

## НОВІТНІ МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ ВИМІРЮВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ: СТАН ПРОБЛЕМИ, ДОСЯГНЕННЯ ТА ПЕРСПЕКТИВИ

*Приведено ретроспективний розгляд становлення та розвитку теорії фазочастотних вимірювань і перетворень радіосигналів, від розв'язання прикладних задач фазо-метричних вимірювань в радіо-оптичних системах, де питання підвищення точності вимірювань є визначальним. Використання шкали коінцидентії дозволило вперше реалізувати частотомір коінцидентії, який забезпечив вимірювання розрізнення частоти в одиниці Гц при часі доступу до сигналу мілісекунда, що є поза межами класичних методів вимірювання частоти.*

*Ключові слова: фазочастотні вимірювання, точність вимірювань, одночасне підвищення точності і швидкодії вимірювального перетворення.*

I.V. TROTSYSHYN

Odessa National Academy of Telecommunications .O.S.Popova

### NEW TECHNIQUES AND MEASURING DEVICES: STATE OF THE PROBLEM, ACHIEVEMENTS AND PROSPECTS

*Powered retrospective review of formation and development of the theory of phase-frequency measurements and conversions radio on solving application problems phase-measurements in radio-optical systems where the issue of increasing the measurement accuracy is crucial. Using the scale coincidence, allowed frequency coincidence i first realize that ensured distinction frequency measurement unit Hz at time access millisecond signal that is outside the classical methods of measuring frequency.*

*Keywords: phase-frequency measurement accuracy, the simultaneous increase accuracy and speed measuring conversion.*

#### Стан проблеми

Так, для нікого не є таємницею, що саме в галузі вузлового моменту технологічної могутності будь якої держави, (рівня розвитку вимірювальної техніки) склалась навіть не кризова а катастрофічна ситуація. Основні складові якої є:

- моральне старіння принципів, методів які реалізовані в наявних приладах;
- технічна зношеність наявного парку (застарілої апаратури) наближається до 100%;
- відсутність на протязі більш ніж 10 років будь якого фінансування (на державному рівні) направлено на поточний ремонт, метрологічну атестацію, тощо;
- неспроможність основної маси підприємств та організацій (впершу чергу ВНЗ які ще продовжують підготовку фахівців технічного та технологічного напрямів) придбати хоча б декілька одиниць імпортного обладнання, яке коштує в діапазоні від одиниць до сотень тисяч доларів (євро).
- явно неефективне використання тих мізерних коштів які виділяються на наукові розробки, (як правило подробені на суми що рідко перевищують 100-120 тис грн. на рік), і об'єктивно (навіть при наявності достойних наукових розробок) не можуть бути доведені до стану навіть лабораторного макету не говорячи про дослідний зразок, в останньому випадку обов'язковою є метрологічна атестація та інші процедури вартість яких перевищує суми виділені на саму розробку).
- але найбільшу небезпеку складає продовження навчання студентів на "металоломі" або навіть на «віртуальних приладах» які не мають нічого спільного із реальною роботою фахівця, що не лише знижує престиж підготовки саме таких архіважливих для країни спеціалістів, але негативно впливає на процедуру прийняття на роботу випускників на фірми (наприклад в галузі зв'язку) які мають імпортне вимірювальне обладнання, перед яким, як правило натупає повна розгубленість випускників після сучасного рівня "підготовки".

На даний час в Україні практично не випускається вимірювальна апаратура, особливо це стосується таких вимірювальних приладів як частотоміри, вольтметри, вимірювачі RLC-параметрів, спектроаналізатори, характерографи, осцилографи та інших. Проте потреба у вимірювальній апаратурі в навчальному процесі стає все гострішою, тому як вимірювальні прилади, що є на балансі навчальних закладів технічного спрямування, є морально та технічно застарілими, причому з кожним роком виходять з ладу все більше і більше приладів. Ремонт цих приладів потребує все більше коштів, і під час перебільшує балансову вартість самого приладу, тому як радіодеталі що виходять з ладу найчастіше вже не випускаються. Отже парк вимірювальних приладів усіх груп потребує негайного оновлення, інакше на протязі нетривалого часу усі технічні спеціальності радіоелектронного спрямування: Електронні апарати, радіотехніка, фізика тощо, можуть залишитись без технічного забезпечення вимірювальною апаратурою, без якої навчити фахівця що володів би основними знаннями та навичками роботи із вимірювальною та радіоелектронною апаратурою, розробки електронних приладів не представляється можливим.

З іншого боку в світі та Україні склалась така ситуація, що в області вимірювальної техніки виділяють три параметри будь-якого радіосигналу: амплітуда, фаза та частота. Тоді як, згідно класичної теорії, відомо, що існує тільки два параметри: амплітуда та повний фазовий зсув, а фаза та частота знаходяться як різниця повних фазових зсувів за два моменти часу і похідна від повного фазового зсуву в заданий момент часу відповідно. Але вимірювання фази проводять як диференційний параметр (фазовий

зсув між двома сигналами в один момент часу), а частоту - як інтегральний параметр (кількість переходів через нуль сигналу за одиницю часу). Тоді як фазовий зсув є різницею двох інтегральних параметрів - повних фазових зсувів, а частота диференціальним параметром - похідною від повного фазового зсуву. Отже, подальше підвищення інструментальної точності вимірювальних приладів не може одночасно збільшувати точність вимірювання та швидкодію (зменшувати час доступу до сигналу).

### Ідеї, факти та гіпотези новітніх підходів

Оскільки всі реально існуючі сигнали, які переносять інформацію, мають як мінімум кінцеву енергію, не кажучи вже про зміну основних характеристик та параметрів сигналу, їх можна розглянути як радіосигнал загального виду:

$$S(t) = A_m(t) \cos \Psi(t),$$

де  $A_m(t)$  – змінна в часі амплітуда сигналу  $A_m$ ;  $\Psi(t)$  – повна фаза.

Для дослідження властивостей будь-якого процесу, речовини, сигналу тощо, характерними є два різних підходи, які направлені, відповідно, на з'ясування природи явища (сигналу) – аналіз (вимірювання), і на можливі напрямки утворення або ж використання даних особливих властивостей (синтез, перетворення).

Виходячи з єдиних позицій теорії фазочастотних вимірювань та перетворень радіосигналів (теорії ФЧВ і ПР), необхідно відзначити два основних напрямки, на яких і базуються всі подальші аспекти вимірювання параметрів радіосигналів та їх перетворень – тобто синтезу радіосигналів із потрібними властивостями.

Принциповими для першого напрямку є первинність при вимірюванні аргументу  $\Psi(t)$  і знаходження досить популярної при широкому класі вимірювальних задач частоти -  $f(t) = \frac{d\Psi(t)}{dt}$ , тобто згідно класичного визначення  $f(t)$ . Таким чином, очевидним є, що основне завдання напрямку аналізу (вимірювання) полягає у знаходженні (вимірюванні) ПФЗ  $\Psi(t)$  із максимально можливою точністю за мінімально короткий час, що може бути досягнуто лише шляхом збільшення потужності інформаційного потоку з апіорі невідомої величини.

Оскільки  $f(t)$  знаходять як похідну, то вказана операція має на меті істотне підвищення точності вимірювань, що відповідає усталеному напрямку в метрології – частотні вимірювання є найбільш точними [1] і еталонуються з похибками порядку  $10^{-11}$ - $10^{-13}$ , і є практично недосяжною межею для інших методів вимірювань [1].

Таким чином, теорія ФЧВ і ПР в цілому не протирічить доведеним на практиці істинам, і лише вказує шлях її знаходження із адекватної реальному сигналу математичної моделі.

Другий напрямок полягає, відповідно, у формуванні або перетворенні сигналів у часі (формування розгортки  $\Psi(t)$ ), що є синтезом фазочастотних параметрів сигналів або створення їх інформаційної наповненості – в даному випадку є характерним для радіосигналів (класичних) – модуляції.

Відомо, що радіосигнал може бути представлений у декількох формах (аналогова, імпульсна, цифрова), які складають відповідні класи сигналів:

- аналогові (неперервні в часі та за рівнем);
- дискретні (перервні в часі і неперервні за рівнем);
- цифрові (квантовані за рівнем і дискретні в часі) [2].

Таким чином, в обох напрямках, відповідно із класами існуючих сигналів, можна виділити будь-який із видів сигналів, які, в принципі, не змінюють загального значення інформаційного параметра, а лише можуть створити додаткові похибки (дискретизації, шуми квантування і т.п.). Тому раціонально виділити загальні класифікаційні ознаки властивостей вимірюваних параметрів  $\Psi(t)$ .

Можливі три основні види вимірювання  $\Psi(t)$ :

1 – вимірювання миттєвих значень  $\Psi(t)$ ; і є завданням більш теоретичним, ніж практичним. Так як при  $t \rightarrow 0$  проблематичним є проведення операції вимірювання взагалі із-за зменшення інформаційного потоку, який можливо зняти до нульового рівня та переведення вимірювальної задачі в площину визначення лише наявності сигналу. Тому розумітимемо, що  $\Psi(t)$  – це є те значення  $\Psi(t)_{\text{вим}}$ , яке можна виміряти за  $t_{\text{вим}} = t_{\text{вим, min}}$  та може бути реалізовано в конкретному вимірювальному приладі.

Враховуючи, що  $\Psi(t) = N_{\phi} + \varphi(t)$ , можна вважати, що фазометр знаходиться поблизу "мертвої зони", то  $\Psi(t) \equiv \varphi(t)$ , тобто зводиться до вимірювання "миттєвих фазових зсувів" відомими методами [1, 3] або новими їх різновидностями [4].

2 – вимірювання середніх значень  $\Psi_{\text{ср}}(t) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \Psi_i(t)$ , що є іншою протилежністю "миттєвої

$\Psi_i(t)$  " і є фізично методом, який реалізується на практиці, що в повній мірі відповідає загальній

математичній моделі:

$$\Psi_{сер}(t) = N_{\phi_{\psi}} + \frac{1}{N} \left[ \sum_{i=1}^N \phi_{in}(t) + \sum_{i=1}^N \phi_{ik}(t) \right].$$

Залежність від  $t$  в даному виразі вказує на залежність від номера вимірювання початкових  $\phi_{in}(t)$ , та кінцевих  $\phi_{ik}(t)$  значень кута фазового зсуву. При цьому вимірюваний параметр умовно поділяють на короткотривалий (час вимірювання - мс, с,) або довготривалий (десятки секунд, хвилини) [1].

Розуміючи відносність такого поділу, будемо вважати, що всі вимірювання, які використовують алгоритми, відмінні від "миттєвих значень", і мають на увазі будь-якого виду накопичення результатів точкових вимірювань, називатимемо вимірюваннями середніх значень:

$$\bar{\Psi}(t) = \frac{1}{T_{вим}} \int_0^{T_{вим}} \Psi(t) dt.$$

Оскільки для знаходження частоти  $f(t) = \frac{d\Psi(t)}{dt}$  дана модель зводиться до її дискретного аналога і технічно реалізується шляхом заміни  $d\Psi \rightarrow \Delta\Psi$ ,  $dt \rightarrow \Delta t$ , то цілком зрозумілим є виділення вимірювання приростів  $\Delta\Psi(t) = \Psi_{\kappa}(t) - \Psi_n(t)$ , де  $\Psi_{\kappa}(t)$ ,  $\Psi_n(t)$  -відповідно, кінцеві та початкові значення  $\Psi(t)$ , які можуть бути як середні  $\bar{\Psi}(t)$ , так і миттєві  $\Psi_i(t)$ .

Необхідно виділити ще один важливий напрямок -це компенсаційні вимірювання  $\Psi(t)$ ,  $\Psi_{сер}(t)$ ,  $\Delta\Psi(t)$ , який реалізується із використанням компенсуючих значень та нульового методу вимірювань [1], тому він в рівній мірі відноситься і до напрямку фазочастотного синтезу, або є одночасно як задачею вимірювання ПФЗ, так і задачею формування розгортки  $\Psi(t)$ .

Компенсаційні методи, як відомо [1], потребують наявності регульованої міри, яка здатна відтворити копію сигналу, що підлягає вимірюванню, і буде зрівняний за допомогою "нульового" чи іншого із різновидів компенсаційних методів.

На відміну від завдання чистих вимірювань фазочастотних параметрів радіосигналів, при синтезі закону зміни  $\Psi(t)$  головну увагу потрібно приділяти досягненню максимально можливого наближення сигналу, що реально формується ( $\Psi_i(t)$ ,  $A_i(t)$  і т.п.) до моделі, враховуючи такі важливі особливості, як можливість представлення неперервного сигналу його відліками [2]. Тому найбільш перспективними є цифрові методи синтезу, котрі дозволяють розрахунковим чином разом із використанням квантованих і дискретизованих сигналів (каліброваних значень по амплітуді та в часі) відобразити всі реально існуючі сигнали та створити нові унікальні можливості, серед яких виділяються:

- синтез сітки секвент (когерентно-фазових різночастотних) сигналів;
- здійснення зовнішньої частотної модуляції (ЧМ).

Крім того, розглядаючи імпульсні послідовності цифрових дворівневих сигналів, що формуються в базисах функцій Радемахера ( $rad(\varphi, \theta)$ ) та Уолша ( $wal(\varphi, \theta)$ ), потрібно виділити ще один специфічний напрямок:

- формування функцій трансверсії ( $trv(i, \theta)$ ), котрі мають специфічні властивості і можуть утворювати ортогональні набори функцій для передачі та кодування цифрових [6].

Дослідження в галузі синтезу закону зміни  $\Psi(t)$ , окрім здійснення ЧМ, дозволили простими фазочастотними перетвореннями здійснити такі операції, як:

- регулювання параметрів ЧМС (мається на увазі зміна девіації, індексу модуляції без зміни  $f_0$ ,

причому "фаза" вхідного сигналу зберігається, а регулювання може збільшити  $f_d \leq \frac{1}{4} f_0$ , або ж повністю "зняти модуляцію" ЧМС)

Ще одним цікавим явищем є формування "згорнутих" ЧМС, які можна отримати лише використовуючи явище зовнішньої ЧМ, і можуть знайти застосування для закриття аналогових каналів зв'язку, та зменшення смуги каналу передачі.

В даний вид перетворень входять і такі необхідні для вимірювань та для обробки радіосигналів перетворення, як:

- трансверсія фазових співвідношень (перенесення вверх (вниз)) фазових співвідношень імпульсних цифрових послідовностей;
- формування квадратурних сигналів (формування "квадратури в середньому" на сигналах із різною секвентністю  $trv(i, \theta)$ ).

Особливо потрібно виділити споріднені перетворення зміни просторово-часових параметрів при розповсюдженні радіосигналів:

- компенсація частоти Доплера радіосигналів;
- імітація "τ", тобто створення штучних  $f_{don}$  та  $\Delta\tau$ , що є завданням протирадіолокаційного маскування цілей та утворення невідповідності групи параметрів  $R, V_{rad}$ .

Таким чином, спираючись на теорію ФЧВ і ПР, можливо не лише досить нескладними технічними засобами на високому метрологічному рівні моделювати і створювати та регулювати фазочастотні параметри радіосигналів, але і отримати нові унікальні можливості, які відсутні при класичних підходах [2].

Стосовно вимірювань ПФЗ, то по-новому може бути вирішено цілий ряд важливих вимірювань фазочастотних параметрів ЧМС прямими методами [6]. До основних із яких можна віднести:

- вимірювання  $f, \Delta F$  (використовуючи миттєві значення  $\Psi_i(t)$  та знаходячи відповідні похідні);
- вимірювання  $\Delta\phi, \Delta f/f$  (вимірювання фазових та частотних зсувів за допомогою кумулятивного фазометра [3]);
- вимірювання параметрів ЧМС (девіація -  $f_0$ , індексу модуляції ЧМ -  $m$ ), з високою точністю та малим часом вимірювання.

До класичного забезпечення інтерферометричних вимірювань вимірювання ПФЗ дозволяє значно поліпшити метрологічні характеристики таких важливих вимірювань, як:

- динамічна торсіометрія (розв'язання проблеми чутливість/динамічний діапазон, які обмежують можливості чисто фазового методу [3];
- вимірювання нестабільності опорних генераторів систем зв'язку та навігації (дає змогу зняти фазочастотну характеристику режиму поведінки генератора відносно еталону) [6].

Можливі і багато інших галузей застосування методів та засобів ФЧВ і ПР, але в загальному це будуть комбінації чи видозміни перелічених вище.

В розділі компенсаційних вимірювань необхідно підкреслити цікавий метод нетрадиційного вимірювання частоти. Не знаходження  $f = 1/T$  чи методом лічби числа імпульсів за  $T_{вим}$ , а реалізацією методу послідовного наближення, що принципово розв'язує проблему оптимального обміну точності частотних вимірювань  $\delta f$  на їх тривалість -  $T_{вим}$ , особливо, коли тривалість сигналу невідома.

В слідуючому режимі для вимірювання параметрів ЧМС знайде використання компенсаційний девіометр [6].

Для покращання висвітлення особливостей та можливостей теорії ФЧВ і ПР їх наглядно зображено на рис.1. Подана узагальнена класифікаційна таблиця, в якій здійснена спроба відобразити напрямки, вид сигналів (істотної ролі не відіграє, але завжди може бути реалізований цифровими сигналами), вид перетворення, тип вимірюваного параметра та можливі галузі застосування.

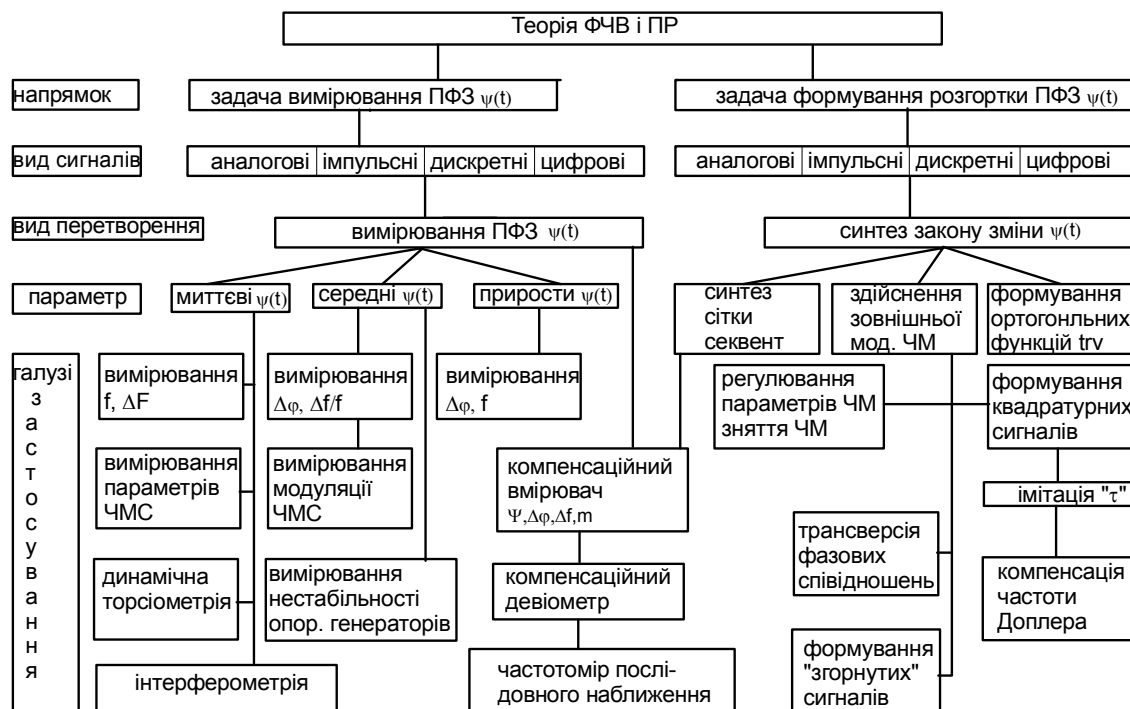


Рис. 1. Узагальнена класифікаційна таблиця основних напрямків застосування теорії ФЧВ і ПР

Розроблена та приведена загальна класифікаційна таблиця методів теорії ФЧВ і ПР, яка складається із двох напрямків та завдань:

- завдання вимірювання ПФЗ;
- завдання формування розгортки  $\Psi(t)$  у часі (формування радіосигналів).

До першої групи входять такі важливі види вимірювання ПФЗ, як: інтерферометрія; динамічна торсіометрія; вимірювання девіації та індексу модуляції; вимірювання характеристик нестабільності опорних генераторів; вимірювання частоти сигналів із тонкою структурою, і можуть мати реалізації в аналоговій, імпульсно-дискретній та цифровій формах.

До другої групи входять такі важливі реалізації закону зміни  $\Psi(t)$ , як: синтез сітки когерентно-фазових частот; здійснення зовнішньої ЧМ; формування ортогональних дискретних функцій; керування параметрами девіації та індексу модуляції, аж до повного зняття модуляції; трансверсія фазових співвідношень сигналів; формування квадратурних сигналів; імітація часу затримки “ $\tau$ ”; компенсація частоти Доплера; формування “згорнутих” ЧМС і т.д.

### Практичні реалізації новітніх методів.

Враховуючи значний часовий період розробок у даному напрямку, для вірного розуміння сутності та місця отриманих результатів, необхідно, хоча би тезисно, привести найбільш визначні, впроваджені у реальні вимірювальні пристрої і системи, реалізації приладів, які були виконані автором, і повністю підтверджують досягнуті унікальні результати, як теорії так практики [4-6].

Кумулятивний фазометр в десятковій системі числення (рис.2), Призначений для лазерного вимірювача малих переміщень. ПФЗ вимірюється в двох режимах:

$\varphi$  – вимірювання в градусах, розрізняюча здатність  $0,0001^\circ$ ;

$\lambda$  – вимірювання в одиницях довжини хвиль лазера (долях фц), розрізняюча здатність  $10^{-7}$  (ФЦ); N - ємність лічильника ФЦ –  $10^6$ , Рівень входних сигналів -  $0,1 \div 1B$ , Робоча частота - 8 МГц.

Цифровий калібратор приростів кута фазового зсуву на основі лічильника Джонсона (рис.3). Призначений для метрологічної повірки та калібрровки автоматизованого комплексу зразкової фазометричної апаратури. Дискретність задання приростів -  $22,5^\circ$ , вихідна робоча частота - 8 мГц, рівень вихідних сигналів -  $0,5B$ , елементна база мікросхеми серії 500, дистанційне керування від ЕОМ.

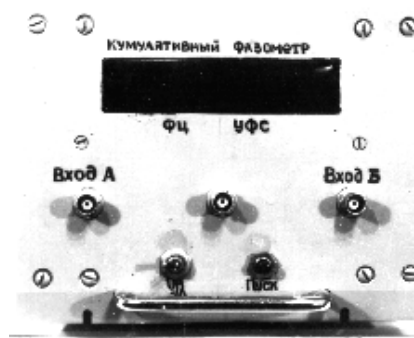


Рис. 2. Кумулятивний фазометр в десятковій системі числення

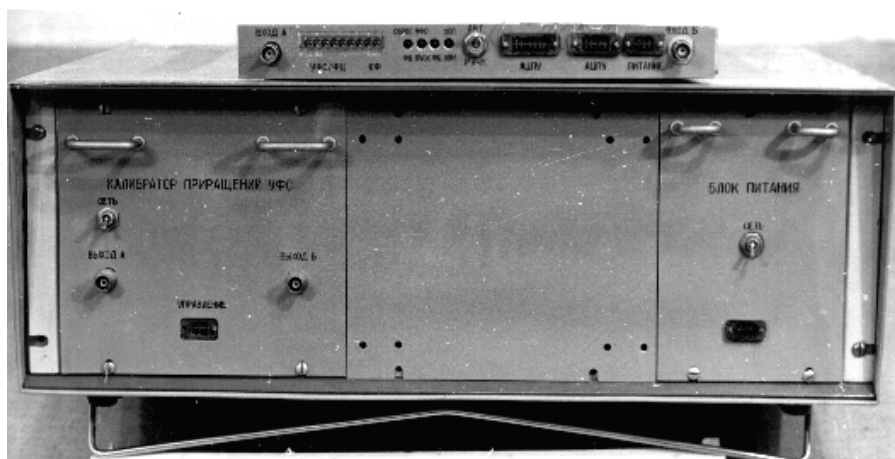


Рис.3. Цифровий калібратор приростів кута фазового зсуву на основі лічильника Джонсона

Автоматизований одноплатний швидкодіючий кумулятивний фазометр (рис. 4). Призначений для лазерного вимірювача малих довжин “Мікрон-0.1”<sup>с</sup>:  $f_{\text{вх}}=8\text{МГц}$  ( $100\text{кГц} \div 20\text{МГц}$ ),  $U_{\text{вх}}=0,1 \div 1B$ , розрізняюча здатність  $\Delta\varphi_{\text{мін}}=2\pi/2^{14} \approx 0,005^\circ$ , ємність лічильника ФЦ -  $2^{16}$ . Конструктивне виконання - одноплатний,  $280 \times 240\text{мм}$ , формат вихідної інформації два машинних слова 16 біт (крейт “СМ-ЕОМ”). Встроєний світлодіодний індикатор, ручний та автоматичний режим роботи.



Рис.4. Автоматизований одноплатний швидкодіючий кумулятивний фазометр

Електронна фазометрична система для лазерної фазометрії та інтерферометрії (рис.5.). Призначена для первинного обладнання територіальних органів Держстандарту. Робочі частоти живлення акустооптичних модуляторів 80.00МГц, 80.625МГц. Проміжна частота вимірювань  $F=625\text{кГц}$ , Дискретність калібратора фази  $\Delta\varphi=22.5^\circ$  на всіх робочих частотах. Час вимірювання вимірювача ПФЗ  $T_{\text{вим1}}=500\text{мкс}$ ,  $T_{\text{вим2}}=1,0\text{с}$ . Частоти входних сигналів -  $625\text{кГц}\pm 50\text{Гц}$ . Рівень входних сигналів -  $0.5\text{В}\pm 0,5\%$  Похибка вимірювання КФЗ не гірше  $0,3^\circ$  ( $T_{\text{вим}}=50\text{мкс}$ ), не гірше  $0,1^\circ$  ( $T_{\text{вим}}=0.5\text{с}$ ). Розмірність 1 слово (16 біт) - ФЦ, 2 слово - 14 розрядів КФЗ, 2 розряди корекція. Розміри 2 плати  $280\times 240\text{мм}$ , в крейт СМ-ЕОМ. Елементна база ЕСЛ 500, ТТЛШ 531, 555, 1533, 584.

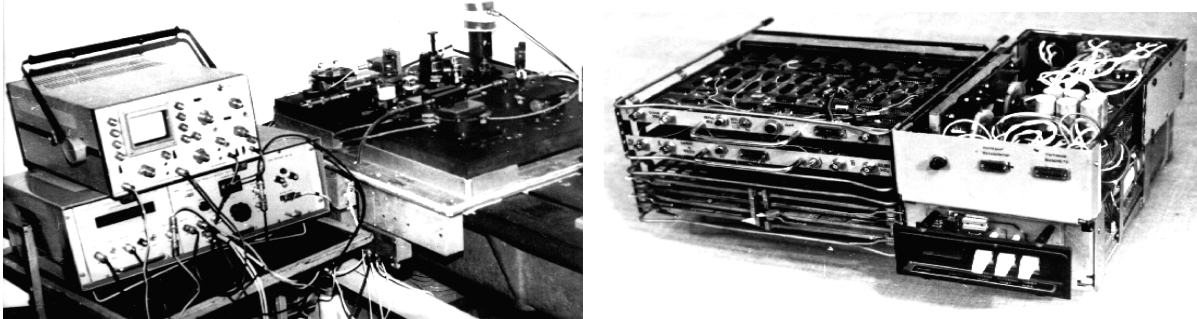


Рис.5. а) Електронна фазометрична система для лазерної фазометрії та інтерферометрії;  
б) модульна конструкція в стандарті СМ ЕОМ.

Фазометричний вимірювальний перетворювач із оптичними виходами в стандарті КАМАК (рис.6.а). Для винесених систем із високим рівнем завзд, іонізуючого випромінювання. Час вимірювання - два періода  $T_{\text{оп}}$ . Працював в реальному масштабі часу. Довжина оптичних кабелів 100м, 300м. Похибка вимірювання ПФЗ -  $\pm\lambda/512$  ( $0,7^\circ$ ),  $T_{\text{вим}}=2\text{мкс}$ ;  $\pm\lambda/4096$  ( $0,8^\circ$ ), при  $T_{\text{вим}}=20\text{мкс}$ . Стандартний блок 2М КАМАК.

Автоматизована багатоканальна система збору даних інтерференційного комплексу ТОКАМАК-ТСП, вимірювальний модульний перетворювач (рис.6.б). Для дослідження та контролю процесу утворення плазмового шнура в камері ТОКАМАК-ТСП. 3 десяти каналних системи вимірювальних каналів в трьох крейтах КАМАК, та блоку синхронізації і калібратора. Двоканальний вимірювальний модуль робоча частота

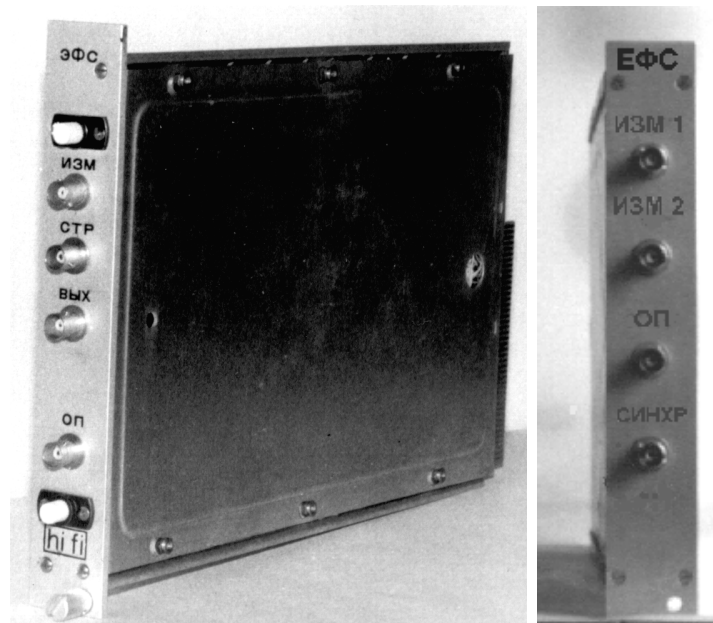


Рис. 6. Вимірювальні модулі в стандарті КАМАК а) з оптичними виходами, б) комплексу ТОКАМАК-ТСП

фіксована ( $20\text{Гц}-1\text{МГц}$ ), діапазон ПФЗ  $0\div 2\pi\times 256$ . Похибки  $\pm 1,4^\circ(2\pi/256, F \text{ до } 1\text{мГц}, \pm 0,1^\circ(2\pi/4096 F \text{ до } 100\text{кГц})$ . дискретність калібратора  $22,5^\circ$ , похибка задавання приростів  $0,3^\circ$  (до  $1\text{кГц}$ ), до  $0,03^\circ$  (до  $10\text{кГц}$ ).

Автоматизована багатоканальна система збору даних інтерференційного комплексу ТОКАМАК-ТСП була розроблена для дослідження та контролю процесу утворення плазмового шнура в камері ТОКАМАК-ТСП. 3 десятиканальних системи вимірювальних каналів в трьох крейтах КАМАК, та блоку синхронізації і калібратора. Двоканальний вимірювальний модуль робоча частота фіксована ( $20\text{Гц}-1\text{МГц}$ ), діапазон ПФЗ  $0\div 2\pi\times 256$ . Похибки  $\pm 1,4^\circ(2\pi/256, F \text{ до } 1\text{мГц}, \pm 0,1^\circ(2\pi/4096 F \text{ до } 100\text{кГц})$ . дискретність калібратора  $22,5^\circ$ , похибка задавання приростів  $0,3^\circ$  (до  $1\text{кГц}$ ), до  $0,03^\circ$  (до  $10\text{кГц}$ ). Час вимірювання через 1, 2, 4, 8, 16  $T_{\text{оп}}$ . Рівні входних сигналів  $0.5\text{В}$ , Ємність ОЗП  $32\text{к}\times 16\times 2$ , Габарити 2М КАМАК.

#### До питання одночасного підвищення і точності і швидкості вимірювання частоти

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. Але класичні прилади груп Ч і Ф, які складають більш ніж 80% всіх вимірювань та контролю технологічних процесів світового виробництва (будь якої продукції), причому для високотехнологічних видів цей показник може сягати ще більшого значення, принципово на такий крок не здатні, тому для нової "ідеології" непочатий край роботи та сфери впровадження.

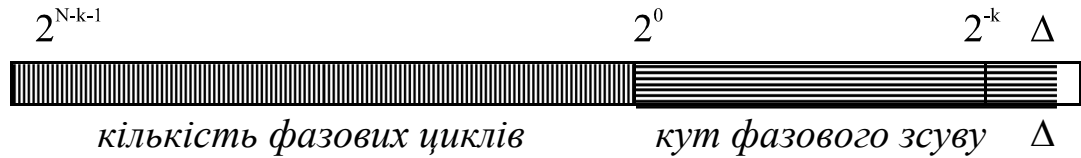
Очевидним є факт що у військовій галузі буде повний "фурор", особливо там де використовуються квазігармонічні моделі, а це і системи наведення, і радіопеленгації, радіопротидії, тощо, хоча для систем із



кореляційною обробкою такого якісного стрибка може і не бути.

Крім того, нами 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.

В теорії ФЧВ і ПР замість двох незалежних шкал (ціла частина – прилади групи Ч, і дробова частина – прилади групи Ф), використовується єдина шкала із раціональними числами, які окрім цілих включають і безмежну кількість проміжних (можливих) значень "дробових" (див. рис. шкали [4-7]).



Таким чином, для розрізнення сигналів із нашого прикладу не є необхідним чекати  $T_{вим. min} \geq 1c$ , а можливо за  $T_{вим. min} \sim 1мс$ , що на  $10^3$  разів швидше ніж в ЕРЧ [6], саме на це вказує теорія ФЧВ і ПР (рис.1) [7].

Приведемо результати практичних випробувань частотоміра коінциденції у порівнянні із класичним частотоміром, для вимірювання частоти радіоімпульсних сигналів тривалістю 1 мілісекунда в діапазоні 5 МГц.(рис.7 а, (без модуляції), б, - радіоімпульсний режим).

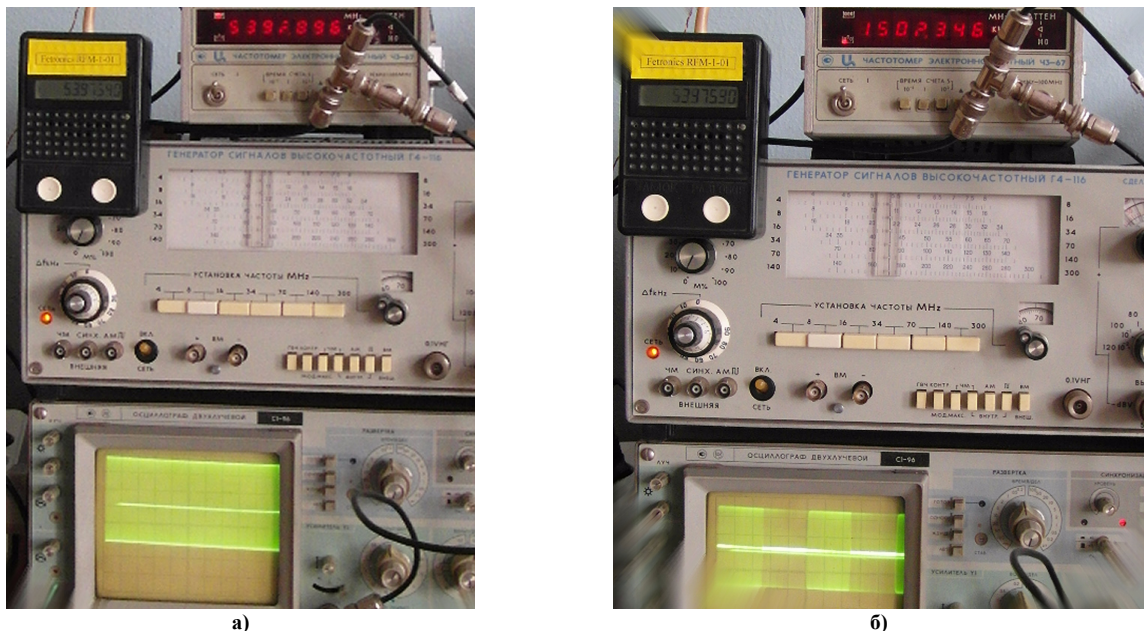


Рис. 7. Результати практичних випробувань частотоміра коінциденції у порівнянні із класичним частотоміром

Таким чином, для розрізнення сигналів із нашого прикладу не є необхідним чекати  $T_{вим. min} \leq 1c$ , а можливо за  $T_{вим. min} \sim 1мс$ , що на  $10^3$  разів швидше ніж в ЕРЧ [6,7], саме на це вказує теорія ФЧВ і ПР [6,7].

### Досягнення і перспективи

Визначальними аспектами є методологія саме фазочастотного підходу до пов'язаних параметрів частоти і фази, саме з позиції концепції первинності повного фазового зсуву і вторинності частоти. Частота є властивістю ("ілюзією") періодичності повного фазового зсуву у часі. 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 швидкістю вимірювання та точністю, які є методичними похибками неадекватності моделей, особливо за обмеженого часу доступу до сигналу (менше 100-1000 періодів сигналу).

Достовірність результатів напряму слідує із наглядності фазочастотного представлення розгортки повної фази у часі, а також повністю підтверджується математичним моделюванням на ЕОМ (шкали частотоміра коінциденції, тощо), та їх збігом із результатами практичних лабораторних випробувань.

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).

Таким чином, в основу роботи покладено єдину концепцію фазочастотного підходу, на основі якого введено як головний інформаційний параметр реального радіосигналу - повний фазовий зсув та його

похідні, що дало змогу об'єднати штучно розмежовані фазові вимірювання та частотні вимірювання, створити адекватні моделі вимірювання та перетворення параметрів радіосигналів. Новизна проекту полягає в тому, що вперше запропоновано фазочастотний підхід до вимірювання, синтезу та перетворення параметрів радіосигналів, що дало можливість запропонувати нові методи вимірювання параметрів радіосигналів, їх синтез та перетворення.

### Висновки

Закладено основи нового наукового напрямку в галузі електрорадіовимірювальної техніки та вирішена науково-прикладна проблема, яка має важливе народногосподарське значення і полягає у створенні теорії фазочастотних вимірювань та перетворень радіосигналів, на базі якої розроблені принципово нові методи та засоби вимірювання, перетворення та формування фазочастотних параметрів радіосигналів, показані можливості їх застосування в наукових дослідженнях та промисловості.

1. Встановлено, що існуючі фазові або частотні моделі стосовно електричних, а особливо, радіосигналів є неадекватними і це призводить до неможливості підвищення точності та швидкодії вимірювань фазочастотних параметрів.

2. Розроблено теорію та концепцію єдиного фазочастотного підходу, яка базується на понятті головного інформаційного параметра та його похідних (адекватна модель); методи та засоби метрологічного забезпечення фазочастотних вимірювань, що є новим вагомим внеском у розвиток як теорії електрорадіовимірювань, так і теорії формування і обробки сигналів.

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.

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" [2,3,5], і може бути усунута проблема "тіла невизначення", яке є прямим наслідком узгодження двох незалежних шкал  $(L, \nu_p)$ , 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 технологічного суспільства: - збільшення виробництва якісної продукції в одиницю часу (точність x швидкість).

### Література

1. Измерения в электронике: Справочник /В.А. Кузнецов і др.; Под ред. В.А. Кузнецова. – М.: "Энергоатомиздат", 1987. –512с.
2. Харкевич А.А. Спектри і аналіз. 4-е издание.–М.: , ГИ ФМЛ, 1962, -236с.
3. Финк Л.М. Сигналы, помехи, ошибки. –2-е издание, пере раб. и доп. –М.: Радио и связь, 1984. –256с.
4. І.В. Троцишин. Вимірювання та перетворення фазочастотних параметрів радіосигналів: - Хмельницький, ІПП Ковальський В.В. - 2002. – 382с.
5. Троцишин І.В. Методи та засоби фазочастотних вимірювань і перетворень радіосигналів: Атореф. Дис..д-ра техн. наук /НУ "Львівська політехніка". –Львів, 2004, -36с.
6. Троцишин І.В. Частота, кут фазового зсуву, повний фазовий зсув: - ілюзії та реальність// Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. –2005. -№2. –С. 193-198.
7. Троцишина Л.В. Вимірювання частоти за методом коінцидентії/ Троцишина Л.В., Войтюк О.П., Троцишин І.В.// Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. -2005. -№2. С. 198-203.

### References

1. Izmerenia v Elektronike: Spravochnik /V.A. Kuznetsov I dr. /; Pod. Red. V.A. Kuznetsova. -M. "Energoatomizdat", 1987. -512s.
2. Kharkevich AA . Spectry i analiz. /-M.:4 - izdanye., GI FML, 1962, -236s.
3. Fink L.M. Signaly, pomехy, oshybki. -2 Nd izdanie, dd. -M.: Radio i Sviaz, 1984. -256s.
4. I.V. Trotsyshyn. Vymiruvannia i peretvorennia fazothastotnykh parametriv radiosygnaliv: - Khmelnytsky, P.P. Kowalsky V.V. - 2002. - 382s.
5. Trotsyshyn I.V. Methody ta zasoby fazothastotnykh vymiruvannia i peretvoren radio sygnaliv: Ato ref. Dys.d-ra tekhn. nauk. / NU "Lvivska Polytechnika". -L'VIV, 2004, -36s.
6. Trotsyshyn I.V. Thastota, kut phasovogo zsuvu. Povnyy phazovyy zsuв: - Illusiy i realnist // Vymiruvanna ta obthysluvalna tekhnika v tekhnologithnykh prozesakh. -2005. -№2. -S. 193-198.
7. Trotsyshyna L.V. Frequency Measurement method kointsydentsiyi / Trotsyshyna LV, Voytyuk O.P, Trotsyshyn I.V. // Vymiruvanna ta obthysluvalna tekhnika v tekhnologithnykh prozesakh. -2005. -№2. S. 198-203.