

МЕТОД ПОВЫШЕНИЯ УГЛОВОЙ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ПАРАБОЛИЧЕСКОЙ АНТЕННЫ СВЧ-ДИАПАЗОНА

Э. Г. МИРЗАБЕКЯН, Г. А. ДВОЯН

В работе предложен и рассмотрен новый метод повышения угловой чувствительности параболической антенны СВЧ-диапазона к малым угловым перемещениям источника. Сущность метода заключается в полярометрическом измерении разности фаз между сигналами, поступающими от источника к двум облучателям, которые устанавливаются в зеркале параболической антенны. Оценена угловая чувствительность такой системы к малым перемещениям источника.

Повышение чувствительности радиоприемных и радиопередающих систем СВЧ-диапазона к малым угловым перемещениям источника представляет большой практический интерес. Из всего многообразия задач в этой области рассмотрим задачу увеличения чувствительности одиночной параболической антенны к малым угловым перемещениям источника.

Для решения этой задачи предлагается использовать в параболической антенне два облучателя. При этом малое угловое перемещение источника приводит к соответствующему изменению разности фаз при сложении сигналов от этого источника на выходе двух облучателей. Измерение изменения разности фаз при помощи поляризационного фазометра и определяет угловое перемещение источника.

Пусть фазовые центры этих облучателей находятся в точках a_1 и a_2 (см. рисунок), которые симметричны относительно оси параболы. Далее, предположим, что $oa_1 = oa_2 = r \ll F$, где o — фокус антенны, а F — фокусное расстояние антенны.

Пусть СВЧ-сигнал — плоская электромагнитная волна с полосой $\Delta\omega \ll \omega_0$ (ω_0 — центральная частота сигнала) — падает на антенну под углом β относительно оси антенны. Исходя из законов геометрической оптики, можно найти лучи 1 и 2, которые соответственно попадут в облучатели с фазовыми центрами a_1 и a_2 .

Нетрудно найти ΔX — разность путей между этими лучами

$$\Delta X = bc \sin \beta - \frac{r}{\cos \beta} (\cos \alpha_2 - \cos \alpha_1). \quad (1)$$

Предполагая, что формула параболы, определяющей поверхность антенны, имеет вид

$$\rho = \frac{F}{\cos^2 \frac{\varphi}{2}}, \quad (2)$$

и учитывая, что

$$\sin \beta = \frac{r \sin (\alpha_1 - \beta)}{ob} = \frac{r \sin (\alpha_2 - \beta)}{od} \ll 1, \quad (3)$$

Напряженность сигнала, принимаемого вторым облучателем, имея в виду разность путей ΔX , будет

$$\dot{E}_2 = \sum_{k=-n}^n A(\beta) S(\omega_k) \exp \left[j \left(\omega_k t + \theta_{ok} - \frac{\omega_k}{c} \Delta X \right) \right] \Delta \omega_k, \quad (8)$$

где c — скорость света.

Теперь предположим, что эти сигналы поступают в плечи СВЧ-поляризационного фазометра, состоящего из секций разделителя поляризации, фазовой пластины $\lambda/4$, расположенной под углом 45° относительно плеч разделителя поляризации, и анализатора поляризации [1].

Тогда напряженность поля на входе детектора будет

$$\dot{E} = \alpha_0 \|A_2\| \cdot \|A_1\| \cdot \|\dot{E}_0\|, \quad (9)$$

где α_0 — постоянный коэффициент, зависящий от СВЧ-тракта, $\|A_1\|$ — матрица преобразования фазовой пластины $\lambda/4$, $\|A_2\|$ — матрица преобразования вращателя поляризации (с низкой частотой вращения Ω и начальной фазой Φ_0) и анализатора поляризации, а

$$\dot{E}_0 = \begin{pmatrix} \dot{E}_1 \\ \dot{E}_2 \end{pmatrix}.$$

Подставляя $\|A_1\|$, $\|A_2\|$ и $\|\dot{E}_0\|$ в (9), получим

$$\begin{aligned} \dot{E} = \frac{\alpha_0}{\sqrt{2}} \{ \sin 2(\Omega t + \Phi_0) [\dot{E}_1 - j\dot{E}_2] + \\ + \cos 2(\Omega t + \Phi_0) [-j\dot{E}_1 + \dot{E}_2] \} \exp \left(j \frac{\pi}{4} \right). \end{aligned} \quad (10)$$

Напряжение на выходе детектора будет

$$U = \sigma_1 \dot{E} E^*, \quad (11)$$

где σ_1 — постоянный коэффициент, зависящий от характеристики детектора.

Из (11) получаем

$$\begin{aligned} U = \frac{\sigma_1 \alpha_0^2}{2} \{ |\dot{E}_1|^2 + |\dot{E}_2|^2 + j \cos 4(\Omega t + \Phi_0) \times \\ \times [\dot{E}_1^* \dot{E}_2 - \dot{E}_1 \dot{E}_2^*] + \sin 4(\Omega t + \Phi_0) [\dot{E}_1^* \dot{E}_2 + \dot{E}_1 \dot{E}_2^*] \}. \end{aligned} \quad (12)$$

Подставляя в (12) значения $\dot{E}_1$ из (7) и $\dot{E}_2$ из (8), имея в виду, что корреляция между разными частотами отсутствует, а также используя преобразования Эйлера, получим

$$\begin{aligned} U = \frac{\sigma_1 \alpha_0^2}{2} \left\{ [A^2(-\beta) + A^2(\beta)] \sum_{i=-n}^n K(\omega_i) \Delta \omega_i + \right. \\ \left. + 2 \sum_{i=-n}^n A(-\beta) A(\beta) K(\omega_i) \sin \left[4(\Omega t + \Phi_0) + \frac{\omega_i}{c} \Delta X \right] \Delta \omega_i \right\}, \end{aligned} \quad (13)$$

где $K(\omega_l) = S^2(\omega_l) \Delta\omega_l$ — спектральная плотность источника.

Предполагая теперь, что $n \rightarrow \infty$, и взяв интересующую нас переменную часть выражения (13), зависящую от Ω , получим

$$U_- = \alpha \int_{\omega_0 - \frac{\Delta\omega}{2}}^{\omega_0 + \frac{\Delta\omega}{2}} K(\omega) \sin \left[4(\Omega t + \Phi_0) + \frac{\omega}{c} \Delta X \right] d\omega, \quad (14)$$

где

$$\alpha = \sigma_1 \alpha_0^2 A(\beta) A(-\beta).$$

Исходя из математической теоремы о среднем значении функции, из (14) получим

$$U_- = \alpha K(\omega') \Delta\omega \sin \left[4(\Omega t + \Phi_0) + \frac{\omega'}{c} \Delta X \right], \quad (15)$$

где

$$\omega_0 - \frac{\Delta\omega}{2} < \omega' < \omega_0 + \frac{\Delta\omega}{2}.$$

Выше было указано, что полоса сигнала узкая. Она должна быть настолько узкой, чтобы в этой полосе длины фазовых пластин $\lambda/4$ и $\lambda/2$ практически не менялись. Имея это в виду, в выражении (15) вместо ω' можно принять ω_0 . Тогда получим

$$U_- = m \sin \left[4(\Omega t + \Phi_0) + \frac{\omega_0}{c} \Delta X \right], \quad (16)$$

где

$$m = \alpha K(\omega_0) \Delta\omega.$$

При калибровке фазометра ориентацию пластины вращателя поляризации можно отрегулировать таким образом, чтобы $\Phi_0 = 0$. Тогда, имея в виду (4) и (5), выражение (16) можно записать

$$U_- = m \sin \left[4\Omega t + \frac{\omega_0}{c} D' \sin \beta \right]. \quad (17)$$

Теперь если это напряжение вместе с опорным напряжением $U_{on} = l \sin 4\Omega t$ подадим на низкочастотный фазометр, то на его индикаторе получим значение

$$\gamma = \frac{\omega_0}{c} D' \sin \beta = \frac{2\pi}{\lambda_0} D' \sin \beta. \quad (18)$$

Дифференцируя выражение (18), пренебрегая высшими порядками бесконечно малых и имея в виду (5), получим приращение

$$d\gamma \simeq \frac{2\pi}{\lambda_0} D' d\beta. \quad (19)$$

Предполагая, что $\beta = 0$, получим

$$d\gamma = \frac{2\pi}{\lambda_0} D'_0 d\beta, \quad (20)$$

где

$$D'_0 = 4F \operatorname{tg} \frac{\varphi_0}{2}.$$

Практически D'_0 можно менять в интервале $0 < D'_0 < D$, где D — диаметр антенны (см. рисунок). Взяв разумную величину $D'_0 = 0,5D$, будем иметь

$$d\gamma = \frac{\pi}{\lambda_0} D d\beta \quad \text{или} \quad d\beta = \frac{d\gamma}{\pi} \frac{\lambda_0}{D}. \quad (21)$$

Оценим чувствительность этой системы. Если предположить, что чувствительность используемого СВЧ-фазометра равна 1° , что хуже той, какая реализуется на практике, то из (21) будем иметь

$$d\beta \approx 0,005 \frac{\lambda_0}{D}. \quad (22)$$

Из этого ясно, что такая система полностью себя оправдывает при нашей постановке задачи.

Следует отметить также, что чувствительность системы можно повысить еще в несколько раз при умножении подлежащей измерению разности фаз с помощью соответствующей СВЧ-приставки, описанной в [1].

В отличие от существующих методов предлагаемый в данной статье метод позволяет сочетать высокую чувствительность с возможностью определения с высокой точностью как величины, так и направления углового перемещения источника СВЧ-сигнала.

Институт радиофизики и электроники
АН АрмССР

Поступила 25.X.1974

ЛИТЕРАТУРА

1. Э. Г. Мирзабекян, Р. Н. Симонян. Изв. АН АрмССР, Физика, 6, 409 (1971).

ԳՐԶ ՏԻՐՈՒՅԹԻ ՊԱՐԱԲՈՂԱԿԱՆ ԱՆՏԵՆԱՅԻ ԱՆԿՑՈՒՆԱՅԻՆ ԶԳԱՅՆՈՒԹՅԱՆ ԲԱՐՁՐԱՅՄԱՆ ՄԵԹՈԴ

Է. Հ. ՄԻՐԶԱԲԵԿՅԱՆ, Գ. Ա. ԴՎՈՅԱՆ

Աշխատանքում առաջարկված և դիտարկված է աղբյուրի փոքր անկյունային տեղաշարժերի նկատմամբ ԳՐԶ տիրույթի պարաբոլական անտենայի անկյունային զգայնության բարձրացման նոր մեթոդ: Մեթոդի էությունը պարաբոլական անտենայի հայելում տեղադրված երկու ճառագայթիչների և աղբյուրից եկող ազդանշանների միջև փուլային տարբերության բևեռացման մեթոդով չափման մեջ է: Գնահատված է այսպիսի սխեմայի անկյունային զգայնությունը աղբյուրի փոքր տեղաշարժերի նկատմամբ:

THE METHOD OF THE ENHANCEMENT OF ANGULAR
SENSITIVITY OF PARABOLIC ANTENNA
OF MICROWAVE REGION

E. H. MIRZABEKYAN, G. A. DVOYAN

For the enhancement of an angular sensitivity of microwave parabolic antenna it is suggested to set near its focus two exciters. Small angular displacements of the source leads to corresponding variation of phase difference at the superposition of signals from this source at the output of the exciters. The enhancement of the angular sensitivity of parabolic antenna is due to the high precision measurement of the variation of phase differences by means of polarization phasometer.