

Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний технічний університет

О. Д. Азаров, С. В. Богомолів

**ОСНОВИ ТЕОРІЇ
ВИСОКОЛІНІЙНИХ АНАЛОГОВИХ
ПРИСТРОЇВ НА БАЗІ ДВОТАКТНИХ
ПІДСИЛЮВАЛЬНИХ СХЕМ**

Монографія

Вінниця
ВНТУ
2013

УДК 681.325, 681.335

ББК 32.846

A35

Рекомендовано до друку Вченою радою Вінницького національного технічного університету Міністерства освіти і науки України (протокол № 10 від 31.05.2013 р.)

Рецензенти:

Володарський Є. Т., доктор технічних наук, професор

Філінюк М. А., доктор технічних наук, професор

Азаров, О. Д.

A35 Основи теорії високолінійних аналогових пристроїв на базі двотактних підсилювальних схем / О. Д. Азаров, С. В. Богомолів. – Вінниця : ВНТУ, 2013. – 144 с.

ISBN 978-966-641-547-2

У монографії розглянуто питання побудови високолінійних аналогових пристроїв на базі двотактних структур із покращеними статичними та динамічними характеристиками. Наведено аналітичні вирази для статичної передатної характеристики та відповідних похибок лінійності, а також отримано співвідношення для динамічних характеристик двотактних підсилювальних схем. Книга розрахована на науковців, аспірантів та інженерів, які займаються розробкою високолінійних аналогових вузлів для багаторозрядних аналого-цифрових систем.

УДК 681.325, 681.335

ББК 32.846

ISBN 978-966-641-547-2

© О. Азаров, С. Богомолів, 2013

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....	5
ВСТУП	6
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ МЕТОДІВ ПОБУДОВИ ВИСОКОЛІНІЙНИХ АНАЛОГОВИХ ПРИСТРОЇВ ДЛЯ БАГАТОРОЗРЯДНИХ АНАЛОГО-ЦИФРОВИХ СИСТЕМ	9
1.1 Огляд методів побудови аналогових перетворювальних пристроїв для багаторозрядних систем вимірювання, реєстрації та обробки сигналів	9
1.2 Аналіз статичних і динамічних похибок аналогових пристроїв у перетворювальних трактах аналого-цифрових систем	27
1.3 Схемна організація і похибки існуючих двотактних підсилювачів струму	33
1.3.1 Двотактні підсилювачі струму із параметричним заданням робочих точок	33
1.3.2 Двотактні підсилювачі струму з автобалансуванням робочих точок	38
1.4 Двотактні буферні пристрої напруги	41
РОЗДІЛ 2 МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ СТАТИЧНИХ І ДИНАМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВХІДНИХ ТРАНЗИСТОРНИХ КАСКАДІВ ДВОТАКТНИХ ПІДСИЛЮВАЧІВ СТРУМУ	44
2.1 Статичні передатні характеристики вхідних каскадів двотактних підсилювачів постійного струму.....	44
2.2 Визначення і мінімізація статичних похибок вхідних каскадів двотактних підсилювачів постійного струму.....	51
2.2.1 Компенсація зсуву нуля.....	51
2.2.2 Визначення і мінімізація нелінійності передатної характеристики.....	53
2.3 Нелінійні спотворення передатної характеристики вхідних каскадів у частотній зоні	57
2.4 Моделі АЧХ і ФЧХ вхідних каскадів	64
РОЗДІЛ 3 МЕТОДИ СХЕМНО-ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ ОРГАНІЗАЦІЇ ВИСОКОЛІНІЙНИХ АНАЛОГОВИХ ПРИСТРОЇВ НА БАЗІ ДВОТАКТНИХ СТРУКТУР	73
3.1 Методи схемної організації високолінійних буферних пристроїв на базі двотактних структур.....	73

3.1.1 Схемна організація і моделі передатних характеристик ядер двотактних буферних пристроїв	73
3.1.2 Методи зменшення похибок лінійності, зсуву нуля та підвищення навантажувальної здатності буферних пристроїв	80
3.2 Методи схемної організації перетворювачів струм–напруга та напруга–напруга на базі двотактних підсилювачів струму	85
3.3 Мінімізація похибок лінійності і зсуву нуля перетворювачів струм–напруга, напруга–напруга	93
РОЗДІЛ 4 РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ПРОЕКТУВАННЯ АНАЛОГОВИХ ПРИСТРОЇВ ІЗ ДВОТАКТНОЮ СТРУКТУРОЮ ДЛЯ БАГАТОРОЗРЯДНИХ АНАЛОГО-ЦИФРОВИХ СИСТЕМ	
4.1 Аналізатор параметрів звукових трактів	96
4.1.1 Структурна організація аналізатора параметрів звукових трактів.....	96
4.1.2 Аналіз системних вимог щодо статичних і динамічних характеристик аналогових вузлів аналізатора параметрів звукових трактів	98
4.2 Схемно-функціональна організація двотактних підсилювачів постійного струму, характеристики яких відповідають системним вимогам.....	103
4.3 Високолінійні перетворювачі струм–напруга і напруга–напруга з параметричним коригуванням зсуву нуля.....	106
4.4 Високолінійні швидкодіючі буферні пристрої напруги з двотактною організацією	110
4.5 Підсилювач різницевого струму для високочутливого компаратора	113
4.6 Аналогова частина аналізатора параметрів звукових трактів. Статичні і динамічні характеристики	115
ЛІТЕРАТУРА	118

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

АК	–	аналоговий комутатор;
АПЗТ	–	аналізатор параметрів звукових трактів
АЦ	–	аналого-цифровий;
АЦП	–	аналого-цифровий перетворювач;
АЧХ	–	амплітудно-частотна характеристика;
БАН	–	блок автокоригування нуля;
БН	–	буфер напруги;
БНЗ	–	блок напруг зміщення;
ВДК	–	вхідний двотактний каскад;
ВС	–	відбивач струму;
ДВК	–	двотактний вихідний каскад;
ДВС	–	двонаправлений відбивач струму;
ДППС	–	двотактний підсилювач постійного струму;
ЗЗ	–	зворотний зв'язок;
ІВС	–	інформаційно-вимірювальна система;
КГС	–	керований генератор струму;
КЗЗ	–	канал зворотного зв'язку;
КНС	–	коефіцієнт нелінійних спотворень;
КС	–	компенсатор струму;
ОП	–	операційний підсилювач;
ПКС	–	перетворювач код–струм;
ПНН	–	перетворювач напруга–напруга;
ППК	–	проміжний підсилювальний каскад;
ППС	–	підсилювач постійного струму;
ПСН	–	перетворювач струм–напруга;
ПФІ	–	перетворювач форми інформації;
ПФР	–	підсилювач-фазорозщеплювач;
СК	–	струмовий конвеєр;
ФЧХ	–	фазочастотна характеристика;
ЦА	–	цифро-аналоговий;
ЦАП	–	цифро-аналоговий перетворювач.

ВСТУП

Багаторозрядні аналого-цифрові системи, як різновид інформаційних систем, призначені для прямого і зворотного перетворення, реєстрування й цифрового опрацювання аналогових сигналів [1]. Точність таких систем у значній мірі залежить від рівня похибок пристроїв, що входять до складу трактів перетворення аналогових сигналів. У переважній більшості таких систем поширене використання принципів самокоригування та самокалібрування похибок передатної характеристики таких трактів [2–8]. Перевагою такого підходу є можливість забезпечення високих метрологічних характеристик, при знижених вимогах до елементної бази, а також технології виготовлення. Проте, не зважаючи на високі точносні характеристики та досягнення в існуючих аналогових пристроях, є потреби та резерви у напрямку їх вдосконалення. Відомо, що багаторозрядні аналого-цифрові системи доцільно розглядати як сукупність аналогових та цифрових пристроїв, що дозволяє роздільно проводити аналіз їх характеристик. Це, у свою чергу, дає можливість виділити низку аналогових пристроїв і визначити системні вимоги, щодо їх статичних та динамічних характеристик, їх переваги та недоліки, а також шляхи їхнього вдосконалення. Необхідно відзначити, що АЦП і ЦАП у складі багаторозрядних аналого-цифрових систем застосовуються в поєднанні із іншими аналоговими вузлами. Також відомо, що, незважаючи на наявність самокалібрування, не всі похибки піддаються коригуванню, а високий рівень точності може бути досягнутий лише при низькому рівні похибок аналогових вузлів, що не піддаються коригуванню. Особливо складним є коригування похибок інтегральної лінійності. Тому, поруч із структурними рішеннями, необхідно використовувати спеціальні схемотехнічні підходи, щодо практичної реалізації необхідних аналогових вузлів, які, у свою чергу, потребують окремих досліджень їх метрологічних характеристик.

Як відомо, більшість аналогових вузлів багаторозрядних аналого-цифрових систем, а також АЦП і ЦАП, що входять до їх складу, традиційно будують на базі універсальних операційних підсилювачів із застосуванням відповідних схем вмикання [3, 8, 9]. Здебільшого при цьому використовуються одноканальні підсилювачів постійного струму, які традиційно будують за 3–4-х каскадною структурою. Вони мають

вхідний диференційний каскад, однокітні проміжні каскади підсилення та двокітний вихідний каскад.

Підсилювачі постійного струму призначені для роботи зі змінним струмом чи напругою, а також із сигналами, які змінюються повільно, аж до нульової частоти, тобто сигналами постійного рівня. У теперішній час багато провідних компаній світу займаються розробкою таких підсилювачів постійного струму. Найбільш відомими з них є: Analog Devices, National Semiconductor, Texas Instruments, Intersil. Проте однокітні підсилювачі постійного струму мають деякі недоліки: низьку швидкість наростання вихідного сигналу, значний коефіцієнт нелінійних спотворень, різну тривалість переднього і заднього фронтів вихідного сигналу при роботі з двополярним імпульсним сигналом та вузьку смугу повної неспотвореної потужності.

Розвиток технологій і можливість виготовлення на одному кристалі елементарних як біполярних, так і польових транзисторів, статичні і динамічні характеристики яких мають незначні розбіжності, мотивували розробників до проектування двокітних структур і схем на їх базі. Перші двокітні підсилювачі постійного струму були запропоновані ще у 70-х роках [10–12]. Проте, у таких ДППС не було вирішено проблему задання струмів робочих точок проміжних каскадів, в результаті чого вони мали обмежену кількість підсилювальних каскадів та малий коефіцієнт підсилення.

У 80-х роках з'явилися варіанти побудови двокітних підсилювачів постійного струму з наскрізними каналами [13–20]. Проблема задання струмів робочих точок вирішено введенням відбивачів струму між вхідним двокітним каскадом і проміжним двокітним каскадом, що дозволило симетрувати передній і задній фронт вихідного сигналу. Протягом 1990-х і 2000-х років вдосконалювались схемна та структурна організація двокітних підсилювачів постійного струму. Більшість провідних фірм світу, які спеціалізуються на виготовленні і розробці аналогових схем, продовжують використовувати саме такі підходи [21–36]. Варто відзначити недоліки відомих двокітних схем:

- збільшена кількість каскадів підсилення, яка приводить до збільшення ємностей, появи фазових зсувів та зменшення швидкодії;
- обмежені статичні та динамічні характеристики;
- залежність коефіцієнта підсилення від опору навантаження.

Водночас, порівняно із одноктактними, двотактні підсилювачі постійного струму мають більшу швидкість наростання вихідного сигналу, лінійність передатної характеристики та ширшу смугу пропускання. Проте, в існуючих моделях таких схем так і не вдалося повністю вирішити проблему задання робочої точки проміжних каскадів та залежності коефіцієнта підсилення схеми від опору навантаження.

У 70–80-х роках у колишньому СРСР було розроблено серію інтегральних ППС, зокрема, таких в яких використовується диференціальний вхідний каскад і які були подібними до одноктактних американських аналогів. При цьому, слід відзначити таких науковців: Д. Е. Полоннікова, Н. Н. Прокопенка, Г. Д. Бахтіарова, В. В. Малініна, В. П. Школіна, В. Л. Шила, Г. В. Войшвілла та інших.

У 80–90-х роках ХХ століття у Вінницькому політехнічному інституті в науковій школі професора О. Д. Азарова запропоновано підхід, що дозволив вирішити проблему забезпечення струму робочої точки схеми, шляхом використання параметричної компенсації розбалансу базових струмів проміжних каскадів [37–43]. У таких схемах вхідні каскади працювали в режимі мікрострумів, а проміжні – у номінальному. Недоліком цього є низька швидкодія. Також було запропоновано підхід, який полягав у введенні до складу схеми компенсаторів струму, які забезпечують однаковий режим роботи проміжних каскадів. Це дозволило будувати двотактні підсилювачі постійного струму із розділеними каналами підсилення, особливістю яких є наявність автобалансування робочих точок проміжних транзисторних каскадів [44].

Підходом до усунення похибок масштабу і зсуву нуля аналогових пристроїв у складі багаторозрядних аналого-цифрових систем є використання процедури самокоригування та самокалібрування [2, 8]. Проте похибку інтегральної лінійності неможливо усунути вказаними процедурами. Саме тому дослідження в напрямку побудови високолінійних аналогових пристроїв на базі двотактних структур для багаторозрядних аналого-цифрових систем є актуальним.

Метою роботи, описаної в монографії, є покращення статичних і динамічних характеристик аналогових пристроїв, побудованих на базі двотактних структур, а також аналого-цифрових систем, до складу яких вони входять.

Автори будуть вдячні за відгуки на монографію, а також за побажання щодо подальшого розвитку досліджень.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ МЕТОДІВ ПОБУДОВИ ВИСОКОЛІНІЙНИХ АНАЛОГОВИХ ПРИСТРОЇВ ДЛЯ БАГАТОРОЗРЯДНИХ АНАЛОГО-ЦИФРОВИХ СИСТЕМ

1.1 Огляд методів побудови аналогових перетворювальних пристроїв для багаторозрядних систем вимірювання, реєстрації та обробки сигналів

До багаторозрядних аналого-цифрових систем, як різновиду інформаційних систем, зокрема, можна віднести системи вимірювання, реєстрації та обробки сигналів, що є однією з галузей масової технічної діяльності, в якій за допомогою електронних засобів здійснюється реєстрування, опрацювання, накопичення, вимірювання і розповсюдження інформації у формі електричних сигналів [1].

Водночас, до вказаних систем можуть бути віднесені [2]:

- автоматизовані контрольно-вимірювальні технологічні установки;
- інформаційно-реєструвальні системи із цифровим записом і оброблянням сигналів;
- вимірювальні комплекси й прилади для аналізу параметрів і характеристик сигналів і трактів.

Структурні схеми яких наведено на рис. 1.1, у яких: Д1, Д2, ..., Дn – давачі; НП1, НП2, ..., НПn – нормуючі підсилювачі; Ф1, Ф2, ..., Фn – фільтри; Б – буферний пристрій; АК – аналоговий комутатор; ПР – підсилювач різниці; ПЕ – пороговий елемент; СП – схема порівняння; ПКС – перетворювач код–струм; РПН – регістр послідовного наближення; БК (МП) – блок керування (мікропроцесор).

У теперішній час згадані системи вимірювання, реєстрації та обробки сигналів потребують аналого-цифрових пристроїв з досить високими характеристиками: динамічним діапазоном до 100–140 дБ, відношення сигнал/шум – 96–112 дБ, коефіцієнтом нелінійних спотворень – 0,001–0,002%, спектром частот вхідного сигналу – 16–20000 Гц, розрядністю вихідного двійкового коду 14–20 розрядів і частотою відліків 44,1 кГц [2]. Найрозповсюдженішими пристроями в таких системах є: АЦП, ЦАП, буферні пристрої, ПСН та ПНН, пристрої вибірки-зберігання та ін.[3, 11, 45].

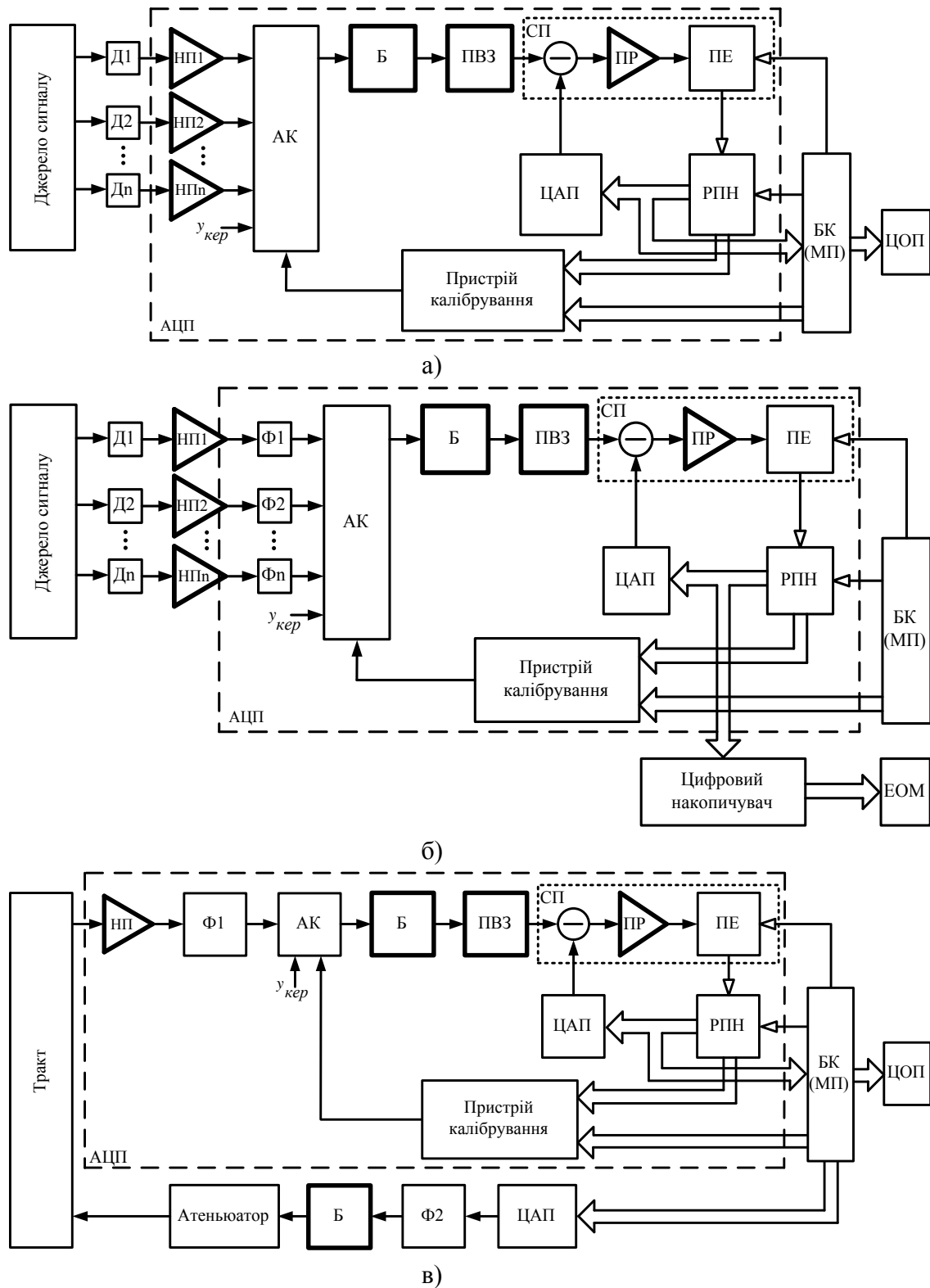


Рисунок 1.1 – Системи вимірювання, реєстрації та оброблення сигналів із калібруванням характеристики перетворення: а) автоматизована контрольно-вимірювальна технологічна установка; б) інформаційно-реєструвальна система збирання і опрацювання даних; в) аналізатор параметрів звукових трактів

Досягнення в розвитку цифрових технологій дозволили значно поліпшити якість опрацювання сигналів. Одним із шляхів цього пріоритетного напрямку як за кордоном, так і в нашій країні, є побудова і використання високолінійних, багаторозрядних АЦП і ЦАП із ваговою надлишковістю [2–6]. Проте, незважаючи на високі технічні характеристики, досягнуті в існуючих АЦП і ЦАП, питання їх застосування в складі системи вимірювання, реєстрації та обробки сигналів залишаються актуальними, оскільки повинна бути створена елементна база у вигляді аналогових пристроїв із відповідними характеристиками. Тому системні АЦП і ЦАП доцільно розглядати не як функціонально завершені вузли, а як сукупність аналогових лінійних пристроїв [2]. Існують такі типи вказаних пристроїв:

- нормуючі підсилювачі;
- буферні пристрої напруги;
- перетворювачі струм–напруга;
- перетворювачі напруга–напруга;
- пристрої вибірки-зберігання аналогових сигналів;
- підсилювачі різниці сигналів для високочутливих компараторів;
- фільтри низько- і високочастотних сигналів;
- комутатори аналогових сигналів;
- підсилювачі сигналів змінного струму.

Майже в усіх сучасних високолінійних перетворювачах наявні елементи автокалібрування і автокоригування, які забезпечують високі метрологічні характеристики за рахунок можливості компенсації первинних похибок елементної бази. Коригування виконується у спеціальному режимі, що називається самокалібруванням та дозволяє визначити реальні характеристики аналогових пристроїв, завдяки використанню структурних рішень із наявністю ЗЗ.

Перевагою такого підходу є можливість забезпечення високих технічних характеристик при знижених вимогах до елементної бази аналогових пристроїв та технології виготовлення. Коригування статичних похибок дозволяє також застосовувати схемотехнічні рішення, що забезпечують високу швидкодію [2].

З іншого ж боку, високий рівень точності, що досягається шляхом застосування самокалібрування, може бути забезпечений лише у випадку низького рівня некоригованих похибок аналогових пристроїв, які входять до складу АЦП і ЦАП. А це, у свою чергу, вимагає такого

підходу до проектування, де поряд із структурними рішеннями використовуються спеціальні схемотехнічні способи забезпечення високої точності й швидкодії. В результаті аналогові пристрої багаторозрядних АЦП і ЦАП мають низку особливостей, що дозволяє виділити їх дослідження у самостійну галузь.

Відомо, що АЦП і ЦАП у складі ІВС застосовуються в комплексі з іншими аналоговими пристроями. Забезпечення відповідних характеристик цих пристроїв і їхнє узгодження із АЦП і ЦАП є складним питанням [2, 3, 7]. Також відомо, що, здебільшого, відсутня можливість коригування деяких похибок таких вузлів, незважаючи на включення таких вузлів у контур коригування.

Таким чином, розглянувши специфіку систем вимірювання й обробки сигналів, доходимо висновку, що у процесі практичної реалізації АЦП і ЦАП із самокалібруванням, існує низка задач, які вимагають окремих досліджень аналогових пристроїв у частині їхніх метрологічних характеристик, структурних і схемотехнічних рішень, методів коригування. При цьому на особливу увагу заслуговують аналогові пристрої, такі як: АК, НП, ПР, БН, ПСН, ПНН та інші, основні вимоги до яких, наведено в табл. 1.1. У свою чергу класифікацію аналогових пристроїв для аналого-цифрових систем наведено на рис. 1.2.

Таблиця 1.1 – Вимоги щодо статичних і динамічних характеристик аналогових пристроїв. Специфіка структури

Лінійні пристрої	Швидкодія	Лінійність	Симетричність перехідної характеристики	Наявність ОП
Аналогові комутатори	+	+	–	–
Буферні пристрої	+	+	+	+
Пристрої вибірки-зберігання	+	+	–	–
Перетворювачі струм–напруга	+	+	+	+
Перетворювачі напруга–напруга	+	+	+	+
Підсилювачі різниці	+	+	+	+

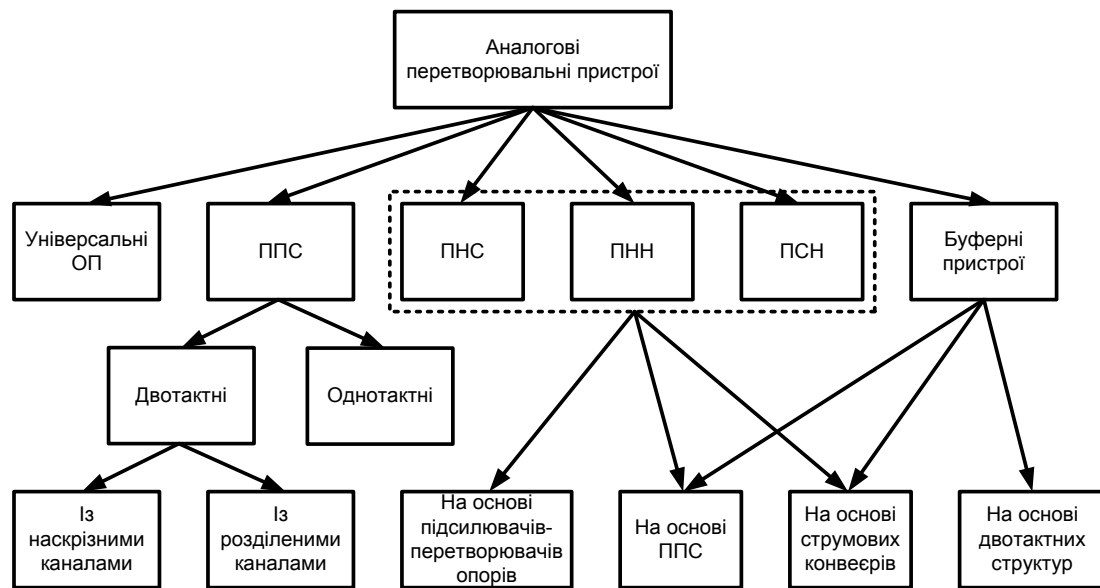


Рисунок 1.2 – Класифікація аналогових пристроїв для аналого-цифрових систем

Традиційно такі аналогові пристрої будують на базі універсальних ОП із застосуванням відповідних схем вмикання, які показано на рис. 1.3 [8, 9].

Здебільшого для таких цілей використовують однотактні ППС, які традиційно будують за трикаскадною структурою, яку представлено на рис. 1.4а.

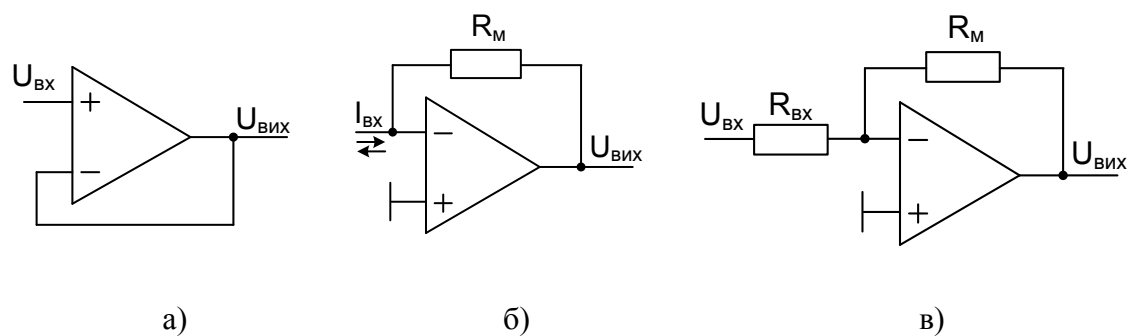


Рисунок 1.3 – Аналогові пристрої на базі універсальних ОП: а) буфер напруги; б) перетворювач струм-напруга; в) перетворювач напруга-напруга

Основою більшості сучасних підсилювачів є вхідний диференційний каскад [46–48], який виділяє різницю напруг та підсилює її. Проміжний та ДВК забезпечує підсилення вхідного сигналу. На особливу увагу заслуговує те, що у однотактних ППС вихідний каскад є двотактним, а це, у свою чергу, дозволяє збільшити навантажувальну здатність та лінійність передатної характеристики [46–50].

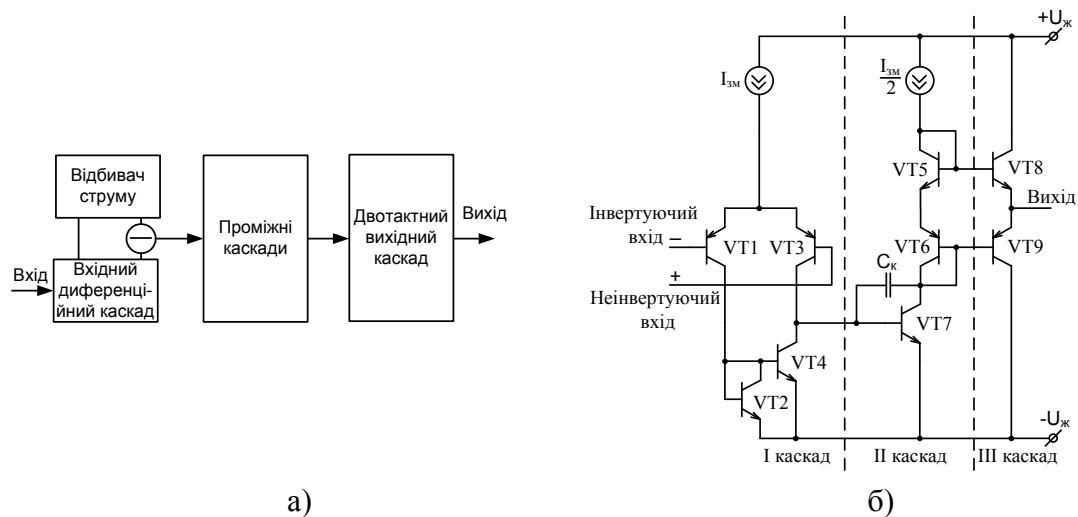


Рисунок 1.4 – Однотактний ППС з диференціальним вхідним каскадом:
 а) структурна схема; б) спрощена трикаскадна принципова схема

Проте застосування однотактних ППС є не дуже вдалим тому, що такі схеми вносять значні спотворення у форму сигналу, який обробляється. Недоліком також є різна тривалість переднього і заднього фронтів вихідного імпульсного сигналу та вузька смуга повної неспотвореної потужності [44], як показано на рис. 1.5.

Останнім часом для побудови аналогових пристроїв із ширшою смугою пропускання використовуються так звані струмові конвеєри із застосуванням відповідних схем вмикання як ППС, БН, ПСН і ПНН, наведені на рис. 1.6 [51–58].

При цьому характеристики такого роду пристроїв описуються співвідношеннями:

$$\begin{aligned}
 \text{ППС: } I_{вих} &= I_{вх} \cdot \frac{R_1}{R_2}; & \text{БН: } U_{вих} &= U_{вх} \cdot \frac{R_H}{R_1}; \\
 \text{ПСН: } U_{вих} &= -I_{вх} \cdot R_1; & \text{ПНН: } U_{вих} &= U_{вх} \cdot \frac{R_H}{R_1}.
 \end{aligned}$$

Як відомо, частотний діапазон роботи схем на основі ОП, обмежений КЗЗ. Підвищення динамічного і частотного діапазонів аналогових пристроїв може бути вирішеним при переході до обробки сигналів в базисі струмів [11, 44]. Ланцюги, що працюють в струмовому базисі, мають менші значення опорів у вузлах. Отже, максимальні значення напруг на внутрішніх вузлах схем менші, ніж при обробці сигналів у базисі напруг.

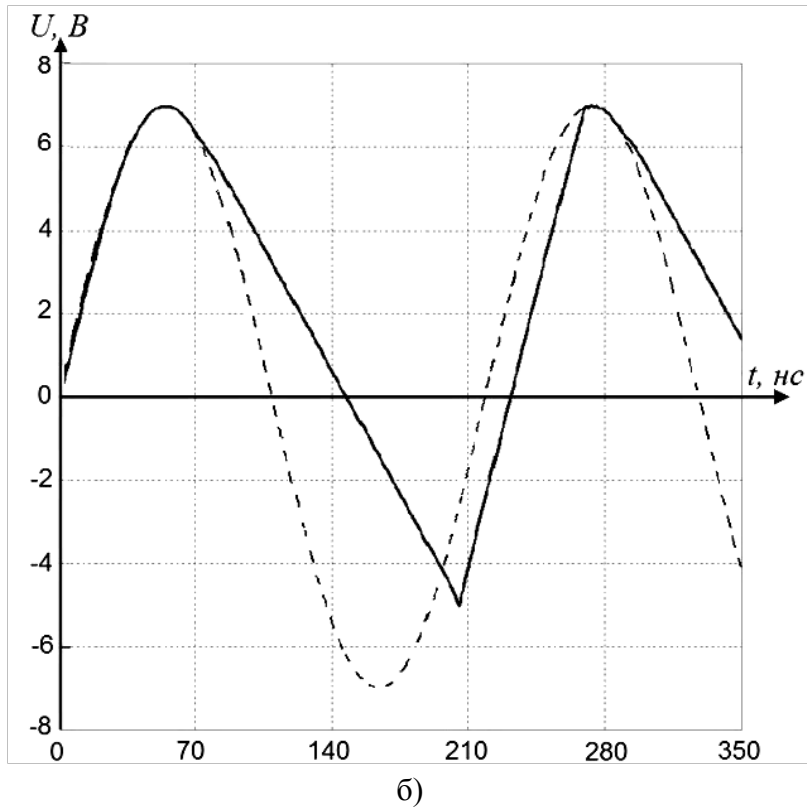
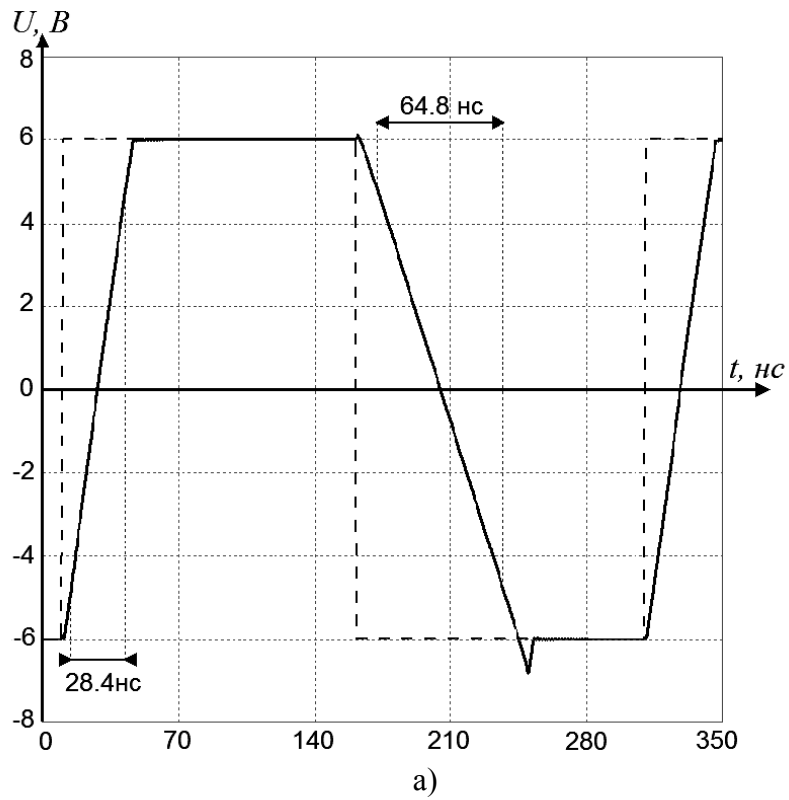


Рисунок 1.5 – Обмеження динамічних характеристик однотактних ППС:
 а) симетричність перехідної характеристики;
 б) спотворення синусоїдального вихідного сигналу

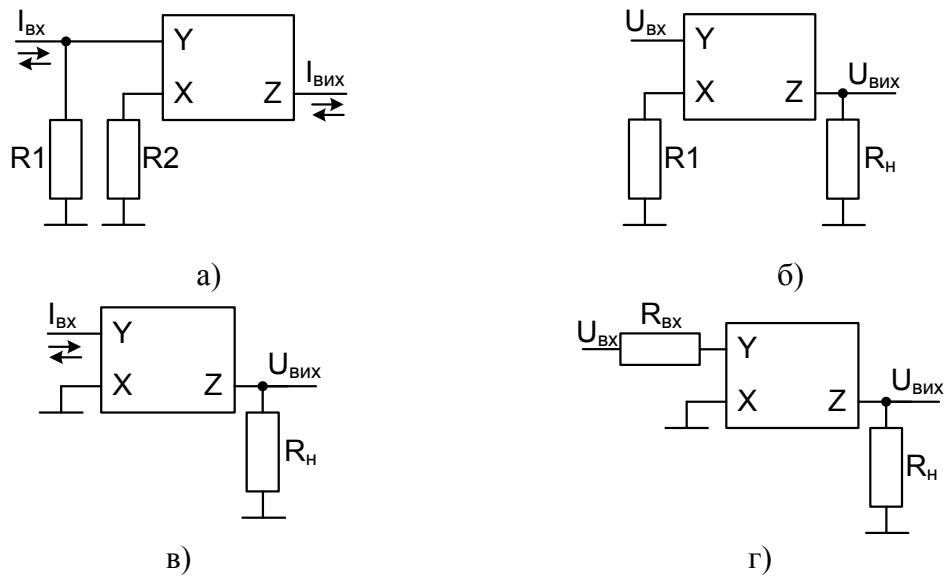


Рисунок 1.6 – Аналогові пристрої на базі СК: а) підсилювач постійного струму; б) буфер напруги; в) перетворювач струм–напруга; г) перетворювач напруга–напруга

Це призводить до зменшення нелінійних спотворень і збільшення динамічного діапазону. Крім того, оскільки паразитні ємності заряджаються до менших значень напруг, збільшується швидкість обробки сигналів і, отже, збільшується діапазон робочих частот.

СК першого покоління (СКІ) був вперше запропонований в 1968 р., проте як самостійний елемент не набув широкого використання. У 1970 р. був реалізований СК другого покоління (СКІІ) [52]. Такі СКІІ будуються за двотактною структурою (рис 1.7а) як на біполярних (рис. 1.7б), так і на польових транзисторах (рис. 1.7в).

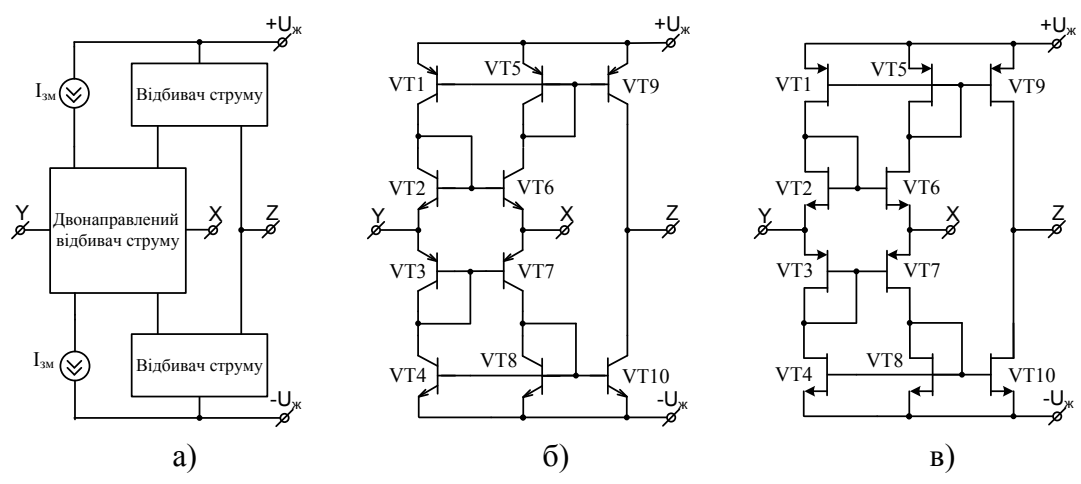


Рисунок 1.7 – Струмний конвеєр ІІ: а) узагальнена структурна схема; б) на біполярних транзисторах; в) на польових транзисторах

СКІІ функціонує відповідно до співвідношень:

$$U_X = k \cdot U_Y; I_Y = 0; I_Z = \pm \alpha \cdot I_X,$$

де U_X, U_Y – напруги на входах X і Y відповідно; I_X, I_Y, I_Z – струми на входах X, Y і Z відповідно; k і α – коефіцієнти передачі напруги і струму.

Параметрами, що характеризують СК, є коефіцієнти передачі напруги і струму k і α (в ідеальному випадку дорівнюють одиниці) та опори на виводах X і Y (в ідеальному випадку опір на виводі Y прямує до нескінченності, опір на виводі X – до нуля).

Знак «+» або «-» у виразі для струму I_Z визначає тип струмового конвеєра – неінвертуючий (СКІІ+) або інвертуючий (СКІІ-) відповідно. Неінвертуючим прийнято називати конвеєр, у якого струми на виводах X і Z спрямовані одночасно «в» конвеєр або «з» конвеєра.

Як повторювач струму в СКІІ+ використовується ВС. Для реалізації СКІІ- можна використовувати СКІІ+ з підключенням до виводу Z найпростішим ВС. Однак, введення у схему цього елемента призводить до погіршення характеристик СКІІ- порівняно з вихідною схемою СКІІ+ без додаткового струмового дзеркала. Отже, для реалізації прецизійних СКІІ- необхідно використовувати більш складні схеми повторювачів струму з інверсією.

У 1995 р. запропоновано СК третього покоління (СКІІІ) [58]. СКІІІ будуються на базі чотирьох СКІІ і використовуються, здебільшого при вимірюванні струмів (рис. 1.8).

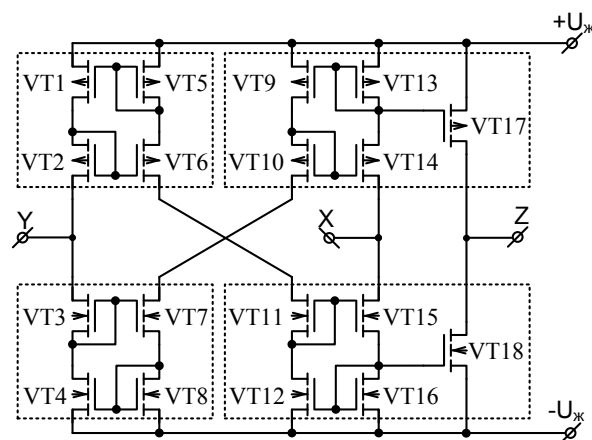


Рисунок 1.8 – Струмовий конвеєр ІІІ на польових транзисторах

СК мають смуги робочих частот порядку сотень мегагерц, що істотно перевищує смуги робочих частот ОП. Це пояснюється відсутністю каскадів з великим коефіцієнтом підсилення. Водночас, відсутня необхідність у підключенні ланцюга корекції, яка значно зменшує смугу робочих частот в ОП.

Можна зробити висновок, що реалізація ланцюгів на основі СК дозволяє збільшити частотний діапазон підсилювачів і пристроїв на їхній основі до десятків-сотень мегагерц при споживаній потужності, яка не перевищує споживаної потужності ОП.

При цьому варто відзначити такі недоліки СК:

- коефіцієнт передачі по струму близький до одиниці;
- внесення додаткових фазових зсувів;
- погіршення підсилення на каскад операційної схеми.

Іншим підходом до побудови ППС є використання двотактних структур. Слід відзначити, що перші ДППС почали будувати ще у 70-х роках [10–12]. Проте вони були недосконалі, оскільки мали обмежену кількість (1–2) підсилювальних каскадів і малий коефіцієнт підсилення. Однією з причин цього було те, що у вказаних схемах з багатокаскадною структурою (2–3) складно задавати потрібний режим по постійному струму. Таким чином, не було можливості скористатися перевагами, які надають ДППС із симетричною структурою. Альтернативним підходом є побудова ДППС із наскрізними каналами підсилення [3, 8, 11], структурну схему якого наведено на рис. 1.9, що дозволило досягнути симетрії переднього і заднього фронтів вихідного сигналу.

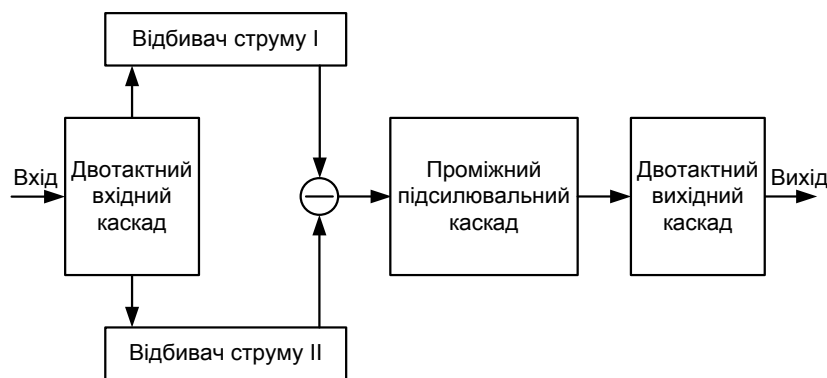


Рисунок 1.9 – Структурна схема сучасного ДППС із наскрізним каналом підсилення

Особливістю вказаного підходу є використання ВС, які виділяють приріст струму, що протікає через вхідний каскад.

Побудова такого роду пристроїв розпочалася ще у 80-х роках і набула широкого поширення через простоту і дешевизну задання робочої точки ППК та можливість симетрування переднього і заднього фронтів вихідного сигналу при реакції на двополярний прямокутний вхідний імпульс [13–36].

Так, відомо, що компанія Analog Devices випускає ДППС AD810–AD815, Intersil – EL5160–5165, ON Semiconductor – NCS2501, NCS2510, NCS2511, NCS2530 та NCS2535 [59–72]. Їх основні характеристики показано у табл. 1.2.

Таблиця 1.2 – Характеристики сучасних ДППС із наскрізними каналами підсилення

Модель	Смуга пропускання, МГц	Швидкість наростання сигналу, В/мкс	Вхідна напруга зміщення, мВ	Вхідний струм зміщення, мкА	Спотворення/ частота, дБ/МГц
AD810	80	1000	1.5	2	–61/5
AD811	140	2500	0,5	2	–74/5
AD812	145	425	2	0,3	–90/1
AD813	100	250	2	0,5	–90/1
AD815	120	900	10	2	–66/1
EL5160	200	1700	5	–	–50/5
EL5161	200	1700	5	–	–50/5
EL5162	500	4000	5	–	–50/5
EL5163	500	4000	5	–	–50/5
EL5164	600	4700	5	–	–73/5
EL5165	600	4700	5	–	–73/5
NCS2501	200	450	4	4	–55/5
NCS2502	110	230	4	20	–49/5
NCS2510	1400	2500	4	35	–69/5
NCS2511	1000	2500	10	35	–67/5
NCS2530	200	450	4	5	–55/5
NCS2535	1400	2500	10	35	–69/5

Аналізуючи таблицю, дійдемо висновку, що ДППС, які побудовані за розглянутою структурою, мають гарні динамічні характеристики. Водночас, варто відзначити те, що загальний коефіцієнт підсилення визначають ППК та ДВК, оскільки ВС мають коефіцієнти передачі близькі до одиниці, а ВДК – 1/2 [48]. Збільшення коефіцієнта підси-

лення можливе шляхом збільшення кількості підсилювальних каскадів, проте використання великої кількості ППК каскадів призводить до значних фазових зсувів, коригування яких призведе до зменшення швидкодії ДППС [73–77]. Також недоліком таких схем є можливість працювати лише з низькоомним навантаженням, а також значна залежність коефіцієнта підсилення від опору навантаження [3, 8, 11]. Відповідну АЧХ показано на рис. 1.10.

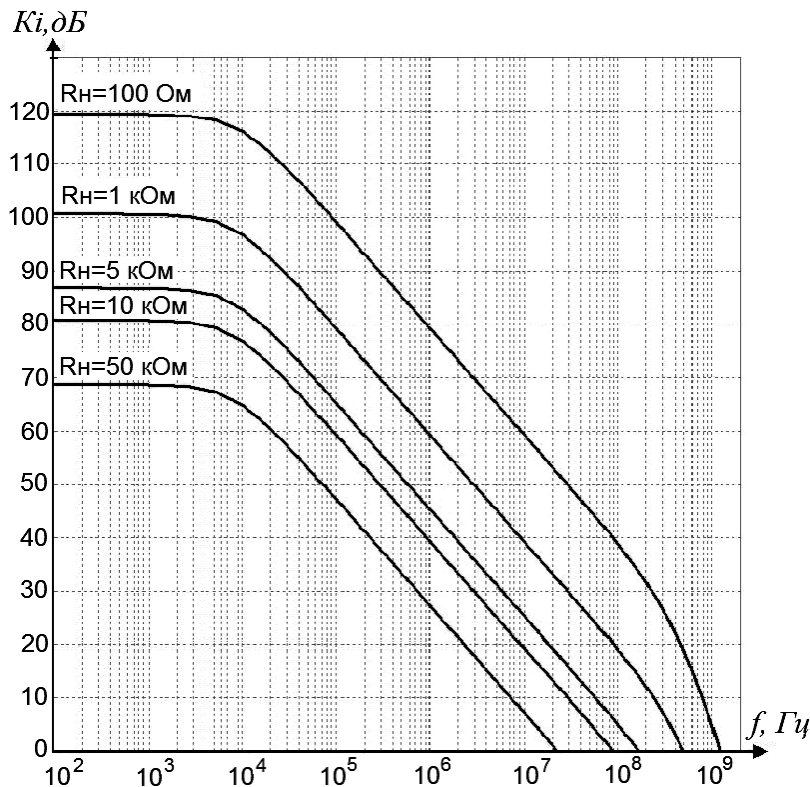


Рисунок 1.10 – АЧХ ДППС із наскрізним каналом підсилення при змінній опорі навантаження

Вирішення проблеми задання режиму по постійному струму, було запропоновано в науковій школі професора О. Д. Азарова шляхом введення до складу схеми КС, які забезпечують однаковий режим роботи каскадів ППС [37–44, 78]. Це дозволило будувати ДППС із розділеними каналами підсилення, особливістю яких є наявність автобалансування робочих точок проміжних транзисторних каскадів. Структурну організацію таких ДППС показано на рис. 1.11 [79].

При побудові ДППС із середнім коефіцієнтом підсилення використовується структурна схема, яку зображено на рис. 1.11а. Вона містить: ВДК, два симетричні ППК на біполярних р-п-р та п-р-п транзис-

ЛІТЕРАТУРА

1. Метрологія. Терміни та визначення : ДСТУ 2681–94. – Чинний від 01.01.1995. – К. : Держстандарт України, 1995. – 72 с.
2. Крупельницький Л. В. Аналого-цифрові пристрої систем, що самокоригуються, для вимірювань і оброблення низькочастотних сигналів : монографія / Л. В. Крупельницький, О. Д. Азаров. – Вінниця : УНІВЕРСУМ–Вінниця, 2005. – 167 с.
3. Walt Kester. ANALOG-DIGITAL CONVERSION / Walt Kester. – ADI : Central Application Department, March 2004. – 1127 p.
4. Романов В. А. Теория, методы построения и техническая реализация микропроцессорных преобразователей формы информации с повышенной надежностью и производительностью : автореф. дис. ... д-ра техн. наук : 05.13.05 / В. А. Романов. – К., 1994. – 34 с.
5. Орнатский П. П. Автоматические измерения и приборы (аналоговые и цифровые) / П. П. Орнатский. 5-е изд. перераб. и доп. – К. : Вища школа, 1986. – 504 с.
6. Высокопроизводительные преобразователи формы информации / [А. И. Кондалев, В. А. Багацький, В. А. Романов, В. А. Фабричев]. – К. : Наукова думка, 1987. – 280 с.
7. Гудинаф Ф. Новые области применения аналого-цифровых преобразователей с высоким разрешением / Ф. Гудинаф // *Электроника*. – 1991. – № 7. – С. 39–42.
8. Азаров О. Д. Основи теорії аналого-цифрового перетворення на основі надлишкових позиційних систем числення : монографія / О. Д. Азаров. – Вінниця : УНІВЕРСУМ–Вінниця, 2004. – 257 с.
9. Walter G. Jong. Op Amp applications handbook / Walter G. Jong. – Analog Devices series, 2004. – 895 p.
10. Patent 3852678 USA, H 03 F 3/26. Push-pull amplifier with current mirrors for determining the quiescent operating point / George Joseph Frye. – № 358152 ; filed 07.05.73 ; issued 12.10.76.
11. Patent 3986134 USA, H 03 F 3/16. Push-pull amplifier circuitry / Kenji Yokoayama, Nippon Gakki Seizo Kabushiki Kaisha. – № 605172 ; filed 15.08.75 ; issued 12.10.76.
12. Patent 4031481 USA, H 03 F 3/16. Transistor amplifier / Tadao Yoshida assignor to Sony Corporation. – № 578195 ; filed 16.05.75 ; issued 21.06.77.

13. Patent 4274059 USA, H 03 F 3/30. Single ended Push-pull amplifier / Yasuhisa Okabe assignor to Victor Company of Japan. – № 963901 ; filed 27.11.78 ; issued 16.06.81.
14. Patent 4335360 USA, H 03 F 3/16, H 03 F 3/30. Class AB push-pull amplifiers / Merve V. Hoover. – № 97040 ; filed 23.11.79 ; issued 15.06.82.
15. Patent 4384261 USA, H 03 F 3/30. Class A complementary single-ended push pull amplifier / Kenji Yokoyama, assignor to Nippon Gakki Seizo Kabushiki. – № 279251 ; filed 01.07.81 ; issued 17.05.83.
16. Patent 4433303 USA, H 03 F 3/30. Push-pull amplifier circuit with field-effect transistors / Katuhiro Sasaki, assignor to Pioneer Electronics Corporation. – № 298143 ; filed 31.08.81 ; issued 21.02.84.
17. Patent 4540951 USA, H 03 F 3/26. Amplifier circuit / Akio Ozawa, Susumu Sueyoshi, Keishi Sato, Kikuo Ishikawa, Kiyomi Yatsunami, Satoshi Ishii, Masamichi Yumino. – № 523258 ; filed 27.10.83 ; issued 10.09.85.
18. Patent 4595883 USA, H 03 F 3/30. Emitter-follower type single-ended push-pull circuit / Kazuaki Nakayama assignor to Pioneer Electronics. – № 647789 ; filed 06.09.84 ; issued 17.06.86.
19. Patent 4791383 USA, H 03 F 3/30. High speed current amplifier buffer circuit / Dennis M. Monticelli, John W. Wright assignor to National Semiconductor Corporation. – № 92929 ; filed 04.09.87 ; issued 13.12.88.
20. Patent 4833424 USA, H 03 F 3/26. Linear amplifier with transient currents boost / John W. Wright, assignor to Elantec. – № 177511 ; filed 04.04.88 ; issued 23.05.89.
21. Patent 4991916 USA, H 03 F 2/26. Method and apparatus for automatically biasing a push-pull amplifier / David K. Deaver, assignor to John Fluke Mfg. Co., Inc. – № 180540 ; filed 12.04.88 ; issued 12.02.91.
22. Patent 5218321 USA, H 03 F 3/26. Low offset unity gain buffer amplifier / Steven R. Jost, assignor to Harris Corporation. – № 717347 ; filed 18.06.91 ; issued 8.06.93.
23. Patent 5323122 USA, H 03 F 3/26. Rapid slewing unity gain buffer amplifier with boosted parasitic capacitance charging / Derek F. Bowers, assignor to Analog Devices. – № 145820 ; filed 02.11.93 ; issued 21.06.94.

24. Patent 5399991 USA, H 03 F 3/45. High speed low power op-amp circuit / Farhood Moraveji, assignor to National Semiconductor Corporation. – № 270524 ; filed 05.07.94 ; issued 21.03.95.
25. Patent 5512859 USA, H 03 F 3/30. Amplifier stage having compensation for npn, pnp beta mismatch and improved slew rate / Farhood Moraveji, assignor to National Semiconductor Corporation. – № 340556 ; filed 16.11.94 ; issued 30.04.96.
26. Patent 5789982 USA, H 03 F 3/45, H 03 F 3/30. Low distortion feedback IC amplifier and method / Gabriel J. Uscategui, Glenn Wells, assignor to Harris Corporation. – № 712562 ; filed 11.09.96 ; issued 4.08.98.
27. Patent US 6529078 B1 USA, H 03 F 3/45. Low-distortion transimpedance amplifier structures and methods / Royal A. Gosser, Edward Perry Jordan, Analog Devices. – № 09/935263 ; filed 22.08.01 ; issued 4.03.03.
28. Patent US 6535064 B2 USA, H 03 F 3/26. Current-feedback amplifier exhibiting reduced distortion / Barry Harvey Barry, assignor to Elentec Semiconductor. – № 10/152451 ; filed 21.05.02 ; issued 18.03.03.
29. Patent US 6734720 B2 USA, H 03 F 3/45. Operation amplifier in which the idle current of its output push-pull transistors is substantially zero / Hiroshi Imai, assignor to Denso Corporation. – № 10/223702 ; filed 20.08.02 ; issued 11.03.04.
30. Patent US 2007/0040612 A1 USA, H 03 F 3/26 (2006.01). Push-Pull amplifier with transformational negative feedback / Ralph Oppelt. – № 11/502846 ; filed 11.08.06 ; issued 22.02.07.
31. Patent US 7362176 B2 USA, H 03 F 3/26. High efficient linear amplifier / Maria-Flora Carrento, Charles Parkhurst, assignor to Texas Instruments. – № 11/061332 ; filed 18.02.05 ; issued 22.04.08.
32. Patent US 7432764 B2 USA, H 03 F 3/26 (2006.01). Push-Pull amplifier with transformational negative feedback / Ralph Oppelt. – № 11/502846 ; filed 11.08.06 ; issued 07.10.08.
33. Patent US 2010/0171552 A1 USA, H 03 F 1/00 (2006.01). Push-Pull linear hybrid class H amplifier / John B. French, Andrew J. Mason. – № 12/647022 ; filed 24.1.09 ; issued 08.07.10.
34. Patent US 2010/0291881 A1 USA, H 04 B 1/38, H 03 F 3/26 (2006.01). Push-Pull low-noise amplifier with area-efficient

- implementation / Brian Brunn, Sehat Sutardja, Xiaohua Fan, Gregory Uehara. – № 12/772654 ; filed 03.05.10 ; issued 18.11.10.
35. Patent US 7920027 B2 USA, H 03 F 3/18 (2006.01). Amplifier design with biasing and power control aspects / Arvind Keerti, Santa Clara. – № 12/098936 ; filed 07.04.08 ; issued 05.04.11.
36. Patent US 2011/0163809 A1 USA, H 03 F 3/45, H 03 F 1/22 (2006.01). Push-Pull output circuit / Hiroyuki Tsurumi. – № 12/887312 ; filed 21.09.10 ; issued 07.07.11.
37. А. с. 1363452 СССР, H 03 K 5/24, G 05 B 1/01. Входное устройство схемы сравнения токов / А. Д. Азаров, В. Я. Стейскал, А. Е. Рафалюк, В. В. Лысюк (СССР). – № 3923619 ; заявл. 08.07.85 ; опубл. 01.09.87, Бюл. № 9.
38. А. с. 1450098 СССР, H 03 K 5/24, G 05 B 1/01. Входное устройство схемы сравнения токов / А. Д. Азаров, В. Я. Стейскал, Ю. М. Степайко, М. И. Демин (СССР). № 1363452 ; заявл. 02.03.87 ; опубл. 07.01.89, Бюл. № 1.
39. А. с. 1455387 СССР, H 03 K 5/24. Входное устройство схемы сравнения токов / А. Д. Азаров, В. Я. Стейскал, Ю. М. Степайко, В. П. Марценюк (СССР). № 4268283 ; заявл. 26.06.87 ; опубл. 30.01.89, Бюл. № 4.
40. А. с. 1497713 СССР, H 03 F 3/26. Двухтактный усилитель мощности / А. Д. Азаров, В. Я. Стейскал, В. П. Марценюк, В. П. Волков (СССР). № 4180472 ; заявл. 12.01.87 ; опубл. 30.07.89, Бюл. № 28.
41. А. с. 1529434 СССР, H 03 K 5/24. Входное устройство схемы сравнения токов / А. Д. Азаров, В. Я. Стейскал, Ю. М. Степайко, Л. В. Крупельницкий (СССР). № 4402589 ; заявл. 01.04.88 ; опубл. 15.12.89, Бюл. № 46.
42. А. с. 1554128 СССР, H 03 K 5/24, G 05 B 1/01. Входное устройство схемы сравнения токов / А. Д. Азаров, В. Я. Стейскал, Ю. М. Степайко, А. П. Голубев (СССР). № 4398936 ; заявл. 28.03.88 ; опубл. 30.03.90, Бюл. № 12
43. А. с. 1739476 СССР, H 03 F 3/26. Усилитель тока / А. Д. Азаров, Ю. М. Степайко, Е. М. Арапова, Т. А. Савчук (СССР). № 4748817 ; заявл. 19.09.89 ; опубл. 07.06.92, Бюл. № 21.
44. Азаров О. Д. Двотактні підсилювачі постійного струму для багаторозрядних перетворювачів форми інформації, що самокаліб-

- руються : монографія / О. Д. Азаров, В. А. Гарнага. – Вінниця : ВНТУ, 2011. – 156 с.
45. Волович Г. И. Схемотехника аналоговых и аналого-цифровых электронных устройств / Г. И. Волович. – М. : Додэка-XXI, 2005. – 528 с.
 46. Соклоф С. Аналоговые интегральные схемы / Сидни Соклоф ; пер. с англ. А. Б. Перезенцева. – М. : Мир, 1988. – 583 с.
 47. Алексеев А. Г. Операционные усилители и их применение / А. Г. Алексеев, Г. В. Войшвилло. – М. : Радио и связь, 1989. – 120 с.
 48. Титце У. Полупроводниковая схемотехника / У. Титце, К. Шенк ; пер. с нем. ДМК Пресс. – М. : ДМК Пресс, 2008. – Т. 1. – 832 с.
 49. Киарлоне Ф. Преобразователь напряжения в ток на основе двух измерительных усилителей / Ф. Киарлоне // Электронные компоненты и системы. – 2010. – № 7. – С. 40–41.
 50. Фолкенберри Л. Применения операционных усилителей и линейных ИС. / Л. Фолкенберри ; пер. с англ. Л. М. Наймарка. – М. : Мир, 1985. – 572 с.
 51. Smith K. C. The Current-Conveyor – A New Circuit Building Block / K. C Smith, A. Sedra // – IEEE Proc. – 1968. – № 56. – P. 1368–1369.
 52. Sedra A. A second Generation Current-Conveyor and its Applications / A. Sedra, K. C Smith // – IEEE Trans. – 1970. – CT-17. – P. 132–134.
 53. Lidgey F. J. Current-followers and a universal operational amplifier / F. J. Lidgey, C. Toumazou // – Electronics World and Wireless World. – 1984. – № 90(1577). – P. 40–43.
 54. Toumazou C. Novel Current-Mode Instrumentation Amplifier / C. Toumazou, F. J. Lidgey // – Electron. Lett. – 1985. – № 21(15). – P. 640–642.
 55. Toumazou C. Extending Voltage-Mode op-amps to Current-Mode Performance / C Toumazou, F. J. Lidgey, C.A. Makris // – IEE Proc. – 1990. – № 137(2). – P. 116–130.
 56. Toumazou C. Novel Current-Mode Instrumentation Amplifier / C. Toumazou, F. J. Lidgey // – Electron. Lett. – 1989. – № 25(3). – P. 228–230.
 57. Bruun E. Current-conveyor Based EMG Amplifier with Shutdown Control / E. Bruun, E. U. Haxthausen // – Electron. Lett. – 1990. – № 27(23). – P. 2172–2174.

58. Yodprasit U. High-precision CMOS current conveyor / U. Yodprasit // – Electron. Lett. – 2000. – Vol. 36, № 27(23). – P. 609–610.
59. Технічний опис AD810 : Low Power Video Op Amp with Disable / Analog Devices // Офіційний сайт. – Режим доступу : http://www.analog.com/static/imported-files/data_sheets/AD810.pdf
60. Технічний опис AD811 : High Performance Video Op Amp / Analog Devices // Офіційний сайт. – Режим доступу : http://www.analog.com/static/imported-files/data_sheets/AD811.pdf.
61. Технічний опис AD812 : Dual, Current Feedback Low Power Op Amp / Analog Devices // Офіційний сайт. – Режим доступу : http://www.analog.com/static/imported-files/data_sheets/AD812.pdf.
62. Технічний опис AD813 : Single Supply, Low Power Triple Video Amplifier / Analog Devices // Офіційний сайт. – Режим доступу : http://www.analog.com/static/imported-files/data_sheets/AD813.pdf.
63. Технічний опис AD815 : High Output Current Differential Driver / Analog Devices // Офіційний сайт. – Режим доступу : http://www.analog.com/static/imported-files/data_sheets/AD815.pdf.
64. Технічний опис EL5160, EL5161, EL5260, EL5261, EL5360 : 200MHz Low-Power Current Feedback Amplifiers / Intersil // Офіційний сайт. – Режим доступу : <http://www.intersil.com/content/dam/Intersil/documents/fn73/fn7387.pdf>.
65. Технічний опис EL5162, EL5163, EL5262, EL5263, EL5362 : 500MHz Low Power Current Feedback Amplifiers with Enable / Intersil // Офіційний сайт. – Режим доступу : <http://www.intersil.com/content/dam/Intersil/documents/fn73/fn7388.pdf>.
66. Технічний опис EL5164, EL5165, EL5364 : 600MHz Current Feedback Amplifiers with Enable / Intersil // Офіційний сайт. – Режим доступу : <http://www.intersil.com/content/dam/Intersil/documents/fn73/fn7389.pdf>.
67. Технічний опис NCS2501 : 1.1 mA 200 MHz Current Feedback Op Amp with Enable Feature / On semiconductor // Офіційний сайт. – Режим доступу : <http://www.chipfind.ru/datasheet/pdf/onsemi/ncs2501.pdf>.
68. Технічний опис NCS2502 : 650 A 110 MHz Current Feedback Op Amp with Enable Feature / On semiconductor // Офіційний сайт. – Режим доступу : <http://www.chipfind.ru/datasheet/pdf/onsemi/ncs2502.pdf>.

69. Технічний опис NCS2510 : 1.4 GHz Current Feedback Op Amp / On semiconductor // Офіційний сайт. – Режим доступу : <http://www.chipfind.ru/datasheet/pdf/onsemi/ncs2510.pdf>.
70. Технічний опис NCS2511 : 1 GHz Current Feedback Op Amp / On semiconductor // Офіційний сайт. – Режим доступу : <http://www.chipfind.ru/datasheet/pdf/onsemi/ncs2511.pdf>.
71. Технічний опис NCS2530 : Triple 1.1 mA 200 MHz Current Feedback Op Amp with Enable Feature / On semiconductor // Офіційний сайт. – Режим доступу : <http://www.chipfind.ru/datasheet/pdf/onsemi/ncs2530.pdf>.
72. Технічний опис NCS2535 : Triple 1.4 GHz Current Feedback Op Amp with Enable Feature / On semiconductor // Офіційний сайт. – Режим доступу : <http://www.chipfind.ru/datasheet/pdf/onsemi/ncs2535.pdf>.
73. Полонников Д. Е. Операционные усилители : принципы построения, теория, схемотехника. / Д. Е. Полонников. – М. : Энергоатомиздат, 1983. – 216 с.
74. Прокопенко Н. Н. Архитектура и схемотехника быстродействующих операционных усилителей / Н. Н. Прокопенко, А. С. Будяков. – Шахты : Изд-во ЮРГУЭС, 2006. – 220 с.
75. Прокопенко Н. Н. Нелинейная активная коррекция в прецизионных аналоговых микросхемах / Н. Н. Прокопенко. – Ростов-на-Дону : Изд-во Северо-Кавказского научного центра высшей школы, 2000. – 224 с.
76. Прокопенко Н. Н. Нелинейные корректирующие цепи на основе коммутаторов тока и напряжения в аналоговых микросхемах / Н. Н. Прокопенко, Н. Н. Никуличев. – Шахты : Изд-во ЮРГУЭС, 2006. – 130 с.
77. Будяков С. А. Архитектура и схемотехника операционных усилителей с предельными значениями динамических параметров : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.13.05 / С. А. Будяков. – Таганрог, 2008. – 22 с.
78. Аналіз передатної характеристики двотактного симетричного підсилювача постійного струму / О. Д. Азаров, С. В. Богомоллов, В. А. Гарнага, О. О. Решетнік // Наукові праці ВНТУ. – 2007. – № 1. – С. 1–8. – Режим доступу: <http://www.nbu.gov.ua/e-journals/VNTU/2007-1/vyp1.html>.

79. Богомоллов С. В. Двотактні підсилювачі постійного струму із симетричною структурою / О. Д. Азаров, С. В. Богомоллов, В. А. Гарнага // Вісник Хмельницького національного університету. – 2008. – № 4. – С. 20–24.
80. Уин Палмер. Быстродействующий прецизионный усилитель-преобразователь сопротивлений / Уин Палмер // Электроника. Серия : методы, схемы, аппаратура. – 1988. – № 1. – С. 77–82.
81. Богомоллов С. В. Високолінійні аналогові пристрої для багаторозрядних аналого-цифрових систем / О. Д. Азаров, С. В. Богомоллов // Проблеми інформатизації та управління. Національний авіаційний університет. – 2011. – № 4(36). – С. 6–18.
82. Азаров О. Д. Багаторозрядні АЦП і ЦАП із ваговою надлишковістю, стійкі до параметричних відмов : монографія / О. Д. Азаров, О. В. Кадук. – Вінниця, 2010. – 150 с.
83. Бахтиаров Г. Д. Аналого-цифровые преобразователи / Г. Д. Бахтиарова, В. В. Малинин, В. П. Школин. – М. : Советское радио, 1980. – 280 с.
84. Орнатский П. П. Теоретические основы информационно-измерительной техники / П. П. Орнатский. – 2-е изд., перераб. и доп. – К. : Вища школа, 1983. – 455 с.
85. Степаненко И. П. Основы микроэлектроники : учебное пособие для вузов. – 2-е изд. перераб. и доп. / И. П. Степаненко. – М. : Лаборатория Базовых Знаний, 2003. – 488 с.
86. Богомоллов С. В. Схемна організація вхідного комплементарного каскаду двотактного симетричного підсилювача постійного струму / О. Д. Азаров, С. В. Богомоллов // Проблеми інформатизації та управління. Національний авіаційний університет. – 2009. – № 3(27). – С. 6–13.
87. Моделі АЧХ і ФЧХ інтегральних біполярних транзисторів на основі схем заміщення з керованими генераторами струму / О. Д. Азаров, С. В. Богомоллов, С. Ш. Кацив та ін. // Проблеми інформатизації та управління. Національний авіаційний університет. – 2009. – № 4(28). – С. 5–15.
88. Богомоллов С. В. АЦП із ваговою надлишковістю для скремблювання мовних сигналів / О. Д. Азаров, С. В. Богомоллов // XXXVII науково-технічна конференція професорсько-викладацького складу, співробітників та студентів університету з участю працівників

- науково-дослідних організацій та інженерно-технічних працівників підприємств м. Вінниці та області., 17–18 березня : тези доповідей. – Вінниця, 2008. – С. 22.
89. Гребен А. Б. Проектирование аналоговых интегральных схем / А. Б. Гребен. – М. : Энергия, 1976. – 256 с.
 90. Богомоллов С. В. Похибки лінійності передатної характеристики вхідного каскаду двотактних підсилювачів струму / О.Д. Азаров, С. В. Богомоллов, В. Я. Стейскал // Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія. – 2010. – № 3(19). – С. 4–12.
 91. Пат. на корисну модель 41316 Україна, МПК (2009) Н 03 F 3/26. Підсилювач постійного струму / Азаров О. Д., Богомоллов С. В., Крупельницький Л. В. ; заявник та патентовласник Вінницький нац. техн. ун-т. – № u200900492 ; заявл. 23.01.2009 ; опубл. 12.05.2009, Бюл. № 9.
 92. Богомоллов С. В. Нелінійні спотворення вхідних каскадів двотактних підсилювачів струму / О. Д. Азаров, С. В. Богомоллов, І. В. Абрамчук // Проблеми інформатизації та управління. Національний авіаційний університет. – 2011. – № 2(34).
 93. Богомоллов С. В. Аналого-цифрові компоненти комп'ютерних систем моніторингу каналів цифрового телерадіомовлення із захищеним контентом / О. Д. Азаров, С. В. Богомоллов // XXXVIII науково-технічна конференція професорсько-викладацького складу, співробітників та студентів університету з участю працівників науково-дослідних організацій та інженерно-технічних працівників підприємств м. Вінниці та області., 17–20 березня : тези доповідей. – Вінниця, 2009. – С. 21.
 94. Азаров О. Д. Основи теорії лінійних інтегральних схем / О. Д. Азаров, В. В. Байко, М. Р. Обертюх. – Вінниця : Вінниця ВДТУ, 1999. – 225 с.
 95. Абрамовиц М. Справочник по специальным функциям / М. Абрамовиц, И. Стиган. – М. : Наука, 1979. – 832 с.
 96. Янке Е. Специальные функции: Формулы, графики, таблицы / Е. Янке, Ф. Эмде, Ф. Леш ; пер. с нем. Л. И. Седов. – М. : Наука, 1977. – С. 92–117.
 97. Сато Ю. Обработка сигналов. Первое знакомство / Ю.Сато ; под ред. Е. Амэмия. – М. : Издательский дом «Додэка», 2002. – 175 с.

98. Богомоллов С. В. Динамічні характеристики вхідного комплементарного каскаду двотактного підсилювача постійного струму / О. Д. Азаров, С. В. Богомоллов, В. А. Гарнага // Проблеми інформатизації та управління. Національний авіаційний університет. – 2010. – № 3(31). – С. 5–13.
99. Зевеке Г. В. Основы теории цепей : учебник для вузов / Г. В. Зевеке, П. А. Ионкин, А. В. Нетушил, С. В. Страхов. – 5-е изд. перераб. – М. : Энергоатомиздат, 1989. – 528 с.
100. Касаткин А. С. Электротехника : учебное пособие для вузов / А. С. Касаткин, М. В. Немцов. – 4-е изд. перераб. – М. : Энергоатомиздат, 1983. – 440 с.
101. Лунгу К. Н Высшая математика : руководство к решению задач / К. Н Лунгу, Е. В. Макаров. – 2-е изд. перераб. и доп. – Ч. 1. – М. : ФИЗМАТЛИТ, 2010. – 216 с.
102. Выгодский М. Я. Справочник по высшей математике / М. Я. Выгодский. – М. : АСТ : Астрель, 2005. – 991с.
103. Богомоллов С. В. Прецизійні буферні пристрої на базі двотактних симетричних структур / О.Д. Азаров, С. В. Богомоллов // Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія. – 2011. – № 3(22). – С. 4–12.
104. Пат. на корисну модель 51014 Україна, МПК (2009) Н 03 К 5/22, G 05 В 1/00. Буферний каскад / Азаров О. Д., Дудник О. В., Богомоллов С. В., Кадук О. В. ; заявник та патентовласник Вінницький нац. техн. ун-т. – № u201000934 ; заявл. 29.01.10 ; опубл. 25.06.10, Бюл. № 12.
105. Богомоллов С. В. Перетворювачі струм–напруга та напруга–напруга на базі двотактних підсилювачів струму / О.Д. Азаров, С. В. Богомоллов // Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія. – 2011. – № 2(21). – С. 4–11.
106. Пейтон А. Дж. Аналоговая электроника на операционных усилителях / А. Дж.Пейтон, В. Волш. – М. : БИНОМ, 1994. – 352 с.
107. Богомоллов С. В. Похибки лінійності прецизійних перетворювачів струм–напруга та напруга–напруга на базі двотактних підсилювачів струму / О. Д. Азаров, С. В. Богомоллов // Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія. – 2012. – № 1(23). – С. 24–30.
108. Макаренко В. Операционные усилители со сверхмалыми искажениями для высококачественных аудиоприложений / В. Макаре-

нко // Электронные компоненты и системы. – 2011. – № 12(172). – С. 34–38.

109. Стейскал В. Я. Новый малогабаритный анализатор параметров звуковых трактов АПЗТ-А3 / В. Я. Стейскал, Л. В. Крупельницький, Д. Ю. Позняк, К. Н. Вовк // Режим доступу: <http://www.vstu.edu.ua/ua/ntcacs/prod62.htm>.
110. Аналізатор параметрів звукових трактів АПЗТ-А3 : УО 4738690/8ю342-2002 ПМА. – Офіц. вид. – Львів : ДНДІ «Система», 2002. – 40 с. – (Програма та методика метрологічної атестації)
111. Технічний опис OP275 : Dual Bipolar / JFET, Audio Operational Amplifier / Analog Devices // Офіційний сайт. – Режим доступу : http://www.analog.com/static/imported-files/data_sheets/OP275.pdf.
112. Технічний опис AD620 : Low Cost Low Power Instrumentation Amplifier / Analog Devices // Офіційний сайт. – Режим доступу : http://www.analog.com/static/imported-files/data_sheets/AD620.pdf.
113. Пат. на корисну модель 70131 Україна, МПК (2012.01) Н 03 К 5/22 (2006.01), G 05 В 1/00. Підсилювач постійного струму / Азаров О. Д., Богомолів С. В., Кириленко Д. О., Крупельницький Л. В. ; заявник та патентовласник Вінницький нац. техн. ун-т. – № u201113981 ; заявл. 28.11.2011 ; опубл. 25.05.2012, Бюл. № 10.
114. Пат. на корисну модель 22671 Україна, МПК (2006) Н 03 К 5/22, G 05 В 1/00. Двотактний симетричний підсилювач струму / Азаров О. Д., Кадук О. В., Лукашук О. О., Богомолів С. В., Крупельницький Л. В. ; заявник та патентовласник Вінницький нац. техн. ун-т. – № u200613036 ; заявл. 11.12.2006 ; опубл. 25.04.2007, Бюл. № 5.
115. Пат. на корисну модель 23607 Україна, МПК (2006) Н 03 К 5/22, G 05 В 1/00. Двотактний симетричний підсилювач струму / Азаров О. Д., Богомолів С. В., Лукашук О. О., Крупельницький Л. В. ; заявник та патентовласник Вінницький нац. техн. ун-т. – № a200612459 ; заявл. 27.11.2006 ; опубл. 11.06.2007, Бюл. № 8.
116. Пат. на корисну модель 23989 Україна, МПК (2006) Н 03 К 5/22, G 05 В 1/00. Двотактний симетричний підсилювач струму / Азаров О. Д., Богомолів С. В., Лукашук О. О., Тарасова О. М. ; заявник та патентовласник Вінницький нац. техн. ун-т. – № u200701145 ; заявл. 05.02.2007 ; опубл. 11.06.2007, Бюл. № 8.

117. Пат. на корисну модель 23989 Україна, МПК (2006) Н 03 К 5/22, G 05 В 1/00. Двотактний симетричний підсилювач струму / Азаров О. Д., Богомолів С. В., Крупельницький Л. В. ; заявник та патентовласник Вінницький нац. техн. ун-т. – № u200701969 ; заявл. 11.06.2007 ; опубл. 11.06.2007, Бюл. № 8.
118. Пат. на корисну модель 24001 Україна, МПК (2006) Н 03 К 5/22, G 05 В 1/00. Двотактний симетричний підсилювач струму / Азаров О. Д., Богомолів С. В., Крупельницький Л. В., Тарасова О. М. ; заявник та патентовласник Вінницький нац. техн. ун-т. – № u200702065 ; заявл. 26.02.2007 ; опубл. 11.06.2007, Бюл. № 8.
119. Пат. на корисну модель 25609 Україна, МПК (2006) Н 03 К 5/22, G 05 В 1/00. Двотактний симетричний підсилювач струму / Азаров О. Д., Богомолів С. В., Крупельницький Л. В. ; заявник та патентовласник Вінницький нац. техн. ун-т. – № u200704477 ; заявл. 23.04.2007 ; опубл. 10.08.2007, Бюл. № 12.
120. Пат. на корисну модель 26413 Україна, МПК (2006) Н 03 К 5/22, G 05 В 1/00. Двотактний симетричний підсилювач струму / Азаров О. Д., Кадук О. В., Богомолів С. В., Гарнага В. А., Решетнік О. О. ; заявник та патентовласник Вінницький нац. техн. ун-т. – № u200702063 ; заявл. 26.02.2007 ; опубл. 25.09.2007, Бюл. № 15.
121. Пат. на корисну модель 26493 Україна, МПК (2006) Н 03 К 5/22, G 05 В 1/00. Двотактний симетричний підсилювач струму / Азаров О. Д., Богомолів С. В., Решетнік О. О., Гарнага В. А. ; заявник та патентовласник Вінницький нац. техн. ун-т. – № u200705169 ; заявл. 11.05.2007 ; опубл. 25.09.2007, Бюл. № 15.
122. Пат. на корисну модель 26495 Україна, МПК (2006) Н 03 К 5/22, G 05 В 1/00. Двотактний симетричний підсилювач струму / Азаров О. Д., Богомолів С. В., Решетнік О. О., Гарнага В. А. ; заявник та патентовласник Вінницький нац. техн. ун-т. – № u200705196 ; заявл. 11.05.2007 ; опубл. 25.09.2007, Бюл. № 15.
123. Пат. на корисну модель 26771 Україна, МПК (2006) Н 03 К 5/22, G 05 В 1/00. Двотактний симетричний підсилювач струму / Азаров О. Д., Богомолів С. В., Крупельницький Л. В., Решетнік О. О., Гарнага В. А. ; заявник та патентовласник Вінницький нац. техн. ун-т. – № u200704476 ; заявл. 23.04.2007 ; опубл. 10.10.2007, Бюл. № 16.

124. Пат. на корисну модель 34462 Україна, МПК (2006) Н 03 К 5/22, G 05 В 1/00. Двотактний симетричний підсилювач струму / Азаров О. Д., Богомолів С. В., Крупельницький Л. В., Волков В. П. ; заявник та патентовласник Вінницький нац. техн. ун-т. – № u200803598 ; заявл. 21.03.2008 ; опубл. 11.08.2008, Бюл. № 15.
125. Пат. на корисну модель 36692 Україна, МПК (2006) Н 03 К 5/22, G 05 В 1/00. Двотактний симетричний підсилювач струму / Азаров О. Д., Шабатура М. Ю., Богомолів С. В., Гарнага В. А. ; заявник та патентовласник Вінницький нац. техн. ун-т. – № u200802987; заявл. 07.03.2008 ; опубл. 10.11.2008, Бюл. № 21.
126. Пат. на корисну модель 39796 Україна, МПК (2006) Н 03 К 5/22, G 05 В 1/00. Двотактний симетричний підсилювач струму / Азаров О. Д., Теплицький М. Ю., Решетнік О. О., Богомолів С. В. ; заявник та патентовласник Вінницький нац. техн. ун-т. – № u200812467 ; заявл. 23.10.2008 ; опубл. 10.03.2009, Бюл. № 5.
127. Пат. на корисну модель 41318 Україна, МПК (2006) Н 03 К 5/22, G 05 В 1/00. Двотактний симетричний підсилювач струму / Азаров О. Д., Богомолів С. В., Крупельницький Л. В. ; заявник та патентовласник Вінницький нац. техн. ун-т. – № u200900494 ; заявл. 23.01.2009 ; опубл. 12.05.2009, Бюл. № 9.
128. Пат. на корисну модель 41857 Україна, МПК (2009) Н 03 К 5/22, G 05 В 1/00. Двотактний симетричний підсилювач струму / Азаров О. Д., Шабатура М. Ю., Богомолів С. В. ; заявник та патентовласник Вінницький нац. техн. ун-т. – № u200900487 ; заявл. 23.01.2009 ; опубл. 10.06.2009, Бюл. № 11.
129. Пат. на корисну модель 42149 Україна, МПК (2009) Н 03 F 3/26, G 05 В 1/00. Двотактний симетричний підсилювач струму / Азаров О. Д., Мельник С. О., Богомолів С. В., Ходжаніязов І. К. ; заявник та патентовласник Вінницький нац. техн. ун-т. – № u200900503 ; заявл. 23.01.2009 ; опубл. 25.06.2009, Бюл. № 12.
130. Пат. на корисну модель 42150 Україна, МПК (2009) Н 03 F 3/26. Двотактний симетричний підсилювач струму / Азаров О. Д., Ходжаніязов І. К., Богомолів С. В., Мельник С. О. ; заявник та патентовласник Вінницький нац. техн. ун-т. – № u200900504 ; заявл. 23.01.2009 ; опубл. 25.06.2009, Бюл. № 12.
131. Пат. на корисну модель 42946 Україна, МПК (2009) Н 03 F 3/26. Двотактний симетричний підсилювач струму / Азаров О. Д., Хо-

- джаніязов І. К., Богомолів С. В., Мельник С. О. ; заявник та патентовласник Вінницький нац. техн. ун-т. – № u200902267 ; заявл. 16.03.2009 ; опубл. 27.07.2009, Бюл. № 14.
132. Пат. на корисну модель 42951 Україна, МПК (2009) Н 03 F 3/26. Двотактний симетричний підсилювач струму / Азаров О. Д., Мельник С. О., Богомолів С. В., Ходжаніязов І. К. ; заявник та патентовласник Вінницький нац. техн. ун-т. – № u200902293 ; заявл. 16.03.2009 ; опубл. 27.07.2009, Бюл. № 14.
133. Пат. на корисну модель 45749 Україна, МПК (2009) Н 03 F 3/26, G 05 B 1/00. Двотактний симетричний підсилювач струму / Азаров О. Д., Мельник С. О., Богомолів С. В., Ходжаніязов І. К. ; заявник та патентовласник Вінницький нац. техн. ун-т. – № u200905593 ; заявл. 01.06.2009 ; опубл. 25.11.2009, Бюл. № 22.
134. Пат. на корисну модель 48143 Україна, МПК (2009) Н 03 К 5/22. Двотактний симетричний підсилювач струму / Азаров О. Д., Богомолів С. В., Крупельницький Л. В. ; заявник та патентовласник Вінницький нац. техн. ун-т. – № u200909018 ; заявл. 31.08.2009 ; опубл. 10.03.2010, Бюл. № 5.
135. Пат. на корисну модель 49814 Україна, МПК (2009) Н 03 F 3/26. Двотактний симетричний підсилювач струму / Азаров О. Д., Мельник С. О., Богомолів С. В., Ходжаніязов І. К. ; заявник та патентовласник Вінницький нац. техн. ун-т. – № u200912323 ; заявл. 30.11.2009 ; опубл. 11.05.2010, Бюл. № 9.
136. Пат. на корисну модель 50244 Україна, МПК (2009) Н 03 К 5/22, G 05 B 1/00. Двотактний симетричний підсилювач струму / Азаров О. Д., Дудник О. В., Богомолів С. В. ; заявник та патентовласник Вінницький нац. техн. ун-т. – № u200913620 ; заявл. 25.12.2009 ; опубл. 25.05.2010, Бюл. № 10.
137. Пат. на корисну модель 50245 Україна, МПК (2009) Н 03 К 5/22, G 05 B 1/00. Двотактний симетричний підсилювач струму / Азаров О. Д., Дудник О. В., Богомолів С. В. ; заявник та патентовласник Вінницький нац. техн. ун-т. – № u200913621 ; заявл. 25.12.2009 ; опубл. 25.05.2010, Бюл. № 10.
138. Пат. на корисну модель 50845 Україна, МПК (2009) Н 03 F 3/26, G 05 B 1/00. Двотактний симетричний підсилювач струму / Азаров О. Д., Богомолів С. В., Сологуб І. В. ; заявник та патентовлас-

- ник Вінницький нац. техн. ун-т. – № u200913550 ; заявл. 25.12.2009 ; опубл. 25.06.2010, Бюл. № 12.
139. Пат. на корисну модель 50846 Україна, МПК (2009) Н 03 К 5/22, G 05 В 1/00. Двотактний симетричний підсилювач струму / Азаров О. Д., Богомолів С. В., Росощук А. В. ; заявник та патентовласник Вінницький нац. техн. ун-т. – № u200913551 ; заявл. 25.12.2009 ; опубл. 25.06.2010, Бюл. № 12.
140. Пат. на корисну модель 50861 Україна, МПК (2009) Н 03 К 5/22, G 05 В 1/00. Двотактний симетричний підсилювач струму / Азаров О. Д., Богомолів С. В., Сентябов Є. С. ; заявник та патентовласник Вінницький нац. техн. ун-т. – № u200913622 ; заявл. 25.12.2009 ; опубл. 25.06.2010, Бюл. № 12.
141. Пат. на корисну модель 50876 Україна, МПК (2009) Н 03 К 5/22, G 05 В 1/00. Двотактний симетричний підсилювач струму / Азаров О. Д., Теплицький М. Ю., Богомолів С. В. ; заявник та патентовласник Вінницький нац. техн. ун-т. – № u200913704 ; заявл. 28.12.2009 ; опубл. 25.06.2010, Бюл. № 12.
142. Пат. на корисну модель 51958 Україна, МПК (2009) Н 03 К 5/22, G 05 В 1/00. Двотактний симетричний підсилювач струму / Азаров О. Д., Богомолів С. В., Гарнага В. А., Кириленко Д. О. ; заявник та патентовласник Вінницький нац. техн. ун-т. – № u201000906 ; заявл. 29.01.2010 ; опубл. 10.08.2010, Бюл. № 15.
143. Пат. на корисну модель 51963 Україна, МПК (2009) Н 03 К 5/22, G 05 В 1/00. Двотактний симетричний підсилювач струму / Азаров О. Д., Дудник О. В., Богомолів С. В. ; заявник та патентовласник Вінницький нац. техн. ун-т. – № u201000930 ; заявл. 29.01.2010 ; опубл. 10.08.2010, Бюл. № 15.
144. Пат. на корисну модель 52704 Україна, МПК (2009) Н 03 F 3/26. Двотактний симетричний підсилювач струму / Азаров О. Д., Ходжаніязов І. К., Богомолів С. В., Мельник С. О. ; заявник та патентовласник Вінницький нац. техн. ун-т. – № u201001031 ; заявл. 01.02.2010 ; опубл. 10.09.2010, Бюл. № 17.
145. Пат. на корисну модель 52717 Україна, МПК (2009) Н 03 К 5/22, G 05 В 1/00. Двотактний симетричний підсилювач струму / Азаров О. Д., Дудник О. В., Богомолів С. В. ; заявник та патентовласник Вінницький нац. техн. ун-т. – № u201001305 ; заявл. 08.02.2010 ; опубл. 10.09.2010, Бюл. № 17.

146. Пат. на корисну модель 52764 Україна, МПК (2009) Н 03 К 5/22, G 05 В 1/00. Двотактний симетричний підсилювач струму / Азаров О. Д., Богомолів С. В., Кириченко Д. О. ; заявник та патентовласник Вінницький нац. техн. ун-т. – № u201002045 ; заявл. 25.02.2010 ; опубл. 10.09.2010, Бюл. № 17.
147. Пат. на корисну модель 52770 Україна, МПК (2009) Н 03 К 5/22, G 05 В 1/00. Двотактний симетричний підсилювач струму / Азаров О. Д., Богомолів С. В., Кириленко Д. О. ; заявник та патентовласник Вінницький нац. техн. ун-т. – № u201002055 ; заявл. 25.02.2010 ; опубл. 10.09.2010, Бюл. № 17.
148. Пат. на корисну модель 52786 Україна, МПК (2009) Н 03 К 5/22, G 05 В 1/00. Двотактний симетричний підсилювач струму / Азаров О. Д., Дудник О. В., Богомолів С. В. ; заявник та патентовласник Вінницький нац. техн. ун-т. – № u201002330 ; заявл. 01.03.2010 ; опубл. 10.09.2010, Бюл. № 17.
149. Пат. на корисну модель 52787 Україна, МПК (2009) Н 03 К 5/22, G 05 В 1/00. Двотактний симетричний підсилювач струму / Азаров О. Д., Дудник О. В., Богомолів С. В. ; заявник та патентовласник Вінницький нац. техн. ун-т. – № u201002331 ; заявл. 01.03.2010 ; опубл. 10.09.2010, Бюл. № 17.
150. Пат. на корисну модель 52800 Україна, МПК (2009) Н 03 F 3/26. Двотактний симетричний підсилювач струму / Азаров О. Д., Ходжаніязов І. К., Богомолів С. В., Мельник С. О. ; заявник та патентовласник Вінницький нац. техн. ун-т. – № u201002590 ; заявл. 09.03.2010 ; опубл. 10.09.2010, Бюл. № 17.
151. Пат. на корисну модель 52801 Україна, МПК (2009) Н 03 F 3/26. Двотактний симетричний підсилювач струму / Азаров О. Д., Мельник С. О., Богомолів С. В., Ходжаніязов І. К. ; заявник та патентовласник Вінницький нац. техн. ун-т. – № u201002593 ; заявл. 09.03.2010 ; опубл. 10.09.2010, Бюл. № 17.
152. Пат. на корисну модель 52802 Україна, МПК (2009) Н 03 F 3/26, G 05 В 1/00. Двотактний симетричний підсилювач струму / Азаров О. Д., Богомолів С. В., Сологуб І. В. ; заявник та патентовласник Вінницький нац. техн. ун-т. – № u201002596 ; заявл. 09.03.2010 ; опубл. 10.09.2010, Бюл. № 17.
153. Пат. на корисну модель 52803 Україна, МПК (2009) Н 03 К 5/22, G 05 В 1/00. Двотактний симетричний підсилювач струму / Аза-

- ров О. Д., Богомолів С. В., Росошук А. В. ; заявник та патентовласник Вінницький нац. техн. ун-т. – № u201002597 ; заявл. 09.03.2010 ; опубл. 10.09.2010, Бюл. № 17.
154. Пат. на корисну модель 53415 Україна, МПК (2009) Н 03 К 5/00, G 05 В 1/00. Двотактний симетричний підсилювач струму / Азаров О. Д., Теплицький М. Ю., Богомолів С. В. ; заявник та патентовласник Вінницький нац. техн. ун-т. – № u201002875 ; заявл. 15.03.2010 ; опубл. 11.10.2010, Бюл. № 19.
155. Пат. на корисну модель 53416 Україна, МПК (2009) Н 03 F 3/26. Двотактний симетричний підсилювач струму / Азаров О. Д., Ходжаніязов І. К, Богомолів С. В., Мельник С. О. ; заявник та патентовласник Вінницький нац. техн. ун-т. – № u201002880 ; заявл. 15.03.2010 ; опубл. 11.10.2010, Бюл. № 19.
156. Пат. на корисну модель 53917 Україна, МПК (2009) Н 03 К 5/22, G 05 В 1/00. Двотактний симетричний підсилювач струму / Азаров О. Д., Богомолів С. В., Крупельницький Л. В. ; заявник та патентовласник Вінницький нац. техн. ун-т. – № u201003899 ; заявл. 06.04.2010; опубл. 25.10.2010, Бюл. № 20.
157. Пат. на корисну модель 58787 Україна, МПК Н 03 F 3/26(2011.01). Двотактний симетричний підсилювач струму / Азаров О. Д., Мельник С. О., Богомолів С. В., Шабатура М. Ю. ; заявник та патентовласник Вінницький нац. техн. ун-т. – № u201011637 ; заявл. 30.09.2010 ; опубл. 26.04.2011, Бюл. № 8.
158. Пат. на корисну модель 58951 Україна, МПК (2011.01) Н 03 К 5/22(2011.01), G 05 В 1/00. Двотактний симетричний підсилювач струму / Азаров О. Д., Богомолів С. В., Кириленко Д. О. ; заявник та патентовласник Вінницький нац. техн. ун-т. – № u201012866 ; заявл. 29.10.2010 ; опубл. 26.04.2011, Бюл. № 8.
159. Пат. на корисну модель 58952 Україна, МПК (2011.01) Н 03 К 5/22, G 05 В 1/00. Двотактний симетричний підсилювач струму / Азаров О. Д., Богомолів С. В., Кириленко Д. О. ; заявник та патентовласник Вінницький нац. техн. ун-т. – № u201012867 ; заявл. 29.10.2010 ; опубл. 26.04.2011, Бюл. № 8.
160. Пат. на корисну модель 59964 Україна, МПК (2011.01) Н 03 К 5/22 (2006.01), G 05 В 1/00. Двотактний симетричний підсилювач струму / Азаров О. Д., Богомолів С. В., Кириленко Д. О. ; заявник

- та патентовласник Вінницький нац. техн. ун-т. – № u201012849 ; заявл. 29.10.2010 ; опубл. 10.06.2011, Бюл. № 11.
161. Пат. на корисну модель 63661 Україна, МПК (2011.01) Н 03 К 5/22 (2006.01), G 05 В 1/00. Двотактний симетричний підсилювач струму / Азаров О. Д., Богомолів С. В., Росощук А. В. ; заявник та патентовласник Вінницький нац. техн. ун-т. – № u201106600 ; заявл. 26.05.2011 ; опубл. 10.10.2011, Бюл. № 19.
162. Пат. на корисну модель 63948 Україна, МПК (2011.01) Н 03 К 5/22, G 05 В 1/00. Двотактний симетричний підсилювач струму / Азаров О. Д., Богомолів С. В., Росощук А. В., Тарасова О. М. ; заявник та патентовласник Вінницький нац. техн. ун-т. – № u201103779 ; заявл. 29.03.2011 ; опубл. 25.10.2011, Бюл. № 20.
163. Пат. на корисну модель 63949 Україна, МПК (2011.01) Н 03 К 5/00, G 05 В 1/00. Двотактний симетричний підсилювач струму / Азаров О. Д., Крупельницький Л. В., Кириленко Д. О., Богомолів С. В. ; заявник та патентовласник Вінницький нац. техн. ун-т. – № u201103780 ; заявл. 29.03.2011 ; опубл. 25.10.2011, Бюл. № 20.
164. Пат. на корисну модель 63951 Україна, МПК (2011.01) Н 03 К 5/00, G 05 В 1/00. Двотактний симетричний підсилювач струму / Азаров О. Д., Богомолів С. В., Кириленко Д. О., Стейскал В. Я. ; заявник та патентовласник Вінницький нац. техн. ун-т. – № u201103783 ; заявл. 29.03.2011 ; опубл. 25.10.2011, Бюл. № 20.
165. Пат. на корисну модель 63952 Україна, МПК (2011.01) Н 03 К 5/22, G 05 В 1/00. Двотактний симетричний підсилювач струму / Азаров О. Д., Богомолів С. В., Росощук А. В. ; заявник та патентовласник Вінницький нац. техн. ун-т. – № u201103784 ; заявл. 29.03.2011 ; опубл. 25.10.2011, Бюл. № 20.
166. Пат. на корисну модель 63955 Україна, МПК (2011.01) Н 03 К 5/22 (2006,01), G 05 В 1/00. Двотактний симетричний підсилювач струму / Азаров О. Д., Богомолів С. В., Ходжаніязов І. К. ; заявник та патентовласник Вінницький нац. техн. ун-т. – № u201103791 ; заявл. 29.03.2011 ; опубл. 25.10.2011, Бюл. № 20.
167. Пат. на корисну модель 63956 Україна, МПК (2011.01) Н 03 К 5/22 (2006.01), G 05 В 1/00. Двотактний симетричний підсилювач струму / Азаров О. Д., Богомолів С. В., Росощук А. В., Крупельницький Л. В. ; заявник та патентовласник Вінницький нац. техн. ун-т. – № u201103792 ; заявл. 29.03.2011 ; опубл. 25.10.2011, Бюл. № 20.

168. Пат. на корисну модель 63959 Україна, МПК (2011.01) Н 03 К 5/22 (2006.01), G 05 В 1/00. Двотактний симетричний підсилювач струму / Азаров О. Д., Богомолів С. В., Ходжаніязов І. К. ; заявник та патентовласник Вінницький нац. техн. ун-т. – № u201103795 ; заявл. 29.03.2011 ; опубл. 25.10.2011, Бюл. № 20.
169. Пат. на корисну модель 65056 Україна, МПК Н 03 К 3/26 (2006.01). Двотактний симетричний підсилювач струму / Азаров О. Д., Мельник С. О., Богомолів С. В. ; заявник та патентовласник Вінницький нац. техн. ун-т. – № u201105250 ; заявл. 26.04.2011 ; опубл. 25.10.2011, Бюл. № 22.
170. Пат. на корисну модель 65267 Україна, МПК (2011.01) Н 03 К 5/22 (2006.01), G 05 В 1/00. Двотактний симетричний підсилювач струму / Азаров О. Д., Богомолів С. В., Кириленко Д. О., Павлов С. В. ; заявник та патентовласник Вінницький нац. техн. ун-т. – № u201107992 ; заявл. 24.06.2011 ; опубл. 25.11.2011, Бюл. № 22.
171. Пат. на корисну модель 65785 Україна, МПК (2011.01) Н 03 К 5/22 (2006.01), G 05 В 1/00. Двотактний симетричний підсилювач струму / Азаров О. Д., Богомолів С. В., Кириленко Д. О., Крупельницький Л. В. ; заявник та патентовласник Вінницький нац. техн. ун-т. – № u201107984 ; заявл. 24.06.2011 ; опубл. 12.12.2011, Бюл. № 23.
172. Пат. на корисну модель 66944 Україна, МПК (2011.01) Н 03 К 5/22 (2006.01), G 05 В 1/00. Двотактний симетричний підсилювач струму / Азаров О. Д., Богомолів С. В., Росощук А. В. ; заявник та патентовласник Вінницький нац. техн. ун-т. – № u201108118 ; заявл. 29.06.2011 ; опубл. 25.01.2012, Бюл. № 2.
173. Пат. на корисну модель 69741 Україна, МПК (2012.01) Н 03 К 5/22 (2006.01), G 05 В 1/00. Двотактний симетричний підсилювач струму / Азаров О. Д., Павлов С. В., Богомолів С. В., Росощук А. В. ; заявник та патентовласник Вінницький нац. техн. ун-т. – № u201112873 ; заявл. 02.11.2011 ; опубл. 10.05.2012, Бюл. № 9.
174. Пат. на корисну модель 69743 Україна, МПК (2012.01) Н 03 К 5/22 (2006.01), G 05 В 1/00. Двотактний симетричний підсилювач струму / Азаров О. Д., Богомолів С. В., Росощук А. В. ; заявник та патентовласник Вінницький нац. техн. ун-т. – № u201112877 ; заявл. 02.11.2011 ; опубл. 10.05.2012, Бюл. № 9.

175. Пат. на корисну модель 69746 Україна, МПК (2012.01) Н 03 К 5/22 (2006.01), G 05 В 1/00. Двотактний симетричний підсилювач струму / Азаров О. Д., Захарченко С. В., Бойко О. В., Богомоллов С. В., Тарасова О. М. ; заявник та патентовласник Вінницький нац. техн. ун-т. – № u201112882 ; заявл. 02.11.2011 ; опубл. 10.05.2012, Бюл. № 9.
176. Пат. на корисну модель 70121 Україна, МПК (2012.01) Н 03 К 5/22 (2006.01), G 05 В 1/00. Двотактний симетричний підсилювач струму / Азаров О. Д., Богомоллов С. В., Яцик В. Є., Муращенко О. Г. ; заявник та патентовласник Вінницький нац. техн. ун-т. – № u201113956 ; заявл. 28.11.2011 ; опубл. 25.05.2012, Бюл. № 10.
177. Пат. на корисну модель 70320 Україна, МПК (2012.01) Н 03 К 5/22 (2006.01), G 05 В 1/00, Н 03 F 3/26 (2006.01). Двотактний симетричний підсилювач струму / Азаров О. Д., Богомоллов С. В., Росщук А. В., Стейскал В. Я. ; заявник та патентовласник Вінницький нац. техн. ун-т. – № u201112862 ; заявл. 02.11.2011 ; опубл. 11.06.2012, Бюл. № 11.
178. Пат. на корисну модель 70362 Україна, МПК (2012.01) Н 03 К 5/22 (2006.01), G 05 В 1/00. Двотактний симетричний підсилювач струму / Азаров О. Д., Захарченко С. М., Бойко О. В., Богомоллов С. В. ; заявник та патентовласник Вінницький нац. техн. ун-т. – № u201113218 ; заявл. 09.11.2011 ; опубл. 11.06.2012, Бюл. № 11.
179. Пат. на винахід 91923 Україна, МПК (2009) Н 03 К 5/22, Н 03 F 3/26. Двотактний симетричний підсилювач струму / Азаров О. Д., Богомоллов С. В., Гарнага В. А. ; заявник та патентовласник Вінницький нац. техн. ун-т. – № a200900486 ; заявл. 23.01.2009 ; опубл. 10.09.2010, Бюл. № 17.
180. Пат. на винахід 92648 Україна, МПК (2009) Н 03 F 3/26, Н 03 К 5/22, G 05 В 1/00. Двотактний симетричний підсилювач струму / Азаров О. Д., Богомоллов С. В., Гарнага В. А., Захарченко С. М. ; заявник та патентовласник Вінницький нац. техн. ун-т. – № a200900484 ; заявл. 23.01.2009 ; опубл. 25.11.2010, Бюл. № 22.
181. Пат. на винахід 93124 Україна, МПК (2011.01) Н 03 F 3/26 (2011.01), G 05 В 1/00. Двотактний симетричний підсилювач струму / Азаров О. Д., Богомоллов С. В. ; заявник та патентовласник Вінницький нац. техн. ун-т. – № a200906388 ; заявл. 19.06.2009 ; опубл. 10.01.2011, Бюл. № 1.

182. Пат. на винахід 94131 Україна, МПК Н 03 К 5/22, G 05 В 1/00, Н 03 F 3/26 (2006.01). Двотактний симетричний підсилювач струму / Азаров О. Д., Богомоллов С. В. ; заявник та патентовласник Вінницький нац. техн. ун-т. – № а200906399 ; заявл. 19.06.2009 ; опубл. 11.04.2011, Бюл. № 7.
183. Пат. на винахід 96650 Україна, МПК Н 03 К 5/22 (2006.01), G 05 В 1/01(2006.01). Двотактний симетричний підсилювач струму / Азаров О. Д., Богомоллов С. В. ; заявник та патентовласник Вінницький нац. техн. ун-т. – № а201002056 ; заявл. 25.02.2010 ; опубл. 25.11.2011, Бюл. № 22.
184. Пат. на винахід 97686 Україна, МПК Н 03 К 5/22 (2006.01), G 05 В 1/01 (2006.01), Н 03 F 3/34 (2006/01). Вимірювальний двотактний симетричний підсилювач струму / Азаров О. Д., Богомоллов С. В. ; заявник та патентовласник Вінницький нац. техн. ун-т. – № а201003869 ; заявл. 06.04.2010 ; опубл. 12.03.2012, Бюл. № 5.
185. Пат. на корисну модель 19728 Україна, МПК (2006) Н 03 К 5/22, G 05 В 1/00. Підсилювач постійного струму / Азаров О. Д., Лукащук О. О., Богомоллов С. В., Гарнага В. А., Решетнік О. О. ; заявник та патентовласник Вінницький нац. техн. ун-т. – № u200608586 ; заявл. 31.07.2006 ; опубл. 15.12.2006, Бюл. № 12.
186. Пат. на корисну модель 23999 Україна, МПК (2006) Н 03 К 5/22, G 05 В 1/00. Підсилювач постійного струму / Азаров О. Д., Богомоллов С. В., Гарнага В. А., Решетнік О. О. ; заявник та патентовласник Вінницький нац. техн. ун-т. – № u200702059 ; заявл. 26.02.2007 ; опубл. 11.06.2007, Бюл. № 8.
187. Пат. на корисну модель 26530 Україна, МПК (2006) Н 03 F 3/26. Підсилювач постійного струму / Азаров О. Д., Богомоллов С. В., Захарченко С. М., Кисюк Д. В., Огнев В. Г. ; заявник та патентовласник Вінницький нац. техн. ун-т. – № u200705515 ; заявл. 21.05.2007 ; опубл. 25.09.2007, Бюл. № 15.
188. Пат. на корисну модель 26533 Україна, МПК (2006) Н 03 F 3/26. Підсилювач постійного струму / Азаров О. Д., Кисюк Д. В., Богомоллов С. В. ; заявник та патентовласник Вінницький нац. техн. ун-т. – № u200705532 ; заявл. 21.05.2007 ; опубл. 25.09.2007, Бюл. № 15.
189. Пат. на корисну модель 52763 Україна, МПК (2009) Н 03 К 5/22, G 05 В 1/00. Підсилювач постійного струму / Азаров О. Д., Бого-

- моллов С. В., Росощук А. В. ; заявник та патентовласник Вінницький нац. техн. ун-т. – № u201002043 ; заявл. 25.02.2010 ; опубл. 10.09.2010, Бюл. № 17.
190. Пат. на корисну модель 52769 Україна, МПК (2006) Н 03 К 5/22, G 05 В 1/00. Підсилювач постійного струму / Азаров О. Д., Богомоллов С. В., Сентябов Є. С. ; заявник та патентовласник Вінницький нац. техн. ун-т. – № u201002053 ; заявл. 25.02.2010 ; опубл. 10.09.2010, Бюл. № 17.
191. Пат. на корисну модель 63660 Україна, МПК (2011.01) Н 03 F 3/26 (2006.01), G 05 В 1/00. Підсилювач постійного струму / Азаров О. Д., Богомоллов С. В., Росощук А. В. ; заявник та патентовласник Вінницький нац. техн. ун-т. – № u201106585 ; заявл. 26.05.2011 ; опубл. 10.10.2011, Бюл. № 19.
192. Пат. на корисну модель 63950 Україна, МПК (2011.01) Н 03 К 5/00, G 05 В 1/00. Підсилювач постійного струму / Азаров О. Д., Павлов С. В., Кириленко Д. О., Богомоллов С. В. ; заявник та патентовласник Вінницький нац. техн. ун-т. – № u201103782 ; заявл. 29.03.2011 ; опубл. 25.10.2011, Бюл. № 20.
193. Пат. на корисну модель 70122 Україна, МПК Н 03 К 5/24 (2006.01), G 05 В 1/01 (2006.01). Підсилювач постійного струму / Азаров О. Д., Богомоллов С. В., Яцик В. Є. ; заявник та патентовласник Вінницький нац. техн. ун-т. – № u201113959 ; заявл. 28.11.2011 ; опубл. 25.05.2012, Бюл. № 10.
194. Пат. на корисну модель 70130 Україна, МПК (2012.01) Н 03 К 5/22 (2006.01), G 05 В 1/00. Підсилювач постійного струму / Азаров О. Д., Богомоллов С. В., Кириленко Д. О., Стейскал В. Я. ; заявник та патентовласник Вінницький нац. техн. ун-т. – № u201113980 ; заявл. 28.11.2011 ; опубл. 25.05.2012, Бюл. № 10.
195. Пат. на корисну модель 70321 Україна, МПК Н 03 F 3/26 (2006.01). Підсилювач постійного струму / Азаров О. Д., Богомоллов С. В., Росощук А. В., Крупельницький Л. В. ; заявник та патентовласник Вінницький нац. техн. ун-т. – № u201112863 ; заявл. 02.11.2011 ; опубл. 11.06.2012, Бюл. № 11.
196. Богомоллов С. В. Похибки лінійності передатної характеристики вхідного комплементарного каскаду двотактних підсилювачів струму / О. Д. Азаров, С. В. Богомоллов // XL науково-технічна

- конференція професорсько-викладацького складу, співробітників та студентів університету з участю працівників науково-дослідних організацій та інженерно-технічних працівників підприємств м. Вінниці та області., 9–11 березня : тези доповідей. – Вінниця, 2010. – С. 26.
197. Пат. на корисну модель 21954 Україна, МПК (2006) Н 03 К 5/22. Буферний елемент / Азаров О. Д., Богомолів С. В., Гарнага В. А., Лукашук О. О., Решетнік О. О. ; заявник та патентовласник Вінницький нац. техн. ун-т. – № u200611431 ; заявл. 30.10.06 ; опубл. 10.04.07, Бюл. № 4.
198. Пат. на корисну модель 49578 Україна, МПК (2009) Н 03 F 3/26. Буферний каскад / Азаров О. Д., Ходжаніязов І. К., Богомолів С. В., Мельник С. О. ; заявник та патентовласник Вінницький нац. техн. ун-т. – № u200912325 ; заявл. 30.11.09 ; опубл. 26.04.10, Бюл. № 8.
199. Пат. на корисну модель 21553 Україна, МПК (2006) Н 03 F 3/26. Буферний каскад / Азаров О. Д., Лукашук О. О., Богомолів С. В. ; заявник та патентовласник Вінницький нац. техн. ун-т. – № u200610927 ; заявл. 16.10.06 ; опубл. 15.03.07, Бюл. № 3.
200. Пат. на корисну модель 22794 Україна, МПК (2006) Н 03 F 3/26. Буферний каскад / Азаров О. Д., Богомолів С. В., Лукашук О. О., Крупельницький Л. В. ; заявник та патентовласник Вінницький нац. техн. ун-т. – № u200613722 ; заявл. 25.12.06 ; опубл. 25.04.07, Бюл. № 5.
201. Пат. на корисну модель 24882 Україна, МПК (2006) Н 03 F 3/26. Буферний каскад / Азаров О. Д., Богомолів С. В., Лукашук О. О., Крупельницький Л. В., Тарасова О. М. ; заявник та патентовласник Вінницький нац. техн. ун-т. – № a200701203 ; заявл. 05.02.07 ; опубл. 25.07.07, Бюл. № 11.
202. Пат. на корисну модель 27750 Україна, МПК (2006) Н 03 F 3/26. Буферний каскад / Азаров О. Д., Богомолів С. В., Крупельницький Л. В. ; заявник та патентовласник Вінницький нац. техн. ун-т. – № u200708022 ; заявл. 16.07.07 ; опубл. 12.11.07, Бюл. № 18.
203. Пат. на корисну модель 30183 Україна, МПК (2006) Н 03 F 3/26. Буферний каскад / Азаров О. Д., Богомолів С. В., Крупельниць-

- кий Л. В. ; заявник та патентовласник Вінницький нац. техн. ун-т. – № u200712818 ; заявл. 19.11.07 ; опубл. 11.02.08, Бюл. № 3.
204. Пат. на корисну модель 34470 Україна, МПК (2006) H 03 F 3/26. Буферний каскад / Азаров О. Д., Богомолів С. В., Крупельницький Л. В. ; заявник та патентовласник Вінницький нац. техн. ун-т. – № u200803626 ; заявл. 21.03.08 ; опубл. 11.08.08, Бюл. № 15.
205. Пат. на корисну модель 42148 Україна, МПК (2009) H 03 K 5/22, G 05 B 1/00. Буферний елемент / Азаров О. Д., Богомолів С. В., Крупельницький Л. В. ; заявник та патентовласник Вінницький нац. техн. ун-т. – № u200900502 ; заявл. 23.01.09 ; опубл. 25.06.09, Бюл. № 12.
206. Пат. на корисну модель 51224 Україна, МПК (2009) H 03 K 5/22, G 05 B 1/00. Буферний каскад / Азаров О. Д., Дудник О. В., Богомолів С. В. ; заявник та патентовласник Вінницький нац. техн. ун-т. – № u200913561 ; заявл. 25.12.09 ; опубл. 12.07.10, Бюл. № 13.
207. Пат. на корисну модель 51345 Україна, МПК (2009) H 03 F 3/26. Буферний каскад / Азаров О. Д., Ходжаніязов І. К., Богомолів С. В., Мельник С. О. ; заявник та патентовласник Вінницький нац. техн. ун-т. – № u201001032 ; заявл. 01.02.10 ; опубл. 12.07.10, Бюл. № 13.
208. Пат. на корисну модель 51370 Україна, МПК (2009) H 03 K 5/22. Буферний каскад / Азаров О. Д., Богомолів С. В., Росощук А. В. ; заявник та патентовласник Вінницький нац. техн. ун-т. – № u201001289 ; заявл. 08.02.10 ; опубл. 12.07.10, Бюл. № 13.
209. Пат. на корисну модель 51959 Україна, МПК (2009) H 03 K 5/22, G 05 B 1/00. Буферний каскад / Азаров О. Д., Богомолів С. В., Кириленко Д. О. ; заявник та патентовласник Вінницький нац. техн. ун-т. – № u201000910 ; заявл. 29.01.10 ; опубл. 10.08.10, Бюл. № 15.
210. Пат. на корисну модель 52715 Україна, МПК (2009) H 03 K 5/22, G 05 B 1/00. Буферний каскад / Азаров О. Д., Богомолів С. В., Сентябов Є. С. ; заявник та патентовласник Вінницький нац. техн. ун-т. – № u201001301 ; заявл. 08.02.10 ; опубл. 10.09.10, Бюл. № 17.
211. Пат. на корисну модель 52716 Україна, МПК (2009) H 03 F 3/26, G 05 B 1/00. Буферний каскад / Азаров О. Д., Богомолів С. В., Со-

- логу І. В. ; заявник та патентовласник Вінницький нац. техн. ун-т. – № u201001303 ; заявл. 08.02.10 ; опубл. 10.09.10, Бюл. № 17.
212. Пат. на корисну модель 57896 Україна, МПК Н 03 К 5/22 (2011.01). Буферний каскад / Азаров О. Д., Росощук А. В., Богомоллов С. В. ; заявник та патентовласник Вінницький нац. техн. ун-т. – № u201014274 ; заявл. 29.11.10 ; опубл. 10.03.11, Бюл. № 5.
213. Пат. на корисну модель 59352 Україна, МПК Н 03 К 5/22 (2006.01). Буферний каскад / Азаров О. Д., Росощук А. В., Богомоллов С. В. ; заявник та патентовласник Вінницький нац. техн. ун-т. – № u201013024 ; заявл. 02.11.10 ; опубл. 10.05.11, Бюл. № 9.
214. Пат. на корисну модель 59353 Україна, МПК Н 03 К 5/22 (2006.01). Буферний каскад / Азаров О. Д., Росощук А. В., Богомоллов С. В. ; заявник та патентовласник Вінницький нац. техн. ун-т. – № u201013025 ; заявл. 02.11.10 ; опубл. 10.05.11, Бюл. № 9.
215. Пат. на винахід 92963 Україна, МПК (2009) Н 03 F 3/34. Буферний каскад / Азаров О. Д., Богомоллов С. В. ; заявник та патентовласник Вінницький нац. техн. ун-т. – № a200903013 ; заявл. 30.03.09 ; опубл. 27.12.10, Бюл. № 24.
216. Пат. на корисну модель 24003 Україна, МПК (2006) Н 03 К 5/22, G 05 В 1/00. Вхідний пристрій схеми порівняння струмів / Азаров О. Д., Богомоллов С. В., Лукашук О. О., Крупельницький Л. В. ; заявник та патентовласник Вінницький нац. техн. ун-т. – № u200702068 ; заявл. 26.02.2007 ; опубл. 11.06.2007, Бюл. № 8.
217. Пат. на корисну модель 19379 Україна, МПК (2006) Н 03 К 5/22, G 05 В 1/00. Вхідний пристрій схеми порівняння струмів / Азаров О. Д., Лукашук О. О., Захарченко С. М., Богомоллов С. В., Тарасова О. М. ; заявник та патентовласник Вінницький нац. техн. ун-т. – № u200606595 ; заявл. 13.06.2006 ; опубл. 15.12.2006, Бюл. № 12.
218. Пат. на корисну модель 20246 Україна, МПК (2006) Н 03 К 5/00, G 05 В 1/00. Вхідний пристрій схеми порівняння струмів / Азаров О. Д., Лукашук О. О., Богомоллов С. В., Гарнага В. А., Решетник О. О. ; заявник та патентовласник Вінницький нац. техн. ун-т. – № u200607987 ; заявл. 17.07.2006 ; опубл. 15.01.2007, Бюл. № 1.
219. Пат. на корисну модель 25471 Україна, МПК (2006) Н 03 К 5/22, G 05 В 1/00. Вхідний пристрій схеми порівняння струмів / Аза-

- ров О. Д., Кадук О. В., Богомолов С. В., Гарнага В. А., Решетнік О. О. ; заявник та патентовласник Вінницький нац. техн. ун-т. – № u200703563 ; заявл. 02.04.2007 ; опубл. 10.08.2007, Бюл. № 12.
220. Пат. на корисну модель 27019 Україна, МПК (2006) Н 03 К 5/00, G 05 В 1/00. Вхідний пристрій схеми порівняння струмів / Азаров О. Д., Богомолов С. В., Крупельницький Л. В. ; заявник та патентовласник Вінницький нац. техн. ун-т. – № u200706811 ; заявл. 18.06.2007 ; опубл. 10.10.2007, Бюл. № 16.
221. Пат. на корисну модель 28375 Україна, МПК (2006), G 05 В 1/00, Н 03 К 5/22. Вхідний пристрій схеми порівняння струмів / Азаров О. Д., Богомолов С. В., Крупельницький Л. В., Гарнага В. А., Решетнік О. О. ; заявник та патентовласник Вінницький нац. техн. ун-т. – № u200707425 ; заявл. 02.07.2007 ; опубл. 10.12.2007, Бюл. № 20.
222. Пат. на корисну модель 53517 Україна, МПК (2009) Н 03 К 5/22, G 05 В 1/00. Вхідний пристрій схеми порівняння струмів / Азаров О. Д., Богомолов С. В., Крупельницький Л. В. ; заявник та патентовласник Вінницький нац. техн. ун-т. – № u201003926 ; заявл. 06.04.2010 ; опубл. 11.10.2010, Бюл. № 19.

Наукове видання

**Азаров Олексій Дмитрович
Богомолів Сергій Віталійович**

**ОСНОВИ ТЕОРІЇ ВИСОКОЛІНІЙНИХ
АНАЛОГОВИХ ПРИСТРОЇВ
НА БАЗІ ДВОТАКТНИХ ПІДСИЛЮВАЛЬНИХ СХЕМ**

Монографія

Редактор С. Малішевська

Оригінал-макет підготовлено С. Богомолівим

Підписано до друку 14.11.2013 р.
Формат 29,7×42¼. Папір офсетний.
Гарнітура Times New Roman.
Друк різнографічний. Ум. др. Арк. 8,32
Наклад 300 (1-й запуск 1–75) Зам № 11-01

Вінницький національний технічний університет,
КІВЦ ВНТУ,
21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95,
ВНТУ, ГНК, к. 114.
Тел. (0432) 59-85-32.

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
серія ДК № 3516 від 01.07.2009 р.

Віддруковано ФОП Барановська Т. П.
21021, м. Вінниця, вул. Порика, 7.
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
серія ДК № 4377 від 31.07.2012 р.