

Національна академія наук України  
Інститут кібернетики імені В. М. Глушкова

На правах рукопису

БОГУШ Олександр Олегович

УДК 681.32

**РОЗРОБКА ТА ТЕХНІЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ ПРОБЛЕМНО-  
ОРІЄНТОВАНОГО КОМПЛЕКСУ АВТОМАТИЗАЦІЇ  
ПРОЕКТУВАННЯ АРСЕНІД-ГАЛІЄВИХ ЦАП**

05.13.08 — обчислювальні машини системи та мережі,  
елементи і пристрої обчислювальної техніки  
та систем керування

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Київ 1995



00761468 (W)

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Інституті кібернетики імені  
В. М. Глушкова НАН України.Науковий керівник: доктор технічних наук  
РОМАНОВ В. О.Офіційні опоненти: доктор технічних наук  
ЗАБАРА С. С.,  
кандидат технічних наук, доцент  
ЛІТВИХ В. В.Провідна установа: Акціонерне товариство  
«Науково-виробниче підприємство  
«Сатурн»», м. Київ.Захист відбудеться «30» листопада 1995 р.  
о 14 год. на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 01.39.04  
при Інституті кібернетики імені В. М. Глушкова НАН України  
за адресою:

252022 Київ 22, проспект Академіка Глушкова, 40.

З дисертацією можна ознайомитись у науково-технічному  
архіві інституту.Автореферат розісланий «20» жовтня 1995 р.Учений секретар  
спеціалізованої вченої ради

ГУМЕНЮК-СИЧЕВСЬКИЙ В. І.

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Фізичні обмеження кремнієвої технології є серйозною перешкодою на шляху до її застосування в надшвидкодійних пристроях обчислювальної техніки та систем управління. Реальною альтернативою для таких пристроїв є технологія на основі арсеніду галію (GaAs), яка дозволяє підвищити швидкість у 2-4 рази при приблизно у стільки ж разів меншому енергоспоживанні. Надшвидкісні інтегральні схеми арсенід-галієвих цифроаналогових перетворювачів (GaAs МШІС ЦАП) з швидкістю перетворення від 1 ГГц і вище входять у ці пристрої як цифроаналогові підсистеми.

Системний підхід до проектування GaAs МШІС ЦАП запропонований у роботах А.І.Кондалєва та Ю.М.Грешищева, де проектування перетворювачів розглядається на декількох ієрархічних рівнях, у тому числі: на рівні структур, схемних рішень та інтегральних елементів. Автоматизація проектування перетворювачів на розглянутих ієрархічних рівнях є актуальною наукою і важливою практичною задачею. Рішення цієї задачі передбачає використання спеціалізованих апаратних і програмних засобів, які включають у себе засоби дослідження елементної бази GaAs, інтегральних схем і системи схемотехнічного та структурного моделювання перетворювачів. Застосування сучасних ПЕОМ робить можливою інтеграцію цих засобів у єдиний проблемно-орієнтований комплекс.

Така інтеграція дає можливість підвищити вірогідність розрахунків електричних схем перетворювачів за рахунок оперативного внесення змін у параметри моделей елементів згідно з результатами їх експериментальних досліджень, а також швидко адаптувати проблемно-орієнтований комплекс до нових задач проектування GaAs МШІС ЦАП.

Мета роботи і задачі дослідження. Метою дисертаційної роботи є розробка проблемно-орієнтованого комплексу автоматизації проектування GaAs МШІС ЦАП на базі ПЕОМ. Нижче наведені основні задачі дисертаційної роботи.

1. Для автоматизації проектування перетворювачів на рівні інтегральних елементів (див. рисунок) - виконати розробку аналізатора параметрів GaAs елементів для вимірювання вольт-амперних характеристик і ідентифікації статичних мо-

дельних параметрів GaAs діодів Шоткі та польових транзисторів з затвором Шоткі (ПТШ). Розробити засоби спряження вимірювального пристрою аналізатора параметрів з базовою ПЕОМ.

2. Для автоматизації проектування перетворювачів на рівні структур - підвищити вірогідність, точність та швидкодій статистичного моделювання структур GaAs НШІС ЦАП.

3. Виконати інтеграцію аналізатора параметрів GaAs елементів, стандартної системи схемотехнічного моделювання сім'ї SPICE і системи структурного моделювання перетворювачів у вигляді проблемно-орієнтованого комплексу на базі ПЕОМ.

Методи дослідження. При дослідженнях використовувались методи математичної статистики, теорії імовірностей, лінійної алгебри і математичного програмування.

Наукова новизна. Наукова новизна дисертаційної роботи така:

1. Запропонована і науково обґрунтована концепція інтеграції засобів автоматизації дослідження елементної бази GaAs інтегральних схем і систем схемотехнічного і структурного моделювання GaAs НШІС ЦАП у вигляді проблемно-орієнтованого комплексу на базі ПЕОМ. Запропонована структура проблемно-орієнтованого комплексу та методика проектування перетворювачів за допомогою його апаратних та програмних засобів.

2. Запропонована архітектура засобів спряження проблемно-орієнтованого комплексу на базі ПЕОМ для автоматизації вимірювання електричних параметрів GaAs елементів. Архітектура охоплює апаратні та програмні засоби спряження і складається з п'яти ієрархічних рівнів.

3. На основі аналізу швидкості обміну інформацією по системній шині ПЕОМ сформульовані вимоги до розміру ОБП вимірювального пристрою та способу організації взаємодії з цим ОБП бази ПЕОМ проблемно-орієнтованого комплексу.

4. Запропоновані методика і алгоритм ідентифікації статичних модельних параметрів діода Шоткі, які базуються на частковій лінеаризації його математичної моделі і аналітичному обчисленні координат точки початкового наближення.

5. Запропоновані методика і алгоритм ідентифікації модельних параметрів джерела струму стоку GaAs ПТШ для моделі

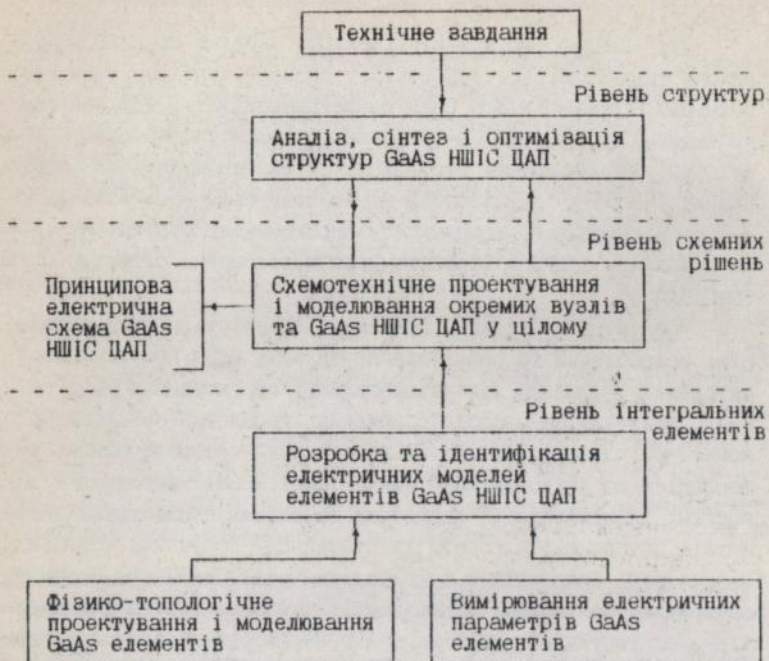


Рисунок. Основні етапи проектування GaAs НШІС ЦАП

Куртіса та моделі фірми Raytheon. Методика заснована на частковій лінеаризації математичних моделей транзисторів та застосуванні оригінального статистичного методу багатовимірної безумовної мінімізації.

6. Розроблена система тестів для перевірки статистичних властивостей генераторів псевдовипадкових чисел, що використовуються при статистичному моделюванні структур GaAs НШІС ЦАП.

7. Показано, що оптимальними за точністю та швидкодією при реалізації на ПЕОМ є перетворювачі рівномірно розподілених псевдовипадкових чисел у нормально розподілені, які побудовані на основі методу полярних координат.

8. Розроблені методика та алгоритм визначення похибки оцінки виходу придатних перетворювачів при статистичному моделюванні. Розроблені також методика та алгоритм послідовно-

го аналізу цієї похибки.

9. Показано, що при послідовному аналізі похибки оцінки виходу придатних перетворювачів у процесі моделювання в середньому потрібно в 1.5 рази менше випробувань, ніж при статистичному моделюванні з фіксованим числом випробувань.

10. Запропоновані структурні схеми апаратних та програмних засобів аналізатора параметрів GaAs елементів проблемно-орієнтованого комплексу. Запропонована структурна схема комплексу програм статистичного моделювання структур GaAs НШІС ЦАП.

Практична цінність. Практичну цінність роботи складають: розроблений та реалізований за бази ПЕОМ проблемно-орієнтований комплекс для автоматизації проектування GaAs НШІС ЦАП; архітектура засобів спряження проблемно-орієнтованого комплексу; експериментальні дослідження способів обміну інформацією по внутрішній системній шині ПЕОМ; методика і алгоритм ідентифікації статичних модельних параметрів діодів Шоткі; методика і алгоритм ідентифікації статичних модельних параметрів GaAs ПТШ з оригінальним статистичним методом та алгоритмом безумовної мінімізації; система тестів для перевірки статистичних властивостей генераторів псевдовипадкових чисел; порівняльний аналіз основних методів перетворення рівномірно розподілених псевдовипадкових чисел у нормальні розподілені за критеріями точності та швидкодії; методика і алгоритм визначення похибки оцінки виходу придатних перетворювачів при статистичному моделюванні спільно з методикою і алгоритмом послідовного аналізу цієї похибки; структурні схеми апаратних та програмних засобів аналізатора параметрів GaAs елементів проблемно-орієнтованого комплексу, а також їх практична реалізація; структурна схема комплексу програм статистичного моделювання структур GaAs НШІС ЦАП та її практична реалізація.

Реалізація та впровадження результатів роботи. В Інституті кібернетики ім. В.М. Глушкова НАН України в межах проекту ДКНТ 6.3.1/54-92 "Розробка та створення чадг-швидкодіючих арсенід-галієвих перетворювачів форми інформації для швидкодіючих ЕОМ та інформаційно-обчислювальних мереж", що входить у програму "Високопродуктивні ЕОМ та проблемно-орієнтовані комплекси широкого призначення", а також згідно з госпдог-

вором із АТ НВП "Сатурн" (м. Київ) розроблений та виготовлений дослідний зразок проблемно-орієнтованого комплексу автоматизації проектування GaAs НШІС ЦАП. За допомогою аналізатора параметрів GaAs елементів проблемно-орієнтованого комплексу в АТ НВП "Сатурн" були також вивчені дослідні зразки GaAs індикаторних світлодіодів.

Апробація роботи. Основні положення дисертаційної роботи доповідались та обговорювались на 7-му симпозиумі "Проблеми створення перетворювачів форми інформації" (Київ, 27-29 жовтня 1992 р.) та на постійно діючих семінарах наукової ради НАН України з проблеми "Кібернетика" "Перетворювачі форми інформації".

Публікації. За темою дисертації опубліковано 10 наукових робіт.

Структура та обсяг роботи. Дисертація складається з вступу, 5 глав, висновку, списку літератури з 160 найменувань та 9 додатків. Робота містить 144 сторінки машинописного тексту, 25 малюнків та 7 таблиць.

#### ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтована актуальність дисертаційної роботи, визначені цілі та задачі дослідження, приведена наукова новизна та практична цінність отриманих результатів, а також короткий зміст роботи.

У першій главі розглянуті основні проблеми автоматизації проектування GaAs НШІС ЦАП на структурному рівні, схемотехнічному рівні та рівні інтегральних елементів (див. рисунок).

Для рівня інтегральних елементів виконаний огляд та аналіз засобів вимірювання вольт-амперних характеристик інтегральних елементів, а також приведені та проаналізовані стандартні електричні моделі GaAs елементів та способи їх ідентифікації. Для рівня схемних рішень проведений огляд та аналіз програм схемотехнічного моделювання сімейства SPICE, реалізованих на базі ПЕОМ. Для рівня структур вивчені проблеми забезпечення вірогідності, точності та швидкодії визначення виходу придатних перетворювачів шляхом статистичного моделювання.

Обґрунтована доцільність інтеграції засобів автоматизації проектування GaAs МШС ЦАП на розглянутих ієрархічних рівнях у єдиний проблемно-орієнтований комплекс на базі ПЕОМ.

У другій главі запропонована архітектура засобів спряження проблемно-орієнтованого комплексу на базі ПЕОМ для автоматизації вимірювання електричних параметрів GaAs елементів. Вона дозволяє з єдиної позиції розглядати і проектувати апаратні та програмні засоби спряження. Архітектура складається з п'яти ієрархічних рівнів.

На найнижчому рівні ієрархії знаходиться сигнальний рівень, який описує конструкцію і електричні параметри інтерфейсних шин проблемно-орієнтованого комплексу і ПЕОМ. Шинний рівень визначає послідовність керуючих сигналів на інтерфейсних шинах, порядок передачі даних, типові протоколи обміну шин з точними часовими діаграмами. Командний рівень задає перелік і специфікації команд управління вимірювальними пристроями. Внутрішній інтерфейсний рівень визначає специфікації програмного інтерфейсу і механізм взаємодії програм командного рівня з прикладними програмами. Зовнішній інтерфейсний рівень описує текстову або графічну оболонку інтерфейса користувача прикладного програмного забезпечення.

Для розробки рекомендацій щодо розміру ОЗП вимірювального пристрою та способу його спряження з базовою ПЕОМ через внутрішню системну шину ISA були досліджені три основні способи організації обміну інформацією з зовнішнім ОЗП під управлінням мікропроцесора: через адресний простір верхньої пам'яті, через адресний простір розширеної пам'яті та через порт вводу-виводу. Показано, що для досягнення максимальної швидкості обміну інформацією розмір ОЗП вимірювального пристрою повинен бути не менше 1Кбайт та мати 2-байтну (словарну) організацію. Обмін інформацією при довільному доступі до пам'яті слід організовувати через адресний простір верхньої пам'яті, а при послідовному доступі - через порт вводу-виводу.

Третя глава присвячена проблемі ідентифікації статичних модельних параметрів SPICE-моделей діода Шоткі та GaAs ПТШ, яка вирішується при проектуванні перетворювачів на рівні інтегральних елементів. Ідентифікація модельних параметрів ви-

конується шляхом безумовної мінімізації функції похибки апроксимації. Функція похибки апроксимації будується на основі квадратичної норми вектора похибки апроксимації експериментальної вольт-амперної характеристики GaAs елемента його математичною моделлю.

Статична модель діода Шоткі описується трьома модельними параметрами  $P_d = (I_s, n, R_d)$ , де  $I_s$  - струм насичення;  $n$  - коефіцієнт ідеальності;  $R_d$  - омичний опір діода. Ідентифікація модельних параметрів полягає в обчисленні такого набору  $P_d^* = (I_s^*, n^*, R_d^*)$ , для якого

$$\varepsilon_d(P_d^*) = \min_{I_s, n, R_d} \varepsilon_d(P_d),$$

де  $\varepsilon_d(P_d)$  - функція похибки апроксимації.

Для скорочення розмірності задачі мінімізації з трьох до одного параметра  $I_s$  була виконана часткова лінеаризація математичної моделі діода Шоткі. Після лінеаризації методом множинної лінійної регресії знайдені такі функції  $n^* = n^*(I_s)$  та  $R_d^* = R_d^*(I_s)$ , що

$$\varepsilon_d(P_d^*) = \min_{I_s} \varepsilon_d \tilde{\sim}(I_s) = \min_{I_s} \varepsilon_d(I_s, n^*(I_s), R_d^*(I_s)).$$

Струм відкритого діода для більшості точок вольт-амперної характеристики звичайно значно більше струму насичення ( $I_d \gg I_s$ ). Для визначення початкового наближення  $I_s^{(0)}$  до точки мінімуму функції  $\varepsilon_d \tilde{\sim}(I_s)$  припустимо, що  $I_d \gg I_s$  для всіх точок вольт-амперної характеристики. Тоді значення  $I_s^{(0)}$  можна визначити методом множинної лінійної регресії, тобто аналітично, шляхом розв'язання системи лінійних алгебраїчних рівнянь.

Ідентифікація статичних модельних параметрів GaAs ПТШ проводиться методом поетапної ідентифікації. На першому етапі визначаються параметри ідеальних діодів Шоткі і омичних опорів транзистора, а в другому обчислюються значення модельних параметрів джерела струму стоку еквівалентної схеми GaAs ПТШ.

Джерело струму стоку для моделі Куртіса та моделі фірми Raytheon описується такими наборами модельних параметрів:  $P_{Ids}^{(C)} = (\beta, V_t, \lambda, \alpha)$ ,  $P_{Ids}^{(R)} = (\beta, V_t, b, \lambda, \alpha)$ , де  $b$  - коефіцієнт пропорційності,  $V_t$  - порогова напруга,  $\lambda$  - коефіцієнт модуляції довжини каналу,  $\alpha$  - параметр, що визначає напругу

насичення струму стоку,  $b$  - параметр легування. Особливістю цих моделей є можливість їх часткової лінеаризації шляхом представлення струму стоку у вигляді

$$I_{ds}^{(C)} = \lambda A^{(C)}(V_t, \alpha) + \gamma B^{(C)}(V_t, \alpha),$$

$$I_{ds}^{(R)} = \lambda A^{(R)}(V_t, \alpha) + \gamma B^{(R)}(V_t, b, \alpha),$$

де  $x = \beta$ ,  $y = \lambda \beta$ . Це дає можливість методом множинної лінійної регресії знайти такі функції  $\beta^{*(C)} = \beta^{*(C)}(V_t, \alpha)$ ,  $\lambda^{*(C)} = \lambda^{*(C)}(V_t, \alpha)$ ,  $\beta^{*(R)} = \beta^{*(R)}(V_t, b, \alpha)$ ,  $\lambda^{*(R)} = \lambda^{*(R)}(V_t, b, \alpha)$ , які дозволяють скоротити розмірність задачі мінімізації на два модельних параметри ( $\lambda$  і  $\beta$ ):

$$\min_{\beta, V_t, \lambda, \alpha} \epsilon_{I_{ds}^{(C)}}(P_{I_{ds}^{(C)}}) = \min_{V_t, \alpha} \epsilon_{I_{ds}^{(C)}}(V_t, \alpha, \beta^{*(C)}, \lambda^{*(C)}),$$

$$\min_{\beta, V_t, b, \lambda, \alpha} \epsilon_{I_{ds}^{(R)}}(P_{I_{ds}^{(R)}}) = \min_{V_t, b, \alpha} \epsilon_{I_{ds}^{(R)}}(V_t, b, \alpha, \beta^{*(R)}, \lambda^{*(R)}).$$

Для багатовимірної безумовної мінімізації при ідентифікації модельних параметрів джерела струму стоку GaAs ПТШ запропоновані метод та алгоритм модифікованого блукаючого випадкового спуску. Оригінальний метод безумовної мінімізації був розроблений для підвищення ефективності пошуку мінімуму сильно нелінійних функцій похибки апроксимації. Модифікація методу блукаючого випадкового спуску полягає в адаптації області пошуку мінімуму  $\Omega_i$  (де  $i$  - номер кроку мінімізації) до форми цільової функції  $\epsilon_0(P)$ . При русі в напрямку спаду  $\epsilon_0(P)$  за результатами  $i$ -і кроку мінімізації змінюється форма області  $\Omega_i$  з збереженням її об'єму. При зупинці та "зависанні" в деякій області  $\Omega_i$  відбувається автоматичне зменшення об'єму області  $\Omega_i$  з збереженням її форми.

У четвертій главі розглянуті методи підвищення вірогідності, точності та швидкодії оцінки виходу придатних перетворювачів на структурному рівні проектування GaAs НШС ЦАП.

Для підвищення вірогідності статистичного моделювання розроблена система статистичних тестів  $T$ , яка дозволяє з деякою довірчою імовірністю  $\epsilon$  перевірити гіпотезу про нормальність та незалежність елементів вектора  $H = (n_1, n_2, \dots, n_k)$  у виборці  $(H_1, H_2, \dots, H_n)$ , отриманій за допомогою генератора псевдовипадкових чисел  $\Gamma$  з параметрами ініціалізації  $x_0$ :

$$T : (\Gamma(x_0), \epsilon, k, n) \rightarrow R,$$

де  $R$  - результат тестування,  $k$  - довжина вектора  $H$ ,  $n$  - кількість реалізацій вектора  $H$  (об'єм виборки).

Довжина вектора  $\mathbf{H}$ , яка дорівнює кількості джерел струму GaAs НШІС ЦАП, може бути досить великою ( $k=255$  для 8-розрядного ЦАП одиничної структури), що не дозволяє застосувати простий тест типу  $\chi^2$ . За допомогою теста 1 проводиться перевірка гіпотези про нормальний закон розподілення елементів вектора  $\mathbf{H}$  на основі модифікованого критерію угоди  $\chi^2$ . Тест 2 виконує перевірку гіпотези про рівність математичного сподівання та дисперсії елементів вектору  $\mathbf{H}$  заданим значенням ( $M=0, \sigma^2=1$ ). За допомогою теста 3 виконується перевірка рівності нулю коефіцієнтів кореляції елементів вектора  $\mathbf{H}$ .

Велика кількість генераторів створює проблему їх перевірки за допомогою описаних вище тестів. Скоротити кількість генераторів, що перевіряються, можна, якщо для їх побудови використовувати тільки оптимальні перетворювачі рівномірно розподілених псевдовипадкових чисел у нормально розподілені. У результаті вивчення десяти перетворювачів оптимальними за точністю та швидкістю при реалізації на ПЕОМ визнані перетворювачі, побудовані на основі методу полярних координат.

Для підвищення точності оцінки виходу придатних GaAs НШІС ЦАП розроблені методика та алгоритм визначення похибки  $\Delta$  оцінки виходу придатних перетворювачів  $\Psi$  при будь-якому числі статистичних випробувань  $n$ , а також за умови, коли вихід придатних  $\Psi$  близький до нуля або одиниці. В основу цієї методики покладений принцип апроксимації біноміального закону розподілення кількості придатних перетворювачів  $m = \Psi n$  нормальним розподіленням та розподіленням Пуассона.

Вся область визначення  $n$  у  $\Psi$  ділиться на три підобласті. Введемо змінну  $s$  ( $s = n \Psi (1 - \Psi)$ ) та константи розбиття областей  $s$  і  $n_c$ . Тоді для обчислення  $\Delta$  при  $s \leq c$  і  $n < n_c$  використовується біноміальне розподілення; при  $s > c$  - нормальне; а при  $s \leq c$  та  $n \geq n_c$  - розподілення Пуассона. Константи  $s$  і  $n_c$  для нормованих значень відносної похибки апроксимації  $\delta_c$  та довірчої імовірності  $\epsilon=0.95$  обчислені та наведені у таблиці.

Для підвищення швидкості алгоритму оцінки виходу придатних перетворювачів на базі запропонованої методики визначення похибки  $\Delta$  розроблені методика та алгоритм послідовного аналізу цієї похибки в процесі статистичного моделювання. Показано, що при послідовному аналізі в середньому потрібно

в 1.5 рази менше випробувань, ніж при статистичному моделюванні з фіксованим числом випробувань, заданим з рорахунком на найгірший випадок ( $\Psi=0.5$ ).

Таблиця

$\delta_c$	0.15	0.1	0.05
c	4	8	37
$n_c$	38	85	560

У п'ятій главі розглянута практична реалізація проблемно-орієнтованого комплексу на базі IBM PC AT сумісної ПЕОМ для автоматизації проектування GaAs НШІС ЦАП. Запропонована структура проблемно-орієнтованого комплексу та методика проектування перетворювачів за допомогою його апаратних та програмних засобів.

Проблемно-орієнтований комплекс включає в себе стандартну систему схемотехнічного моделювання на базі програми PSpice системи "The Design Center" фірми MicroSim, а також спеціально розроблені компоненти, такі, як аналізатор параметрів GaAs елементів та комплекс програм статистичного моделювання структур GaAs НШІС ЦАП.

Проектування перетворювача починають з вимірювання і ідентифікації статичних модельних параметрів експериментальних зразків GaAs ПТШ та діодів Шоткі за допомогою аналізатора параметрів GaAs елементів. Потім за допомогою системи схемотехнічного моделювання моделюють джерела струму ЦАП та визначають варіацію їх вихідного струму. Варіація вихідного струму джерел струму ЦАП є вхідною інформацією для комплексу програм статистичного моделювання структур перетворювачів. За допомогою цих програм розробник GaAs НШІС ЦАП моделює різні струмові структури перетворювачів та обирає оптимальну структуру за статичною інтегральною та диференціальною нелінійністю. На базі цієї структури здійснюється синтез принципової електричної схеми перетворювача та визначаються його основні електричні параметри.

Аналізатор параметрів GaAs елементів являє собою спеціалізований цифровий характеристикограф на базі ПЕОМ. Апарат-

но-програмні засоби аналізатора дозволяють вимірювати, досліджувати та накопичувати у базі даних статичні та динамічні низькочастотні вольт-амперні характеристики GaAs ПТШ та діодів Шоткі, а також ідентифікувати їх статичні модельні параметри для системи схемотехнічного моделювання PSpice. Вимірювання вольт-амперних характеристик здійснюється за допомогою вимірювального пристрою, який виконаний у вигляді окремого приладу, повністю керованого від ПЕОМ через швидкодіючу інтерфейсну шину. Ця шина підключається до системної шини ISA через плату спряження з ПЕОМ.

Комплекс програм статистичного моделювання структур НШІС ЦАП призначений для визначення виходу придатних інтегральних схем перетворювачів за статичною інтегральною та диференціальною нелінійністю. Для підвищення вірогідності моделювання в комплекс включені програми статистичного тестування генераторів псевдовипадкових чисел. Для підвищення точності та швидкодії програма статистичного моделювання структур GaAs НШІС ЦАП автоматично визначає похибку оцінки виходу придатних перетворювачів та може проводити послідовний аналіз похибки моделювання.

У додатках наведені: матеріали, що ілюструють роботу апаратних та програмних засобів проблемно-орієнтованого комплексу, та документи, що підтверджують впровадження результатів дисертаційної роботи.

#### ВИСНОВКИ

Головним результатом дисертаційної роботи є комплексне рішення задачі автоматизації проектування GaAs НШІС ЦАП за допомогою створення проблемно-орієнтованого комплексу на базі IBM PC AT сумісної ПЕОМ, який включає у себе стандартну систему схемотехнічного моделювання, а також спеціально розроблені апаратні та програмні компоненти, такі, як аналізатор параметрів GaAs елементів та комплекс програм статистичного моделювання структур GaAs НШІС ЦАП.

При розробці проблемно-орієнтованого комплексу були одержані такі основні результати:

1. Запропонована, та науково обґрунтована концепція інтеграції засобів автоматизації дослідження елементної бази

GaAs інтегральних схем та систем схемотехнічного та структурного моделювання GaAs НШІС ЦАП у вигляді проблемно-орієнтованого комплексу на базі ПЕОМ. Запропонована структура проблемно-орієнтованого комплексу та методика проектування перетворювачів за допомогою його апаратних та програмних засобів.

2. Запропонована архітектура засобів спряження проблемно-орієнтованого комплексу на базі ПЕОМ для автоматизації вимірювання електричних параметрів GaAs елементів. Архітектура охоплює апаратні та програмні засоби спряження і складається з п'яти ієрархічних рівнів (сигнальний, шинний, командний, внутрішній інтерфейсний та зовнішній інтерфейсний).

3. На основі аналізу швидкості обміну інформацією по системній шині ПЕОМ сформульовані вимоги до розміру ОЗП вимірювального пристрою та до способу організації взаємодії з цим ОЗП базової ПЕОМ проблемно-орієнтованого комплексу.

4. Запропоновані методика і алгоритм ідентифікації статичних модельних параметрів діода Шоткі, які базуються на частковій лінеаризації його математичної моделі і аналітичному обчисленні координат точки початкового наближення. Лінеаризація математичної моделі діода Шоткі дозволяє замінити тривимірну мінімізацію при визначенні модельних параметрів на одномірну.

5. Запропоновані методика і алгоритм ідентифікації модельних параметрів джерела струму стоку GaAs ПТШ для моделі Куртіса та моделі фірми Raytheon, які засновані на частковій лінеаризації математичних моделей та застосуванні оригінального статистичного методу і алгоритму багатовимірної безумовної мінімізації. Лінеаризація математичних моделей дозволяє скоротити кількість модельних параметрів, що визначаються шляхом процедури багатовимірної мінімізації, з 4 до 2 для моделі Куртіса та з 5 до 3 для моделі фірми Raytheon.

6. Для підвищення вірогідності алгоритмів статистичного моделювання розроблена система статистичних тестів, яка дозволяє перевірити статистичні властивості генераторів псевдовипадкових чисел перед їх використанням при статистичному моделюванні структур GaAs НШІС ЦАП.

7. Показано, що при реалізації на ПЕОМ оптимальними за точністю та швидкістю є перетворювачі рівномірно розподіле-

них псевдовипадкових чисел у нормально розподілені, які побудовані на основі методу полярних координат.

8. Для підвищення точності та швидкодії алгоритмів статистичного моделювання розроблені методика і алгоритм визначення похибки оцінки виходу придатних перетворювачів, а також методика і алгоритм послідовного аналізу цієї похибки.

9. Показано, що при послідовному аналізі похибки оцінки виходу придатних перетворювачів у середньому потрібно в 1.5 рази менше випробувань, ніж при статистичному моделюванні з фіксованим числом випробувань.

10. Розроблені структурні схеми апаратних та програмних засобів аналізатора параметрів GaAs елементів. Розроблена структурна схема комплексу програм статистичного моделювання структур GaAs НШІС ЦАП. Виконана інтеграція аналізатора параметрів GaAs елементів, стандартної системи схемотехнічного моделювання (на базі програми PSpice) і комплексу програм статистичного моделювання структур GaAs НШІС ЦАП у вигляді проблемно-орієнтованого комплексу на базі ПЕОМ.

Основні результати дисертації відображені в таких роботах:

1. Вогуш А.О., Грешищев Ю.М. Оценка методов формирования нормально распределенных псевдослучайных чисел для систем моделирования алгоритмов обработки сигналов на ПЭВМ IBM PC AT // Алгоритмы и технические средства обработки сигналов. - Киев: Ин-т кибернетики им. В.М.Глушкова АН Украины, 1992. - С.68-74.

2. Вогуш А.О. Исследование генераторов псевдослучайных чисел для моделирования элементов и узлов проблемно-ориентированных комп. эксов // Проблемно-ориентированные комплексы для автоматизации, контроля и управления. - Киев: Ин-т кибернетики им. В.М.Глушкова АН Украины, 1993. - С.50-55.

3. Вогуш А.О., Грешищев Ю.М. Особенности технической реализации ПОК для измерения низкочастотных параметров элементной базы арсенид-галлиевых ПМД // Проблемно-ориентированные комплексы для автоматизации, контроля и управления. - Киев: Ин-т кибернетики им. В.М.Глушкова АН Украины, 1993. - С.72-77.

4. Вогуш А.О. Программное обеспечение анализатора пара-

метров элементов электронных схем для мониторинговых систем // Технические и программные средства систем экологического мониторинга. - Киев: Ин-т кибернетики им. В.М.Глушкова НАН Украины, 1994. - С.64-68.

5. Богущ А.О. Проблемно-ориентированный комплекс для автоматизации проектирования ПФИ на основе арсенид-галлиевой технологии // Микропроцессорные системы и персональные ЭВМ. - Киев: Ин-т кибернетики им. В.М.Глушкова НАН Украины, 1994. - С.58-62.

6. Богущ А.О. Определение погрешности оценки вероятности случайного события при статистическом моделировании // Кибернетика и системный анализ. - 1994. - N 2. - С. 30-44.

7. Богущ А.О. Архитектура средств сопряжения измерительно-вычислительных комплексов на базе ПЭВМ // УСИМ. - 1995. - N 1-2. - С. 70-77.

8. Грешицев Ю.М., Богущ А.О., Имамутдинова Р.И. Программно-аппаратные средства исследования низкочастотных параметров элементной базы арсенид-галлиевых ПФИ // Тез. докл. 7-го симп. "Проблемы создания преобразователей формы информации" (Киев, 1992). - Киев: Ин-т кибернетики им. В.М.Глушкова АН Украины, 1992. - С. 108-109.

9. Богущ А.О., Грешицев Ю.М. EXFET - оптимизирующий экстрактор статических параметров SPICE модели ПТШ для схемотехнического моделирования ПФИ // Тез. докл. 7-го симп. "Проблемы создания преобразователей формы информации" (Киев, 1992). - Киев: Ин-т кибернетики им. В.М.Глушкова АН Украины, 1992. - С. 110-111.

10. Богущ А.О. Один метод сокращения числа статистических испытаний при моделировании выхода годных ЦАП // Тез. докл. 7-го симп. "Проблемы создания преобразователей формы информации" (Киев, 1992). - Киев: Ин-т кибернетики им. В.М.Глушкова АН Украины, 1992. - С. 127.

Особистий творчий внесок автора у спільних роботах такий: у роботі [1] автором запропонований та реалізований метод оцінки перетворювачів псевдовипадкових чисел за критеріями точності та швидкодії; у роботі [3] автором запропонована структурна схема інтерфейсної, керуючої та запам'ятовуючої частин вимірювального пристрою для дослідження GaAs еле-

ментів, а також розкриті особливості їх технічної реалізації і програмного управління; у роботі [8] автором виконана розробка структурних схем інтерфейсної, керуючої та запам'ятовуючої частин вимірювального пристрою, а також розроблена концепція і структура системного та прикладного програмного забезпечення, за винятком графічного інтерфейсу користувача; у роботі [9] автором розроблена і реалізована методика ідентифікації статичних модельних параметрів GaAs ППШ та діодів Шоткі для систем схемотехнічного моделювання сімейства SPICE.

Bogush A.O. The Development and Technical Realization of a Problem Oriented Complex for GaAs DAC's Design Automation. The dissertation submitted to earn a Candidate of Engineering Sciences Degree on the specialty of 05.13.08 - Computers, Systems and Networks, Elements and Devices of Computers and Control Systems, The V.M.Glushkov Institute of Cybernetics Ukrainian National Academy of Sciences, Kiev, 1995.

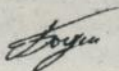
The 10 scientific papers reflecting theoretical researches and practical results received during development and technical realization of specialized hardware and software for GaAs DAC's design automation are defended. The integration conception of GaAs integrated circuits basis elements research facilities and systems for circuit and structure superhigh-speed integrated circuits modeling into a personal computer based problem oriented complex was offered and was scientifically reasoned. The problem oriented complex was applied in industry.

Богущ А.О. Разработка и техническая реализация проблемно-ориентированного комплекса автоматизации проектирования арсенид-галлиевых ЦАП. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.08 - вычислительные машины, системы и сети, элементы и устройства вычислительной техники и систем управления, Институт кибернетики им.В.М.Глушкова НАН Украины, Киев, 1995.

Защищаются 10 научных работ, которые отражают теоретические исследования и практические результаты, полученные

при разработке и технической реализации специализированных аппаратных и программных средств автоматизации проектирования арсенид-галлиевых ЦАП. Предложена и научно обоснована концепция интеграции средств автоматизации исследования элементной базы арсенид-галлиевых интегральных схем и систем схемотехнического и структурного моделирования сверхскоростных интегральных схем ЦАП в виде проблемно-ориентированного комплекса на базе ПЭВМ. Осуществлено промышленное внедрение проблемно-ориентированного комплекса.

Ключові слова: цифроаналогові перетворювачі, арсенид-галію, проблемно-орієнтовані комплекси.



ЛНБ ім. В. Стефаника  
АН України

Підп. до друку 16.10.95. Формат 60×84/16. Папір для розмнож. апар.  
Офс. друк. Ум. друк. арк. 0,93. Ум. фарбо-відб. 1,05. Обл.-вид. арк. 0,66.  
Тираж 100 прим. Зам. 779.

---

Редакційно-видавничий відділ з поліграфічною дільницею  
Інституту кібернетики імені В. М. Глушкова НАН України  
252022 Київ 22, проспект Академіка Глушкова, 40

AB 33.243