

УДК 621.321

**ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ЦИФРОВОГО ПЕРЕТВОРЕННЯ
НА ОСНОВІ ПОДІЛЬНИКА ТРОЦІШИНА ДЛЯ ПОБУДОВИ ЦАП І АЦП**

Троцишина Н.І., Троцишин І.В.

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

65020, м. Одеса, вул. Ковальська 1

vottp.tiv@gmail.com

**ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ЦИФРОВОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ
НА ОСНОВЕ ДЕЛИТЕЛЯ ТРОЦИШИНА ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ ЦАП И АЦП**

Троцишина Н.И., Троцишин И.В.

Одесская национальная академия связи имени А.С. Попова

65020, м. Одеса, ул. Кузнечная 1

vottp.tiv@gmail.com

**STUDY THE CHARACTERISTICS OF DIGITAL TRANSFORMATION BASED
ON THE TROTSISHIN DIVIDER FOR BUILDING ADCS AND DACS**

Trotsishina N.I., Trotsishin I.V.

Odessa National Academy of Telecommunications named after A.S. Popov

65020, m. Odesa, 1 Kovalska St.

vottp.tiv@gmail.com

Анотація. Наведено результати дослідження побудови вимірювальної шкали перетворення ЦАП і АЦП нового покоління з програмованими параметрами на підставі використання атенюатора-подільника Троцишина. Зазначені результати не мають аналогів у світі і можуть служити теоретичним і практичним підставою до побудови принципово нового класу ЦАП і АЦП з програмованими параметрами, що дозволить замінити величезну кількість жорстко запрограмованих довічних ЦАП і АЦП.

Ключові слова: перетворення ЦАП і АЦП, програмовані параметри, атенюатор-дільник Троцишина

Аннотация. Приведены результаты исследования построения измерительной шкалы преобразования ЦАП и АЦП нового поколения с программируемыми параметрами на основании использование аттенюатора-делителя Троцишина. Указанные результаты не имеют аналогов в мире и могут служить теоретическим и практическим основанием к построению принципиально нового класса ЦАП и АЦП с программируемыми параметрами, что позволит заменить огромное количество жестко запрограммированных двоичных ЦАП и АЦП.

Ключевые слова: преобразования ЦАП и АЦП, программируемые параметры, аттенюатор-делитель Троцишина

Annotation. The results of the study for constructing a measuring scale conversion DAC and ADC new generation of software-defined on the basis of the use of the attenuator-divider Trotsishina. These results have no analogues in the world and can serve as a theoretical and practical foundation to build a fundamentally new class of ADCs and DACs with programmable parameters, which will replace the huge amount of hard-coded binary DAC and ADC.

Keywords: conversion the DAC and ADC, programmable parameters, attenuator-divider Trotsishina

В даний час тотального інформаційного суспільства, коли всі потоки інформації утворюють цифрові сигнали, засновані на принципах двійкової арифметики, і всі вхідні АЦП і 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 відношення (методу коінцидентії), який показує, що класична шкала є лише окремим випадком шкали коінцидентії [1, 2].

Постановка проблеми. Аналіз останніх досягнень і публікацій.

В той же час, квантова теорія вимірювань (КТІ) [3-5] не обмежуються досягнутим, і вказує, що можливими є всі точки які є квантовими значення відповідної вимірювальної шкали перетворення. У наступному розділі в популярній і наочній формі будуть наведені результати, які не мають аналогів у світі, і вказують, що дійсно, КТВ і застосування її принципів та методології дозволяє відкрити принципово нові можливості для створення вимірювальних шкал перетворення ЦАП і АЦП з багаторазовим збільшенням роздільної здатності.

Метою проведених досліджень є показати практичні можливості досягнення збільшення кількості поділок вимірювальних шкал, які при тій же кількості зразкових елементів дозволяють від 10 до 100 разів збільшити розділення, в порівнянні з використанням сучасних класичних двійкових шкал. Отримані раніше результати і моделювання та практичні випробування показали, що в рамках КТВ досить просто вдалося отримати шкалу коінцидентії (coincidence), хоча там також це було неочевидно, і давало збільшення вимірювальної шкали в рази. Але питання відхилення від лінійного закону характеристики перетворення на детальний розгляд чи не виносилося.

Дослідження принципів побудови перетворювачів на основі атенюатора-подільника Троцишина

Тепер, коли ефективність КТВ доведено, і реальний пристрій який її реалізує, для перетворення двовимірної шкали в одновимірну, є атенюатор-подільник Троцишина (АДТ), продовжимо дослідження саме для використання в якості базового елемента АДТ. Виклад матеріалу почнемо з визначення позначень і запису математичних моделей у формалізованому вигляді (таблиця 1).

Тепер більш детально розглянемо особливості освіти вже відомої [1, 2] шкали коінцидентії та її особливості порівняно з класичною [3].

Пристрій реалізує характеристику перетворення називається $n_{coenc} = \frac{A_i}{B_j}$, атенюатор-

подільником Троцишина (АДТ) (рис.1) [4, 5], і дозволяє щонайкраще практично реалізувати шкалу табл. 1.

Таблиця 1 – Математичні моделі ЦАП і АЦП

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

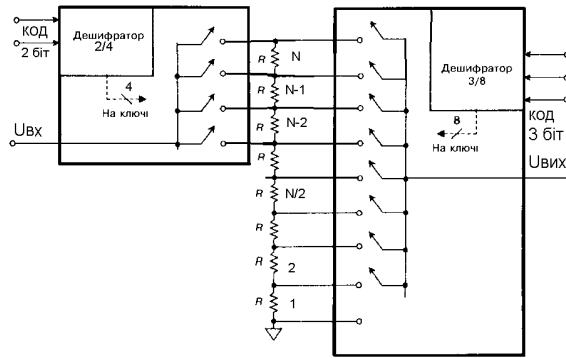


Рисунок 1 – Схема аттенюатора-подільника Троцишина для 8R [5]

Симуляція перетворювача з лінійною шкалою на основі АДТ_8.

На відміну від [2-4, 6,7], без уваги залишилося принципове питання отримання лінійної шкали перетворення з рівномірним кроком і розділенням, які були досліджені шляхом симуляційного моделювання перетворювача D_S_8, схема реалізації наведена на рис. 2.

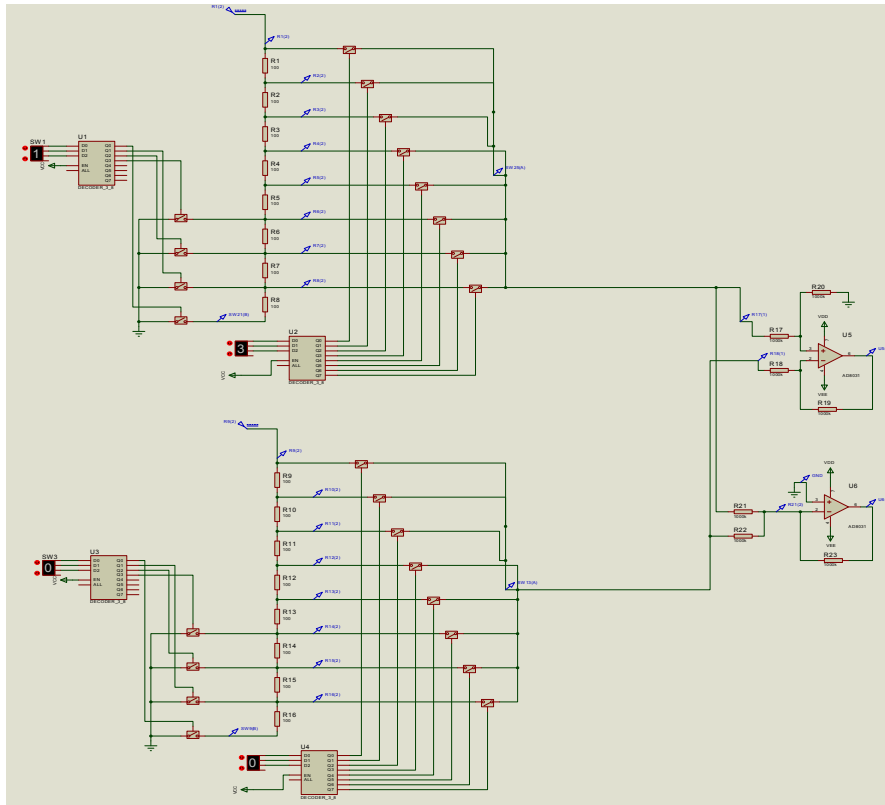


Рисунок 2 – Схема перетворювача на двох АДТ_8 в режимі D_S_8

Суть методу полягає у використанні лінійної комбінації двох вимірювальних перетворювачів визначених АПТ. Значення точок шкали утворюються як «інтерференція» між усіма можливими значеннями і кодовими комбінаціями АПТ, які вибираються згідно з висновками КТВ, що передбачає використання повного набору всіх можливих значень, а не тільки «зручних» двійкових, що і використовують в класичних ЦАП і АЦП.

Виходячи з висновків КТВ та враховуючи дію принципу суперпозиції можливе використання комбінованої шкали вимірювального перетворення:

$$n_{comby} = \frac{A_i}{B_j} / \frac{C_k}{D_l} \cup \frac{A_i}{B_j} \pm \frac{C_k}{D_l},$$

і на підтвердження на рис. 3 наведено її порівняння (у діапазоні половини шкали) зі шкалою коінцидентії.

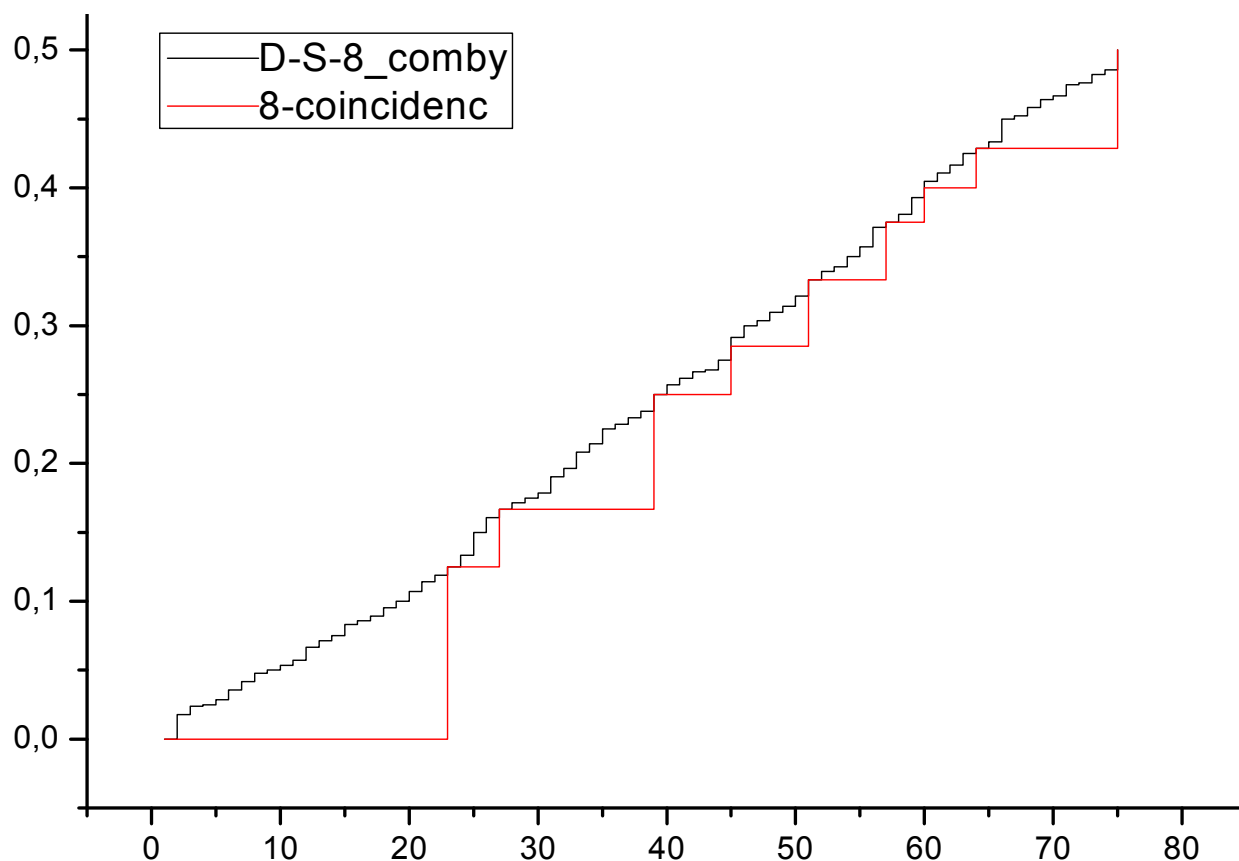


Рисунок 3 – Порівняння комбінованої шкали зі шкалою коінцидентії

При цьому необхідно зауважити, що зазначена комбінована шкала не є простою сумою всіх значень, а є об'єднанням множин обох утворюють шкал:

$$n_{comby} = \left[\frac{A_i}{B_j} / \frac{C_k}{D_l} \right] \cup \left[\frac{A_i}{B_j} \pm \frac{C_k}{D_l} \right].$$

Необхідно відзначити, загальні значення для обох шкал є величиною змінною, і їх кількість з ростом N приходять, і дозволяє оптимізувати вибір точок шкали або з $\frac{A_i}{B_j} / \frac{C_k}{D_l}$,

або із $\frac{A_i}{B_j} \pm \frac{C_k}{D_l}$.

Порівняння виконано для половини шкали, оскільки друга частина є симетричним відображенням, першої половини. Основну увагу потрібно звернути на те, що на першому ступені коінцидентії, де спостерігається найбільший стрибок кроку квантування, додатково з'явилися 22 додаткових «сходинки», які відповідно до 20 разів зменшують зазначену похибка, і відповідно збільшують роздільну здатність шкали. Необхідно відзначити, що додаткові «сходинки» з'явилися і в межах точок шкали коінцидентії, друга і наступні, хоча і в меншій кількості. В той же час, результуюча шкала стала значно більш лінійною рис. 4, що буде показано на подальших варіантах вимірювальних шкал N_{comby} , а також для шкал N_{D_S} , про ж N_{super} .

Зазначені результати симуляції роботи на реальних компонентах сумарно-різницевого перетворювача в режимі тільки двох кодових послідовностей (7-8), цілком підтверджують високі характеристики перетворення, і можливість програмування і коригування наскрізний характеристики перетворення, відкриває нові можливості побудови ЦАП-АЦП нового виду.

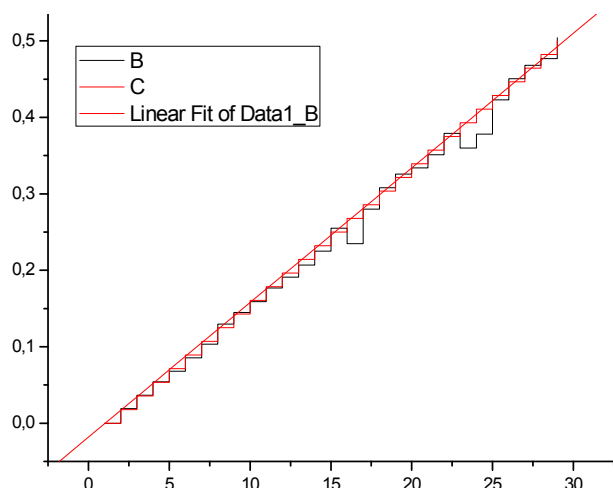


Рисунок 4а) – Порівняння розрахункової та реальної характеристик перетворення

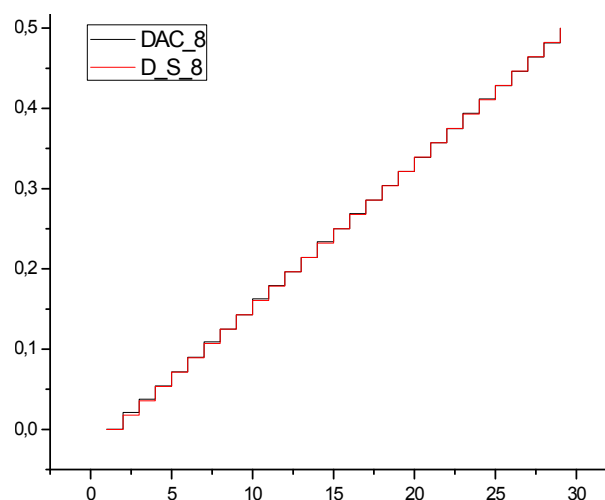


Рисунок 4б) – Порівняння ідеальної (розрахункової) і реальної (скорегованої) характеристик перетворення

Висновки

Квантові властивості принципу коінциденції найбільш наочно виявляються в побудові ЦАП і АЦП використовують всю можливу (квантовану), а не зручну «двійкову», шкалу вимірювального перетворення.

В основі методології побудови Квантова теорії вимірювань (КТІ) лежить принцип, що значення цифрової шкали вимірювального перетворення визначаються набором всіх можливих (квантованих) значень, які можуть бути реалізовані при даному порівнянні багатозначної міри і багатоступінчастого подільника вхідної величини - так званий метод коінциденції, а не на підставі інших шляхів, наприклад, вибору двійкової шкали, рівномірності кроку квантування, лінійності шкали, тощо.

Квантовий підхід до вимірювання амплітудних параметрів реалізується шляхом побудови атенюатора-подільника Троцишина (АПТ), який полягає у використанні кодокерованих комутацій точок проміжних точок лінійки N послідовно з'єднаних резисторів однакового номіналу, в якій на верхній (крайній елемент лінійки резисторів) подається вхідна напруга, а нижній (крайній елемент лінійки резисторів) підключено до спільного виходу атенюатора-подільника (подільника Кельвіна).

Встановлено, і практично доведено, що при використанні методу коінциденції кількість квантованих значень шкали вимірювального перетворення ЦАП-АЦП значно більше, ніж прийнято використовувати в класичних довічних перетворювачах, і дозволяє одночасно збільшувати і точність і швидкодію вимірювання як фазочастотних так і амплітудних параметрів радіосигналів.

Проведено моделювання та емуляція ЦАП і АЦП різних типів на основі атенюатора-подільника Троцишина, отримано значне збільшення кількості квантованих точок шкали вимірювального перетворення, наприклад: для АПТ_8R, замість 8 точок для класичної двійкової шкали, шкала коінциденції дає – 22 точки; шкала супер (подвійний коінциденції) – 166, шкала сумарно-різницева – 169, і шкала комбі – 247, і все це в однаковому діапазоні вимірювального перетворення (0,000–1,000), при однакової кількості (8R) резисторів однакового номіналу.

Найбільш ефективними будуть інвестиції у створення та освоєння серійного випуску універсальних мікросхем ПРОГРАМОВАНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ЦАП-АЦП на одному кристалі, які зможуть витіснити з ринку багатотисячну номенклатуру класичних ЦАП і АЦП, які необхідно кожен раз підбирати для конкретної розробки, і принципово не допускають не

тільки перепрограмування, а й одночасного збільшення і точності (роздільної здатності) і часу вимірювального перетворення.

ЛІТЕРАТУРА

1. Троцишин І.В. Квантова теорія випромінювань: принципи та методи вимірювального перетворення параметрів радіосигналів / І.В. Троцишин, О.П. Войтюк, Н.І. Троцишина // Матеріали Одинадцяті міжнародної науково-технічної конференції "Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах", (ВОТТП_11_2012), 5–8 червня 2012 р. в м. Хмельницький. – С. 25–28
2. Троцишин І.В. ЦАП і АЦП на основі аттенюатора-подільника троцишина (апт) і його модифікації / І.В. Троцишин, О.П. Войтюк, М.І. Троцишин // Матеріали Одинадцяті міжнародної науково-технічної конференції "Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах", (ВОТТП_11_2012), 5–8 червня 2012 р. в м. Хмельницький. – С.100–103.
3. Троцишин І.В. Новое поколение ЦАП-АЦП с программируемыми параметрами характеристики преобразования на основе аттенюатора-делителя Троцишина / И.В. Троцишин // Инженерные и научные приложения на базе технологий National Instruments-2012; Сборник трудов XI международной научно-практической конференции, Москва 6–7 декабря 2012 г, – С. 420–422.
4. Троцишин І.В. ЦАП-АЦП на основі аттенюатора-делителя троцишина с программируемыми параметрами характеристики преобразования / И.В. Троцишин // Матеріали конференції, 67-ма науково-технічна конференція професорсько-викладацького складу, науковців, аспірантів та студентів, Одеса, 5-7 грудня 2012 р. – С. 70-75.
5. Троцишин І.В. Спосіб побудови атенюатора-подільника Троцишина. Патент України 100581. МПК (2013.01) G01R 15/00 G06G 7/16 (2006.01) G11C 8/00 H02M 3/06 (200), Опубліковано 10.01.2013, Бюл. № 1.

REFERENCES

1. I.V Trotsyshyn. Quantova teoriya vymirunan: Principy ta Methody vymiruvalnogo peretvorennia parametriv radiosignaliv. I.V. Trotsyshyn, O.P. Voytyuk, N.I. Trotsyshyna // Materialy 11-y misznarodnoi naukovo-tehnithoi konferencii "Vymiruvalna ta obthysluvalna tekhnika v tekhnologithnykh procesakh" (VOTTP_11_2012), 5–8 June 2012. in. Khmelnytsky, S.25–28.
2. I.V. Trotsyshyn. CAP I ACP na osnovi atenuatora-podilnyka Trotsyshyna (APT) I yogo modyfikazii. /I.V Trotsyshyn, O.P. Voytyuk, M.I. Trotsyshyn // Materialy 11-y misznarodnoi naukovo-tehnithoi konferencii "Vymiruvalna ta obthysluvalna tekhnika v tekhnologithnykh procesakh" (VOTTP_11_2012), 5 - 8 June 2012. in. Khmelnytsky, S.100-103.
3. I.V.Trotsyshyn. Novoe pokolenie CAP- ACP s prohrammyruemyimi parameterami charakteristiki preobrazovania na osnove based on attenuatora-dtlitelia Trotsyshyna / I.V.Trotsyshyn // Inzhenernyi i nauthnye prilohenia na baze tehnolohy National Instruments-2012; Sbornyk trudov XI- y mezhdunarodnoy nauthnopraktitheskoj konferencii, 6-7 December 2012. Moscow, S. 420-422.
4. I.V.Trotsyshyn. CAP-ACP na osnove attenuatora-dtlitelia Trotsyshyna s programmiuemyimi parameterami charakteristiki preobrazovania / I.V.Trotsyshyn // Materialy konferencii , 67-a naukovo-tehnithna konferencia profesorskogo vykladazkogo skladu, naukovziv ta studentiv, Odessa, 5-7 December 2012. S. 70-75.
5. Trotsyschyn I.V. Sposib pobudovy attenuatora-podilnyka Trotsyshyna. Patent Ukrainy 100581. IPC (2013.01) G01R 15/00 G06G 7/16 (2006.01) G11C 8/00 H02M 3/06 (200) Posted 10/01/2013, Bull. Number 1.