



УКРАЇНА

(19) UA

(11) 82102

(13) C2

(51) МПК (2006)
G01R 27/04МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІОПИС
ДО ПАТЕНТУ НА ВІНАХІД(54) СПОСІБ ВИМІРЮВАННЯ МОДУЛЯ І АРГУМЕНТУ КОМПЛЕКСНОГО КОЕФІЦІЄНТА ВІДБИТТЯ
МІКРОХВИЛЬОВИХ ПРИСТРОЇВ

1

2

(21) а200512568

(22) 26.12.2005

(24) 11.03.2008

(72) ГІМПІЛЕВИЧ ЮРІЙ БОРИСОВИЧ, UA,
ВЕРТЕГЕЛ ВАЛЕРІЙ ВІКТОРОВИЧ, UA,
НОСКОВИЧ ВІКТОР ІВАНОВИЧ, UA(73) СЕВАСТОПОЛЬСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ
ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ, UA(56) UA 43959 C2, 15.09.2004
US 4521728, 04.06.1985
US 3025463, 13.03.1962

(57)

Спосіб вимірювання модуля і аргументу комплексного коефіцієнта відбиття мікрохвильових пристроїв з використанням 12-полюсного рефлектометра, що полягає в проведенні попередньої калібрувальної процедури і вимірювальної процедури в дискретних точках робочого діапазону частот, причому в рамках попередньої калібрувальної процедури визначають еквівалентні параметри 12-полюсного рефлектометра, а в рамках вимірювальної

процедури вимірюють рівні потужностей сигналів P_i ($i = 0, 1, 2, 3$) у чотирьох плечах 12-полюсного рефлектометра, до двох інших плечей якого підключені джерело зондувального сигналу і мікрохвильовий пристрій, що вимірюється, визначають нормовані значення цих потужностей $\bar{P}_i = P_i/P_0$ ($i = 1, 2, 3$), який відрізняється тим, що при проведенні попередньої калібрувальної процедури після визначення еквівалентних параметрів 12-полюсного рефлектометра формують масив розрахункових значень модуля й аргументу комплексного коефіцієнта відбиття в тих же дискретних точках робочого діапазону частот, запам'ятовують цей масив, а при проведенні вимірювальної процедури вказаних частотних точках формують тривимірні адреси з використанням виміряних нормованих значень потужностей \bar{P}_i , по цих адресах здійснюють звертання до масиву, що запам'ятований, з якого зчитують значення модуля й аргументу комплексного коефіцієнта відбиття.

Винахід відноситься до техніки вимірювань на надвисоких частотах і його може бути використано для вимірювання комплексного коефіцієнта відбиття (ККВ) мікрохвильових пристроїв різного цільового призначення.

У техніці вимірювань на НВЧ широко використовується спосіб вимірювання, заснований на аналізі амплітудного розподілу поля вздовж лінії передачі (метод вимірювальної лінії) (див., наприклад, [1]). Недоліком цього способу є низька продуктивність вимірювань.

Цей недолік усунений в способі автоматичного вимірювання, заснованому на аналізі амплітудного розподілу поля в дискретних точках лінії передачі (так званий багатозондовий метод) (див., наприклад, [2]). Недоліком цього методу є низька точність при вимірюваннях в широкій смузі частот.

Зазначений недолік усунутий у так званому способі каліброваного дванадцятиполюсного рефлектометра (див., наприклад, [3, 4]). Суть способу полягає в тому, що за допомогою

дванадцятиполюсника, до двох полюсів якого підключені джерело зондувального гармонійного НВЧ сигналу і пристрій, що досліджується, вимірюють рівні потужностей НВЧ сигналів на інших (вимірювальних) виходах дванадцятиполюсника. Після по виміряних потужностях обчислюють уявну та дійсну частини ККВ мікрохвильового пристрою, що досліджується. Причому, попередньо в процесі калібрування по зразкових мірах ККВ на кожній частоті визначають і запам'ятовують еквівалентні параметри дванадцятиполюсника, що використовуються надалі для розрахунку параметрів вимірюваного пристрою.

Найбільш близьким по технічній суті є спосіб, описаний у [4]. Цей спосіб вимірювання модуля й аргументу ККВ із використанням 12-полюсного рефлектометра полягає в проведенні попередньої калібрувальної процедури і вимірювальної процедури в дискретних точках робочого діапазону частот, причому в рамках попередньої

(13) C2

(11) 82102

(19) UA

каліброваної процедури визначають еквівалентні параметри 12-полюсного рефлектометра, а в рамках вимірювальної процедури вимірюють рівні потужностей сигналів P_i ($i = 0, 1, 2, 3$) у чотирьох плечах 12-полюсного рефлектометра, до двох інших пліч якого підключені джерело зонduючого сигналу і вимірюваний мікрохвильовий пристрій, визначають нормовані значення потужностей $\bar{P}_i = P_i/P_0$ ($i = 1, 2, 3$), по них розраховують реальну X , уявну Y частини, а потім модуль $|\Gamma|$ і аргумент φ комплексного коефіцієнта відбиття вимірюваного пристрою по формулах

$$X = \operatorname{Re} \Gamma = \frac{U_0 + U_1 \bar{P}_1 + U_2 \bar{P}_2 + U_3 \bar{P}_3}{1 + C_1 P_1 + C_2 P_2 + C_3 P_3}; \quad (1)$$

$$Y = \operatorname{Im} \Gamma = \frac{V_0 + V_1 \bar{P}_1 + V_2 \bar{P}_2 + V_3 \bar{P}_3}{1 + C_1 P_1 + C_2 P_2 + C_3 P_3}; \quad (2)$$

$$|\Gamma| = \sqrt{X^2 + Y^2}; \quad (3)$$

$$\varphi = \arctg\left(\frac{Y}{X}\right); \quad (4)$$

де

$$\bar{P}_i = \frac{P_i}{P_0} = q_i \left| \frac{1 + A_i \Gamma}{1 + A_0 \Gamma} \right|, \quad i = 1, 2, 3. \quad (5)$$

У приведених співвідношеннях: P_i - виміряні рівні потужностей сигналів на виходах 12-полюсного рефлектометра; \bar{P}_i - нормовані значення потужностей, причому нормування здійснюється щодо потужності на виході з індексом «0»; q_i - еквівалентні скалярні параметри, A_i - еквівалентні комплексні параметри, що характеризують i -ті вимірювальні виходи 12-полюсного рефлектометра; $U_0 \dots U_3$, $V_0 \dots V_3$, $C_1 \dots C_3$, - скалярні константи, які однозначно пов'язані з еквівалентними параметрами A_i і q_i ; 12-полюсного рефлектометра. Ці скалярні константи розраховуються на етапі калібрування і запам'ятовуються.

Недоліком даного способу вимірювання є низька швидкодія, яка обумовлена необхідністю розраховувати реальну і уявну частини ККВ по формулах (1), (2), а по них далі модуль (3) і аргумент (4) ККВ на кожній частоті, що виключає можливість проведення вимірювання у режимі реального часу при панорамних вимірюваннях навіть при використанні сучасних обчислювальних засобів.

Задача запропонованого винаходу - підвищення швидкодії вимірювання.

Рішення цієї задачі досягається тим, що в способі вимірювання комплексного коефіцієнта відбиття мікрохвильових пристроїв, що заявляється, при проведенні попередньої калібрувальної процедури після визначення еквівалентних параметрів 12-полюсного рефлектометра формують масив розрахункових значень модуля й аргументу комплексного

коефіцієнта відбиття в дискретних точках робочого діапазону частот, запам'ятовують цей масив, а при проведенні вимірювальної процедури в зазначених частотних точках формують тривимірні адреси з використанням виміряних нормованих значень \bar{P}_i , потужностей, по цих адресах здійснюють звертання до масиву, що запомнений, з якого зчитують значення модуля й аргументу комплексного коефіцієнта відбиття.

Таким чином, на етапі вимірювальної процедури виключається необхідність проведення розрахунків вимірюваних параметрів по формулах (1) ... (4). Це приводить до нової властивості, що полягає в підвищенні швидкодії вимірювання комплексного коефіцієнта відбиття. Ця властивість забезпечується введенням заявлених відмітних ознак і без цих ознак не можуть бути отримана.

На фіг.1 зображена структурна схема одного з варіантів вимірювача комплексного коефіцієнта відбиття мікрохвильових пристроїв, що реалізує запропонований спосіб вимірювання.

Вимірювач містить генератор зонduючого НВЧ сигналу 1, вихід якого через 12-полюсний рефлектометр 2 підключений до входу вимірюваного пристрою 3. До вимірювальних виходів рефлектометра підключені чотири датчики потужності 4. Виходи датчиків потужності підключені до входів підсилювачів 5, а виходи підсилювачів до входів перемикача 6. Вихід перемикача з'єднаний з входом обчислювально-керуючого пристрою 7, до складу якого входять послідовно включені аналого-цифровий перетворювач (АЦП) 8, блок пам'яті 9 і обчислювальний пристрій 10, а також блок керування 11, виходи якого з'єднані з керуючими входами перемикача 6, АЦП 8, блоку пам'яті 9, обчислювального пристрою 10 і генератора зонduючого сигналу 1. Вихід обчислювального пристрою 10 з'єднаний з індикаторним блоком 12.

Генератор зонduючого НВЧ сигналу 1 призначений для формування гармонійних коливань з необхідною сіткою частот. Як генератор може бути використано генератор хитної частоти з можливістю зовнішнього керування з комплексу панорамних приладів груп Р2 і Р4 чи синтезатор частот.

12-полюсний рефлектометр 2 призначений для формування вимірювальних сигналів. Можливі різні конструктивні варіанти 12-полюсного рефлектометра на основі як направлених, так і ненаправлених елементів. Деякі з варіантів наведені в [4, 5].

Датчики потужності 4 призначені для формування постійних напруг, пропорційних рівням потужностей НВЧ сигналів на вимірювальних виходах 12-полюсного рефлектометра 2. Як датчики потужності можна використовувати детекторні секції з напівпровідниковими діодами, що працюють у квадратичному режимі.

Підсилювачі 5 призначені для посилення постійних напруг до рівня, необхідного для нормальної роботи АЦП 8. Перемикач 6 по командах блоку керування 11 по черзі подає вихідні сигнали підсилювачів на вхід АЦП, що

перетворює постійні напруги в двійкові коди для обробки в обчислювально-керуючому пристрої 7. Перераховані пристрої можуть бути виконані на основі спеціалізованих інтегральних мікросхем.

Блок пам'яті 9 призначений для зберігання еквівалентних параметрів q_i , A_i і масиву розрахункових значень комплексного коефіцієнта відбиття. Обчислення еквівалентних параметрів q_i , A_i , нормованих значень сигналів \bar{P}_i , формування адрес комірок пам'яті, у які записуються під час калібрування розрахункові значення модуля й аргументу комплексного коефіцієнта відбиття і формування адрес, по яких під час вимірювання зчитуються з пам'яті розрахункові значення модуля й аргументу комплексного коефіцієнта відбиття, виконує обчислювальний пристрій 10.

Обчислювально-керуючий пристрій 7 може бути реалізовано на основі однокристальної ЕОМ з АЦП, або персональної ЕОМ із блоком спраження. Всі операції, що виконуються пристроєм, можуть бути запрограмовані і записані в запам'ятовувач тільки для зчитування (ЗТЧ).

Індикаторний блок 12 служить для відображення результатів вимірювання в зручній формі. Для цих цілей можуть бути використано цифрові, аналогові, осцилографічні та інші індикатори, зокрема монітор ЕОМ.

Вимірювач модуля й аргументу комплексного коефіцієнта відбиття мікрохвильових пристроїв працює таким чином.

По команді з блоку керування 11 гармонійний НВЧ сигнал необхідної частоти з виходу генератора зондування сигналу 1 через 12-полюсний рефлектометр 2 надходить на вимірюваний пристрій 3 з комплексним коефіцієнтом відбиття Γ . При цьому в мікрохвильовому тракці формується розподіл електромагнітного поля, обумовлений значенням Γ . На вимірювальних виходах 12-полюсного рефлектометра формуються сигнали, що несуть інформацію про вимірюваний модуль й аргумент комплексного коефіцієнта відбиття досліджуваного мікрохвильового пристрою.

Ці сигнали надходять на датчики потужності 4, що перетворюють гармонійні НВЧ сигнали в постійні напруги пропорційні рівню потужності цих сигналів. Вихідні напруги датчиків потужності, посилені за допомогою чотирьох підсилювачів 5, подаються на входи перемикача 6. По командах із блоку керування перемикач по черзі підключає виходи підсилювачів до входу АЦП 8. Ступінчастий вхідний сигнал АЦП, кожна сходинка якого пропорційна обмірюваній потужності P_i , по командах із блоку керування 11 перетворюється АЦП 8 у цифрові коди і запам'ятовується в блоці пам'яті 9 для подальшої обробки в обчислювальному пристрої 10.

Процедурі вимірювання передують процедура калібрування, що складається з двох етапів.

Перший етап аналогічний процедурі калібрування способу-прототипу [4]. На цьому етапі за результатами вимірювання потужностей сигналів P_i , на вимірювальних виходах 12-полюсного рефлектометра, до виходу якого по черзі підключають набір еталонних навантажень з

відомими комплексними коефіцієнтами відбиття Γ_j ($j = 0, 1, \dots, 4$), по формулах (8)...(15) (див. прототип) розраховують у всіх частотних точках заданого діапазону частот еквівалентні параметри 12-полюсного рефлектометра q_i , A_i , які запам'ятовують у блоці пам'яті 9 і використовують на другому етапі калібрування.

На другому етапі процедури калібрування на тих же частотах при відомих (розрахованих і запам'ятованих на першому етапі калібрування) параметрах q_i , A_i для заданих значень модуля ККВ

$$|\Gamma_n| \quad (n = 1, 2, 3, \dots, N) \text{ у діапазоні } 0 \leq |\Gamma_n| \leq 1 \text{ з}$$

кроком $\Delta|\Gamma| = 1/N - 1$ і аргументу ККВ φ_m ($m = 1, 2,$

$3, \dots, M$) у діапазоні $-\pi \leq \varphi_m \leq \pi$ з кроком

$\Delta\varphi = 2\pi/M - 1$ по формулі (5) розраховують нормовані значення потужностей сигналів на

виходах 12-полюсного рефлектометра \bar{P}_{pi} . У результаті цих розрахунків формуються $N \times M$ комбінацій розрахованих нормованих значень

сигналів \bar{P}_{pi_k} , кожна з яких відповідає тільки одному значенню комплексного коефіцієнта відбиття Γ_k , де $k = 1, 2, 3, \dots, N \times M$.

Далі з розрахованих нормованих потужностей \bar{P}_{p1k} , \bar{P}_{p2k} , \bar{P}_{p3k} формують адреси $A1_k$, $A2_k$, $A3_k$ комірок пам'яті, у які записують відповідні їм

значення модуля $|\Gamma_n|$ й аргументу φ_m комплексного коефіцієнта відбиття Γ_k . Формування тривимірної адреси $A1_k$, $A2_k$, $A3_k$ можна здійснити

шляхом округлення \bar{P}_{pi_k} і множення на множник, що дозволяє одержати цілі числа $A1_k$, $A2_k$, $A3_k$.

Таким чином, у результаті завершення другого етапу процедури калібрування в блоці пам'яті 9 запам'ятовується тривимірний масив значень ККВ, що надалі використовується для проведення вимірювальної процедури.

При проведенні на тих же частотах вимірювальної процедури, коли до виходу 12-полюсного рефлектометра підключається досліджуваний мікрохвильовий пристрій, в обчислювально-керуючому пристрої визначають нормовані значення потужностей вихідних сигналів рефлектометра \bar{P}_{i1} , \bar{P}_{i2} , \bar{P}_{i3} , потім їх округляють до того ж знака що і при калібруванні. Після чого формують тривимірну адресу шляхом

множення \bar{P}_{pi_k} на той же множник що і при калібруванні, що дозволяє одержати цілі числа $A1_i$, $A2_i$, $A3_i$. По цій адресі здійснюють звертання до елемента записаного на етапі калібрування

масиву, з якого зчитують значення модуля $|\Gamma_n|$ й

аргументу φ_m комплексного коефіцієнта відбиття.

З виходу обчислювального пристрою 10 зчитані сигнали надходять в індикаторний блок 12, де здійснюється індикація вимірюваних параметрів у зручному вигляді (у декартовій системі, у полярній системі, або на діаграмі повних опорів).

Визначимо основні технічні характеристики пропонованого варіанта вимірювача. Виходячи зі зручностей реалізації цифрових алгоритмів обробки вимірювальної інформації задамося значеннями $N = M = 256$. Обрані значення N та M дозволяють розрахувати, а, отже, і вимірювати величину модуля ККВ з абсолютною похибкою $\Delta|\Gamma| = 1/N - 1 = 1/255 \approx 0,004$, а аргументу ККВ з абсолютною похибкою

$\Delta\varphi = 360^\circ / M - 1 = 360^\circ / 255 \approx 1,4^\circ$. Очевидно, що зменшити похибку вимірювання можливо шляхом збільшення значень N та M

Для відображення графіків частотних залежностей вимірюваного ККВ виберемо $F = 256$ частотних точок, що зручно з погляду реалізації цифрових алгоритмів керування НВЧ генератором.

Визначимо необхідну ємність блоку пам'яті, призначеного для збереження масиву розрахункових значень модуля й аргументу ККВ, у тому випадку, коли для панорамних вимірювань використовується F частотних точок. Якщо для

збереження дробової частини $|\Gamma_n|$ використовується один байт, а для збереження φ_m три байти (два перших байти для збереження

цілої частини φ_m , а третій - дробової частини), то ємність блоку пам'яті знаходиться по формулі: $V = 4N \times M \times F$ байт. Для обраних значень N , M і F одержуємо $F = 64$ Мб, що може бути реалізовано при використанні сучасної елементної бази.

Визначимо виграш у швидкодії способу вимірювання, що заявляється, у панорамному режимі в порівнянні зі способом-прототипом.

У способі, що заявляється, під час вимірювальної процедури для визначення ККВ досліджуваного мікрохвильового пристрою в кожній частотній точці потрібно затратити час на вимірювання (t_b) рівнів потужності P_i , сигналів, їхнє нормування (t_n), формування адреси (t_Φ) і зчитування з блоку пам'яті двох параметрів $|\Gamma_n|$ і

φ_m ($2t_3$), де t_3 - час зчитування одного параметра. Слід зазначити, що час виконання операції формування адреси мало, оскільки полягає в округленні та множенні на константу значень \bar{P}_{i1} , \bar{P}_{i2} , \bar{P}_{i3} .

У способі-прототипі витрати часу під час вимірювальної процедури для визначення ККВ досліджуваного мікрохвильового пристрою в кожній частотній точці складаються з часу на вимірювання рівнів потужності сигналів P_i (t_b), їхнє нормування (t_n), зчитування

з блоку пам'яті визначених при калібруванні одинадцяти констант $U_0 \dots U_3$, $V_0 \dots V_3$, $C_1 \dots C_3$, ($11t_3$), обчислення (t_0) вимірюваних параметрів по формулах (1) ... (4). Слід зазначити, що формула (3) містить операцію витягання квадратного кореня, а формула (4) операцію обчислювання арктангенсу, що вимагає істотних витрат часу (t_b) при їх чисельній реалізації в цифровому обчислювачі.

Таким чином, для способу, що заявляється, виграш (V) буде складати час, витрачений на зчитування з блоку пам'яті дев'яти констант ($9t_3$), час обчислень (t_0) модуля й аргументу ККВ по формулах (1) ... (4) за винятком часу формування адреси (t_Φ), прямо пропорційний кількості частотних точок: $V = F(9t_3 + t_0 - t_\Phi)$.

Джерела інформації:

1. Стариков В.Д. Методы измерения на СВЧ с применением измерительных линий / В.Д.:

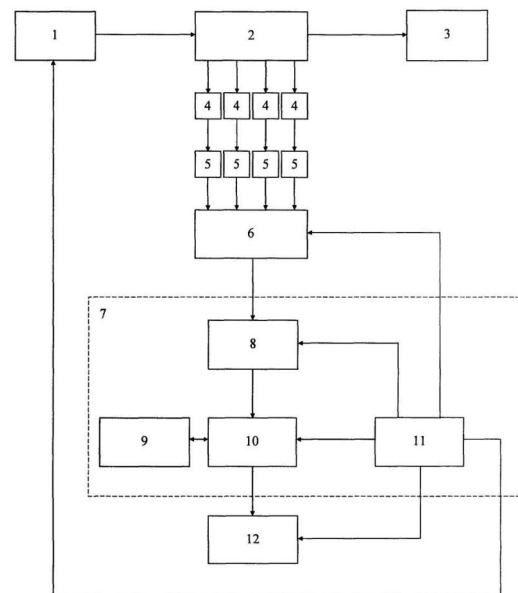
Стариков - М.: Сов. радио, 1972. - 145 с.

2. Автоматизация измерений параметров СВЧ трактов / И.К. Бондаренко, Г.А. Дейнега, З.В. Маграчев - М.: Сов. Радио, 1969. - 304 с.

3. Hoer C. A. A network analyzer Incorporating two six-port reflectometers / IEEE, Trans. MTT. - 1977. - V. 25. № 12. - p. 1070-1080.

4. Li S., Bosisio R. Calibration of Multiport Reflectometers by Means of Four Open/ Short Circuits / IEEE, MTT, v. 30, N7 1982. p. 1085 - 1089,.

5. Engen G. F. An improved circuit for implementing the six-port technique of microwave measurements / IEEE Trans. MTT. - 1977 - V. 25, № 12. - p. 1080 - 1083.



Фиг. 1