

ИЗМЕРЕНИЕ МАЛЫХ ИЗМЕНЕНИЙ РАЗНОСТИ ФАЗ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ КОЛЕБАНИЙ СВЧ ДИАПАЗОНА

Э. Г. МИРЗАБЕКЯН, Р. Н. СИМОНЯН

В данной работе предлагается метод измерения малых изменений разности фаз между двумя колебаниями в диапазоне СВЧ, использующий некоторые поляризационные эффекты, позволяющие перенести изменения разности фаз из диапазона СВЧ в диапазон звуковых частот.

Показано, что такое преобразование сопровождается „усилением“ изменений измеряемой разности фаз.

Вопросу измерения малых изменений разности фаз между электромагнитными колебаниями посвящены многочисленные работы. Часто используют метод умножения частоты [1], [2] и метод, основанный на применении импульсно-фазовых детекторов [3]. Эти методы позволяют существенно улучшить чувствительность фазометрических систем, работающих в диапазоне радиочастот. Прямые применения таких методов в диапазоне СВЧ сталкиваются с большими техническими трудностями. В этом диапазоне можно обойти эти трудности, применяя вышеприведенные методы на промежуточной частоте [4]. В этом случае очевидно, не может быть реализована фазовая чувствительность таких систем большая, чем суммарные фазовые нестабильности УПЧ, стоящих в двух каналах, (независимо от коэффициента умножения частоты УПЧ). Ниже предлагается новый метод измерения малых изменений разности фаз, отличающийся высокой точностью и имеющий определенные преимущества.

Сущность этого метода заключается в следующем. Электромагнитные колебания E_1 , E_2 , изменения разности фаз которых подлежат измерению, суммируются в пространственно ортогональных направлениях в круглом волноводе при помощи секции (1) (разделитель поляризации) рис. 1.

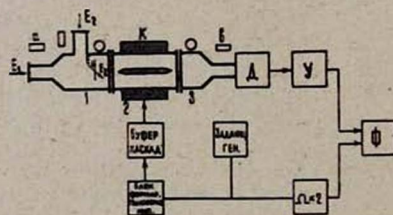


Рис. 1.

Полученная поляризованная волна проходит через секцию (2), представляющую ферритовый вращатель плоскости поляризации [5], а затем поступает на вход детектора (Д). Отметим, что вместо секции

(2) может быть использована вращающаяся пластина $\frac{\lambda}{2}$ [6]. После усиления на частоте 2Ω узкополосным усилителем (У) детектированный сигнал подается на вход низкочастотного фазометра (Ф). В качестве опорного сигнала используется, после умножения частоты, напряжение задающего генератора. Идеализированная осциллограмма тока, протекающего через катушку (К) ферритового вращателя плоскости поляризации, показана на рис. 2.

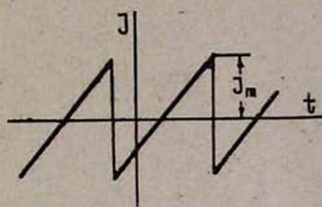


Рис. 2.

На рис. 2 через I_m обозначено значение тока, при котором плоскость поляризации волны, прошедшей через секцию 2, поворачивается на угол π . пилообразный характер тока выбран с целью обеспечения постоянной угловой скорости вращения плоскости поляризации. Для дальнейших рассуждений введем следующие обозначения:

$$\dot{E}_1 = E_1 e^{i(\omega t + \varphi_1)}, \quad \dot{E}_2 = E_2 e^{i(\omega t + \varphi_2)},$$

где E_1 , E_2 , φ_1 , φ_2 — амплитуды и фазы входных сигналов и ω — угловая частота. Ради простоты математических выводов предположим, что $\varphi_1 = 0$, а φ_2 представим в виде $\varphi_2 = \frac{\pi}{2} + \Delta$, где Δ малое изменение разности фаз в окрестности $\frac{\pi}{2}$, подлежащее измерению. Состояние поляризованной волны на входе секции 2 можно характеризовать матрицей [7]

$$[\dot{E}] = E_1 \begin{bmatrix} 1 \\ \dot{P} \end{bmatrix}, \quad \dot{P} = \frac{\dot{E}_2}{E_1}.$$

Если обозначить через ψ — мгновенный угол поворота плоскости поляризации колебания на выходе секции 2 относительно плоскости поляризации колебания до входа в секцию 2, и через ψ_0 — угол между широкими стенками прямоугольных волноводов (а) и (в), тогда для амплитуды электрического поля в прямоугольном сечении (В) анализатора поляризации (3) имеем

$$\dot{E}_2 = E_1 [\sin(\psi - \psi_0), \cos(\psi - \psi_0)] \begin{bmatrix} 1 \\ \dot{P} \end{bmatrix}. \quad (1)$$

Напряжение на нагрузке детектора (Д) в случае его квадратичности определяется соотношением

$$V = \beta \dot{E}_n \dot{E}_n^*,$$

где β — постоянный коэффициент.

Имея в виду, что $\psi = \Omega t$, получим

$$V = \frac{1}{2} \beta E_1^2 + \frac{1}{2} \beta E_1^2 P^2 + A \beta E_1^2 \sin(2\Omega t + \Phi + \psi_0), \quad (3)$$

где

$$A = \sqrt{P^2 \sin^2 \Delta + 0,25 (P^2 - 1)^2},$$

$$\Phi = \arctg \frac{1 - P^2}{2P \sin \Delta}, \quad (4)$$

$$P = |\dot{P}|.$$

Как видно из выражения (3), спектральный состав детектированного сигнала содержит низкочастотное синусоидальное колебание с частотой 2Ω и фазой $\Phi' = \Phi + \psi_0$, находящейся в функциональной зависимости от величины изменений разности фаз высокочастотного колебания.

Определим коэффициент „усиления“ изменений разности фаз для данной системы как

$$K_\varphi = \frac{\partial \Phi'}{\partial \Delta}.$$

Из выражения (4) можно получить

$$K_\varphi = \frac{\gamma \cos \Delta}{1 + (\gamma \sin \Delta)^2}, \quad (5)$$

где

$$\gamma = \frac{2P}{1 - P^2}.$$

График функции 5 для трех значений γ приведен на рис. 3.

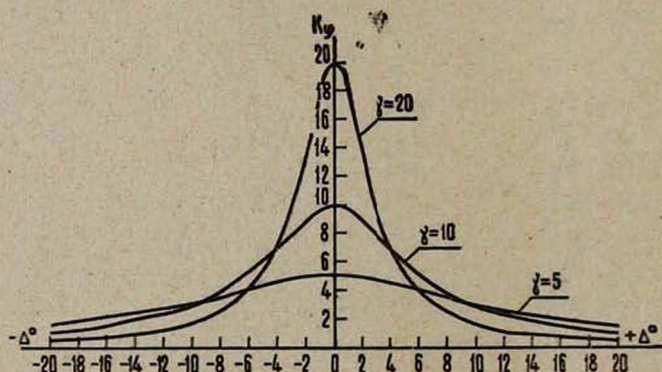


Рис. 3.

Как видно из рис. 3, с увеличением значения γ нелинейность зависимости $K_\varphi = K_\varphi(\Delta)$ возрастает, например, если задавать допустимое

отклонение $K_{\varphi} = K_{\varphi \text{ max}}$ на 5%, то при $\gamma = 10$ интервал допустимых изменений измеряемых разностей фаз составляет $\pm 1,5^\circ$, а при $\gamma = 20$ — $\pm 0,7^\circ$.

Предложенный метод измерения малых изменений разности фаз может стать особенно полезным в случаях, когда отношение мощностей измеряемых сигналов остается постоянным в процессе измерений.

Институт радиопизики и электроники
АН Армянской ССР

Поступила 13.VIII.1969

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. М. Е. Жаботинский, ПТЭ, № 3, 1956.
2. А. М. Бонч-Бруевич, ЖТФ, № 10, 1955.
3. И. К. Поздняков, Авторское свидетельство № 135968, кл. 21е, 3603, 1961.
4. В. И. Бабий, В. В. Вишневич, Радиотехника и электроника, IX, № 6 (1964).
5. А. Л. Микаелян, Теория и применения ферритов на сверхвысоких частотах, 1963
6. Н. А. Кайдановский, Э. Г. Мирзабекян, С. Э. Хайкин, Поляризационный радиометр на длине волны 3,2 см и его применение. Труды V совещания по вопросам космогонии, Изд-во АН СССР, 1956.
7. Д. Б. Канарейкин, Н. Ф. Павлов, В. А. Потехин, Поляризация радиолокационных сигналов, Изд. Советское радио, 1966.

Գ. Բ. Հ. ՏԻՐՈՒՅԹՈՒՄ ԷԼԵԿՏՐԱՄԱԳՆԵՍԱԿԱՆ ՏԱՏԱՆՈՒՄՆԵՐԻ
ՓՈՒԼՆԵՐԻ ՏԱՐԲԵՐՈՒԹՅԱՆ ՓՈՔՐ ՓՈՓՈԽՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՉԱՓՈՒՄԸ

Է. Հ. ՄԻՐԶԱԲԵԿՅԱՆ, Ռ. Ն. ՍԻՄՈՆՅԱՆ

Տվյալ աշխատանքում առաջարկված է Գ. Բ. Հ. տիրույթում էլեկտրամագնիսական տատանումների փուլերի տարբերության փոքր փոփոխությունների չափման մեթոդ, օգտագործելով որոշ բևեռացվածության երևույթներ, որոնք թույլատրում են տեղափոխել փուլերի տարբերության փոփոխությունը Գ. Բ. Հ. տիրույթից դեպի ձայնային հաճախականությունների տիրույթ:

Ցույց է տրված, որ ալգորիթի ձևափոխությունը ուղեկցվում է փուլերի տարբերության փոփոխության մեծացումով:

THE MEASUREMENT OF A SMALL VARIATION IN THE MICROWAVE RANGE PHASE DIFFERENCE

E. H. MIRZABEKIAN, R. N. SIMONIAN

In the present work a method is suggested to measure a small variation in the phase difference between two MW oscillations, the method making use of certain polarization effects which enable one to convert the phase difference from MW range into the phase difference of audio frequency one.

The conversion is shown to be accompanied with a gain in the phase difference variation to be measured.