регулювання потужності активної завади. В якості вимірювального комплексу було використано РЛС, що мала в своїй структурі просторовий фільтр з основним та додатковим каналами приймання.

Результати експериментальних досліджень наведені на рис. 7, де пунктирною кривою наведено залежність коефіцієнта пригнічення $K_п$ від рівня вузькосмугової завади (Δf = 20 МГц), а суцільною кривою – широкосмугової завади (Δf = 0,6 ГГц).

Порівняння експериментальних результатів з результатами моделювання, при якому було враховано динамічний діапазон реальних приймальних каналів, дає підстави зробити висновок щодо їх хорошого співпадіння.

За результатами дослідження були запропоновані конкретні схемні рішення, які дозволяють забезпечити ефективну роботу адаптивних фільтрів в умовах інтенсивної радіопротидії. В основі запропонованих технічних рішень лежить оцінка рівня завади на виходах приймальних каналів та на основі отриманої апостеріорної інформації пропонується виконувати синхронне регулювання рівня завад на вході основного та додаткового каналів. Синхронне ослаблення завадових сигналів на входах приймальних каналів дозволяє зберегти міжканальні співвідношення, що не потребує додаткового регулювання вагових коефіцієнтів в автокомпенсаторі після нормування сигналів в каналах.

ВИСНОВКИ

За результатами проведених досліджень можна зробити висновок, що нелінійні спотворення, що виникають в приймальних трактах РЛС при впливі потужної активної завади, є причиною зменшення ефективності пригнічення активної шумової завади в просторовому чи поляризаційному фільтрі. Ефективну роботу адаптивних фільтрів в умовах інтенсивної радіопротидії можна забезпечити шляхом оперативної оцінки рівня завад на виходах приймальних каналів та синхронного адаптивного регулювання завад на їх входах, для забезпечення лінійного режиму роботи.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. *Конюхов В. В.* Помехоустойчивость многоканальных систем ОФТ при перекрестных помехах / Конюхов В. В. // Вопросы радиоэлектроники. – 1968. – Сер. XII, вып. 25. – С. 56.
2. *Піза Д. М.* Адаптация поляризационных фильтров с учетом ограничений / Піза Д. М., Чернобородов М. П., Бондарев Б. М. // Радіоелектроніка, інформатика, управління. – 2002. – № 1. – С. 29–31.
3. *Тихонов В. И.* Статистическая радиотехника. – М. : Сов. радио, 1966. – 677 с.

Надійшла 17.10.2008

Проведен анализ эффективности работы пространственного и поляризационного фильтра в условиях воздействия мощных активных помех. Получены зависимости коэффициента подавления в пространственном фильтре от мощности действующей активной помехи путем имитационного моделирования и в ходе натурного эксперимента. Предложен метод расширения динамического диапазона РЛС, основанный на оценке уровня помехи, с последующим адаптивным синхронным управлением уровнем помех на входах пространственного фильтра.

The analysis efficiency of spatial and polarization filters under the effect of active power distortion is made. The relationship between the suppression factor of spatial filter and power of operating active distortion in the way of simulation modelling and full scale experiment is obtained. The method of dynamic range RDS expansion based on estimation of distortion level with the following adaptive synchro-controlling on a spatial filter inputs is suggested.

УДК 658.562.012.1

О. В. Томашевський, В. В. Погосов

ПРО КРИТЕРІЇ ЕФЕКТИВНОСТІ УПРАВЛІННЯ ЯКІСТЮ ІНТЕГРОВАНИХ МІКРОСХЕМ НА ЕТАПІ ВИРОБНИЦТВА

На етапі виробництва якість інтегрованих мікросхем багато в чому визначається стабільністю технологічних процесів. Для дослідження ефективності виявлення розлагодження технологічних процесів запропоновано використовувати теорію випадкового блукання броунівської частинки. Отримано інтегральні рівняння Фредгольма 2-го роду для оцінки середніх довжин серій вибірок налагодженого чи розлагодженого процесів й імовірності першого виходу траєкторій за нижню межу.

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

ВСТУП

Для підвищення якості інтегрованих мікросхем (ІМС) широке використання знайшли статистичні методи управління якістю, що дозволяють обґрунтовано приймати рішення при управлінні якістю за обмеженим числом спостережень.

Одним з таких методів є статистичне регулювання технологічного процесу, під яким розуміють ко-

ректування параметрів технологічного процесу в ході виробництва за допомогою вибіркового контролю продукції, що виготовляється, з метою технологічного забезпечення необхідної якості і попередження браку. При статистичному регулюванні вирішуються дві задачі: своєчасне виявлення розлагодження технологічного процесу і визначення оптимальних коректувань керуючих впливів на процес.

Дана робота присвячена рішенню першої задачі, що, в першу чергу, і визначає ефективність статистичного регулювання.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

Стан технологічного процесу визначається вихідними змінними, котрі часто називають параметрами стану (ПС). При виготовленні ІМС такими параметрами можуть бути результати вимірювань різних електрофізичних властивостей чи електричних параметрів на тестових комірках.

Для технологічних процесів виготовлення ІМС характерний сильний вплив різних факторів, які можна розділити на контрольовані і неконтрольовані. Серед контрольованих можна виділити: фактори, що мають випадковий характер (наприклад, запиленість, температура в цеху); фактори, що характеризують вихідний матеріал; керуючі фактори (наприклад, температура і час проведення дифузії легіюючої домішки в кремній). Усі неконтрольовані фактори відносять до випадкових, причому природу деяких з них можна передбачити, наприклад, нерівномірність розподілу мікродефектів в об'ємі кремнієвої пластини, але для більшості – природа невідома. Отже, технологічні процеси виготовлення ІМС можуть бути визначені як стохастичні системи, і при розробці методів регулювання і керування їх зручно розглядати у вигляді моделі «чорного ящика», де реалізується механізм перетворення вхідних змінних у вихідні. Загальна схема зв'язків вхідних, вихідних змінних і випадкових факторів для такої моделі, показана на рис. 1. Вхідні змінні описують умови функціонування реальної системи (деякі з них можуть бути віднесені до управляючих, тобто піддані регулюванню), ці змінні називають незалежними. Випадкові фактори – це неконтрольовані фактори, вплив яких важко врахувати (виміряти). Вихідні змінні (ПС технологічного процесу) – характеризують результат функціонування системи.

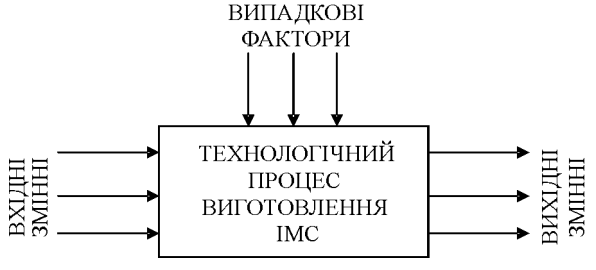

Рисунок 1 – Технологічний процес виготовлення ІМС у вигляді моделі «чорний ящик»

У загальному випадку ПС технологічних процесів є випадковими функціями часу і при фіксованих значеннях контрольованих змінних їхні часові послідовності відбивають вплив неконтрольованих змінних. Під впливом неконтрольованих змінних згодом може мінятися вигляд функцій розподілу ПС чи, що найбільше часто зустрічається, змінюються статистичні параметри розподілів ПС. Кожна з цих змін вказує на виникнення розлагодження технологічного процесу.

Розлагодження відбуваються у випадкові моменти часу і виявляються за результатами періодичних спостережень. Ефективність методів виявлення розлагодження визначається математичним очікування часу виявлення розлагодження з урахуванням імовірності правильного висновку про налагоджений стан процесу. Час від початку спостережень до i-го спостереження визначається як $t_i = iT$, де T – періодичність узяття вибірки. Нехай m – число вибірок, що взяті до моменту t_p. Якщо різниця $\Delta t = |t_p - t_m|$ відмінна від нуля, то величиною Δt нехтуємо і вважаємо, що розлагодження наступило в момент t_m. Математичне очікування часу виявлення розлагодження апроксимується математичним очікуванням числа вибірок, що потребуються для виявлення розлагодження. Це математичне очікування називають середньою довжиною серії вибірок розлагодженого процесу і позначають L_1. При налагодженому стані процесу можливе одержання помилкового сигналу про розлагодження, що характеризується середньою довжиною серії вибірок налагодженого процесу L_0. Значення L_0 показує, як часто будуть з'являтися помилкові сигнали про розлагодження. Необхідно, щоб L_1 була мінімальною, а L_0 – максимальною. Величини L_1 і L_0 і визначають ефективність методу статистичного регулювання.

Ставиться задача – одержати вираз, що дозволить визначати L_1 і L_0 при статистичному регулюванні технологічних процесів виготовлення ІМС.

АПРОКСИМАЦІЯ КУМУЛЯТИВНОЇ СУМИ ТРАЄКТОРІЄЮ ВИПАДКОВОГО БЛУКАННЯ БРОУНІВСЬКОЇ ЧАСТИНКИ

Позначимо вимірюваний ПС як x і припустимо, що x підкоряється нормальному закону розподілу $N(x, \mu, \sigma)$, де μ, σ – параметри розподілу – математичне очікування і середнє квадратичне відхилення, відповідно. Вважається, що технологічний процес знаходиться в налагодженому стані, якщо результати вимірювання x_1, x_2, x_3, ... можна віднести до нор-

мальної генеральної сукупності з параметрами μ_0, σ_0. Розлагоджений стан процесу визначається змінюванням параметра μ до значення μ_1.

Для технологічних процесів виготовлення ІМС характерна повільна зміна ПС, тому для статистичного регулювання доцільно використовувати метод кумулятивних сум. Суть цього методу полягає в тім, що за вибірковими значеннями $x_1, \ldots, x_n$, отриманими у момент часу t_k, $k = 1, \ldots, n$, утворюються кумулятивні суми

$$z_n = (\delta/\sigma)\sum_{i=1}^{n}(x_i - \mu_0 + \delta\sigma/2), \qquad (1)$$

де $\delta = (\mu_1 - \mu_0)/\sigma$.

Утворення сум продовжується доти, поки вперше не буде отримане значення $z_n \le 0$ чи $z_n \ge h$, де h – верхня межа регулювання, а нижня прийнята за 0.

Процедура набору кумулятивної суми аналогічна процесу випадкового блукання броунівської частинки між двома поглинаючими екранами, при цьому кумулятивна сума буде описуватися траєкторією випадкового блукання.

Розглянемо випадкове блукання частинки в інтервалі $[0, h]$, вважаючи, що на межах інтервалів розташовані поглинаючі екрани.

Позначимо:

– N – мінімальне число кроків до поглинання, при якому $z_n \le 0$ чи $z_n \ge h$;

– $E\{N, z_0\}$ – математичне очікування величини N;

– $P(z_0)$ – імовірність того, що $z_n \le 0$.

Неважко бачити, що $E\{N, z_0\}$ – математичне очікування числа кроків при блуканні частинки до поглинання, що відповідає числу вибірок до одержання сигналу про розлагодження. У випадку, якщо параметри функції розподілу $F(x)$ відповідають налагодженому стану технологічного процесу, $E\{N, z_0\} = L_0$.

У теорії випадкових блукань [1] за допомогою формули повної ймовірності і методу індукції показано, що $E\{N, z_0\}$ і $P(z_0)$ визначаються інтегральними рівняннями

$$E\{N, z_0\} = 1 + \int_0^h E\{N, u\}\,dF(u - z_0), \qquad (2)$$

$$P(z_0) = F(z_0) + \int_0^h P(u)\,dF(u - z_0). \qquad (3)$$

Інтегральні рівняння (2) і (3) відносяться до неоднорідних інтегральних рівнянь Фредгольма 2-го роду. У загальному виді рівняння (2) і (3) аналітичного розв'язку не мають. Зробимо наступні допущення.

Доповнимо рівняння (2) граничними умовами:

$$E\{N, z_0 \le 0\} = 0,$$
$$E\{N, z_0 \ge h\} = 0. \qquad (4)$$

Такі граничні умови відповідають поміщенню на межі 0 і h поглинаючих екранів. Рівняння (2) з урахуванням граничних умов перетвориться до вигляду:

$$E\{N, z_0\} = 1 + \int_{-\infty}^{\infty} E\{N, u\}\,d(u - z_0). \qquad (5)$$

Ввівши аналогічні граничні умови $P(0) = 1$ і $P(h) = 0$, одержимо інтегральне рівняння, що описує ймовірність першого виходу траєкторій за нижню межу:

$$P(z_0) = F(z_0) + \int_{-\infty}^{\infty} P(u)\,d(u - z_0). \qquad (6)$$

Якщо $F(x)$ – функція нормального розподілу з параметрами μ, σ, то аналітичний розв'язок інтегрального рівняння (2) має вигляд

$$E\{N, z_0\} = \frac{1}{\mu}\left(C + D\exp\left(-\frac{2\mu z_0}{\sigma^2}\right) - z_0\right), \qquad (7)$$

де C і D – постійні величини. У [2] показано, що

$$D = h/\exp\left(-\frac{2\mu z_0}{\sigma^2}\right) - 1; \quad C = -D.$$

При налагодженому стані процесу $\mu = \mu_0$, а при розлагодженому – $\mu = \mu_1$. Отже, на підставі рівняння (7) можна оцінити величини середньої довжини серії вибірок налагодженого процесу L_0 і середньої довжини серії вибірок розлагодженого процесу L_1. Величини L_0 і L_1 є критеріями, які визначають ефективність виявлення розлагодження технологічного процесу і, отже, статистичного регулювання як одного з методів управління якістю.

ВИСНОВОК

На підставі використання аналогії траєкторії кумулятивної суми з траєкторією випадкового блукання броунівської частинки отримані інтегральні рівняння, що дозволяють оцінити критерії ефективності виявлення розлагодження технологічних процесів виготовлення ІМС. Запропоновано аналітичний розв'язок отриманих інтегральних рівнянь для випадку нормального розподілу контрольованого ПС.

Перспективним представляється розв'язок рівнянь (2) і (3) чисельними методами, наприклад, такими як метод Вінера – Хопфа, метод наближеного інтегрування, метод Монте-Карло. Рішення такої задачі

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 de-termined by on stability of technological processes. For researching of dis-cords of the technological processes detecting efficiency and usage of the theory of Brownian particles is suggested. Fredgolm integral equations of the 2nd kind for estimation of middle length series of selections of disar-ranged 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. Сніжной

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 проводяться 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 руйнуючий 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., Сніжной Г. В., 2009