УДК 658.283.71

Юрій Бобало, Мирослав Кіселичник, Оксана Лазько,
Богдан Мандзій, Леонід Недоступ
Національний університет "Львівська політехніка",
кафедра теоретичної радіотехніки та радіовимірювань

ВЕКТОРНО-АНАЛІТИЧНА ІНТЕРПРЕТАЦІЯ І ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНОГО ПАРАМЕТРИЧНОГО СИНТЕЗУ КОМПОНЕНТІВ

© Бобало Юрій, Кіселичник Мирослав, Лазько Оксана, Мандзій Богдан, Недоступ Леонід, 2003

Розглянуто структуру області працездатності системи компонентів, які сумісно працюють, наведено формалізації прямої та зворотної задач оптимізації параметричного синтезу таких систем. Для підвищення ефективності параметричного синтезу розроблено відповідне програмне забезпечення.

The structure of efficacy region of together working components system is considered. The formalizations of direct and inverse problem of parametrical synthesis optimization of such systems are presented. For components parametrical synthesis efficacy improvement the corresponding software was developed.

1. Вступ

Зростаючі вимоги до технічного рівня радіоелектронних пристроїв (РЕП) зумовлюють необхідність постійного удосконалення технології їх проектування та виготовлення. До найбільш важливих показників якості виробів належать їх готовність виконувати задані функції у визначений момент їх використання та імовірність безвідмовної роботи впродовж певного часу. Виходячи з цього, загальну задачу забезпечення якості цього виду техніки слід розглядати у двох аспектах – як задачу виготовлення виробів з параметрами, передбаченими технічною документацією і як задачу зберігання ними працездатності протягом заданого або гарантованого періоду експлуатації. Ймовірність виходу придатних виробів і збереження їх працездатності в процесі експлуатації можуть прогнозуватися на основі статистичної інформації про поведінку параметрів виробів під дією реальних виробничих та експлуатаційних факторів при виготовленні елементів , компонентів та апаратури загалом. Кардинальним питанням у межах цього завдання стало забезпечення безвідмовності компонентів, які сумісно працюють, яке в загальному випадку вирішується шляхом оптимізації їх параметричного синтезу [1].

2. Постановка задачі та шляхи її вирішення

При визначенні параметричної надійності компонентів радіоелектронних пристроїв з урахуванням безвідмовності сумісної роботи їх компонентів може використовуватись імовірність того, що у межах певного напрацювання відмова не виникне:

$$P_x(t) = \int_{D_{Пх}} \dots \int f_x(x,t)dx; \qquad (1)$$

або

$$P_y(t) = \int_{D_{Пу}} \dots \int f_y(y,t)dy, \qquad (2)$$

де $f_x(x,t)$ і $f_y(y,t)$ – багатовимірні щільності розподілів стикувальних і вихідних параметрів системи; $D_{Пх}$ і $D_{Пу}$ – області працездатності.

Lviv Polytechnic National University Institutional Repository http://ena.lp.edu.ua

Коефіцієнт готовності кількісно дорівнює імовірності того, що у будь-який призначений момент t_3 система виявиться працездатною. Він може бути визначений з використанням попередніх формул для заданого моменту часу t_3 .

$$A_x(t_3) = \int_{D_{Пх}} ... \int f_x(x, t_3)dx; \tag{3}$$

$$A_y(t_3) = \int_{D_{Пу}} ... \int f_y(y, t_3)dy. \tag{4}$$

Область працездатності $D_{Пу}$ визначається набором таких значень стикувальних параметрів $y_1, y_2, ..., y_n$, які гарантують знаходження вектора вихідних параметрів $Y(y_1, y_2, ..., y_n)$ у межах допустимих значень $Y^Д(y^Д_1, y^Д_2, ..., y^Д_n)$.

$$D_{Пу} : Y^Д(y_1, y_2, ..., y_n) \in \{Y^Д(y^Д_1, y^Д_2, ..., y^Д_n)\}. \tag{5}$$

При відомій залежності векторів $X(x_1, x_2, ..., x_n)$ і $Y(y_1, y_2, ..., y_n)$ у вигляді прямої та зворотної функцій $Y = F(X)$ і $X = F^{-1}(Y)$ обмеження на Y можуть бути визначені з врахуванням обмежень на X і, навпаки, обмеження на X можуть бути визначені з врахуванням обмежень на Y. В практиці проектування радіоелектронних пристроїв перевага надається здебільшого другому варіанту.

Узагальнений приклад визначення області працездатності трипараметричної системи наведено на рис. 1.

Область працездатності $D_{Пх}$ структурно розглядається у складі внутрішньодопускової області працездатності $D_{x_{вд}}$ і позадопускової області працездатності $D_{x_{пд}}$:

$$D_{Пх} = D_{x_{вд}} + D_{x_{пд}} .$$

$X_д, X_{вд}, X_{пд}$ – вектори, що відповідають цим областям. $X_{нп}$ – вектор стикувальних параметрів при непрацездатному стані системи.

Складові $D_{x_{вд}}$ і $D_{x_{пд}}$ визначаються так.

Внутрішньодопускова область працездатності $D_{x_{вд}}$ визначається належністю вектора стикувальних параметрів компонентів, що сумісно працюють $X(x_1, x_2, ..., x_n)$, множині векторів, що знаходяться в допусковій області $\{X^Д_{вд}\}$ і відповідають працездатному стану системи:

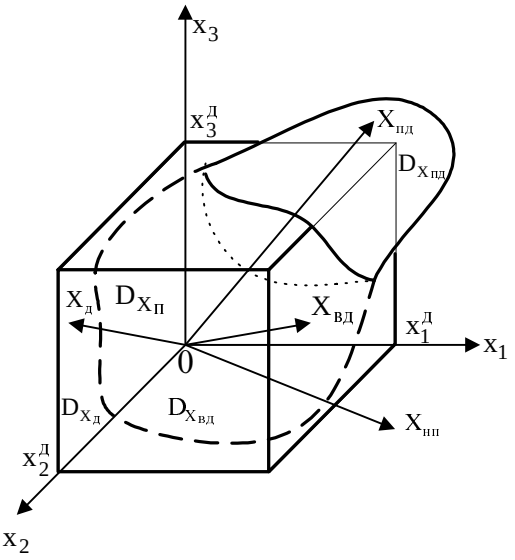


Рис. 1. Визначення області працездатності трипараметричної системи

$x^Д_1, x^Д_2, ..., x^Д_n$ *– допускові значення стикувальних параметрів, які у сукупності визначають допускову область* $D_{x_д}$

Lviv Polytechnic National University Institutional Repository http://ena.lp.edu.ua

$$D_{x_{вд}} : X(x_1, x_2, ..., x_n) \in \{X^{Д}_{вд}\}$$
$$x_1 \in D_{x_1}$$
$$x_2 \in D_{x_2} \qquad (6)$$
$$.....$$
$$x_n \in D_{x_n}$$

де D_{x_i}, $i = \overline{1,n}$ – області допустимих значень стикувальних параметрів.

Аналогічно визначається позадопускова область працездатності:

$$D_{x_{пд}} : X(x_1, x_2, ..., x_n) \in \{X^{Д}_{пд}\}$$
$$x_1 \bar{\in} D_{x_1}$$
$$x_2 \bar{\in} D_{x_2} \qquad (7)$$
$$.....$$
$$x_n \bar{\in} D_{x_n}$$

Внутрішньодопускова область працездатності за наведеним визначенням характеризує якість проектування пристрою і зокрема якість підбору компонентів з врахуванням точнісних характеристик їх стикувальних параметрів, надійності, вартості та інших техніко-економічних показників. Очевидно, чим більшою є ця область порівняно з допусковою при мінімумі вартості компонентів, тим якіснішим є варіант запропонованої схеми і пристрою загалом.

Область позадопускової працездатності є характеристикою живучості, яка, як вже було зазначено, характеризує властивість виробу протистояти розвитку критичних відмов при будь-яких умовах експлуатації, включаючи і ті, що не передбачені документацією.

У загальному випадку задача забезпечення ефективності параметричного синтезу компонентів в математичному плані є задачею багатопараметричної або векторної оптимізації, яка в вузькому і широкому розумінні виглядає так [2]:

У вузькому розумінні	**У широкому розумінні**
$Q[Y = F(X)] \to \max Q[Y = F(Y)]$	$Q(X) \to \max Q(X)$
$Y \in D_Y$	$x_1 \in D_{x_1}$
$C_\Sigma \le C^{Д}_\Sigma$	$x_2 \in D_{x_2}$
	.....
	$x_n \in D_{x_n}$
	$C_\Sigma \le C^{Д}_\Sigma$

(8)

де $X = [x_1, x_2, ..., x_n]$ – вектор параметрів компонентів; $Y = [y_1, y_2, ..., y_m]$ – вектор вихідних параметрів пристрою. Тут, як і раніше, $Y = F(X)$.

$Q(\cdot)$ – функція якості (імовірність безвідмовної роботи P(t), коефіцієнт готовності A(t) та інші).

Це є так звана пряма задача оптимізації. Можливим є варіант оберненої задачі оптимізації, яка також формулюється у двох варіантах:

Lviv Polytechnic National University Institutional Repository http://ena.lp.edu.ua

У вузькому розумінні

$$C_\Sigma \to \min C_\Sigma$$
$$Q[Y = F(x)] \geq Q^{д}[Y = F(x)]$$
$$Y \in D_Y$$

У широкому розумінні

$$C_\Sigma \to \min C_\Sigma$$
$$Q(X) \geq Q^{д}(X)$$
$$x_1 \in D_{x_1}$$
$$x_2 \in D_{x_2}$$
$$\ldots\ldots\ldots\ldots$$
$$x_n \in D_{x_n} \qquad (9)$$

$Q^{д}[Y = F(x)]$, $Q^{д}[X]$ – допустимі значення функцій якості.

Наведені формалізації прямої та зворотної задач оптимізації параметричного синтезу систем компонентів, що сумісно працюють, визначають можливі шляхи підвищення його ефективності, а саме:

– цілеспрямованою зміною щільностей або функцій розподілу стикувальних параметрів з врахуванням їх можливого дрейфу;

– забезпеченням оптимальності робочих областей $D_{пх}$ і $D_{пх}$ з врахуванням обмежень на стикувальні параметри, які визначені встановленими на них допусками;

– мінімізацією сумарних витрат, пов'язаних з процедурою забезпечення надійності системи.

Нижче наведено аналіз варіантів типових моделей забезпечення безвідмовності систем компонентів, що сумісно працюють.

3. Аналіз варіантів моделей забезпечення безвідмовності систем компонентів, що сумісно працюють

Розглядаючи з позиції параметричного синтезу функцію якості у вигляді імовірності безвідмовної роботи системи компонентів, що сумісно працюють, коефіцієнта готовності і інших показників, необхідно зазначити, що всі вони відображають взаємне розміщення вектора стикувальних параметрів X і області працездатності стану $D_{пх}$. Це розміщення слід розглядати у динаміці, оскільки показники надійності тісно зв'язані з параметричними змінами, які відбуваються в пристроях на стадіях виробництва та експлуатації [1, 2]. Типові приклади узгодження (і неузгодження) вектора стикувальних параметрів компонентів з областю працездатного стану системи наведено на рис. 2 – 4.

Область працездатності системи

$$D_п = D_{вд} + D_{пд}, \qquad (10)$$

де $D_{вд}$ – внутрішньодопускова область працездатності; $D_{пд}$ – позадопускова область працездатності.

Область $D_{вд}$ і $D_{пд}$ визначаються умовами:

$$D_{вд}: \begin{cases} x_{к-1,н} \leq x_{к-1} \leq x_{к-1,в} \\ x_{к,н} \leq x_к \leq x_{к,в} \\ x_{к-1} > x_к \end{cases} \qquad (11)$$

$$D_{пд}: \begin{cases} (x_{к-1} < x_{к-1,н}) \cup (x_{к-1} > x_{к-1,в}) \\ (x_к < x_{к,н}) \cup (x_к > x_{к,в}) \\ x_{к-1} > x_к \end{cases}$$

Lviv Polytechnic National University Institutional Repository http://ena.lp.edu.ua

Умова перевершення

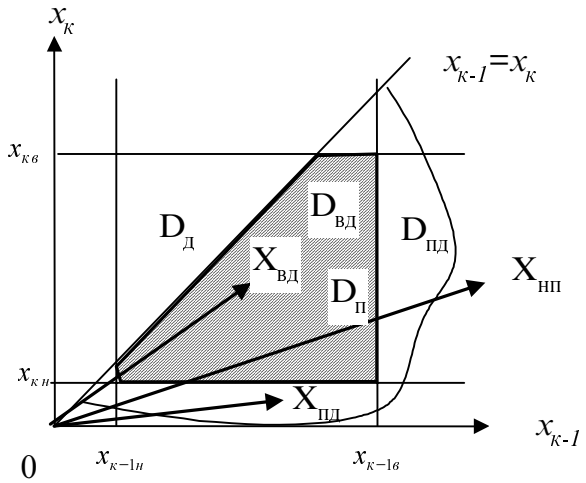


Рис. 2. Визначення областей працездатності системи за умови перевершення: $x_{к-1} > x_к : x_{к-1,н}, x_{к-1,в}$ і $x_{к,н}, x_{к,в}$ – *допускові значення стикувальних параметрів;* $D_д$ – *допускова область параметрів;* $X_{нп}$ – *вектор параметрів, при яких умови працездатності не виконуються (на цьому і подальших рисунках і формулах індексація провадиться у скороченому вигляді*)

Умова недосягнення

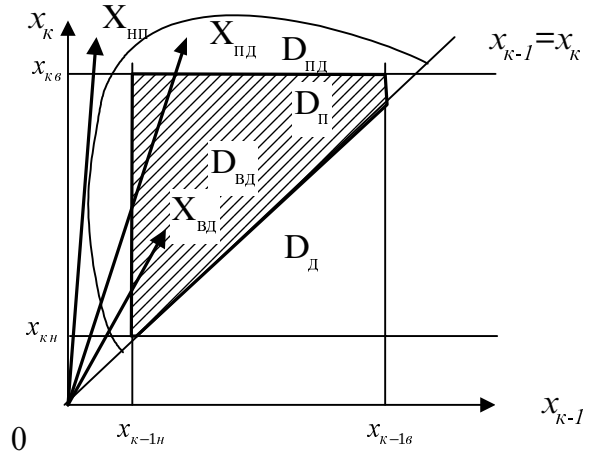


Рис. 3. Визначення областей працездатності системи за умови недосягнення $x_{к-1} < x_к$

Аналогічно попередньому випадку області працездатності визначаються умовами:

$$D_{вд}: \begin{cases} x_{к-1,н} \le x_{к-1} \le x_{к-1,в} \\ x_{к,н} \le x_к \le x_{к,в} \\ x_{к-1} < x_к \end{cases} \tag{12}$$

$$D_{пд}: \begin{cases} (x_{к-1} < x_{к-1,н}) \cup (x_{к-1} > x_{к-1,в}) \\ (x_к < x_{к,н}) \cup (x_к > x_{к,в}) \\ x_{к-1} < x_к \end{cases}$$

Імовірності працездатності системи у межах областей $D_{вд}$ і $D_{пд}$ для випадку незалежності параметрів $x_{к-1}$ і $x_к$:

$$P_{D_{вд}} = \int_{D_{вд}} \dots \int f(x_{к-1}) f(x_к) dx_{к-1} dx_к,$$

$$P_{D_{пд}} = \int_{D_{пд}} \dots \int f(x_{к-1}) f(x_к) dx_{к-1} dx_к. \tag{13}$$

Lviv Polytechnic National University Institutional Repository http://ena.lp.edu.ua

У цьому випадку області працездатності визначаються умовами

$$D_{вд}: \begin{cases} x_{к-1,н} \le x_{к-1} \le x_{к-1,в} \\ x_{к,н} \le x_к \le x_{к,в} \\ f(x_{к-1}) \approx f(x_к) \end{cases}$$

$$D_{пд}: \begin{cases} (x_{к-1} < x_{к-1,н}) \cup (x_{к-1} > x_{к-1,в}) \\ (x_к < x_{к,н}) \cup (x_к > x_{к,в}) \\ f(x_{к-1}) \approx f(x_к) \end{cases} \qquad (14)$$

Аналітичні вирази для визначення показників безвідмовності систем систем компонентів, що сумісно працюють, з використанням математичних моделей розподілів стикувальних параметрів підвищеної адекватності наведені в [1, 3].

Умова статистичного збігу

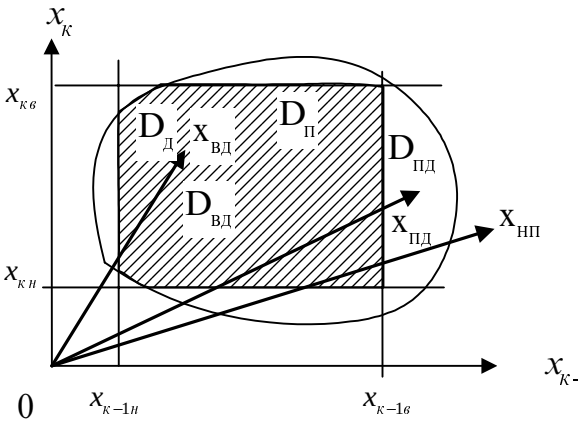


Рис. 4. Визначення областей працездатності за умови статистичного збігу параметрів $f(x_{к-1}) \approx f(x_к)$

4. Програмний комплекс для вирішення задач оптимізації параметричного синтезу компонентів

Серед відомих САПР, наприклад, RAMP, Reliability Analyzer, Ассоника та інші [4, 5], не виявлено таких, які б дозволяли вирішувати задачі оптимізації параметричного синтезу компонентів у вищенаведеній постановці.

Тому авторами розроблено програмний комплекс AVALON (Availability optimization) для вирішення таких задач з використанням перспективних моделей та методів забезпечення безвідмовності систем компонентів, що сумісно працюють.

У програмному комплексі використовуються такі сценарії:

– аналіз та побудова математичної моделі розподілів стикувальних параметрів.

– аналіз безвідмовності системи компонентів на основі побудованої математичної моделі.

– оптимізації параметрів розподілів за критерієм максимуму цільової функції при накладених обмеженнях.

Програмний комплекс написано за допомогою універсальної математичної комп'ютерної системи MatLab 6.1. Її вибрано з міркувань доступності, наявності великої кількості необхідних процедур обчислення. У MatLab 6.1. математичні вирази подають на рівні математичних формул з використанням мінімальної кількості додаткових конструкцій.

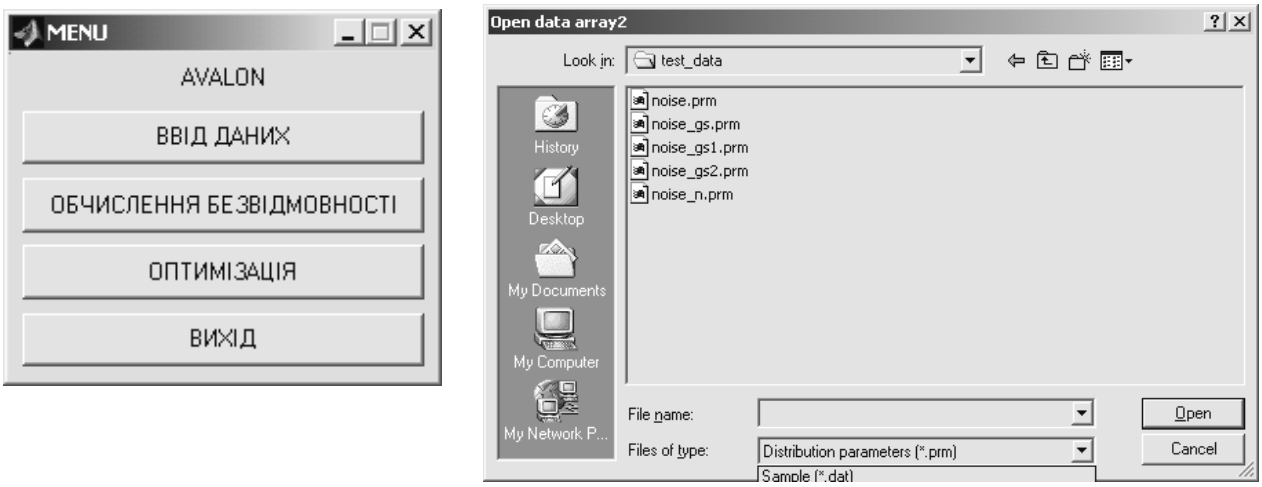
Наявність графічного інтерфейсу програмного комплексу значно полегшує як процеси вибору вхідних даних, так і подальші процедури обробки та візуалізації результатів.

Розподіли можуть задаватися у вигляді масиву даних (розширення *.dat), у вигляді вже готових гістограм (розширення *.hst) та у вигляді параметрів моделі (розширення *. prm).

Після введення даних у вікні з'являються гістограми розподілів та основні статистичні характеристики – математичне сподівання, дисперсія, коефіцієнти асиметрії та ексцесу.

Процедури обчислення безвідмовності та оптимізації викликаються з головного меню програми. Результати виводяться у вигляді окремих вікон.

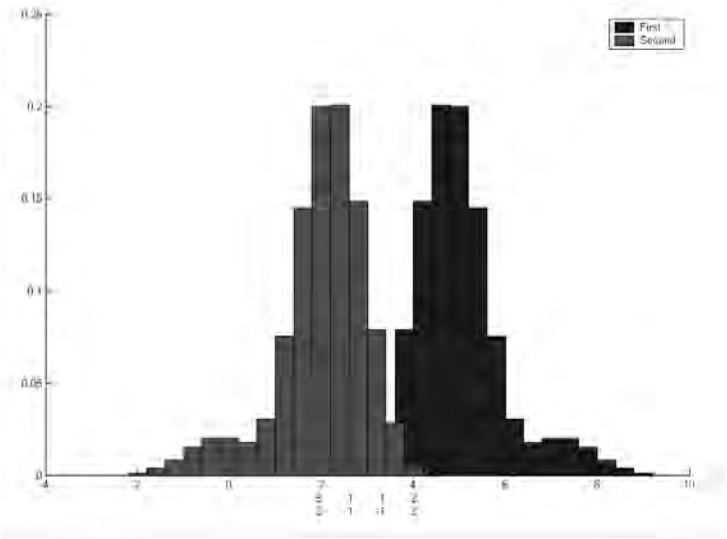
Lviv Polytechnic National University Institutional Repository http://ena.lp.edu.ua



а) б)

Рис. 5. Головне вікно програмного комплексу AVALON (а) та вікно введення даних (б)

На рис. 6. наведено вікна візуалізації розподілів параметрів компонентів та результат оптимізації цих розподілів за критерієм максимуму безвідмовності.



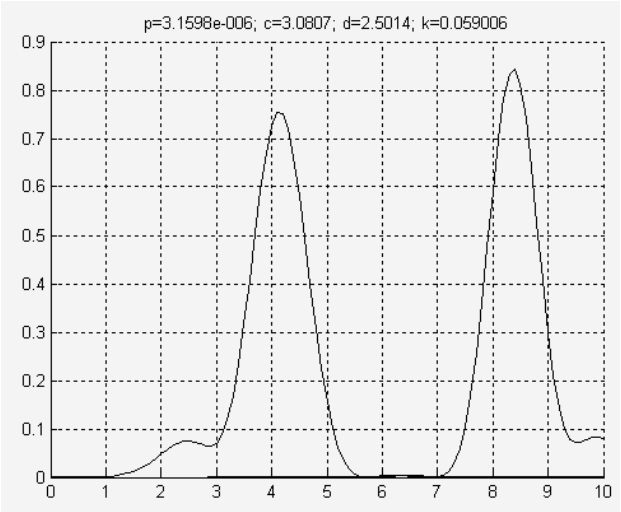


Рис. 6. Вікна візуалізації розподілів параметрів компонентів (а) та виведення результатів оптимізації (б)

Lviv Polytechnic National University Institutional Repository http://ena.lp.edu.ua

Інтерфейс програми є нескладним та не викликає у користувача труднощів його розуміння. Використання пакета MatLab для роботи програми дає можливість проводити гнучку модернізацію програмного комплексу згідно з вимогами замовників.

5. Висновки

1. Векторно – аналітична інтерпретація оптимального параметричного синтезу компонентів є основою для розроблення методів і програмних засобів забезпечення безвідмовності радіоелектронних пристроїв на стадіях їх проектування та серійного виготовлення.

2. Показано, що внутрішньодопускова область працездатності характеризує якість підбору компонентів з врахуванням точнісних характеристик їх стикувальних параметрів, надійності, вартості та інших техніко-економічних показників. Чим більшою є ця область порівняно з допусковою при мінімумі вартості компонентів, тим якіснішим є варіант запропонованої схеми і пристрою загалом. Область позадопускової працездатності є характеристикою живучості, оскільки характеризує властивість виробу протистояти розвитку критичних відмов при будь-яких умовах експлуатації.

3. Наведені формалізації прямої та зворотної задач оптимізації параметричного синтезу систем компонентів, що сумісно працюють, визначають можливі шляхи підвищення його ефективності. Проаналізовано варіанти моделей забезпечення безвідмовності систем систем компонентів, що сумісно працюють.

4. Розроблено програмне забезпечення для вирішення завдань параметричного синтезу з врахуванням моделей забезпечення безвідмовності.

1. Бобало Ю., Лазько О., Недоступ Л. Формалізація ефективності параметричного синтезу компонентів // Вісник НУ "Львівська політехніка". ˜ Львів, 2002. – № 440. – С. 76 – 82. 2. Лазько О., Недоступ Л., Бобало Ю. Моделювання розподілів рядами Грама-Шарльє та їх застосування у технологічних САПР // Вісник Держ. ун-ту "Львівська політехніка". ˜ Львів, 2000. – № 387.– С. 59 – 65. 3. Лазько О., Недоступ Л., Бобало Ю. Оцінка безвідмовності сумісної роботи компонентів радіоелектронних пристроїв // Вісник НУ "Львівська політехніка". ˜ Львів, 2001. – № 415. – С. 204 – 210. 4. www.assonika.ru. 5. www.reliasoft.com.

УДК 638.235.231

Сергій Івчук, Іван Костюк
Національний університет "Львівська політехніка",
кафедра теоретичної радіотехніки та радіовимірювання,
кафедра електронних засобів інформаційно-комп'ютерних технологій

РОЗПОДІЛ ТЕПЛА В ТОНКОПЛІВКОВОМУ ПРОВІДНИКУ

© Івчук Сергій, Костюк Іван, 2003

Наведено підхід для розрахунку теплового режиму тонкоплівкового провідника з врахуванням нерівномірно розподіленого внутрішнього джерела теплоти.

In this paper we present the approach to calculation of the mode of thin-film conductor with taking into account the unevenly distributed internal heat source.

Вступ. У проектуванні сучасних ВІС спостерігається тенденція до зростання потужностей розсіювання на одиницю площі кристала підвищення швидкості перемикання та

Lviv Polytechnic National University Institutional Repository http://ena.lp.edu.ua