

## **Лекція 2:**

**Перетворення фізичних  
параметрів, як інструмент для  
реалізації вимірювань**

# План:

1. Класифікація датчиків та первинних вимірювальних перетворювачів.
2. Порівняльні пристрої (ПП).
3. Математичний опис первинних перетворювачів.

Питання 1.

**Класифікація датчиків та  
первинних вимірювальних  
перетворювачів**

## **А) за видом фізичної величині що вимірюється:**

- переміщення (датчики положення деталей та механізмів);
- температури;
- тиску;
- вологості;
- витрат;
- щільності;
- якості (складу) речовини.

## **Б) за типом вихідного сигналу:**

- механічні;
- гідравлічні;
- пневматичні;
- електричні;
- електронні.

## **В) за видом вихідного сигналу:**

- ненормований;
- нормований аналоговий;
- цифровий.

# Основні технічні характеристики датчиків

1. Тип датчика (фізична величина що вимірюється);
2. Принцип дії (фізичне явище);
3. Вихідний сигнал (аналоговий, цифровий, уніфікований);
4. Коефіцієнт підсилення;
5. Постійна часу (інерційність);
6. Діапазон вимірювання;
7. Масо-габаритні характеристики;
8. Показники надійності;
9. Умови експлуатації;
10. Інші.

## **Питання 2. Порівняльні пристрої (ПП)**



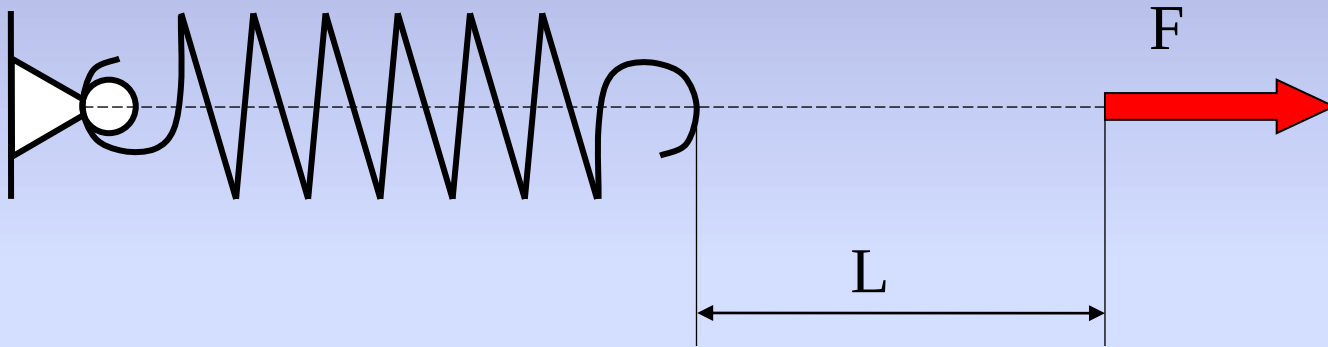
Порівняльні пристрої дозволяють порівняти вимірюваний сигнал з нормованим сигналом, еквівалентним заданому значенню регульованого параметра. Результатом порівняння є сигнал неузгодженості:

$$\bar{\varepsilon} = \bar{y}_{\text{зад}} - \bar{y}_{\text{дат}}$$

Примітка: Задане значення називається ще **“УСТАВКОЮ”**

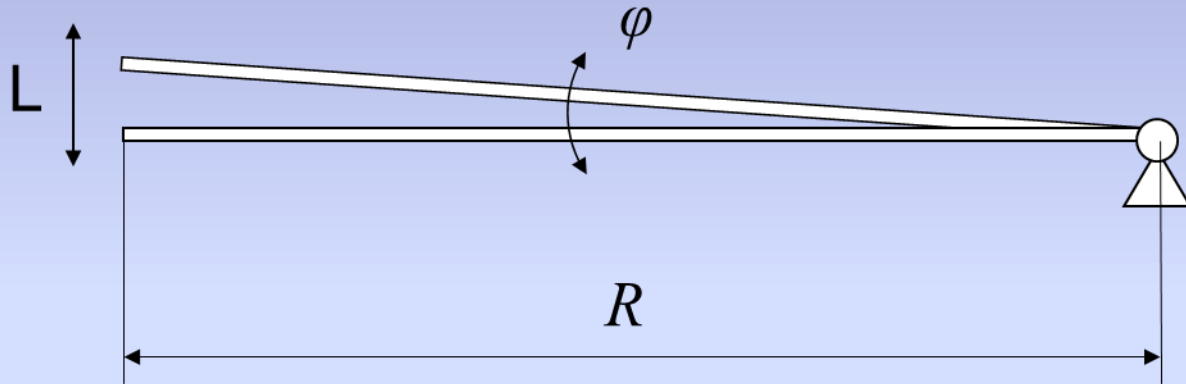
## Механічні ПП

**Пружина:** перетворює переміщення  $L$  в силу  $F$  і навпаки.



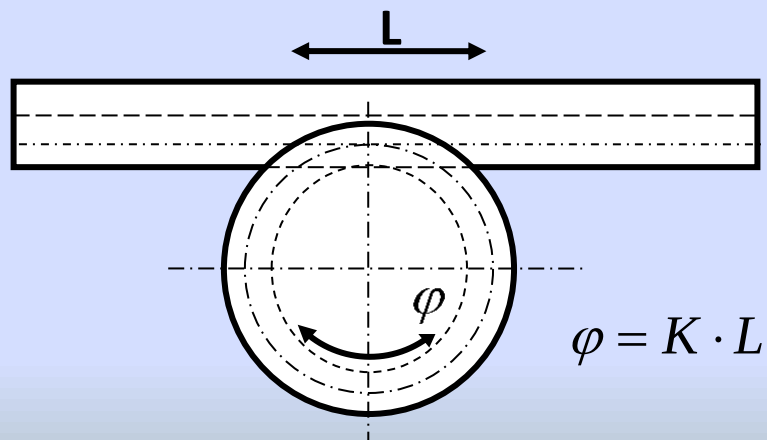
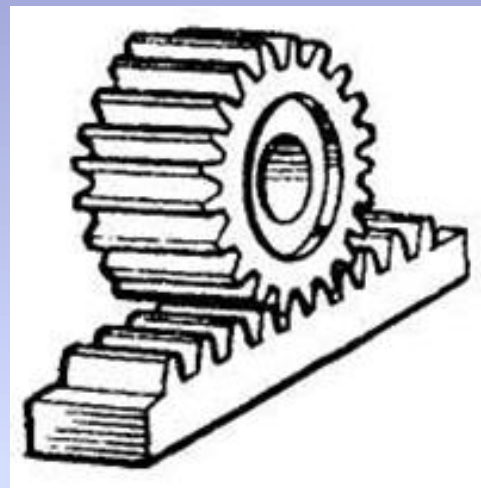
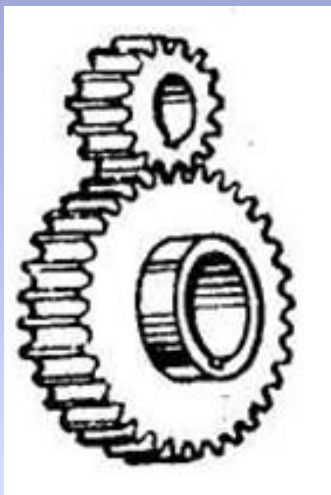
$$F = K \cdot L$$

**Важіль:** дозволяє перетворити лінійне переміщення  $L$  в кутове  $\varphi$  і навпаки.

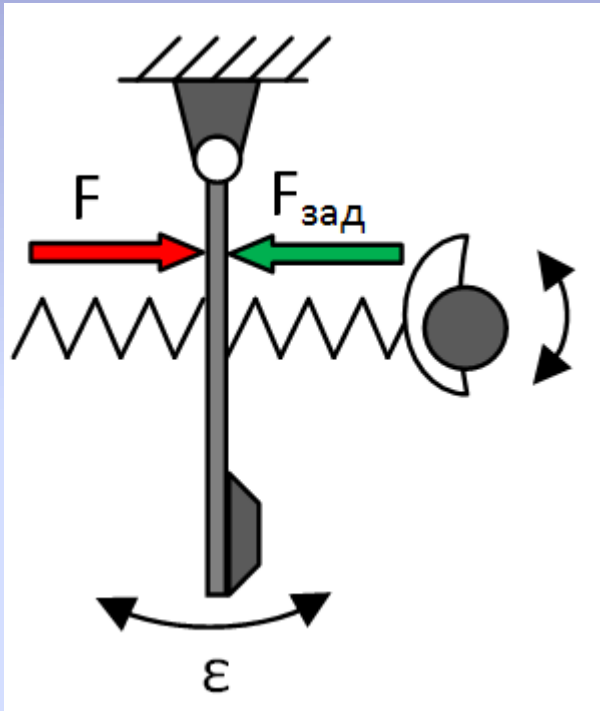


$$L = R \cdot \operatorname{tg}(\varphi)$$

**Рейкове (шестеренне) зачеплення – перетворює лінійне переміщення  $L$  в кутове  $\varphi$  та навпаки.**



**Маятниковий клапан:** перетворює різницю сил  $\Delta F$  в пропорційне відхилення клапану -  $\varepsilon$ .



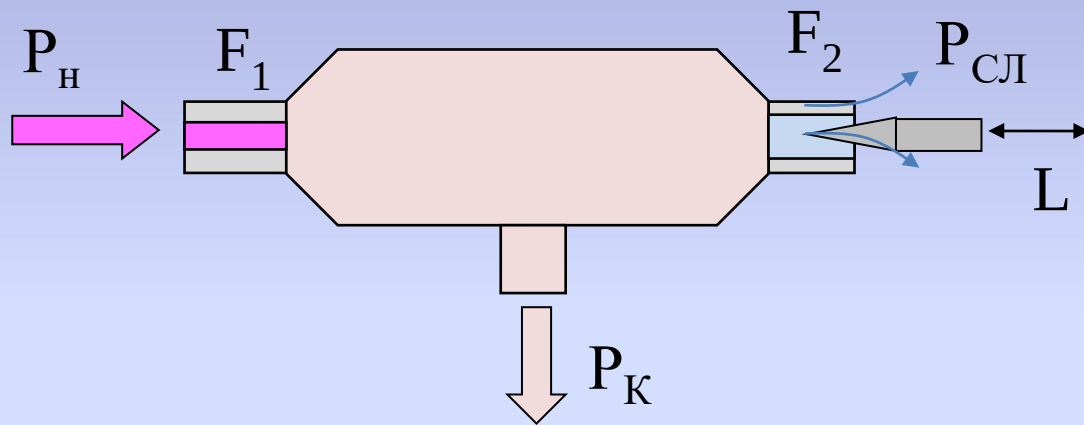
Сила  $F$  формується датчиком. Сила  $F_{\text{зад}}$  формується програмним кулачком. На рівноважних режимах  $F = F_{\text{зад}}$ , і маятник знаходиться у нейтральному положенні та  $\varepsilon = 0$ . При порушенні балансу сил маятник відхиляється у бік меншої сили:

$$\bar{\varepsilon} = (\bar{F}_{\text{зад}} - \bar{F})$$

**Маятниковий клапан** застосовують для управління гідравлічними або пневматичними пристроями.

**Повітряний (гідравлічний) редуктор:** перетворює переміщення  $L$  в тиск  $P$ .

При зміщенні голки “ $L$ ” пропорційно змінюється площа вихідного отвору  $F_2$ , отже і тиск у середині редуктору.



$$F_2 = K_L \cdot L$$

$$P_K = K_{ред} \cdot L$$

$F_1, F_2$  – площа прохідного перетину вхідного та вихідного жиклерів;

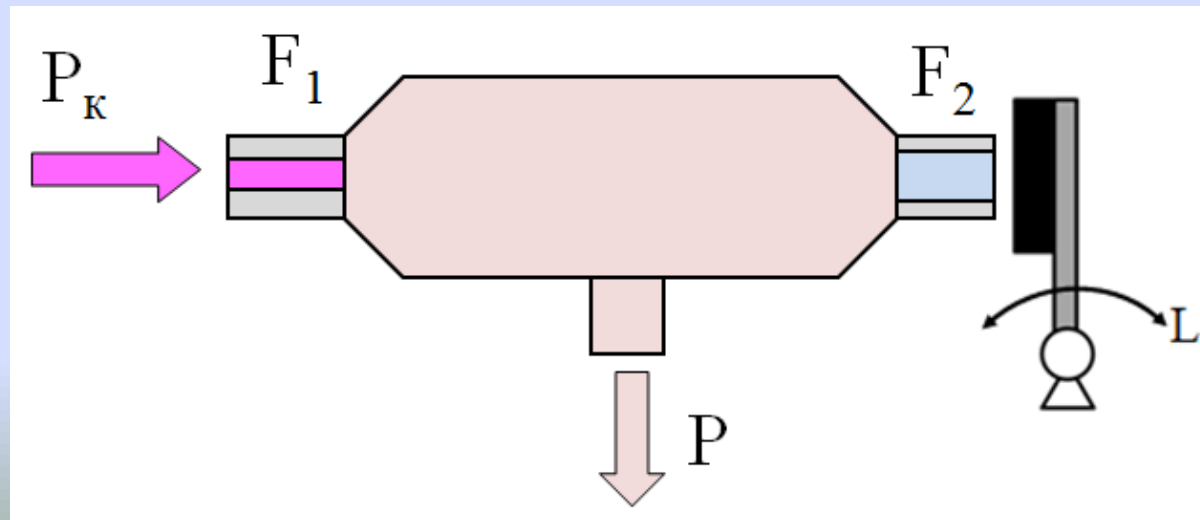
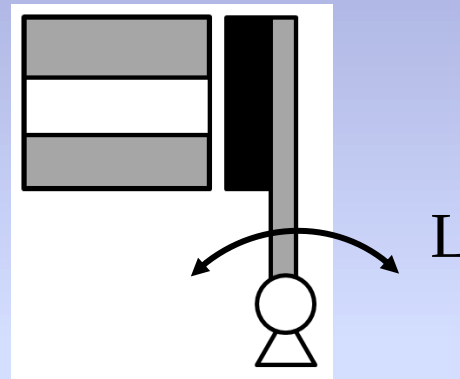
$P_H$  – тиск у магістралі живлення;

$P_{СЛ}$  – тиск у магістралі зливу.

Для повітряного редуктора скидання тиску здійснюється в атмосферу.

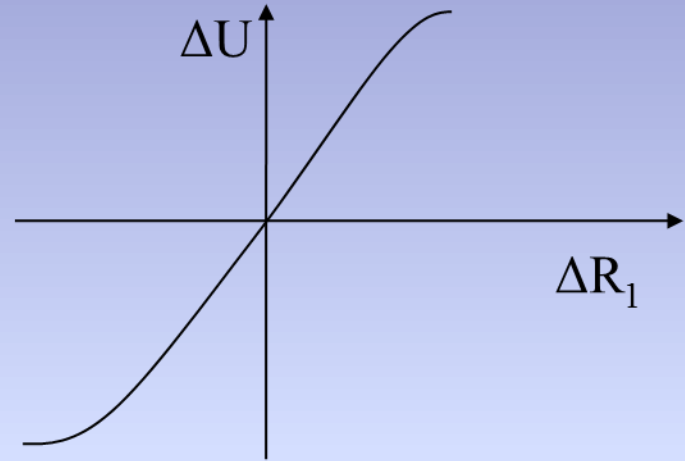
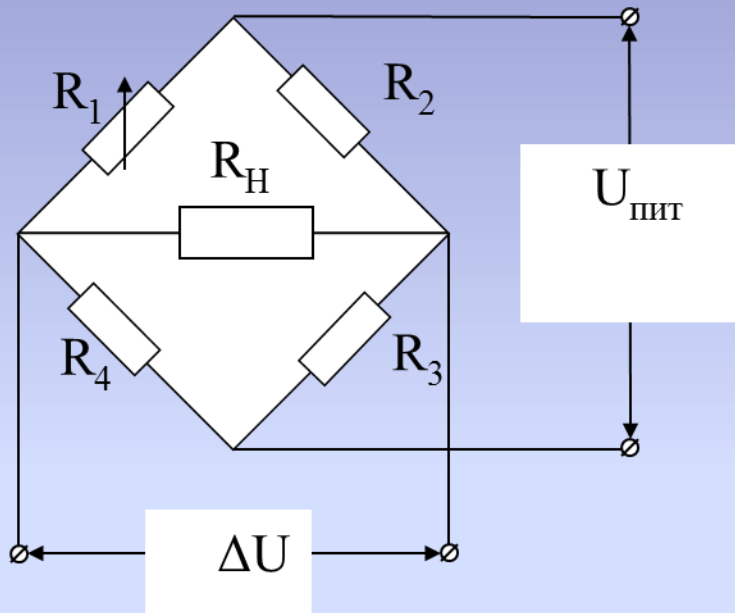
У разі гідравлічного редуктора скидання тиску здійснюється в спеціальну зливну магістраль.

Примітка: для регулювання площі вихідного жиклєру, що стравлює, замість голки можуть застосовувати сопло-заслінку (маятниковий клапан) більш чутливу до малих переміщень.



# Електричні ПП

**Неврівноважений електричний міст:** перетворює зміну опору  $\Delta R$  в пропорційне відхилення напруги  $\Delta U$



$R_1, R_2, R_3, R_4$  – плечі мосту.

Для врівноваженого моста:

Для неврівноваженого моста:

$R_1$  – змінний опір, датчик

$$R_1 R_4 = R_2 R_3; \quad \Delta U = 0$$

$$\Delta U = \frac{R_1 R_4 - R_2 R_3}{(R_1 + R_3) \cdot (R_2 + R_4)} \cdot U_{\text{пит}}$$

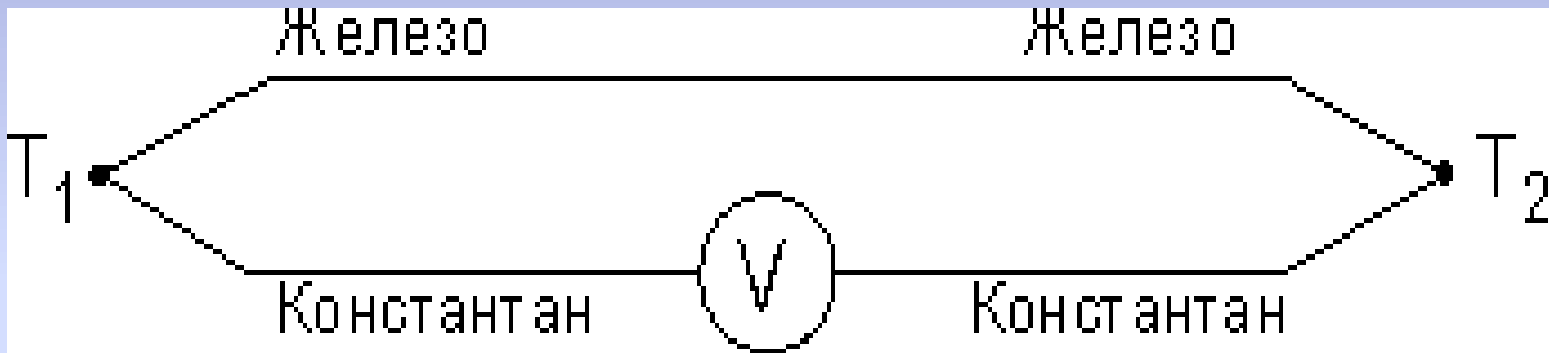
При збільшенні  $R_1$  - вихідна напруга «+»,

При зменшенні  $R_1$  – вихідна напруга «-».



## Термопари.

Принцип дії термопар заснований на ефекті Зеєбека - здатність спаїв різнорідних металів створювати електрорушійну силу (ЕРС).

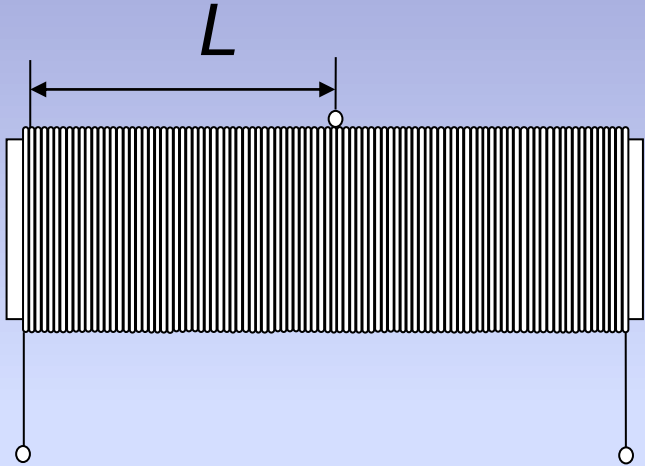


Якщо температури спаїв розрізняються, то в ланцюзі з'являється електрорушійна сила

$$\Delta e = k_T \cdot \Delta T_T$$

де  $k_T$  - коефіцієнт Зеєбека.

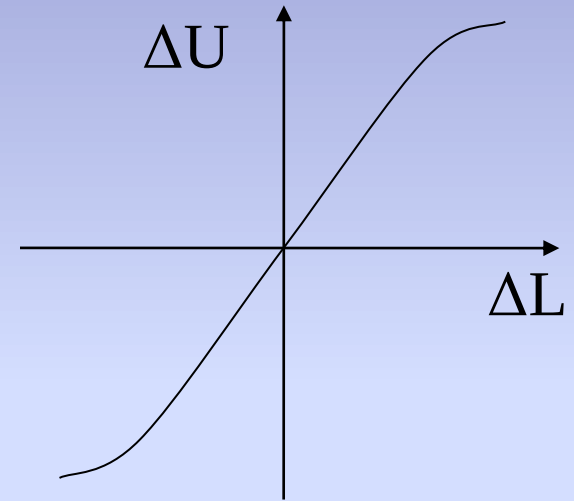
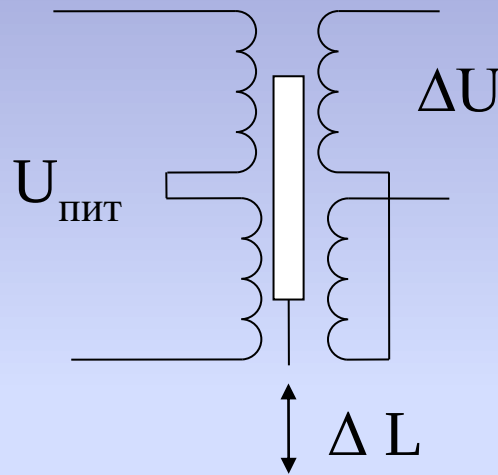
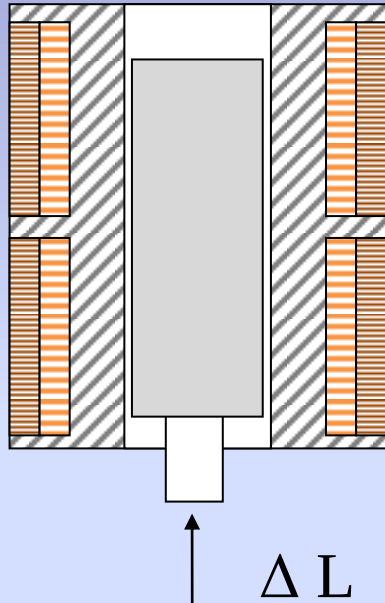
**Реостат (для великих переміщень):** перетворює переміщення  $L$  в омичний опір  $R$ . Опір підключеної ділянки залежить від положення рухомого контакту.



$$R = K \cdot L$$

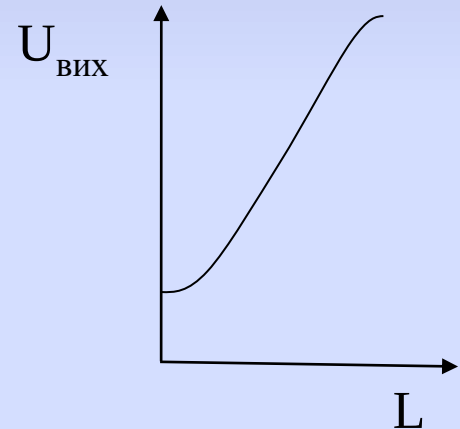
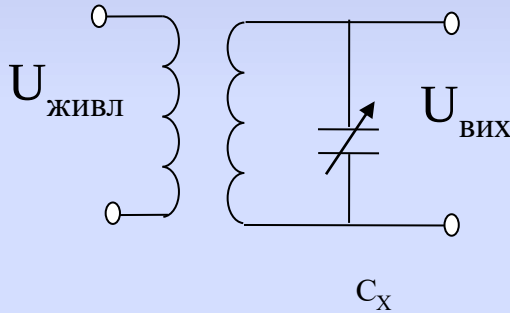
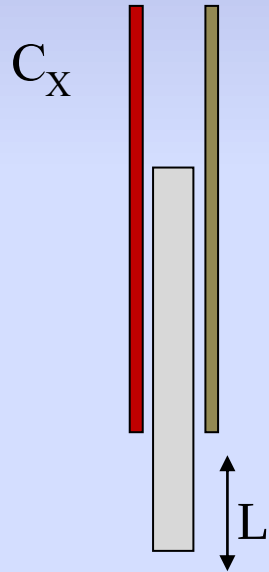
Недоліком дротяного реостата є ступінчастість його характеристики. Існують реостати з лінійною характеристикою (вугільні).

**Диференційний трансформаторний (для малих переміщень)** перетворювач дозволяє перетворити відхилення переміщення  $\Delta L$  в відхилення змінної напруги  $\Delta U$ .

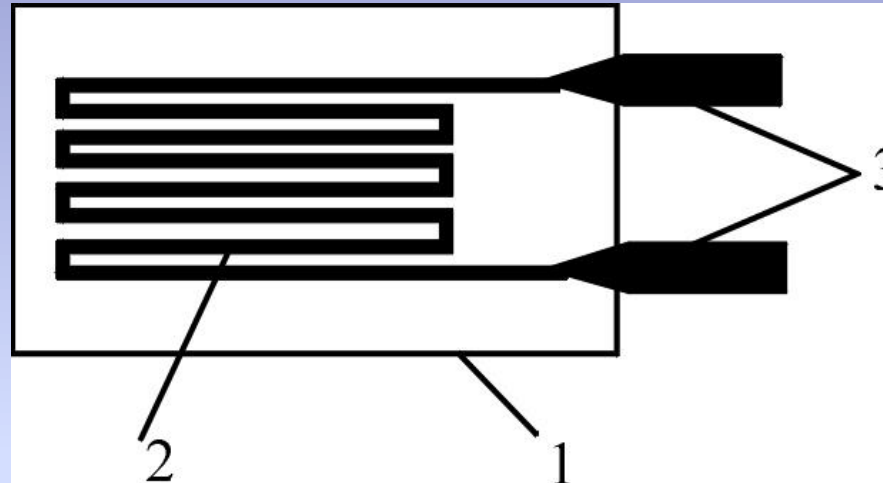


Вторинні обмотки трансформатора включені назустріч і їх напруги віднімаються. При середньому положенні якоря ці напруги однакові й результуюче вихідна напруга дорівнює нулю. При зміщенні якоря з'являється різницевий сигнал знак якого залежить від напрямку зсуву якоря.

**Ємнісний перетворювач:** перетворює переміщення в напругу змінного струму. Між обкладинками конденсатора переміщається діелектрична пластина (рідина). При переміщенні пластини (рідини) змінюється ємність конденсатора.



**Тензорезистори (для дуже малих переміщень):**  
перетворюють деформацію пружного елемента у зміну електричного опору.



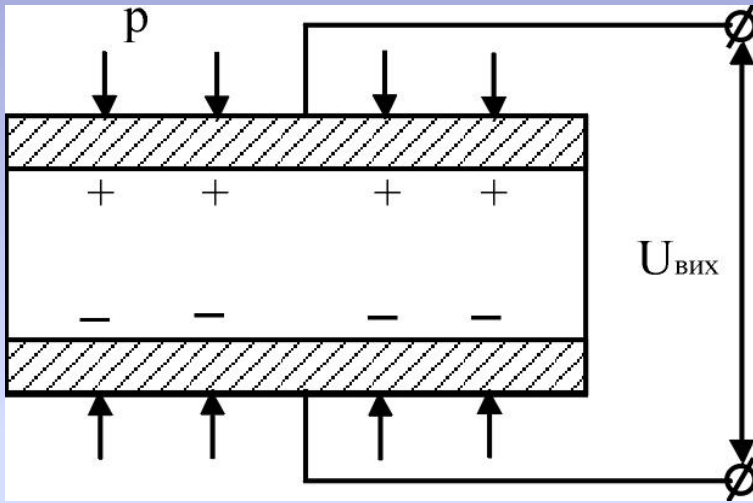
1 – підкладка;

2 – дріт;

3 – контакти.

Дріт на підкладці наклеюється на пружний елемент. При деформації пружного елемента тензодатчик також деформується. Але опір дроту залежить від довжини та розташування витків.

**П'єзокристали (кварц, цукор, турмалін та ін.):**  
перетворюють тиск (силу) у пропорційну напругу (і навпаки).



$$Q = k \cdot F = k \cdot S \cdot p$$

$Q$  - заряд на поверхні кристала, Кл

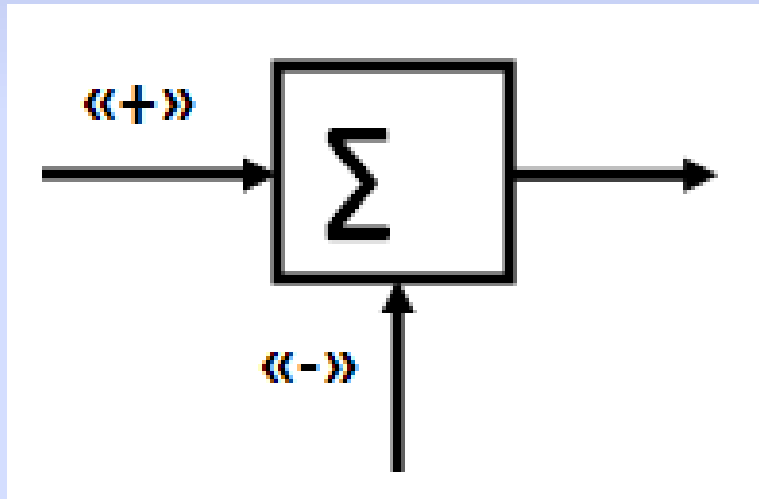
$S$  - площа поверхні кристала,  $\text{м}^2$

$k$  - п'єзоелектрична постійна Кл/Н.

$p$  - тиск,  $\text{Н/м}^2$ .

## Електронні ПП

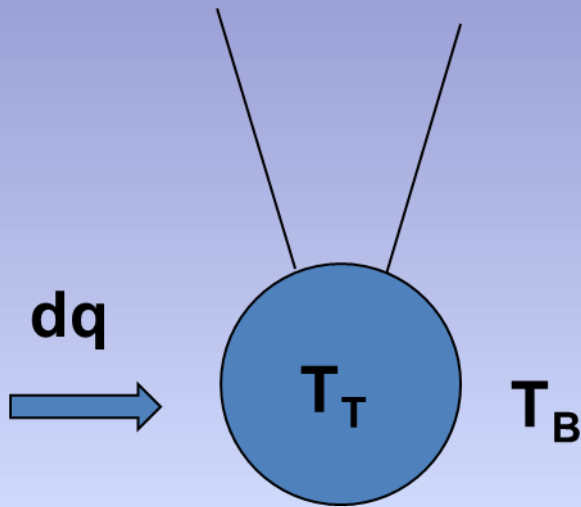
Електронні ПП уявляють собою пристрої що сумують і мають один позитивний і один негативний вхід:



# **Питання 3. Математичний опис первинних перетворювачів**



# Математичний опис термопар:



$T_B$  – температура навколишнього повітря;  
 $T_B$  – температура спаю термопар;  
 $dq$  – кількість теплоти.

## 1. Рівняння енергії:

$$dq = C \cdot m \cdot dT_T$$

$C$  – теплоємність матеріалу;  
 $m$  – маса спаю термопар;  
 $dT_T$  – зміна температури термопар.

## 2. Рівняння нестационарного теплообміну:

$$dq = \alpha \cdot F \cdot (T_B - T_T) \cdot dt$$

$\alpha$  – коефіцієнт конвективного теплообміну;  
 $F$  – площа спаю термопар;

## 3. Рівняння Зеєбека :

$$\Delta e = k_T \cdot \Delta T_T$$

Прирівняємо праві частини рівнянь (1) та (2) :

$$C \cdot m \cdot dT_T = \alpha \cdot F \cdot (T_B - T_T) \cdot dt$$

Позначимо :  $\frac{dT_T}{dt} = \dot{T}_T$

Отримаємо нелінійне ДР:

$$C \cdot m \cdot \dot{T}_T = \alpha \cdot F \cdot T_B - \alpha \cdot F \cdot T_T$$

Лінеарізуємо отримане ДР. Дорівняємо диференціали правої та лівої частини ДР:

$$C \cdot m \cdot d\dot{T}_T = \alpha \cdot F \cdot dT_B - \alpha \cdot F \cdot dT_T$$

Змінимо диференціали малими відхиленнями:

$$C \cdot m \cdot \Delta\dot{T}_T = \alpha \cdot F \cdot \Delta T_B - \alpha \cdot F \cdot \Delta T_T$$

Можемо записати:  $\frac{C \cdot m}{k_T} \Delta \dot{e} + \frac{\alpha \cdot F}{k_T} \Delta e = \alpha \cdot F \cdot \Delta T_B$

Перейдемо до відносних змінних:

$$\dot{\bar{e}} = \frac{\Delta \dot{e}}{e_0} \quad \bar{e} = \frac{\Delta e}{e_0} \quad \bar{T}_B = \frac{\Delta T_B}{T_0}$$

У стандартному вигляді:  $T \dot{\bar{e}} + \bar{e} = K \bar{T}_B$

Де:  $T = \frac{C \cdot m}{\alpha \cdot F}$  - постійна часу

$K = k_T \cdot \frac{T_{B0}}{e_0}$  - коефіцієнт підсилення

## **Завдання на самопідготовку:**

Автоматика для запобігання вибухам і пожежам. Посібник./ Дерев'янко О.А. та інш.  
– Харків: АЦЗУ, 2006.– С. 57-58.