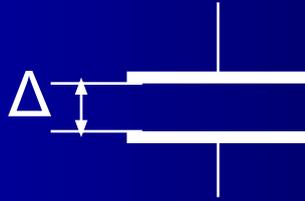


## 2. Датчики САР

3. Емкостные датчики.

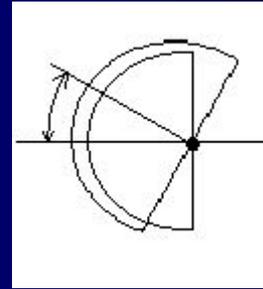
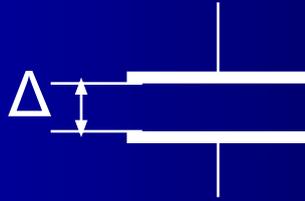
## 2. Датчики САР

3. Емкостные датчики.



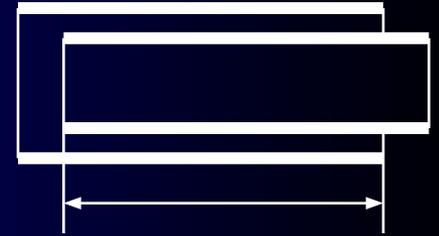
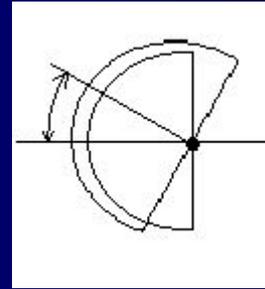
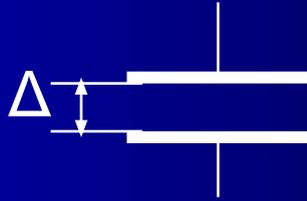
## 2. Датчики САР

### 3. Емкостные датчики.



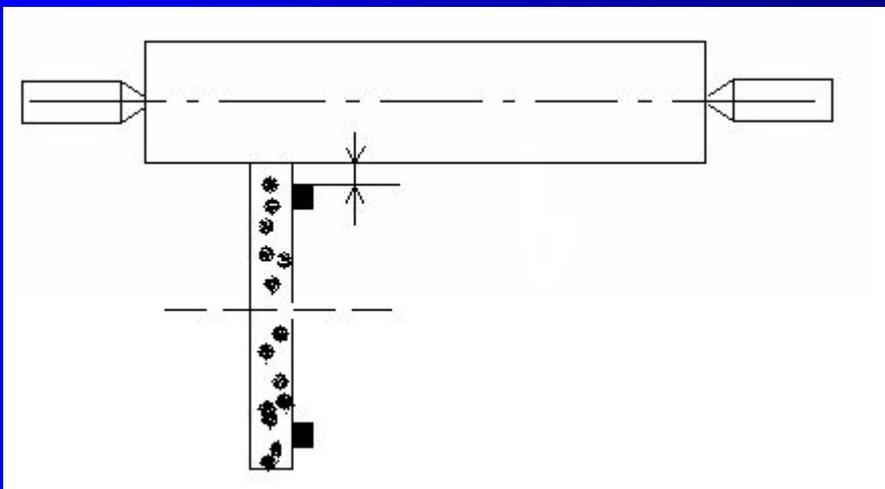
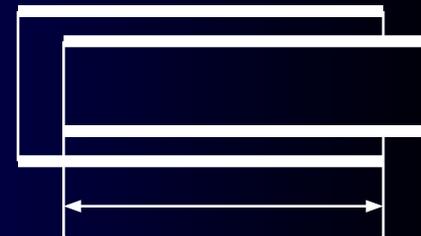
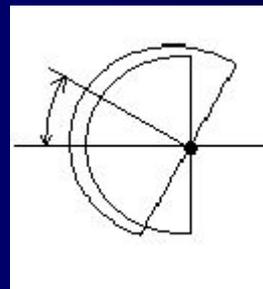
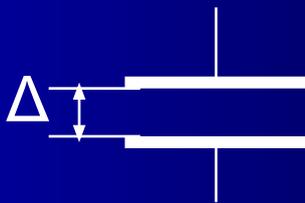
## 2. Датчики САР

### 3. Емкостные датчики.



## 2. Датчики САР

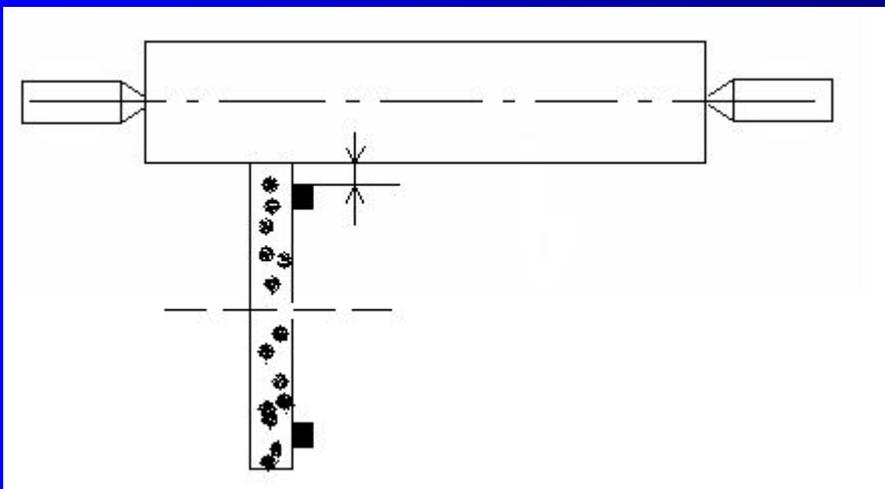
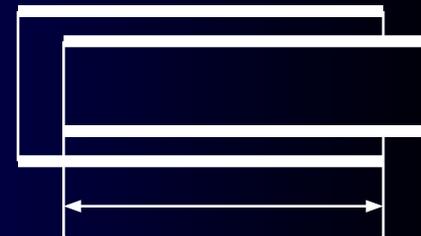
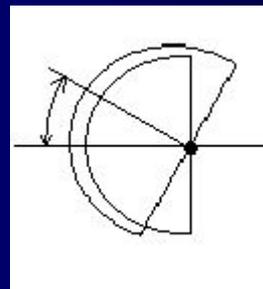
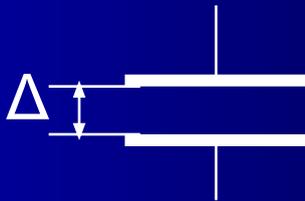
### 3. Емкостные датчики.



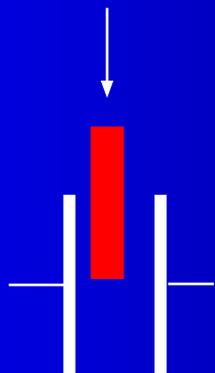
Измерение износа шлифовального круга и относительных колебаний

## 2. Датчики САР

### 3. Емкостные датчики.



Измерение износа шлифовального круга и относительных колебаний



- Замена контактного датчика емкостным
- Измерение перемещений

## 2. Датчики САР

### 4. Датчики напряжения:

## 2. Датчики САР

### 4. Датчики напряжения:

- тахогенератор



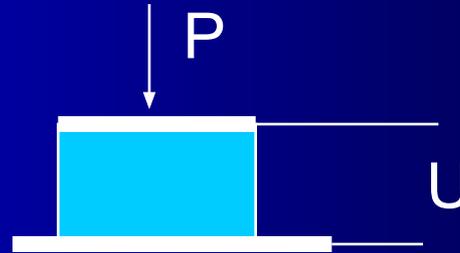
## 2. Датчики САР

### 4. Датчики напряжения:

- тахогенератор



- пьезоэлемент



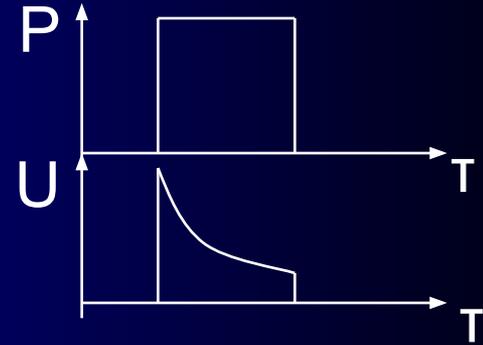
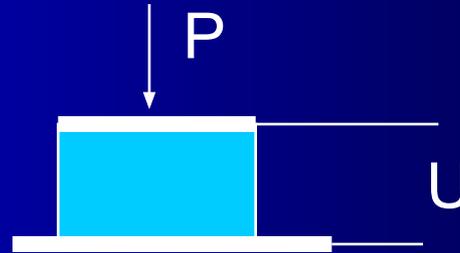
## 2. Датчики САР

### 4. Датчики напряжения:

- тахогенератор



- пьезоэлемент



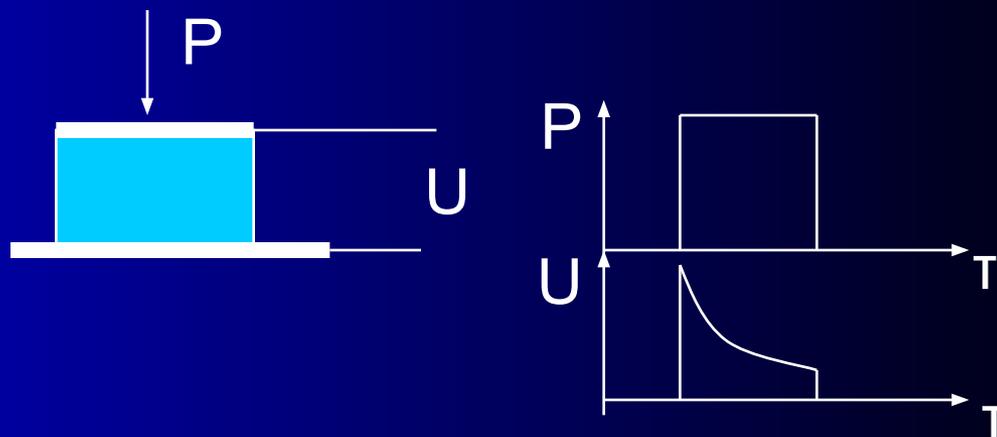
## 2. Датчики САР

### 4. Датчики напряжения:

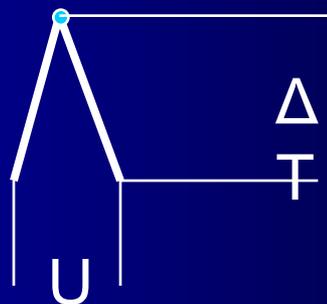
- тахогенератор



- пьезоэлемент



- термопара (до  $1500\text{ }^{\circ}\text{C}$ )  
(хромель-капель,  
железо-константан  
и др.)



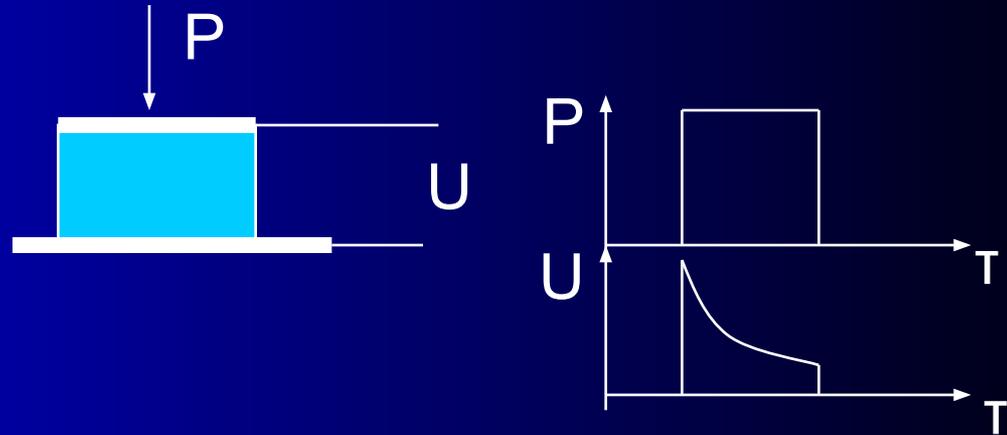
## 2. Датчики САР

### 4. Датчики напряжения:

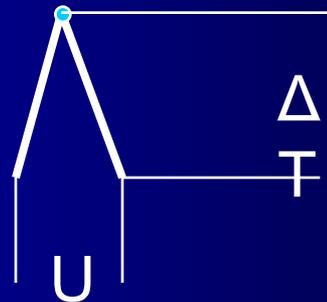
- тахогенератор



- пьезоэлемент



- термопара (до  $1500\text{ }^{\circ}\text{C}$ )  
(хромель-капель,  
железо-константан  
и др.)



- фотодатчики (фотодиоды, фототранзисторы и др.) -  
более высокая чувствительность и меньшая

инерционность (можно измерять вибрации)

## 2. Датчики САР

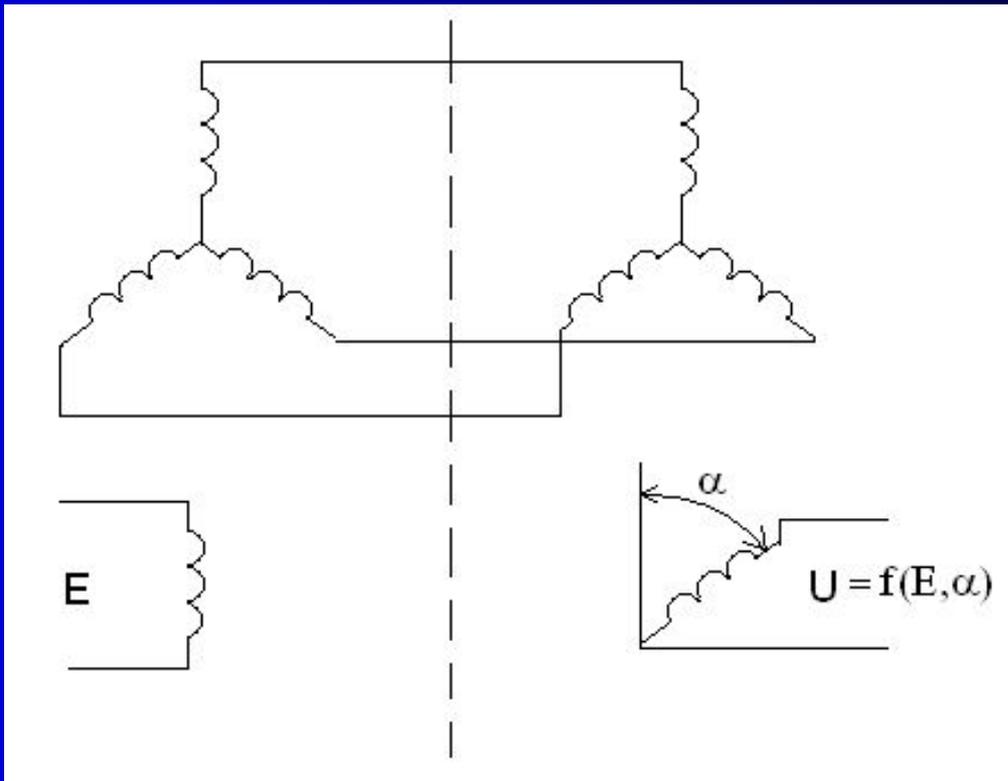
### 4. Датчики напряжения:

- сельсины (измерение углов поворота)

## 2. Датчики САР

### 4. Датчики напряжения:

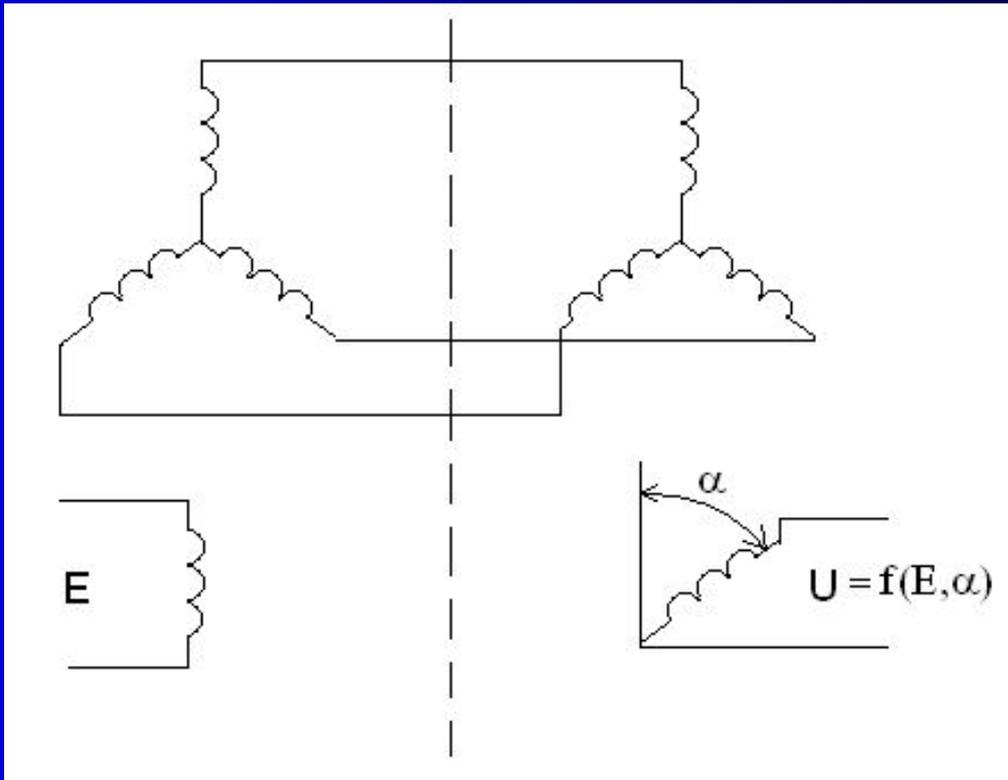
- сельсины (измерение углов поворота)



## 2. Датчики САР

### 4. Датчики напряжения:

- сельсины (измерение углов поворота)



- Силовая схема – для передачи крутящего момента
- Трансформаторная схема – для измерения углов поворота

## 2. Датчики САР

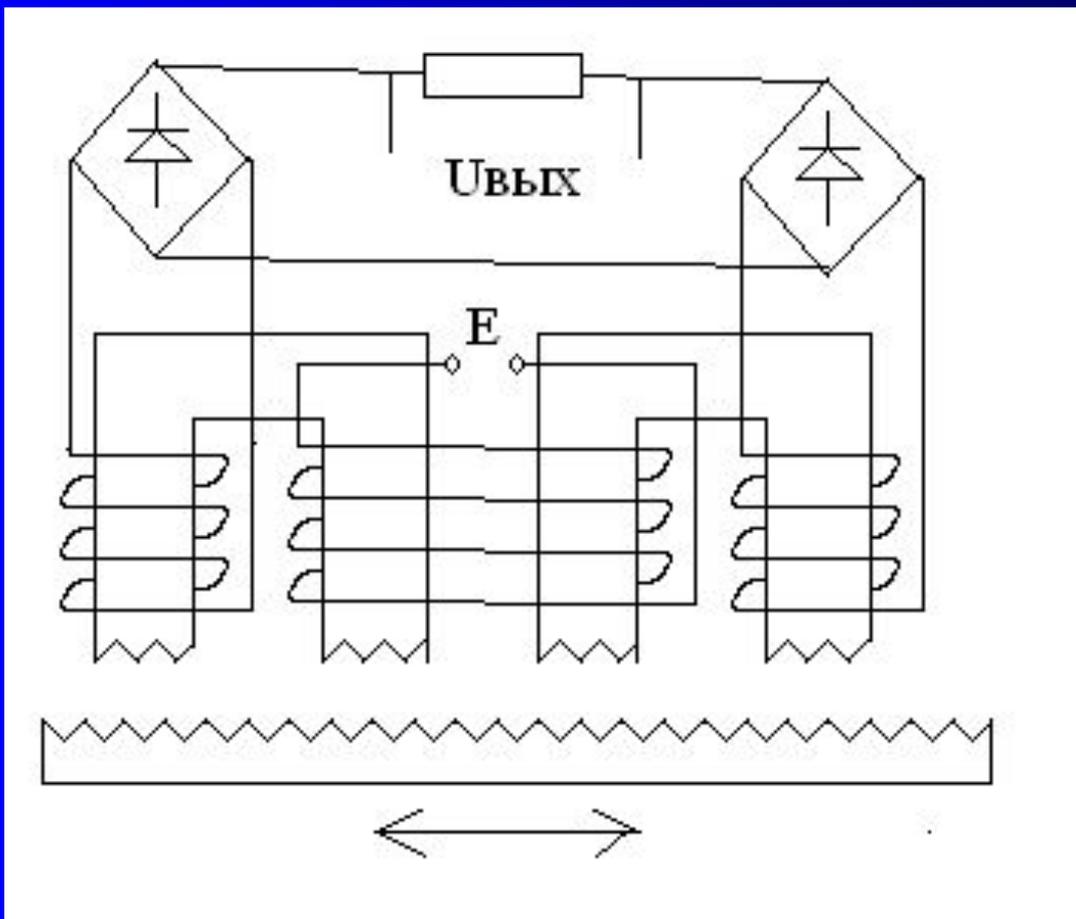
### 5. Датчики оборудования с ЧПУ:

- линейный магнитный зубчатый датчик

## 2. Датчики САР

### 5. Датчики оборудования с ЧПУ:

- линейный магнитный зубчатый датчик

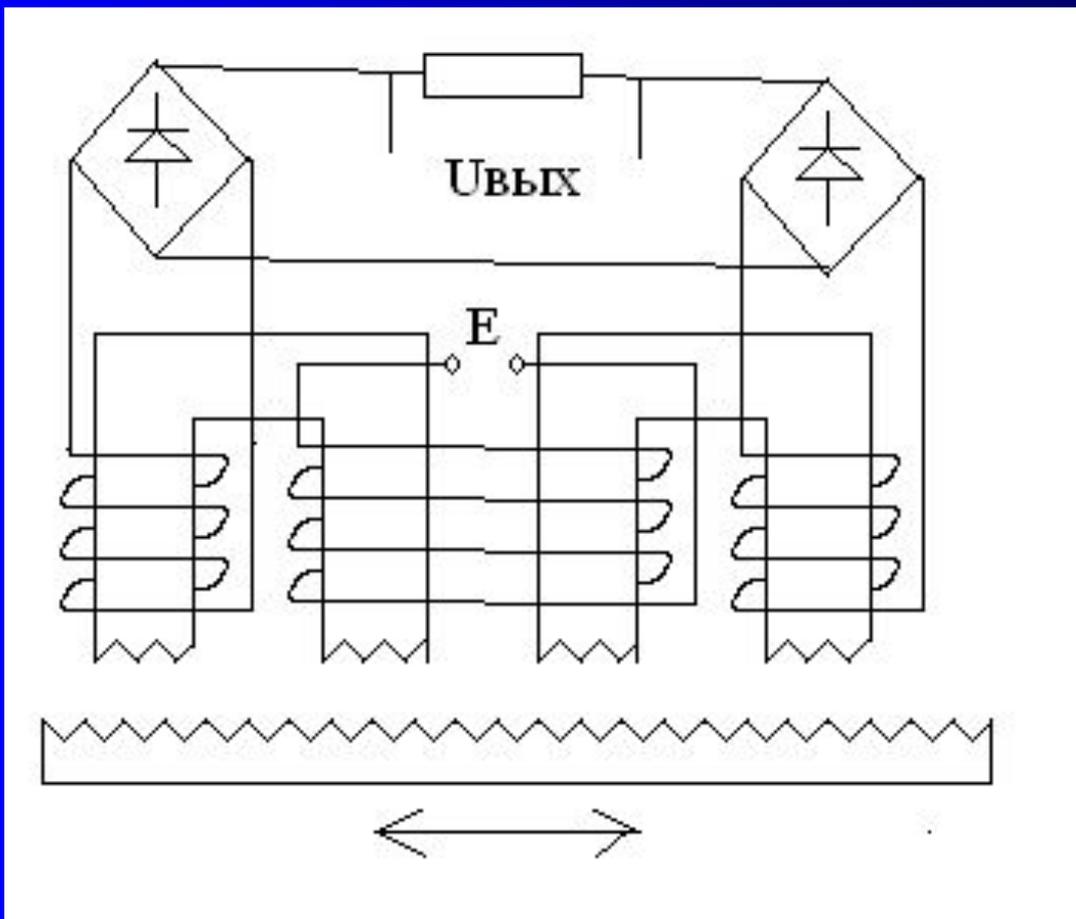


Зубья одного сердечника смещены относительно другого на 0,5 шага

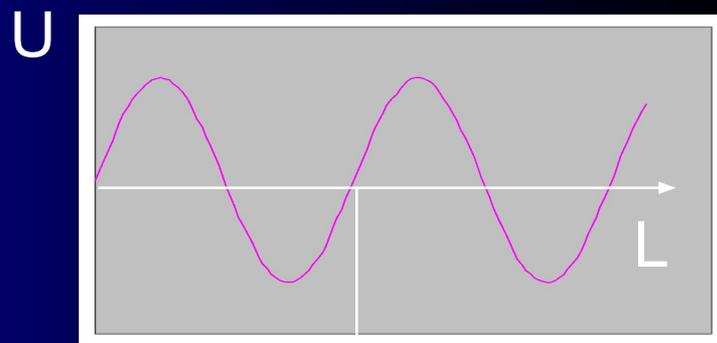
## 2. Датчики САР

### 5. Датчики оборудования с ЧПУ:

- линейный магнитный зубчатый датчик



Зубья одного сердечника смещены относительно другого на 0,5 шага



шаг

Точность — до 10 мкм

18  
09/02/2023

## 2. Датчики САР

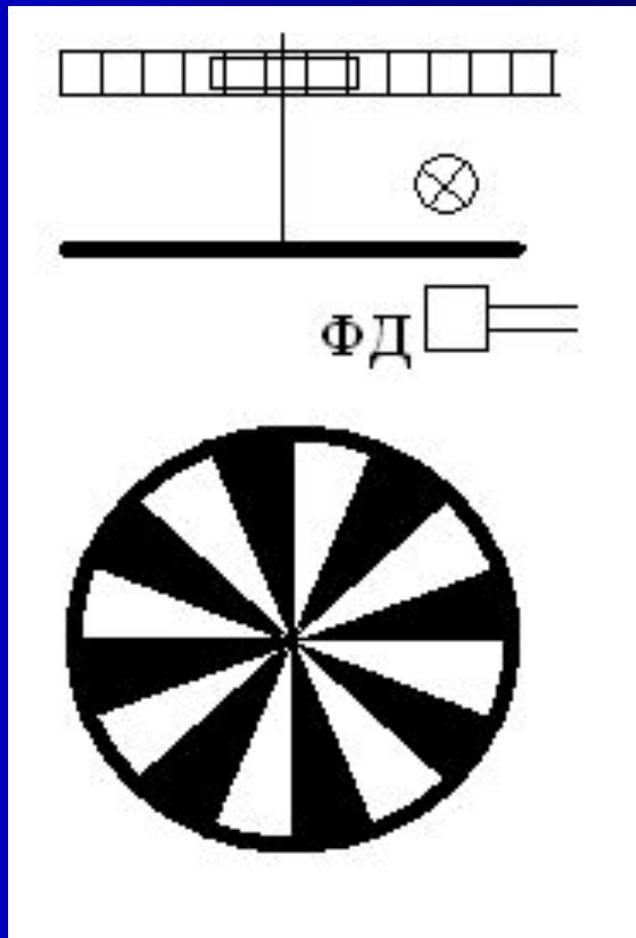
### 5. Датчики оборудования с ЧПУ:

- фотоэлектрический импульсный датчик

## 2. Датчики САР

### 5. Датчики оборудования с ЧПУ:

- фотоэлектрический импульсный датчик



Диск

Зубчатая передача

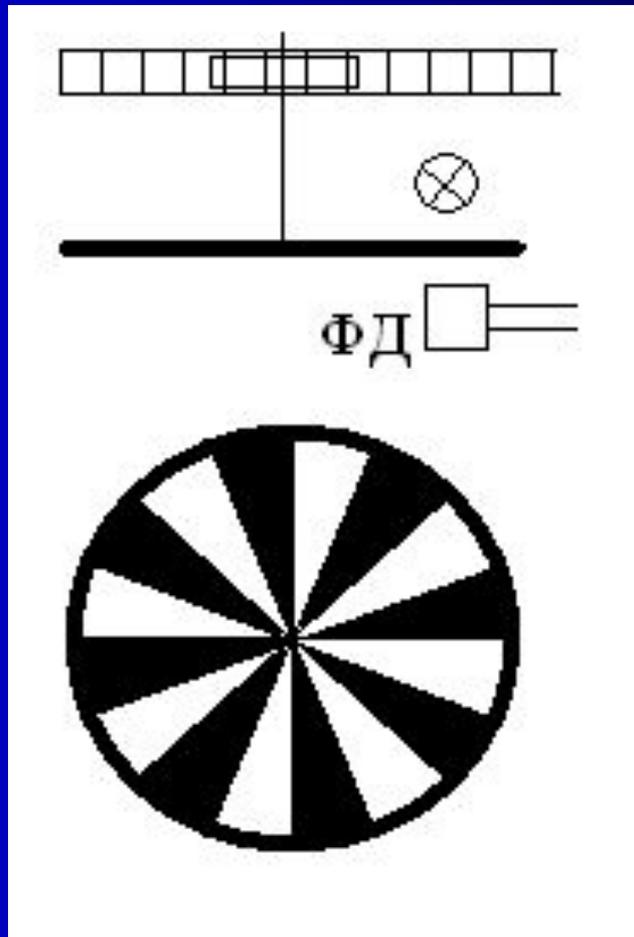
Осветитель

Фотоприемник

## 2. Датчики САР

### 5. Датчики оборудования с ЧПУ:

- фотоэлектрический импульсный датчик

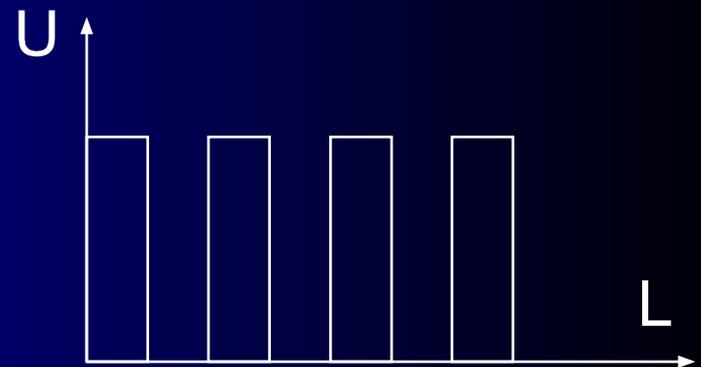


Диск

Зубчатая передача

Осветитель

Фотоприемник



Точность — до 5 мкм

21  
09/02/2023

## 2. Датчики САР

### 5. Датчики оборудования с ЧПУ:

- фотоэлектрический датчик с дифракционными решетками

## 2. Датчики САР

### 5. Датчики оборудования с ЧПУ:

- фотоэлектрический датчик с дифракционными решетками



## 2. Датчики САР

### 5. Датчики оборудования с ЧПУ:

- фотоэлектрический датчик с дифракционными решетками



Точность – до 0,5 мкм  
24  
09/02/2023

## 2. Датчики САР

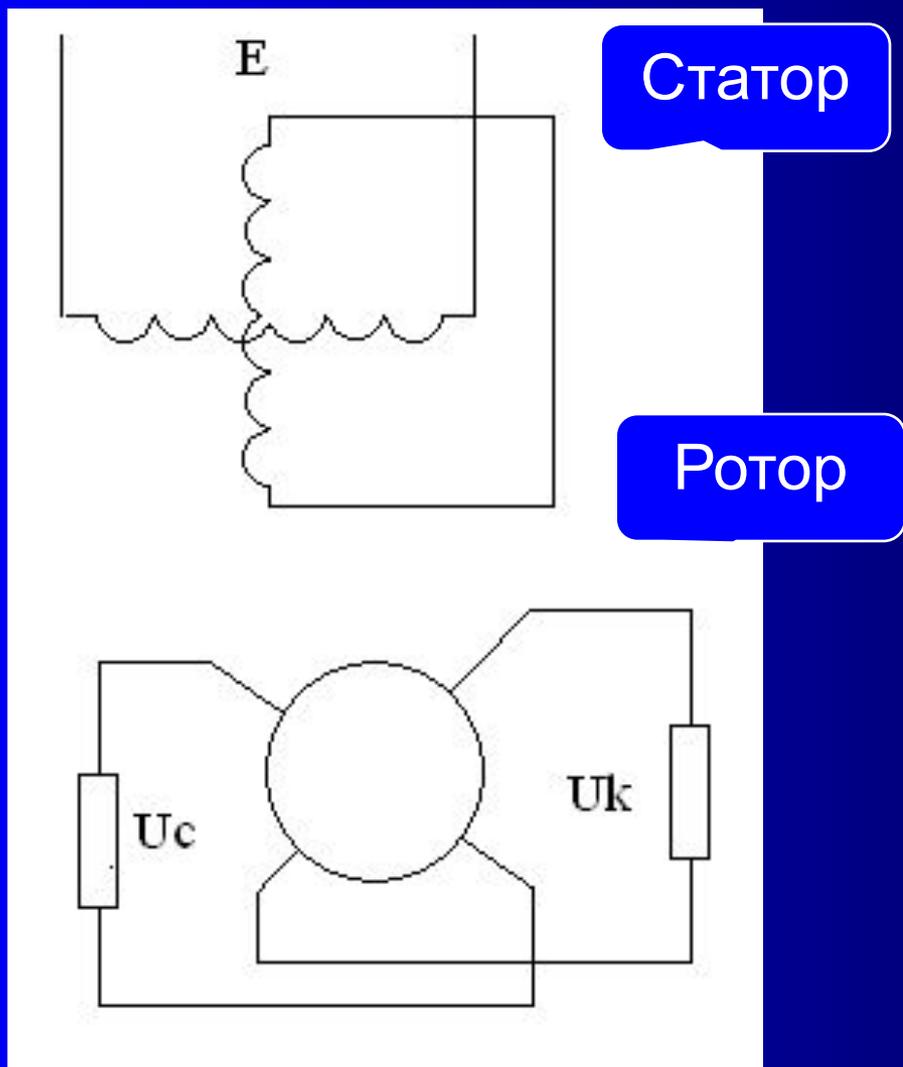
### 5. Датчики оборудования с ЧПУ:

- вращающиеся трансформаторы

## 2. Датчики САР

### 5. Датчики оборудования с ЧПУ:

- вращающиеся трансформаторы



$$U_c = K \cdot E \sin \varphi$$

$$U_k = K \cdot E \cos \varphi$$

## 2. Датчики САР

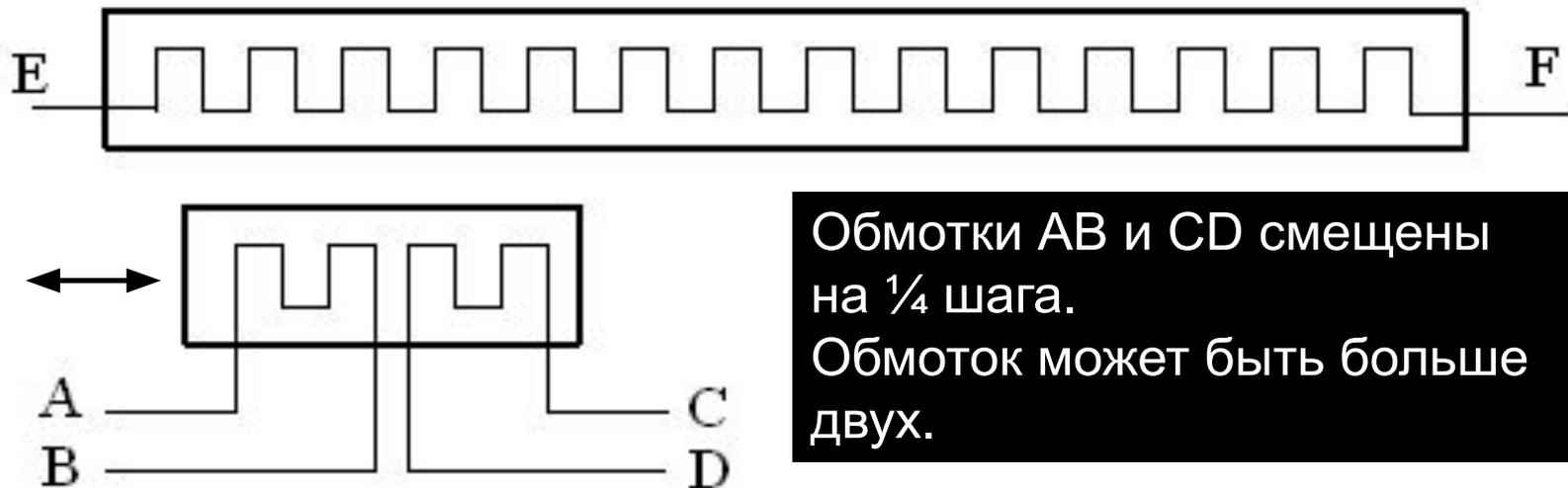
### 5. Датчики оборудования с ЧПУ:

- индуктосины

## 2. Датчики САР

### 5. Датчики оборудования с ЧПУ:

- индуктосины

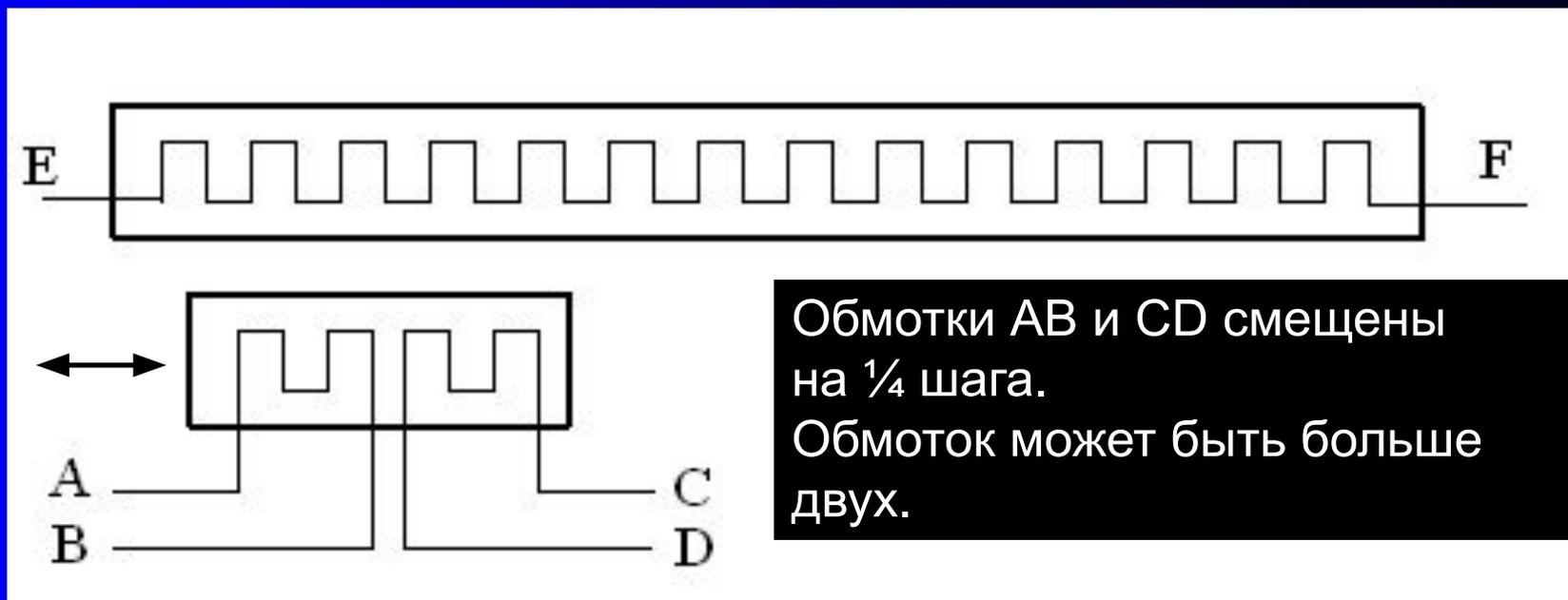


Обмотки АВ и СD смещены на  $\frac{1}{4}$  шага.  
Обмоток может быть больше двух.

## 2. Датчики САР

### 5. Датчики оборудования с ЧПУ:

- индуктосины

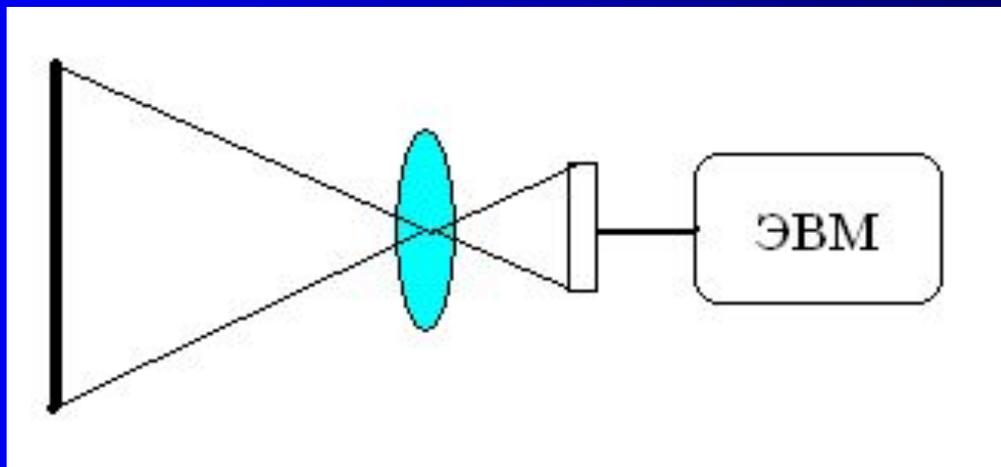


При подаче на обмотки АВ и ВС напряжений, смещенных по фазе на  $90^\circ$ , на обмотке EF индуцируется напряжение, фаза которого зависит от положения, а амплитуда постоянна. Точность – до 1 мкм.

## 2. Датчики САР

### 5. Датчики оборудования с ЧПУ:

- фотодатчики: фотодиодные и ПЗС линейки и матрицы.



Линейки позволяют производить измерение размеров с точностью до 1 мкм, осуществлять измерение состояния поверхности, профилограммы и т.д.

Объект  
измерения

Оптическая  
система

Датчик

Фотодиодные и ПЗС-матрицы являются основой для создания систем технического зрения.

# Усилительные элементы

| № | Усилитель            | Чувствительность | Мощность | Быстродействие |
|---|----------------------|------------------|----------|----------------|
| 1 | Реле                 | средняя          | средняя  | низкое         |
| 2 | Электронный          | высокая          | низкая   | высокое        |
| 3 | Магнитный            | средняя          | средняя  | среднее        |
| 4 | Электрома-<br>шинный | низкая           | высокая  | низкое         |

# Моделирование САР

1. ЭЦВМ – для моделирования используются численные методы решения дифференциальных уравнений (метод Эйлера, Рунге-Кутта и др.)

# Моделирование САР

1. ЭЦВМ – для моделирования используются численные методы решения дифференциальных уравнений (метод Эйлера, Рунге-Кутта и др.)

*Преимущества:*

- Универсальность
- Удобное оформление результатов (красивость)

# Моделирование САР

1. ЭЦВМ – для моделирования используются численные методы решения дифференциальных уравнений (метод Эйлера, Рунге-Кутта и др.)

## *Преимущества:*

- Универсальность
- Удобное оформление результатов (красивость)

## *Проблемы:*

- Точность и время решения зависят от шага интегрирования
- Сложности представления решения в графическом виде
- Высокая цена

# Моделирование САР

1. ЭЦВМ – для моделирования используются численные методы решения дифференциальных уравнений (метод Эйлера, Рунге-Кутта и др.)

*Преимущества:*

- Универсальность
- Удобное оформление результатов (красивость)

*Проблемы:*

- Точность и время решения зависят от шага интегрирования
- Сложности представления решения в графическом виде
- Высокая цена

2. АВМ – моделирование на основе использования электронной схемы.

# Моделирование САР

1. ЭЦВМ – для моделирования используются численные методы решения дифференциальных уравнений (метод Эйлера, Рунге-Кутта и др.)

## *Преимущества:*

- Универсальность
- Удобное оформление результатов (красивость)

## *Проблемы:*

- Точность и время решения зависят от шага интегрирования
- Сложности представления решения в графическом виде
- Высокая цена

2. АВМ – моделирование на основе использования электронной схемы.

## *Преимущества:*

- Высокое быстродействие (теоретически  $\infty$ )
- Низкая цена
- Простота изучения и программирования
- Удобство сопряжения с графическими устройствами

# Моделирование САР

1. ЭЦВМ – для моделирования используются численные методы решения дифференциальных уравнений (метод Эйлера, Рунге-Кутта и др.)

## *Преимущества:*

- Универсальность
- Удобное оформление результатов (красивость)

## *Проблемы:*

- Точность и время решения зависят от шага интегрирования
- Сложности представления решения в графическом виде
- Высокая цена

2. АВМ – моделирование на основе использования электронной схемы.

## *Преимущества:*

- Высокое быстродействие (теоретически  $\infty$ )
- Низкая цена
- Простота изучения и программирования
- Удобство сопряжения с графическими устройствами

## *Недостатки*

- Специализированность
- Более низкая точность

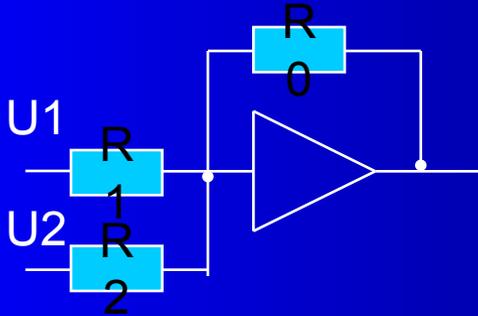
# Моделирование САР

Блоки АВМ:

# Моделирование САР

Блоки АВМ:

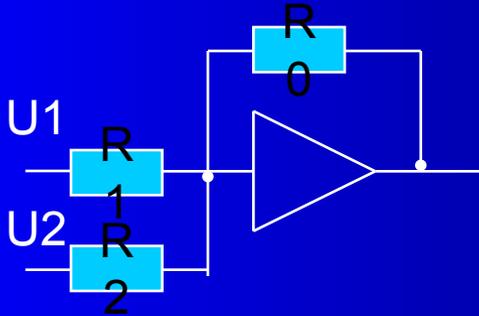
## 1. Сумматор



# Моделирование САР

Блоки АВМ:

## 1. Сумматор

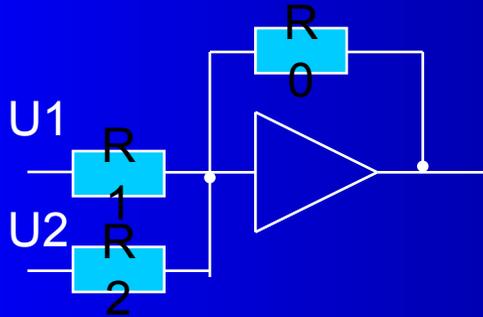


$$U = -\left(\frac{R1}{R0}U1 + \frac{R2}{R0}U2\right) = -(\alpha_1U1 + \alpha_2U2)$$

# Моделирование САР

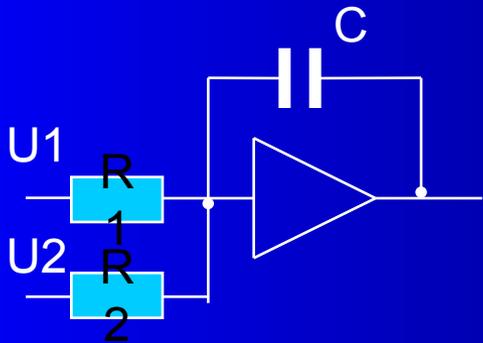
Блоки АВМ:

## 1. Сумматор



$$U = -\left(\frac{R1}{R0}U1 + \frac{R2}{R0}U2\right) = -(\alpha_1U1 + \alpha_2U2)$$

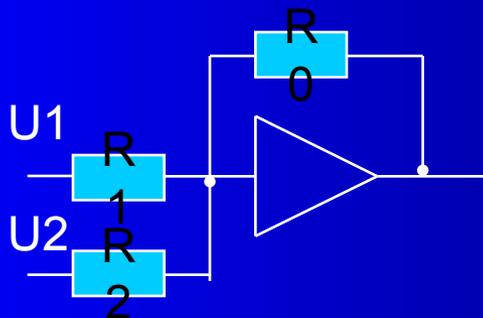
## 2. Интегросумматор



# Моделирование САР

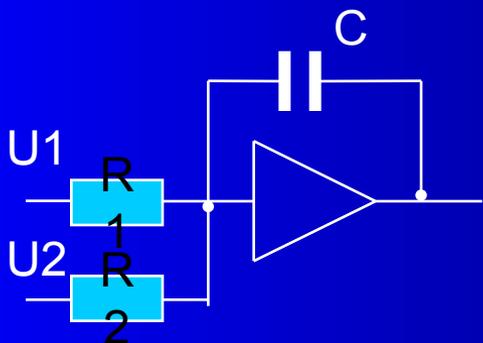
Блоки АВМ:

## 1. Сумматор



$$U = -\left(\frac{R1}{R0}U1 + \frac{R2}{R0}U2\right) = -(\alpha_1U1 + \alpha_2U2)$$

## 2. Интегросумматор

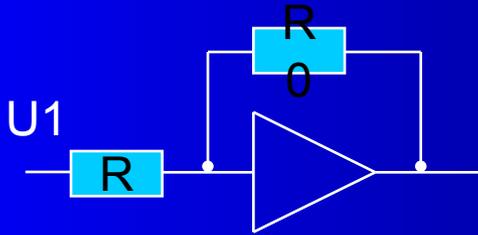


$$U = -\int_0^{\tau} \left(\frac{1}{R_1C}U1 + \frac{1}{R_2C}U2\right) d\tau = -\int_0^{\tau} (\alpha_1U1 + \alpha_2U2) d\tau$$

# Моделирование САР

Блоки АВМ:

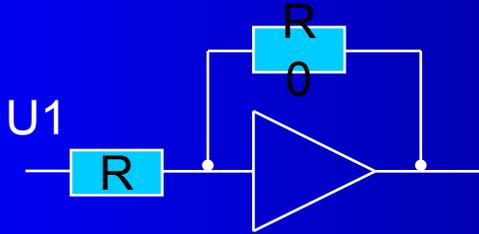
## 3. Масштабный блок



# Моделирование САР

Блоки АВМ:

## 3. Масштабный блок

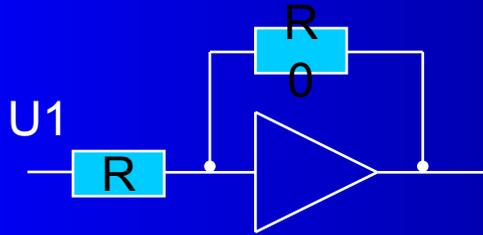


$$U = -\frac{R}{R_0}U_1 = -\alpha_1 U_1$$

# Моделирование САР

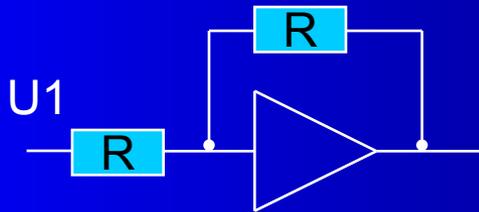
Блоки АВМ:

## 3. Масштабный блок



$$U = -\frac{R}{R_0}U_1 = -\alpha_1 U_1$$

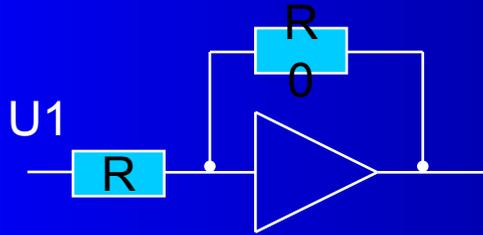
## 4. Инвертор



# Моделирование САР

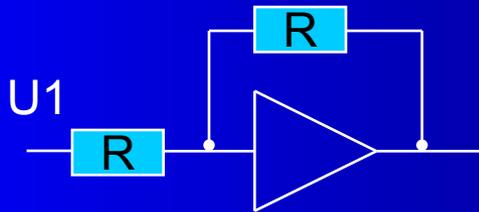
Блоки АВМ:

## 3. Масштабный блок



$$U = -\frac{R}{R_0}U_1 = -\alpha_1 U_1$$

## 4. Инвертор

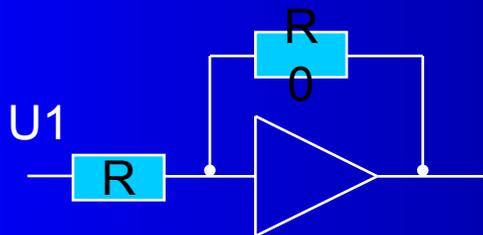


$$U = -U_1$$

# Моделирование САР

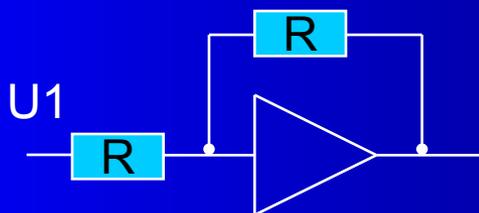
Блоки АВМ:

## 3. Масштабный блок



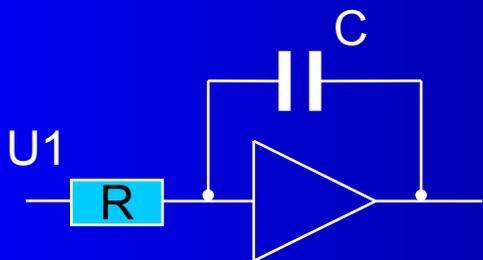
$$U = -\frac{R}{R_0}U_1 = -\alpha_1 U_1$$

## 4. Инвертор



$$U = -U_1$$

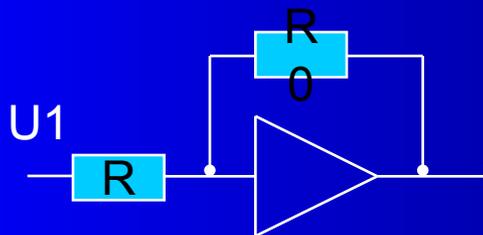
## 5. Интегратор



# Моделирование САР

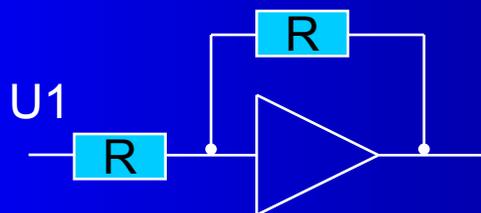
Блоки АВМ:

## 3. Масштабный блок



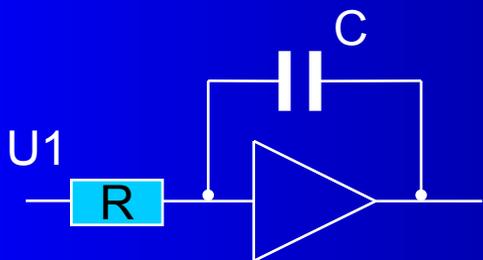
$$U = -\frac{R}{R_0}U_1 = -\alpha_1 U_1$$

## 4. Инвертор



$$U = -U_1$$

## 5. Интегратор



$$U = -\int_0^{\tau} \frac{1}{RC} U_1 d\tau = -\int_0^{\tau} \alpha U_1 d\tau$$

# Моделирование САР

Решение линейных дифференциальных уравнений:

$$ay'' + by' + cy = x(\tau); \quad y(0) = y_0; \quad y'(0) = y_1$$

# Моделирование САР

Решение линейных дифференциальных уравнений:

$$ay'' + by' + cy = x(\tau); \quad y(0) = y_0; \quad y'(0) = y_1$$

1. Выражаем старшую производную:

# Моделирование САР

Решение линейных дифференциальных уравнений:

$$a\ddot{y} + b\dot{y} + cy = x(\tau); \quad y(0) = y_0; \quad \dot{y}(0) = y_1$$

1. Выражаем старшую производную:

$$\ddot{y} = \frac{1}{a} x(\tau) - \frac{b}{a} \dot{y} - \frac{c}{a} y$$

# Моделирование САР

Решение линейных дифференциальных уравнений:

$$a\ddot{y} + b\dot{y} + cy = x(\tau); \quad y(0) = y_0; \quad \dot{y}(0) = y_1$$

1. Выражаем старшую производную:

$$\ddot{y} = \frac{1}{a} x(\tau) - \frac{b}{a} \dot{y} - \frac{c}{a} y$$

2. Составляем схему

# Моделирование САР

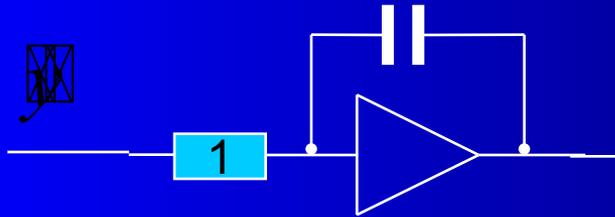
Решение линейных дифференциальных уравнений:

$$a\dot{y} + by + cy = x(\tau); \quad y(0) = y_0; \quad \dot{y}(0) = y_1$$

1. Выражаем старшую производную:

$$\dot{y} = \frac{1}{a} x(\tau) - \frac{b}{a} y - \frac{c}{a} y$$

2. Составляем схему



# Моделирование САР

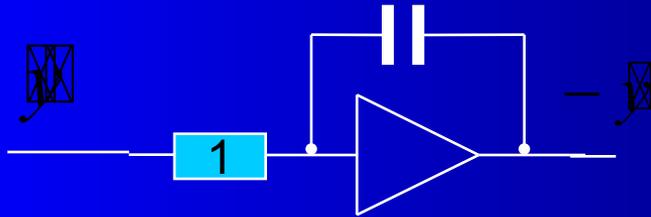
Решение линейных дифференциальных уравнений:

$$ay'' + by' + cy = x(\tau); \quad y(0) = y_0; \quad y'(0) = y_1$$

1. Выражаем старшую производную:

$$y'' = \frac{1}{a} x(\tau) - \frac{b}{a} y' - \frac{c}{a} y$$

2. Составляем схему



# Моделирование САР

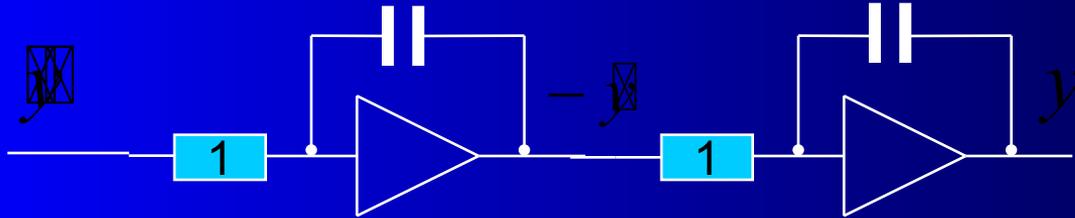
Решение линейных дифференциальных уравнений:

$$a\ddot{y} + b\dot{y} + cy = x(\tau); \quad y(0) = y_0; \quad \dot{y}(0) = y_1$$

1. Выражаем старшую производную:

$$\ddot{y} = \frac{1}{a}x(\tau) - \frac{b}{a}\dot{y} - \frac{c}{a}y$$

2. Составляем схему



# Моделирование САР

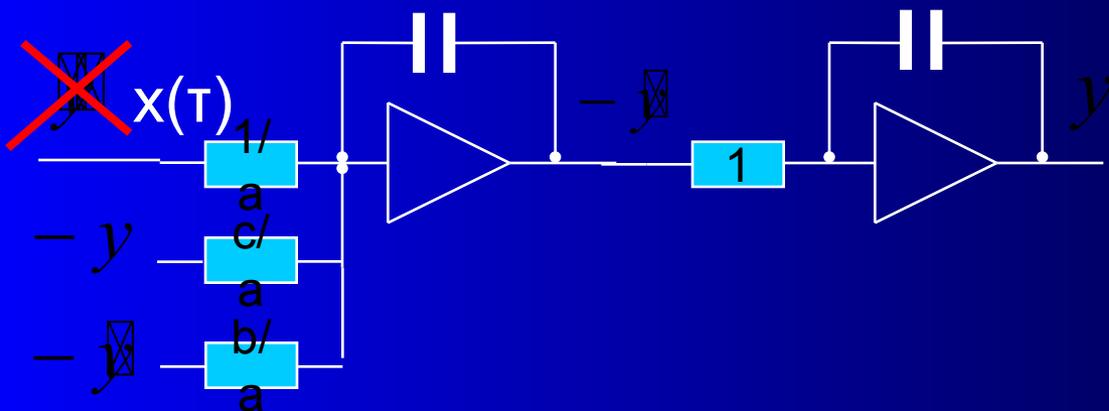
Решение линейных дифференциальных уравнений:

$$a\ddot{y} + b\dot{y} + cy = x(\tau); \quad y(0) = y_0; \quad \dot{y}(0) = y_1$$

1. Выражаем старшую производную:

$$\ddot{y} = \frac{1}{a}x(\tau) - \frac{b}{a}\dot{y} - \frac{c}{a}y$$

2. Составляем схему



# Моделирование САР

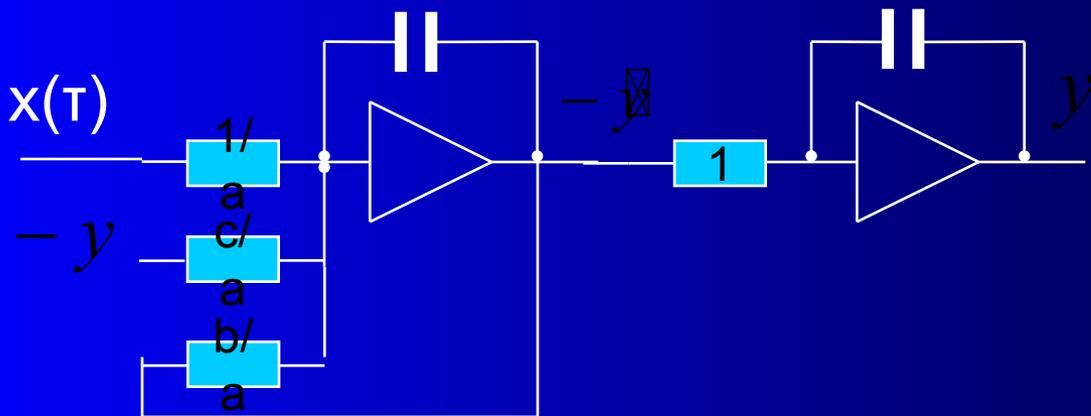
Решение линейных дифференциальных уравнений:

$$a\ddot{y} + b\dot{y} + cy = x(\tau); \quad y(0) = y_0; \quad \dot{y}(0) = y_1$$

1. Выражаем старшую производную:

$$\ddot{y} = \frac{1}{a} x(\tau) - \frac{b}{a} \dot{y} - \frac{c}{a} y$$

2. Составляем схему



# Моделирование САУ

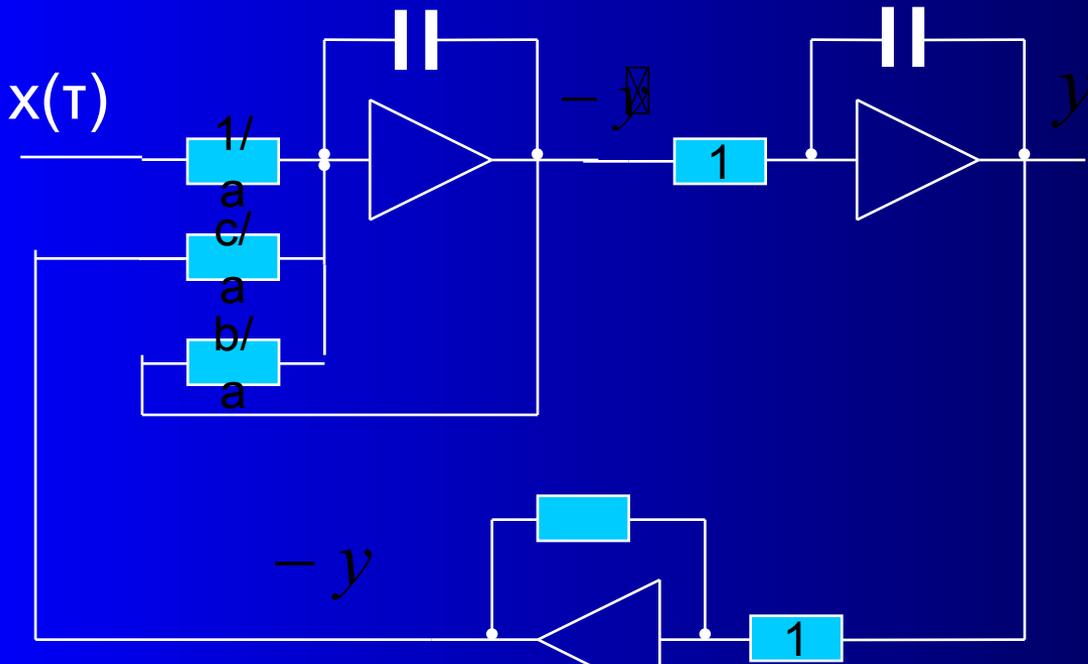
Решение линейных дифференциальных уравнений:

$$a\ddot{y} + b\dot{y} + cy = x(\tau); \quad y(0) = y_0; \quad \dot{y}(0) = y_1$$

1. Выражаем старшую производную:

$$\ddot{y} = \frac{1}{a}x(\tau) - \frac{b}{a}\dot{y} - \frac{c}{a}y$$

2. Составляем схему



# Моделирование САУ

Решение линейных дифференциальных уравнений:

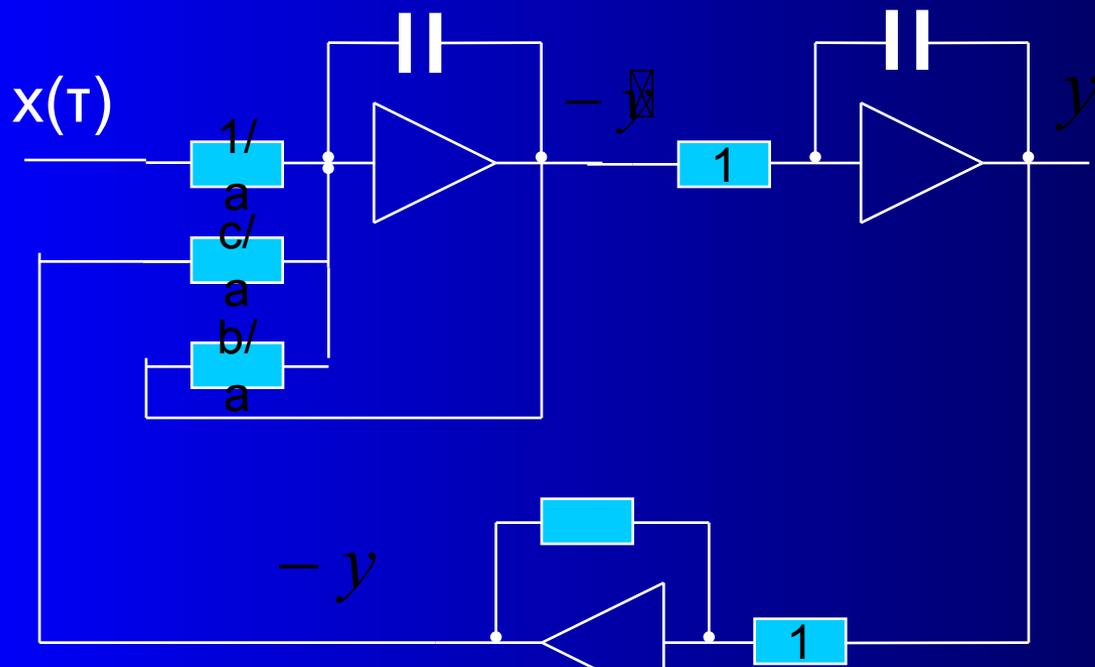
$$a\ddot{y} + b\dot{y} + cy = x(\tau); \quad y(0) = y_0; \quad \dot{y}(0) = y_1$$

1. Выражаем старшую производную:

$$\ddot{y} = \frac{1}{a}x(\tau) - \frac{b}{a}\dot{y} - \frac{c}{a}y$$

Последовательность действий:

2. Составляем схему



# Моделирование САР

Решение линейных дифференциальных уравнений:

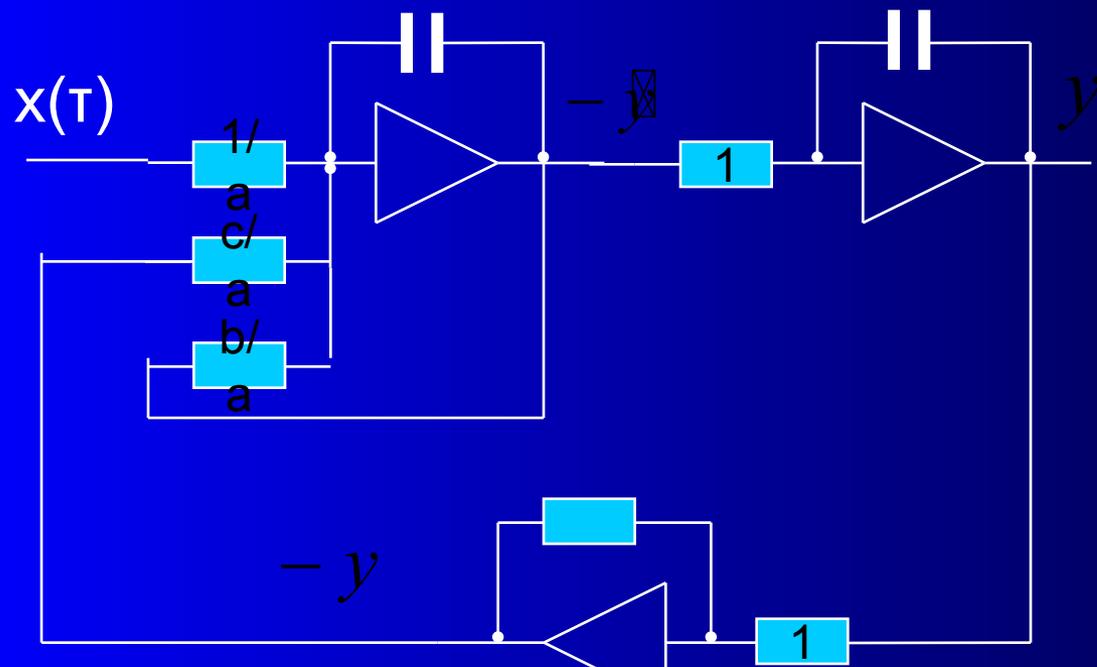
$$a\ddot{y} + b\dot{y} + cy = x(\tau); \quad y(0) = y_0; \quad \dot{y}(0) = y_1$$

1. Выражаем старшую производную:

$$\ddot{y} = \frac{1}{a}x(\tau) - \frac{b}{a}\dot{y} - \frac{c}{a}y$$

Последовательность действий:

2. Составляем схему



1. Соединяем последовательно  $n$  интеграторов

# Моделирование САР

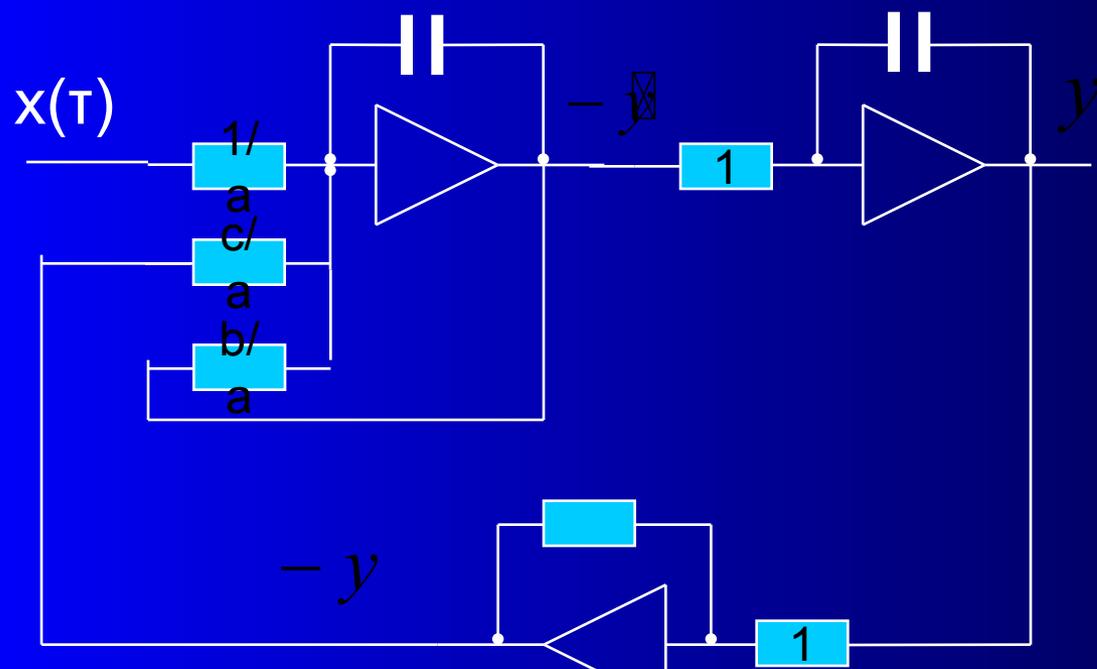
Решение линейных дифференциальных уравнений:

$$a\ddot{y} + b\dot{y} + cy = x(\tau); \quad y(0) = y_0; \quad \dot{y}(0) = y_1$$

1. Выражаем старшую производную:

$$\ddot{y} = \frac{1}{a}x(\tau) - \frac{b}{a}\dot{y} - \frac{c}{a}y$$

2. Составляем схему



## Последовательность действий:

1. Соединяем последовательно  $n$  интеграторов
2. На входе первого интегратора создаем схему, соответствующую преобразованному ДУ

# Моделирование САУ

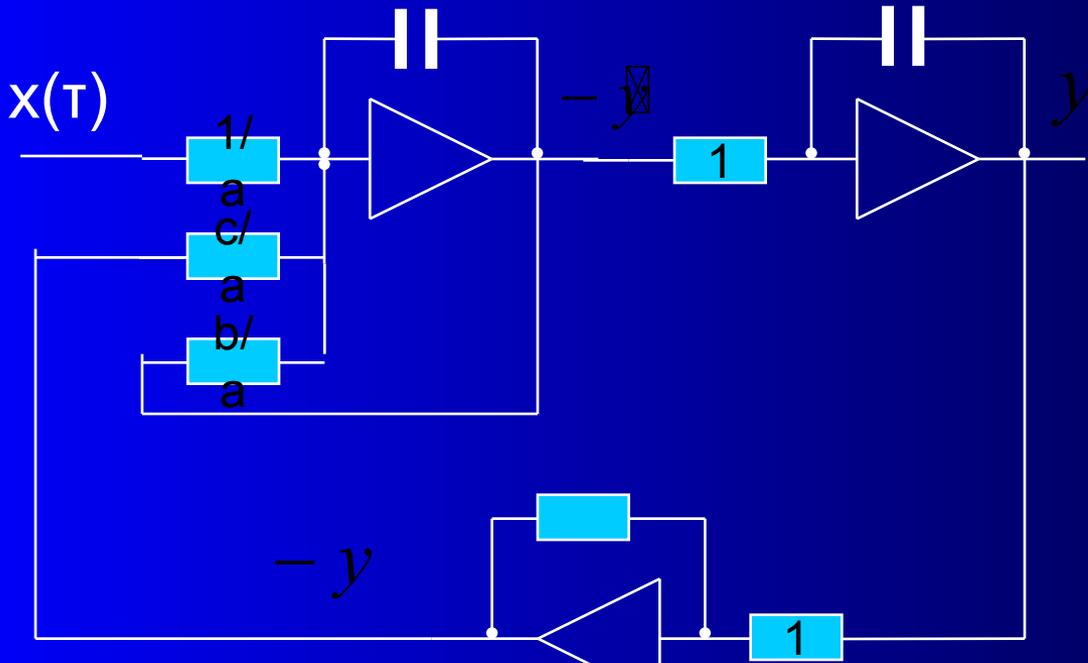
Решение линейных дифференциальных уравнений:

$$a\ddot{y} + b\dot{y} + cy = x(\tau); \quad y(0) = y_0; \quad \dot{y}(0) = y_1$$

1. Выражаем старшую производную:

$$\ddot{y} = \frac{1}{a}x(\tau) - \frac{b}{a}\dot{y} - \frac{c}{a}y$$

2. Составляем схему



## Последовательность действий:

1. Соединяем последовательно  $n$  интеграторов
2. На входе первого интегратора создаем схему, соответствующую преобразованному ДУ
3. Соединяем входы этой схемы с соответствующими выходами интеграторов, при необходимости включая инверторы