

# МЕТОД ПОБУДОВИ ШИРОКОСМУГОВИХ ДВОТАКТНИХ ПІДСИЛЮВАЧІВ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ НА ВІДБИВАЧАХ СТРУМУ

Вінницький національний технічний університет

## *Анотація*

*У статті розглянуто питання структурно-функціональної побудови двотактних підсилювачів постійного струму з внутрішніми контурами вибіркового зворотного зв'язку. Наведено аналітичні вирази для статичної передатної характеристики та відповідних похибок лінійності, а також отримано співвідношення для визначення динамічних характеристик базових схем двотактних підсилювачів постійного струму.*

**Ключові слова:** двотактні підсилювачі постійного струму, лінійність, балансування струмів.

## *Abstract*

*The article considers the issue of structural and functional construction of two-stroke DC amplifiers with internal contours of selective feedback. Analytical expressions for static transfer characteristic and corresponding linearity errors are given, and also the relations for definition of dynamic characteristics of basic schemes of two-stroke DC amplifiers are received.*

**Keywords:** push-pull direct current amplifiers, linearity, current balancing.

## **Вступ**

Визначальним компонентом аналогової схемотехніки є підсилювачі, окрему нішу серед яких складають підсилювачі постійного струму (ППС), які у свою чергу є основою операційних підсилювачів для аналогових і гібридних обчислювальних машин та вимірювальних інформаційних систем [1]. Історично склалося так, що перші ППС будували на електронних лампах [2]. Водночас перенесення підходів та принципів побудови структурних схем лампових підсилювачів на транзисторні призвело до того, що інтегральні транзисторні схеми ППС, які з'явилися в 60-х і 70-х роках минулого століття, у значній мірі нагадували лампові схеми. Це значно обмежувало досягнення потенційних можливостей у рамках динамічних та статичних характеристик, оскільки, зокрема, не дозволяло використовувати частотні властивості транзисторів аж до граничної частоти  $f_T$ , а також обмежувало лінійність передатної характеристики та ряд інших параметрів.

У теперішній час багато відомих фірм продуцентів електронних компонентів [1-3] таких як Analog Device, Burn Brown, Intersil, National Semiconductor та інших займається випуском підсилювачів постійного струму і зокрема операційних підсилювачів широкого спектру застосувань. Кожна з цих фірм має асортимент продукції понад 100 найменувань, проте переважна більшість із них має досить схожі структури і виконані майже за одним принципом, а саме однокілі асиметричні структури. Вона має ряд недоліків одними із яких є високі нелінійні спотворення вихідного сигналу.

Слід зазначити, в останні два десятиріччя у ВНТУ активно розвивається науковий підхід, пов'язаний із побудовою швидкодіючих двотактних підсилювачів струму, відбивачів струму з покращеними статичними характеристиками, а також високолінійних ППС і ПСС [4-7]. Водночас, отримані результати недостатньо освітлено в науково-технічній літературі, тому тема статті, присвячена

методам побудови спеціалізованих двотактних підсилювачів постійного струму (ДППС) для перетворювачів аналогових сигналів, є актуальною.

### Результати дослідження

Двотактний підсилювач постійного струму (рис 1) містить вхідний каскад побудований на двох відбивачах струму Вілсона. Виходи вхідного каскаду з'єднано з входами двотактного проміжного каскаду побудованого на складених транзисторах Шклаї. Виходи проміжного каскаду з'єднано з входами відбивачів струму, що виконують роль вихідного двотактного каскаду. Входом підсилювача є шина 6, з'єднання емітерів транзисторів відбивачів струму вхідного каскаду. Колектори відбивачів струму вихідного каскаду з'єднані між собою і утворюють вихідну шину.

В основу корисної моделі поставлено задачу створення двотактового підсилювача постійного струму, в якому за рахунок введення нових елементів і зв'язків між ними підвищується точність роботи пристрою.

Амплітудно-частотна характеристика ДППС (рис 2), отримана за допомогою програмного забезпечення МікроСар, зображена на рисунку 2.

Працює пристрій таким чином. Вхідний сигнал у вигляді струму поступає на вхідну шину 6. Якщо вхідний струм втікає у схему, то четвертий 9 і шостий 10 транзистори привідкриваються, а п'ятий 7 і третій 8 транзистори призакриваються. Це призводить до того, що одинадцятий 18 транзистор призакривається, а п'ятнадцятий 23 транзистор привідкривається. Водночас дванадцятий 19 транзистор привідкривається, а чотирнадцятий 28 транзистор призакривається. При цьому сімнадцятий 25 транзистор привідкривається, а вісімнадцятий 26 призакривається. Це викликає відкриття двадцять четвертого 33 транзистора і закриття двадцять третього 32 транзистора. У свою чергу це збільшує колекторний струм двадцять четвертого 33 транзистора і зменшує колекторний струм двадцять третього 32 транзистора. Різницевий струм колекторів цих транзисторів втікає із вхідної шини 38. Потенціал у вихідної шини 38 зменшується і стає від'ємним.

Якщо вхідний струм витікає із вхідної шини 6, то п'ятий 7 і третій 8 транзистори привідкриваються, а четвертий 9 і шостий 10 транзистори призакриваються. У свою чергу це привідкриває одинадцятий 18 транзистор, і призакриває п'ятнадцятий 24 транзистор. Водночас дванадцятий 19 транзистор призакривається, а чотирнадцятий 28 привідкривається. При цьому вісімнадцятий 26 транзистор привідкривається, а сімнадцятий 25 транзистор призакривається. Це призводить до того, що двадцять третій 32 транзистор привідкривається, а двадцять четвертий 33 транзистор призакривається. Різницевий колекторний струм цих транзисторів починає витікати з вихідної шини 38, потенціал виходу схеми збільшується.

Перше 1, друге 5, третє 11, четверте 16, п'яте 17, шосте 20 джерела струму, а також перший 2, другий 4, сьомий 12, восьмий 15, дев'ятий 13, десятий 14, п'ятнадцятий 24, шістнадцятий 27, дев'ятнадцятий 29, двадцятий 30, двадцять перший 31, двадцять другий 34, двадцять п'ятий 35, двадцять шостий 36 транзистори задають режим роботи по постійному струму.

Коригуючий конденсатор 22 коригує АЧХ і запобігає генерації. Резистор зворотного зв'язку 21 задає коефіцієнт підсилення.

Шини додатного 37 і від'ємного 39 живлення, а також шина нульового потенціалу 3 забезпечують потрібний рівень напруги для живлення схеми.

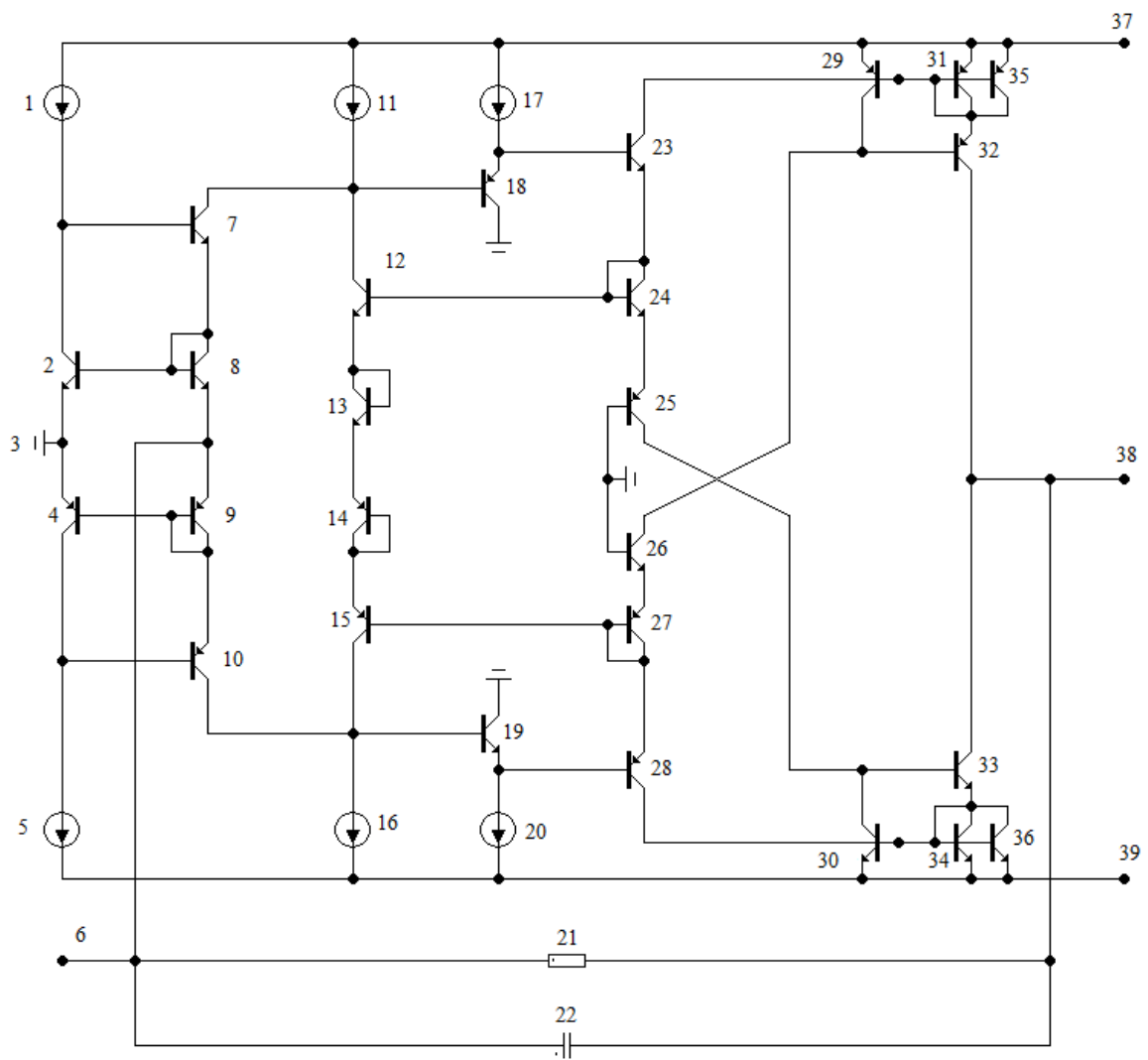


Рисунок 1 – ДПС

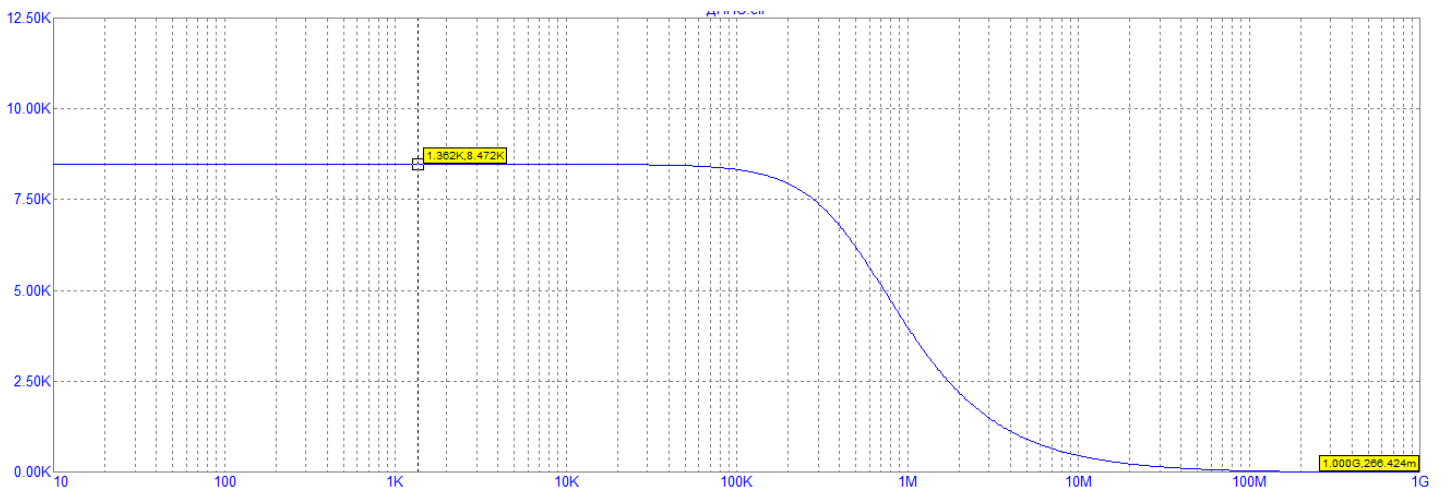


Рисунок 2 – Амплітудно-частотна характеристика ДПС.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Grebene A. Bipolar and MOS Analog Integrated Circuit Design / Alan B. Grebene – , 2003. – 879 p.
2. Hans Camenzind. 700 Series 20v Bipolar Array Design Manual / Hans Camenzind. – 2005. – 192 p.
3. О. Д. Азаров, В. А. Гарнага, В. Є. Яцик, «Відбивачі струму для аналогових пристроїв із покращеними статичними і динамічними характеристиками», Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія, №. 2., с. 48-55, 2012 р
4. Патент на корисну модель № 140168. Двотактний підсилювач постійного струму. МПК H03F 3/26. О. Д. Азаров, М. Р. Обертюх, Я. О. Стахов, О. О. Лукашук. / u201907299/ 10.02.2020, бюл. № 3/2020
5. Патент на винахід. Відбивач струму. МПК H 03 K 5/22. О. Д. Азаров, С. В. Павлов, М. Р. Обертюх, О. Я. Стахов, О. О. Лукашук. / a201910033
6. О. Д. Азаров, В. Є. Яцик, «Методи покращення статичних характеристик відбивачів струму», Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія, № 1., с.31-39, 2012.
7. О. Д. Азаров, С. В. Богомолов, В. А. Гарнага, та Д. О. Кириленко, «Двотактний симетричний підсилювач струму», Патент України на корисну модель, МПК(2009) H03K 5/22, G05B 1/00, №51958, 10.08.2010.

Науковий керівник: **Азаров Олексій Дмитрович** – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри ОТ, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: azarov2@vntu.edu.ua

**Лукашук Олександр Олегович** – студент групи 2КІ-17б, факультет інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: o.lukashuk3.14@gmail.com

Supervisor: **Azarov Olexiy** - Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Computer Engineering, Vinnitsa National Technical University, Vinnitsia, e-mail: azarov2@vntu.edu.ua

**Alex Lukshuk** – Faculty of Information Technologies and Computer Engineering, Vinnitsia National Technical University, Vinnitsia, e-mail: o.lukashuk3.14@gmail.com