

процесор може використовуватись як автономний перетворювач сигналів у спеціалізованих системах або ж як співпроцесор ШТП у складі універсального сигнального процесора.

1. Залманзон Л.А. Преобразования Фурье, Уолша, Хаара и их применение в управлении, связи и других областях. М., 1989.
2. Chang L.-W. and Wu M.-C. A unified systolic array for discrete cosine and sine transforms// IEEE Trans. Signal Processing. - 1991. - № 1. - P. 192-194.
3. Wu J.-L., Hsu S.-H., Duch W.-J. A Novel Two-Stage Algorithm for DCT and IDCT//IEEE Transaction on Signal Processing.- 1992.- N 6. - P. 1610 - 1612.
4. Яцимирський М.М. Швидкі алгоритми ортогональних тригонометричних перетворень. Львів., 1997.
5. Мельник А.О., Ермстов Ю.О. Розробка двоканальних конвеєрних пристроїв для реалізації матриці коригування в алгоритмі швидкого косинусного перетворення//Вісник державного університету "Львівська політехніка" "Комп'ютерна інженерія та інформаційні технології". Львів, 1999. - № 370 . - С. 28-34.
6. Melnyk A., Eichelel H., Pochaevets A., Yatsymirskyy M. /Fast Orthogonal Core architecture//Proc. 43rd International Scientific Colloquium. Technical University of Ilmenau. Septembre 21-24, 1998. - P.509-514.
7. Хамарши К. Д., Яцимирский М. Н. Быстрое вычисление симметричных косинусного и синусного преобразований // Збірник наукових праць. Інституту проблем моделювання в енергетиці. К., 1998. вып. 4. -С. 169-174.
8. Хамарши К. Д., Яцимирский М. Н. Быстрые алгоритмы косвенного вычисления косинусных и синусных преобразований (ДКП-II и ДСП-II) // Вісник Державного університету "Львівська політехніка". Комп'ютерна інженерія та інформаційні технології. -Львів. -1999. -№ 370 -С. 111-116.
9. Ліскевич Р.І, Яцимирський М.М. Універсальний швидкий алгоритм обчислення дискретних тригонометричних перетворень. Вісник ДУ "Львівська політехніка" "Комп'ютерна інженерія та інформаційні технології". - Львів, 2000 -№392- с. 151-155.
10. Ліскевич Р.І., Цмоць І.Г., Яцимирський М.М. Універсальний НВІС-процесор швидких тригонометричних перетворень// Збірник наукових праць. Інститут проблем моделювання в енергетиці. К., 2000. - Вип. 10. - С.190-197.
11. Рабинер Л., Гоулд Б. Теория и применение цифровой обработки сигналов /Пер. с англ. А.Л.Зайцева, Э.Г.Назаренко, Н.Н.Тетекина; Под ред. Ю.Н.Александрова. М.:. 1978.
12. Черкаський М.В. Характеристики складності апаратних засобів на процесорному рівні// Тез.доп. на Міжнар. конф. "Інформаційні технології та системи ІТС-93", 1993. - С.27.

УДК 621.376.53(088.8)

УНІВЕРСАЛЬНИЙ ПРЕЦИЗІЙНИЙ ПІКОВИЙ ДЕТЕКТОР

© З. Мичуда, К. Ільканич

Національний університет "Львівська політехніка"

Запропоновано універсальний прецизійний піковий детектор з основною похибкою, меншою за 0,025%, який придатний для перетворення періодичних і неперіодичних сигналів, а також поодиноких імпульсів.

The universal precise peak detector with main error less 0,025% is proposed, suitable for transformation periodic and of acyclic signals, as well as - single pulses.

Сучасні інформаційні технології вимагають створення більш досконалих засобів оброблення вимірювальної інформації і перш за все, - з урахуванням тенденції до енергозбереження, - таких, що сприяють покращенню контролю за якістю параметрів потоків електроенергії. У цьому плані особлива увага надається засобам вимірювання амплітудних значень змінних сигналів. На даний час найбільше поширення при вимірюванні амплітуд змінних і імпульсних напруг набув метод перетворення цих напруг у напругу постійного струму з наступним виміром її значення [1,2]. Такі перетворення здійснюють пікові (амплітудні) детектори, і їх параметри в основному визначають метрологічні характеристики вимірювачів пікових (амплітудних) значень змінних сигналів.

Слід зауважити, що поділ детекторів на амплітудні та пікові дещо умовний - пікові детектори цілком успішно можуть використовуватися як амплітудні. Назва детектора лише підкреслює вигляд вхідного сигналу: амплітудні - при синусоїдному і пікові - при імпульсному.

Пікові детектори можна поділити на три основні класи: звичайні, з ключами та селектовані.

Найбільш поширені звичайні пікові детектори. Вони містять випрямляч і навантаження у вигляді паралельно з'єднаних резистора і конденсатора. Такі детектори добре відтворюють обгинаючу амплітудно-модульованого сигналу при її спаданні, але значно спотворюють обгинаючу при її наростанні. Останнє є їх суттєвим недоліком і для забезпечення задовільної точності накладає обмеження: частота обгинаючої повинна бути хоча б на два порядки меншою за частоту несучого сигналу.

Щоби позбутися згаданого недоліку звичайних детекторів, були розроблені пікові детектори з ключами і селектовані (часто детектори з ключами називають детекторами із скиданням). Ці детектори забезпечують найвищу точність [3].

Пікові детектори з ключами порівняно із селектованими мають простішу схему і є більш технологічними для виготовлення, бо не містять індуктивних елементів (трансформаторів).

Звичайно піковий детектор з ключами містить запам'ятовуючий конденсатор і два ключі. Через перший ключ вхідний сигнал підводиться до запам'ятовуючого конденсатора, а через другий ключ скидається інформація про амплітуду попереднього сигналу у момент приходу наступного вхідного імпульсу.

Недоліком таких детекторів є необхідність синхронізації ключів вхідним сигналом і формування сигналу скидання. Необхідність синхронізації значно ускладнює схему детектора та знижує надійність його роботи, а також обмежує функціональні можливості, оскільки детектор може працювати лише з вхідними сигналами, що періодично повторюються.

З метою подолання згаданих недоліків автором [4] було запропоновано використати як ключі заряду та розряду біполярний транзистор без колекторного живлення. Це схемне вирішення дозволяє мінімізувати піковий детектор до одного транзистора, база якого є входом детектора, емітер через резистор і колектор через запам'ятовуючий конденсатор підключені до спільної шини, а виходом детектора є колектор. При такому включенні транзистор виконує функції як ключа заряду, так і ключа розряду.

Суть роботи такого пікового детектора полягає у тому, що з приходом вхідного імпульса відкривається перехід база-емітер і відбувається інжекція носіїв з емітера в базу. Оскільки рекомбінація носіїв у базі незначна, то переважна більшість їх доягає колектора, тобто тече колекторний струм, який заряджає запам'ятовуючий конденсатор. Після заряду конденсатора транзистор залишається відкритим до закінчення вхідного імпульса. При дії на вхід детектора заднього фронту вхідного імпульса транзистор закривається, оскільки перехід база-емітер виявляється зміщеним у зворотному напрямку через дифузійну ємність емітерного переходу, наявність якої призводить до того, що потенціал емітера слідує за потенціалом бази з деяким запізненням. У паузах між імпульсами транзистор закритий напругою на запам'ятовуючому конденсаторі, яка завжди має таку полярність, що зміщує у зворотному напрямку колекторний перехід транзистора.

З приходом наступного вхідного імпульса більшої амплітуди запам'ятовуючий конденсатор дозаряджається до нового значення амплітуди. Коли ж наступний імпульс меншої амплітуди, запам'ятовуючий конденсатор розряджається через відкритий протягом тривалості імпульса транзистор до нового амплітудного значення.

Отже, розглянутий піковий детектор автоматично слідує за зміною амплітуди вхідних імпульсів.

За схемною реалізацією цей піковий детектор з автоматичним скиданням повністю відповідає найпростішому звичайному детектору.

Коефіцієнт перетворення детектора має вигляд

$$K = \frac{\alpha \tau}{(r_e + r_a(1 - \alpha) + R)C} = \frac{\alpha \tau}{(r_e + R)C}, \quad (1)$$

де r_e і r_a - відповідно опір емітера і бази транзистора, причому в більшості випадків $r_e \gg r_a(1 - \alpha)$; α - коефіцієнт передачі струму транзистора за схемою включення із спільною базою; R - опір резистора, підключеного до емітера транзистора; C - ємність запам'ятовуючого конденсатора, підключеного до колектора транзистора; τ - тривалість вхідного імпульса.

Щоб не було втрати точності, необхідно вибирати ємність запам'ятовуючого конденсатора C набагато більшою від ємності колекторного переходу транзистора.

Враховуючи залежність опору емітера транзистора від струму емітера $r_e \cong 0,026R/U_{ав}$, можемо знайти похибку нелінійності детектора:

$$\delta_n = \frac{r_e}{R} 100\% = \frac{2,6}{U_{ав}}\%. \quad (2)$$

З формули видно, що похибка нелінійності перевищує 2,6% для вхідних сигналів менших за 1 В і менша 1% для вхідних сигналів більших за 2,6 В.

Отже, похибка нелінійності найпростішого пікового детектора з автоматичним скиданням має значення, типове для звичайних діодних чи транзисторних детекторів з паралельною RC -ланкою.

З метою зменшення похибки нелінійності детектори охоплюють колами [5-7] від'ємного зворотного зв'язку, в яких вихідна напруга слідує за зміною амплітуди

вихідних сигналів і повторює її.

Розглянутий у роботі [5] піковий детектор не забезпечує зберігання інформації про амплітуду вхідного сигналу, бо до запам'ятовуючого конденсатора підключені колектори двох транзисторів різного типу провідності ($p-n-p$ і $n-p-n$) і при будь-якій полярності напруги на конденсаторі завжди один із транзисторів є відкритим.

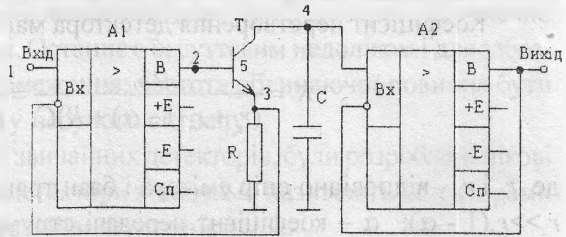
У запропонованому автором [6] піковому детекторі з автоматичним скиданням реалізовані переваги детекторів [4] і [5]. Цей детектор складається з двох операційних підсилювачів, двох діодів, біполярного транзистора, резистора і запам'ятовуючого конденсатора. Проте у ньому ускладнена компенсація напруг зміщення операційних підсилювачів через наявність від'ємного зворотного зв'язку з виходу на вхід детектора.

З метою підвищення точності та спрощення реалізації пікового детектора з автоматичним скиданням автором запропоновано [7] замінити загальний від'ємний зворотний зв'язок місцевим.

Функціональна схема запропонованого детектора наведена на рисунку.

Працює універсальний прецизійний піковий детектор так.

Вхідний імпульс проходить через операційний підсилювач $A1$ і відкриває транзистор T . Оскільки підсилювач $A1$ разом з транзистором T охоплені 100%-м від'ємним зворотним зв'язком, то рівень амплітуди вхідного імпульса відтворюється на резисторі R . В емітері транзистора T тече струм, що дорівнює практично струмові через опір R , оскільки вхідний струм підсилювача $A1$ на декілька порядків менший за ці струми. Рекомбінація неосновних носіїв (електронів для транзистора типу $n-p-n$) у базі незначна, і струм колектора, виявляється, приблизно дорівнює струму емітера.



Функціональна схема універсального прецизійного пікового детектора

Струм колектора заряджає запам'ятовуючий конденсатор до рівня напруги на емітері, тобто до амплітудного значення вхідного імпульса. Рівень напруги на конденсаторі C не може перевищити рівень вхідної напруги, бо у випадку перевищення колектор починає інжектувати неосновні носії і напруга на конденсаторі C автоматично знижується до рівня напруги на емітері. Напруга на конденсаторі C повторюється на виході детектора, оскільки коефіцієнт передачі напруги операційним підсилювачем $A2$, що охоплений 100%-м від'ємним зворотним зв'язком, дорівнює одиниці.

При дії заднього фронту вхідного імпульса детектор переходить у режим зберігання, бо транзистор T закривається напругою на конденсаторі C і напругою на ємності емітерного переходу транзистора, які стають більшими за абсолютним значенням від напруги на базі транзистора T . Зауважимо, що полярність цих напруг є завжди запираючою для колекторного і емітерного переходів.

У паузі між імпульсами ємність емітерного переходу розряджається через опір емітера, але транзистор T залишається і далі закритим, бо потенціали емітера і інвертуючого входу операційного підсилювача $A1$ дорівнюють потенціалу неінвертуючого входу $A1$, тобто нулю.

Якщо амплітуда наступного вхідного імпульса більша за рівень напруги на конденсаторі C , то робота детектора відбувається аналогічно і конденсатор C запам'ятовує нове значення амплітуди.

Якщо амплітуда наступного вхідного імпульса менша за рівень напруги на конденсаторі C , то зайвий заряд на конденсаторі C скидається через відкритий транзистор T на спільну шину, і на конденсаторі C відробляється нове значення амплітуди.

Оскільки запропонований піковий детектор автоматично відслідковує зміну амплітуди вхідних імпульсів за час їх дії, то зміна періоду повторення вхідних імпульсів не відбивається на роботі детектора і функціональні можливості його значно розширюються: він може детектувати періодичні та неперіодичні імпульсні послідовності, а також - поодинокі імпульси.

Дослідимо цей піковий детектор і визначимо його коефіцієнт перетворення та похибку.

Математична модель детектора має вигляд

$$[Y] = \begin{vmatrix} Y_{BX} + Y_C & 0 & -Y_{BX} & 0 & 0 \\ -KY_B & Y_B + Y_B & -KY_B & 0 & -Y_B \\ -Y_{BX} & 0 & Y_{BX} + Y_C + Y + Y_E & 0 & -Y_E \\ 0 & 0 & -\alpha Y_E & Y_K + pC & -Y_K + \alpha Y_E \\ 0 & -Y_B & -Y_E + \alpha Y_E & -Y_K & Y_B + Y_E - \alpha Y_E + Y_K \end{vmatrix}. \quad (3)$$

Тут Y_{BX} , Y_C і Y_B – вхідна, синфазна і вихідна провідності операційного підсилювача AI ; K – власний коефіцієнт підсилення AI ; $Y_K = 1/r_k$ (де r_k – опір колекторного переходу транзистора); $Y = 1/R$.

Коефіцієнт перетворення детектора визначимо як відношення алгебраїчних доповнень Δ_{14} і Δ_{11} матриці провідностей $[Y]$ схеми детектора: $U_{K14} = \Delta_{14}/\Delta_{11}$.

Знаходимо потрібні алгебраїчні доповнення:

$$\Delta_{14} = \begin{vmatrix} -KY_B & Y_B + Y_B & KY_B & -Y_B \\ -Y_{BX} & 0 & Y_{BX} + Y_C + Y + Y_E & -Y_E \\ 0 & 0 & -\alpha Y_E & -Y_K + \alpha Y_E \\ 0 & -Y_B & -Y_E + \alpha Y_E & Y_B + Y_E - \alpha Y_E + Y_K \end{vmatrix}; \quad (4)$$

$$\Delta_{14} = -\alpha Y K Y_B Y_E Y_B;$$

$$\Delta_{11} = \begin{vmatrix} Y_B + Y_B & KY_B & 0 & -Y_E \\ 0 & Y_{BX} + Y_C + Y + Y_E & 0 & -Y_E \\ 0 & -\alpha Y_E & Y_K + pC & -Y_K + \alpha Y_E \\ -Y_B & -Y_E + \alpha Y_E & -Y_K & Y_B + Y_E - \alpha Y_E + Y_K \end{vmatrix};$$

$$\Delta_{11} = KY_B Y_E Y_B (Y_K + p_C).$$

Отже, коефіцієнт перетворення розглянутого пікового детектора (в операторній формі)

$$K_{U14} = -\frac{\alpha}{pRC + R/r_k}, \quad (5)$$

а вихідний сигнал детектора

$$U_{вих} = -\frac{\alpha}{R} \left[1 - \exp\left(-\frac{\tau_i}{r_k C}\right) \right] \cdot U_{вх}, \quad (6)$$

де $U_{вх}$ - пікове (амплітудне) значення вхідного сигналу.

Відносна похибка запису інформації становитиме

$$\delta_y = \exp\left(-\frac{\tau_i}{r_k C}\right) \cdot 100\%. \quad (7)$$

З цієї формули видно, що похибка запису не перевищує 0,005% при $\tau_i/(r_k C) = 10$ і менша за 0,001% при $\tau_i/(r_k C) = 12$.

Похибку зберігання можна знайти за формулою:

$$\delta_{зб} = \frac{I_p t_{зб}}{CU_{вх}} \cdot 100\%, \quad (8)$$

де I_p - струм розряду запам'ятовуючого конденсатора C у режимі зберігання інформації; $t_{зб}$ - час зберігання інформації.

Струм розряду I_p складається із струмів витікання конденсатора, вхідного струму буферного каскаду на операційному підсилювачі $A2$ і некерованого струму колектора транзистора. Перші два струми звичайно менші за 0,1 мкА. Некерований струм колектора хороших сучасних транзисторів, наприклад КТЗ 102, теж менший ніж 0,1 мкА, проте значно зростає із збільшенням температури - приблизно у два рази на кожні десять градусів зміни температури.

Експериментальні дослідження макетів пікових детекторів за розглянутою схемою показали, що їх основна похибка менша за 0,025% при зміні амплітуди від 10 мВ до 10 В у діапазоні частот 0 - 100 кГц, а похибка зберігання не перевищує 0,1% за 10 хвилин.

1. А. Пейтон, В. Волш. Аналоговая электроника на операционных усилителях. М., 1994.
2. Измерения в электронике: Справочник/ В.А. Кузнецов, В.А. Долгов и др., Под ред. В.А.Кузнецова. М., 1987.
3. Карамов З.С., Фомин А.Ф. Элементы аналоговых радиотелеметрических систем. М.-Л., 1966.
4. Мычуда З.Р. Простейший пиковый детектор с автоматическим сбросом// Вестник ЛПИ "Технические средства автоматизации измерений и управления научными исследованиями", N 178, 1983, с. 81-84.
5. Хайес. Видеодетектор, "Электроника", 1976, N4, с.60.
6. А.с. 819948 СССР. Пиковый детектор/ З.Р. Мычуда// бюл.13, 1981.
7. А.с. 1275749 СССР. Пиковый детектор с автоматическим сбросом/ З.Р. Мычуда// бюл.45, 1986.