

МИХАЛЕВСЬКИЙ ДМИТРО

Вінницький національний технічний університет

<http://orcid.org/0000-0001-5797-164X>

e-mail: adotq@ukr.net

ВІРОГІДНІСТЬ КОНТРОЛЮ ВИРОБІВ ЕЛЕКТРОННОЇ ТЕХНІКИ ЗА РІВНЕМ НИЗЬКОЧАСТОТНИХ ШУМІВ

У статті проводиться дослідження етапів вхідного та вихідного контролю виробів електронної техніки за рівнем низькочастотних шумів. Досліджено основні інформативні параметри: вимірювальну шумову напругу та випадкову похибку. Встановлено, що вимірювальна величина має довірковий інтервал, який враховує похибки вимірювання та визначення границь контролю. Визначено границі контролю, на основі яких отримано аналітичні вирази для розподілу інформативного параметра у визначених межах для надійних та ненадійних виробів електронної техніки. Враховуючи межу розділення виробів на придатні та непридатні, було запропоновано границі контролю, які містять коефіцієнт відсікання імовірних похибок. Отримано узагальнений аналітичний вираз оцінювання вірогідності контролю, який враховує мінімізацію дії систематичних та випадкових факторів впливу для підвищення ефективності вхідного та вихідного контролю за рівнем низькочастотного шуму.

Ключові слова: вірогідність контролю, низькочастотні шуми, вироби електронної техніки, випадкова похибка, контроль.

MYKHALEVSKIY DMYTRO
Vinnytsia National Technical University

RELIABILITY OF THE CONTROL OF ELECTRONIC DEVICES BY LOW-FREQUENCY NOISE

The article examines the stages of input and output control of electronic equipment products according to the level of their own low-frequency noise, namely, the measurement of an informative parameter and its comparison with predetermined limits. It was established that for each type of control there is a need to have a methodology for assessing the compliance of control results with valid characteristics and its effectiveness. One of the main parameters of the effectiveness of all stages of control is the probability, which requires separate studies and the definition of a universal mechanism for its assessment. Therefore, the task was set to obtain a complete method of probability assessment for the input and output control of electronic equipment products by the level of their own noise.

To determine the probabilistic characteristics of the control, the main informative parameters were investigated: the measuring noise voltage, which is random in nature, and the random error. It is established that the measured value has a confidence interval that takes into account measurement errors and determination of control limits. Control limits were obtained, on the basis of which analytical expressions were obtained for the distribution of the informative parameter within the specified limits for reliable and unreliable electronic products. Taking into account the limit of separation of products into suitable and unsuitable, control limits were proposed, which contain the coefficient of possible error cut-off. A generalized analytical expression for evaluating the probability of control is obtained, which takes into account the minimization of the effect of systematic and random factors influencing the result to increase the efficiency of input and output control on the level of low-frequency noise.

Keywords: control probability, low-frequency noise, electronic products, random error, control.

Вступ

Як відомо [1], будь-який технологічний процес виготовлення ВЕТ (виробів електронної техніки) не є ідеальним, тобто на певних етапах присутні похибки, які виникають внаслідок характерних недоліків виробництва та існування різного роду факторів впливу. До таких недоліків можна віднести: дефекти внутрішньої структури напівпровідникових підкладок, дефекти епітаксialної плівки і контактів, неможливість отримання двох ідентичних виробів із однаковими характеристиками та ін. Це є одним із основних факторів, що призводить до відмов телекомунікаційних та інфокомунікаційних систем. Для мінімізації такого фактору розроблено багато методів та моделей для контролю якості та відбракування потенційно ненадійних виробів у готових партіях так і на етапах виробництва, деякі із них описані у [2–4]. Таким чином, для підвищення ефективності технологічного процесу необхідно визначити сукупність всіх систематичних та випадкових факторів, провести оцінювання їх впливу на параметри ВЕТ, а також за можливістю досягти мінімізації.

Аналіз останніх досліджень і публікацій та постановка проблеми

Технологічний процес контролю (ВЕТ) за рівнем власних шумів передбачає існування двох етапів [5]: вимірювання інформаційного параметра та порівняння отриманих значень із наперед визначеними границями. Результатом контролю виступає логічне рішення про придатність або непридатність досліджуваного виробу, на основі чого існує можливість проводити якісну оцінку характеристик надійності [6]. Даний вид контролю проводиться на основі досліджень характеристик фізико-хімічних процесів внутрішньої структури ВЕТ, які змінюються в часі. В свою чергу, оцінювання систематичних і випадкових параметрів будь-якого технологічного процесу виготовлення ВЕТ та врахування всіх факторів впливу, дає можливість встановлювати рівень якості продукції на етапах вхідного та вихідного контролю [4, 5]. Для кожного виду контролю є необхідність наявності методики для оцінювання відповідності результатів контролю дійсним характеристикам та його ефективності. Одним із основних параметрів ефективності всіх етапів контролю є вірогідність, яка потребує проведення окремих досліджень та визначення універсального

механізму її оцінювання. Тому, було поставлено завдання отримати повну методику оцінювання вірогідності для вхідного та вихідного контролю ВЕТ за рівнем НЧ шуму.

Метою роботи є підвищення ефективності вхідного та вихідного контролю за рівнем НЧ шуму шляхом отримання узагальненого виразу оцінювання вірогідності із мінімізацією факторів впливу.

Виклад основного матеріалу дослідження

Технологічний контроль ВЕТ за рівнем власних низькочастотних шумів складається із двох етапів: вимірювання інформативного параметра та порівняння його із наперед встановленими границями [4], на основі математичних моделей або отриманих експериментальним шляхом. Кожний етап характеризується існуванням своїх факторів впливу які створюють статичні та випадкові похибки. Це безпосередньо впливає на результат та може бути визначено як повний цикл технологічного контролю. Тому, спершу розглянемо такий цикл, як представлено на схемі рис. 1.

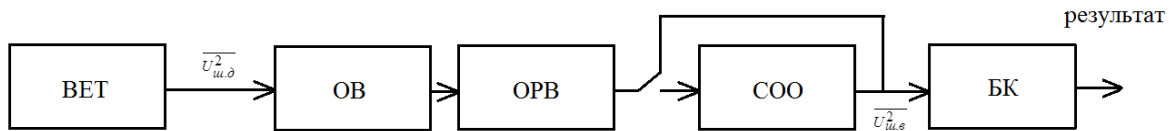


Рис. 1. Схема технологічного контролю за рівнем НЧ шуму

Перший етап контролю – отримання дійсного значення інформативного параметра. В якості інформативного параметра використовується середньоквадратичне значення шумової напруги $\overline{U_{ш.д}^2}$ для будь-якого ВЕТ, що досліджується. Рівень такого параметра в початковому вигляді є недостатнім для отримання результату контролю, тому для його перетворення послідовно виконуються операції вимірювання (ОБ) та обробки результатів вимірювання (ОПВ). Таким чином, результат першого етапу контролю можна записати так [4]:

$$\overline{U_{ш.с}^2} = \frac{k^2 S_d^2 R_n^2}{2T_c^2} \int_0^{T_c} \left(\int_{f_1}^{f_2} U_{ш.д}(f) df \right)^2 dt, \quad (1)$$

де k – коефіцієнт підсилення вимірювального каналу; T_c – період вимірювання; S_d і R_n – крутість та навантаження детектора; f_1, f_2 – смуга частот у якій досліджується інформативний параметр.

Для вхідного контролю вказаних операцій перетворень інформативного параметра є достатньо, а границі контролю визначаються із розрахунку шумових моделей при визначенні середньоквадратичного значення шумової напруги $\overline{U_{ш.с}^2}$ для кожного типу ВЕТ [3]. При вихідному або додатковому контролі партій виробів, параметри шумових моделей можуть бути відсутні. Тоді границі контролю можна визначити на основі статистичних операцій оцінювання інформативного параметра (СОО), використовуючи наступні вирази:

$$\begin{aligned} \overline{U_n^2} &= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \overline{U_{ш.с.i}^2}, \\ \delta_c^2 &= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \overline{U_n^2} - \overline{U_{ш.с.i}^2} \right|, \\ \sigma^2 &= \frac{0,079}{n-1} \sum_{i=1}^n (\delta_{вип.i})^2, \end{aligned} \quad (2)$$

де $\overline{U_{ш.с.i}^2}$ – вимірювальне значення інформативного параметру i -го виробу із партії кількістю n ; $\overline{U_{ш.н}^2}$ – нормоване значення інформативного параметра; δ_c, σ – систематична і випадкова похибки.

Враховуючи вирази (2), загальний результат оцінювання інформативного параметра, можна записати так:

$$\overline{U_{в.ш}^2} \approx \overline{U_c^2} + \delta_c^2 \pm \sigma^2, \quad (3)$$

де $\overline{U_c^2} = \begin{cases} \overline{U_{ш.с}^2}, & \text{при відомих параметрах шумової моделі,} \\ \overline{U_n^2}, & \text{при невідомих параметрах шумової моделі;} \end{cases}$

$\overline{U_{ш.с}^2}$ – значення яке визначається із шумових моделей ВЕТ.

Основними параметрами є вимірювальна шумова напруга $\overline{U_{вим}^2}$ та випадкова похибка σ . Шумова напруга має випадковий характер, і в більшості випадків підпорядковується нормальному закону розподілу. Тоді, вимірювальна величина характеризується довірковим інтервалом, і на результати контролю впливають

похибки вимірювання та визначення границь контролю, які є взаємопов'язаними. Величини $\overline{U_{ш.в}^2}$ і σ є випадковими і для їхньої оцінки можна застосувати сумісний закон розподілу, який запишеться так:

$$P(\overline{U_{ш.в}^2}, \sigma^2) = \frac{1}{2\pi(\Delta_1\Delta_2)^{1/2}} \exp\left(-\frac{(\overline{U_{ш.в}^2} - \overline{U_n^2})^2}{2\Delta_1^2} - \frac{(\sigma^2 - \sigma_n^2)^2}{2\Delta_2^2}\right), \quad (4)$$

де Δ_1 і Δ_2 – середньоквадратичні значення випадкових величин $\overline{U_{ш.в}^2}$ і σ відповідно; σ_n – математичне очікування середньоквадратичного значення похибки.

На другому етапі контролю необхідно визначити допустимі границі. Згідно [1], умову надійності ВЕТ можна записати так:

$$\begin{aligned} -\Delta\overline{U_{зп}^2} + \overline{U_n^2} - \delta_c^2 < \overline{U_{ш.в}^2} + \sigma^2 < \overline{U_n^2} - \delta_c^2 + \Delta\overline{U_{зп}^2}, \\ -\Delta\overline{U_{зп}^2} + \overline{U_n^2} - \delta_c^2 - \overline{U_{ш.в}^2} < \sigma^2 < \overline{U_n^2} - \overline{U_{ш.в}^2} - \delta_c^2 + \Delta\overline{U_{зп}^2}, \end{aligned} \quad (5)$$

де $\Delta\overline{U_{зп}^2}$ – границя контрольного поля допуску.

Враховуючи нерівності (5), отримаємо вираз для розподілу інформативного параметра у встановлених границях контролю для надійних ВЕТ:

$$P_{над}(\overline{U_{ш.в}^2}) = \frac{\int_{-\Delta\overline{U_{зп}^2} + \overline{U_n^2} - \delta_c^2 - \overline{U_{ш.в}^2}}^{\overline{U_n^2} - \overline{U_{ш.в}^2} - \delta_c^2 + \Delta\overline{U_{зп}^2}} P(\overline{U_{ш.в}^2}, \sigma^2) d\sigma^2}{\int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\Delta\overline{U_{зп}^2} + \overline{U_n^2} - \delta_c^2 - \overline{U_{ш.в}^2}}^{\overline{U_n^2} - \overline{U_{ш.в}^2} - \delta_c^2 + \Delta\overline{U_{зп}^2}} P(\overline{U_{ш.в}^2}, \sigma^2) d\sigma^2 d\overline{U_{ш.в}^2}}. \quad (6)$$

Для ненадійних виробів розподіл інформативного параметра складе:

$$P_{над}(\overline{U_{ш.в}^2}) = \frac{\int_{-\Delta\overline{U_{зп}^2} + \overline{U_n^2} - \delta_c^2 - \overline{U_{ш.в}^2}}^{\overline{U_n^2} - \overline{U_{ш.в}^2} - \delta_c^2 + \Delta\overline{U_{зп}^2}} P(\overline{U_{ш.в}^2}, \sigma^2) d\sigma^2}{1 - \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\Delta\overline{U_{зп}^2} + \overline{U_n^2} - \delta_c^2 - \overline{U_{ш.в}^2}}^{\overline{U_n^2} - \overline{U_{ш.в}^2} - \delta_c^2 + \Delta\overline{U_{зп}^2}} P(\overline{U_{ш.в}^2}, \sigma^2) d\sigma^2 d\overline{U_{ш.в}^2}}, \quad (7)$$

де $p(\overline{U_{ш.в}^2})$ – закон розподілу інформативного параметра.

Після визначення границь контролю, передбачається виконання операції їх порівняння із отриманими результатами оцінювання інформативного параметрами. Але особливістю контролю ВЕТ за рівнем НЧ шумів є, по суті, наявність однієї границі, значення якої буде завжди більше нуля [6]. Тоді, граничне допустиме значення інформативного параметра можна виразити через нормоване значення інформативного параметра, наступним чином:

$$\overline{U_{зп}^2} = a\overline{U_n^2}, \quad (8)$$

де a – коефіцієнт контролю, яким можна задавати різні рівні якості ($a > 1$).

Розділення виробів на придатні та непридатні можна представити як показано на рис. 2.

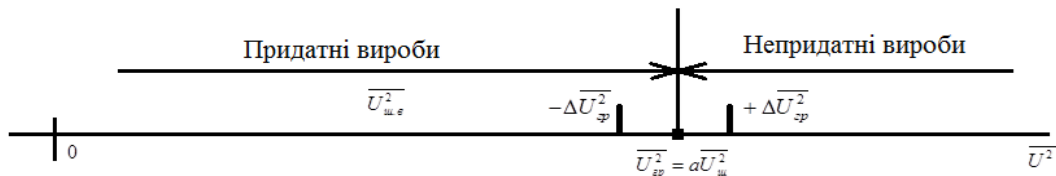


Рис. 2. Розділення придатних та непридатних виробів

Як видно із рис. 2, існує значення інформаційного параметра, яке умовно розділяє придатні і непридатні вироби. Враховуючи існування різного роду факторів це значення може мати випадковий характер в межах допустимого інтервалу границь контролю від середньостатистичного значення $\overline{U_{зп}^2}$. Тоді умову контролю для ВЕТ за рівнем НЧ шумів можна записати так:

$$\overline{U_{вим}^2} < \overline{U_{зп}^2} - \Delta\overline{U_{зп}^2}. \quad (9)$$

Тоді, враховуючи (8) і (9), нерівності (5) можна записати так:

$$\begin{aligned} \overline{U_{вим}^2} + \sigma^2 < a\overline{U_n^2} - \delta_c^2 - \Delta\overline{U_{зп}^2}, \\ \sigma^2 < a\overline{U_n^2} - \overline{U_{вим}^2} - \delta_c^2 - \Delta\overline{U_{зп}^2}. \end{aligned} \quad (10)$$

Враховуючи вище сказане, загальний вираз, вірогідності контролю можна записати так:

$$P = \int_0^{\overline{U}_{sp}^2} \int_0^{\sigma_{sp}^2} P(\overline{U}_{вим}^2, \sigma^2) d\sigma^2 d\overline{U}_{вим}^2. \quad (11)$$

Як відомо, із теорії контролю [5], вірогідність це відповідність результату контролю дійсному стану об'єкта контролю. В даному випадку, це означає з якою імовірністю результат контролю “придатний” буде відповідати дійсним характеристикам досліджуваних ВЕТ. Тому, для отримання такого результату можливо три випадки: оцінка придатного виробу з результатом “придатний”, оцінка придатного з результатом “непридатний” та оцінка непридатного виробу як “придатний”. В зв'язку із постійним здешевленням технології виготовлення ВЕТ, по відношенню до затрат при виникненні несправності телекомунікаційних та інфокомунікаційних систем на базі неякісних ВЕТ, другий випадок не є суттєвим і його впливом на вірогідність можна нехтувати за допомогою коефіцієнта за рахунок відсікання імовірних похибок використовуючи параметр $\Delta \overline{U}_{sp}$. Таким чином, вірогідність контролю за рівнем НЧ шумів запишеться наступним чином:

$$P = \int_0^{a\overline{U}_n^2 - \delta_c^2 - \Delta \overline{U}_{sp}^2} \int_0^{(\overline{U}_{sp}^2 + \delta_c^2 - \overline{U}_{вим}^2 - \Delta \overline{U}_{sp}^2)} P(\overline{U}_{вим}^2, \sigma^2) d\sigma^2 d\overline{U}_{вим}^2 - \int_0^{a\overline{U}_n^2 - \delta_c^2 - \Delta \overline{U}_{sp}^2} \int_0^{(\overline{U}_{sp}^2 + \delta_c^2 - \overline{U}_{вим}^2 - \Delta \overline{U}_{sp}^2)} P(\overline{U}_{вим}^2, \sigma^2) d\sigma^2 d\overline{U}_{вим}^2. \quad (12)$$

Отже отриманий вираз дає можливість оцінювати вірогідність контролю ВЕТ за рівнем НЧ шумів на основі зменшення дії систематичних і випадкових факторів впливу.

Висновки

Таким чином, основною задачею технологічного вхідного та вихідного контролю за рівнем власних шумів є підвищення вірогідності оцінювання характеристик внутрішньої структури ВЕТ. В роботі отримано границі контролю, які мінімізують вплив систематичних та випадкових факторів впливу на результат для підвищення ефективності вхідного та вихідного контролю за рівнем НЧ шуму. На основі границь запропоновано узагальнений аналітичний вираз оцінювання вірогідності контролю.

Література

1. Дунаев Б.Б. Точность измерений при контроле качества / Дунаев Б.Б. – К. : Техніка, 1981. – 150 с.
2. Stefanos N. Manias. Fully Controlled Semiconductor Devices. Power Electronics and Motor Drive Systems. 2017, P. 695-805. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811798-9.00010-X>.
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. – Хмельницький, 2005. – № 2. – С. 177–18.
4. Михалевський Д.В. Метод безпосереднього прогнозування надійності виробів електронної техніки за рівнем НЧ шуму / Д.В. Михалевський, В.М. Кичак // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2008. – № 1. – С. 196–203.
5. Метрологічне забезпечення вимірювань і контролю : навчальний посібник / [Володарський Є.Т., Кухарчук В.В., Поджаренко В.О., Сердюк Г.Б.]. – Вінниця : ВДТУ, 2001. – 219 с.
6. Михалевський Д.В. Прогнозування часу напрацювання на відмову виробів електронної техніки за рівнем НЧ шуму / Д.В. Михалевський // ВОТТП-2012 : матеріали одинадцятої Міжнар. науково-технічної конф., Хмельницький, 5-8 червня 2012 р. – Хмельницький, 2012. – С. 55–56.

References

1. Dunaev B.B. Tochnost' izmerenij pri kontrole kachestva / Dunaev B.B. – K. : Tehnika, 1981. – 150 s.
2. Stefanos N. Manias. Fully Controlled Semiconductor Devices. Power Electronics and Motor Drive Systems. 2017, P. 695-805. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811798-9.00010-X>.
3. Kychak V.M. Otsinka yakosti itehralnykh tranzystoriv za dopomohoiu nyzkochastonykh shumiv / V.M. Kychak, D.V. Mykhalevskiy, V.V. Stronskiy // Vymiriuvalna ta obchysliuvalna tekhnika v tekhnolohichnykh protsesakh. – Khmelnytskyi, 2005. – № 2. – S. 177–18.
4. Mykhalevskiy D.V. Metod bezposerednoho prohozuvannya nadiinosti vyrobiv elektronnoi tekhniki za rivnem NCh shumu / D.V. Mykhalevskiy, V.M. Kychak // Vymiriuvalna ta obchysliuvalna tekhnika v tekhnolohichnykh protsesakh. – 2008. – № 1. – S. 196–203.
5. Metrolohichne zabezpechennia vymiriuvan i kontroliu : navchalnyi posibnyk / [Volodarskiy Ye.T., Kukharchuk V.V., Podzharenko V.O., Serdiuk H.B.]. – Vinnytsia : VDTU, 2001. – 219 s.
6. Mykhalevskiy D.V. Prohozuvannya chasu napratsiuвання na vidmovu vyrobiv elektronnoi tekhniki za rivnem NCh shumu / D.V. Mykhalevskiy // VOTTP-2012 : materialy odynadtsiatoi Mizhnar. naukovu-tekhnichnoi konf., Khmelnytskyi, 5-8 chervnia 2012 r. – Khmelnytskyi, 2012. – S. 55–56.