

# ВІЙСЬКОВА ТЕХНІКА І ТЕХНОЛОГІЇ ПОДВІЙНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

УДК 621.396.6

к.т.н., с.н.с. Гахович С.В. (ВІКНУ)  
к.т.н., с.н.с. Охрамович М.М. (ВІКНУ)  
к.пед.н. Кравченко О.І. (ВІКНУ)  
Шевченко В.В. (ВІКНУ)

DOI: <https://doi.org/10.17721/2519-481X/2022/76-01>

## ЧАСТОТНИЙ АНАЛІЗ СИГНАЛІВ ПРИ ДІАГНОСТУВАННІ ЦИФРОВИХ ТЕЗ ЕНЕРГОДИНАМІЧНИМ МЕТОДОМ

*В статті проводиться аналіз виду енергодинамічних імпульсів в просторо-часовій та частотно-спектральній областях для удосконалення процесу діагностування цифрових типових елементів заміни, які мають у своїй конструкції великі інтегральні схеми і мікропроцесорні великі інтегральні схеми. Створення нових та удосконалення існуючих систем, що використовуються для визначення технічного стану цифрових пристроїв у складних умовах сьогодення, вимагає розробки нових методів діагностування. Це обумовлено високою складністю радіоелектронної техніки та дефіцитом часу на прийняття рішення при проведенні контролю технічного стану. У науково-технічній літературі по розробці й експлуатації радіоелектронної техніки основна увага приділяється питанням дослідження можливості мінімізації середнього часу відновлення та вартості засобів діагностування об'єкта радіоелектронної техніки. Основним фактором, що стримує розвиток сучасних систем технічного діагностування, є відсутність методичного апарату, який здатний значно ефективніше використати розроблені діагностичні моделі для виявлення несправних логічних елементів.*

*Застосування запропонованих наукових підходів до обробки діагностичної інформації, дозволить: заздалегідь визначати елементи, характеристики яких наближуються до критичних; визначити технічний стан радіоелектронної техніки у режимі реального часу; провести моніторинг працездатності елементів радіоелектронної техніки. Також це дасть можливість точніше обробляти значення діагностичних параметрів, прогнозувати із заданою достовірністю час відмови радіоелектронних компонентів. Це в свою чергу приведе до зменшення часу виявлення раптових відмов об'єктів радіоелектронної техніки та значно скоротить витрачений час на відновлення цифрових типових елементів заміни радіоелектронної техніки, вимоги до яких постійно зростають в умовах відбиття Збройними Силами України російської агресії.*

*Ключові слова: енергодинамічний метод діагностування, радіоелектронна техніка, просторо-часова область, частотно-спектральна область, типовий елемент заміни.*

**Вступ.** Процес розвитку радіоелектронної техніки (РЕТ) озброєння характеризується широким застосуванням у зразках складних дискретних пристроїв (ДП), перш за все мікропроцесорних великих інтегральних схем (МП ВІС).

Застосування цифрових типових елементів заміни (ТЕЗ), які мають у своїй конструкції МП ВІС, у зразках радіоелектронної техніки Повітряних Сил Збройних Сил України викликало необхідність розробки принципово нових рішень питань її експлуатації і ремонту [1,2].

Не зважаючи на значні переваги від впровадження сучасних методів діагностування РЕТ, результати досліджень існуючої системи технічної діагностики показують важливість і необхідність застосування нових підходів для контролю технічного стану РЕТ. Функціональне діагностування радіоелектронних компонентів як елементів ТЕЗ, в якому використовуються перевірочні тести, що входять до вбудованої системи діагностування об'єкта РЕТ, визначають їх технічний стан як справний навіть у випадках, коли значення їх діагностичних параметрів наближуються до критичних. [3-5].

Це призводить до раптових відмов об'єктів РЕТ та знижує показники надійності, вимоги до яких постійно зростають в умовах відбиття Збройними Силами України російської агресії.

**Аналіз досліджень і публікацій.** Побудова високоефективних систем визначення технічного стану цифрових пристроїв (ЦП) і компонентів у складних умовах сьогодення, вимагає розробки нових методів діагностування, а також синтезу сучасних систем технічного діагностування. Це обумовлено високою складністю РЕТ, дефіцитом часу на прийняття рішення при проведенні контролю технічного стану (ТС).

У науково-технічній літературі по розробці й експлуатації радіоелектронної техніки основна увага приділяється питанням дослідження можливості мінімізації середнього часу відновлення та вартості засобів діагностування об'єкта РЕТ.

Раніш розроблені методи і засоби контролю таких дискретних пристроїв мають ряд недоліків [1-3]. Одним з підходів до розробки нових рішень щодо діагностування цифрових ТЕЗ, що містять МП ВІС, є використання протікання енергодинамічного процесу (ЕДП) у логічних елементах (ЛЕ) для визначення технічного стану зразка озброєння [3].

Буде доцільно більш детально розглянути ЕДП, що виникає у ланцюзі живлення складних цифрових об'єктах та визначити можливість технічної реалізації пристрою для діагностування цифрових ТЕЗ що входять до складу радіоелектронної техніки [3-7].

**Основна частина роботи.** Аналіз проведемо в п'ять етапів, розглянувши ситуації можливого взаємного розташування імпульсів енергодинамічного процесу ЕДП у часовій області і спектра імпульсів у частотній області.

### 1. Одиночний енергодинамічний імпульс і його спектр

Якісний аналіз імпульсів струму квазікороткого замикання для різних технологій виготовлення логічних елементів дозволив зробити висновок про те, що спостережені практично енергодинамічні імпульси (ЕДІ) можуть бути представлені функцією колоколообразного (гауссівського) імпульсу

$$S(t) = U_0 e^{-(\alpha t)^2} \quad (1)$$

де  $U$  – амплітуда імпульсу;

$\alpha$  – коефіцієнт форми.

Використовуючи перетворення Фур'є, одержимо аналітичну модель ЕДІ в частотній області

$$S(j\omega) = \frac{U_0 \sqrt{\pi}}{\alpha} \cdot e^{-\left(\frac{\omega}{2\alpha}\right)^2} \quad (2)$$

Для одиночного ЕДІ часова і частотна нормовані моделі показані на рисунках 1а, 1б відповідно.

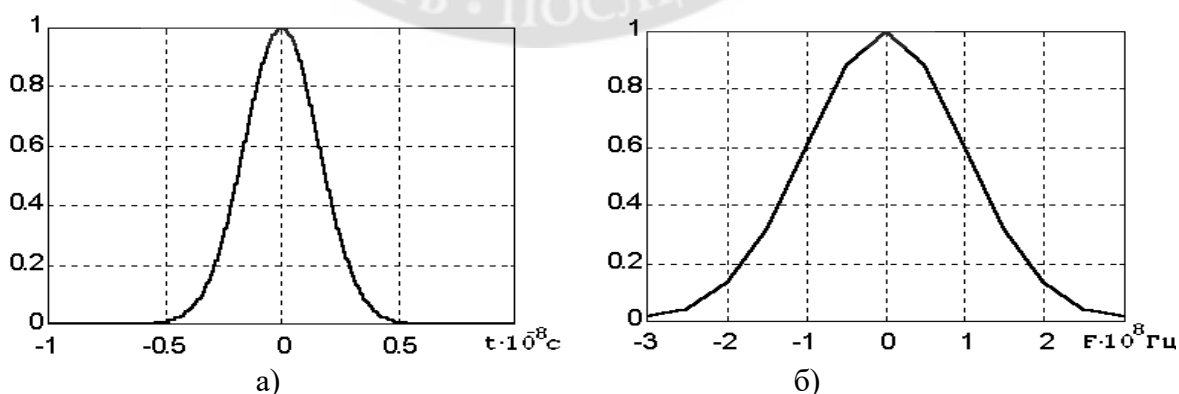


Рисунок 1 – Часова (а) і частотна (б) нормовані моделі енергодинамічних імпульсів

## 2. Визначення практичної ширини спектра

Енергодинамічні імпульси мають кінцеву тривалість і, отже, мають нескінченний спектр [4]. Практично всі пристрої виділення діагностичної інформації мають обмежену смугу пропускання. Тому при виділенні сигналу може бути отримана лише частина його частотного спектра. При цьому необхідно забезпечити виділення найбільш істотної, з погляду наявності діагностичної інформації, частини спектра.

Вибір практичної ширини спектра сигналу можна здійснити по двох критеріях – енергетичним критерієм і критерієм припустимих перекручувань сигналу [4-6]. У більшості випадків за практичну ширину спектра сигналу приймають діапазон частот, у межах якого міститься 90% енергії сигналу [5,6]. Тому скористаємося енергетичним критерієм вибору практичної ширини спектра.

Згідно [5] енергія сигналу, зосереджена в смузі частот від 0 до  $\omega_1$ , може бути обчислена через спектральну щільність наступним чином:

$$W = \frac{1}{\pi} \cdot \int_0^{\omega_1} [S(j\omega)]^2 d\omega. \quad (3)$$

Підставивши вираз (2) в вираз (3), одержимо

$$W = \left(\frac{U_0}{\alpha}\right)^2 \cdot \int_0^{\omega_1} e^{-2 \cdot \left(\frac{\omega}{2\alpha}\right)^2} d\omega.$$

Повна енергія одиночного гауссівського імпульсу, відповідно до рівності Парсеваля буде:

$$\begin{aligned} W_0 &= \int_{-\infty}^{\infty} [U(t)]^2 dt = \int_{-\infty}^{\infty} [U_0(e^{-\alpha t})]^2 dt = U_0^2 \int_{-\infty}^{\infty} e^{-(\sqrt{2}\alpha t)^2} dt = \\ &= \frac{U_0^2}{\sqrt{2}\alpha} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-z^2} dz = \frac{U_0^2}{\alpha} \sqrt{\frac{\pi}{2}}. \end{aligned}$$

Тоді функція  $\Psi(\omega_1) = W/W_0$  характеризує частину енергії гауссівського імпульсу, зосереджену в смузі частот від 0 до  $\omega_1$ . Одержимо  $\Psi(\omega_1)$

$$\Psi(\omega_1) = \frac{\left(\frac{U_0}{\alpha}\right)^2 \int_0^{\omega_1} e^{-2 \cdot \left(\frac{\omega}{2\alpha}\right)^2} d\omega}{\frac{U_0^2}{\alpha} \sqrt{\frac{\pi}{2}}} = \frac{1}{\alpha} \sqrt{\frac{2}{\pi}} \cdot \int_0^{\omega_1} e^{-2 \cdot \left(\frac{\omega}{2\alpha}\right)^2} d\omega.$$

Зробимо заміну перемінних:  $\frac{\omega}{\alpha} = z$ ,  $d\omega = \alpha \cdot dz$ . Тоді

$$\Psi(\omega_1) = \sqrt{\frac{2}{\pi}} \cdot \int_0^{\frac{\omega_1}{\alpha}} e^{-\frac{z^2}{2}} dz = \frac{2}{\sqrt{2\pi}} \int_0^{\frac{\omega_1}{\alpha}} e^{-\frac{z^2}{2}} dz = 2\Phi\left(\frac{\omega_1}{\alpha}\right),$$

де  $\Phi\left(\frac{\omega_1}{\alpha}\right) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^{\frac{\omega_1}{\alpha}} e^{-\frac{z^2}{2}} dz$  – функція Лапласа.

Відомо [4,5], що, якщо визначити тривалість гауссівського імпульсу на рівні, що відповідає 90% енергії імпульсу, то коефіцієнт форми визначається через тривалість імпульсу таким чином:

$$\alpha = 1,65 / \tau_u.$$

Виходячи з того, що тривалість імпульсу енергодинамічного процесу в середньому складає 3,5 наносекунд, то  $\alpha = 4,714 \cdot 10^8$ . З цього випливає, що в смузі частот від 0 до  $\omega_1 = 775.5 \cdot 10^6$  рад/с зосереджено 90% енергії одиночного ЕДІ. Подальше збільшення практичної ширини спектра з енергетичної точки зору недоцільно, тому що при  $\omega_1 \geq \omega_{гр}$  крива  $\psi(\omega_1)$  (рис. 2) дуже полого.

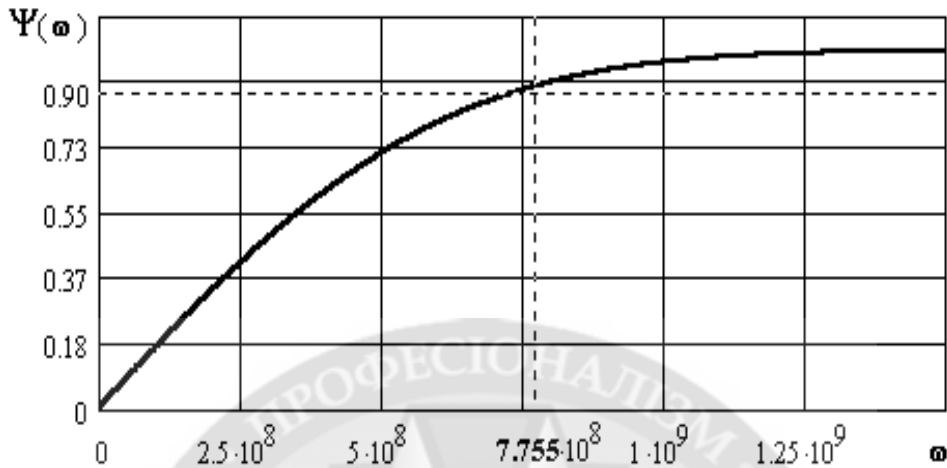


Рисунок 2 - Ширина спектру з енергетичної точки зору

Таким чином, практична ширина енергодинамічних імпульсів визначається шириною спектра одного імпульсу і складає величину порядку 120 МГц.

### 3. Вплив зміни тривалості ЕДІ на амплітудно-частотному спектрі (АЧС)

Якісний аналіз АЧС енергодинамічних імпульсів показав, що при зменшенні  $\tau_u$  спектральна щільність при  $\omega=0$  зменшується і ширина спектра збільшується (рис. 3). Однак в околиці точки  $\omega'$  існує діапазон частот  $\omega'' - \omega'''$ , у межах якого зміна спектральної щільності в залежності від зміни  $\tau_u$  незначна і не перевищує якогось наперед заданого значення. Визначимо, як виражається ширина зони квазістаціонарності спектра в залежності від відносної зміни модуля спектральної щільності [7, 8].

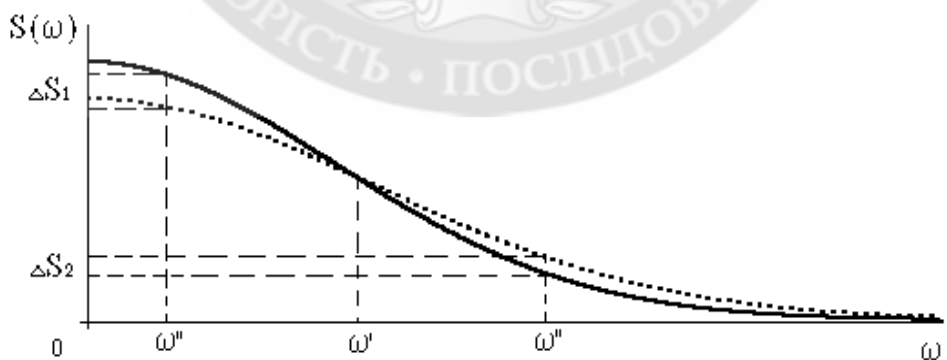


Рисунок 3 - Зовнішній вигляд ширини спектру

Знайдемо частоту  $\omega'$ , на якій перетинаються огинаючі спектрів імпульсів із тривалістю  $\tau_{u1}$  і  $\tau_{u2}$  ( $\tau_{u1} < \tau_{u2}$ ). Для цього у виразі (2) введемо тривалість імпульсу за умови, що вимір

відбувається на рівні  $\frac{U_0}{e}$ . При цьому масштабний коефіцієнт  $\alpha$  і тривалість імпульсу зв'язані співвідношенням  $\alpha = \frac{2}{\tau_u}$ . Вираз (2) прийме вид:

$$S_1(j\omega) = \frac{U_0 \sqrt{\pi} \tau_u}{2} e^{-\frac{\omega'^2 \tau_u^2}{16}}.$$

Для частоти  $\omega'$  виконується умова

$$\frac{U_0 \sqrt{\pi} \tau_{u1}}{2} \cdot e^{-\frac{(\omega' \tau_{u1})^2}{16}} = \frac{U_0 \sqrt{\pi} \tau_{u2}}{2} \cdot e^{-\frac{(\omega' \tau_{u2})^2}{16}}.$$

Перетворимо цей вираз

$$\ln \tau_{u1} - \frac{(\omega' \tau_{u1})^2}{16} = \ln \tau_{u2} - \frac{(\omega' \tau_{u2})^2}{16}.$$

Звідки

$$\omega' = 4 \sqrt{\frac{\ln \frac{\tau_{u1}}{\tau_{u2}}}{\tau_{u2} - \tau_{u1}}}.$$

Абсолютне значення модулів спектральних щільностей

$$\Delta S(j\omega) = S_2(j\omega) - S_1(j\omega) = \frac{U_0 \sqrt{\pi}}{2} \left[ \tau_{u2} e^{-\frac{(\omega' \tau_{u2})^2}{16}} - \tau_{u1} e^{-\frac{(\omega' \tau_{u1})^2}{16}} \right].$$

Обчислимо відношення  $\Delta S(j\omega)$  до середнього арифметичного тих самих величин:

$$\frac{\Delta S(j\omega)}{S_2(j\omega) + S_1(j\omega)} = 2 \cdot \frac{\tau_{u2} e^{-\frac{(\omega' \tau_{u2})^2}{16}} - \tau_{u1} e^{-\frac{(\omega' \tau_{u1})^2}{16}}}{\tau_{u2} e^{-\frac{(\omega' \tau_{u2})^2}{16}} + \tau_{u1} e^{-\frac{(\omega' \tau_{u1})^2}{16}}} = \xi.$$

Перетворимо отриману рівність:

$$\frac{1 - \frac{\tau_{u1}}{\tau_{u2}} \cdot e^{-\frac{\omega^2 (\tau_{u1}^2 - \tau_{u2}^2)}{16}}}{1 + \frac{\tau_{u1}}{\tau_{u2}} \cdot e^{-\frac{\omega^2 (\tau_{u1}^2 - \tau_{u2}^2)}{16}}} = \frac{\xi}{2}.$$

Перепишемо його у вигляді:

$$\frac{1-x}{1+x} = \frac{\xi}{2},$$

звідки

$$x = \frac{\tau_{u1}}{\tau_{u2}} \cdot e^{-\frac{\omega^2 (\tau_{u1}^2 - \tau_{u2}^2)}{16}} = \frac{2-\xi}{2+\xi}.$$

Вирішивши цей вираз відносно  $\omega$ , одержимо:

$$\omega'', \omega''' = \sqrt{\omega'^2 + 16 \cdot \frac{\ln \left( \frac{2+\xi}{2-\xi} \right)^{\pm 1}}{\tau_{u2}^2 - \tau_{u1}^2}}. \quad (4)$$

Для знаходження  $\omega''$  показник ступеня в другому додатку підкореневого виразу дорівнює +1, для знаходження  $\omega'''$  показник дорівнює -1.

Вираз (4) дозволяє оцінити діапазон частот  $\omega'' - \omega'''$  у межах якого зміна тривалості імпульсу від  $\tau_{u1}$  до  $\tau_{u2}$  приведе до відносної зміни модуля спектральної щільності на задане число відсотків [9].

#### 4. Вплив взаєморозташування ЕДІ в часовій області на АЧС

При проведенні моделювання можливого взаємного розташування ЕДІ на часовій осі за допомогою математичного пакету Matlab версії 5.2.1 отримані наступні результати для АЧС.

Розглянемо випадок двох ЕДІ. Спектральна щільність такого сигналу дорівнює

$$S_{\Sigma}(j\omega) = S_1(j\omega) + S_2(j\omega) = \frac{U_0}{\alpha} e^{-\left(\frac{\omega}{2\alpha}\right)^2} + \frac{U_0}{\alpha} e^{-\left(\frac{\omega}{2\alpha}\right)^2} e^{-j\omega t_3}$$

$$S_{\Sigma}(j\omega) = \frac{U_0}{\alpha} e^{-\left(\frac{\omega}{2\alpha}\right)^2} \cdot (1 + e^{-j\omega t_3}),$$

де  $t_3$  – час затримки одного імпульсу щодо іншого [10-12].

Для двох енергодинамічних імпульсів зміщених один відносно іншого на 1 нс (рис. 4а) АЧС показаний на рис. 4б. Через те, що тривалість сумарного імпульсу в часовій області збільшується, в частотній області спостерігається звуження спектра.

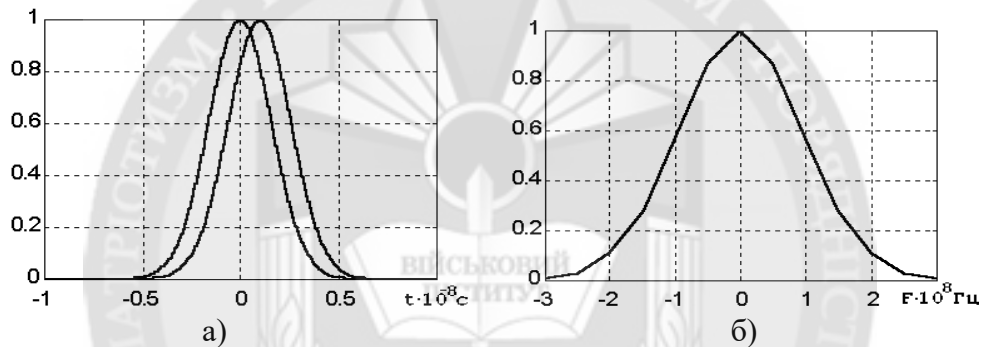


Рисунок 4 – Вигляд АЧС для двох енергодинамічних імпульсів

При збільшенні часу затримки  $t_3$  (рис. 5а) АЧС звужується, що дозволяє розрізняти положення і кількість ЕДІ.

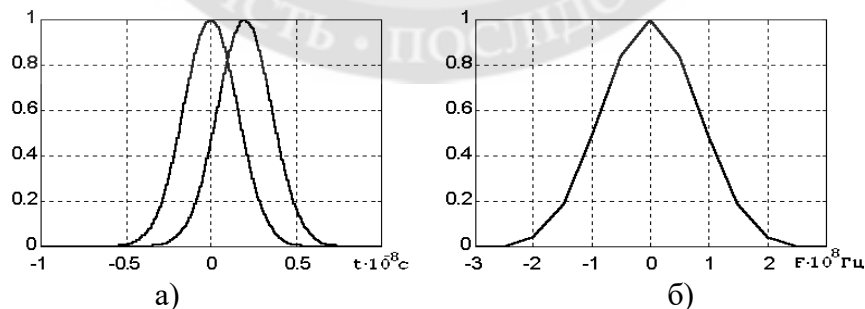


Рисунок 5 – Вигляд АЧС для розрізнення положення і кількості ЕДІ

При  $t_3 = \tau_u$  (рис. 6а) спостерігається характерний пелюстковий вид АЧС (рис. 6б), “нульові частоти” розташовані на осі частот у точках  $\omega = (2n-1)\pi/T_u$ , де  $n$  – число імпульсів,  $T_u$  – період їхнього проходження.

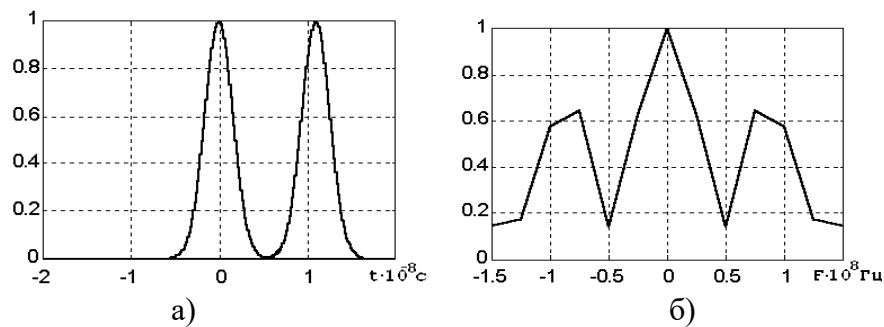


Рисунок 6 – Вигляд АЧС (а) пелюстковий, (б) “нульові частоти” розташовані на осі частот

На рис. 7–9 показано вигляд АЧС при різному взаєморозташуванні трьох ЕДІ. У кожному випадку вид і структура АЧС точно характеризують кількість і взаєморозташування імпульсів.

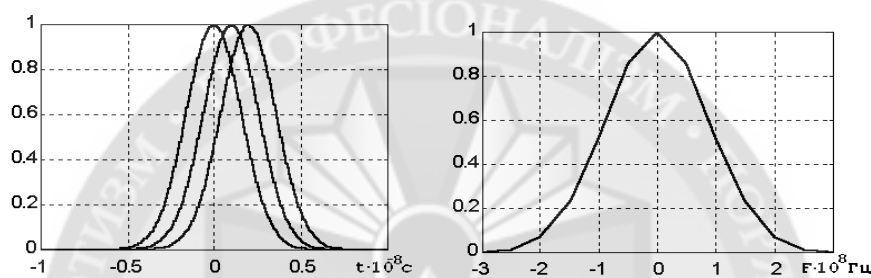


Рисунок 7 – Вигляд АЧС при різному взаєморозташуванні трьох ЕДІ

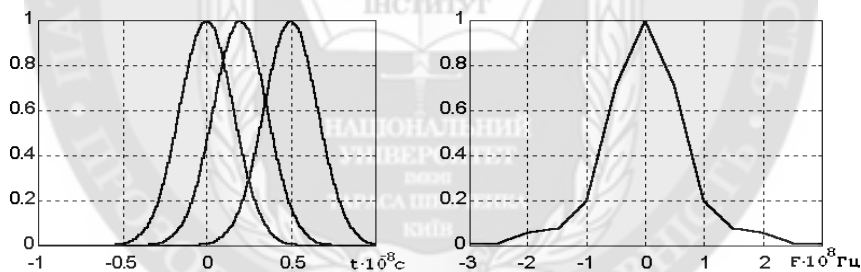


Рисунок 8 – Вигляд АЧС при різному взаєморозташуванні трьох ЕДІ

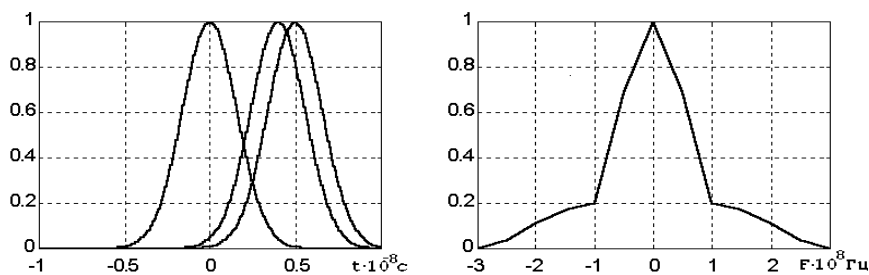


Рисунок 9 – Вигляд АЧС при різному взаєморозташуванні трьох ЕДІ

При зміні часу затримки між сусідніми ЕДІ змінюється вид і структура АЧС. Знаючи послідовність переключення ЛЕ в часі, можна по аналізу АЧС точно вказати, який саме елемент змінив свій логічний стан. Використання такої діагностичної інформації дозволяє виявляти непрацездатні ЛЕ з точною вказівкою дефектного елемента.

5. Обґрунтування можливості переходу від просторово-часової  $k$ -рівневої обробки до частотно-спектральної

Реалізація багаторівневої обробки дозволяє знайти одночасне спрацьовування декількох ЛЕ, але введення додаткових каналів виділення і кодування діагностичної інформації ускладнює пристрій, підвищуючи ймовірність помилкової тривоги.

Проаналізуємо зміну спектрів сигналів у ланцюзі живлення при одночасному переключенні одного, двох і  $k$  логічних елементів, включених паралельно. Спектральна щільність ЕДІ описується формулою (2). Теоретично ширина спектра нескінченна, але спектральна щільність максимальна тільки в обмеженому діапазоні частот  $\omega \dots \omega_{\text{гр}}$ , а за його межами швидко зменшується. Тому за ширину спектра приймають діапазон частот, у межах якого зосереджено 90% енергії сигналу [11-14].

З аналізу практичної ширини спектра, проведеного в пункті 2, гранична частота може бути визначена як:

$$\omega_{\text{гр}} = 0,52 \cdot \pi \cdot \alpha .$$

Модуль спектральної щільності, що відповідає границі спектра  $\omega_{\text{гр}}$ , визначається

$$S(\omega_{\text{гр}1}) = \frac{U\sqrt{\pi}}{\alpha} e^{-\left(\frac{\omega_{\text{гр}1}}{2\alpha}\right)^2} = \frac{U}{\alpha} e^{-(0,26\pi)^2} . \quad (5)$$

При одночасному спрацьовуванні двох елементів у ланцюзі живлення виникає імпульс, який дорівнює сумі імпульсів від кожного елемента

$$U_2(t) = 2U e^{-(\alpha t)^2} .$$

При цьому спектральна щільність сумарного імпульсу прийме вигляд:

$$S_2(j\omega) = 2 \frac{U\sqrt{\pi}}{\alpha} e^{-\left(\frac{\omega}{2\alpha}\right)^2} .$$

Гранична частота, що відповідає рівню спектральної щільності (5), визначиться з умови

$$\frac{U\sqrt{\pi}}{\alpha} e^{-(0,26\pi)^2} = \frac{2U\sqrt{\pi}}{\alpha} e^{-\left(\frac{\omega_{\text{гр}2}}{2\alpha}\right)^2} .$$

Звідки

$$\omega_{\text{гр}2} = \sqrt{4\alpha^2 \ln 2 + (0,26 \cdot \pi)^2 4\alpha^2} . \quad (6)$$

При одночасному спрацьовуванні  $k$  елементів вираз (6) буде мати вигляд:

$$\omega_{\text{гр}k} = A\sqrt{\ln k + B^2} , \quad (7)$$

де  $A = 2\alpha$ ,  $B = 0,26 \cdot \pi$ .

Для  $\tau_u = 3,5$  нс значення  $\omega_{\text{гр}k}$  зведені в табл. 1

Таблиця 1 – Значення  $\omega_{\text{гр}k}$  при  $\tau_u = 3,5$  нс

$k$	1	2	3	4	5	6	7
$\omega_{\text{гр}} \cdot 10^8 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$	7,7	11,0	12,53	13,51	14,23	14,8	15,25

З табл. 1 випливає, що з ростом  $k$  зростає граничне значення  $\omega_{\text{гр}k}$  [15]. Ця обставина дозволяє проводити стійке розходження спектрів, що відповідають різним рівням



спрацьовування ЛЕ. Отже, з'являється діагностична інформація, що дозволяє перейти від  $k$ -рівневої амплітудної обробки до частотно-спектральної обробки сигналів у ланцюзі живлення.

**Висновки.** Проведений аналіз спектрів сигналів протікання енергодинамічного процесу, що виникають у ланцюзі живлення складних цифрових об'єктах, показав, що спектри сигналів є достовірним джерелом діагностичної інформації. Використовуючи принципи одночасного аналізу вихідної реакції і параметрів енергодинамічного імпульсу, технічно можливо реалізувати пристрій для діагностування цифрових ТЕЗ на основі спектрального аналізу параметрів енергодинамічного процесу.

#### ЛІТЕРАТУРА:

1. Діагностування аналогових і цифрових пристроїв радіоелектронної техніки. Монографія / В.В. Вишнівський, М.К. Жердев, С.В. Ленков, В.А. Проценко; під ред. М.К. Жердєва, С.В. Ленкова. – К.: ТОВ «Компанія ЛК», 2009. – 224 с.

2. Жиров Г.Б. Узагальнена діагностична модель цифрової ВІС для енергостатичного методу діагностування / Г.Б. Жиров // Вісник КНУ ім. Тараса Шевченка. – Сер. Військово-спеціальні науки. – К.: Київ. ун-т, 2005. – Вип. 11. – С. 55-60.

3. Гахович С.В. Метод діагностування цифрових ТЕЗ // Зб. наук. пр. ВІТІ НТУУ “КПІ”. – Вип. № 4. – К.: ВІТІНТУУ “КПІ”, 2004. – С. 24-30.

4. Глухов С.І. Діагностування цифрових радіоелектронних компонентів типових елементів заміни радіоелектронної техніки з використанням електромагнітного методу у військових ремонтних органах // Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету ім. Тараса Шевченка. – К., 2009. – № 21. – С. 42-45.

5. Глухов С.І. Аналіз існуючих методів діагностування типових елементів заміни радіоелектронних засобів озброєння обґрунтування необхідності використання інформаційних технологій при їх застосуванні // Збірник науко-вих праць Військового інституту Київського національного університету ім. Тараса Шевченка. – К., 2016. – № 51. – С. 12-19.

6. Шевченко В.В. Визначення технічного стану цифрових типових елементів заміни за допомогою електромагнітного методу діагностування // Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони. – Київ, 2015. – № 1 (22). – С. 136-139.

7. Жердев М.К. Узагальнення результатів форсованих випробувань радіоелектронних компонентів / М.К. Жердев, В.В. Кузавков, С.І. Глухов // Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету ім. Тараса Шевченка. – К., 2015. – № 49. – С. 40-48.

8. Вишнівський В.В. Аналіз методів форсованих випробувань для отримання залежності зміни діагностичного параметра від часу напрацювання напівпровідникових РЕК / В. В. Вишнівський, В.В. Василенко, В.В. Кузавков // Системи управління, навігації та зв'язку. – П.: ПНТУ. – 2015. – Вип. 1(33). – С. 18-21.

9. Шкуліпа П.А. Алгоритм побудови діагностичної моделі транзистора в режимі відсічки для енергодинамічного методу діагностування / П.А. Шкуліпа // Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету ім. Тараса Шевченка. – К., 2013. – № 39. – С. 229-233.

10. Шкуліпа П.А. Загальний підхід до розробки алгоритму побудови тестів діагностування для енергодинамічного електромагнітного методів / П.А. Шкуліпа // Десята всеукраїнська конференція студентів і молодих науковців «Інфор-матика, інформаційні системи та технології». – Одеса, 2013. – С. 51-52.

11. Вишнівський В.В. Проблема побудови та впровадження автономних автоматизованих систем діагностування радіоелектронного озброєння / В.В. Вишнівський, В.В. Кузавков, Г.І. Гайдур // Науковий журнал Інформаційна безпека Східноукраїнський національний університет ім. Володимира Даля. – Луганськ, 2014. – Вип. № 4(16). – С. 151-157.

12. Вишнівський В.В., Жердев М.К., Ленков С.В., Проценко В.А. Діагностування аналогових і цифрових пристроїв радіоелектронної техніки. – М.: Сов. радио, 2009. – 224 с.

13. Жердев М.К. Концептуальні засади методу діагностування сучасних цифрових типових елементів заміни по форматним частотам перехідного процесу в шині живлення / М.К. Жердев, В.О. Савран // Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка. – К.: ВІКНУ, 2016.- Вип.52. – С20-32.

14. Ленков С.С., Толоч І.В. Прогнозування складу і ресурсу угруповань технічних об'єктів // Науковий журнал «Системи озброєння і військова техніка», Харків, 2018. – №3(55). – С. 78 –84.

15. Lienkov S.V., Zhirov H.B., Tolok I.V., Lienkov Ye.S. // Simulation model of the adaptive maintenance procedure of complex radioelectronic facilities 2313-688X Radio Electronics, Computer Science, Control. ISSN: 1607-3274. 2020. No 1. –P63-74. DOI 10.15588/1607-3274-2020-1-7

#### REFERENCES:

1. Vyshnivskiy V.V., Zherdiev M.K., Lienkov S.V., Protsenko V.A.; pid red. Zherdieva M.K., Lienkova S.V. (2009), "Diahnostuvannia analogovykh i tsyfrovyykh prystroiv radioelektronnoi tekhniki" [Diagnostics of analog and digital devices of radio electronic equipment], K., TOV Kompaniia LIK, 224 p.
2. Zhyrov H.B. (2005), "Uzahalnena diahnostychna model tsyfrovoy VIS dlia enerhostatychnoho metodu diahnostuvannia" [Generalized diagnostic model of digital VIS for the energy-static method of diagnosis], Bulletin of KNU named after Taras Shevchenko. Ser Military special sciences. K.: Kyiv. University, No.11 pp 55-60.
3. Hakhovych S.V (2004), "Metod diahnostuvannia tsyfrovyykh TEZ" [The method of diagnosing digital TES], Collection. of science Ave. VITINTUU "KPI", No.4 pp. 24-30.
4. Hlukhov S.I. (2009), "Diahnostuvannia tsyfrovyykh radioelektronnykh komponentiv typovykh elementiv zaminy radioelektronnoi tekhniki z vykorystanniam elektromahnitnoho metodu u viiskovykh remontnykh orhanakh" [Diagnostics of digital radio-electronic components of typical replacement elements of radio-electronic equipment using the electromagnetic method in military repair bodies], Zbirnyk naukovykh prats Viiskovoho instytutu Kyivskoho natsionalnoho universytetu im. Tarasa Shevchenka. K. No.21, pp. 42-45.
5. Hlukhov S.I. (2016), "Analiz isnuuychyykh metodiv diahnostuvannia typovykh elementiv zaminy radioelektronnykh zasobiv ozbroieniata obhruntuvannia neobkhdnosti vykorystannia informatsiynykh tekhnolohii pry yikh zastosuvanni" [Analysis of existing methods of diagnosis of typical replacement elements of radio-electronic means of armament, justification of the need to use information technologies in their application], Collection of Scientific Works of the Military Institute of Kyiv National University named after Taras Shevchenko. K. No. 51, pp. 12-19.
6. Shevchenko V.V. (2015), "Vyznachennia tekhnichnoho stanu tsyfrovyykh typovykh elementiv zaminy za do-pomohoiu elektromahnitnoho metodu diahnostuvannia" [Determining the technical condition of digital typical replacement elements using the electromagnetic method of diagnosis], Modern information technologies in the sphere of security and defense. Kyiv, No. 1 (22), pp 136-139.
7. Zherdiev M.K., Kuzavkov V.V., Hlukhov S.I. (2015), "Uzahalnennia rezultatyv forsovanykh vyprobuvan radioelektronnykh komponentiv", [Generalization of the results of forced tests of radio-electronic components], Collection of Scientific Works of the Military Institute of Kyiv National University named after Taras Shevchenko. K. No. 49, pp. 40-48.
8. Vyshnivskiy V.V., Vasylenko, V.V., Kuzavkov V.V. "Analiz metodiv forsovanykh vyprobuvan dlia otrymannia zalezhnosti zminy diahnostychnoho parametra vid chasu napratsiuвання napivprovodnykovykh REK" [Analysis of forced test methods to obtain the dependence of the diagnostic parameter change on the operating time of semiconductor RECs], Management, navigation and communication systems. PNTU. Issue 1(33). pp. 18-21.
9. Shkulipa P.A. (2013) "Alhorytm pobudovy diahnostychnoi modeli tranzystora v rezhymy vidsichky dlia enerhodynamichnoho metodu diahnostuvannia" [Algorithm for constructing a diagnostic model of a transistor in cut-off mode for an energy-dynamic method of diagnosis], Collection of Scientific Works of the Military Institute of Kyiv National University named after Taras Shevchenko. K. No, 39, pp. 229-233.
10. Shkulipa P.A. (2013) "Zahalnyi pidkhid do rozrobky alhorytmu pobudovy testiv diahnostuvannia dlia enerhodynamichnoho ielektromahnitnoho metodiv" [A general approach to the development of an algorithm for constructing diagnostic tests for energy-dynamic and electromagnetic methods], Tenth All-Ukrainian Conference of Students and Young Scientists "Informatics, Information Systems and Technologies". Odesa, pp. 51-52.
11. Vyshnivskiy V.V., Kuzavkov V.V., Haidur H.I. (2014), Problema pobudovy ta vprovadzhennia avtonomnykh avtomatyzovanykh system diahnostuvanniaradioelektronnoho ozbroieniia [The problem of building and implementing autonomous automated systems for diagnosing radio-electronic weapons], Scientific Journal Information Security East Ukrainian National University named after Volodymyr Dahl. Luhansk, Vol. No. 4 (16). pp. 151-157.
12. Vyshnivskiy V.V., Zherdiev M.K., Lienkov S.V., Protsenko V.A. (2009), Diahnostuvannia analogovykh i tsyfrovyykh prystroiv radioelektronnoi tekhniki [Diagnostics of analog and digital devices of radio electronic equipment], M. Sov. radio, 224 p.

13. Zhierdev M.K., Savran V.O. (2016) Kontseptualni zasady metodu diahnostuvannia suchasnykh tsyfrovyykh typovykh elementiv zaminy po formatnym chastotam perekhidnoho protsesu v shyni zhyvlennia [Conceptual foundations of the method of diagnosing modern digital typical replacement elements by the format frequencies of the transition process in the power bus], Collection of scientific works of the Military Institute of Taras Shevchenko Kyiv National University. K. VIKNU, Issue 52, pp. 20-32.

14. Lienkov Ye.S., Tolok I.V. (2018), Prohnozuvannia skladu i resursu uhrupuvan tekhnichnykh obiektiv [Forecasting the composition and resources of groups of technical objects], Scientific journal "Weapons systems and military equipment", Harkiv, No. 3(55), pp.78-84.

15. Lienkov S. V., Zhiron H.B., Tolok I. V. Lienkov Ye. S. Simulation model of the adaptive maintenance procedure of complex radioelectronic facilities 2313-688X Radio Electronics, Computer Science, Control. ISSN: 1607-3274. 2020. No 1. –P63-74. DOI 10.15588/1607-3274-2020-1-7.

PhD Gakhovych S.V., PhD Okhramovych M.M.,  
PhD Kravchenko O.I., Shevchenko V.V.

#### FREQUENCY ANALYSIS OF THE SIGNALS IN DIAGNOSTIC TESTS BY THE ENERGY-DYNAMIC METHODOLOGY

*The article analyzes the type of energy-dynamic pulses in the space-time and frequency-spectral domains to improve the diagnostic process of digital standard replacement elements with large integrated circuits and microprocessor-based large integrated circuits in their design. Creation of new and improvement of existing systems used to determine the technical condition of digital devices in complex conditions requires the development of new methods of diagnosis. This is due to the high complexity of radio-electronic equipment and the shortage of decision time when carrying out technical state control. In the scientific and technical literature on the development and operation of radio electronic equipment, the main attention is paid to the study of the possibility of minimizing the average recovery time and cost of means of diagnostics of the radio electronic equipment object. The main factor holding back the development of modern technical diagnosis systems is the lack of a methodological apparatus capable of significantly more effective use of developed diagnostic models to identify faulty logical elements.*

*Application of the proposed scientific approaches to the processing of diagnostic information will allow: to determine in advance the elements whose characteristics are approaching critical; to determine the technical condition of radio electronic equipment in real time; to monitor the serviceability of elements of radio electronic equipment. It will also allow for more accurate processing of diagnostic parameter values, forecasting failure times of radio electronic components with a given reliability. This, in its turn, will lead to decrease of detection time of sudden failures of radio-electronic facilities and considerably reduce time spent on restoration of digital standard replacement elements of radio-electronic equipment, requirements to which are constantly growing in conditions of repulsion of the Russian aggression by the Armed Forces of Ukraine.*

*Keywords: energy dynamic method of diagnostics, radio electronic technology, space-hour sphere, frequency-spectral sphere, typical replacement element.*