

ТЕОРІЯ ТА ПРАКТИКА ФАЗОЧАСТОТНИХ ВИМІРЮВАНЬ І ПЕРЕТВОРЕНЬ РАДІОСИГНАЛІВ І НОВІТНІ ПРИНЦИПИ ТА МЕТОДОЛОГІЯ ПОБУДОВИ ЦАП-АЦП НОВОГО ПОКОЛІННЯ

Приведено унікальні можливості застосування методу шкали коінцидентності (подвійного спів падіння) для вирішення принципового питання одночасного підвищення і точності і швидкодії вимірювального перетворення як фазочастотних так і амплітудних параметрів радіосигналів. Представлено обґрунтування принципів та методологій застосування на прикладі вимірювання і формування радіосигналів із унікальним набором параметрів, які не можуть бути досягнуті в рамках сучасних (класичних) методів вимірювань. Розглянуті принципові етапи створення та становлення Квантової теорії вимірювального перетворення та вказано на перспективи застосування.

Ключові слова: квантова теорія вимірювального перетворення, шкала відношень, метод коінцидентності, аттенуатор-подільник Троцишина.

I.V. TROTSYSHYN, H.Yu. SHOKOTKO, N.I. TROTSYSHYNA, E.V. USHKEVICH

Odessa National Academy of Telecommunications

O.P. VOITYUK

O.S. Popova¹, Khmelnytsky National University

THEORY AND PRACTICE PHASE-FREQUENCY RADIO SIGNAL MEASUREMENTS AND TRANSFORMATIONS AND NEW PRINCIPLES AND METHODOLOGY CONSTRUCTION DAC-ADC NEW GENERATION

Powered unique features of the method coincident scale (dual match) to address fundamental issues simultaneously increasing speed and accuracy of measuring and converting a phase-frequency and amplitude parameters of radio signals. Presented study of principles and methodologies for use in case of measuring radio and the formation of a unique set of parameters that can not be achieved under current (classical) measurement methods. The principles and stages of formation of the quantum theory of measuring conversion and indicated the prospects of application.

Keywords: quantum theory of measurement conversion scale ratios, the method coincidence, attenuator-divider Trotsyshyna.

Вступ

Початковим пунктом виникнення, створення та подальшого розвитку теорії та практики фазочастотних вимірювань та перетворень радіосигналів став той принциповий факт, що вперше було однозначно доведено, що в галузі вимірювання частоти та кута фазового зсуву використовуються моделі, які неадекватні до реальних сигналів, що не лише не дозволяє одночасно підвищувати точність та швидкодію вимірювань, а в багатьох випадках призводить до грубих помилок(промахів), які в рамках класичної теорії називають парадоксами.

В рамках розробленої теорії фазочастотних вимірювань та перетворень радіосигналів (ФЧВ і ПР), нам вдалося не лише довести неадекватність класичних підходів та моделей, але і запропонувати принципово новий - фазочастотний підхід, який не лише вільний від вказаних недоліків, а відкриває нові, досі невідомі можливості не лише в галузі вимірювань, а також теорії інформації, теорії сигналів, тощо.

Стан проблеми та її розв'язання

Коротко суть полягає в тому, що частота визначається як похідна від повної фази ($\omega(t) = d\Psi(t)/dt$), а всі вимірювальні прилади, реалізують алгоритми накопичення (тобто інтегрування), що є операцію оберненою до знаходження похідної. Таким чином, очевидно що $d/dt \neq \int dt$, але десятки років прилади вимірювали те, чого в принципі не існує в природі (частоту - група Ч, фазовий зсув - група Ф). На сучасному етапі виявилось, що навіть суперсучасні прилади, які мають високі метрологічні характеристики стрімко їх втрачають, коли час доступу до сигналу зменшується, або коли він апіорі невідомий, тим більше коли сигнали мають модуляцію - тобто є радіосигналами (або в трактуванні авторів - такими в принципі є всі реально існуючі сигнали). Класичний підхід пояснити ці явища не може, так як використовує ідеалізовані моделі (синусоїда від $-\infty$ до $+\infty$), що є абсолютною абстракцією, але лише для таких моделей $d/dt \cong \int dt$, і звідси всі проблеми. Більше того, бажання використовувати спрощенні моделі, зручні методи гармонічного аналізу, призвели до катастрофічної помилки саме в теорії вимірювань, коли єдину шкалу вимірювання Повного фазового зсуву (ПФЗ) (Рис.1), було розділено на дві окремі: частотну (група Ч), і фазову (група Ф), які відображають в першому наближенні цілу та дрібну частину єдиної шкали. Таким чином, зрозуміло в чому причини та проблеми вимірювання саме фазочастотних вимірювань, а не вимірювання частоти та фази у класичному розумінні,

яких для реальних сигналів не існує.

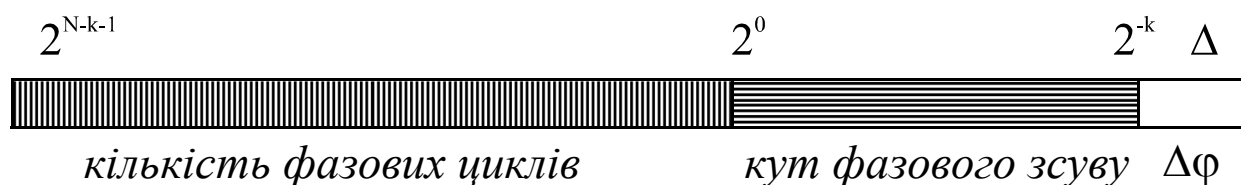


Рис.1 Єдина шкала вимірювання Повного фазового зсуву (ПФЗ)

За результатами досліджень було випущена монографія "Вимірювання та перетворення фазочастотних параметрів радіосигналів" І.В.Троцишин, -2002, -384с., отримано більше 10 патентів (в тому числі 6 на способи), опубліковано більше 100 наукових статей. Але, як з'ясувалось, запропонована Теорія ФЧВ і ПР, яка базується на концепції фазочастотного підходу до проблеми вимірювання "частоти" та "фази" електричних сигналів виявилась навіть не "технологічним", а "ідеологічним" науковим напрямком у галузі виміральної техніки, а конкретно, саме фазочастотних параметрів.

Нова теорія, на жаль, для багатьох вчених "старої школи" є "революційною", оскільки з неї слідує, що в класичній вимірвальній апаратурі групи Ч та групи Ф використовуються квазігармонічні моделі, які при зменшенні часу доступу до сигналу, або апіорі невідомому його існуванню, або коли одночасно змінюються і частота і фаза, взагалі стають непрацездатними, а "промахи" - наука класичних вимірювань назвала парадоксами, і вперто продовжує боротьбу із ними технологічними методами (за кордоном провідні фірми вкладають десятки мільярдів, щоб за рахунок субмікронних технологій підняти тактові частоти елементної бази з 5-7 ГГц, а теоретична межа вже не за горами і сягає 10-12 ГГц).

Тому, принциповим є обмеження одночасного підвищення точності і швидкодії не лише вимірювання але і формування та перетворення сигналів.

В чому ж суть нового підходу, і що він дає для виміральної техніки, економіки і людства взагалі?

По-перше, ми не лише відмовилися від класичних уявлень, а і встановили і довели, що для реально існуючих сигналів (які об'єднано у загальний клас і названо радіосигналами), що мають початок і кінець, і всі вони мають принципові відмінності від ідеальної "синусоїди". Так, для них не існує поняття "частота" і "фазовий зсув", у їх класичному розумінні яке регламентується ГОСТами, ДСТУ, так як, ці параметри, як уже вказувалось, вводяться і "існують" лише для ідеальних сигналів (синусоїда без початку та кінця), а це є абсолютна ідеалізація. Тому, "частота" і "фаза" - реально не існують, і не можуть бути виміряні, для сучасних реальних сигналів, що наглядно демонструє простий приклад: жодним прецизійним частотоміром неможливо виміряти із зазначеною точністю приладу носійну мобільного телефону, навіть в активному режимі, тим більше в режимі чекання, аналогічні проблеми при вимірюванні параметрів ЧМС, тощо.

Теорія є завершеною, оскільки охоплює не лише аналіз (вимірювання), але також і синтез (формування та перетворення) фазочастотних параметрів радіосигналів (рис.2).

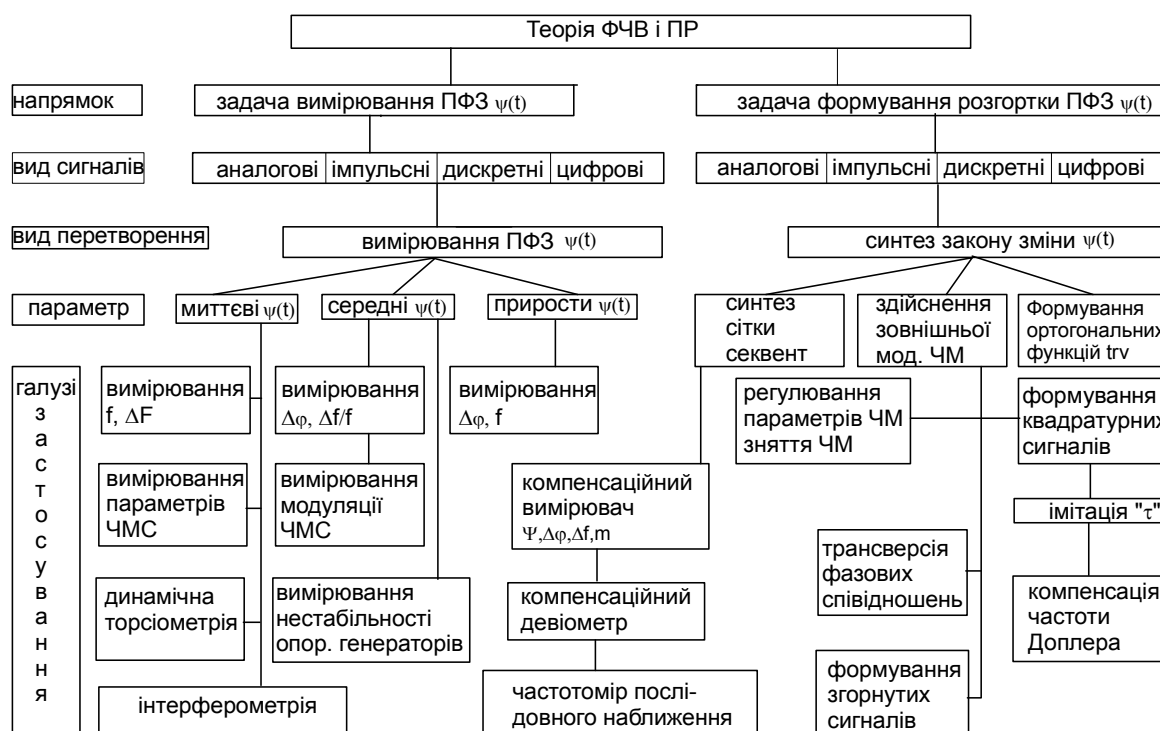


Рис.2. Узагальнена класифікаційна таблиця основних напрямків застосування теорії ФЧВ і ПР

Але нова теорія не відмовляється від "частоти" та "фазового зсуву", а встановлює причинно-наслідковий їх зв'язок та адекватне до реальних процесів визначення. Тому основу теорії ФЧВ і ПР складає твердження, що для реальних сигналів (радіосигналів) існує поняття повного фазового зсуву (ПФЗ) $\Psi(t)$, та похідної від нього $(d\Psi(t)/dt = \omega(t) = 2\pi f(t)$ - яка і є "миттєвою частотою", а аналізуючи поведінку зміни та екстремуми функції $\Psi(t)$ можна знайти всі відомі (а також нові) параметри як "частоти" так і "фази". Таке визначення не суперечить "класичним" визначенням, які будуть у нас граничним випадком, за умови що $\Psi(t) \in (-\infty \leq t \leq +\infty)$, а це вже ідеалізація.

Більше того, вимірювальні прилади, які ми розробили на основі нової теорії лише в самому крайньому випадку та при спрощенні схеми і функціональних можливостей дають відомі варіанти існуючих "класичних" методів та приладів, які є частковими випадками фазочастотного вимірювача (рис.3,4).



Рис.3 Частотоміри коінцидентії



Рис.4. Порівняння частотомірів при радіоімпульсних сигналах

Наприклад на тому ж технологічному рівні (швидкодії елементної бази, мікросхем) за рахунок зміни конфігурації (схеми прошивки) ми отримали синтезатори, які мають в два рази вищу вихідну частоту (а точніше секвентність), і менший фазовий ривок, (одночасно підвищено і швидкодію і точність). Така "ідеологічна дрібниця" може накоїти великих потрясінь. Адже, очевидним є, наприклад, якщо Analog Devises, в своїх виробках замінить "класичний накопичуючий суматор" (який використовується у всьому світі іншими фірмами: HP, Quellcom, Motorola, та інші "монстри" виробники радіоелектронної апаратури), тоді вона відразу на технологічному рівні $f_T = 8\Gamma\text{Гц}$ отримає $f_{\text{ВНХ}} = f_T = 8\Gamma\text{Гц}$ (в той же час всі інші будуть мати лише $f_{\text{ВНХ}} = f_T / 2 = 4\Gamma\text{Гц}$). Більше того, для відновлення економічного паритету "технологічним шляхом" конкурентам прийдеться освоювати тактові частоти $f_T = 16\Gamma\text{Гц}$, а це вже десятки мільярдів капіталовкладень у суперпрецизійне обладнання мікроелектроніки, нові матеріали, технології, апаратуру контролю, тощо, і декілька років праці, яка може не досягнути мети (адже існує межа розмірів елементів), і вийде, наприклад, $f_T = 13 - 15\Gamma\text{Гц}$ і відповідно: $f_{\text{ВНХ}} = f_T / 2 = 6,5 - 7,5\Gamma\text{Гц}$, а це вже скандал. Більше, того, наша теорія і принципи є "ідеологією", і особливих витрат не потребують, тому придбавши одну установку для виготовлення субмікронних мікросхем (або навіть самі мікросхеми) той хто володіє новим підходом відразу отримає $f_{\text{ВНХ}} = f_T = 13 - 15\Gamma\text{Гц}$ - тобто це означатиме порушення світового балансу на ринку синтезаторів (DDS).

До речі, аналогічна ситуація із приладами для вимірювання частоти (Ч), і фази (Ф), які також випускає той же HP (фірма зі світовим визнанням та десятильярдовими прибутками). Тому очевидним є те, що впровадження навіть лише найпростіших схемних рішень, які дає нова теорія, може "поставити на коліна" таких "монстрів" радіоелектронного обладнання, і тим самим порушити існуючий баланс економіки світу.

Передбачаючи вище наведені можливі наслідки, а також елементарна повага до себе як громадян Європейської країни (адже світ НАС рахує на рівні папуасів), ми вважаємо за доцільне насамперед надати можливість на Державному рівні впроваджувати вже зараз і негайно очевидні "ідеологічні" переваги нової теорії і поки світ ще "розкачується" розпочати випуск "ексклюзивної" продукції, яка буде поза конкуренцією, навіть на наших застарілих технологіях, наприклад НВО "Оріон", або "Сатурн", вимірювальної техніки на ВАТ "МЕРЕДІАН", які мають асенід-галієві технології та відповідне обладнання

$$z f_T = 4 - 6 \Gamma \Gamma \zeta.$$

Поки що, питання йде взагалі про вирішення глобального завдання збільшення випуску якісної продукції в одиницю часу, що з метрологічної точки зору, є нічим іншим як одночасним підвищенням швидкодії і точності.

Новітні принципи та методологія побудови ЦАП-АЦП нового покоління

В результаті серії наукових досліджень проведених в напрямку використання результатів отриманих для фази і частоти, було виконано узагальнення, яке отримало наукові результати, які не мають аналогів у світі, отримано наукове обґрунтування тастворено Квантову теорію вимірювального перетворення (КТВП), яка базується на фундаментальних принципах коінциденції, і вперше дозволило відкрити явище утворення додаткових квантованих точок на шкалі вимірювального ЦАП і АЦП.

Це дозволило отримати ОДНОЧАСНО збільшення і роздільної здатності (зменшення похибки) шкали вимірювального перетворення ЦАП-АЦП, при збільшенні швидкодії такого перетворення, яке сягає 10-100 разів, за однакової кількості зразкових елементів подільника (класичної шкали), типовим представником якої є ланцюжок резисторів однакового номіналу (Атенюатор-подільник Кельвіна).

Типові числові параметри зростання виграшу Атенюатора-подільника Троцишина (АДТ), у порівнянні із подільником Кельвіна приведено в таблиці 1, в залежності від кількості резисторів в ланцюжку.

Таблиця.1

Кількість резисторів NR (N АД Кельвіна)	2	4	8	16	32	64	128	256	1024
Кількість квантових точок шкали АДТ	2	6	22	80	324	1260	5022	19948	318964
Приріст квантових значень	0	2	14	64	292	1196	4894	19692	317940
Виграш по роздільній здатності	1	1,5	2,75	5	10,125	19,69	39,08	77,92	311,5

Мета: одночасне підвищення роздільної здатності та швидкодії вимірювального перетворення

ПРОБЛЕМА: ЦАП і АЦП перетворення (в тому випадку і вимірювальні) складають 80% (95% відповідно) всіх видів сучасного електронного обладнання яке використовується у світі. Випускається щорічно величезна 10 - 100 мільйонів мікросхем ЦАП і АЦП більш ніж 20 виробниками, але всі вони використовують відомі методи вимірювального перетворення, для якого ПРИНЦИПОВИЙ параметр добуток «точність перетворення X швидкодія перетворення» є КОНСТАНТОЮ: тобто, або досить точно (1/1000 -1/1000000) але повільно (10 - 100нс 1мкс.), або ж досить швидко: 1нс і менше, але з із невисокою точністю (1/200 – 1/400). Єдиним шляхом, який веде до покращення «добутку» є ТЕХНОЛОГІЧНИЙ рівень розвитку мікроелектроніки (зменшення топологічних розмірів елементів мікроелектроніки (20 - 40нм)), що потребує значного подорожчання виробів, в 10-100 разів, для покращення в 2-3 рази (максимум), але вже досягнута ТЕХНОЛОГІНА МЕЖА мікроелектроніки, а НАНО- електроніка поки що не має відповідних технологій.

В той же час, як виявлено нашими дослідженнями і ПРАКТИЧНИМИ реалізаціями ЦАП і АЦП встановлено, що на відміну від ТЕХНОЛОГІЧНОГО (інструментального обмеження), людство чомусь не використовує можливості «УСУНУТИ» наявні МЕТОДИЧНІ обмеження, які введені «класичними принципами та відомими методами» побудови ЦАП і АЦП. А їх «інформаційна потужність» співвідноситься як енергія від спалювання 1кг водню («класика»), і хоча в той же час «термоядерна реакція» того ж 1кг водню, дасть в 100 - 1000 раз більше енергії: - таке оригінальне порівняльне використання «класики» і КВАНТОВИХ вимірювальних перетворень.

Тим більше, завдяки наявній НАДЛИШКОВОСТІ квантових вимірювальних станів (замість примітивного кількості «класики»), з'являються НОВІ, які взагалі не можливі у «класичних» можливості, як наприклад побудова ЦАП-АЦП із програмованою характеристикою вимірювального перетворення (не лише за кількістю, але і за залежністю, а також і напрямком), в уже виготовленій МІКРОСХЕМІ!!!. Тобто вперше можливе програмування основних ХАРАКТЕРИСТИК не під час виготовлення (12, 14, 16 ти розрядних), а в уже «корпусованому» і «впаяному у схеми» виробі ЦАП-АЦП!!!. Їх значення: «Класика» - (КТВП), можливо зрівнювати як значення Геоцентричної (Папа Римський), і Геліоцентричної систем (Джордано Бруно), і якщо у питанні «польоту на Місяць », працюють обидва підходи, то про Марс і інші польоти за межі Земної орбіти «потрібно забути», таке ж і співвідношення Квантової теорії вимірювального перетворення (КТВП) і «класичних методів вимірювань».

Правда, відповідною до викладеної ситуації, також є і реакція сприйняття «класичними науковцями»: «такого бути не може, тому що не може БУТИ!». Але є і єдине «досягнення», це те, що вирішення питання «святої інквізиції» не такі фатальні, але досить ефективно «гальмують» впровадження нових можливостей, які відкриває КТВП, яка на нижчих технологічних рівнях «перевищує» можливості найсучасніших мікро та нано технологій, а його використання у передових мікроелектронних технологіях, на 10 - 100 раз покращить проблемні параметри, і надасть «унікальні можливості ПРОГРАМУВАННЯ у встановленому елементі!!!».

Вказаний новий підхід є ІДЕОЛОГІЧНИМ, тобто разом із прогресом ТЕХНОЛОГІЙ, його

використання у них, дасть таке ж якісне покращення процедур ЦАП – АЦП, а саме головне, він не потребує такої ж значної вартості затрат, і дозволить відкрити нові, навіть непередбачувані можливості Новітніх технологій КТВП, принципово покращить критичний параметр «швидкість x точність», у всіх системах із ЦАП і АЦП.

Варіант методології впровадження новітніх технологій.

1. Підхід: Теорія квантових вимірювальних перетворень та методи побудови АЦП та ЦАП амплітудних та фазочастотних параметрів радіосигналів із одночасним підвищенням роздільної здатності та швидкодії.

2. Принципи: Створення Квантової теорії вимірювань фазочастотних параметрів радіосигналів (теорія ФЧВ і ПР), а також КТВП на прикладі ЦАП і АЦП, шляхом використання принципу коінциденції, яка реалізує найпотужнішу із вимірювальних шкал: - шкалу відношень. Нові методи побудови вимірювальних ЦАП і АЦП для амплітудних та фазочастотних параметрів радіосигналів, які мають кращі (в рази) тактико-технічні характеристики, шляхом, створення методології програмованих мікросхем ЦАП-АЦП.

3. Результат (очікуваний): Встановлено, і практично доведено, що при використанні методу коінциденції кількість квантованих значень шкали вимірювального перетворення ЦАП-АЦП значно більша ніж прийнято використовувати у класичних двійкових перетворювачах, і дозволяє одночасно збільшувати і точність і швидкодію вимірювання як фазочастотних так і амплітудних параметрів радіосигналів, в 10-100разів, в аналогів: - добуток цих параметрів є константа. Будуть отримані ЦАП - АЦП із програмованими параметрами перетворення і покращення принципового обмеження «точність X швидкодія»

4. Терміни розробки

Проектування топології програмованих ЦАП-АЦП (2-3 місяці). 100тис. дол.

Проектування та виготовлення зразків мікросхем (2-3 місяця). 150-200тис. дол.

Порівняльні випробування (1 місяць) (рис: - Порівняння «класики» і АПТ для кількості всього 8 резисторів однакового номіналу!!!). 100тис.дол.

5. Ціна: Вартість виготовлення дослідної партії Інтегральних мікросхем (2000-5000 кристалів) кристалів на фірмах які виготовляють мікросхеми (AD, MELEXIS, або Китайських) лежить в межах 250-400 тис.доларів.

Права інтелектуальної власності: Принцип побудови ЦАП – АЦП нового покоління запатентований: (Троцишин І.В. Спосіб побудови атенюатора-подільника Троцишина. Патент України 100581. МПК (2013.01) G01R 15/00 G06G 7/16 (2006.01) G11C 8/00 H02M 3/06 ,(200),Опубліковано 10.01.2013, Бюл. № 1,), власник автор.

Перспективи подальших досліджень у новітньому напрямку вимірювальної (перетворювальної) техніки, та створення нових видів наукових продуктів

Використання більш складних алгоритмів побудови квантових шкал вимірювального перетворення, дало можливість забезпечити побудови вимірювальних перетворювачів ЦАП-АЦП із кількістю в 100000-500000 точок, при використанні АДТ_32_64R, що дозволяє створювати, вперше в світі, ЦАП і АЦП із ПРОГРАМОВАНОЮ ВИМІРЮВАЛЬНОЮ ШКАЛОЮ перетворення, і побудови нового класу Програмованих Аналогово-Цифрових Інтегральних Схем (ПАЦІС), які ідеологічно є аналогом, набувших масового розвитку ПЛІС (для цифрових мікросхем). Числові параметри квантових точок шкал, для порівняння із класичною шкалою, приведено в таблиці 2.

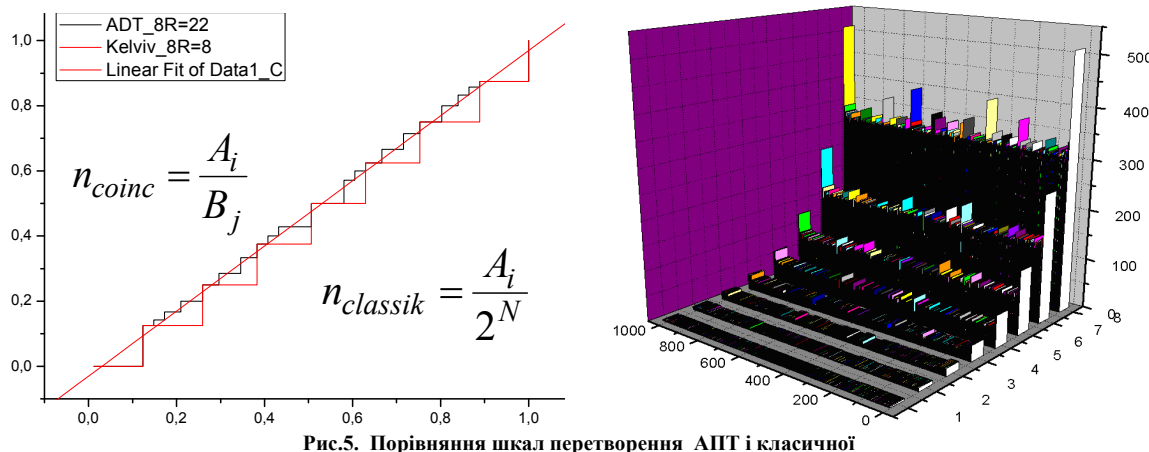
Таблиця 2

NR	n-шкалы N_D_S	n-шкалы N_Super	n-шкалы N_D_S + N_Super	n-шкалы N_comby	n-шкалы N_comby /n-шкалы N_D_S (приращ. значений)
2	3	3	6	4	1,333
4	13	17	30	22	1,69
6	45	56	101	76	1,68
7	117	128	245	176	1,50
8	169	166	335	247	1,46
10	325	276	601	460	1,415
12	725	568	1293	965	1,33
14	1445	1097	2542	1868	1,292
15	1749	1275	3024	2270	1,297
16	2141	1461	3602	2728	1,274
20	6029	3946	9975	7302	1,211
24	11525	7190	18715	13847	1,201
32	39413	21678	61091	44919	1,139
64	568295	270594	838889	630857	1,11

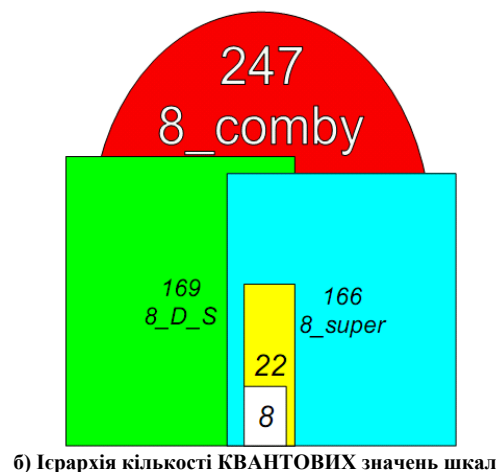
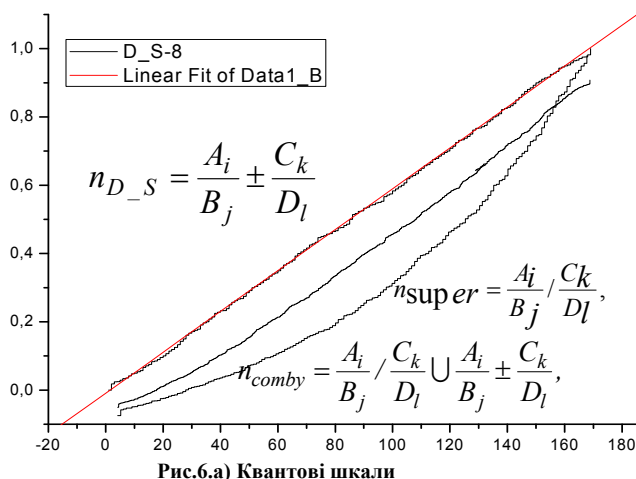
Практичне впровадження ПАЦІС дозволить не лише ліквідувати декількатисячну номенклатуру світового випуску ЦАП і АЦП із «жорсткими параметрами», замінивши їх універсальними програмованими мікросхемами, більше того, вперше надавши їм можливість ПРОГРАМУВАТИ та АДАПТУВАТИ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЕРЕТВОРЕННЯ в уже встановлених у виробі мікросхемах ПАЦІС, як це здійснюється в ПЛІС, які за 10 років, практично «ліквідували» дискретні цифрові елементи та пристрої на їх основі.

Встановлено, що при використанні методу коінциденції кількість квантованих значень шкали ЦАП-АЦП значно більша ніж прийнято використовувати у класичних двійкових перетворювачах. Із збільшенням розрядності Атенюатора-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.1а.



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.6а, разом із моделями вимірювального перетворення шкал.



Оцінка ефективності новітніх методів вимірювального перетворення

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.4). Ієрархія методів приведена на рис.7, а виграш методу коінциденції над іншими відомими цифровими методами можливо оцінити як:

$$B = \frac{\delta_{f_{\text{клас}}}}{\delta_{f_{\text{кконт}}}} = \frac{\frac{3}{f_{\text{он}} T_{\text{вим}}}}{\left(\frac{2}{T_{\text{вим}} f_{\text{он}}} \right)^2} = \frac{3}{4} \cdot f_{\text{он}} T_c = \frac{3}{4} \cdot N_{\text{он}} = 3 \cdot 2^{n_{\text{он}} - 2}.$$

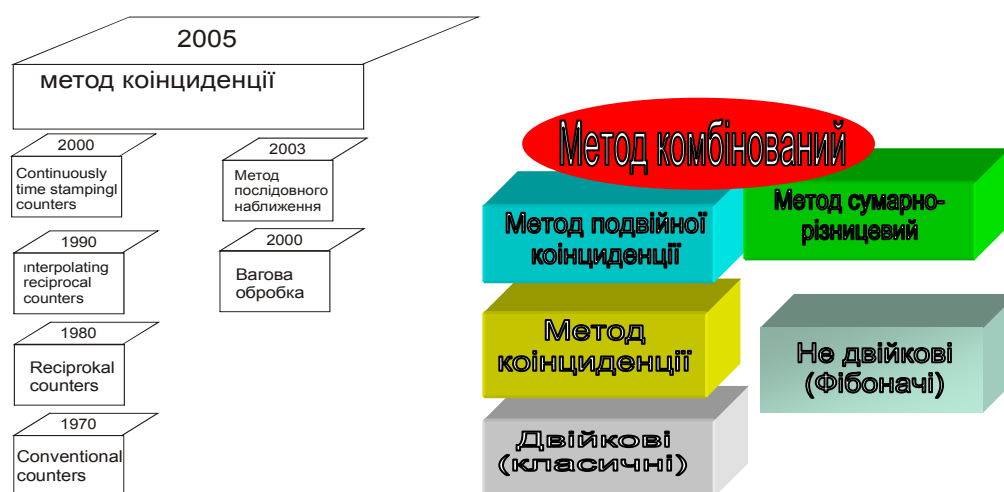


Рис.7 Класифікація сучасних ієрархій методів вимірювання частоти та амплітуди

Висновки

1. 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.

2. 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 величина постійна, 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.

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 вимірювального перетворення.

3. Новітні розробки в рамках теорії ФЧВ і ПР мають виключне значення не лише для галузі вимірювальної техніки, а є принципово новим підходом до розв'язання багатьох задач в радіолокації (усунення тіла невизначеності), швидкодійних системах наведення, пеленгації та протидії короткотривалих радіосигналів, а також в теорії сигналів, нових ортогональних базисів сигналів. Особливо перспективне їх впровадження у військовій техніці, а також системах контролю швидкоплинних прецизійних технологічних процесів.

4. Враховуючи, що всі положення нової концепції фазочастотного підходу до задач визначення, вимірювання і перетворення частоти радіосигналів в рамках теорії ФЧВ і ПР є новою ідеологією не лише в галузі вимірювальної техніки, а також і радіолокації, радіозв'язку, тощо. Так, наприклад, стає зрозумілою робота «альтиметра» і може бути усунута проблема «тіла невизначення», яке є прямим наслідком узгодження двох незалежних шкал (L, ν_p) , в той же час в рамках ФЧВ і ПР це $-(\Psi(t), d\Psi(t)/dt)$, таким чином причин для виникнення «невизначеності» немає.

5. В галузі радіозв'язку стає можливим розрізняти сигнали в 100-1000 разів швидше і точніше, таким чином робити їх більш короткотривалими, і відповідно передавати більшу кількість символів.

6. В глобальному масштабі теорія ФЧВ і ПР означає суттєве покращення параметра розвитку технократичного суспільства: - збільшення виробництва якісної продукції в одиницю часу (точність x швидкість).

Рецензія/Peer review : 7.1.2017 р. Надрукована/Printed :3.3.2017 р.
Стаття рецензована редакційною колегією