

СИНТЕЗ УСТРОЙСТВ СИНХРОНИЗАЦИИ В СИСТЕМАХ ШПС

Ле Нгуен Лонг, магистрант гр. 445201

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Карпушкин Э.М. – к.т.н., доцент

В современных радиотехнических системах устройства синхронизации играют важную роль, обеспечивая согласование временных и частотных параметров сигналов. Синтез синхронизирующих устройств заключается в разработке структуры системы, позволяющей эффективно выделять необходимые параметры принимаемого радиосигнала.

В колебании $x(t) = S(t, \tau) + n(t)$, $0 \leq t \leq T$, полезный сигнал $S(t, \tau) = S_0(t - \tau) \cos(\omega_0 t + \varphi)$ является функцией от временного положения τ . Так как огибающая сигнала – медленно изменяющаяся функция по сравнению с несущей частотой ω_0 , то оценку временного положения сигнала можно проводить, анализируя сигнальную функцию огибающих сигналов:

$$y_c(t) = \frac{2}{N_0} \int_0^T S_0(t - \tau_0) S_0(t - \tau) dt \quad (1)$$

где τ_0 – истинное значение временного положения сигнала.

Вторая производная сигнальной функции (1) по информационному параметру τ при $\tau = \tau_0$

$$y_c''(t) = \frac{2}{N_0} \int_0^T S_0(t - \tau_0) \left[\frac{d^2 S_0(t - \tau)}{d\tau^2} \right]_{\tau=\tau_0} dt \quad (2)$$

Выразим $y_c''(t)$ через параметры спектральной функции огибающей, воспользовавшись обратным преобразованием Фурье:

$$\begin{aligned} S_0'(t, \tau_0) &= \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} S(j\omega) e^{j\omega(t-\tau_0)} d\omega \\ S_0''(t - \tau) &= \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} S(j\Omega) e^{j\Omega(t-\tau)} d\Omega, \\ \frac{d^2 S_0(t - \tau)}{d\tau^2} &= -\frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \Omega^2 S(j\Omega) e^{j\Omega(t-\tau)} d\Omega, \\ y_c''(\tau_0) &= -\frac{2}{N_0} \frac{1}{4\pi^2} \int_0^T \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \Omega^2 S(j\omega) S(j\Omega) e^{j\omega(t-\tau_0)} e^{j\Omega(t-\tau)} d\omega d\Omega dt \\ &= -\frac{2}{N_0} \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \Omega^2 |S(j\Omega)|^2 d\Omega = -\frac{2E}{N_0} \frac{\int_{-\infty}^{\infty} |S(j\Omega)|^2 \Omega^2 d\Omega}{\int_{-\infty}^{\infty} |S(j\Omega)|^2 d\Omega} = -\frac{2E}{N_0} F_{\text{ЭК}}^2 \end{aligned} \quad (3)$$

Где

$S(j\Omega)$ – спектральная функция огибающей сигнала;

E – энергия огибающей сигнала;

$F_{\text{ЭК}}^2$ – квадрат эквивалентной полосы частот, занимаемой огибающей радиосигнала.

Из (2) следует

$$\sigma_{\tau}^2 = \frac{1}{\left(\frac{2E}{N_0}\right)} F_{\text{ЭК}}^2 \quad (4)$$

Эквивалентная полоса частот сигнала $F_{\text{ЭК}}$ вычисляется по формуле

$$F_{\text{ЭК}} = \sqrt{\frac{\int_{-\infty}^{\infty} |S(j\Omega)|^2 \Omega^2 d\Omega}{\int_{-\infty}^{\infty} |S(j\Omega)|^2 d\Omega}} \quad (5)$$

и ее величина мало чем отличается от эффективной полосы частот, занимаемой сигналом, поэтому на практике обычно принимают $F_{\text{ЭК}} = F_{\text{эф}}$. Точность оценки временного положения сигнала тем выше, чем шире полоса частот сигнала и больше отношение сигнал/шум на входе приемника.

Структурная схема, представленная на рисунке 2.46 [1], оптимально оценивает временную задержку ($\lambda_i = \tau_i$). Можно синтезировать и следящую оценку временного положения, если приравнять к нулю производную от натурального логарифма функционала правдоподобия по измеряемому параметру:

$$\frac{d \ln F(\hat{\tau})}{d\hat{\tau}} = \int_0^T x(t) \frac{ds(t - \hat{\tau})}{d\hat{\tau}} dt = 0$$

или

$$\int_0^T x(t) [S(t - \hat{\tau} + \Delta) - S(t - \hat{\tau} - \Delta)] dt = 0. \quad (6)$$

Временное смещение Δ в (6) выбирается равным или длительности элементарного дискрета, или его половине, если сигнал цифровой. Для непрерывного сигнала равно Δ интервалу дискретизации или половине этого интервала.

На рисунке 1 приведена структура следящего измерителя временного положения сигнала, моделирующее уравнение (6).

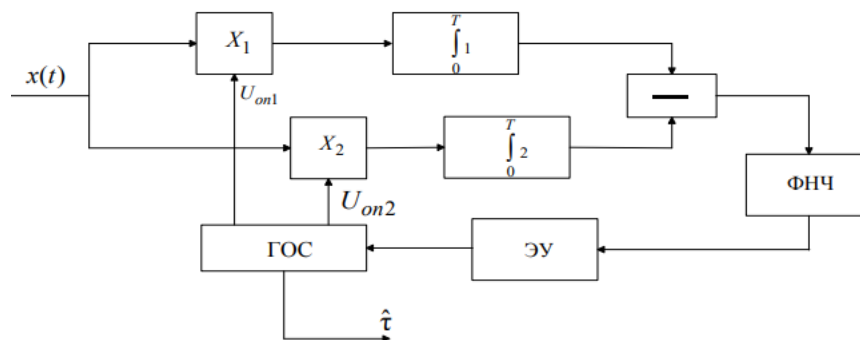


Рисунок 1 – Структура следящего измерителя временного положения сигнала

ГОС – генератор опорной ПСП; ЭУ – элемент управления, ФНЧ – фильтр нижних частот;

Список использованных источников:

1. Карпушкин, Э. М. Теория радиосистем : учебное пособие / Э. М. Карпушкин. – Минск : БГУИР, 2023. – 171 с. : ил.