

Оптимізація процесу забезпечення якості виробів за заданих значень елементів булевої матриці B здійснюється шляхом знаходження оптимальних значень показників глибини контролю $\alpha_{\text{opt.1.1}}, \alpha_{\text{opt.2.2}}, \dots, \alpha_{\text{opt.m}}$ з врахуванням технічних, економічних, організаційних та інших обмежень.

У формальному вигляді процедура оптимізації процесу подається розв'язком прямої або оберненої задачі [5]. Показниками якості процесу можуть бути імовірність відсутності дефектів у прийнятій продукції, імовірність безвідмовної роботи, відсоток випуску придатних виробів, рівень їх дефектності та інші показники [3; 4].

Зазначимо, що у загальному випадку неможливо отримати єдині розв'язки як прямої, так і оберненої задачі у зв'язку з тим, що кількість рівнянь – критеріїв оптимальності є меншою за кількість умов і обмежень. Це означає, що для процесу забезпечення якості виробів можна визначити множину його квазіоптимальних варіантів, встановивши для кожного з них відповідну комбінацію технічних та економічних показників у межах допустимих областей.

Розглянутий статистично-імовірнісний підхід до створення моделей процесів формування якості радіоелектронної апаратури на стадії виробництва забезпечує їх високу адекватність, оскільки ґрунтується на поточній і накопиченій статистичній інформації підприємств, де планується впровадження нових розробок. Запропоновані математичні моделі характеризуються гнучкістю та універсальністю, що забезпечує можливість їх використання під час розв'язання широкого кола виробничих завдань в рамках загальної проблеми комплексної оптимізації виробничого процесу за критеріями якості та безвідмовності радіоелектронної апаратури і сумарних виробничих витрат на їх забезпечення.

1. Радченко С.Г. Математическое моделирование технологических процессов в машиностроении. – К., 1998. 2. Киселичник М.Д. Моделирование та оптимізація процесів забезпечення якості радіоелектронної апаратури. – Львів, 2001. 3. Недоступ Л.А. Оптимізація контролю, регулювання та технічної приладки приборів. – Львів, 1987. 4. Nedostup L., Bobalo Ja., Kiselychnyk M., Mandziy V. Matematyczny model defekowności aparatury radioelektronicznej w trakcie jej wytwarzania. III sympozium modelowanie i symulacja komputerowa w technice. – Łódź. – 2004. – P. 73–74. 5. Недоступ Л., Киселичник М., Бобало Ю., Васьків Г., Лазько О. Структурування, оцінювання ефективності та моделювання виробничих систем забезпечення якості радіоелектронних пристроїв / Вісник НУ “Львівська політехніка” “Радіоелектроніка та телекомунікації”. – 2004. – № 508. – С. 18–24.

УДК 004.415.2 : 681.533

М.В. Лобур, В.М. Теслюк, А.Б. Керницький, П.Ю. Денисюк, П.Ю. Раєвський

Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра систем автоматизованого проектування

ГЕТЕРОГЕННА СИСТЕМА АВТОМАТИЗОВАНОГО ПРОЕКТУВАННЯ ВБУДОВАНИХ СИСТЕМ

© Лобур М.В., Теслюк В.М., Керницький А.Б., Денисюк П.Ю., Раєвський П.Ю., 2005

Запропоновано гетерогенну систему автоматизованого проектування вбудованих систем. Розроблено математичне, інформаційне, лінгвістичне та програмне забезпечення. Наведено результати проектування елементів електромеханічних вбудованих систем та інтегральних елементів підсистеми обробки та керування.

The computer-aided design of the heterogeneous embedded systems is offered in the article. Design results of the real elements of the electromechanical embedded systems and elements of treatment and management subsystems.

Вступ

Упродовж останнього десятиріччя відбулась інтеграція технічних досягнень в області мікроелектроніки, механіки, інформатики та вимірювальної техніки. Ці досягнення об'єднані тенденцією

до мініатюризації і привели до зародження нового науково-технічного напрямку – інтегрально-комплексних технологій [1; 2; 3]. До таких технологій належать технології проектування та виготовлення мікроелектромеханічних систем і пристроїв мікросистемної техніки, у яких електричні зв'язки знаходяться у взаємодії з механічними переміщеннями і які функціонують за різними фізичними принципами [4–10]. Такі пристрої знайшли надзвичайно широке використання у системах різного типу. В одних випадках – це головні елементи, а в інших – допоміжні. Загалом їх можна кваліфікувати, як вбудовані системи (ВС), що є набором взаємопов'язаних функціональних пристроїв та вузлів, підпорядкованих системі вищого рівня і функціонуючих за фізичними принципами, які не обов'язково притаманні основній системі.

Структура вбудованої системи

Основними компонентами ВС є сенсорні пристрої, модулі обробки інформації (аналогової, цифрової) та виконавчі механізми (актюатори) [11, 12]. Тому, як правило, ВС об'єднують у собі мікроелектронну та механічну (оптичну, магнітну тощо) складові. Приклад загальної структури ВС зображений на рис. 1.

Сенсор виконує роль чутливого елемента і перетворює вхідні фізичні, хімічні та інші величини в електричний сигнал. Отриманий сигнал, як правило, є аналоговим. Тому наступний модуль системи виконує функцію приведення аналогового сигналу до необхідного рівня з подальшим перетворенням у цифрову форму. Цю операцію виконує аналого-цифровий перетворювач (АЦП) [13; 14].

Мікропроцесорні засоби обробляють отриману цифрову форму вхідного сигналу згідно з заданим алгоритмом. До цього модуля можуть входити як мікропроцесори, так і контролери, процесори сигналів, запам'ятовувальні пристрої та цифрові схеми. Вихідною інформацією блока мікропроцесорних засобів є керуючий цифровий сигнал (або група керуючих сигналів), який за допомогою цифро-аналогового перетворювача (ЦАП) перетворюється в аналогову форму. Зазначений вище модуль у деяких мікробудованих системах може бути відсутній. Сигнал далі передається на пристрій розподілу аналогових та цифрових сигналів (аналогові комутатори, демультимплексори, буферні регістри тощо), з якого передається на виконавчий пристрій. Необхідно зауважити, що макробудовані системи можуть включати у свою структуру мікробудовані системи або їх частини.

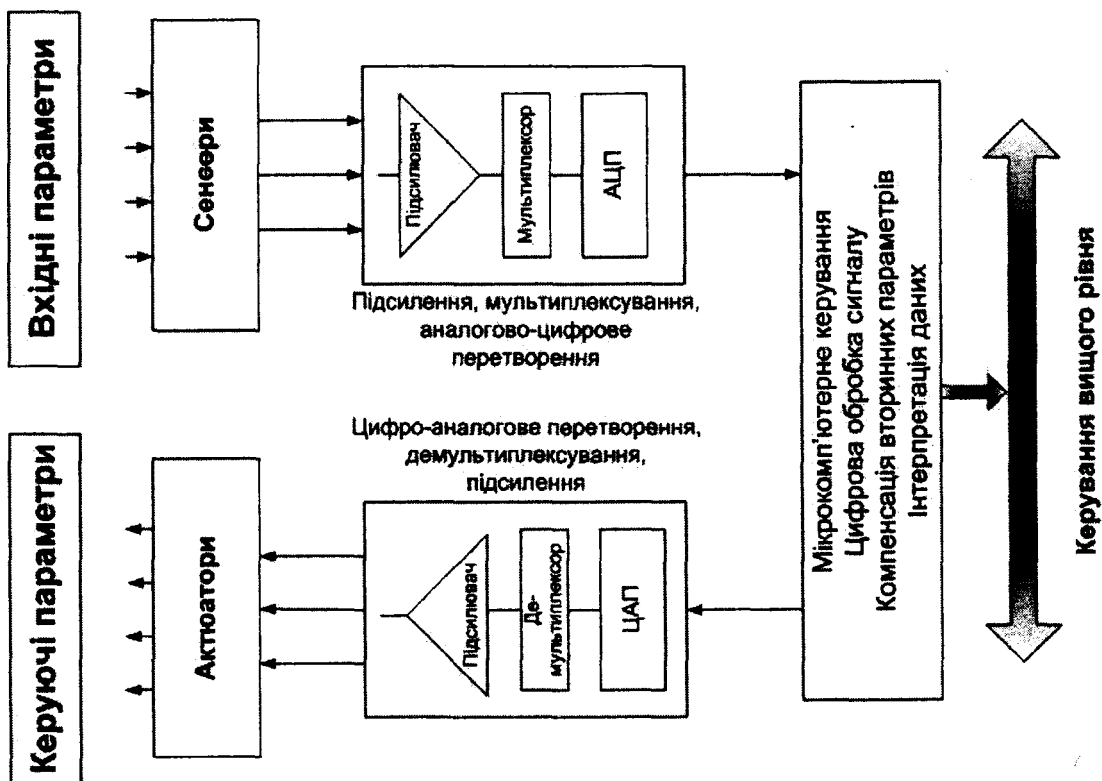


Рис. 1. Загальна структура вбудованої системи

Особливості проектування ВС

Сучасний етап розвитку твердотільної мікроелектроніки дає змогу вирішити практично усі проблеми, які виникають під час проектування та виготовлення модуля мікропроцесорної обробки інформації ВС [15; 16]. Зовсім інша ситуація спостерігається під час проектування та виготовлення сенсорів та актюаторів.

У роботі запропоновано під час проектування вбудованих систем використовувати класичне нисхідне проектування [17; 18], тобто проектування “зверху – вниз”, враховуючи при цьому специфіку проектування сенсорів та актюаторів. Цей підхід передбачає, що проектування ВС розбивається на розв’язання окремих підзадач, наприклад, проектування функціонально завершених модулів вбудованої системи, а саме: сенсорів, мікропроцесорного модуля, виконуючих пристроїв тощо. Подальша декомпозиція проектування передбачає розбиття задач проектування сенсорів та актюаторів на задачі проектування компонентів. Це – задачі, пов’язані, наприклад, із проектуванням статора чи ротора мікродвигуна, пружини чи електричного джерела живлення актюатора. Структурна схема проектування вбудованих систем, яка зображена на рис. 2, визначає чотири рівні проектування. Перший рівень називається системним. Він призначений для розробки технічного завдання на ВС, другий рівень – структурно-функціональний, третій – компонентний рівень проектування вбудованої системи, а четвертий рівень – елементний.

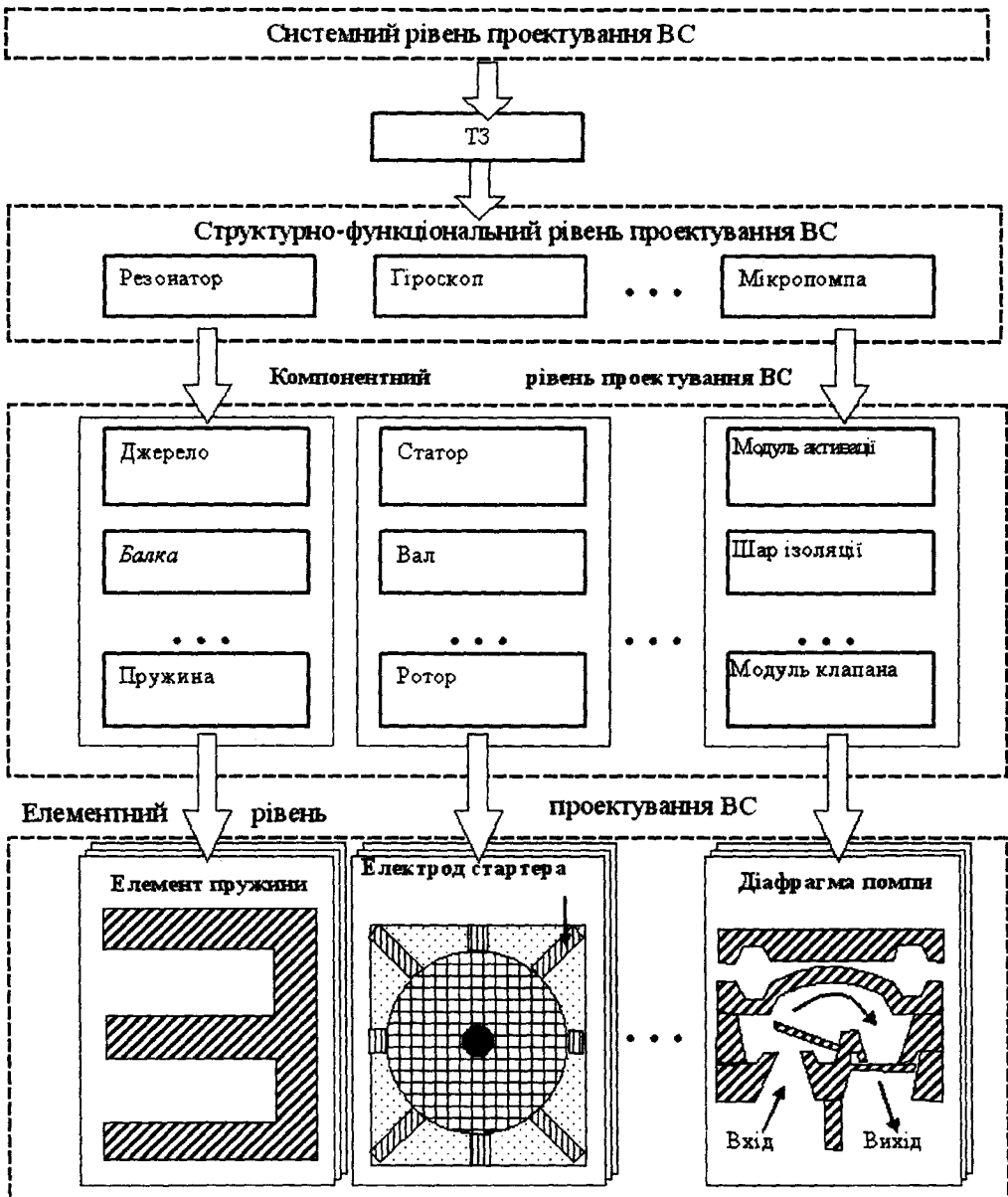


Рис. 2. Схема проектування вбудованих систем “зверху-вниз”

Такий підхід до проектування вбудованих систем має низку переваг, а саме: з простішими об'єктами проектування зручніше працювати, будувати математичну модель такого об'єкта, проводити моделювання його роботи, виконувати верифікацію та тестування результатів проектування тощо.

На початковому етапі проектування виконується опис вбудованої системи. Опис включає як електричні параметри пристрою, так і механічні. Наступний крок роботи алгоритму передбачає проектування електричної схеми вбудованої системи з подальшим аналізом за допомогою відповідних програмних засобів.

За результатами побудови першого наближення електричної схеми ВС здійснюється проектування її конструкції з подальшим моделюванням вихідних конструктивних характеристик.

Ітераційний процес продовжується доти, поки всі вихідні електричні та механічні параметри елементів не будуть відповідати технічному завданню. Після цього алгоритм проектування передбачає виготовлення та тестування вбудованої системи.

Проектування електромеханічного виробу містить кілька ітераційних процедур, які можна призначити одному чи двом головним процесам: механічному і електричному проектуванню. Хоча багато кроків є взаємно залежними (рис. 3), кілька етапів, таких як проектування компонентів ВС, можна виконувати паралельно для зменшення тривалості процесу проектування ВС.

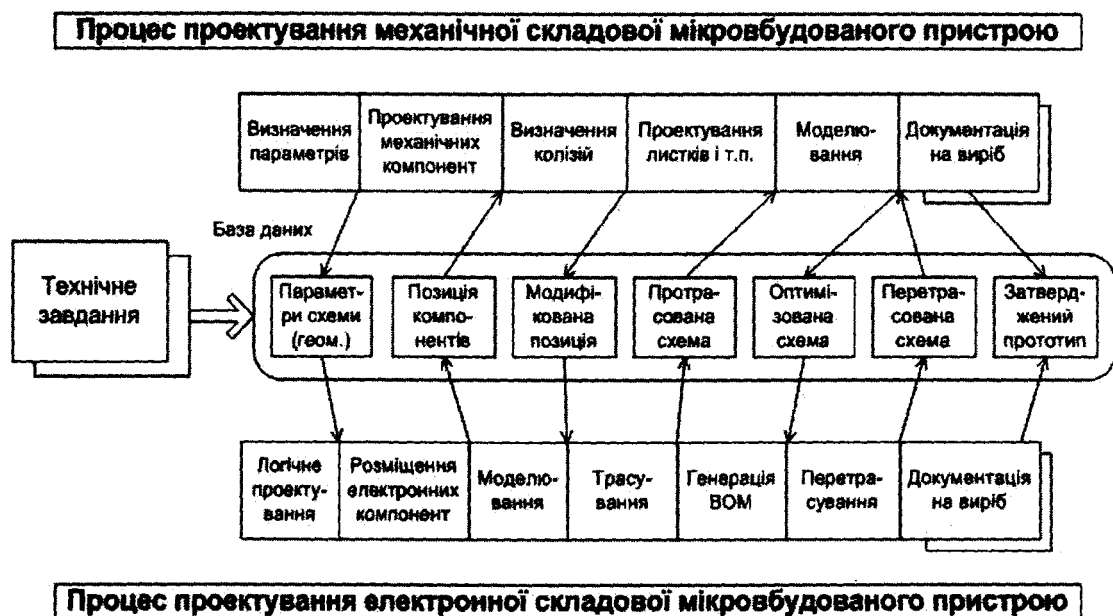


Рис. 3. Паралельні потоки робіт під час виготовлення електромеханічного виробу

Інформаційне забезпечення системи

У системі проектування ВС організовано два паралельні потоки робіт, які взаємодіють між собою (рис. 4). Об'єктом обміну даними проектування ВС виступає файл обміну на основі нейтрального протоколу STEP [19], що описує конструкцію пристрою. Як тільки модифікований файл даних записаний у глобальне сховище даних, повідомлення про зміни надсилаються усім проектувальникам.

У роботі запропоновано використати елементно-орієнтовану інтеграційну інформаційну модель, що надає необхідну інформацію протягом усього життєвого циклу, ґрунтуючись на протоколах AP 210 і 214 [19; 20; 21; 22]. Прикладні протоколи AP210/214 визначають геометрію деталі та середовища, а також автоматизований процес проектування електромеханічного виробу. У протоколі AP214 існують базові дані для управління виробом, дані керування проектними роботами, планування процесів проектування та виготовлення, геометричні моделі, такі як модель поверхні, умови поверхонь, геометричні допуски і властивості форми. У нашій інтегрованій системі інформаційна модель використовує об'єктно-орієнтований метод опису, який відповідає AP214 і визначається мовою EXPRESS [19; 23]. Ця інформаційна модель називається прикладним протоколом паралельного проектування і виготовлення (ПП-ПВ). У середовищі ПП інформаційна модель охоп-

лює всі аспекти даних про виріб, які потрібні САПР та іншим системам. Модель даних не лише включає інформацію про властивості механічної обробки, але і абстракції геометричної та топологічної інформації. Наприклад, елемент “КОМПОНЕНТ” вбудованої системи складається із елемента форми, розташування, точності та керуючих впливів. Елемент „ФОРМА” включає базові елементи, складені і реплікативні елементи. Точність розмірів, матеріал, напруга, струм, температура, шорсткість, форма і точність розташування формує елемент – “ТОЧНІСТЬ”. Елемент “КЕРУЮЧИЙ ВПЛИВ” має ім'я, номер тощо. Отже, включена уся необхідна інформація для проектування компонент ВС і виробничих процесів. Ця інформаційна модель формує основу для інтеграції всіх прикладних систем у ППВ через свою повноту і несуперечливість даних. Рис. 5 демонструє інформаційну модель структури рівня класів для компонентів ВС.

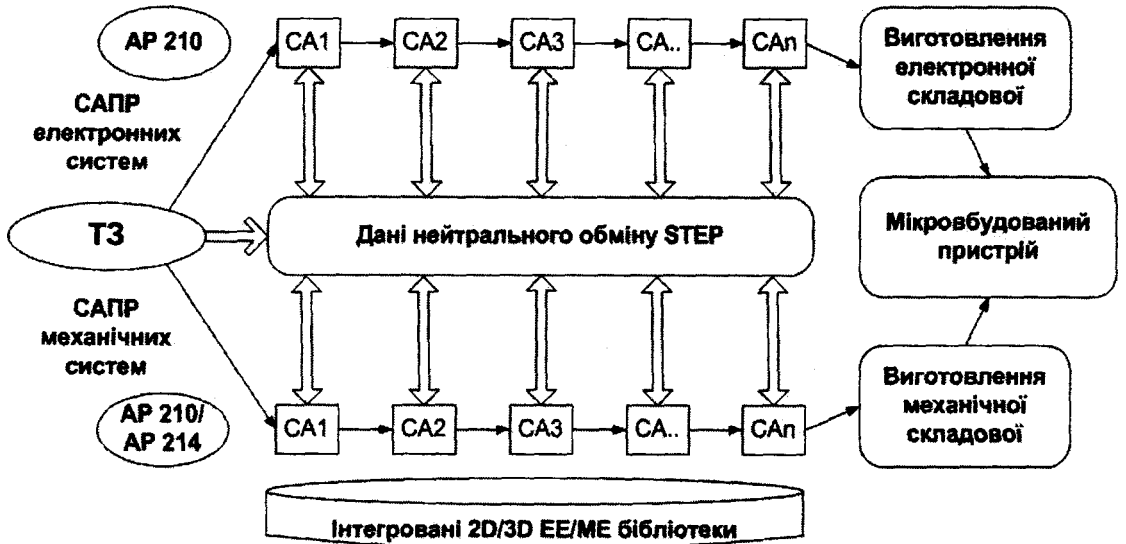


Рис. 4. Обмін даними між підсистемами у гетерогенній системі за допомогою нейтрального STEP протоколу:
 СА – система аналізу; ТЗ – технічне завдання;
 ЕЕ/МЕ – електричні елементи/ механічні елементи

Детальніше розглянемо об’єктно-орієнтований підхід, який ми застосовуємо під час моделювання даних про виріб. Елемент “КОМПОНЕНТ” поділяється на кілька класів. Для визначення різних класів об’єктів, ми за допомогою стандарту STEP формуємо ієрархічну структуру від батьківського до синівських класів. Суперклас має загальні характеристики всіх елементів, таких як елемент “ІМ’Я”, властивість “НОМЕР”, фізичні та хімічні властивості тощо. У такій архітектурі нижчі класи є певною концепцією, а вищі класи – ширшими і загальнішими концепціями. Відповідно до наслідування об’єктно-орієнтованого методу кожний елемент може наслідувати атрибути вищого класу і додавати їх до своїх власних спеціальних параметрів, необхідних для визначення себе як нового класу, а тому відпадає необхідність кожного разу створювати все спочатку.

Загалом розрізняють три “рівні” реалізації STEP-системи. Початкова реалізація STEP є обміном даними між САПР та наступними системами, такими як системи моделювання, САПП, АСТПВ тощо. Цю реалізацію називаємо “РІВЕНЬ 1”. “РІВЕНЬ 2” буде використанням сутностей STEP для обробки у нестійких інформаційних системах і “РІВЕНЬ 3” буде застосуванням сутностей STEP для постійного зберігання описів у базі даних.

Стратегія інтеграції даних у гетерогенній системі автоматизованого проектування ВС

Як механічну САПР використано AutoCad, а електронні – VHDL-AMS, CFD ACE+, CADENCE. Системи мають розвинуті функції моделювання, але здебільшого вони не підтримують роботу з іншими системами (такими, як системи моделювання, САПП, АСТПВ тощо) для обміну даними про виріб. Для

того, щоб втілити інформаційну інтеграцію САПР/САПП/АСТПВ у механічній системі, вибрано інтеграційну модель, яка ґрунтується на нейтральному протоколі обміну інформацією STEP, як показано на рис. 6.



Рис. 5. Інформаційна модель структури рівня класів для елемента деталі

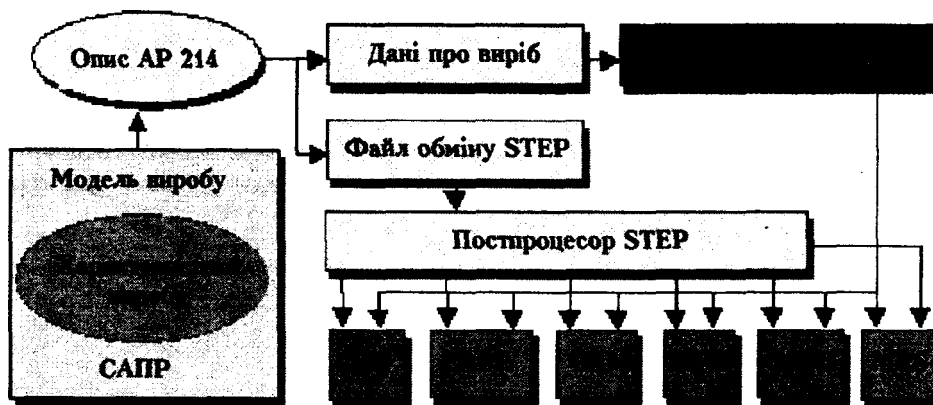


Рис. 6. Інтегрована інформаційна модель, що ґрунтується на прикладному протоколі STEP

Реалізація SDAI на базі ST-Developer

Перші роботи з реалізації стандарту STEP розпочалися задовго до затвердження стандарту. В ході цих перших робіт виявилось, що, окрім реалізації стандарту у вигляді символного (фізичного) файлу обміну, необхідна і його реалізація у вигляді бази даних. Такий метод реалізації отримав назву SDAI (Standard Data Access Interface). SDAI визначений у кількох томах стандарту:

- у томі 22 подано логічну структуру даних SDAI і специфікацію функцій звертання до бази даних у загальному вигляді (без прив'язування до конкретної мови програмування);
- у томі 23 подано специфікацію функцій звертання до бази даних мовою C++;
- у томі 24 подано специфікацію функцій звертання до бази даних мовою C;
- у томі 25 подано специфікацію функцій звертання до бази даних мовою FORTRAN;
- у томі 26 подано специфікацію функцій звертання до бази даних мовою IDL.

Модель даних про виріб ґрунтується на AP214 і виражається за допомогою мови EXPRESS. Бібліотеки елементів, класифікація інформації про елементи і розпізнавання для планування виробничих процесів реалізовано за допомогою засобів Pro/Toolkits. Режим обміну інформацією ґрунтується на фізичних файлах STEP і реляційній базі даних. Паралельне використання та управління даними ґрунтується на файлі Delta і засобі ST-Developer. Доступ у реальному часі ґрунтується на інтерфейсі SDAI.

ST-Developer Toolkits містить такі засоби:

– Постпроцес, який відповідає вимогам протоколу STEP. Перевіряє відповідність правилам і обмеженням сутностей STEP у файлах Part 21.

– Транслятор із мови EXPRESS у мову C++. Створює описи класів для кожної сутності EXPRESS у форматі C++.

– Бібліотека SDAI [23; 24; 25], що є втіленням STEP Part 22 для програм, написаних мовою C. Бібліотека класів C++, яка називається бібліотекою ROSE, надає можливість програмам, які написані мовою C++, маніпулювати даними, визначеними в EXPRESS, в оперативній пам'яті під час проектування або для постійного зберігання у бібліотеках.

У доповнення до всіх цих засобів засоби ST-Developer Toolkits дають можливість завантажувати дані з різних СУБД. Крім того, існує декілька трансляторів між файлами STEP Part 21 та різними файловими форматами САПР.

ST-Developer Toolkit містить повну реалізацію SDAI Late C, забезпечену інтерпретатором EXPRESS для перевірки отриманих атрибутів та перевірки правил. SDAI і мова C є набором функцій для роботи з колекціями, визначеними в об'єктах даних. Окрім того, програма має доступ до іншої спеціальної моделі, яка описує поточний стан сесії SDAI. Ця модель сесії створюється і модифікується як побічний ефект різних операцій SDAI. Вона простежує відкриті моделі, транзакції, режими доступу, повідомлення про помилки (error logs) тощо. Аплікація може перевіряти цю модель сесії для знаходження корисної інформації про стан інтерфейсу SDAI.

Процес автоматичного генерування рішення EXPRESS-based показано на рис. 7. Опис EXPRESS автоматично конвертується в структури даних, які можна використовувати всередині системи за допомогою підсистеми управління базами даних. Паралельно опис на EXPRESS автоматично конвертував у структури даних програмних мов. Ці структури даних після включення прикладних протоколів можуть бути пов'язані з бібліотекою, яка підтримує Standard Data Access Interface (SDAI). У результаті отримаємо програмну систему, яка здатна отримувати доступ до ключів, що відповідають опису мови EXPRESS.

Опис EXPRESS

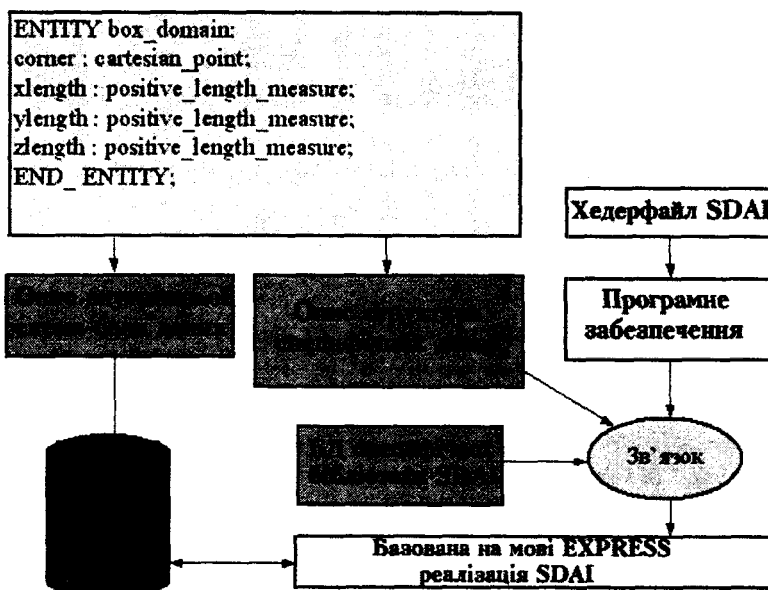


Рис. 7. Генерування SDAI за допомогою мови EXPRESS

Результати проектування

Для більшості вбудованих систем, виготовлених за єдиною (спільною) технологією, доцільно кінцеві елементи (сенсори і актуатори) реалізовувати разом з первинним підсилювачем вхідного сигналу для сенсорів і вихідного сигналу для актуаторів, а модуль подальшої обробки даних можна реалізувати за технологією, яка відмінна від основної. Для реалізації такого підходу розроблено базові топологічні моделі основних елементів. При цьому основна увага приділена реалізації даних елементів для базової технології 0.8 мкм, яка використовується для проектування в системі CADENCE (рис. 8–10).

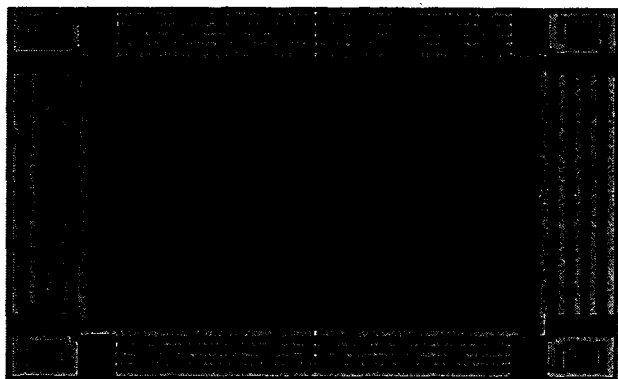


Рис. 8. Топологія сенсора ємнісного типу, спроектованого за стандартною технологією

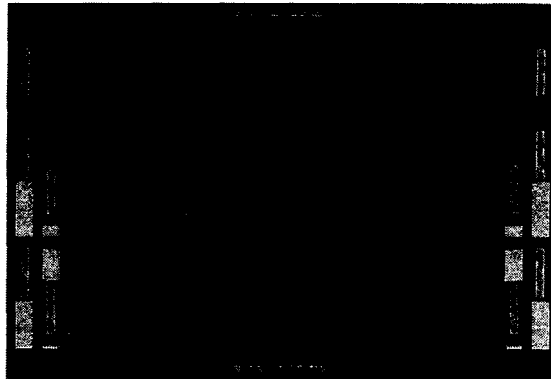


Рис. 9. Топологія сенсора тиску ємнісного типу

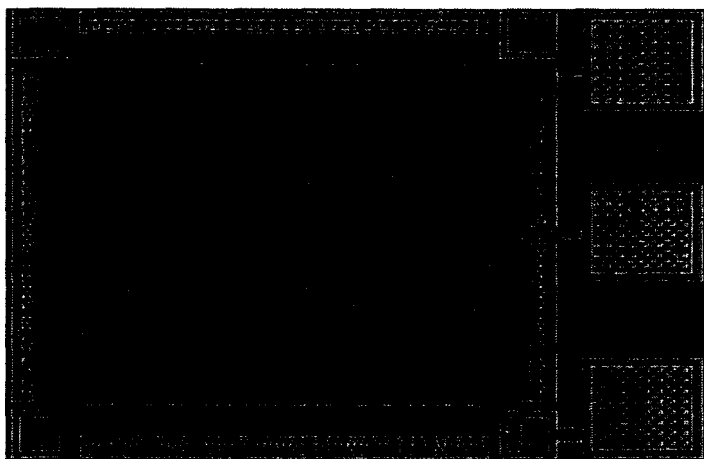


Рис. 10. Топологія сенсора тиску ємнісного типу різної чутливості

Висновки

Запропонована гетерогенна система САПР дає змогу ефективно організувати процес проектування вбудованих систем. Розроблено лінгвістичне, програмне та інформаційне забезпечення САПР ВС.

1. Gupta R.K., Zorian Y. *Introducing in Core-Based System Design //Design & Test of Computer*, Oct/Dec, 1997. 2. Muller, R. S. and K. Y. Lau, "Surface-Micromachined Microoptical Elements and Systems," in *Integrated Sensors, Microactuators, Microsystems (MEMS)*, Vol.86, No. 8, Aug. 1998. 3. Pister, K. S. J., et al., "Microfabricated Hinges", *Sensors and Actuators*, Vol. A33, No 3, June 1992. 4. Göpel, Wolfgang; Hesse, J.; Zemel, J. N. (Hrsg.): *Sensors: a comprehensive survey, Vol.2/3 Chemical and Biochemical Sensors*. VCH, Weinheim, New York, Basel (1994). 5. Göpel, Wolfgang; Hesse, J.; Zemel, J. N. (Hrsg.): *Sensors: a comprehensive survey, Vol. 6 Optical Sensors*. VCH, Weinheim, New York, Basel (1992). 6. Hauptmann, Peter: *Sensoren: Prinzipien und Anwendungen*. Hanser, München, Wien (1990). 7. Heywang, Walter: *Sensorik. Halbleiter-Elektronik Bd. 17*, Springer, Berlin, Heidelberg, New York (1984). 8.

Scheller, Frieder; Schubert, Florian: *Biosensors*. Elsevier, Amsterdam, London, New York (1992). 9. Tabib-Azar, Massood: *Integrated Optics, Microstructures, and Sensors*. Kluwer, Boston, Dordrecht, London (1995). 10. Gutierrez Monreal, J., and C M. Man, "The Use of Polymer Materials as Sensitive Elements in Physical and Chemical Sensors", *Sensors and Actuators*, Vol. 12, 1987. 11. R. Jacob Baker, Harry W. li, Daxid Bouce. *CMOS: Circuit Design, layout and Simulation*. John Wiley and Sons publishers. 1988, 902 p. 12. <http://www.mosis.org/Technical/Designsupport/pad-liblaryt-semos.html>. 13. Федорков Б.Г., Телец В.А, *Микросхеми ЦАП и АЦП: функционирование, параметры, применение*. – М., 1990. 14. Марцинкявичус А.К. и др. *Быстродействующие интегральные микросхеми ЦАП и АЦП и измерение их параметров*. – М., 1988. 15. R. Jacob Baker, Harry W. li, Daxid Bouce. *CMOS: Circuit Design, layout and Simulation*. John Wiley and Sons publishers, 1988. 16. <http://www.mosis.org/Technical/Designsupport/pad-liblaryt-semos.html> 17. Петренко А.И. *Основы автоматизации проектирования*. – К., 1982. 18. Коваль В.О., Лобур М.В. *Автоматизация технологического моделирования полупроводниковых ИС: Учеб. пособ.* – Львов, 1987. 19. STEP Tool Inc. *The STEP Programmer's Toolkit*. Park, Troy, New York. – 1995. 20. Zhu Guowang. *A survey of feature technology*. *China Mechanical Engineering*. – 1995. – 6(2): 7–10. 21. Bert Lauwers, Jean-Pierre Kruth. *Computer-aided process planning for EDM operations*. *Journal of Manufacturing Systems*. – 1994. – 13 (5): 313–322. 22. Amy J C, Lai C S. *A data representation scheme for sheet metal parts: expressing manufacturing features and tolerance requirements*. *Journal of Manufacturing Systems* – 1995. – 14(6): 393–405. 23. Michael A, Polini Pete, Lazo L. *A STEP-based, Product Model-Robotic Workcell Interface*. AUTOFACT, Detroit, Michigan. – 1996. 552–567. 24. Sohlenius G. *Concurrent engineering*. *Annals of the CIRP*. – 1992. – 41(2): 645–655. 25. Herman Allen, Lawley Mark, Mattox David, et al. *An opportunistic approach to process planning within a concurrent engineering environment*. *Annals of the CIRP*. – 1993. – 42(1): 545–548.

УДК. 519.242

М.П. Дивак, А.В. Пукас, М.Я. Шпінталь

Тернопільська академія народного господарства,
кафедра комп'ютерних наук

ПОСЛІДОВНЕ ПЛАНУВАННЯ ЕКСПЕРИМЕНТІВ ДЛЯ ПОБУДОВИ ІНТЕРВАЛЬНИХ МОДЕЛЕЙ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ

© Дивак М.П., Пукас А.В., Шпінталь М.Я., 2005

Наведено метод побудови оптимальних послідовних планів експерименту для створення інтервальних моделей прийняття рішень, який реалізується у два етапи: проведення насиченого експерименту та планування кожного наступного спостереження за критерієм мінімізації множини нерозпізнаних рішень.

The method of design of sequential experiments for creation decision support interval models is presented in this article. Design procedure is realized in two stages: conducting of the saturated experiment by the criterion of minimization of the domain of unrecognized decisions and design of every next observation.

Постановка проблеми

Математичні моделі прийняття рішень відносяться до особливого класу математичних моделей, які характеризуються сукупністю критеріїв ефективності, наявністю обмежень, властивостями функцій та властивостями області допустимих рішень. Залежно від вказаних характеристик та способів їх побудови виділяють два класи моделей прийняття рішень – детерміновані та за невизначеностями.