л. Рвачев. – М.: ФИЗМАЛИТ, 2006. – 416 с.
3. Соколов А.В. Вопросы перспективной радиолокации. Коллективная монография / Соколов А.В.. – М.: Радиотехника, 2003 – 512с.
4. Шинкарук О.М. Обробка радіолокаційних сигналів з урахуванням внутрішньоімпульсних фазочастотних нестабільностей / О.М. Шинкарук, І.І. Чесановський // Зб. наук.пр. Військ. ін-ту Київського нац. ун-ту ім. Тараса Шевченка / за ред. С. В. Ленкова. – Вип. № 17. – К.: ВІКНУ, 2009 с. 89-92.
5. Чесановський І.І. Трансформування функції невизначеності радіосигналів з урахуванням внутрішньоімпульсної фазочастотної нестабільності / І.І. Чесановський // Зб. наук. пр. Нац. акад. Держ. прикордон. служби України ім. Б. Хмельницького / за ред. В. О. Балашова. – Хмельницький: НАДПСУ, 2009. – № 50. с. 58-62.

Надійшла до редакції
3.3.2012 р.

УДК.621.324

І.В. ТРОЦИШИН, О.П. ВОЙТЮК, Н.І. ТРОЦИШИНА

Хмельницький національний університет

КВАНТОВА ТЕОРІЯ ВИМІРЮВАНЬ: ПРИНЦИПИ ТА МЕТОДИ ВИМІРЮВАЛЬНОГО ПЕРЕТВОРЕННЯ АМПЛІТУДНИХ ТА ФАЗОЧАСТОТНИХ ПАРАМЕТРІВ РАДІОСИГНАЛІВ

Стаття присвячена опису методології та принципів нового напрямку у теорії і практиці вимірювань – квантовій теорії вимірювального перетворення фізичних величин, яка вперше дозволила зняти принципове обмеження і одночасно підвищити і точність і швидкодню вимірювань, у **10-100** разів, за рівних умов технологічного рівня елементів. Розроблено ат запропоновано методологію та принципи побудови ЦАП і АЦП нового покоління із програмованою архітектурою та параметрами шляхом використання Атенуатора – подільника Троцишина, та його модифікацій, на основі принципів коінциденції.

Article describes the methodology of a new direction in theory and practice of measurement – quantum theory of measuring conversion of physical quantities, which first allowed to remove the fundamental limitations and simultaneously increase the speed and accuracy and measurement times of 10-100, with equal technological level elements. A proposed in JSC methodology and principles of DAC and ADC's new generation of programmable architecture and parameters by using attenuator – Trotsyshyna divider, and its modifications, based on the principles coincidence.

Ключові слова: квантова теорія вимірювального перетворення фізичних величин, атенуатор-подільник Троцишина, методологія та принципи побудови ЦАП і АЦП нового покоління

Вступ

Будь яка сучасна система оброблення інформації використовує ЦАП і АЦП перетворення які є обов'язковими елементами що пов'язують аналогові та цифрові засоби і системи. Існуючі ЦАП і АЦП побудовані на принципах двійкової арифметики і поділяються на дві групи: паралельної і послідовної дії, та відповідно використовують структури з подільників R-2R (послідовної дії), або подільника Кельвіна (паралельної дії). Сучасна вимірювальна техніка, метрологія та приладобудування мають принципове обмеження і в рамках сучасних уявлень принципово не допускають одночасного підвищення і точності і швидкодії вимірювального цифрового перетворення.

В рамках теорії ФЧВ і ПР авторам проекту вдалося довести і практично досягнути значного збільшення (в 10-100 разів), і покращити суперечливий параметр **ТОЧНІСТЬ x ШВИДКОДІЯ ВИМІРЮВАНЬ** саме для фазочастотних параметрів радіосигналів [1-12].

Враховуючи, що в основі досягнутих унікальних результатів є заміна у використанні самої

“ідеології” до процедури вимірювального перетворення та поняття шкали вимірювання, як із цілими так і дробовими поділками, які опираються на квантовані значення матриці можливих вимірювальних значень [1-5].

Тому, очевидно є можливість створення єдиної теорії вимірювального цифрового перетворення фізичних величин для розв’язання принципової проблеми одночасного підвищення параметру ТОЧНІСТЬ x ШВИДКОДІЯ ВИМІРЮВАНЬ.

Предмет та об’єкт дослідження:

- Теорія та практика і метрологічні аспекти вимірювальних перетворень фізичних (електричних та неелектричних) величин;
- Процеси та процедури здійснення аналого-цифрового перетворення реальних значень фізичних (електричних та неелектричних) у вимірювальних приладах;

Метою дослідження – є створення єдиної теорії та методологічної системи нових, саме “ідеологічних”, підходів до розв’язання головної проблеми вимірювальної техніки і метрології: – одночасного підвищення і точності і швидкодії вимірювальних приладів різних фізичних величин (електричних та неелектричних).

Основна частина

Аксіомою є ті особливості, що для перетворювачів на основі R-2R кількість точок шкали двійкового перетворення буде визначатись як: $n_{R-2R} = 2^k$, де k – кількість ланок R-2R, або ж для 16 R-2R матриці: $n_{R-2R} = 2^k = 65536 \approx 64k$.

Для подільника Кельвіна із N_R послідовно включених резисторів однакового номіналу: $n_{Kelvin} = N_R$, або для $N=256$ резисторів $n_{Kelvin} = 256$. Значення $k = 16(n_{R-2R} = 65k)$ і $N = 256(n_{Kelvin} = 256)$ є практичними межами визначають відповідно діапазони шкал послідовного і паралельного перетворення, і породили постулат, що добуток швидкодії та точність (роздільну здатність = $1/n$ шкали) є величина постійна. Так для R-2R – технологічно неможливо забезпечити точність відхилення номіналів краще $d \leq 1/2^{15} \approx 0,03\%$, та рівнем шумів подільника. Для подільника Кельвіна, коефіцієнт ділення рівний N, і молодший розряд є на рівні шумів при $N > 256$, крім того кількість високоточних резисторів у 512 або 1024 технологічно знаходяться за межами інтегральних мікросхем. Структурні методи збільшення роздільної здатності (багатоканальні, багатозафазні, інтерполяційні тощо, або збільшення швидкодії (конвеєрні тощо) потребують мінімум в M разів збільшення кількості елементів перетворювачів.

Рациональним виходом із вказаного тупика створеного постулатом – точність x швидкодія = константа, є використання принципів Квантової теорії вимірювального перетворення (КТВП), яке найбільш наглядно демонструє Атенуатор-подільник Троцишина (АПТ) рис. 1 [8,9]. Так для АПТ_8R, характеристика перетворення з $n=22$ точки буде мати вигляд рис. 2.

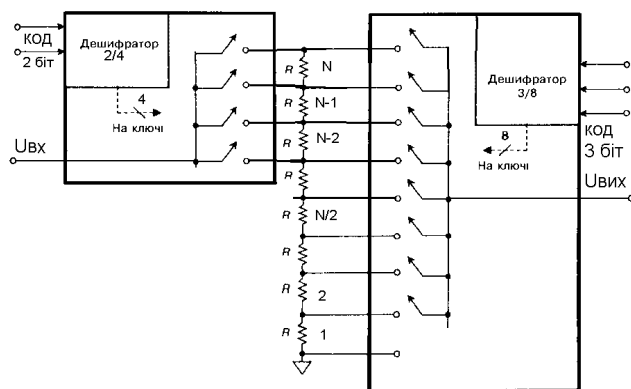


Рис. 1. Атенуатор-подільник Троцишина (АПТ)

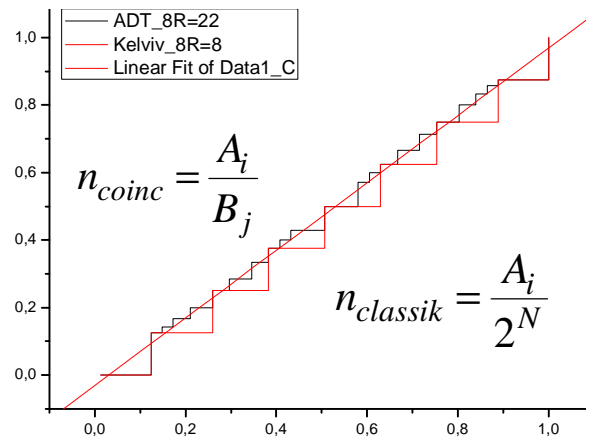


Рис. 2. Порівняння шкал перетворення АПТ і класичної

В той же час подільник Кельвіна забезпечує передавальну характеристику Kelvin=8. Аналітично моделей вказаних перетворень приведено на рис. 2.

Особливо вражаючі результати дають модифікації АПТ які отримали назви: (супер, дельта-сігма, комбі) $n_{super_8} = 166$, $n_{D_S_8} = 169$, $n_{comby_8} = 247$, характеристики приведено на рис. 3 разом із моделями. Цікавою є залежність кількості квантових точок для методу коінциденції залежно від розрядності представлення результату [7-12].

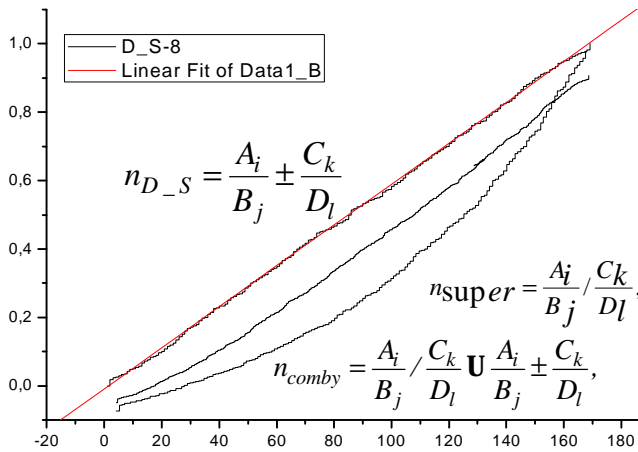


Рис. 3 Порівняння шкал перетворення КТВП

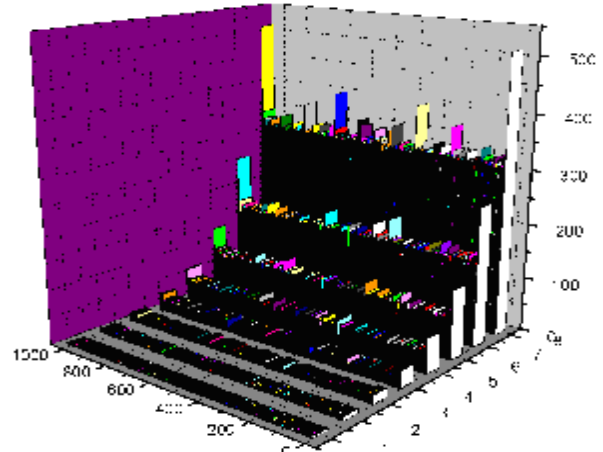


Рис. 4. Динаміка зростання точок шкали коінциденції

В основі методології побудови Квантової теорії вимірювань (КТВ) лежить принцип що значення цифрової шкали вимірювального перетворення визначаються набором всіх можливих (квантованих) значень, які можуть бути реалізовані за даного порівняння багатозначної міри і багатоступінчастого подільника вхідної величини – так званий метод коінциденції, а не на підставі інших шляхів, наприклад, вибору двійкової шкали, рівномірності кроку квантування, лінійності шкали тощо. Такі (класичні) методи вимірювань забезпечують певну зручність у використанні результатів, натомість значна кількість квантованих значень які можуть бути отримано при використанні тих же зразкових елементів не використовуються, що в багатьох випадках призводить до втрати як роздільної заданості так швидкодії вимірювального перетворення в 10-100 разів, і в багатьох випадках призводять до парадоксів. Рациональним виходом із вказаного тупика створеного постулатом – точністьшвидкодія = константа, є використання принципів Квантової теорії вимірювального перетворення (КТВП), яке найбільш наглядно демонструє Атенуатор-подільник Троцишина (АПТ). Квантовий підхід до вимірювання амплітудних параметрів реалізується шляхом побудови Атенуатора-подільника Троцишина (АПТ), який полягає у використанні кодокерованої комутації точок проміжних з'єднань лінійки N послідовно з'єднаних резисторів однакового номіналу, в якій на верхній (крайній вивід лінійки резисторів) подається вхідна напруга, а нижній (крайній вивід лінійки резисторів) підключено до спільного виводу атенуатора-подільника (подільника Кельвіна), відрізняється тим що, для збільшення кількості квантованих точок вихідних значень шкали АП, до значень більших за N (подільника Кельвіна), вхідний сигнал кодокеровано подається на виводи (точки з'єднання) починаючи з верхньої N і наступних вниз до N/2, при цьому комутація вхідної напруги на верхній вивід N реалізує класичну шкалу перетворення із N значеннями, а використовуючи наступні проміжні точки N-1 і до N /2 отримуюмо, окрім наявних N, ще додаткові квантовані значення шкали перетворення

$$N_i = \text{mod}_{\leq 1,000} \left\{ \frac{A_j}{B_k} \right\}, j, k \in 1 \div N \text{ [9].}$$

Таблиця 1

Порівняльні характеристики АПТ і АП Кельвіна

Кількість резисторів NR (N АП Кельвіна)	2	4	8	16	32	64	128	256	1024
Кількість квантованих точок шкали АПТ	2	6	22	80	324	1260	5022	19948	318964
Приріст квантованих значень	0	2	14	64	292	1196	4894	19692	317940
Виграш	1	1,5	2,75	5	10,1	19,6	39,0	77,92	311,5

Встановлено, що при використанні методу коінциденції кількість квантованих значень шкали ЦАП-АЦП значно більша ніж прийнято використовувати у класичних двійкових перетворювачах. Із збільшенням розрядності Атенуатора-подільника Троцишина роздільна здатність збільшується у степеневій залежності в порівнянні із подільником Кельвіна із однаковими кількостями резисторів.

Використання квантового підходу на основі подальшого розвитку методу коінциденції методів дозволяє покращити роздільну здатність і набути можливості програмувати характеристику шкали вимірювального перетворення. Так для АПТ_8R, характеристика перетворення з n=22 точки буде мати вигляд рис. 5.а для АПТ_16R кількість точок буде згідно табл. 1 складати вже 80 [3,4].

Подальше зростання кількості точок КШВП наглядно демонструє на прикладі саме АПТ_8R множина значень для кожного із методів рис. 6.

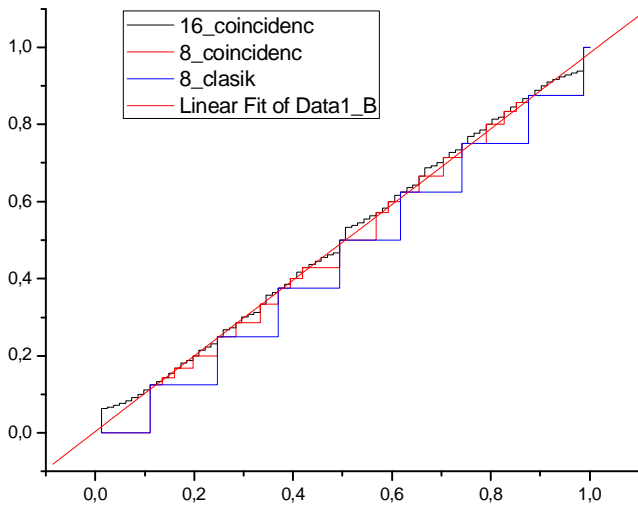


Рис. 5. Порівняння шкал АПТ_8R, АПТ_16R і класичної

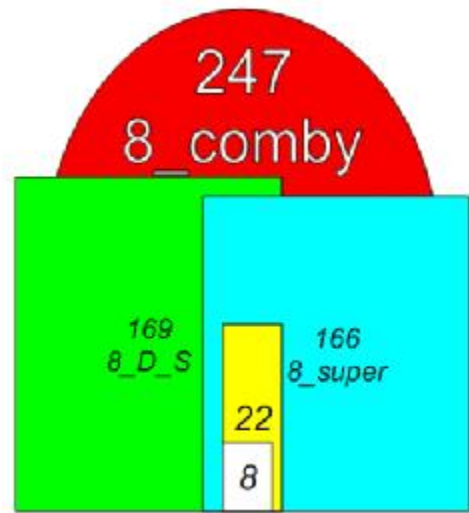


Рис. 6. Зростання кількості точок КШВП АПТ_8R

Питання одночасного підвищення і точності і швидкої вимірювання фізичних величин найбільш наглядно проявляється під час вимірювання частоти за методом коінциденції, який був практично підтверджений на макетах частотоміра та вимірювального перетворювача рис. 7. Рівень співвідношення характеристик розроблених вимірювачів частоти у порівнянні із сучасними приладами дає рис. 8 [2].



Рис. 7. Частотоміри коінциденції

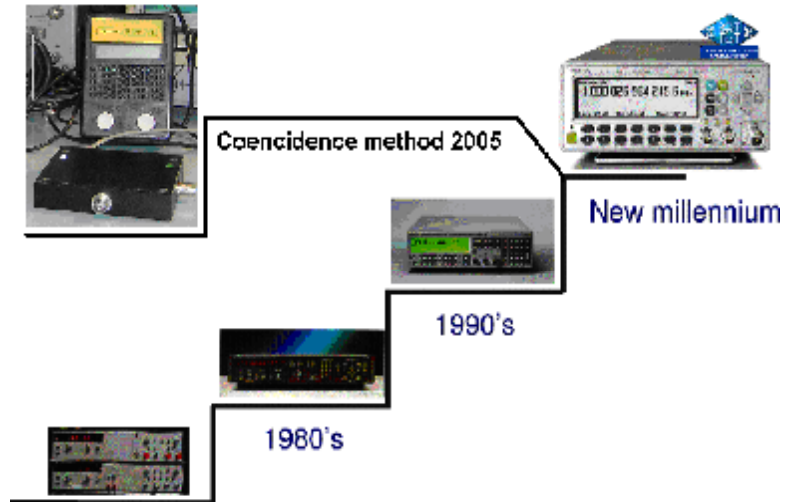


Рис. 8. Місце частотоміра коінциденції в тенденціях світових розробок

Для підтвердження того, що метод має найкращі параметри точності та швидкодії приведемо порівняльні характеристики частотоміра коінциденції із класичними методами вимірювань та їх представниками (рис. 9) і порівняння саме за параметрами точність x швидкодія із найкращим «у світі» CNT-90 рис. 10.

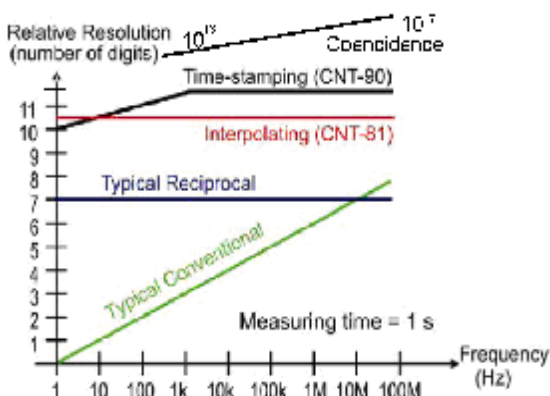
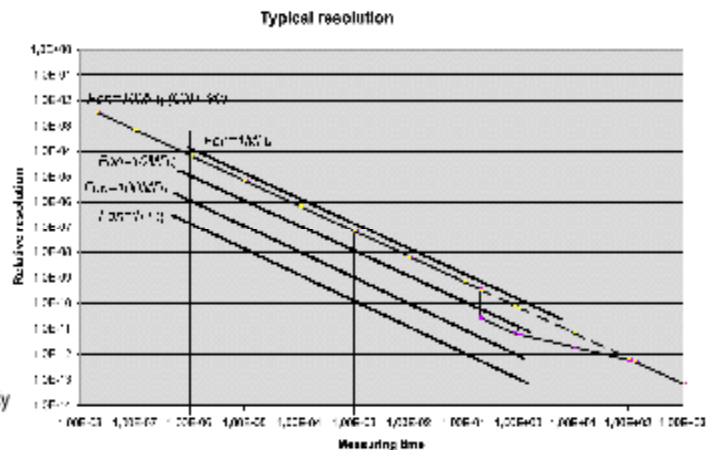


Рис. 9. Порівняння методів вимірювання частоти



Вперше для випадку вимірювання частоти вдалося досягнути роздільної здатності (точності вимірювань) в одиниці Гц, для сигналів 1-10 МГц при часі доступу до сигналів всього одиниці мілісекунд, тоді як згідно класичних методів час доступу повинен бути 1 Гц за 1 секунду (рис. 10) [1-12].

Виграш методу коінциденції над іншими відомими цифровими методами можливо оцінити як:

$$B = \frac{d_{\text{фклас}}}{d_{\text{фкоін}}} = \frac{3}{\left(\frac{2}{T_{\text{вим}} f_{\text{он}}}\right)^2} = \frac{3}{4} \cdot f_{\text{он}} T_c = \frac{3}{4} \cdot N_{\text{он}} = 3 \cdot 2^{n_{\text{он}} - 2}$$

Об'єднуючим для розглянутих вимірювань амплітудних та фазочастотних параметрів саме радіосигналів, так як час доступу до сигналу найменший із можливих, є їх ієрархічна будова, яка показує як і потенціальні можливості кожного із них. Якщо для вимірювання амплітуди (рис. 11а) методи збільшення родільної здатності потребують комбінацій методу коінциденції, то для випадку вимірювання частоти (рис. 11.б), вказані переваги вже проявляються для звичайного вимірювання за методом коінциденції.

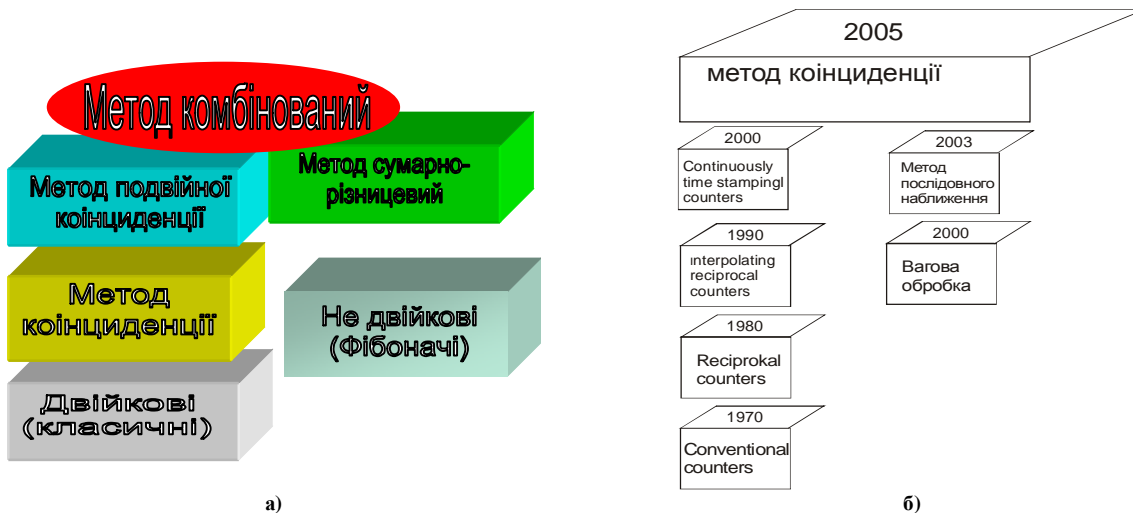


Рис. 11 Класифікація сучасних ієрархій методів вимірювання амплітуди та частоти

Відмінними рисами ідеологічного підходу, який названо Квантова теорія вимірювального перетворення (КТВП) є наступні вихідні позиції загально філософського розуміння проблеми пізнання світу:

Питання точності та швидкодії вимірювань є основним питання теорії вимірювань та теорії інформації, а з технічної чи технологічної точок означає: той хто в повній мірі досяг вказаного покращення є лідером у науково-технічному прогресі та економічній (військовій) могутності країни. Адже очевидним є той факт, що у класичних методах вимірювань однозначно відзначено: – що добуток вказаних параметрів є величиною постійною, звідки на практиці маємо: – або збільшення точності вимірювань при збільшенні часу вимірювань (зменшення швидкодії); або ж, навпаки: – швидкі вимірювання виконуються із значними похибками, і лише класичні методи стверджують, що саме так і повинно бути? !.

Висновки

Вперше отримано глибоке наукове і філософське обґрунтування принципово нових знань та встановлення закономірностей утворення Повної вимірювальної шкали, концептуальних засад наявності у природі квантованих значень матриці можливих числових станів вимірюваних параметрів при визначеному алгоритмі аналого-цифрового перетворення. Створено єдину квантову теорію, вимірювального перетворення фізичних величин, та розроблено принципи і методологію побудови приладів і суттєвим покращенням параметру ТОЧНІСТЬxШВИДКОДІЯ ВИМІРЮВАНЬ та інших метрологічних характеристик, у порівнянні із тими, що є тепер.

Розроблена КТВП і прилади та вимірювальні перетворювачі побудовані на її основі є вищим рівнем ієрархії (з чотирма рівнями), де класичні методи є найнижчим (примітивним) рівнем, який входить у всі рівні вищої ієрархії, і дозволяє одночасно покращити параметр ТОЧНІСТЬxШВИДКОДІЯ ВИМІРЮВАНЬ вимірювання фізичних величин, який для «класики» є величиною постійною, тобто, жоден із класичних методів реалізованих на одному і тому ж технологічному рівні не може скласти будь яку конкуренцію, адже він є мінімальним рівнем розроблених методів КТВП.

Використання принципів КТВП із використанням АПТ дає можливість одночасно збільшувати і точність і швидкодію ЦАП і АЦП, у порівнянні із двійковими у $\sim 2^{k-2}$ (для методу коінциденції), або ж навіть у $\sim 2^{2k-4}$ (для дельта-сігма, супер, комбі). Як наслідок практичного застосування FLESH_256 можливо реалізувати всього на двох АПТ_10R, а роздільну здатність у 2^{-18+19} забезпечують лише два АПТ_64R, що недосяжно будь якими іншими методами.

Найбільш ефективними будуть інвестиції у створення і освоєння серійного випуску універсальних МІКРОСХЕМ ПРОГРАМОВАНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ЦАП-АЦП на одному кристалі, які зможуть витіснити із ринку багатотисячну номенклатуру класичних ЦАП і АЦП, які необхідно кожен раз підбирати для конкретної розробки, і принципово не допускають не лише перепрограмування, а і одночасного збільшення, і точності (роздільної здатності) і часу вимірювально перетворення.

Література

1. Троцишин І.В. Утворення квантованих значень вимірювального перетворення на основі дробово-раціональної шкали вимірювань / І.В.Троцишин, Л.В.Троцишина, О.П.Войтюк // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2009. – № 1. – С. 12-20.
2. Троцишин І.В. Напрямки квантової теорії вимірювального перетворення фізичних величин на основі єдиної дробово-раціональної шкали вимірювань / І.В.Троцишин // Вісник ХНУ. – 2011. – № 1. – Техн. наук. – С.196-201.
3. Троцишин І.В. Шляхи підвищення роздільної здатності шкали вимірювального перетворення ЦАП і АЦП / І.В.Троцишин, О.П.Войтюк, Н.І.Троцишина // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах.. – 2010. – № 2. – С236-242.
4. Троцишин І.В. Реалізація принципів квантової теорії вимірювань амплітудних параметрів сигналів на прикладі Атенюатора-подільника Троцишина / І.В.Троцишин // Вісник ХНУ. – 2011. – № 2. – Технічні науки. – С.213-223.
5. Троцишин І.В. Квантова теорія вимірювального перетворення – принципово нові можливості в методології побудови ЦАП і АЦП / І.В.Троцишин, О.П.Войтюк // Вісник ХНУ. – 2011. – № 4. – Технічні науки. – С.264-271.
6. Гула О.І. Розробка методу вимірювання фазових зсувів / Гула О.І., І.В.Троцишин, О.П.Войтюк // Вісник ХНУ. – 2011. – № 5. – Технічні науки. – С.159-162;
7. Троцишин І.В. ЦАП і АЦП нового покоління на принципах квантової теорії вимірювального перетворення: технічні характеристики та порівняння / І.В.Троцишин, О.П.Войтюк // Вісник ХНУ. – 2011. – № 5. – Технічні науки. – С.207-217.
8. Ivan.V. Trotsyshyn ATTENUATOR-DIVIDER OF TROTSYSHYN AS A REPRESENTATIVE OF PRINCIPLES OF QUANTUM THEORY OF AMPLITUDE SIGNAL PARAMETERS MEASUREMENT / I. V. Trotsyshyn // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах.. – 2011. – № 2. – С36-43.
9. Троцишин І.В. Атенюатор-подільник Троцишина. / Заявка на патент України, а 2011 026672 пріоритет 09.03.2011.
10. Троцишин І.В. Квантовая теория измерительного преобразования на примере SUPER_ADC / Троцишина Н.И., Кот А.В., Войтюк О.П., Бех С.В., Троцишин І.В // Материали 7-ой Международной молодежной научно-технической конференции «Современные проблемы радиотехники и телекоммуникаций РТ-2011», 11 – 15 апреля 2011 г., Севастополь, С.276-277.
11. Троцишин І.В. Квантова теорія вимірювань: принципи та методи вимірювального перетворення амплітудних параметрів сигналів / Троцишин І.В // Матеріали V ої Міжнародної науково-технічної конференції "Сучасні проблеми радіоелектроніки, телекомунікацій та приладобудування СПРТП-2011», 19 – 21 травня 2011 року, м. Вінниця. С.143-144.
12. Attenuator-divider of Trotsyshyn as a representative of principles of quantum theory of amplitude signal parameters measurement / I. Trotsyshyn, L. Trotsyshyna, N. Trotsyshyna // Матеріали V ої Міжнародної науково-технічної конференції "Сучасні проблеми радіоелектроніки, телекомунікацій та приладобудування" СПРТП-2011, 19 – 21 травня 2011 року м. Вінниця. С.145-146.

Надійшла до редакції
21.02.2012.