

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ТЕРНОПІЛЬСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Рощупкін Олексій Юрійович

УДК 004.27

**МЕТОДИ І ЗАСОБИ ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ ІНФОРМАЦІЙНО-
ВИМІРЮВАЛЬНИХ СИСТЕМ УЛЬТРАФІОЛЕТОВОГО
ВИПРОМІНЮВАННЯ**

05.13.05 – комп'ютерні системи та компоненти

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Тернопіль – 2015

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Тернопільському національному економічному університеті Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: заслужений винахідник України,
доктор технічних наук, професор
Саченко Анатолій Олексійович,
Тернопільський національний економічний університет,
завідувач кафедри інформаційно-обчислювальних систем та
управління;

доктор технічних наук, доцент
Радіслав Шмід (Radislav Smid)
Чеський технічний університет, Чеська Республіка,
кафедра вимірювань, факультет електротехніки.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Івахів Орест Васильович,
Національний університет «Львівська політехніка»,
завідувач кафедри «Прилади точної механіки»;

доктор технічних наук, професор
Дрозд Олександр Валентинович,
Одеський національний політехнічний університет,
професор кафедри «Комп'ютерні інтелектуальні системи та
мережі».

Захист відбудеться 5 листопада 2015 р. о 14⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради К58.082.02 у Тернопільському національному економічному університеті за адресою: 46020, м. Тернопіль, вул. Львівська, 11а (корпус 11, зал засідань).

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Тернопільського національного економічного університету за адресою: 46020, м. Тернопіль, вул. Бережанська, 4.

Автореферат розісланий 5 жовтня 2015 р.

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

В.В. Яцків

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Відомо, що синтетичні сполуки, такі як хлорфторвуглеці, тетрахлористий вуглець, тощо, руйнують озон, що захищає біологічні форми від ультрафіолетового випромінювання (УФВ) Сонця. Підвищення рівня УФВ, яке досягає поверхні Землі, небезпечно для людини і може викликати рак шкіри, катаракту очей, ослаблення імунної системи.

Для радіометрів, портативних дозиметрів систем екологічного моніторингу, медичних та інших вимірювань, оптимальними для використання є напівпровідникові ультрафіолетові сенсори – фотодіоди (ФД) як прості, дешеві засоби. Але тоді у вимірювальних каналах домінує похибка самого ФД – розкид їх параметрів сягає 25%, а температурний коефіцієнт $0,1\%/^{\circ}\text{C}$. В такому разі покращення точності інших блоків інформаційно-вимірювальних систем (ІВС) УФВ не доцільне. Додатковим недоліком ФД є значний та нелінійний вплив його освітленості на температурний коефіцієнт (зміна до 7%). Одним із вагомих критеріїв ефективності ІВС є висока точність, а відомі ІВС УФВ мають низьку точність (5-10%), незважаючи на налаштування ІВС на індивідуальну функцію перетворення (ФП) сенсорів, що обмежує їх взаємозамінність.

Підвищення точності ІВС УФВ можна досягти шляхом обробки сигналу ФД як багатопараметричного сенсора (БПС), де на вході ФД є температура кристала та струм короткого замикання, а на виході – значення освітленості. Тоді доцільно використати штучні нейронні мережі (НМ) для розпізнавання вихідного сигналу ФД. Це добре узгоджується з переходом до індивідуальних ФП, але його трудомісткість є значною. Крім того, не забезпечується взаємозамінність сенсорів. Тому створення нових не трудомістких методів підвищення точності ІВС УФВ з автономним живленням і взаємозамінністю сенсорів – актуальна наукова задача.

У роботі використано досягнення вітчизняних та зарубіжних вчених, прізвища яких приведені в дисертації.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дана робота виконана в рамках науково дослідних робіт: НДР “Ідентифікація індивідуальних функцій перетворення багатопараметричних сенсорів” (№ДР 0112U008459, 2012-2013рр.); міжнародного наукового проекту “Дистрибутивні сенсорні мережі з реконфігурацією обчислювальних вузлів” у рамках програми двостороннього співробітництва між Україною та Республікою Молдова (№ДР 0114U006090 2014-2015рр.), що виконувалися у Тернопільському національному економічному університеті (ТНЕУ), а також “Апаратно-програмний комплекс для екологічного моніторингу рівня ультрафіолетового та радіаційного випромінювання навколишнього середовища” (№ДР 0110U000186, 2010-2011рр.), “Наукові основи створення, діагностики та підвищення надійності первинних перетворювачів сигналів автоматизованих систем керування, елементів і пристроїв обчислювальної техніки та захисту інформації в комп'ютерних засобах” (№ДР

105U007365, 2011-2013pp.), що виконувалися у Чернівецькому національному університеті ім. Ю.Федьковича (ЧНУ). Дисертація виконана за схемою подвійного керівництва – договір про співпрацю між ТНЕУ та Чеським технічним університетом у Празі від 25.02.2013 р.

Мета і завдання дослідження. Метою дисертації є розроблення та дослідження методів і засобів підвищення точності інформаційно-вимірювальних систем ультрафіолетового випромінювання.

Для досягнення поставленої мети в роботі вирішуються наступні завдання:

- 1) аналіз відомих методів і систем вимірювання УФВ та сенсорів УФВ у складі ІВС для визначення основних напрямів підвищення їх точності;
- 2) розроблення методу зниженої трудомісткості для ідентифікації індивідуальних ФП БПС та його дослідження за допомогою запропонованої моделі функції перетворення БПС та його похибок;
- 3) розроблення системи автоматизованого формування навчальної вибірки для дослідження похибок запропонованого методу;
- 4) дослідження завадостійкості розробленого методу ідентифікації індивідуальних ФП БПС до впливу випадкової похибки;
- 5) синтез структури та схеми вимірювальних каналів ІВС УФВ;
- 6) розроблення архітектури ІВС УФВ та методу корекції похибок її компонентів, який забезпечує взаємозамінність сенсорів.

Об'єкт дослідження – процес вимірювання енергетичної освітленості ультрафіолетового випромінювання напівпровідниковими фотодіодами.

Предмет дослідження – нейромережеві методи підвищення точності інформаційно-вимірювальних систем ультрафіолетового випромінювання.

Методи дослідження – структурно-функціональний аналіз, теорії похибок, електричних кіл і нейронних мереж, а також методи імітаційного моделювання.

Наукова новизна одержаних результатів.

1. Вперше запропоновано нейромережевий метод ідентифікації індивідуальних функцій перетворення багатопараметричних сенсорів за результатами їх повірки, який забезпечує:

- 1.1 високу точність прогнозу результатів повірки в точках, де дійсна повірка не проводилася, що дозволило суттєво скоротити кількість точок повірки;
- 1.2 стійкість до випадкових похибок експериментальних досліджень – зменшення їх впливу приблизно на порядок.

2. Вперше запропоновано метод корекції похибок компонентів вимірювальних каналів інформаційно-вимірювальної системи ультрафіолетового випромінювання, який забезпечує високу точність вимірювання та взаємозамінність сенсорів ультрафіолетового випромінювання.

3. Отримала подальший розвиток модель функції перетворення багатопараметричних сенсорів та його похибок, яка враховує всі можливі

комбінації різних видів похибок цих сенсорів по кожній вимірюваній або впливаючій величині, що дало змогу автоматизувати формування навчальної вибірки для дослідження похибки запропонованого методу.

Практичне значення одержаних результатів. Розроблено:

- 1) систему автоматизованого формування навчальної вибірки для дослідження похибки методу ідентифікації індивідуальних ФП БПС;
- 2) схеми вимірювальних каналів ІВС УФВ;
- 3) методики дослідження сенсорів УФВ;
- 4) схеми та програмне забезпечення ІВС УФВ

Теоретичні та практичні результати роботи впроваджені у НВФ „Тензор”, використані при викладанні дисциплін «Мікропроцесорні системи» (ТНЕУ) та «Мікроконтролери» (ЧНУ), а також при виконанні держбюджетних тем на кафедрі комп'ютерних систем та мереж ЧНУ та держбюджетної теми і між народного проекту на кафедрі інформаційно-обчислювальних систем і управління ТНЕУ.

Особистий внесок здобувача. Теоретичні та експериментальні дослідження, розробка методів, структур та алгоритмічного забезпечення виконані автором самостійно. Аналіз результатів досліджень, розроблення окремих схемних рішень, програмного забезпечення і впровадження результатів дисертації проведені у співавторстві згідно з наведеним списком праць. У роботах, опублікованих у співавторстві, здобувачу належить: [9, 15] – метод ідентифікації ФП БПС; [2, 10] – метод оброблення даних БПС 8-ми бітним мікроконтролером; [4, 7] – метод (спосіб) ідентифікації ФП БПС та оброблення результатів вимірювань; [17] – схемотехнічні рішення та частина програмного забезпечення; [11] – метод зменшення кількості точок повірки; [5, 8] – архітектура прецизійної ІВС; [1] – схемотехнічні рішення та методика обчислення результату вимірювання, метод забезпечення взаємозамінності БПС; [12] – застосування БПС; [6, 13] методика оброблення даних БПС.

Апробація результатів дисертації. Результати дисертації доповідалися та обговорювалися на 14-ти міжнародних та національних конференціях: 10-й міжн. н.-тех. конф. „Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science” (TCSET'2010), Львів-Славське, 2010 р.; XI міжн. н.-практ. конф. „Современные информационные и электронные технологии” (СИЭТ-2010), Одеса, 2010 р.; IV міжн. н.-тех. конф. молодих вчених „Комп'ютерні науки та інженерія 2010” (CSE-2010), Львів, 2010р.; міжн. н.-тех. конф. молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій», Тернопіль, 2010 р.; 6-й, 7-й та 8-й міжн. н.-тех. конф. «Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications» (IDAACS), Прага (Чехія), 2011 р., Берлін (Німеччина), 2013р., Варшава (Польща), 2015; 1-й Всеукраїнській н.-практ. конф. ”Фізико-технологічні проблеми радіотехніки пристроїв, засобів телекомунікацій, нано- та мікроелектроніки”, Чернівці, 2011 р.; 9-й IEEE міжн. н.-тех. конф.

«Системи, сигнали та пристрої» (SSD'2012), Хемніц (Німеччина), 2012 р.; 2-й IEEE IDAACS симпозиум «Wireless Systems within the IEEE International Conferences on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications». Оффенбург (Німеччина), 2014 р.

Публікації. За результатами наукових досліджень опубліковано 17 робіт загальним обсягом 8,54 друкованих аркушів, серед них статтю, яка входить до наукометричної бази Web of Science (імпакт-фактор 0.642), 5 робіт у міжнародних виданнях, що входять до наукометричної бази SCOPUS, 4 статті у фахових виданнях (одна з них одноосібна), 9 праць у збірниках міжнародних та національних наукових конференцій, патент України на винахід та патент на корисну модель.

Структура та об'єм роботи. Дисертаційна робота складається з вступу, чотирьох розділів, висновків, викладених на 136 сторінках основного тексту, списку використаних джерел – 133 найменувань. Робота містить 65 рисунків, 21 таблицю та 14 додатків.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертації, визначено об'єкт і предмет дослідження, сформульовано мету, завдання та методи дослідження, визначено наукову новизну, практичне значення й особистий внесок автора в отриманні результати, подано відомості про їх апробацію та впровадження.

У першому розділі проаналізовані відомі методи і засоби вимірювання УФВ, показано, що всі вони мають низьку точність (похибка 5-10%), зумовлену в першу чергу, розкидом параметрів сенсорів УФВ – ФД (до 25%), їх температурним коефіцієнтом (до 0,1%/°C) та значним і нелінійним впливом освітленості ФД на температурний коефіцієнт (до 7%) – при корекції слід вимірювати не температуру середовища, а кристала ФД. Через це перехід до індивідуальних ФП ФД незначно підвищує точність відомих ІВС, але виключає взаємозамінність сенсорів.

Показано, що для підвищення точності ІВС УФВ доцільно розглядати ФД як БПС, де вхідними величинами є температура кристала ФД і струм його короткого замикання, а вихідною – значення освітленості. Показано, що для її розпізнавання доцільно використати НМ, що дає максимум ефекту від переходу до індивідуальних ФП ФД. Але при цьому: а) трудомісткість підходу дуже велика, наприклад, при визначенні ФП по кожній фізичній величині (ФВ) у 7-ми точках сумарна кількість повірок становить $7*7=49$ точок; б) сам по собі підхід не забезпечує взаємозамінність сенсорів, тому для реального підвищення точності ІВС УФВ слід скоротити кількість точок повірки.

У другому розділі запропоновано нейромережевий метод ідентифікації індивідуальних ФП БПС, суть якого полягає в тому, що для підвищення точності залучаються додаткові дані про характер ФП, які містяться в результатах повірки групи однотипних БПС (30...50 штук) у всьому наборі точок, наприклад, у 49

точках. У точках, де повірка даного БПС не проводилась, її результат прогнозує НМ, навчена прогнозувати результат повірки саме в цій точці. Для навчання кожної НМ використовують тільки ті точки повірки групи однотипних БПС, що належать заданому набору і відносно точки, результати повірки якої прогнозують, розміщені однаково. Результати повірки групи однотипних БПС поступають на входи НМ у заданому порядку. При навчанні на перші входи НМ подають значення результатів повірки одного з групи однотипних БПС, що вибраний як той, результат повірки якого прогнозують. Результати повірки інших БПС групи поступають на входи НМ у порядку зростання абсолютних відхилень від ФП вибраного БПС. Кожна така комбінація створює один вектор навчання. При прогнозі результатів повірки БПС, ФП якого визначають, на перші входи навченої НМ подають результати його повірки у інших точках. Далі результати повірки групи однотипних БПС подають на входи НМ у порядку, аналогічному до порядку при навчанні, а БПС із найбільшими відхиленнями відкидають.

Наприклад, отримано результати повірки групи однотипних БПС у 49 точках (рис. 1, не залиті кільця). БПС, ФП якого визначають, був повірений у 9 точках (рис. 1, залиті кільця). Для ідентифікації результатів повірки цього БПС у точці 34 (рис. 1) формують навчальну вибірку, що відповідає лінії, яка проведена через точки 14, 24, 34, 44, 54, 64, 74. Тоді кожен вектор навчальної вибірки має таку структуру $N_{24}^0, N_{44}^0, N_{64}^0, N_{14}^+, N_{24}^+, N_{34}^+, N_{44}^+, N_{54}^+, N_{64}^+, N_{74}^+, N_{14}^-, N_{24}^-, N_{34}^-, N_{44}^-, N_{54}^-, N_{64}^-, N_{74}^-, N_{14}^{+2}, N_{24}^{+2} \dots N_{64}^{+2}, N_{74}^{+2}, N_{14}^{-2}, N_{24}^{-2} \dots N_{64}^{-2}, N_{74}^{-2} \dots N_{14}^{+n}, N_{24}^{+n} \dots N_{64}^{+n}, N_{74}^{+n}, N_{14}^{-n}, N_{24}^{-n} \dots N_{64}^{-n}, N_{74}^{-n}$ (нижні індекси – точки повірки, а верхні – зростають згідно відхилення від результатів повірки БПС, результати повірки якого прогнозують, \pm вказує на полярність різниці). При прогнозі як $N_{24}^0, N_{44}^0, N_{64}^0$ підставляють результати повірки БПС, який прогнозують. Згідно рис. 1, економія точок повірки складає близько 80%, а дійсна повірка проводиться в 9-ти точках з 49.

Модель ФП БПС, яка не враховує похибок БПС, описується формулою

$$Y_{NOM} = (A(X_1 + B)^k + C(X_1 + B)) \cdot (D(X_2 + E)^l + F(X_2 + E))G \quad , \quad (1)$$

де X_1, X_2 – вимірювані фізичні величини A і B відповідно; $A \dots G, k, l$ – коефіцієнти та показники степені відповідно.

Розвиваючи (1), запропоновано модель похибок ФП БПС у вигляді функції

$$Y = Y_{NOM} \pm n\Delta \left(\pm K_1(i-4)^a \pm K_2(j-4)^b \right), \quad (2)$$

де n – кількість варіантів, прийнято $n=100$ (50 кожної полярності); Δ – крок квантування похибки БПС, прийнято 0,1% (по кожній фізичній величині похибка БПС до $\pm 5\%$); степені a та b приймають значення 2, 3 і 4; K_1, K_2 – коефіцієнти задання нелінійності функції похибки, рівні 0,01.

Запропонована модель похибок ФП БПС враховує можливі комбінації різних видів похибок БПС по кожній фізичній величині, що дало змогу автоматизувати формування навчальної вибірки для дослідження запропонованого методу.

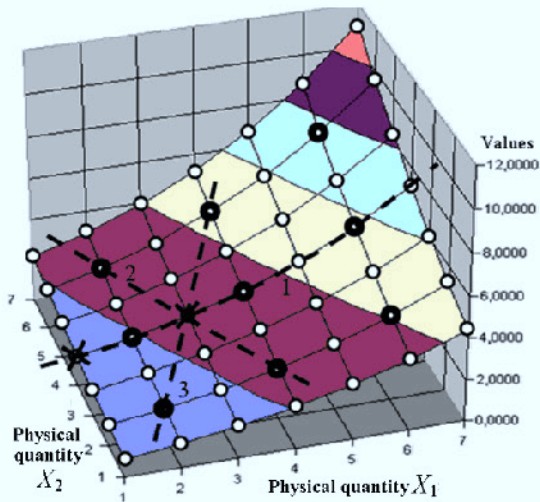


Рис 1. ФП БПС і розміщення дійсних точок повірки та точок, результати повірки яких прогнозують

табл.2, аналогічній до табл. 1, приведені результати досліджень похибки прогнозу результатів повірки в точці 34 (див. рис. 1). Разом вони характеризують два варіанти прогнозу – екстраполяцію (див. табл. 1, точка 14) та інтерполяцію (див. табл. 2, точка 34). Решта точок принципово не відрізняються від точок 14 і 34 (вони симетричні на ФП БПС). Результати дослідження методу дозволили зробити такі висновки:

- 1) запропонований метод забезпечує значне зменшення трудомісткості повірки БПС – замість 49-ти точок повірки достатньо виконати її в 9-ти точках;
- 2) деякі реалізації прогнозу результатів повірки БПС мають аномальні викиди похибки (перевищують середню похибку прогнозу в 10 разів), тому в табл. 1 і 2 вказано як середнє так і максимальне значення похибки прогнозу. Але навіть максимальні значення похибки прогнозу задовольняють потреби ІВС УФВ;
- 3) запропонований метод забезпечує зменшення похибки від розкиду ФП ФД у 6...60 разів щодо максимальної та у 30...500 разів щодо середньої похибки;
- 4) запропонований метод забезпечує зменшення похибки від шуму (подавлення випадкової похибки повірки) від 6-ти до 10-ти разів;
- 5) хоча при зростанні амплітуди шуму похибка прогнозу результатів повірки БПС збільшується, її подавлення пропонованим методом теж зростає;
- 6) аналіз результатів багаторазового навчання НМ дає змогу відібрати кращі варіанти навчених НМ.

На рис. 2 і 3 подані гістограми середньої похибки прогнозу результатів повірки БПС від характеру нелінійності по обох ФВ та дії шуму від 0,1 до 2,5%. Як видно, аномальні похибки є характерними для великих шумів. Їх наявність пояснюється проблемами навчання НМ (тришарового персептрона).

В процесі експериментальних досліджень на вихідний сигнал БПС накладалася випадкова похибка (шум) виду:

$$Y_N = Y + Rnd(K_3) \quad , \quad (3)$$

де K_3 – коефіцієнт, який визначає амплітуду випадкової похибки.

Значення похибок прогнозу результатів повірки БПС в точці 14 (рис. 1) при різних комбінаціях похибок згідно виразу (2) та амплітуді шуму 0,1% подано у табл. 1. Характер нелінійності за коефіцієнтами K_1 та K_2 показано їх знаками і значеннями. В чисельнику (див. табл. 1) подано максимальну похибку прогнозу, а в знаменнику – середнє значення для 100 реалізацій. В

Таблиця 1. Максимальна похибка відповідно до всіх комбінацій нелінійності, що моделюються поліномами від другого до четвертого порядку для точки 14

$PV X_1 \backslash PV X_2$	$K_{1 \rightarrow +}, k=2$	$K_{1 \rightarrow -}, k=2$	$K_{1 \rightarrow +}, k=3$	$K_{1 \rightarrow -}, k=3$	$K_{1 \rightarrow +}, k=4$	$K_{1 \rightarrow -}, k=4$
$K_{2 \rightarrow +}, k=2$	0.107 % / 0.032 %	0.134 % / 0.020 %	0.008 % / 0.002 %	0.041 % / 0.002 %	0.019 % / 0.005 %	0.030 % / 0.003 %
$K_{2 \rightarrow -}, k=2$	0.098 % / 0.030 %	0.074 % / 0.027 %	0.019 % / 0.007 %	0.033 % / 0.008 %	0.056 % / 0.009 %	0.019 % / 0.006 %
$K_{2 \rightarrow +}, k=3$	0.008 % / 0.002 %	0.041 % / 0.002 %	0.019 % / 0.005 %	0.030 % / 0.003 %	-	-
$K_{2 \rightarrow -}, k=3$	0.019 % / 0.007 %	0.033 % / 0.008 %	0.056 % / 0.009 %	0.019 % / 0.006 %	-	-
$K_{2 \rightarrow +}, k=4$	0.019 % / 0.005 %	0.030 % / 0.003 %	-	-	-	-
$K_{2 \rightarrow -}, k=4$	0.056 % / 0.009 %	0.019 % / 0.006 %	-	-	-	-

Таблиця 2. Максимальна похибка відповідно до всіх комбінацій нелінійності, що моделюються поліномами від другого до четвертого порядку для точки 34

$PV X_1 \backslash PV X_2$	$K_{1 \rightarrow +}, k=2$	$K_{1 \rightarrow -}, k=2$	$K_{1 \rightarrow +}, k=3$	$K_{1 \rightarrow -}, k=3$	$K_{1 \rightarrow +}, k=4$	$K_{1 \rightarrow -}, k=4$
$K_{2 \rightarrow +}, k=2$	0.011 % / 0.003 %	0.011 % / 0.005 %	0.018 % / 0.002 %	0.023 % / 0.003 %	0.017 % / 0.004 %	0.038 % / 0.006 %
$K_{2 \rightarrow -}, k=2$	0.016 % / 0.006 %	0.005 % / 0.009 %	0.029 % / 0.015 %	0.010 % / 0.003 %	0.017 % / 0.008 %	0.186 % / 0.005 %
$K_{2 \rightarrow +}, k=3$	0.018 % / 0.002 %	0.023 % / 0.003 %	0.020 % / 0.008 %	0.022 % / 0.009 %	-	-
$K_{2 \rightarrow -}, k=3$	0.029 % / 0.015 %	0.010 % / 0.003 %	0.027 % / 0.003 %	0.049 % / 0.004 %	-	-
$K_{2 \rightarrow +}, k=4$	0.017 % / 0.004 %	0.038 % / 0.006 %	-	-	-	-
$K_{2 \rightarrow -}, k=4$	0.017 % / 0.008 %	0.186 % / 0.006 %	-	-	-	-

У третьому розділі синтезовано схему вимірювальних каналів ІВС згідно наступних правил:

- 1) при вимірюванні освітленості слід вимірювати струм короткого замикання ФД (режим КЗ);
- 2) при вимірюванні температури кристалу ФД слід вимірювати спад напруги на ФД (неробочий хід – режим НХ);
- 3) ФП ФД в режимі НХ залежить від струму через ФД;
- 4) для зменшення похибки результату вимірювання температури струм через ФД слід стабілізувати або контролювати;

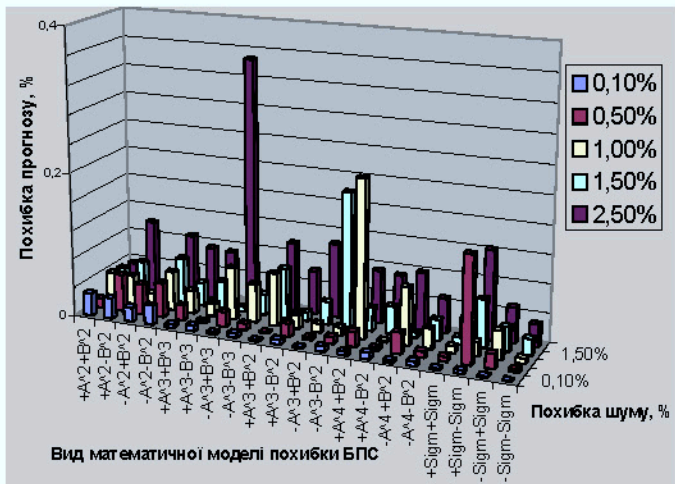


Рис. 2. Середня похибка прогнозу (із 100 реалізацій) результатів повірки БПС для точки 14 при дії шуму від 0,1 до 2,5%

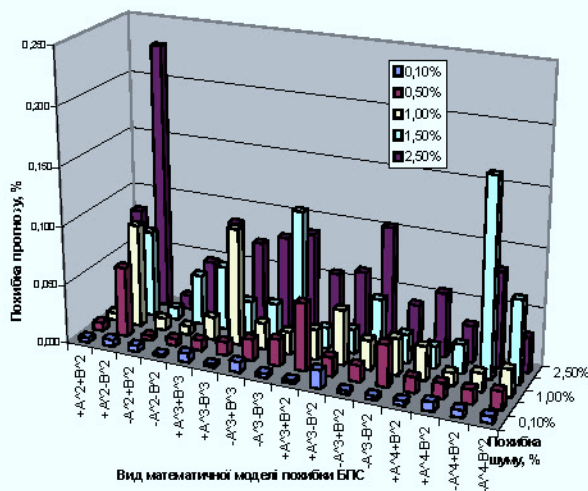


Рис. 3. Середня похибка прогнозу (із 100 реалізацій) результатів повірки БПС для точки 34 при дії шуму від 0,1 до 2,5%

U_{Z1} для ОП та напругою живлення АЦП і мікроконтролера оброблення даних. Конденсатори $C1$ і $C2$ зменшують завади в колі живлення.

При синтезі схеми вимірювальних каналів слід узгодити рівні вихідних напруг ОП з входом АЦП, передбачити перемикання ФД з режиму КЗ в режим НХ, а також вимірювання струму ФД для врахування залежності спаду напруги на ФД від цього струму. Температуру кристалу ФД T_{PD1} можна визначити за температурним коефіцієнтом TKU_{PD1} і різницею поточного спаду напруги на ФД U_{PD1}^{POT} та спаду напруги на ньому U_{PD1}^{T0} при нульовій температурі за формулою $T_{PD1} = (U_{PD1}^{POT} - U_{PD1}^{T0}) / TKU_{PD1}$ (за даними літератури $TKU_{PD1} \approx -3 \text{ mV}/^\circ\text{C}$).

Напруги U_{PD1}^{POT} і U_{PD1}^{T0} залежать від струму ФД I_{PD1} . Стабілізатор I_{PD1} має

- 5) струм ФД при автономному живленні доцільно контролювати;
- 6) слід швидко перемикаєти режими ФД при мінімумі затрат;
- 7) слід забезпечити великий термін роботи автономного джерела (АД);
- 8) слід забезпечити живлення схеми від одного джерела (акумулятора АД або батареї).

ФД в режимі НХ потребує струму від додатної напруги живлення. А при вимірюванні освітленості режим КЗ забезпечує операційний підсилювач (ОП) в інвертуючому ввімкненні, що потребує від'ємної напруги живлення.

Тому необхідне формування “середньої точки” для живлення ОП. Зазвичай її формує подільник напруги АД з повторювачем напруги на ОП. Але тоді напруги обох полярностей змінюються при розряді АД, що вимагає використання стабілізатора напруги живлення аналого-цифрового перетворювача (АЦП). Тому „уявну землю” формує стабілізатор (рис. 4). Первинний АД напругою $U_z = 9V$ (акумулятор або батарея “Крона”) живить стабілізатор 5 В. Його вихід служить одночасно “уявною землею”

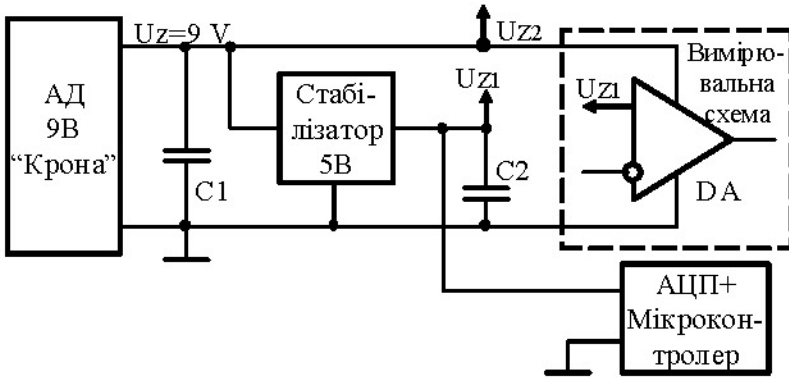


Рис. 4. Структурна схема живлення елементів вимірювального каналу ІВС УФВ

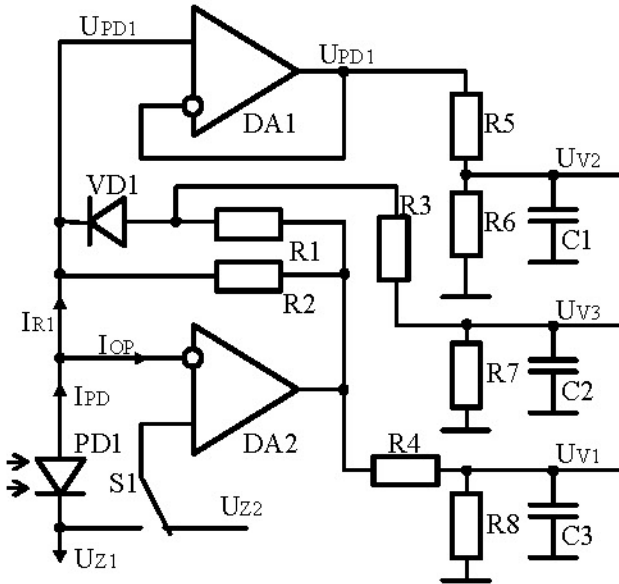


Рис. 5. Принципова схема вимірювальних каналів ІВС УФВ

каналі температури (ФД $PD1$ в режимі НХ). При цьому напруга на виході $DA1$ перевищує U_{z1} , тому подільник на резисторах $R5$ і $R6$ забезпечує рівень напруги U_{v2} , що поступає на АЦП завжди нижчим, ніж напруга U_{z1} .

Перемикання режимів роботи $PD1$ (КЗ і НХ) здійснюється ключем $S1$ (рис. 5). Якщо $S1$ у лівому положенні, то ОП $DA2$ працює в нормальному режимі, реалізується режим КЗ $PD1$ (напруга на $PD1$ не перевищує зміщення $DA2$ – десятки мкВ). Якщо $S1$ у правому положенні, то ОП $DA2$, через те, що напруга живлення $U_{z2} \gg U_{z1} + U_{PD1}$, знаходиться в насиченні (його вихідна напруга близька до напруги АД). Діод $VD1$ переходить в стан провідності. Через $PD1$ протікає струм I_{PD1} , що є сумою струмів I_{R1} та I_{R2} . ОП $DA1$ і $DA2$ мають на вході польові транзистори з $p-n$ переходом, тому $DA2$ при насиченні не втрачає високого вхідного опору. Таким чином реалізується режим НХ $PD1$. Конденсатори $C1...C3$ на виходах $U_{v1}...U_{v3}$ зменшують рівень завад.

складну схему, ускладнює перемикач режимів КЗ – НХ і споживає енергію АД. Доцільніше вимірювати I_{PD1} і коригувати T_{PD1} . Але тоді ФД слід розглядати як БПС, на входах якого є температура кристалу T_{PD1} і струм I_{PD1} , а на виході – напруга U_{PD1}^{POT} .

На базі сформованих вище правил синтезовано принципову схему вимірювальних каналів ІВС УФВ (рис. 5). Канал вимірювання освітленості (ФД $PD1$ в режимі КЗ) складається з ОП $DA2$ (в інвертуючому режимі), резистора $R2$ зворотного зв'язку та подільника напруги (резистори $R4$, $R8$) узгодження рівня напруги з входом АЦП (вихід U_{v1}). Діод $VD1$ запертий (на виході $DA2$ при КЗ $PD1$ напруга нижча за U_{z1} , і резистор $R1$ на роботу ОП $DA2$ не впливає).

Великий вхідний опір повторювача на $DA1$ не дає подільнику $R5$ і $R6$ навантажувати $PD1$ у вимірювальному

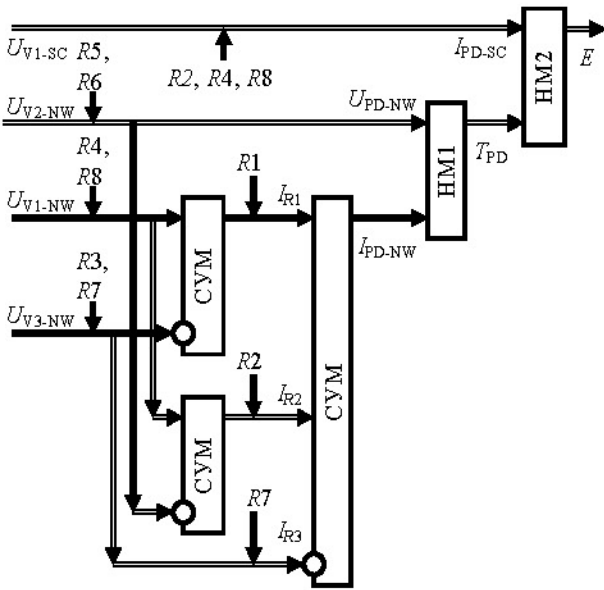


Рис. 6. Схема оброблення результатів вимірювання в ІВС

Із схеми оброблення результатів вимірювання в ІВС (рис. 6) видно, що спади напруги U_{PD1}^{POT} та U_{PD1}^{T0} на $PD1$ визначаються сумою струмів $I_{PD1} = I_{R1} + I_{R2} - I_{R3}$. В свою чергу:

$$I_{R1} = (U_{DA2}^{NAS} - U_{PD1} - U_{VD1}) / R1, \quad (5)$$

$$I_{R2} = (U_{DA2}^{NAS} - U_{PD1}) / R2, \quad (6)$$

$$I_{R3} = U_{V3} / R7, \quad (7)$$

де U_{DA2}^{NAS} – напруга насичення операційного підсилювача $DA2$, $U_{DA2}^{NAS} \approx U_z = 9V$; U_{VD1} – спад напруги на діоді $VD1$ в стані провідності.

Слід відзначити, що U_{DA2}^{NAS} і U_{VD1} , по-перше, відомі приблизно, а по-друге – мають значні температурні зміни. Тому необхідно визначити I_{R1} , I_{R2} , I_{R3} в процесі експлуатації ІВС УФВ. Зокрема струм I_{R2} можна знайти за напругами U_{V1} і U_{V2} . Із принципової схеми (рис. 5) видно, що напруга

$$U_{V1} = (U_{DA2}^{NAS} \cdot R8) / (R4 + R8), \quad (8)$$

$$U_{V2} = (U_{PD1} \cdot R6) / (R5 + R6), \quad (9)$$

Перетворивши вирази (8) і (9) та підставивши їх у (6), отримаємо:

$$I_{R2} = (U_{V1} \frac{R4 + R8}{R8} - U_{V2} \frac{R5 + R6}{R6}) / R2, \quad (10)$$

$$U_{PD1} = U_{V2} \frac{R5 + R6}{R6}. \quad (11)$$

Так як у (5) входить невідоме значення U_{VD1} , для визначення I_{R1} використаємо вимірювальний канал U_{V3} (подільник на резисторах $R3$ і $R7$). При цьому напругу на лівому виводі резистора $R1$ запишемо як $U_{R1}^L = (U_{V3} (R3 + R7)) / R7$. Тоді напруга на $R1$

$$U_{R1} = U_{V1} \frac{R4 + R8}{R8} - U_{V3} \frac{R3 + R7}{R7}, \quad (12)$$

звідси струм

$$I_{R1} = \frac{1}{R1} \left(U_{V1} \frac{R4 + R8}{R8} - U_{V3} \frac{R3 + R7}{R7} \right). \quad (13)$$

Так як дійсні значення опорів резисторів $R1...R8$ впливають на напруги $U_{V1}...U_{V3}$, індивідуальні ФП необхідно визначати по всіх вимірювальних каналах. В такому разі похибку в результат вимірювання будуть вносити лише температурні та часові зміни опору $R1...R8$. В такому разі, при використанні

неточних (з великими відхиленнями опору від номінального), але стабільних резисторів (наприклад, металоплівкових) можна отримати високу точність вимірювання освітленості при невисоких затратах.

Для переходу до індивідуальної ФП ФД розроблено і виготовлено стенд повірки ФД (рис. 7). Як тимчасовий еталонний засіб використано світлодіод EDISON EDEV-3LA1, повірений згідно ГОСТ Р 8.590-2001. При повірці забезпечено контроль його температури (сенсор LM335M) та стабілізацію струму. Освітленість задається зміною відстані h між цим світлодіодом і досліджуваним ФД. Аналіз показав, що похибка задання освітленості не перевищує 1,2%.

Температура в термостаті досліджуваного ФД задається нагрівачем. Сигнали сенсорів температур еталонного світлодіода та термостата досліджуваного ФД, робочий струм досліджуваного ФД, спад напруги на ньому та струм короткого замикання вимірює вольтамперметр В7-46 класу 0,02, підключений до комп'ютера. Для контролю температури термостата ФД використано повірений платиновий термоперетворювач опору типу 100П та взірцеву котушку опору Р331 (100 Ом). Проведений аналіз показав, що похибка вимірювання температури не перевищує $0,1^{\circ}\text{C}$, струму КЗ – 0,2%, а напруги НХ – 0,1%.

При вимірюванні освітленості корекція похибки здійснюється за температурою кристала ФД: спочатку досліджуємо температурну ФП ФД від струму та спаду напруги на ньому в режимі НХ для 7-ми значень струму ФД (від 0,4 до 1 мА) та температур (від 24 до 36°C). Струми ФД задає блок живлення №2, а їх контроль здійснюється цифровим амперметром.

Результати повірки (спад напруги на ФД в режимі НХ) подано на рис. 8, а результати повірки (струм короткого замикання) цього ж ФД для 7-ми значень освітленості (відстань h змінювалася від 160 до 400 мм) і температури кристалу (змінювалася від 24 до 36°C) подано на рис. 9.

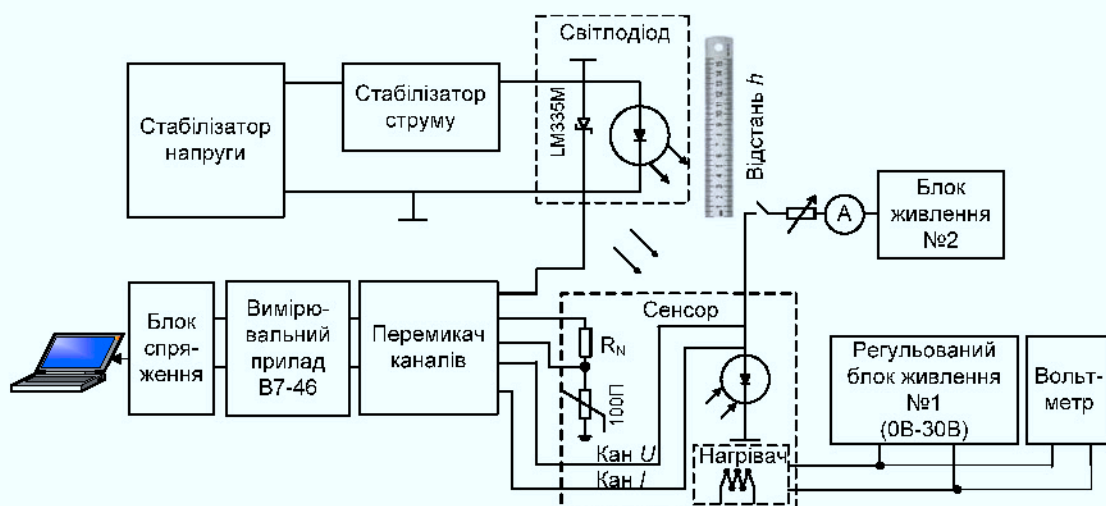


Рис. 7. Структурна схема стенда повірки ФД

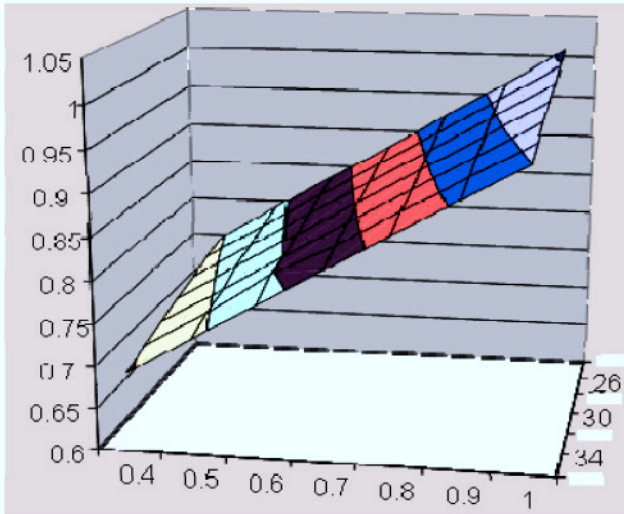


Рис. 8. Залежність напруги на ФД (0,6...1,05 В) від температури (24...36°C) та струму (0,4...1 мА)

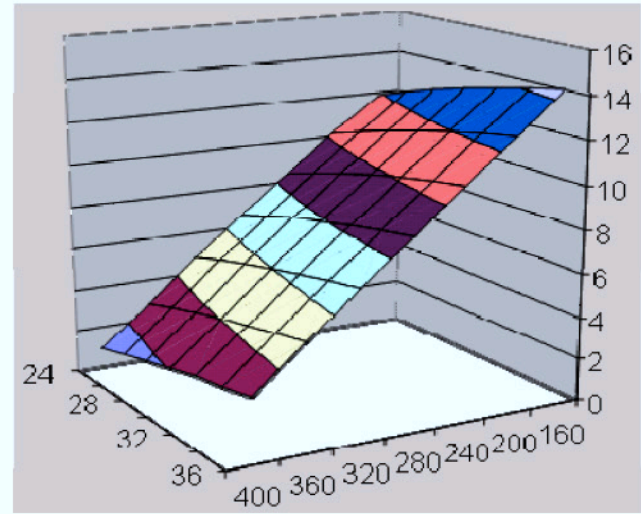


Рис. 9. Залежність струму короткого замикання (0...16мкА) від температури (24...36°C) та відстані (160...400мм)

Згідно рис. 6, за залежністю (див. рис. 8) навчалася НМ1 (розпізнавання температури), а за залежністю (див. рис. 9) – НМ2 (розпізнавання освітленості) згідно програми, написаної у MatLab. При цьому похибка навчання НМ1 не перевищувала 0,06°C, а НМ2 – 0,17%.

У четвертому розділі запропоновано метод корекції похибок компонентів вимірювальних каналів, а також структурну (рис. 10) та принципову схему ІВС УФВ на базі мікроконвертора ADuC845, який містить 24-х розрядний сигма-дельта АЦП та мікроконтролер i51. Входи АЦП підключено до виходів вимірювальної схеми (див. рис. 5), до входу якої підключений ФД, оснащений шторкою, що відсікає світловий потік при вимірюванні температури кристалу.

При обробленні вихідних кодів АЦП мікроконтролер реалізує запропоновані вище методи корекції. Значення освітленості поступають на табло і на інтерфейс RS232. Оператор керує ІВС УФВ за допомогою кнопок і через інтерфейс.

Метод корекції похибок компонентів вимірювальних каналів складається з сукупності наступних кроків:

- 1) поточна корекція похибок АЦП і вимірювальної схеми за результатами їх калібрування при повірці (параметри корекції записують в електронний паспорт ІВС TEDS-sys);
- 2) визначення температури кристалу ФД за спадом напруги на ФД та струмом в режимі НХ за допомогою НМ1 (див. рис. 6), навченої на 49 точках повірки ФД (9 – дійсні точки повірки і 40 прогнозовані запропонованим методом). Параметри навченої НМ1 задані в електронному паспорті TEDS-sens;
- 3) визначення освітленості ФД за допомогою НМ2 за температурою кристалу ФД і його струмом КЗ (див. рис. 6). НМ2 навчена на 49 точках повірки ФД (9 – дійсні точки повірки і 40 – прогнозовані запропонованим методом).

Параметри навченої НМ2 задані в електронному паспорті TEDS-sens.

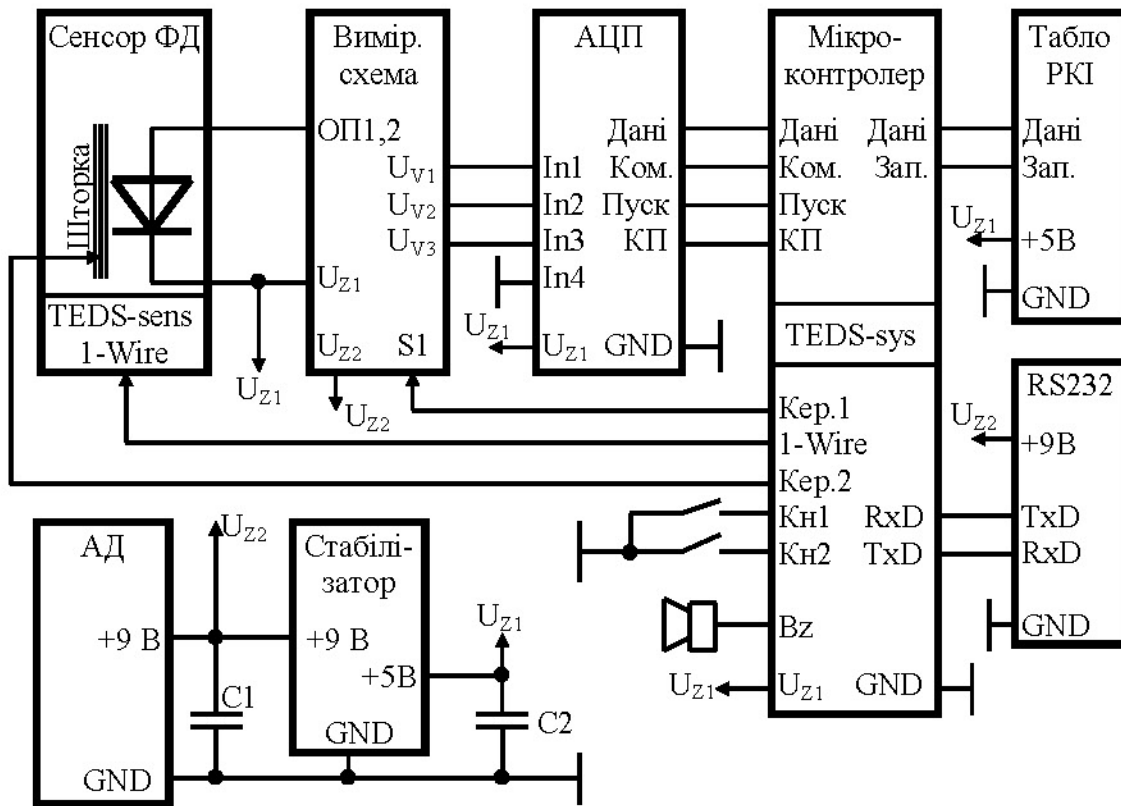


Рис. 10. Деталізована структурна схема ІВС

Як вказувалося, через неточність резисторів $R1...R8$, вимірювальна схема (див. рис. 5), має невисоку точність. З метою підвищення її точності розроблено три схеми калібрування вимірювальних каналів ІВС (рис. 11), з використанням прецизійного тестера UT70D як взірцевого засобу вимірювання. При цьому калібрують канали:

1) вимірювання спаду напруги U_{PD}^{NX} на ФД в режимі НХ (див. рис. 11а), для чого визначають його адитивну ΔU_{ADD}^{NX} та мультиплікативну похибку, а також запам'ятовують напругу, виміряну взірцевим вольтметром U_{1V}^{NX} . Потім

обчислюють відкориговане значення $U_{POT}^{NX-K} = U_{1V}^{NX} \frac{U_{POT}^{NX} - \Delta U_{ADD}^{NX}}{U_{1V}^{NX} - \Delta U_{ADD}^{NX}}$;

2) вимірювання струму I_{PD}^{NX} при роботі ФД в режимі НХ (див. рис. 11б). Для цього визначають його адитивну ΔI_{ADD}^{NX} та мультиплікативну похибку, також запам'ятовують дійсні значення струму I_{PD}^{NX1} та I_{PD}^{NX2} , обчислені за результатами вимірювання спадів напруги U_{UT70D}^{R1} та U_{UT70D}^{R2} на взірцевому магазині для значень опору R_{DOD}^{1N} та R_{DOD}^{2N} . Значення I_{PD}^{NX2} запам'ятовують як взірцеве I_{1mA}^{NX} .

Відкориговане значення рівне $I_{POT}^{NX-K} = (I_{PD}^{NX2} - I_{PD}^{NX1}) \frac{I_{POT}^{NX} - \Delta I_{ADD}^{NX}}{I_{1mA}^{NX} - \Delta I_{ADD}^{NX}} + I_{PD}^{NX1}$;

3) вимірювання струму I_{PD}^{KZ} при роботі ФД в режимі КЗ (див. рис. 11в). Для

цього визначають його адитивну ΔI_{ADD}^{KZ} та мультиплікативну I_{PD}^{KZ} похибку, а також запам'ятовують дійсне значення струму I_{PD}^{KZ1} , обчислене за результатом вимірювання спаду напруги U_{UT70D}^{R3} на взірцевому магазині для значення опору R_{DOD}^{3N} . Значення I_{PD}^{KZ1} запам'ятовують як взірцеве $I_{15\mu A}^{KZ}$, і знаходять відкориговане поточне значення $I_{POT}^{KZ-K} = I_{PD}^{KZ1} \frac{I_{POT}^{KZ} - \Delta I_{ADD}^{KZ}}{I_{15\mu A}^{KZ} - \Delta I_{ADD}^{KZ}}$.

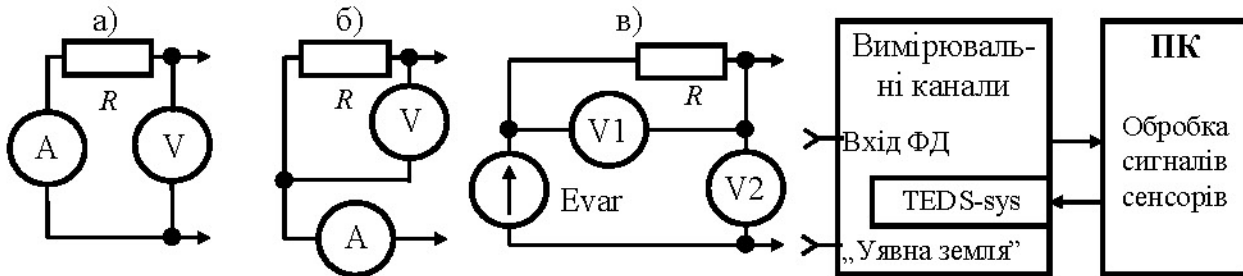


Рис. 11. Структурна схема стенда повірки вимірювальних каналів ІВС

Таким чином, запропонована ІВС УФВ забезпечує значне підвищення точності вимірювання освітленості за рахунок переходу до індивідуальної ФП ФД і високої точності вимірювання сигналів ФД. Розроблений метод корекції похибок забезпечує взаємозамінність ФД шляхом розмежування функцій корекції похибок вимірювальних каналів та ФД. Кожен ФД оснащується електронним паспортом (TEDS-sens), куди записані індивідуальні параметри НМ визначення температури та освітленості саме цього ФД (див. рис. 6). Відповідно ІВС оснащується своїм електронним паспортом (TEDS-sys) корекції похибок вимірювальних каналів (TEDS-sys лише визначена область пам'яті програм мікроконтролера). Висока якість ІВС дозволяє використати її у складі стенда повірки ФД (див. рис. 7). При калібруванні вимірювальних каналів ІВС стенда та ІВС, яку поставляють замовнику, від одних і тих же еталонних засобів, їх функції перетворення будуть відрізнятися лише на їх випадкові похибки (<0,01%), якими можна нехтувати порівняно з похибками еталонного джерела світла ($\approx 1\%$).

Розроблено узагальнену схему передачі значень еталонів під час корекції похибок ІВС і ФД (рис. 12). Спочатку визначають похибки каналів вимірювання ІВС стенда повірки ФД та ІВС, яку поставляють замовнику, за допомогою еталонного засобу вимірювання/зادання напруги та опору (див. рис. 11). Програмно визначаються параметри корекції та проводиться запис їх результатів в TEDS-sys відповідних ІВС.

Дослідження ФД проводять з використанням еталонних засобів вимірювання температури та задання освітленості – визначають індивідуальні ФП ФД спочатку як сенсора температури кристалу, а потім – як сенсора освітленості. При цьому, за рахунок використання одних і тих же еталонних засобів, всі ІВС будуть мати ідентичні ФП за всіма каналами (різниця їх ФП між собою будуть визначатися їх

випадковою похибкою). Тоді параметри НМ, що відповідає індивідуальній ФП кожного ФД, будуть знайдені при взаємодії з ідентичними ІВС. При цьому ніякої додаткової методичної та інструментальної похибки не появиться.

Таким чином, розроблена ІВС УФВ характеризується високою точністю. Сумарна похибка вимірювання освітленості, в основному, визначається похибкою використаних при калібруванні ФД еталонів освітлення. Оцінка максимальної похибки вимірювання освітленості як суми невиключених похибок вимірювальних каналів ІВС, індивідуальної ФП ФД та похибок її відтворення за допомогою НМ1 і НМ2, не перевищує 0,32%.

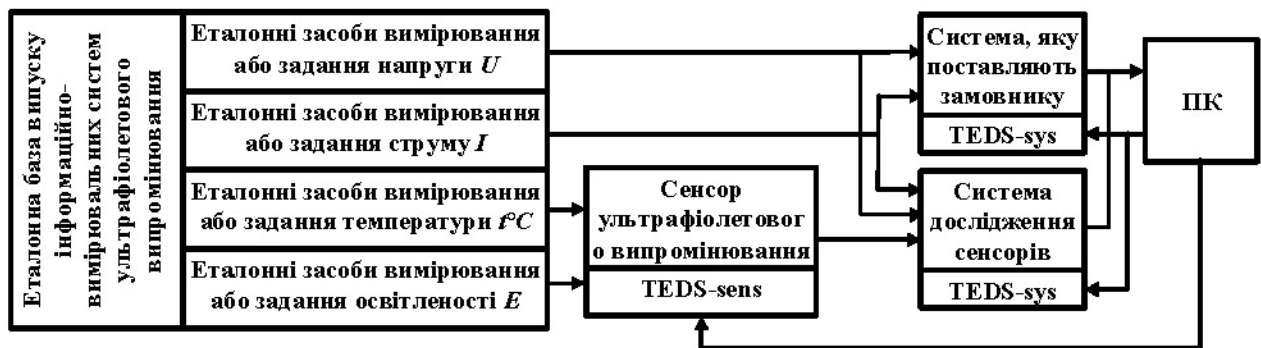


Рис. 12. Узагальнена схема передачі значень еталонів під час визначення і корекції похибок ІВС УФВ та їх сенсорів

Згідно ГОСТ8.552-2001, державний первинний еталон відтворює та передає розміри енергетичної освітленості та потоку випромінювання з середньоквадратичним відхиленням S_0 , що складає $(0,3 \div 1,0)10^{-2}$ при 10 незалежних вимірах, невиключена систематична похибка θ_0 складає $(1,0 \div 3,0)10^{-2}$ (цю похибку не можна відкоригувати, вона відображає недосконалість еталонів та повірної схеми). Тому похибкою 0,32%, яку додає розроблена ІВС УФВ до похибки робочого еталона, використаного при калібруванні ФД, можна нехтувати.

ВИСНОВКИ

1. Проведено аналіз відомих методів і засобів вимірювання ультрафіолетового випромінювання, і виявлено недоліки інформаційно-вимірювальних систем та сенсорів ультрафіолетового випромінювання. На основі проведеного аналізу зроблено висновок, що для підвищення точності вимірювань, необхідно перейти до індивідуальних функцій перетворення фотодіодів та розробити методи корекції їх температурної похибки за температурою власне кристалу фотодіода. Для цього доцільно розглядати фотодіоди як багатопараметричні сенсори, але тоді значно збільшується трудомісткість визначення їх індивідуальних функцій перетворення.

2. Запропоновано метод ідентифікації індивідуальних функцій перетворення багатопараметричних сенсорів за результатами їхньої повірки, який забезпечує

високу точність прогнозу за допомогою нейронних мереж результатів повірки багатопараметричних сенсорів в точках, де повірка не проводилась. Він дає можливість суттєвого скорочення кількості дійсних точок повірки (у розглянутому випадку замість 49-ти точок повірки достатньо виконати її в 9-ти точках) і дозволяє відповідно знизити трудомісткість ідентифікації індивідуальної функції перетворення фотодіодів.

3. Отримала подальший розвиток модель функції перетворення багатопараметричних сенсорів та його похибок, яка враховує всі можливі комбінації систематичних похибок нелінійності різного характеру по кожній фізичній величині, а також випадкову похибку. На основі моделі розроблено систему автоматизованого формування вибірки навчання нейронної мережі при дослідженні похибок запропонованого методу.

4. Проведені експериментальні дослідження показали, що запропонований метод забезпечує максимальну похибку прогнозу результатів повірки багатопараметричних сенсорів менше 0,2% при зменшенні впливу випадкових похибок від 6-ти до 10-ти разів, причому при збільшенні амплітуди випадкової похибки зростає її подавлення. Показано, що деякі реалізації прогнозу результатів повірки мають аномально велику похибку в одній-двох точках, але максимальна похибка прогнозу не виходить за вказані межі 0,2%.

5. Синтезовано структурну та принципову схеми вимірювальних каналів для інформаційно-вимірювальної системи, що має автономне живлення, які дають змогу вимірювати як температуру кристала фотодіода (за спадом напруги та струмом фотодіода в режимі неробочого ходу), так і освітленість (за температурою кристала фотодіода і його струмом короткого замикання). При цьому апаратна складність синтезованих вимірювальних каналів менша за відомі.

6. Реалізовано спеціалізований стенд для переходу до індивідуальних функцій перетворення фотодіода, дослідження якого показали, що похибка розпізнавання нейронними мережами температури не перевищує 0,06°C, а освітленості - 0,17%.

7. Запропоновано метод корекції похибок компонентів вимірювальних каналів інформаційно-вимірювальної системи, що полягає у записі параметрів індивідуальних функцій перетворення вимірювальних каналів і фотодіода в окремі електронні паспорти та відповідному калібруванні вимірювальних каналів, який забезпечує одночасно високу точність вимірювання температури кристала фотодіода та освітленості, а також взаємозамінність сенсорів.

8. Застосування запропонованих технічних рішень у прецизійній ІВС ультрафіолетового випромінювання дозволило звести її похибку до рівня 0,32%, що дає змогу стверджувати, що похибка вимірювання освітленості визначається лише похибкою еталонних засобів, використаних при визначенні індивідуальної функції перетворення фотодіода.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Статті у зарубіжних виданнях

1. Roshchupkin O. Development of Precision Information Measuring System for Ultraviolet Radiation [Text] / O. Roshchupkin, R. Smid, A. Sachenko, V. Kochan // Journal “Advances in Electrical and Computer Engineering”, 2014. - Vol.14. - No. 3. - Pp.101-106 (Web of Science, Scopus).
2. Roshchupkin O. Multisensors Signal Processing Using Microcontroller and Neural Networks Identification. [Text] / O. Roshchupkin, R. Smid, V. Kochan, A. Sachenko // Sensors & Transducers Journal, 2013. - Vol. 24. - No. 8. - Pp. 1-6 (Scopus).

Статті у спеціалізованих фахових виданнях та патенти

3. Рощупкін. О. Сучасний стан і перспективи розвитку детекторів ультрафіолетового випромінювання [Текст] / О. Рощупкін // Науковий вісник Чернів. ун-ту. - Фізика. Електроніка. - 2009. - Вип. 438. - С. 122-132.
4. Турченко І.В. Нейромережевий метод ідентифікації характеристики перетворення мультисенсора [Текст] / І.В. Турченко, О.Ю. Рощупкін, В.В. Кочан // Науковий вісник Чернів. ун-ту. - Комп'ютерні системи та компоненти. - 2009. - №2 (3). - С. 36-41.
5. Рощупкін О.Ю. Прецизійна інформаційно-вимірвальна система ультрафіолетового випромінювання [Текст] / О.Ю. Рощупкін, А.О. Саченко, В.В. Кочан // Науковий вісник Чернів. ун-ту. - Комп'ютерні системи та компоненти. - 2012. - № 3 (2). - С. 97-100.
6. Рощупкіна Н.В. Дослідження методу обробки сигналів багатопараметричних сенсорів [Текст] / Н.В. Рощупкіна, А.О. Саченко, С.В. Баловсяк, О.Ю. Рощупкін // Науковий вісник Чернів. ун-ту. - Комп'ютерні системи та компоненти. - 2014. - №5(2). С.57-63.
7. Патент № 103802 України, МПК Н 03 К 19/173 (2006.01), Н 03 К 19/177 (2006.01). Спосіб ідентифікації індивідуальної функції перетворення багатопараметричного сенсора [Текст] / Винахідники: Рощупкін О.Ю., Кочан В.В., Саченко А.О. Власник: Чернівецький нац. ун-т ім. Ю.Федьковича. - №a201113840; заявл. 06.04.2010; опубл. 10.01.2012, Бюл. №1.
8. Патент № 96370 України на корисну модель, МПК (2015.01) G01D 21/00, G06N 3/00. Пристрій для вимірювання інтенсивності ультрафіолетового випромінювання [Текст] / Винахідники: Рощупкін О.Ю., Кочан В.В., Саченко А.О. Власник: Рощупкін О.Ю. - № u201404489; заявл. 28.04.2014; опубл. 10.02.2015, Бюл. №3.

Друковані праці конференцій

9. Dorosh V. Method of Multisensor Conversion Characteristics Based on Neural Networks [Text] / V. Dorosh, O. Roshchupkin, I. Turchenko, V. Kochan, A. Sachenko // Proc. of the Int. Conf. - TCSET'2010 X-th Int. Conf. "Modern problems of radio engineering, telecommunications and computer science". - Lviv-Slavsko, Ukraine, 2010. - ел. опт. диск (CD-ROM), А.314 (Scopus).
10. Roshchupkin O. Neural Processing of Multisensor Signals at the 8-bit Microcontroller [Text] / O. Roshchupkin, A. Sachenko, V. Kochan // Proc. of the 6th IEEE Int. Workshop on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications (IDAACS-2011). - Prague (Czech Republic), 2011. - ISBN: 978-1-4577-1426-9. - Pp. 383-387 (Scopus).
11. Roshchupkin O. Reducing the Calibration Points of Multisensors [Text] / Oleksiy Roshchupkin, Radislav Smid, Volodymyr Kochan, Anatoly Sachenko // Proc. of the 9th IEEE Int. Multi-Conference on Systems, Signals and Devices (SSD'2012). - Chemnitz (Germany), March 20 - 23, 2012. DOI: 10.1109/SSD.2012.6197987. - Pp. 1-6 (Scopus).
12. Robert E. Hiromoto. Mobile Ad Hoc Wireless Network for Pre- and Post-Emergency Situations in Nuclear Power Plant [Text] / Robert E. Hiromoto, Anatoliy Sachenko, Volodymyr Kochan, Volodymyr Turchenko, Oleksiy Roshchupkin, Vasyl Yatskiv, Kostiantyn Kovalok // Proc. of the IEEE 2ND IDAACS Symposium Wireless Systems within the IEEE International Conferences on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications. - Offenburg, (Germany). - 2014. - Pp. 92-96 (Scopus).
13. Roshchupkina N. Improved Multisensors Signal Processing [Text] / Nataliia Roshchupkina, Serhii Balovsiak, Oleksiy Roshchupkin, Radislav Smid, Anatoliy Sachenko, Volodymyr Kochan // Proc. of the IEEE 35th International Conference on Electronics and Nanotechnology (ELNANO-2015). - 21-24 April. - 2015. - Pp. 341 - 346 (Scopus).
14. Роцупкін. О. Сенсори ультрафіолетового випромінювання інформаційно-вимірjувальних систем. Сучасний стан і перспективи розвитку [Текст] / О. Роцупкін. // Мат. IV міжн. наук. конф. мол. вчених «Комп'ютерні науки та інженерія 2010»: тез. доп. - Львів. - 2010. - С. 318-319.
15. Роцупкін О.Ю. Нейромережевий метод обробки даних калібрування багатопараметричних сенсорів [Текст] / О.Ю. Роцупкін, В.І. Дорош, А.О. Саченко, В.В. Кочан, І. В. Турченко. // Мат. XI меж. научно-практической конф-ции «Современные информационные и электронные технологии» (СИЭТ-2010): тез. доп. / ОНПУ. - Одесса. - 2010. - С.43.

16. Рощупкін О. Використання нейронних мереж у 8-розрядних мікроконтролерах [Текст] / О. Рощупкін. // Мат. між. наук.-техн. конф. мол. учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій»: тез. доп. / ТНТУ.- Тернопіль. - 21-22 грудня. - 2010. - С. 99.
17. Воробець Г.І. Оптимізація апаратно – програмного забезпечення системи контролю параметрів ультрафіолетового випромінювання [Текст] / Г.І Воробець, С.Л Воропаєва, Р.Д. Гуржуй, Ю.Г. Добровольський, М.А. Кузь, С.В. Мельничук, Р.В. Рогов, О.Ю. Рощупкін та ін. // Мат. 1-ї всеукр. наук.-практ. конф. “Фізико - технологічні проблеми радіотехніки пристроїв, засобів телекомунікацій, нано- та мікроелектроніки”: тез. доп. / ЧНУ. - Чернівці. - 13-15 жовтня 2011. - С. 69-71.

АНОТАЦІЇ

Рощупкін О. Ю. Методи і засоби підвищення точності інформаційно-вимірювальних систем ультрафіолетового випромінювання. Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.05 – комп’ютерні системи та компоненти. — Тернопільський національний економічний університет, Тернопіль, 2015.

Дисертацію присвячено створенню ІВС ультрафіолетового випромінювання, яка забезпечує одночасно високу точність вимірів за рахунок переходу до індивідуальної функції перетворення фотодіодного сенсора, невисоку трудомісткість такого переходу за рахунок розробленого нейромережевого методу прогнозу результатів повірки сенсора та взаємозамінність сенсорів за рахунок побудови процесу випуску інформаційно-вимірювальних систем.

У дисертації запропоновано нейромережевий метод ідентифікації ІФП БПС за результатами їх експериментальних досліджень, який забезпечує високу точність прогнозу ($< 0,2\%$) результатів повірки БПС в точках, де дослідження не проводилися, що скоротило кількість точок повірки з 49 до 9. Отримала подальший розвиток модель похибок БПС, яка враховує всі можливі їх комбінації по кожній вхідній або вимірювальній величині, що дало змогу автоматизувати формування навчальної вибірки для навчання нейронної мережі. Досліджено завадостійкість запропонованого нейромережевого методу ідентифікації ІФП БПС за результатами експериментальних досліджень і показано, що він зменшує на порядок випадкову складову похибки. Синтезовано структуру ІВС УФВ, яка, за рахунок побудови процесу виробництва ІВС, дає змогу одночасно забезпечити високу точність вимірювання та взаємозамінність сенсорів УФВ.

Ключові слова: інформаційно-вимірювальна система, ультрафіолет, температура, багатопараметричні сенсори, прогноз, похибка, взаємозамінність, нейронна мережа.

Рошчупкин А. Ю. Методы и средства повышения точности информационно-измерительных систем ультрафиолетового излучения.
Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.05 - компьютерные системы и компоненты. - Тернопольский национальный экономический университет, Тернополь, 2015.

Диссертация посвящена созданию информационно-измерительной системы ультрафиолетового излучения, которая обеспечивает одновременно высокую точность измерений за счет перехода к использованию индивидуальной функции преобразования фотодиодного сенсора, невысокую трудоемкость такого перехода за счет разработанного нейросетевого метода прогноза результатов поверки сенсора и взаимозаменяемость сенсоров за счет построения процесса выпуска информационно-измерительных систем.

В диссертации предложено нейросетевой метод идентификации индивидуальной функции преобразования многопараметрического сенсора по результатам его экспериментальных исследований, который обеспечивает высокую точность прогноза ($<0,2\%$) результатов поверки многопараметрического сенсора в точках, где исследования не проводились, что сократило количество точек поверки с 49 до 9. Получила дальнейшее развитие модель погрешностей многопараметрического сенсора, которая учитывает все возможные их комбинации по каждой входной или измеряемой величине, что позволило автоматизировать формирование обучающей выборки для обучения нейронной сети. Исследована помехоустойчивость предложенного нейросетевого метода идентификации индивидуальной функции преобразования многопараметрического сенсора по результатам экспериментальных исследований и показано, что он уменьшает на порядок случайную составляющую погрешности. Синтезирована структура информационно-измерительной системы ультрафиолетового излучения, которая, за счет построения процесса производства информационно-измерительной системы, позволяет одновременно обеспечить высокую точность измерения и взаимозаменяемость сенсоров ультрафиолетового излучения.

Ключевые слова: информационно-измерительная система, ультрафиолет, температура, многопараметрический сенсор, прогноз, погрешность, взаимозаменяемость, нейронная сеть.

Roshchupkin O. U. Methods and means of improving the accuracy of ultraviolet radiation information-measuring systems. Manuscript

Thesis deals with the development of the ultraviolet radiation information-measuring system to provide both high measurement accuracy by transition to the individual conversion function of photodiode sensor and low complexity of this

transition by developed neural network method for prediction the calibration results of the sensor and interchangeability of sensors based on solutions for manufacturing output of information-measuring systems.

A neural network method for identifying the individual conversion function of multisensors, based on the results of experimental studies which ensures a high accuracy of the prediction ($<0.2\%$) of the calibration results of multisensors at points for which the studies have not been performed designedly that reduces the number of calibration points from 49 to 9, is proposed in the thesis.

It has been further developed the model of multisensors errors which takes into account all possible combinations for each input or measured value, that allows automating the formation of training vector for neural network.

It is investigated the noise immunity of the proposed neural network method for identification of the individual conversion function of multisensors by experimental studies and it is shown that method reduces the order of the random component of the error. The ultraviolet radiation information-measuring system structure was synthesized and due to the optimal solutions for manufacturing output of information-measuring system it simultaneously provides high accuracy and interchangeability of the ultraviolet sensors.

Keywords: Multisensor, Signals, Neural Network, Individual Conversion Functions, Measurement Channel, Information-Measuring System, Sensors Interchangeability, Photodiode, Ultraviolet Radiation.

Підписано до друку 02. 10. 2015 р.
Формат 60x84/16. Папір офсетний.
Друк на дублюванні. Зам. № 7-558
Умов. -друк. арк. 0,9. Обл.-вид. Арк 1,1
Тираж 100 прим.

Віддруковано ФО-П Шпак В.Б.
Свідоцтво про державну реєстрацію № 073743.
СПП № 465644
тел. (097) 299 38 99, 42-23-88
E-mail: tooums@ukr.net