

ЦИФРОВЫЕ СИСТЕМЫ СЛЕЖЕНИЯ И ОБРАБОТКИ ПОЛЯРИЗОВАННОГО СИГНАЛА

Корнеев П.Е.

Московский государственный технический университет гражданской авиации

При решении различных радиолокационных задач распространение электромагнитной волны в пространстве при наличии гидрометеоров сопровождается изменением её поляризационной структуры. Поэтому необходимо в реальном масштабе времени отслеживать изменение поляризационных параметров электромагнитной волны чтобы увеличить эффективность работы радиолокационных средств.

В докладе рассматривается цифровая обработка поляризованного сигнала и слежение за поляризационными параметрами в радиотехнических системах, а так же выводится символическое разностное стохастическое уравнение системы слежения за поляризационным параметром β - углом ориентации поляризационного эллипса [3]. Полученное разностное уравнение позволит синтезировать цифровое устройство слежения.

Назовём системы, которые будут выполнять вышеуказанные функции – цифровыми системами слежения и обработки поляризованного сигнала (ЦССОПС).

ЦССОПС представляют собой нелинейные замкнутые следящие системы, предназначенные для формирования в кольце регулирования опорных величин поляризационных параметров - коэффициента эллиптичности $r_{оп}$, угла ориентации поляризационного эллипса $\beta_{оп}$ и последующей подстройки этих величин под параметры $r_{вх}$ и $\beta_{вх}$ входного сигнала [3]. При этом осуществляются следующие операции: измерение текущего рассогласования поляризационных параметров между значениями $r_{оп}$, $\beta_{оп}$ и входными $r_{вх}$, $\beta_{вх}$; фильтрация или преобразование сигнала, несущего информацию о текущих значениях поляризационных параметров; изменение опорного сигнала формируемого управляемым генератором таким образом, чтобы свести текущее рассогласование поляризационных параметров к нулю ($|\beta_{оп} - \beta_{вх}| \rightarrow 0, |r_{оп} - r_{вх}| \rightarrow 0$).

Рассмотрим структурную схему построения ЦССОПС (рис.1) [3].

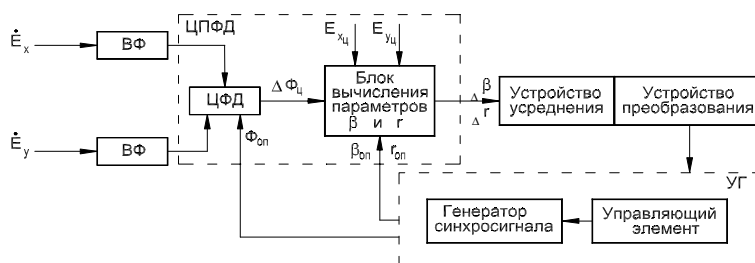


Рис.1

Ортогональные составляющие $\dot{E}_x = E_x e^{j\Phi_x}$, $\dot{E}_y = E_y e^{j\Phi_y}$ являются комплексными величинами, где Φ_x , Φ_y - фазовые углы компонент \dot{E}_x и \dot{E}_y соответственно. \dot{E}_x и \dot{E}_y пройдя через входные фильтры (ВФ), поступают на цифровой фазовый детектор (ЦФД) [2], куда же поступает сигнал, несущий информацию об опорной фазе $\Phi_{оп}$, с управляющего генератора (УГ). В результате цифрового сравнения фазовых характеристик Φ_x , Φ_y и опорной фазы $\Phi_{оп}$ на выходе ЦФД имеется цифровой код разности фаз $\Delta\Phi_{ц} = \Phi_y - \Phi_x$ компонент \dot{E}_x и \dot{E}_y . Цифровой код $\Delta\Phi_{ц}$ поступает затем на блок вычисления параметров β и r , куда же поступает и цифровой код амплитуд $E_{xц}$ и $E_{yц}$ ортогональных составляющих поляризованного сигнала. Устройство, объединяющее ЦФД и блок вычисления параметров β и r , назовём цифровым поляризационно-фазовым детектором (ЦПФД). Основное предназначение ЦПФД – получение цифровых кодов $\Delta\beta$ и Δr ($r_{оп}$ и $\beta_{оп}$

поступают на ЦПФД с УГ). Блок вычисления параметров β и γ функционально выполняет операции, согласно уравнениям связывающим параметры β и γ с $E_{\text{хц}}$, $E_{\text{уц}}$, $\Delta\Phi_{\text{ц}}$ приведённым в [1]. За ЦПФД располагается устройство усреднения (УУ), которое накапливает несколько кодов $\Delta\beta$ и $\Delta\gamma$, а затем устройство преобразования (УП) формирует из усреднённой выборки управляющий сигнал: на сколько дискрет необходимо изменить значения $\gamma_{\text{оп}}$ и $\beta_{\text{оп}}$ для $\Delta\gamma \rightarrow 0$, $\Delta\beta \rightarrow 0$.

Рассмотрим вопрос построения математической модели ЦССОПС в форме разностных стохастических уравнений. Представим структурную схему ЦССОПС в следующем виде (рис.2).

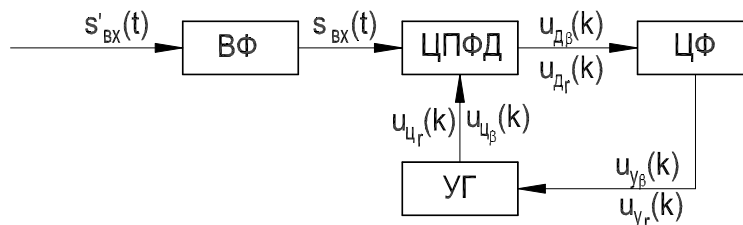


Рис.2

Сигнал $S'_{\text{вх}}(t)$ пройдя через входной фильтр (ВФ), поступает на ЦПФД, где осуществляется дискретизация тактовыми импульсами $u_{\text{цб}}(k)$ и $u_{\text{цр}}(k)$. На выходе ЦПФД имеем цифровые сигналы $u_{\text{дб}}(k)$ и $u_{\text{др}}(k)$, несущие информацию о поляризационных параметрах β и γ соответственно.

Пусть сигнал на входе ЦПФД имеет вид:

$$S'_{\text{вх}}(t) = S_{\text{вх}}(t) + n(t) = A \sin(\omega_0 t + \theta(t)) + n(t), \quad (1)$$

где $\theta(t)$ - фаза полезного сигнала, ω_0 - несущая частота полезного сигнала, $n(t)$ - ограниченный в полосе частот гауссовский шум с постоянной спектральной плотностью, полоса шума достаточно велика, чтобы считать отстоящие друг от друга на конечное время отсчёты $n(t)$ независимыми.

Обозначим через $t(k)$ интервал времени, прошедший за k тактов дискретизации, а через $T(k)$ - временной интервал между $(k-1)$ -м и k -м моментом дискретизации. Выразим $T(k)$ через два соседних момента дискретизации $T(k) = t(k) - t(k-1)$, (2)

соответственно при условии $t(0) = t_0 = 0$ для текущего момента дискретизации имеем

$$t(k) = \sum_{i=1}^k T(i) \quad (3)$$

Рассмотрим сигнал на выходе ЦПФД, отражающий закон изменения параметра β как

$$u_{\text{дб}}(k) = A \sin[\omega_0 t(k) + \theta(t(k))] + n(t(k)). \quad (4)$$

Последовательность $u_{\text{дб}}(k)$ поступает на вход цифрового фильтра (ЦФ), выход которого $Y(k)$ используется для управления периодом УГ. Закон изменения периода подчиняется следующему выражению:

$$T(k+1) = T - Y(k), \quad (5)$$

где $T = \frac{2\pi}{\omega_0}$ - номинальный период управляющего генератора, ω_0 - круговая частота.

Для вывода общего уравнения обратимся к выражению (4). Пусть начальный момент времени $t_0 = 0$, тогда согласно (2) и (5) имеем

$$t(k) = \sum_{i=1}^k T(i) = kT - \sum_{i=0}^{k-1} Y(i). \quad (6)$$

С учётом (6) можно переписать (4) в виде

$$u_{д\beta}(k) = A \sin \left[\theta(k) - \omega_0 \sum_{i=0}^{k-1} Y(i) \right] + n(k). \quad (7)$$

В соответствии с [1] $\theta(k)$ выражается через угол ориентации поляризационного эллипса $\beta(k)$ следующим образом: $\theta(k) = \arccos \left[\frac{E_{хц}^2 - E_{уц}^2}{2E_{хц}E_{уц}} \operatorname{tg}(2\beta(k)) \right]$.

(8)

Тогда выражение (7) с учётом $C = \frac{E_{хц}^2 - E_{уц}^2}{2E_{хц}E_{уц}}$ переписывается

$$u_{д\beta}(k) = A \sin \left[\arccos(C \cdot \operatorname{tg}(2\beta(k))) - \omega_0 \sum_{i=0}^{k-1} Y(i) \right] + n(k). \quad (9)$$

Определим фазовую ошибку $x(k)$ следующим образом:

$$x(k) = \theta(k) - \omega_0 \sum_{i=0}^{k-1} Y(i). \quad (10)$$

$x(k)$ – непосредственно связан с ошибками слежения поляризационного параметра $\beta(k)$: $x(k) = \arccos(C \cdot \operatorname{tg}(2\beta(k))) - \omega_0 \sum_{i=0}^{k-1} Y(i)$.

Для кодовой последовательности на выходе ЦФ справедлива следующая символическая запись:

$$Y(k) = K_{\phi}(z) u_{д\beta}(k), \quad (12)$$

где $K_{\phi}(z)$ – коэффициент передачи цифрового фильтра.

Собирая вместе выражения (7), (10), (12) приходим к следующему уравнению:

$$x(k+1) - x(k) = \arccos[C \operatorname{tg}(2\beta(k+1))] - \arccos[C \operatorname{tg}(2\beta(k))] - K_{\phi}(z)[A \sin(x(k)) + n(k)]. \quad (13)$$

Таким образом, уравнение (13) представляет собой символическое разностное стохастическое уравнение, на основе которого синтезируется цифровая система слежения за поляризационным параметром β .

Литература

1. Канарейкин Д.Б., Павлов Н.Ф., Потехин В.А. Поляризация радиолокационных сигналов. Под ред. Дулевича В.Е.- "Советское радио", Москва, 1966 г.
2. Цифровые радиоприёмные системы. Справочник. Под ред. Жодзишского М.И. М.: Радио и связь, 1990 г.
3. Шахтарин Б.И. Статистическая динамика систем синхронизации. М.: Радио и связь, 1998 г.