Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет радіоелектроніки
Кафедра ПЕЕА

Дослідження методів вимірювання параметрів НВЧ сигналів і трактів

Здобувач Кузнецов Володимир Генадійович

Науковий керівник проф. Черняков Е.І.

2022

Додаток А

МЕТА ТА ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

Об'єктом дослідження є процес вимірювання параметрів сигналів і трактів НВЧ.

Метою роботи є підвищення точності багатозондового методу вимірювання параметрів сигналів і трактів НВЧ за рахунок оптимізації обробки інформації отриманої з датчиків.

Для досягнення мети поставлено наступну задачу дослідження: Створити метод обробки сигналів датчиків, що дозволяє розрахувати прохідну потужність, модуль і фазу коефіцієнта відбиття навантаження більш точно.

На основі розроблених моделей синтезована методика виконання вимірювань багатозондовим методом. Отримані результати можуть бути використані в приладобудуванні, енергетиці, в телекомунікаціях.

Двоетапна процедура обробки сигналів датчиків полягає в обчисленні з сигналів датчиків проміжних змінних, шуканих змінних із проміжних змінних; алгоритми обробки, крім обчислення параметрів, дозволяють компенсувати похибку неузгодженості; оптимізація має на увазі мінімізацію цільової функції, яка у випадку методу найменших квадратів являє собою квадрат різниць обмірюваних і обчислених значень.

2

МЕТОДИ ВИМІРЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ СИГНАЛІВ НВЧ

Сигнал НВЧ характеризують потужністю Р, а тракт, до яких ставляться хвилеводи, коаксіальні й мікросмугові лінії, характеризується комплексним коефіцієнтом відбиття (ККВ) навантаження Г. Інші важливі параметри можна розрахувати на основі значення коефіцієнта відбиття. Це такі параметри як: елементи матриці розсіювання (S параметри), коефіцієнт стоячої хвилі навантаження (КХВН), повний опір навантаження Z, яке розраховується за допомогою кругової діаграми Вольперта- Смита.

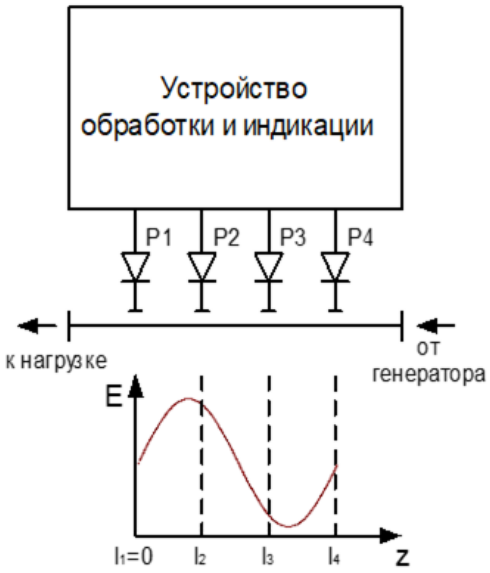
Вимірюванню підлягає прохідна, падаюча і відбита потужність. Для вимірювання потужності використовуються ватметри. Принципова відмінність, яка покладена в основу класифікації ватметрів полягає в способі включення вимірювальних приладів у лінію передачі. Ватметри прохідної потужності включають між джерелом потужності й навантаженням і вимірюють потужність, що проходить у навантаження.

3

МЕТОДИ ВИМІРЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ТРАКТІВ НВЧ

Для вимірювання параметрів трактів НВЧ застосовуються такі методи як поляризаційний метод, метод спрямованого відгалужувача, метод дванадцятиполюсника, метод вимірювальної лінії. Метод дванадцятиполюсника полягає у використанні дванадцятиполюсного пасивного розгалуження, вимірюванні потужності в чотирьох плечах і розрахунках шуканих параметрів (звичайно на ЕОМ). Перевагою цього методу є висока точність, похибка становить десяті частки відсотка. Однак для відтворення такої точності в робочих, а не еталонних, засобах вимірювання не завжди є можливість. Зокрема , часові витрати на калібрування не прийнятні в робочих засобах вимірювання. З іншого боку, методи й моделі обробки сигналів корисні для вивчення й застосування. До недоліків дванадцятиполюсників належить те, що вони забезпечують вимірювання лише на середніх рівнях потужності, потребують калібрування, і ця процедура за часом займає стільки ж, скільки й саме вимірювання. Крім того, відчувається дефіцит навантажень із параметрами, точно визначеними в широкому діапазоні частот.

ЛІНІЙНА АЛГЕБРА ЯК МОДЕЛЬ ДЛЯ БАГАТОЗОНДОВОГО МЕТОДА



$$\begin{cases} P_1 = P_{\text{пад}}(1 + \Gamma^2 + 2\Gamma\cos(\varphi - \theta)) \\ P_2 = P_{\text{пад}}(1 + \Gamma^2 + 2\Gamma\cos\varphi) \\ P_3 = P_{\text{пад}}(1 + \Gamma^2 + 2\Gamma\cos(\varphi + \theta)). \end{cases}$$

$$\begin{cases} P_1 = P_{\text{пад}}(1 + \Gamma^2 + 2\Gamma\cos\varphi\cos\theta + \sin\varphi\sin\theta)) \\ P_2 = P_{\text{пад}}(1 + \Gamma^2 + 2\Gamma\cos\varphi) \\ P_3 = P_{\text{пад}}(1 + \Gamma^2 + 2\Gamma\cos\varphi\cos\theta - \sin\varphi\sin\theta)). \end{cases}$$

$$\begin{bmatrix} P_1 \\ P_2 \\ P_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & \cos\theta & \sin\theta \\ 1 & 1 & 0 \\ 1 & \cos\theta & -\sin\theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P \\ \Delta P\cos\varphi \\ \Delta P\sin\varphi \end{bmatrix}.$$

5

АЛГОРИТМИ ОБЧИСЛЕННЯ ПАРАМЕТРІВ БАГАТОЗОНДОВОГО МУЛЬТИМЕТРА

$$\begin{bmatrix} P \\ \Delta P\cos\varphi \\ \Delta P\sin\varphi \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & \cos\theta & \sin\theta \\ 1 & 1 & 0 \\ 1 & \cos\theta & -\sin\theta \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} P_1 \\ P_2 \\ P_3 \end{bmatrix}.$$

$$\begin{bmatrix} P \\ \Delta P\cos\varphi \\ \Delta P\sin\varphi \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{-1}{2(\cos\theta-1)} & \frac{\cos\theta}{\cos\theta-1} & \frac{-1}{2(\cos\theta-1)} \\ \frac{1}{2(\cos\theta-1)} & \frac{-1}{\cos\theta-1} & \frac{1}{2(\cos\theta-1)} \\ \frac{1}{2\sin\theta} & 0 & \frac{-1}{2\sin\theta} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_1 \\ P_2 \\ P_3 \end{bmatrix}.$$

$$\begin{cases} P = \frac{-1}{2(\cos\theta-1)}P_1 + \frac{\cos\theta}{2(\cos\theta-1)}P_2 - \frac{1}{2(\cos\theta-1)}P_3 \\ \Delta P\cos\varphi = \frac{1}{2(\cos\theta-1)}P_1 + \frac{1}{2(\cos\theta-1)}P_2 - \frac{1}{2(\cos\theta-1)}P_3 \\ \Delta P\sin\varphi = \frac{1}{\sin\theta}P_1 - \frac{1}{\sin\theta}P_3 \end{cases}$$

$$P + \Delta P\cos\varphi = P_2$$

$$P - \Delta P\cos\varphi = \frac{2P_2\cos\theta - P_1 - P_3}{2(\cos\theta-1)} - \frac{P_1 + P_3 - 2P_2}{2(\cos\theta-1)} =$$

$$= \frac{2P_2(1+\cos\theta) - 2P_1 - 2P_3}{2(\cos\theta-1)}$$

$$P_{np} = \sqrt{(P - \Delta P\cos\varphi)(P + \Delta P\cos\varphi) - (\Delta P\sin\varphi)^2} =$$

$$= \sqrt{P^2 - (\Delta P\cos\varphi)^2 - (\Delta P\sin\varphi)^2}$$

ЧАСТОТНІ ВЛАСТИВОСТІ АЛГОРИТМІВ

$$\begin{cases} P_1 = P_{наð}(1+\Gamma^2+2\Gamma\cos(\varphi-\theta)) \\ P_2 = P_{наð}(1+\Gamma^2+2\Gamma\cos\varphi) \\ P_3 = P_{наð}(1+\Gamma^2+2\Gamma\cos(\varphi+\theta)) \\ P_4 = P_{наð}(1+\Gamma^2+2\Gamma\cos(\varphi+2\theta)). \end{cases}$$

$$A = P_2 - P_3 = 2\Gamma P_{наð}\left(cos\varphi - cos(\varphi+\theta)\right) =$$

$$= 2\Gamma P_{наð}\,2\sin\frac{\varphi+\varphi+\theta}{2}\sin\frac{\varphi+\theta-\varphi}{2} = 2\Gamma P_{наð}\,2\sin\left(\varphi+\frac{\theta}{2}\right)\sin\frac{\theta}{2}$$

$$B = P_1 - P_4 = 2\Gamma P_{наð}\left(cos(\varphi-\theta) - cos(\varphi+2\theta)\right) =$$

$$= 2\Gamma P_{наð}\,2\sin\frac{\varphi-\theta+\varphi+2\theta}{2}\sin\frac{\varphi+2\theta-\varphi+\theta}{2} = 2\Gamma P_{наð}\,2\sin\left(\varphi+\frac{\theta}{2}\right)\sin\frac{3\theta}{2}$$

$$A - B = 2\Gamma P_{наð}\,sin\left(\varphi+\frac{\theta}{2}\right)\sin\frac{\theta}{2} - 2\Gamma P_{наð}\,sin\left(\varphi+\frac{\theta}{2}\right)\sin\frac{3\theta}{2} =$$

$$= 2\Gamma P_{наð}\,sin\left(\varphi+\frac{\theta}{2}\right)\left(\sin\frac{\theta}{2}-\sin\frac{3\theta}{2}\right) = 2\Gamma P_{наð}\,sin\left(\varphi+\frac{\theta}{2}\right)2\sin\frac{\frac{\theta}{2}-\frac{3\theta}{2}}{2}\cos\frac{\frac{\theta}{2}+\frac{3\theta}{2}}{2}$$

$$= -2\Gamma P_{наð}\,sin\left(\varphi+\frac{\theta}{2}\right)2\sin\left(\frac{\theta}{2}\right)\cos(\theta)$$

$$\cos\theta = \frac{B-A}{2\Gamma P_{наð}\,sin\left(\varphi-\frac{\theta}{2}\right)2\sin\left(\frac{\theta}{2}\right)} = \frac{B-A}{2A}$$

7

МЕТОД НАЙМЕНШИХ КВАДРАТІВ

$$\begin{bmatrix} P_1 \\ P_2 \\ \dots \\ P_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & \cos\theta_1 & \sin\theta_1 \\ 1 & \cos\theta_2 & \sin\theta_2 \\ \dots & \dots & \dots \\ 1 & \cos\theta_n & \sin\theta_n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P \\ \Delta P\cos\varphi \\ \Delta P\sin\varphi \end{bmatrix} \quad \frac{1}{2\sigma^2}\sum_{i=1}^{n}\left(P_i - P_{наб}\left(1+\Gamma^2+2\Gamma cos(\varphi+\theta_i)\right)\right), \quad I_{ij}(x,\theta) = E\left[\left(\frac{\partial \ln L}{\partial \theta^{(i)}}\cdot\frac{\partial \ln L}{\partial \theta^{(j)}}\right)\right]$$

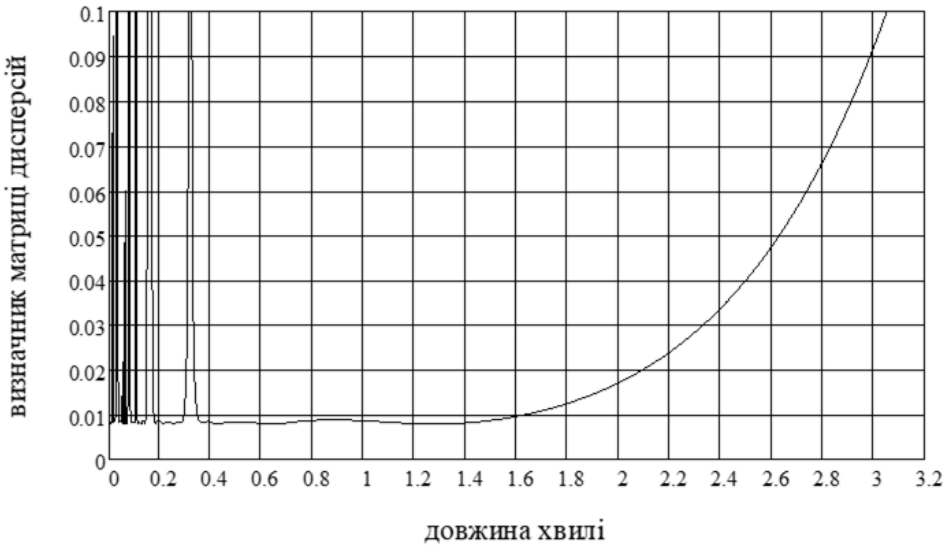
При нормалізації системи рівнянь матрицю системи рівнянь домножають праворуч на транспоновану матрицю. Кількість рівнянь у нормалізованій системі стає рівним кількості невідомих, а отримана матриця зветься інформаційної матриці Фішера, елементи якої являє собою математичне очікування другої похідної функції правдоподібності (щільності ймовірності) у логарифмічному виді. Друга похідна функції правдоподібності виноситься з-під знака інтегрування при обчисленні середнього значення, тому що вона не залежить від щільності ймовірності, а то, що залишається під знаком інтегрування звертається в одиницю по визначенню. Інформаційна матриця пов'язана з дисперсійною матрицею як зворотна до неї. Елементи інформаційної матриці Фишера інтерпретуються в такий спосіб: чим більше дисперсія, тим більше розкид у спостережених значеннях досліджуваної випадкової величини, тем менше інформації про величину її середнього значення укладене в одному спостереженні

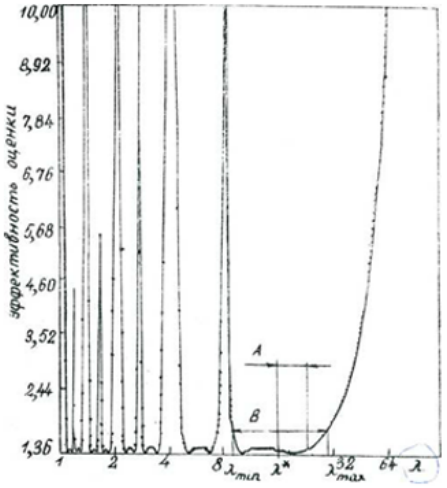
8

ЧАСТОТНІ ВЛАСТИВОСТІ З ВИКОРИСТАННЯМ МЕТОДУ НАЙМЕНШИХ КВАДРАТІВ

$$a(\theta) := \begin{pmatrix} 1 & 1 & 0 \\ 1 & \cos(\theta) & \sin(\theta) \\ 1 & \cos(2\cdot\theta) & \sin(2\cdot\theta) \\ 1 & \cos(3\cdot\theta) & \sin(3\cdot\theta) \end{pmatrix}$$

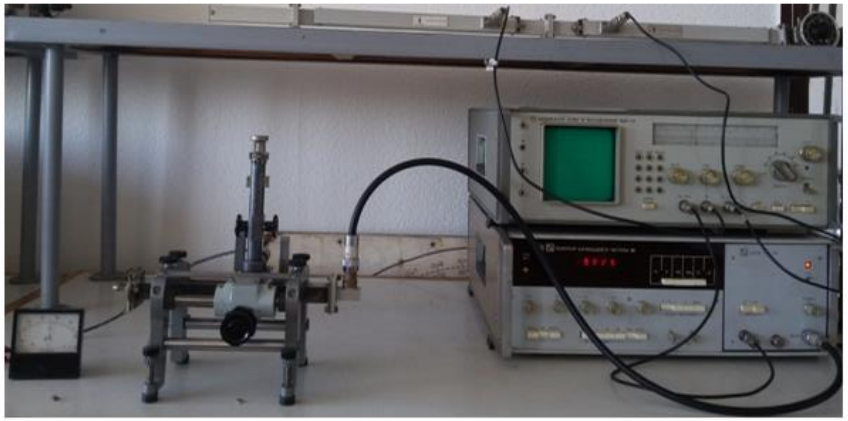
$$D(\theta) := \left(a(\theta)^T \cdot a(\theta)\right)^{-1}$$



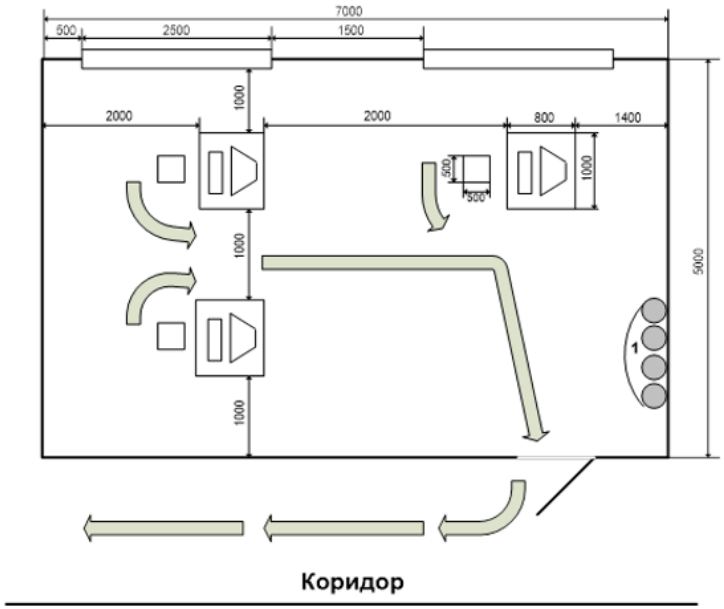


9

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ УСТАНОВКИ



10


7000
500
2500
1500
1000
2000
2000
800
1400
500
500
1000
1000
1000
1000
5000
1
Коридор

11

ВИСНОВКИ

Багатозондовий метод вимірювання параметрів НВЧ-сигналів і трактів, незважаючи на те, що відомий досить давно, має ресурси для підвищення точності за рахунок оптимальної обробки сигналів датчиків.

З аналізу літератури зроблені такі висновки: проміжні змінні й лінеаризація дозволяють створювати надійні моделі і алгоритми обробки сигналів датчиків в багатозондовому мікрохвильовом у мультиметрі; двоетапна процедура обробки сигналів датчиків полягає в обчисленні з сигналів датчиків проміжних змінних, шуканих змінних із проміжних змінних; алгоритми обробки, крім обчислення параметрів, дозволяють компенсувати похибку неузгодженості; оптимізація має на увазі мінімізацію цільової функції, яка у випадку методу найменших квадратів являє собою квадрат різниць обмірюваних і обчислених значень.

Із критичного аналізу стану проблеми виміру параметрів сигналів і трактів НВЧ випливає, що залишилися недостатньо дослідженим надлишкові системи рівнянь.

У атестаційній роботі вирішене наукове завдання підвищення точності багатозондового методу вимірювання параметрів сигналів і трактів НВЧ. Найбільш важливими науковими і практичними результатами отриманими в роботі є:

Метод обробки сигналів датчиків, що дозволяє розрахувати прохідну потужність, модуль та фазу коефіцієнта відбиття навантаження точніше на 50%.

Проведене моделювання для кількості датчиків рівного чотири, шість і вісім показало зменшення похибки із зростанням числа датчиків. Так для чотирьох датчиків робочий діапазон становить менше октави. Для шести датчиків перевищує октаву. А для восьми датчиків відношення максимальної довжини хвилі до мінімальної більше п'яти, тоюто дві октави.