

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЛЬВІВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»

На правах рукопису

УДК 621.372.061

ФЕДОРЧУК Євдоким Никифорович

**ЧИСЕЛЬНО-СИМВОЛЬНІ МЕТОДИ І АЛГОРИТМИ
ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ ІНТЕГРАЛЬНИХ СХЕМ**

Спеціальність 05.13.02 — математичне моделювання
в наукових дослідженнях

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

ЛЬВІВ 1997



00752407 (P)

Дисертацією є рукопис

Робота виконана на кафедрі програмного забезпечення

Державного університету "Львівська політехніка"

Науковий керівник - доктор технічних наук,

професор Максимович М. Г.

Науковий консультант - доктор технічних наук,

професор Базилевич Р. П.

Офіційні опоненти:

1. Доктор технічних наук, с. н. с. Бунь Р. А.

2. Доктор фізико-математичних наук Буджак Я. С.

Провідна організація - Фізико-механічний інститут НАН України (м. Львів)

Захист відбудеться 26.06 1997р. о 14⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої ради Д 04.06.21 у Державному університеті "Львівська політехніка" (290646, Львів-13, вул. С. Бандери, 12, ауд. 225 Головного корпусу).

Відгуки на автореферат у двох примірниках, завірені печаткою, просимо надсилати на адресу:

290646, Львів-13, вул. С. Бандери, 12

Державний університет "Львівська політехніка"

вченому секретарю ради Д 04.06.21 доценту Мельнику Р. А.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Державного університету "Львівська політехніка" (м. Львів, вул. Професорська, 1).

Автореферат розісланий 23.05 1997р.

Вчений секретар спеціалізованої

вченої ради, к. т. н., доцент

Мельник Р. А.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Комп'ютерне моделювання на основі математичних моделей є вагомим альтернативним для трудомістких і дорогих експериментальних робіт з розроблення і дослідження елементів твердотілої електроніки - напівпровідникових інтегральних схем (ІС). Постійний і швидкий розвиток інтегральних технологій породжує змінні вимоги до комп'ютерних систем моделювання. Процес розвитку моделей і програмного забезпечення йде значно повільніше. Він обмежений експериментальною базою, яка недоступна, поки нова технологія або структура інтегральної схеми не стане надійною. Тому створення ефективних математичних та програмних засобів є важливою проблемою підвищення ролі комп'ютерного моделювання в області твердотілої електроніки.

Актуальними задачами комп'ютерного моделювання електричних характеристик ІС, які розв'язуються з допомогою методів моделювання електронних схем, чисельних методів і методів дослідження операцій, є:

- побудова математичних моделей (ММ) ІС;
- варіантний аналіз для трьох режимів роботи ІС: статичного, динамічного, в частотній області;
- аналіз чутливості характеристик ІС;
- параметрична оптимізація режимів базових елементів ІС.

Незважаючи на значний досвід та наявність комп'ютерних систем для розв'язування вище означених задач, існує широке коло питань, пов'язаних з підвищенням ефективності математичних та програмних засобів комп'ютерного моделювання ІС.

Для математичного забезпечення важливим є питання підви-

щення точності та швидкодії алгоритмів, які реалізують обчислювальні процеси варіантного аналізу та параметричної оптимізації ІС. При розробленні цих алгоритмів в першу чергу приділяють увагу алгоритмам побудови математичної моделі ІС, оскільки ця модель є об'єктом для чисельних експериментів.

На даний час в комп'ютерних системах моделювання ІС застосовують два основні підходи при побудові ММ. Перший підхід пов'язаний із побудовою для моделі загального виду $f(dx/dt, x, t) = 0$ дискретизованої та лінеаризованої системи рівнянь для моделювання статичних та динамічних режимів. Особливістю підходу є жорстка прив'язка до формул чисельних методів, наявність в структурі рівнянь великої кількості змінних коефіцієнтів. Це вимагає складних операцій контролю і значних обчислень з використанням векторних структур даних.

Другий підхід ґрунтується на первинній побудові ММ у формі нормальної системи рівнянь $dx/dt = f(x, t)$. Для моделювання на її основі динаміки та статички ІС використовують чисельні методи аналізу. Даний підхід відзначається складністю початкових операцій побудови матрично-векторної структури даних ММ. Однак, кінцева форма рівнянь ММ відзначається мінімальними розмірами, універсальністю для різних видів аналізу.

Порівняння ММ для обох підходів по вимірності та швидкодії обчислень, проведене на основі літературних даних, показує приблизно однакові результати. В рамках обох підходів мало дослідженими є питання побудови ММ із записом рівнянь у формі символьних виразів із кодованими операціями та операндами. Така чисельно-символьна форма рівнянь моделі дозволяє

підвищити швидкодію і точність комп'ютерного моделювання за рахунок слідуючих факторів:

- обчислення рівнянь ММ на основі виразів з прямою адресацією коефіцієнтів та базових змінних;

- можливість побудови моделі похідних - точних символічних виразів для обчислення похідних по коефіцієнтах та базових змінних в рівняннях ММ;

- застосування методу генерації програм для обчислення символічних виразів вихідної ММ та моделі похідних дозволяє отримати лінійну програму в машинних кодах, яка забезпечує максимальну швидкодію обчислень рівнянь.

Дуже важливим для підвищення швидкості розв'язання задач оптимізації є питання зменшення часових затрат на варіантний аналіз. Одним із головних підходів при вирішенні цього питання є вдосконалення відомих і створення нових алгоритмів. В останній час інтенсивно розвивається новий підхід. Особливістю якого є адаптивний вибір параметрів алгоритмів розв'язування рівнянь моделі на основі врахування структурних і динамічних властивостей математичної моделі. При цьому мало вивченими є питання впливу таких параметрів числових алгоритмів аналізу статички і динаміки, як похибка розрахунку і вибір початкових наближень розв'язків, рівнянь моделі на швидкість та стійкість пошуку оптимальних рішень методами оптимізації.

Для програмних засобів моделювання ІС важливим є питання розроблення мов та компіляторів для символічних та графічних описів об'єкту моделювання, що забезпечують побудову ефективних та уніфікованих структур даних для алгоритмів моделювання.

Таким чином, питання розроблення математичних і програмних засобів для комп'ютерних систем моделювання ІС є актуальними і їх вивчення має практичне і теоретичне значення.

Метою даної роботи є розроблення методів, алгоритмів та програмних засобів для прискореного моделювання електричних характеристик ІС. Для досягнення поставленої мети вирішуються наступні задачі:

- дослідження методів побудови математичних моделей інтегральних схем і розроблення алгоритму побудови символічної математичної моделі і символічної моделі похідних ;
- дослідження структурних і динамічних властивостей математичних моделей ІС в задачах параметричної оптимізації;
- дослідження методів аналізу статичних і динамічних режимів і розроблення алгоритмів прискореного аналізу цих режимів при розв'язуванні задач оптимізації;
- розроблення програмних засобів , проведення чисельних експериментів і порівняння результатів.

Методи досліджень. При розв'язанні поставлених задач використовувались методи системного аналізу, моделювання електронних схем, чисельні методи розв'язування систем нелінійних та диференціальних рівнянь, чисельні методи оптимізації.

Наукова новизна отриманих в дисертації результатів полягає в наступному:

- запропонований компіляторний метод побудови ММ в комбінованій системі вузлових напруг та змінних стану;
- на основі компіляторного методу розроблені алгоритми:
- формування алгебро-диференціальних рівнянь ММ у вигляді символічних бездужкових виразів - польських записів;
- побудови символічної моделі похідних на основі сим-

вольного диференціювання рівнянь вихідної моделі:

- запропонований критерій динамічного керування похибкою обчислень цільової функції в задачах оптимізації статичних режимів інтегральних схем;

- розроблений алгоритм вибору початкових умов для прискореного інтегрування чисельними методами диференціальних рівнянь ММ в задачах оптимізації динамічних режимів інтегральних схем;

Наукові положення, що вносяться на захист.

1. Математична модель електричної схеми для інтегральних елементів в комбінованій системі вузлових напруг та змінних стану;

2. Компіляторна методика і алгоритми побудови рівнянь ММ і рівнянь моделі похідних у символьній формі;

3. Методика керування обчислювальними процесами розв'язування систем нелінійних та диференціальних рівнянь ММ на основі врахування структурних та динамічних особливостей задач оптимізації статичних та динамічних режимів ІС.

4. Алгоритми прискореного розв'язування систем рівнянь ММ для задач параметричної оптимізації статичних та динамічних режимів.

5. Програмне забезпечення системи моделювання ІС.

6. Результати оптимізації електричних характеристик ІС.

Практична цінність роботи. Проведені дослідження дозволили отримати наступні практичні результати:

- запропонована ММ в системі вузлових напруг і змінних стану із чисельно-символьною формою представлення рівнянь моделі суттєво знизила часові затрати на варіантний аналіз моделі;

- модель похідних підвищила швидкість обчислень та надійність чисельних методів розв'язування рівнянь моделі і градієнтних методів пошуку екстремуму;

- розроблені алгоритми аналізу і оптимізації реалізовані програмно в комп'ютерній системі моделювання інтегральних схем, яка забезпечує можливості:

- проводити багатофункціональний та багаторівневий опис об'єкту моделювання із використанням бібліотеки типових моделей базових елементів ІС;

- проводити три види варіантного аналізу - статичний, динамічний, частотний, із одночасним обчисленням коефіцієнтів чутливості, для ІС середнього ступеня інтеграції;

- виконувати прискорене розв'язування задач оптимізації для статичного та динамічного аналізу;

- будувати ММ - тести елементів ІС у вигляді систем алгебро-диференціальних рівнянь в символній формі.

Реалізовані в роботі методики і алгоритми моделювання інтегральних схем можуть бути використані при розробці методів оптимального схемотехнічного проектування елементів інтегральної техніки.

Реалізація та впровадження результатів роботи.

Наукові дослідження, закладені в дану дисертаційну роботу, виконувались у руслі наукових досліджень кафедри програмного забезпечення Держуніверситету "Львівська політехніка", і проводилися дисертантом за період 1991-1996рр. в ході виконання наступних держбюджетних та госпдоговірних науково-дослідних робіт: - "Україномовні навчальні комп'ютерні системи" (ДБ.84.УК, номер державної реєстрації 0193U040389. Замовник: Міністерство освіти України, 1992 - 1995 р. р.); -

"Українізація комп'ютерів" (ДК/84 , номер державної реєстрації 0193U040325. Замовник: Міністерство освіти України, 1992-1996р. р.)

Результати роботи впроваджені в навчальний процес при підготовці інженерів спеціальності "Програмне забезпечення обчислювальної техніки і автоматизованих систем". Розроблено пакет прикладних програм (ППП) для теоретичних та експериментальних досліджень методів аналізу статичних та динамічних режимів, параметричної оптимізації інтегральних схем середнього ступеня інтеграції. PPP використовується студентами при написанні курсових та дипломних проектів.

Апробація роботи. Результати роботи доповідались і обговорювались на:

- республіканському семінарі по комплексній проблемі "Теоретическая электротехника, электроника и моделирование", Київ, 1980р.

- республіканській науково-технічній конференції "Моделирование и идентификация компонентов и узлов электронной техники", Київ, 1982р.

- 45 -ій республіканській науковій конференції ЛГУ ім. Стучки, Рига, 1987р;

- республіканському семінарі "Методы автоматизированного проектирования РЗА и ЭВА", Київ, 1985р;

- 9 - ій школі- семінарі по теоретичній електротехніці, електроніці і моделюванню, Львів- Шацьк, 1987р;

- 2 - ій міжнародній конференції "Проблеми українізації комп'ютерів", Львів - 1992р.

Публікації по роботі. По матеріалах дисертації опубліковано 14 робіт.

Конкретний особистий внесок дисертанта в одержанні наукових результатів

Дисертант розробив компіляторну методику для побудови ММ електричної схеми в комбінованій базі змінних - вузлових напруг та змінних стану. Розробив алгоритми: формування рівнянь моделі 1 моделі похідних в символній формі; алгоритми прискореного аналізу при оптимізації статичних і динамічних режимів ІС; програмне забезпечення комп'ютерної системи моделювання ІС. Підготував самостійно 6 публікацій. Висновки і положення винесені на захист, належать автору.

Об'єм і структура роботи. Дисертація складається з ВСТУПУ, чотирьох розділів, ВИСНОВКІВ, списку використаної літератури (105 найменувань), ДОДАТКУ. Основний зміст роботи викладений на 130 сторінках машинописного тексту, ілюстрований 17 малюнками, містить 12 таблиць.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі до дисертаційної роботи обґрунтована актуальність проблеми, мета і основні задачі дослідження, сформульовані нові наукові результати та наукові положення, які виносяться на захист, вказані практична вагомість та реалізація результатів проведених досліджень.

В першому розділі виконано аналіз методів побудови ММ ІС для аналізу статичних та динамічних режимів. Відзначено, що ММ ІС із врахуванням еквівалентних схем сучасної елементної бази - біполярних та польових транзисторів включають переважно рівняння нелінійних RC- елементів, джерел струму та напруги. Такі моделі широко застосовують в двох основних підходах комп'ютерного моделювання ІС. Перший підхід пов'язаний з побудовою для загальної моделі виду $f(dx/dt, x, t) = 0$

дискретизованої та лінеаризованої системи рівнянь для моделювання статичних та динамічних режимів ІС.

Другий підхід ґрунтується на первинній побудові ММ форми нормальної системи рівнянь $dx/dt = f(x, t)$ Для моделювання на її основі динаміки та статички ІС використовують чисельні методи аналізу.

Порівняння ММ для обох підходів по розмірності та швидкодії обчислень, проведене на основі літературних даних, показує приблизно однакові результати. В рамках другого підходу мало дослідженими є питання побудови ММ із записом рівнянь у формі символьних виразів із кодованими операціями та операндами. Для методу змінних стану запропонований компіляторний підхід побудови рівнянь ММ у формі символьних виразів. Для вихідної символьної ММ запропонована методика побудови символьної моделі похідних.

Розглянуто характеристики чисельних методів для аналізу динамічних та статичних режимів ММ ІС та чисельних методів оптимізації. На основі таких характеристик як стійкість, точність і швидкодія, для розв'язування систем диференціальних рівнянь вибрано метод Гіра 2-го порядку із змінним кроком та реалізацією на основі алгоритму Шіхмана. Для розв'язування систем нелінійних рівнянь при аналізі статичних режимів вибрано модифікований метод Ньютонa із регульованим кроком.

Розглянуто методи розв'язування задач параметричної оптимізації режимів ІС. Враховуючи складність задач оптимізації ІС і можливість побудови символьної моделі похідних, для їх розв'язування запропоновано вибір групи методів, до якої включені методи нульового порядку і другого порядку.

В другому розділі розглянуті питання розроблення алгоритму побудови ММ в комбінованій базі змінних- вузлових напруг та змінних стану. На відміну від класичного способу аналізу повного дерева схеми, що застосовується в методі змінних стану, в роботі запропонована декомпозиція задачі аналізу топології схеми. Суть декомпозиції полягає у формальному виділенні в структурі схеми окремих підсхем, для яких будуть частинні дерева, які є складовими нормального дерева.

Для розширеної системи базових змінних ММ записується у вигляді системи алгебро-диференціальних рівнянь

$$M1 \cdot U_p = +M2 \cdot U_c + M3 \cdot E + M4 \cdot I_1 + M5 \cdot J ; \quad (1)$$

$$M6 \cdot dU_c / dt = M7 \cdot U_c + M8 \cdot E + M9 \cdot I_1 + M10 \cdot J + M11 \cdot U_p ; \quad (2)$$

$$M12 \cdot dI_1 / dt = M13 \cdot U_c + M14 \cdot E + M15 \cdot U_p . \quad (3)$$

де U_p - вектор вузлових напруг підсхеми, яка містить ЕС-гілки нормального дерева та окремі ізольовані вузли. U_c - вектор напруг на конденсаторах гілок дерева; I_1 - вектор струмів в індуктивних хордах дерева; $M1-M15$ - матриці коефіцієнтів. В результаті застосування декомпозиції і компіляторних операцій для побудови ММ формують лише матриці $M1$, $M6$, $M12$, а праві частини рівнянь ММ записують у вигляді бездужкових польських записів. В аналогічній формі представляють і компонентні рівняння нелінійних керованих ЕЈ- елементів на етапі компіляції опису схеми.

Система рівнянь (1) - (3) доповнюється рівняннями для вихідних змінних z - струмів та напруг для заданих елементів схеми. В загальному випадку ММ схеми записується у вигляді

$$y = g(x, v(t)); \quad dx/dt = f(y, x, v(t)), \quad \circ$$

де y - вектор вузлових напруг; x - вектор змінних стану, напруг на конденсаторах та струмів в індуктивностях; v - вектор

незалежних джерел струму та напруги. Для прийнятої системи базових змінних є можливим виключення обмежень на топологію схеми у вигляді C- контурів та L- розрізів. На основі декомпозиції запропонована компіляторна методика побудови рівнянь підсистем (1)-(3) в розгорнутій формі. Методика включає:

- логічні операції аналізу топологічних елементів;
- визначення структури коефіцієнтів і належних їм типів змінних для окремого рівняння ;
- символічне кодування виразів для обчислення коефіцієнтів, виразів лівої та правої частини окремого рівняння і представлення цих виразів у формі бездужкових польських записів.

Для побудови моделі похідних розроблені операції символічного диференціювання вихідних символічних рівнянь ММ. Формальне послідовне диференціювання символічних рівнянь ММ по базових змінних та параметрах схеми дозволяє побудувати символічну модель похідних.

В третьому розділі розглянуто методику прискореного розв'язування рівнянь ММ при статичному і динамічному аналізі в задачах оптимізації режимів ІС. Для статичного аналізу вихідна модель записується у вигляді $y=g(x,p); f(x,y,p)=0$, де p - вектор параметрів оптимізації. Розглядається коло однокритеріальних задач: приведення до заданого рівня вихідних напруг або струмів ІС, покращення стабільності вихідної напруги інтегральних стабілізаторів. Для цих задач відзначено особливість алгоритмічного обчислення ЦФ виду

$$\Phi = \sum_{i=1}^n (z_i - c_i)^2; \quad z = \sum_{i=1}^m a_i x_i + \sum_{j=1}^k b_j y_j. \quad (4)$$

де z_1 - вихідна напруга або струм схеми; c_1 - задані рівні для n -варіантів аналізу статички; a_1, d_1 - параметри моделі; x_1, y_1 - базові змінні. Кількості m і k є мінімальними, $k \ll N$; $m \ll N$, де N - вимірність схеми. Отже ЦФ залежить лише від окремих базових змінних x, y . При розв'язуванні ітераційним чисельним методом системи $f(x, y, p) = 0$ складові вектора базових змінних проявляють динамічну властивість - різну швидкість збіжності до розв'язку. Існують швидкі складові, пов'язані з лінійними рівняннями, і повільні - пов'язані з нелінійними. Відповідну динаміку витримує обчислення z в (4). На основі врахування структури і можливої динаміки обчислень ЦФ запропоновано додатковий критерій зупинки ітераційного процесу розв'язування рівнянь ММ у вигляді

$$|\Phi^{i+1} - \Phi^i| < ER.$$

який контролює значення ЦФ на суміжних ітераціях аналізу. ER - похибка обчислень вибирається наступним чином: $ER = 2 \cdot EPS / \Phi^k$ при $\Phi^k > 1$, інакше $ER = 2 \cdot EPS$; де EPS - похибка розв'язування системи нелінійних рівнянь; Φ^k - значення ЦФ на k -тій ітерації оптимізації. Введення додаткового критерію дозволяє прискорити обчислення ЦФ для схем великої вимірності. Для розв'язування нелінійних рівнянь на основі методу Ньютона запропоновано два алгоритми. В першому ітераційний процес доповнюється операціями мінімізації нев'язки на основі дихотомічного уточнення поточного вектора x . В другому алгоритмі застосовується ітераційна формула з регульованим кроком

$$x^{k+1} = x^k - \gamma J(x^k)^{-1} f(x^k).$$

Скалярний коефіцієнт γ вибирається так, щоб забезпечити збіжність ітерацій. Для цього вводиться функція $z(\gamma) =$

$\|f(x^{k+1})\|/\|f(x^k)\|$, яку мінімізують з допомогою трьох груп операцій: зменшення g , збільшення g , уточнення g з допомогою квадратичної інтерполяції. В обидва алгоритми введено додатковий критерій зупинки по зміні ЦФ, який перевіряється при розв'язуванні задач оптимізації статичних режимів.

Розглянуто особливості алгоритмічного обчислення ЦФ для класу задач мінімізації часів затримки імпульсних сигналів. Розв'язування таких задач включає наступні основні операції:

- розрахунок початкових умов $x = x(t_0)$, при $t = t_0$ на основі розв'язування системи нелінійних рівнянь

$$y = g(x, p, v(t_0)); \quad f(x, y, p, v(t_0)) = 0;$$

- чисельне інтегрування системи диференціальних рівнянь на інтервалі $t = [0, T]$:

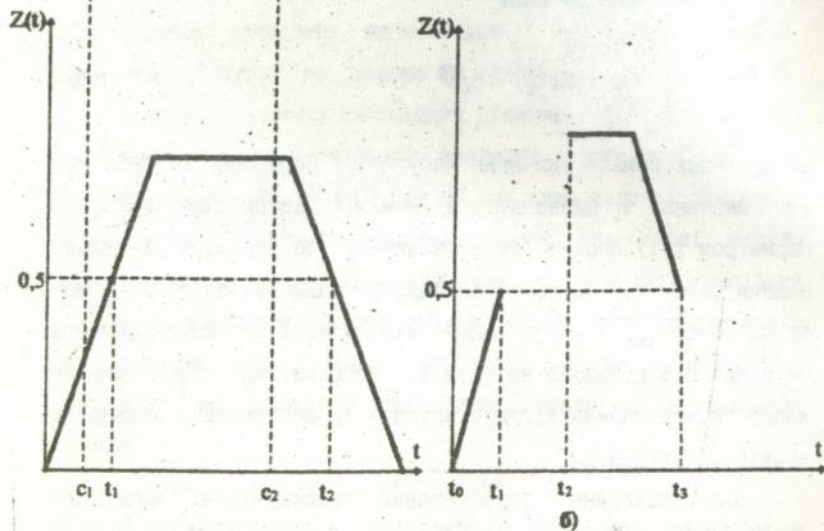
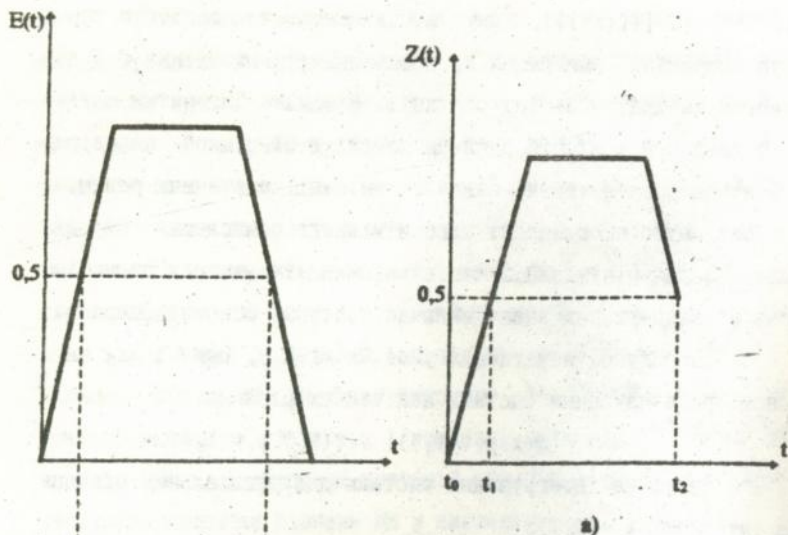
$$dx/dt = f(x, y, p, v(t)); \quad (5)$$

- обчислення ЦФ виду

$$\Phi = \sum_{i=1}^s (t_i - c_i)^2 \quad (6)$$

де c_i - контрольне значення часу; t_i - порогове значення часу. Значення t_i визначають в моменти досягнення вихідним параметром $z(t)$ порогового значення z_k , що перевіряється виконанням умови $z(t) - z_k = 0$ із апріорі заданою похибкою. Положення точок c_i , t_i для задачі мінімізації затримки імпульсу на рівні 0.5 показано на мал.1. Особливістю задач даного класу є мінімальна кількість точок t_i порівняно з кількістю кроків інтегрування.

Для прискорення інтегрування пропонується модифікація-виключення розрахунку початкових умов алгоритмом статичного аналізу - вибір їх по результатах контрольного інтегру-



Мал. 1. Вибір контрольних і порогових точок для задачі мінімізації затримки імпульсу на рівні 0,5

Мал. 2. Інтервали інтегрування рівнянь моделі: а) - при виборі початкових умов з аналізу статистики; б) - при фіксованому виборі в точках t_0 і t_2 .

вання системи (5). Модифікація алгоритму інтегрування включає основні процедури для розрахунку ЦФ виду (6):

1) - розрахунок початкового значення ЦФ до оптимізації з розбиттям інтервалу інтегрування на N - рівновіддалених точок і запам'ятовування у файлі векторів розв'язку $x(t_N)$ та векторів $x(t_k)$ в порогових точках t_k . Запам'ятовують також значення часу t_N , t_k , значення кроку інтегрування h_N , h_k .

2) - вибір в якості початкових умов векторів x , розрахованих в околі порогових точок;

3) - розрахунок ЦФ в циклі оптимізації шляхом інтегрування системи (5) з першого набору початкових умов до першої порогової точки t_1 , вибір нового набору, інтегрування до наступної порогової точки t_2 . Розрахунок ведуть до закінчення списку порогових точок. Такий вибір точки t_2 приводить до скорочення відрізка інтегрування рівнянь моделі майже на 50% порівняно із вибором початкових умов із аналізу статистики, що ілюструє мал. 2 а), б). Розглянуто питання обчислення коефіцієнтів чутливості для вище розглянутих задач оптимізації часів затримки в алгоритмі інтегрування рівнянь моделі. Для обчислення використовується чисельно-символьна методика обчислень із використанням символьної моделі похідних.

Розглянуто питання побудови бібліотеки алгоритмів оптимізації із використанням методів різних порядків для задач умовної мінімізації із прямими обмеженнями. Використовуються наступні методи: метод поординатного пошуку; метод деформованого багатогранника, метод спряжених градієнтів та метод ДФП- метод із апроксимацією матриці- гесіану. Для приведення задачі умовної мінімізації до безумовної задачі використано формули введення проміжних змінних для виключення прямих об-

межень.

В четвертому розділі розглянуто питання програмної реалізації запропонованих в роботі алгоритмів для моделювання режимів ІС. Розроблено програмне забезпечення комп'ютерної системи для моделювання ІС середнього ступеня складності. Система призначена для розв'язування задач варіантного аналізу режимів, моделювання чутливості і параметричної оптимізації характеристик лінійних та нелінійних моделей ІС. В системі реалізовані наступні види аналізу:

- статичний, динамічний та частотний аналіз;
- обчислення коефіцієнтів чутливості для видів аналізу;
- параметрична оптимізація для усіх видів аналізу.

Основні характеристики системи:

1) - дві багатофункціональні мови опису об'єктів і завдань моделювання;

2) - універсальне для всіх видів аналізу символічне представлення математичної моделі схеми та моделі похідних;

3) - ефективна організація варіантного аналізу включає:

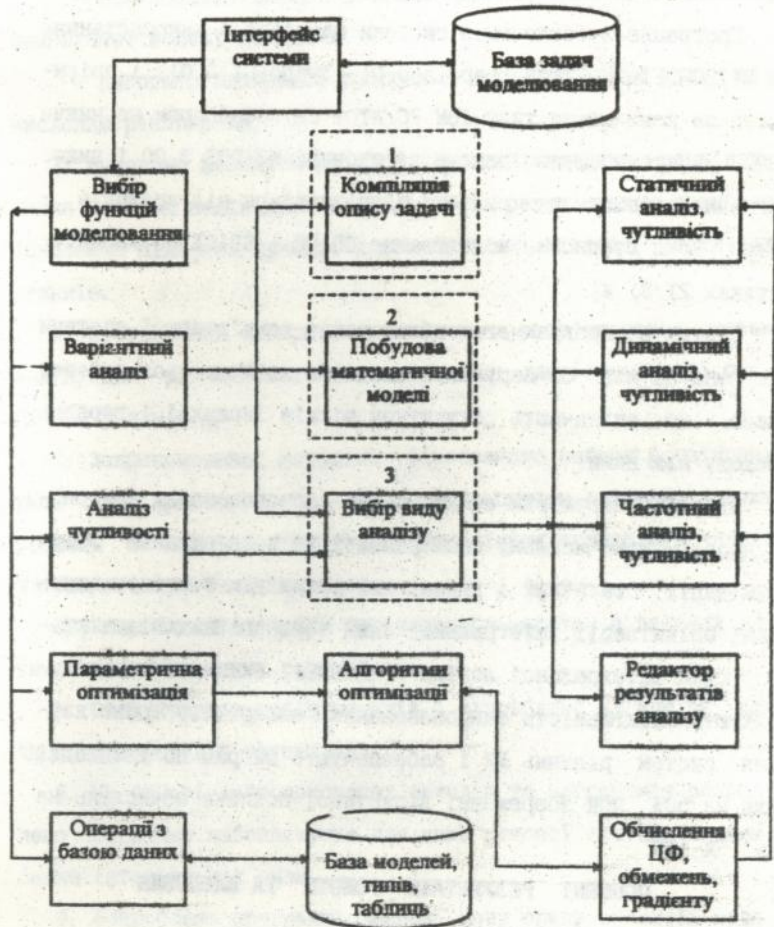
- швидкий пошук і зміну параметрів моделі без її переформування;

- швидкі обчислення рівнянь моделі та моделі похідних на основі програм в машинних кодах.

4) - можливість прискореного розв'язування задач оптимізації статичних і динамічних режимів ІС;

5) - ефективний компілятор опису завдань моделювання з діагностикою синтаксичних і семантичних помилок, наявністю інтерпретатора математичних формул;

6) - наявність бібліотеки моделей елементів та функціональних вузлів схем і доступ до неї на рівні вхідної мови;



Мал. 3. Структура, зв'язки і функції програмного забезпечення системи моделювання інтегральних схем.

7) - об'єм оперативної пам'яті, яку займає дана версія системи - 540 Кбайт;

Програмне забезпечення системи написано з використанням мов MICROSOFT- FORTRAN (версія 5.0), Турбо-C1(2.0), і орієнтоване на комп'ютери типу ІВМ РС/АТ з співпроцесором не нижче 80287. Система функціонує в середовищі MS-DOS 3.00 і вище. Програмне забезпечення системи відрізняється від аналогів - систем комп'ютерного моделювання СПАРС і SPICE по характеристиках 2) 3) 4).

Структура програмного забезпечення комп'ютерної системи приведена на мал. 3. Керування системою здійснюється набором команд, що визначають структуру рівнів ієрархії і порядок переходу між ними.

З метою перевірки ефективності запропонованих алгоритмів проводились чисельні експерименти по розв'язуванню задач оптимізації статичних і динамічних режимів. Розв'язувались задачі оптимізації інтегральних схем -операційних підсилювачів, схем інтегральної логіки. Чисельні експерименти підтверджують ефективність запропонованих алгоритмів розв'язування систем рівнянь ММ і забезпечують вигоду по швидкодії майже на 50% при збереженні допустимої похибки обчислень на рівні 5%-10%.

ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ РОБОТИ ТА ВИСНОВКИ

1. Запропонований компіляторний метод побудови ММ електричної схеми в комбінованій системі базових змінних - вузлових напруг та змінних стану.

2. На основі компіляторної методики розроблені алгоритми:

- побудови рівнянь ММ із чисельно-символьною формою

представлення рівнянь в пам'яті комп'ютера:

- символічного диференціювання рівнянь ММ і побудови символічної моделі похідних;

- алгоритм генерації програм в машинних кодах для обчислення рівнянь ММ;

3. Виконано математичне обґрунтування методики розв'язування систем нелінійних рівнянь ММ із регульованою похибкою обчислень цільової функції для задач оптимізації статичних режимів.

4. Побудований алгоритм прискореного розв'язування системи нелінійних рівнянь математичної моделі для оптимізації статичних режимів.

5. Запропонована методика фіксованого вибору початкових умов для прискореного інтегрування систем диференціальних рівнянь в задачах оптимізації динамічних параметрів- часів затримки імпульсних сигналів.

6. Розроблено алгоритм прискореного аналізу в задачах оптимізації динамічних параметрів.

7. Обґрунтовано вибір методів і розроблено алгоритми для чисельних методів оптимізації.

8. На основі запропонованих методів та алгоритмів розроблено програмне забезпечення для комп'ютерної системи моделювання інтегральних схем.

9. Розроблено програмні засоби- мову опису об'єктів моделювання і мову керування обчислювальним процесом, які забезпечують багатопланове та багатофункціональне моделювання ІС.

10. Проведено чисельні експерименти по розв'язуванню задач оптимізації статичних і динамічних режимів ІС, які підтверджують ефективність запропонованих в роботі методик і алго-

ритмів.

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ПО ТЕМІ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Матвийчук Я. Н., Федорчук Е. Н. Система анализа и оптимизации радиоэлектронных схем для ЭВМ типа ЕС. - Теоретическая электротехника, Респ. межвед. науч.-техн. сб. - Львов, 1980, вып. 28, с. 139-142.
2. Матвийчук Я. Н., Федорчук Е. Н., Яворская М. И. Алгоритм формирования уравнений состояния в символьной форме. - Теоретическая электротехника, Респ. межвед. науч.-техн. сб. - Львов, 1981, вып. 29, с. 52-56.
3. Матвийчук Я. Н., Федорчук Е. Н. Символьное кодирование математической модели для многовариантного анализа и оптимизации режимов электронных цепей. - Теоретическая электротехника, Респ. межвед. науч.-техн. сб. - Львов, 1982, вып. 33, с. 135-141.
4. Федорчук Е. Н. Исследование программ градиентных методов оптимизации для систем машинного проектирования. - Теоретическая электротехника, Респ. межвед. науч.-техн. сб. - Львов, 1982, вып. 32, с. 67-72.
5. Федорчук Е. Н. Оптимизация режимов радиоэлектронных цепей в системе машинного анализа САНОС. - Теоретическая электротехника, Респ. межвед. науч.-техн. сб. - Львов, 1982, вып. 33, с. 45-51.
6. Давымука С. А., Матвийчук Я. Н., Мелихов И. Б., Федорчук Е. Н. Система автоматизированного схемотехнического проектирования средств электроизмерительной техники. Известия ЛЭТИ, вып. 310, 1982 с. 230-233.
7. Федорчук Е. Н. Ускорение расчета целевых функций при оптимизации статических и динамических режимов электронных

схем. Теоретическая электротехника, Респ. межвед. науч.-техн. сб. - Львов, 1984, вып. 36, с. 52-57.

8. Федорчук Е. Н. Приближенное решение задач оптимизации электронных схем. Теоретическая электротехника, Респ. межвед. науч.-техн. сб. - Львов, вып. 38, 1985, с. 84-86.

9. Давымука С. А., Лямин В. С., Матвийчук Я. Н., Федорчук Е. Н. Подсистема автоматизированного схемотехнического проектирования аналоговых средств электроизмерительной техники. - Электронное моделирование, Киев, Наукова думка, 1985, №4, с. 83-85.

10. Федорчук Е. Н. Оптимизация порогов переключения несимметричного триггера на МДП-транзисторах. Теоретическая электротехника, Респ. межвед. науч.-техн. сб. - Львов, 1987, вып. 38, с. 45-50.

11. Федорчук Е. Н., Дружинин А. А. Оптимизация параметров интегрального триггера на МДП-транзисторах. Физическая электроника, Респ. межвед. науч.-техн. сб. - Львов, 1990, вып. 41 - с. 94-97.

12. Благитко Б. Я., Дутчак Б. И., Мочульский Ю. С., Пастернак М. П., Федорчук Е. Н. Особенности перевода программ анализа электронных схем на язык ЕС ЭВМ. Теоретическая электротехника 1977, вып. 25, с. 129-134.

13. Дружинин А. О., Федорчук Е. Н. Комп'ютерне моделювання інтегральних приладів напівпровідникової електроніки. Вісник Державного університету "Львівська політехніка", N 297, 1995р, с. 76-79.

14. Гасько Р., Матвійчук Я., Федорчук Е. Україномовна діалогова оболонка для системи аналізу і оптимізації динамічних об'єктів і електронних схем. 2-а Міжнародна конференція

"Проблеми українізації комп'ютерів", Львів- 1992.

Особистий внесок автора у досягненні наукових результатів є вирішальним

Fedorchuk Ye. N. Mathematical and programming means for numerical- symbolic analysis and optimisation of integrated circuits CAD. Dissertation paper for candidate degree in technical sciences in speciality 05.13.02 - mathematical modelling in scientific reserches. State University "Lvivska Politehnika". Lviv, 1997. The 14 scientific papers are defended, with include theoretical and experimental researches of mathematical and programming means for rapid modelling of integrated circuits. The new approaches of symbolic analysys for multivariant parametrcl optimization are reserched.

Федорчук Е. Н. "Численно-символьные методы и алгоритмы для моделирования интегральных схем". Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.02 - математическое моделирование в научных исследованиях. Государственный университет "Львівська політехніка", Львов, 1997. Защищается 14 научных работ, которые содержат результаты исследований методов и алгоритмов построения математического и програмного обеспечения для ускоренного моделирования интегральных схем. Исследован метод построения математической модели и модели производных в символьном виде для вариантного анализа и параметрической оптимизации.

Ключові слова: математична модель, комп'ютерне моделювання, статичний аналіз, динамічний аналіз, параметрична оптимізація, інтегральна схема.

Автор: *ЯД*

Підписано до друку 22.05.97. Формат 60x84/16.
Друк офсетний. Друк. арк. 1,5. Тираж 100. Зам. 315.
Друк ПТУ № 58. 290008, Львів, вул. Ів. Федорова, 9

AB 37.761