



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **124205** (13) **C2**  
(51) МПК (2021.01)  
**G01K 15/00**  
**G01R 35/00**  
**G01K 13/00**  
**H03M 1/10** (2006.01)

НАЦІОНАЛЬНИЙ ОРГАН  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІ  
ДЕРЖАВНЕ ПІДПРИЄМСТВО  
"УКРАЇНСЬКИЙ ІНСТИТУТ  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІ"

**(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД**

<p>(21) Номер заявки: <b>a 2019 06319</b></p> <p>(22) Дата подання заявки: <b>06.06.2019</b></p> <p>(24) Дата, з якої є чинними права інтелектуальної власності: <b>05.08.2021</b></p> <p>(41) Публікація відомостей про заяву: <b>25.11.2019, Бюл.№ 22</b></p> <p>(46) Публікація відомостей про державну реєстрацію: <b>04.08.2021, Бюл.№ 31</b></p>	<p>(72) Винахідник(и): <b>Кочан Орест Володимирович (UA), Левків Мар'яна Орестівна (UA), Кочан Роман Володимирович (UA), Кочан Володимир Володимирович (UA)</b></p> <p>(73) Володілець (володільці): <b>Кочан Орест Володимирович, вул. Наукова, 57/133, м. Львів, 79071 (UA), Левків Мар'яна Орестівна, вул. Ломоносова, 17, м. Тернопіль, 46027 (UA), Кочан Роман Володимирович, вул. Львівська, 7, кв. 46, м. Тернопіль, 46020 (UA), Кочан Володимир Володимирович, вул. Львівська, 7, кв. 3, м. Тернопіль, 46020 (UA)</b></p> <p>(56) Перелік документів, взятих до уваги експертизою: UA 103802 C2, 25.11.2013 US 2004102914 A1, 27.05.2004 US 2002087281 A1, 04.07.2002 EP 0193950 A2, 10.09.1986 CN 109791055 A, 21.05.2019 US 2018348023 A1, 06.12.2018</p>
--	---

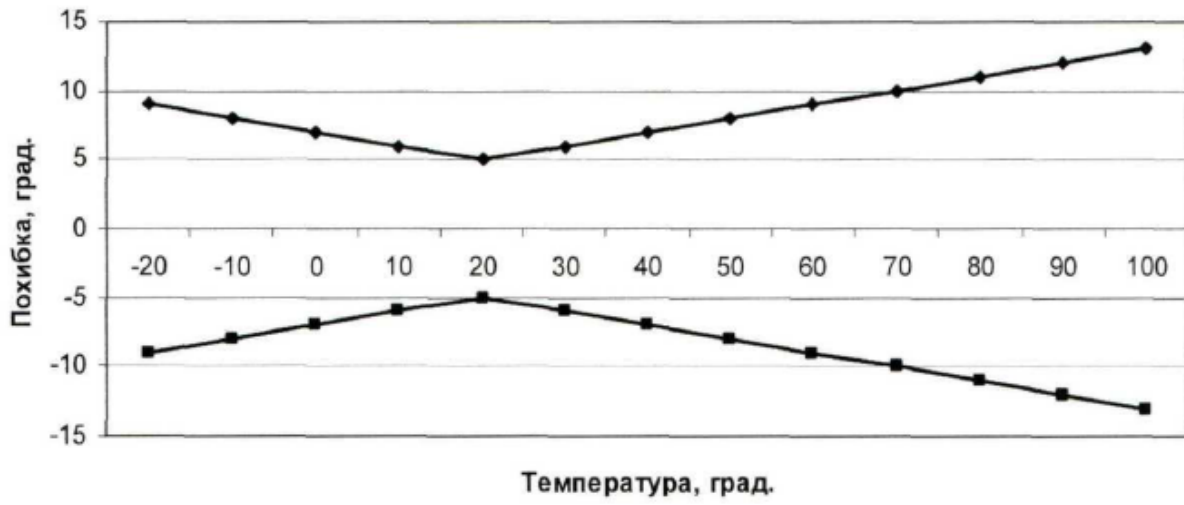
**(54) СПОСІБ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ІНДИВІДУАЛЬНОЇ ФУНКЦІЇ ПЕРЕТВОРЕННЯ ВИМІРЮВАЛЬНОГО КАНАЛУ**

**(57) Реферат:**

Спосіб ідентифікації індивідуальної функції перетворення (ІФП) вимірювального каналу (ВК) належить до вимірювальної техніки. Спосіб полягає у визначенні наскрізної ІФП ВК шляхом подачі на його вхід еталонних сигналів та реєстрації відповідних результатів на виході. Для цього спочатку ділять ВК на віртуальні елементи, вибирають та вилучають елемент, характер типової ІФП якого відомий з найбільшою достовірністю і проводять ідентифікацію ІФП цього елемента. Далі, за ідентифікованою ІФП, обчислюють параметри вибраного елемента у ряді еталонних точок, вмикають у ВК його імітатор, імітують обчислені параметри еталонних точок і реєструють вихідні сигнали ВК. Наскрізну ІФП ВК визначають як співвідношення між зареєстрованими значеннями вихідних сигналів ВК і використаними при обчисленні еталонних точок значеннями вхідної вимірюваної величини. Технічним результатом є зменшення трудомісткості поточних експериментальних досліджень при ідентифікації ІФП ВК шляхом

UA 124205 C2

скорочення необхідної кількості точок калібрувань його елементів без необхідності ґрунтовних попередніх експериментальних досліджень.



Фіг. 1

Винахід належить до вимірювальної техніки, зокрема, до вимірювальних каналів (ВК), у склад яких входять декілька елементів з нелінійною функцією перетворення (ФП).

У вимірювальній техніці можна чітко прослідкувати тенденцію створення саме лінійних ВК. Нелінійні ВК завжди створювали незручності у використанні. Навіть у аналогових ВК, де нелінійність проявляла себе лише як нелінійна шкала, незручно було ділити відстань між поділками нелінійної шкали. А при появі цифрових ВК нелінійність ФП їх елементів та ВК у цілому [1] стала одним із важливих недоліків. Тому було запропоновано доволі багато різних методів корекції нелінійності - як аналогових [2], так і цифрових [3]. Однак розвиток мікроелектроніки та необхідність підвищення точності ВК привела до того, що цифрові способи практично витіснили аналогові.

Але масовість використання ВК різного призначення, зокрема, при побудові "розумних будинків, міст тощо" [4] привела до необхідності спрощення ВК та виконання їх за мікроелектронною технологією. Але тоді часто необхідно використовувати у ВК нелінійні елементи. При цьому часто параметри цих ВК, зокрема, їх нелінійність, відома з недостатньою точністю. Наприклад, одним із дешевих та високочутливих (до  $-4\%/^{\circ}\text{C}$ ) сенсорів температури є термістор [5], ФП якого описується експонентою (далека від лінійності ФП). Крім того, термістори при випуску мають великі відхилення ФП від номінальної - опору до  $\pm 20\%$  при температурі  $20^{\circ}\text{C}$  та температурного коефіцієнта до  $\pm 5\%$  [5]. Тобто при використанні термісторів практично завжди потрібно переходити до індивідуальних ФП, які треба ідентифікувати шляхом експериментальних досліджень. Аналогічна ситуація склалася для багатьох типів сенсорів (фотодіодних [6], газових [7], термоанемометрів [5] тощо). При цьому різні типи сенсорів мають ФП, які описуються математичними залежностями різної складності. Тому у [8] рекомендується для різних видів сенсорів використовувати для ідентифікації ФП різну кількість точок, у яких слід проводити експериментальні дослідження. Для лінійних добре вивчених сенсорів (наприклад, для мідного термометра опору [9]) достатньо дві точки, для стандартизованих термопар (також досить добре вивчених) [8] у вузькому діапазоні вимірювання треба не менше трьох точок, для стандартизованих термопар у широкому діапазоні вимірювання треба чотири-п'ять точок, для нестандартизованих (сурогатних) термопар треба п'ять-сім точок визначення залежності вихідного сигналу від відомих значень вимірюваної величини.

У той же час, для спрощення вимірювальних перетворювачів, до яких підключають нелінійні сенсори, доцільно використовувати не класичні вимірювальні канали (наприклад, [10]), а інші схеми, які доволі часто також нелінійні. Зокрема, термістори вигідно вмикати у прості схеми генераторів імпульсів (наприклад, мультівібратори [11] тощо), та отримувати на виході сигнал, інформаційним параметром якого є частота. Частотний сигнал дуже вигідний при передачі на відстань і підсиленні (частоту сигналу не можуть змінити практично ніякі похибки ВК), а також при перетворенні у код (для цього потрібні лише цифрові елементи - лічильники імпульсів, що не вносять ніякої похибки, крім квантування, яка залежить лише від їх розрядності).

Прості схеми генераторів імпульсів також є нелінійними [11]. При цьому такі пристрої також мають великі відхилення ФП від номінальної. Тобто такі пристрої також вимагають переходу до індивідуальних ФП, які треба ідентифікувати шляхом експериментальних досліджень. У той же час форма ФП таких пристроїв часто відома лише приблизно. Тому для ідентифікації теж потрібно якнайбільше точок визначення залежності вихідного сигналу від відомих значень вимірюваної величини, тобто, відповідно до рекомендацій [8], щонайменше п'ять-сім точок.

Таким чином, для повної ідентифікації ФП ВК може знадобитися доволі велика кількість точок експериментального визначення залежності вихідного сигналу від відомих значень вимірюваної величини. При цьому часто створення тестових сигналів для таких експериментальних досліджень має дуже різну складність. Наприклад, ідентифікація залежності ФП сенсора температури вимагає створення відповідної кількості температур, що є тривалим та трудомістким процесом. А створення такої ж кількості значень напруги постійного струму за допомогою підключеного до комп'ютера цифро-аналогового перетворювача вимагає лише підключення до нього тестованого пристрою та запуску відповідної програми. Тобто різні види експериментальних досліджень за тривалістю та трудомісткістю можуть відрізнятися у десятки і сотні разів.

Для зменшення сумарної трудомісткості повної ідентифікації ФП ВК доцільно використовувати відому інформацію про вид і параметри ФП елементів ВК. Наприклад, у способах [12, 13] використано результати дослідження змін ФП групи 30-50 однотипних сенсорів у аналогічних умовах експлуатації. Це дало змогу значно зменшити трудомісткість експериментальних досліджень при переході до індивідуальної ФП. Зокрема, у [12] вдалося зменшити необхідну кількість калібрувань сенсора при прогнозі дрейфу його ФП під час

експлуатації з 12 до двох точок. А у способі [13] (прототип) вдалося скоротити необхідну кількість точок калібрувань сенсора при ідентифікації його ФП із 49 до 9. Змогу настільки зменшити трудомісткість поточних експериментальних досліджень, тобто скоротити кількість точок експериментального визначення залежності вихідного сигналу від відомих значень вимірюваної величини, дало використання узагальнюючих та прогнозуючих властивостей нейронних мереж [14].

В запропонованих у [12, 13], вимагає ґрунтовних попередніх експериментальних досліджень (дослідження ФП групи 30-50 однотипних сенсорів у 12 [12] або 49 [13] точках).

Задачею даного винаходу є зменшення трудомісткості поточних експериментальних досліджень при ідентифікації ФП ВК шляхом скорочення необхідної кількості точок калібрувань його елементів без необхідності ґрунтовних попередніх експериментальних досліджень.

Поставлена задача вирішується тим, що спосіб ідентифікації індивідуальної функції перетворення вимірювального каналу включає визначення його наскрізної функції перетворення, що формують декількома нелінійними елементами, шляхом подачі на його вхід еталонних сигналів та реєстрації відповідних результатів на виході. Спочатку ділять вимірювальний канал на віртуальні елементи, вибирають елемент, типова функція перетворення якого відома з найбільшою достовірністю, проводять ідентифікацію індивідуальної функції перетворення цього елемента, обчислюють параметри достатньо великої кількості еталонних точок відповідно до ідентифікованої індивідуальної функції перетворення вибраного елемента, вмикають у вимірювальний канал імітатор вибраного елемента, імітують обчислені параметри еталонних точок і реєструють вихідні сигнали вимірювального каналу, а наскрізну індивідуальну функцію перетворення вимірювального каналу визначають як співвідношення між зареєстрованими значеннями вихідних сигналів вимірювального каналу і використаними при обчисленні еталонних точок значеннями вхідної вимірюваної величини.

Спосіб ідентифікації індивідуальної функції перетворення вимірювального каналу відрізняється тим, що, при використанні для вимірювання середніх температур термістора як сенсора, спочатку ідентифікують його індивідуальну функцію перетворення шляхом вимірювання його опору при двох температурах, наприклад, при температурі танення льоду та температурі тіла здорової людини, і за результатами вимірювання складають та вирішують систему з двох рівнянь з двома невідомими параметрами функції перетворення термістора, потім, за знайденими параметрами функції перетворення термістора, обчислюють його опір при багатьох температурах у діапазоні вимірювання температури, далі у вимірювальний канал замість термістора вмикають магазин опору, встановлюють на магазині опору обчислені значення опору термістора та реєструють результати вимірювання на виході вимірювального каналу, а наскрізну індивідуальну функцію перетворення вимірювального каналу визначають як співвідношення між зареєстрованими значеннями результатів вимірювання на виході вимірювального каналу та температурами, для яких були обчислені значення опору термістора.

У результаті виконання операцій пропонованого способу замість необхідності експериментального дослідження залежності результату вимірювання (у даному випадку вихідної частоти генератора імпульсів) при семи температурах, отримуємо можливість ідентифікації індивідуальної наскрізної ФП ВК при проведенні експериментального дослідження опору лише термістора та лише у двох температурах. При цьому ідентифікація індивідуальної наскрізної ФП ВК проводиться настільки ж детально, як і при експериментальних дослідженнях у семи точках, хоча трудомісткість процедури ідентифікації суттєво зменшилася.

Результати використання пропонованого способу ілюструють фіг. 1 ... фіг. 10.

На фіг. 1 показано максимальну абсолютну похибку вимірювання температури від мінус 20 до 100 °С за допомогою ВК, що складається із термістора та лінійного засобу вимірювання його опору (показана лише похибка термістора, похибка лінійного засобу вимірювання опору не врахована). На фіг. 2 показано максимальну абсолютну похибку термістора після визначення його індивідуальної ФП у температурах танучого льоду ( $0 \pm 0,2$ )°С і тіла здорової людини ( $36,6 \pm 0,2$ )°С. Як видно із співставлення графіків на фіг. 1 і фіг. 2, ефективність переходу до індивідуальної ФП термістора є дуже високою. Навіть при використанні доволі неточних (можна вважати побутових) засобів калібрування термісторів (танучий лід та тіло людини) отримано підвищення точності у від 14 до 20 разів.

На фіг. 3 показано ввімкнення термістора у ВК, що перетворює значення температури у частоту, який має просту схему та високу стабільність ФП. Він складається із мостової схеми та операційного підсилювача ОП, який працює у режимі компаратора. У мостову схему входять термістор  $R_t$ , конденсатор  $C_1$  та два резистори  $R_1$  і  $R_2$ . А на фіг. 4 показано графіки, які пояснюють роботу перетворювача опору термістора у частоту. У момент встановлення напруги

живлення моста, наприклад, додатної полярності, починається заряд конденсатора С1 струмом, який задається поточним опором термістора  $R_t$  (а цей опір, у свою чергу, задається температурою, яка сприймається термістором  $R_t$ ). При перевищенні напруги на конденсаторі С напруги на виході подільника, створеного резисторами  $R_1$ ,  $R_2$  і  $R_3$ , компаратор на ОП змінює стан свого виходу, тобто замість додатної напруги живлення моста встановлюється від'ємна. Тоді конденсатор С починає розряджатися. Коли напруга на конденсаторі С стане нижчою напруги на виході подільника, створеного резисторами  $R_1$ ,  $R_2$  і  $R_3$ , компаратор на ОП знову змінює стан свого виходу, тобто замість від'ємної напруги живлення моста встановлюється додатна і процес генерації імпульсу починається спочатку. При цьому не обов'язково потрібно жити операційний підсилювач ОП напругою двох полярностей - при живленні ОП однією напругою роль від'ємної напруги грає земля (як це показано на фіг. 3).

На фіг. 5 показано приклад ФП термістора (залежність опору від температури) при вимірюванні температури у діапазоні від мінус 20 до 100 °С. На фіг. 6 показано приклад визначеної за допомогою симулятора електронних схем EWB5.12 ФП генератора (див. фіг. 3) від опору, який відповідає опорі термістора при температурах у діапазоні від мінус 20 до 100 °С (див. фіг. 5). Як видно з фіг. 5 і фіг. 6, обидві ФП мають нелінійний характер. На фіг. 7 показану наскрізну ФП ВК температури - залежність вихідної частоти від температури. Як видно з фіг. 7 наскрізна ФП ВК також має нелінійний характер. Але, у результаті виконання операцій пропонуваного способу, вона повністю визначена.

Для використання у складі ВК ФП, поданої на фіг. 7, слід знайти функцію, яка би перетворювала виміряне частотоміром значення частоти на виході генератора у значення температури сенсора. Для цього можна використовувати різні способи. Одним із найбільш універсальних є використання апроксимуючої нейронної мережі. У даному випадку можна використати просту та найбільш поширену нейронну мережу - тришаровий перцептрон [14]. Його структура показана на фіг. 8. Цей тришаровий перцептрон складається з одного вхідного розподільчого нейрона (не змінює вхідний код), трьох нейронів схованого шару із сигмоїдною функцією активації, та одного лінійного вихідного нейрона. Після навчання нейронної мережі отримуємо вагові коефіцієнти та зміщення нейронів, подані у таблиці 1.

Дійсна та апроксимована ФП ВК подані разом на фіг. 9. Як видно з фіг. 9, апроксимована ФП ВК добре відтворює дійсну - обидві ФП практично повністю накладаються. Відхилення апроксимованої ФП ВК від дійсної подано на фіг. 10. Як видно з фіг. 10, похибка невідповідності не перевищує 0,35 °С. Тобто пропонуваний спосіб має високу ефективність.

Слід відзначити, що похибка невідповідності у значній мірі визначається похибками заокруглення, які виникли при експериментальних дослідженнях ФП генератора, схема якого подана на фіг. 3.

Схований нейрон 1	Вага W1	0,02022492	Вихідний нейрон	Вага W4	1,336584
	Зміщення b1	-0,08171193		Вага W5	-59,763
Схований нейрон 2	Вага W2	0,113884		Вага W6	-68,4263
	Зміщення b2	4,839499		Зміщення b4	-0,15394
Схований нейрон 3	Вага W3	-1,100824			
	Зміщення b3	-5,303995			

Пропонуваний спосіб може знайти широке використання у системах, які повинні поєднувати масове виробництво, низьку ціну та відносно високу точність. При масовому виробництві необхідні експериментальні дослідження можна автоматизувати. Тоді такі пристрої можуть успішно використовуватися у проектах типу "розумний будинок", "розумне місто", а також у автоматизованих системах керування технологічними процесами, наприклад, харчової промисловості.

Джерела інформації:

1. Уолт Кестер. Аналого-цифровое преобразование / Под ред. Уолта Кестера. - М.: Техносфера, 2007. - 1016с.
2. Саченко А.А., Кочан В.В., Матвиив В.И., Козицкий И.Д. Цифровой измеритель температуры Ф4835. Н.-т. реферативный сборник "Метрология и точные измерения", 1979, N11.
3. Brignell E.J. Digital compensation of sensors / E.J. Brignell // Scientific Instruments. - 1987. - 20. N 9. - P. 1097-1102.

4. A. Caragliu, C.D. Bo, and P. Nijkamp, "Smart cities in Europe", in Proceedings of the 3rd Central European Conference in Regional Science-CERS, October 2009, pp. 45-59. [Online]. Available: [http://www.cers.tuke.sk/cers2009/PDF/01\\_03\\_Nijkamp.pdf](http://www.cers.tuke.sk/cers2009/PDF/01_03_Nijkamp.pdf).

5. Webster, J. (1999). Measurement, Instrumentation and Sensors Handbook. CRC Press LLC.

6. Silicon Photodiodes of series s1226. [Електронний ресурс]: [Веб-сайт]. - Електронні дані. Режим доступу: <http://www.hamamatsu.com/resources/pdf/ssd/1226serieskspsd1034e.pdf> (дата звернення 01.05.2015). - Назва з екрана.

7. Zakrzewski J., Domanski W., Chaitas P. and Laopoulos Th. J. Improving Sensitivity and Selectivity of SnO<sub>2</sub> Gas Sensors by Temperature Variation / IEEE International Workshop on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications. - 2003. - Lviv, Ukraine. - P. 296-299.

8. Рогельберг И.Л. Сплавы для термопар / И.Л. Рогельберг, В.М. Бейлин. - Москва: Металлургия, 1983. - 360 с.

9. Електричні вимірювання електричних та неелектричних величин / Під ред. Ї.С. Поліщука. - К.: Вища школа, 1978. - 352 с.

10. Data acquisition modules USB N16009. [Електронний ресурс]: [Веб-сайт]. - Електронні дані. Режим доступу: <http://www.ni.com/pdf/manuals/371303n.pdf>.

11. Бойко, В.И., Гуржий, А.Н., Жуйков, В.Я., Зори, А.А., & Спивак, В.М. (2004). Схемотехника электронных систем. Аналоговые и импульсные устройства. Санкт-Петербург: БХВ-Петербург.

12. Патент України 50830, МПК 7 G06F 15/18. Спосіб формування навчальної вибірки прогнозуючої дрейф пристрою збору даних нейронної мережі. Саченко А.О., Кочан В.В., Турченко В.О., Головка В.А., Савіцький Ю.В., Лапоулос Т. Заяв. 4.01.2000; Видано 15.10.2002.

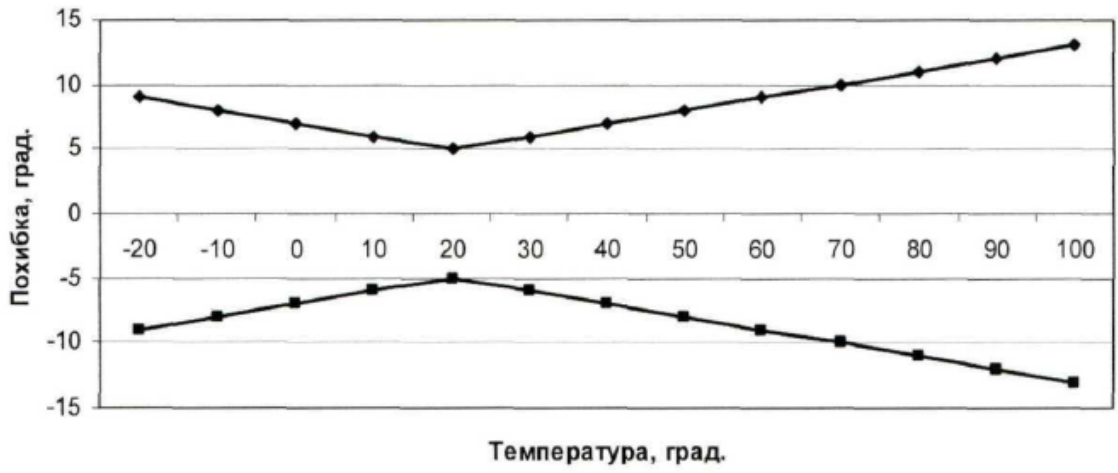
13. Спосіб ідентифікації індивідуальної функції перетворення багатопараметричного сенсора. Рошупкін О.Ю. Кочан В.В. Саченко А.О. Заявка про видачу патенту України на винахід № а201113840; подано 24.11.2011.

14. Kroese B. An introduction to Neural Networks. - Amsterdam: University of Amsterdam. - 1996. - 120 p.

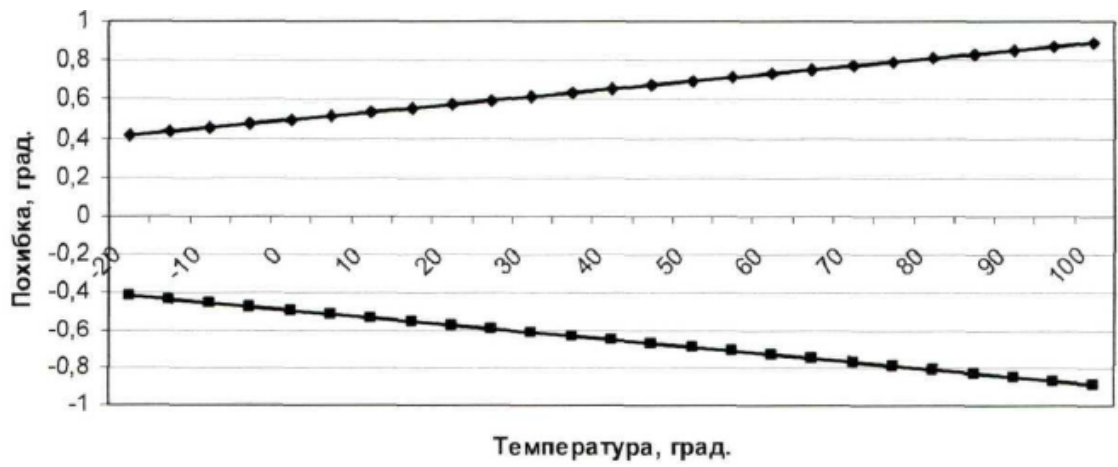
#### ФОРМУЛА ВИНАХОДУ

1. Спосіб ідентифікації індивідуальної функції перетворення вимірювального каналу, який включає визначення його наскрізної функції перетворення, що формують нелінійними елементами, шляхом подачі на його вхід еталонних сигналів та реєстрації відповідних результатів на виході, який **відрізняється** тим, що спочатку ділять вимірювальний канал на віртуальні елементи, вибирають та вилучають зі складу вимірювального каналу елемент, типова функція перетворення якого відома з найбільшою достовірністю, проводять ідентифікацію індивідуальної функції перетворення цього елемента, обчислюють параметри еталонних точок відповідно до ідентифікованої індивідуальної функції перетворення вибраного елемента, потім вмикають у вимірювальний канал імітатор вибраного елемента, імітують обчислені параметри еталонних точок і реєструють вихідні сигнали вимірювального каналу, а наскрізну індивідуальну функцію перетворення вимірювального каналу визначають як співвідношення між зареєстрованими значеннями вихідних сигналів вимірювального каналу і використаними при обчисленні еталонних точок значеннями вхідної вимірюваної величини.

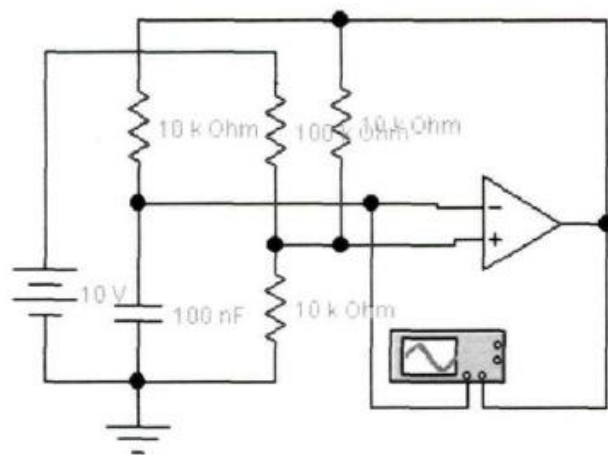
2. Спосіб ідентифікації індивідуальної функції перетворення вимірювального каналу за п. 1, який **відрізняється** тим, що як вибраний елемент для вимірювання середніх температур використовують термістор як сенсор, де спочатку ідентифікують його індивідуальну функцію перетворення шляхом вимірювання його опору при двох температурах, і за результатами вимірювання складають та вирішують систему з двох рівнянь з двома невідомими параметрами функції перетворення термістора, потім, за знайденими параметрами функції перетворення термістора, обчислюють його опір при температурах у діапазоні вимірювання температури, далі у вимірювальний канал замість термістора вмикають його імітатор, що виконаний у вигляді магазину опору, встановлюють на магазині опору обчислені значення опору термістора та реєструють результати вимірювання на виході вимірювального каналу, а наскрізну індивідуальну функцію перетворення вимірювального каналу визначають як співвідношення між зареєстрованими значеннями результатів вимірювання на виході вимірювального каналу та температурами, для яких були обчислені значення опору термістора.



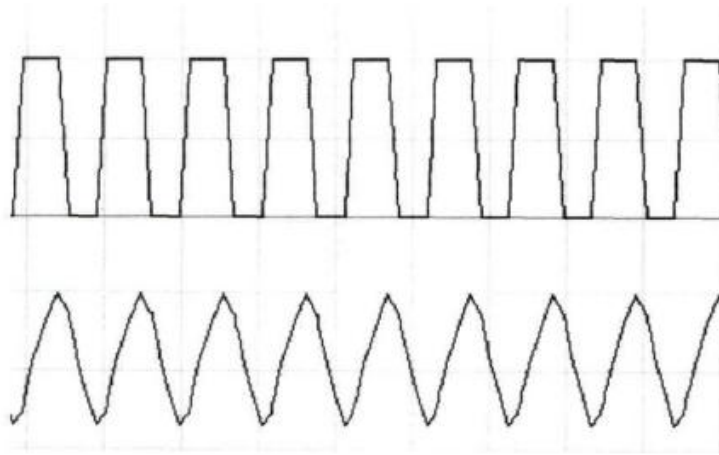
Фіг. 1



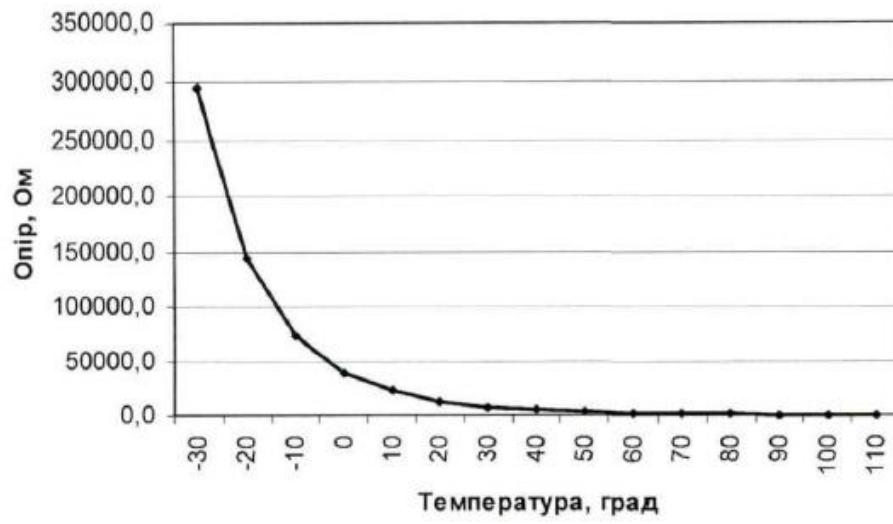
Фіг. 2



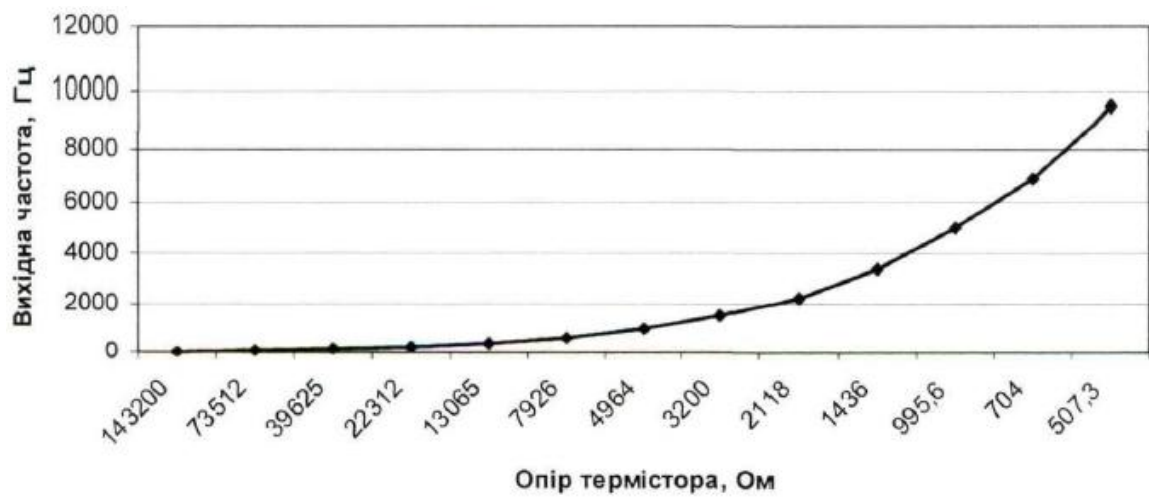
Фіг. 3



Фиг. 4

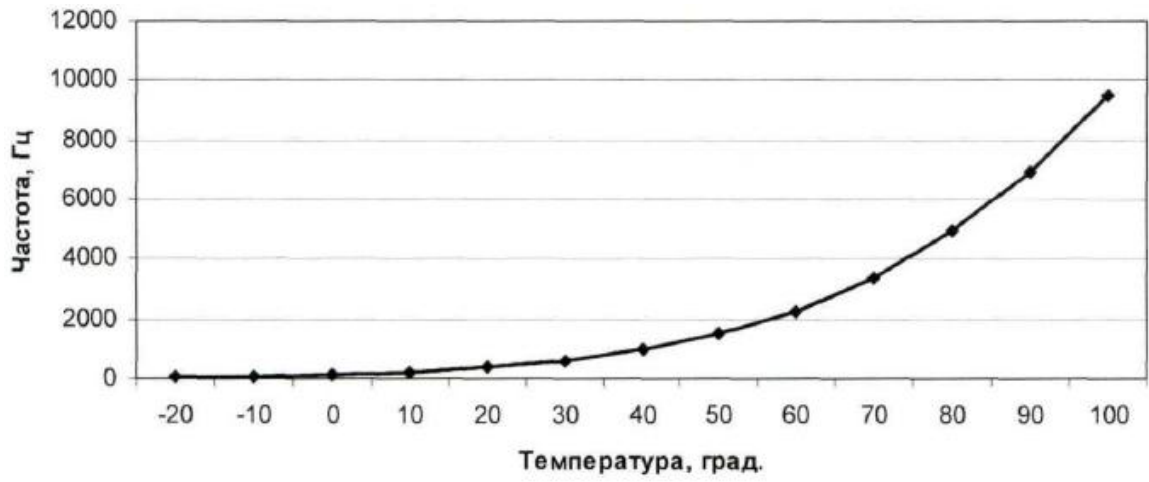


Фиг. 5

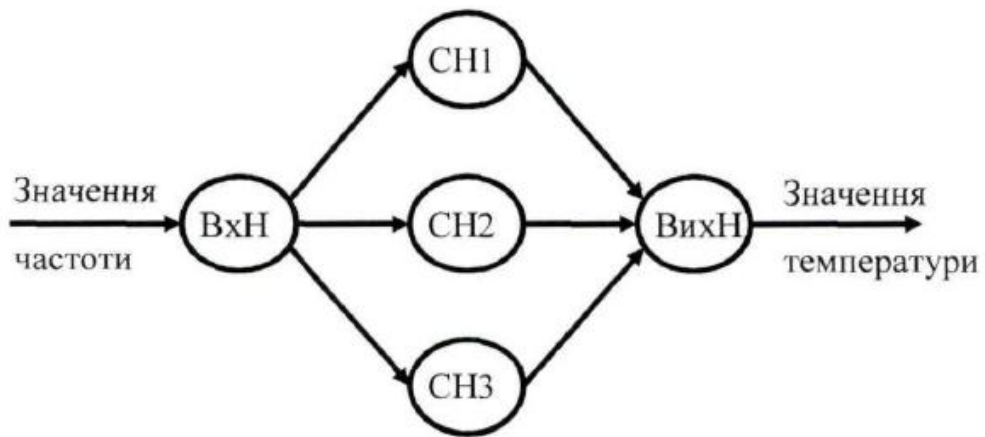


Фиг. 6

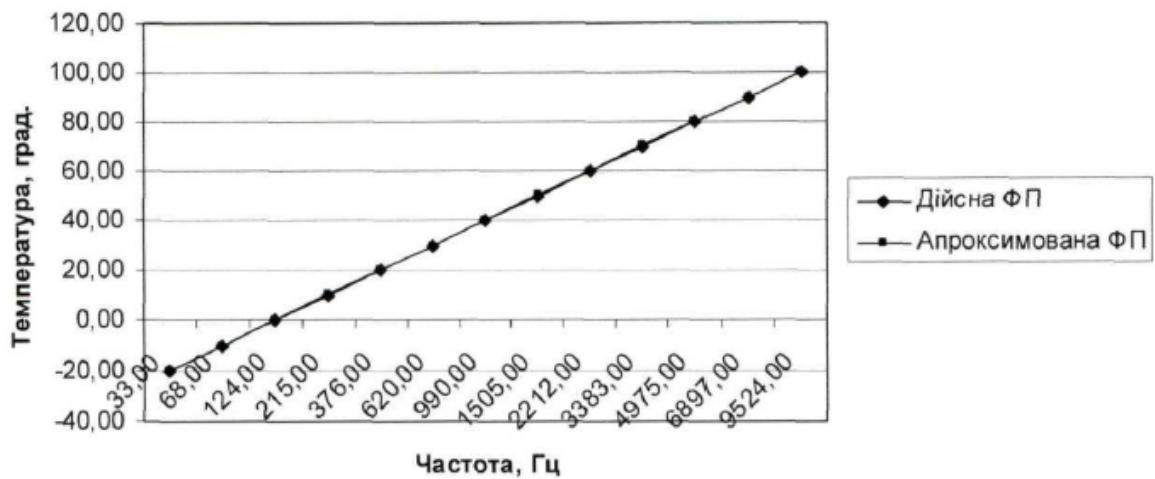




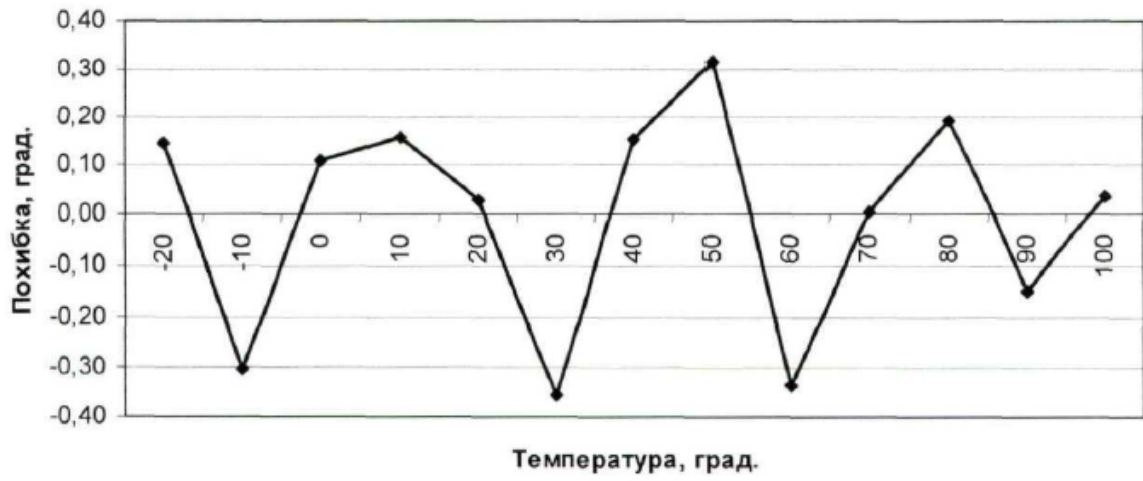
Фіг. 7



Фіг. 8



Фіг. 8



Фіг. 10