

7. ФАЗОМЕТРИЧНІ ПРИСТРОЇ І АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ ДЛЯ ЛАЗЕРНОЇ ФАЗОМЕТРІЇ, ІНТЕРФЕРОМЕТРІЇ ТА ЗАСОБИ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ

На основі проведених вище досліджень та створеній теорії ФЧВ і перетворень сигналів автором безпосередньо та під його науковим керівництвом було розроблено та виготовлено цілий ряд вимірювальних пристроїв, автоматизованих вимірювальних систем та систем телекомунікацій.

В рамках госпдоговірних робіт було розроблено та виготовлено цілий ряд кумулятивних фазометрів, вимірювальних перетворювачів та автоматизованих вимірювальних систем і для лазерної інтерферометрії. В рамках договорів про творчу співдружність з ВО “Новатор” (м.Хмельницький) були розроблені системи скремблювання телефонного каналу зв’язку [167] та покладено початок освоєнню серійного випуску 4-х канального ущільнювача абонентських ліній АТС УТФ-4 [166, 234].

Головним завданням розробок було практичне підтвердження теоретичних досліджень, виконаних автором, а також розробка та впровадження у наукові дослідження і виробництво приладів, що забезпечують високі метрологічні характеристики, високу швидкодію, простоту схемотехніки рішень, низький рівень енергоспоживання, високу ступінь автоматизації.

7.1. Кумулятивний фазометр в десятковій системі числення

Кумулятивний фазометр в десятковій системі числення був розроблений та виготовлений автором [128, 197] для лазерного вимірювача малих переміщень. Були проведені випробування та проведена метрологічна атестація. На рис. 7.1, 7.2 приведені фотографії



Рис.7.1. Блок кумулятивного фазометра

блока кумулятивного фазометра, а також його вигляд в складі фазометричного комплексу, виконаного в стандартному конструктиві “Вишня”.

Особливостями кумулятивного фазометра (рис.7.1) є:

- вимірювання КФЗ в межах 0-360° у двох режимах;

- φ вимірювання в градусах з розрізняючою здатністю 0,0001°;

- λ вимірювання в одиницях довжини хвилі лазера (долях ФЦ)
з розрізняючою здатністю 10^{-7} (ФЦ).

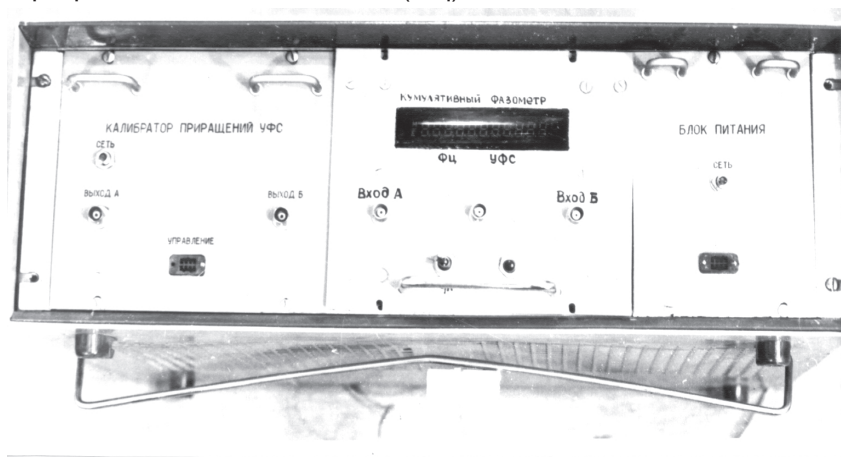


Рис.7.2. Фазометричний комплекс в конструктиві “Вишня”

Реверсивна лічба ФЦ з автоматичним “зшиванням” показів фазометра та лічильника ФЦ здійснюється безпосередньо в фазометрі за допомогою вузла корекції ФЦ, що діє за алгоритмом рис.4.26, функціональна схема вузла корекції кількості ФЦ зображена на рис.7.3.

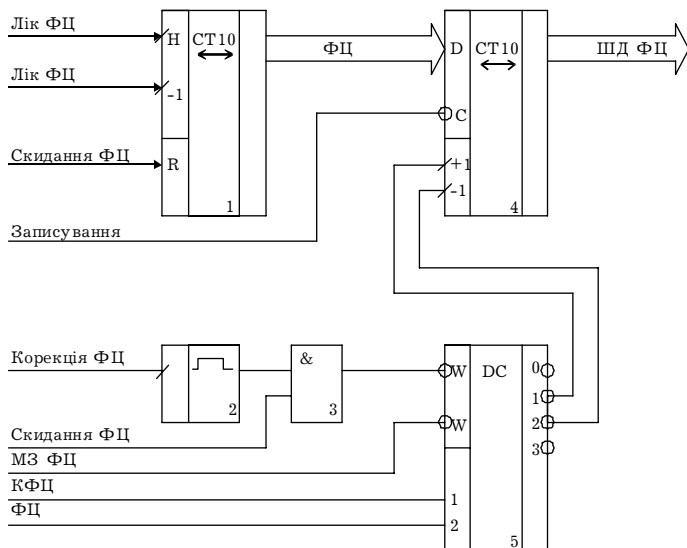


Рис.7.3. Функціональна схема вузла корекції кількості ФЦ

Лічба кількості ФЦ здійснює пристрій лічби ФЦ [240] за допомогою реверсивного лічильника 1 (див. рис.7.3). Перед початком вимірювання лічильник 1 встановлюють в нульовий стан сигналом “Скидання ФЦ”, одночасно виробляється постійний сигнал “Скидання ФЦ” низького рівня, який блокує прохід імпульсу корекції із одновібратора 2 через елемент ІЗ на вхід дешифратора 5. Прохід імпульсу корекції через ІЗ буде дозволений лише після приходу одного із імпульсів “лік ФЦ” на реверсивні входи лічильника 1.

Після закінчення вимірювання фазометром КФЗ, сигналом “запис ФЦ”, двійково десятковий код числа ФЦ із лічильника 1 переписується в лічильник-коректор 4, а потім за сигналом “корекція ФЦ” одновібратор 2 формує імпульс лічби і корекції, який в залежності від стану входів управління дешифратора 5, поступає відповідно на входи “+1” та “-1” лічильника - коректора 4. Сигналами управління є сигнали про величину виміряного значення КФЗ ($> 0^\circ$ чи $> 360^\circ$) та стан пристрою лічби ФЦ.

Сигнал “МЗ ФЦ” блокує корекцію у випадку коли КФЗ $90^\circ < \varphi < 360^\circ$.

В кумулятивному фазометрі був застосований універсальний вузол індикації, структурна схема якого зображена на рис.7.4.

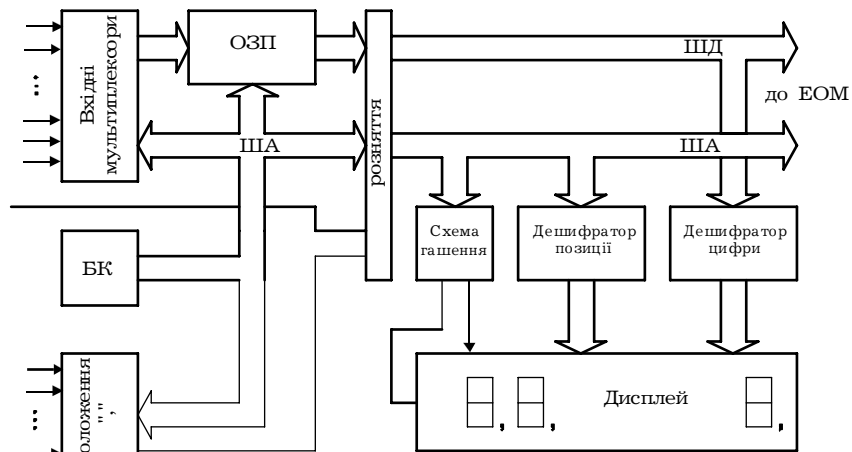


Рис.7.4. Структурна схема універсального вузла індикації

Він складається з двох частин: блока збирання та зберігання інформації (вхідні мультиплексори, БУ, ОЗП) та безпосередньо індикатора, що складається із дисплея ІВЛ-1/13, схеми управління знаком “-”, схеми погашення незначущих нулів і розташування “,” а також дешифраторів цифри та її позиції [128]. Робота здійснюється у два етапи: спочатку за допомогою вхідних мультиплексорів, які управляються БУ по шині адресів

(ША), коди результатів вимірювань із лічильників ФЦ та КФЗ в 4-х - розрядному двійково десятковому коді записують в ОЗП, а після запису останнього розряду БУ переводить ОЗП в режим читання і на дисплеї з'являються результати вимірювання. Для забезпечення погашення незначущих нулів, інформація розвертається на дисплеї, починаючи зі старших розрядів. Шина даних і ША використовуються також для введення інформації в ЕОМ [216].

При побудові фазометричного блоку кумулятивного фазометра були впроваджені захищені АС.№1298682, №1308980, №1357912 розробки автора [161, 240, 254], які зокрема, дозволили в ЧІП отримати еквівалентну частоту квантування $f_{кв} = 390 МГц$, використавши двоканальний ЧІП [161], виконаний на ІМС серії 500 з $f_{max} \leq 200 МГц$.

За результатами метрологічної повірки в органах Держстандарту (НВО ВНДІМ ім. Д. І. Менделєєва) були отримані похибки вимірювання КФЗ для вхідної частоти $F_{вх} = 8 МГц$, $\delta\varphi = 0,2 - 0,1^\circ$ при $T_{вим} = 0,5с$

7.2. Цифровий калібратор приростів кута фазового зсуву на основі лічильника Джонсона

Цифровий калібратор приростів КФС на робочу частоту $F_{вх} = 8 МГц$ був розроблений для метрологічної атестації та калібровки автоматизованого комплексу зразкової фазометричної апаратури для вимірювання довжин на основі растрового електронного мікроскопа МРЕМ-100.

Калібратор зображений на рис.7.2 та 7.5 в комплекті із кумулятивними фазометрами з'ємного блоку конструктиву "Вишня".

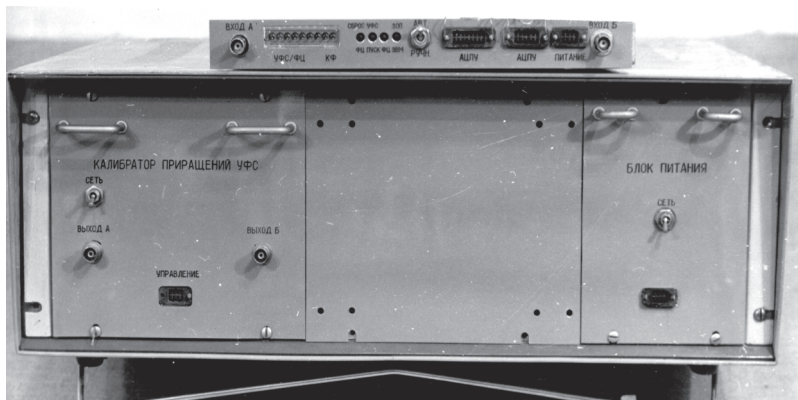


Рис.7.5. Фазометричний комплекс із одноплатним кумулятивним фазометром

В основу блоку калібратора закладені розроблені автором структури які захищені АС.№1267285, №1352400, а також інші технічні рішення [74, 75, 128, 197]. Структурна схема калібратора приростів КФЗ зображена на рис.7.6.

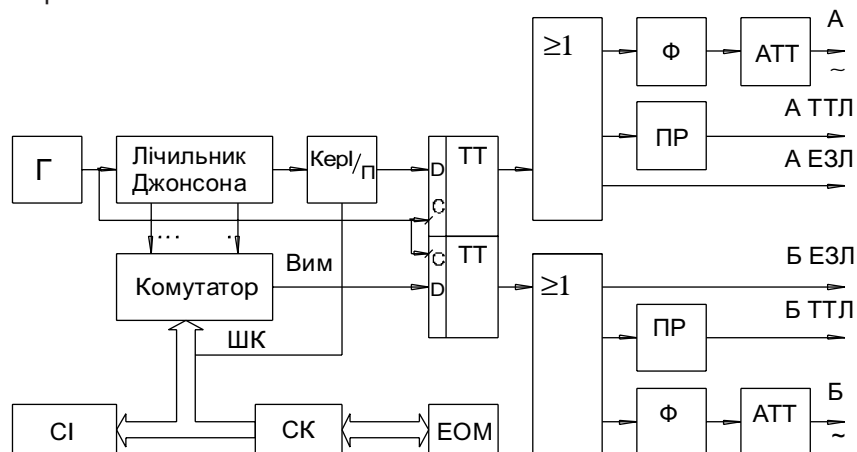


Рис.7.6. Структурна схема калібратора приростів КФЗ з $F = 8\text{МГц}$

Опорний кварцовий генератор (Г) виробляє прямокутні імпульси з частотою $f_z = 128\text{МГц}$. Коефіцієнт перерахунку лічильника Джонсона $N=16$, тобто $f_{\text{вих}} = 128 / N = 8\text{МГц}$, і дискретність завдання приростів КФЗ $\Delta\varphi = 360^\circ / N = 22,5^\circ$.

Опорний вихід підключений до D-тригерів синхронізації [21], через керований інвертор/повторювач, а вимірювальний вихід через багатоканальний комутатор, яким вибирають значення приросту $\varphi = \Delta\varphi_k$, що задається. Тригери синхронізації (ТТ), здійснюють прив'язку фронтів вихідних сигналів до фронтів тактової частоти, усуваючи тим самим систематичні та випадкові набіги зсувів фаз в каналах комутаторів і з'єднувальних колах, що є особливо важливим на високих частотах. Вихідні пристрої зібрані на потужних розмножувачах імпульсів (500ЛП210), з виходів яких знімають сигнали на рівнях ЕЗЛ, ТТЛ або ж синусоїдальні, які отримують фільтрацією фільтром (Ф) і регульованим вихідним рівнем з атенюатора (АТТ).

В результаті експериментальних досліджень та метрологічної атестації експериментального зразка калібратора приростів КФЗ в органах Держстандарту (НВО ВНДІМ ім. Д.І.Менделєєва м. Ленінград) були отримані наступні результати:

- похибка завдання приростів КФЗ на частоті 8МГц не більше $0,5^\circ$, при рівні вихідних сигналів 0,5В. Калібратор має виносний блок управління, за допомогою якого здійснюється дистанційне керування завданням приростів КФЗ як в ручному режимі так і з ЕОМ [197].

7.3. Автоматизований одноплатний швидкодіючий кумулятивний фазометр

Автоматизований, одноплатний швидкодіючий кумулятивний фазометр був розроблений та виготовлений автором у складі фазометричного комплексу зразкової фазометричної апаратури для лазерного вимірювача малих довжин [49-57, 197].

На рис.7.5 та 7.7 наведені фотографії фазометричного комплексу із одноплатним фазометром та сам одноплатний швидкодіючий кумулятивний фазометр.

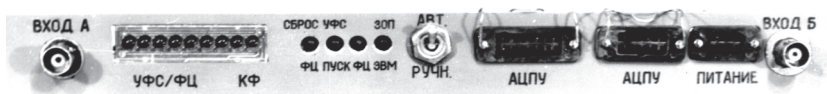


Рис.7.7. Автоматизований одноплатний швидкодіючий кумулятивний фазометр

В основу побудови фазометра закладена запропонована автором блочна структура побудови фазометрів із трьох блоків БПО і ІКІ, БЦК і ЗІ, БУ, що дозволяє чітко розділити на функціональні вузли, які відбивають суть перетворень інформації і дозволяють оптимізувати технічні рішення [162, 163]. На рис.7.8 зображено структурну схему одноплатного швидкодіючого кумулятивного фазометра.

Розроблений фазометр поєднує в собі переваги як звичайного фазометра з ручним керуванням та блоком індикації (БКІ), так і автоматизованого одноплатного давача-перетворювача інформації (вимірювального перетворювача), що безпосередньо вмонтовується в канал мікро ЕОМ типу "Електроніка-60", завдяки наявності на платі фазометра паралельного інтерфейсу (ПІ) для спряження із каналом мікро ЕОМ. В цій розробці була застосована двійкова система числення для відображення КФЗ та ФЦ із їх почерговою індикацією на дисплеї БКІ, що розташований на передній панелі, у вісімковій системі, яка прийнята в системі команд та форматі каналу мікро ЕОМ, що суттєво спростило як будову фазометра, так і процес та засоби спряження з мікро ЕОМ [128, 197].

В БПО і ІКІ вперше був реалізований спосіб ЧІП [161] із 4^{-x} - канальним та 4^{-x} -фазним квантуванням, що дозволив в 4 рази піднести $f_{кв.екв}$ у порівнянні з аналогічними пристроями. Пристрій лічби ФЦ було

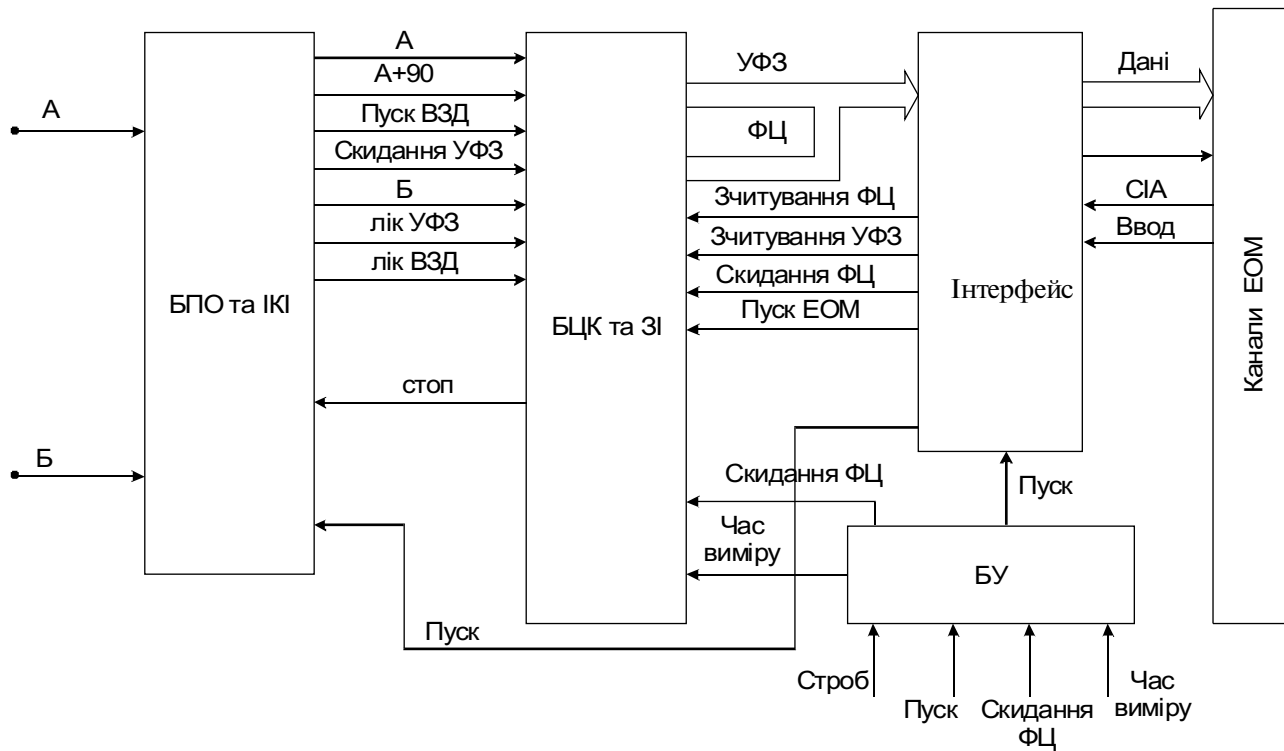


Рис.7.8. Структурна схема однополюсного швидкодіючого кумулятивного фазометра

виконано згідно АС.№1337819 [241] на швидкодіючих елементах серій 500IE136, 500TM131, 500ЛП107. Для забезпечення високої швидкодії $T_{вим} = 100 мкс$, при $F_{вх} = 8 МГц$, всі вузли, за винятком БКІ і ПІ були повністю виконані на швидкодіючих ЕЗЛ мікросхемах серії 500 [128, 197].

Формат вихідної інформації - два машинних слова (16-ти двійкових розрядів - код числа ФЦ, 14 двійкових розрядів - код КФЗ і 2 молодших розряди - код сигналів корекції ФЦ).

Прилад працює у двох режимах: в ручному (однократному) та автоматичному (багатократному). У першому випадку час вимірювання 1с, в другому - час одного вимірювання 100мкс. Ручки управління роботою приладу виведені на передню панель. Для підключення АЦДП, або зовнішніх вихідних пристроїв виводу, інформація із вихідних регістрів виведена на роззяття та контрольний індикатор у 16-ти розрядних паралельних двійкових кодах і відображається у вісімковій системі. Кумулятивний фазометр дозволяє вимірювати КФЗ як на фіксованій частоті $F_{вх} = 8 МГц$, так і в діапазоні частот вхідних сигналів $F_{вх} = 100 кГц - 200 кГц$, при рівнях вхідних сигналів $F = 62 \pm Гі$.

Атестована органами Держстандарту (НВО ВНДІМ ім. Д.І.Менделєєва м. Ленінград) похибка вимірювання КФЗ в межах $0 - 360^\circ$ на частоті 10МГц, при часі вимірювання 100мкс складає $0,6^\circ$:

- при часі вимірювання 1,0с складає не більше $0,3^\circ$;

- на частоті 200кГц і часі вимірювання 1,0с похибка складає $0,05^\circ$.

Розрізняюча здатність по КФЗ складає $0,005^\circ$;

Ємність лічильника ФЦ - 2^{16} .

Фазометр має автономне живлення: +5В, -5,2В, що дозволяє використовувати його і як самостійний вимірювальний прилад [87, 88, 89].

В перетворювачі $\varphi \rightarrow \tau$ фазометра застосовано пристрій затримки початку часо-імпульсного перетворення на $T_{он}$, що дозволяє виключити додаткову похибку за рахунок синхронізації (див. 5 главу монографії). Як підсилювачі-обмежувачі були використані диференційні приймачі з лінії 500ЛП216 із перехресними зворотними зв'язками в першому каскаді. Одноплатний кумулятивний фазометр у складі фазометричного комплексу демонструвався на 2-й міжнародній виставці "Метрологія-86" у складі інтерференційної установки на основі РЕМ "Мікрон-01" [71] Впровадження фазометричного комплексу дало значний економічний ефект.

7.4. Електронна фазометрична система для лазерної фазометрії та інтерферометрії

Електронна фазометрична система для лазерної фазометрії та інтерферометрії розроблена автором, виготовлена та передана замовнику і була направлена на розробку робочої документації, а також підготовку серійного виробництва ЕФС разом із заводами “Еталон” у складі первинного обладнання територіальних органів Держстандарту, і згідно плану Державної стандартизації на 1986р (п.8.3.1.01.07). Роботи по розробці та впровадженню у серійне виробництво ЕФС були включені до міжвузівської науково-технічної програми “Створити технічні та програмні засоби обчислювальної техніки, розробити методи використання мікропроцесорів та мікро ЕОМ для автоматизації приладів, установок і технологічних процесів” на 1986-1990рр.

На рис.7.9 зображена структурна схема автоматизованої фазометричної системи для фазометрії та інтерферометрії разом із лазерним інтерферометром.

На рис.7.10 приведено фотографію загального виду оптикоелектронної частини інтерферометричної системи на лазерному стенді замовника.

Оптоелектронна частина, яка включає як лазерний інтерферометр, так і генераторний блок із підсилювачами потужності 2,4, калібратором пристосів КФЗ, кумулятивним фазометром захищені А.С. №1267285, №1298682, №1308980, №1411572, №1384046, №1446432, №1392363 [74,76, 161, 240, 241, 243, 244].

На рис 7.11 приведено у збільшеному масштабі лазерний інтерферометр, виконаний за АС.№1446432 [16]. Лазерний двопроменевий інтерферометр має He-Ne лазер 1 із стабілізацією частоти випромінювання системою АПЧ (ЛГ-77), два послідовно розташованих акустооптичних модулятори (типу МЛ-201М) АОМ5 та АОМ6, які встановлені один напроти другого під кутом Бреґа θ до нульового порядку дифракції. Кутникові відбивачі 9,10, дзеркало 7 і змішувальна пластина 8 утворюють інтерферометр, в якому опорним є промінь з частотою $\gamma + 80.00 \text{ МГц}$ (+1 порядок дифракції АОМ5), а референтним служить промінь вимірювального плеча (відбивач 10) з частотою $\gamma + 80.625 \text{ МГц}$ (+1 порядок дифракції АОМ6). Подібне виконання інтерферометра [39] дозволяє зменшити його розміри і тим самим підвищити стабільність вимірювання.

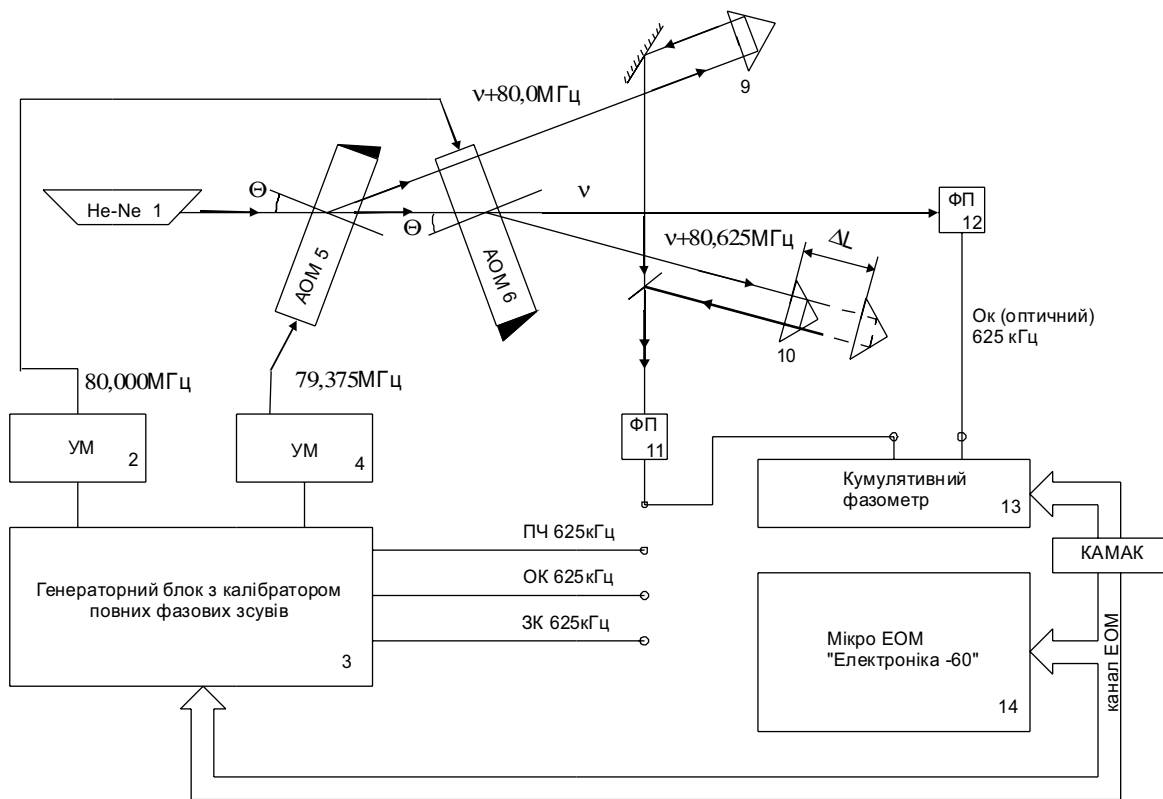


Рис. 7.9. Структурна схема автоматизованої фазометричної системи для лазерної фазометрії та інтерферометрії

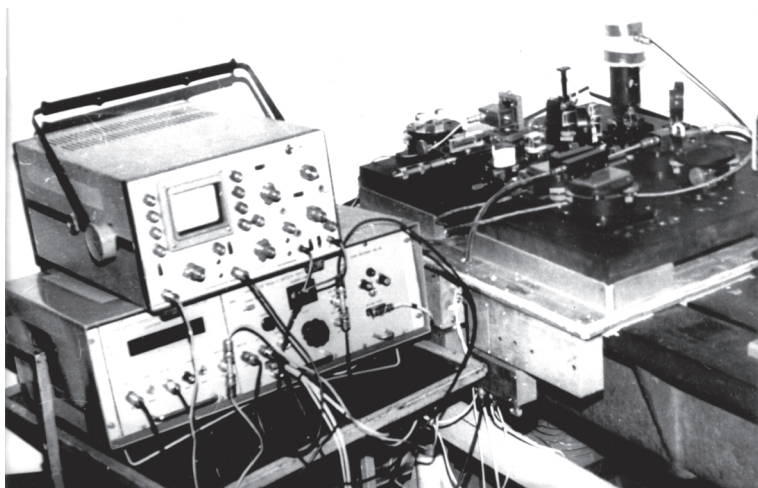


Рис. 7.10. Загальний вигляд оптоелектронної частини інтерферометричної системи на лазерному стенді разом із ФКІ-3

На рис.7.11 приведено у збільшеному масштабі лазерний інтерферометр виконаний за АС. №1446432, що використовувався для вимірювання субмікронних переміщень. Фотоприймачі ФП1, ФП2 виділяють радіочастотні сигнали із частотою $F = 625 \text{ кГц}$, КФЗ яких несе інформацію про переміщення рухомого відбивача 10, а ФП2 служить джерелом додаткового опорного “оптичного” сигналу А, який дозволяє виключати вплив дестабілізуючих факторів в АОМ та електронній частині на результати вимірювань [76, 197].

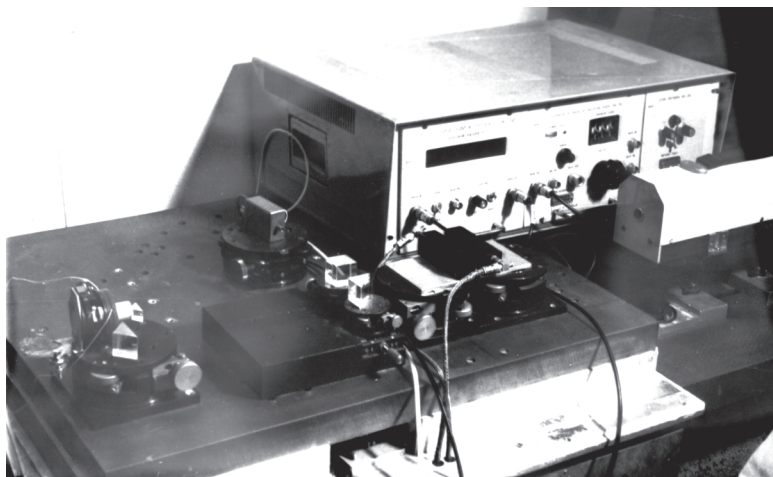
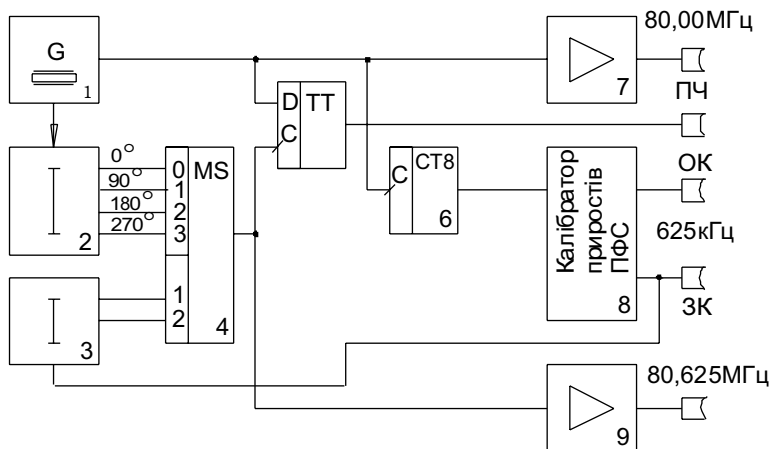
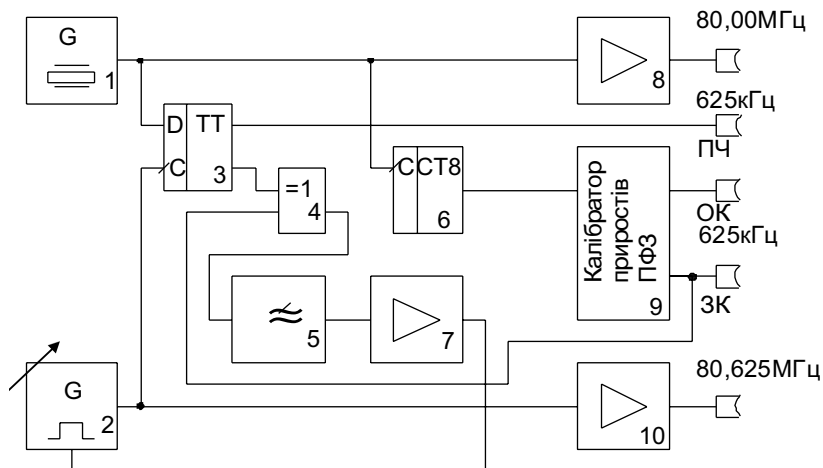


Рис. 7.11. Лазерний інтерферометр (А.С.№1446432)

Генераторний блок виробляє сигнали живлення для АОМ з частотами 80,000МГц і 80,625МГц, а також сигнал проміжної частоти ПЧ 625кГц, який може використовуватись як опорний радіочастотний сигнал.



Калібратор приростів КФЗ, виконаний за схемою лічильника Джонсона (рис.7.6) [128, 197], причому його вихід задаючого каналу ЗК ввімкнено послідовно відносно опорного ОК в “фазове кільце” трансформації приростів КФЗ, що задаються калібратором на $f = 80,625 \text{ МГц}$ із наступним перенесенням на $\nu + 80,625 \text{ МГц}$, і на виході ФП11 на частоту вимірювального виходу з $F = 625 \text{ кГц}$ аналогічно схемі фазового компаратора за А.С.№1392363[244]. Таким чином, калібратор пристроїв КФЗ може використовуватись для тестування працездатності як кумулятивного фазометра 13 (виходи ОК.ЗК , так і тестування працездатності та оцінки метрологічних характеристик всієї установки, включаючи інтерферометр.

На рис.7.12 зображено варіант побудови генераторного блоку із системою ФАПЧ, який забезпечує зсув частоти на $\Delta F = 625 \text{ кГц}$ і здійснює перенесення фазових співвідношень ЗК калібратора на частоту $f = 80,625 \text{ МГц}$.

Генераторний блок має опорний кварцовий генератор 1 із $f = 80,000 \text{ МГц}$, та підсилювачем потужності 8, і управляючого генератора 2 з ПП10, які охоплені системою ФАПЧ, в яку також входить змішувач на D-тригері 3, фазовий детектор 4 на елементі ВИКЛЮЧНО АБО, ФНЧ5 та підсилювач 7. Калібратор приростів КФЗ 9 працює від опорного генератора через подільник на 8.

На рис.7.13 приведено варіант побудови генераторного блоку з використанням фазочастотних методів зміщення частоти.

Генераторний блок має опорний кварцовий генератор 1 із $f = 80,000 \text{ МГц}$ з ПП7, фазорозчіплювач 2, який забезпечує формування квадратурних складових на частоті 80,000 МГц, вузол цифрового керування 3, мультиплексор 4, змішувач на D-тригері 5, подільник (на 8) 6, калібратор приростів КФЗ 8, ПП9.

Робота генераторного блоку основана на дискретному моделюванні фазочастотного методу формування частоти, зміщеної відносно опорної, яка реалізується цифровим мультиплексором 4, який управляється блоком цифрового управління 3. При цьому на виході мультиплексора 4 отримуємо послідовність імпульсів, які слідують із зсувом на 90° в кожному із наступних квадрантів модулюючого низькочастотного сигналу $F = 625 \text{ кГц}$, тобто $0^\circ, 90^\circ, 180^\circ, 270^\circ, 0^\circ, 90^\circ$ і т.д. Частота вихідного сигналу на виході мультиплексора $f_{\text{вих}} = f_{\text{он}} \pm F$, в залежності від послідовності комутації квадратурних складових.

В результаті експериментальних досліджень макетів генераторних блоків було встановлено, що системи із ФАПЧ мають недостатню стійкість та фазостабільність під час довгострокової експлуатації і потребують періодичного контролю захоплення системи ФАПЧ. Системи побудовані на основі фазочастотного методу синтезу, частоти виходять на режим без налагодження, а також трансформують фазові співвідношення знизу вверху “без похибок”, але мають гірші спектральні характеристики [128, 197].

При дослідженні спектрального складу вихідних сигналів мультіплексора було встановлено, що основна спектральна складова $f_{з.к} = f_{он} \pm F$ на 20 -30 дБ більша побічних продуктів. Причому найближчі бокові спектральні складові зміщені відносно вихідної $f_{вх}$ на $\Delta F = 4F$. Спектральна складова з $f_{он} = 80,000 \text{ МГц}$ практично подавлена більше ніж на 40 дБ, що повністю співпадає з теоретичними результатами аналізу фазочастотного перетворювача. Використання резонансних систем в ПП і фільтруючих властивостей АОМ дозволило отримати на виході ПП спектральну складову $f_{з.к} = f_{он} \pm F$ із подавленням побічних продуктів більш ніж на 40 дБ.

Керування калібратором приростів КФЗ здійснюється мікро ЕОМ через вмонтований інтерфейс із дискретністю $\Delta\varphi = 22,5^\circ$ на частоті $F = 625 \text{ кГц}$ і $f_{з.к} = 80,625 \text{ МГц}$. Передбачено також і ручний режим задавання $\Delta\varphi$ за допомогою кнопки на передній панелі.

На рис.7.14 приведено фотографію генераторного блоку із калібратором приростів КФЗ.



Рис. 7.14. Генераторний блок із калібратором приростів кута фазового зсуву

На рис.7.15,7.16 приведена фотографія та зображена функціональна схема кумулятивного фазометра ЕФС, що складається із двох основних блоків БЛО і ІКІ, БЦК та ЗІ.



Рис. 7.15. Блок кумулятивного фазометра

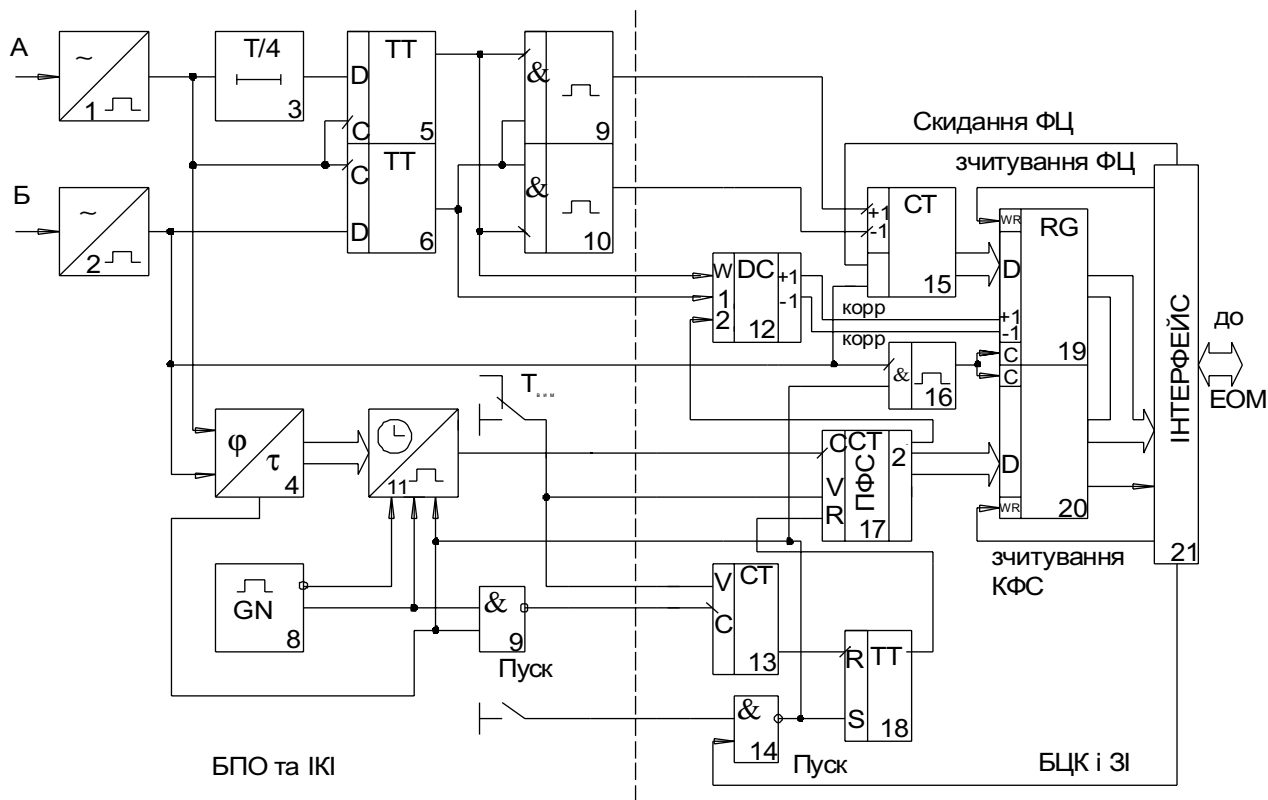


Рис.7.16. Функціональна схема кумулятивного фазометра ЕФС

Кумулятивний фазометр складається із двох частин: цифрового фазометра та пристрою ліку ФЦ. Фазометр, виконаний за схемою цифрового фазометра з постійним часом вимірювання, має два часових інтервали вимірювання $T_{вим1} = 500 \text{ мкс}$, $T_{вим2} = 1,0 \text{ с}$, з автоматичним керуванням мікро ЕОМ через інтерфейс 21.

На виходах фазометра встановлені підсилювачі-обмежувачі 1,2, виконані на ЕЗЛ серії 500 (див. рис.5.10). Для по давлення хибних нуль-переходів на виходах формуючих пристроїв 1,2 встановлені пристрої захисту від широкосмугових завад, які виконані за схемою за А.С.№1167525 [128, 197, 239] (див. рис.5.11д) і забезпечують надійну роботу формувачів імпульсів ліку ФЦ, які складаються із елемента затримки 3, двох D-тригерів 6,7 та одновібраторів 10,11.

Перетворювач $\varphi \rightarrow \tau$ 4 виконано з урахуванням розроблених в V главі методів виключення додаткової похибки, що вноситься процесом встановлення тригерів-подільників та вимірювальних тригерів з мінімальною електричною довжиною каналу перетворення (див. рис.5.37).

Чотириканальний часо-імпульсний перетворювач 8 виконаний за схемою 4-х канального парафазного ЧІП згідно А.С.№1308979 [253].(див.рис.5.25), що дозволило отримати еквівалентну частоту квантування $f_{кв.екв} = 4f = 4 \times 160 = 640 \text{ МГц}$, яку отримують від парафазного генератора квантуючих імпульсів 5.

БЦК і 3І складається із лічильника ФЦ15, блоку корекції 12, лічильника КФЗ 17, лічильника ЧЗП 13, а також допоміжних пристроїв управління 16,18. Інформація із лічильника ФЦ15 блоку корекції 12, лічильника КФЗ 17 записується в буферні регістри 19,20 (589IP12) після закінчення циклу вимірювання синхронно із вхідним сигналом, за рахунок чого виключається можливість невірної зчитування кількості ФЦ. Після закінчення імпульсу запису на виході регістра 19 стає сигнал вимоги переривання Т, який дає сигнал вмонтованому інтерфейсу 21, на введення інформації в мікро-ЕОМ.

Процес управління фазометром повністю здійснюється від ЕОМ через інтерфейс 21 (Пуск, Скидання ФЦ, Читання ФЦ, Читання КФЗ), але передбачено також і ручний режим управління (контрольний).

Основні технічні характеристики фазометра наступні:

- частоти вхідних сигналів 625кГц, 50кГц;
- рівень вхідних сигналів -0,5В 0,5%;
- співвідношення сигнал/ шум більше 40дБ;
- похибка вимірювання КФЗ не гірше 0,3 ($T_{вим1} = 500 \text{ мкс}$);

-похибка вимірювання КФЗ не гірше $0,1^0$ ($T_{вим2} = 1,0с$);

-розрядність вихідного коду - машинне слово 16 біт:

1 слово -ФЦ, 2 слово-14 розрядів КФЗ та 2 розряди корекції.

Обмін з ЕОМ типу "Електроніка-60" в режимах опитування готовності або за вимогою переривання.

Конструктивно блок кумулятивного фазометра виконано у вигляді однієї плати розмірами 280х240мм в стандарті крейта СМ ЕОМ і зображений на рис. 7.15. Для забезпечення високої точності вимірювань всі основні вузли БПО та ІКІ виконані на швидкодіючих елементах серії 500, а для забезпечення низького рівня енергоспоживання всі вузли БЦК та ЗІ виконані на елементах ТТЛШ серій 531,555,1533,589.

Зовнішній вид автоматизованої ЕФС разом із мікро-ЕОМ "Електроніка-60" приведено на рис 7.17. Автономний блок живлення ЕФС також вмонтовується в крейт системи мікро-ЕОМ.

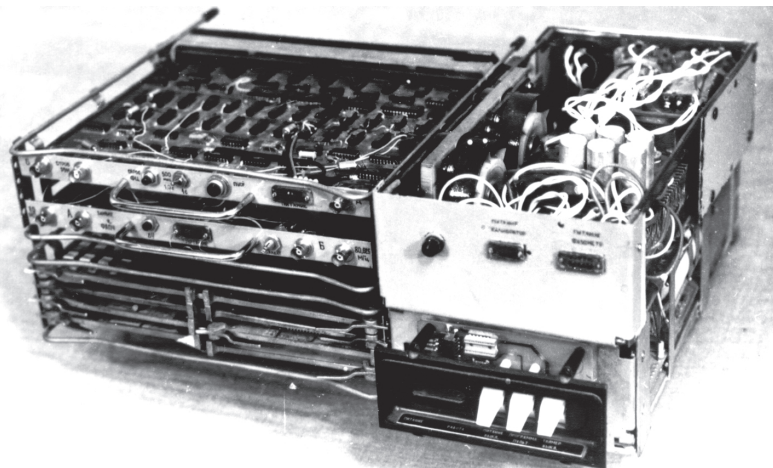


Рис. 7.17. Автоматизована фазометрична система разом із мікро-ЕОМ "ЕЛЕКТРОНІКА-60"

При використанні ЕФС на віддалі від мікро-ЕОМ вона компонується у вигляді окремого стандартного крейта каналу ЕОМ сімейства СМ ЕОМ із автономним блоком живлення і зображена рис.7.18.

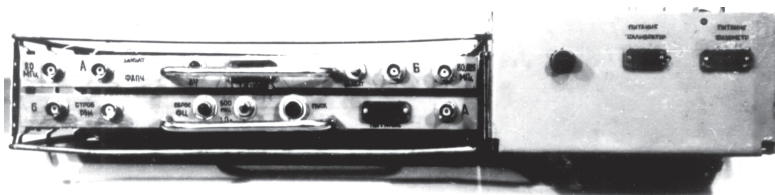


Рис.7.18. Фазометрична система із блоком живлення

Наявність двох варіантів компоновання ЕФС в стандартних блоках забезпечує велику гнучкість при використанні її в автоматизованих вимірювальних системах для лазерної фазометрії та інтерферометрії, а також інших фазових або фазочастотних вимірювальних систем радіо і оптичного діапазонів разом з будь-якою із ЕОМ сімейства СМ ЕОМ.

На рис. 7.19. приведено фотографію ще одного варіанту компоновки універсального двоканального вимірювального модуля у вигляді двох фазометрів, вставлених в крейт “Електроніка-60”.

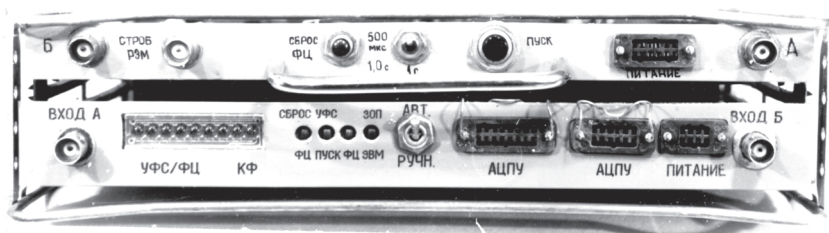


Рис. 7.19 Кумулятивні фазометри в стандарті крейта мікро-ЕОМ “ЕЛЕКТРОНІКА-60”

Під час розробки та виготовлення ЕФС були широко використані фазочастотні методи вимірювання, формування і трансформації сигналів, розроблені автором, частина із яких захищені А.С.[178, 197, 240-244, 252-254]. Економічний ефект від впровадження А.С. №1167525, №1298682 був значний.

На основі ескізної документації ЦКБ Держстандарту (м. Москва) була розроблена конструкторська документація для освоєння серійного виробництва в складі автоматизованого місця повірника лінійних розмірів в системі територіальних органів Держстандарту.

Маючи на увазі, що всі блоки ЕФС управляються від ЕОМ, вона може бути використана у потрібному для споживача варіанті шляхом використання відповідних програм управління та обробки результатів. Для перевірки працездатності, а також оцінки метрологічних характеристик ЕФС, як і лазерного вимірювача в цілому, автором була розроблена програма тестування, структура алгоритму якого зображена на рис 7.20. Програма складається із двох частин: управляючої програми задавання приростів КФЗ калібратором, і вимірювання їх фазометром на АСЕМБЛЕРІ, і програми статистичної обробки результатів та прийняття рішення на БЕЙСИКУ [197].

Алгоритм реалізує режим статистичної обробки результатів вимірювання із виведення на друкуючий пристрій результатів як кожного вимірювання окремо, так результатів, які вже статистично оброблені. У випадку виходу метрологічних характеристик за межі допуску система автоматично видає відповідну роздруковку із

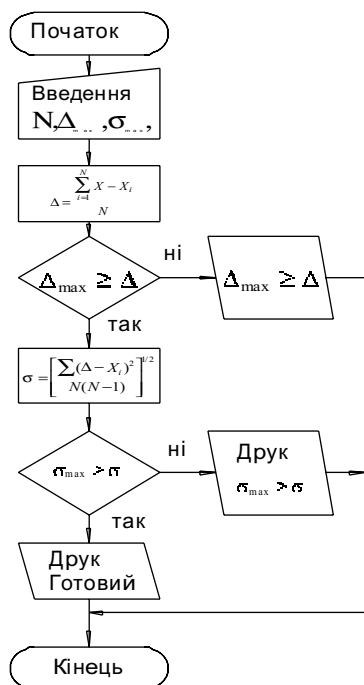


Рис.7.20. Алгоритм програми тестування

вказівкою на невідповідність приладу заданим метрологічним нормам.

Режим тестування метрологічних характеристик системи став можливим завдяки наявності вмонтованих зразкових засобів, атестованих органами Держстандарту, і дозволяє врахувати систематичні відхилення які притаманні оптичним каналам і в значній мірі дрейфують у часі.

У випадку виходу, коли вимірювані значення виходять за межі нормуємих метрологічних параметрів видається відповідний сигнал, що вказує на необхідність провести вимірювання систематичних похибок та врахування їх при кінцевому обробленні результатів вимірювання. Важливість також автоматизованого режиму дозволяє мінімізувати вплив систематичних похибок оптичних

каналів, адже процеси вимірювання відбуваються у різні моменти часу, який може складати хвилини.

7.5. Фазометричний вимірювальний перетворювач з оптичними входами в стандарті КАМАК

Вимоги уніфікації та стандартизації вимірювальної апаратури на світовому рівні, а також вирішення завдань вимірювань у специфічних умовах експерименту, коли перетворювач не може знаходитись разом із оптичною схемою (наявність паразитних теплових полів, робота в складі систем контролю іонізуючого випромінювання та значного рівня електромагнітних завад) слугувало основою для розробки вимірювального перетворювача в стандарті КАМАК із оптичними входами.

Крім зміни конструктивного стандарту та протоколу обміну інформацією, вимірювальний перетворювач реалізував розроблені автором фазочастотні методи вимірювання ПФЗ в реальному масштабі часу [206? 209]:

- час вимірювання складав два періоди вхідного сигналу (1-вимірювання, 2-обмін інформацією, відновлення початкового стану);
- перетворювач видавав готові значення кодів ПФС (кореговані) і міг працювати в реальному масштабі часу;

- мав наявність слідкуючого аналогового виходу;

- допускав зовнішню синхронізацію сигналів.

На рис.7.21 приведено функціональну схему вимірювального перетворювача в стандарті КАМАК із оптичними входами.

На рис.7.22 приведено фотографію зовнішнього вигляду модуля КАМАК вимірювального перетворювача.

Відмінною рисою вхідної частини є наявність паралельних входів та вхідних перетворювачів відповідно електричних 1,2 та оптичних 1, 2. Як вхідні перетворювачі оптичних сигналів були використані вхідні приймальні модулі ВОЛЗ типу "Електроніка МС 8401", які забезпечують швидкодію до 45МГц і працюють по оптичному кабелю $d = 125_{\text{мкм}}$ на відстані 100 і 300м.

БПО і ІКІ перетворювача включає вхідні формуючі пристрої 1(1), 2(2), пристрій формування лічильних імпульсів ФЦ 3,5,6,9,10, а також вузол інтерполяції дрібної частини ФЦ 4,7,8,11. БЦК і ЗІ виконаний відповідно на лічильниках ФЦ 13 та інтерполаторі 16, вузлі корекції 14 та буферних регістрах 17,18. Елементи БУ та інтерфейсу, в даному випадку, визначені системою команд стандарту КАМАК мають вузли управління 12,15,19. Вимірювальний перетворювач призначений для повністю автоматичного використання у складі інформаційно - вимірювальних систем, які мають крейти КАМАК, через які перетворювач отримує команди та передає інформацію на центральну ЕОМ.

Особливістю підключення перетворювача до вимірювальних інтерференційних систем є те, що його розрізняюча здатність залежить від співвідношення $F_{\text{вх}}$ та $F_{\text{сирп}}$. Для конкретного екземпляра було

закладено співвідношення $F_{\text{сирп}} / F_{\text{он}} = 512 (F_{\text{он}} = 1\text{МГц})$, і $F_{\text{сирп}} / F_{\text{он}} = 4096 (F_{\text{он}} = 100\text{кГц})$ [206? 209].

Таким чином забезпечувались похибки вимірювань КФЗ:

$$\pm \lambda / 512 (0,7^\circ) \text{ при } T_{\text{вим}} = 20\text{мкс} ;$$

$$\pm \lambda / 4096 (0,08^\circ) \text{ при } T_{\text{вим}} = 2,0\text{мс} ,$$

що в перерахунку на похибку вимірювання лінійних розмірів при

$$\lambda = 0,63\text{мкм дає } \Delta l = \pm 3\text{нм} .$$

Наявність оптичних входів дозволила в інтерферометрі рис.7.11

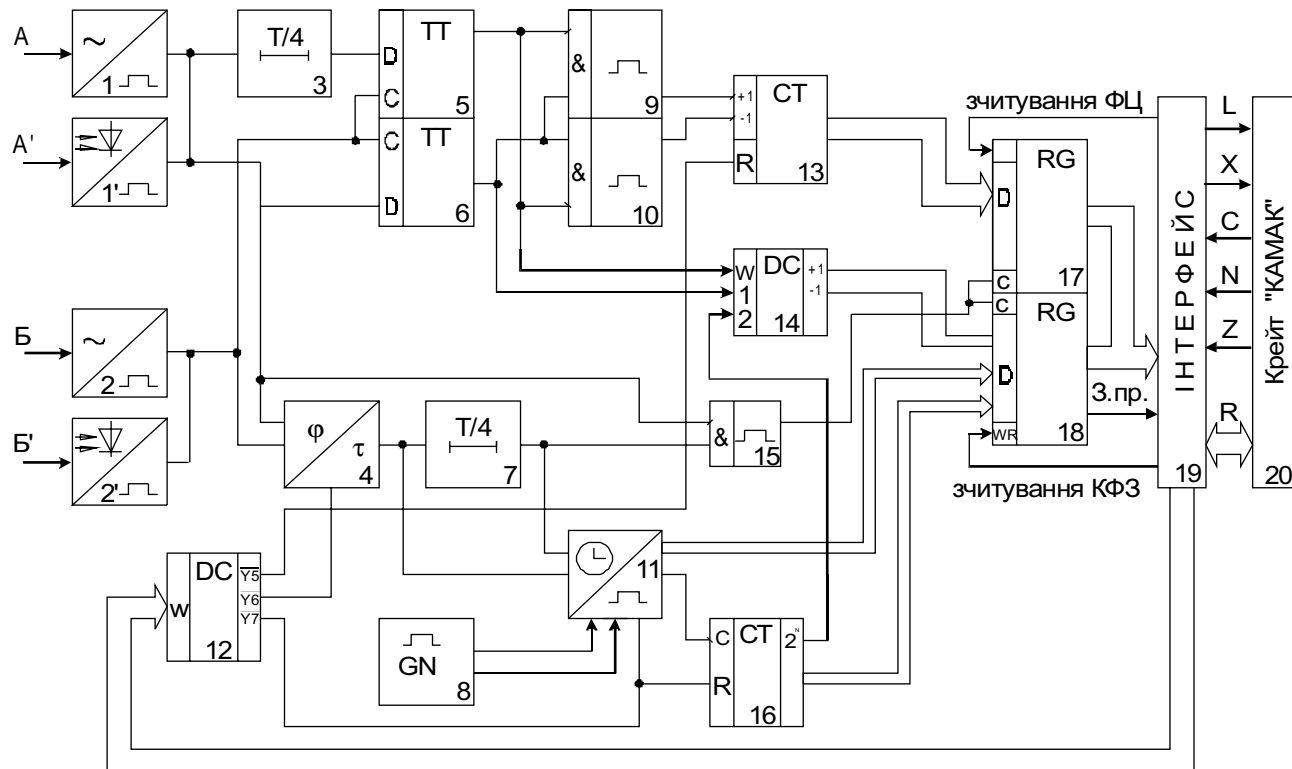


Рис.7.21. Функціональна схема кумулятивного фазометра в структурі КАМАК



**Рис.7.22. Модуль КАМАК
вимірювального перетворювача**

відмовитись від фотоприймачів і передавати сигнали із інтерферометра променем лазера через два 100м оптичні кабелі, а входні перетворювачі 1,2 виконували при цьому одночасно і роль винесених фотоприймачів. Однак використання досить довгих (~100м) оптичних кабелів погіршило точностні характеристики більше ніж у 2 рази, (при кабелях $l = 300\text{м}$ -5 разів), що свідчить про необхідність використовувати оптичні кабелі коротші 50м.

Завдяки застосуванню оптичного рознесення вимірювальної апаратури за межі кімнати з інтерферометром був до мінімуму зведений негативний вплив теплових випромінень та електромагнітних завад, які, наприклад, завжди є біля термоядерних реакторів типу ТОКАМАК. Тому основні ідеї, відпрацьовані на цьому модулі, були з успіхом використані при розробці вимірювальних перетворювачів для інтерференційного комплексу збору інформації термоядерного реактора (типу ТОКАМАК) ТСП в м. Троїцьку, філіалі Інституту ім. І.В.Курчатова [206, 209].

7.6. Автоматизована багатоканальна система збору даних інтерференційного комплексу Токамака ТСП.

При виконанні НДР, які виконувались в рамках Державної програми досліджень з керованого термоядерного синтезу був розроблений вимірювальний канал автоматизованої багатоканальної системи збору даних інтерферометричного комплексу ТОКАМАКА ТСП. В його склад входять, виконані в стандарті КАМАК, модулі двоканального вимірювального блоку з ОЗП та блоку синхронізатора-калібратора.

Двоканальний вимірювальний модуль із вмонтованим синхронізатором-калібратором призначений для вимірювання фазових набігів більше 2λ та запису їх цифрових кодів у буферну пам'ять, з наступною передачею інформації із ОЗП в ЕОМ по шині КАМАК, а також видачею кодів і аналогового сигналу фазового зсуву в реальному масштабі часу.

Структурна схема вимірювального блоку приведена на рис.7.23.

Основні технічні характеристики вимірювального блоку:

- робоча частота калібратора та вимірювача ПФС фіксована в діапазоні 20кГц-1МГц;

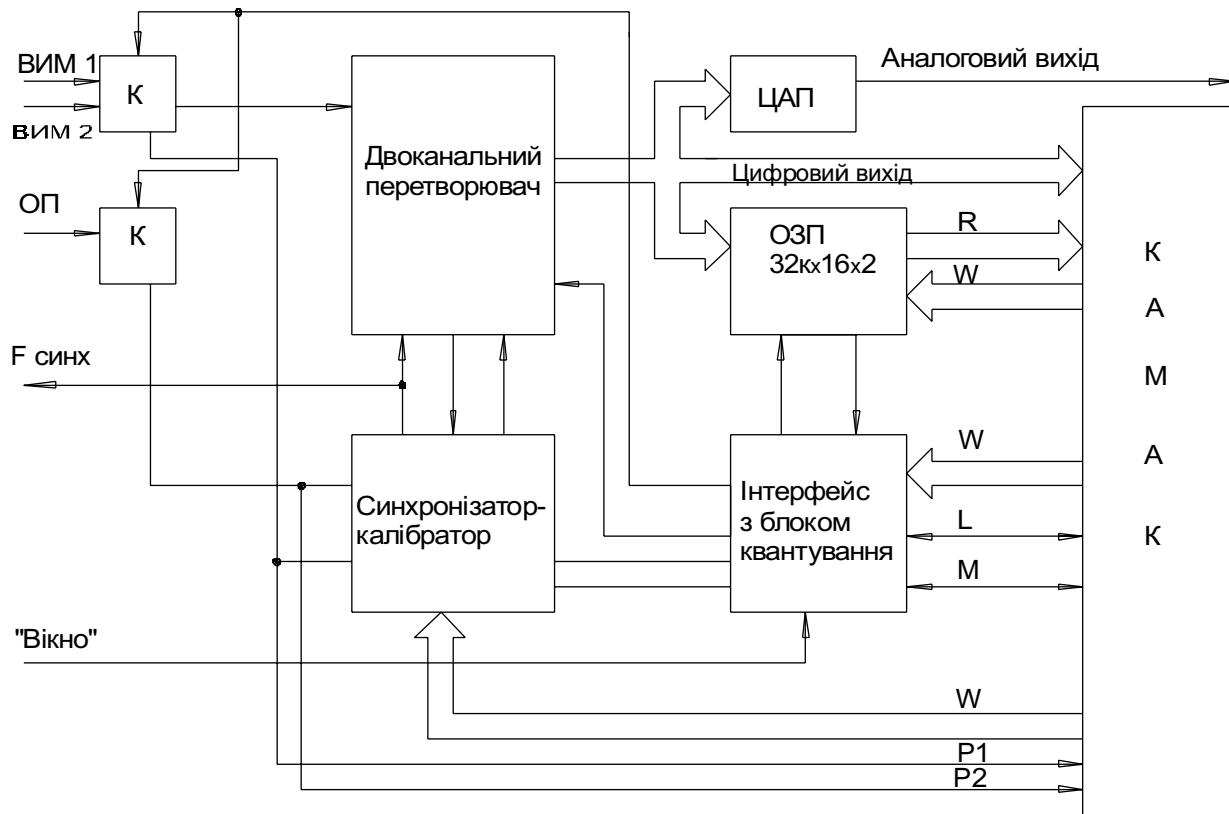


Рис.7.23. Структурна схема вимірювального модуля КАМАК

- діапазон вимірюваних фазових зсувів $0 - 2\pi \times 256$;
- абсолютна похибка вимірювань ПФС не гірше:
- $1,4^\circ$ ($2\pi / 256$ для F до 1МГц);
- $0,1^\circ$ ($2\pi / 4096$ для F до 100кГц);
- мінімальний час вимірювання дорівнює одному періоду вхідного сигналу;
- діапазон часових шкал вимірювання від 1 вимірювання через період, до 1 вимірювання через 16 періодів T_{on} ;
- рівні вхідних сигналів $0,5 \leq U_{вх} \leq 10B$;
- співвідношення сигнал/ шум не гірше 46дб;
- дискретність задавання приростів ПФС $22,5^\circ$;
- похибка задавання приростів не гірше $0,3^\circ$ (до 1МГц), $0,03^\circ$ (до 100кГц);

- ємність вимірювального ОЗУ $32 \times 16 \times 2$;

- габаритні розміри стандартного корпусу 2М КАМАК (ГОСТ.26.201-80).

Вимірювальний перетворювач каналу перетворює інформацію про зміну ПФС вхідних сигналів кожного із каналів відносно опорного в цифровий код, який виводиться на передню панель модуля як в цифровому, так і аналоговому вигляді. Синхронізатор-калібратор за допомогою системи ФАПЧ підстроює $F_{синх} = 64f_{on}$ (до 1МГц) і $F_{синх} = 1024f_{on}$ (до 100кГц), одночасно формуючи на виходах калібратора калібровані фазові зсуви, величина яких задається кодом крейта КАМАК.

Блок ОЗП ($32 \times 16 \times 2$) служить для запам'ятовування масивів вимірювальної інформації, під час роботи каналів блоку, про неперервні вимірювання ПФС вхідних сигналів шляхом запису 32 тисяч значень вимірювань, що слідують з кроком часової шкали вимірювача в діапазоні від 1 вимірювання за періоди T_{on} , до 1 вимірювання за 16 періодів T_{on} .

Всі режими роботи, а також тестування ОЗП та оцінка метрологічних характеристик вимірювального каналу програмуються окремо і управляються за допомогою команд через крейт КАМАК. Загальне управління здійснює блок управління (БУ) з інтерфейсом КАМАК, який є спільним для вимірювального блоку та блоку синхронізатора-калібратора. В режимі оцінки метрологічних характеристик входи каналів вимірювального перетворювача підключаються до виходів калібратора фази.

Блок забезпечує роботу в наступних режимах, що програмуються:

- режим вимірювання із звичайною точністю ($3,5 \pm 4,2\%T_L$) та вибраною шкалою часу;
- режим вимірювання із підвищеною точністю ($2\pi/4096$) та вибраною шкалою часу;
- режим тестування ОЗП ;
- режим оцінювання метрологічних характеристик вимірювального каналу;
- режим обміну інформацією з ЕОМ.

На рис.7.24 приведено фотографію зовнішнього вигляду двоканального вимірювального модуля з синхронізатором-калібратором в стандарті КАМАК.



Рис.7.24

На передній панелі модуля розташовані такі органи управління та розняття: регулятор ФАПЧ, призначений для підстроєння (при необхідності) системи в смугу стійкого захоплення:

- розняття - ОП - вхід опорного каналу вимірювальних каналів;
- розняття - ИЗМ1 - вхід вимірювального сигналу першого каналу;
- розняття - ИЗМ2 - вхід вимірювального сигналу другого каналу;
- розняття - СИНХРОНИЗАЦИЯ - вхід частоти квантування синхронної з f_{on} (64МГц при $F_{on} = 1\text{МГц}$);
- розняття - "ОКНО" - вхід подачі сигналу стробування "часового вікна";
- розняття - "ВЫХОД" - вихід цифрового паралельного коду і аналоговий вихід ПФС.

Тут також встановлені світлодіоди контролю захоплення ФАПЧ (зелений - "ФАПЧ"), а також індикатори готовності модуля до роботи з початкової адреси ОЗП: зелений світлодіод "ГОТОВ" і червоний світлодіод заповнення ОЗП - "СТОП".

На стандартні розняття системи КАМАК виведені сигнали W,R,S1,L,N,X, а також підключені до шин P1 і P2 вихідні сигнали калібратора ОП та ИЗМ.

Встановлення стійкого режиму захоплення ФАПЧ здійснюється автоматично або підстроюванням зовнішнього резистора ФАПЧ, про що сигналізує зелений світлодіод ФАПЧ. Одночасно формується внутрішній сигнал L, який сигналізує в ЕОМ через крейт КАМАК про вихід модуля на робочий режим (для виходу на режим повинні бути присутні сигнали на виходах ОП, ИЗМ1, ИЗМ2). На виході

СИНХРОНИЗАЦІЯ встановлюється частота квантуючих імпульсів $f_{kv} = 64 \text{ МГц}$ при $f_{ex} = 1 \text{ МГц}$.

Для вибору одного із режимів тестування або вимірювання, а також запуску внутрішнього генератора часової шкали, необхідно запрограмувати модуль.

Програмування здійснюється командою NAF(18) - записування управляючого слова (8 біт) в регістр Д. При цьому на шинах W1-W8 встановлюються коди: молодший півбайт, коди шкали часу:

- 0000 - вимірювання в кожному T_{on} ;
- 0001 - вимірювання в кожному другому T_{on} ;
- 0010 - вимірювання в кожному четвертому T_{on} ;
- 0100 - вимірювання в кожному восьмому T_{on} ;
- 1000 - вимірювання в кожному шістнадцятому T_{on} .
- п'ятий розряд W5 - переключає розрядність інтерполятора та ФЦ, реалізує режим підвищеної точності:
 - "0" - 8/8 (1/256);
 - "1" - 4/12 (1/4096);
- шостий розряд W6 - включає або виключає режим калібровки (оцінка метрологічних характеристик вимірювального каналу по вмонтованому калібратору):
 - "0" вимірювання , "1" калібровка;
- сьомий розряд W7 - включає і виключає подачу вихідних сигналів калібратора на шини P1,P2 для оцінки метрологічних характеристик модулів системи:
 - "0" відключено, "1" включено;
- восьмий розряд W8 - резервний, розрахований на розширення системи.

Таким чином команда NAF(18) (1100001) програмування із звичайною точністю.

Для виконання операції тестування ОЗП передбачений спеціальний режим, шляхом запису за установленими адресами цифрових кодів крейта КАМАК (W1-W16) в ОЗП, який здійснюється наступними командами:

NAF(17)(W1-W16) - запис початкової адреси ОЗП;

NAF(16)(W1-W16) - запис коду даних у вхідний регістр ОЗП.

Можливі два варіанти запису: поадресний і автоінкрементний:

ПОАДРЕСНИЙ	АВТОІНКРЕМЕНТНИЙ NAF(17)
(W1-W16) - адреса - A(0);	NAF(17)(W1-W16) - адреса
NAF(16)(W1-W16) - дані - D(x0);	NAF(16)(W1-W16) - дані
NAF(17)(W1-W16) - адреса - A(1);	NAF(16)(W1-W16) - дані
NAF(16)(W1-W16) - дані - D(x1);	NAF(16)(W1-W16) - дані.

Для зчитування результатів, занесених в ОЗП в режимі тестування, потрібно командою NAF(0) прочитати значення, які записані в окремі комірки в режимі по адресного зчитування або автоінкрементно. Результати потрібно порівняти із кодами, що записувались:

ПОАДРЕСНЕ ЧИТАННЯ	АВТОІНКРЕМЕНТНЕ ЧИТАННЯ
NAF(17)(W1-W16) - A(0)	NAF(17)(W1-W16) - A(0)
NAF(0)(R1-R16) - D(x0)	NAF(0)(R1-R16) - D(x0)
NAF(17)(W1-W16) - A(1)	NAF(0)(R1-R16) - D(x1)
NAF(0)(R1-R16) - D(x1)	NAF(0)(R1-R16) - D(x2)
.....

Після проведення тестування, впевнившись в придатності до роботи, можна перейти до оцінки метрологічних характеристик вимірювального каналу (кожного окремо), хоча в багатьох випадках тестування ОЗП можна опустити і почати відразу з оцінки метрологічних характеристик. Наступним етапом тестування є встановлення початкового значення ПФС калібратора командами:

NAF(19)(W1-W4) - запис коду $\Delta\varphi$;

0000 $\rightarrow 0^\circ$, 1111 $\rightarrow 333,7^\circ$ з дискретністю $22,5^\circ$.

Для підготовки вимірювального каналу до вимірювань необхідно встановити початкове значення ФЦ (скидання ФЦ), яке реалізується командою NAF(27) - скидання ФЦ.

Для запису вимірювань з початкової адреси потрібно виконати необхідні умови:

- подати на зовнішній вхід "ОКНО" дозволяючий сигнал - "1";
- записати код початкової адреси ОЗП NAF(17)(W1-W16) A(0)№;
- подати сигнал запису NAF(25) запуск вимірювань.

Змінюючи ПФС, що задається в межах більше 2π можна перевірити роботу пристрою лічби ФЦ. Процес оцінки метрологічних характеристик

вимірювального каналу модуля здійснюється згідно методики метрологічної атестації.

Після обробки результатів тестування та оцінки метрологічних характеристик модуля, їх відповідності вимогам, він переводиться в режим вимірювання:

NAF(18)(0000001) - вимірювання із звичайною точністю через $2T_{on}$.

NAF(27)

NAF(17) A(0)

NAF(25) запуск

ОКНО - "1".

Модуль виконує 2^{16} вимірювань і зупиниться та видасть сигнал заповнення ОЗП (червоний світлодіод) та сигнал L в канал КАМАК.

Режим читання даних аналогічний читанню при тестуванні даних із перерахованих вище програмних можливостей модуля. Можна здійснювати зміну режиму густини вимірювань у часі (часової шкали) програмним шляхом в процесі вимірювань, а також проводити всі можливі тестування та оцінку метрологічних характеристик каналів при будь-якому режимі роботи. Розроблені два модулі для багатоканальної системи збору даних інтерферометричного комплексу ТОКАМАК ТСП були виготовлені і передані ФІАЕ ім. І.В.Курчатова для розробки 3 10 каналних комплексів для дослідження процесу утворення і горіння плазмового шнура і оперативної оцінки електронної густини плазми [198, 206].

Розроблені прилади повністю відповідають вимогам до сучасної вимірювальної апаратури для впровадження нових технологій та наукових досліджень [198, 206], первинними з яких є:

- точність (похибка) вимірювань;
- швидкість;
- можливість роботи у реальному масштабі часу;
- багатомірність (багатоканальність) обробки вимірювальної інформації;
- повна (часткова) автоматизація процесу вимірювання;
- можливість вторинної обробки за допомогою ЕОМ;
- можливість агрегування, функціональної та структурної перебудови;
- наявність вмонтованих засобів контролю, діагностики працездатності і тестування та оцінки метрологічних характеристик;
- високі економічні та метрологічні характеристики.

Відсутність серійного випуску вимірювачів ПКФ (кумулятивних фазометрів), а також ті високі характеристики перерахованих вище приладів та вимірювальних перетворювачів, які не мають рівних навіть у режимах вимірювання КФЗ, особливо по фактору похибки час вимірювання, ступеню

автоматизації та інших характеристиках підтверджує практичну цінність досліджень виконаних автором. Для підтвердження на рис.7.25 приведено порівняльну фотографію деяких із розроблених автором приладів із новим серійним фазометром Ф2-34 [99].

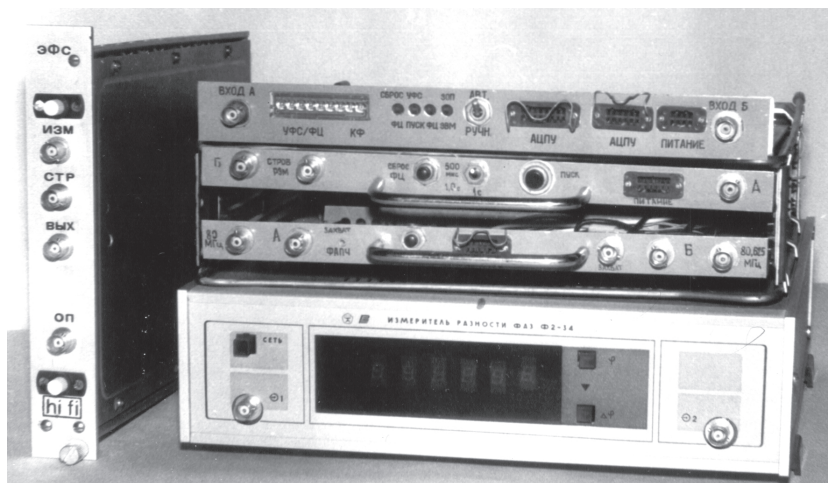


Рис. 7.25. Розроблені вимірювачі та вимірювальні перетворювачі повного фазового зсуву у порівнянні із серійним фазометром Ф2-34

7.7. Скремблер телефонного каналу телефонних та радіоліній зв'язку

Розробки у напрямку синтезу сигналів з потрібними параметрами та трансверсії спектральних областей (смуг) сигналів на основі розробленої теорії ФЧВ були реалізовані у малосерійному експериментальному випуску скремблерів для телефонних апаратів та гарнітур радіостанцій. Потреба у розробках подібного напрямку є актуальною у сучасних умовах ринкових відносин у економіці, бізнесі, фінансах, а також там де відкрита передача інформації (телефонної) є небажаною, але і в той же час, не досить секретною, тому використання методів побудови ЗАЗ тут не застосовується [167]. Враховуючи, що в стандартному спектрі 300-3400Гц досить важко забезпечити достатній зсув $\Delta F = 250 + 400 \text{ Гц}$ спектру тонального сигналу, був використаний інший підхід, який базується на інверсії (трансверсії) спектру вхідного сигналу.

Функціональна схема одного каналу трансверсії звукових сигналів зображена на рис.7.26.

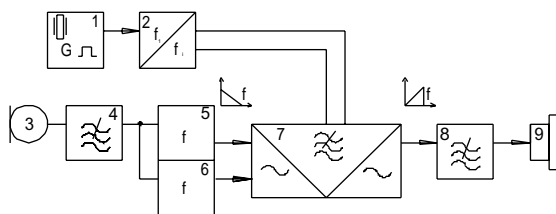


Рис.7.26. Функціональна схема каналу трансверсії звукових сигналів

Особливістю схеми є використання кварцованого методу синтезу сітки частот, які необхідні для роботи фазочастотного перетворювача - трансвертера. Вхідний сигнал з мікрофона 3

пропускається через ФНЧ 4 для обмеження смуги $f_g \approx 3,4 \text{ кГц}$, а потім поступає на вхід широкосмугових фазообертачів 5,6, які забезпечують вихідний диференційний зсув у $\Delta F = 250 \div 400 \text{ Гц}$ з похибкою $\Delta F \sim 1^\circ$; $\Delta U / U \sim 1\%$. Трансвертер, виконаний на ІМС аналогового комутатора 561КП1, реалізує разом з диференційним підсилювачем 140УД20 схему трансвертера спектру, сигнал із його виходу через фільтр 8 (аналогічний ФНЧ 4) поступає в лінію зв'язку. Генератор 1 і синтезатор працюють на частоті $f = 32,768 \text{ кГц}$ (стандартній частоті годинникового кварцу) і може формувати декілька частотних баз трансверсії сигналів в межах $3,5 \div 4,2 \text{ кГц}$, які реалізуються в схемі синтезатора методами фазочастотного синтезу [167, 171].

Для організації дуплексного зв'язку в телефонних апаратах використовуються два канали трансверсії, в напівдуплексі, та симплексі - один.

В цілому принципова схема, що реалізує функціональну схему (рис.7.26) не містить моткових вузлів, має 6 цифрових ІМС серії 561ЛА7, 561КП1, 561ІЕ10 і два ОП 140УД20, дуплексний варіант схеми має всього 8 мікросхем.

На рис.7.27 наведені фотографії дуплексного скремблера телефонного апарату (радіостанції) і на рис.7.28 фотографія гарнітури радіостанції РС-1 з вмонтованим дуплексним скремблером.

Як видно з рис.7.27, 7.28 пристрої малогабаритні, високотехнологічні і забезпечують роботу у двох режимах, скремблювання і пряме проходження.

Залежно від комплектації напруга живлення складає 6 -12В, струм споживання - 6 -12мА, коефіцієнт передачі в смузі - 300 3400Гц 1, при нерівномірності менше 3дБ.

Досвід експлуатації скремблерів, виготовлених в телефонному апараті VEF-TA-D, показав досить високу ступінь закритості телефонного каналу при міжміських розмовах.



Рис.7.27. Дуплексний скремблер для телефонного апарата

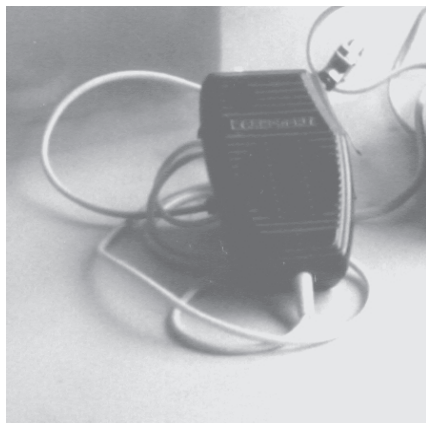


Рис.7.28. Гарнітура серійної радіостанції РЛ-1С ("НОВАТОР") з вмонтованим скремблером

Скремблююча гарнітура адаптована під серійну радіостанцію системи "Транспорт" РЛ-1С може використовуватись як звичайна, так і спеціальна для закриття службових розмов на транспорті (залізниця, автобусні станції, аеропорти, швидка допомога, пожежні машини, аварійні служби), а також на масових станціях у військових та міліції.

Для радіостанцій є можливість вводити декілька каналів трансверсії і забезпечити взаємне закриття

інформації. Інші розробки з більшим ступенем криптографічної стійкості на базі теорії ФЧП описані в III главі.

Розроблені системи скремблювання являють собою найнижчий рівень систем закритого зв'язку, але основна їх перевага полягає у мінімумі показника вартості криптографічної стійкості.

7.8. Ущільнювач абонентських телефонних ліній зв'язку УТФ-4

Система є ще однією практичною реалізацією методів ФЧВ при синтезі сітки когерентних частот, формування та трансформації спектрів сигналів. В ньому раціонально використані переваги фазочастотних методів синтезу сітки частот на цифрових ІМС, а також методи формування та перетворення сигналів в дуплексних каналах.

Ущільнювач телефонний УТФ-4 призначений для ущільнення абонентських телефонних ліній АТС типу АТС "Квант" та інших, методом частотного ущільнення каналів завдяки організації додаткових каналів зв'язку по одній або двох парах наявної абонентської фізичної лінії. Основна область застосування - це міська та сільська абонентська телефонна мережа, де вже використані усі можливості пропускної здатності кабелів зв'язку абонентських ліній, і є нагальна потреба у збільшенні кількості абонентів на існуючих кабелях. Дуже перспективним є використання УТФ-4 для офісного зв'язку, коли по 1-й парі можна організувати 5 каналів, а по 2-х парах -10 каналів. Він також може замінити застарілі системи ущільнення з ЧРК типів В-3-3, В-3-1 і т. п. в системах військового, залізничного зв'язку, зв'язку по ЛЕП, і т.д [207, 212, 231].

Система дозволяє організувати чотири і більше дуплексних телефонних канали по вже наявній абонентській телефонній парі МТС або іншій провідниковій лінії зв'язку. Таким чином по одній телефонній парі можливо здійснити розмову п'яти пар абонентів (одна в тональному спектрі, і чотири в підтональному).

Всі сигнали ущільнених каналів відповідають стандарту станції МТС і абонент не зможе сам визначити на якій лінії він працює (тональний чи ущільнений).

На відміну від аналогічних систем та апаратури ущільнення з ЧРК, вказана система суттєво відрізняється за принципом обробки та передачі сигналів, а також технічними характеристиками.

Робочий діапазон частот ущільнювача 19-137кГц, ширина смуги дуплексного каналу не більше 22кГц. На рис.7.29 зображені графіки розподілу частот у спектрі по одній парі з груповою дифсистемою.

На рис.7.30 зображено відповідно розподіл спектрів каналів при роботі у 4-ри провідному варіанті (без дифсистеми).

Переваги та відмінності від аналогічних систем.

На відміну від систем з ЧРК АБУ-ВЧ, СПС-6, УТФ-4 працює з ЧМ замість АМ та SSB, що значно спрощує технологічність та підвищує якісні показники і технічні характеристики, застосована сучасна елементна база, менші габарити та вага.

На відміну від систем з Часовим Розподілом Каналів РСМ4, ІКМ4

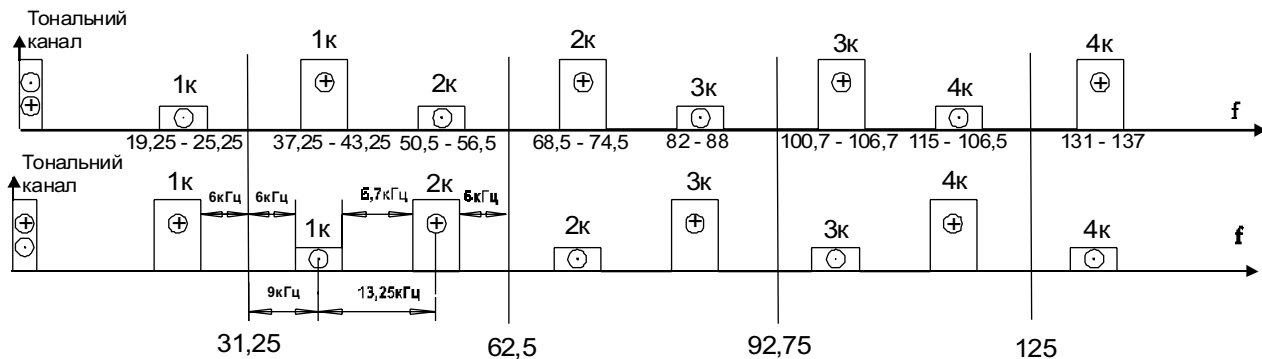


Рис.7.29. Спектральний розподіл каналів в УТФ-4 в 2^м провідному режимі у напівкомплектах

канал передачі до абонентів (станції)



Рис.7.30. Спектральний розподіл каналів в УТФ-4 в 4^м провідному режимі

значно більша дальність дії без регенераторів, забезпечується 5 каналів замість 4, менший рівень взаємних перешкод, не потрібні регенератори. Вартість РСМ-4 (Австрія, Франція, Ізраїль) - 1200\$; абонентський та станційний комплекс і 250\$; крейт на 12х 4к. Орієнтовна вартість УТФ-4 - 150\$. На рис.7.31 приведена фотографія УТФ-4.

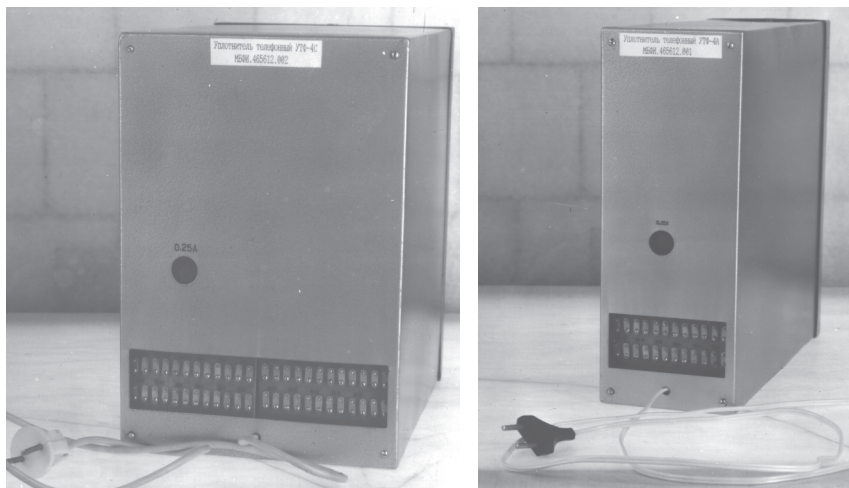


Рис. 7.31. Ущільнювач телефонних ліній УТФ-4 (станційний та абонентський комплект)

Застосування апаратури ущільнення УТФ-4 дозволить без прокладання кабельних ліній в 5 разів збільшити кількість абонентів МТС (при умові наявності вільних номерів), для цього досить встановити абонентський напівкомплект у абонента МТС, який вже має телефон і додатково підключити до нього ще чотирьох "сусідів". На АТС встановлюється аналогічний напівкомплект, виходи якого підключають до вільних номерів АТС. В 90% випадків на МТС є вільні номери, але немає вільних ліній (пар) до абонентів, хоча "сусід" має телефон. Таким чином гостроту проблеми телефонізації можна різко зменшити без прокладання нових кабелів зв'язку.

За другим варіантом, може бути застосування УТФ-4 для організації офісного зв'язку по одній телефонній парі. Після встановлення ущільнювача, можна організувати додатково 4 канали, до яких підключити додаткові телефони, факс, модем, прямий телефон без заходу на обладнання АТС (для абонентів однієї АТС).

Завдяки застосуванню ЧМ дальність зв'язку та якість каналів перевищує аналогічні параметри апаратури з амплітудною та односмуговою модуляцією і має підвищену перешкодостійкість до перешкод на кабельних трасах.

В конструктивно-технологічному плані система являє собою два напівкомплекти (абонентський і станційний). Перший із них встановлюється у одного із абонентів у квартирі або у телефоній шафі в під'їзді будинку, другий - на АТС біля виходу на громозахистну смугу ліній станції.

До складу кожного із напівкомплектів входять синтезатор частот каналів прийому-передачі, а також каналні прийомопередавачі із відповідними адаптерами для підключення телефонного апарата (абонентський комплект) і підключення до лінійного обладнання (пари) АТС (станційний комплект).

Габарити одиночних напівкомплектів для 4-х каналного ущільнювача 300×250×40, вага 1,0 ÷ 2,5кг (система не має намоточних виробів в каналах фільтрації, 65% елементної бази складають цифрові мікросхеми серії K561, 1561, аналогова частина виконується на ОП К140УД20, К140УД23, 90% комплектації виробляється на Україні [234].

Завдяки модульній конструкції та виконанню ущільнених каналів у вигляді змінних модулів, які вставляються разом із базовою платою синтезатора частот і апаратури групового каналоутворення, можна змінювати кількість каналів, а також забезпечувати високу ступінь ремонтоздатності.

Система може працювати і по двох телефонних парах із збільшенням ущільнених каналів до 8.

Основні характеристики УТФ-4:

- кількість додаткових каналів - 4;
- гарантована дальність зв'язку - 8-10км (залежно від якості пари);
- частотний діапазон ущільненого каналу - 300-3400Гц (стандартний);
- сервісне обладнання телефону будь якого типу, модеми, факси;
- напруга живлення - ~220В, 50Гц;
- потужність споживання напівкомплектom -15 ВА;
- габарити 300 x250x 80 (8- и каналний варіант);
- умови експлуатації від -5° до +50° С.

Провівши порівняльний структурний аналіз даної системи і класичної системи із частотним розподілом каналів, та цифрового ущільнювача (рис.7.32) легко побачити, що на коротких відстанях (до 10 км) всі переваги цифрових ситем (регенерація, нижчий пороговий рівень) є більш невеликими ніж перевагами. Так встановлення регенераторів у розрізах кабелів є дуже неефективним, а тому на ділянках із значним згасанням зв'язок буде відсутній взагалі,

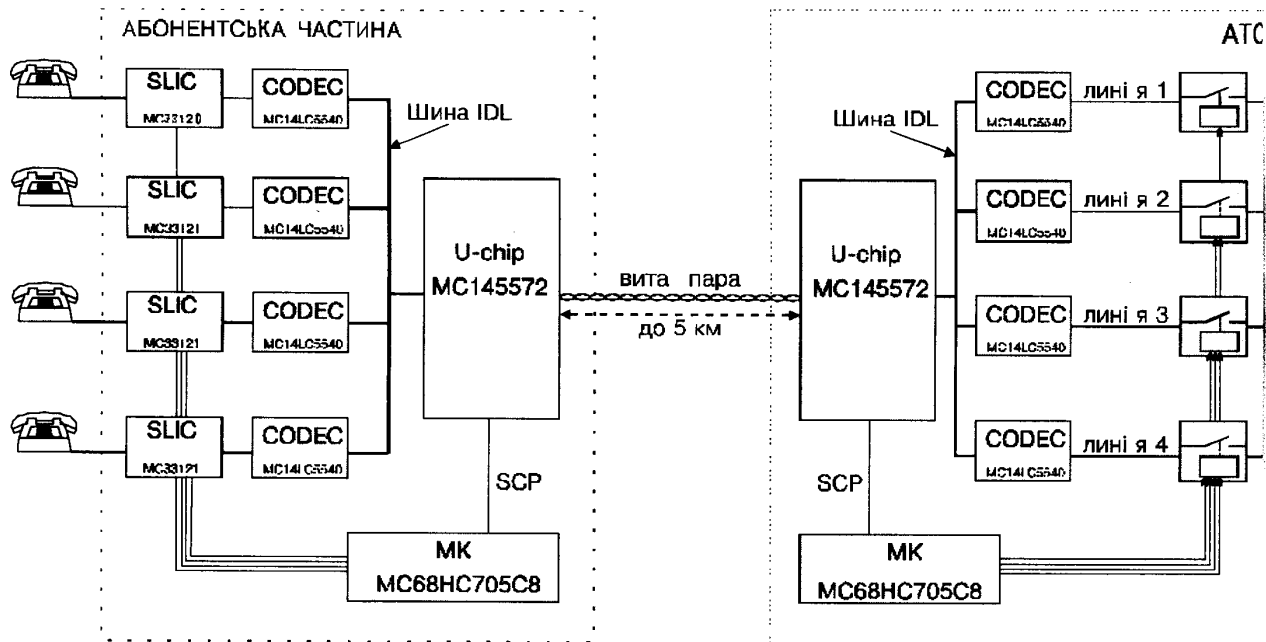


Рис. 7.32. Цифровий 4-ри каналний ущільнювач

тоді як у аналоговій системі лише впаде якість зв'язку на верхніх каналах, а в наших умовах краще мати, ніж немати нічого взагалі і надовго.

В той же час, для досягнення високих техніко-технологіко-економічних показників необхідно використати всі аналогові вузли цифрових систем, оснivism із яких є SLIC MC33120\MC33121-перетворювач 4-провідної лінії в 2-провідну (абонентський інтерфейс) [5].

Генераторне обладнання, враховучи можливі адаптаційні напрямки під конкретного споживача та якість лінії, найбільш перспективно виконувати із застосуванням ПЛІС, наприклад фірми Altera [3], а бо всеж тієї Motorola [5].

Систему частотного розподілу та каналоутворення можна реалізовувати як на чисто аналогових елементах (операції підсилювачі, помножувачі) , та і на цифрових фільтрах (DSP), але найбільш раціональним є використання дискретноаналогових методів обробки та елементної бази на їх основі (прилади із перенесенням заряду, на комутуємих конденсаторах і т.п.). Використання сучасних розробок по програмованих аналогових матрицях MPA020 (Motorola) [5], за технологічним рівнем нічим не поступається цифровим системам.

Для оцінки технологічних особливостей застосування SLIC MC33120 розглянемо типові схеми ввімкнення та деякі характеристики рис.7.33 -7.36. [5].

Не зупиняючись на переліку функцій та особливостей застосування мікросхеми [3, 5], доцільним є рекомендація її використання для ще більш простої,і досить високоефективної “в умовах України” системи “маршрутизаторів”- пристроїв які забезпечують використання однієї телефонної пари 2-3-4-8 абонентами (мається на увазі неодноразово) за допомогою набору додаткової цифри. При цьому АТС ніяких додаткових номерів не виділяє, а зв'язок можуть мати сусіди, а найбільш ефективним є розпаралелення паралельних телефонів в організації та офісах (оплата йде лише за одну лінію), де кожен зможе отримати свій додатковий номер.

Дана система більш ефективніша за блокіраторну, так як не потребує ніякого обладнання на станції і також наявності додаткових номерів , що цілком відповідає сучасному стану телефонії в Україні. АТС у будь якому випадку має прибуток, і зменшення черги на телефони.

Проблема взаєморозрахунків гілок маршрутизатора при

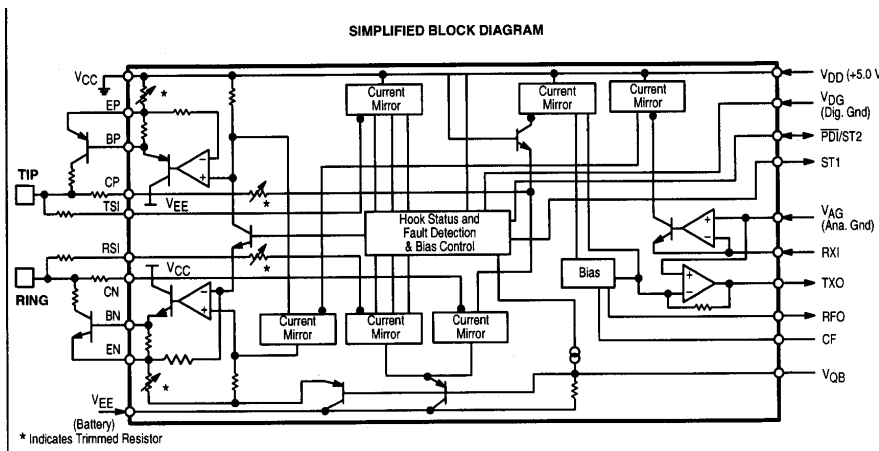


Рис.7.33. Функціональна схема MC33120

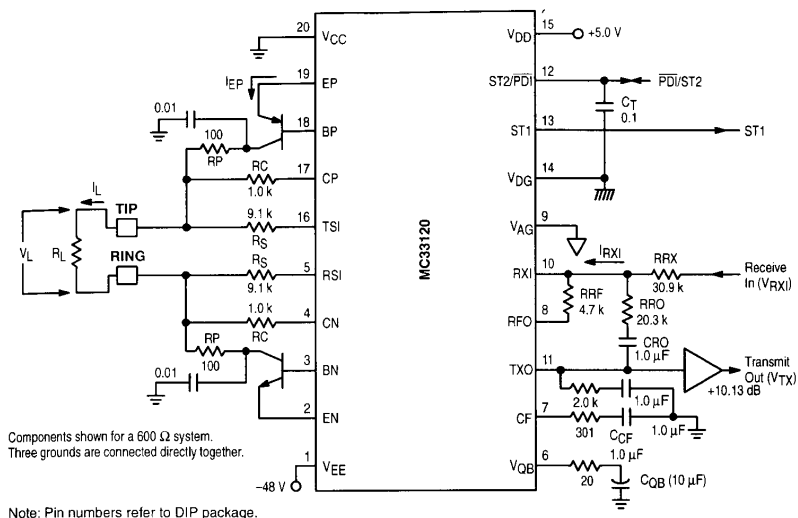


Рис.7.34. Типова схема ввімкнення при навантаженні 600 Ом.

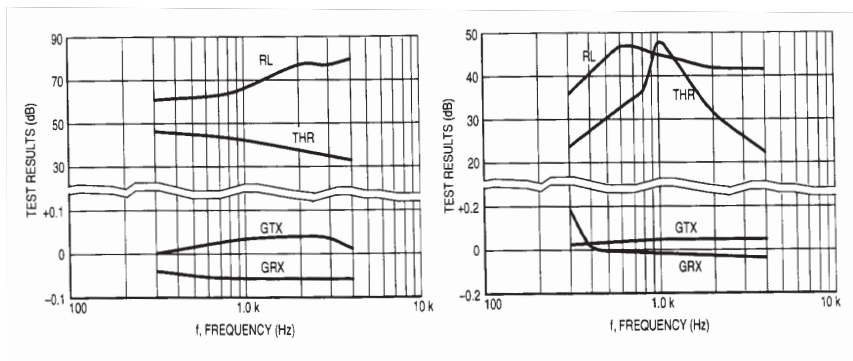


Рис.7.35. Частотні характеристики перехідного розділення MC33120

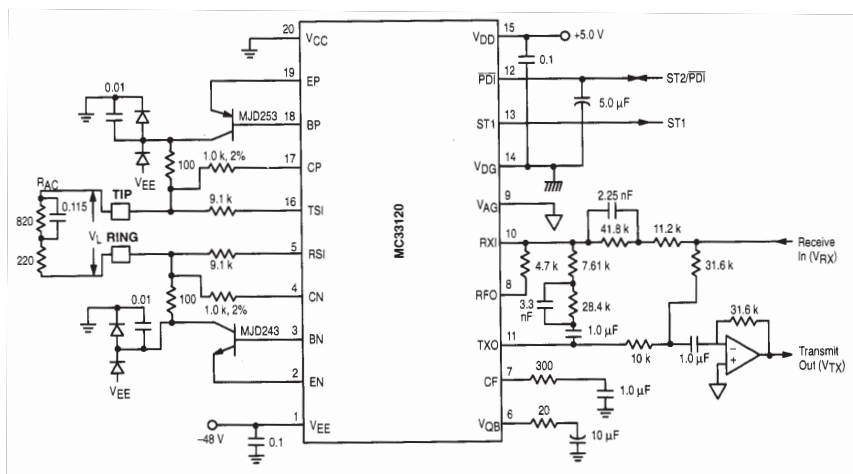


Рис. 7.36. Типова схема ввімкнення MC33120 в режимі узгодженого адаптера телефонного апарата

погодинній оплаті вирішується встановленням відповідних лічильників, які інтегруються у ПЛІС, і не потребують додаткових витрат. Система може каскадно нарощуватися до 4, 8 абонентів, із однотипних вузлів.

Для вирішення проблеми ідентифікації додаткового номеру при системі імпульсного набору (типові апарати в Україні), можна використати систему активного сканування номеронабирача, використовуючи частотну посилку із маршрутизатора. При цьому в якості дифсистеми можна використовувати МС33120 яка має високі характеристики перехідного розділення рис.7.35

Песпективність описаних пристроїв не викликає особливих зауважень, і може бути рекомендована для освоєння виробництва та впровадження як малим підприємствам так і заводам, адже потреба лише для України складає мільйони, на 5-10 років.

Опираючись на викладені вище дослідження, під керівництвом автора, було виконано ряд робіт [94, 98, 108, 136, 137, 153, 166, 168, 189, 191, 192, 207,] з розробки та практичного впровадження апаратури ущільнення абонських телефонних ліній АТС типу УТФ-4 [207, 224, 234]. На відміну від класичного методу частотного розділення каналів були використані методи розроблені в рамках теорії ФЧВ і ПР, які стосуються цілого комплексу принципово нових підходів:

- формування когерентно-фазових частот носійних;
- здійснення каналної зовнішньої частотної модуляції;
- використання згорнутих ЧМС для каналної фільтрації;
- використання цифрових мікросхем в колах аналогових сигналів коналоутворення.

Використання ЧМ для формування надтональних каналів дозволило використовувати УТФ-4 не лише для ущільнення каналів МТС, а також і для використання, в умовах високого рівня, імпульсних завад, які принципово унеможливають використання апаратури з ІКМ в системах зв'язку та телеінформації по магістральних ЛЕП [191, 192, 207, 230, 224, 234].

ВИСНОВКИ ДО СЬОМОЇ ГЛАВИ

1. Теоритичні положення, які вперше висвітлені в монографії, були неоноворозово перевірені та підтверджені на лабораторних макетах та експериментальних зразках вимірювальної техніки і апаратури зв'язку випробування яких цілком підтвердили їх істотні переваги над існуючими, а в інших випадках довели практичну можливість здійснення дій над сигналами, що виходять за рамки класичних уявлень.

2. Розроблено фазометричний вимірювальний перетворювач з оптичними входами с стандарті КАМАК, який дозволив підтвердити інваріантність розроблених методів ФЧВ і ПР до частотного діапазону та відкрити нові можливості побудови дистанційно рознесених оптичної та електронної систем, із збереженням переваг стандартної системи автоматизації фізичного експерименту.

3. Використання структурних методів підвищення точності і швидкодії одночасно при побудові вимірювальних перетворювачів дозволили забезпечити високі метрологічні характеристики та уніфікацію структурних вузлів цифрових перетворювачів.

4. Розробка та впровадження багатоканальної системи збору даних інтерферометричного комплексу ТОКАМАКа ТСП дозволили в повній мірі реалізувати і підтвердити методи ФЧВ і ПР при вимірюванні динамічних змін ПФЗ в широких межах, а наявність вмонтованого калібратора приростів ПФЗ забезпечило автоматизований режим оцінки метрологічних характеристик кожного із каналів системи за короткий час підготовки експерименту до керованого термоядерного синтезу.

5. За своїми конструктивними технічними та економічними характеристиками розроблені спеціалізовані вимірювачі перевищують існуючі серійні зразки, а за функціональними можливостями їх не можливо було порівняти, що підтверджується включення розробки до Державної програми з керованого термоядерного синтезу.

6. Ефективність та простоту реалізації зразків апаратури, що базується на теорії ФЧВ і ПР, було підтверджено малосерійним випуском скремблерів телефонних каналів зв'язку, які були реалізовані на масових ІМС із використанням трансверсії аналогових сигналів.

7. Розроблено та підготовлено до серійного впровадження ущільнювач абонентських телефонних ліній УТФ-4, в якому практично були підтверджені методи ФЧВ і ПР при формуванні та оброблені

канальних сигналів, вперше використано методи здійснення ЗЧМ і доведено конкурентну здатність порівняно з цифровими методами ущільнення на лініях без регенерації.

8. Моделювання в середовищі MAX PLAS-++ фірми ALTERA, а також практичні дослідження прошивок різних видів синтезаторів секвент, вимірювальних та функціональних перетворювачів на ПЛІС підтвердили відповідність результатів моделювання на ЕОМ та натурних випробуваннях зразків, що дозволяє стверджувати про адекватність математичних моделей розроблених в рамках теорій ФЧВ і ПР.