

УДК 621.391.822

**З. О. Колодій**, к. т. н., доц.;  
**Л. А. Недоступ**, д. т. н., проф.

## РОЗРАХУНОК ІМОВІРНОСТІ БЕЗВІДМОВНОЇ РОБОТИ ЕЛЕМЕНТІВ РАДІОЕЛЕКТРОННОЇ АПАРАТУРИ НА ПІДСТАВІ АНАЛІЗУ ФІЗИЧНИХ ПРОЦЕСІВ ДЕГРАДАЦІЇ МАТЕРІАЛУ

*Запропоновано уточнену формулу для розрахунку імовірності безвідмовної роботи елементів електроніки на підставі оцінки стану внутрішньої структури елемента.*

### Постановка задачі

Розрахунок надійності пристроїв радіоелектронної апаратури (РЕА) та засобів телекомунікацій здійснюють на підставі довідкових даних про надійність складових частин, а також за даними довготривалих або інших випробувань, за даними про надійність об'єктів-аналогів тощо. Повний розрахунок надійності РЕА за всіма показниками трудомісткий і потребує великої кількості початкових даних. На практиці його часто обмежують оцінкою надійності елемента (приладу) за показниками безвідмовності, які отримують статистичними методами.

Однією з таких оцінок надійності є імовірність безвідмовної роботи  $P$ , яка є функцією часу  $t$  і визначається за формулою

$$P(t) = e^{-\lambda t}, \quad (1)$$

де  $\lambda$  — інтенсивність відмови елемента (електрорадіоелементів, комплектувальних вузлів, пристрою).

При цьому, як видно із формули (1), на момент початку експлуатації елемента (для  $t = 0$ ) імовірність його безвідмовної роботи рівна 1. Однак реальні елементи виготовлені за певними технологіями з реальних матеріалів і мають певну конструкцію, а відтак мають певні дефекти як матеріалу так і конструкції, що не враховано у формулі (1). При цьому розрахунок імовірності безвідмовної роботи як окремого елемента, так і апаратури в цілому за формулою (1) є завищеним, що в деяких випадках є недопустимим.

*Метою роботи є уточнення аналітичного виразу для визначення імовірності безвідмовної роботи  $P(t)$  елементів РЕА, який би враховував стан внутрішньої структури матеріалу елемента.*

### Виклад основного матеріалу

Для виготовлення елемента РЕА використовується матеріал, що має певну структуру, яка є відмінною від ідеальної через наявність дефектів. Такими дефектами, наприклад, для кристалічної структури є мікротріщини, дислокації, міжвузлові атоми тощо. Крім того, кількість і вид дефектів структури матеріалу елементів навіть із однієї партії в загальному випадку є різними. Тому, очевидно, що і імовірність безвідмовної роботи елементів мала б бути різною. В процесі експлуатації внутрішня структура елемента зазнає деградації через збільшення кількості і виду дефектів, а також через збільшення кількості дефектів конструкції елемента, що веде до збільшення інтенсивності відмов елемента  $\lambda$  і до зменшення  $P(t)$  (1).

Значення  $P(t)$  можна було б визначити точніше, маючи інформацію про стан внутрішньої структури елемента. Таку інформацію можна отримати, використовуючи рентгеноструктурний аналіз матеріалу елемента. Однак такий спосіб є громіздким і незручним, крім того може спонукати до виникнення нових дефектів, оскільки належить до активних способів — дія на матеріал рентгєнівського випромінювання.

Для аналізу стану внутрішньої структури елемента найбільше підходить пасивний спосіб діагностування, наприклад, за власними флуктуаціями елемента. Відомо, що в будь-якому елементі РЕА можна реєструвати флуктуації потенціалу на його затискачах навіть без пропускання через нього струму, які в діапазоні середніх частот визначаються за відомою формулою Найквіста

$\overline{U^2} = 4kT\Delta fR$ , за якою можна визначити інформацію про температуру елемента  $T$ . На сьогодні встановлено, що флуктуації в діапазоні низьких частот є структурночутливими, тобто, містять інформацію про особливості внутрішньої структури елемента. В [1] встановлено вираз для флуктуації потенціалу елемента

$$\overline{U_{III}^2} = \int_{f_1}^{f_2} \frac{4kT \operatorname{Re} Z e^{f\tau}}{e^{f\tau} - 1} df, \quad (2)$$

у якому інтегральний параметр  $\tau$  — час релаксації — залежить від особливостей внутрішньої структури елемента, причому зі збільшенням кількості дефектів і їхніх розмірів значення  $\tau$  зменшується і навпаки [2].

У формулі (2) складова  $\frac{e^{f\tau} - 1}{e^{f\tau}}$  є імовірністю виникнення флуктуацій у нерівноважній системі.

При цьому нерівноважність системи (у даному випадку — елемента електроніки) оцінюється за значенням  $\tau$ : якщо  $\tau \rightarrow 0$ , то система знаходиться у нерівноважному стані; для  $\tau \rightarrow \infty$  — у рівноважному стані. Рівноважний стан системи характеризується відсутністю змін у структурі: структура системи є ідеальною і з часом не змінюється. Очевидно, що імовірність безвідмовної роботи елемента, що знаходиться у рівноважному стані, рівна 1. Для нерівноважного стану характерна наявність змін у структурі, спричинена наявністю дефектів структури. Більше того, нерівноважність системи характеризується обмеженою кількістю степенів вільності. Слід зазначити, що всі реальні системи, в тому числі і елементи РЕА, знаходяться у нерівноважному стані [3]. Відтак, інтенсивність відмови елемента залежатиме від стану його внутрішньої структури, і таку залежність можна записати як додаткову складову  $\Delta\lambda$ :

$$\Delta\lambda = \lambda \left( 1 - \frac{e^{-v\tau} - 1}{e^{-v\tau}} \right) = \lambda e^{-v\tau}, \quad (3)$$

де  $v$  — деякий характеристичний параметр елемента,  $1/c$ ;  $\tau$  — час релаксації, с.

Параметр  $v$  має розмірність  $1/c$ , тому за розмірністю це може бути інтенсивність відмов елемента  $\lambda^1$  за даного значення  $\tau$ . Очевидно, що між величинами  $\lambda^1$  і  $\tau$  існує залежність: інтенсивність відмов елемента залежить від стану його внутрішньої структури, який оцінюється за значенням  $\tau$  — чим меншим є значення  $\tau$ , тим більше структура елемента відхиляється від ідеальної, тим більше енергії запасується у структурі у вигляді механічних напружень, тим більшим є значення  $\lambda^1$  і навпаки — чим більшим є значення  $\tau$  (структура елемента наближається до ідеальної), тим менше енергії запасується у структурі, тим меншою є інтенсивність відмови елемента.

Інтенсивність відмови елемента є також функцією часу  $t$ , тому узагальнений вираз для  $P(t)$  має вигляд

$$P(t) = e^{-\lambda(1 + e^{-v\tau}t)}. \quad (4)$$

На відміну від виразу для  $P(t)$  із (1) вираз (4) враховує імовірність безвідмовної роботи елемента з урахуванням стану його структури через значення часу релаксації  $\tau$ .

Час релаксації елемента  $\tau$  можна визначити в будь-який момент часу через вимірювання його власного шуму в області низьких частот [2]: для частоти  $f_0 = 1/\tau$  спектральна густина шуму елемента

$$S_{f_0} = \frac{\overline{U^2}}{\Delta f R} = 1,58 \cdot 4kT.$$

### Висновки

Імовірність безвідмовної роботи елементів електроніки є функцією часу  $t$ , а також стану його внутрішньої структури і, в загальному випадку, стану його конструкції в цілому. У використуваному на сьогодні виразі для розрахунку імовірності безвідмовної роботи (1) величина  $\lambda$ , яка враховує інтенсивність відмов елемента, є середньостатистичною величиною і не враховує особливостей структури і конструкції окремого елемента. Крім того, визначення імовірності безвідмовної

роботи  $P(t)$  за формулою (1) є наближеним (завищеним), так як не враховує реального значення імовірності безвідмовної роботи елемента, що, в деяких випадках, може мати непередбачувані наслідки. Збільшити точність визначення  $P(t)$  можна, взявши до уваги його значення, яке враховує стан внутрішньої структури елемента через час релаксації  $\tau$ , який, в свою чергу, можна визначити за рівнем власних шумів елемента. Використовуючи вираз (4), можна робити уточнені розрахунки імовірності безвідмовної роботи як окремого елемента, так і всієї РЕА в цілому.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Kolodiy Z. A. Calculation of tse Noise Level in Electronic Elements / Z. A. Kolodiy, A. Z. Kolodiy // Automatic Control and Computer Sciences. — 2009. — Vol. 43, No. 4. — P. 179 — 183.
2. Колодій З. О. Флікер-шумова діагностика внутрішньої структури елементів електроніки / З. О. Колодій // Радиоелектроника и информатика. — 2005. — № 3. С. 40—42.
3. Жигальский Г. П. Неравновесный  $1/f^{\nu}$ -шум в проводящих пленках и контактах / Г. П. Жигальский // Успехи физических наук. — 2003. — Т. 173, № 5. — С. 465—490.

Рекомендована кафедрою телекомунікаційних систем та телебачення

Надійшла до редакції 27.01.10  
Рекомендована до друку 5.02.10

**Колодій Зеновій Олексійович** — доцент, **Недоступ Леонід Аврамович** — завідувач кафедри.  
Кафедра теоретичної радіотехніки і радіовимірювання, НУ «Львівська політехніка»