Measurement Systems and Metrology

Qazvin Islamic Azad University

By: Amir H. Roohi

Measurement Systems

Measurement Systems Application and Design By Ernest Doebelin

MEASUREMENT SYSTEMS
Application and Design

Fourth Edition

Ernest O. Doebelin

Department of Mechanical Engineering
The Ohio State University

McGraw-Hill Publishing Company

Introduction – Inspection Necessity

- تعریف اندازه گیری:

تعیین کمیت چیزی برحسب واحد تعیین شده

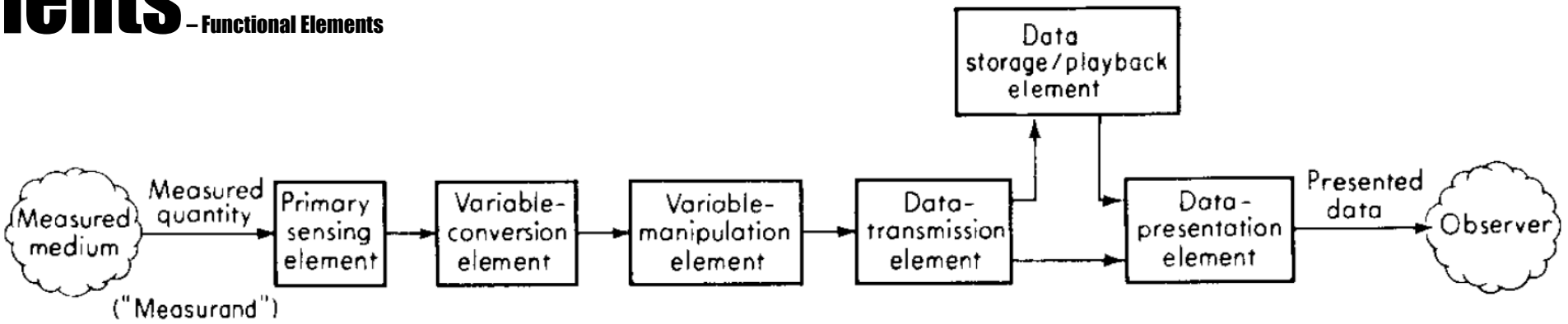
- موارد کاربرد اندازه گیری:

یک. نمایش وضعیت (Monitoring): برای اطلاع از وضعیت است.
دو. کنترل (Control): اندازه گیری به منظور اصلاح
سه. تحلیل (Analysis): محاسبه مهندسی

- ویژگی های اندازه گیری توسط انسان:

یک. خطا زیاد است (به علت نسبی بودن اندازه گیری)
دو. بسیاری از اندازه گیری ها در محدوده قابل اندازه گیری توسط انسان نیستند (مانند درجه حرارت)
سه. بسیاری از کمیت ها قابل حس توسط انسان نیستند (ولتاژ، آمپر، طول موج).

Instruments – Functional Elements



- حس کننده (Sensing Element): کمیت را اندازه گیری می کند و بعضا مقداری انرژی از کمیت می گیرد (خطا)؛ خروجی آن یک کمیت فیزیکی است.

به عنوان مثال: در اندازه گیری دما توسط دماسنج، دماسنج از محیط گرما می گیرد.

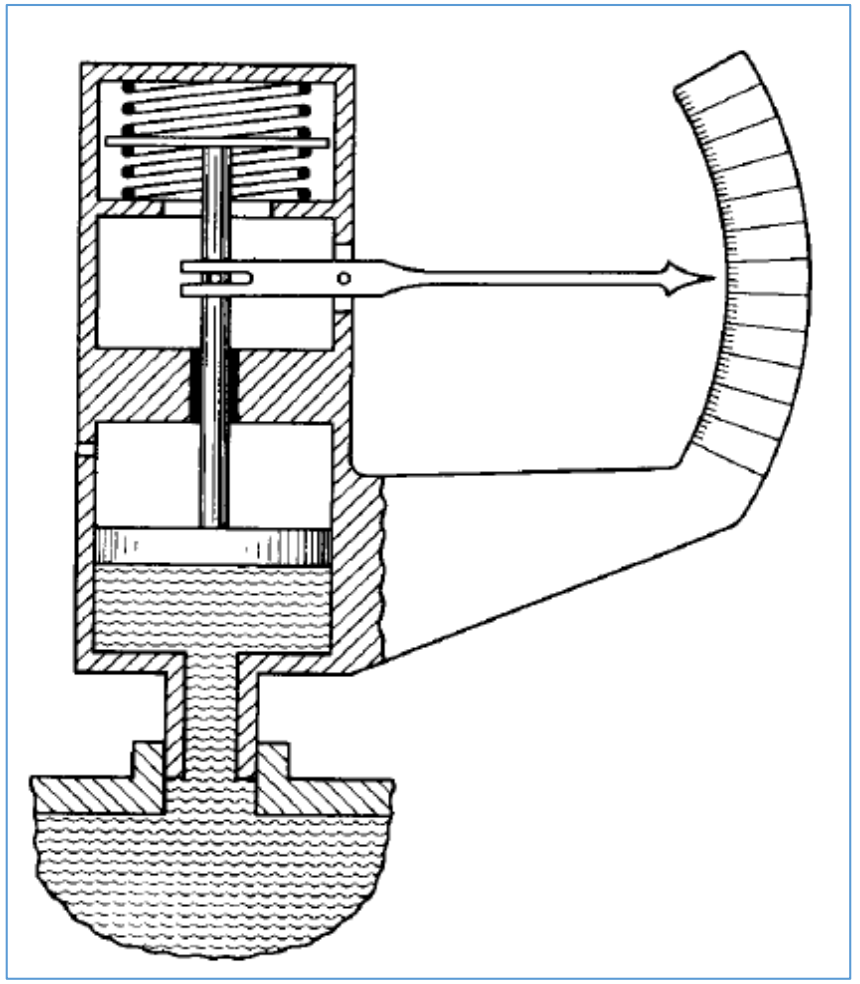
- مبدل (Variable Conversion): یک یا چند مبدل، کمیت های فیزیکی را به یکدیگر تبدیل می کنند.
- اصلاح کننده (Manipulation): معمولا تقویت کننده برای قابل حس کردن اندازه گیری استفاده می شود و گاها خطی کننده است.
- انتقال دهنده (Data Transmission): اطلاعات را از بخش اندازه گیری شونده به بخش نمایش منتقل می کند (توسط میله، اهرم و...).
- نمایش دهنده (Data Presentation): هم به صورت آنالوک و هم دیجیتال.

Instruments – Functional Elements

- مثال:

وسیله اندازه گیری فشار (فشارسنج)

- کمیت اندازه گیری شونده: فشار
- مبدل (یک): پیستون
- مبدل (دو): فنر
- انتقال دهنده: میله
- اصلاح کننده: اهرم
- نمایش دهنده: صفحه مدرج و عقربه



Instruments – Categories

- انواع وسایل اندازه گیری

یک. فعال (Active)/ غیرفعال (Passive)
وسیله فعال وسیله ای است که انرژی لازم برای اندازه گیری را از یک منبع جداگانه تامین می کند؛ مانند اهم متر که با باتری کار می کند.
وسیله غیر فعال وسیله ای است که انرژی لازم برای اندازه گیری را از منبع جداگانه تامین نمی کند؛ مانند دماسنج که انرژی لازم را از محیط اندازه گیری می گیرد.

دو. آنالوگ (Analog)/ دیجیتال (Digital)
در وسیله اندازه گیری آنالوگ کمیت ها به صورت پیوسته تغییر می کند.
توجه: منظور از آنالوگ اساس اندازه گیری است نه لزوما نوع نمایش.
در وسیاه دیجیتال اساس اندازه گیری به صورت پله ای است. در این حالت دقت اندازه گیری کم و همزمان خطای اندازه گیری نیز کم است.

Instruments – Categories

- انواع وسایل اندازه گیری

سه. خنثی (Null)/ انحرافی (Deflection)
در اندازه گیری خنثی کمیت را آن قدر اضافه می کنیم تا به حالت اولیه برسیم؛ مانند ترازوی دوکفه شاهینی.
توجه: اندازه گیری در این روش دقیق تر است.
برای نشان دادن حالت اندازه گیری در روش انحرافی، میزان انحراف کمیت از وضعیت ابتدایی به طور مستقیم اندازه گیری می شود؛ مانند اندازه گیری با ترازوی عقربه ای.

چهار. استاتیک (Static)/ دینامیک (Dynamic)
در حالت استاتیکی، عمل اندازه گیری با انجام آن تمام می شود؛ مانند اندازه گیری طول.
در حالت دینامیکی، انجام عمل اندازه گیری پیوسته است؛ مانند اندازه گیری جریان.

Instruments – Errors

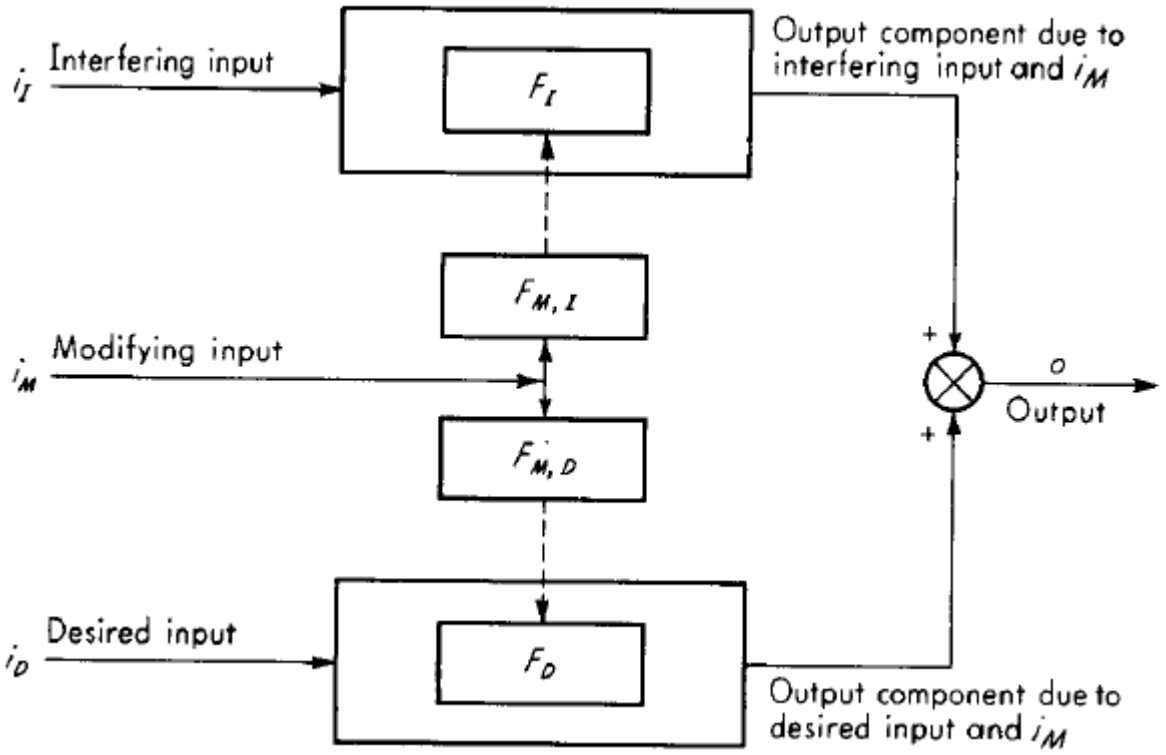
- انواع خطاهای اندازه گیری:

یک. خطاهای سیستماتیک (Systematic Errors)
این خطا به یک علت شناخته شده و قابل پیش بینی اتفاق می افتد و احتمالا قابل اصلاح است.
برای نمونه خطاهای ناشی از تغییردما، رطوبت، ارتعاش و...

دو. خطاهای اتفاقی (Random Errors)
خطاهایی هستند که منشا انسانی دارند و معمولا قابل پیش بینی نیستند

الف) خطای امپدانسی: خطایی است که در اثر گرفتن انرژی یا توان از محیط حاصل می شود. برای نمونه تغییر فرم قطعه در اثر اندازه گیری با کولیس.
ب) خطای عملکردی: یعنی این که از وسیله اندازه گیری به طور صحیح استفاده نمی شود. مانند استفاده نادرست از کولیس (عدم تعامد دو فک).
پ) خطای دینامیکی: اندازه گیری قبل از رسیدن به حالت اندازه گیری پایدار. مانند اندازه گیری دما قبل از رسیدن به حالت تعادل.

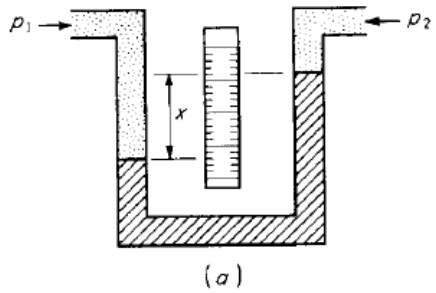
Instruments – Inputs



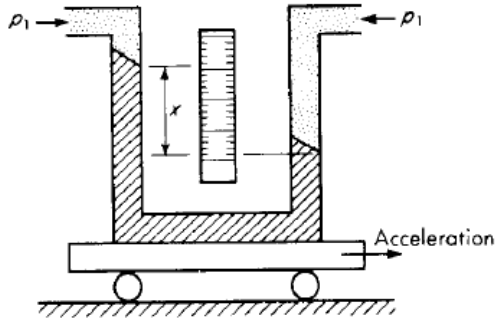
- انواع ورودی های سیستم:

یک. ورودی مطلوب (Desired Input): کمیت مطلوب مورد اندازه گیری است.
دو. ورودی مداخله کننده یا مزاحم (Interfering Input): این ورودی وارد اندازه گیری شده و یک خروجی اضافه ایجاد می کند.
سه. ورودی تغییردهنده (Modifying Input): عامل کالیبراسیون دستگاه را به هم می زند و خروجی را تغییر می دهد.

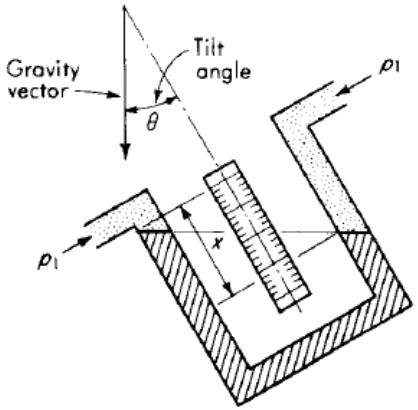
Instruments – Inputs



(a)



(b)



(c)

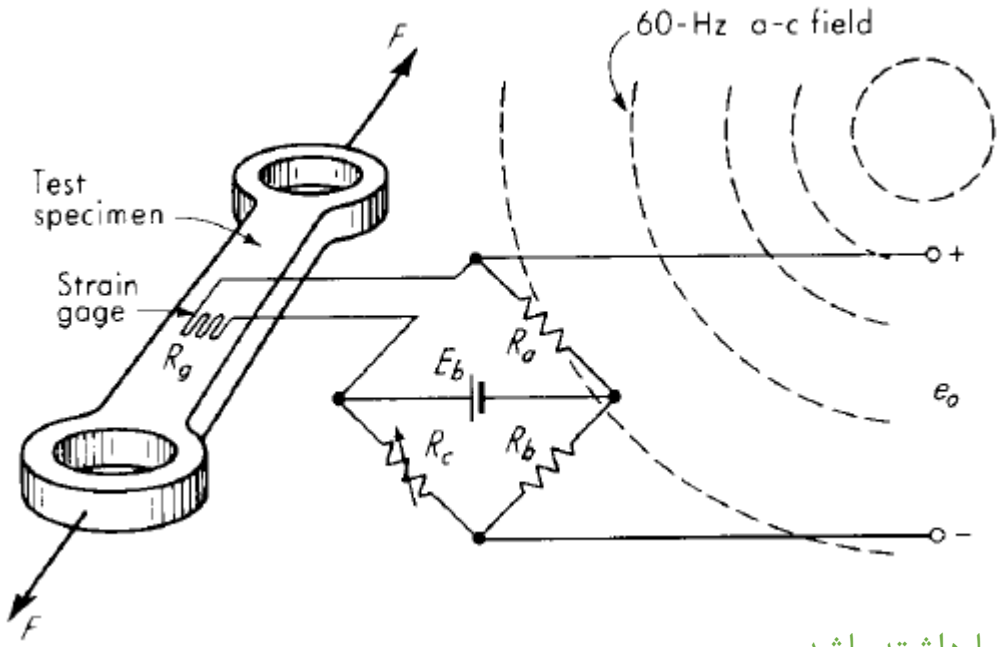
- مثال:

فرض کنید که می خواهیم اختلاف فشار در یک لوله U شکل را در حین حرکت شتاب دار اندازه گیری کنیم.

یک. ورودی مطلوب: اختلاف فشار
دو. ورودی مزاحم: شتاب حاصل از حرکت
سه. ورودی تغییردهنده: تغییر درجه حرارت که باعث تغییر دانسیته سیال می گردد (به هم خوردگی کالیبراسیون دستگاه).

Instruments – Undesired Input Corrections

- روش های اصلاح خطاهای ورودی نامطلوب:



یک. عدم حساسیت ذاتی (Inherent Insensitivity):
تنظیم دستگاه به گونه ای که صرفا نسبت به پارامتر اندازه گیری شونده حساس بوده و نسبت به سایر ورودی های نامطلوب حساس نباشد.

مثال:
اساس کار کرنش سنج بر تغییر مقاومت استوار است.

تغییر طول ← تغییر مقاومت
تغییر دما ← تغییر مقاومت

راه حل: جنس کرنش سنج به گونه ای انتخاب شود که حداقل تاثیرپذیری را از تغییرات دما داشته باشد.

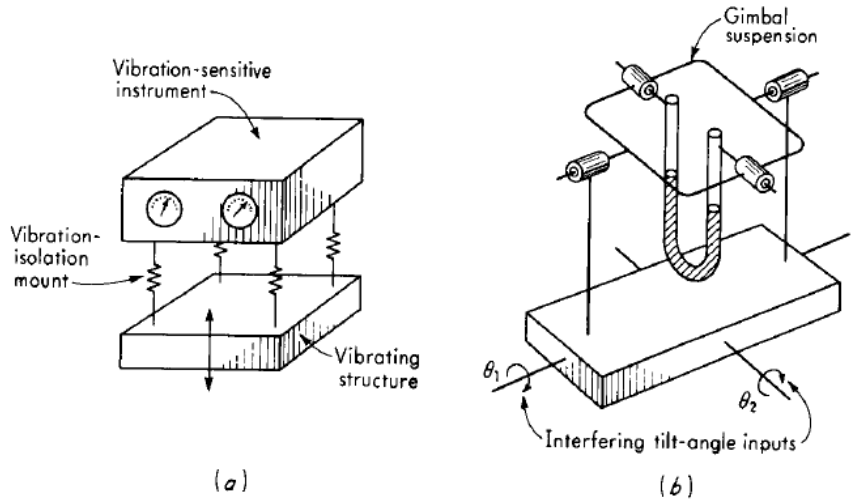
Instruments – Undesired Input Corrections

- روش های اصلاح خطاهای ورودی نامطلوب:

دو. روش استفاده از مقدار تصحیح (Calculated Output Correction):
در این روش، خطاهای حاصل از ورودی های نامطلوب به صورت یک مقدار تصحیح منظور می شود.

مثال:
به ازای مقادیر مختلف اندازه گیری، مقدار خطا را بدانیم:
- استفاده از جدول تصحیح کننده
- استفاده از فرمول تصحیح کننده
- و...

Instruments – Undesired Input Corrections



- روش های اصلاح خطاهای ورودی نامطلوب:

سه. استفاده از فیلتر (Signal Filtering):
کمیت مطلوب اندازه گیری توسط دستگاه دریافت شده و فیلتر با شناسایی سیگنال نامطلوب، آن را حذف و از عبور آن جلوگیری کند.

سایر روش های اصلاح:

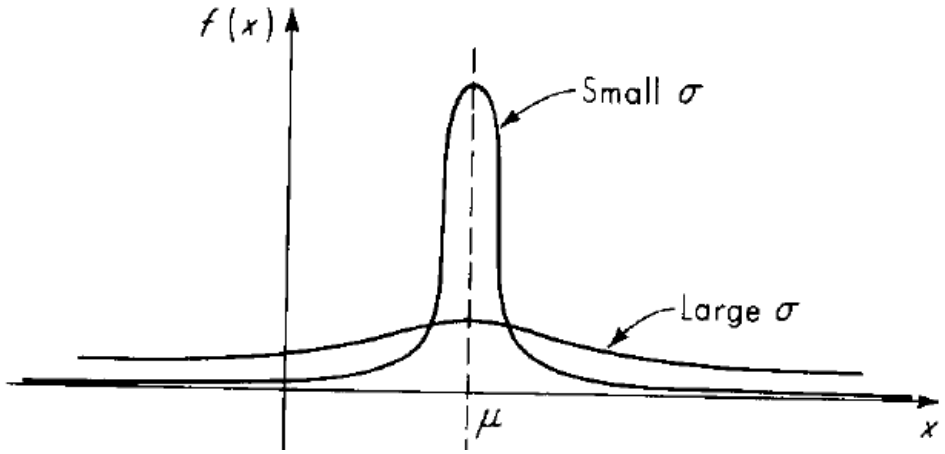
- برعکس کردن ورودی مزاحم (Opposing Input)
- روش فیدبک با تقویت بالا (High-gain Feedback)
- و... –

Instruments – General Concepts

- مشخصه های دستگاه های اندازه گیری:

یک. صحت (Accuracy)
انطباق یا نزدیکی مقدار اندازه گیری شده به مقدار واقعی (مقدار واقعی توسط یک دستگاه دقیق تر مرجع اندازه گیری می شود). کالیبراسیون به منظور افزایش صحت دستگاه انجام می گیرد.

دو. دقت (Precision)
انطباق یا نزدیکی مقادیر اندازه گیری شده نسبت به هم.
توجه: هر دستگاه اگر صحت داشته باشد حتما دقت هم دارد.



سه. تکرارپذیری (Repeatability)
دقت و تکرارپذیری دارای معانی یکسان است؛ دقت اغلب در وسایل اندازه گیری و تکرارپذیری اغلب در وسایل متحرک نظیر بازوی ربات تعریف می شود.

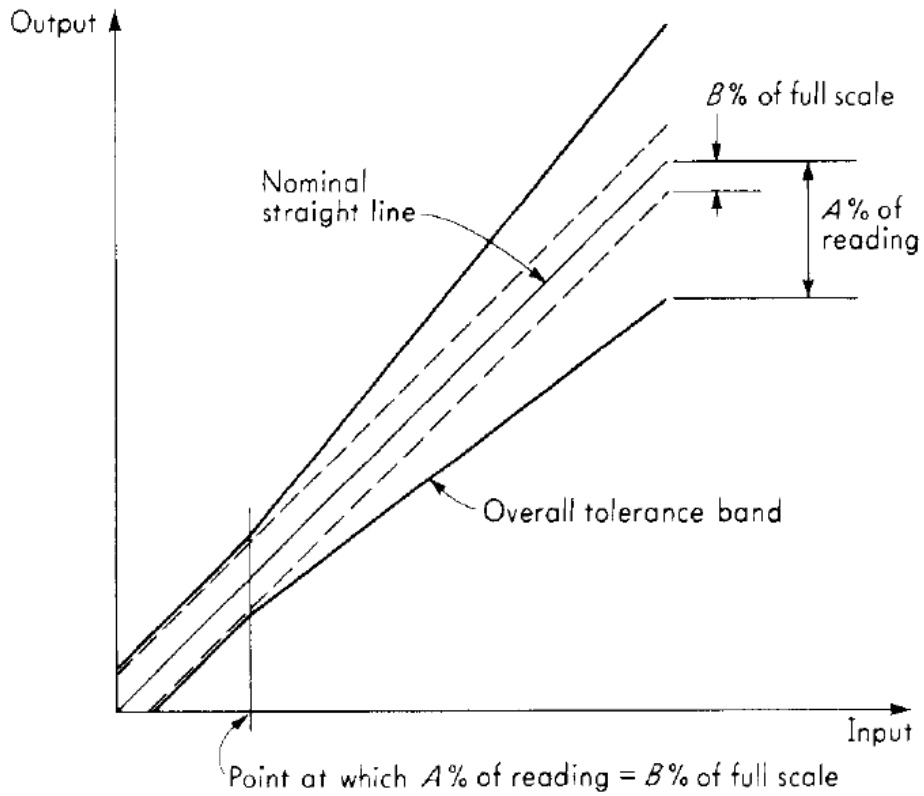
Instruments – General Concepts

- مشخصه های دستگاه های اندازه گیری:

چهار. خطی بودن (Linearity)
اگر پاسخ سیستم خطی باشد، به آسانی قابل خواندن است. خطی بودن خروجی دستگاه به معنی یکسان بودن فاصله بین واحدهای نمایشگر است. انحراف منحنی کالیبراسیون از خط بی بار را عدم خطی بودن را نشان می دهد.

پنج. آستانه اندازه گیری (Threshold)
حداقل ورودی که باعث تغییر در خروجی می شود.

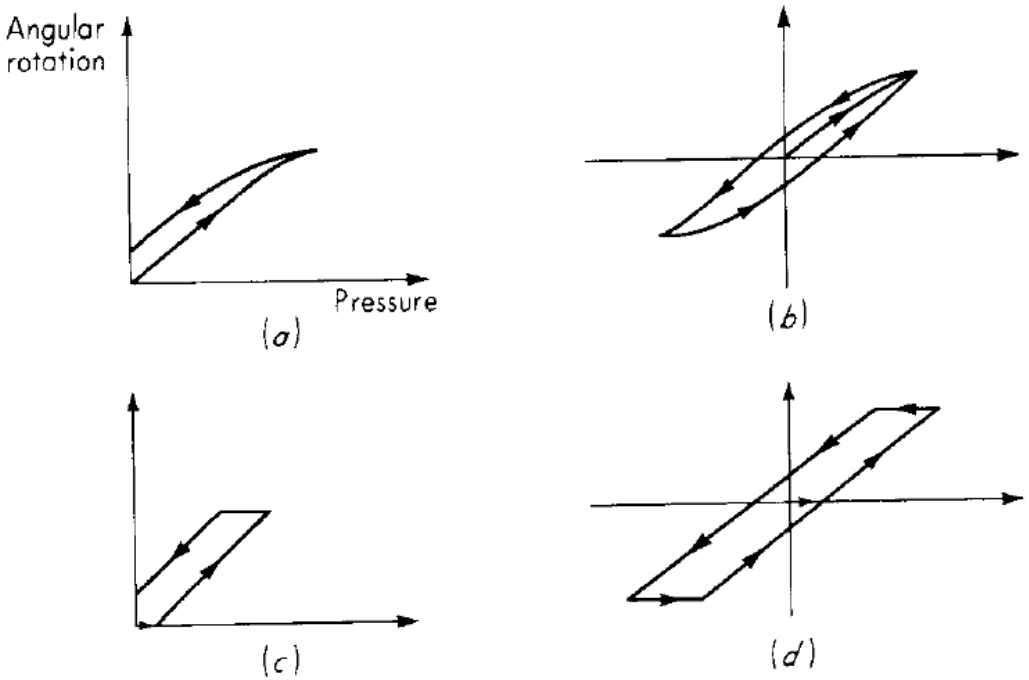
شش. قدرت تشخیص (Resolution)
کوچک ترین ورودی که در خروجی نشان داده می شود. قدرت تشخیص در حالت اندازه گیری دیجیتال کاملا مشخص است. برای مثال اگر کولیس دیجیتال قابلیت خواندن 0.01 را داشته باشد، قدرت تشخیص آن هم 0.01 است. در حالت اندازه گیری آنالوگ، قدرت تشخیص بسیار کوچک است.



Instruments – General Concepts

- مشخصه های دستگاه های اندازه گیری:

هفت. حساسیت (Sensitivity)
شیب منحنی تغییرات خروجی نسبت به تغییرات ورودی است. در اندازه گیری غیرخطی، شیب مماس در هر نقطه محاسبه می گردد. افزایش حساسیت دستگاه باعث کاهش دامنه اندازه گیری می گردد.



هشت. دامنه اندازه گیری (Span)
محدوده قابل اندازه گیری در هر وسیله اندازه گیری را دامنه گویند.
دامنه اندازه گیری با حساسیت و قدرت تشخیص ارتباط دارد.
هرچه دامنه اندازه گیری بیشتر شود، قدرت تشخیص و حساسیت کمتر می گردد.

نه. پسماند (Hysteresis)
پسماند عمدتا در جاهایی که لقی وجود دارد ایجاد می شود.

Instruments – General Concepts

- مشخصه های دستگاه های اندازه گیری:

ده. زمان عکس العمل (Response Time)
مدت زمانی که طول می کشد تا مقدار اندازه گیری شده نمایش داده شود. به عنوان مثال، اندازه گیری توسط دماسنج نیاز به یک زمان به منظور دستیابی به یک تعادل گرمایی است.

یازده. پایداری (Stability)
در واقع، همان عمر دستگاه است. یعنی مدت زمانی که دستگاه به طور صحیح اندازه گیری می کند.

دوازده. قیمت (Cost)

سیزده. سازگاری (Compatibility)
اینکه دستگاه اندازه گیری با سایر وسایل نظیر کامپیوتر قابلیت اتصال داشته باشد.

چهارده. حجم، وزن و ارگونومی

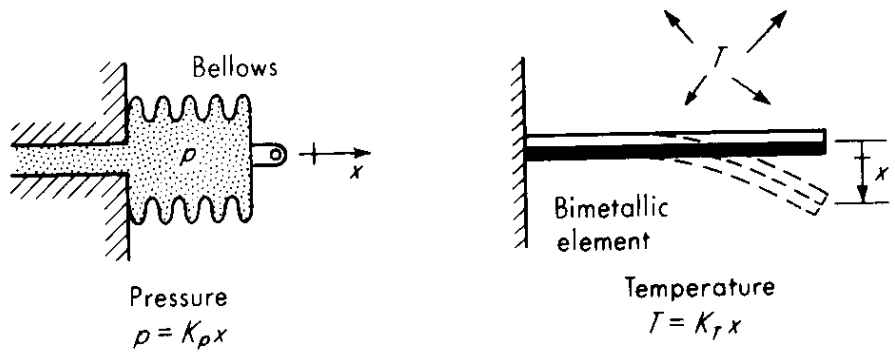
Instruments – General Concepts

- مشخصه های دستگاه های اندازه گیری:

پانزده. امپدانس ورودی (Input Impedance)
امپدانس ورودی شاخصی است که میزان انرژی یا توان اخذ شده توسط وسیله اندازه گیری از محیط مورد اندازه گیری را نشان می دهد. امپدانس هرچه بیشتر باشد، انرژی کمتری از محیط گرفته می شود، بنابراین وسیله در محیط تداخل کمتری ایجاد می کند و مطلوب تر است.

Measurement – Relative Displacement, Translational and Rotational

- علت اهمیت اندازه گیری طول و زاویه یک. طول و زاویه دو کمیت پایه ای و مهم هستند. دو. اندازه گیری بسیاری از کمیت ها منجر به اندازه گیری طول و زاویه می شود (مطابق شکل).

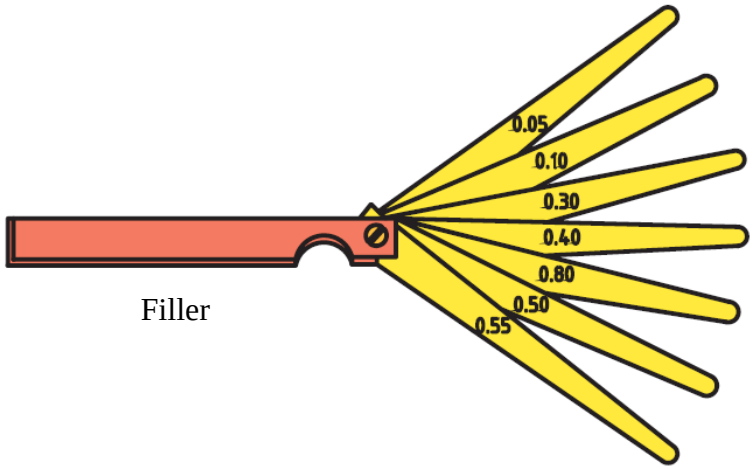


در اکتبر سال 1983 میلادی و در هفدهمین کنفرانس اوزان و مقادیر (در پاریس)، تعریف استاندارد متر براساس سرعت نور در خلاء ارائه شد: یک متر عبارت است از مسافتی که نور در خلاء در کسر (1 / 299,792,458) از ثانیه طی می کند.

Measurement Devices – Analog Type

- ابزارهای مکانیکی:

الف) وسایل اندازه گیری ثابت: این وسایل دارای یک بعد مشخص هستند؛ از جمله Gauge Block ها، گیج های go/no-go، فیلرها و غیره.

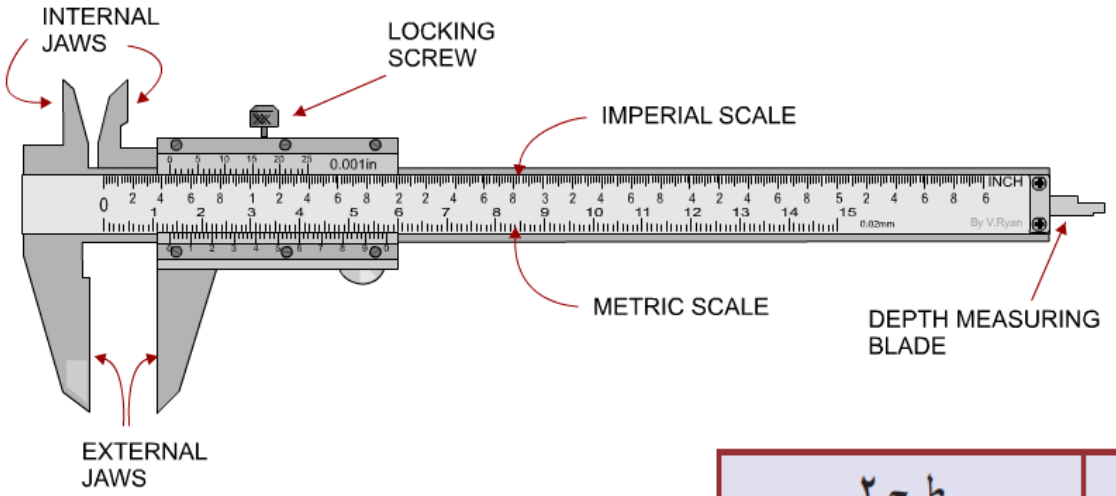


Filler

Go/No-Go Gauge

Gauge Block

Measurement Devices – Analog Type



- ابزارهای مکانیکی:

ب) وسایل اندازه گیری ساده؛ نظیر خط کش، گونیا، نقاله

پ) کولیس (Vernier Caliper): کولیس ها تا دقت ده میکرون وجود دارند. نحوه اندازه گیری قابلیت تفکیک کولیس ها (برای نمونه در دو نوع طرح با قابلیت تفکیک 0.1 mm در جدول زیر نشان داده شده است):

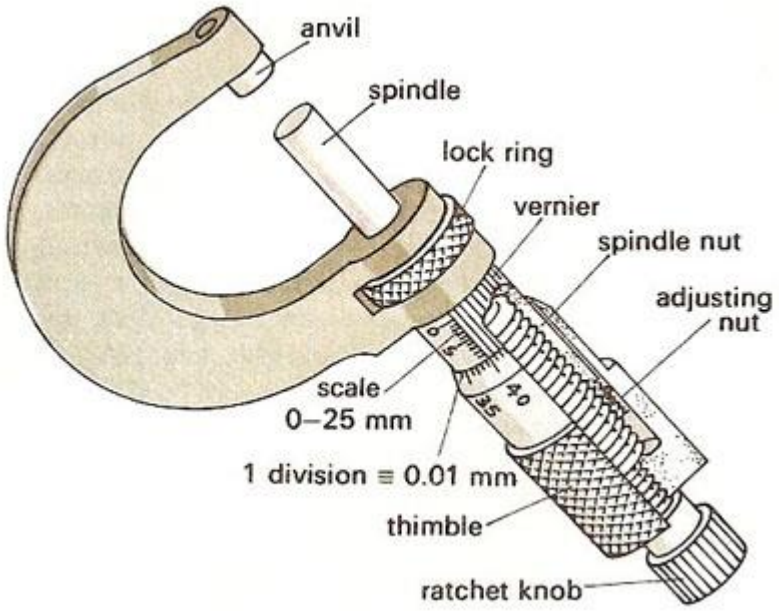
عوامل مؤثر بر درجه‌بندی	طرح ۱	طرح ۲
قابلیت تفکیک خط‌کش	۱mm	۱mm
مقیاس انتخاب شده	۹mm	۱۹mm
تعداد تقسیمات ورنیه	۱۰	۱۰
قابلیت تفکیک ورنیه	۹ ÷ ۱۰ = ۰/۹ mm	۱۹ ÷ ۱۰ = ۱/۹ mm
قابلیت تفکیک کولیس	۱ – ۰/۹ = ۰/۱ mm	۲ – ۱/۹ = ۰/۱ mm

Measurement Devices – Analog Type

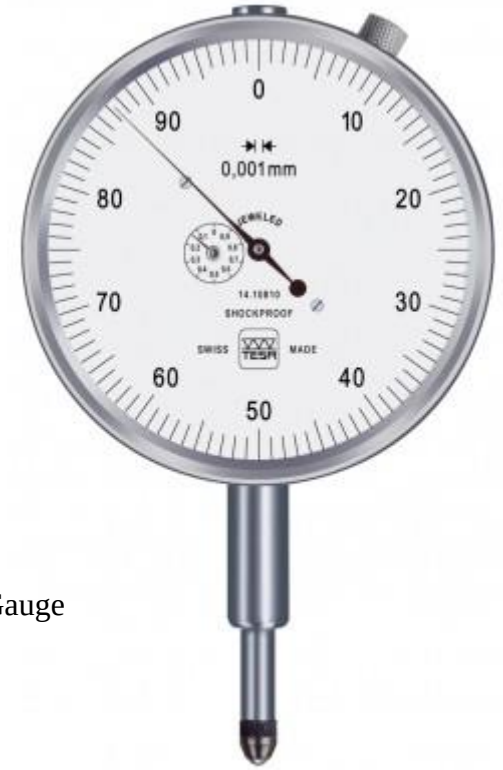
- ابزارهای مکانیکی:

ت) میکرومتر: از سر خروجی میکرومتر، همچنین، می توان برای اعمال جابجایی های کوچک استفاده کرد.

ث) گیج ساعتی (Dial Gauge): غالبا در این گیج ها، حرکت خطی به حرکت دورانی تبدیل می شود.

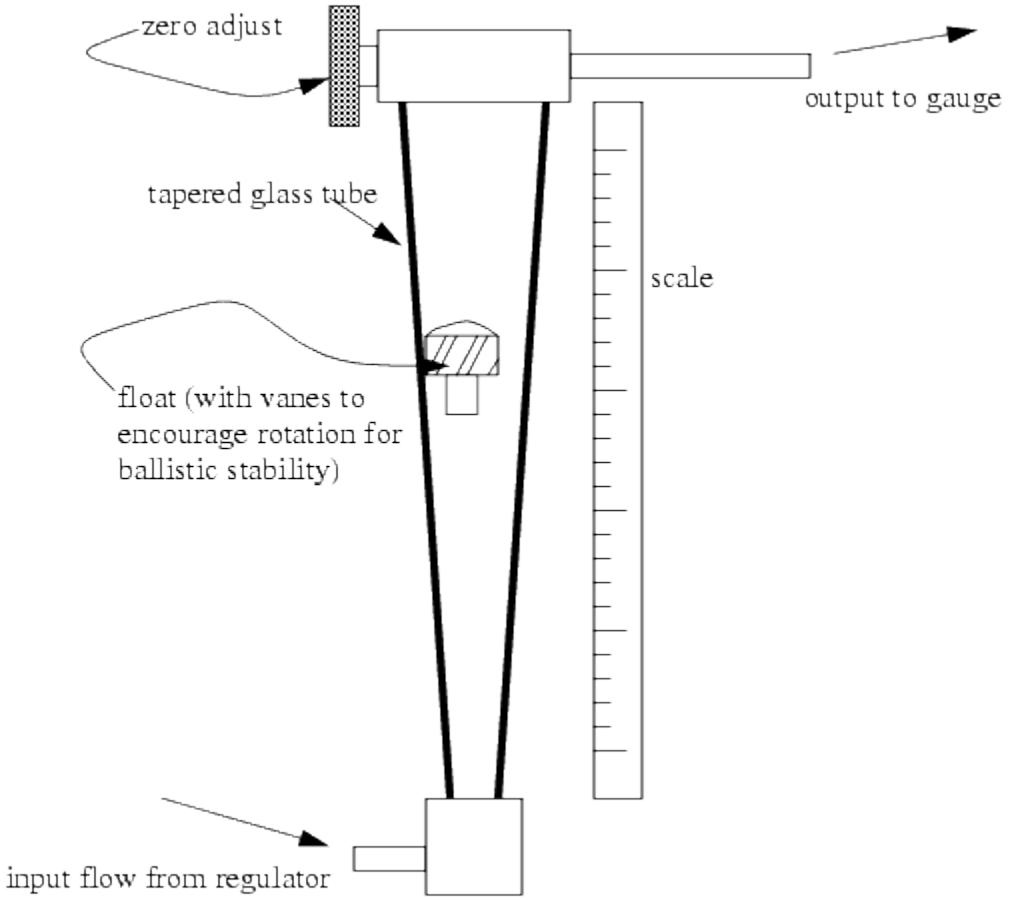


Micrometer



Dial Gauge

Measurement Devices – Analog Type



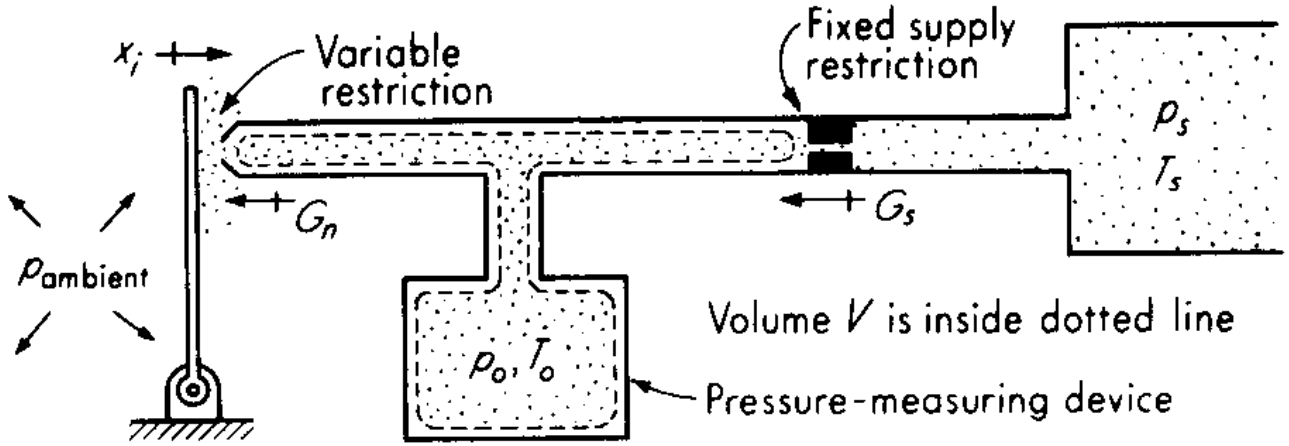
- ابزارهای بادی:

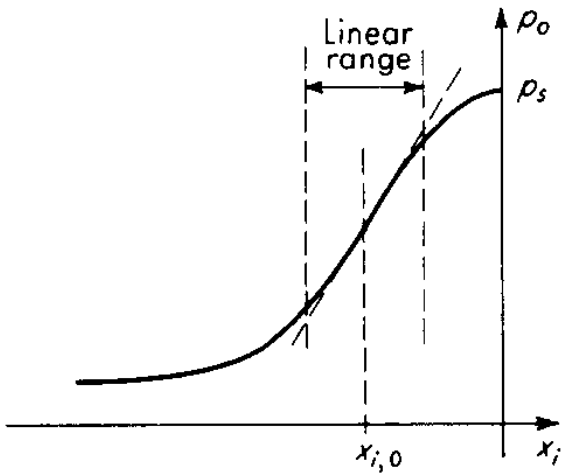
الف) اندازه گیری براساس دبی هوا؛

هوا پس از عبور از رگولاتور با جریان ورودی ثابت از قطعه شناور عبور می کند. بسته به میزان بسته بودن یا باز بودن نازل خروجی، ارتفاع قطعه شناور متفاوت خواهد بود.

براساس ارتفاع شناور، اندازه گیری انجام می گیرد. در این روش، اندازه گیری کنترلی انجام می شود.

Measurement Devices – Analog Type





- ابزارهای بادی:

ب) اندازه گیری براساس فشار هوا؛

در ازای تغییرات فشار نازل خروجی، فشار محفظه هوا که با یک فشارسنج اندازه گیری می شود تغییر می کند.

در منحنی فشار-ارتفاع، یک محدوده خطی وجود دارد که برای اندازه گیری مطلق مناسب می باشد.

سرعت پاسخ دستگاه به دو عامل بستگی دارد:

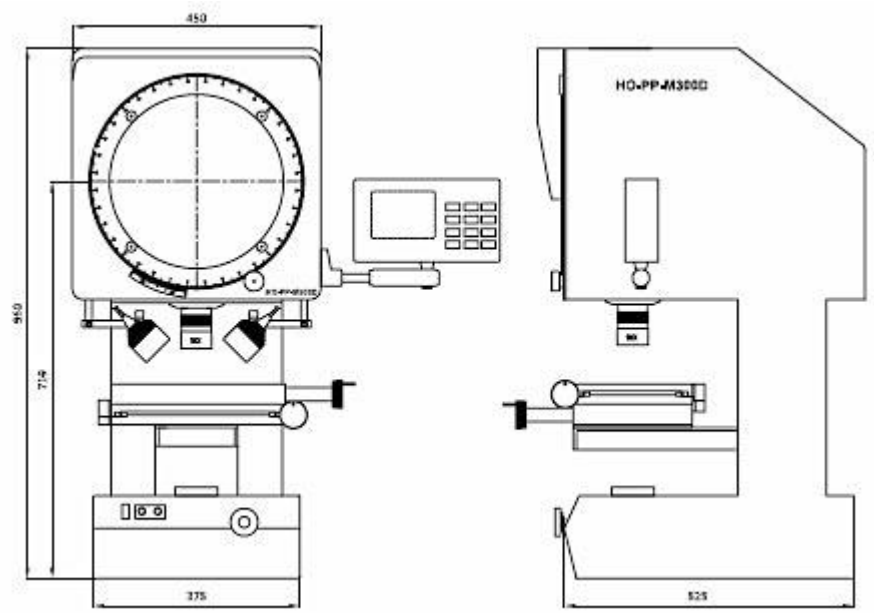
یک. قطر گلوگاه (Fixed Supply Restriction):

هرچه قطر گلوگاه کمتر (تنگ تر) شود، حساسیت دستگاه افزایش می یابد.

دو. حجم اتاق هوا:

به طور کلی، مدت زمان بیشتری برای تغییر فشار در حجم اتاق هوای بزرگ تر نیاز است.

Measurement Devices – Analog Type



- ابزارهای نوری:

الف) وسایلی که براساس بزرگنمایی عمل می کنند.

یک. پروژکتور اندازه گیری (Profile Projector):

با بزرگنمایی تصویر توسط عدسی، عمل اندازه گیری انجام می شود.

این وسیله برای اندازه گیری اجسام دوبعدی یا دو و نیم بعدی کاربرد دارد.

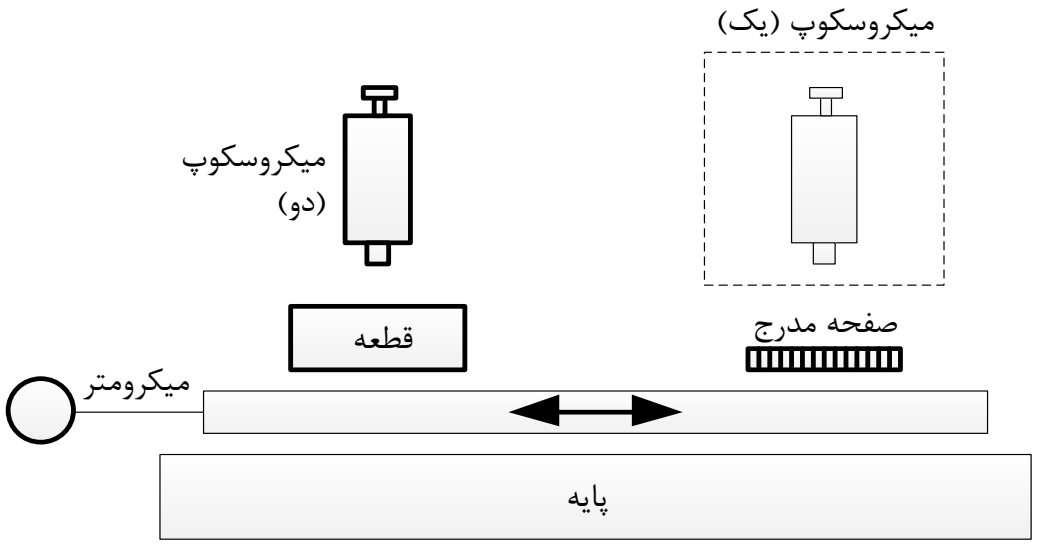
Measurement Devices – Analog Type

- ابزارهای نوری:

الف) وسایلی که براساس بزرگنمایی عمل می کنند.

دو. میکروسوکوپ اندازه گیری:

با مشاهده لبه ورودی قطعه از طریق میکروسکوپ، عدد متناظر با آن روی میکروسکوپ اول خوانده می شود. با حرکت میز و مشاهده لبه خروجی از طریق میکروسکوپ، عدد لبه ی خروجی نیز روی صفحه مدرج ثبت می گردد. به این ترتیب طول قطعه، از طریق تفاضل دو عدد خوانده شده محاسبه می گردد. به منظور اتوماتیزه کردن شناسایی لبه قطعه می توان از روش «ارتعاش نور تابیده شده» استفاده نمود.



Measurement Devices – Analog Type

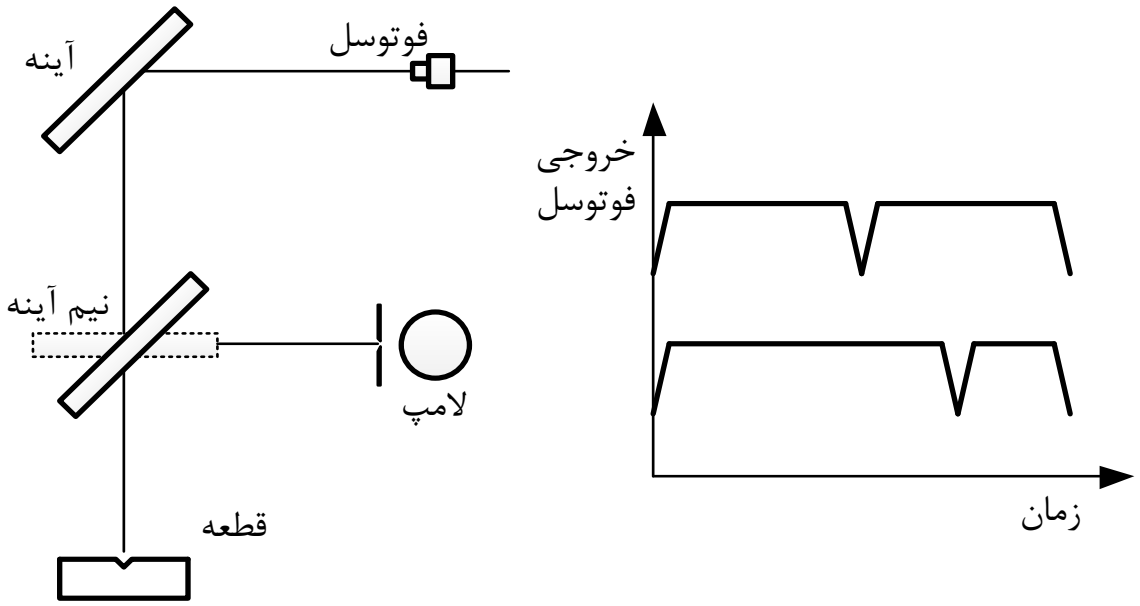
- ابزارهای نوری:

الف) وسایلی که براساس بزرگنمایی عمل می کنند.

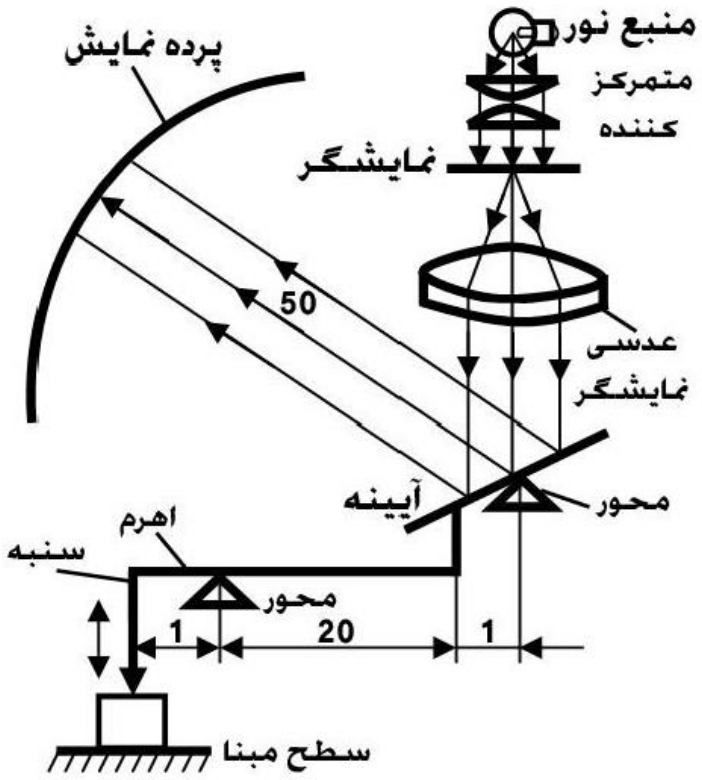
دو. میکروسوکوپ اندازه گیری:

«ارتعاش نور تابیده شده»

نور تابیده شده از لامپ، توسط یک نیم آینه درحال دوران به سطح قطعه منعکس و جاروب می گردد. نور بازتاب یافته از سطح، از طریق سیستم های آینه ای به یک فوتوسل منتقل می گردد. تحلیل خروجی فوتوسل می تواند به تعیین دقیق موقعیت لبه (شکاف) بیانجامد.



Measurement Devices – Analog Type



- ابزارهای نوری:

الف) وسایلی که براساس بزرگنمایی عمل می کنند.

سه. مقایسه گرهای مکانیکی -نوری

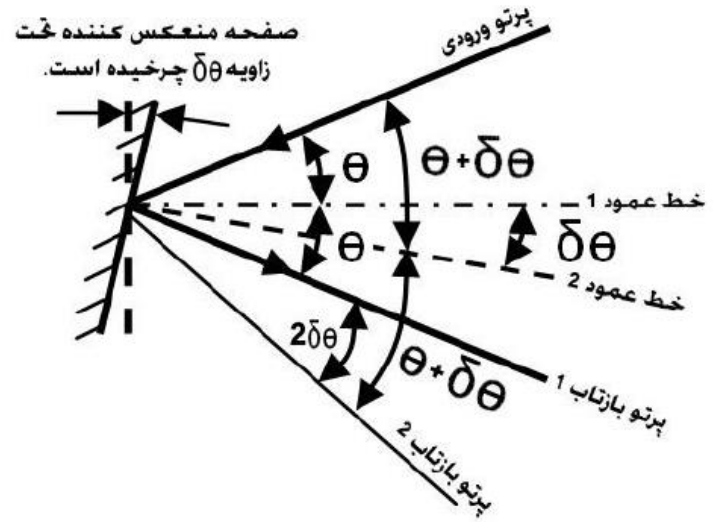
جابجایی های کوچک شاخص اندازه گیری به وسیله یک سیستم مکانیکی شامل اهرم هایی که قادر به چرخش حول محورهای مشخص شده است به یک آینه منتقل و آینه جابجا می شود. سیستم نوری، تصویر یک نمایشگر کوچک را در آینه شکل می دهد و آینه هم این تصویر را به روی درجه بندی منعکس می کند که درنتیجه، تصویر نمایشگر عددی رار وی درجه بندی نشان می دهد. این درجه بندی، روی زمینه یک پرده نمایش شیشه ای قرار دارد. در این قبیل سیستم ها،

(با توجه به شکل) بزرگ نمایی مکانیکی = $1 \times 20 \times 1 = 20$

بزرگ نمایی نوری = $50 \times 2 = 100$

و درنتیجه، بزرگ نمایی نهایی وسیله = $20 \times 100 = 2000$

Measurement Devices – Analog Type



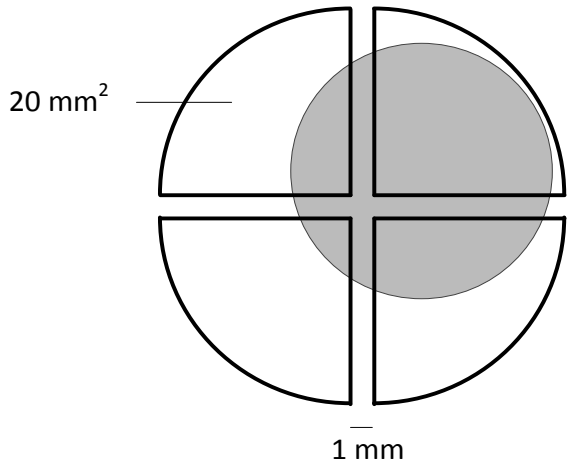
- ابزارهای نوری:

الف) وسایلی که براساس بزرگنمایی عمل می کنند.

سه. مقایسه گرهای مکانیکی –نوری

ضریب (دو) در بزرگنمایی نوری؛ یک پرتو موازی نور تحت زاویه (تتا) نسبت به خط عمود روی یک صفحه منعکس کننده تابیده است. پرتو منعکس شده نیز تحت همین زاویه نسبت به خط عمود از سطح صفحه خارج می شود. اگر صفحه منعکس کننده تحت زاویه (دلتا تتا) بچرخد، مسیر پرتو ورودی بدون تغییر باقی می ماند اما پرتو انعکاسی به اندازه دو برابر (دلتا تتا) می چرخد. بنابراین، زاویه بین پرتو ورودی و خط عمود بر صفحه در حالت دوم (تتا + دلتا تتا) خواهد شد (برای پرتو خروجی نیز چنین است) و زاویه بین پرتوهای ورودی و خروجی به صورت دو برابر (تتا + دلتا تتا) می گردد. ضریب عددی (دو) در محاسبه بزرگ نمایی نوری دستگاه، حاصل از چنین انعکاسی است.

Measurement Devices – Analog Type



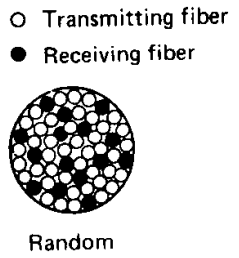
- ابزارهای نوری:

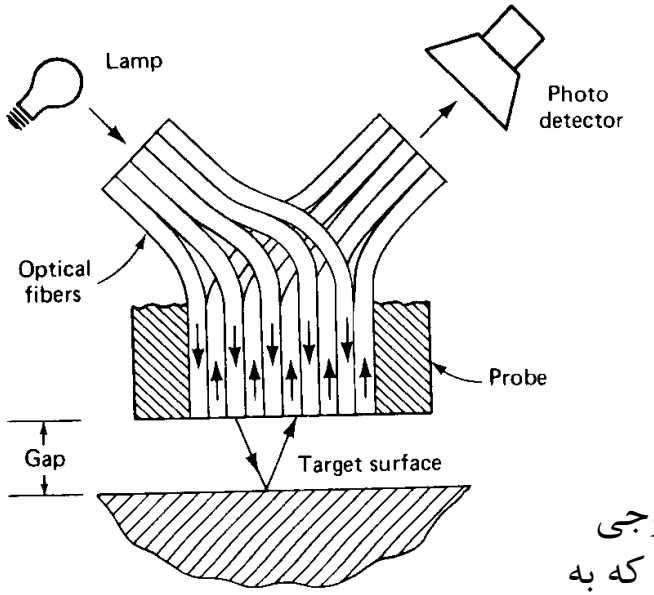
ب) وسایلی که براساس انرژی نور عمل می کنند.

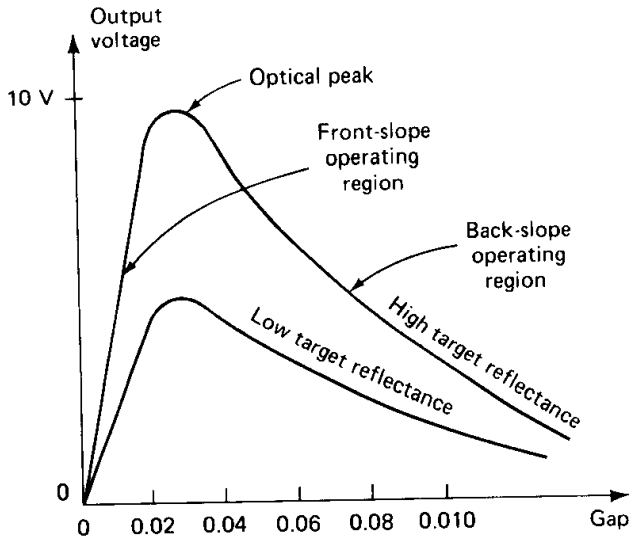
یک. سنسور لیزری:

باتوجه به میزان نوری که بر هر قسمت تابیده می شود، جریان عبوری (جریان ایجاد شده) در قسمت های مختلف تفاوت می کند. با استفاده از این سیستم چهار فوتودیودی می توان جابجایی قطعه یا سازه را طی یک مدت زمان مشخص تعیین نمود.

Measurement Devices – Analog Type







- ابزارهای نوری:

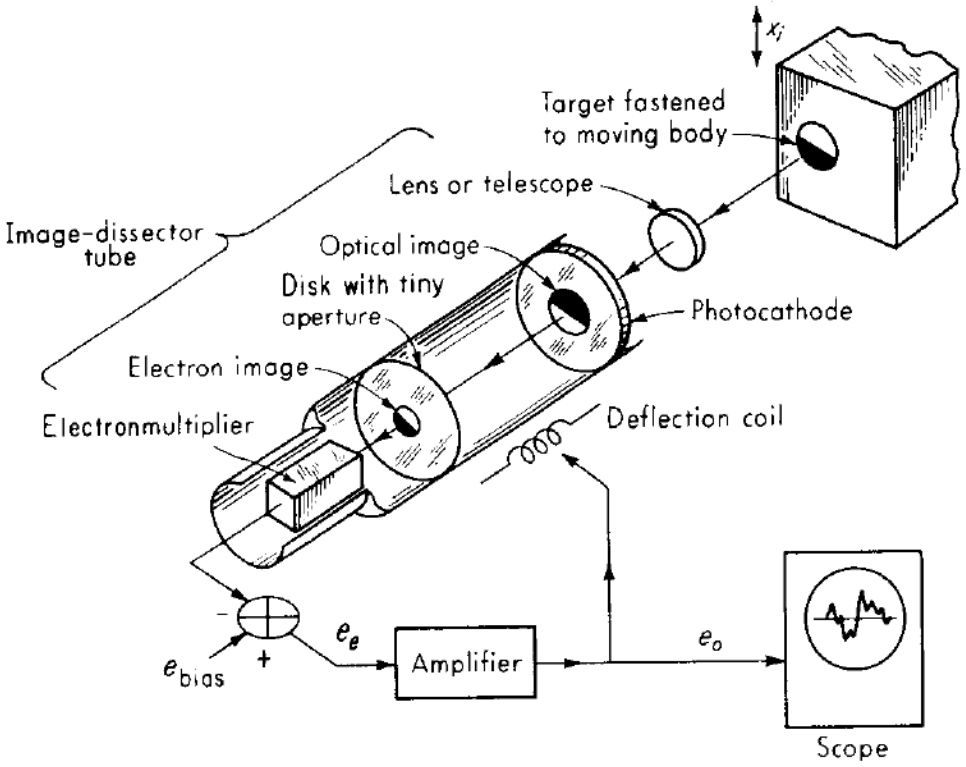
ب) وسایلی که براساس انرژی نور عمل می کنند.

دو. سنسور فوتونیک (Fotonic Sensor):

در این سنسور، نور توسط یک رشته فیبر نوری بر روی سطح تابیده می شود. این نور از روی سطح منعکس می شود و توسط یک دسته رشته فیبر نوری به یک فوتوسل انتقال داده می شود. هرچه بازتاب پذیری سطح بیشتر باشد، مقدار خروجی فوتوسل بیشتر است.

زمانی که رشته فیبر نوردی به سطح قطعه چسبیده باشد در عمل، هیچ گونه خروجی در فوتوسل وجود ندارد. با افزایش فاصله، میزان خروجی افزایش می یابد تا زمانی که به نقطه حداکثر برسد (ناحیه شیب جلویی). از این ناحیه به علت حساسیت بالا و خطی بودن برای اندازه گیری جابجایی استفاده می شود. با افزایش بیشتر فاصله، به علت پخش شدن نور، خروجی دوباره شروع به کاهش می کند (ناحیه شیب پشتی). هرچند، اندازه گیری در محدوده شیب پشتی نیز می تواند انجام گیرد اما چند معمول نمی باشد.

Measurement Devices – Analog Type



- ابزارهای نوری:

ب) وسایلی که براساس انرژی نور عمل می کنند.

سه. سنسور اپترون (Optron Sensor):

در این دستگاه یک هدف با علامت (سیاه/سفید) وجود دارد که بر روی قطعه نصب می گردد. از این وسیله برای اندازه گیری میزان جابجایی استفاده می شود. نور بازتاب یافته به فوتوکاتد برخورد می کند؛ جایی که نور به اشعه الکترونی تبدیل می شود. بسته به شدت نور دریافتی، الکترون جریان یافته متفاوت خواهد بود و تشکیل یک تصویر الکترونی را می دهد. اما به علت اعمال میدان الکتریکی و بزرگ نمایی ایجاد شده، تنها بخش کوچکی از تصویر الکترونی توسط بخش انتهایی (Electronmultiplier) مشاهده می شود. اگر خروجی 50:50 را e_{bias} بنامیم، هرگونه بیشتر بودن بخش سیاه/سفید بر خروجی به دست آمده تاثیر می گذارد. تفاضل این خروجی با خروجی استاندارد توسط یک سیستم فیدبک و از طریق سیم پیچ منحرف کننده باعث بازگردانی تصویر الکترونی به موقعیت خنثی می گردد. درواقع، مقدار ولتاژی که برای انحراف الکترون مصرف شده است، میزان انحراف (جابجایی) هدف را مشخص می کند.

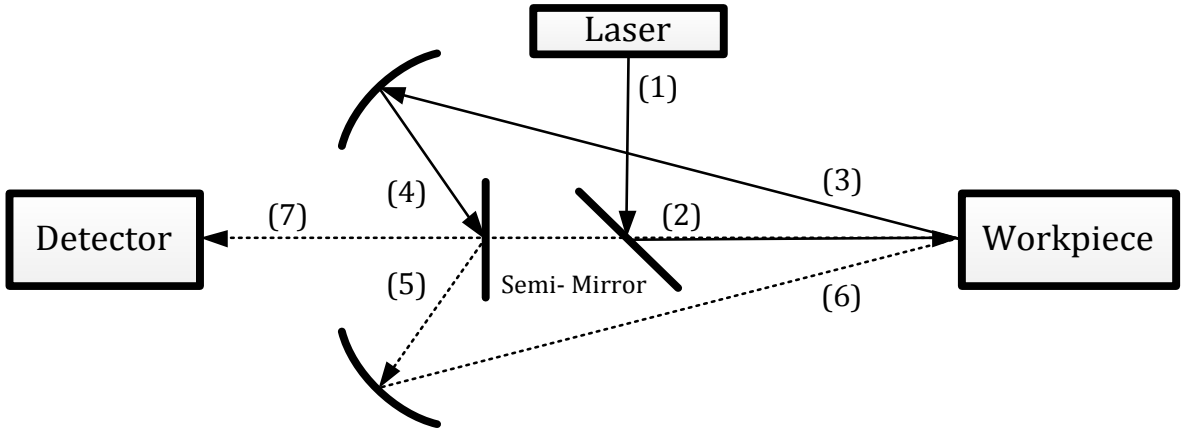
Measurement Devices – Analog Type

- ابزارهای نوری:

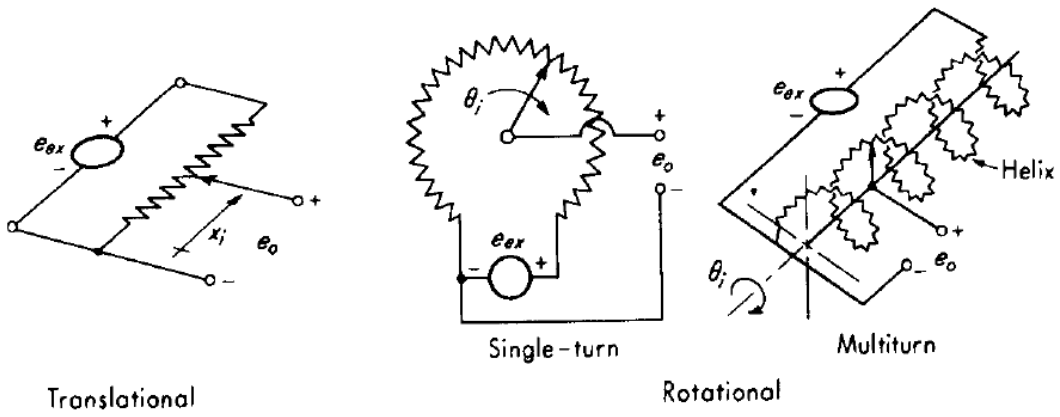
ب) وسایلی که براساس انرژی نور عمل می کنند.

چهار. اندازه گیری فواصل دور (Optical Radar):

نور لیزر تابش داده می شود و پس از عبور از نیمه آینه ها و برخورد به قطعه کار موردنظر، به آشکارساز می رسد. فاصله براساس مدت زمان حرکت لیزر محاسبه می گردد.



Measurement Devices – Analog Type

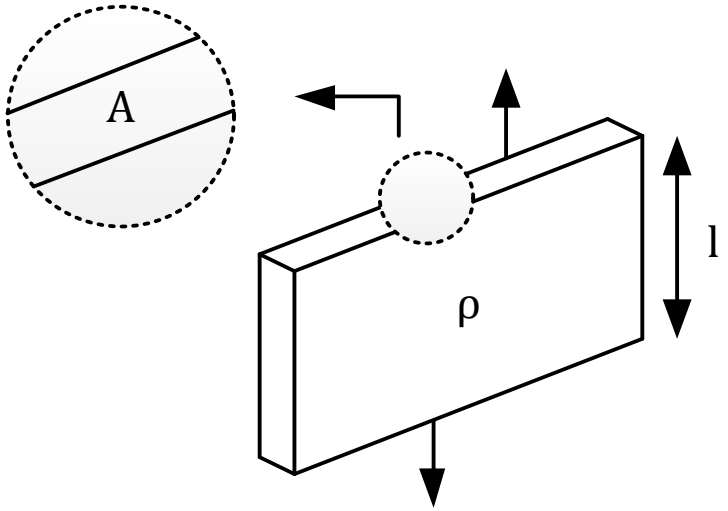


- ابزارهای الکتریکی:

یک. پتانسیومتر مقاومتی (Resistance Potentiometer):

این وسیله از یک مقاومت و یک قطعه تماسی متحرک تشکیل شده است. در این وسیله با تغییر ولتاژ توسط تغییر مقاومت (x_i)، ولتاژ خروجی (e0) تغییر می کند. قطعه تماسی می تواند خطی، دورانی یا ترکیبی باشد و به این ترتیب، اندازه گیری جابجایی خطی و دورانی را امکان پذیر می کند ($e_0/e_{ex} = x_i/x_t$). باتوجه به این که $P=e^2_{ex}/R$، (الف) اگر R کوچک باشد حرارت تولید شده افزایش می یابد. برای جبران این عیب بایستی ولتاژ منبع (e_{ex}) را کاهش داد که باعث کاهش حساسیت دستگاه می گردد. (ب) اگر R بزرگ باشد خطای امپدانسی دستگاه افزایش می یابد. درواقع، افزایش مقاومت باعث می شود که جریان ناچیزی از وسیله اندازه گیری عبور کند.

Measurement Devices – Analog Type



- ابزارهای الکتریکی:

دو. کرنش سنج مقاومتی (Resistance Strain Gauge):

$$R = \rho\frac{l}{A}, \qquad dR = \frac{A(\rho dl + l d\rho) - \rho l dA}{A^2}$$

$$V = Al, \qquad dV = Adl + ldA \; *$$

تفاضل حجم ها:

$$dV = l(1+\varepsilon)A(1-\upsilon\varepsilon)^2 - Al = Al(1+\varepsilon)(1-2\upsilon\varepsilon)$$

$$dV = Al(1-2\upsilon\varepsilon+\varepsilon) - Al \cong Al\varepsilon(1-2\upsilon) \; **$$

$$*,** \Rightarrow Al\varepsilon(1-2\upsilon) = Adl + ldA \Rightarrow -2\upsilon Adl = ldA$$

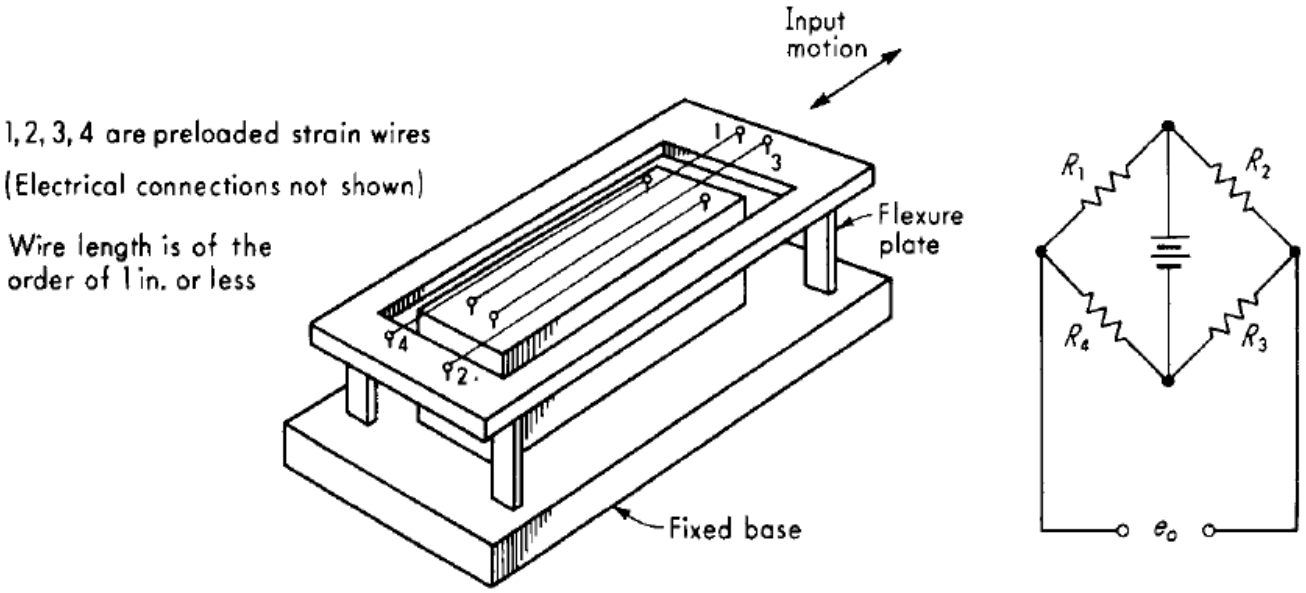
$$\Rightarrow dR = \frac{\rho Adl + lAd\rho + 2\upsilon\rho Ald}{A^2} = \frac{\rho dl(1+2\upsilon)}{A} + \frac{ld\rho}{A}$$

Gauge factor :

$$\Rightarrow \frac{dR}{R} = \frac{dl}{l}(1+2\upsilon) + \frac{d\rho}{\rho} \Rightarrow \frac{\frac{dR}{R}}{\frac{dl}{l}} = 1 + 2\upsilon + \frac{\frac{d\rho}{\rho}}{\frac{dl}{l}}$$

هرچه مقدار gauge factor بیشتر باشد، بیان کننده این است که با کوچکترین تغییرات طول، یا سطح مقطع یا چگالی، بیشترین تغییر مقاومت اتفاق خواهد افتاد بنابراین، حساسیت دستگاه بیشتر است.

Measurement Devices – Analog Type



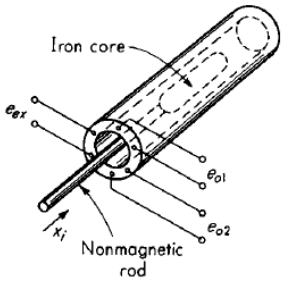
- ابزارهای الکتریکی:

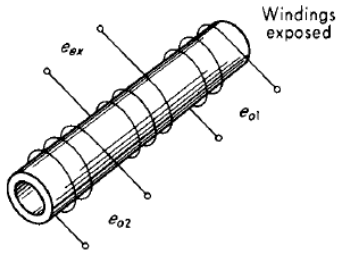
دو. کرنش سنج مقاومتی (Resistance Strain Gauge):

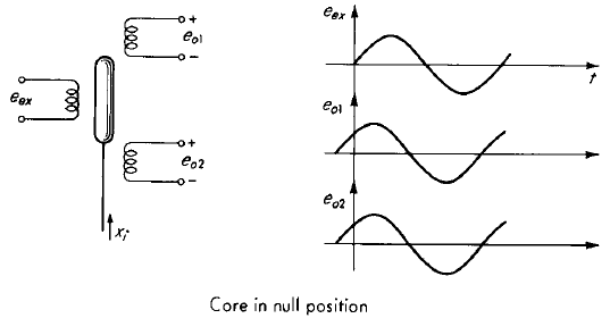
کرنش سنج آزاد (Unbounded)–

به جای هرکدام از سیم های شماره یک تا چهار، می توان یک مقاومت جایگزین نمود. علت استفاده از چهار مقاومت، افزایش حساسیت دستگاه می باشد. با تغییر کشیدگی سیم، کقاومت سیم نیز تغییر می کند. بنابراین، ولتاژ خروجی یا e_0 تغییر می کند.

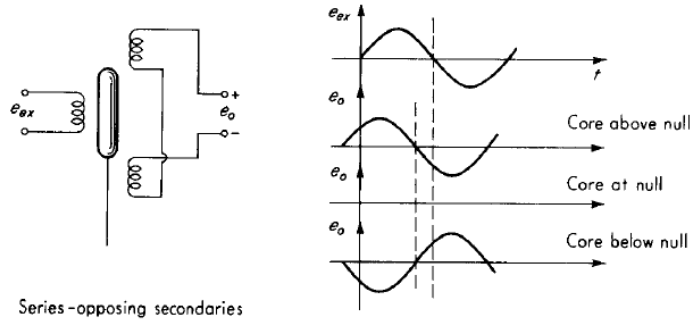
Measurement Devices – Analog Type







Core in null position



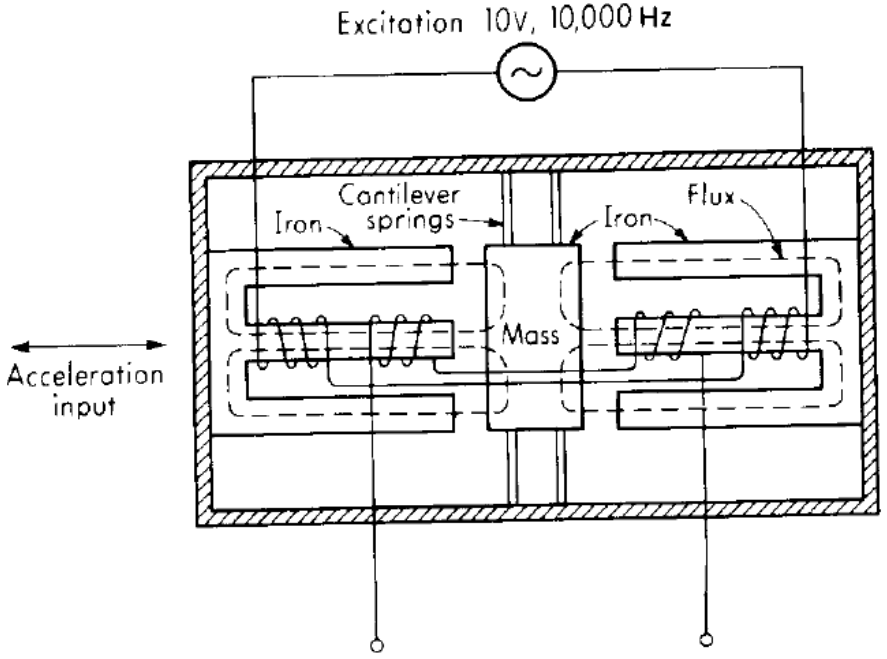
Series-opposing secondaries

- ابزارهای الکتریکی:

سه. اندازه گیری القایی ((Linear Variable Differential Transformer (LVDT):

این وسیله از یک لوله عایق تشکیل شده است که بر روی آن سه سیم پیچ پیچیده شده است. در داخل این لوله عایق، یک هسته آهنی متحرک تعبیه شده است. با حرکت هسته آهنی، مقدار ولتاژ القایی بر روی هرکدام از سیم پیچ ها تغییر می کند. این وسیله یک وسیله بسیار دقیق و کاربردی است که دقت آن حدود 0.1 micron می باشد.

Measurement Devices – Analog Type



- ابزارهای الکتریکی:

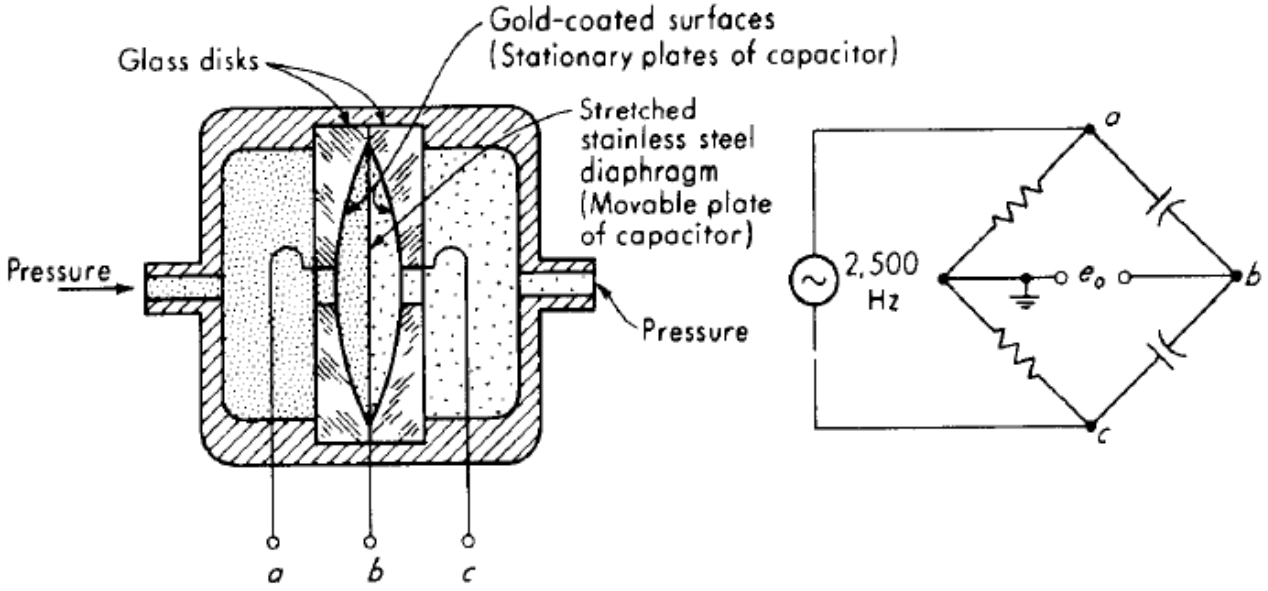
چهار. اندازه گیری براساس تغییر مقاومت مغناطیسی (Variable-Reluctance Pickup):
این وسیله برای اندازه گیری شتاب تا گستره 4g استفاده می شود. باتوجه به اینکه نیروی موردنیاز برای به شتاب آوردن یک جرم، متناسب با شتاب وارده است، فنرهای تکیه گاهی دهنده جرم، متناسب با شتاب وارده دچار تغییر موقعیت می شوند. بنابراین، اندازه گیری میزان جابجایی فنرها می تواند به اندازه گیری شتاب وارده منتهی شود. حرکت جرم آهنی به یک سو سبب می شود که این جرم به یک هسته نزدیک تر و از دیگری دورتر شود. پس، میدان القایی وارد بر یک هسته بیشتر و بر دیگری کمتر می شود. تفاوت میدان القایی در اندازه گیری جابجایی و بنابراین، اندازه گیری شتاب مورد استفاده قرار می گیرد.

Measurement Devices – Analog Type

- ابزارهای الکتریکی:

پنج. اختلاف فشارسنج خازنی (Differential Capacitor Pressure Pickup):

در اثر اختلاف فشار موجود در دو طرف، روغن موجود در محفظه دیافراگم b جابجا می شود. اختلاف فشار موجود باعث شکم دادن دیافراگم به سمت قسمت کم فشارتر می گردد. شکم دادگی دیافراگم سبب کم شدن ظرفیت یک خازن و افزایش ظرفیت خازن دیگر می گردد.

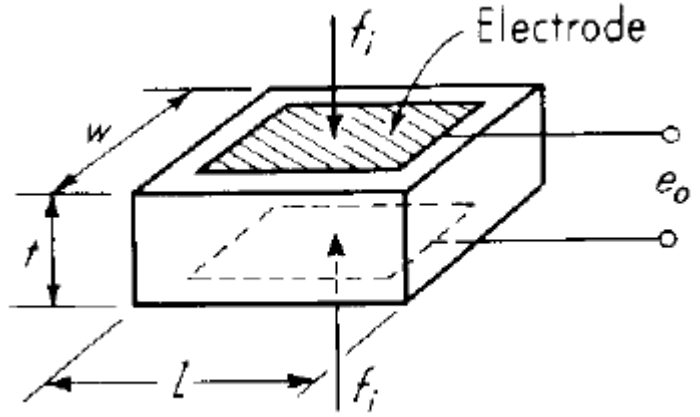


Measurement Devices – Analog Type

- ابزارهای الکتریکی:

شش. اندازه گیری با پیزوالکتریک (Piezoelectric Transducer):

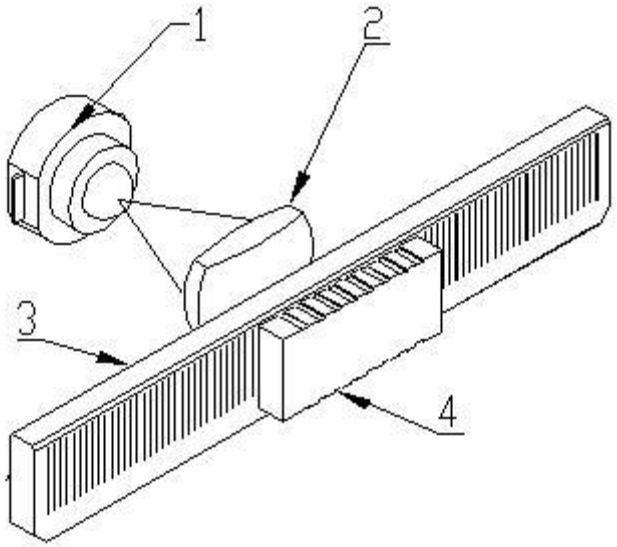
هنگامی که پیزوالکتریک تحت فشار قرار می گیرد خروجی ولتاژ ایجاد می کند. هم چنین به طریق معکوس، اگر پیزوالکتریک تحت اختلاف پتانسیل الکتریکی تغییرطول می دهد. از این وسیله برای اندازه گیری حرکت های ظریف و ارتعاش استفاده می شود. از ویژگی های پیزوالکتریک آن است که تا زمان اعمال فشار، ولتاژ می دهد و بلافاصله با قطع فشار، ولتاژ نیز ار بین می رود.



Measurement Devices – Digital Type

- انکودرهای نوری (Optical Encoders):

این وسایل، مهم ترین و شاخص ترین وسایل اندازه گیری دیجیتال هستند. روی یک خط کش شیشه ای، خطوطی با گام یکسان حک می گردد؛ خطوطی که قابلیت عبور نور نداشته باشد. یک اشل متحرک که دارای خط مشابه به خطوط حک شده روی خط کش است، می تواند روی خط کش لغزش نماید. در اثر حرکت اشل بر خط کش، و نحوه قرارگیری خطوط نسبت به هم، نور تابشی از یک منبع نور می تواند در موقعیت های عبور/عدم عبور از مجموعه (اشل/خط کش) قرار گیرد. بنابراین، در اثر این حرکت لغزشی، فوتوسل تعبیه شده در این وسیله می تواند روشنی/تاریکی را به طور متناوب دریافت نماید. تعداد بارهای روشن دریافت شده توسط فوتوسل در اندازه گیری جابجایی مورداستفاده قرار می گیرد. هرچه گام خطوط و اندازه آنها کوچک تر باشد، قدرت تشخیص دستگاه بالاتر است.



معایب:

یک. قدرت تشخیص دستگاه به اندازه گام این شکاف ها بستگی دارد و نمی تواند خیلی کوچک شود. بهترین نوع گام برابر چهار میکرون است (دو میکرون نور را عبور دهد و دو میکرون نور را عبور ندهد).

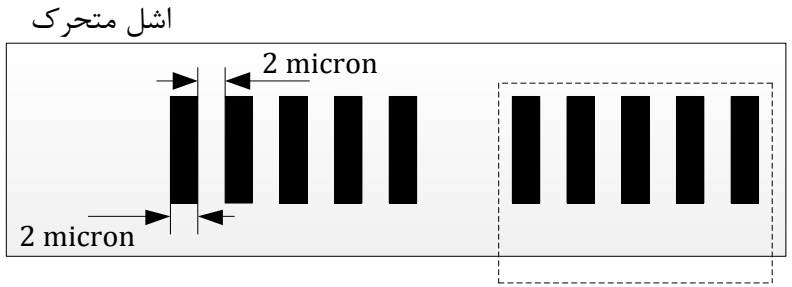
دو. مقدار نور عبوری بسیار کم است

سه. در صورتی که یک شکاف به علتی بسته باشد، خطا ایجاد می شود.

چهار. جهت حرکت قابل تشخیص نیست.

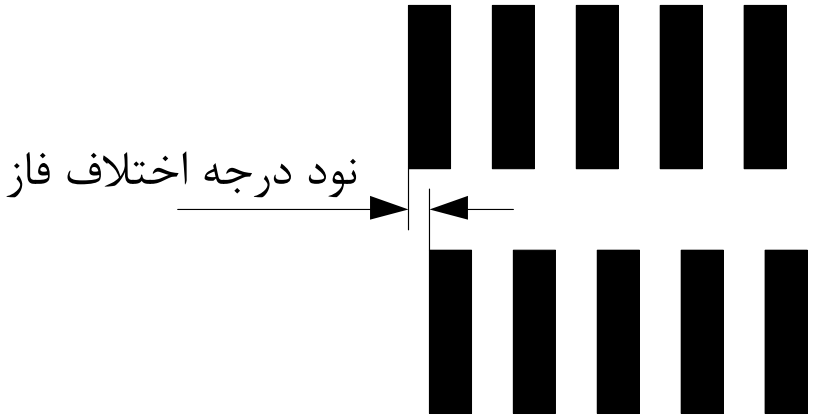
رفع مشکل دو و سه. افزایش تعداد خطوط در اشل متحرک است.

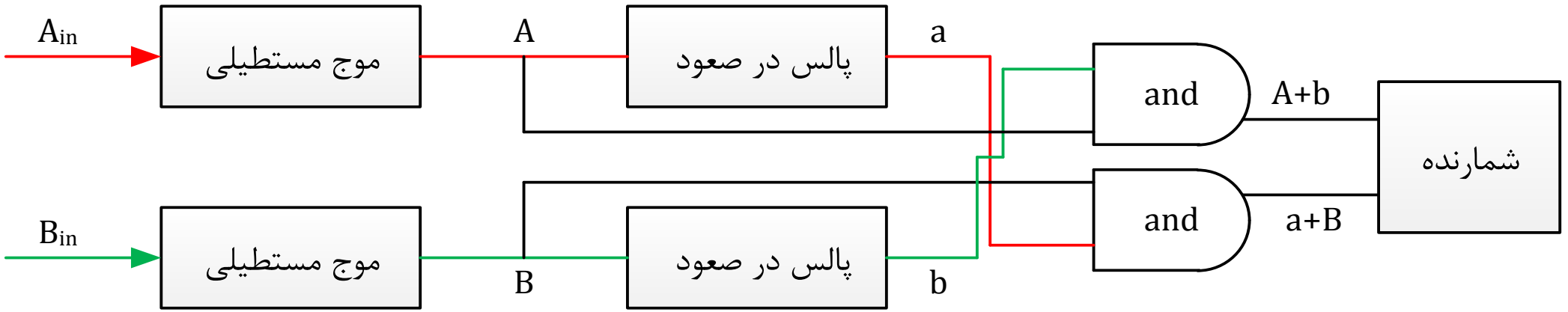
Measurement Devices – Digital Type



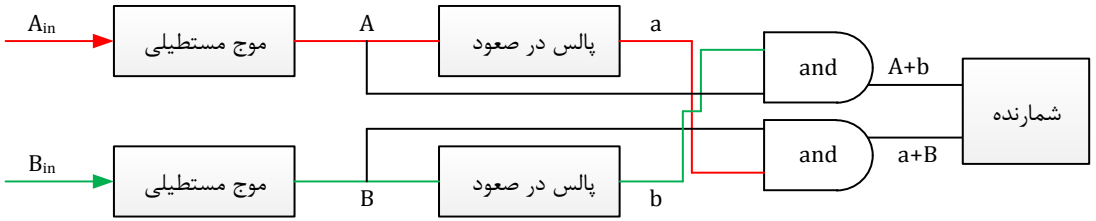
این دو مجموعه نسبت به هم به اندازه نود درجه اختلاف فاز دارد

- رفع مشکل چهارم. عدم تشخیص جهت حرکت





Measurement Devices – Digital Type



- رفع مشکل چهارم. عدم تشخیص جهت حرکت