

СПОСОБ ФОРМИРОВАНИЯ ЛИНЕЙНО ИЗМЕНЯЮЩЕГОСЯ СИГНАЛА

Рассмотрены вопросы построения аддитивного формирователя линейно изменяющегося сигнала. Получены аналитические выражения для вычисления коэффициентов «выравнивания», позволяющих минимизировать нелинейность формируемого сигнала. Расчетные соотношения проверены на математической модели в программе PSIM. Предлагаемый формирователь, обладающий высоким быстродействием, может найти применение в устройствах радиоэлектроники, автоматики, системах связи. Используемые решения защищены несколькими патентами Российской Федерации.

Ключевые слова: аддитивный формирователь, структурная схема, квадратурные сигналы, линеаризация, оптимальные коэффициенты.

V.S. DUBROVIN, V.V. NIKULIN

N.P. Ogarev Mordovia State University, Russian Federation

METHOD FOR FORMING A LINEAR VARIABLE SIGNAL

The article explores the questions of development of an additive shaper of a linear variable signal. The authors specify analytical expressions for calculating the «compensation» factor enabling to minimize the non-linearity of the signal generated. Calculated correlations have been verified by the mathematical model with the use of PSIM. The proposed shaper having a high operation speed may find application in electronics, automation and communication systems. The applied solutions have been protected by several patents of the Russian Federation.

Keywords: additive shaper, a block diagram, quadrature signals, linearization, optimal coefficients.

Постановка задачи

Формирователи линейно изменяющегося сигнала (ФЛИС) нашли широкое применение в телевизионных устройствах и радиолокации, в устройствах амплитудно-временного преобразования и в аналого-цифровых преобразователях, в широтно-импульсных и время-импульсных преобразователях, в модуляторах и управляемых устройствах задержки, в функциональных генераторах и т.д. [1-3].

В работах [4-12] предлагается способ построения быстродействующих ФЛИС на базе аддитивных формирователей сигнала треугольной формы, не содержащих реактивных элементов. К выходному сигналу таких формирователей предъявляется ряд требований, на первое место среди которых выходит требование по минимизации нелинейности формируемого сигнала треугольной формы.

Структурная схема аддитивного формирователя линейно-изменяющегося сигнала приведена на рис. 1,а. На вход формирователя от источника квадратурных сигналов (ИКС) подаются гармонические сигналы: $S_1(t) = A \sin(\omega_0 t)$ и $S_2(t) = A \cos(\omega_0 t)$, где A – амплитуда, а ω_0 – круговая частота квадратурных сигналов.

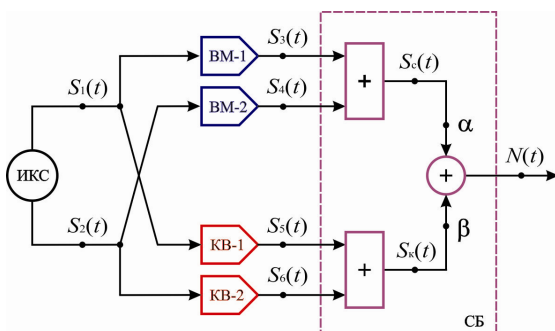


Рис. 1, а Структурная схема аддитивного формирователя

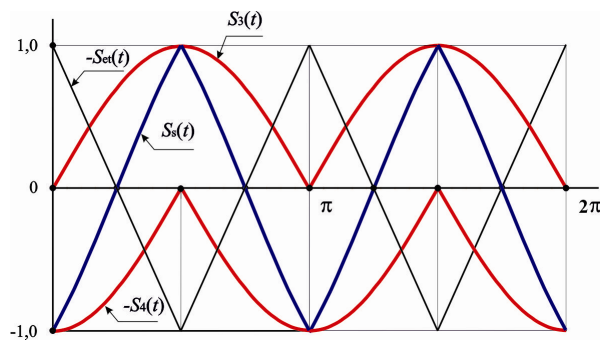


Рис. 1, б Временные диаграммы принципа формирования сигнала треугольной формы

На выходе первого вычислителя модуля (BM-1) формируется (рис.1, б) сигнал $S_3(t) = |S_1(t)|$, а на выходе второго вычислителя (BM-2) – сигнал $S_4(t) = |S_2(t)|$.

В результате вычитания двух сигналов на выходе первого сумматора формируется синтезированный сигнал $S_5(t) = S_3(t) - S_4(t)$, который, как на участке прямого хода (нарастающее напряжение), так и на участке обратного хода (спадающее напряжение), имеет S-образную форму.

Графики построены для нормированного значения амплитуд $A^* = 1$. Очевидно, что частота основной гармоники Ω_0 синтезированного сигнала равна удвоенному значению частоты ω_0 квадратурных сигналов,

то есть $\Omega_0 = 2\omega_0$.

Синтезированный сигнал $S_s(t)$ существенно отличается от идеального сигнала треугольной формы $S_{et}(t)$, поэтому необходимо рассмотреть вопросы количественной оценки нелинейности этого сигнала (отклонение от идеального сигнала), а также возможность повышения его линейности.

Метод решения

Для идеального (эталонного) сигнала треугольной формы $S_{et}(t)$ после разложения в ряд Фурье по синусным составляющим получим выражение для вычисления амплитудных значений гармонических составляющих:

$$A_{net} = \frac{8}{\pi^2 n^2} \sin\left(n \frac{\pi}{2}\right), \tag{1}$$

где n - номера гармоник ($n = 1, 3, 5, \dots$).

Формула для вычисления амплитуд гармонических составляющих синтезированного сигнала:

$$A_{ns} = \frac{8}{\pi(4n^2 - 1)} \sin\left(n \frac{\pi}{2}\right). \tag{2}$$

На рис. 2, а приведены графические зависимости распределения спектральных составляющих в логарифмическом масштабе для эталонного $S_{et}(t)$ и синтезированного $S_s(t)$ сигналов.

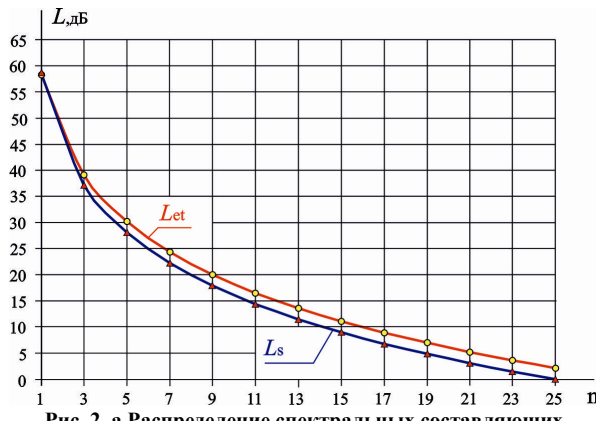


Рис. 2, а Распределение спектральных составляющих эталонного и синтезированного сигналов

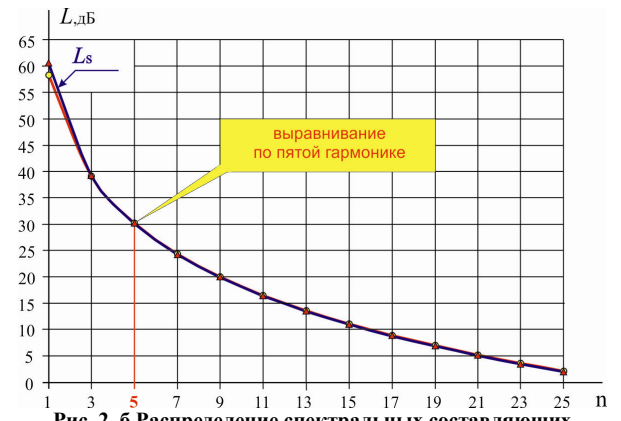


Рис. 2, б Распределение спектральных составляющих эталонного и синтезированного сигналов с учётом коэффициента выравнивания по пятой гармонике

Из анализа графиков (рис. 2, а) и выражений (1) и (2) следует, что линии тренда для высших гармоник эталонного и синтезированного сигналов практически совпадают (при $n^2 \gg 1$).

Различие в амплитудных составляющих удобно оценивать с помощью соответствующих коэффициентов «выравнивания»:

$$\alpha_n = \frac{A_{net}}{A_{ns}} = \frac{4n^2 - 1}{\pi n^2} = \frac{4}{\pi} - \frac{1}{\pi n^2}. \tag{3}$$

Для первой гармоники коэффициент $\alpha_1 \approx 3/\pi = 0,9549$, а для высших гармонических составляющих значения ($\alpha_n \approx 4/\pi = 1,2732$), то есть значения коэффициента α_n практически не зависят от номера гармоники (при $n^2 \gg 1$).

Данное обстоятельство позволяет построить простой и эффективный блок коррекции, значительно улучшающий качество (линейность) исходного синтезированного сигнала $S_s(t)$. Например, для того чтобы произвести выравнивание спектральных составляющих сигналов по пятой гармонике ($\alpha_{5s} = \alpha_{5et}$) необходимо умножить синтезированный сигнал $S_s(t)$ на коэффициент $\alpha_5 = 1,2605$. Очевидно, что при этом все остальные высшие гармоники также возрастут и приблизятся к соответствующим значениям высших гармонических составляющих эталонного сигнала (рис. 2, б).

Очевидно также, что и первая гармоника A_{1s} при этом также возрастёт, превысив и без того завышенное значение в синтезированном сигнале.

Поскольку частота основной гармоники Ω_0 синтезированного сигнала $S_s(t)$ равна удвоенному

значению частоты ω_0 квадратурных сигналов, то увеличение амплитуды этой гармонической можно скомпенсировать с помощью корректирующего сигнала $S_k(t)$, частота которого также должна быть равной удвоенному значению частоты квадратурных сигналов.

Корректирующий сигнал формируется (рис.1, а) с помощью двух квадраторов (КВ-1 и КВ-2) и сумматора:

$$S_k(t) = (\cos^2 \omega_0 t - \sin^2 \omega_0 t) = \cos(2\omega_0 t) = \cos(\Omega_0 t). \quad (4)$$

Принцип компенсации нелинейности синтезированного сигнала $S_s(t)$ поясняет рис. 3, а.

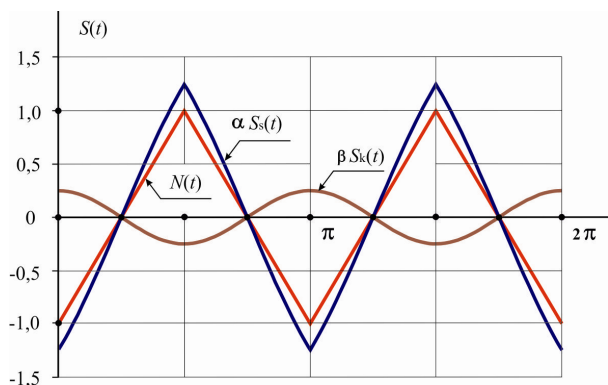


Рис. 3, а Принцип компенсации нелинейности синтезированного сигнала

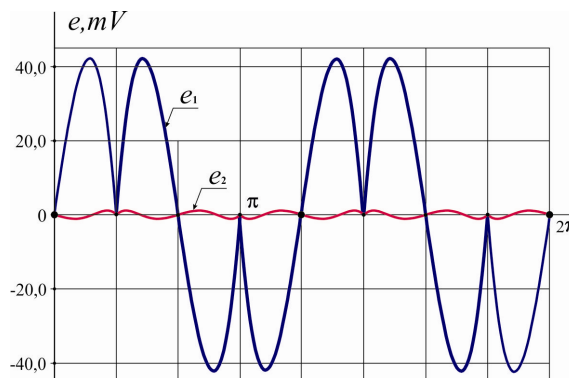


Рис. 3, б Погрешность синтезированного сигнала

Для формирования выходного сигнала $N(t)$ синтезированный сигнал $S_s(t)$ необходимо умножить на коэффициент α , а корректирующий сигнал — на коэффициент β . Для сохранения равенства амплитудных значений эталонного $S_{et}(t)$ и выходного сигнала $N(t)$ необходимо выполнить следующее условие: $\beta = (\alpha - 1)$.

В результате суммирования двух сигналов $S_s(t)$ и $S_k(t)$ формируется выходной сигнал

$$N(t) = \alpha S_s(t) + \beta S_k(t). \quad (5)$$

От правильного выбора коэффициентов α и β зависит линейность формируемого сигнала $N(t)$. Для оптимизации нелинейности введем в рассмотрение такие параметры, как сигнал ошибки $e_1(t)$ и остаточная погрешность $e_2(t)$.

Сигнал ошибки $e_1(t) = S_{et}(t) - S_s(t)$, а остаточная погрешность $e_2(t) = S_{et}(t) - N(t)$.

Оптимизация нелинейности выходного сигнала $N(t)$ проводилась на математической модели в программе PSIM. На первом этапе оптимизации в качестве исходного «выравнивающего» коэффициента было принято значение коэффициента, вычисленного для пятой гармоники. В результате оптимизации получено оптимальное значение $\alpha_{opt} = 1,252243$.

Результаты математического моделирования по определению погрешностей синтезированного сигнала представлены на рис. 3, б.

Из анализа графической зависимости (рис. 3, б) следует, что максимальное отклонение e_{1max} (при нормированном значении амплитуды $A^* = 1000$ мВ) равно 42,5 мВ, что составляет примерно 4%. Введение оптимального корректирующего сигнала $S_k(t)$ позволило уменьшить остаточную погрешность до 1,1 мВ. Таким образом, нелинейность формируемого сигнала $N(t)$ уменьшилась почти в 40 раз.

Полученные результаты

1. Предложен способ линейризации синтезированного сигнала квазитреугольной формы.
2. Получены аналитические выражения для вычисления спектральных составляющих синтезированного сигнала и для нахождения оптимальных значений «выравнивающих» коэффициентов, позволяющих значительно повысить линейность синтезированного сигнала.
3. Предлагаемый способ формирования линейно изменяющегося сигнала позволит получить сигнал треугольной формы с минимальными искажениями. Доказано, что при оптимальных значениях коэффициентов «выравнивания» остаточная погрешность уменьшается почти в 40 раз.
4. Предлагаемый формирователь линейно изменяющегося сигнала обладает высоким быстродействием, поскольку не содержит в своем составе реактивных элементов.

5. Формирователь линейно изменяющегося сигнала может найти применение в прецизионных устройствах радиоэлектроники, автоматики, системах связи.

Литература

1. Бондарь В. А. Генераторы линейно изменяющегося напряжения / В. А. Бондарь. – М. : Энергоатомиздат, 1988. – 160 с.
2. Пат. 101291 Российская Федерация, МПК7 Н 03 В 27/00. Функциональный генератор / Дубровин В. С., Зюзин А. М. ; заявитель и патентообладатель Негосударственное научно-образовательное учреждение «Саранский Дом науки и техники Российского Союза научных и инженерных общественных организаций» (ННОУ «Саранский Дом науки и техники РСНИИОО») – № 2010137125/09 ; заявл. 06.09.10 ; опубл. 10.01.11, Бюл. № 1. – 7 с.
3. Пат. 104402 Российская Федерация, МПК7 Н 03 В 27/00. Функциональный генератор / Дубровин В. С., Зюзин А. М. ; заявитель и патентообладатель Негосударственное научно-образовательное учреждение «Саранский Дом науки и техники Российского Союза научных и инженерных общественных организаций» (ННОУ «Саранский Дом науки и техники РСНИИОО»). – № 2011100735/09 ; заявл. 12.01.11 ; опубл. 10.05.11, Бюл. № 13. – 8 с.
4. Пат. 81860 Российская Федерация, МПК7 Н 03 К 4/06. Аддитивный формирователь сигнала треугольной формы / Дубровин В. С., Зюзин А. М. ; заявитель и патентообладатель Негосударственное научно-образовательное учреждение «Саранский Дом науки и техники Российского Союза научных и инженерных общественных организаций» (ННОУ «Саранский Дом науки и техники РСНИИОО»). – № 2008146300/22 ; заявл. 24.11.08 ; опубл. 27.03.09, Бюл. № 9. – 6 с.
5. Пат. 83669 Российская Федерация, МПК7 Н 03 К 4/06. Аддитивный формирователь сигнала треугольной формы / Дубровин В. С., Зюзин А. М. ; заявитель и патентообладатель Негосударственное научно-образовательное учреждение «Саранский Дом науки и техники Российского Союза научных и инженерных общественных организаций» (ННОУ «Саранский Дом науки и техники РСНИИОО»). – № 2009103327/22 ; заявл. 02.02.09 ; опубл. 10.06.09, Бюл. № 16. – 8 с.
6. Пат. 83670 Российская Федерация, МПК7 Н 03 К 4/06. Аддитивный формирователь сигнала треугольной формы / Дубровин В. С., Зюзин А. М. ; заявитель и патентообладатель Негосударственное научно-образовательное учреждение «Саранский Дом науки и техники Российского Союза научных и инженерных общественных организаций» (ННОУ «Саранский Дом науки и техники РСНИИОО»). – № 2009103333/22 ; заявл. 02.02.09 ; опубл. 10.06.09, Бюл. № 16. – 3 с.
7. Дубровин В. С. Спектральный анализ квазилинейного сигнала треугольной формы / В. С. Дубровин, В. В. Никулин // XXXVII Огарёвские чтения : материалы научной конференции – Саранск, 2009. – Ч. 3 : Технические науки. – С. 134–136.
8. Дубровин В. С. Принципы построения, анализ и синтез формирователей аддитивных сигналов треугольной формы / В. С. Дубровин, В. В. Никулин // Современные проблемы и эксплуатации радиотехнических систем : труды шестой Всероссийской научно-практической конференции (с участием стран СНГ), г. Ульяновск, 22–23 сентября 2009 г. – Ульяновск, 2009. – С. 84–87.
9. Дубровин В. С. Способ линеаризации аддитивного сигнала треугольной формы / В. С. Дубровин, А. М. Зюзин // Математические методы и информационные технологии в экономике, социологии и образовании: сборник статей XXIII Международной научно-технической конференции – Пенза, 2009. – С. 182–184.
10. Дубровин В. С. Определение погрешности линеаризации синтезированного линейно-изменяющегося сигнала в среде LabView / В. С. Дубровин, М. В. Ильин // Образовательные, научные и инженерные приложения в среде LabVIEW и технологии National Instruments : сборник трудов восьмой Международной научно-практической конференции, Москва, 20–21 ноября 2009 г. – М., 2009. – С. 226–228.
11. Дубровин В. С. Модель для оптимизации параметров синтезированного сигнала / В. С. Дубровин, Е. А. Сайгина // Труды Северо-Кавказского филиала Московского технического университета связи и информатики. – Ростов н/Д., 2011. – С. 234–236.
12. Дубровин В. С. Оптимизация коэффициентов «выравнивания» формирователя линейно-изменяющегося сигнала [Электронный ресурс] / В. С. Дубровин, В. В. Никулин // Электроника и электронные технологии. – Электронный журнал – 2009. – Спец. вып. 6. http://fetmag.mrsu.ru/2009-2/pdf/linear_signal_generation.pdf, свободный. – 0420900067/0064. – Дата обращения: 11.12.2013.

References

1. Bondar V.A. Generatory linejno izmenjajushhegosja naprjazhenija [Generators of linear varying voltage]. Moscow, Energoatom Publ., 1988. 160 p.
2. Dubrovin V.S., Zyuzin A.M., Patent 101291 Russian Federation, МПК7 Н 03 В 27/00. Function Generator, No 2010137125 /09; appl. 06.09.10, publ. 10.01.11, Bull. No 1. 7 p.
3. Dubrovin V.S., Zyuzin A.M., Pat. 104402 Russian Federation, МПК7 Н 03 В 27/00. Function Generator, № 2011100735 /09; appl. 12.01.11, publ. 10.05.11, Bull. No 13. 8 p.

4. Dubrovin V.S., Zyuzin A.M., Pat. 81860 Russian Federation MPK7 H 03 K 4/06. Additive signal shaper triangular shape, No 2008146300 /22; appl. 24.11.08, publ. 27.03.09, Bull. No 9. 6 p.
5. Dubrovin V.S., Zyuzin A.M., Pat. 83669 Russian Federation MPK7 H 03 K 4/06. Additive signal shaper triangular shape, No 2009103327 /22; appl. 02.02.09, publ. 10.06.09, Bull. No 16. 8 p.
6. Dubrovin V.S., Zyuzin A.M., Pat. 83670 Russian Federation MPK7 H 03 K 4/06. Additive signal shaper triangular shape, No 2009103333 /22; appl. 02.02.09, publ. 10.06.09, Bull. No 16. 3 p.
7. Dubrovin V.S., Nikulin V.V. Spektral'nyj analiz kvazilinejnogo signala treugol'noj formy [Spectral analysis of quasi triangular shaped signal], *Proceed. of conference, XXXVIIth Ogarev Readings, Saransk, 2009. Part 3: Engineering.* pp. 134-136.
8. Dubrovin V.S., Nikulin V.V. Principy postroenija, analiz i sintez formirovatelej additivnyh signalov treugol'noj formy [Principles of construction and synthesis of additive signal shapers of triangular shape] *Sovremennye problemy i jekspluatacii radiotekhnicheskikh sistem : trudy shestoj Vserossijskoj nauchno-prakticheskoj konferencii (s uchastiem stran SNG) [Modern problems and operation of radio systems. Proceedings of the 6th Russian Conference (with the participation of CIS countries)], Ulyanovsk, 2009.* pp. 84-87.
9. Dubrovin V.S., Zyuzin A.M. Sposob linearizacii additivnogo signala treugol'noj formy [Additive signal linearization method triangular shape]. *Matematicheskie metody i informacionnye tehnologii v jekonomike, sociologii i obrazovanii: sbornik statej XXIII Mezhdunarodnoj nauchno-tehnicheskoi konferencii [Mathematical methods and information technologies in economics, sociology and education: Proceed. of XXIIIrd International Conference].* Penza, 2009. pp. 182-184.
10. Dubrovin V.S., Ilyin M.V. Opredelenie pogreshnosti linearizacii sintezirovannogo linejno-izmenjajushhegosja signala v srede LabView [Definition error linearization synthesized linear varying signal in the environment LabView]. *Obrazovatel'nye, nauchnye i inzhenernye prilozhenija v srede LabVIEW i tehnologii National Instruments: sbornik trudov vos'moj Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii [Educational, scientific and engineering applications with LabVIEW and Technology National Instruments: Proceedings of the Eighth International Conference, Moscow, 2009.]* pp. 226-228.
11. Dubrovin V.S., Saigina E.A. Model' dlja optimizacii parametrov sintezirovannogo signala [Model to optimize the parameters of the synthesized signal] *Trudy Severo-Kavkazskogo filiala Moskovskogo tehničeskogo universiteta svjazi i informatiki [Proceedings of the North Caucasus branch of the Moscow Technical University of Communications and Informatics].* Rostov-on-Don, 2011. pp. 234-236.
12. Dubrovin V.S., Nikulin V.V. Optimizacija koeficientov «vyravnivanija» formirovatelja linejno-izmenjajushhegosja signala [Optimization of compensation coefficients of a linear varying signal shaper. *Jelektronika i jelektronnye tehnologii - Electronics and electronic technologies.* 2009. Spec. No 6. Available at: http://fetmag.mrsu.ru/2009-2/pdf/linear_signal_generation.pdf. (Accessed 11.12.2013).

Рецензія/Peer review : 25.9.2013 р.

Надрукована/Printed : 7.1.2013 р.

УДК 621.321

Н.І. ТРОЦІШИНА

Одеська національна академія зв'язку імені О.С. Попова

ПРИСТРОЇ З ПРОГРАМОВАНИМИ ЦАП І АЦП ДЛЯ ОБРОБЛЕННЯ РАДІОСИГНАЛІВ

Приведено результати дослідження побудови вимірювальної шкали перетворення ЦАП та АЦП нового покоління із програмованими параметрами на сонові використання атенюатора-подільника Троцішина. Вказані результати не мають аналогів у світі і можуть слугувати теоретичним та практичним підґрунтям до побудови принципово нового класу ЦАП і АЦП із програмованими параметрами, що дозволить замінити величезну кількість жорстко запрограмованих двійкових ЦАП і АЦП.

Ключові слова: перетворення ЦАП та АЦП, програмовані параметри, атенюатор-подільник Троцішина

N.I. TROTSYSHYNA

Odessa national academy of telecommunications. a. A. S. Popov

DEVICES WITH PROGRAMMABLE DAC AND ADC FOR PROCESSING RADIOSIGNALS

The results of the research building measuring scale transformation of the DAC and ADC is the new generation of programmable parameters to use sonovi attenuator-divider Trotsyshyna. Results indicated no analogues in the world and can serve as a theoretical basis for the practical t to build a fundamentally new class of DAC and ADC with programmable parameters that will replace the huge number of hard-coded binary DAC and ADC.

Keywords: Convert DAC and ADC, programmable parameters, attenuation-divider Trotsyshyna

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) [3-5] не обмежуються досягнутим, і вказує, що можливими є всі точки які є квантовими значення відповідної вимірювальної шкали перетворення. В даному розділі 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.

Метою доповіді є показати практичні можливості досягнення збільшення кількості поділок вимірювальних шкал, які при тій же кількості зразкових елементів дозволяють від 10 до 100 разів збільшити