

УДК 621.382

Зеновій Колодій

Національний університет «Львівська політехніка»,
кафедра теоретичної радіотехніки і радіовимірювань**ЕЛЕКТРИЧНІ ФЛУКТУАЦІЇ – РІЗНІ СТОРОНИ
ОДНОГО ПРОЦЕСУ**

© Колодій Зеновій, 2001

Пропонується розгляд електричних флуктуацій з фундаментальних енергетичних позицій**Consideration of electric fluctuations from fundamental energetics position is proposed.**

При аналізі результатів вимірювань, особливо високоточних вимірювань, за допомогою електронної апаратури необхідно враховувати власні шуми апаратури – флуктуації напруги, струму на виході апаратури при відсутності вхідного сигналу. На сьогодні прийнята класифікація шумів електронної апаратури [1] та вивчаються їхні властивості, зокрема джерела електричних флуктуацій в твердотільних приладах [1, 2]. Слід відмітити також значимість вивчення шумових процесів як в електронних приладах, так і в інших системах, оскільки інформація, отримана при таких дослідженнях, є важливою при визначенні властивостей досліджуваних об'єктів [3].

Під час аналізу шумів в електронних приладах виникає закономірне запитання: чому для одного і того ж досліджуваного зразка, наприклад напівпровідника, є декілька джерел шумів – температура (тепловий рух) – для теплових шумів; структура та її дефекти – для генераційно-рекомбінаційних шумів, лавинних шумів тощо. Відповіддю на це запитання є підтверджені експериментальні результати про вплив відповідних параметрів (температури, технології виготовлення) на інтенсивність шумів. Вищенаведені шуми різняться і своїм частотним спектром: теплові шуми характеризуються рівномірним частотним спектром, генераційно-рекомбінаційні та лавинні шуми належать до низькочастотних шумів. Однак джерело одного типу шумів – низькочастотних із спектром пропорційним $1/f$ – на сьогодні остаточно не з'ясоване, хоча проявляються вони практично у всіх системах [4], тому їх можна вважати «об'єднуючим» типом флуктуацій.

Електричні флуктуації зручно було б вивчати, припустивши, що в дослідному зразку є єдине джерело їх генерації. Оскільки переважна більшість експериментальних досліджень шумів проводиться в умовах обмеженого впливу зовнішніх факторів на дослідний зразок, то його можна розглядати як ізольовану систему, в якій відбуваються незворотні процеси. Із термодинаміки відомо, що найбільш загальними параметрами системи є її внутрішня енергія E та ентропія S , зв'язок між якими встановлений через рівняння Гіббса [5]

$$E = A + TS,$$

де A – енергія, яку можна затратити на корисну роботу; T – температура системи.

Відомо також, що в ізольованій системі процеси відбуваються в одному напрямі, що характеризується зміною енергії ΔA (зменшується) та зміною ентропії ΔS (збільшується). Можна стверджувати, що саме ΔA , та ΔS зумовлюють флуктуаційні процеси в досліджу-

ваному зразку: при цьому ΔA пов'язана з інтенсивністю процесів, а ΔS із спектральним складом, причому спектральна густина флуктуацій $S(\omega)$ обернено пропорційна до ΔS . Таке представлення проблеми флуктуацій дає можливість розглядати досліджувану систему (у цьому випадку твердотільні електронні прилади) з фундаментальних енергетичних позицій. Зокрема, спектральну густина теплового шуму $S_T(\omega)$ можна було б представити у вигляді

$$S_T(\omega) = 4kTR = 4kR * \frac{\Delta Q}{\Delta S},$$

де ΔQ – теплова енергія системи; $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К – стала Больцмана; R – електричний опір дослідного зразка.

Генераційно-рекомбінаційні шуми можна розглядати як зміну енергії та структури досліджуваного зразка, а «всюдисущні» низькочастотні шуми із спектром, пропорційним $1/f$ – як флуктуаційні процеси, пов'язані із зменшенням ΔS при зменшенні f . Такий зв'язок ентропії ΔS і частоти f можна пояснити, зважаючи на поняття термодинаміки та кінетики руху носіїв заряду. Відомо, що ентропія є функцією стану системи і визначає ту енергію, яка може переходити в теплоту. Відомо також, що чим вища частота коливань частинок, що беруть участь у броунівському русі, тим більша імовірність розсіяння запасеної енергії та перетворення її в теплоту. Меншу частоту коливань мають частинки більшої маси, рух яких при їхній взаємодії набирає певних форм упорядкованості, що призводить до зменшення імовірності розсіяння запасеної енергії, а, відповідно, і до зменшення ентропії системи. При експериментальному підтвердженні зв'язку між ентропією ΔS системи та частотою коливань f можна ствердно відповісти на запитання про єдине джерело генерації фліккер-шумів.

Підхід до проблеми флуктуацій з енергетичних позицій вигідний ще й тим, що проблема матеріалу досліджуваного зразка відступає на другий план, даючи можливість порівнювати флуктуації в різних системах.

Наведена точка зору на електричні флуктуації, звичайно ж, не відкидає інших відомих і прийнятих на сьогодні підходів до вивчення шумів. Такі підходи можна розглядати як різні сторони одного процесу, підкреслюючи тим самим його багатогранність та інформаційну насиченість.

1. Букингем М. Шумы в электронных приборах и системах. М., 1986.
2. Анисимов М. П., Черевко А.Г. Флуктуационные явления в физико-химическом эксперименте. Н., 1986.
3. Стадник Б.І., Колодій З.О., Саноцький Ю.В. Шум – Інформаційний параметр // Міжвідомчий науково-технічний збірник. 1996. № 52. С. 6 – 8.
4. Колодій З. Низькочастотні флуктуації в радіоелектронній апаратурі // Вісн. ДУ «Львівська політехніка». 2000. № 399. С. 186 – 190.
5. Булатов Н.К., Лундин А.Б. Термодинамика необратимых физико-химических процессов. М., 1984.