УДК 621.317

**Ф.Б. Гриневич, З.Я. Монастирський, А.І. Новік,
А.Д. Ніженський, М.М. Сурду, П.І. Борщов,
Б.А. Кромпляс, Р.О. Мазманян, В.Г. Мельник**

АПАРАТНО-ПРОГРАМНІ ЗАСОБИ ВИМІРЮВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ ТА НЕЕЛЕКТРИЧНИХ ВЕЛИЧИН І ЇХ МЕТРОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

Розглянуто основні наукові та практичні результати роботи відділу електричних і магнітних вимірювань у 2008 році.

Рассмотрены основные научные и практические результаты работы отдела электрических и магнитных измерений в 2008 году.

Загальним напрямком досліджень відділу електричних і магнітних вимірювань у 2008 році було створення та дослідження апаратно-програмних засобів вимірювання і їх метрологічного забезпечення для енергетики та інших галузей промисловості. Мета цих досліджень – покращення метрологічних характеристик та розширення функціональних можливостей вимірювальної апаратури різноманітного призначення. Для досягнення цієї мети вирішувались наступні завдання.

1. Розробка нових методів вимірювань та необхідних для їх виконання сенсорних систем (первинних вимірювальних перетворювачів) і відповідних вимірювальних кіл (вторинних перетворювачів).

2. Аналіз методичних та інструментальних похибок вимірювань і розробка методів їх корекції.

3. Створення універсальних та уніфікованих вимірювальних каналів, що дозволяють вирішувати широке коло вимірювальних завдань.

4. Розробка нових алгоритмів обробки вимірювальної інформації та відповідних програм, що значно розширюють функціональні можливості апаратури.

5. Розробка метрологічного забезпечення створюваної апаратури від методів та методик її дослідження і перевірки до Державних еталонів одиниць фізичних величин.

Розглянемо деякі аспекти і результати вирішення цих завдань у таких галузях вимірювань.

- Вимірювання параметрів електричного імпедансу.
- Вимірювання параметрів електричних сигналів.
- Вимірювання магнітних величин.
- Вимірювання неелектричних величин електричними методами.

Вимірювання параметрів електричного імпедансу (пасивних електричних величин) мостами змінного струму залишається пріоритетним напрямком роботи відділу. Справа в тому, що вимірювальні мости змінного струму і на сьогодні є найточнішими вимірювачами параметрів електричних кіл. Використання розроблених у відділі варіаційних методів підвищення точності, чутливості і швидкодії цих пристроїв дало змогу наблизити їх метрологічні характеристики до рівня еталонів. На їх основі створено та введено в дію за останні роки шість Державних первинних еталонів України. Зараз продовжуються роботи з вдосконалення еталонної бази, розробки методик передавання одиниць фізичних величин від еталонів до робочих засобів вимірювань. Зокрема, у 2008 році створено прецизійний компаратор для відтворення одиниці індуктивності та передавання її розміру [31], продовжувалось вдосконалення еталона електричної провідності розчинів електролітів [33] та дослідження первинного еталону опору та температури [36]. Новим напрямком досліджень при відтворенні та переда-

© Гриневич, Ф.Б., Монастирський З.Я., Ніженський А.Д., Новік А.І., Сурду М.М., Борщов П.І., Кромпляс Б.А., Мазманян Р.О., Мельник В.Г., 2009

ванні одиниць фізичних величин стало використання одних величин, стабільніших і легше відтворюваних, для передавання розміру інших. Зокрема, досліджено методи відтворення одиниці індуктивності за одиницями ємності та частоти або за одиницями опору та частоти [32]. Розроблено та досліджено комплекс апаратури для еталона коефіцієнта передавання великих струмів [1, 37].

Однією з проблем, що супроводжують створення трансформаторів великих струмів, є складність їхньої перевірки та атестації, що обумовлено рядом причин. По-перше, похибки таких трансформаторів суттєво залежать від режиму роботи осердя. При цьому для формування в осерді магнітного поля реальної напруженості треба створювати значні, до кількох кілоампер, струми в первинній обмотці та підтримувати їхню стабільність на весь час вимірювань. По-друге, для визначення похибок трансформатора струму необхідно вимірювати різницю струмів. Технічно оцінка цієї різниці є значно складнішою, ніж оцінка різниці напруг. У зв'язку з цими труднощами запропоновано та обґрунтовано метод визначення метрологічних характеристик трансформаторів великих струмів у режимі трансформації напруг. Для обґрунтування використано принцип дуальності електричних кіл [23].

Роботи зі створення та вдосконалення еталонної бази ведуться у тісній співдружності з державним підприємством "Укрметртестстандарт". Вони видаються пріоритетними і будуть продовжуватися надалі.

Ще одним важливим напрямком використання мостів змінного струму є вимірювання параметрів електричних кіл під дією високої напруги. У відділі розроблено еталон коефіцієнта передавання високої напруги та ряд пристроїв для вимірювання характеристик ізоляції високовольтного обладнання [2].

Для корекції похибок мостових вимірювальних кіл від впливу паразитних параметрів запропоновано та досліджено принцип вибіркової компенсації [29], що ґрунтується на використанні додаткових джерел струму і напруги у вимірювальному колі. Досліджено потенційні можливості цього принципу та показано, що він дозволяє зменшити початкову похибку в $1/\gamma$ разів, де γ – відносне відхилення вихідного інформативного параметра додаткового джерела від заданого значення.

У галузі **вимірювань параметрів електричних сигналів (активних електричних величин)** проведено аналіз основних похибок вимірювання ефективних значень струмів, напруг, фазових кутів та електричної потужності сигналів промислової частоти. Показано, що основними факторами, які обумовлюють похибки вимірювання ефективних значень сигналів, є відхилення від номінальних значень опорів резисторів у складі вхідних та нормуючих перетворювачів, а також відхилення від номінальних значень коефіцієнтів передачі цифро-аналогових перетворювачів (ЦАП) при різних значеннях керуючих кодів.

Традиційним шляхом зменшення вказаних похибок є введення в схему приладу елементів регулювання коефіцієнтів передачі – по одному на кожен піддіапазон вимірювання. Такий шлях не можна вважати оптимальним, оскільки він призводить до значного ускладнення та подорожчання приладу, а також великих втрат часу на його калібрування.

Розроблено метод алгоритмічної мультиплікативної корекції основних похибок вимірювання ефективних значень. Визначено мінімально необхідний набір корегуючих коефіцієнтів, що включає по одному коефіцієнту на діапазон вимірювання.

Коефіцієнти корекції визначаються на етапі калібрування приладу. Для цього до входу приладу підключається змінний струм або напруга з відомим ефективним значенням (з виходу зразкового калібратора або виміряні зразковим приладом). Виконується вимірювання приладом, що калібрується. Коефіцієнт корекції визначається як відношення ефективного значення, виміряного зразковим приладом, до значення, виміряного приладом, що калібрується.

Таким чином, основні похибки вимірювання ефективних значень змінних струмів та напруг визначаються похибками зразкового приладу, що використовується для калібрування, а також випадковою складовою похибки приладу, що калібрується. Аналіз залишкових похибок показав, що розроблені перетворювачі здатні забезпечити вимірювання ефективних

значень напруг від 1 до 500 В, струмів від одиниць мікроампер до декількох ампер з основною відносною похибкою не більшою ніж 0,3 %.

Проведено аналіз похибок вимірювання різниці фаз, у результаті якого виявлені наступні складові цих похибок:

фазові зсуви, обумовлені неідеальністю резисторів вхідних перетворювачів;

фазові зсуви антиаліазингових фільтрів нижніх частот;

фазові зсуви каскадів на операційних підсилювачах;

фазові зсуви цифрово-аналогових перетворювачів.

Використання традиційних методів корекції цих похибок потребує введення в схему приладу великої кількості фазокорегувальних елементів та трудомістких операцій корекції фаз для кожної пари піддіапазонів вимірювання.

Розроблено метод алгоритмічної адитивної корекції основної похибки вимірювання різниці фаз, що базується на додаванні до виміряного значення різниці фаз корегувальних фазових зсувів, значення яких залежить від комбінації сигналів на входах приладу, а також від керуючих кодів ЦАП. Значення цих фазових зсувів визначаються на етапі калібрування приладу.

Основна похибка вимірювання різниці фаз визначається похибкою, з якою задається нульовий фазовий зсув між вхідними сигналами при проведенні калібрування приладу, а також випадковою складовою похибки вимірювання приладу, що калібрується. Доведено, що різниця фаз при використанні розробленого методу корекції може бути виміряна з основною похибкою на рівні 0,01 %.

Додаткові температурні похибки вимірювання як ефективних значень, так і різниці фаз не перевищують половини основних похибок при відхиленні навколишньої температури від нормальної на кожні 10 °С.

У подальшому дослідження за цією тематикою будуть проводитись у двох наступних напрямках, а саме:

- розробка програмних методів підвищення точності вимірювання комплексу електричних величин на промисловій частоті;

- розробка методів експериментального визначення метрологічних характеристик створених вимірювальних засобів.

На цей час проводиться робота по впровадженню засобів вимірювання параметрів електричних сигналів на підприємстві ТОВ “ОСТ” у виробах, що будуть випускатися дрібними серіями (в обсягах 10…20 шт. на рік).

Основні дослідження і результати в галузі **магнітних вимірювань** пов’язані з структурним та схемотехнічним моделюванням.

Структурне моделювання є першим етапом у створенні комп’ютерної моделі системи та формальним описом процедур отримання і перетворення вимірювальної інформації. Важливою складовою структури є модель первинного вимірювального перетворювача. Для магнітовимірювальних систем з гальваномагнітними перетворювачами на основі ефекту Холла формалізація датчика у вигляді комп’ютерної моделі відображає не всі можливі характеристики конкретних датчиків.

Використання стандарту SPICE для опису характеристик датчиків Холла не обмежує ступінь їх наближення до реальних пристроїв. Схема заміщення датчика Холла у вигляді прохідного чотириполюсника ґрунтується на прямій відповідності модельованих властивостей фізичним процесам і дає змогу за допомогою простих і обмежених засобів вирішувати в процесі синтезу моделі і подальшій її адаптації для конкретних застосувань наступні завдання:

- конвертацію магнітних величин в електричні;

- подання електричних властивостей власне конструкції перетворювача і його матеріалу;

- експериментальне визначення початкових характеристик для моделі.

В основу такого підходу покладено перетворення еквівалентного чотириполюсника в підструктури, що окремо відображають властивості постійності і мінливості перетворювача в межах певних припущень. У результаті досліджень показано, що еквівалентна схема може

бути подана у вигляді каскадного з'єднання неавтономного оберненого чотириполюсника з комплексним опором, який відображає властивість постійності датчика, і одного або двох необоротних чотириполюсників, що мають тільки реактивний опір – гіраторів. Комп'ютерна макромодель перетворювача на основі еквівалентної схеми включає декілька підструктур, для кожної з яких синтезовані власні стуктурні схеми, які були окремо досліджені шляхом проведення обчислювальних експериментів. Текстові описи підструктур увійшли до скрипта макромоделі.

Результати досліджень можна сформулювати наступним чином [34].

Проведені синтез моделей ідеальних гіраторов у стандарті SPICE з використанням двох джерел напруги, керованих струмом, і структурних засобів для керування опором гірації та їх тестування у схемі ідеального конвертора позитивного опору, що показали простоту реалізації, точність і можливість використання у складі різних макромоделей датчиків Холла.

Запропонована феноменологічна еквівалентна схема заміщення гальваномагнітних перетворювачів з послідовним з'єднанням двох ідеальних гіраторів і неавтономного оберненого чотириполюсника між ними, яка відповідає просторовій і електричній симетрії датчиків Холла і може служити точною алгоритмічною основою для синтезу нових макромоделей.

На основі схеми заміщення з двома гіраторами і чотириполюсником запропоновані нові структури з «вертикальною» симетрією, в яких BV-конвертор утворений двома ідеальними керованими гіраторами, а центральний чотириполюсник є симетричною схемою з чотирма або п'ятьма компонентами. Такі структури були покладені в основу макромоделей датчика Холла.

Подальший розвиток запропонованих методів і засобів моделювання вимірювальних перетворювачів Холла пов'язаний з урахуванням нелінейностей та температурних залежностей характеристик віддзеркалення в емульованих вимірювальних сигналах.

Вирішення іншого завдання в рамках проекту, пов'язаного з магнітними вимірюваннями, було викликане необхідністю вимірювання напруженості магнітного поля в системі термічного впливу на біологічний об'єкт, насичений феромагнітною рідиною. Вибір індукційного датчика для проведення вимірювань однозначно зумовлювався характером магнітного поля, що генерується для індукційного нагрівання об'єкта.

Основними результатами в цій галузі є наступні.

Розроблена і виготовлена двокоординатна платформа для сканування магнітного поля планарних систем з постійними магнітами на основі рідкоземельних матеріалів.

Проведено сканування зразків магнітних систем, що забезпечують одно- та двовимірні періодичні розподіли магнітної індукції на робочій поверхні та в площині, віддаленій від неї на відстані 1,5 мм. Результати сканування представлені у вигляді дво- і тривимірної комп'ютерної графіки.

Запропоновано використовувати двовимірне перетворення Фур'є для отримання інтегральних оцінок просторового спектра планарних магнітних систем.

Розроблені методики розрахунку чутливості і співвідношення сигнал/шум індукційних датчиків для вимірювання напруженості магнітного поля в системі термічного впливу на біологічний об'єкт.

Вимірювання неелектричних величин електричними методами використовується, в першу чергу, для комплексного технічного діагностування енергетичного та іншого обладнання, керування технологічними процесами, контролю якості сировини, матеріалів і готової продукції, екологічного та біологічного контролю. Конкретні завдання поточних досліджень стосувались наступних галузей.

1. Діагностика потужних гідрогенераторів під час їхньої роботи та при періодичних обстеженнях з допомогою ємнісних датчиків.
2. Частотно-фазові вимірювання відстаней та вібрацій (лазерні далекомірні системи).
3. Дозування радіоактивних фармакологічних препаратів.
4. Вимірювання концентрацій речовин у розчинах амперметричним та кондуктометричним методами.

Проаналізувавши характер **дефектів у потужних гідрогенераторах**, визначення яких здебільшого вимагає вимірювання механічних переміщень, а також враховуючи діапазони переміщень, умови застосування, необхідні метрологічні характеристики, було зроблено висновок, що практично всі механічні переміщення, а отже, дефекти, що їх викликають, можна виміряти за допомогою ємнісних датчиків різноманітної форми та розмірів [15, 30]. При цьому можна сказати, що достатньо двох типів універсальних вимірювачів: для звичайних датчиків з ізольованими електродами та для датчиків з одним заземленим електродом, який є елементом конструкції генератора. Для вирішення питань діагностики потужних гідрогенераторів створено наступні вимірювальні засоби:

вимірювач повітряного зазору між статором і ротором [17].

датчик контролю взаємного зміщення секторів складеного осердя статора [18];

датчик стану пресування осердя статора [21];

датчик контролю ступеня розпушування крайніх пакетів зубцевої зони осердя турбо- та гідрогенераторів [16,19].

Розроблено новий, відмінний від зарубіжних аналогів, ємнісний спосіб вимірювання зазору, при якому використовується інша побудова ємнісного датчика. На даний спосіб та пристрій, що його реалізує, подано заявку на патент України [35]. Запропонований прилад у порівнянні з зарубіжними аналогами має більшу чутливість та точність, а також є на порядок дешевшим. Проведено оцінку похибки вимірювання зазора, зумовленої кривизною полюса ротора. Виготовлено експериментальні зразки вимірювача, які будуть встановлені на капсульних гідрогенераторах типу СГК 538/160-70М Київської ГЕС.

Розроблено моделі та методики розрахунків параметрів дефектів гідрогенератора з використанням виміряних значень зазора ємнісними датчиками, розміщеними на розточенні статора, а саме: ексцентриситету ротора, еліпсності розточення статора [20] та перекосу ротора [22].

Запропоновано трикоординатний ємнісний датчик [18] для вимірювання зсувів секторів активної сталі сердечників у радіальному, тангенціальному та вертикальному напрямках стиків суміжних секторів, у якому усунуті недоліки тензометричного пристрою, що використовувався раніше. Цей датчик значно простіший і має у 3…5 разів вищу точність. Одержано аналітичні формули для вибору оптимальних геометричних розмірів складових частин датчика по кожній координаті та формули для розрахунку електричних ємностей.

Деякі з розглянутих питань є спільними для турбо- та гідрогенераторів, зокрема контроль щільності пресування осердя.

Результати досліджень будуть використані при розробці контрольно-вимірювальних приладів для систем моніторингу та діагностики гідрогенераторів електростанцій Дніпровського та Дністровського каскадів «Укргідроенерго», зокрема для гідрогенераторів типу СГК 538/160-70М Київської ГЕС.

Роботи в галузі **застосування лазерних далекомірних систем** проводились у напрямках розширення частотного діапазону та покращення їх метрологічних характеристик [3, 10]. У результаті проведених досліджень за вказаними напрямками отримано наступні результати.

Розроблено структурну схему електронної частини лазерного вимірювача параметрів вібрацій з розширеним частотним діапазоном (до 1000 Гц). Робота схеми грунтується на аналого-цифровому перетворенні Гільберта. Для підвищення розрізнювальної здатності вимірювання амплітуд вібрацій використано "підшумлення" вхідного сигналу аналого-цифрового перетворювача (АЦП).

Згідно з принципом побудови цифрових фазово-частотних вимірювальних систем для визначення відстаней (переміщень) розроблено структурну схему такої системи [9]. У цьому приладі в якості модуляційних напруг використані регульовані цифрові синтезатори частот, вихідна частота яких змінюється сформованим мікропроцесорною системою кодом.

Враховуючи перспективність застосування лазерних вимірювачів переміщень і вібрацій при побудові систем технічної діагностики об’єктів енергетичного машинобудування, виконано розрахунок енергетичних характеристик світловолоконних датчиків для передачі та прийому оптичного випромінювання [8]. Крім того, розроблено і обґрунтовано структурну

схему такого приладу, зроблено оцінку характеристики перетворення вимірювального пристрою в діапазоні 5...20 мм [11]. Застосування розробленої оптичної калібровки приладу дає змогу використовувати світлові волокна досить великої довжини (десятки метрів). Це зумовлює одну з основних переваг запропонованого технічного рішення – на результат вимірювання переміщень практично не впливають електричні і магнітні поля досліджуваного об'єкта.

Результати теоретичних досліджень з наведеної тематики планується використати для удосконалення технічних характеристик оптичного вимірювача висоти нижньої границі хмар "Промінь".

Одним із результатів виконання науково-дослідної теми „Дозатор" [26] є розробка принципів побудови, структурних схем та алгоритмів функціонування системи **дозування рідинних радіофармацевтичних препаратів** (РФП), яка забезпечує повну автоматизацію процесу розливу цих препаратів [14]. Найскладнішим вузлом у процесі створення цієї системи виявився власне дозатор готового продукту в флакони зберігання та транспортування. Складність його розробки обумовлена наступними факторами.

Специфічні властивості дозованої рідини: радіоактивність препарату, вимоги високої чистоти та стерильності, що значно звужують коло можливих сенсорів рівня, виключаючи такі, як оптичні, контактні поплавкові.

У процесі закачування РФП у дозатор існує висока ймовірність попадання повітря, неврахування об'єму якого може вносити суттєву похибку в результат дозування РФП.

Радіоактивність препарату не дозволяє розмістити високоінтегральну електроніку з пам'яттю безпосередньо біля ємностей з РФП, тому треба забезпечити дистанційність вимірювання доз та керування механічними пристроями системи.

За основу було прийнято схему циліндричного поршневого об'ємного дозатора з приводом поршня від крокового електродвигуна. Такий спосіб визначення об'єму дозування широко застосовується в шприцевих дозаторах лікарських препаратів – інфузоматів, але в цьому випадку слід було вирішувати проблему автоматичного визначення об'єму РФП, який вводиться в дозувальний циліндр перед дозуванням у флакон. Для вирішення цієї задачі були застосовані ємнісні сенсори рівня рідини.

Основні результати та висновки цієї роботи можна сформулювати наступним чином:

1. Запропоновано варіаційний принцип контролю інформативних параметрів ємнісних сенсорів, що полягає у цілеспрямованій зміні параметрів вимірювального кола для фіксації моменту переходу контрольованої величини через задані значення. Реалізовані за цим принципом контрольні пристрої поєднують простоту незрівноважених мостових кіл з точністю, чутливістю та завадостійкістю зрівноважених.

2. Запропонований принцип паралельного з'єднання сенсорів на об'єкті контролю разом з автоматичною корекцією технологічних похибок дав змогу не тільки мінімізувати число з'єднувальних ліній, але й усунути вплив технологічного розкиду на складову похибки вимірювань, що залежить від чутливості сенсора.

3. Розроблено загальну структуру та структурні схеми окремих функціональних блоків автоматизованої системи дозування рідинних радіоактивних препаратів, яка забезпечує високу точність дозування, високий ступінь захисту персоналу від радіоактивного опромінення та автоматизацію оформлення необхідної документації. Виготовлено та випробувано окремі вузли системи.

4. Розроблено алгоритм функціонування, структурні та принципові схеми, а також програмне забезпечення контрольно-вимірювального блока анестезіологічного шприцевого дозатора – інфузомату, який забезпечує сталу швидкість інфузій при її низьких та інфранизьких значеннях. Результати впроваджені в дослідному зразку інфузомату, який проходить клінічні дослідження.

Дослідний зразок дозатора РФП пройшов лабораторні випробування та переданий для використання в Інститут ядерних досліджень НАН України. Одержані в процесі виконання роботи результати використовуються при розробці крокових контролерів для трубопроводів АЕС.

Вимірювання концентрацій різних речовин у розчинах є важливим завданням в багатьох галузях промисловості, при біомедичних дослідженнях, при контролі стану навколишнього середовища. Перспективним шляхом розв'язання цього завдання є розвиток біосенсорних систем. Для реалізації таких систем використовуються різні електрохімічні методи, серед яких найбільше розповсюдження отримали методи амперметрії та кондуктометрії. Суть першого з цих методів полягає у реєстрації струму, що протікає через розчин при контрольованій напрузі між зануреними в розчин електродами. Кондуктометричний метод ґрунтується на визначенні питомої електропровідності розчинів.

У ході досліджень, проведених у рамках виконання комплексної науково-технічної програми НАН України "Сенсорні системи для медико-екологічних та промислово-технологічних потреб", були розроблені портативні чотириканальні амперметричний і кондуктометичний апаратно-програмні комплекси, основою яких є уніфікований базовий вимірювально-керуючий модуль і базова програма верхнього рівня. Ця програма забезпечує управління процесом вимірювання, одержання, накопичення, обробку й графічне подання результатів вимірювань. При цьому були вирішені завдання з оптимізації структури та алгоритмів функціонування базових засобів, що дозволяють швидко розробляти й налагоджувати виробництво різноманітної за призначенням і недорогої вимірювальної апаратури.

Розроблений базовий модуль [24–26] виконує основні функції, що властиві широкому класу вимірювальної апаратури: формує напругу живлення електронних вузлів, перетворює у цифрову форму вхідні інформативні сигнали, виробляє аналогові і логічні сигнали управління вимірювальними перетворювачами.

Для амперметричної системи розроблений та експериментально перевірений простий, досить точний і високочутливий потенціостат, що оптимально поєднується з базовими апаратно-програмними засобами. Розроблено додаткові до базових програмні засоби верхнього рівня, що забезпечують керування амперметричним комплексом, реєстрацію й необхідну форму подання результатів вимірювань. За своїми характеристиками (функціональні можливості, чутливість, швидкодія) розроблений комплекс відповідає сучасним зразкам аналогічних приладів закордонного виробництва (наприклад, фірми PalmSens, Голландія). Його серійне виготовлення може бути налагоджене при невеликих витратах, а ціна може бути в 2–3 рази нижчою, від імпортних аналогів при високій рентабельності виробництва.

У кондуктометричних біосенсорних системах використовують планарні тонкоплівкові диференціальні кондуктометричні перетворювачі (КП) з малими розмірами й низькою вартістю. Вихідний сигнал КП має комплексний характер, обумовлений інформативним параметром – активною провідністю і неінформативними складовими – реактивними опорами прие-лектродної та міжелектродної ємностей [5, 6].

У ході роботи проаналізовано характер впливу неінформативної реактивної складової імпедансу диференціального КП на функцію перетворення мостового кола. Так, у роботі [28] було показано, що чутливість моста (відношення приросту вихідного сигналу моста до зміни активної електропровідності, що його викликала) при фіксованій напрузі живлення моста залежить від співвідношення активної та реактивної складових імпедансу (тангенса фазового кута) КП. Запропоновано нові способи й засоби перетворення параметрів імпедансу диференціального КП, які забезпечують необхідний рівень інваріантості коефіцієнта перетворення вимірювального кола до неінформативних параметрів його елементів [4]. Ці технічні рішення базуються на компенсації впливу реактивної складової імпедансу КП та на зрівноваженні мостового кола з диференційним перетворювачем за спеціальними алгоритмами.

У результаті роботи реалізований портативний, недорогий і серійно придатний чотириканальний біосенсорний аналізатор вмісту сахаридів для застосування в харчовій промисловості й суміжних галузях [25]. До його складу входять згаданий вище базовий модуль та модуль вторинних перетворювачів на основі нових способів вимірювань. Автоматичне управління аналізатором, комплексна обробка, накопичення і графічне подання результатів вимірювання виконує персональний комп'ютер за допомогою програмного забезпечення верхнього рівня, що, як і в амперметричному комплексі, складається з двох частин. Перша з

них – основне (базове) програмне забезпечення – є уніфікованою частиною, що може бути використана для реалізації функцій, спільних для досить широкого класу багатоканальних вимірювальних систем. Друга частина реалізує індивідуальні особливості вимірювального комплексу, що вирішує конкретне завдання.

Розроблені амперметричний і кондуктометричний апаратно-програмні комплекси пройшли апробацію в Інституті молекулярної біології й генетики НАН України.

Крім розглянутих на основі базових апаратно-програмних засобів у рамках згаданої комплексної програми були створені біосенсорний комплекс з ємнісним вимірювальним перетворювачем для реєстрації малих змін діелектричної проникності імпрегнованих мембран [12, 13], апробований в Інституті колоїдної хімії та хімії води НАН України, і портативний реєстратор рівня біолюмінесценції для Інституту біохімії НАН України.

У створенні та дослідженні апаратно-програмних засобів вимірювання і їхнього метрологічного забезпечення для енергетики та інших галузей промисловості брали участь Брагінець І.О., Василенко О.Д., Кононенко О.Г., Масюренко Ю.О., Міхаль О.О., Мелещук Д.В., Левицький А.С., Неболюбов Є.О., Архіпова Л.В., Балящук Л.І., Зайцев Є.О., Курсін С.М., Ламеко О.Л., Палій О.П., Рубанчук М.П., Семеничева Л.М., Скрипченко І.О.

1. *Анохін Ю.Л., Ісаєв В.В., Мелещук Д.В., Кікало В.М., Копшин В.В., Носко С.М., Сурду М.М.* Вторинний еталон одиниці коефіцієнта масштабного перетворення сили змінного струму // Тр.VI Міжнар. наук.-техн. конф. "Метрологія та вимірювальна техніка" (Метрологія – 2008). – Харків: ННЦ "Інститут метрології ", 2008 (14–16 жовтня).
2. *Борщов П.І., Бєляєв В.К., Ободовський В.Д.* Автоматичний контроль характеристик ізоляції високовольтного обладнання // Електропанорама. – 2008. – № 11. – С. 66–67.
3. *Брагинец И.А., Зайцев Е.А., Кононенко А.Г., Масюренко Ю.А., Нижженский А.Д.* Импульсно-фазовый измерительный преобразователь для лазерных дальномеров // Техн. електродинаміка. – 2008. – №3. – С.74–79.
4. *Гребеньков И.Н., Михаль А.А.* Метод вычитания импедансов для компенсации неинформативных параметров кондуктометрических биосенсорных преобразователей // Техн. електродинаміка. Темат. вип. “Проблеми сучасної електротехніки”. – 2008. – Ч. 5. – С. 117–120.
5. *Гребеньков И.Н., Михаль А.А., Рубанчук М.П.* Оценка влияния приэлектродных процессов на коэффициент преобразования кондуктометрических биосенсоров // Техн. електродинаміка. Темат. вип. “Проблеми сучасної електротехніки”. – 2008. – Ч. 5. – С. 113–116.
6. *Гребеньков И.Н., Михаль А.А., Рубанчук М.П.* Оценка влияния приэлектродных процессов на коэффициент преобразования кондуктометрических биосенсоров // Тез. доп. 3-ї міжнар. наук.-техн. конф. "Сенсорна електроніка та мікросистемні технології" (СЕМСТ–3), Одеса, Нац. ун-т ім. І.І. Мечнікова. – 2008. – С. 57.
7. *Гриневич Ф.Б., Монастирський З.Я., Кромпляс Б.А., Левицький А.С. та інш.* Звіт про науково-дослідну роботу "Інтелектуальні контрольно-вимірювальні засоби для систем автоматизованого прецизійного дозування рідин в енергетиці та медицині " ("Дозатор") (заключний) – К., 2008. – 176 с.
8. *Зайцев Е.А., Кононенко А.Г., Масюренко Ю.А., Нижженский А.Д.* Лазерный волоконно-оптический измеритель зазоров в гидрогенераторах // Техн. електродинаміка. – 2008. – №2. – С. 51–58.
9. *Зайцев Е.А., Кононенко А.Г., Масюренко Ю.А., Нижженский А.Д.* Применение фазово-частотного метода для систем оптической локации // Техн. електродинаміка. Темат. вип. – 2008. – Ч. 4. – С. 64–67.
10. *Зайцев Е.А., Кононенко А.Г., Масюренко Ю.А., Нижженский А.Д., Латенко В.И., Орнатский И.А.* Особенности применения фазово-частотного метода в лазерной дальнометрии // Техн. електродинаміка. – 2008. – № 6. – С.65–70.
11. *Кононенко А.Г., Масюренко Ю.А., Нижженский А.Д.* Аналіз методів побудови лазерних вимірювачів відстані, переміщень і вібрацій з підвищеними метрологічними характеристиками // Пр. Ін-ту електродинаміки НАНУ: Зб. наук. пр. – К.: ІЕД НАНУ. – 2008. – Вип. 20. – С. 78–79.
12. *Кочкодан В.М., Василенко О.Д., Мельник В.Г., Михаль О.О., Гончарук В.В.* Розробка сенсорних систем на основі імпрегованих мембран для екологічного моніторингу ендокринних дисрегуляторів // Тр. 9-й междунар. науч.-практ. конф. «Современные информационные и электронные технологии» (СИЭТ-2008). 19-23 мая 2008 г., Одесса. – Т. 2. – С. 220.
13. *Кочкодан В.М., Василенко О.Д., Мельник В.Г., Михаль О.О., Гончарук В.В.* Сенсорний датчик на основі композиційних імпрегованих мембран для експресного визначення ендокринних токсикантів у воді // Наукові записки. – К.: Видавничий дім "Києво-Могилянська академія", Хімічні науки і технології . – 2008. – Т. 79. – С.14–18.
14. *Кромпляс Б.А., Монастирський З.Я., Скрипченко І.О., Шевель В.М., Левченко В.П., Давиденко В.В.* Система прецизійного дозування рідинних радіоактивних препаратів // Техн. електродинаміка. Темат. вип. „Проблеми сучасної електротехніки”. – 2008. – Ч. 3. – С. 129–132.

15. *Левицкий А.С.* Измерение некоторых диагностических параметров гидрогенераторов с помощью емкостных датчиков // Пр. Ін-ту електродинаміки НАНУ: Зб. наук. пр. – К.: ІЕД НАНУ.– 2008. – Вип. 19. – С. 73–75.
16. *Левицкий А.С., Балящук Л.И.* Расчет электрической емкости конденсаторов с планарными электродами // Техн. електродинаміка. – 2008. – № 1. – С. 65–70.
17. *Левицкий А.С., Новик А.И.* Емкостный датчик измерителя величины воздушного зазора в гидрогенераторах // Техн. електродинаміка. – 2008. – № 2. – С. 55–61.
18. *Левицький А.С., Архіпова Л.В.* Ємнісний датчик для контролю стиків активної сталі статора гідрогенераторів // Гідроенергетика України. – 2008. – №4. – С. 8–11.
19. *Левицький А.С., Новік А.І., Федоренко Г.М., Кобзар К.О., Шофул А.К.* Ємнісний датчик контролю ступеня розпушування крайніх пакетів зубцевої зони осердя турбо-та гідрогенераторів // Гідроенергетика України. – 2008. – №2. – С. 22–25.
20. *Левицький А.С., Федоренко Г.М.* Визначення параметрів дефектів повітряного зазору в гідрогенераторах за даними датчиків, розміщених на статорі // Гідроенергетика України. –2008. – № 1. – С. 30–33.
21. *Левицький А.С., Федоренко Г.М.* Двопараметровий датчик для контролю стану пресування осердя турбо- та гідрогенераторів // Гідроенергетика України. – 2008. – № 1. – С. 41–45.
22. *Левицький А.С., Федоренко Г.М., Архіпова Л.В.* Визначення параметрів перекосу ротора в потужних гідрогенераторах // Гідроенергетика України. – 2008. – №3. – С. 31–34.
23. *Мелещук Д.В., Сурду М.Н., Кикало В.Н.* Применение принципа дуальности при определении метрологических характеристик трансформаторов тока // Техн. електродинаміка. – 2008. – № 6. – С. 73–77.
24. *Мельник В.Г.* Разработка унифицированных импедансометрических средств для сенсорних систем // Пр. Ін-ту електродинаміки НАН України: Зб. наук. пр. – К.: ІЕД НАНУ. – 2008. – Вип. 20. – С. 82.
25. *Мельник В.Г., Василенко А.Д.* Импедансометрические измерительные преобразователи для биосенсорных систем "ЭКиС" // Электронные компоненты и системы. – 2008. – № 11. – С. 27–29.
26. *Мельник В.Г., Василенко А.Д.* Унифицированные аппаратные средства импедансометрических сенсорных систем // Тез. доп. 3-ї міжнар. наук.-техн. конф. "Сенсорна електроніка та мікросистемні технології" (СЕМСТ – 3), Одеса: Нац. ун-т ім. І.І. Мечнікова. – 2008. – С. 133.
27. *Мельник В.Г., Пєшкова В.М., Солдаткін О.О., Михаль О.О., Дзядевич С.В.* Застосування кондуктометричного ферментного біосенсора для визначення концентрації глюкози та сахарози у мелясі // Наук.-практ. семінар студентів, аспірантів і молодих учених «Прикладні аспекти електрохімічного аналізу», Львів, Україна, 9-10 жовтня 2008 р. – С. 24.
28. *Мельник В.Г., Рубанчук М.П., Михаль А.А.* Измерительные цепи для кондуктометрических преобразователей с дифференциальными двухэлектродными датчиками // Техн. електродинаміка. – 2008. – №2. – С. 58–64.
29. *Монастирський З.Я., Кромпляс Б.А.* Принцип вибіркової компенсації зовнішніх імітансів у мостових вимірювальних колах // Техн. електродинаміка. – 2008. – № 3. – С. 71–74.
30. *Новик А.И.* Перспективы использования преобразователей с емкостными датчиками для измерения диагностических параметров в энергомашинах // Пр. Ін-ту електродинаміки НАН України: Зб. наук. пр. – К.: ІЕД НАНУ. – 2008. – Вип. 20. – С. 76–77.
31. *Сурду М.Н., Ахмадов А.А.-Б., Ахмадов С.А., Курсин С.В., Ламеко А.Л., Мухаровский М.Я.* Прецизионный компаратор для воспроизведения единицы индуктивности и передачи её размера в диапазоне значений // Український метрологічний журнал. – 2008. – № 4. – С. 14–22.
32. *Сурду М.Н., Ахмадов А.А.-Б., Ахмадов С.А., Ламеко А.Л, Мухаровский М.Я.* Оптимизация путей воспроизведения единицы индуктивности по единицам емкости и частоты или единицам сопротивления и частоты // Тр. VI-ї міжнар. наук.-техн. конф. "Метрологія та вимірювальна техніка" (Метрологія – 2008). – Харків: ННЦ "Інститут метрології", 2008 (14 – 16 жовтня).
33. *Сурду М.Н., Ламеко А.Л., Гаврилкин В.Г.* Пути повышения точности воспроизведения единицы электролитической проводимости растворов // Мат. III-ї міжнар. наук.-практ. конф. – ХІММЕТ-3-2008. – С. 35–39.
34. *Таранов С.Г., Мазманян Р.О.* Гиратор в SPICE-моделях гальваномагнитных преобразователей Холла // Техн. електродинаміка. – 2008. – №1.
35. *Заявка 2007 12431, МПК G01B 7/14 , G01R 27/26*: Спосіб вимірювання повітряного зазору між ротором і статором в гідрогенераторі та пристрій для його реалізації // С.І. Поташник, К.В. Вощинський, О.П. Грубой, А.С. Левицький, Є.Ю. Неболюбов, А.І. Новік, Г.М. Федоренко, А.К. Шофул; Заявлено 09.11.2007. Рішення про видачу патенту України 25.02.2009 р.
36. *Surdu M.N, Lameko A.L, Mukharovsky M.J., Gavrilkin V.G.* Impruving of the relative conduktivity measurement tracebility to primary standards of resistance, length and temperature // Digest of 2008 Conference on Precision Electromagnetic Measurement. – Broomfield, USA, 2008. – P. 334–335.
37. *Surdu M.N., Ornatsky O.A., Mukharovsky M.J., Melestuk D.V., Kopshyn V.V., Kikalo V.N.* Precise measuring system for traceability of high current transformer standards // Digest of 2008 Conference on Precision Electromagnetic Measurement. – Broomfield, USA, 2008. – P. 544–545.