

ДІАГНОСТИЧНА МОДЕЛЬ ЦИФРОВОГО РАДІОЕЛЕКТРОННОГО КОМПОНЕНТА ТЕХНІКИ СПЕЦІАЛЬНОГО ЗВ'ЯЗКУ

Анотація:

За результатами досліджень процесу пошуку дефектів у цифрових радіоелектронних компонентах техніки спеціального зв'язку отримано нову діагностичну модель типового елемента заміни.

Аннотация:

По результатам исследований процесса поиска дефектов в цифровых радиоэлектронных компонентах техники специальной связи получена новая диагностическая модель типового элемента замены.

Abstract:

According to the research process of finding defects in digital components of electronic equipment for Special Communications received a new diagnostic model of a typical element replacement.

Побудова сучасних засобів спеціального зв'язку (ЗСЗ) з використанням цифрових радіоелектронних компонентів (РЕК) [1] у вигляді інтегральних мікросхем (ІМС) значно збільшує щільність монтажу, що потребує нових методів ремонту і діагностування. Під час поточного ремонту ЗСЗ для пошуку несправних ІМС доцільно використовувати досить ефективний електромагнітний метод діагностування, який не потребує безпосереднього втручання в електричну схему виробу [2].

Формальний опис об'єкта діагностування (ОД), який враховує можливість зміни його стану в часі називається діагностичною моделлю (ДМ). Подібні моделі повинні володіти властивостями виявлення і розрізнення дефектів. ЗСЗ володіють функціональною різноманітністю, ієрархічною конструкцією і відрізняються складністю виконуваних задач, високою автономністю, високою ціною наслідків відмов, що дозволяє віднести їх до категорії складних систем, які представляються основними групами ДМ [2,3].

За видами представлення взаємозв'язків між станом ОД, його елементами і параметрами вихідних сигналів методи синтезу моделей поділяються на аналітичні, графоаналітичні, функціонально-логічні і інформаційні.

Графічні моделі володіють наочністю, відображають логіку взаємодії елементів об'єкта, проходження енергії і інформації. Використовуються для розробки алгоритмів діагностування, які розрізняють дефекти типу обрив і перевантаження. Подібні моделі мають обмеження: елементи можуть мати будь-яке число входів, але тільки один вихід.

Матричні моделі зручні для обробки на ЕОМ і не вимагають від користувача високої кваліфікації при підготовці вихідних даних. На їх базі можливий синтез як умовних, так і безумовних алгоритмів діагностування. Ці моделі мають обмеження на ступінь пошкодження об'єкта: при наявності кратних дефектів можливе встановлення неправдивого діагнозу. Вони можуть подаватися у формі таблиці дефектів, матриці станів,

таблиці функцій несправностей і широко використовуються при розробці засобів технічного діагностування.

Математичні і інформаційні моделі використовуються головним чином при проектуванні засобів і систем технічного діагностування складних об'єктів на базі ЕОМ.

Враховуючи особливості побудови цифрового РЕК, для визначення його технічного стану використовуємо математичну модель.

Мета статті – отримання ДМ цифрового РЕК типового елемента заміни (ТЕЗ) ЗСЗ та перевірки її адекватності.

Нехай довжина антенного пристрою засобу діагностування дорівнює l , а відстань між ним і випромінювачем РЕК дорівнює r і $r \approx l$, тоді напруженість електричного поля

$$E_r = -j \frac{I e^{-j\beta r}}{2\pi\omega\epsilon r^2} (1 + j\beta r) \cos\Theta, \quad (1)$$

$$E_\theta = -j \frac{I e^{-j\beta r}}{2\pi\omega\epsilon r^2} (1 + j\beta r - \beta^2 r^2) \sin\Theta. \quad (2)$$

Враховуючи, що $l \ll \lambda$, $r \approx l$, отримаємо $\beta \ll 1$, тоді (1) і (2) перетворюються до вигляду:

$$E_r = -j \frac{I e^{-j\beta r}}{2\pi\omega\epsilon_a r^2} \cos\Theta, \quad E_\theta = -j \frac{I e^{-j\beta r}}{2\pi\omega\epsilon_a r^2} \sin\Theta.$$

Крім того, враховуючи малу відстань між випромінювачем і антенним пристроєм, можна записати, що $\Theta = \frac{\pi}{2}$ і $E_r = 0$, тоді:

$$E_\theta = -j \frac{I}{2\pi\omega\epsilon_a r^2} = E_{\text{прим.}}$$

Даний вираз дозволяє розраховувати напруженість електричного поля, створеного струмом випромінювача поблизу антенного пристрою.

Формула розрахунку електрорушійної сили, яка виникає у прийомній антенні, має вигляд:

$$e_A = E I F(\varphi, \Theta),$$

де $F(\varphi, \Theta)$ – діаграма спрямованості антенного пристрою.

Враховуючи, що кут між напрямком хвилі, яка надходить, і віссю диполя $\Theta = \frac{\pi}{2}$, отримаємо:

$$e_A = E l = -j \frac{I l}{2\pi\omega\epsilon_a r^2}.$$

Визначимо реальну частину даного виразу, яка являє собою модуль комплексного числа.

$$|e_A| = \frac{I_m l}{2\pi\omega\epsilon_a r^2} \sin \varphi. \quad (3)$$

Таким чином, вираз (3) являє собою ДМ цифрового РЕК. При $r \approx l$, отримаємо:

$$e_A = k \frac{I}{\omega}, \quad (4)$$

де $k = -j \frac{1}{2\pi\epsilon_a r}$, $I = I_m e^{j\varphi}$ – комплексна амплітуда струму у випромінювачі.

Вираз (4) являє собою залежність між струмом у випромінювачі і електрорушійною силою у антенному пристрої на частоті ω .

Для підтвердження отриманих теоретичних результатів були проведені експериментальні дослідження енергетичних процесів у напівпровідникових ІМС, які проводилися з мікросхемами ТТЛ, ТТЛШ, n -МОН, КМОН структури.

Дослідження енергетичних процесів у ІМС проводилися з використанням стенду для іспитів і необхідного комплексу приладів. У результаті експерименту були отримані дані про параметри імпульсів на виходах ІМС і в антенному пристрої. Вимірювалися наступні параметри: рівень сигналу логічної “1” – U^1 і рівень сигналу логічного “0” – U^0 на виходах ІМС, а також значення напруги сигналу $U_{\text{контр}}^1$ і $U_{\text{контр}}^0$ – в антенному пристрої. Амплітуда і частота вхідного сигналу вибиралися згідно з паспортними даними для кожного типу ІМС. Досліджувалися справні ІМС і ВІС. Результати вимірів – незалежні.

Основні технічні характеристики стенда для іспитів: джерело живлення має робочі напруги +5В, струм навантаження 1 А, коефіцієнт стабілізації 500. Похибка вимірів у дослідженнях визначається похибками осцилографа, мілівольтметра і генератора. Структурна схема випробувального стенду зображена на рис. 1, де в якості засобу діагностування використано осцилограф.

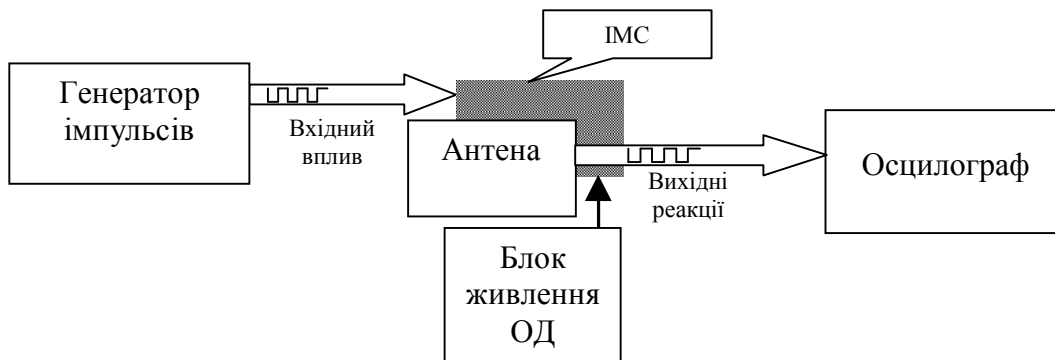


Рис. 1. Структурна схема випробувального стенду

Експериментальні дослідження електромагнітного процесу дозволили визначити параметри і форму імпульсів, які виникали у антенному пристрої під час спрацьовування логічних елементів (ЛЕ) ІМС. При цьому відношення рівнів сигнал-шум складало не менше 10, а в деяких випадках 15-20, що набагато більше загальноприйнятого.

Адекватність ДМ ІМС перевірялася шляхом порівняння значень параметра, розрахованого за допомогою побудованої ДМ, і отриманого в результаті проведеного експерименту. Обробка результатів експерименту проводилася з використанням статистичного методу. Перевірка складалася з двох етапів:

1. Проведення експерименту і одержання експериментальних даних.
2. Статистична обробка експериментальних даних та узагальнення отриманих результатів.

Обробка експериментальних даних проводилася за допомогою методів математичної статистики. На попередньому етапі проводилася оцінка ознак даних на стаціонарність, періодичність і нормальність, а потім аналіз даних, як в окремих реалізаціях, так і в ансамблях реалізацій. У результаті обробки експериментальних даних отримано значення моментів випадкових параметрів імпульсів на виходах ІМС і в антенному пристрої, а також лінійні залежності між реалізаціями.

Отриманий експериментальним шляхом потік вихідних даних має властивості стаціонарності, нормальності і є неперіодичним.

Властивість неперіодичності потоку вихідних даних впливає з розгляду фізичної природи експерименту. Властивість нормальності, в силу своєї виняткової важливості, вимагає додаткових підтверджень. Такі підтвердження були отримані при перевірці потоку вихідних даних за допомогою непараметричного критерію нормальності розподілу на основі критерію узгодженості χ^2 -квадрат з рівнем значимості $\alpha=0,05$ для всіх партій функціональних елементів. Для цього використане відношення:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^n \frac{(m_i - np_i)^2}{np_i},$$

де m_i – кількість значень x , що потрапили в i -й розряд; p_i – імовірність влучення x в i -й розряд; n – кількість вимірів.

Розраховане значення порівнювалося з табульованим критичним значенням критеріального розподілу Неймана-Пірсона – $\chi^2(\alpha, r)$, де $r' = N' - S' - 1$ – число ступенів свободи, N' – число розрядів статистичного ряду розподілу, S' – число параметрів гіпотетичної функції розподілу.

За результатами експерименту для усіх вибірок (всіх партій елементів) справедлива нерівність: $\chi^2 < \chi^2(\alpha, r)$. Це свідчить про те, що гіпотезу про нормальний розподіл довільного параметра імпульсу відкинути немає підстав.

У процесі експерименту виміри параметра x проводилися з однаковою точністю. Це дозволяє використовувати в якості оцінки істинного значення параметра, середнє арифметичне результатів вимірювань

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, \quad (5)$$

де x_i – значення параметра x при i -му вимірі; n – кількість вимірювань.

При прийнятих припущеннях ця оцінка незміщена, (математичне сподівання оцінки збігається з істинним значенням параметра), обґрунтована (оцінка прагне по імовірності до істинного значення параметра при необмеженому збільшенні кількості вимірів) і ефективна (оцінка має найменше розсіювання серед усіх незміщених оцінок значення параметра за результатами виміру). В якості оцінки дисперсії прийнята

емпірична дисперсія

$$S^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2, \quad (6)$$

де \bar{x} – середнє арифметичне значення результатів вимірювань, знайдене по формулі (5). Відповідно, для оцінки середньоквадратичного відхилення використовується вираз:

$$S_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}.$$

Оцінка дисперсії (6) незміщена, обґрунтована і ефективна. Емпіричний стандарт (середня квадратична похибка) дає зміщену (трохи зменшену) оцінку середньої квадратичної похибки σ_x . Зсув помилки залежить від числа вимірювань і при $n \geq 26$ складає менше одного відсотка.

На основі аналізу отриманих ДМ напівпровідникових ІМС при діагностуванні їх з використанням електромагнітного методу діагностування [2] можна припустити певну залежність сигналів на виході ІМС і в антенному пристрої. Оскільки всі спостереження взаємозалежні і мають нормальний закон розподілу з метою експериментального підтвердження теоретичних результатів доцільно використовувати параметричну кореляцію Пірсона для перевірки статистичного зв'язку сигналу в антенному пристрої і на виході ОД. У ході експерименту піддавалися порівнянню наступні пари змінних параметрів сигналів: перша пара – U^0 і $U^1_{\text{контр}}$, друга пара – U^1 і $U^0_{\text{контр}}$.

Серед статистичних характеристик, що описують зв'язок між випадковими параметрами, найбільш важливими є: у випадку лінійної кореляції – коефіцієнт кореляції, а у випадку нелінійної кореляції – кореляційне відношення. Тому спочатку за результатами експерименту був визначений вид кореляційної залежності і були побудовані діаграми розсіювання рис. 2.

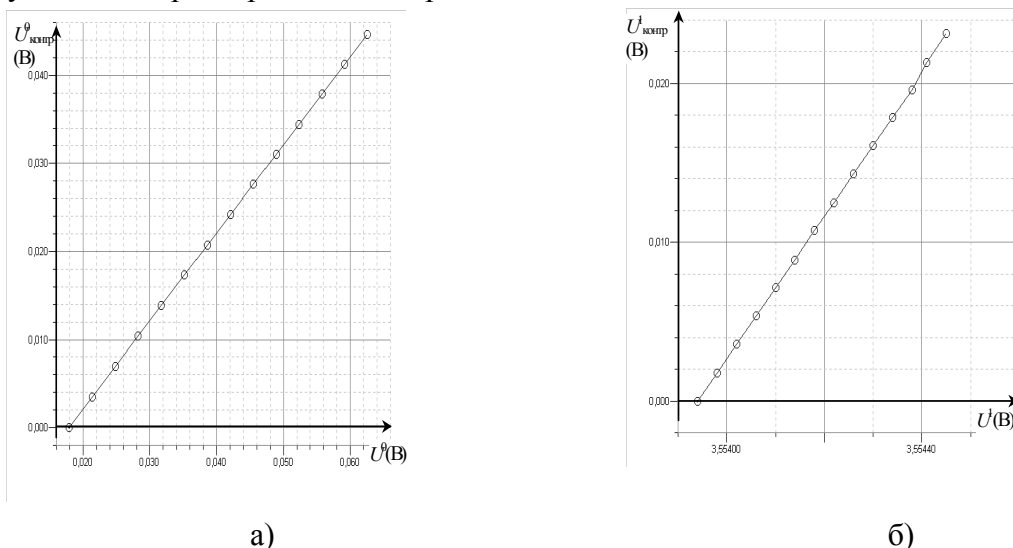


Рис. 2. Діаграми розсіювання:
а) розсіювання U^1 і $U^0_{\text{контр}}$; б) розсіювання U^0 і $U^1_{\text{контр}}$

Побудовані діаграми показують, що при збільшенні напруги на виході напруга в антенному пристрої збільшується лінійно, тобто має місце випадок лінійної кореляції.

Для визначення ступеня тісноти зв'язку розраховані коефіцієнти кореляції. Емпіричний коефіцієнт кореляції являє собою перший основний змішаний момент і розраховується за формулою:

$$r_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^{n_e} (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\left[\sum_{i=1}^{n_e} (x_i - \bar{x})^2 \right] \left[\sum_{i=1}^{n_e} (y_i - \bar{y})^2 \right]}}, \quad (7)$$

де \bar{x} – середнє арифметичне значення параметра x ; \bar{y} – середнє арифметичне значення параметра y ; n_e – об'єм вибірки.

Одного значення величини коефіцієнта парної кореляції для висновку про статистичну значимість зв'язку недостатньо. Необхідно перевірити, чи значно він відрізняється від нуля. Фактично перевіряється гіпотеза про рівність коефіцієнта кореляції нулю. Критеріальне значення об'єму вибірки – n_e і r_{xy} близьких до 1 обчислюється за формулою:

$$t = \frac{r_{xy} \sqrt{(n_e - 1)}}{\sqrt{(1 - r_{xy}^2)}}. \quad (8)$$

Значення, розраховане по формулі (8), порівнювалося з табульованим критичним значенням критеріального розподілу Стьюдента – $t(\alpha/2, n_e - 2)$. Якщо нерівність $t < t(\alpha/2, n_e - 2)$ виконується, то гіпотеза про те, що коефіцієнт кореляції значно відрізняється від нуля, приймається. Табульоване значення визначалося для рівня значимості $\alpha=0,05$ і $n_e - 2 = 86$ ступенів свободи. Порівняння показало, що коефіцієнт кореляції значно відрізняється від нуля. При цьому для змінних U^0 і $U_{\text{контр}}^1$ коефіцієнт кореляції розраховується по формулі (7) і дорівнює $r_{xy}=0,959$, а для U^1 і $U_{\text{контр}}^0$ коефіцієнт кореляції дорівнює $r_{xy}=0,958$.

При оцінюванні визначаємо, чи значне розходження між двома вибірковими коефіцієнтами кореляції, або ж воно обумовлено випадковими коливаннями вибірок, а дві розглянуті генеральні сукупності мають один і той самий коефіцієнт кореляції. Для цього розраховували критеріальне значення за формулою:

$$\gamma = \frac{z^{(1)} - z^{(2)}}{\sqrt{\frac{1}{n_1 - 3} + \frac{1}{n_2 - 3}}}, \quad (9)$$

де z – перетворення Фішера, $z = \frac{1}{2} \ln \frac{1 + r_{xy}}{1 - r_{xy}}$.

Розраховане за формулою (9) критеріальне значення порівнювалося з табульованим критичним значенням $u_{\alpha/2}$ - стандартного нормального розподілу з рівнем значимості α . Якщо нерівність $\gamma < u_{\alpha/2}$ виконується, то приймається гіпотеза що коефіцієнти кореляції відрізняються незначно. Порівняння показало, що для рівня значимості $\alpha=0,05$

коефіцієнти кореляції відрізняються незначно.

Результати експерименту свідчать про сильний лінійний кореляційний зв'язок між параметрами сигналу на виході ОД і в антенному пристрої, вибіркові коефіцієнти кореляції для різних пар змінних параметрів сигналів розрізняються незначно і мають випадковий характер, тобто дві розглянуті генеральні сукупності мають той самий коефіцієнт кореляції.

У ході експерименту були розглянуті також і інші ІМС, але отримані результати суттєво не відрізнялись. Аналіз результатів статистичної обробки дозволив зробити важливі практичні висновки:

кожен тип ІМС має однакове теоретичне математичне сподівання однойменного параметра. Розбіжність значень параметрів, які оцінювалися є випадковими, а ступінь розбіжності дозволяє зробити висновок, що ряд дисперсій кожного з параметрів має ту саму теоретичну дисперсію;

сигнал у антенному пристрої має сильний лінійний кореляційний зв'язок з сигналом на виході ІМС;

розбіжність оцінок визначених параметрів і значень параметрів, розрахованих з використанням ДМ ІМС, не перевищує 8 %, що для практичних цілей припустимо.

Таким чином, побудовані ДМ дозволяють з прийнятною точністю розраховувати параметри імпульсів для будь-яких типів ІМС зі складу ТЕЗ ЗСЗ.

У результаті проведеного експерименту та обробки статистичних даних можна зробити висновок, що будь яка несправність ІМС, яка проявляється на її виходах, транспортується в антенний пристрій, а діагностична інформація, яка отримана у антенному пристрої, адекватна тій, що має місце на виходах ІМС. Аналіз результатів експериментальних досліджень підтверджує основні положення і можливість реалізації електромагнітного методу діагностування цифрових РЕК ТЕЗ [1,2] під час ремонту ЗСЗ.

Література:

1. *Сакович Л.М.* Методика кількісної оцінки значень показників надійності комп'ютерних систем і програмно керованих засобів зв'язку / Сакович Л.М., Павлов В.П., Лівенцев С.П. // Спеціальні телекомунікаційні системи та захист інформації. Збірник наукових праць. Вип.1 (19). – К.: ДССЗЗІ, 2011. – С. 100-107.
2. *Вишнівський В.В.* Діагностування аналогових і цифрових пристроїв радіоелектронної техніки / [Вишнівський В.В., Жердев М.К., Ленков С.В., Проценко В.О.]. – К. : «Компанія ЛІК», 2009. – 224 с.
3. *Ксенз С.П.* Борьба с диагностическими ошибками при техническом обслуживании и ремонте систем управления связи и навигации / [Ксенз С.П., Полтаржицкий М.И., Алексеев С.П., Минеев В.В.]. – СПб: ВАС, 2010. – 240 с.