

МЕТОДОЛОГІЯ СТВОРЕННЯ ТА СТАНОВЛЕННЯ КВАНТОВОЇ ТЕОРІЇ ВИМІРЮВАЛЬНИХ ПЕРЕТВОРЕНЬ ЯК ПРЕДСТАВНИКА НОВІТНІХ ПІДХОДІВ ВИМІРЮВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ

Розглянуто історіографію основних вузлових моментів створення, становлення та перспективного розвитку теорії фазочастотних вимірювань та перетворень радіосигналів (ФЧВ і ПР). Встановлені нові особливості вирішення принципового обмеження вимірювальної техніки (класичної), яка полягає у принциповому протиріччі, неможливості одночасного підвищення і точності і швидкодії вимірювальних перетворень. На основі запропонованих адекватних реальним сигналам моделей радіосигналів вдалось довести і практично реалізувати вимірювачі частоти із розрізненням в одиниці Гц за час вимірювання менше 1 мілісекунди, для сигналів з частотами вище 1 МГц, що в 100-1000 разів краще ніж у існуючі вимірювачі провідних виробників. Розроблено і приведено узагальнену таблицю основних напрямків застосування теорії ФЧВ і ПР. Показано, як впровадження нових підходів привело до узагальненої теорії квантових вимірювальних перетворень, які можливі не лише для фазочастотних, а також і амплітудних параметрів, із принциповим визначення ключового підходу, який базується на методі коінцидентії. Приведено основні види наукових і технічних розробок, які сприяли створення принципово нових підходів, які дозволили одночасно підвищувати і точність і швидкодію вимірювань.

Ключові слова: вузлові моменти створення, теорії фазочастотних вимірювань та перетворень радіосигналів, напрямки застосування теорії ФЧВ і ПР, одночасно підвищувати і точність і швидкодію вимірювань, коінцидентія.

I.V. TROCSYCHYN
Ukrainian Technological Academy

METHODOLOGY OF CREATION AND DEVELOPMENT OF THE QUANTUM THEORY OF VARIABLE CONVERTERS AS REPRESENTATIVE OF NEW METHODS OF MEASUREMENT TECHNIQUES

The historiography of the main nodal moments of the creation, formation and perspective development of the theory of phase-frequency measurements and radio signals transformations (PFM and TR) is considered. New features of the decision of the principle limitation of the measuring technique (classical), which consists in the fundamental contradiction, the impossibility of simultaneous increase and accuracy and speed of measuring transformations, are established. On the basis of the proposed adequate radio signal signals, it was possible to prove and practically realize frequency meters with a difference of 1 Hz in the time of measurement less than 1 millisecond, for signals with frequencies above 1 MHz, which is 100-1000 times better than existing meters of leading manufacturers. A generalized table of the main directions of the application of the theory of PFM and TR is developed and presented. It is shown how the introduction of new approaches led to a generalized theory of quantum measurement transformations, which are possible not only for phase-frequency, but also amplitude parameters, with the principal definition of a key approach based on the method of coincidence. The main types of scientific and technical developments, as well as the creation of fundamentally new approaches, which allowed simultaneously to increase both accuracy and speed of measurements, are given.

Key words: nodal moments of creation, the theory of phase-frequency measurements and transformations of radio signals, directions of application of the theory of PFM and TR, simultaneously increase both accuracy and speed of measurements, coincidence.

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.

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 априорі 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), 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.

Загальний вигляд вказаний підхід до математичної моделі має вигляд нового наукового напрямку, який відкрив принципово нові можливості вимірювальної техніки (Рис.1).



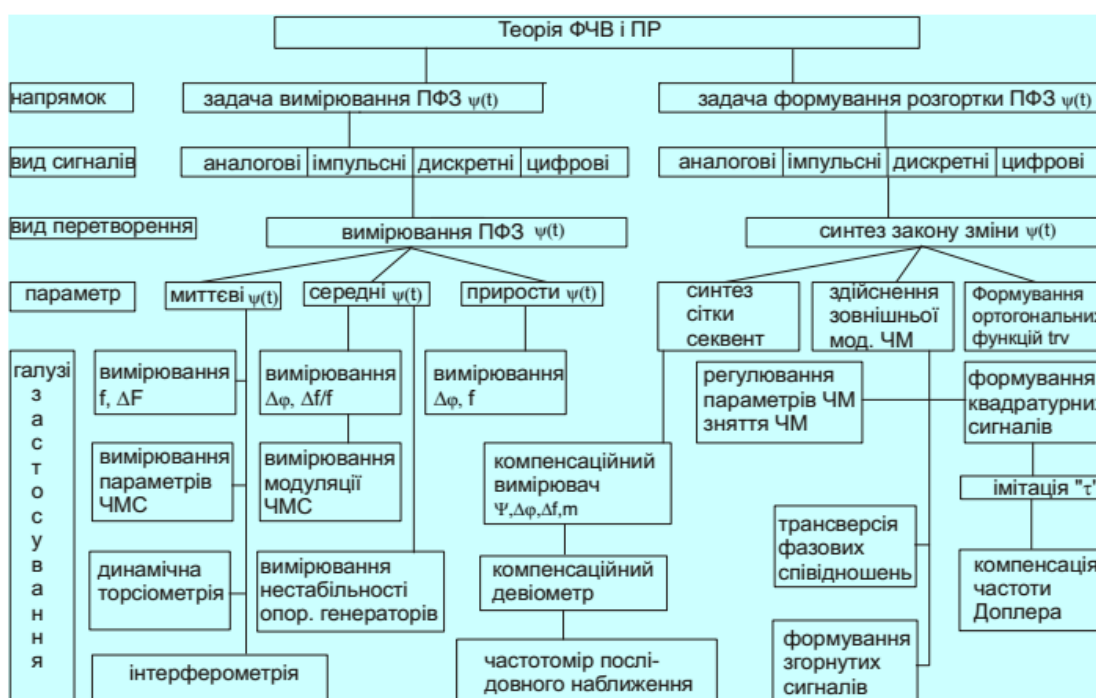
Рис.1. Основні етапи становлення теорії ФЧВ і ПР

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 вимірювальної техніки, а конкретно саме фазочастотних параметрів.

Нова теорія, на жаль, для багатьох вчених "старої школи" є "революційною", оскільки з неї слідує, що в класичній вимірювальній 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 непридатними, 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.(рис.2.)



Узагальнена класифікаційна таблиця основних напрямків застосування теорії ФЧВ і ПР

Рис.2. Методи формування та перетворення сигналів

Історія питання та вирішення вимірювальних задач кумулятивної фазометрії.

Для дослідження та контролю процесу утворення плазмового шнура в камері ТОКАМАК-ТСП, був розроблений і впроваджений у ВНДПів та ФІАЕ ім І.В. Курчатова для термоядерного ректора ТОКАМАК-ТСП фазометричний вимірювальний перетворювач із оптичними входами в стандарті КАМАК (Рис.3).

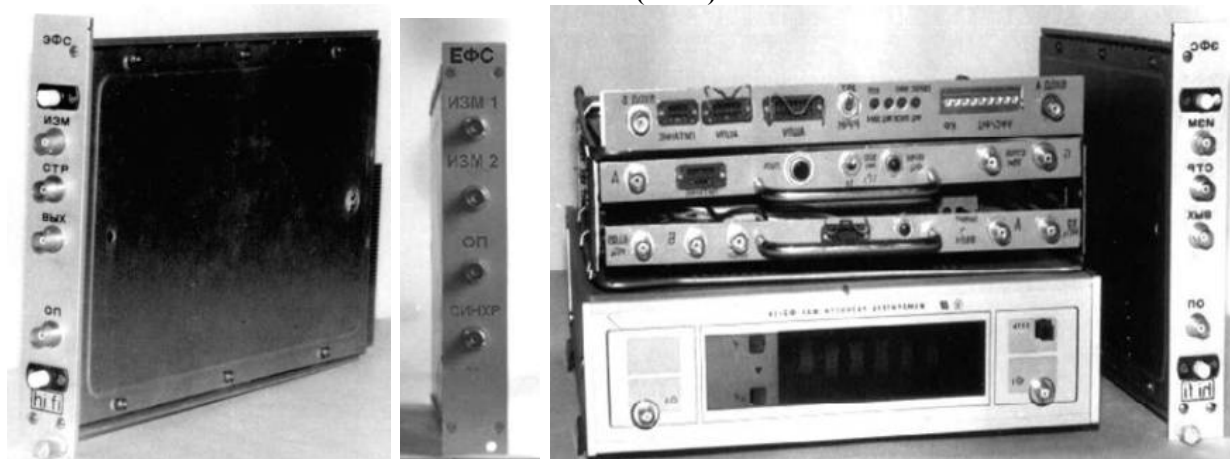


Рис. 3. Фазометричний вимірювальний перетворювач із оптичними входами в стандарті КАМАК: Кумулятивні фазометри в різних конструктивах для роботи в складі автоматизованих інформаційновимірювальних систем для лазерної фазометрії та інтерферометрії разом із вмонтованим калібратором повних фазових зсувів у порівнянні із серійним фазометром Ф2-34

Для винесених систем із високим рівнем завад, іонізуючого випромінювання. Час вимірювання - два періоди $T_{оп}$. Працював в реальному масштабі часу. Довжина оптичних кабелів 100м, 300м. Похибка вимірювання ПФЗ - 1/512 ($0,7^0$), $T_{вим}=2\text{мкс}$; 1/4096 ($0,8$), при $T_{вим}=20\text{мкс}$. Стандартний блок 2М КАМАК.

Розроблені модулі в стандарті КАМАК утворювали Автоматизовану багатоканальна система збору даних інтерференційного комплексу ТОКАМАК-ТСП.

Автоматизована багатоканальна система збору даних інтерференційного комплексу ТОКАМАК-ТСП включала 3 десяти-канальних системи вимірювальних каналів в трьох крейтах КАМАК, та блоку

синхронізації і калібрування кумулятивні фазометри в різних конструктивах для роботи в складі автоматизованих інформаційно-вимірювальних систем для лазерної фазометрії та інтерферометрії разом із вмонтованим калібруванням повних фазових зсувів. Модулі системи показано у порівнянні із серійним фазометром Ф2-34.

Двоканальний вимірювальний модуль (Рис.3) мав наступні характеристики: робоча частота фіксована (20Гц-1МГц), діапазон ПФЗ 0 - 256. Похибки $1,4(2\pi/256)$, F до 1мГц, 0,1 ($2\pi/4096$ F до 100кГц). Дискретність калібрування 22,5, похибка задавання приростів 0,3 (до 1 кГц), до 0,03 (до 10 кГц). Використовується для дослідження та контролю процесу утворення плазмового шнура в камері ТОКАМАК-ТСП. Впроваджено в ВНДПіВ та ФІАЕ ім І.В. Курчатова для термоядерного реактора ТОКАМАК-ТСП, деталі приведено у відео (рис.4).



<https://www.youtube.com/watch?v=89fzHVEeO4I>

Рис.4. Відерепортаж

Ущільнювач абонентських телефонних ліній зв'язку УТФ-4.

УТФ-4 (рис.5) був розроблений для освоєння серійного випуску ВО "Новатор", м.Хмельницький 1997-1998 р.р.. Вирішував основне завдання: Ущільнення абонентських телефонних ліній АТС. Кількість додаткових каналів - 4, Гарантована дальність зв'язку - 8-10км (залежно від якості лінії), Частотний діапазон ущільненого каналу 300-3400Гц, напруга живлення 220В(=12В), Габарити 300х250х80 (8-канальний варіант), Умови експлуатації -5 до +50С.



Рис. 5. Ущільнювач абонентських телефонних ліній зв'язку УТФ-4

Технічна характеристика: Абонентські телефонні мережі сільських, районних телефонних мереж, офісні та рознесені системи телефонних мереж, із забезпечення високоякісного зв'язку. При формуванні та прийомі каналних сигналів вперше було використано саме фазочастотний підхід до формування каналних сигналів (зовнішня частотна модуляція), а також дискретно-аналогові методи детектування ЧМ каналних сигналів, що забезпечувало як високу якість каналних сигналів, так і компактний спектр сигналів.

Ще одним із перспективним (1996-1997 роки) був адаптований під телефон VEF TA+12-D, гарнітуру радіостанції "Транспорт-РЛ-1" скремблер телефонних каналів. Основне застосування для систем телефонних каналів зв'язку закритих від несанкціонованого доступу. Смуга робочих частот 300-3400 Гц, Тактова частота 32,768кГц, номінальне живлення 6-12В, струм споживання 6-12мА, елементна база МС серії 561, 140. Відсутні моточні вузли (Рис.6).

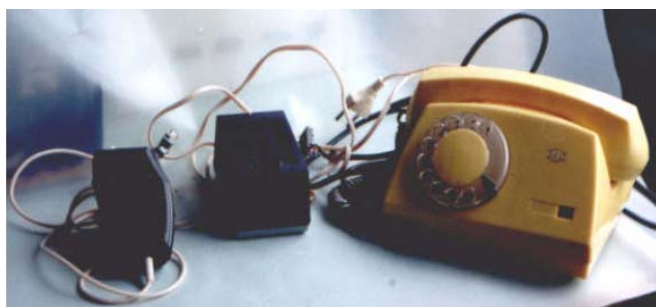


Рис. 6. Скремблер телефонного каналу, телефонних та радіоліній зв'язку

Системи нульового рівня захисту інформації для службових розмов як провідними так і радіомовними каналами, мінімальна вартість при достатньому рівні захисту. Освоєння серійного випуску ВО "Новатор", м.Хмельницький, 2001-2003р.р. (деталі в репортажі Рис.6).

Частотоміри коінцидентії і порівняння їхніх переваг над існуючими частотомірами.

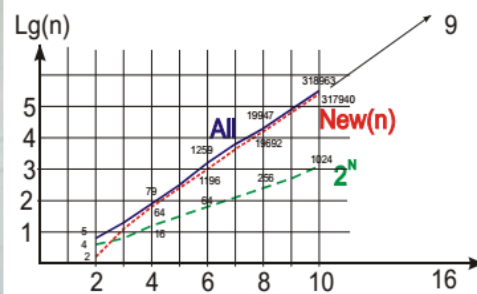
Новітні розробки в рамках теорії ФЧВ І ПР мають виключне значення не лише для галузі вимірювальної техніки, а є принципово новим підходом до розв'язання багатьох задач в радіолокації (усунення тіла невизначеності), швидкодіючих системах наведення, пеленгації та протидії короткотривалих радіосигналів, а також в теорії сигналів, нових ортогональних базисів сигналів. Особливо перспективне їх впровадження у військовій техніці, а також системах контролю швидкоплинних прецизійних технологічних процесів. З метрологічної точки зору вона відновила штучно розділену на дві (окремо цілочисельну, та окремо дробову) частини, в єдину вимірювальну шкалу із всім набором раціональних чисел для фазочастотних параметрів радіосигналів (Рис.7).



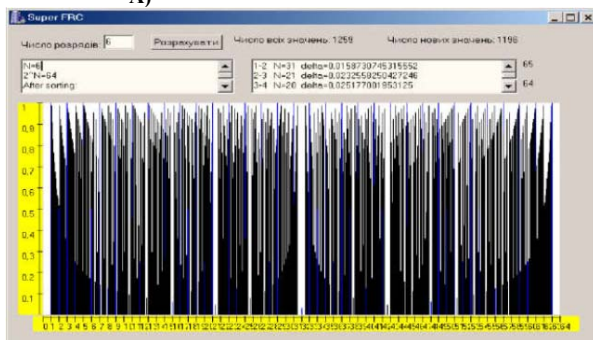
А)



Б)



В)



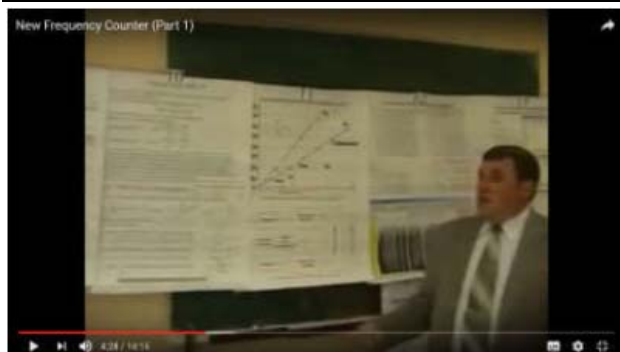
Г)



Д)

Рис. 7. Експериментальні зразки частотоміра коінцидентії та вимірювального перетворювача (а-б,д, г) шкала вимірювання для випадку 6-розрядних лічильників (довжина дробових поділок шкали відображає відносний нормований час вимірювання), в) - частотомір коінцидентії та порівняння його шкали (All) із класичною (2N); переваги у 10-100разів

На відео (рис.8) приведена детальна інформація стосовно теорії частотомірів коінцидентії та демонстрація унікальних результатів вимірювання частоти сигналів із часом вимірювання менше мілісекунди, і розрізненням в 1Гц, що дає покращення точність \times швидкодія в 100-1000 разів!!!



https://www.youtube.com/watch?v=d_YsaySgBUw



<https://www.youtube.com/watch?v=plxOoAh1c8s>

Рис. 8. Демонстрація частомірів коінцидентії

Використання нових результатів найбільш ефективно там де потрібно одночасно підвищувати і точність і швидкодію, а це як правило 80% засобів контролю високотехнологічних процесів, у військовій галузі, це покращення параметрів виявлення, або, узагальнено - збільшення в рази виробництва якісної продукції за одиницю часу, тобто подолання непереборного обмеження (точність \times швидкодія) відомих методів вимірювання саме параметрів радіосигналів.

Синтезатори секвентності та графік його переваги над існуючими синтезаторами рис.9-11. В галузі формування фазочастотних параметрів введено узагальнене визначення секвентності, яке характеризує кількість пересікань гармонійним сигналом нульового рівня за проміжок часу, і лише у випадку рівномірного розподілу одно напрямлених переходів воно відповідає класичному визначенню частоти. В галузі формування сигналів прямим частотним синтезом розроблено синтезатори секвентності, які забезпечують діапазон синтезу від 0 до тактової частоти (для класичних теоретична межа, поріг Найквіста, складає 0,5 тактової частоти). Вперше розроблено моделі фазочастотного аналізу та синтезу параметрів радіосигналів шляхом використання формалізованого параметра секвентність (замість класичного - частота), які вільні від принципових обмежень, що притаманні лише фазовим або лише частотним моделям сигналів: досліджено поведінку зміни повного фазового зсуву в часі. Показано та доведено їх адекватність реальним радіосигналам та процесам, створено концепцію керування параметрами ЧМ сигналів радіодіапазону, на основі якої розроблені методи регулювання девіації частоти та індексу модуляції вже сформованого сигналу, формування сітки когерентно-фазових частот, формування "згорнутих" ЧМ сигналу, імітації та компенсації доплерівського зсуву частоти, а також концепції їх метрологічного забезпечення.

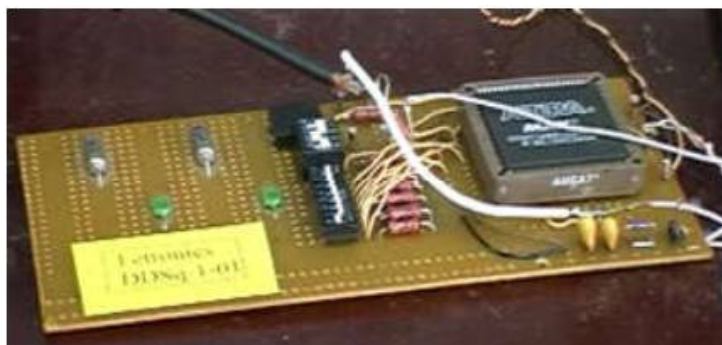


Рис. 9. Макет синтезатора секвентності



Рис.10. Експериментальний зразок синтезатора радіосигналів

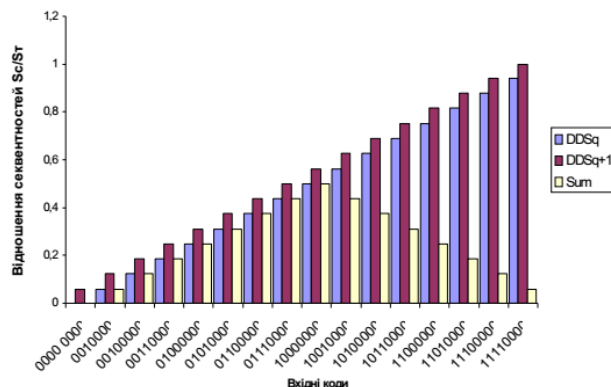


Рис. 11. Діаграма порівняння вихідних частот (секвентностей)



<https://www.youtube.com/watch?v=4eNC0acO3PQ>

показує перевагу над класичним суматором у два рази

Методи та пристрої прямого синтезу частот, формування керованих радіосигналів, параметри яких можливо змінювати (зовнішня частотна модуляція, зняття частотної модуляції, компенсація частоти Доплера, імітація траєкторій хаотичних цілей тощо). Розроблені на основі теорії ФЧВ і ПР прилади принципово є поза конкуренцією, так як вони реалізують новий “ідеологічний підхід”, який в найгіршому випадку в 1 – 2 рази буде краще за існуючі, саме за суперечливим параметром точність і швидкодія.

Формування сигналів із «прямокутним спектром» різних видів показано на рис.12. Осцилограми та спектрограми сигналів типу $SINX/X$ і їх застосування у зв'язку та радіотехнічних системах, на прикладі радіолокатора СБР-3, повністю підтвердили значне покращення основних характеристик (рис.12.).

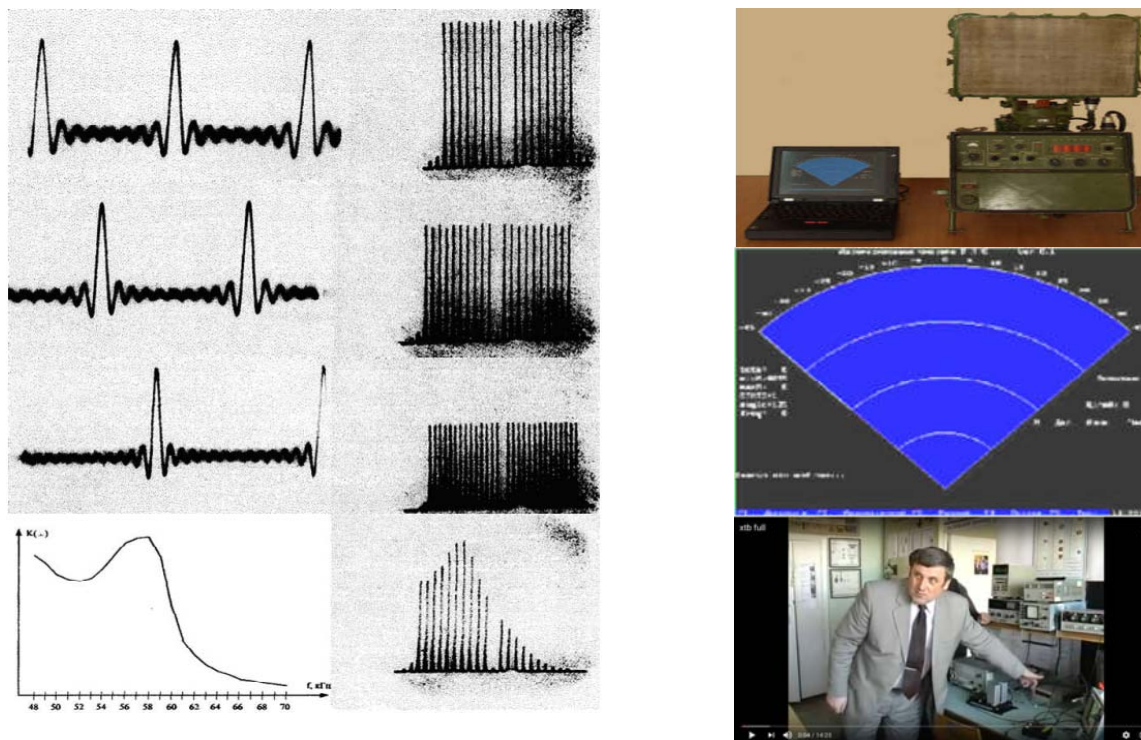


Рис.12. Осцилограми та спектрограми сигналів типу $SINX/X$ і їх застосування у зв'язку та радіотехнічних системах. Модернізація військового радіолокатора СБР-3

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), швидкодіючих 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. Створена нова теорія ФЧВ і ПР, яка не лише дозволила усунути всі існуючі “парадокси” в галузі частотних вимірювань та формування радіосигналів, але і відкрила принципово нові можливості, усунувши відоме протиріччя між швидкодією вимірювання та точністю, які є методичними похибками неадекватності моделей, особливо за обмеженого часу доступу до сигналу (менше 100-1000 періодів сигналу).

Підсумовуючи наведені вище унікальні результати на прикладі як спеціалізованих вимірювальних систем для новітніх технологій (включаючи керований термояд), можливо вказати, що результати було отримано лише шляхом застосування принципово нових підходів до моделі радіосигналів під час вимірювання частоти, особливо в режимі кумулятивного фазового зсуву, який не входить ні до групи Ф ні до групи Ч вимірювальних приладів, які визначено існуючими ДСТУ (ГОСТ). Більше того, подальший розвиток новітніх методів дозволив створити цілу гамму нових вимірювальних перетворень і формування радіосигналів, використання яких дало як значне покращення (наприклад, в 2 рази, Межі Найквіста для цифрових синтезаторів частоти), так і суттєве покращення параметру точність x швидкодія у вимірюванні частоти заповнення радіоімпульсних сигналів, а також покращення роздільної здатності РЛС, що є самим повним доказом не лише життєздатності теорій ФЧВ і ПР, а шляхом до узагальнюючої квантової теорії вимірювань (КТВ).

Квантовий підхід дозволив не лише узагальнити отримані результати а і розповсюдити їх на інші величини, наприклад амплітуду, лінійний розмір, тощо, що базуються на понятті Квантової шкали вимірювального перетворення, яка для ЦАП і АЦП отримала назву методу коінцидентності, а пристрій його реалізації Атенуатор- подільник Троцишина (для класичних ЦАП і АЦП використовують подільник Кельвіна), але зростання кількості квантових точок збільшується згідно наведеного нижче графіка для частотоміра..

ТЕОРІЯ ФАЗОЧАСТОТНИХ ВИМІРЮВАНЬ І ПЕРЕТВОРЕНЬ РАДІОСИГНАЛІВ ТА НАПРЯМКИ ЇЇ ЗАСТОСУВАННЯ

1. **Новизна результатів та рівень значимості не мають аналогів у світі** і є новим "ідеологічним підходом" в галузі вимірювання та перетворення фазочастотних параметрів радіосигналів, який є вищим рівнем ієрархії, а існуючі класичні методи стають частковим випадком теорії ФЧВ і ПР, лише коли час доступу до сигналу досить великий (більше сотень тисяч періодів, адже саме тоді розходження результатів незначне).

2. **До реалізації пропонується нова теорія (ФЧВ і ПР)** яка відкриває принципово нові можливості під час вимірювання перетворення та формування фазочастотних параметрів радіосигналів (особливо з обмеженим часом доступу до сигналу), яка забезпечує значне (десяти – сотні разів) одночасне підвищення як точності так і швидкодії у порівнянні із будь-якими відомими класичними методами. Розроблено та проведено метрологічні випробування частотомірів коінцидентції, синтезаторів секвент, формувачів сигналів із "прямокутним спектром" та пристроїв на їх основі.

3. **Стан готовності розробки.** Розроблено новий практичний фазочастотний підхід до вимірювання та формування фазочастотних параметрів радіосигналів, який спирається на моделі теорії ФЧВ і ПР, де первинним параметром є повний фазовий зсув, а частотні параметри та їх параметри зміни є похідними від повної фази.

Розроблено та виготовлено засоби вимірювання (частотомір коінцидентції, частотомір співпадіння, девіометр, тощо) та формування радіосигналів (синтезатори секвентності, синтезатор $\sin x/x$, тощо), можуть використовуватись як самостійно так і у складі інформаційно-вимірювальних систем та комплексів, адже підняття швидкодії в 10-100 разів виключає оператора, як засобу безпосереднього отримання інформації.

4. **Результати роботи потребують міжнародного патентування**, а в цілому теорія ФЧВ і ПР може слугувати заявою на відкриття.

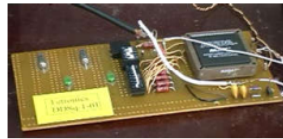
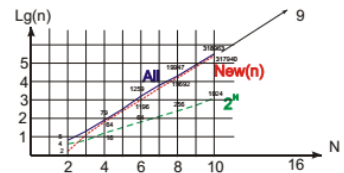
Розроблені на основі теорії ФЧВ і ПР прилади принципово є поза конкуренцією, так як вони реалізують новий "ідеологічний підхід", який в найгіршому випадку в 1 – 2 рази буде краще за існуючі, саме за суперечливим параметром точність x швидкодії.

5. **Проект є інвестиційно привабливим насамперед у військовій та високотехнологічних галузях**, а також у нових навчальних засобах, для утвердження позицій нової теорії у нового покоління інженерів та науковців.

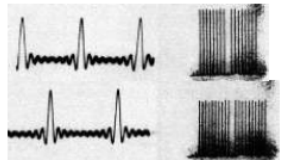
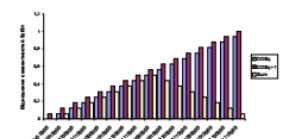
В Україні впровадження пропонується на заводах радіолокаційних станцій "Іскра" (Запоріжжя), "Топаз" (Луганськ), а також провідному виробнику радіовимірювальної апаратури ВАТ "МЕРІДІАН" ім. Корольова (Київ).



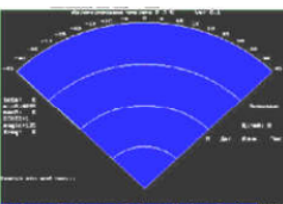
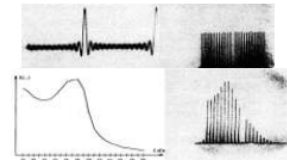
Частотомір коінцидентції і порівняння його переваги над існуючим частотомірами



Синтезатор секвентності та графік його переваги над існуючими синтезаторами



Осцилограми та спектрограми сигналів типу $\sin x/x$ і їх застосування у зв'язку



Приклад модернізації РЛС (СБР_3) із використанням результатів теорії ФЧВ і ПР

Висновки

Розроблено ряд кумулятивних фазометрів, вимірювальних перетворювачів для інтерферометричних систем вторинного еталону малих довжин для субмікронних технологій (використовується у еталоні нанометра Росії), системи контролю плазмового шнура в камері термоядерного реактора ТОКАМАК-ТСП, апаратури та пристроїв спеціального призначення.

Виявленні абсолютно нові властивості, які взагалі не можуть бути та існувати в рамках класичних уявлень, тобто можна говорити, що зона властивостей нової теорії у порівнянні із "класичною" має, так-би мовити, "комплексну компоненту", а її проекція на множину "дійсних чисел" дає "класичні системи". Тому потрібно дослідити які ще нові можливості криються за межами наших уявлень в галузі як вимірювання так і обробки радіосигналів, тощо.

Закладено основи принципово нового наукового напрямку — «Квантова теорія вимірювального перетворення фізичних величин», де в рамках вимірювання та перетворення фазочастотних параметрів радіосигналів вперше довів що можливо одночасно в 10—100 разів підвищувати точність і швидкодію вимірювання порівняно із класичними методами. Запропонував нові підходи до побудови цифро-аналогових та аналого-цифрових перетворювачів із використанням всіх можливих (квантових значень) шкали вимірювального перетворення (Атенуатор-подільник Троцишина). Відкрито новий напрям створення програмованих ЦАП (АЦП) структур на кристалі із адаптованими та програмованими параметрами, яким немає аналогів у світі.

Оскільки нова теорія ФЧВ і ПР є "ідеологією" а не "технологією", то її не можна продати, адже вона рано чи пізно стане відома всім (до речі вона і так відома) і лише інертність впровадження нового "старою гвардією" не лише у Нас, але і світі, поки-що утримує її як "плазму" у замкнутому просторі розробок моєї школи. Таким чином, найбільш надійною є схованка "у всіх на очах", і природні інстинкти людини деякий час гарантують "не витікання інформації". Але рано, чи пізно, прогрес заставить звернутися до теорії ФЧВ і ПР, і якщо це будуть розвинуті технологічно країни, для Нас (України), буде ще раз втрачений шанс (як це до речі було із лазерними дисками (вітчизнина розробка), голографією (також не зуміли використати власні розробки) і багато інших. Тим більше, що приклади вдалих моделей реалізації саме в Україні ексклюзивних розробок відомі (це монокристали академіка Семиноженка, "Кольчуга", роботи АНТК "АТОНОВ" і інші, які йдуть попереду світових "авторитетів", і мають практичний результат).

Під керівництвом автора виконано 12 науково-дослідних госпдоговірних і держбюджетних робіт. Створено наукову школу, підготовлено 2 докторів, 10 кандидатів наук, 12 магістрів. Опубліковано понад 320 наукових праць, 8 з яких включено у Scopus, в тому числі 2 монографії, 1 підручник, 1 навчальний посібник, більше 100 наукових статей, 20 авторських свідоцтв (СРСР), 8 патентів України.

Самотужки, ми не в змозі скоро будемо конкурувати за швидкістю проведення досліджень нових напрямків і одночасного впроваджувати виробу, якщо не буде конкретного серйозного замовника (на Державному рівні). Тільки швидкий рух вперед (адже зараз відрив складає декілька років, за нашими оцінками) допоможе Україні дещо показати Світу і відродити технологічну базу в обмін на "ідеологічну продукцію".