



УКРАЇНА

(19) UA

(11) 89211

(13) C2

(51) МПК (2009)

G01R 23/00

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІОПИС
ДО ПАТЕНТУ НА ВІНАХІД

(54) СПОСІБ ВИМІРЮВАННЯ ЧАСТОТИ ТА ВІДХИЛЕННЯ ЧАСТОТИ НАДВИСОКОЧАСТОТНИХ КОЛИВАНЬ СИГНАЛІВ

1

2

(21) а200708019

(22) 16.07.2007

(24) 11.01.2010

(46) 11.01.2010, Бюл.№ 1, 2010 р.

(72) ЗАХАРОВ ІГОР ПЕТРОВИЧ, СЕРГІЄНКО МАРИНА ПЕТРІВНА, ЧУРЮМОВ ГЕННАДІЙ ІВАНОВИЧ

(73) ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ РАДІОЕЛЕКТРОНІКИ

(56) SU 1798717 A1; 28.02.1993

SU 1242844 A1; 07.07.1986

RU 2017162 C1; 30.07.1994

DE 10113786 A1; 24.10.2002

DE 2603730 A1; 05.08.1976

GB 2179773 A; 11.03.1987

US 4533867; 06.08.1985

US 6598005 B1; 22.07.2003

(57) 1. Спосіб вимірювання частоти та відхилення частоти надвисокочастотних коливань сигналу, що включає вимірювання частоти сигналу за допомогою двох термодатчиків, який відрізняється тим, що два термодатчики з різними залежностями потужності сигналу від частоти, різними поперечними розмірами та максимальною крутістю залежності $A(\lambda/\lambda_{кр})$ відношення їх потужностей розташовують на широкій стінці хвилеводу, далі вимірюють значення потужностей термодатчиків, відношення яких перераховують в довжину хвилі з наступним перерахуванням в частоту сигналу або у відхилення частоти при відомій або невідомій основній частоті сигналу за формулою:

$$\frac{\lambda}{\lambda_{кр}} = \sqrt{\frac{[-s \cdot A(\lambda/\lambda_{кр})] \cdot [\pi h_1^* + 2q] + \pi h_2^* [-A(\lambda/\lambda_{кр})] - 2s}{q - s}},$$

де

$$q = \sin(\pi h_1^*) \cos\left[\pi(2x_1^* + h_1^*)\right];$$

$$s = \sin(\pi h_2^*) \cos\left[\pi(2x_2^* + h_2^*)\right];$$

A - максимальна крутість залежності відношення потужностей двох термодатчиків;

λ та $\lambda_{кр}$ - довжина хвилі та критична довжина хвилі до широкої стінки хвилеводу;

h_1^* та h_2^* - поперечні розміри першого та другого термодатчиків;

x_1^* та x_2^* - відстані від ребра хвилеводу до краю першого та другого термодатчиків на широкій стінці хвилеводу.

2. Спосіб за п. 1, який відрізняється тим, що при поперечному розмірі другого термодатчика

$h_2^* = 0,06$ його відстань x_2^* від ребра хвилеводу складає 0,3.

3. Спосіб за п. 1, який відрізняється тим, що при поперечному розмірі другого термодатчика

$h_2^* = 0,08$ його відстань x_2^* від ребра хвилеводу складає 0,29.

4. Спосіб за п. 1, який відрізняється тим, що при поперечному розмірі другого термодатчика

$h_2^* = 0,1$ його відстань x_2^* від ребра хвилеводу складає 0,28.

5. Спосіб за п. 1, який відрізняється тим, що при поперечному розмірі другого термодатчика

$h_2^* = 0,15$ його відстань x_2^* від ребра хвилеводу складає 0,26.

6. Спосіб за п. 1, який відрізняється тим, що при поперечному розмірі другого термодатчика

$h_2^* = 0,2$ його відстань x_2^* від ребра хвилеводу складає 0,23.

7. Спосіб за п. 1, який відрізняється тим, що при поперечному розмірі другого термодатчика

$h_2^* = 0,25$ його відстань x_2^* від ребра хвилеводу складає 0,21.

8. Спосіб за п. 1, який відрізняється тим, що при поперечному розмірі другого термодатчика

$h_2^* = 0,3$ його відстань x_2^* від ребра хвилеводу складає 0,19.

9. Спосіб за п. 1, який відрізняється тим, що при поперечному розмірі другого термодатчика

$h_2^* = 0,4$ його відстань x_2^* від ребра хвилеводу складає 0,16.

(13) C2

(11) 89211

(19) UA

10. Спосіб за п. 1, який **відрізняється** тим, що при поперечному розмірі другого термодатчика

$h_2^* = 0,5$ його відстань x_2^* від ребра хвильоводу складає 0,15.

11. Спосіб за п. 1, який **відрізняється** тим, що при поперечному розмірі другого термодатчика

$h_2^* = 0,6$ його відстань x_2^* від ребра хвильоводу складає 0,17.

12. Спосіб за п. 1, який **відрізняється** тим, що при поперечному розмірі другого термодатчика

$h_2^* = 0,7$ його відстань x_2^* від ребра хвильоводу складає 0,15.

Винахід належить до галузі вимірювальної техніки й призначений для вимірювання частоти та відхилення частоти надвисокочастотних (НВЧ) коливань в хвильоводі в міліметровому діапазоні довжин хвиль.

Відомий спосіб вимірювання частоти НВЧ коливань в хвильоводі за допомогою хвильвимірювача на основі об'ємного резонатору, що перестроюється [Измерения на миллиметровых и субмиллиметровых волнах: Методы и техника / Р.А. Валитов, С.Ф. Дюбко, Б.И. Макаренко и др.; Под ред. Р.А. Валитова, Б.И. Макаренко. - М.: Радио и связь, 1984, С. 206-210].

Недоліком цього способу є неможливість вимірювання частоти сигналу при підключенні реального навантаження, оскільки хвильвимірювач приєднується замість нього.

Найбільш близький до запропонованого способу є спосіб вимірювання частоти НВЧ коливань за допомогою теплової вимірювальної стінки [В.М. Волков. Проектування засобів вимірювання прохідної потужності: Навч. посібник. - Харків: ХТУРЕ, 2000, С. 115-117], в якій як датчик (поглинаюча стінка) використана константанова фольга, яка впаяна у вузьку стінку хвильовода, як термодатчики задіяні дві хромель-копелеві (робоча та компенсаційна) мікротермопар, різниця сигналів яких реєструється мікроамперметром або двокоординатним самописцем, що синхронізується з переміщенням термозондів впродовж хвильоводу.

Недоліками способу є необхідність складного урахування систематичних похибок, викликаних викривленням поглинаючої стінкою та контактним термодатчиком картини температурного поля в хвильоводі, низька точність механічного переміщення термозондів впродовж вузької стінки хвильовода, а також неможливість автоматизувати процес вимірювання.

Технічною задачею винаходу є підвищення точності вимірювання частоти та відхилення частоти надвисокочастотних коливань.

Ця задача вирішена таким чином. У спосіб вимірювання частоти та відхилення частоти надвисокочастотних коливань, що включає вимірювання частоти сигналу за допомогою двох термодатчиків, згідно винаходу, повинна виконуватись умова, що датчики мають різні залежності потужності сигналу від частоти, що забезпечується розташуванням їх на широкій стінці хвильоводу та поперечним розміром цих датчиків, а також забезпечення максимальної крутості залежності $A(\lambda/\lambda_{кр})$ - відношення потужностей датчиків, далі вимірюють значення потужностей, відношення

яких перераховують в довжину хвилі з наступним перерахуванням в частоту сигналу або у відхилення частоти за формулою

$$\frac{\lambda}{\lambda_{кр}} = \sqrt{\frac{1 - s \cdot A(\lambda/\lambda_{кр}) \left[\pi h_1^* + 2q \right] + \pi h_2^* \left[1 - A(\lambda/\lambda_{кр}) \right] - 2s}{q - s}}$$

де

$$q = \sin(\pi h_1^*) \cos \left[\pi (2x_1^* + h_1^*) \right]$$

$$s = \sin(\pi h_2^*) \cos \left[\pi (2x_2^* + h_2^*) \right]$$

у випадках, коли основна частота сигналу відома або невідома.

Причому: при поперечному розмірі другого датчика $h_2=0,06$ його відстань x_2 від ребра хвильоводу має бути 0,3;

при поперечному розмірі другого датчика $h_2=0,08$ його відстань x_2 від ребра хвильоводу має бути 0,29;

при поперечному розмірі другого датчика $h_2=0,1$ його відстань x_2 від ребра хвильоводу має бути 0,28;

при поперечному розмірі другого датчика $h_2=0,15$ його відстань x_2 від ребра хвильоводу має бути 0,26;

при поперечному розмірі другого датчика $h_2=0,2$ його відстань x_2 від ребра хвильоводу має бути 0,23;

при поперечному розмірі другого датчика $h_2=0,25$ його відстань x_2 від ребра хвильоводу має бути 0,21;

при поперечному розмірі другого датчика $h_2=0,3$ його відстань x_2 від ребра хвильоводу має бути 0,19;

при поперечному розмірі другого датчика $h_2=0,4$ його відстань x_2 від ребра хвильоводу має бути 0,16;

при поперечному розмірі другого датчика $h_2=0,5$ його відстань x_2 від ребра хвильоводу має бути 0,15;

при поперечному розмірі другого датчика $h_2=0,6$ його відстань x_2 від ребра хвильоводу має бути 0,17;

при поперечному розмірі другого датчика $h_2=0,7$ його відстань x_2 від ребра хвильоводу має бути 0,15.

На фіг. показано розміщення термодатчиків на

хвильоводі.

1 - хвильовод; 2 - перший термодатчик; 3 - другий термодатчик.

В таблиці наведені параметри розміщення другого термодатчика.

Таблиця

h_2^*	0,06	0,08	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7
x_2^*	0,3	0,29	0,28	0,26	0,23	0,21	0,19	0,16	0,15	0,17	0,15

Спосіб базується на вимірюванні потужності, що проходить по хвильоводу до навантаження та розсіюється на ділянках широкої стінки хвильовода. Для цього в теплових перетворювачах з по-

линаючою стінкою використовують два чутливих елемента (датчика). Потужність, що розсіюється на прямокутній ділянці широкої стінки хвильовода, визначається з виразу

$$P\left(\frac{\lambda}{\lambda_{кр}}\right) = \frac{R_s P_{10} h^* l}{Z_{C10} b \left(1 - \frac{\lambda^2}{\lambda_{кр}^2}\right)} \left[1 + \left(2 - \frac{\lambda^2}{\lambda_{кр}^2} \right) \frac{\sin(\pi h^*)}{\pi h^*} \cos\left[\pi \left(x^* + h^*\right)\right] \right] \quad (1)$$

де $R_s = \frac{1}{\sigma \delta}$ - поверхневий опір поглинаючої

стінки з питомою провідністю σ ; δ - глибина скінслою;

Z_{10} , P_{10} - характеристичний опір та потужність хвилі H_{10} ;

$$\lambda, \lambda_{кр} = \frac{2}{\sqrt{\left(\frac{m}{a}\right)^2 + \left(\frac{n}{b}\right)^2}}, \text{ - довжина хвилі та}$$

критична довжина хвилі; $a \times b$ - розміри поперечного розрізу хвильовода ($a > b$); m , n - індекси хвилі (для хвилі H_{10} критична довжина $\lambda_{кр} = 2a$);

l - продольний розмір датчика;

$h^* = h/a$; h - поперечний розмір датчика;

$x^* = x/a$; x - відстань від ребра хвильовода до краю датчика на широкій стінці хвильовода.

Для визначення довжини хвилі λ до широкої стінки хвильовода приєднуються два датчика однакової довжини $l = i \lambda_{кр}/2$, $i = 1, 2, 3, \dots$. Відношення потужностей $P_1(\lambda/\lambda_{кр})$ та $P_2(\lambda/\lambda_{кр})$, що розсіюється на цих датчиках,

$$A\left(\frac{\lambda}{\lambda_{кр}}\right) = \frac{P_1\left(\frac{\lambda}{\lambda_{кр}}\right)}{P_2\left(\frac{\lambda}{\lambda_{кр}}\right)} = \frac{p_1\left(\frac{\lambda}{\lambda_{кр}}\right)}{p_2\left(\frac{\lambda}{\lambda_{кр}}\right)} \quad (2)$$

де

$$p_{1,2}\left(\frac{\lambda}{\lambda_{кр}}\right) = \frac{h_{1,2}^*}{\left(1 - \frac{\lambda^2}{\lambda_{кр}^2}\right)} \left[1 + \left(2 - \frac{\lambda^2}{\lambda_{кр}^2} \right) \frac{\sin(\pi h_{1,2}^*)}{\pi h_{1,2}^*} \cos\left[\pi \left(x_{1,2}^* + h_{1,2}^*\right)\right] \right] \quad (3)$$

Таким чином зникає залежність від фізичних характеристик та деяких геометричних параметрів хвильовода.

Залежність $A(\lambda/\lambda_{кр})$ повинна бути суттєвою для забезпечення більш точного визначення частоти та відхилення частоти сигналу. Це забезпечується за рахунок такого розміщення датчиків, при якому одна з частотних залежностей (1) набагато відрізняється від іншої.

Вид залежності $A(\lambda/\lambda_{кр})$ повністю визначається поперечними розмірами датчиків та їх розташуванням на широкій стінці хвильовода (параметрами $h_{1,2}^*$ і $x_{1,2}^*$). Для зниження похибки від неточності установки датчиків пропонується один з них роз-

міщувати по всій ширині стінки хвильовода, що достатньо легко реалізується в міліметровому діапазоні хвиль, тобто $x_1^* = 0$, $h_1^* = 1$. Вимоги до геометричних параметрів другого датчика витікають з технічних можливостей та точності їх виготовлення та необхідності забезпечення максимальної (задовільної) крутості залежності $A(\lambda/\lambda_{кр})$. Вказані вимоги можуть бути виконані при параметрах, що наведені в табл.

Визначення частоти сигналу.

Для визначення частоти сигналу використовуємо вираз (2), з якого витікає

$$\frac{\lambda}{\lambda_{кр}} = \frac{\sqrt{\left[-s \cdot A \left(\frac{\lambda}{\lambda_{кр}} \right) \left[\pi h_1^* + 2q \right] + \pi h_2^* \left[-A \left(\frac{\lambda}{\lambda_{кр}} \right) - 2s \right] \right]}{q - s} \quad (4)$$

де

$$q = \sin \left(\pi h_1^* \right) \cos \left[\pi \left(2x_1^* + h_1^* \right) \right]$$

$$s = \sin \left(\pi h_2^* \right) \cos \left[\pi \left(2x_2^* + h_2^* \right) \right]$$

З виразу (4) не важко визначити частоту сигналу

$$f = \frac{v}{\lambda} \quad (5)$$

де v - фазова швидкість розповсюдження електромагнітних коливань в середовищі (для вільного простору $v=c$ - швидкість розповсюдження світла).

Визначення відхилення частоти сигналу.

Якщо частота сигналу f_0 (довжина хвилі λ_0) невідома, відхилення частоти δf визначається наступним чином. Розраховуються значення $A(\lambda_1/\lambda_{кр})$ і $A(\lambda_2/\lambda_{кр})$ та визначаються за кожним з них частоти f_1 та f_2 згідно з формулами (4), (5), після чого отримується різниця між цими частотами $\Delta f = |f_2 - f_1|$. В цьому випадку

$$f_0 = \frac{f_1 + f_2}{2}; \quad \delta f = \pm \frac{\Delta f}{2f_0} \quad (6)$$

Якщо частота сигналу f_0 (довжина хвилі λ_0) відома, алгоритм визначення відхилення частоти наступний.

Розраховується значення $A(\lambda/\lambda_{кр})$, за яким згідно з запропонованим раніше алгоритмом визначається частота f (за формулами (4), (5)). Відхилення частоти в цьому випадку

$$\delta f = \frac{f - f_0}{f_0} \quad (7)$$

Однак при цьому з'являється похибка визначення довжини хвилі за виразом (4), що пов'язана з неточним визначенням $A(\lambda/\lambda_{кр})$, внаслідок нелінійних перетворень.

З метою запобігання цього можна використати наступний алгоритм. За виразом (2) визначаються $A(\lambda_0/\lambda_{кр})$ та $A(\lambda_1/\lambda_{кр})$, при λ_1 , що має відхилення від λ_0 , й розраховується різниця між ними, тобто

$$\Delta A = A \left(\frac{\lambda_1}{\lambda_{кр}} \right) - A \left(\frac{\lambda_0}{\lambda_{кр}} \right) \quad (8)$$

З іншого боку,

$$\Delta A = W \left(\frac{\lambda}{\lambda_{кр}} \right) \cdot \Delta \left(\frac{\lambda}{\lambda_{кр}} \right) \quad (9)$$

$$\text{де } W \left(\frac{\lambda}{\lambda_{кр}} \right) = \frac{dA \left(\frac{\lambda}{\lambda_{кр}} \right)}{d \left(\frac{\lambda}{\lambda_{кр}} \right)}.$$

Шляхом диференціювання виразу (2) можна отримати

$$W \left(\frac{\lambda}{\lambda_{кр}} \right) = \frac{2 \left(\frac{\lambda}{\lambda_{кр}} \right)}{\pi h_2^* p_2 \left(\frac{\lambda}{\lambda_{кр}} \right)} \left[\frac{h_1^*}{h_2^*} A \left(\frac{\lambda}{\lambda_{кр}} \right) s - q \right] \quad (10)$$

де q та s отримані з виразу (4).

З формули (10) розраховується $W(\lambda_0/\lambda_{кр})$ при довжині хвилі λ_0 .

З (9) витікає, що

$$\Delta \left(\frac{\lambda}{\lambda_{кр}} \right) = \frac{\Delta A}{W \left(\frac{\lambda}{\lambda_{кр}} \right)} \quad (11)$$

де ΔA визначено за результатами експерименту з формули (7).

Різниця частот Δf визначається за формулою (5).

Відхилення частоти

$$\delta f = \frac{\Delta f}{f_0} \quad (12)$$

Перевагою даного алгоритму порівняно з попереднім є відсутність похибки, що виникає при перерахуванні виразу (2) в (4) через неточне визначення $A(\lambda/\lambda_{кр})$.

