

щодо співвідношення С/Ш у каналі супутникового зв'язку в межах 2,5 дБ, що надає можливість по зменшенню потужності випромінювання КА до 1,7 разів, при потужності передавача супутника на рівні від 7,65 до 8,85 Вт. Розроблена імітаційна модель супутникового каналу зв'язку може бути використана при проектуванні приймальних трактів наземних станцій.

Література

1. Роскосмос [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.federspace.ru/>. – Названіе с екрана.
2. CCSDS 130.1-G-1. TM Synchronization and Channel Coding, Washington, DC, USA, June 2006. – 89 p.
3. Robert H. The Art of Error Correcting Coding / H. Robert, R. Morelos-Zaragoza. – First Edition, John Wiley & Sons, 2002. – 221 p.
4. Richard E. Blahut. Theory and Practice of Error Control Codes. – Addison-Wesley Publishing Company, Massachusetts, 1984. – 576 p.
5. William A. Geisel, Tutorial on Reed–Solomon Error Correction Coding, NASA, August 1990. – 144 p.

Надійшла 7.9.2012 р.

УДК 621.3.087.92

В.О. ВАРЕШКО

Хмельницький національний університет

ЛІНІЙНА РІВНОМІРНА ШКАЛА ДЛЯ АЦП ПРЯМОГО ПЕРЕТВОРЕННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ ДВОХ НАБОРІВ РЕЗИСТОРІВ, ЩО ВІДРІЗНЯЮТЬСЯ НА ОДИНИЦЮ

Розглядаються основні характеристики та типи АЦП. Описується можливість покращення АЦП прямого перетворення за рахунок двох наборів резисторів. Створена принципово нова лінійна шкала, що дозволяє позитивно впливати на розрядність перетворювача. За рахунок цього зменшується одиниця квантування і збільшується точність приладу.

Basic descriptions and types of ADC are considered. Possibility of improvement of ADC of direct conversion is described due to two sets of resistors. A new linear scale has been created on principle, that allows positively to influence on the digit capacity of the converter. It decreases the unit of quantization and increases the device precision.

Ключові слова: АЦП, квантування, шкала, рівномірна шкала.

Вступ

Сучасний етап розвитку комп'ютерних технологій, телебачення, радіомовлення, запису та відтворення звуку має на меті представлення інформації у цифровому форматі. Більшість інформації у первозданному вигляді є аналоговою, тому для її обробки за допомогою ЕОМ аналогова інформація перетворюється в багаторозрядний цифровий код. В цифровому вигляді вона зберігається. Пристрої, які перетворюють аналогову інформацію в цифрову, називаються аналого-цифровими перетворювачами (АЦП). Для її відтворення використовують пристрої зворотної дії – цифро-аналогові перетворювачі (ЦАП) [1].

Основними характеристиками ЦАП й АЦП є частота перетворення (швидкодія) та розрядність (точність). Частота перетворення зазвичай виражається у відліках в секунду (samples per second – SPS), розрядність – в бітах. Чим вищі вимоги до швидкості і розрядності, тим важче отримати необхідні характеристики, та тим дорожчий і складніший перетворювач [2]. Зрозуміло, що швидкість перетворення та розрядність пов'язані між собою – для підвищення точності жертвується швидкість.

Аналіз першоджерел

За період існування АЦП створено багато їх типів. Ось деякі з них:

- 1) АЦП паралельного перетворення (прямого перетворення, flash ADC);
- 2) АЦП послідовного наближення;
- 3) сигма-дельта АЦП;
- 4) конвеєрні АЦП;
- 5) диференціального кодування.

Кожен з типів АЦП призначений для підвищення точності або швидкості, одні види дорожчі та складніші, інші – дешевші та відповідно простіші. Найшвидшим є АЦП паралельного перетворення. У ньому вхідний сигнал прикладається одночасно до входів всіх компараторів. У кожному компараторі він порівнюється з опорним сигналом, значення якого еквівалентно певній кодовій комбінації. Опорний сигнал U_{ref} знімається з вузлів резистивного дільника, що живиться від джерела опорної напруги. Число можливих кодових комбінацій (а, отже, число компараторів) рівне $2^m - 1$, де m є числом розрядів АЦП [5]. АЦП прямого перетворення володіють найвищою швидкодією серед інших типів АЦП, визначуваною швидкодією компараторів і затримками в логічному дешифраторі. Їх недоліком є необхідність у великій

кількості компараторів. Так, для восьмирозрядного АЦП потрібно 255 компараторів. Це ускладнює реалізацію багаторозрядних АЦП в інтегральному виконанні. Крім того, точність перетворення обмежується точністю і стабільністю кожного компаратора і резистивного дільника. Проте на основі даного принципу будують найбільш швидкодіючі АЦП з часом перетворення в межах десятків і навіть одиниць наносекунд, але обмеженій розрядності (не більше шести розрядів) [3].

АЦП послідовного наближення (Successive Approximation Register – SAR) реалізує алгоритм “зважування”. АЦП вимірює величину вхідного сигналу, здійснюючи ряд послідовних “зважувань”, тобто порівнянь величини вхідної напруги з рядом величин, що генеруються наступним чином.

1. На першому кроці на виході вбудованого ЦАП встановлюється величина, рівна $\frac{1}{2}U_{ref}$ [2], де припускається, що сигнал знаходиться в інтервалі $[0; U_{ref}]$.

2. Якщо сигнал більше цієї величини, то він порівнюється з напругою, що лежить в інтервалі, який залишився посередині, тобто, в даному випадку, $\frac{3}{4}U_{ref}$. Якщо сигнал менше встановленого рівня, то наступне порівняння проводитиметься з меншою частиною інтервалу, що залишився (тобто з рівнем $\frac{1}{4}U_{ref}$).

3. Крок 2 повторюється N разів. Таким чином, N порівнянь (“зважувань”) породжує N біт результату.

Перевагою пристрою є відносно висока швидкість перетворення: час перетворення N -бітного АЦП складає N тактів. Точність перетворення обмежена точністю внутрішнього ЦАП і може складати 16 – 18 біт (зараз почали з’являтися і 24-бітові SAR ADC, наприклад, AD7766 і AD7767) [2].

Існує багато алгоритмів та структур, які перетворюють аналогову величину в цифрову. З роками досліджень їх характеристики вдосконалюються: зменшуються шуми, похибки зводяться до мінімуму, швидкодія АЦП зростає. Проте кожен з них має свої недоліки. Найшвидші АЦП поступаються своєю розрядністю та великою кількістю використання резисторів та компараторів, багаторозрядні відстають в частотних швидкостях та поступаються простотою конструювання. Далеко не всі характеристики перетворювачів досконалі, а тому здебільшого певний тип АЦП використовується у вузькій спеціалізації.

Мета статті

Дослідимо можливість покращення АЦП прямого перетворення за допомогою вдосконалення його шкали з використанням двох наборів резисторів, що відрізняються на одиницю. Проведемо математичні дії над значеннями отриманих даних з обох наборів резисторів для одержання удосконаленої шкали. Також перевіримо шкалу на рівномірність і, якщо вона нерівномірна, виведемо для неї алгоритм, який зможе зробити її рівномірною.

АЦП прямого перетворення з двома наборами резисторів

Створення принципово нової лінійної шкали АЦП прямого перетворення дозволяє позитивно впливати на розрядність перетворювача. Для АЦП з новою лінійною шкалою потрібно, зокрема, $m + n$ ($m = n \pm p$) резисторів. Для максимальної кількості значень обираємо $p = 1$, оскільки при $p > 1$ й однаковій кількості резисторів кількість отриманих значень буде помітно зменшуватись, тому надалі p приймаємо за одиницю. Проте при створенні лінійної шкали отримуємо mn значень в межах напівінтервала $[0; 1)$. Для цього потрібно АЦП прямого перетворення з деякими змінами, а саме з різницею значень отриманих даних з обох наборів m та n резисторів. В результаті з’явиться $m \times n$ -матриця, де певна кількість елементів матриці буде від’ємною, тому всі елементи будуть братись по модулю, хоча певна кількість отриманих значень дублюється за рахунок від’ємних елементів, взятих по модулю (наприклад, при $mn = 7 \cdot 8 = 56$ маємо 27 від’ємних значень, 28 додатних і нуль – всього 56 значень, з яких $(6 \cdot 7) / 2 = 21$ повторюються). Для визначення кількості повторюваних значень використаємо формулу

$$n_{repeat} = \frac{(m-1)(n-1)}{2}. \quad (1)$$

Ця формула показує кількість n_{repeat} повторюваних значень для $m \times n$ -матриці ($m = n \pm 1$, де $m = 3, 4, 5, \dots$), обчислюваної методом абсолютної різниці. Тому для отримання кількості позначок (елементів) лінійки (відкинувши повторення від загальної кількості значень) має місце формула

$$k = mn - n_{repeat}, \quad (2)$$

де k – кількість елементів лінійки.

Одиницю квантування або ціну поділки отриманої шкали буде визначати міра

$$q = \frac{1}{mn}, \quad (3)$$

де q – одиниця квантування.

Нехай вектор $\mathbf{A} = [a_i]_m$ вміщує в собі множину m значень

$$a_i = \frac{i}{m}, \quad (4)$$

а вектор $\mathbf{B} = [b_j]_n$ вміщує в собі множину n значень

$$b_j = \frac{j}{n}. \quad (5)$$

Для отримання $m \times n$ -матриці $\mathbf{D} = [d_{ij}]_{m \times n}$ знайдемо абсолютну різницю між кожним елементом вектора \mathbf{A} та кожним елементом вектора \mathbf{B} . Значення отриманої матриці обчислюються так:

$$d_{ij} = \frac{|in - jm|}{mn}. \quad (6)$$

Елементи матриці \mathbf{D} лежать в межах напівінтервала $[0; 1)$. Якщо з неї видалити повторювані елементи і відсортувати за зростанням залишені k елементів, то отримаємо вектор

$$\mathbf{C} = [c_s]_k, \quad (7)$$

який утворює лінійку кількістю в k елементів, проте шкала в такій лінійки нерівномірна. Це видно з формули (6), де при певних значеннях m та n матриці \mathbf{D} , і відповідно вектора (7), пропускаються їх значення, тобто неможливо отримати певні значення за допомогою операції віднімання.

Зрозуміло, що довжиною лінійки l з кількістю елементів k та ціною поділки q є

$$l = (k-1) \cdot q. \quad (8)$$

Проте максимальне значення вектора \mathbf{C} більше за довжину лінійки l :

$$\max_{s=1,k} c_s > l \quad (9)$$

або для відсортованої за зростанням

$$c_k > l. \quad (10)$$

Це пояснюється тим, що одиниця квантування q залежить від усієї кількості mn утворених елементів, які вміщує в собі вектор \mathbf{C} , а довжина лінійки залежить від кількості елементів без повторення $k < mn$ (рис. 1). Тому цю невідповідність потрібно вирішити.

Починаючи з $(m+n)$ -го елементу впорядкованого за зростанням вектора \mathbf{C} , наступні $m-1$ ($m=n-1$) елементів мають відхилення від лінійки на q вверх вздовж осі ординат, наступні $m-2$ елементів відхиляються від попередніх $m-1$ елементів на $2q$, а від еталонної лінійки на $q+2q=3q$. Кожні наступні $m-h$ ($h = \overline{1, m-2}$) елементи за тим самим принципом будуть відхилятися від попередніх елементів на hq , а від еталонної лінійки – на суму всіх попередніх стрибків. Звідси випливає, що відхилення від еталонної лінійки відбувається стрибками в певних точках або на інтервалах осі абсцис. Точки, в яких відбуваються стрибки, визначаються за формулою:

$$x_{j+1} = x_j + m - j \quad (x_1 = m + n; j = \overline{1, m}). \quad (11)$$

Відстань на яку відхиляються поділки шкали від еталонної шкали знаходиться по формулі:

$$\Delta y_{i+1} = \Delta y_i + (i+1) \cdot q \quad (\Delta y_1 = q; i = \overline{1, m}). \quad (12)$$

Отже, на інтервалі $[x_j; x_{j+1})$ відбувається стрибок вверх по осі ординат на y_i . Тому, щоб отримати з вектора (7) еталонну лінійку, потрібно на інтервалі $[x_j; x_{j+1})$ значень вектора \mathbf{C} відняти відстань відхилення Δy_i . Так утвориться новий вектор \mathbf{C}_E , який визначає еталонну лінійку:

$$\mathbf{C}_E = \left[c_{x_j} - y_i \right]_k \quad (i, j = \overline{1, m}). \quad (13)$$

В результаті опрацювання даних з $m+n$ резисторів одержано відповідний вектор $\mathbf{C}_E = [c_s]_k$ і лінійку з k за (2) елементами, одиницею квантування якої є q за (3) (рис. 2).

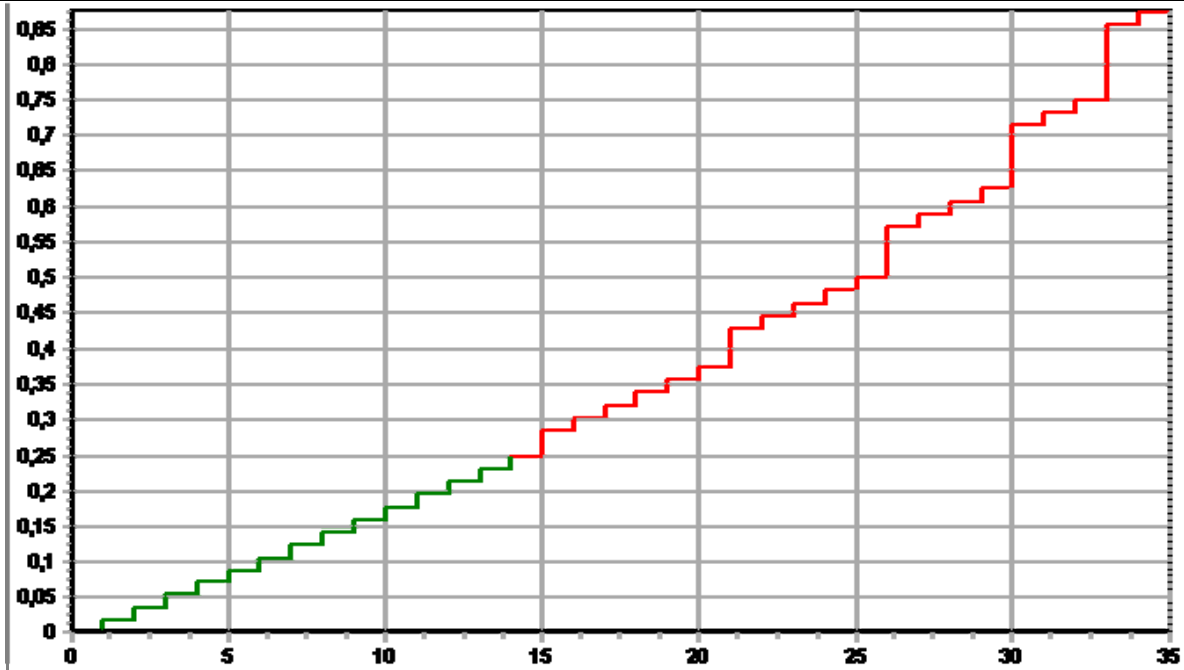


Рис. 1. Графічне відображення значень нумерованих елементів вектора $C = [c_s]_k$. Еталонна частина лінійки знаходиться в інтервалі $[0; 14]$, частина лінійки зі зміщенням – в інтервалі $[15; 35]$

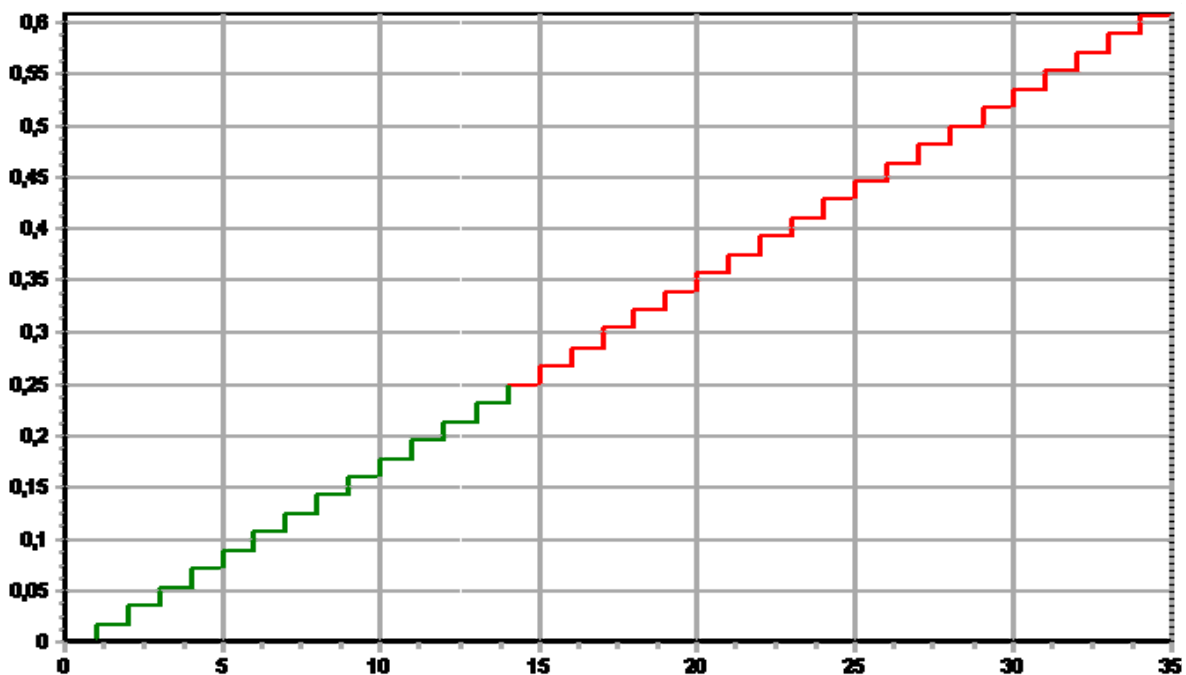


Рис. 2. Графічне відображення утворене зі значень нумерованих елементів вектора $C_E = [c_s]_k$ з урахуванням відхилення (13) повністю визначає еталонну лінійку

Висновки

Таким чином, за допомогою урахувань стрибків створено нову лінійку для АЦП прямого перетворення з двома наборами резисторів, що значно покращує розрядність перетворювача. Для цього застосований метод абсолютної різниці щодо отриманих даних з обох наборів резисторів. Це дало змогу побудувати нерівномірно розподілену шкалу з кількістю поділок (2). Нова шкала зведена до лінійної рівномірно розподіленої шкали згідно з формулою (13). В результаті вдалось зменшити одиницю квантування, що, в свою чергу, збільшить точність перетворення.

Література

1. Analog-to-digital converter [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://en.wikipedia.org/wiki/Analog-to-digital_converter

2. Successive approximation ADC [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://en.wikipedia.org/wiki/Successive_Approximation_ADC
3. Измерения и контроль в микроэлектронике: учебное пособие по специальностям электронной техники / [Н. Д. Дубовой, В. И. Осокин, А. С. Очков и др.]. – М. : Высш. шк., 1984. – 367 с.
4. Глинкин Е. И. Технология аналого-цифровых преобразователей : [монография] / Е. И. Глинкин, М. Е. Глинкин. – Тамбов : Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2008. – 140 с.
5. Троцишин І. В. Напрямки квантової теорії вимірювального перетворення фізичних величин на основі єдиної дробово-раціональної шкали вимірювань / І. В. Троцишин // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2011. – № 1. – С. 196 – 201.
6. Гуляс О. Й. Вимірювання постійної напруги методом коінциденції / О. Й. Гуляс, О. П. Войтюк, І. В. Троцишин // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2011. – № 1. – С. 89 – 93.
7. Троцишин І. В. Шляхи підвищення роздільної здатності шкали вимірювального перетворення ЦАП і АЦП / І. В. Троцишин, О. П. Войтюк, Н. І. Троцишина // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2010. – № 2. – С. 236 – 242.
8. Кестер У. Аналого-цифровое преобразование / У. Кестер. – М. : Техносфера, 2007. – 1019 с.

Надійшла 22.9.2012 р.

Рецензент: д.т.н. Троцишин І.В.

УДК 621.78/ (66.088+537.52+66.046)

І.М. ПАСТУХ, М.В. ЛУК'ЯНЮК, В.О. КУРСКАЯ, В.І. КУХАР
Хмельницький національний університет

ПРОЦЕС РОЗМИКАННЯ СТРУМУ В УСТАНОВЦІ ДЛЯ АЗОТУВАННЯ В ТЛІЮЧОМУ РОЗРЯДІ З НЕСТАЦІОНАРНИМ ЖИВЛЕННЯМ

Виконано аналіз зміни електричних параметрів в установці для азотування в тліючому розряді зі змінним живленням при вимкненні напруги.

The analysis of change of electric parameters is executed in a nitridings plant in a gas discharge with a variable feed in case of setting off tension.

Ключові слова: азотування, тліючий розряд, нестационарне живлення, розмикання, електричні параметри.

В попередніх роботах, присвячених перехідним процесам в установці для азотування в тліючому розряді з нестационарним живленням, розглянуті ввідні положення стосовно цих процесів, а також питання зміни в часі напруги та струму в момент замикання силового ключа [1– 4]. Таким чином, досліджені перехідні явища, які мають місце в установках в той момент, коли напруга стрибкоподібно збільшується від нульового значення до певного номінального, характерного у відповідності до технологічних параметрів модифікаційного процесу. Встановлено, що деякі з електричних характеристик в цей момент у значній мірі відрізняються від номінального значення параметра, регламентованого режимом, що при незначній тривалості циклу наявності напруги на електродах камери, характерній, наприклад, для циклічно комутованого та йому подібних процесів, може відігравати суттєву роль у формуванні поверхневого модифікованого шару, його фазової структури та, відповідно, властивостей. При цьому слід мати на увазі, що частота процесів зміни параметрів живлення порядку десятка кілогерц, тому доля впливу фаз їх стабілізації суттєва, що обов'язково потрібно враховувати в аналітичному апараті прогнозування наслідків модифікації [2]. В цій роботі передбачається розглянути перехідні процеси, які притаманні установкам азотування в тліючому розряді з нестационарним живленням у фазі вимкнення напруги. При цьому передбачається, що нестационарні явища при замиканні та розмиканні електронного ключа (ЕК) не перекриваються, що дозволяє розглядати ці процеси незалежно.

Еквівалентна схема установки в режимі розмикання електронного ключа ЕК показана на рис. 1.

На рис. 1 використані умовні позначення: E – електрорушійна сила (ерс) джерела живлення, R_{ϕ} , C_{ϕ} – відповідно опір та ємність фільтра згладжування, R_{δ} – баластний опір, L – еквівалентна індуктивність камери, $C_{\text{ЭК}}$ – ємність електронного ключа в розімкнутому стані, R_K – резистивний опір камери змінному струмові. Позитивний напрямок напруги u та струму i камери відповідають

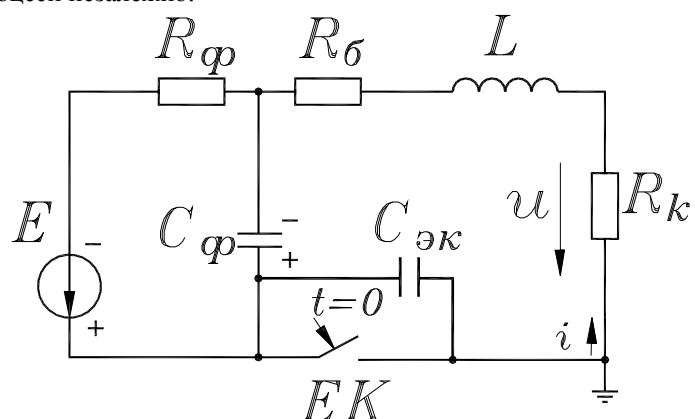


Рис. 1. Еквівалентна схема установки в режимі розімкнення ключа