

Assessment. – Kharkov: Ministry of Education and Science of Ukraine. – 159p.

5. Lobachova K.I., Kharchenko V.S. "Researching dependability of Apache and IIS web-servers // Proceedings of International Conference INFOTECH, Sebastopol, Ukraine, September, 10-16, 2007 (accepted).

6. <http://nvd.nist.gov/>, National Vulnerability Database, February 2007.

7. <http://secunia.com>, Vulnerability and Virus Information, February 2007.

8. http://httpd.apache.org/security_report.html, Apache Security Updates, February 2007.

9. <http://www.microsoft.com/technet/security/bulletin>, Microsoft Security Bulletin, February 2007.

10. Kharchenko V., Tarasyuk O., Sklyar V., Dubnitsky V. The Method of Software Reliability Growth Models Choice Using Assumptions Matrix // Proceedings of 26th Annual International Conference (COMPSAC), Oxford, England, Aug. 2002, pp. 541– 546.

11. Kharchenko V., Konorev B., Tarasyuk O. and others. Assessment of Quality, Reliability and Safety of NPP I&C Systems: Models, Methods and Tools // Proceedings of 3th International Symposium "Significant Assessment for Reactor Safety", Russia, Moscow, 2003, pp. 11– 12.

Надійшла 21.5.2008 р.

УДК 681.3: 621.375

О.Д. АЗАРОВ, В.А. ГАРНАГА, С.В. БОГОМОЛОВ
Вінницький національний технічний університет кафедра обчислювальної техніки

ДВОТАКТНІ ПІДСИЛЮВАЧІ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ ІЗ СИМЕТРИЧНОЮ СТРУКТУРОЮ

Традиційно структури підсилювачів постійного струму містять у переважній більшості диференційні каскади, але мають асиметричну структуру, що призводить до таких наслідків: асиметрія фронтів та нелінійність передатної характеристики. У даній статті пропонується побудова підсилювальних схем за двотактною симетричною структурою відносно входу і виходу схеми. Застосування такого підходу дає можливість отримати симетричну реакцію схеми на прямокутний двополярний вхідний імпульс, і підвищити лінійність переданої характеристики підсилювача, а також зменшити коефіцієнт нелінійних спотворень.

Вступ

Значна кількість сучасних підсилювачів постійного струму [1-3] (ППС) переважно застосовують одноканальну асиметричну структуру в диференційному підсилювальному каскаді, який передбачає принцип підсилення і перетворення напруг [3]. Це в значній мірі пов'язано з тим, що історично перші ППС було побудовано на електронних лампах, які по аналогії з польовими транзисторами мають однакову провідність і по суті є «п- канальними». Для побудови двотактних структур на електронних лампах необхідно було застосовувати трансформатори [3], що робило практично неможливим мікроелектронне виконання схеми. Вони також використовували вхідний диференційний каскад. Перевагами такого підходу є функціональна універсальність призначення таких схем, що дозволяє їх використовувати у різних пристроях (операційні підсилювачі, пристрої вибірки-зберігання аналогових сигналів, компаратори і т. д.). Проте схеми на базі диференційного каскаду мають і значні недоліки: низька швидкість наростання вхідного сигналу, значний коефіцієнт нелінійних спотворень. Перенесення підходів та принципів побудови структурних схем лампових підсилювачів на транзисторні призвело до того, що інтегральні транзисторні схеми ППС, які з'явилися в 60-х і 70-х роках [1], в значній мірі нагадували лампові схеми. Це значно обмежувало динамічні характеристики схем, оскільки не дозволяло використовувати частотні властивості транзисторів.

Розвиток мікроелектронних технологій і можливість виготовлення на одному кристалі біполярних як р-п-р, так і п-р-п транзисторів, а також польових п- і р- канальних транзисторів стимулювали розробників до проектування нових структур і схем та застосування двоканальних симетричних структур. Перший прорив у даному напрямку було здійснено американським інженером Джорджем Жозефом Фраєм [4]. Він відмовився від використання вхідного диференційного каскаду і застосував на вході ППС двотактну симетричну схему із загальною базою, такого типу схеми орієнтовані на принцип підсилення струмів і потенційно мають вищу швидкодію [5]. Проте вказана схема мала проблему, пов'язану з завданням режиму по постійному струму у підсилювальних каскадах, що ускладнювало задачу побудови багатокаскадних підсилювачів з високим коефіцієнтом підсилення по струму K_i і обмежувало сферу їх застосування. Навіть у теперішній час такі схеми переважно застосовують у буферних пристроях.

Водночас у ВНТУ під керівництвом професора Азарова О. Д. розвивається науковий напрямок пов'язаний з побудовою ППС на базі двотактних симетричних структур як без використання, так і з використанням диференційного каскаду. Вказані схеми можуть використовуватися у перетворювачах інформації, вхідних та вихідних буферах АЦП і ЦАП, у операційних підсилювачах, пристроях вибірки-зберігання аналогових сигналів і т. д [6].

Побудова вказаних схем передбачає інтегральну технологію біполярних п-р-п та р-п-р транзисторів і польових п- та р- канальних транзисторів. Вказаний підхід дозволяє максимально використати частотні

властивості транзисторів аж до граничної частоти f_T , розширити смугу пропускання в малосигнальній зоні, збільшити швидкість наростання вхідного сигналу, симетрувати реакцію підсилювача на двополярний прямокутний вхідний імпульс, а також будувати високолінійні схеми для багаторозрядних АЦП і ЦАП.

Проте схемотехніка таких підсилювачів постійного струму ще мало досліджена і саме тому вказаний напрям є актуальним.

Метою статті є

Аналіз можливості побудови підсилювачів постійного струму із симетричною структурою та дослідження їх коефіцієнтів передачі по струму.

Постановка задач

1. Розглянути структури двотактних підсилювачів постійного струму із симетричною структурою.
2. Проаналізувати коефіцієнти передачі по струму розглянутих ППС.

Розв'язання задач

У теперішній час багато провідних компаній світу займаються розробкою підсилювачів постійного струму. Найбільш відомі з них такі: "Analog Devices", "National Semiconductor", "Texas Instruments", "NEC, Linear Technology", "МАХІМ", "Philips", "Pioneer", "Inetsil" і т. д. Було сформульовано досить багато вимог, яким повинні відповідати такі підсилювачі для забезпечення належної точності та швидкості. Головні вимоги при побудові високолінійних двотактних симетричних підсилювачів постійного струму такі:

1) мінімальний струми зміщення нуля $\approx 10^{-2} \div 10^0$ мкА; схеми з:

а) низьким вхідним гвх та низьким вихідним гвх опорами за умови входу по струму і виходу по напрузі; б) низьким гвх та високим вихідним гвх опором за умови входу і виходу по струму;

2) коефіцієнт підсилення по струму на рівні $10^3 \div 10^6$;

3) низький коефіцієнт нелінійних спотворень на рівні $0,01 \div 0,0001$ % при $f_c = 1 \div 10$ кГц;

4) симетричність вихідного сигналу відносно нуля за умови подачі на вхід підсилювача прямокутного двополярного імпульсу.

Передана характеристика двотактного підсилювача постійного струму із симетричною структурою описується такою формулою [7]:

$$\Delta I_n = \frac{\beta_4 \alpha_2 + \beta_3 \alpha_1}{2} I + (\beta_4 \alpha_2 - \beta_3 \alpha_1) \left(\sqrt{\frac{I_{вх}^2}{4} + I_0^2} - I_0 \right)$$

де $I_{вх}$ – струм, що потрапляє на вхід підсилювача, I_n – струм навантаження, I_0 – струм зміщення нуля, β_3 , β_4 і α_3 , α_4 – параметри транзисторів, що входять до підсилювальних каскадів.

Усе різноманіття схемних рішень можна зобразити двома узагальненими структурами:

При побудові підсилювачів постійного струму з середнім коефіцієнтом підсилення використовується структурна схема, зображена на рис. 1. Вона містить двотактний симетричний вхідний каскад, два симетричних канали підсилення на біполярних п-р-п та р-п-р транзисторах, двонаправлений відбивач струму та вихідний двотактний каскад.

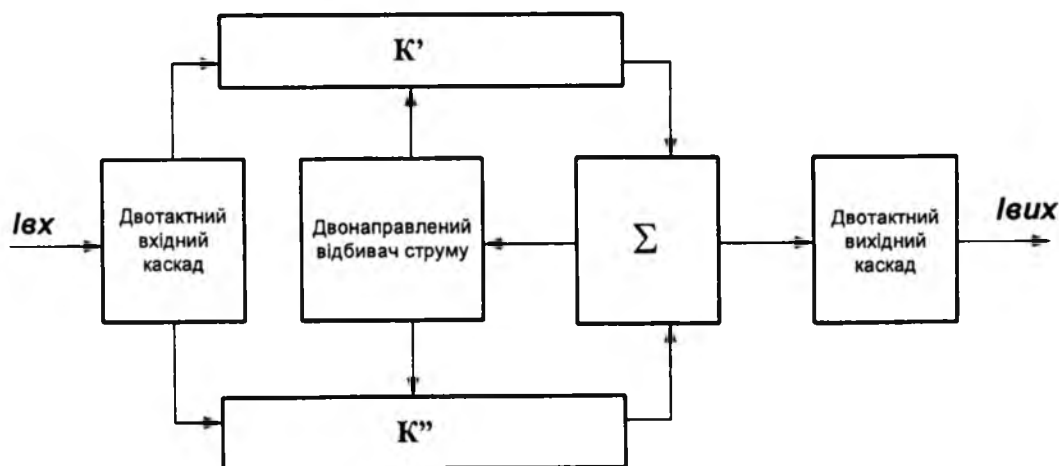


Рис. 1. Структурна схема двотактного симетричного ППС із середнім коефіцієнтом підсилення

При побудові підсилювачів постійного струму з високим коефіцієнтом підсилення використовується структурна схема, зображена рис. 2. Схема містить: симетричний двотактний вхідний каскад, два канали підсилення на п-р-п та р-п-р біполярних транзисторах з декількома підсилювальними каскадами, декілька двонаправлених відбивачів струму та вихідний двотактний каскад.

Спрощену практичну принципову схему ППС із симетричною структурою зображено на рис. 3. Цей підсилювач містить вхідний двотактний каскад, побудований у вигляді самодоповняльної схеми із загальною базою на транзисторах Т4 та Т5. Робоча точка цього каскаду задається падінням напруги на транзисторах Т1 та Т2 у діодному вмиканні, рівень яких забезпечується значеннями струмів генераторів струмів І1 та І2. Схема

також містить два симетричних підсилювальних канали на транзисторах Т11 і Т14. Робочі точки цих транзисторів задаються введенням у схему двонаправленого відбивача струму, а також відбивачів струму: верхнього – на транзисторах Т3 і Т7 та нижнього – на транзисторах Т6 і Т10.

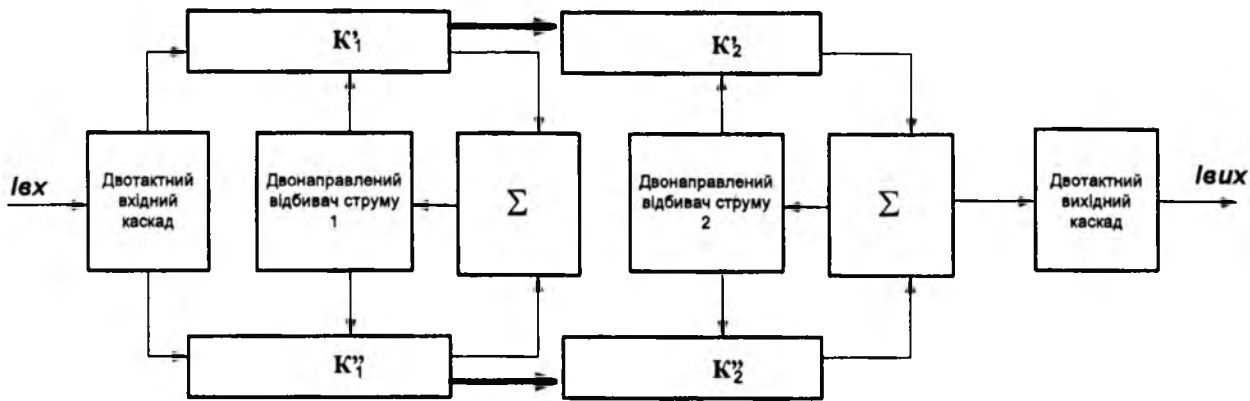


Рис. 2. Схема двотактного симетричного ППС із високим коефіцієнтом підсилення

Вказаний принцип завдання робочої точки забезпечується самобалансуванням колекторних струмів транзисторів Т11, Т14 і Т7, Т10 у діодному вмиканні, а також Т3 і Т4. Таким чином, за умови $I_{vx}=0$, $I_{K4} \approx I_{K5} \approx I_{K11} \approx I_{K14} \approx I_{K8} \approx I_{K9} \approx I_{K3} \approx I_{K6} \approx I_1 \approx I_2$. Виходячи з останнього співвідношення, слід зазначити, що робочі точки транзисторів як верхнього, так і нижнього каналів задаються рівнями струмів генераторів І1 та І2.

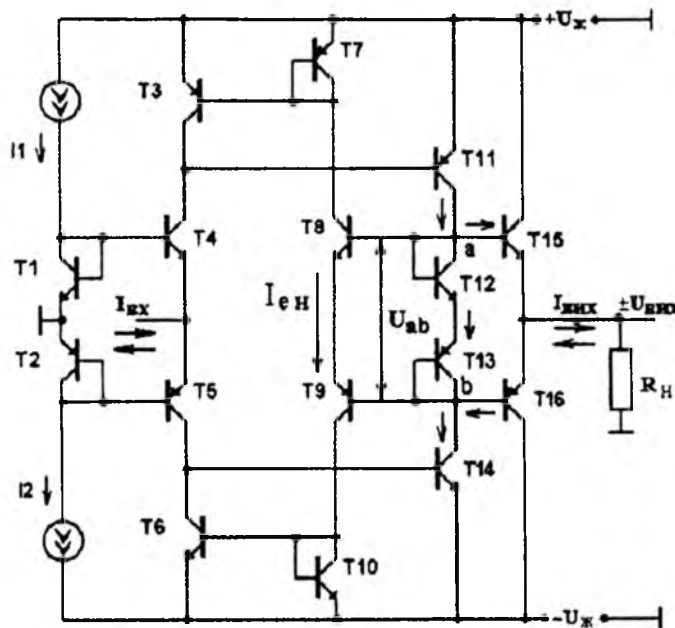


Рис. 3. Спрощена принципова схема ППС із симетричною структурою

Наявність у схемі двонаправленого відбивача на транзисторах Т8, Т9, Т12, Т13 забезпечує постійну сумарну різницю потенціалів U_{ab} на переходах база-емітер Т12 і Т13 не лише за умови $I_{vx}=0$, а й коли $I_{vx} \neq 0$ та $I_{K11} \neq I_{K14}$. Слід відзначити, що наскрізний $I_{e.n.}$ струм через переходи колектор-емітер транзисторів Т15 і Т16 приблизно дорівнює I_{K8} та I_{K9} . Приріст ΔI_{vx} ($I_{vx} \neq 0$) з'являється за умови, що $I_{vx} \neq 0$ та $I_{K11} \neq I_{K14}$ і $I_{K15} \neq I_{K16}$ і на виході з'являється різницевий струм ΔI_n , що створює ненульове падіння напруги U_{vix} .

Коефіцієнт підсилення по струму вказаної схеми для малосигнальної зони визначається за формулою:

$$K_i = K_{i_{vx}} \cdot K_{ПК} \cdot K_{i_{vix}}, \quad (1)$$

де $K_{i_{vx}}$ – коефіцієнт підсилення по струму вхідного каскаду, який визначається як:

$$K_{i_{vx}} = \frac{1}{2}.$$

$K_{ПК}$ – сумарний середній коефіцієнт підсилення по струму проміжних каскадів підсилення на транзисторах Т11 і Т14, який визначається за формулою:

$$K_{ПК} = \beta_{p-n-p} + \beta_{n-p-n};$$

$K_{i\text{вих}}$ – коефіцієнт підсилення по струму вихідного каскаду, який визначається у вигляді:

$$K_{i\text{вих}} = \frac{2 \cdot \beta_{p-n-p} \cdot \beta_{n-p-n}}{\beta_{p-n-p} + \beta_{n-p-n}} \quad (2)$$

Отже загальний коефіцієнт підсилення у малосигнальній зоні визначається за кінцевою формулою:

$$K_i = \frac{\beta_{p-n-p} + \beta_{n-p-n}}{2} \cdot \frac{2 \cdot \beta_{p-n-p} \cdot \beta_{n-p-n}}{\beta_{p-n-p} + \beta_{n-p-n}} = \beta_{p-n-p} \cdot \beta_{n-p-n}$$

Розглянемо двотактний симетричний ППС з високим коефіцієнтом підсилення, за схемою на рис. 2 який захищено патентом України [8] № 18466. Цей підсилювач струму зображено на рис. 4

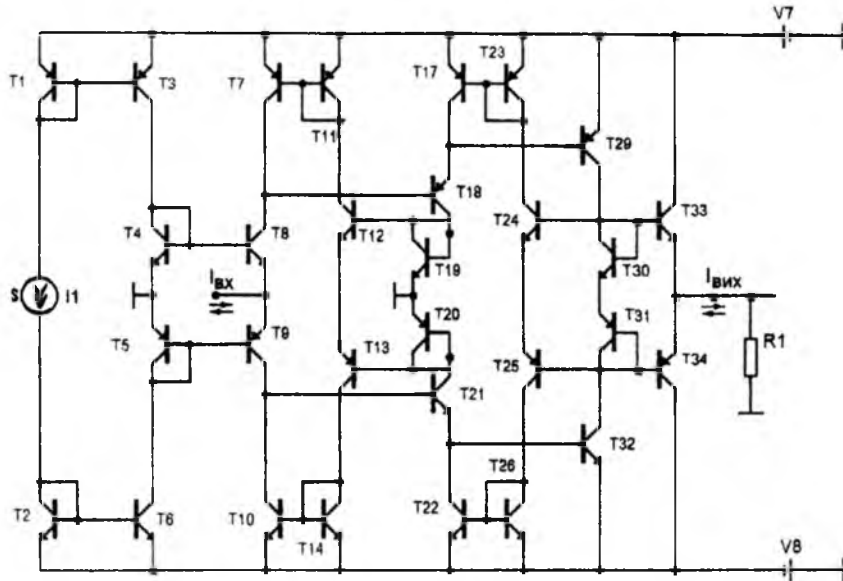


Рис. 4. Принципова схема двотактного ППС із симетричною структурою та високим коефіцієнтом підсилення

Особливістю підсилювального каскаду є наявність двох каскадів підсилення: першого на транзисторах T_{18} та T_{21} , а другого на транзисторах T_{29} та T_{32} . Для забезпечення належних умов роботи вказаних транзисторів використовується дві "струмові підвіски", які компенсують коливання струму у каскаді підсилення. Перша "струмова підвіска" яка складається з транзисторів $T_7, T_{10}, T_{11}, T_{12}, T_{13}, T_{14}, T_{15}, T_{16}, T_{19}$ і T_{20} . Особливістю даної "струмової підвіски" є те, що емітери транзисторів T_{19} і T_{20} жорстко прив'язані до нульового потенціалу, що дозволяє значно краще гасити коливання струму, які виникають у першому підсилювальному каскаді. Вона завдає режим роботи транзисторів T_{18} та T_{21} . Друга ж "струмова підвіска" складається з транзисторів $T_{17}, T_{22}, T_{23}, T_{24}, T_{25}, T_{26}, T_{27}$ і T_{28} . Ця схема частково скомбінована з вихідним каскадом і завдає режим роботи транзисторів T_{29} і T_{32} .

Загальний коефіцієнт підсилення підсилювача постійного струму буде визначатися за формулою (1). Використовуючи теорію зворотних зв'язків у підсилювачах, отримуємо, що коефіцієнт підсилення для загального підсилювального каскаду буде визначатися як:

$$K_{ПК} = \frac{2 \cdot \beta_1' \cdot \beta_2' \cdot \beta_1'' \cdot \beta_2''}{\beta_1 \cdot \beta_2 + \beta_1' \cdot \beta_2''}$$

де β_1' і β_2' – коефіцієнти підсилення по струму біполярних транзисторів першого каскаду, а β_1'' і β_2'' – коефіцієнти підсилення по струму біполярних транзисторів другого каскаду.

Для вихідного каскаду справедливою є формула коефіцієнту підсилення (2). Таким чином загальний коефіцієнт підсилення підсилювача буде визначатися:

$$K = K_{i\text{вих}} \cdot K_{ПК} \cdot K_{i\text{вих}} = \frac{\beta_1' \cdot \beta_2' \cdot \beta_1'' \cdot \beta_2''}{\beta_1 \cdot \beta_2 + \beta_1' \cdot \beta_2''} \cdot \frac{2 \cdot \beta_{p-n-p} \cdot \beta_{n-p-n}}{\beta_{p-n-p} + \beta_{n-p-n}}$$

За розглянутим напрямом ведеться активна винахідницька робота і вже отримано патенти більш як на 15 двотактних підсилювачів струму із симетричною структурою для різноманітного застосування. Ось лише деякі з них [8-9].

Висновки

Розглянуто структури двотактних симетричних підсилювачів струму, використання яких дозволяє отримати високі статичні динамічні характеристики таких пристроїв для різноманітного застосування.

Отримано аналітичні співвідношення для загального коефіцієнту передачі по струму для

малосигнальної зони та зони великого сигналу, що дає змогу аналізувати передатну функцію вхід-вихід симетричних ППС із середнім і високим коефіцієнтом підсилення по струму.

Література

1. Walt Kesler Analog-digital conversion. ADI Central Application Department March 2004. 1127 p.
2. United States Patent № 3184687 Charles A. Wilkins Push-pull power amplifier May 18, 1965
3. Alan B. Grebene Bipolar and MOS analog integrated circuit design. Published 2002 John Wiley & Sons Technology & Industrial Arts. 912 pages
4. United States Patent № 3852678 George Joseph Frye Push-pull amplifier with current mirrors for determining the quiescent operating point Dec. 3, 1974
5. Степаненко И. П. Основы микроэлектроники: учебное пособие для вузов. 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Лаборатория Базовых Знаний, 2003. – 488 с.: ил.
6. Азаров О.Д. Основы теорії аналого-цифрового перетворення на основі надлишкових позиційних систем числення: Монографія. – Вінниця: УНІВЕРСУМ – Вінниця, 2004. – 260с.
7. Аналіз передатної характеристики двотактного симетричного підсилювача постійного струму / Азаров О.Д., Гарнага В.А., Решетнік О.О., Богомолів С.В // Наукові праці Вінницького національного технічного університету. Електронне наукове фахове видання – 2007. – № 1 (1). – 8 с // www.nbu.gov.ua/e-journals/VNTU/2007-1/vyp1.html
8. Пат. № 18466 Підсилювач постійного струму / – О.Д. Азаров, В.А. Гарнага, О.О. Решетнік, О.О. Лукашук 2006.
9. Пат. № 18599 Двотактний симетричний підсилювач струму / О.Д. Азаров, В.А. Гарнага, О.О. Решетнік, О.О. Лукашук. – 2006.

Надійшла 14.5.2008 р.

УДК 681.3: 621.375

О.Д. АЗАРОВ, О.О. РЕШЕТНИК
Вінницький національний технічний університет

АЦП ЗІ ЗМІННОЮ ТРИВАЛІСТЮ ТАКТІВ ВРІВНОВАЖЕННЯ НА ОСНОВІ НПСЧ {0, 1} ТА {1, -1}

Одним з перспективних напрямків розвитку АЦП порозрядного наближення є їхня побудова з використанням надлишкових позиційних систем числення (НПСЧ). Використання при цьому змінної тривалості тактів врівноваження дає можливість максимально використати потенціал вагової надлишковості. В статті запропоновано структуру порозрядного АЦП зі змінною тривалістю тактів врівноваження на основі надлишкових позиційних систем числення виду {0, 1} та {1, -1}. Також запропоновано структуру пристрою для завдання синхронізуючих імпульсів різної тривалості для такого АЦП.

Вступ

Теорія аналого-цифрових перетворювачів порозрядного наближення протягом багатьох років служить поприщем для розвитку великої кількості способів підвищення точності й швидкодії АЦП. Це пояснюється як відносно простою технічною реалізацією методу, так і його проміжним становищем між послідовними (інтегруючі, дельта-сигма) і паралельними методами перетворення. Одним з перспективних напрямків розвитку АЦП порозрядного наближення є їхня побудова з використанням надлишкових позиційних систем числення (НПСЧ).

Мета

Метою статті є аналіз можливості побудови порозрядного АЦП зі змінною тривалістю тактів врівноваження на основі НПСЧ.

Задачі

Відповідно поставленій меті формується задача аналізу можливості побудови порозрядного АЦП зі змінною тривалістю тактів врівноваження на основі НПСЧ з використанням стандартної елементної бази.

Розв'язання задач

У НПСЧ використовується недвійкова основа системи числення $1 < \alpha < 2$, а ваги розрядів представляються у вигляді $Q_i = q \alpha^i$, де q – вага молодшого розряду.

Будь-яке дійсне число може бути представлене в НПСЧ у вигляді суми ваг розрядів

$$X = \sum_{i=0}^N a_i \cdot q \cdot \alpha^i,$$