

АВТОМАТИЗАЦІЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

УДК 621.363.6

ТЕХНІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ПАРАМЕТРІВ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ІНТЕГРАЛЬНИХ ОПТОЕЛЕКТРОННИХ ПРИСТРОЇВ

© Литвин Ігор, 2007

Тернопільський національний економічний університет, кафедра автоматизованих систем і програмування,
вул. Львівська 11, 46004, Тернопіль, Україна

Наведено результати розроблення принципів побудови технічного і метрологічного забезпечення для автоматизації експериментальних досліджень працездатності первинних перетворювачів оптоелектронних пристроїв.

Представлено результати розробки принципів побудови технічного і метрологічного забезпечення для автоматизації експериментальних досліджень работоспособности первичных преобразователей оптоелектронных устройств.

Results of development principles of technical and metrological supplement for automation of experimental researches of photosensors for optoelectronic devices are presented.

Промислова реалізація оптоелектронних методів і засобів сприйняття та попереднього оброблення інформації є перспективним напрямком комплексної модернізації наявних і підвищення інформативності новостворюваних систем керування. Широке використання оптоелектронних перетворювачів (ОЕП) у системах керування (СК) є однією із істотних тенденцій розвитку сучасних технічних засобів інформаційних технологій [1]. Широке використання ОЕП в майбутньому зумовлено тими перевагами, які надає їм електромагнітне випромінювання оптичного діапазону спектра як носій інформації. Завдяки унікальним властивостям оптичного випромінювання за допомогою ОЕП можна розв'язувати багатофункційні завдання керування з високими характеристиками із точності, швидкодії, надійності, перепускної здатності і практично необмеженими можливостями математичного і логічного оброблення інформації [2]. Успіхи у цьому напрямку нерозривно зв'язані з проблемою розроблення принципів побудови технічного і метрологічного забезпечення для автоматизації експериментальних досліджень працездатності і паспортизації первинних перетворювачів оптоелектронних пристроїв.

Рівні автоматизації досліджень. Розв'язуючи технічні задачі автоматизації експериментальних досліджень ОЕП високої складності, вартості, а також у разі неможливості безпосередньої участі людини у експерименті, що проводиться, натурні випробовування замінюють лабораторними на основі автоматизованих засобів наукових досліджень. Можна виділити чотири рівні автоматизації досліджень (рис. 1):

- рівень I – безпосередній зв'язок між об'єктом дослідження (чи його моделлю) і ЕОМ відсутній; ЕОМ виконує роль "порадника", передаючи необхідну інформацію оператору через пристрій відображення;
- рівень II – безпосереднє одностороннє передавання інформації від об'єкта дослідження до ЕОМ через пристрій зв'язку; зворотний зв'язок здійснюється через оператора;
- рівень III – двосторонній зв'язок між об'єктом і ЕОМ, причому оператору відводиться роль спостерігача-контролера;
- рівень IV – повна автоматизація; за допомогою блока переобладнання структурної схеми експерименту досягаються оптимальні показники точності, швидкодії та достовірності.

Для забезпечення повноти інформації при реалізації експериментальних досліджень фізичних процесів, які проходять у функціональних блоках ОЕП, доцільно орієнтуватися на рівень автоматизації IV. У такому разі при обробленні неперервної інформації, яка надходить від об'єкта дослідження, в ЕОМ можливі різні варіанти організації досліджень [3]. Традиційно домінуюче положення займає організація досліджень, за якої аналого-цифрові блоки застосовуються тільки для перетворення форми подання інформації, а обчислювальне оброблення виконується виключно цифровими засобами.

Така організація оброблення даних ілюструється рис. 2. Інтенсивність потоків С і Y істотно нижча, ніж потоків X і Z.

Структура систем, яка реалізує таку організацію оброблення, може топологічно збігатися із схемою на рис. 2, тобто містити автономні ЦАП і АЦП, котрі вмикають до вхідних і вихідних ліній блоків цифрової обробки, але може і не збігатися. При введенні чи виведенні інформації в ЕОМ часто застосовують загальні лінії зв'язку із цифровим процесором і навіть той самий блок введення – виведення, що перестроюється, із розділенням задач введення – виведення в часі.

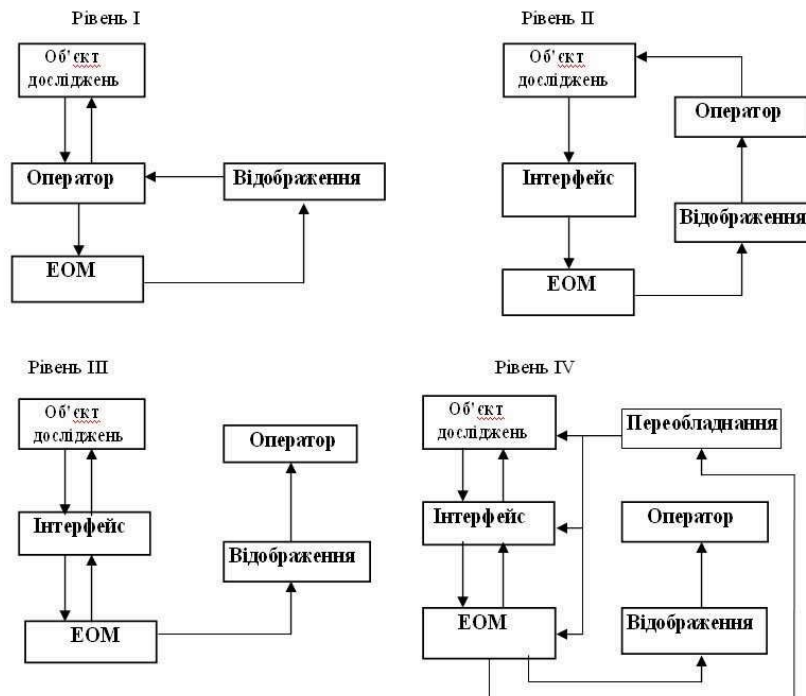


Рис. 1. Рівні автоматизації досліджень

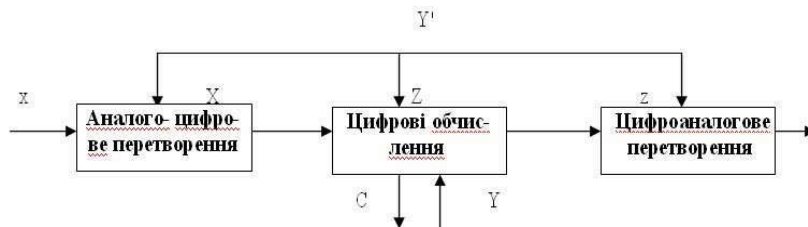


Рис. 2. Організація оброблення неперервної інформації із застосуванням тільки цифрових обчислень: x і z – потоки неперервних даних, що передаються по декількох каналах; X і Z – потоки цифрових даних, які відповідають значенням сигналів із потоків x і z у певні моменти часу; Y – керуюча інформація (програма роботи периферійного процесора чи інші сигнали керування від ЕОМ); C – дані, котрі передаються в ЕОМ і відображають стан підсистеми оброблення аналогової інформації або деякі узагальнені характеристики потоків неперервних даних; Y' – сигнали керування комутаторами, режимом роботи, синхронізацією

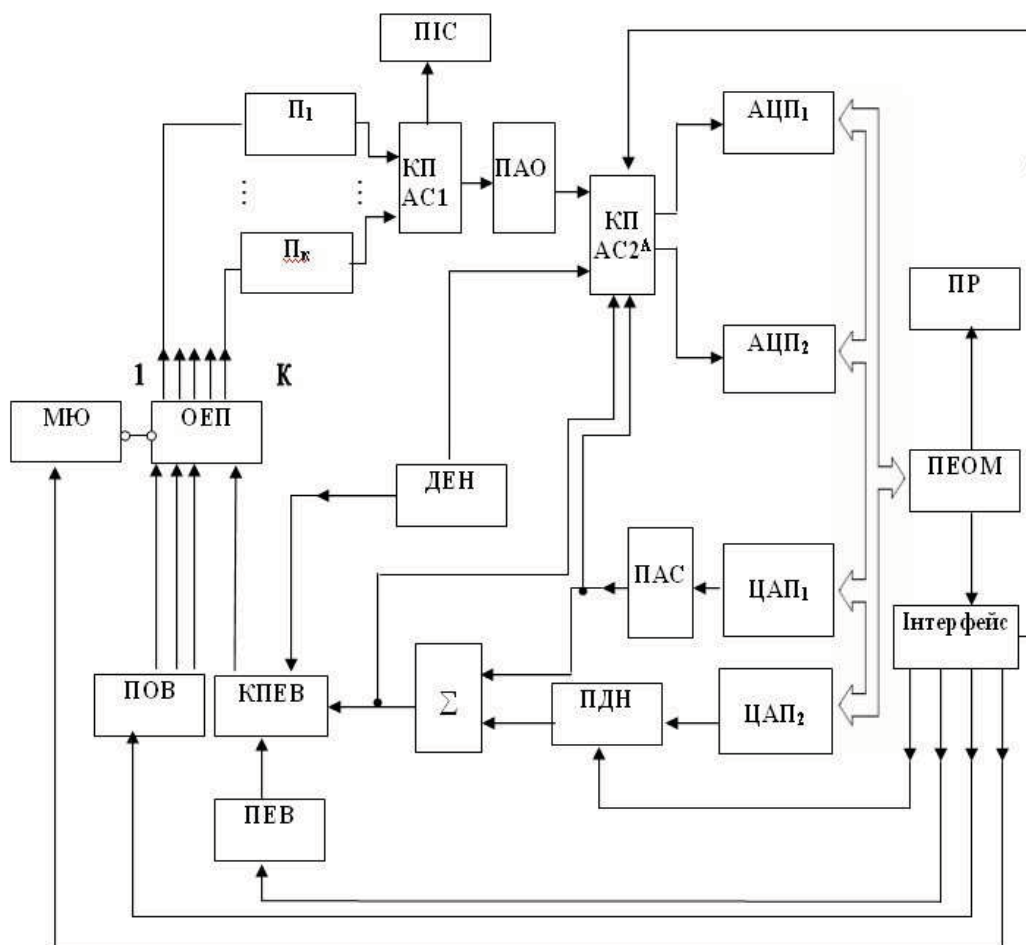


Рис. 3. Структурна схема системи експериментальних досліджень

Автоматизована система експериментальних досліджень. На рис. 3. наведена узагальнена структурна схема автоматизованої системи експериментальних досліджень (СЕД) на базі персональної ЕОМ (ПЕОМ). Перетворювачі Π_1 - Π_k перетворюють фізичні параметри об'єкта дослідження на інформативні параметри електричних сигналів. Ці сигнали через комутувальний пристрій аналогових сигналів КПАС1 надходять на пристрій аналогового оброблення інформації (ПАОІ) а потім через АЦП1 на цифровий обчислювальний пристрій – ЕОМ. Відповідно до алгоритму програмою ЕОМ виробляються сигнали, які через ЦАП1, ЦАП2, ПАС надходять на комутатор пристроїв електричного впливу (КПЕВ) на об'єкт досліджень (ОД) – ОЕП. Для відображення інформації про функціонування системи можуть бути застосовані пристрої індикації і спостереження (ПІС), а також пристрій реєстрації результатів дослідження (ПР). Розроблена схема СЕД орієнтована на застосування

ЕОМ типу ІВМ РС, достатньо високопродуктивних та економічних. Ці ЕОМ дають змогу будувати багато-процесорні і багатомашинні системи. Пристрої індикації і спостереження необхідні для експериментальних досліджень, які здійснюються в реальному часі, а також для попереднього налагодження і метрологічної перевірки СЕД.

У СЕД значна частина вихідної і керуючої інформації подана у неперервній формі, а її оброблення можна виконувати цифровими або аналоговими методами. Перевага цифрових методів – принципова можливість виключення інструментальної похибки при обчисленнях і при оперативній заміні алгоритмів оброблення інформації. Крім того, вартість цифрових вузлів істотно нижча від вартості аналогових, а при інтегральному виконанні ступінь інтеграції цифрових вузлів істотно вищий, ніж аналогових. Можливість оброблення неперервних сигналів цифровими методами, як правило, забезпечується рівнем техніки

аналого-цифрового (АЦП) і цифроаналогового (ЦАП) перетворення.

Особливістю розробленої структурної схеми СЕД є можливість використання серійних аналогових, цифрових і аналого-цифрових засобів обчислювальної техніки, а нові необхідно розробляти тільки під час проектування унікальних, вузькоспеціалізованих ОЕПП. При виборі засобів системи СЕД значну увагу приділено визначенню їхніх відмінностей та узгодженню технічних характеристик, принципів побудови, призначення. Основні відмінні ознаки засобів СЕД такі:

- застосовувані фізичні носії сигналів: електричні та оптичні;
- форма подання інформації (аналогова, цифрова, аналого-цифрова);
- метод реалізації обчислювального алгоритму (залежить від вибраного принципу моделювання, організації структури ОЕПП).

Перераховані ознаки визначають основні параметри засобів системи автоматизації експерименту: точність, швидкодію та універсальність. Відповідно до відзначених ознак можна виділити три типи технічних засобів СЕД: аналогові, цифрові і аналого-цифрові.

У пристроях аналогового оброблення інформації (ПАО) функціональні перетворення виконуються над аналоговими величинами: точність виконання перетворень мала (1,0 ... 0,1%), оскільки вона обмежена точністю функціональних елементів; швидкодія велика і визначається переважно використовуваним фізичним носієм сигналів і смугою перепускання каналів; універсальність (розв'язання комплексних задач) низька.

У цифрових засобах (ЕОМ) математичні операції виконуються над цифровими величинами; точність висока, оскільки залежить лише від кількості розрядів, використовуваних для подання чисел; швидкодія порівняно з аналоговими мала; універсальність висока.

В аналого-цифрових засобах (АЦП, ЦАП) функціональні перетворення і математичні операції виконуються над аналоговими і цифровими величинами; точність, швидкодія і універсальність залежать від принципу суміщення аналогових і цифрових засобів.

Розроблена структурна схема СЕД забезпечує:

- поєднання великої швидкодії аналогових засобів з високою точністю цифрових;
- оброблення інформації, поданої у цифровій і в аналоговій формах різнорідними фізичними носіями сигналів;

- можливість з'єднання апаратури реальних вимірювальних пристроїв з ЕОМ під час організації натурного наукового експерименту;

- підвищення універсальності аналогових засобів оброблення інформації за рахунок застосування ЕОМ і керування;

- підвищення швидкості оброблення вимірюваної інформації за рахунок застосування пристроїв аналогової обробки.

Застосування програмно-керованих цифрових, аналогових і цифроаналогових пристроїв, що паралельно працюють та взаємодіють на периферії ЕОМ, дає змогу підвищити техніко-економічні показники СЕД, а іноді досягти параметрів, котрі не досягаються іншими методами. Зокрема, у розробленій системі експериментальних досліджень внаслідок комбінування цифрових і аналогових засобів можна розв'язувати такі задачі:

1. Зменшення статичних похибок перетворення.
2. Розширення допустимої смуги частот сигналів, що обробляються зі збереженням статичної точності.
3. Самоконтроль і самокорекція аналогових і цифроаналогових блоків.
4. Налаштування структури на апріорно задані параметри та адаптація до поточних параметрів потоків даних і внутрішнього стану ЕОМ.

Для підвищення точності вимірювань у розробленій СЕД можна реалізувати такі методи:

1. Корекцію масштабу і нульової точки характеристики.
2. Корекцію відхилення комутованих мір.
3. Корекцію нелінійності загального вигляду.

Методи корекції нуля і масштабу детально розроблені і багаторазово розглядалися в літературі [4]. Для досягнення точності більше за 12 розрядів виявляється недостатньо корекції тільки лінійних похибок, тому доцільно використати методи лінеаризації характеристик:

1. Компенсаційні методи, серед яких найпоширеніші – використання допоміжних резистивних матриць, що керуються кодом, зворотним до коду, який подається на основну матрицю [5, 6]. Це дає змогу зменшити паразитний вплив кодозалежних струмів шуму, що протікають по загальних шинах землі та живлення, стабілізує розсіювану потужність і тепловий режим схеми.

2. Методи перетворення систем координат, зокрема ітераційні [4]. Серед недоліків цих методів можна назвати високі, практично не реалізовані у монолітних ЦАП вимоги до симетрії характеристик двохходових ПФІ і великий час вимірювання.

3. Методи, пов'язані з побудовою алгоритмів вимірювань і оброблення результатів, нечутливих до низки помилок СЕД. Тут виділяють методи, основані на багаторазовому вимірюванні, зокрема на вимірюванні декількома перетворювачами з різними характеристиками, а також на вимірюванні різних параметрів одного процесу.

4. Методи корекції похибки з періодичним тестовим контролем. Ці методи є найуніверсальнішими, характеризуються багатогранністю, але однотипністю алгоритмів.

Урахування в розробленій СЕД взаємної зумовленості результатів вимірювань і результатів розрахунків, що впливають з фізичної сутності моделей вимірюваних процесів, дає змогу в багатьох випадках використовувати алгоритми роботи СЕД, в яких результати вимірювань є параметрами, а помилки СЕД і реальні значення вимірюваних сигналів – невідомими [7]. Наприклад, вимірюється декілька параметрів процесу, оцінювальний функціонал яких приймається за константу. Порівнюючи обчислене за результатами вимірювань значення функціонала з його ідеальним значенням, можна оцінити похибки СЕД. Можна використовувати також середнє і оптимальне статистичне оцінювання. Перспективність методів цієї групи зумовлена збільшенням обчислювальної потужності керуючих систем, введенням мікропроцесорних засобів у вимірювальні прилади. Варто відзначити порівняно вузьку спеціалізацію кожного із цих методів: алгоритми залежать від властивостей вимірюваних процесів і зв'язані з областю застосування досліджуваного ОЕП. Для забезпечення самокорекції підсистеми введення–виведення основну увагу приділено методам, орієнтованим на автоматичну корекцію похибки СЕД при використанні керуючої ЕОМ. Однак розглянуті методи придатні також для настроювання, підгонки параметрів ОЕП при їхньому виготовленні, метрологічній атестації і при складанні калібрувальних таблиць.

Головний принцип автоматичної корекції з тестовим контролем – ідентифікація (отримання незміщених оцінок) параметрів моделі СЕД, що відображає з певним рівнем абстракції і заданою точністю

поведінки функції похибки перетворення на допустимій множині вхідних дій. Якщо модель адекватна та її параметри визначені, тоді можна додаванням поправок до вхідної (вихідної) величини або впливом на елементи СЕД компенсувати похибки перетворення. При будь-якому методі корекції з контролем за тестовим сигналом передбачено такі дії:

1. Вимірювання характеристики ОЕП на достатній для ідентифікації множині тестових впливів.

2. Ідентифікація параметрів ОЕП і обчислення їхніх відхилень від номіналу за результатами вимірювань.

3. Обчислення коригувальних поправок для перетворюваних величин або потрібних впливів на коректовані блоки.

4. Формування коригувального впливу.

Перші два пункти є етапом контролю, третій і четвертий – етапом перетворення. Для реалізації цих дій в СЕД введено додаткові засоби, які можуть вносити власні похибки. Тому вибір та оцінка методів контролю і корекції повинен бути комплексним, і враховувати властивості ППОВ і похибки, що вносяться додатковими засобами: похибки мір, прийнятих за еталони, вимірювачів, обчислень і корекції. Найпростіша, але найповніша модель нелінійної складової похибки ЦАП ґрунтується на допущенні стабільності похибки для кожного коду і випадкової її залежності від коду. Очевидно, що ідентифікація такої моделі потребує вимірювання вихідного сигналу на всіх допустимих кодах (метод наскрізного контролю). Обов'язковим для цього методу корекції є використання прецизійного вимірювача (калібратора або прецизійного ЦАП), що має клас точності вищий, ніж коректований ЦАП. Різниця показів вимірювача і каліброваного ЦАП заноситься в таблицю поправок, що використовується для корекції. Досягається висока точність перетворень у всіх точках шкали при постійній температурі [5]. Для роботи в широкому діапазоні температур можна використати додаткові калібрувальні таблиці [6] або апроксимувальні поправки на температуру. Прецизійний ЦАП можна застосовувати лише для періодичної метрологічної атестації засобів СЕД. Основний недолік методу наскрізного контролю – великий час корекції. Для оперативного контролю в умовах експлуатації СЕД як калібратор запропоновано використовувати комутоване джерело еталонної напруги (ДЕН) – калібрований

фотодіод, яке є компактним і зберігає потрібні характеристики в широкому діапазоні температур.

Відомо [8], що вимоги до точності ЦАП істотно спрощуються при контролі не сигналу $U_{вих}(N_j)$, а різниці вихідних сигналів на кодах, що відповідають близьким числам N' і N'' (метод диференціальних вимірювань). Вимірювання такої різниці можна виконувати приладом з невеликим (порівняно з діапазоном каліброваного перетворювача) діапазоном вхідних сигналів, внаслідок чого та сама точність ідентифікації досягається при більшій зведеній похибці вимірювального приладу. Такі вимірювання з використанням аналогової пам'яті і диференціального АЦП описані у [8], але в розробленій СЕД використано технічно простіший підхід, який ілюструється схемою на рис. 3, де ЦАП1 – цифроаналоговий перетворювач, похибка якого коректується, ЦАП2 використовується, як формувач напруги, яка компенсує похибку ЦАП1. Допоміжне джерело еталонної напруги (ДЕН) генерує у режимі контролю напруги, близькі до напруг ЦАП1. Аналоговий комутатор КПАС2 вмикає до входу АЦП1 вихід ЦАП2, або джерело еталонної напруги, що приймається за еталон масштабу перетворення, або шину нульового потенціалу, а в режимі аналого-цифрового перетворення – джерело перетворюваної напруги. Компаратор (ПЕОМ) формує сигнал $\alpha \in \{0,1\}$, значення якого залежить від знака різниці вихідного сигналу комутатора і вихідного сигналу пристрою. Останній є сумою значень вихідних аналогових величин ЦАП1 і ДЕН.

Додатковою перевагою розробленої СЕД є можливість оперативного порівняння результатів математичних розрахунків з експериментальними результатами. Залежно від реалізації обчислювального алгоритму і від застосовуваних засобів може бути використаний неперервний (аналоговий) чи дискретний принцип дослідження роботи ОЕП, а також організація структури СЕД з жорсткими чи змінними зв'язками між блоками. При неперервному дослідженні неперервній (плавній) зміні фізичних параметрів відповідає неперервна пропорційна зміна математичних величин. При дискретному дослідженні неперервній зміні фізичних величин відповідає пропорційна зміна числових кодів. Наявність розга-

лужених змінних зв'язків між блоками забезпечує високу універсальність засобів СЕД стосовно комплексу розв'язуваних задач.

Висновки: розроблено, досліджено і реалізовано принципи побудови системи експериментальних досліджень та алгоритмічного забезпечення для дослідження процесів, що проходять в інтегральних світлочутливих структурах під дією оптичних та електричних впливів, перевірки працездатності функціональних елементів оптоелектронних перетворювачів. Розроблено СЕД, яка дає змогу отримати інформацію про параметри функціональних елементів, які характеризують їхні функціональні властивості і визначають їх працездатність; виконати перевірку інформаційних параметрів первинних перетворювачів з урахуванням конструктивних особливостей конкретних варіантів їхнього виконання і даних про параметри функціональних елементів, отриманих під час математичного моделювання.

1. Литвин І.С. Інформаційне забезпечення управління // *Автоматика, Автоматизація, Електротехнічні комплекси і системи*. – Херсон, – 1999. – С. 43–48
2. Литвин І.С. Інформаційні процеси в управлінні. Тернопіль: Економічна думка, 1998. – 303 с.
3. Грушвицький Р.И., Мурсаев А.Х., Смолів В.Б. Аналого-цифрові периферійні пристрої мікропроцесорних систем. Л.: Энергоатомиздат. Ленінгр. отд-ние, 1989. – 160 с.
4. Алиев Т.М., Сейдель Т.Р. Автоматическая коррекция погрешностей цифровых измерительных приборов. – М.: Энергия, 1975. – 125 с.
5. Nailor J.R. A complete high speed voltage output monolite DAC // *EEE Journal of solid state circuits*. 1983. V. CT-18. – №6. – P.358–361.
6. Harward S., Harward D. Gate array tues 16-bit DAC into MP based system // *Electronic Design*. 1984. V. 27. – № 23. – P. 70–75.
7. Гайський В.А. Построение точных систем из неточных преобразователей сигналов // *Проблеми создания преобразователей формы информации. Тезиси докладов V Всесоюзного симпозиума*. К.: Наукова думка, 1984. Ч.2. – С. 17–18.
8. Williams T.B. The calibration of DAC using differential measurements // *IEEE transactions on instrumentation and measurements*. 1982. V. IM-31. – №4. – P.261–267.