

ВІДБИВАЧІ СТРУМУ НА БІПОЛЯРНИХ ТРАНЗИСТОРАХ ІЗ ПІДВИЩЕНИМ ВИХІДНИМ ОПОРОМ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Запропоновано нові підходи до побудови струмових дзеркал з підвищеним опором. Здійснено схематехнічне моделювання ВС з підвищеним опором, побудованого із застосуванням композиції інтегральних транзисторів n - p - n і p - n - p провідності.

Ключові слова: відбивач струму, струм, напруга, вихідний опір, коефіцієнт передачі.

Abstract

New approaches to the construction of high-resistance current mirrors are proposed. A schematic design of the above-mentioned aircraft with increased input impedance, constructed using the composition of integral transistors n - p - n and p - np conductivity, was carried out.

Keywords: current reflector, current, voltage, output impedance, transmission coefficient

Струмовим дзеркалом називають електронний пристрій з одним входом і одним або кількома виходами, найчастіше вихідний струм дорівнює керуючому або відрізняється від нього в ціле число разів. За функціональним призначенням струмове дзеркало є керованим джерелом струму, коефіцієнт передачі якого дорівнює одиниці. Схема призначена для копіювання одного керуючого струму на множину каскадів через один активний пристрій (транзистор), контролюючи струм в іншому активному пристрої кола, зберігаючи постійний струм на виході, незалежно від навантаження. Цей струм може бути змінним.

В різних електричних схемах широко використовуються відбивачі струму виконані на біполярних транзисторах [1]. Наприклад у підсилювачах постійного струму, перетворювачах код-струм, аналого-цифрових перетворювачах, джерелах живлення тощо. Біполярні транзистори здатні функціонувати за невеликих робочих напруг (близько 0,7...0,8 В) зі струмами 0,1...10 ма. Вихідні опори ВС часто впливають на точнісні характеристики схем.

Існуючі підходи [2] щодо збільшення вихідного опору базуються на застосуванні комбінацій біполярних і польових транзисторів або операційних підсилювачів. Це значно ускладнює технології виготовлення схем або погіршує динамічні характеристики. Відомі праці [3]—[5], в яких розглядаються відбивачі струму різноманітного призначення з покращеними статичними і динамічними характеристиками. При цьому слід зазначити, що це зазвичай приводить до значного ускладнення схем, яке полягає у введенні допоміжних джерел струму, а іноді і конденсаторів для коригування АЧХ коефіцієнтів передачі.

Запропоновано вдосконалений підхід побудови відбивачів струму з підвищеним опором з використанням композиції інтегральних n - p - n і p - n - p транзисторів за відносно нескладною структурою.

Для збільшення вихідного опору використовуються комбінації n - p - n і p - n - p транзисторів, що дещо змінює принцип дії відбивача і дозволяє компенсувати змінення базового струму транзистора регулятора. Ефект збільшення вихідного опору відбивачів струму досягається застосуванням в ролі регулятора транзистора Шиклаї.

Так у схемі на рис. 1а регулятор побудовано на транзисторах T_1 , і T_4 . Для задання робочої точки T_1 треба застосовувати також генератор струму зміщення $I_{зм}$, а для наближення рівня $I_{вих}$ до $I_{вх}$ потрібно додатково ввести генератор $I_{зм}$.

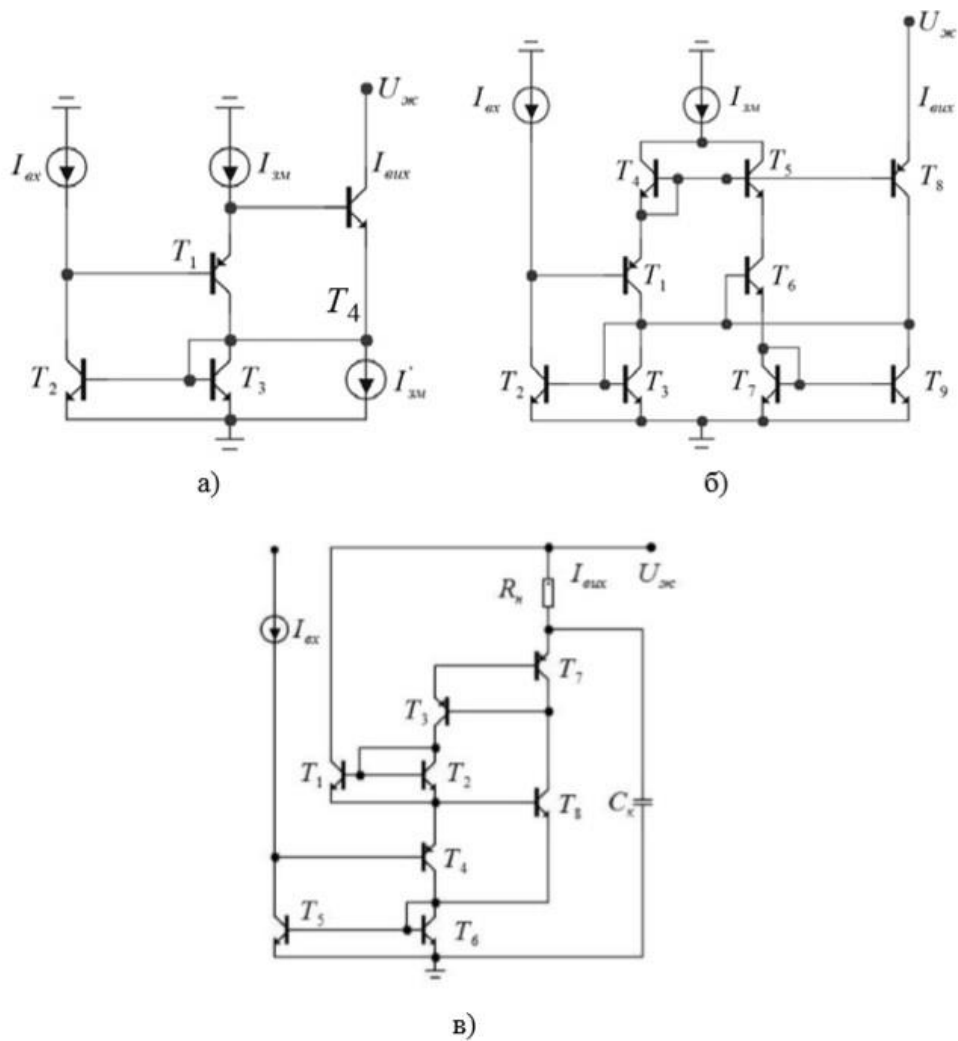


Рис. 1. Відбивачі струму з: а, б — високим $r_{вих}$; в — надвисоким $r_{вих}$

Зазначимо що цей ВС має контур від'ємного зворотного зв'язку, а також складений транзистор-регулятор, тому вихідний малосигнальний опір $r_{вих}$ з урахуванням цих чинників в аналітичній формі дорівнюватиме

$$r_{вих} = r_{к4} (1 + \alpha \cdot K_i)$$

Де: $r_{к4}$ — колекторний опір транзистора T_4 ; $K_1 = \frac{\Delta I_{вих}}{\Delta I_{б1}}$ — коефіцієнт передачі складеного транзистора регулятора; α — малосигнальний коефіцієнт передачі струму для розірваного контуру зворотного зв'язку в ділянці транзистора T_3 (в діодному вмиканні), зокрема так, як це показано на рис. 1б.

Коло зворотного зв'язку тут імітується відбивачем струму на транзисторах T_1, T_2 і генератором струму зміщення $I''_{зм}$. Причому рівень $I''_{зм}$ задається таким, щоб значення $I_{вих}$, а також $I_{зм}$ у схемах на рис. 1а і 1б між собою збігались. В аналітичній формі вихідний опір схеми ВС (рис. 1а) визначається на основі формули (1) у вигляді

$$r_{вих} = r_{к4} (1 + \beta_p),$$

Де: $\beta_p = \beta_1 \cdot \beta_4$. Тут β_1 — коефіцієнт передачі струму транзистора T_1 в схемі із загальним емітером, а β_4 — коефіцієнт передачі струму транзистора T_4 . Комбінація T_1 та T_4 являє собою складений транзистор Шиклаї. Введення транзистора T_1 дозволяє скомпенсувати змінення базового струму T_4 , що виникає в наслідок зміни напруги $U_{ж}$. Застосування транзистора Шиклаї дозволяє мінімізувати падіння напруги як на вході ВС так і на виході ВС

Схема (рис. 1а) потребує додаткового генератора струму зміщення $I_{з\text{м}}$. Альтернативною зазначеній схемі може слугувати ВС, схему якого показано на рис. 1б. Вона додатково містить 2 струмові дзеркала на транзисторах T_4 , T_5 і T_7 і T_9 , відповідно. Транзистор T_6 , включений за схемою загальна база, забезпечує ідентичність робочих точок транзисторів T_4 , T_5 , на яких зібрано перший внутрішній відбивач, що виконує функцію дільника струму зміщення $I_{з\text{м}}$. Подібна конфігурація цих елементів дозволяє поділити $I_{з\text{м}}$ на два струми $I_{\text{в}1}$ і $I_{\text{к}8}$, причому $|I_{\text{в}1}| = |I_{\text{к}9}|$, що забезпечує баланс роботи загальної схеми, незалежно від значення $I_{з\text{м}}$, або його змінення. Такий підхід дозволяє вилучити зі схеми генератор струму $I_{з\text{м}}$. Особливістю схем, показаних на рис. 1а—б, є наявність зовнішнього генератора струму зміщення $I_{з\text{м}}$. Причому, найбільше значення $r_{\text{вих}} = 552 \text{ МОм}$ для схеми на рис. 1б буде у випадку $I_{з\text{м}} = 2 \text{ мА}$. Дещо змінивши конфігурацію схеми (рис. 1а), можна також вилучити генератор струму зміщення $I_{з\text{м}}$. Варіант побудови такого ВС показано на рис. 1в. Його схема містить нові елементи: транзистори T_3 , T_7 , включені в коло колектора регулятора T_8 , а також другий внутрішній відбивач струму на транзисторах T_1 , T_2 , підключений до емітера T_4 . Призначенням цих компонентів є утворення кола додатного зворотного зв'язку (33) між базою і колектором T_8 , що збільшує його коефіцієнт передачі струму K_{18} і зумовлює зростання $r_{\text{вих}}$. Ступінь цього зростання істотно залежить від глибини зворотного зв'язку, яка у свою чергу автоматично регулюється емітерним опором T_4 . Задаючи певним чином коефіцієнт відбиття між T_1 і T_2 можна наблизити K_{18} , а також $r_{\text{вих}}$ до нескінченності. Слід зазначити, що введення контуру додатного зворотного зв'язку регулятора T_8 приводить до підйому АЧХ в зоні високих частот зі збільшенням R_H . Введення до схеми коригувального конденсатора C_K , дозволяє скомпенсувати вказаний підйом. В результаті комп'ютерного моделювання цього ВС за умови $U_{\text{ж}} = +4 \text{ В}$ та $I_{\text{вх}} = 1 \text{ мА}$: $I_{\text{вих}} = 1 \text{ мА}$; $1,002 K_1 =$; $r_{\text{вих}} = 1,25 \text{ ГОм}$. Таким чином, виходячи з системних вимог, що висуваються до відбивачів струму, можна обрати той чи інший тип конфігурації схеми.

Висновки

Запропоновано нові підходи до побудови струмових дзеркал з підвищеним опором. Розглянуто варіанти побудови схем з покращеними статичними характеристиками, що полягають у застосуванні композиції, як n-p-n так і p-n-p транзисторів, а також додатного зворотного зв'язку в колі керування транзистора регулятора.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] О. Азаров, Р. Медяний, і А. Фігас, Відбивачі струму з високим і надвисоким вихідним опором на біполярних транзисторах, Вісник Вінницького політехнічного інституту, № 1, с. 58-64, Лют 2019.
- [2] У. Титце, и К. Шенк, Полупроводниковая схемотехника, Т. II, 12-е изд. Москва, Россия: ДМК Пресс, 2007.
- [3] О. Д. Азаров, та В. Є. Яцик, «Методи покращення статичних характеристик відбивачів струму,» Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія, № 1, 2012.
- [4] О. Д. Азаров, В. А. Гарнага, та В. Є. Яцик, «Відбивачі струму для аналогових пристроїв із покращеними статичними і динамічними характеристиками,» Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія, № 2, 2012.
- [5] О. Д. Азаров, М. Ю. Теплицький, та В. Є. Яцик, «Спеціалізовані відбивачі струму з парафазними входами для двотактних підсилювальних схем,» Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія, № 1, 2013.

Фігас Анна Сергіївна — аспірант кафедри обчислювальної техніки, факультет інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: annavegas1488@gmail.com.