

پیش گفتار

در زندگی روزمره، واژه کنترل بسیار بکار برده می‌شود. اصطلاحاتی نظیر کنترل رشد جمعیت، کنترل قیمت‌ها، 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 ابزار دقیق می‌باشد در ابتدا توضیحاتی در مورد سیستم‌های کنترلی حلقه بسته و بازولوک دیاگرام یک سیستم کنترل صنعتی بحث می‌گردد سپس درباره اندازه گیرهای ابزار دقیقی مانند اندازه گیرهای دما، فشار، فلو، لول و انواع آن توضیح داده می‌شود.

فصل اول

مبانی سیستم های کنترل

اهداف آموزشی فصل اول :

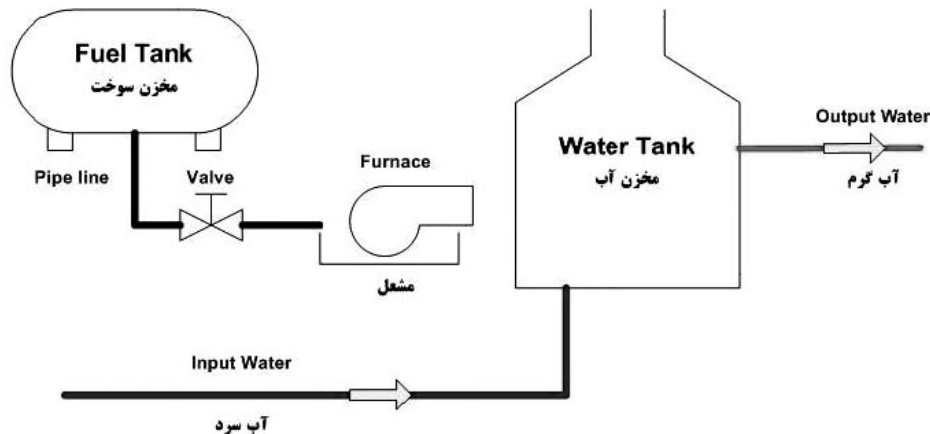
- 1- مرور مبانی ، مفاهیم و تعاریف اولیه کنترل
- 2- آشنائی با انواع سیستم کنترل از نظر نوع حلقه
- 3- آشنائی با روشهای کنترل کمیت‌های دما ، فشار ، فلو ولول در پروسه های صنعتی
- 4- آشنائی با اجزاء سیستم کنترل حلقه بسته صنعتی

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)

رفتارها 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.

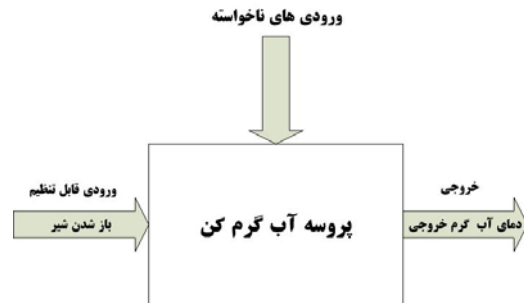
ورودی سیستم (System Input)

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 می‌کند اثر نامطلوب اینگونه ورودی‌ها را با پیاده سازی انواع روشهای کنترلی جبران نماید.

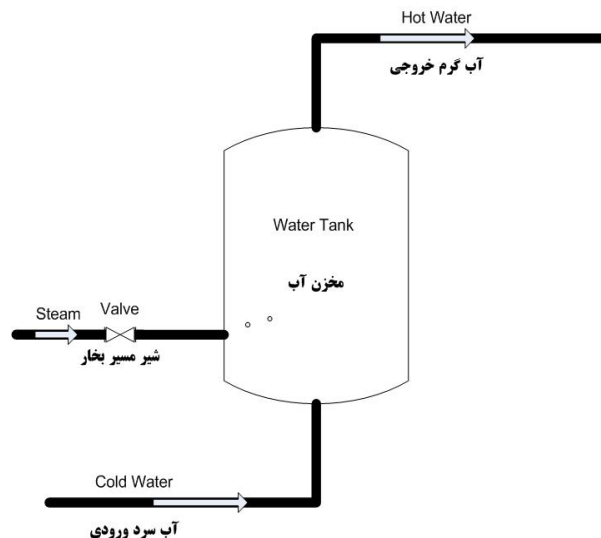
در مثال مخزن آبگرمکن، ورودی‌های دمای محیط و دمای سیال ورودی و حجم سیال درون مخزن اغتشاش وارد به سیستم به شمار می‌آیند. بلوک دیاگرام ساده کنترلی سیستم فوق بصورت زیر است.



شکل (1-2): بلوک دیاگرام پروسه آبگرمکن

2-1- انواع کنترل از نظر مکانیزم اجرائی

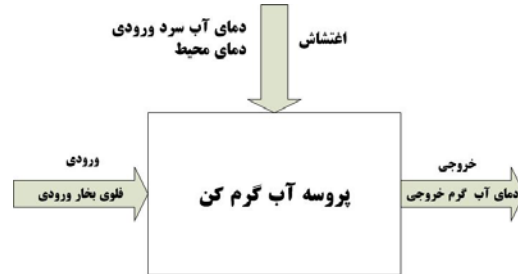
شکل (1-3) یک مخزن آبگرمکن را نشان می‌دهد که در آن، آب سرد از پایین به مخزن وارد می‌شود و با استفاده از بخار آب، بصورت مستقیم گرم می‌شود. سپس آب گرم شده از بالای مخزن خارج می‌شود. یک شیر میزان بخاری که وارد مخزن می‌شود را تنظیم می‌کند.



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

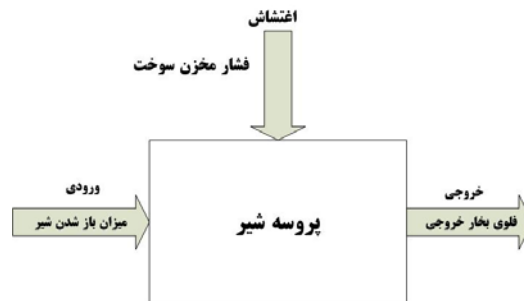
در صورت ثابت بودن عوامل محیطی، درجه حرارت مخزن بطور مستقیم با تنظیم شیر مسیر بخار کنترل می‌شود و با قرار دادن شیر در وضعیت مناسب آب گرم دمای ثابت مطلوب را خواهد داشت. در حالیکه در عمل دمای آب

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 آبرگرمکن فوق را نمایش می‌دهد.



شکل (1-4): بلوک دیاگرام پروسه آبرگرمکن

فلوی بخار ورودی به مخزن، خود خروجی یک سیستم شامل مخزن بخار، لوله‌های 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.

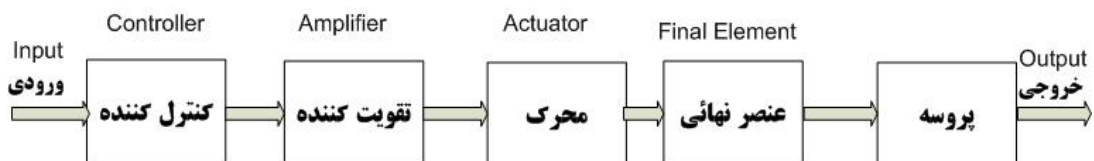


شکل (1-5): بلوک دیاگرام پروسه شیر کنترل

اکنون با فرض اینکه دمای خروجی در مخزن آبرگرمکن 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)

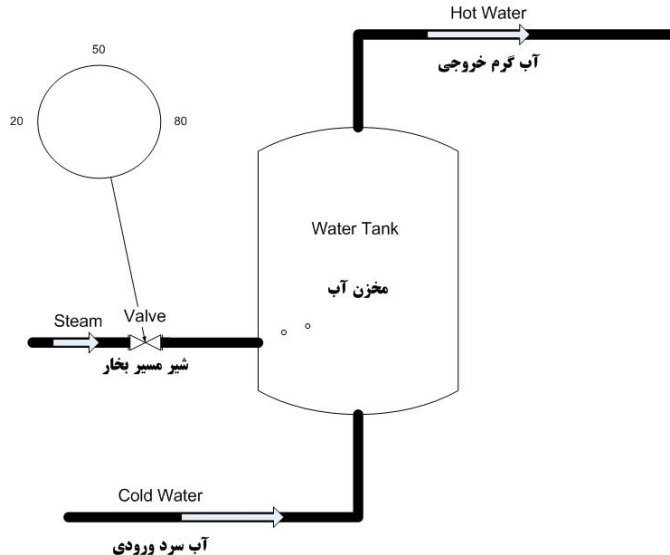
بلوک کلی این نوع سیستم به صورت زیر است در این نوع سیستم ورودی بر اساس اطلاعات قبلی از مدل سیستم به منظور ایجاد خروجی معین به آن اعمال می‌شود.



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 می کند.

در مثال آبگرمکن اگر شیر کنترل مسیر بخار را مدرج کرده و پس 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.

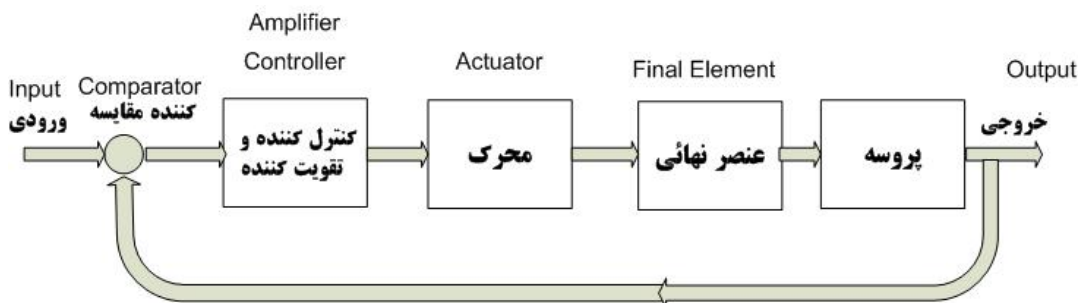


شکل (1-7): کنترل حلقه باز سیستم آبگرمکن

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 می شود.

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

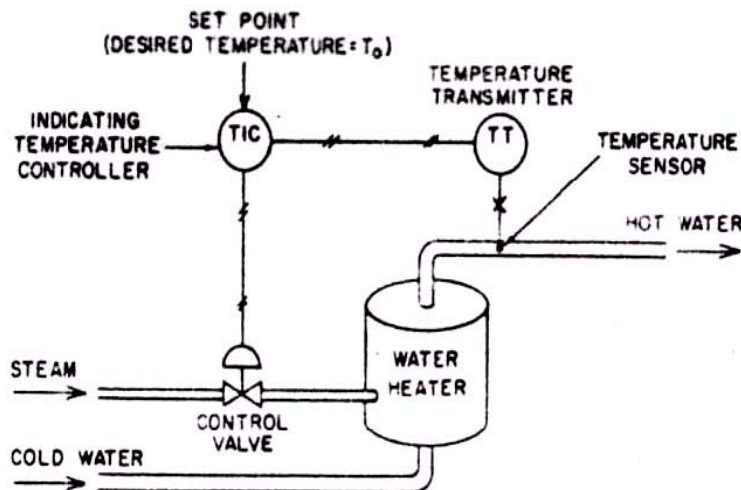
کنترل حلقه بسته عبارتست از یک طرح در پروسه به منظور رسیدن به شرایط مطلوب. این طرح با مقایسه شرایط مورد نظر در پروسه با شرایط مطلوب و تصحیح عملیات بر اساس نتیجه مقایسه صورت می گیرد. شکل (1-8) یک بلوک دیاگرام کلی سیستم کنترل حلقه بسته را نمایش می دهد.



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

در این 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 (9-1) را در نظر بگیرید.



شکل (9-1): 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 باز شدن 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 نمی‌دهیم.

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:

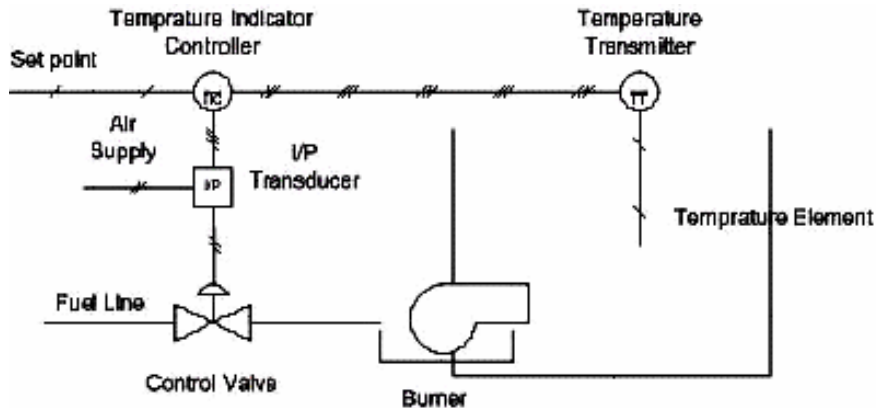
- 1- بدلیل تأثیری که در محل قطب‌ها دارد ممکن است سیستم را ناپایدار کند.
 - 2- هزینه ساخت افزایش می‌یابد.
- بنابراین مزیت سیستم‌های حلقه بسته را می‌توان بصورت زیر بیان کرد.
- 1- حذف خطای المان‌های سیستم
 - 2- حذف اغتشاش در کنترل کننده و سیستم

3- ایجاد دقت بیشتر

4- نزدیک بودن به فرآیندهای واقعی

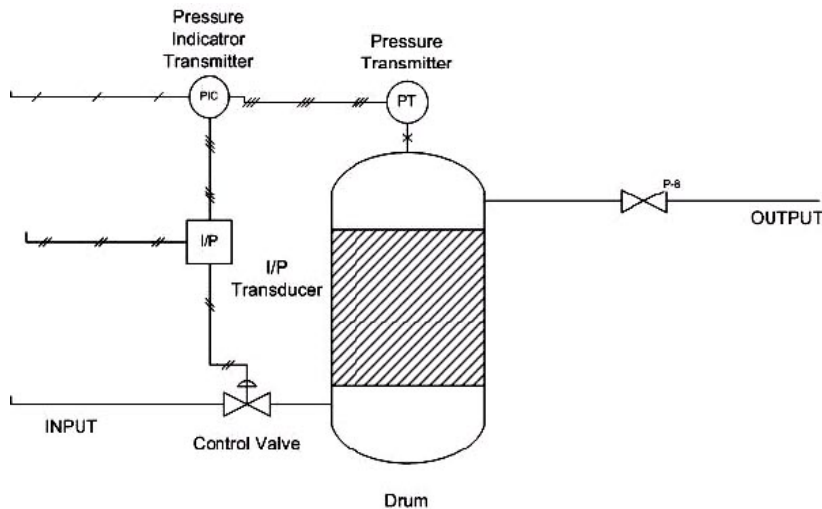
3-1- روش کنترل کمیت‌های مهم در پروسه‌های صنعتی

– مثال کنترل دما



شکل (10-1): دیاگرام کنترل دمای کوره

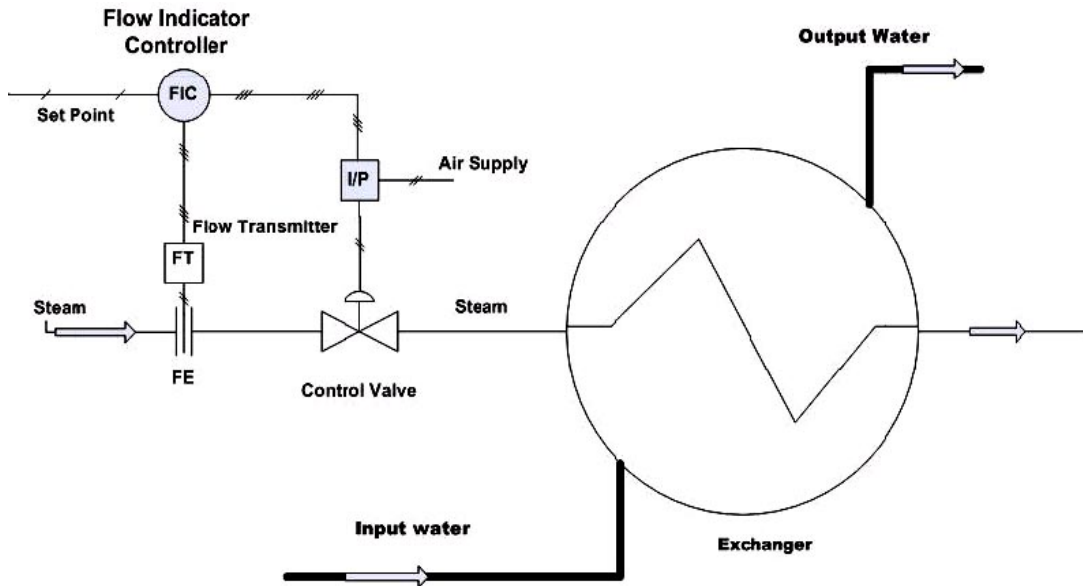
– مثال کنترل فشار



شکل (11-1): دیاگرام

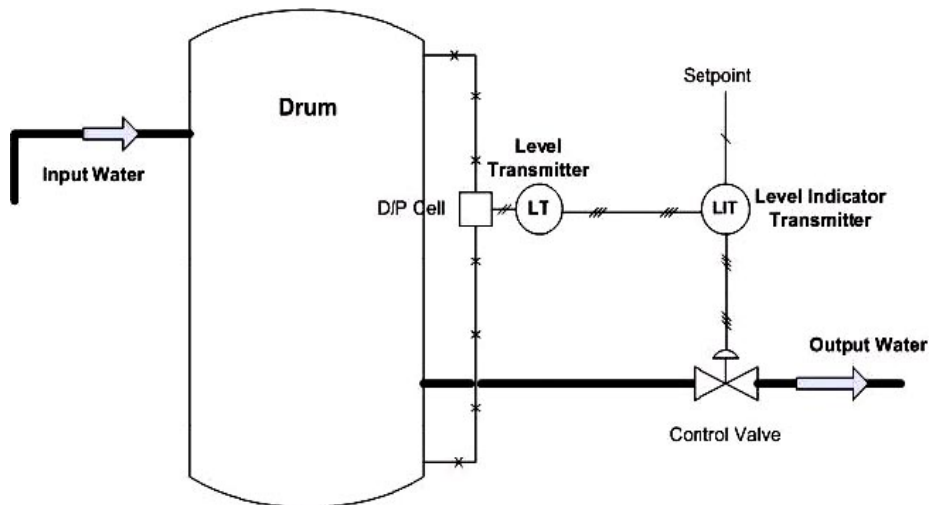
کنترل فشار

- 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 در صورتی که برای یکی از کنترل ولوها مشکل ایجاد گردد انسان وظیفه بازوبسته نمودن را برعهده می گیرد این سیستم را غیر خودکار گویند در این حالت انسان باعث تبدیل سیستم به حلقه بسته پایدار میشود.

4-4-1 - 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 پروسه‌هایی 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.

5-4-1 - 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.

6-4-1 - محرک (Actuator)

چون سیگنال کنترلی که از طرف کنترل کننده به سایت ارسال می‌شود قدرت لازم جهت حرکت دادن عنصر نهائی را ندارد به منظور تحریک عنصر نهائی از محرک استفاده می‌شود.

7-4-1 - عنصر نهائی (Final-element)

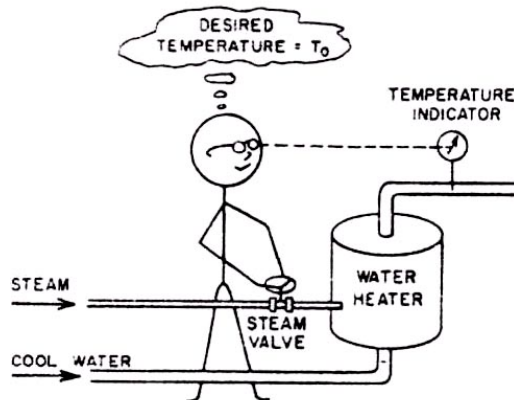
عنصر نهائی همانطور که از نامش پیداست آخرین قسمت کنترل می‌باشد و ورودی از طریق آن به پروسه اعمال می‌شود. معروفترین عناصر نهائی در کنترل صنعتی شیرها می‌باشند. در مثال صنعتی باز و بسته شدن شیر بخار انرژی حرارتی را که به پروسه وارد می‌شود کنترل می‌کند. توجه نمائید آنچه که بعد از باز و بسته شدن شیر اتفاق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

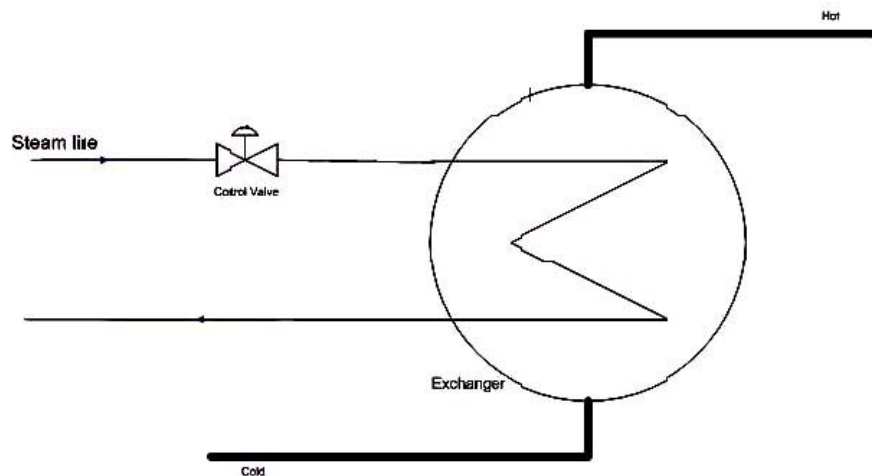
بلوک دیاگرام ارائه شده در شکل (1-14) نمایشی کلی و پایه از سیستم‌های کنترل صنعتی است و بعنوان یک الگوی متداول در طراحی، عیب‌یابی و تعمیر و شناخت سیستم‌های کنترل صنعتی بکار می‌رود.

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 نمایید.
- 3- اغتشاش را تعریف کنید و نحوه حذف تغییرات نامطلوب آن بر سیستم های کنترل را تشریح نمایید .
- 4- نوع سیستم کنترل شکل مقابل را مشخص نمایید و بلوک دیاگرام کنترلی آنرا ترسیم نمایید.



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



فصل دوم

اندازه گیرها

اهداف آموزشی فصل دوم:

- 1- آشنایی با سیستمهای اندازه گیری
 - تعریف اندازه گیری
 - اسبابهای اندازه گیری و وظایف آنها
 - کاربردهای سیستمهای اندازه گیری
 - عناصر تشکیل دهنده یک سیستم اندازه گیری
 - خصوصیت های اندازه گیرها
- 2- اندازه گیرهای وضعیت (جا بجایی)
- 3- دما و روش های اندازه گیری آن
- 4- فشار و روش های اندازه گیری آن
- 5- شدت جریان و روش های اندازه گیری آن
- 6- کنترل سطح و روش های اندازه گیری آن

2-1- آشنایی با سیستم‌های اندازه‌گیری

2-1-1- تعریف اندازه‌گیری

بطور کلی اندازه‌گیری 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 مستقیماً 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 اندازه‌گیری در کاربردهای صنعتی و مهندسی سه وظیفه عمده بر عهده دارند:

1- نمایش: نمایش اطلاعات کمیت اندازه‌گیری شونده از 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

متغیر دیگر می‌باشد. مانند ثبت پتانسیوتری که برای نظارت، دما را بروی یک ثبت نواری ذخیره می‌کند.

3- کنترل: مهمترین وظیفه سیستم‌ها و اسباب‌های اندازه‌گیری در کاربردهای مهندسی، خصوصاً در زمینه

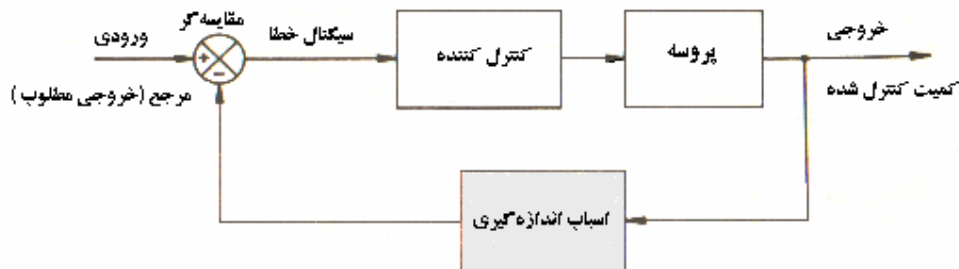
کنترل فرآیندهای صنعتی، کنترل می‌باشد. در این حالت، سیستم کنترلی از اطلاعات اندازه‌گیری شده برای کنترل کمیت اصلی استفاده می‌کند.

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 اندازه گیری

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 می‌نمایانند و این باز نمود 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 متغیرهای 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.

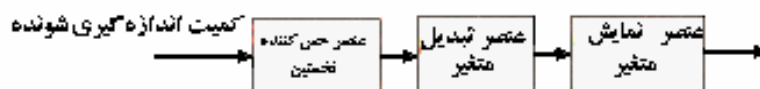


شکل (2-1): بلوک دیاگرام یک سیستم کنترل حلقه بسته

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 تشکیل دهنده یک سیستم اندازه گیری

یک سیستم اندازه‌گیری همانطور که در شکل (2-2) نشان داده شده از سه بخش اساسی تشکیل می‌شود.



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 حس کننده 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.

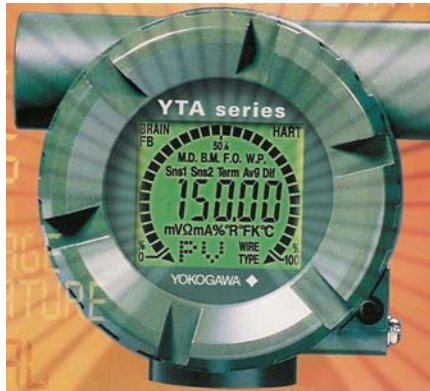
2- عناصر تبدیل متغیرها (ترانسدیوسر (Transducer)): عنصری است که یک نوع انرژی را به نوع دیگر تبدیل می‌کند. ورودی ترانسدیوسر می‌تواند هر یک از شش نوع انرژی شناخته شده یعنی تشعشعی، مکانیکی، گرمایی، الکتریکی، مغناطیسی و شیمیایی باشد و خروجی آن در حوزه انرژی الکتریکی یا هر یک از انرژی‌های فوق‌الذکر باشد. بنابراین 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 (Transmitter)): 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 تقویت‌کنندگی و تبدیل انرژی ممکن است بتوان 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 علاوه بر میزان انرژی و توان ترانسمیترها بسیار بیشتر از ترانسدیوسرها است.

معمولا کمپانی‌های سازنده سنسور، مبدل و انتقال‌دهنده‌ها را بصورت یکجا و بصورت یک دستگاه می‌سازند مانند

شکل (2-3)



شکل (2-3): ترانسمیتر از نوع دما

2-1-5 - خصوصیت های اندازه گیریها

مشخصات اساسی یک سیستم اندازه گیری عبارتند از:

1- حوزه اندازه گیری (range)

محدوده ای از دامنه تغییرات کمیت مورد اندازه گیری است که عنصر اندازه گیر قادر به 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 را در حوزه اندازه گیری بعنوان صفر در نظر می گیریم

مثلا در اندازه گیریهای حرارت نقطه صفر دمائی است که آب، یخ می زند و یا در اندازه گیریهای فشار فشار اتمسفر بعنوان فشار صفر در نظر گرفته می شود. در نقطه صفر خروجی اندازه گیر لزوما صفر نمی باشد و ممکن است دارای مقدار باشد.

در عمل بهتر است اندازه گیر را طوری تنظیم کنیم که در نقطه صفر خروجی آن نیز صفر باشد.

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 یا در اثر عوامل دیگری تغییر کند، این پدیده را پدیده-انحراف از صفر گوئیم که ممکن است منجر به ایجاد خطاهای جدی در حلقه کنترل گردد.

انحراف از صفر به دو دسته تقسیم می شود

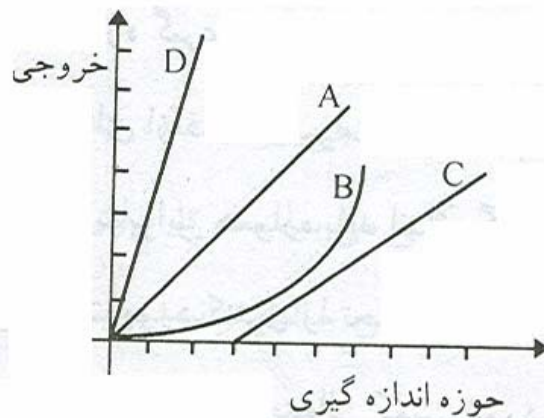
1- انحراف از صفر سطحی (short term): انحرافی که ناشی از عوامل خارجی و محیطی مثل

دما، تغییر تغذیه می باشد.

2- انحراف از صفر ذاتی (long term): انحرافی که ناشی از فرسودگی و یا تغییر خواص عنصر اندازه گیری با گذشت زمان می باشد.

4- حساسیت (sensitivity)

عبارتست از نسبت تغییرات خروجی اندازه گیری به واحد تغییرات در کمیت مورد اندازه گیری، عبارت دیگر شیب منحنی مشخصه عنصر اندازه گیری است. اگر شیب منحنی مشخصه در حوزه اندازه گیری ثابت باشد، اندازه گیری را خطی گوئیم در شکل (2-4) عنصر D و A و C خطی هستند ولی عنصر C انحراف از صفر دارد.



شکل (2-4): منحنی خروجی اندازه گیریها

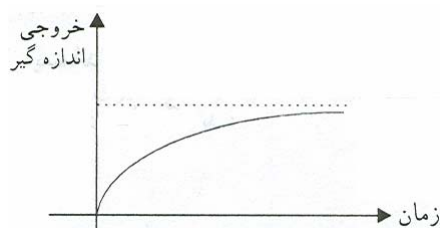
اگر شیب منحنی مشخصه در حوزه اندازه گیری ثابت نباشد آنرا غیر خطی گویند مانند عنصر B در عمل از اندازه گیریهای خطی با شیب زیاد و با مشخصه ای که از مبدا عبور کند و با ثبات باشد استفاده می کنیم مانند D

5- حد تفکیک (resolution)

عبارتست از کوچکترین اندازه تغییرات کمیت مورد نظر که می تواند عنصر اندازه گیری، اندازه گیری کند.

6- پاسخ دهی (response)

یک اندازه گیری خوب باید کمیت مورد اندازه گیری را به سرعت اندازه گیری نماید اما در عمل اندازه گیری دارای ثابت زمانی و بعضاً تاخیر خالص می باشند بطوریکه اگر ورودی بطور ناگهانی تغییر (پله واحد) کند خروجی بصورت شکل (2-5) میشود.



شکل (2-5): پاسخ به ورودی پله

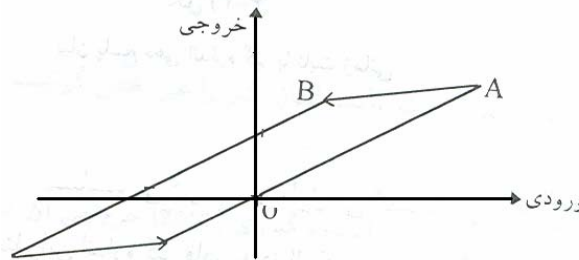
برای اینکه بتواند خروجی ورودی را دنبال کند باید ثابت زمانی عنصر اندازه گیر از کوچکترین ثابت زمانی موجود در حلقه کنترل بسیار کوچکتر باشد.

7- خطی بودن (linearity)

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

8- پسماند (hysteresis)

پسماندا یا هیستریزیس نوعی رفتار غیر خطی در اندازه گیری است همانطور که در شکل (2-6) نشان داده شده است.

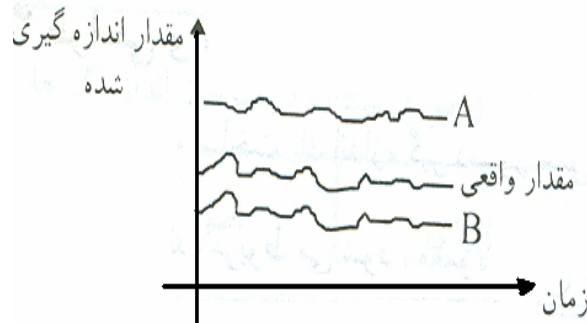


شکل (2-6): منحنی پسماند

هرگاه ورودی شروع به افزایش می کند خروجی مسیر OA را طی می کند ولی وقتی ورودی کاهش می یابد مسیر AB را طی می کند یعنی اینکه مسیر رفت و برگشت در هر عنصر اندازه گیر با هم فرق می کند.

9- دقت (accuracy)

به معنی تطابق مقدار اندازه گیری شده با مقدار واقعی کمیت مورد اندازه گیری می باشد. در شکل (2-7) نمودار حالت B دقیقتر از حالت A است چون به مقدار واقعی نزدیکتر است.



شکل (2-7): منحنی دقت دو اندازه گیر

10- تکرار پذیری

تکرار پذیری در اندازه گیرها ویژگی مهمی است و به معنی نتیجه یکسان در اندازه گیری یک کمیت در شرایط ثابت می باشد.

طراحی و ساخت اندازه گیرها

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

اصول کنترل انرژی

اصول تبدیل انرژی

الکترومغناطیس

مقاومت

پیزوالکتریک

اندکتانس

فوتوالکتریک

کاپاسیتانس

ترموالکتریک

تغییرمقاومت باتنش

فوتوولتایک

تغییرمقاومت بادما

تغییرمقاومت بانور

مقاومت مغناطیسی

2-2- اندازه گیرهای وضعیت (جابجایی)

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

1- اندازه گیرهای مقاومتی

2- اندازه گیرهای سلفی

3- اندازه گیرهای خازنی

4- ترانسفورماتور تفاضلی خطی (LVDT (linear variable differential transformer)

5- اندازه گیر وضعیت 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.

در رابطه فوق مقادیر A و ρ ثابت هستند و مقاومت R بستگی به L طول سیم دارد یک نمونه از این نوع اندازه

گیرها ، اندازه گیرهای پتانسیومتری است که با تغییر ولوم آن مقدار مقاومت تغییر می کند .

مزایای این اندازه گیر

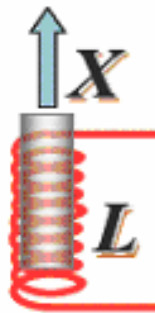
- 1- ساده بودن
- 2- ارزان بودن
- 3- سهولت کاربرد

معایب این اندازه گیر

- 1- استهلاک مکانیکی (دراثر چرخش احتمال سایش وجود دارد)
- 2- محدود بودن حوزه اندازه گیری
- 3- ایزولاسیون ضعیف ورودی-خروجی

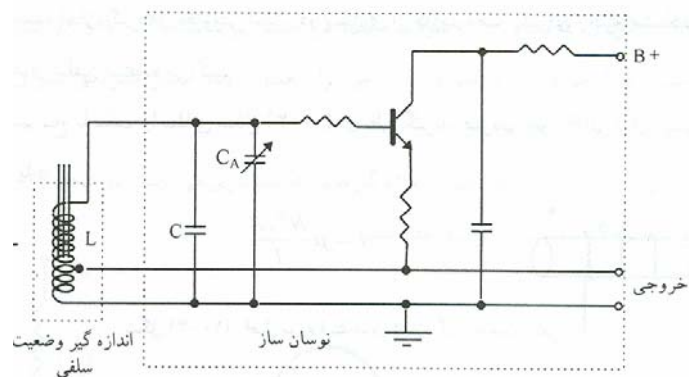
2-2-2- اندازه گیرهای سلفی

در این نوع اندازه گیرها با استفاده از رابطه $L = \mu \frac{N^2 \cdot A}{l}$ 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 N, A, μ به ازای تغییر در هسته سیم پیچ مقدار اندوکتانس سلف به طول سیم پیچ وابسته بوده بطوری که هرچه مقدار X تغییر یابد مقدار L هم تغییر می کند.



شکل (2-8): اساس کار اندازه گیر سلفی

برای آشکار سازی تغییرات اندوکتانس 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

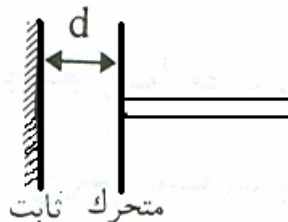
- 1- استهلاک کم
- 2- ایزولاسیون ورودی-خروجی
- 3- عدم حساسیت به گرد و غبار

معایب این اندازه گیر

- 1- محدود بودن حوزه اندازه گیری
- 2- قیمت بالا
- 3- پیچیدگی مدارات جانبی
- 4- تاثیر عوامل محیطی در دقت اندازه گیری (اثر محیط فلزی بر میدان مغناطیسی اندازه گیر)

3-2-2 اندازه گیرهای خازنی

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



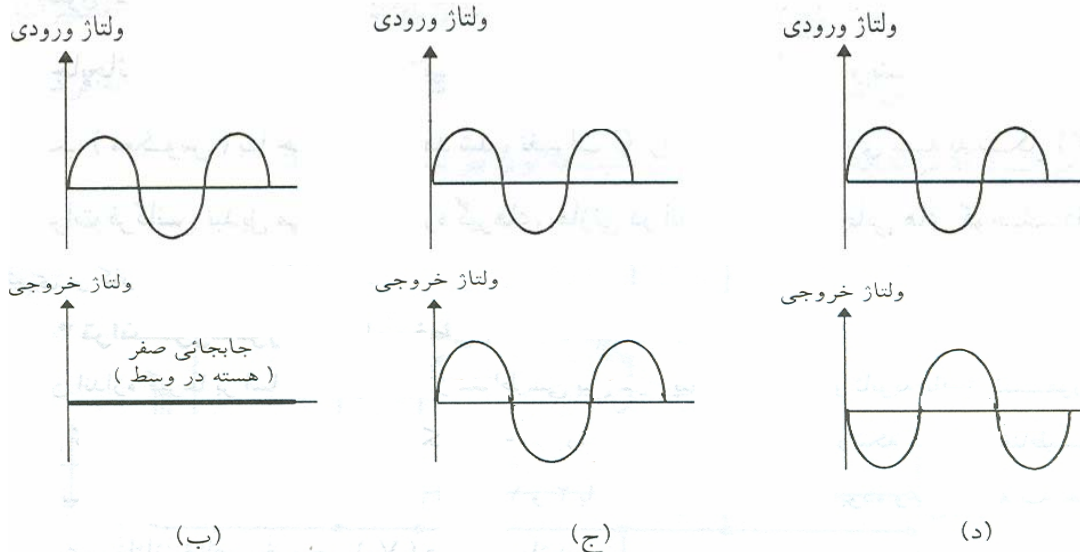
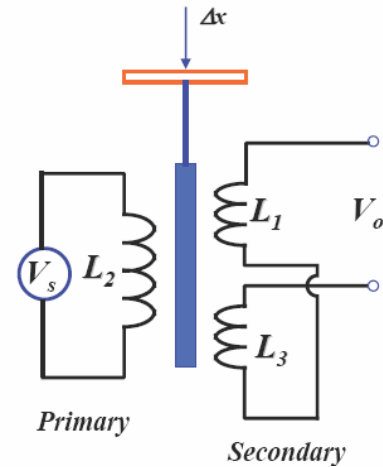
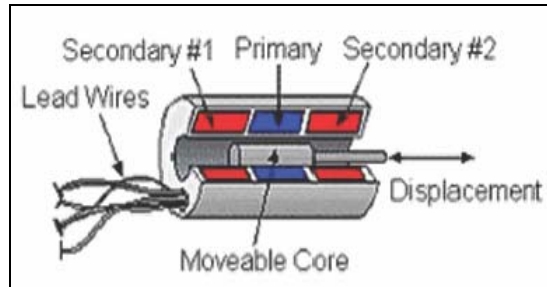
شکل (2-10): اساس کار اندازه گیر خازنی

مزایای این اندازه گیر

- 1- دقت و حساسیت بهتر در اندازه گیر
- 2- میدان مغناطیسی محیط کار در اندازه گیری تاثیری ندارد

4-2-2 ترانسفورماتور تفاضلی خطی LVDT

این اندازه گیرها بر اساس اصل کوپلاژ مغناطیسی بین سیم پیچهای اولیه و ثانویه یک ترانسفورماتور کار می کند.



شکل (2-11): مدار LVDT و شکل موج های خروجی آن در حالت های مختلف

با توجه به شکل (2-11) اگر هسته بین دو سیم پیچ ثانویه 1 و 2 باشد ولتاژ خروجی V_o صفر می شود در صورتیکه هسته به سمت بالا حرکت کند دامنه ولتاژ در ثانویه 1 بیشتر از ثانویه 2 گردیده و ولتاژ V_o همفاز با ورودی در خروجی دیده میشود و در صورتیکه هسته به سمت پائین حرکت کند دامنه ولتاژ ثانویه 2 بیشتر از 1 شده و ولتاژ خروجی با 180 درجه اختلاف فاز نسبت به ورودی ظاهر میشود.

مزایای این اندازه گیر

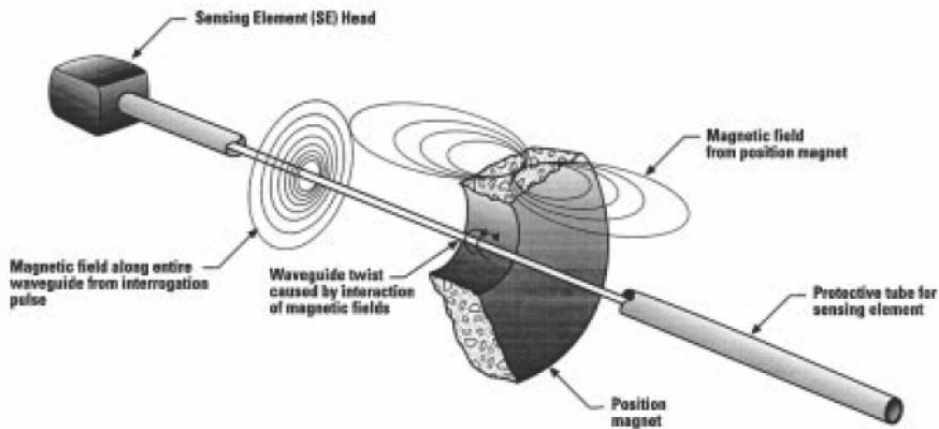
- 1- مدارات ساده و ارزا نتریناز دارد
 - 2- پلاریته ولتاژ خروجی از آنها جهت حرکت نسبت به وضعیت صفر را مشخص می کند
 - 3- حوزه اندازه گیری حدود ± 2 سانتیمتر است
 - 4- بسیار محکم و با استقامت
- برای افزایش حوزه اندازه گیری می توان از اهرم یا چرخ دنده استفاده نمود

معایب این اندازه گیر

حساسیت به میدان مغناطیسی

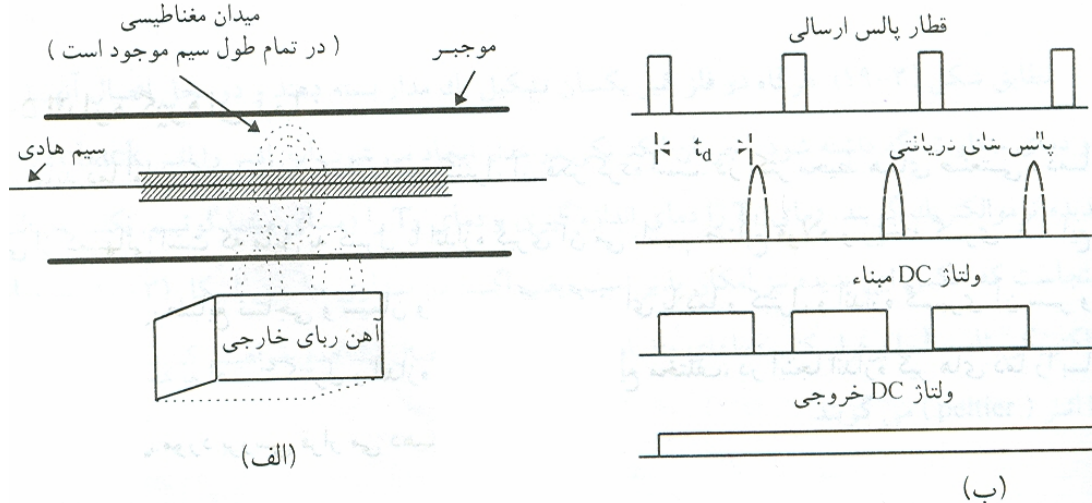
2-2-5- اندازه گیرهای آلتراسونیک

شکل (2-12) یک اندازه گیر آلتراسونیک است



شکل (2-12): اندازه گیر آلتراسونیک

داخل غلاف موجبر یک سیم هادی به ضخامت 0.05 میلی متر که 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 امواج صوتی در اطراف لوله اثر نوبز خارجی حذف شده است بصورت شکل (2-13)



شکل (2-13): الف) مدار داخلی اندازه گیر آلتراسونیک

ب) سیگنالهای ارسالی و دریافتی

قطار پالس در طول سیم هادی ارسال میگردد عبور جریان الکتریکی از سیم موجب ایجاد میدان مغناطیسی در اطراف آن میشود در اثر برخورد این میدان با میدان ناشی از آهنربا یک سیگنال ایجاد میشود که 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 حدود 0.1 میلی متر می باشد

3-2- دما و روشهای اندازه گیری آن

یکی از کمیتهای مهم در پروسه های صنعتی دما می باشد. شاید بندرت بتوان پروسه ای پیدا کرد که دما، اندازه گیری و کنترل آن نقشی در کنترل و اجرای پروسه نداشته باشد. بطور کلی چهار روش کلی برای اندازه گیری دما وجود دارد که بر اساس چهار اصل اساسی ذیل کار می کنند:

- 1- انبساط یک ماده بوسیله دما، که تغییری در طول، حجم و فشار ایجاد می کند که نمونه بارز آنها ترمومترهای حیوهای یا الکلی هستند.
- 2- تغییر در مقاومت الکتریکی بوسیله دما، که در اندازه گیرهای مقاومتی و ترمیسترها استفاده می شوند.
- 3- تغییر در ظرفیت اتصال دو فلز غیرمشابه بوسیله دما، که در ترموکوپل ها مورد استفاده قرار می گیرد.
- 4- تغییر در انرژی تابشی بوسیله دما، که در اندازه گیرهای تشعشعی و نوری مورد استفاده قرار می گیرند.

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 (معمولاً جابجایی) تبدیل می‌گردد بعبارت دیگر اصل فیزیکی مورد استفاده در این اندازه‌گیرها تغییر حجم اجسام در اثر تغییر دما می‌باشد.

حد پایین و بالای حوزه اندازه‌گیری، نقطه انجماد و جوش مایع مورد نظر محدود می‌شود.

ترمومتر جیوه‌ای و الکلی مثال آشنای اندازه‌گیرهای انبساطی هستند. این اندازه‌گیرها دما را به جابجایی ستون جیوه یا ستون الکلی 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

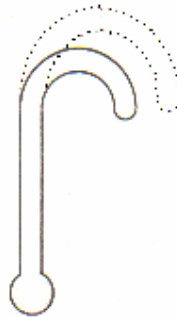
2-3-1-1 اندازه‌گیرهای دما از طریق فشار گاز

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

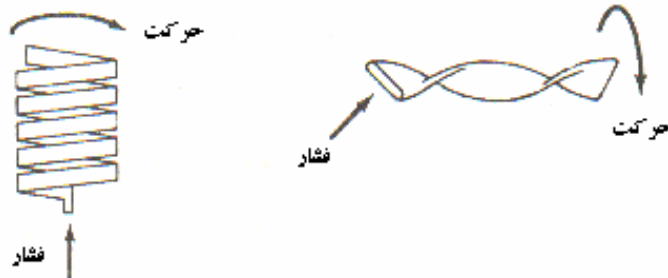
$$\frac{PV}{T} = \text{const}$$

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 را نشان می‌دهد. این اندازه‌گیر از یک مخزن و یک لوله مسدود (لوله بودن) که با یک گاز کامل (معمولاً 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 بودن مشهور است. جابجایی لوله بودن می‌تواند بعنوان دمای اندازه‌گیری شده مقیاس گردد. در عمل برای افزایش جابجایی، لوله بودن را بصورت مارپیچ و یا بشکل‌های دیگر می‌سازند (شکل 2-16)



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

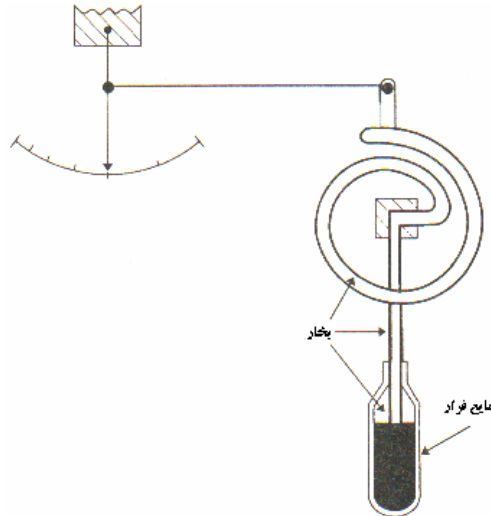


شکل (2-16): شکل‌های دیگر لوله بودن

2-1-3-2 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 پر نمی‌شود بلکه در شرایط عادی در بالای مخزن و در لوله‌ها بخار وجود دارد و در واقع فشار توسط بخار به قسمت انتهائی لوله بودن منتقل می‌گردد. شکل (2-17) ساختمان کلی این اندازه‌گیر را نشان می‌دهد. در انتخاب مایع اینگونه اندازه‌گیرها می‌بایستی به نکاتی چند توجه نمود:

- 1- نقطه جوش مایع می‌بایستی کمتر از کمترین دمائی باشد که می‌خواهیم اندازه‌گیری کنیم.
- 2- مایع مورد استفاده می‌بایستی از لحاظ شیمیایی بی‌اثر باشد تا موجب خوردگی مخزن و لوله‌ها نشود.



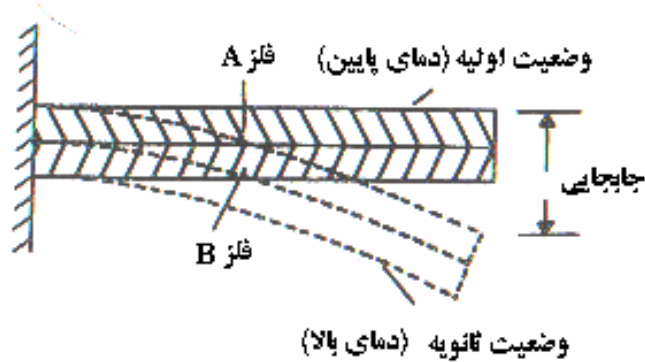
شکل (2-17): شکل کلی اندازه‌گیرهای دما از طریق فشار بخار

معایب این اندازه‌گیر

- 1- تغییر حجم لوله با درجه حرارت
- 2- کامل نبودن گاز مورد استفاده

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

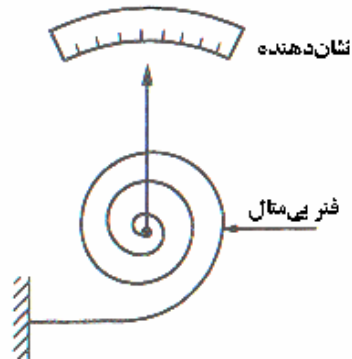
اندازه‌گیرهای دما دو فلزی بر اساس خاصیت متفاوت بودن ضریب انبساط اجسام ساخته می‌شوند. ضریب انبساط یک جسم بگونه‌ای بیانگر افزایش طول جسم ناشی از افزایش دما است. در اندازه‌گیرهای دما دو فلزی مطابق شکل (2-18) دو فلز مختلف را که در دمای محیط هم طول هستند، به یکدیگر متصل می‌شوند. فرض کنید ضریب انبساط فلز A 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 (شکل 2-19). تغییرات طول را می‌توان مستقیماً 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. اندازه‌گیری‌های بی‌متال ارزان، ساده، محکم و با دوام می‌باشند و معمولاً برای کنترل‌های خاموش-روشن، حفاظت و هشدار دهنده‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند.



شکل (2-18): اساس کار اندازه گیرهای دما دو فلزی



(ب)



(الف)

شکل (2-19): الف: اندازه گیر دمای دو فلزی حلزونی شکل

ب: اندازه گیر واقعی دما دو فلزی

2-3-2 اندازه گیرهای الکتریکی دما

این اندازه گیر، دما را بگونه ای تبدیل به کمیتی الکتریکی می کند و به سه دسته تقسیم میشود.

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

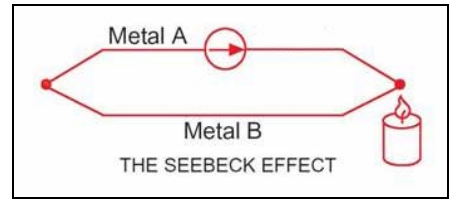
2-3-2-1 ترموکوپل ها

ترموکوپل ها متداول ترین اندازه گیرهای دما در صنعت می باشند. ترموکوپل ها بر اساس پدیده سبیک (

seebeck) کار می کنند.



ب:ولتاژ سبیک



شکل (20-2): الف: پدیده سبیک

مطابق شکل (20-2) 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 بیشتر به طرف هادی باچگالی الکترون آزاد کمتر منتقل می‌شود و جریان الکتریکی در مدار ایجاد می‌کند. نتیجه آن ایجاد حفره‌های مثبت در یک طرف و الکترون‌های آزاد در طرف دیگر است که باعث ایجاد ولتاژ می‌شود این ولتاژ از رابطه زیر بدست می‌آید.

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

ضرایب α_1 ، α_2 و... تابع خصوصیات فلزات A و B است. رابطه فوق یک رابطه غیر خطی است ولی

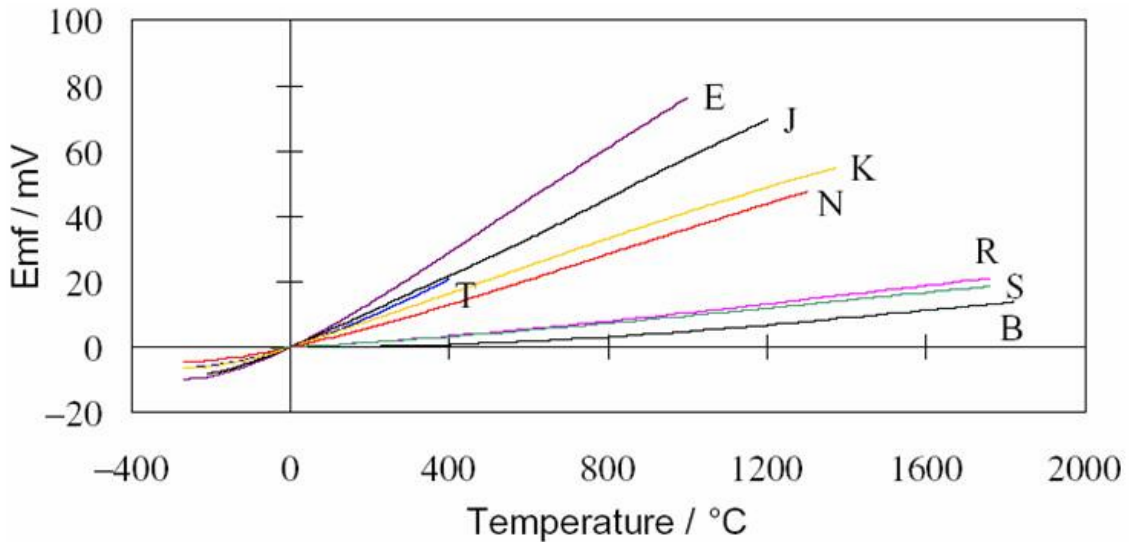
از ضرب $\alpha_2 T^2$ به بعد تقریباً صفر است بنابراین می‌توان نوشت.

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

جدول زیر اسامی و مشخصات ترموکوپل‌ها بر اساس استاندارد ISA را نشان می‌دهد.

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

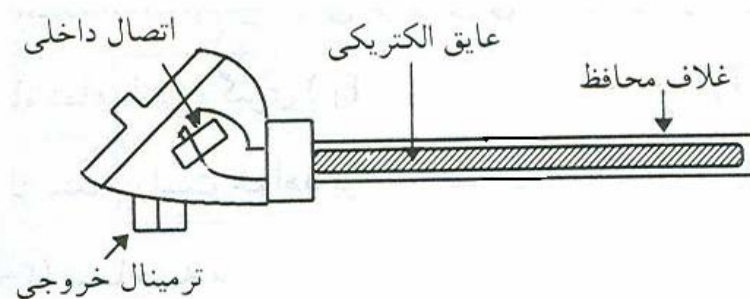
در شکل (2-21) مشخصه ولتاژ بر حسب اختلاف درجه حرارت اتصال گرم با سرد، برای چند نمونه ترموکوپل آمده است.



Notation: $E = \text{Emf} = \text{Electromotive Force} = \text{Thermoelectric Voltage}$
 $S = dE/dT = \text{Seebeck Coefficient} = \text{Sensitivity}$

شکل (2-21): شکل موج ولتاژ ترموکوپل بر حسب دما

در صنعت ترموکوپل‌ها با نامهای اختصاری استاندارد شناخته می‌شوند. برای جلوگیری از خوردگی و آلودگی که منجر به تغییر مشخصات ترموکوپل و اختلال در کار آن میشود و همچنین حفاظت مکانیکی آن، معمولاً ترموکوپل را در یک غلاف محافظ (termowell) قرار می‌دهند که مجموعه حاصل در شکل (2-22) نشان داده شده است.



شکل (2-22): ترموکوپل همراه با ترموول

معمولاً جنس ترموول متناسب با دمای محیطی است که ترموکوپل در آن نصب می‌گردد، اما ترموول باعث افزایش ثابت زمانی میشود مثلاً برای ضخامت یک میلی‌متر، $\tau = 0.15$ ثانیه است که اثر نسبتاً کمی در پروسه

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 درمحل نصب گردد که 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 حداقل 10 برابر قطر ترموول باشد.

در حالتی که ماده مورد نظر در حال 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 و ترانسمیتر فاصله وجود دارد بدلیل اینکه دما بر ارسال اطلاعات تاثیری نگذارد.

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

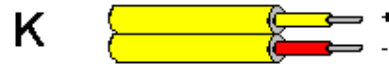


شکل (2-23): ترموکوپل و ترموول واقعی

رنگ سیمهای مثبت و منفی 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:



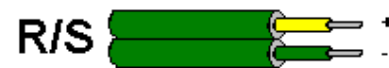
British BS1843: 1952:



British BS4937: Part 30: 1993:



French NFE:



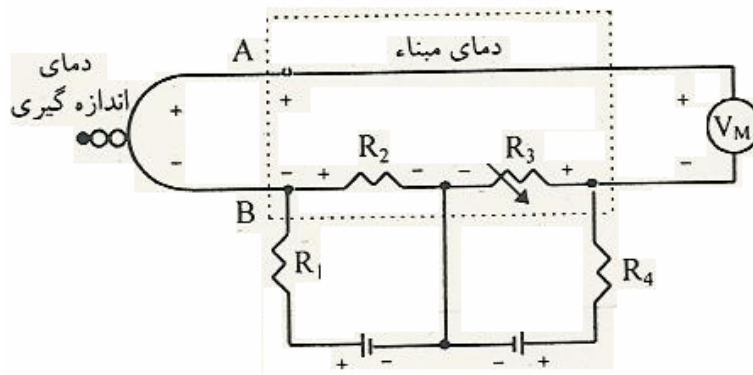
German DIN:





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 و خنثی سازی تغییرات دمای محیط از مدار شکل (2-25) استفاده میشود.



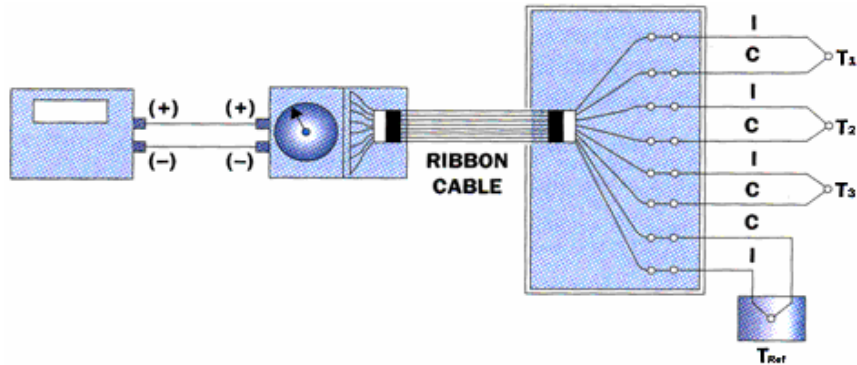
شکل (2-25): مدار ترموکوپل در محیط های صنعتی

در این مدار تقسیم ولتاژ بین چهار مقاومت R_1 الی R_4 بگونه ای است که افت ولتاژ در مقاومت های R_2 و R_3 در جهت نشان داده شده با یکدیگر برابر است. بنابراین در صورتیکه دمای محیط تغییری نداشته باشد اثر مقاومت های R_2 و R_3 همدیگر را خنثی میکند و مانند یک ترموکوپل عادی کار میکند. R_3 یک مقاومت متغیر با دما و شیب منفی است یعنی با افزایش دمای محیط، مقدار آن کاهش و با کاهش دما مقدار آن افزایش می یابد. اکنون اگر دمای محیط افزایش یابد، بدون در نظر گرفتن اثر مدار جبران ساز، ولت متر می خواهد عددی کمتر را نشان دهد، چرا که اختلاف دمای محیط گرم و سرد کمتر شده است اما افزایش دمای محیط موجب کاهش و در نتیجه کاهش ولتاژ روی آن میگردد، که در این صورت ولت متر می خواهد عددی بیشتر را نشان دهد، بنابراین دو اثر فوق می توانند یکدیگر را خنثی نموده و ولت متر عدد ثابتی که همان دمای اتصال گرم باشد را نشان دهد. در مورد کاهش دمای محیط نیز بطور مشابه میتوان استدلال نمود.

از مزایای اندازه گیرهای دما بوسیله ترموکوپل، می توان به سادگی، ارزانی، استحکام، دوام و دقت مناسب آنها اشاره نمود. از ترموکوپل ها می توان در حوزه اندازه گیری نسبتاً وسیع (1800 + تا 200- درجه سانتیگراد) و شرایط محیطی گوناگون استفاده نمود. ترموکوپل ها دارای سرعت پاسخدهی نسبتاً خوب (ثابت زمانی کوچک) می باشند.

اگر تعدادی ترموکوپل با هم سری یا موازی شوند ترموپیل ساخته میشود نقطه مرجع آنها در مکان سرد مشترک و نقاط اتصال آنها نیز در جایی که دمای آن باید اندازه گیری شود قرار میگیرد.

ترموپیل ها را در محل هائی که حساسیت اندازه گیری زیاد باشد استفاده میشود مثلا اگر 25 عدد 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

2-2-3-2 اندازه گیرهای مقاومتی دما

در این نوع اندازه گیرها تغییرات درجه حرارت به تغییرات مقاومت الکتریکی تبدیل میشود و براساس 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.

با تغییر 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 و با کاهش دما کاهش می یابد این عناصر را اصطلاحاً

PTC گویند.

مقاومت الکتریکی عناصر PTC از رابطه زیر بدست می آید.

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

در رابطه فوق از ضریب α_2 به بعد خیلی کوچک بوده و قبل صرفنظر کردن است و رابطه بصورت

$R \cong R_0(1 + \alpha_1 T)$ میشود که در آن R_0 مقاومت المان در صفر درجه و α_1 ضریب مقاومت حرارتی است.

در جدول زیر مشخصه چند فلز معروف بیان میشود که بعنوان PTC میتوان از آن استفاده نمود.

	پلاتین	مس	نیکل	تنگستن
ضریب تغییر مقاومت $\Omega/\Omega_0 \text{ } ^\circ\text{C}$	۰/۰۰۳۸۵	۰/۰۰۴۲	۰/۰۰۶۷	۰/۰۰۴۵
مقاومت مخصوص ($\Omega \text{ cm}$)	$9/81 \times 10^{-6}$	$1/52 \times 10^{-6}$	$5/91 \times 10^{-6}$	$4/99 \times 10^{-6}$
خطی بودن	خوب	خوب	ضعیف	ضعیف
حوزه اندازه گیری مفید $^\circ\text{C}$	۲۶۰- تا ۸۰۰	۱۰۰- تا ۱۵۰	۱۰۰- تا ۵۰۰	۷۰- تا ۲۷۰۰

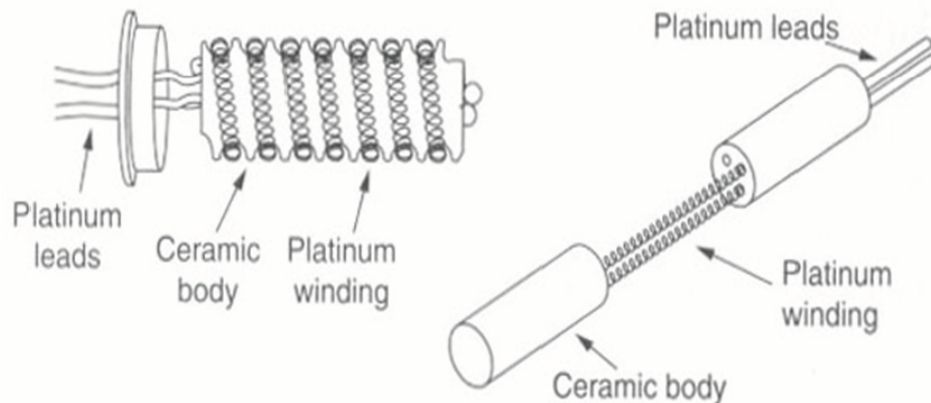
تنگستن از جمله فلزاتی است که در دماهای بالا میتوان از آن استفاده نمود ولی بدلیل ناپایداری آن کمتر از آن استفاده میشود

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

محدوده مقاومتی آن بین ۱۰ اهم تا ۲۵ کیلو اهم میباشد معمولا سنسور با مقاومت بالا کاربرد وسیعی دارد به دو دلیل:

1- وزن مقاومتهای اتصال کمتر است

2- ولتاژ نسبتا 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 آنها بصورت سیم پیچ در می آورند همانطور که در شکل (27-2) نشان داده شده است.



شکل (27-2): طرح های مختلف PTCها

در صنعت سنسور های مقاومتی از نوع PTC رادر اصطلاح RTD(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 RTD وجود دارد که عبارتند از:

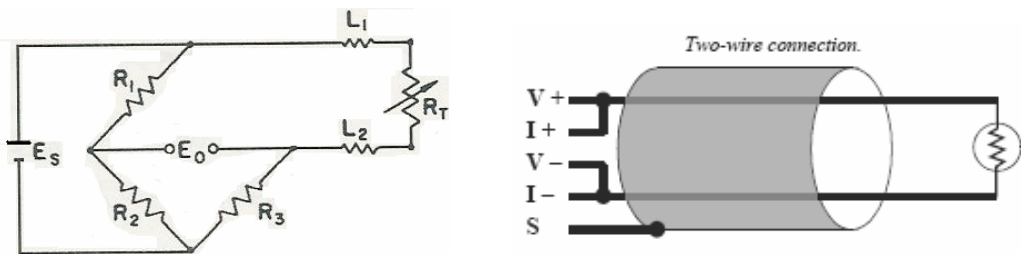
1- اتصال دو سیمه

2- اتصال سه سیمه

3- اتصال چهار سیمه

اتصال دو سیمه

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

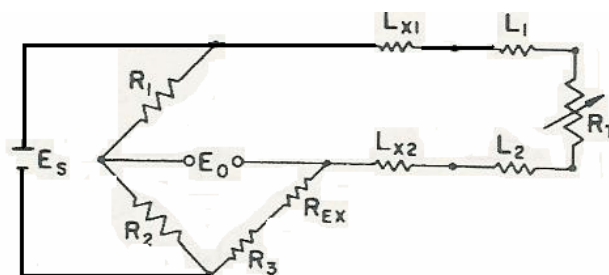


شکل (28-2): اتصال دو سیمه

همانطور که در شکل می بینید L_1 و L_2 مقاومت های سیم های رابط هستند وقتی پل در حال تعادل است که مقاومت های $R_1, R_2, R_3, R_T + L_1 + L_2$ مساوی بوده وولتاژ E_0 مساوی 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_3 اضافه و اثر مقاومت های سیمهای رابط را در RTD جبران نمود همانطور که در شکل (29-2) نشان داده شده است.



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

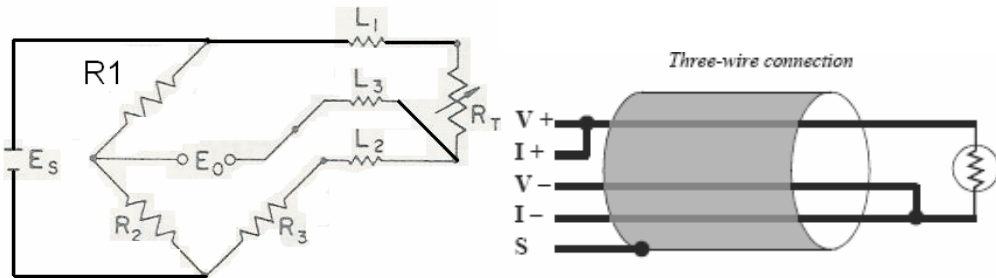
در این حالت مقاومتها از روابط زیر محاسبه میشود.

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

معمولاً در صنعت از اتصال دو سیمه کمتر استفاده میشود.

اتصال سه سیمه

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



شکل (2-30) اتصال سه سیمه

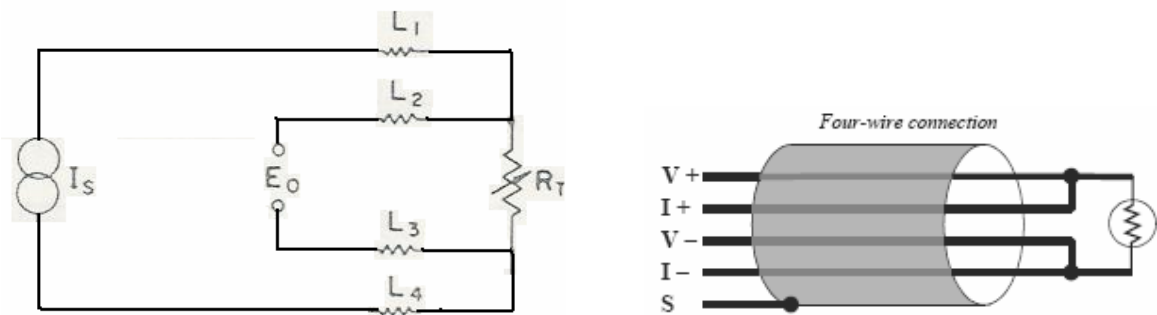
حالت تعادل که در آن ولتاژ E_0 مساوی صفر است برابر است با

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

از خصوصیات این نوع اتصال، جبران خطای بدست آمده از طریق L_1 بوسیله L_2 است مقاومت L_3 فقط برای برقراری پل و تسون است که عملاً 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 RTD که با هم سری شده اند در مسیر مقاومت R_T قرار میگیرد. طرح چهار سیمه دقت بیشتری ایجاد میکند اما از آنجائیکه تنظیم و کالیبراسیون آن بامشکلاتی توأم است کمتر مورد استفاده قرار می گیرد.

در صنعت RTD ها 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 RTD ها نشان میدهد. (منظور از $PT100\Omega$ این است که به ازای دمای صفر درجه 100Ω از 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 10 Ω , 0.0367 Ω /°C	0 to +119°C	0.1°C	0.6°C
	Pt 100 Ω , 0.385 Ω /°C	-200 to +800°C	0.05°C	0.2°C
		-200 to +409°C	0.0125°C	0.2°C
	Pt 100 Ω , 0.392 Ω /°C	-200 to +800°C	0.05°C	0.2°C
		-200 to +409°C	0.0125°C	0.2°C
	Ni 120 Ω , 0.380 Ω /°F ₅	-100 to +482°F	0.1°F	0.3°F
Ni 200 Ω , 1.10 Ω /°C	-58.9 to +151.6°C	0.02°C	0.07°C	
Ni 1K Ω , 5.60 Ω /°C	-50.0 to +129°C	0.025°C	0.08°C	
Gage ₆		-500 to +500 mV	5 μ V ₇	30 μ V
DC Voltage		-5 to +5V ₃	500 μ V	600 μ V
		-5 to +5V	200 μ V	600 μ V
		-500 to +500mV	20 μ V	40 μ V
		-100 to +100mV	5 μ V	30 μ V
Current Loop ₂		4 to 20mA	0.01%	0.08%
Resistance		0 to 400 Ω	0.02 Ω	0.04 Ω
		0 to 3K Ω	0.125 Ω	0.25 Ω
		0 to 600K Ω	31 Ω	130 Ω
Disabled ₄		Not Applicable — sensor removed from scan loop		

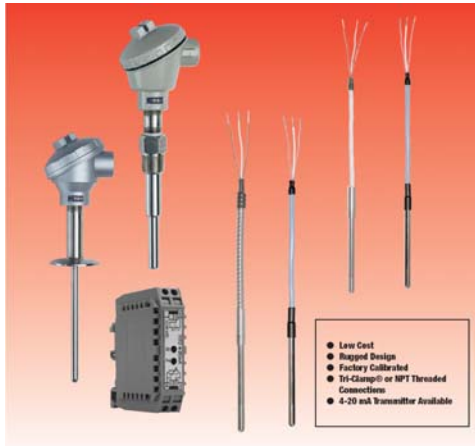
محاسن RTD

- 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

معایب RTD

- 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 و حرکات با شتاب

در شکل (2-32) چند نمونه RTD نشان داده شده است.



شکل (2-32): دو نمونه RTD

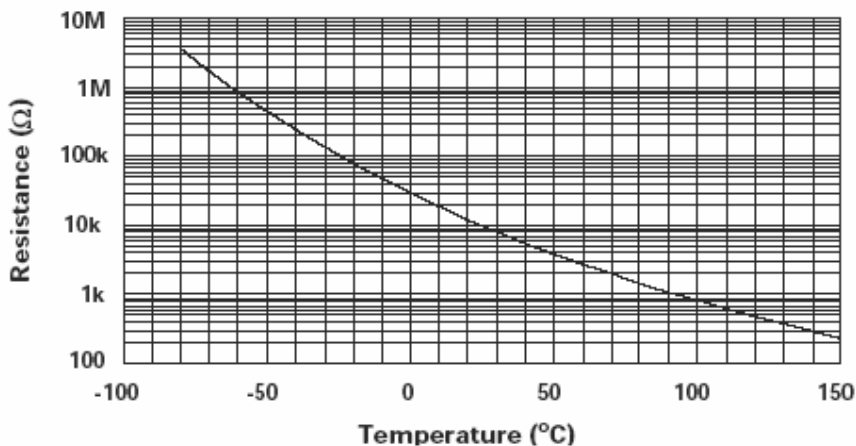
2- ترمیستورها (NTC)

ترمیستورها معروفترین اندازه‌گیرهای دما با شیب منفی می‌باشند. واز مواد نیمه هادی هستند که از اکسید فلزاتی از قبیل کرم، کبالت، آهن، منگنز و نیکل ساخته میشوند و از رابطه زیر مقاومت در برابر تغییرات دما محاسبه می‌شود.

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

که در آن R مقاومت در دما، T (کلوین) و R_0 مقاومت ترمیستور در دمای T_0 که معمولاً $25^\circ C$ و مقدار ثابتی است که بستگی به جنس ترمیستور دارد و مقدار آن 4000 انتخاب می‌شود. ترمیستورهای امروزی قادر به اندازه‌گیری دماهای پائین حدود 100^- تا دماهای بالا حدود 500^+ می‌باشند. ترمیستورها ممکن است بصورت عناصری با شیب مثبت نیز ساخته شوند ولی نوع NTC آن متداول تر است در شکل (2-33) منحنی مشخصه ترمیستور نشان داده شده است.

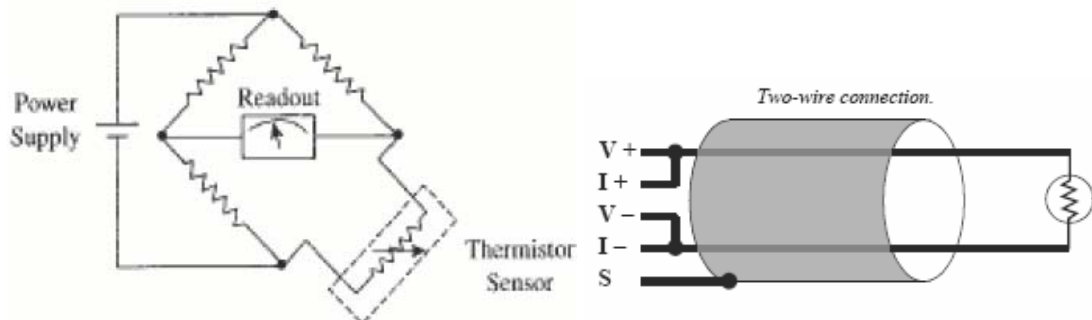
Thermistor Resistance vs Temperature



شکل (2-33): منحنی مشخصه ترمیستور

باتوجه به شکل شیب منحنی خیلی بیشتر از RTDها است بهمین خاطر حساسیت ودقت ترمیستور ها بیشتر میباشد. درصد تغییرات مقاومت یک ترمیستور در اثر یک درجه تغییر دما حدود 3 الی 5 درصد بوده در صورتی که RTDها 0.4 درصد میباشد .

ترمیستور ها را می توان با مقاومتی حدود چند ده کیلو اهم ساخت در صورتی که RTDها حدود چند صد اهم ساخته می شود بهمین خاطر اثر سیمهای رابط در آنها منتفی میشود. نکته ای که در مورد ترمیستورها حائز اهمیت است آنستکه بسیار غیر خطی تر از RTDها می باشد و حوزه اندازه گیری خیلی پائینتری دارند. برای اندازه گیری دما از مدارهای شکل (2-34) استفاده می شود.



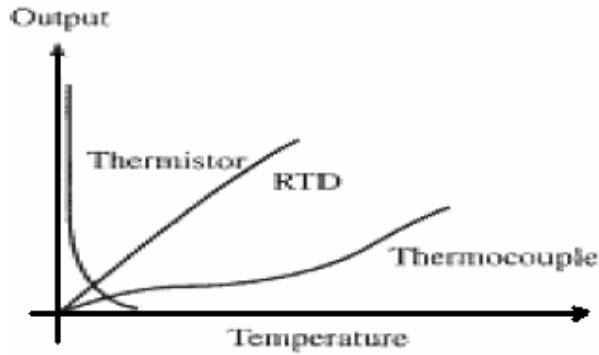
شکل (2-34): مدار آشکارساز ترمیستور

- یکی از مشکلات ترمیستور ها وجود تفرانس در آنها است بطوری که ترمیستورهای ساخت یک کمپانی و تحت یک نام و شماره از نظر رفتار و مشخصه 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 محلتهائی که جای کمی برای نصب آنها وجود دارد بسیار مناسب است.
- پدیده خود گرمائی (گرم شدن اندازه گیر در اثر جریان الکتریکی که از آن می گذرد است) در ترمیستور ها حادث بوده چون ترمیستورها دارای مقاومت بیشتری است .
- پایداری ترمیستور هادر دمای حدود 20C^0 است ودر بالای 300C^0 کثرا فرسوده میشوند.
- در شکل (2-35) چند نوع ترمیستور کارخانه های مختلف نشان داده شده است.



شکل (2-35): دو نمونه ترمیستور

در شکل (2-36) مقایسه ای بین منحنی مشخصه های ترموکوپل، RTD و ترمیستور نشان داده شده است.



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

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

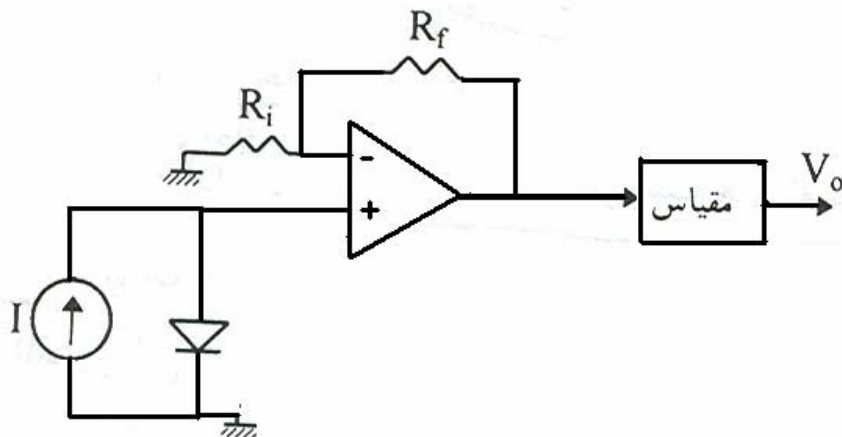
2-3-3-2 اندازه گیرهای نیمه هادی دما

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 ساز اندازه گیر نیمه هادی

محاسن

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

معایب

- رفتار ناپایدار و غیر خطی
- در کاربردهای دقیق استفاده نمی شود
- کاربرد آن در مدارهای ایمنی و آلام می با شد.

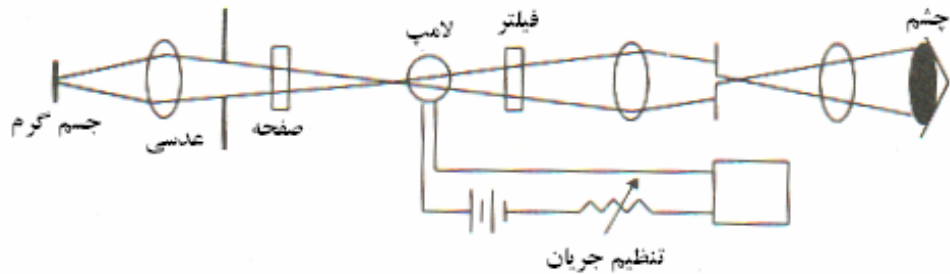
2-3-3- اندازه گیرهای تشعشی دما

در مواردی چون پروسه های متحرک و یا دمای بسیار بالا تماس اندازه گیر با پروسه امکان پذیر نیست. یا هر گونه تماس موجب ذوب شدن و خرابی اندازه گیر می شود و یا هنگامی که پروسه دارای مواد مخرب و زیانبار است. که نمونه هایی از اینگونه موارد را می توان در صنایع ریخته گری و فولاد و همچنین صنایع چینی و سرامیک و صنایع شیمیایی پیدا کرد. در اینگونه موارد برای اندازه گیری دما بدون تماس مستقیم یا غیر مستقیم با پروسه، از اندازه گیرهای تشعشی و نوری استفاده می شود. اندازه گیرهای تشعشی دما را پیرومتر گویند. حد بالای دمای قابل اندازه گیری با اندازه گیرهای تشعشی تا حدود 4000 درجه سانتیگراد می رسد. اصل فیزیکی مورد استفاده در پیرومترها تغییر انرژی تابشی اجسام بوسیله دما می باشد. 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 می شود. جسم سیاه، جسمی است که هیچ اشعه ای 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 می شود را جذب نموده و بصورت امواج تشعشع می کند. رابطه بین دما، طول موج و شدت تشعشع توسط رابطه پلانک بیان می گردد.

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

که در آن C_1, C_2 ثابت بوده و با 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 می شود.



شکل (2-39): پیرومتر تشعشعی

هنگام استفاده از پیرومتر های نوری باید دقت نمود که گرد و غبار و بخار موجب نوعی فیلترینگ و حذف 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 و روشهای 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 اندازه‌گیری 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 و مقدار صفر مطلق فشار

فشار گیج: عبارتست از تفاضل فشار مایع و فشار اتمسفر

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

بطور کلی می‌توان گفت:

فشار اتمسفر + فشاری که فشار سنج نشان می‌دهد = فشار مطلق

اندازه‌گیرهای فشار به سه دسته تقسیم میشوند که عبارتند از:

1- اندازه‌گیرهای مانومتری

2- اندازه‌گیرهای با خاصیت ارتجاعی در برابر فشار

3- اندازه‌گیرهای الکتریکی فشار

2-4-1 اندازه‌گیرهای مانومتری U شکل فشار

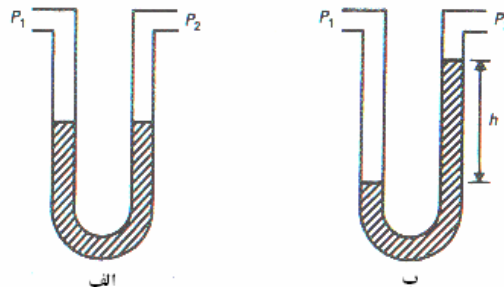
یک اندازه‌گیر فشار مانومتری در حالت کلی مطابق شکل (2-41) می‌باشد.

اصل فیزیکی مورد استفاده در اینجا رابطه زیر است:

$$\Delta P = P_2 - P_1 = \rho gh$$

در رابطه فوق، ρ جرم مخصوص مایع مانومتر، g شتاب جاذبه و h ارتفاع مایع در شاخه نشان‌دهنده

می‌باشد.



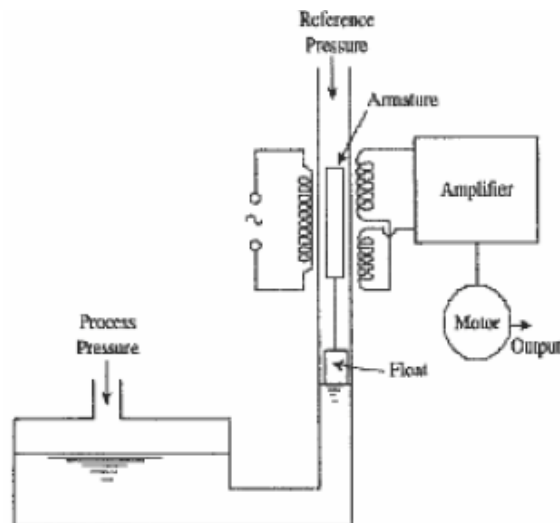
شکل (2-41) اندازه‌گیر فشار مانومتری

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 می‌شود.

2- چون شفاف است ارتفاع آن دیده نمی‌شود.

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 نمود با 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 شود همانطور 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 حدود 2bar را می‌توانند اندازه گیری کنند. از مزایای دیگر این اندازه گیر سادگی ساختمان و قابلیت 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 و دماهای مختلف

2-4-2 اندازه‌گیرهای فشار با خاصیت ارتجاعی

از خاصیت تغییر شکل مواد در اثر فشار در ساخت فشارسنج‌های ارتجاعی استفاده می‌شود و به چهار دسته تقسیم می‌شود که عبارتند از:

- 1- اندازه‌گیرهای فشار دیا فراگمی
- 2- اندازه‌گیرهای فشار کپسولی

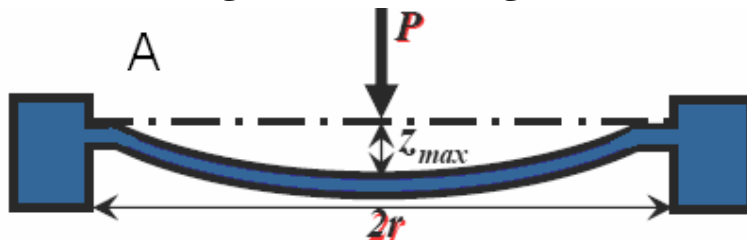
3- اندازه گیرهای فشار لوله بوردن

4- اندازه گیرهای فشار دم (بیلوز)

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

2-4-2-1 اندازه گیرهای فشار دیافراگمی

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



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

در اثر اعمال فشار بر صفحه A، سطح A تغییر شکل می‌دهد. سطح A را می‌توان به اندازه‌ای گرفت تا تغییرات به نوبه خود بزرگ بوده و اندازه گیر حساسیت دلخواه را داشته باشد. از رابطه زیر در صورتی که E: مدول الاستیسیته، U: نسبت پواسن و A: عرض دیافراگم باشد بدست می‌آید.

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

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

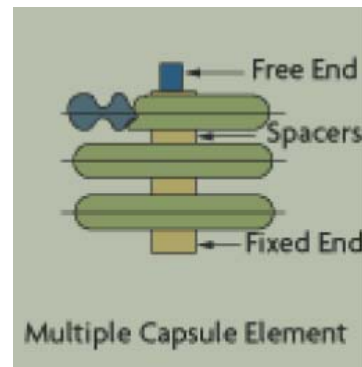
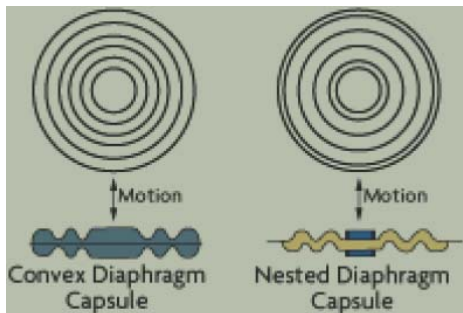
دیافراگم‌های فلزی از جنس برنز، برنج، آلیاژهای مس، فولاد ضد زنگ، برلیوم و آلیاژهای مخصوص ساخته می‌شود و می‌توان آنها را تخت یا چین دار ساخت ابعاد دیافراگم‌های فلزی کوچک می‌باشد و به ضخامت فلز مورد استفاده، مدول الاستیسیته، شکل و تعداد چین‌های دیافراگم بستگی دارد. نمونه‌ای از دیافراگم فلزی در شکل (2-44) نشان داده شده است. ترا نسیمتر مربوطه را از طریق منی فولد (شیر مخصوص) در مسیر قرار می‌دهند.



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

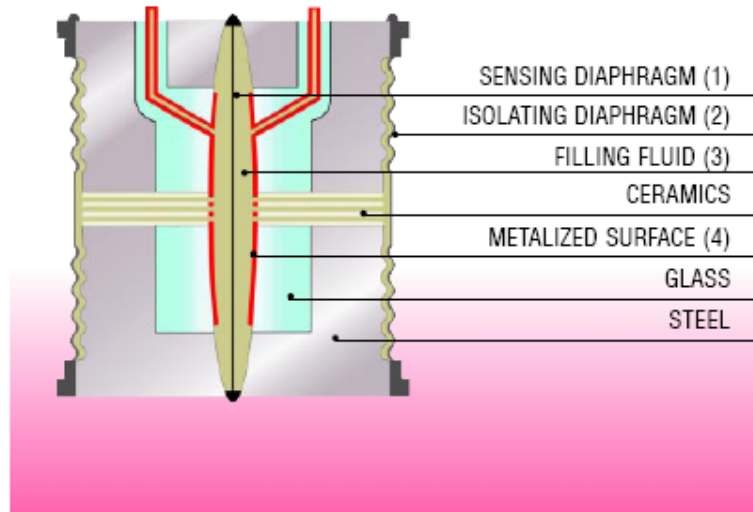
2-2-4-2 اندازه‌گیرهای فشار کپسولی (cell)

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

در کپسول 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 تا 20 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 باشد بطوریکه در شکل (2-48) نشان داده شده است.



شکل(2-48): منی فولد پنج راهه

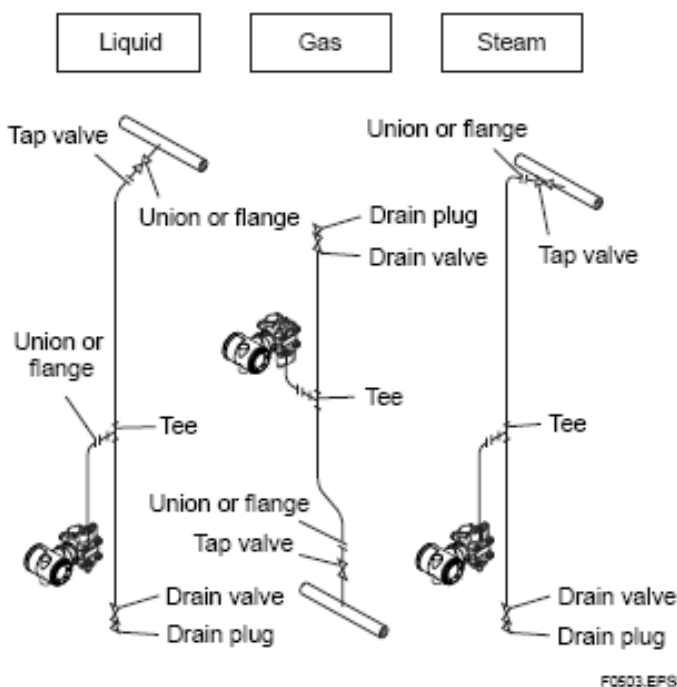
بستگی به نوع ماده ای که از مسیر عبور می کند مکان ترانس‌میتورهای فشار را تعیین می کنند. در شکل (2-49) مکان مناسب برای ترانس‌میتور مشخص شده است.

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

- اگر فشار مایع و بخار آب را بخواهیم باید ترانس‌میتور در پائین قرار گیرد چون اگر بالا باشد در صورتیکه فشار مسیر افت کند فشار حقیقی را نشان نمی دهد.

_ در مورد فشار بخار آب یک عدد ولو جهت تخلیه مایعات ایجاد شده پس از سرد شدن پشت دیافراگم قرار می دهند.

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

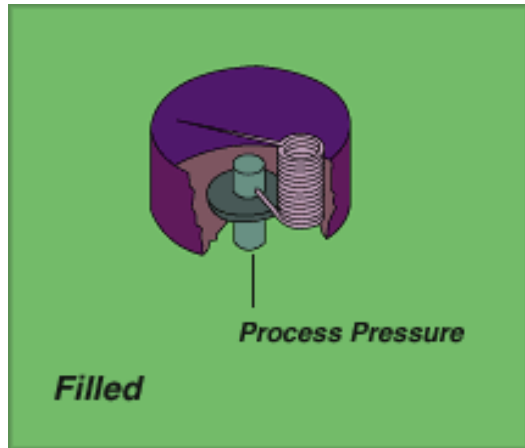


شکل (2-49): محل قرار دادن ترانس‌میتور در مسیرهای مختلف

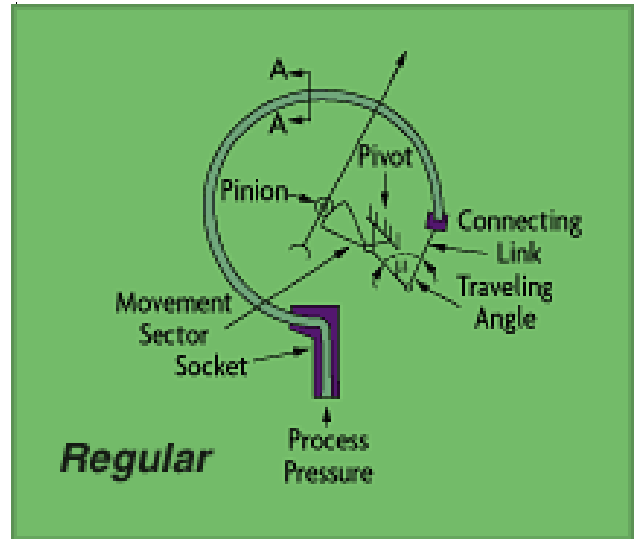
2-4-2-3 اندازه‌گیر لوله بوردن

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

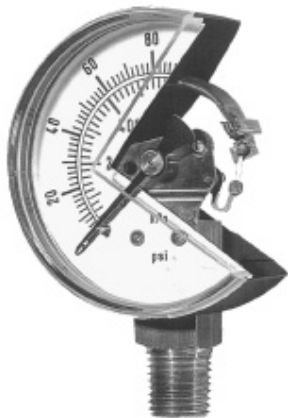
حوزه اندازه‌گیری لوله بوردن بیشتر از دیافراگم و کپسول می‌باشد و معمولا برای اندازه‌گیری فشارهای 35kpa تا 100kpa مورد استفاده واقع می‌شود. در عمل ممکن است لوله بوردن بر حسب کاربرد به صورتهای دیگر نیز ساخته شود. اساس کار این اندازه‌گیر در شکل (2-50) آمده است. در صورتیکه بخواهیم حوزه اندازه‌گیری را افزایش دهند لوله بوردن بصورت مارپیچ در نظر گرفته میشود همانطور که در شکل (2-50-B) نمایش داده شده است.



(b)



(a)



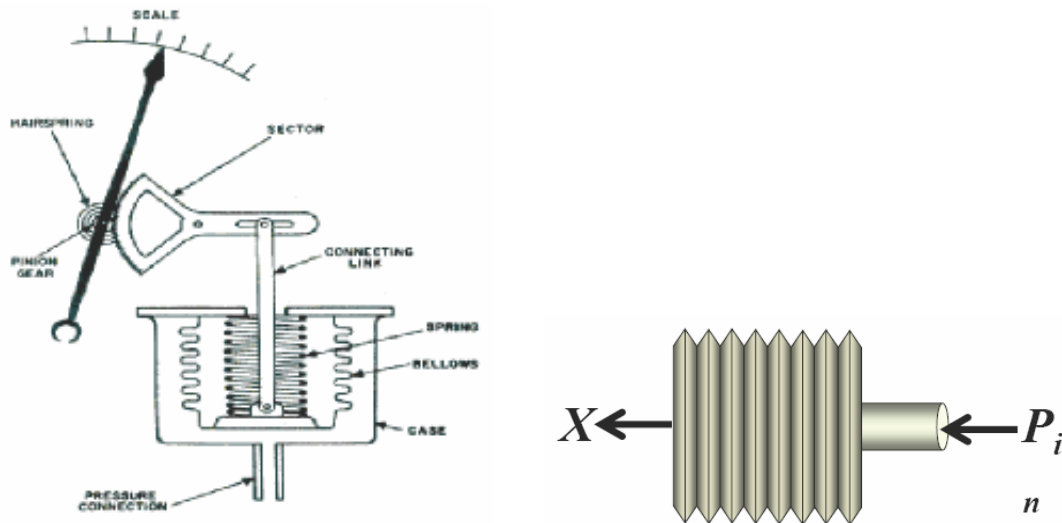
شکل (2-50): اندازه‌گیر فشار از نوع لوله بوردن

4-2-4-2 اندازه گیر دم (بیلوز)

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

$$X = K_s (PA)$$

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



شکل (2-51): اندازه گیر دم (بیلوز)

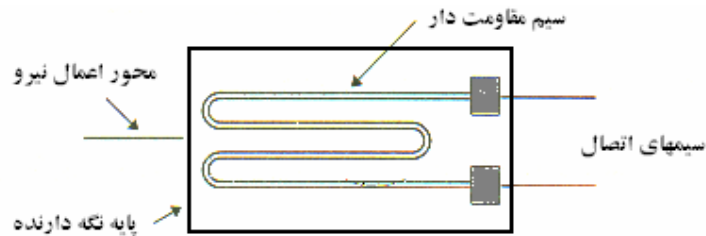
آلیاژهاییکه برای ساخت بیلوز استفاده میشود معمولاً همان آلیاژهای هستند که برای ساخت دیافراگم های فلزی و کپسول ها مورد استفاده قرار می گیرند. معمولاً در کنترل ولوهای PCV از بیلوز استفاده میگردد.

3-4-2 اندازه گیرهای الکتریکی فشار

در اندازه گیرهای مانومتری و ارتجاعی معمولاً فشار اندازه گیری 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 می دهد. اندازه گیرهای الکتریکی فشار علاوه بر مزایای خاص اندازه گیرهای الکتریکی، فشار را مستقیماً به کمیتی الکتریکی تبدیل می نمایند و از این نظر صرفه جویی قابل ملاحظه ای در هزینه می شود و همچنین دقت اندازه گیری نیز افزایش می یابد. در این بخش چندین نمونه از اندازه گیرهای الکتریکی فشار معرفی می شود.

2-4-3-1 استرین گیج‌ها

استرین گیج‌ها 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 استرین گیج

- 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.

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

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

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

در این 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 می‌کند که از رابطه زیر بدست می‌آید

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

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

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

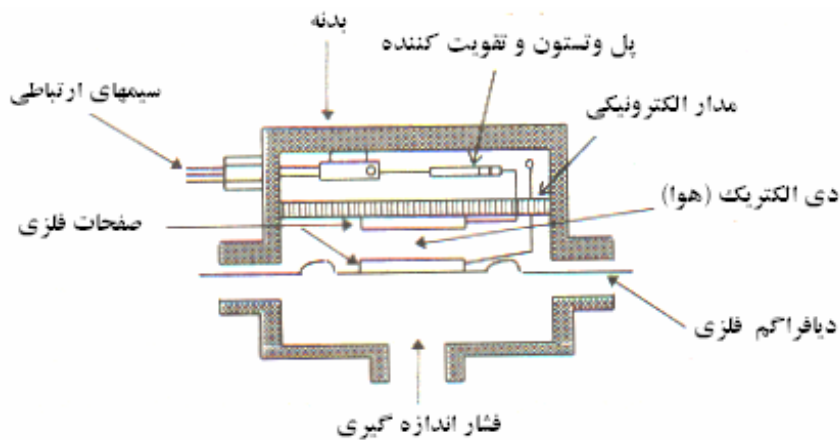
در رابطه فوق، R و L به ترتیب مقاومت و طول جسم در حالت آزاد (بدون اعمال نیرو) می‌باشند. فاکتور گیج در استرین گیج‌های صنعتی حدود 2 می‌باشد به این معنی که اگر طول جسم به اندازه 1٪ تغییر کند، مقاومت آن به اندازه 2٪ تغییر خواهد کرد. برای تبدیل تغییرات مقاومت الکتریکی به سیگنال الکتریکی (ولتاژ یا جریان) معمولاً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

2-3-4-2 اندازه‌گیرهای ظرفیتی فشار

ظرفیت یک خازن از رابطه زیر بدست می‌آید.

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

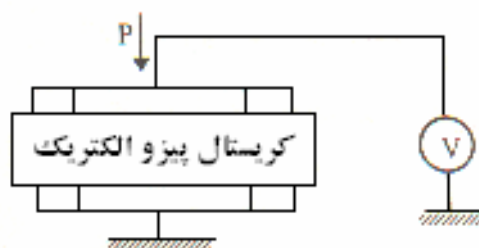
در این رابطه، A ، سطح جوشن‌ها، X فاصله جوشن‌ها از یکدیگر و ε ضریب دی‌الکتریک خازن می‌باشد. مطابق رابطه فوق تغییر هر یک از اجزا موجب تغییر ظرفیت خازن می‌گردد. در اندازه‌گیرهای خازنی، اغلب فشار مورد اندازه‌گیری به جابجایی و تغییر فاصله جوشن‌ها تبدیل می‌شود و تغییر فاصله جوشن‌ها نیز منجر به تغییر ظرفیت خازن می‌گردد. تغییر ظرفیت نیز معمولاً 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 جابجایی دیافراگم نیز فاصله بین دو جوش و نهایتاً ظرفیت خازن را تغییر می‌دهد.



شکل (2-53): اندازه‌گیر فشار خازنی

2-3-4-3 اندازه‌گیرهای پیزو الکتریکی فشار

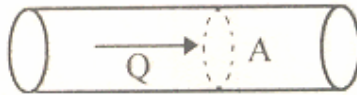
عناصر پیزوالکتریک عناصری با قابلیت تبدیل انرژی مکانیکی به الکتریکی و بر عکس می‌باشند. مطابق شکل (2-54) هرگاه یک عنصر پیزو الکترویک مانند کوارتز تحت فشار P قرار گیرد میلی ولت‌متر ولتاژی متناسب با فشار را نشان خواهد داد. از این خاصیت برای اندازه‌گیری فشار می‌توان استفاده نمود.



شکل (2-54): اندازه‌گیر فشار با عناصر پیزوالکتریک

2-5- شدت جریان و روشهای اندازه گیری آن

در بسیاری از پروسه‌های صنعتی مایل به اندازه‌گیری و کنترل فلو یا دبی می‌باشیم. صنایع نفت و گاز، صنایع شیمیایی و صنایع غذایی 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 می‌توان 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 برخوردار 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 (Turbine 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

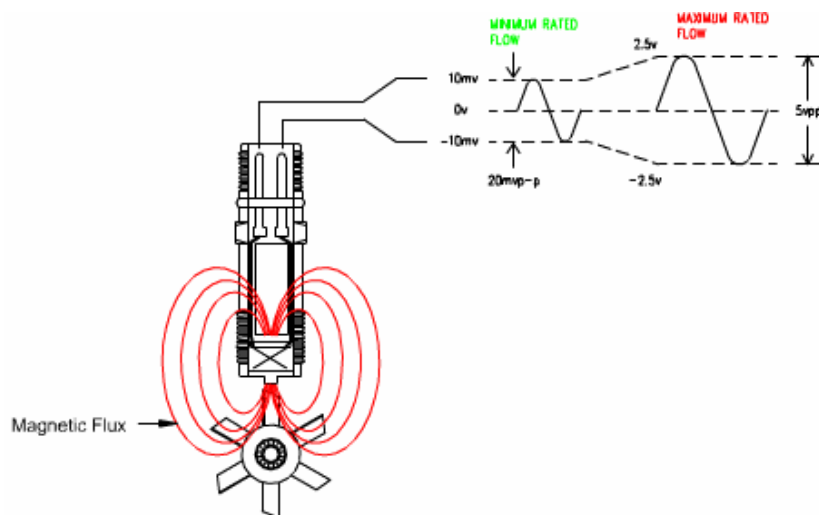
در طرح‌های جدید هسته و سیم‌پیچ آشکارساز را بگونه‌ای می‌سازند که سرعت سیال تبدیل به فرکانس پالس می‌شود و با شمارش پالس‌ها و میانگین‌گیری توسط مدارات مربوطه سرعت سیال و بدنبال آن فلو حجمی یا جرمی را بدست می‌آورند. رابطه زیر بین دبی ورودی و فرکانس خروجی وجود دارد.

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

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

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

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 چسبیده باشد، اندازه‌گیری با مشکلاتی روبرو خواهد شد. همچنین این فلومتر می‌بایستی

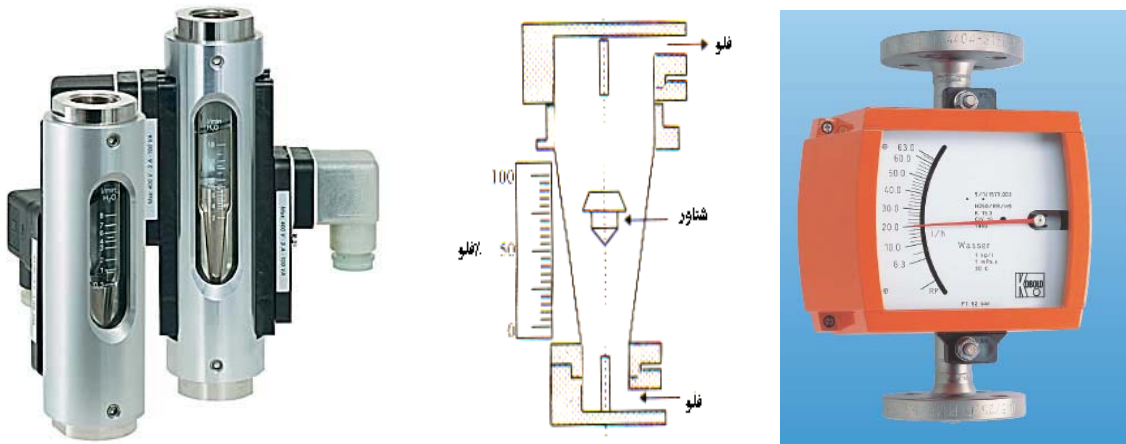
در مسیر لوله‌های مستقیم نصب گردد. اشکال عمده این فلومترها ایجاد مزاحمت و اختلال در حرکت طبیعی سیال می باشد و ممکن است خود باعث تغییر فلوی مورد اندازه گیری شوند. خوردگی و نیاز به تعمیرات از دیگر معایب آنها می باشند. همچنین این فلومترها برای اندازه گیری جریانهای کم مناسب نمی باشند. حوزه اندازه گیری این اندازه کیر حدود 10٪ تا 100٪ 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 می شود تشکیل شده است. هر چه مقدار جریان (دبی حجمی) بیشتر باشد شناور در قسمت بالاتری قرار می گیرد. 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 اندازه گیری فلوی گازها نیز می توان استفاده نمود. محفظه روتامتر را می توان از شیشه یا فلز ساخت. در مواردی که سیال مورد اندازه گیری قابل اشتعال یا خطرناک باشد از محفظه فلزی استفاده میکند در این حالت شناور دیگر قابل رویت نمی باشد و برای آشکارسازی موقعیت آن باید از روشهای دیگری استفاده نمود.

این اندازه گیری 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 اندازه گیری فلو از طریق فشار

اندازه گیری فلو مترادف با اندازه گیری سرعت است و اندازه گیری سرعت معمولا نیاز به اجزاء و قطعات مکانیکی و متحرک دارد که به دنبال آن استهلاک، نیاز به تعمیر و سرویس مطرح میگردد. با اندازه گیری فلو از طریق فشار می توان اجزا و قطعات مکانیکی متحرک را حذف نموده، دوام و استحکام اندازه گیر را بالا برد. بعلاوه چنین طراحی معمولا ساده تر 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 می شود و اگر لوله افقی باشد ثابت است.

انرژی جنبشی ناشی از حرکت جریان سیال است و متناسب با مجذور سرعت می باشد. انرژی فشاری ناشی از

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:

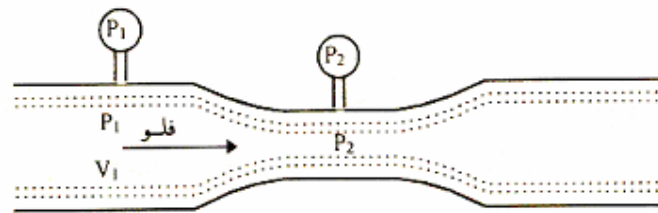
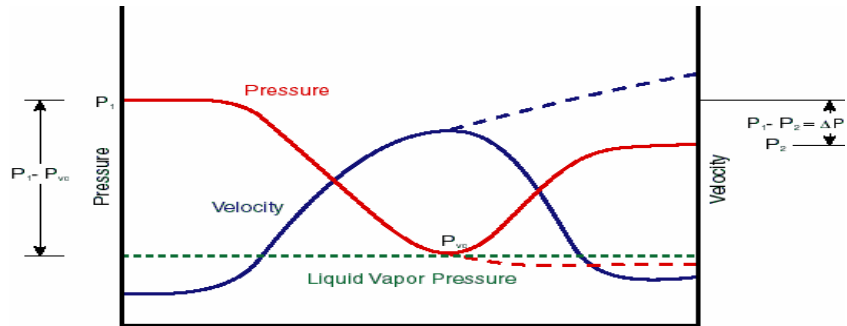
$$V = K \cdot \sqrt{\frac{\Delta P}{\rho}}$$

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

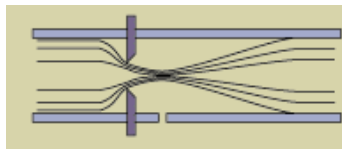
$$M = K \cdot A \cdot \sqrt{\rho \cdot \Delta P}$$

در روابط فوق K ضریب ثابت است، Q و M به ترتیب 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.

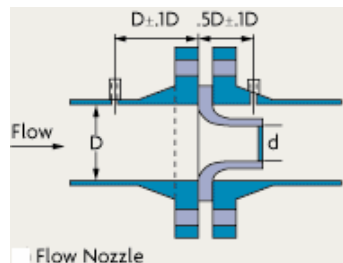
طرح کلی یک فلومتر لوله وانتوری در شکل (2-59) آمده است. در این طرح در مسیر عبور سیال در داخل لوله یک مانع به صورت روزنه (orifice) ایجاد می‌شود. دبی حجمی سیال در سراسر لوله ثابت است بنابراین سرعت سیال بلافاصله بعد از خروج از روزنه افزایش می‌یابد تا دبی حجمی را ثابت نگه دارد و این به معنی افزایش انرژی جنبشی 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 می‌باشند. به محض رسیدن به روزنه مقطع عبور کوچک می‌شود 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 مجدداً به حوالی مقدار عادی در سمت چپ می‌رسند. با اندازه‌گیری P_1 و P_2 و محاسبه $\Delta P = P_1 - P_2$ و استفاده از روابط فوق می‌توان 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.



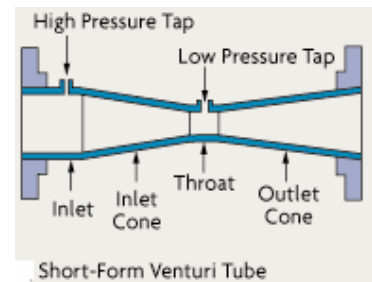
شکل (2-59): طرح کلی فلومتر لوله وانتوری



(الف)



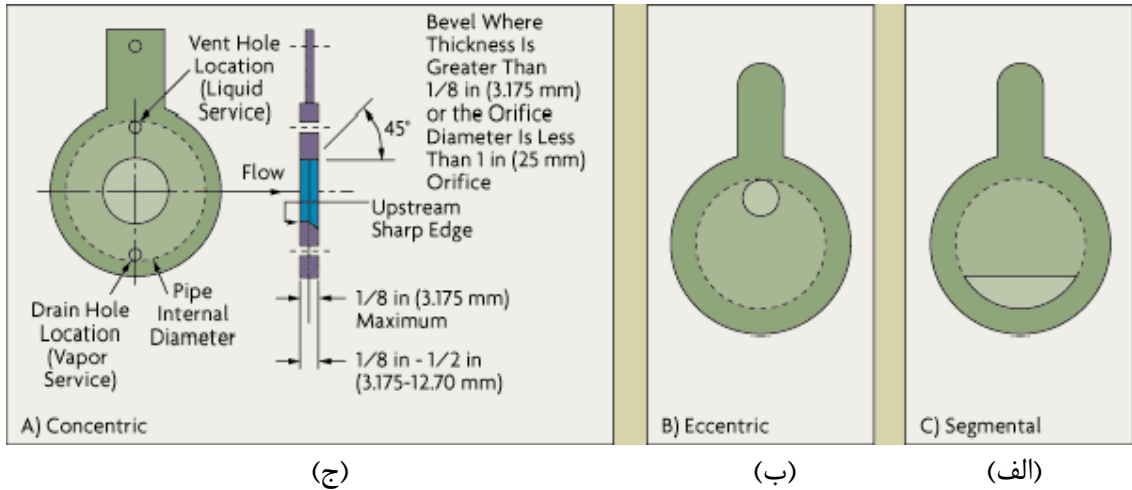
(ب)



(ج)

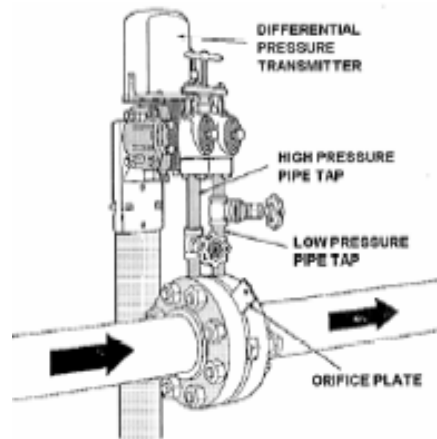
شکل (2-60): اشکال مختلف ارفیس و چگونگی نصب آن در مسیر لوله

مانع معمولاً 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 می‌باشد بطوری که در شکل (2-61) نشان داده شده است.



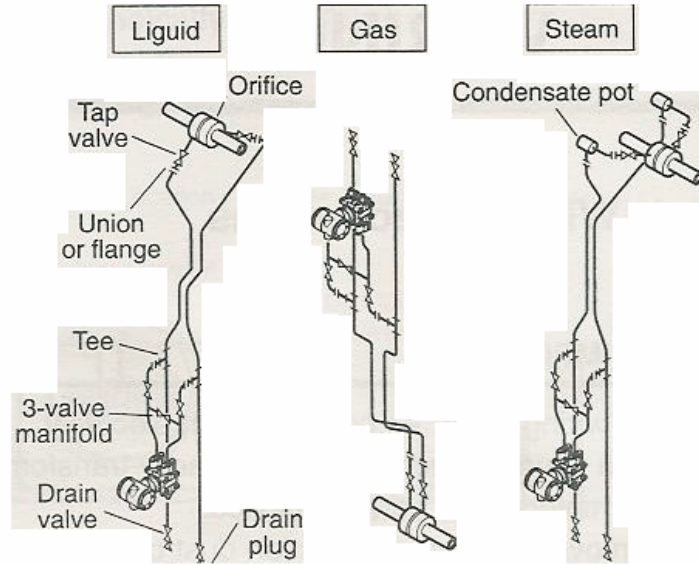
شکل (2-61) ارفیس پلیت بر اساس مواد عبوری از مسیر

(الف) برای سیالهای رسوبنده و (ب) برای سیالهای گازدار استفاده می شوند. محل نصب باید حداقل بین 10 تا 15 برابر قطر 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

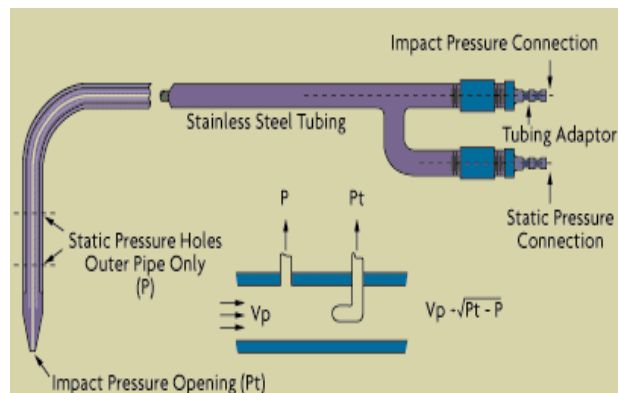
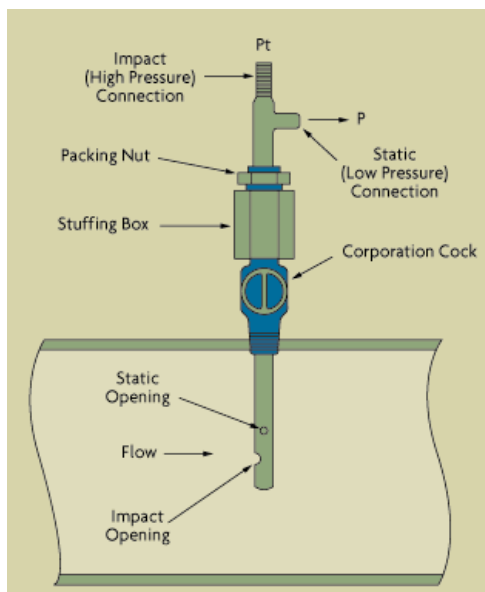
محلی که برای اتصالات جهت نمونه برداری در دو طرف ارفیس در نظر گرفته می شود کمتر از 10 سانتی متر است چون در فاصله های بیشتر سیستم متعادل شده وهم فشار می گردد.
محل نصب ترانس میتر فشار بر اساس نوع پروسه در حال عبور از مسیر بصورت شکل (2-63) نصب می گردد.



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

روش استفاده از ارفیس پلیت ممکن است باعث ایجاد گرفتگی در مسیر و جهت قرار دادن باید در مسیر از فلنج‌هایی استفاده شود.

برای رفع مشکل فوق می‌توان از pitot tube استفاده نمود (شکل (2-64)) بطوری که قرار دادن یک لوله در داخل یک جریان، تولید فشار در این لوله می‌کند که (فشار برخورد نامیده می‌شود) این فشار خیلی بیشتر از فشار جریان جانبی است (فشار استاتیک). همچنانکه سرعت (جریان) یک مایع بالا می‌رود، فشار برخورد افزایش می‌یابد، در صورتی که فشار استاتیک اینگونه نیست. اختلاف بین فشار برخورد و فشار استاتیک برای لوله پیتوت برقرار شده و آنرا از رابطه $\Delta V_p = K\sqrt{P_t - P}$ بدست می‌آورند.



شکل (2-64): شکل اندازه‌گیر 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 اندازه گیری فلو به روش آلتراسونیک

به امواج صوتی با فرکانس های بیشتر از 18 کیلو هرتز امواج آلتراسونیک گویند (فرکانس بالای شنوایی انسان) از امواج آلتراسونیک میتوان جهت اندازه گیری کمیت های زیادی استفاده نمود، در زیر دونه نمونه کاربردهای آنرا در اندازه گیری فلو بیان شده است.

3-5-4-1 فلومتر با اندازه گیری زمان انتقال پالس (Transit time ultrasonic flow meter)

در این اندازه گیر ترانسدیوسرها کریستالهای پیزو الکتریک بوده که قادرند ارسال و دریافت سیگنالهای مافوق صوت را انجام دهند آنها ممکن است در محدوده مگاهرتزی کار کنند این مبدل ها تحت زاویه θ نسبت به محور نصب می شوند هر کدام فرکانسی را ارسال نموده، با توجه به جهت حرکت امواج مافوق صوتی (هم جهت با حرکت مواد و مخالف آن) اختلاف زمانی بین ارسال و دریافت 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 اندازه گیری خاص، ثابت می باشند و در کالیبراسیون دستگاه منظور می گردند. همچنین این مدت زمان، بستگی به جهت و سرعت عبور سیال در لوله نیز دارد. اگر مدت زمان رفت و برگشت را بترتیب T_u, T_d باشد داریم:

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

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

θ : زاویه بین امواج و محور اصلی

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

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

$$Q = v.A$$

مزیت عمده اینگونه اندازه گیرها عبارتند از:

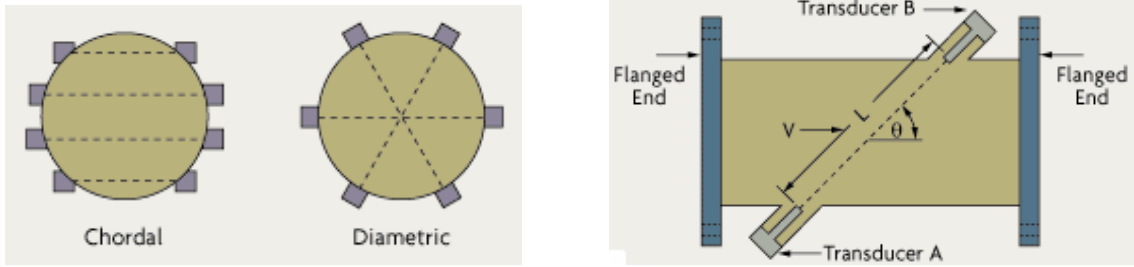
1- هیچگونه اثری بر روی کمیت مورد اندازه گیری ندارند

2- دقت اندازه گیر $\pm 0.5\%$

3- سرعت خوبی دارد

البته این مزیت در برابر هزینه و پیچیدگی بیشتر بدست می آید. طرح فلومتر بروش آلتراسونیک در شکل

(2-65) آمده است.

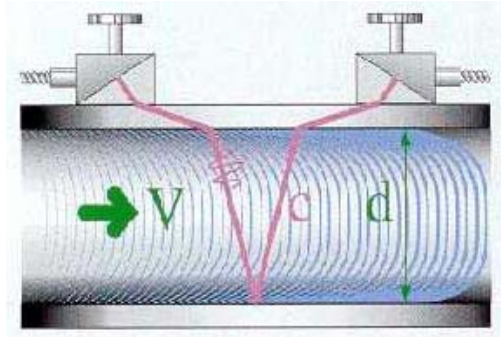
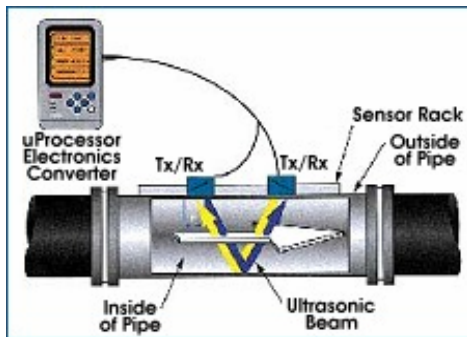


شکل (2-65): فلومتر بروش آلتراسونیک نوع Z

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 از نوع زمان انتقال پالس نوع V بوده که در شکل (2-66) نشان داده شده است در این روش ترانسدیوسرها در یک طرف محل اندازه گیری قرار گرفته و فاصله آنها در حدود قطر لوله است بطوری که سیگنالهای ارسالی از ترانسدیوسرها پس از برخورد به طرف دیگر مسیر بازتابش شده و توسط دیگری دریافت می گردد.



شکل (2-66): فلومتر بروش آلتراسونیک نوع V

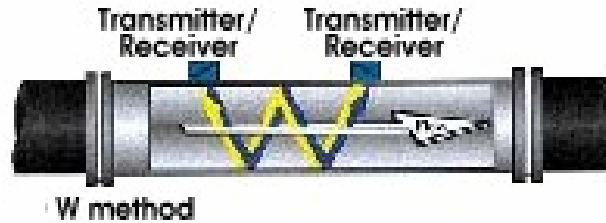
مقدار سرعت در این اندازه گیر از رابطه زیر بدست می آید.

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

که در آن k 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 و دریافت، τ : زمان انتقال سیگنال از طریق دیواره داخلی لوله

نوع دیگر این فلومتر W است که معمولا در لوله های 0.5~1.5 اینچ استفاده می شود. دارای محدودیتهای

- 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 نوع W

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 و حباب ها تغییر فرکانس (در اثر انعکاس) می یابد این تغییر فرکانس ملاک اندازه فلو عبوری است. (شکل 2-68))

از رابطه زیر می توان فلو را اندازه گیری نمود.

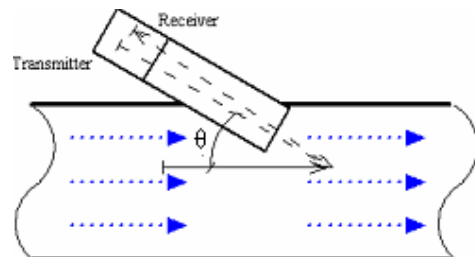
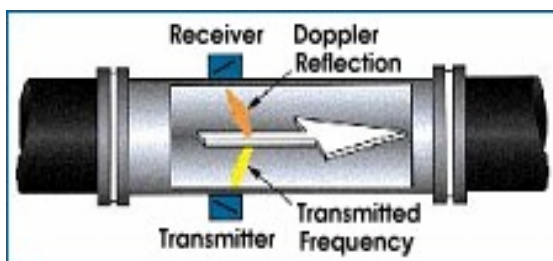
$$V = \frac{c \cdot \Delta f}{2 f_t \cdot \cos \theta}$$

Δf : اختلاف فرکانس

c : سرعت سیگنال ارسالی

f_t : فرکانس سیگنال ارسالی

θ : زاویه امواج ارسالی و حرکت سیال



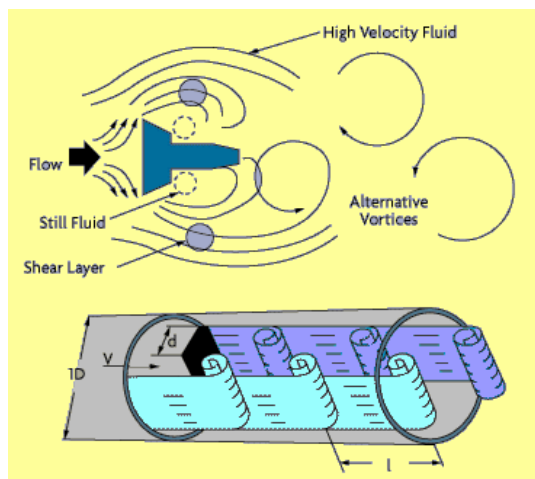
شکل (2-68): فلومتر بروش آلتراسونیک نوع داپلر

مشخصات این اندازه 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 و اندازه 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 و در 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 هر دو گروه d است. در این اندازه گیر فرکانس امواج سیال برابر تعداد گردابهائی است که در هر ردیف بعد از مانع در هر ثانیه ایجاد می گردد. از رابطه زیر می توان فلو سیال را بدست آورد.

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

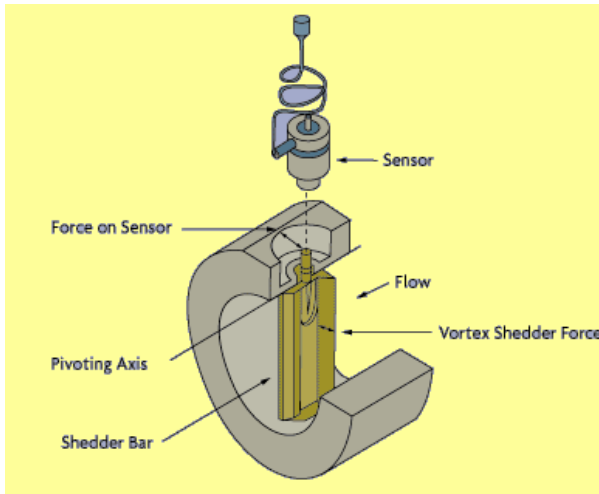
در رابط فوق داریم:

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 استروهل (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 5 تا 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 $\pm 0.75\%$ و برای گازها حدود $\pm 1.5\%$ می باشد.

عیب:

افت فشار استاتیکی مانند فلو متر توربینی دارد

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

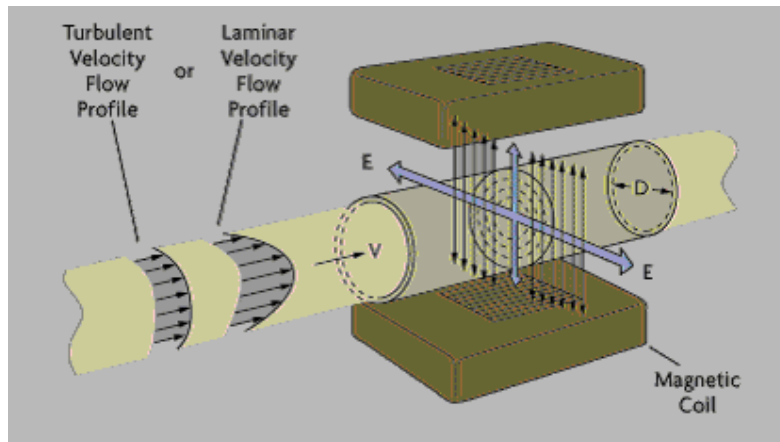
اساس کار این فلومتر قانون فارادی است که می گوید اگر یک هادی به طول L و با سرعت v عمود بر میدان مغناطیسی با چگالی B حرکت کند ولتاژی القا می شود که از رابطه زیر محاسبه می شود.

$$E = B.V.L$$

در شکل (2-71) یک فلومتر مغناطیسی نشان داده شده است در این شکل اگر D فاصله بین دو الکترود و

$$V = \frac{Q}{A} \text{ و } A = \frac{\pi D^2}{4} \text{ باشد داریم:}$$

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



شکل (2-71): اساس کار فلومتر مغناطیسی

اندازه گیری فلودر این اندازه گیر احتیاج به یک قسمت لوله غیر هادی است، آستر کردن یک لوله فلزی با یک ماده غیر هادی نیز کار می کند. اینکه چه ماده ای بایستی استفاده کرد بستگی زیادی به درجه حرارت و خوردگی مایع دارد. در این اندازه گیر مایع هادی خطوط میدان مغناطیسی را قطع می کند، ولتاژ ایجاد شده توسط الکترودها دریافت که بصورت خطی و مستقیماً 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 dc ممکن است باعث شود که مایع های با هدایت کم پلاریزه شده و در اطراف پیک آپ های الکتریکی قرار بگیرند و اثرشان را کاهش دهند. تحریک با ولتاژ ac نیز می توان استفاده کرد اما باعث تولید خروجی ac شده و اثر خازنی مربوط به مایع خروجی را کاهش می دهد. بهترین راه استفاده از ولتاژ (جریان) dc پالسی است گرچه درایو پیچیده تر و مدارهای حس کننده بیشتر و حساس تری مورد نیاز است.

مزایا:

- 1- عدم افت فشار و عدم 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 و موارد 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 شود و کاربردی جهت مایعات هیدروکربنی و گازها ندارد)

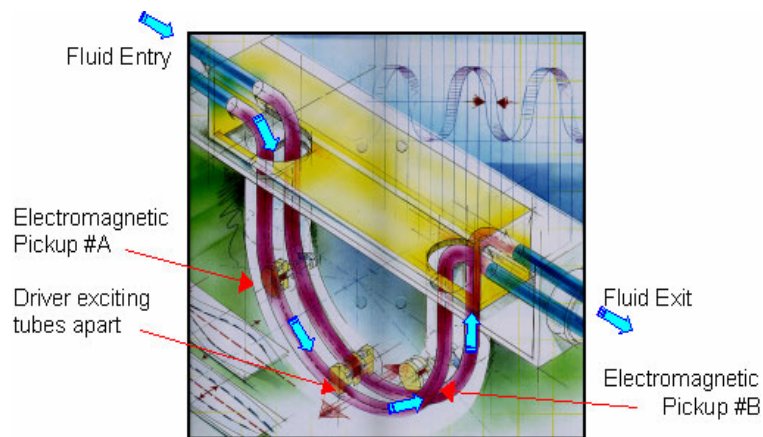
2- سرعت سیالات مورد اندازه گیری بین $0.5 \frac{m}{s}$ تا $10 \frac{m}{s}$ است.

3- تلفات انرژی در این اندازه گیر کمتر 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 کوپل متحرک مغناطیسی در لوله U شکل تعبیه شده است.



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

در صورتیکه در مسیر سیال عبور کند باعث 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 عدد آشکار ساز در مسیر قرار می دهند.

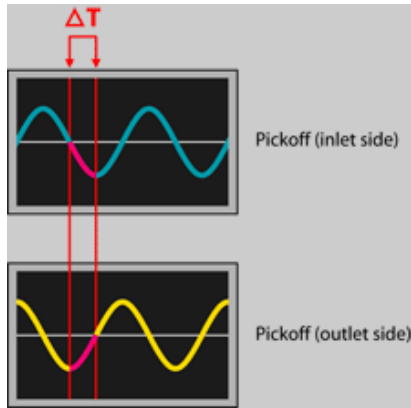
آشکار سازها هر کدام سیگنالهای سینوسی ایجاد می کنند که با هم اختلاف فاز دارند این اختلاف زمان ملاک اندازه گیری می شود. (شکل (2-73)) با توجه به رابطه زیر:

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

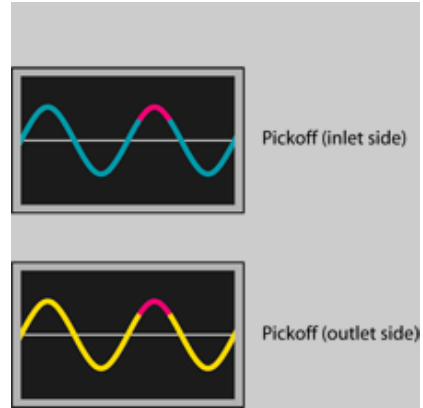
Δt : اختلاف فاز بین دو آشکارساز

C : ضریب الاستیکی لوله

r : شعاع لوله U شکل



(ب)



(الف)

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): فلومتر نوع کوریولیس (mass flowmeter)

8-5-2 اندازه گیر فلو جامدات

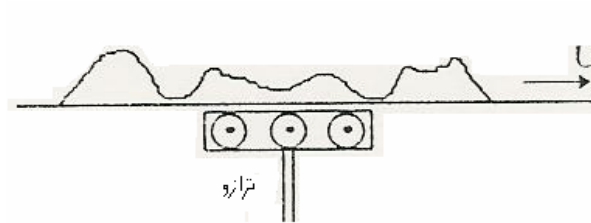
مواد جامد معمولاً توسط نوارهای نقاله جابجا می شوند. ماسه، خاک، چغندر قند، گندم، و..... نمونه هایی از این قبیل می باشند. فلو مواد جامد می تواند بصورت حجمی یا جرمی اندازه گیری شود. اندازه گیری دبی حجمی در صورتیکه حجم مواد موجود بر واحد طول (V) نوار نقاله مشخص باشد به سادگی با داشتن سرعت نوار (v) نقاله طبق رابطه زیر بدست می آید.

$$Q = V \cdot v$$

در صورتیکه دبی وزنی را بخواهند داریم:

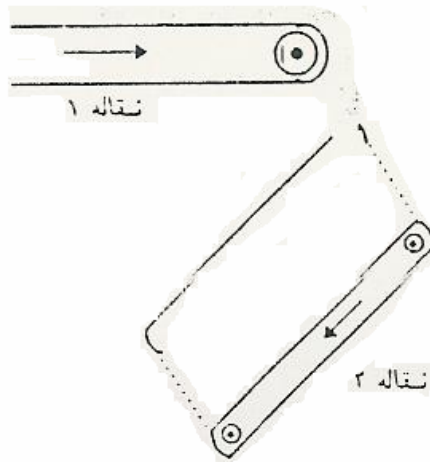
$$Q = M \cdot v$$

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



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

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

6-2- کنترل سطح و روشهای اندازه گیری 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 می‌شود.
- جهت کنترل صحیح پروسه چون میزان سطح مخزن باعث کم و زیاد شدن فشار شده و سیستم را بسمت ناپایداری سوق می‌دهد.
- کم و زیاد شدن بیش از حد لول (Level) باعث اخلال در جدا سازی در برجها می‌شود.
- کم شدن بیش از حد لول باعث اخلال در سیستمهای کنترلی (پمپ هاو.....) می‌شود.
- خالی شدن لوله ها در هیتر ها باعث صدمه زیاد به سیستم می‌شود

اندازه سطح پروسه را می‌توان برحسب طول، درصد، وزن، حجم و..... بیان نمود که همه موارد در حین کالیبره نمودن ترانس‌میتور انجام می‌شود.

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

- | | |
|--------------------------|---|
| الف: حداکثر وحدافل دما | و: میزان رطوبت برای جامدات گرانولی |
| ب: حداکثر وحدافل فشار | ز: سرعت وقدرت همزن |
| ج: شکل هندسی مخزن (تانک) | ح: نحوه تغییرات سرعت صوت در ماده مورد نظر |
| د: جنس بدنه مخزن | ط: میزان هدایت الکتریکی ماده مورد نظر |
| ه: مواد شیمیایی پروسس | ی: مقرون به صرفه بودن |

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

- 1- روش مستقیم
- 2- روش غیر مستقیم

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

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

اندازه گیر های سطح به دسته های زیر تقسیم می‌شود.

- 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 اندازه‌گیر شده، این تغییر وضعیت ملاکی جهت اندازه‌گیری است. به دسته‌های زیر تقسیم می‌شود.

1- اندازه‌گیری لول با استفاده از شناور (Floater)

2- اندازه‌گیری لول با استفاده از Sight glass

3- اندازه‌گیری لول با استفاده از Displacer

2-6-1-1 - اندازه‌گیری لول با استفاده از شناور (Floater)

این اندازه‌گیر بر اساس قوانین فیزیکی، نیروی فشار مایعات، خاصیت الکترومغناطیسی، جذب و دفع قطبهای غیر همنام و همنام طراحی شده است. یک نوع از این اندازه‌گیر لول گیج نام دارد. بدنه آن لوله استوانه‌ای شکل می‌باشد که از ناحیه فلنجهای مربوطه به صورت عمودی بر روی مخازن وصل می‌گردد.

مایع درون مخزن از دو نازل به داخل لوله استوانه‌ای هدایت شده و فلوتر دارای خاصیت آهنربای دائمی راشناور می‌سازد. با تغییر سطح مایع، فلوتر به حرکت درآمده و در اثر قوانین فوق‌الذکر و تغییر رنگ غلطکها، سطح مایع مخزن نشان داده می‌شود. نمونه‌ای از این لول گیج در شکل (2-77) نشان داده شده است.

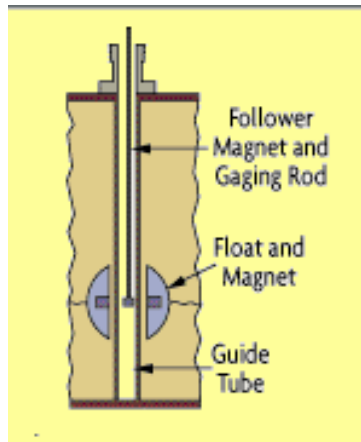
در بعضی مواقع بجای گروه حلقه می‌توان یک حلقه قرار داد که با بالا رفتن لول حلقه به همراه فلوتر بالا و پایین می‌رود.



شکل (2-77): اندازه‌گیر لول از نوع شناوری

کاربرد این اندازه‌گیرها برای لول درام‌ها، بویلرها و سایر تانک‌هایی که دارای فشار پایین می‌باشند 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 پمپ‌ها را on و off نماید.

نوع دیگری از این اندازه گیر در داخل محل مورد نظر قرار می گیرد و به ازای تغییر سطح، فلوتر مغناطیسی جابجا شده و باعث حرکت پیستون آهنی و انتقال لول درام به ترانسمیتور می شود در ترا نسیمتر ، 4-20ma ایجاد می گردد و بطور پیوسته به اتاق کنترل ارسال می گردد. در شکل (2-78) اساس کار این اندازه گیر نشان داده شده است.



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

در شکل (2-79) انواع اندازه گیر های مغناطیسی و محل نصب آنها در مخزن 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 از فواصل دور (در حالت حلقه ای)

2- قابل استفاده در حرارت بالا و فشار کاری متوسط

3- قابل ساخت در طولهای مختلف

4- دارای قابلیت ارسال فرمانهای مختلف

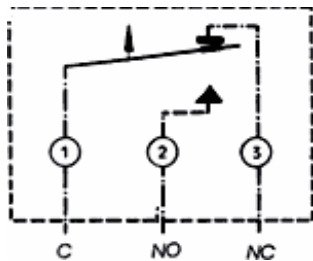
معایب

1- قابل استفاده در فشار بالانیست

2- دانسیته سیال باید بین 3-0.6 (کیلوگرم بر متر مکعب) باشد

3- برای اندازه گیری لول مواد باویسکوزیته بالا استفاده نمی شود در مواقعی که ارسال پیوسته اطلاعات برای اپراتورالزامی نباشد یا اینکه جهت اطمینان بیشتر از لول ترا- نسیمتر نصب شده در محل از لول سوئیچ استفاده می شود. در لول 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 ها و الکتروموتورها ارسال می گردد.

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



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

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



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

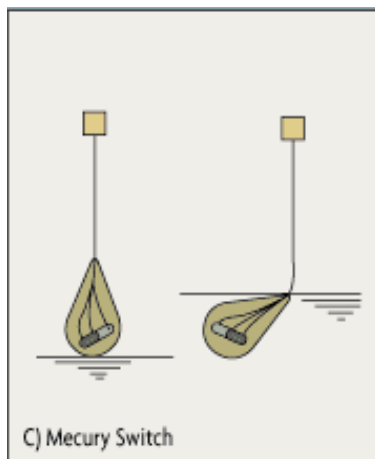
محاسن:

- 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:

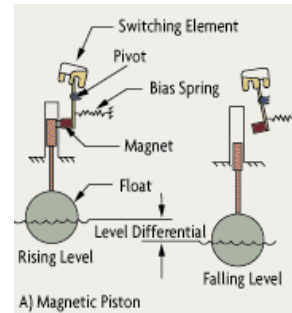
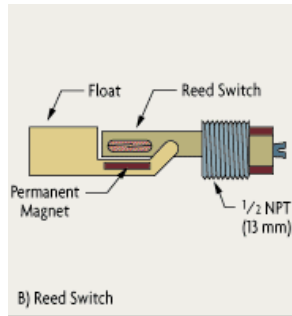
- 1- معمولا برای سیستمهای کم فشار استفاده میشود
- 2- اطلاعات را بطور مداوم ارسال نمی کند.

نوع دیگری از لول سوئیچ ها (Mercury switch) تشکیل شده است از دوشناور از جنس پروپیلن و کابل مربوطه از جنس PVC مخصوص می باشد که داخل آن ساچمه فلزی و یک عدد لیمیت سوئیچ تعبیه شده است. با تغییر سطح مایع، فلوتر تغییر وضعیت همانطور که در شکل (2-82) نشان داده شده میدهد و هر تغییر وضعیت باعث تغییر در کنتاکت ها می گردد که میتواند فرمانهایی را جهت ON و OFF شدن پمپها یا تغییر حالت سلونوئید ولوها گردد.



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

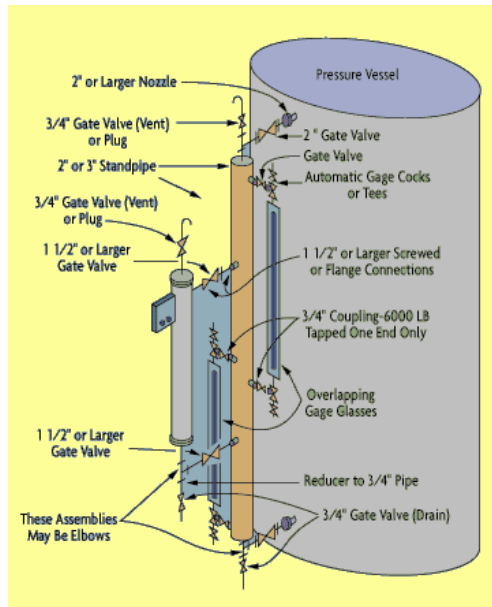
در شکل (2-83) انواع لول سوئیچهای نوع فلوتری نشان داده شده است.



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

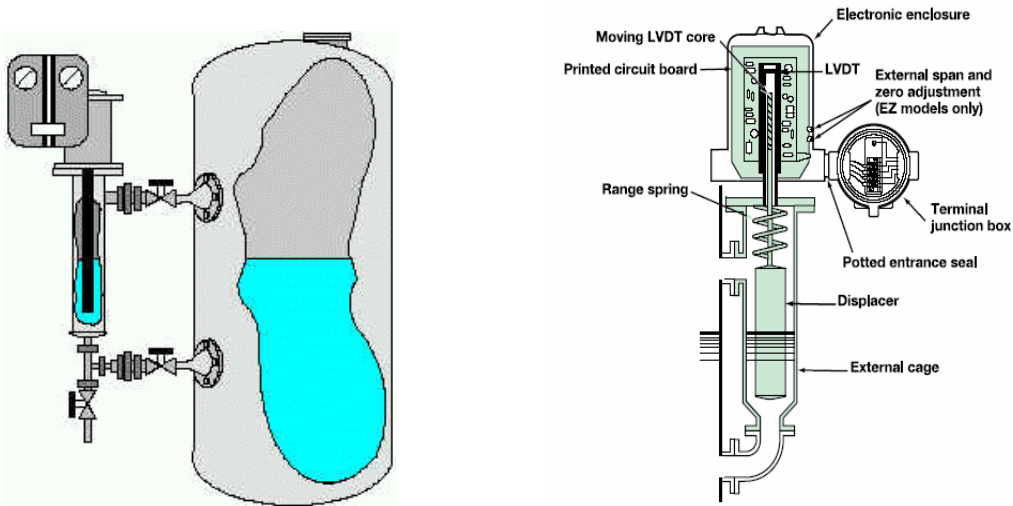


شکل (2-84): اندازه گیر لول با استفاده از Sight glass

این نوع اندازه گیر را بردنه تاور یا مخزن نصب نموده و مایع داخل مخزن در آن وجود دارد. اگر ارتفاع تاور زیاد باشد معمولاً از چند عدد نشانگر استفاده نموده و همانطور که در شکل نشان داده شده نصب می کنند.

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

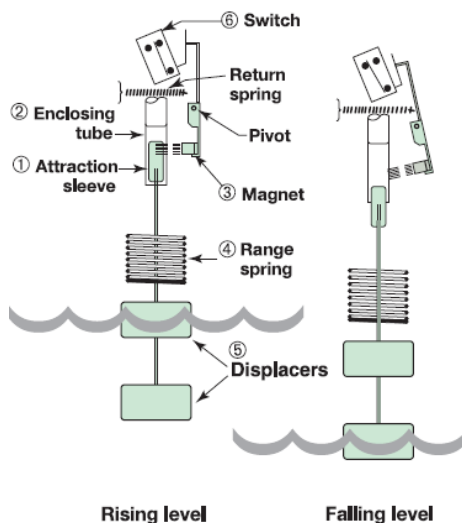
در این اندازه گیرها همانطور که در شکل (2-85) نشان داده شده است در اثر افزایش سطح درام تغییرات دیسپلایسر خیلی جزئی است انتهای آن از طریق فنر وارد یک LVDT شده و از طریق آن آشکار سازی صورت می گیرد



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

در شکل (2-79) محل نصب روی درام مشخص شده است. جهت کالیبره نمودن این ترانسمیتور ها معمولا آنرا در شرایط صفر (خالی) قرار داده و Zero آنرا اعمال نموده سپس در شرایط 100٪ (پر از مایع داخل درام) و Span آنرا اعمال می کنیم سپس آنرا در سرویس قرار می دهیم. معمولا کاربرد لول ترانسمیتور های نوع دیسپلیسری را در مواردی اختلاف بین محل اتصال ها کمتر از 1/5 متر باشد استفاده میشود.

در صنعت لول سوئیچ های دیسپلیسری کاربرد زیادی دارد اساس کارش این است که بازای تعداد نقاط مورد نظر فلوترها را تنظیم کرده از طریق سیم اتصال آنرا به مبدل و ترانسمیتور 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 و انتهای آهنربا باعث تغییر کنتاکت گردد. با تعویض 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 مداوم ارسال نمی کند.
- معمولا برای سیستمهای کم فشار استفاده میشود

2-6-2 اندازه گیری لول بوسیله تغییرات فشار

کاربرد اندازه گیرهای مکانیکی بیشتر برای فشارهای کم و یا درحد متوسط است برای اندازه گیری لول تانک های تحت فشار لول را تحت شرایطی به اختلاف فشار تبدیل نموده و از طریق مبدل ها و ترانسسمیتر آن را به 4-20 میلی 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 العمل گاز (Bubbler tube)

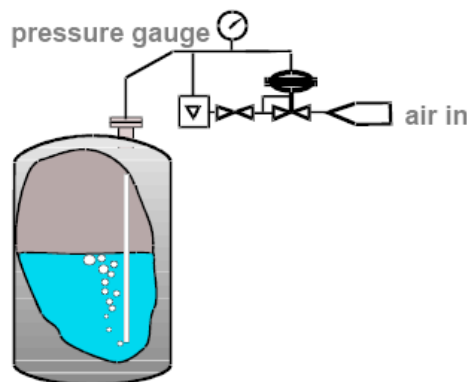
2- اندازه گیر لول با استفاده از دیا فراگم

3- اندازه گیر لول با استفاده از اندازه 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. اگر فشار گاز ورودی سیستم به اندازه های 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 و وقتی لول زیاد باشد برعکس فشار بالاتری ایجاد میگردد. این تغییرات فشار را میتوان توسط ترانسسمیتر (در صورتی که یک طرف دیافراگم را مسدود و یا در هوای آزاد باز باشد) اندازه گیری نمود. با توجه به رابطه خطی بین فشار و ارتفاع میتوان لول را اندازه گیری کرد.

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



شکل (2-87) اندازه گیری سطح با استفاده از عکس العمل گاز

محاسن:

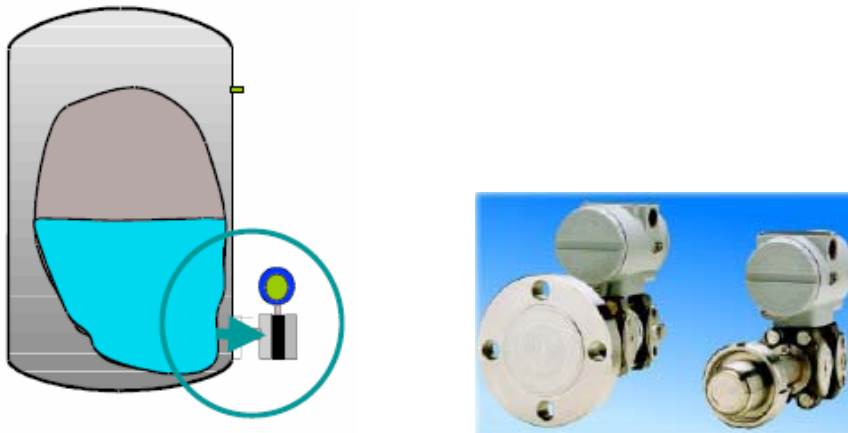
- قیمت پایین
- ساختار ساده
- عملکرد آسان

معایب:

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

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

روش دیگری که میتوان در مواقعی مخزن تحت فشار است، لول را اندازه گیری نمود استفاده از دیافراگم است. معمولاً 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 می رود فشار وارد بر دیافراگم بیشتر شده و ترانسمیتر لول بیشتری را نشان می دهد.



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

جهت در سرویس قرار دادن ترانسمیترها باید محدوده اندازه گیری به آن داده شود تا بتواند درصد بندی نماید. اصطلاحاً این دو مقدار را LRV (lower range value) و URV (upper range 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:

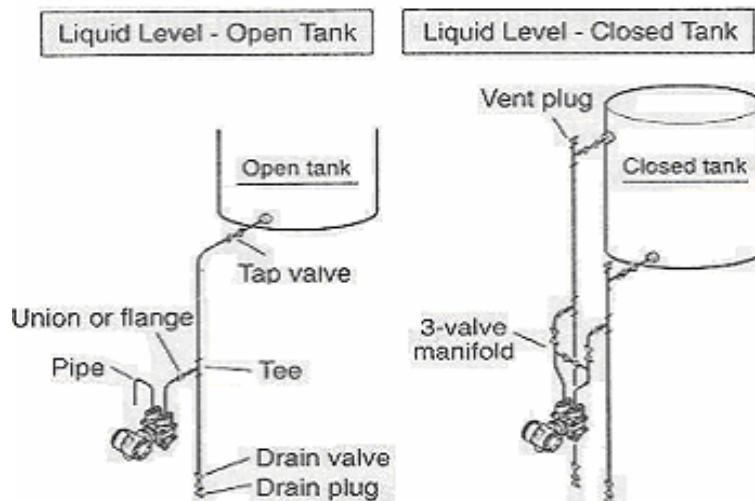
- بطور دائمی اطلاعات به اتاق کنترل ارسال میکند
- برای مخازن سر بسته نیز استفاده میشود
- برای اندازه گیری لول مخزن تحت فشار نیز استفاده میشود
- دقت اندازه گیری بالایی دارد

معایب:

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

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

در اندازه گیر های دیافراگمی مواد داخل مخزن مستقیماً با دیافراگم در ارتباط بود و دما و جنس مواد تاثیر مستقیم در اندازه گیری داشت. این اندازه گیر را می توان با فاصله بیشتری از مخزن قرار داد تا اولاً مواد داخل مخزن سرد شود و ثانیاً داخل تیوب ترانسمیتر میتوان از مواد غیر خوردند نیز استفاده کرد. این اندازه گیر را هم می توان برای مخازن سر باز وهم مخزن تحت فشار استفاده نمود. در اینحالت یک طرف آنرا به مخزن و یک طرف دیگر رابه هوای آزاد باز گذاشت. (شکل 2-89))



شکل (2-89): محل نصب و چگونگی نصب ترا نسیمیتر لول تانک

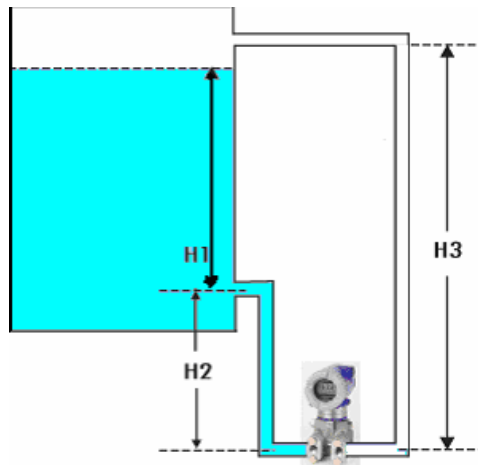
برای کالیبراسیون ترانسمیتر های لول دو روش وجود دارد که عبارتند از:

1- Dry leg (لاین خشک)

2- Wet leg (لاین خیس)

dry leg-1

این روش معمولاً برای مخازن سر بسته استفاده می شود. همانطور که در شکل (2-90) نشان داده شده leg مربوط به low ترانسمیتر را به بالای تانک و leg مربوط به high را به بالای تانک متصل می نمایند. با استفاده از روابط زیر می توان حد بالا و پائین را به ترانسمیتر داد.



شکل (2-90): روش Dry leg (لایین خشک)

جهت محاسبه حد پائین باید فرض کرد که لول تانک کمترین مقدار یعنی H_2 باشد و مقدار آن برابر است با:

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

برای محاسبه حد بالا باید 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

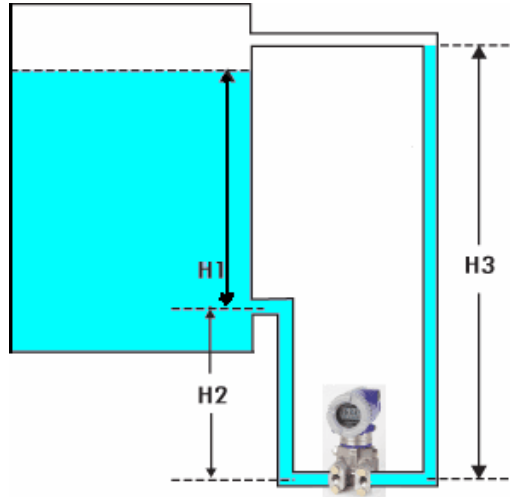
$$LRV = (Sp.Gr).H_2 - (Sp.Gr).0 = \rho.g.H_2 - \rho.g.0$$

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

پس از محاسبه و دادن 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 شود که ایجاد خطا در اختلاف فشار می کند. در صورتی که تانک پر شود نیز در این ترانسمیتر خطا ایجاد می شود. شکل (2-91) روش لاین خیس را نشان می دهد.



شکل (2-91): روش Wet leg (لاین خیس)

در این روش یکبار فرض می کنیم مینیمم لول را داشته و مقدار اختلاف فشار را بدست آورده سپس به ازای 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_3 * 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 و اصلا بخارات مواد هم تاثیری روی آن نمی گذارد ولی دانسیته مواد در کالیبراسیون تاثیر دارد.

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

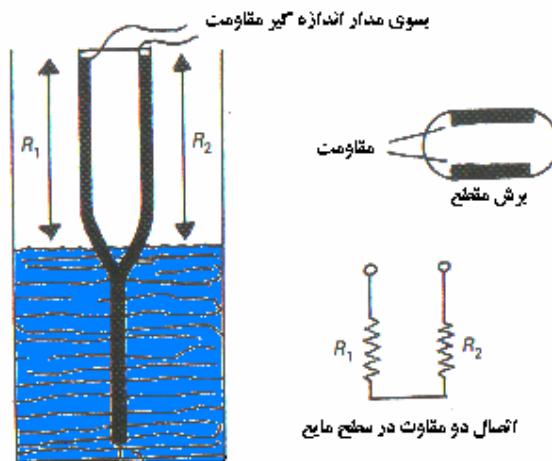
اندازه گیری لول از روش الکتریکی به قسمتهای زیر تقسیم می شود.

1- اندازه گیری سطح با استفاده از تیوب مقاومتی غوطه‌ور

- 2- اندازه‌گیری سطح با استفاده از تغییر ظرفیت خازن
- 3- اندازه‌گیری سطح با استفاده از سوئیچهای الکترونی
- 4- اندازه‌گیری سطح با استفاده از تغییرات مقاومت

2-3-6-1 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 تیوب مقاومتی غوطه‌ور

2-3-6-2 اندازه‌گیر خازنی سطح

این اندازه‌گیر براساس اصل ظرفیت خازنی کار می‌کند این لول کنترلر جهت کنترل اختلاف سطح در سیالات رسانا و غیر رسانا کاربرد دارد.

لول ترانس‌میتور خازنی دارای میله الکترونی شکل و دیواره عایقی می‌باشد که در اصل حالتی از یک خازن است، مقدار ظرفیت بستگی به مقدار دی الکتریک و ثابت آن و سطح مقطع صفحات و فاصله بین آنها دارد در این دستگاه سطح مقطع الکتروود و فاصله آنها ثابت می‌باشد، تنها چیز متغیر ثابت دی الکتریک است. در صورتیکه سطح ماده تغییر کند متناسباً مقدار ظرفیت خازن قابل شارژ بر روی سطح مقطع الکتروود نیز تغییر می‌کند (چون با افزایش لول ضریب دی الکتریک افزایش یافته و ظرفیت خازن را افزایش می‌دهد) این تغییرات پس از کالیبره نمودن سیستم می‌تواند 4-20ma به اتاق کنترل ارسال نماید.

نکته مهم در این اندازه‌گیر آنست که سطح قابل اندازه‌گیری به اندازه طول الکتروود آن می‌باشد و میله اندازه‌گیری داخل سیال همیشه باید درون سیال عایق باشد.

اندازه‌گیرهای خازنی برای سطوح زیر مناسب است که عبارتند از:

1- سطح سنجی در شرایط فرایندی و یا محیطی دشوار مانند فلزات مایع شده در دمای بالا، گازهای مایع

شده در دمای پائین و مایعات خورنده

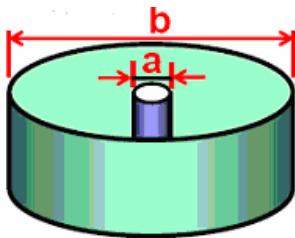
- 2- اندازه گیری فصل مشترک گاز و سیال
- 3- اندازه گیری سطح چند سیال با دانسیته متفاوت
- 4- اندازه گیری سطح سیلوهای مواد جامد

مزایا:

- 1- جزء متحرک ندارد
 - 2- ساده و خیلی 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 و حرارت کمی دارد
- برای اندازه گیری لول بسته به هادی یا غیر هادی بودن ماده مورد اندازه گیری دو روش وجود دارد

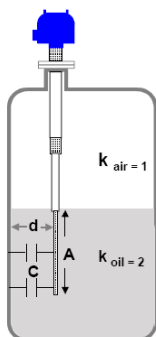
الف: مواد غیر هادی

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



$$h = \frac{C \ln\left(\frac{b}{a}\right) - 2\pi\epsilon_0}{2\pi\epsilon_0(\epsilon - 1)}$$

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



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

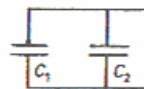
Where:

C= Capacitance in pF

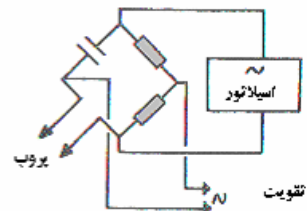
k= Dielectric Constant of material

A= Area of the plates

d= Distance between plates



مدار معادل



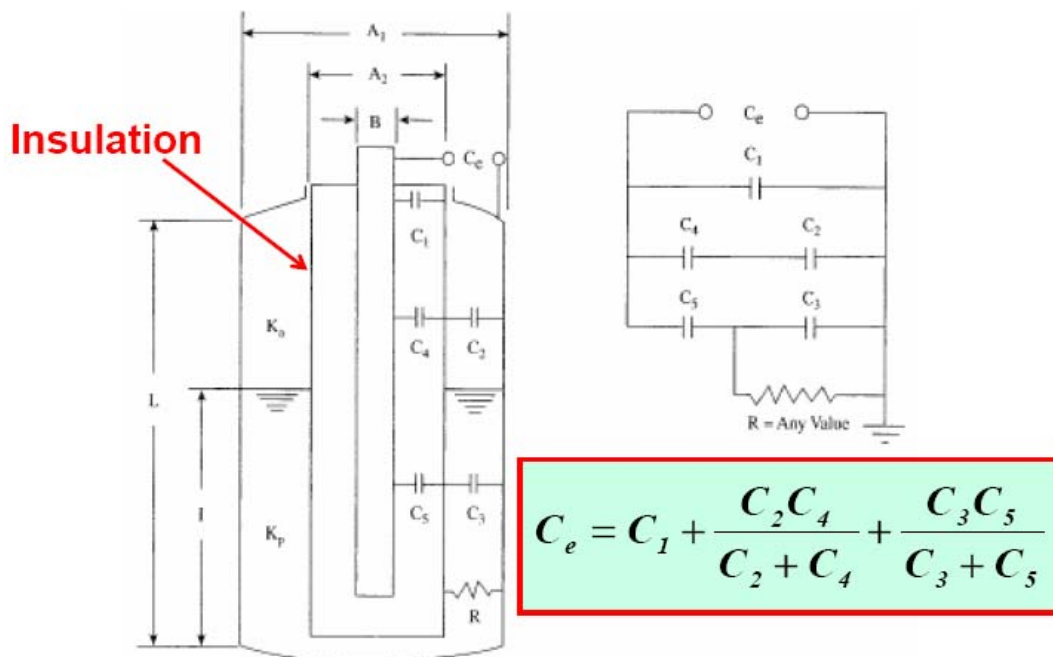
تقویت

شکل (93-2): 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

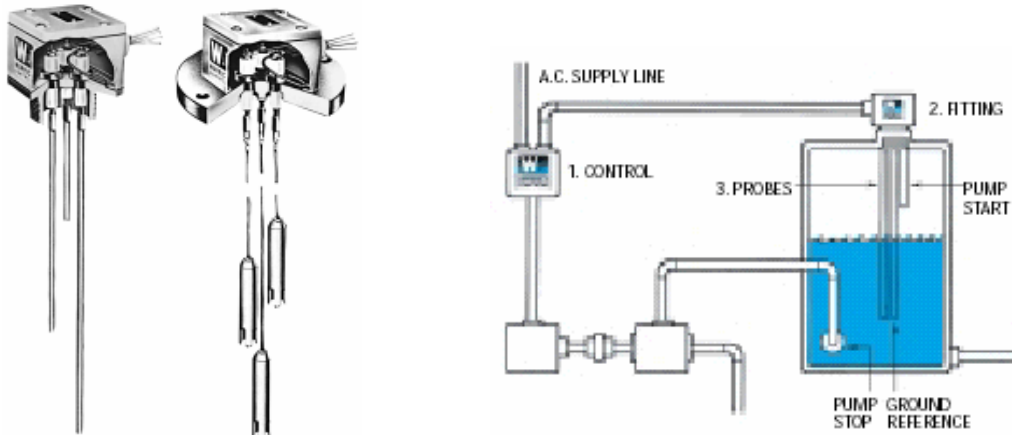
برای اندازه گیری لول در اینحالت باید بدنه تانک و الکتروود با یک ماده عایق پوشانده شود. در شکل (2-94) روش محاسبه نشان داده شده است.



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

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

در این لول کنترلر که با استفاده از خاصیت رسانایی الکتریکی عمل می کند می توان جهت عبور جریان از خود سیال استفاده نمود در این کنترلر جهت عملکرد مطمئن باید رسانایی الکتریکی سیال را سنجید در این اندازه گیر دو حالت برای هر الکتروود می توان در نظر گرفت یا الکتروود با سیال مماس می شود که لیمیت سوئیچ عمل نموده و فرمان جهت on و off پمپها یا سلونوئیدولوها ارسال می گردد و در صورتیکه لول پائین تر از الکتروود باشد لیمیت سوئیچ عمل نمی کند. این سوئیچها را همانند لیمیت سوئیچهای 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 الکترونی و محل نصب آن

خصوصیات و کاربردهای این نوع اندازه گیر:

1- امکان دادن آلامهای حداقل و حداکثر و stop, start به پمپها که برای هر کدام یک الکتروود در نظر گرفته می شود.

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

3- برای اطمینان از دستور فرستاده شده از الکتروودها، 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 اندازه گیری یک نقطه در نظر گرفته شده است

این سوئیچ ها علیرغم سادگی و ارزانی 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 و حفاظت الکتریکی بطور کامل در نظر گرفته شود

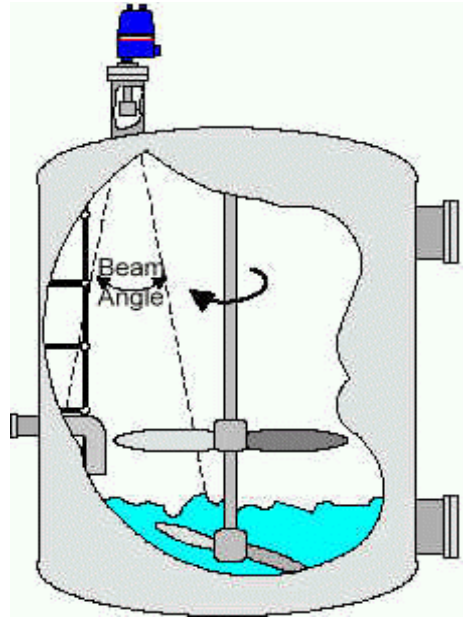
3- از طریق محدود کننده، حداکثر توان و میزان جریان محدود گردد.

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

در صورتیکه امکان تماس با ماده مورد اندازه گیری وجود نداشته باشد یا سطح مورد اندازه گیری قابل دسترسی نباشد از این روش استفاده می شود.

اساس کار روش آلتراسونیک استفاده از موجهای صوتی فرکانس بالا می باشد. این موجها با استفاده از اعمال یک سیگنال ac به یک کریستال پیزوالکتریک حاصل می شوند. 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 10khz استفاده می‌شود). 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 می‌کنند که بطرف پائین متمرکز باشد. یک پالس برای شروع اندازه‌گیری به سیستم اعمال می‌شود. وقتیکه سیگنال آلتراسونیک فرستاده شد سیستم یک پالس در خروجی می‌دهد سپس بعد از دریافت سیگنال برگشتی یک پالس دیگر از خروجی سیستم داده می‌شود. با استفاده از یک شمارنده خارجی بایستی زمان بین پالس ارسال شده و پالس دریافت شده را اندازه‌گیری نمود با استفاده از رابطه زیر می‌توان فاصله را اندازه‌گیری نمود.

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

d: فاصله تا سطح مایع

V: سرعت صوت

t: زمان رفت و برگشت

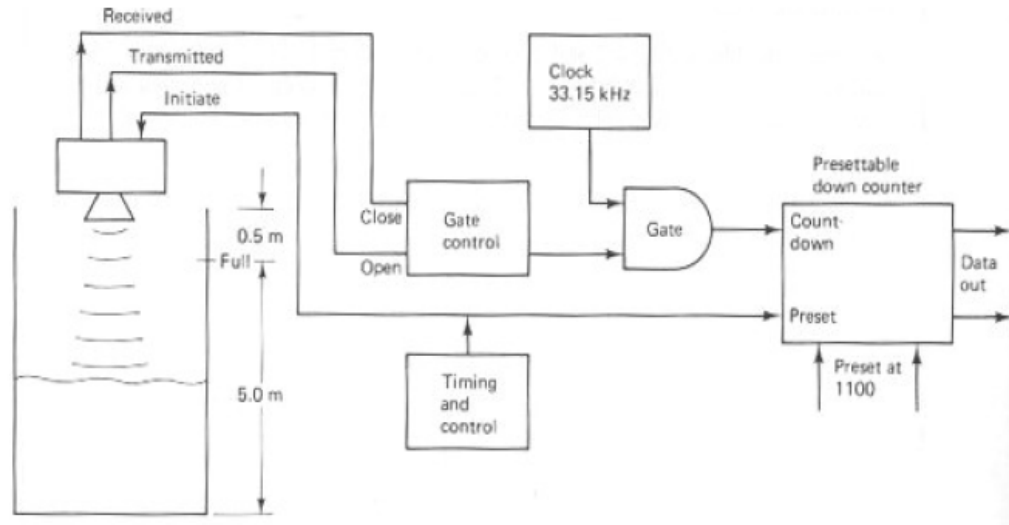
مزایا:

1- دسترسی و نصب آن آسان

2- احتیاج به ایزولاسیون سیستم در مقابل تاثیر مواد نیست

در این سیستم هرچه تانک پر می‌شود فاصله بین سنسور و سطح کم می‌شود این باعث میشود زمان رفت و برگشت کم شود در نتیجه شمارنده شمارش کمتری داشته باشد عبارت دیگر هرچه سطح بالاتر می‌رود اطلاعات

جمع آوری شده تولید شماره کمتری می کند. دو راه حل وجود دارد یکی استفاده از آشکار ساز آلتراسونیک که با مواد داخل 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 و برگشت به سطح مایع نیاز دارد، راه حل دوم استفاده از یک سیستم آماده سازی اطلاعات Data manipulation با 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 الکتروود پیرو الکتریک فرستنده و گیرنده استفاده شده و آلارم یا فرمان On,off برای 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)

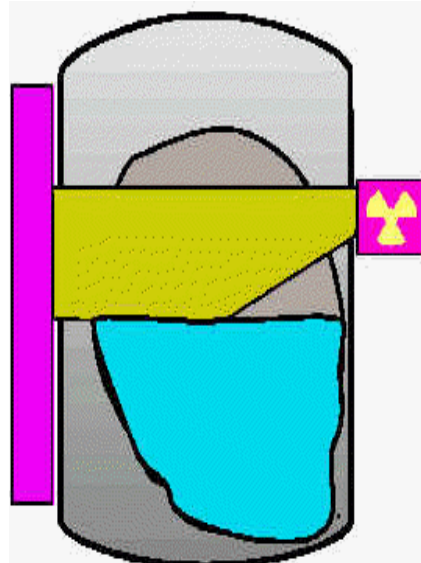
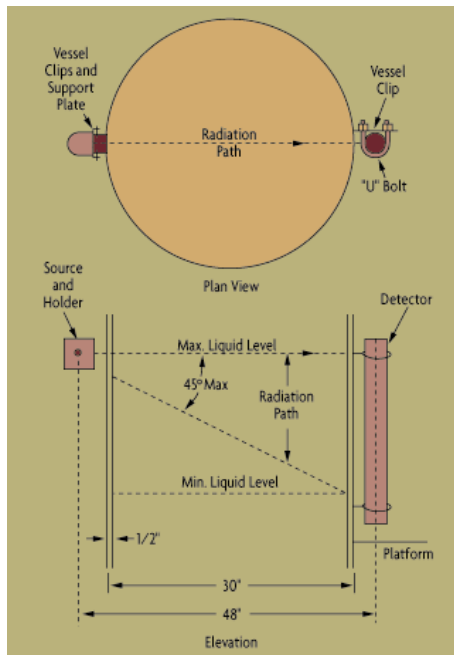
3- اندازه گیر لول فتو الکتریک

4- اندازه گیر لول انتقال حرارت

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

تشعشع هسته ای از سزیم 137 یا کبالت 60 را می توان به سطح سیال یا جامد در یک مخزن ربط داد و چون این یک روش غیر تماسی است برای اندازه گیری لول در تمام حالات مناسب است. مواد رادیو ایزوتوپ که برای اندازه گیری لول بکار می رود انرژی را بطور تصادفی با نرخ خیلی کم وثابت از دست می دهند بطوریکه مقدار متوسط آن را در کالیبراسیون در نظر می گیرند. از تجزیه مواد رادیو اکتیو ذرات آلفا، بتا و گاما ایجاد می گردد، در اندازه گیر های سطح از ذرات بتا و گاما استفاده میگردد چون تشعشعات گاما دارای انرژی بالا، طول موج پائین و قدرت 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 گیر شامل منبع رادیو اکتیو، یک آشکار ساز اشعه گاما و یک تقویت کننده میباشد.

در شکل (2-99) اساس کار این اندازه گیر نشان داده شده است بطوریکه هر چه لول تغییر می کند میزان جذب انرژی تشعشعی توسط آشکار ساز تغییر میکند بعبارت دیگر هرچه لول پائین بیاید میزان دریافت تشعشع توسط آشکار ساز بیشتر می شود و برعکس. 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 کار اندازه گیر تشعشعی

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

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

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 و h : ارتفاع مایع بوده که از رابطه $h = x \cdot \sin \theta$ بدست می آید.

مزایا:

1- دقت اندازه گیری بالا

2- مایعات بسیار گرم

3- جامدات ذوب شده

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

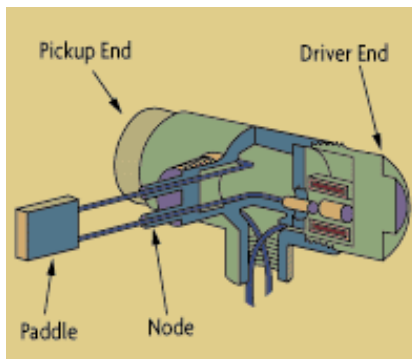
لول سوئیچهای نوسانی به سه دسته تقسیم می شود که عبارتند از:

Reed-1

Probe-2

Tuning fork-3

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



شکل (2-100): اساس کار لول سوئیچ Reed

لول سوئیچ Reed شامل سه قسمت است که عبارتند از: پره (paddle)، درایور و بازو (Pickup). تحریک درایور کوپل باعث ایجاد نوسان با فرکانس 120 هرتز 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 و سلونوئید ولوها میگردد.

این آشکار ساز تغییرات مواد با دانسیته و ویسکوزیته های مختلف و همچنین مواد دو سطحی (مایع/مایع، مایع/بخار و جامد/بخار) را می تواند آشکار نماید.

در صورتیکه این لول سوئیچ برای مواد پودری استفاده شود نوسانات پره ایجاد گودال و یا بصورت مواد گرانولی برپره می چسبد و باعث ایجاد خطا در آشکار سازی می شود برای رفع این مشکل می توان از ساختارهای بدون

پوشش و یا نوعی اسپری در سیستم تعبیه گردد که 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 آنها فرکانس 200 تا 400 هرتز را تولید و دیگری آنرا آشکار می نماید. جنس المنت ها استیل بوده و به هیچ عنوان مواد به آن نمی چسبند. کاربرد این سنسور ها برای مواد پودری، جامدات و مواد گرانولی می باشد.

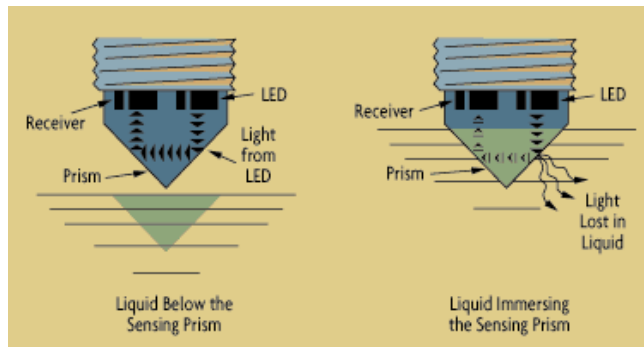
Tuning fork: در این لول سوئیچ فرکانس کار 85 هرتز است، ساختار المنت های آن همانند Probe می باشد و کاربرد آن در آشکار سازی روغن، آب، مایعات هیدرولیکی و مایعات با نوسان بالا است. عملکرد لول سوئیچ Reed در محدوده فشاری 3000 psig و دو نوع دیگر 150 psig و در محدوده دمائی 100- تا 150 است. در شکل (2-101) چند 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 شود این در صورتی است که سیال تیرگی مناسب را داشته که مانع از عبور نور شود در شکل (2-102) یک اندازه گیر فتو الکتریک نشان داده شده است فرستنده های نوری دیویدهای نوری مادون قرمز یا لنزها و جهت دهنده های مناسب نوری هستند.



شکل (2-102) اساس کار یک اندازه گیر فتو الکتریک

گیرنده یک ترانزیستور حساس به نور با یک فیلتر نوری مناسب برای گرفتن طول موج نوری ارسال شده است. این موضوع باعث کم شدن خطاهای ناشی از نور محیط کار خواهد شد. وقتی که سطح پائین تر از سنسور است نور به گیرنده می رسد و ترانزیستور نوری اشباع می شود و یک سطح پائین دیجیتال می دهد. وقتی که سطح تانک مانع از عبور نور میشود فتوترانزیستور قطع می گردد. علاوه بر یک منبع DC شما ممکن است نیاز به یک مقاومت pull-up بین ترانزیستور با کلکتور باز و ولتاژی داشته باشید که سطح بالای منطقی شما را دارد. اگر شرایط نور از سیال مناسب نباشد از یک شناور با شرایط مناسب که در لوله شفاف مجاور حرکت می کند استفاده می شود.

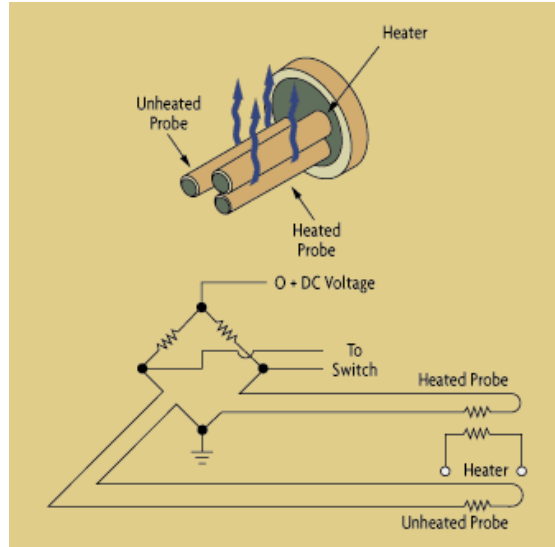
گیرنده های نوری نیز موجودند که بجای فتوترانزیستور از فتوتریستور استفاده می کنند. این اندازه گیرها یک خروجی 15 ولتی وقتی که شعاع نوری به آنها بخورد تولید می کنند.

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

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

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

در این اندازه گیر از اندازه گیری حرارت برای محاسبه لول تانک استفاده می شود. در شکل (2-103) اساس کار این اندازه گیر نشان داده شده است.

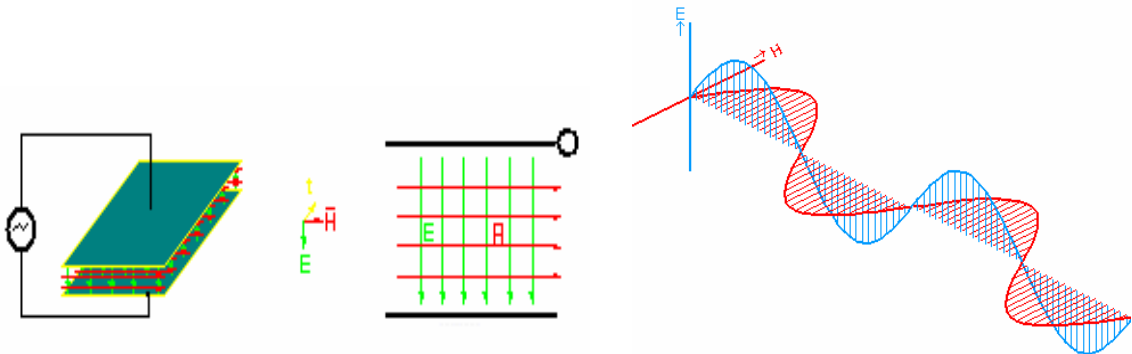


شکل (2-103) اساس کار اندازه گیر حرارتی

یک سنسور از نوع RTD تغذیه می شود که باعث گرم شدن خودش شود حرارت منتشر شده بداخل هوا از این سنسور کم است و باعث می شود که سنسور درجه حرارت نسبتا بالایی را آشکار کند وقت داخل مایعی شود سنسور حرارت خود را به مایع داده و تغییر زیادی می کند این تغییر دما پل وتسون را از بالانس خارج نموده و باعث 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 الکترومغناطیسی می باشد که از دوسینگنال الکتریکی و مغناطیسی عمود بر هم تشکیل شده است (شکل (2-104)). معمولا سرعت انتشار آن بین 5~30Ghz می باشد (بهترین فرکانس ارسال 10Ghz است).

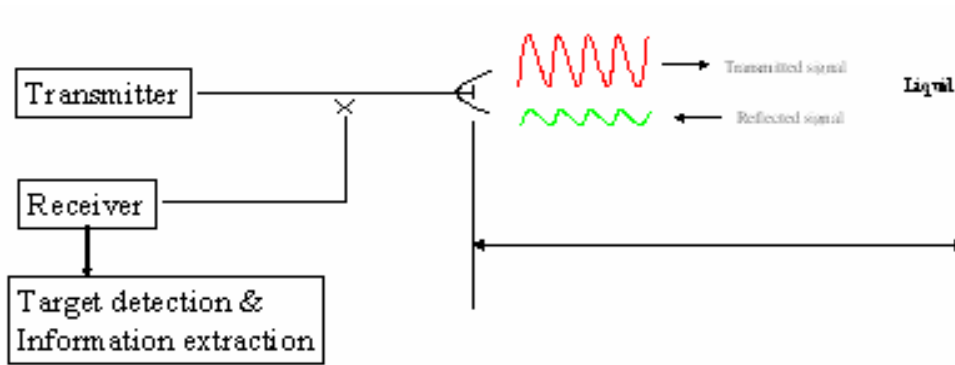


شکل (2-104): سیگنال الکترومغناطیسی

یک سیستم رادار از قسمتهای زیر تشکیل شده است.

- 1- یک اسپلاتور برای ایجاد سیگنال های الکتریکی فرکانس بالا
- 2- واحد آشکار ساز جهت اندازه گیری پارامترهای اساسی مانند: اختلاف زمان، اختلاف فرکانس و شیفت فاز
- 3- آنتن جهت تبدیل سیگنال های الکتریکی به موج رادار

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



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

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

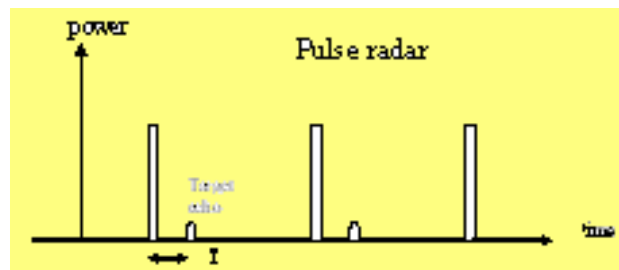
- 1- زمان طی مسافت توسط موج پالسی (Pulse radar)
- 2- موج پیوسته مدوله شده (FMCW(Frequency modulated continuous wave))

1- پالس رادار (pulse radar)

هما نظیر که در شکل (2-106) نشان داده شده سیگنال توسط فرستنده بسمت ماده داخل تانک فرستاده می شود در اثر برخورد با مواد انعکاس 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 و دریافت با توجه به رابطه زیر می توان فاصله (لول) را بدست آورد.

$$T = \frac{2R \cdot \sqrt{\epsilon_r}}{C}$$

T: اختلاف زمان ارسال و دریافت، C: سرعت ارسال موج در حلت مخزن خالی، ϵ_r : ضریب انتشار و R: مسافت



شکل (2-106): سیگنال ارسال و دریافت رادار پالس

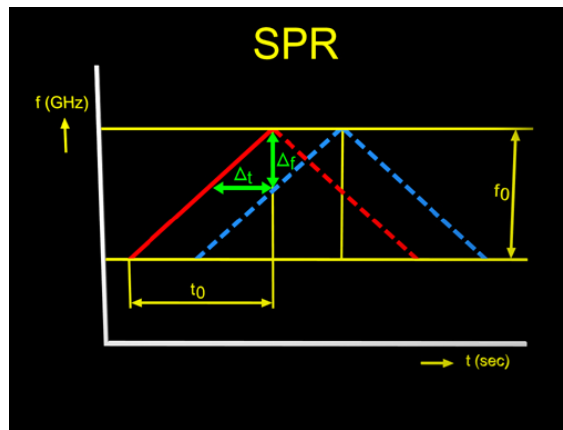
این سیستم دارای سه ایراد است که عبارتند از:

- 1- دقت اندازه گیری کم است (مخصوصا اگر دقت کمتر از 1mm مد نظر باشد)

- 2- پیک (قدرت) سیگنال منعکس شده کم است یعنی قدرت سیگنال دریافتی کم بوده که باعث می شود سیگنالهای منعکس شده به آنتن نرسیده و خطا در اندازه گیری ایجاد گردد
- 3- وقتی لول به آنتن نزدیک باشد نمی تواند دقیق اندازه گیری نماید چون تفاوت زمانی بین ارسال و دریافت خیلی کم است.
- کاربرد این اندازه گیر جهت مسافتهای بزرگ بوده که دقت زیاد در آن مد نظر نباشد.

2- مدولاسیون فرکانس FMCW

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 حدود 10Ghz بطور مداوم ارسال می گردد و در اثر برخورد با سطح مایع منعکس شده و توسط گیرنده دریافت می گردد، تفاوت فرکانس بین سیگنال ارسال و برگشت در واحد زمان ملاکی جهت تعیین لول می باشد و از رابطه زیر محاسبه می شود.

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

که در آن C: سرعت انتشار موج رادار، f_0 : فرکانس سوئیچ، t_0 : زمان سوئیچ، k: گین رادار و d: مسافت می باشد.

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 نمی‌تواند اندازه‌گیری کند.
 4- در حالتیکه سیستم دارای بخارات زیاد باشد خطا وجود دارد.

نکات عملی مورد استفاده:

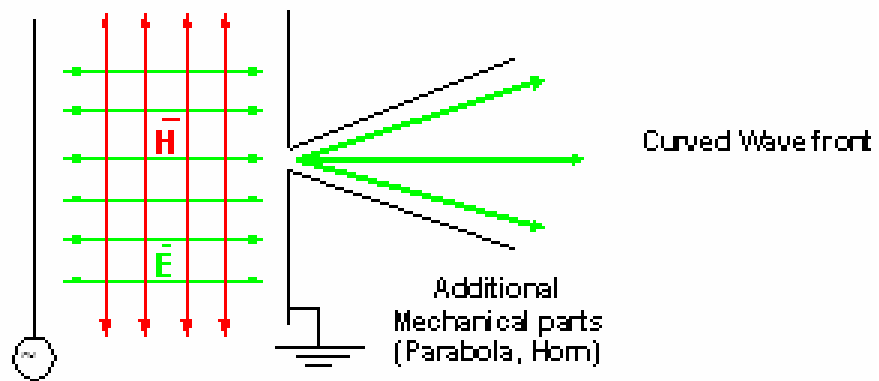
- 1- در مورد هیدروکربنها در کف تانک مقداری آب جمع می‌شود برای اندازه‌گیری لول دقیق باید توسط روش دیگری مقدار آب را اندازه‌گیری نمود و ترانس‌میتور را با مقدار آب موجود کالیبره نمود.
 2- در مورد مخازن با سقف شناور نیاز به نصب steel pipe (لوله مخصوص فلوتر) است که امواج منعکس شده از steel pipe می‌تواند روی دقت اندازه‌گیری دستگاه تاثیر منفی بگذارد.

آنتن رادار:

آنتن جهت تبدیل سیگنال الکتریکی به موج رادار استفاده می‌گردد و به دو دسته تقسیم می‌شود.

- 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 می‌دهد.



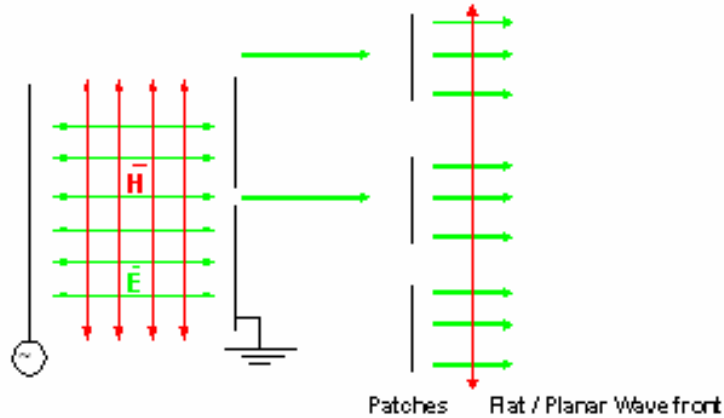
شکل (2-108) حالت ارسال single feeder

این روش دارای خصوصیات زیر می‌باشد:

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

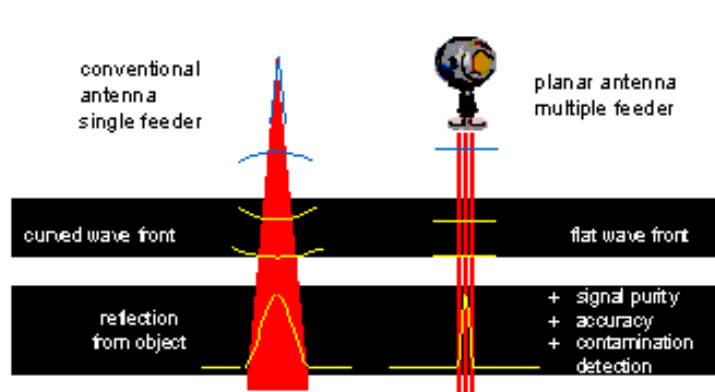
Multi feeder:

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



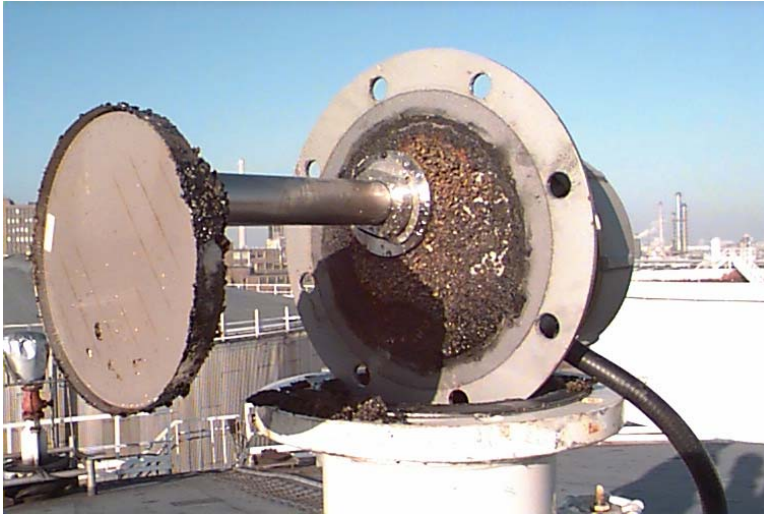
شکل (2-109): ارسال سیگنال در حالت Multipli feeder

- 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 و مستقیم، 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 دو حالت

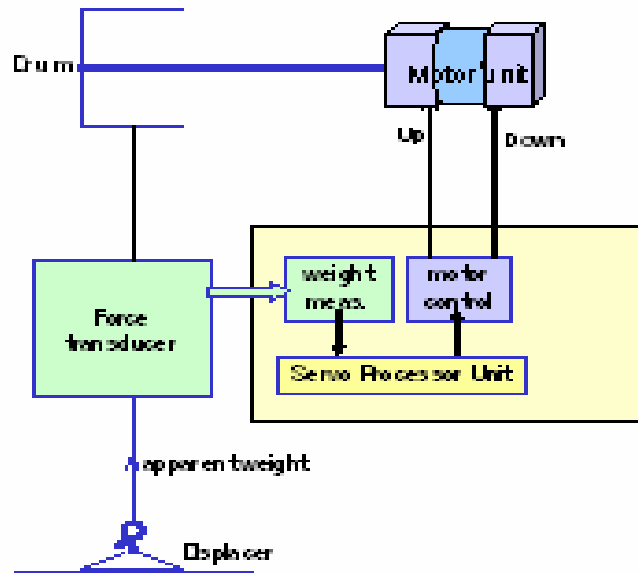
در شکل (2-111) نمونه عملی این لول ترانسمیتر ها نشان داده شده است.



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 (دیسپلایسر) و نیروی غوطه وری کار می کند. بطوری که در شکل (2-112) نشان داده شده اگر لول کم شود وزن ظاهری دیسپلایسر افزایش پیدا می کند و توسط مبدل نیرو به فرکانس تبدیل می شود فرکانس دریافتی توسط کنترلر تبدیل به فرمانی جهت پائین رفتن دیسپلایسر به stepper motor می شود و در صورتی که لول زیاد شود وزن ظاهری کاهش و عکس عمل فوق صورت می گیرد.

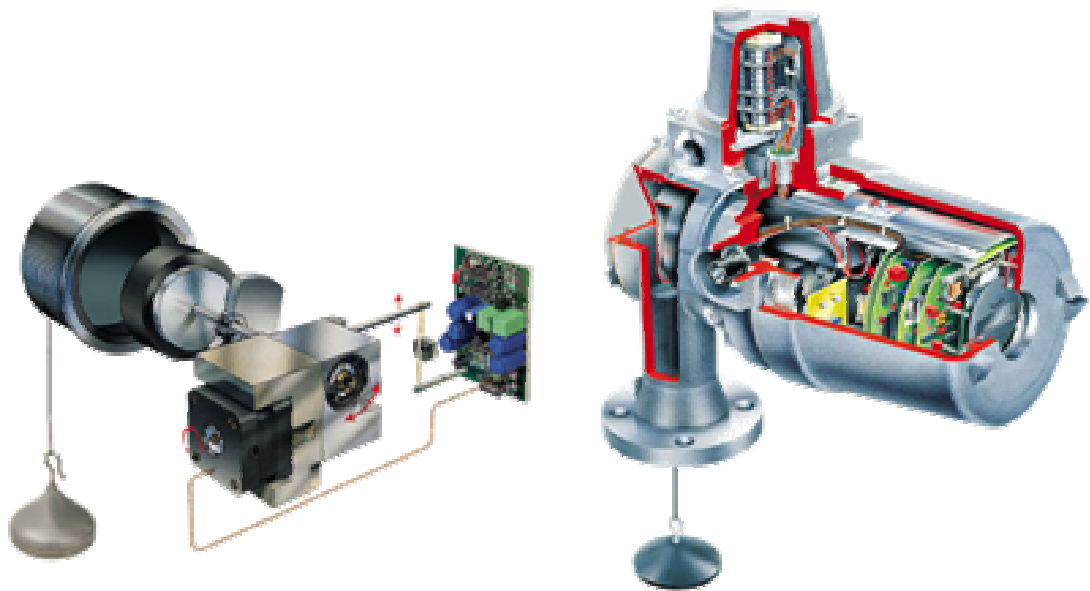


شکل (2-112): بلوک دیاگرام لول ترانسمیتر دیسپلایسری

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 نسmitter نوع servo نشان داده شده است.



شکل (2-113): نمونه عملی سروو

لازم به ذکر است جهت کالیبراسیون این لول ترا نسmitter باید مینیمم و ماکزیمم (صفر و صد درصد) لول داده شود و لول موجود در مخزن نیز باید توسط روش دیگری اندازه گیری شده و به ترا نسmitter داده شود تا اینکه خطای اندازه گیری حداقل باشد.

مراجع:

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