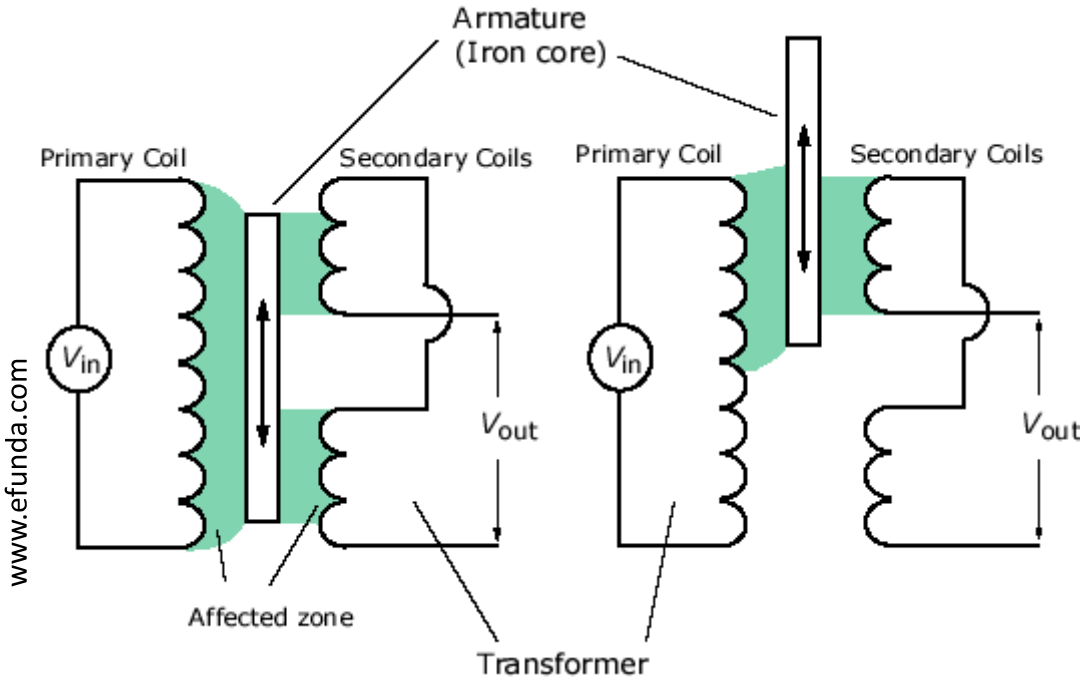
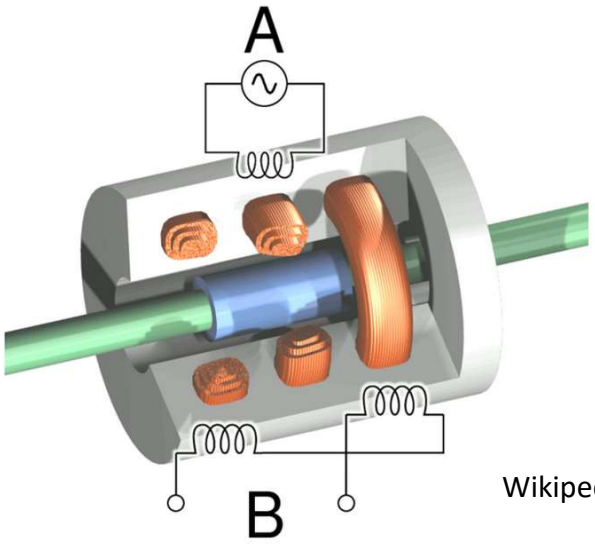
Principles of Mechatronic Systems
مبانی سیستم های مکاترونیکی (جلسه هفدهم)

By: Reza Tikani
Mechanical Engineering Department
Isfahan University of Technology

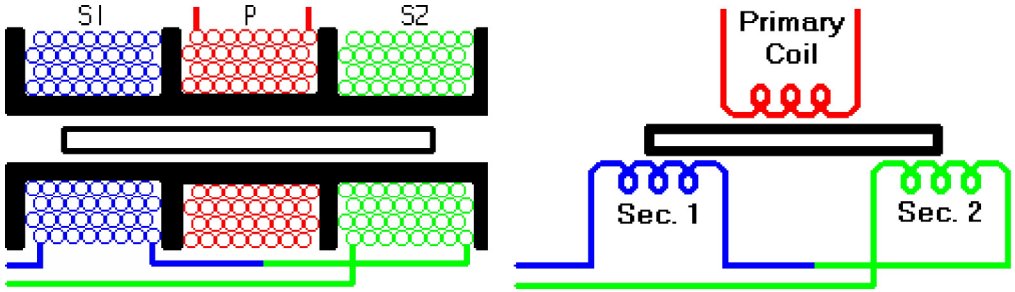
حسگرهای اندوکتانس متغیر

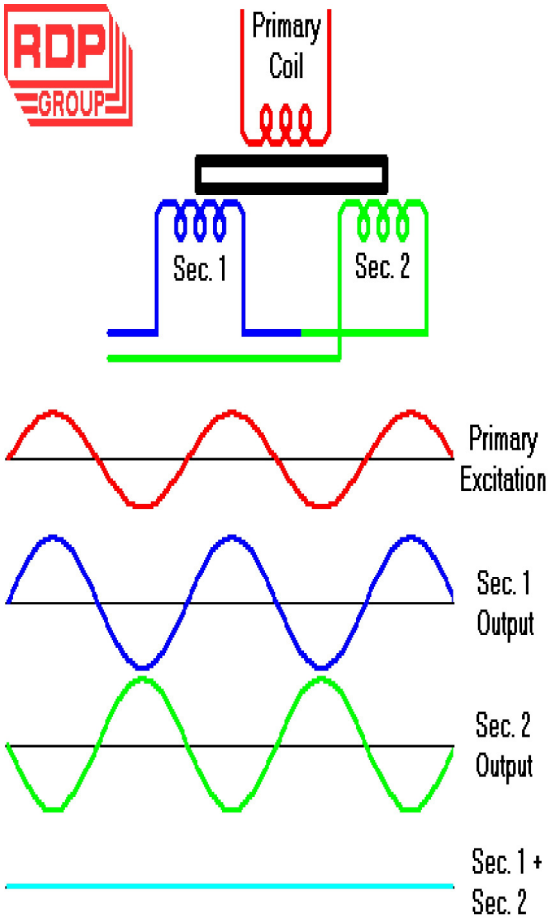




Wikipedia.com

حسگرهای اندوکتانس متغیر





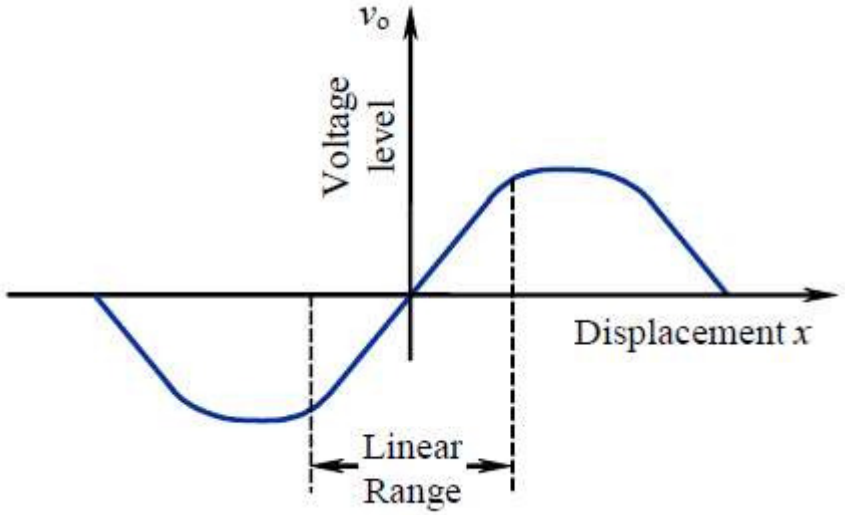
سیم پیچ های خروجی به صورت سری به یکدیگر متصل شده و دارای جهت سیم پیچی متضاد می باشند. اگر هسته کاملاً در وسط باشد، ولتاژ این دو سیم پیچ یکدیگر را خنثی می کنند و ولتاژ خروجی صفر خواهد بود. اگر هسته اندکی به سمت راست حرکت کند، ولتاژ کمتری در سیم پیچ چپ و ولتاژ بیشتری در سیم پیچ راست القا می شود. در این حالت ولتاژ برایند خروجی همفاز با ولتاژ سیم پیچ سمت راست است.

عکس این حالت در هنگام حرکت هسته به سمت چپ اتفاق می افتد.

حسگرهای اندوکتانس متغیر

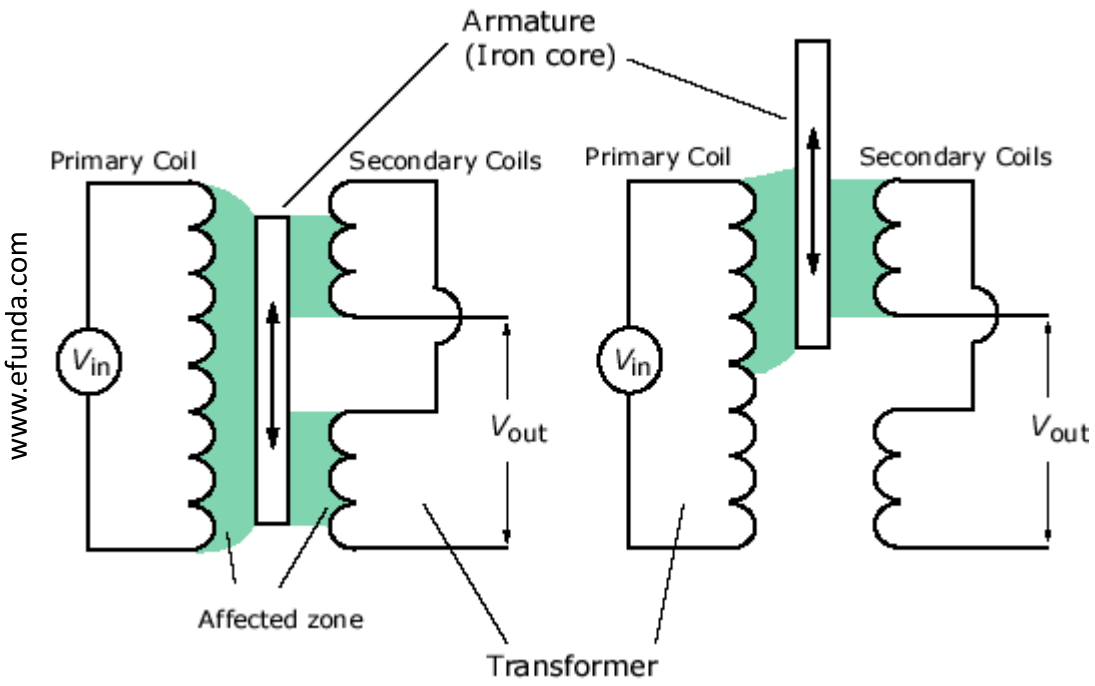
Linear Variable Differential Transformer (LVDT):

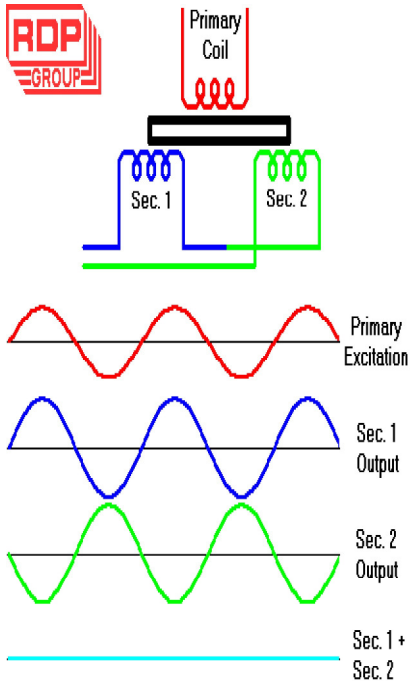
- این سنسورها در محدوده طراحی شده به عنوان گستره خطی، کاملاً خطی عمل می کنند ولی در خارج آن به شدت غیرخطی می شوند.



حسگرهای اندوکتانس متغیر

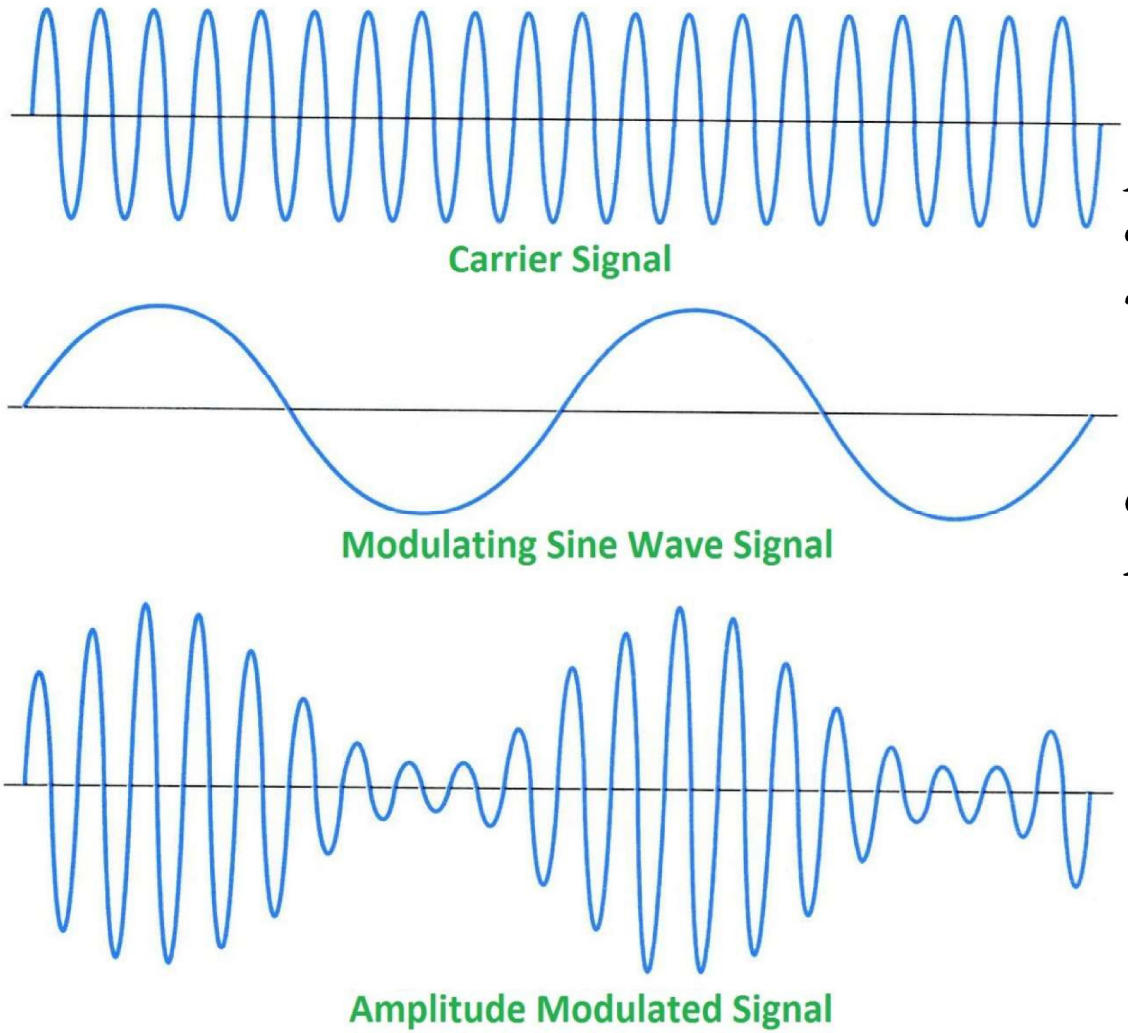
اختلاف ولتاژ در سیم پیچ های ثانویه با جابجایی هسته درون سیم پیچ متناسب است. جهت حرکت با توجه به اختلاف فاز ولتاژهای AC در سیم پیچ های ثانویه به دست می آید.





حسگرهای اندوکتانس متغیر

حسگرهای اندوکتانس متغیر



مدولاسیون دامنه ای:

مدولاسیون دامنه ای پردازشی است که در آن سیگنال خروجی از یک حسگر در یک سیگنال حامل با دامنه و فرکانس ثابت که معمولاً هارمونیک است ضرب می شود.

فرکانس موج حامل باید از ده برابر بالاترین فرکانس موجود در سیگنال حسگر بیشتر باشد.

حسگرهای اندوکتانس متغیر

مدولاسیون دامنه ای:

خروجی LVDT به صورت مدولاسیون دامنه ای است. از آنجا که تحریک سیم پیچ اولیه به صورت موج ac فرکانس بالا می باشد، این موج به صورت موج حامل در خروجی ظاهر شده و سیگنال فرکانس پایین ناشی از جابجایی هسته (سیگنالی که هدف اندازه گیری آن است) بر روی موج حامل سوار است.

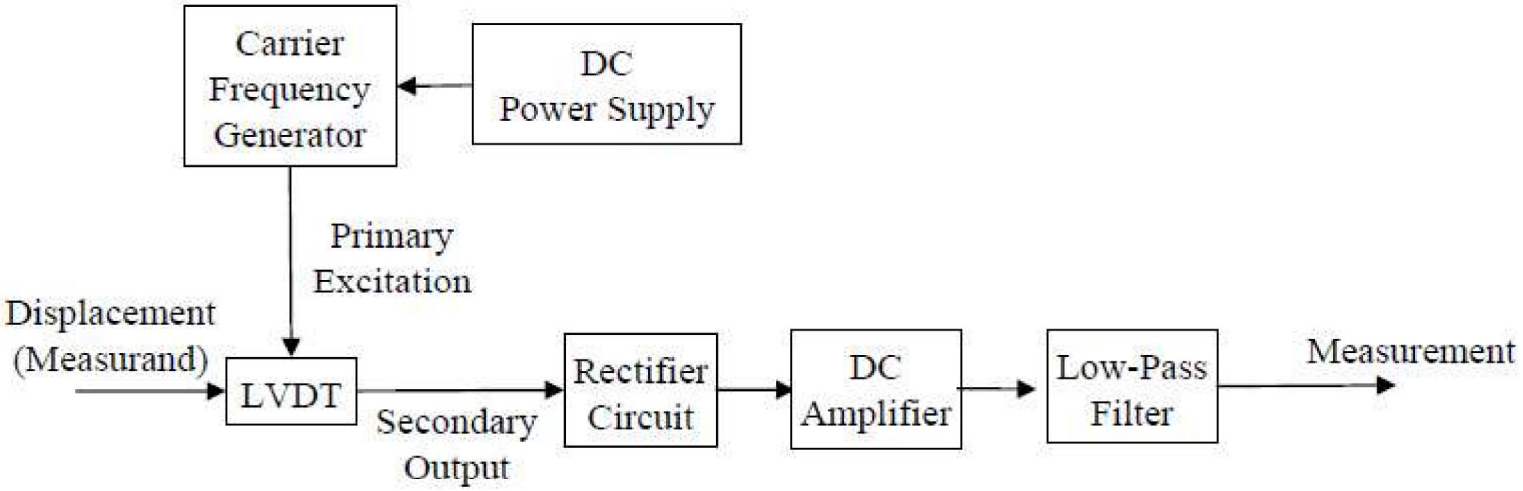
دو روش برای تفسیر خروجی و استخراج اطلاعات اندازه گیری از خروجی مدولاسیون دامنه ای وجود دارد:

۱. یکسوسازی
۲. دی مدولاسیون

حسگرهای اندوکتانس متغیر

Signal Conditioning

۱. یکسوسازی:

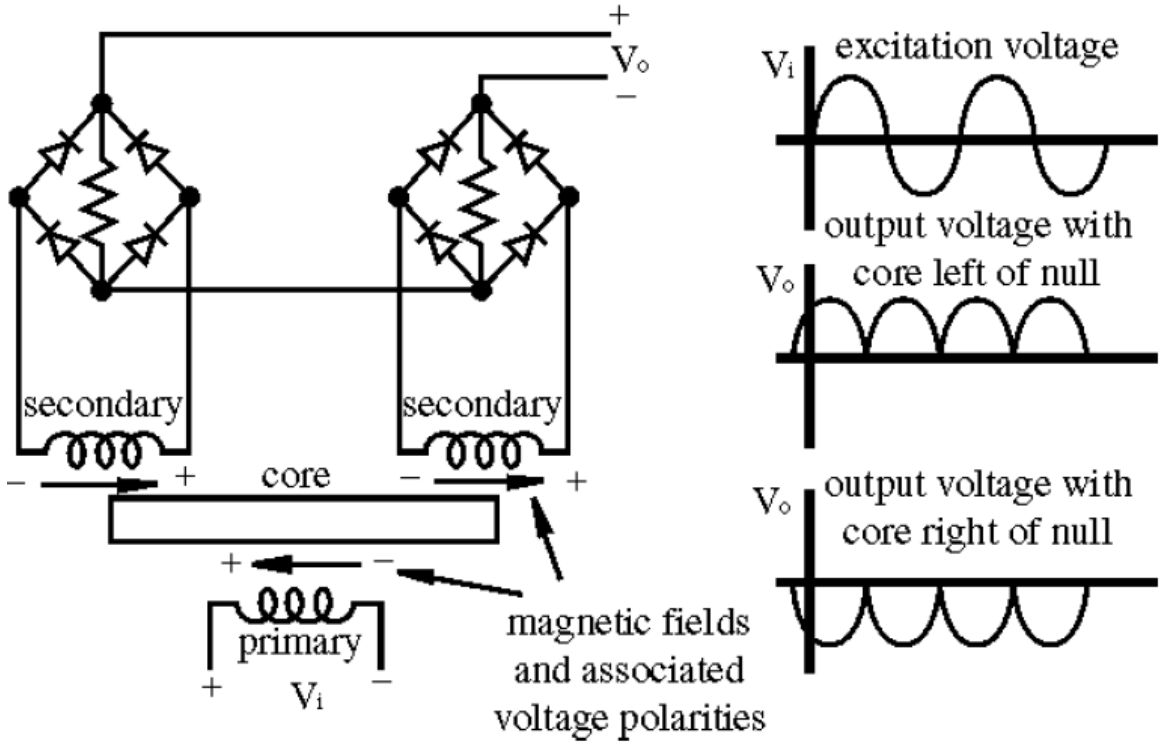


- AC output from the LVDT is rectified to obtain a DC signal
- Phase shift of the LVDT output has to be checked separately to determine the direction of motion

حسگرهای اندوکتانس متغیر

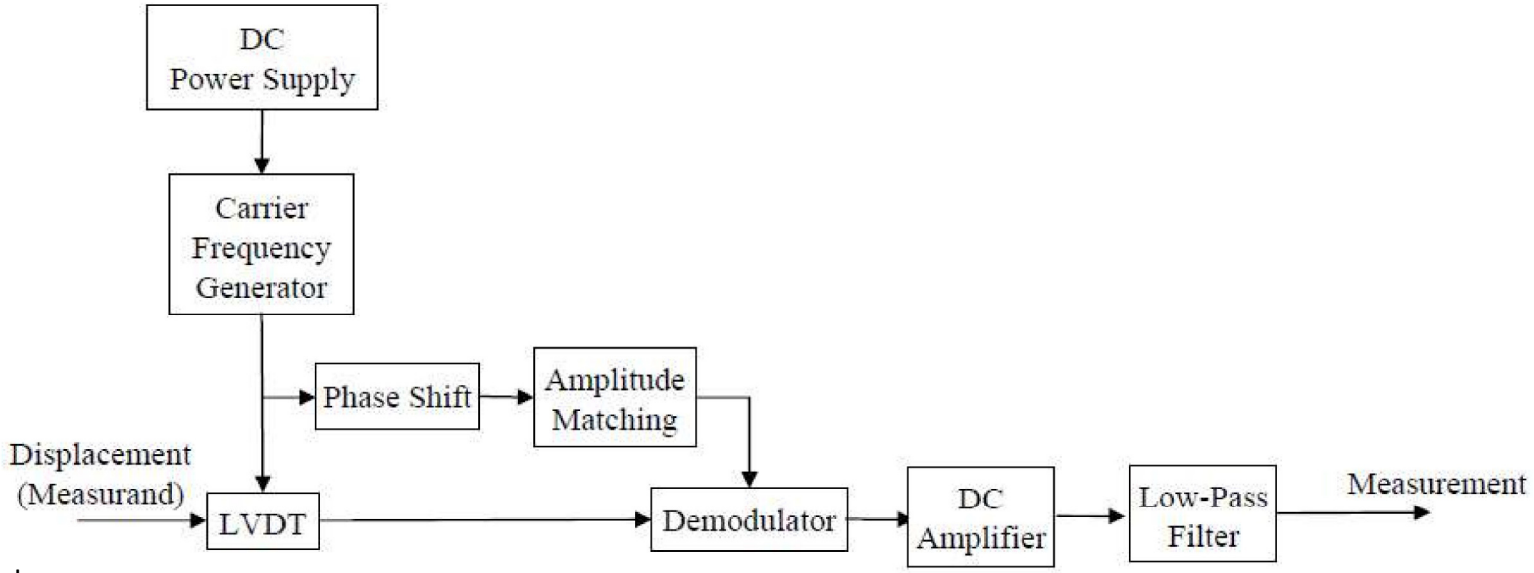
Signal Conditioning

۱. یکسوکردن جریان متناوب:



حسگرهای اندوکتانس متغیر

۲. پیاده سازی (Demodulation)



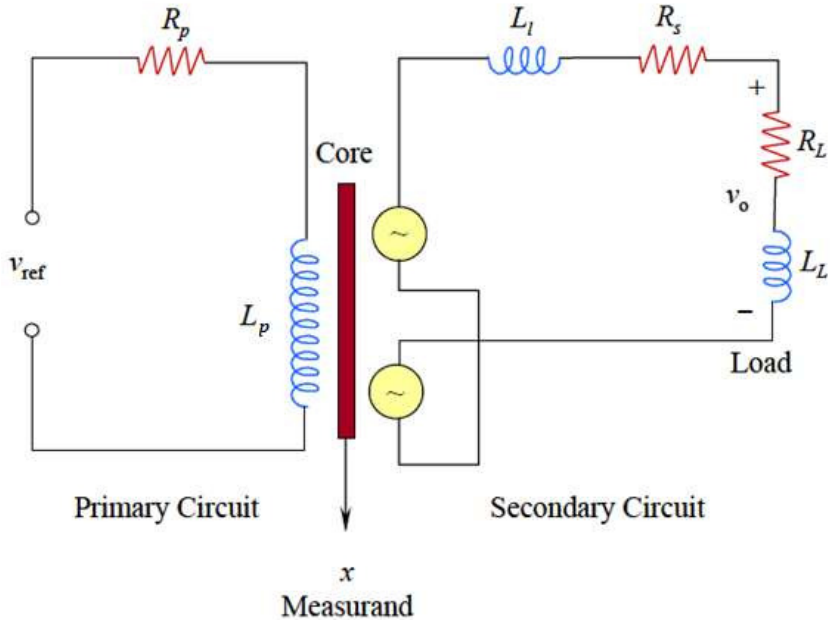
www.mech.ubc.ca

از مقایسه سیگنال خروجی با سیگنال مرجع عملیات دی مدولاسیون و حذف موج حامل صورت می گیرد. نتیجه حاصل جابجایی جسم است که برای استفاده، تقویت شده و از فیلتر پایین گذر عبور داده می شود.

حسگرهای اندوکتانس متغیر

محاسبه اختلاف فاز سیگنال خروجی در مدار LVDT:

به دلیل وجود المان اندوکتانس در مدار خروجی، سیگنال خروجی با سیگنال ورودی (موج حامل) هم فاز نیست. برای انجام عملیات مدولاسیون لازم است مقدار اختلاف فاز محاسبه شود.



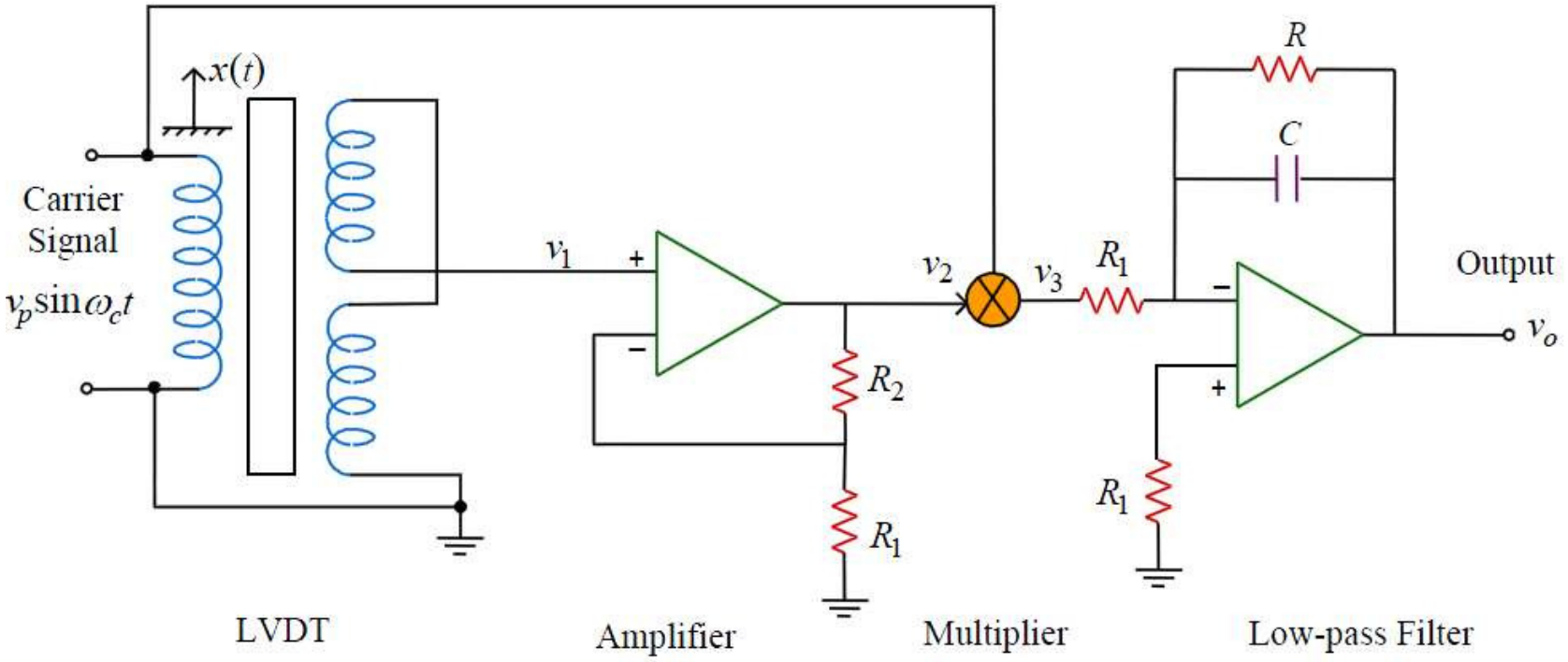
$$v_o = \left[\frac{j\omega L_p}{R_p + j\omega L_p}\right]\left[\frac{R_L + j\omega L_L}{(R_L + R_s) + j\omega(L_L + L_l)}\right] kx$$

$$\phi = 90° - \tan^{-1}\frac{\omega L_p}{R_p} + \tan^{-1}\frac{\omega L_L}{R_L} - \tan^{-1}\frac{\omega(L_L + L_l)}{R_L + R_s}$$

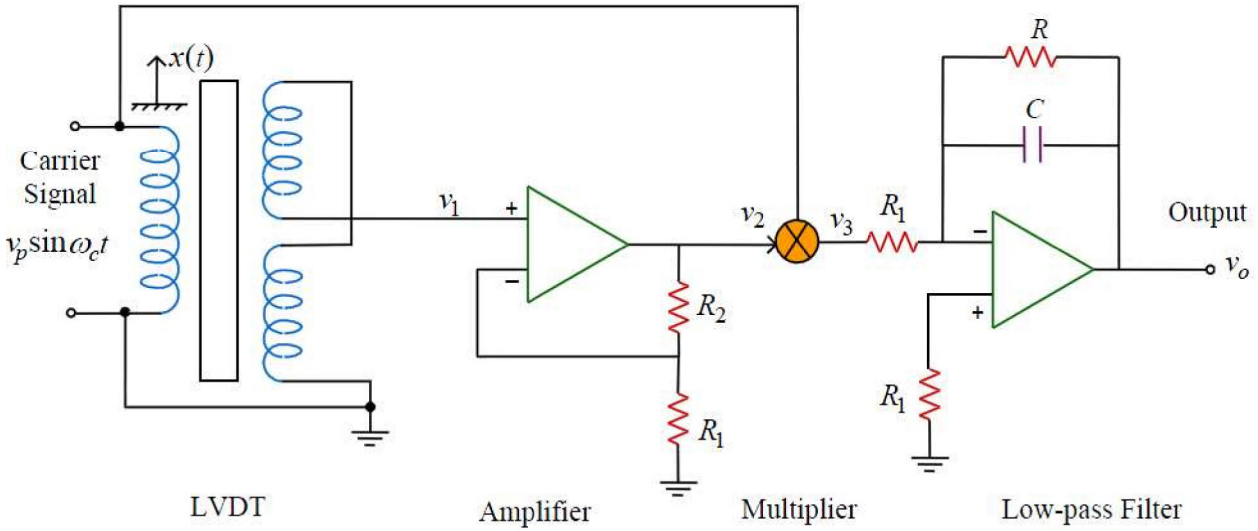
حسگرهای اندوکتانس متغیر

شکل زیر یک مدار ساده برای پردازش سیگنال یک مبدل تفاضلی (LVDT) را نشان می دهد.

اجزاء این سیستم را تحلیل نمایید. (از اختلاف فاز سیگنال خروجی صرفنظر نمایید)



حسگرهای اندوکتانس متغیر



$$k = \frac{R_1 + R_2}{R_1} = \text{amplifier gain}$$

$$v_1 = v_p r\, x(t) \sin \omega_c t$$

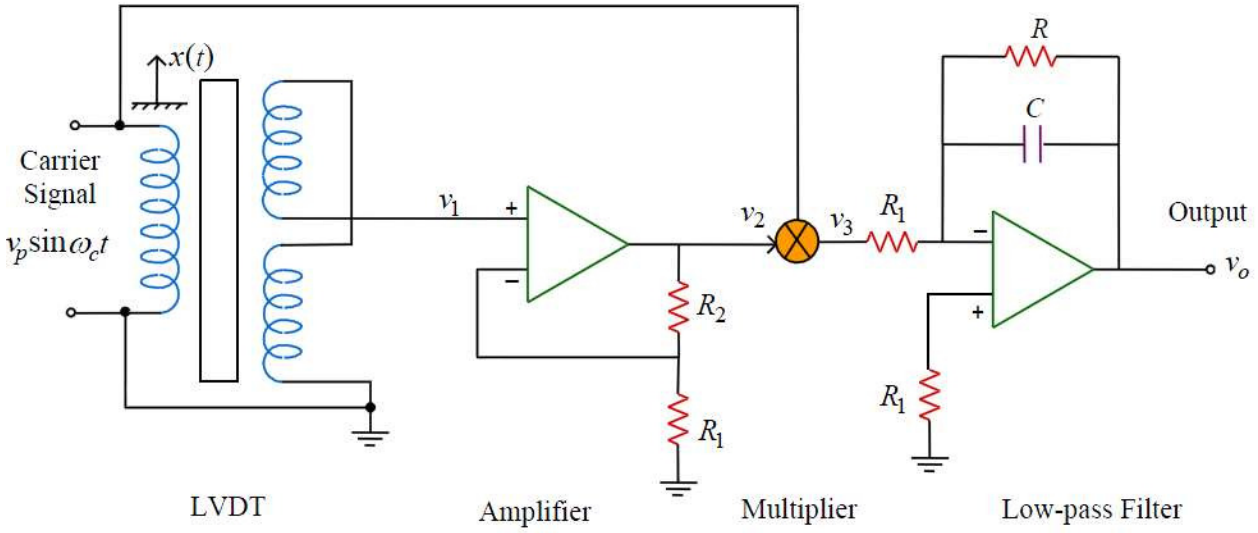
$$v_2 = v_p rk\, x(t) \sin \omega_c t$$

$$v_3 = v_p^2 rk\, x(t) \sin^2 \omega_c t$$

$$v_3 = \frac{v_p^2 rk}{2} x(t)\,[1 - \cos 2\omega_c t]$$

دلیل ضرب کردن مجدد در سیگنال حامل تجزیه سیگنال به دو بخش یکی متناسب با جابجایی بدون موج حامل و دیگری شامل موج حامل است که باید فیلتر شود. ضمن آنکه دو برابر شدن فرکانس بخشی که باید فیلتر شود جداسازی را راحتتر و با خطای کمتر همراه می کند.

حسگرهای اندوکتانس متغیر



$$k = \frac{R_1 + R_2}{R_1} = \text{amplifier gain}$$

$$v_3 = \frac{v_p^2 rk}{2} x(t)[1 - \cos 2\omega_c t]$$

$$\frac{v_3}{R_1} + \frac{v_o}{R} + C\dot{v}_o = 0$$

$$\tau \frac{dv_o}{dt} + v_o = -\frac{R}{R_1} v_3$$

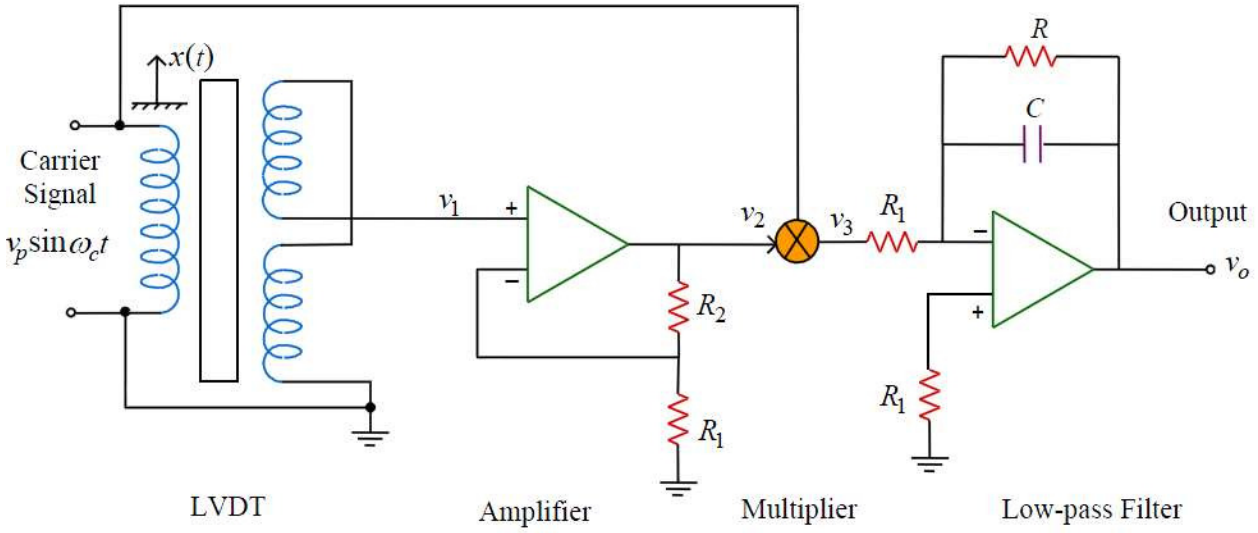
$$\frac{v_o}{v_3} = -\frac{k_o}{(1 + \tau s)}$$

$k0=R/R1$

$\tau=RC$=filter time constant

$$\frac{v_o}{v_3} = -\frac{k_o}{(1 + \tau j\omega)}$$

حسگرهای اندوکتانس متغیر



$$k = \frac{R_1 + R_2}{R_1} = \text{amplifier gain}$$

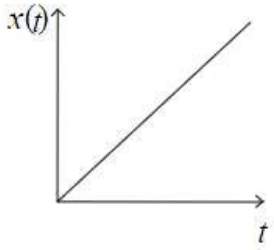
$$v_3 = \frac{v_p^2 rk}{2} x(t)[1 - \cos 2\omega_c t]$$

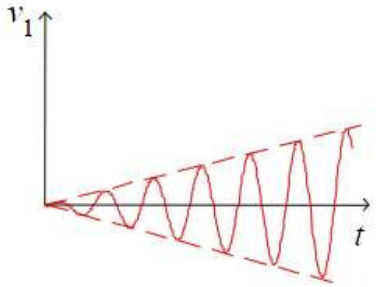
$$v_o = \frac{v_p^2 rkk_o}{2} x(t)$$

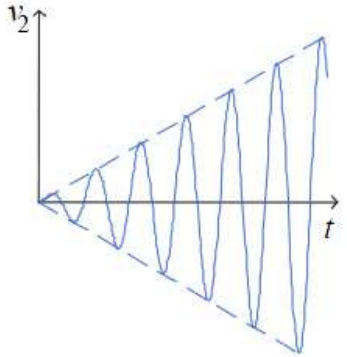
$$\frac{v_o}{v_3} = -\frac{k_o}{(1 + \tau j\omega)}$$

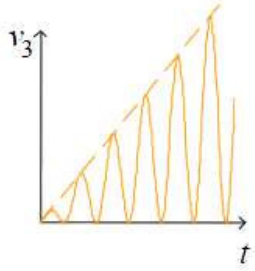
$$\text{Filter magnitude} = \frac{k_o}{\sqrt{1 + \tau^2 \omega^2}}$$

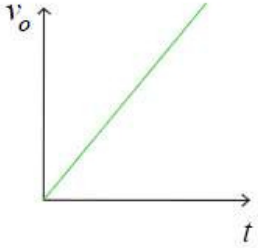
حسگرهای اندوکتانس متغیر











حسگرهای اندوکتانس متغیر

مزایای LVDT:

۱- اصطکاک و سایش در آن وجود ندارد.

۲- امپدانس خروجی آن پایین است (در حدود ۱۰۰ اهم) و در نتیجه سطح توان سیگنال مناسب است.

۳- امکان تشخیص جهت وجود دارد.

۴- در سایزهای کوچک موجود است (طول یک سانتیمتر برای اندازه گیری ۲ میلیمتر)

۵- ساختاری ساده و مقاوم دارد و در نتیجه قیمت آن نسبتاً پایین و طول عمر آن بالا است.

۶- رزولوشن اندازه گیری آن بهتر از پتانسیومتر است.

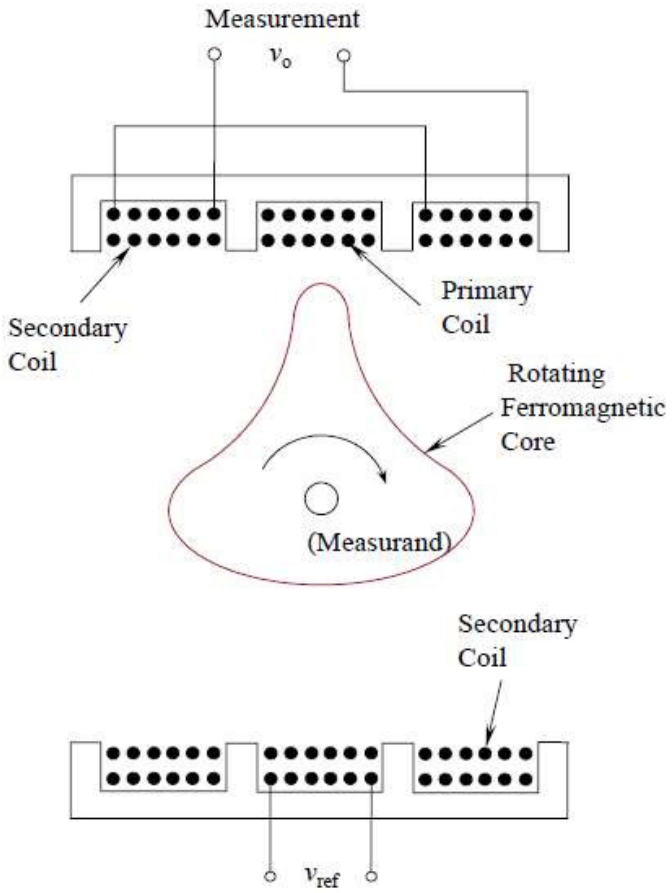
حسگرهای اندوکتانس متغیر

Rotatory Variable Differential Transformer

مبدل تفاضلی چرخشی:

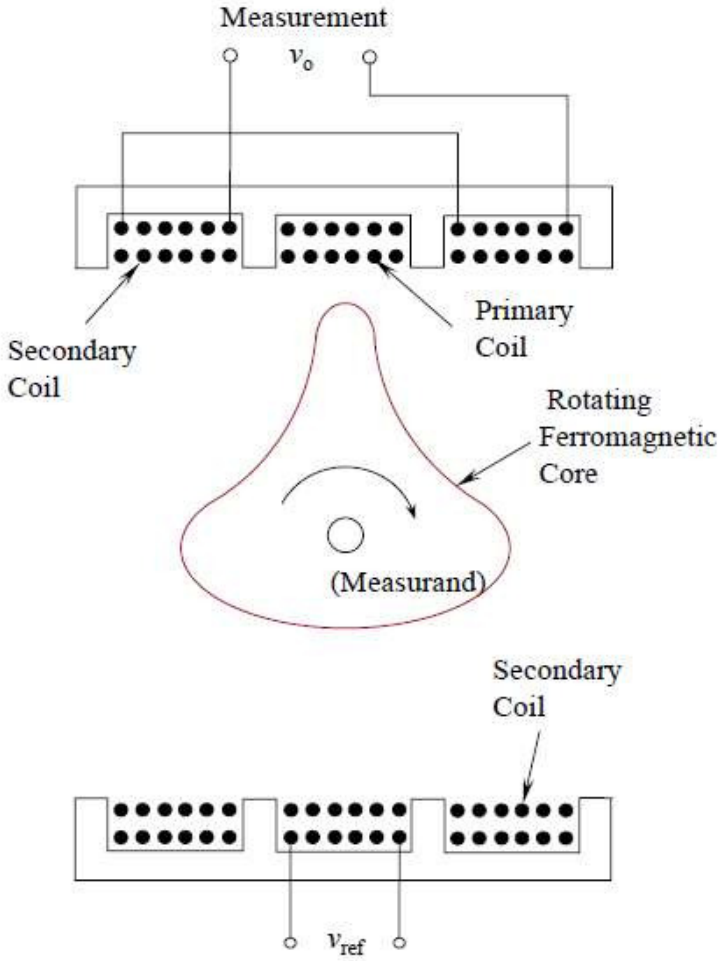
اساس عملکرد، مزایا و مدارات پردازش سیگنال آن شبیه **LVDT** است، با این تفاوت که در آن از یک هسته فرومغناطیس چرخان استفاده شده است.

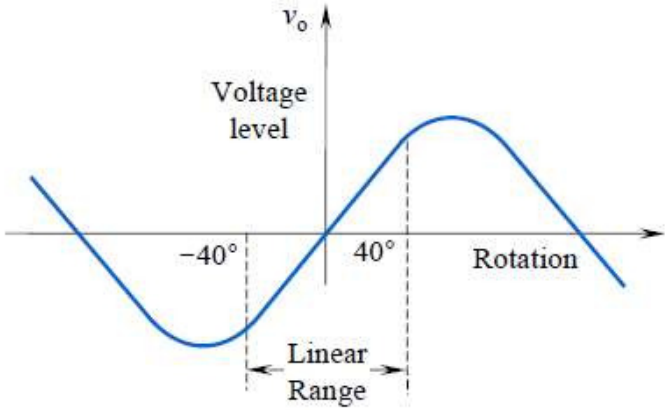
شکل هسته دارای تقارن است و در زاویه صفر ولتاژ خروجی مبدل صفر است.



حسگرهای اندوکتانس متغیر

Rotatory Variable Differential Transformer

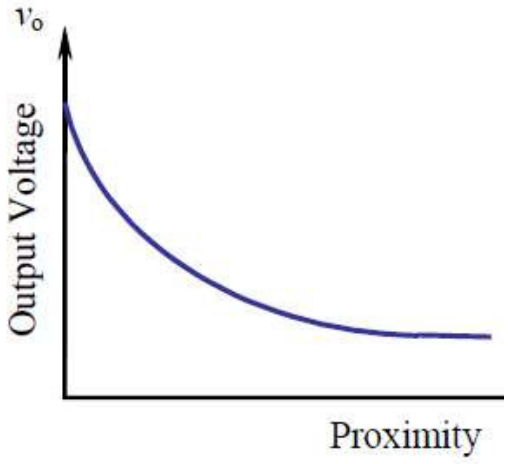


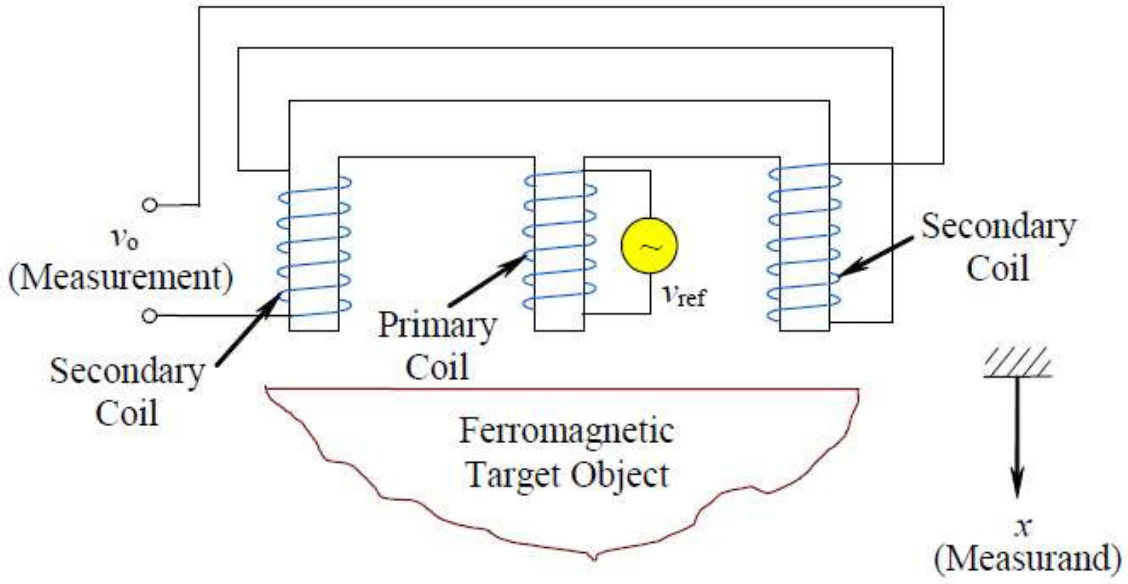


سنسورهای آنالوگ برای اندازه گیری حرکت

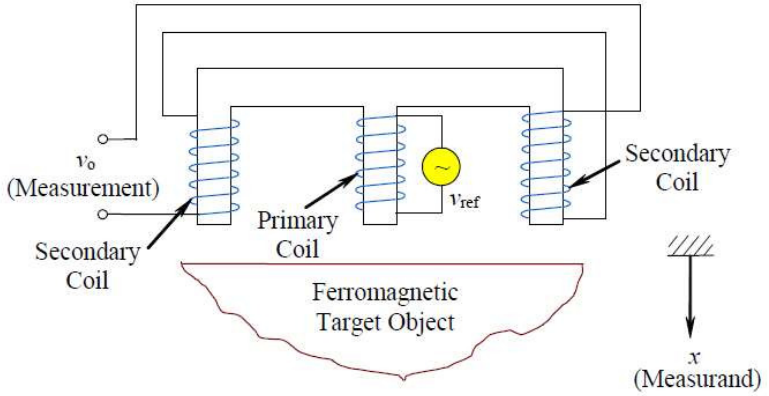
✓ سنسورهای مجاورتی القاء متقابل (دوطرفه)

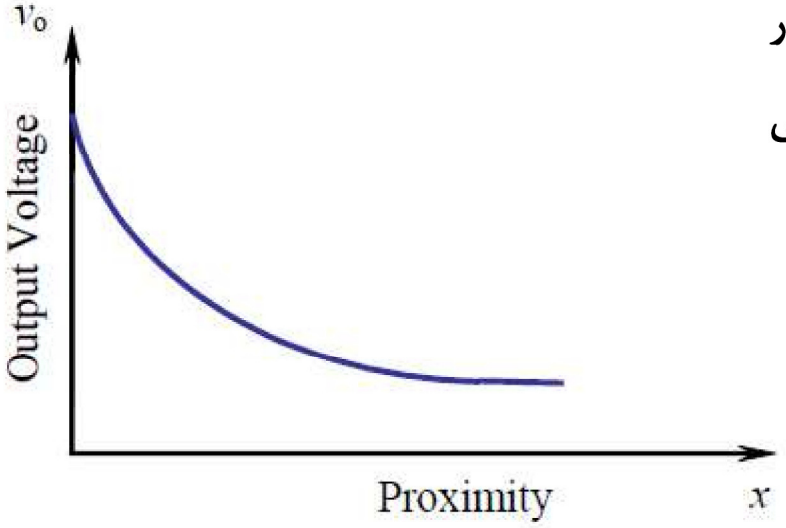
- ✓ با تغذیه سیم پیچ اولیه با یک منبع **AC** فرکانس بالا، باعث القای ولتاژ در سیم پیچهای ثانویه می شود. بر خلاف **LVDT** و **RVDT** در این حسگر، سیم پیچهای ثانویه به صورت سری و موافق به هم متصل شده اند.





سنسورهای آنالوگ برای اندازه گیری حرکت





- ✓ سنسورهای مجاورتی القاء متقابل (دوطرفه)
- ✓ سطح جسمی که هدف سنجش نزدیک شدن آن است را با یک ماده فرومغناطیس می پوشانیم. در اثر نزدیک شدن جسم مقاومت مغناطیسی (رلوکتانس) مسیر شار مغناطیسی تغییر یافته و در نتیجه ولتاژ القا شده به صورت یک تابع غیرخطی از میزان نزدیک شدن جسم تغییر می یابد.

سنسورهای آنالوگ برای اندازه گیری حرکت

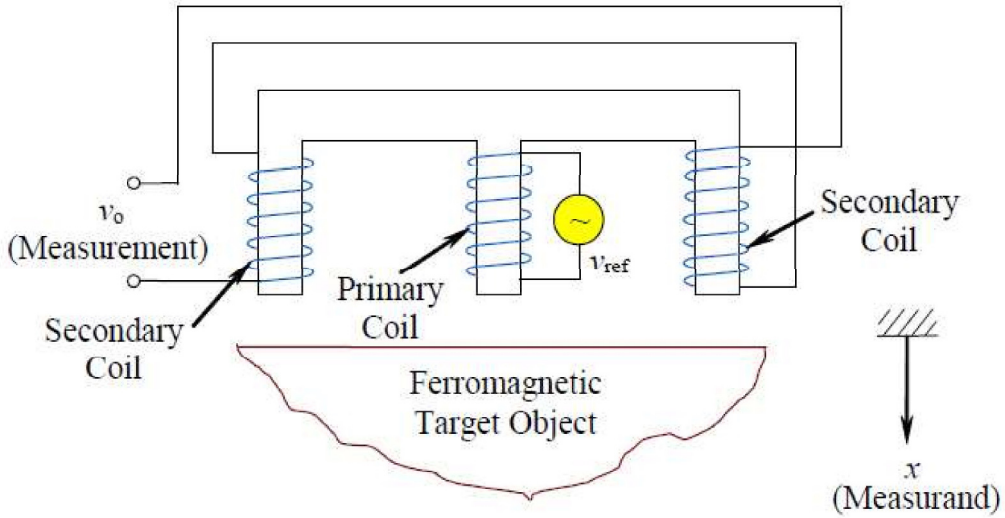
✓ سنسورهای مجاورتی القاء متقابل (دوطرفه)

- موارد کاربرد:

۱. جابجایی های عرضی

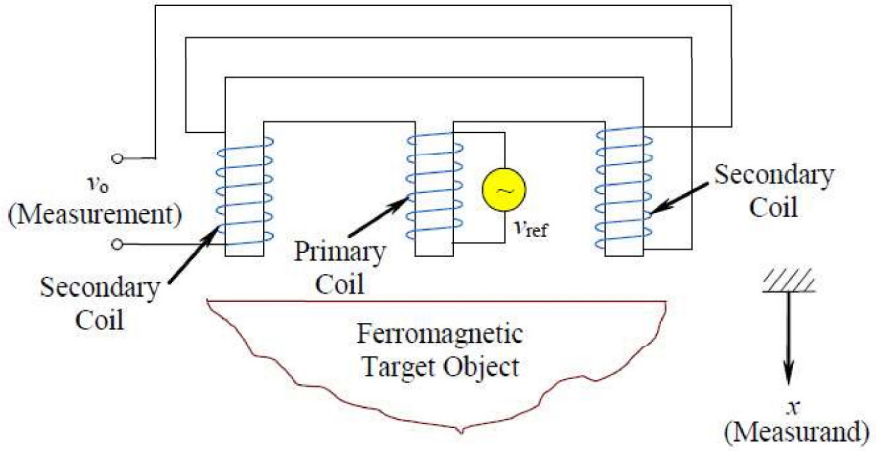
۲. جابجایی های کوچک (غیر خطی)

۳. تشخیص وجود یک جسم



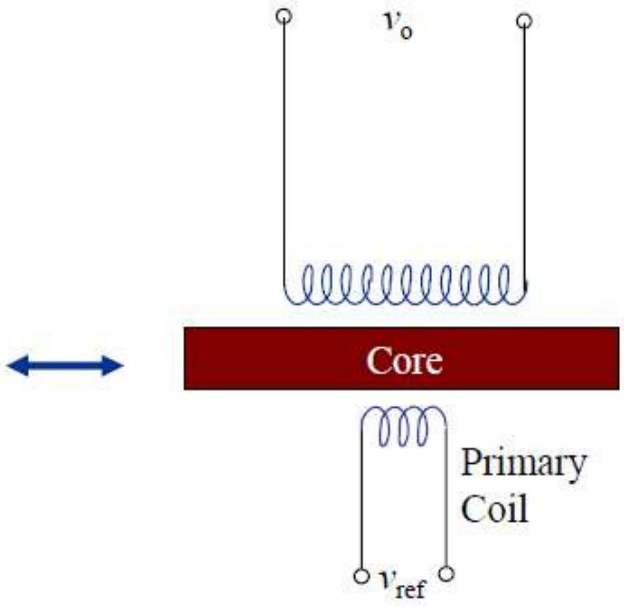
سنسورهای آنالوگ برای اندازه گیری حرکت

✓ سنسورهای مجاورتی القاء متقابل (دوطرفه)



- سیگنال خروجی در این سنسور به صورت مدولاسیون دامنه ای است و برای استخراج کمیت مورد نظر باید عملیات دی مدولاسیون صورت گیرد.

حسگرهای اندوکتانس متغیر



حسگرهای با القای متقابل:

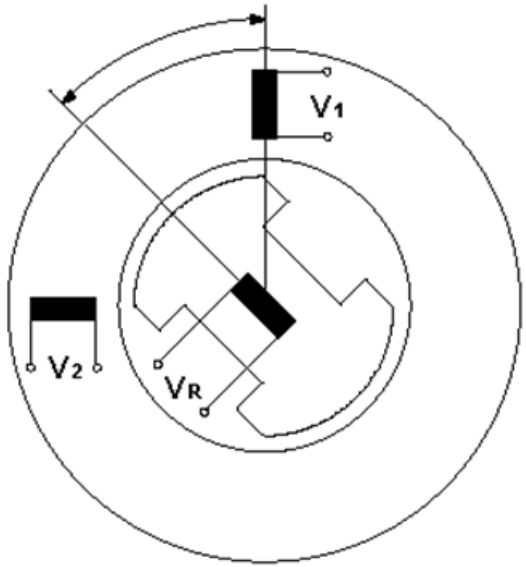
تحریک ولتاژ AC در سیم پیچ اولیه باعث ایجاد ولتاژ در سیم پیچ ثانویه می شود. اندازه ولتاژ تولیدی بستگی به میزان شار القا شده به سیم پیچ ثانویه دارد. جسمی که اندازه گیری آن مدنظر است به دو طریق باعث تغییر در شار می شود:

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

سنسورهای آنالوگ برای اندازه گیری حرکت

- ✓ **Resolver**



http://www.parkermotion.com

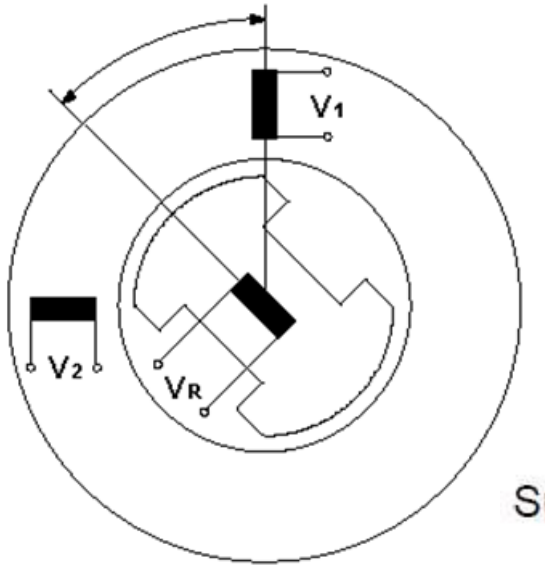
ریسولور:

ریسولور یک مبدل القای متقابل است که برای اندازه گیری جابجایی زاویه ای استفاده می شود.

در ریسولور بر خلاف RVDT حرکت یک دسته سیم پیچ نسبت به سیم پیچ دیگر عامل تغییر در شرایط القای ولتاژ است.

سنسورهای آنالوگ برای اندازه گیری حرکت

✓ **Resolver:** **Mutual induction transducer for measuring angular displacements**



http://www.parkermotion.com

- Rotor has the primary winding and is energized by the supply voltage
- Stator has two sets of windings placed 90^0 apart

Supply voltage $v_{ref} = v_a \sin \omega t$

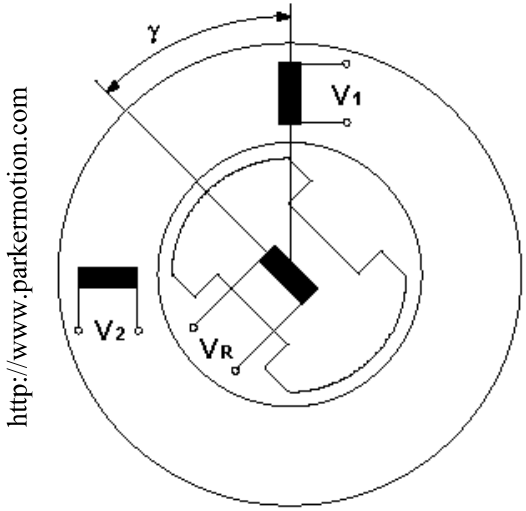
Induced Voltages $v_{o1} = a v_{ref} \cos\theta$ $v_{o2} = a v_{ref} \sin\theta$

The induced quadrate signals are

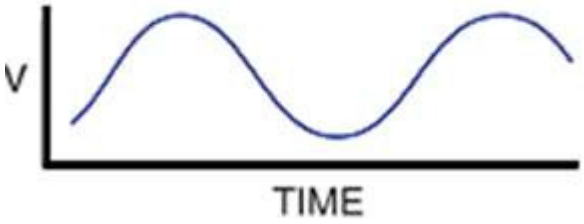
$v_{o1} = a v_a \cos\theta \sin \omega t$ $v_{o2} = a v_a \sin\theta \sin \omega t$

سنسورهای آنالوگ برای اندازه گیری حرکت

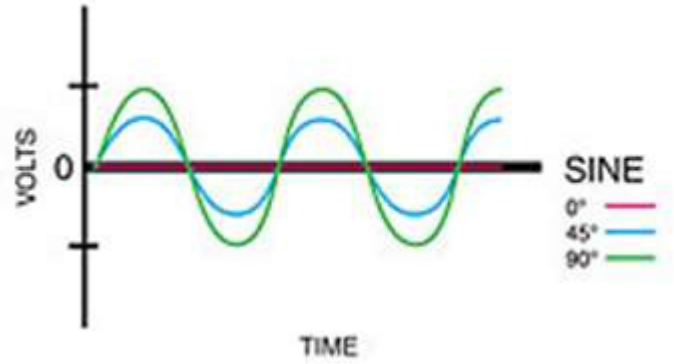
✓ Resolver

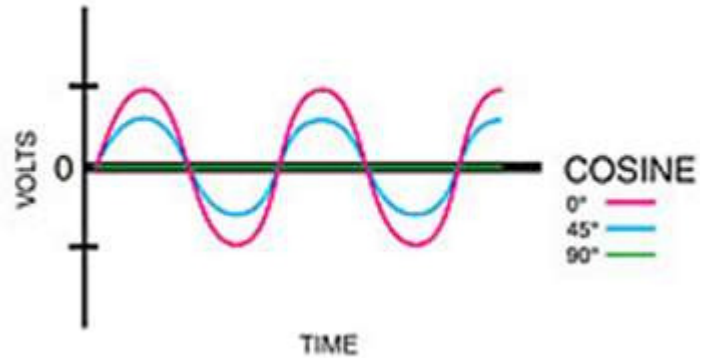


http://www.parkermotion.com



Input Signal





Output Signal

http://www.avtronencoders.com

✓ Resolver

با توجه به استفاده از تحریک AC فرکانس بالا، خروجی مجموعه به صورت مدولاسیون دامنه ای است.

Multiply each quadrature signal by v_{ref} to get

$$v_{m1} = v_{o1} v_{ref} = a v_a^{\,2} \cos\theta \sin^2 \omega t = \frac{1}{2} a v_a^{\,2} \cos\theta \left[1 - \cos 2\omega t\right]$$

$$v_{m2} = v_{o2} v_{ref} = a v_a^{\,2} \sin\theta \sin^2 \omega t = \frac{1}{2} a v_a^{\,2} \sin\theta \left[1 - \cos 2\omega t\right]$$

Low pass filter to obtain

$$v_{f1} = \frac{1}{2} a v_a^{\,2} \cos\theta \qquad v_{f2} = \frac{1}{2} a v_a^{\,2} \sin\theta$$

سنسورهای آنالوگ برای اندازه گیری حرکت

Resolver Applications:

1. Permanent Magnet (PM) Motor Commutation and Speed Control
2. AC & DC Servo Motor Commutation and Speed Control

Advantages:

1. Fine resolution and high accuracy
2. Low output impedance
3. Small size (10mm diameter)

Limitations:

1. Nonlinear output signals
2. Bandwidth limited by supply frequency
3. Slip rings and brushes would be necessary if multiple rotations to be measured (a brushless resolver can eliminate this)