

# Лекция 10. Система слежения за задержкой сигнала

Болденков Е.Н.

Московский Энергетический институт

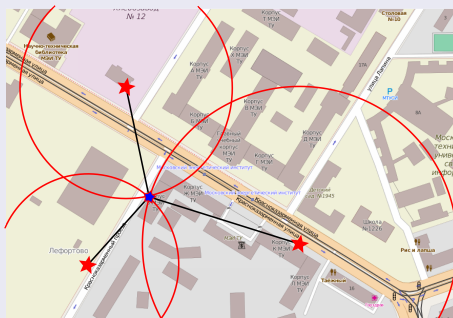
ноябрь 2016

- 1 Слежение за задержкой
  - Зачем следить за задержкой?
  - Структура ССЗ
- 2 Дискриминатор
  - Принцип построения дискриминатора ССЗ
  - Когерентные дискриминаторы ССЗ
  - Некогерентные дискриминаторы ССЗ
- 3 Сглаживающий фильтр
- 4 Поддержка ССЗ от ФАП
- 5 Влияние многолучёвого распространения сигнала
  - Влияние многолучёвости
  - Методы борьбы с многолучёвостью

# Зачем нужно следить за задержкой?

Основная задача — определение координат потребителя.

В СРНС используется псевдодальномерный метод решения навигационной задачи

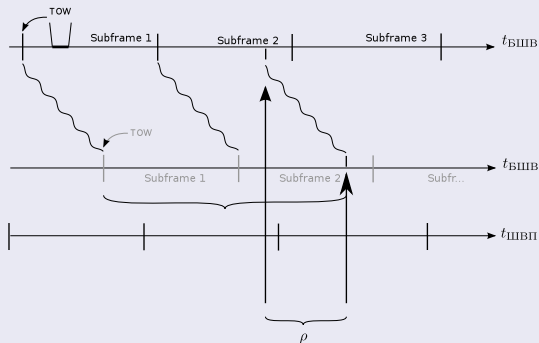


# Зачем нужно следить за задержкой?

## Вычисление псевдодальности

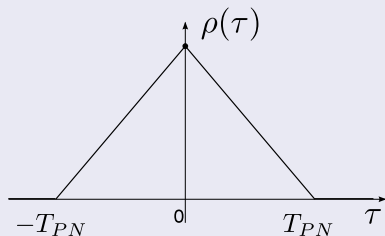
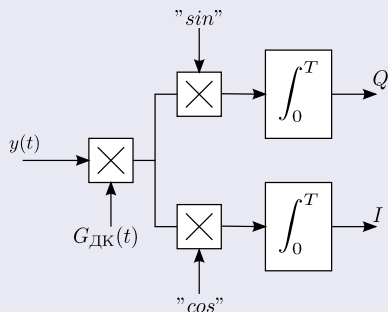
$$\rho_i = t_{\text{ШВП}} - t_{i,\text{БШВ}}$$

## Вычисление сигнального времени



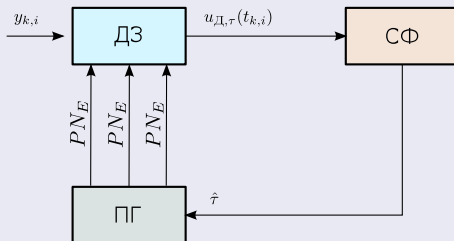
# Зачем нужно следить за задержкой?

## Необходимо формировать опорный сигнал коррелятора



По задержке нужно следить в пределах главного максимума

## ССЗ имеет структуру следящей системы



# Принцип построения дискриминатора ССЗ

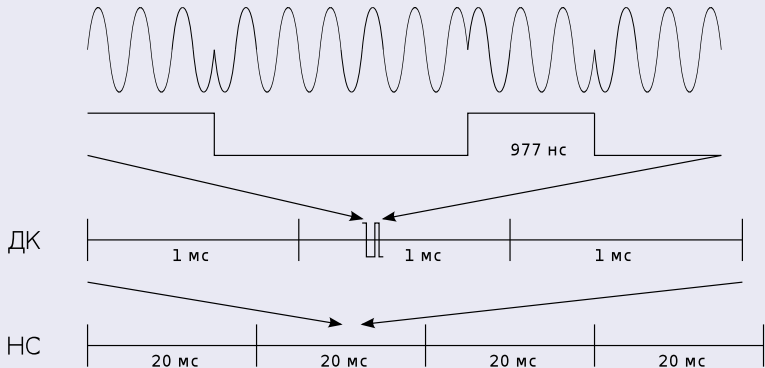
Из теории следует, что для получения дискриминатора нужно взять производную по требуемому параметру от функции правдоподобия

$$u_{Д, \tau} = \frac{\partial}{\partial \tau} \Big|_{\lambda = \lambda_0} p(Y_0^T | \tau, \lambda)$$

Функция правдоподобия имеет вид:

$$p(Y_0^T | \tau, f, \varphi) = C \cdot \exp \left\{ -\frac{2}{N_0} \int_0^T y(t) \cdot s_{\text{оп}}(t, \tau, f, \varphi) dt \right\}$$

## Структура сигнала



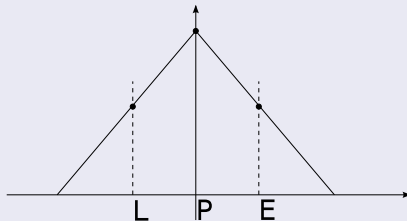
$$s(t) = AG_{\text{ДК}}(t - \tau)\cos((\omega_0 + \omega_{\text{доп}})t + \varphi + \pi \cdot \theta_{\text{НС}}(t - \tau))$$



# Принцип построения дискриминатора ССЗ

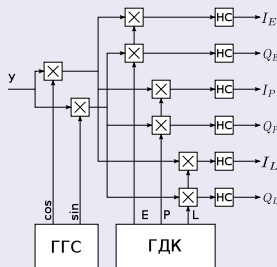
Вместо производной используется разностную функцию

$$\frac{\partial}{\partial \tau} p(Y_0^T | \tau) \approx \frac{1}{\Delta_\tau} \left( p(Y_0^T | \tau + \Delta_\tau/2) - p(Y_0^T | \tau - \Delta_\tau/2) \right)$$



## Оптимальный дискриминатор, требующий оценки фазы

$$u_{Д,τ} = th(I) (I_e - I_L)$$



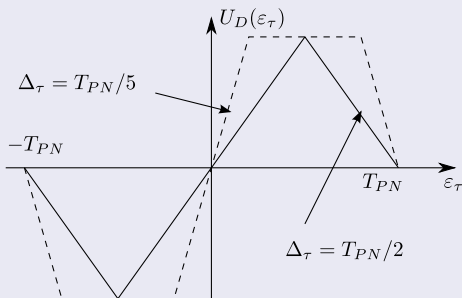
## Упрощённые варианты дискриминатора

$$u_{Д,τ} = I \cdot (I_e - I_L)$$

$$u_{Д,τ} = sign(I) (I_e - I_L)$$

## Дискриминационная характеристика дискриминатора $I \cdot (I_E - I_L)$

$$U_{д,τ} = (2q_{c/n_0} T)^2 \cos^2(\Delta\omega T/2) \operatorname{sinc}^2(\Delta\omega T/2) \times \\ \times \rho(\varepsilon_\tau) \cdot (\rho(\varepsilon_\tau + \Delta_\tau/2) - \rho(\varepsilon_\tau - \Delta_\tau/2))$$



## Крутизна дискриминационной характеристики

$$S_{Д,τ} = (2q_{с/n_0} T)^2 \frac{2}{\Delta_{τ}}$$

## Флуктуационная характеристика дискриминатора

$$D_{U_{Д,τ}} = 2 (2q_{с/n_0} T)^3 \left( 1 + \frac{1 - \rho(\varepsilon T)}{2q_{с/n_0} T} \right)$$

## Дисперсия шумов, приведённая ко входу дискриминатора

$$\eta_{U_{Д,τ}} = D_{U_{Д,τ}} / S_{Д,τ}^2 = \frac{1}{q_{с/n_0} T} \frac{\Delta_{τ}^2}{4} \left( 1 + \frac{1}{2q_{с/n_0} T} \right)$$

## Возможно множество вариантов некогерентных ССЗ

$$u_{Д,τ} = I(I_E - I_L) + Q(Q_E - Q_L),$$

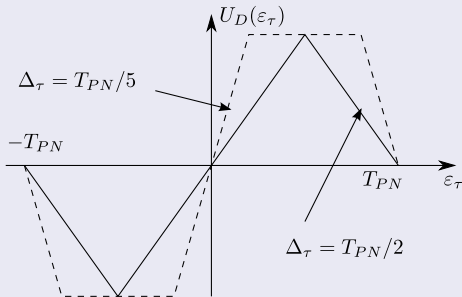
$$u_{Д,τ} = \sqrt{I_E^2 + Q_E^2} - \sqrt{I_L^2 + Q_L^2},$$

$$u_{Д,τ} = \frac{\sqrt{I_E^2 + Q_E^2} - \sqrt{I_L^2 + Q_L^2}}{\sqrt{I_E^2 + Q_E^2} + \sqrt{I_L^2 + Q_L^2}}$$

Дискриминационная характеристика дискриминатора

$$U_D = \sqrt{I_E^2 + Q_E^2} - \sqrt{I_L^2 + Q_L^2}$$

$$U_{D,\tau} = (q_{c/n_0} T)^2 \frac{2}{\Delta\tau} \text{sinc}(\Delta\omega T/2) \cdot (\rho^2 (\varepsilon_\tau + \Delta\tau/2) - \rho^2 (\varepsilon_\tau - \Delta\tau/2))$$



## Крутизна дискриминационной характеристики

$$S_{Д,\tau} = (q_{c/n_0} T)^2 \frac{2}{\Delta_\tau}$$

## Флуктуационная характеристика дискриминатора

$$DU_{Д,\tau} = 2 (2q_{c/n_0} T)^2 \left( 1 + \frac{1}{2q_{c/n_0} T} \right)$$

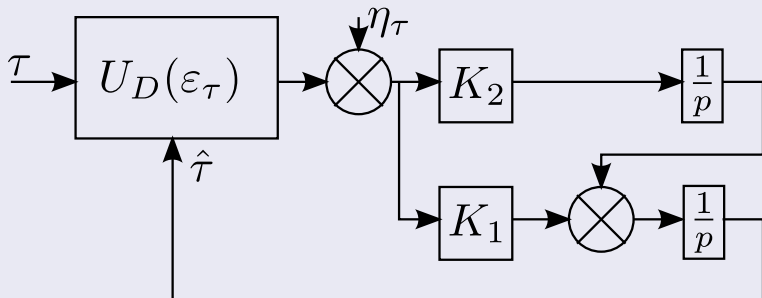
## Дисперсия шумов, приведённая ко входу дискриминатора

$$\eta_{U_{Д,\tau}} = DU_{Д,\tau} / S_{Д,\tau}^2 = \frac{2}{2q_{c/n_0} T} \frac{\Delta_\tau^2}{4} \left( 1 + \frac{1}{2q_{c/n_0} T} \right)$$

Дисперсия шумов в данном дискриминаторе в 2 раза выше, чем в когерентном

# Сглаживающий фильтр

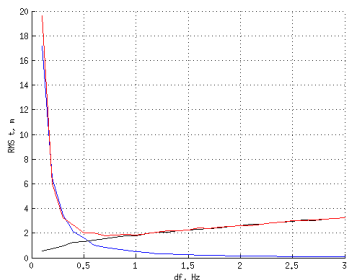
Если бы кто-нибудь использовал автономную ССЗ, фильтр мог бы быть таким:



Полоса такого фильтра ССЗ - около 1-3 Гц



Ошибка слежения складывается из шумовой и динамической составляющих



Если бы не динамическая ошибка, можно было бы сужать полосу и повышать точность и помехоустойчивость ССЗ.

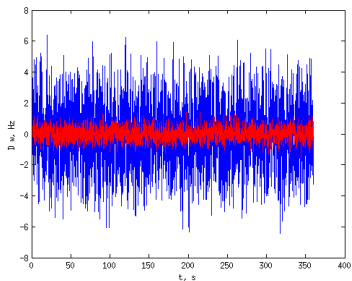
Существует взаимосвязь между частотой и взаимной скоростью

$$f_{\text{доп}} = \frac{V}{c} f_0.$$

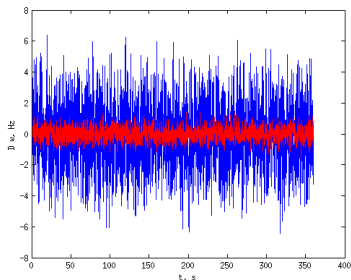
Фаза — интеграл частоты. задержка — интеграл скорости

$$\frac{df_{\text{доп}}}{dt} = \frac{f_0}{c} \frac{dV}{dt}$$

Точность оценки частоты в ФАП существенно выше

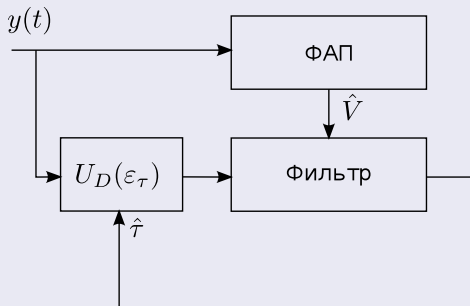


Точность оценки частоты в ФАП существенно выше



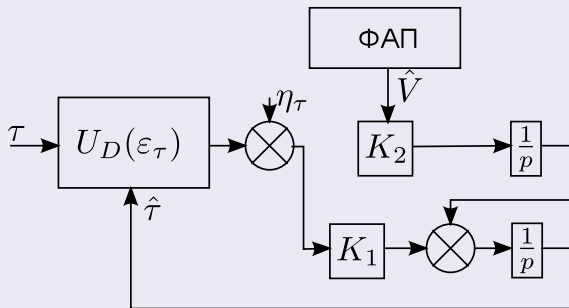
Можно взять оценку частоты из ФАП и подставить в ССЗ

## Структура следящих систем

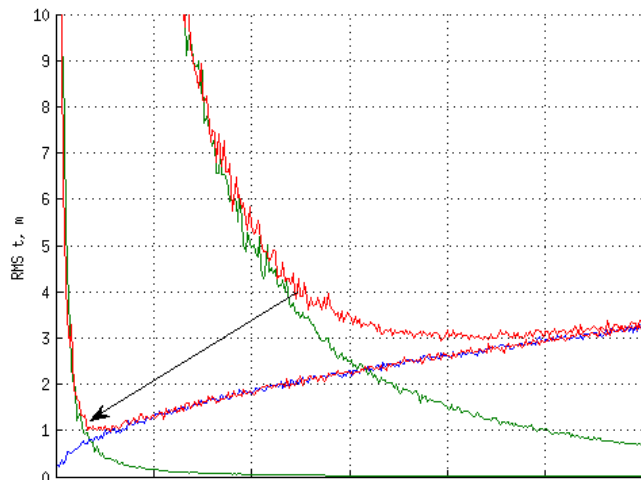


При синтезе комплексной ССЗ скорость полагается известной

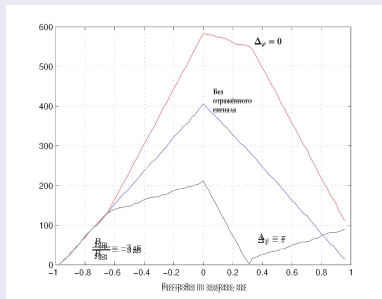
В результате получается фильтр 1 порядка



Поддержка от ФАП позволяет скомпенсировать динамическую ошибку и повысить точность



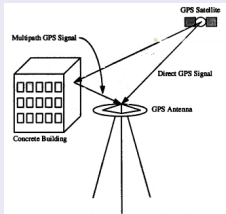
## Наличие отражённого сигнала искажает корреляционную функцию



Оценка задержки может быть смещена как в одну, так и в другую сторону



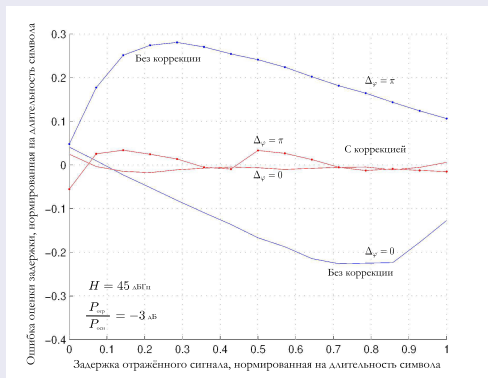
Стандартная модель предполагает наличие одного прямого и одного отражённого сигнала



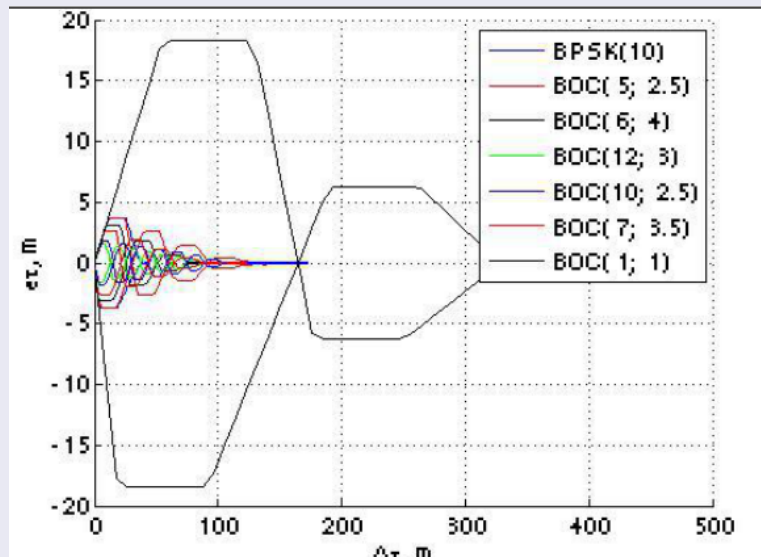
Параметры:

- $\Delta\tau$  — задержка отражённого сигнала;
- $\Delta P$  — отношение мощностей отражённого и прямого сигналов;
- $\Delta\varphi$  — разность фаз.

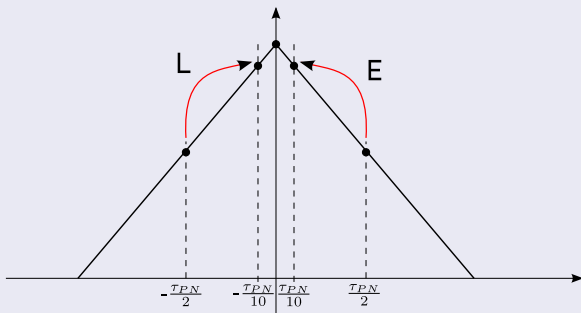
Для анализа стандартной модели многолучёвости используются огибающие многолучёвости



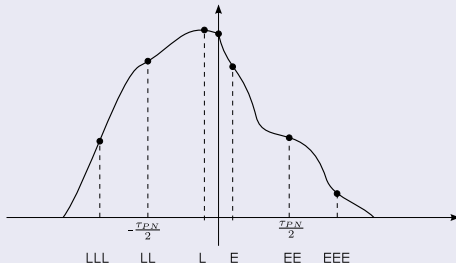
## Применение широкополосных сигналов



## Сужение расстройки между отводами коррелятора



## Анализ формы корреляционного максимума



На основе выходов коррелятора формируется компенсация ошибки многолучевости.

$$\tilde{\rho} = \rho + f(I, Q, I_E, Q_E, I_{EE}, Q_{EE}, \dots)$$

## Тема следующей лекции - приём навигационных данных

**Способ моделирования данных**

Система	Кодирование
ГЛОНАСС ITT	Код Хаффмана
ГЛОНАСС L1DGF	Сайрэнский код R=7 N=1(2)
ГЛОНАСС L3DGF	Сайрэнский код R=7 N=1(2)
GPS C/A	Аналог кода Хаффмана
GPS L1C	Сайрэнский код R=7 N=1(2)
Galileo E1	Сайрэнский код R=7 N=1(2)
GPS L1C	LDFC-код
SBAS	Сайрэнский код R=7 N=1(2)

Параметры помеховой среды заданы в файле `помехи.txt`

**Характеристики Блока моделирования**

Основные характеристики - зависимость вероятности ошибки от дальности отключения сигнала в спутниковой системе связи

**Способ моделирования данных**

Система	Кодирование
ГЛОНАСС ITT	Код Хаффмана
ГЛОНАСС L1DGF	Сайрэнский код R=7 N=1(2)
ГЛОНАСС L3DGF	Сайрэнский код R=7 N=1(2)
GPS C/A	Аналог кода Хаффмана
GPS L1C	Сайрэнский код R=7 N=1(2)
Galileo E1	Сайрэнский код R=7 N=1(2)
GPS L1C	LDFC-код
SBAS	Сайрэнский код R=7 N=1(2)

Параметры помеховой среды заданы в файле `помехи.txt`

**Характеристики Блока моделирования**

Основные характеристики - зависимость вероятности ошибки от дальности отключения сигнала в спутниковой системе связи

Посетите наш web-сайт

<http://srns.ru>

