

В. В. Кузавков¹, к.т.н., О. Г. Янковський², к. т. н.

¹Військовий інститут телекомунікацій та інформатизації, м. Київ

²Одеська державна академія технічного регулювання та якості, м. Одеса

МЕТОДИКА ЛОКАЛІЗАЦІЇ НЕСПРАВНОГО РАДІОЕЛЕКТРОННОГО КОМПОНЕНТУ

Розглядається технологія застосування методу власного випромінювання для відзначення несправного радіоелектронного компонента (РЕК) в складі цифрового блока сучасного радіоелектронного обладнання за допомогою автономної автоматизованої системи діагностування (АА СД). А саме: фізичні основи методу власного випромінювання та умови прояву діагностичного параметру; методику та алгоритм побудови перевіркової тестової послідовності для локалізації несправного РЕК; функціональну схему блока видачі діагностичної інформації зі складу АА СД в режимі локалізації несправного РЕК.

Ключові слова: діагностична інформація, метод власного випромінювання, радіоелектронний компонент.

Вступ. Сучасні об'єкти радіоелектронного озброєння (РЕО) представляють собою складні технічні системи, і є об'єднанням блоків різного фізичного виконання та призначення. Своєчасне виявлення та усунення причин відмов цифрових блоків на місці експлуатації РЕО призводить до підвищення кількісних характеристик надійності та зниженню витрат на експлуатацію. Це визначає необхідність проведення якісного діагностування цих об'єктів. Діагностування цифрових блоків покладається на системи технічного діагностування. Якісне виконання цієї важливої задачі залежить від методів діагностування, адекватності діагностичної моделі об'єкту контролю та методики проведення діагностування на основі використання спеціальних програмно-апаратних комплексів та систем [1, 2].

Аналіз стану проблеми. Розвиток мікроелектроніки та інформаційних технологій потребує від конструкторів та виробників сучасних автономних автоматизованих систем діагностування (АА СД) розробки нових методів отримання та обробки діагностичної інформації (ДІ) для визначення технічного стану та локалізації несправного радіоелектронного компонента цифрових блоків [1]. Автономна автоматизована СД блоків РЕО є складовою частиною системи технічного діагностування. Це сукупність засобів, об'єкту діагностування та виконавців, які необхідні для проведення діагностування за правилами, встановленими технічною документацією. Системи діагностування розробляються на стадії проектування, забезпечуються на стадії виробництва, підтримуються на стадії експлуатації РЕО. Однак цей підхід не завжди виконується. Аналіз показав, що існуючим системам

технічного діагностування, які побудовані на основі існуючих методів (методик), властиві суттєві недоліки. Тому такі системи є малоефективними та не відповідають сучасним вимогам [3, 4].

При експлуатації існуючих та створенні нових зразків РЕО чітко визначилися наступні протиріччя:

- між реальними технічними можливостями РЕО та низьким рівнем їх реалізації через недостатню ефективність АА СД;
- між рівнем вимог, які пред'являються до АА СД, і неможливістю їх задовольнити, використовуючи існуючий методологічний апарат отримання та обробки діагностичної інформації;
- між обмеженою ціною АА СД та високими вимогами до її характеристик.

Системи діагностування СД в існуючих РЕО не в змозі забезпечити пред'явлені до них вимоги. Як наслідок це призвело до створення та функціонування на сьогодні складної, не економічної, багатоконтурної системи технічного обслуговування і ремонту (СТОіР) РЕО, що обумовлює значні втрати часу на контроль технічного стану і локалізацію несправностей в цифрових блоках.

Проведений аналіз дозволив обґрунтувати ефективний напрямок розвитку та доказати принципову можливість побудови вискоелективних АА СД на основі використання нових технологій отримання та обробки діагностичної інформації [1].

Мета статті. Проведені наукові дослідження в галузі діагностування цифрових блоків РЕО, дозволили розробити нові методи отримання і

обробки діагностичної інформації [5]. Метою статті є розгляд технології застосування методу власного випромінювання для відзначення несправного радіоелектронного компоненту в складі цифрового блока на місці експлуатації зразку РЕО.

Основна частина. Перевірна тестова послідовність (умови функціонування РЕК в цифровому пристрої) є імпульсною (детермінованою), тому необхідно визначити умови прояву діагностичних параметрів (ДП) при такому виді впливу [6]. Інакше кажучи, необхідно визначити час «виходу» РЕК на сталий режим при детермінованому впливі.

Нехай РЕК масою m , з питомою теплоємністю C і коефіцієнтом теплопровідності λ має в початковий момент температуру T_0 (температура навколишнього середовища), починає рівномірно по об'єму нагріватися під дією прямокутних імпульсів тестової послідовності тривалістю τ_i , з періодом T_n . Потужність, що виділяється в РЕК під час дії електричного імпульсу, дорівнює P_i , тепловідвід у навколишнє середовище здійснюється через тепловий опір R_T [7].

У такому режимі (рис. 1) стан РЕК визначається двома характерними температурами – перед початком імпульсу та безпосередньо після його закінчення.

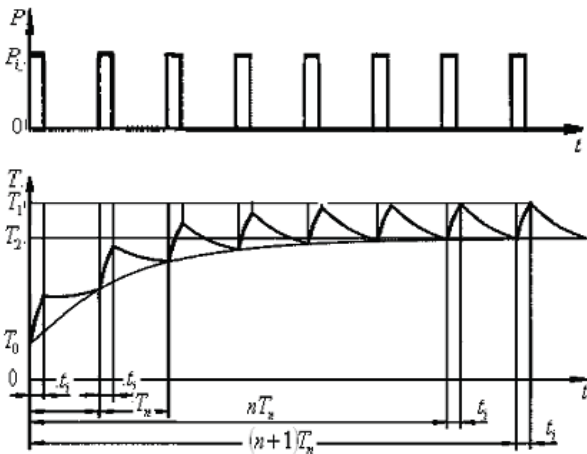


Рисунок 1 – Тестова послідовність та експонентна крива нагріву поверхні РЕК

Сталий режим у цьому випадку характеризується тим, що температури T_1 перед початком n -го та $(n+1)$ -го імпульсів однакові, як і температури T_2 після закінчення цих імпульсів.

Таким чином, варто відзначити:

– перевищення температури перед початком імпульсу над температурою навколишнього середовища $T_1 - T_0$;

– зростання температури тіла за час τ_i становить $T_2 - T_1$.

Розглядаючи процес нагрівання РЕК за час τ_i і вважаючи, що на початку нагрівання РЕК мав температуру T_1 , одержимо

$$T_2 - T_0 = P_i R_T \left(1 - e^{-\tau_i / \tau_0} \right) + (T_1 - T_0) e^{-\tau_i / \tau_0}, \quad (1)$$

де $\tau_0 = mCR_T$ – теплова постійна часу системи.

По закінченню імпульсу розпочинається процес охолодження поверхні. Нехай в РЕК маси m , питома теплоємність тіла – C , коефіцієнт теплопровідності матеріалу – $\lambda = \infty$, що має у момент часу $t = 0$ температуру T_{\max} , починає охолоджуватися, віддає енергію через тепловий опір R_T в навколишнє середовище, що має температуру T_0 .

Рівняння енергетичного балансу в цьому випадку буде мати вид

$$\frac{T - T_0}{R_T} dt = -mcdT. \quad (2)$$

Інтегруючи це рівняння з урахуванням початкових умов $T = T_{\max}$ при $t = 0$, отримаємо

$$T = T_0 + (T_{\max} - T_0) e^{-\frac{t}{mCR_T}}. \quad (3)$$

Температура РЕК безперервно наближується до температури навколишнього середовища, та досягне її при $t = \infty$.

Вираз (3) для моменту часу $t = T_n - \tau_i$, коли температура РЕК знову стає рівній T_1 , маємо

$$T_1 - T_0 = (T_2 - T_0) e^{\frac{T_n - \tau_i}{\tau_0}}. \quad (4)$$

В наслідок спільного рішення двох останніх рівнянь отримуємо:

$$T_1 - T_0 = P_i R_T \frac{e^{\tau_i / \tau_0} - 1}{e^{T_n / \tau_0} - 1}; \quad (5)$$

$$T_2 - T_1 = P_i R_T \left(e^{T_n - \tau_i / \tau_0} - 1 \right). \quad (6)$$

Вирази (5) та (6) використовуються для розрахунку температури сталого режиму при імпульсному (тестовому) впливі на РЕК.

Слід відзначити особливість отриманих залежностей.

Для цього перепишемо (5) та (6) у вигляді:

$$T_1 - T_0 = P_i R_T \frac{\tau_i}{T_n} K_1; \quad (7)$$

$$T_2 - T_1 = \frac{P_i \tau_i}{mC} K_2, \quad (8)$$

де:

$$K_1 = \frac{T_n / \tau_0 e^{\tau_i / \tau_0} - 1}{\tau_i / \tau_0 e^{T_n / \tau_0} - 1}; \quad (9)$$

$$K_2 = \frac{1}{\tau_i / \tau_0} \frac{e^{\tau_i / \tau_0} - 1}{e^{T_n / \tau_0} - 1} \left(\frac{e^{T_n / \tau_0} - 1}{e^{\tau_i / \tau_0} - 1} \right). \quad (10)$$

Якщо $T_n \ll \tau_0$ і $\tau_i \ll T_n$ то $K_1 = K_2 = 1$ і

$$T_1 - T_0 = P_i R_T \frac{\tau_i}{T_n}; \quad (11)$$

$$T_2 - T_1 = \frac{P_i \tau_i}{mC}. \quad (12)$$

Таким чином, при $\tau_i \ll T_n \ll \tau_0$ в сталому режимі температура РЕК перед початком імпульсу залежить лише від середньої потужності $\frac{P_i \tau_i}{T_n}$, що віддається в середовище з температурою T_0 через тепловий опір R_T .

Нагрівання РЕК за час дії імпульсу визначається енергією, що виділяється в імпульсі ($P_i \tau_i$), і теплоємністю поверхні РЕК.

При інших співвідношеннях між T_n , τ_0 , τ_i , також можна, використати розрахунки по середній потужності $\frac{P_i \tau_i}{T_n}$ і енергії в імпульсі $P_i \tau_i$ але з введенням коригувальних коефіцієнтів K_1 та K_2 . Значення цих коефіцієнтів розраховуються по виразах (9) і (10).

Отримані математичні вирази визначають умови прояву ДП в методі власного випромінювання та є основою для побудови перевірних тестів і складання алгоритмів пошуку несправного РЕК.

Методика побудови перевірних тестів визначення технічного стану РЕК складається з трьох основних етапів:

- встановлення блока, що перевіряється, в «0»;
- подача наборів підготовки до перевірки – активізуючий набір;
- подача перевірних наборів на вхід одномірного шляху (з одночасною реєстрацією відгук датчиком діагностичного сигналу (ДДС)).

Методика базується на використанні одномірних шляхів і бази перевірних тестів для цифрового блока [8].

Особливість побудови тестового перевірного набору для локалізації несправного РЕК цифрового блока полягає в наступному:

- час на прийняття рішення про технічний стан РЕК визначається часом прояву ДП на поверхні РЕК. Інакше кажучи, перевірний тестовий набір подається на вхід одномірного шляху протягом часу t , що визначається за виразами (5), (6), (11), (12);

– еталонні значення ДП отримують на підприємстві виробнику і містяться в базі даних разом з умовами (температурних умов та параметрів засобів реєстрації ДП) отримання цих показників та допусків.

Алгоритм локалізації несправного РЕК реалізує методику пошуку несправного РЕК в складі цифрового блока. Локалізація несправних РЕК цифрового блока при експлуатації відбувається з використанням автономної автоматизованої системи діагностування (АА СД) в базі даних котрої містяться еталонні значення ДП на перевірні тестові послідовності. Локалізація несправних РЕК здійснюється автоматично при порівнянні еталонних значень ДП з сигналами отриманими ДДС.

Порівняння здійснюється з урахуванням «допусків» заводу виробника та класу точності виробу k (5 %, 10 %, 15 %). Так, РЕК цифрового блока вважається справним якщо відгук \tilde{Y}_B (сигнал з ДДС) знаходиться в межах нижнього \tilde{Y}_{en} та верхнього \tilde{Y}_{ee} допусків визначених заводом виробником $(\tilde{Y}_{en} \pm k\%) \leq \tilde{Y}_B \leq (\tilde{Y}_{ee} \pm k\%)$, інакше РЕК вважається несправним.

Для локалізації несправних РЕК цифрового блока при експлуатації використано:

- відомості з «Інформаційного паспорту блоку» про одномірний шлях (тестовий набір), на якому цифровий блок визнано несправним

(безконтактний індукційний метод та алгоритм визначення технічного стану цифрового блоку) [5];

- повна база перевірочних тестових наборів з особливостями прояву ДП для РЕК;
- припущення, що ймовірність виходу РЕК в одномірному перевірному шляху однакова;
- метод половинного розтину для скорочення часу необхідного для пошуку несправного компоненту. Суть методу половинного розтину полягає в тому, що одномірний шлях поділяється на дві рівні частини (визначається номер рангу схеми цифрового блоку, на котрий приходить середина одномірного шляху, за методикою ранжування цифрового блоку наведеною в [8]).

Методом власного випромінювання, з використанням перевірних тестових послідовностей

та особливостей прояву ДП на поверхні РЕК при імпульсному нагріві, перевіряється стан РЕК цього рангу. Якщо РЕК справний, то перевірка підлягає права частина одномірного шляху, інакше – ліва частина. Перевірка визначеної частини одномірного шляху також здійснюється за методом половинного розтину.

Після визначення РЕК, ДП котрого не відповідає паспортним даним, він позначається «умовно несправним» РЕК. Для остаточного визначення статусу РЕК потрібно вдосконалитись у відсутності константних несправностей в РЕК попередніх рангів (технічний стан попередніх за рангом РЕК).

Методика локалізації несправного РЕК цифрового блоку при експлуатації реалізована у вигляді алгоритму, що наведений на рис. 2.

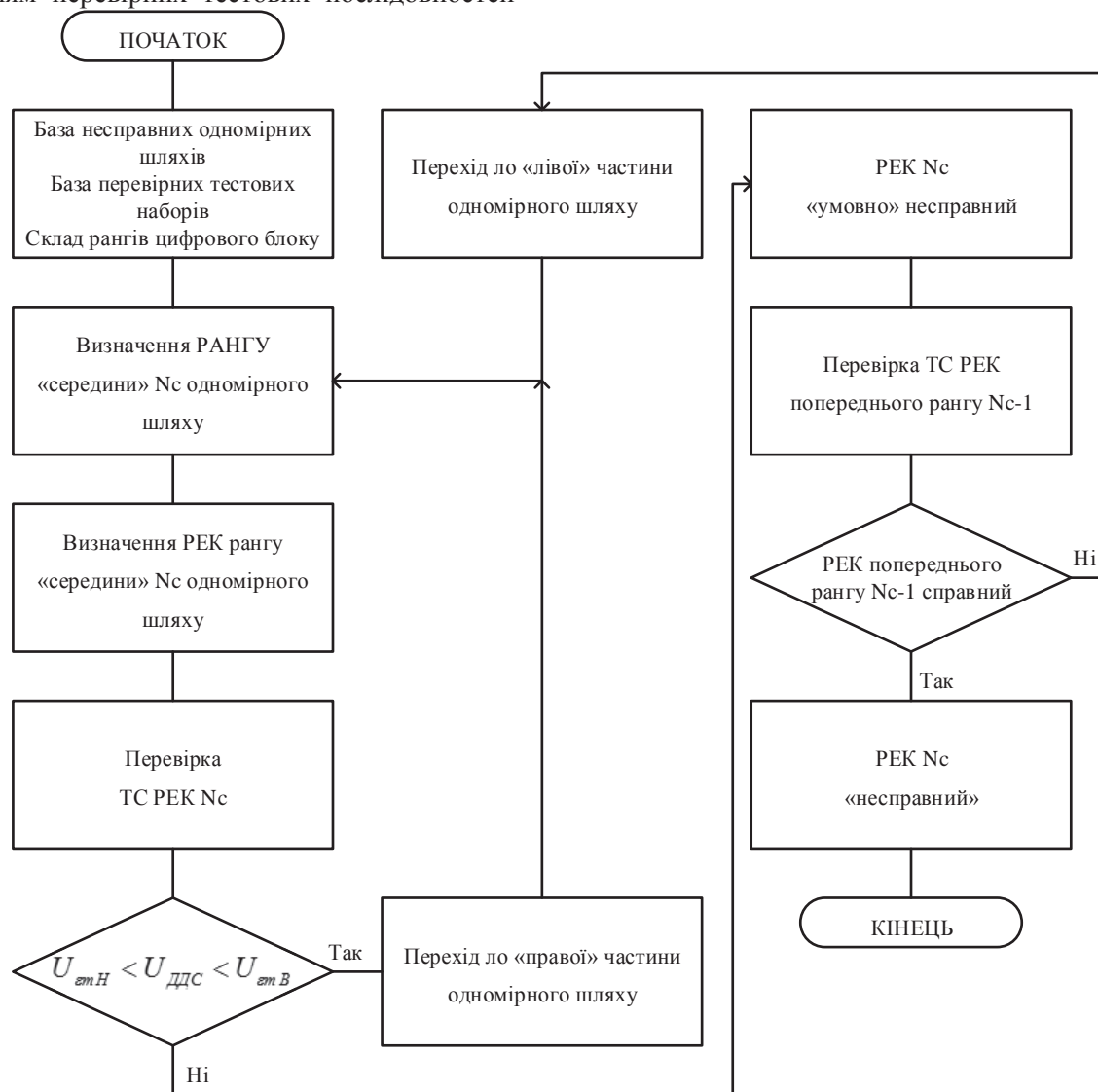


Рисунок 2 – Алгоритм локалізації несправного РЕК цифрового блоку.

Для реалізації алгоритму (рис. 2) запропонована **функціональна схема** блоку видачі діагностичної інформації (БВ ДІ) АА СД в режимі локалізації несправного РЕК цифрового блоку (рис. 3).

На рис. 3 приведено об'єкт контролю (цифровий блок) з датчиком діагностичної інформації (ДДС), що реєструє власне випромінювання (ДП) корпусів РЕК в ІЧ діапазоні.

Місце зняття діагностичної інформації оператору «вказує» АА СД з врахуванням попередніх результатів роботи алгоритму визначення технічного стану цифрового блоку (безконтактний індукційний метод [5]). За цими результатами АА СД покроково здійснює «підігрів» – вивід «підозрюваних» РЕК на сталий (робочий) режим, після цього здійснюється вимірювання діагностичного параметру на цьому РЕК і, в залежності від отриманого результату, приймається рішення про стан РЕК та про необхідність наступних кроків «просування» по схемі. Реалізація вказаного алгоритму роботи АА СД також може здійснюватись автоматично за наявності керованого двохкоординатного маніпулятора пересування пристрою реєстрації – вимірювального пристрою. Подібний маніпулятор здійснює «геометричну» прив'язку положення вимірювального пристрою до РЕК цифрового блоку, що перевіряється, а також «нормалізує» час вимірювання діагностичного параметру. Функції маніпулятора (при переопрацюванні програмного забезпечення) може виконувати планшетний сканер відповідного формату.

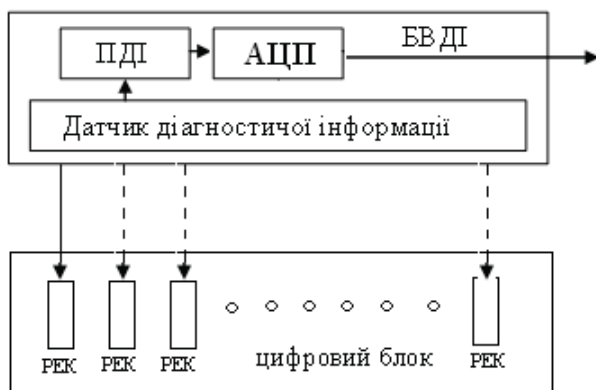


Рисунок 3 – Структура БВ ДІ при використанні методу власного випромінювання

Виходячи з цього, діагностичний параметр для методу власного випромінювання може бути вимірний в контактний або безконтактний спосіб (в залежності від способу розповсюдження тепла), автоматично або автоматизовано.

Висновки. Таким чином в статті визначено умови прояву ДП на поверхні РЕК при використанні методу власного випромінювання для локалізації несправного компонента в складі цифрового блоку. Отримані результати дозволяють визначити необхідний проміжок часу подачі перевіркою тестової послідовності на цифровий блок.

З урахуванням математичних розрахунків розроблена узагальнена методика діагностування цифрових блоків АА СД та функціональна схема блоку видачі діагностичної інформації (складової частини АА СД), яка дозволяє автоматизувати процес діагностування, зменшити середній час відновлення та підвищити коефіцієнт готовності зразків РЕО.

Використання систем діагностування, заснованих на цій методиці, дозволяє залучати до ремонту (експлуатації) РЕО обслуговуючий персонал відносно низької кваліфікації і знизити вартість відновлення цифрових блоків РЕО.

Список використаних джерел

1. Zherdev M. K. Ways and methods of efficiency increasing of the independent automated test systems of radio-electronic devices / M. K. Zherdev, B. P. Kredentser, V. V. Kuzavkov // *Electronics and Control Systems*. – National Aviation University, 2014. – №4 (42). – С. 150-154.
2. Шкуліпа П. А. Проблема розробки інформаційних технологій для побудови автоматизованих систем технічного діагностування об'єктів радіоелектронної техніки / П. А. Шкуліпа // *Збірник наукових праць Національної академії Державної прикордонної служби України імені Б. Хмельницького*. – Хмельницький, 2012. – № 58, ч. II – С. 165-166.
3. Ильин В. А. Информационно-измерительные системы: учебное пособие / В. А. Ильин. – М.: Изд-во ВЗПИ, 1981. – 100 с.
4. Информационно-измерительная техника и технологии / В. И. Калашников, С. В. Нефедов, А. Б. Путилин и др.; под ред. Г. Г. Раннева. – М. Высш. шк., 2002. – 454 с.
5. Вишнівський В. В. Безконтактний індукційний метод діагностування радіоелектронних блоків / В. В. Вишнівський, М. К. Жердев, Б. П. Креденцер, В. В. Кузавков, С. В. Редзюк // *Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка*. – Київ, 2013. – Вип. № 43. – С. 17-23.
6. Вишнівський В. В. Термографія як засіб пасивного контролю технічного стану радіоелектронних схем / В. В. Вишнівський,

В. В. Кузавков, Є. В. Редзюк. // Пріоритетні напрямки розвитку телекомунікаційних систем та мереж спеціального призначення: матеріали VII Науково-практичного семінару: (24 жовтня 2013 року) / Військовий інститут телекомунікацій та інформатизації Державного університету телекомунікацій. – Київ, 2013. – С. 86.

7. Лебедев Н. Н. Сборник задач по математической физике / Н. Н. Лебедев, И. П. Скальская, Я. С. Уфлянд. – М.: Гостехтеориздат, 1955. – 421 с.

8. Жердев М. К. Побудова функціональних перевірних тестів для безконтактного індукцій-

ного методу діагностування. / М. К. Жердев, В. В. Кузавков // Системи озброєння та військова техніка: Науковий журнал. – Х.: Харківський університет повітряних сил ім. Івана Кожедуба, 2014. – № 4 (40). – С. 73-76.

Надійшла до редакції 20.02.2015

Рецензент: д.т.н., професор Вишнівський В. В., Військовий інститут телекомунікацій та інформатизації Державного університету телекомунікацій, м. Київ.

В. В. Кузавков, к.т.н., **О. Г. Янковский**, к.т.н.

МЕТОДИКА ЛОКАЛИЗАЦИИ НЕИСПРАВНОГО РАДИОЭЛЕКТРОННОГО КОМПОНЕНТА

Рассматривается технология применения метода собственного излучения для определения неисправного радиоэлектронного компонента (РЭК) в составе цифрового блока современного радиоэлектронного оборудования при помощи автономной автоматизированной системы диагностирования (АА СД). А именно: физические основы метода собственного излучения и условия проявления диагностического параметра; методику и алгоритм построения проверочной тестовой последовательности для локализации неисправного РЭК; функциональную схему блока выдачи диагностической информации из состава АА СД в режиме локализации неисправного РЭК.

Ключевые слова: *диагностическая информация, метод собственного излучения, радиоэлектронный компонент.*

V. V. Kuzavkov, PhD, **O. G. Iankovskii**, PhD

METHODOLOGY OF LOCALIZATION OF DEFECTIVE RADIO ELECTRONIC COMPONENT

Technology of application of method of own radiation is examined for determination of defective radio electronic component (REC) in composition the digital block of modern radio electronic equipment through the off-line automated system of diagnostics (OA SD). Namely: physical bases of method of own radiation and condition of display of diagnostic parameter; methodology and algorithm of construction of verification test sequence for localization of defective REC; functional diagram of block of delivery of diagnostic information from composition of OA SD in the mode of localization of defective REC.

Keywords: *diagnostic information, method of own radiation, radio electronic component.*