

МОДЕЛЬ ВИНИКНЕННЯ ВЛАСНИХ ШУМІВ У ВХІДНИХ ПРИСТРОЯХ ПРИЙМАЛЬНИХ СИСТЕМ

Проаналізовано існуючі моделі власних шумів у приймальних системах, визначено їх недоліки. Запропонована модель власних шумів на основі одночасної багатопараметричної модуляції гармонічних коливань та її математична інтерпретація.

Ключові слова: власні шуми, підсилювач, приймальна система, математична модель.

O. P. KUSHYM, R. I. BEZNOSIUK, D. S. HROMOVYI, A. S. MELNYCHUK
Vinnytsya national technical university

MODEL FOR APPEARANCE OF INTRINSIC NOISE IN INPUT DEVICES OF RECEIVING SYSTEMS

The existing models of intrinsic noise in the receiving systems were analyzed, their flaws were defined. The mathematical model of intrinsic noise is proposed based on multifactor simultaneous modulation of harmonic oscillations.

Keywords: intrinsic noise, amplifier, receiving system, mathematical model.

Постановка задачі

Шумом називаються будь-яке електричне явище, яке маскує корисний сигнал. В більш вузькому розумінні шум – це випадкові збудження фізичної природи, які рееструються технічними системами [1]. Ці випадкові некорисні сигнали розглядаються як сукупність випадкових функцій часу, а для їх обробки використовують апарат математичної статистики.

Розрізняють зовнішні та внутрішні шуми. Чутливість приймальних систем та підсилювальних елементів визначається в першу чергу внутрішніми шумами, які виникають в пасивних елементах підсилювачів та активних елементах, робота яких пов'язана з наявністю керованих потоків електронів [2]. Власні шуми електронних пристроїв залежно від властивостей, джерел та механізмів їх виникнення поділяють на теплові, прості дробові, генераційно-рекомбінаційні, вибухові, $1/f$ -шуми.

Незважаючи на те, що існують методи активного гасіння шумів [3–5], їх математичні та фізичні моделі потребують вдосконалення [6].

Аналіз існуючих еквівалентних схем

Вхідні пристрої приймальних систем в більшості випадків являють собою чотириполюсники. При аналізі шумових характеристик чотириполюсника (наприклад, підсилювача) користуються наступними еквівалентними схемами, в яких генератори шуму виносяться за межі власне безшумного підсилювача.

1. Еквівалентна схема з зовнішніми генераторами шуму, в якій вони подаються одночасно на вході та виході чотириполюсника. Можливі варіанти подання генераторів шумів [6]:

- з замороченим входом і замороченим виходом;
- з замороченим входом та виходом в режимі холостого ходу;
- з входом в режимі холостого ходу і замороченим виходом;
- з входом і виходом в режимі холостого ходу.

При аналізі шумових еквівалентних схем можна прийти до висновку, що перші два варіанти включення реально в чистому вигляді не зустрічаються. Слід виділити наступні недоліки вказаних еквівалентних схем:

- закорочення входу веде до неможливості отримання сигналу інформаційною системою;
- закорочення виходу призводить до аналогічної ситуації, оскільки дана система не може передати інформацію назовні;
- вхід в режимі холостого ходу реалізує ситуацію, коли до пристрою не підключене зовнішнє джерело сигналу;
- вихід в режимі холостого ходу відповідає ситуації, коли до пристрою не підключений приймач інформації.

Якщо хоча б один з вказаних варіантів має місце у реальній системі, то він робить її функціонування недоцільним, бо завданням вхідних пристроїв будь-якої системи є насамперед отримання, первинна обробка та передача інформації [6]. З іншого боку, дослідження поведінки власних шумів чотириполюсника зводиться до їх оцінки лише в межах деякого інтервалу, наприклад, шуми при замороченому вході та в режимі холостого ходу.

2. Еквівалентні схеми з зовнішніми генераторами шуму, в яких вони подаються приведеними або до входу, або до виходу чотириполюсника [6].

Такі схеми мають подібні недоліки до попередніх еквівалентних схем, але в цьому випадку до них додаються проблеми врахування можливих нелінійних спотворень в чотириполюснику, врахування наявності кореляційних зв'язків між винесеними генераторами власних шумів та інше. Крім того, наведені схеми не враховують фізичного механізму виникнення власних шумів, законів їх розподілу, складових тощо.

Наведені еквівалентні шумові схеми чотириполюсників є прийнятними лише тоді, коли досліджувані системи подаються у вигляді «чорної скриньки» і другорядна інформація про об'єкт дослідження відсутня. Одержання додаткової інформації про будову і функціонування об'єкту вимагає також збільшення об'єму початкових відомостей про його властивості, чого наведені класичні еквівалентні шумові схеми чотириполюсників не дозволяють здійснити.

Вирішення задачі

Для усунення вказаних недоліків та вад пропонується модель шумових процесів на основі одночасної багатопараметричної модуляції гармонічних коливань. Її синтез проводився з урахуванням наступних особливостей. В реальних умовах власні шуми підсилювача доцільно розглядати як шуми, які створюються нелінійними елементами R , L , C і активними пристроями (модульовані коливання) під дією зовнішніх факторів, які ведуть до зміни їх характеристик. Доказом такому припущенню може слугувати еквівалентна схема генератора Ван-дер-Поля, на який діє зовнішній генератор струму (рис. 1) [7]. А оскільки генератор коливань і підсилювач в більшості випадків мають подібну з точки зору структури будову (генератор можна реалізувати на підсилювачі, у якому є позитивні зворотні зв'язки), то з певним наближенням дана схема відображатиме й деякі процеси, що мають місце в підсилювачах.

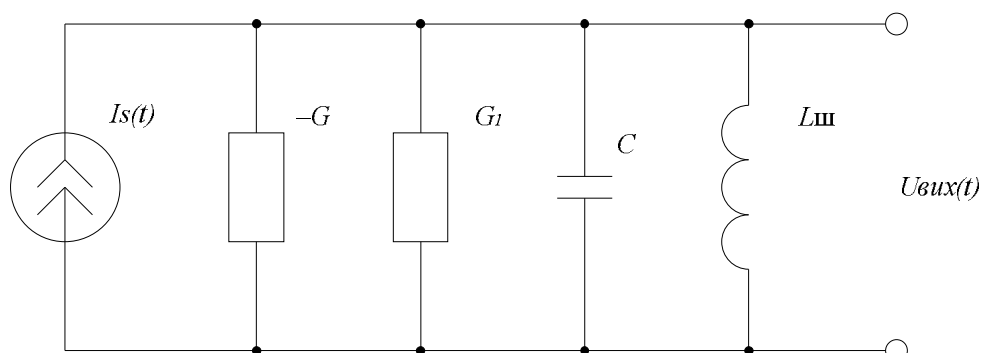


Рис. 1. Еквівалентна схема генератора коливань, на який діє зовнішнє джерело струму $I_s(t)$:
 G – провідність, завдяки якій здійснюється процес генерації, G_1 – провідність, електричних з'єднань та елементів,
 C – паразитні та корисні ємнісні елементи, $L_{ш}$ – паразитні індуктивності (виводів, електричних з'єднань та ін.),
 $U_{вих}(t)$ – напруга на виході генератора

Використання моделі шумів підсилювача, джерелами яких виступають нелінійні RLC-структури, і про спорідненість якої з реально існуючими структурами свідчать подібні рівняння опису квантових явищ [8], дозволяє знайти вагоме теоретичне обґрунтування запропонованого підходу.

До складу такої схеми підсилювача, по аналогії з генератором коливань, повинні входити індуктивні, ємнісні елементи, елементи провідності, а також елементи комутації (рис. 2).

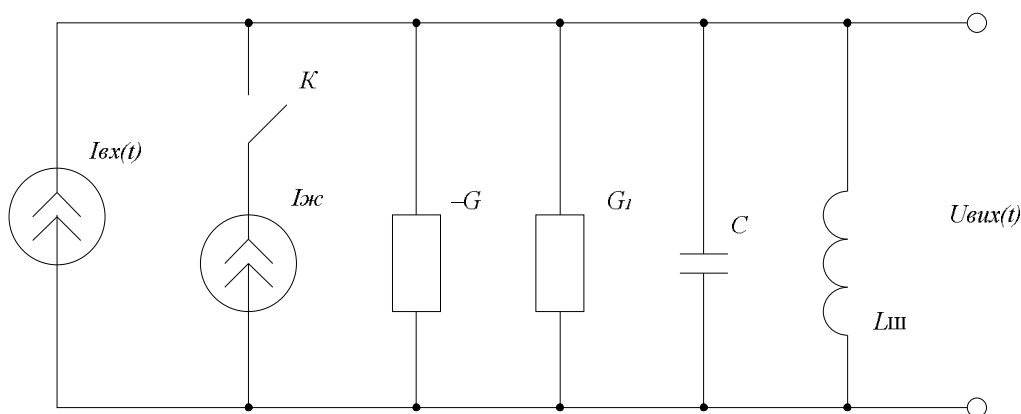


Рис. 2. Еквівалентна схема підсилювача, власні шуми якого подані паралельним генератором струму

Відмінність цієї еквівалентної схеми від відомих є те, що у ній власні шуми представлені через паралельний генератор струму, при цьому $I_{вх}(t)$ – сигнал на вході підсилювача, K – ключ, $I_{жс}$ – струм джерела живлення.

У випадку, коли $G > G_1$, система перебуває у нестійкому положенні, і внутрішні шуми системи запускають коливання у підсилювачі.

Слід зазначити, що однією з переваг даної еквівалентної схеми є можливість передбачити і пояснити, наприклад, виникнення $1/f$ -шуму в підсилювачі (елементи $-G$); процес швидкого формування флуктуацій за рахунок внесення енергії ззовні (замкнений ключ K) та їх повільної релаксації при внесенні енергії ззовні, а також появу внутрішніх шумових коливань завдяки контурам LC , чого існуючі еквівалентні шумові схеми чотириполюсників не дозволяють здійснити. Єдиний елемент, який варто було б видалити в

ідеалізованій моделі, але якого не можна усунути в реальних системах – це паразитна індуктивність $L_{ш}$, через яку можлива поява певних коливальних процесів під дією зовнішніх впливів (імпульсні наведення, наведення мережі тощо). Ємнісні елементи за таких умов дозволяють отримувати (імітувати) деякі види шумів іншої природи, наприклад, тепловий (використання великої кількості LC -контурів). Наявність в реальному чотириполоснику нелінійних елементів $-G$ ($-1/R$), G_1 ($1/R_1$), L , C , при чому зі

змінними в часі параметрами (які змінюються під впливом зовнішніх та внутрішніх факторів), є основою для припущення, що власні шуми підсилювача можна подати через сукупність гармонічних функцій, які модулюються по амплітуді, частоті, фазі, а також в часі (амплітудно-імпульсна, фазо-імпульсна, частотно-імпульсна, широтно-імпульсна та кодо-імпульсна модуляція).

Для опису шумових процесів пропонується математична модель такого вигляду:

$$X(t) = \sum_{i=1}^n A_{0i} \left(1 + M_{A_i} \cdot \cos(\Omega_i \cdot t + q_i)\right) \cdot \cos(w_i \cdot t + j_i) + \\ + \sum_{j=1}^m A_{0j} \cdot \cos((w_j + \Omega_j) \cdot t + j_j) + \sum_{k=1}^z A_{0k} \cdot \cos(w_k \cdot t + (j_k + y_k)) + \\ + \sum_{r=1}^q A_{0r} \cdot h(t - t_r) \cdot \cos(w_r \cdot t + j_r) + \dots \quad (1)$$

В цій моделі:

A_{0i} , A_{0j} , A_{0k} , A_{0r} – відповідно амплітуди гармонік, які модулюються по амплітуді, частоті, фазі, а також у часі (часово-імпульсна модуляція);

M_{A_i} – коефіцієнт глибини амплітудної модуляції (його значення може бути випадковим);

Ω_i , Ω_j – відповідно частоти коливань, які виконують модуляцію (модулюючий сигнал), при цьому Ω_i стала, а Ω_j має випадковий характер;

j_i , j_j , j_k , j_r – початкові фази коливань;

y_k – фаза випадкової величини, яка здійснює фазову модуляцію;

$h(t - t_r)$ – одинична функція, яка враховує випадковий характер модульованих в часі процесів;

n , m , z , q – числа гармонік відповідно по кожному з видів модуляції: амплітудній, частотній, фазовій та часово-імпульсній.

Таким чином, випадковий сигнал можна подати у вигляді суми трьох модульованих сигналів (по амплітуді, фазі та частоті). Аналіз моделювання таких сигналів дозволив виявити закономірність, що при модуляції за допомогою простих гармонічних функцій спектр отриманого шумового сигналу подібний до спектру флікер-шуму (шуму $1/f$), а поступове ускладнення модулюючих функцій призводить до розширення спектру отриманого сигналу. При випадкових збурюючих діях спектр модельованого шумового сигналу нагадує тепловий (білий шум).

Отже, з викладеного можна стверджувати, що будь-які власні шуми підсилювача можна подати як суміш гармонічних сигналів, одночасно модульованих за декількома параметрами. Підтвердженням цьому в першому наближенні може слугувати розклад випадкового шумового сигналу в ряд Фур'є з нескінченною кількістю складових та з нескінченним періодом. Однак частотний діапазон, в якому можуть спостерігатись інтормодуляційні явища для запропонованої моделі, за рахунок наявності дробових гармонік практично, складає від 0 до одиниць терагерц (аж до світлового діапазону). Поява цих дробових складових робить практично неможливим аналіз даного шумового сигналу, наприклад, за допомогою розкладу в ряд Фур'є з нескінченним числом гармонік, оскільки він передбачає наявність деякої мінімальної граничної частоти f_0 , яка, як відомо, повинна бути відмінною від 0, та у зв'язку з трудомісткістю обчислень.

Подання відповідного типу модульованих коливань за допомогою перетворення Лапласа стикається з тією ж проблемою: в області низьких частот параметри коливань досить часто залишаються невідомими. При цьому для аналізу сигналу потрібен значний проміжок часу. Наприклад, для розгляду одного періоду коливання з частотою 0,05 ГГц необхідно не менше 20 с [6], що робить неможливим роботу більшості приймальних систем, які працюють в режимі реального часу.

Висновки

Було показано, що існуючі моделі власних шумів вхідних пристроїв приймальних систем мають значну кількість недоліків. Для усунення цих недоліків була запропонована фізична та математична модель шумових процесів на основі одночасної багатопараметричної модуляції гармонічних коливань. В основі моделі лежить принцип, що будь-які власні шуми підсилювача можна подати як суміш гармонічних сигналів, одночасно модульованих за декількома параметрами. Така модель дозволяє більш точно відобразити процес виникнення власних шумів у вхідних колах приймальних систем.

Література

1. Алиев Т. М. Измерительная техника / Т. М. Алиев, А. А. Тер-Хачатуров. – М. : Высшая школа, 1991. – 384 с.
2. Воллернер Н. П. Радиоприемные устройства / Н. П. Воллернер. – К. : Вища школа, 1993. – 391 с.
3. Семенов С. Г. Применение неадаптивных систем активного гашения с моделью передаточной функции для снижения шума медицинского оборудования / С. Г. Семенов // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета. – 2009. – № 4 (20). – С. 237–244.
4. Прокопенко Н. Н. Собственная компенсация шумов источника опорного напряжения в непрерывных компенсационных стабилизаторах / Н. Н. Прокопенко, А. С. Будяков, П. С. Будяков // Инженерный вестник Дона. – 2012. – № 3 (21). – С. 502–506.
5. Вольфовский Б. Н. Многократная автокорреляционная обработка и её возможности по обнаружению гармонического сигнала в смеси сигнала с шумом / Б. Н. Вольфовский // Информационное противодействие угрозам терроризма. – 2002. – № 1. – С. 91–99.
6. Захаров В. Е. Оптимальный прием и обработка сигналов / В. Е. Захаров. – Калининград : РГУ им. И. Канта, 2005. – 161 с.
7. Букингом М. Шумы в электронных приборах и системах / М. Букингом ; под ред. В. Н. Губанова. – М. : Мир, 1986. – С. 217–219.
8. Герценштейн М. Е. Возможная интерпретация квантовой механики с помощью радиофизики / М. Е. Герценштейн, И. А. Болошин // Зарубежная радиоэлектроника. – 1996. – № 1. – С. 100–104.

References

1. Aliev T. M. Izmeritel'naya tekhnika / T. M. Aliev, A. A. Ter-Khachaturov. – M. : Vyshaya shkola, 1991. – 384 p.
2. Vollerner N. P. Radiopriyomnye ustroystva / N. P. Vollerner. – K. : Vyscha shkola, 1993. – 391 p.
3. Sementsov S. G. Primeneniye neadaptivnykh sistem aktivnogo gasheniya s modelyu peredatochnoy funktsii dlya snizheniya shuma meditsynskogo oborudovaniya / S. G. Sementsov // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета. – 2009. – № 4 (20). – С. 237–244.
4. Prokopenko N. N. Sobstvennaya kompensatsiya шумов источника опорного напряжения в непрерывных компенсационных стабилизаторах / N. N. Prokopenko, A. S. Budyakov, P. S. Budyakov // Inzhenernyi vestnik Dona. – 2012. – № 3 (21). – P. 502–506.
5. Volfovskiy B. N. Mnogokratnaya avtokorrelyatsionnaya obrabotka I eyo vozmozhnosti po obnaruzheniyu гармонического сигнала в смеси сигнала с шумом / B. N. Volfovskiy // Informatsionnoe protivodeystvie ugrozam terrorizma. – 2002. – № 1. – P. 91–99.
6. Zakharov V. E. Optimalnyi priyom I obrabotka signalov / V. E. Zakharov. – Kaliningrad : RGU im. I. Kanta, 2005. – 161 p.
7. Buckingham M. Noise in electronic devices and systems / M. J. Buckingham. – NY. : John Wiley & sons, 1983. – P. 217–219.
8. Gertsenshteyn M. E. Vozmozhnaya interpretatsiya kvantovoy mekhaniki s pomoshchyu radiofiziki / M. E. Gertsenshteyn, I. A. Boloshin // Zarubezhnaya radioelektronika. – 1996. – № 1. – P. 100–104.

Рецензія/Peer review : 27.5.2014 р.

Надрукована/Printed : 25.6.2014 р.

УДК 615.47

В.С. СОЛОВЬОВА, М.Ф. БОГОМОЛОВ

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»

ОСОБЛИВОСТІ ПРОЕКТУВАННЯ УЛЬТРАЗВУКОВИХ МЕДИЧНИХ П'ЄЗОПЕРЕТВОРЮВАЧІВ

В роботі показано особливості вирішення задачі проектування медичного устаткування на прикладі ультразвукових перетворювачів.

Ключові слова: ультразвук, хвилевід.

V. SOLOVIOVA, M. BOGOMOLOV
NTUU "KPI", Kiev, Ukraine

FEATURES OF THE DESIGN ULTRASOUND MEDICAL PIEZOCONVERTERS

In the paper features of solving the problem of designing medical devices for example ultrasonic transducers.

Keywords: ultrasound waveguide.

Мета роботи

Проектування ефективних низькочастотних високоамплітудних ультразвукових п'єзоперетворювачів для терапії та хірургії, широкодіапазонних за параметрами навантаження і нових медичних технологій на їх основі.

Актуальність теми

Переваги ультразвукових перетворювачів для медицини, у тому числі для хірургії. Розробка і застосування ультразвукової низькочастотної хірургічної апаратури є одним з інтенсивно розвинутих напрямків.

Однак, незважаючи на досягнуті успіхи в області ультразвукових медичних технологій, останні