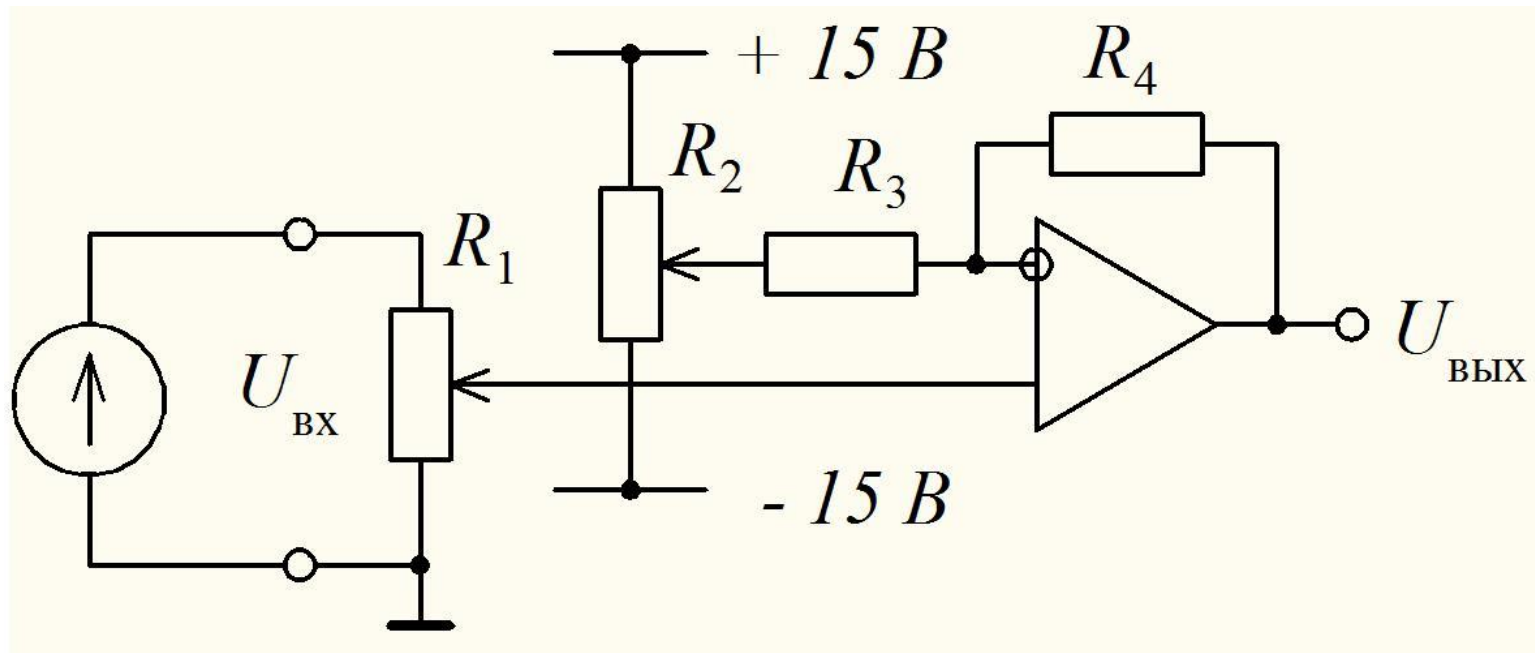


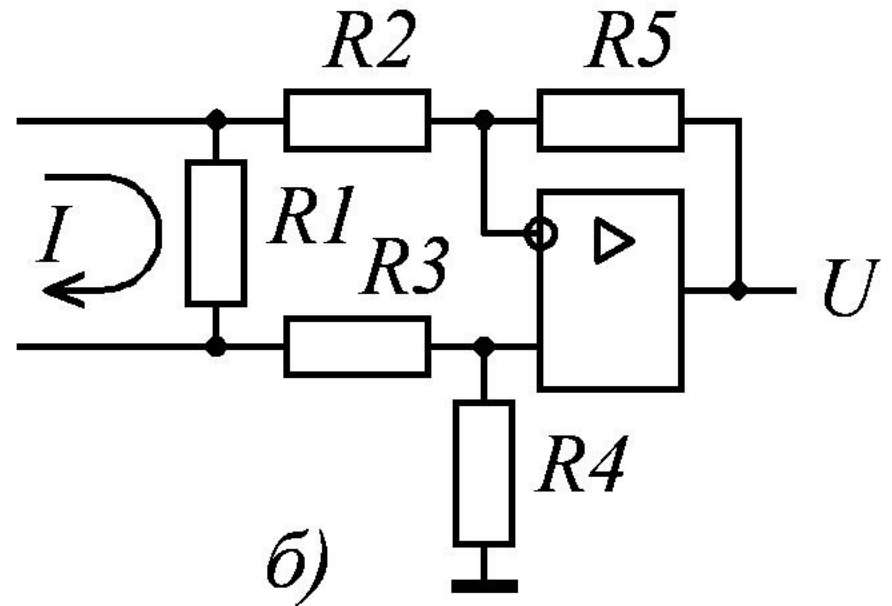
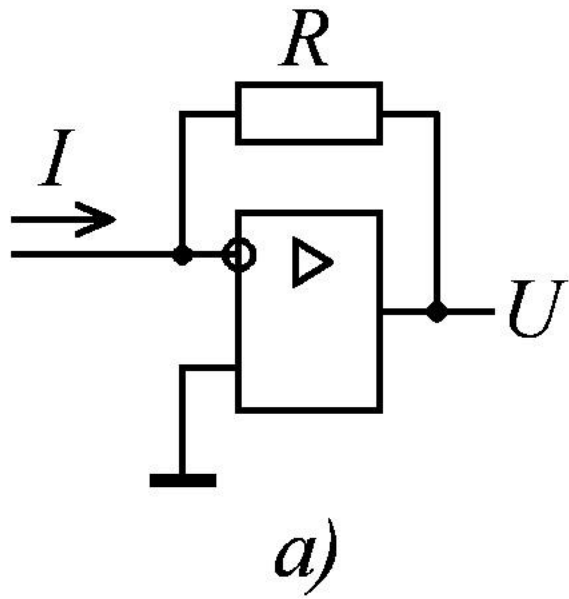
# Электронные функциональные преобразователи

# Нормирующие преобразователи

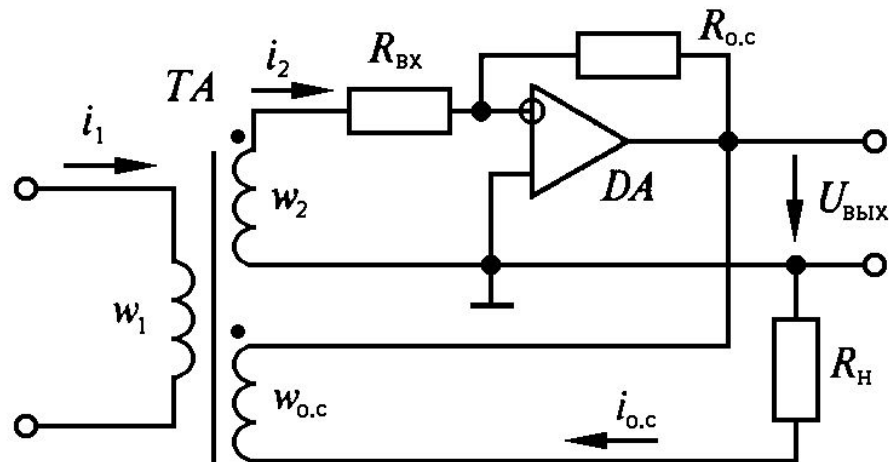
## Преобразователь напряжения



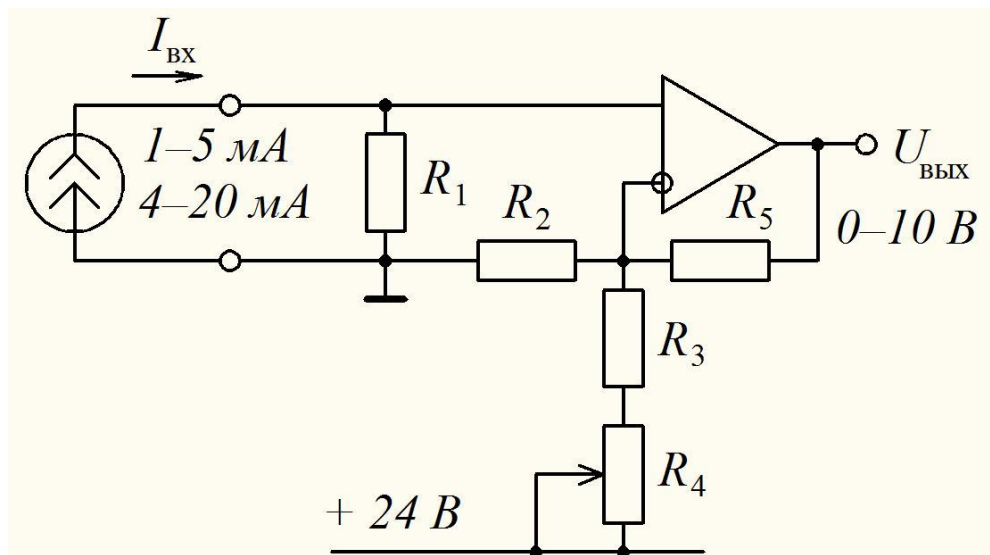
# Преобразователи тока в напряжение



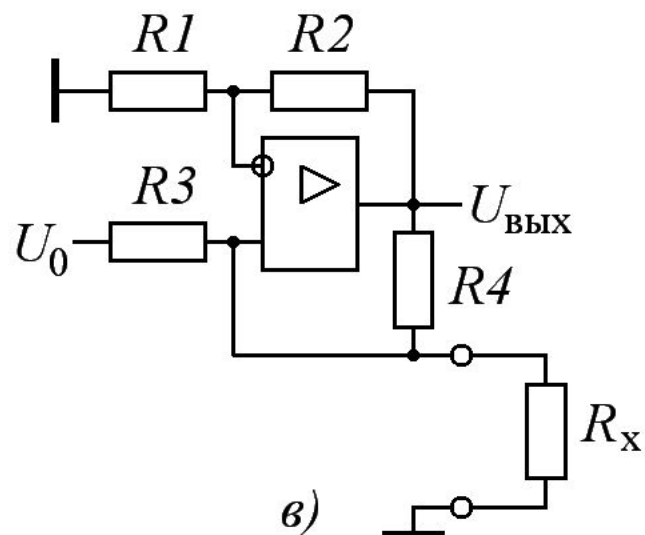
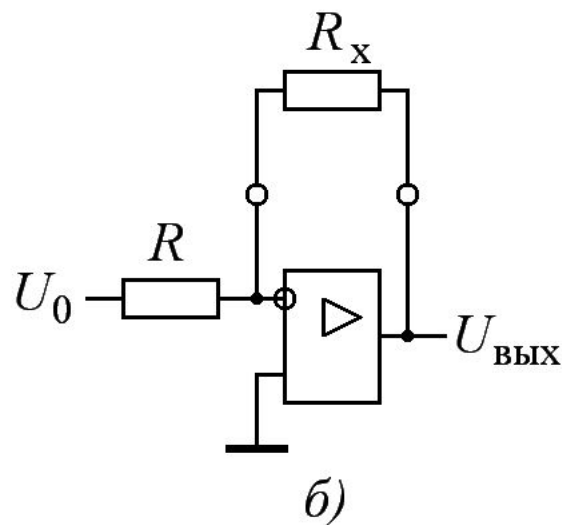
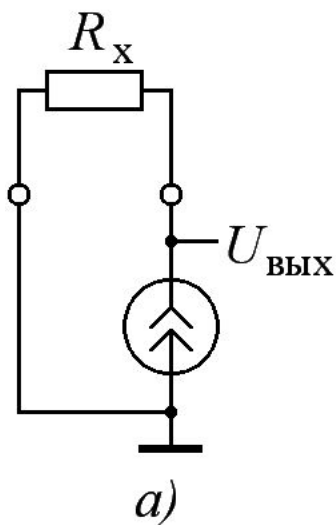
## Активный преобразователь переменного тока



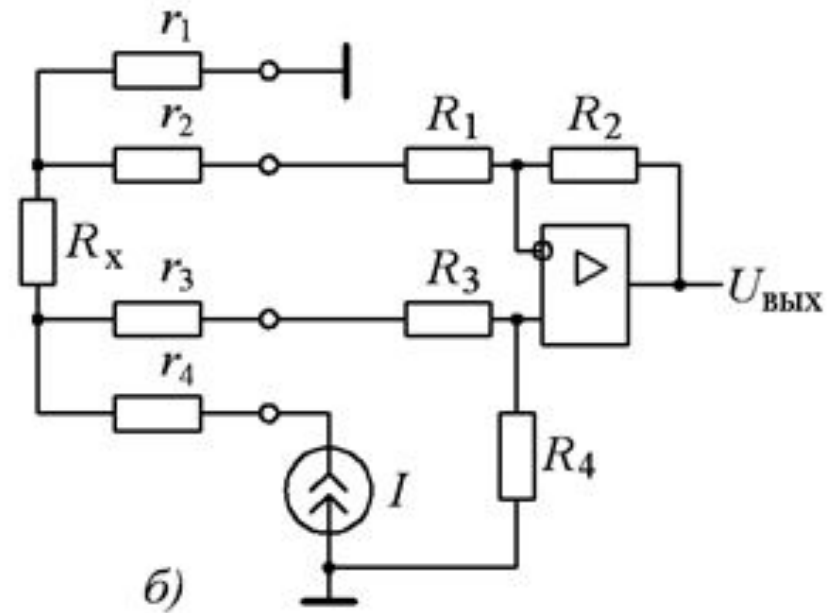
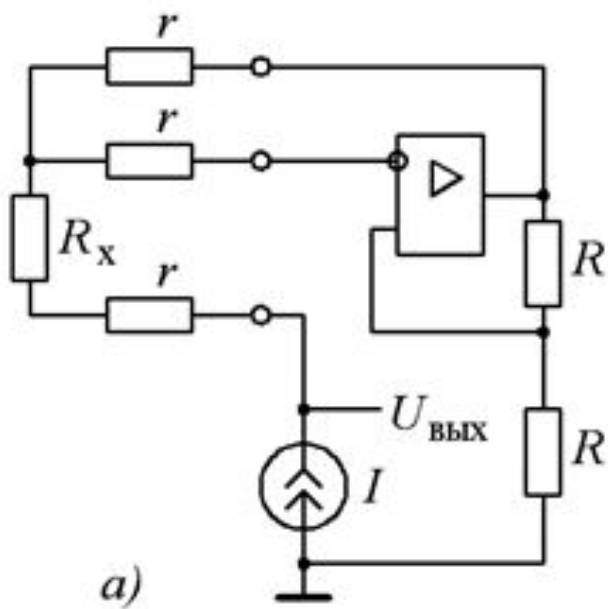
## Нормирующий преобразователь постоянного тока



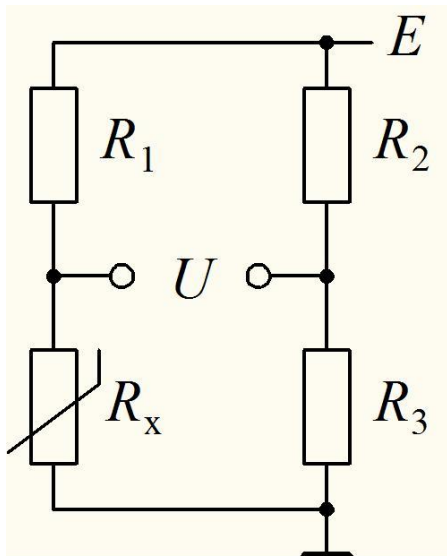
# Преобразователи сопротивления в напряжение с двухпроводной линией



Преобразователи сопротивления в напряжение в трехпроводной (а) и четырехпроводной (б) линии



## Мостовые преобразователи сопротивления



$$U = E \left( \frac{R_x}{R_1 + R_x} - \frac{R_3}{R_2 + R_3} \right)$$

$$R_x = R_0 + \Delta R$$

Настройка моста: должно быть

$$U = 0 \text{ при } \Delta R = 0.$$

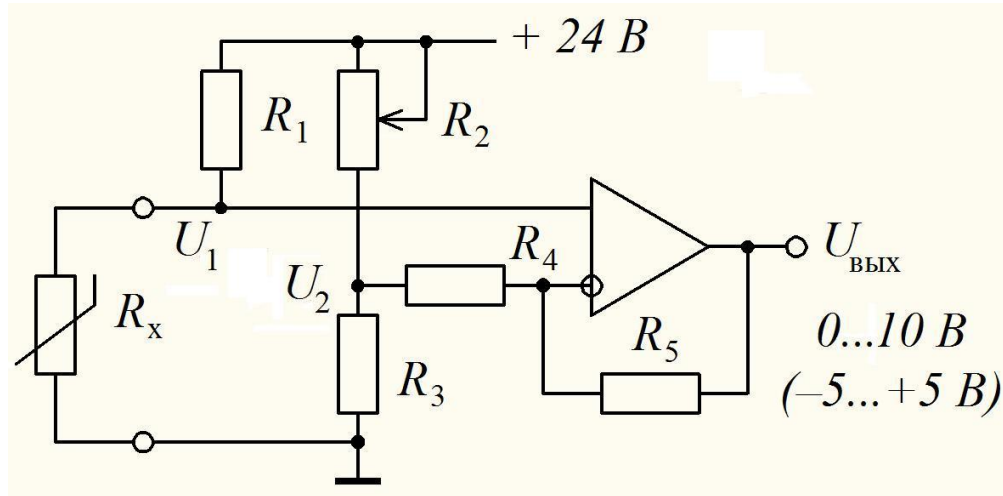
Для этого

$$\frac{R_1}{R_0} = \frac{R_2}{R_3}$$

Тогда

$$U = E \frac{\Delta R \cdot R_1}{(R_1 + R_0 + \Delta R) \cdot (R_1 + R_0)}$$

# Преобразователь на базе моста с ОУ



$$U_1 = E \frac{R_x}{R_1 + R_x}; \quad U_2 = E \frac{R_3}{R_2 + R_3}; \quad U_{\text{ВЫХ}} = U_1 \left( 1 + \frac{R_5}{R_4} \right) - U_2 \frac{R_5}{R_4}.$$

$$U_{\text{ВЫХ}} = E \left[ \frac{R_0 + \Delta R}{R_1 + R_0 + \Delta R} (1 + K) - \frac{R_3}{R_2 + R_3} K \right]$$

Настройка:

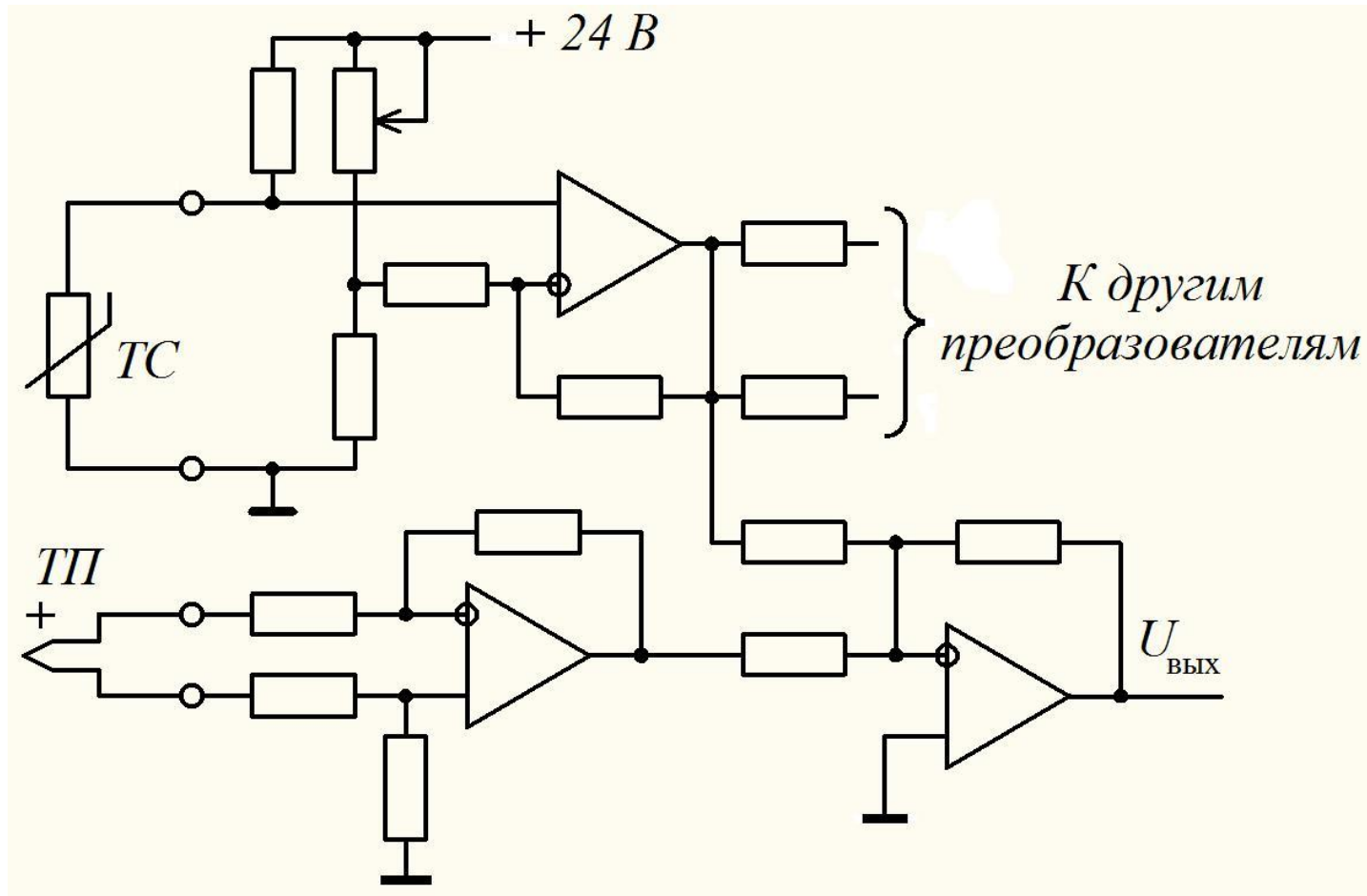
$$\frac{R_0}{R_1 + R_0} (1 + K) = \frac{R_3}{R_2 + R_3} K$$

Тогда

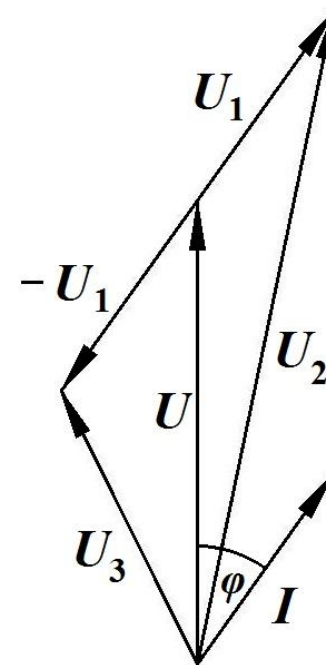
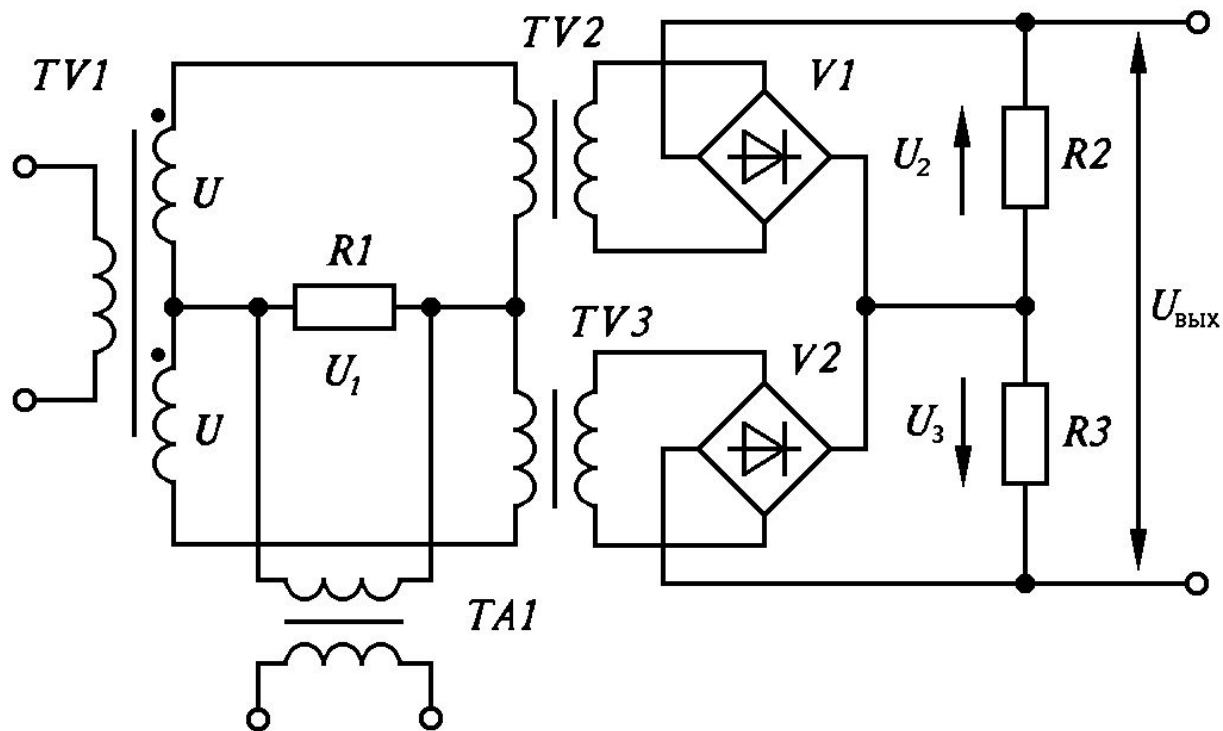
$$U_{\text{ВЫХ}} = E(1 + K) \frac{\Delta R \cdot R_1}{(R_1 + R_0 + \Delta R) \cdot (R_1 + R_0)}$$



# Нормирующий преобразователь сигнала термопары



# Формирователь сигнала активного тока системы управления СЭЭС «Ижора»



Действующие значения напряжений  $U_2$  и  $U_3$  по теореме косинусов:

$$U_2 = \sqrt{U^2 + U_1^2 - 2UU_1 \cos(\pi - \varphi)} = \sqrt{U^2 + U_1^2 + 2UU_1 \cos \varphi};$$

$$U_3 = \sqrt{U^2 + U_1^2 - 2UU_1 \cos \varphi}.$$

При  $U_1 \ll U$

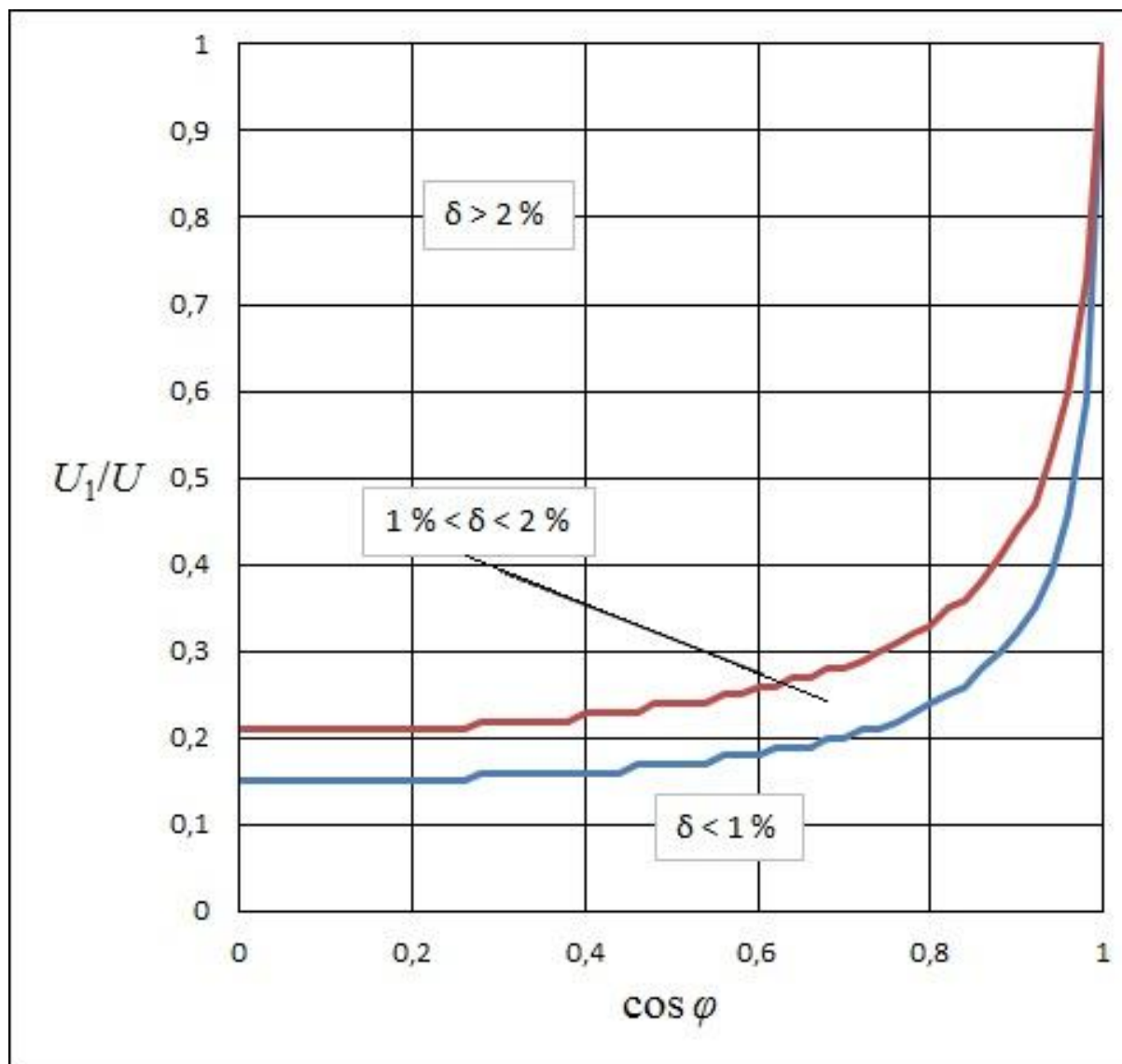
$$U_2 = U \sqrt{1 + \left(\frac{U_1}{U}\right)^2 + 2\frac{U_1}{U} \cos \varphi} \approx U \left(1 + \frac{U_1}{U} \cos \varphi\right).$$

$$U_3 \approx U \left(1 - \frac{U_1}{U} \cos \varphi\right).$$

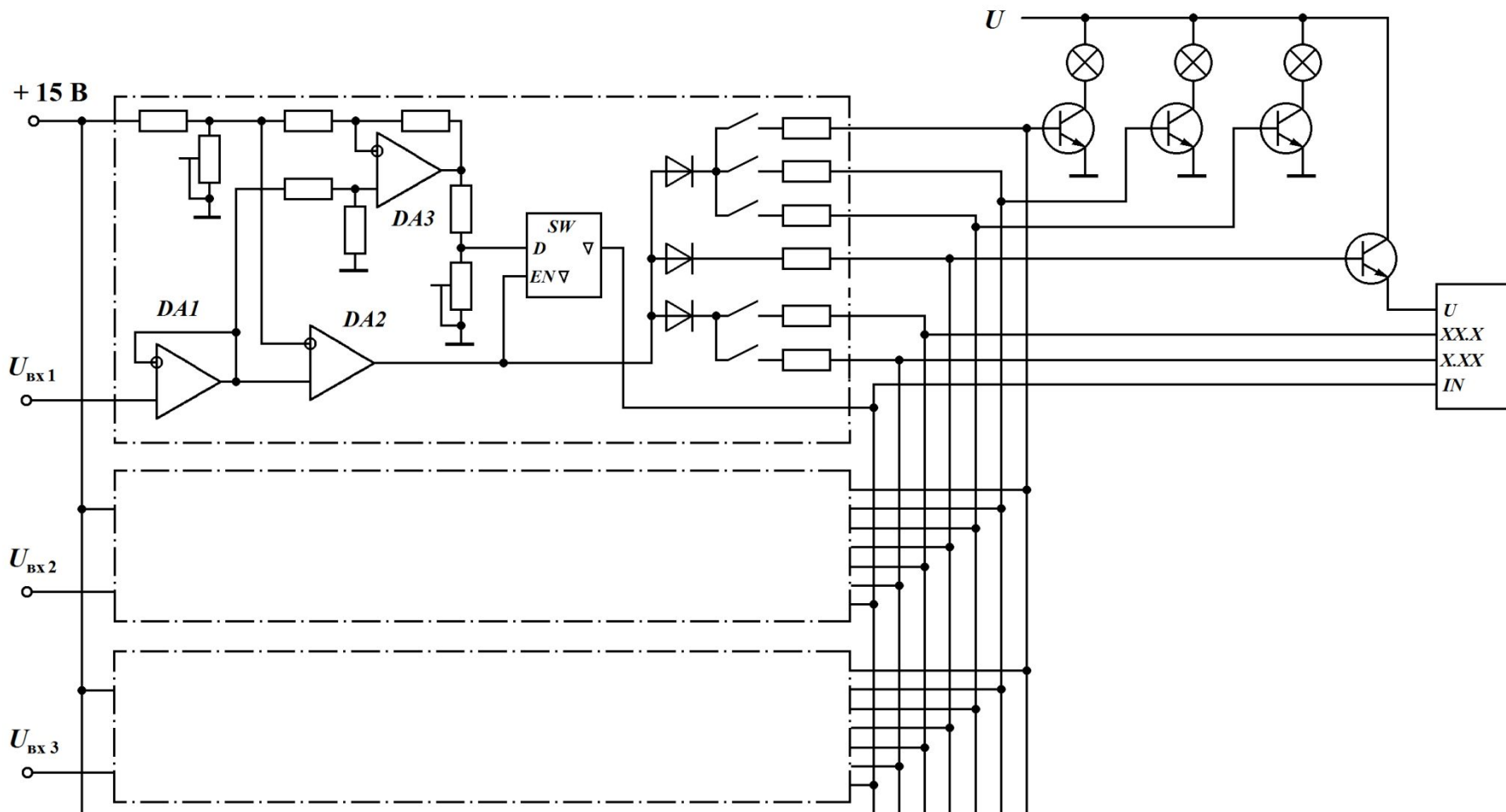
Тогда

$$U_{\text{ВЫХ}} \approx 2U_1 \cos \varphi.$$

# Погрешность нелинейности

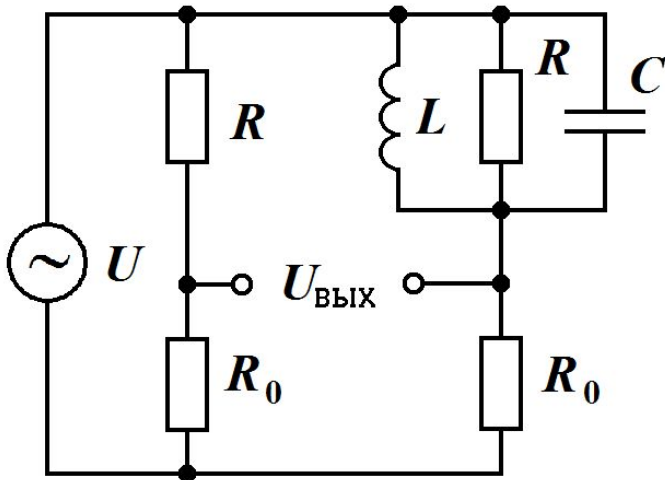


# Обработка сигнала для вывода на цифровой индикатор



# Преобразователи временных параметров сигнала

Пассивный преобразователь частоты в амплитуду



Комплексный коэффициент

передачи:

$$K(j\omega) = \frac{R_0 R^2}{R + R_0} \cdot \frac{1 - \omega^2 LC}{R_0 R (1 - \omega^2 LC) + j\omega L (R + R_0)}$$

При условии, что  $R_0 \ll R$

$$K(j\omega) = \frac{1 - \frac{\omega^2}{\omega_0^2}}{1 - \frac{\omega^2}{\omega_0^2} + j\omega \frac{L}{R_0}}$$

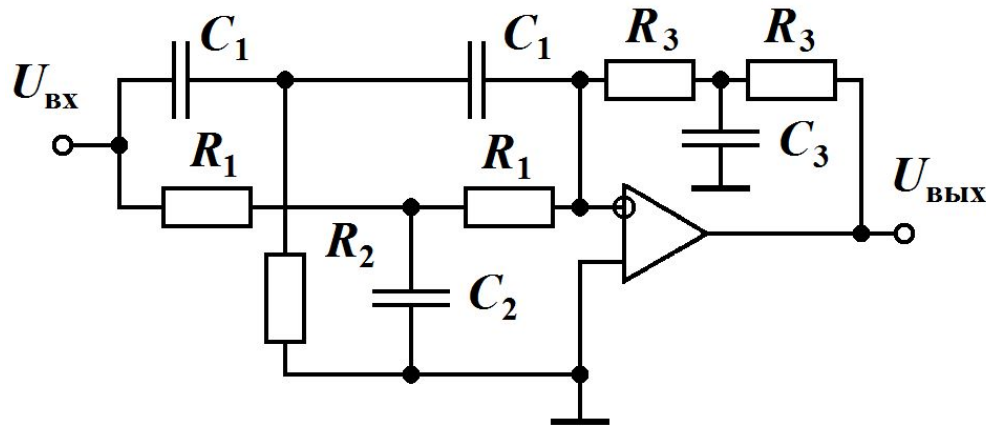
где 
$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}.$$

Представим  $\omega$  в виде:  $\omega = \omega_0 + \Delta\omega$ . При  $\Delta\omega = 0$  выходное напряжение  $U_{\text{ВЫХ}} = 0$ .

При малых  $\Delta\omega$

$$\frac{U_{\text{ВЫХ}}}{U} = \frac{2R}{\omega_0 L} \cdot \frac{\Delta\omega}{\omega_0}.$$

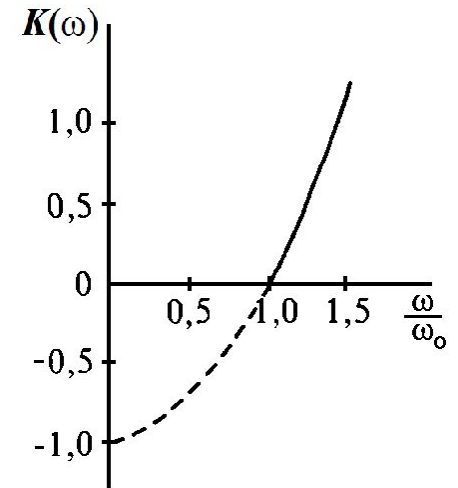
# Активный преобразователь частоты в амплитуду



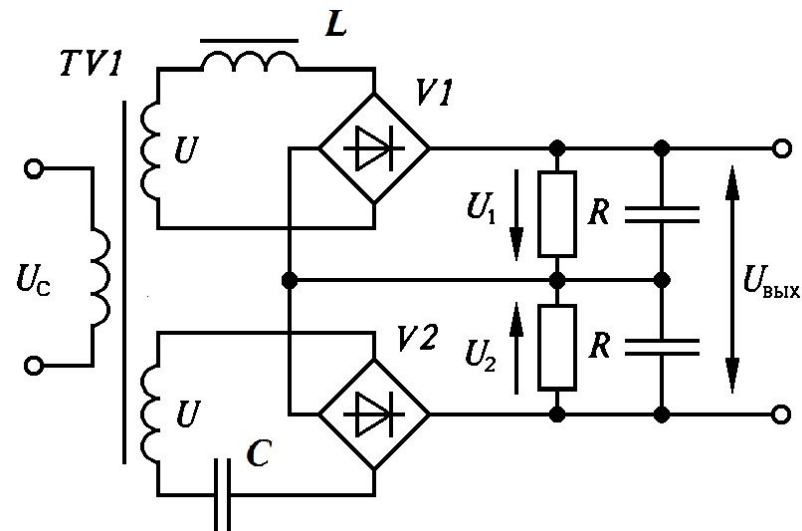
Настройка моста:  $C_1 = \frac{C_2}{2} = C$ ;  $R_1 = 2R_2 = R$ ;  $C_3 R_3 = 2CR$ .

При этом  $W(p) = -\frac{R_3}{R} \cdot (1 + p^2 C^2 R^2)$ ;  $K(\omega) = \frac{R_3}{R} \cdot (1 - \omega^2 C^2 R^2)$ .

Обозначим  $\omega_0 = 1/(RC)$ . Тогда  $K(\omega) = \frac{R_3}{R} \cdot \left(\frac{\omega^2}{\omega_0^2} - 1\right)$ .



# Пассивный преобразователь частоты в напряжение постоянного тока



Амплитуды токов  $I_C = \frac{j\omega CU}{1 + j\omega RC}$ ;  $I_L = \frac{U}{R + j\omega L}$ .

Выходное напряжение  $U_{\text{ВЫХ}} = U_1 - U_2 = U \left( \frac{\omega RC}{\sqrt{1 + (\omega RC)^2}} - \frac{R}{\sqrt{R^2 + (\omega L)^2}} \right)$

$U_{\text{ВЫХ}} = 0$  при  $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$ .

Представим  $\omega = \omega_0 + \Delta\omega$ . При  $\Delta\omega = 0$  выходное напряжение равно нулю.

Максимальная чувствительность достигается при  $\omega RC \ll 1$ ;  $\omega L \gg R$ .

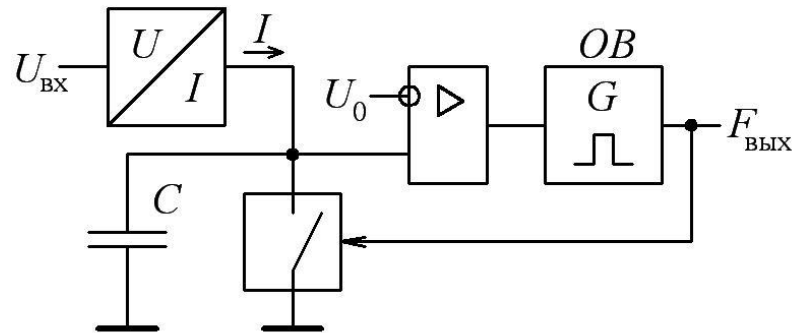
При малых  $\Delta\omega$

$$\frac{U_{\text{ВЫХ}}}{U} = \frac{2R}{\omega_0 L} \cdot \frac{\Delta\omega}{\omega_0}$$

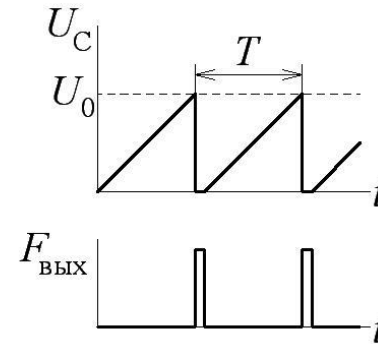


# Преобразователь напряжения в частоту

## Функциональная схема ПНЧ



a)



б)

В процессе заряда напряжение на конденсаторе

$$U_C(t) = \frac{I}{C}t = \frac{kU_{\text{ВХ}}}{C}t$$

При очень малой длительности разрядного импульса

$$F_{\text{ВЫХ}} = \frac{1}{T} = \frac{k}{CU_0}U_{\text{ВХ}}.$$

## Примеры реализации ПНЧ

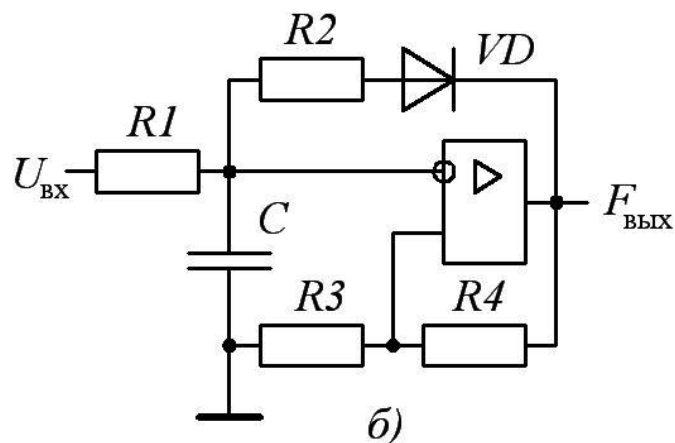
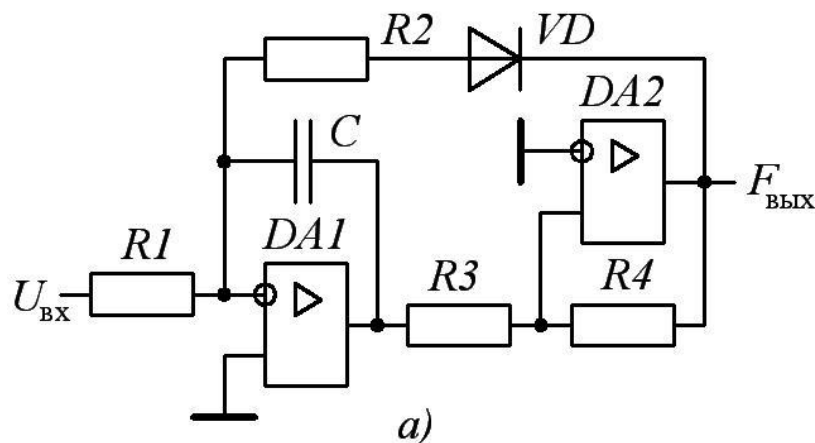


Схема а): компаратор переключается, когда напряжение на выходе интегратора достигает порогового значения

$$\pm U_{\text{пор}} = \pm U_{\text{нас}} \frac{R_3}{R_4}.$$

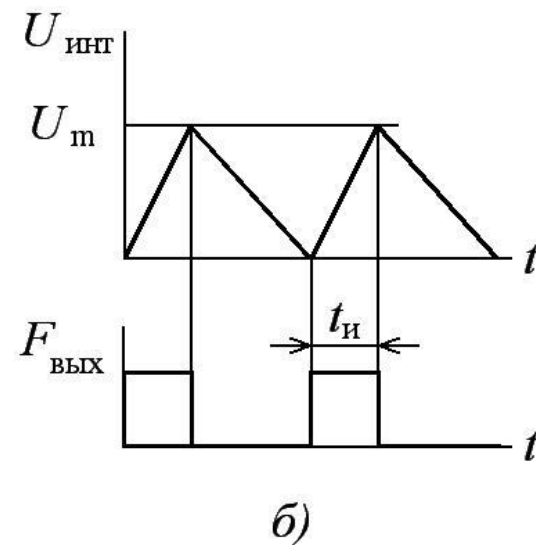
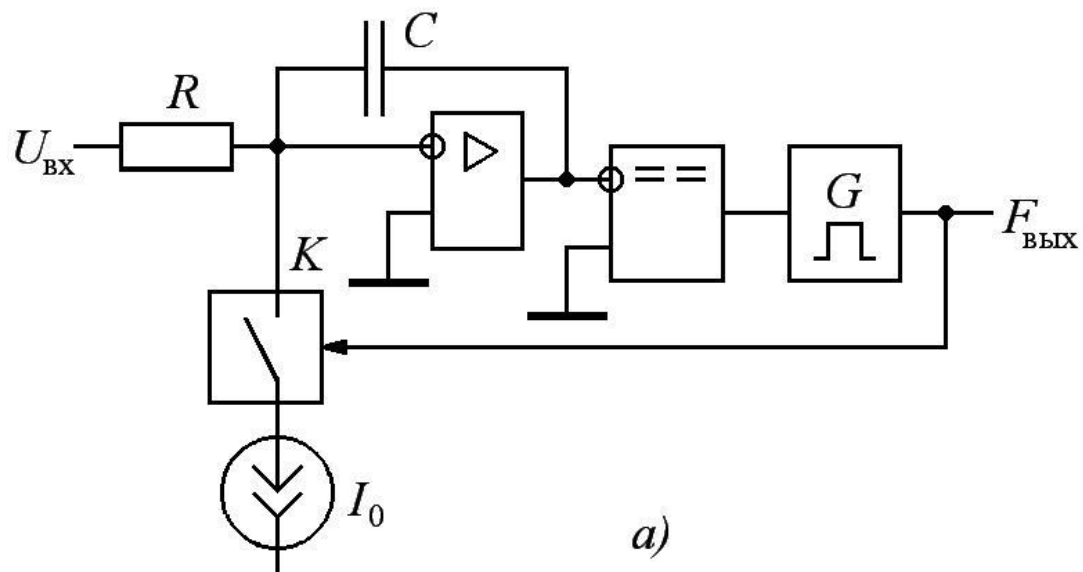
Выходное напряжение интегратора (прямой ход) меняется по закону

$$U_{\text{инт}}(t) = U_{\text{пор}} - \frac{U_{\text{вх}}}{R_1 C} t.$$

При  $t = T$   $U_{\text{инт}}(T) = U_{\text{пор}} - \frac{U_{\text{вх}}}{R_1 C} T = -U_{\text{пор}}.$  Отсюда

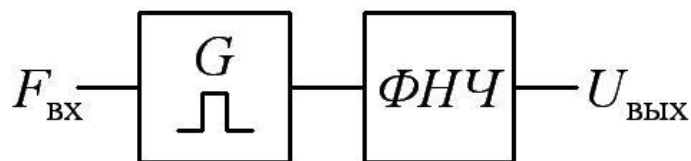
$$F_{\text{вх}} = \frac{1}{T} = \frac{U_{\text{вх}}}{2U_{\text{пор}} R_1 C} = U_{\text{вх}} \frac{R_4}{2U_{\text{нас}} R_1 R_3 C}$$

# Интегральный ПНЧ



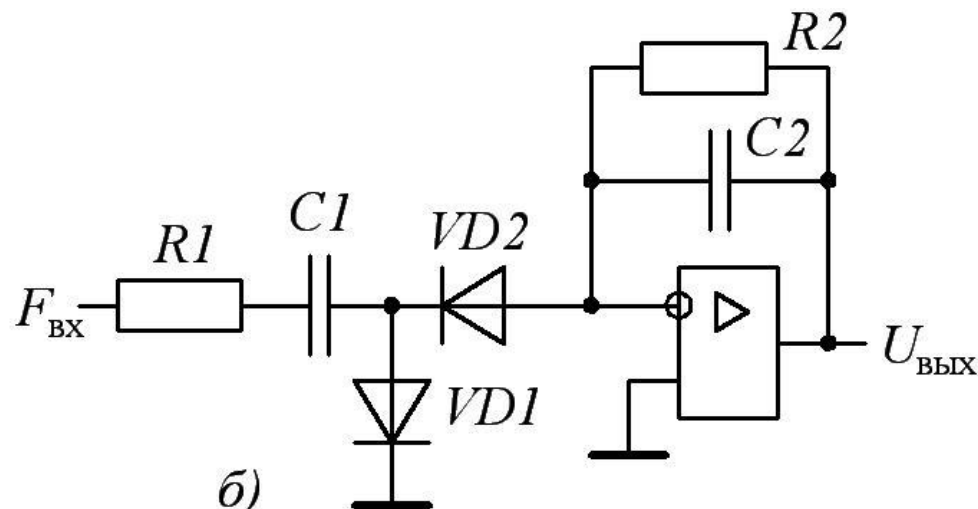
$$F_{\text{ВЫХ}} = \frac{U_{\text{ВХ}}}{RI_0 t_{\text{и}}}$$

# ПЧН на базе формирователя импульсов стабильной площади



a)

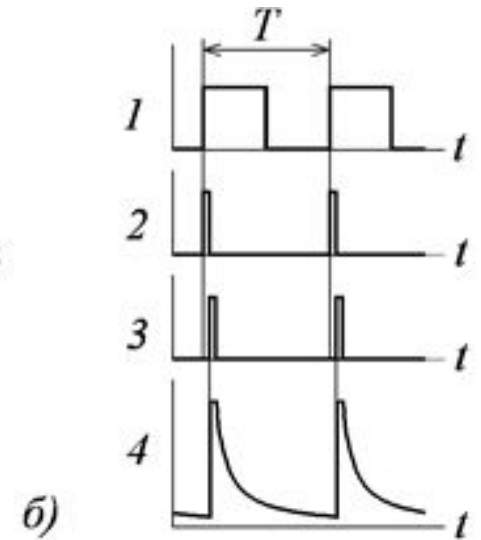
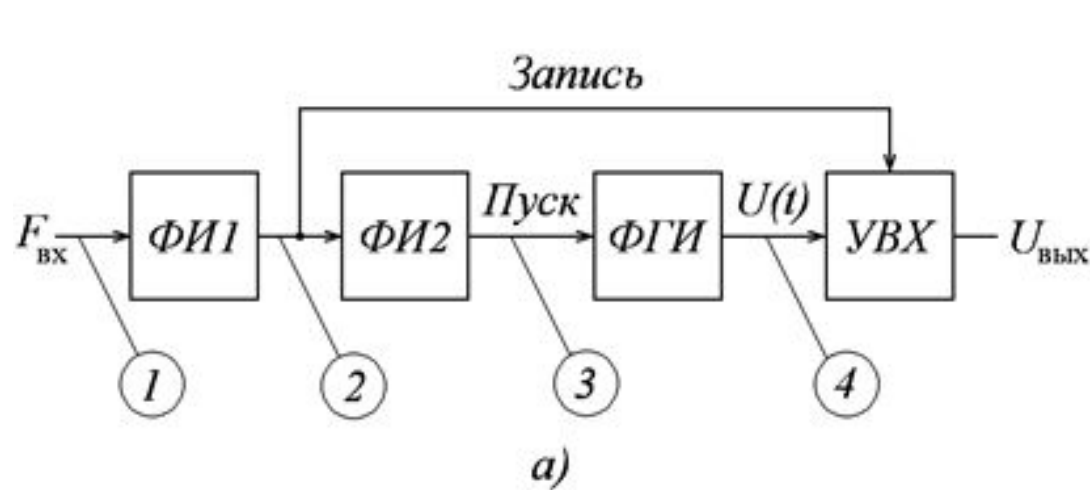
$$U_{\text{ВЫХ}} = U_m F_{\text{ВХ}} t_{\text{И}}$$



б)

$$U_{\text{ВЫХ}} = F_{\text{ВХ}} C_1 R_2 U_m$$

# Быстродействующий ПЧН



$$U_{\text{ВЫХ}} = k/T = kF_{\text{ВХ}}$$

# Допусковый контроль аналоговых сигналов и АПС

