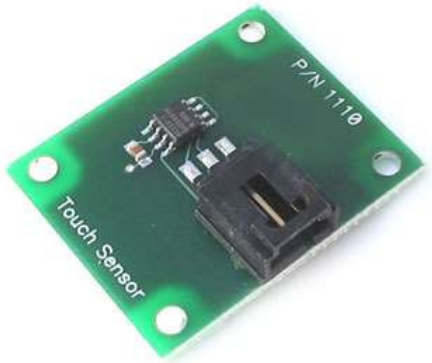
# Principles of Mechatronic Systems
# مبانی سیستم های مکاترونیکی (جلسه شانزدهم)

**By: Reza Tikani**
**Mechanical Engineering Department**
**Isfahan University of Technology**

# سنسورهای آنالوگ



- ✓ پتانسیومتر
- ✓ حسگرهای اندوکتانس متغیر
- ✓ حسگرهای مغناطیس دائم
- ✓ حسگرهای خازنی
- ✓ پیزوالکتریک
- ✓ حسگرهای نیرو و گشتاور
- ✓ کرنش سنج
- ✓ حسگرهای فشار، دما و جریان
- ✓ حسگرهای آلتراسونیک

# سنسورهای آنالوگ برای اندازه گیری حرکت

۴ متغیر سینماتیکی:

- ✓ جابجایی (شامل موقعیت، فاصله، مجاورت)
- ✓ سرعت
- ✓ شتاب
- ✓ میزان تغییر شتاب (Jerk)

# سنسورهای آنالوگ برای اندازه گیری حرکت

کاربردهایی از این نوع سنسورها:

- The rotating speed of a work piece and the feed rate of a tool are measured in controlling machining operations.
- Displacements and speeds (both angular and translatory) at joints (revolute and prismatic) of robotic manipulators in controlling manipulator trajectory.
- In high-speed ground transit vehicles, acceleration and jerk measurements can be used for active suspension control

# سنسورهای آنالوگ برای اندازه گیری حرکت

کاربردهایی از این نوع سنسورها:

- Angular speed in the control of rotating machinery, such as turbines, pumps, compressors, motors, and generators in power-generating plants.

- Proximity sensors and accelerometers are the two most common types of measuring devices used in machine protection systems for condition monitoring, fault detection, diagnostic, and on-line (often real-time) control of large and complex machinery.

- Displacement measurements are used for valve control in process applications, plate thickness in steel rolling mills.

# سنسورهای آنالوگ برای اندازه گیری حرکت

اندازه گیری یک متغیر سینماتیکی و استخراج سایر متغیرها از آن بستگی دارد به:

- نوع سیگنال اندازه گیری شده (پایدار، گذرا، پریودیک، ...)
- محتوای فرکانسی مورد نیاز در سیگنال پردازش شده (گستره فرکانسی مورد نیاز)
- نسبت سیگنال به نویز (SNR) اندازه گیری
- تجهیزات در دسترس برای پردازش (پردازش آنالوگ یا دیجیتال، محدودیت پردازش دیجیتال مانند نرخ نمونه برداری، سرعت پردازش و ...)
- دقت مورد نیاز در سیستم

به عنوان مثال مشتق گیری از یک سیگنال دارای سیگنالهای فرکانس بالا با پهنای باند باریک همراه نویز به راحتی امکان پذیر نیست.

# سنسورهای آنالوگ برای اندازه گیری حرکت

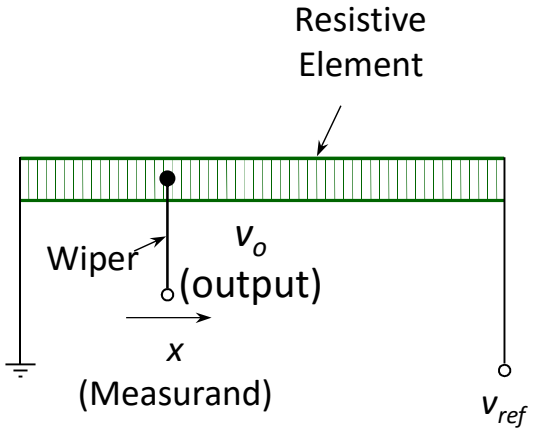
سنسورهای آنالوگ برای اندازه گیری حرکت:

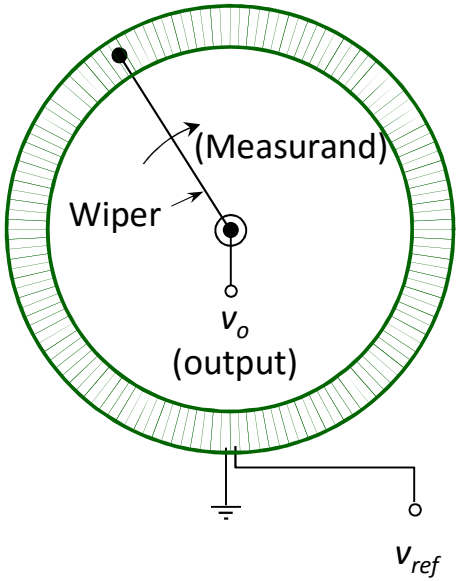
- ✓ پتانسیومتر
- ✓ حسگرهای اندوکتانس متغیر
- ✓ حسگرهای مغناطیس دائم
- ✓ حسگرهای خازنی
- ✓ پیزوالکتریک

# پتانسیومتر

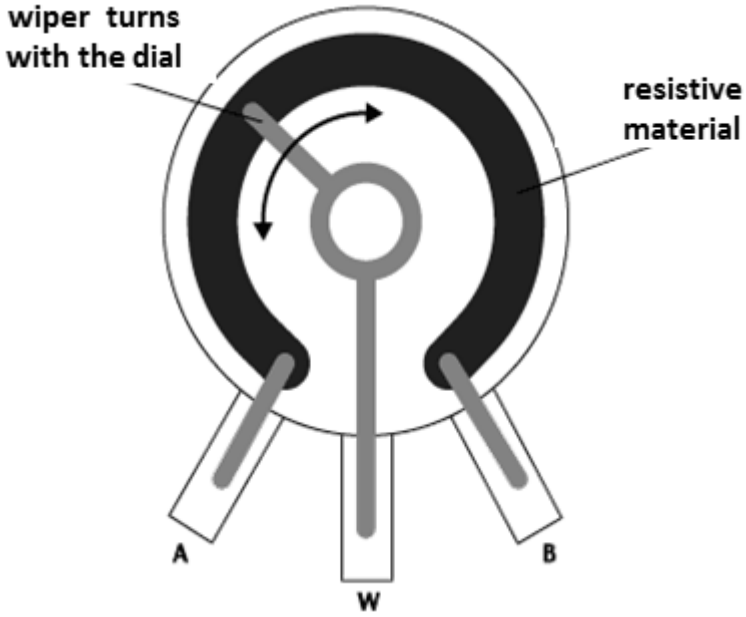
پتانسیومتر دورانی و خطی:

اصل فیزیکی در پتانسیومتر این است که مقاومت الکتریکی یک سیم با طول آن نسبت مستقیم دارد.



# پتانسیومتر

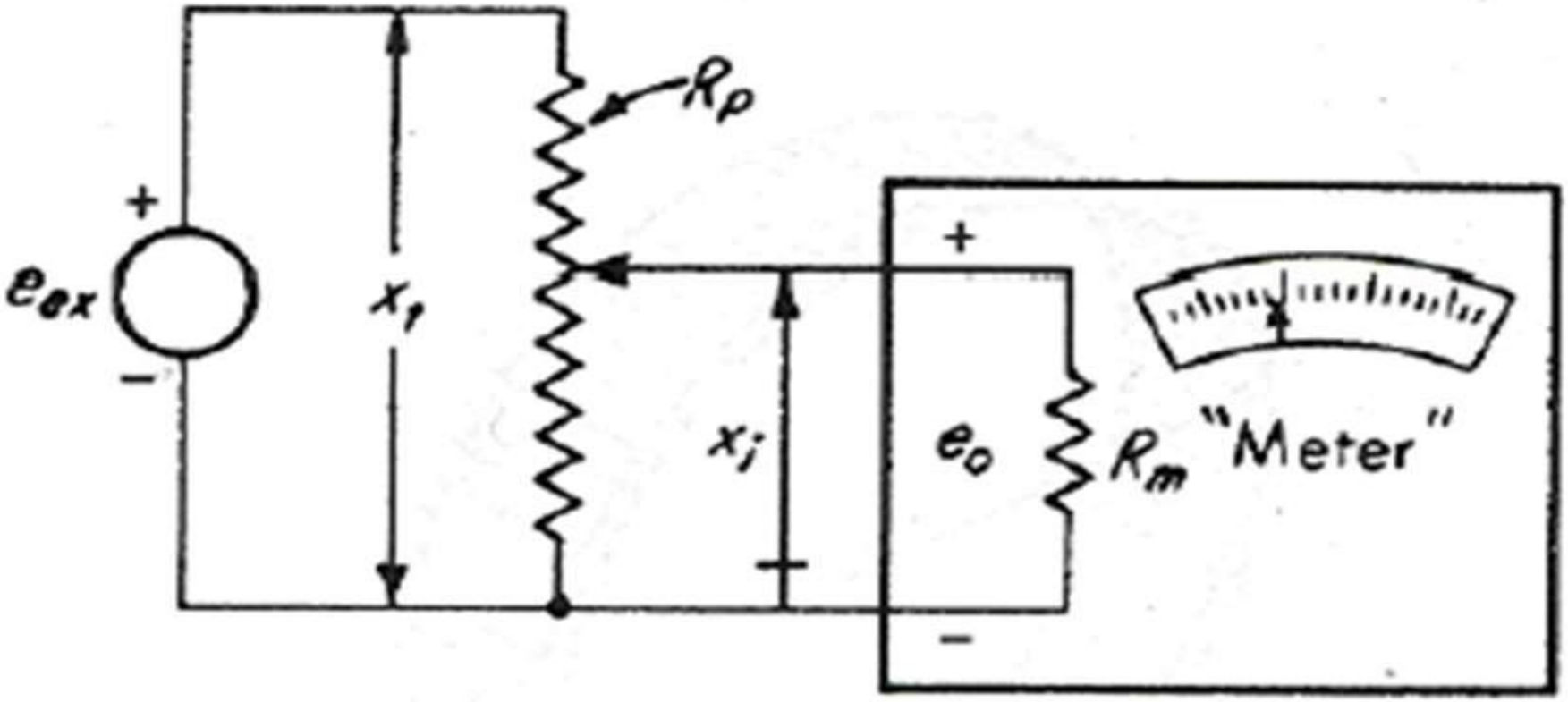



ورودی های **A** و **B** به ولتاژ **Vref** و زمین متصل می شوند.

ورودی جاروبکی (**Wiper Terminal**) به خروجی متصل است.

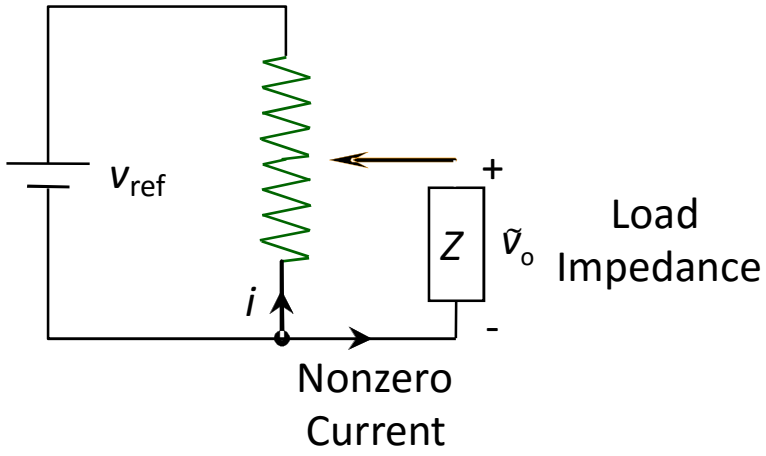
# پتانسیومتر

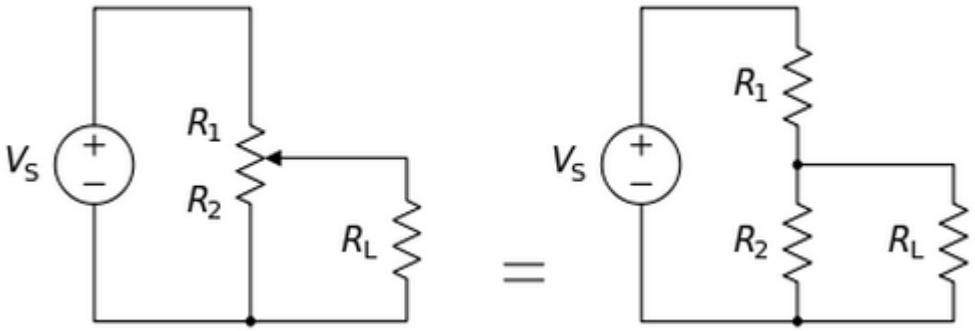
اثر بار (Loading Effect):



# پتانسیومتر

## اثر بار (Loading Effect):



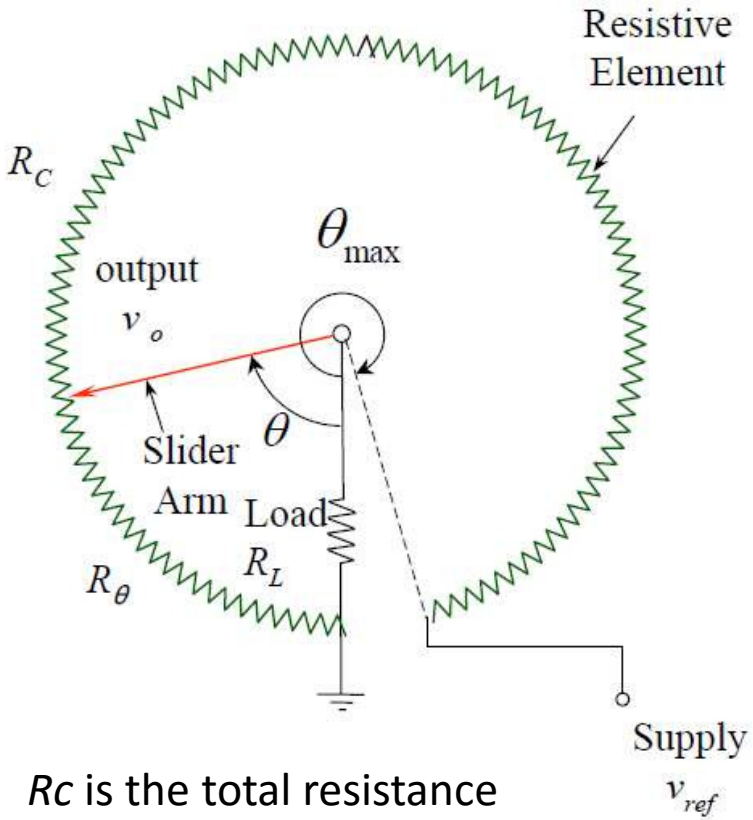

$$V_L = \frac{R_2 R_L}{R_1 R_L + R_2 R_L + R_1 R_2} \cdot V_s$$

در صورتی که $R_L$ خیلی زیاد باشد:

$$V_L = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot V_s$$

http://en.wikipedia.org/wiki/Potentiometer

# پتانسیومتر




*Rc* is the total resistance of the potentiometer coil

## اثر بار (Loading Effect):

$$R_\theta = \frac{\theta}{\theta_{max}} R_c$$

بانوشتن قانون جریانها در نقطه برخورد:

$$\frac{v_{ref} - v_o}{R_c - R_\theta} = \frac{v_o}{R_\theta} + \frac{v_o}{R_L}$$

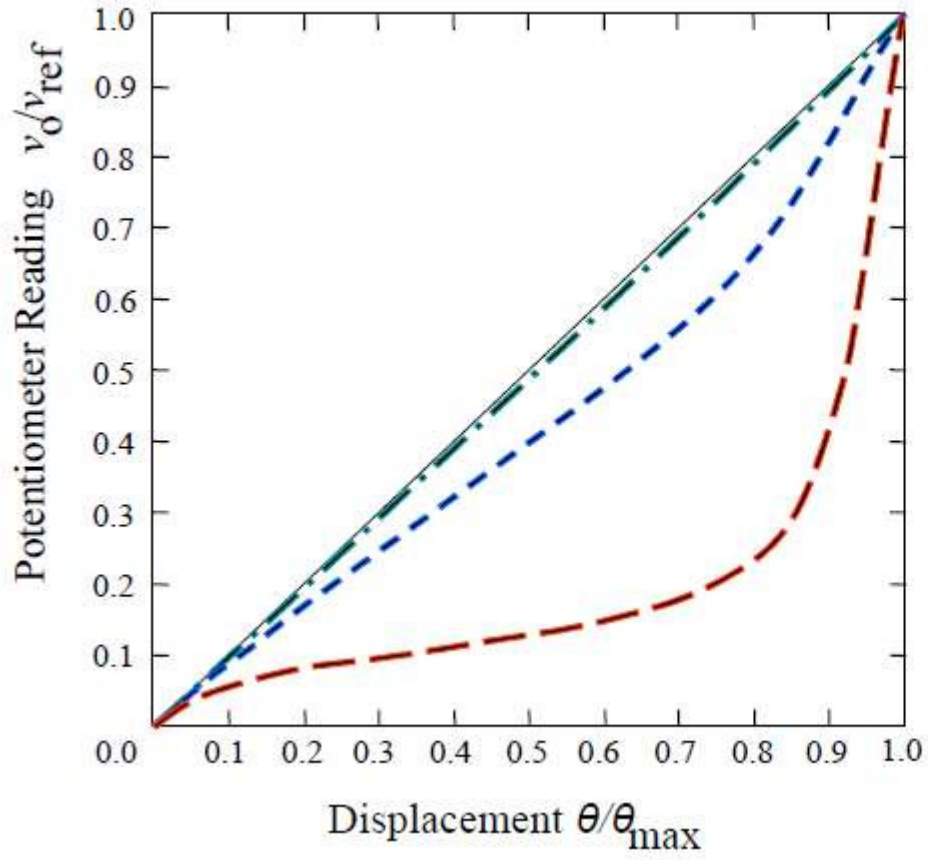
$$\frac{v_{ref} - v_o}{1 - \theta/\theta_{max}} = \frac{v_o}{\theta/\theta_{max}} + \frac{v_o}{R_L/R_c}$$

$$\frac{v_o}{v_{ref}} = \left[ \frac{(\theta/\theta_{max})(R_L/R_C)}{\left(R_L/R_C + (\theta/\theta_{max}) - (\theta/\theta_{max})^2\right)} \right]$$

Mechatronics- An Integrated Approach, D silva

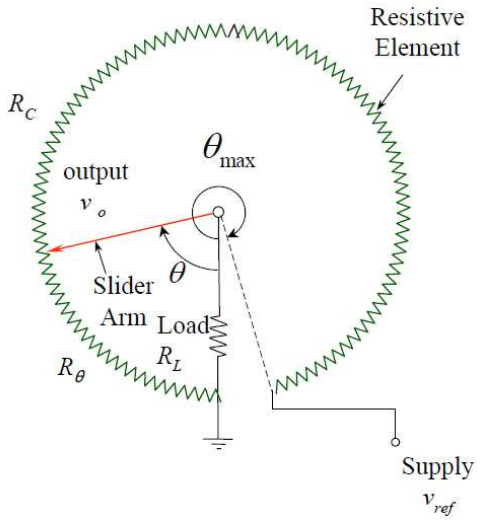
# پتانسیومتر

## اثر بار (Loading Effect):



# پتانسیومتر

## اثر بار (Loading Effect):




خطای غیرخطی شدن را می توان از رابطه زیر محاسبه نمود:

$$e = \frac{\left(v_o/v_{ref} - \theta/\theta_{\max}\right)}{\theta/\theta_{\max}} 100\%$$

| Loading nonlinearity error in a potentiometer at $\theta/\theta_{max} = 0.5$ | |
|---|---|
| **Load Resistance Ratio $R_L/R_C$** | **Loading Nonlinearity Error (e)** |
| 0.1 | -71.4% |
| 1.0 | -20% |
| 10.0 | -2.4% |

# پتانسیومتر

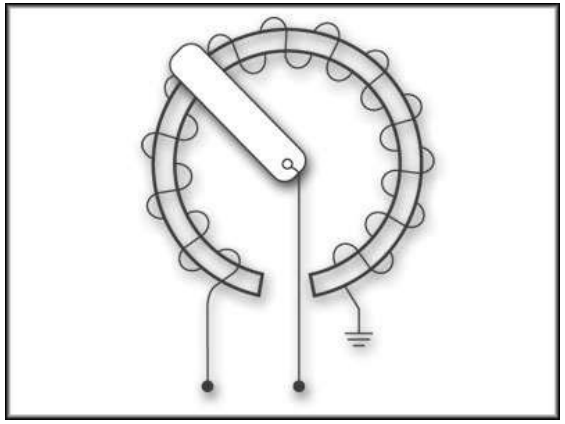
چند نکته:

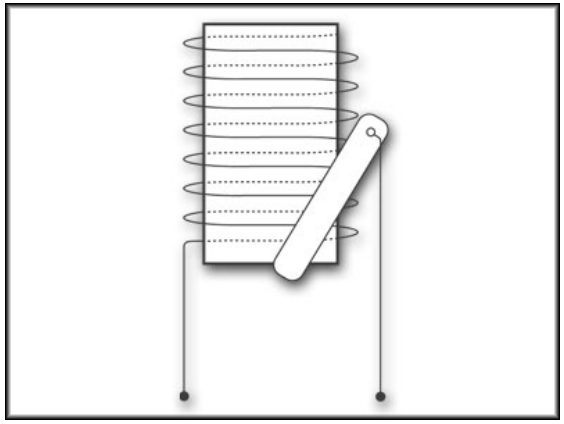
- نیروی مورد نیاز برای حرکت لغزنده از منبع حرکت تامین می گردد.
  - اتلاف انرژی به واسطه وجود اصطکاک
- انرژی الکتریکی منبع اصلی به دلیل وجود مقاومت در سیستم تلف می گردد و باعث بالا رفتن دمای سیستم می شود.

# پتانسیومتر

## چند نکته:

- رزولوشن محدودی در پتانسیومترهای حلقه ای وجود دارد، برای یک پتانسیومتر **N** حلقه ای:





$$r = \frac{1}{N} \times 100\%$$

- در پتانسیومترهای حلقه ای، رزولوشن برابر **0.1%** (برابر ۱۰۰۰ حلقه) نیز وجود دارد.
- رزولوشن خیلی بالا با استفاده از پتانسیومترهای ساخته شده از لایه مقاومتی پلاستیک رسانا قابل دست یابی است.

# پتانسیومتر

مثال:

میزان جابجایی چرخ محرک یک ربات با استفاده از یک پتانسیومتر اندازه گیری می شود. میزان رزولوشن مورد نیاز برای جابجایی ربات برابر یک میلیمتر است. قطر چرخ محرک ربات برابر **20cm** می باشد. ملاحظات طراحی برای یک پتانسیومتر استاندارد دورانی برای این کاربرد را بررسی نمایید. فرض می شود مقاومت ویژه سیم مورد استفاده برابر $4\ \mu\Omega cm$ بوده و مقاومت پتانسیومتر برابر $5\ \Omega$ باشد.

قطر میانگین پتانسیومتر را برابر ده سانتیمتر در نظر بگیرید.

Resistivity=(resistance)×(cross-section area)/(length).

# پتانسیومتر

حل مثال:

محاسبه رزولوشن

$$\frac{0.1}{\pi \times 20} \times 100\% = 0.16\%$$

$$100/0.16 = 625 \text{ turns}$$

$$\text{Potentiometer circumference} = \pi \times 10 = 625 \times d$$

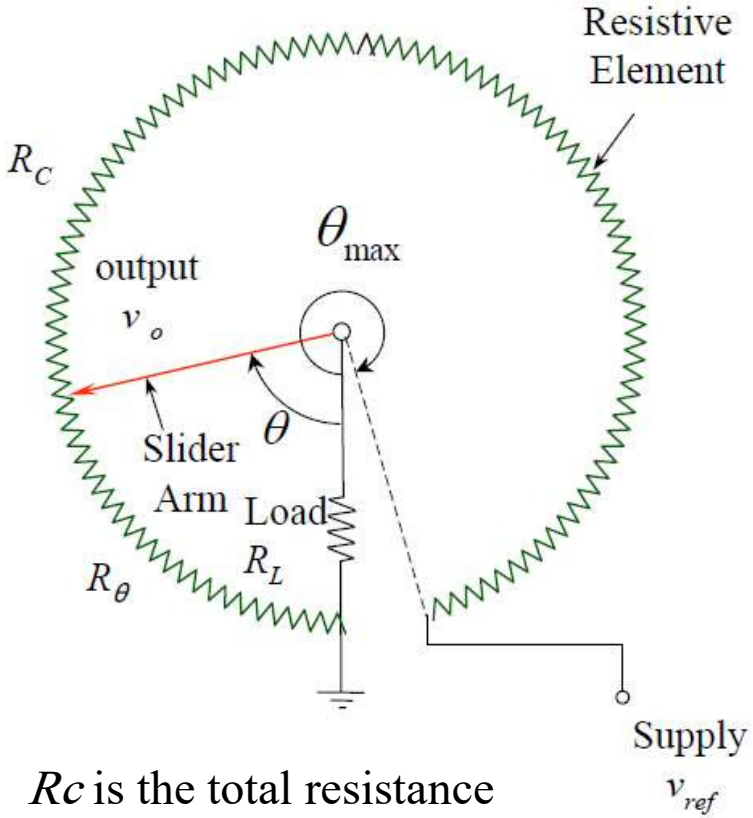
$$d = 0.5 \text{ mm.}$$

$$\frac{4 \times 10^{-6} \times \pi D \times 625}{\pi (0.05/2)^2} = 5\,\Omega$$

**D=1.25 cm**

# پتانسیومتر

## اثر بار (Loading Effect):




*Rc* is the total resistance of the potentiometer coil

$$R_\theta = \frac{\theta}{\theta_{max}} R_c$$

بانوشتن قانون جریانها در نقطه برخورد:

$$\frac{v_{ref} - v_o}{R_c - R_\theta} = \frac{v_o}{R_\theta} + \frac{v_o}{R_L}$$

$$\frac{v_{ref} - v_o}{1 - \theta/\theta_{max}} = \frac{v_o}{\theta/\theta_{max}} + \frac{v_o}{R_L/R_c}$$

$$\frac{v_o}{v_{ref}} = \left[ \frac{(\theta/\theta_{max})(R_L/R_C)}{\left(R_L/R_C + (\theta/\theta_{max}) - (\theta/\theta_{max})^2\right)} \right]$$

# پتانسیومتر

## حساسیت:

**حساسیت یک پتانسیومتر نشان دهنده تغییر در ولتاژ خروجی به ازای تغییر کوچک در زاویه اندازه گیری شده است.**

$$S = \frac{\Delta v_0}{\Delta \theta}$$

**در حالت حدی:**

$$S = \frac{\partial v_0}{\partial \theta}$$

# پتانسیومتر

**معایب:**

- ✓ نیروی مورد نیاز برای جابجایی لغزنده توسط منبع جابجایی تامین می شود (اعمال بار مکانیکی به سیستم).
- ✓ امکان اندازه گیری های فرکانس بالا وجود ندارد (وجود اصطکاک، جهش لغزنده،...).
- ✓ تغییرات در ولتاژ منبع تغذیه می تواند باعث خطا شود.
- ✓ زیاد بودن اثرات بار الکتریکی در مواقعی که اندازه مقاومت بار کم است.
- ✓ رزولوشن محدود به تعداد حلقه در سیم پیچ و همگن بودن آن است.
- ✓ بالارفتن دما و سائیدگی در سیم پیچ می تواند باعث افت کیفیت آن شود.

# پتانسیومتر

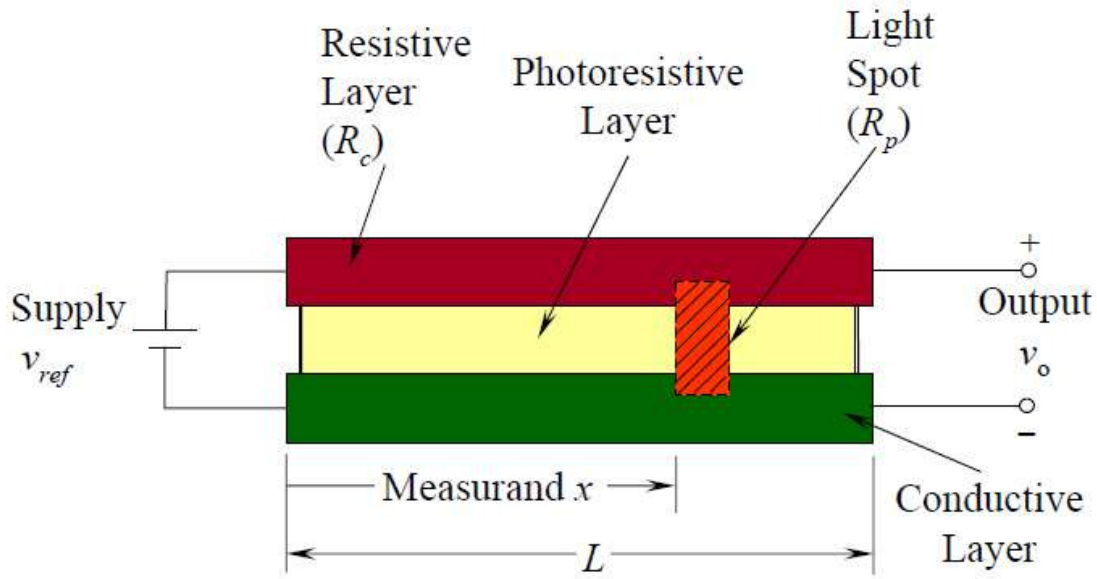
**مزایا:**

- ✓ نسبتاً کم هزینه
- ✓ ولتاژ خروجی بالایی را تامین می کند که در اکثر کاربردها نیاز به تقویت کردن ندارد.

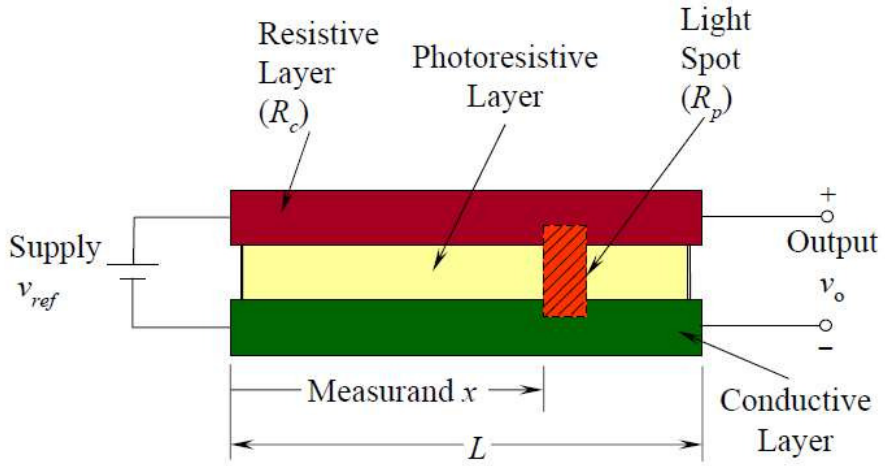
# پتانسیومتر نوری

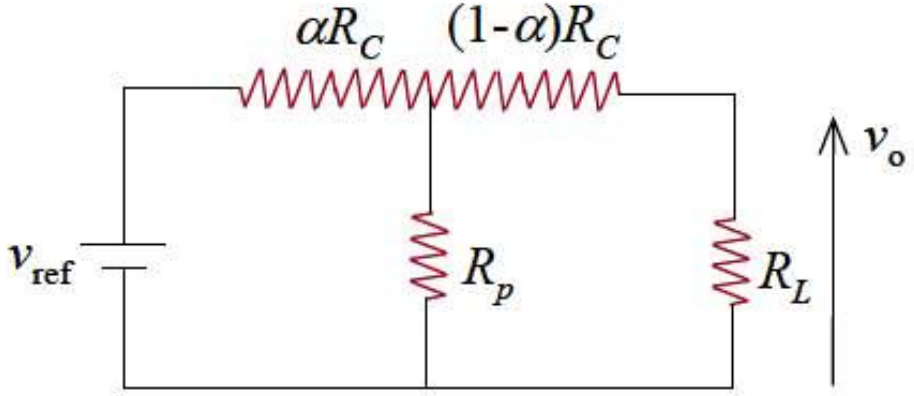
پتانسیومتر نوری از یک مکانیزم نوری به جای استفاده از بازوی لغزنده برای اندازه گیری جابجایی استفاده می کند. مکانیزم نوری شامل یک لایه مقاومت نوری و یک منبع نوری است.

لایه مقاومت نوری از ماده ای ساخته شده که در صورت عدم دریافت نور، عایق الکتریکی و در صورت دریافت نور به ماده ای با مقاومت الکتریکی محدود تبدیل می شود.



# پتانسیومتر نوری



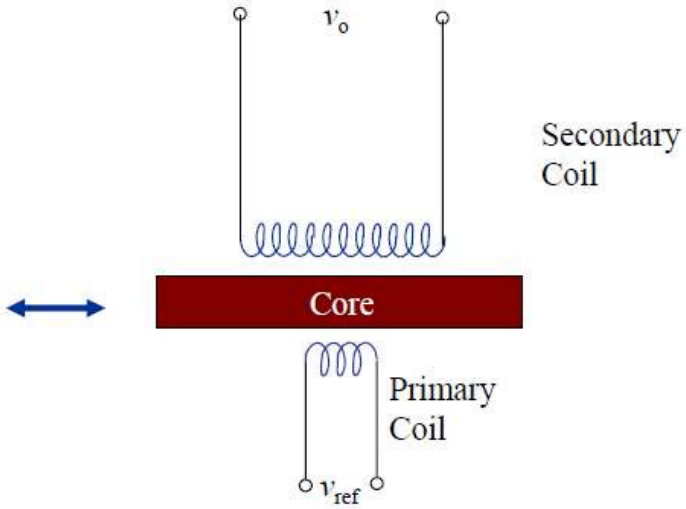




می توان نشان داد برای حالت $R_c \ll R_L$ :

$$\frac{v_o}{v_{ref}} = \frac{1}{\left[\frac{xR_c}{LR_p} + 1\right]}$$

# حسگرهای اندوکتانس متغیر

این حسگرها بر مبنای اصل القای الکترومغناطیس کار می کنند. بر اساس این اصل زمانی که یک رسانا در یک میدان مغناطیسی متغیر قرار گیرد، در آن جریانی القا می شود که میدان مغناطیسی حاصل از آن با میدان اولیه مخالفت می کند.



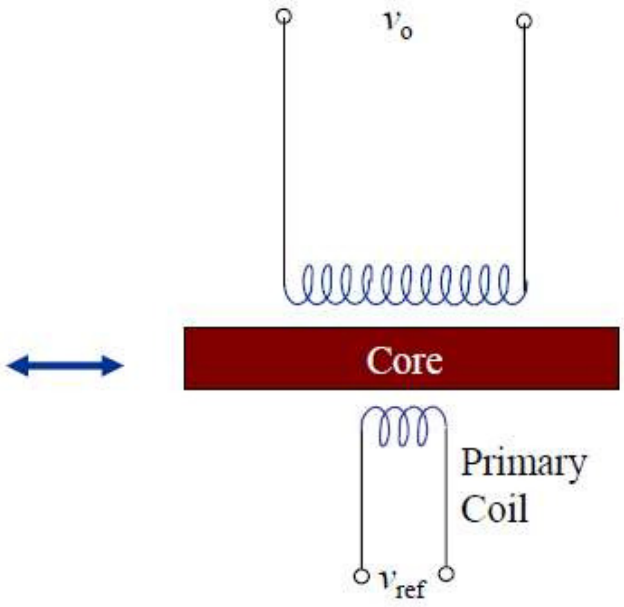

حسگرهای اندوکتانس متغیر به سه دسته تقسیم می شوند:

۱- حسگرهای با القای دو طرفه (القای متقابل)

۲- حسگرهای خودالقاء

۳- حسگرهای با آهنربای دائم

# حسگرهای اندوکتانس متغیر




**حسگرهای با القای متقابل:**

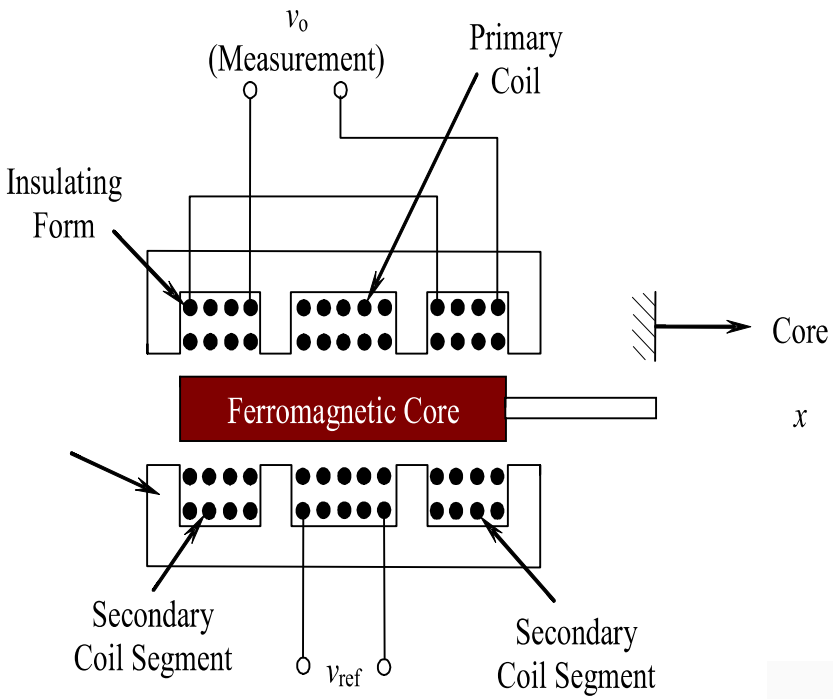
تحریک ولتاژ AC در سیم پیچ اولیه باعث ایجاد ولتاژ در سیم پیچ ثانویه می شود. اندازه ولتاژ تولیدی بستگی به میزان شار القا شده به سیم پیچ ثانویه دارد. جسمی که اندازه گیری آن مدنظر است به دو طریق باعث تغییر در شار می شود:

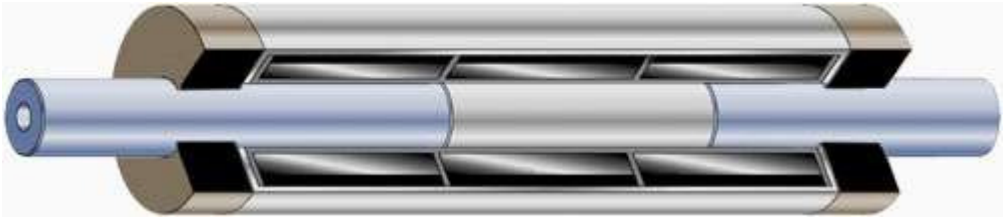
۱- عبور ماده فرومغناطیس درون مسیر شار مغناطیسی مانند LVDT، RVDT و حسگرهای مجاورتی القاء متقابل

۲- حرکت یک سیم پیچ نسبت به سیم پیچ دیگر مانند Resolver, Synchro-transformer

# حسگرهای اندوکتانس متغیر

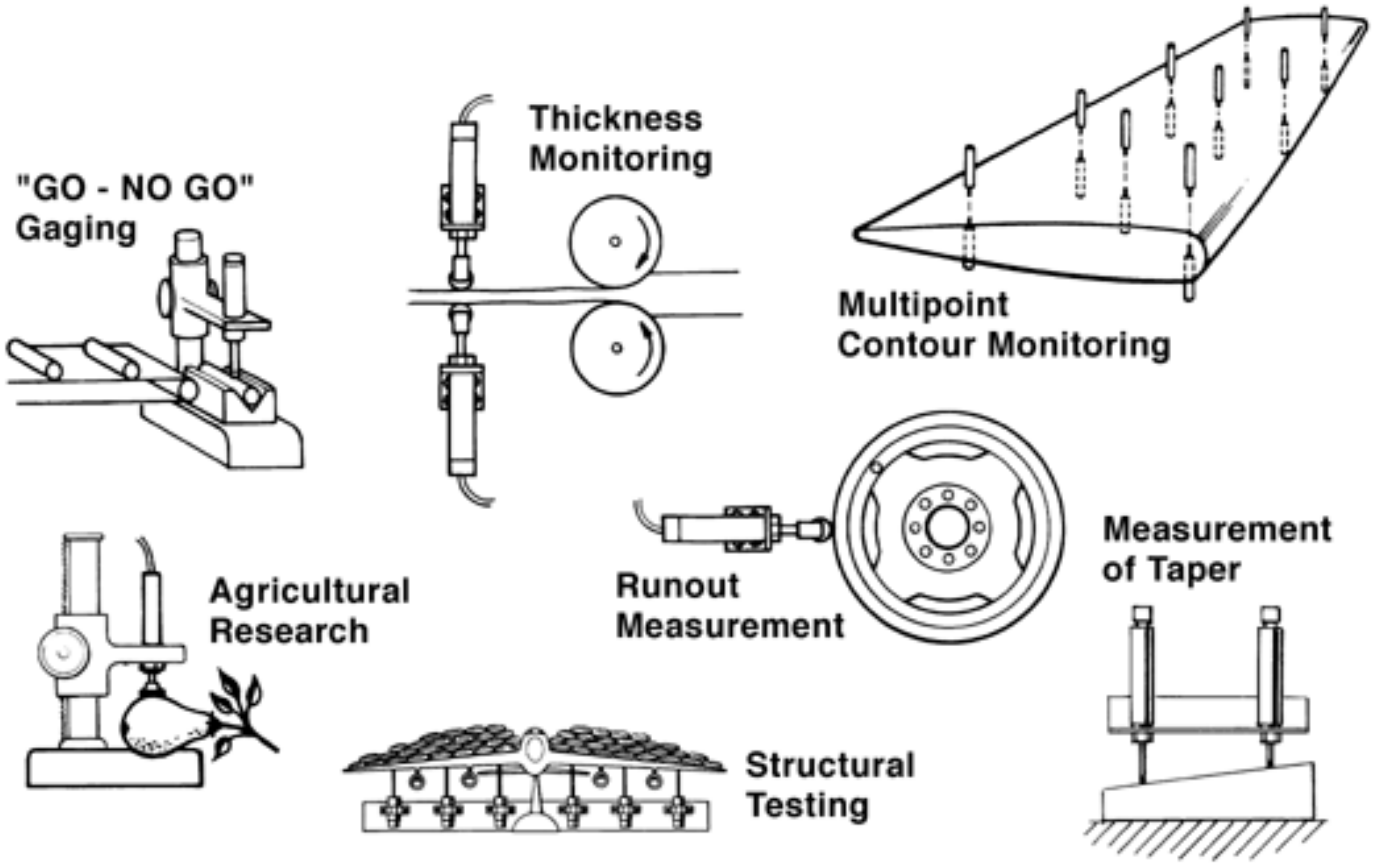
## Linear Variable Differential Transformer (LVDT):





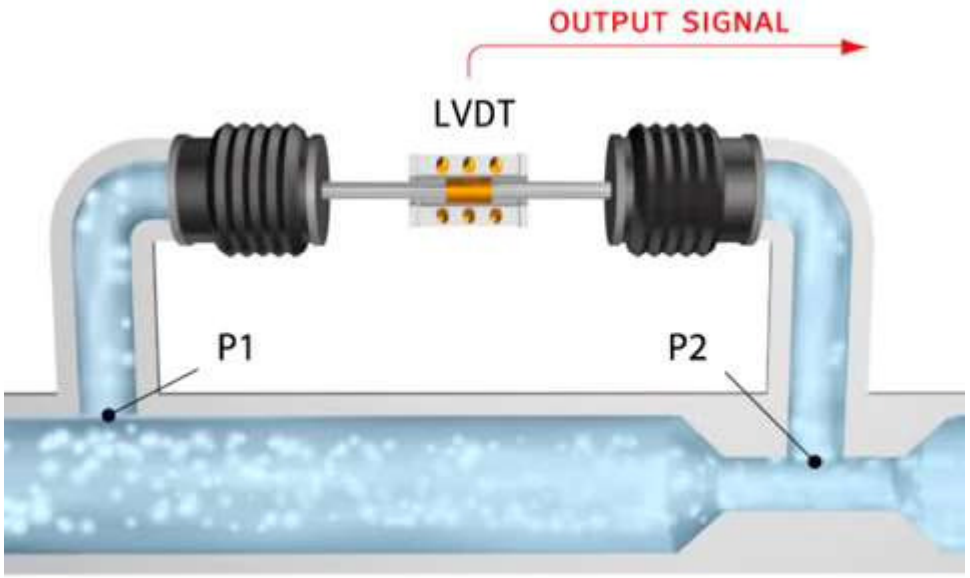
# حسگرهای اندوکتانس متغیر

Linear Variable Differential Transformer (LVDT):



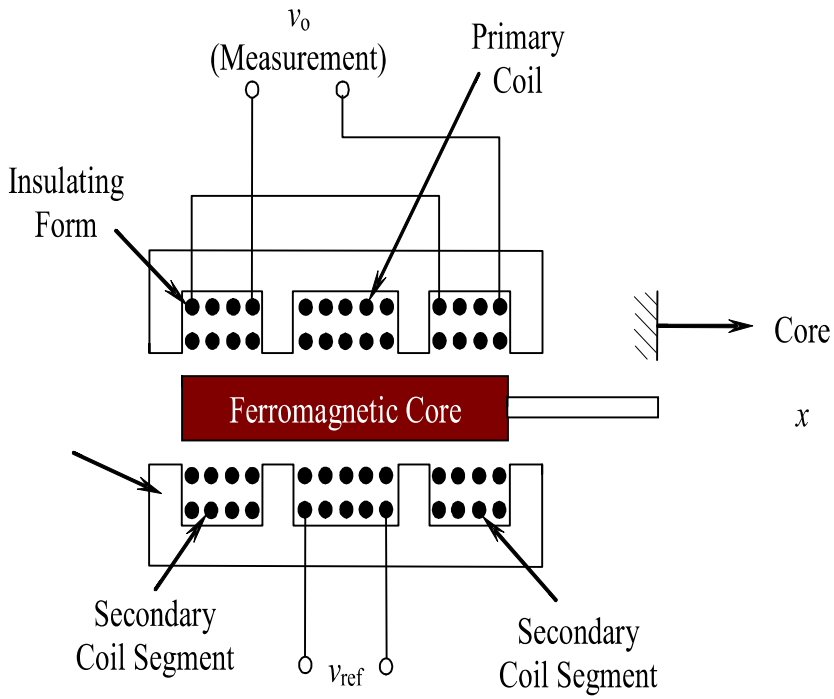
# حسگرهای اندوکتانس متغیر

Linear Variable Differential Transformer (LVDT):



# حسگرهای اندوکتانس متغیر

## Linear Variable Differential Transformer (LVDT):




- محدوده کاری LVDT ها، از هزارم اینچ تا چند اینچ می باشد.
- محدوده فرکانسی آنها محدود است. ماکزیمم فرکانس قابل استفاده از آنها بین ۱۰۰ تا ۲۰۰ هرتز بسته به فرکانس ولتاژ ورودی است.