

## ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ЗБОЇВ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ ЕНЕРГЕТИЧНОГО МЕТОДУ ДІАГНОСТУВАННЯ ПРИ ЧАСТОТНО-СПЕКТРАЛЬНІЙ ОБРОБЦІ ДІАГНОСТИЧНОЇ ІНФОРМАЦІЇ

*В роботі обґрунтовано можливість застосування частотного енергетичного методу для діагностування цифрових пристроїв об'єктів радіоелектронних засобів озброєнь при наявності збоїв. Даний метод дозволяє використовувати спектр енергодинамічних імпульсів, що виникають у шині живлення цифрових пристроїв для перевірки їх працездатності.*

*Ключові слова: частотний енергетичний метод, засіб діагностування*

*In this paper the opportunity of applying frequency energy method for diagnosing digital device object REFs arms in the presence of faults. This method allows the use of spectrum enerhodynamichnyh impulses arising in the tire supply digital devices to test their performance.*

*Keywords: frequency energy method, tool of diagnosing.*

**Вступ.** Сучасні радіоелектронних засобів озброєнь (РЕЗО) у своєму складі мають окремий клас найважливіших елементів – цифрові пристрої (ЦП). Широка номенклатура цифрових пристроїв, що використовуються в об'єктах РЕЗО, їх багатофункціональність висувають жорсткі вимоги до засобів діагностування з точки зору забезпечення заданого рівня тривалості діагностування, при забезпеченні необхідної достовірності [1]. Забезпечити висунуті вимоги можна застосуванням нових ефективних принципів, методів і засобів для розробки сучасних вмонтованих засобів діагностування (ВЗД) об'єктів РЕЗО на основі нових ефективних методів діагностування.

**Аналіз стану проблеми.** До складу об'єктів РЕТ входять цифрові радіоелектронні пристрої (РЕП). Проведення якісного контролю технічного стану цифрових радіоелектронних пристроїв РЕП залежить від методу діагностування. Перспективним методом діагностування РЕП являється частотний енергетичний метод побудови ієрархічних, універсальних, автоматизованих ВЗД об'єктів РЕЗО [2]. Сутність цього методу полягає в тому, що при періодичному переключенні логічних елементів (ЛЕ) у ланцюзі живлення цифрових пристроїв виникають періодичні пакети енергодинамічних імпульсів (ЕДІ), форма і число яких залежать від типу інтегральної схеми й способу включення. Маючи дискретний спектр, вони можуть бути представлені у вигляді сукупності гармонійних складових, що відрізняються частотою, початковою фазою й амплітудою. Ряд вузькополосних фільтрів, що представляють собою паралельний аналізатор спектра, виділяє найбільш інформативні з точки зору діагностики гармоніки, які після порівняння з опорною напругою перетворюються у двійковий код Фур'є-образу.

При подальшій обробці проводиться порівняння отриманого коду з еталонним. При різному числі елементів, що переключилися, двійкові коди Фур'є-образів різні. Тому спектральний аналіз дозволяє виявляти наявність імпульсів, що відповідають кратному спрацьовуванню елементів логічного ланцюга.

Проведений аналіз спектрів сигналів, що виникають у ланцюзі живлення при перемиканнях ЛЕ цифрових пристроїв, показав, що спектри являються достовірними джерелами діагностичної інформації (ДІ). Використовуючи принципи одночасного аналізу, технічно можливо реалізувати засіб діагностування для визначення технічного стану цифрових пристроїв на основі спектрального аналізу сигналів.

В процесі роботи цифрових пристроїв можуть виникати збої. Збоєм цифрового пристрою називається однократна відмова від виконання якої-небудь операції [3]. Збої виникають через помилкові сигнали, яких обумовлена наступними причинами:

- через структурні зміни в елементах пристрою;
- через електромагнітні наведення від зовнішніх і внутрішніх джерел;
- через реакції ліній передачі сигналів;
- через пульсації в шинах живлення радіоелектронної техніки.

Основною причиною збоїв є наведення й пульсації. Наявність збоїв в цифрових пристроях при проведенні діагностування частотним енергетичним методом з реєстрацією числа імпульсів у ланцюзі живлення можуть привести до відсутності переключення логічного елемента або його помилкове спрацьовування. Це може привести до зміни числа імпульсів енергодинамічного процесу й розбіжності його з еталонним і стати причиною зниження достовірності діагностування.

**Постановка задачі.** Таким чином, необхідно провести дослідження впливу збоїв на ефективність частотного енергетичного методу діагностування при частотно-спектральній обробці діагностичної інформації. Тому необхідно вирішити наукове завдання, що полягає в обґрунтуванні можливості застосування нового частотного енергетичного методу для діагностування цифрових пристроїв об'єктів РЕЗО при наявності збоїв.

**Основна частина.** Відомо, що комплексна амплітуда гармонік дискретного спектра періодичного сигналу має вигляд:

$$S_k = \frac{1}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} f(t) e^{-jk\Omega t} dt, \quad (1)$$

де  $T$  – період повторення сигналу;  
 $k\Omega$  – частота  $k$ -ї гармоніки.

Спектральна щільність для розкладу неперіодичного сигналу відповідно дорівнює

$$S(j\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) e^{-j\omega t} dt. \quad (2)$$

З порівняння виразів (1) і (2) можна зробити висновок про те, що спектральна щільність  $S(j\omega)$  відрізняється від коефіцієнта  $S_k$  тільки відсутністю множника  $1/T$ . Отже, якщо задано спектр одиночного сигналу й період повторення  $T$ , то коефіцієнти ряду Фур'є для отриманої періодичної послідовності дорівнює

$$S_k = \frac{S(j\omega)}{T},$$

причому аргумент  $\omega$  спектральної щільності  $S(j\omega)$  повинен дорівнювати частоті  $k\Omega$  відповідної гармоніки, де  $\Omega = \frac{2\pi}{T}$ , тобто

$$S_k = \frac{S(kj\Omega)}{T}. \quad (3)$$

Детермінована модель енергодинамічного процесу в частотній області для пачки імпульсів має вигляд

$$S_n(j\omega) = \frac{U_0 \sqrt{\pi}}{\alpha} e^{-\frac{\omega^2}{4\alpha^2}} \frac{\sin \frac{N}{2} \omega T_s}{\sin \frac{\omega T_s}{2}} e^{-j\left(\frac{N-1}{2}\right)\omega T_s} (1 + e^{-j\omega T}), \quad (4)$$

де  $T_s$  – період повторення імпульсів у межах пачки;  
 $N$  – число імпульсів в пачці;  
 $U_0$  – амплітуда імпульсу;  
 $\alpha$  – коефіцієнт форми.

Для побудови й аналізу амплітудно-частотного спектру комплексну величину  $S_n(j\omega)$  представимо в показовому вигляді, увівши для цього позначення:

$$\left\{ \begin{array}{l} P(\omega) = \frac{U_0 \sqrt{\pi}}{\alpha} e^{-\frac{\omega^2}{4\alpha^2}} \frac{\sin \frac{N}{2} \omega T_s}{\sin \frac{\omega T_s}{2}}; \\ Q(\omega) = \left(\frac{N}{2} - 1\right) \frac{\omega T_s}{2}; \\ R(\omega) = \omega T. \end{array} \right. \quad (5)$$

З урахуванням (5) вираз (4) буде мати вигляд:

$$\begin{aligned} S_n(j\omega) &= P(\omega) \cdot e^{jQ(\omega)} (1 + e^{-jR(\omega)}) = P(\omega) \left[ e^{-jQ(\omega)} + e^{-j(Q(\omega)+R(\omega))} \right] = \\ &= P(\omega) \left\{ \cos[Q(\omega)] - j \sin[Q(\omega)] + \cos[Q(\omega) + R(\omega)] - j \sin[Q(\omega) + R(\omega)] \right\} = \\ &= P(\omega) \sqrt{\left\{ \cos[Q(\omega)] + \cos[Q(\omega) + R(\omega)] \right\}^2 + \left\{ \sin[Q(\omega)] + \sin[Q(\omega) + R(\omega)] \right\}^2} \times \\ &\quad \times \exp \left\{ -j \arctg \frac{\sin Q(\omega) + \sin(Q(\omega) + R(\omega))}{\cos Q(\omega) + \cos(Q(\omega) + R(\omega))} \right\}. \end{aligned} \quad (6)$$

Після підстановки виразів (5) в (6) модель енергодинамічного процесу в частотній області прийме вигляд:

$$S_n(j\omega) = \frac{U_0 \sqrt{\pi}}{\alpha} e^{-\frac{\omega^2}{4\alpha^2}} \frac{\sin \frac{N}{2} \omega T_s}{\sin \frac{\omega T_s}{2}} \left\{ \left\{ \cos \left[ \left( \frac{N}{2} - 1 \right) \frac{\omega T_s}{2} \right] + \cos \left[ \left( \frac{N}{2} - 1 \right) \frac{\omega T_s}{2} + \omega \tau \right] \right\}^2 + \right. \\ \left. + \left\{ \sin \left[ \left( \frac{N}{2} - 1 \right) \frac{\omega T_s}{2} \right] + \sin \left[ \left( \frac{N}{2} - 1 \right) \frac{\omega T_s}{2} + \omega \tau \right] \right\}^2 \right\}^{\frac{1}{2}} \times \\ \times \exp \left\{ -j \arctg \frac{\sin \left[ \left( \frac{N}{2} - 1 \right) \frac{\omega T_s}{2} \right] + \sin \left[ \left( \frac{N}{2} - 1 \right) \frac{\omega T_s}{2} + \omega \tau \right]}{\cos \left[ \left( \frac{N}{2} - 1 \right) \frac{\omega T_s}{2} \right] + \cos \left[ \left( \frac{N}{2} - 1 \right) \frac{\omega T_s}{2} + \omega \tau \right]} \right\}.$$

Комплексні амплітуди ряду Фур'є для пачок енергодинамічних імпульсів, що повторюються з періодом  $T$ , відповідно до умови (1) приймуть вигляд:

$$|S_k| = \frac{U_0 \sqrt{\pi}}{\alpha} e^{-\frac{(k\Omega)^2}{4\alpha^2}} \frac{\sin \frac{N}{2} k\Omega T_s}{\sin \frac{k\Omega T_s}{2}} \times \\ \left\{ \left\{ \cos \left[ \left( \frac{N}{2} - 1 \right) \frac{k\Omega T_s}{2} \right] + \cos \left[ \left( \frac{N}{2} - 1 \right) \frac{k\Omega T_s}{2} + k\Omega \tau \right] \right\}^2 + \right. \\ \left. + \left\{ \sin \left[ \left( \frac{N}{2} - 1 \right) \frac{k\Omega T_s}{2} \right] + \sin \left[ \left( \frac{N}{2} - 1 \right) \frac{k\Omega T_s}{2} + k\Omega \tau \right] \right\}^2 \right\}^{\frac{1}{2}}. \quad (7)$$

При побудові графіка амплітудно-частотного спектра варто врахувати, що амплітуда  $k$ -ої гармоніки спектра  $a_k = 2|S_k|$ . Таким чином, з аналізу виразу (7) можна зробити висновок про те, що модуль спектральної щільності пачки енергодинамічних імпульсів і огинаюча дискретного спектра періодичної послідовності пачок, що отримані шляхом повторення заданої пачки, збігаються за формою й відрізняються тільки масштабом.

Розглянемо найпростішу часову модель енергодинамічного процесу із збоєм за умови періодично поступних пачок енергодинамічних імпульсів. Пачка складається із трьох імпульсів. Період проходження пачок  $T$ . Нехай у результаті збою  $k$ -та пачка буде складатися з 2-х імпульсів. Доведемо, що при одночасному паралельному аналізі наявність збоїв на одному такті не приведе до спотворення спектра сигналу.

Одна із самих істотних особливостей аналізу періодичних сигналів проявляється в тому, що цей аналіз проводиться в сталому режимі. Розглянемо аналізатор спектра сигналів, що складається з резонаторів із загасанням. Рівняння резонатора в цьому випадку має вигляд:

$$U + 2\delta_i U + \omega_i^2 U = \omega_i^2 E_m \sin(\omega_i t + \psi), \quad (8)$$

де  $E_m \sin(\omega_i t + \psi)$  – гармонійна складова спектра періодичного сигналу;

$$\omega_i = \frac{1}{L_i C_i} \text{ – власна частота } i\text{-го резонатора;}$$

$$\delta_i = \frac{r_i}{2L_i} \text{ – коефіцієнт загасання;}$$

$u$  – вихідна напруга;

$i$  – порядковий номер резонатора.

Загальне рішення рівняння (8) буде мати вигляд:

$$U = U_{\text{н\ddot{a}}} + U_{\text{i}\delta} = A e^{-\delta t} \sin(\omega_i t + \theta) + U_m \sin(\omega_i t + \psi).$$

При нульових початкових умовах одержимо рішення рівняння (8):

$$U_i = U_m (1 - e^{-\delta t}) \sin(\omega_i t + \psi),$$

де

$$U_m = \frac{E_m}{w_i C_i \sqrt{r_i^2 + \left( w_i L_i + \frac{1}{w_i C_i} \right)^2}} \quad (9)$$

Амплітуда напруги на виході резонатора зростає за законом  $-e^{-\delta_k t}$ , асимптотично наближається до значення, що дорівнює амплітуді цієї напруги в сталому режимі. При  $t = \tau$  в резонаторі настає вільний процес коливального розряду ємності, тривалість якого визначається коефіцієнтом загасання

$$\delta_k^1 = \frac{r_k}{2L_k} > \delta_k.$$

З появою на вході резонатора другої пачки імпульсів періодичної послідовності коливальний перехідний процес заряду ємності повторюється, але вже не з нульовими початковими умовами. У цілому в сталому режимі амплітуда напруги на виході  $k$ -того резонатора пропорційна модулю спектральної складової на частоті  $w_k$ .

Виникнення збоїв на одному з періодів проходження пачок енергодинамічних імпульсів приведе до того, що зміниться поточний спектр сигналу, що аналізується. Отже, в момент часу  $t = t_i$  на вході резонатора, що настроєний на частоту  $w_k$ , буде діяти гармоніка з амплітудою, що відрізняється від амплітуди гармоніки сигналу без збою. Як у випадку перевищення амплітуди, так і у випадку низького рівня періодичності процесів заряду-розряду за умови  $nT > t_a$ , де  $n$  – число тактів повторення,  $T$  – період проходження пачки,  $t_a$  – час аналізу, приведе до того самого сталого значення сигналу на виході резонатора, що визначається співвідношенням (9). Отже, при одночасному паралельному аналізі однократна відмова цифрового пристрою (збій) не приводить до спотворення спектра сигналу.

**Висновки.** В роботі проведено дослідження впливу збоїв на ефективність частотного енергетичного методу діагностування при частотно-спектральній обробці діагностичної інформації. Дане дослідження показало, що при одночасному паралельному аналізі енергодинамічного процесу однократна відмова цифрового пристрою (збій) не приводить до спотворення спектра досліджуваного сигналу.

Таким чином, в статті вирішена наукове завдання обґрунтування можливості застосування нового частотного енергетичного методу для діагностування цифрових пристроїв об'єктів РЕЗО при наявності збоїв. Тому частотний енергетичний метод діагностування можна використовувати для побудови ієрархічних, універсальних, автоматизованих вмонтованих засобів діагностування об'єктів РЕЗО

### Література

1. Вишнівський В.В. Діагностика цифрових та аналогових пристроїв радіоелектронної техніки: Монографія / Вишнівський В.В., Жердев М.К., Ленков С.В., Проценко В.О.; під редакцією М.К. Жердева, С.В. Ленкова. – К.: Знання України, 2009. – 220 с.
2. Вишнівський В.В. Розробка частотного енергетичного методу контролю технічного стану цифрових пристроїв об'єктів РЕЗО / В.В. Вишнівський, О.В. Сєлюков // П'ята міжнародна науково-практична конференція «Інтегровані інтелектуальні робототехнічні комплекси». – НАУ. – Київ, 2012. – С.407 – 408.
3. Вишнівський В.В. Діагностична модель спектрального аналізу енергодинамічних імпульсів при наявності збоїв / Вишнівський В.В., Ніколайчук М.Г // Дев'ята регіональна конференція студентів і молодих науковців «інформатика, інформаційні системи та технології». – Одеса, – 2012. – С. 67 – 68.

Надійшла 16.1.2013 р.  
Рецензент: д.т.н. Шинкарук О.М.