Отже, запропонована система наскрізного фізико-технологічного проектування ІС дозволяє:

- прискорити проектування інтегральних схем, використовуючи засоби САПР;
- зменшити вартість розроблення, скоротивши матеріальні витрати на доробку технологічного маршруту виготовлення ІС;
- дослідити вплив первинних параметрів техпроцесу та конструкції інтегрального приладу на вихідні контрольовані параметри техпроцесу;
- дослідити кореляційні зв'язки між технологічними та електричними параметрами інтегральних елементів, що є надзвичайно актуальним при переході до виробництва ЗВІС і НВІС;
- підвищити якість, процент виходу придатних та конкурентоспроможність ІС, які проектують з використанням систем наскрізного фізико-технологічного проектування інтегральних приладів.

1. Коваль В.А., Гранат П.П., Теслюк В.Н. Автоматизированная система технологического проектирования полупроводниковых ИС // Техника, экономика. Сер. Автоматизация проектирования. 1994. Вып. 2-3. С. 98-105. 2. Теслюк В.М., Корбецький О.Р. Назар А.В. Романко В.О. Пакет двовимірного моделювання технологічних маршрутів виготовлення біполярних ВІС - ПРОМІС-Т // Вісн. ДУ "Львівська політехніка". 1998. № 327. 3. Бубенников А.Н. Моделирование интегральних микротехнологий, приборов и схем. М., 1989. 4. Антонетти П., Антониадиса Д., Даттона Р. и др. МОП - СБИС. Моделирование элементов и технологических процессов. М., 1988. 5. Бубенников А.Н., Садовников А.Д. Физико-технологическое проектирование биполярных элементов кремниевых БИС. М., 1991. 6. Корбецький О.Р. Модель для двовимірного розподілу швидкості, тиску та температури в дифузійній печі // Вісн. ДУ "Львівська політехніка". 1998. № 327. 7. Корбецький О.Р. Програмне та інформаційне забезпечення системи моделювання технологічних операцій виготовлення ІС // Вісн. ДУ "Львівська політехніка". 1999. № 386. 8. Данчишин І.В., Гранат П.П., Романюк А.Б., Райвич М.Г. Методи розробки і побудови системи фізико-топологічного моделювання елементів ІС // Вісн. ДУ "Львівська політехніка". 1995. № 289. С.29-32.

УДК. 621.3.019.3 (075)

Кіселичник Мирослав

ДУ "Львівська політехніка", кафедра теоретичної радіотехніки та радіовимірювань

ІНДИВІДУАЛЬНЕ ПРОГНОЗУВАННЯ НАДІЙНОСТІ ПРИ КВАЗІДЕТЕРМІНОВАНИХ ПРОЦЕСАХ ЗМІНИ ПАРАМЕТРІВ

В статті проаналізовано квазідерміновані процеси зміни параметрів та запропоновано прогнозування надійності на основі індивідуального підходу.

At the paper the quasidetermanistical proceses of parameters variation were analyzed and and reliability prediction on individual approach was proposed.

У загальній сукупності дрейфу вихідних параметрів прецизійних пристроїв значну частку становлять процеси нестаціонарні, в яких є змінними не тільки математичне очікування і середнє квадратичне відхилення миттєвих значень, а й залежна від розміщення часового інтервалу кореляційна функція. Ці неергодичні процеси є досить інерційними в часі, незворотність їх визначається поступовим накопиченням змін, що, своєю чергою, зумовлює плавний характер зміни математичного очікування. Середнє квадратичне відхилення випадкової складової значно менше від поля допуску, тому такі процеси називаються квазідетермінованими. Визначаючи ймовірність виходу (або невиходу) такого процесу за встановлені межі, задачу прогнозування можна сформулювати так.

Якщо в результаті експерименту отримано значення параметра x_s, $s=\overline{1,k}$ у проміжках часу Δt_1, $i=\overline{1,n}$, то у кожному такому проміжку стан виробу характеризується щільністю $f[x(t_i)]$. Ймовірність збереження працездатності визначається рівняннями

$$P_i = P\{x(t_i) > x_{гр}\} = \int_{xгр}^{\infty} f[x(t_i)]dx, \qquad (1)$$

або

$$P_i = P\{x(t_i) < x_{гр}\} = \int_{-\infty}^{xгр} f[x(t_i)]dx, \qquad (2)$$

$x_{гр} = \Delta$ – граничне (допустиме) значення параметра $x(t)$; $f[x(t_i)]$ – щільність розподілу миттєвих значень параметра в проміжку Δt_i.

Виходячи з цього, ймовірнісне прогнозування параметричної надійності виробів може здійснюватись за допомогою прогнозування зміни щільності розподілу $f[x(t_i)]$ і визначення на цьому ґрунті часу можливого досягнення параметрами граничного рівня.

Дослідження показують, що зручними моделями зміни у часі математичного очікування процесів є лінійна або експоненційна моделі, а зміни у часі середнього квадратичного відхилення – лінійна модель. Користуючись такими залежностями, можна побудувати моделі зміни у часі квантильних значень параметра, а за їх допомогою прогнозувати надійність із заданою ймовірністю знаходження параметра у встановленому інтервалі.

Точність оцінки надійності виробів при квазідетермінованих процесах зміни параметрів визначається точністю моментів розподілів $f(x_0)$, $f[x(t_1)],...,f[x(t_n)]$ і адекватністю моделей щільності розподілу, а також функцій математичного очікування $m(t)$, середнього квадратичного відхилення $\sigma(t)$, квантилів $\alpha_1(t)$ і $\alpha_2(t)$.

Розглянемо деякі варіанти оцінки надійності при зростаючому і спадному характерах вихідного параметра, лінійному і квадратичному наближенні експоненціальної зміни математичного очікування. Будемо вважати, що середнє квадратичне відхилення параметра змінюється за лінійним законом.

Гарантований час безвідмовної роботи $T_{гар}$ і його розкид визначається точками перетину функціями $m(t)$, $\alpha_1(t)$ і $\alpha_2(t)$ допускових рівнів Δ_1 і Δ_2

$$\begin{array}{ll} T_{гар} = t = \arg\,|\,m(t) = \Delta_2|\,; & T_{гар} = t = \arg\,|\,m(t) = \Delta_1|\,; \\ t_1 = \arg\,|\alpha_2(t) = \Delta_2|; & t_1 = \arg\,|\alpha_1(t) = \Delta_1|; \\ t_2 = \arg\,|\alpha_1(t) = \Delta_2|; & t_2 = \arg\,|\alpha_2(t) = \Delta_1|. \end{array} \qquad (3)$$

Похибки гарантованого часу безвідмовної роботи пристрою $\Delta T_{гар}$ оцінюються рівняннями

$$\Delta T_{1гар} = T_{гар} - t_1 ; \quad (4)$$

$$\Delta T_{2гар} = t_2 - T_{гар};$$

Як бачимо на рисунку, $T_{гар} = t$ є середнім часом роботи пристрою без параметричної відмови, t_1 і t_2 відповідно мінімальне і максимальне його значення.

Розглянемо спадний процес. При лінійному наближенні моменти часу t, t_1і t_2 визначаються з рівнянь

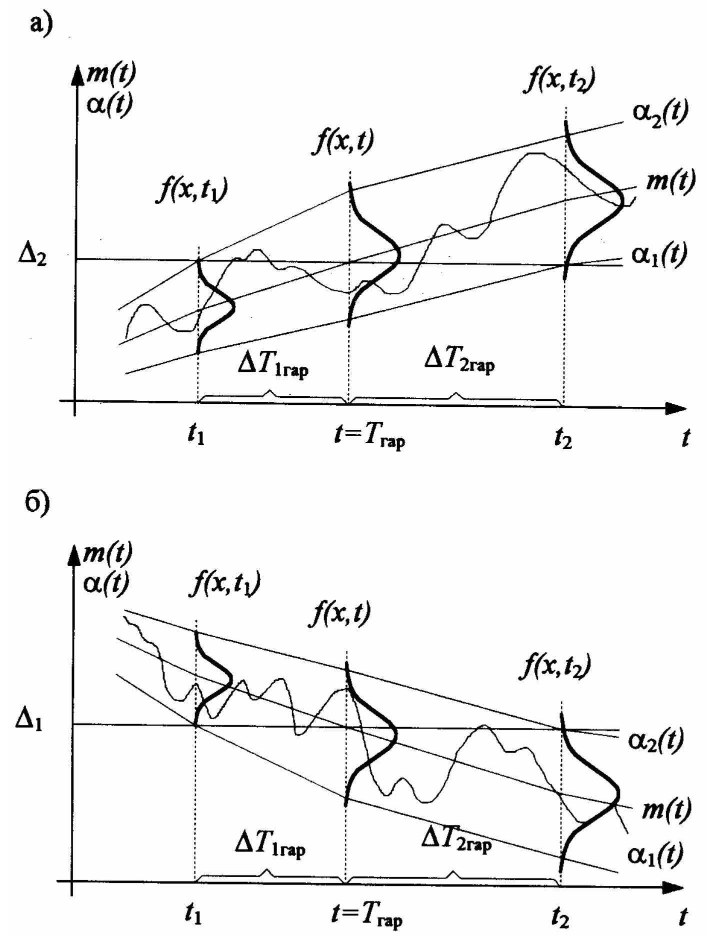
$$m(t)=m_0 \exp(-k_1 t)=\Delta_1, \quad (5)$$

$$\alpha_1 (t) = m_0 \exp (- k_1 t_1) - u\, \sigma_0 - uk_2 t_1 = \Delta_1; \quad (6)$$

$$\alpha_2 (t) = m_0 \exp (- k_1 t_2) + u\, \sigma_0 + uk_2 t_2 = \Delta_1.$$

Розв'язанням першого рівняння отримаємо

$$t = \ln \left(\frac{m_0}{\Delta_1} \right)^{1/k_1} . \quad (7)$$



Приклади індивідуального прогнозування надійності при квазідетермінованому процесі:
а) – зростаючий процес; б) – спадний процес; Δ_1, Δ_2 – граничні значення параметра.

Друге і третє рівняння є трансцендентними відносно t_1 і t_2. Точних методів їх розв'язань не існує. Тому скористаємося розкладом експоненти $e^{-k_1t_1}$ в ряд

$$e^{-k_1t_1} = 1 - k_1 t_1 + \frac{(k_1t_1)^2}{2!} - \frac{(k_1t_1)^3}{3!} + \frac{(k_1t_1)^4}{4!} - \ldots$$

Цей знакоперемінний ряд, як відомо, сходиться для будь-якого k_1t_1. Враховуючи, що k_1t_1може бути малим, можна знехтувати складовими ряду з степенями, починаючи з другого, тобто вважати, що

$$e^{-k_1t_1} \approx 1 - k_1 t_1.$$

При цьому

$$S = \frac{(k_1t_1)}{2!} - \frac{(k_1t_1)^3}{3!} + \frac{(k_1t_1)^4}{4!} - \ldots < \frac{(k_1t_1)^2}{2!}.$$

Тоді рівняння (5) можна переписати у вигляді

$$m_0 (1 - k_1 t_1) - u\,\sigma_0 - uk_2 t_1 \approx \Delta_1,$$

звідки

$$t_1 \approx \frac{m_0 - \Delta_1 - u\sigma_0}{m_0 k_1 + uk_2}\ . \tag{8}$$

Аналогічно

$$t_2 \approx \frac{\Delta_1 - m_0 - u\sigma_0}{uk_2 - m_0 k_1}\ . \tag{9}$$

Отже,

$$\Delta T_{1\,\text{гар}} = |\,t - t_1\,| \approx \left| \ln\left(\frac{m_0}{\Delta_1}\right)^{1/k_1} - \frac{m_0 - u\sigma_0 - \Delta_1}{uk_2 + m_0 k_1} \right|, \tag{10}$$

$$\Delta T_{2\,\text{гар}} = |\,t - t_2\,| \approx \left| \ln\left(\frac{m_0}{\Delta_1}\right)^{1/k_1} - \frac{\Delta_1 - u\sigma_0 - m_0}{uk_2 - m_0 k_1} \right|. \tag{11}$$

Розкид часу втрати параметричної надійності ΔT визначається сумою

$$\Delta T = \Delta T_{1\,\text{гар}} + \Delta T_{2\,\text{гар}}. \tag{12}$$

У випадку зростаючої експоненти і лінійного наближення отримуємо співвідношення

$$m(t) = m_0\,[1 - \exp(-k_1 t)] = \Delta_2\,; \tag{13}$$

$$\alpha_1 (t) = m_0\,[1 - \exp(-k_1 t_2)] - u\,\sigma_0 - uk_2 t_2 = \Delta_2\,; \tag{14}$$

$$\alpha_2 (t) = m_0\,[1 - \exp(1 - k_1 t_1)] + u\,\sigma_0 + uk_2 t_1 = \Delta_2.$$

Похибки гарантованого часу обчислюємо за формулами:

$$\Delta T_{1\,\text{гар}} = t - t_1 \approx \left| \ln\left(\frac{m_0}{m_0 - \Delta_2}\right)^{1/k_1} - \frac{\Delta_2 - u\sigma_0}{uk_2 + m_0 k_1} \right|; \tag{15}$$

$$\Delta T_{2\,\text{гар}} = t_2 - t \approx \left| \ln\left(\frac{m_0}{m_0-\Delta_2}\right)^{1/k_1} - \frac{\Delta_2 + u\sigma_0}{m_0k_1 - uk_2} \right|. \tag{16}$$

Розкид часу втрати параметричної надійності, як і в попередньому випадку, визначається сумою (12).

Тепер розглянемо випадки квадратичного наближення спадної та зростаючої експонент. Згідно з попередніми міркуваннями подамо експоненту квадратним рівнянням. Тоді

$$e^{-k_1t_1} \approx 1 - k_1t_1 + \frac{(k_1t_1)^2}{2!}; \tag{17}$$

$$e^{-k_1t_2} \approx 1 - k_1t_2 + \frac{(k_1t_2)^2}{2!}.$$

Рівняння математичного очікування m(t) і квантилів $\alpha_1(t)$ і $\alpha_2(t)$ при спадній експоненті мають вигляд:

$$m(t) = m_0 \exp(-k_1 t) = \Delta_1;$$

$$\alpha_1(t) = m_0\left[1 - k_1t_1 + \frac{(k_1t_1)^2}{2}\right] - u\sigma_0 - uk_2t_1 = \Delta_1;$$

$$\alpha_2(t) = m_0\left[1 - k_1t_2 + \frac{(k_1t_2)^2}{2}\right] + u\sigma_0 + uk_2t_2 = \Delta_1.$$

Розв'язком цих рівнянь відносно t, t_1 і t_2 є

$$t = \ln\left(\frac{m_0}{\Delta_1}\right)^{1/k_1};$$

$$t_1 \approx \frac{(m_0k_1 + uk_2) \pm \sqrt{(m_0k_1 + uk_2)^2 - 2(m_0 - u\sigma_0 - \Delta_1)m_0k_1^2}}{m_0k_1^2}; \tag{18}$$

$$t_2 \approx \frac{(m_0k_1 - uk_2) \pm \sqrt{(m_0k_1 - uk_2)^2 - 2(m_0 + u\sigma_0 - \Delta_1)m_0k_1^2}}{m_0k_1^2}. \tag{19}$$

Тоді $\Delta T = \Delta T_{1\,\text{гар}} + \Delta T_{2\,\text{гар}}$.

Зміна вихідного параметра за законом зростаючої експоненти описується відповідними залежностями

$$m(t) = m_0[1 - \exp(-k_1 t)] = \Delta_2;$$

$$\alpha_1(t) = m_0[1 - \exp(-k_1t_2)] - u\sigma_0 - uk_2t_2 = \Delta_2;$$

$$\alpha_2(t) = m_0[1 - \exp(-k_1t_1)] + u\sigma_0 + uk_2t_1 = \Delta_2,$$

$$t = \ln\left(\frac{m_0}{m_0 - \Delta_2}\right)^{1/k_1};$$

$$t_1 \approx \frac{(m_0k_1 + uk_2) \pm \sqrt{\left(m_0k_1 + uk_2\right)^2 - 2\left(\Delta_2 - u\sigma_0\right)m_0k_1^2}}{m_0k_1^2}; \quad (20)$$

$$t_2 \approx \frac{(m_0k_1 - uk_2) \pm \sqrt{\left(m_0k_1 - uk_2\right)^2 - 2\left(\Delta_2 + u\sigma_0\right)m_0k_1^2}}{m_0k_1^2}. \quad (21)$$

Вибір лінійного чи квадратичного наближення зміни середнього значення параметра у процесі експлуатації здійснюється за допомогою зіставлення похибки наближення з вимогами до точності прогнозування надійності.

Наведені залежності відображають зв'язок між надійністю роботи пристроїв, початковими значеннями параметрів і закономірностями їх зміни в процесі експлуатації. Зрозуміло, що серед цих характеристик найбільше підлягають керуванню в процесі виробництва початкові значення параметрів, раціонально встановити які можна з урахуванням обґрунтованих виробничих допусків*.

УДК. 621.3.019.3 (075)

Лазько Оксана, Недоступ Леонід, Бобало Юрій

ДУ “Львівська політехніка”, кафедра теоретичної радіотехніки та радіовимірювань

ОЦІНКА ПОЛІВ РОЗСІЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ РАДІОЕЛЕКТРОННИХ ПРИСТРОЇВ ПРИ ЇХ КВАЗІНОРМАЛЬНИХ РОЗПОДІЛАХ

У статті розглянуто вплив нестабільності процесів виробництва компонентів радіоелектронної апаратури на характеристики розподілів їх вихідних параметрів. Пропонується метод оцінки похибки визначення полів розсіювання параметрів при квазінормальних розподілах.

At the paper the influence of components production process nonstability on theirs output distributions characteristics. The parameters scattering fields determination error estimation method due to quasi-normal distributions is proposed.

Процеси проектування, виробництва і експлуатації апаратури та її компонентів характеризуються впливом на них різноманітних дестабілізуючих факторів, що мають випадковий характер.

Ці впливи відображаються на розподілах вихідних параметрів. Мінливість розподілів спричиняє мінливість полів розсіювання параметрів і ускладнює їх кількісну оцінку, тоді як

---

* *Левин Б.Р. Теория надежности радиотехнических систем. М., 1978.*