

Лекция 9. Система слежения за частотой сигнала

Болденков Е.Н.

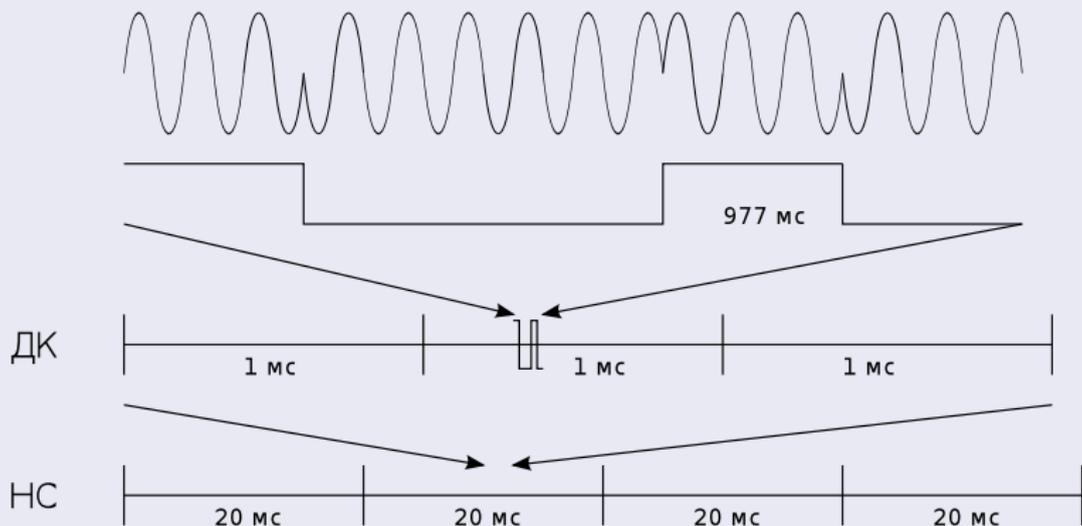
Московский Энергетический институт

октябрь 2014

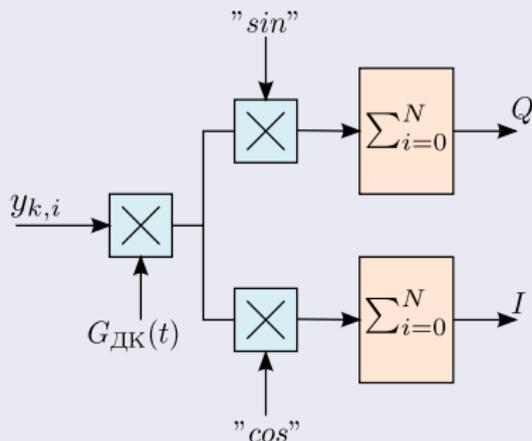
- 1 Некогерентный режим
 - Структура системы ЧАП
- 2 Частотный дискриминатор
- 3 Фильтр системы ЧАП
- 4 Практическая реализация системы слежения

Структура навигационного сигнала

$$s_{k,i} = AG_{\text{ДК}}(t_{k,i} - \tau_k) \cos((\omega_0 + \omega_{\text{доп}})t_{k,i} + \varphi_k + \pi \cdot \theta_{\text{НС}}(t_{k,i} - \tau_k))$$



Основа приёмника — коррелятор



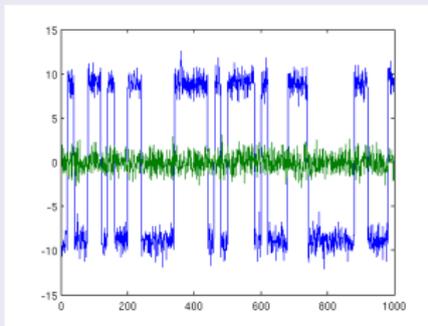
Для коррелятора необходимо формировать опорный сигнал

$$s_I(t_{k,i}) = AG_{\text{ДК}}(t_{k,i} - \hat{\tau}_k) \cos(\hat{\omega}_k t_{k,i} + \hat{\varphi}_k)$$

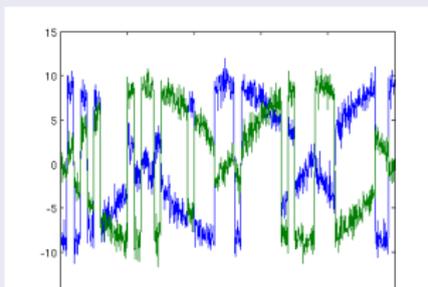
$$s_Q(t_{k,i}) = AG_{\text{ДК}}(t_{k,i} - \hat{\tau}_k) \sin(\hat{\omega}_k t_{k,i} + \hat{\varphi}_k)$$

Когерентный и некогерентный приём

Если оценивается фаза сигнала, приём называется *когерентным*



Если оценивается только частота сигнала, приём называется *некогерентным*

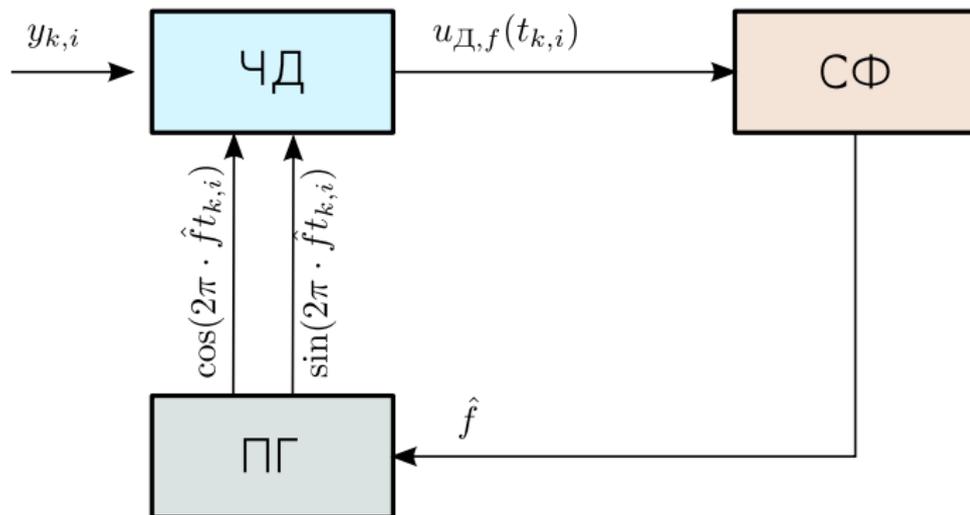


Сравнение чувствительности приёмников

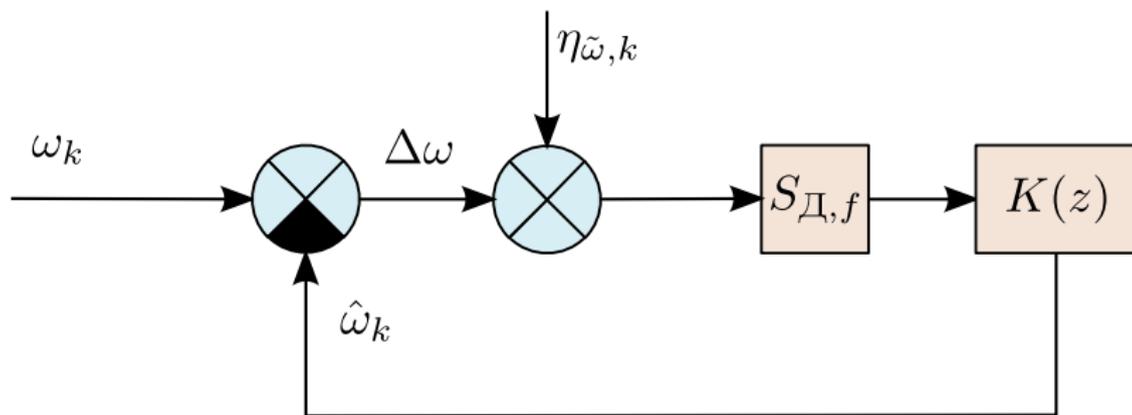
Чувствительность некогерентного режима НАП, разработанных в различные годы

	Название	Чувствительность	Год	Технология
	SN-4706	-165 дБВт	2003	180 нм
	SiRFstar II	-171 дБВт	2002	130 нм
	Геос-1	-181 дБВт	2009	250 нм
	SiRFstar III	-185 дБВт	2005	90 нм
	NV-08C	-190 дБВт	2010	90 нм
	Геос-3	-191 дБВт	2012	130 нм
	u-blox6	-192 дБВт	2010	65 нм
	SiRFstar IV	-193 дБВт	2009	65 нм
	SiRFstar V	-195 дБВт	2013	20 нм

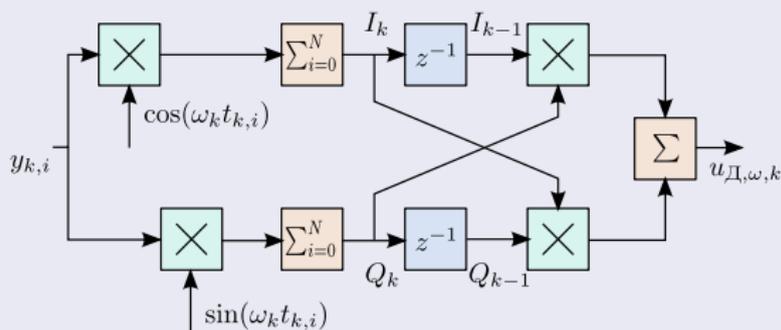
Функциональная схема системы ЧАП



Структурная схема ЧАП

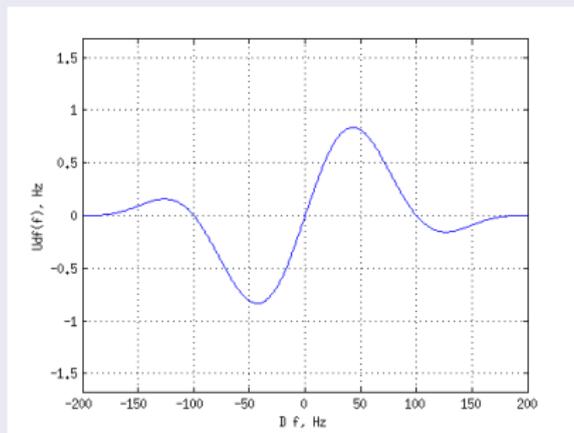


Формирование частотного дискриминатора по выходам коррелятора



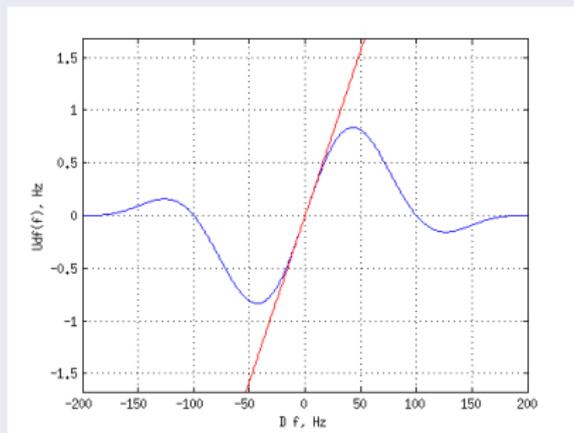
$$u_{Д,f} = I_k Q_{k-1} - Q_k I_{k-1}$$

Дискриминационная характеристика



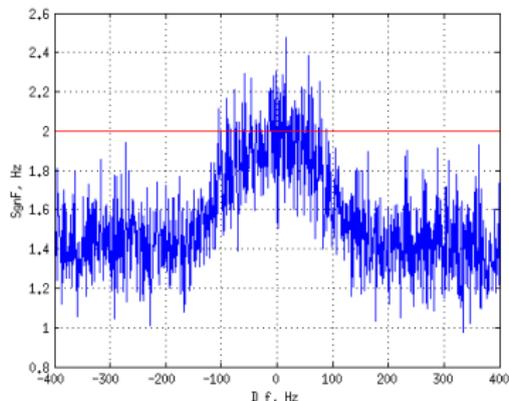
$$U_{Д, f} = (2q_{c/n_0} T)^2 \cdot \sin(\Delta\omega T) \text{sinc}(\Delta\omega T/2)$$

Крутизна дискриминационной характеристики



$$S_{D,f} = (2q_c/n_0 T)^2 T$$

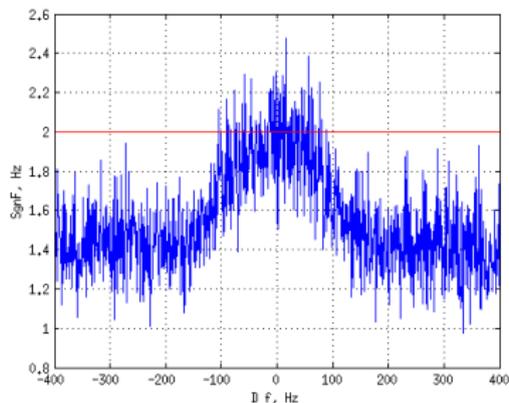
Частотный дискриминатор



Флуктуационная характеристика частотного дискриминатора

$$D_{u_{\Delta f}} = 2 (2q_{c/n_0} T)^3 \cdot \left(1 + \frac{1}{2q_{c/n_0} T} \right)$$

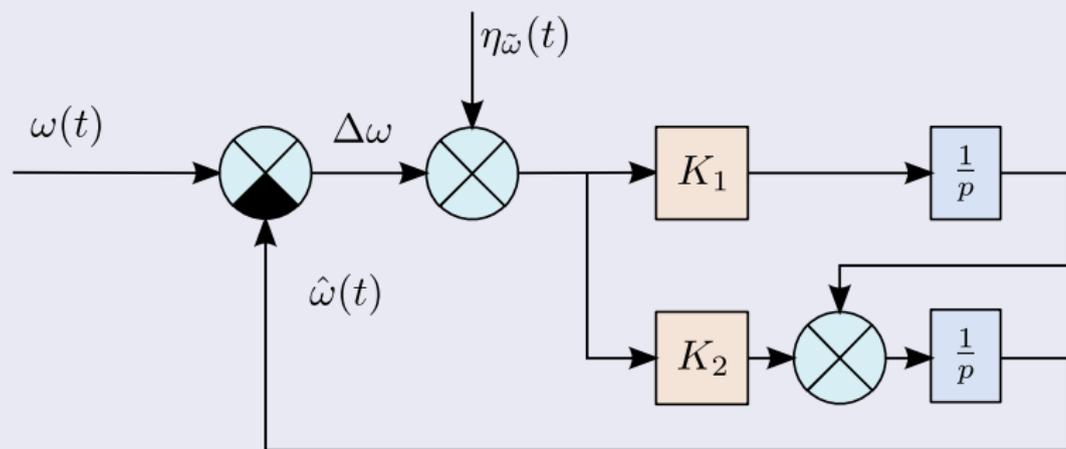
Частотный дискриминатор



Дисперсия эквивалентных шумов, приведённых ко входу дискриминатора

$$D_{\tilde{u}_{Д, f}} = \frac{D_{u_{Д, f}}}{S_{Д, f}^2} = \frac{2T}{2q_{c/n_0} T} \left(1 + \frac{1}{2q_{c/n_0} T} \right)$$

Структура ЧАП с фильтром 2 порядка



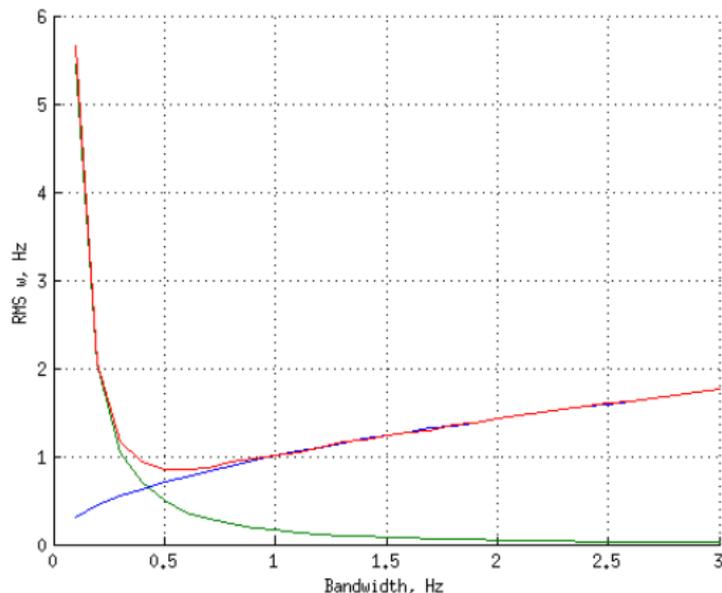
Коэффициент передачи аддитивного шума

$$K_{\eta\Delta\omega}(p) = \frac{K_1 p + K_2}{p^2 + K_1 p + K_2}$$

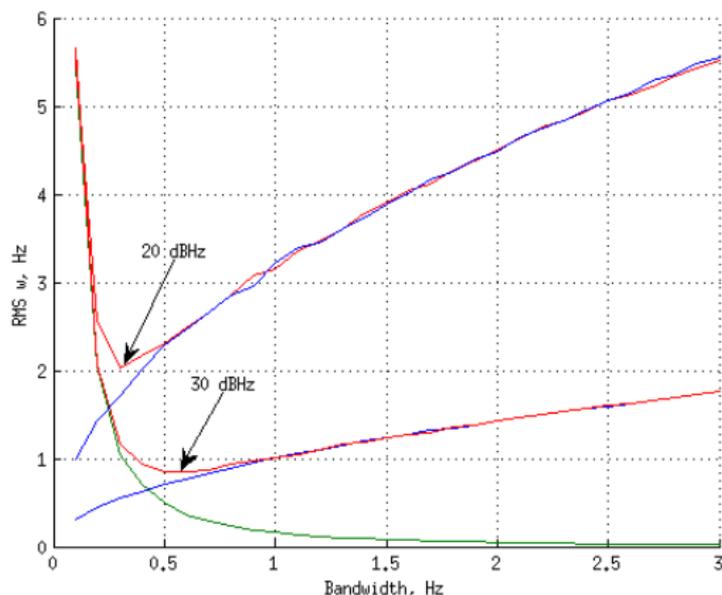
Коэффициент передачи динамического воздействия

$$K_{\omega\Delta\omega}(p) = \frac{1}{p^2 + K_1 p + K_2}$$

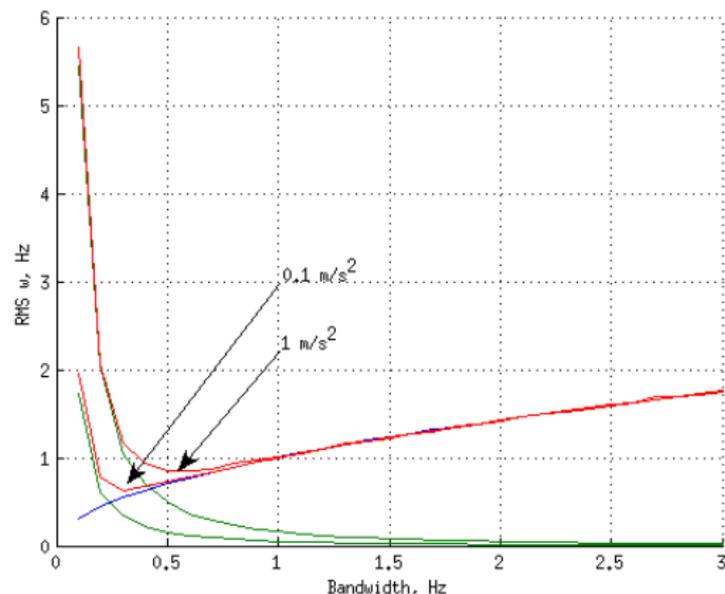
Составляющие ошибки слежения за частотой



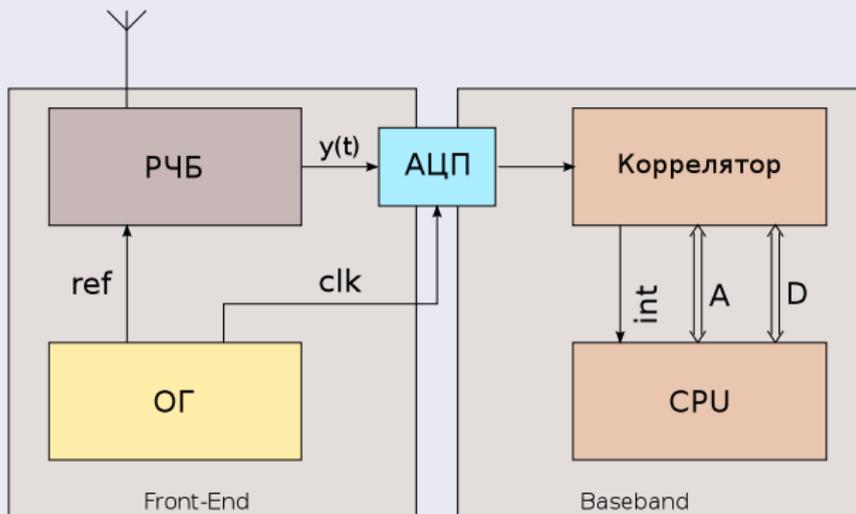
Зависимость ошибки оценки частоты от полосы при разных отношениях сигнал/шум



Зависимость ошибки оценки частоты от полосы при разной динамике движения



Слежение осуществляется с блоке цифровой обработки — baseband



Управление частотой опорного генератора

```
reg [31:0] phase;
reg [31:0] phase_rate;
reg [31:0] phase_rate_IN;
wire [3:0] cos;
wire epoch_pulse;

always @(posedge clk)
    {phase[31:0]} <=
        phase[31:0] + phase_rate[31:0];

always @(posedge clk)
    if (epoch_pulse)
        phase_rate[31:0] <= phase_rate_IN[31:0];

CosTable COS (
    .clk      (clk),
    .cos      (cos),
    .phase    (phase{31:27}) );
```

В реальной схеме управление осуществляется с задержкой



Реализация ЧАП в программе

```
void Fll::update() {
    Sdf = (2*q*T)*(2*q*T)*T;
    if (upperRef) Sdf *= -1;

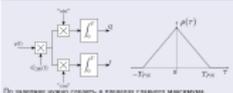
    Udf = - ( Ip*QpPrev - Qp*IpPrev );
    IpPrev = Ip; QpPrev = Qp;
    if (Sdf != 0)
        Udf /= Sdf;

    Kf[0] = ( 8.0/3.0*dfp ) * T;
    Kf[1] = (32.0/9.0*dfp)*(32.0/9.0*dfp) * T;

    xf[0] += Kf[0] * Udf;
    xf[1] += Kf[1] * Udf;

    PHASE_RATE =
        (unsigned int)( (wi + xf[0])/wd * TWOPOW32 );
}
```

Тема следующей лекции - система слежения за задержкой сигнала

Зачем нужно следить за задержкой? Необходимо формировать опорный сигнал коррелятора  <p>По задержке нужно следить в пределах главного максимума</p>	Когерентные дискриминаторы ССЗ Оптимальный дискриминатор - трибунный опорный фильтр $x_{2L} = \Phi(f)(k - \Delta)$ 
Поддержка ССЗ от ФАП Для работы когерентных ССЗ скорость вращения должна быть в пределах частоты ФАПЧ 1 периода 	Уровневый когерентный дискриминатор $x_{2L} = f - (k - \Delta)$ $x_{2L} = \text{sign}(f)(k - \Delta)$ Влияние многолучевости Следует использовать предопределенный начальный опорный сигнал

Посетите наш web-сайт

<http://srns.ru>

