

Бригадир С.П. (ВІТІ)
д.т.н. Міночкін А.І (ВІТІ)
к.т.н. Радзівілов Г.Д.(ВІТІ)

МЕТОД ПРОГНОЗУВАННЯ НАДІЙНОСТІ РАДІОЕЛЕКТРОННОЇ АПАРАТУРИ ВІЙСЬКОВОГО ПРИЗНАЧЕННЯ ЗА РІВНЕМ ТЕСТОВОГО ШУМУ

У статті запропоновано новий метод прогнозування надійності радіоелектронної апаратури військового призначення за рівнем тестового шуму. Особливістю цього методу є використання двох каналів для вимірювання рівня шумів, що дозволяє значно зменшити рівень систематичної похибки, виключити вплив температурних характеристик і електромагнітних завад. Показано перетворювальні характеристики пристрою, структурну схему і алгоритм роботи.

Бригадир С.П., Миночкин А.И., Радзивилов Г.Д. Метод прогнозирования надежности радиоэлектронной аппаратуры военного назначения по уровню тестового шума. В статье предложен новый метод прогнозирования надежности радиоэлектронной аппаратуры военного назначения по уровню тестового шума. Особенностью этого метода является использование двух каналов для измерения уровня шумов, что позволяет значительно уменьшить уровень систематической погрешности, исключить влияние температурных характеристик и электромагнитных помех. Показано преобразовательные характеристики устройства, структурную схему и алгоритм работы.

S. Brigadir, A. Minochkin G. Radzivilov Method of forecasting the reliability of military electronic equipment according to the level of test noise. The article proposes a new method for predicting the reliability of military electronic equipment for the level of test noise. A feature of this method is the use of two channels to measure the level of noise, which allows to significantly reduce the level of systematic error, to eliminate the influence of temperature characteristics and electromagnetic interference. The conversion characteristics of the device, the block diagram and the operation algorithm are shown.

Ключові слова: Радіоелектронна апаратура, канал вимірювання, методи прогнозування, операції контролю.

Постановка завдання у загальному вигляді. В процесі експлуатації та ремонту сучасних цифрових радіоелектронних виробів, які стоять на озброєнні ЗСУ, постійно виникають питання необхідності оцінювання надійності цих виробів та прогнозування термінів подальшої експлуатації. Це обумовлено обґрунтуванням економічної доцільності ремонту або обслуговування цих засобів. Оскільки апаратура, яка надходить до ЗСУ побудована за новими технологіями, підходи до прогнозування надійності теж повинні містити нові принципи. Але не слід відмовлятися і від класичних методів та принципів, які в поєднанні з сучасними дадуть змогу формувати нові підходи до прогнозування надійності як в процесі експлуатації, так і на етапі серійного виробництва.

Під час розроблення методів прогнозування надійності радіоелектронної апаратури (РЕА) за рівнем тестових шумів постає проблема створення високоточних вимірювачів інформативного параметру та достовірного аналізу даних, отриманих в результаті вимірювань. Такі прилади будуються на основі методу безпосереднього вимірювання. Вони мають низку переваг, таких як простота реалізації і висока чутливість, яка визначається внутрішніми шумами вимірювального пристрою. Проте, цей метод має і недоліки. Під час проведення дослідження методом безпосереднього вимірювання впливають такі явища як електромагнітні завади і температурні характеристики вимірювального каналу. Ці похибки є непередбачувані і впливають на межі операції контролю та безпосередньо прогнозування надійності. Тому для компенсації цих похибок використовуються різні методи, які потребують відносно високих обчислювальних затрат, а також матеріальних ресурсів для прогнозування надійності.

Таким чином, виникає потреба розроблення методу прогнозування надійності РЕА, який дає можливість усунути перераховані вище недоліки.

Запропонований у роботі метод передбачає введення опорного каналу з використанням алгоритму відносного прогнозування надійності.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Проблемі дослідження надійності РЕА присвячена велика кількість публікацій як у нас в країні, так і за кордоном. Серед авторів можна відзначити роботи Карташова Г.Д., Перрот А.І., Седякин Н. М., Пешеса Л. Я, Степанової М. Д., Тимонина В.І., Белова В.Н., Д. Кокса, В. Нельсона, Н. Сінгпурваллу, Д. Хан, Ф. Прошана, Н. Манн, С. Аморіма, А. Джонсон-Ріхарда і ін.

Більшість авторів вказує, що серед багатьох проблем, що потребують вирішення при проведенні випробувань, виділяються дві:

1. Проблема нестабільності виробництва, яка полягає в тому, що різні партії однотипних виробів внаслідок особливостей різних виробництв часто мають неоднакові закони розподілу напрацювань до відмови. Внаслідок цього статистичні зв'язки між законами розподілу напрацювань в різних режимах є нестійкими і можуть змінюватися від партії до партії. Звідси випливає, що неправомірно поширювати результати випробувань, що проводяться звичайними регресійними методами на виробках однієї з партій, на інші партії аналогічних виробів;

2. Проблема досліджень складних виробів, що представляють собою систему, що складається з великої кількості елементів (комплектуючих). Для таких систем дуже складно застосовувати класичні методи досліджень за допомогою шумових характеристик. У зв'язку з цим виникає питання про саму можливість побудови пристроїв випробувань для таких виробів, зокрема, для виробів, що представляють собою послідовно з'єднану систему великої кількості елементів.

Початок досліджень по першій проблемі було покладено Перрот А.І., і продовжено Карташовим Г.Д.. Зокрема, для вирішення проблеми він запропонував оцінювати зв'язки не між функціями розподілу напрацювань до відмови, а між випадковими величинами напрацюванням одного і того ж виробу в різних режимах. Таким чином, оцінювання надійності РЕА та її напрацювання до відмови являє собою складну задачу, яка потребує розробки нових методів в тому числі і з застосуванням шумових характеристик РЕА.

Мета статті полягає в розробці методу прогнозування надійності радіоелектронної апаратури військового призначення за рівнем тестового шуму. Особливістю цього методу є використання двох каналів для вимірювання рівня шумів, що дозволяє значно зменшити рівень систематичної похибки, виключити вплив температурних характеристик і електромагнітних завад.

Виклад основного матеріалу дослідження. Особливість запропонованого методу полягає у вимірюванні контрольного параметра за двома каналами: вимірювальним каналом і опорним. При цьому прогнозування надійності здійснюється у три етапи. Одночасно на обох каналах проводиться вимірювання інформативного параметра: на першому каналі вимірюється рівень НЧ шумів РЕА, що досліджується; на опорному каналі із заданим рівнем контролю вимірюється рівень шуму еталонного РЕА. За допомогою аналогової операції порівняння встановлюється сигнал, який містить інформацію про надійність РЕА, що досліджується. Для еталонного шумового параметра, опорного каналу, вибирається РЕА яка є високонадійною.

Вираз, за допомогою якого можна врахувати внутрішні шуми РЕА і схеми вмикання такий [1]:

$$\overline{e_{\text{швих}}^2} = \int_{f_1}^{f_2} K(f) \overline{e_{\text{швх}}^2}(f) df$$

де $K(f)$ – коефіцієнт передачі шуму із входу на вихід; $\overline{e_{\text{швх}}^2}(f)$ – еквівалентна шумова напруга, розрахована за шумовою моделлю РЕА.

Рівень шумової напруги на виході схеми вмикання

$$\overline{e_{\text{швих}}^2} = \int_{f_1}^{f_2} \overline{U_{\text{ш}}^2}(f) dt \quad (1)$$

де $U_{ш}^2$ – визначає повний рівень шумів на низьких частотах із урахуванням паразитних і зворотних зв'язків схеми вмикання РЕА.

Після підсилення і смугової фільтрації вираз (1) можна записати так:

$$\overline{e_{ш}^2} = k_1 k_2 k_{\phi} \int_{f_1}^{f_2} \overline{U_{ш}^2(f)} dt.$$

де k_1 і k_2 – коефіцієнти підсилення попереднього і основного підсилювачів, відповідно; k_{ϕ} – коефіцієнт передачі смугового фільтра зі смугою пропускання $f_2 - f_1$.

На виході квадратичного детектора приріст струму буде визначатися за виразом

$$i_d = \frac{1}{2} S_d U_{ск}^2$$

де $U_{ск}^2 = \frac{1}{T_c} \int_0^{T_c} e_{ш}^2(t) dt$ – напруга на виході детектора із крутістю S_d .

Встановлено, що ненадійними виробами можна вважати вироби, рівень власних НЧ шумів яких перевищує допустимий у 2 і більше разів [2]. На основі досліджень [3 – 8] пропонується встановлювати рівень прогнозування надійності за такими межами: перша – на рівні 1,3 (або 30 %) для високонадійних РЕА, друга – на рівні 1,6 (60 %) – надійні РЕА і рівень перевищення у два рази рівня власних шумів.

Для встановлення вказаних меж допустимого контролю надійності, в опорному каналі, можна використовувати малозумний підсилювач із регульованим коефіцієнтом підсилення на аналоговому комутаторі [9], як показано на рис. 1а.

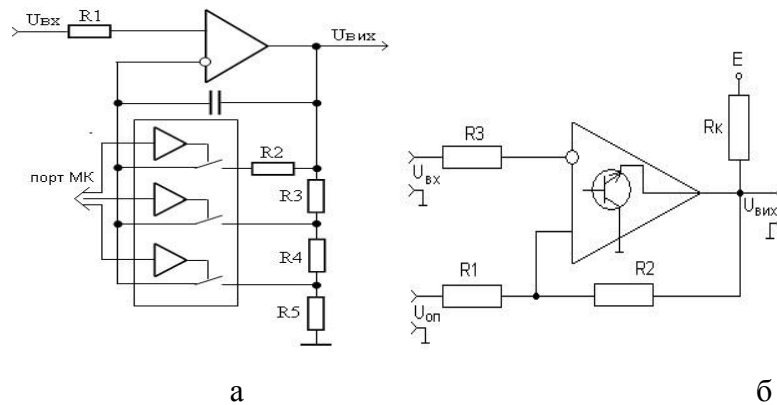


Рис. 1. а – схема для встановлення меж прогнозування надійності, б – та схема порівняння на компараторі із відкритим колектором

Таким чином рівняння перетворення для вимірювального і опорного каналів запишуться так:

$$U_{вим} = \frac{k_1^2 k_2^2 k_{\phi}^2 S_{\delta} R_H}{2T_c} \int_0^{T_c} \left(\int_{f_1}^{f_2} U_{ш}^2(f) df \right)^2 dt;$$

$$U_{вим} = \frac{k_{10}^2 k_{20}^2 k_{\phi 0}^2 S_{\delta 0} R_{H0}}{2T_c} \int_0^{T_c} \left(\int_{f_1}^{f_2} U_{ш}^2(f) df \right)^2 dt,$$

де k_3 – коефіцієнт підсилення підсилювача із регульованим коефіцієнтом підсиленням.

Подаючи вимірювальний сигнал на інвертувальний вхід компаратора, а сигнал опорного каналу на неінвертувальний, отримаємо

$$U_{\text{вих}} = \begin{cases} U_{\text{в}}, U_{\text{вим}} < U_{\text{оп}}; \\ U_{\text{н}}, U_{\text{вим}} > U_{\text{оп}}. \end{cases} \quad (2)$$

де $U_{\text{в}}$, $U_{\text{н}}$ – високий і низький рівні напруги на виході компаратора.

Вимірювальний і опорний канали за перетворювальними характеристиками повинні бути максимально подібними і використовувати однакову елементну базу, тому порівнюючи сигнал на компараторі, вимірювальну похибку виключають, оскільки оцінюються відносні величини.

Для виключення впливу власних шумів компаратора і електромагнітних впливів використаємо позитивний зворотний зв'язок для отримання гістерезису (рис. 1б) [10]. Гістерезис є по суті зоною невизначеності перемикання виходу компаратора із високого рівня в низький або навпаки. Суттєвий вплив на гістерезис вносить шум опорів схеми $U_{\text{ш}}$ вмикання компаратора. Тоді зону невизначеності або похибку при прогнозуванні надійності РЕА можна записати як

$$\Delta U = U_{\text{оп1}} - U_{\text{оп0}} + U_{\text{ш}} + U_{\text{зм}},$$

де $U_{\text{оп1}}$, $U_{\text{оп0}}$ – верхня і нижня межа опорної напруги, для схеми із відкритим колектором на виході; $U_{\text{зм}}$ – напруга зміщення операційного підсилювача.

Для схеми компаратора із відкритим колектором можна записати

$$U_{\text{оп1}} = \frac{U_{\text{оп}} R_2}{R_1 + R_2}, \quad U_{\text{оп0}} = \frac{E R_1 + U_{\text{оп}} (R_2 + R_k)}{R_1 + R_2 + R_k} \quad (3)$$

де R_1 і R_2 – опори зворотного позитивного зв'язку компаратора; E – напруга живлення; R_k – опір колектора.

Напруга шумів для зворотного зв'язку схеми запишеться так

$$U_{\text{ш}} = \frac{R_1 + R_2}{R_1} \sqrt{4kTR\Delta f}. \quad (4)$$

Враховуючи (3) і (4) умова (2) запишеться

$$U_{\text{вих}} = \{U_{\text{в}}, U_{\text{вим}} \geq \frac{U_{\text{оп}} R_2}{R_1 + R_2} + \frac{R_1 + R_2}{R_1} \sqrt{4kTR\Delta f} - U_{\text{зм}}\}$$

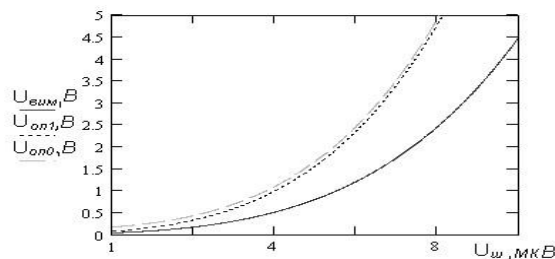


Рис. 2. Перетворювальні характеристики каналів

Таким чином, наведена вище формула є функцією для прогнозування надійності РЕА відносним методом.

Статичні характеристики вимірювального і опорного каналів показані на рис. 2.

Як видно з графіків при малих рівнях шумової напруги межі прогнозування надійності збігаються із рівнем вимірювального каналу, а при більших – межа зростає, з'являється адитивна складова похибки, на основі якої можна здійснити прогнозування надійності РЕА.

Висновки

Таким чином, в роботі запропоновано метод прогнозування надійності виробів електронної техніки з використанням тестового шуму. Запропонований метод можна застосовувати як для аналогової, так і для цифрової РЕА. Особливістю представленого методу є використання двох однакових вимірювальних каналів, що дозволяє зменшити

рівень систематичної похибки і температурних впливів, що в свою чергу дасть змогу підвищити достовірність прогнозування надійності РЕА.

Напрямки подальших досліджень можуть бути направлені на вдосконалення існуючого теоретичного апарату та методів діагностування ВТЗ.

ЛІТЕРАТУРА

1. Букингем М. Шумы в электронных приборах и системах; Пер. с англ. / Под. ред. В. Н. Губанкова. – М. : Мир, 1986. – 400 с.
2. Пряников В.С. Прогнозирование отказов полупроводниковых приборов / В. С. Пряников – М.: Энергия, 1978. – 112 с.
3. Кичак В. М. Оцінка якості інтегральних транзисторів за допомогою низькочастотних шумів / В. М. Кичак, Д.В. Михалевський, В.В. Стронський // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2005.– № 2. – С. 177 – 181.
4. Кичак В. М. Математична шумова модель інтегральних операційних підсилювачів для прогнозування надійності за рівнем низькочастотного шуму / В. М. Кичак, Д. В. Михалевський // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2008. – № 3. – С. 102 –108.
5. Горлов М. И. Разделение интегральных схем по надежности с использованием 1/f-шума / М. И. Горлов, Д. Ю. Смирнов, Д. Л. Ануфриев // Известия вузов. Электроника. – 2006. – № 1. – С. 84 – 89.
6. Горлов М. И. Возможность отбраковки полупроводниковых приборов по уровню низкочастотного шума / М.И. Горлов, В.А. Емельянов, Д.Ю. Смирнов // Компоненты и технологии. – 2005. – № 8. – С. 198 – 201.
7. Методы диагностики полупроводниковых изделий с использованием электростатических разрядов / Горлов М. И., Емельянов В. А., Рубцевич И.И., Смирнов Д. Ю. // Микроэлектроника. – 2005. – Т. 34. – № 3. – С. 27 – 36.
8. Использование уровня шумов для контроля полупроводниковых изделий при термоциклировании / М. И. Горлов, Д. Ю. Смирнов, Ю. Е. Сегал, А. В. Емельянов // Известия вузов. Электроника. – 2005. – № 6. – С. 89 – 92.
9. Kester W., Bryant J. Programmable Gain Amplifiers. Op Amp Applications. 2002. ISBN 0-916550-26-5.
10. Красносельский М.А. Системы с гистерезисом / М.А. Красносельский, А. В. Покровский. – М. : Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1983. – 272 с.
11. Креденцер Б.П. Надійність системи з надлишковістю: методи, моделі, оптимізація/ Креденцер Б.П., Буточнов О.М., Міночкін А.І. Могилевич Д.І.; під ред. Б.П. Креденцера. – К.: „Фенікс”, 2013. – 342 с.
12. Креденцер Б.П. Надійність систем епізодичного використання в умовах обмеженої інформації про вихідні данні/ Креденцер Б.П., Міночкін А.І., Могилевич Д.І.//Збірник наукових праць ВІТІ НТУУ „КПІ”. – Вип. № 2. – К.: ВІТІ НТУУ „КПІ”, 2010. – С. 37 – 41.
13. Креденцер Б.П. Модель надійності складної системи зі структурною надмірністю та комбінованим резервом часу/ Креденцер Б.П. // Збірник наукових праць ВІТІ НТУУ „КПІ”. – вип. № 2. – К.: ВІТІ НТУУ „КПІ”, 2006. – С. 44 – 56.