



УКРАЇНА

(19) UA (11) 91923 (13) C2
(51) МПК (2009)
H03K 5/22
H03F 3/26

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ

ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД

(54) ДВОТАКТНИЙ СИМЕТРИЧНИЙ ПІДСИЛЮВАЧ СТРУМУ

1

2

(21) а200900486

(22) 23.01.2009

(24) 10.09.2010

(46) 10.09.2010, Бюл.№ 17, 2010 р.

(72) АЗАРОВ ОЛЕКСІЙ ДМИТРОВИЧ, БОГОМОЛОВ СЕРГІЙ ВІТАЛІЙОВИЧ, ГАРНАГА ВОЛОДИМИР АНАТОЛІЙОВИЧ

(73) ВІННИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

(56) UA 23989 U; 11.06.2007

UA 11189 U; 15.12.2005

UA 17239 U; 15.09.2006

UA 19370 U; 15.12.2006

SU 1363452 A1; 30.12.1987

US 3852678 A; 03.12.1974

SU 1450098 A; 07.01.1989

SU 1739476 A1; 07.06.1992

JP 2008098845 A; 24.04.2008

US 6108182 A; 22.08.2000

(57) Двотактний симетричний підсилювач струму, який містить перше та друге джерела струму, резистор зворотного зв'язку, шини додатного і від'ємного живлення, вхідну і вихідну шини, шину нульового потенціалу, шість транзисторів, причому вхідну шину з'єднано з емітерами третього і четвертого транзисторів, а також з першим виводом резистора зворотного зв'язку, колектори третього і четвертого транзисторів з'єднано з базами п'ятого

і шостого транзисторів відповідно, бази третього і четвертого транзисторів з'єднано з базами та колекторами першого і другого транзисторів відповідно та через перше і друге джерела струму з шинами додатного і від'ємного живлення відповідно, емітери першого і другого транзисторів об'єднано та з'єднано з шиною нульового потенціалу, емітери п'ятого і шостого транзисторів з'єднано з шинами додатного і від'ємного живлення відповідно, вихідну шину з'єднано з другим виводом резистора зворотного зв'язку, який **відрізняється** тим, що у нього введено перший і другий компенсатори струму та двонаправлений відбивач струму, причому виходи першого і другого компенсаторів струму з'єднано з колекторами третього і четвертого транзисторів відповідно та з базами п'ятого і шостого транзисторів відповідно, шини живлення першого і другого компенсаторів струму з'єднано з шинами додатного і від'ємного живлення відповідно, входи першого і другого компенсаторів струму з'єднано з першим і другим виходами двонаправленого відбивача струму відповідно, колектори п'ятого і шостого транзисторів з'єднано з першим і другим виходами двонаправленого відбивача струму відповідно, третій вихід двонаправленого відбивача струму з'єднано з другим виводом резистора зворотного зв'язку та з вихідною шиною.

Винахід відноситься до імпульсної техніки і може бути використаний в аналогово-цифрових перетворювачах і цифрових вимірювальних приладах.

Відомо вхідний пристрій схеми порівняння струмів [А.с. №1363452 СССР, H03K5/24, G05B1/01, 1985], який містить перше та друге джерела струмів, п'ять резисторів, перший та другий вхідні транзистори, вісім транзисторів, перший та другий проміжні багатоемітерні транзистори, перший та другий вихідні багатоемітерні транзистори, шини додатного та від'ємного живлення, вхідну та вихідну шини, шину нульового потенціалу, два діоди, вихідний резистор та резистор зворотного зв'язку, причому вхідну шину з'єднано з емі-

терами вхідних транзисторів, а також з першим виводом резистора зворотного зв'язку та з анодом і катодом першого і другого діодів, бази першого і другого вхідних транзисторів з'єднано з базами та колекторами першого і другого транзисторів відповідно, а також через перше і друге джерела струму з шинами додатного і від'ємного живлення відповідно, емітери першого і другого транзисторів об'єднано та з'єднано з шиною нульового потенціалу, колектори першого і другого вхідних транзисторів з'єднано з колекторами третього і четвертого транзисторів відповідно, а також з базами п'ятого і шостого транзисторів відповідно, емітери третього і четвертого транзисторів з'єднано через перший і другий резистори з шинами додатного і від'ємного

(13) C2
(11) 91923
(19) UA

живлення відповідно, бази третього і четвертого транзисторів з'єднано з базами та колекторами першого і другого проміжних багатоємітерних транзисторів відповідно, а також з емітерами п'ятого і шостого транзисторів відповідно та з емітерами сьомого і восьмого транзисторів відповідно, емітери першого і другого проміжних багатоємітерних транзисторів з'єднано через третій і четвертий резистори з шинами додатного і від'ємного живлення відповідно, емітери сьомого і восьмого транзисторів об'єднано, бази сьомого і восьмого транзисторів з'єднано з колекторами п'ятого і шостого транзисторів відповідно та з базами першого і другого вихідних багатоємітерних транзисторів, колектори першого і другого вихідних багатоємітерних транзисторів з'єднано з шинами додатного і від'ємного живлення відповідно, емітери першого і другого вихідних багатоємітерних транзисторів з'єднано з другим виводом резистора зворотного зв'язку та з анодом і катодом першого і другого діодів, а також через вихідний резистор з шиною нульового потенціалу та з вихідною шиною.

Недоліками аналогу є висока нелінійність, що обмежує галузь використання пристрою.

За прототип обрано підсилювач постійного струму (Push-pull amplifier with current mirrors for determining the quiescent operating point, United States Patent 3,852,678, Dec.3, 1974), який містить перше і друге джерела струму, резистор зворотного зв'язку, шини додатного і від'ємного живлення, вхідну і вихідну шини, шини нульового потенціалу, шість транзисторів, причому вхідну шину з'єднано з емітерами третього четвертого транзисторів відповідно, а також з першим виводом резистора зворотного зв'язку, колектори третього і четвертого транзисторів з'єднано з базами п'ятого і шостого транзисторів відповідно, бази третього і четвертого транзисторів з'єднано з базами та колекторами першого і другого транзисторів відповідно, а також з першими виводами першого і другого джерел струму, емітери першого і другого транзисторів об'єднано та з'єднано з шиною нульового потенціалу, другі виводи першого і другого джерел струму та емітери п'ятого і шостого транзисторів з'єднано з шинами додатного і від'ємного живлення відповідно, колектори п'ятого і шостого транзисторів з'єднано з вихідною шиною та другим виводом резистора зворотного зв'язку.

Недоліком прототипу є низька точність роботи, що виникає через неідентичність коефіцієнтів підсилення по струму верхнього і нижнього ярусів підсилювальних каскадів, які побудовано на транзисторах різної структури, а також висока нелінійність, що виникає через складність завдання робочих точок по постійному струму підсилювальних каскадів.

В основу винаходу поставлено задачу створення двотактного симетричного підсилювача струму, в якому за рахунок введення нових елементів та зв'язків між ними підвищується точність роботи за рахунок вирівнювання коефіцієнтів підсилення по струму верхнього і нижнього ярусів підсилювальних каскадів, які побудовано на транзисторах різної структури, а також підвищення лінійності за рахунок автоматизації процесу симет-

рування робочих точок по постійному струму підсилювальних каскадів. Це розширює галузь використання корисної моделі у різноманітних пристроях імпульсної та обчислювальної техніки, автоматики тощо.

Поставлена задача досягається тим, що у двотактний симетричний підсилювач струму, який містить перше та друге джерела струму, резистор зворотного зв'язку, шини додатного і від'ємного живлення, вхідну і вихідну шини, шини нульового потенціалу, шість транзисторів, причому вхідну шину з'єднано з емітерами третього і четвертого транзисторів, а також з першим виводом резистора зворотного зв'язку, колектори третього і четвертого транзисторів з'єднано з базами п'ятого і шостого транзисторів відповідно, бази третього і четвертого транзисторів з'єднано з базами та колекторами першого і другого транзисторів відповідно та через перше і друге джерела струму з шинами додатного і від'ємного живлення відповідно, емітери першого і другого транзисторів об'єднано та з'єднано з шиною нульового потенціалу, емітери п'ятого і шостого транзисторів з'єднано з шинами додатного і від'ємного живлення відповідно, вихідну шину з'єднано з другим виводом резистора зворотного зв'язку, введено перший і другий компенсатори струму та двонаправлений відбивач струму, причому виходи першого і другого компенсаторів струму з'єднано з колекторами третього і четвертого транзисторів відповідно та з базами п'ятого і шостого транзисторів відповідно, шини живлення першого і другого компенсаторів струму з'єднано з шинами додатного і від'ємного живлення відповідно, входи першого і другого компенсаторів струму з'єднано з першим і другим виходами двонаправленого відбивача струму відповідно, колектори п'ятого і шостого транзисторів з'єднано з першим і другим входами двонаправленого відбивача струму відповідно, третій вихід двонаправленого відбивача струму з'єднано з другим виводом резистора зворотного зв'язку та з вихідною шиною.

На кресленні представлено принципову схему двотактного симетричного підсилювача струму.

Пристрій містить вхідну шину 6, яку з'єднано з емітерами третього 8 і четвертого 9 транзисторів, а також з першим виводом резистора зворотного зв'язку 15, бази третього 8 і четвертого 9 транзисторів з'єднано з базами та колекторами першого 2 і другого 4 транзисторів відповідно та через перше 1 і друге 5 джерела струму з шинами додатного 26 і від'ємного 28 живлення відповідно, емітери першого 2 і другого 4 транзисторів об'єднано та з'єднано з шиною нульового потенціалу 3, колектори третього 8 і четвертого 9 транзисторів з'єднано з базами п'ятого 21 і шостого 24 транзисторів відповідно та з виходами 7, 10 першого 11 і другого 12 компенсаторів струму відповідно, шини живлення 13, 14 першого 11 і другого 12 компенсаторів струму та емітери п'ятого 21 і шостого 24 транзисторів з'єднано з шинами додатного 26 і від'ємного 28 живлення відповідно, входи 16, 19 першого 11 і другого 12 компенсаторів струму з'єднано з першим 17 і другим 18 виходами двонаправленого відбивача струму 20 відповідно, колектори п'ятого

21 і шостого 24 транзисторів з'єднано з першим 22 і другим 23 входами двонаправленого відбивача струму 20 відповідно, третій вихід 25 двонаправленого відбивача струму 20 з'єднано з другим виводом резистора зворотного зв'язку 15 та з вихідною шиною 27.

Пристрій працює таким чином.

Якщо вхідний сигнал у вигляді струму втікає на вхідну шину 6 пристрою, тоді четвертий 9 транзистор привідкривається, а третій 8 транзистор прикривається. Колекторний струм четвертого 9 транзистора збільшується і збільшується базовий струм шостого 24 транзистора, при цьому він привідкривається. Колекторний струм третього 8 транзистора зменшується і зменшується струм бази п'ятого 21 транзистора, що призводить до його прикривання. У цьому випадку струм із вхідної шини 27 втікає у схему, тому вихідна напруга зменшується та наближається до напруги шини від'ємного живлення 28.

В умовах асиметрії коефіцієнти передачі по струму п'ятого 21 і шостого 24 транзисторів будуть неідентичними. У даному випадку це призводить до зменшення вихідного струму двонаправленого відбивача струму 20, а це у свою чергу призводить до зменшення вихідного струму першого 11 і другого 12 компенсаторів струму. При цьому на п'ятий 21 транзистор діє позитивний зворотній зв'язок, а на шостий 22 транзистор діє від'ємний зворотній зв'язок. Зменшення вихідного струму першого 11 компенсатора струму призводить до додаткового привідкривання п'ятого 21 транзистора і збільшення його колекторного струму. Водночас зменшення вихідного струму другого 12 компенсатора струму гальмує подальше привідкривання шостого 24 транзистора. Вказаний процес регулювання триває доти, аж поки прирости базових струмів п'ятого 21 і шостого 24 транзисторів не будуть збалансовані. Симетрування призводить до того, що в зоні малих сигналів амплітуди приростів колекторних струмів п'ятого 21 і шостого 24 транзисторів вирівнюються, а в зоні великих сигналів співвідношення приростів будуть пропорційними.

Якщо вхідний сигнал у вигляді струму витікає у вхідну шину 6 пристрою, тоді четвертий 9 транзистор прикривається, а третій 8 транзистор привідкривається. Колекторний струм четвертого 9 транзистора зменшується і зменшується базовий струм шостого 24 транзистора, при цьому він прикривається. Колекторний струм третього 8 транзистора збільшується і збільшується струм бази п'ятого 21 транзистора, що призводить до його привідкривання. У цьому випадку струм із вхідної шини 27 витікає зі схеми, тому вихідна напруга збільшується та наближається до напруги шини додатного живлення 28.

В умовах асиметрії коефіцієнти передачі по струму п'ятого 21 і шостого 24 транзисторів будуть неідентичними. У даному випадку це призводить до збільшення вихідного струму двонаправленого відбивача струму 20, а це у свою чергу призводить до збільшення вихідного струму першого 11 і другого 12 компенсаторів струму. При цьому на п'ятий 21 транзистор діє позитивний зворотній зв'язок, а на шостий 22 транзистор діє від'ємний зворотній

зв'язок. Збільшення вихідного струму першого 11 компенсатора струму призводить до додаткового прикривання п'ятого 21 транзистора і зменшення його колекторного струму. Водночас збільшення вихідного струму другого 12 компенсатора струму гальмує подальше прикривання шостого 24 транзистора. Вказаний процес регулювання триває доти, аж поки прирости базових струмів п'ятого 21 і шостого 24 транзисторів не будуть збалансовані. Симетрування призводить до того, що в зоні малих сигналів амплітуди приростів колекторних струмів п'ятого 21 і шостого 24 транзисторів вирівнюються, а в зоні великих сигналів співвідношення приростів будуть пропорційними.

Підвищення точності роботи досягається тим, що автоматично задається режим по постійному струму першого 22 і другого 23 входів двонаправленого відбивача струму 20, а також шляхом симетрування значень коефіцієнтів передачі підсилювальних каскадів, які побудовано на транзисторах різних типів провідності, тобто п'ятому 21 - p-n-p і шостому 24 - n-p-n і шостого 24 транзисторах відповідно.

Завдання режимів по постійному струму п'ятого 21 і шостого 24 транзисторів формується таким чином:

Нехай вхідний струм $I_{вх} = 0$. При цьому через колекторні переходи третього 8 і четвертого 9 транзисторів протікає наскрізний струм:

$$I_{нск} \approx I_{к8} \approx I_{к9} \approx I_{1дж} \approx I_{2дж}$$

де $I_{нск}$ - наскрізний струм через колекторні переходи третього 8 і четвертого 9 транзисторів $I_{к8}$, $I_{к9}$ - колекторні струми третього 8 і четвертого 9 транзисторів відповідно $I_{1дж}$, $I_{2дж}$ - струми першого 1 і другого 5 джерел струму відповідно.

Струми колекторних переходів третього 8 і четвертого 9 транзисторів подаються в бази п'ятого 21 і шостого 24 транзисторів відповідно, який призводить до їхнього привідкривання. Це викликає появу наскрізного струму $I_{нск}$ з першого 17 і другого 18 виходів двонаправленого відбивача струму 20. Вказаний струм подається на входи 16, 19 першого 11 і другого 12 компенсаторів струму відповідно. У цьому випадку в виходів 7, 10 першого 11 і другого 12 компенсаторів струму відповідно з'являються різниці струми, які рівні:

$$\Delta I_{621} = I_{к8} - I^{\cdot},$$

$$\Delta I_{622} = I_9 - I^{\cdot\cdot}$$

де ΔI_{621} , ΔI_{622} різниці струми; I^{\cdot} , $I^{\cdot\cdot}$ - компенсуючі струми із виходів 7, 10 першого 11 і другого 12 компенсаторів струму відповідно.

Через кола зворотного до складу яких входять двонаправлений відбивач струму 20 зв'язку та перший 11 і другий 12 компенсатори струму реалізується процес компенсації постійних складових колекторних струмів третього 8 і четвертого 9 транзисторів. Вказаний процес регулювання закінчується тоді коли наскрізний струм колекторних переходів п'ятого 21 і шостого 24 транзисторів будуть рівними наскрізному струму колекторних переходів третього 8 і четвертого 9 транзисторів. Наявність вищезгаданих кіл зворотного зв'язку також дозволяє:

1) Зменшити похибку зміщення нуля шляхом автоматизації симетрування робочих точок по постійному струму підсилювальних каскадів.

2) Зменшити похибку лінійності передатної характеристики в діапазоні вихідного сигналу шляхом вирівнювання значень коефіцієнтів передачі по постійному струму підсилювальних каскадів верхнього і нижнього ярусів, які побудовано на транзисторах різної провідності.

Вхідний струм розгалужується в точці об'єднання емітерів третього 8 і четвертого 9 транзисторів на складові: $I_{вх}^{\prime}$, $I_{вх}^{\prime\prime}$. Вказані складові поступають в бази п'ятого 21 і шостого 24 транзисторів відповідно. Якщо коефіцієнти передачі β_{p-n-p} , β_{n-p-n} є різними, то це викликає різні амплітуди приростів колекторних струмів п'ятого 21 і шостого 24 транзисторів відповідно. Різниця буде рівною:

$$|\Delta I_{вх}^*| = |\Delta I_{к21}| - |\Delta I_{к22}|$$

де $\Delta I_{к21}$, $\Delta I_{к22}$ - прирости колекторних струмів п'ятого 21 і шостого 24 транзисторів відповідно.

Дана різниця поступає на перший 22 і другий 23 входи двонаправленого відбивача струму 20 і викликає зміщення вихідного струму двонаправленого відбивача струму 20. При цьому залежно

від знака $\Delta I_{вх}^*$ вихідний струм двонаправленого відбивача струму 20 може збільшуватися або ж зменшуватися. Відповідно той транзистор який має більший коефіцієнт передачі призакривається або привідкривається більше, ніж транзистор з меншим коефіцієнтом передачі.

В результаті вказаного симетрування:

$$K_I^{\prime} = \frac{\Delta I_{к21}}{I_{вх}}$$

$$K_I^{\prime\prime} = \frac{\Delta I_{к22}}{I_{вх}}$$

де K_I^{\prime} , $K_I^{\prime\prime}$ - коефіцієнти підсилення по струму верхнього і нижнього підсилювальних каскадів.

Загальний коефіцієнт підсилення рівний:

$$K_I = K_I^{\prime} + K_I^{\prime\prime}$$

Для даної схеми:

$$K_I^{\prime} = \frac{\beta_{p-n-p}}{1 + \frac{\beta_{p-n-p} - \beta_{n-p-n}}{\beta_{p-n-p} + \beta_{n-p-n}}}$$

$$K_I^{\prime\prime} = \frac{\beta_{n-p-n}}{1 + \frac{\beta_{n-p-n} - \beta_{p-n-p}}{\beta_{n-p-n} + \beta_{p-n-p}}}$$

Симетричний - це значить, що незважаючи на неідентичність коефіцієнтів передачі по струму β_{p-n-p} , β_{n-p-n} транзисторів підсилювальних каскадів верхнього і нижнього ярусів будуть рівними.

Перше 1 і друге 5 джерела струму та перший 1, другий 4, третій 8, четвертий 9 транзистори утворюють схему завдання режиму по постійному струму.

Резистор зворотного зв'язку 15 задає коефіцієнт підсилення.

Шини додатного 26 і від'ємного 28 живлення, а також шина нульового потенціалу 3 забезпечують потрібний рівень напруги для живлення схеми.

