

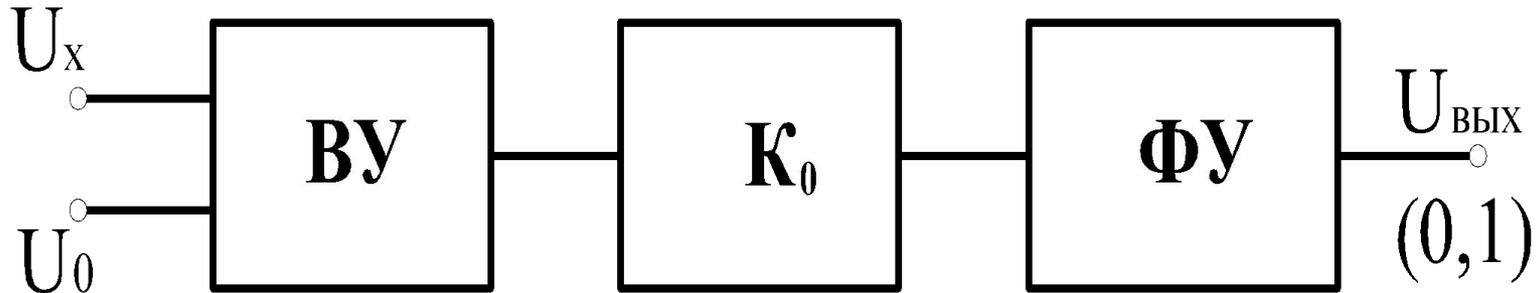
Компараторы.

1. Общие определения.

Компараторы в измерительной технике выполняют функцию высокоскоростного точного сравнения двух напряжений или токов.

Компараторы выполняют на базе высокоскоростных дифференциальных усилителей с высоким коэффициентом усиления K_0 , малым смещением нуля, незначительным дрейфом и логическим сигналом на выходе, реагирующим на знак разности входных сигналов.

Функциональная блок-схема компаратора:



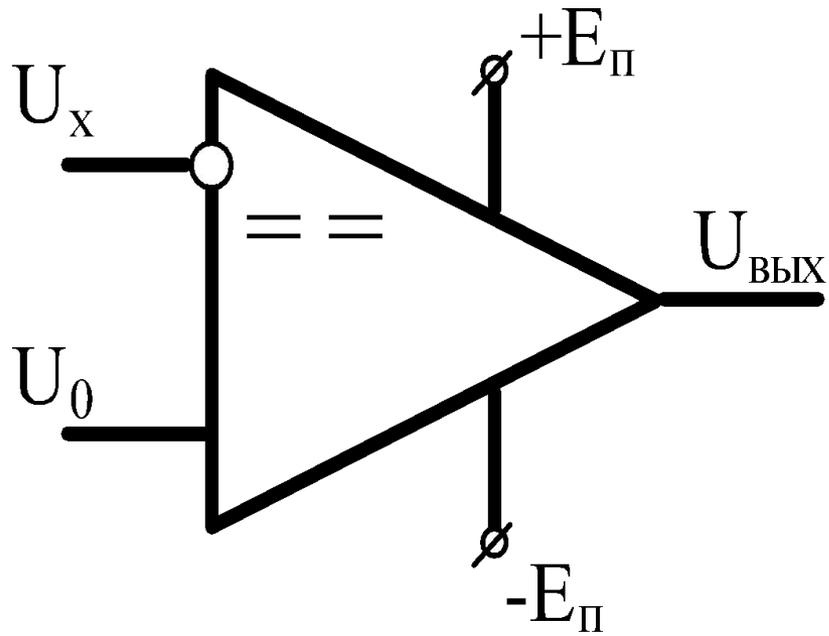
$$\begin{aligned} (U_x - U_0) > 0 & \quad U_{\text{ВЫХ}} (1) \\ (U_x - U_0) < 0 & \quad U_{\text{ВЫХ}} (0) \end{aligned}$$

U_x – входное неизвестное напряжение;

U_0 – опорное напряжение меры.

Обычно функции вычитающего устройства ВУ и усилителя K_0 совмещаются в дифференциальном усилителе.

Компараторы в схемотехнике условно обозначаются так:



Классификация компараторов.

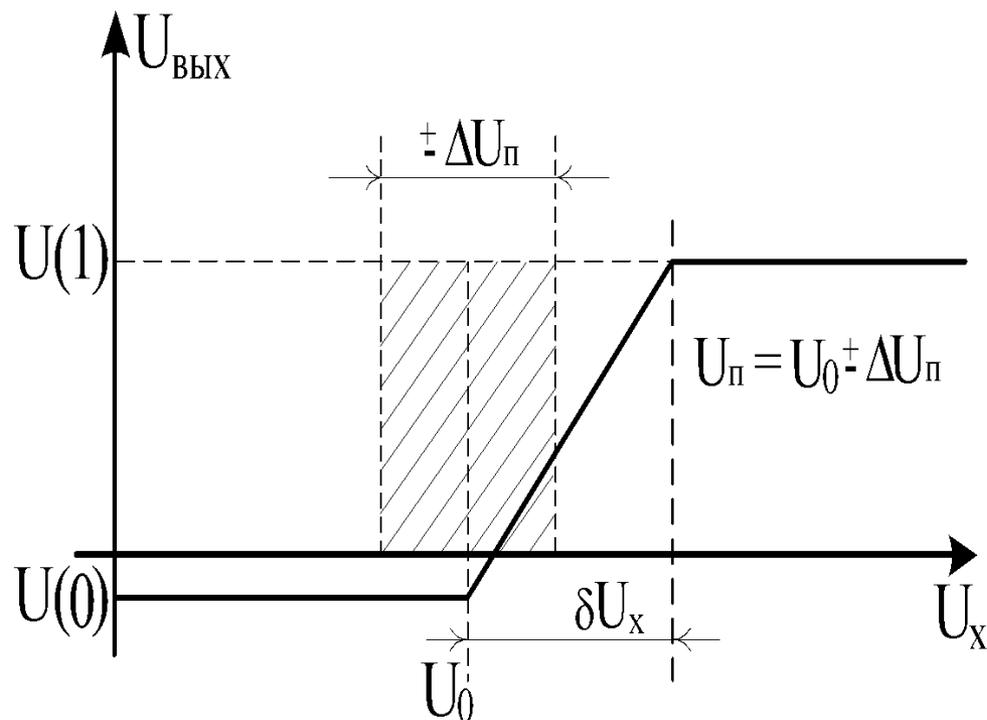
- двухвходовые компараторы сравнения напряжений;
- одновходовые компараторы сравнения токов;
- регенеративные компараторы;
- трансформаторные компараторы;
- многопороговые компараторы.

По типу формирующих устройств различают:

- компараторы с диодными формирователями;
- компараторы с формирующими нелинейными обратными СВЯЗЯМИ.

Статические параметры компаратора.

Статические параметры компаратора определяются амплитудной характеристикой:



2.1 δU_x - статическая чувствительность.

$\delta U_x = (U_0 - U_x)_{\min}$ - минимальное значение разности входных напряжений, достаточное для перехода компаратора из одного состояния в другое $1 \leftrightarrow 0$.

$$\delta U_x = \frac{U(1) - U(0)}{K_c}$$

где K_c - сквозной коэффициент усиления компаратора.

2.2. Статическая точность - $\pm \Delta U_{\text{п}}$.

По причине дрейфа параметров схемы, смещения нуля дифференциального усилителя величина значения напряжения срабатывания компаратора $U_{\text{п}}$ (пороговое напряжение) не равно точно U_0 , а находится в интервале $U_0 \pm \Delta U_{\text{п}}$. Это отклонение $\pm \Delta U_{\text{п}}$ определяет статическую точность компаратора.

2.3. Сквозной коэффициент усиления K_c .

Определяется коэффициентом передачи вычитающего устройства K_B и коэффициентом усиления дифференциального усилителя K_0 . Типовое значение

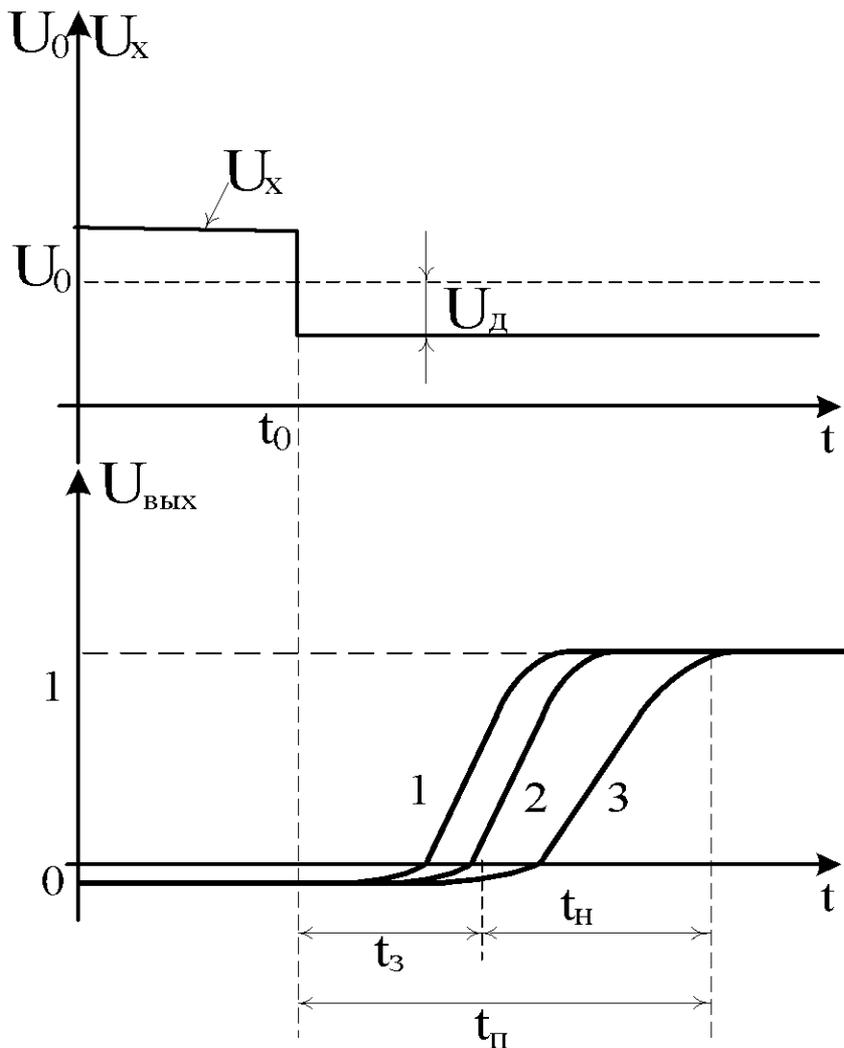
$$1 \leq K_c \leq 300 \text{ В/мВ}$$

2.4. Входное сопротивление.

Этот параметр определяется входным током, типовое значение которого составляет (0,05÷300нА).

Динамические параметры компараторов.

Основным динамическим параметром компаратора является время переключения $t_{п}$. Это интервал времени от начала сравнения до момента полного опрокидывания и определяется переходной характеристикой.



t_3 – время рассасывания зарядов в насыщенных переходах транзисторов компаратора;

$t_н$ – определяется скоростью нарастания напряжения переходной характеристики

дифференциального усилителя - ρ .

Типовое значение:

597СА1 – $\rho=6,5\text{В/нс}$; К140УД8 - $\rho=10\text{В/}\mu\text{с}$.

Время переключения зависит от превышения дифференциального напряжения $U_д = U_0 - U_x$ над опорным напряжением U_0 . Стандартное напряжение $U_д = 5\text{мВ}$.

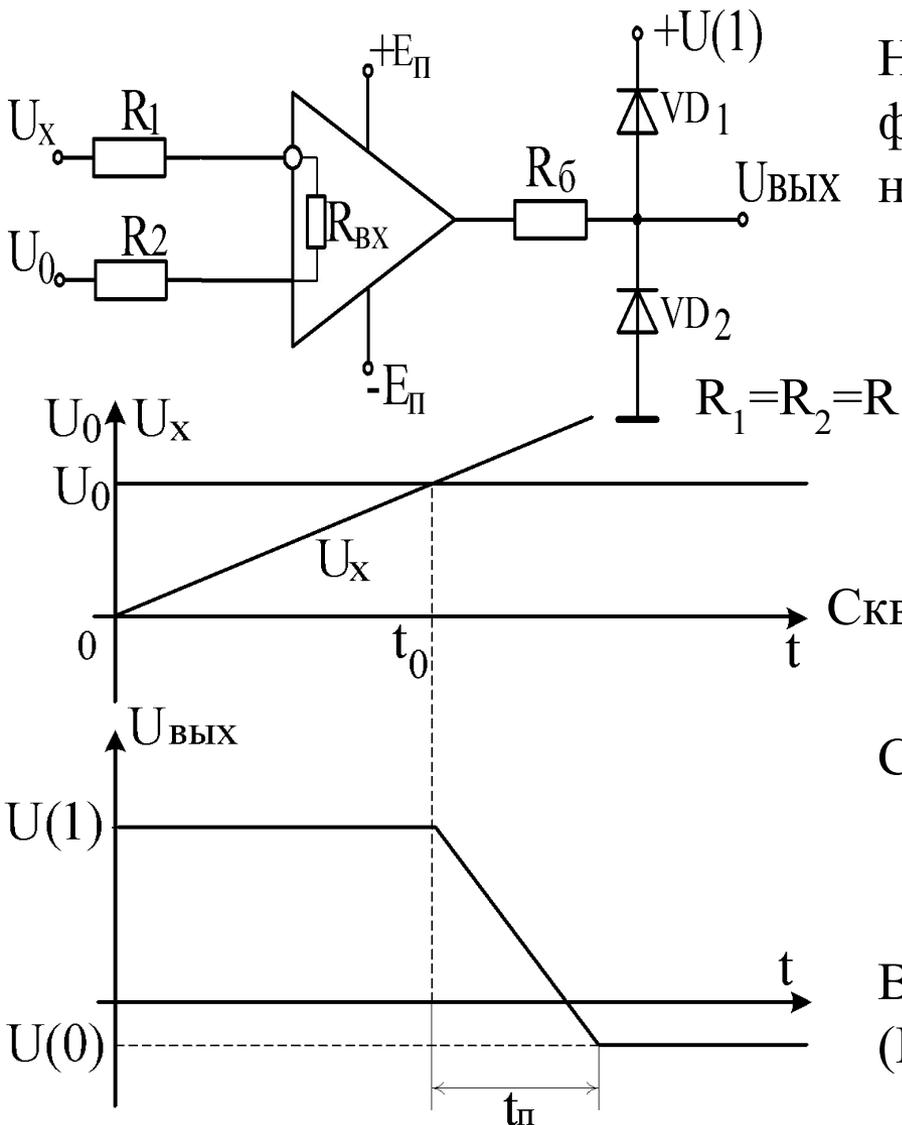
Переходные характеристики приведены для значений $U_д$: 1 – 15мВ; 2 – 5мВ; 3 – 2мВ.

$t_{п}$ Типовой параметр для интегральных

компараторов; $t_{п} = t_3 + t_н$
 521СА2 – 90нс; 521СА3 – 200нс; 597СА3 – 6,5 нс; МАХ9692 -1,2нс.

Принципы построения и схемотехника компараторов.

Двухвходовой компаратор сравнения напряжений.



На входном сопротивлении дифференциального усилителя R_{BX} образуется напряжение:
$$\Delta U_x = (U_0 - U_x) \cdot \frac{R_{BX}}{(R_1 + R_2 + R_{BX})}$$

Коэффициент передачи входного вычитающего устройства:

$$K_B = \frac{\Delta U_x}{U_0 - U_x} = \frac{R_{BX}}{(2R + R_{BX})} \approx 1 \quad \text{т.к. } R \ll R_{BX}$$

Сквозной коэффициент передачи компаратора:

$$K_c = K_B \cdot K_0 \approx K_0$$

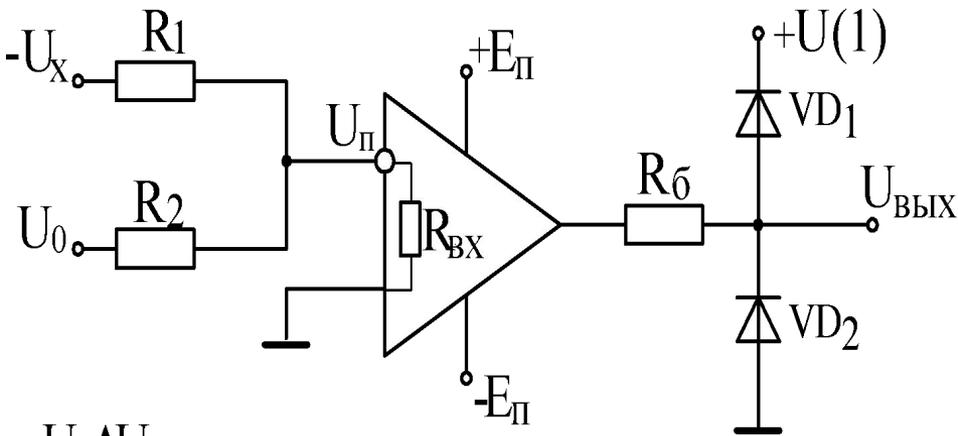
Статическая чувствительность:

$$\delta U_x = \frac{\Delta U_{ВЫХ}}{K_c} = \frac{U(1) - U(0)}{K_c}$$

Входное сопротивление компаратора:

$$(R_{BX})_K = R_1 + R_2 + R_{BX} \approx R_{BX} \quad 8$$

Одновходовой компаратор сравнения разнополярных напряжений.



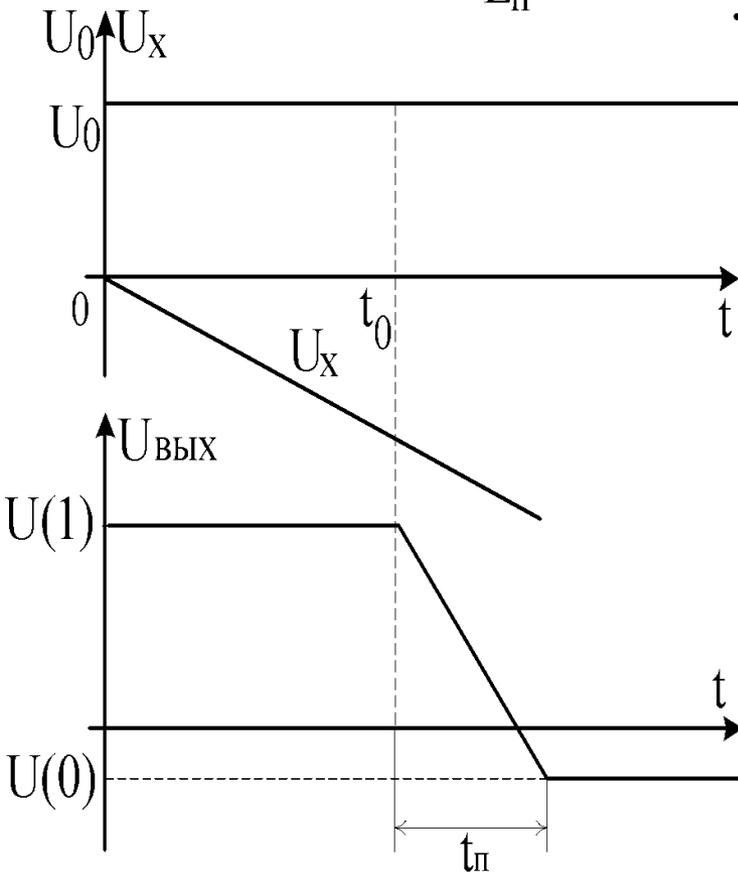
Опрокидывание происходит, когда $|U_x| = |U_0|$ при равенстве $R_1 = R_2$ и токов $I_0 = I_x$ в контуре. Следовательно, потенциал $U_{\Pi} = 0$.

Временные диаграммы иллюстрируют процесс опрокидывания.

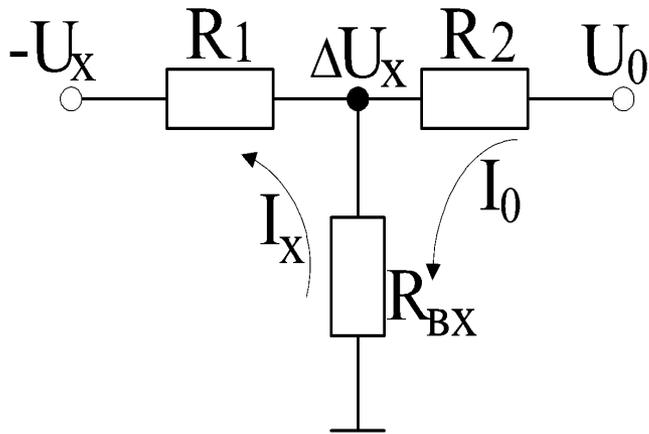
Определим коэффициент передачи:

$$K_B = \frac{\Delta U_x}{U_0 - U_x}$$

Рассмотрим эквивалентную схему замещения по входу.



Эквивалентная схема
замещения по входу
 $R_1 = R_2 = R$



На основании принципа суперпозиции
токи, протекающие на вход
дифференциального усилителя:

$$I_x = \frac{-U_x \cdot R_2 \parallel R_{BX}}{(R_1 + R_2 \parallel R_{BX}) R_{BX}} \approx -\frac{U_x}{2R_{BX}}$$

$$I_0 = \frac{U_0 \cdot R_1 \parallel R_{BX}}{(R_2 + R_1 \parallel R_{BX}) R_{BX}} \approx \frac{U_0}{2R_{BX}}$$

$$\Delta U_x = (I_0 + I_x) \cdot R_{BX} = \frac{1}{2} (U_0 - U_x)$$

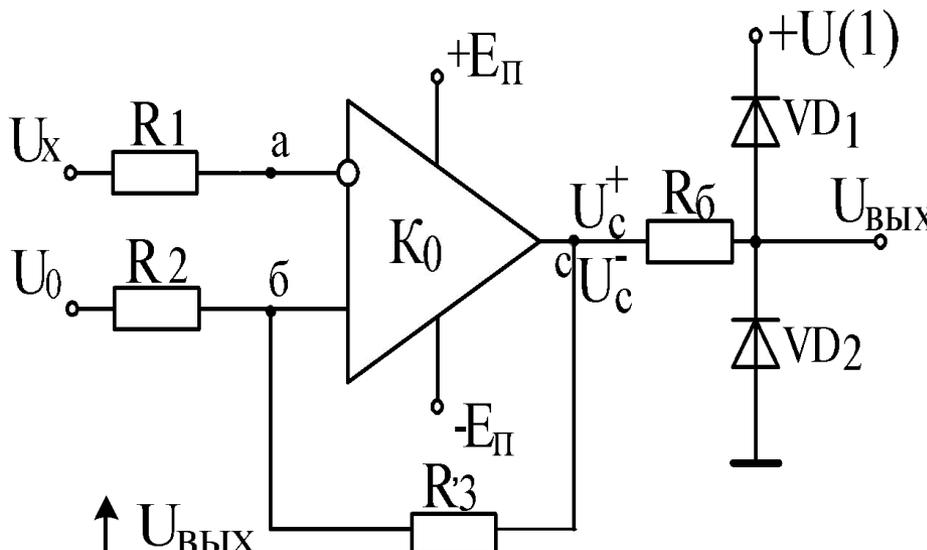
$$K_c = K_B \cdot K_0 = \frac{K_0}{2} \quad K_B = \frac{1}{2}$$

Статическая чувствительность:

$$\delta U_x = \frac{2[U(1) - U(0)]}{K_0}$$

Входное сопротивление компаратора
 $(R_{BX})_K = R_1 = R_2$

Регенеративные компараторы.



Для повышения чувствительности компаратора, дифференциальный усилитель охватывают положительной обратной связью, при этом амплитудная характеристика имеет гистерезис. Коэффициент усиления увеличивается:

$$K_o^* = \frac{K_o}{1 - \beta K_o}$$

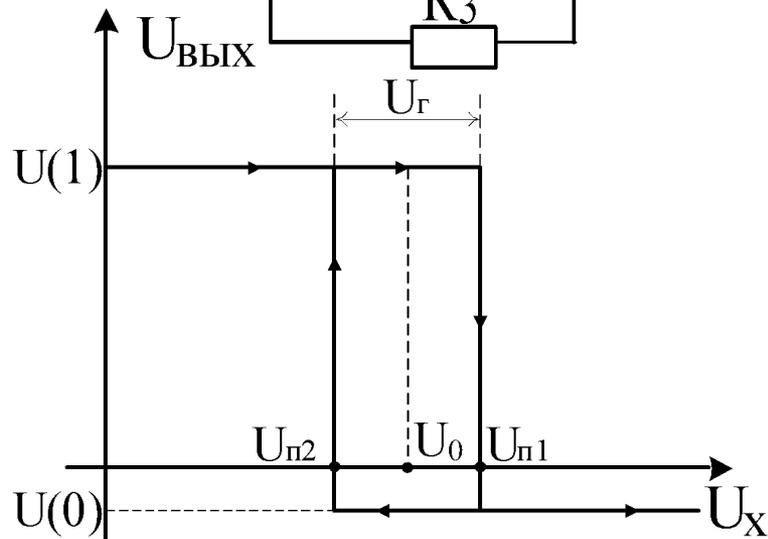
За счет гистерезиса появляются два порога $U_{п1}$ и $U_{п2}$. Определим пороги:

$$U_{п1}|_{U_a=U_6} = U_0 + \Delta U_{R2} = U_0 + \left(\frac{U_c^+ - U_0}{R_2 + R_3} \right) \cdot R_2 =$$

$$= U_0 \cdot \left(1 - \frac{R_2}{R_2 + R_3} \right) + \frac{R_2}{R_2 + R_3} U_c^+ = (1 - \beta) \cdot U_0 + \beta \cdot U_c^+$$

$$U_{п2}|_{U_a=U_6} = U_0 + \Delta U_{R2} = U_0 + \left(\frac{U_c^- - U_0}{R_2 + R_3} \right) \cdot R_2 =$$

$$= (1 - \beta) \cdot U_0 + \beta \cdot U_c^-$$



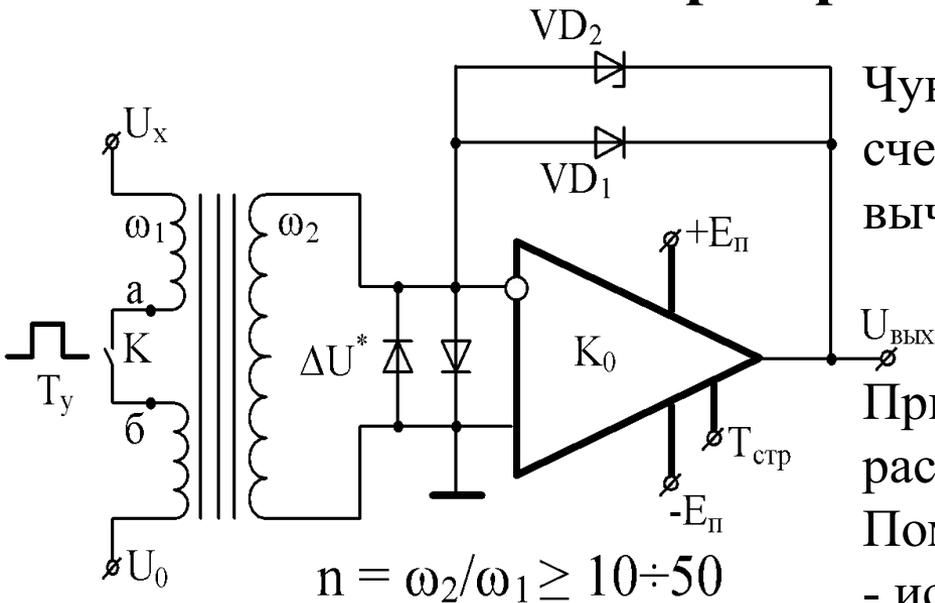
Пусть $U_0 = 2В$, $U_c^+ = 10В$, $U_c^- = -10В$, $\beta = 0,02$

тогда $U_{п1} = 0,98 \cdot 2 + 10 \cdot 0,02 = 2,16В$,

$U_{п2} = 0,98 \cdot 2 - 10 \cdot 0,02 = 1,76В$,

$U_{Г} = 2,16 - 1,76 = 0,4В$

Компараторы трансформаторного типа.



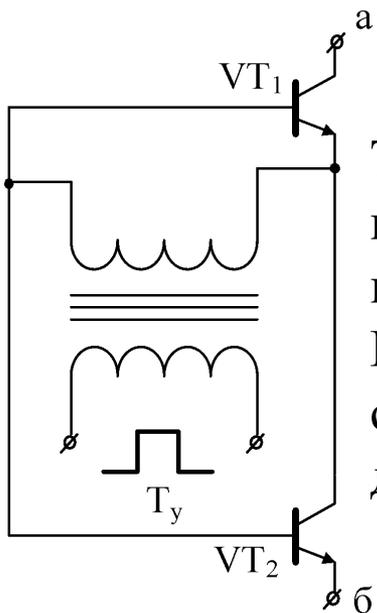
Чувствительность значительно повышается, за счет использования на входе в качестве вычитающего устройства трансформатора.

$$\delta U_x^* = \frac{\delta U_x}{n}$$

Признак сравнения – отсутствие импульсов рассогласования на выходе.

Помехоустойчивость обеспечивается за счет:

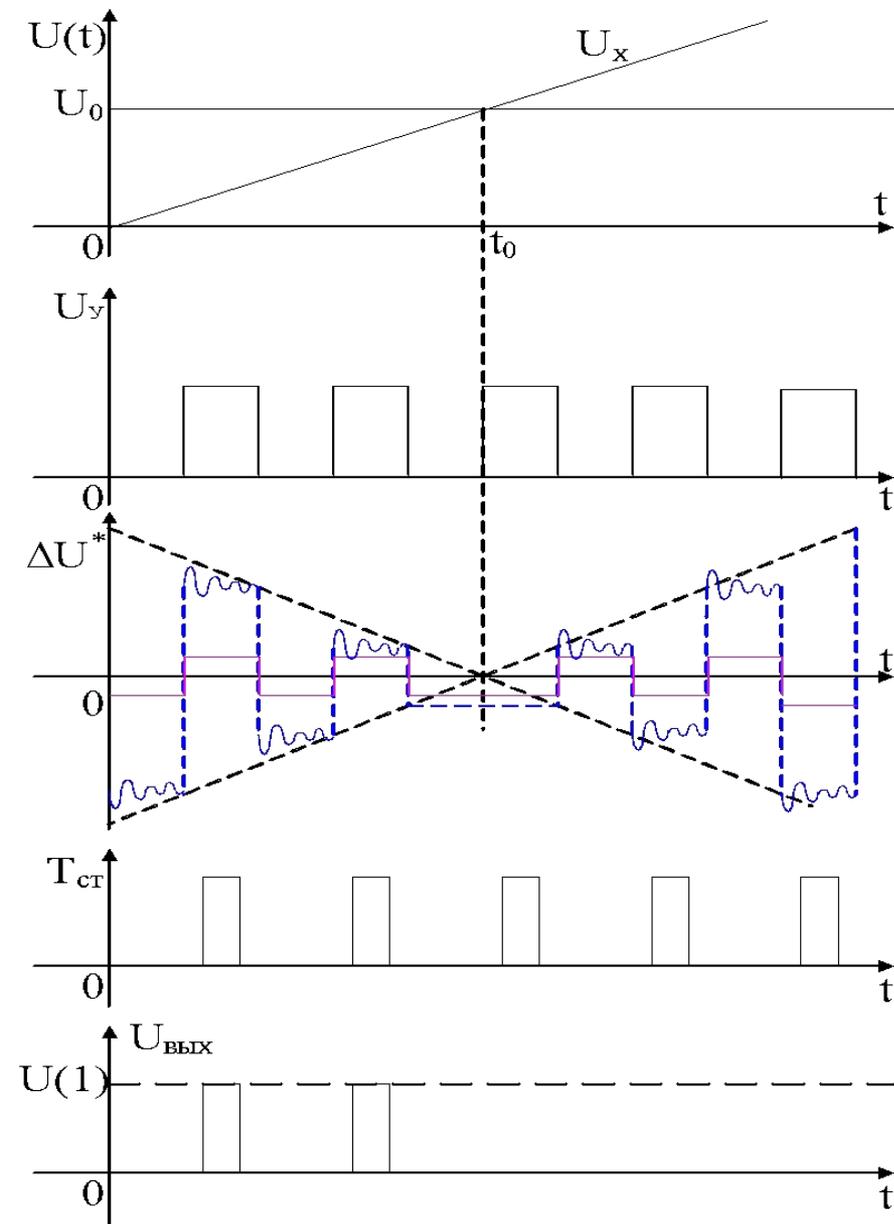
- использования дифференциального усилителя со стробированием;
- использования экранов, как от электрических, так и от магнитных полей.



Трансформаторные компараторы применяются для исследования и измерения слабых магнитных и электрических полей в космосе, земных гравитационных аномалий.

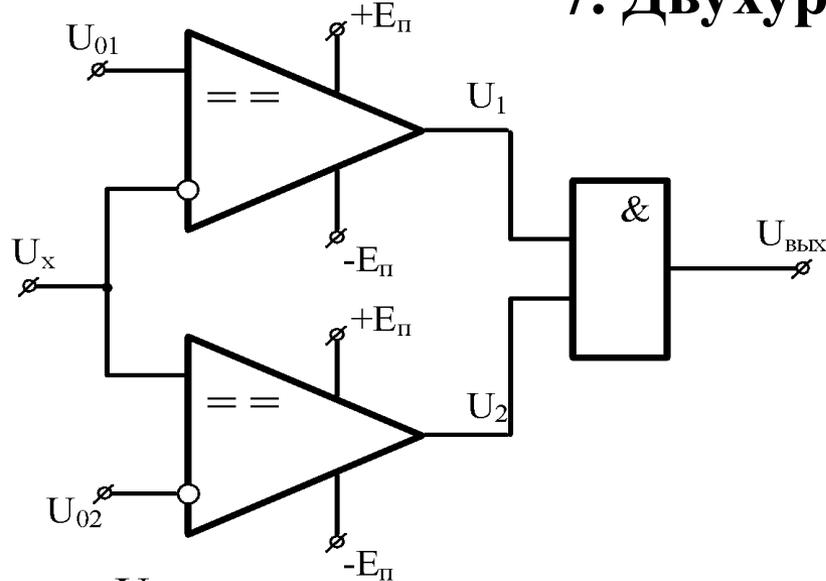
В качестве формирователей применяется нелинейная обратная связь через стабилитрон VD_2 , формирующий уровень $U(1)$, и диод VD_1 , устанавливающий уровень $U(0)$.

Временные диаграммы работы компаратора трансформаторного типа.



1. В момент сравнения импульсы ΔU^* меняют фазу на 180° , а операция стробирования, запрещает выход импульсов на выход схемы сравнения.
2. Признак сравнения – наличие или отсутствие импульса на выходе.

7. Двухуровневый компаратор.

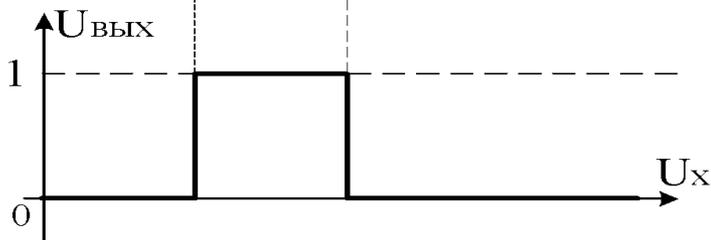
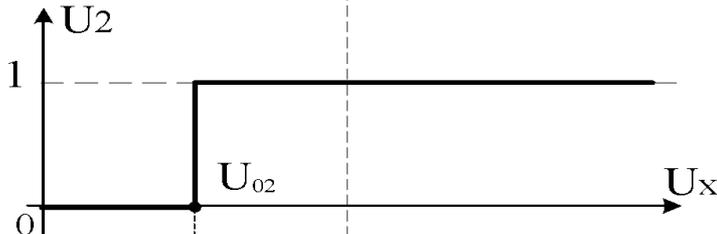
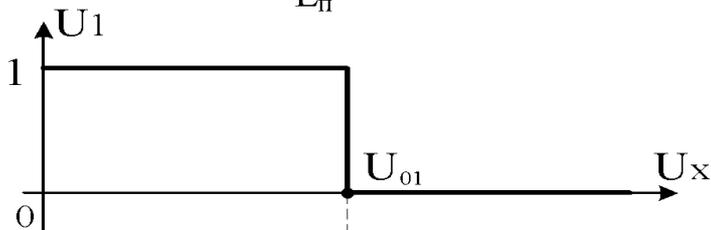


Компаратор фиксирует, находится ли входное напряжение U_x в интервале между заданными опорными напряжениями

$$U_{02} \leq U_x \leq U_{01}$$

Из временных диаграмм работы компараторов следует, что на выходе логического элемента & единичный уровень будет тогда, когда

$$U_1 = U_2 = U(1).$$



Пример: интегральная микросхема 1401СА1 – двухпороговый компаратор, $K_c = 200 \text{ В/мВ}$, $I_{вх} \approx 25 \text{ мА}$, $t_{п} = 500 \text{ нс}$

Цифровые компараторы.

Два n – разрядных числа будут равны, когда в каждом разряде соблюдается равенство кодовых коэффициентов, то есть выполняется равенство:

$$F_i = (a_i b_i + \bar{a}_i \bar{b}_i) = 1 \quad A_n = \sum_{i=0}^{n-1} 2^i a_i \quad B_n = \sum_{i=0}^{n-1} 2^i b_i$$

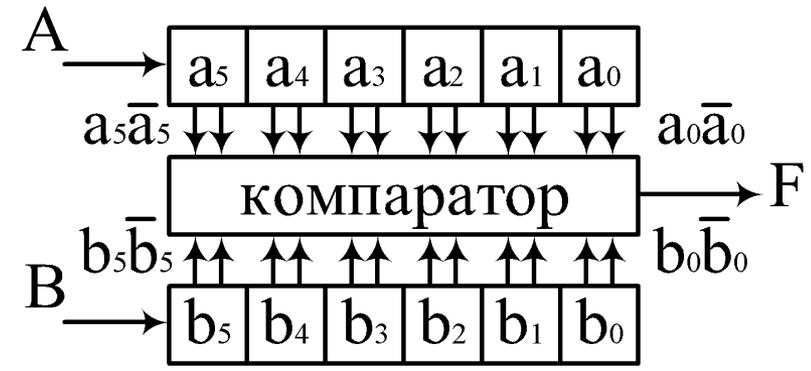
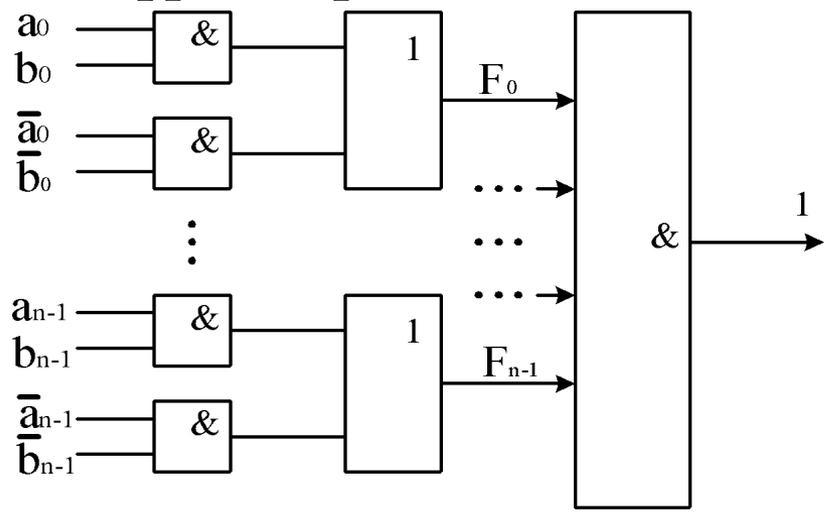
Для n – разрядных чисел это условие примет вид:

$$F_n = (a_0 b_0 + \bar{a}_0 \bar{b}_0) \cdot (a_1 b_1 + \bar{a}_1 \bar{b}_1) \cdot \dots \cdot (a_{n-1} b_{n-1} + \bar{a}_{n-1} \bar{b}_{n-1}) = 1$$

ИЛИ

$$F_n = F_0 \cdot F_1 \cdot F_2 \cdot \dots \cdot F_{n-1} = 1$$

Цифровая реализация:



Используют для поиска заданного числа в массиве чисел, определяют зоны возможных перебор