

**Василь Кузавков**

Військовий інститут телекомунікацій та інформатизації державного університету телекомунікацій

УДК 681.35

## ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ РОБОЧОГО РЕЖИМУ РАДІОЕЛЕКТРОННИХ КОМПОНЕНТІВ У МЕТОДІ ВЛАСНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ

*Анотація:* Розглядаються умови прояву діагностичного параметру (ДП) для методу власного випромінювання при локалізації несправного радіоелектронного компоненту (РЕК) зі складу цифрового блоку радіоелектронного обладнання (РЕО). Запропонований метод використано при побудові автономних автоматизованих систем діагностування (АА СД).

*Summary:* In the paper the conditions of display diagnostic parameter (DP) in the method of natural radiation in the localization of defective electronic component (REC) within the digital block radio electronic equipment (REE). The proposed method is used in the construction of autonomous automated diagnostic systems (AA DS).

*Ключові слова:* Діагностична інформація, метод власного випромінювання, радіоелектронний компонент.

### І Вступ

Основою застосування методу власного випромінювання для виробів радіоелектроніки є наявність прямого зв'язку ресурсу радіоелектронних компонентів (РЕК) з їхньою температурою. Для ряду компонентів (транзисторів, діодів, оксидних катодів, резисторів) існують розраховані статистичні залежності [1]. Використання методу власного випромінювання можливе навіть на недостатньо пристосованих до діагностування зразках РЕО на місці експлуатації цих засобів. За допомогою методу виявляються елементи, що відпрацювали тривалий час і перебувають в передвідмовному стані, що призводить до підвищення коефіцієнту готовності РЕО та зниження вартості забезпечення його життєвого циклу. Оперативність методу власного випромінювання наочно проявляється при дослідженні великої кількості РЕК.

Аналіз джерел [1 – 4] показав, що теплові поля однотипних виробів добре корельовані, а використання методу власного випромінювання в АА СД дозволяє здійснювати високопродуктивну безконтактну діагностику із застосуванням комп'ютерної техніки для обробки отриманих результатів [5].

Діагностичний параметр в методі власного випромінювання – температура поверхні РЕК, що змінюється під дією спеціально побудованої перевірної тестової послідовності, реєструється відповідно до способу переносу теплової енергії (теплопровідність, конвекція, теплове випромінювання) і може бути представлений не лише набором числових значень, але і у вигляді двовимірних (тривимірних) термограм. Після формування набору інформативних ознак можливо застосування обчислювальної техніки та алгоритмів розпізнавання образів.

Процес локалізації несправності пов'язаний з визначенням несправного РЕК шляхом реєстрації та обробки діагностичного параметру – теплового відгуку на вхідні тестові послідовності для цього РЕК. Використання методу власного випромінювання потребує створення діагностичних моделей, що відображають зв'язок ДП з фізико-хімічними властивостями не лише самого РЕК, а і захисного шару, що вкриває напівпровідниковий кристал РЕК. Для побудови моделі переносу тепла від «розігрітого» кристалу на поверхню РЕК (задача нестационарної теплопровідності) проведено аналіз технології виготовлення та структури сучасного напівпровідникового РЕК. Метою статті є визначення часу прояву діагностичного параметру на поверхні РЕК в методі власного випромінювання для безперервного та детермінованого за часом вхідного впливу.

### II Постановка задачі

Для побудови алгоритму локалізації несправного РЕК у складі цифрового блоку РЕО необхідно:

- врахувати особливості передачі температури кристалу на поверхню РЕК;
- врахувати спосіб зняття діагностичної інформації (контактний або безконтактний);
- дослідити зв'язок електричного сигналу (вхідного тестового впливу) з ДП (тепловим відгуком) в методі власного випромінювання.

### III Визначення часу "виходу" РЕК на сталий режим при безперервному впливі

У момент часу  $t$  РЕК має температуру  $T$  і за проміжок часу  $dt$  змінює її на  $dT$ . Енергія, що виділяється в кристалі напівпровідника за час  $dt$ , дорівнює  $Pdt$  і витрачається на нагрів захисного шару на

$dT$  і на тепловідвід в навколишнє середовище. При цьому на нагрів захисного шару піде  $mCdT$ , а в навколишнє середовище –  $\frac{T - T_0}{R_T} dt$ .

Таким чином, диференціальне рівняння енергетичного балансу має вид:

$$Pdt = mCdT + \frac{T - T_0}{R_T} dt \quad (1)$$

Інтегруючи це рівняння з урахуванням того, що при  $t = 0$   $T = T_0$  отримуємо:

$$T = T_0 + PR_T \left( 1 - e^{-\frac{t}{mCR_T}} \right). \quad (2)$$

Для визначення часу "виходу" РЕК на сталий режим, на рис. 1 візьмемо довільну точку, а на експоненціальній кривій нагріву РЕК проведемо дотичну до кривої до перетинання з рівнем максимальної температури  $T_{\max}$  (точка С).

Довжина відрізка ВС (рис. 1) визначається з трикутника АВС виразом:

$$BC = \frac{T_{\max} - T(t)}{\operatorname{tg} \alpha}. \quad (3)$$

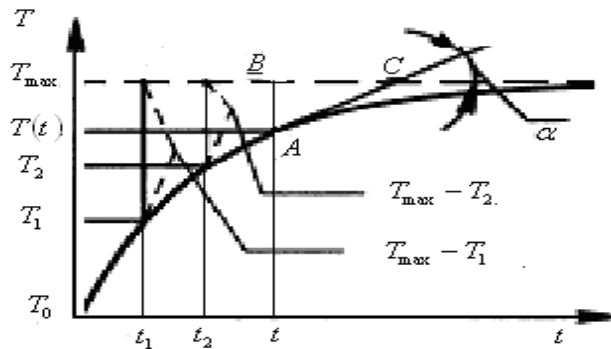


Рисунок – 1 Експонентна крива нагріву поверхні РЕК

З урахуванням (2):

$$T_{\max} - T(t) = (T_{\max} - T_0) e^{-t/mCR_T}. \quad (4)$$

Оскільки

$$\operatorname{tg} \alpha = -\frac{dT(t)}{dt} = -(T_{\max} - T_0) \frac{e^{-t/mCR_T}}{-mCR_T} = \frac{T_{\max} - T(t)}{mCR_T}, \quad (5)$$

То шукана довжина відрізка складе:

$$BC = \frac{T_{\max} - T(t)}{\frac{T_{\max} - T(t)}{mCR_T}} = mCR_T. \quad (6)$$

Отримані результати дозволяють зробити попередні висновки:

- Подібний результат буде отриманий з використанням будь-якої іншої експоненціальної залежності;
- Величина  $BC$  не залежить від координати обраної на експоненті точки  $A$  (сталість піддотичної одна з властивостей експоненціальної кривої).

У зв'язку із цим для будь-якого процесу, що протікає в часі експоненціально, величину піддотичної називають постійною часу цього процесу.

В нашому випадку теплова постійна часу становить:

$$\tau_0 = mCR_T \quad (7)$$

З урахуванням (7) перепишемо вираз (4) у вигляді:

$$T_{\max} - T(t) = (T_{\max} - T_0)(1 - e^{-t/\tau_0}). \quad (8)$$

З виразу (8) і рис. 1 випливає, що при нагріванні величина  $T_{\max} - T(t)$  відрізняється від величини  $T_{\max} - T_0$  в  $e$  разів при  $t = \tau_0$ , в  $e^2$  разів при  $t = 2\tau_0$ , в  $e^3$  разів при  $t = 3\tau_0$  і т. Д.). Враховуючи те, що  $e^3 \approx 20$ , при  $t = 3\tau_0$  відмінність температури поверхні РЕК від стаціонарної становить близько 5%, а при  $t = 4\tau_0$  розбіжність складе  $\sim 1,8\%$ , то можна зробити наступні висновки:

- Зміна ДП при виході РЕК на сталий режим описується експоненціальним законом.
- Точність вимірювання діагностичного параметру визначається вимогами керівних документів і «класом» точності устаткування, перевірку котрого здійснюють.
- Час, необхідний для проведення перевірки з використанням методу власного випромінювання, залежить від вимог до АА СД.
- В більшості випадків вважається, що час "виходу" РЕК на сталий режим (тобто час досягнення стаціонарного режиму) становить:

$$t_{\text{реж}} \approx (3-4)\tau_0 = (3-4)mcR_T, \quad (9)$$

При цьому похибка визначення ДП становить 1,8-5% від дійсного значення.

Таким чином, процес нагріву поверхні РЕК відбувається по експоненціальному закону, а час "виходу" РЕК на сталий режим визначається за виразом (9).

#### IV Визначення часу "виходу" РЕК на сталий режим при детермінованому впливі

Перевірна тестова послідовність (умови функціонування РЕК в цифровому пристрої) є імпульсною (детермінованою), тому необхідно визначити умови прояву ДП при такому виді впливу.

Нехай РЕК масою  $m$  з питомою теплоємністю  $c$  і коефіцієнтом теплопровідності  $\lambda$  має в початковий момент температуру  $T_0$  (температура навколишнього середовища), починає рівномірно по об'єму нагріватися під дією прямокутних імпульсів тестової послідовності тривалістю  $\tau_i$ , 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  $R_T$  [6].

У такому режимі (рис. 2) стан РЕК визначається двома характерними температурами – перед початком імпульсу та безпосередньо після його закінчення.

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, необхідно визначити: перевищення температури перед початком імпульсу над температурою навколишнього середовища  $T_1 - T_0$ ; при цьому ріст температури тіла за час  $\tau_i$  становить  $T_2 - T_1$ .

Розглядаючи процес нагрівання РЕК за час  $\tau_i$ , і вважаючи, що на початку нагрівання РЕК мав температуру  $t_1$ , одержимо:

$$T_2 - T_0 = P_i R_T \left( 1 - e^{-\tau_i/\tau_0} \right) + (T_1 - T_0) e^{-\tau_i/\tau_0} \quad (10)$$

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

По закінченню імпульсу розпочинається процес охолодження поверхні. Нехай 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 вигляд:

$$\frac{T - T_0}{R_T} dt = -mcdT, \quad (11)$$

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

$$T = T_0 + (T_{\max} - T_0)e^{-\frac{t}{mCR_T}} \quad (12)$$

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

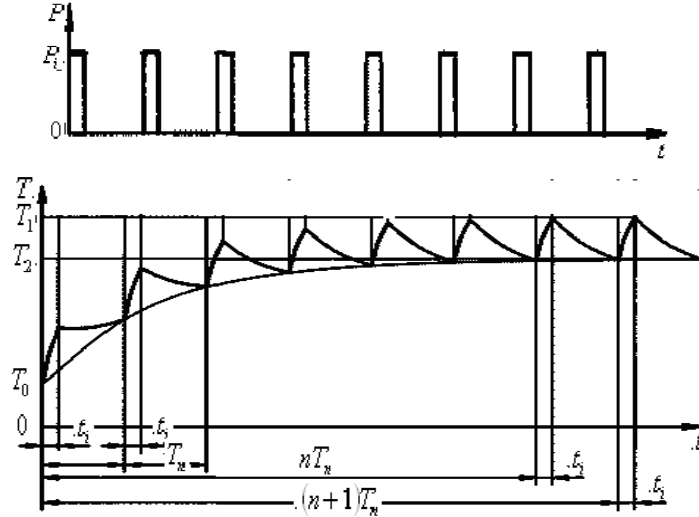


Рисунок – 2 Тестові послідовності (а) та експонентна крива імпульсного нагріву поверхні РЕК (б)

З виразу (12) для моменту часу  $t = T_n - \tau_i$ , коли температура РЕК знову стає рівної  $t_1$ , маємо:

$$T_1 - T_0 = (T_2 - T_0)e^{-\frac{T_n - \tau_i}{\tau_0}} \quad (13)$$

Внаслідок спільного рішення двох останніх рівнянь отримуємо:

$$T_1 - T_0 = P_i R_T \frac{e^{\tau_i / \tau_0} - 1}{e^{T_n / \tau_0} - 1}, \quad (14)$$

$$T_2 - T_1 = P_i R_T \left( e^{T_n - \tau_i / \tau_0} - 1 \right). \quad (15)$$

Вирази (14), (15) використовуються для розрахунку температури сталого режиму при імпульсному (тестовому) впливі на РЕК.

Слід відзначити особливість отриманих залежностей.

Для цього перепишемо (14) та (15) у вигляді:

$$T_1 - T_0 = P_i R_T \frac{\tau_i}{T_n} K_1, \quad (16)$$

$$T_2 - T_1 = \frac{P_i \tau_i}{mC} K_2, \quad (17)$$

де:

$$K_1 = \frac{T_n / \tau_0}{\tau_i / \tau_0} \frac{e^{\tau_i / \tau_0} - 1}{e^{T_n / \tau_0} - 1}, \quad (18)$$

$$K_2 = \frac{1}{\tau_i / \tau_0} \frac{e^{\tau_i / \tau_0} - 1}{e^{T_n / \tau_0} - 1} \left( \frac{e^{T_n / \tau_0}}{e^{\tau_i / \tau_0}} - 1 \right). \quad (19)$$

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

$$T_1 - T_0 = P_i R_t \frac{\tau_i}{T_n}, \quad (20)$$

$$T_2 - T_1 = \frac{P_i \tau_i}{mC}. \quad (21)$$

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  $m_0$  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  $T_n$ ,  $\tau_0$ ,  $\tau_i$  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  $\kappa_1$  та  $\kappa_2$ . Значення цих коефіцієнтів розраховуються згідно з (18) і (19).

## V Висновки

Таким чином, у 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 на цифровий блок перевіреної тестової послідовності. Експоненціальна залежність нагріву РЕК (2) має нечітко визначений час завершення процесу (при  $\tau = 3\tau_0$  відмінність температури тіла від стаціонарної становить близько 5%, а при  $\tau = 4\tau_0$  – розбіжність складе  $\sim 1,8\%$ ), тому для визначення часу реєстрації ДП обирається лінійний відрізок на графіку зміни температури поверхні РЕК. Кількість повторів перевіреної тестової послідовності визначається часом прояву ДП на поверхні РЕК.

*Список використаної літератури: 1. Кутателадзе С. С. Теплопередача и гидродинамическое сопротивление. - Справочное пособие. - М.: Энергоатомиздат, 1990. 2. Вавилов В. П. Тепловые методы контроля композиционных структур и изделий радиоэлектроники М Радио и связь, 1984 162 с. 3. Концевой Ю. А., Кудин В. Д. Методы контроля технологии производства полупроводниковых приборов М: Энергия, 1973, 140 с. 4. Данилин Н. С., Бакланов О. Д., Загоровский Ю. И. Теория и методы неразрушающего инфракрасного контроля радиоэлектронных схем М Изд МО СССР, 1974 164 с. 5. Кузавков В. В., Янковський О. Г., Застосування методу власного випромінювання для технічної діагностики радіоелектронних блоків. Збірник наукових праць Одеська державна академія технічного регулювання та якості – О.: ОДАТРА, 2014. – Вип. №9, с.30-37. 6. Лебедев Н. Н., Скальская И. П., Уфлянд Я. С. "Сборник задач по математической физике". М.: Гостехтеориздат, 1955*