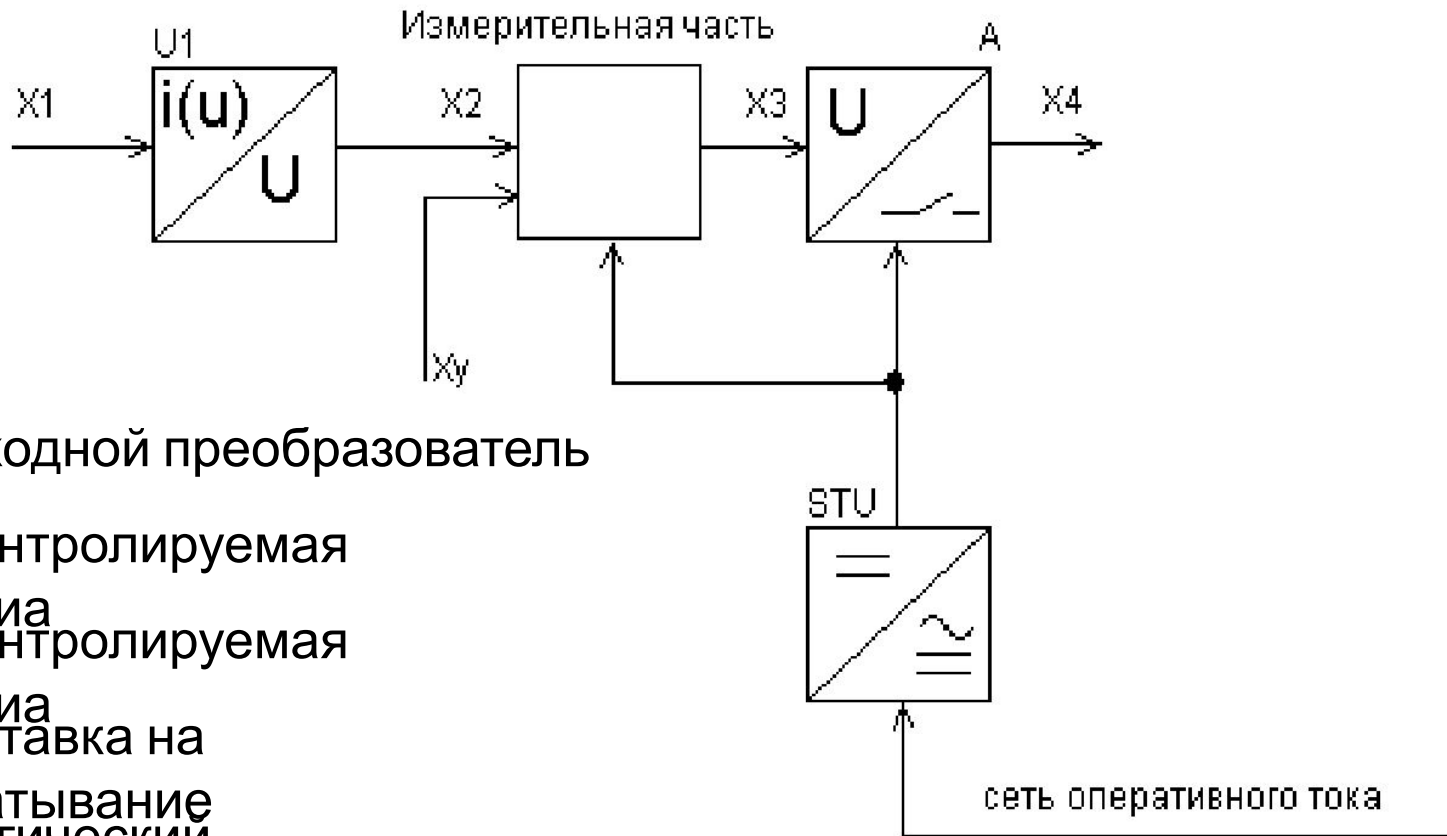


# Статические реле

- Электронные аналоги электромеханических
- Применение полупроводниковой элементной базы
- Улучшены характеристики
- Существенно снижено потребление энергии от источника сигнала

# Структурная схема статического реле



U1 Входной преобразователь

X1 Контролируемая величина

X2 Контролируемая величина

$X_y$  уставка на срабатывание

X3 Логический

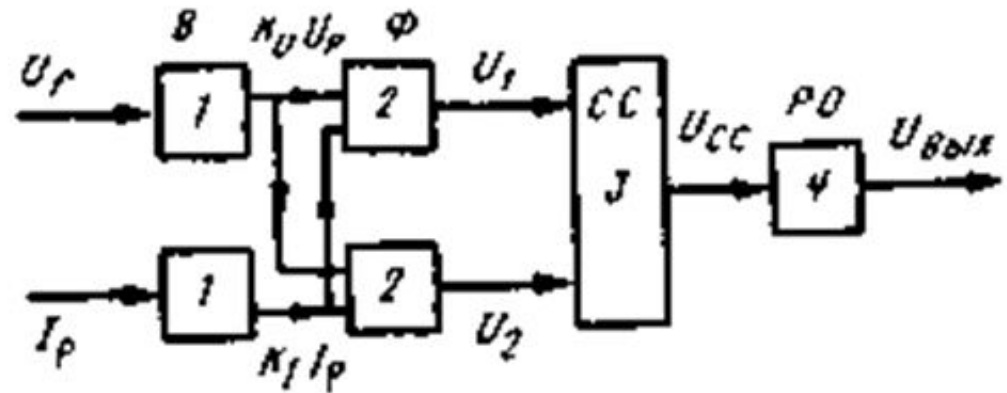
сигнал

A Выходной преобразователь

X4 Положение контакта на выходе реле

STU Блок питания

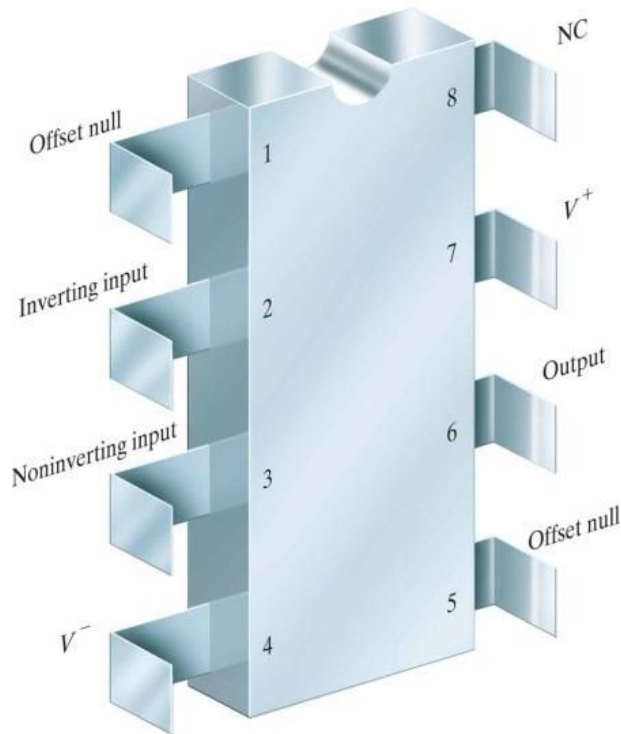
# Структурная схема измерительных органов и их классификация



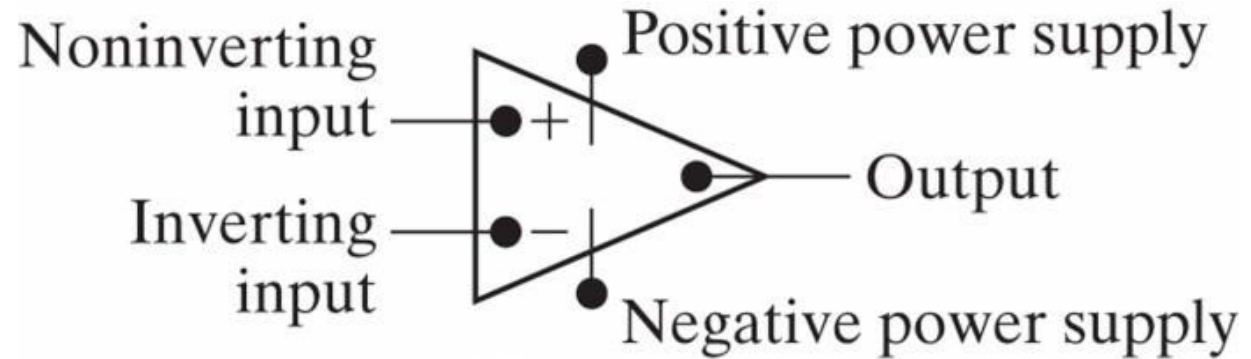
- **Воспринимающая 1** - входная часть ИО, которая принимает поступающие от измерительных ТТ и ТН защищаемого объекта сигналы и превращает их в величины, пригодные для использования в данной конструкции реле;
- **Преобразующая 2** (формирующая), которая, получив сигналы от воспринимающей части, преобразует их в сравниваемые величины;
- **Сравнивающая 3**, которая производит сравнение сформированных величин по абсолютному значению или фазе с заданной величиной или между собой и по результату сравнения выдает сигнал о срабатывании или недействии реле;
- **Исполнительная 4**, которая усиливает выходной сигнал и воздействует на управляемую цепь.

# The Operational Amplifier

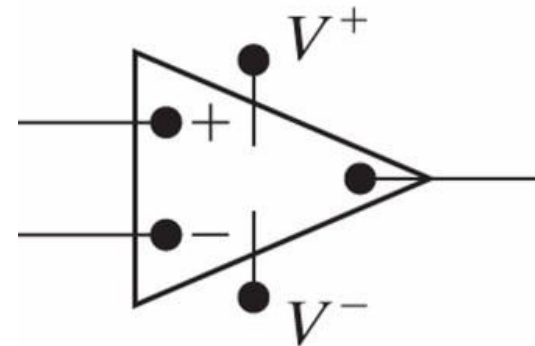
- 1 Operational Amplifier Terminals



Copyright © 2011 Pearson Education, Inc. publishing as Prentice Hall

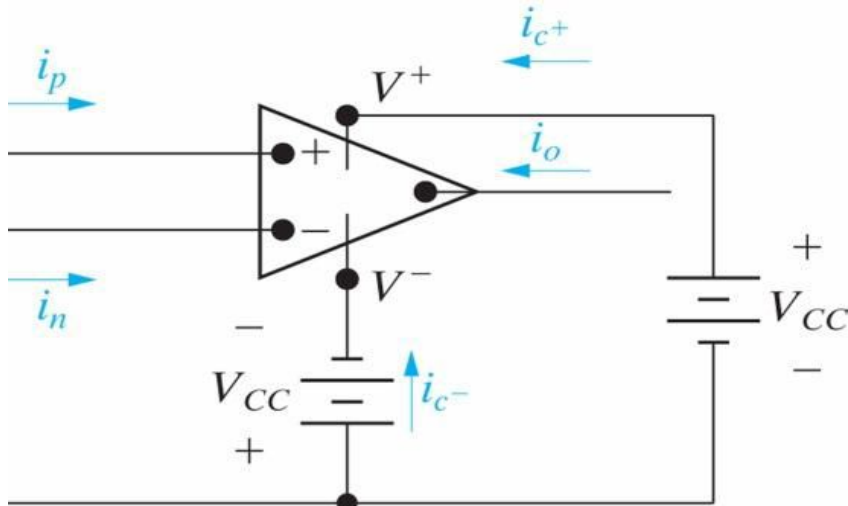


Copyright © 2011 Pearson Education, Inc. publishing as Prentice Hall

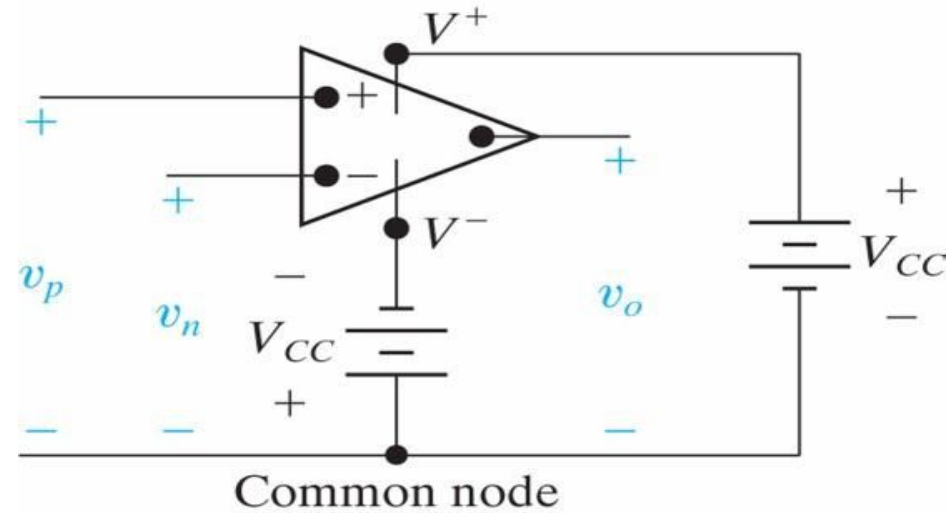


Copyright © 2011 Pearson Education, Inc. publishing as Prentice Hall

# 2 Terminal Voltages and Currents



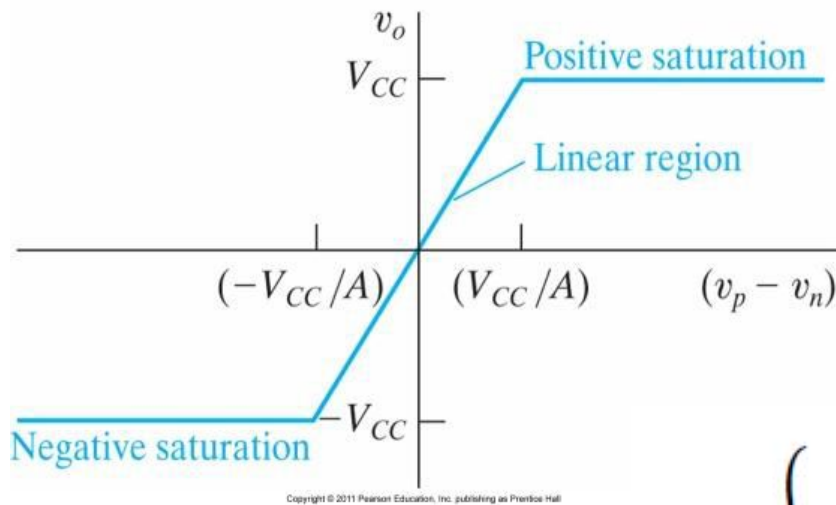
Copyright © 2011 Pearson Education, Inc. publishing as Prentice Hall



Copyright © 2011 Pearson Education, Inc. publishing as Prentice Hall

- All voltages are considered as a voltage rise from the common node.
- $V_{CC}$  positive voltage supply –  $V_{CC}$  negative voltage supply
- $v_n$  voltage between inverting terminal and common node
- $v_p$  voltage between noninverting terminal and common node
- $v_o$  voltage between output terminal and common node
- $i_n$  current into the inverting terminal
- $i_p$  current into the noninverting terminal
- $i_o$  current into the output terminal
- $i_{c+}$  current into the positive power supply terminal
- $i_{c-}$  current into the positive power supply terminal

# Characteristics



Where  $A$   
is the **gain**

$$v_o = \begin{cases} -V_{CC}, & A(v_p - v_n) < -V_{CC} \\ A(v_p - v_n), & -V_{CC} \leq A(v_p - v_n) \leq +V_{CC} \\ +V_{CC}, & A(v_p - v_n) > +V_{CC} \end{cases}$$

Input voltage constraint for an ideal op-amp  
when in its linear range

$$v_p = v_n$$

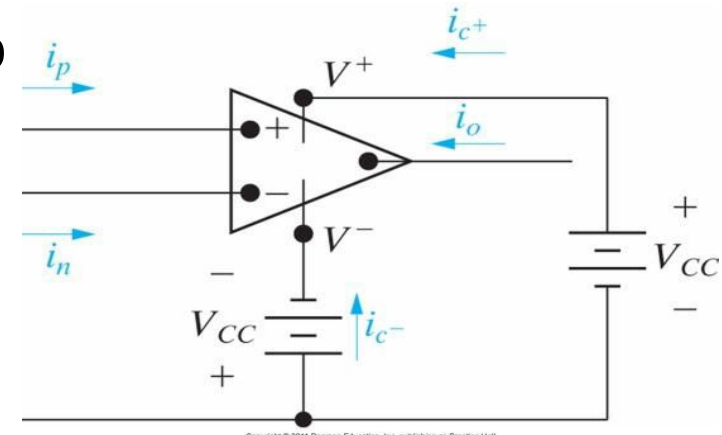
Negative feedback: output signal fed back into the inverted output.

Input current constraint for an ideal op-amp

KCL around the op-amp  $i_p = i_n = 0$

$$i_p + i_n + i_o + i_{c+} + i_{c-} = 0$$

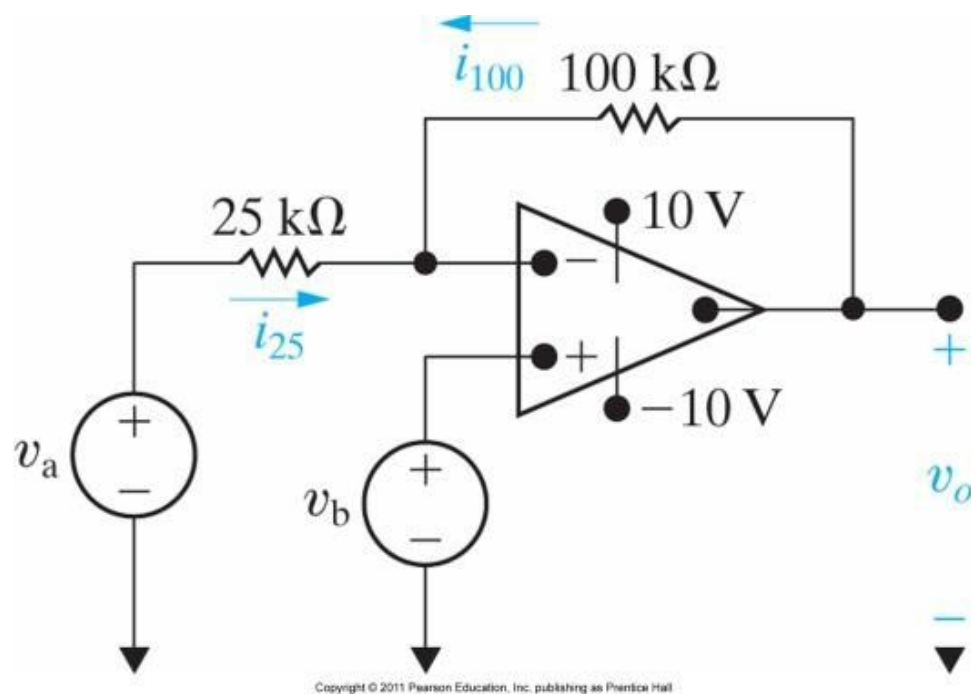
$$i_o = -(i_{c+} + i_{c-})$$



# Example 1

For ideal,  $i_p = i_n = 0$   
and  $v_p = v_n$  if in linear range

- a)  $V_a = 1V$  and  $v_b = 0V$
- b)  $V_a = 1V$  and  $v_b = 2V$
- c)  $V_a = 1.5V$  and  $v_b = ??$



Copyright © 2011 Pearson Education, Inc. publishing as Prentice Hall

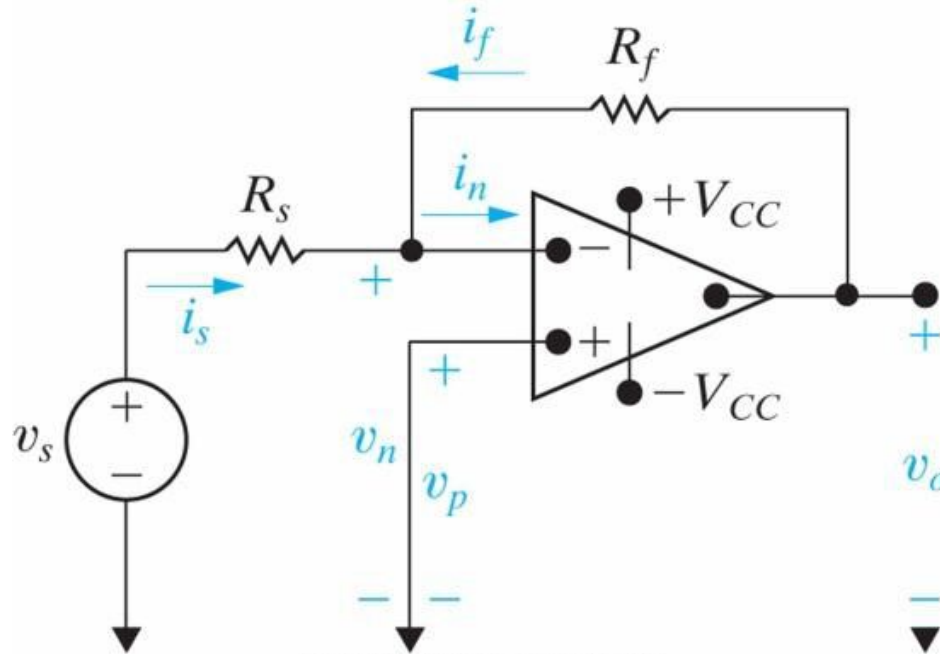
$$i_n - i_{25} - i_{100} = 0 \quad \xrightarrow{\text{yields}} \quad i_n = i_{25} + i_{100} = 0$$

$$i_{25} = \frac{v_a - v_n}{25k} = \frac{1 - 0}{25k} = \frac{1}{25} \text{ mA}$$

$$i_{100} = \frac{v_o - v_n}{100k} = \frac{v_o - 0}{100k} = \frac{v_o}{100k} = -\frac{1}{25} \text{ mA}$$

$$v_o = -4V$$

### 3. The Inverting-Amplifier Circuit



Copyright © 2011 Pearson Education, Inc. publishing as Prentice Hall

$$i_s + i_f = i_n = 0$$

$$i_s = \frac{v_s}{R_s}$$

$$i_f = \frac{v_o}{R_f}$$

$$v_o = \frac{-R_f}{R_s} v_s \quad \text{where } \frac{R_f}{R_s} \text{ is the gain}$$



$$\frac{v_n - v_a}{R_a} + \frac{v_n - v_b}{R_b} + \frac{v_n - v_c}{R_c} + \frac{v_n - v_o}{R_f} + i_n = 0$$

Assuming an ideal op amp

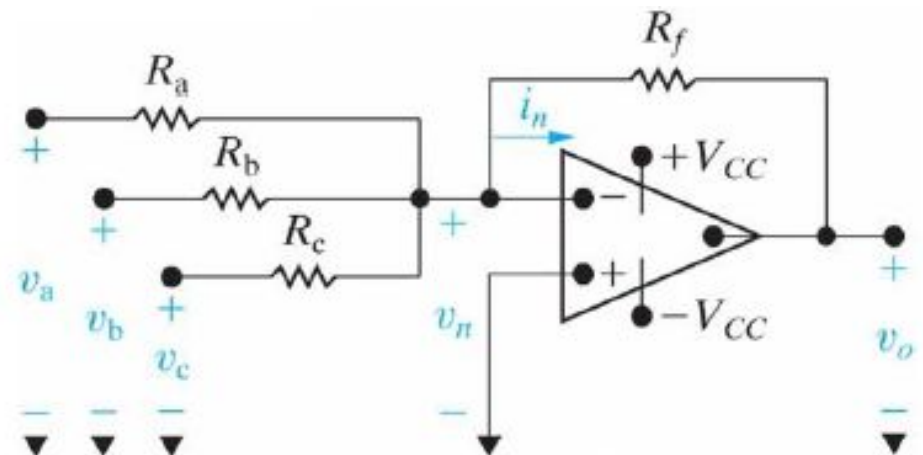
$$v_o = -\left(\frac{R_f}{R_a}v_a + \frac{R_f}{R_b}v_b + \frac{R_f}{R_c}v_c\right)$$

If  $R_a = R_b = R_c = R_s$

$$v_o = -\frac{R_f}{R_s}(v_a + v_b + v_c)$$

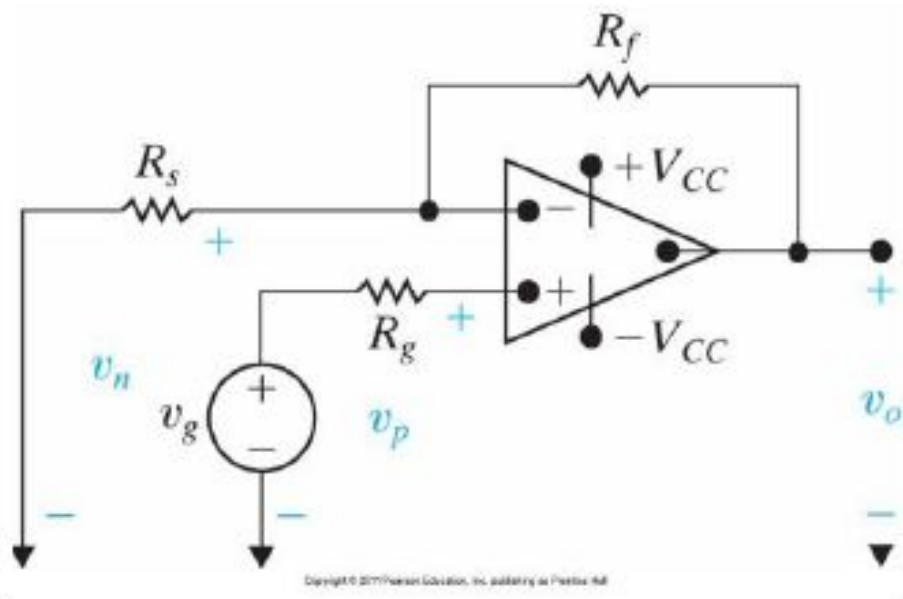
If  $R_f = R_s$   $v_o = -(v_a + v_b + v_c)$

## 4. The summing-Amplifier



## 5. The Noninverting-Amplifier Circuit

The voltage source is applied to the positive terminal of the op amp



$$v_n = v_p \approx v_g$$

$$\frac{v_n}{R_s} + \frac{v_n - v_o}{R_f} + 0 = 0$$

$$v_o = \left( \frac{R_f + R_s}{R_s} \right) v_g$$

## 6. The Difference-Amplifier Circuit

$$\frac{v_n - v_a}{R_a} + \frac{v_n - v_o}{R_b} + i_n = 0$$

$$v_n = v_p = \left( \frac{R_d}{R_c + R_d} \right) v_b$$

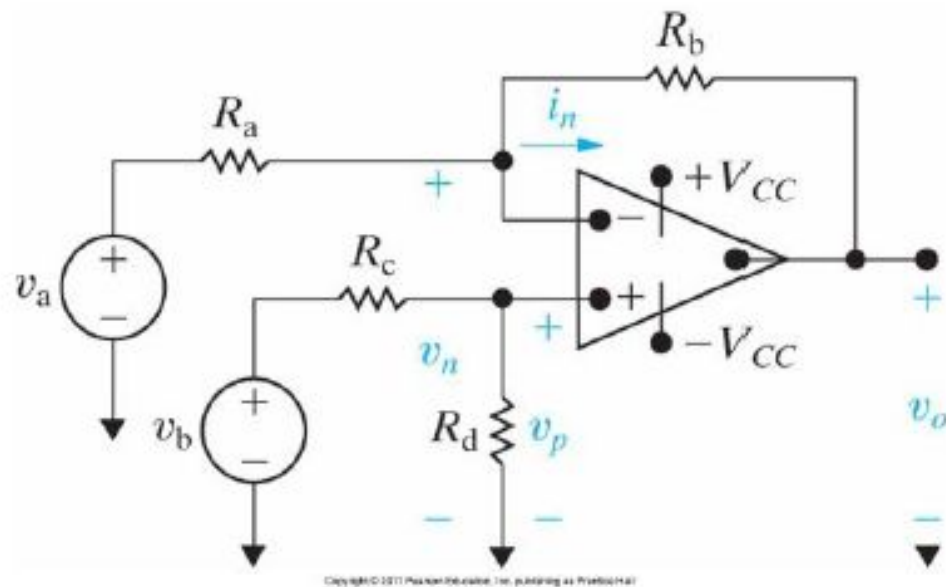
Substituting

$$v_o = \frac{R_d(R_a + R_b)}{R_a(R_c + R_d)} v_b - \frac{R_b}{R_a} v_a$$

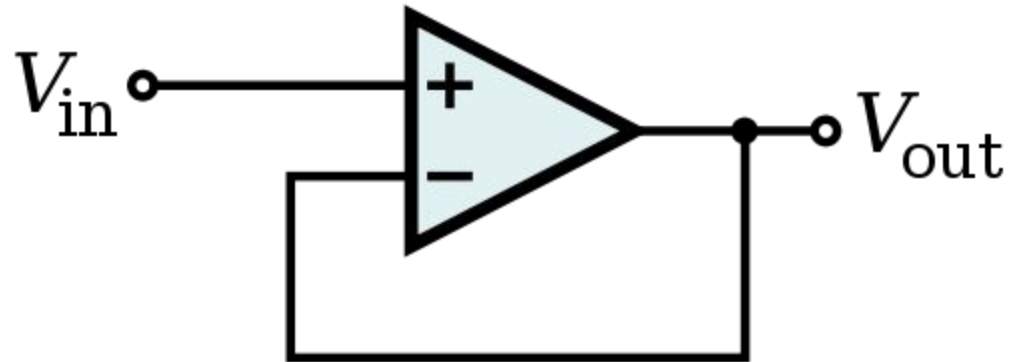
$$v_o = \frac{R_b}{R_a} (v_b - v_a)$$

when

$$\frac{R_a}{R_b} = \frac{R_c}{R_d}$$

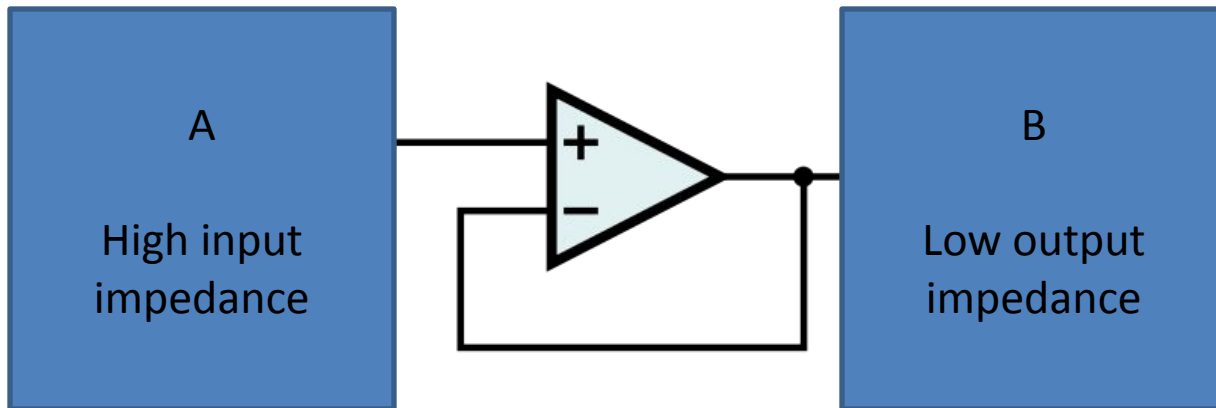


# Op-Amp Buffer

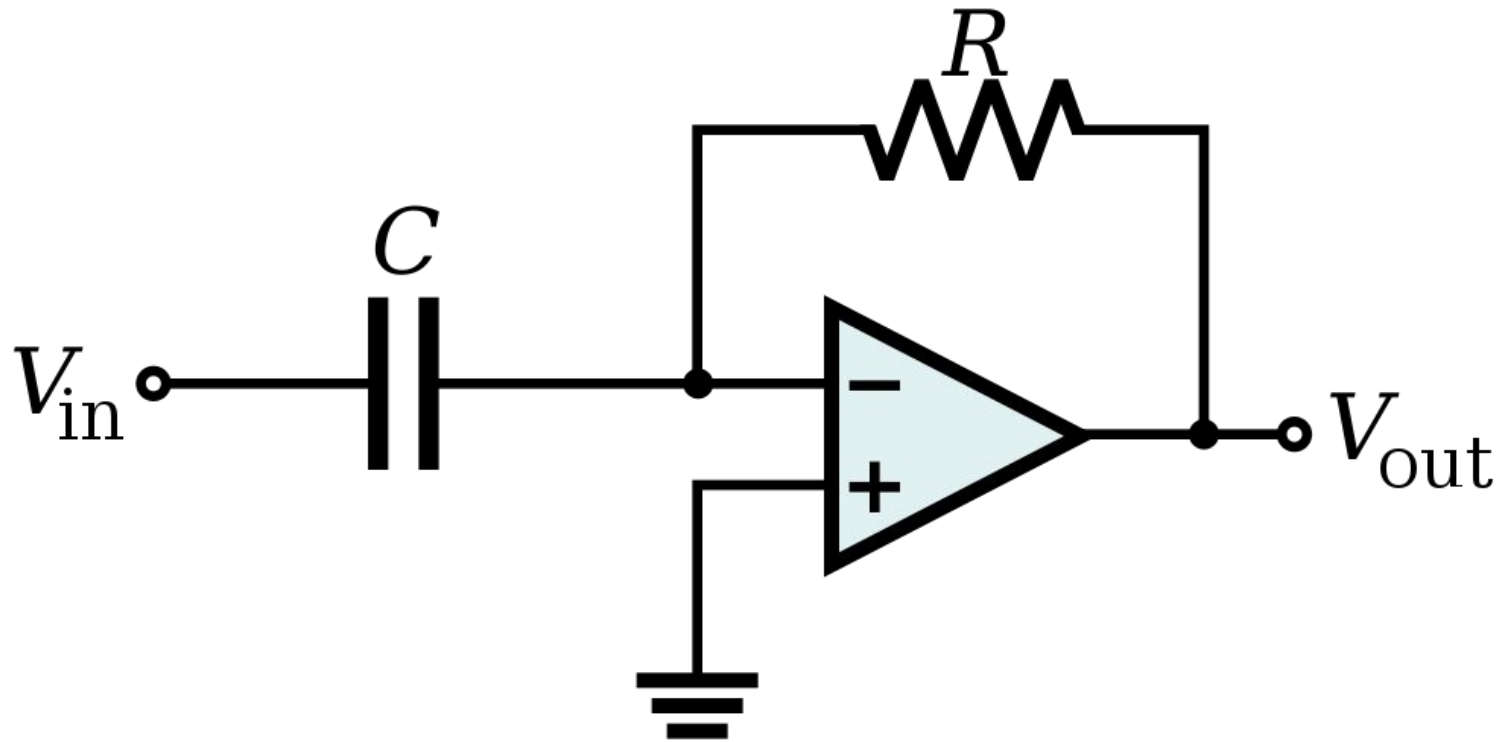


$$V_{out} = V_{in}$$

Isolates loading effects

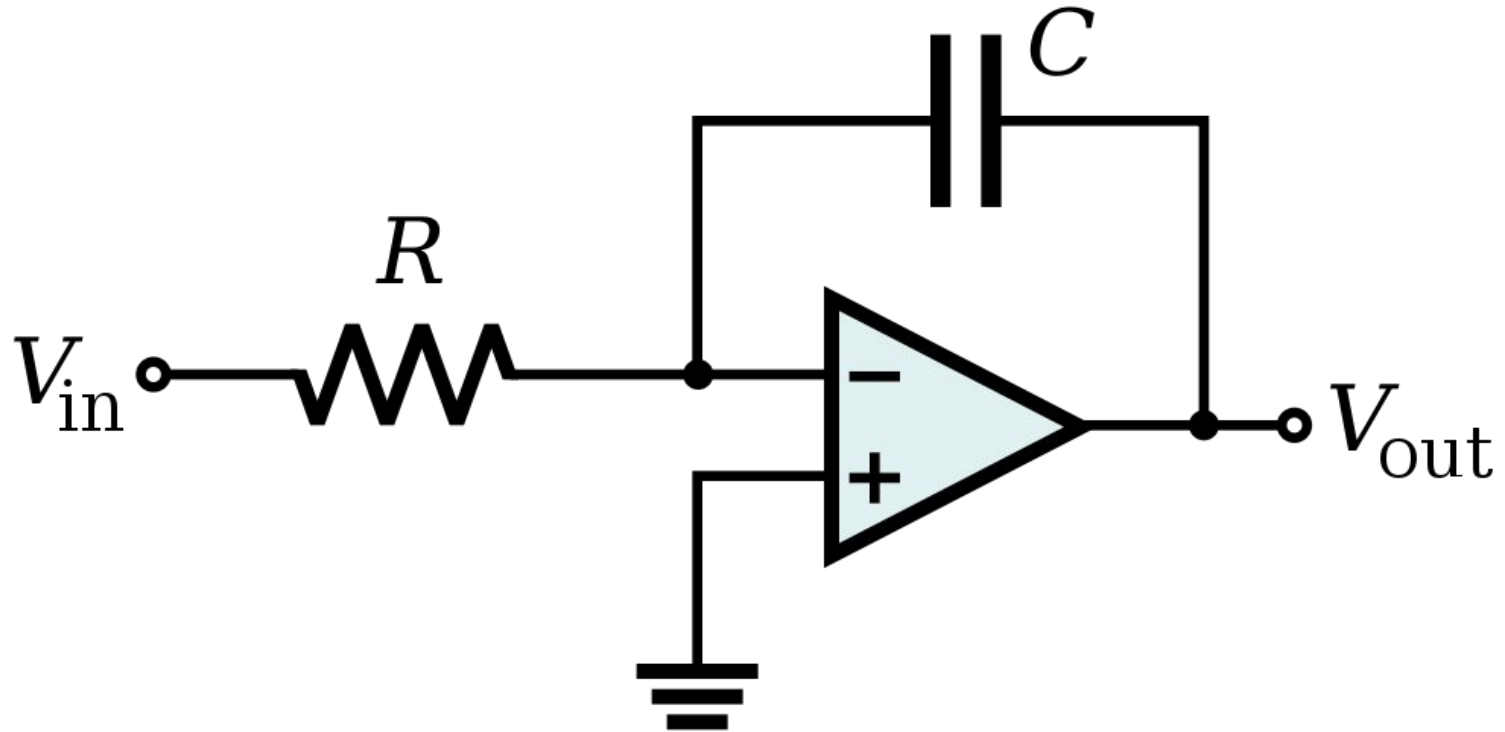


# Op-Amp Differentiator



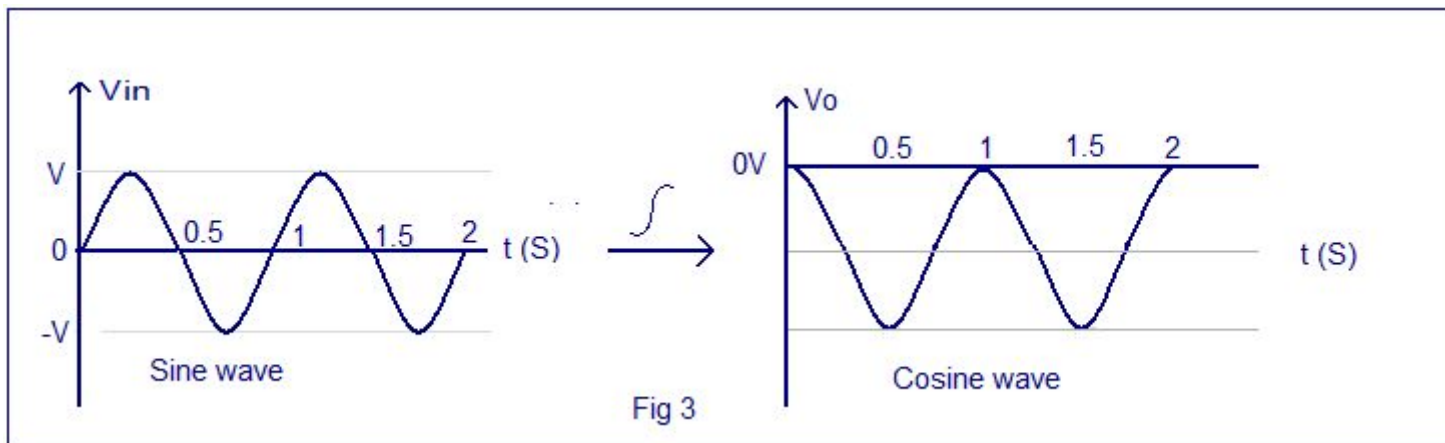
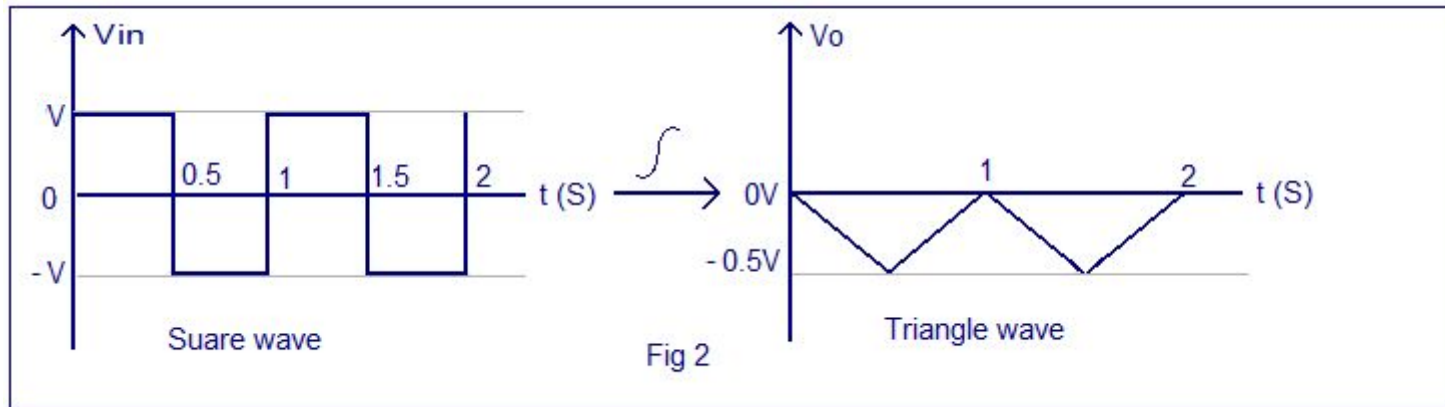
$$V_{out} = -RC \frac{dV_{in}}{dt}$$

# Op-Amp Integrator



$$V_{out} = - \int_0^t \frac{V_{in}}{RC} dt + V_{initial}$$

Integrating a square wave will result in a triangle waveform and integrating a sine wave will result in a Cosine waveform. It is shown in the figures shown below



# Applications of Op-Amps

## Filters

### Types:

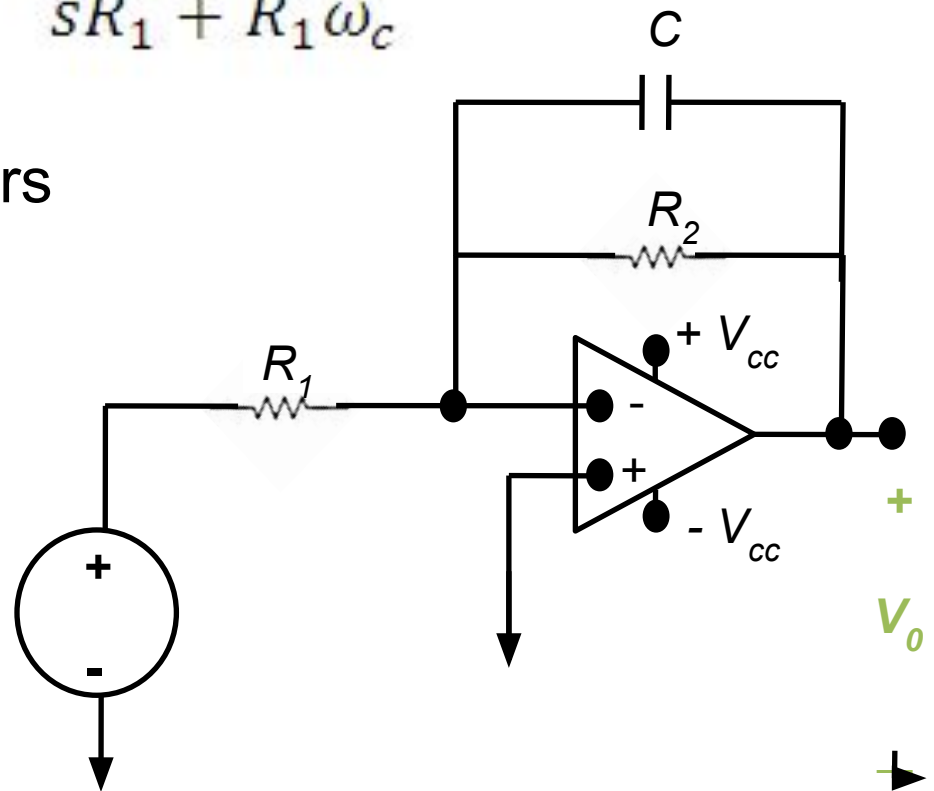
- Low pass filter
- High pass filter
- Band pass filter
- Cascading (2 or more filters connected together)

Low pass filter transfer function  $\square$

Low pass filter Cutoff frequency  $\square \omega_c = \frac{1}{R_2 C}$

$$H(s) = \frac{-R_2 \omega_c}{sR_1 + R_1 \omega_c}$$

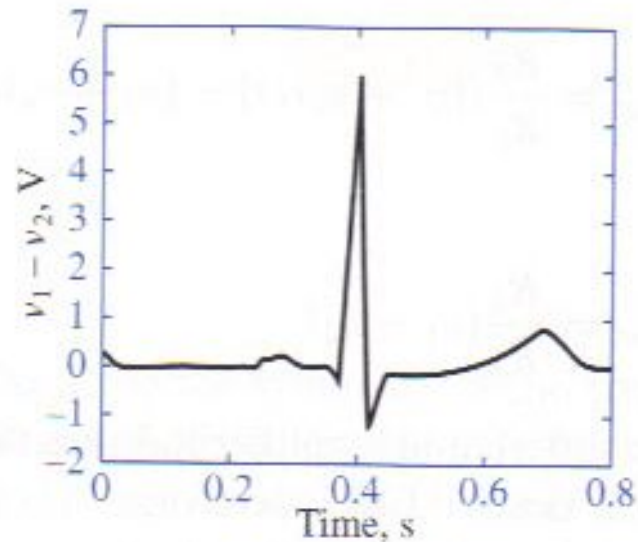
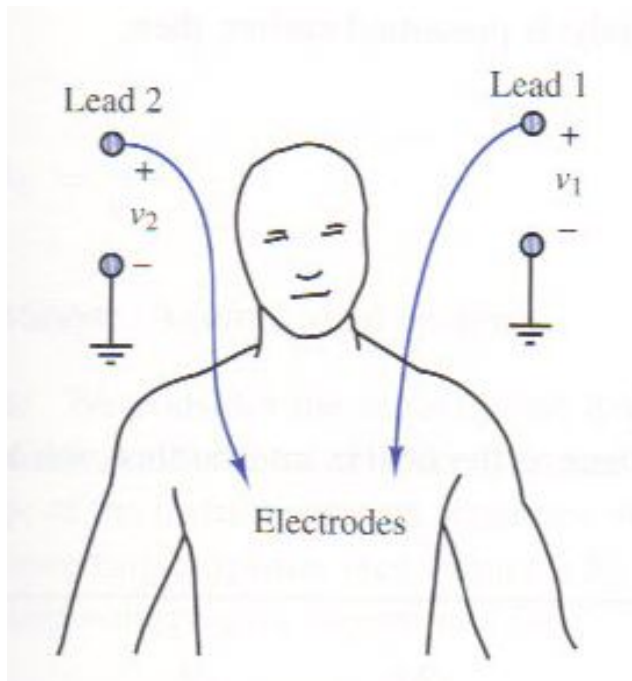
## Low pass filter



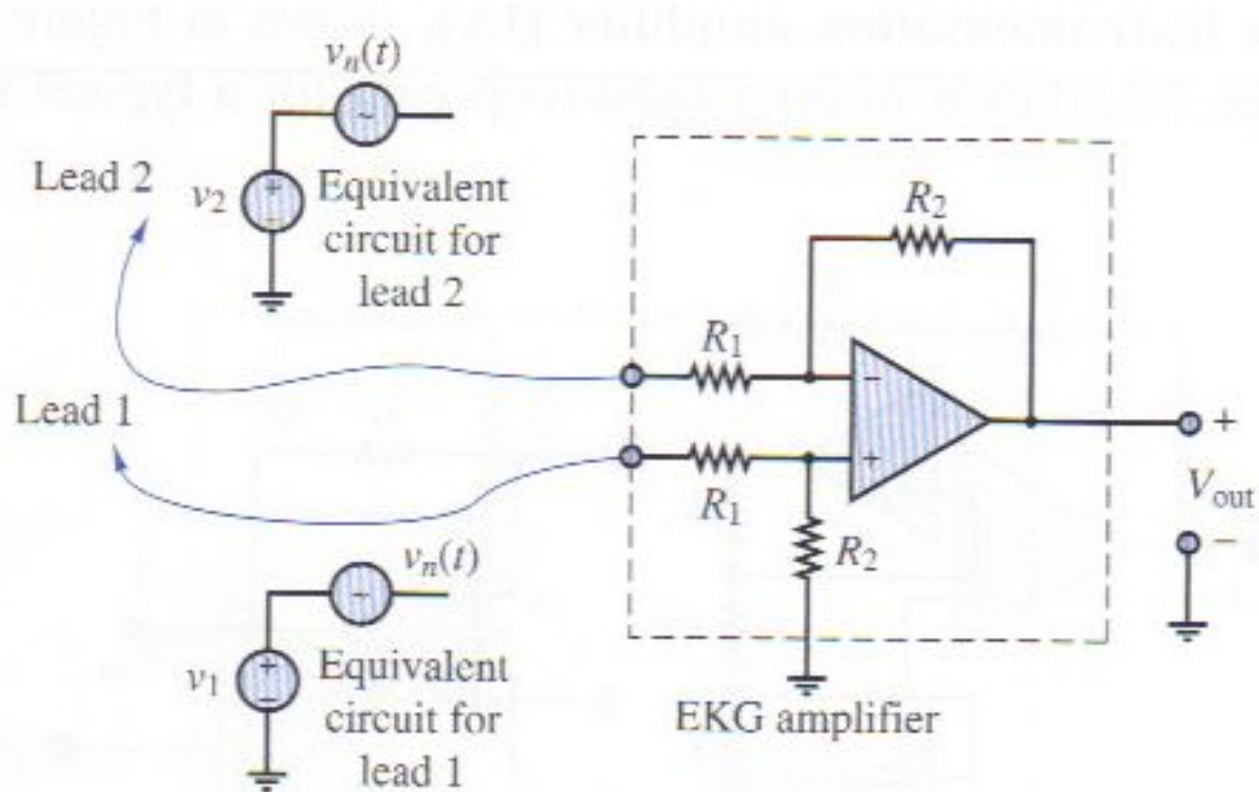


# Applications of Op-Amps

- Electrocardiogram (EKG) Amplification
  - Need to measure difference in voltage from lead 1 and lead 2
  - 50 Hz interference from electrical equipment



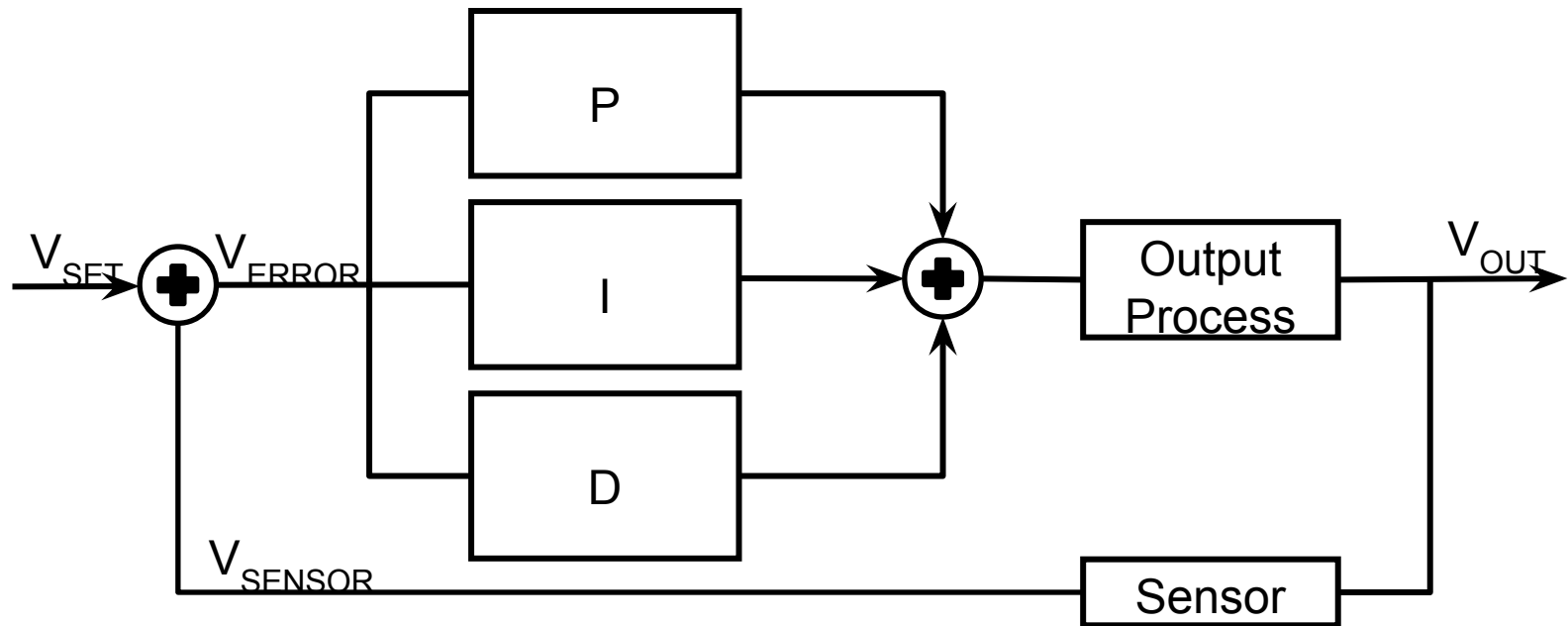
# Applications of Op-Amps



Simple EKG circuit

Uses differential amplifier to cancel common mode signal and amplify differential mode signal

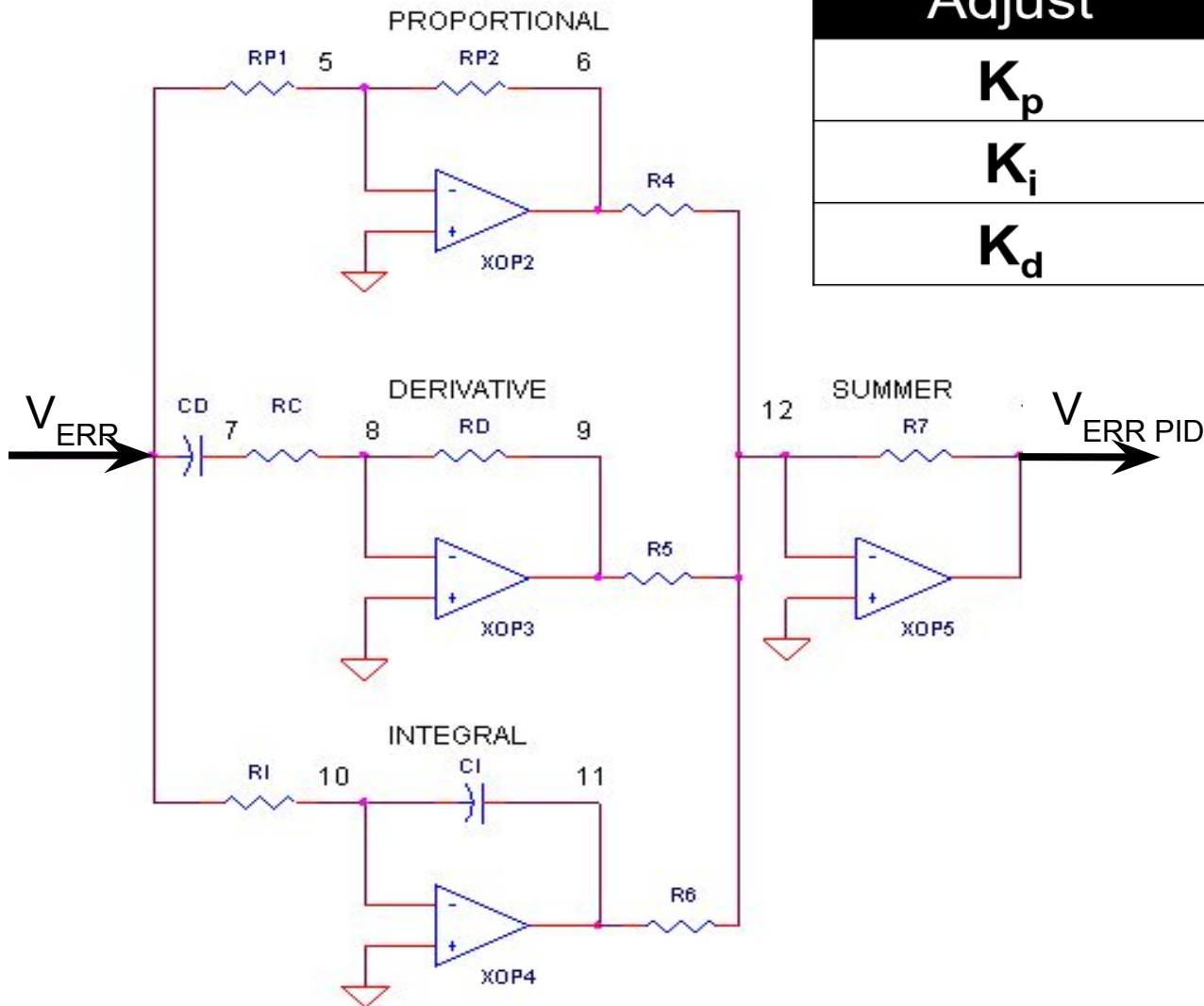
# PID Controller – System Block Diagram



- Goal is to have  $V_{SET} = V_{OUT}$
- Remember that  $V_{ERROR} = V_{SET} - V_{SENSOR}$
- Output Process uses  $V_{ERROR}$  from the PID controller to adjust  $V_{out}$  such that it is  $\sim V_{SET}$

# Applications

## PID Controller – PID Controller Circuit Diagram

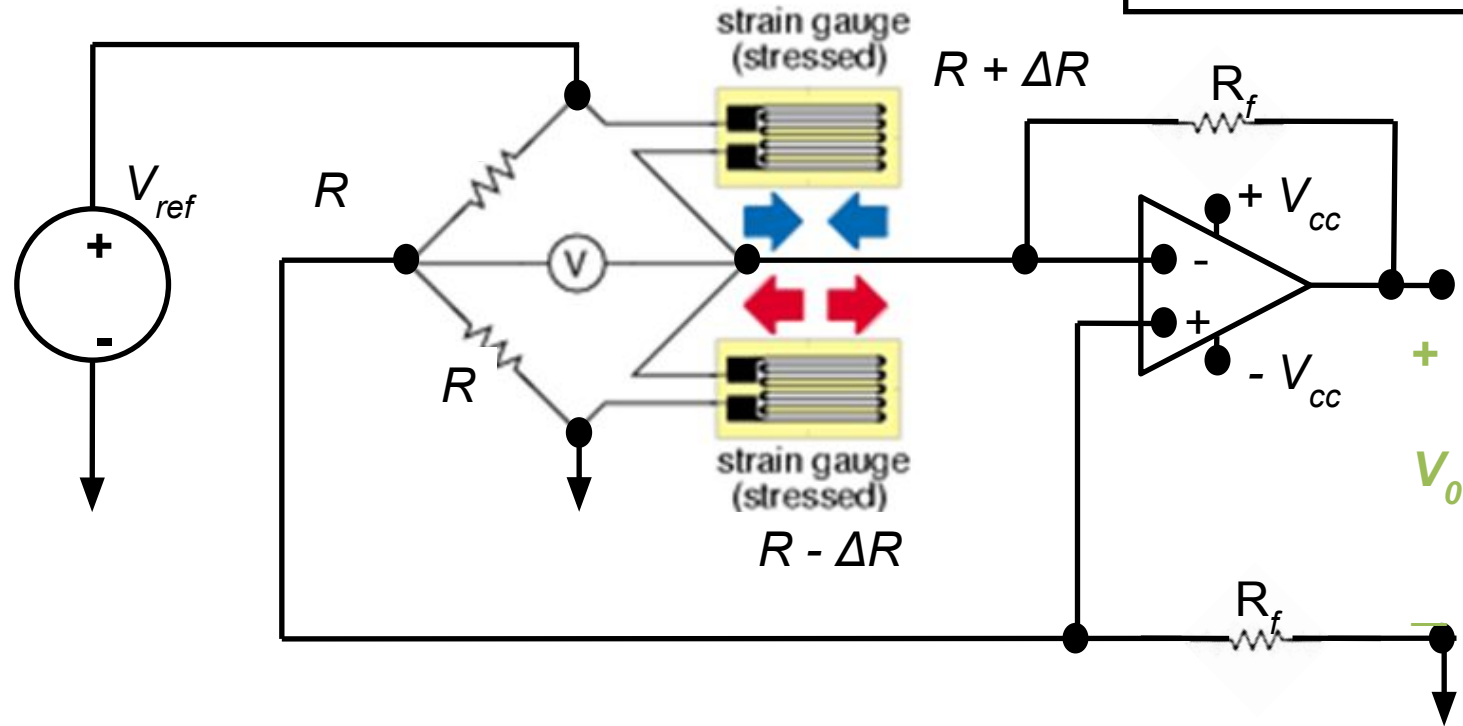


Adjust	Change
$K_p$	<b>RP1, RP2</b>
$K_i$	<b>RI, CI</b>
$K_d$	<b>RD, CD</b>

# Strain Gauge

## Half-Bridge Arrangement

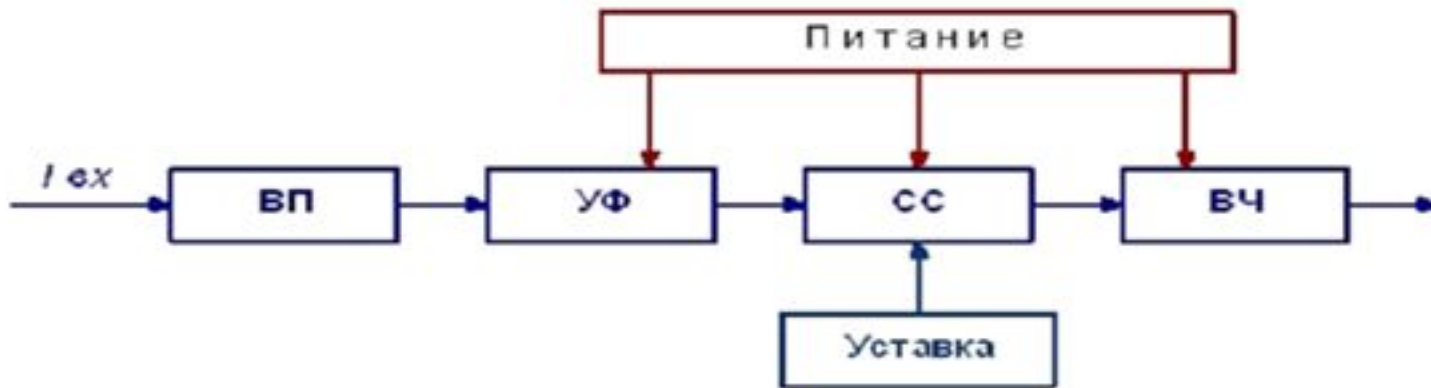
Op amp used to amplify output from strain gauge



Using KCL at the inverting and non-inverting terminals of the op amp we find that  $\square$

$$\varepsilon \sim V_o = 2\Delta R(R_f/R^2)$$

# Полупроводниковые реле тока серии рст-11 рст-14



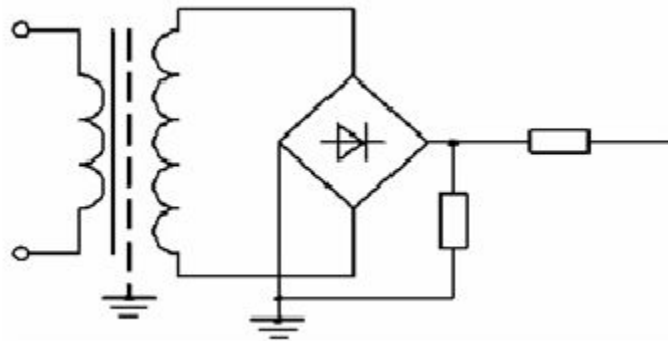
Структурная схема статического реле

защиты

Реле состоит из следующих основных блоков:

1. ВП Входной преобразователь
2. УФ Узел формирования
3. СС схема сравнения
4. ВЧ Выходная часть

# 1. ВП Входной преобразователь



Пример простейшего преобразователя тока с выпрямителем

- содержит измерительный преобразователь, на вход которого подается сигнал от трансформаторов тока защищаемого объекта
- защиты реле от высокочастотных наводок

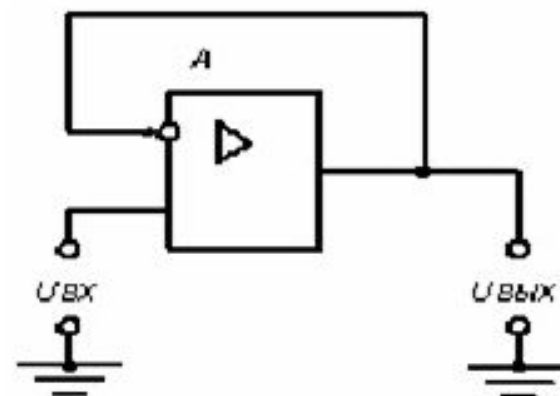
## 2. УФ Узел формирования

- Типовые звенья УФ и их характеристики:

### а) Повторитель напряжения

Коэффициент усиления  
повторителя напряжения

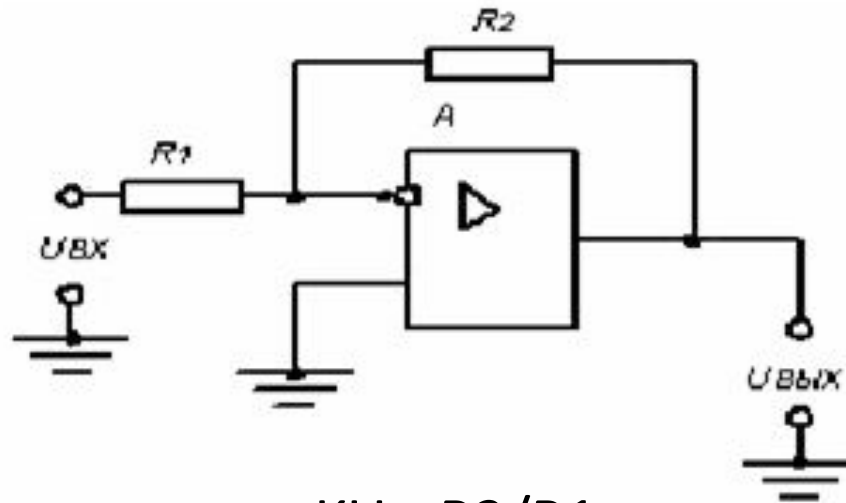
$$KU = U_{\text{вых}}/U_{\text{вх}} = 1$$



- Для схемы характерно высокое входное сопротивление и малое выходное.
- Повторитель напряжения обычно включают между источником сигнала и нагрузкой с целью исключить влияние нагрузки на выходное напряжение источника.



## б) Инвертирующий усилитель



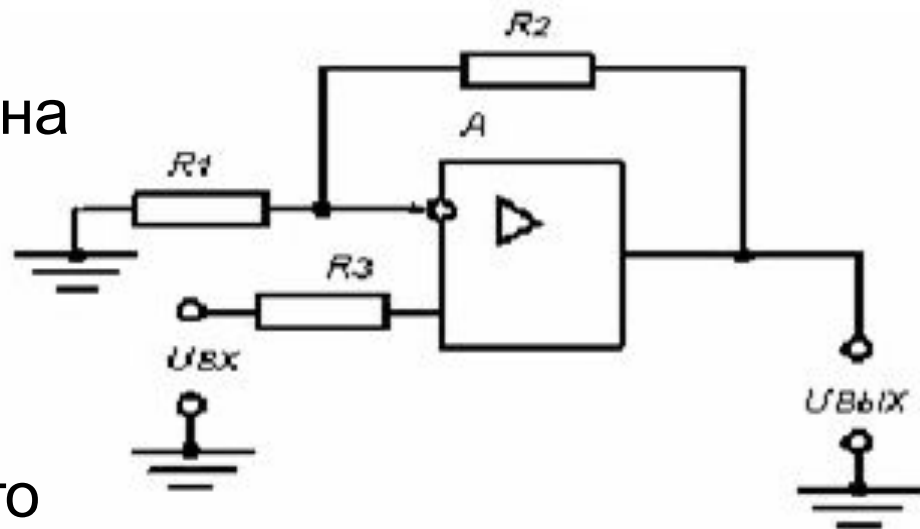
$$K_U = -R_2/R_1$$

- Инвертирующий усилитель применяется в основном в тех случаях, когда нужен усилитель, к которому не предъявляются требования высокого входного сопротивления, и когда нужно проинвертировать или просуммировать несколько входных сигналов.

## в) Неинвертирующий усилитель

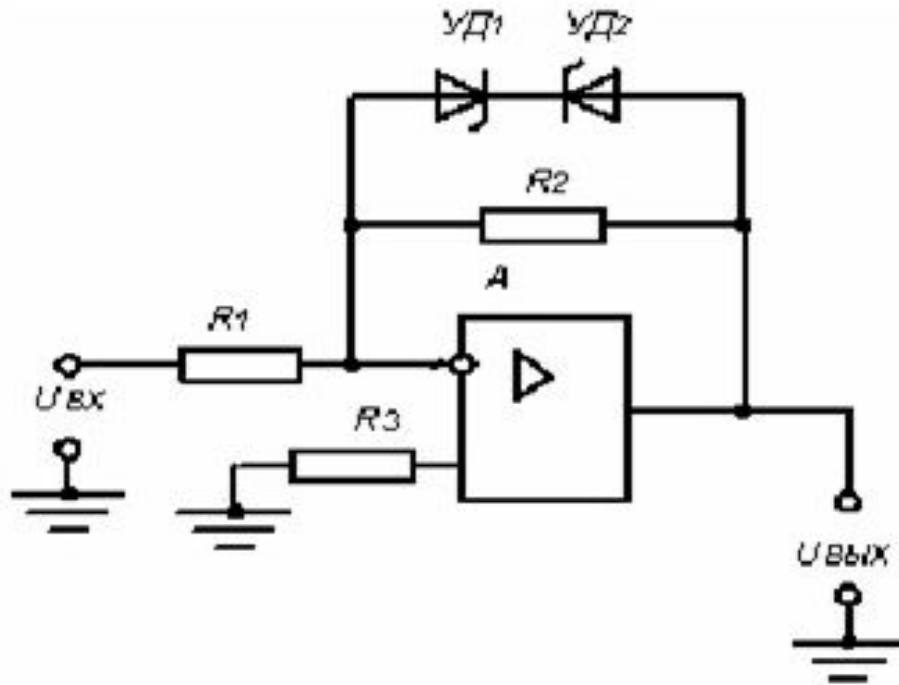
Входной сигнал подается на неинвертирующий вход операционного усилителя

На инвертирующий вход подается часть выходного напряжения с помощью отрицательной обратной связи и резистивного делителя



$$K_U = 1 + R_2 / R_1$$

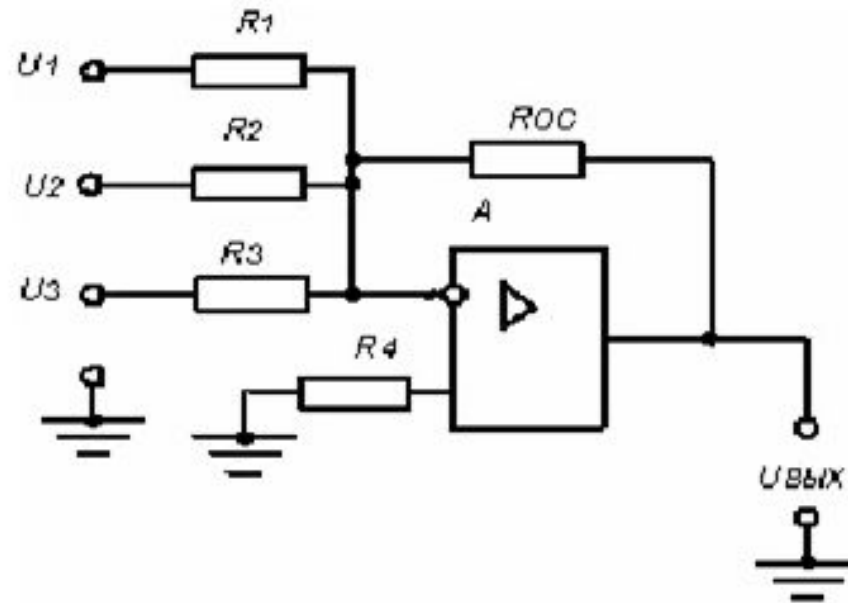
## г) Усилитель-ограничитель



два встречно  
включенных  
стабилитроно  
в

При подъеме выходного напряжения более  $U_{СТ} + 0,7 \text{ В}$  сопротивление обратной связи шунтируется и рост выходного напряжения прекращается.

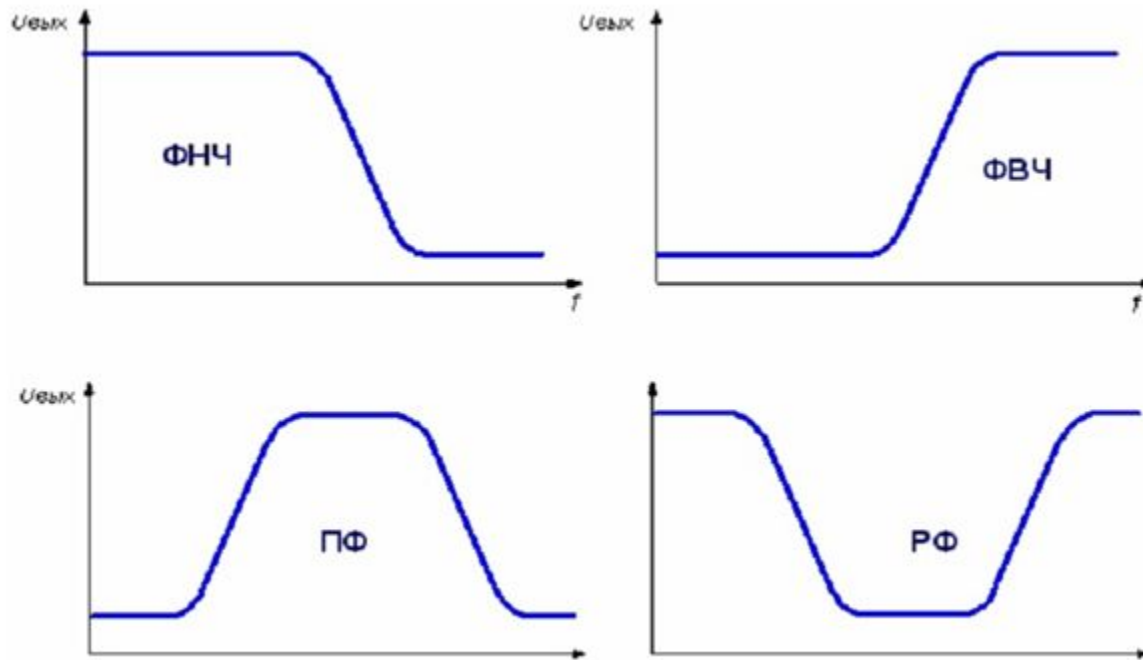
## д) Схемы сумматоров



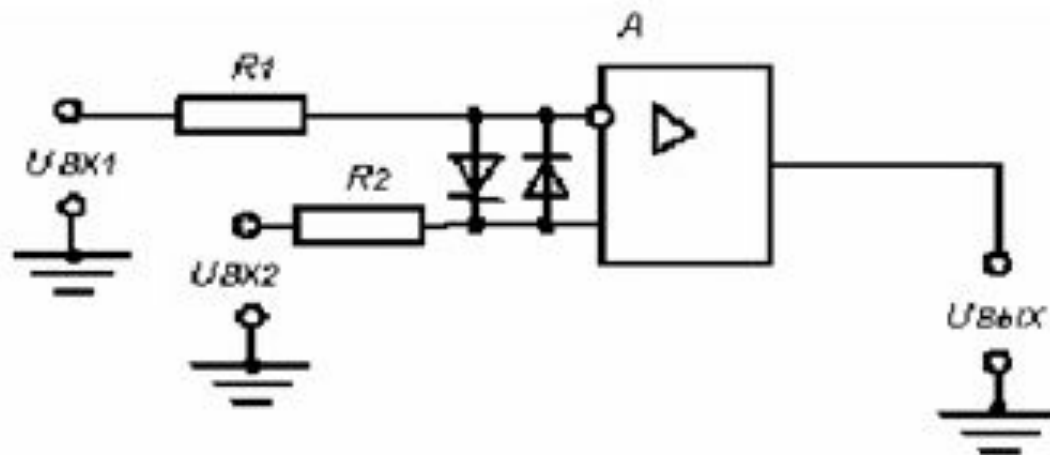
- Выходное напряжение для этой схемы

$$U_{\text{ВЫХ}} = -(U_1/R_1 + U_2/R_2 + U_3/R_3)R_{\text{OC}}$$

# Амплитудно-частотные характеристики активных фильтров



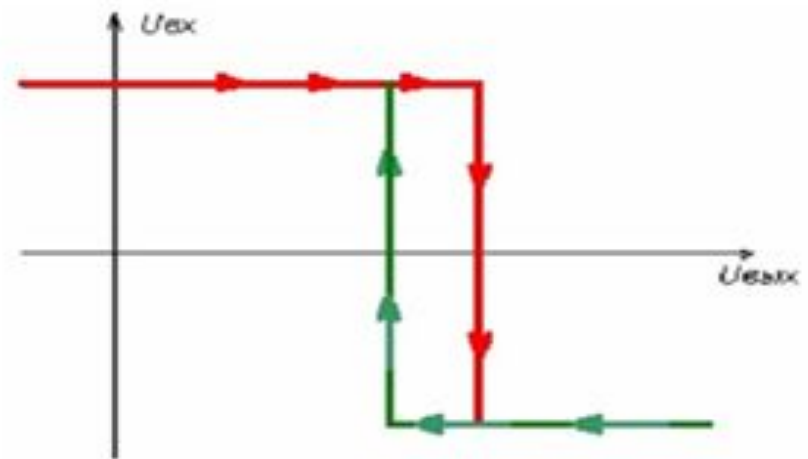
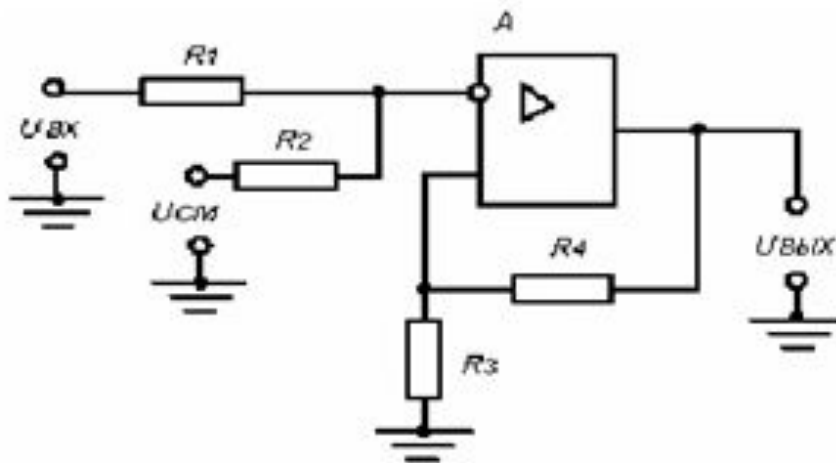
### 3. Пример выполнения компаратора однополярных сигналов



- На первый вход подается измеряемый сигнал, на второй - опорный. Если измеряемое напряжение меньше опорного, то на выходе схемы держится максимальное выходное напряжение, совпадающее по знаку с опорным. Как только измеряемое напряжение превысит опорное полярность выходного сигнала меняется на противоположную. Диоды защищают входы операционного усилителя от повышенных значений разности сравниваемых напряжений.

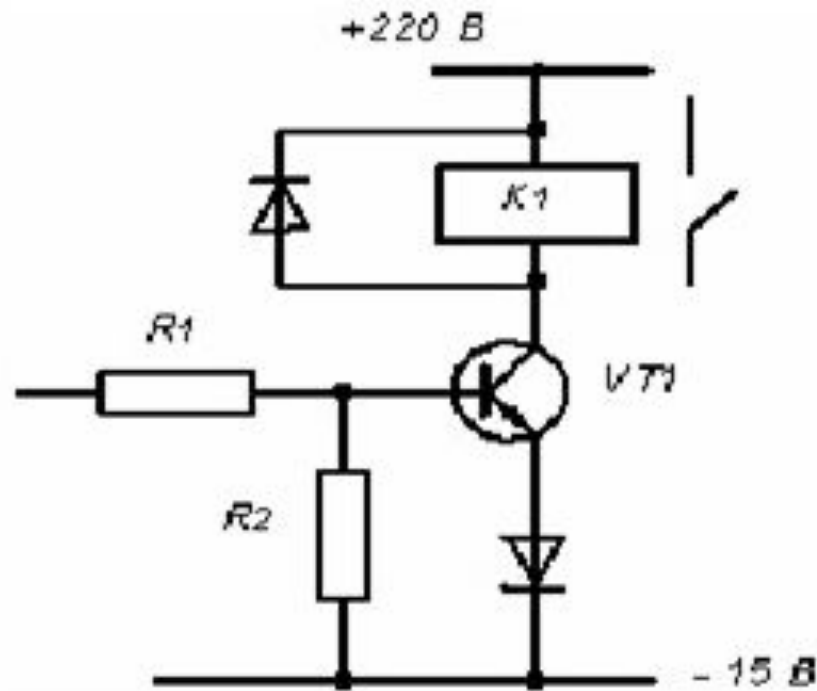
# Триггер Шмита и его передаточная характеристика

- Триггер Шмитта представляет собой компаратор с одним заземленным входом, заданным опорным напряжением и положительной обратной связью



## 4. Схема выходной части статического реле

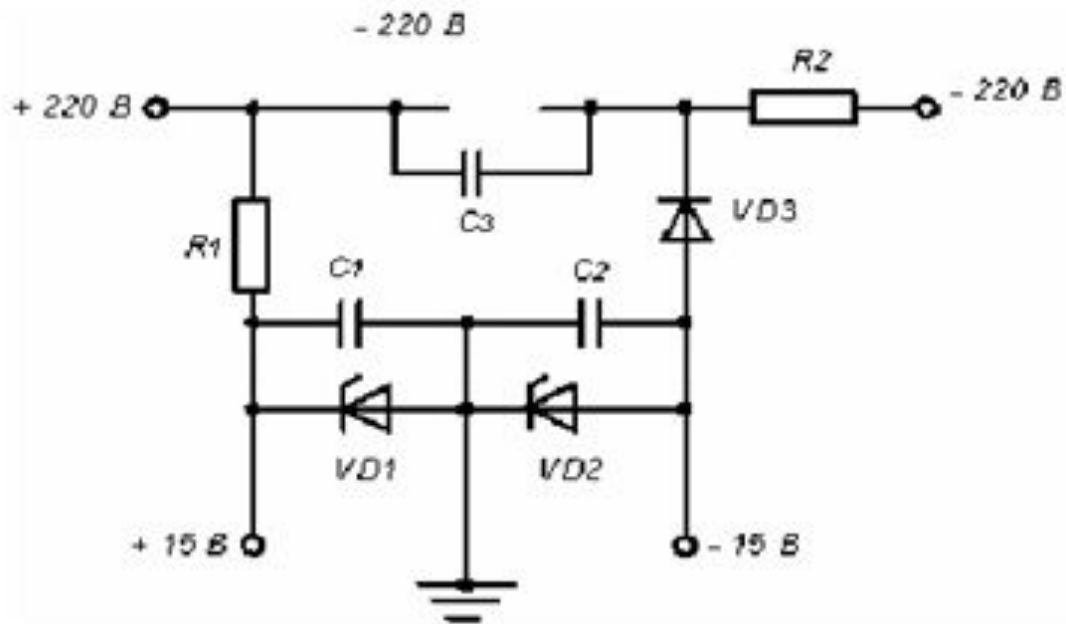
- На один из концов обмотки реле  $K1$  подается "плюс" оперативного тока 220 В, а другой подключается к коллектору транзистора  $VT1$ . Транзистор управляется сигналом от схемы сравнения





## 5. Схема питания реле от сети постоянного оперативного тока 220В

- Для питания полупроводниковых элементов на схему реле должно быть подано напряжение  $\pm 15\text{В}$ .



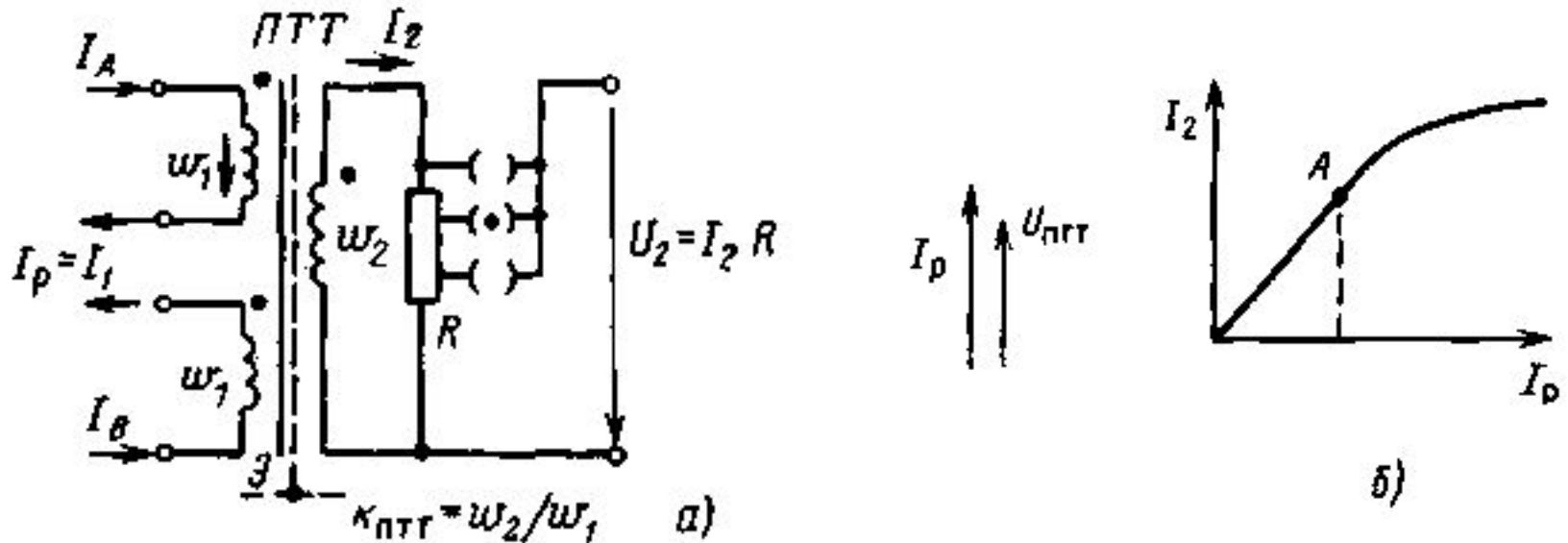
# Промежуточный трансформатор тока

- Трансформатор тока, предназначенный для включения во вторичную цепь основного трансформатора тока для получения требуемого коэффициента трансформации или разделения электрических цепей
- **Функциональные элементы воспринимающей части ИО.**

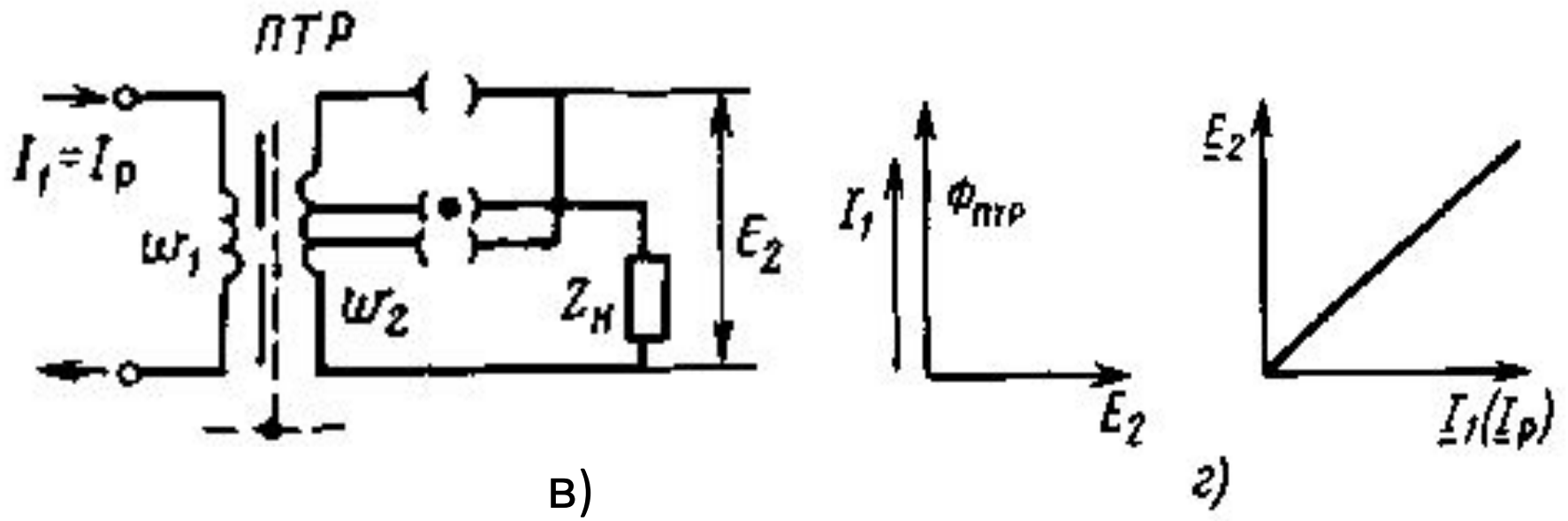
В качестве функциональных элементов этой части используются преобразователи тока, напряжения и выпрямители.

# преобразователи тока, напряжения и выпрямители.

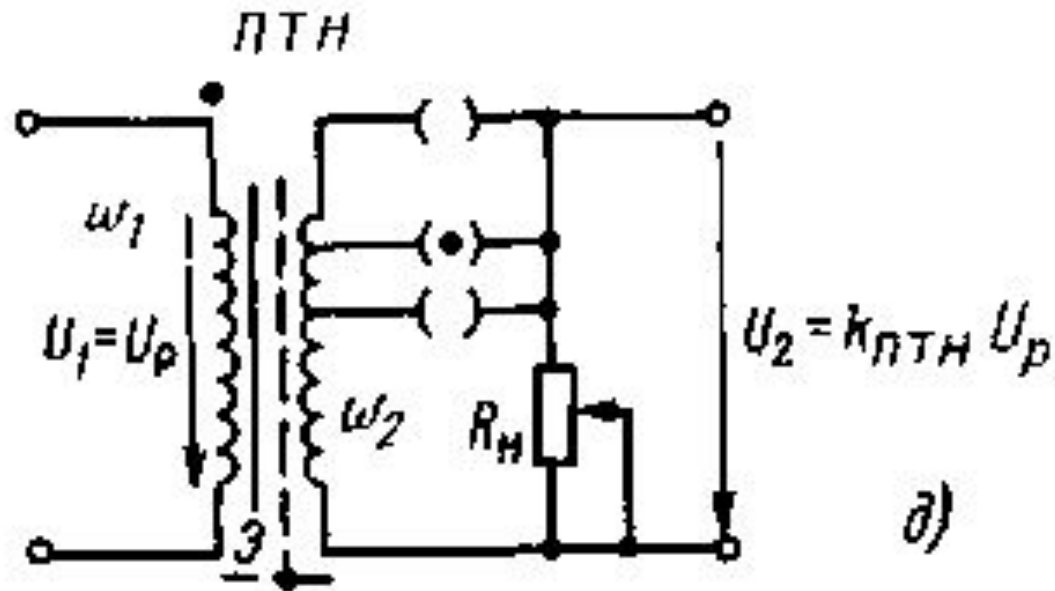
- Промежуточные трансформаторы тока применяются: а) для создания вторичных токов, пропорциональных первичным токам, или б) для создания вторичных напряжений, пропорциональных первичным токам.



- Промежуточные трансформаторы тока. Характеристики а



- Промежуточный трансреактор (ПТР)
- представляет собой трансформатор с воздушным зазором в магнитопроводе.



в)

- Промежуточный трансформатор напряжения ПТН – обычно понижающий входное напряжение

# Согласующий трансформатор

- — трансформатор, применяемый для согласования сопротивления различных частей (каскадов) электронных схем.
- Эквивалентное сопротивление трансформатора с подключенной нагрузкой (по переменному току) можно выразить формулой:

$$R_e = K^2 \times R_L$$

- $K$  — коэффициент трансформации
- $R_L$  — Сопротивление нагрузки

# *Трансреактор*

- – это **трансформатор** с зазором, сопротивление ветви намагничивания которого на порядок меньше **сопротивления** нагрузки. Поэтому напряжение на **вторичной** обмотке трансреактора близко к производной тока в первичной обмотке.  
Трансреактор ослабляет апериодическую составляющую, но увеличивает содержание высших гармоник тока.