



УКРАЇНА

(19) UA

(11) 51657

(13) C2

(51) 6 H03F3/45

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІОПИС
ДО ПАТЕНТУ НА ВІНАХІД

(54) ДИФЕРЕНЦІАЛЬНИЙ ПІДСИЛЮВАЧ

1

(21) 98010369

(22) 22 01 1998

(24) 16 12 2002

(46) 16 12 2002, Бюл. № 12, 2002 р.

(72) Голуб Владислав Сергійович

(73) Голуб Владислав Сергійович

(56) US, 4780889, 25 10 1988

EP, 0387951, 19 09 1990

US, 4733196, 22 03 1988

US, 3835410, 10 09 1974

(57) 1 Диференціальний підсилювач, що містить п-р-п-транзистор, колектор якого є першим вихідним виводом підсилювача, р-п-р-транзистор, колектор якого є другим вихідним виводом підсилювача, два р-п перехідних елементи, р-вивід першого з них з'єднаний з п-виводом другого, який відрізняється тим, що бази обох транзисторів з'єднані і утворюють собою неінвертуючий вхід підсилювача, точка з'єднання р-п перехідних елементів утворює собою інвертуючий вхід підсилювача, емітер п-р-п-транзистора і п-вивід першого р-п перехідного елемента з'єднані і утворюють собою перший вивід для підключення джерела струму живлення з вхідним для джерела напрямком струму, емітер р-п-р-транзистора і р-вивід другого р-п перехідного елемента з'єднані і утворюють собою другий вивід для підключення джерела струму живлення з вихідним для джерела напрямком струму

2 Диференціальний підсилювач за п 1, який відрізняється тим, що першим р-п перехідним елементом є п-р-п-транзистор, база і колектор якого з'єднані і утворюють собою р-вивід, емітер - п - вивід, а другим р-п перехідним елементом є р-п-р-транзистор, база і колектор якого з'єднані і утворюють собою п-вивід, емітер - р - вивід

2

3 Диференціальний підсилювач за п 1 або 2, який відрізняється тим, що в нього введені струмове дзеркало р-п-р-провідності з двома виходами, вхід якого з'єднаний з першим вихідним виводом підсилювача, струмове дзеркало п-р-п-провідності з двома виходами, вхід якого з'єднаний з другим вихідним виводом підсилювача, перші виходи обох струмових дзеркал з'єднані і утворюють собою вихід підсилювача, а другі виходи з'єднані з інвертуючим входом підсилювача

4 Диференціальний підсилювач за п 3, який відрізняється тим, що струмові дзеркала містять перший, другий і третій транзистори, колектор і база першого транзистора з'єднані з емітером другого, колектор і база другого транзистора з'єднані з емітером третього, колектор і база третього транзистора з'єднані і утворюють собою вхід струмового дзеркала, групи з п четвертих і з п'ятих транзисторів, бази яких з'єднані з базою першого транзистора, шостий транзистор, емітер якого з'єднаний з колекторами четвертих транзисторів, а колектор являє собою перший вихід струмового дзеркала, і сьомий транзистор, емітер якого з'єднаний з колекторами п'ятих транзисторів, а колектор являє собою другий вихід струмового дзеркала, бази шостого і сьомого транзисторів з'єднані з входом струмового дзеркала, а емітери першого, четвертих і п'ятих транзисторів утворюють собою виводи для підключення до джерела живлення

5 Диференціальний підсилювач за п 3 або 4, який відрізняється тим, що додатково введені неінвертуючий підсилювальний каскад напруги, вхід якого з'єднаний з першими виходами струмових дзеркал, а вихід каскаду є виходом підсилювача

Винахід відноситься до мікроелектроніки, зокрема - до аналогових підсилювальних пристроїв

Першим аналогом підсилювача, що заявляється, є звичайний операційний підсилювач, що використовується як підсилювач з негативним зворотним зв'язком "за напругою" [1] (Barnes E, Current Feedback Amplifiers // Analogue Dialogue,

1996, 30-3, p 20, 30-4, p 20 (видавництво фірми Analog Devices)), [2] (High Speed Design Techniques, -Вид фірми Analog Devices, 1996, p 1-2 (Voltage Feedback (VFB) Op Amp), p 1-12 (Current Feedback (CFB) Op Amp)), а також [3] (Высокоскоростные операционные усилители фирмы Analog Devices// Электронные компоненты и системы -

(19) UA (11) 51657 (13) C2

Київ, Вид фірми VD MAIS, 1997, N 1, с 7} Недолік першого аналога - недостатня широкополосність (швидкість дії), що відзначається у [1,2,3], ва порівняння з другим аналогом

Другим аналогом є диференціальний підсилювач, що використовується, згідно з [1,2,3], як підсилювач з негативним зворотним зв'язком "за струмом". Другий аналог містить

балансний підсилювальний каскад з неінвертуючим високоомним та інвертуючим низькоомним входами і двома, першим та другим, струмовими виходами,

струмовий повторювач типу струмового дзеркала рпр провідності з одним входом та одним виходом,

струмовий повторювач типу струмового дзеркала рпр провідності з одним входом та одним виходом,

повторювач напруги

Неінвертуючий та інвертуючий входи балансного підсилювального каскаду є входами диференціального підсилювача (у цілому), перший його вихід з'єднаний із входом струмового повторювача рпр провідності, а другий вихід - із входом струмового повторювача рпр провідності, виходи струмових повторювачів з'єднані між собою та з входом повторювача напруги, вихід якого є виходом диференціального підсилювача (у цілому)

Балансний підсилювальний каскад містить два перших транзистора рівних, рпр і рпр, типів провідності, емітери яких з'єднані та являють собою неінвертуючий вхід каскаду, колектор і база кожного з транзисторів з'єднані між собою, два других транзистора різного типу провідності, рпр і рпр, емітери яких з'єднані і являють собою інвертуючий вхід каскаду, бази з'єднані з базами перших двох транзисторів тих же типів провідності, відкритий колектор рпр транзистора є першим виходом, а відкритий колектор рпр транзистора - другим виходом каскаду, два струмозадаючих елементів (джерела струму) з рівними струмами, що включені між колекторами перших двох транзисторів і виводами каскаду для підключення джерел живлення. При розгляді схеми підсилювача у [2,3] вхідні транзистори, що використовуються у діодному включенні (при з'єднанні бази з колектором), еквівалентно показані у вигляді діодів

Струмові повторювачі типу струмового дзеркала відомі і використовуються у аналогу, що розглядається, з коефіцієнтами передачі $K_1 = 1$ [4] (Хоровиц П., Хилл У. Искусство схемотехники. Т 1 - М Мир, 1983), с 123, рис 2.42. Повторювач напруги з коефіцієнтом передачі $K_u = 1$ також відомий [4], с 160, рис 3.8,

Другий аналог, що розглядається, як і перший, використовується за відомою схемою включення з негативним зворотним зв'язком [4], с, 159, рис 3.5. Вхід дільника напруги негативного зворотного зв'язку з'єднан з виходом підсилювача, а вихід дільника - з інвертуючим входом підсилювача. Сигнал подається на неінвертуючий вхід, а знімається з виходу підсилювача. При цьому, згідно з [1,2], передаточна функція підсилювача (другого аналога) з зовнішнім дільником негативного зворотного зв'язку

$$K(p) = K_0 / (1 + p\tau_{\text{екв}}), \quad (1)$$

де

$K_0 = 1 + R_2/R_1$ - коефіцієнт передачі на "нульовій" частоті,

$$\tau_{\text{екв}} = (R_2 + K_0 R_{\text{вх}})C \approx R_2 C \quad (2)$$

стала часу, що визначає частотні властивості підсилювача із зворотним зв'язком,

R_2 - "верхній" опір дільника,

R_1 - "нижній" опір дільника,

$R_{\text{вх}}$ - опір інвертуючого (низькоомного) входу підсилювача,

C - "паразитна" ємність схеми у високоомній точці з'єднання виходів струмових повторювачів і входу повторювача напруги,

$\tau = RC$ - стала часу підсилювача (без зворотного зв'язку),

R - високоомний опір схеми, що є паралельним ємності C і обумовлений, зокрема, вихідними опорами струмових повторювачів і вхідним опором повторювача напруги

Істотно зменшена величина сталої часу $\tau_{\text{екв}}$ (2), за порівнянням із τ (при $R_2 \ll R$) є, як виходить із [1,2], позитивною властивістю другого аналога, що забезпечує його широкополосність

Поряд з вказаною позитивною властивістю, другий аналог, що береться за прототип, володіє недоліком. Вхідний опір його неінвертуючого входу визначається паралельними складовими, одна з яких визначається вхідним опором підсилюючих (других) транзисторів, а друга - опором ланцюга струмозадаючих елементів. Недоліком є шунтування вхідного опору транзисторів вказаним опором ланцюга струмозадаючих елементів

Згідно з викладеним автором поставлено задачу - запропонувати підсилювач, у якому було б усунуто вказаний недолік прототипу і, у той же час, забезпечена його широкополосність. Або інакше в основу винаходу диференціального підсилювача поставлено задачу - шляхом змінення схеми забезпечити збільшення, у порівнянні з прототипом, опору неінвертуючого входу підсилювача, випучивши впливання опору ланцюга струмозадаючих елементів

Згідно з висловленим пропонується диференціальний підсилювач

(підсилювач 1), що містить рпр транзистор, колектор якого є першим вихідним виводом підсилювача, рпр транзистор, колектор якого є другим вихідним виводом підсилювача, два рп перехідних елементів, р вивід першого з них з'єднаний з п виводом другого, який відрізняється тим, що бази обох транзисторів з'єднані і являють собою неінвертуючий вхід підсилювача, точка з'єднання рп перехідних елементів являє собою інвертуючий вхід підсилювача, емітер рпр транзистора і п вивід першого рп перехідного елемента з'єднані і являють собою перший вивід для підключення джерела струму живлення з вхідним для джерела напрямком струму, емітер рпр транзистора і р вивід другого рп перехідного елемента з'єднані і являють собою другий вивід для підключення джерела струму живлення з вихідним для джерела напрямком струму

Формулювання подано згідно з прототипом, В обмежувальній частині описані ті елементи та їх

зв'язки, які є у прототипа і використовуються у диференціальному підсилювачі, що пропонується. Згідно з тим, що пропонується, на високоомному неінвертуючому вході підсилювача відсутній ланцюг струмозадаючих елементів (джерел струму) і, відповідно, вхідний опір підсилювача не шунтується. Джерела струму у запропонованому підсилювачі включені зі сторони низькоомного інвертуючого входу, де їх шунтуюча дія несуттєва. У найпростішому випадку джерелом струму може бути ланцюг, що складається з резистора, якого підключено до джерела напруги живлення. Рп перехідні елементи - узагальнене поняття елементів, для яких визначальними є властивості рп переходу. Це можуть бути діоди, транзистори в рп переходному включенні (із з'єднаними виводами колектора і бази) та інші елементи.

У відношенні до рп перехідних елементів пропонується конкретизація підсилювача диференціальний підсилювач (підсилювач 2, що залежить від підсилювача 1), який відрізняється тим, що першим рп перехідним елементом є рпр транзистор, база і колектор якого з'єднані і являють собою р вивід, емітер - п вивід, а другим рп перехідним елементом є рпр транзистор, база і колектор якого з'єднані і являють собою п вивід, емітер - р вивід.

Вхідний опір низькоомного інвертуючого входу підсилювача 1 дорівнює (за припущенням того, що параметри обох, рпр і рпр, транзисторів ідентичні)

$$R_{вх} = R_c / h_{21e} + h_{11e} / 2 + \Gamma_{рп} / 2, \quad (3)$$

де

R_c - опір джерела сигналу, якого підключено до неінвертуючого входу

h_{21e} - коефіцієнт підсилювання кожного транзистора (за схемою із загальним емітером),

h_{11e} - вхідний опір кожного транзистора (за схемою із загальною базою),

$\Gamma_{рп}$ - динамічний опір рп перехідного елемента, що дорівнює, у випадку використання транзисторів (підсилювач 2), їх опору h_{11e} .

За результатом, для підсилювача 2 (за рівності струмів через транзистори і рп перехідні елементи)

$$R_{вх} = R_c / h_{21e} + h_{11e} \quad (4)$$

Перші два члени у (3) властиві як для прототипу, так і для запропонованого підсилювача, третій член обумовлений запропонованим підсилювачем. Відповідно, опір (4) для запропонованого підсилювача 1 або 2 є більшим, ніж $R_{вх} = R_c / h_{21e} + h_{11e} / 2$ для прототипу.

Прототип, окрім диференціального каскаду, містить два струмових дзеркала, що мають по одному виходу. Для усунення впливу $R_{вх}$ (3) і (4) на $\tau_{екв}$ пропонується, на відміну від прототипу, використання струмових дзеркал з двома виходами, саме диференціальний підсилювач (підсилювач 3, що залежить від підсилювача 1 або 2), який відрізняється тим, що уведено струмове дзеркало рпр провідності з двома виходами, вхід якого з'єднаний з першим вихідним виводом підсилювача, струмове дзеркало рпр провідності з двома виходами, вхід якого з'єднаний з другим вихідним виводом підсилювача, перші виходи обох струмових дзеркал з'єднані і являють собою вихід підсилювача, а другі виходи з'єднані з інвертуючим входом

підсилювача.

Пропонується також конкретизація підсилювача 3 у відношенні до струмових дзеркал диференціальний підсилювач (підсилювач 4, що залежить від підсилювача 3), який відрізняється тим, що струмові дзеркала містять перший, другий і третій транзистори, колектор і база першого транзистора з'єднані з емітером другого, колектор і база другого транзистора з'єднані з емітером третього, колектор і база третього транзистора з'єднані і являють собою вхід струмового дзеркала, групи з п четвертих і s п'ятих транзисторів, бази яких з'єднані з базою першого транзистора, шостий транзистор, емітер якого з'єднаний з колекторами четвертих транзисторів, а колектор являє собою перший вихід струмового дзеркала, і сьомий транзистор, емітер якого з'єднаний з колекторами п'ятих транзисторів, а колектор являє собою другий вихід струмового дзеркала, бази шостого і сьомого транзисторів з'єднані з входом струмового дзеркала, а емітери першого, четвертих і п'ятих транзисторів являють собою виходи для підключення до джерела живлення.

Пропонується також, згідно з прототипом, диференціальний підсилювач (підсилювач 5, що залежить від підсилювача 3 або 4), який відрізняється тим, що додатково уведений неінвертуючий підсилювальний каскад напруги, вхід якого з'єднаний з виходом підсилювача, а вихід каскаду являє собою новий вихід підсилювача.

За результатом

диференціальний підсилювач 1 (а також залежний від нього підсилювач 2 з конкретизацією рп перехідних елементів) мають більш високий, за порівнянням із прототипом, опір неінвертуючого входу (входу, до якого підключається джерело вхідного сигналу). Підсилювач 1 видільний, у відмінну від аналогічної складової частини прототипу, як самостійний підсилювач, бо він може бути використаний не тільки у складі підсилювача 3,

диференціальний підсилювач 3 (а також залежний від нього підсилювач 4 з конкретизацією уведених струмових дзеркал) має більш низький, у порівнянні з прототипом і підсилювачем 1, опір інвертуючого входу (входу, до якого підключається ланцюг зовнішнього "струмового" негативного зворотного зв'язку). При цьому збільшуються точність і широкополосність підсилювача із зворотним зв'язком,

диференціальний підсилювач 5 - з уведеним на виході, подібно до прототипу, підсилювальним каскадом, коефіцієнт передачі якого, у відмінну від прототипу, може відрізнятися від одиниці.

Перелік фігур

Фіг 1 - принципова схема запропонованого диференціального підсилювача 1 із конкретизацією рп перехідних елементів (підсилювач 2),

де

VT1 - підсилювальний рпр транзистор,

VT2 - підсилювальний рпр транзистор,

VT3 - рпр транзистор як перший рп перехідний елемент,

VT4 - рпр транзистор як другий рп перехідний елемент,

"Вх." - неінвертуючий вхід підсилювача,

"Вх" - інвертуючий вхід підсилювача,
 "Вих 1" - перший вихідний вивід підсилювача,
 "Вих 2" - другий вихідний вивід підсилювача,
 "↑ I" - перший і другий виводи для підключення джерел струму живлення

Фіг 2 - схема підсилювача 1 (підсилювача 2) з резисторами, що підключені до джерел напруги живлення (для одержання джерел струму живлення), де

R1 - резистор у ланцюгу першого виводу для підключення джерела струму живлення,

R2 - резистор у ланцюгу другого виводу для підключення джерела струму живлення,

"-Е" - джерело напруги в ланцюгу першого виводу для підключення джерела струму живлення,

"+Е" - джерело напруги в ланцюгу другого виводу для підключення джерела струму живлення

Решта позначень - та ж, що й на фіг 1

Фіг 3 - структурна схема запропонованого диференціального підсилювача 3, де,

1 (">") - диференціальний підсилювач 1,

2 ("I_{прп}") - струмове дзеркало рпр провідності,

3 ("I_{прп}") - струмове дзеркало рпр провідності,

"Вх" - неінвертуючий вхід диференціального підсилювача 3,

"Вх" - інвертуючий вхід диференціального підсилювача 3,

"+" - неінвертуючий вхід диференціального підсилювача 1,

"-" - інвертуючий вхід диференціального підсилювача 1,

"K₁" - коефіцієнт передачі на виходах обох струмових дзеркал, що утворюють вихід диференціального підсилювача,

"K₁₂" - коефіцієнт передачі на других виходах обох струмових дзеркал, що з'єднані з інвертуючим входом підсилювача,

"Вих₁" - вихід диференціального підсилювача 3,

Фіг 4 - структурна схема запропонованого диференціального підсилювача 5, де

1, 2 і 3 - структурні елементи диференціального підсилювача 3, фіг 3,

4 ("U") - підсилювальний каскад напруги,

"K_U" - коефіцієнт передачі підсилювального каскаду напруги,

"Вх₊" і "Вх" - неінвертуючий і інвертуючий входи диференціальних підсилювачів 3 і 5,

"Вих_U" - вихід диференціального підсилювача 5

Фіг 5 - принципова схема струмового дзеркала рпр провідності (для диференціального підсилювача 4) де

VT1 - перший транзистор,

VT2 - другий транзистор,

VT3 - третій транзистор,

VT4 - група, четвертих n транзисторів,

VT5 - група п'ятих s транзисторів,

VT6 - шостий транзистор,

VT7 - сьомий транзистор,

"+Е" - вивід для підключення джерела живлення,

"Вх" - вхід струмового дзеркала,

"Вих 1" (K₁₁) - перший вихід струмового дзеркала,

"Вих 2" (K₁₂) - другий вихід струмового дзеркала

Фіг 6 - принципова схема струмового дзеркала рпр провідності (для диференціального підсилювача 4), де "-Е" - вивід для підключення джерела живлення, а решта позначень - та, що й на фіг 5

Робота (і особливості) диференціальних підсилювачів і складових частин полягає у наступному

У підсилювачах 1 і 2, фіг 1, струми джерел струмів живлення розгалужуються на дві складові, одна з яких є емпічним струмом транзисторів VT1 і VT2, а друга - струмом через ррп перехідні елементи (VT3 і VT4 - в підсилювачі 2). Падіння напруги на емпічних переходах транзисторів VT1 і VT2 і на перехідних елементах (VT3 і VT4) рівні. При ідентичності VT1 і VT3 і ідентичності VT2 і VT4 струми транзисторів і перехідних елементів також рівні. Але якщо площі переходів в VT3 і VT4 менші за площі переходів в VT1 і VT2, струми через перехідні елементи будуть менші за струми через VT1 і VT2. При цьому режим живлення диференціального підсилювача буде більш економічним, але опір перехідних елементів буде більшим. Напруга на перехідних елементах компенсує напругу на емпічних переходах транзисторів, забезпечуючи їх нормальну роботу при нульовій напрузі на базах

Використання струмових дзеркал з двома виходами, другі з яких підключені к інвертуючому входу підсилювача, знижує його вхідний опір, підвищуючи точність та широкоточність підсилювача 5 при включенні за схемою із зворотним зв'язком. Сказане обумовлено наступним. Вхідний опір інвертуючого входу, що визначається для диференціальних підсилювачів 1 і 2 через вираження R_{ВХ} (3), для підсилювачів 3 і 4 зменшено у (1+K₁₂) разів

$$R_{\text{ВХ экв}} = R_{\text{ВХ}} / (1 + K_{12}), \quad (5)$$

де K₁₂ - коефіцієнт передачі струмового дзеркала за його другим виходом (фіг 3 і 4). А стала часу підсилювача 5 із зовнішнім зворотним зв'язком

$$\tau_{\text{екв}} = (R_2 + K_0 R_{\text{ВХ экв}}) C / [K_U K_{11} / (1 + K_{12})] \quad (6)$$

При K_U K₁₁ / (1 + K₁₂) ≈ 1

(наприклад, при K_U = 1 і K₁₁ = K₁₂) і при R » K₀ R_{ВХ экв}, що досягається, згідно з (5), при відповідному виборі K₁₂

$$\tau_{\text{екв}} = (R_2 + K_0 R_{\text{ВХ экв}}) C \approx R_2 C \quad (7)$$

Можливість здійснення запропонованих підсилювачів обумовлена тим, що в них використовуються ті ж самі схемні елементи, що у прототипу. Відповідно, запропоновані підсилювачі можуть бути виготовлені за існуючою технологією виготовлення інтегральних схем

Використана література

1 Barnes E. Current Feedback Amplifiers // Analog- Dialogue, 1996, 30-3, p 20, 30-4, p 20 (видання фірми Analog Devices)

2 High Speed Design Techniques - Вид фірми Analog Devices, 1998, p 1-2 (Voltage Feedback (VFB) Op Amp), p 1-12 (Current Feedback (CFB) Op Amp)

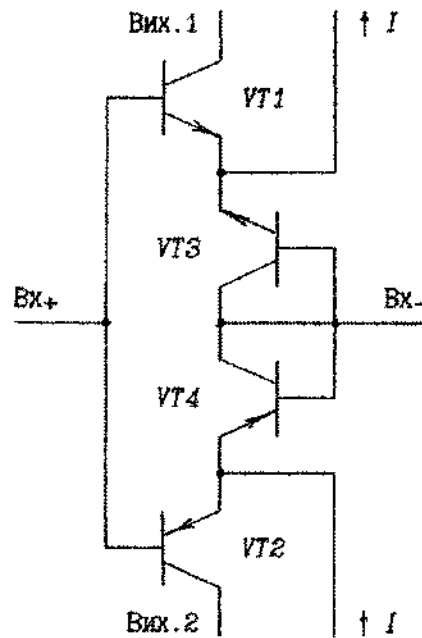
3 Высокоскоростные операционные усилители фирмы Analog Devices // Электронные компо-

менты и системы - Киев Вид фірми VD MAIS, 1997, № 1, с 7

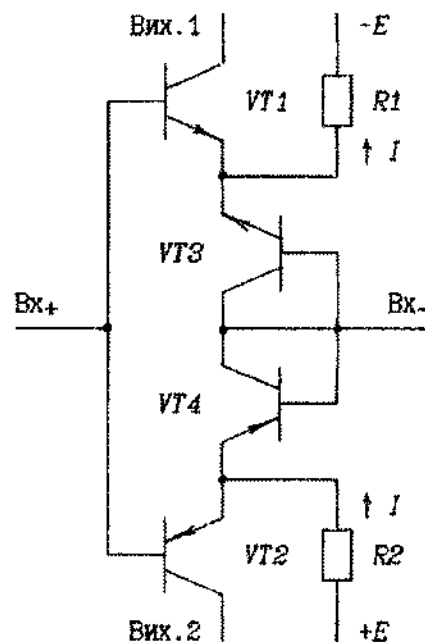
4 Хоровиц П, Хилл У Искусство схемотехники Т 1 - М Мир, 1983 (переклад книги Paul Horowitz, Winfield Hill The Art of Electronics - Cam-

bridge University Press, 1980)

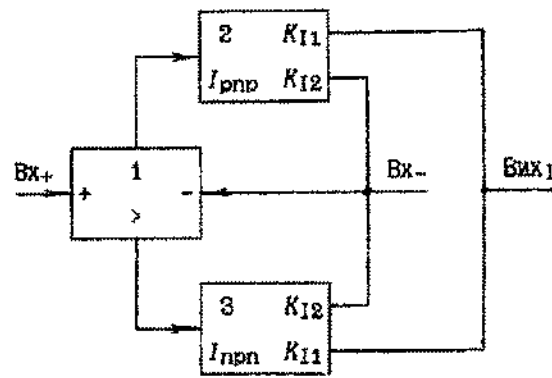
5 Linear Circuit Data Book // Каталог фірми Texas Instruments, 1992, pp 4-45 - 4-53



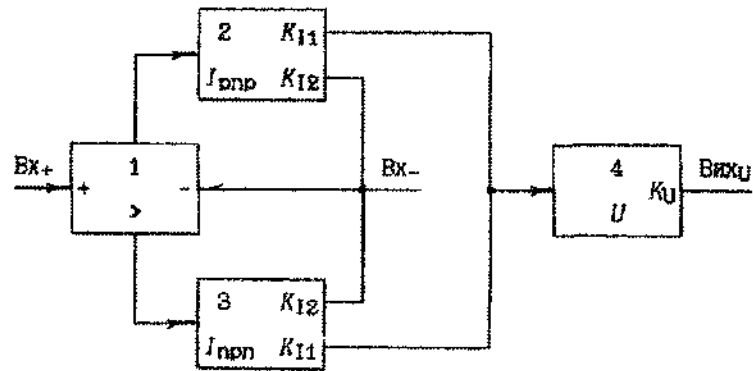
Фіг. 1

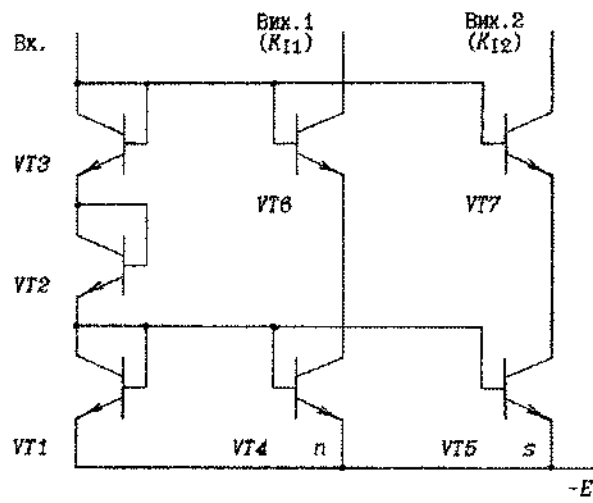


Фіг. 2



Фиг. 3





Фіг. 6

ДП «Український інститут промислової власності» (Укрпатент)
 вул. Сим'ї Хохлових, 15, м. Київ, 04119, Україна
 (044) 456 – 20 – 90

ТОВ «Міжнародний науковий комітет»
 вул. Артема, 77, м. Київ, 04050, Україна
 (044) 216 – 32 – 71