

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Засоби обчислювальної техніки мають широке застосування в усіх сферах життя і діяльності людства. Від простих технічних, соціальних завдань до передових технологій, реалізація яких складає авторитет і місце України серед провідних держав світу – вся сукупність проблем може бути забезпечена сталим розвитком наукових досліджень і розробок у сфері комп'ютерних систем (КС).

Світові досягнення у цифровій техніці подвоюються кожні два роки. Постійно вдосконалюється програмний компонент КС, зростають швидкодія, об'єм пристроїв пам'яті, щільність розміщення елементів на чіпі, інші важливі параметри функціонування цифрових пристроїв. Це дозволяє впритул наблизитись до створення мозкоподібних електронних обчислювальних машин та суперкомп'ютерів. Але існує протиріччя, без вирішення якого успіхи цифрової техніки мають суттєве обмеження і можуть звести нанівець подальшу перспективу.

Суть протиріччя в тому, що інформація, яка циркулює в цифрових комп'ютерних системах, становить віртуальну реальність кіберпростору на відміну від оточуючого середовища, яке є, у своїй об'єктивній основі, реальним і аналоговим. Тому етап перетворення аналогового світу у віртуальний його «портрет» є надзвичайно відповідальним з точки зору достовірності переходу «аналог – цифра». Зворотні дії з отримання дискретно вирахованих результатів, прийнятих рішень, діагнозу – також пов'язані з точністю перетворення, а саме, «цифра – аналог».

Наразі, сучасні аналого-цифрові (АЦП) та цифро-аналогові (ЦАП) перетворювачі характеризуються 24-розрядною шиною та дозволяють розрізнити вхідний сигнал у 2^{24} градаціях. Це складає значення $16777216 \approx 1.7 \cdot 10^7$, відповідно, створює похибку $0,6 \cdot 10^{-7}$, або $0,6 \cdot 10^{-5}\%$ при тому, що аналогова техніка з сучасними операційними підсилювачами (ОП) вважається прецизійною вже при показниках похибки рівня 0,01%.

Диспропорція розвитку технічних компонентів цифрової і аналогової техніки вказує на відставання останньої у точності функціонування на 3–4 порядки, що не відповідає сучасним вимогам достовірного перетворення інформаційних сигналів.

Легко уявити, що подальше удосконалення цифрових пристроїв і систем при затримці розвитку аналогових складових може призвести, наприклад, до втрати контролю над штучним інтелектом мозкоподібних ЕОМ через невідповідність представлення реальних і віртуальних образів, процесів у КС. Це, зрештою, призведе до втрати адекватної взаємодії з комп'ютером.

Наукові дослідження стосовно паритетних аналогових компонент для комп'ютерних систем є своєчасними, характеризуються актуальністю і можуть мати суттєві наслідки не тільки для аналогової схемотехніки зокрема, але й для подальшого розвитку цифрових складових ЕОМ у цілому, на що вказують такі вчені та науковці, як G. Black, S. Socloff, P. Horvitz, M.X. Johnson, L. Folkenberry, D. Lenk T.G. Агаханян, М.Ф. Бондаренко, М.І. Сліпченко, В.І. Хаханов, О.Д. Азаров.

Відставання у розвитку аналогових компонент КС зумовлене тим, що класичні теоретичні положення ґрунтуються на застарілих уявленнях, довго не переглядалися і тому потребують суттєвої модернізації й уточнення.

Таким чином, актуальними є такі **напрями досліджень**:

- розробка високоефективних аналогових компонентів комп'ютерних систем та вдосконалення теорій похибок, обчислювального експерименту;
- методи та засоби створення аналогових пристроїв і компонентів комп'ютерних систем з точки зору надійності, контролю, діагностики, визначення параметрів у процесі проектування та функціонування.

Об'єктом дослідження є процеси перетворення аналогових сигналів у пристроях і компонентах комп'ютерних систем паритетних за точністю з цифровими.

Предметом дослідження є моделі аналогових компонентів комп'ютерних систем за умови досягнення мінімальних похибок перетворення та схемотехнічні особливості побудови аналогових вузлів підсилення сигналів.

Метою дослідження є розробка аналогових компонентів КС з покращеними якісними характеристиками для забезпечення паритетної точності спільного функціонування аналогових та цифрових компонентів.

В роботі необхідно вирішити такі **основні завдання**:

- удосконалити та уніфікувати математичну модель перетворення сигналів на етапі аналогової обробки сигналів схемами різної складності;
- забезпечити подальше удосконалення методу визначення системи перетворення сигналів, з'ясувати причини виникнення похибок та здійснити їх теоретичний опис для амплітудних та частотних залежностей сигналів;
- аналітично описати процеси в багатокаскадних аналогових схемах з визначенням їх параметрів у процесі проектування та функціонування;
- узагальнити опис функціонування аналогових компонентів та розробити технічні засоби з реалізації теоретичних положень роботи.

Зв'язок роботи з науковими програмами. Зазначені мета та основні завдання реалізовані розробкою методів, засобів та схемотехнічного забезпечення вузлів КС в ході виконання Програми україно-російського співробітництва у сфері нанотехнологій на підставі Угоди між Урядом України та Урядом Російської Федерації від 26.08.1997 р. у рамках державної бюджетної роботи № 0109U000021 № 241 за планом науково-дослідних робіт Харківського національного університету радіоелектроніки та №313-2012 за договором з Держагенством України з питань науки, інновацій та інформатизації в частині розробки автоматизованого програмно-апаратного вимірювального комплексу.

Наукова новизна отриманих результатів складає наступне:

1. Вперше запропоновано універсальну математичну модель електронних схем, які базуються на сустраторі із застосуванням n -параметричного опису дільників, що надає можливість розглядати, аналізувати та розраховувати аналогові компоненти будь-якої складності, визначати аналітичні залежності абсолютної, відносної похибок перетворення.

2. Набув подальшого розвитку метод визначення системи перетворення сигналів шляхом встановлення дійсних причин виникнення та прояву похибок перетворення, що надає можливість підвищити точність функціонування аналогових компонентів відносно класичної системи.

3. Вперше запропоновано модель процесу багатокаскадного підсилення з числовою оцінкою якості для різних умов функціонування, що дозволе мінімізувати похибки перетворення, відкриває шляхи вибору оптимальних параметрів пристроїв при технічній реалізації підсилювачів.

4. Удосконалено метод побудови схем на операційних підсилювачах, який відрізняється урахуванням схемотехнічних особливостей та впливу зовнішніх факторів на каскад загального вигляду, що дозволяє досягти нано- пікорівень похибок для технічного вирішення аналогових компонентів.

Практичне значення отриманих результатів полягає у тому, що:

- Універсальна математична модель електронних схем доведена до технічної реалізації електронних вузлів, аналогових компонентів, а за рахунок систематизації існуючих схем запропоновані для виконання різновиди підсилювачів.

- Доповнення класичної теорії функціонування систем підсилення дозволило визначати параметри точності перетворення, здійснювати їх розрахунок та аналіз.

- Універсальний функціональний опис схем дозволив встановити залежності нових та раніше розрізнених характеристик системи, провести аналіз показників точності одно- та багатокаскадних схем, встановити правила їх побудови.

- Запропоновано до впровадження окремі технічні рішення з новими коефіцієнтами перетворення захищені патентами України.

Теоретичні положення, результати досліджень і розробки, наведені у дисертаційній роботі, підтверджуються аналітичним розрахунком, електронним моделюванням та фізичним макетуванням реальних схем.

Особистий внесок здобувача в роботах, виконаних у співавторстві полягає в тому, що: у роботі [1] запропоновано на прикладі сустратора описувати існуючі складні схеми n -параметром, застосування якого дозволило визначити шлях зменшення похибок, для чого у роботах [2], [3] реалізовані дослідження точності в схемах на ОП та за умов багатокаскадного підсилення відповідно. В роботі [4] виконано аналіз системи перетворення електричних сигналів, що складає одну з основ дисертаційної роботи. В статті [5] особисто здійснено аналіз функціонування схем на ОП, який безпосередньо пов'язаний з побудовою технічного рішення [6]. У роботах [7]–[19] на основі розглянутих теоретичних положень запропоновано технічні рішення нових способів формування коефіцієнта підсилення напруги та пристрої для їх здійснення з отриманням патентів України. У публікації [20] обґрунтований спосіб опису підсилювальних схем; в публікації [21] запропоновано розгляд наносхемотехніки; в роботі [22] визначено умови досягнення наносхемотехніки; в статті [23] виконано подальший опис мікроелектронних компонентів; в публікації [24] здійснено аналіз підсилювачів піопотенціалів. В роботі [25] запропоновано схемотехнічний принцип перетворення в пристроях на сучасних електронних компонентах; в публікації [26] запропоновано шляхи підвищення точності процесу автоматизації контролю параметрів електронних компонентів; в роботі [27] запропоновано метрологічні дослідження наноструктур. Перспективи схемотехнічного забезпечення наноелектронної елементної бази запропоновані в публікації [28].

Апробація результатів дисертації. Основні положення, що складають сутність дисертації, оприлюднені на: I-й Міжнародній науковій конференції

(МНК) «Сучасні інформаційні системи. Проблеми і тенденції розвитку» (м. Туапсе, 2007); I-й МНК «Електронна компонентна база» (м. Судак, 2008); III-й та IV-й Міжнародних радіоелектронних форумах (МРФ) «Прикладна радіоелектроніка» (м. Харків, 2008, 2011); II-й та III-й МНК «Електронна компонентна база» (м. Кацивелі, 2009, 2010); IV-й та V-й МНК «Функціональна база наноелектроніки» (м. Кацивелі, 2011, 2012), де отримано схвальний відзив.

Публікації. Основні результати дисертаційної роботи відображені у 28 наукових роботах, серед яких 5 статей у збірниках наукових праць, внесених до переліку наукових фахових видань України. Одна стаття Perezарохована одним з 14 патентів України, 9 матеріалів міжнародних наукових конференцій.

Структура й обсяг дисертації. Дисертація складається із вступу, чотирьох розділів, де викладено основні результати роботи, висновків, переліку посилань та додатків. Робота містить 160 сторінок машинописного тексту, 27 таблиць, 58 рисунків, 116 нумерованих формул та список посилань із 90 джерел.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** представлено законодавче обґрунтування доцільності проведення досліджень даної тематики, обґрунтовано актуальність дисертаційної роботи, з'ясовано зв'язок роботи з перспективними напрямками наукових досліджень, визначено основне протиріччя аналогових і цифрових компонент КС, вирішення якого зумовлює мету й основну сутність предметного розгляду в роботі. Наведено дані про особистий внесок автора в опрацюванні вказаної теми, відомості про апробації та публікації.

У **першому розділі** виконано огляд літератури з критичним аналізом стану аналогових схем перерозподілу напруги, вибору розрахункового методу та опису системи перетворення сигналів.

Розгляд і аналіз дільників складає першу основу в дослідженнях роботи. Перетворення сигналів є основним завданням роботи кожного елемента комп'ютерної системи любого, вузла радіоелектронного пристрою.

Проблеми аналогових складових КС виникають на підґрунті функціонування пристроїв розподілу напруги і струму, основу яких складають відповідні дільники, побудовані на резистивних, частотно-залежних або нелінійних елементах. Очевидно, опис функціонування сукупності таких пристроїв відзначається суттєвою складністю, оскільки має місце нескінченний діапазон зміни їх параметрів. Наприклад, кожен резистор може характеризуватись опором від нуля до нескінченності. Складність аналізу, розрахунку зростає при двох чи більше елементах, з яких формують типові з'єднання у вигляді дільників струму та напруги.

Вирішення задачі універсального опису пасивних схем та застосування його для більш складних активних – одна зі складових завдань дослідження в роботі.

Другим важливим питанням аналізу аналогових компонентів КС є вибір розрахункового методу. Розгляд існуючих математичних засобів опису електричних і електронних схем, включно теорії чотириполосників та теорії графів, дозволив обрати для розрахунків основне рівняння каскаду на ОП з власним коефіцієнтом підсилення K_{OP} у вигляді $U_3 = K_{OP}(U_1 - U_2)$, де U_3 – вихідна напруга, а напруги U_1, U_2 є вхідними та створені відповідними дільниками через n -параметр. Це дозволило спростити розрахунки, опис схем, а також проводити всебічний їх аналіз.

Третя складова огляду стосується системи перетворення сигналів. Розглянуто основний недолік класичного опису системи, яка включає канал прямої передачі, канал зворотного зв'язку з урахуванням позитивного чи негативного впливу. Серед важливих та беззаперечних переваг такого виконання стосовно залежності виконуваної операції від кола зворотного зв'язку використання поняття «петльове підсилення» надає можливість проігнорувати будь-яку похибку в каналах системи та спотворити кінцевий результат. Також помилковим висновком в класиці є твердження про відсутність впливу коефіцієнта прямої передачі на результат перетворення, що не відповідає дійсності.

У другому розділі на основі n -параметричного опису дільників запропоновано універсальну математичну модель електронних схем різної складності, у тому числі багатокаскадних, з визначенням дійсних причин виникнення похибок за рахунок подальшого розвитку методу визначення класичної системи перетворення сигналів.

Відомо, що для схем дільника струму існує формальне визначення його роботи у вигляді формули «розкиду», але аналогічний опис процесу функціонування дільника напруги відсутній, тому розглянуто схему рис.1.

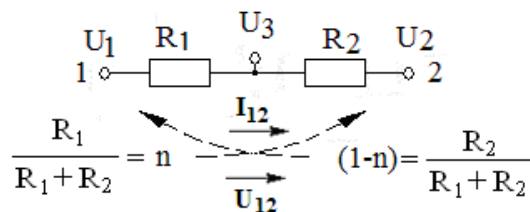


Рисунок 1– Загальний вигляд дільника напруги

Для дільника рис.1 характерна така взаємодія напруг:

$$U_3 = U_1 - I_{12} \cdot R_1 = U_1 - \frac{U_1 - U_2}{R_1 + R_2} \cdot R_1 = U_1 \frac{R_2}{R_1 + R_2} + U_2 \frac{R_1}{R_1 + R_2}. \quad (1)$$

Запропоновано відношення опорів визначати єдиним параметром n :

$$\frac{R_1}{R_1 + R_2} = n, \quad \text{тоді} \quad \frac{R_2}{R_1 + R_2} = 1 - n, \quad \text{при цьому} \quad n = \overline{0 \dots 1}. \quad (2)$$

Розгляд формул переконує, що n -параметр відіграє важливе значення для опису схем довільних дільників. Він завжди визначається у діапазоні $0 \dots 1$ на відміну від представлення двох резисторів необмеженого діапазону $0 \dots \infty$ зміни опору кожного.

Оскільки опори на практиці є комплексними та/або нелінійними, то це зумовлює відповідний характер n -параметра за виразом

$$\underline{N}(F) = n(f) \cdot \exp(j\varphi_f). \quad (3)$$

Останнє дозволяє описати всю сукупність відомих схем перетворення за рахунок дії дільників безпосередньо та у колах зворотного зв'язку (33).

Показано, що всі існуючі схемні реалізації є похідними від відомої схеми сустратора, яка, з урахуванням запропонованого n -параметричного методу, має вигляд рис.2 [1].

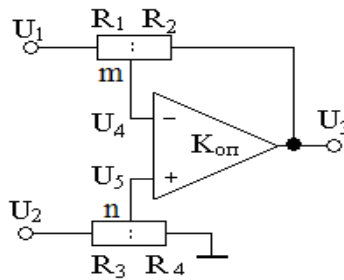


Рисунок 2 – Запропонована схема розгляду сустратора

За виразом (1) для підсилювача рис.2 напруги U_3 , U_4 та U_5 визначаються:

$$U_3 = K_{оп}(U_5 - U_4), \quad U_4 = U_1(1-m) + U_3m; \quad U_5 = U_2(1-n) + 0 \cdot n, \quad (4)$$

де m та n – коефіцієнти розподілу опорів відповідних резисторів схеми рис.2 як дільники з діапазоном зміни: $m = 0 \dots 1$; $n = 0 \dots 1$.

Рішення рівнянь (4) встановлює

$$U_3 = \frac{(1-n) \cdot U_2 - (1-m) \cdot U_1}{\Delta + m} = \frac{1-n}{m} \cdot U_2 - \frac{1-m}{m} \cdot U_1, \quad \text{при } \Delta = \frac{1}{K_{оп}} \rightarrow 0. \quad (5)$$

Очевидно, різноманітні співвідношення параметрів m -, n -дільників надають інформацію про функціонування та сутність сустратора і схем на його основі в режимах роботи, за умов дії парафазної та синфазної напруг. Це зведено у табл.3, де $R_1 + R_2 = R_-$; $R_3 + R_4 = R_+$ – опори дільників відповідних входів ОП.

Узагальнення одержаних результатів наведено на рис.3 та рис.4 [1], [20], [21].

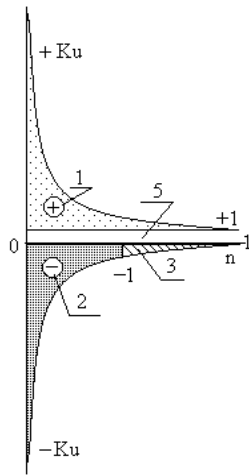


Рисунок 3 – Класичне уявлення і реалізація схем підсилення

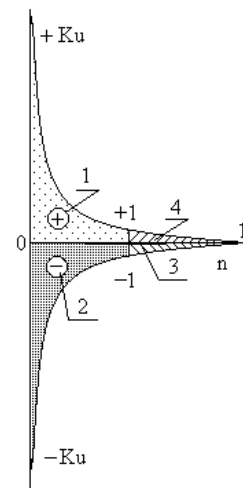


Рисунок 4 – Запропоноване подання зон функціонування схем

На рис.3 та рис.4 показано: 1–неінвертуюче підсилення, 2– інвертуюче підсилення; 3, 4 – атенюація з відповідним знаком; 5 – недосяжна для підсилення область.

Отримані аналітичні залежності дозволяють обґрунтувати наступне: підсилення з інверсією та без, симетричне та несиметричне, з класичним та зустрічним керуванням відносно схеми сустратора є сутністю роботи всіх відомих класичних схем і складають наукову та практичну цінність.

Таблиця 3 – Порівняльні залежності перетворення сустратором [1]

Потенціометричний опис		Резистивний опис	
Опис у загальному вигляді			
$U_3 = \frac{1-n}{m}U_2 - \frac{1-m}{m}U_1.$		$U_3 = \frac{R_4 \cdot (R_1 + R_2)}{R_1 \cdot (R_3 + R_4)}U_2 - \frac{R_2}{R_1}U_1.$	
За умови $m \neq n$, та $R_-/R_+ = K$, маємо:			
1	$U_3 = \frac{R_4 \cdot R_-}{R_1 \cdot R_+} \cdot U_2 - \frac{R_2}{R_1}U_1.$	$U_3 = \frac{R_4}{R_1} \cdot K \cdot U_2 - \frac{R_2}{R_1}U_1.$	
за додаткової умови $R_1=R_4$, маємо:			
1.1	$U_3 = K \cdot U_2 - U_1(1-m)/m.$	$U_3 = K \cdot U_2 - (R_2/R_1) \cdot U_1.$	
за умови зустрічного управління $m = (1-n)$, маємо:			
1.2	$U_3 = U_2 - U_1(1-m)/m;$	$U_3 = U_2 - (R_2/R_1) \cdot U_1;$	
При диференційному вхідному сигналі ($U_1 = \mp U_D/2$; $U_2 = \pm U_D/2$):			
1.3	$U_3 = \pm \frac{(2-m-n)}{2m}U_D.$	$U_3 = \frac{R_1 \cdot R_4 + R_2 \cdot R_3 + 2R_2 \cdot R_4}{2 \cdot R_1 \cdot (R_3 + R_4)} \cdot U_D.$	
За умови дії синфазної напруги $U_1 = U_2 = U_{cf}$, $U_3 \neq 0$:			
1.4	$U_3 = \frac{m-n}{m}U_{cf}.$	$U_3 = \frac{R_1 \cdot R_4 - R_3 \cdot R_2}{R_1 \cdot (R_3 + R_4)} \cdot U_{cf}.$	
Несиметричне підсилення при $U_1=0$:			
2	$U_3 = U_2(1-n)/m$	$U_3 = (R_2/K) \cdot R_3 \cdot U_2$	
Несиметричне підсилення при $U_2=0$:			
3	$U_3 = -U_1(1-m)/m.$	$U_3 = -(R_2/R_1) \cdot U_1.$	
Симетричний режим за умови $m = n$, залежність $R_-/R_+ = K$ відсутня:			
4	$U_3 = (U_2 - U_1) \cdot (1-m)/m.$	$U_3 = (R_2/R_1) \cdot (U_2 - U_1).$	
За умови $R_- = R_+ = R$, тобто $R_2 = R_4$ та $R_1 = R_3$, маємо:			
4.1	$U_3 = \frac{1-m}{m}(U_2 - U_1).$	$U_3 = \frac{R_2}{R_1}(U_2 - U_1) = \frac{R_4}{R_3}(U_2 - U_1).$	
За умови диференційного вхідного сигналу ($U_1 = \mp U_D/2$; $U_2 = \pm U_D/2$):			
4.2	$U_3 = \pm U_D(1-m)/m.$	$U_3 = \pm (R_2/R_1)U_D.$	
За умови $U_1=0$ та $R_-/R_+ = K$ діє подвійне підсилення без інверсії:			
4.3	$U_3 = U_2(1-n)/m.$	$U_3 = (R_4/R_1) \cdot K \cdot U_2.$	
За умови $U_1=0$ та $n=0$ діє класичне підсилення без інверсії:			
4.4	$U_3 = U_2(1-n)/m.$	$U_3 = (1 + (R_2/R_1)) \cdot U_2.$	
За умови $U_2=0$ безпосередньо витікає підсилення з інверсією:			
4.5	$U_3 = -U_1(1-m)/m.$	$U_3 = -(R_2/R_1) \cdot U_1.$	
4.6	За умови дії синфазної напруги $U_1 = U_2 = U_{cf}, U_3 = 0.$		

Для оцінки якості перетворення розглянуто показник крутизни характеристики $K_U(n)$ перетворення схемами, визначено диференційну, залежність параметра n [20].

Розглянуті схеми відповідають класичній теорії системи перетворення. Згідно цієї теорії канал прямої передачі складається з підсилювача любого виду з власним коефіцієнтом підсилення K_{III} (історичне позначення – A , позначення інших авторів – A_{OL} , K_U^{oc} , K_{OP} і тому подібні). Система доповнюється каналом зворотного зв'язку з коефіцієнтом передачі K_{33} (інші позначення: історичне – B , F , сучасне β або аналогічні). Сутність запропонованого розвитку метода опису перетворення сигналу в системі відтворена в табл.2.

Таблиця 2 – Порівняння методів опису процесу перетворення

Параметр порівняння	Класичний метод	Запропонований метод
Коефіцієнт перетворення теоретичний	$A_{CL} = \frac{A_{OL}}{1 \mp F \cdot A_{OL}}$	$K_U^T = \frac{K_{III}}{1 \mp K_{33} \cdot K_{III}}$
Елементи перетворення	Петльове підсилення: $F \cdot A_{OL}$	$A_{OL} \leftrightarrow K_{III}$; $F \leftrightarrow K_{33}$
Розрахунки (в оригіналі)	$A_{CL} = \frac{A_{OL}}{F \cdot A_{OL}} / \left(\frac{1}{F \cdot A_{OL}} \mp 1 \right)$	$K_U^T = \frac{1}{1/K_{III} \mp K_{33}} = \frac{1}{\Delta \mp K_{33}}$
K_U при негативному зворотному зв'язку	$A_{CL} \approx \frac{1}{F} = \frac{1}{K_{33}}$	$K_U = \frac{1}{K_{33}}, \left \Delta = \frac{1}{K_{III}} \rightarrow 0 \right.$
Предмет розгляду	Вплив зворотних зв'язків: ПЗЗ (–), НЗЗ (+).	а) Вплив ПЗЗ, НЗЗ; б) Похибка $\Delta = 1/K_{III}$

З табл.2 видно, що спрощення основних виразів за рахунок коефіцієнта K_{III} прямої передачі має переваги перед нескінченною кількістю умов виконання нерівності для петльового підсилення $F \cdot A_{OL} \gg 1$ у класичному методі. Разом з тим, запропонований метод перетворення не заперечує класичну теорію зворотних зв'язків. Він розвиває та доповнює її об'єктивною інформацією про методичну похибку перетворення $\Delta = 1/K_{III}$, яка, як виявилось, має не менш важливе значення, ніж відома теорія зворотних зв'язків.

Залежності в табл.3 з умовою виразу (5) характеризуються такою методичною похибкою. Дійсно, нею можна було б знехтувати, оскільки при $K_{III}=K_{OP}=10^5 \dots 10^6$ похибка Δ становить $10^{-5} \dots 10^{-6}$ та спрямована до нуля. Однак, вона є підставою для розрахунку абсолютної і відносної похибок, виступає першопричиною в оцінці точності перетворення. При цьому її, принципово, не можливо компенсувати [2], [3].

Абсолютна похибка відносно коефіцієнтів перетворення K_U^T – теоретичного і K_U – реального визначається таким чином: $\Delta a = K_U^T - K_U$.

$$\Delta a = \frac{K_{III}}{1 \mp K_{III} \cdot K_{33}} - \frac{1}{\mp K_{33}} = \frac{\mp K_{III} \cdot K_{33} - 1 \pm K_{III} \cdot K_{33}}{\mp K_{33} + K_{III} \cdot K_{33}^2};$$

$$\Delta a = \frac{-1}{\mp K_{33} + K_{III} \cdot K_{33}^2} = \frac{-1}{\mp 1/K_U + K_{OP} \cdot (1/K_U)^2} = \frac{-K_U^2}{\mp K_U + K_{OP}} \quad (6)$$

Аналіз виразу (6) в роботі встановлює ряд визначальних висновків [2]: від очевидних, стосовно квадратичної залежності та похибок схем з ПЗЗ і НЗЗ, до необхідності обліку параметрів невизначеності у вигляді відносної похибки та

обґрунтування раніше невідомих закономірностей в схемотехнічних рішеннях аналогових компонентів комп'ютерних систем [6]–[19].

Так, при відомій абсолютній Δ_a похибці перетворення легко розрахувати відносну похибку $\Delta_{відн.}$:

$$\Delta_{відн.} = \frac{\Delta_a}{K_U} \cdot 100\% = \frac{-K_U}{\mp K_U + K_{оп}} \cdot 100\%; \quad \text{для НЗЗ: } \Delta_{відн., \%} = \frac{-K_U \cdot 100}{K_U + K_{оп}}. \quad (7)$$

З виразу (7) можна впевнитись, що за умов установлення $K_U = K_{оп}$ відносна похибка обмежена значенням 50%, що має вже суттєві наслідки на практиці.

Якщо інструментальні похибки визначаються технологічним рівнем виробництва електронних компонентів, то методична похибка зумовлена схемотехнікою побудови конкретного пристрою. Це дозволило з урахуванням технологічних особливостей виконання елементів встановити відповідність між методичною похибкою перетворення та рівнем розвитку електроніки.

Так, наприклад наноелектроніка, як напрям у розвитку електроніки, має поєднувати не тільки досягнення в технології створення нанорозмірних елементів з унікальними властивостями, але й забезпечувати відповідний рівень схем їх включення, які й реалізують ці характеристики з мінімальними похибками.

Саме остання обставина в науковій літературі відсутня, теорія викладається з точки зору дії зворотних зв'язків, похибки перетворень зводяться до інструментальних. Спірні заборони призводять до негативних стереотипів мислення. Це створює ситуацію, коли успіхи нанотехнології не підкріплюються новими схемотехнічними рішеннями. Адже, навіть самий найсучасний елемент, включений у схему попередніх етапів розвитку електроніки, особливої користі не дасть. На підставі наведеного визначені вище мета та основні завдання роботи.

Актуальність проведення досліджень зростає ще й за тієї причини, що підготовка спеціалістів в цьому напрямі до останнього часу здійснювалась на застарілих уявленнях попереднього століття. Тим важливішим є завдання роботи.

Одержані результати додатково підтверджують, що існуючі аналогові схеми не забезпечують паритетну з цифровими точність та достовірність перетворення, мають проблеми з наявною синфазною напругою. Тому необхідно вести пошук нових схемотехнічних рішень побудови аналогових компонентів.

Одним з таких варіантів є застосування багатокаскадних підсилювачів [3]. З'ясувалось, що побудова таких схем до цього часу здійснюється на експериментально-інтуїтивному рівні. При цьому відсутні фундаментальні дослідження, крім очевидних, стосовно добутку каскадних коефіцієнтів та суми фазових зсувів у каскадах. Це можна пояснити тим, що основу увагу розробників складає аналіз конкретних рішень без використання синтезу електронних схем та відсутність алгоритму побудови багатокаскадних схем, в першу чергу, за кількістю каскадів та визначення їх параметрів.

Проведені дослідження точності процесу перетворення при багатокаскадному підсиленні для різної кількості каскадів дозволили розширити уявлення про цю схемотехнічну особливість. Наведено оцінку якості m-каскадних підсилювачів таблицями порівняння для різних коефіцієнтів підсилення, із застосуванням різних ОП. Отримані аналітичні залежності похибок перетворення зведено в табл.4 [26].

Таблиця 4–Узагальнені аналітичні залежності абсолютної похибки схем

Абсолютна похибка схеми	Формула	Умова
однокаскадної	$\Delta_a(1) = -K_U / \left(1 + \frac{1}{K_{U1}} \cdot K_{ОП}\right).$	$K_U = K_{U1}.$
двокаскадної	$\Delta_a(2) = -K_U / \left(1 + \frac{1}{K_{U1} + K_{U2}} \cdot K_{ОП}\right).$	$K_U = K_{U1} \cdot K_{U2}.$
трихкаскадної	$\Delta_a(3) = -K_U / \left(1 + \frac{1}{K_{U1} + K_{U2} + K_{U3}} \cdot K_{ОП}\right).$	$K_U = K_{U1} \cdot K_{U2} \cdot K_{U3}.$
багатокаскадної	$\Delta_a(m) = -K_U / \left(1 + K_{ОП} / \sum_{i=1}^m K_i\right).$	$K_U = \prod_{i=1}^m K_{U_i}.$

Розгляд формул табл.4 після нехтуванням одиницею у знаменнику дозволив визначити умову оптимальної (мінімальної) абсолютної похибки [3]:

$$\Delta_{a\ opt}(m) = -\frac{K_U}{1 + K_{ОП} / m \cdot \sqrt[m]{K_U}} \cong -\frac{m \cdot \sqrt[m]{K_U} \cdot K_U}{K_{ОП}} = -m \cdot \sqrt[m]{K_U} \cdot \frac{K_U}{K_{ОП}} = -K_{\Delta\ opt}(m) \cdot K_3, \quad (8)$$

де K_3 – коефіцієнт завантаження підсилювача, що має фізичний зміст ККД;

$K_{\Delta\ opt}(m)$ – оптимальний коефіцієнт якості. Як показують дослідження, мінімум абсолютної похибки перетворення досягається за умови рівних значень підсилення у каскадах, тому його слід визначати добутком m -числа каскадів на рівнопідсилювальне значення $\sqrt[m]{K_U}$ кожного каскаду. Загалом коефіцієнт якості m -каскадного підсилювача становить суму коефіцієнтів підсилення складових: $K_{\Delta}(m) = \sum_{i=1}^m K_i$.

У формулах табл.4 існує акцентована закономірність *FD* – *Function Description*, яка дозволяє записати похибку у загальному модульному вигляді:

$$|\Delta_a(FD)| = K_U / (1 + K_{ОП} / FD). \quad (9)$$

Для виразу (8) коефіцієнта якості підсилювача на рис. 5 будуємо графіки залежності $K_{\Delta}(m)$ при $m=1\dots 5$ у випадках: $K_{U1} = 1000$, $K_{U2} = 10000$ і $K_{U2} = 100000$.

Наведені визначення дозволили встановити правила розрахунку абсолютної й відносної похибок m -каскадного підсилювача, як результат дослідження особливостей багатокаскадних схем перетворення:

Правило 1. Абсолютна похибка m -каскадного підсилювача дорівнює добутку коефіцієнта якості та коефіцієнта корисної дії всього підсилювача.

Правило 2. Мінімум суми часткових складових коефіцієнтів підсилення приводить до зменшення абсолютної похибки всієї схеми.

З рис. 5 витікають й інші наслідки:

Правило 3. При числі каскадів $m > 3$ абсолютна похибка стабілізується і не вносить істотного впливу на процес підсилення в пристроях.

Правило 4. Відносну похибку багатокаскадного підсилювача (у відсотках або відносному виразі) можна визначити, як суму коефіцієнтів підсилення каскадів, співвіднесену до якості застосованих операційних підсилювачів – власного коефіцієнта підсилення $K_{ОП}$, визначення якого є ще однією задачею технічного рішення.

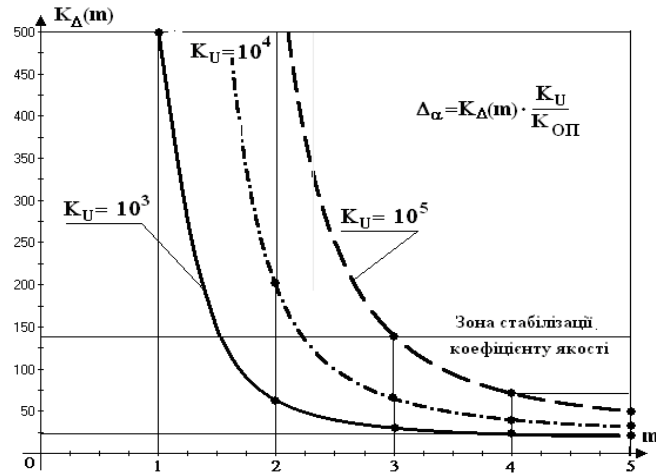


Рисунок 5 – Залежність коефіцієнта якості в m - каскадному підсилювачі

Таким чином, визначальним параметром для оцінки якості багатокаскадної схеми виступає сума каскадних коефіцієнтів, мінімум якої складає рівнопідсилювальний режим. В дисертаційній роботі наведені таблиці кількісної оцінки різних варіантів побудови схем.

У **третьому розділі** Подальше удосконалення методу побудови схем із застосуванням запропонованого опису функції FD дозволило врахувати схемотехнічні особливості з виконанням теоретичних досліджень амплітудної ($FD = K_U$) та частотної ($FD(f) = f \cdot K_U$) залежностей похибок перетворення.

Для цього розглянуто еквівалентне перетворення «частота–коефіцієнт підсилення», обґрунтування якого наведено на рис.6. Його суть зводиться до того, що збільшення частоти вимагає еквівалентного зростання коефіцієнта підсилення, та в подальшому призводить за формулою (6) до квадратичного зростання похибки.

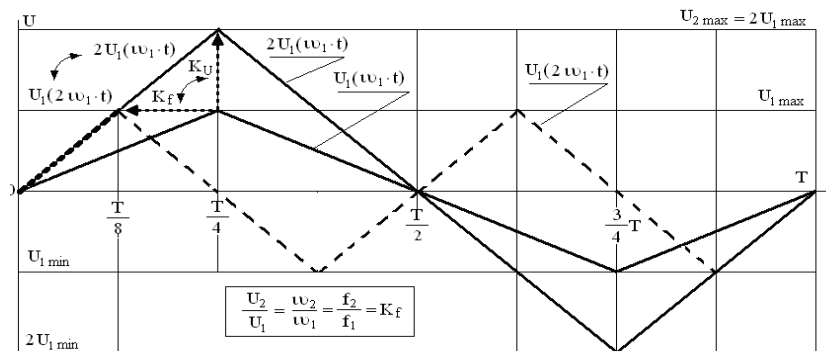


Рисунок 6 – Еквівалентне перетворення «частота–коефіцієнт підсилення»

Дійсно, вхідна напруга $U_1(\omega t)$ при збільшенні частоти, наприклад вдвічі, тобто до зміненої напруги $U_1(2\omega t)$, має один і той же нахил, що і напруга $2U_1(\omega t)$.

Отже, коефіцієнт K_f зміни частоти сигналу визиває зміну коефіцієнта K_U підсилення і навпаки. Таким чином, існує можливість розглядати зростання частоти вхідного сигналу через еквівалентну зміну умов підсилення, відповідно, аналізувати поведінку похибок перетворення, пов'язаних через коефіцієнт підсилення з частотою, а саме $K_f = f \cdot K_U$.

Із застосуванням пакета прикладних програм «Advanced Grafer» в логічній послідовності в табл.5 наведені аналітичні залежності похибок перетворення в різних умовах функціонування та для типових ОП [23].

Таблиця 5– Амплітудні залежності похибок перетворення каскадом на ОП

FD	Залежність	Графік залежності
K_U	$ \Delta a = \frac{K_U^2}{K_U + K_{оп}}$	<p style="text-align: center;">Абсолютна похибка для ОП різної якості</p>
K_U	$\Delta_{відн.} = \frac{\Delta_a \cdot 100\%}{K_U}$ $\Delta_{відн.} = \frac{K_U^-}{K_U + K_{оп}} \cdot 100\%$	<p style="text-align: center;">Відносна похибка перетворення</p>
K_U	$K_U = \frac{\Delta_{відн.} \cdot K_{оп}}{100 - \Delta_{відн.}}$	<p style="text-align: center;">Доцільний коефіцієнт підсилення</p>
N	$K_U(N) = K_U - \frac{N^2}{N + K_{оп}}$ <p>N – коефіцієнт використання підсилення відносно встановленого 100% значення.</p>	<p style="text-align: center;">Навантажувальна характеристика каскаду</p>

Показники точності роботи багатокаскадних схем зведені в табл.6 [28].

Таблиця 6 – Окремі залежності похибок багатокаскадного перетворення

FD	Залежність	Графік залежності
$\sum_{i=1}^m K_{Ui}$	$ \Delta_a(m) = \frac{K_U}{1 + \frac{K_{оп}}{\sum_{i=1}^m K_{Ui}}} = \frac{\sum_{i=1}^m K_{Ui} \cdot K_U}{\sum_{i=1}^m K_{Ui} + K_{оп}}$	
$K_{\Delta opt} = m \cdot \sqrt[m]{K_U}$	$\Delta_{відн. \%} = \frac{100}{1 + \frac{K_{оп}}{FD}} = \frac{100 \cdot m \cdot \sqrt[m]{K_U}}{m \cdot \sqrt[m]{K_U} + K_{оп}}$	
Відносна похибка m-каскадної оптимальної схеми		

Вперше аналітично визначена частотна залежність похибок та коефіцієнта підсилення. Останню наведено в табл.7.

Таблиця 7 – Залежність коефіцієнта підсилення від частоти

FD	Залежність	Графік залежності
$f \cdot K_U$	$K_U - \frac{f \cdot K_U}{1 + \frac{K_{оп}}{f \cdot K_U}} = K_U - \frac{f \cdot K_U^2}{f \cdot K_U + K_{оп}}$	
Логарифмічна частотна характеристика коефіцієнта перетворення схеми на операційних підсилювачах		

Розгляд схемотехнічних особливостей проведено для схеми загального виду з доповненням дії джерел зовнішніх факторів, як показано на рис.7 [5], [6].

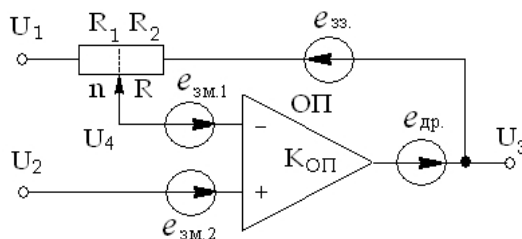


Рисунок 7 – Загальна схема каскаду

Використання раніше встановлених правил аналізу дозволяє визначити коефіцієнти впливу всіх факторів з методичною похибкою $\Delta = 1/K_{оп} \rightarrow 0$:

$$\begin{aligned}
 K_{U_2} &= \frac{K_{оп}}{1 + K_{оп} \cdot n} = \frac{1}{\Delta + n} \cong \frac{1}{n} = \frac{R_1 + R_2}{R_1} = 1 + \frac{R_2}{R_1}, \quad - \text{підсилення напруги } U_2; \\
 K_{3M.2} &= \frac{K_{оп}}{1 + K_{оп} \cdot n} = \frac{1}{\Delta + n} \cong \frac{1}{n} = 1 + \frac{R_2}{R_1}, \quad - \text{вплив зміщення входу «+»}; \\
 K_{33} &= -\frac{n \cdot K_{оп}}{(1 + K_{оп} \cdot n)} = -\frac{n}{\Delta + n} \cong -\frac{n}{n} = -1, \quad - \text{вплив кола зворотного зв'язку}; \\
 K_{U_1} &= -\frac{(1-n) \cdot K_{оп}}{(1 + K_{оп} \cdot n)} = -\frac{1-n}{\Delta + n} \cong -\frac{1-n}{n} = -\frac{R_2}{R_1}, \quad - \text{підсилення напруги } U_1; \\
 K_{3M.1} &= -\frac{K_{оп}}{1 + K_{оп} \cdot n} = -\frac{1}{\Delta + n} \cong -\frac{1}{n} = -(1 + \frac{R_2}{R_1}), \quad - \text{вплив зміщення входу «-»}; \\
 K_{др.} &= -\frac{e_{др.}}{1 + K_{оп} \cdot n} \cong -\frac{1}{K_{оп} \cdot n} = \frac{1}{K_{оп}} \cdot \frac{1}{n} = \frac{K_U}{K_{оп}}, \quad - \text{вплив дрейфових явищ}.
 \end{aligned} \tag{10}$$

На підставі виразів (10) розроблено технічні рішення [6], [10], визначено правила функціонування схем перетворення.

Четвертий розділ роботи присвячений експериментальним дослідженням та перевірці достовірності аналітичних описів основних положень запропонованих в роботі, результати яких наведені на рис.8.

Побудову графіків виконано за допомогою пакета «Advanced Grapher» (AGR)–1. Порівняльний аналіз виконано електронним моделюванням за допомогою пакета прикладних програм «Electronics Work Bench Professional» (EWB)–2, яка виключає дію інструментальних похибок перетворення. Практична перевірка здійснена на широко вживаному операційному підсилювачі LM 358N за наявності реальних характеристик і похибок– крива 3 на рис.8.

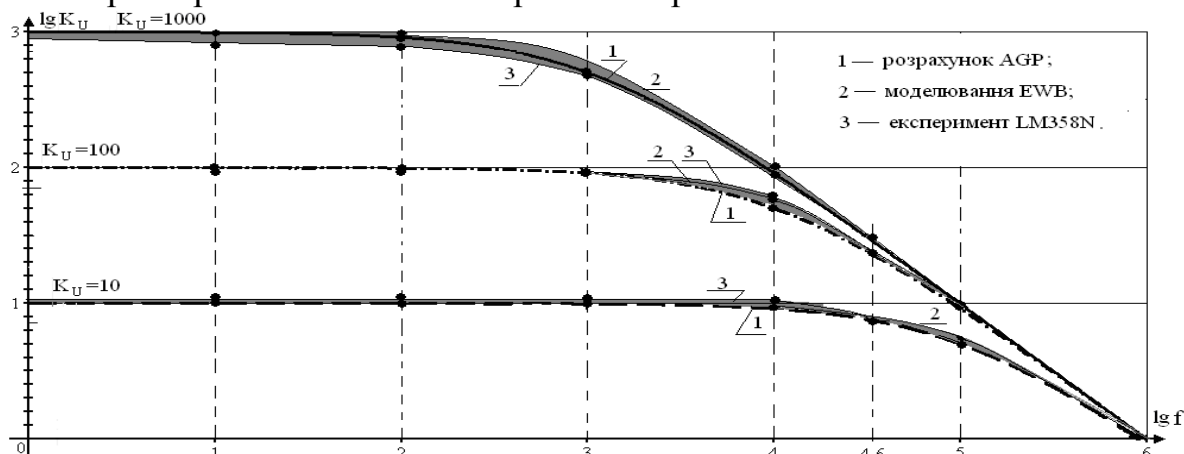


Рисунок 8 – Графіки частотної залежності коефіцієнтів підсилення

Результати експериментальних досліджень мають достатню збіжність. Зона розбіжності результатів на рис.8 виділена заливкою та дозволяє впевнено вказати, що першопричиною спаду амплітудно-частотної характеристики коефіцієнта підсилення є похибки, залежні від методичної та пов'язані з перетворенням «частота–коефіцієнт підсилення».

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі наведено результати, які, відповідно до мети дослідження, у сукупності є розв'язанням актуальної науково-практичної задачі створення аналогових компонентів комп'ютерних систем з високими функціональними якостями за рахунок підвищення точності, надійності, проведення діагностики, визначення параметрів у процесі проектування та роботи електронних вузлів, що дозволяє створити умови забезпечення паритетного функціонування та розвитку аналогових та цифрових компонентів КС. Автором одержано такі наукові та практичні результати:

1. Застосування опису активних і пасивних схем за допомогою n -параметра, надало можливість аналізу, розрахунку аналогових компонентів КС, дозволило розробити універсальну математичну модель електронних схем, систематизація яких привела до впровадження нових технічних рішень.

2. Встановлено, що одним з шляхів досягнення паритету у точності функціонування аналогової та цифрової частин КС є багатокаскадне підсилення. Нова модель такого процесу забезпечує числовою оцінкою якості пристрої в різних умовах функціонування, відкриває умови вибору оптимальних параметрів при технічній реалізації підсилювачів.

3. Класичний метод визначення системи перетворення сигналів отримав розвиток стосовно встановлення дійсних причин виникнення та прояву похибок перетворення. Це дозволило функціонально розділити інструментальні та методичну похибки і встановити їх вплив на перетворення. З'явилась можливість цілеспрямовано підвищувати точність функціонування аналогових компонентів.

4. Урахування впливу зовнішніх факторів на каскад загального вигляду удосконалило метод побудови схем на операційних підсилювачах, який дозволив досягти нано- пікорівень похибок при технічній реалізації аналогових компонентів комп'ютерних систем.

5. Практичне значення отриманих результатів полягає у тому, що:

– Аналіз, розрахунок та побудова електронних вузлів, аналогових компонентів КС здійснюється єдиним математичним апаратом, взаємозв'язком існуючих схем.

– Універсальний FD -функціональний опис перетворення в схемах дозволив встановити залежності нових та раніше розрізнених характеристик підсилювальної системи, провести аналіз показників точності одно- та багатокаскадних схем, правила розрахунку абсолютної й відносної похибок m -каскадного підсилювача.

– Доповнення класичної теорії функціонування схем перетворення дозволило достовірно визначати основні параметри, здійснювати їх розрахунок та аналіз.

– Обґрунтовано становлення наносхемотехніки, в якій запропоновано окремі оригінальні технічні рішення.

6. Теоретичні положення, результати досліджень дисертаційної роботи підтверджені математичним, електронним та фізичним моделюванням.

Результати дисертаційної роботи впроваджені в навчальний процес Харківського національного університету радіоелектроніки (акт впровадження від 5.09.2012 р.) та в ході виконанні науково-дослідних робіт ДР № 0109U000021 № 241 та №313-2012 за договором з Держагенством України з питань науки, інновацій та інформатизації (акт впровадження від 06.12.2012 р.).

СПИСОК ПРАЦЬ, ОПУБЛІКОВАНИХ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Федотов Д.О. Дослідження сустратора та схем на його основі, побудованих на операційних підсилювачах / Д.О. Федотов, П.Д. Федотов, В.О. Алексєєв // *Технология приборостроения №1*. – Харків, 2007. – С.21–25.
2. Федотов Д.О. Точність перетворень в схемах на операційних підсилювачах/ Д.О. Федотов, П.Д. Федотов, О.Я. Крук // *Системи управління, навігації та зв'язку. Випуск 1(21). Том 1*. – Київ, 2012. – С. 81–84.
3. Слипченко Н.И. Исследование точности процесса преобразования при многокаскадном усилении / Н.И. Слипченко, П.Д. Федотов, Д.А. Федотов, О.Я. Крук // *Системи обробки інформації: Зб. наукових праць. Випуск 3(101). Том 1*. – Харків, 2012. – С. 50–55.
4. Федотов Д.А. Система преобразования электрических сигналов / Д.А. Федотов, П.Д. Федотов, О.Я. Крук // *Зб. наукових праць Харківського університету Повітряних Сил. Випуск 1(30)*. – Харків, 2012. – С.157–160.
5. Федотов П.Д. Аналіз функціонування схем на операційних підсилювачах. П.Д. Федотов. // *Системи обробки інформації: Зб. наукових праць. Випуск 3 (101). Том 2*. – Харків, 2012. – С. 102–103.
6. Патент України на корисну модель №66700. МПК H03F3/45, H03G 3/00, H03H 11/00. Сумарно-різницева схема./ М.І. Слипченко, П.Д. Федотов, Д.О. Федотов // Заявл. 11.07.2011, опубл. 10.01.2012, бюл. №1.
7. Патент України №81087. МПК H03F3/45, H03G 3/00. Спосіб формування коефіцієнта підсилення та пристрій для його здійснення / М.І. Слипченко, П.Д. Федотов, Д.О. Федотов // Заявл. 27.10.2006, опубл.26.11.2007, бюл. №19.
8. Патент України №82119. МПК H03F3/45, H03G 3/00. Спосіб задання коефіцієнта підсилення активної схеми на операційному підсилювачі та універсальний підсилювач для його реалізації/ О.Я. Крук, В.В. Семенець, Д.О. Федотов, П.Д. Федотов // Заявл. 27.03.2006, опубл.11.03.2008, бюл. №5.
9. Патент України №86780. МПК H03G 3/00. Спосіб задання коефіцієнта підсилення інваріантної схеми на операційному підсилювачі. / В.В. Семенець, О.Я. Крук, Д.О. Федотов, П.Д. Федотов // Заявл. 25.04.2006, опубл.25.05.2009, бюл. №10.
10. Патент України на корисну модель №46730. МПК H03F 5/00, H03H 11/00. Підсилювач напруги / М.І. Слипченко, П.Д. Федотов Д.О. Федотов // Заявл. 23.03.2009, опубл. 11.01.2010, бюл. №1.
11. Патент України №90338. МПК H03G 3/00 H03F 3/45. Спосіб формування коефіцієнта перетворення схеми на операційних підсилювачах та пристрій для його (варіанти). / М.І. Слипченко, Д.О. Федотов, П.Д. Федотов // Заявл. 24.03.2008, опубл. 26.04.2010, бюл. №8.
12. Патент України №91759. МПК H03H 11/00, H03F 5/00, H03F 3/00, H03F 1/34, G03F 1/10. Повторювач напруги. / Слипченко М.І., Федотов Д.О., Федотов П.Д // Заявл. 01.12.2008, опубл. 25.08.2010, бюл. №16.

13. Патент України №91798. МПК H03G 3/00. Спосіб формування коефіцієнта підсилення напруги та пристрій для його здійснення. / М.І. Сліпченко, П.Д. Федотов, Д.О. Федотов // Заявл. 30.06.2009, опубл. 25.08.2010, бюл. №16.

14. Патент України №92385. МПК H03F 3/45, G03R 1/00. Спосіб визначення власного коефіцієнта підсилення операційного підсилювача. / М.І. Сліпченко, П.Д. Федотов, Д.О. Федотов // Заявл. 03.11.2008, опубл. 25.10.2010, бюл. №20.

15. Патент України на корисну модель, №54793. МПК H03F 5/00, H03H 11/00. Схема перетворення електричних сигналів. / П.Д. Федотов, С.П. Домнишев // Заявл. 17.05.2010, опубл. 25.11.2010, бюл. №22.

16. Патент України №92818. МПК H03F 1/00, H03G 1/00, H03H 11/00. Спосіб формування коефіцієнта підсилення та пристрій для його реалізації./ М.І. Сліпченко, П.Д. Федотов, Д.О. Федотов // Заявл. 02.03.2009, опубл. 10.12.2010, бюл. №23.

17. Патент України №93015. МПК H03G 3/00. Спосіб формування коефіцієнта підсилення та пристрій для його здійснення. М.І. Сліпченко, П.Д. Федотов, Д.О. Федотов // Заявл.22.05.2009, опубл. 27.12.2010, бюл. №24.

18. Патент України на корисну модель №68033. МПК H03F 31/45, H03G 3/00, H03H 11/00. Підсилювач різниці напруг. / М.І. Сліпченко, П.Д. Федотов, Д.О. Федотов, О.Я. Крук // Заявл. 06.09.2011, опубл. 12.03.2012, бюл. №5.

19. Патент України на корисну модель №63977. МПК H03F 1/00, G03R 1/00. Спосіб визначення власного коефіцієнта підсилення операційного підсилювача / М.І. Сліпченко, П.Д. Федотов, Д.О. Федотов, О.Я. Крук // Заявл. 04.04.2011, опубл. 25.10.2011, бюл. №20.

20. Домнышев С.П. Способ описания усилительных схем. / С.П. Домнышев, П.Д. Федотов. // Материалы XI Международного молодежного форума «Радиоэлектроника и молодежь в XXI веке». – Харьков, ХНУРЕ. – 2007. – С. 267.

21. Слипченко Н.И. Особенности наносхемотехники для обеспечения нужд наноэлектроники. / Н.И. Слипченко, П.Д. Федотов, Д.А. Федотов // 2-я МНК «Современные информационные системы. Проблемы и тенденции развития». Сб. материалов конференции. – Харьков-Туапсе, 2007. – С. 26–27.

22. Слипченко Н.И. Условия достижения нано-схематехнического уровня преобразования устройствам и на ОУ / Н.И. Слипченко, П.Д. Федотов // Сб. научных трудов 1-й МНК «Электронная компонентная база», 3-й МРФ «Прикладная радиоэлектроника», т.3. – Харьков-Судак, 2008. – С. 59 – 62.

23. Слипченко Н.И. Схематехническое обеспечение микроэлектронных компонентов для аппаратных средств / Н.И. Слипченко, П.Д. Федотов, Д.А. Федотов // Сб. научных трудов 1 й МНК «Электронная компонентная база», 3-й МРФ «Прикладная радиоэлектроника», т.3. – Харьков-Судак, 2008. – С. 222 – 225.

24. Домнышев С.П. Анализ входных каскадов усилителей биопотенциалов / С.П. Домнышев, П.Д. Федотов // Сб. научных трудов IV–МРФ «Прикладная радиоэлектроника. Состояние и перспективы развития» т. III конференция «Актуальные проблемы биоинженерии». – Харьков, 2011. – С. 75 – 78.

25. Слипченко Н.И. Схематехнический принцип преобразования в устройствах на современных электронных компонентах / Н.И. Слипченко, П.Д. Федотов, Д.А. Федотов // Сб. научных трудов 2-й МНК «Электронная компонентная база». – Харьков-Кацивели, 2009. – С. 229–231.

26. Слипченко Н.И. Повышение точности процесса автоматизации контроля параметров электронных компонентов / Н.И. Слипченко, П.Д. Федотов, Д.А. Федотов // Сб. научных трудов 3-й МНК «Электронная компонентная база», 4 МРФ «Прикладная радиоэлектроника», т.3.– Харьков-Кацевели, 2010.– С. 109– 111.

27. Слипченко Н.И. Метрологическое обеспечение исследований наноструктур со сниженным уровнем погрешности / Н.И. Слипченко, П.Д. Федотов, Д.А. Федотов // Сб. научных трудов IV-й МНК «Функциональная база нанoeлектроники».–Харьков-Кацевели. 2011.– С. 234–237.

28. Слипченко Н.И. Перспективы схемотехнического обеспечения нанoeлектронной элементной базы / Н.И. Слипченко, П.Д. Федотов, Д.А. Федотов, О.Я. Крук // Сб. научных трудов V-й МНК «Функциональная база нанoeлектроники».– Харьков-Кацевели, 2012.– С. 310–313.

АНОТАЦІЯ

Федотов П.Д. Моделі аналогових компонентів комп'ютерних систем з високими функціональними якостями. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.05 – комп'ютерні системи та компоненти. – Харківський національний університет радіоелектроніки, МОН України, Харків, 2013.

Дисертаційна робота присвячена вирішенню існуючого протиріччя в комп'ютерних системах (КС), яке пов'язане з тим, що інформація в кіберпросторі становить віртуальну реальність на відміну від інформації оточуючого світу, який є аналоговим. Перехід «аналог-цифра» і навпаки здійснюється з втратами 3-4 порядків точності. З урахуванням того, що інформаційні технології та КС мають постійний розвиток, то без вирішення питання паритету за точністю між аналоговими і цифровими компонентами з неможлива їх подальша перспектива.

Дослідження стосується моделей аналогових компонентів комп'ютерних систем за умови досягнення мінімальних похибок перетворення та схемотехнічних особливостей побудови аналогових вузлів підсилення сигналів на цій основі.

Метою дослідження є розробка аналогових компонентів КС з покращеними якісними характеристиками для забезпечення паритетної точності спільного функціонування аналогових та цифрових компонентів.

В роботі на основі опису пасивних схем за допомогою n -параметра створено універсальну математичну модель та визначені аналітичні залежності для активних схем різної складності. Здійснено розгляд багатокаскадних підсилювачів з розробкою моделі їх функціонування. Обґрунтовані оцінки якості та наведені порівняльні таблиці, встановлені правила розрахунку похибок m -каскадного підсилювача. Удосконалення опису класичної системи перетворення сигналів дозволило встановити дійсні причини виникнення похибок, що визначило шляхи подальшого підвищення точності. Наведені методи побудови нових електронних схем з урахуванням впливу зовнішніх факторів забезпечило створення аналогових компонентів наносхемотехнічного рівня.

Достовірність теоретичних положень, результатів досліджень, підтверджуються розрахунками, моделюванням та макетуванням реальних схем.

Ключові слова: компоненти аналогові, дільник напруги, коефіцієнт

підсилення, підсилювач операційний, система перетворення, підсилювач багатокаскадний, амплітудна та частотна залежності, дослідження експериментальні.

АННОТАЦІЯ

Федотов П.Д. Модели аналоговых компонентов компьютерных систем с высокими функциональными качествами. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.05 – компьютерные системы и компоненты. – Харьковский национальный университет радиоэлектроники, МОН Украины, Харьков, 2013.

Диссертационная работа посвящена разрешению существующего противоречия в компьютерных системах (КС), которое связано с тем, что информация в киберпространстве составляет виртуальную реальность в отличие от окружающего мира, который является аналоговым. Переход «аналог-цифра» и наоборот происходит с потерей 3-4 порядков точности. С учетом того, что информационные технологии и КС имеют постоянное развитие, то без решения проблемы паритета точности между аналоговыми и цифровыми компонентами не возможна их дальнейшая перспектива.

Исследования касаются моделей аналоговых устройств, которые характеризуются минимальными погрешностями преобразования, схемотехническими особенностями построения узлов аналогового усиления сигналов на этой основе.

Целью исследования является разработка моделей аналоговых компонентов КС с улучшенными качественными характеристиками для обеспечения паритетной точности совместного функционирования аналоговых и цифровых компонентов.

В работе для описания схем предложено использование n -параметра. Разработанная универсальная математическая модель позволила определить аналитические зависимости для активных схем различной сложности.

Рассмотрены многокаскадные усилители, разработаны модели их функционирования. Обоснованы оценки качества устройств и приведены таблицы сравнения параметров, установлены правила расчета погрешностей m -каскадных усилителей произвольной структуры. Показано, что применение многокаскадных схем позволяет существенно повысить точность преобразования

Усовершенствование описания классической системы преобразования сигналов позволило установить истинные причины возникновения погрешностей. Это позволило определить пути дальнейшего повышения точности.

Предложены методы построения новых электронных схем с учетом влияния внешних факторов. Это позволило создать аналоговые компоненты наносхемотехнического уровня.

Практическое значение полученных результатов состоит в следующем.

Анализ, расчет и построение электронных узлов, аналоговых компонентов КС осуществляется единым математическим аппаратом.

Универсальное функциональное описание преобразования в схемах позволило установить зависимости новых и ранее разрозненных характеристик усилительной системы, провести анализ показателей точности одно- и многокаскадных схем, правила расчета абсолютной и относительной погрешностей m -каскадного

усилителя. Дополнение классической теории функционирования схем преобразования позволило достоверно определять основные параметры, осуществлять их расчет и анализ. Обосновано развитие наносхемотехнического направления, в котором предложены отдельные оригинальные технические решения.

Результаты диссертационной работы подтверждены математическим, электронным и физическим моделированием, теоретические положения внедрены в учебный процесс, практические результаты использованы в госбюджетных работах по плану проведения научно-исследовательских работ Харьковского национального университета радиоэлектроники.

Материалы исследований могут быть использованы для разработки аналоговых компонентов компьютерных систем для паритетного по точности преобразования информации в цифровую форму.

Ключевые слова: компоненты аналоговые, делитель напряжения, коэффициент усиления, система преобразования, усилитель многокаскадный, зависимость частотная, исследования экспериментальные.

ABSTRACT

Fedotov P.D. Models of analog components of computer systems with high functional qualities. – In manuscript.

Dissertation for the degree of candidate of technical sciences, specialty 05.13.05 – computer systems and components. – Kharkiv national university of radio electronics, Kharkiv, 2013.

More Links in the processes of converting analog signals into components of computer systems (CS) equal in accuracy to digital.

Research related to models of analog components of computer systems subject to the achievement of minimal errors conversion of analog circuit design features of construction sites amplify signals.

The purpose of research is to develop models of analog components of the CS to improve the quality characteristics, namely, converters.

The paper proposed a universal mathematical model of electronic circuits based on the subtraction scheme with the use of n-parametric description of divisors, the process model of a multi-amplification with the numerical evaluation of the quality in various operating conditions. Was developed method for the determination of signal transduction through the establishment of the real causes and manifestations of conversion errors, improved method for constructing circuits with operational amplifiers based circuit design features and the influence of external factors on the stage of general form, which allows for nano-pico-level errors in the technical implementation of analog components of the CS.

The accuracy of the theoretical principles, research results and conclusions presented in the thesis, supported by analytical calculations, electronic modeling and prototyping of real circuits.

Keywords: analog components, a voltage divider, the gain, the system conversion, multi-stage amplifier, the magnitude and frequency dependence of the experimental study.

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет радіоелектроніки

ФЕДОТОВ ПАВЛО ДМИТРОВИЧ

УДК 004.3'144: 621.357.1

МОДЕЛІ АНАЛОГОВИХ КОМПОНЕНТІВ КОМП'ЮТЕРНИХ
СИСТЕМ З ВИСОКИМИ ФУНКЦІОНАЛЬНИМИ ЯКОСТЯМИ

05.13.05 – комп'ютерні системи та компоненти

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків – 2013

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана у Харківському національному університеті радіоелектроніки Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник доктор фізико-математичних наук,
професор
Сліпченко Микола Іванович,
Харківський національний
університет радіоелектроніки,
професор кафедри мікроелектроніки,
електронних приладів і пристроїв.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Борисенко Олексій Андрійович,
Сумський державний університет,
професор кафедри електроніки
і комп'ютерної техніки;

доктор технічних наук, професор
Краснобаєв Віктор Анатолійович,
Полтавський національний
університет ім. Ю. Кондратюка,
завідувач кафедри комп'ютерної
інженерії.

Захист відбудеться «__» _____ 2013 року о «__» годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.052.01 у Харківському національному університеті радіоелектроніки за адресою: 61166, м. Харків, просп. Леніна, 14.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Харківського національного університету радіоелектроніки за адресою: 61166, м. Харків, просп. Леніна, 14.

Автореферат розіслано «__» _____ 2013 року.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради

Є.І. Литвинова

Відповідальний випусковий В.П. Машталір

Підп. до друку 20.05.2013
Умов. друк. арк. 1,2
Зам. № 2- 418

Формат 60x80_{1/16}
Облік.- вид.арк. 1,0
Ціна договірна

Спосіб друку –
ризографія.
Тираж 100 прим.

ХНУРЕ, 61166, Харків, просп. Леніна, 14

Віддруковано в навчально-науковому
видавничо-поліграфічному центрі ХНУРЕ.
Україна, 61166, Харків, просп. Леніна, 14.