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

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

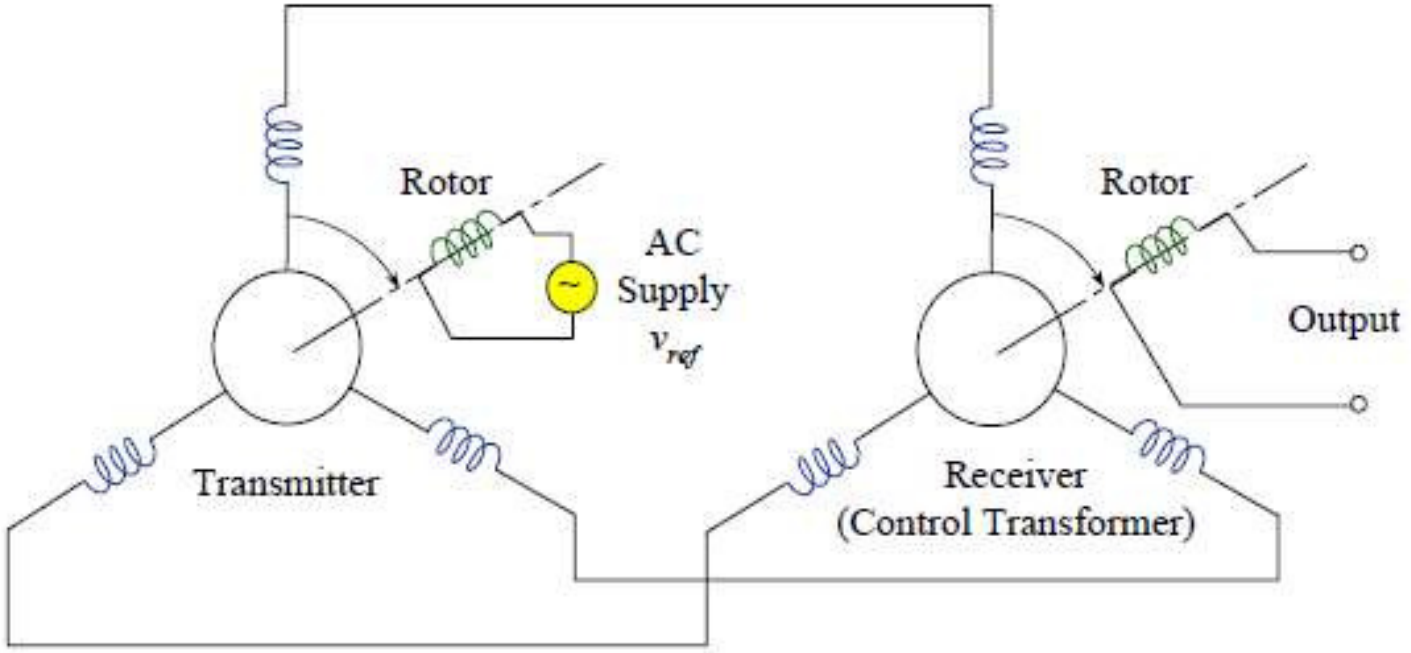
# سنسورهای آنالوگ برای اندازه گیری حرکت

## Synchro-Transformer

**سینکروترانسفورمر:**

عملکرد سینکروترانسفورمر شبیه ریسولور است با این تفاوت که در سینکروترانسفورمر از دو جفت روتور و استاتور استفاده شده است.

هر کدام از استاتورها از سه دسته سیم پیچ با زاویه ۱۲۰ درجه نسبت بهم تعبیه شده است.



# سنسورهای آنالوگ برای اندازه گیری حرکت

## Synchro-Transformer

ولتاژ القا شده در روتور گیرنده زمانی ماکزیمم است که روتور گیرنده همان زاویه را با سیم پیچ متناظر در مجموعه گیرنده داشته باشد. بنابراین رابطه مناسب برای ولتاژ خروجی به صورت زیر است:

$$v_o = a v_{ref} \cos(\theta_t - \theta_r)$$

مزیت سینکروترانسفورمر امکان اندازه گیری زاویه نسبی بین دو شافت اس

لازم به ذکر است، سینکروترانسفورمر حول جایی که ولتاژ خروجی صفر است، یعنی شرایط

$$\theta_r - \theta_t = 90$$

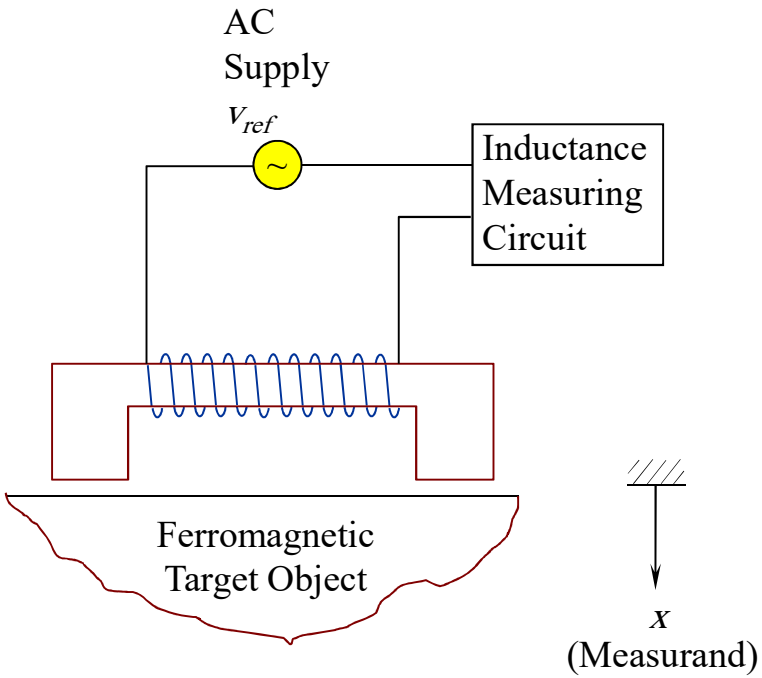
استفاده می شود. این شرایط در تنظیم اولیه وضعیت روتورها در نظر گرفته می شود. بدین ترتیب زمانی که شافتهای فرستنده و گیرنده نسبت به هم زاویه ای نگیرند ولتاژ خروجی صفر خواهد بود.

# سنسورهای آنالوگ برای اندازه گیری حرکت

## Self-Induction Transducers

## سنسور مجاورتی خود القاء

- ✓ این نوع از سنسورها بر اساس اصل خودالقایی کار می کنند (برخلاف سنسورهای با القای متقابل)
- ✓ سیم پیچ توسط یک منبع تغذیه **AC** با فرکانس بالا تحریک می شود. جریان عبوری از سیم پیچ ایجاد شار مغناطیسی می کند.
- ✓ ولتاژ ناشی از خودالقایی و جریان گذرنده به صورت زیر است:

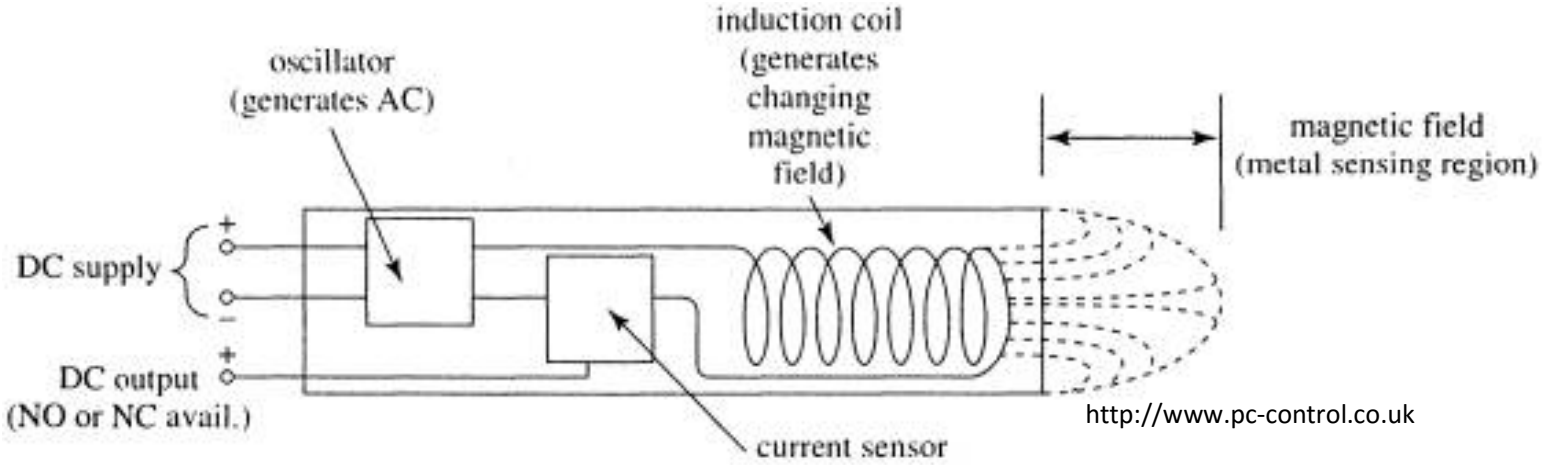



$$v_L = L\frac{di_L}{dt}$$

در این رابطه **L** ضریب خودالقایی است و با نزدیک شدن جسم فرومغناطیس اندازه آن تغییر می کند. با اندازه گیری تغییرضریب سلف در یک مدار مخصوص، میزان نزدیک شدن جسم مشخص می شود.

# سنسورهای آنالوگ برای اندازه گیری حرکت

## Self-Induction Transducers

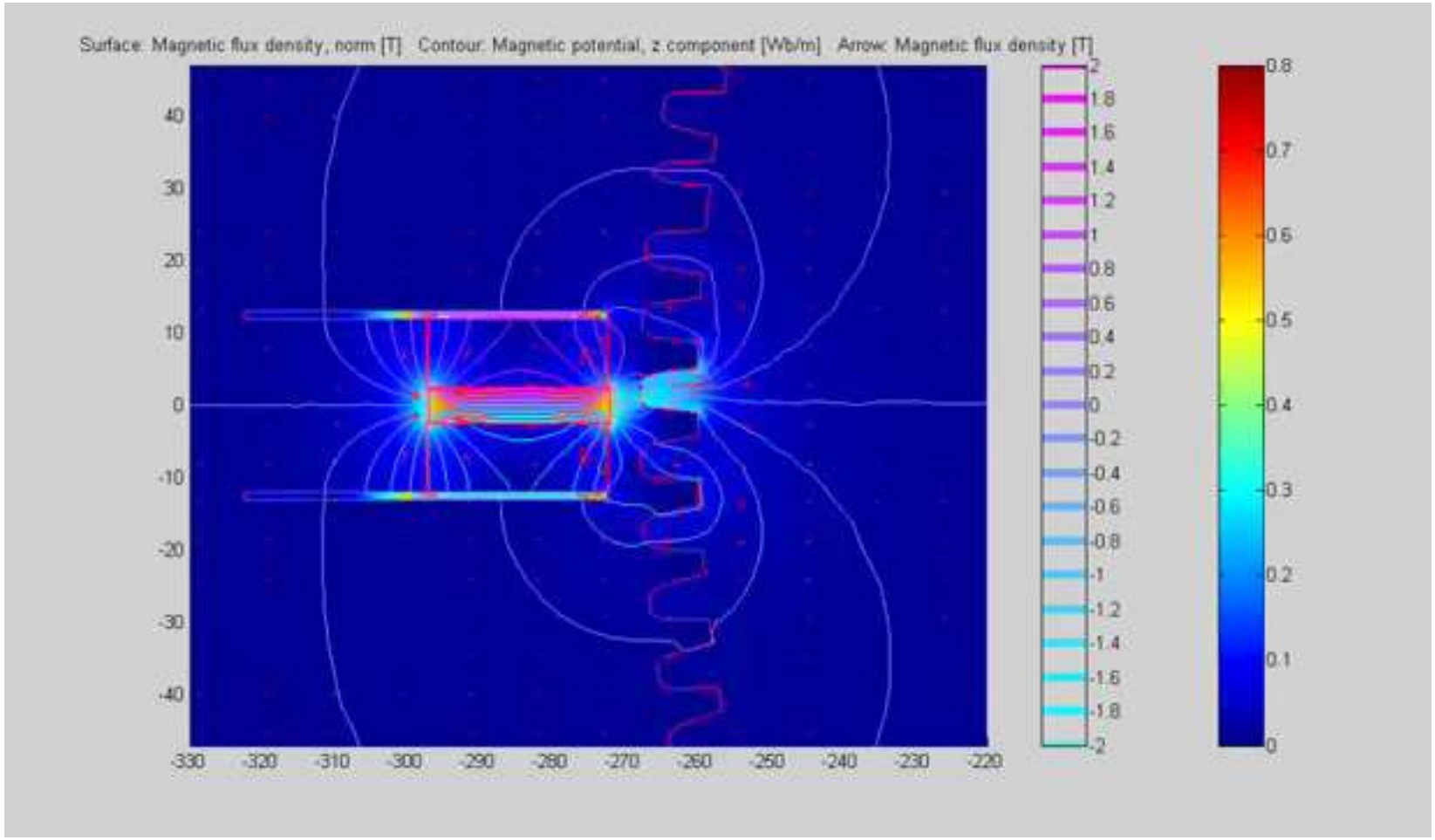



http://www.pc-control.co.uk

- ✓ این نوع از سنسورها با توجه به قیمت ارزان، پایداری بالا و اندازه کوچک پرکاربردترین نوع سنسور هستند.
- ✓ جریان **DC** اعمال شده به اسیلاتور باعث ایجاد جریان **AC** در کویل می گردد. در حالت عادی یک میدان مغناطیسی بین کویل و بدنه سنسور برقرار است. با نزدیک شدن ماده رسانا به کویل امپدانس مغناطیسی مدار افزایش می یابد و جریان **AC** داخل آن کاهش می یابد، با افت جریان، خروجی سنسور فعال می شود.

# سنسورهای آنالوگ برای اندازه گیری حرکت

## Self-Induction Transducers



# سنسورهای آنالوگ برای اندازه گیری حرکت

## Self-Induction Transducers

## سنسور مجاورتی خود القاء

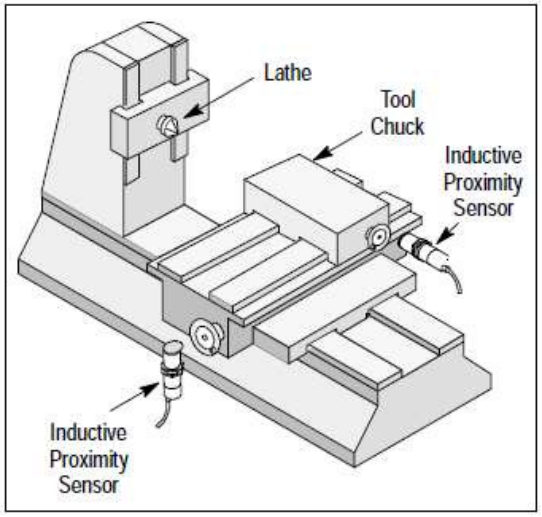
- ✓ این نوع از سنسورها نسبت به حضور فلزات در مجاورت خود حساس می باشند.
- ✓ ماهیت غیرتماسی این سنسورها باعث جلوگیری از خطرات مکانیکی و فرسایش در این تجهیزات می شود.
- ✓ این سنسورها می توانند در محیط های آلوده به موادی از قبیل روغن، گریس، خاک و ... به خوبی عمل کنند.

http://www.ctiautomation.net

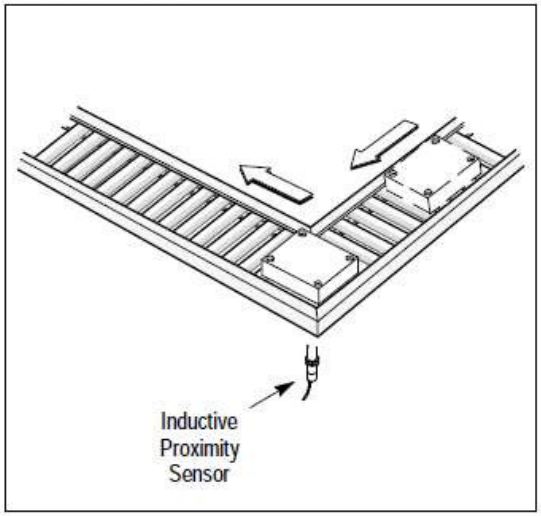
# سنسورهای آنالوگ برای اندازه گیری حرکت

✓ نمونه ای از کاربردهای سنسورهای مجاورتی

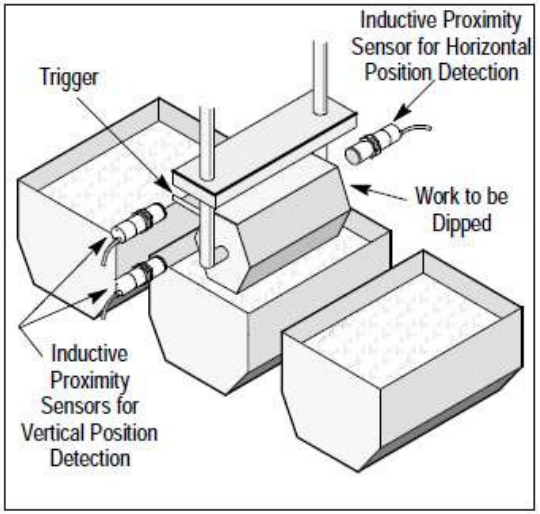
**Machine Tools**




**Plating Line**




**Plating Line**

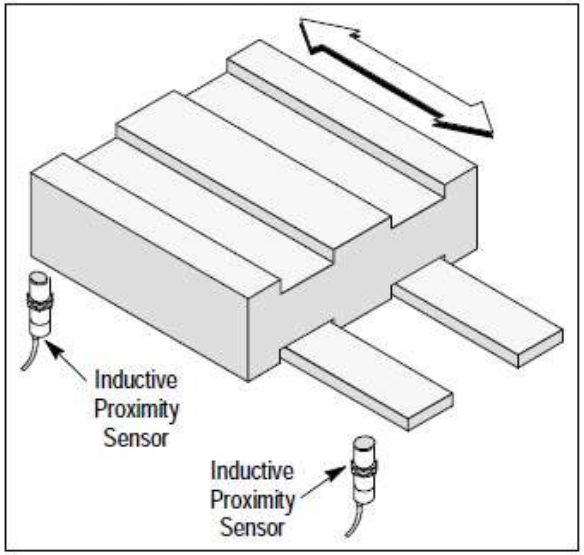



*www.ab.com/catalogs*

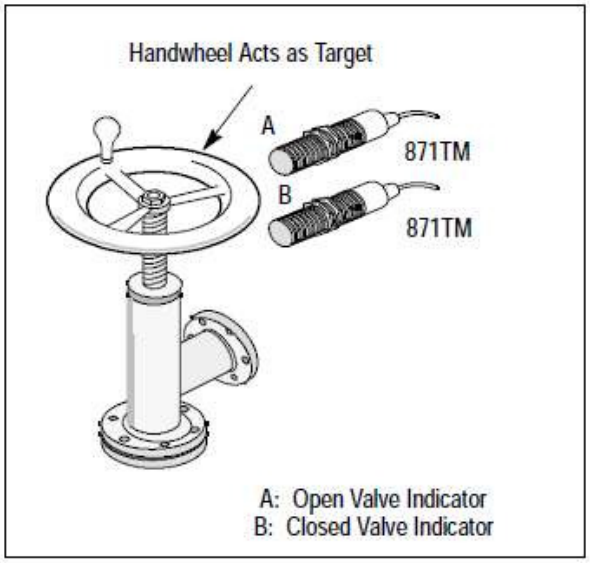
# سنسورهای آنالوگ برای اندازه گیری حرکت

✓ نمونه ای از کاربردهای سنسورهای مجاورتی

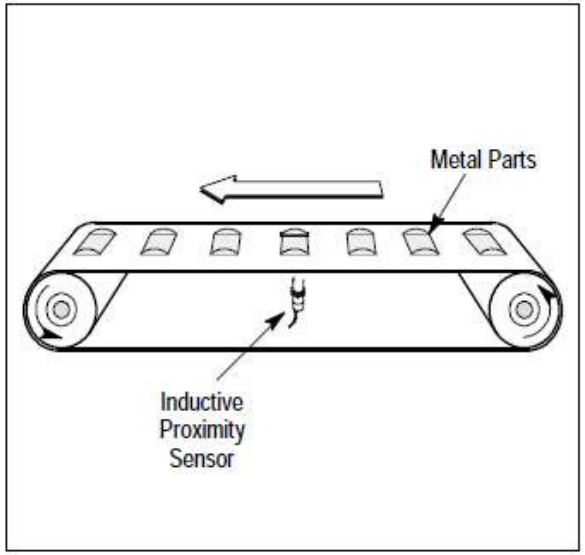
**Grinding Machines**




**Petroleum Industry—
Valve Position**



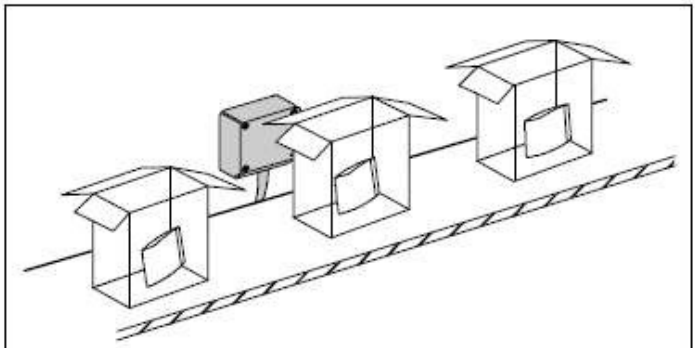

**Conveyor Belts**



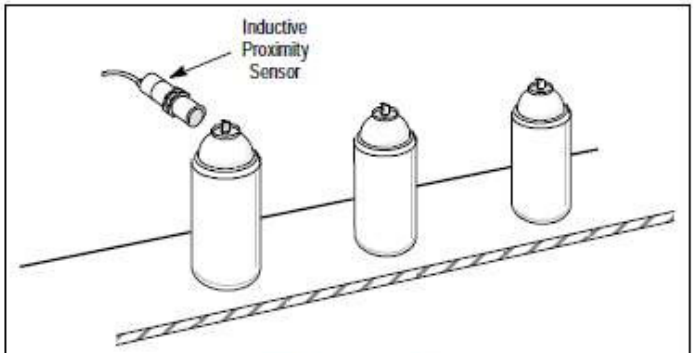

*www.ab.com/catalogs*

# سنسورهای آنالوگ برای اندازه گیری حرکت

✓ نمونه ای از کاربردهای سنسورهای مجاورتی

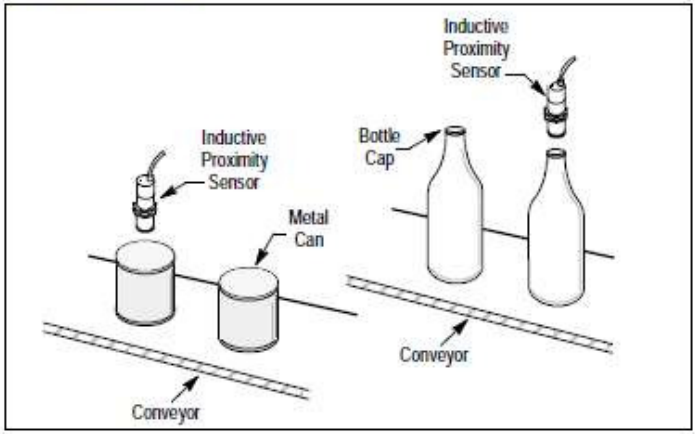


Inductive proximity sensor used to detect a foil seasoning bag inside of a cardboard container.

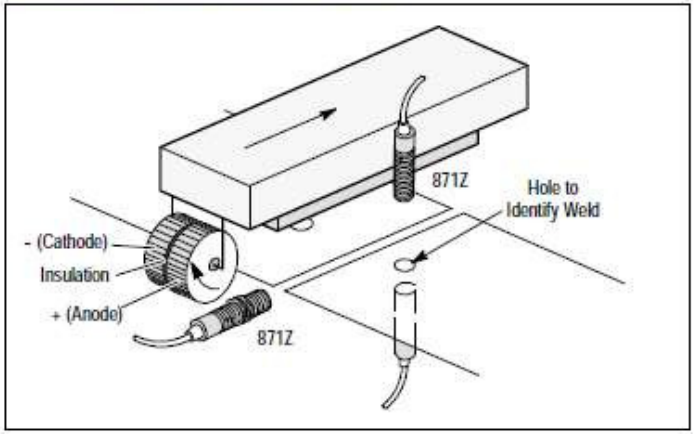



Ferrous selective inductive proximity sensor used to sort ferrous and nonferrous can tops.

**Food Industry**




**Stainless Steel Sheet Welder**




*www.ab.com/catalogs*

# سنسورهای آنالوگ برای اندازه گیری حرکت

## حسگرهای مغناطیس دائم:

www.excellaelectronics.com

- ✓ این دسته از حسگرها قادر به اندازه گیری سرعتهای خطی و دورانی می باشند.
- ✓ ویژگی اصلی این دسته از سنسورها وجود آهنربای دائمی در آنهاست که یک میدان ثابت و یکنواخت مغناطیسی ایجاد می کند.

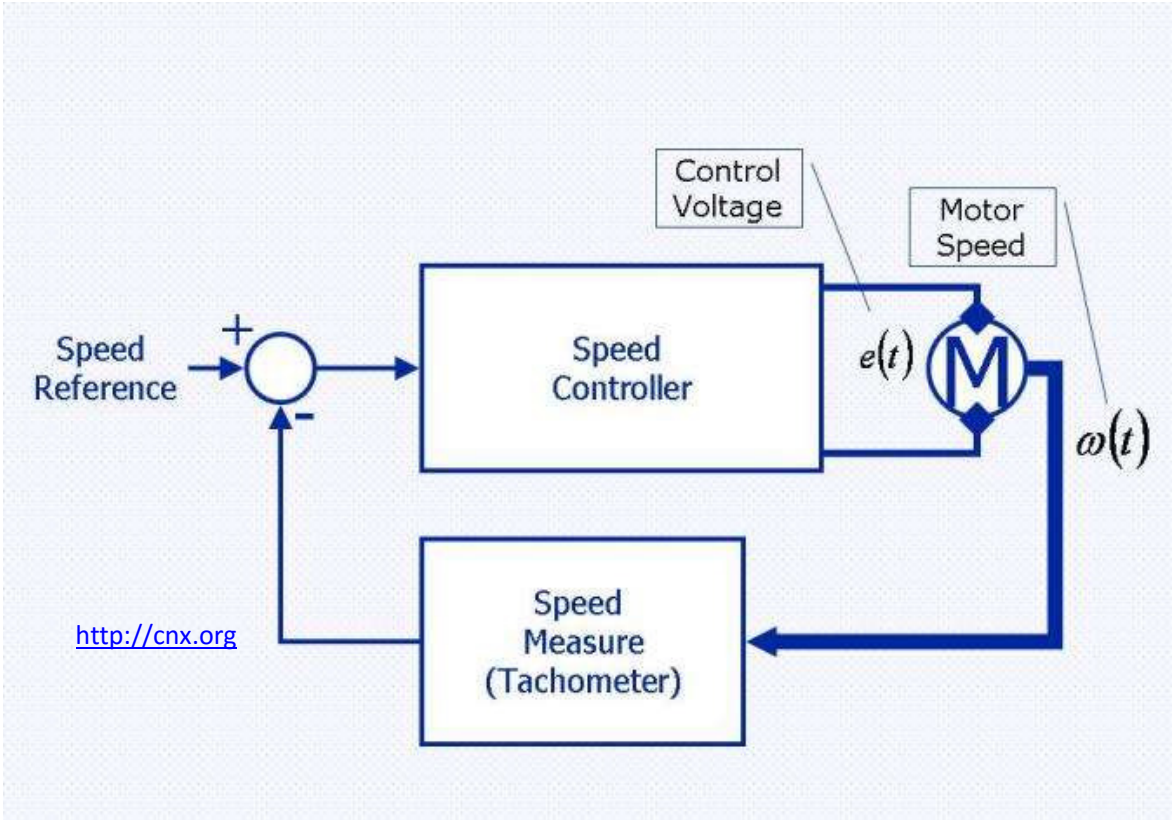
http://www.roboticsbible.com

- ✓ حرکت نسبی بین میدان مغناطیسی و یک هادی الکتریکی باعث ایجاد ولتاژی می شود که متناسب با سرعت حرکت هادی درون میدان مغناطیسی است (یعنی نرخ تغییر در شار مغناطیسی).
- ✓ در برخی از حسگرها میدان مغناطیسی دائم توسط جریان DC ایجاد می شود ولی با وجود آن به آنها حسگرهای مغناطیس دائم می گویند.

# سنسورهای آنالوگ برای اندازه گیری حرکت

انواع حسگرهای مغناطیس دائم:

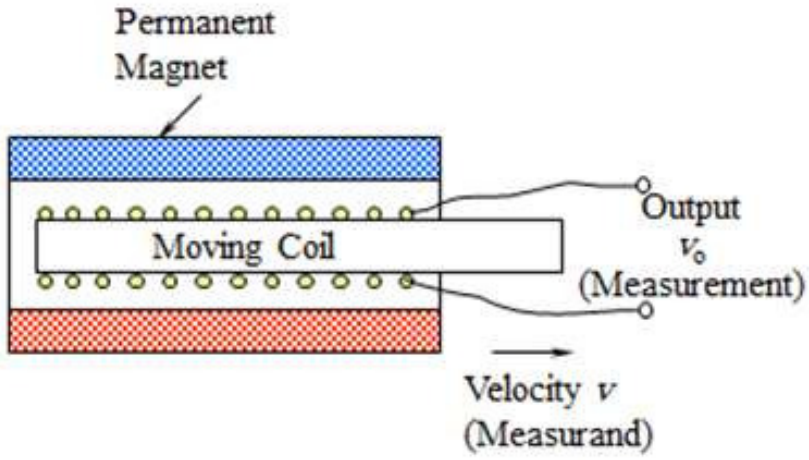
- تاکومتر DC (تاکوژنراتور)
- تاکومتر AC
- تاکومتر القایی AC

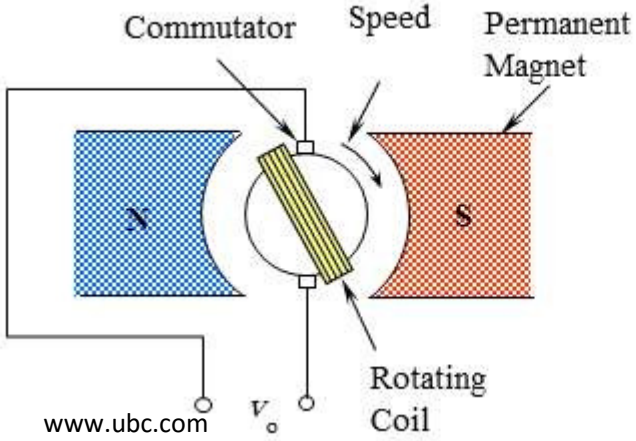


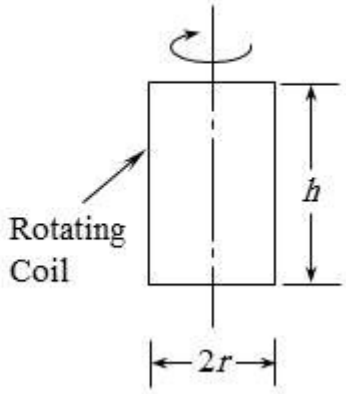
# سنسورهای آنالوگ برای اندازه گیری حرکت

## تاکومتر DC (تاکوژنراتور):

- ✓ در دو نوع خطی و دورانی موجود است.
- ✓ در این مبدلها از خاصیت القای الکترومغناطیس بین یک آهنربای دائم و یک سیم پیچ متحرک استفاده شده است.
- ✓ توان خروجی از مبدل از جسم متحرک تامین شده و بنابراین این مبدل از نوع غیرفعال است.



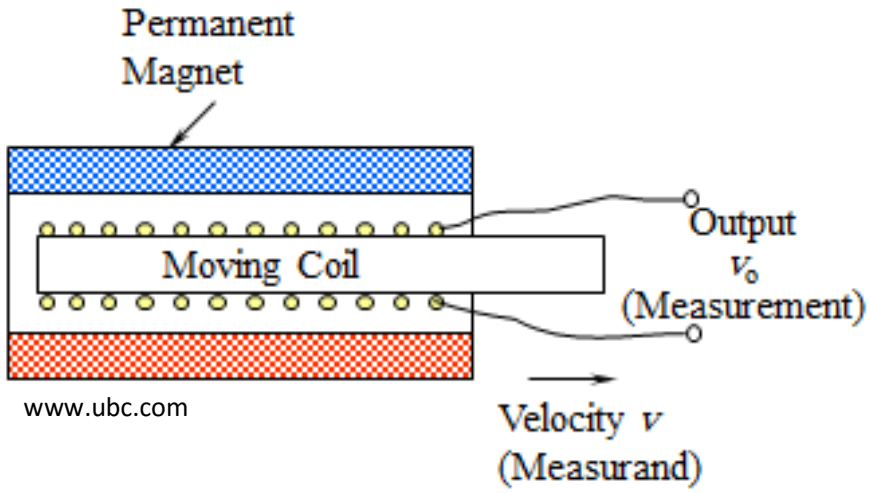




www.ubc.com

# سنسورهای آنالوگ برای اندازه گیری حرکت

## تاکومتر DC (خطی):

- ✓ هسته به جسمی که هدف اندازه گیری سرعت آن است متصل شده و در اثر حرکت سیم پیچ ولتاژی در آن القا می شود که با سرعت جسم متناسب است.



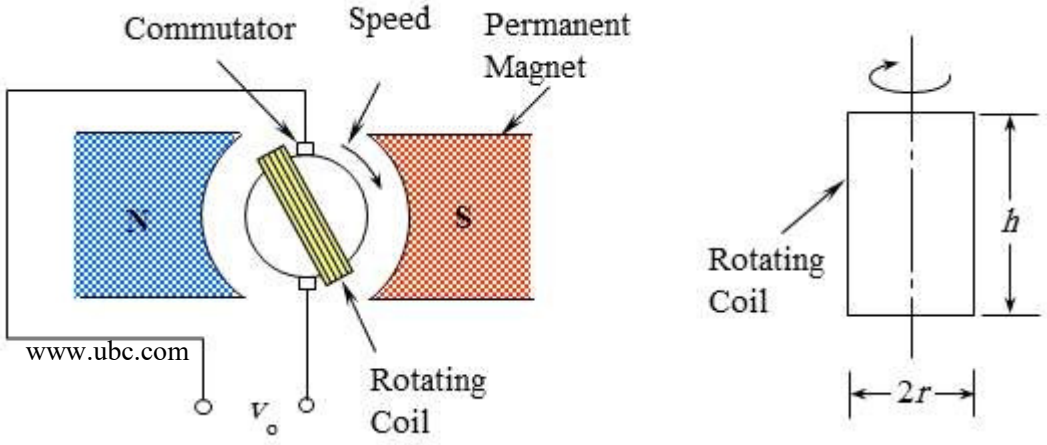

$$v_0 \propto v$$

# سنسورهای آنالوگ برای اندازه گیری حرکت

## تاکومتر DC (دورانی):

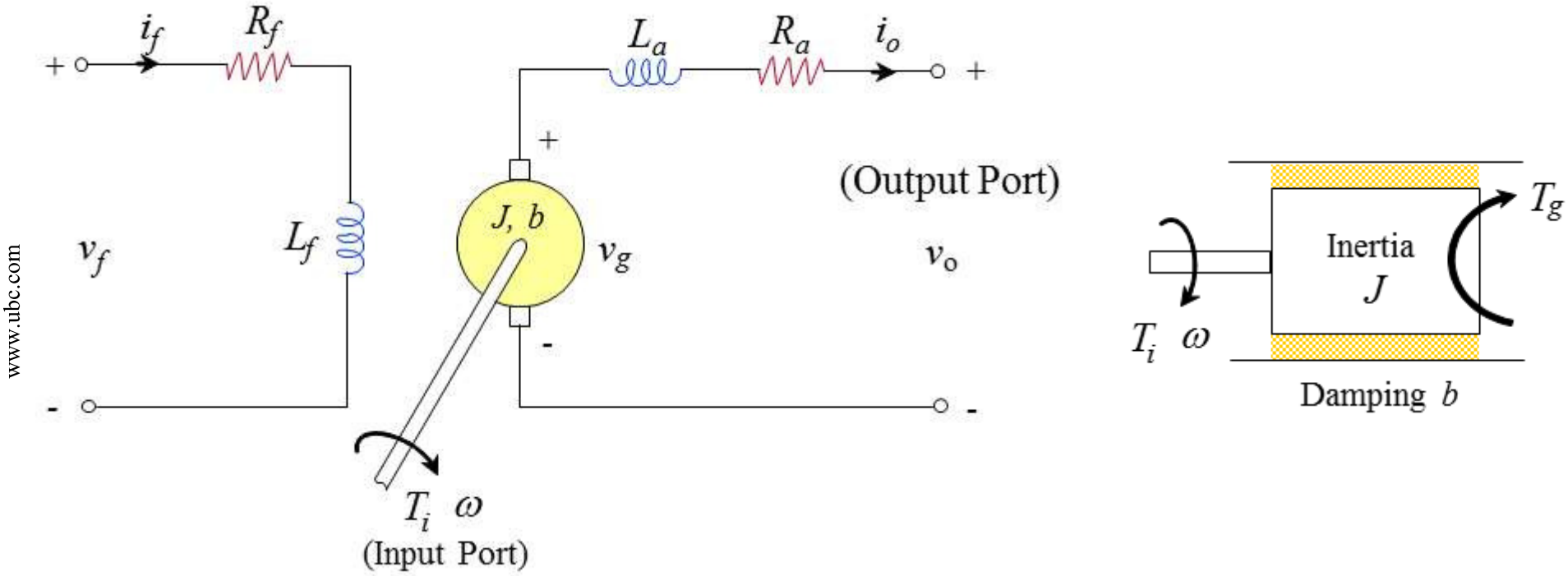
- ✓ از دوران سیم پیچ درون میدان مغناطیسی دائم ولتاژی متناسب با سرعت دورانی ایجاد می- شود.
- ✓ برای کویلی با ارتفاع **h** و عرض **2r** با **n** دور و سرعت دورانی $\omega_c$ در میدان مغناطیسی باچگالی شار $\beta$ ، با استفاده از قانون فارادی داریم:

$$v_o = (2nhr\beta)\omega_c$$



# سنسورهای آنالوگ برای اندازه گیری حرکت

## مدلسازی DC Tachometer:

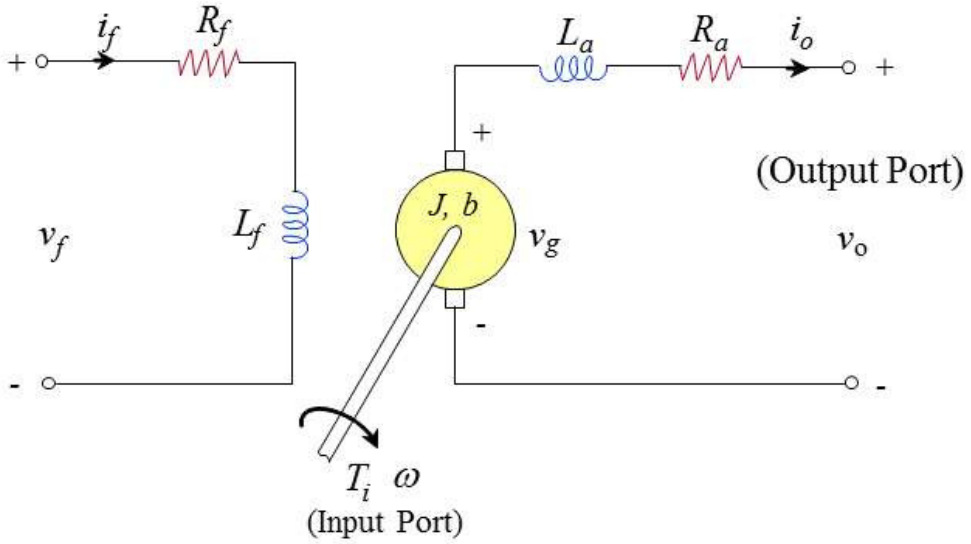


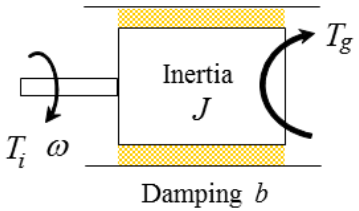

www.ubc.com

- ✓ میدان مغناطیسی دائم با اعمال جریان مستقیم $v_f$ ایجاد می شود. سرعت دورانی $\omega_i$ و گشتاور $T_i$ دو ورودی سیستم هستند. ولتاژ خروجی $v_o$ و جریان در مدار آرمیچر، دو خروجی سیستم هستند. هدف به دست آوردن تابع تبدیل سیستم است.

# سنسورهای آنالوگ برای اندازه گیری حرکت

## مدلسازی DC Tachometer:




www.ubc.com

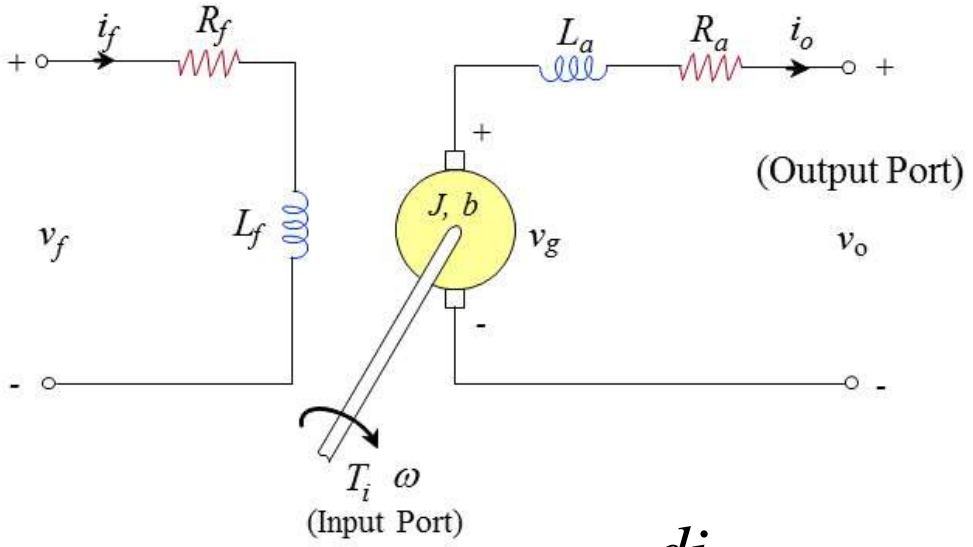
$$v_g = K' i_f \omega_i \quad \Rightarrow \quad v_g = K \omega_i$$

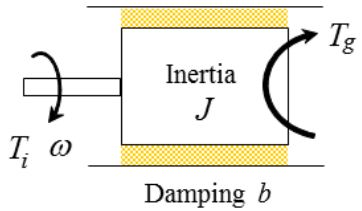
$$T_g = K' i_f i_o \quad \Rightarrow \quad T_g = K i_o$$

گشتاور لازم برای چرخش روتور

# سنسورهای آنالوگ برای اندازه گیری حرکت

## مدلسازی DC Tachometer:




www.ubc.com

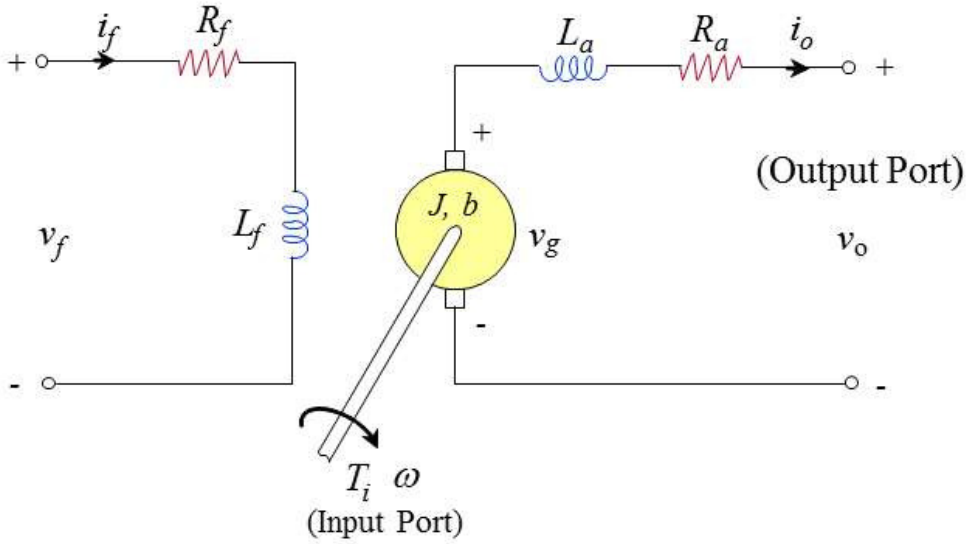
$$v_o = v_g - R_a i_o - L_a \frac{di_o}{dt} \quad \Rightarrow \quad V_o = K\omega_i - (R_a + sL_a) I_o$$

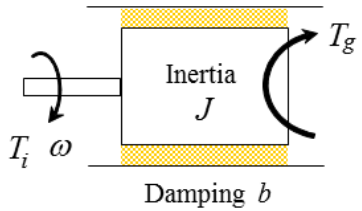
$$T_i = J \frac{d\omega_i}{dt} + b\omega_i + T_g \quad \Rightarrow \quad KI_o = T_i - (b + sJ)\omega_i$$

**Ti گشتاوری است که از جسم چرخان گرفته شده است و باعث اثرات نامطلوب بارگذاری می شود.**

# سنسورهای آنالوگ برای اندازه گیری حرکت

## مدلسازی DC Tachometer:




$$\begin{bmatrix} V_o \\ I_o \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} K + (R_a + sL_a)(b + sJ)/K & -(R_a + sL_a)/K \\ -(b + sJ)/K & 1/K \end{bmatrix} \begin{pmatrix} \omega_i \\ T_i \end{pmatrix}$$

www.ubc.com

# سنسورهای آنالوگ برای اندازه گیری حرکت

## مدلسازی DC Tachometer:

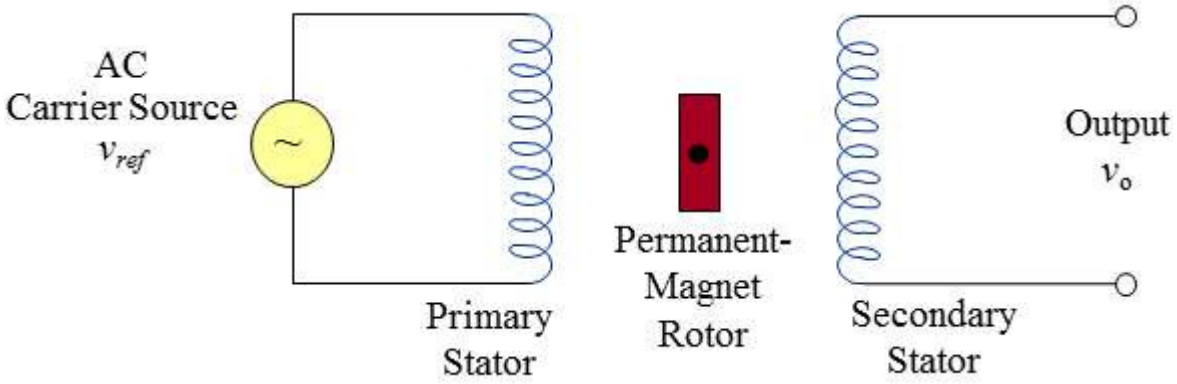
$$\begin{bmatrix} V_o \\ I_o \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} K + (R_a + sL_a)(b + sJ)/K & -(R_a + sL_a)/K \\ -(b + sJ)/K & 1/K \end{bmatrix} \begin{pmatrix} \omega_i \\ T_i \end{pmatrix}$$

- ✓ ورودی اصلی سیستم $\omega_i$ و خروجی مورد نظر $V_o$ است.
- ✓ مولفه (1,1) ماتریس ضرایب نشان دهنده حساسیت سنسور است و افزایش آن مطلوبست.
- ✓ سایر عناصر، اثرات بارگذاری هستند و بایستی تا حد امکان کاهش یابند.
- ✓ حذف اثرات کوپلینگ (ارتباط یک ورودی با یک خروجی)
- ✓ رابطه استاتیکی بین ورودی و خروجی

# سنسورهای آنالوگ برای اندازه گیری حرکت

## تاکومتر AC :

## Permanent Magnet AC Tachometer

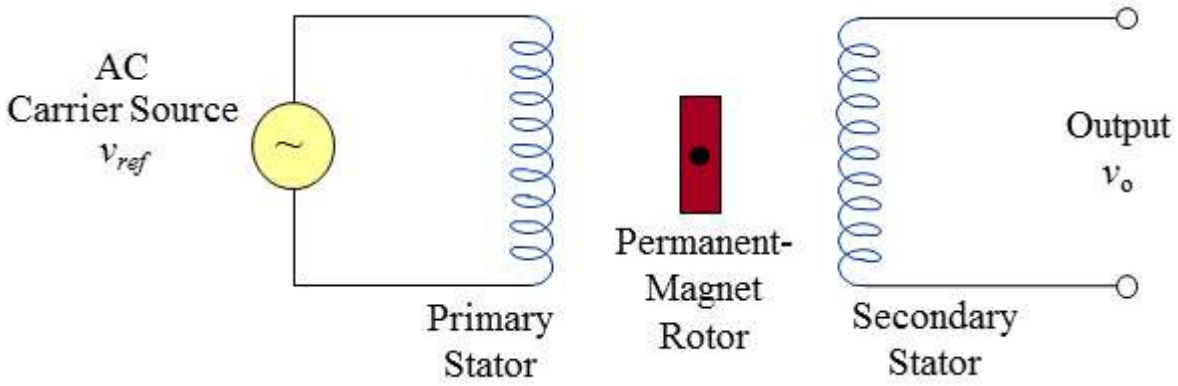



- ✓ در حالت سکون یا حرکت شبه استاتیک ولتاژ خروجی ثابت است.
- ✓ با حرکت دورانی روتور، ولتاژی متناسب با سرعت روتور ایجاد می گردد.
- ✓ به منظور تعیین سرعت دورانی، پیاده سازی (**Demodulation**) ولتاژ خروجی الزامی است.
- ✓ جهت حرکت با استفاده از زاویه فاز به دست می آید.

# سنسورهای آنالوگ برای اندازه گیری حرکت

## تاکومتر AC :

## Permanent Magnet AC Tachometer

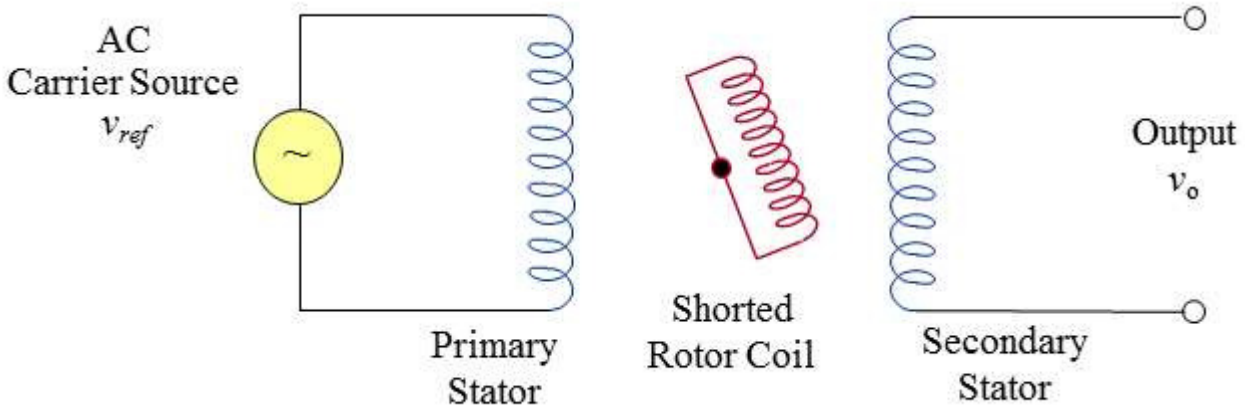



- ✓ برای فرکانسهای پایین (کمتر از ۵ هرتز) فرکانس ولتاژ ورودی حدود ۶۰ هرتز است.
- ✓ برای فرکانسهای میانه فرکانس ولتاژ ورودی حدود ۴۰۰ هرتز مورد نیاز است.
- ✓ برای فرکانسهای بالا فرکانس ولتاژ ورودی در حدود ۱۵۰۰ هرتز مورد استفاده قرار می گیرد.

# سنسورهای آنالوگ برای اندازه گیری حرکت

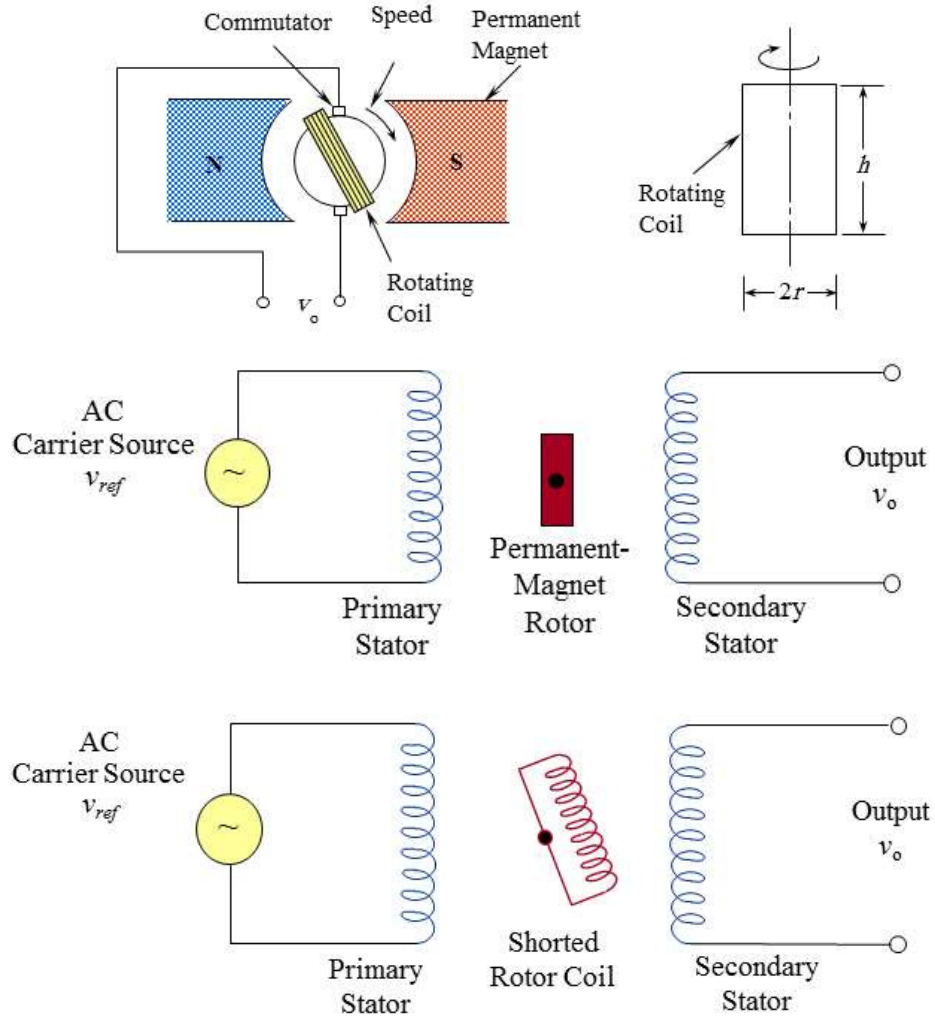
## تاکومتر القایی AC :

## AC Induction Tachometer




- ✓ ساختاری مشابه تاکومتر AC دارند با این تفاوت که یک سیم پیچ اتصال کوتاه به جای آهنربای دائم به عنوان روتور قرار گرفته است.
- ✓ اگر روتور ثابت باشد، عملکرد سیستم مانند یک ترانسفورماتور است، با چرخش روتور ولتاژ دیگری نیز بر روی ولتاژ فرکانس بالا سوار می شود که متناسب با سرعت چرخش روتور است.

# سنسورهای آنالوگ برای اندازه گیری حرکت



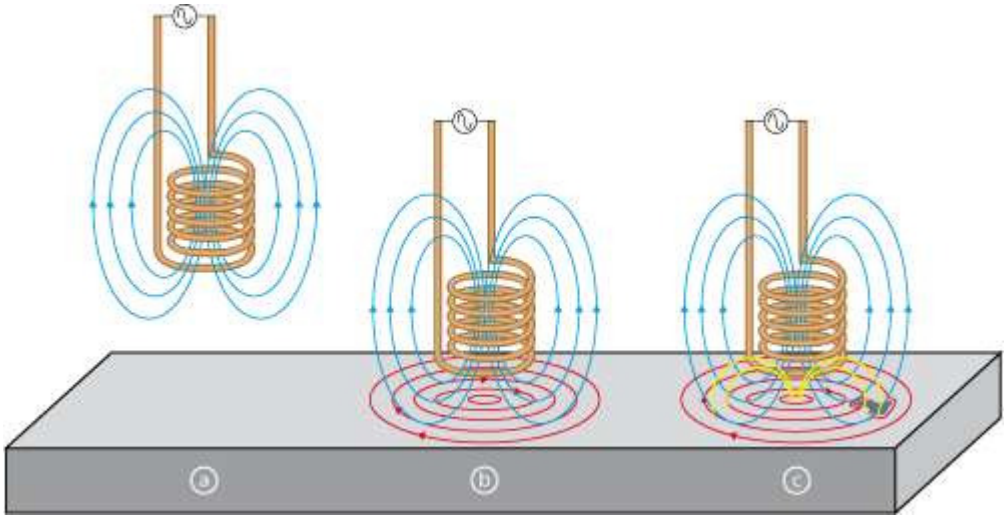

- ✓ مزیت اصلی تاکومترهای AC بر تاکومترهای DC عدم استفاده از جاروبک در آنهاست.
- ✓ وجود جاروبک باعث ایجاد پرشهایی در ولتاژ خروجی می شود که به آن نویز جاروبک گفته می شود. همچنین وجود جاروبک باعث اثر بارگذاری مکانیکی و احتمال پرشهای لحظه ای جاروبک از روی لغزنده در اثر اصطکاک می شود.

# سنسورهای آنالوگ برای اندازه گیری حرکت

## حسگرهای مجاورتی جریان گردابی(Eddy Current Transducer):

اگر یک جریان متناوب به یک سیم پیچ اعمال گردد، یک میدان الکترومغناطیسی متناوب تولید می شود. اگر یک شی فلزی در مجاورت این میدان مغناطیسی متناوب قرار گیرد، در آن جریانهای القایی گردابی به وجود می آید. جریانهای القایی گردابی خود میدانی ایجاد می کنند که با میدان مغناطیسی ایجاد کننده آنها مخالفت می کند. در نتیجه امپدانس سیم پیچ و در ادامه دامنه جریان متناوب نیز تغییر می کند.

با اندازه گیری تغییر ضریب سلف سیم پیچ توسط مداری مناسب مانند پل وتسون، امکان اندازه گیری جابجایی از روی آن وجود دارد.

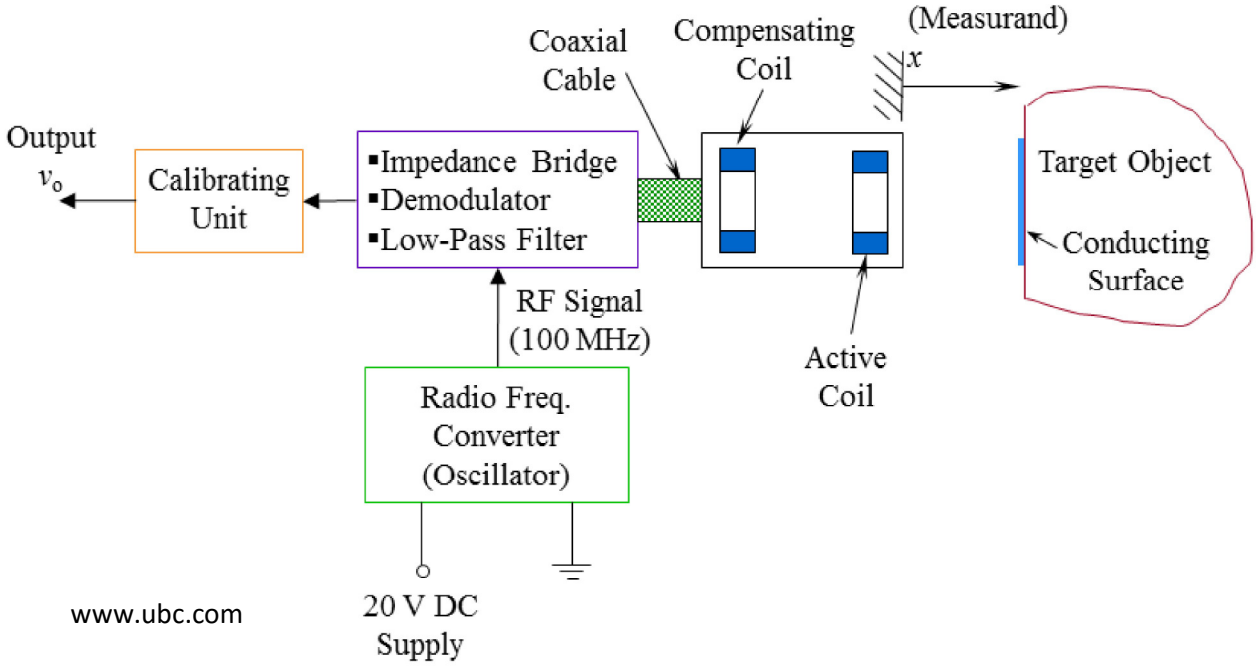


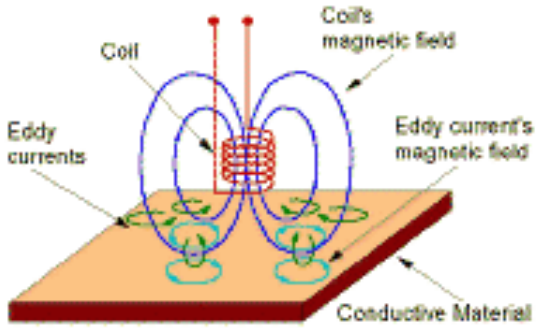
www.olympus-ims.com

# سنسورهای آنالوگ برای اندازه گیری حرکت

برای ایجاد جریان گردابی نیاز به محیط رسانا است و کافی است بر روی جسم مورد نظر یک ورق نازک رسانا مانند ورق آلومینیمی چسبانده شود.

نوک حسگر شامل دو سیم پیچ یکسان است که دو بازوی پل وتسون را تشکیل می دهند. استفاده از سیم پیچ جبران ساز و سیم پیچ فعال برای حذف اثرات شرایط محیطی است.

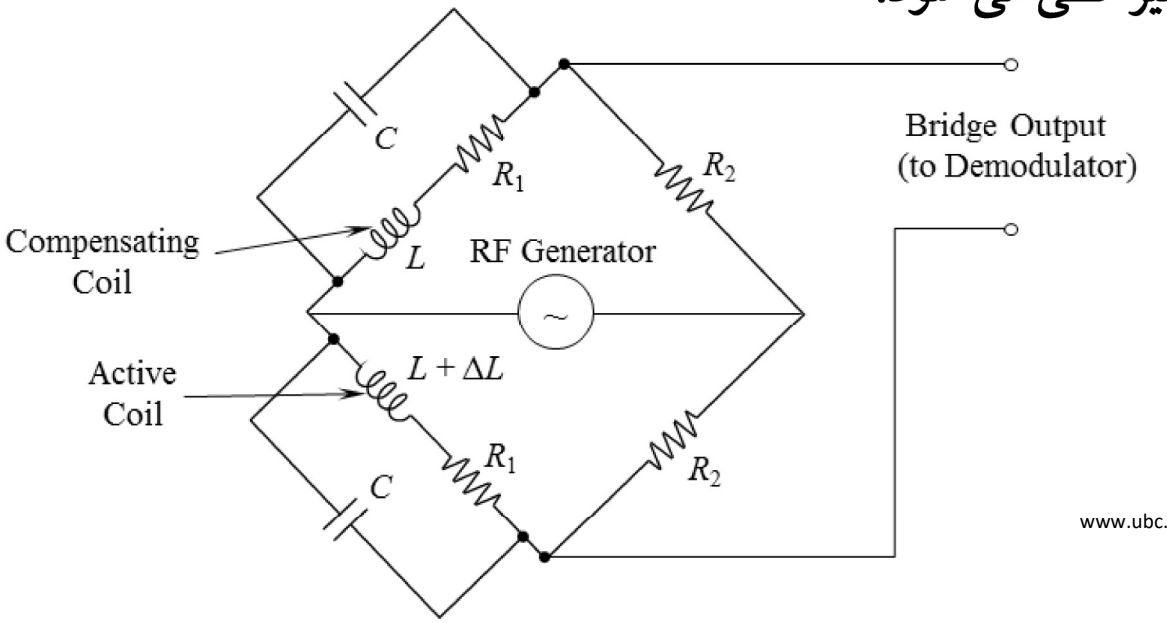


# سنسورهای آنالوگ برای اندازه گیری حرکت

## Eddy Current Transducer

- ✓ در حالتیکه هیچ شیئی در نزدیکی سنسور قرار ندارد پل در حالت بالانس قرار دارد.
- ✓ با تغییر ضریب القائی در سیم پیچ تعادل پل به هم خورده و سیگنال خروجی ایجاد می شود.
- ✓ سیگنال خروجی پس از پیاده سازی برای تعیین جابجایی استفاده می شود.
- ✓ در جابجایی های بزرگ نتایج غیرخطی می شود.




www.ubc.com

# سنسورهای آنالوگ برای اندازه گیری حرکت

## Eddy Current Transducer

- Size: about 2 to 75 mm (0.079 to 3 in) in diameter, 20 to 40 mm (0.79 to 1.58 in) long
- Range: 0.25 to 30 mm (0.0098 to 1.2 in)
- Resolution: Up to 0.1 µm (3.9 µin)
- Bridge Circuit Frequency: 50 kHz to 10 MHz

- از این حسگر می توان برای آشکارسازی مواد فلزی، جابجایی، تشخیص عیب استفاده نمود.
- مزیت این سنسورها قیمت نسبتاً ارزان، اندازه کوچک و قابلیت اطمینان بالاست که به جابجاییهای کوچک بسیار حساسند.