

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
(КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ)

На правах рукопису

ЮШИН ОЛЕКСІЙ ІВАНОВИЧ



УДК 621.372.029:621.382

**АНАЛІЗ І РОЗРОБКА МІКРОХВИЛЬОВИХ МОДУЛІВ
ПЕРЕДАВАЛЬНИХ АКТИВНИХ ФАЗОВАНИХ АНТЕННИХ РЕШІТОК**

Спеціальність 05.12.07 - Антени та пристрої
мікрохвильової техніки

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Київ - 1996

416 33.2077
Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Науково-дослідному інституті нових фізичних і прикладних проблем Мінмашпрому України.

Науковий керівник: доктор технічних наук
Конін В.В.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Щауський Є. А.

ЛННБ України ім.В.Стефаніка



00752254 (P)

кандидат технічних наук,
Меріополо Є.А.

Провідна організація: АО НВП "Сатурн", м.Київ

Захист відбудеться: "16" 09 1996 р. о 15:00
на засіданні Спеціалізованої Ради К 01.02.21 Національного
технічного університету України "КПІ" за адресою: 252056,
Київ - 56, пр. Перемоги, 37, НТУУ "КПІ".

З дисертацією можна ознайомитись в бібліотеці НТУУ "КПІ" за
вказаною адресою.

Автореферат розісланий

"27" 06 1996 р.

ЛНБ ім. В. Стефаніка
АН України

Вчений секретар Спеціалізо-
ваної Вченої Ради К 01.02.21
кандидат технічних наук

Кудінов Є.В.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

АКТУАЛЬНІСТЬ ТЕМИ. Провідна тенденція розвитку радіолокаційної техніки на протязі останніх десятиріч полягає в розширенні області її застосування від чисто військових задач до екологічного моніторингу та пошуку корисних копалин. Це стало можливим в результаті бурхливого розвитку багатофункціональних радіоелектронних систем (РЕС).

Багатофункціональність радіоелектронних систем ґрунтується на удосконаленні їх мікрохвильових трактів і заміні класичних передавачів та антен активними фазованими антенними решітками (АФАР). Проектування АФАР можливе лише при наявності широкої номенклатури мікрохвильових пристроїв на основі напівпровідникових приладів (НПП).

Мікрохвильові пристрої на основі напівпровідникових приладів, які отримали назву активних модулів (АМ), проектується у вигляді закінчених конструкцій і виконують функції модуляції, підсилення, керування фазою та амплітудою мікрохвильових сигналів. Слід зазначити, що АМ знаходять широке застосування і в мікрохвильових трактах передавачів класичного типу при використанні складних зондуючих сигналів та передавачів мікрохвильових систем зв'язку.

Особливість АМ передавальних трактів полягає в тому, що вони повинні виконувати свої функції на високому рівні мікрохвильової потужності (ВРП), розсіювати велику потужність в невеликому об'ємі, в той час, як напівпровідникові прилади, як правило, нормально функціонують при обмеженому рівні мікрохвильової потужності. А тому актуальною є проблема оптимального розподілу поглинутої потужності між напівпровідниковими приладами в мікрохвильових АМ. Не менш актуальна проблема, яка має місце при проектуванні АМ та АФАР, полягає в оптимізації параметрів пристроїв, функціонуючих в режимі змінного навантаження, що є типовим для мікрохвильових АМ, розташованих в вихідних каналах АФАР.

Незважаючи на те, що дослідженню та проектуванню АМ присвячено досить багато публікацій у науково-технічній періодиці, можливість оптимізації цих пристроїв далеко не вичерпана, а їх параметри та характеристики потребують

постійного удосконалення. На цей час відсутні роботи, у яких достатньо повно були б висвітлені питання проектування АМ на ВРП в режимі змінного навантаження, методи аналізу енергетичних характеристик їх елементів, математичні моделі та інженерні методики розрахунків АМ, які б дозволяли аналітичним шляхом здійснити оптимальний вибір схемо-конструкторського рішення і за допомогою числового експерименту на ЕОМ оптимізувати їх енергетичні та електричні характеристики.

Відомі конструкції мікрохвильових АМ часто не відповідають вимогам оптимального розміщення (НПП) з метою оптимізації енергетичних характеристик АМ, паразитного випромінювання та теплового режиму на ВРП. Відомі методи аналізу АМ та математичні моделі їх складових частин не дозволяють сформулювати ці вимоги для практичної реалізації та використання.

Усунення цих недоліків має велике наукове та практичне значення і є основним завданням досліджень в даній роботі.

МЕТА РОБОТИ. Метою роботи є розробка, аналіз і оптимізація енергетичних і електричних характеристик мікрохвильових модулів передавальних активних фазованих антенних решіток та їх функціональних пристроїв, що працюють на великому рівні потужності і на неузгоджене навантаження.

Поставлена мета досягнута розв'язанням таких задач:

1. Розробка методу аналізу розподілу поглинутої потужності в мікрохвильових ланцюгах дисипативних багатополісників, що працюють на великому рівні мікрохвильової потужності в режимі неузгодженого навантаження.

2. Розробка математичних моделей, дослідження та оптимізація енергетичних та електричних характеристик функціональних пристроїв, які входять до складу мікрохвильових модулів.

3. Розробка та перевірка на практиці інженерної методики розрахунку розподілу поглинутої мікрохвильової потужності у багатокаскадному з'єднанні мікрохвильових пристроїв, які входять до складу АМ.

4. Розробка нових конструкцій і експериментальне дослідження активних модулів, мікрохвильових функціональних пристроїв, які входять до їх складу, та фрагменту АФАР.

МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ. Були використані методи теорії хвильових ланцюгів, матричного числення, числових методів, методів математичної статистики, теорії ймовірності.

НАУКОВА НОВИЗНА РОБОТИ. В роботі одержані такі нові наукові результати:

1. Вперше запропоновано, обгрунтовано та апробовано при проектуванні метод аналізу розподілу поглинутої потужності в мікрохвильових ланцюгах з дисипативними багатополосниками.

2. Вперше запропоновано, обгрунтовано і апробовано при проектуванні наближений метод, який дозволяє аналітичним способом дослідити характеристики з'єднання багатополосників і навантажень з урахуванням неідеальності їхніх компонентів.

3. Вперше визначено умови рівномірного поглинання мікрохвильової потужності дисипативними (напівпровідниковими) елементами у багатокаскадному з'єднанні чотирьохполосників (ЧП).

4. Розроблено математичні моделі ряду мікрохвильових функціональних пристроїв, які дозволяють шляхом числового експерименту за допомогою ЕОМ оптимізувати енергетичні та електричні характеристики активних модулів.

ПРАКТИЧНА ЦІННІСТЬ. В роботі одержані такі нові практичні результати:

1. На основі запропонованого методу аналізу розроблено інженерну методику розрахунку розподілу поглинутої мікрохвильової потужності у багатокаскадному з'єднанні мікрохвильових пристроїв та елементів, які входять до складу АМ.

2. Створені нові оригінальні схеми і конструкції мікрохвильових пристроїв АМ, які дозволяють покращити радіотехнічні параметри і оптимізувати енергетичні характеристики.

3. На основі аналізу математичних моделей і результатів експериментальних досліджень розроблено рекомендації по оптимальному проектуванню АФАР, АМ та їх складових частин, що функціонують на високому рівні мікрохвильової потужності.

4. Розроблені та досліджені експериментальний гравок передавальної АФАР і мікрохвильові АМ, які здійснюють функції комутації та перетворення мікрохвильових сигналів, та їх складові частини. Результати досліджень підтверджують основні теоретичні висновки роботи і дозволяють здійснити розробку

повномасштабної передавальної (АФАР).

РЕАЛІЗАЦІЯ РЕЗУЛЬТАТІВ РОБОТИ. Робота виконана у забезпечення основних НДДКР Інституту нових фізичних і прикладних проблем, НДІ "Квант". Результати використані у розробках цих підприємств, а також на серійному заводі "Буревісник". На розроблені конструкції мікрохвильових комутаційних пристроїв одержано три авторських свідоцтва на винаходи [8,12,13].

АПРОВАЦІЯ РОБОТИ. Основні результати виконаних досліджень обговорені на конференціях і семінарах:

- Другій міжвідомчій конференції "Машинне проектування пристроїв та систем НВЧ", м.Київ, 1974;

- XX науково-технічному семінарі МРП СРСР по теорії і техніці антен, м.Москва, 1974;

- Всесоюзному науково-технічному семінарі "Математичне модулювання фізичних процесів в антенно-фідерних трактах", м.Саратов, 1990;

- Всесоюзній науково-технічній конференції "ФАР і їх елементи: автоматизація проектування і вимірювання", м.Казань, 1990;

- Першій науково-технічній конференції Київського військового інституту управління ав'яку, м.Київ, 25.11.1993р.

ПУБЛІКАЦІЇ. Основні положення дисертації викладено в 14 друкованих роботах. Список їх наведено в кінці автореферату.

СТРУКТУРА РОБОТИ. Дисертаційна робота складається з вступу, чотирьох розділів, висновків та бібліографічного списку з 118 найменувань. Робота включає 140 сторінок тексту, 85 малюнків на 56 сторінках, 14 сторінок таблиць.

У ВСТУПНІЙ ЧАСТИНІ обґрунтовано актуальність дисертаційної роботи, сформульовано мету роботи, викладено основні положення, що виносяться на захист, наукова і практична новизна, дається коротка анотація усіх розділів.

В ПЕРШОМУ РОЗДІЛІ розглянуто питання місця і ролі АФАР та мікрохвильових активних модулів у складі РЕС, проаналізовано структуру та основні параметри АМ. Проведено критичний огляд основних методів теоретичного аналізу енергетичних та електричних характеристик мікрохвильових пристроїв. Сформульовано основні невирішені задачі та способи їх розв'язання.

У ДРУГОМУ РОЗДІЛІ викладено розроблений метод аналізу розподілу потужності у довільному з'єднанні хвильових багатополосників, неугоджених навантажень та генераторів, матриці розсіювання S і матриця Γ яких відомі. Сутність методу полягає у послідовному цілеспрямованому перетворенні досліджуваного ланцюга від навантажень до генераторів і зворотно з врахуванням аміни коефіцієнтів відбиття і передачі кожного багатополосника у випадку приєднання до нього навантажень, наступного обчислення коефіцієнтів матриці розсіювання з'єднання $F = (E - S\Gamma)^{-1}S$, яка враховує усі перевідбиття у з'єднанні; визначення потім падаючих a та відбитих b хвиль у будь-якому перетині ланцюга. Поглинута кожним хвильовим багатополосником потужність визначається як різниця сум всіх нормованих падаючих та відбитих хвиль на його входах.

На основі методу визначено розподіл потужності у каскадному з'єднанні дисипативних хвильових чотирьохполосників, мал.1а. Потужність $P_{пад}$, яка поступає з генератора в дисипативний ланцюг, розподіляється на три частини: відбиту $P_{отр}$, передану в навантаження $P_{пер}$, розсіювану в ланцюзі $P_{рас}$. Рівняння збереження енергії для з'єднання (мал.1б) чотирьохполосників, у нормованому до падаючої від генератора потужності має вигляд:

$$\frac{P_{рас}}{|a_1|^2} = 1 + \frac{|a_2|^2}{|a_1|^2} - \frac{|b_1|^2}{|a_1|^2} - \frac{|b_2|^2}{|a_1|^2} \quad (1)$$

З урахуванням зв'язку падаючих і відбитих хвиль з елементами матриці розсіювання а'єднання F, визначена розсіювана потужність P_{рас(i)} у будь-якому i-му чотириполосникові:

$$\frac{P_{рас(i)}}{|a_1|^2} = (1 - |F_{11(i)}|^2) |F_{21(i-1)}|^2 - (1 - |F_{11(i+1)}|^2) |F_{21(i)}|^2; \quad (2)$$

Тут під елементами F_(i) треба розуміти елементи матриці а'єднання i-го ЧП з неугодженим навантаженням у вихідних плечах і угодженим генератором у входних плечах, а під елементами F_(i) - елементи матриці розсіювання каскадного а'єднання від першого до i-го ЧП з угодженим навантаженням у вихідних плечах і неугодженим генератором у входних плечах.

Використовуючи умову рівності розсіюваних потужностей у кожному з двох ЧП у вигляді провідності Y₁ та Y₂, які паралельно приєднані до лінії передачі на відстані θ=2πl/λ один від одного (мал.1в), після перетворень отримано:

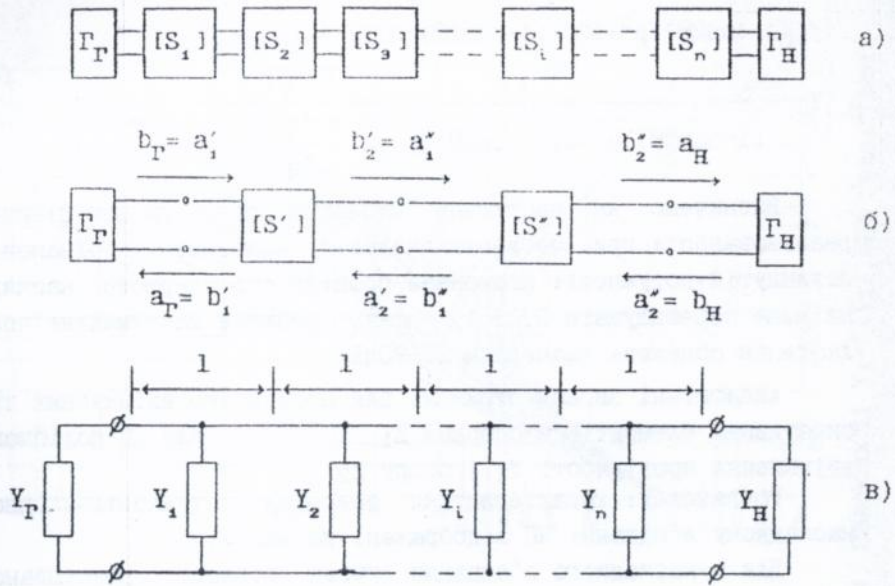
$$P_{пер} = \frac{16}{A^2 - 2AY_1Y_2\cos 2\theta + Y_1^2Y_2^2};$$

$$P_{рас} = \frac{16Y_2}{A^2 - 2AY_1Y_2\cos 2\theta + Y_1^2Y_2^2}; \quad (3)$$

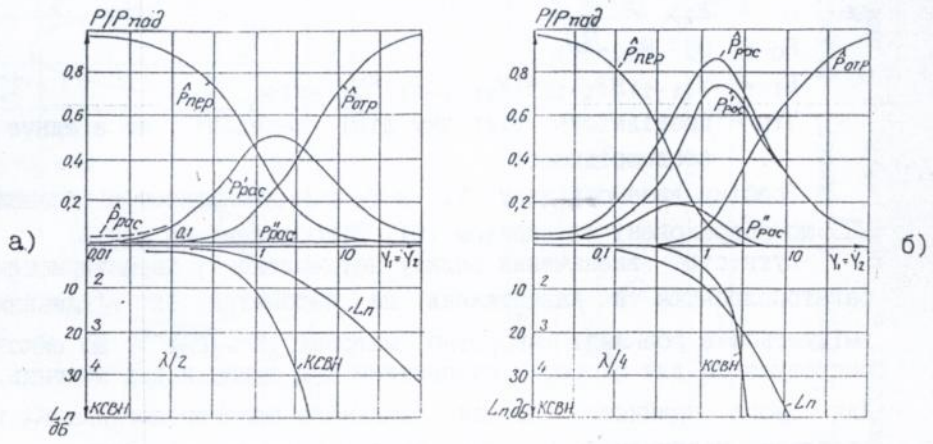
$$P_{отр} = \frac{Y_1^2(A^2 - 2AY_1Y_2\cos 2\theta + Y_1^2Y_2^2) + 8Y_1Y_2(A\cos 2\theta - Y_1Y_2) + 16Y_2}{(2+Y_1)(A^2 - 2AY_1Y_2\cos 2\theta + Y_1^2Y_2^2)};$$

де A = (2+Y₁)(2+Y₂) = 4+2Y₁+2Y₂+Y₁Y₂.

Звідси визначено умову рівності розсіювання потужності у одному з наступних виразів:



Мал.1. Каскадне з'єднання ЧП: а - загальне; б - виділених ЧП; в - провідностей Y , паралельно ввімкнених в лінію передачі.



Мал.2. Залежності розподілення потужності від провідності $Y_1 = Y_2$ в двокаскадному з'єднанні: а - $l = \lambda/2$; б - $l = \lambda/4$.

$$\begin{cases} |Y_1(1-\cos 2\theta)Y_2^2 + [2Y_1(1-\cos 2\theta) - 2]Y_2 + 2Y_1 = 0; \\ Y_1 = \frac{2Y_2}{(1-\cos 2\theta)Y_2^2 + 2(1-\cos 2\theta)Y_2 + 2} \end{cases} \quad (4)$$

Визначено, як частковий висновок, що за умовою фізичної реалізованості при чвертьхвильовій відстані і однаковій поглинутій потужності нормована провідність першого каскаду не може перевищувати 0,25 і, отже, реальне максимальне послаблення обмежене значенням 25-30дБ.

Аналогічні вирази отримані для послідовно ввімкнених дисипативних елементів з опорами Z_1 і Z_2 і для Γ -подібного ввімкнення провідності Y_1 і опору Z_2 .

Розраховані характеристики розподілу потужності у двокаскадному з'єднанні ЧП відображені на мал.2.

Для n -каскадного з'єднання умови рівності розсіяваної потужності будь-якої i -ої неоднорідності у загальному вигляді:

$$Y_i = \frac{\prod_{k=i}^{i-1} (Y_{\text{Тр}k})^2}{(Y_{(i-1)}B_{(i-1)} + (Y_{\text{Тр}(i-2)})^2 B_{(i-2)})^2} Y_1; \quad (5)$$

де $n \geq 2$;

$$B_0 = 0; \quad B_1 = 1;$$

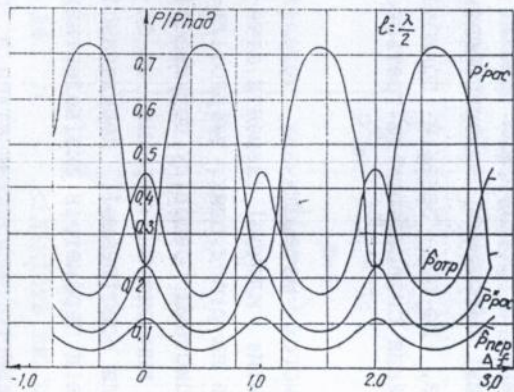
$$B_i = Y_{(i-1)}B_{(i-1)} + (Y_{\text{Тр}(i-2)})^2 B_{(i-2)};$$

$Y_{\text{Тр}}$ - провідність відрізка лінії передачі, що з'єднує неоднорідності.

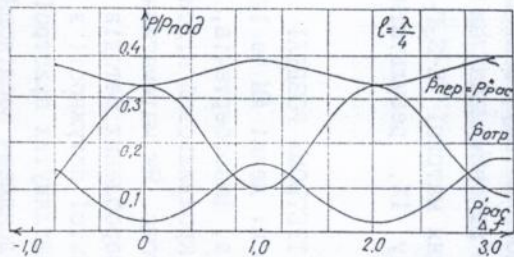
Графіки взаємозв'язку Y_i і Y_1 в n -каскадному з'єднанні ЧП, що розраховані за виразом (5), відображені на мал.3.

Сутність визначення впливу неідеальності характеристик багатополюсника та навантажень на параметри їх з'єднання вміщується в розкладі зворотної матриці $(E - S_0 \Gamma_0)^{-1}$, що використовується для цього, у степеневий ряд функцій від матриць. Для цього прийнято, що для ідеального багатополюсника S_0 і ідеальних навантажень Γ_0 можна ввести наступну рівність:

$$(E - S_0 \Gamma_0)^{-1} = E + (E - S_0 \Gamma_0)^{-1} Z, \quad (6)$$

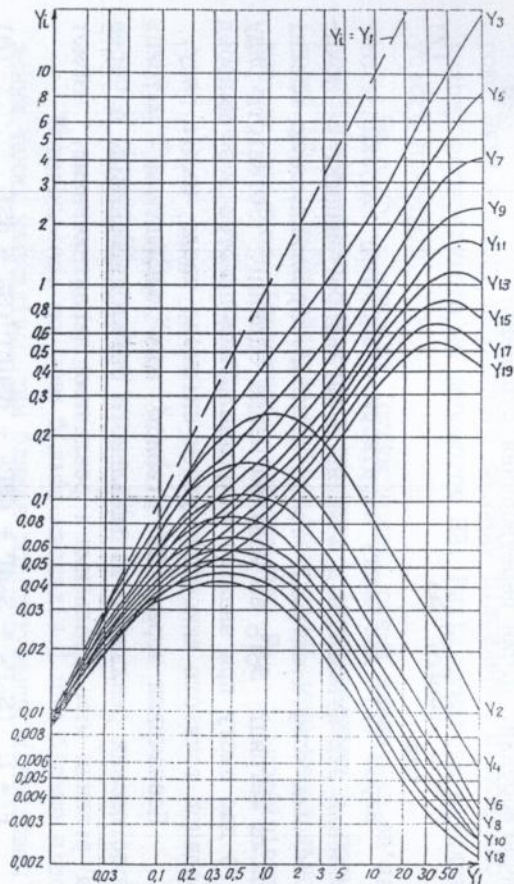


a)



b)

Мал.3. Частотні залежності розподілення потужності: а - при $l = \lambda/2$; б - при $l = \lambda/4$.



Мал.4. Залежності $Y_i = f(Y_1)$ при $P_{rac1} = P_{rac1}$.

де Z_0 - поправочна матриця, що дає змогу провести вказане перетворення. Після перетворення отримано:

$$F = \sum_{n=0}^{\infty} (S_0 \Gamma_0)^n S_0 \quad (7)$$

Вираз (7) дає змогу перетворити зворотну матрицю у степеневий ряд функцій від матриць у загальному випадку з комплексними коефіцієнтами. Такий розклад коректний, якщо власні числа матриці $S_0 \Gamma_0$ за модулем менше одиниці. Збіжність ряду (7) дає змогу при аналізі мікрохвильових пристроїв з наперед заданою точністю використовувати скінчене число членів ряду.

Позначивши через dS різницю між елементами матриць розсіювання реального та ідеального багатополісників, а через $d\Gamma$ різницю між ідеальними і реальними навантаженнями, маємо:

$$F = \sum_{n=0}^{\infty} (S_0 \Gamma_0 + S_0 d\Gamma + dS \Gamma_0 + dS d\Gamma)^n (S_0 + dS). \quad (8)$$

Вираз (8) дозволяє обчислити з будь-якою малою, наперед заданою похибкою, матрицю розсіювання з'єднання реального багатополісника з реальним навантаженням без операції обернення зворотної матриці.

Оцінка точності рішення, отриманого за допомогою запропонованого методу, шляхом зіставлення з розрахунками однокаскадного рін вимикача за матричним методом з використанням обернення матриці $(E - S_0 \Gamma_0)$ показує, що при заданій похибці розкладу 1%, результати обчислення співпадають до третього знаку.

У ТРЕТЬОМУ РОЗДІЛІ за допомогою математичних моделей досліджені деякі АМ та їх компоненти: ключові елементи аттенюаторів, фазообертачів, вимикачів на рін діодах; твердотільний мікрохвильовий підсилювач; система розподілу потужності (СРП) тощо. Як математичні моделі використано отримані на основі розроблених методів вирази для розсіюваної, переданої та відбитої потужності в функції від параметрів еквівалентних схем розглянутих пристроїв.

Підсилювач послідовно-паралельного типу складається з n каскадів підсилення, суматора потужності, направлених відгалужувачів (НВ) і фазообертачів. Виходи всіх підсилювачів

підключені до входів суматора за допомогою НВ і фазообертачів. Вхід першого каскаду підсилення є входом усього пристрою. Вхід кожного наступного каскаду підсилення підключено до виходу попереднього за допомогою НВ. Вихід суматора є виходом усього пристрою.

На основі аналізу структурної схеми визначено зв'язок коефіцієнта підсилення K_y і вихідно (передавально) потужності $P_{\text{ВЫХ}}$ n -каскадного підсилювача послідовно-паралельного типу з вхідною (падаючою) потужністю $P_{\text{ВХ}}$ і коефіцієнтом підсилення одного каскаду K_{y1} :

$$\begin{cases} P_{\text{ВЫХ}} = nP_{\text{ВХ}}(K_{y1} - 1 + 1/n) \approx nP_{\text{ВЫХ}1}; \\ K_y = n(K_{y1} - 1 + 1/n) \approx nK_{y1}. \end{cases} \quad (9)$$

Встановлено, що чим більше каскадів і чим більше підсилення таких каскадів, тим ближче розглядуваний підсилювач за рівнем вихідної потужності до підсилювача паралельного типу і за коефіцієнтом підсилення до підсилювача послідовного типу при однаковій кількості каскадів.

Для визначення конструктивних параметрів системи розподілу потужності послідовного типу на направлених лініях згідно заданого розподілу потужності і фази сигналу на її виходах визначені нормовані електродинамічні хвильові опори ρ і r кожного НВ в результаті розв'язання системи рівнянь:

$$\begin{cases} K_m = (r_m/\rho_m)^2; \\ \rho_m^2 - r_m^2 = 1; \\ f\left(\frac{m-1}{n-1}\right) \\ K_m = \frac{n}{\sum_{k=m}^{n-1} f\left(\frac{k-1}{n-1}\right)}; \end{cases} \quad (10)$$

- де n - кількість виходів СРП;
 m - розглядуваний вихід СРП;
 K_m - коефіцієнт передачі потужності m -го НВ СРП;
 $f(x)$ - функція необхідного розподілу потужності і фази.

Необхідний розподіл фази на виходах СРП встановлюється за допомогою кутувального фазаобертача. Умовою збереження необхідного фазового розподілу в діапазоні частот і рівність кутів нахилу ФЧХ усіх виходів: $\alpha_n = \alpha_m$. Кути нахилу визначені диференціюванням ФЧХ відповідних елементів каналів (відрізків лінії передачі, коректуючого фазаобертача, направленої відгалужувача). З урахуванням цього:

$$\rho_{km} = \frac{[k_{\gamma n} - k_{\gamma m} + \sum_{i=m}^{n-1} (1/\rho_i + k_{\gamma i})]}{4} + \frac{1}{k_{\gamma n} - k_{\gamma m} + \sum_{i=m}^{n-1} (1/\rho_i + k_{\gamma i})}. \quad (11)$$

де $k_{\gamma n} = \theta_n / 2\pi$ - відносний фазовий зсув кутувального фазаобертача n -го виходу СРП;

Задавши функцію фазового розподілу на виходах СРП і враховуючи ФЧХ кожного елемента, можливо за допомогою виразів (10) і (11) розрахувати електродинамічні параметри ρ_{km} , Γ_{km} коректуючого фазаобертача m -го виходу, що забезпечує паралельність ФЧХ усіх виходів.

На основі числового дослідження характеристик атенюатора [8], для математичної моделі якого використовувались математичні вирази залежності розсіюваної, передаваної та відбитої мікрохвильової потужності від провідності використовуваних рін діодів, що визначені у другому розділі, розроблено рекомендації по підвищенню рівня робочої потужності. Встановлено, що для потужних багатокаскадних атенюаторів найбільш прийнятним є включення діодів через відрізки лінії передачі довжиною $\lambda/2$ при паралельному і послідовному включенні і $\lambda/4$ при Γ -подібному включенню діодів дозволяє:

- розсіяти не більше половини падаючої потужності у діодах;
- суттєво збільшити кількість ефективно використовуваних діодів і тим самим підвищити рівень робочої потужності;
- керувати усіма діодами одним сигналом;
- мати більший динамічний діапазон внесеного ослаблення при меншій кількості каскадів.

Одним з принципів питань при проектуванні АФАР є дослідження енергетичних параметрів випромінюваного сигналу. Вимірювання співвідношення сигнал/шум фрагменту АФАР показало, що у випадку складання випромінюваної потужності в просторі значення співвідношення сигнал/шум збільшується на 5,3дБ відносно його значення у випадку одноканального передавального пристрою.

Результати розробки та експериментальних досліджень дозволяють прогнозувати параметри повномасштабних АФАР та проектувати їх шляхом нарощування кількості каналів, використовуючи готові технічні розв'язки.

Реалізація теоретичних рекомендацій та інженерної методики розрахунку на великий рівень потужності дозволила збільшити рівень робочої потужності багатокаскадного хвилеводного pin-атенюатора. Експериментальні дослідження показали, що атенюатор стійко працює на рівні робочої потужності в безперервному режимі до 80 Вт, що повністю відповідає розрахункам. При роботі атенюатора в ключовому режимі рівень робочої потужності може бути збільшений до 600 Вт, в той час як використаний pin діод може поглинути 2 Вт.

Для використання в інженерній методиці в якості початкових даних вперше експериментально визначені залежності внесеного загасання та еквівалентної нормованої провідності від величини керуючого струму, залежності температурного коефіцієнту напруги від керуючого струму та рівні гранично допустимих потужностей для різних варіантів багатощільних модулів на pin діодах (див.табл.)

Під час експериментальних досліджень встановлено вплив тривалості, затримки та амплітуди витягуючих імпульсів на величину внесеного загасання pin-атенюатора і запропоновано спосіб регулювання вихідної потужності АМ з використанням цього ефекту.

В ВИСНОВКАХ викладені основні результати дисертаційної роботи.

Залежність граничного рівня падаючої потужності $P_{пад}$ від кількості щілин та режиму роботи модулів на діодах 2A505A.

Таблиця

Кількість щілин		1	2	3	4	5
Рпад, Вт в режимі	пропускання	22	44	66	88	110
	послаблення бДБ	4	8	12	16	20
	запірання	27	29,2	31,4	33,6	36

ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ РОБОТИ

1. Розроблено, обгрунтовано і апробовано у проектуванні ряду мікрохвильових пристроїв АМ новий метод, що дає змогу визначити розподіл розсіяваної потужності між дисипативними елементами мікрохвильових ланцюгів.

2. Вперше розроблено, обгрунтовано і апробовано наближений метод, що дає змогу аналітичним способом дослідити мікрохвильові багатопольсні ланцюги з урахуванням неідеальності характеристик їх компонентів.

3. Вперше визначені умови рівномірного поглинання потужності дисипативними (напівпровідниковими) елементами у багатокаскадному з'єднанні мікрохвильових чотириполосників.

4. На основі запропонованого методу розроблені математичні моделі ряду мікрохвильових пристроїв активних модулів, що дають змогу шляхом числових експериментів на ЕОМ здійснити оптимізацію їх енергетичних та електричних параметрів. При цьому отримані залежності розподілу розсіяваної, передаваної та відбитої мікрохвильової потужності для кожного каскаду багатокаскадного атенюатора від провідності використовуваних напівпровідникових елементів і визначено оптимальні, з точки зору підвищення рівня робочої потужності, відстані між ними.

5. Для проектування систем розподілу потужності послідовного типу, що використовуються в АСАР деяких підсистемах потужності, розроблена методика синтезу її основних

конструктивних розмірів за заданою функцією амплітудного і фазового розподілу сигналу на її виходах.

6. Розроблена інженерна методика розрахунку розподілу потужності у багатокаскадних мікрохвильових пристроях та визначені апроксимуючі вирази для внесеного ослаблення багатокаскадного атенкуатора від ослаблення окремого каскаду.

7. Запропоновані, теоретично та експериментально досліджені оригінальні схемотехнічні і конструктивні рішення ряду мікрохвильових пристроїв, спрямованих на оптимізацію їх характеристик та мінімізацію розсіюваної потужності.

8. Розроблені і досліджені восьмиканальний фрагмент передавальної активної фазованої решітки та активні модулі, що входять до її складу.

9. Новим шляхом (за допомогою запропонованого методу) підтверджені, як окремі випадки, ряд відомих результатів.

10. На основі результатів виконаних досліджень вперше створено ряд приладів, блоків і вузлів сучасних радіоелектронних систем, які були впроваджені в серійне виробництво і використовуються як в Україні, так і за її межами.

Основні результати проведених досліджень викладені у друкованих працях:

1. А.с. 1753515 СССР, МКИ Н01р 1/22. СВЧ аттенкуатор / В.В.Загоруйко, А.И.Юшин. Заявл. 23.10.89; Опубл. 07.08.92. Бюл. N 29.

2. А.с.634403 СССР, МКИ Н01р 1/22. Сверхвысокочастотный аттенкуатор / В.П.Нарбут, В.А.Фурман, А.И.Юшин. Заявл. 05.01.77; Опубл. 25.11.78. Бюл. N 4378.

3. А.с.950128 СССР, МКИ Н01р 1/22. Волноводный коммутирующий модуль / В.П.Нарбут, А.И.Юшин. Заявл. 17.04.78; Опубл. 07.08.82. Бюл. N 29.

4. Анализ энергетических характеристик каскадного соединения диссипативных СВЧ четырехполюсников / В.В.Загоруйко, В.П.Коваль, В.П.Нарбут, А.И.Юшин // Иав. ВУЗов СССР. Сер. Радиоэлектроника. - 1992. - Т.35. - N 11. - С.18-25.

5. Загоруйко В.В., Юшин А.И. Алгоритмы расчета поглощения в каскадно-соединенных диссипативных волновых четырехполюсниках // Депонированная рукопись ДР-2475 от 02.06.86. - Л.: ЦНИИ "Румб", БАН "Судостроение". Сер.4. - 1986. - Вып.5. - 9 с.

6. Загоруйко В.В., Юшин А.И. Вопросы проектирования pin

аттенжатора высокого уровня мощности // Судостроительная промышленность. Сер. РЛ.- 1986.- Вып.30.- С.33-38.

7. Загоруйко В.В., Юшин А.И. Повышение эффективности повышающих преобразователей частоты на варакторных диодах // Вопросы судостроения. Сер. ОТ.- 1985.- Вып. 86.- С.78-82.

8. К синтезу системы распределения мощности на связанных линиях / Б.М.Зайкин, В.В.Конин, В.П.Нарбут, А.И.Юшин // Вопросы судостроения. Сер. ВТ.-,1976.- Вып.10.- С.78-85.

9. Матрица рассеяния невазаимного восьмиполюсника с реальными нагрузками / С.С.Глуценко, В.П.Нарбут, А.Х.Шмуклер, А.И.Юшин // Сб. науч.тр. "Методы и приборы для анализа состава вещества" / ВНИИАП.- 1974.- Вып.5.- С.119-126.

10. Метод определения влияния коэффициентов отражения нагрузок на параметры реального многополюсника / С.С.Глуценко, В.П.Нарбут, А.Х.Шмуклер, А.И.Юшин // Сб. "Машинное проектирование систем и устройств СВЧ". - Киев: Знание, 1974.- Вып. 1.- С.15-16

11. Метод определения матрицы рассеяния многополюсника с реальными нагрузками / С.С.Глуценко, В.П.Нарбут, А.Х.Шмуклер, А.И.Юшин // Радиотехника и электроника.- 1976.- Т.21, вып.10.- С.2109-2116.

12. Результаты экспериментальных исследований волноводных смесительных камер / З.В.Антропова, В.В.Загоруйко, Н.И.Казака, А.И.Юшин // Вопросы судостроения. Сер. ОТ.- 1982.- Вып. 65.- С.89-93.

13. Результаты экспериментальных исследований многодиодного аттенжатора высокого уровня мощности / Ю.Г.Роженко, А.С.Сокирина, Н.И.Федяев, А.И.Юшин // Судостроительная промышленность. Сер. РЛ.- 1986.- Вып.30.- С. 44-52.

14. Экспериментальные исследования ρ_{in} аттенжатора сантиметрового диапазона / Н.И.Казака, В.П.Нарбут, Ю.Г.Роженко, А.И.Юшин // Депонированная рукопись ДР-627 от 12.02.86.- Л.: ЦНИИ "Румб", ВАУ "Судостроение". Сер. 4.- 1985.- Вып.4.- 8 с.

Юшин

Підписано до друку 19.06.96р. Формат 60×84/16.

*Ум. друк. орк. 0,93. Тираж 100 прим. Замовлення №1113
252073, Київ, вул. Фрунзе 160/20, НДІ НФП*

436.360

Юшин А.И.

АНАЛИЗ И РАЗРАБОТКА МИКРОВОЛНОВЫХ
ФАЗИРОВАННЫХ АНТЕННЫХ РЕШЕТОК

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.12.07 - Антенны и устройства микроволновой техники. Научно-исследовательский институт новых физических и прикладных проблем, Киев, 1996.

Предложен и обоснован новый метод анализа энергетических характеристик каскадного соединения диссипативных микроволновых многополюсников, а также анализа характеристик соединения микроволновых устройств и нагрузок с учетом их неидеальности. Приведены результаты теоретического анализа и экспериментальных исследований характеристик экспериментального образца АФАР, микроволновых активных модулей и некоторых оригинальных функциональных устройств, входящих в их состав и работающих на высоком уровне входной мощности.

ABSTRACT

Yushin A.I.

ANALYSIS AND DEVELOPMENT OF MICROWAVE MODULES OF TRANSMITTING ACTIVE PHASED-ARRAY ANTENNAS

Ph. D. Thesis by speciality N 05.12.07 - Antennas and microwave devices, Research Institute of New Physical and Applied Problems, Kiev, 1996.

New method of power characteristics analysis of cascade junction of dissipative microwave multipoles and analysis of characteristics of microwave multipoles and loads junction, considering their non-idealness, - is proposed and substantiated. Theoretical Analysis and experimental researches of experimental APAA-pattern characteristics, multicascade microwave active modules and several original functional devices, forming part of them, and operating on high level of input power, - were led.

Ключеві слова: мікрохвильові активні модулі, передавальні тракти, АФАР, методи аналізу, енергетичні характеристики, комутаційні пристрої.