

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ "ЛЬВІВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА"

На правах рукопису

УДК 621.317.76 : 681.227

Юриш Сергій Юрійович

**ПРОЦЕСОРНІ АЛГОРИТМИ І ВИМІРЮВАЧІ ЧАСТОТНО-ЧАСОВИХ ПАРАМЕТРІВ
ЕЛЕКТРИЧНИХ СИГНАЛІВ**

(на базі методу коінциденції)

*05.11.05 - прилади та методи вимірювання електричних та
магнітних величин*

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Львів - 1997

AB 37.160

Дисертацією є рукопис

Робота виконана у Державному Університеті "Львівська політехніка"

Науковий керівник - заслужений винахідник України,
доктор технічних наук, професор,
ДУДИКЕВИЧ В. Б.

Офіційні опоненти -

1. Доктор технічних наук, професор,
академік Української Академії Інформатики
та Міжнародної Академії Інформатизації
Погрібний В. О.
2. Кандидат технічних наук, доцент
Березняк В. М.

Провідна організація - ВАТ НДПІ
"Промприлад" (м. Львів)

Захист відбудеться "4" 04 1997 р. о 16⁰⁰ годині на
засіданні спеціалізованої вченої ради Д 04.06.11 у Державному
університеті "Львівська політехніка", (290646, Львів-13, вул.
С. Бандери, 12, ауд. 226 головного корпусу).

Відгуки на автореферат у двох примірниках, завірені печаткою,
просимо надсилати на адресу: 290646, Львів-13, вул. С.Бандери, 12,
Державний університет "Львівська політехніка", вченому секретарю
ради Д 04.06.11.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотечі Державного
університету "Львівська політехніка" (вул. Професорська, 1)

Автореферат розісланий "4" 03 1997 р.

Вчений секретар спеціалізованої вченої
ради, к.т.н.

Я. Т. Лушик

ЛННБ України ім.В.Стефаника



00751994 (Z)

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

АКТУАЛЬНІСТЬ ПРОБЛЕМИ. Розвиток ряду напрямів науки і техніки визначається точністю часових і частотних вимірювань. Завдяки наявності частотних давачів, придатних для вимірювання майже усіх фізичних величин, сфера застосування частотно-вимірювальної апаратури неперервно розширюється. Застосування мікропроцесорної техніки у складі сучасних вимірювачів частотно-часових параметрів (ВЧЧП) електричних сигналів вносить свою специфіку в принципи побудови процесорних вимірювальних засобів (ПрВЗ).

Не всі традиційні алгоритми підходять для використання в ПрВЗ. Іноді необхідно відповідним чином модифікувати алгоритм вимірювання чи створити принципово новий з врахуванням застосування відповідного мікропроцесорного засобу. Принципова особливість ПрВЗ полягає в тому, що програмовна обчислювальна потужність безпосередньо входить до складу вимірювального кола і бере участь в одержанні результату. Трансформація структури вимірювального кола з апаратної реалізації в програмну істотно змінює алгоритм вимірювання, а також граничні і функціональні можливості таких вимірювачів. Намагання мінімізувати апаратні затрати процесорних ВЧЧП з метою утворення малогабаритних, високонадійних, багатофункціональних приладів для виробничих і технічних вимірювань, які будуть мати мінімальну споживану потужність, високі метрологічні характеристики і можливість адаптації, а також створення інтелектуальних сенсорних мікросистем, пристроїв вводу частотно-часових сигналів в ПК і віртуальних вимірювальних приладів привели до появи нових процесорних алгоритмів вимірювання (ПАВ) частотно-часових параметрів електричних сигналів.

Найбільшу увагу до недавнього часу приділяли питанням алгоритмічної організації ПрВЗ. Однак, ці ПрВЗ, базовані на методі дискретної лічби, використовують як базис способу вимірювання класичні способи вимірювання середньої або миттєвої частот з усіма властивими цим способам вимірювання недоліками. Реалізовані ПАВ є далеко не оптимальні з погляду метрологічного критерію ефективності, використовуваних мікропроцесорних комплектів і апаратних затрат. Їх вимірювальний діапазон достатньо вузький, швидкодія мала за рахунок застосування методів усереднення для зменшення похибки дискретності. Практично не приділялася увага аналізу похибок ПАВ, особливо методичних. Широкому використанню ПАВ перешкоджає також відсутність методики їх синтезу.

З метою широкого впровадження ПАВ і процесорних ВЧЧП на їх осно-

ві, необхідне розроблення оптимальних ПАВ з покращеними метрологічними характеристиками. Вимагає розв'язання також і ряд інших питань удосконалення алгоритмічних структур ПАВ. Отже, розроблення нових ефективних ПАВ, алгоритмів їх реалізації і економічних ВЧПІ на їх основі, орієнтованих на ефективне використання мікропроцесорної техніки, залишається актуальним завданням.

МЕТА РОБОТИ. Метою цієї дисертаційної роботи є розроблення і дослідження процесорних алгоритмів і вимірювачів частотно-часових параметрів електричних сигналів, базованих на методі коінциденції (подвійного збігу), розроблення методики їх синтезу і дослідження шляхів покращення їх метрологічних характеристик.

ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ. Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

- огляд і аналіз способів і засобів вимірювання мікропроцесорних ВЧПІ, розроблення класифікаційної схеми ПАВ;
- розроблення загальних принципів побудови оптимальних вимірювальних алгоритмів і вироблення практичних рекомендацій для їх програмної реалізації;
- створення методики синтезу оптимальних ПАВ;
- визначення граничного метрологічного рівня ПрЗВ на основі дослідження запропонованої математичної моделі повної похибки оптимальних ПАВ і розроблення методів корекції систематичних похибок;
- експериментальне дослідження ВЧПІ на базі розроблених ПАВ і створення на їх основі конкурентноспроможної вимірювальної апаратури, призначеної для роботи в реальних умовах експлуатації.

МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ. Для розв'язання поставлених задач використовувалися методи математичної статистики, регресійного аналізу, теорії векторної оптимізації, теорії множин, комбінаторного аналізу і булівої алгебри. Для розроблення ПЗ використовувалися методи послідовної декомпозиції і структурного програмування. Вірогідність наукових тверджень і висновків підтверджувалася методами імітаційного моделювання на ЕОМ і натурними експериментальними дослідженнями.

НАУКОВА НОВИЗНА І ПРАКТИЧНА ЦІННІСТЬ роботи полягає в наступному:
- на основі виконаної систематизації і аналізу способів вимірювання частотно-часових параметрів електричних сигналів, що використовуються

в мікропроцесорних вимірювачах, виявлено переваги методу коінциденції як базису оптимальних ПАВ, застосування яких дозволило створити ВЧЧП, з більш високою точністю і розширеним діапазоном вимірюваних частот, з відносно простою схемною реалізацією і мінімальними апаратурними затратами;

- розроблена методика векторного синтезу ПАВ за сукупністю критеріїв якості з урахуванням жорстких обмежень на структуру і параметри ВЧЧП, що дозволило здійснити дискретний вибір оптимальних ПАВ зі загальної кількості можливих альтернативних варіантів;

- на основі дослідження похибок, викликаних флюктуаціями вразкових інтервалів часу через асув у часі відгуку і реакції на переривання, операцій логічного опитування і аналізу одержаної моделі похибки вимірювання оптимальних ПАВ запропоновані методи алгоритмічної апіорної корекції систематичних похибок вимірювання, які забезпечують підвищення точності вимірювання без погіршення інших технічних характеристик, зокрема швидкодії і алгоритмічної складності;

- розроблено і досліджено адаптивні алгоритми ПАВ ВЧЧП, що дозволило реалізувати прилади з безнадлишковим часом вимірювання;

- запропоновано модифікований метод об'єднання алгоритмів ПАВ багатофункціональних ВЧЧП, який дозволяє зменшити у два рази емність резидентної пам'яті програм, необхідний для реалізації функцій управління процесом вимірювання;

- на основі декомпозиції ПАВ на основні, базові операції і їх програмних реалізацій, створена бібліотека програмних модулів типових вимірювальних і обчислювальних процедур процесорних алгоритмів з урахуванням усунення (мінімізації) похибок обчислення через обмеження розрядної сітки мікроконтролерів;

- практично реалізований і впроваджений спеціалізований тахометр автомата безпеки протирозгінного захисту ротора турбогенератора на основі ПАВ ЧЧП.

РЕАЛІЗАЦІЯ І ВПРОВАДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ РОБОТИ. Основний зміст дисертаційної роботи складають результати теоретичних і практичних розробок, проведених автором при виконанні госпдоговірних робіт на кафедрі "Автоматика і телемеханіка" Львівського політехнічного інституту за період з 1987 по 1994 рр. Результати виконаних досліджень і розроблені ПАВ впроваджені на Добротвірській ДРЕС у спеціалізованому тахометрі автомата безпеки турбогенераторів, що входить до складу вимірювального комплексу, розробленого для випробовування і настроювання протирозгін-

ного захисту ротора турбогенератора, відповідно до госпдоговірної теми N 5188 (N ДР 01910033882). Впровадження і використання підтверджено відповідними актами. Планується серійний випуск приладу у ВАТ "Пром-прилад" (м. Львів). Обсяг виробництва - 120 шт. щорічно. Очікуваний річний економічний ефект за розрахунками на листопад 1996 р. складає 30 тис.грв.

НА ЗАХИСТ ВИНОСЯТЬСЯ:

1. Запропонована класифікація мікропроцесорних ВЧЧП і пов'язана з нею класифікація ПАВ.
2. Обґрунтування ефективності використання методу коінциденції як базису оптимальних ПАВ.
3. Нові процесорні алгоритми вимірювання.
4. Методика дискретного вибору оптимальних ПАВ з урахуванням жорстких обмежень на структуру і параметри мікропроцесорних ВЧЧП.
5. Розроблена математична модель похибки оптимальних ПАВ і уточнена математична модель похибки дискретності.
6. Алгоритмічні методи покращення метрологічних характеристик мікропроцесорних ВЧЧП на базі ПАВ.
7. Методи корекції систематичних похибок вимірювачів на базі ПАВ.
8. Адаптивні ПАВ підвищеної швидкодії.
9. Модифікований метод об'єднання алгоритмів ПАВ багатofункціональних ВЧЧП.
10. Розроблена бібліотека програмних модулів основних вимірювальних процедур і бібліотека арифметичних підпрограм.
11. Результати експериментальних досліджень розроблених ПАВ і створення на їх основі вимірювальної апаратури, призначеної для роботи в реальних умовах експлуатації.

АПРОВАЦІЯ РОБОТИ. Дисертація в цілому доповідалася на кафедрі АТ ДУ "Львівська Політехніка", а також на Республіканський НТК конференції "Применение вычислительной техники и математических методов в научных и экономических исследованиях" (Шацьк, 1991). Основні результати дисертаційної роботи доповідалися і обговорювалися на Зональному семінарі "Интегрирующие частотные время-импульсные преобразователи и цифровые средства измерения на их основе" (Пенза, 1987); Республіканських НТК "Применение вычислительной техники и математических методов в научных и экономических исследованиях" (Київ, 1989, 1991), (Севастополь,

1990), (Львів, 1992), Всесоюзній НТК "Современные проблемы фазоизмерительной техники" (Красноярськ, 1989), Регіональний НТК "Современные методы радиоизмерений в диапазонах высоких частот (ВЧ) и сверхвысоких частот (СВЧ)" (Новосибірськ, 1991), НТК країн Співдружності Незалежних Держав "Контроль и управление в технических системах" (Вінниця, 1992), Міжрегіональний НТК "Цифровая обработка сигналов в системах связи и управления" (Славське, 1992), НТК з Міжнародною участю "Радиотехнические системы (навигации, связи), средства измерений и новые информационные технологии" (Красноярськ, 1992), I-й Українській науково-методичній конференції "Автоматика, управління та автоматизація технологічних процесів, екологічного контролю та моніторингу" (Алушта, 1993), I-й Міжнародній конференції з інформаційних технологій і систем ITIC'93 (Львів, 1993), Міжнародному симпозиумі "Design Methodology for Microelectronic and Signal Processing" (Cracow, POLAND, 1993), III-й НТК "Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах і конверсії виробництва" (Хмельницький, 1995), Українській НТК "Метрологія та вимірювальна техніка (Метрологія-95)" (Харків, 1995), 3-й Міжнародній НТК "Контроль и управление в технических системах" (Вінниця, 1995), 21-й Європейській конференції "Solid-State Circuits Conference ESSCIRC' 95 " (Lille, FRANCE, 1995), Міжнародній НТК "Programmable Devices and Systems PDS'95" (Gliwice, POLAND, 1995), 6-й Міжнародній НТК "Industrial Metrology (CIMI' 95)", (Zaragoza, SPAIN, 1995), 1-му Європейському симпозиумі "Microelectronics Education" (Villard de Lans, FRANCE, 1996), Міжнародному симпозиумі IMEKO TC-4 "ADC Modelling" (Smolenice Castle, Slovakia), Міжнародному симпозиумі "Design Methodologies for Signal Processing (Zakopane, POLAND, 1996), Міжнародній НТК PDS'96 (Ostrava, Czech Republic, 1996).

ПУБЛІКАЦІЇ. За матеріалами дисертації опубліковано 41 друкована робота, з них 3 авторських свідоцтва на винаходи, 7 статей, 11 повних опублікованих доповідей на Міжнародних конференціях за кордоном, 18 тез доповідей, 1 навчальний посібник (російське і українське видання).

СТРУКТУРА І ОБСЯГ РОБОТИ. Дисертаційна робота викладена на 269 сторінках машинописного тексту, ілюстрована 73 рисунками і 12 таблицями на 61 сторінці і складається зі вступу, 4 розділів, висновка, списку використаної літератури з 226 найменувань і 5 додатків на 46 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обгрунтована актуальність дисертаційної роботи, сформульовані мета і задачі дослідження, викладені наукова новизна і основні положення, що виносяться на захист.

У першій главі виконана систематизація ПАВ від узагальнюючих ознак до деталізованих.

При реалізації ПАВ усі елементарні вимірювальні процедури процесорного алгоритму виконуються програмним шляхом і вимірювальне коло ВЧП реалізується на віртуальному рівні всередині функціонально-логічної архітектури перепрограмовної обчислювальної потужності. При цьому досягається найкраща відповідність між структурою алгоритмів і структурою апаратних засобів ВЧП. Аналіз сучасного стану ПрВЗ частотно-часових параметрів виявив необхідність використання більш досконалого базису ПАВ. Це стосується насамперед використання способів вимірювання на основі методу коінциденції, який забезпечує практично безнадлишковий час вимірювання і постійну похибку дискретності в широкому діапазоні вимірюваних частот, а також містить у собі можливість подальшого удосконалення, дозволяючи тим самим подолати існуюче очевидне відставання вимірювального ПЗ від можливостей апаратної частини ПрВЗ. Запропановані ВЧП на базі ПАВ можуть бути ефективно реалізовані на базі сімейств однокристальних мікроконтролерів MCS-48, MCS-51/251, MCS-96/196, 80C186/188 і вбудованому МП 386EX. При цьому можуть бути досягнуті мінімально можливі апаратні затрати ВЧП при забезпеченні високої метрологічної ефективності.

У другій главі розглянуті основні способи, що були використані при розробленні алгоритмів і ПЗ ПАВ, базованих на методі коінциденції. Такі ПАВ вимагають високого ступеня розпаралелювання елементарних вимірювальних процедур їх процесорних алгоритмів (формування першого зразкового інтервалу часу T_0 ; формування другого зразкового інтервалу часу T_0' , фронт і зріз якого строго синхронізовані з імпульсами вхідної частоти f_x ; підрахунок імпульсів зразкової f_0 і вимірювальної f_x частот). При цьому виявлено, що на результат вимірювання ПрВЗ впливають не тільки методичні похибки, що зумовлені властивостями алгоритму опрацювання, але і властивості вбудованої у вимірювальне коло обчислювальної потужності, а також стиль програмування. Аналіз алгоритмів ПАВ дав можливість виявити причини виникнення окремих складових похибок ПрВЗ, внаслідок чого визначено умову повної апріорної корекції похибки через нерівність часів виконання віток програми

$$\left(\sum_{i=1}^n T_i\right) / T_{NCP} = k_i,$$

де T_i - час виконання i -ої команди, що міститься у коригованому програмному фрагменті, $k_i \in Z$ - ціле число;

T_{NCP} - команда, що має найменший час виконання; $T_i \in M\{t_i\}$, $M\{t_i\}$ - множина, яка містить усі команди машинно-орієнтованої мови (система команд МП). Ще одна причина виникнення похибки, що зумовлена властивостями програми, пов'язана з виконанням елементарної програмної конструкції IF - THEN - ELSE, яка виникає через нерівномірність квантування часового інтервалу T_0 імпульсами зразкової частоти f_0 . Її усунення можливе лише при порушенні принципів структурного програмування під час побудови критичного фрагмента процесорного алгоритму.

Завдяки широким функціонально-логічним можливостям сучасних МК і дуалізму реалізації основних операцій вимірювального алгоритму, можлива значна кількість ПАВ. При цьому, ПАВ являють собою об'єднання p неперетинних множин елементарних операцій i -го ВА N можливих їх програмних реалізацій:

$$S^* = S_1 \cup S_2 \cup S_3 \dots \cup S_p \quad (S_1 \cap S_2 \cap S_3 \dots S_p \neq 0),$$

де $S_1, S_2, S_3, \dots, S_p$ містять відповідно $n_1, n_2, n_3, \dots, n_p$ елементів. Визначення загальної кількості можливих ПАВ для конкретного базису і типу МК являє собою комбінаторну задачу. Тоді

$$V = \{v_i\} = \prod_{i=1}^n C_{N_i}^{k_i} = C_{N_1}^{k_1} \cdot C_{N_2}^{k_2} \cdot C_{N_3}^{k_3} \cdot \dots \cdot C_{N_{p-1}}^{k_{p-1}} \cdot C_{N_p}^{k_p} = q,$$

де q - кількість несумісних реалізацій ПАВ.

Розв'язання задачі оптимального дискретного вибору ПАВ здійснюється за допомогою розробленої методики векторного синтезу.

Інтегральний критерій ефективності ПАВ можна подати у вигляді мультиплікативної функції:

$$K_{ij} = \left(\frac{Y_{imin}}{Y_{ij}}\right)^{v_i Y} \cdot \left(\frac{T_{ximin}}{T_{ij}}\right)^{v_i T} \cdot \left(\frac{V_{ROMimin}}{V_{ROMij}}\right)^{v_i ROM} \cdot \left(\frac{V_{RAMimin}}{V_{RAMij}}\right)^{v_i RAM},$$

де $Y_{imin}, t_{ximin}, V_{ROMimin}, V_{RAMimin}$ - мінімальні значення відповідних показників якості по всіх допустимих варіантах i -го ПАВ; $v_i Y, v_i T, v_i ROM, v_i RAM$ - вагові коефіцієнти пріоритетності відповідних показників якості; T_{xi} - період вимірюваної частоти; Y - похибка дискретності; V_{RAM}/ROM_{ij} - ємність пам'яті даних і резидентної пам'яті програм. Причому

$$v_i v_i \geq 0 \quad i \quad \sum_{i=1}^m v_i = 1 \quad (i = \overline{1, m}).$$

Максималізація цільової функції дає ефективне розв'язання багатокритеріальної задачі. З метою формування і упорядкування множини $M_{СП}$ строго припустимих варіантів ПАВ пропонується скористатися морфологічним тензором $w_a(a, b, c)$ (рис. 1), що побудований на основі функціонального (ознакового) аналізу ПАВ згідно зі запропонованою класифікацією. Елемент тензора X_{abc} являє собою буліву змінну, так що при виборі цього варіанту ПАВ її значення дорівнює 1, у протилежному випадку - 0. Умову альтернативності можна виразити таким чином:

$$\sum_{i=1}^n X_{abc} = 1, \quad i = \overline{1, n}$$

Як найбільш важливі ознаки ПАВ вибираються способи програмної реалізації 3-х основних елементарних процедур ВА ПАВ.

Для розбиття множини $M_{СП}$ на множину гірших $M_{Г}$ і негірших $M_{НГ}$ варіантів ПАВ за допомогою безумовного критерію переваги доцільно скористатися методом прямокутників, тому що, на відміну від інших методів відшукання нижньої лівої межі, виключається можливість відсіювання частини негірших ПАВ, у тому числі й оптимального. Крім того, алгоритм еквівалентної аналітичної процедури цього методу легко формалізується і придатний для реалізації на ЕОМ у вигляді комплексу програм для реалізації їх у складі САПР ПАВ. Для знаходження єдиного оптимального рішення на кінцевому етапі синтезу використовується умовний критерій переваги, який може бути одержаний з цільової функції після виключення другорядних показників якості.

З метою дослідження граничних метрологічних характеристик оптимальних ПАВ у роботі здобута уточнена математична модель похибки дискретності

$$\delta_f = \pm \frac{f_x}{(N_1 + 1) f_0} = \pm \frac{T_0}{T_0'} = \pm \frac{1}{N_2},$$

де N_1, N_2 - кількості імпульсів, підрахованих протягом 1-го і 2-го зразкових інтервалів відповідно; T_0' - тривалість 2-го зразкового інтервалу часу; T_0 - період зразкової частоти. На рис. 2 наведена функціональна залежність $\delta_f(f_x, T_0)$. Мінімальна частота $f_{x\min}$ практично необмежена і визначається максимальною розрядністю віртуального лічильника

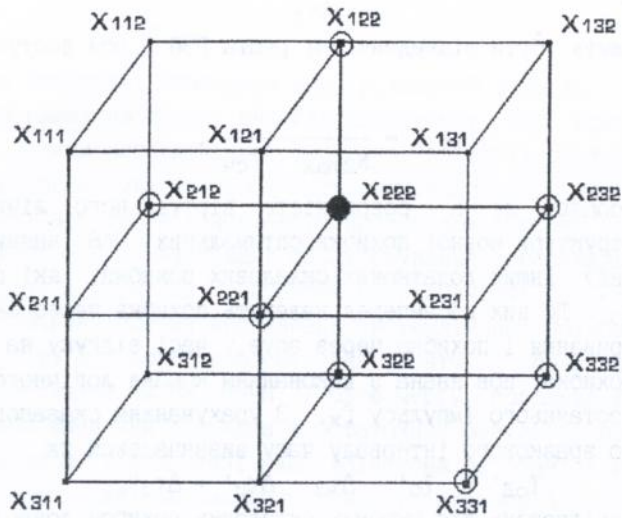


Рис. 1 Морфологічний блок принципово можливих альтернативних варіантів ПАВ

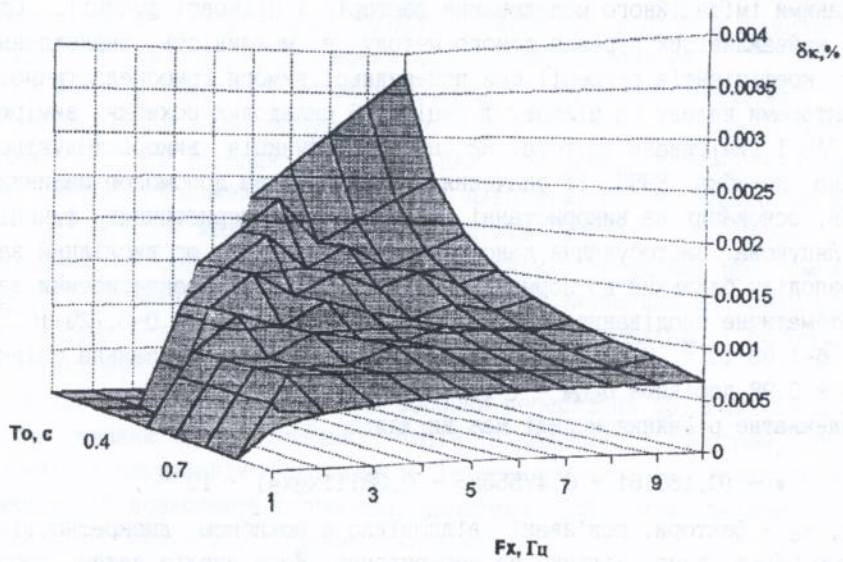


Рис. 2 Функціональна залежність $\delta_k(f_x, T_0)$ при $f_0 = 133333,33$ Гц

під який можуть бути відведені всі решта РЗП і вся доступна ємність ОЗП:

$$f_{x\min} = \frac{1}{N_{2\max} \cdot T_{сч}},$$

$N_{2\max} = 2^n = \text{const}$, де n - розрядність віртуального лічильника.

Аналіз структури повної похибки оптимальних ПАВ виявив причини виникнення ряду інших додаткових складових похибки, які пов'язані з формуванням T_0' . До них насамперед належать похибка через затримку реакції на переривання і похибка через зсув у часі відгуку на переривання, а також похибка, пов'язана з виконанням команд логічного опитування приходу останнього імпульсу f_x . З урахуванням сказаного, дійсне значення 2-го зразкового інтервалу часу визначається як

$$T_{0д}' = T_0' - \Delta\tau_3 - \Delta\tau_3' + \Delta\tau_3''.$$

Наявність співвідношень для окремих складових похибок дозволила перейти безпосередньо до побудови регресійної моделі похибки ПАВ. Для побудови моделі і відсіювання незначних факторів доцільно скористатися розробленим Ю. А. Долговым модифікованим методом випадкового балансу (ММВБ), який є одним з найбільш зручних методів моделювання за пасивними даними імітаційного моделювання факторів і цільової функції. Однією з найважливіших переваг даного методу є можливість знаходження оцінок коефіцієнтів регресії без попередньої вимоги гомоскедастичності. Факторами впливу на цільову функцію є 5 складових похибки вимірювання ПАВ і вимірювана частота. Як цільова функція використовується вислідна похибка ВЧП. Її значення визначалося за допомогою машинних методів, основаних на використанні апарату характеристичних функцій А. М. Ляпунова. Застосування даної методики показало, що вислідний закон розподілу близький до нормального. Його числові характеристики такі: математичне сподівання $M(\delta) = 4.998 \cdot 10^{-3}$, дисперсія $D = 3.729 \cdot 10^{-6}$, с.к.в. $\sigma = 1.93 \cdot 10^{-3}$, $K_{екс} = -0.796$, $K_{ас} = -1.47 \cdot 10^{-12}$. Інтервальна оцінка при $P_d = 0.98$ дорівнює $\delta_{sum} = (-1.63 + +2.3) \cdot 10^{-3} \%$.

Адекватне рівняння моделі має вигляд:

$$\hat{y} = (0,150161 + 0,47555x_2 + 0,38111x_2x_5) \cdot 10^{-3},$$

де x_2, x_5 - фактори, пов'язані відповідно з похибкою дискретності і похибкою через зсув відгуку на переривання. Його аналіз являє собою задачу оптимізації при наявності обмежень:

$$\hat{y} = |f(x_2, x_5)| \rightarrow \min,$$

де на x_2 і x_5 накладені обмеження типу рівностей $g(x_2, x_5) = (-1; 0; 1)$

У третій главі на основі аналізу алгоритмів ПАВ ПрВЗ визначені перспективні шляхи алгоритмічної апріорної корекції систематичних помибок на етапі проектування ПрВЗ. Суть запропонованого методу корекції полягає в зміні жорстко встановленого протоколом обробки зовнішніх переривань порядку виконання команд обслуговування переривань від зовнішнього джерела переривань (імпульсна послідовність f_x). Запропонований метод виключення причин виникнення систематичної похибки дозволяє зменшити складову Δt_3 похибки формування фронту T_0 практично без алгоритмічного ускладнення ПЗ ВЧП. У свою чергу, подальше використання корекції шляхом введення поправки в остаточний результат при мінімальному алгоритмічному ускладненні ПАВ (додаткова однобайтна команда INC <reg>), дозволило повністю виключити часову затримку Δt_3 . Оскільки в даному випадку умова застосування корекції шляхом внесення поправки визначається нерівністю $\Delta t_{\text{кор}} \geq T_{\text{сч}}$, де $\Delta t_{\text{кор}}$ - інтервал часу, що підлягає корекції, то використання поправки на початковому етапі не дало б можливості повного усунення похибки Δt_3 через порушення в кінцевому результаті цієї умови. Комбінація ж розробленого методу апріорного виключення причин виникнення похибки і введення поправки в остаточний результат визначення N_1 дає ефект повного виключення Δt_3 .

З метою мінімізації необхідної ємності резидентної пам'яті програм МК при реалізації багатofункціональних ВЧП запропоновано модифікований метод об'єднання алгоритмів ПАВ у складений процесорний алгоритм. Метод оснований на модифікації алгоритму Р. М. Карпа, що використовує часткові матричні схеми алгоритмів (ЧМСА) і забезпечує функціонування алгоритмів ПрВЗ в умовах можливих переривань при обмеженій кількості їх векторів. При цьому досягається зменшення в 2 рази додаткових затрат резидентної пам'яті програм МК при реалізації багатofункціональних ВЧП.

Кожне виконання підпрограми обробки переривань збільшує вислідний час вимірювання через сумування часів виконання підпрограм обробки зовнішніх і внутрішніх переривань з інтервалом часу T_0 . Уникнути втрати швидкодії дозволяють розроблені адаптивні ПАВ, які змінюють свою алгоритмічну структуру в процесі вимірювання.

Розроблені принципи алгоритмічної організації і шляхи покращення метрологічних характеристик ПАВ були враховані при створенні бібліотеки програмних модулів типових вимірювальних і обчислювальних процедур. Крім оптимізації за точністними критеріями, модулі бібліотеки оптимі-

зовані згідно з мінімумом ємності пам'яті програм. Використання розроблених модулів обчислювальних процедур дозволяє знехтувати похибкою обчислень при реалізації ПАВ. Ємність їх ПЗ в 2 рази менша за об'ємом існуючих аналогічних бібліотек.

У четвертій главі розглянуті питання практичної реалізації тахометра автомата безпеки (ТАВ) протирозгінного захисту ротора турбогенератора. Прилад використовує оптимальний ПАВ і реалізований на базі МК K1816BE48. При цьому досягнуто мінімально можливих апаратних затрат і таких технічних характеристик: діапазон вимірювання 12-9999 об/хв, абсолютна похибка вимірювання $\pm 0,57$ об/хв, час вимірювання і перетворення 0,3 с. Експериментальне дослідження ПАВ проводилося з метою визначення похибок мір частоти і часу, що реалізуються у функціонально-логічній архітектурі МК, а також визначення коефіцієнта їх взаємної кореляції, який дорівнює $\rho = - 0,981$.

У додатку 1 наведений листинг програми і результати моделювання похибки дискретності на основі уточненої математичної моделі.

У додатку 2 наведені вхідні дані і результати моделювання повної похибки вимірювання оптимальних ПАВ.

У додатку 3 - результати експериментальних досліджень ПАВ.

У додатку 4 - програмне забезпечення ТАВ.

У додатку 5 - документи, що підтверджують впровадження і використання результатів досліджень.

ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ І ВИСНОВКИ

1. Виконана систематизація ПАВ частотно-часових параметрів сигналів, на основі якої виявлені переваги методу коінциденції як базису оптимальних ПАВ. Доведена необхідність і можливість покращення їх метрологічних характеристик.
2. На основі виконаних досліджень запропоновані і розроблені процесорні алгоритми вимірювання, які характеризуються покращеними метрологічними характеристиками і мінімальними апаратними затратами для їх реалізації.
3. Розроблена методика дискретного вибору оптимальних ПАВ за сукупністю показників якості з урахуванням жорстких обмежень на функціонально-логічну архітектуру використовуваних МК і параметри проектного ВЧП.
4. Внаслідок дослідження джерел похибок ВЧП на основі оптимальних ПАВ запропонована математична модель повної похибки, визначені і реалізовані шляхи їх зниження. Виконаний аналіз похибки дискретності дозволив

вивести її уточнену математичну модель, придатну для дослідження граничних метрологічних характеристик ПАВ.

5. На основі ММВВ розроблений алгоритм і ППП для імітаційного моделювання похибок ВЧП на базі ПАВ.

6. Розроблені методи алгоритмічного апріорного виключення причин виникнення інструментальних складових вислідної похибки, застосування яких дозволило зменшити величини цих складових без алгоритмічного ускладнення ПАВ.

7. Запропонований метод об'єднання алгоритмів багатофункціональних ВЧП на базі ПАВ, застосування якого дозволило зменшити в два рази додаткові затрати резидентної пам'яті програм МК при реалізації багатофункціональних ВЧП в два рази, і забезпечити при цьому можливість функціонування об'єданого алгоритму в умовах можливих переривань.

8. Розроблені адаптивні ПАВ ЧП, застосування яких дозволило уникнути втрати швидкодії через виконання ПП обслуговування переривань, а також збільшити гнучкість вимірювального процесорного алгоритму за рахунок модифікації векторів переривань при їх обмеженій кількості.

9. Розроблені бібліотеки типових вимірювальних та обчислювальних процедур оптимізованих відповідно за метрологічним критерієм ефективності і ємністю пам'яті програм, застосування яких дозволило автоматизувати й істотно скоротити процес проектування оптимальних ПАВ, а також знехтувати похибкою обчислювальних операцій.

10. На основі теоретичних досліджень практично реалізований і введений на Добротвірський ДРЕС спеціалізований тахометр автомата безпеки протирозгінного захисту ротора турбогенератора на основі ПАВ ЧП. Готується його серійний випуск у ВАТ "Промприлад".

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЙНОЇ РОБОТИ

1. Кирианаки Н. В., Мокренко П. В., Леськів І. Н., Самотій В. В., Юриш С.Ю. Вопросы теории и проектирования передающих полуккомплектов систем телемеханики. - К.: УМК ВО, 1991. - 208 с.
2. Питання теорії та проектування передавальних напівкомплектів систем телемеханіки/ М.В. Кіріанакі, П.В. Мокренко, І.М.Леськів,В.В. Самотій, С.Ю. Юриш/ Під ред. М. В. Кіріанакі.- К.: НМК ВО, 1991.-204 с. - Переклад з російського видання.
3. Глуценко К. А., Кирианаки Н. В., Котыло О. Б., Юриш С.Ю. Измерители частотно-временных параметров сигналов на базе ОЭВМ серии К1816 // Микропроцессорные средства и системы. -1988.-№6.-С.80-82.

4. Кіріанакі М.В., Дейнега В.П., Юріш С. Ю. Мікропроцесорні тахометри нового покоління для турбогенераторів ДРЕС і АЕС //Вісник Державного Університету "Львівська політехніка".-1995.- Вип.292.-С.52 - 60.
5. Кіріанакі М.В., Дейнега В.П., Юріш С. Ю., Мірошніков В. В., Шевченко О.Ю. Спеціалізований тахометр для турбогенераторів //Вимірювальна техніка та метрологія. - 1995. - Вип.51. - С.81-84.
6. Кирианаки Н.В., Витер А.С., Котыло О. Б., Юриш С. Ю. Универсальный микропроцессорный частотомер //Приборы и системы управления.- 1987. - №8. - С.26 - 27.
7. Кирианаки Н.В., Юриш С.Ю. Использование микропроцессорных комплектов в кодовых системах телеконтроля //Контрольно-измерительная техника. - 1988. - Вып.44. - С.29 - 36.
8. Deynega V.P., Kirianaki N.V., Yurish S. Y. Microcontrollers Compatible Smart Sensor of Rotation Parameters with Frequency Output // In Proceedings of Twenty-First European Solid-State Circuits Conference ESSCIRC'95, 19-21 September, Lille, FRANCE.-1995.-pp.346-349.
9. Dudykevich V.B., Yurish S.Y. A modified Method of Algorithm Merging //Pattern Recognition and Image Analysis, USA.-1994.-N3.-Vol.2.- pp. 230 - 232.
10. Kirianaki N.V., Yurish S.Y. Intelligent Adaptive Systems of Telemetry //In Proceedings of International Conference on Programmable Devices and Systems (PDS'96), November 26-28, 1996, Ostrava, Czech Republic. - 1996. - pp. 224-231.
11. Kirianaki N. V., Yurish S. Y. Program Methods of Measurements for Microcontrollers Based Measuring Instruments //In Proceedings of International Conference Programmable Devices and Systems PDS'95, 9-10.11.95, Gliwice, POLAND.- 1995. - pp.103-110.
12. Mokrenko P.V., Pavlyuk E.I., Yurish S.Y. Model of Quantum Converter of Current/Frequency with Shock Excitation// In Proceedings of International IMEKO Workshop on ADC Modelling, May 7-9, 1996.- Smolenice Castle, Slovak Republic. - 1996. - pp.30-34.
13. Mokrenko P.V., Yurish S.Y. Digital Measuring Instruments of Direct Current with Quantum Caesium Converter //In Proceedings of 6th International Conference on Industrial Metrology (CIMI'95), Oct. 25-27, 1995. - Zaragoza, SPAIN. - 1995. - pp. 158-166.
14. Yurish S.Y., Dudykevich V.B. Microelectronics CAD Education and researches: Where is Ukraine Going ? //In Proceedings of 1st European Workshop on Microelectronics Education, 5 - 6 February, 1996. - Villard de Lans, FRANCE. - 1996. - p.38.

15. Yurish S. Y., Dudykevych V.B., Mokrenko P.V. Program-simulated methods of frequency-time measurements for virtual measuring systems// In Proceedings of 6th International Conference on Industrial Metrology (CIMI'95), Oct.25-27, 1995.-Zaragoza, SPAIN.-1995.-pp.249-256.
16. Yurish S. Y., Kirianaki N.V. A modified Method of Algorithm Merging for DSP //In Proceedings of Workshop on Design, Methodologies for Signal Processing, Aug. 28-30, 1996. - Zakopane, POLAND. - 1996.- pp.81-84.
17. Yurish S.Y., Kirianaki N.V. Hardware/Software Co-synthesis Methodology for Single-chip Microcomputer Based Converters //In Proceedings of International Conference Programmable Devices and Systems PDS'95, 9-10.11.95, Gliwice, POLAND.- 1995.- pp.153-157.
18. Yurish S.Y., Kirianaki N.V. Single-Chip Microcontrollers in Industrial Measuring System //In Proceedings of International Conference on Programmable Devices and Systems (PDS'96), November 26-28, 1996, Ostrava, Czech Republic.-1996. - pp. 133-140.
19. Yurish S.Y., Mokrenko P.V. Program-Simulated Methods for Frequency/Code Converters //In Proceedings of International IMEKO Workshop on ADC Modelling, May 7-9, 1996.- Smolenice Castle, Slovak Republic. - 1996. - pp. 35 - 40.
20. А.с. 1372245 СССР, G01R 23/02. Цифровой частотомер /А. С. Витер, В.В. Дудыкевич, О.В. Котыло, В.И. Отенко, С.Ю. Юриш.1988, БИ N5.
21. А.с.1531020 СССР, G01R 23/02. Преобразователь частота-код/А. С. Витер, В.В.Дудыкевич, О.В. Котыло, С.Ю. Юриш. 1989, БИ N47.
22. А.с.1803882 СССР, G01R 25/00. Преобразователь фаза-код/ В. Б. Дудыкевич, В. Н. Максимович, В. И. Отенко, С. Ю. Юриш, В. Я. Сурьян, С. Н. Горбатюк. 1993, БИ N11.
23. Дудыкевич В.В., Котыло О.В., Стрилецкий Э.М., Юриш С. Ю. Цифро-частотный преобразователь, управляемый микропроцессорной системой.-М., 1987. - 13 с. Деп. в ЦНИИТЭИ, N3727, пр.87.
24. Дудыкевич В. Б., Юриш С. Ю. Використання сучасних однокристалних мікроконтролерів у вимірювачах частотно-фазочасових сигналів // Контроль и управление в технических системах. Тез. докл. 3-й Международной научн. технин. конф.18-21 сентября 1995 г.: В 2 т. - Винница, 1995. - Т.2. - С.276 - 277.
25. Дудыкевич В.В., Юриш С.Ю. Синтез процесорних алгоритмів програмних способів вимірювання частотно-фазочасових параметрів сигналів // Контроль и управление в технических системах. Тез. докл. 3-й Международной научно-технин. конф. 18-21 сентября 1995 г.: В 2 т. - Вин-

- ница, 1995. - Т.2. - С.282 - 283.
26. Дудыкевич В. Б., Котыло О. В., Стрилецкий З. М., Юриш С. Ю. Цифро-частотные преобразователи в измерителях частотно-временных параметров электрических сигналов, управляемых микропроцессорными системами // Интегрирующие частотные время-импульсные преобразователи и цифровые средства измерения на их основе. Тез. докл. зонального семинара 18-19 мая 1987 г. - Пенза, 1987. - С.60-62.
 27. Дудыкевич В.Б., Отенко В.И., Юриш С.Ю. Микропроцессорные цифро-частотные специализированные процессоры // Применение вычислительной техники и математических методов в научных исследованиях. Тез. докл. научно-техн. конф. - Севастополь, 1990.- С.171-172.
 28. Дудыкевич В.Б., Стрилецкий З.М., Юриш С.Ю. Однокристалльные микроЭВМ в адаптирующихся системах экспериментальных исследований частотно-временных параметров электрических сигналов //Применение вычислительной техники и математических методов в научных и экономических исследованиях. Тез. докл. научно-техн. конф.- Киев, 1989.-С.105-106.
 29. Дудыкевич В.Б., Юриш С.Ю. Адаптивные способы измерения частотно-фазовременных параметров электрических сигналов //Контроль и управление в технических системах. Тез. докл. научно-техн. конф. стран Содружества Независимых Государств 8-10 сентября 1992 г. - Винница, 1992. - С.89 - 90.
 30. Дудыкевич В.Б., Юриш С.Ю. Анализ и оптимизация структур процессорных алгоритмов программных способов измерения //Применение вычислительной техники и математических методов в научных и экономических исследованиях. Тез. докл. научно-техн. конф. - Киев, 1991. - С.76.
 31. Дудыкевич В.Б., Юриш С.Ю. Математическая модель погрешности квантования оригинального варианта метода дискретного счета для измерения частотно-временных параметров //Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах і конверсії виробництва. Тез. доп. III науково-техн. конф. 23-25 травня 1995 р.-Хмельницький, 1995.-С.117.
 32. Дудыкевич В.Б., Юриш С.Ю. Метод объединения алгоритмов программных способов измерения частотно-фазовременных параметров сигналов //Радиотехнические системы (навигации, связи), средства измерений и новые информационные технологии. Тез. докл. научно-техн. конф. с международным участием 16 - 18 сентября 1992 г. - Красноярск, 1992. - С.61 - 65.
 33. Дудыкевич В.Б., Юриш С.Ю. Метрологический анализ программных способов измерения частотно-временных параметров сигналов при помощи имитационного моделирования //Применение вычислительной техники и

- математических методов в научных исследованиях. Тез. докл. научно-техн. конф. - Севастополь, 1990. - С.190 - 191.
34. Дудыкевич В. В., Юриш С. Ю. Перспективы использования программных способов измерения частотно-временных параметров сигналов в области средних и высоких частот //Современные методы радиоизмерений в диапазонах высоких частот (ВЧ) и сверхвысоких частот (СВЧ). Тез. докл. Региональной научно-техн. конф. 17-19 сентября 1991 г. -Новосибирск, 1991. - С.87.
35. Дудыкевич В.В., Юриш С.Ю. Преобразователи фазовых сдвигов к микропроцессорным частотомерам на базе однокристалльных микроЭВМ //Современные проблемы фазоизмерительной техники. Тез. докл. Всесоюзной научно-техн. конф. 18-22 сентября 1989 г. -Красноярск, 1989. - С.9-10.
36. Кирианки Н. В., Дейнега В. П., Юриш С. Ю. Тахометр для настройки и испытания противоразгонной защиты турбогенераторов //Контроль и управление в технических системах. Тез. докл. научно-техн. конф. стран Содружества Независимых Государств 8-10 сентября 1992 г. - Винница, 1992. - С.246 - 247.
37. Кирианки Н. В., Юриш С. Ю. Новый метод прецизионного измерения и контроля частотно-фазовременных параметров сигналов //Метрологія та вимірювальна техніка (Метрологія-95). Тез. доп. Української науково-техн. конф. 10-13 жовтня 1995 р. - Харків, 1995. - С.164.
38. Кирианки Н. В., Юриш С. Ю. Программные способы измерения частотно-фазовременных параметров сигналов на базе метода коинциденции //Радиотехнические системы (навигации, связи), средства измерений и новые информационные технологии. Тез. докл. научно-техн. конф. с международным участием 16 - 18 сентября 1992 г. - Красноярск, 1992. - С.79-84.
39. Кирианки Н. В., Юриш С. Ю. Системное проектирование многофункциональных тахометров и виртуальных тахометрических систем //Метрологія та вимірювальна техніка (Метрологія-95). Тез. доп. Української науково-техн. конф. 10-13 жовтня 1995 р. - Харків, 1995. - С.109.
40. Юриш С.Ю. Анализ и синтез алгоритмов программных способов измерения частотно-временных параметров сигналов цифровых информационных систем //Цифровая обработка сигналов в системах связи и управления. Тез. докл. Межрегиональной научно-техн. конф. - Львов, 1992. - С.22.
41. Юриш С.Ю. Программные способы измерения частотно-временных параметров электрических сигналов // Метрологія та вимірювальна техніка (Метрологія-95). Тез. доп. Української науково-техн. конф. 10 - 13 жовтня 1995 р. - Харків, 1995. - С.176.

Юриш С.Ю. Процессорные алгоритмы и измерители частотно-временных параметров электрических сигналов (на базе метода коинциденции).

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.11.05 - приборы и методы измерения электрических и магнитных величин, Государственный Университет "Львовская Политехника", Львов, 1997.

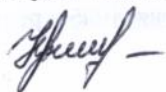
Защищается 41 научная работа, которые содержат теоретические исследования и практические реализации процессорных алгоритмов измерения (ПАИ) частотно-временных параметров электрических сигналов на базе метода коинциденции. Предложены оптимальные ПАИ и измерители, обладающие минимальными аппаратными затратами. Разработана методика дискретного выбора оптимальных ПАИ и методы коррекции погрешностей. Предложена уточненная математическая модель погрешности дискретности и регрессионная модель полной погрешности оптимального ПАИ.

Yurish S. Y. Program-oriented Methods and Measuring Instruments for Frequency-Time Parameters of Electric Signals (based on coincidence measuring method).

PhD thesis according to the speciality 05.11.05 - Instruments and Methods of Measurements of Electrical and Magnetic Quantities, State University Lviv Polytechnic, Lviv, 1997.

The PhD thesis based on the 41 scientific works are submitted for the defence. It contain the theoretical researches and practical realizations of program-oriented methods of measurements (PMM) for frequency-time parameters of electric signals based on the method of coincidence. The optimum PMM and instruments are offered. They have a minimum possible hardware. The technique of discrete choosing of the optimum PMM and correction methods for errors are developed. The specified mathematical model for the quantization error and regressive model for the total error of the optimum PWM are described.

Ключові слова: процесорні алгоритми вимірювання, частота, час, похибка дискретності, метод коінциденції, векторна оптимізація, мікроконтролер, моделювання, корекція.



435494

АВ 37.160

Підписано до друку 06.02.97 р. Формат 60x84/16.

Обсяг 1 друк. лист. Зам. . Тир 100.

Львів. Виробничо - комерційне підприємство «ВМС».