

Лекция 4. Принцип работы коррелятора

Болденков Е.Н.

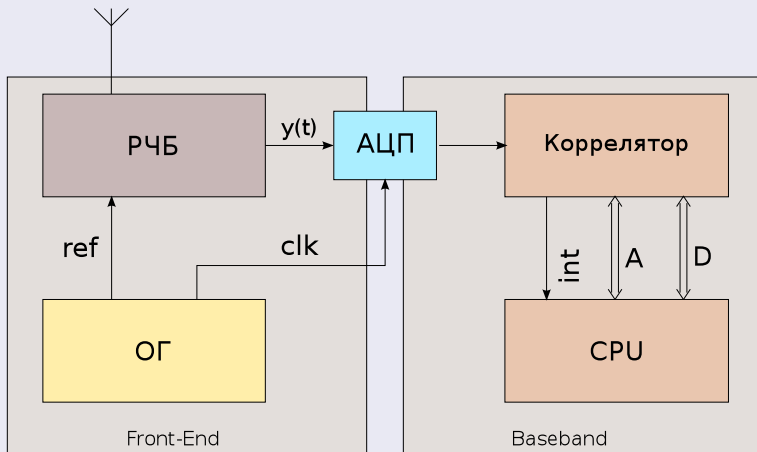
Московский Энергетический институт

сентябрь 2014

- 1 А как всё просто начиналось!!!
 - Почему именно коррелятор?
 - Коррелятор, как основа дискриминаторов следящих систем
- 2 Структура современного коррелятора
 - Обработка перспективных сигналов
 - Борьба с многолучёвостью
 - Допоиск сигнала
 - Блок быстрого поиска сигнала
- 3 Аппаратная реализация коррелятора
 - Генератор гармонического сигнала
 - Генератор дальномерного кода
 - Эпоха дальномерного кода
 - Прерывания

Структура НАП (в очередной раз!)

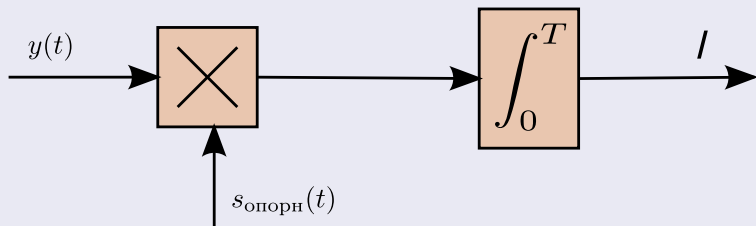
Ядром обработки сигнала в НАП является коррелятор



А как всё просто начиналось!!!

Основа НАП — коррелятор

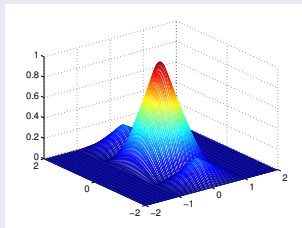
$$I = \int_0^T y(t) \cdot s_{\text{опорн}}(t) dt.$$



Почему?

Из теории следует, что необходимо искать максимум функции правдоподобия:

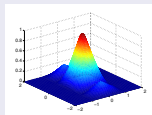
$$p(Y_0^T | \lambda) \xrightarrow{\lambda} \max$$



Метод максимума правдоподобия

Из теории следует, что необходимо искать максимум функции правдоподобия:

$$p(Y_0^T | \lambda) \xrightarrow{\lambda} \max$$



Пояснение

Классическая задача предполагает наблюдение сигнала на фоне собственных шумов приёмника — аддитивных гауссовских шумов

$$y(t) = s(t) + n(t),$$

где $n(t)$ — АБГШ со спектральной плотностью $N_0/2$

Гауссовское распределение

$$p(y|\lambda) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} \exp \left\{ -\frac{\int_0^T (y - s(\lambda))^2}{2\sigma^2} \right\}$$

Гауссовское распределение

$$p(y|\lambda) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} \exp \left\{ -\frac{\int_0^T (y - s(\lambda))^2}{2\sigma^2} \right\}$$

Логарифм гауссовского распределения

$$\ln(p(y|\lambda)) = C - \frac{1}{2\sigma^2} \int_0^T y^2 + \frac{1}{2\sigma^2} \int_0^T y \cdot s(\lambda) - \frac{1}{2\sigma^2} \int_0^T (s^2(\lambda))$$

Если параметр неэнергетический, то

$$\int_0^T s^2(\lambda) = E/2$$

Тогда

$$\ln(p(y|\lambda)) = C + \frac{1}{2\sigma^2} \int_0^T y \cdot s(\lambda)$$

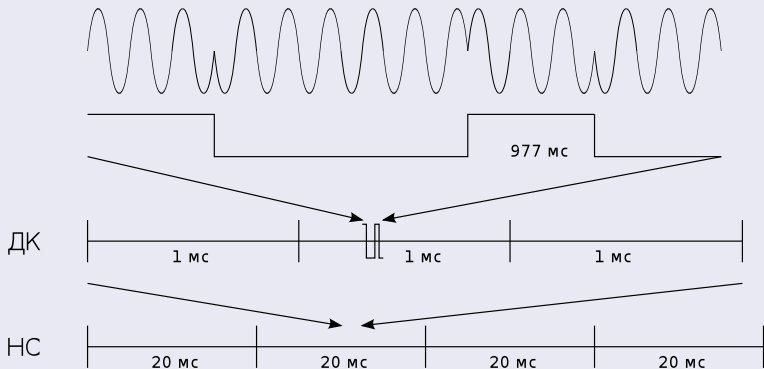
С учётом монотонности, получим алгоритм

$$\int_0^T y \cdot s(\lambda) \rightarrow \max_{\lambda}$$

Структура сигнала (в очередной раз!)

Структура навигационного сигнала

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



Часто в качестве опорного процесса используется производная сигнала по параметру

$$\int_0^T y(t) \cdot \frac{\partial}{\partial \lambda} s(\lambda, t) dt$$

Для ФАП косинус превращается в синус

$$U_{\text{Д}}(\varphi) = I \cdot Q$$

где

$$Q = \int_0^T y(t) \cdot AG_{\text{ДК}}(t - \tau) \sin((\omega_0 + \omega_{\text{доп}})t + \varphi)$$

В ССЗ приходится брать разностную функцию

$$U_{\text{Д}}(\tau) = I(I_E - Q_E)$$

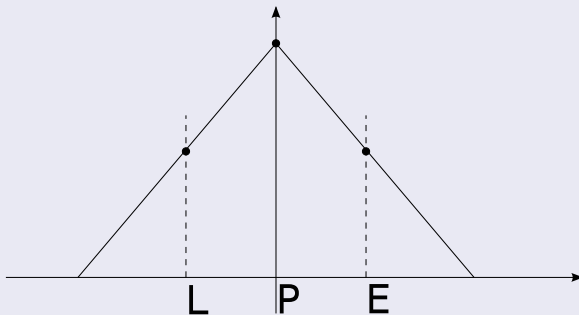
где

$$I_E = \int_0^T y(t) \cdot AG_{\text{ДК}}(t - \tau + \Delta\tau) \cos((\omega_0 + \omega_{\text{доп}})t + \varphi)$$

$$I_L = \int_0^T y(t) \cdot AG_{\text{ДК}}(t - \tau - \Delta\tau) \cos((\omega_0 + \omega_{\text{доп}})t + \varphi)$$

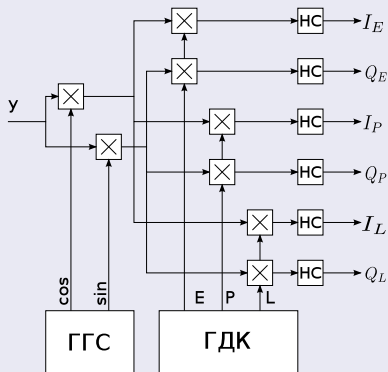
Расстановка корреляторов в обычном сигнале BPSK

Обычно есть опережающие, запаздывающие и центральные компоненты

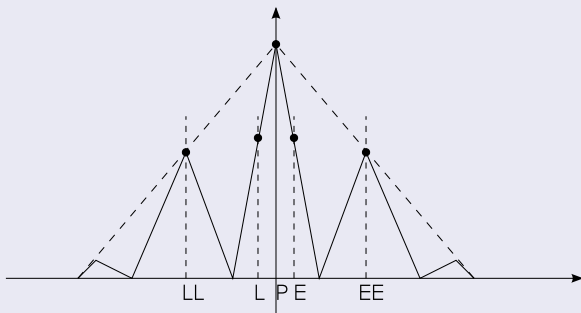


Стандартный набор корреляторов в канале

Стандартным считается 6 корреляторов в канале:

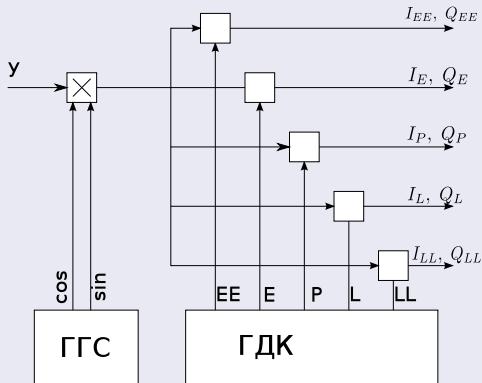


Перспективные сигналы с модуляцией ВОС имеют сложную АКФ



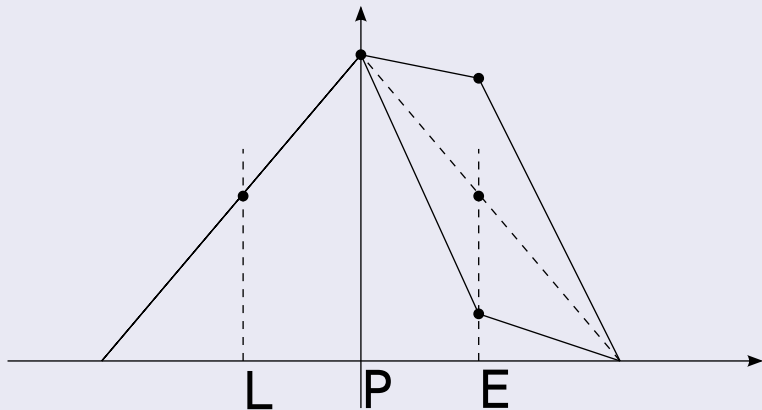
Коррелятор для перспективных сигналов

Как результат, используется 5 или 7 отводов по задержке



Коррелятор для борьбы с многолучёвостью

При многолучёвом распространении искажается корреляционная функция сигнала



Ситуация из жизни — пропадание сигнала на некоторое время

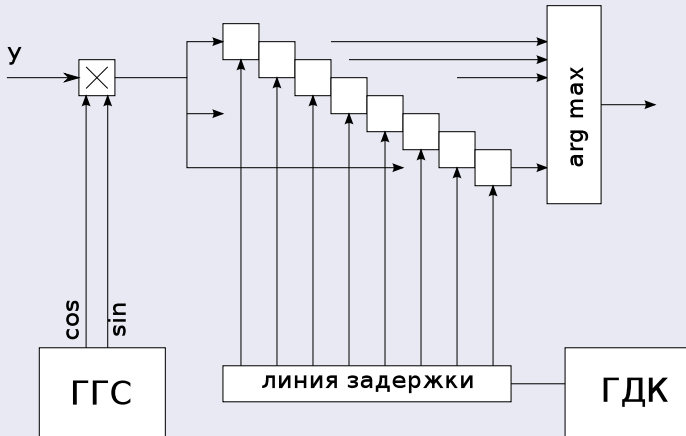


SiRFstar IV восстанавливает слежение через ~ 4 с после выезда из тоннеля

Оценка необходимого для допоиска количества каналов коррелятора

- Время возможного пропадания сигнала ~ 5 мин.
- За 5 мин машина может уехать на ~ 5 км.
- В переводе в символы ПСП GPS получим ± 15 символов.
- Если шаг допоиска $1/2$ символа, то нужно 64 отвода по задержке.

Структура блока допоиска сигнала



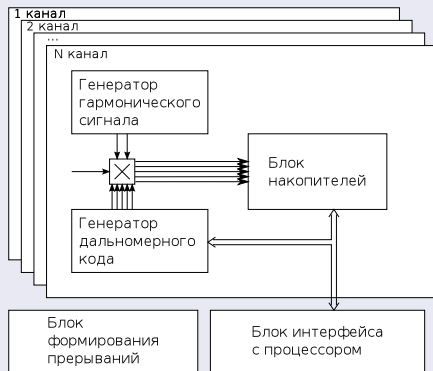
Блок быстрого поиска — отдельная песня!!!

Структура блока быстрого поиска



Количество параллельных каналов коррелятора может достигать миллиона.

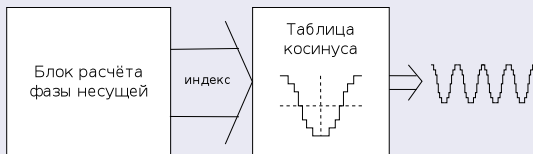
Структурная схема НАП



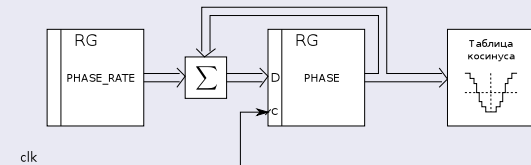
Карта памяти канала коррелятора

| Диапазон смещений | Описание | Раздел (ссылка) |
|-------------------|--|-----------------|
| 0x00000-0x1FFFF | Общесистемные регистры для управления коррелятором в целом | 3 |
| 0x20000-0x200FF | Регистры канала 1 | 4 |
| 0x20100-0x201FF | Регистры канала 2 | 4 |
| ... | | |
| 0x22F00-0x22FFF | Регистры канала 48 | 4 |
| 0x30000-0x300FF | Порт UART0 | 5 |
| 0x30100-0x301FF | Порт UART1 | 5 |
| 0x30200-0x302FF | Порт UART2 | 5 |
| 0x30300-0x303FF | Порт UART3 | 5 |
| 0x30400-0x304FF | Порт UART4 | 5 |
| 0x30500-0x305FF | Порт I2C | 6 |
| 0x30600-0x306FF | Контроллер SD/MMC | 7 |
| 0x40000-0x4FFFF | Встроенный имитатор сигналов CPHC | 8 |
| 0x50000-0x7000B | Блок сбора данных | 9 |

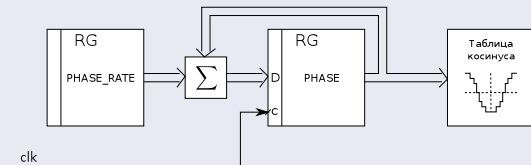
Опорный косинус и синус формируются табличным методом



Практическая реализация генератора



Практическая реализация генератора

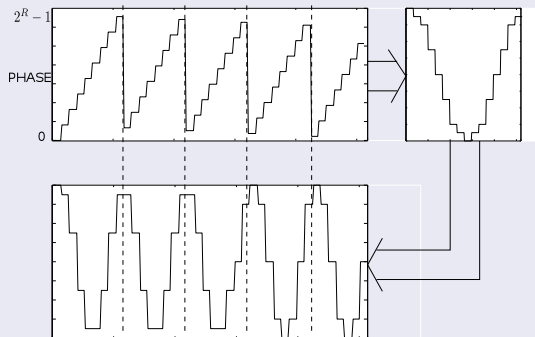


Основной параметр — код частоты

$$PHASE_RATE = \frac{f}{f_D} \cdot 2^R$$

где R — разрядность накопительного сумматора

Принцип работы генератора гармонического сигнала



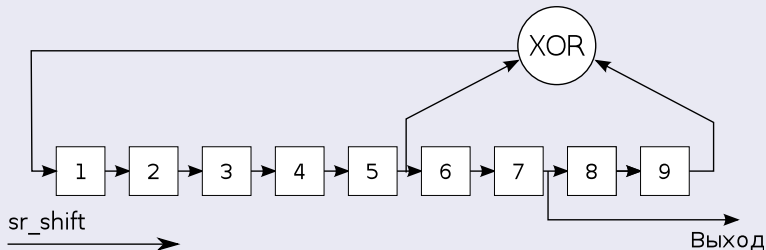
Точность установки частоты определяется частотой дискретизации и разрядностью накопительного сумматора

$$\Delta f = \frac{1}{2^R} f_{\text{Д}}$$

При 26-разрядном сумматоре и частоте дискретизации 16.369 МГц точность составляет 0.24 Гц.

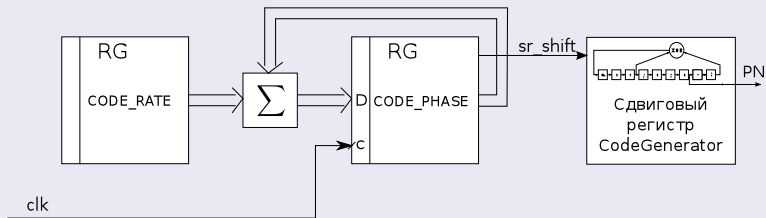
Генератор дальномерного кода

Традиционно дальномерные коды формировались на основе сдвиговых регистров с обратными связями



Ссылка: ИКД ГЛОНАСС 5.1, стр. 20.

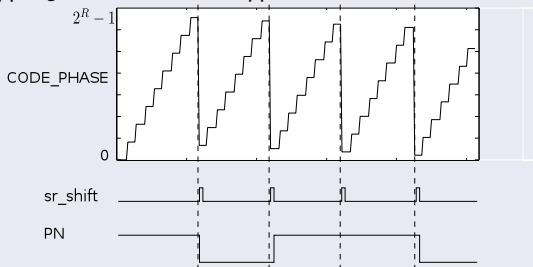
Структура генератора дальномерного кода



Код частоты ПСП

$$CODE_RATE = \frac{f_c}{f_D} \cdot 2^R$$

где f_c — частота следования символов ПСП.



Пример — расчёт номинального кода частоты для сигнала ГЛОНАСС

- Частота следования символов ПСП — 511 тыс. симв. в секунду
- Пусть разрядность сумматора 27 разрядов.
- Пусть частота дискретизации 22 МГц

Тогда код частоты равен:

$$CODE_RATE = \frac{511 \cdot 10^3}{22 \cdot 10^6} \cdot 2^{27} = 0x2F91C7$$

Точность установки частоты ПСП

- Пусть сигнал — GPS C/A, темп следования символов ПСП 1.023 МГц.
- Пусть частота дискретизации 16.369 МГц.
- Пусть используется 27-разрядный сумматор.
- Тогда точность установки символьной частоты ПСП:

$$\Delta f_c = \frac{1}{2^{27}} \cdot 16.369 \cdot 10^6 = 0.12 \text{ Гц}$$

- Относительная точность установки частоты:

$$\delta f_c = \frac{0.12}{1.023 \cdot 10^6} = 1.1 \cdot 10^{-7}.$$

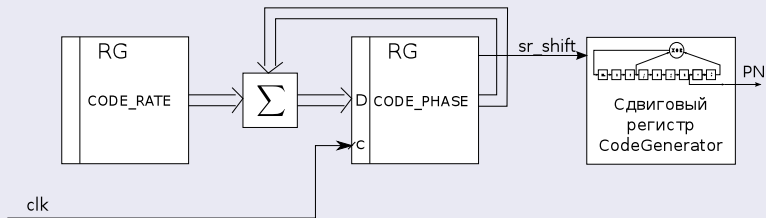
Как это выглядит на практике

```
reg [26:0] code_phase;
reg [26:0] code_rate;
wire sr_shift;
wire PN;
wire epoch_pulse;

always @(posedge clk) begin
    {sr_shift, code_phase[26:0]} <=
        code_phase[26:0] + code_rate[26:0];
end
```

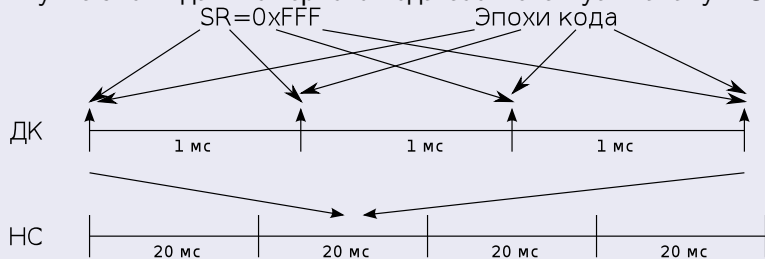
```
CodeGenerator CR (
    .clk      (clk),
    .shift    (sr_shift),
    .code_out (PN),
    .epoch    (epoch_pulse)
);
```

В результате получается структура



Важное понятие — эпоха дальномерного кода

Импульс эпохи дальномерного кода соответствует началу ПСП.



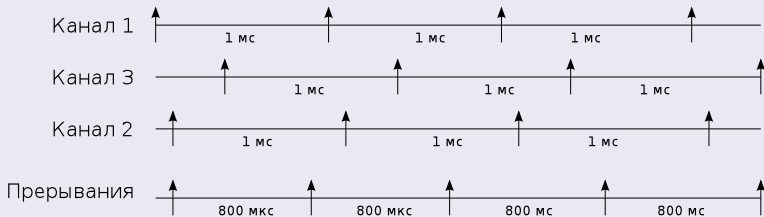
Управляющие коды вступают в силу только при наступлении эпохи кода

```
reg [26:0] code_rate_IN;  
reg [26:0] code_rate;  
wire epoch_pulse;  
  
always @(posedge clk) begin  
    if (epoch_pulse)  
        code_rate[26:0] <= code_rate_IN[26:0];  
end
```


Накопленные данные также снимаются в момент наступления эпохи

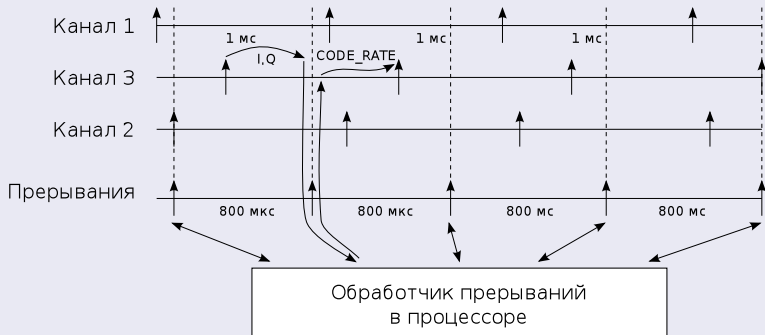
```
reg [15:0] I;  
reg [15:0] I_OUT;  
wire epoch_pulse;  
  
always @(posedge clk) begin  
    if (epoch_pulse) begin  
        I [15:0] <= y * PN * cos [2:0];  
        I_OUT [15:0] <= I [15:0];  
    end  
    else  
        I [15:0] <= I [15:0] + y * PN * cos [2:0];  
end
```

Прерывания — определённые импульсы, сообщающие процессору, что пора снимать измерения с коррелятора



Период следования прерываний обычно делают меньше, чем длительность эпохи дальномерного кода.

Управление коррелятором происходит с задержкой



Тема следующей лекции - обнаружение сигнала

Достоинства системы

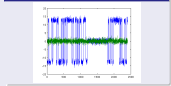
Косвенный сигнал настраивают его параметры независимо.



Курсовый проект по курсу "Системы обнаружения сигналов" (2014-2015)

Контроль приема сигнала

В следствии ринципиально контролируемы, не протравливаются.



Курсовый проект по курсу "Системы обнаружения сигналов" (2014-2015)

Нашего тезиса

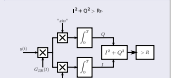
Решающая правдоподобия вид



Курсовый проект по курсу "Системы обнаружения сигналов" (2014-2015)

Обнаружение сигнала с неизвестной фазой

Решающая правдоподобия вид



Курсовый проект по курсу "Системы обнаружения сигналов" (2014-2015)

Посетите наш web-сайт

<http://srns.ru>

