

ТЕОРЕТИЧНИЙ І НАУКОВО-ПРАКТИЧНИЙ ЖУРНАЛ
ІНЖЕНЕРНОЇ АКАДЕМІЇ УКРАЇНИ

THEORETICAL AND APPLIED SCIENCE JOURNAL
ENGINEERING ACADEMY OF UKRAINE



В І С Н И К

ІНЖЕНЕРНОЇ АКАДЕМІЇ УКРАЇНИ

ВИПУСК 1

***BULLETIN OF ENGINEERING
ACADEMY OF UKRAINE***

Issue 1

ТЕОРЕТИЧНИЙ І НАУКОВО-ПРАКТИЧНИЙ ЖУРНАЛ
ІНЖЕНЕРНОЇ АКАДЕМІЇ УКРАЇНИ

THEORETICAL AND APPLIED SCIENCE JOURNAL
ENGINEERING ACADEMY OF UKRAINE

Kyiv 2020 Kyiv

Журнал друкує статті науковців вузів та установ України, інших країн відповідно до рубрик:

Авіаційна і космічна техніка
Військово-технічні проблеми
Геологія, видобування та переробка корисних копалин
Інженерні проблеми агропромислового комплексу
Інформаційні системи, обчислювальна й електронна техніка, системи зв'язку та приладобудування
Матеріалознавство
Машинобудування
Медична інженерія
Металургія
Охорона навколишнього середовища (інженерна екологія) і ресурсозбереження
Стандартизація, метрологія і сертифікація
Будівництво та будіндустрія
Технологія легкої промисловості
Технологія харчової промисловості
Хімічні технології й інженерна біотехнологія
Економіка, право та керування в інженерній діяльності
Енергетика
Освіта та виховання

Journal submits articles of researchers of universities and institutions of Ukraine and other countries in accordance with headings:

Aviation and Space Engineering
Military-technical problems
Geology, Mining and Processing of Minerals
Engineering Problems of Agroindustrial Complex
Information systems , computers and electronic equipment , communication systems and instrumentation
Material Science
Mechanical Engineering
Medical Engineering
Metallurgy
Preservation of Environment (Ecological Engineering) and Resource Saving
Standardisation, Metrology and Certification
Building and Construction Engineering
Technology of Light Industry
Technology of Food Industry
Chemical Technologies and Engineering Biotechnology
Economics, law and management in engineering
Energetics
Education and training

Матеріали друкуються українською, російською або англійською мовами.

Materials are submitted in Ukrainian, Russian or English languages.

Номер затверджено на засіданні Вченої ради
Центральноукраїнського національного технічного університету

The issue is approved at the meeting of Academic Council of Central Ukrainian National Technical University

Протокол № 4 від 24.02.2020р
Вісник Інженерної академії України включений у новий Перелік наукових фахових видань України, в яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата наук в галузі технічних наук (Наказ МОН України від 13.07.2015р. №747)

Protocol No.4 dated 24.02.2020
Bulletin of Engineering academy of Ukraine is included into the new List of Scientific special editions of Ukraine, in which results of dissertation works may be published for to be conferred with academic degrees of doctor and candidate of sciences in the field of engineering sciences (Decree of Ministry Education and Science of the Ukraine No.747 dated 13.07.2015)

Співзасновники:
Центральноукраїнський національний технічний університет
Інженерна академія України
Одеська державна академія технічного регулювання та якості

Cofounders:
Центральноукраїнський національний технічний університет
Engineering Academy of Ukraine
Odessa State Academy of Technical Regulation and Quality

ISSN 2519-8793 ISSN 2519-8793

УДК 621.317.28

¹А. В. Рудик, д.т.н., доцент
²В. А. Рудик
²М. І. Матей

ПРИСТРОЇ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ШУМІВ ОПЕРАЦІЙНИХ ПІДСИЛЮВАЧІВ

¹Національний університет водного господарства і природокористування (м. Рівне), a.v.rudyk@nuwm.edu.ua

²Київський національний університет будівництва і архітектури

Розглянуто питання вимірювання теплового шуму операційного підсилювача з постійною спектральною густиною, при цьому в процесі вимірювання обидва джерела шуму вважаються незалежними та стаціонарними. Отримані в роботі співвідношення перевірені експериментально за допомогою штучних джерел білого шуму, при цьому різниця між теоретичними та експериментальними значеннями спектральної потужності шуму не перевищувала 1.3 дБ. Використання інтеграторного пристрою вибірки та зберігання у вимірювальній схемі дозволяє істотно зменшити вплив паразитних ємностей та зовнішніх наводок на результат вимірювання. Запропонований метод дозволяє точно вимірювати шумові параметри навіть малошумливих операційних підсилювачів з уніполярними транзисторами на вході.

Ключові слова: операційний підсилювач, методи вимірювання, тепловий шум, дробовий шум, флікер-шум, білий шум, пристрій вибірки та зберігання, інтегратор, спектральна потужність шуму.

Вступ

Шуми реального операційного підсилювача (ОП) можна змоделювати за допомогою двох незалежних джерел, а саме джерелами шумової напруги та шумового струму, включеними безпосередньо на вході ідеального ОП. При оцінці обох цих складових, приведених до входу ОП, виникають дві основні проблеми [1]:

- на виході реального ОП формується змішаний сигнал, що приводить до необхідності розділення цих складових;
- спектральна густина потужності шуму обох джерел порівняно мала, тому вимірювання їх параметрів можливе лише при достатньо великому підсиленні підсумкового шумового сигналу.

Спектральні характеристики власного шуму ОП досліджені досить ретельно, тому тут виділяють три основних діапазони частот [2]:

- діапазон, в якому спектральна густина практично стала (тепловий та дробовий шуми);
- діапазон до 1 кГц, в якому спектральна густина збільшується при зменшенні частоти пропорційно $\frac{1}{f}$ (флікер-шуми);
- діапазон вище 1 МГц, де спектральна густина шуму зростає пропорційно частоті.

Також в практичних випадках виділяють інфранизькочастотний імпульсний шум ОП.

В роботі в основному розглядаються питання вимірювання теплового шуму ОП з постійною спектральною густиною, при цьому в процесі вимірювання обидва джерела шуму вважаємо незалежними та стаціонарними.

Постановка задачі

В статті необхідно:

- 1) розглянути вимірювання теплового шуму ОП з постійною спектральною густиною;
- 2) отримані в роботі співвідношення перевірити експериментально за допомогою штучних джерел білого шуму;
- 3) з'ясувати можливість використання запропонованого методу для вимірювання шумових параметри малошумливих ОП з уніполярними транзисторами на вході.

Викладення основного матеріалу

В загальному випадку відомо [3], що вимірювання шумової напруги та шумового струму ОП можливо тільки при підключенні до входу ОП активних опорів з регульованими параметрами. Еквівалентна схема такого ОП з джерелами шуму U_R та I_R наведена на рис. 1.

Для даної схеми справедливі такі формули:

$$\frac{U_{\text{ш}}^2}{df} = \left(\frac{U_R^2}{df} + \frac{I_R^2}{df} R_{\Sigma}^2 + 4kTR_{\Sigma} \right) \cdot \frac{K^2 K_0^2}{(K_0 + K)^2} \cdot \frac{1}{1 + \omega^2 \tau^2 \left(\frac{K}{K_0 + K} \right)^2}; \quad (1)$$

$$K = 1 + \frac{R_{33}}{R_1}; \quad (2) \quad R_{\Sigma} = \frac{R_1 R_{33}}{R_1 + R_{33}}, \quad (3)$$

де $U_{\text{ш}}$ – вихідна шумова напруга; df – ширина

смуги пропускання ОП; U_R та I_R – шумові напруга і струм; K_0 – коефіцієнт підсилення розімкненого ОП; τ – стала часу ОП, яка визначається його граничною частотою $\left(\tau = \frac{1}{\omega_{гр}}\right)$; k – стала Больцмана; T – температура, К; ω – частота; K – коефіцієнт підсилення неінвертувального ОП; R_{33} – опір кола зворотного зв'язку ОП.

Обидва джерела шуму U_1 та U_2 (рис. 1) входять до (1) з різними ваговими коефіцієнтами. Тому можна виділити вже три складові підсумкового шуму: шумова напруга, шумовий

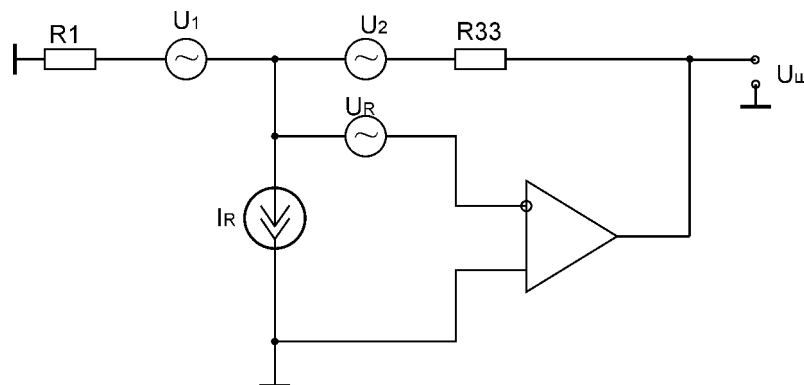


Рис. 1. Еквівалентна схема операційного підсилювача з джерелами шумових напруги та струму

Допустимий діапазон зміни величини R_{Σ} обмежений паразитними ємностями схеми, які можуть суттєво впливати на точність вимірювань (особливо при великих значеннях R_{Σ}). Найбільш помітним таким вплив буде при вимірюванні шумового струму. Наявність паразитної ємності може призвести до різкого збільшення або різкого зменшення коефіцієнта підсилення ОП в різних діапазонах частот, а також до самозбудження схеми. Корекція частотних характеристик вимірювальної схеми розрахунковим способом в більшості випадків буде неефективною через складності та неточності аналітичних співвідношень, що описують функціонування схеми з врахуванням паразитних параметрів елементів. Крім того, при великих R_{Σ} схема буде чутливою до паразитних завад та наводок, тобто необхідно приймати ефективні заходи щодо підвищення її заводозахищеності.

Розглянуті причини істотно обмежують максимально досяжний коефіцієнт підсилення досліджуваного ОП у вимірювальній схемі рис. 1 та можливості розділення обох джерел шуму.

струм та резистивний шум схеми. Так, при великих значеннях R_{Σ} на вихідний сигнал в основному впливає шумовий струм, а при малих значеннях R_{Σ} – шумова напруга. Тому при вимірюванні шумової напруги опір резистора R_1 вибирають порівняно малим, а опір резистора R_{33} – порівняно великим. При цьому резистивні шуми за відомими значеннями R_1 та R_{33} враховуються аналітично. Зазначимо, що діапазон вимірювань визначається частотними характеристиками ОП відповідно до формули (1) [4]. Вимірювання власне шумової напруги на виході ОП проводиться вольтметром СКЗ.

Вимірювання шумового струму ОП з уніполярними транзисторами на вході таким способом практично неможливо. В деякій мірі проблема недостатнього підсилення шумового сигналу розв'язується шляхом підключення допоміжного, достатньо широкосмугового малошумливого підсилювача. При цьому в деяких випадках доцільним є підключення не підсилювача, а корелятора для придушення взаємозалежних складових шуму обох підсилювачів. Однак такий спосіб розв'язання проблеми призводить до істотного збільшення апаратних затрат в процесі вимірювань [5].

Тому розглянемо метод вимірювання шумів ОП, оснований на періодичному оцінюванні у вимірювальній схемі рівня миттєвого шуму ОП пристроєм вибірки та зберігання (ПВЗ). Власне вимірювання проводяться на другому етапі перетворення отриманої дискретизованої за часом послідовності в неперервний аналоговий сигнал, який відображає досліджуваний шумовий сигнал. Однією з основних вимог до дискретних пристроїв такого типу є виключення можливості накладання спектрів, що забезпечується виконанням умови теореми Котельникова.

Таким чином, досліджуваний шумовий сиг-

нал за допомогою дискретних схем може перетворюватися тільки в обмеженому діапазоні частот, який визначається частотою вибірки. Якщо ж ПВЗ реалізовано за інтеграторною схемою, то основному підсиленню підлягають шуми в низькочастотній області. Обидва цих положення і обумовлюють можливість дослідження неперервного шуму ОП тільки за допомогою ПВЗ інтеграторного типу [6].

Еквівалентна схема пристрою, що реалізує перетворення неперервного білого шуму в дискретний за часом сигнал за допомогою інтеграторного ПВЗ, наведена на рис. 2. Тут реальна частотна характеристика ОП апроксимується колом фільтра низьких частот (ФНЧ) першого порядку, при цьому одночасно враховуються джерела шумового струму та шумової напруги [7].

В такій схемі реальні ключі представлені ідеальними елементами комутації, послідовно з якими включені відповідні джерела шуму. Ключі S1 і S2 та S3 і S4 працюють синхронно, при цьому в одній фазі процесу вибірки відкриті ключі S1 та S2, а в другій – S3 та S4. Ключ S5 в ідеальному ПВЗ відкривається лише протягом короткого інтервалу часу наприкінці фази зберігання. Аналіз роботи схеми, наведеної на рис. 2, дозволяє отримати підсумкове співвідношення для спектральної густини потужності

шуму на виході [8]:

$$\frac{U_{III}^2}{df} = \frac{1}{f_S} \left[\frac{S_1^+ K_R^2}{4 \sin^2 \frac{\omega \tau_S}{2}} + S_2^+ \right] \times \left(\frac{\sin \frac{\omega \tau_S}{2}}{\frac{\omega \tau_S}{2}} \right)^2, \quad (4)$$

де

$$S_1^+ = \frac{1}{2RC_R} \left(4kTRF_1 + \frac{U_R^2}{df} F_2 + \frac{I_R^2}{df} R^2 F_3 \right); \quad (5)$$

$$S_2^+ = \frac{U_R^2}{df} \cdot \frac{\omega_T}{2}; \quad (6)$$

$$K_R = -\frac{K_0 C_R}{(K_0 + 1)C + C_R} \approx -\frac{C_R}{C}; \quad (7)$$

$$F_1 = \frac{2C(1 + \omega_T R C_R) + C_R}{C(1 + \omega_T R C_R) + C_R}; \quad (8)$$

$$F_2 = \frac{\omega_T R C_R C}{C(1 + \omega_T R C_R) + C_R}; \quad (9)$$

$$F_3 = \frac{2}{f_S R C_R} - \frac{2 + F_1}{\omega_T R C}; \quad (10)$$

$f_S = \frac{1}{\tau_S}$ – частота вибірки; ω_T – миттєва частота; R – опір двох послідовно включених ключів.

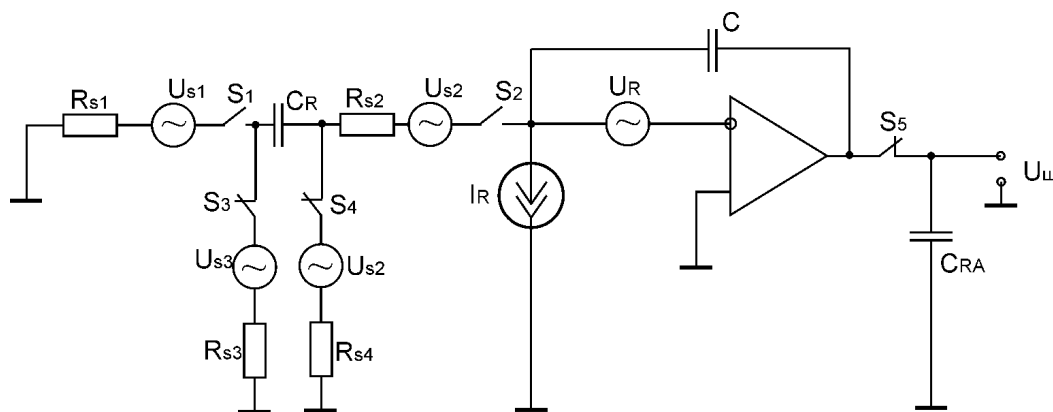


Рис. 2. Еквівалентна схема перетворювача неперервного білого шуму в дискретний сигнал за допомогою інтеграторного ПВЗ

В даному випадку покладають, що ключі S1...S4 в першому наближенні мають однакові шумові характеристики та однаковий опір в замкненому стані. Фактично складова вихідної напруги, обумовлена дією цих джерел, є завадою по відношенню до корисного сигналу, викликаного дією власних шумів ОП.

На практиці для проведення вимірювань за допомогою схеми, наведеної на рис. 2, та одно-

часного розділення шумового струму та шумової напруги ОП мають виконуватися такі умови:

- при вимірюванні шумового струму C_R , f_S , C , ω_T та ω мають вибиратися порівняно малими, а R має бути порівняно великим;
- при вимірюванні шумової напруги R , C та ω мають приймати малі значення, а C_R , f_S та ω_T – великі.

При виводі співвідношення (4) до уваги приймалися такі припущення [9]:

$$\tau_S > RC_R; \quad \tau_S > RC; \quad \tau_S > \frac{C + C_R}{\omega_T C}. \quad (11)$$

Аналіз співвідношення (4) дозволяє зробити висновки про величину вихідного вимірювального сигналу в залежності від параметрів схеми. Так, при малих значеннях C та ω рівень вимірювального сигналу достатньо великий.

Розділення обох складових вихідного шуму ОП можливий при відповідному виборі значень C_R та f_S . Наведені вище співвідношення (4) – (10) були перевірені експериментально за допомогою штучних джерел білого шуму [5, 10]. При цьому різниця між теоретичними та експериментально отриманими значеннями спектральної потужності шуму не перевищувала 1.3 дБ. Використання інтеграторного ПВЗ у вимірювальній схемі дозволяє в значній мірі зменшити вплив паразитних ємностей та зовнішніх наводок на результат вимірювання.

Запропонований метод гарантує достовірні результати тільки для білого шуму ОП. В той самий час шум реального ОП має рівномірну спектральну густину в досить широкому діапазоні частот, тому розглянуті обмеження будуть справедливими для області середніх частот [11].

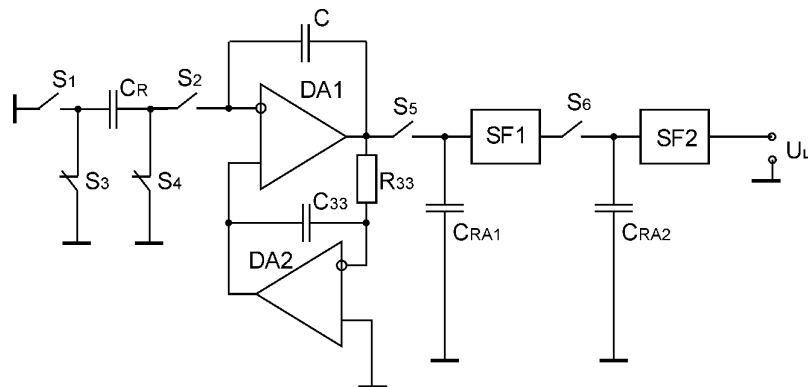


Рис. 3. Структурна схема вимірювального пристрою

Коефіцієнт підсилення запропонованої схеми для шумового сигналу та, відповідно, і рівень вихідного вимірювального сигналу значно більше, ніж у відомих пристроїв аналогічного призначення. Крім того, запропонована схема забезпечує більш надійне та ефективне розділення обох шумових складових ОП (особливо при вимірюванні шумового струму), що дозволяє з досить високою точністю вимірювати шумові струми операційних підсилювачів з уніполярними транзисторами на вході [13].

Структурна схема вимірювального пристрою, в якому реалізується описаний метод, наведена на рис. 3. В ній досліджуваний ОП DA1 включений безпосередньо до схеми інтеграторного ПВЗ. Для стабілізації режиму його роботи (компенсації дрейфу нуля) використовується ОП DA2. Крім того, необхідна стабільність роботи забезпечується відповідним вибором сталої часу інтегрування $R_1 C_1$. Ключі відкриваються та закриваються по чергово протягом повного періоду роботи ПВЗ, при цьому синхронно працюють ключі S1, S2 та S6 і S3, S4 та S5. Функції ідеального ПВЗ (ключ S5 та конденсатор C_{RA} на рис. 2) тут виконують послідовно включені ПВЗ SF1 та SF2, які працюють в протифазі [6]. В цьому випадку виключається вплив перехідних процесів в реальних ПВЗ на результат вимірювання, а час зберігання дорівнює τ_S . Миттєві значення шуму на виході ПВЗ в даному випадку є дуже малим у порівнянні з шумами інтегратора та, відповідно, досліджуваного ОП. Власне вимірювання вихідної напруги шуму відбувається за допомогою вольтметра середньоквадратичних значень [7, 12]. Таким чином, апаратні витрати при використанні розглянутої методики значно менше, ніж при застосуванні відомих методів.

Для розглянутої методики існують обмеження на можливості вимірювання малих значень шумового струму та шумової напруги для схеми з конкретними параметрами, що визначаються такими співвідношеннями [14]:

$$\frac{I_R^2}{df} > 4kTC_R f_S; \quad \frac{U_R^2}{df} > \frac{4kT}{\omega_T C}. \quad (12)$$

Так, при $f = 1$ кГц, $f_T = 1$ МГц, $R = 250$ Ом, $T = 300$ К при вимірюванні шумового струму ($C_R = C = 10$ пФ, $f_S = 100$ кГц) отримуємо

$\frac{I_R}{\sqrt{df}} > 40 \frac{\text{фА}}{\sqrt{\text{Гц}}}$, а при вимірюванні шумової напруги ($C_R = 10 \text{ пФ}$, $C_R = 1 \text{ нФ}$) отримаємо $\frac{U_R}{\sqrt{df}} > 16 \frac{\text{нВ}}{\sqrt{\text{Гц}}}$.

Таким чином, запропонований метод дозволяє досить точно вимірювати шумові параметри навіть малошумливих ОП з уніполярними транзисторами на вході. Так, для ОП типу TL066CP було експериментально отримано такі значення еквівалентного шуму, приведеного до

входу: $\frac{I_R}{\sqrt{df}} = 40 \frac{\text{пА}}{\sqrt{\text{Гц}}}$; $\frac{U_R}{\sqrt{df}} = 75 \frac{\text{нВ}}{\sqrt{\text{Гц}}}$.

Вимірювання шумового струму такого рівня традиційними методами практично неможливо, а вимірювання значення шумової напруги з достатньо високою точністю збігається з результатами попередніх вимірювань відомими методами.

Висновки

1. Розглянуто питання вимірювання теплового шуму ОП з постійною спектральною густиною; в процесі вимірювання обидва джерела шуму вважаються незалежними та стаціонарними.

2. Отримані в роботі співвідношення були перевірені експериментально за допомогою штучних джерел білого шуму, при цьому різниця між теоретичними та експериментальними значеннями спектральної потужності шуму не перевищувала 1.3 дБ. Використання інтеграторного ПВЗ у вимірювальній схемі дозволяє істотно зменшити вплив паразитних ємностей та зовнішніх наводок на результат вимірювання.

3. Запропонований метод дозволяє точно вимірювати шумові параметри навіть малошумливих ОП з уніполярними транзисторами на вході.

Список літературних джерел

1. Достал, И. Операционные усилители / И. Достал. – М.: Мир, 1982. – 512 с.
2. Суходоев, И. В. Шумы в электрических цепях / И. В. Суходоев. – М.: Связь, 1975. – 352 с.
3. Мэддок, Р. Дж. Эквивалентные схемы в электронике / Р. Дж. Мэддок. – М.: Энергия, 1972. – 328 с.

4. Соклоф, С. Аналоговые интегральные схемы / С. Соклоф. – М.: Мир, 1988. – 583 с.

5. Ван дер Зил, А. Шум – источники, описание, измерение / А. Ван дер Зил. – М.: Радио и связь, 1973. – 228 с.

6. Мулявка, Я. Схемы на операционных усилителях с переключаемыми конденсаторами / Я. Мулявка. – М.: Мир, 1992. – 416 с.

7. Нарышкин, А. К. Теория низкочастотных шумов / А. К. Нарышкин, А. С. Врачёв. – М.: Энергия, 1972. – 153 с.

8. Рудик, А. В. Вимірювання шумів операційних підсилювачів / А. В. Рудик // Сучасні проблеми радіоелектроніки, телекомунікацій та приладобудування: Матеріали 1-ої міжнародної НТК. – Вінниця. – 2005. – Т.36. – С. 14÷15.

9. Рудик, А. В. Наукові основи та принципи побудови приладової системи вимірювання прискорення мобільного робота: дис. на здоб. наук. ступ. д.т.н. / А. В. Рудик. – Київ : НТУ України «КПІ імені Ігоря Сікорського», 2018. – 460 с.

10. Рудик, А. В. Метод вимірювання шумів операційних підсилювачів / А. В. Рудик, В. А. Рудик, В. М. Михалко // Авіа-2013. Матеріали 6-ої міжнародної НПК. – Київ, НАУ, 2013. – С. 1.77÷1.80.

11. Рудик, А. В. Пристрої для вимірювання електричної ємності мікромеханічних давачів навігаційних систем мобільних роботів та її відхилення від номінального значення / А. В. Рудик // Вісник Житомирського державного технологічного університету. Серія: Технічні науки. – 2016. – № 3 (78). – С. 93-103.

12. Rudyk, A. V. Analysis of the errors of MEMS accelerometers by the Allan variation method / A. V. Rudyk // Вісник Житомирського державного технологічного університету. Серія: Технічні науки. – 2017. – № 1. – С. 100-109.

13. Рудик, А. В. Використання медіанної та діагностичної фільтрації в мобільних робототехнічних комплексах для попередньої обробки сигналів / Збірник наукових праць Одеської державної академії технічного регулювання та якості, № 1 (8), 2016 р., С. 73÷78.

14. Рудик, А. В. Наукові основи та принципи побудови приладової системи вимірювання прискорення мобільного робота: Монографія / А. В. Рудик, В. П. Квасніков. – Харків: Мачулін, 2018. – 272 с.

УДК 621.317.28

ВПЛИВ ВИСОКОЧАСТОТНОЇ ФІЛЬТРАЦІЇ НА ФАЗОВІ ФЛУКТУАЦІЇ ВІДФІЛЬТРОВАНОГО СИГНАЛУ

А. В. Рудик, Н. І. Лісовець // Вісник Інженерної академії України. - 2020. - № -1. С.

З'ясовано, що і амплітудна, і фазова флуктуації вхідного сигналу фільтра впливають на фазові флуктуації відфільтрованого сигналу. Експериментально досліджено вплив білого шуму на короткочасну стабільність частоти з п'ятьма різними ФНЧ на вході лічильника. За результатами проведених досліджень зроблено висновок, що якщо частота зрізу фільтра менше середньої частоти сигналу, то стабільність частоти відфільтрованого сигналу зменшується, тоді як інші теорії фільтрації фази передбачають її збільшення.

Ключові слова: частота, стабільність частоти, фазові флуктуації, фільтрація сигналів, короткочасна стабільність частоти, фільтр низьких частот, передавальна функція, дисперсія Алана, частота зрізу, модуляція сигналу, флікер-шум, білий шум.

УДК 621.317.28

ПРИСТРОЇ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ШУМІВ ОПЕРАЦІЙНИХ ПІДСИЛЮВАЧІВ

А. В. Рудик, М. І. Матей // Вісник Інженерної академії України. - 2020. - № -1. С.

Розглянуто питання вимірювання теплового шуму операційного підсилювача з постійною спектральною густиною, при цьому в процесі вимірювання обидва джерела шуму вважаються незалежними та стаціонарними. Отримані в роботі співвідношення перевірені експериментально за допомогою штучних джерел білого шуму, при цьому різниця між теоретичними та експериментальними значеннями спектральної потужності шуму не перевищувала 1.3 дБ. Використання інтеграторного пристрою вибірки та зберігання у вимірювальній схемі дозволяє істотно зменшити вплив паразитних ємностей та зовнішніх наводок на результат вимірювання. Запропонований метод дозволяє точно вимірювати шумові параметри навіть малошумливих операційних підсилювачів з уніполярними транзисторами на вході.

Ключові слова: операційний підсилювач, методи вимірювання, тепловий шум, дробовий шум, флікер-шум, білий шум, пристрій вибірки та зберігання, інтегратор, спектральна потужність шуму.

УДК 621.396

ВИБІР ІНФОРМАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ СИНХРОНІЗАЦІЇ СИГНАЛУ, ЩО ПРИЙМАЄТЬСЯ СИСТЕМОЮ СУПУТНИКОВОГО ЗВ'ЯЗКУ ПРИ КУТОВІЙ ДЕМОДУЛЯЦІЇ СИГНАЛУ

Гуровський О.Л., Еліссаві К. К. // Вісник Інженерної академії України. - 2020. - № -1. С.

В статті розглянуті питання вибору та обґрунтування інформаційної технології для побудови та застосування схеми синхронізації вхідного сигналу фазокогерентною системою зв'язку при кутовій демодуляції сигналу, що передається супутниковою системою зв'язку. Метою статті є вибір інформаційної технології та обґрунтування її застосування в системах синхронізації для підвищення точності синхронізації сигналу, що приймається системою супутникового зв'язку при кутовій демодуляції сигналу. Задача, що вирішується – на основі вибраної інформаційної технології дослідити доцільність її застосування на основі оцінки можливості систем фазової синхронізації замкнутого та комбінованого типу щодо підвищення точності синхронізації сигналу, що приймається системою супутникового зв'язку при кутовій демодуляції сигналу. Отримані наступні результати: проведено вибір інформаційної технології та на її основі здійснено аналіз систем синхронізації замкнутого та комбінованого типу; визначені їх невідповідності та переваги щодо підвищення точності синхронізації сигналу під час стеження за несучою частотою при кутовій демодуляції сигналу. Висновки: в якості інформаційної технології побудови систем синхронізації в статті запропоновано інваріантний підхід, при якому визначається можливість поданих в статті схем побудови системи синхронізації до підвищення динаміки та порядку астатизму, зменшення сталих та перехідних помилок; показано, що при обліку адитивного гаусівського шуму і нестабільності генераторів, прагнення мінімізувати дисперсію фазової помилки в класі замкнутих систем синхронізації викликає погіршення динаміки системи та не дозволяє збільшити порядок астатизму; комбінована сис-

ТЕОРЕТИЧНИЙ І НАУКОВО-ПРАКТИЧНИЙ ЖУРНАЛ
ІНЖЕНЕРНОЇ АКАДЕМІЇ УКРАЇНИ



В І С Н И К
ІНЖЕНЕРНОЇ АКАДЕМІЇ УКРАЇНИ

ВИПУСК 1 2020

Підп. до друку 02.03.2020р. Формат 60×84/8. Папір офсет. № 1.
Гарнітура Тип Таймс. Друк офсет. Ум. друк. арк. 33,1
Обл.-вид. арк. 35,6. Наклад 300 прим.

Віддруковано: СПД «Андрієвська Л.В.»
м. Київ, вул. Бориспільська, 9,
Свідоцтво серія ВОЗ № 919546 від 19.09.2004 р