

Ю. В. Шабатура

**ТЕХНОЛОГІЯ ВИМІРЮВАННЯ
НА ОСНОВІ ПРЕДСТАВЛЕННЯ
ЗНАЧЕНЬ ВИМІРЮВАНИХ ВЕЛИЧИН
ЧАСОВИМИ ІНТЕРВАЛАМИ**



Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний технічний університет

Ю. В. Шабатура

**ТЕХНОЛОГІЯ ВИМІРЮВАННЯ
НА ОСНОВІ ПРЕДСТАВЛЕННЯ
ЗНАЧЕНЬ ВИМІРЮВАНИХ ВЕЛИЧИН
ЧАСОВИМИ ІНТЕРВАЛАМИ**

Монографія

ВНТУ Вінниця
2010

УДК 681.317.39

ББК 30.10

Ш 12

Рецензенти:

Ю. В. Куц, доктор технічних наук, професор

Р. Н. Кветний, доктор технічних наук, професор

Рекомендовано до видання Вченою радою Вінницького національного технічного університету Міністерства освіти і науки України (протокол № 11 від 01.07.2009 р.)

Шабатура, Ю. В.

Ш 12 Технологія вимірювання на основі представлення значень вимірюваних величин часовими інтервалами : монографія / Ю. В. Шабатура. – Вінниця : ВНТУ, 2010. – 324 с.

ISBN 978-966-641-333-1

У монографії розроблені і науково обґрунтовані основні теоретичні засади і практичні аспекти застосування нової технології вимірювання фізичних величин на основі їх представлень часовими інтервалами, які формуються у вигляді тривалості імпульсних процесів, що визначається на фіксованих амплітудних рівнях. Розроблені нові принципи побудови вимірювальних каналів, методи та засоби проведення вимірювальних перетворень, які дозволяють здійснювати інженерне проектування вимірювальних систем на засадах запропонованої технології вимірювання.

Розрахована на науковців та фахівців з інформаційно-вимірювальної техніки. Буде корисною для студентів та аспірантів відповідних спеціальностей.

УДК 681.317.39

ББК 30.10

ISBN 978-966-641-333-1

© Ю. Шабатура, 2009

ЗМІСТ

| | |
|--|------------|
| Список умовних скорочень та позначень | 7 |
| Передмова | 8 |
| Вступ | 10 |
| 1. Сучасний стан і основні тенденції у розвитку методів та засобів вимірювань у технічних пристроях і системах | 14 |
| 1.1. Основні принципи і підходи в побудові інформаційно-вимірювальних системи, як основних засобів вимірювальної техніки сьогодення | 14 |
| 1.2. Сигнали, як носії вимірювальної інформації. Аналіз і систематизація їх форм | 2 |
| 1.3. Властивості часу як об'єкта вимірювання | 30 |
| 1.4. Часові інтервали і їх використання в процедурах вимірювального перетворення | 34 |
| 1.5. Системний аналіз технічного та метрологічного забезпечення вимірювань часу та часових інтервалів | 39 |
| Висновки | 472 |
| 2. Теоретичні засади побудови вимірювальних каналів на основі застосування представлення вимірювальної інформації часовими інтервалами..... | 49 |
| 2.1. Особливості представлення вимірювальної інформації часовими інтервалами в інформаційно-вимірювальних системах | 49 |
| 2.2. Концептуальні положення методології створення вимірювальних каналів інформаційно-вимірювальних систем з часовим представленням інформації | 52 |
| 2.3. Структурні і математичні основи побудови вимірювальних каналів з часовим представленням інформації на основі класичних вимірювальних схем..... | 55 |
| 2.3.1. Імпульсні тестові сигнали та особливості їх використання в розроблених вимірювальних процедурах..... | 59 |
| 2.3.2. Вимірювальний канал на основі потенціометричної вимірювальної схеми з резистивним сенсором..... | 72 |
| 2.3.3. Вимірювальний канал на основі мостових вимірювальних схем з резистивними сенсорами | 87 |
| 2.3.4. Вимірювальний канал на основі мостових вимірювальних схем з використанням імпульсних сигналів струму..... | 97 |
| 2.3.5. Застосування прямокутних імпульсних тестових сигналів у вимірювальних каналах з додатковим інтегрувальним перетворенням та їх математичне моделювання | 102 |

| | |
|---|------------|
| 2.3.6. Підвищення чутливості вимірювальних схем за рахунок додаткового інтегрувального перетворення при використанні інших форм імпульсних тестових сигналів..... | 115 |
| 2.3.7. Математичне моделювання вимірювальних перетворень у вимірювальних каналах з додатковим інтегрувальним перетворенням при використанні інших форм імпульсних тестових сигналів | 115 |
| 2.4. Принципи побудови інваріантних вимірювальних каналів з часовим представленням вимірювальної інформації..... | 131 |
| Висновки | 142 |
| 3. Нові методи і засоби вимірювальних перетворень для побудови вимірювальних пристроїв і систем з часовим представленням вимірювальної інформації..... | 145 |
| 3.1. Вимірювальні перетворювачі значень фізичних величин у часові інтервали. Аналіз структур та класифікації..... | 145 |
| 3.2. Індуктивно-резонансний вимірювальний перетворювач для вимірювальних каналів ІВС з часовим представленням інформації | 156 |
| 3.2.1. Структурний та схемотехнічний синтез індуктивно-резонансного вимірювального перетворювача..... | 159 |
| 3.2.2. Математичне моделювання індуктивно-резонансного вимірювального перетворювача | 161 |
| 3.2.3. Комп'ютерне моделювання роботи вимірювального перетворювача .. | 163 |
| 3.2.4. Застосування індуктивно-резонансних вимірювальних перетворювачів у вимірювальних каналах ІВС для визначення товщини діелектричного покриття | 165 |
| 3.3. Вимірювальний перетворювач для побудови вимірювальних каналів визначення характеристик обертальних рухів..... | 170 |
| 3.3.1. Математична модель вимірювального перетворювача | 172 |
| 3.3.2. Перспективні конструктивні та схемотехнічні вдосконалення перетворювача..... | 177 |
| Висновки | 186 |
| 4. Математичне, метрологічне і критеріальне забезпечення вимірювальних систем, з часовим представленням вимірювальної інформації..... | 188 |
| 4.1. Математичне забезпечення синтезу і аналізу ІВС з часовим представленням інформації..... | 188 |
| 4.2. Інформаційна модель вимірювального каналу ІВС з часовим представленням інформації..... | 194 |

| | |
|--|-----|
| 4.3. Математичний аналіз динамічних властивостей вимірювальних каналів ІВС з часовим представленням інформації..... | 203 |
| 4.4. Метрологічна декомпозиція вимірювальних каналів ІВС з часовим представленням інформації | 211 |
| 4.5. Загальний аналіз похибок, які виникають в ІВС з часовим пред- ставленням інформації..... | 214 |
| 4.6. Методичні та інструментальні похибки вимірювань. Статистичний аналіз похибок | 217 |
| 4.7. Невизначеність у поданні результатів вимірювальних перетворень з часовим представленням інформації | 228 |
| 4.7.1. Вибір і формування алгоритму оцінювання невизначеності | 229 |
| 4.8. Критеріальний аналіз ефективності ІВС з часовим представленням інформації | 231 |
| Висновки | 239 |
| 5. Приклади розробок інформаційно-вимірювальних систем та вирішення інших задач науки і техніки в яких використовується часове представлення інформації | 242 |
| 5.1. Волоконно-оптична ІВС з часовим представленням вимірювальної інформації | 242 |
| 5.1.1. Структурні особливості розробленої волоконно-оптичної ІВС | 242 |
| 5.1.2. Математичне моделювання функціонування ІВС..... | 245 |
| 5.2. ІВС для контролю за рівнем активності водія транспортного засобу | 251 |
| 5.3. Інтервально-частотна ІВС для адаптивної оптимальної корекції стану серцево-судинної системи людини | 258 |
| 5.4. Голосова ІВС для пасажирських вагонів залізничного транспорту | 260 |
| 5.4.1. Інформаційні аспекти функціонування системи | 261 |
| 5.4.2. Математичне моделювання метрологічних характеристик вимірювального каналу | 264 |
| 5.5. Застосування вимірювань з часовим представленням вимірювальної інформації в Інтернет-технологіях | 267 |
| 5.5.1. Математичні моделі функціонування системи EUREKA ...270 | |
| 5.5.2. ІВС для моніторингу динамічних характеристик сегментів мережі Internet | 271 |
| 5.6. Кодування і вибір функцій управління з використанням часу в якості опорного інформаційного каналу | 274 |
| Висновки | 278 |

| | |
|--|-----|
| Післямова | 280 |
| Додаток А. Алгоритм виконання процедури оцінки і подання невизначеності результату вимірювань з часовим представленням вимірювальної інформації..... | 284 |
| Додаток Б. Інтегрована в Internet інформаційна система EUREKA..... | 287 |
| Б.1. Функціональна та програмна структури системи..... | 287 |
| Б.2. Інтерфейс системи та методика роботи в ній..... | 290 |
| Б.3. Математичні моделі оцінки ефективності отриманих рішень..... | 296 |
| Додаток В. Програмна реалізація та експериментальні результати застосування ІВС для моніторингу сегментів Internet..... | 297 |
| Література | 303 |

Список умовних скорочень та позначень

IBC – інформаційно-вимірювальна система

АЦП – аналого-цифровий перетворювач

ЧЦП – часо-цифровий перетворювач

ВК – вимірювальний канал

ВС – вимірювальна схема

TDC – Time-Digital Converter (часо-цифровий перетворювач)

ISO – International Standardization Organization (Міжнародна організація стандартизації)

ІТС – імпульсний тестовий сигнал

ВП&ЧПІ – вимірювальний перетворювач з часовим представленням інформації

ЧПІ – часова тривалість імпульсів

ВФВ – вимірювана фізична величина

t – скалярна величина, числове значення якої визначає момент, або тривалість часового інтервалу

$F_i(P_i(t))$ – функція перетворення значення фізичної величини $P_i(t)$ в значення тривалості часового інтервалу $T_i(t)$

L – рівень амплітуди імпульсного сигналу на якому визначається його часова тривалість

U_{\max} – значення амплітуди напруги імпульсного сигналу

Δt – часова тривалість на L -рівні імпульсного сигналу

$S_m = \frac{\partial \Delta t}{\partial U_m}$ – чутливість вимірювального перетворення з часовим представленням інформації

$S_R = \frac{\partial \Delta t_{\max}}{\partial R_f}$ – чутливість вимірювального перетворення в резистивній вимірювальній схемі

α – коефіцієнт амплітуди для визначення L -рівня

Δt_{Σ} – сумарна тривалість компонент складного імпульсного сигналу

$S_R = \frac{\partial \Delta t_{\Sigma}}{\partial R_f}$ – чутливість вимірювального перетворення в резистивній вимірювальній схемі з додатковим інтегрувальним перетворенням

s – змінна Лапласа

$\operatorname{erfc}\left(\frac{a}{2} s\right)$ – функція додаткової похибки

ПЕРЕДМОВА

Ідея написати монографію, яка стала б логічним продовженням з одночасним поглибленням і розширенням напрямів закладених в попередній монографії «Основи теорії і практики інтервальних вимірювань», яка вийшла з друку у 2003 році, настійливо турбувала і вимагала свого втілення вже протягом досить тривалого часу...

Щойно закінчив попереднє речення і знову здивувався, наскільки ж ми «прив'язані» до часу. Практично будь-яка дія і навіть думка завжди так-чи інакше співвідносяться, залежать від нього і в кінці-кінців оцінюються через час. Він є обов'язковим атрибутом усіх накопичених людством знань і способів їх вираження

Так що ж воно є таке – час? У чому його суть?

Оцінюючи з позицій сучасного рівня розвитку науки змушений констатувати, що за всю багатотисячову історію розвитку людської цивілізації поняття часу практично не зазнало змін, а розуміння його суті так і залишається для нас незбагненою загадкою, якою вона була і для мільярдів наших попередників.

Світ у якому ми існуємо є проявом чотиривимірною континуума. І якщо відносно трьох просторових координат ми опанували технології, які дають свободу будь-яких дій, то відносно четвертого виміру ми залишаємось так само безпорадними як і всі наші попередники. Сьогодні можна лише з повною впевненістю констатувати, що нам невідомо жодного об'єкта, явища або взаємодії, які існували б поза часом. І тому, ось ця нерозривність доступного нам простору і недоступного часу підштовхує до думки про можливість гіпотетичного управління останнім, або принаймні його використання в нових технологіях.

Спробі пояснити, яким чином можна застосувати час, що виражається у формі різних часових інтервалів у новій технології проведення вимірювань фізичних величин і присвячена ця монографія.

Для зацікавлених читачів, які мають бажання більше дізнатися про природу часу і його філософське осмислення можу порекомендувати ознайомитися з матеріалами заснованого в 1966 році доктором Дж. Т. Фрезером Міжнародного Товариства з Вивчення Часу (ISST) (<http://www.studyoftime.org>), а також з інформацією, яка представлена в Інтернеті у Web-Інституті Дослідження Природи Часу, що заснований Російським міждисциплінарним семінаром з темпорології в Московському державному університеті ім. М. В. Ломоносова. (<http://www.chronos.msu.ru/rindex.html>)

Монографія адресована науковцям, інженерам, аспірантам та студентам, наукові пошуки і робота яких пов'язана з вимірювальною технікою і які прагнуть освоювати нові технології в цьому напрямку. Крім того, з надією сподіваюсь, що ідеї і розробки цієї праці викличуть у читачів бажання долучитися до наукових пошуків, які дозволять розширити горизонти розуміння природи часу, створити нові технології і технічні системи, які будуть використовувати унікальні властивості і прояви часу.

Автор висловлює подяку всім науковцям, співпраця з якими позитивно впливала на розвиток роботи і в першу чергу доценту кафедри метрології та промислової автоматики ВНТУ Валерію Марушаку, який впродовж довгих років завжди знаходив час для спілкування по проблематиці роботи, а його поради сприяли виникненню і розвитку нових корисних ідей.

Окрему глибоку подяку автор адресує шановним рецензентам – доктору технічних наук, професору, завідувачу кафедри Інформаційно-вимірювальних систем Національного авіаційного університету Куцу Ю. В., та доктору технічних наук, професору, завідувачу кафедри Автоматики та інформаційно-вимірювальної техніки Вінницького національного технічного університету Кветному Р. Н., цінні поради та зауваження яких сприяли покращенню монографії.

Відгуки про цю роботу, зауваження і побажання прохання надсилати на адресу видавництва ВНТУ:, КІВЦ, к. 114 ГНК, Хмельницьке шосе 95, м. Вінниця. 21021.

ВСТУП

Поступальний і достатньо динамічний розвиток усіх сфер діяльності людей сьогодні нерозривно пов'язаний із зростанням вимог до методів та засобів вимірювань. Незважаючи на стрімке поширення застосування у вимірювальних пристроях високопродуктивної мікропроцесорної та комп'ютерної техніки, в наш час спостерігається певне відставання в функціональних та метрологічних можливостях сучасних засобів вимірювальної техніки по відношенню до тих вимог, які висуваються до неї з боку потреб виробництва, науки, культури, та інших видів діяльності людей. У першу чергу це стосується, з одного боку – потреб збільшення роздільної здатності, зменшення впливу завад на результати вимірювань, з іншого боку – вимог зменшення енергоспоживання вимірювальною технікою. Таке становище породжує важливу проблему, яка полягає в необхідності забезпечення у комплексі збільшення роздільної здатності вимірювань, підвищення їх стійкості до дії завад та покращення енергетичних характеристик засобів вимірювання. Враховуючи загальні тенденції розвитку науки і техніки, потрібно відзначити, що вирішення цієї проблеми є вкрай актуальним для сьогодення.

Сучасні засоби вимірювальної техніки створюються переважно у вигляді потужних багатоканальних інформаційно-вимірювальних систем (ІВС). В розробку теорії і практики побудови ІВС вагомий вклад внесли вчені США, Англії, Франції, Росії, Німеччини, Японії та інших країн світу [1–27]. В Україні інтенсивний розвиток в цьому напрямку був започаткований П. П. Орнатським. Сьогодні він ефективно продовжується завдяки працям багатьох відомих українських вчених. Розвиток ІВС на сучасному етапі відбувається в основному за рахунок більш повного використання потенціалу методів цифрової обробки інформації за допомогою комп'ютерної та мікропроцесорної техніки, а також за рахунок збільшених можливостей їх апаратного та програмного забезпечення. Однак, суттєво покращити функціональні та метрологічні характеристик ІВС може лише застосування нових методів вимірювань, нових принципів структурного синтезу ІВС, нових способів організації вимірювальних каналів та побудови первинних вимірювальних перетворювачів. Серед базових цілей покращення функціональних та метрологічних характеристик ІВС можна виділити такі: підвищення точності вимірювань, збільшення чутливості до вимірюваних величин і нечутливості до дії завад, зменшення енергоспоживання і забезпечення

уніфікованості структури ІВС з можливістю легкої зміни роду вимірюваних величин та діапазонів вимірювань. Крім того, в останні роки з'явився ряд нових вимірювальних задач, пов'язаних із розвитком комп'ютерних мереж і необхідністю якісного і кількісного оцінювання їх статичних і динамічних параметрів та інших характеристик. Для вирішення останніх задач теж виникає потреба в розвитку теорії і практики створення відповідних ІВС.

Таким чином, для вирішення відзначеної проблеми необхідно розв'язати комплекс задач, пов'язаних з розробкою теоретичних засад та практичних положень для побудови ІВС з часовим представленням вимірювальної інформації, які відрізняються підвищеною точністю вимірювань, високою чутливістю до вимірюваних величин, забезпечують інваріантність до дії завад, мають менше енергоспоживання та уніфіковану структуру. Потенційні можливості для розв'язання вказаної проблеми і комплексу пов'язаних з нею задач надає запропонована і розвинута в теоретичному і прикладному аспектах в монографії концепція застосування часових інтервалів в якості універсальної вимірювальної величини при виконанні процедур вимірювання значень інших фізичних величин. Впровадження цієї концепції виконано на основі розвитку теорії та методів створення вимірювальних каналів, функціонування яких базується на використанні часового представлення вимірювальної інформації у формі часових інтервалів, з відповідним технічним, програмним та метрологічним забезпеченням, нових методів та засобів здійснення вимірювальних перетворень значень фізичних величин у вимірювальні сигнали з інформативною ознакою, яка виражається у їх часовій тривалості.

Наведена аргументація підтверджує своєчасність та актуальність вирішення поставленої науково-практичної проблеми.

В основному матеріалі монографії розглянуто розробку теоретичних засад технології вимірювання на основі представлення значень фізичних величин часовими інтервалами. Практичне застосування цієї технології приводить до підвищення роздільної здатності і завадостійкості вимірювань та зменшення енергоспоживання в ІВС у комплексі за рахунок побудови їх вимірювальних каналів на основі часового представлення значень вимірюваних величин і переходу до імпульсного режиму роботи.

Основним об'єктом дослідження в роботі є процеси отримання вимірювальної інформації про значення фізичних величин шляхом їх перетворення в часові інтервали.

У монографії проведено аналіз і систематизацію представлень виміральної інформації в ІВС та обґрунтовано доцільність представлення значень вимірюваних фізичних величин часовими інтервалами на основі чого розроблені теоретичні засади технології вимірювань у якій часові інтервали використовуються як основна форма представлення виміральної інформації, що дозволяє будувати уніфіковані засоби вимірювань, які працюють в імпульсному режимі з підвищеною точністю вимірювань, зниженим енергоспоживанням та збільшеною завадостійкістю.

Розроблені нові принципи створення вимірвальних каналів, які базуються на застосуванні нових способів та пристроїв здійснення вимірвальних перетворень, або на основі використання класичних вимірвальних схем з резистивними сенсорами, робота яких організовується за новими принципами з використанням імпульсних тестових сигналів (ІТС).

У роботі запропоновано методологію та математичні моделі для аналітичного визначення нового виду вимірвальних перетворень при використанні основних видів форм ІТС. Отримані моделі і методики є базовими для розробки вимірвальних каналів з використанням ІТС.

Розроблено математичні моделі вимірвальних перетворень та функцій чутливості для вимірвальних каналів побудованих на основі потенціометричних вимірвальних схем при застосуванні типових форм ІТС, та на основі мостових вимірвальних схем при застосуванні типових форм ІТС напруги та струму, що дозволяє виконувати інженерне проектування нових вимірвальних каналів, в тому числі і нечутливих до втрат у лініях зв'язку.

Запропоновано структуру, математичне та метрологічне забезпечення вимірвального каналу з додатковим інтегрувальним перетворенням на основі потенціометричної та мостових вимірвальних схем, що, завдяки застосуванню прямокутних ІТС, дає технологічні переваги і підвищує чутливість при застосуванні інших ІТС.

Розроблено принципи побудови інваріантних вимірвальних каналів з часовим представленням вимірвальної інформації, що дозволяють створювати вимірвальні канали, які будуть нечутливими до дії завод.

Запропоновано нові методи та засоби вимірвальних перетворень для застосування у вимірвальних каналах ІВС з часовим представленням вимірвальної інформації.

Сформовано математичний тезаурус розробленого вимірювального процесу, проведено аналіз похибок та розроблено методику оцінювання невизначеності результатів вимірювань з часовим представленням інформації.

Розроблено концептуальні, теоретичні та практичні засади створення ряду спеціалізованих ІВС та вирішення інших задач науки і техніки які базуються на часовому представленні вимірювальної інформації.

Для вирішення поставлених завдань в роботі були використані:

- теорія вимірювань, теорія розмірностей фізичних величин, теорія похибок вимірювань, теорія сигналів, теорія ІВС для обґрунтування можливостей і переваг створення ІВС у яких вимірювані фізичні величини представляються часовими інтервалами;

- методи теорії функцій та функціонального аналізу, математичний аналіз, теорія множин, інтегральне числення, теорія інваріантності систем, теорія лінійного і нелінійного програмування, теорія електричних кіл, теорія автоматичного управління, електроніка, нечіткий аналіз, теорія теплових процесів, для розробки теоретичних засад і практичних положень зі створення нових методів вимірювальних перетворень, нових видів вимірювальних перетворювачів, нових структур вимірювальних каналів та нових ІВС.

Перед викладенням основного матеріалу зазначу, що практична цінність розроблених концепцій, теоретичних засад, методів і математичних моделей підтверджується створеними на їх основі новими методиками і алгоритмами вимірювань, побудованими вимірювальними пристроями та ІВС підвищеної точності і завадостійкості, зі зменшеним енергоспоживанням, розробленим методичним та математичним забезпеченням для повноцінного інженерного проектування і розрахунку вимірювальних каналів, які працюють на нових засадах.

1. СУЧАСНИЙ СТАН І ОСНОВНІ ТЕНДЕНЦІЇ У РОЗВИТКУ МЕТОДІВ ТА ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАНЬ У ТЕХНІЧНИХ ПРИСТРОЯХ І СИСТЕМАХ

1.1. Основні принципи і підходи в побудові інформаційно-вимірювальних системи, як основних засобів вимірювальної техніки сьогодення

Динаміка розвитку науки і техніки на початку XXI століття перевершує всі сподівання. Однак, при більш детальному погляді на цей процес і його наслідки стає очевидною його надзвичайна нерівномірність. Певні галузі техніки і технологій, наприклад, мікроелектроніка, комп'ютерна техніка досягли небаченого розвитку як в якісних показниках, так і у відношенні своєї уніфікованості та універсальності застосування. А от інші, в тому числі вимірювальні прилади і інформаційно-вимірювальні системи, значно відстають у такому порівнянні. Разом з тим інтенсифікація промислового виробництва, зростання потреб комплексної автоматизації в різних сферах людської діяльності вимагають нагального вирішення завдань, пов'язаних із створенням і впровадженням засобів інформаційно-вимірювальної техніки. Вказані завдання закономірно виникають через необхідність сприйняття технічними засобами інформації про стан навколишнього світу в цілому і досліджуваних та керованих об'єктів зокрема, а, оскільки таке сприйняття повинне бути адекватним дійсності, воно повинно виконуватися з дотриманням вимог метрології за допомогою спеціальних вимірювальних приладів та систем.

Як відомо [28], інформаційно-вимірювальна техніка (ІВТ) призначена для отримання дослідним шляхом кількісно визначеної інформації про різні об'єкти матеріального світу. Головним в ІВТ є процес вимірювання, який по суті є основним шляхом отримання кількісної інформації. Саме цим шляхом йшли наші пращури (історичні свідчення про застосування засобів вимірювань були знайдені у Вавилоні, Китаї, Індії, Єгипті, Сирії, Греції та інших країнах світу) [29], цим шляхом продовжуємо сьогодні йти і ми.

Освоювання нових технологічних процесів, створення новітніх технічних систем потребують засобів вимірювання та контролю величин, для яких раніше не були розроблені метрологічно атестовані засоби вимірювальної техніки. Таке збільшення кількості видів вимірюваних величин веде до необхідності вдосконалення існуючих засобів вимірювань і розробки нових. Крім того, у зв'язку з поширенням останнім часом комплексним підходом до отримання оцінки стану

матеріальних об'єктів, формуються нові вимоги до інформаційно-вимірювальної техніки, які пов'язані з отриманням і використанням результатів не окремих вимірювань, а потоків вимірювальної інформації. Причому, отримання всього об'єму вимірювальної інформації повинно виконуватися за обмежений час.

Таким чином, перед розробниками вимірювальної техніки виникла проблема створення нового класу засобів вимірювання – інформаційно-вимірювальних систем або вимірювально-інформаційних систем, які призначені для автоматичного збору, обробки, зберігання, передачі та представлення вимірювальної інформації з можливістю виконання логічних функцій контролю, діагностики та ідентифікації.

Отже, ІВС є узагальнювальним поняттям, яке виражає клас засобів інформаційно-вимірювальної техніки, що об'єднують системи вимірювання, контролю, діагностики та ідентифікації.

В ДСТУ 2681—94 [30] наведено таке визначення: ІВС – це сукупність засобів вимірювальної техніки, засобів контролю, діагностування та інших технічних засобів, об'єднаних для створення сигналів вимірювальної та інших видів інформації. Зрозуміло, що поняття ІВС повинно задовольняти більш загальне поняття – система. У цьому відношенні, у відповідності з положеннями теорії систем, під ІВС слід розуміти множину взаємопов'язаних елементів, які представляють цілісне утворення. При подальшому розгляді ІВС з цих позицій їх можна характеризувати структурами, які визначатимуться сукупностями елементів, зв'язків між ними, глибиною порядку елементів і т. д.; функціонуванням, як порядком процесів, сукупністю реакцій системи на умови зовнішнього та внутрішнього середовищ; розвитком у часі, що супроводжується незворотними змінами внаслідок старіння, процесами навчання, адаптації і т. д. У відповідності до вище мовленого ІВС потрібно розглядати насамперед з точки зору структурної організації та алгоритмів її функціонування.

Для кращого розуміння сучасного етапу і перспектив майбутнього розвитку ІВС доцільно коротко оглянути історію зародження і становлення цього виду інформаційно-вимірювальної техніки.

Вперше концепцію ІВС, як нового класу засобів інформаційно-вимірювальної техніки, було сформульовано на початку 60-х років минулого століття такими відомими вченими, як К. Б. Карандєєв, М. П. Цапенко, В. И. Рабинович, П. В. Новіцький та іншими [4, 5, 8]. Вже тоді в основі концепції ІВС лежала ідея системної організації скоординованої автоматичної роботи засобів отримання, обробки і переда-

чі вимірювальної інформації. Саме в ті часи були створені ІВС першого покоління. Їхньою основною особливістю можна вважати централізацію циклічного отримання вимірювальної інформації та її першочергову обробку за допомогою спеціалізованих обчислювальних пристроїв, які були виконані на основі дискретних напівпровідникових елементів.

В 70-х роках починають набувати поширення ІВС другого покоління. Для них стає характерним адресний збір вимірювальної інформації з її подальшою обробкою на ЕОМ, які часто вже входили до складу таких систем. Проте ще значною залишається частка ІВС, у яких обробка вимірювальної інформації здійснюється за допомогою спеціалізованих обчислювальних пристроїв, але які вже будуються на основі використання мікросхем малого та середнього ступеня інтеграції. Вперше для ІВС другого покоління почали застосовувати принципи уніфікації та агрегування. Завдяки застосуванню стандартних цифрових інтерфейсів та уніфікованих функціонально завершених промислових блоків, які були сумісними між собою за інформаційними, метрологічними, енергетичними та конструктивними характеристиками, з'явилися якісно нові властивості в проектуванні, виготовленні та експлуатації ІВС. Використання мікропроцесорів, та мікроконтролерів дозволило значно покращити більшість характеристик ІВС, їх почали застосовувати практично у всіх випадках, де виникала необхідність виконання масових вимірювальних операцій. Сферою застосування ІВС стають фізичні, хімічні, біологічні дослідження, практична медицина, експериментальні дослідження в геофізиці, океанографії, метеорології, системи управління та життєзабезпечення космічних комплексів. Детальний опис та аналіз таких систем представлений в [3–8].

З середини вісімдесятих років минулого століття зароджується і починає активно розвиватися третє покоління ІВС [8–10, 14, 18]. До характерних ознак цих систем можна віднести перерозподіл засобів цифрової обробки сигналів по всіх рівнях та окремих блоках ІВС, використання системних вимірювальних перетворювачів. В ІВС третього покоління застосовується гнучка структура, яка, завдяки засобам програмної конфігурації, може адаптуватися під конкретні потреби. Використання потужних цифрових сигнальних процесорів дозволяє ІВС третього покоління працювати в режимі реального часу з об'єднанням процедур вимірювання і обробки інформації.

В наші дні продовжується розвиток третього покоління ІВС. Сьогодні для нього є характерним обов'язкове оснащення всіх функціональних пристроїв систем простими інтерфейсами, які дозволяють

підключати до них персональні комп'ютери. Обчислювальні засоби, які функціонують в складі ІВС, забезпечують повну автоматизацію процедур з моменту початку вимірювань сигналів, що надходять в вимірювальні канали від сенсорів фізичних величин і до моменту прийняття рішення про достовірність результатів вимірювань.

У підсумку, крім вищеназваних ознак, для ІВС третього покоління є характерним зростання їх загальної інтелектуалізації. Відтепер їм притаманні мережеві властивості, завдяки яким керувати вимірювальними експериментами та отримувати їх результати можна на віддалі в тисячі кілометрів. Реальністю стають розподілені ІВС, у яких окремі частини є географічно віддаленими і водночас з'єднаними в єдину систему завдяки комп'ютерній мережі.

Аналіз великої кількості ІВС дозволяє запропонувати узагальнену структурну схему ІВС третього покоління, яка представлена на рис. 1.1. На узагальненій структурній схемі ІВС третього покоління представляється як відкритий системний конгломерат об'єднаних множин різноманітних технічних, алгоритмічних, програмних та інших пристроїв, методів та засобів, сумісне функціонування яких забезпечує виконання задач, що стоять перед ІВС. Формально це означає, що ІВС можна представити модельною структурою \hat{W} , для якої існує опис ξ , такий, що множина $\{\Psi(\hat{W}, \xi)\}$ є достатньою для повного системного опису ІВС в рамках вибраної модельної структури.

Враховуючи ту обставину, що об'єкт досліджень не може існувати ізольовано від зовнішнього середовища, ІВС повинна отримувати первинну вимірювальну інформацію не тільки про значення параметрів самого об'єкта, але і про значення параметрів навколишнього середовища. Для цього в складі ІВС обов'язково передбачається множина сенсорів $\{S\}$, які повинні безпосередньо взаємодіяти з самим об'єктом і зовнішнім середовищем.

В загальному випадку в множині сенсорів можна виділити локальні сенсори S_l , які постійно розміщені в певних точках простору, рухомі локальні сенсори S_m , сенсори скануючого типу S_s , інтегральні та системні сенсори S_i , здатні одночасно сприймати площинні або просторові розподіли значень досліджуваних величин. Для забезпечення гнучкості конфігурації множини сенсорів, їх переключень, вибору, управління режимами живлення і т. д. передбачені спеціальні інтерфейсні пристрої, які через стандартизовані вхідні інтерфейси забезпечують зв'язок та управління сенсорами через системну шину ІВС.

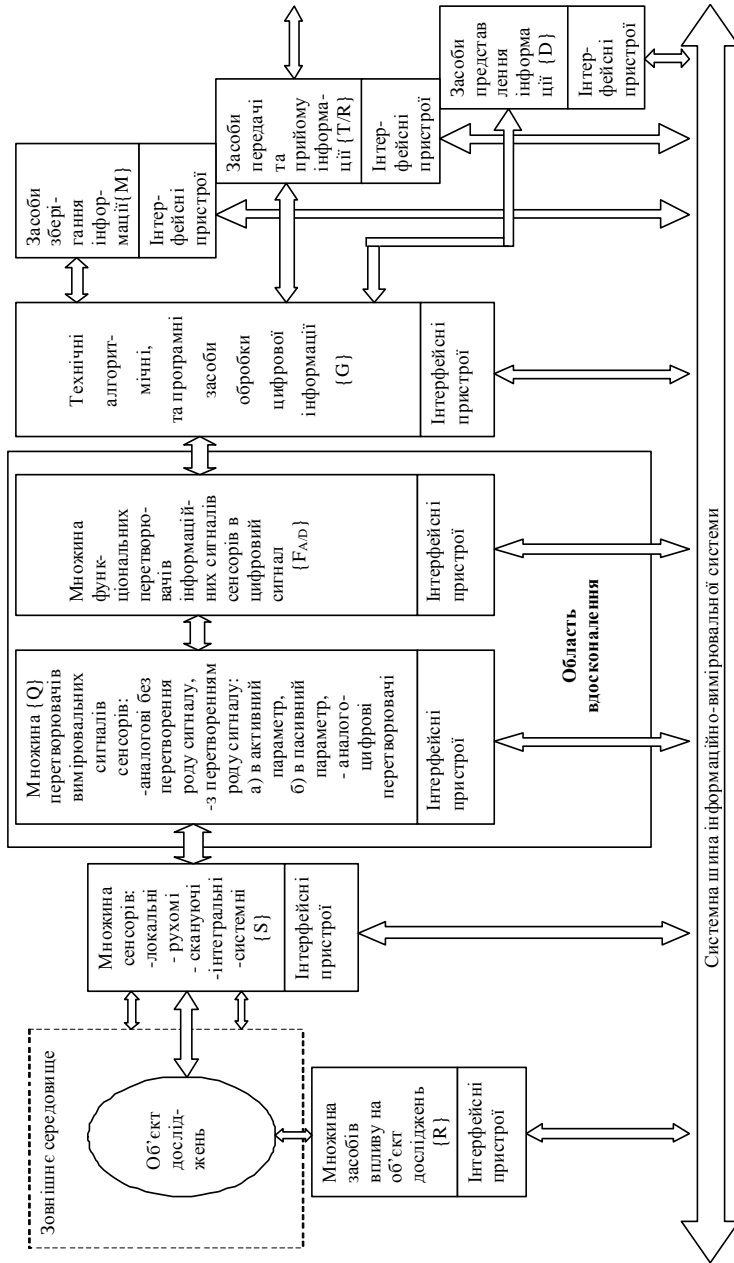


Рис. 1.1. Узагальнена структурна схема ІВС третього покоління

Зокрема, через ці пристрої здійснюється прийом командних сигналів і передача інформації про стан сенсорів.

Для здійснення вимірювального експерименту в структурі системи передбачена множина засобів впливу $\{R\}$ на об'єкт дослідження, які повинні формувати сигнали впливу з метою створення відповідних умов для проведення експерименту, а також для зрівноважування величин, які діють на входи сенсорів, тобто, для здійснення компенсуючого зворотного зв'язку. Множина засобів впливу на об'єкт дослідження також оснащена спеціальними інтерфейсними пристроями, які забезпечують зв'язок та управління ними через системну шину.

Множину перетворювачів вимірювальних сигналів сенсорів $\{Q\}$ доцільно розділити на два види: аналогові та аналого-цифрові. Аналогові перетворювачі можуть виконувати перетворення вихідних сигналів сенсорів без зміни їхньої фізичної природи (просте масштабування) або з зміною фізичної природи. В останньому випадку перетворення може відбуватися в напрямку створення сигналу активного параметра: струм, напруга, частота або в напрямку створення сигналу пасивного параметра: опір, ємність, індуктивність, взаємна індуктивність і т. д. Аналого-цифрові перетворювачі здійснюють пряме перетворення аналогових сигналів сенсорів в цифровий сигнал. Відмінності можуть полягати у виборі коду цифрового сигналу та у варіантах його представлення. Для зв'язку контролю та управління об'єктами розглянутої множини перетворювачів вони також оснащені інтерфейсними пристроями за аналогією з раніше розглянутими структурними елементами ІВС.

Простота, висока точність, стабільність та незначна вартість обробки інформації у цифровому вигляді зумовили загальну тенденцію перетворення вимірювальних сигналів у цифрову форму по можливості на найбільш ранніх стадіях вимірювального експерименту. Представлення і обробка вимірювальної інформації в цифровому вигляді сьогодні стали загальним стандартом [31]. Тому в складі ІВС обов'язковим є наявність множини функціональних перетворювачів інформаційних сигналів сенсорів в цифровий сигнал $\{F_{AD}\}$. Якщо інформаційні сигнали є безперервними функціями часу, то важливим для подальшої цифрової обробки є правильний перехід від безперервного часу до дискретного. Для здійснення даного переходу застосовується розкладання досліджуваних сигналів по системах базисних функцій [32–34]. Представлення вимірювального сигналу у вигляді впорядкованої множини коефіцієнтів, його розкладання у вибраній системі базисних функцій слугує досить зручною моделлю.

Основним питанням при виборі системи базисних функцій є адекватність отриманої моделі і самого сигналу.

Широкого розповсюдження набув базис функцій Котельникова [32], досить часто практикується розкладання сигналів в системі імпульсних базисних функцій, зокрема, в якості останніх застосовуються функції Уолша, Хаара, Радемахера [35]. Для аналізу однократних або рідко повторюваних сигналів доцільно застосовувати базис функцій Лагерра [33].

Ортогональні базисні функції $f_k(t)$ мають таку властивість:

$$\int_l f_k(t)f_j(t)\rho(t)dt = \begin{cases} c, k = j; \\ 0, k \neq j, \end{cases} \quad (1.1)$$

де l – область, в якій зберігається ортогональність базисних функцій, $\rho(t)$ – вагова функція. Вибраний базис вважається ортонормованим, якщо $c = 1$.

Елементи множини коефіцієнтів S_k , що представляють сигнал в базисі ортогональних функцій, визначаються з формули:

$$s_k = \int_{-\infty}^{\infty} s(t)f_k(t)dt, \quad k = 0,1,2,3,\dots \quad (1.2)$$

Вимірювальні сигнали, представлені в цифровому вигляді, для подальшої обробки і використання потрапляють в середовище технічних, алгоритмічних та програмних засобів обробки цифрової інформації $\{G\}$. В ІВС задачі цифрової обробки інформації можна поділити на три класи: задачі початкової обробки інформації (визначення параметрів сигналів, фільтрація, корекція, накопичення даних і т. п.); задачі вторинної обробки інформації (виконання спектрального аналізу, ортогональні перетворення, ідентифікація і т. п.); задачі організації введення-виведення інформації, відображення та документування інформації, управління процесом вимірювань.

Своєрідне цифрове ядро ІВС, що утворене в розглянутому середовищі, є універсальним і має загальносистемне значення. Через інтерфейсні пристрої та спільну системну шину сюди сходиться оперативна інформація про стан всіх елементів системи і звідси ж здійснюється ефективне управління ними.

З метою більш повної структурної деталізації на узагальненій структурній схемі рис. 1.1 окремими блоками представлені множини засобів зберігання інформації $\{M\}$, множини засобів передачі та прийому інформації $\{T/R\}$, множини засобів представлення інформації $\{D\}$.

Шановний читачу!

Умови придбання надрукованих примірників монографії наведені на сайті видавництва <http://publish.vntu.edu.ua/get/?isbn=978-966-641-333-1>

Уважаемый читатель!

Условия приобретения печатных экземпляров монографии приведены на сайте издательства <http://publish.vntu.edu.ua/get/?isbn=978-966-641-333-1>

Dear reader!

You may order this monograph at the Web page <http://publish.vntu.edu.ua/get/?isbn=978-966-641-333-1>

Наукове видання

Шабатура Юрій Васильович

**ТЕХНОЛОГІЯ ВИМІРЮВАННЯ
НА ОСНОВІ ПРЕДСТАВЛЕННЯ
ЗНАЧЕНЬ ВИМІРЮВАНИХ ВЕЛИЧИН
ЧАСОВИМИ ІНТЕРВАЛАМИ**

Монографія

Редактор С. Малішевська

Оригінал-макет підготовлено автором

Підписано до друку 12.01.2010 р.
Формат 29,7×42¼. Папір офсетний.
Гарнітура Times New Roman.
Друк різнографічний. Ум. др. арк. 18,71.
Наклад 100 прим. Зам № 2010-002.

Вінницький національний технічний університет,
комп'ютерний інформаційно-видавничий центр,
21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95,
ВНТУ, ГНК, к. 114.
Тел. (0432) 59-85-32.

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
серія ДК № 3516 від 01.07.2009 р.

Віддруковано у Вінницькому національному технічному університеті,
в комп'ютерному інформаційно-видавничому центрі,
21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95,
ВНТУ, ГНК, к. 114.
Тел. (0432) 59-81-59.

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
серія ДК № 3516 від 01.07.2009 р.