

створить теоретичні основи для розробки ефективних методів статистичного регулювання при різних видах функції розподілу контрольованого ПС технологічного процесу, тим самим підвищується ефективність управління якістю ІМС на етапі виробництва.

### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Феллер В. Введение в теорию вероятностей и ее приложения. Т. 1. / Феллер В. – М. : Мир, 1967. – 498 с.
2. Томашевский А. В. Эффективность обнаружения разладок технологических операций в АСУТП / Томашевский А. В. // Стратегия качества в промышленности и образовании : III международн. конф., 1–8 июня 2007, г. Варна, Болгария : научн. журнал технического университета. Спец. выпуск в 2-х томах. Т. 2. – Варна, 2007. – С. 650–652.

Надійшла 4.09.2008  
Після доробки 14.10.2008

*На этапе производства качество интегральных микросхем во многом определяется стабильностью технологических процессов. Для исследования эффективности обнаружения разладок технологических процессов предложено использовать теорию случайного блуждания броуновской частицы. Получены интегральные уравнения Фредгольма 2-го рода для оценки средних длин серий выборок налаженного или разлаженного процессов и вероятности первого выхода траекторий за нижнюю границу.*

*On the stage of manufacturing the quality of integrated circuits is greatly determined by on stability of technological processes. For researching of disorders of the technological processes detecting efficiency and usage of the theory of Brownian particles is suggested. Fredholm integral equations of the 2nd kind for estimation of middle length series of selections of disarranged and arranged processes and probability of the first trajectory output beyond the lower line are obtained.*

УДК 621.396.6

О. В. Томашевський, В. В. Погосов, Г. В. Сніжної

## ВИКОРИСТАННЯ СТАТИСТИЧНИХ МЕТОДІВ ПРИ СЕРТИФІКАЦІЙНИХ ВИПРОБУВАННЯХ ІНТЕГРОВАНИХ МІКРОСХЕМ

*Проведено аналіз видів випробувань інтегрованих мікросхем та існуючих планів їх контролю. Вибрано показники надійності та плани контролю для включення у програму сертифікаційних випробувань. Запропоновано адекватні процедури статистичної обробки результатів випробувань.*

### ВСТУП

На сучасному ринку, насиченому інтегрованими мікросхемами (ІМС) від різних виробників, необхідність підтвердження відповідності рівню якості, що заявляється, досить актуальна. Таке підтвердження може бути надане на основі сертифікаційних випробувань, які виконує третя сторона, роль якої відіграє незалежний орган з сертифікації. Вимоги до органу сертифікації (випробувального центру) викладені в [1]. Сертифікаційні випробування направлені на підтвердження відповідності фактичних характеристик виробу вимогам нормативно-технічної документації. Програму і методи випробувань встановлюють в сертифікаційній документації і вказують в положенні з сертифікації даного виробу з урахуванням особливостей його виготовлення. Сертифікаційні випробування в більшості випадків прово-

дяться для оцінки відповідності функціональних показників умовам експлуатації, здатності до дії зовнішніх чинників і критеріїв надійності. Результати випробувань, оформлені у вигляді протоколу, передаються в орган з сертифікації. Сертифікаційні випробування носять багатоплановий характер і направлені на підтвердження відповідності фактичних характеристик виробу вимогам нормативно-технічної документації.

### 1 ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

Особливістю випробувань ІМС є погіршення якості виробів при проведенні випробувань і часткове витрачання ресурсу (випробування на механічну міцність і стійкість, на стійкість до кліматичних дій і т. п.), деякі види випробувань мають руйнівний характер (випробування на стійкість до дії цвілевих грибків, радіаційну стійкість і т. п.). Тому при проведенні сертифікаційних випробувань всієї сукупності ІМС, яка випробується, про якість судять по узятій вибірці. Також, при проведенні випробувань ІМС розглядаються як невідновлювані вироби.

© Томашевський О. В., Погосов В. В., Сніжної Г. В., 2009

У даній роботі ставляться задачі:

– визначити кількісні показники надійності для використання при сертифікаційних випробуваннях ІМС і запропонувати процедури статистичної обробки результатів випробувань для оцінки визначених показників;

– визначити методи сертифікаційних випробувань на стійкість ІМС до дії зовнішніх чинників для оцінки відповідності їх фактичного рівня якості заявленому рівню якості.

## 2 ОЦІНКА КІЛЬКІСНИХ ПОКАЗНИКІВ НАДІЙНОСТІ

За наслідками сертифікаційних випробувань оцінюється рівень якості ІМС, перш за все, надійність, технічний ресурс і відповідність фактичного рівня якості ІМС заявленому рівню якості [2].

Найбільш важлива складова надійності – це безвідмовність. Кількісно безвідмовність можна оцінити такими показниками, як ймовірність безвідмовної роботи, інтенсивність відмов, середня наробка до відмови та гама-відсоткова наробка. Оцінюються ці показники за статистичними характеристиками двох випадкових величин – наробки до відмови та кількості виробів, які відмовили протягом часу випробувань.

Виникнення відмови є випадковою подією, тому час появи відмови  $t$  (наробка до відмови) – теж випадкова величина.

Ймовірність безвідмовної роботи виробу  $P(t)$  – це ймовірність того, що при заданих режимах і умовах роботи в заданому інтервалі часу відмова не виникає.

Середня інтенсивність відмов  $\lambda(t, \Delta t)$  – це кількість виробів, що відмовили, віднесена до кількості виробів, що неперервно працювали до початку випробувань, і до часу, протягом якого відбувалось випробування:

$$\lambda(t, \Delta t) = \frac{\Delta n}{(N - n)\Delta t}, \quad (1)$$

де  $\Delta n$  – кількість виробів, що відмовили протягом часу випробувань  $\Delta t$ ;  $n$  – кількість виробів, що відмовили до початку випробувань;  $(N - n)$  – кількість виробів на початок випробувань,  $N$  – кількість виробів на час  $t = 0$ .

Якщо необхідно визначити величину інтенсивності відмов за період наробки  $T$ , то

$$\lambda = n/(NT), \quad (2)$$

де  $\lambda$  – середня інтенсивність відмов;  $n$  – кількість відмов за період  $T$ .

Уведемо поняття миттєвої інтенсивності відмов  $\lambda(t)$ . Кількість виробів на початок випробувань мож-

на визначити як  $NP(t)$ , а кількість виробів, що відмовили за час випробувань  $[t, t + \Delta t]$ , як

$$\Delta n = N \cdot F(t + \Delta t) - N \cdot F(t) = N \cdot F(t + \Delta t) - F(t).$$

Тоді

$$\lambda(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \lambda(t, \Delta t) = \frac{P'(t)}{P(t)} = -\frac{f(t)}{P(t)}. \quad (3)$$

З (3) після нескладних перетворень одержимо

$$P(t) = \exp \left[ -\int_0^t \lambda(t) dt \right]. \quad (4)$$

Якщо  $\lambda(t) = \text{const} = \lambda$ , то

$$P(t) = \exp(-\lambda t). \quad (5)$$

Середня наробка до відмови  $\bar{T}$  – це математичне очікування наробки до першої відмови:

$$\begin{aligned} \bar{T} &= \int_0^{\infty} t f(t) dt = -\int_0^{\infty} t \frac{dP(t)}{dt} dt = \\ &= -tP(t) \Big|_0^{\infty} + \int_0^{\infty} P(t) dt. \end{aligned} \quad (6)$$

Формула (6) встановлює залежність між часом і ймовірністю безвідмовної роботи. Значимо, що зміст  $\bar{T}$  – площа, обмежена кривою ймовірності безвідмовної роботи. При  $\lambda = \text{const}$  маємо

$$\bar{T} = \int_0^{\infty} e^{-\lambda t} dt = 1/\lambda, \quad (7)$$

тоді

$$P(t) = e^{-t/\bar{T}}. \quad (8)$$

Оцінюється величина  $\bar{T}$  середнім арифметичним вибіркового значень  $t_1, t_2, t_3, \dots, t_n$ , де  $t_i$  – наробка до відмови  $i$ -го виробу,  $n$  – об'єм вибірки. В більшості технічних умов на ІМС вказується не середня наробка до відмови  $\bar{T}$ , а гама-відсоткова наробка  $T_\gamma$  – наробка, на протязі якої ІМС не досягає граничного стану з заданою ймовірністю  $\gamma$  процентів.

Вважаючи закон розподілу часу безвідмовної роботи експоненціальним, маємо  $e^{-\lambda T} = \gamma/100$ . Логарифмуючи даний вираз, отримуємо:

$$T_\gamma = -(1/\lambda) \ln(\gamma/100). \quad (9)$$

Для ІМС гама-відсотковий термін збережуваності звичайно вибирається при заданій ймовірності  $\gamma = 95\%$ .

Отже, визначення основних показників надійності здійснюється на підставі статистичної обробки ре-

зультатів дослідження двох величин – наробки до відмови і кількості виробів, які відмовили протягом часу випробувань.

### **З ОЦІНКА ВІДПОВІДНОСТІ ФАКТИЧНОГО І ЗАЯВЛЕНОГО РІВНЯ ЯКОСТІ**

Сертифікаційні випробування за ознакою зовнішнього навантаження, що впливає на виріб, складаються з механічних, кліматичних, електричних і радіаційних випробувань.

При проведенні сертифікаційних випробувань, що підтверджують стійкість ІМС до дії зовнішніх чинників, в першу чергу задаються планом контролю, в якому указують вид контролю, об'єм контрольованої партії продукції (вибірки), контрольні нормативи і вирішальні правила [3].

Контроль може здійснюватися за якісною або кількісною ознаками. При проведенні сертифікаційних випробувань зазвичай береться вибірка певного обсягу і визначається кількість ІМС, що відмовили, залежно від чого робиться висновок про відповідність.

У [4] визначені плани і процедури вибіркового контролю, які рекомендується використовувати для оцінки відповідності рівня якості партії продукції, що перевіряється, заявленому значенню. Заявлений рівень якості (DQL – declared quality levels) визначається процент невідповідних одиниць продукції, тобто при сертифікаційних випробуваннях ІМС, DQL – це кількість ІМС, що відмовили. Виходячи із значення DQL, визначають:  $L$  – граничне число невідповідних одиниць продукції у вибірці і  $n$  – обсяг вибірки. Для різних LQR запропоновано три рівні планів контролю, відповідні різним рівням LQR, що позначаються I, II і III. За відсутності спеціальних вказівок застосовується рівень контролю II. Рівень контролю I застосовується для менш ретельного контролю, рівень III – для ретельнішого. Рівень контролю визначається для груп виробів, що сертифікуються, зацікавленими сторонами (постачальником і споживачем). Врахування інтересів постачальника і споживача забезпечується завданням ризику постачальника і споживача. Ризик постачальника визначається вірогідністю помилки, при якій придатну партію виробів можуть в результаті коливань вибіркової оцінки визнати не відповідною технічним вимогам. Ризик споживача визначається вірогідністю помилки, при якій непридатну партію виробів в результаті коливань вибіркової оцінки можуть помилково визнати придатною.

При проведенні контролю знайшли використання чотири основні види контролю: одноступінчатий, двоступінчатий, багатоступінчатий та послідовний.

При одноступінчатому контролі рішення щодо приймання партії ухвалюють за наслідками контролю

тільки однієї вибірки. Його застосовують, коли вартість контролю невелика, тривалість випробувань велика, а партія не може бути затримана до закінчення контролю. У одноступінчатих планах реалізується правило: якщо серед  $n$  випадково відібраних виробів число дефектних  $m$  виявиться не більше приймального числа  $c$  ( $m \leq c$ ), то партія приймається; в іншому разі партія бракується.

Двоступінчатий контроль характеризується тим, що рішення про приймання партії продукції проводиться за наслідками контролю не більше двох вибірок, причому необхідність другої визначається за наслідками контролю першої вибірки. Ці плани застосовують, коли одноступінчатий контроль не використовується із-за великого обсягу вибірки. У двоступінчатих планах – якщо серед  $n_1$  випадково відібраних виробів число дефектних  $m_1$  виявиться не більше приймального числа  $c_1$  ( $m_1 \leq c_1$ ), то партія приймається; якщо  $m_1 \geq d_1$ , де  $d_1$  – число бракування, то партія бракується. Якщо ж  $c_1 < m_1 < d_1$ , то ухвалюється рішення про узяття другої вибірки обсягом  $n_2$ . Тоді якщо сумарне число дефектних виробів в двох вибірках  $(m_1 + m_2) \leq c_2$ , то партія приймається, в іншому разі партія бракується за даними двох вибірок.

При багатоступінчатому контролі рішення ухвалюють за наслідками контролю декількох наперед встановлених вибірок, причому необхідність відбору кожної подальшої приймається за наслідками контролю попередньої. Цей план контролю застосовують при великій вартості випробувань і невеликому часі на відбір вибірок.

Багатоступінчаті плани є логічним продовженням двоступінчатих планів. Спочатку береться вибірка обсягом  $n_1$  і визначається число дефектних виробів  $m_1$ . Якщо  $m_1 \leq c_1$ , то партія приймається. Якщо  $m_1 \geq d_1$  ( $d_1 > c_1 + 1$ ), то партія бракується. Якщо ж  $c_1 < m_1 < d_1$ , то ухвалюється рішення про узяття другої вибірки об'ємом  $n_2$ . Хай серед  $n_1 + n_2$  виробів є  $m_2$  дефектних. Тоді якщо  $m_2 \leq c_2$ , де  $c_2$  – друге приймальне число, то партія приймається; якщо  $m_2 \geq d_2$  ( $d_2 > c_2 + 1$ ), то партія бракується. При  $c_2 < m_2 < d_2$  приймається рішення про узяття третьої вибірки. Надалі контроль проводиться за аналогічною схемою за винятком останнього  $k$ -го кроку, при якому якщо  $m_k \leq c_k$ , то партія приймається, якщо ж  $m_k > c_k$ , то партія бракується.

Послідовний контроль відрізняється від багатоступінчатого лише тим, що максимальну кількість вибірок наперед не встановлюють. Його застосовують, коли обсяг вибірки невеликий, а вартість відбору вибірки мала.

Розглянуті плани контролю дозволяють на основі обмеженого числа випробувань частини виробів (вибірки) з необхідною точністю прийняти рішення про рівень якості всієї партії виробів і їх доцільно використовувати при сертифікаційних випробуваннях ІМС.

## ВИСНОВОК

Як основну споживчу привабливість ІМС можна виділити надійність, тому випробування на надійність є найважливішою складовою при сертифікованих випробуваннях ІМС. На основі значень наробки до відмови і кількості виробів, що відмовили під час випробувань, запропонована статистична оцінка основних показників надійності.

Запропоновані плани статистичного контролю для застосовування при проведенні сертифікаційних випробувань на стійкість ІМС до дії зовнішніх чинників.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. ДСТУ ISO 9000-2001. Системи управління якістю. Основні положення та словник. – [Чинний від 2001-06-01]. – К. : ДЕРЖСТАНДАРТ УКРАЇНИ, 2001. – 33 с.
2. Сергеев А. Г. Сертификация / Сергеев А. Г., Латышев М. В. – М. : Логос, 1999. – 248 с.

3. ГОСТ Р 50779.11-2000. Статистические методы. Статистическое управление качеством. Термины и определения. – [Введ. 2001-07-01]. – М. : Изд-во стандартов, 2003. – 42 с.
4. ГОСТ Р ИСО 2859-4-2006. Статистические методы. Процедуры выборочного контроля по альтернативному признаку. Часть 4. Оценка соответствия заявленному уровню качества. – [Введ. 2006-08-08]. – М. : Стандартинформ, 2006. – 19 с.

Надійшла 29.08.2008  
Після доробки 21.10.2008

*Проведен анализ видов испытаний интегральных микросхем и существующих планов их контроля. Выбраны планы и показатели качества для включения в программу сертификационных испытаний. Предложены адекватные процедуры статистической обработки результатов испытаний.*

*The analysis of tests of integrated circuits and existing plans of control is carried out monitoring plans and quality indexes for plugging in the program of certifications tests are selected. The adequate procedures of statistical processing of results are offered.*

УДК 621.372.852.001.11

А. Ю. Фарафонов, А. Ю. Воропай, Л. М. Карпуков, С. Н. Романенко

# СИНТЕЗ МИКРОПОЛОСКОВЫХ ПОЛОСОВЫХ ФИЛЬТРОВ НА СВЯЗАННЫХ ЛИНИЯХ С ОТВЕРСТИЯМИ В ЭКРАНЕ

*На основе микрополосковых структур выполнен синтез полосовых фильтров на связанных линиях с отверстиями в экране. При синтезе топологии использован квазистатический метод расчета и генетический алгоритм поиска оптимальных значений геометрических параметров. Проведено сравнение характеристик синтезированных фильтров с результатами электродинамического моделирования и с характеристиками фильтров без отверстий в экране.*

В последние годы наряду с разработкой новых типов микроволновых фильтров, ведется активный поиск топологий фильтров с улучшенными частотными свойствами и сниженными требованиями к точности изготовления. Этим требованиям в значительной мере соответствует конструкция фильтров на связанных линиях с прямоугольными отверстиями в экране, предложенная в [1]. Эта конструкция вносит только дополнительные требования по закреплению платы в экранирующем корпусе и не требует усложнения топологического рисунка. Исследование такой конструкции ППФ показало, что, по сравнению с классической топологией, использование топологии с отверстиями в экране существенно расширяет поле допуска на геометрические размеры связанных линий и толщину подложки и, тем самым, снижает требова-

ния к точности изготовления фильтра [2]. Кроме того, такая топология позволяет выровнять эффективные диэлектрические проницаемости четной  $\epsilon_{эф\text{ч}}$  и нечетной  $\epsilon_{эф\text{н}}$  волн в линиях и подавить паразитную полосу пропускания фильтра на частоте  $2f_0$ . Однако, метода синтеза топологии фильтров на связанных линиях с прямоугольным отверстием в экране вдоль области связи до настоящего момента не предложено.

В работе предлагается способ определения геометрических размеров топологии ППФ на одинаковых связанных микрополосковых линиях с отверстиями в экране методом генетической оптимизации.

## 1 РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ МИКРОПОЛОСКОВЫХ ППФ НА СВЯЗАННЫХ ЛИНИЯХ

При проектировании ППФ на связанных линиях с использованием классического метода синтеза на основе фильтров-прототипов нижних частот (НЧ) необходимо определить количество звеньев фильтра  $n$  и параметры элементов схемы замещения фильтра  $g_i$ . Далее определяются волновые сопротивления четной  $Z_{о\text{ч}}$  и нечетной  $Z_{о\text{н}}$  волн для каждого звена фильтра,