پیش گفتار

در زندگی روزمره، واژه کنترل بسیار بکار برده می‌شود. اصطلاحاتی نظیر کنترل رشد جمعیت، کنترل قیمت ها، کنترل ترافیک، کنترل رفتارها و برخوردهای اجتماعی، کنترل اتومبیل، کنترل حرارت چراغ خوراک پزی، کنترل ورود و خروج افراد به محل کار و... در گفتگوهای روزمره بسیار شنیده می‌شوند. معمولاً کلمه کنترل وقتی بکار برده می‌شود که نوعی مهار کردن و تسلط بر یک پدیده مورد نظر باشد.

علاقه انسان به تحت اختیار در آوردن و تسلط بر پدیده‌ها باعث پیدایش شاخه جدیدی از دانش‌ها به نام علم کنترل گردیده است، علمی که امروزه حوزه نفوذ خود را به شاخه‌های دیگر علوم از صنعت و تکنولوژی گرفته تا اقتصاد و سیاست و علوم پزشکی ... گسترش داده است.

این جزوه که با عنوان آشنایی با ابزاردقیق می باشددر ابتدا توضیحاتی درموردسیستمهای کنترلی حلقه بسته وبازوبلوک دیاگرام یک سیستم کنترل صنعتی بحث می گرددسپس درباره اندازه گیرهای ابزار دقیقی مانند اندازه گیرهای دما ، فشار، فلو ،لول وانواع آن توضیح داده می شود.

فصل اول

مبانی سیستم های کنترل

اهداف آموزشی فصل اول :

1- مرور مبانی ، مفاهیم و تعاریف اولیه کنترل

2- آشنائی با انواع سیستم کنترل از نظر نوع حلقه

3- آشنائی با روشهای کنترل کمیتهای دما ، فشار ، فلو ولول در پروسه های صنعتی

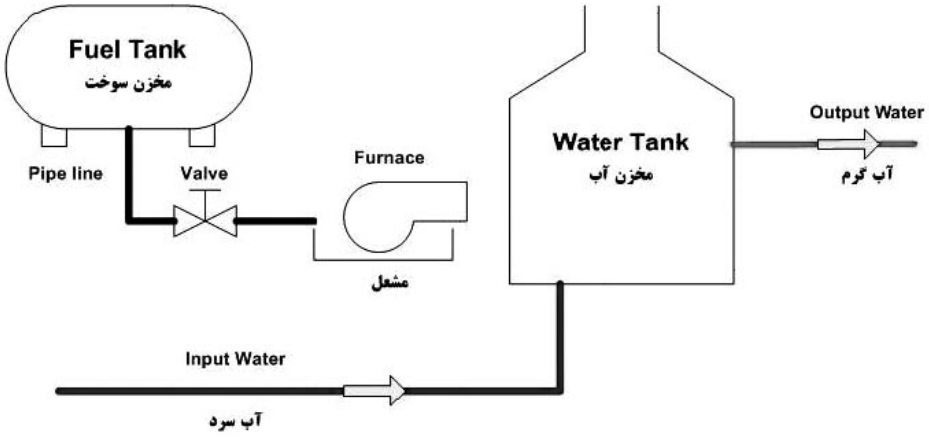
4- آشنائی با اجزاء سیستم کنترل حلقه بسته صنعتی

1-1- مبانی کنترل

تعریف : کنترل یکی از شاخه‌های علوم مهندسی است که در مورد چگونگی تسلط بر پدیده‌ها و هدایت رفتار آنها صحبت می‌کند.

در صنعت با فرایندهایی سروکار داریم که بسیار متنوع و متفاوت‌اند. با این حال برای کنترل آنها اصول و اجزاء کم و بیش مشابه‌ای بکار می‌بریم. جهت مرور مفاهیم اولیه کنترل به مثال زیر توجه نمائید.

شکل (1-1) یک سیستم آبگرمکن ساده را نشان می‌دهد.که شامل مخزن سوخت، شیر کنترل ، لوله‌های انتقال سوخت و اتصالات آن، مشعل صنعتی، تانک و لوله‌های سیال ورودی و خروجی می‌باشد. گرمای حاصل از احتراق سوخت در مشعل، بدنه تانک و در نتیجه سیال درون آن را گرم می‌کند، به منظور کنترل اندازه شعله از یک شیر کنترل در مسیر سوخت استفاده شده است.



شکل(1-1): سیستم آبگرمکن ساده

چون هدف از ایجاد این سیستم گرم کردن سیال درون مخزن است بنابراین دمای سیال درون مخزن کمیت مورد نظر و یا خروجی این پروسه به شمار می‌آید که قصد کنترل آن را داریم.

گفتیم چون هدف از ایجاد سیستم فوق گرم کردن سیال درون مخزن است بنابراین دمای سیال درون مخزن، خروجی این سیستم به شمار می‌آید.

خروجی سیستم (System Output)

رفتار ها یا تغییرات در یک پروسه که در اثر اعمال ورودی به آن ایجاد می‌شود و مورد نظر طراح آن سیستم است را خروجی سیستم گویند.

ورودی سیستم (System Input)

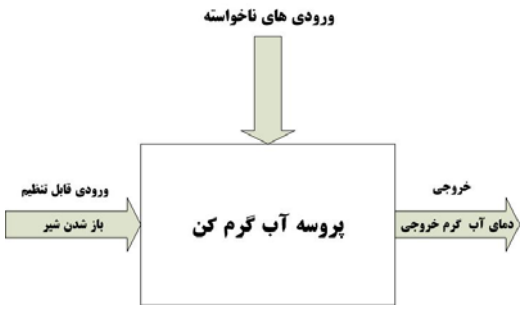
عبارتست از مجموعه فرمان‌ها و عوامل خواسته یا ناخواسته که سبب هدایت و تغییر پروسه می‌شود.

اغتشاش (Disturbance)

ورودی‌های ناخواسته‌ای که در اثر تغییر شرایط استفاده از سیستم باعث انحراف خروجی از مقدار مطلوب می‌گردند. علم کنترل تلاش می کند اثر نامطلوب اینگونه ورودی ها را با پیاده سازی انواع روشهای کنترلی جبران نماید.

در مثال مخزن آبگرمکن، ورودی‌های دمای محیط و دمای سیال ورودی و حجم سیال درون مخزن اغتشاش وارد به سیستم به شمار می‌آیند.

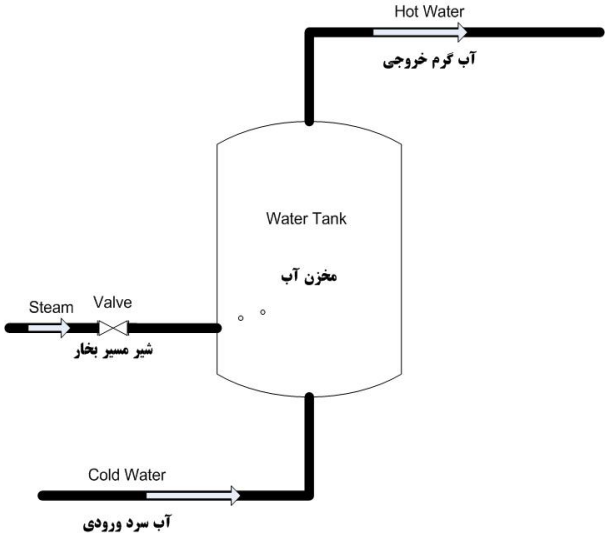
بلوک دیاگرام ساده کنترلی سیستم فوق بصورت زیر است.



شکل(1-2) : بلوک دیاگرام پروسه آبگرمکن

1-2- انواع کنترل از نظر مکانیزم اجرائی

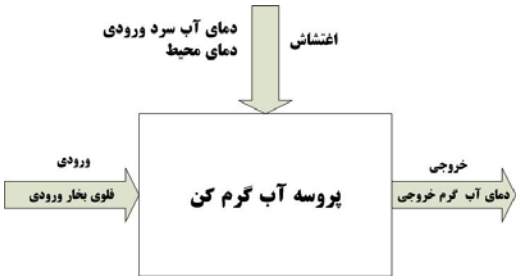
شکل(1-3)یک مخزن آبگرمکن را نشان می‌دهد که در آن، آب سرد از پایین به مخزن وارد می‌شود و با استفاده از بخار آب، بصورت مستقیم گرم می‌شود. سپس آب گرم شده از بالای مخزن خارج می‌شود. یک شیر میزان بخاری که وارد مخزن می‌شود را تنظیم می‌کند.



شکل(1-3) : سیستم آبگرمکن Direct Contact Steam& Water

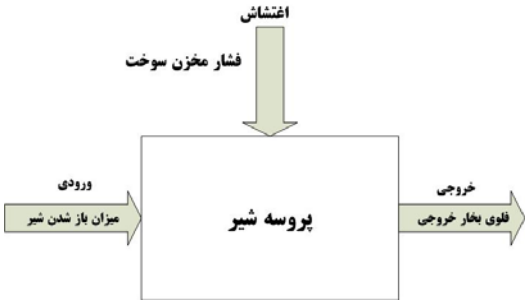
در صورت ثابت بودن عوامل محیطی، درجه حرارت مخزن بطور مستقیم با تنظیم شیر مسیر بخار کنترل می‌شود و با قرار دادن شیر در وضعیت مناسب آب گرم دمای ثابت مطلوب را خواهد داشت. در حالیکه در عمل دمای آب

گرم خروجی از مخزن، علاوه بر فلوی بخار ورودی تحت تأثیر عواملی چون درجه حرارت محیط، دمای آب سرد ورودی و ... نیز قرار دارد. لذا برای اینکه دمای خروجی ثابت بماند باید چاره‌ای اندیشید.
بلوک دیاگرام زیر ورودی‌ها و خروجی سیستم آبگرمکن فوق را نمایش می‌دهد.



شکل(1-4):بلوک دیاگرام پروسه آبگرمکن

فلوی بخار ورودی به مخزن، خود خروجی یک سیستم شامل مخزن بخار، لوله های انتقال بخار و شیر کنترل است، مطابق شکل(1-5) میزان باز شدن شیر، ورودی قابل تنظیم و تغییر فشار مخزن، اغتشاش وارد بر سیستم است.

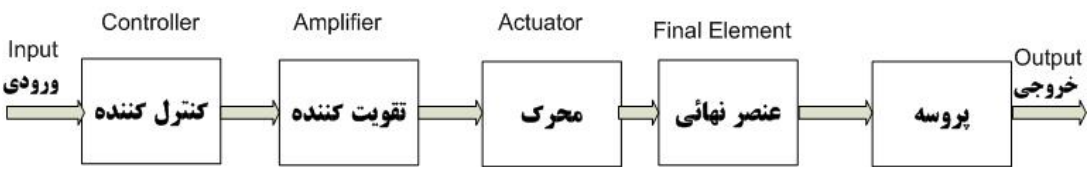


شکل(1-5) :بلوک دیاگرام پروسه شیر کنترل

اکنون با فرض اینکه دمای خروجی در مخزن آبگرمکن مثال فوق تحت تأثیر دمای آب سرد ورودی (اغتشاش) و فلوی بخار (کمیت کنترل کننده) باشد، دو نوع سیستم کنترل را مورد بحث قرار می‌دهیم.
سیستم‌های کنترل از نظر مکانیزم حلقه به دو نوع حلقه باز (Open Loop) و حلقه بسته(Close Loop) تقسیم می‌شوند.

1-2-1– سیستم کنترل حلقه باز (Open Control)

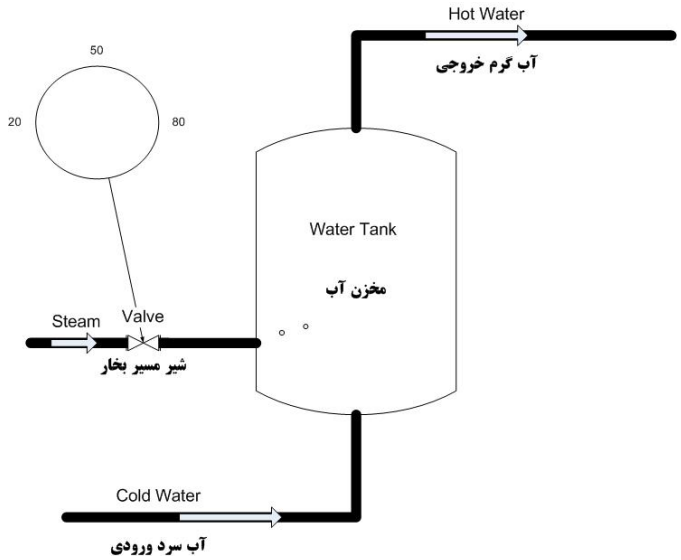
بلوک کلی این نوع سیستم به صورت زیر است در این نوع سیستم ورودی بر اساس اطلاعات قبلی از مدل سیستم به منظور ایجاد خروجی معین به آن اعمال می‌شود.



شکل(1-6) :بلوک دیاگرام سیستم کنترل حلقه باز

کنترل کننده سیگنال ورودی را به طور مناسب تغییر داده و تقویت کننده آنرا جهت تحریک محرک آماده می‌کند.

در مثال آبگرمکن اگر شیر کنترل مسیر بخاررا مدرج کرده وپس از انجام آزمایش، دمای آب گرم خروجی را روی صفحه درجه بندی شده بنویسیم. می توان با قرار دادن شیر در یک وضعیت دما را به صورت حلقه باز کنترل نمائیم.



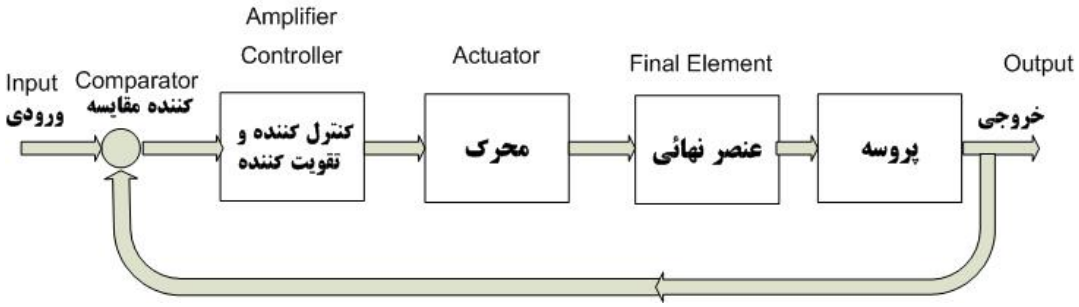
شکل(1-7) : کنترل حلقه باز سیستم آبگرمکن

اثر اغتشاش در این نوع کنترل (حلقه باز) قابل جبران نیست و ورودی به سیستم بدون در نظر گرفتن اغتشاش و تنها به تجربه و آزمون اعمال می‌شود.

1-2-2- کنترل حلقه بسته(Close Loop Control) یا فیدبک (Feed Back)

کنترل حلقه بسته عبارتست از یک طرح در پروسه به منظور رسیدن به شرایط مطلوب. این طرح با مقایسه شرایط مورد نظر در پروسه با شرایط مطلوب و تصحیح عملیات بر اساس نتیجه مقایسه صورت می‌گیرد.

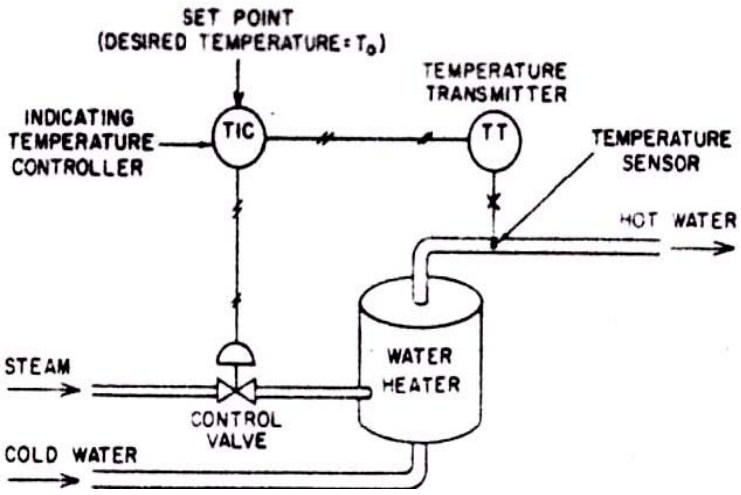
شکل (1-8) یک بلوک دیاگرام کلی سیستم کنترل حلقه بسته را نمایش می‌دهد.



شکل(1-8) :بلوک دیاگرام سیستم کنترل حلقه بسته

دراین بلوک جهت درک بهتر پدیده فیدبک (حلقه بسته) از نشان دادن المان‌های دیگر حلقه بسته (ترانسمیتر و ..) خودداری شده است.

حال سیستم کنترل اتوماتیک حلقه بسته (Automatic Close Loop Control System) شکل(1-9) را در نظر بگیرید.



شکل(1-9) : سیستم کنترل حلقه بسته اتوماتیک

درجه حرارت آب گرم با استفاده از ترنسمیتر دما اندازه‌گیری می‌شود و یک سیگنال متناسب با درجه حرارت به دستگاه کنترل کننده و نشان دهنده دما جهت مقایسه آن با مقدار مطلوب ارسال می‌گردد.

در صورتیکه اختلافی بین این دو مقدار پیش آید یک سیگنال برای تغییر میزان بازشدن شیر ارسال می‌شود تا خطای ایجاد شده جبران شود.

جهت سهولت در درک مفهوم کنترل حلقه بسته اتوماتیک از ذکر المانهائی چون (I/P) و ... خودداری شده و نوع کنترل را از نظر نیروی محرکه ، انرژی و سیگنال‌های انتقالی مورد بحث قرار نمی دهیم.

خصوصیات سیستم کنترل حلقه بسته

در یک جمع بندی اثر حلقه بسته را بصورت زیر بیان می‌کنیم.

1-سیستم ناپایدار توسط حلقه با المان‌های مناسب می‌تواند پایدار گردد .

2- حساسیت نسبت به تغییر پارامترهای حلقه کاهش می‌یابد .

3-اثر اغتشاشات را کم می‌نماید.

معایب:

1- بدلیل تأثیری که در محل قطب‌ها دارد ممکن است سیستم را ناپایدار کند.

2- هزینه ساخت افزایش می‌یابد.

بنابراین مزیت سیستم‌های حلقه بسته را می‌توان بصورت زیر بیان کرد.

1- حذف خطای المان‌های سیستم

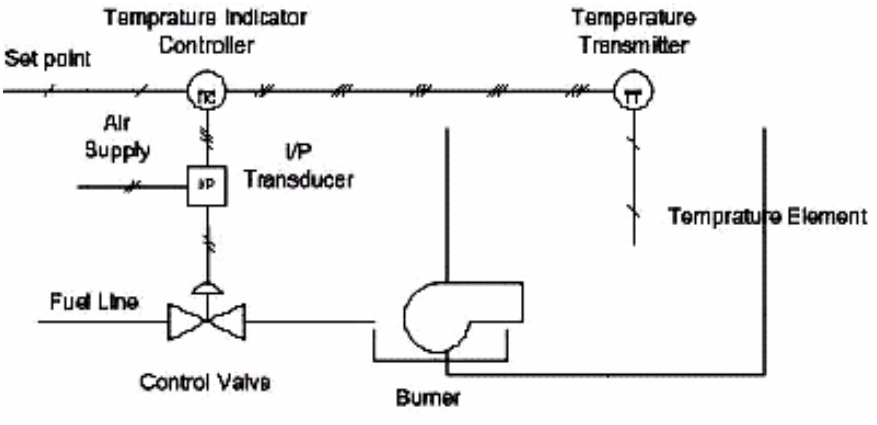
2- حذف اغتشاش در کنترل کننده و سیستم

3- ایجاد دقت بیشتر

4- نزدیک بودن به فرآیندهای واقعی

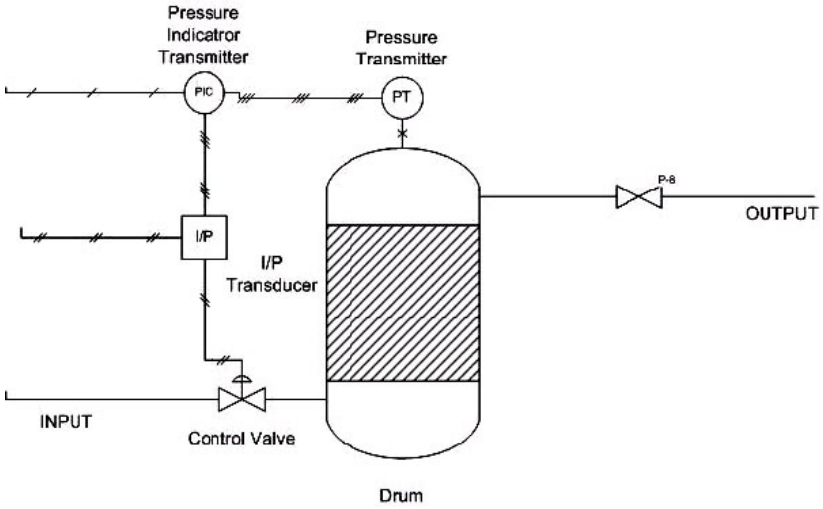
3-1– روش کنترل کمیت‌های مهم در پروسه‌های صنعتی

– مثال کنترل دما



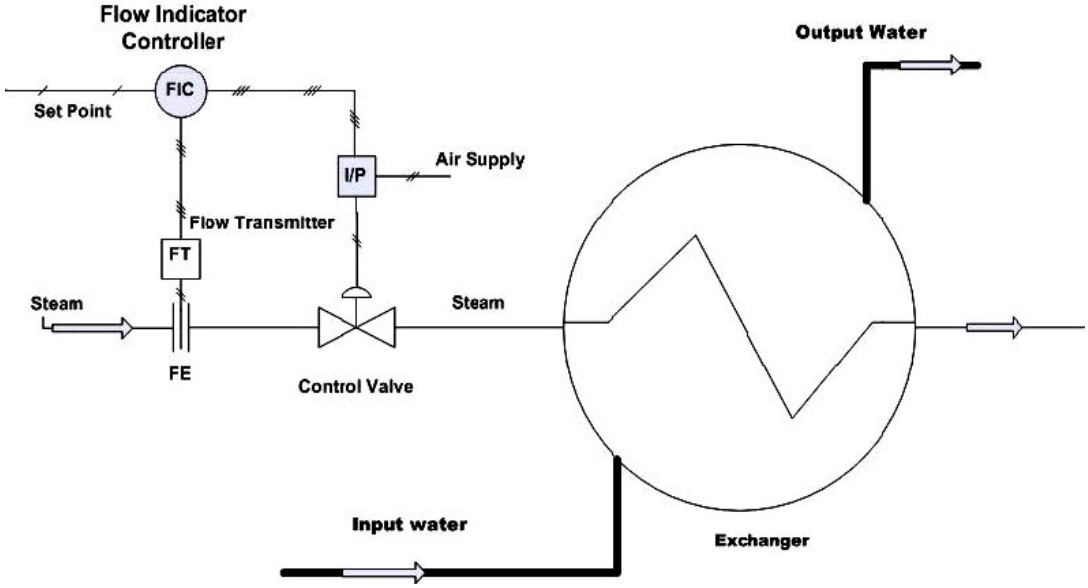
شکل (1-10) : دیاگرام کنترل دمای کوره

– مثال کنترل فشار



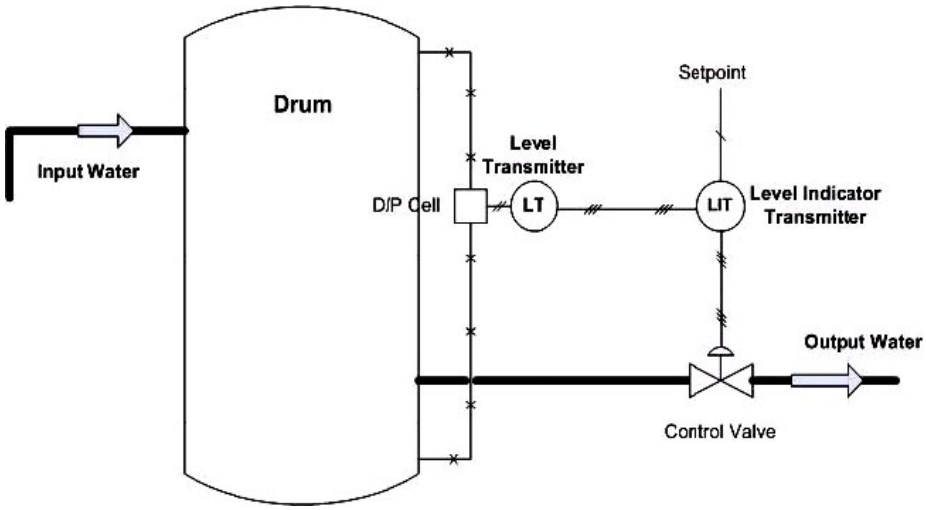
شکل (1-11) : دیاگرام کنترل فشار

– مثال کنترل جریان (Flow)



شکل (1-12) : دیاگرام کنترل فلو در مبدل حرارتی

– مثال کنترل سطح (Level)



شکل (1-13) : دیاگرام کنترل فشار

با توجه به نقش انسان در سیستمهای کنترلی سیستمها رامی توان به دو دسته تقسیم نمود.

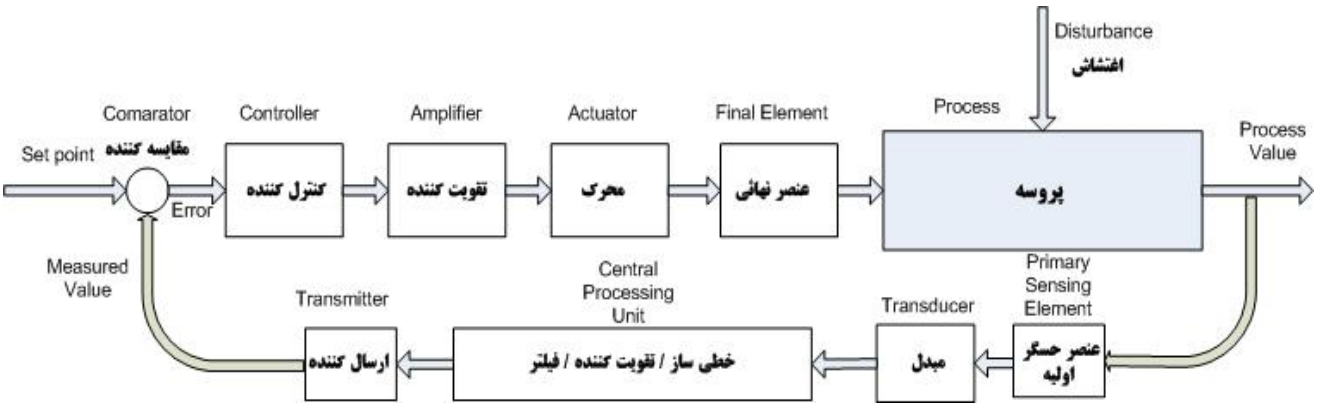
1– سیستمهای خودکار

2– سیستمهای غیر خودکار

مثالهای فوق همگی خودکار هستند چون انسان هیچ نقشی نداشته است درصورتی که برای یکی ازکنترل ولوها مشکل ایجاد گرددانسان وظیفه بازوبسته نمودن را برعهده می گیرداین سیستم را غیرخودکارگوینددر این حالت انسان باعث تبدیل سیستم به حلقه بسته پایدار میشود.

4-1- اجزاء سیستم های کنترل حلقه بسته صنعتی

در دهه‌های اخیر بدنبال رشد و توسعه روز افزون صنعت سیستم‌های کنترل صنعتی نیز رشد و توسعه فراوانی یافته‌اند و رقابت شدید بین تولید کنندگان برای تولید محصول بیشتر و مرغوبتر بکارگیری تجهیزات پیشرفته و جدید را الزامی ساخته است و این امر به نوبه خود به تنوع و پیچیدگی سیستم‌های کنترل صنعتی منجر گردیده است. در ابتدا مدلی فراگیر و کلی برای سیستم‌های صنعتی ارائه می نمائیم . بلوک دیاگرام یک سیستم کنترل صنعتی در حالت کلی مطابق شکل (1-14) می‌باشد که به تعریف و تشریح هر یک از قسمت‌های آن می‌پردازیم:



شکل(1-14): نمایش یک حلقه کنترل صنعتی در حالت کلی

1-4-1- پروسه (Process)

پدیده یا فرآیندی است که هدف، کنترل آن می‌باشد. همانطور که قبلاً اشاره شد پروسه‌های صنعتی بسیار متنوع می‌باشند. با این وجود در فصل بعد خواهیم دید که رفتارهای آنها از دیدگاه کنترل بسیار شبیه به هم می‌باشند.

2-4-1- ترانسمیتر (Transmitter)

اندازه‌گیری خروجی پروسه توسط این قسمت انجام می‌شود و کمیت اندازه‌گیری شده معمولاً به کمیتی دیگرتبدیل می‌گردد. عمل تبدیل در قسمت مبدل انجام می‌شود.

مقایسه کننده معمولاً در فاصله‌ای دورتر از پروسه قرار دارد. بنابراین کمیت تبدیل شده می‌بایستی بگونه‌ای مطمئن به طرف مقایسه کننده منتقل شود. این کار توسط واحد انتقال دهنده

یا ارسال کننده انجام می‌پذیرد. گاهی کار اندازه‌گیری، تبدیل و انتقال تماماً توسط یک جزء انجام می‌شود. بعنوان مثال یک ترموکوپل دما را اندازه‌گیری وبه یک کمیت الکتریکی تبدیل می‌کند، بنابراین ترموکوپل یک اندازه‌گیر و در عین حال یک مبدل می‌باشد.

3-4-1- مقایسه کننده (Comparator)

خروجی اندازه‌گیری شده پروسه می‌بایستی با مقدار مطلوب مقایسه گردد تا در صورت وجود خطا، تدابیر لازم بکار گرفته شوند.عمل مقایسه در قسمت مقایسه کننده انجام می‌پذیرد. گاهی اوقات در صورتی که کمیت‌های مقایسه شونده از نظر جنس متفاوت باشند کار تبدیل یکی یا هر دوی آنها در قسمت مقایسه کننده انجام می‌شود.

1-4-4- کنترل کننده (Controller)

کنترل کننده‌ها یکی از قسمت‌های مهم و حساس سیستم‌های کنترل صنعتی می‌باشند و طرح و تنظیم آنها از اهمیت و حساسیت ویژه‌ای برخوردار است. مهندسین طراح سیستم‌های کنترل صنعتی معمولاً با پروسه هائی از پیش ساخته شده و تحمیلی روبرو هستند و بعلاوه استفاده از بعضی اجزاء و قطعات مانند اندازه‌گیرها و عناصر نهائی با مشخصاتی معین بر آنها تحمیل می‌گردد. بنابراین آخرین قسمتی که مهندس طراح می‌تواند خواسته‌های کنترلی خود را از طریق آن اعمال نموده و رفتار پروسه را بگونه‌ای مطلوب تحت اختیار درآورد، قسمت کنترل کننده می‌باشد. کنترل کننده سیگنال خطا را دریافت نموده و با توجه به تنظیمات انجام شده قبلی، فرمانی صادر می‌کند و این فرمان توسط قسمت‌های بعدی اجراء می‌شود.

1-4-5- تقویت کننده (Amplifier)

فرمان ارسالی از کنترل کننده آنقدر قوی نیست که بتواند واحد محرک را به حرکت درآورد، بنابراین می‌باید قبلاً تقویت گردد. کار تقویت فرمان‌های کنترلی در قسمت تقویت کننده انجام می‌پذیرد.

1-4-6- محرک (Actuator)

چون سیگنال کنترلی که از طرف کنترل کننده به سایت ارسال می شود قدرت لازم جهت حرکت دادن عنصر نهائی راندارد به منظور تحریک عنصر نهائی از محرک استفاده می شود .

1-4-7- عنصر نهائی (Final-element)

عنصر نهائی همانطور که از نامش پیداست آخرین قسمت کنترل می‌باشد و ورودی از طریق آن به پروسه اعمال می‌شود. معروفترین عناصر نهائی در کنترل صنعتی شیرها می‌باشند. در مثال صنعتی باز وبسته شدن شیر بخار انرژی حرارتی را که به پروسه وارد می‌شود کنترل می‌کند. توجه نمائید آنچه که بعد از باز و بسته شدن شیر اتفاق می‌افتد مربوط به پروسه است.

با توجه به توضیحات فوق اکنون می‌توان گفت که تجهیزات یک حلقه کنترل صنعتی با عنصر اندازه‌گیر آغاز و به عنصر نهائی ختم می‌شوند.

بلوک دیاگرام ارائه شده در شکل(1-14) نمایشی کلی و پایه از سیستم‌های کنترل صنعتی است و بعنوان یک الگوی متداول در طراحی، عیب‌یابی و تعمیر و شناخت سیستم‌های کنترل صنعتی بکار می‌رود.

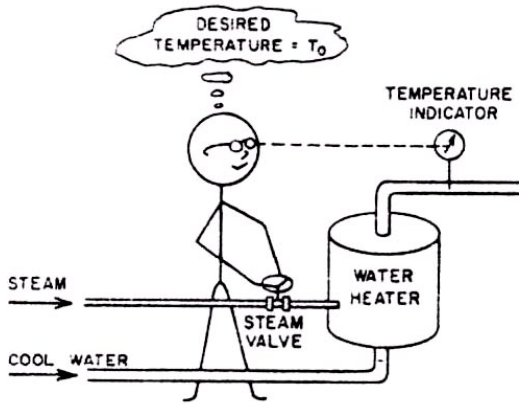
پرسشهای فصل اول :

1- دو نوع ورودی ناخواسته که بر سیستم های کنترل اثر می کنند را نام ببرید؟

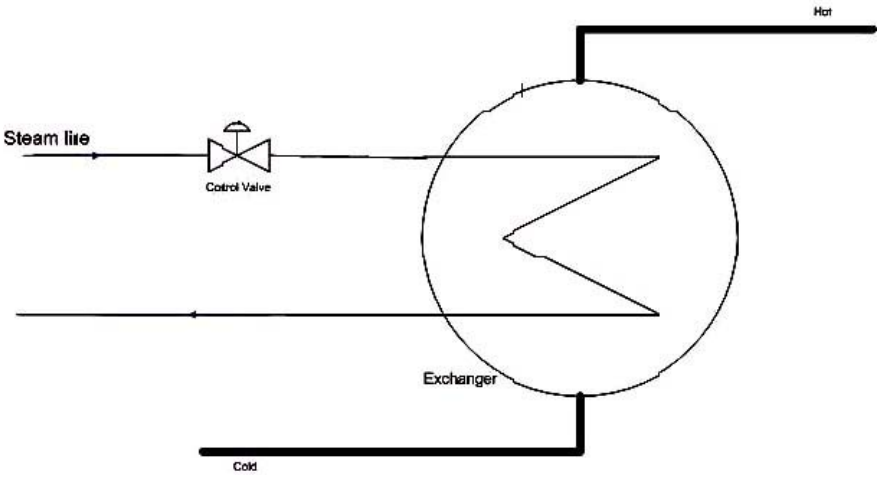
2- نویز را تعریف کنید و نحوه حذف تغییرات نامطلوب آن بر سیستم های کنترل را تشریح نمائید.

3- اغتشاش را تعریف کنید و نحوه حذف تغییرات نامطلوب آن بر سیستم های کنترل را تشریح نمائید .

4- نوع سیستم کنترل شکل مقابل را مشخص نمائید و بلوک دیاگرام کنترلی آنرا ترسیم نمائید.



5- مدار کنترلی مورد نیاز جهت کنترل دمای خروجی در مبدل حرارتی شکل مقابل را طراحی نمائید .



فصل دوم

اندازه گیرها

اهداف آموزشی فصل دوم:

1- آشنایی با سیستمهای اندازه‌گیری
- تعریف اندازه‌گیری
- اسبابهای اندازه‌گیری و وظایف آنها
- کاربردهای سیستمهای اندازه‌گیری
- عناصر تشکیل‌دهنده یک سیستم اندازه‌گیری
- خصوصیت های اندازه‌گیرها

2- اندازه گیرهای وضعیت(جا بجایی)

3- دما و روش‌های اندازه‌گیری آن

4- فشار و روش‌های اندازه‌گیری آن

5- شدت جریان و روش‌های اندازه‌گیری آن

6- کنترل سطح و روش‌های اندازه‌گیری آن

2–1– آشنایی با سیستم‌های اندازه گیری

2–1–1 – تعریف اندازه‌گیری

بطور کلی اندازه گیری یک کمیت عبار تست از مقایسه آن کمیت با یک استاندارد، از پیش تعریف شده که حاصل مقایسه به صورت عدد بیان می‌شود. اندازه‌گیری کمیتها به دو روش مستقیم و غیر مستقیم انجام می‌شود. در اندازه‌گیری به روش مستقیم کمیت نامعلوم مستقیما با یک استاندارد مقایسه و حاصل با یک عدد بیان می‌شود. این روش برای اندازه‌گیری کمیتهای فیزیکی مانند طول، جرم و زمان مناسب است اما در اندازه‌گیریهای صنعتی و کاربردهای مهندسی از روش‌های غیر مستقیم برای اندازه‌گیری استفاده می‌شود.

2–1–2 – اسبابهای اندازه‌گیری و وظایف آنها

در اندازه‌گیری یک کمیت برای مشخص شدن یک کمیت یا متغیر از یک اسباب استفاده می‌شود. نخستین اسبابها ماهیت مکانیکی داشتند ولی به مرور زمان، برای برآورده شدن نیازهایی مثل افزایش دقت اندازه‌گیری و افزایش سرعت پاسخ‌دهی اسبابهای الکتریکی و الکترونیکی تولید گردید. اسبابهای مکانیکی در اندازه‌گیریهای حالت ایستا، بسیار اطمینان بخش هستند ولی عیب بسیار عمده‌ای دارند که نمی‌توانند در اندازه‌گیری حالتهای پویا و گذرای سریع، پاسخ‌دهی مناسب داشته باشند. امروزه بسیاری از اندازه‌گیری‌های علمی و صنعتی به پاسخ‌های بسیار سریع احتیاج دارند که اسبابها و سیستمهای مکانیکی و الکتریکی نمی‌توانند از عهده این کار بر آیند لذا از اسبابهای الکترونیکی استفاده می‌شود. سیستمها و اسبابهای اندازه گیری در کاربردهای صنعتی و مهندسی سه وظیفه عمده بر عهده دارند:

1– نمایش: نمایش اطلاعات کمیت اندازه‌گیری شونده ا ز اهمیت بسزایی برخوردار است.
سیستمها و اسبابها برای نمایش اطلاعات کمیت اندازه‌گیری شونده از روشهای گوناگونی استفاده می‌کنند. مانند انحراف عقربه سرعت‌سنج برای نمایش سرعت اتومبیل.

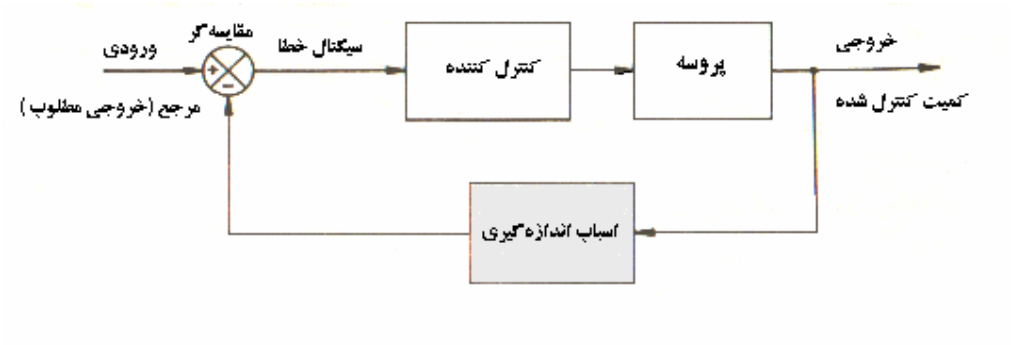
2–ثبت: یکی دیگر از وظایف دستگاه اندازه‌گیری ثبت مقادیر کمیت اندازه‌گیری شونده بر حسب زمان یا متغییر دیگر می‌باشد. مانند ثبات پتانسیوتری که برای نظارت، دما را بروی یک ثبات نواری ذخیره می‌کند.

3–کنترل: مهمترین وظیفه سیستمها و اسبابهای اندازه‌گیری در کاربردهای مهندسی، خصوصاً در زمینه کنترل فرآیندهای صنعتی، کنترل می‌باشد. در این حالت، سیستم کنترلی از اطلاعات اندازه‌گیری شده برای کنترل کمیت اصلی استفاده میکند.
بنابراین، اسبابهای اندازه‌گیری به سه گروه عمده تقسیم می‌شوند. گروهی عهده‌دار نمایش هستند که از همه وسیعتر هستند، گروه دیگر اسبابهایی هستند که عهده‌دار نمایش و ثبت اطلاعات کمیت اندازه‌گیری شونده هستند و گروه آخر، دسته خاصی هستند که هر سه وظیفه فوق یعنی نمایش، ثبت و کنترل را انجام می‌دهند.

2–1–3 – کاربردهای سیستمهای اندازه‌گیری

1–نظارت بر فرآیندها: در پاره‌ای از کاربردها وظیفه اساسی اسبابهای اندازه‌گیری نظارت می‌باشد. در این حالت تنها مقدار یا حالت پارامتر بررسی شونده را می نمایانند و این بازنمود برای هیچ فرآیند کنترلی بکار نمی‌رود. برای مثال آمپرسنجی که مقدار جریان یا ولتاژ را در یک مدار تنها نشان می‌دهد، وظیفه نظارتی دارد.

2–کنترل فرآیندها: یکی از کاربردهای بسیار مفید اسبابهای اندازه‌گیری در کنترل خودکار سیستمها می‌باشد. برای کنترل متغییرهای یک فرآیند مثل دما، فشار، سطح و شدت جریان باید بتوان آنها را در نقاط مورد نظر اندازه‌گیری کرد. در شکل(2-1) بلوک دیاگرام یک سیستم کنترل نشان داده شده است. با توجه به قرار گرفتن اسبابهای اندازه‌گیری در مسیر فیدبک کیفیت اندازه‌گیری روی رفتار پروسه تحت کنترل و طراحی کنترل‌کننده بسیار موثر است. شایان ذکر است که حساسیت یک سیستم حلقه بسته نسبت به عناصر موجود در مسیر فیدبک بسیار بالا می‌باشد. مثال این نوع کاربرد، سیستم کنترل دمای یخچال است که از کنترل ترموستاتی استفاده می‌کند.



شکل(2-1): بلوک دیاگرام یک سیستم کنترل حلقه بسته

3– تحلیل آماری مسائل مهندسی: در حل برخی از مسائل مهندسی استفاده از روشهای آماری بر اساس داده‌های تجربی از روشهای تحلیلی مفیدتر و مناسبتر است. در روشهای آماری برای بدست آوردن داده‌های تجربی از داده‌های اندازه‌گیری شده استفاده می‌شود.

2–1–4 – عناصر تشکیل‌دهنده یک سیستم اندازه‌گیری

یک سیستم اندازه‌گیری همانطورکه در شکل(2-2)نشان داده شده از سه بخش اساسی تشکیل می شود.

شکل(2-2): عناصر یک سیستم اندازه‌گیری

1– عناصر حس کننده نخستین(سنسور (Sensor)): عنصری که به کمیت خاصی حساس می‌باشد و یا در برابر آن کمیت خاص، از خود عکس‌العمل نشان می‌دهد، مثلا ترموکوپل یک سنسور دما است، زیرا خروجی آن (ولتاژ) با تغییرات دما تغییر می‌کند.

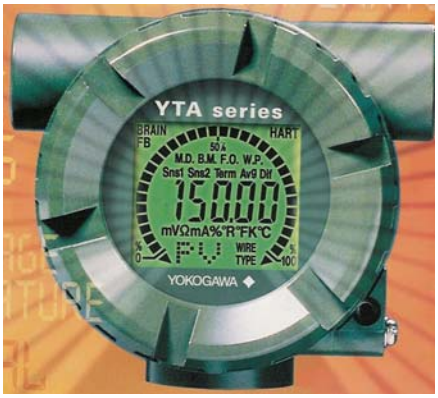
اولین تماس کمیت اندازه‌گیری شونده با عناصر حس‌کننده از سیستم اندازه‌گیری است. بعبارت دیگر کمیت اندازه‌گیری شونده را ابتدا حس کننده آشکار میکند. معمولا کمیت اندازه‌گیری شونده به سیگنال الکتریکی همسان تبدیل می‌شوند.

2– عناصر تبدیل متغیرها(ترانسدیوسر(Transducer)): عنصری است که یک نوع انرژی را به نوع دیگر تبدیل می‌کند. ورودی ترانسدیوسر می‌تواند هر یک از شش نوع انرژی شناخته شده یعنی تششعی، مکانیکی، گرمایی، الکتریکی، مغناطیسی و شیمیایی باشد و خروجی آن در حوزه انرژی الکتریکی یا هر یک از انرژی‌های فوق‌الذکر باشد. بنابراین ترانسدیوسر یک مبدل انرژی یا بطور خلاصه یک مبدل می‌باشد. با تعریف فوق یک سنسور می‌تواند در عین حال یک ترانسدیوسر نیز باشد. مثلا ترموکوپل علاوه بر آنکه یک عنصر حساس به دماست یک ترانسدیوسر نیز می‌باشد، چرا که انرژی گرمایی (دما) را به انرژی الکتریکی (ولتاژ) تبدیل می‌کند. در صورتیکه در سنسورها تبدیل انرژی انجام شود، تمام انرژی از کمیت تحت اندازه‌گیری گرفته می‌شود، بنابراین بسبب جذب انرژی از کمیت تحت اندازه‌گیری از نظر تئوری اندازه‌گیری دقیق ممکن نمی‌باشد. یک ترانسدیوسر صنعتی برای تبدیل انرژی ممکن است از منبع تغذیه خارجی نیز استفاده کند. مثلا یک ترانسدیوسر فشار به ولتاژ معمولا دارای یک منبع تغذیه الکتریکی می‌باشد، تا انرژی مکانیکی (فشار) را با مقیاس بزرگتری به انرژی الکتریکی (ولتاژ) تبدیل کند.

پتانسیومترها،مبدلهای خازنی،مبدلهای رلوکتانس متغیر، ترانسفورماتورهای خطی تفاضلی (LVDT) از جمله مبدلهای جابجایی (موقعیت) هستند.

3– عنصر نمایش داده‌ها(ترانسمیتر(Transmiter)): اکثر وسایل و تجهیزاتی که برای کنترل یک پروسه بکار برده می‌شود، معمولا در اتاق فرمان و در فاصله‌ای دور از پروسه نصب می‌شوند، از طرفی عنصر اندازه‌گیر معمولا روی پروسه و یا در فاصله‌ای نزدیک به آن نصب می‌شود. بنابراین سیگنال ناشی از کمیت اندازه‌گیری شده می‌بایستی به گونه‌ای مطمئن به اتاق فرمان ارسال گردد، این کار توسط ترانسمیتر انجام می‌شود. ترانسمیترها سیگنال ناشی از سنسور را معمولا تقویت و گاهی تبدیل به کمیتی دیگر می‌کنند. از دیدگاه تقویت کنندگی و تبدیل انرژی ممکن است نتوان یک ترانسدیوسر را از ترانسمیتر متمایز ساخت. اما معمولا ترانسدیوسرها به کمیت تحت اندازه‌گیری نزدیکترند و گاهی با آن تماس مستقیم دارند. ولی ترانسمیترها با کمیت مورد اندازه‌گیری تماس ندارند و بعلاوه میزان انرژی و توان ترانسمیترها بسیار بیشتر از ترانسدیوسرها است.

معمولا کمپانی‌های سازنده سنسور، مبدل و انتقال‌دهنده‌ها را بصورت یکجا و بصورت یک دستگاه می‌سازندمانند شکل(2-3)



شکل(2-3): ترانسمیتر از نوع دما

2–1–5 – خصوصیت های اندازه گیرها

مشخصات اساسی یک سیستم اندازه گیری عبارتند از:

1– حوزه اندازه گیری (range)

محدوده ای ازدامنه تغییرات کمیت موردراندازه گیری است که عنصراندازه گیرقادربه اندازه گیری آن باشد.

باید حوزه اندازه گیری را بزرگتر از دامنه تغییرات احتمالی کمیت مورد اندازه گیری انتخاب کرد.

2– صفر اندازه گیری(zero)

معمولا نقطه مشخصی رادرحوزه اندازه گیری بعنوان صفر در نظرمی گیریم

مثلا در اندازه گیرهای حرارت نقطه صفردمائی است که آب،یخ می زندویادراندازه گیرهای فشار فشاراتمسفربعنوان فشار صفر در نظر گرفته می شود.درنقطه صفر خروجی اندازه گیرلزوما صفر نمی باشدو ممکن است دارای مقدار باشد.

درعمل بهتراست اندازه گیر را طوری تنظیم کنیم که درنقطه صفر خروجی آن نیزصفرباشد.

3–انحراف از صفر(zero drift)

معمولا اندازه گیر را بگونه ای تنظیم می کنند که خروجی آن در نقطه صفر،مساوی صفر (و یا مقدار مشخص دیگری) باشد

امامتاسفانه اندازه خروجی در نقطه صفر ممکن است با گذشت زمان یادراثر عوامل دیگری تغییر کند،این پدیده راپدیده-انحراف از صفر گوئیم که ممکن است منجربه ایجاد خطاهای جدی درحلقه کنترل گردد.

انحراف از صفربه دو دسته تقسیم می شود

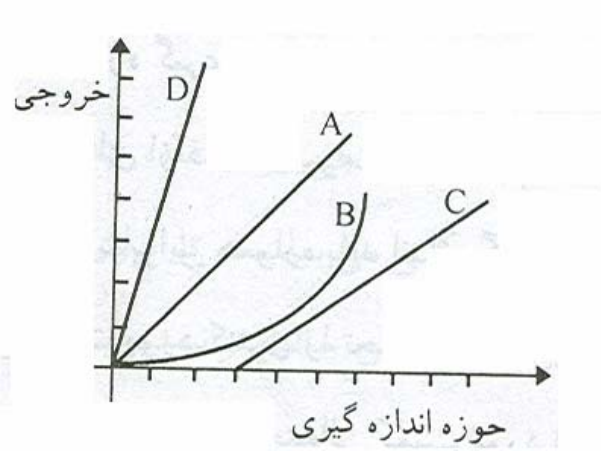
1- انحراف از صفرسطحی(short term):انحرافی که ناشی از عوامل خارجی ومحیطی مثل دما،تغییرتغذیه می باشد.

2-انحراف از صفرذاتی(long term): انحرافی که ناشی ازفرسودگی ویاتغییرخواص عنصراندازه گیربا گذشت زمان می باشد.

4-حساسیت(sensitivity)

عبارتست ازنسبت تغییرات خروجی اندازه گیربه واحد تغییرات درکمیت موردراندازه گیری،بعبارت دیگرشیب منحنی مشخصه عنصر اندازه گیر است.

اگرشیب منحنی مشخصه در حوزه اندازه گیری ثابت باشد،اندازه گیر را خطی گوئیم در شکل(2-4)عنصر DوAوCخطی هستندولی عنصرCانحراف ازصفر دارد.



شکل(2-4):منحنی خروجی اندازه گیرها

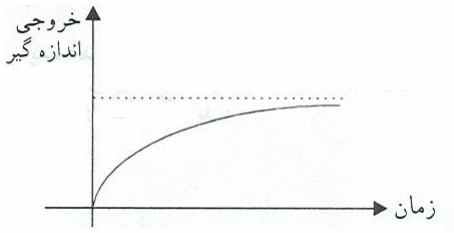
اگرشیب منحنی مشخصه در حوزه اندازه گیری ثابت نباشدآنراغیر خطی گویند مانندعنصرB درعمل ازاندازه گیرهای خطی با شیب زیادوبامشخصه ای که از مبداء عبور کندوباثبات باشد استفاده می کنیم مانندD

5-حد تفکیک(resolution)

عبارتست ازکوچکترین اندازه تغییرات کمیت موردنظر که می تواندعنصر اندازه گیر،اندازه گیری کند.

6- پاسخ دهی(response)

یک اندازه گیرخوب بایدکمیت مورد اندازه گیری رابه سرعت اندازه گیری نمایداما در عمل اندازه گیرها دارای ثابت زمانی وبعضا تاخیر خالص می باشندبطوریکه اگر ورودی بطورناگهانی تغییر (پله واحد)کندخروجی بصورت شکل(2-5)میشود.



شکل(2-5):پاسخ به ورودی پله

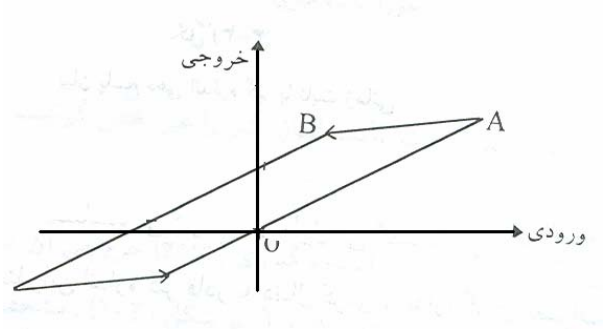
برای اینکه بتواند خروجی ورودی را دنبال کندبایدثابت زمانی عنصر اندازه گیر ازکوچکترین ثابت زمانی موجود در حلقه کنترل بسیارکوچکترباشد.

7– خطی بودن(linearity)

خطی بودن اندازه گیر به معنی ثابت بودن شیب مشخصه ورودی-خروجی آ ن میباشد در عمل بیشتر اندازه گیرها مشخصه خطی ندارند ولی بهترین حوزه اندازه گیری محدوده خطی منحنی مشخصه است.

8–پسماند(hysteresis)

پسماندیا هیسترزیس نوعی رفتار غیر خطی درا ندازه گیری ا ست همانطور که درشکل(2-6)نشان داده شده است.

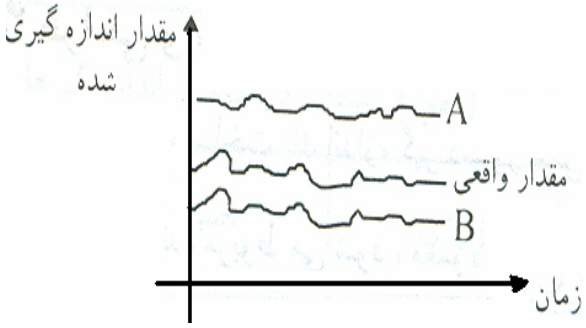


شکل(2-6):منحنی پسماند

هرگاه ورودی شروع به افزایش می کندخروجی مسیرOAراطی می کندولی وقتی ورودی کاهش می یابدمسیرABرا طی می کند یعنی اینکه مسیر رفت وبرگشت در هر عنصر اندازه گیر با هم فرق می کند.

9– دقت(accuracy)

به معنی تطابق مقداراندازه گیری شده بامقدارواقعی کمیت موردراندازه گیری می باشد.درشکل(2-7)نمودار حالتBدقیقتراز حالتAاست چون به مقدار واقعی نزدیکتر است.



شکل(2-7):منحنی دقت دو اندازه گیر

10– تکرارپذیری

تکرارپذیری در اندازه گیرها ویژگی مهمی است و به معنی نتیجه یکسان در ا ندازه گیری یک کمیت در شرایط ثابت می باشد.

طراحی وساخت اندازه گیرها

برای ساخت اندازه گیرها دستورا لعمل یا فرمول خاصی وجود ندارد ولی ازیک سری اصول فیزیکی استفاده می شود . پاره ای از اصول مورد استفاده به صورت زیر است.

اصول تبدیل انرژی	اصول کنترل انرژی
مقاومت	الکترومغناطیس
اندکتانس	پیزوالکتریک
کاپاسیتانس	فوتوالکتریک
تغییرمقاومت باتنش	ترموالکتریک
تغییرمقاومت بادما	فوتوولتایک
تغییرمقاومت بانور	
مقاومت مغناطیسی	

2–2– اندازه گیرهای وضعیت(جابجایی)

وضعیت یا جابجایی به دو صورت خطی(طولی) و زاویه ای انجام می گیرد وبه پنج حالت میتوان این کار را انجام داد.

1- اندازه گیرهای مقاومتی
2- اندازه گیرهای سلفی
3- اندازه گیرهای خازنی
4- ترانسفورماتور تفاضلی خطی(linear variable differential transformer)LVDT
5- اندازه گیروضعیت آلتراسونیک

2–2–1– اندازه گیرهای مقاومتی

با توجه به رابطه مقاومت الکتریکی $R = \rho \frac{L}{A}$ که در آن L طول جسم، A سطح مقطع آن و ρ مقاومت مخصوص آن است و به ویژگیهای ذاتی جسم و دمای آن بستگی دارد.

دررابطه فوق مقادیر A و ρ ثابت هستند و مقاومت Rبستگی بهLطول سیم دارد یک نمونه از این نوع اندازه گیرها ، اندازه گیرهای پتانسیومتری ا ست که با تغییرولوم آن مقدار مقاومت تغییر می کند .

مزایای این اندازه گیر

1- ساده بودن

2- ارزان بودن

3- سهولت کاربرد

معایب این اندازه گیر

1 - استهلاک مکانیکی(دراثرچرخش احتمال سایش وجود دارد)

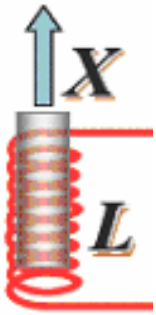
2- محدود بودن حوزه اندازه گیری

3- ایزولاسیون ضعیف ورودی-خروجی

2-2-2 – اندازه گیرهای سلفی

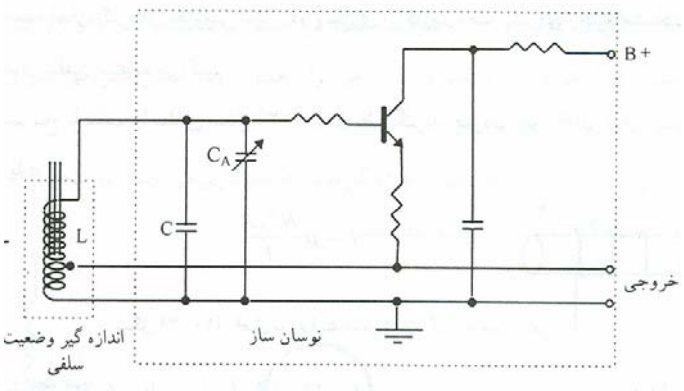
دراین نوع اندازه گیرهابا استفاده از رابطه $L = \mu \frac{N^2.A}{l}$ که در آن μ:ضریب نفوذ پذیری و A:سطح مقطع، N:تعداد دور سیم و l:طول سیم پیچ میباشد.

همانطور که در شکل(2-8) نشان داده شده با توجه به ثابت بودن μ,A,N به ازای تغییر در هسته سیم پیچ مقداراندوکتانس سلف به طول سیم پیچ وابسته بوده بطوری که هرچه مقدار x تغییریابد مقدار L هم تغییر می کند.



شکل(2-8):اساس کار اندازه گیر سلفی

برای آشکار سازی تغییرات ا ندوکتانس سلف از یک اسیلاتور استفاده می شود که این تغییرات را به تغییرات فرکانس تبدیل نماید یک نمونه از اسیلاتورها در شکل (2-9) نشان داده شده است.



شکل(2-9):آشکار ساز اندازه گیر سلفی

مزایای این اندازه گیر

1-استهلاک کم

2-ایزولاسیون ورودی-خروجی

3- عدم حسا سیت به گرد و غبار

معایب این اندازه گیر

1- محدود بودن حوزه ا ندازه گیری

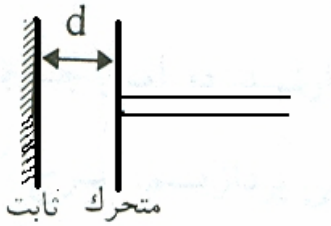
2- قیمت بالا

3- پیچیدگی مدارات جانبی

4- تاثیر عوامل محیطی در دقت اندازه گیری(اثر محیط فلزی بر میدان مغنا طیسی اندازه گیر)

3-2-2 اندازه گیرهای خازنی

در این نوع اندازه گیر بر اساس اصل فیزیکی $C = \varepsilon \frac{A}{d}$ که در آن A:سطح جوشن ها، d:فاصله جوشن ها از یکدیگر و εضریب دی الکتریک می باشد همانطور که درشکل (2-10) نشان داده شده با تغییرات درd ظرفیت خازن را تغییر می دهیم(A, ε ثا بت فرض میشود)این تغییرات راتوسط یک اسیلاتور به تغییرات فرکانس تبدیل میشود.



شکل(2-10):اساس کار اندازه گیر خازنی

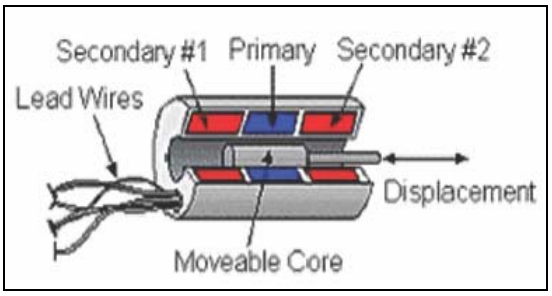
مزایای این اندازه گیر

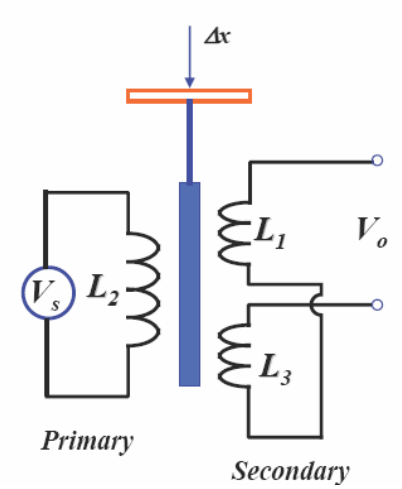
1- دقت وحساسیت بهتر در اندازه گیر

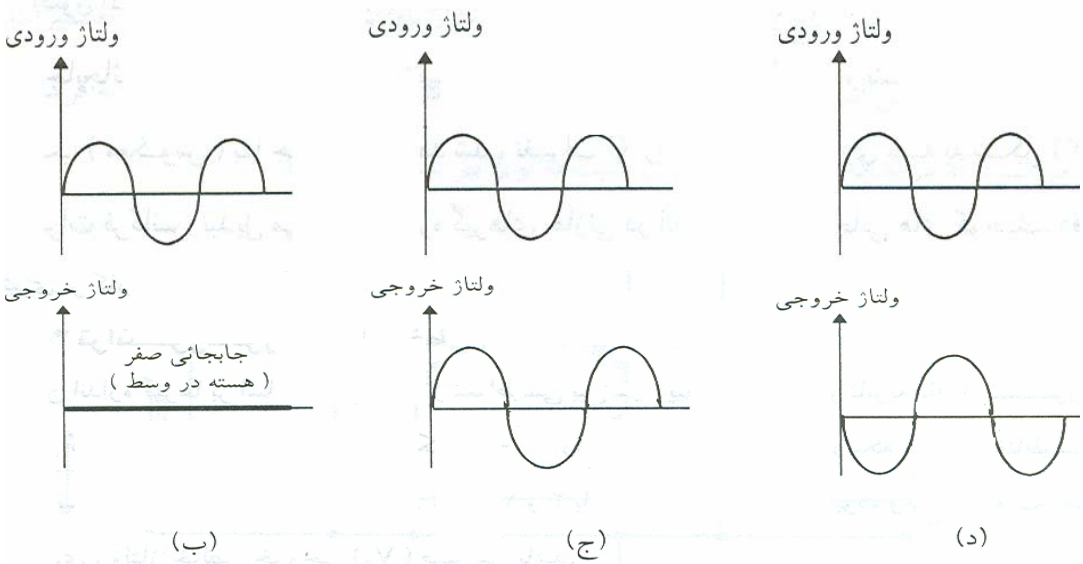
2- میدا ن مغناطیسی محیط کار در اندازه گیری تاثیری ندارد

2-2-4 ترانسفورماتور تفاضلی خطی LVDT

این اندازه گیرها بر اساس اصل کوپلاژ مغنا طیسی بین سیم پیچهای اولیه وثا نویه یک ترا نسفورماتور کار می کند .







شکل (2-11): مدارLVDTو شکل موج های خروجی آن در حالتهای مختلف

با توجه به شکل(2-11) اگر هسته بین دو سیم پیچ ثا نویه 1و2 باشد ولتاژ خروجی v_oصفر می شود در صورتیکه هسته به سمت بالا حرکت کند دامنه ولتاژ در ثا نویه 1 بیشتر از ثا نویه 2 گردیده و ولتاژ v_o همفاز با ورودی در خروجی دیده میشود ودر صورتیکه هسته بسمت پائین حرکت کند دامنه ولتاژ ثانویه2 بیشتر از1 شده و ولتاژ خروجی با 180 درجه اختلاف فاز نسبت به ورودی ظا هر میشود.

مزایای این اندازه گیر

1- مدارات ساده و ارزا نترنیاز دارد

2- پلاریته ولتاژ خروجی از آنها جهت حرکت نسبت به وضعیت صفر را مشخص می کند

3- حوزه اندازه گیری حدود $2\pm$ سانتیمتر است

4- بسیار محکم و با استقامت

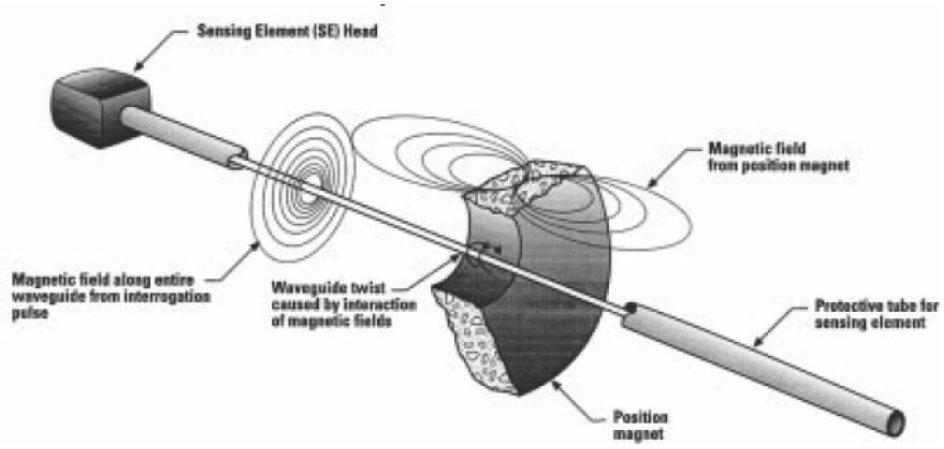
برای افزایش حوزه ا ندازه گیری می توان از اهرم یا چرخ دنده استفاده نمود

معایب این اندازه گیر

حساسیت به میدان مغناطیسی

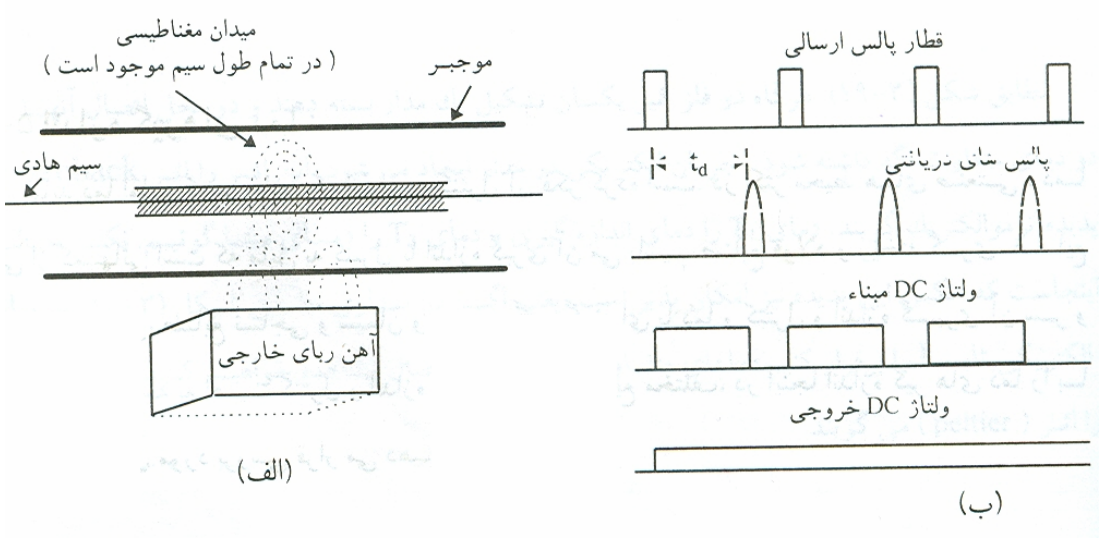
2–2–5– اندازه گیرهای آلتراسونیک

شکل (2-12) یک اندازه گیر آلتراسونیک ا ست



شکل(2-12):اندازه گیر آلتراسونیک

داخل غلاف موجبر یک سیم هادی به ضخامت 0.05 میلی مترکه داخل لوله ای تو خالی به قطر 0.55 میلی متر قرار دارد(جنس لوله آلیاژی مخصوص که مستقل از حرارت) و توسط مواد تضعیف کننده امـواج صـوتی در اطراف لوله اثر نویز خارجی حذف شده است بصورت شکل(2-13)



شکل(2-13):الف)مدارداخلی اندازه گیرآلتراسونیک

ب)سیگنالهای ارسالی ودریافتی

قطار پالس در طول سیم هادی ارسال میگردد عبور جریان الکتریکی از سیم موجب ایجاد میدان مغناطیسی در اطراف آن میشود در اثر برخورداین میدان با میدان ناشی از آهنربا یک سیگنال ایجاد میشودکه با سرعت مافوق صوت در طول موجبر انتقال می یابد پالسهای ایجاد شده توسط گیرنده دریافت میشود با اندازه گیری اختلاف زمان ارسال پالس الکتریکی و دریافت پالس مکانیکی موقعیت آهنربا در موجبر مشخص می شود و این موقعیت توسط مدارهای الکترونیکی تبدیل به ولتاژ dc می شود.

مزایای این اندازه گیر

1- این اندازه گیر در طولهای مختلف تا حدود 10 متر ساخته میشود

2- دقت و سرعت خوبی دارد

3-حد تفکیک آن حدود0.1میلی متر می باشد

2–3 – دما و روشهای اندازه‌گیری آن

یکی از کمیتهای مهم در پروسه‌های صنعتی دما می‌باشد. شاید بندرت بتوان پروسه‌ای پیدا کرد که دما، اندازه‌گیری و کنترل آن نقشی در کنترل و اجرای پروسه نداشته باشد. بطور کلی چهار روش کلی برای اندازه‌گیری دما وجود دارد که بر اساس چهار اصل اساسی ذیل کار می‌کنند:

1- انبساط یک ماده بوسیله دما، که تغییری در طول، حجم و فشار ایجاد می‌کند که نمونه بارز آنها ترمومترهای جیوه‌ای یا الکلی هستند.

2- تغییر در مقاومت الکتریکی بوسیله دما، که در اندازه‌گیرهای مقاومتی و ترمیسترها استفاده می‌شوند.

3- تغییر در ظرفیت اتصال دو فلز غیرمشابه بوسیله دما،که در ترموکوپل‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد.

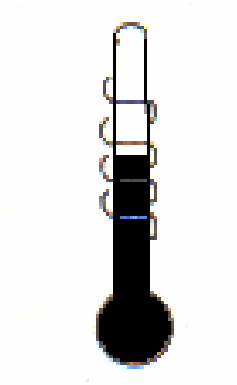
4- تغییر در انرژی تابشی بوسیله دما، که در اندازه‌گیرهای تشعشعی و نوری مورد استفاده قرار می‌گیرند.

2–3–1– اندازه‌گیرهای انبساطی

قدیمی ترین روش اندازه‌گیری دما، اندازه‌گیری انبساط یک کمیت فیزیکی مانند طول، سطح و حجم بوسیله دما می‌باشد. در این روش دما به یک کمیت مکانیکی(معمولا جابجایی) تبدیل می‌گرددبعبارت دیگراصل فیزیکی مورداستفاده در این اندازه گیرهاتغییر حجم اجسام دراثرتغییر دما می باشد.

حدپایین وبالای حوزه اندازه گیری،نقطه انجمادوجوش مایع موردنظر محدودمیشود.

ترمومتر جیوه‌ای و الکلی مثال آشنای اندازه‌گیرهای انبساطی هستند. این اندازه‌گیرها دما را به جابجایی ستون جیوه یا ستون الکل در لوله، تبدیل می‌کند. در بسیاری از موارد برای استفاده از مزایای کمیتهای الکتریکی، کمیت اندازه‌گیری شده مثلاً تغییر ارتفاع جیوه در لوله را به یک کمیت الکتریکی تبدیل می‌کنند. اگر به دور لوله ترمومتر جیوه‌ای یک سیم‌پیچ بسته شود، آنگاه تغییرات ارتفاع ستون جیوه را می‌توان به تغییرات ضریب خودالقائی سیم‌پیچ تبدیل نمود و با استفاده از مدارات واسط دیگر دمای اندازه‌گیری شده را به یک کمیت الکتریکی تبدیل کرد. شمای ترمومتر جیوه‌ای در شکل (2-14)نشان داده شده است.



شکل (2-14): ترمومتر جیوه‌ای

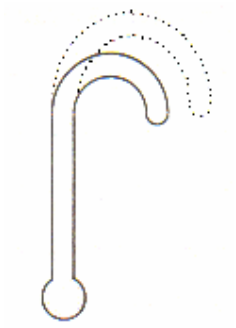
2–3–1–1 اندازه‌گیرهای دما از طریق فشار گاز

در اندازه‌گیرهای دما از طریق فشار گاز از قانون گازهای ایده‌آل(کامل) استفاده میشود.

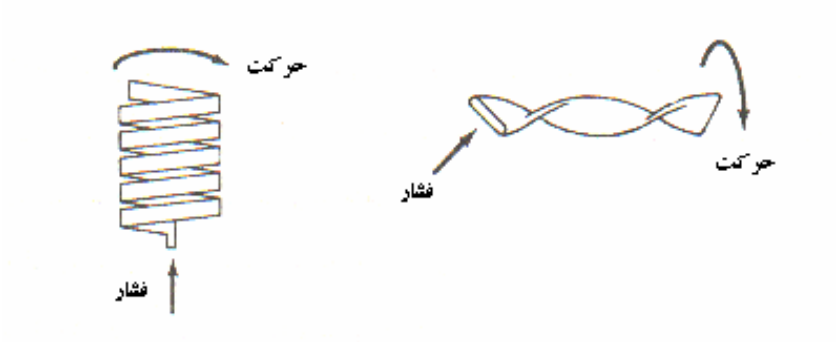
$$\frac{PV}{T} = cons\tan t$$

در رابطه فوق، P فشار گاز، V حجم گاز و T دمای گاز است.

بر اساس قانون گازهای ایده‌آل(کامل) در صورت ثابت بودن حجم، افزایش دما موجب افزایش فشار می‌شود. شکل(2-15)ساختمان کلی چنین اندازه‌گیری رانشان می‌دهد. این اندازه‌گیر از یک مخزن و یک لوله مسدود(لوله بوردن) که با یک گاز کامل (معمولا نیتروژن) پر شده، تشکیل شده است. با توجه به ثابت بودن حجم، در اثر افزایش دما فشار گاز افزایش یافته، موجب جابجایی انتهای لوله می‌گردد. این اثر به پدیده لوله بوردن مشهور است. جابجایی لوله بوردن می‌تواند بعنوان دمای اندازه‌گیری شده مقیاس گردد. در عمل برای افزایش جابجایی، لوله بردون را بصورت مارپیچ و یا بشکل‌های دیگر می‌سازند (شکل 2-16)



شکل (2-15): شکل کلی اندازه‌گیرهای دما از طریق فشار گاز



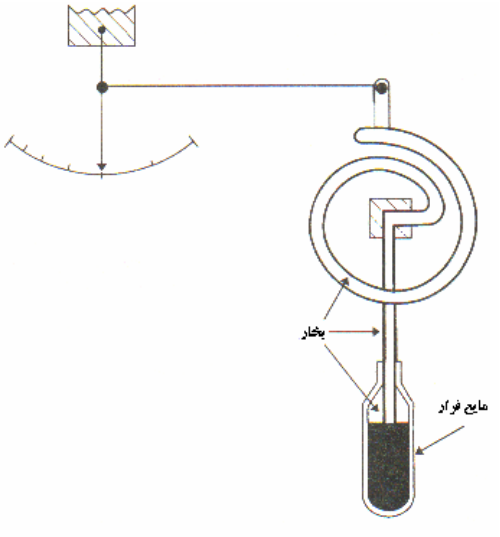
شکل(2-16): شکلهای دیگر لوله بوردن

2-3-1-2 اندازه‌گیرهای دما از طریق فشار بخار

اندازه‌گیرهای دما از طریق فشار بخار از لحاظ ساختمان و قطعات شبیه اندازه‌گیر دما از طریق فشار گاز است، با این تفاوت که اولاً بجای گاز از مایع فرار مانند اتر استفاده می‌شود، ثانیاً تمام حجم مخزن از مایع پرنمی‌شود بلکه در شرایط عادی در بالای مخزن و در لوله‌ها بخار وجود دارد و در واقع فشار توسط بخار به قسمت انتهائی لوله بوردن منتقل می‌گردد. شکل(2-17) ساختمان کلی این اندازه‌گیر را نشان می‌دهد. در انتخاب مایع اینگونه اندازه‌گیرها می بایستی به نکاتی چند توجه نمود :

1- نقطه جوش مایع می بایستی کمتر از کمترین دمائی باشد که می‌خواهیم اندازه‌گیری کنیم.

2- مایع مورد استفاده می بایستی از لحاظ شیمیایی بی‌اثر باشد تا موجب خوردگی مخزن و لوله‌ها نشود.



شکل (2-17): شکل کلی اندازه‌گیرهای دما از طریق فشار بخار

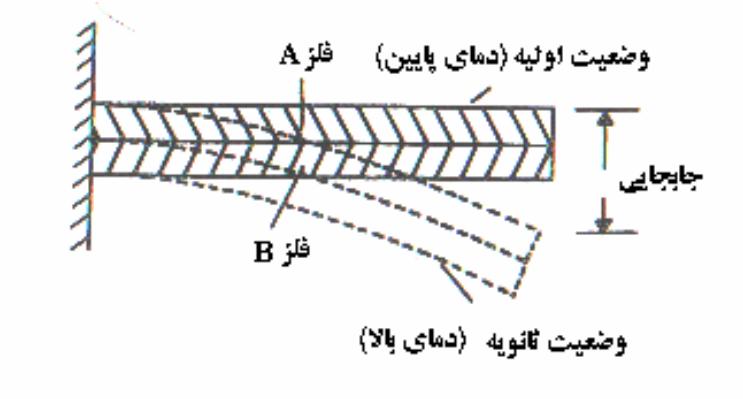
معایب این اندازه گیر

1- تغییر حجم لوله با درجه حرارت

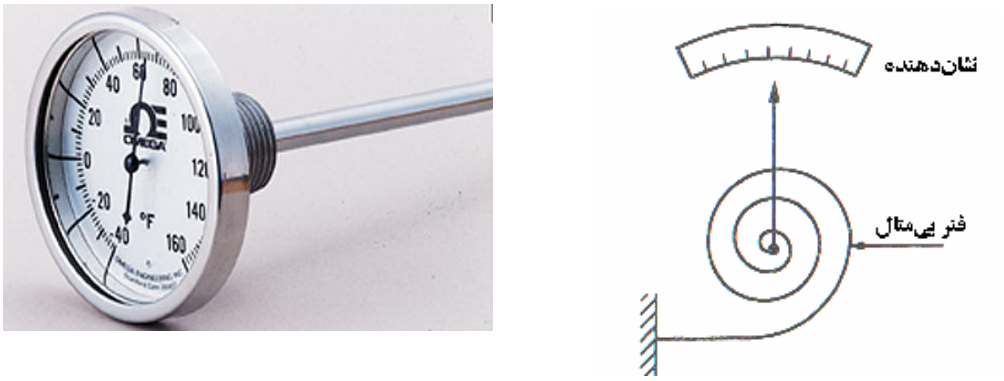
2- کامل نبودن گاز مورد استفاده

2-3-1-3 اندازه گیر دما از نوع دو فلزی(bimetal)

اندازه‌گیرهای دما دو فلزی بر اساس خاصیت متفاوت بودن ضریب انبساط اجسام ساخته می‌شوند. ضریب انبساط یک جسم بگونه‌ای بیانگر افزایش طول جسم ناشی از افزایش دما است. در اندازه‌گیرهای دما دو فلزی مطابق شکل(2-18)دو فلز مختلف را که در دمای محیط هم طول هستند، به یکدیگر متصل می‌شوند. فرض کنید ضریب انبساط فلز A بیشتر از ضریب انبساط فلز B باشد. با افزایش دما، طول هر دو فلز افزایش می‌یابد اما چون ضریب انبساط فلز A بیشتر از فلز B است، بنابراین تغییر طول فلز A بیشتر بوده است از این پدیده در ساخت اندازه‌گیرهای دمای بی‌متال استفاده می‌شود. در عمل برای افزایش تغییرات طول در اثر تغییرات دما، بی‌متال را به صورت حلزونی و یا مارپیچ می‌سازند(شکل2-19). تغییرات طول را می توان مستقیما بعنوان دمای اندازه‌گیری شده مقیاس نمود و یا آن را به سینگالهای الکتریکی و غیره تبدیل کرد. فلزهای مورد استفاده معمولاً از آلیاژهای آهن- نیکل می‌باشند. اندازه گیری های بی‌متال ارزان، ساده، محکم و با دوام می‌باشند و معمو لاً برای کنترل‌های خاموش- روشن، حفاظت و هشدار دهنده‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند.



شکل(2-18):اساس کاراندازه‌گیرهای دما دو فلزی



(ب) (الف)

شکل (2-19):الف: اندازه‌گیر دمای دو فلزی حلزونی شکل
ب:اندازه گیر واقعی دما دو فلزی

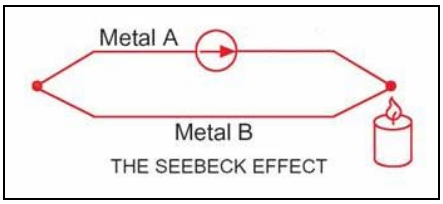
2-3-2 اندازه گیرهای الکتریکی دما

این اندازه گیر،دما رابگونه ای تبدیل به کمیتی الکتریکی می کندو به سه دسته تقسیم میشود.

1- ترموکوپل ها
2- اندازه گیرهای مقاومتی دما
3- اندازه گیرهای نیمه هادی دما

2-3-2- 1 ترموکوپل ها

ترموکوپل‌ها متداول‌ترین اندازه‌گیرهای دما در صنعت می‌باشند. ترموکوپل‌ها بر اساس پدیده سیبک(seebeak)کار می کنند.



شکل(2-20):الف:پدیده سیبک ب:ولتاژ سیبک

مطابق شکل(2-20)هر گاه دو فلز غیر یکسان تشکیل یک مدار بسته دهند و محل اتصال آنها در دو دمای متفاوت نگه داشته شود(دمای T_1، دمای اندازه‌گیری و دمای T_2، دمای مبنا است)الکترون از هادی باچگالی الکترون آزاد بیشتربه طرف هادی باچگالی الکترون آزاد کمترمنتقل میشودو جریان الکتریکی در مدار ایجاد می‌کند.نتیجه آن ایجاد حفره های مثبت در یک طرف والکترون های آزاد در طرف دیگر است که باعث ایجادولتاژمیشوداین ولتاژ از رابطه زیر بدست می آید.

$$E_{AB} = 1 + \alpha_1 T + \alpha_2 T^2 + \alpha_3 T^3 + ... \alpha_n T^n$$

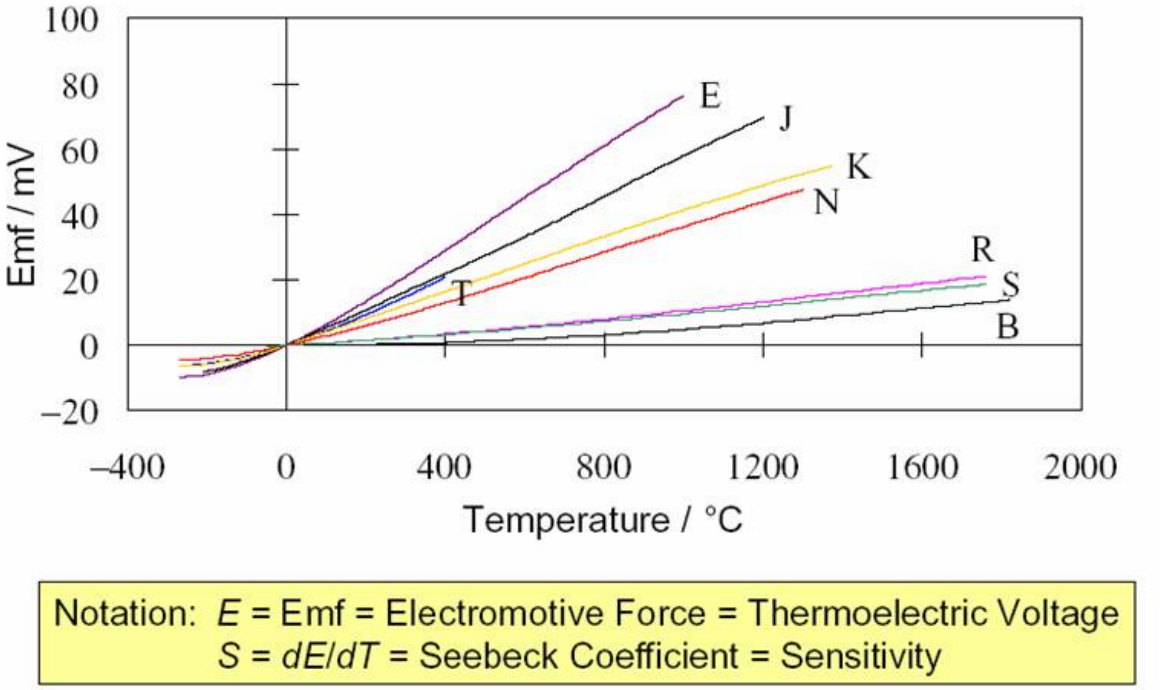
ضرایب α_1 , α_2 و...تابع خصوصیات فلزاتAوBاست. رابطه فوق یک رابطه غیر خطی است ولی ازضریب $\alpha_2 T^2$ به بعدتقریبا صفر است بنابراین میتوان نوشت.

$$E_{AB} \approx \alpha_1 T$$

جدول زیراسامی ومشخصات ترموکوپل هابر اساس استانداردISAرا نشان می دهد.

نام ترموکوپل	سیم مثبت (P) سیم منفی (N)	جنس فلز	°C حوزه اندازه گیری
B	BP BN	روبیدیوم ۳۰٪ – پلاتین روبیدیوم ۶٪ – پلاتین	۱۸۰۰ تا ۰
E	EP EN	کروم – نیکل مس – نیکل	۱۰۰۰تا ۱۹۰–
J	JP JN	آهن مس – نیکل	۱۰۰۰تا ۰
K	KP KN	کروم – نیکل سیلیکن – آلومینیوم – نیکل	۱۲۰۰تا ۰
R	RP RN	روبیدیوم ۱۳٪ – پلاتین پلاتین	۱۷۹۰تا ۰
S	SP SN	روبیدیوم ۱۰٪ – پلاتین پلاتین	۱۷۹۰تا ۰
T	TP TN	مس مس– نیکل	۳۸۰ تا ۱۹۰–

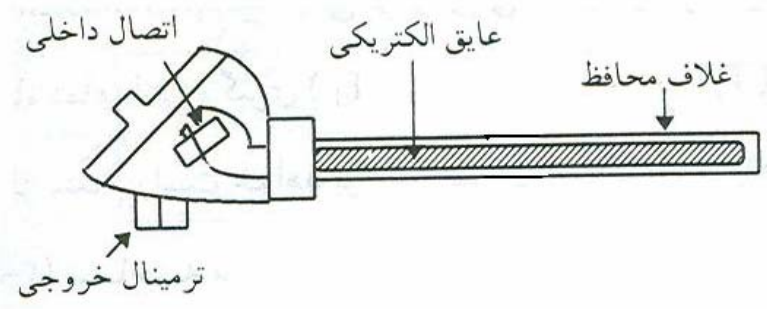
در شکل(2-21)مشخصه ولتاژبرحسب اختلاف درجه حرارت اتصال گرم باسرد،برای چند نمونه ترموکوپل آمده است.



شکل(2-21):شکل موج ولتاژترموکوپل بر حسب دما

در صنعت ترموکوپل‌ها با نامهای اختصاری استاندارد شناخته می‌شوند.

برای جلوگیری از خوردگی وآلودگی که منجر به تغییر مشخصات ترموکوپل واخلال در کار آن میشودوهمچنین حفاظت مکانیکی آن،معمولاترموکوپل را در یک غلاف محافظ(termowell) قرار می دهند که مجموعه حاصل در شکل(2-22)نشان داده شده است.



شکل (2-22):ترموکوپل همراه با ترموول

معمولا جنس ترموول متناسب بادمای محیطی است که ترموکوپل در آن نصب می گردد،اماترموول باعث افزایش ثابت زمانی میشود مثلا برای ضخامت یک میلیمتر،$\tau = 0.15$ثانیه است که اثر نسبتا کمی درپروسه

دارد درحالی که با ضخامت شش میلیمتری ثابت زمانی $\tau = 3.9s$ ثانیه تبدیل میشود که به سادگی قابل تحمل نیست.

باید توجه نمود که ترموکوپل درمحلی نصب گرددکه نقطه اندازه گیری منطبق بر نقطه اتصال دو فلز در ترموکوپل شود.نحوه نصب ترموکوپل بر حسب پروسه مورد نظر میتواند متفاوت باشد.

اگر بخواهیم دمای یک ماده ثابت و ساکن را اندازه گیری کنیم برای جلوگیری از خطای ناشی از تبادل حرارتی ترموول با محیط خارج باید اندازه فرورفتگی ترموول در ماده حداقل10 برابرقطر ترموول باشد.

در حالتی که ماده مورد نظر درحال حرکت است،ترموکوپل باید در محلی نصب گردد که دارای بیشترین سرعت حرکت ماده باشد،در اینصورت تبادل حرارتی سریع بوده و اندازه گیری دقت و سرعت بیشتری دارد.

اگر سرعت ماده خیلی کم باشد بهتر است از دمنده برای افزایش سرعت تبادل حرارت بین ماده و ترموکوپل استفاده کنیم.

در پروسه های با دمای خیلی بالا مثل کوره ها بهتر است ترموکوپل را بطور عمودی از سقف نصب کنیم،چرا که نصب افقی موجب خمیدگی ترموکوپل می شود.

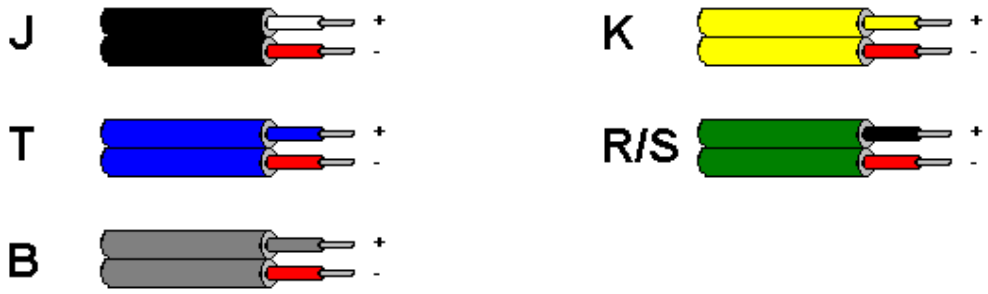
در کوره ها معمولا بین ترموکوپل وترانسمیتر فاصله وجود دارد بدلیل اینکه دما بر ارسال اطلاعات تاثیری نگذارد.

در شکل(2-23) چند نمونه سنسور وترموول نشان داده شده است.

شکل(2-23):ترموکوپل و ترموول واقعی

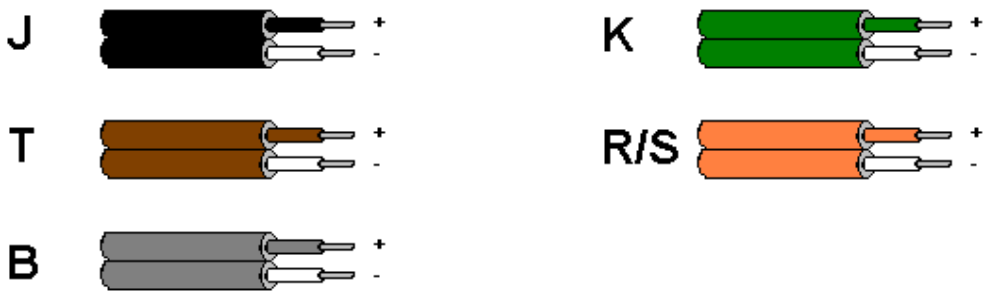
رنگ سیمهای مثبت ومنفی در ترموکوپل هابر اساس شرکتهای تولید کننده فرق می کند در شکل (2-24)رنگ سیمها بر اساس استانداردهای مختلف نشان داده شده است.

United States ASTM:



British BS1843: 1952:

British BS4937: Part 30: 1993:

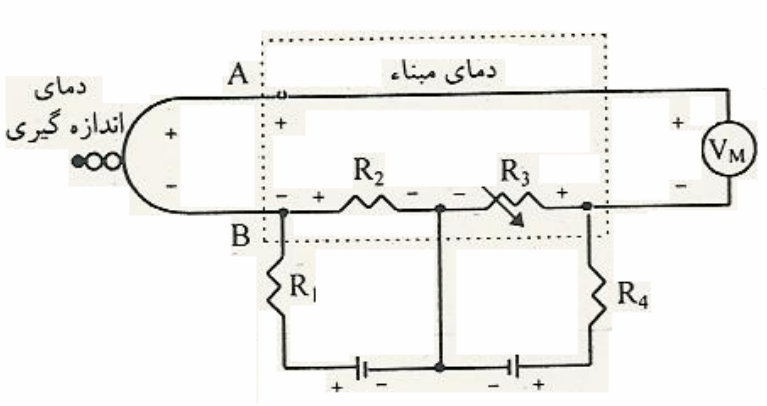


French NFE:

German DIN:

شکل(2-24):رنگ سیمهای ترموکوپل های استاندارد های مختلف

همانطور که می دانید در محیط های صنعتی دمای محیط متغییر می باشد و نمی توان بعنوان مرجع از آن استفاده کرد برای جبران وخنثی سازی تغییرات دمای محیط از مدار شکل (2-25) استفاده میشود.



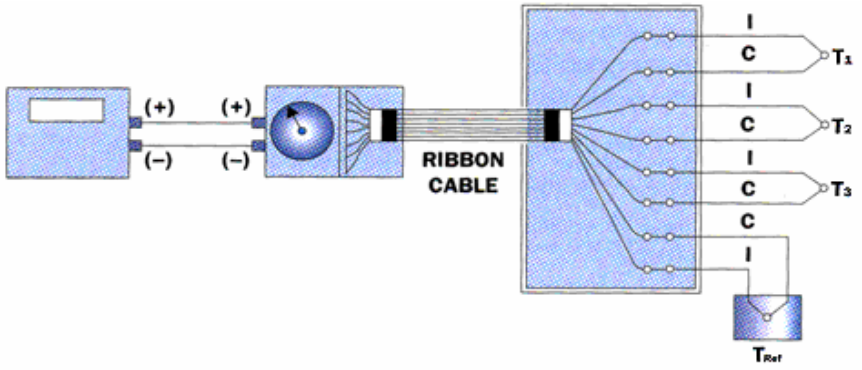
شکل(2-25): مدارترموکوپل در محیط های صنعتی

دراین مدار تقسیم ولتاژبین چهار مقاومت R_1 الی R_4 بگونه ای است که افت ولتاژ در مقاومتهای R_2 و R_3 در جهت نشان داده شده با یکدیگر برابر است.بنابراین درصورتیکه دمای محیط تغییری نداشته باشد اثر مقاومتهای R_2 و R_3 همدیگر را خنثی میکند ومانند یک ترموکوپل عادی کار میکند. R_3 یک مقاومت متغیر با دما وشیب منفی است یعنی با افزایش دمای محیط،مقدار آن کاهش وبا کاهش دما مقدار آن افزایش می یابد.اکنون اگر دمای محیط افزایش یابد،بدون در نظر گرفتن اثر مدار جبران ساز،ولتمتر می خواهد عددی کمتر را نشان دهد،چرا که اختلاف دمای محیط گرم وسردکمتر شده است اما افزایش دمای محیط موجب کاهش ودر نتیجه کاهش ولتاژروی آن میگردد، که در اینصورت ولتمتر می خواهد عددی بیشتر را نشان دهد،بنابراین دو اثر فوق می توانند یکدیگر را خنثی نموده و ولتمتر عدد ثابتی که همان دمای اتصال گرم باشد را نشان دهد.درمورد کاهش دمای محیط نیز بطور مشابه میتوان استدلال نمود.

از مزایای اندازه‌گیرهای دما بوسیله ترموکوپل، می‌توان به سادگی، ارزانی، استحکام، دوام و دقت مناسب آنها اشاره نمود. از ترموکوپل‌ها می‌توان در حوزه اندازه‌گیری نسبتا وسیع (1800 + تا 200- درجه سانتیگراد) و شرایط محیطی گوناگون استفاده نمود. ترموکوپل‌ها دارای سرعت پاسخ‌دهی نسبتا خوب (ثابت زمانی کوچک) می باشند.

اگر تعدادی ترموکوپل با هم سری یا موازی شوندترموپیل ساخته میشودنقطه مرجع آنهادرمکان سردمشترک ونقاط اتصال آنها نیز درجایگاهی که دمای آن باید اندازه گیری شود قرار میگیرد.

ترموپیل ها را در محل هائی که حساسیت اندازه گیری زیاد باشداستفاده میشود مثلا اگر 25عدد ترموکوپل را سری کنیم تفکیک پذیری 0.001c میشود.شکل(2-26)یک نمونه ترموپیل را نشان میدهد.



شکل(2-26):مدار یک نمونه ترموپیل

2-3-2-2 اندازه گیرهای مقاومتی دما

در این نوع اندازه گیرها تغییرات درجه حرارت به تغییرات مقاومت الکتریکی تبدیل میشود وبراساس رابطه کلی زیر کار می کنند.

$$R = \rho \frac{L}{A}$$

که در آن L طول جسم، A سطح مقطع آن و ρ مقاومت مخصوص آن است و به ویژگیهای ذاتی جسم و دمای آن بستگی دارد.

باتغییر دمای جسم مقاومت الکتریکی تغییر می نماید.اندازه گیرهای مقاومتی به دودسته تقسیم میشود.

1-اندازه گیرهای با ضریب حرارتی مثبت(PTC)

2-اندازه گیرهای با ضریب حرارتی منفی(NTC)

1- PTCها(Positive-temperature coefficient)

فلزات مقاومت الکتریکی شان با افزایش دما افزایش وبا کاهش دما کاهش می یابد این عناصر را اصطلاحا PTCگویند.

مقاومت الکتریکی عناصر PTCاز رابطه زیر بدست می آید.

$$R = R_0(1 + \alpha_1 T + \alpha_2 T^2 + \alpha_3 T^3 + ...\alpha_n T^n)$$

در رابطه فوق از ضریب α_2به بعدخیلی کوچک بوده وقبل صرفنظر کردن است و رابطه بصورت $R \cong R_0(1+\alpha_1 T)$ میشودکه درآن R_0 مقاومت المان در صفردرجه و α_1ضریب مقاومت حرارتی است.

درجدول زیر مشخصه چند فلز معروف بیان میشود که بعنوان PTCمیتوان از آن استفاده نمود.

	پلاتین	مس	نیکل	تنگستن
ضریب تغییر مقاومت Ω/Ω_0 C°	۰/۰۰۳۸۵	۰/۰۰۴۲	۰/۰۰۶۷	۰/۰۰۴۵
مقاومت مخصوص (Ω cm)	$۹/۸۱ \times ۱۰^{-۶}$	$۱/۵۲ \times ۱۰^{-۶}$	$۵/۹۱ \times ۱۰^{-۶}$	$۴/۹۹ \times ۱۰$
خطی بودن	خوب	خوب	ضعیف	ضعیف
حوزه اندازه گیری مفید C°	۲۶۰- تا ۸۰۰	۱۰۰- تا ۱۵۰	۱۰۰- تا ۵۰۰	۷۰- تا ۲۷۰۰

تنگستن از جمله فلزاتی است که در دماهای بالا میتوان از آن استفاده نمودولی بدلیل ناپایداری آن کمتر ازآن استفاده میشود

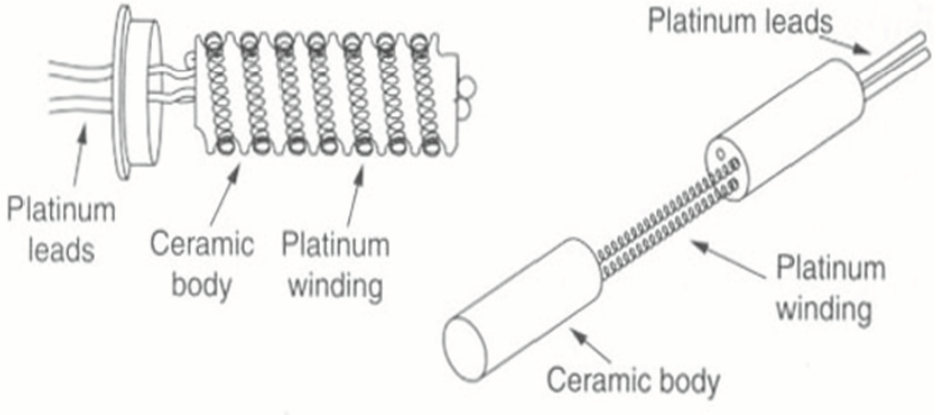
معمولا در موقع استفاده از این سنسورها مانند ترموکوپل ها باید در ترموول قرار گیرند تا اینکه عوامل خورنده شیمیایی بر آن تاثیری نگذارندبااین وجودبرروی ثابت زمانی تاثیر میگذارد مثلا برای سنسور پلاتین با ترموول$\tau = 0.4s$است که مقداری نرمال می باشد.

محدوده مقاومتی آن بین 10اهم تا25کیلو اهم میباشد معمولا سنسور بامقاومت بالا کاربرد وسیعی دارد به دو دلیل:

1- وزن مقاومتهای اتصال کمتر است

2- ولتاژنسبتا بالایی بوسیله سنسور ایجاد میگردد بطوری که اثر ترموالکتریک در مقابل آن ناچیز است

فلزات اساسا مقاومت الکتریکی کمی دارند ،برای بالا بردن میزان مقاومت معمولا آنرا بصورت سیم پیچ در می آورند همانطور که در شکل (2-27) نشان داده شده است.



شکل(2-27):طرح های مختلف PTCها

در صنعت سنسور های مقاومتی ازنوعPTCرادر اصطلاحRTD(resistance temperature detector) گویند.برای آشکا رسازی تغییرات مقاومتها از مدار پل وتسون استفاده شده واین تغییرات رابه ولتاژ یا جریان تبدیل می کنند.

انواع اتصالات RTD

درصنعت ممکن است سنسور ازترانسمیتر فاصله داشته باشد در نتیجه طول سیم رابط موجب خطا در اندازه گیری میشود به همین دلیل روشهای مختلفی جهت اتصال RTDوجود دارد که عبارتند از:

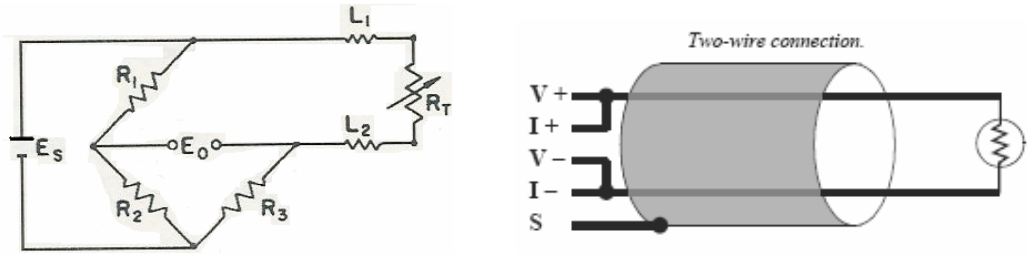
1- اتصال دو سیمه

2- اتصال سه سیمه

3- اتصال چهار سیمه

اتصال دو سیمه

در شکل(2-28)اتصال دو سیمه نشان داده شده است.

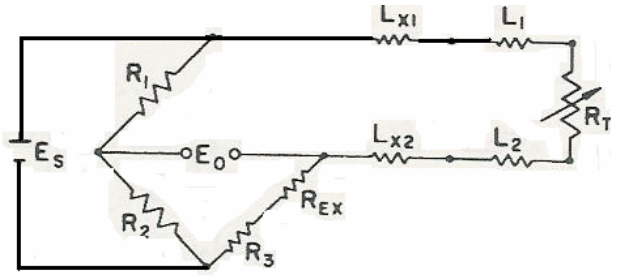


شکل(2-28): اتصال دو سیمه

همانطور که در شکل می بینید L_1و L_2مقاومتهای سیم های رابط هستند وقتی پل در حال تعادل است که مقاومتهای R_1، $R_T + L_1 + L_2$، R_3و R_2مساوی بوده وولتاژ E_0مساوی صفر باشد پس می توان نوشت

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_T + L_1 + L_2}{R_3}$$

درصورتی که سیمهای رابط در محیطی باشند که دمای آن چند درجه سانتی گراد بیشتر تغییر نکند می توان مقدار ثابتی به مقاومت R_3اضافه واثر مقاومتهای سیمهای رابط را در RTDجبران نمود همانطور که در شکل (2-29)نشان داده شده است.



شکل(2-29): اتصال دو سیمه همراه با جبران ساز

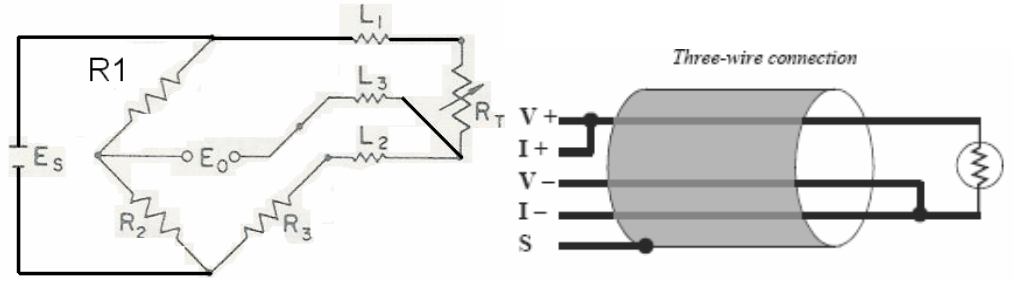
در این حالت مقاومتها از روابط زیر محاسبه میشود.

$$R_T + L_1 + L_2 \quad \text{و} \quad R_1 = R_2 \text{و} R_{EX} = L_{X1} + L_{X2}$$

معمولادر صنعت از اتصال دو سیمه کمتر استفاده میشود.

اتصال سه سیمه

اتصال سه سیمه روشی راحت ومتناسب است که خیلی زیاد بکار گرفته میشود همانطور که در شکل(2-30) دیده می شود.



شکل(2-30)اتصال سه سیمه

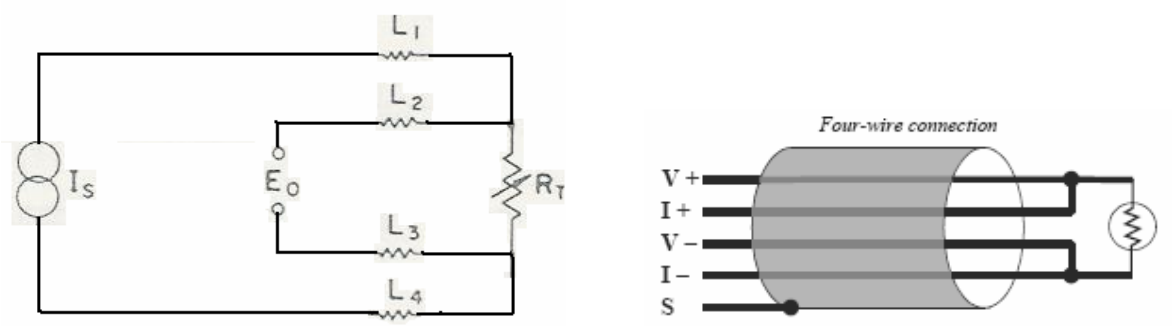
حالت تعادل که در آن ولتاژ E_0 مساوی صفر است برابر است با

$$R_1 = R_2 = R_3 + L_2 = R_T + L_1$$

از خصوصیات این نوع اتصال،جبران خطای بدست آمده از طریق L_1 بوسیله L_2 است مقاومت L_3 فقط برای برقراری پل وتسون است که عملا در حال تعادل از آن جریان عبور نمی کند.

اتصال چهار سیمه

اتصال چهار سیمه در شکل(2-31) نشان داده شده است.



شکل(2-31): اتصال چهار سیمه

در این روش دو سیم به موازات سیمهای رابط RTDکه با هم سری شده اند در مسیر مقاومت R_T قرار میگیرد. طرح چهار سیمه دقت بیشتری ایجاد میکند اما از آنجائیکه تنظیم وکالیبراسیون آن بامشکلاتی توام است کمتر مورد استفاده قرار می گیرد.

درصنعت RTDها را با اصطلاح های $NI120\Omega, PT500\Omega, PT100\Omega$ معرفی می نمایند .که میزان تغییرات اهمی است که در آنها به ازای تغییرات دما از خود نشان میدهد.در جدول زیر حدود تغییرات را برای تعدادی از RTDها نشان میدهد. (منظور از $PT100\Omega$ این است که به ازای دمای صفر درجه Ω 100از خود نشان می دهد)

Table 7: Sensor Specifications

Sensor Type		Range	Resolution [1]	Accuracy [1]
Thermocouple	B	0 to +1820°C	0.1°C	3.3°C
	C	0 to +1820°C	0.1°C	2.1°C
	E	-270 to +990°C	0.1°C	0.8°C
	J	-210 to +760°C	0.1°C	0.6°C
	K	-270 to +1360°C	0.1°C	1.0°C
	N	-270 to +1347°C	0.1°C	0.9°C
	T	-270 to +400°C	0.1°C	0.6°C
	S	0 to +1760°C	0.1°C	3.0°C
	R	0 to +1760°C	0.1°C	2.8°C
Thermistor	Omega 44006 or 44031	-55°C to +145°C	0.01°C	0.05°C
RTD	Cu 10Ω, 0.0367Ω/°C	0 to +119°C	0.1°C	0.6°C
	Pt 100Ω, 0.385Ω/°C	-200 to +800°C	0.05°C	0.2°C
		-200 to +409°C	0.0125°C	0.2°C
	Pt 100Ω, 0.392Ω/°C	-200 to +800°C	0.05°C	0.2°C
		-200 to +409°C	0.0125°C	0.2°C
	Ni 120Ω, 0.380Ω/°F [5]	-100 to +482°F	0.1°F	0.3°F
	Ni 200Ω, 1.10Ω/°C	-58.9 to +151.6°C	0.02°C	0.07°C
	Ni 1KΩ, 5.60Ω/°C	-50.0 to +129°C	0.025°C	0.08°C
Gage [6]		-500 to +500 mV	5µV [7]	30µV
DC Voltage		-5 to +5V [3]	500µV	600µV
		-5 to +5V	200µV	600µV
		-500 to +500mV	20µV	40µV
		-100 to +100mV	5µV	30µV
Current Loop [2]		4 to 20mA	0.01%	0.08%
Resistance		0 to 400Ω	0.02Ω	0.04Ω
		0 to 3KΩ	0.125Ω	0.25Ω
		0 to 600KΩ	31Ω	130Ω
Disabled [4]		Not Applicable — sensor removed from scan loop		

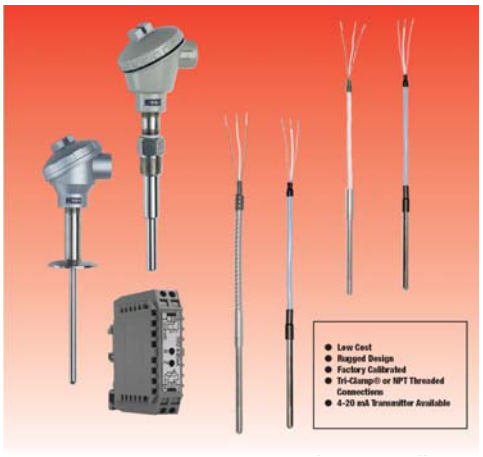
محاسن RTD

1- رفتار خطی در گستره وسیع عملیاتی
2- وسعت در رنج دمای اندازه گیری
3- قابلیت انعطاف بیشتر از دیگر سنسور های دما
4- پایداری بیشتر در دماهای بالا

معایبRTD

1-حساسیت کم
2-قیمت بالاتر در مقایسه با دیگر سنسور های مشابه
3-قابلیت کمتر در اندازه گیری دمای فضای خیلی کوچک
4- اثر پذیری زیاد از مقاومت کنتاکت ها و پالسهای اعمال شده وحرکات با شتاب

درشکل(2-32)چند نمونهRTDنشان داده شده است.



شکل(2-32): دو نمونه RTD

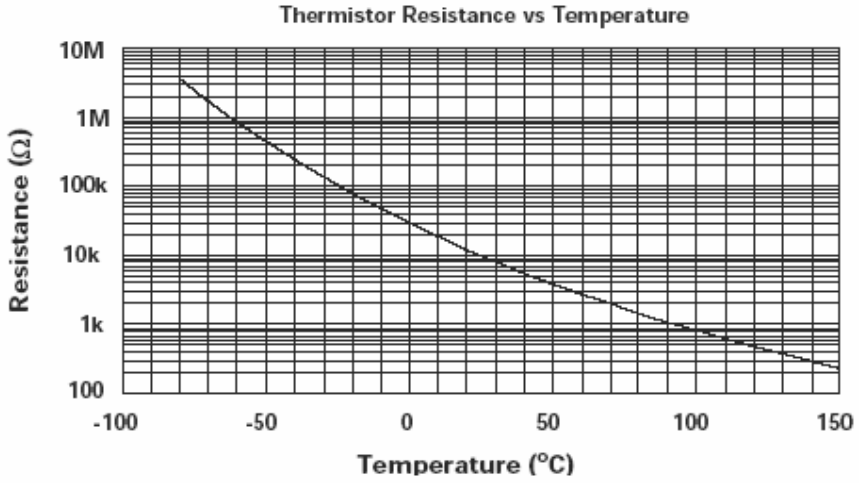
2- ترمیستورها(NTC)

ترمیستورها معروف‌ترین اندازه‌گیرهای دما با شیب منفی می‌باشند.واز موادنیمه هادی هستند که از اکسید فلزاتی ازقبیل کرم،کبالت،آهن،منگنزونیکل ساخته میشوند واز رابطه زیرمقاومت در برابر تغییرات دمامحاسبه می شود.

$$R = R_0 \exp\beta\left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0}\right)$$

که در آن Rمقاومت دردما، T(کلوین)و R_0مقاومت ترمیستور دردمای T_0که معمولا $25C^0$ و βمقدار ثابتی است که بستگی به جنس ترمیستور داردومقدار آن4000انتخاب می شود.

ترمیستورهای امروزی قادر به اندازه‌گیری دماهای پائین حدود 100- تا دماهای بالا حدود 500+ می‌باشند. ترمیستورها ممکن است بصورت عناصری با شیب مثبت نیزساخته شوند ولی نوع NTCآن متداول تر است در شکل (2- 33)منحنی مشخصه ترمیستور نشان داده شده است.

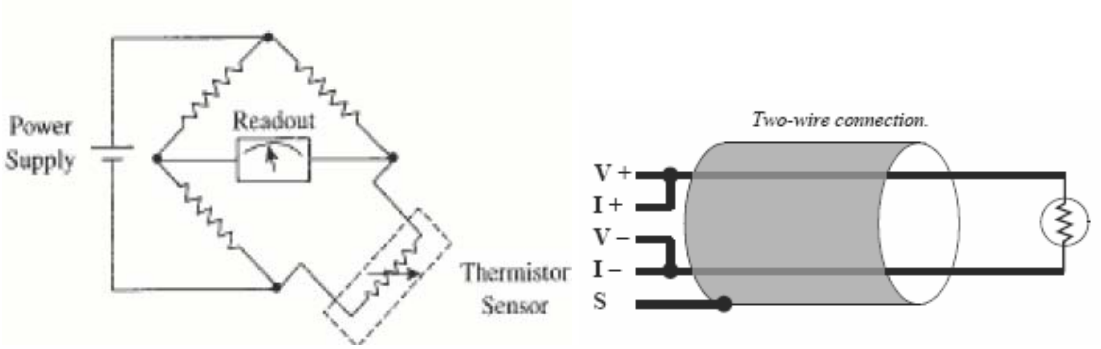


شکل(2-33): منحنی مشخصه ترمیستور

باتوجه به شکل شیب منحنی خیلی بیشتر از RTDها است بهمین خاطرحساسیت ودقت ترمیستور ها بیشتر میباشد.درصد تغییرات مقاومت یک ترمیستور در اثر یک درجه تغییر دما حدود3 الی5 درصدبوده درصورتی کهRTDها 0.4درصد میباشد .

ترمیستور ها را می توان با مقاومتی حدود چند ده کیلو اهم ساخت در صورتی کهRTDها حدودچند صد اهم ساخته می شود بهمین خاطر اثر سیمهای رابط در آنها منتفی میشود.نکته ای که در موردترمیستورها حائز اهمیت است آنستکه بسیار غیرخطی تر از RTDها می باشدوحوزه اندازه گیری خیلی پائینتری دارند.

برای اندازه گیری دماز مدارهای شکل (2-34)استفاده می شود.



شکل(2-34): مدار آشکارساز ترمیستور

- یکی از مشکلات ترمیستور ها وجود تلرانس در آنها است بطوری که ترمیستورهای ساخت یک کمپانی وتحت یک نام وشماره از نظر رفتار ومشخصه با یکدیگر تفاوت دارند.

- لحیم کاری پایه های ترمیستور باید سریع و در دمای پائین صورت گیرد زیرا نفوذ مواد لحیم کاری در ترمیستور باعث ایجاد خطا می شود.

- ترمیستورها بدلیل حجم کم وثابت زمانی کم ،برای اندازه گیری های سریع ودر محلهائی که جای کمی برای نصب آنها وجود دارد بسیار مناسب است.

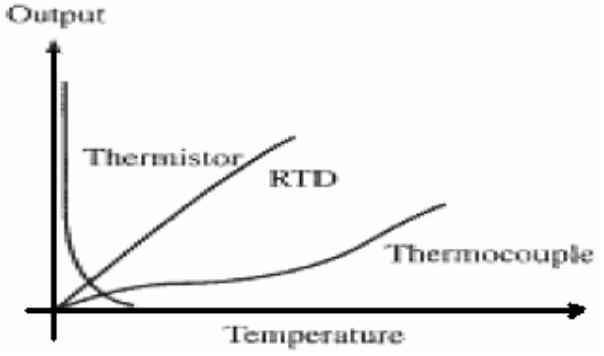
- پدیده خودگرمائی (گرم شدن اندازه گیر در اثر جریان الکتریکی که از آن می گذرد است)در ترمیستور ها حادتربوده چون ترمیستورها دارای مقاومت بیشتری است .

- پایداری ترمیستور هادر دمای حدود $20C^0$است ودر بالای $300C^0$اکثرا فرسوده میشوند.

در شکل(2-35) چند نوع ترمیستور کارخانه های مختلف نشان داده شده است.

شکل(2-35): دو نمونه ترمیستور

درشکل (2-36)مقایسه ای بین منحنی مشخصه های ترموکوپل ،RTDو ترمیستورنشان داده شده است.

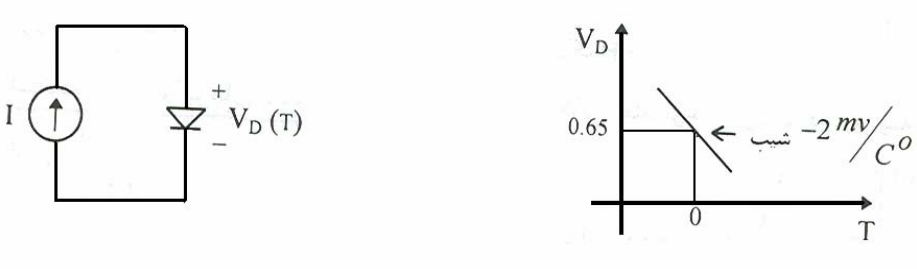


شکل(2-36): مقایسه بین اندازه گیرهای دما

با توجه به شکل فوق می بینیم RTDها منحنی مشخصه خطی تری نسبت به بقیه دارند.

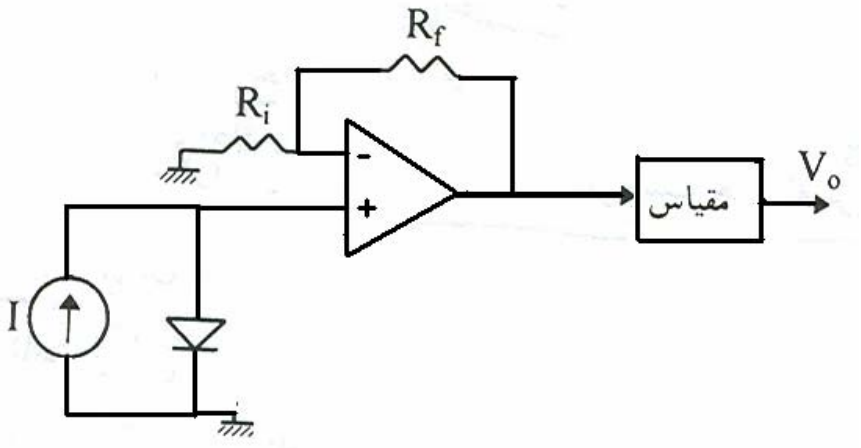
2-3-2-3 اندازه گیرهای نیمه هادی دما

یک دیود سیلیکون که با جریان ثابت تغذیه می شود میتواند بعنوان یک اندازه گیر دما استفاده شود همانطور که در شکل(2-37) نشان داده شده است.



شکل(2-37):اندازه گیر نیمه هادی

مدار شکل(2-38) بعنوان آشکار ساز استفاده میشود ولتاژ خروجی نشان دهنده دمای مورد نظر است.



شکل(2-38):مدار آشکار سازاندازه گیر نیمه هادی

محاسن

- سادگی
- ارزان بودن
- حوزه اندازه گیری تا $2000\ C^0$

معایب

- رفتار ناپایدار وغیر خطی
- در کاربردهای دقیق استفاده نمی شود

کاربرد آن در مدارهای ایمنی وآلارم می با شد.

2–3–3– اندازه گیرهای تشعشعی دما

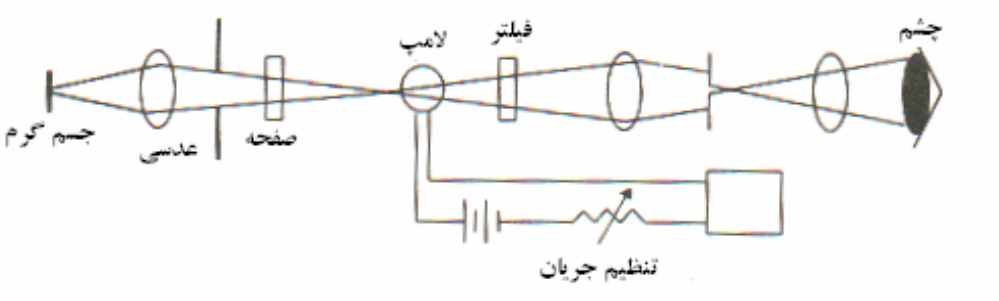
در مواردی چون پروسه های متحرک و یا دمای بسیار بالا تماس اندازه‌گیر با پروسه امکان پذیر نیست.و یا هر گونه تماس موجب ذوب شدن و خرابی اندازه‌گیر می شود و یا هنگامی که پروسه دارای مواد مخرب و زیانبار است.که نمونه‌هایی از اینگونه موارد را می‌توان در صنایع ریخته‌گری و فولاد و همچنین صنایع چینی و سرامیک و صنایع شیمیایی پیدا کرد. دراینگونه موارد برای اندازه‌گیری دما بدون تماس مستقیم یا غیر مستقیم با پروسه، از اندازه‌گیرهای تشعشعی و نوری استفاده می‌شود. اندازه‌گیرهای تشعشعی دما را پیرومتر گویند. حد بالای دمای قابل اندازه‌گیری با اندازه‌گیرهای تشعشعی تا حدود 4000 درجه سانتیگراد می‌رسد. اصل فیزیکی مورد استفاده در پیرومترها تغییر انرژی تابشی اجسام بوسیله دما می‌باشد. این انرژی بصورت امواج الکترومغناطیسی است که طول موج آنها از حوزه امواج مرئی (0/35 الی 0/75 میکرومتر) تا حوزه امواج مادون قرمز (0/75 الی 20 میکرومتر) گسترده شده است. در حوزه امواج مرئی انرژی تشعشع شده به صورت رنگ نمایان می شود. برای بیان رابطه بین دمای جسم با طول و شدت موج ساطع شده، مفهومی بنام جسم سیاه تعریف می‌شود. جسم سیاه، جسمی است که هیچ اشعه‌ای را از خود عبور نداده و منعکس نمی کند و در واقع یک ساطع کننده کامل است و به بیان دیگر هر گونه گرمائی که به آن داده می‌شود را جذب نموده و بصورت امواج تشعشع می‌کند. رابطه بین دما، طول موج و شدت تشعشع توسط رابطه پلانک بیان می‌گردد.

$$W^{BB}(\lambda,T)=\frac{C_1}{\lambda^5\left[\exp\left(\frac{C_2}{\lambda.T}\right)-1\right]}$$

که در آن C_1, C_2 ثابت بوده وبا تغییر دما طول موج تغییر نموده که این ملاک اندازه گیری دما می باشد.

در شکل (2-39) ساختمان کلی یک پیرومتر نوری نشان می دهد. نور ساطع شده توسط جسم گرم، بعد از فیلتر شدن بوسیله عدسی بر روی صفحه به صورت یک زمینه رنگی متمرکز می گردد. از طرف دیگر نور ناشی از یک منبع نورانی قابل تنظیم میشود که رنگ زمینه با رنگ ناشی از فیلامان لامپ، یکسان شوند. در این صورت جریان لامپ که قبلا با دمای فیلامان تنظیم شده است، نشان دهنده دمای جسم گرم خواهد بود. پیرومترهای نوری اگر بخوبی کالیبره و تنظیم گردن، نتایج دقیق و خوبی خواهند داد. از آنجائی که حساسیت

چشم انسان محدود بوده و تنها قادر به تشخیص رنگهای (امواج) مرئی است، برای افزایش دقت پیرومترها از آشکارسازهای نوری الکترونیکی بجای چشم انسان استفاده می‌شود.



شکل(2-39) : پیرومتر تشعشعی

هنگام استفاده از پیرومتر های نوری باید دقت نمود که گرد وغبار وبخار موجب نوعی فیلترینگ وحذف یا تضعیف تشعشعات در بعضی طول موجها می گردد.نمونه ای از پیرومتر های نوری در شکل(2-40) نشان داده شده است.

شکل(2-40):یک نمونه پیرومتر تشعشعی عملی

2–4 – فشار وروشهای اندازه گیری آن

فشار یکی از کمیت‌های مهم در پروسه‌های صنعتی است که اندازه‌گیری و کنترل آن از اهمیت بسزایی برخوردار است. در این بخش، برخی از روشهای مهم در اتدازه‌گیری فشار بررسی و مطالعه می‌شوند.

فشار: یعنی مقدار نیروی وارد شده بر واحد سطح :

$$P = \frac{F}{A}$$

در رابطه فوق F نیرو و A سطحی است که نیرو بر آن اعمال می‌گردد.

فشار مطلق: عبارتست از تفاضل فشار مایع ومقدار صفر مطلق فشار

فشار گیج: عبارتست از تفاضل فشار مایع وفشار اتمسفر

ΔP:**فشار تفاضلی**: عبارتست از تفاضل دو مقدار فشار مطلق

بطور کلی می توان گفت:

فشار اتمسفر +فشاری که فشار سنج نشان می دهد= فشار مطلق

اندازه گیرهای فشار به سه دسته تقسیم میشوند که عبارتند از:

1- اندازه گیرهای مانومتری

2- اندازه گیرهای با خاصیت ارتجاعی در برابر فشار

3-اندازه گیرهای الکتریکی فشار

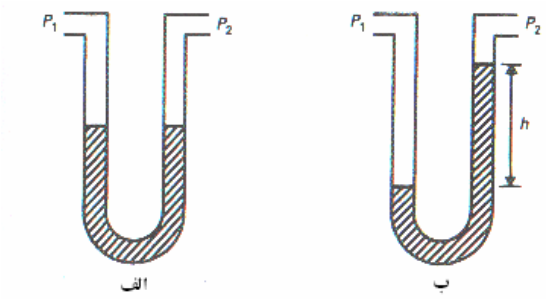
2–4–1 اندازه‌گیرهای مانومتری U شکل فشار

یک اندازه‌گیر فشار مانومتری در حالت کلی مطابق شکل(2-41)می باشد.

اصل فیزیکی مورد استفاده در اینجا رابطه زیر است:

$$\Delta P = P_2 - P_1 = \rho g h$$

در رابطه فوق، ρ جرم مخصوص مایع مانومتر، gشتاب جاذبه و h ارتفاع مایع در شاخه نشان‌دهنده می‌باشد.



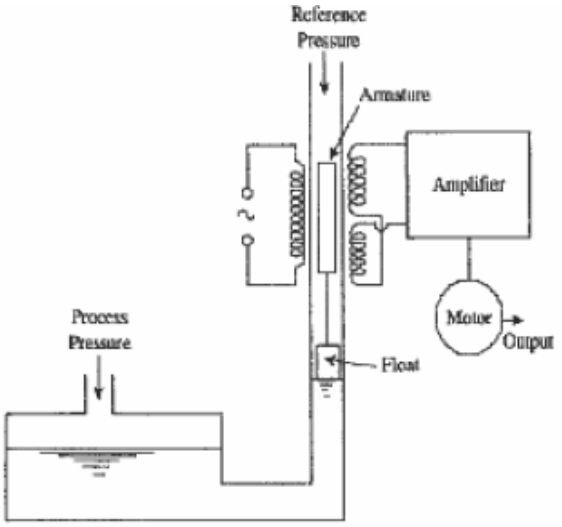
شکل(2-41) اندازه‌گیر فشار مانومتری

برای اندازه‌گیری فشارهای بالا معمولا از سیالی با جرم مخصوص بزرگ مثل جیوه استفاده می‌شود و برای اندازه‌گیری فشارهای پایین و بمنظور ایجاد حساسیت بیشتر می‌توان از مایعات سبکتر مثل آب استفاده نمود.اما دونقص دارد.

1- تا حدی تبخیر می شود.

2- چون شفاف است ارتفاع آن دیده نمی شود .

در سیستمهای آزمایشگاهی یکی از پر مصرف ترین فشار سنج هاست ولی در سیستمهای کنترلی حلقه بسته کاربردی ندارد. با ایجاد یک سیم پیچ به دور لوله نشان دهنده، می‌توان آن را تبدیل به یک اندازه‌گیر فشار با خاصیت سلفی نمودبا این شرط که سیال متحرک مغناطیس باشد یعنی ماده درون لوله مثلا جیوه یا یک فلزی که روی سیال غیر مغناطیس شناور است در نظر گرفته شودهمانطور که در شکل(2-42)نشان داده شده است.



شکل(2-42): اندازه گیر مانومتری همراه با آشکارساز LVDT

معمولا این فشار سنج ها تا فشار حدود2barرا می توانند اندازه گیری کنند.از مزایای دیگر این اندازه گیر سادگی ساختمان وقابلیت به کار گیری آن در فضاهای مختلف می باشد.

معایب آن عبارتند از:

1 - خطر شکستگی

2- تبخیر مایع مانومتری

3- تغییر خواص آن در شرایط آب وهوائی ودماهای مختلف

2-4-2 اندازه‌گیرهای فشار با خاصیت ارتجاعی

از خاصیت تغییر شکل مواد در اثر فشار در ساخت فشارسنج‌های ارتجاعی استفاده می‌شودوبه چهار دسته تقسیم می شودکه عبارتند از:

1- اندازه‌گیرهای فشار دیا فراگمی

2- اندازه گیرهای فشار کپسولی

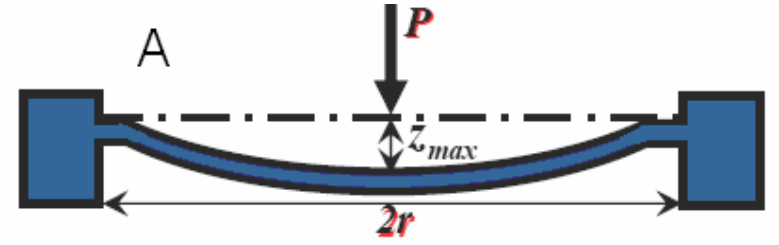
3- اندازه گیرهای فشار لوله بوردن

4- اندازه گیرهای فشار دم(بیلوز)

مزیت عمده آنها سادگی، استحکام و دوام آنها است. نکته مهم در این اندازه‌گیرها کیفیت آلیاژی است که در ساخت آن مورد استفاده قرار می‌گیرد. اندازه‌گیرهای فوق بطور گسترده در صنایع نفت و گاز، کشتی‌ها و هواپیماها و سایر صنایع مورد استفاده قرار می‌گیرند.

2-4-2- 1 اندازه‌گیرهای فشار دیافراگمی

اصول کار یک اندازه‌گیر فشار دیافراگمی مطابق شکل (2-43) می‌باشد.



شکل (2-43) : شمای اندازه‌گیر فشار دیافراگمی بعد از اعمال فشار

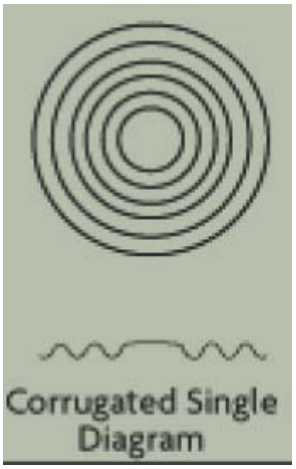
در اثر اعمال فشار بر صفحهA، سطح A تغییر شکل می‌دهد. سطح A را می‌توان به اندازه‌ای گرفت تا تغییرات به نوبه خود بزرگ بوده و اندازه‌گیر حساسیت دلخواه را داشته باشد.

از رابطه زیر در صورتی که E:مدول الاستیسیته ، υ :نسبت پواسن وtعرض دیافراگم باشد بدست می آید|.

$$P = \frac{16Et^3}{3r^4(1-v^2)} z_{\max}$$

جنس دیافراگم را می‌توان فلز یا غیر فلز انتخاب نمود. لاستیک و چرم از انواع متداول دیافراگم‌های غیر فلزی هستند. دیافراگم‌های غیرفلزی معمولا در ابعاد بزرگ ساخته می‌شوند و برای اندازه‌گیری فشارهای پایین تر مورد استفاده قرار می‌گیرندبه همین خاطر این دیافراگم ها نیاز به یک فنر نگهدارنده دارند تا ازخمیدگی آنها در حالت تعادل جلوگیری شود.

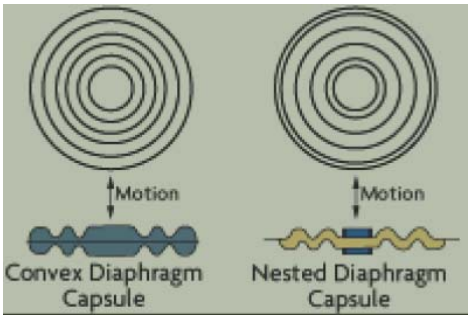
دیافراگم های فلزی از جنس برنز ،برنج،آلیاژهای مس،فولاد ضد زنگ،برلیوم وآلیاژهای مخصوص ساخته می شود ومی توان آنها را تخت یا چین دار ساخت ابعاد دیافراگم های فلزی کوچک می با شدو به ضخامت فلز مورد استفاده ،مدول الاستیسیته،شکل و تعداد چین های دیافراگم بستگی دارد.نمونه ای از دیافراگم فلزی در شکل(2-44) نشان داده شده است.ترا نسمیتر مربوطه را از طریق منی فولد (شیر مخصوص)در مسیر قرار می دهند.

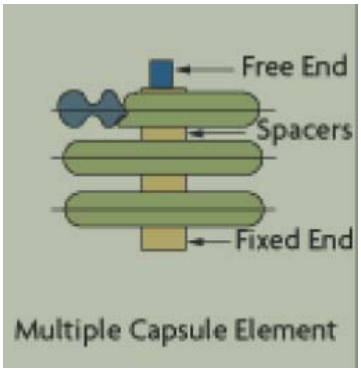


شکل(2-44): دیافراگم و ترانسمیتر از نوع دیافراگمی

2-2-4-2 اندازه‌گیرهای فشار کپسولی(cell)

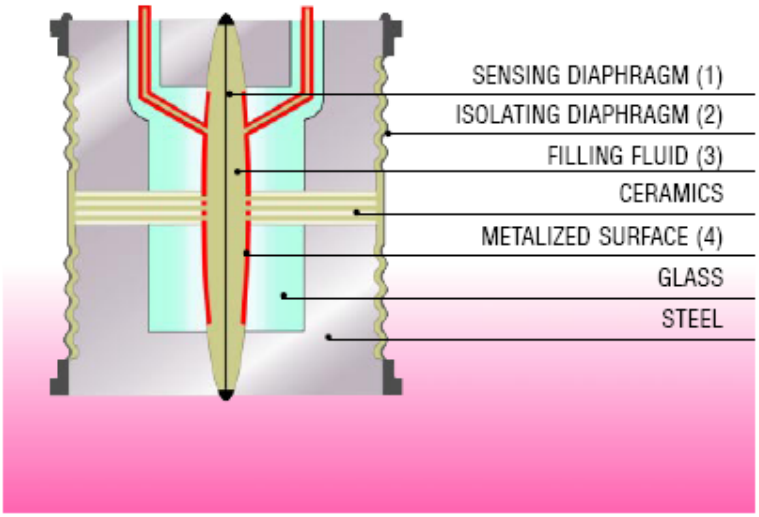
یک کپسول از دو دیافراگم فلزی تشکیل شده که به یکدیگر جوش داده شده‌اند. فضای بین دو دیافراگم با سیال تراکم ناپذیری با ویژگی‌های مخصوص پر شده است. شکل(2-45) یک کپسول را نشان می‌دهد. در بعضی طرح‌ها می‌توان چندین کپسول را با یکدیگر سری نمود. در این حالت جابجایی ناشی از فشار، برابر مجموع جابجائی‌های کپسول‌ها می‌باشد و بدین ترتیب شیب اندازه‌گیر افزایش می‌یابد.





شکل (2-45): شمای کپسول(cell)

در شکل(2-46) مدار داخلی یک کپسول نشان داده شده است.



شکل(2-46): مدار داخلی کپسول

درکپسول ها تغییرات فشار باعث کم و زیاد شدن فاصله صفحات شده و باعث تغییر در ظرفیت خازن می گردد این تغییرات توسط یک پل وتسون خازنی آشکار و توسط ترانسمیتر 4تا20 میلی آمپر به کنترل کننده ارسال می گردد.اجزاء مختلف یک ترانسمیتر فشار در شکل(2-47) نشان داده شده است.

شکل(2-47): اجزاء مختلف ترانسمیتر فشار

جهت نصب هر ترانسمیتر در محل احتیاج به منی فولد مربوط به خود را دارد.منی فولد مربوط به ترانسمیترهای کپسولی شامل پنج ولو می باشدبطوریکه در شکل (2-48)نشان داده شده است.

شکل(2-48): منی فولد پنج راهه

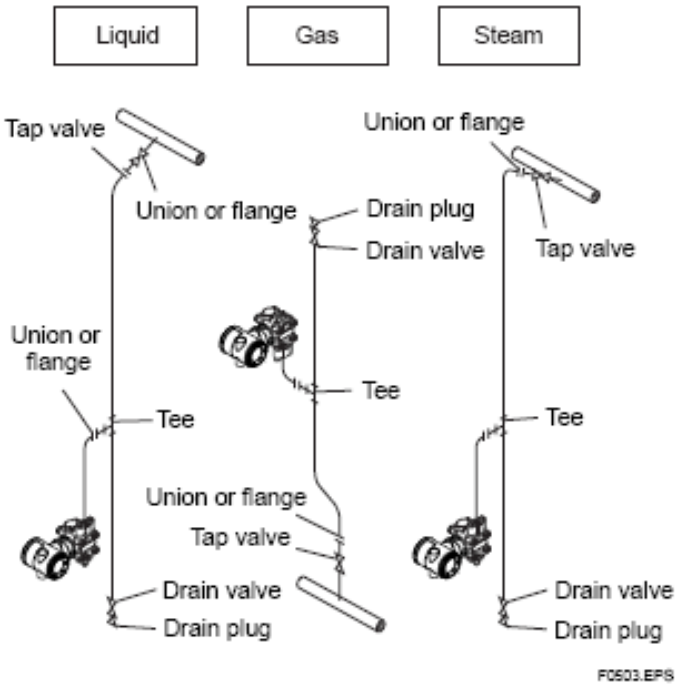
بستگی به نوع ماده ای که ازمسیر عبور می کند مکان ترانسمیتر های فشار را تعیین می کنند .در شکل (2-49)مکان مناسب برای ترانسمیتر مشخص شده است.

- همانطور که نشان داده شده در صورتیکه فشار گاز را بخواهیم بایدترانسمیتر بالای مسیر قرار گیرد که در صورتیکه در تیوب گاز مورد نظر مایع شدفشار کاذب نشان ندهد.

- اگر فشار مایع وبخار آب را بخوا هیم باید ترانسمیتر در پائین قرار گیرد چون اگر بالا باشد در صورتیکه فشار مسیر افت کند فشار حقیقی را نشان نمی دهد.

_درمورد فشاربخار آب یک عدد ولو جهت تخلیه مایعات ایجاد شده پس از سرد شدن پشت دیافراگم قرار می دهند.

ترانسمیتر های فشار از نوع کپسولی را در صورتی که بخواهیم فشار مطلق بدست آوریم باید یک طرف ترانسمیتر رااز طریق منی فولد نصب شده به ترانسمیتر ببندیم که طرف دیگر کپسول نقش دیافراگم را بازی کند.



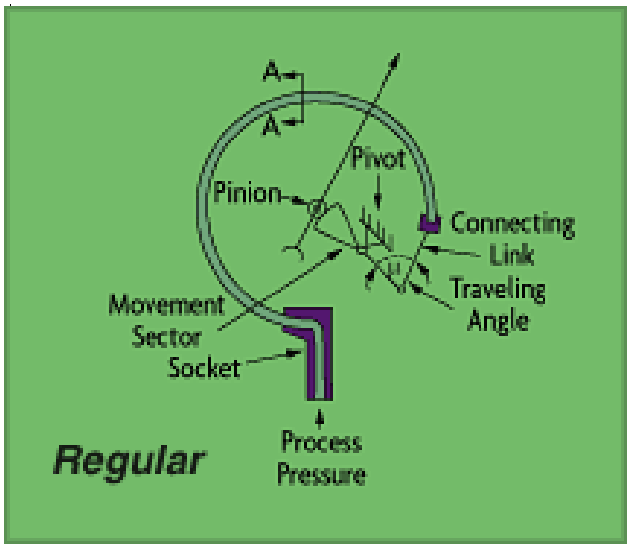
شکل(2-49): محل قرار دادن ترانسمیتر در مسیرهای مختلف

2-4-2-3 اندازه‌گیر لوله بوردن

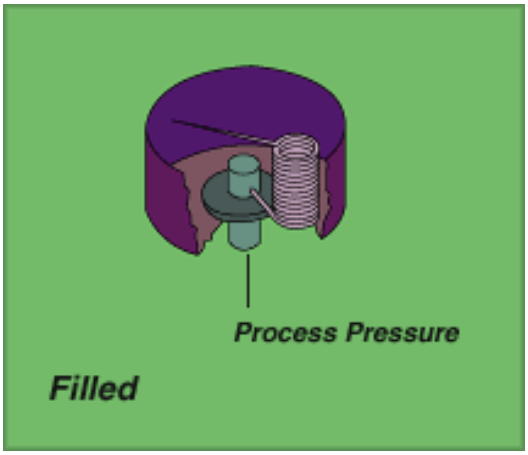
لوله بوردن یک لوله مسدود به شکل دسته عصا می‌باشد (حدود 250 درجه)، که وقتی فشار به آن اعمال شود به دلیل تفاوت اندازه محیط بیرونی و درونی، تمایل به راست شدن پیدا می‌کند در این حالت اندازه تغییر وضعیت لوله متناسب با فشار مورد اندازه‌گیری است.

حوزه اندازه‌گیری لوله بوردن بیشتر از دیافراگم و کپسول می‌باشد و معمولا برای اندازه‌گیری فشارهای 35kpaتا 100kpa مورد استفاده واقع می‌شود. در عمل ممکن است لوله بوردن بر حسب کاربرد به صورتهای دیگر نیز ساخته شود. اساس کار این اندازه‌گیر در شکل(2-50) آمده است.

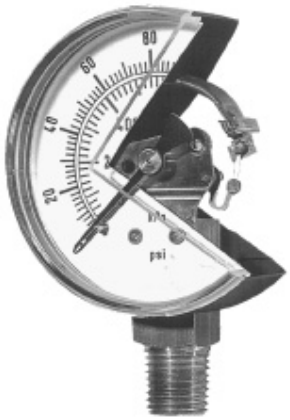
درصورتیکه بخواهیم حوزه اندازه گیری را افزایش دهند لوله بوردن بصورت مارپیچ در نظر گرفته میشود همانطور که در شکل(2-50-B)نمایش داده شده است.



(a)



(b)



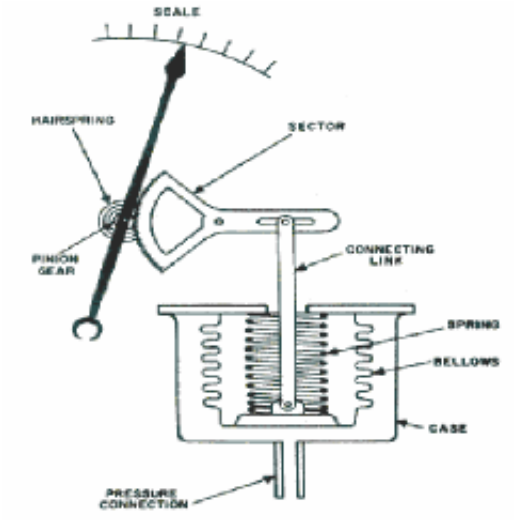
شکل(2-50): اندازه گیر فشار از نوع لوله بوردن

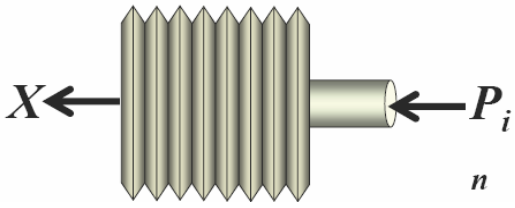
4-2-4-2 اندازه‌گیر دم (بیلوز)

دم یا بیلوز ساختمانی شبیه به آکاردئون یا دم آهنگری دارد. ساختار آکاردئونی بیلوز موجب انبساط آن در اثر اعمال فشار می‌شود و اندازه جابجائی متناسب با فشار مورد اندازه‌گیری است. رابطه فشار با باز و بسته شدن بیلوز شبیه به رابطه‌ای است که در یک فنر وجود دارد و می‌توان آن را بصورت زیر نوشت:

$$X = K_s(PA)$$

در رابطه فوق، P فشار مورد اندازه‌گیری ، A سطح بیلوز و K_s ضریب بیلوز (ضریب فنری) است. معمولا حوزه جابجایی بیلوز حدود 5 الی 10 ٪ کل طول آن می‌باشد. توجه نمائید از آنجائیکه فشار محیط خارج بیلوز فشار اتمسفر می‌باشد، بنابراین بیلوز، فشار نسبی را اندازه‌گیری می نماید.شکل (2-51)ساختمان کلی یک بیلوز را نشان می‌دهد.





شکل(2-51): اندازه‌گیر دم (بیلوز)

آلیاژهائیکه برای ساخت بیلوز استفاده میشود معمولا همان آلیاژهائی هستند که برای ساخت دیافراگم های فلزی وکپسول ها مورد استفاده قرار می گیرند.

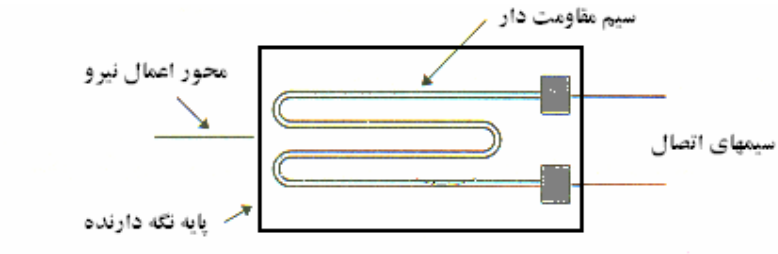
معمولا در کنترل ولوهای PCVاز بیلوز استفاده میگردد.

2-4-3 اندازه‌گیرهای الکتریکی فشار

در اندازه‌گیرهای مانومتری و ارتجاعی معمولا فشار اندازه‌گیری شده تبدیل به کمیتی الکتریکی میشود. این امر استفاده از قطعات و اجزای اضافی و افزایش هزینه را به دنبال دارد و همچنین احتمال وارد شدن نویز و ایجاد خطا را افزایش می‌دهد. اندازه‌گیرهای الکتریکی فشار علاوه بر مزایای خاص اندازه‌گیرهای الکتریکی، فشار را مستقیما به کمیتی الکتریکی تبدیل می‌نمایند و از این‌نظر صرفه‌جویی قابل ملاحظه‌ای در هزینه می‌شود و همچنین دقت اندازه‌گیری نیز افزایش می یابد. در این بخش چندین نمونه از اندازه‌گیرهای الکتریکی فشار معرفی می‌شود.

2-4-3-1 استرین‌گیج‌ها

استرین‌گیج‌ها معروف‌ترین اندازه‌گیرهای الکتریکی فشار هستند و اساساً برای اندازه‌گیری فشارهای بالا مورد استفاده می‌گیرند. شمای کلی این اندازه‌گیرها در شکل(2-52) نشان داده شده‌است.



شکل (2-52): شمای کلی استرین‌گیج

- هرگاه بر جسمی نیرو وارد شود (کشش یا فشار) جسم در جهت نیرو تغییر طول می‌دهد. نسبت این تغییر طول به طول اولیه جسم، کرنش گفته می‌شود.

$$\sigma = \frac{\Delta L}{L_0}$$

دراین رابطه ، ΔL تغییر طول، L_0 طول اولیه و σ کرنش است. قانون هوک رابطه کرنش با نیروی اعمالی (فشار) را بیان می‌دارد.

$$P = \frac{F}{A} = \sigma Y = Y\frac{\Delta L}{L_0}$$

دراین رابطه ، P فشار، F نیرو و A سطح جسم است که نیرو بر آن وارد می‌شود. Y ضریبی است که به آن مدول یانگ گفته می‌شود.

رابطه فوق بیان می‌دارد که هرگاه جسمی تحت فشار (نیرو) قرار گیرد تغییر طول می‌دهد و این تغییر طول در مقاومت الکتریکی یک جسم تغییراتی ایجاد می کند که از رابطه زیر بدست می آید

$$R = \rho\frac{L}{A}$$

در استرین‌گیج‌ها برای نشان دادن تغییرات مقاومت در اثر تغییر طول، ضریبی به نام فاکتور گیج تعریف می‌شود، که به صورت زیر بیان می‌شود.

$$G_f = \frac{\Delta R/R}{\Delta L/L}$$

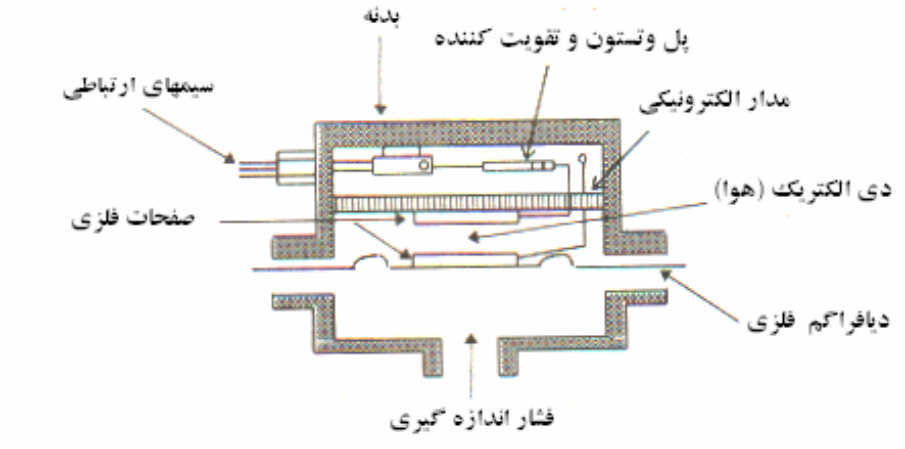
در رابطه فوق، R و L به ترتیب مقاومت و طول جسم در حالت آزاد (بدون اعمال نیرو) می‌باشند. فاکتور گیج در استرین‌گیج‌های صنعتی حدود 2 می باشد به این معنی که اگر طول جسم به اندازه 1٪ تغییر کند، مقاومت آن به اندازه 2 ٪ تغییر خواهد کرد. برای تبدیل تغییرات مقاومت الکتریکی به سیگنال الکتریکی(ولتاژ یا جریان) معمولا از مدار پل وتسون استفاده می‌شود.

2-3-4-2 اندازه‌گیرهای ظرفیتی فشار

ظرفیت یک خازن از رابطه زیر بدست می‌آید.

$$C = \varepsilon \frac{A}{x}$$

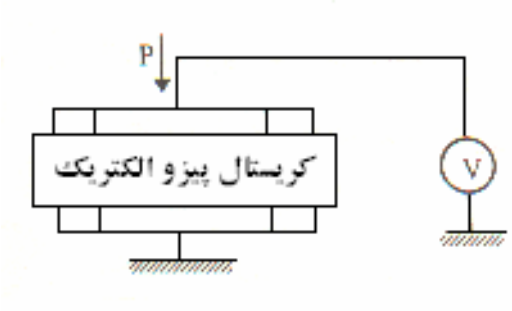
دراین رابطه ، A سطح جوشن‌ها، X فاصله جوشنها از یکدیگر و ε ضریب دی‌الکتریک خازن می‌باشد. مطابق رابطه فوق تغییر هر یک از اجزا موجب تغییر ظرفیت خازن می‌گردد. در اندازه‌گیرهای خازنی، اغلب فشار مورد اندازه‌گیری به جابجایی و تغییر فاصله جوشن‌ها تبدیل می‌شود و تغییر فاصله جوشن‌ها نیز منجر به تغییر طرفیت خازن می‌گردد. تغییر ظرفیت نیز معمولا توسط یک پل AC و یا یک مدار اسیلاتور تبدیل به ولتاژ یا فرکانسی متناسب با فشار می‌گردد. شکل (2-53) یک اندازه‌گیر فشار خازنی را نشان می‌دهد. در این اندازه‌گیر، فشار موجب جابجایی دیافراگم می‌شود و جابجائی دیافراگم نیز فاصله بین دو جوش و نهایتا ظرفیت خازن را تغییر میدهد.



شکل(2-53): اندازه‌گیر فشار خازنی

2-3-4-3 اندازه‌گیرهای پیزو الکتریکی فشار

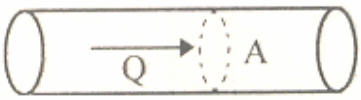
عناصر پیزوالکتریک عناصری با قابلیت تبدیل انرژی مکانیکی به الکتریکی و بر عکس می‌باشند. مطابق شکل (2-54) هرگاه یک عنصر پیزو الکترویک مانند کوارتز تحت فشار P قرار گیرد میلی ولتمتر ولتاژی متناسب با فشار را نشان خواهد داد. از این خاصیت برای اندازه‌گیری فشار می‌توان استفاده نمود.



شکل (2-54): اندازه‌گیر فشاربا عناصر پیزوالکتریک

2–5 شدت‌جریان و روشهای اندازه‌گیری آن

در بسیاری از پروسه‌های صنعتی مایل به اندازه‌گیری و کنترل فلو یا دبی می‌باشیم. صنایع نفت و گاز، صنایع شیمیایی و صنایع غذائی مثالهای معروفی از این موارد هستند. از طرف دیگر گاهی کنترل فلو بعنوان یک کمیت اولیه منجر به کنترل کمیت دیگری بعنوان کمیت ثانویه میشود. بعنوان مثال می توان از کنترل دبی سوخت (کمیت اولیه) بمنظور کنترل درجه حرارت (کمیت ثانویه) استفاده کرد. همچنین در مواردی کنترل سطح سیال در مخزن و یا کنترل فشار، از طریق کنترل فلو انجام می‌گردد. به دلایل فوق اندازه‌گیری فلو در کنترل صنعتی از اهمیت ویژه‌ای برخودار است. فلو یا دبی بصورت حجمی یا جرمی در نظر گرفته می‌شود.برای روشن شدن مطلب شکل (2-55)را در نظر بگیرید. در این شکل سیال از لوله‌ای به مقطع A در حال عبور است.



شکل(2–55): عبور سیال از لوله‌ای به مقطع A

- دبی حجمی مقدار حجم سیال است که در واحد زمان از یک مقطع لوله عبور می‌کند و بطور مشابه دبی جرمی مقدار جرمی است که در واحد زمان از آن مقطع لوله عبور می‌کند اگر سرعت سیال V و جرم مخصوص آن ρ باشد، دبی حجمی و جرمی به سادگی از روابط زیر بدست می‌آیند:

$$Q = V.A$$

$$Q = \rho.V.A$$

در اغلب پروسه‌ها A و ρ معلوم هستند و بنابراین اندازه‌گیری فلو حجمی یا فلو جرمی مترادف با اندازه‌گیری سرعت سیال می‌باشد. چرا که با اندازه‌گیری سرعت و داشتن A و ρ می‌توان با استفاده از روابط فوق دبی مربوطه را بدست آورد. بنابراین اکثر فلومترها در واقع نوعی اندازه‌گیر سرعت سیال می‌باشند.

2–5–1 فلومتر توربینی(Turbin flowmeter)

در فلومتر توربینی یک توربین در مسیر سیال در حال حرکت قرار می‌گیرد. طرف دیگر توربین متصل به یک هسته مغناطیسی است. در مقابل سیم‌پیچ و در پوسته خارجی فلومتر سیم‌پیچ آشکارساز قرار دارد. عبور هسته مغناطیسی از مقابل سیم‌پیچ موجب القا نیروی محرکه در آن می‌شود(شکل(2-56)). هر چه سرعت سیال بیشتر باشد، چرخش توربین و در نتیجه سرعت چرخش هسته مغناطیسی بیشتر می‌شود و نیروی محرکه بزرگتری در سیم‌پیچ القا می‌گردد.

شکل(2-56): فلومتر توربینی

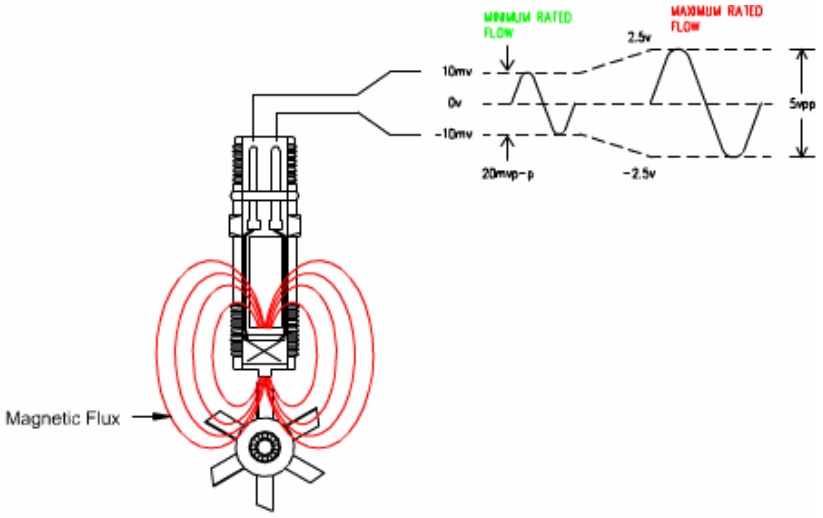
در طرح‌های جدید هسته و سیم‌پیچ آشکارساز را بگونه‌ای می‌سازند که سرعت سیال تبدیل به فرکانس پالس می‌شود و با شمارش پالس‌ها و میانگین‌گیری توسط مدارات مربوطه سرعت سیال و بدنبال آن فلو حجمی یا جرمی را بدست می‌آورند. رابطه زیر بین دبی ورودی و فرکانس خروجی وجود دارد.

$$f = KQ \qquad \text{که} \qquad K = \frac{m.\tan\alpha}{2\pi.A.R}$$

در رابطه فوق m:تعداد پره ها α:زاویه بین فلوی عبوری وپره ها R: شعاع لوله توربین

A= سطح پره ها - سطح مقطع محور - سطح مقطع لوله

در شکل(2-57)مدار الکترونیکی فلو متر توربینی نشان داده شده است.



شکل(2-57):مدار داخلی فلومتر توربینی

این فلومترها برای اندازه‌گیری فلوی سیال‌های تمیز مناسب می‌باشند و در صورتیکه سیال دارای ذرات و ناخالصی‌های معلق و چسبنده باشد، اندازه‌گیری با مشکلاتی روبرو خواهد شد. همچنین این فلومتر می بایستی

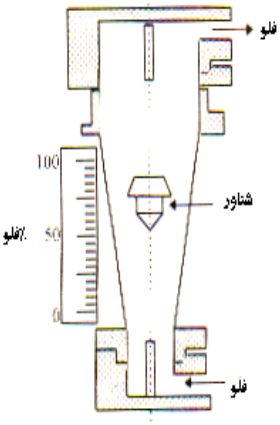
در مسیر لوله‌های مستقیم نصب گردد. اشکال عمده این فلومترها ایجاد مزاحمت و اخلال در حرکت طبیعی سیال می باشد و ممکن است خود باعث تغییر فلوی مورد اندازه گیری شوند. خوردگی و نیاز به تعمیرات از دیگر معایب آنها می‌باشند. همچنین این فلومترها برای اندازه‌گیری جریانهای کم مناسب نمی‌باشند.
حوزه اندازه گیری این اندازه کیر حدود10٪ تا100٪ حداکثر نرخ جریان سیال است.

2–5–2 فلومتر با مقطع متغیر(Rotameter)

فلومتر با مقطع متغیر از یک محفظه که مقطع آن از پایین به بالا بیشتر می‌شود تشکیل شده است. هر چه مقدار جریان (دبی حجمی) بیشتر باشد شناور در قسمت بالاتری قرار می‌گیرد. محل قرار گرفتن شناور و نشان دهنده متصل به آن متناسب با دبی مورد اندازه گیری است(شکل 2-58).

از فلومتر با مقطع متغیر (روتامتر) برای اندازه‌گیری فلوی گازها نیز می‌توان استفاده نمود. محفظه روتامتر را می‌توان از شیشه یا فلز ساخت. در مواردی که سیال مورد اندازه‌گیری قابل اشتعال یا خطرناک باشد از محفظه فلزی استفاده میکند در این حالت حرکت شناور دیگر قابل رویت نمی‌باشد و برای آشکارسازی موقعیت آن باید از روشهای دیگری استفاده نمود.

این اندازه‌گیری فلو، ساده بوده و قطعات و متعلقات کمی دارند و بعلاوه استهلاک آنها نیز ناچیز است.



شکل (2-58): فلومتر با مقطع متغیر

2–5– 3 ا ندازه‌گیری فلو از طریق فشار

اندازه‌گیری فلو مترادف با اندازه‌گیری سرعت است و اندازه‌گیری سرعت معمولا نیاز به اجزاء و قطعات مکانیکی و متحرک دارد که به دنبال آن استهلاک، نیاز به تعمیر و سرویس مطرح میگردد. با اندازه‌گیری فلو از طریق فشار می‌توان اجزا و قطعات مکانیکی متحرک را حذف نموده، دوام و استحکام اندازه‌گیر را بالا برد. بعلاوه چنین طراحی معمولا ساده‌تر و ارزانتر می باشد.

یک سیال تحت فشار و در حال حرکت در یک لوله دارای سه نوع انرژی است. انرژی پتانسیل، انرژی جنبشی و انرژی فشاری. انرژی پتانسیل سیال نسبت به یک سطح مبنا سنجیده می‌شود و اگر لوله افقی باشد ثابت است. انرژی جنبشی، ناشی از حرکت و جریان سیال است و متناسب با مجذور سرعت می باشد. انرژی فشاری نیز ناشی

از فشار سیال است و بصورت فشار در سیال ذخیره می‌شود. قانونی برنولی که در واقع اصل بقای انرژی در سیالات است رابطه این انرژی را به صورت زیر بیان می‌دارد:

جمع انرژی جنبشی، انرژی پتانسیل و انرژی فشاری در یک سیال ثابت است.

بنابراین با ثابت بودن انرژی پتانسیل اگر انرژی جنبشی افزایش یابد، آنگاه انرژی فشاری کاهش خواهد یافت. به بیان دیگر اگر سرعت سیال (انرژی جنبشی) را افزایش دهیم، فشار (انرژی فشاری) کاهش می‌یابد. روابطی که در اندازه‌گیری فلو از طریق فشار مورد استفاده قرار می‌گیرند. عبارتند از:

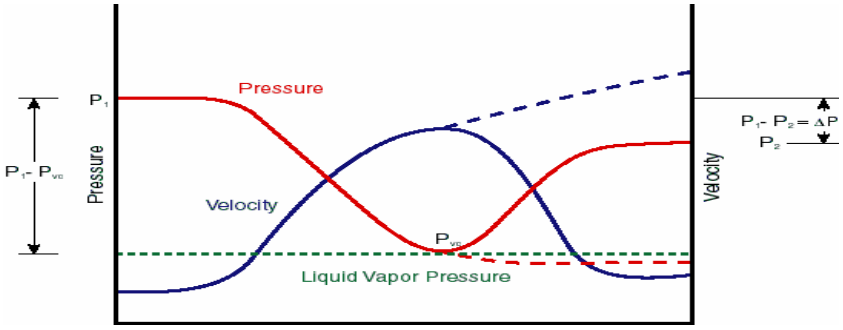
$$V = K.\sqrt{\frac{\Delta P}{\rho}}$$

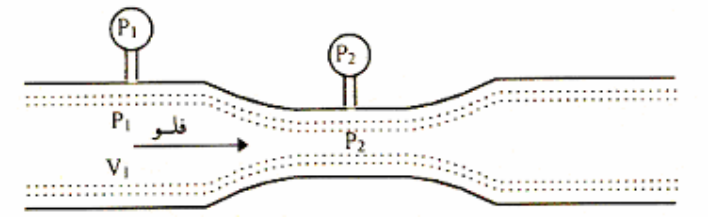
$$Q = K.A.\sqrt{\frac{\Delta P}{\rho}}$$

$$M = K.A.\sqrt{\rho.\Delta P}$$

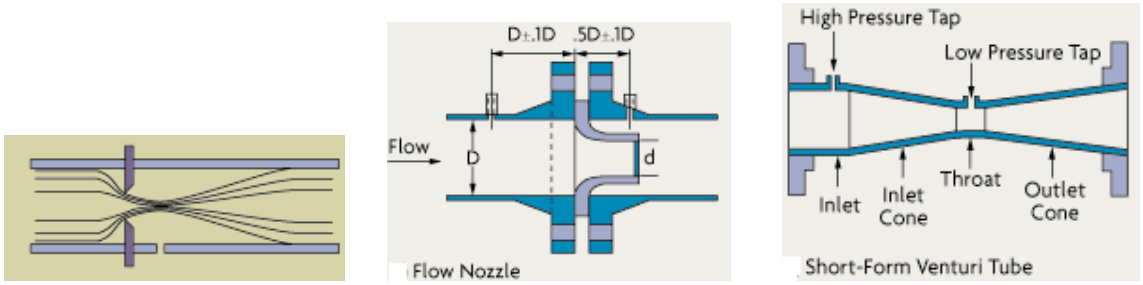
در روابط فوق K ضریب ثابت است، Q و M به تریب دبی حجمی و دبی جرمی می‌باشند. ρ چگالی سیال است و A سطح لوله‌ای است که سیال از عبور می‌کند. ΔP نیز اختلاف فشار می‌باشد.

طرح کلی یک فلومتر لوله وانتوری در شکل(2-59) آمده است. در این طرح در مسیر عبور سیال در داخل لوله یک مانع به صورت روزنه(orifice) ایجاد می‌شود. دبی حجمی سیال در سراسر لوله ثابت است بنابراین سرعت سیال بلافاصله بعد از خروج از روزنه افزایش می‌یابد تا دبی حجمی را ثابت نگه دارد و این به معنی افزایش انرژی جنبشی در سمت راست روزنه است و اصل برنولی لازم می‌دارد تا فشار در سمت راست کاهش یابد. این امر موجب اختلاف فشار در دو طرف روزنه می‌شود. با اندازه‌گیری اختلاف فشار و استفاده از روابط بالا می‌توان دبی حجمی یا جرمی را محاسبه نمود. در شکل ذیل چگونگی تغییرات فشار و سرعت در طول لوله نشان داده شده است. فشار و سرعت سیال در قبل از روزنه عادی و به ترتیب برابر P_1 و V_1 می باشند. به محض رسیدن به روزنه مقطع عبور کوچک می شود و برای ثابت ماندن دبی، سرعت می‌بایستی افزایش یابد و این امر طبق قانون برنولی منجر به افت فشار در مجاورت سمت راست روزنه میشود. در نقطه‌ای مانند B، سرعت سیال ماکزیمم و فشار آن مینیمم است (P_2). محل نقطه B بستگی به نسبت قطر روزنه به قطر داخلی لوله دارد. مطابق نمودار در فاصله‌ای دورتر از سمت راست روزنه فشار و سرعت مجددا به حوالی مقدار عادی در سمت چپ می رسند. با اندازه‌گیری P_1 و P_2 و محاسبه $\Delta P = P_1 - P_2$ و استفاده از روابط فوق می توان دبی سیال را تعیین نمود. در طرح اینگونه فلومترها نسبت قطر روزنه به قطر لوله برای مایعات حدود 0/15 الی 0/75 و برای گازها حدود 0/02 الی 0/07 در نظر گرفته می‌شود. دارای اهمیت است.





شکل(2-59): طرح کلی فلومتر لوله وانتوری

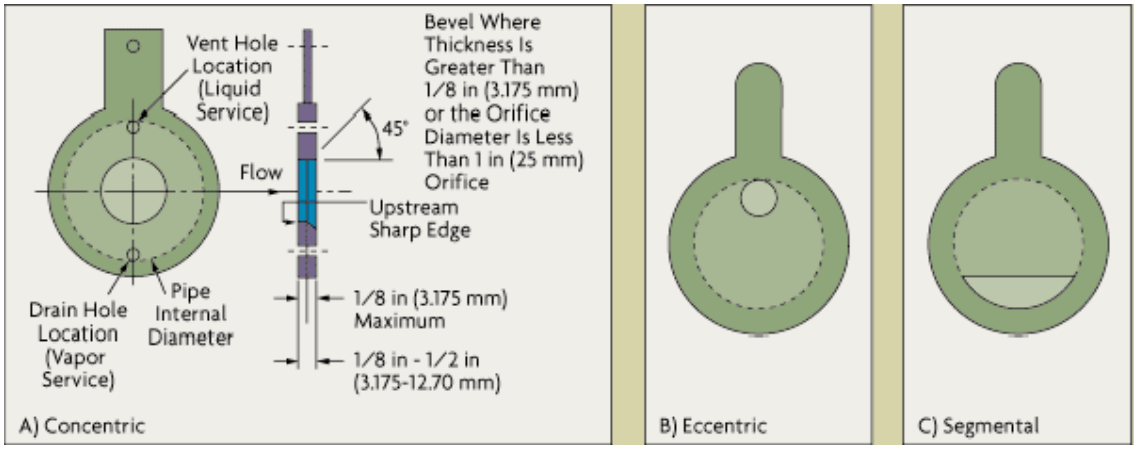


(الف) (ب) (ج)

شکل(2-60): اشکال مختلف ارفیس و چگونگی نصب آن در مسیر لوله

مانع معمولا بصورت روزنه (orifice) شکل (2-60- الف) یا بصورت نازل شکل (2-60-ب) یا به صورت لوله وانتوری شکل (2-60-ج) ساخته می‌شود. اثر لوله وانتوری در مختل کردن جریان سیال و تلفات انرژی کمتر از دو نمونه دیگر است اما قیمت آن بیشتر می‌باشد.

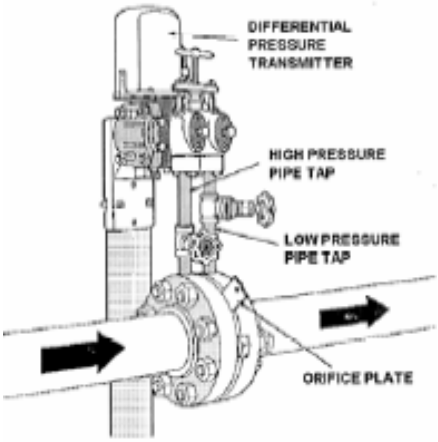
شکل ارفیس پلیت بستگی به نوع پروسه مختلف می باشد بطوری که در شکل (2-61)نشان داده شده است.



(ج) (ب) (الف)

شکل(2-61)ارفیس پلیت بر اساس مواد عبوری از مسیر

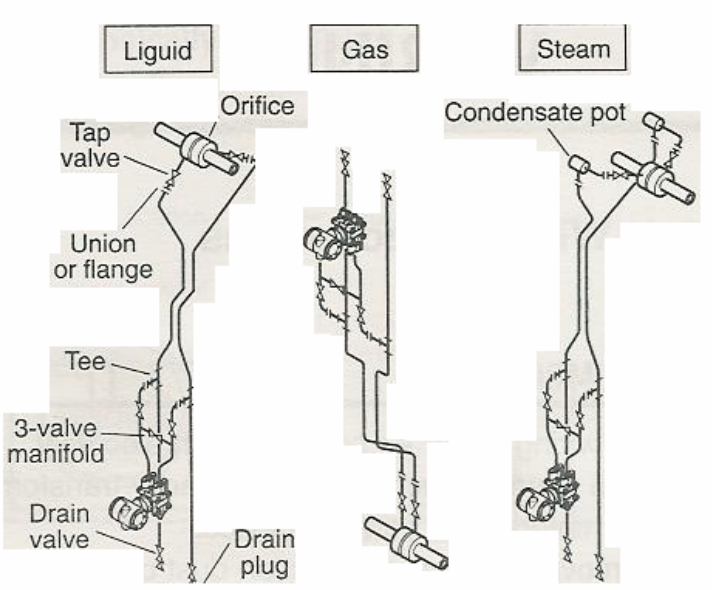
(الف) برای سیالهای رسوبنده و(ب) برای سیالهای گازدار استفاده می شوند.محل نصب باید حداقل بین 10تا15برابرقطر لوله از نزدیکترین اتصال فاصله داشته باشد.چگونگی نصب در محل در شکل(2-62) نشان داده شده است.



شکل(2-62):محل نصب ارفیس پلیت در مسیر

محلی که برای اتصالات جهت نمونه برداری در دو طرف ارفیس در نظر گرفته می شود کمتر از 10سانتی متر است چون در فاصله های بیشتر سیستم متعادل شده وهم فشار می گردد.

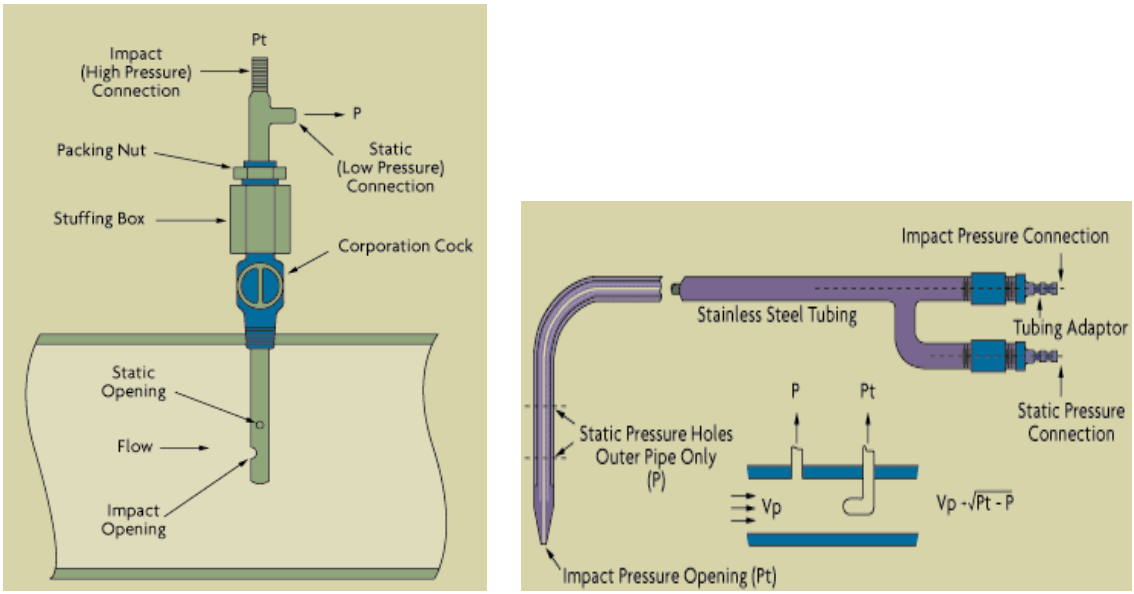
محل نصب ترانسمیتر فشار بر اساس نوع پروسه در حال عبور از مسیر بصورت شکل(2-63) نصب می گردد.



شکل(2-63):محل نصب ترانسمیتر بر اساس مواد عبوری از مسیر

روش استفاده از ارفیس پلیت ممکن است باعث ایجاد گرفتگی در مسیر وجهت قرار دادن باید در مسیر از فلنچ هائی استفاده شود.

برای رفع مشکل فوق می توان از pitot tubeاستفاده نمود(شکل(2-64)) بطوری که قرار دادن یک لوله در داخل یک جریان ،تولید فشار دراین لوله می کند که(فشار برخورد نامیده می شود)این فشار خیلی بیشتر از فشار جریان جانبی است (فشار استاتیک).همچنانکه سرعت (جریان)یک مایع بالا می رود ،فشار برخورد افزایش می یابد، در صورتی که فشار استاتیک اینگونه نیست. اختلاف بین فشار برخورد وفشار استاتیک برای لوله پیتوت بر قرار شده وآنرا از رابطه $\Delta V_P = K\sqrt{P_t - P}$ بدست می آورند.



شکل(2-64):شکل اندازه گیر فلو از نوع pitot tube

لوله پیتوت برای اندازه گیری جریان گاز بخوبی کار می کند .در حقیقت به مدت طولانی بعنوان سنسور در بعضی هواپیما ها برای نمایش سرعت هوا استفاده می شده است . همچنین در کاربرد های پزشکی برای اندازه گیری فشار خون استفاده می گردد. گر چه ،در محیط های صنعتی اگر مایع ذراتی داشته باشد ممکن است گیر کند و یا خورده شود.

2–5–4 اندازه‌گیری فلو به روش آلتراسونیک

به امواج صوتی با فرکانس های بیشتر از 18کیلو هرتز امواج آلتراسونیک گویند(فرکانس بالای شنوائی انسان)

از امواج آلتراسونیک میتوان جهت اندازه گیری کمیت های زیادی استفاده نمود ،در زیر دونمونه کاربردهای آنرا در اندازه گیری فلو بیان شده است.

2–5–4–1 فلومتر با اندازه گیری زمان انتقال پالس (Transit_time ultrasonic flow meter)

در این اندازه گیرترانسدیوسرها کریستالهای پیزو الکتریک بوده که قادرند ارسال و دریافت سیگنالهای مافوق صوت را انجام دهندآنها ممکن است در محدوده مگاهرتزی کار کنندواین مبدل ها تحت زاویه θ نسبت به محور نصب می شوند هرکدام فرکانسی را ارسال نموده،با توجه به جهت حرکت امواج مافوق صوتی(هم جهت با حرکت مواد ومخالف آن)اختلاف زمانی بین ارسال ودریافت موج ایجاد میشود که مبنای خوبی جهت اندازه گیری فلو در لوله می شود.

مدت زمان عبور موج از لوله، بستگی به مشخصات لوله و جنس سیال عبوری دارد که در یک اندازه‌گیری خاص، ثابت می‌باشند ودر کالیبراسیون دستگاه منظور می‌گردند. همچنین این مدت زمان، بستگی به جهت و سرعت عبور سیال در لوله نیز دارد.اگر مدت زمان رفت وبرگشت را بترتیب T_d, T_u باشد داریم:

$$T_d = \frac{L}{c + v\cos\theta} \qquad \text{و} \qquad T_u = \frac{L}{c - v\cos\theta}$$

که در آن: c:سرعت امواج داخل سیال v :سرعت سیال L: فاصله بین فرستنده وگیرنده

θ:زاویه بین امواج ومحور اصلی

بنابراین با اندازه‌گیری فاصله زمانی بین ارسال موج توسط فرستنده و دریافت آن بوسیله گیرنده، می توان سرعت سیال و در نتیجه میزان فلو رااز روابط زیر بدست آورد.

$$\Delta f = f_u - f_d = \frac{2v\cos\theta}{L}$$

$$Q = v.A$$

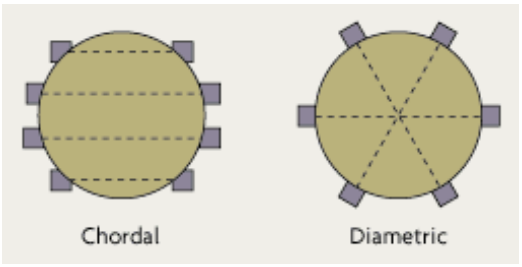
مزیت عمده اینگونه اندازه‌گیرهاعبارتند از:

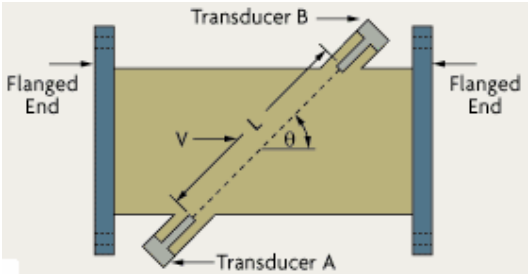
1- هیچگونه اثری بر روی کمیت مورد اندازه‌گیری ندارند

2- دقت اندازه گیر $\pm 0.5\%$

3- سرعت خوبی دارد

البته این مزیت در برابر هزینه و پیچیدگی بیشتر بدست می‌آید. طرح فلومتر بروش آلتراسونیک در شکل (2-65) آمده است.





شکل(2-65): فلومتر بروش آلتراسونیک نوعZ

کاربرد فلومتر نوع Z :

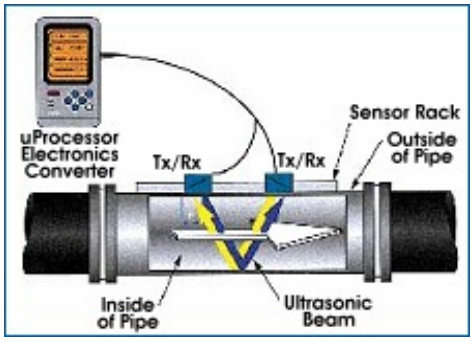
-زمانیکه محدودیت جا داشته باشیم

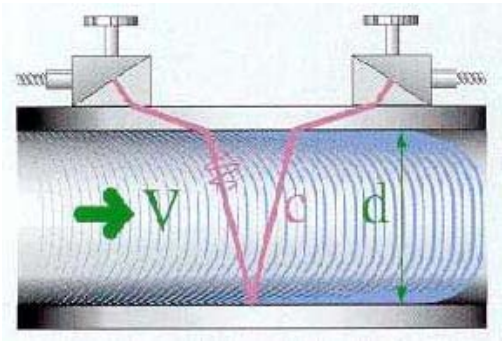
- زمانیکه سیال کدر(ذرات معلق) داشته باشد

- وقتی سطح داخلی لوله جرم داشته باشد

این روش برای لوله های باریک پیشنهاد نمی شود.

روش دیگری ازنوع زمان انتقال پالس نوعVبوده که در شکل (2-66) نشان داده شده است در این روش ترانسدیوسرها در یک طرف محل اندازه گیری قرار گرفته وفاصله آنهادر حدود قطر لوله است بطوری که سیگنالهای ارسالی از ترانسدیوسرهاپس از برخورد به طرف دیگرمسیر بازتابش شده وتوسط دیگری دریافت می گردد.





شکل(2-66): فلومتر بروش آلتراسونیک نوعV

مقدار سرعت در این اندازه گیر از رابطه زیر بدست می آید.

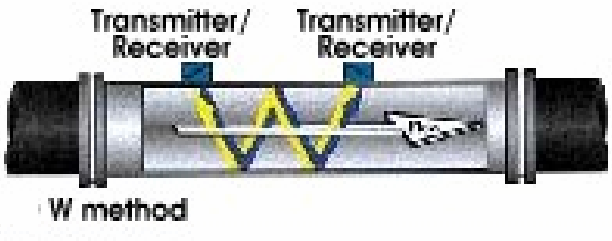
$$V = \frac{k.d.\Delta T}{\sin 2\theta.(T_0 - \tau)^2}$$

که در آنk مقدار ثابت ،v سرعت مواد عبوری،d قطر لاین، θ زاویه برخورد سیگنال به لاین با محور عمودی، T_0:زمان انتقال سیال در فلوی ثابت، ΔT: اختلاف بین زمان ارسال ودریافت، τ:زمان انتقال سیگنال از طریق دیواره داخلی لوله

نوع دیگراین فلو مترWاست که معمولا در لوله های 1.5~O.5اینچ استفاده می شود .دارای محدودیتهای زیر است.

- در لوله های رسوب دار خطا ایجاد می شود
- تیرگی مایع(ذرات معلق)خطا ایجاد می کند.

در شکل (2-67) اساس کار نشان داده شده است.



شکل (2-67): فلومتر بروش آلتراسونیک نوعW

2-4-5-2 فلومتر آلتراسونیک داپلر (Doppler-shift ultrasonic flow meter)

این روش را در صورتی که ذرات یا حباب در تمام حجم سیال وجود داشته باشد می توان استفاده نمود.اساس کار این است که امواج ما فوق صوت $(0.5Mhz - 20Mhz)$ ارسال شده از فرستنده به سمت گیرنده توسط حرکت ذرات وحباب ها تغییر فرکانس (در اثر انعکاس) می یابد این تغییر فرکانس ملاک اندازه فلو عبوری است.(شکل(2-68))

از رابطه زیرمی توان فلو را اندازه گیری نمود.

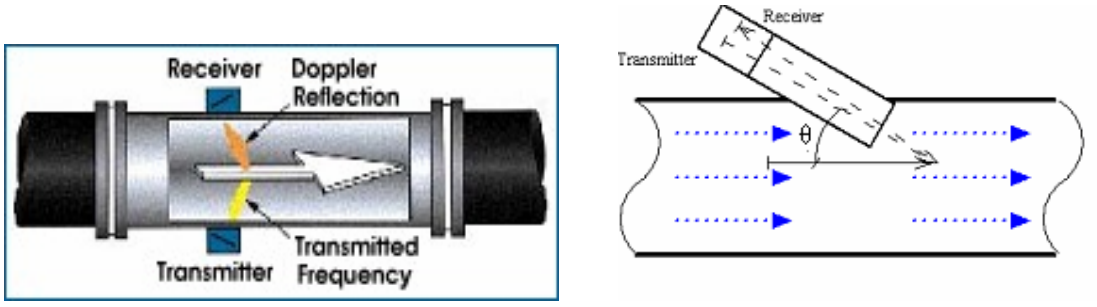
$$V = \frac{c.\Delta f}{2 f_t . \cos\theta}$$

Δf:اختلاف فرکانس

c:سرعت سیگنال ارسالی

f_t :فرکانس سیگنال ارسالی

θ:زاویه امواج ارسالی وحرکت سیال



شکل (2-68): فلومتر بروش آلتراسونیک نوع داپلر

مشخصات این ا ندازه گیر:

1- سیستم الکترونیکی ساده ای دارد(از عنا صر پیزو الکتریک استفاده شده)

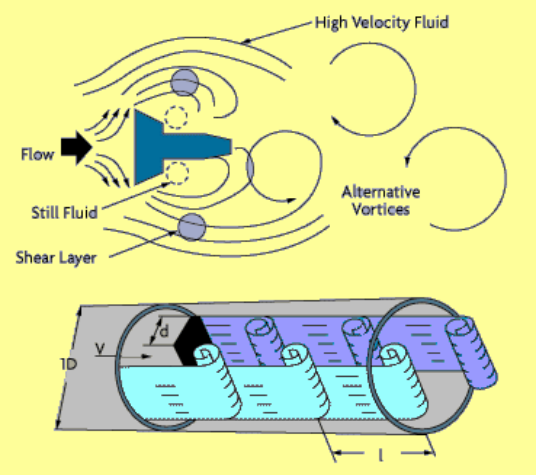
2- ارزان بودن

3- دقت سیستم به عواملی چون ضخامت دیواره لوله،تعداد واندازه ذرات معلق در سیال بستگی **دارد.**

4- بیشتر بعنوان نمایشگر استفاده می شود.

2-5-5 اندازه گیر فلو گردابی (Vortex flow meter)

در این نوع اندازه گیر با قرار دادن مانع در برابر عبور جریان گردابهایی بوجود می آورند همانطور که در شکل (2-69) نشان داده شده با فاصله مشخص ودر دو گروه مشخص بطوریکه هر گرداب در یک گروه بین دو گرداب گروه دیگر قرار میگیرد.



شکل (2-69):اساس کار فلومتر بروش گردابی

همانطور که در شکل نشان داده شده L: فاصله بین گردابها در هر گروه و فاصله بین هردوگروه d است.

در این اندازه گیر فرکانس امواج سیال برابرتعداد گردابهائی ا ست که در هر ردیف بعد از مانع در هر ثانیه ایجاد می گردد. ازرابطه زیر می توان فلو سیال را بدست آورد.

$$Q = V_1 . A_1 = \left(\frac{\pi}{4} D^2 - D.d \right) \frac{f.d}{S}$$

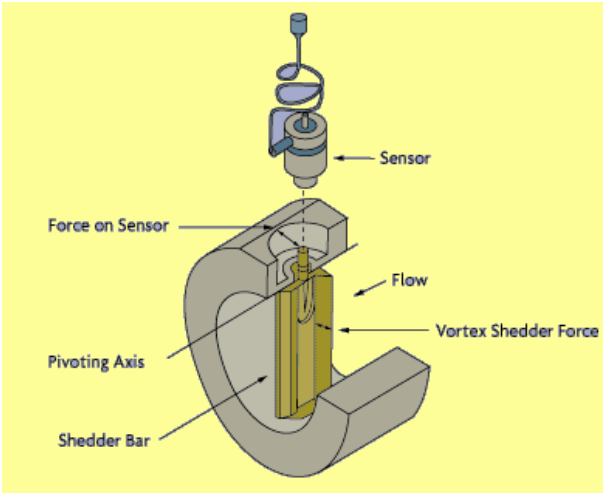
در رابط فوق داریم:

D: قطر لوله A_1:سطح مقطع در محل قرار گرفتن مانع

V_1: سرعت سیال در محل قرار گرفتن مانع d: عرض جسم مکعب

S: عدد استروهال (0.18-0.25) f : فرکانس امواج سیال

در شکل(2-70)چگونگی نصب مانع نشان داده شده است.



شکل (2-70): فلومتر بروش گردابی

کاربردها:

1- قطر لوله این فلومتر بین 5تا 20 سانتی متر ساخته می شود

2- سیگنال خروجی این فلو متر معادل با فرکانس متناوب مسیر سیال است که می توان مانند فلومتر توربینی اندازه گیری شود با این تفاوت که در این اندازه گیر احتیاج به قطعه متحرک نیست.

محاسن:

1- دارای بازده ودوام زیاد است (چون قسمت متحرک ندارد)

2- دقت دستگاه برای سیالات حدود $\pm 0.75\%$ وبرای گازها حدود $\pm 1.5\%$ می با شد.

عیب:

افت فشار استاتیکی مانند فلو متر توربینی دارد

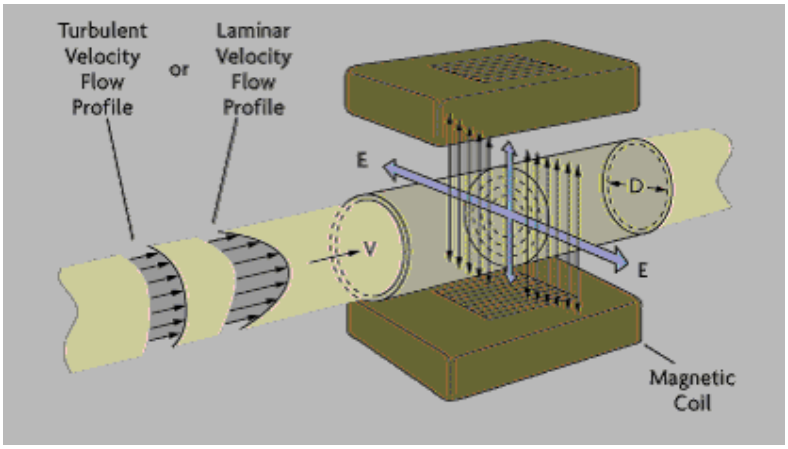
2-5-6 اندازه گیر فلو از نوع الکترومغناطیسی(Electromagnetic Flowmeters)

اساس کار این فلومتر قانون فارادی است که می گویداگر یک هادی به طول L وبا سرعت v عمود بر میدان مغناطیسی با چگالی B حرکت کند ولتاژی القا می شود که از رابطه زیر محاسبه می شود.

$$E = B.V.L$$

در شکل (2-71) یک فلومتر مغناطیسی نشان داده شده است در این شکل اگر Dفاصله بین دو الکترود و $V = \frac{Q}{A}$ و $A = \frac{\pi D^2}{4}$ باشد داریم:

$$Q = \frac{E.\pi.D}{4.B}$$



شکل (2-71):اساس کار فلومتر مغناطیسی

اندازه گیری فلودر این اندازه گیراحتیاج به یک قسمت لوله غیر هادی است ،آستر کردن یک لوله فلزی با یک ماده غیرهادی نیز کار می کند.اینکه چه ماده ای بایستی استفاده کرد بستگی زیادی به درجه حرارت وخورندگی مایع دارد.در این اندازه گیر مایع هادی خطوط میدان مغنا طیسی را قطع می کند، ولتاژ ایجاد شده توسط الکترودها دریافت که بصورت خطی ومستقیما با سرعت جریان،قدرت میدان مغناطیسی و قطر لوله متناسب است.

در این اندازه گیر تغذیه مغناطیس الکتریکی ممکن است مساله ساز باشد .استفاده از ولتاژ dcممکن است باعث شود که مایع های با هدایت کم پلاریزه شده ودر اطراف پیک آپ های الکتریکی قرار بگیرند واثرشان را کاهش دهند. تحریک با ولتاژ acنیز می توان استفاده کرد اما باعث تولید خروجی acشده واثر خازنی مربوط به مایع خروجی را کاهش می دهد .بهترین راه استفاده ازولتاژ(جریان) dcپالسی است گرچه درایو پیچیده تر ومدارهای حس کننده بیشتر وحساس تری مورد نیاز است.

مزایا:

1- عدم افت فشاروعدم بارگذاری بر جریان مایع(چون الکترودها سر راه جریان نیستند)
2- عکس شدن جهت جریان مایع بسادگی قابل آشکار شدن است.
3- هیچگونه گرفتگی یا امکان شکستن قطعه ای نیست
4- دقت آن حدود $\pm 1\%$ است

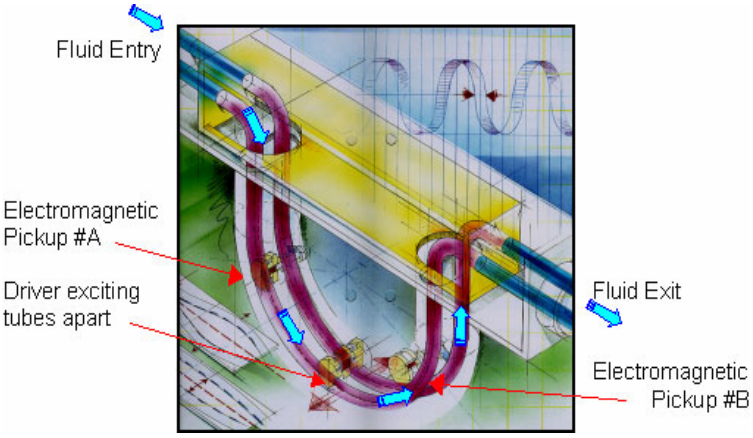
خصوصیات وموارد استفاده این اندازه گیر:

1- این اندازه گیر برای اندازه گیری فلو مایعات که قابلیت هدایت آنها بزرگتر از $10\frac{\mu.mho}{cm}$است استفاده می شود .(برای موادی که بصورت دوغاب است استفاده می شودوکاربردی جهت مایعات هیدروکربنی و گازها ندارد)
2- سرعت سیالات مورد اندازه گیری بین $0.5\frac{m}{s}$ تا $10\frac{m}{s}$ است.
3- تلفات انرژی در این اندازه گیرکمتر از $30w$ است.

2–5–7 اندازه گیر فلو با اثر کوریولیس(mass flowmeters)

در این اندازه گیر معمولا دبی جرمی بجای دبی حجمی اندازه گیری می شود (دبی جرمی برابر است با حاصلضرب دبی حجمی در چگالی)

در این اندازه گیر سیال به جرم m با سرعت v در مسیر طوری حرکت می کند که خود مسیر با سرعت زاویه ای ω در حال حرکت می باشد.همانطور که در شکل (2-72)نشان داده شده جهت ایجاد نوسانات مسیر یک یا دو عدد کویل متحرک مغناطیسی در لوله U شکل تعبیه شده است.



شکل (2-72):اساس کار فلومتر بروش کوریولیس

در صورتیکه در مسیر سیال عبور کندباعث ایجاد نیروی کوریولیس می شود این نیرو باعث نا هماهنگی در نوسانات منظم در طول مسیر می شود برای آشکار سازی این نوسانات نامنظم دو عددآشکار ساز در مسیر قرارمی دهند.

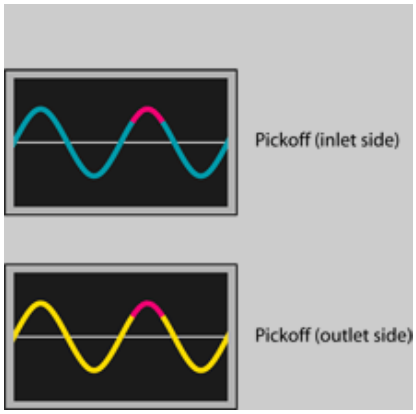
آشکار سازها هر کدام سیگنالهای سینوسی ایجاد می کنند که با هم اختلاف فاز دارند این اختلاف زمان ملاک اندازه گیر ی می شود.(شکل(2-73))با توجه به رابطه زیر:

$$\dot{M} = \frac{C}{8r^2} \cdot \Delta t$$

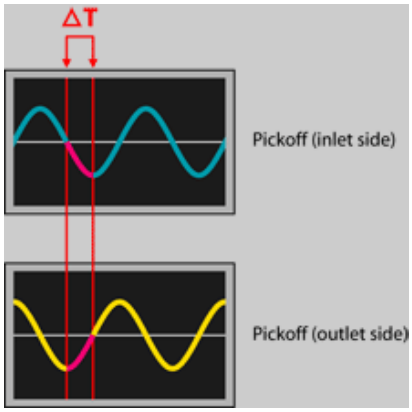
Δt:اختلاف فاز بین دو آشکارساز

C: ضریب الاستیکی لوله

r: شعاع لوله Uشکل



(الف)



(ب)

شکل (2-73): الف: منحنی مشخصه قبل از ورود فلو
ب: منحنی مشخصه بعد از ورود فلو

یک نمونه فلو متر عملی در شکل(2-74) نشان داده شده است.

شکل (2-74): فلومترنوع کوریولیس(mass flowmeter)

2-5-8 اندازه گیر فلو جامدات

موادجامد معمولاتوسط نوارهای نقاله جابجا می شوند .ماسه،خاک،چغندرقند،گندم،و..... نمونه هایی از این قبیل می باشند .فلو مواد جامد می تواند بصورت حجمی یا جرمی اندازه گیری شود .

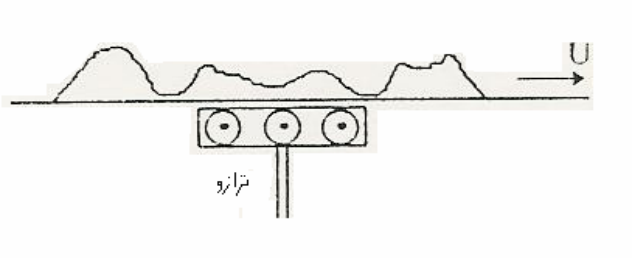
اندازه گیری دبی حجمی در صورتیکه حجم مواد موجود بر واحد طول (V)نوار نقاله مشخص باشد به سادگی با داشتن سرعت نوار(v)نقاله طبق رابطه زیر بدست می آید.

$$Q = V.v$$

در صورتیکه دبی وزنی را بخواهند داریم:

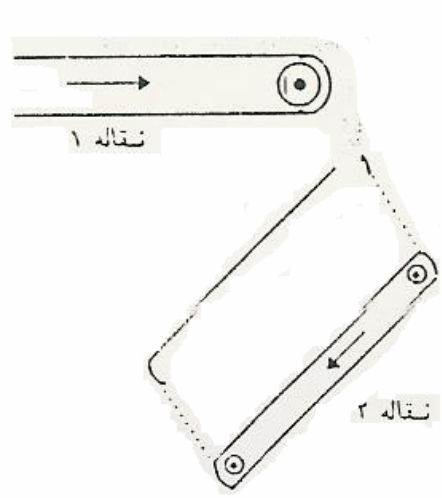
$$Q = M.v$$

همانطور که در شکل(2-75)نشان داده شده است برای اندازه گیری وزن مواد جامد که شکل نامنظمی دارند وروی نوار نقاله در حرکت هستند چون دبی لحظه ای متغیر است از چند سنسور جهت اندازه گیری استفاده می شود ودر انتها با انتگرالگیری، دبی متوسط اندازه گیری می شود.



شکل (2-75):اندازه گیر وزن از روش انتگرا لی

دقت اندازه گیری در روش فوق کم است در شکل (2-76)روش دیگر بیان شده است.



شکل (2-76):اندازه گیر وزن از روش کوپل نیرو

در این روش نقاله 1مواد را بر روی نقاله 2تخلیه می کند نقاله2 باسرعتی ثابت توسط یک موتور سنکرون حرکت می کند .چون سرعت موتور سنکرون ثابت است هر چه وزن مواد تخلیه شده بر روی نقاله 2بیشتر باشد موتور مجبور به تولید کوپل بیشتری است .از تغییرات کوپل ایجاد شده وزن مواد بدست آمده وبا داشتن سرعت نوار نقاله می توان دبی وزنی را بدست آورد.

2–6 –کنترل سطح و روشهای اندازه‌گیری آن

کنترل سطح از فعالیتهای مهم در اتوماسیون پروسه‌های صنعتی می‌باشد، هدف از کنترل سطح ،تعیین نسبت یا میزان یک یا چند ماده در یک مخزن است.

در زیر چند نمونه از مواردی که کنترل سطح در آن الزامی است بیان شده است.

- جلوگیری از سر ریز شدن مواد از مخزن که باعث ایجاد خسارت به محیط می شود.
- جهت کنترل صحیح پروسه چون میزان سطح مخزن باعث کم و زیاد شدن فشار شده وسیستم را بسمت ناپایداری سوق می دهد.
- کم وزیاد شدن بیش از حد لول(Level) باعث اخلال در جدا سازی در برجها می شود.
- کم شدن بیش از حد لول باعث اخلال در سیستمهای کنترلی (پمپ هاو.....) می شود.
- خالی شدن لوله ها در هیتر ها باعث صدمه زیاد به سیستم می شود

اندازه سطح پروسه را می توان برحسب طول ،درصد ،وزن ،حجم و..... بیان نمودکه همه مواردرحین کالیبره نمودن ترانسمیتر انجام می شود.

چند نمونه ازعواملی که در انتخاب اندازه گیرهای سطح موثر است عبارتند از:

الف: حداکثر وحداقل دما

ب: حداکثر وحداقل فشار

ج: شکل هندسی مخزن(تانک)

د: جنس بدنه مخزن

ه:مواد شیمیایی پروسس

و: میزان رطوبت برای جامدات گرانولی

ز: سرعت وقدرت همزن

ح: نحوه تغییرات سرعت صوت در ماده مورد نظر

ط: میزان هدایت الکتریکی ماده مورد نظر

ی: مقرون به صرفه بودن

اندازه گیری سطح به دو صورت کلی انجام می شود که عبارتند از:

1-روش مستقیم 2- روش غیر مستقیم

در روش مستقیم با مشاهده خود ماده مورد اندازه گیری سطح اندازه گیری می شود.

در روش غیر مستقیم با اندازه گیری یکی از موارد مانند فشار ،مقاومت، نیروی ارشمیدوس و..... لول را اندازه گیری می کنند.

اندازه گیر های سطح به دسته های زیر تقسیم می شود.

1- اندازه گیر های ارتفاع از روش مکانیکی
2- اندازه گیر های ارتفاع از روش تغییرات فشار
3- اندازه گیر های ارتفاع از روش الکتریکی
4- اندازه گیر های ارتفاع از روش نوری

2–6–1 – اندازه‌گیری سطح از روش مکانیکی

در این روش تغییر در سطح مواد باعث تغییر در وضعیت عنصر اندازه گیر شده ،این تغییر وضعیت ملاکی جهت اندازه گیری است.به دسته های زیر تقسیم می شود.

1- اندازه گیری لول با استفاده ازشناور(Floater)
2- اندازه گیری لول با استفاده ازSight glass
3- اندازه گیری لول با استفاده ازDisplacer

2–6–1–1 اندازه گیری لول با استفاده ازشناور(Floater)

این اندازه گیر بر اساس قوانین فیزیکی،نیروی فشار مایعات،خاصیت الکترومغناطیسی، جذب ودفع قطبهای غیر همنام وهمنام طراحی شده است.یک نوع از این اندازه گیر لول گیج نام دارد.بدنه آن لوله استوانه ای شکل می باشد که از ناحیه فلنجها ی مربوطه به صورت عمودی بر روی مخازن وصل می گردد.

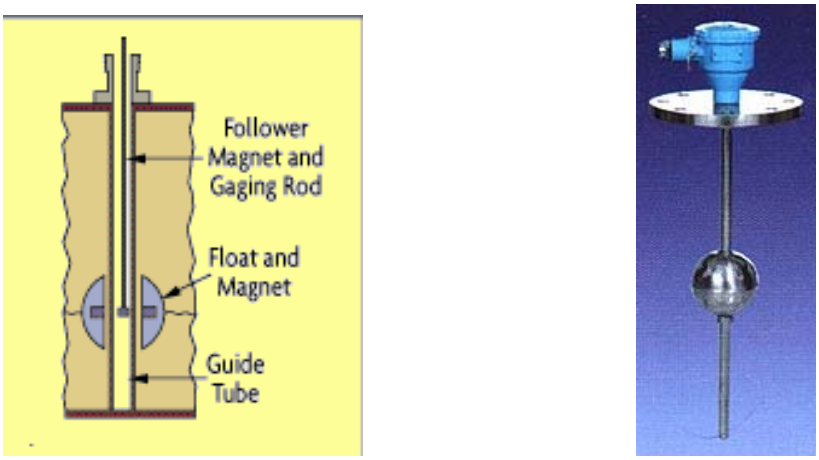
مایع درون مخزن از دو نازل به داخل لوله استوانه ای هدایت شده وفلوتر دارای خاصیت آهنربای دائمی راشناور می سازد .با تغییر سطح مایع،فلوتر به حرکت درآمده ودر اثر قوانین فوق الذکر وتغییر رنگ غلطکها، سطح مایع مخزن نشان داده می شود.نمونه ای از این لول گیج در شکل (2-77) نشان داده شده است.

در بعضی مواقع بجای گروه حلقه می توان یک حلقه قرار داد که با بالا رفتن لول حلقه به همراه فلوتر بالا وپایین می رود.

شکل (2-77): اندازه گیر لول از نوع شناوری

کاربرد این اندازه گیرها برای لول درام ها، بویلرها وسایر تانکهایی که دارای فشار پایین می باشند است.اگر بخواهیم فرمانهایی را جهت stop و start نمودن پمپها یا آلارم جهت اطلاع اتاق کنترل ارسال گردد میتوان از سوئیچهایی(سنسور لول) استفاده نمود تا در موقع لازم پمپ ها را onوoffنماید.

نوع دیگری از این اندازه گیر در داخل محل مورد نظر قرار می گیرد وبه ازای تغییر سطح، فلوتر مغناطیسی جابجا شده و باعث حرکت پیستون آهنی و انتقال لول درام به ترانسمیتر می شوددرترا نسمیتر ، 4-20maایجاد می گردد و بطور پیوسته به اتاق کنترل ارسال می گردد.در شکل(2-78)اسا س کار این اندازه گیر نشان داده شده است.



شکل (2-78): ترانسمیتر لول از نوع شناوری

در شکل (2-79)انواع اندازه گیر های مغناطیسی و محل نصب آنها درمخزن ها نشان داده شده است.

شکل (2-79): محل نصب اندازه گیر لول از نوع شناوری

مزایا :

بدلیل عدم ارتباط مکانیکی و الکتریکی بین قطعات داخل و خارج آن،این دستگاه با امنیت بیشتری قابل نصب است.

1- امکان دید ازفواصل دور(درحالت حلقه ای)
2- قابل استفاده در حرارت بالا وفشار کاری متوسط
3- قابل ساخت در طولهای مختلف
4- دارای قابلیت ارسال فرمانهای مختلف

معایب

1- قابل استفاده در فشار بالانیست

2- دانسیته سیال بایدبین 3 – 0.6 (کیلوگرم برمتر مکعب) باشد

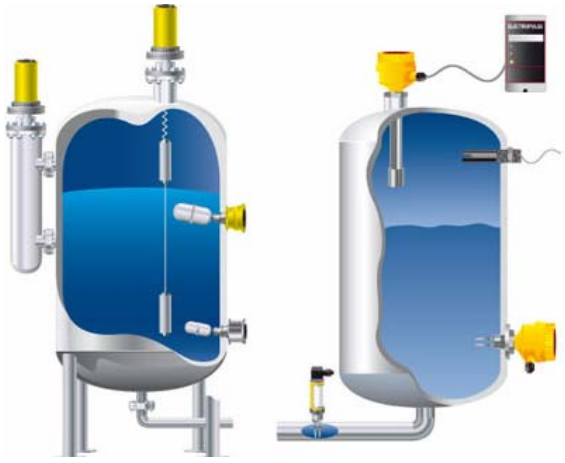
3- برای اندازه گیری لول مواد باویسکوزیته بالا استفاده نمی شود

در مواقعی که ارسال پیوسته اطلاعات برای اپراتورالزامی نباشدیا اینکه جهت اطمینان بیشترازلول ترا- نسمیتر نصب شده در محل از لول سوئیچ استفاده می شود. درلول سوئیچ ها تغییر سطح مایع موجب حرکت فلوتر میشود حرکت فلوتر باعث عمل نمودن لیمیت سوئیچ شده و فرمانهای مورد نیاز به مدار الکتریکی جهت کنترل آلارمها و دستگاههایی نظیر سلونوئید هاو الکتروموتورها ارسال می گردد.

لیمیت سوئیچ های تعبیه شده دارای دو کنتاکت (اتصال)یکی باز(NO)ودیگری بسته (NC)می باشد که بر اساس نوع کاربرد،آنها را می بندند.یکی از حالتها که در صنعت کاربرد زیادی داردابن است که سوئیچ پائینی که اصطلاحا LSL(level swich low) می نامند راNOو بقیه راNCمی بندند چون در صورتی که لول کمتر از LSLشود آلارم وفرمان مورد نظر ارسال و اگر لول بالا تر از حد سوئیچهای بالایی شد نیزآلارم وفرمان ارسال گردد،معمولا بستگی به حساسیت سیستم تعدادی سوئیچ بر روی مخزن استفاده می شود. نمونه ای از این اندازه گیرها درشکل (2-80)نشان داده شده است.

شکل (2-80): سوئیچ لول از نوع شناوری ونوع اتصال آن

محل نصب روی مخزن در شکل (2-81) نشان داده شده است.



شکل (2-81): محل نصب اندازه گیر لول وسوئیچ از نوع شناوری

محاسن:

1-بدلیل عدم ارتباط مکانیکی و الکتریکی بین قطعات داخل و خارج آن،این دستگاه با امنیت بیشتری قابل نصب است.

2-با جابجایی پین های تعبیه شده میدان بازی شناور را می توان کنترل نمود.

3-نوسانات و موجهای لحظه ای مایع باعث قطع و وصل مدار نمی شود.

4-عمر مفید دستگاه بالا است.

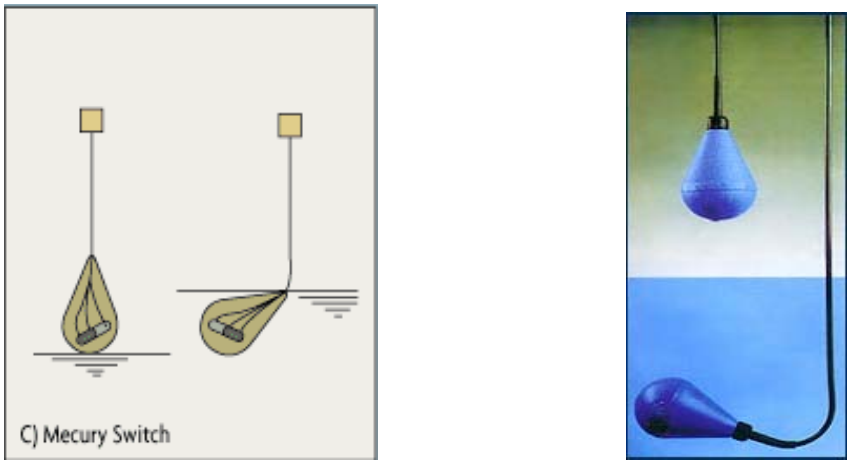
5-دستگاه در مقابل نفوذ سیال کاملا آب بندی شده است.

معایب:

1- معمولا برای سیستمهای کم فشار استفاده میشود

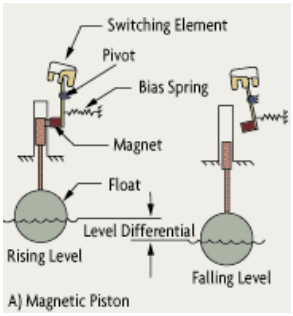
2- اطلاعات را بطور مدا وم ارسال نمی کند.

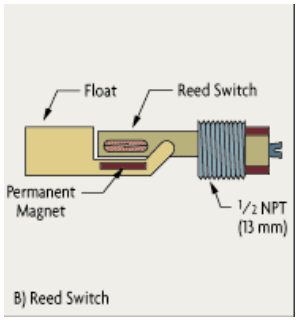
نوع دیگری از لول سوئیچ ها(Mercury switch)تشکیل شده است از دوشناور از جنس پروپیلن وکابل مربوطه از جنسPVCمخصوص می باشد که داخل آن ساچمه فلزی ویک عدد لیمیت سوئیچ تعبیه شده است .باتغییرسطح مایع،فلوتر تغییر وضعیت همانطور که در شکل (2-82) نشان داده شده میدهد وهر تغییر وضعیت باعث تغییر در کنتاکت ها می گردد که میتواند فرمانهایی را جهت ONوOFFشدن پمپها یاتغییر حالت سلونوئید ولوها گردد.



شکل (2-82): سوئیچ لول از نوع Mercury switch

در شکل(2-83) انواع لول سوئیچهای نوع فلوتری نشان داده شده است.

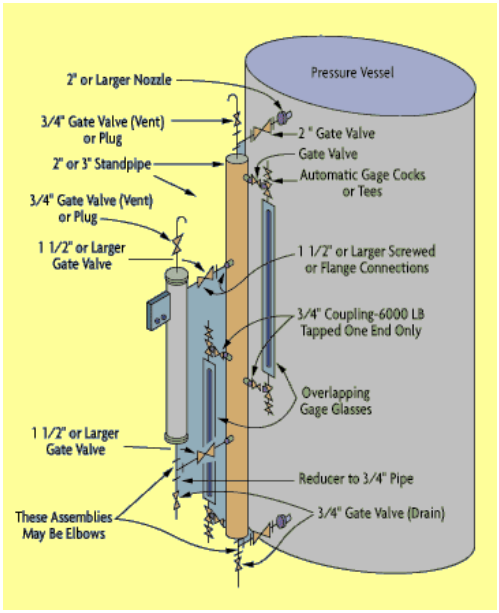




شکل(2-83): انواع لول سوئیچهای نوع فلوتری

2-1-6-2 اندازه گیری لول با استفاده از Sight glass

در مواقعی که فشار مخزن یا تاور (برج) بالا باشد جهت نمایش لول ، از نمایشگرهای شکل(2-84) استفاده میشود. بر روی این نوع نشانگرها سوئیچ جهت ارسال اطلاعات به اتاق کنترل یا انجام عمل دیگر نمی توان تعبیه نمود

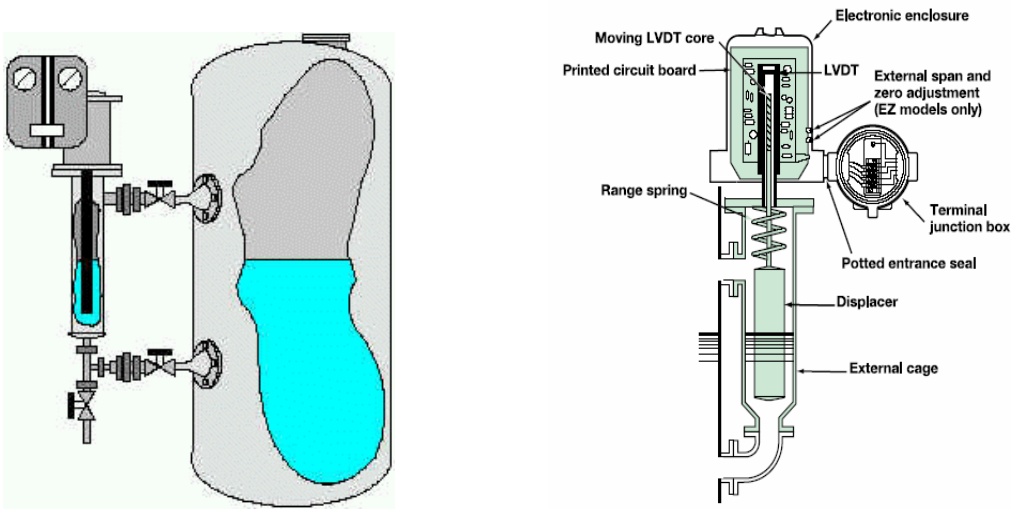


شکل(2-84): اندازه گیر لول با استفاده از Sight glass

این نوع اندازه گیر را بربدنه تاور یا مخزن نصب نموده ومایع داخل مخزن در آن وجود دارد.اگر ارتفاع تاور زیاد باشد معمولا از چند عدد نشانگر استفاده نموده وهمانطور که در شکل نشان داده شده نصب می کنند.

3-1-6-2 اندازه گیری لول با استفاده از Displacer

در این اندازه گیرها همانطور که در شکل (2-85) نشان داده شده است در اثر افزایش سطح در درام تغییرات دیسپلیسر خیلی جزئی است انتهای آن از طریق فنر وارد یکLVDTشده واز طریق آن آشکار سازی صورت می گیرد

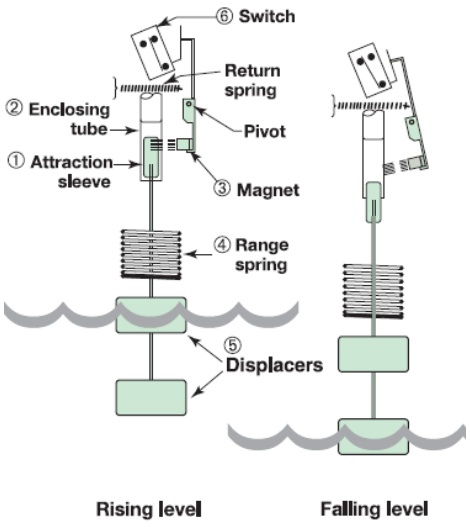


شکل(2-85): اندازه گیر لول با استفاده ازDisplacer

در شکل(2-79)محل نصب روی درام مشخص شده است.جهت کالیبره نمودن این ترانسمیتر ها معمولا آنرا در شرایط صفر(خالی)قرارداده وZeroآنرا اعمال نموده سپس در شرایط 100٪(پر از مایع داخل درام)وSpanآنراعمال می کنیم سپس آنرا در سرویس قرار می دهیم.

معمولا کاربرد لول ترانسمیتر های نوع دیسپلیسری را در مواردی اختلاف بین محل اتصال ها کمتر از 1/5متر باشد ا ستفاده میشود.

در صنعت لول سوئیچ های دیسپلیسری کاربرد زیادی دارد اساس کارش این است که بازای تعداد نقاط مورد نظر فلوتر ها را تنظیم کرده از طریق سیم اتصال آنرا به مبدل و ترانسمیتر نصب می نمایند نمونه ای از آن در شکل (2-86) نشان داده شده است.



شکل(2-86): لول سوئیچ های نو دیسپلیسری

در شکل فوق در صورتی لول بالا رود دیسپلیسر بسمت بالا حرکت کرده و باعث میشود آهنربا جذب گردد وانتهای آهنربا باعث تغییرکنتاکت گردد.باتعویض محل دیسپلیسر میتوان محل کنتاکت را تغییر داد.

محاسن:

- در طول های زیاد میتوان ساخته شود
- نوسانات و موجهای لحظه ای مایع باعث قطع و وصل مدار نمی شود.
- عمر مفید دستگاه بالا است
- مقرون به صرفه است

معایب:

- اطلاعات را بطور مدا وم ارسال نمی کند.
- معمولا برای سیستمهای کم فشار استفاده میشود

2–6–2 اندازه گیری لول بوسیله تغییرات فشار

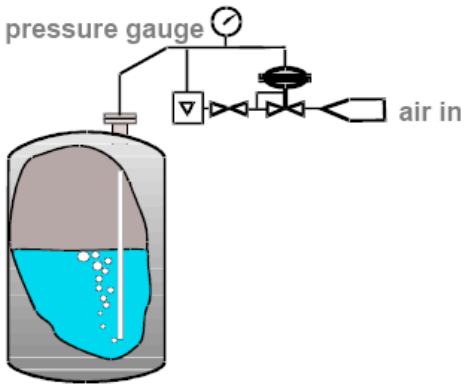
کاربرداندازه گیرهای مکانیکی بیشتر برای فشارهای کم ویا درحد متوسط است برای اندازه گیری لول تانک ها ی تحت فشار لول را تحت شرایطی به اختلاف فشار تبدیل نموده واز طریق مبدل ها وترانسمیتر آن را به4-20میلی آمپر تبدیل می کنند.به روشهای زیر میتوان با استفاده از تغییر فشار لول را اندازه گیری کرد.

1- اندازه گیر لول با استفاده از عکس ا لعمل گاز(Bubbler tube)
2- اندازه گیر لول با استفاده از دیا فراگم
3- اندازه گیر لول با استفاده ازاندازه گیری تغییرات فشار (d/p cell)

2–6–2–1 اندازه گیر لول با استفاده از عکس العمل گاز(Bubbler tube)

. این روش در شکل(2-87) تشریح شده است.اگرفشار گاز ورودی سیستم به اندازهای تنظیم کنیم که بآرامی در کف تانک به صورت حباب تبدیل شود. فشار گاز، برابر فشار هیدرواستاتیک لوله ورودی بوده و متناسب با لول تانک است. گاز مورد استفاده معمولا نیتروژن یا آرگون است.در صورتی که لول تانک کم باشد فشار هیدرواستاتیک کمتری ایجاد شده ووقتی لول زیاد باشدبرعکس فشار بالاتری ایجاد میگردد.این تغییرات فشار را میتوان توسط ترانسمیتر (در صورتی که یک طرف دیافراگم را مسدود ویا در هوای آزاد باز باشد) اندازه گیری نمود. با توجه به رابطه خطی بین فشار وارتفاع میتوان لول را اندازه گیری کرد.

$$P = \rho.g.h$$



شکل (2–87) اندازه‌گیری سطح با استفاده از عکس‌العمل گاز

محاسن:

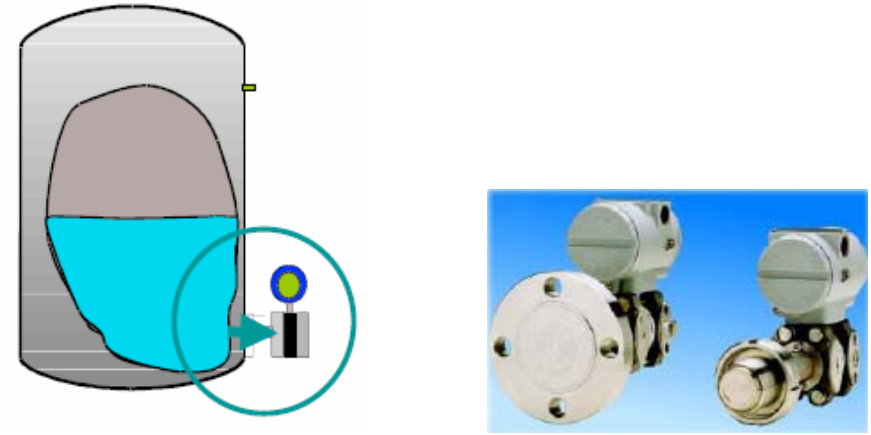
- قیمت پایین
- ساختار ساده
- عملکرد آسان

معایب:

- حفاظت و نگهداری زیاد نیاز دارد
- احتیاج به منبع تغذیه هوا دارد
- برای مخزن های سر بسته مناسب نیست

2-6-2-2 اندازه گیر لول با استفاده از دیا فراگم(Diaphragm)

روش دیگری که میتوان در مواقعی مخزن تحت فشار است ،لول را اندازه گیری نمود استفاده از دیافراگم است.معمولا در جائیکه پائین ترین نقطه مخزن تعریف شده باشد ترانسمیتر را قرار داده همانطور که در شکل (2-88)نشان داده شده است.هرچه لول مخزن بالاتر میرود فشار وارد بر دیافراگم بیشتر شده وترانسمیتر لول بیشتری را نشان می دهد .



شکل(2-88): اندازه گیر لول با استفاده از دیافراگم

جهت در سرویس قرار دادن ترانسمیتر ها باید محدوده اندازه گیری به آن داده شود تا بتواند درصد بندی نماید.اصطلاحا این دو مقدار را LRV(lower range value) و URV(upper renge value) می نامند این دو مقدار را از روابط زیر بدست می آورند.

$$LRV = (Sp.Gr).h = \rho.g.h$$
$$URV = (Sp.Gr).h = \rho.g.h$$

مینیمم ارتفاع*چگالی نسبی ماده =حد پائین ترانسمیتر

ماکزیمم ارتفاع*چگالی نسبی ماده =حد بالای ترانسمیتر

محاسن:

- بطور دائمی اطلاعا ت به اتاق کنترل ارسال میکند
- برای مخازن سر بسته نیز استفاده میشود
- برای اندازه گیری لول مخزن تحت فشار نیز استفاده میشود
- دقت اندازه گیری بالایی دارد

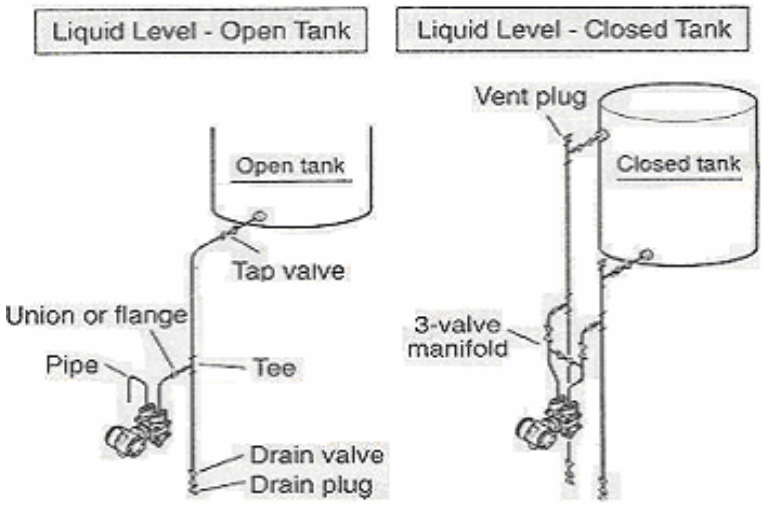
معایب:

- در صورتی که مواد خاصیت خورندگی داشته باشد ممکن است دیافراگم خراب شود(محدودیت دارد برای اندازه گیری مداوم مایع)
- جهت در سرویس قرار دادن باید مینیمم وماکزیمم فشار بر حسب لول به آن داده شود.
- دمای بالای مواد داخل مخزن، دیافراگم را خراب می کند.

2–6–2–3 اندازه گیر لول با استفاده ازاندازه گیری تغییرات فشار (d/p cell)

در اندازه گیر های دیافراگمی مواد داخل مخزن مستقیما با دیافراگم در ارتباط بود ودما وجنس مواد تاثیر مستقیم در اندازه گیری داشت .این اندازه گیر را می توان با فاصله بیشتری از مخزن قرار داد تااولا مواد داخل مخزن سرد شود وثانیا داخل تیوب ترانسمیتر میتوان از مواد غیر خورند نیز استفاده کرد.

این اندازه گیر را هم می توان برای مخازن سر باز وهم مخزن تحت فشار استفاده نمود. دراینحالت یک طرف آنرا به مخزن ویک طرف دیگر رابه هوای آزاد باز گذاشت .(شکل(2-89))



شکل(2-89):محل نصب وچگونگی نصب ترا نسمیترلول تانک

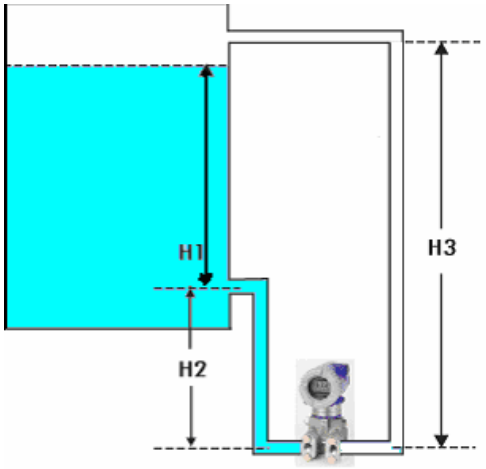
برای کالیبراسیون ترانسمیتر های لول دو روش وجود داردکه عبارتند از:

1-Dry leg (لاین خشک)

2-Wet leg (لاین خیس)

dry leg -1

این روش معمولا برای مخازن سر بسته استفاده می شود.همانطور که در شکل(2-90) نشان داده شده leg مربوط به lowترانسمیتر را به بالای تانک وlegمربوط به highرا به بالای تانک متصل می نمایند.با استفاده از روابط زیر می توان حد بالا وپائین را به ترانسمیتر داد.



شکل(2-90):روشDry leg (لاین خشک)

جهت محاسبه حد پائین باید فرض کرد که لول تانک کمترین مقدار یعنی H_2باشد ومقدار آن برابر است با:

صفر- ارتفاع H_2*چگالی نسبی ماده =حد پائین ترانسمیتر

برای محاسبه حد بالاباید فرض کرد که لول تانک بیشترین ارتفاع یعنی(H_1+H_2) را دارد و مقدار آن عبارت است از:

صفر - ارتفاع(H_1+H_2)*چگالی نسبی ماده =حد بالای ترانسمیتر

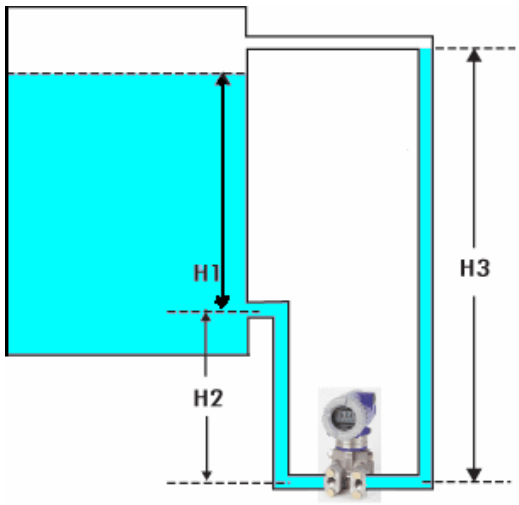
.

$$LRV=(Sp.Gr).H_2-(Sp.Gr).0=\rho.g.H_2-\rho.g.0$$
$$URV=(Sp.Gr).(H_1+H_2)-(Sp.Gr).0=\rho.g.(H_1+H_2)-\rho.g.0$$

پس از محاسبه ودادن حدود فوق توسط hart ترانسمیتر را در سرویس قرار می دهند.

Wet leg-2 (لاین خیس)

در روش لاین خشک اگر مواد داخل مخزن بخارات داشته باشند.بخارات به مایع تبدیل شده و در leg دیگر وارد می شودکه ایجاد خطا در اختلاف فشار می کند.در صورتی که تانک پر شود نیزدر این ترانسمیتر خطا ایجاد می شود. شکل(2-91) روش لاین خیس را نشان می دهد.



شکل(2-91):روشWet leg (لاین خیس)

در این روش یکبار فرض می کنیم مینیمم لول را داشته ومقدار اختلاف فشار را بدست آورده سپس به ازائ ماکزیمم لول اختلاف فشار را محاسبه می کنیم.

(ارتفاع H_3 *چگالی نسبی ماده)- ارتفاع H_2 *چگالی نسبی ماده =حد پائین ترانسمیتر

(ارتفاع (H_1+H_2) *چگالی نسبی ماده)- ارتفاع (H_1+H_2) *چگالی نسبی ماده =حد بالای ترانسمیتر

.

$$LRV = (Sp.Gr).H_2 - (Sp.Gr).H_3 = \rho.g.H_2 - \rho.g.H_3$$
$$URV = (Sp.Gr).(H_1+H_2) - (Sp.Gr).H_3 = \rho.g.(H_1+H_2) - \rho.g.H_3 \cong 0$$

در این روش وقتی لول تانک پر هم بشود ترانسمیتر بدون خطا به کار خود ادامه می دهد واصلا بخارات مواد هم تاثیری روی آن نمی گذاردولی دانسیته مواد در کالیبراسیون تاثیر دارد.

2–6–3– اندازه گیر های ارتفاع از روش الکتریکی

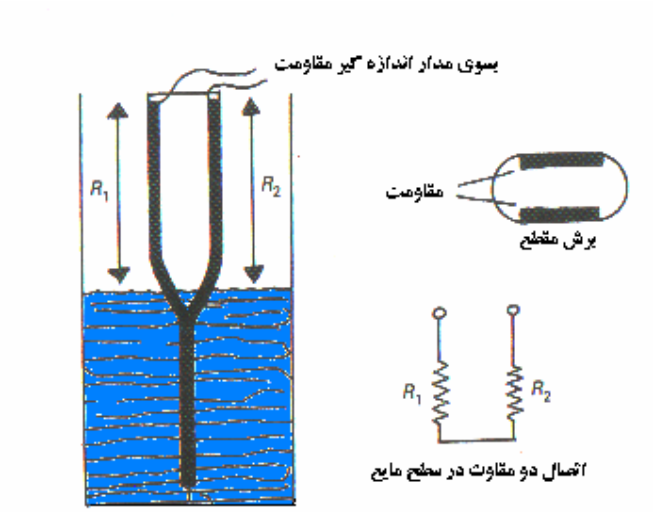
اندازه گیری لول از روش الکتریکی به قسمتهای زیر تقسیم می شود.

1- اندازه‌گیری سطح با استفاده از تیوب مقاومتی غوطه‌ور

2- **اندازه‌گیری سطح با استفاده از تغییر ظرفیت خازن**
3- **اندازه‌گیری سطح با استفاده ازسوئیچهای الکترودی**
4- **اندازه‌گیری سطح با استفاده تغییرات مقاومت**

2-6-3-1 اندازه‌گیری سطح با استفاده از تیوب مقاومتی غوطه‌ور

این روش در شکل(2-92) تشریح شده است. در این روش یک تیوب انعطاف‌پذیر شامل یک ماده مقاومتی بصورت معکوس در مایع فرو می‌رود. هنگام غوطه‌ور شدن تیوب در زیر سطح، مقاومت الکتریکی تیوب تغییر می‌کند این تغییر مقاومت به اندازه سطح مایع مقیاس می‌شود.



شکل(2-92)اندازه‌گیری سطح با استفاده از تیوپ مقاومتی غوطه‌ور

2-6-3-2 اندازه‌گیر خازنی سطح

این اندازه گیربراساس اصل ظرفیت خازنی کار می کند این لول کنترلر جهت کنترل اختلاف سطح در سیالات رسانا و غیر رسانا کاربرد دارد.

لول ترانسمیتر خازنی دارای میله الکترودی شکل و دیواره عایقی می باشد که در اصل حالتی از یک خازن است ،مقدار ظرفیت بستگی به مقدار دی الکتریک وثابت آن وسطح مقطع صفحات وفاصله بین آنها دارد در این دستگاه سطح مقطع الکترود وفاصله آنها ثابت می باشد،تنها چیز متغیرثابت دی الکتریک است.در صورتیکه سطح ماده تغییر کندمتناسبا مقدار ظرفیت خازن قابل شارژبر روی سطح مقطع الکترود نیز تغییر می کند(چون با افزایش لول ضریب دی الکتریک افزایش یافته وظرفیت خازن را افزایش می دهد)این تغییرات پس از کالیبره نمودن سیستم می تواند 4-20ma را به اتاق کنترل ارسال نماید.

نکته مهم در این اندازه گیر آنست که سطح قابل اندازه گیری به اندازه طول الکترود آن می باشد ومیله اندازه گیری داخل سیال همیشه باید درون سیال عایق باشد.

اندازه گیرهای خازنی برای سطوح زیر مناسب است که عبارتند از:

1- سطح سنجی در شرایط فرایندی ویا محیطی دشوار مانند فلزات مایع شده در دمای بالا،گاز های مایع شده در دمای پائین ومایعات خورنده

2- اندازه گیری فصل مشترک گاز وسیال
3- اندازه گیری سطح چند سیال با دانسیته متفاوت
4- اندازه گیری سطح سیلوهای مواد جامد

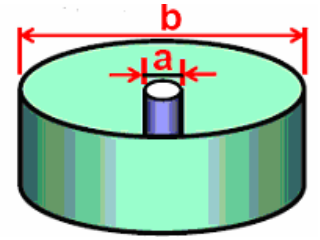
مزایا:

1- جزء متحرک ندارد
2- ساده وخیلی ارزان است
3- پروب آن به سادگی قابل پاک کردن و ترمیم است در ضمن می تواند ضد خوردگی و پوسیدگی باشد
4- وابستگی به فشار وحرارت کمی دارد

برای اندازه گیری لول بسته به هادی یا غیر هادی بودن ماده مورد اندازه گیری دو روش وجود دارد

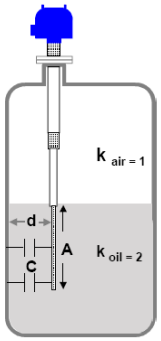
الف: مواد غیر هادی

برای موادی که ضریب هدایت کمتر از $0.1\frac{\mu.mho}{cm^3}$ الکترود داخل نقش یک جوشن وسطح تانک نقش جوشن دوم را بازی می کند از رابطه زیر ارتفاع بدست می آید.



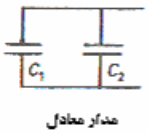
$$h=\frac{C\,ln(\frac{b}{a})-2\pi\varepsilon_0}{2\pi\varepsilon_0(\varepsilon-1)}$$

ویا میتوان با استفاده از یک آشکار ساز (پل خازنی واسیلاتور)سطح را اندازه گیری نمود همانطور که در شکل (2-93) نشان داده شده است.

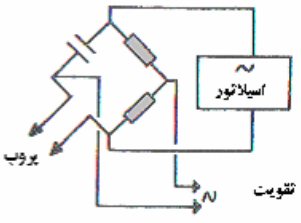


$$C\uparrow = \frac{k\uparrow A}{d}$$

Where:
C= Capacitance in pF
k= Dielectric Constant of material
A= Area of the plates
d= Distance between plates



مدار معادل

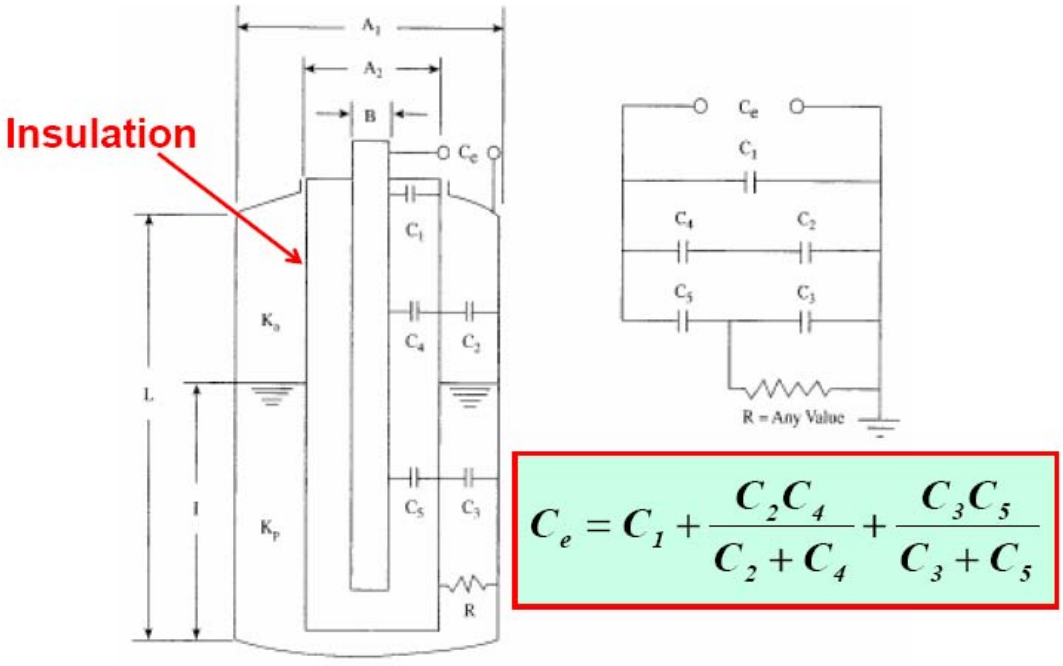


شکل(2-93):آشکار ساز اندازه گیر لول خازنی

جهت ایمنی، تانکهای فلزی بایستی به زمین وصل شوند که این موضوع ممکن است از نقطه نظر الکترونیکی تنظیم کننده سیگنال مهم باشد. همچنین ممکن است باعث نویز الکتریکی بدلیل وجود حلقه های زمین بشویم.

ب:مواد هادی

برای اندازه گیری لول در اینحالت باید بدنه تانک والکترود با یک ماده عایق پو شانده شود.در شکل (2-94) روش محاسبه نشان داده شده است.

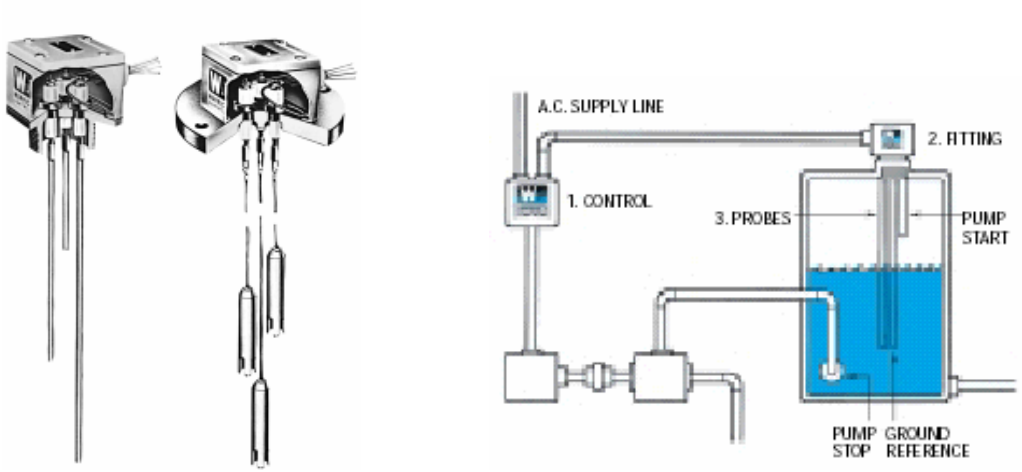


$$C_e = C_1 + \frac{C_2 C_4}{C_2 + C_4} + \frac{C_3 C_5}{C_3 + C_5}$$

شکل(2-94):اساس کار اندازه گیر خازنی مواد هادی

2-6-3-3 لول سوئیچ الکترودی: (Conductive level limit switch)

در این لول کنترل که با استفاده از خاصیت رسانایی الکتریکی عمل می کند می توان جهت عبورجریان از خود سیال استفاده نمود در این کنترلرجهت عملکردمطمئن باید رسانایی الکتریکی سیال را سنجید در این اندازه گیردو حالت برای هر الکترود می توان در نظر گرفت یا الکترود با سیال مماس می شود که لیمیت سوئیچ عمل نموده وفرمان جهت onوoffپمپها یا سلونوئیدولوها ارسال می گرددودر صورتیکه لول پائین تر از الکترود باشد لیمیت سوئیچ عمل نمی کند.این سوئیچ ها را همانند لیمیت سوئیچ های دیگر می توان در هنگام پر یا خالی بودن مخازن تنظیم نمود.یک نمونه از آن در شکل (2-95) نشان داده شده است.



شکل(2-95):اندازه گیر الکترودی ومحل نصب آن

خصوصیات و کاربردهای این نوع اندازه گیر:

1-امکان دادن آلارمهای حداقل وحداکثر وstop,startبه پمپها که برای هر کدام یک الکترود در نظر گرفته می شود.

2-امکان کنترل بصری بوسیله LEDهای موجود بر روی پانل الکتریکی

3-برای اطمینان از دستور فرستاده شده از الکترودها،که تحت تاثیر نوسانات احتمالی سیال قرار نگیرد از ویژگی تاخیر زمانی استفاده می شود(0~7sec)

4-طراحی ویژه جهت استفاده در سیالات گرم

5-ضریب اطمینان بالا در سوئیچینگ

6-عمر مفید بالا

7-تنظیم کنترل سطح سیال به دلخواه در جهت افزایش سطح سیال

8-هر سوئیچ برای اندازهگیری یک نقطه در نظر گرفته شده است

این سوئیچ ها علیرغم سادگی وارزانی خود سنسور به دلایل زیر کاربرد آن محدود یا توام با هزینه های اضافی است.

1- نکات ایمنی در کاربرد آن باید به دقت رعایت شود

2- مدار ایزولاتور وحفاظت الکتریکی بطور کامل در نظر گرفته شود

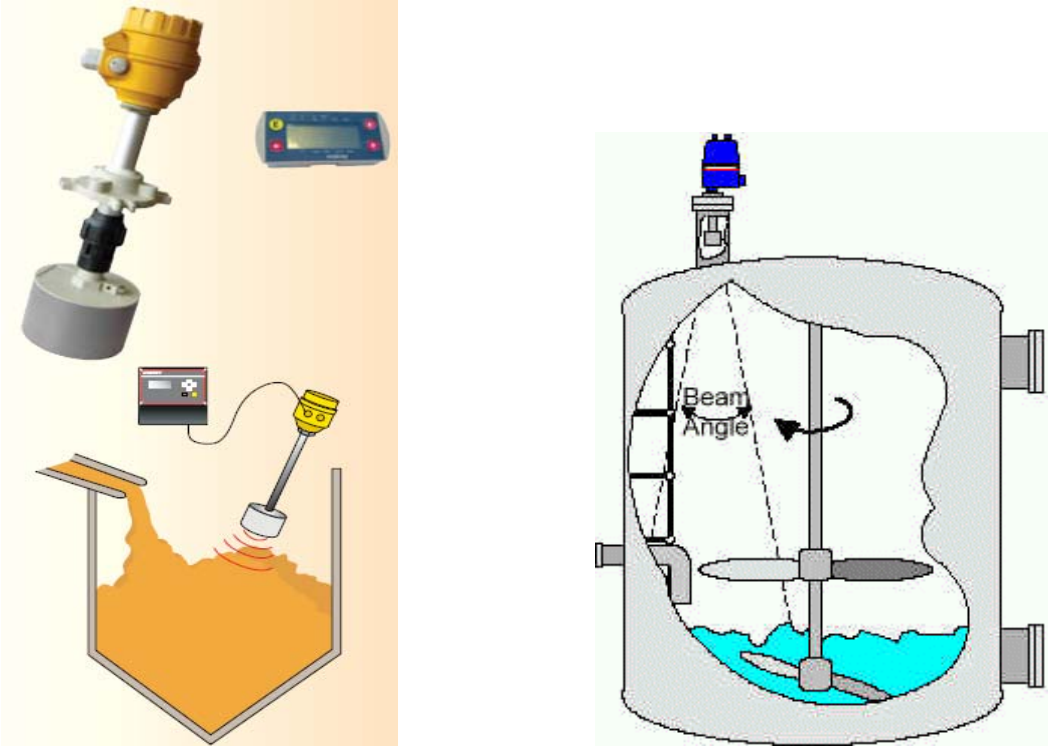
3- از طریق محدود کننده ،حداکثر توان ومیزان جریان محدود گردد.

4-3-6-2 اندازهگیری سطح بروش آلتراسونیک(Sonic&Ultrasonic)

درصورتیکه امکان تماس با ماده مورد اندازه گیری وجود نداشته باشدیا سطح موردراندازه گیری قابل دسترسی نباشد از این روش استفاده می شود.

اساس کار روش آلتراسونیک استفاده از موجهای صوتی فرکانس بالا می‌باشد. این موجها با استفاده از اعمال یک سیگنال ac به یک کریستال پیزوالکتریک حاصل می‌شوند. در کاربردهای صنعتی معمولا از فرکانس

(20~40khz) کیلوهرتز استفاده می‌شود (فرکانس‌های بالاتر آلتراسونیک، معمولاً در کاربردهای دارویی استفاده می‌شود.همچنین برای سیالات با ویسکوزیته بالا مثل مازوت از فرکانس 10khzاستفاده می شود). اساس اندازه‌گیری سطح بروش آلتراسونیک پیوسته، در شکل(2-96) تشریح شده است.



شکل (2-96):اندازه‌گیری سطح بروش آلتراسونیک

سیستم را در طوری نصب می کنند که بطرف پائین متمرکز باشد .یک پالس برای شروع اندازه گیری به سیستم اعمال می شود.وقتیکه سیگنال آلتراسونیک فرستاده شد سیستم یک پالس در خروجی می دهد سپس بعد از دریافت سیگنال برگشتی یک پالس دیگر از خروجی سیستم داده می شود.با استفاده از یک شمارنده خارجی بایستی زمان بین پالس ارسال شده وپالس دریافت شده را اندازه گیری نمود با استفاده از رابطه زیر می توان فا صله را اندازه گیری نمود.

$$d = \frac{v.t}{2}$$

d:فاصله تا سطح مایع

V:سرعت صوت

t: زمان رفت و برگشت

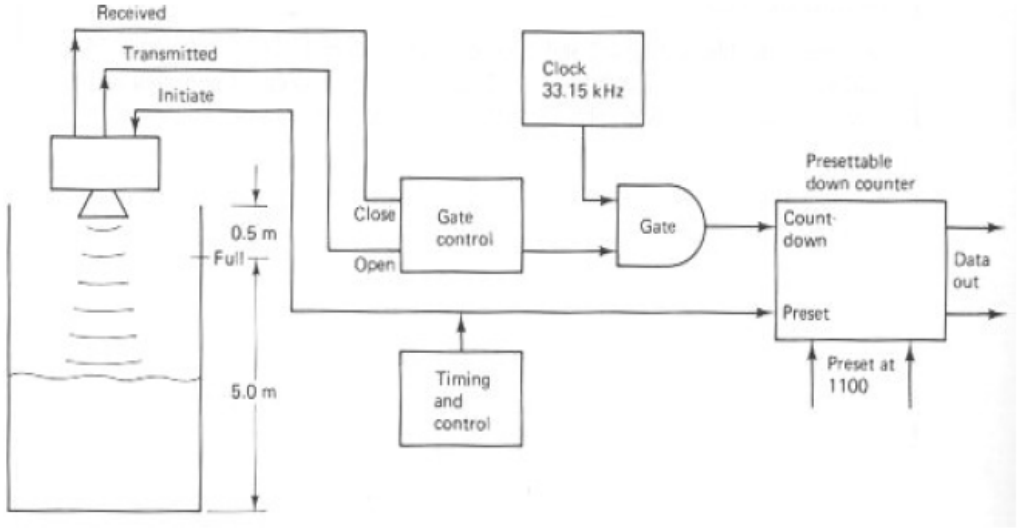
مزایا:

1- دسترسی و نصب آن آسان

2- احتیاج به ایزولاسیون سیستم در مقابل تاثیر مواد نیست

دراین سیستم هرچه تانک پر می شود فاصله بین سنسور وسطح کم می شود این باعث میشود زمان رفت و برگشت کم شوددر نتیجه شمارنده شمارش کمتری داشته باشدبعبارت دیگرهرچه سطح بالاتر می رود اطلاعات

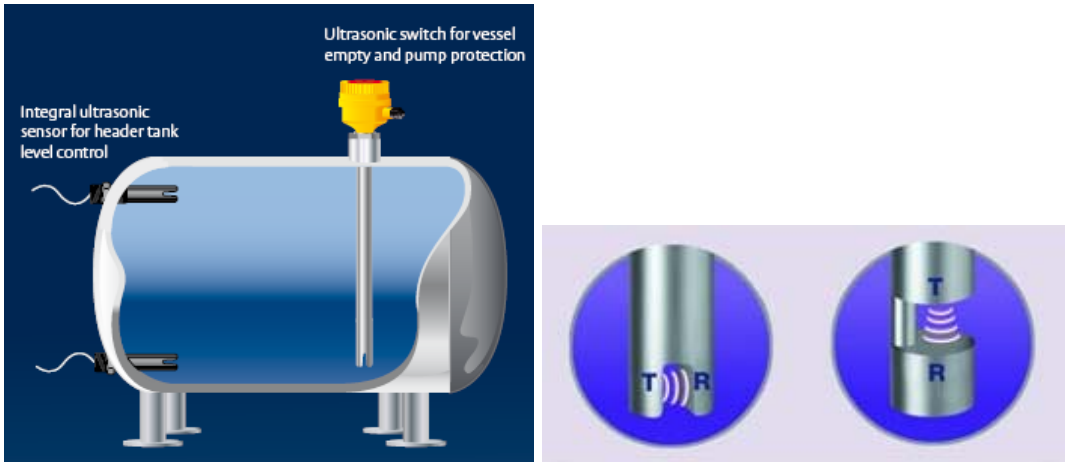
جمع آوری شده تولید شماره کمتری می کند. دو راه حل وجود دارد یکی استفاده از آشکار ساز آلتراسونیک که با مواداخل تانک کار می کند به این صورت که سیستم را در ته تانک قرار داده شعاع از سطح مایع منعکس شده و زمان بیشتری را برای رفت وبرگشت به سطح مایع نیاز دارد،راه حل دوم استفاده از یک سیستم آماده سازی اطلاعاتData manipulationبا یک شمارنده برای تصحیح اطلاعات دریافت شده از آشکار ساز آلتراسونیک نصب شده در بالای تانک است.مدار شکل(2-97) بلوک دیاگرام آشکار ساز است.



شکل(2-97) بلوک دیاگرام آشکار ساز آلتراسونیک

2-6-3-5 سوئیچ های آلتراسونیک

در این حالت از قطع شدن یا حذف سیگنال صوتی یا ما فوق صوتی در صورت قرارگرفتن ماده در بین دو الکترود پیزو الکتریک فرستنده و گیرنده استفاده شده وآلارم یا فرمان on,offبرای پمپ ها یا سلونوئید ولوها ارسال می شود.در شکل (2-98)اساس کار و محل نصب نشان داده شده است.



شکل (2-98)اساس کار و محل نصب سوئیچ آلتراسونیک

2-6-4-اندازه گیر های ارتفاع از روش نوری

اندازه گیر های نوری به دسته های مختلف تقسیم می شوند که عبارتند از:

1- اندازه گیر لول تشعشعی (هسته ای)
2- اندازه گیر لول نوسانی(ارتعاشی)
3- اندازه گیر لول فتو الکتریک
4- اندازه گیر لول انتقال حرارت

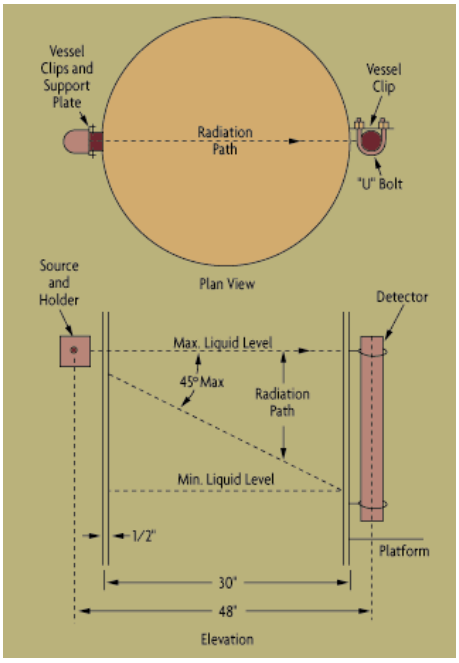
2-6-4-1 اندازه گیر لول تشعشعی (هسته ای)(Radiation method)

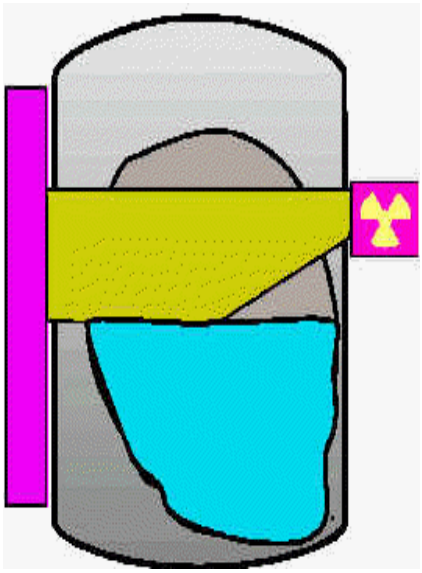
تشعشع هسته ای از سزیم137یاکبالت60را می توان به سطح سیال یا جامد در یک مخزن ربط داد وچون این یک روش غیر تماسی است برای اندازه گیری لول در تمام حالات مناسب است.

موادرادیو ایزوتوپ که برای اندازه گیری لول بکار می رود انرژی را بطور تصادفی با نرخ خیلی کم وثابت از دست می دهندبطوریکه مقدار متوسط آن را در کالیبراسیون در نظر می گیرند.از تجزیه مواد رایو اکتیو ذرات آلفا ،بتاو گاما ایجاد می گردد،در اندازه گیر های سطح از ذرات بتاو گاما استفاده میگردد چون تشعشعات گاما دارای انرژی بالا،طول موج پائین وقدرت نفوذ بالایی برخوردار است بیشتر از ذرات گاما استفاده می شود.در این اندازه گیرها شدت تشعشع توسط شمارنده گیگر(Geiger counter)اندازه گیری میشود.

اجزاء لازم جهت استفاده از این اندازه گیرشامل منبع رادیو اکتیو،یک آشکار ساز اشعه گاماویک تقویت کننده میباشد.

در شکل (2-99)اساس کار این اندازه گیرنشان داده شده است بطوریکه هر چه لول تغییر می کند میزان جذب انرژی تشعشعی توسط آشکارساز تغییر میکند بعبارت دیگر هرچه لول پائین بیاید میزان دریافت تشعشع توسط آشکار ساز بیشتر می شود وبرعکس .در آشکار ساز این تغییرات به جریان الکتریکی ضعیفی تبدیل شده که پس از تقویت ملاک اندازه گیری لول می گردد





شکل (2-99):اساس کاراندازه گیر تشعشعی

شدت تشعشعات جذب شده را از رابطه زیر می توان محاسبه نمود.

$$I = I_0.e^{-\mu.\rho.x}$$

در این رابطه I_0:شدت تشعشعات جذب شده ظرف خالی، ρ:چگالی مایع، θ:زاویه بین شعاع امواج با سطح آب،x:فاصله ای که در آن اشعه از داخل مایع رد میشود، μ:ضریب جذب ذرات مایع وh:ارتفاع مایع بوده که ازرابطه $h = x.\sin\theta$ بدست می آید.

مزایا:

1- دقت اندازه گیری بالا

2- مایعات بسیار گرم

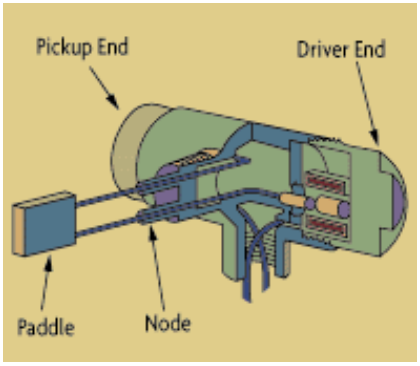
3- جامدات ذوب شده

2-6-4-2 لول سوئیچ های نوسانی(Vibrating level switch)

لول سوئیچهای نوسانی به سه دسته تقسیم می شود که عبارتند از:

1-Reed
2-Probe
3-Tunig fork

Reed: عملکرد این لول سوئیچ در شکل(2- 100) نشان داده شده است.



شکل(2-100):اساس کار لول سوئیچReed

لول سوئیچReedشامل سه قسمت است که عبارتند از:پره(paddle)، درایور وبازو(Pickup)

تحریک درایورکویل باعث ایجاد نوسان با فرکانس 120هرتز در پره می شود، هرگاه لول مخزن بالا رود و به پره برخورد نماید باعث تغییر در فرکانس (کم کردن فرکانس) شده در نتیجه ملاکی برای فرمان جهت on,off پمپ ها وسلونوئید ولوها میگردد.

این آشکار سازتغییرات مواد با دانسیته وویسکوزیته های مختلف وهمچنین مواد دو سطحی (ما یع/مایع ،مایع/بخار وجامد/بخار) را می تواند آشکار نماید.

در صورتیکه این لول سوئیچ برای مواد پودری استفاده شودنوسانات پره ایجاد گودال ویا بصورت مواد گرانولی برپره می چسبد وباعث ایجاد خطا در آشکار سازی می شودبرای رفع این مشکل می توان از ساختارهای بدون

پوشش ویا نوعی اسپری در سیستم تعبیه گرددکه بطور مداوم پره را تمیز نماید، این عمل مقرون به صرفه نمی باشد.

Probe :در این لول سوئیچ از دو عدد کریستال پیزو الکتریک استفاده شده بطوری که یکی از آنهافرکانس 200تا 400 هرتز را تولید ودیگری آنرا آشکار می نماید. جنس المنت ها استیل بوده وبه هیچ عنوان مواد به آن نمی چسبد.

کاربرد این سنسور ها برای مواد پودری ،جامدات و موادگرانولی می باشد.

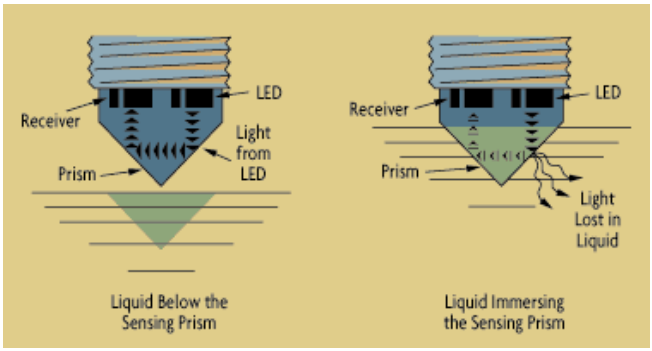
Tuning fork: دراین لول سوئیچ فرکانس کار 85 هرتز است،ساختار المنت های آن همانند Probeمی باشدو کاربرد آن درآشکار سازی روغن،آب،مایعات هیدرولیکی ومابعات با نوسان بالا است.

عملکرد لول سوئیچ Reedدر محدوده فشاری *psig* 3000 ودو نوع دیگر *psig* 150ودر محدوده دمائی100- تا150است.در شکل(2-101)چند نوع لول سوئیچ نوسانی نشان داده شده است.

شکل(2-101)چند نوع لول سوئیچ نوسانی tuningfork

2-6-4-3 اندازه گیر لول فتو الکتریک

آشکار ساز های نوری نیز میتواند بعنوان اندازه گیر لول استفاده شوداین در صورتی است که سیال تیرگی مناسب را داشته که مانع از عبور نور شود در شکل(2-102) یک اندازه گیرفتو الکتریک نشان داده شده است فرستنده های نوری دیودهای نوری مادون قرمز یا لنزها وجهت دهنده های مناسب نوری هستند.



شکل(2-102)اساس کار یک اندازه گیرفتو الکتریک

گیرنده یک ترانزیستور حساس به نوربا یک فیلتر نوری مناسب برای گرفتن طول موج نوری ارسال شده است.این موضوع باعث کم شدن خطا های ناشی از نور محیط کار خواهد شد.وقتیکه سطح پائین تر از سنسور است نور به گیرنده می رسد و ترانزیستور نوری اشباع می شود ویک سطح پائین دیجیتال می دهد.وقتیکه سطح تانک مانع از عبور نور میشود فتوترانزیستورقطع می گردد.علاوه بریک منبع dcشما ممکن است نیاز به یک مقاومت pull-upبین ترانزیستوربا کلکتور باز وولتاژی داشته باشید که سطح بالای منطقی شما را دارد.

اگر شرایط نور از سیال مناسب نباشد از یک شناوربا شرایط مناسب که در لوله شفاف مجاور حرکت می کند ،استفاده می شود.

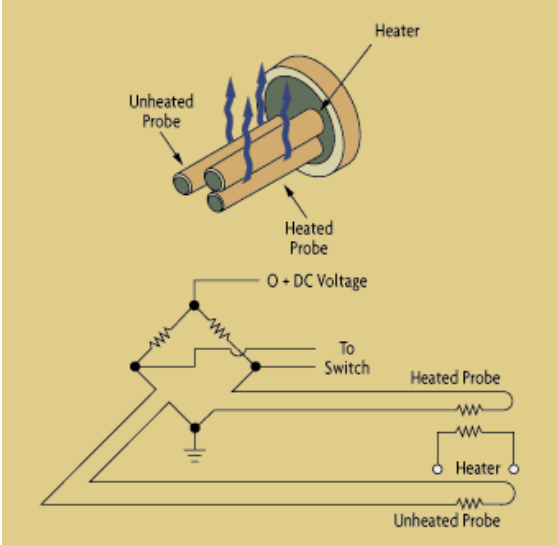
گیرنده های نوری نیز موجودند که بجای فتو ترانزیستوراز فتوتریستور استفاده می کنند.این اندازه گیرها یک خروجی115ولتی وقتی که شعاع نوری به آنها بخورد تولید می کنند.

دستگاه های بافرستنده وگیرنده در یک محل از نقطه نظر نصب نسبت به واحدهائی که دارای گیرنده وفرستنده مجزا هستند ساده تر می باشند .فقط یک دسته سیستم احتیاج است.چنانچه هدف به اندازه کافی بزرگ باشد تنظیم زیاد حساس نیست.مدار های انتگرال شده فرستنده وگیرنده انعطاف بیشتری را میسر می کنند.بوسیله نصب آنها بر روی یک میله می توان سطح آنها را تغییر داده وپایین تر وبالاتر بردکه در اینصورت به سادگی می توان سطح آلارم را انتخاب نمود.

آشکار ساز نوری عمر بیشتری نسبت به کلید های شناور دارند.چون هیچ قسمت مکانیکی که عمل نکند در آنها وجود نداردفقط آشکار کننده نوری احتیاج دارند که ماده مانع انتقال نور گردد. این موضوع کاربرد آنها را برای بعضی مواد محدود می کند.

2-6-4-4 اندازه گیر لول انتقال حرارت(thermal level sensor)

در این اندازه گیراز اندازه گیری حرارت برای محاسبه لول تانک استفاده می شود. درشکل (2-103) اسا س کاراین اندازه گیر نشان داده شده است.

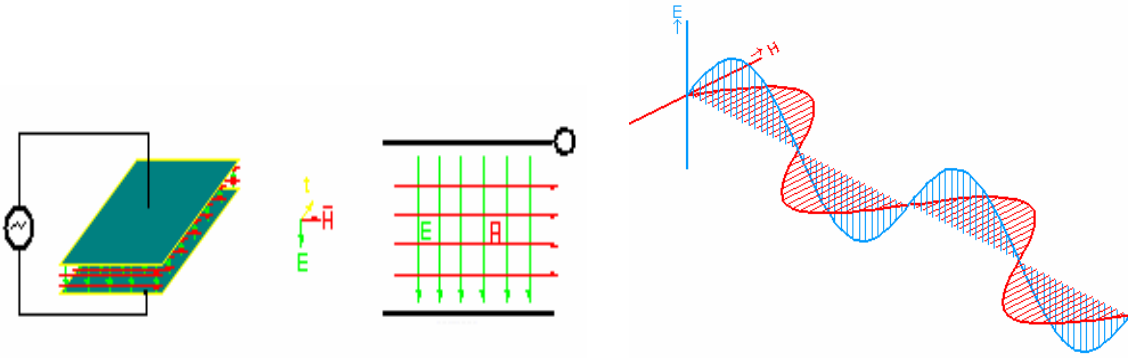


شکل (2-103) اسا س کار اندازه گیر حرارتی

یک سنسور از نوع RTDتغذیه می شود که باعث گرم شدن خودش شودحرارت منتشر شده بداخل هوا از این سنسور کم است وباعث می شودکه سنسور درجه حرارت نسبتا بالایی را آشکار کند وقت داخل مایعی شودسنسور حرارت خود را به مایع داده وتغییرزیادی می کند این تغییر دما پل وتسون را از بالانس خارج نموده وباعث ایجاد یک ولتاژ می گردد .این ملاک خوبی برای اندازه گیری لول است.

2-6-4-5 اندازه گیر لول از نوع رادار:(radar transmitter)

امواج استفاده شده در سیستم اندازه گیر های لول راداری سیگنالهای الکترومغناطیس می باشد که از دوسیگنال الکتریکی ومغناطیسی عمود بر هم تشکیل شده است (شکل(2-104)).معمولا سرعت انتشارآن بین5~30Ghz می باشد (بهترین فرکانس ارسال 10Ghz است).



شکل(2-104):سیگنال الکترومغناطیس

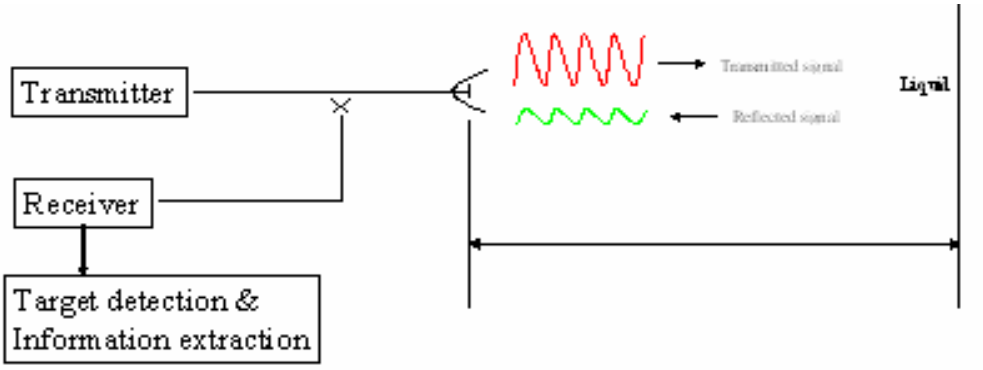
یک سیستم رادار از قسمتهای زیر تشکیل شده است.

1- یک اسیلاتور برای ایجاد سیگنال های الکتریکی فرکانس بالا

2- واحد آشکار ساز جهت اندازه گیری پارامترهای اسا سی مانند:اختلاف زمان،اختلاف فرکانس وشیفت فاز

3- آنتن جهت تبدیل سیگنال های الکتریکی به موج رادار

در شکل (2-105)بلوک دیاگرام یک اندازه گیر لول از نوع رادارنشان داده شده است.



شکل (2-105):بلوک دیاگرام یک اندازه گیر لول از نوع رادار

بطور کلی دو تکنولوژی در اندازه گیر های لول راداری استفاده می شود که عبارتند از:

1- زمان طی مسافت توسط موج پالسی(Pulse radar)

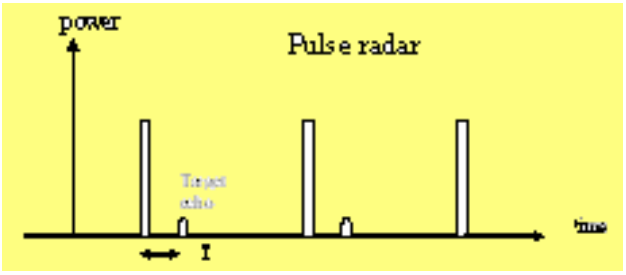
2- موج پیوسته مدوله شده(Frequency modulated continuous wave)FMCW

1- پا لس رادار(pulse radar)

هما نطور که در شکل (2-106)نشان داده شده سیگنال توسط فرستنده بسمت ماده داخل تانک فرستاده می شود در اثر برخورد با مواد ا نعکا س پیدا کرده و توسط گیرنده دریافت می گردد،سیگنال دریافتی وارسالی از لحاظ قدرت(توان)خیلی با هم فرق دارند از بدست آوردن اختلاف زمان ارسال ودریافت با توجه به رابطه زیر می توان فاصله(لول) را بدست آورد.

$$T = \frac{2R.\sqrt{\varepsilon_r}}{C}$$

T:اختلاف زمان ارسال ودریافت، C:سرعت ارسال موج در حلت مخزن خالی، ε_r:ضریب انتشار وR:مسافت



شکل (2-106): سیگنال ارسال ودریافت رادار پالس

این سیستم دارای سه ایراد است که عبارتند از:

1- دقت اندازه گیری کم است (مخصوصا اگر دقت کمتر از 1mmمد نظر با شد)

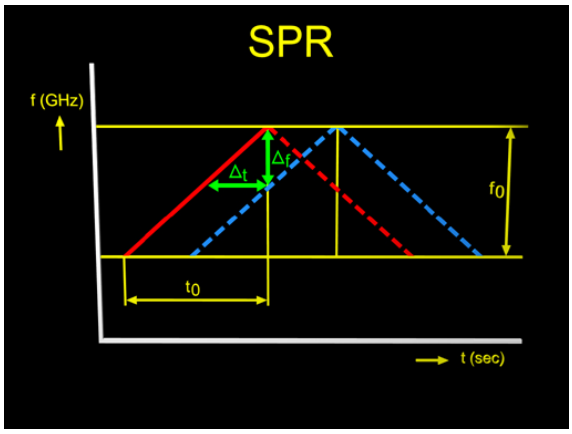
2- پیک(قدرت)سیگنال منعکس شده کم است یعنی قدرت سیگنال دریافتی کم بوده که باعث می شود سیگنالهای منعکس شده به آنتن نرسیده وخطا در اندازه گیری ایجاد گردد

3- وقتی لول به آنتن نزدیک باشد نمی تواند دقیق اندازه گیری نماید چون تفاوت زمانی بین ارسال ودریافت خیلی کم است.

کاربرداین اندازه گیرجهت مسافتهای بزرگ بوده که دقت زیاد در آن مد نظر نباشد.

2- مدولاسیون فرکانسFMCW

در شکل (2-107) اساس کار روش مدولاسیون فرکانس نشان داده شده است.



شکل (2-107) اساس کار روش مدولاسیون فرکانس

در این روش امواج رادار(با فرکانس حدود10Ghz بطور مدا وم ارسال می گردد و در اثر برخورد با سطح مایع منعکس شده وتوسط گیرنده دریافت می گردد، تفاوت فرکانس بین سیگنال ارسال وبرگشت در واحد زمان ملاکی جهت تعیین لول می باشد واز رابطه زیر محاسبه می شود.

$$\Delta f = \frac{2.f_0}{C.t_0}.d = K.d$$

که در آنC:سرعت انتشار موج رادار ، f_0 :فرکانس سوئیپ ، t_0:زمان سوئیپ ،k:گین رادار وd:مسافت می با شد.

مزایا:

1- با ماده درون تانک در تماس نیست

2- خیلی دقیق

3- مدلهای خیلی دقیق در مقابل بخارات مواد ایمن هستند

معایب:

1- قیمت بالا

2- میزان فشار برای آنتن محدود است.

3- حالتهای دو سطحی را نمی تواند اندازه گیری کند.
4- در حالتیکه سیستم دارای بخارات زیاد باشد خطا وجود دارد.

نکات عملی مورد استفاده:

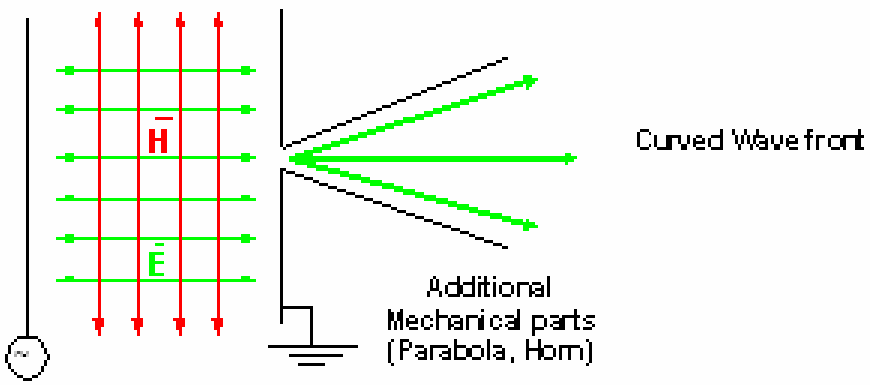
1- در مورد هیدروکربنها در کف تانک مقداری آب جمع می شودبرای اندازه گیری لول دقیق باید توسط روش دیگری مقدار آب را اندازه گیری نمودو ترانسمیتر رابا مقدار آب موجود کالیبره نمود.
2- در موردمخازن با سقف شناور نیاز به نصبsteel pipe(لوله مخصوص فلوتر)است که امواج منعکس شده از steel pipeمی تواند روی دقت اندازه گیری دستگاه تاثیر منفی بگذارد.

آنتن رادار:

آنتن جهت تبدیل سیگنال الکتریکی به موج راداراستفاده می گردد و به دو دسته تقسیم می شود.

1- تک روزنه ای (single feeder)
2- چند روزنه ای(multiple feeder)

Single feeder: در این نوع فقط یک نقطه جهت ارسال امواج وجود دارد در شکل (2-108) حالت ارسال را نشان می دهد.



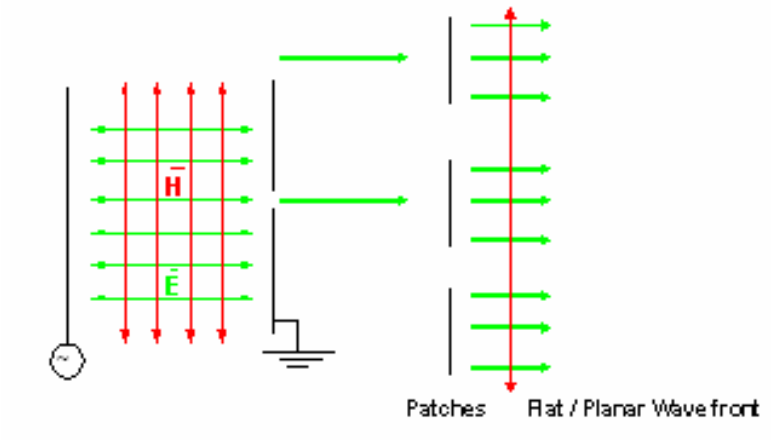
شکل (2-108) حالت ارسالsingle feeder

این روش دارای خصوصیات زیر می باشد:

1- یک نقطه جهت ارسال و دریافت وجود دارد
2- احتیلج به قسمتهای مکانیکی (لوله شیپوری)برای شکل دادن امواج رادار دارد
3- مد های ارسال مختلف بوسیله تغییر وضعیت وضعیت (جابجایی)مبدل صورت می گیرد.
4- رسوب مواد روی لوله شیپوری بر سیگنال رادار اثر می گذارد ودقت سیستم را کم می کند.

Multipli feeder:

در این روش چند نقطه جهت ارسال وجود دارد در شکل (2-109) نشان داده شده است.



شکل (2-109):ارسال سیگنال در حالت Multipli feeder

این روش دارای خصوصیات زیر است:

1- چند نقطه جهت ارسال وجود دارد.

2- نیاز به قسمتهای مکانیکی ندارد.

3- امواج رادار راحت قابل تنظیم است.

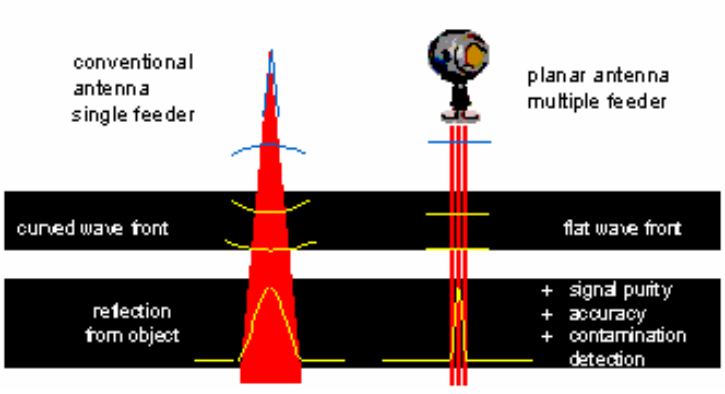
4- امواج صاف ومستقیم،انعکاس تیز،دقت بالا

5- مد های مختلف ارسال بوسیله موقعیت روزنه ها تنظیم می گردد

6- آشکار سازی با دقت بالا

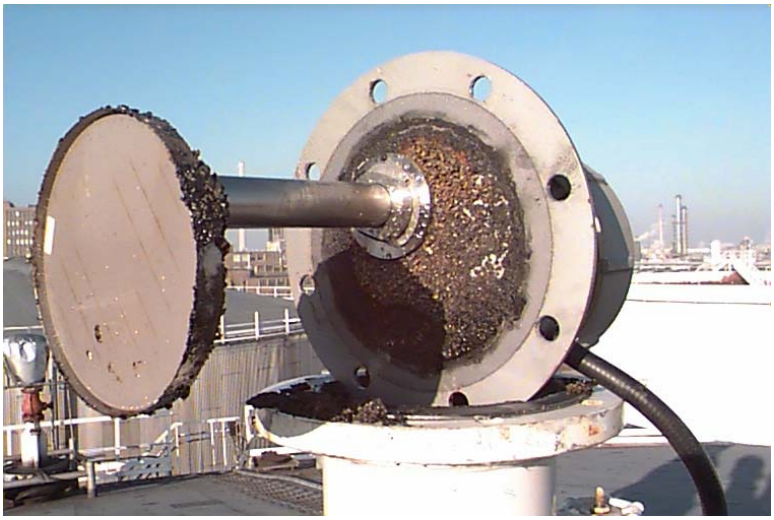
7- آنتن صاف

در شکل (2-110)اختلاف بین دو سیستم فوق نشان داده شده است.



شکل (2-110): مقایسه ارسال دوحالت

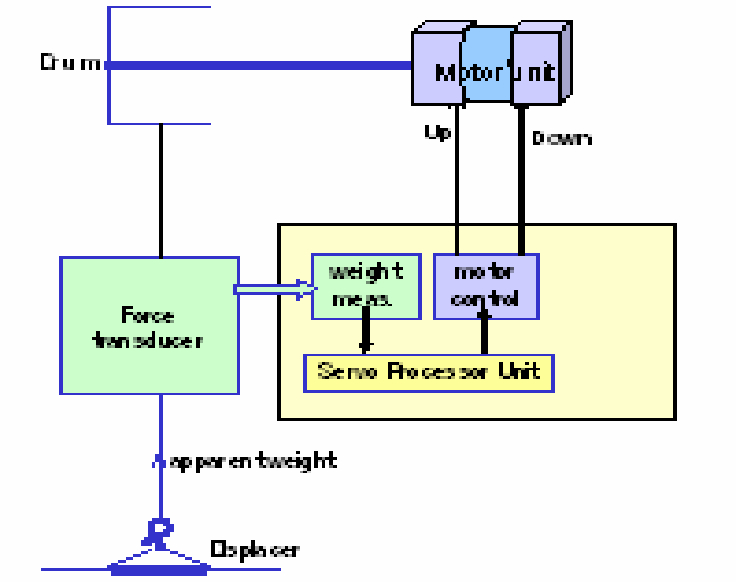
در شکل (2-111)نمونه عملی این لول ترانسمیتر ها نشان داده شده است.



شکل (2-111)نمونه عملی این لول ترانسمیتر ها

2-6-4-6 اندازه گیر لول از نوع servo

این اندازه گیر بر اساس تغییر مکان اندازه گیر (دیسپلیسر) ونیروی غوطه وری کار می کند.بطوری که در شکل (2-112)نشان داده شده اگر لول کم شود وزن ظاهری دیسپلیسر افزایش پیدا می کند وتوسط مبدل نیرو به فرکانس تبدیل می شود فرکا نس دریافتی توسط کنترلر تبدیل به فرمانی جهت پائین رفتن دیسپلیسر به stepper motorمی شود ودر صورتی که لول زیاد شود وزن ظاهری کا هش وعکس عمل فوق صورت می گیرد.



شکل (2-112): بلوک دیاگرام لول ترانسمیتر دیسپلیسری

مزایا :

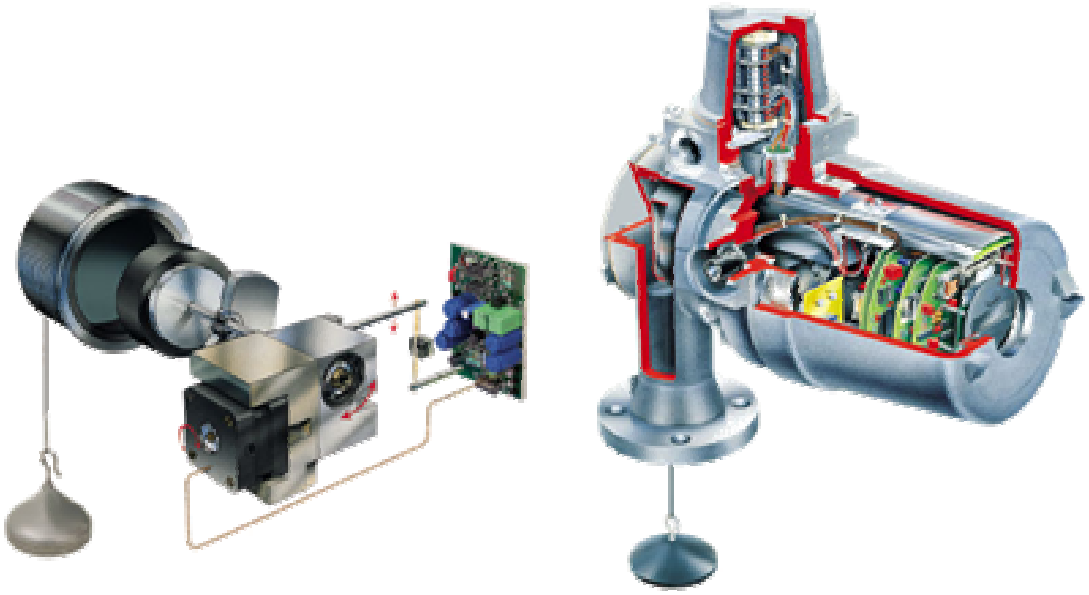
1- تاثیر کم دانسیته محصول

2- آلودگی کم دیسپلیسر

3- تاثیر کم نوسانات ماده

4- اثر کم بخارات مواد

در شکل(2-113) یک ترا نسمیتر نوع servoنشان داده شده است.



شکل(2-113):نمونه عملی سروو

لازم به ذکر است جهت کالیبراسیون این لول ترا نسمیترباید مینیمم وماکزیمم(صفر وصد درصد)لول داده شود ولول موجود در مخزن نیز باید توسط روش دیگری اندازه گیری شده وبه ترانسمیتر داده شود تا اینکه خطای اندازه گیری حداقل باشد.

مراجع:

1- تعدادی از مقالات اینتر نتی مربوط به ادوات ابزار دقیق
2- اندازه‌گیری الکترونیکی نوشته امیر حسین رضایی، محمدرضا ذهابی
3- اصول و اجزا کنترل صنعتی نوشته حجت ا... سبزپوشان