

ОШИБКИ ИЗМЕРЕНИЯ УГЛОВЫХ ПАРАМЕТРОВ СИГНАЛОВ ПРИ ДИСКРЕТНОМ ФАЗИРОВАНИИ АНТЕННЫХ РЕШЕТОК

Карпинский В.В.

научный руководитель канд. техн. наук, доц. Вяхирев В.А.

Сибирский федеральный университет

Институт военного обучения

При создании фазированных антенных решеток (ФАР) часто используются дискретные фазирующие устройства, с помощью которых фаза возбуждения в каждом излучателе может быть изменена только скачком на величину $\Delta\Phi$, называемую дискретом фазирования. Обычно $\Delta\Phi = 2\pi/M$, где M – целое число. Важнейшим преимуществом дискретных фазирующих устройств по сравнению с плавными (так называемыми аналоговыми) является улучшенная стабильность. Это объясняется тем, что управляющие устройства (например, полупроводниковые *pin*-диоды или ферриты с прямоугольной петлей гистерезиса) работают в переключательном режиме с использованием только двух крайних областей их характеристик – «открыто» или «закрыто». Другим преимуществом дискретных фазирующих устройств является удобство управления ими с помощью цифровых вычислительных машин. Именно поэтому число фазовых состояний M обычно выбирается равным двум в целой степени $M = 2^p$, где $p = 1, 2, 3$ и т. д. Тогда для кодирования любого фазового состояния излучателя требуется только p двоичных разрядов в устройстве управления.

При дискретном фазировании решетки в направлении θ_0 , φ_0 для каждого излучателя рассчитывается точное («идеальное») значение фазы Φ_{n0} , которое затем округляется до ближайшего дискретного значения Φ_n . Эти действия могут быть записаны в виде формулы

$$\Phi_n = \left(E \left[\frac{\Phi_{n0}}{\Delta\Phi} + \frac{1}{2} \right] \right) \cdot \Delta\Phi = \Phi_{n0} - \delta\Phi_n,$$

где $E[a]$ – операция выделения целой части числа a (причем $E[a] \leq a \leq E[a] + 1$).

Мы видим, что при дискретном фазировании в каждом излучателе решетки возникает систематическая фазовая ошибка

$$\delta\Phi_n(\Phi_{n0}) = \Phi_{n0} - E \left[\frac{\Phi_{n0}}{\Delta\Phi} + \frac{1}{2} \right] \cdot \Delta\Phi.$$

Зависимость этой ошибки от значения «идеальной» фазы Φ_{n0} представляет собой пилообразную функцию с периодом $\Delta\Phi$, показанную на рис. 1 [1].

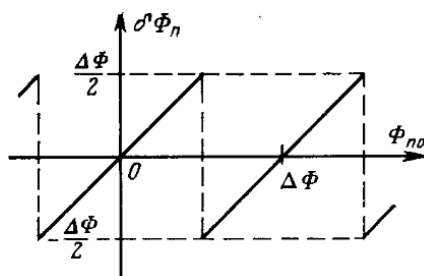


Рис. 1. Систематическая фазовая ошибка в элементе решетки при дискретном фазировании

Дисперсия ошибки измерения одной угловой координаты антенной решеткой (рис. 2) при разделяющейся обработке $\vec{X}(t, a) = X(t) \cdot \vec{X}(a)$ находится по формулам

$$\frac{1}{\sigma_{\vartheta}^2} = q^2 \cdot |\rho_{\vartheta}''(\hat{\vartheta}, \hat{\vartheta})| = \frac{\pi^2}{3} \cdot q^2 \cdot (M^2 - 1) \cdot \left(\frac{d}{\lambda} \cos \hat{\vartheta}\right)^2.$$

Значение $\sqrt{|\rho_{\vartheta}''(\hat{\vartheta}, \hat{\vartheta})|}$ истолковывается как некоторая нормированная по отношению к длине волны λ эффективная длина антенного раскрыва:

$$l_{\text{эф норм}} = \sqrt{|\rho_{\vartheta}''(\hat{\vartheta}, \hat{\vartheta})|} = \frac{\pi}{\sqrt{3}} \cdot \sqrt{M^2 - 1} \cdot \frac{d}{\lambda} \cdot |\cos \hat{\vartheta}|.$$

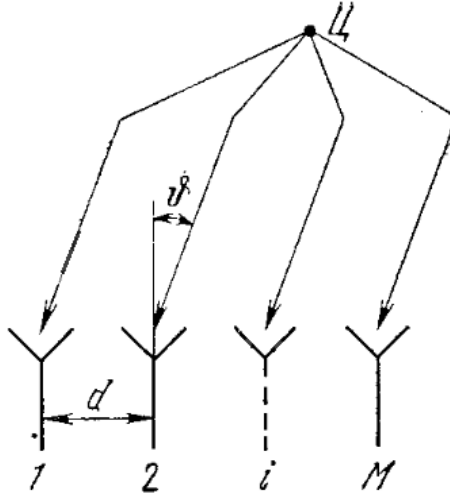


Рис. 2. Измерение одной угловой координаты антенной решеткой

Среднеквадратическая ошибка пеленгации

$$\sigma_{\vartheta} = 1/q \cdot l_{\text{эф норм}},$$

снижается при увеличении отношения сигнал – шум и отношения длины антенного раскрыва к длине волны λ [2].

Типовой задачей управления ФАР является обеспечение максимального коэффициента направленного действия (КНД) в заданном направлении r_0 . При дискретном фазировании происходит снижение КНД решетки из-за уменьшения уровня поля излучения в главном максимуме пропорционально множителю $\sin(\Delta\Phi/2)/(\Delta\Phi/2)$. Если считать, что полная излучаемая мощность решетки при переходе от плавного фазирования к дискретному не изменяется, то снижение КНД будет происходить по закону

$$D = D_0 \cdot \frac{\sin^2(\Delta\Phi/2)}{(\Delta\Phi/2)^2} = D_0 \cdot \text{КИП}_д, \quad (1)$$

где D_0 – КНД при идеальном фазировании;

$\text{КИП}_д$ – коэффициент использования поверхности антенной решетки при переходе от плавного к дискретному фазированию.

Таким образом, систематические и флуктуационные ошибки измерения угловых параметров сигналов зависят от размеров антенн и шага дискретизации изменения фазы. При этом следует учесть, что возможны такие направления сканирования, при которых требуемые значения фаз всех излучателей точно соответствуют имеющимся дискретным положениям фазирующих устройств. При этом никакого снижения КНД не происходит и $\text{КИП}_д = 1$. Однако таких благоприятных вариантов фазирования очень немного и поэтому при усреднении по всем направлениям сканирования величина среднего $\text{КИП}_д$ оказывается близкой к значению, определяемому формулой (1) [1].

Список литературы:

1 Марков, Г.Т. Антенны: учеб. / Г.Т. Марков, Д.М. Сазонов. – Изд. 2-е, перераб. и доп. – М.: Энергия, 1975. – 528 с.

2 Ширман, Я.Д. Теория и техника обработки радиолокационной информации на фоне помех / Я.Д. Ширман, В.Н. Манжос. – М.: Радио и связь, 1981. – 416 с.