

Цифровые средства измерения

Отличия от аналоговых СИ

- наличие АЦП, ЦАП;
- работа с цифровым кодом

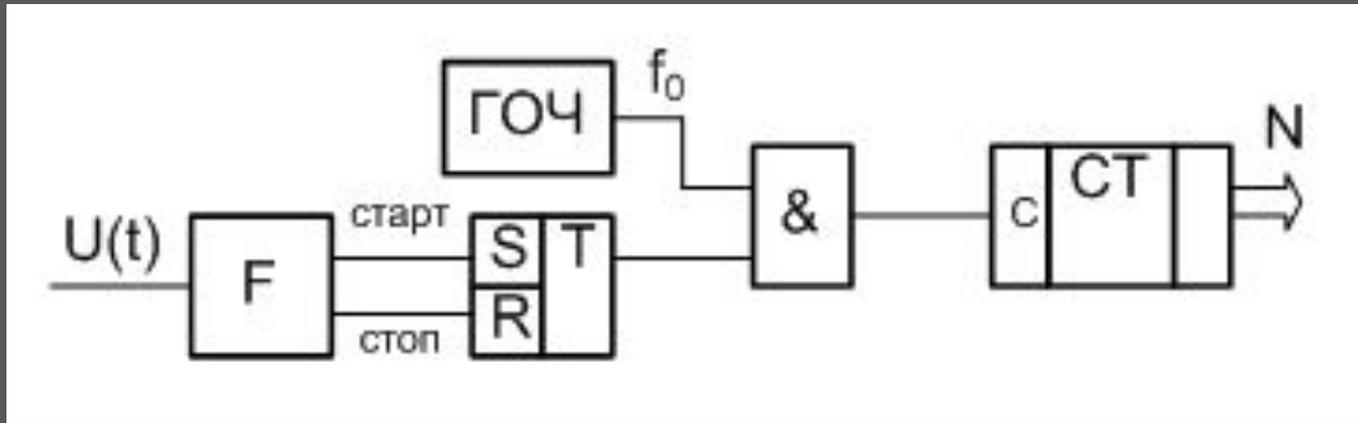
Виды ЦСИ

- с промежуточным аналоговым преобразованием
- без промежуточным аналоговым преобразованием

В цифровой код могут быть преобразованы непосредственно

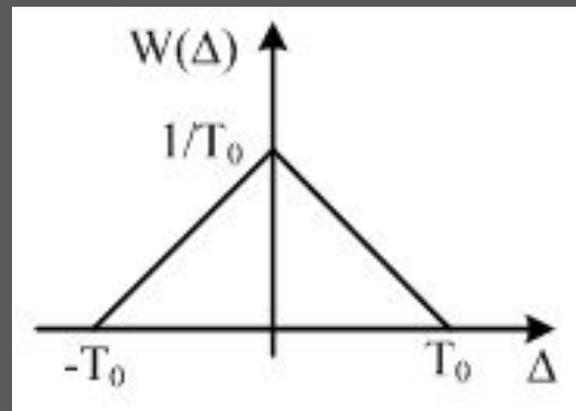
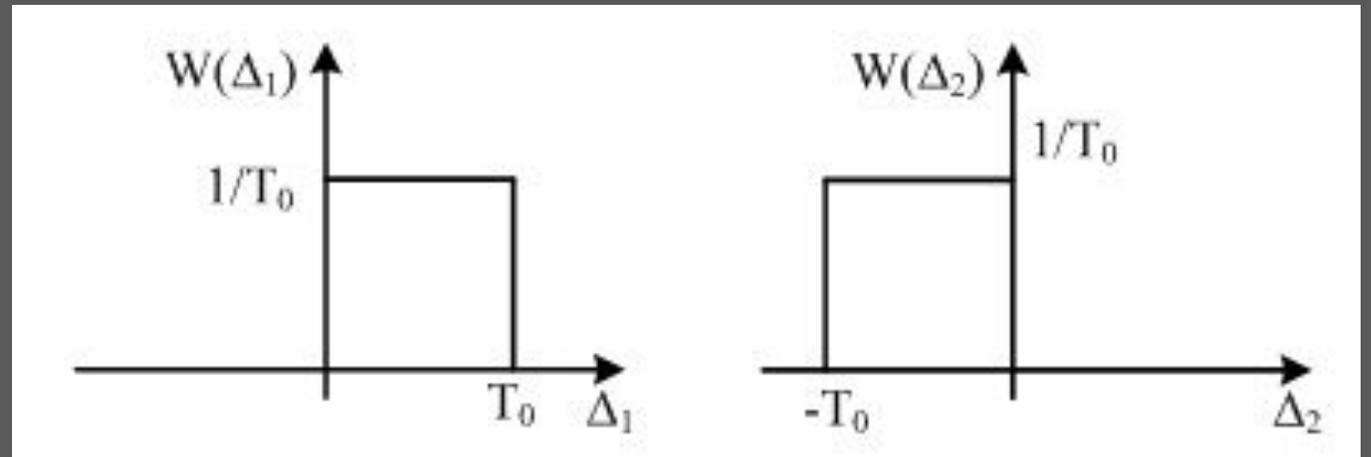
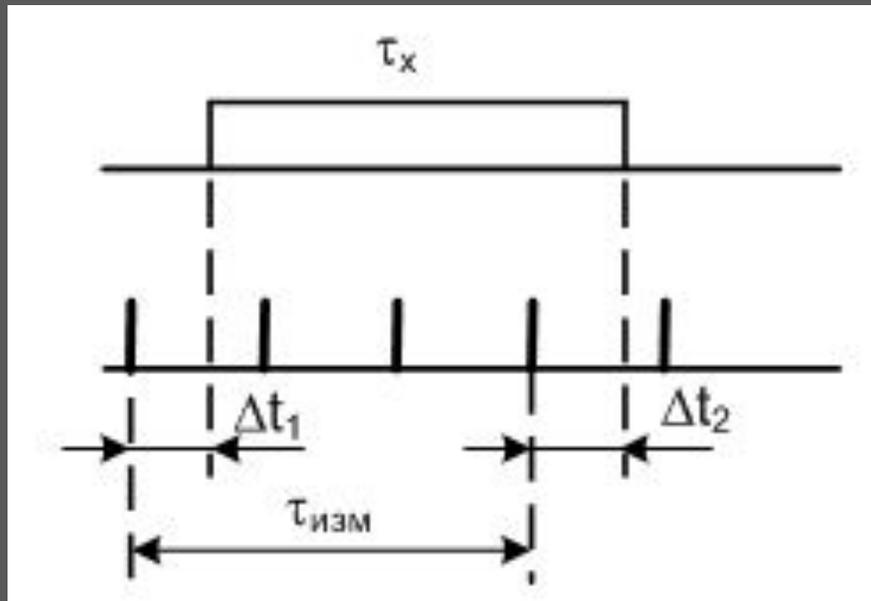
- интервал времени;
- частота;
- фаза;
- напряжение;
- угловое и линейное перемещение;
- параметры цепей R ;
- ток I

Схема измерения временного интервала



$$N = \int_0^{\tau_x} f_0 dt = f_0 \int_0^{\tau_x} dt = f_0 \tau_x = \frac{\tau_x}{T_0}$$

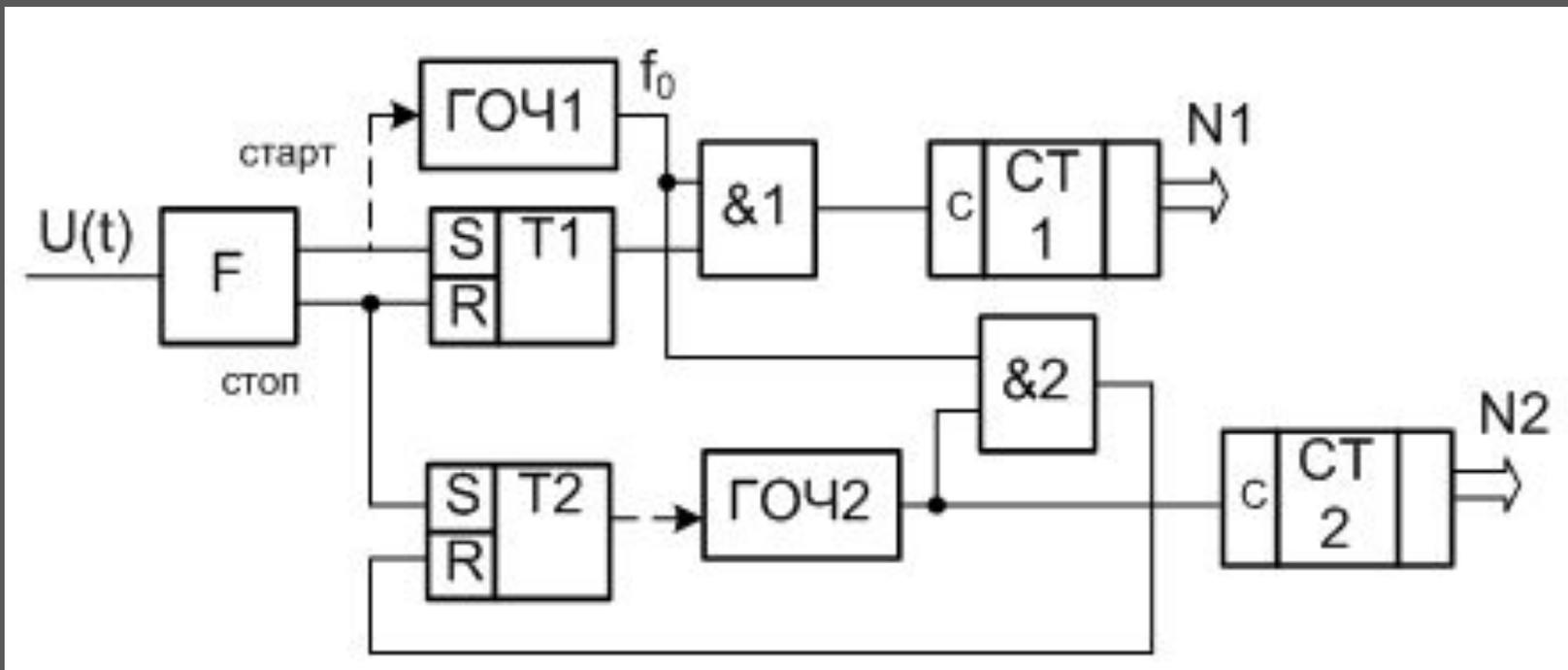
Погрешности при измерении временных интервалов



Методы снижения методической погрешности измерения временных интервалов

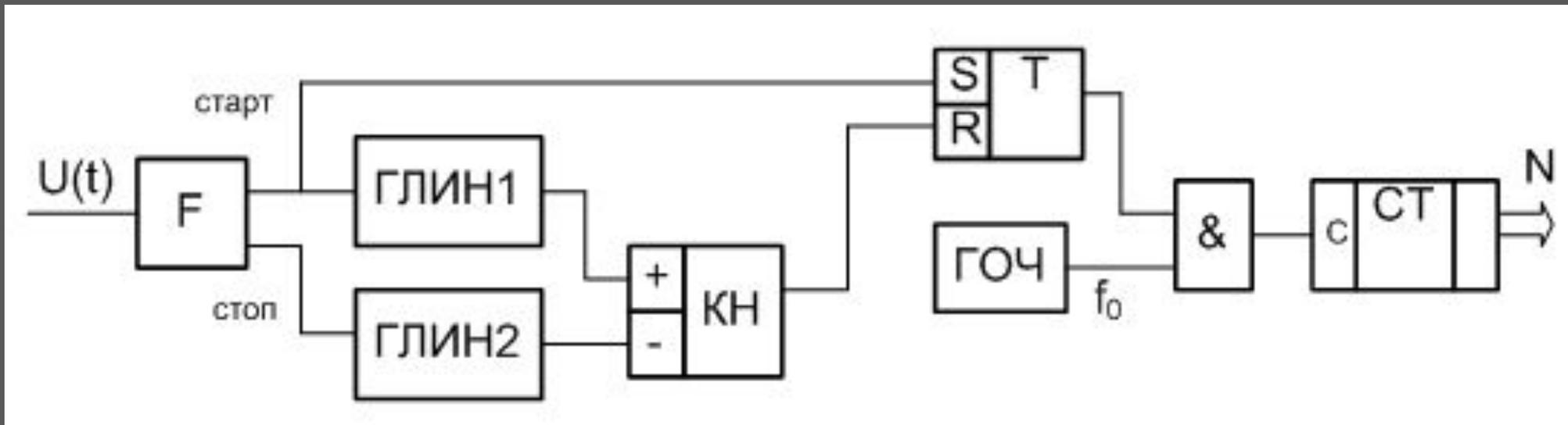
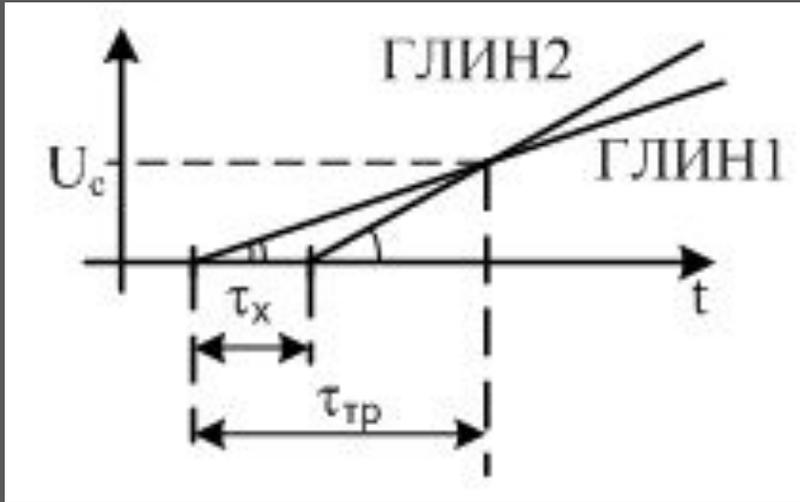
- Повышение частоты
- Синхронизация ГОЧ с старт-импульсом
- Нониусный метод
- Метод трансформации времени
- Прочие методы (метод регрессирующих совпадений, метод задержанных совпадений и др.)

Нониусный метод

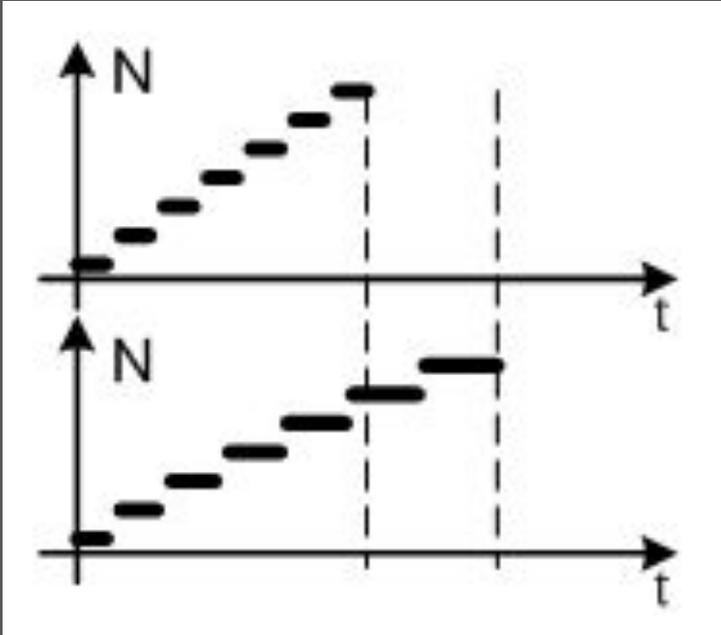


$$f_{bc} = \frac{Q^k}{Q^k - 1} f_0$$

Метод трансформации времени

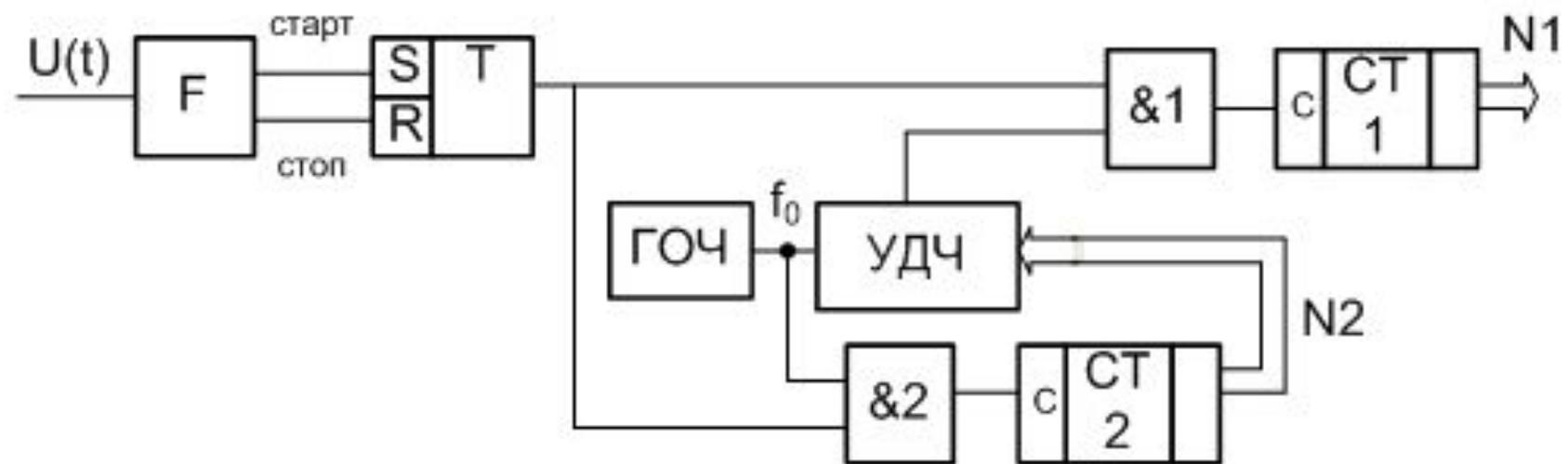


Неравномерное квантование в цифровых измерителях времени



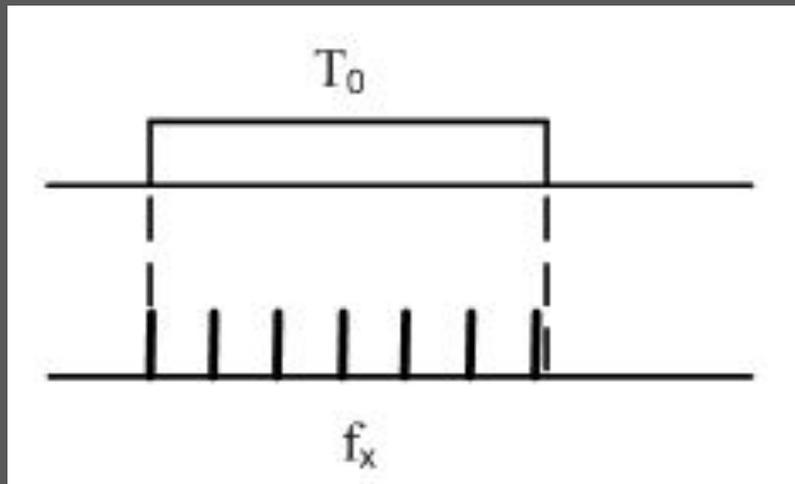
$$N = \int_0^{\tau_x} f(t) dt \quad N_x = F(\tau_x) \quad f(t) = F'(\tau_x)$$

$$F(\tau_x) = \ln(1 + \tau_x) \rightarrow f(\tau_x) = \frac{f_0}{1 + \tau_x f_0}$$

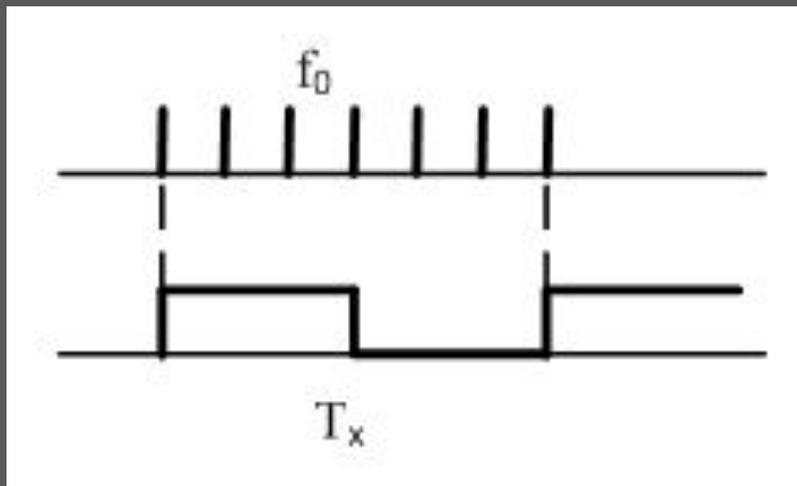


Цифровые частотомеры

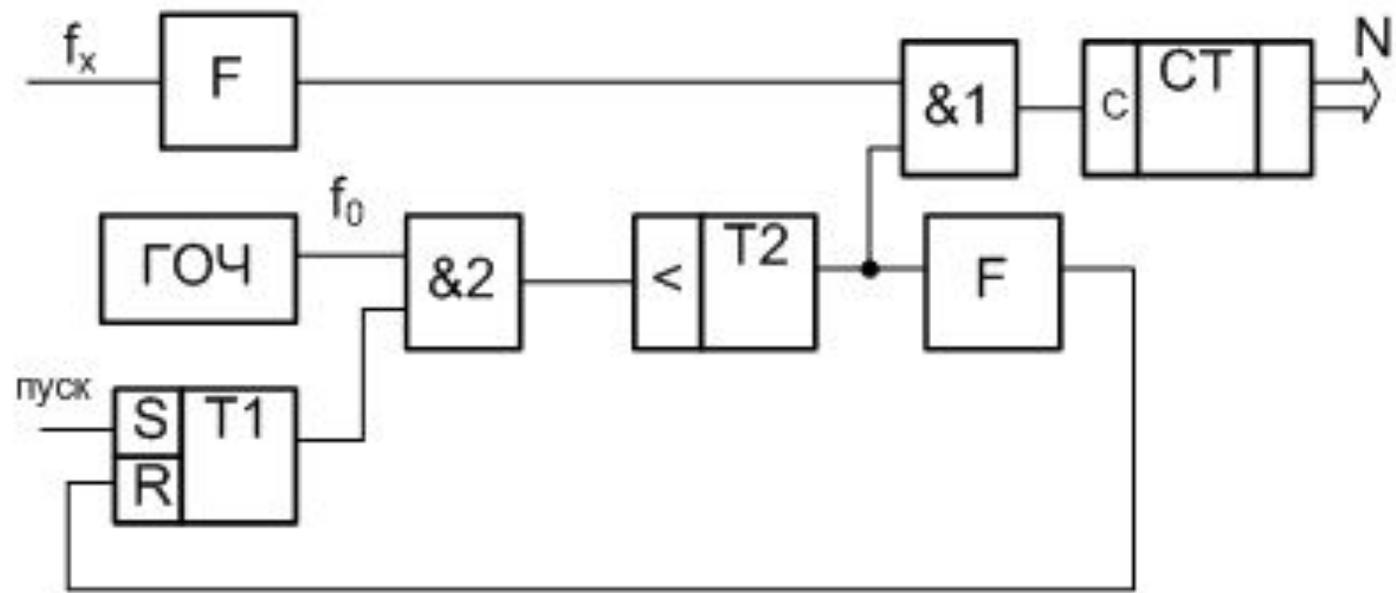
1. Метод единичных приращений



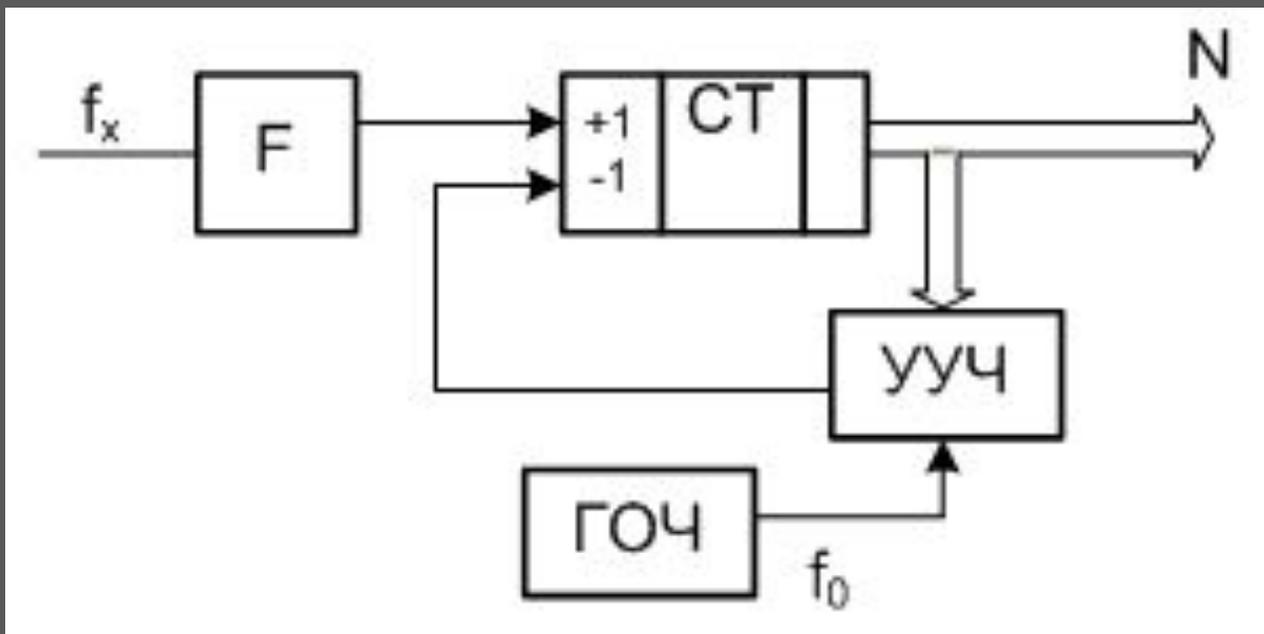
ВЫСОКИХ ЧАСТОТ



НИЗКИХ ЧАСТОТ



2. Компенсационный метод измерения частоты



3. Измерение частоты методом сравнения (метод фигур Лиссажу и метод яркостной модуляции)

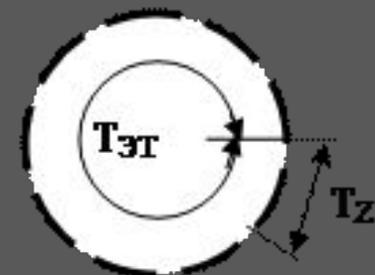
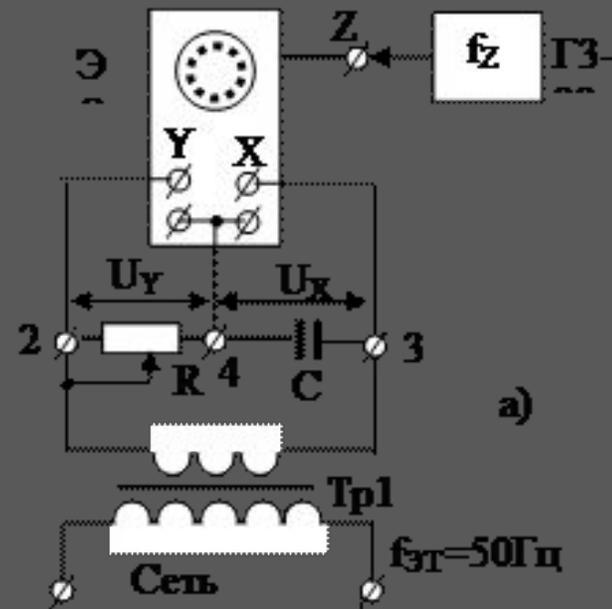
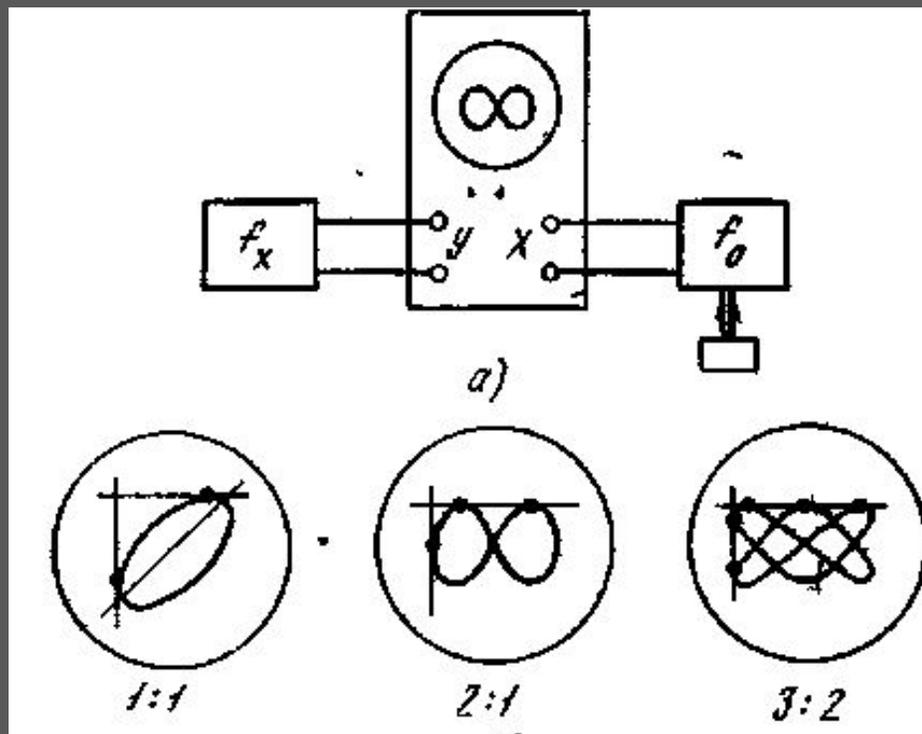


Рис. 3.5.

$$\frac{f_y}{f_x} = \frac{n_x}{n_y}$$

$$f_x = \frac{f_0}{n}$$

Цифровые фазометры

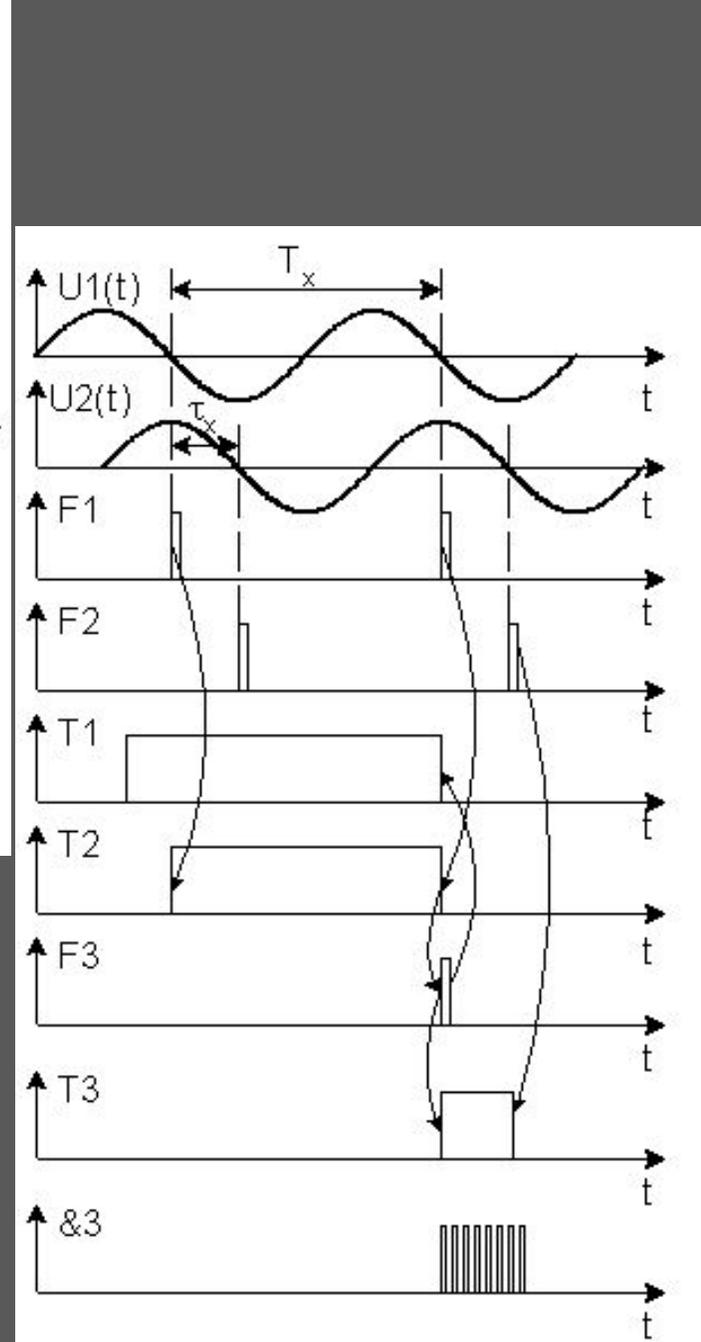
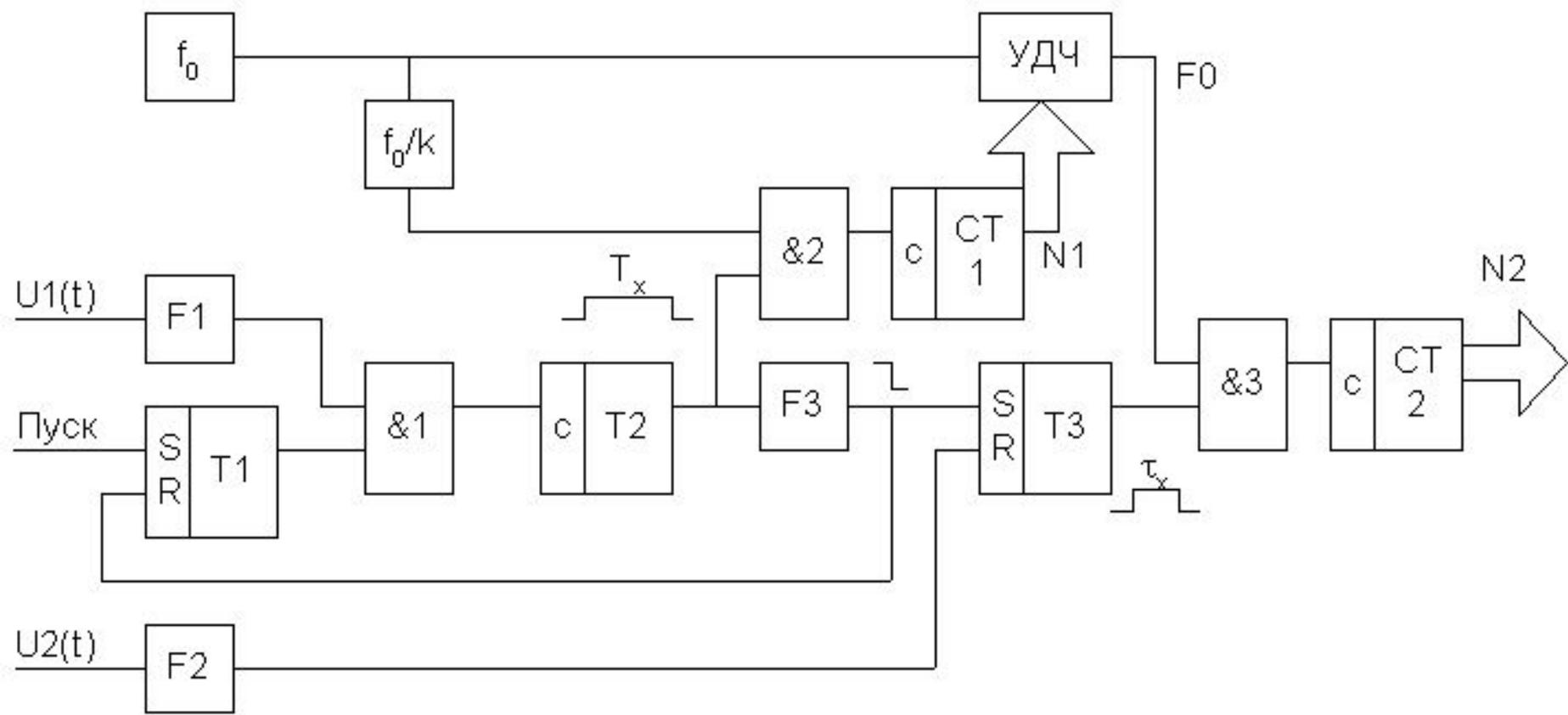
Фаза в общем случае $\Delta\Phi = (\omega_2 - \omega_1)t + (\varphi_2 - \varphi_1)$

Фаза при равенстве частот $\varphi_2 = \omega t_1 = 2\pi f t_1 = 2\pi \frac{t_1}{T}$

Фазометр мгновенного значения

Алгоритм работы

1. Вычислить период
2. Вычислить интервал времени между началами периода
3. Найти отношение интервала времени к периоду
4. Выполнить масштабирование



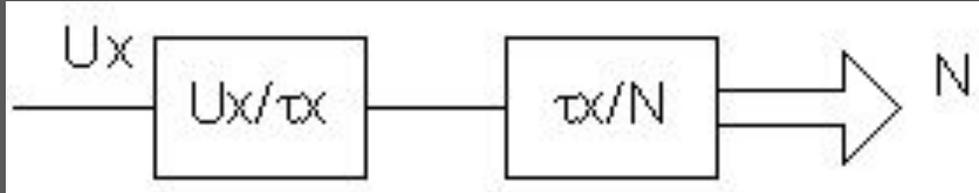
$$N_1 = \int_0^{T_x} \frac{f_0}{k} dx = \frac{f_0 T_x}{k}$$

$$F0 = \frac{f_0}{N_1} = \frac{f_0 k}{f_0 T_x} = \frac{k}{T_x}$$

$$N_2 = \int_0^{\tau_x} F0 dx = \tau_x F0 = \frac{\tau_x k}{T_x}$$

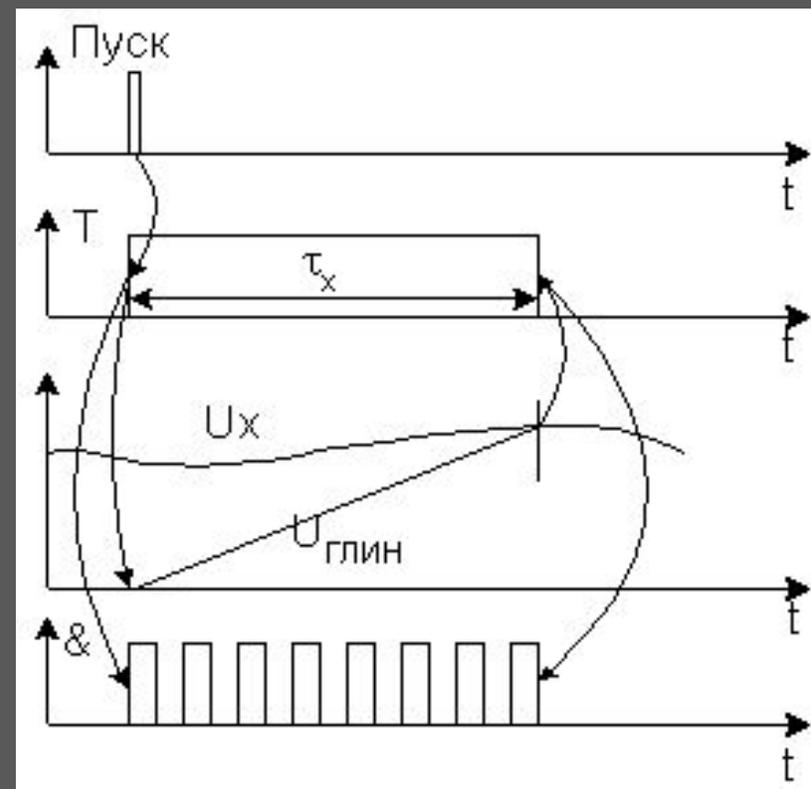
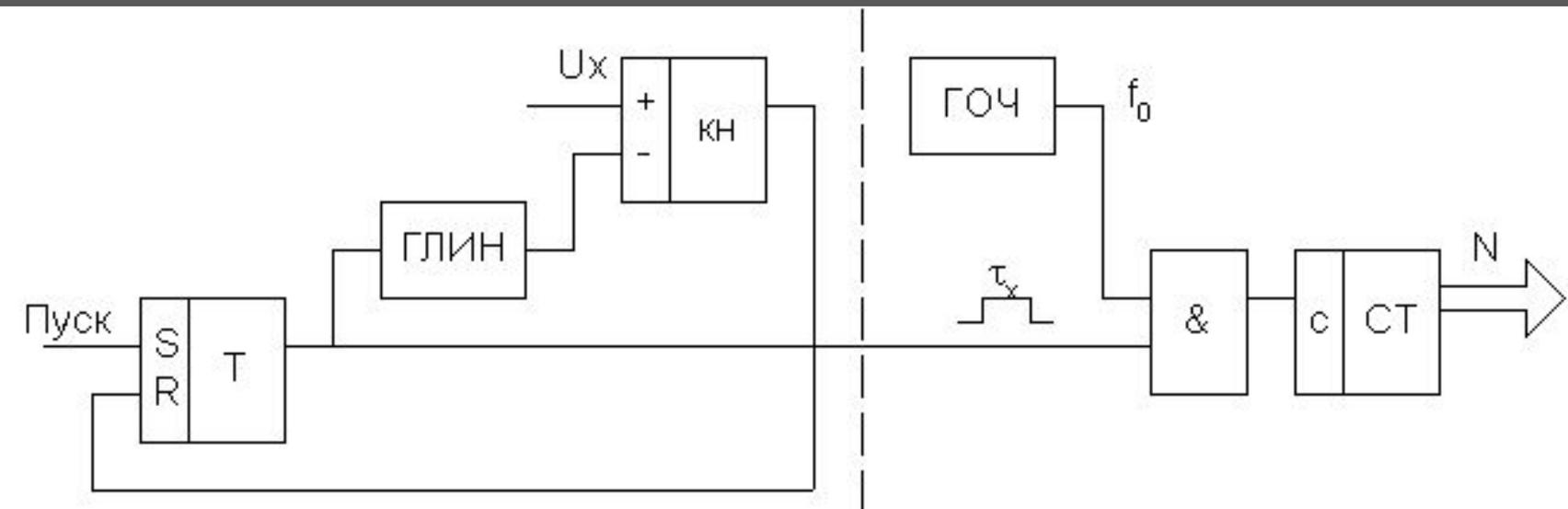
АЦП напряжения

1. По методу единичного приращения



1.1 АЦП время импульсного кодирования с однократным компарированием

1.1 АЦП время импульсного кодирования с однократным компарированием



$$N = \int_0^{\tau_x} f_0 dx = f_0 \tau_x$$

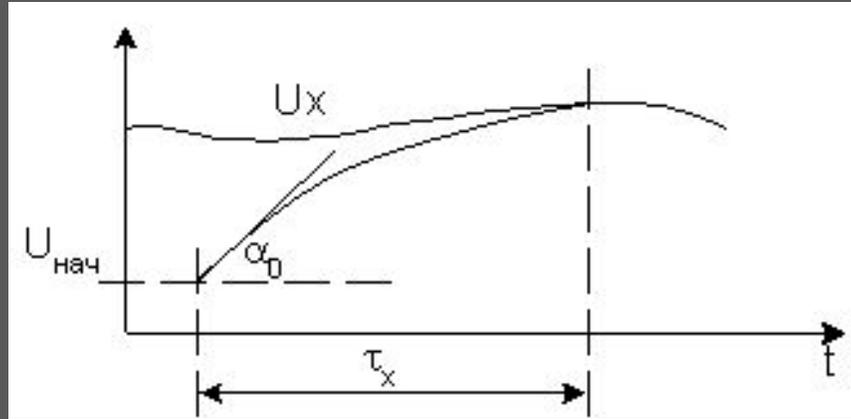
$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{U_x}{\tau_x}$$

$$N = f_0 \frac{U_x}{\operatorname{tg} \alpha} = k U_x$$

Погрешности

1. Нелинейность ГЛИН

$$U_{\text{ГЛИН}} = U_{\text{нач}} + \text{tg}\alpha t_1 + F_{\text{нел}}(t)$$

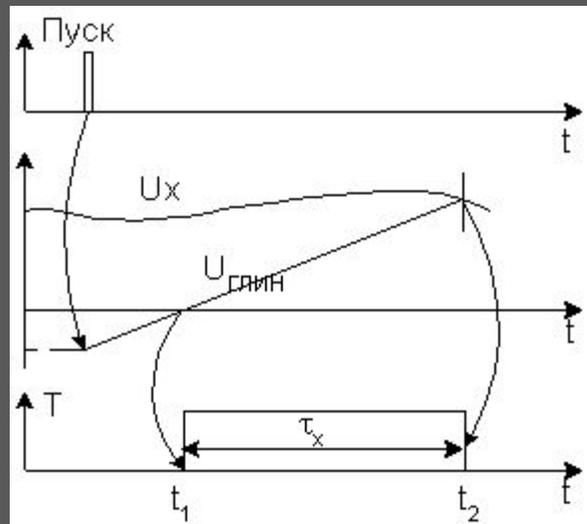
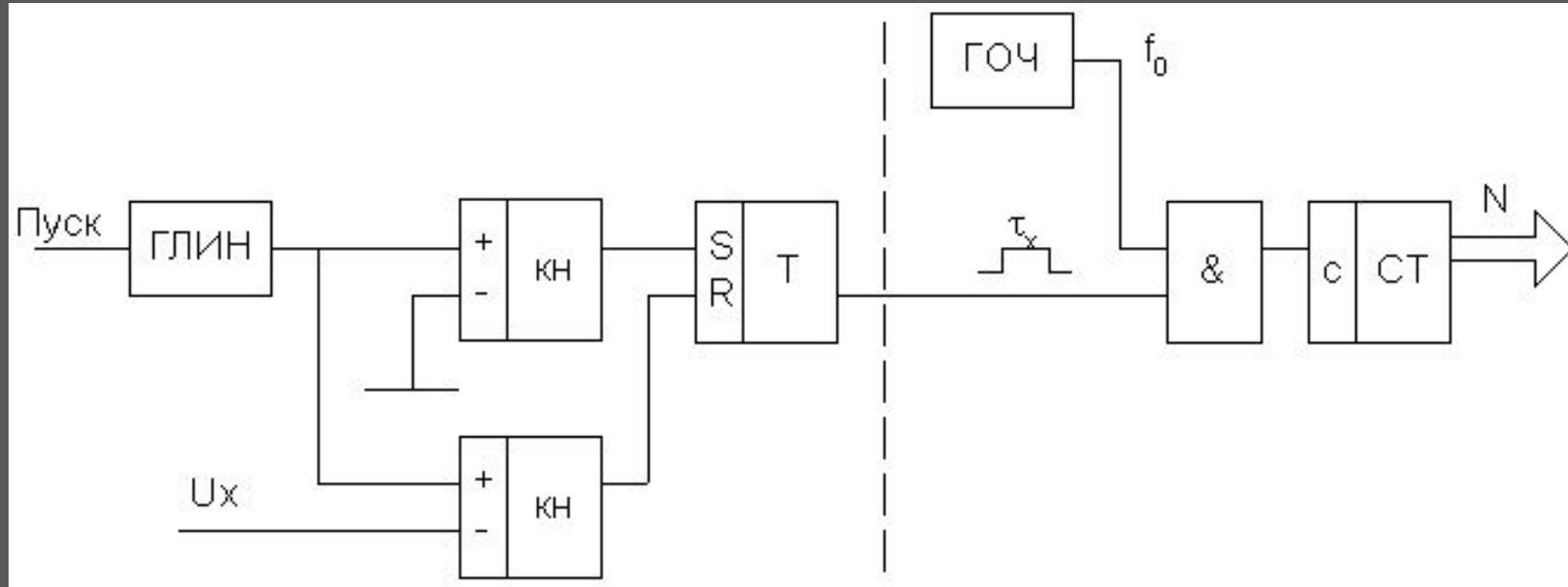


2. Погрешность компарирования (сравнения)

3. Погрешность квантования

4. Неточность и нестабильность ГОЧ

1.2 АЦП время импульсного кодирования с двухкратным компарированием

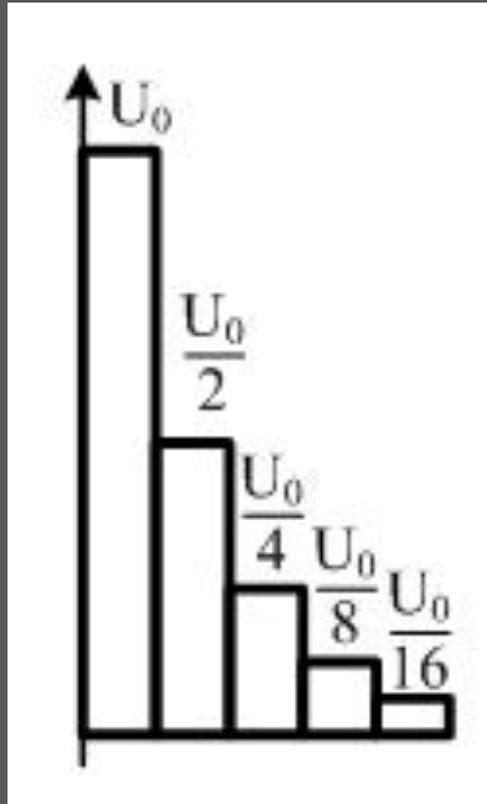


Для момента времени t_1 : $0 = U_{нач} + tg\alpha t_1 + F_{нел}(t_1)$

Для момента времени t_2 : $U_{нач} = U + tg\alpha t_{нел} + F(t_2)$

$$U_{нел} = tg\alpha (t_{нел} - t_1) + [F(t_2) - F(t_1)]$$

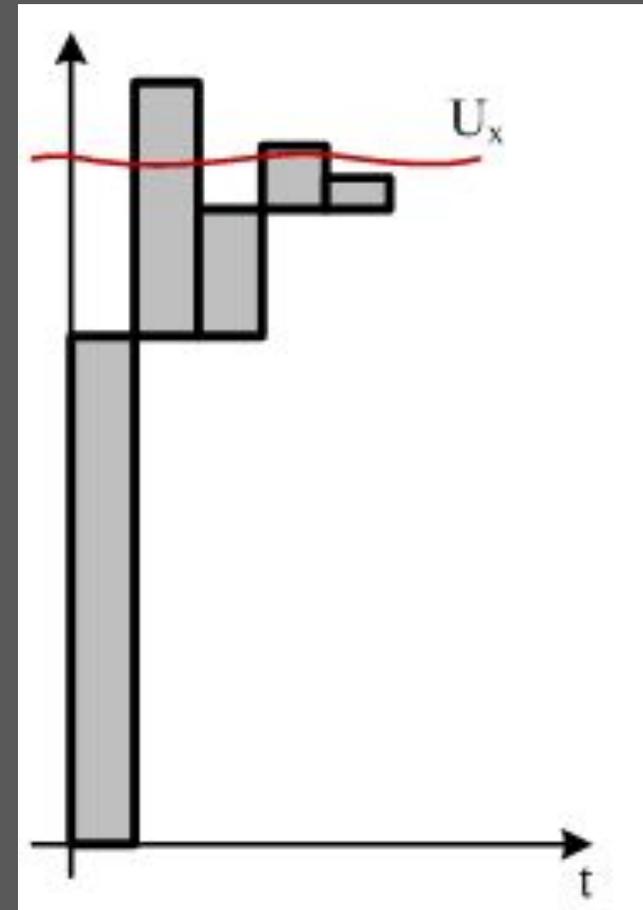
2. АЦП последовательного приближения



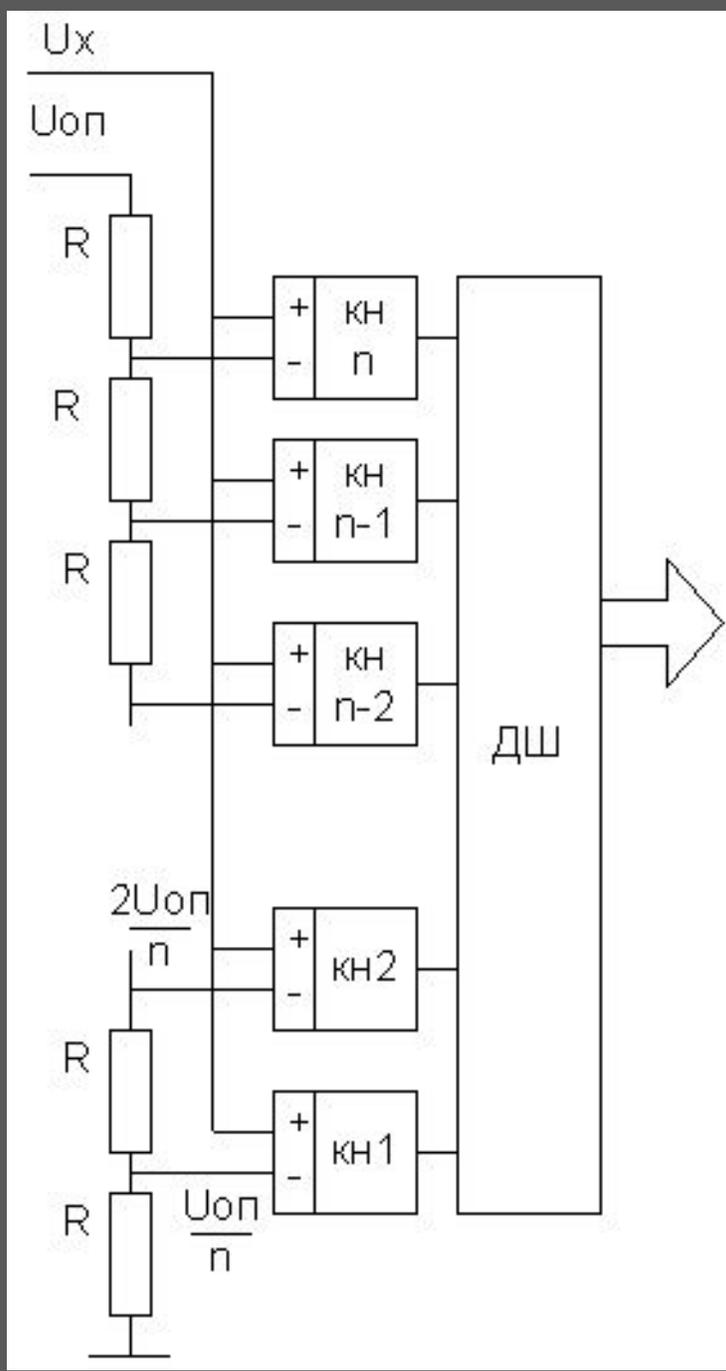
урных напряжений

$$U_{on i} = \frac{U_0}{2^i}$$

$$U_x = \sum_{i=0}^{n-1} a_{n-1-i} \frac{U_0}{2^i} = \sum_{i=0}^{n-1} a_{n-1-i} \frac{U_0}{2^i} \frac{2^{n-1}}{2^{n-1}} = \frac{U_0}{2^{n-1}} \sum_{i=0}^{n-1} a_{n-1-i} 2^{n-1-i} = \frac{U_0}{2^{n-1}} \sum_{i=0}^{n-1} a_i 2^i$$



3. АЦП параллельного считывания



$$N_{КН i} = \begin{cases} "0", U_x < \frac{iU_{оп}}{n} \\ "1", U_x > \frac{iU_{оп}}{n} \end{cases}$$