

УДК 624.046.3

Л.Л. Оксенюк, Т.В. Терлецький

Луцький національний технічний університет

ПРОЕКТУВАННЯ І РОЗРАХУНОК НАДІЙНОСТІ ВИРОБІВ ПРИВЕДЕНИЙ ДО РЕАЛЬНИХ УМОВ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

Розглядається питання дослідження параметрів надійності елементів приладів приведених до реальних умов експлуатації за допомогою квазідетермінованої моделі випадкових процесів для прогнозування безвідмовної роботи електронної апаратури.

Проблема надійності, як науки, визначилась як першочергова, приблизно в 1950 р., коли почався процес ускладнення елементів радіоапаратури. Довгий час до надійності відносились як до статистичної науки, беручи до уваги основні ймовірнісні закономірності з практичного досвіду. Найбільшого застосування отримав експоненціальний закон надійності, згідно якого щільність розподілу часу до раптової хаотичної відмови (або між відмовами) описується наступним рівнянням:

$$W(t_x) = \lambda_x \exp(\lambda_x t_x), \quad (1)$$

де $\lambda_x = 1/m(t_x) = \text{const}$ – інтенсивність відмов.

При цьому ймовірність безвідмовної роботи та відмови за визначений час t_x визначається з наступних виразів:

$$P_{\text{над}}(t_x) = P(\tilde{t}_x \geq t_x) = \exp(-\lambda_x t_x), \quad (2)$$

$$P_{\text{відм}}(t_x) = P(\tilde{t}_x < t_x) = 1 - \exp(-\lambda_x t_x). \quad (3)$$

де знак « \sim » відноситься до випадкових величин.

Відомо, що ці рівняння відповідають елементарному Пуансонівському потокові випадкових подій і відповідно,

описують тільки хаотичні явища, (дані раптові відмови можна назвати хаотичними).

Рівняння (2) та (3) не були доведені теоретично для надійності електро-радіо елементів, вони обґрунтувались результатами спостережень (статистична теорія надійності). Узгодженість результатів спостережень з рівняннями (2) і (3) для елементів пояснюється тим, що фізичні причини відмов не були повністю досліджені, та технологія їх виготовлення знаходилась на значно нижчому рівні ніж в даний час. Це й призводило до переважання хаотичних відмов, як в радіоапаратурі, так і в її елементах [1].

Під час дослідження надійності в часі необхідно мати уявлення про основні ймовірнісні закономірності, яким підпорядковуються випадкові зміни параметрів та характеристик елементів у процесі експлуатації.

Зміни параметрів елементів являються нестационарними випадковими процесами $\tilde{\alpha}(t)$ і в загальному вигляді повністю описуються багатозначними щільностями розподілу, використання яких пов'язане зі значними математичними труднощами. Проте, як відомо, ці випадкові процеси мають особливості, які дозволяють значно спростити їх ймовірнісний опис: основні зміни в них протікають монотонно, зі слабо вираженими флуктуаціями. При цьому можна використовувати квазідетерміновані моделі випадкових процесів, коли вони виражаються через аналітичні функції часу $f_{\kappa\delta}$, коефіцієнти яких (зазвичай їх число не більше трьох) являються випадковими величинами [2], тоді:

$$\tilde{\alpha}(t) = f_{\kappa\delta}(t, \tilde{\alpha}_0, \tilde{\alpha}_1, \tilde{\alpha}_2), \quad (4)$$

де t – час; $\tilde{\alpha}_0, \tilde{\alpha}_1, \tilde{\alpha}_2$ – випадкові коефіцієнти в функції $f_{\kappa\delta}$.

Повний ймовірнісний опис процесу за довгий проміжок часу описується щільністю розподілу невеликого

числа коефіцієнтів (параметрів) процесу $W(a_0, a_1, a_2)$. Функція часу (4) з припущенням детермінованості коефіцієнтів a_0, a_1, a_2 відображає фізичні закономірності процесів деградації, які приводять до зміни параметрів елемента або до зношування.

Реально a_0, a_1, a_2 – випадкові величини, розсіювання яких визначається складною взаємодією безлічі мікроскопічних утворень в матеріалах, наявністю в матеріалі домішок, дією факторів, неврахованих під час отримання закону (4), відхиленнями в технологічних процесах, зміною зовнішніх впливів, електричних режимів, тощо. Прикладом практичної монотонної зміни параметрів являється: зміна магнітної проникності феритів, пружності пружин, зношування контактів при багатьох циклах спрацювання, тощо. Таким чином, квазидетерміновані моделі об'єднують статистичні та фізичні моделі надійності, чим і визначається них прогресивність. Окрім того вони дозволяють досить просто здійснювати перетворення з випадковими функціями, необхідні для отримання закономірності й для розрахунків у процесі проектування радіоелементів. Рівняння (4) матиме наступний вигляд:

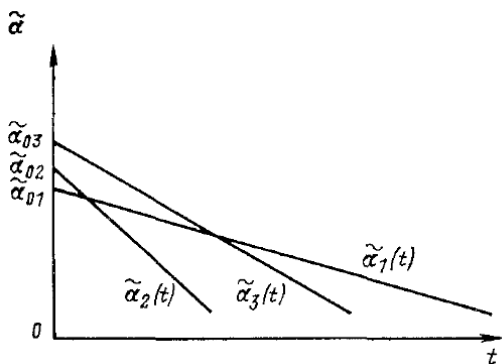


Рис. 1. Реалізація квазидетермінованої моделі

На (рис. 1) зображено приклад моделі (реалізації) такого процесу у випадку лінійного старіння або зносу при одному параметрі функції:

$$\tilde{\alpha}(t) = \tilde{\alpha}_0 - \tilde{\alpha}t, \quad (5)$$

де $\tilde{\alpha}_0$ – початковий стан параметру; t – час; $\tilde{\alpha}$ – коефіцієнт, що показує темп зношування або зміну функціонального параметра. Як правило, зміна $\tilde{\alpha}(t)$ відбувається постійно, на протязі тисяч та десятків тисяч годин, та може привести до поступової або раптової відмови [3]. При постійних (параметричних або дрейфових) відмовах параметри елементів змінюються монотонно і їх властивості можна описати щільністю розподілу значень параметрів у різні моменти часу $W(\alpha, t)$, моментальними функціями математичного очікування $m(\alpha, t)$ та дисперсії $D(\alpha, t)$, а також імовірністю знаходження параметра α у регламентованих межах α_{\min} і α_{\max} на час t , тобто в дозволеній області.

$$P[\alpha_{\min} < \tilde{\alpha}(t) < \alpha_{\max}(t)] = \int_{\alpha_{\min}}^{\alpha_{\max}} W(\alpha, t) d\alpha. \quad (6)$$

Зазвичай несугтево, де саме знаходиться даний параметр в дозволеній області і як він відхилиться від її межі. Важливо тільки те, коли він виходить за її межі. При цьому для характеристики властивостей елементів у відношенні надійності можна перейти до випадкового часу досягнення меж α_{\max} та α_{\min} .

Дійсно, якщо $\tilde{\alpha}(t) > \alpha_{\min}$ або $\tilde{\alpha}(t) < \alpha_{\max}$ за час t , то це означає, що випадковий час досягнення межі або до поступової відмови \tilde{t}_n виявився більшим t [4], тоді:

$$P[\alpha_{\min} < \tilde{\alpha}(t) < \alpha_{\max}(t)] = P(\tilde{t}_n > t_n) = 1 - F(t_n), \quad (7)$$

де $F(t_n)$ – інтегральна функція розподілу часу до поступової відмови.

Щільність розподілу часу до поступової відмови матиме наступний вигляд:

$$W(t_{II}) = dF(t_{II}) / dt_{II}. \quad (8)$$

Ймовірність відмови за час t_{II} необхідно визначати інтегруванням $W(t_{II})$:

$$\int_0^t W(t_{II}) dt_{II} = P(\tilde{t}_{II} < t_{II}). \quad (9)$$

Застосування на практиці поняття t_{II} досить зручне, оскільки воно дозволяє одномірними функціями $W(t_{II})$ та $F(t_{II})$ описувати складні закономірності поступових відмов приведені до реальних умов експлуатації. Поняття випадкового часу до відмови являється універсальним, тобто зручним для опису раптових та хаотичних відмов, що має цінність під час проведення розрахунків на надійність.

Використання даних рівнянь дозволяє спростити складні математичні операції, які у свою чергу призводить до зменшення часу необхідного для розрахунку та знижує ймовірність виникнення випадкових похибок.

Література:

1. Рычина Т.А. Электрорадиоэлементы. – М.: Сов. Радио, 1976. – 326 с.
2. Федотов Я.А. Твердотельная электроника// Радио. – 1981. - №9. – С. 1-6.
3. Купцов В.И. Детерминизм и вероятность. – М.: Политиздат, 1976. – 256 с.
4. Пестряков В.Б. Основы теории технической эксплуатации аппаратуры. – М.: МЭИС, 1985. – 92 с.