

1. Леонова А. Б. Психодиагностика функциональных состояний человека / Леонова А. Б. – М. : Изд-во Моск. ун-та, 1984. – 200 с.
2. Сравнительная информативность показателей функционального состояния организма спортсменов / А. В. Муравьев, Л. Г. Зайцев, М. И. Симаков, Е. П. Сулоев // Теория и практика физ. культуры. – 1996. – № 9. – С. 25–29.
3. Анохин П. К. Узловые вопросы теории функциональных систем. – М. : Наука, 1980. – 196 с.
4. Греченко Т. Н. Психофизиология / Греченко Т. Н. – М. : Гардарики, 1999. – 358 с.
5. Основы психофизиологии / под ред. Ю. И. Александрова. – М. : ИНФРА, 1998. – 432 с.
6. Горго Ю. П. Основы психофізіології : [навч. посібник] / Ю. П. Горго, Г. М. Чайченко – Херсон : Персей, 2002. – 248 с.
7. Горбунов В. В. Психофизиологические показатели, прогнозирующие успешность летного обучения / В. В. Горбунов // Физиология человека. – 1999. – Т. 25. – № 2. – С. 81–85.
8. Лях Ю.Е. Возможности психофизиологического прогнозирования успешности профессиональной деятельности / Ю. Е. Лях, Л. П. Середенко // Воен. – мед. журн. – 1989. – № 5. – С. 55–56.
9. Авиационная медицина / под ред. Н. М. Рудного и др. – М. : Медицина, 1986. – 80 с.
10. Безматерных Л. Э. Нормативность методов количественной оценки индивидуального здоровья : автореферат на соискание ученой степени кандидата медицинских наук / Безматерных Л. Э. – Барнаул, 1997. – 16 с.
11. Интегральная оценка работоспособности при умственном и физическом труде : [методические рекомендации]. – М.: Экономика, 1990. – 109 с.
12. Круглов В. В. Нечеткая логика и искусственные нейронные сети / Круглов В. В., Дли М. И., Голунов Р. Ю. – М.: Физматлит, 2001. – 225 с.
13. Спортивная медицина / под ред. А. В. Чоговадзе. – М. : Медицина, 1984. – 330 с.

Надійшла 16.8.2011 р.

УДК 621.322

I.V. ТРОЦИШИН, О.П. ВОЙТЮК
Хмельницький національний університет

КВАНТОВА ТЕОРІЯ ВИМІРЮВАЛЬНОГО ПЕРЕТВОРЕННЯ – ПРИНЦИПОВО НОВІ МОЖЛИВОСТІ В МЕТОДОЛОГІЇ ПОБУДОВИ ЦАП І АЦП

В статті розглянуто методологію побудови ЦАП і АЦП на принципах Квантової теорії вимірювань (вимірювального перетворення), які відкривають принципові нові можливості одночасного збільшення роздільної здатності вимірювальних шкал та досягнення максимальної швидкодії. Вперше наглядно показано на прикладі ієрархічної структури, що ЦАП і АЦП двійкового типу, які використовуються в сучасній техніці, мають найгірші показники кількості поділок на шкалі від кількості зразкових елементів (подільників). Наведено результати досягнення покращення роздільної здатності за однакової кількості однакових резисторів у 10–100 разів, у порівнянні з класичними двійковими.

In the article the methodology of the DAC and ADC on the principles of quantum theory of measurement (measuring conversion), which open new opportunities for fundamental simultaneous increase in the resolution of measurement scales and maximize performance. For the first time vividly illustrated by the hierarchical structures used in modern technology DAC and ADC binary type, have the worst number of divisions on the scale of the number of model elements (dividers). The results of achieving better resolution for the same number of identical resistors of 10-100 times compared to classical binary.

Ключові слова: квантова теорія вимірювань, ЦАП, АЦП, атенуатор-подільник Троцишина, методологія покращення характеристик перетворення.

Вступ

В наш час тотального інформаційного суспільства, коли всі потоки інформації утворюють цифрові сигнали, які базуються на принципах двійкової арифметики, і всі вхідні АЦП та вихідні ЦАП будь якої інформаційної системи є саме пристроями такого двійкового аналогово цифрового (АЦП), або цифро-аналогового (ЦАП) перетворень, ніхто не замислюється, а чи дійсно ми використовуємо всі можливості таких перетворень? Яскравим підтвердженням, що не всі можливі (квантові) значення вимірювальних шкал використовуються, є використання шкали відношень (методу коінциденції), який показує, що класична шкала є лише частковим випадком шкали коінциденції [1, 2].

В той же час, Квантова теорія вимірювань (КТВ) [1–3] не обмежуються досягнутим, і вказує, що можливими є всі точки як і квантовими значення відповідної вимірювальної шкали перетворення. В даній статті у популярній та наглядній формі будуть наведені результати, які не мають аналогів у світі, і вказують, що дійсно, КТВ та застосування її принципів та методології дозволяє відкрити принципово нові можливості для утворення вимірювальних шкал перетворення ЦАП і АЦП із багатократним збільшенням роздільної здатності.

Постановка задачі

Метою є показати практичні можливості досягнення збільшення кількості поділок вимірювальних шкал, які при тій же кількості зразкових елементів дозволяють у 10-100 разів збільшити роздільну здатність, у порівнянні із використанням сучасних класичних двійкових шкал.

Викладення основного матеріалу

Викладення матеріалу розпочнемо із визначення позначень та запису математичних моделей у формалізованому вигляді (табл. 1).

Таблиця 1

Класичний двійковий ЦАП (АЦП) $N_{classik}$	$n_{classik} = \frac{A_i}{2^N}$, де $A_i \in 1 \div 2^N - 1$, N – розрядність двійкового коду
Шкала коінциденції N_{coenc}	$n_{coenc} = \frac{A_i}{B_j}$, де $A_i, B_j \in 1 \div 2^N$, N – кількість значень подільника
Шкала подвійної коінциденції N_{super}	$n_{super} = \frac{A_i}{B_j} / \frac{C_k}{D_l}$, де $A_i, B_j, C_k, D_l \in 1 \div 2^N$ N – кількість значень подільника
Шкала сумарно-різницева N_{D_S}	$n_{D_S} = \frac{A_i}{B_j} \pm \frac{C_k}{D_l}$, де $A_i, B_j, C_k, D_l \in 1 \div 2^N$ N – кількість значень подільника
Шкала комбінованого перетворення N_{comby}	$n_{comby} = \frac{A_i}{B_j} / \frac{C_k}{D_l} + \frac{A_i}{B_j} \pm \frac{C_k}{D_l}$, де $A_i, B_j, C_k, D_l \in 1 \div 2^N$ N – кількість значень подільника

Тепер більш детально розглянемо особливості утворення вже відомої [1, 2] шкали коінциденції та її особливості у порівнянні із класичною [1, 4]. Так, в таблиці 2 наведено наглядний для порівняння приклад використання 8R подільника (Подільник Кельвіна) [4], (кольорові -8), і шкала коінциденції в діапазоні 0,0-1,00.

Таблиця 2

Шкала коінциденції				
n-порядк.	Шкала- 8_coencidenc	i	j	N
1	0.00000000000000			
2	0.1250000000000000	A= 1	B= 8	N=57
3	0.1428571428571428	A= 1	B= 7	N=49
4	0.1666666666666667	A= 1	B= 6	N=41
5	0.2000000000000000	A= 1	B= 5	N=33
6	0.2500000000000000	A= 1	B= 4	N=25
7	0.2857142857142857	A= 2	B= 7	N=50
8	0.3333333333333333	A= 1	B= 3	N=17
9	0.3750000000000000	A= 3	B= 8	N=59
10	0.4000000000000000	A= 2	B= 5	N=34
11	0.4285714285714285	A= 3	B= 7	N=51
12	0.5000000000000000	A= 1	B= 2	N=9
13	0.5714285714285714	A= 4	B= 7	N=52
14	0.6000000000000000	A= 3	B= 5	N=35
15	0.6250000000000000	A= 5	B= 8	N=61
16	0.6666666666666666	A= 2	B= 3	N=18
17	0.7142857142857143	A= 5	B= 7	N=53
18	0.7500000000000000	A= 3	B= 4	N=27
19	0.8000000000000000	A= 4	B= 5	N=36
20	0.8333333333333334	A= 5	B= 6	N=45
21	0.8571428571428571	A= 6	B= 7	N=54
22	0.8750000000000000	A= 7	B= 8	N=63
23	1.0000000000000000	A= 1	B= 1	N=1

Кольором виділено значення класичної шкали двійкового перетворення для випадку використання 8R подільника (Подільник Кельвіна). Пристрій який реалізує характеристику перетворення $n_{coenc} = \frac{A_i}{B_j}$, називається Атенуатором-подільником Троцишина (АПТ) [3] (рис. 1) [3].

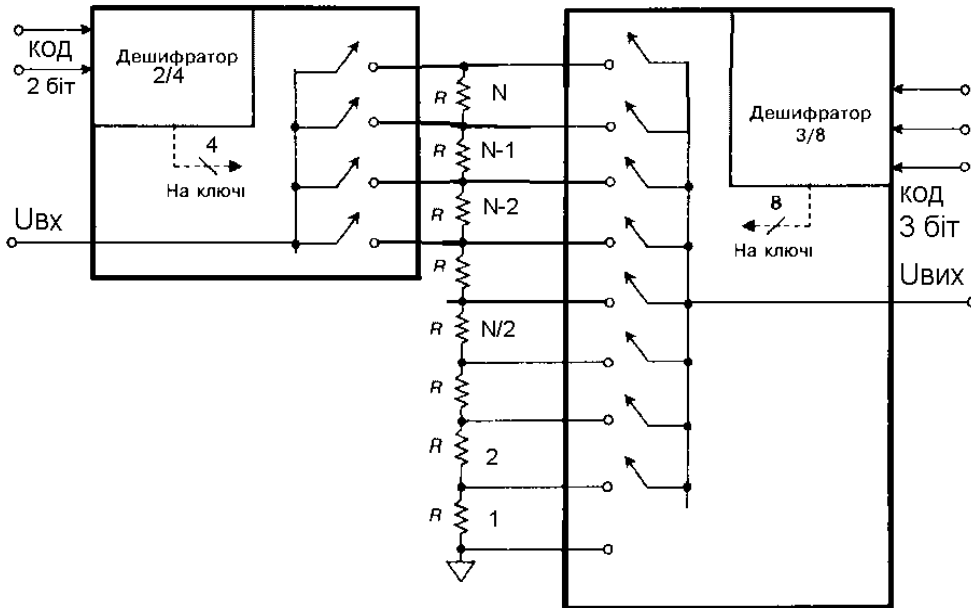


Рис. 1. Схема Атенуатора-подільника Троцишина для 8R [3].

Очевидно, що у порівнянні із подільником Кельвіна $n_{classik} = \frac{A_i}{2^N}$, будемо мати їх збільшення, яке більш детально наведено в табл. 3.

Таблиця 3

Порівняльні характеристики АПТ і АП Кельвіна

Кількість резисторів NR (N АП Кельвіна)	2	4	8	16	32	64	128	256	1024
Кількість квантових точок шкали АПТ	2	6	22	80	324	1260	5022	19948	318964
Приріст квантованих значень	0	2	14	64	292	1196	4894	19692	317940
Виграш	1	1,5	2,75	5	10,125	19,69	39,08	77,92	311,5

Графічно характеристики для вказаного випадку мають вигляд рис. 2 та рис. 3.

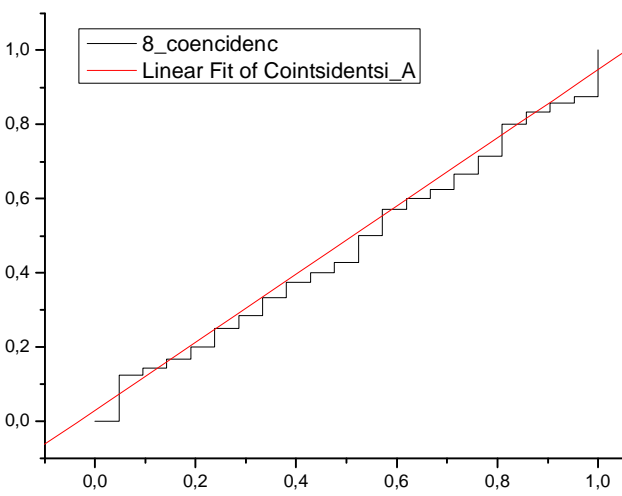


Рис. 2. Квантова шкала перетворення АПТ_8R

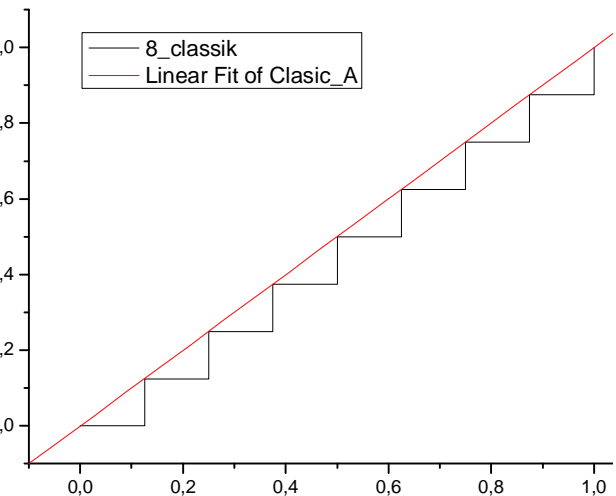


Рис. 3. Квантова шкала перетворення АП Кельвіна_8R

Але КТВ не обмежується лише можностями шкали методу коінциденції, адже завдяки появі АПТ можливо ставити питання про використання методу коінциденції саме для нього, який отримав назву Шкала

подвійної коінциденції $n_{super} = \frac{A_i}{B_j} / \frac{C_k}{D_l}$, і являє собою чотиривимірну конструкцію, яка для випадку

методу коінциденції має вигляд рис. 4 (цифри 1– 22 показують послідовність розташування точок шкали, верхній ряд 1,5,8,11,14,17,21,22 – класична шкала, зона ПОВТОРІВ не використовується).

	8	7	6	5	4	3	2	1		
8	22 1,000	21 0,875	17 0,750	14 0,625	11 0,500	8 0,375	5 0,250	1 0,125		
7	1,143	1,000	20 0,857	16 0,714	12 0,571	10 0,429	6 0,286	2 0,143		
6	1,333	1,167	1,000	19 0,833	15 0,667	0,500	7 0,333	3 0,167		
5	1,600	1,400	1,200	1,000	18 0,800	13 0,600	9 0,400	4 0,200		
4	2,000	1,750	1,500	1,250	1,000	0,750	0,500	0,250		
3	2,667	2,333	2,000	1,667	1,333	1,000	0,667	0,333	П О В Т О Р И	
2	4,000	3,500	3,000	2,500	2,000	1,500	1,000	0,500		
1	8,000	7,000	6,000	5,000	4,000	3,000	2,000	1,000		
								Повтори		

Рис. 4. Результуюча шкала вимірювального перетворення для 8x8 коінциденція $n_{coenc} = \frac{A_i}{B_j}$,

В той же час, реалізація $n_{super} = \frac{A_i}{B_j} / \frac{C_k}{D_l}$, дає шкалу вимірювального перетворення уже із 166 точками шкали, замість 23 у методі коінциденції та 8 у класичному двійковому, і зображена на рис. 5.

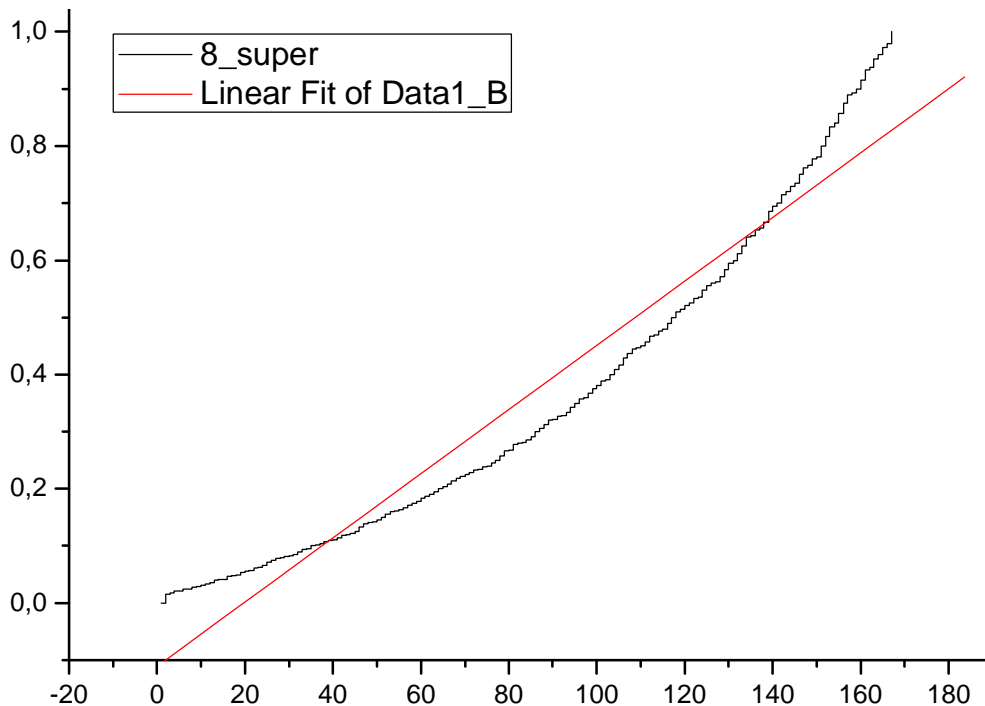


Рис. 5. Загальний вигляд шкали вимірювального перетворення для випадку 8R-супер в діапазоні 0,0000-1,00000

При всіх позитивах збільшення кількості поділок більше ніж в десять разів, шкала має виражений логарифмічний масштаб, що пов'язано із використанням добутків, які дають ще й добуток двох таблиць множення Піфагора [8×8].

Для вирішення питання покращення лінійності шкали розроблено метод $n_{D-S} = \frac{A_i}{B_j} \pm \frac{C_k}{D_l}$, який названо сумарно-ріницевим (дельта-сігма). На рис. 6. приведено шкалу його вимірювального перетворення.

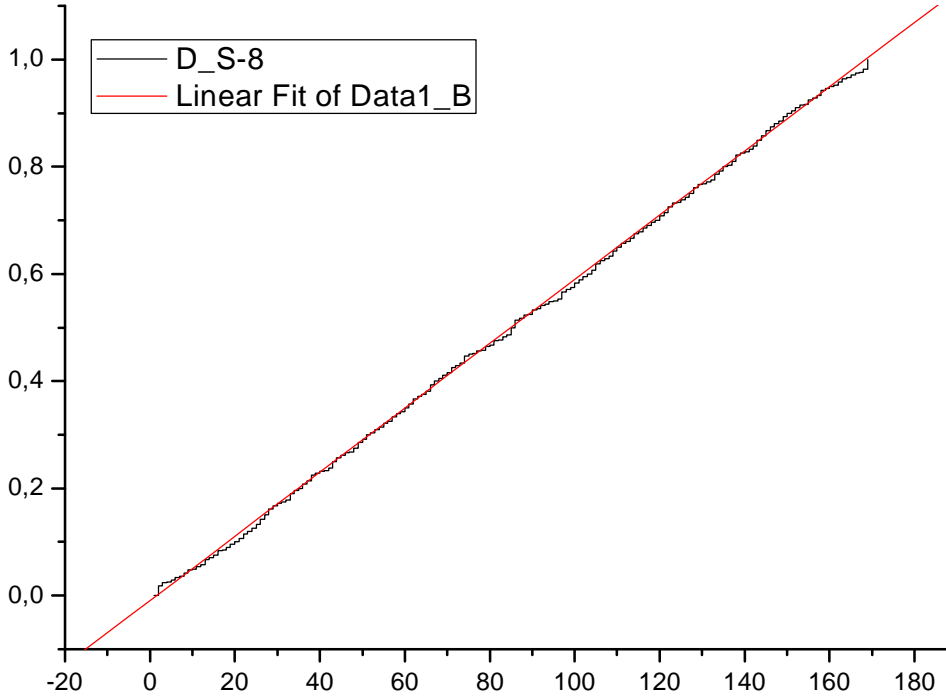


Рис. 6. Шкала вимірювального перетворення методу $n_{D-S} = \frac{A_i}{B_j} \pm \frac{C_k}{D_l}$

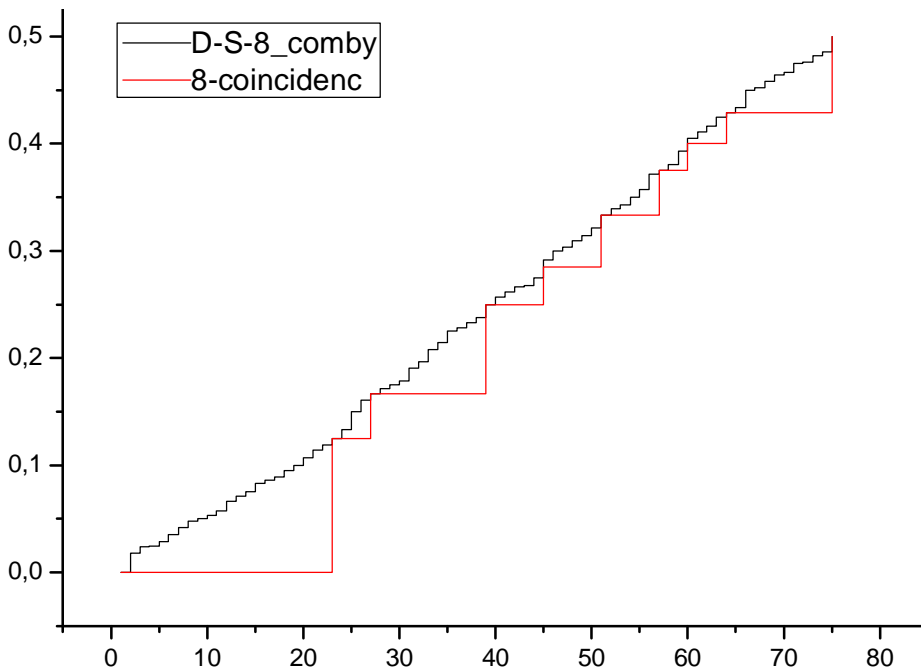


Рис. 7. Порівняння комбінованої шкали із шкалою коінциденції

Очевидним є значне покращення параметрів роздільної здатності до 169 точок і особливо лінійності, у порівнянні із попередніми.

І на останок, враховуючи дію принципу суперпозиції можливо використання комбінованої шкали

вимірювального перетворення: $n_{comby} = \frac{A_i}{B_j} / \frac{C_k}{D_l} + \frac{A_i}{B_j} \pm \frac{C_k}{D_l}$, і на підтвердження на рис. 7, наведено її порівняння (в діапазоні половини шкали) із шкалою коінциденції.

Для аналізу ефективності розроблених унікальних методів побудови ЦАП АЦП в рамках Теорії квантових вимірювань наводимо порівняльну таблицю ефективних параметрів та характеристик розглянутих видів перетворення в табл. 4.

Таблиця 4

Зведені ефективні параметри та характеристики видів перетворення

N R	n-шкали N_D_S	n-шкали N_Super	n-шкали N_D_S + N_Super	n-шкали N_comby	n-шкали N_comby /n-шкали N_D_S (приріст значень)
2	3	3	6	4	1,333
4	13	17	30	22	1,69
6	45	56	101	76	1,68
7	117	128	245	176	1,50
8	169	166	335	247	1,46
10	325	276	601	460	1,415
12	725	568	1293	965	1,33
14	1445	1097	2542	1868	1,292
15	1749	1275	3024	2270	1,297
16	2141	1461	3602	2728	1,274
20	6029	3946	9975	7302	1,211
24	11525	7190	18715	13847	1,201
32	39413	21678	61091	44919	1,139
64	568295	270594	838889	630857	1,11

Для аналізу надано не лише характерні (двійкові значення 2,4,8,16,32,64), а і звичайні числові, які не використовуються у існуючих ЦАП і АЦП [4].

Аналізуючи шкали та їх кількісні характеристики, не важко помітити, що, реальним стає питання побудови ЦАП (АЦП) із шкалою 256 (еквівалент 8 розрядному) всього на 20 однакових резисторах включених по схемі АПТ10, або ж отримання 17-18 розрядних перетворювачів всього при використанні АПТ64!

Схеми реалізації мають значно меншу кількість резисторів подільника, відсутній ефект розриву шкали характерний матрицям R-2R, і саме головне сигнал ділить у максимально 64 рази, а не у сотні тисяч, що значно покращує співвідношення сигнал/шум.

Необхідно відзначити, що у вказаних прикладах реальна кількість поділок у 2– 5 разів більша за потрібну, що дозволяє додатково лінеаризувати та адаптувати шкалу перетворення, яка може досить просто коригуватися шляхом програмування використовуваних точок перетворення, що принципово неможливо у класичних методах і наглядно показано на рис. 8– 10 для формування шкали із двох АПТ10.

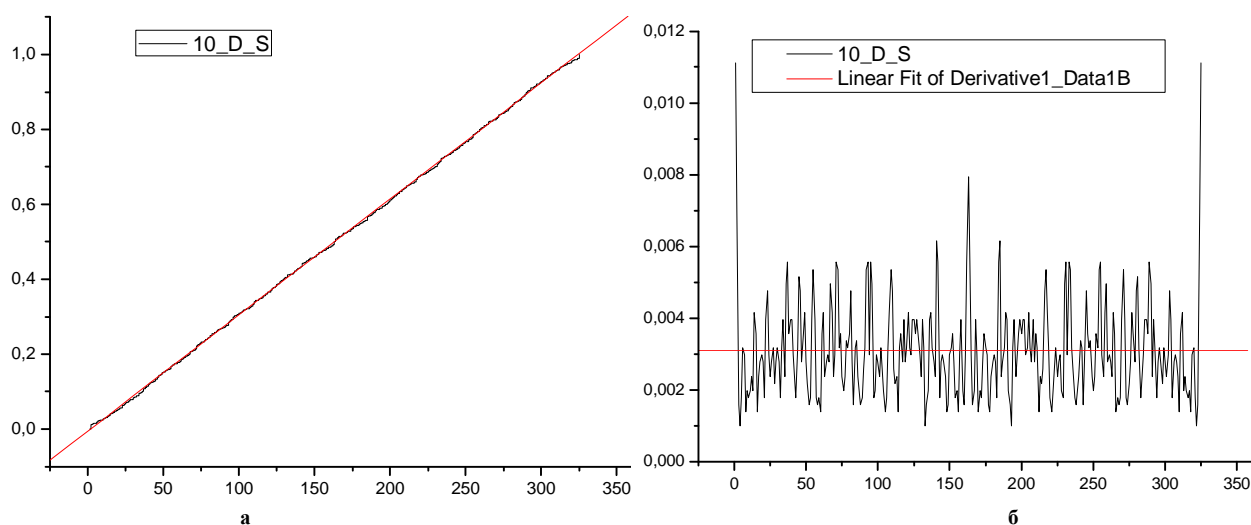


Рис. 8. а) Шкала 10_D_S; б) характеристика відхилення лінійності

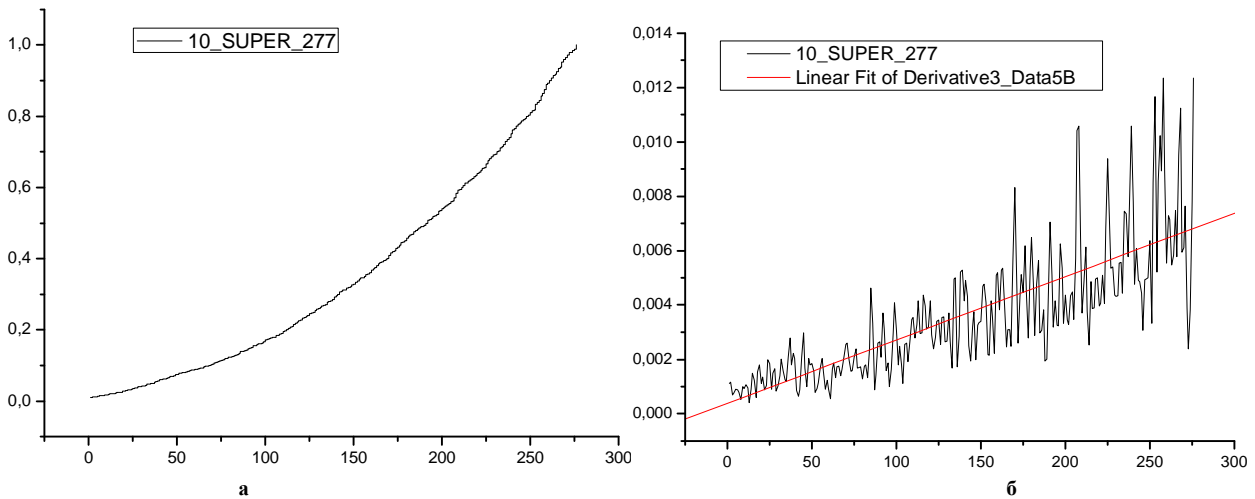


Рис. 9. а) Шкала 10_Super; б) характеристика відхилення лінійності

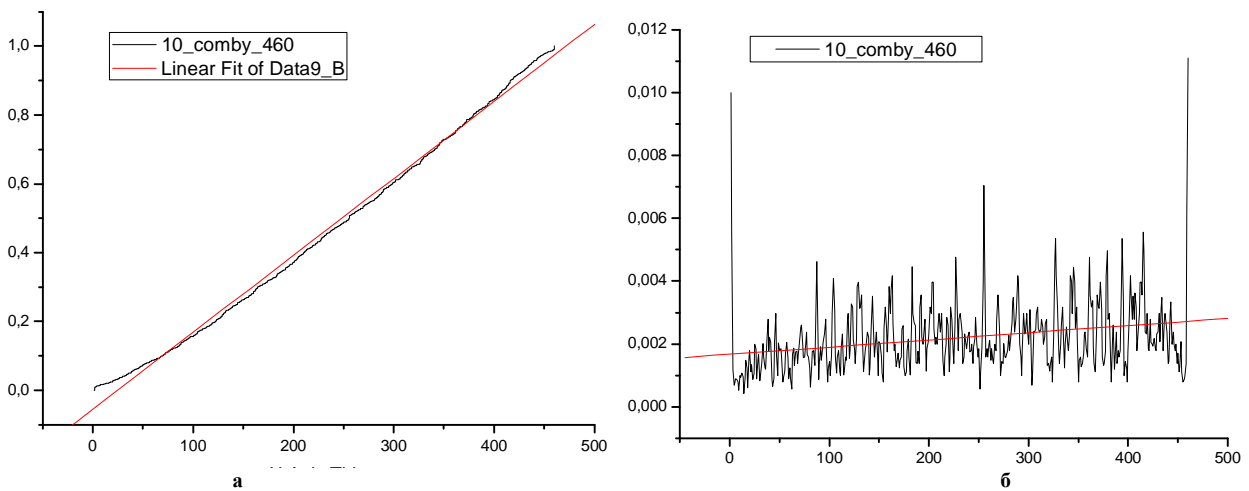


Рис. 10. а) Шкала 10_comby; б) характеристика відхилення лінійності

Як видно, об'єднання двох шкал 10_D_S U10_Super = 10_comby, дало можливість із 325 та 277 значень отримати єдину шкалу 10_comby із 460 точками шкали перетворення в діапазоні 0,000-1,0000. З рис. 8,б – 10,б видно, що параметр лінійності (відхилення) після об'єднання шкал покращився із 0,0032 (середнє значення) до 0,002. Тепер же, використовуючи надлишковість 460, замість необхідних 256 (для побудови еквівалента 8-бітного ЦАП) можливо деталізувати шкалу, і провести адаптацію за відхиленням на кожній ділянці окремо. Приклад деталізації наведено на рис. 11, де із 83 (0,00-0,125) та 60 (0,1269-0,25) потрібно вибрати по 32 точки.

Висновки

Вперше встановлено що використання принципів та методів Квантової теорії вимірювального перетворення дозволяє створювати вимірювальні шкали із значно більшою (у 10– 100 разів) кількістю поділок шкали ніж це є у класичних двійкових шкалах.

Вимірювальна шкала є програмованою та адаптованою, що дозволяє оптимізувати завдання перетворення на досягнення найкращих результатів не лише за роздільною здатністю а і шумами та швидкодією, при мінімальному числі елементів подільника (резисторів).

Оскільки, при побудові нових видів ЦАП і АЦП використовуються ті ж елементи, але у значно менших кількостях, їх реалізація у вигляді ІМС не викликає жодних проблем, і тоді вони легко зможуть витіснити всі існуючі двійкові перетворювачі, так як вони вже входять у склад нових як примітивний найнижчий рівень лінійного перетворення.

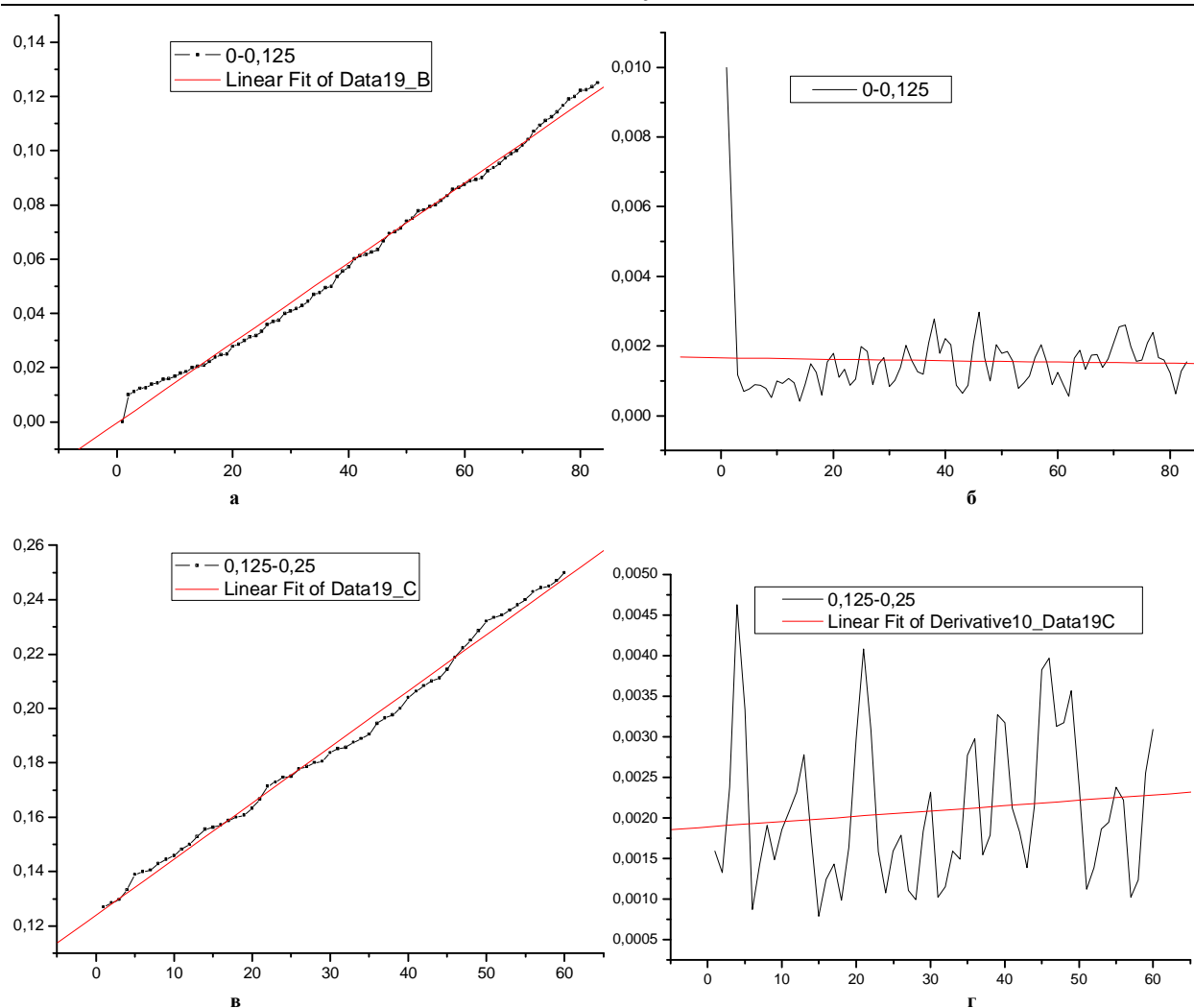


Рис. 11. а, в) Ділянки Шкали 10_somby; б, г) характеристики відхилення лінійності

Література

1. Троцишин І.В. Реалізація принципів квантової теорії вимірювань амплітудних параметрів сигналів на прикладі Атенюатора-подільника Троцишина / І.В. Троцишин // Вісник ХНУ. Технічні науки. – 2011. – № 2. – С. 213– 223.
2. Троцишин І.В. Шляхи підвищення роздільної здатності шкали вимірювального перетворення ЦАП і АЦП / І.В. Троцишин, О.П. Войтюк, Н.І. Троцишина // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2010. – № 2. – С. 236– 242.
3. Атенюатор-подільник Троцишина: заявка на патент України № а 2011 02672. МПК G01R 19/00, Н03Н 7/00 / Троцишин І.В. – заявл. 09.03.2011.
4. Кестер У. Аналого-цифровое преобразование / Кестер У. – М.: Техносфера, 2007. – 1019 с.

Надійшла 24.8.2011 р.