

АВТОМАТИЗАЦИЯ ИЗМЕРЕНИЯ ЧАСТОТНЫХ ПАРАМЕТРОВ СВЧ-СИГНАЛА В ВОЛНОВОДЕ

Предлагается метод измерения длины волны, частоты и отклонения частоты СВЧ-колебаний в волноводе, основанный на измерении мощностей, рассеиваемых на двух чувствительных элементах, интегрированных в широкую стенку волновода, с последующим пересчетом их в отношения в искомый параметр. Метод технически легко реализуем в широком частотном диапазоне, включая миллиметровые и субмиллиметровые волны

Оперативный контроль частотных параметров излучения СВЧ-генераторов является необходимым на всех этапах их жизненного цикла. Для его осуществления используют волномеры на основе перестраиваемого объемного резонатора [1]. Их недостатками являются низкое быстродействие, а также невозможность измерения частоты на больших уровнях мощности из-за снижения электрической прочности волновода. Выходом из этой ситуации является применение измерительной линии на основе поглощающей стенки. В [2] рассмотрена тепловая измерительная линия, где в качестве датчика использована константановая фольга, впаянная в узкую стенку волновода, в качестве термодатчиков применены две хромель-копелевые (рабочая и компенсационная) микротермопары. Разность сигналов этих микротермопар регистрируют микроамперметром, получая при перемещении термозондов вдоль волновода распределение поля, по которому можно рассчитать длину волны в волноводе. Недостатками такого метода являются низкая чувствительность, вызванная искажениями поглощающей стенкой и контактным термодатчиком картины температурного поля в волноводе, низкая точность определения перемещения термозондов вдоль узкой стенки волновода, а также сложность автоматизации процесса измерения. В связи с этим актуальным является вопрос разработки новых методов измерения длины волны, частоты и отклонения частоты сигналов в волноводе, позволяющих проводить их оперативное измерение с необходимой точностью.

Цель данной работы – автоматизация процесса измерения частоты СВЧ-колебаний в волноводе в широком диапазоне длин волн.

Задача – разработка метода измерения частотных параметров СВЧ-сигнала в волноводе.

Предлагаемый метод основан на измерении мощностей, рассеиваемых на расположенных на широкой стенке волновода чувствительных элементах. В соответствии с [2] мощность, рассеиваемая на прямоугольном участке широкой стенки волновода, определяется выражением

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

где $R_s = \frac{1}{\sigma \delta}$ – поверхностное сопротивление поглощающей стенки с удельной проводимостью σ ; δ – глубина скин-слоя; Z_{10}, P_{10} – характеристическое сопротивление и мощность

волны H_{10} ; $\lambda, \lambda_{кр} = \frac{2}{\sqrt{\left(\frac{m}{a}\right)^2 + \left(\frac{n}{b}\right)^2}}$ – длина волны и критическая длина волны; $a \times b$ –

размеры поперечного сечения волновода ($a > b$); m, n – индексы волны (для волны H_{10}

критическая длина волны $\lambda_{кр} = 2a$); d – продольный размер датчика; $h^* = h/a$; h – поперечный размер датчика; $x^* = x/a$; x – расстояние от ребра волновода до края датчика на широкой стенке.

Определение длины волны

Для определения длины волны λ , проходящей в волноводе, к широкой стенке волновода прикрепляют два датчика одинаковой длины l . Отношение мощностей $P_1\left(\frac{\lambda}{\lambda_{кр}}\right)$ и $P_2\left(\frac{\lambda}{\lambda_{кр}}\right)$, рассеиваемых на этих датчиках,

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

где

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

Таким образом, устраняется зависимость от уровня мощности СВЧ-сигнала, физических характеристик волновода и продольного размера поглощающих элементов.

Зависимость $A\left(\frac{\lambda}{\lambda_{кр}}\right)$ должна обладать большой крутизной для повышения точности определения частотных параметров СВЧ-сигнала в волноводе. Это достигается путем такого расположения датчиков, при котором одна из частотных зависимостей (1) намного отличается от другой. Поскольку вид зависимости $A\left(\frac{\lambda}{\lambda_{кр}}\right)$ полностью определяется поперечными размерами датчиков и их размещением на широкой стенке волновода (параметрами $h_{1,2}^*$ и $x_{1,2}^*$), остановимся на выборе этих размеров подробнее.

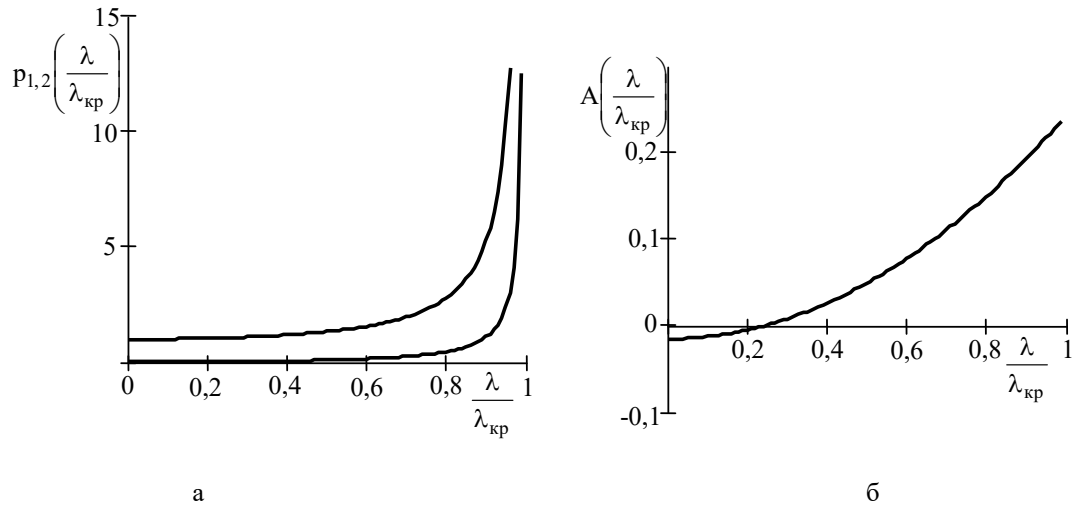
Для снижения погрешности от неточности установки датчиков предлагается один из них размещать по всей ширине стенки волновода, что легко реализуется в миллиметровом диапазоне волн, т.е. $x_1^* = 0$, $h_1^* = 1$. Требования к геометрическим параметрам второго датчика вытекают из технических возможностей и точности их исполнения и необходимо-

сти обеспечения значительной крутизны зависимости $A\left(\frac{\lambda}{\lambda_{кр}}\right)$. Методом математическо-

го моделирования было выявлено, что поставленные условия выполняются при соотношениях указанных параметров, приведенных в таблице.

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

Например, для $h_2^* = 0,5$ и $x_2^* = 0,15$ зависимости (3) и (2) показаны на рисунке (поз.а, б).



Зависимости $p_{1,2}\left(\frac{\lambda}{\lambda_{кр}}\right)$ (а) и $A\left(\frac{\lambda}{\lambda_{кр}}\right)$ (б) при $h_2^* = 0,5$ и $x_2^* = 0,15$

По измеренному значению $A\left(\frac{\lambda}{\lambda_{кр}}\right)$ для определения частоты сигнала используем выражение (2), из которого следует

$$\lambda = \frac{\lambda_{кр} \sqrt{[q - s \cdot A(\lambda/\lambda_{кр})][\pi h_1^* + 2q] + \pi h_2^*[1 - A(\lambda/\lambda_{кр})]} - 2s}{q - s}, \quad (4)$$

где $q = \sin(\pi h_1^*) \cos[\pi(2x_1^* + h_1^*)]$; $s = \sin(\pi h_2^*) \cos[\pi(2x_2^* + h_2^*)]$.

Определение частоты сигнала

Из выражения (4) нетрудно определить частоту сигнала

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

здесь v – фазовая скорость распространения электромагнитных колебаний в среде (для свободного пространства v – скорость распространения света).

Определение отклонения частоты сигнала

Если частота сигнала f_0 (длина волны λ_0) неизвестна, отклонение частоты δf определяют следующим образом. Определяют максимальное и минимальное из наблюдаемых значения $A(\lambda/\lambda_{кр})$ для значений длин волн соответственно λ_{max} и λ_{min} , находят по каждому из них частоты f_{min} и f_{max} в соответствии с выражениями (4) и (5), после чего получают половину разности между этими частотами $\Delta f = |f_2 - f_1|/2$. В этом случае

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

Недостатком такого определения отклонения частоты является наличие погрешности определения частоты f_0 , которая может иметь смещение.

Если частота сигнала f_0 (длина волны λ_0) известна, алгоритм определения отклонения частоты следующий.

По измеренному значению $A(\lambda/\lambda_{кр})$ в соответствии с изложенным выше алгоритмом определяют частоту f (по формулам (4), (5)). Тогда отклонение частоты

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

Однако при этом появляется погрешность определения длины волны по выражению (4), связанная с неточным определением $A(\lambda/\lambda_{кр})$, вследствие нелинейных преобразований.

Чтобы этого избежать, можно воспользоваться следующим алгоритмом. Измеряют значения $A(\lambda_0/\lambda_{кр})$ и $A(\lambda_1/\lambda_{кр})$ для λ_1 , имеющей искомое отклонение от λ_0 , и рассчитывают их разность:

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

С другой стороны, эту разность можно найти по формуле

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

где $W\left(\frac{\lambda}{\lambda_{кр}}\right) = \frac{dA\left(\frac{\lambda}{\lambda_{кр}}\right)}{d\left(\frac{\lambda}{\lambda_{кр}}\right)}$ – коэффициент влияния, рассчитанный для длины волны λ_0 .

Его значение можно получить из выражения (2):

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

где q и s взяты из (4).

Выражение (10) рассчитываем при длине волны λ_0 .

Из формулы (9) следует, что

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

где ΔA определено по результатам эксперимента из выражения (8).

Разность частот Δf определяется по формуле (5).

Отклонение частоты

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

Преимуществом данного алгоритма по сравнению с предыдущими является устранение погрешности, возникающей при пересчете выражения (2) в (4) при неточном определении $A(\lambda/\lambda_{кр})$, и отсутствие погрешности определения частоты f_0 .

Выводы

Разработан метод измерения частотных параметров СВЧ-сигнала в волноводе. По сравнению с существующими на сегодняшний день методами предложенный метод отличается применимостью в широком диапазоне длин волн, включая миллиметровые и субмиллиметровые, простотой технической реализации, возможностью автоматизации измерительного процесса, а также возможностью получения результатов измерения в реальном времени.

Научная новизна проведенных исследований заключается в нахождении оптимальных соотношений геометрических параметров датчиков и способов их расположений, позволивших получить максимальную чувствительность метода.

Практическая значимость состоит в упрощении процесса измерения частоты СВЧ-колебаний за счет его полной автоматизации.

Список литературы: 1. *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. 256 с. 2. *Волков. В.М. Проектування засобів вимірювання прохідної потужності: Навч. посібник*. Харків: ХТУРЕ, 2000. 160 с.

Поступила в редколлегию 29.08.2007

Захаров Игорь Петрович, д-р техн. наук, профессор кафедры метрологии и измерительной техники ХНУРЭ. Научные интересы: неопределенность измерений различных физических величин. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Ленина, 14, тел. 702-1331.

Сергиенко Марина Петровна, канд. техн. наук, ассистент кафедры метрологии и измерительной техники ХНУРЭ. Научные интересы: динамические измерения. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Ленина, 14, тел. 702-1331.

УДК 519.713:681.326

И.В.ХАХАНОВА

СИНТЕЗ МОДЕЛЕЙ УПРАВЛЯЮЩИХ АВТОМАТОВ ДЛЯ SOC-ФИЛЬТРОВ С КОНВЕЙЕРНОЙ АРХИТЕКТУРОЙ

Анализируются существующие модели цифровых автоматов и способы их реализации на микросхемах программируемой логики. Предлагаются две модели управляющих автоматов для устройств с конвейерной архитектурой, реализующие DSP задачи обработки изображений на основе SoC. Разрабатывается программный модуль автоматической генерации HDL-кода для упомянутых типов управляющих автоматов.

1. Введение

Сложность цифровых систем и сетей, имплементированных в кристаллы PLD, согласно закону Мура [1] удваивается каждые полтора года. Они представляют собой функционально и конструктивно законченные устройства, реализованные в чипе, и содержат микропроцессоры, блоки памяти, контроллеры, периферийные устройства, порты ввода-вывода информации. В такие архитектуры в последнее время довольно часто включаются блоки, решающие задачи цифровой обработки сигналов (DSP – digital signal processing). Для повышения быстродействия DSP-приложений применяется конвейерная архитектура, которая позволяет обрабатывать большие потоки входных данных при высокой частоте синхронизации. DSP-модуль можно представить в виде структуры, показанной на рис. 1, которая состоит из операционного автомата (ОА) в виде конвейера, управляющего автомата (УА) и блоков памяти различной размерности, используемой для хранения исходных данных, промежуточных результатов и выходной информации DSP-преобразования.