УДК 621.391

д.т.н. Креденцер Б.П. (ВІТІ)
д.т.н. Жердєв М.К. (ВІТІ)
к.т.н. Бовда Е.М. (ВІТІ)
Єфанова К.О. (ВІТІ)

ЕЛЕКТРОМАГНІТНИЙ МЕТОД КОНТРОЛЮ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНОГО ОБЛАДНАННЯ МЕРЕЖ ВІЙСЬКОВОГО ЗВ'ЯЗКУ

В даній статті проаналізовані основні переваги та недоліки застосування електромагнітного методу контролю технічного стану телекомунікаційного обладнання мереж військового зв'язку та викладений результат проведеного експерименту та обробки статистичних даних, який підтверджує основні положення методу.

Креденцер Б.П., Жердев Н.К., Бовда Э.Н., Ефанова Е.О. Электромагнитный метод контроля технического состояния телекоммуникационного оборудования сетей военной святи. *В данной статье проанализированы основные преимущества и недостатки применения электромагнитного метода контроля технического состояния телекоммуникационного оборудования сетей военной связи, а также изложен результат проведенного эксперимента и обработки статистических данных, подтверждающий основные положения даного метода.*

B.Kradentser, N. Zherdev, E. Bovda, K. Efanova Electromagnetic method of technical control state of military communication network telecommunication equipment. *In this article the main advantages and disadvantages of using the electromagnetic method monitoring the technical state of telecommunication equipment of military communication networks are analyzed, and the result of the conducted experiment and the processing of statistical data, which confirms the main provisions of the method, is described.*

Ключові слова: *системи військового ремонту, технічний стан, діагностична інформація, універсальний вимірювальний модуль , діагностика, радіоелектронне озброєння.*

Постановка задачі в загальному вигляді. Тенденція розвитку Збройних сил України вимагає від системи військового ремонту (СВР) радіоелектронних засобів та озброєння відповідати сучасним вимогам, проте, як показує аналіз, наведений у роботі [1], існуюча СВР є громіздкою, збитковою і вимагає удосконалення. Тому для усунення вище зазначених недоліків пропонується застосування електромагнітного методу контролю технічного стану телекомунікаційного обладнання мереж військового зв'язку, що дає можливість повної автоматизації процесу діагностування.

Запропонований метод не лише усуває проблеми технічного характеру, але і є економічно вигідним, адже вартість пристроїв, що реалізовують цей метод, в 10 – 15 разів дешевше, ніж ті що існують.

Аналіз останніх публікацій.

Враховуючи результати аналізу відомих методів для контролю технічного стану, які наведені у роботах [1, 2, 6, 8], а також способів зняття діагностична інформація (ДІ), пропонується удосконалений електромагнітний метод для контролю технічного стану типових елементів заміни радіоелектронних засобів озброєння (РЕЗО), який значно (на 20-25%) скорочує час контролю технічного стану типового елементу заміни (ТЕЗ).

Ідея електромагнітного методу контролю технічного стану ТЕЗ полягає в тому, що в якості діагностичного параметру (ДП) використовується значення сигналів, наведених у антенному пристрої в залежності від часу дії елементарного тесту [7, 8]. Перехід цифрового радіоелектронного компонента із одного стану у протилежний супроводжується зміною електромагнітного поля навколо нього. Дану властивість доцільно використовувати для визначення його технічного стану (ТС). Для цього антена таких же розмірів і форми, як і ТЕЗ, розміщується над його корпусом. При спрацьовуванні будь-якого з радіоелектронного компонента інтегральна мікросхема (ІМС) у пластині наводиться імпульсна електрорушійна сила, яка генерує імпульс певної амплітуди. Наявність імпульсу на виході пластини служить інформацією про факт перемикання одного з логічних елементів (ІМС), розташованого на ТЕЗ. Діагностична інформація, що отримана за допомогою антенного пристрою, являє собою

послідовність імпульсів, які надходить до блоку її обробки. На основі порівняння параметрів імпульсів, наведених у антенному пристрої, і еталонних імпульсів, приймається рішення про ТС даного цифрового ТЕЗ.

Метою даної статті є визначити переваги та доцільність застосування електромагнітного методу контролю технічного стану телекомунікаційного обладнання мереж військового зв'язку.

Новизна методу полягає у тому, що вперше в якості ДП використовується значення сигналів, наведених у антенному пристрої в залежності від часу дії елементарного тесту.

У самому простому випадку, коли *n* логічних елементів (ЛЕ) всіх ІМС, які входять до складу ТЕЗ, знаходяться у справному стані і з'єднані між собою послідовно, на виході антенного пристрою будуть зафіксовані *n* імпульсів конкретної напруги. У випадку, якщо присутня несправність будь-якого ЛЕ ІМС при послідовному їх з'єднанні, то змінюється кількість імпульсів у антенному пристрої. Достовірність контролю ТС цифрових ТЕЗ в значній мірі залежить від правильності вибраних ДП, яка в свою чергу, залежить від рішення ряду задач. Ці задачі можна умовно розбити на дві групи. Перша група розглядає питання, пов'язані з протіканням процесів безпосередньо у цифровому радіоелектронний компонент (РЕК). Визначаються струм вихідного ланцюга базового елементу, електромагнітне поле навколо цифрового РЕК і потужність випромінювання, що виникають у момент переходу ЛЕ з одного стану в протилежний. У другій групі вирішуються питання можливості виявлення і фіксації імпульсів струму електромагнітного процесу у антенному пристрої, розрахунку ДП і їх використання для визначення ТС цифрових ТЕЗ.

Викладення основного матеріалу.

1. Визначення діагностичного параметра для цифрового типового елемента заміни.

1.1 Розрахунок електричного струму вихідного ланцюга логічного елемента інтегральної мікросхеми. При використанні запропонованого методу треба розрахувати струм [3, 7, 8], який виникає у антенному пристрої, котрий є ДП. Для його визначення вихідний ланцюг ЛЕ подаємо у вигляді моделі випромінювача. Він являє собою прямолінійний провід, у середину якого ввімкнутий кристал, котрий і є джерелом випромінювання. Довжину такого симетричного вібратора можна порівняти з довжиною хвилі коливань у основній частині спектру випромінюваних частот. За допомогою використання об'ємного інтегралу Кірхгофа можна визначити поле випромінювача [9]:

$$u = \frac{1}{4\pi}\int g(x)\frac{e^{-j\beta r}}{r}dV_{\partial}, \qquad (1)$$

де u – шукана складова поля;

V_{∂} – об'єм диполя;

$g(x)$ – параметр, який характеризує джерела поля;

r – відстань від джерела поля до точки спостереження.

Розрахунок складових поля згідно формули (1) на практиці достатньо складний за наявності труднощів інтегрування при нерівномірному розподілі джерел поля по довжині вібратора. Щоб уникнути такої ситуації, використаємо метод суперпозиції.

Реальний вібратор (рис. 1) з реальним розподілом джерел поля розіб'ємо на ряд елементарних ділянок довжиною $l << \lambda$ [8].

На такій ділянці струм можна вважати постійним. Тоді, при розрахунку поля функцію $g(x)$ в формулі (1) можна винести за знак інтегралу, що суттєво полегшує інтегрування. Поле в точці спостереження визначається шляхом векторного добутку полів усіх елементарних вібраторів. В [1 – 3] показано що, розрахунок електричного струму вихідного ланцюга ЛЕ ІМС при контролі ТС з використанням удосконаленого електромагнітного методу для контролю технічного стану типових елементів заміни РЕЗО можна представити наступним алгоритмом дій:

1) вихідний ланцюг логічного елемента ІМС подається у вигляді моделі випромінювача – прямолінійного проводу, у середину якого ввімкнутий кристал;

2) реальний випромінювач з реальним розподілом джерел поля розбивається на ряд елементарних ділянок довжиною, набагато меншою за довжину хвилі, на кожній з яких струм вважається постійним;

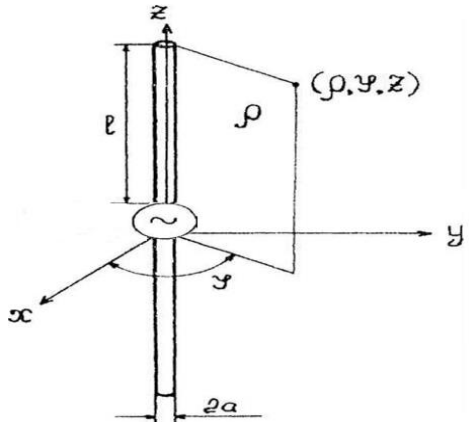


Рис. 1 Модель симетричного вібратора

3) за допомогою метода суперпозиції знаходиться закон зміни струму уздовж вібратора та його значення:

$$I_Z = \frac{jU_A}{60\Omega} * \frac{\sin\beta\left(l - |Z|\right) + \beta_1/\Omega}{\cos\beta l + \alpha_1/\Omega}, \qquad (2)$$

де U_A – напруга джерела (кристала) на вході вібратора;

$|Z|$ – абсолютне значення координати Z, котре відраховується від середини вібратора уздовж його довжини;

$$\Omega = 2\ell n\frac{2l}{a}; \qquad (3)$$

a, l – діаметр і довжина еквівалентного вібратора.

Отримані результати необхідні для розрахунку електромагнітного поля над ІМС з метою подальшого використання при розробці діагностична модель (ДМ) цифрового ТЕЗ.

1.2. Розрахунок електромагнітного поля вихідного ланцюга логічного елемента інтегральної мікросхеми. Сформулюємо задачу наступним чином: нехай дано елементарний електричний випромінювач у вигляді тонкого проводу, уздовж якого протікає гармонійно змінний у часі струм [2, 3, 8, 9]. Випромінювач зосереджений в ізотропній ідеальній $(\sigma = 0)$ середі з параметрами μ_0 і ε_0. Інших джерел електромагнітного поля в просторі, біля вібратора, немає. Необхідно визначити електромагнітне поле у кожній точці простору біля випромінювача, а саме визначити вектори $\vec{E}$ і $\vec{H}$.

Припустимо наступне:

1) довжина випромінювача у багато разів менше довжини хвилі електромагнітного поля, що розглядається, і розподіл струму уздовж випромінювача рівномірний $(l << \lambda; I(x) = \text{const})$;

2) діаметр провідника випромінювача значно менше його довжини $(a << \lambda)$;

3) відстань від випромінювача до точки спостереження набагато більше довжини випромінювача $r >> l$.

Друге та третє припущення дозволяють вважати відстань від кожної точки елементарного випромінювача до точки спостереження практично однаковим.

Розрахунок електромагнітного поля цифрового ТЕЗ можна представити у вигляді наступного алгоритму дій:

1) моделювання вихідних ланцюгів логічного елемента ІМС;

2) перетворення основних рівнянь електромагнітного поля у хвильові рівняння (рівняння Гельмгольца) за допомогою методу електродинамічних потенціалів;

3) визначення векторного потенціалу $\vec{A}$ із рівнянь Гельмгольца;

4) визначення напруженості магнітного поля $\vec{H}$ за відомим вектором $\vec{A}$;

5) визначення напруженості електричного поля $\vec{E}$ за відомим вектором $\vec{H}$.

Отримані результати необхідні для проведення розрахунку значення ДП з метою визначення реального ТС типового елементу заміни. З метою визначення практичної можливості використання методу діагностування, запропонованого в підрозділі 1, необхідно визначити потужність випромінювання вихідних ланцюгів логічних елементів типового елементу заміни, який контролюється.

1.3. Розрахунок потужності випромінювання вихідних ланцюгів логічних елементів цифрового типового елементу заміни. Використовуючи принцип суперпозиції, визначимо потужність випромінювання вібратора за потужністю, яку випромінює у простір кожний елементарний випромінювач [9]. Знайдемо середню потужність випромінювання у простір елементарного вібратора. При цьому будемо вважати, що він розташований у ідеальному середовищі. Її можна визначити як середній потік випромінювання через будь-яку замкнуту поверхню навколо випромінювача:

$$P_B = \oint_S P_{\text{сер}} ds .$$

В якості поверхні S розглянемо сферу, центр якої міститься у початку координат. Для спрощення рішення задачі припустимо, що її радіус r задовольняє умові $\beta r >> 1 \left(\beta = 2\pi/\lambda\right)$.

Формула для розрахунку потужності випромінювання елементарного випромінювача має вигляд:

$$P_B = \frac{r^2}{240\pi} \int_0^{2\pi} d\varphi \int_0^{\pi} E_m{}^2 \sin\theta d\theta = \frac{r^2 60^2 \pi^2 I_m{}^2 l^2 \mu}{240\pi\lambda^2 r^2 \varepsilon} \int_0^{2\pi} d\varphi \int_0^{\pi} \sin^3\theta d\theta .$$

Так як $\int_0^{\pi} \sin^3\theta d\theta = 4/3$, а $\int_0^{2\pi} d\varphi = 2\pi$, то

$$P_B = \frac{r^2 60^2 \pi^2 I_m{}^2 l^2 \mu}{240\pi\lambda^2 r^2 \varepsilon} 2\pi \frac{4}{3} .$$

Після перетворень отримаємо:

$$P_B = 40\pi^2 I_m{}^2 \left(l/\lambda\right)^2 \mu/\varepsilon .$$

З виразу для P_B видно, що зі збільшенням частоти випромінювання зростає її потужність (при рівних амплітудах току високочастотні складові спектру мають більшу потужність, ніж низькочастотні), що підтверджує відомі положення [9]. Результати розрахунків підтверджуються даними, отриманими під час проведення експерименту: потужність випромінювання достатня для визначення ТС цифрових ТЕЗ.

1.4. Діагностична модель цифрового радіоелектронного компоненту цифрового типового елементу заміни. Формальний опис об’єкту діагностування (ОД), який враховує можливість зміни його стану в часі, називається діагностичною моделлю [1, 2, 8]. Виходячи з розглянутого та враховуючи особливості побудови цифрового ТЕЗ, для визначення його ТС будемо використовувати математичну модель [2, 3]:

$$E_A = \sum_{i=1}^{n} |e_A|,$$

де

$$\left| \dot{e}_A \right| = \frac{I m l}{2\pi\omega\varepsilon_a r^2} \sin\varphi, \qquad (4)$$

$i -$ число ІМС на ТЕЗ.

При $r \approx l$ отримаємо: $E_A = \sum_{i=1}^{n} l_A$,

де $l_A = k\dfrac{I}{\omega}$; $k = -j\dfrac{1}{2\pi\varepsilon_a r}$, $\dot{I} = I_m e^{j\varphi}$ – комплексна амплітуда струму у випромінювачі.

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

При використанні виразу (4) для великих ТЕЗ досить складно врахувати вплив радіо компонентів при розрахунку сумарної електрорушійної сили ЕРС в антені. Тому для таких ТЕЗ доцільно визначати цю ЕРС в антені за допомогою фізичних моделей, в якості яких необхідно використати еталонні ТЕЗ. Дослідження енергетичних процесів у ТЕЗ проводилися з використанням універсального вимірювального модуля (УВМ) і необхідного комплексу приладів. В результаті експерименту були отримані дані про параметри імпульсів на виходах ТЕЗ і в антенному пристрої.

Розроблений УВМ повинен відповідати наступним вимогам:

– обробка експериментальних досліджень цифрових ТЕЗ із заданою достовірністю;

– автоматизування процесу обробки експериментальних досліджень цифрових ТЕЗ;

– можливість застосування УВМ для досліджень нових зразків цифрових ТЕЗ виходячи з їх паспортних даних і локалізації несправних елементів в ТЕЗ;

– простота в експлуатації (можливість експлуатації УВМ персоналом невисокої кваліфікації);

– невеликі масово-габаритні показники;

– низька вартість УВМ;

– висока продуктивність.

Крім того, побудова УВМ повинна передбачати можливість зберігання паспортних даних різних типів ТЕЗ, а також можливість внесення до наявної бази нових паспортних даних. Структурна схема УВМ, який використовується на етапі виробництва для визначення діагностичного паспорта ТЕЗ, зображена на рис. 2.

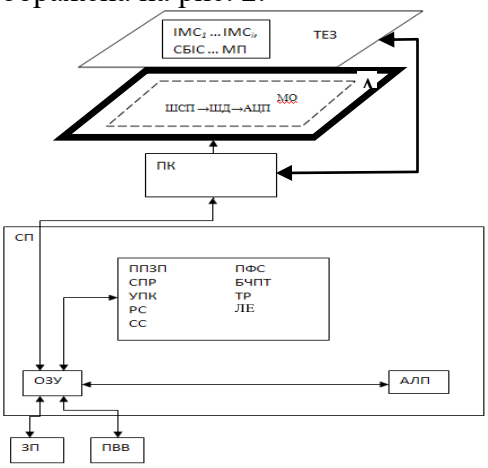


Рис. 2. Структурна схема УВМ

Антена (*А*) призначена для зняття відео імпульсів, які виникають при спрацьовуванні логічного елемента ІМС в ТЕЗ.

Плата комутації (ПК). За допомогою плати комутації, яка має роз'єм під різні типи ТЕЗ, здійснюється підключення ТЕЗ до УВМ і елементів схеми виділення ДП до СП.

Зовнішня пам'ять (ЗП) забезпечує запис діагностичних паспортів ТЕЗ на всі ТЕЗ об'єкта озброєння.

Кожний паспорт ТЕЗ складається з:

– діагностичного номера роз'єму, за допомогою якого ТЕЗ підключається до УВМ;

– діагностичного номера, по якому ініціалізувався ТЕЗ;

– програми розподілу, яка забезпечує підключення відповідних входів ТЕЗ до СП і приладу зняття ДІ, передачу тестових впливів на входь цифрових ТЕЗ;

– службових сигналів;

– діагностичних тестів: завдана послідовність тестових впливів і логічних рівнів (в залежності від технології виготовлення елементної бази ТЕЗ) для проведення діагностування цифрових ТЕЗ;

– еталонних нижніх і верхніх значень реакцій на ці тести.

Модуль обробки (МО) діагностичної інформації служить для виділення і перетворення інформації в цифровий вигляд, яка є еталонною реакцією на тести.

Модуль обробки розташований безпосередньо на антені і складається з :

– широкосмугового підсилювача (ШСП), який призначений для підсилення сигналу, що знімається з антени (рис 3);

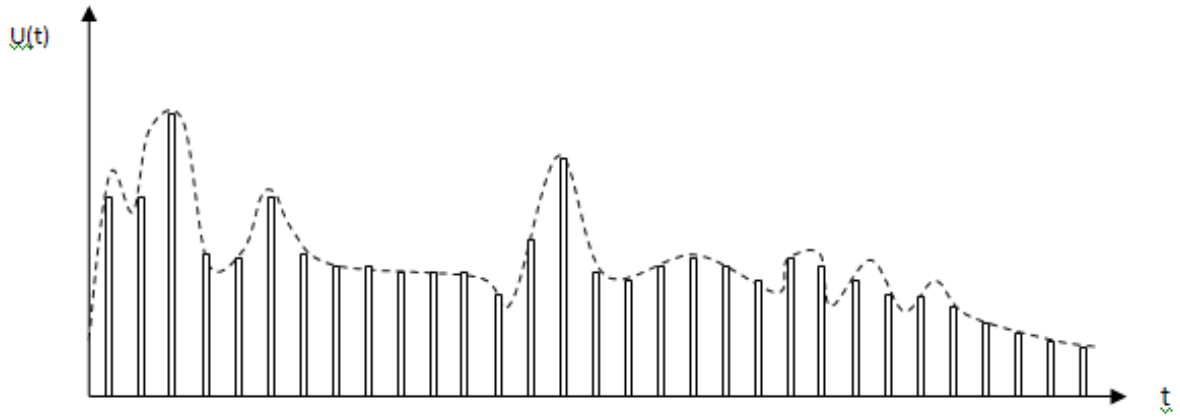


Рис. 3 Сигнал, який знятий з антени

– швидкого детектора (ШД), який виділяє огинаючу сигналу (рис.4), при цьому вихідний сигнал швидкого детектора стає аналоговим;

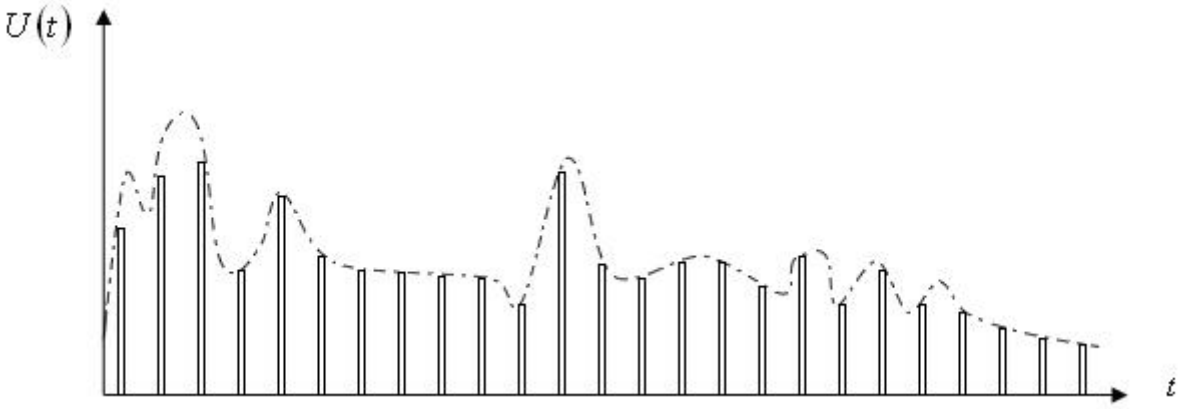


Рис. 4 Сигнал на виході швидкісного детектора

– аналого-цифрового перетворювача (АЦП), який призначений для перетворення аналогового сигналу в цифрову форму. Період квантування вибирається залежно від форми сигналу на виході швидкого детектора.

Сигнальний процесор (СП), в якому встановлюються програми:

– сервісна (СПР), така, що управляє процесом обробки інформації;

– управління платою комутації(УПК);

– розподілу (РС), яка забезпечує підключення відповідних входів ТЕЗ до СП і пристрою зняття ДІ, передачу тестових впливів на вході цифрових ТЕЗ;

– службових сигналів(СС);

– побудови функціональної схеми (ПФС);

– розробки тестів (РТ) для ТЕЗ;

– локалізації несправних елементів (ЛЕ) в ТЕЗ.

Крім цього в ППЗП записується бібліотека ЧПТ (БЧПТ) для всіх елементів, які можуть використовуватися для розробки тестів ТЕЗ.

Пристрій введення вихідних (ПВВ) значень, який дозволяє записати в ППЗП сигнального процесора: всі програми, номер ТЕЗ, функціональну схему ТЕЗ, бібліотеку ЧПТ.

Етап проектування. На кожному роз'ємі ТЕЗ виділяється група контактів, за допомогою яких проводиться ініціалізація діагностичного номера ТЕЗ в двійковому коді паралельним способом.

За допомогою пристрою введення вихідних даних в ППЗП мікропроцесора записуються програми: СПР, УПК, РС, СС, ПФС, номер ТЕЗ, функціональна схема ТЕЗ, бібліотека ЧПТ.

Включається сервісна програма, котра переписує діагностичний номер ТЕЗ у ЗП і запускає програму ПФС для побудов функціональної схеми ТЕЗ.

По функціональній схемі ТЕЗ програма ПТ генерує тести, які записуються у ЗП.

В результаті виконання етапу проектування в діагностичний паспорт ТЕЗ (ЗП) записуються діагностичний номер ТЕЗ та тести для контролю технічного стану ТЕЗ.

Етап виробництва і випробувань. Залежно від довірчої вірогідності для визначення діагностичного параметра вибирається n однотипних ТЕЗ і з кожним з них проводиться випробування .

Досліджуваний типовий елемент заміни підключається до УВМ. За допомогою сервісної програми порівнюються діагностичні номери у ВП і на ТЕЗ. Якщо ці номери однакові, то номер у ЗП стирається і надалі ініціалізація ТЕЗ проводиться автоматично при підключенні ТЕЗ до УВМ. В іншому випадку діагностичний номер ТЕЗ уточнюється.

За допомогою програми РС проводиться комутація між ТЕЗ, АЦП та СП через ПК.

З ЗП для ТЕЗ зчитуються тести контролю ТС. На кожен елементний тестовий вплив у антенному пристрої формується відгук. Даний відгук надходить на модуль обробки ДІ. Обробка здійснюється в такому порядку: сигнал, що виділений у прийомному пристрої, підсилюється широкосмуговим підсилювачем і надходить на швидкісний детектор, з якого аналоговий сигнал надходить на АЦП, де відбувається перетворення аналогового сигналу в цифровий. Обробка ДІ завершується, коли на ТЕЗ надійшов останній елементарний тестовий вплив. Кожний елементарний відгук записується в ОЗУ сигнального процесора і формується значення реакції на частинно-перевіряючий тест контрольованого ТЕЗ (рис. 5).

2. Проведення експерименту та обробка його результатів.

Для одержання верхньої ($U_B(t)$) та нижньої ($U_H(t)$) границі довірчого інтервалу еталонної реакції ТЕЗ, що перевіряється, проводилися випробування з використанням статистичного методу (рис. 6).

Перевірка складалася з двох етапів:

1) проведення експерименту і одержання експериментальних даних;

2) статистична обробка експериментальних даних та узагальнення отриманих результатів.

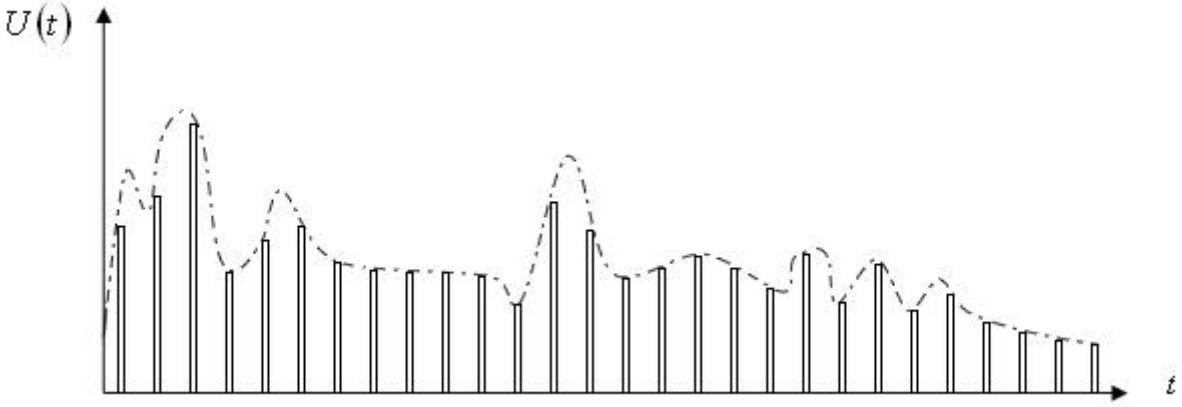


Рис. 5 Реакція на частинно-перевіряючий тест

Обробка експериментальних даних проводилась за допомогою програмного забезпечення методами математичної статистики [10]. На попередньому етапі проводилась оцінка ознак даних на стаціонарність, періодичність і нормальність, а потім аналіз даних, як в окремих реалізаціях, так і в більшості реалізацій. В результаті обробки експериментальних даних отримані значення моментів випадкових параметрів імпульсів на виходах ТЕЗ і в антенному пристрою, а також лінійні залежності між реалізаціями.

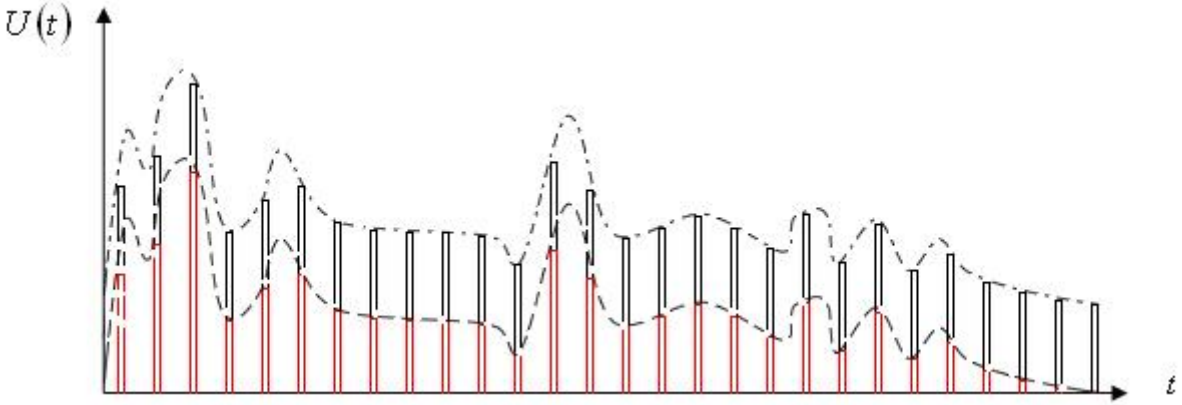


Рис. 6 Верхня $U_B(t)$ та нижня $U_H(t)$ границі довірчого інтервалу

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

Для доказу властивості стаціонарного потоку вихідних даних використаний наступний порядок [10]:

1) вибиралась окрема реалізація $x(t)$ потоку вихідних даних;

2) реалізація розділялась на рівні інтервали, причому спостереження в різних інтервалах передбачались незалежними;

3) обчислювались оцінки середніх значень і дисперсій для кожного інтервалу, і дані оцінки розташовувалися в порядку зростання номера інтервалу;

4) Ця послідовність оцінок перевірялася на наявність тренда за критерієм серій.

Розрахунки за даною методикою підтверджують стаціонарність потоку вихідних даних.

Властивість неперіодичності потоку вихідних даних випливають з розгляду фізичної природи експерименту. Властивість нормальності, в силу своєї виняткової важливості, вимагають додаткових підтверджень. Такі підтвердження були отримані при перевірці потоку вихідних даних за допомогою непараметричного критерію нормальності розподілу на основі критерію узгодженості хі-квадрат з рівнем значимості α=0,05 для всіх партій функціональних елементів. Для цього було використане відношення [10]:

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

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 (усіх 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.

В процесі експерименту виміри параметра x проводилися з однаковою точністю. Це дозволяє використовувати в якості оцінки істинного значення параметра середнє арифметичне результатів вимірів:

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

де x_i – значення параметра x при i-му вимірі;

n – кількість вимірів.

При прийнятих допущеннях ця оцінка незміщена, (математичне очікування 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 всіх незміщених оцінок значення параметра за результатами виміру). В якості оцінки дисперсії була прийнята емпірична дисперсія [10].

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

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

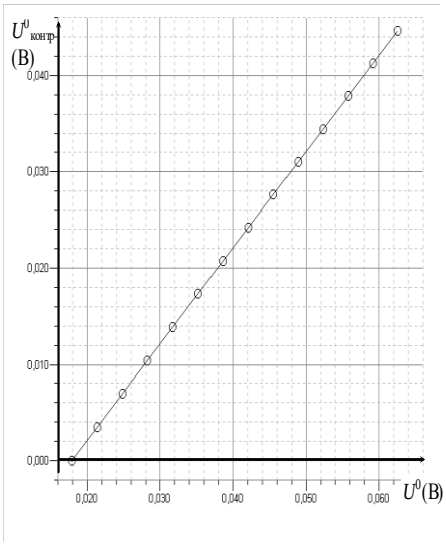
$$S_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}. \tag{7}$$

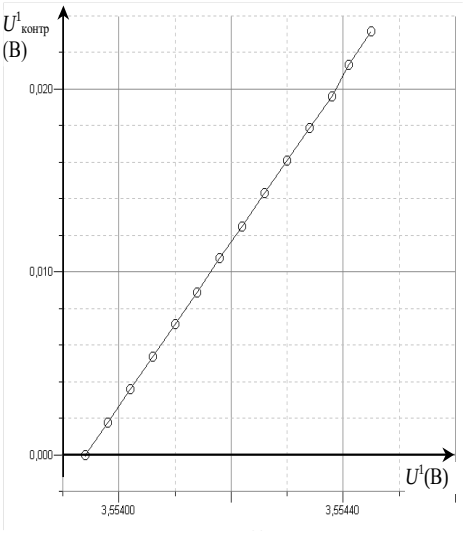
Оцінка дисперсії (формула 6) незміщена, обґрунтована і ефективна. Емпіричний стандарт (середня квадратична похибка) дає зміщену (трохи зменшену) оцінку середньої квадратичної похибки σ_x. Зсув помилки залежить від числа вимірювань і при $n \geq 26$ складає менше одного відсотка.

На основі аналізу даних, отриманих при контролі ТС з використанням електромагнітного методу, можна припустити певну залежність сигналів на виході ТЕЗ і в антенному пристрої. Оскільки всі спостереження взаємонезалежні і мають нормальний закон розподілу, для експериментального підтвердження теоретичних результатів необхідно використовувати параметричну кореляцію Пірсона для перевірки статистичного зв'язку сигналу в антенному пристрої і на виході ОД [10]. 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. Таким чином, спочатку був визначений вид кореляційної залежності. Для цього, за результатами експерименту, були побудовані діаграми розсіювання (рис.7).

Побудовані діаграми показують, що при збільшенні напруги на виході напруга в КТ збільшується лінійно. Таким чином, маємо випадок лінійної кореляції.





а) б)

Рис. 7 Діаграми розсіювання:
а) розсіюванняU^1 і $U^0_{контр}$; б) розсіювання U^0 і $U^1_{контр}$

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

$$r_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^{n_в}(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\left[\sum_{i=1}^{n_в}(x_i - \bar{x})^2\right]\left[\sum_{i=1}^{n_в}(y_i - \bar{y})^2\right]}}, \qquad (8)$$

де $\bar{x}$ – середнє арифметичне значення параметра x;

$\bar{y}$ – середнє арифметичне значення параметра y;

$n_в$ – 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 – $n_в$ і r_{xy}, близьких до 1, обчислюється за формулою [11]:

$$t = \frac{r_{xy}\sqrt{(n_в - 1)}}{\sqrt{(1 - r_{xy}^2)}}. \qquad (9)$$

Значення, розраховане по формулі (9), порівнювалося з табульованим критичним значенням критеріального розподілу Стьюдента – $t(\alpha/2,\ n_в - 2)$. Якщо нерівність $t < t(\alpha/2,\ n_в - 2)$ виконується, то гіпотеза про те, що коефіцієнт кореляції значно відрізняється від нуля, приймається. Табульоване значення визначалося для рівня значимості α=0,05 і $n_в - 2 = 86$ ступенів свободи. Порівняння показало, коефіцієнт кореляції значно відрізняється від нуля. При цьому для змінних U^0 і $U^1_{контр}$ коефіцієнт кореляції розраховується по формулі (8) і дорівнює r_{xy}=0,959, а для U^1 і $U^0_{контр}$ коефіцієнт кореляції дорівнює r_{xy}=0,958.

При оцінюванні, 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, яке обчислюється за формулою [11]:

$$\gamma = \frac{z^{(1)} - z^{(2)}}{\sqrt{\frac{1}{n_1 - 3} + \frac{1}{n_2 - 3}}}, \tag{10}$$

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

Розраховане за формулою (10) 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 відрізняється незначно. Порівняння показало, що для рівня значимості α=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 носять випадковий характер, що свідчить про те, що дві розглянуті генеральні сукупності мають той самий коефіцієнт кореляції.

В ході експерименту були розглянуті також і інші ТЕЗ, але отримані результати суттєво не відрізнялись.

Аналіз результатів статистичної обробки дозволив зробити важливі практичні висновки:

1) кожен тип ТЕЗ має однакове математичне очікування 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.

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

ВИСНОВОК

Запропонований удосконалений електромагнітний метод для контролю технічного стану типових елементів заміни РЕЗО [7, 8], в порівнянні з відомими, має наступні переваги:

– виключення необхідності використання вихідних контактів та контрольних точок для визначення дефектного цифрового ТЕЗ;

– не має впливу пристрою діагностування на „власну” надійність ТЕЗ, так як до нього не вмикаються додаткові елементи;

– можливість застосування методу як до існуючих, так і до перспективних цифрових пристроїв,

– скорочення часу діагностування цифрових ТЕЗ на 20 – 25 % в порівнянні з відомими методами, і як наслідок, збільшення коефіцієнту готовності цифрового об’єкту РЕЗО на 8...10 %.

В результаті проведеного експерименту та обробки статистичних даних можна зробити висновок, що будь яка несправність ТЕЗ, яка проявляється на його виходах, транспортується у антенний пристрій. Таким чином, аналіз результатів експериментальних досліджень підтверджує основні положення методу [3 – 6].

В результаті виконання другого етапу для ТЕЗ визначається технічний паспорт ТЕЗ, який складається з:

– програми розподілу, яка забезпечує підключення відповідних входів ТЕЗ до СП і приладу зняття ДІ, передачу тестових впливів на вхід цифрових ТЕЗ;

– службових сигналів;

– діагностичних тестів: завдання послідовність тестових впливів і логічних рівнів (поклад від технології виготовлення елементної бази ТЕЗ) для проведення діагностування цифрових ТЕЗ.

– еталонних нижнього і верхнього значень реакцій на ці тести (рис.6), де показані верхня і нижня еталонні межі.

Направлення подальших випробувань являє обґрунтовані можливості використання даного методу в автоматизованих системах діагностування.

ЛІТЕРАТУРА

1. Методика побудови програм перевірки ТЕЗів РЕТ 4-го покоління: звіт про НДР „Діагностика” / Військовий інститут Київського національного університету імені Тараса Шевченка; № РК 0101U002251. – Київ, 2004. – 150 с.

2. Діагностування аналогових і цифрових пристроїв радіоелектронної техніки / [В.В. Вишнівський, М.К. Жердєв, С.В. Лєнков, В.А. Проценко]; под ред. М.К. Жердєва, С.В. Лєнкова – М.: Сов. радио, 2009. – 224 с.

3. Проценко В.О. Метод діагностування цифрових радіоелектронних компонентів типових елементів заміни / В.О. Проценко // Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка. – К. 2009. – № 19. – С. 64 – 70.

4. Приходько И.Б. Современные методы тестирования и испытаний в системе качества IS0 9000 / И.Б. Приходько // Электронные компоненты. – 2002. – № 8. – С. 31 – 35.

5. Давыдов П.С. Техническая диагностика радиоэлектронных устройств и систем / П.С. Давыдов. – М.: Радио и связь, 1988. – 256 с.

6. Конопаев В.М. Определение полноты перебора входных комбинаций при контроле цифровых устройств с помощью псевдослучайных последовательностей / В.М. Конопаев, Н.С. Петров // Вопросы радиоэлектроники. – 1983. – С. 134 – 139. – Серия: ОВТ, № 14.

7. Жердєв М.К. Контроль технічного стану цифрових типових елементів заміни електромагнітним способом / М.К. Жердєв, В.В. Вишнівський, Г.Б. Жиров, С.І. Глухов // Збірник наукових праць ВІТІ НТУУ „КПІ”. – К., – 2006. – № 3. С. 9 – 12.

8. Жердєв М.К. Методика розрахунку електромагнітного поля вихідного ланцюга логічного елемента інтегральної схеми при контролі технічного стану цифрових типових елементів заміни електромагнітним способом / М.К. Жердєв, В.В. Вишнівський, Г.Б. Жиров, С.І. Глухов // Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Військово-спеціальні науки. – К.: ВПЦ „Київський університет”, 2007. – № 14. – С. 10 – 12.

9. Цибизов К.Н. Военные линии радиосвязи и антенные устройства: учеб. пособие / К.Н. Цибизов, С.Г. Пасечник. – Киев: КВВИУС, 1987. – 194 с.

10. Бендат Дж., Пирсол А. Прикладной анализ случайных данных / Дж. Бендат, А. Пирсол; пер. с англ. – М.: Мир, 1989. – 540 с.

11. Лапач С.М., Губенко А.В., Бабіч П.М. Статистика в науці та бізнесі / С.М. Лапач, А.В. Губенко, П.М. Бабіч. – К.: МОРІОН, 2002. – 640 с.