

ДИНАМІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ СТРУМ – СТРУМ НА БАЗІ ДВОТАКТНИХ ПІДСИЛЮВАЧІВ СТРУМУ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

На відміну від підсилювачів напруги, підсилювачі струмів у ряді випадків мають значні переваги. Це пов'язано з тим, що значну частину паразитних параметрів інтегральних схем складають ємності. При цьому до уваги треба взяти те, що згідно із законами комутації напруга на ємності стрибком змінитися не може, водночас як струм через ємність може змінюватися стрибкоподібно. Таким чином під час проектування електронних схем для різноманітних аналого – цифрових і цифро аналогових при-строїв і систем слід орієнтуватися на принцип підсилення струмів. На основі цих висновків, було проаналізовано динамічні характеристики ПСС у вигляді АЧХ, ФЧХ і перехідної характеристики для заданих фіксованих коефіцієнтів підсилення струму та знайдено оптимальні рішення для побудови перетворювачів струм-струм.

Ключові слова:

Відбивач струму, струм, напруга, вихідний опір, коефіцієнт передачі, похибка лінійності, передатна характеристика, підсилювач струм-струм, передатна характеристика, двотактні підсилювачі постійного струму.

Abstract

Unlike voltage amplifiers, current amplifiers in some cases have an advantage over voltage amplifiers. This is due to the fact that a significant part of the parasitic parameters of integrated circuits are capacitors. It should be taken into account that according to the laws of switching, the voltage on the capacitor cannot change abruptly, while the current through the capacitor can change abruptly. Thus, when designing electronic circuits for various analog - digital and digital analog devices and systems should focus on the principle of current amplification. Based on these conclusions, the dynamic characteristics of the DC amplifier in the form of frequency response, phase frequency response and transient characteristics for the given fixed current gain were analyzed and the optimal solutions for the construction of current-to-current converters were found.

Keywords:

Current reflector, current, voltage, output resistance, transmission factor, linearity error, transfer characteristic, current-current amplifier, transfer characteristic, two-stroke DC amplifiers.

В останні роки мають місце спроби створення високолінійних ПНС і ПСС, побудованих винятково на біполярних транзисторах [1,2,3,4,5,6].

Основною проблемою у цьому плані є: з одного боку мінімізація кількості обладнання, а з іншого – зменшення похибки лінійності передатної характеристики. Слід також додати, що специфічною особливістю струмових схем є можливість об'єднання їх виходів на паралельну роботу, а також комутацію вихідних сигналів за допомогою швидкодіючих діодних ключових елементів.

Водночас треба відзначити, що в існуючих науково - технічних публікаціях міститься обмаль інформації про ПНС і ПСС, а кількість таких публікацій є мінімальною тому публікація статті, присвяченої розгляду статичних і динамічних характеристик перетворювачів струм-струм на базі двотактних підсилювачів постійного струму, є актуальною.

Варіант дослідженої принципової схеми ПСС побудованої на інтегральних біполярних транзисторах, наведено на рисунку 1.

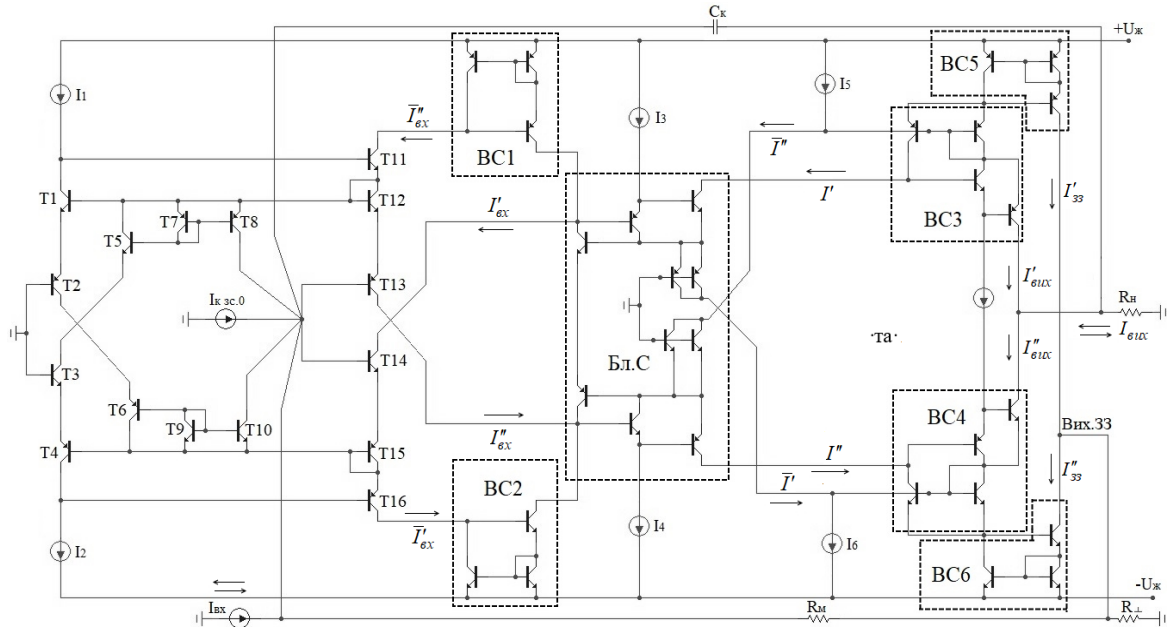


Рисунок 1. Принципова схема ПСС на біполярних транзисторах.

Вона містить: вхідний двотактний каскад (Вх.Дк), відбивачі струму BC1-BC6, блок балансування-підсилювання струмів (Бл.С), генератори робочих струмів $I_1 - I_7$, генератор компенсації струму зсуву нуля $I_{k.zc.0}$, опір навантаження R_n , резистори контура зворотного зв'язку R_{\perp} і R_m . Генератори $I_1 - I_7$ слугують для задання робочих точок транзисторних каскадів. Схему підключено до двох джерел напруг живлення $+U_{ж}$ і $-U_{ж}$. Вх.ДК побудовано на двох модернізованих відбивачах струму Уілсона.

Коефіцієнти передачі струму по кожному з виходів Бл.С будуть однаковими і визначаються співвідношенням:

$$K_{ol} = h_{ui} \cdot \frac{(\beta' \cdot \beta'')^2}{\beta' \cdot \beta'' + \beta' \cdot \beta''}$$

де β' і β'' - малосигнальні коефіцієнти передачі відповідно р-п-р і п-р-п транзисторів;

h_{ui} - коефіцієнт шунтування передачі струму з виходів Вх.ДК на входи Вл.С, значення якого залежить від співвідношення колекторних опорів двонаправленого відбивача струмів і вхідних опорів підсилювальних каналів Бл.С.

Щодо динамічних характеристик, то треба звернути увагу, що запропонований перетворювач побудовано на принципі підсилення і перетворення струмів, що дозволяє отримувати смугу пропускання аж до граничних частот біполярних транзисторів. Це обумовлено тим, що в такому ПСС відсутнє прикладення значних приростів напруги на керуючих переходах транзисторів за винятком вихідної шини, значення $\pm U_{вих}$ на якій визначається як рівнем $I_{вих}$, так і опором навантаження.

Динамічні характеристики оцінювалися шляхом аналізу АЧХ, ФЧХ і перехідної характеристики пристрою. Для уникнення нестійкої роботи між виходом і входом включено невеликий коригувальний конденсатор $C_k = 1.5n\Phi$. При цьому спад АЧХ у діапазоні частот, починаючи від 1кГц до 1ГГц є постійним і складає 20дб/декаду. Водночас зміна фазової характеристики не перевищує 90°. Це свідчить про те, що стійку роботу ДППС може бути забезпечено для множини

значень всіх K_I . АЧХ пристрою для деяких K_I наведено на рисунку 4. При цьому використано C_k зі значенням 1.5пФ, 2.0пФ, 4пФ. Невеличкий під'єм спостерігається при $K_I = 1.0$ в діапазоні від 50МГц до 400МГц.

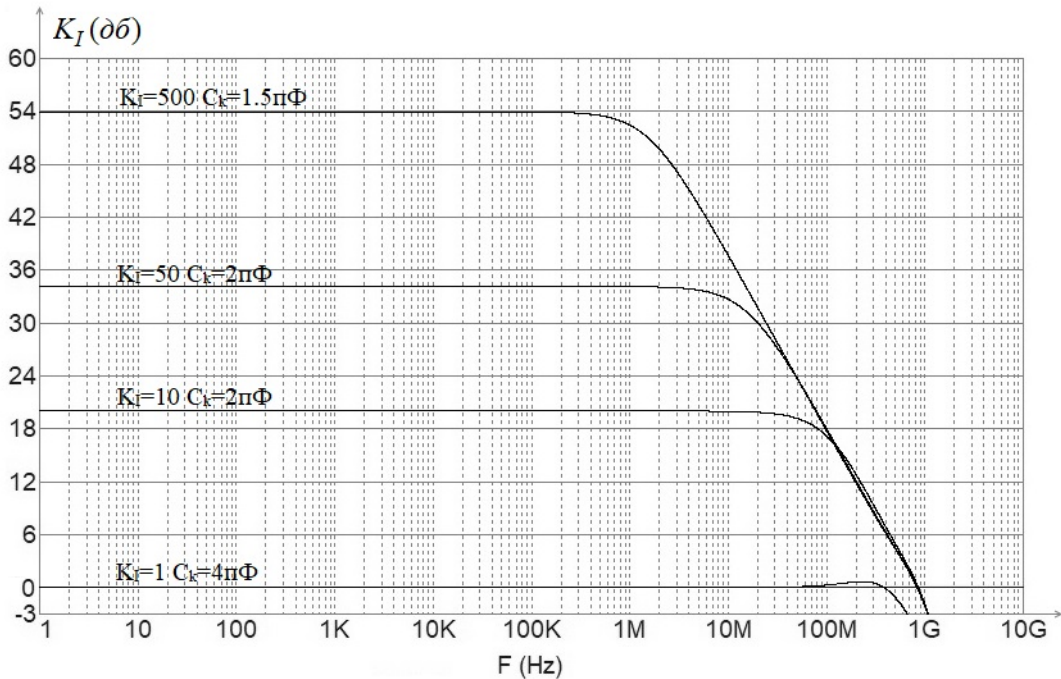


Рисунок 2. Сім'я АЧХ для різних значень K_I

Дослідження $K_I=10, C_k=2\text{пФ}$ перехідної характеристики ускладнено деякою недосконалістю пакетів Micro-Sar. Треба відзначити, що зменшення тривалості імпульсу 300нс, а фронтів менше 5нс процес моделювання втрачає стійкість. До того ж для підтримки його треба збільшувати C_k , що дещо погіршує реальні показники пристрою. Графіки перехідної характеристик для імпульсу тривалістю $t_i = 300\text{нс}$ і фронтами $t^+_{\phi} = t^-_{\phi} = 5\text{нс}$ і $C_k = 5\text{пФ}$ зображені на рисунку 3.

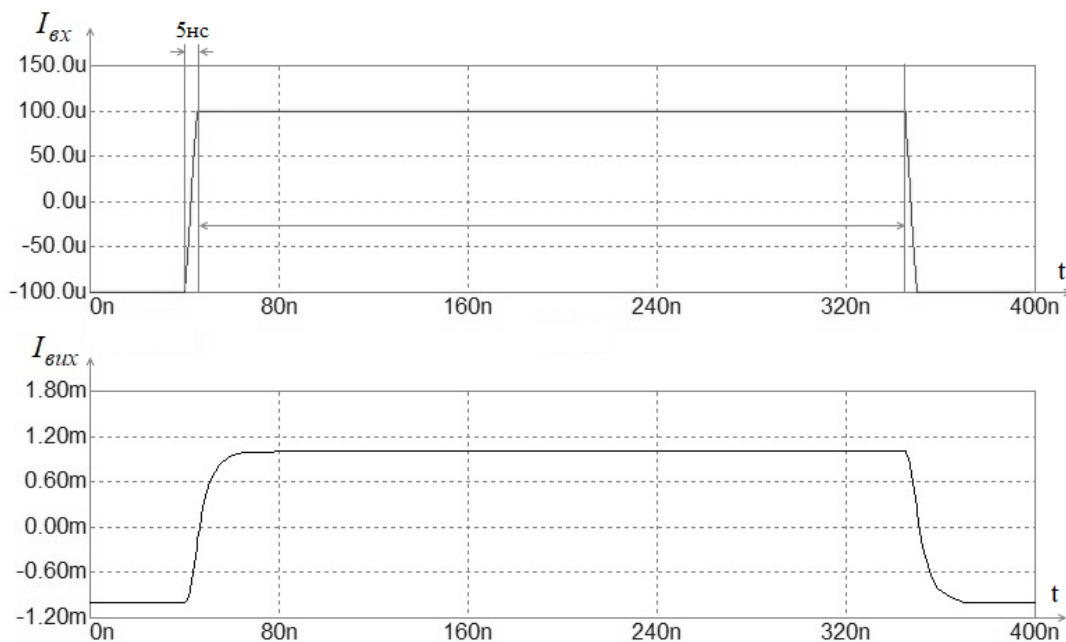


Рисунок 3. Перехідна характеристика ДППС при $K_I = 10$

Треба відзначити, що фронти характеристик отриманні в результаті моделювання, дещо завалено. Їх значення при $C_k < 5n\Phi$ повинні зменшитися.

У цілому треба зазначити, що динамічні характеристики запропонованих ДПСС є досить високими, особливо це стосується АЧХ зі смугою пропускання до 1ГГц. Водночас застосування вдосконалених інтегральних транзисторів дозволить досягти кращих показників.

Висновки

Проаналізовано динамічні характеристики ДПСС за допомогою АЧХ, ФЧХ і перехідної характеристики для заданих коефіцієнтів передачі струму K_I . Доведено, що ширина смуги пропускання є максимально широкою і визначається граничною частотою підсилення транзистора.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Alan V. Grebene, Bipolar and MOS Analog Integrated Circuit Design, 2002 – 912 с
2. У. Титце, и К. Шенк, Полупроводниковая схемотехника, Т. I-II, 12-е изд. Москва, Россия: ДМК Пресс, 2007, с. 172-177.
3. О. Азаров, і Є. Генеральницький, Високолінійний двотактний підсилювач-масштабатор струму на біполярних транзисторах із заземленим навантаженням, Вісник Вінницького політехнічного інституту, № 5, с. 55-61, Жов 2019. DOI: <https://doi.org/10.31649/1997-9266-2019-146-5-55-61>
4. О. Азаров, і Є. Генеральницький, Високолінійні балансні двотактні підсилювачі постійного струму із низкою по-хибкою ЗСУВУ НУЛЯ, ІТКІ, vol 47, № 1, с. 22-31, Трав 2020. DOI: <https://doi.org/10.31649/1999-9941-2020-47-1-22-31>
5. О. Азаров, і Є. Генеральницький, Статичні і динамічні характеристики високолінійних двотактних буферів на-пруги на біполярних транзисторах, Вісник Вінницького політехнічного інституту, № 4, с. 89-97, Вер 2020.
6. Пат. на корисну модель 140843 Україна, МПК H03F 3/26 (2006.01). Двотактний підсилювач постійного струму / Азаров Олексій Дмитрович., Богомолів Сергій Віталійович., Генеральницький Євгеній Сергійович; заявник та патенто-власник Вінницький нац. техн. ун-т. – № u201909171; заявл. 07.08.2019; опубл. 10.03.2020, бюл. № 5.

Азаров Олексій Дмитрович – доктор техн. наук, професор, завідувач кафедри обчислювальної техніки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця.

Генеральницький Євгеній Сергійович – аспірант факультету інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії, Вінницький національний технічний університет, Вінниця.

Oleksyi D. Azarov - Dr. Sc., Professor, Head of the Department of Computer Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

Yevhenii S. Heneralnytskyi - PhD, graduate student of the Faculty of Information Technology and Computer Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia