

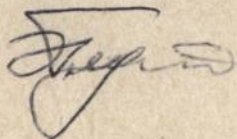
На правах рукопису

ГЛУШЕЧЕНКО Едуард Миколайович

**ПРОЕКТУВАННЯ МІКРОПОЛОСКОВИХ
НВЧ ПРИБРОЇВ НА ПЕРСОНАЛЬНИХ ЕОМ
З ВИКОРИСТАННЯМ ЛОКАЛЬНОЇ
АВТОМАТИЗАЦІЇ**

**Спеціальність 05.27.05 — Інтегральні радіоелектронні
пристрої**

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук



Робота виконана в київському науково-дослідному інституті
«Комета» Мінмашпрому України.

Науковий керівник — кандидат технічних наук,
старший науковий співробітник
В. Г. Шермаревич.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук,
професор **Мачуський Є. А.**,
кандидат технічних наук,
доцент **Скрипник Л. В.**

Провідна установа — конструкторське бюро «Сигнал»,
м. Світловодськ.

Захист відбудеться « *19* » *судня* 1994 року
о 14 годині на засіданні спеціалізованої ради К 068.14.17
у Київському політехнічному інституті (корпус 12, аудито-
рія 412).

Відгуки на автореферат у двох примірниках, завірених
печаткою установи, просимо надсилати за адресою: 252056,
Київ-056, проспект Перемоги, 37.

З дисертацією є можливість ознайомитися у бібліотеці
Київського політехнічного інституту.

Автореферат розісланий « *18* » *листопада* 1994 р.

**Вчений секретар спеціалізованої
ради, кандидат технічних наук,
доцент**

Ю. Д. КОБЦЕВ

Автореферат переведен на український язык

ЛНБ України ім.В.Стефаніка

іменем ВАК України



00777220 (P)

ЛНБ ім. В. Стефаніка
АН України

АННОТАЦІЯ

Існуючі системи автоматизованого проектування НВЧ пристроїв, незважаючи на їх ґрунтовну і багаторічну розробку, мають суттєві вади. Вони створені на базі великих ЕОМ і тому виключають можливість безпосереднього втручання в хід проектування, страждають від зростаючої громіздкості внаслідок інформаційної збитковості і не можуть бути економічно ефективними.

Позбавитись цих недоліків та створити ефективну прикладну методику розробки різноманітних НВЧ мікрополоскових пристроїв (МПП) - основне завдання даної роботи. Мета досягається вирішенням наступних науково-технічних завдань :

1. Розроблено принцип функціонування та структуру системи автоматизації інженерної праці (CAIP) на персональних ЕОМ.
2. Створені методика, алгоритми та програми розрахунків на ПЕОМ основних базових топологічних фрагментів МПП НВЧ.
3. Винайдено універсальну математичну модель напрямленого відгалужувача на зв'язаних мікрополоскових стрічках (МПС).
4. Отримано простий аналітичний метод розрахунку ланцюгів у вигляді каскадного з'єднання НВЧ чотириполюсників.
5. Визначені та сформульовані вимоги до корпусів, матеріалів і технології складання функціональних НВЧ модулів.
6. З урахуванням наслідків теоретичних досліджень та конструктивно-технологічного аналізу розроблені топології та конструкції ряду функціональних НВЧ пристроїв.

До захисту пропонуються наступні наукові тези і положення:

1. Критерії уніфікації конструктивно-топологічних рішень та обмежень гібридно-інтегральних схем (ГІС) НВЧ як основа проектування МПП НВЧ. Серед сформульованих критеріїв, забезпечуючих можливість підвищення ефективності проектування як МПП, так само й функціональних модулів у уніфікованих корпусах, слід відзначити такі:

- координатна сітка кратних розмірів для компанування із уніфікованих топологічних фрагментів МПП на діелектричній платі та їх прив'язки до осей ввідів-вивідів енергії;

- визначення основних принципів конструктивно-технологічної уніфікації, включаючи тип та оптимізовану базову конструкцію корпусу мікроелектронного модуля;

- основні ознаки та визначення локальних топологічних фрагментів першої(функціональні елементи і пристрої) та другої(з'єднувальні відрізки різних видів) груп;

- принцип осової симетрії та осової прив'язки при обчисленні координат топологій базових елементів ГИС НВЧ.

2. Принцип локальної автоматизації та створена на його основі САІП на персональних ЕОМ(ПЕОМ). При цьому в автоматичному режимі обчислюються топології базових уніфікованих фрагментів(БУФ), а розподіл МПП на такі фрагменти, їх прив'язку та орієнтацію на платі здійснює безпосередньо розроблювач.

3. Аналітичний метод моделювання і розрахунку ланцюгів каскадно з'єднаних елементів-чотириполюсників НВЧ, започаткований на визначенні параметрів передавання з'єднання безпосередньо через їх $Y(Z)$ -параметри. Відмова від традиційного апарату теорії матриць заощадує об'єм пам'яті ПЕОМ та час обчислень, формалізує метод і спрощує аналіз та розрахунки ланцюгів такого класу, що підвищує ефективність проектування МПП.

4. Математична модель напрямленого відгалужувача на зв'язаних МПС та структура САІП для проектування таких відгалужувачів. Розроблена універсальна математична модель відгалужувача дозволяє визначити його параметри як з дисипативними втратами, так само й без них. Локальна САІП дозволяє в автоматичному режимі здійснювати розрахунок топологій різноманітних конфігурацій з перехідним послабленням від 2 до 20 дБ.

5. Методика компанування МПП НВЧ з топологією локальних уніфікованих базових елементів та фрагментів, а також міжелементного трасування на ПЕОМ. Запропонована методика дозволяє скоротити час проектування МПП та підвищити ступінь адекватності змодельованих та експериментально підтверджених характеристик пристроїв.

6. Принцип обчислення координат топологій фрагментів МПП, заснований на наявності в них осей симетрії. Орієнтація фрагмента на платі не впливає на характер обчислень, бо визначається не абсолютне значення координат окремих точок, а його приріст відносно осей симетрії.

7. Методика визначення імпедансно(адмітансно)-частотних характеристик активних елементів НВЧ для МПП та структура установки для експериментального проведення таких вимірів. Продемонстровано, що система $Y(Z)$ -параметрів є не тільки найбільш ефективною для опису роботи вказаних елементів, але й автоматично забезпечує вірогідність змодельованих і експери-

ментальних параметрів МПП.

В. Оцінка ефективності і практичної цінності розроблених принципів та методів проектування на прикладі утворення МПП дециметрового діапазону. Крім того, на прикладі МПП сантиметрового діапазону підтверджена можливість інтерпретації розроблених методів для більш високочастотних хвиль.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми досліджень полягає в можливості реалізації інтерактивного режиму на ПЕОМ при моделюванні, розрахунках та конструктивно-технологічному проектуванні МПП НВЧ та впровадженні цих методів автоматизації у інженерну практику.

Мета роботи полягає у підвищенні ефективності розробки МПП НВЧ при "наскрізному" проектуванні за рахунок використання локальної автоматизації із застосуванням ПЕОМ, внаслідок чого зменшується не тільки час розробки, а й її собівартість.

Основні методи досліджень, пов'язані з досягненням мети роботи та вирішенням поставлених завдань, включають математичний апарат матричної алгебри і теорії електричних ланцюгів, а також метод парціальних хвиль та дзеркальних відображень, узагальнені методи вузлових напруг і контурних струмів, інтерпретовані у діапазон НВЧ.

Наукова новизна дисертації визначається тим, що автор 1. Запропонував та реалізував оригінальний метод локальної автоматизації в обсязі САІП на ПЕОМ.

2. Розробив методику топологічного проектування МПП НВЧ з уніфікованих фрагментів на ПЕОМ, яка дозволила створити новий клас пристроїв, новизна та практична цінність яких підтверджені авторськими свідоцтвами.

3. Створив універсальну математичну модель напрямленого відгалуджувача на зв'язаних МПС та структуру системи їх автоматизованого проектування.

4. Розробив принцип та алгоритми обчислень на ПЕОМ топологій БУФ дециметрового діапазону.

5. Запропонував новий метод аналітичного аналізу та моделювання ланцюгів каскадно з'єднаних НВЧ чотириполюсників.

6. Теоретично обґрунтував методику, розробив спосіб та експериментальну установку для вимірювання $Y(Z)$ -параметрів активних елементів в умовах реальних ГІС НВЧ.

7. Обґрунтував, визначив і сформулював принципи та критерії уніфікації МПП і автономних функціональних мікрое-

лектронних модулів(АФММ) НВЧ.

Практична цінність роботи, визначена з урахуванням вирішених завдань, полягає в тому, що :

1. Обґрунтовані і сформульовані в роботі принципи та критерії уніфікації дозволяють створити МПП НВЧ у вигляді АФММ в уніфікованих корпусах, що скорочує час створення і підвищує технічний рівень та надійність пристроїв, тобто значно збільшує ефективність їх розробки.

2. Всі розроблені методи моделювання та аналізу як МПП НВЧ в цілому, так само й окремих їх елементів орієнтовані на розрахунки на ПЕОМ, які навіть у своєму математичному забезпеченні такі алгоритми та програми, котрі дозволили виключити трудомісткий етап експериментального макетування.

3. На основі здобутих при вирішенні поставлених завдань результатів розроблена та підтверджена під час дослідної реалізації ряду конкретних МПП дециметрового діапазону не тільки можливість, а й ефективність проектування ГІС НВЧ із застосуванням локальної автоматизації на ПЕОМ, тобто виконання у інтерактивному режимі найбільш трудомістких обчислювальних операцій, без яких неможливе створення МПП такого класу.

4. На підставі розроблених алгоритмів створено комплект прикладних програм для розрахунку топологій мікрополоскових уніфікованих фрагментів - як функціональних елементів та пристроїв, так само й допоміжних структур.

Особистий внесок автора полягає в здобутті та інтерпретації результатів теоретичних досліджень, постановці і проведенні експериментів, розробці конкретних ГІС та МПП.

Реалізація результатів. Здійснені у дисертаційній роботі дослідження є складовою частиною декількох робіт, виконаних за участю автора на підприємствах Мінмашпрому України, зокрема у НДІ "САТУРН" та НДІ "КОМЕТА".

Результати впроваджень підтверджені відповідними актами.

Апробація роботи. Основні положення дисертації та результати досліджень обговорені та ухвалені на науково-технічних конференціях, наукових сесіях та семінарах, серед яких : конференція з радіотехнічних вимірювань(м.Новосибірськ,1970), "Мікроелектронні пристрої і системи НВЧ"(м.Зеленоград,1978), "Машинне проектування пристроїв та систем надвисоких частот"(м.Тбілісі,1979), 35 сесія,присвячена Дню радіо(м.Москва,1980), "Машинне проектування пристроїв та систем НВЧ"(м.Київ,1980), науково-практична конференція КВВІУЗ(м.Київ,1982), координаційна рада КНТР-8 з малощумлячих

приймальних систем(м.Київ,1982), 1-а 'всесоюзна конференція з інтегральної електроніки НВЧ(м.Новгород,1982),"Досвід розробки систем та пристроїв НВЧ"(м.Київ,1982),"Автоматизація проектування пристроїв та систем надвисоких частот(м.Красноярськ,1982),"Електроніка надвисоких частот"(ж.Мінськ,1983), 39 сесія, присвячена Дню радіо(м.Москва,1984),"Інтегральна електроніка НВЧ"(м.Красноярськ,1987),"Сучасні проблеми фазовиміральної техніки"(м.Красноярськ,1989).

Вірогідність та обґрунтованість результатів досліджень. Основні положення дисертації викладені у 11 роботах, включаючи авторське свідцтво. Список робіт наведено на останній сторінці автореферату.

Структура та об'єм роботи. Дисертація складається з вступу, чотирьох розділів, висновків та бібліографічного списку з 163 найменувань. Робота містить 155 сторінок і включає 125 сторінок машинописного тексту, ілюстрованого 63 малюнками, 7 графіками та 5 таблицями, а також доповнення - програми розрахунків топологій деяких БУФ.

ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі, на підставі сучасних тенденцій про всебічну комп'ютеризацію, зроблено висновок про своєчасність розробки та обґрунтовано доцільність впровадження у інженерну практику методів розрахунку різноманітних мікрополоскових НВЧ пристроїв на ПЕОМ. При цьому проведено детальний аналіз існуючих методів моделювання на ЕОМ як окремих елементів та вузлів у мікрополосковому виконанні, так само й ГІС НВЧ в цілому.

Проведено оцінку математичних моделей(ММ) різного рівня складності і точності та докладно розглянуто методи аналізу НВЧ ланцюгів. Доведено, що системи автоматизованого проектування(САПР), створені на основі різних ММ і методів аналізу, дозволяють полегшити працю розробника апаратури.

Проте аналіз існуючих найбільш розвинутих САПР ГІС НВЧ дозволяє зробити висновок, що всі вони - громіздкі та збиткові системи. Це зумовлено однозначністю ходу аналізу НВЧ схем, пов'язаною із закладеним у алгоритмі САПР принципом, що виключає в більшості випадків оптимальне рішення.

Особливо знижує ефективність таких САПР відсутність можливості безпосередньо впливати на процес розробки у діалоговому режимі. А також необхідність обов'язкової орієнтації на ЕОМ типу БЕСМ-6 або ЕС-1045, що ні економічно, ні структурно не-

доцільно. В зв'язку з цим в іноземній та вітчизняній літературі замість САПР були запропоновані гнучкі та економічні системи автоматизації інженерної праці з використанням інтерактивного режиму при проектуванні.

Кваліфікований спеціаліст, вправно користувачись специфічним інтелектуальним інструментом - ПЕОМ, може з допомогою САПР одержати в процесі проектування рішення, яке перевершує можливості САПР як у плані скорочення витрат і часу розробки, так само й більшої адекватності заданим параметрам. При цьому САПР дозволяє локально автоматизувати тільки окремі етапи розробки - від моделювання окремих елементів і всієї ГІС НВЧ до розрахунків конкретної топології та виготовлення фотошаблону.

Локальна автоматизація здійснюється на вказівці розробника, ефективно використовуючого діалоговий режим ПЕОМ. При цьому для кожної локальної операції можливо реалізувати різні рівні автоматизації.

На початку першого розділу показано, що ефективність проектування МПП пов'язана з відмовою від етапа обов'язкового попереднього макетування при незначній кількості запозичених рішень. Останнє можливе лише при умові обов'язкової уніфікації всіх елементів МПП НВЧ.

При такому підході до мети роботи проблема підвищення ефективності проектування МПП НВЧ може бути розподілена на низку незалежних завдань :

1. Конструктивно-технологічні рішення МПП на основі принципів уніфікації.

2. Методика компанування ГІС із уніфікованих фрагментів.

3. Принципи та алгоритми розрахунку топологій фрагментів.

4. Аналітичний метод моделювання та розрахунку каскадного з'єднання НВЧ чотириполюсників по $Y(Z)$ -параметрам.

5. Універсальна математична модель відгалужувача на зв'язаних МПС та автоматизована система для їх проектування.

6. Визначення $Y(Z)$ -параметрів активних елементів для МПП.

7. Оцінка ефективності та практичної цінності здобутих рішень на прикладі проектування реальних МПП.

Кожне з цих завдань являє собою самостійний інтерес, тому всі вони окремо розглянуті у наступних розділах дисертації.

З урахуванням розмірів стандартних діелектричних підкладок і вимог до складання та монтажу ГІС НВЧ автором запропоновано принцип створення квазібезперервної підкладки МПП. При цьому обґрунтовано і сформульовано перший критерій уніфікації - наявність координатної сітки кратних розмірів для

прив'язки вводитів-вивідів НВЧ енергії до мікрополоскової плати та компанування на ній ГІС НВЧ.

Одним з ряду найважливіших елементів уніфікації є корпус АФММ - базового поєднувального і несучого елементу МПП. Проведений аналіз існуючих конструкцій і технологій виготовлення дав змогу запропонувати універсальний корпус АФММ, який відповідає другому критерію уніфікації - на основі координатної сітки кратних розмірів розроблено стандартний ряд тонкостінних корпусів рамочного типу, який дає змогу уніфікації монтажних-складальних операцій та виключає виникнення паразитних коливань. Герметизація корпусів здійснюється зварюванням електронним або лазерним променем, яке технологічними засобами забезпечує захист ГІС від зовнішніх впливів, а також їх підвищене електричне екранування.

Одне з незалежних завдань, які вирішуються у роботі, присвячене розробці принципів та алгоритмів розрахунку топологій БУФ. Цьому питанню відведена заключна частина першого розділу дисертації.

Мікрополосковими уніфікованими фрагментами можуть бути, наприклад, суматори-розподільвачі, напрямлені відгалужувачі різних типів та конфігурацій, узгоджені навантаження, фільтри та фрагменти інших конфігурацій. Як продемонстрував проведений аналіз, ступінь адекватності ММ та експериментальних характеристик уніфікованих фрагментів при проектуванні їх топологій з допомогою існуючих САПР дуже низька. Саме тому запропоновано метод локальної автоматизації, який припускає розрахунок кожної конфігурації уніфікованих фрагментів по алгоритму, який для конкретного випадку забезпечить адекватність ММ уніфікованих фрагментів та їх експериментально атестованих характеристик у означеному частотному діапазоні.

Топології перелічених вище функціональних уніфікованих фрагментів визначені як локальні фрагменти ГІС НВЧ першої групи, що є третім критерієм уніфікації. А як четвертий критерій визначені топології локальних уніфікованих фрагментів другої групи - спряження, з'єднання або перетини відрізків МПС, які обчислюють на ПЕОМ за вказівкою розробника.

П'ятим критерієм уніфікації конструктивно-топологічного проектування МПП є принцип осьової симетрії та осьової прив'язки при розрахунках топологій БУФ ГІС НВЧ. При цьому координати точок топологій обчислюються відносно обраних осей симетрії та осей прив'язки кожного БУФ, що робить такий алгоритм універсальним. Додатковою перевагою створеного алгоритму

є можливість урахування технології виготовлення ГІС та вільної орієнтації базового фрагмента топології відносно основного положення в одному й тому ж алгоритмі.

Сформульовані критерії уніфікації не мають обмежень застосування діапазоном дециметрових хвиль. Як виявила експериментальна перевірка, вони можуть бути успішно реалізовані навіть у короткохвильовій частині сантиметрового діапазону. Інші припущення також не обмежують застосування цих алгоритмів дециметровими хвилями і відповідають загальнофізичним припущенням при розрахунках МПС в залежності від частотного діапазону.

Результати досліджень другого розділу дисертації, присвяченого створенню універсальної ММ напрямленого відгалуджувача на зв'язаних МПС та компактного і простого аналітичного методу аналізу НВЧ узгоджувально-перетворюючих ланцюгів (УПЛ), є оригінальними і здобуті вперше.

Згідно із методом дзеркальних відображень і враховуючи синфазне та протифазне збудження вперше визначена повна система параметрів розсіяння відгалуджувача на зв'язаних МПС :

$$S_{11} = \text{sh} \gamma l [(g_{oe} g_{oo} - 1)(g_{oe} + g_{oo}) \text{ch} \gamma l - (g_{oe} g_{oo} + 1) \text{sh} \gamma l] / A,$$

$$S_{12} = \text{sh} \gamma l (g_{oe} - g_{oo}) [(g_{oe} g_{oo} + 1) \text{ch} \gamma l + (g_{oe} + g_{oo}) \text{sh} \gamma l] / A,$$

$$S_{23} = [4 g_{oe} g_{oo} \text{ch} \gamma l + (g_{oe} + g_{oo})(g_{oe} g_{oo} + 1) \text{sh} \gamma l] / A,$$

$$S_{24} = -\text{sh} \gamma l (g_{oe} - g_{oo})(g_{oe} g_{oo} - 1) / A,$$

де $A = 4 g_{oe} g_{oo} \text{ch}^2 \gamma l + 2 (g_{oe} + g_{oo})(g_{oe} g_{oo} + 1) \text{sh} \gamma l \text{ch} \gamma l + (g_{oe}^2 + 1)(g_{oo}^2 + 1) \text{sh}^2 \gamma l.$

При цьому єдиним припущенням є порівняння значень дисипативних втрат для випадків синфазного α_{oe} та протифазного α_{oo} збудження. Однак вони є величинами одного порядку малості, тому усереднене значення величини погонних втрат, обчислене для значень хвильового опору системи зв'язаних МПС, не перекидає реальних характеристик відгалуджувача і не перевищує похибок приладів при їх вимірюванні.

Розроблена ММ дозволяє визначити характеристики відгалуджувача як з втратами ($\alpha \neq 0$), так само й при їх відсутності ($\alpha = 0$). Її суттєвими перевагами є можливість врахування значень хвильового опору підключуваних до відгалуджувача МПС, а також оцінки його параметрів у частотному діапазоні.

Наведена ММ дозволяє розробляти відгалуджувачі різних

типів та конфігурацій. При цьому моделювання робочих характеристик і топологічне проектування здійснюються за автономними (локальними) алгоритмами та програмами, які є основою САІП для проектування мікрополоскових відгалуджувачів на ПЕОМ. Створені автором структура та архітектура САІП дозволяють моделювати і обчислювати топології відгалуджувачів з перехідним послабленням від 2-х до 20-ти децибел в залежності від типу і потрібної конфігурації.

У другій частині другого розділу розглянуті питання розробки УПЛ, які являють собою каскадне з'єднання НВЧ чотириполісників. Показано, що визначення параметрів такого з'єднання з допомогою традиційного апарату теорії матриць має суттєві недоліки. Всі вони повільні і громіздкі, а необхідність корегування одержаних результатів веде до повторення всього циклу розрахунків.

Найскладнішою, але й найактуальнішою проблемою проектування УПЛ є їх синтез, тобто визначення по параметрах з'єднання характеристик окремих його елементів. Найбільш ефективним рішенням цієї задачі видається операція алгебраїчної заміни одного елемента УПЛ іншим. Вона можлива за допомогою методу ітераційного складання матриць елементів УПЛ, якщо ці елементи являють собою матриці провідностей або імпедансів.

Реалізація означеної задачі заснована на інтерпретації методів вузлових напруг та контурних струмів з теорії електронних схем у діапазон НВЧ. Параметри з'єднання з "n" чотириполісників можуть бути обчислені з допомогою визначника та алгебраїчних доповнень тридіагональної матриці з розмірністю "m x m", де m=n+1 :

$$A_{11} = \Delta_{11} / \Delta_{1m}, \quad A_{12} = \Delta_{11,mm} / \Delta_{1m}^2,$$
$$A_{21} = \Delta_{21} / \Delta_{1m}, \quad A_{22} = \Delta_{mm} / \Delta_{1m}.$$

При цьому

$$\Delta_{11,mm} = (\Delta_{11} \Delta_{mm} - \Delta_{1m} \Delta_{m1}) / \Delta.$$

А оскільки ненульові елементи розташовані на тридіагональній стрічці, то матриця з'єднання матиме розмірність "3 x m", що вже суттєво зменшує обсяг потрібних обчислювальних операцій.

Вигляд визначника та алгебраїчних доповнень при цьому також значно спрощується і зводиться до найпростіших алгебраїчних операцій, а корегування характеристик елементів УПЛ здійснюється шляхом від'ємно-доданкових операцій. У параметрах провідностей початкових чотириполісників одержуємо, що

$$\Delta_{1m} = \prod_{i=1}^{m-1} Y_{2i}^i, \quad \Delta_{m1} = \prod_{i=1}^{m-1} Y_{1i}^i,$$

а визначник Δ і алгебраїчні доповнення Δ_{ij} та Δ_{mn} обчислюються з допомогою рекурентного виразу

$$\Delta^k = (Y_{22}^{k-1} + Y_{11}^k) \Delta^{k-1} - Y_{12}^{k-1} Y_{21}^{k-1} \Delta^{k-2},$$

де $k = m$ - порядок визначника, співпадаючий з номером вузла з'єднання.

Слід також враховувати, що

$$\Delta^1 = Y_{11}^1, \quad \Delta^2 = Y_{11}^1 (Y_{22}^1 + Y_{11}^2) - Y_{12}^1 Y_{21}^1, \quad Y_{11}^m = 0,$$

а для алгебраїчного доповнення Δ_{ij} вчинена відповідна перенумерація елементів масиву початкових даних.

Початок третього розділу дисертації присвячений створенню методики та експериментальної установки для визначення $Y(Z)$ -параметрів активних елементів ГІС НВЧ, бо, враховуючи результати другого розділу дисертації, саме система таких параметрів найбільш перспективна.

Для здійснення вимірів запропоновано удосконалений та модернізований метод вимірювання повних імпедансів. При цьому особлива увага приділяється конструкції найбільш важливого вузла установки - вимірювальної камери, яка не тільки забезпечує надійність та вірогідність вимірів і визначення параметрів активних елементів, але й зумовлює джерела та характер похибок, виникаючих при цьому.

Структурна схема експериментальної установки дозволяє з великою вірогідністю вимірювати $Y(Z)$ -параметри діодів, транзисторів та інших активних елементів, які застосовуються при розробці МПП. Ця вірогідність обумовлена тим, що виміри власне імпедансів (адмітансів) активних елементів замінюються вимірами комплексно-спряжених з ними параметрів пасивних елементів каліброваного НВЧ тракту.

фактично у реальних МПП та при оптимальних (для існуючих або наданих умов функціонування) узгодженнях тракту по входу та виходу визначаються модуль $|G|$ та фаза ϕ коефіцієнту відбиття від активного елементу. А по них можна створити імпедансно-частотні характеристики активних елементів НВЧ у заданому діапазоні частот.

Заключна частина третього розділу дисертації присвячена розробці методики топологічного проєктування МПП із уніфікованих фрагментів на ПЕОМ. При цьому головна увага приділяється розміщенню БУФ на платі, поєднання їх між собою у

відповідності з еквівалентною схемою та орієнтації фрагментів для забезпечення їх прив'язки відносно осей введів-вивідів НВЧ енергії.

Використання діалогової алгоритмічної мови дозволяє у інтерактивному режимі мобільно корегувати розрахунок не тільки окремих уніфікованих фрагментів топологій, але й МПП в цілому. На прикладі ряду НВЧ пристроїв дециметрового діапазону продемонстровані головні етапи проектування ГІС НВЧ на ПЕОМ із фрагментів. Приведені майже всі різноманітні варіанти об'єднання локальних фрагментів першої та другої груп, а також варіанти їх прив'язки до вузлових точок координатної сітки.

У четвертому розділі, з метою перевірки отриманих результатів, розглянуті конкретні МПП, при створенні яких використані розроблені у дисертації принципи та методи. Слід відзначити, що при цьому на прикладі НВЧ пристроїв дециметрового діапазону різного функціонального призначення здійснено практичну апробацію можливостей цих принципів та методів.

Необхідно зазначити, що неможливо на прикладі якогось одного МПП проілюструвати застосування всіх здобутих у дисертації результатів. Однак ці розробки (кожна окремо й усі разом) спрямовані на суттєве підвищення ефективності процесу проектування і практичної реалізації мікрополоскових НВЧ пристроїв.

Наприклад, при проектуванні полосно-пропускового фільтра застосовані принцип компанування МПП із найбільш простих БУФ та метод локальної автоматизації. А ефективність використання уніфікованих конструктивно-технологічних рішень ілюструє розробка джерела фазоманіпульованих коливань, виконаного у вигляді АФММ.

Процес компанування ГІС НВЧ із складних уніфікованих фрагментів розглянуто під час створення мікрополоскового розподільвача потужності НВЧ із змінним коефіцієнтом ділення. Усі елементи такого розподільвача розглянуті у дисертації як уніфіковані фрагменти, тому головним завданням при розробці цього розподільвача є розміщення топологій фрагментів на платі, орієнтація їх відносно базових положень та поєднання між собою у відповідності з еквівалентною схемою. При цьому використання принципів уніфікації та компанування ГІС з уніфікованих фрагментів на ПЕОМ дозволило скоротити час розробки такого МПП приблизно у 16 разів.

Практичну цінність створеного автором методу моделювання УПЛ у вигляді каскадного з'єднання як пасивних, так само й активних НВЧ чотириполюсників розглянуто на прикладі загаль-

новітньої структури диференційного відбиткового фазообертача. Здійснено порівняння результатів моделювання фазообертача двома методами: розробленим автором швидким алгебраїчним та традиційним (з допомогою апарату матриць передавання). У разі збіжності модельованих обома методами параметрів фазообертача час розрахунку на ПЕОМ з допомогою першого становить 235 секунд, а другого - 765 секунд, тобто економія часу на кожному циклі розрахунку становить 70%. Крім того, використання алгебраїчного апарату спрощує синтез подібних пристроїв.

Розглянуті у дисертації методи, принципи та практичні рішення дозволяють не тільки підвищити ефективність розробки МПП з відомою функціонально-структурною побудовою, але й дає можливість з відомих БУФ проектувати пристрої з новими і суттєво відмінними характеристиками та принципами функціонування. Прикладом такого МПП є мікрополосковий напрямлений фільтр бігучої хвилі - чотириплечій резонансний пристрій, головний елемент якого являє собою замкнений кільцевий резонатор. Наукова новизна і практична цінність вищезгаданого пристрою підтверджена авторським свідоцтвом СРСР № 1406668, МКІ Н 01 Р 1/203.

Проектування всіх МПП, розглянутих у четвертому розділі дисертації, проводилося з використанням "Електроніки ДЗ-28" - єдиної ПЕОМ, на якій в існуючий час реалізована система аналізу мікрополоскових НВЧ ланцюгів.

Наприкінці роботи розглянуті основні наукові та прикладні досягнення, здобуті у дисертації. Результати експериментальних досліджень дали змогу зробити висновки та розробити рекомендації по застосуванню запропонованих автором критеріїв, принципів та методик, підтвердити їх цінність і ефективність.

У додатку наведені приклади програм розрахунку топологій деяких мікрополоскових уніфікованих фрагментів.

ОСНОВНІ ПІДСУМКИ РОБОТИ ТА ВИСНОВКИ

У заключному розділі роботи дається концентрована інформація про основні досягнення, отримані при виконанні дисертації. При цьому вона характеризується такими результатами:

1. Розроблено структуру системи автоматизації інженерної праці для створення МПП дециметрового діапазону на ПЕОМ у інтерактивному режимі з локальною автоматизацією окремих етапів проектування.

2. Сформульовані основні уніфіковані конструктивно-технологічні рішення операцій складання, монтажу, а також корпусування АФММ. Продемонстровано, що від рівня такої уніфікації залежить ефективність проектування МПП в цілому.

3. Запропоновані критерії уніфікації, які дозволяють підвищити ефективність проектування ГІС НВЧ та АФММ у дециметровому діапазоні хвиль :

- 3.1. координатна сітка кратних розмірів ГІС ;
- 3.2. конструкція уніфікованого базового корпусу МПП ;
- 3.3. базові уніфіковані фрагменти першої (функціональної) групи ;
- 3.4. базові фрагменти другої (допоміжної) групи ;
- 3.5. принципи осьової симетрії та осьової прив'язки топологій локальних фрагментів.

4. Наведені рекомендації та отримані аналітичні вирази для визначення розмірів уніфікованого корпусу, запропоновані оцінки ступеню інтеграції ГІС НВЧ та виключення можливості виникнення в МПП паразитних коливань.

5. Створена універсальна математична модель напрямленого відгалуджувача на зв'язаних МПС для діапазонів дециметрових та сантиметрових хвиль.

6. Визначена структура і практично реалізована система проектування напрямлених відгалуджувачів на зв'язаних МПС вищезгаданих діапазонів у інтерактивному режимі на ПЕОМ.

7. Розроблено і апробовано компактний і простий метод моделювання каскадного з'єднання НВЧ чотириполосників аналітичними (замість матричних) виразами.

8. Створені спосіб, методика і побудована експериментально-дослідна установка для визначення імпедансно-частотних характеристик активних елементів для ГІС НВЧ.

9. Розроблено методику "наскрізного" циклу проектування МПП: від моделювання до функціонально-топологічного проектування шляхом компанування схеми із топологій БУФ.

10. Створені алгоритми та програми для розрахунку базових топологій найбільш поширених функціональних мікрополоскових елементів дециметрового діапазону.

11. Досліджено й доведено ефективність комплексної уніфікації при створенні МПП на ПЕОМ у інтерактивному режимі з використанням локальної автоматизації.

Перелічені вище результати, здобуті автором у дисертації, дозволяють зробити наступні висновки :

1. Теоретичні та експериментальні дослідження створюють

можливість підвищити ефективність проектування МПП при їх використанні у інженерній практиці. Це підтверджено задовільною збіжністю теоретичних та експериментальних характеристик пристроїв: полосно-пропусковий фільтр, джерела фазоманіпульованих коливань, фазокерованого розподільвача НВЧ потужності, а також диференційного фазообертача.

2. Ефективність запропонованих автором рішень, їх універсальність підтверджені створенням МПП, успішно працюючих не тільки у дециметровому діапазоні, але й у короткохвильовій частині сантиметрового.

3. Цінність використання здобутих рішень, їх практична корисність не тільки при розробці відомих функціональних МПП, але й при створенні пристроїв з новими і суттєво відмінними характеристиками та принципами функціонування підтверджена побудовою з відомих топологічних фрагментів напрямленого фільтру бігучої хвилі, наукову новизну і відзнаки якого засвідчує авторське свідоцтво СРСР № 1406668, МКІ Н 01 Р 1/203.

Основний зміст дисертаційної роботи відображено у наступних публікаціях :

1. Глушеченко Э.Н. Проектирование интегральных СВЧ устройств на персональных ЭВМ // Электронная промышленность.-1988.-Вып. 10.-С. 47-49.

2. Глушеченко Э.Н. Унификация - основа проектирования микроэлектронных устройств СВЧ//Комплексная миниатюризация РЭА и ЭВА.-Казань: КАИ,1985.-С.20-24.

3. Глушеченко Э.Н. Локальная автоматизация в системе машинного проектирования гибридно-интегральных СВЧ устройств//Машинное проектирование устройств и систем сверхвысоких частот.-Тбилиси,1979.-С.33-35.

4. Глушеченко Э.Н., Николенко В.И., Слонин Э.В. Компоновка и сборка микроэлектронных функциональных модулей//Электронная промышленность.-1983.-Вып. 4.-С.13-15.

5. Глушеченко Э.Н., Шермаревич В.Г. Расчет топологий микрополосковых СВЧ устройств // Электронная промышленность.-1984.-Вып. 6.-С.67-70.

6. Глушеченко Э.Н. Направленный ответвитель на связанных линиях с учетом диссипативных потерь/Депонировано в МРС ВИМІ "Техника, технология, экономика". Сер. "ЭР".-М.,1984.-№ 30.-7 с. Справка № 9665/84.

7. Глушеченко Э.Н. Определение параметров передачи цепочечного соединения СВЧ четырехполосников//35-я Всесоюзная научная сессия:Тезисы докладов.-М.,1980.-С.23-24.

8. Глушеченко Э.Н.,Граков П.А.,Лелюх Н.И.,Мартыненко А.П. Измерение полных сопротивлений СВЧ транзисторов и диодов//1-я науч.-техн. конференция по интегральной электронике СВЧ:Тезисы докладов.-Новгород,1982.-Ч. 2.-С.367-368.

9. Глушеченко Э.Н.,Лелюх Н.И. Микроэлектронный источник фазоманипулированных колебаний СВЧ//Комплексная микроминиатюризация радиоэлектронной аппаратуры.-Казань:КАИ,1986.-С.68-71.

10. Глушеченко Э.Н.,Кобак Н.Н. фазоуправляемый интегральный делитель СВЧ мощности//Современные проблемы фазоизмерительной техники и ее применения.-Красноярск,1989.-С.111.

11. Микрополосковый направленный фильтр бегущей волны:А.с. № 1406668 СССР, МКИ Н 01 Р 1/203 /Глушеченко Э.Н. Заявл. 25.02.85; Опубл. 01.03.88; Бюл. № 24.

АННОТАЦИЯ

Глушеченко Э.Н. Проектирование микрополосковых СВЧ устройств на персональных ЭВМ с применением локальной автоматизации. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.27.05 - интегральные радиоэлектронные устройства, Киевский политехнический институт, Киев, 1994.

Защищается 21 научная работа и 1 авторское свидетельство, которые содержат теоретические исследования процесса "сквозного проектирования" микрополосковых СВЧ-устройств, инженерные методики и результаты экспериментов. Установлено, что эффективность проектирования микрополосковых устройств повышается при применении унификации, локальной автоматизации на ПЭВМ и отказе от матричных методов при анализе и моделировании. Осуществлено внедрение предложенных методов и решений.

Ключевые слова: микрополосковая линия, унификация, ПЭВМ, моделирование.

ABSTRACT

Glusnechenko E.N. Design of the microstrip microwave devices from personal computer (PC) with local automatization.

Disertation for the science degree Candidat Science (Eng.). Speciality 05.27.05 - integration radioelectronic equipment, Kiev Polytechnical Institute, 1994.

Prompt to defense 21 science papers and 1 patent. It consist of the theoretical investigation of "through design" microstrip microwave equipment process, engeneering methods and experemental data. The design effect microstrip device increasing with used unification, local automatization from PC, and no used the matrix methods for analyses and simulation. There are performace this methods and solutions.

Key words: microstrip line, unification, PC, simulation.

ЛНБ ім. В. Стефаника
АН України

AB 31.284