خانه مهندسی شیمی ایران
www.icheh.com

بررسی ابزاردقیق
مهندسی فرآیند

www.icheh.com

فهرست

عنوان صفحه

فصل اول: سطح سنجها
مقدمه 5
کنترل سطح 6
دستگاه اندازه گیری سطح 11
ابزارهای الکتریکی 16
دستگاه از نوع مقاومت 19
دستگاه از نوع هدایت سنجی 20
دستگاههای صوتی 23
دستگاه اندازه گیری سطح با تشعشع 24
انواع سوئيچهای سطح 25
سوئیچهای سطح مافوق صوت 28
ابزارهای اندازه گیری سطح بر اثر فشار 30
مشکلات سیال فرایند 36
کاربردهای خاص 41

فصل دوم: فشار سنجها
تعریف فشار 47
فشار در سیال 48
فشار عملي در گازها 55
فشار نسبي و مطلق 58
مانومترها 60
فشار سنج ها و انتقال دهنده ها 65
مبدلهاي فشار الکترونيکي 68

فصل سوم :دما سنجها
مقدمه 76

www.icheh.com

مقياس‌هاي دما 77

ترمومترهای Filled-System 78

ترمومترهای دو فلزی 80
ترموكوپل ها 82
آشكار سازهاي دماي مقاومتي 92
RTD هاي فيلم فلزي 94
ترموسترها 98
سنسورهاي دما با مدار يكپارچه 100

فصل چهارم : دبي سنجها
مقدمه 102
انواع دبي سنجها 104
دبي سنجهاي فشاري 105
دبي سنجهاي سرعتي 111
دبي سنجهاي جرمي 117
دبي سنجهاي جابجايي مثبت 120
عوامل مؤثر بر انتخاب دبي سنجها 124
جداول 125
ضميمه 130
تبديل واحد دبي ها 130
شمايي از روابط رياضي وخصوصيات حاكم بر بعضي دبي‌سنجها 131
شكل دبي سنجها 135
منابع 144

www.icheh.com

فصل اول

سطح سنجها

www.icheh.com

مقدمه

یکی ازمهمترین ابزارهای مدیریت در کارخانه های شیمیایی اطلاع دقیق و مناسب از انچه که در پروسه فرا یند می گذرد می باشد. عدم اطلاع از میزان ذخایر منابع خام ومحصولات گاهی موجب حوادث خطرناکی شده است.

خرابی دستگاه اندازه گیری سطح موجب نشت مواد سمی خطرناک در کارخانه ها شده است. یک مهندس با اطلاع از میزان ذخایر منابع مواد و دبی جریانها در لوله ها بهتر می تواند در خصوص کارکرد سیستم یا چگونگی بهینه سازی و توسعه سیستم تصمیم بگیرد. همچنین می توان در خصوص شرایط کاری روزانه و محدودیتهای اجرائی ان تصمیم گرفت.

اصولا همه دستگاههای اندازه گیری براساس اختلاف در یک خاصیت فیزیکی بین سیال فرایند و محیط بنا شده اند.دستگاه های ابتدایی برای اندازه گیری سطح از روش مشاهده مستقیم و یا استفاده از اب نما بهره می گرفتند اما در سیستمهای جدید که اندازه گیری ها از یک اتاق کنترل مرکزی نظارت و معین می شوند ازسیستمهای پیشرفته- تری اختلاف در مقدارهدایت الکتریسیته، اختلاف در فشار و اختلاف در ظرفیت دی الکتریک و... استفاده می شود.

کنترل سطح

خلا صه

دراین فصل درخصوص اصول اساسی انداره گیری وکنترل سطح و هم چنین کاربردهای صنعتی آن بحث می شود . کنترل سطح محصولات در مخازنی که حاوی

مواد مختلف نظیر مایعات ، پودرها ، دوغابها وتوده های granular است صورت می گیرد.

در همه وسایل اندازه گیری یک عامل حسگر وجود دارد که معمولا در داخل مخزن قرار می گیرد . پارامترهای فیزیکی مختلفی نظیر تشعشع ، صدا ، الکتریسیته ، فشارو نور در وسایل اندازه گیری استفاده می شود که همه آنها در این فصل مورد بررسی قرار می گیرند. کاربردهایی نظیر کنترل و تغییر سطح نیزبررسی وبحث می شود.

اندازه گیری نور

سه نوع حسگر نوری وجود دارد :

1) حسگرهای شیشه ای
2) حسگرهای جابجا کننده
3) حسگرهای شناور

حسگرهای شیشه ای به میزان زیادی در ابزار اندازه گیری وکنترل سطح استفاده می شوند.

حسگر شیشه ای

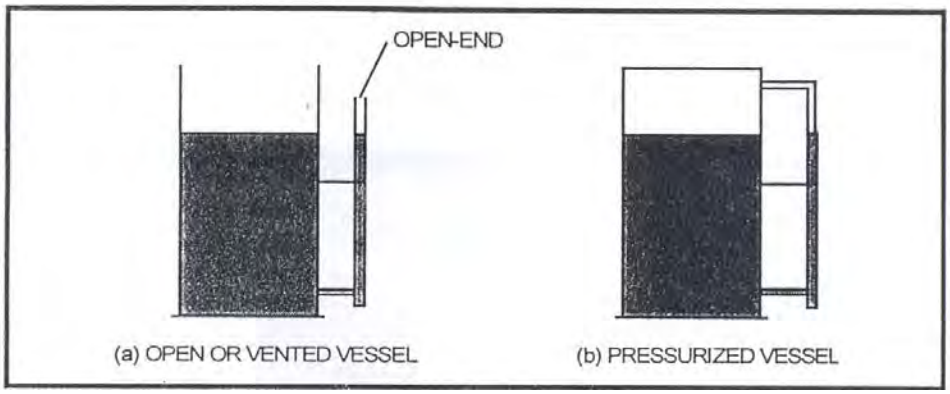
دو نوع حسگر شیشه ای برای اندازه گیری سطح مایع در مخازن بکار می رود:

1) حسگر لوله ای
2) حسگر صفحه ای

حسگر شیشه ای بر اساس اصول کاری مانومتر عمل می کند . همان طور که سطح مایع در یک مخزن روباز بالا و پایین می رود، سطح مایع نیز در لوله شیشه ای بالا و پایین می رود.

کنترلر معمولا شیشه ای یا پلاستیکی و یا ترکیبی از این دو می باشد. شکل(1) دو کاربرد عمومی شیشه ای شفاف را نشان می دهد که یکی مربوط به ظروف تحت فشار و دیگری مربوط به ظروف رو باز است.

www.icheh.com



Figure(1). Sight Glasses

حسگر جا بجا کننده

اصل ارشمیدس بیان می کند که اگر جسمی به طور کامل یا جزئی در سیال فرو برده شود نیروئی برابر با وزن سیال جابجا شده ، به سمت بالا بر جسم اثر می- کند. در شکل معادله ، اصل ارشمیدس برای شناوری B از رابطه زیر بدست میاید.

$$B = W_d = \rho g v$$

W_d = وزن سیال جابجا شده

ρ = دانسیته سیال

v = حجم سیال جابجا شده

g = ثابت شتاب جاذبه

ρg = پارامتر اغلب بنام دانسیته وزنی خوانده می شود و برابر وزن واحد حجم میباشد.

www.icheh.com

مثلا دانسیته وزنی آب در $20c$ برابر $623\frac{lb_f}{ft^3}$ می باشد . بنا براین نیروی شناوری برای حجم v آب جابجا شده در دمای $T=2t$ برابر است با:

$$B_w=(62\frac{lb}{ft^3})v$$

مثال (1)

مسئله: نیروی شناوری وارد بر جسمی که $19ft^3$ آب را در $T=2t$ جابجا می کند را حساب کنید.

$$B_w=(62\frac{lb}{ft^3})v$$

$$B_w=(62\frac{lb}{ft^3})(19ft^3)$$

$$B=62B$$

با اندازه گیری نیروی شناوری حاصل از فرو رفتن عامل جابجا شونده ، مقدار سطح مایع قابل تعیین است . اگر مساحت سطح مقطع جابجا شونده و دانسیته مایع

ثابت باشد، یک تغییر واحد در سطح مایع ناشی از تغییر واحد در وزن عامل جابجا شونده ایجاد می شود .

ساده ترین وسیله کنترل سطح از این نوع دارای یک عامل جابجا شونده سنگین تر از سیال فرایند است که از یک تغییر دهنده سطح معلق می شود(LT).

این دستگاه در شکل (2) نشان داده شده است.

www.icheh.com

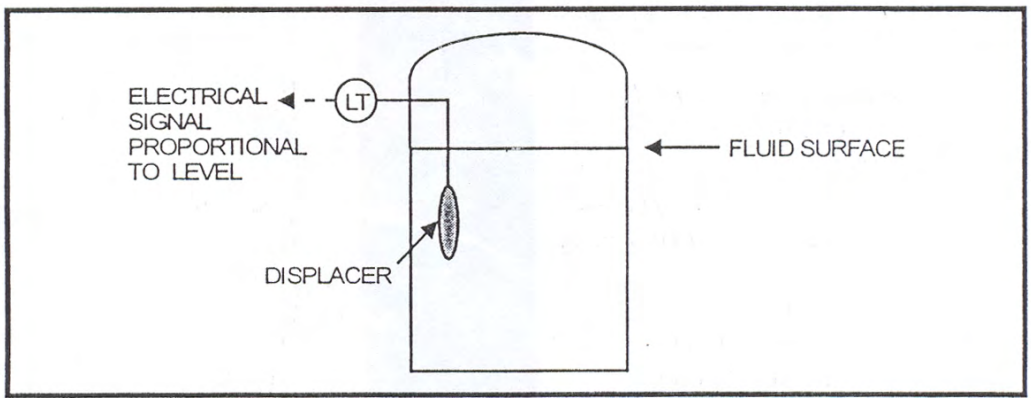


figure (2). Displacer Level Measurement

وقتی که سطح مایع پایین تر از عامل جابجا شونده است ترانسمیتر وزن کامل جابجا شونده را نشان می دهد. با افزایش سطح مایع وزن ظاهری عامل جابجاشونده کاهش می یابد که این کاهش رابطه خطی با تغییرات سطح مایع دارد دستگاه ترانسمیتر را می توان بر حسب صفر تا صد در صد ویا واحدهای دیگر کالیبره کرد.

این وسیله ساده برای اندازه گیری وکنترل سطح مایع درمخازن فرایند استفاده می-شود. پروسه آب بندی کردن از نقطه نظر مکانیزم عامل جابجاکننده مهم است.

آب بندی کردن باید بدون اصطکاک صورت گرفته وطوری باشد که دستگاه در محدودهای وسیعی از دما ، فشار وشرایط خوردگی عمل نماید.

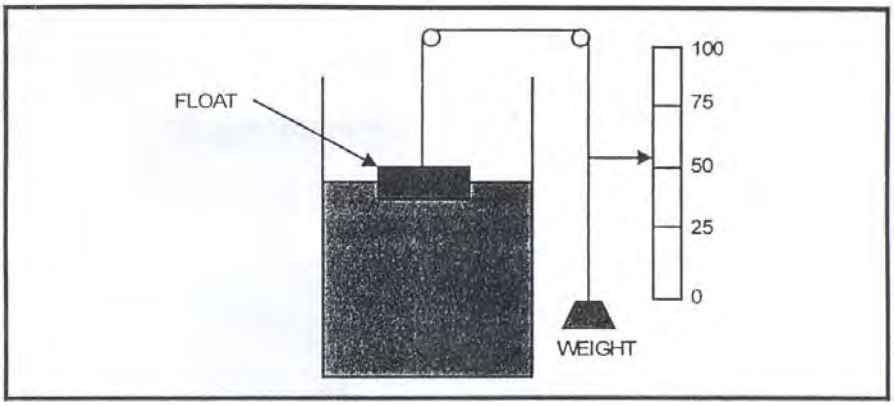
حسگر شناور

یکی از ساده ترین روشها ، روش مستقیم اندازه گیری سطح شناور می باشد . که در شکل (3) نشان داده شده است.

www.icheh.com

در این دستگاه نشان داده شده ، یک انتهای دستگاه به عامل شناور متصل بوده و انتهای دیگر دستگاه به یک وزنه آویزان متصل است تا شناور تحت کشش ثابتی نگه داشته شود. حرکت کردن شناور در اثر بالا آمدن وزنه ویا پایین آمدن می- باشد که به آسانی این مقدار از یک برد متصل به دستگاه خوانده می شود.

شناورهای استاندارد معمولا برای نصب دربالای مخزن ، استوانه ای شکل و برای نصب در نقاط جانبی ، کروی یا مستطیلی شکل هستند .



figure(3). Tape - Float Gage

شناورهای با قطر کوچک از موادی با دانسیته بالا ساخته می شوند وبرای شناورهای کوچکترکه برای تایین سطح مشترک مایع- مایع بکار می رود از موادی با دانسیته کمتر استفاده می شود.

دستگاه اندازه گیری سطح (روش فشار)

یک مخزن روباز مجهز به حسگر سطح فشاری در شکل (4) نشان داده شده است.

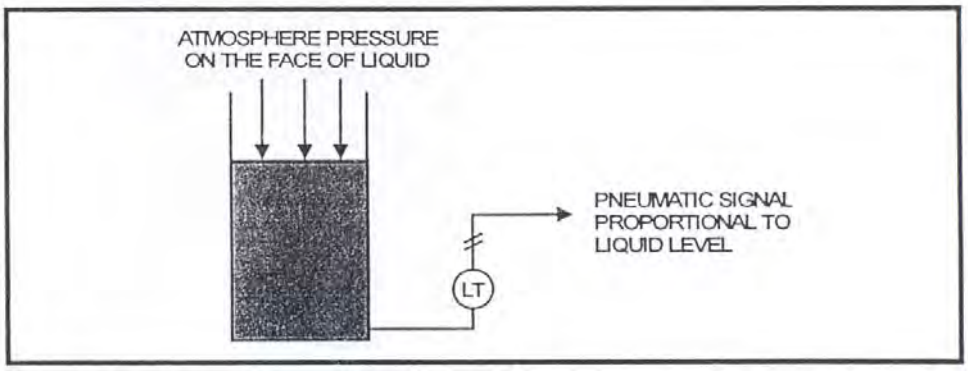
www.icheh.com

همان طور که قبلا دیدیم رابطه مستقیمی بین فشار هیدرواستاتیک حاصل از ستون سیال ، وزن مخصوص مایع وارتفاع عمودی ستون مایع برقرار است .

در اکثرحالات وزن مخصوص سیال ثابت است به طوری که فشار (p) مستقیما با سطح مایع (h) متناسب است لذا:

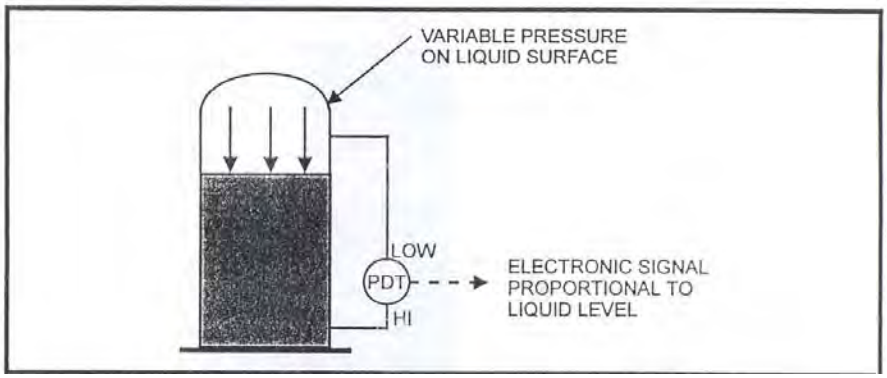
$$P \propto h$$

k=ثابت تناسب



Figure(4). Level measurement (open tank)

نمونه دیگری از اندازه گیری سطح در مخازن بسته در شکل(5) نشان داده شده است.



www.icheh.com

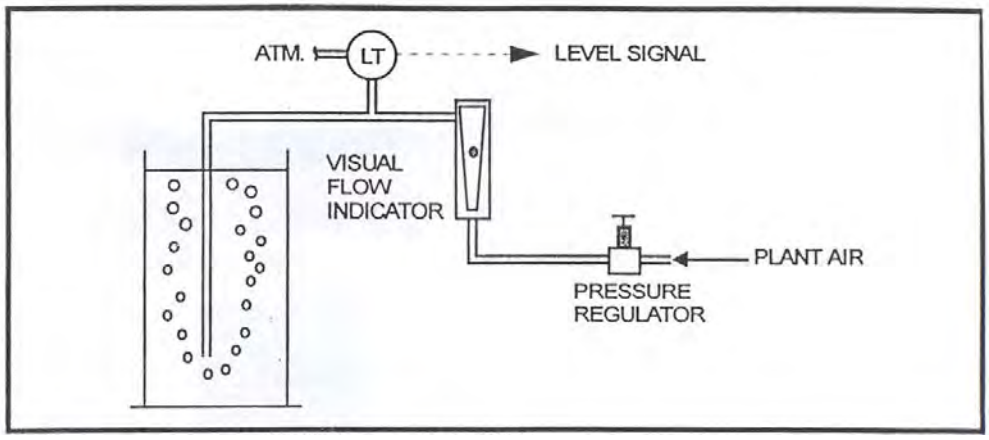
Figure(5). Closed tank level – differential pressure

در این نمونه ، اگر فشار در مخزن بسته تغییر کند نیروی معادل با آن ، به هر دو وجه ترانسمیترdp وارد می شود چون محفظه dp تنها به تغییرات دیفرانسیل فشار عکس العمل نشان می دهد .

تغییر فشار استاتیکی روی سطح مایع موجب تغییر خروجی ترانیسمیتر نمی- شود. بنا براین محفظه dp به تنهایی به تغییرات سطح مایع عکس العمل نشان می- دهد. این در حالی است که وزن مخصوص مایع ثابت است.

کف زا

نمونه دیگر ابزارهای کنترل سطح فشاری در شکل (6)نشان داده شده است. در این دستگاه یک لوله که ته آن باز است چند اینچ در زیر مایع قرار دارد. مایع به داخل لوله فشار وارد می کند در حالی که حبابها از داخل لوله رها می شوند، در این حال فشار در لوله مساوی هد هیدرواستاتیکی مایع است.



figur(6). Air Bubbler System

همان طور که سطح مایع تغییر می کند فشار در لوله نیز مطابق آن تغییر می کند. این فشار بوسیله فشارسنج در یک شرایط دائمی تعیین می شود.

فشار اعمالی برای purage باید حداقل 10psi بیشتر از حداکثر فشار هیدراستاتیکی اندازه گیری شده باشد. سرعت وارد کردن حبابها باید در حداقل نگه

داشته شود (در حدود $1\frac{ft^3-stc}{hr}$) طوری که اختلاف فشار ناچیزی در لوله حاوی حباب اتفاق بیافتد. معمولا گاز در لوله هوا یا نیتروژن می باشد اگرچه از مایع هم می توان استفاده کرد.

در مخازنی که تحت فشار یا خلا کار می کنند نصب دستگاههای تولید حباب کمی پیچیده می شود چونکه اندازه گیری سطح مایع تابعی از اختلاف فشار گاز داخل لوله وفشار بخار بالای مایع است. چون از فشار دیفرانسیلی استفاده می گرددلازم است که از یک مبدل نظیر محفظه dp استفاده شود.

چند عیب ومشکل در سیستمهای تولید حباب موجود دارد:

1) محدودیت دقت به کار رفته
2) در این نوع ابزار همیشه یک ابزار خارجی وارد فرایند می گردد

اگر چه وارد کردن مایع در لوله موجب بهم زدن موازنه مواد در ظرف فرایند می شود ولی گاز موجود در لوله را می توان از سیستم تخلیه کرد. اگر سیال موجود در لوله بجای صعود در سیال فرایند ، ریزش نماید نه تنها دستگاه کنترل سطح از کار می افتد بلکه سیستم نیز در معرض خطراتی نظیر خوردگی ، یخ زدن ، ایمنی وبسته شدن قرار می گیرد.

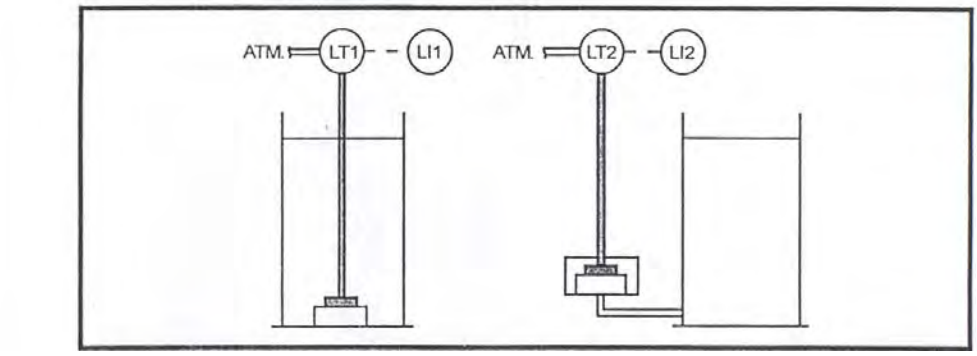
دیافراگم

www.icheh.com

شناسا گرهای دیافراگمی بر اساس اصل ساده تعیین فشار اعمال شده از سوی سیال فرایند به دیافراگم عمل می نماید.

شکل (7) دو نوع شناساگرهای مختلف دائمی را نشان می دهد. دستگاه دیافراگمی در سمت راست شکل ، هوا را از سیال فرایند جدا می کند. این واحد شامل دیافراگم پر شده توسط هوا است که به یک شناساگر فشار متصل است. همان طور

که سطح درطول دیافراگم بالا می آید فشار هد مایع ، هوای داخلی را متراکم می- کند. فشار هوانیز تعیین شده ودر نتیجه میزان سطح جابجا شده مشخص می شود.



figure(7). Diaphragm Box Level Measurement

ابزار موجود در سمت چپ شکل (7) نیز در مایع فرو برده می شود. هد استاتیکی مایع ، یک فشار به سمت بالا را روی دیافراگم وارد می کند که موجب افزایش سطح می شود.

ابزارهای الکتریکی

تعداد زیادی از ابزار آلات وحسگرها که از اصول الکتریکی بهره می برند برای اندازه گیری تعیین سطح استفاده می شوند . سه نوع عمده وسایل الکتریکی عبارتند از:

www.icheh.com

1) دستگاههای تعیین ضریب هدایت
2) دستگاههای تعیین ظرفیت
3) دستگاههای تعیین مقاومت

دستگاه تعیین ظرفیت

خازن حاوی دو رسانای الکتریکی است که توسط یک عایق از هم جدا می شوند. از رساناها بنام صفحات واز عایق بنام دی الکتریک نام برده می شود. طبیعت اصلی خازنها جذب وذخیره بار الکتریکی است.

وقتی خازن به یک باطری متصل است الکترونها از خروجی منفی باتری به سمت خازن جریان می یابند والکترونهای روی صفحه دیگر خازن به سمت خروجی مثبت باتری جریان می یابند. این جریان الکترون ادامه می یابند تا اینکه ولتاژ دو سرخازن معادل ولتاژ اعمال شده باشد.

اندازه ظرفیت خازن بر حسب فاراد تعیین می شود. یک خازن داری بار یک فاراد است اگر یک ولت اختلاف پتانسیل به آن اعمال شود همچنین یک کولمب بار الکتریکی (1C) روی آن ذخیره می شود.

چون فاراد واحد بزرگی است یک میلیونیم آن بنام میکرو فاراد (μF) اغلب استفاده می شود.

مقدار ظرفیت خازن به ابعاد فیزیکی آن وبه نوع دی الکتریک بین صفحات بستگی دارد. معادله برای خازنی که از دو صفحه موازی ساخته شده است عبارت است از:

$$C=\frac{K\cdot A}{d}$$

A=مساحت صفحه

d=فاصله بین صفحات

k=ثابت دی الکتریک(در جدول1) فهرست شده است).

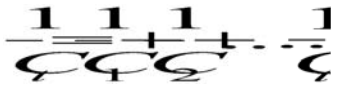
www.icheh.com

برای مواد خالص ثابت دی الکتریک اساسا به جنس ماده بستگی دارد . ثابت دی الکتریک یک مخلوط ترکیبی به روش آزمایشگاهی محاسبه می شود.

چند قانون برای مدارهای خازنها برقراراست.

1) ظرفیت دو یا چند خازنی که به شکل موازی به همدیگر متصل اند از رابطه زیر تعیین می شود.

2) در حالت سری ، عکس ظرفیت کل $\left(\frac{1}{C_t}\right)$،معادل با مجموع عکس تک تک ظرفیت خازنها می باشد.



Material	Temperature ©	Dielectrice Constant
Air	…….	1.0
Oil	20	2-5
Water	25	78-5
Aqueous solutions	…….	50-80
Glycol	25	37
Glass	…….	3.7-10

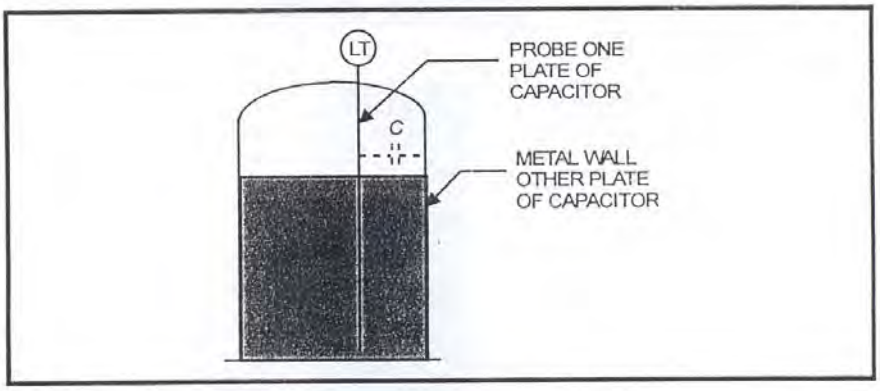
Table(1) . Dielectric constants

تغییر در مشخصات ماده بین صفحات موجب تغییر در ثابت دی الکتریک می شود که این خاصیت راحترو سریعتر از سایر خواص قابل اندازه گیری است. این مسئله

www.icheh.com

باعث می شود که دستگاه تعیین ظرفیت برای تعیین سطح مواد در خازن مناسب باشد.
چونکه تغییر در سطح مایع موجب تغییر در ثابت دی الکتریک می- شود.
همچنین اگر دمای جسمی بالا رود ، ثابت دی الکتریک آن کاهش می یابد. ضرایب دمائی در محدوده OP% قرار دارد. یک دستگاه compenstar دما نصب می شود تا نوسانات دما را حذف کند.
ترکیب فیزیکی و شیمیایی وشکل ساختمانی نیز برمقدار ثابت دی الکتریک اثر می گذارد. وقتی که ثابت دی الکتریک جامد تعیین می شود باید توجه داشت که نوسانات مقدار متوسط اندازه ذره وتغییر در دانسیته پکینگها بر مقدار ثابت دی الکتریک تا ثیر می گذارد.
جریان جاری از مقاومت به سمت زمین، موجب تخلیه سریع خازن می شود. این کوتاه کردن ظرفیت اندازه گیری شده با یک مقاومت متغییر نیز قابل انجام است ، در صورتی که مقدارمقاومت درمقایسه با رئوکتانس خازن کوچک باشد اندازه- گیریها با عدم دقت همراه است.

نوسانات سطح مایع فرایند سبب تغییر در ظرفیت می شود که این تغییر به کمک یک مدار الکتریکی اندازه گیری می شود . همان طوری که در شکل (8) دیده می شود دستگاه از ظرف جدا بوده و تشکیل یک صفحه از خازن را می دهد و خود ظرف صفحه دیگری می باشد.



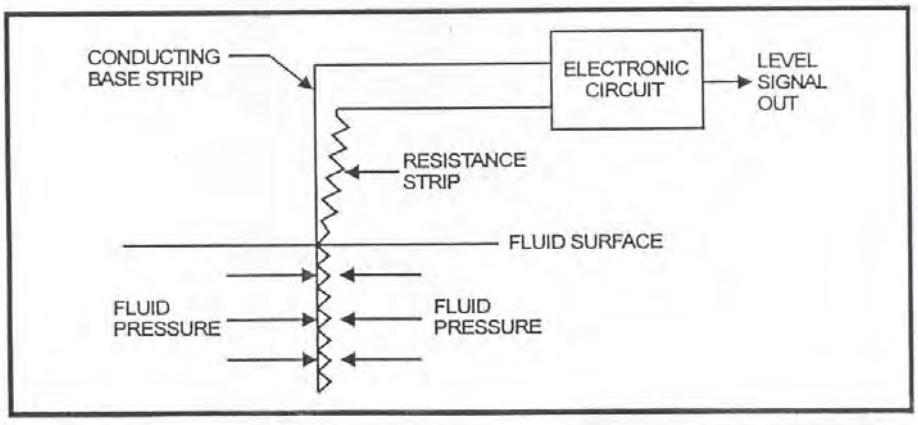
www.icheh.com

figure(8). Capacitor Probe

ماده بین دو صفحه دی الکتریک است همان طور که سطح مایع افزایش می یابد بخار با ثابت دی الکتریک کم (1) نیز جابجا می شودو جای خود را به ماده ای با ثابت دی الکتریک بزرگتر می دهد. تغییرات ظرفیت ایجاد شده به کمک یک مدار الکترونیکی بر حسب سطح کالیبره می شود.

دستگاه از نوع مقاومت

نوع دیگر دستگاه های اندازه گیری سطح،دستگاههای مقاومتی است. این دستگاه به شکل مارپیچی حول یک لوله فولادی پوشانده می شود. همان طور که در شکل (9) نشان داده شده است.



figure(9). Resistance Tape Level Measurement

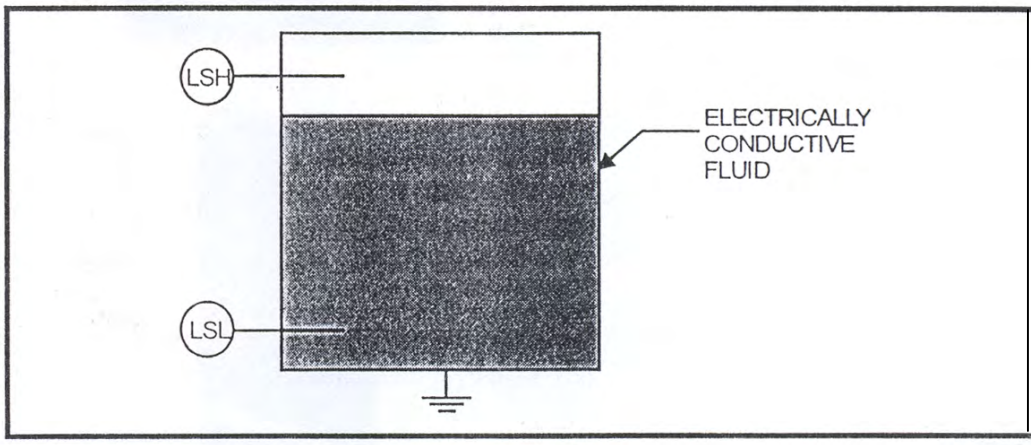
این ابزار به شکل عمودی از بالا به پایین مخزن مخزن فرآیند نصب می شود. فشار سیال داخل مخزن سبب مدار کوتاه شدن دستگاه می شود که بنابراین موجب تغییر

www.icheh.com

مقاومت کل دستگاه می شود. این مقاومت بوسیله یک مدار الکترونیکی اندازه گیری می شودواین مقاومت مستقیما به سطح مایع داخل مخزن مربوط می- شود.

دستگاههای هدایت سنجی

دستگاه هدایت سنجی براساس اصل هدایت الکتریسیته مایعات عمل می کند . شکل (10) یک نوع دستگاه اندازه گیری سطح بروش هدایت سنجی را نشان می دهد. یک الکترود در بالای سطح مایع ، روی سمت چپ شکل نشان داده شده است . بنا براین مدار بازاست وجریانی از طریق سطح به آن وارد نمی شود تا به الکترود انرژی دهد.



Figure(10). Conductivity probe

وقتی که سطح مایع بالا می آید رسانایی مسیر بین الکترود کف تانک برقرارمیشود ودرنتیجه کلید سطح پایین بسته می شود .

فعالیت سوئیچ سطح پایین موجب بسته شدن کنترل relay می شود.این امر به منظور فعال کردن پمپها ، شیرهای سولنوئیدی یا دیگر تجهیزات فرایندی استفاده می شود. اگر مخزن با مواد عایقی نظیر فایبرگلاس پوشانده شده باشد مدار بین الکترود و یک دستگاه مرجع قرارمی گیرد.

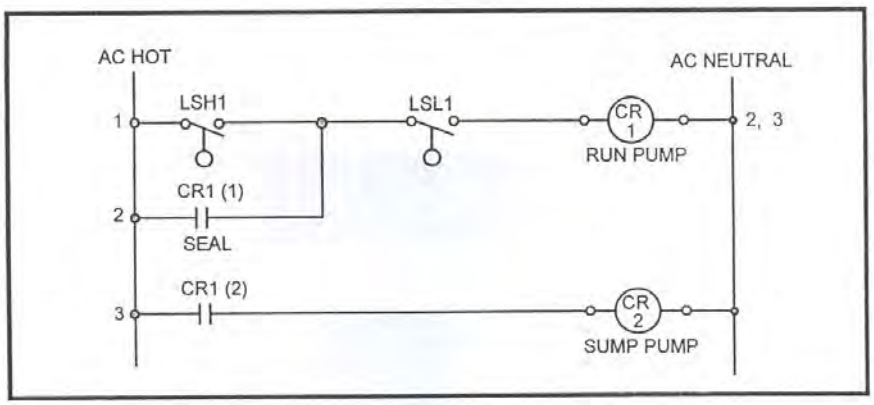
www.icheh.com

این سوئیچها در شکلهای مختلفی وجود دارد و بنا بر این برای کنترل یک یا چند قطعه می تواند استفاده شود.

یک کاربرد آنها می تواند کنترل سطح مایع در یک sump باشد . دیاگرام شکل (11) نشان می دهد که چگونه دو دستگاه هدایت سنجی به هم مربوط می شوند تا یک پمپ sump را به شکل CR1 کنترل نمایند.

وقتی سطح مایع بالا می آید سوئیچ سطح پایین (LSL-1) بسته می شود چونکه این سوئیچ با دستگاه پایین عمل می نماید.درنتیجه کنترل CR1 ازانرژی تخلیه میگرد.

وقتی که سطح باز بالاتر رود سوئیچ سطح بالا (LSH-1) بسته می شود و CR1 انرژی دار شده وتماس اول CR1(1) بسته می شود تا سطح پایین بیاید . این امر موجب بهبود فرایند می شود چون که CR1 حتی بعد از عدم فعالیت سوئیچ کنترل سطح بالا دارای انرژی باقی می ماند. وقتی CR1 مجددا انرژی دار شود سری دوم تماس CR1(2) هم بسته شده و پمپ sump دوم کار خواهد کرد.



Figure(11). Sump Level control – ladder diagram

وقتی که سطح مایع پمپ شده به کمتر از LSH برسد این سوئیچ سطح همچنان باز می ماند اما CR1 همچنان روشن باقی می ماند زیرا که هنوز تماس اولیه برقرار است. وقتی که سطح مایع به کمترازحداقل سطح مایع برسد سوئیچ سطح(LSL-1) باز می شود، کنترل اولیهCR1 تخلیه از انرژی می گرددو پمپ خاموش می شود .
پمپ همچنان خاموش می ماند تا اینکه sump مجددا تا سطح بالایی پرشود و سپس عمل کنترل تکرار می شود.

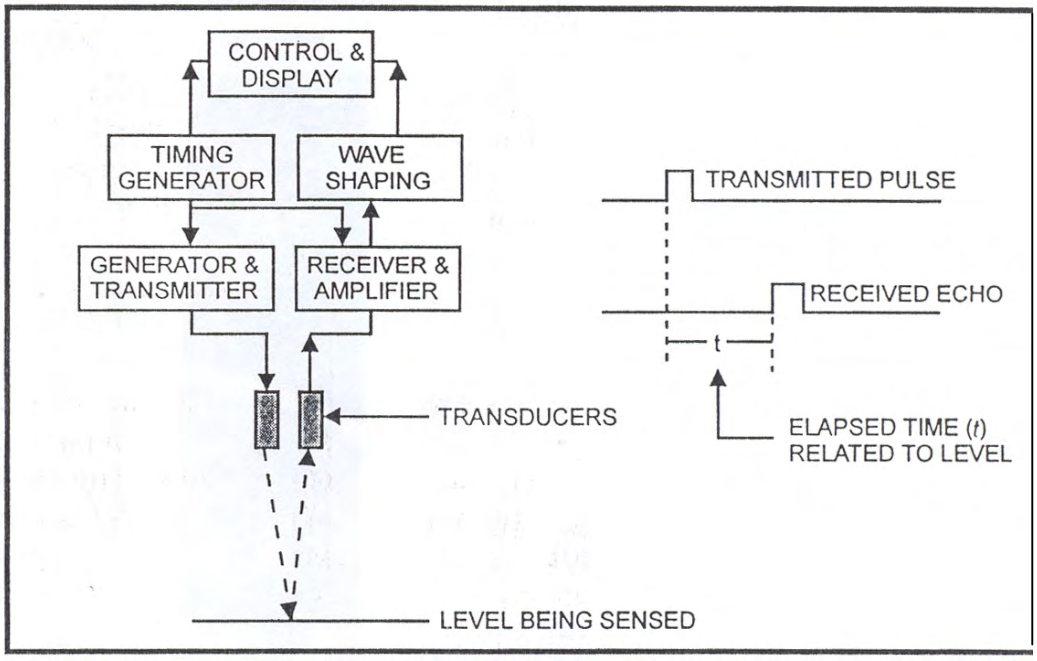
دستگاههای صوتی

اندازه گیری سطح مافوق صوت

حسگرهای صوتی مافوق صوت زمان مود نیاز برای حرکت امواج مافوق صوت از میان ماده را اندازه گیری می کنند. امواج صوتی مافوق صوت تحت عنوان امواج با فرکانس بالای 20KHZ شناخته می شوند .امواج مافوق صوتی بوسیله گوش انسانها قابل شنیدن نبوده وتوان آنها بسیار کم ودر حد چند هزارم وات می باشد. سرعت موج صوتی تابعی از نوع موج منتقل شده وچگالی سیال واسطه انتقال دهنده موج است.
وقتی که موج صوتی از میان یک ماده واسطه می گذرد موج صوت به یک ماده جامد برخورد می کند تنها بخش کمی از انرژی موج صوتی در داخل جسم جامد نفوذ کرده و بخش بزرگ آن منعکس می شود .
موج صوتی منعکس شده اکو نامیده می شود.شکل (12) دیاگرامی از یک دستگاه اندازه گیری سطح مافوق صوت را نشان می دهد.
امواج صوتی بوسیله یک ژنراتور یا ترانسمیترتولید می شوند وسپس یک مبدل صدا را ارسال می کنند.این امواج صوتی توسط یک ماده یا همان سطحی که قرار است کنترل شود منعکس می گردد وسپس امواج صوتی منعکس توسط یک مبدل جذب شده وبه سیگنالهای الکتریکی تبدیل می شوند بعد سیگنالهای الکتریکی تقویت شده وبه یک مدار ارسال می گردند.

www.icheh.com

دستگاه زمان بین ارسال موج صدا ودریافت اکو را اندازه گیری می کند. این زمان متناسب با فاصله بین فرستنده صوت و سطح مایع است . به آسانی می توان دستگاه را برای اندازه گیری سطح ماده یا سیال در مخزن فرایند کالیبره نمود.



Figur(12). Block Diagram of a Ultrasonice Measurement System

دستگاه اندازه گیری سطح با تشعشع

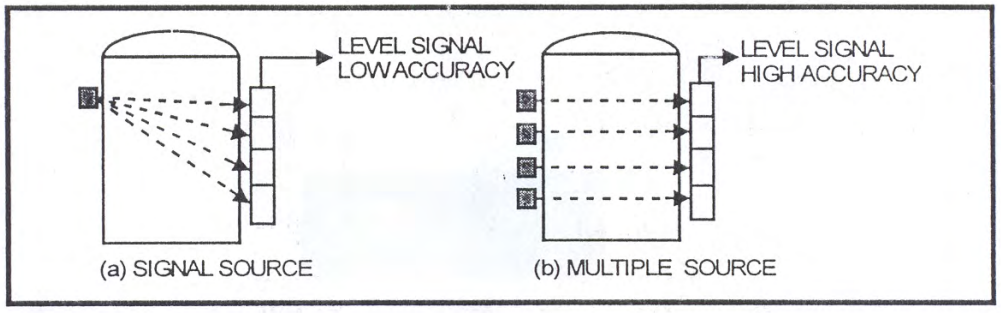
تشعشع هسته ای در برخی ابزارهای اندازه گیری سطح استفاده شده است. چنین ابزارهایی توانایی دیده شدن از بیرون تانک را داشته ودر نتیجه در بیرون مخزن فرایند نصب می شوند. این امر موجب حفاظت دستگاه و کاهش هزینه تعمیرات می شود .

از این سیستم برای مشخص کردن سطح در بسیاری از مواد نظیر دوغابها ، توده های جامد و مایعات استفاده می شود.

www.icheh.com

سیستم هسته ای از یک منبع کوچک اشعه گاما روی یک قسمت دیواره ظرف و شناساگر تشعشع در قسمت دیگر دیواره ظرف استفاده می شود (شکل 13(a)).

اندازه گیری دقیقتر سطح با قرار دادن چند منبع اشعه گاما در ارتفاعهای مختلف انجام می شود (شکل 13(b)) .



Figure(13). Nuclear Level Detection System

ماده موجود در داخل مخزن خاصیت عبور پذیری متفاوتی نسبت به هوا دارند به طوری که دستگاه می تواند سیگنال خروجی ارسال نماید که متناسب با سطح مایع داخل مخزن باشد.

سوئیچهای سطح

سه نوع سوئیچ سطح در کاربردهای کنترل سطح استفاده می شود .

1) سوئیچ شناور
2) سوئیچ پدالی گردنده
3) سوئیچهای صوتی

این سوئیچها ارتفاع بالا یا پایین در مخزن فرایند یا سیلوها را مشخص می کنند . این سوئیچها همچنین برای کنترل شیرها یا پمپها استفاده می شوند تا سطح مایع پمپ شونده را در یک مقدار معین نگه دارند.

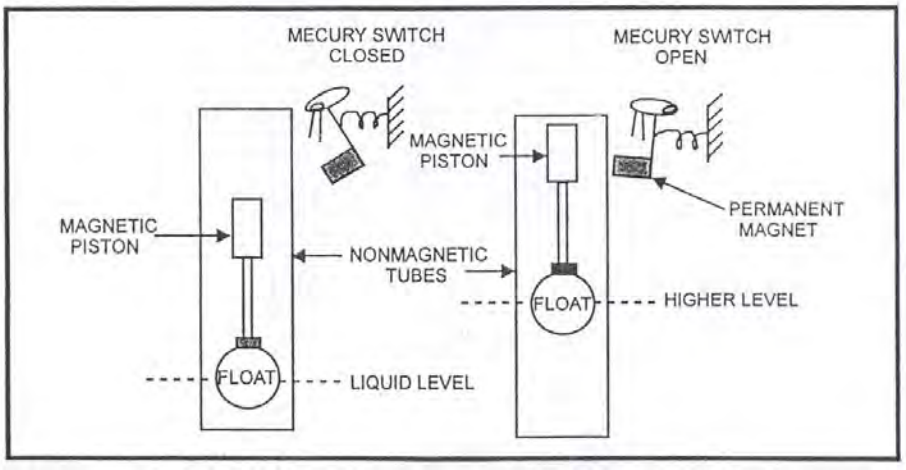
سوئیچ شناور

سوئیچهای شناور در مخازن فرایندی که نیارمند آببندی می باشند استفاده می شوند.در اغلب اوقات حرکت شناور به سوئیچ یا مکانیزم شناساگر بوسیله اتصال مغناطیسی منتقل می گردد.

شکل (14) نمونه هایی از یک سوئیچ کنترل کننده سطح بوسیله مغناطیس فعال شده را نشان می دهد . همان طور که در شکل دیده می شود یک سوئیچ reed در قسمت داخل نصب شده و یک لوله غیررسانای آب بندی شده در نقطه ای که بالا بپایین رفتن سطح ماده موجب فعال شدن سوئیچ می شود قرار می گیرد.

شناور که شامل یک مغناطیس حلقوی شکل است با سطح مایع بالا یا پایین رفته و موجب هدایت لوله مشود.

در این مثال سوئیچ غالبا بسته است ووقتی باز می شود که شناور ومغناطیس در یک سطح قرار داشته باشند.



www.icheh.com

Figure(14). Magneticaliy activated level switch

از سوئیچهای باز کننده هم در محیهایی نظیر بستن یک پمپ یا شنیدن یک اعلام خطر استفاده می شود. از این نوع سوئیچ در هنگامی که با مغناطیس فعال شود،برای بستن استفاده می شود.

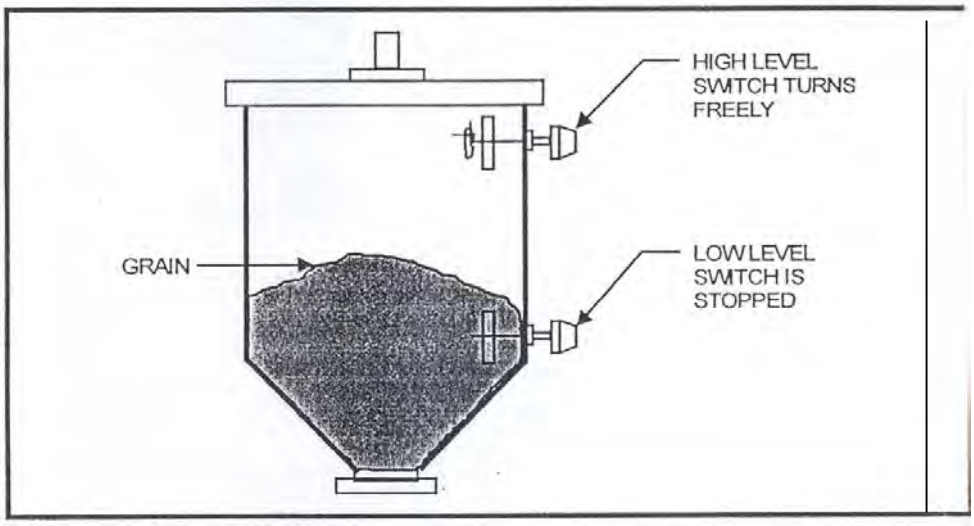
سوئیچهای پدالی گردنده

سوئیچهای پدالی گردنده که در شکل (15) نشان داده شده است برای شناسایی حضور یا عدم حضور مواد جامد که در تانکهای فرآیندی که مورد استفاده قرار می گیرد می باشد.

موتورهای سینکرون با توان کم وقتی که جامدی در سیستم وجود نداشته باشد حرکت پدال را در سرعت کم نگه می دارند. در چنین شرایطی گشتاور بسیار کمی روی موتور نیاز می باشد. وقتی که سطح مایع در مخزن بالا رفته وبه پدال می رسد به موتور گشتاوری اعمال شده وآن را از حرکت نگه می دارد . در چنین ابزارهایی ازتعیین گشتاور اعنال شده برای تنظیم سوئیچها استفاده می شود.

از این سوئیچها برای شنیدن علایم هشدار ویا کنترل پر یا خالی شدن مخازن فرآیند یا سیلوها استفاده می شود.

www.icheh.com



Figure(15). Rotating paddle level switches

سوئیچهای سطح مافوق صوت

سوئیچهای سطح مافوق صوت برای اندازه گیری مداوم یا نقطه ای استفاده می-شوند شناساگر نقطه ای یا سوئیچهای سطح در داخل یک حسگر damped قرار داده شده ویا از نوع انتقال دهنده های خاموش- روشن می باشند.

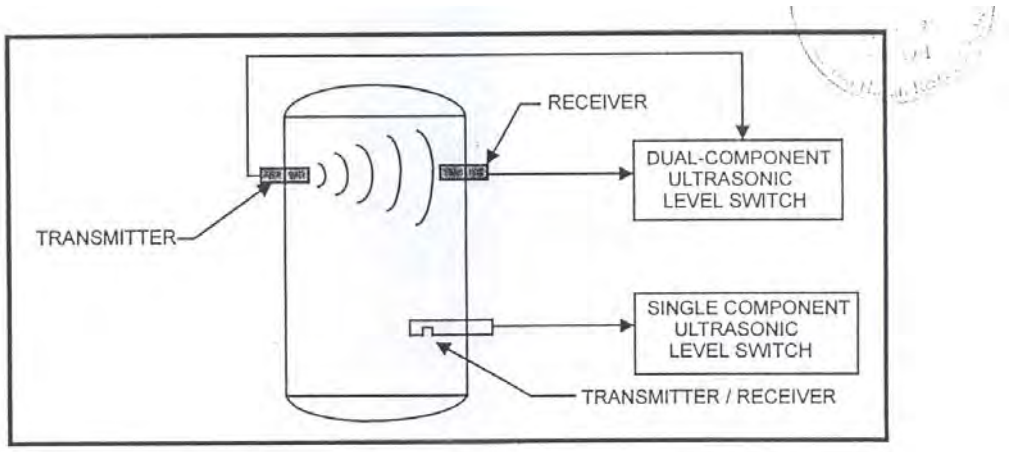
سوئیچهای کنترل کنده سطح در غیاب مایع فرایند در فرکانس رزونانسی خود نوسان می نمایند. در حضور سیال فرایند، نوسان damped می شود.

در بیشتر واحدها از یک کریستال پیزوالکتریک برای نوسان در قسمت انتهای دستگاه استفاده می شود . این ابزار یک مدار الکتریکی دارد که تغییرات نوسانی را شناسائی کرده وآنرا به سوئیچ تماس خشک تبدیل می کند.

این سوئیچهای سطح معمولا به سرویسهای مایع محدود می شوند چونکه اثر damping جامدات در اغلب اوقات کافی نمی باشد.

سوئیچهای سطحی on-off اغلب حاوی یک ارسال کننده ویک دریافت کننده هستند. پالسهایی را به شکل مافوق صوت تولید می کنند که دریافت کننده آن را شناسایی می کند .ارسال کننده و دریافت کننده می توانند در یک دستگاه و یا در دو سمت مخزن (مانند شکل16) نصب گردند.

www.icheh.com



Figure(16). Ultrasonic Level Switches

در طرحهایی که ارسال کننده ودریافت کننده در جهتهای متفاوت نصب گردند سیگنال در هوا منتقل شده وسوئیچ سطح زمانی فعال خواهد شد که موج صوتی بوسیله مایع بالا آمده برگشت داده خواهد شد.

این سوئیچ برای کاربردهای جامد ومایع موثر ومناسب می باشد. طرحهایی که انتقال دهنده و دریافت کننده در یک سمت واحد نصب می گردند تنها برای مایعات مناسب هستند.

ابزارهای اندازه گیری سطح بر اثر فشار

یکی ازاصول اساسی و اولیه اندازه گیری صنعتی سطح وجود مواد مختلف و فازهای مختلف یک ماده که دانسیته های متفاوت دارند. از این قانون طبیعی برای اندازه گیری سطح بر اساس اختلاف فشار (فشار بین کف مخزن نسبت به فشار محفظه بخار یا اتمسفر) یا بر اساس یک شناور یا جابجا کننده که مقدارآن به اختلاف دانسیته بین فازها بستگی دارد.

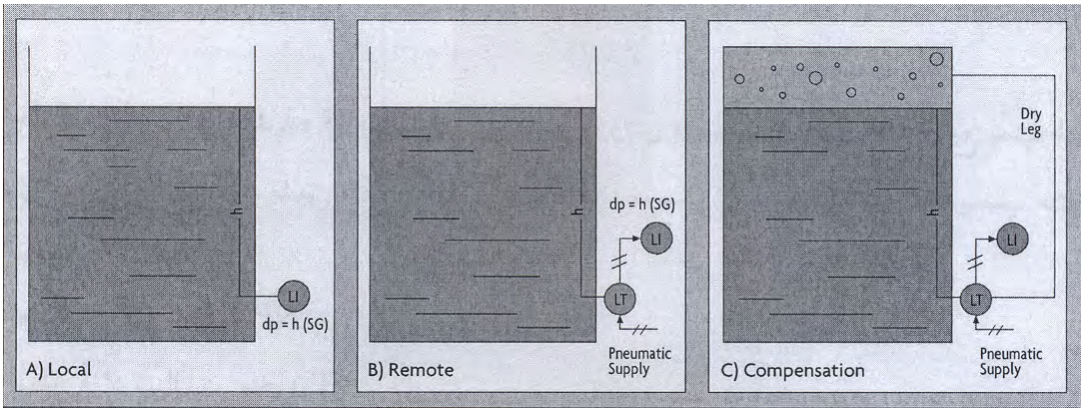
اندازه گیری سطح که بر اساس اختلاف فشار بنا شده باشد به تعیین فشار هیدرو-استاتیکی مخازن (HTG) نیز مربوط می شود.

www.icheh.com

این کار بر این اصل استوار است که اختلاف بین دو فشار (d/p) ، معادل با ارتفاع مایع (h بر حسب اینچ) ضربدر وزن مخصوص مایع (SG) سیال می- باشد(شکل 17).

براساس تعریف وزن مخصوص عبارت است از نسبت دانسیته سیال به دانسیته آب خالص در 68F وفشار اتمسفریک.

$$\frac{d}{p}=h(SG)$$



figure(17). Hydrostatice Tank Gage

یک محفظه اندازه گیری اختلاف فشاربا داشتن یک نمایشگر سطح که دقت آن باید بهتر از 1% باشداصلاح می شود که البته باید در یک محدوده وسیع که دانسیته مایع ثابت است عمل نماید. وقتی که از یک محفظه اندازه گیری فشاراستفاده می- شود می توان از نوسانات فشار محیط صرفنظر کرد چونکه فشار محیط هم بر مایع داخل مخزن وهم بر بخش فشار پایین وارد می شود.

بنا براین عدد خوانده شده از دستگاه (d/p) بیانگر سطح مخزن خواهد بود.

طرحهای پایه تر و خشک

در اندازه گیری سطح درمخازن تحت فشار، همان طرحهای دستگاه d/p (موازنه حرکت- موازنه نیرو یا الکترونیک) بکار رفته در مخازن روباز استفاده می شود

فرض می شود که وزن ستون بخار بالای مایع قابل صرفنظر کردن باشد، به عبارت دیگر فشار محفظه بخار ناچیز نمی باشد. اما باید این فشار به بخش فشار پایین دستگاه d/p وارد گردد. چنین ارتباطی به محفظه بخار، پایه خشک نامیده می شود.

وقتی که بخارات غیرخورنده و بدون بسته شدن مسیر باشند ویا اینکه تحت شرایط دمای معمولی عملیاتی ، سرعت چگالش آنها کم باشد . از این نوع ارتباط استفاده می شود.

پایه خشک دستگاه اندازه گیری d/p را قادر می سازد تا معادل فشار بارومتری به سطح وارد کرده وموجب می شود اثر فشار بارومتری درمخازن روباز از بین برود.

خشک ومطمئن نگه داشتن پایه خشک بسیار مهم است چونکه تجمع بخارات کندانس شده یا مایعات دیگر موجب ایجاد خطا در اندازه گیری سطح می شود.

وقتی که تحت دمای عملیاتی محیط ، بخار موجود کندانس شود و یا بخار خورنده باشد ، پایه خشک از یک مایع پر شده و تشکیل پایه تر را می دهد.

اگر بخارکندانس شده خورنده ، ناپایدار و یا برای پر کردن پایه تر نا مطلوب باشد این پایه مرجع با یک مایع خنثی پر می شود.

در این حال دو فاکتور باید در نظر گرفته شود:

1) وزن مخصوص سیال بی اثر (S_{W2}) وارتفاع ستون مرجع (h_{wp}) باید بدقت تعیین شود و دستگاه d/p باید معادل هد هیدرواستاتیکی ستون $S_{W2}h_{wp}$ تحت فشار قرار بگیرد.
2) با قرار دادن نشانگر بصری جریان در بالای پایه تر دستگاه اصلاح می شود. این نشانگر طوری نصب می شود که بتوان ارتفاع پایه مرجع را با مشاهده مستقیم چک کرد.

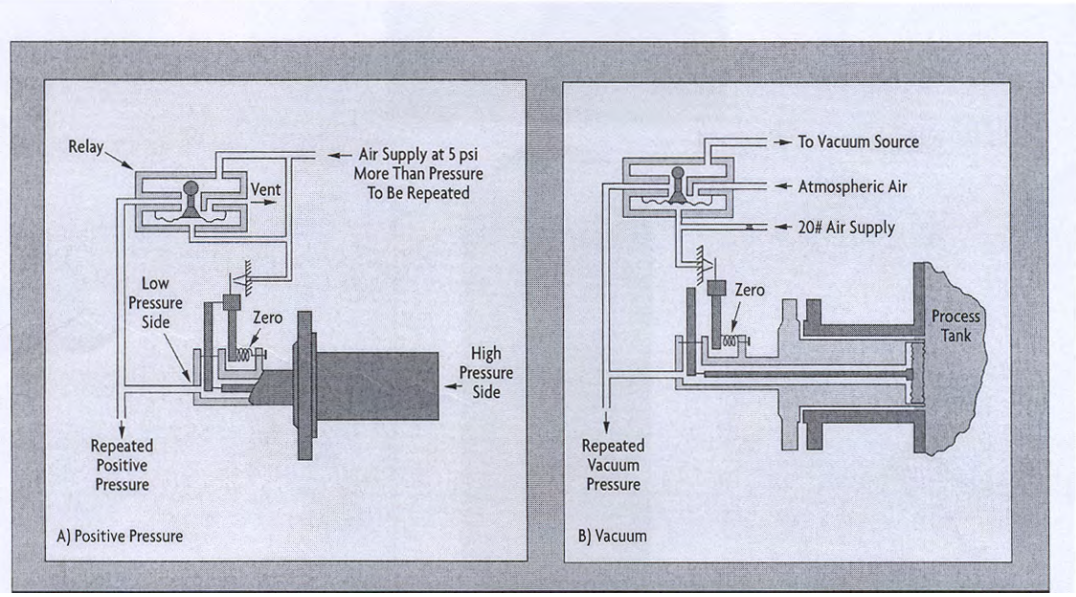
هر تغییری در سطح مایع موجود در پایه (بدلیل نشتی یا تبخیر) موجب ایجاد اندازه گیری خطا در اندازه گیری سطح می شود.
اگر وزن مخصوص سیال پر کننده تر بزرگتر از سیال پروسس باشد ، در این صورت فشار محفظه بالا به پایه مرجع و به کف مخزن باید مرتبط شود.

اگر بتوان از بخار کندانس شده برای پر کردن پایه مرطوب استفاده کرد، یک محفظه مایعات در بالا نصب شده و از آن به محفظه بخار مخزن وهم به بالای سطح مایع مخزن لوله کشی صورت می گیرد. این محفظه مایع کمی بالاتراز محل اتصال بالایی نصب می شود به طوری که سطح مایع داخل این محفظه همیشه ثابت باقی بماند ومایع اضافی بداخل تانک برگشت داده می شود.
همچنین گذاشتن یک دستگاه اندازه گیری سطح روی این محفظه مایع و یا نصب یک نشانگر بصری جریان در مکان محفظه مایع مناسب می باشد که بتوان همیشه سطح در محفظه مایع را در مقدار مورد نیاز نگه داشت.
در هر دو روش (تر یا خشک) یک پایه مرجع ثابت هست که موجب می شود تنها متغیر سیستم سطح مایع، مخزن باشد. لوله کشی و شیرگذاری روی مخزن و روی پایه مرجع دستگاه d/p باید صورت بگیرد بطوری که عملیات تخلیه به آسانی انجام شود.
در هنگام استفاده از پایه تر، باید مایعی با ضریب انبساط حجمی کم انتخاب شود. به عبارت دیگر طراح باید تغییرات دانسیته موجود در پایه مرجع بواسطه تغییر دمای محیط را به نحوی تصحیح کند.
اگر از یک تبدیل کننده سخت استفاده شود و اگر داده های سیال پر کننده معلوم باشد نوسانات ، دمای پایه تر را به شکل موضعی از بین می برد. به عبارت دیگر یک سیستم کنترل شخصی نظارتی موجب تصحیح محاسبات خواهد شد.
اگر حفظ بخارات فرایند در داخل مخزن مطلوب باشد از یک دستگاه تکرارفشار استفاده می شود. این دستگاه ها فشاربخار (یا خلاء) را تکرار کرده ویک سیگنال، هوایی مساوی فشارمحفظه بخار ارسال می کند.

www.icheh.com

بخش اندازه گیری دستگاه تکرار فشار به محفظه بخار متصل می شود و سیگنال خروجی آن به بخش فشار پایین دستگاه d/p متصل می شود.

اگر جنس لوله اتصال به مخزن به گونه ای باشد که امکان مسدود شدن آن وجود داشته باشد از دیا گرام توسعه یافته از نوع (1-1) استفاده می شودکه در شکل (18)آمده است.



figure(18). Extended Diaphragm Pressure Repeaters

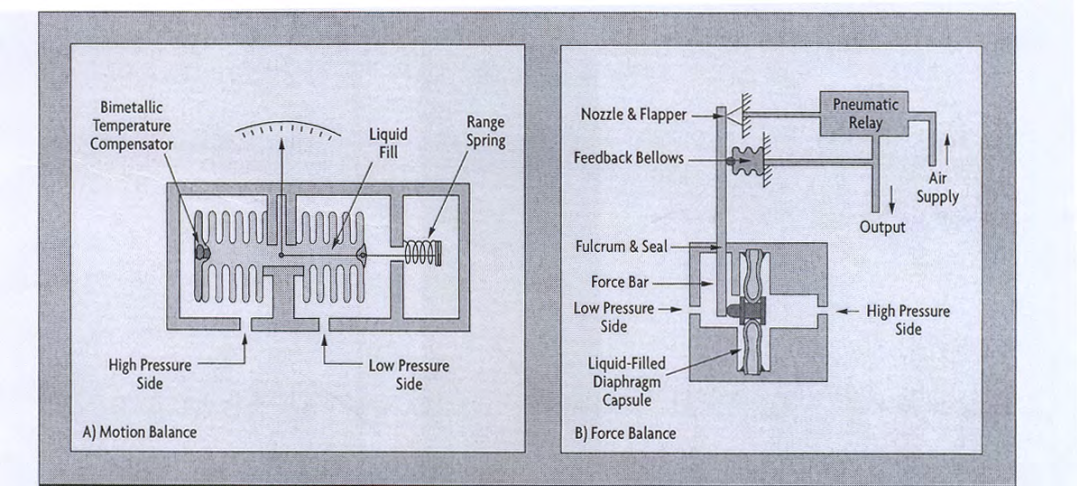
در حالی که دستگاه های تکرار کننده خطای حاصل از پایه های مرطوب را حذف می نمایند، خطاهای مخصوص خود را تولید می کنند که مقدار خطا به فشار تکرار شده بستگی دارد.مثلا درفشار 40psig خطای دستگاه در حدود 2inch و در فشار400psig خطای آن در حدود20inch می باشد. دراغلب موارد کاربردها خطای اولی قابل قبول است اما دومی قابل قبول نیست.

www.icheh.com

دستگاههای d/p

چون که طرحهای مختلفی از دستگاههای d/p با جزئیات کامل در مقالات دیگر آمده است تنها خلاصه ای از آن در اینجا گفته می شود.

دستگاههای موازنه حرکت (motion balance) در مکانهای دور افتاده مناسب هستند. جاهایی که امکانات توان الکتریسیته یا ابزار هوایی موجود نمی باشد. اگر یک بالشتک به عنوان عامل حساس در دستگاه d/p استفاده شود، افزایش فشار روی هر وجه موجب انقباض بالشتک مطابق با آن میشودشکل(19).



Figure(19). Differential pressure cell Designs

بالشتکها به ابزارهایی متصل هستند که حرکت خطی بالشتک را به حرکت دورانی تبدیل می کند که این حرکت دورانی متناسب با سطح مایع مخزن کالیبره می شود.

www.icheh.com

دردستگاه موازنه نیرو(Force balance) عامل حساس(که اغلب یک دیافراگم است) حرکتی نمی کند.عامل نیروی وارده موجب می شود که نیروهای عمل کننده روی دیافراگم در تعادل باقی بمانند.

در دستگاههای d/p بادی ، از یک نازل استفاده می شود که باعث می شود سیگنال بادی خروجی متناسب با اختلاف فشاردو طرف دستگاه باشد.سیگنال خروجی دستگاه d/p بادی خطی بوده و همیشه در محدوده 3-15 psig می باشد.

سطوح بیان شده بوسیله چنین سیگنالهایی تغییر یافته (بادی– الکترونیکی – دیجیتالی) روی نشانگرهای موضعی یا نمایشگرهای از راه دورقابل نمایش مي- باشد. ترانسمیترهای بادی نیازمند هوای متراکم (نیتروژن) می با شند.

دستگاههای الکترونیکی d/p که تا حدود ±0.5% دقت دارند بر اساس سیگنالهای 4-20mA عمل می نماید. محدوده عمل این نمونه و دستگاههای بزرگ می تواند بسیار باریک مثل $0-\frac{1}{2}$ inH2O ویابسیار بزرگ مثل 0-1 psi باشد.

بعضی از دستگاههای الکترونیکی d/p در خطوطی تا فشار 4500psig و دمای 250F نیز کار می کنند.عدم دقت این دستگاهها در محدوده سی ماهه امتحان می شود وخطای آن نباید از ±0.5% بیشتر باشد.

مشکلات سیال فرایند

وقتی که سیال پروسس لجن یا پلیمروسیکوز یا مایعی که به سختی منتقل شود باشد، هدف این است که مواد ناخالصی فرایند وارد دستگاه d/p نشود. یک دیافراگم پهن به یک شیر قالبی (Blockvalva) روی نازل نصب می شود بطوریکه بدون اینکه مخزن از سرویس خارج شود دستگاه برداشته شده و تمیز می شود.

اگر لازم باشد که در زمان برداشتن و تمیز کردن دستگاه d/p ، از سرویس خارج شود لازم است که از طرح دیا فراگم توسعه یافته استفاده شود. در این حال انبساط دیافراگم موجب پر شدن نازل مخزن شده تااینکه که دیافراگم سطح داخلی مخزن حرکت نماید. این کار موجب حذف نقاط مرده می شود، در این نقاط جامدات تجمع کرده و بر روی کارکرد دستگاه تاثیر می گذارد. دیافراگم های پهن و توسعه یافته ، نوع دستگاه d/p ، تکرارکننده های فشار و عوامل شیمیایی برای حفاظت از دستگاه d/p تحت این شرایط موجود می باشد.

عوامل شیمیایی موجود آب، الکل، گلیکول و انواع روغنها می باشد. از این مواد وقتی استفاده می شود که در هر دو سمت دستگاه خوردگی صورت بگیرد ویا اینکه انسداد صورت بگیرد.

انواع زیادی از دیافراگمهای مقاوم در برابر خوردگی و مواد مناسب موجود می-باشند تفلون برای حداقل سازی مواد معلق و رسوب کننده استفاده می شود. با استفاده از این مواددقت اندازه گیری سطح کاسته می شود.

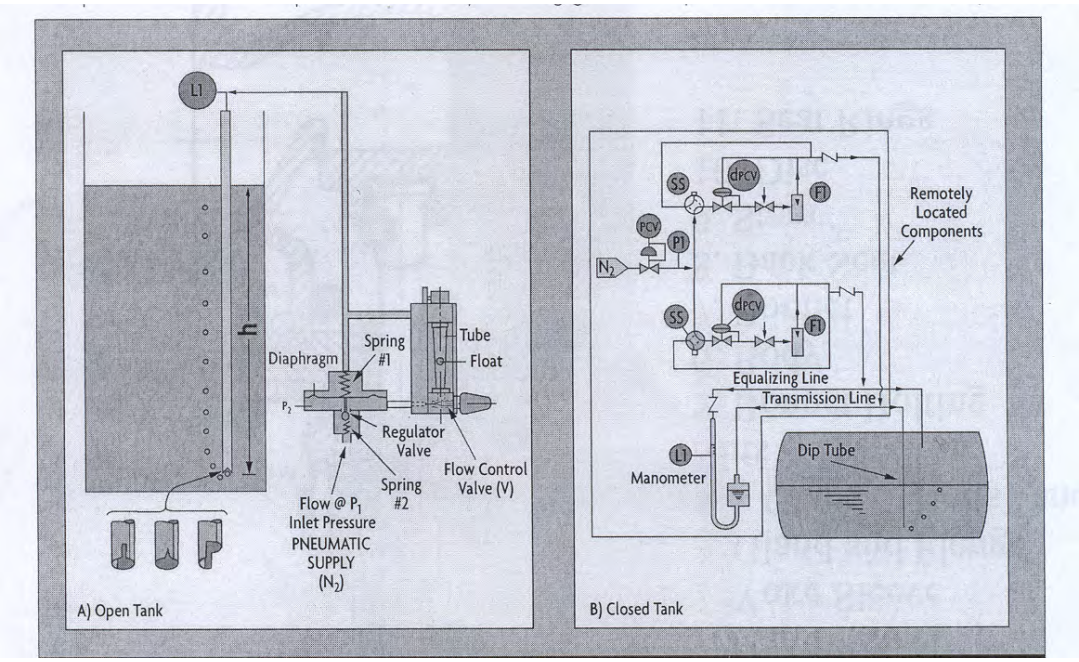
طول لوله های کاپیلاری باید تا حد امکان کوچک باشدو لوله ها در برابر نور خورشید محافظت شوند. علاوه براین هم باید مایعی با ضریب انبساطی پایین استفاده شودویا به گونه ای نوسانات محیط حذف شوند(همان طوری که در بحث پایه ترمطرح گردید). اگر مواد شیمیایی نشتی داشته با شند، نگهداری از این سیستمها به همراه پیچیدگی تخلیه و پر کردن مجدد توسط کارخانه انجام می گیرد.

لوله های حبابدار

www.icheh.com

لوله های حباب دار ساده و ارزان قیمت بوده ودر مواردی که اندازه گیری سطح برای سیال خورنده و دوغابها صورت می گیرد دقت اندازه گیری کمتر بوده ودر حدود [illegible] می باشد.

در این دستگاهها از هوای متراکم یا یک گاز بی اثر (همیشه نیتروژن می باشد) از طریق یک لوله وارد سیال می شودشکل(20).



figure(20). Bubbler Tube Measurement System

جریان گاز در یک مقدار ثابت تنظیم می شود (همیشه در حدود $500\frac{cm^3}{min}$). یک دستگاه تنظیم فشار در دو طرف روتامتر قرار دارد ومقدار جریان را ثابت نگه می دارد در حالی که سطح مخزن میزان فشار پشت دستگاه را تعیین می کند.

همان طور که از ارتفاع سیال کاسته می شودمیزان فشار پشت دستگاه نیز مطابق با آن کاهش می یابد ومیزان فشار خوانده شده متناسب باسطح مایع می باشد.لوله حاوی

حباب دارای قطر نسبتا بزرگ می باشد(در حدود 2inch) طوری که افت فشار ناچیز می باشد.

قسمت انتهایی لوله باید به اندازه کافی از کف مخزن فاصله داشته باشد تا عوامل عوامل رسوب کننده و دوغابها موجب انسداد آن نشود. قسمت انتهایی لوله باید به شکل V دربیاید تا از تشکیل مداوم و یکنواخت حبابهای ریز اطمینان حاصل شود. روش دیگرقراردادن لوله در محفظه خارجی به مخزن می باشد.درمخازن تحت فشار، دوسری ازلوله ها برای اندازه گیری سطح مورد نیازمی باشد.

دو فشار مختلف اعمال شده به قسمت انتهایی دو لوله به دو سر یک لوله U شکل نیز اعمال می شود. لوله کشی های سیستم حبابدار باید به سمت مخزن شیب داشته باشد تا بخارات کندانس شده به داخل مخزن برگردند.

گاز تمیز کننده نیز باید تمیز و خشک بوده وفشار آن باید حداقل 10psia بزرگتر از حداقل فشار مود نیاز (زمانی که مخزن کاملا پر بوده و فشار بخار نیز حداکثر باشد) باشد. روش دیگر،استفاده از یک پمپ دستی نظیر تلمبه دوچرخه برای ایجادگاز تنها در موقع خواندن سطح می باشد.

در دستگاههای تولید حباب که از گاز بی اثراستفاده می کنند تجمع این گازها صورت می گیرد. در این دستگاه ها لازم است که همیشه اطمینان از وجود گاز purag و کالیبره شدن صحیح دستگاه وجود داشته باشد. با در نظر گرفتن همه فاکتورها در اغلب کاربردهای صنعتی ، دستگاههای d/p به دستگاه تولید حباب ترجیح داده می شود.

توقف و صعود

اگر دستگاه d/p در ارتفاعی که مطابق با سطح 0.0% مخزن، قرار نداشته باشد لازم است که کالیبره شود تا در همه ارتفاعها قابل خواندن باشد. اگر دستگاه درd/p در

بالای شیرپایین برنده قرار داشته باشد این کالیبراسیون صعود صفر خوانده می شود و اگردر پایین شیر پایین برنده قرار داشته باشد کاهش صفرخوانده می شود.

بیشتر دستگاههای d/p با محدوده صعود و کاهش 500% و 600% موجود می باشند. در حالی که محدوده کالیبراسیون نمی تواند بیشتر از 100% حد بالای دستگاه باشد.

به عنوان مثال فرض کنید که یک دستگاه d/p الکترونیکی در محدوده 0-10psid (حد پایینی LRL) و 0-100psid (حد بالایی آن URL) کالیبره می گردد.

از این دستگاه درمخازن بسته تا ارتفاع 45ft استفاده می شودو محدوده هیدرواستاتیکی مورد نیاز 0-20psid می باشد. دستگاه حدودا 11ft (5psid) بالای شیر پایین برنده مخزن قرار داده شده است و نیازمند کالیبره با صعود صفر بمیزان 5psid می باشد. دستگاه d/p این قابلیت را دارد زیرا که محدوده کالیبره شده 20% مقدارURL و صعود نیز 25% مقدار کالیبره شده می باشد.

درکاربردهای اندازه گیری سطح با مرجع پایه تر ‘ بخش فشار بالای دستگاه به مخزن متصل می شوداگر وزن مخصوص مایع پرکننده پایه تر نزدیک به لایه روشن باشد.در صورتی که وزن مخصوص سیال پر کننده پایه تر نزدیک به لایه سنگین باشد ‘ بخش فشار بالای دستگاه به پایه مرجع متصل خواهد شد.

کاربردهای خاص

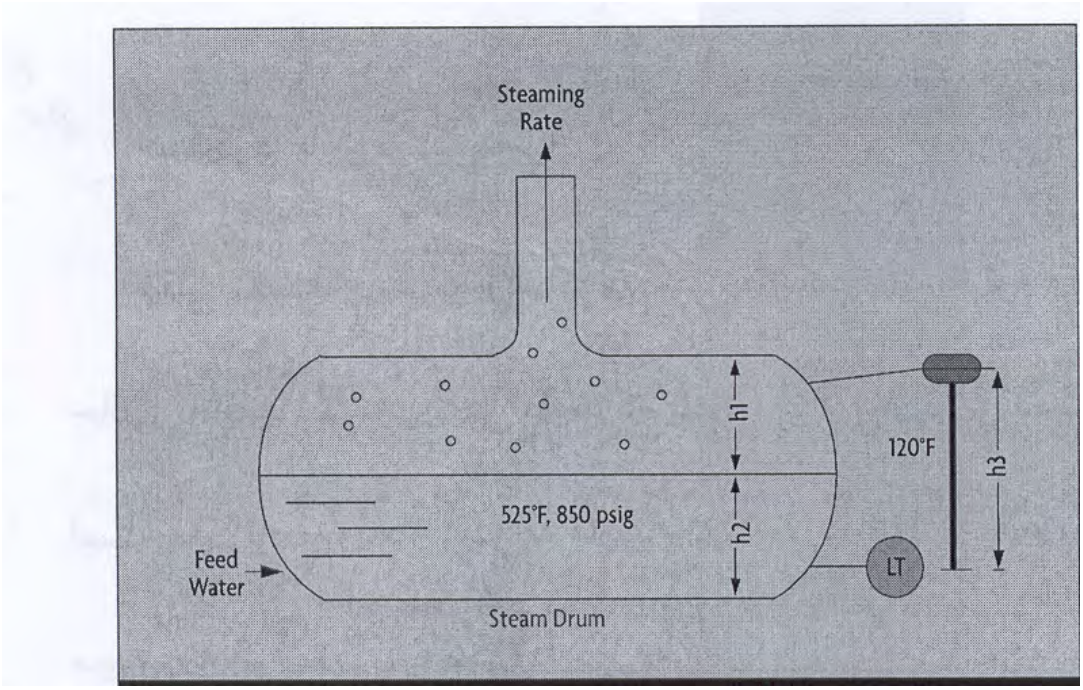
وقتی که سیال فرایند در حال جوشش باشد (نظیرستون تقطیر) پایه مرجع تر بوسیله مخزن بخارات کندانس شده طوری نگهداری می شود که سطح ماقیع در پایه تر ثابت نگه داشته شود.

تغییر دمای محیط یا تشعشع خورشید موجب تغییر دانسیته آب موجود در پایه مرجع می شود و بنابراین اصلاح دمای آن (دستی یا اتوماتیک) مورد نیاز میباشد.

شکل(21) اندازه گیری سطح بویلر یک نیروگاه را نشان می دهد.اختلاف فشار مشخص شده بوسیله دستگاه d/p عبارت است از:

www.icheh.com

باید توجه داشت که وزن مخصوص لایه بخار اشباع (0.03) و مایع اشباع (0.76) می باشد که خیلی با فشار بویلر تغییرنمی کند بلکه با سرعت جوشش تغییرمی کند.
این امر موجب می شود که با سرعت جوشش، حبابها بزرگتر شوند (SG_2 کاهش می یابد). بر همین اساس با کاهش سرعت جوشش، حبابها کوچکتر شده و شکسته می شوند (SG_2 افزایش می یابد).



Figure(21). Steam Drum Level Measurment

بنابراین برای اطمینان از میزان سطح مایع در بویلر و میزان جرم آن در محاسبات باید علاوه بر خروجی دستگاه d/p ، فشار بویلر و سرعت جوشش نیز در نظر گرفته شوند.

مخازن مزارع

در سیستمهای کامپیوتری شده مخازن مزارع سیگنالهای خروجی از چند مخزن که در یک شبکه قرر دارند گرفته می شود. این سیستمها کار ثبت سطح مایع را با استفاده از چند الگوریتم، تغییر و تصحیح انجام می دهند.

در این الگوریتمها تصحیح دانسیته ، تبدیل جرم یا حجم ، تصحیح شکل عمودی یا افقی بودن مخازن کروی صورت می گیرد. این سیستمها چند کار کنترلی ایمنی نظیر بستن پمپها و تغذیه در هنگام پر شدن مخزن را انجام می دهند.

شناورها و جابجا کننده ها

نخستین بار در حدود 2200 سال قبل ارشمیدوس کشف کرد که وزن ظاهری اجسام شناور بوسیله وزن سیال جابجا شده کاهش می یابد. بعد از 2000 سال در اواخر قرن هجدهم نخستین کاربرد صنعتی اجسام شناور ظاهر شد.

در این سالها جیمز پریندلی و ساتن توماس وود در انگلستان و پلزونوف در روسیه نخستین اجسام شناور تعیین کننده سطح را در بویلرها استفاده کردند.

شناورها ابزارهای موازنه حرکتی هستند که همراه با بالا و پایین رفتن سطح سیال آنها نیز بالا و پایین می رود. جابجا کننده ها ابزارهای موازنه نیرویی هستند که مطابق ارشمیدوس وزن ظاهری آن تغییر می کند. براساس اصل ارشمیدوس نیروی شناوری برابر وزن سیال جابجا شده است.

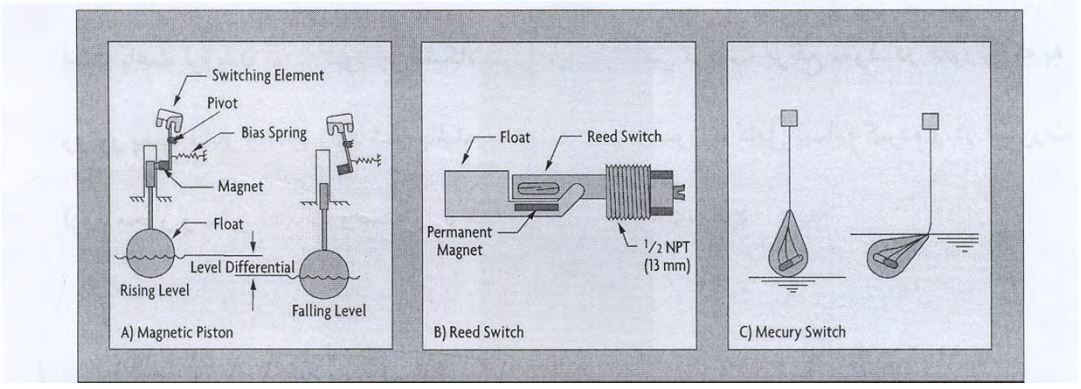
www.icheh.com

همان طورکه سطح حول جسم ساکن جابجا شونده تغییر می کند ، نیروی شناوری نیز مطابق با آن تغییر می کند و مقدار آن تعیین کننده سطح مایع میباشد. شناورهای جابجا شونده هم به صورت تبدیل پیوسته و هم به صورت نقطه ای وجود دارند.

در کاربردهای صنعتی اجسام جابجا شونده ارجح می باشند چونکه نیازمند به حرکت نمی باشند. علاوه بر این تعیین نیرو خیلی دقیق تر از تعیین مکان صورت می گیرد هر چند از شناورهای مکانی استفاده می شود که نقش جانبی در دستگاهها را دارند.

تبد یل کننده های سطح اجسام شناور

نیروی شناوری موجود که روی یک جسم شناور عمل می کند اختلاف بین وزن سیال جابجا شونده و وزن جسم شناور می باشد. اغلب شناورها دارای شکل کروی [شکل22 (الف)] ، استوانه ای [شکل22 (ب)] و شکلهای دیگر [شکل22 (پ)] می باشند. شناورها از فولاد ضد زنگ ، تفلون ، برنج ، مونل و انواع مختلف پلاستیکها ساخته می شوند.



Figure(22). Float – Based Level Switches

www.icheh.com

محدوده دما (-40 تا 80C) ومحدوده فشارتا 1500psig برای شناورهای لاستیکی می باشد.برای شناورهای فولادی این محدوده (-40 تا 260C) وفشار750psig می باشد.

سوئیچ نصب شده روی شناور اغلب افقی است که این سوئیچ مانند یک آهن ربای دائمی کار می کند[شکل22 (ب)].

وزن مخصوص شناورها اغلب کمتر از حداقل وزن مخصوص مورد انتظار سیال فرایند است. در مایعات تمییز وجود یک اختلاف 0.1SG کافی است در حالی که برای سیالات ویسکوز یا کثیف این اختلاف باید حداقل 0.3SG باشد.

اندازه استاندارد شناورها inch(1-5) برحسب قطر می باشد. اندازه مصرفی شناور، شکل ونوع ماده مورد استفاده آن توسط خود سازندگان مشخص می شود.

www.icheh.com

فصل دوم

فشارسنج ها

www.icheh.com

مقدمه

این فصل اصول اندازه گیری فشار و سنسورهای فشار معمولی موجود در صنعت را شرح میدهد.روشهای زیادی برای اندازه گیری فشار استفاده می شوند.انتخاب یک روش خاص به عوامل زیادی بستگی دارد شامل نیاز مشخص یا دقیقی از سیستم اندازه گیری ، دقت مورد نیاز، استاتیک ، دینامیک و خواص فیزیکی فرآیند اندازه گیری یا کنترل می باشد.یک سنسور فشار همیشه برای تبدیل فشار به یک سیگنال مکانیکی یا الکتریکی استفاده می شود. سپس این سیگنال برای نمایاندن فرآیند یا ایجاد یک سیگنال انتقالی برای استفاده به وسیله کنترلر در کنترل یک فرآیند به کارمی رود. قبل از شرح عناصر فشار یا انواع سنسورها ابتدا به تعریف فشارودیگر ترمهایی که در اندازه گیری فشار استفاده می شوند نیاز داریم.

تعریف فشار

موضوع اول در کنترل فرآیند، اندازه گیری فشار سیال است. ترم Fluid به معنی ماده ای است که جریان دارد. بنابراین این اصطلاح هم برای گاز و هم برای مایع به کار می رود. هر دو، ظرف را به هر شکل که باشد اشغال می کنند. گرچه یک مایع اگر ظرف را پر نکند، یک سطح آزاد مایع خواهد داشت، در صورتیکه یک گاز همیشه کل حجم ظرف را پر می کند. اگر یک گاز دریک ظرف محبوس شود ، ملکولهای گاز با دیواره ها باعث ایجاد نیرویی در جهت عکس سطح دیواره ظرف می شود. فشار برابر است با نیروی وارد به دیواره ها تقسیم بر سطح عمودبرنیرو. برای یک مایع ساکن، فشار عملی برای سیال در هر نقطه عمود بر سطح سیال است.

فشار به صورت نیروی اعمال شده یا پراکنده در واحد سطح تعریف می شود یا :

$$P=\frac{F}{A} \qquad (1)$$

که P فشار ، F نیرو و A سطح می باشد.

واحد استاندارد فشار در سیستم انگلیسی (fps) پوند بر اینچ مربع (Psi) است که واحد نیرو پوند و واحد سطح اینچ مربع می باشد. در کنترل فرآیند و در این کتاب بیشتربا این واحد فشارمواجه می شویم . در واحد بین المللی SI واحد فشار پاسکال (Pa) یا نیوتن بر مترمربع (N/m^2) می باشد.

جدول (1) لیست واحدهای فشار وفاکتورهای تبدیل آنها را نشان می دهد.

1 in . water = 0.0360 psi =0.0737 in . mercury
1 ft . water = 0.4320 psi = 0.8844 in . mercury
1 psi = 27.7417 inches water = 2.0441 in . mercury
1 kg /cm^2 =14.22 psi = 98.067 kPa
Note : (All fluids at a temperature of 22$^\circ c$) .

Table (1) . Pressure unit coversion factors

فشار در سیال

در تعریف کلی ما از فشار وزن و دانسیته سیال نادیده گرفته شده است و فشار در همه نقاط سیال یکسان فرض شده است . این به حقیقت نزدیک است، گرچه فشاراتمسفریک در سطح دریا بیشتر از ارتفاعات کوه است و فشار در رودخانه یا اقیانوس با افزایش عمق در زیر سطح آب افزایش می یابد.

بنابراین ما باید به طور دقیقتر فشاردر هر نقطه را به صورت نسبت DF بر سطح کوچک DA (شامل نقاط) در سطح DA تعریف کنیم:

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

www.icheh.com

اگر فشار در همه نقاط از یک سطح محدود A یکسان باشد، این تساوی به صورت معادله (1) ساده می شود:

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

اکنون رابطه طبیعی بین فشار در هر نقطه در یک سیال در یک gravitational field و با ارتفاع y را پیدا می کنیم. اگر سیال در تعادل باشد، هر المان حجم در تعادل است. یک بخش از سیال هموژن با دانسیته ρ به شکل یک صفحه تخت نازک در شکل (1) نشان داده شده است.

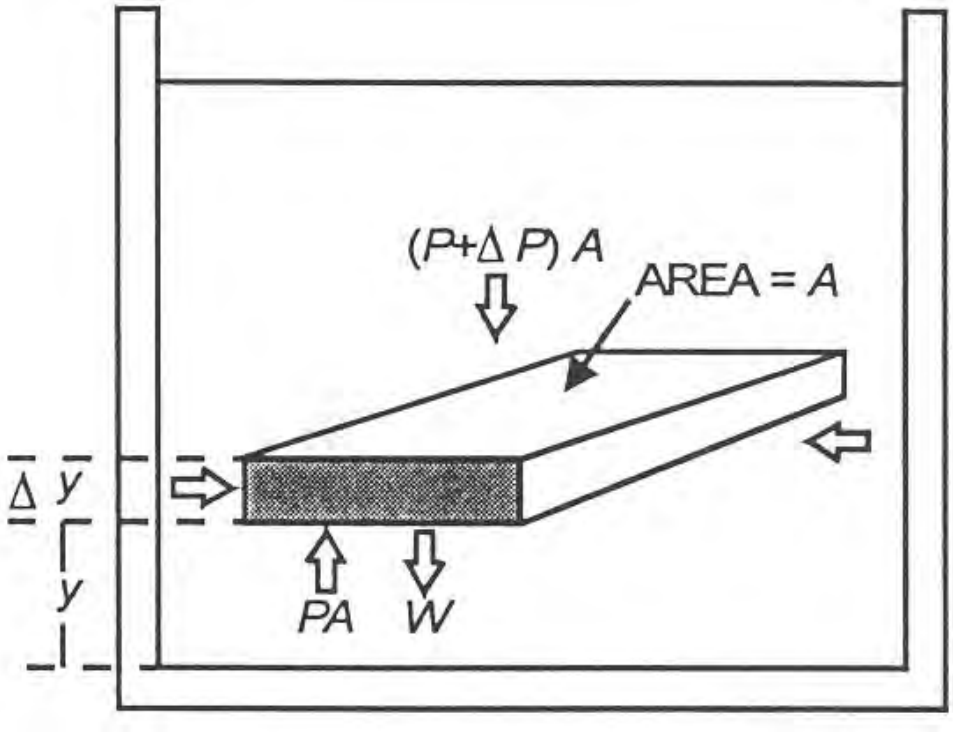


Figure (1) . Forces on a slab of fluid in equilibrium

دانسیته به صورت جرم (m) بر واحد حجم (v) یا $\rho=\frac{m}{v}$ تعریف می شود، جرم یک slab باریک برابر ρAL و وزنش برابر ρgA می باشد. بنابراین نیروی وارد بر المان به وسیله سیال مجاوردرهرجا عمود بر سطح می باشد . به وسیله تقارن مجموع نیروهای افقی روی اضلاع عمودی slab برابرصفراست.

www.icheh.com

نیروی رو به بالا وارد بر صفحه زیرین برابر P_A و نیروی رو به پایین وارد بر صفحه بالایی برابر P_B می باشد و وزن slab برابر $\rho g A$ است. از آنجاییکه slab در تعادل است جمع سه نیروی فوق برابر صفر است یا:

از حل این معادله برای تغییرات فشار، ΔP ، داریم :

(2)

از آنجا که دانسیته ρ و ثقل g هر دو اعداد مثبتی هستند، این نشان می دهد که Δy مثبت (افزایش ارتفاع) همراه با ΔP منفی (کاهش فشار) است. اگر P_1 و P_2 فشار در ارتفاعات y_1 و y_2 بالای سطح مرجع باشند ، پس:

(3)

کاربرد این تساوی برای مایع در وسل باز در شکل (2) نشان داده شده است.

www.icheh.com

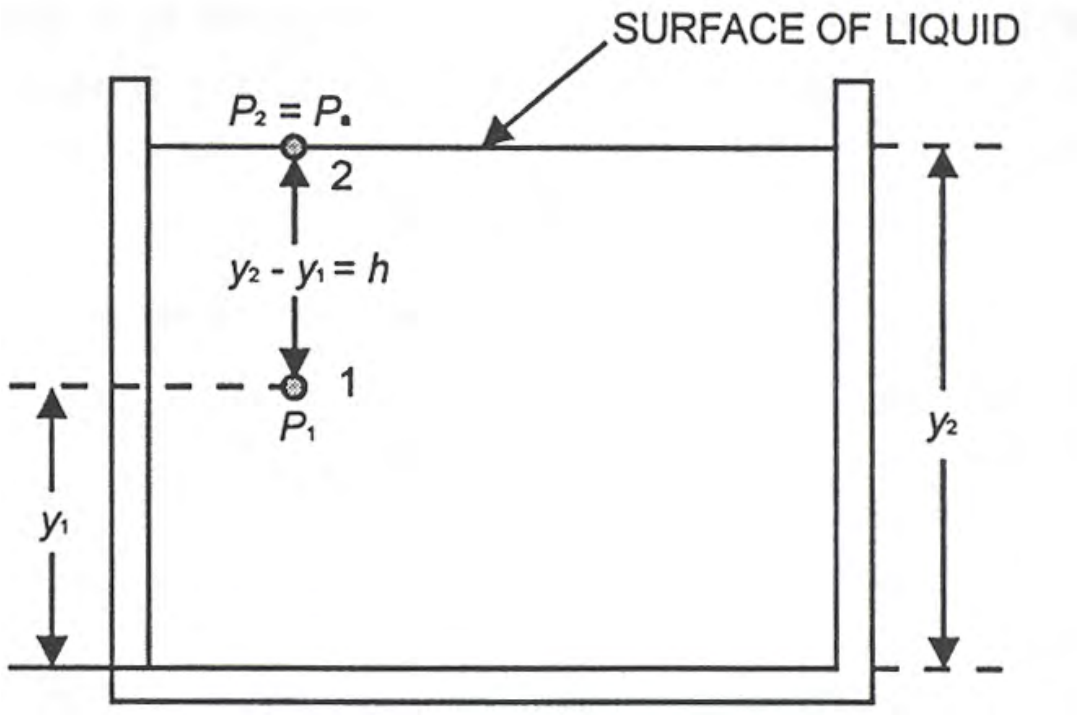


Figure (2) . Liquid in an open vessel

نقطه 1 را در سطح داده شده در نظر بگیرید و P_1 را نمایانگر فشار در آن نقطه قرار دهید. نقطه 2 را در سطح بالایی مایع در تانک انتخاب کنید که فشار در اینجا فشار اتمسفریک می باشد و با P_a نشان داده شده است.

(4)

معادله (4) نشان می دهد که شکل تانک باز برفشار تاثیرندارد و فشار تنها تحت تاثیرعمق h و دانسیته ρ می باشد. این حقیقت در سال 1653 توسط دانشمند فرانسوی به نام پاسکال (1623-1662) کشف شد و به " قانون پاسکال" شهرت یافت. این قانون به حالاتی که هیچ فشار خارجی به سیستم اعمال نشده و سیال در حال سکون

www.icheh.com

است، محدود می شود. در هر نقطه از سیال به وسیله مقداری فشار خارجی ، فشار افزایش می یابد.

یک کاربرد عملی قانون پاسکال در پرس هیدرولیک در شکل (3) نشان داده شده است. یک نیروی کوچک F_1 روی سطح کوچک A_1 اعمال شده است. رابطه ذیل در پرس هیدرولیک صادق است، زیرا طبق قانون پاسکال فشار در هر نقطه برابر است:

$$P_1=P_2$$

داریم:

$$P_1 = \frac{F_1}{A_1}$$

$$P_2 = \frac{F_2}{A_2}$$

پس:

$$\frac{F_1}{A_1}=\frac{F_2}{A_2}$$

بنابراین:

$$F_2=\frac{A_2}{A_1}\times F_1 \qquad (5)$$

پرس هیدرولیک یک نیروی افزاینده (آمپلی فایر)است که این افزایش توسط رابطه A_2/A_1 حاصل می شود.مثال (1) مفهوم کلی قانون پاسکال در کاربردهای عملی را نشان می دهد.

www.icheh.com

مثال (1)

مسئله : بر طبق اطلاعات داده شده در ذیل برای پرس هیدرولیک نشان داده شده در شکل (3) ، نیروی F_2 را بیابید:

حل:

با استفاده از معادله (5) داریم:

$$F_2 = \frac{A_2}{A_1} \times F_1$$

$$F_2 = \frac{5}{0.5} \times 100 = 1000\ lb$$

رایج ترین کاربرد این اصل در ترمزهای هیدرولیک اتومبیل می باشد. همچنین به طور گسترده در ابزار پنوماتیک و هیدرولیک و در تجهیزات مورد استفاده در افزایش سیگنالهای فرآیند، استفاده می گردد.

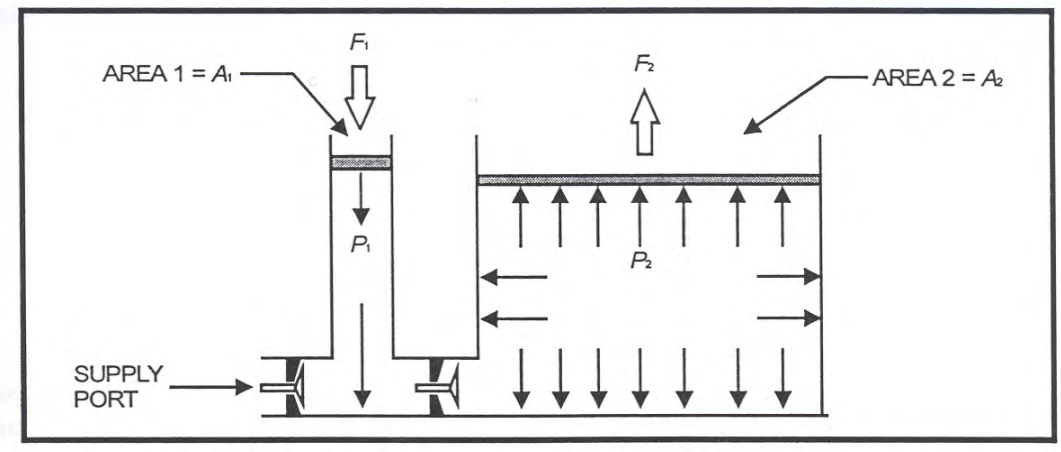


Figure (3) . Hydraulic press

www.icheh.com

فشار عملی در گازها

در حالیکه مایعات شکل وسلی را که در آن هستند به خود می گیرند و اگر مایع وسل را پر نکند یک لایه مسطح تشکیل می شود، گازها شکل خاصی به خود نمی گیرند. گازها کل محفظه وسل شامل خود را پر می کنند.بنابراین یک گاز هم ارز یا معادل مقدار فشارروی همه سطح ظرف به کار گرفته عمل خواهد کرد. دو عاملی که بر فشار یک گاز مصرفی روی سطح ظرف موثرند،حجم وسل و دمای گاز می باشد. رابطه بین فشارگاز P وحجم وسل V توسط " قانون بویل " بیان می شود.

$$V=\frac{k}{P}$$ (در دمای ثابت)

در قانون بویل در حالتی که دما ثابت نگهداشته شود، فشار اعمال شده روی دیواره های ظرف با عکس حجم وسل تغییر می کند. این بدان معنی است که اگر حجم وسل کاهش یابد، فشار گاز افزایش یافته،برعکس ، اگر حجم وسل افزایش یابد، فشار گاز کاهش می یابد. برای مثال فرض کنید فشار گاز در یک ظرف با حجم $2ft^3$ برابر $10psi$ است،اگر اندازه ظرف به $4ft^3$ افزایش یابد فشار به $5psi$ کاهش خواهد یافت البته اگر دمای گاز ثابت نگهداشته شود.

این رابطه می تواند بیانگر رابطه ریاضی $P_1V_1=P_2V_2$ باشد که P_1 و V_1 به ترتیب فشار و حجم اولیه گاز و P_2 و V_2 فشار و حجم نهایی گاز می باشد.

مثال (2)

مسئله : یک گاز در فشار $4psi$ و دمای $60F$ حجم $3ft^3$ را اشغال می کند. چه حجمی را در فشار $8psi$ و دمای $60F$ اشغال می کند؟

حل :

www.icheh.com

از قانون بویل داریم :

$$P_1V_1=P_2V_2$$

$$V_2=\frac{P_1}{P_2}\times V_1$$

$$V_2=\frac{4}{8}\times 3=1.5ft^3$$

رابطه بین دما و فشار یک گاز توسط " قانون چارلز" بیان می شود. در این قانون در حالتی که حجم وسل شامل گاز ثابت باشد، فشار گاز بر دیواره های وسل به طور مستقیم با گاز بر حسب کلوین $^\circ K$ متناسب است . این قانون به صورت زیر تعریف می شود:

$P=k$ (در حجم ثابت)

این رابطه بدان معناست که در حجم ثابت اگر دما بر حسب کلوین $^\circ K$، دو برابر شود، فشار گاز دوبرابر خواهد شد. این نظریه کلی می تواند توسط رابطه ریاضی $\frac{P_1}{T_1}=\frac{P_2}{T_2}$ بیان شود که P_1 و T_1 به ترتیب فشار و دمای اولیه گاز و P_2 و T_2 فشار و دمای نهایی گاز می باشند.

مثال(3)

مسئله : یک گاز حجم ثابت $10ft^3$ را در فشار $4Ps$ و دمای $25C$ اشغال می کند. فشار آن چقدر است اگر دمای گاز به $50C$ افزایش یابد؟

حل:

از قانون چارلز داریم :

$$\frac{P_1}{T_1}=\frac{P_2}{T_2}$$ (اگر دما برحسب کلوین باشد)

www.icheh.com

بنابراین داریم :

$$T_1 = 29.7 + 1$$
$$T_2 = 50.7 + 1$$

پس:

$$P_2 = \frac{T_2}{T_1} \times P_1$$
$$P_2 = \frac{32.4}{29.4} \times 4 = 4.3\ Ps$$

فشار نسبی و مطلق

فشار مطلق فشاری است که بالای خلا کامل یا صفر مطلق اندازه گرفته شود که صفر مطلق فقدان وجود فشار را نشان می دهد. فشار نسبی فشاری است که بالای اتمسفر یا فشار بارومتریک اندازه گرفته شود. این اختلاف مثبت بین فشار اندازه گیری شده و فشار اتمسفریک موجود را نشان می دهد.

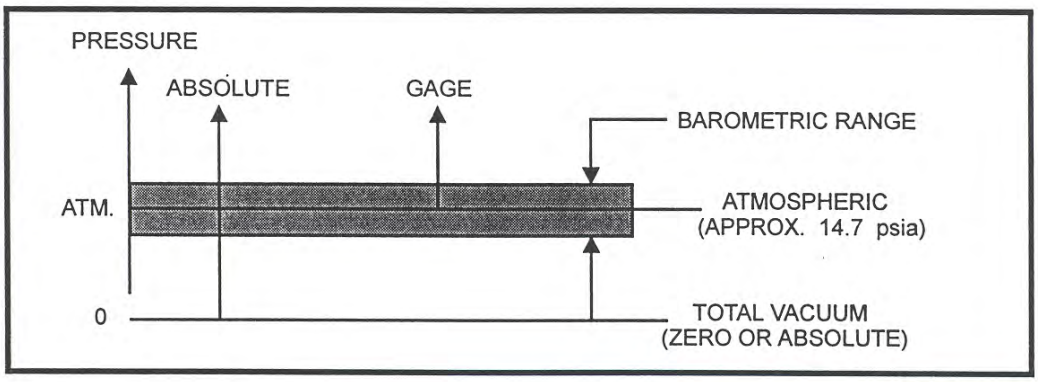


Figure (4) . Relationship between absolute and gage pressure

بیشترین فشار سنج ها و دیگر وسایل اندازه گیری فشار به یک صفر اشاره دارد که این نقطه نمایانگر فشار اتمسفر است. این نقطه صفر Psi نامیده می شود. در حقیقت، بیشتر

www.icheh.com

ابزار اندازه گیری فشار، در اصل، اختلاف فشار را اندازه می گیرد. با این حال ، بعضی ابزاربرای تولید نقطه مرجع صفر مطلق طراحی شده اند و نزدیک 1.4 درسطح دریا را به عنوان فشار اتمسفریک نشان می دهند. این عدد خوانده شده را اصطلاحا Psi می نامند. شکل(4) رابطه بین فشار نسبی و مطلق را شرح می دهد.

معادله مورد استفاده برای تبدیل فشار نسبی P_g در Psi به فشار مطلق P_a در Ps به صورت ذیل است :

(6)

(7)

که P_{atm} فشار اتمسفریک می باشد.

باید قید شود تغییردرفشاراتمسفریک باعث تغییردرفشار نسبی می شود. بنابراین، یک تغییر درفشاربارومتریک باعث تغییردرفشارخوانده شده از ابزار اندازه گیری فشار نسبی می شود.

مثال (4)

مسئله : اگر از یک فشارسنج، فشار 30 Psi را بخوانیم، پیدا کنید فشار مطلق را ، اگر فشار بارومتریک محلی 14 باشد.

حل:

چون $P_g > P_{at}$ است، از معادله (6) استفاده می کنیم :

$$P_a = P_g + P_{atm}$$
$$P_a = 30\ Psi + 14.6\ Psi$$
$$P_a = 44.6\ Psia$$

مثال (5)

www.icheh.com

مسئله : فشار مطلق را پیدا کنید اگر درجه خلا [illegible] خوانده شود و فشار اتمسفریک برابر [illegible] باشد.

حل:

زمانیکه با فشاری زیر فشار اتمسفریک سروکار داریم از معادله (7) استفاده می کنیم:

$$P_a = P_g - P_{atm}$$
$$P_a = [illegible] Psi - [illegible] Psi$$
$$P_a = [illegible] Psia$$

مانومترها

مانومترها در زمره رایج ترین وسایل مورد استفاده در اندازه گیری فشار در آزمایشگاه هستند. آنها به طور گسترده برای کالیبره کردن ابزار اندازه گیری فشار در صنایع استفاده می شوند. شکل (5) اصول کلی در مانومترها را شرح می دهد. وزن $1ft^3$ آب در دمای [illegible] برابر [illegible] می باشد و این وزن بر سطح $1ft^2$ یا [illegible] اعمال می شود.از آنجاییکه فشاربه شکل $P = \frac{F}{A}$ تعریف می شود (معادله1) فشار کل وارد بر سطح $1ft^2$ برابر است با :

$$P = \frac{F}{A} = \frac{[illegible]}{[illegible]} = [illegible]$$

این بدان معناست که یک ردیف آب به طول $1ft$ یا [illegible] فشاری به اندازه [illegible] اعمال می کند. برعکس یک فشار [illegible] باعث می شود یک ستون از آب $1ft$ بالا بیاید.

www.icheh.com

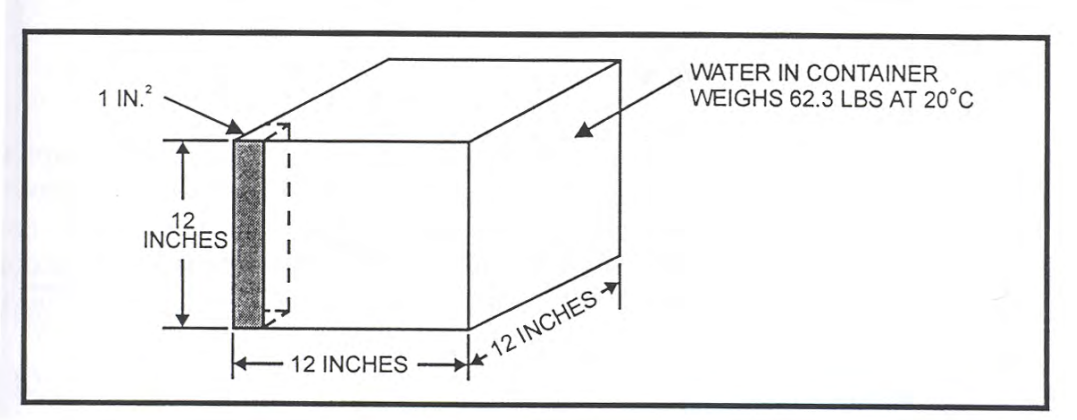


Figure (5) . Cubic foot container of water

یک مانومتر یک یا دو لوله شفاف و دو سطح مایع دارد، که اعمال فشار به سطح مایع لوله اول باعث بالا آمدن سطح مایع در لوله دیگر می شود. مقدار این بالا آمدن (صعود) از یک scale که معمولا برای خواندن مستقیم در واحدهای فشار کالیبره شده خوانده می شود .

در واقع یک فشار مجهول به مایع لوله اول اعمال می شود و یک فشار مرجع (معلوم) بر لوله دیگر اعمال می گردد. اختلاف بین فشار معلوم و فشار مجهول به وسیله وزن هر واحد سطح مایع جابجا شده در مانومتر بالانس می گردد. معمولا جیوه و آب دو مایع مورد استفاده در مانومتر ها هستند. البته هر سیال دیگری هم می تواند استفاده شود. در حقیقت بعضی مانومترها ، اکنون از یک مایع با چگالی مخصوص برای پرهیز از مسایل زیست محیطی که در استفاده از جیوه با آن مواجه می شویم ، استفاده می کنند. فرمولی که برای فشار خوانده شده از مانومترها موجود است به شکل زیر است :

(8)

که P فشار (Ps) ، h مقدار مایع جابجا شده (in) ، SG چگالی مخصوص مایع مانومتر و می باشد .

مانومتر ها می توانند اندازه فشارهای بسیار دقیقی را تهیه کنند و اغلب برای کالیبره کردن استانداردهای دیگر وسایل اندازه گیری فشار استفاده شوند . محدوده اندازه گیری

www.icheh.com

فشار بیشتر مانومترها معمولا از مقدار پایین اینچ تا حدود سی اینچ می باشد . این محدوده بستگی به طول فیزیکی و آرایش لوله ها و چگالی مخصوص سیال پرکننده مانومتر دارد .

سه نوع از رایج ترین مانومترها U-tube ، well or reservoir و inclined هستند .

مانومتر های U-tube

مانومتر U-tube نشان داده شده در شکل (6) دارای دو لوله شفاف متصل به هم به شکل U می باشد . فشار فرآیندی که باید اندازه گرفته شود (P) به سمت چپ لوله اعمال می شود و سمت دیگر لوله معمولا به اتمسفر باز است ، بنابراین مقدار صعود می تواند از یک scale مدرج فشار روی لوله سمت راست خوانده شود .

مثال (6)

مسئله : پیدا کنید فشار بر حسب P_S را اگر یک فشار اعمال شده بر آب پرکننده مانومتر باعث جابجایی آب به اندازه 30 شود .

حل :

از جدول (1) داریم :

بنابراین :

که W.C. علامت اختصاری Water Column می باشد .

www.icheh.com

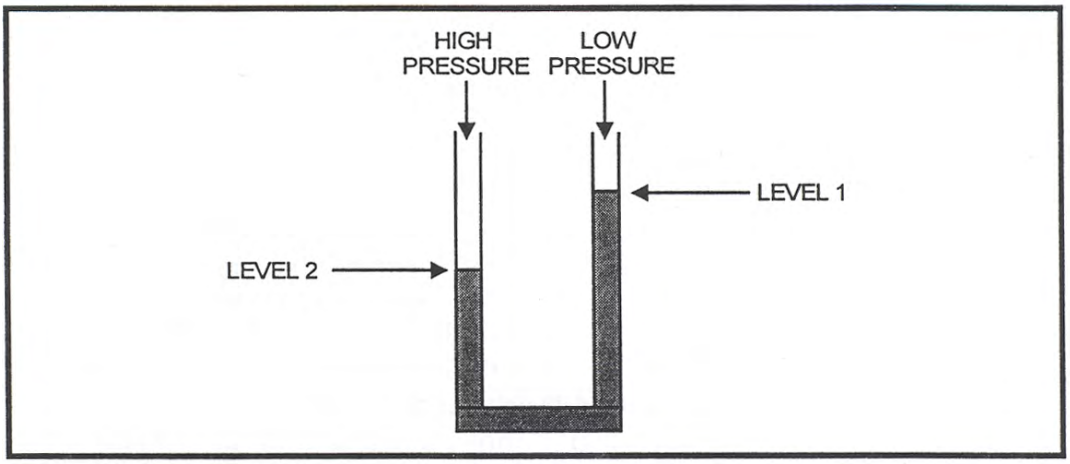


Figure (6) . U-Tube manometer

مانومتر های Well (Reservoir)

یک مانومتر well یا reservoir در شکل (7) نشان داده شده است . در این مورد فشاری که باید اندازه گیری شود به مخزن مدرج اعمال می شود و لوله دیگر به اتمسفرباز است . فشار توسط اختلاف ارتفاع بین سطوح well و لوله به دست می آید.

مثال (7)

مسئله : پیدا کنید جابجایی مایع با چگالی مخصوص S_{g2} را در مانومتر well نشان داده شده در شکل (7) ، اگر فشار $3Ps$ اعمال شده باشد .

حل :

با استفاده از معادله (8) داریم :

$$P = (0.03)(5016)$$

$$h = \frac{P}{(0.03)(50)(60.03)(59)} = 3Psi$$

$$h = 28in$$

www.icheh.com

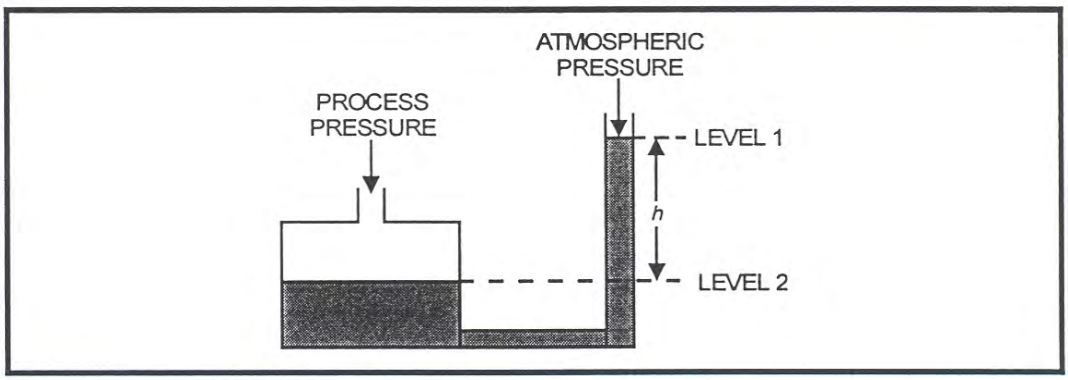
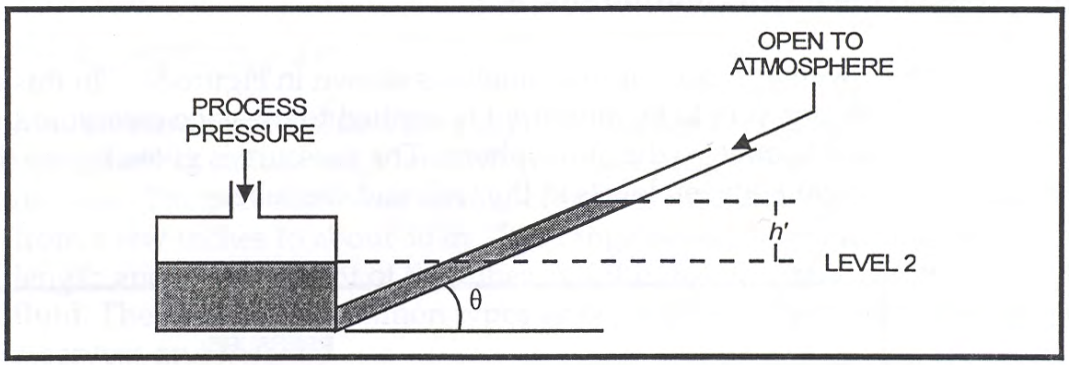


Figure (7) . Well (reservoir) manometer

مانومتر های شیبدار Inclined

مانومتر شیبدار نشان داده شده در شکل (8) برای اندازه گیری فشارهای پایین طراحی شده است . لوله شیبدار یک انتهای باز دارد که فشار اعمال شده به مخزن را اندازه گیری می کند .

چون زاویه خمیدگی ثابت است ، یک رابطه دقیق بین حرکت مایع در طول لوله و جابجایی عمودی وجود دارد . این رابطه به شکل $h = h' \sin\alpha$ است که h' فاصله طی شده به بالا توسط مایع در لوله است و α زاویه شیب از افق می باشد .



www.icheh.com

Figure (8) . Inclined manometer

فشارسنج ها و انتقال دهنده ها
Pressure Gages and Transmitters

فشارسنج ها برای اندازه گیری فشارمحلی استفاده می شوند ورایج ترین نوع ابزاراندازه گیری فشار مورد استفاده در صنایع می باشند . فشارسنج ها شامل یک

صفحه یا نمایانگرو یک المنت فشار می باشند . یک المنت فشار ، فشار را به جنبش یا حرکت مکانیکی تبدیل می کند .

بیشترین المنتهای فشار مکانیکی متکی بر فشار فعال روی سطح المنت ، برای تولید نیرویی که باعث انحراف مکانیکی شود ، می باشند . المنتهای رایج مورد استفاده ، diaphragms ، bellows elements ، و Bourdon tubes می باشند .

بیشترین وسیله مورد استفاده برای تبدیل فشار به حرکت مکانیکی دیافراگم است (شکل 9) . در این وسیله ، یک فشار P_1 به یک طرف از دیافراگم اعمال می شود و یک فشار P_2 به طرف دیگر ، پس نیروی خالصبرابراست با :

$$F = (P_1 - P_2)A$$

که A سطح دیافراگم (m^2) ، و P_1 و P_2 فشارها (N/m^2) می باشند .

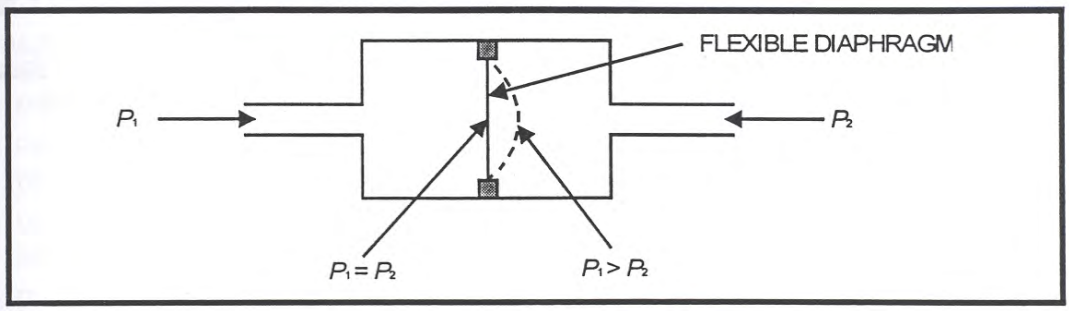


Figure (9) . Pressure diaphragm

www.icheh.com

یک دیافراگم مثل یک فنر عمل می کند و منبسط یا منقبض می شود تا یک نیرو توسعه پیدا کند که نیروی اختلاف فشار متعادل شود .

المنت فشار bellows ، که در شکل (10) نشان داده شده است ، وسیله ای تقریبا شبیه دیافراگم است ، که یک اختلاف فشار را به جابجایی فیزیکی تبدیل می کند . در bellow ، این اختلاف بیشتر باعث حرکت به شکل انبساط خطی می شود .

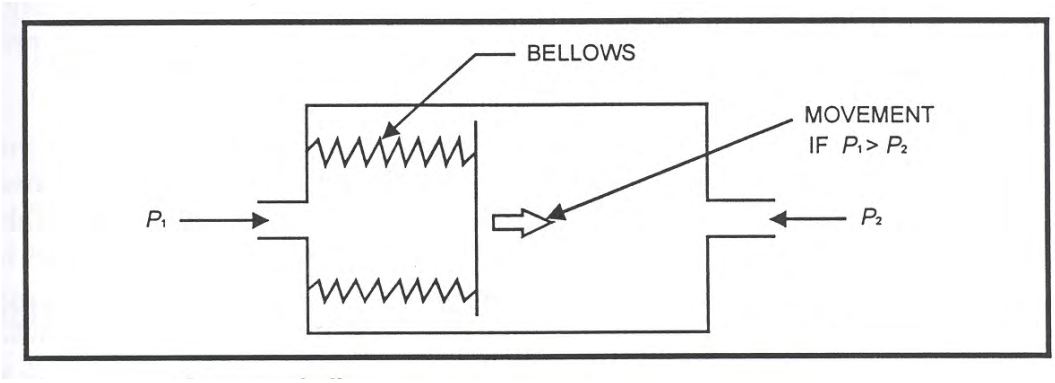


Figure (10) . Pressure bellows

وسیله دیگر مورد استفاده در اندازه گیری فشار Bourdon tube است . در این وسیله یک بخش لوله ای شکل که از یک طرف بسته شده است ، با تغییر فشار خم و راست می شود ، که در شکل (11) نشان داده شده است . هنگامیکه فشاری به انتهای باز اعمال می شود لوله نمی پیچد. این حرکت یک جابجایی خاصی توسط فشار

اعمال شده تولید می کند . در یک فشار سنج ، لوله به طور مکانیکی به یک عقربه روی صفحه مدرج فشار لینک شده که یک عدد کالیبره به ما می دهد .

این حقیقیت که یک فشارسنج فقط می تواند برای کاربرد محلی استفاده شود ، قابلیت آن را در کنترل فرآیند محدود می کند .

www.icheh.com

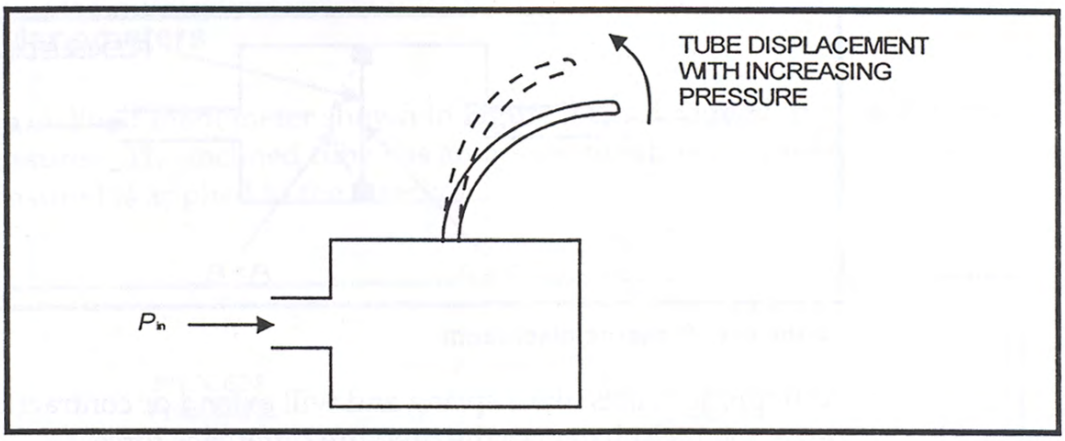


Figure (11) . Bourdon tube

سلهای فشار پنوماتیک

Pneumatic Pressure Cells

در بعضی کاربردهای کنترل نیاز است که ارزش (مقدار) فشار به فاصله (مسافت) انتقال داده شود ، مثل یک اتاق کنترل مرکزی ، که آن سپس به یک عدد خوانده شده قابل استفاده برای فشار تبدیل شود . انتقال دهنده های فشار برای تبدیل یک مقدار فشار به یک سیگنال scale ، یا الکتریکی ، پنوماتیک ، یا مکانیکی طراحی شده اند .

یک نوع سل فشار پنوماتیک به force-balance pneumatic transmitter نامیده می شود.

دراین نوع ابزارآلات فشار اندازه گیری شده ، روی دیافراگم فلزی جوش داده شده به یک اتاقک اعمال می شود . نیروی توسعه یافته روی دیافراگم ، از محفظه به وسیله میله ثابتی به نام میله نیروی متصل به دیافراگم ، ایجاد می شود . با این نیرو توسط

نیروی تعادلی پخش شده به وسیله دمهای برگشتی پنوماتیک ،مقابله می شود . عدم تعادل بین کپسول نیرو و نیروی دم برگشتی به وسیله نازل بافل دار پنوماتیک حس می شود (دریافت می شود). این سروو مکانیزم پنوماتیک ساده تابع فشار نازل و برقراری تعادل است . در نتیجه ، فشار پنوماتیک کاملا متناسب با فشار اعمال شده حفظ می شود و مثل یک سیگنال خروجی استفاده می شود (معمولا از 3-15 Psig).

لازم به تذکر است که بیشترین انتقال دهنده های فشار پنوماتیک در اصل اختلاف فشار(dp) اعمال شده ورودی های بالا و پایین انتقال دهنده را اندازه می گیرند . اندازه فشار همیشه با در نظر داشتن یک نقطه مرجع به دست می آید . فشار gage (نسبی) معرف فشار اتمسفریک است . فشارabsolute (مطلق) نشان دهنده یک سطح فشار بالای خلا کامل است ، که در فقدان فشار برابر $0P_S$ می باشد . به عبارت دیگر، یک اندازه گیری نشان دهنده اختلاف فشار بین یک مقدار و سطح مرجع است . به بیان صریح تر ، همه اندازه های فشار اندازه های اختلاف فشار هستند .

مبدلهای فشار الکترونیکی
Electronic Pressure Transducers

اصول الکتریکی مورد استفاده در انتقال اندازه فشار متعدد و گوناگون می باشد . بیشترین انتقال دهنده های فشار الکترونیکی به کار می روند در ظرفیت (خازن)، مبدل تفاضلی ، تعادل نیرو،فتوالکتریک ، پیزو الکتریک ، اندازه پتانسیل ،مقاومت ، کشش سنج ، یا ابزار اندازه گیری ترمو الکتریک . در بسیاری موارد ، وسایل الکتریکی یا الکترونیکی به اتفاق یک وسیله مکانیکی استفاده می شوند . برای مثال ، یک پیزو الکتریک کریستال می تواند با اتصال به یک دیافراگم فلزی حسگر فشار، یک سیگنال الکتریکی متناسب با فشارتولید کند .

سنسور از نوع پیزو الکتریک (برق فشاری)
Piezoelectric-Type Sensor

دسته کوچکی ازکریستالها به نام پیزو الکتریک سیگنال الکتریکی تولید می کنند که به سیگنال مکانیکی تغییرشکل می دهد . سطح ولتاژ سیگنال متناسب با مقدار تغییر فرم است . معمولا ، کریستال به طور مکانیکی به یک دیافراگم فلزی متصل است . یک طرف دیافراگم متصل به سیال فرآیند برای حس فشار است ، ویک اتصال مکانیکی دیافراگم را به کریستال متصل می کند.

ولتاژ سیگنال خروجی از کریستال بسیار کوچک است (معمولا در محدوده میکرو ولتاژ) ،پس یک آمپلی فایر مقاومت ظاهری (بازدارنده) باید در ورودی بالا استفاده شود . آمپلی فایر باید با مقدارfeet کوچک دریافتی از سنسوررا افزایش دهد تا از ،از بین رفتن سیگنال پیشگیری کند . کریستال می تواند دمای بالای 40 را تحمل کند ، اما آنها از تغییرات دما تاثیر پذیرند و دما باید تعدیل شود .

سنسور از نوع ظرفیتی

Capacitance-Type Sensor

مثال دیگری از یک اتصال فشار الکترونیکی به دیافراگم فشار، سل حسگر فشار ظرفیت متغیر است . ظرفیت شامل دو صفحه فلزی یا هادی های جداشده به وسیله یک ماده عایق به نام دای الکتریک است . در سنسور فشار نوع ظرفیتی یک اختلاف فشار به دیافراگم اعمال می شود.این باعث حرکت سیال پرکننده بین دیافراگم ایزوله ودیافراگم حساس می شود ، بنابراین دیافراگم حساس به طرف یکی از صفحه های خازن (capacitor) حرکت کرده و با تغییر ظرفیت وسیله از دیگری دور می شود . چون ظرفیت مستقیما متناسب با فاصله بین صفحه هاست ، فشار اعمال شده به سل می تواند مستقیما باتغییر در ظرفیت رابطه داشته باشد. یک جفت سیم رابط الکتریکی به یک مدار الکترونیکی متصل هستند که تغییر ظرفیت را اندازه می گیرد . این تغییر ظرفیت ،سپس به یک سیگنال الکترونیکی در انتقال دهنده تبدیل می شود که در واحدهای فشار کالیبره شده است .

دو روش الکتریکی معمولی برای ردیابی تغییر ظرفیت موجود است . در روش اول تغییربه وسیله اندازه گیری مقدار ولتاژ AC در عرض صفحه های تحریک شده ردیابی می شود . درروش دیگر خازن حسگر تشکیل می دهد قسمتی از یک نوسانگر را و

مدارالکترونیکی فرکانس را برای گردش نوسانگر تغییر می دهد . این تغییرات در فرکانس سپس به طور الکترونیکی به تغییر فشار تبدیل می شود .

سنسور القاگر متغیر

Variable Inductance Sensor

مثال سوم از یک سنسور الکتریکی که با یک دیافراگم حسگر فشار استفاده می شود در شکل (12) نشان داده شده است . القاگر، یک خاصیت اصلی مدارهای الکترو مگنتیک توانایی یک هادی برای تولید ولتاژ القا شده است زمانیکه جریان در مدار تغییر می کند . یک سیم بلند خاصیت القا کنندگی بیشتری از یک سیم کوتاه دارد ، چون طول بیشتر هادی ،به خاطر شار مغناطیسی گذرنده از آن تولید ولتاژ القایی بیشتری را دارد . به طور مشابه ، یک سیم پیچ القاکنندگی بیشتری از همان طول معادل سیم مستقیم دارد زیرا سیم پیچ شار مغناطیسی را متمرکز می کند . خاصیت القایی همچنین از جنس هسته ای که سیم پیچ دور آن پیچیده شده است تاثیر پذیر است .

به عبارت دیگر، القاکنندگی سیم پیچ یا القاگر به تعداد دور سیم پیچ و خواص مغناطیسی جنس سیم بستگی دارد . ابزار variable inductance نشان داده شده در شکل (12) از دو سیم پیچ مغناطیسی که هر دو دور یک هسته بسته شده اند استفاده می کند . خواص هسته با اعمال فشار تغییر می کند و دیافراگم حرکت می کند . القا با استفاده از مدارهای الکترونیکی تفاضلی اندازه گرفته می شود . برای مثال ، القاگر متغیر حسگر فشار ممکن است به عنوان یک ماده در نوسانگر استفاده شود .

www.icheh.com

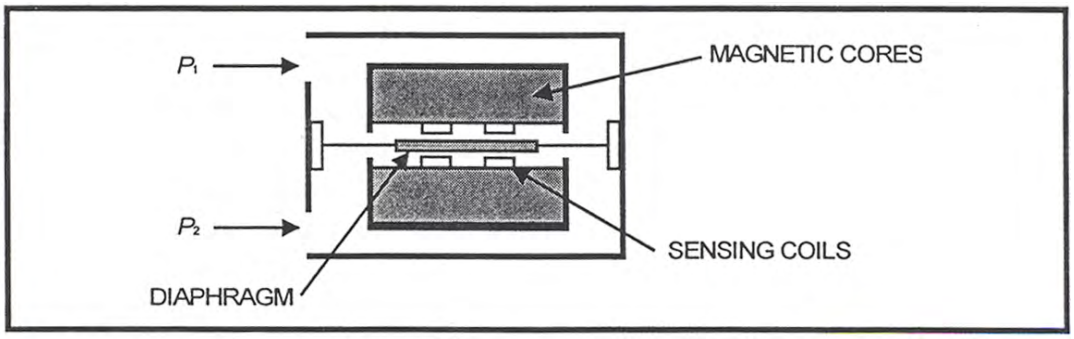


Figure (12) . Variable inductance pressure sensor

سنسورهای فشار کشش سنج

Strain Gage Pressure Sensors

تغییر شکل مواد strain و نیروی مکانیکی که باعث تغییر شکل می شود stress نامیده می شود . strain یک کمیت بدون واحد است ، اما معمولا برای بیان strain از نسبت دو واحد طول مثل in/in یا m/m استفاده می شود .

کشش سنج (strain gage) مقاومت را تغییر می دهد هنگامیکه کشیده می شود . یک نوع کشش سنج باز شده در شکل (13) نشان داده شده است . آن شامل یک دسته چند تایی از سیمهای بسیار نازک است که از یک انتهایش روی یک اسکلت ثابت و از انتهای دیگر به یک آرماتور قابل حرکت نصب شده است . آرماتور قابل حرکت معمولا به یک حسگر فشار bellow یا دیافراگم متصل است . دسته چند تایی سیمها حرکت کوچکی در طول سیم مستقیم را تقویت می کند . یک تغییر فشار بسیار کوچک می تواند ردیابی شود اگر تعداد زیادی از این گروههای سیمی وجود داشته باشد .

قبلا دیدیم که مقاومت سیم فلزی به صورت زیر به دست می آید :

$$R_0 = r\frac{l_0}{A_0} \qquad (9)$$

که R_0 مقاومت سیم اصلی (W) ، r مقاومت ویژه سیم (W/m) و l_0 طول سیم (m) و A_0 سطح مقطع اولیه سیم (m^2) می باشد . فرض کنید اکنون سیم توسط نیروی F کشیده شود

، ما می دانیم که سیم به مقدار کوچک Dl درازتر می شود . بنابراین حالا طول جدید $L=L_0+\Delta L$ می باشد . این همچنین در شرایط stress-strain درست است به رغم اینکه اگر سیم بلندتر شود حجم آن ثابت می ماند . زیرا حجم سیم کشیده نمی شود ، و طبق رابطه $V=L_0A_0$ داریم که سطح مقطع باید به مقدار D_A کاهش یابد یا :

$$A=A_0-\Delta A \qquad (10)$$

اکنون چون هم طول و هم سطح مقطع سیم تغییر کرده است ، مقاومت سیم تغییر خواهد کرد :

$$R=r\frac{l_0+\Delta l}{A_0-\Delta A} \qquad (11)$$

با استفاده از معادله (10) و (11) مقاومت جدید تقریبا به صورت زیر است :

$$R=r\frac{l_0}{A_0}\left(1+2\frac{\Delta l}{l_0}\right) \qquad (12)$$

از این معادله می توانیم تغییرات مقاومت را به شکل زیربه دست آوریم :

$$\Delta R=2R\frac{\Delta l}{l_0} \qquad (13)$$

معادله (13) معادله پایه ای که شالوده عملیات کشش سنجی سیمها می باشد زیرا آن معادله نشان می دهد که strain ، $\frac{\Delta l}{l}$ به تغییر مقاومت تبدیل می کند . مثال (8) این مفهوم را شرح می دهد .

مثال (8)

مسئله : پیدا کنید تغییرات مقاومت سیم را برای کشش سنجی با مقاومت عددی سیم 100Ω زمانیکه تحت تاثیر کشش $1000\mu\varepsilon$ قرار گیرد .

www.icheh.com

حل :

تغییر در مقاومت کشش سنج را با استفاده از معادله (13) می توان محاسبه نمود :

$$\Delta R \approx 2R\frac{\Delta l}{l_o}$$
$$\Delta R \approx 2(100)(10^{-3})\Omega$$
$$\Delta R \approx 0.2\Omega$$

مثال (8) یک حقیقت بسیار معنی داردر خصوص کشش سنج ها را یاد آور می شود. تغییر در مقاومت بسیار کوچک است . این بدان معناست که بسیاری مدارهای الکترونیکی پیچیده باید برای به دست آوردن دقیق اندازه فشار استفاده شود .

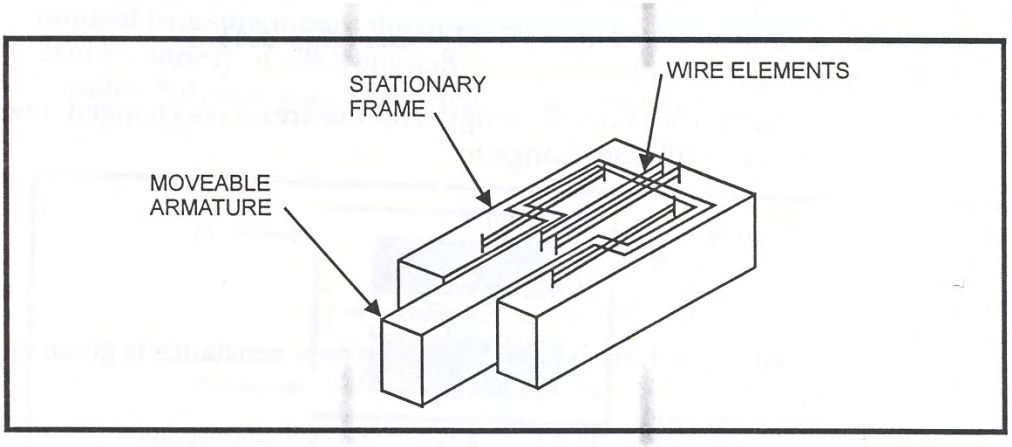


Figure (13) . Unbonded strain gage

بسیار مهم است که قید شود بیشترین المنتهای فشارسنج الکترونیکی یک سیگنال تولید می کنند که نمی تواند بیش از یک پا فرستاده شود . بنابراین بیشترین وسایل فشار الکترونیکی یک انتقال دهنده سوار بر سنسور دارند . انتقال دهنده اندازه سیگنال را به سیگنال جریان تبدیل می کند که به یک عقربه (شاخص) محلی یا یک سطح کنترل مرکزی برای نشان دادن ، کنترل یا ثبت کردن فرستاده می شود .

www.icheh.com

فصل سوم

دماسنج ها

مقدمه

www.icheh.com

در اين بخش به بررسی تكنيكهای رايج تو اندازهگيری دما و مبدلهای انرژی مورد استفاده در كنترل فرآيند ، میپردازيم كه شامل ترمومترهای filled-system ، ترموترهای بيمتاليک ، ترموكوپل ها ، آشكار ساز دمای مقاومتی RTD ، ترميستورها ، و سنسورهاي دماي مدار ادغام شده (IC) می باشد . هر نوع مبدل با جزئيات شرح داده میشود ، اما ابتدا تاري خ اندازهگيری دما ، مقي اس ها ، و دماهای مرجع بيان میشود .

تاريخچه مختصری از اندازه گيری دما

اولين وسيله شناخته شده برای اندازهگيری دما ، توسط گاليله در حدود 1592 اختراع شد. آن شامل يک ظرف پر از الكل رنگی و يک لوله شيشهای بلند با گلوگاه باريک با يک كره توخالی معلق در الكل دانتهای بالايی است. وقتی گرم شود، هوا در كره منبسط شده و حبابهايی از ميان مايع خارج میشود. سرد كردن كره سبب میشود مايع در لوله به سمت بالا حركت كند. تغييرات دردمای كره و محيط اطراف میتواند به وسيله موقعيت مايع درون لوله مشاهده شود. اين ترمومتر "upside-down" نشانگر ضعيفی بود، چون سطح با فشار اتمسفريک تغيير میكرد و لوله درجه بندی نداشت. برخی وسايل اندازهگيری دما با دقت بيشتر، با ظهور ترمومتر فلورانسی ساخته شدند، كه دارای ساختمان كاملا بسته و مقياس درجه بندی بودند.

در دورهای كه پيش روست، بسياری از مقياسهای ترمومتر طراحی شده، همه بر پايه دو نقطه ثابت يا بيشتر به دست آمدند. معهذا هيچ مقياسی عموما تا قبل از دهه 1700 تاييد نشده بود، تا زمانيكه گابريل فارنهايت، يک ابزار ساز آلمانی، ترموترهای جيوهای قابل تكرار و دقيق را طراحی كرده و ساخت. فارنهايت برای نقطه ثابت درحد پايين از مقياس هايش، از يک مخلوط يخ و نمک استفاده كرد. اين چنين او توانست پايينترين ها را پيدا كند و آن را

صفر درجه نامید. حدبالای مقیاس او بسیار تخیلی بود، او دمای بدن انسان سالم را انتخاب کرده و آن را 96 درجه نامید.

دمای بالای 96 به جای 100 درجه انتخاب شد ، زیرا آن زمان این فاصله به 12 قسمت تقسیم شده بود .فارنهایت با هدف واضح از به دست آوردن تفکیک بیشتر ، مقیاس را به 24 ، سپس 48 و نهایتا 96 قسمت کرد . بعدها تصمیم گرفته شد نشانه $^{\circ}F$ برای درجات دما در مقیاس فارنهایت ، برگرفته از نام مخترع آن استفاده گردد . مقیاس فارنهایت اساسا به خاطر قابلیت تکرار و کیفیت ترمومتری که فارنهایت ساخت ، اعتبار قابل قبولی به دست آورد .

حدود سال 1742 ، یک منجم سوئدی به نام اندرس سلسیوس پیشنهاد کرد که دو نقطه ذوب یخ ونقطه جوش آب برای دو نقطه ثابت دما استفاده شود. سلسیوس صفر درجه را به عنوان نقطه جوش و صد درجه را به عنوان نقطه ذوب انتخاب کرد. بعدها نقاط انتهایی برعکس شد و مقیاس سانتیگراد به وجود آمد. در 1948 نام آن رسما به سلسیوس تغییر کرد و نشانه $^{\circ}C$ برای نشان دادن درجات دمای سلسیوس یا سانتیگراد انتخاب شد.

مقیاسهای دما

به تجربه پایین‌ترین دمای ممکن [illegible] تعیین شد. در مقیاس دمای کلوین صفرش در [illegible] انتخاب شد و اندازه های واحدهای کلوین به همان اندازه درجات سلسیوس گرفته شده است . دمای کلوین توسط رابطه زیر داده می‌شود :

[illegible] (1)

مقیاسهای دیگر مقیاس رانکین $({}^{\circ}R)$ ، به همان روش و سادگی فارنهایت هم ارز با مقیاس کلوین تعریف شد و از یک کاوشگر در زمینه ترمودینامیک رانکین نام گرفت. معادلات تبدیل چهار مقیاس دمای مدرن به شکل زیر است :

[illegible] (2)

[illegible] (3)

[illegible] (4)

www.icheh.com

(5)

از این معادلات برای تبدیل دما استفاده مي شود.

دماهای مرجع

آنطور که یک تقسیم کننده ولتاژ می توان ساخت تقسیم کننده دما نمی توانیم بسازیم؛ و همچنین دما مانند طول جمع پذیر نمی باشد. تا اندازه ای باید به دماهای بدست آمده از پدیده های فیزیکی که قابل مشاهده هستند تکیه کرد. مقیاس دمایی (ITS) بر پایه همین پدیده هاست.طبق تجدید نظری که در سال 1990 انجام شد 17 دمای مرجع به دست آمد(جدول1).

دمای ترمودینامیکی با نماد T نشان داده شده و واحد آن کلوین با نماد K می باشد؛ و اندازه آن $\frac{1}{27316}$ نقطه سه گانه آب است که نقطه سه گانه دمای تعادلی فاز های جامد،مایع و بخار می باشد.

چون فقط این دماهای ثابت ، دماهای مرجع می باشند باید از ابزاری برای ارتباط بین آنها استفاده کنیم.ارتباط دقیق بین این دماها نیاز به بعضی مبدلهای (Transducers) نسبتاً ظریف دارد؛ اما بسیاری از آنها که مورد استفاده در کنترل فرایند می باشند بسیار گران و پیچیده هستند.

ترمومترهای Filled-System

بسیاری از خواص فیزیکی با دما تغییر می کنند؛ مثل حجم مایع، طول یک میله فلزی، مقاومت الکتریکی سیم، فشار گاز در حجم ثابت و حجم گاز در فشار ثابت.

ترمومترهای Filled-System از پدیده انبساط حرارتی مواد ، استفاده می کنند.

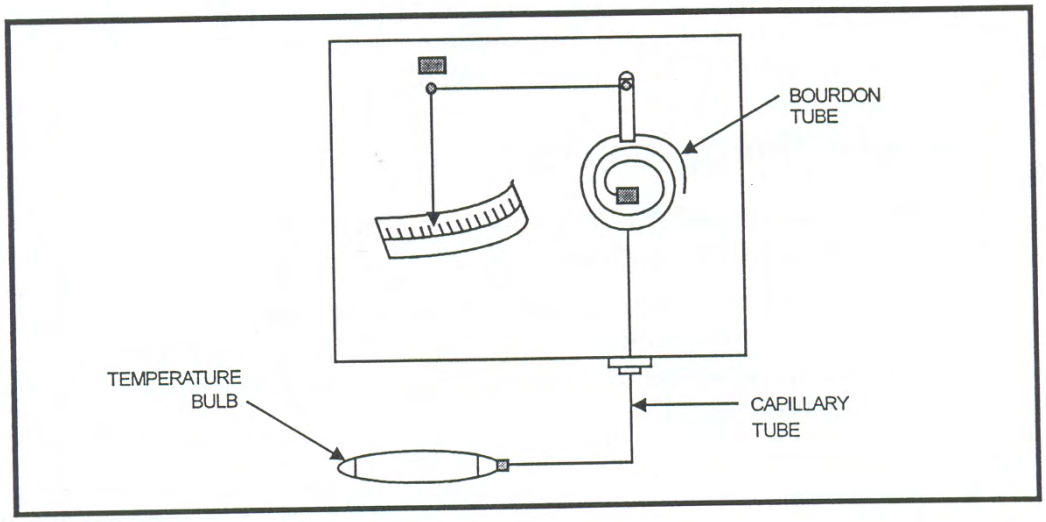
www.icheh.com

Equilibrium State of Material	K	°C
Vapor pressure (VP) point of helium	3 to 5	–270.15 to –268.15
Equilibrium hydrogen at triple point (TP)	13.8033	–259.3467
Equilibrium hydrogen at VP point	≈ 17	≈ –256.15
Equilibrium hydrogen at VP point	≈ 20.3	≈ –252.85
Neon at TP	24.5561	–248.5939
Oxygen at TP	54.3584	–218.7916
Argon at TP	83.8058	–189.3442
Mercury at TP	234.3156	–38.8344
Water at TP	273.16	0.01
Gallium at melting point (MP)	302.9146	29.7646
Indium at freezing point (FP)	429.7485	156.5985
Tin at FP	505.078	231.928
Zinc at FP	692.677	419.527
Aluminum at FP	933.473	660.323
Silver at FP	1234.93	961.78
Gold at FP	1337.33	1064.18
Copper at FP	1357.77	1084.62

جدول1.

شامل یک المنت اولیه به شکل مخزن یا حباب، یک لوله مویین Filledوسیله دمایی قابل انعطاف و یک لوله بوردن تو خالی می باشد که سیگنال انتقالی و تا صفحه Filled-Systemمدرج نشانگر دمای محلی را به کار می اندازد. یک نوع ترمومتر در شکل1 نشان داده شده است ؛ که سیال پرکننده مایع یا گاز با افزایش دما منبسط شده و باعث می شود لوله بوردن چرخیده و دما را روی صفحه مدرج کالیبره نشان دهد. سیال پر کننده می تواند گاز،بخار،جیوه و یا مایعات دیگر باشد که سیستم پرکننده مایع رایجتر می باشد چون حجم حباب کوچکتری نیاز داشته و ابزار کوچکتری می طلبد.

www.icheh.com



شکل1.

سیستم پرشده گاز gas-filled از قانون گاز کامل پیروی می کندکه برای گاز کامل داریم:

$$T=KPV \qquad (6)$$

T دما ، Kثابت ، P فشار و V حجم می باشد.اگر حجم گاز ثابت گرفته شود ، نسبت فشار به دمای گاز ثابت است؛بنابراین:

$$\frac{P_1}{T_1}=\frac{P_2}{T_2} \qquad (7)$$

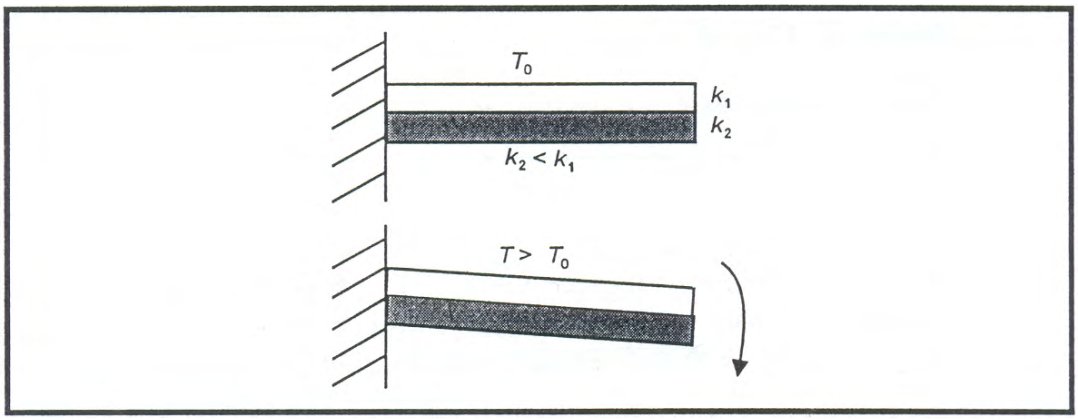
تنها محدودیت تساوی این است که باید دما بر حسب کلوین و فشار در واحدهای مطلق باشد.

ترمومترهای دو فلزی Bimetallic Thermometers

ترمومتر نشان داده شده در شکل 2 شامل دو فلز متصل به هم می باشد که اختلاف زیادی در ضرایب انبساط حرارتی آنها وجود دارد.این وسیله ارزان قیمت است ولی معایبی چون دقت کم وزمان پاسخگویی کند دارد.این وسیله فقط در کنترل عملیاتها و یا در کنترل سیستم هایی که نیاز به دقت ندارند و یا در کنترل پاسخی استفاده می شود.این ترانسفورماتور بر اساس اصل انبساط حرارتی فلزات مختلف با دما ، می

www.icheh.com

باشـــــد.



شکل2.

برای درک بهتر انبساط حرارتی، یک مدل ساده جامد را در نظر بگیرید که اتمهای آن توسط نیروهای الکتریکی با یک آرایش منظم در کنار هم قرار دارند.در دماهای بالای صفر مطلق ($-273.15^{\circ}C$) اتمهای جامد ارتعاش دارند. هنگامیکه دما افزایش می یابد دامنه ارتعاش افزایش یافته و متوسط فاصله بین اتمها زیاد می شودو در نتیجه جسم منبسط می شود.تغییرات طولی ناشی از تغییر دما ΔT ، با ΔL مشخص می شود که تغییر طولی ΔL ، با $\Delta T,L$ متناسب است:

$$\Delta L = k \Delta T \qquad (8)$$

K ضریب انبساط طولی است که برای فلزات مختلفمتفاوت می باشد.

در جدول 2 ضریب انبساط طولی برای چند جامد معمولی داده شده که این مقادیر متوسط مقدار بین $0^{\circ}C$ و $100^{\circ}C$ می باشد.

Material	Expansion Coefficient (*k*)
Aluminum	25 X 10^{-6}/°C
Copper	16.6 X 10^{-6}/°C
Steel	6.7 X 10^{-6}/°C
Beryllium/copper	9.3 X 10^{-6}/°C

جدول2.

یک نوار دو فلزی وقتیکه در معرض تغییر دما قرار می گیرد(شکل 2) خمیده می شود چون ضرایب انبساط حرارتی فلزات متفاوت می باشد، در نتیجه از این موضوع

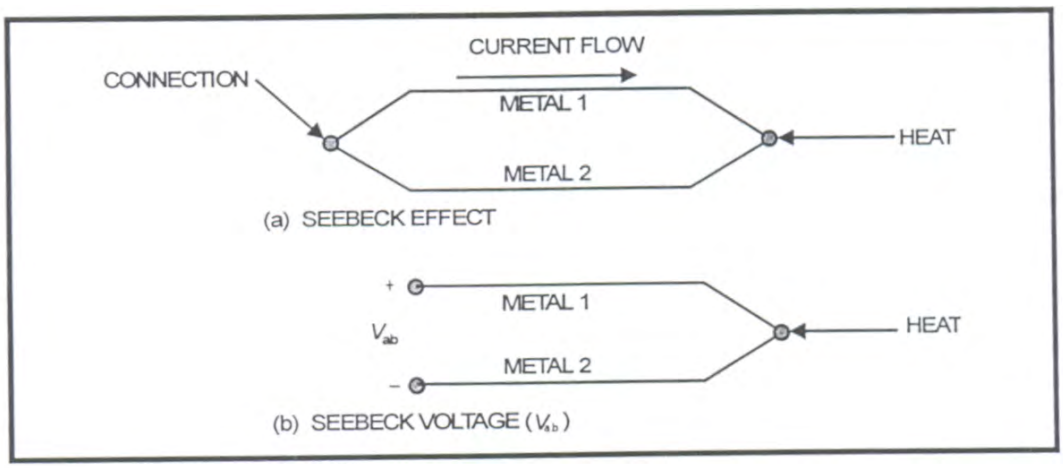
www.icheh.com

برای تماسهای سوییچ و یا در on-off وسایل وقتیکه دما تغییر می کند استفاده می شود. این نوار دو فلزی همچنین در صفحات مدرج ترمومترها استفاده می شود.

ترموکوپل ها

مدار ترمو الکتریک

وقتی که دو سیم فلزی متفاوت که از هر دو طرف به هم متصل شده اند،گرم شوندیک جریان مداوم در مدار ترموالکتریک جاری می شود.توماس سیبک (Thomas seebeck) در سال 1821 به این موضوع پی برد. این مدار در شکلa 3 نشان داده شده است. اگر این مدار با توجه به شکل 3 b از مرکز شکسته شده و دو سیم از هم جدا شوند، ولتاژ مدار باز جدید ، (ولتاژ سیبک) تابعی از دمای نقطه اتصال و ترکیبات دو فلز می باشد، این مساله برای تمام فلزات غیر مشابه پیش می آیدو این وضعییت فلزات غیر مشابه متصل به هم را ترموکوپل یا TC می گویند.رایجترین TC ها و محدوده دمایی نرمال آنها در جدول 3 آورده شده است.



شکل3.

برای تغيي‌رات کوچک دما، ولتاژ سیبک به صورت خطی با دما متناسب می باشد:

$$V_{ab} = \alpha \Delta T \qquad (9)$$

α ضریب سیبک ثابت تناسب می باشد.

www.icheh.com

جداول ترموکوپل Thermocouple Tables

برای نتیجه گرفتن از ولتاژ تولید شده توسط ترموکوپل ها ، جداول جامعی از ولتاژ بر حسب دما برای بسیاری از انواع ترموکوپل ها تعیین شده اند. این جداول (موجود در پیوست B)، ولتاژ بدست آمده از نوع مخصوصی از ترموکوپل را به ما می دهندنقاط اتصال مرجع آن در $0^{\circ}C$ می باشد و اندازه گیری نقاط اتصال در دمای داده شده انجام می شود. برای مثال ، در جدول B-4 (App B) برای ترموکوپل نوع K در $200^{\circ}C$ (با دمای مرجع $0^{\circ}C$) ولتاژ عبارت است از :

$$V(200^{\circ}C)= 8.13 \ \ Mv(type\ K)$$

همچنین با داشتن ولتاژ می توان دما را از این جداول خواند.

Type	Material	Normal Range, °C
J	Iron-constantan	–190 to 760°C
T	Copper-constantan	–200 to 37°C
K	Chromel-alumel	–190 to 1260°C
E	Chromel-constantan	–100 to 1260°C
S	90% platinum + 10% rhodium-platinum	0 to 1482°C
R	87% platinum + 13% rhodium-platinum	0 to 1482°C

جدول3.

در بیشتر موارد ولتاژ TC در جدول موجود نمی باشد، در این مواقع برای مقادیر نزدیک به هم می توان درون یابی کرد. یک مقدار مناسب دما با استفاده از رابطه زیر بدست می آید:

(10)

در این رابطه ولتاژ اندازه گیری شده V_mبین یک ولتاژ بالاتر V_h و یک ولتاژ پایین تر V_l ،در جدول قرار دارد و دمای متناظر با این ولتاژها T_h و T_l می باشد.

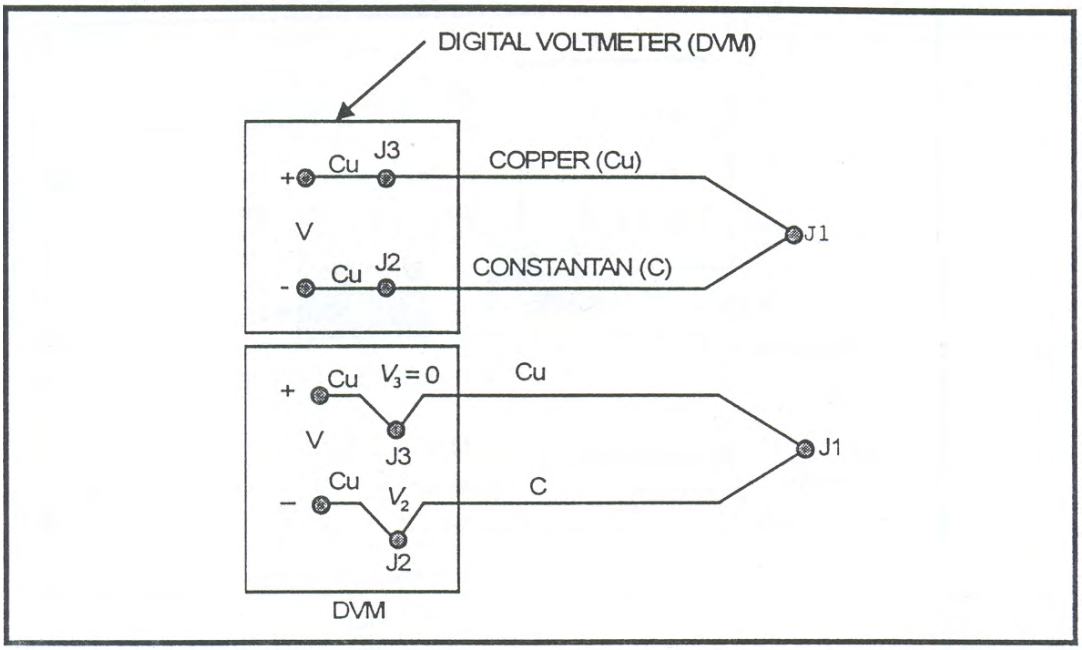
www.icheh.com

اندازه گیری ولتاژ ترموکوپل

ولتاژ سیبک مستقیما اندازه گیری نمی شود چون یک ولت سنج باید به ترموکوپل وصل می شود و ولت سنج آنها را در ایجاد یک مدار ترموالکتریک جدید هدایت می کند.

به یک ولت سنج دیجیتالی (DVM) متصل به یک ترموکوپل مس- کنستانتان توجه کنید؛ ولتاژ خروجی آن در شکل 4 نشان داده شده است، ما می خواهیم ولت سنج فقط V_1 را بخواند، اما برای اندازه گیری اتصال خارجی J_1 دو اتصال فلزی J_2 و J_3 را هم اضافه می‌کنیم؛ چون J_3 اتصال مس-مس است و ولتاژ گرمایی ایجاد نمی‌کند ($V_2 = 0$) ؛ و J_2 ا ط د ل مس- کنستانتان می باشد و ولتاژ V_2 را به V_1 اضافه می کند و مقدار V خوهنده شده از ولت سنج متناب است با اختلاف دمای بین J_1 وJ_2 .

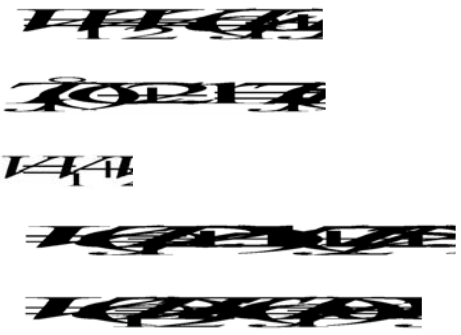
پس برای اینکه دمای J_1 را بدست آوریم ابتدا باید دمای J_2 را داشته با شیم.

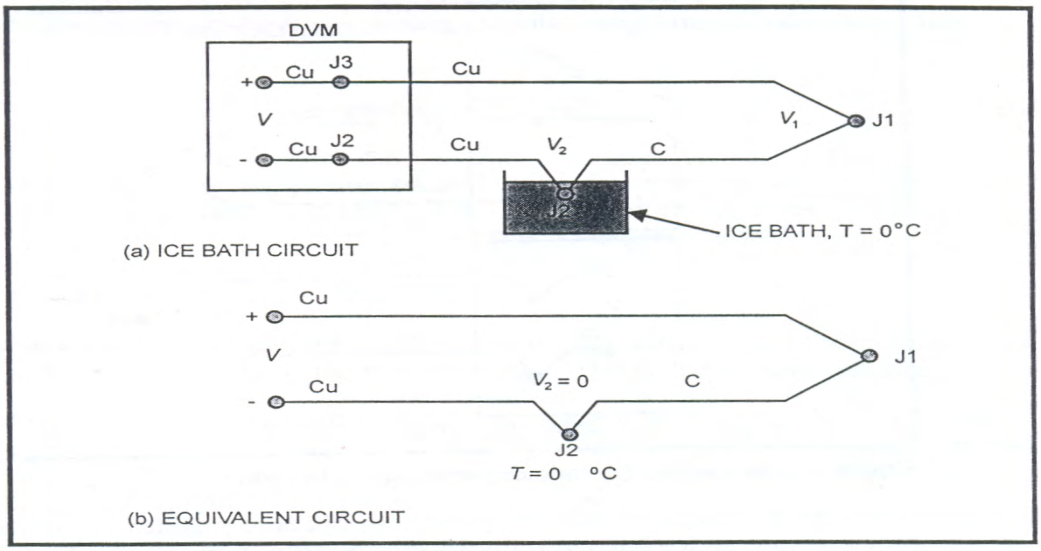


یکی از راههای تعیین دمای J_2 این است که نقطه اتصال J_2 در یک حمام یخ با دمای $0^{\circ}C$ قرار داده شود و نقطه J_2 به عنوان یک نقطه اتصال مبنا در نظر گرفته می

www.icheh.com

شود(شکل 5).تا وقتیکه هر دو اتصال انتهایی ولت سنج مس- مس باشند هیچ ولتاژ حرارتی ایجاد نمی شود و مقدار V خوانده شده از ولت سنج با اختلاف دمای بین J_1 وJ_2 متناسب می باشد.

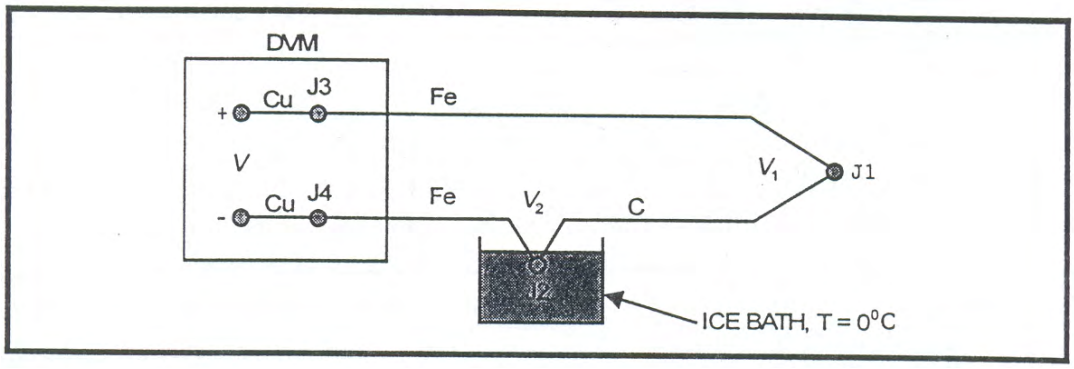




شکل 5.

از این مباحث نتیجه می گیریم که V_2، ولتاژ خروجی از نقطه اتصال در حمام یخ،صفر نمی باشدو مقدار آن تابعی از دمای مطلق می باشد و بدین ترتیب ولتاژ این نقطه را به عنوان نقطه مرجع گرفتهو ولتاژ TC در $0^{\circ}C$ خوانده می شود. این روش خیلی دقیق است چون در این روش، دمای نقطه یخ به طور دقیق کنترل می شود. دمای نقطه یخ به عنوان نقطه مبنای بنیادی برای جداول ترموکوپل در NBS استفاده شده است و ما می توانیم با مراجعه به جداول ترموکوپل در App B به طور مستقیم ولتاژ V را به دما تبدیل کنیم.

www.icheh.com



شكل 6.

از اين مباحث نتيجه مي‌گيريم كه V_2، ولتاژ خروجي از نقطه اتصال در حمام يخ، صفر نمي‌باشد و مقدار آن تابعي از دماي مطلق مي‌باشد و بدين ترتيب ولتاژ اين نقطه را به عنوان نقطه مرجع گرفته و ولتاژ TC در صفر درجه سانتيگراد خوانده مي‌شود. اين روش خيلي دقيق است چون در اين روش، دماي نقطه يخ به طور دقيقي كنترل مي‌شود. دماي نقطه يخ به عنوان نقطه مبناي بنيادي براي جداول ترموكوپل در NBC استفاده شده است. دما مي‌توانيم با مراجعه به جداول ترموكوپل در AppB به طور مستقيم ولتاژ V را به دما تبديل كنيم.

ترموكوپل مس- كانستانتان نشان داده شده در شكل 5 يك مثال منحصر به فرد مي‌باشد چون سيم مس از همان فلز انتهاي ولتسنج مي‌باشد. به جاي ترموكوپل مس- كانستانتان به ترموكوپل آهن- كانستانتان در شكل 6 توجه كنيد. سيم آهني تعداد نقاط فلزي غير مشابه را در مدار افزايش مي‌دهد، به عنوان مثال، هر دو انتهاي ولتسنج به صورت اتصالات Cu-Fe ترموكوپل مي‌باشند.

اين مدار تا وقتيكه ولتسنج و ترمينالها (منفي، J_3,J_4) همدما هستند اندازه‌گيري‌هاي تقريبا دقيقي را انجام مي‌دهد. تاثيرات ترموالكتريكي J_3 و J_4 بطور متناقض عمل مي‌كنند:

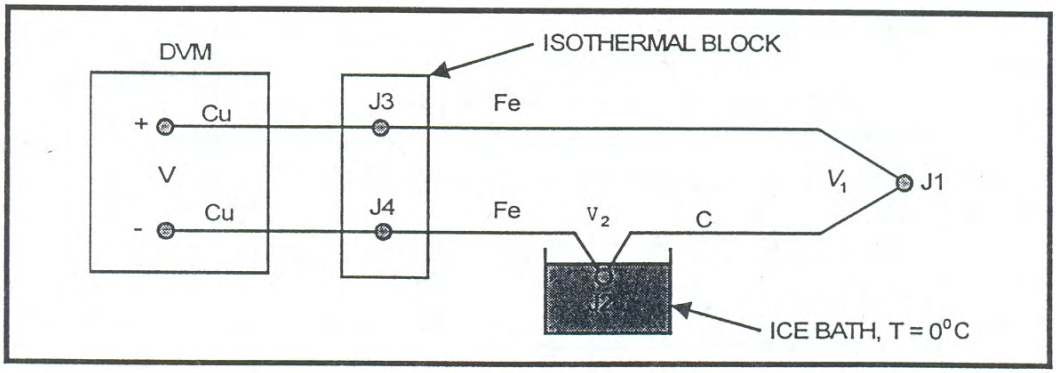
$V_1=V$

اگر $V_3=V_4$

$T_{J3}=T_{J4}$

www.icheh.com

اگر هر دو ترمينالهاي صفحه جلويي همدما نباشند، يك خطايي ايجاد مي‌شود. براي اندازه‌گيري دقيق‌تر، در اين ولت‌سنج هادي مسي بايد منبسط شود، تا اينكه اتصالات آهن- مس مانند شكل 7، بلوكهاي ايزوترمال تشكيل دهند.



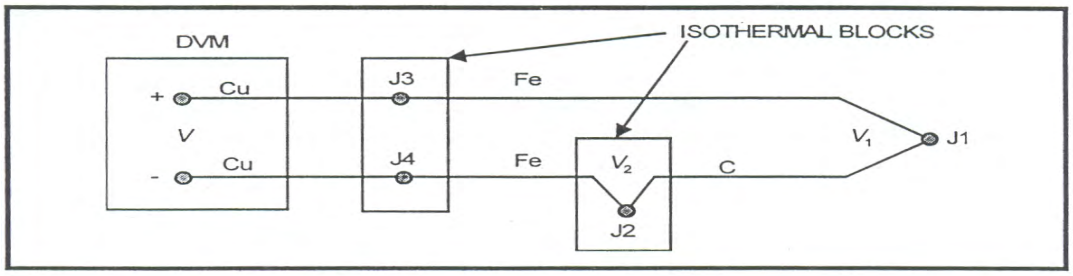
شكل 7.

اين بلوكها (قطعات) همدما فقط عايق الكتريكي خوب نمي‌باشند بلكه هادي خوب گرما هم مي‌باشد و اين باعث مي‌شود كه وقتي J_3 و J_4 در يك دما نگه داشته شوند.

دماي مطلق بلوك مهم نيست چون اتصالات Cu-Fe متضاد با هم عمل مي‌كنند بنابراين:

$$V=\alpha(T_1-T_{ref})$$

مدار شكل 7، مشاهدات دقيقي را ايجاد مي‌كند، ولي بهتر است كه تا حد امكان حمام يخ را حذف كرده يكي از راهها اين است كه حمام يخ را با يكي از بلوكهاي همدما مانند شكل 8 جايگزين كنيم.



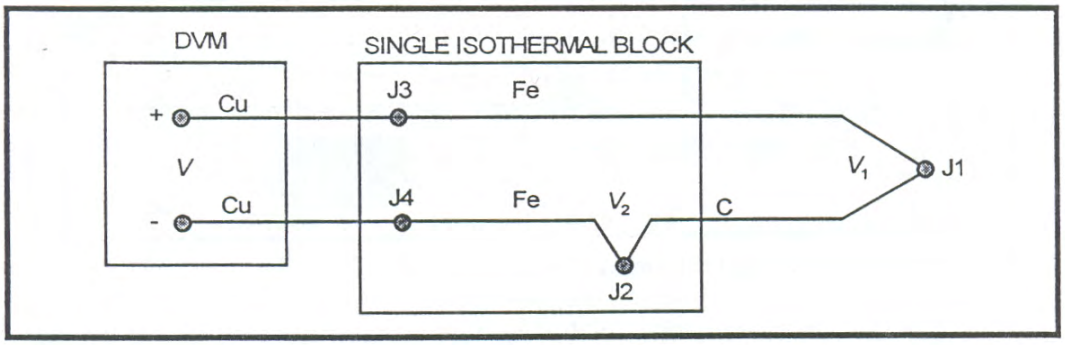
شكل 8.

دماي مرجع براي بلوك جديد T_{ref} مي‌باشد و چون J_3 و J_4 هنوز همدما هستند باز هم فرمول زير برقرار مي‌باشد:

$$V=\alpha(T_1-T_{ref})$$

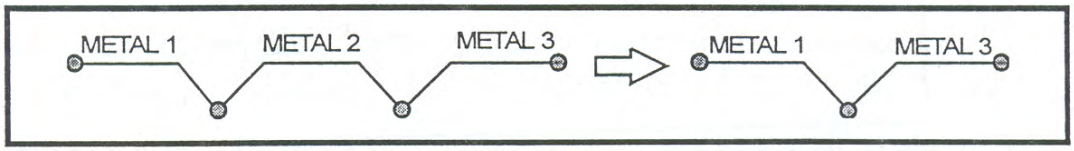
www.icheh.com

اين مدار باز هم پيچيده است، چون ما دو ترموكوپل را متصل مي‌كنيم. پس سيم اضافي آهن را در هادي منفي حذف مي‌كنيم و اتصالات $Cu\text{-}Fe(J_4)$ و $Fe\text{-}C(J_{ref})$ را با هم تركيب مي‌كنيم و دو بلوك همدما (شكل 8) را به هم متصل مي‌كنيم (شكل 9) و در اين حالت، باز هم ولتاژ خروجي تغيير نمي‌كند و برابر است با: $V=\alpha(T_1-T_{ref})$



شكل 9.

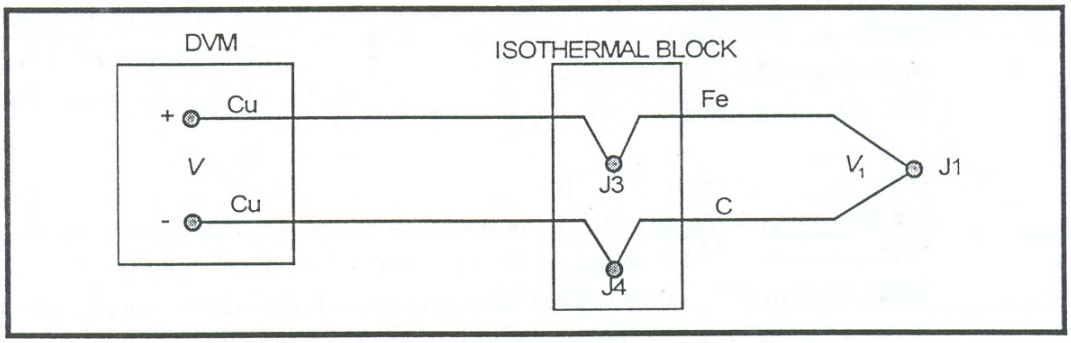
هم اكنون ما مي توانيم قانون فلزات واسطه را براي حذف اتصال اضافي استفاده كنيم. اين قانون نشان مي دهد كه يك فلز سوم (در اين حالت، آهن، بين دو فلز نامشابه با اتصال ترموكوپل پرولتاژ خروجب در حالتي كه دو اتصال ايجاد شده با فلز اضافي در دماي يكسان باشند، تاثيري ندارد (شكل 10).



شكل 10.

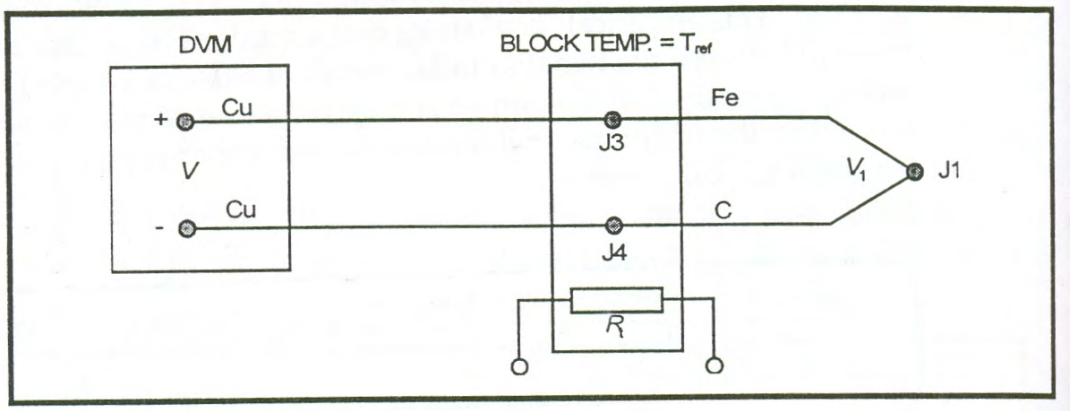
اين يك نتيجه پر استفاده است زير نياز به سيم آهني را در هادي منفي از بين مي برد. اين امر در شكل 11ديده مي شود كه دوباره $V=\alpha(T_1-T_{ref})$ استكه α يك ضريب Seebeck براي يك ترموكوپل Fe – closing است. اتصالات J_4,J_3 جاي حمام يخ را مي گيرند. اين دواتصال هم اكنون ‘‘اتصالات مرجع’’ محسوب مي شوند.

www.icheh.com



شكل 11.

هم اكنون ما مي توانيم به مرحله منطقي بعدي بپردازيم: دماي بلوك ايزوترمال (اتصال مرجع) را مستقيماً اندازه بگيريد و اين اطلاعات را جهت محاسبه دماهاي نامعلوم، TJ_1 بكار ببريد. ترموستر، يك وسيله اندازه گيري دما كه مقاومت Rt آن تابعي از دماست، روشي براي اندازه گيري دماي اتصال مرجع به ما مي دهد (شكل 12) .



شكل 12.

اتصالات J_4،J_3 وترموستر به دليل طراحي بلوك ايزوترمال،در يك دما فرض مي شوند. با استفاده از يك ولتمتر ديجيتال تحت كنترل كامپيوتر، ما به سادگي :

Rt-1 را براي يافتن Tref وتبديلTref به ولتاژ اتصال مرجع معادل آن Vref ، اندازه بگيريد.

2- V را اندازه گرفته و Vref را از آن كم كنيد تا V_1 بدست آيد و V_1 را به دماي TJ_1 تبديل كنيد.

اين پروسه تحت عنوان «جبران نرم افزاري» شناخته مي شود زيرا بر اساس نرم افزار يك كامپيوتر براي جبران تأثير اتصال مرجع استوار است. سنسور دماي بلوك ترمينال ايزوترمال هر وسيله اي كه نسبت ويژه اي با دماي مطلق دارد مي تواند باشد، نظير:يك RTD ، يك ترموستر يا يك سنسور مدار يكپارچه.

يك سؤال منطقي اين است . «اگر ما وسيله داشته باشيم كه دماي مطلق را اندازه بگيرد (مثل يك RTD يا ترموستر) چرا با يك ترموكوپل كه نياز به جبران اتصال مرجع دارد خود را به دردسر مي اندازيم؟» تنها جواب مهم اين سؤال اين است كه ترموستر، RTD و ترانسفورماتور مداريكپارچه تنها در محدودة خاصي از دما قابل ا ستفاده است. ترموكوپلها در محدودة وسيعي از دما استفاده شده ونسبت به ترموسترها مقاوم ترند (به طوري كه از اين حقيقت كه ترموكپلها اغلب به تجهيزات فرآيندهاي فلزي جوش داده مي شوند يا زير يك مارپيچ روي تجهيزات متصل مي شوند، مشخص است). آنها براحتي با لحيم يا جوشكاري ساخته مي شوند.

بطور خلاصه، ترموكوپلها پر كاربردترين وسايل اندازه گيري دماي موجود هستند به علاوه، يك سيستم نمايش دماي كامپيوتري مي تواند وظيفه جبران مرجع و تبديل ولتاژ به دماي نرم افزاري را انجام دهد، لذا استفاده از يك ترموكوپل در كنترل فرآيند به سادگي اتصال يك جفت سيم است يكي از معايب آن اين است كه كامپيوتر نياز به مقدار كمي وقت اضافي براي محاسبه دماي اتصال مرجع دارد كه اين امر يك زمان مرده را به حلقه كنترل مي افزايد.

آشكار سازهاي دماي مقاومتي :

در اصل، هر ماده اي كه مقاومت الكتريكي (مثل طي يك روش مناسب و تكرار پذير با تغيير دماي محيط تغيير مي كند مي توان براي اندازه گيري دما بكار رود. در عمل، تنها فلزات خاص و نيمه هاديها در ، كنترل فرآيند جهت اندازه گيري دما استفاده مي شوند. در اين بخش ما ترموسترهاي مقاومتي با المانهاي حس گر فلزي را شرح مي دهيم. اين وسايل معمولاً آشكار سازهاي دماي مقاومتي ناميده مي شوند. ترموسترهاي مقاومتي كه انتهاي نيمه هادي استفاده مي كنند ترموستر ناميده شده و بعداً شرح داده مي شوند.

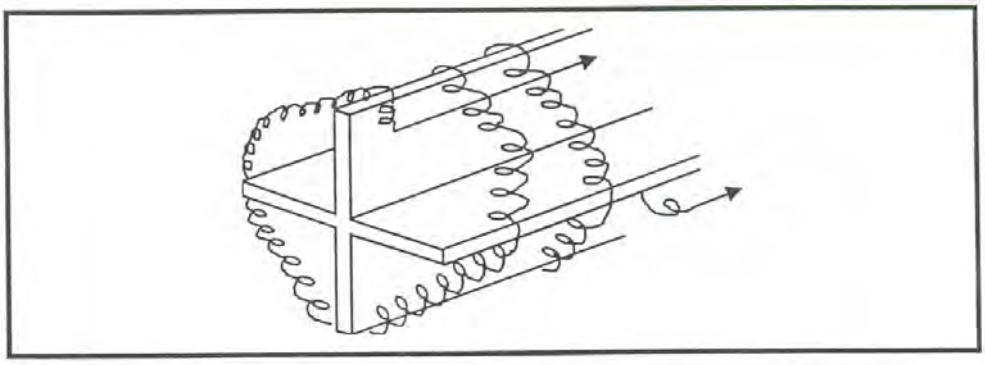
www.icheh.com

تاريخچه RTD :

در همان سالي كه Seebeck اين كشف را در مورد ترموالكتريسيتي انجام داد، سر هامفري ديوي اعلام كرد كه مقاومت فلزات يك وابستگي دماي مشخص را نشان مي دهد. 50 سال بعد، سر ويليام سيمنز استفاده از پلاتين به عنوان المنت در يك ترمومتر مقاومتي را ترجيح داده به نظر مي رسد انتخاب او صحت بيشتري داشت زيرا پلاتين تا امروز نيز به عنوان المنت اوليه درتمام ترمومترهاي مقاومتي با دقت بالا بكار مي رود. درحقيقت، آشكار ساز دماي مقاومتي پلاتيني يا PRTD امروزه به عنوان يك استاندارد درون يابي از نقطه اكسيژن [illegible] تا نقطه سنگ سرمه [illegible] بكار مي رود. پلاتين بخصوص براي اين كار مناسب است زيرا در برابر دماهاي بالا مقاومت مي كند در حاليكه پايداري و خطي بودن خوبي از خود نشان مي دهد.

ساختار كلاسيك RTD با استفاده از پلاتين توسط Meyers. Closing در سال 1932ارائه شد. دويك كويل مارپيچي از پلاتين را به بوريك شبكه ميكا پيچيد و مجموعه را همانطور كه در شكل 13نشان داده شده درون يك تيوپ شيشه اي نصب كرد. اين ساختار كشش سيم را مي نيمم و مقاومت راماكزيمم كرد. اگرچه اين ساختار يك المنت بسيار پايدار ايجاد مي كند ولي تماس حرارتي بين پلاتين و نقطه مورد اندازه گيري ضعيف است. اين امر باعث افزايش زمان عكس العمل حرارتي مي شود.

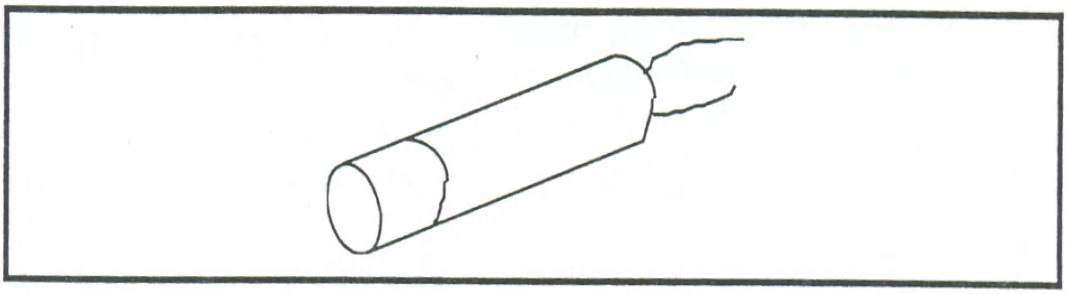
شكنندگي ساختار امروزه استفادة آن را تاحد استاندارد آزمايشگاهي پايين آورده است.



شكل 13.

www.icheh.com

در يك تكنيك ساختاري محكم تر، سيم پلاتين مطابق شكل 14به دور يك بوبين شيشه اي يا سراميكي پيچيده مي شود. پيچيش تأثير نواحي نزديك كويل را براي حداقل كردن پيك آپ مغناطيسي و صداي آن را كاهش مي دهد. در ابتدا كه سيم به دور بوبين پيچيده مي شود، مجموعه توسط يك شيشه مذاب كوتينگ پوشيده مي شود. فرآيند پوشاندن باعث اطمينان از حفظ يكپارچگي RTD تحت نوسان زياد مي شود ولي انبساط فلز پلاتين در دماهاي بالا رانيز محدود مي كند. بجز اينكه ضرايب انبساط پلاتين و بوبين بهم وابسته مي شوند، با تغيير دما تنش در سيم ايجاد مي شود كه باعث تغيير مقاومت در اثر نيروي كشش مي شود. اين امر مي تواند باعث تغيير دائمي مقاومت سيم شود.

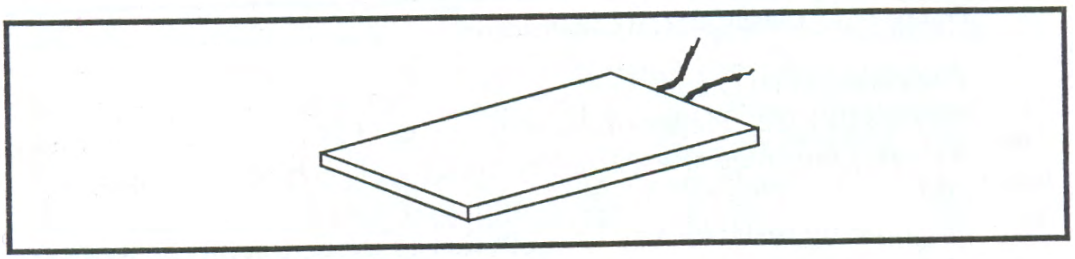


شكل 14.

RTD هاي فيلم فلزي :

در جديدترين تكنيك ساختاري يك فيلم دوغاب فلزي – شيشه اي يا پلاتيني بر يك مادة سراميكي همواره كوچك ته نشين يا غربال مي شوند. با يك سيستم نيروي پوشيده و مهروموم مي شود (شكل 15) . RTD مينيممي احيا جايگزين در زمان مجموع را ترجيح داده و نسبت به مقاومت افزايش يافته براي يك سايز داده شده فايده بيشتري دارد. به دليل تكنولوژي ساخت، سايز ابزار كوچك است كه اين بدين معناست كه مي تواند سريعاً به تغييرات پله اي دما پاسخ دهد. RTD هاي فيلمي هم اكنون نسبت به همتاهاي دست ساز خود پايداري كمتري دارند ولي به دليل محاسنشان از نظر سايز و هزينه توليد كم عمومي شده اند.

www.icheh.com

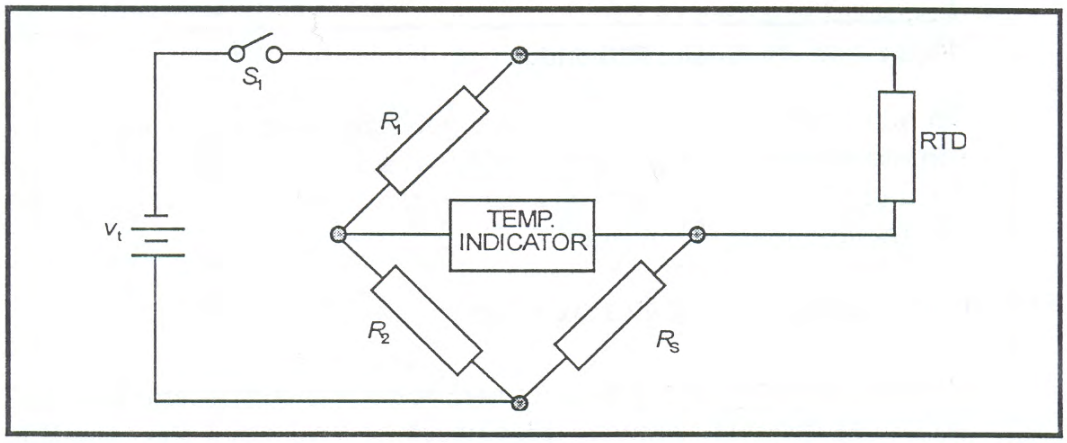


شكل 15.

اندازه گيري مقاومت :

تا چند هزار اهم است. 10Ω پلاتين از RTDمقادير رايج مقاومت براي يك محدوده رايج ترين مقدار 100Ω در $0^{\circ}C$ است. ضريب دمايي استاندارد سيستم پلاتين [redacted] است. اين مقدار α متوسط شيب از 0 تا 100Ω است.

رايج ترين روش براي اندازه گيري يك RTD استفاده از مدار پل Wheatstune است. همانطور كه در شكل 16آمده است. فصل 3را براي جزئيات اين مدار ببينيد. ولتاژ خروجي پل يك نشانه غير مستقيم از مقاومت RTD است. پل معمولاً از يك منبع توان DC بسيار پايدار، سه رزيستور دقت بالا كه ضريب دمايي خيلي پايين دارند ويك آمپلي فاير مسدور كننده ورودي بالا براي اندازه گيري تغييرات مقاومت با دماي RTD استفاده مي كند.



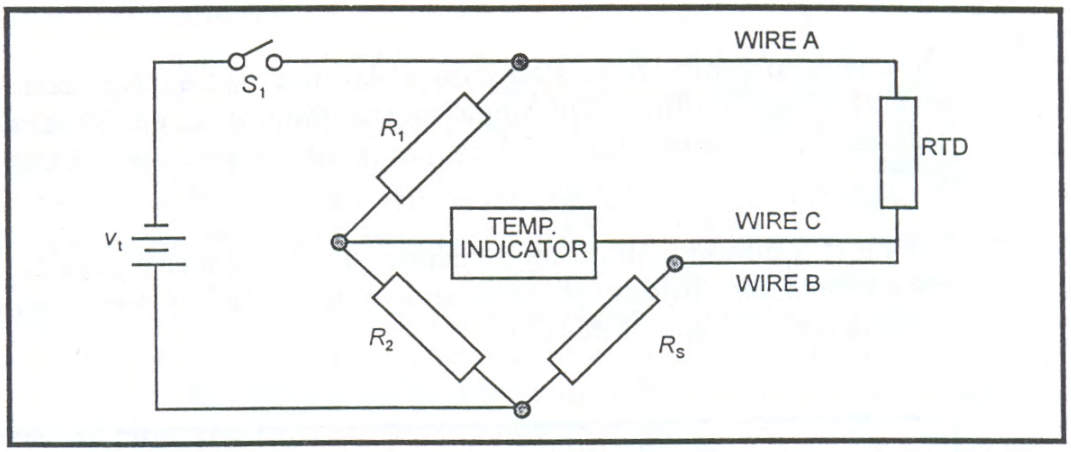
شكل 16.

RTD معمولاً روي تجهيزات فرآيند يا لوله ها قرار دارد و مدار اندازه گيري چندين فوت يا صدها فوت دورتر در يك اتاق كنترل در فرآيند قرار دارد. چون هر دو تاي شيب و مقادير مطلق مقاومت RTD نوعي كوچكند، طول سيم RTD تا مدار پل

www.icheh.com

Wheatstone مي تواند كافي باشد. بخصوص وقتي كه ما به اين امر كه سيم هاي اندازه گير متصل به سنسور ممكن است چند اهم يا حتي ده ها اهم باشند، توجه كنيم. يك مقاومت مسير كوچك مي تواند باعث خطاي بالا در اندازه گيري دماي خروجي شود. به عنوان مثال ، سيم مسير 10 دريك RTD واقع روي زمين باعث خطاي [redacted] در اندازه گيري مي شود. اگرچه ضريب دمايي سيم مسير مي تواند باعث خطاي قابل توجهي شود. روش استاندارد براي اجتناب ازاين مشكل استفاده از يك اتصال سه سيمي درمدار اندازه گير پل Wheatstone مي باشد (شكل 17).

دراين مدار ، اگر سيم هاي A , B دقيقاً از نظر طول با هم هماهنگ شوند تأثيرات منع كننده آنها از بين مي رود زيرا هر كدام در يك پايه پل قرار دارند. سيم سوم Cبه عنوان يك مسير حسگر عمل كرده و باعث جريان خيلي كم مي شود (در محدوده ميكروآمپر) .



شكل 17.

اندازه گيري مقاومت چهار سيمي :

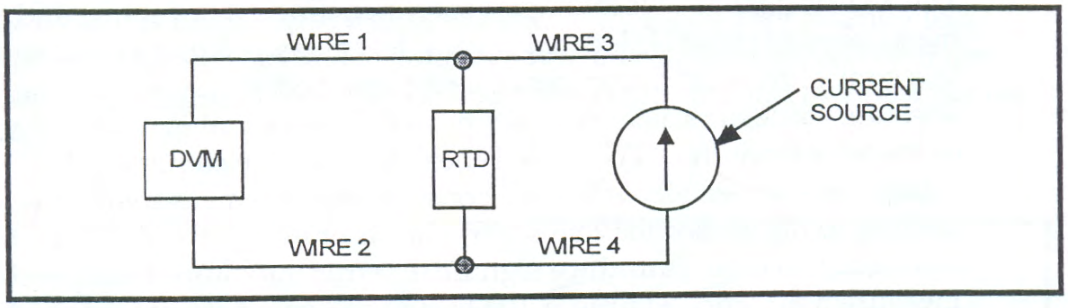
تكنيك استفاده از يك منبع جريان در يك DVM خارجي ، مانند شكل 18، مشكلات مختلف روش پل Wheatstone را براي اندازه گيري مقاومت يك RTD حل مي كند. ولتاژ خروجي خوانده شده توسط DVM با مقاومت RTD نسبت مستقيم دارد.

بنابراين تنها يك معادله تبديل براي تبديل از مقاومت به دما لازم است. ولتمتر ديجيتالي

www.icheh.com

تنها افت ولتاژ در RTD اندازه گيري كرده ونسبت به طول سيم هاي مسير حساس نيست.

يكي از معايب سيستم 4 سيمي اين است نسبت به پل سه سيمي يك سيم بيشتر نياز دارد. اين امر با توجه به دقتي كه در اندازه گيري دما افزايش مي دهد، هزينه بسيار كمي محسوب مي شود.



شكل 18.

تبديل مقاومت به دما :

RTD نسب به ترموكوپل بسيار خطي تر است اما هنوز نياز به فيت كردن منحني دارد. معادله كالندر – وان دوزن پربالهاي زيادي براي تخمين منحني RTD پلاتين استفاده شده است :

كه R مقاومت در دماي T ، R_0 مقاومت در $T=0°C$ و δ,α ثابت و β صفر است اگر $T>0°C$ و 1/0 است اگر $T<0°C$ باشد.

مقادير دقيق ضرايب δ,α,β با ستت RTD در 4 دماي و حل معادلات حاصل بدست مي آيند. مقادير نوعي براي RTDهاي پلاتين عبارتند از :

$\alpha=1/49$

$\delta=1/49$

اگر $T<0°C$ **و** $\beta=0$ **اگر** $T>0°C$ $\beta=0$

مثال 1:

مسأله : نسبت مقاومت را براي يك RTD پلاتين با $R_0=100\Omega$ ، $\alpha=0.004$ و $\delta=1.4$ زماني كه $T=-200°C$ است محاسبه كنيد.

www.icheh.com

حل : چون T از $^{\circ}C$ بزرگتر است، β لذا معادله كالندروان – نورن (10)بصورت زير مي شود :

$$R = R_0 + R_0 \alpha \left[T - \delta \left(\frac{T}{100} - 1 \right) \left(\frac{T}{100} \right) \right]$$

$$\frac{R}{R_0} = 1.392$$

ترموسترها :

نظير RTD ، ترموستر نيز يك رزيستور حساس به دماست . درحالي كه ترموكوپل يك وسيله اندازه گيري تغيير پذير و RTD خطي ترين است ، كلمه اي كه بهتري نحو ترموستر را شرح دهد، «حساس» مي باشد. ترموستر با سه نوع مهم سنسور بيشترين مقدار تغيير دما رانشان مي دهد.

ترموسترها عموماًاز مواد نيمه هادي تركيب شده اند . اگر چه واحدهاي مثبت ضريب دما موجودند ولي اغلب ترموسترها ضريب دماي منفي دارند كه مقاومت آنها با افزايش دما كم مي شود. ضريب دماي منفي مي تواند به بزرگي چند درصد بر درحه سلسيوس باشد كه باعث مي شود مدار ترموستر بتواند تغييرات دقيقه اي دما را كه در يك RTD يا مدار ترموكوپل قابل مشاهده نيست، نشان دهد.

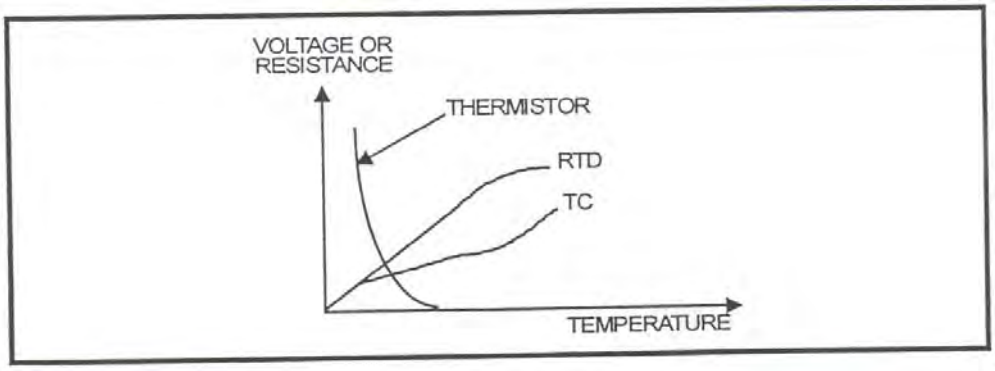
هزينه اين حساسيت بالا از دست رفتن خطي بودن است ، همانطور كه در منحني هاي شكل 19نشان داده شده است. ترموستر يك وسيله بسيار غير خطي است كه تاحد زيادي به پارامترهاي فرآيند بستگي دارد. در نتيجه ، سازندگان منحني هاي ترموستر استانداردي نظير منحني هاي RTD و ترموكوپل ندارند.

يك منحني ترموستر منفرد مي تواند بسيار نزديك معادله Steinhart-Hart باشد :

$$\frac{1}{T} = A + B \ln R + C (\ln R)^3$$

T دما (K) ، R مقاومت ترموستر Ω و Cو B و A ثابتهاي فيت كردن منحني هستند.

www.icheh.com



شكل19.

C و B و A با انتخاب سه نقطه از داده هاي منحني منتشر و حل سه معادله بطور همزمان بدست مي آيند . هنگامي كه نقاط به گونه اي انتخاب شوند كه بيش از 1 OC از مركز عددي محدوده دمايي ترموستر دورتر نباشند، اين معادله به يك فيت منحني مي‌رسد.

مثال 2:

دارد : Sternhart0Hartمسأله : يك ترموستر نوعي ضرايب زير را براي معادله

$$A=1/125\times10^{-3}/K$$
$$B=2/347\times10^{-4}/K$$
$$C=8/526\times10^{-8}/K$$

دما را زماني كه مقاومت 4 OΩ باشد محاسبه كنيد .

حل : با استفاده از معادله 12:

$$\frac{1}{T}=A+B\ln(R)+C(\ln R)^3$$
$$\frac{1}{T}=1/125\times10^{-3}+2/347\times10^{-4}\ln(4\times10^{3})+8/526\times10^{-8}(\ln4\times10^{3})^3$$
$$\frac{1}{T}=1/125\times10^{-3}+1/947\times10^{-4}+0/048\times10^{-6}$$
$$\frac{1}{T}=3/126\times10^{-3}/K$$
$$T=472/5^{\circ}C$$

كوششهاي زيادي براي توسعه ترموستهايي كه خواص نزديك خطي داشته باشند، انجام شده است. اينها عموماً ابزارهاي سه يا 4 مسيره هستند كه نياز به رزيستورهاي

www.icheh.com

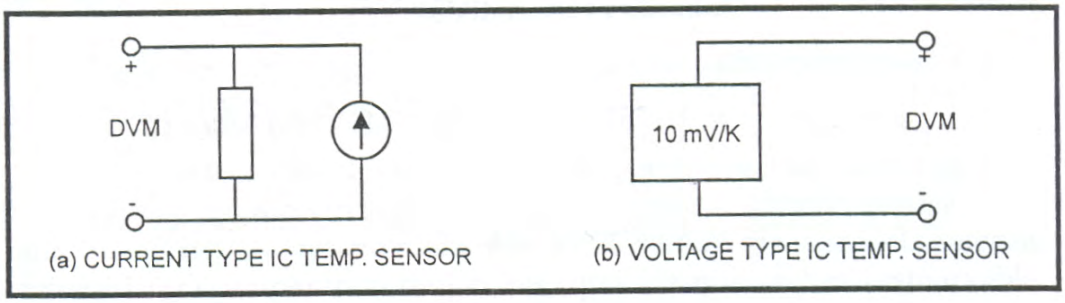
خارجي جهت خطي كردن منحني دارند. سيستم هاي تحصيل داده مدرن با ميكروپروس ها اين نوع ازخطي كردن سخت افزاري را غيره ضروري كرده اند. حساسيت بالاي ترموستر باعث فوايد اندازه گيري زيادي مي شود. اندازه گيري مقاومت 4 سيمي مثل مورد RTD ها نياز نيست. به عنوان مثال ، يك مقدار رايج ترموستر [illegible] است. با يك ضريب دماي [illegible] ، يك اندازه گيري براي مقاومت [illegible] تنها [illegible] خطا ايجاد مي كند. اين حالت 500 برابر كمتر از حالت مشابه در RTD است.

به دليل نيمه هادي بودن، ترموستر ها پيش از RTD ها و ترموكوپلها مستعد كاليبره شدن دائمي در دماهاي بالا هستند. استفاده از ترموستر عموماً تنهابه چند درجه سلسيوس محدود مي شود و سازندگان هشدار مي دهند كه قرار دادن در محدوده هاي وسيع هر چند بسيار كمتر از محدوديت عملياتي ماكزيمم، مي تواند باعث شود ترموستر از خطاي خاص خود خارج شود.

ترموستر ها مي توانند بسيار كوچك ساخته شوند به طوري كه سريعاً به تغييرات دما پاسخ دهند. همچنين وزن حرارتي كم آنها را مستعد خطاهاي خودگرمايشي مي كند. ترموستر ها نسبت به RTD ها يا ترموكوپلها شكننده تر بوده ، جهت جلوگيري از شكستن يا جدا شدن پيوندها بايد به دقت نصب شوند.

سنسورهاي دما با مدار يكپارچه :

يكي بدعت هاي اخير در اندازه گيري دما ابزارهاي اندازه گيري دما با مدار يكپارچه مي باشد اين وسايل به هر دو صورت با شكلهاي خروجي جريان و ولتاژ موجودند (شكل 20) . هر دو حالت خروجي با نسبت خطي با دماي مطلق ايجاد مي كنند. مقادير كلي [illegible] مي باشند.



www.icheh.com

شكل20- سنسورهاي دما با مدار يكپارچه

بجز اين حقيقت كه آنها يك خروجي خيلي خطي با دما را ترجيح مي دهند اين وسايل تمام معايب ترموسترها را تقسيم مي كنند. آنها ابزارهاي نيمه هادي بوده ، لذا محدوده دمايي خاص دارند. مشكلات مشابه خود گرمايشي و شكنندگي وجود داشته و اين ابزارها به يك منبع توان خارجي نياز دارند. سنسورهاي دما با مدار يكپارچه عموماً در موارد كنترل نقطه اعلام يا on-off بكار مي روند.

فصل چهارم

www.icheh.com

دبي سنج ها

مقدمه

اندازه‌گيري جريان يكي از مهمترين جنبه‌هاي كنترل فرايند است و در حقيقت رايج‌ترين پارامتر اندازه‌گيري فرايندها مي‌باشد. دبي‌سنج‌ها براي تعيين مقدار سيال عبوري از لوله به كار مي‌روند. در اين گزارش، سعي شده است تا طبيعت جريان و عوامل موثر بر آن و انواع دبي‌سنج‌هاي رايج شرح داده شود و قوانين عملكرد انواع دبي‌سنج‌ها و مزايا و عيوب آنها توضيح داده شود.

جريان عموما توسط اندازه‌گيري سرعت در يك سطح مقطع مشخص اندازه‌گيري مي‌شود و دبي حجمي با رابطه ساده $Q=AV$ بدست مي‌آيد. در اينجا A سطح مقطع لوله و V سرعت سيال است.از عوامل موثر بر دبي جريان در لوله‌ها عبارتند از : سرعت سيال، اصطكاك سيال درتماس با لوله، ويسكوزيته و دانسيته سيال.

سرعت سيال به هد فشار بستگي داشته و توسط نيروي جريان درون لوله ايجاد مي‌شود. هد فشار بيشتر مسبب دبي بيشتر و متعاقبا دبي حجمي بزرگتر مي‌شود. اندازه لوله نيز بر دبي جريان موثر است براي مثال دو برابر كردن قطر لوله دبي جريان را چهار برابر مي‌كند. اصطكاك در لوله باعث كاهش دبي سيال درون لوله شده و لذا به عنوان يك فاكتور منفي در نظر گرفته مي‌شود و دبي سيال در نزديكي ديواره لوله را كاهش مي‌دهد، لوله صاف و تميز باعث كاهش تاثير اصطكاكي بر دبي سيال مي‌شود.
ويسكوزيته نيز بر دبي جريان تاثير منفي دارد؛ ويسكوزيته مايعات با افزايش دما كاهش مي‌يابد ولي در بعضي ديگر، از يك حد دمايي به بعد شروع به افزايش مي‌كند.
در كل مي‌توان گفت ويسكوزيته زيادتر سيال منجر به دبي كمتر جريان مي‌شود.
از عوامل موثر بر انتخاب دبي‌سنجها، دقت و اطمينان‌پذيري مي‌باشد؛ اندازه‌گيري غير دقيق منجر به خسارت به تجهيزات و محصولات كارخانه مي‌شود و با اندازه‌گيري دقيق مي‌توان مقدار توزيع و يا تركيب سيالات را مشخص كرده و دقيقا سود و زيان توليد را محاسبه كرد.
دبي‌سنجها در دو نوع اساسي تقسيم بندي مي‌شوند : دبي‌سنجهايي كه در مسير جريان مي‌باشند و دبي سنجهايي كه از لوله منشعب شده اند. انتخاب دبي‌سنج مناسب مستلزم شناخت شرايط عملياتي فرايندها و نيازمنديهاي عملكرد تجهيزات است. شرايط عملياتي فرايندها شامل مواردي چون تخمين دبي حداكثر و حداقل فرايند، دما و فشار عملكرد و خواص فيزيكي اعم از ويسكوزيته، دانسيته، فرسايش و خوردگي مي‌باشند.
از معيارهاي ديگر انتخاب دبي‌سنج‌ها در فرايندها توجه به مزايا و عيوب آنها مي‌باشد.
مزايا و عيوب دبي‌سنج‌ها بر اساس معيارهايي چون: دقت، قابل اعتماد بودن، قيمت خريد، هزينه نصب، هزينه مالكيت، سهولت استعمال، قابليت اندازه‌گيري دبي مايع، بخار وگاز، محدوديت‌پذيري، تكرار پذيري، قابليت نگهداري، حساسيت به لرزش، افت فشار، وجود اندازه‌هاي مختلف و ... مي‌باشد.
هر دبي‌سنج، داراي يك سري مشخصه‌ها و مزاياي خاص خود است و با پيشرفت در توليد فرايندها و مواد، مطالبات جديدي به روي اين گونه وسايل گشوده شده است.

انواع گوناگون دبي‌سنج‌ها

دبي‌سنج‌ها را مي‌توان بر اساس تكنولوژي به كار رفته در آنها طبقه‌بندي نمود، لذا دسته‌بندي كلي دبي‌سنج‌ها به صورت زير مي‌باشد:

1- دبي سنجهاي فشاري (Head Meters)
2- دبي سنجهاي سرعتي (Velocity Meters)
3- دبي سنجهاي جرمي (Mass Meters)
4- دبي سنجهاي جابجايي مثبت (Positive Displacement Meters)

يكي ديگر از دسته‌بندي‌هاي رايج دبي‌سنج‌ها به صورت زير مي‌باشد:

- دبي‌سنجهاي اختلاف فشاري
- دبي سنجهاي مكانيكي
- دبي سنجهاي الكترونيكي
- دبي سنجهاي جرمي

ما در اينجا دسته‌بندي اول را براي شرح انواع دبي‌سنج‌ها به كار مي‌گيريم.
بعضي از دبي‌سنجها دبي جريان را مستقيما و بدون واسطه گزارش مي‌دهند؛ دبي‌سنج‌هاي جرمي از اين نوع هستند در حاليكه دبي‌سنج‌هاي حجمي بدين گونه نبوده و به طور غير مستقيم توسط اندازه‌گيري افت فشار يا سرعت سيال و يا ... دبي را گزارش مي‌دهند.

1- دبي سنجهاي فشاري (Head Meters) :

هد مترها يا دبي سنجهاي اختلاف فشاري رايج‌ترين نوع وسايل اندازه‌گيري جريان در صنعت مي‌باشند و به طور غير مستقيم، دبي جريان سيال را به كمك افت فشار ايجاد شده در سيال توسط يك مانع بر سر جريان و سپس اندازه‌گيري اين افت فشار بدست مي‌آورند. با استفاده از ضرايب تبديل مرتبط با نوع هدمتر مورد استفاده و قطر لوله ، افت فشار به دبي حجمي تبديل مي‌شود.
از معادله پيوستگي با فرض ثابت بودن دانسيته سيال (سيال تراكم ناپذير) خواهيم داشت:

اين معادله يكي از مهمترين روابط در مكانيك سيالات است و بيانگر آن است كه كاهش قطر لوله سيالات پايا و يكنواخت، منجر به افزايش سرعت سيال مي‌شود. علاوه براين، در تبديل انرژي به كمك معادله برنولي مشاهده خواهد شد كه هد فشار كل (H) در طول جريان ثابت مي‌ماند.

www.icheh.com

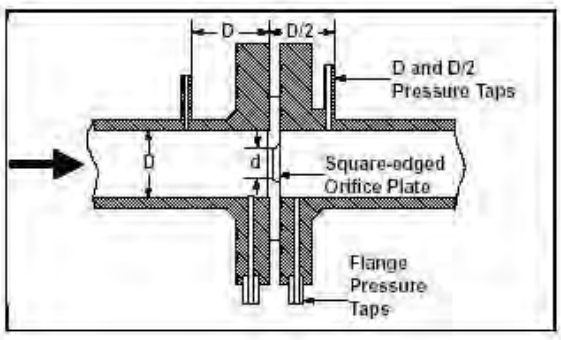
اولين جمله اين معادله هد پتانسيل و يا انرژي پتانسيل ناميده مي‌شود و جمله دوم معروف به هد سرعت يا انرژي جنبشي مي‌باشد. به دليل ثابت بودن مجموع انرژي پتانسيل و جنبشي، واضح است كه افزايش سرعت همراه با كاهش انرژي پتانسيل است. اساس تمامي هدمترها مبتني بر اين رابطه بين سرعت و فشار مي‌باشد.

مدلهاي متداول اين دسته دبي‌سنجها در زير شرح داده شده است :

: Orifice Plates

محبوبترين و متداولترين وسيله اندازه‌گيري جريان مي‌باشد. اساس كار آن بدين گونه است كه اختلاف فشاري كه در طول اين وسيله توسط يك صفحه واقع در خط فرايند ايجاد شده است اندازه‌گيري مي‌شود تا دبي جريان تعيين شود.

سه نوع متداول Orifice Plate وجود دارد كه عبارتند از : هم مركز، مختلف المركز و قطعه‌اي (Segmental). اريفيس پليت هم مركز ساده‌ترين و ارزانترين هدمتر است (شكل 1).



شكل1- نمايي از اريفيس پليت

اريفيس پليت مشابه عملكرد وسايل ابتدايي، به منظور توليد افت فشار،جريان سيال را در طول مسيرخودش به هم مي‌فشرد؛ نتيجه آن كه فشار سيال درابتداي جريان بيشتر از فشار جريان در انتهاي جريان مي‌باشد. افت فشار ايجاد شده متناسب با مجذور سرعت سيال است.

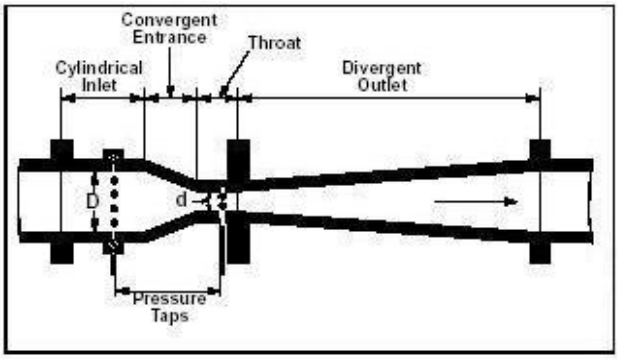
مزيت اصلي اين وسيله نداشتن قطعات متحرك و قيمت پايين آن مي‌باشد (خصوصا آنكه با اندازه لوله افزايش نمي‌يابد) و به خوبي جريانهاي درهم تميز را اندازه‌گيري مي‌كنند.

دقت اندازه‌گيري اين وسيله به چگونگي نصب ، نسبت سطح لوله و خواص سيال بستگي دارد و بايد در لوله‌هاي مستقيم نصب شود.

: Venturi Tubes

دبي سنج ونتوري شامل يك قسمت ورودي مخروطي شكل همگرا مي‌باشد كه در طول آن سطح مقطع جريان كاهش يافته و سرعت افزايش مي‌يابد. متعاقب اين عمل، سرعت افزايش يافته و هد فشار كاهش مي‌يابد. قسمت واگراي ونتوري فشار سيال را به حالت اوليه بر مي‌گرداند. از افت فشار ايجاد شده در قسمت همگراي دبي‌سنج مي‌توان دبي جريان را بدست آورد. گلوگاه استوانه‌اي ونتوري مكان اندازه‌گيري افت فشار ايجاد شده در واحد سطح مي‌باشد.

ونتوري تيوبها در مواردي كه نياز به افت فشار كم و دقت بالاي اندازه‌گيري است استفاده مي‌شوند و عمدتا در لوله‌هاي قطور، شبيه مواردي كه در صنايع آب و فاضلاب يافت مي‌شود به كار مي‌روند زيرا شيب ملايم آن به جامدات معلق در مايع اجازه حركت مي‌دهد. لذا براي اندازه‌گيري پسابها و دوغابها (يا به عبارتي مايعات ويسكوز يا حاوي مقدار زيادي از جامدات چسبناك) مناسب مي‌باشند. عيب اصلي آن قيمت زياد آن مي‌باشد و دقت آن نسبت به اريفيس كمتر است مگر آنكه جريان كاليبره شده باشد.



شكل 2 - نمايي از ونتوري تيوب

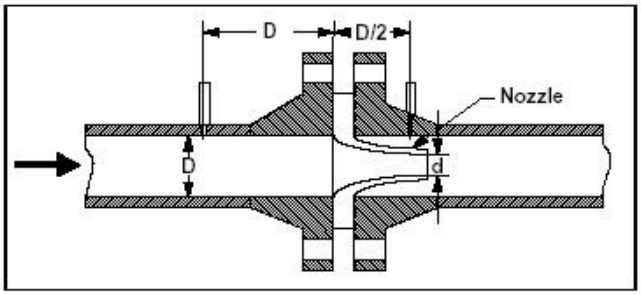
: Flow Nozzle

نازلهاي جريان ممكن است به عنوان ونتوري تيوب تغييريافته تلقي شوند . دهنه نازل يك مانع بيضوي شكل در برابر جريان است و خروجي آن هيچ سطحي براي بازيافت فشار ندارد (شكل3).

Tapهاي فشار در فاصله‌اي حدود نصف قطر لوله را در خروجي و در فاصله‌اي به اندازه تمام قطر را در ورودي لوله گرفته‌اند.

www.icheh.com

نازل جريان ، براي سنجش دبي جريانهاي سرعت بالا به كارمي‌رود(عدد رينولدز بالاي 50000).
افت فشار نازل جريان، بين افت فشارهاي ونتوري تيوب و اريفيس پليت است(30 الي 95 درصد).



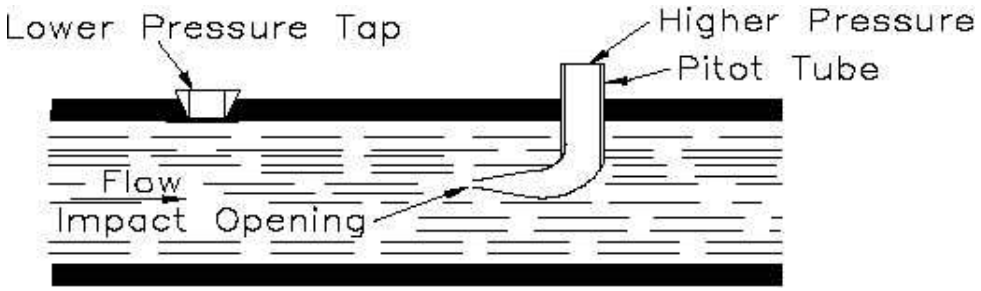
شكل 3 - نمايي از نازل جريان

: Pitut Tubes
لوله‌هاي پيتوت (پيتوت تيوب) وسيله‌اي جهت اندازه‌گيري سرعت محلي(local) جريان است. پيتوت تيوبها شامل دو لوله مي باشند كه يكي به نام Static Tube و ديگري به نام Impact Tube مي‌باشد مقطع Impact Tube عمود بر جهت جريان است و مقطع Static Tube در راستاي جهت جريان است. دو پايه تيوبها توسط پايه‌هاي يك مانيتور (يا يك وسيله معادل جهت اندازه‌گيري اختلاف فشار) به هم وصل شده‌اند. Static Tubes به دليل آن هيچ گونه مولفه سرعتي عمود بر سطح مقطع آن وجود ندارد فشار استاتيكي را اندازه‌گيري مي‌كند.Impact Tube فشار استاتيكي و فشار ديناميكي (به دليل وجود انرژي جنبشي) را اندازه‌گيري مي‌كند. بر حسب هد مي‌توان گفت Impact tube هد فشار استاتيكي به اضافه هد سرعت را اندازه‌گيري مي‌كند. اختلاف فشار اندازه‌گيري شده در پيتوت تيوب متناسب با مجذور سرعت است:

$$V=\sqrt{\frac{2\Delta P}{\rho}}$$

پيتوت تيوبها كاربرد محدودي در صنايع دارند زيرا به راحتي توسط يك ماده خارجي مسدود مي‌شوند و دقت آنها به پروفايل سرعت كه اندازه‌گيري آن مشكل است بستگي دارد.
كاربرد عمده آنها اندازه‌گيري سرعت جريان هواي كم سرعت در سيستم‌هاي تهويه است و بيشتر براي اندازه‌گيري دبي گازها به كار مي‌روند.

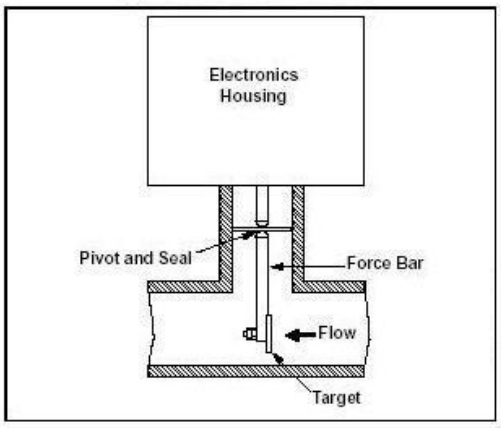
www.icheh.com



شكل 4- نمايي از پيتوت تيوب

:Target Meters

شامل يك ديسك يا target مي‌باشد كه در مركز لوله قرار گرفته است (شكل 5). سطح ديسك با يك زاويه مناسب نسبت به جريان قرار دارد. سنجش دبي جريان به طور مستقيم توسط نيرويي كه سيال به ديسك وارد مي‌كند انجام مي‌گيرد. اين نوع دبي‌سنج براي پسابها و سيالات خورنده مناسب مي‌باشد و در ضمن به هيچگونه اتصالات خارجي اعم از آب‌بندها (Seal) يا سيستم‌هاي Purge احتياج ندارد.براي تعيين اندازه بهينه ديسك و كاليبره كردن آن به منظور كاركرد مناسب اطلاعات زيادي مورد نياز است.



شكل5- نمايي از دبي سنج تارگت

: Elbow Tap Meters

اين دبي‌سنج به كمك يك زانويي 45 درجه درون جريان سيال كار مي‌كند. tap فشار بالا از بيرون زانويي گرفته مي‌شود و tap فشار پايين از داخل زانويي گرفته مي‌شود كه اختلاف فشاري متناسب با دبي جريان ايجاد مي‌كند. اندازه‌گيري اختلاف فشار به نيروي گريز از مركز سيال جاري در زانويي وابسته است.

www.icheh.com

از اين رو گاز به دليل دانسيته پايين براي اين دبي‌سنج‌ها مناسب نيست و همچنين انحناي كم در زانويي، اختلاف فشار بزرگتري را نسبت به انحناي طولاني ايجاد مي‌كند. افت فشار يك Elbow tap از يك زانويي بيشتر نمي‌باشد دقت Elbow Tap Meters حدود 5∓ درصد مي‌باشد.

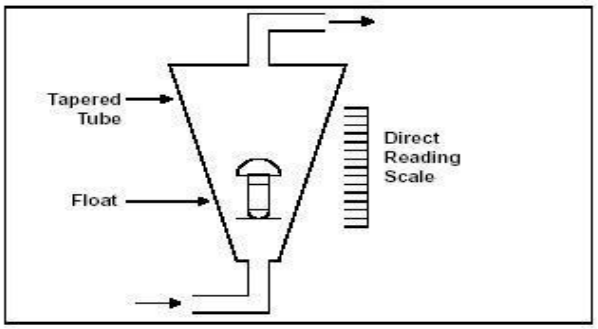
: Rotameters

روتامترها (يا دبي‌سنج‌هاي سطح متغير) عمدتا از يك لوله شيشه‌اي كه قطر آن با شيب ملايم كم مي‌شود ساخته شده اند و به طور عمودي نصب شده و جريان به آن وارد مي‌شود (شكل 5).

جسم شناوري كه به اندازه پايه لوله شيشه‌اي است درون آن قرار گرفته و متناسب با مقدار جريان به سمت بالا حركت مي‌كند. به دليل آن كه قطر لوله در بالا نسبت به پايين آن بزرگتر است جسم شناور در نقطه‌اي از لوله شيشه‌اي نسبت به كف آن قرار مي‌گيرد كه اختلاف فشار بين سطوح بالايي و پايين با وزن جسم شناور به تعادل برسد. در اكثر كاركردهاي روتامتر، دبي مستقيما از درجه‌بندي‌هايي كه روي لوله شيشه‌اي نوشته شده است خوانده مي‌شود.

در بعضي موارد يك سنسور اتوماتيك ارتفاع جسم شناور را اندازه مي‌گيرد.

اين گونه روتامترها اغلب از فولاد يا ديگر مواد مقاوم در برابر سيالات فشار بالا ساخته مي‌شوند. روتامترها ممكن است در اندازه‌اي $\frac{1}{4}$ اينچ تا اندازه‌هاي 6 اينچ باشند و نسبت به اريفيس پليت گستره وسيعتري از جريان را با دقت ∓2 درصد را اندازه مي‌گيرند. حداكثر فشار عملكرد آنها موقعي كه از شيشه ساخته شده باشند 300 psig مي‌باشد.



شكل6- نمايي از دبي سنج روتامتر

www.icheh.com

2- دبي سنجهاي سرعتي(Velocity Meters) :

مبناي محاسبه دبي در اين نوع دبي‌سنجها بر اساس سنجش سرعت سيال و سپس توليد سيگنالي متناسب با سرعت سيال است. معادله $Q=AV$ نشان مي‌دهد كه سيگنال توليدي دبي حجمي جريان، خطي است. سرعت‌سنج‌ها معمولا نسبت به هدمترها كمتر به پروفايل سرعت حساس هستند. بعضي از آنها فاقد موانع هستند و به دليل خروجي خطي نسبت به جريان، برعكس دستگاههاي مبتني بر اختلاف فشار هيچ گونه رابطه جذري ندارند.

: Turbine Meters

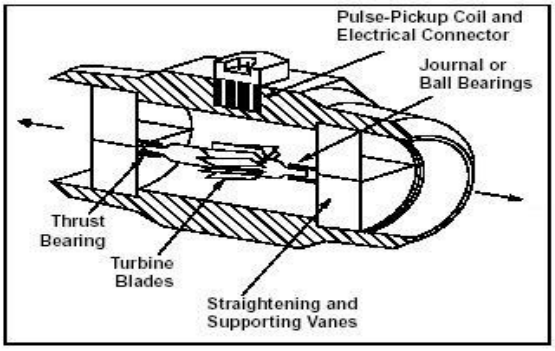
يك دبي سنج توربيني از يك روتور چند تيغه كه توسط ياتاقاني نگه داشته شده است تشكيل شده است و در مقطع لوله عمود بر جريان قرار گرفته است (شكل 7). سيال روتور را متناسب با سرعت سيال مي‌راند و متعاقب آن دبي حجمي جريان بدست مي‌آيد. يك سيم پيچ (Coil) بيرون دستگاه اندازه‌گيري، هنگامي كه تيغه خطوط مغناطيسي سيم‌پيچ را قطع مي‌كند ولتاژ متناوبي توليد مي‌كند؛ هر پالس ولتاژ توليدي بيانگر حجم مايع عبوري مي‌باشد.

اين دبي‌سنج به دليل آن كه روتور آن معمولا از فولاد ضد زنگ ساخته شده با بسياري از سيالات سازگار است. با اين حال لازم است ياتاقان آن كه روتور را براي گردش در سرعتهاي بالا نگه مي‌دارد تميزكاري شود.دبي سنج‌هاي توربيني عمدتا در خطوط لوله‌هايي كمتر از $\frac{1}{2}$ اينچ تا 12 اينچ به كار مي‌روند و سرعت پاسخ آنها بالا بوده و دقت خوبي دارند.

از مشخصه‌هاي ديگر اين دبي‌سنج،تكرار پذيري، قابليت محدوديت‌پذيري عالي و دقت بالاي آنها مي‌باشد و معمولا براي اندازه‌گيري مايعات و گازهاي تميز به كار مي‌روند و براي سيالات ويسكوز و چرخشي مناسب نمي‌باشند. اين وسيله بايد براي هر اندازه‌گيري كاليبره شود و مشابه دبي‌سنج‌هاي اختلاف فشاري (DP) افت فشار زيادي ايجاد مي‌كنند كه قابل بازيافت نمي‌باشد. همچنين قطعات متحرك زيادي دارد كه باعث فرسودگي مي‌شوند.

انجمن گاز آمريكا (AGA) استانداردي براي كار با اين نوع دبي‌سنج‌ها منتشر كرده است كه AGA-7 ناميده مي‌شود. انجمن پتروشيمي آمريكا (API) نيز در اين مورد انتشاراتي داشته است.

www.icheh.com



شكل7- نمايي از دبي سنج توربيني

: Electromagnetic Flowmeters

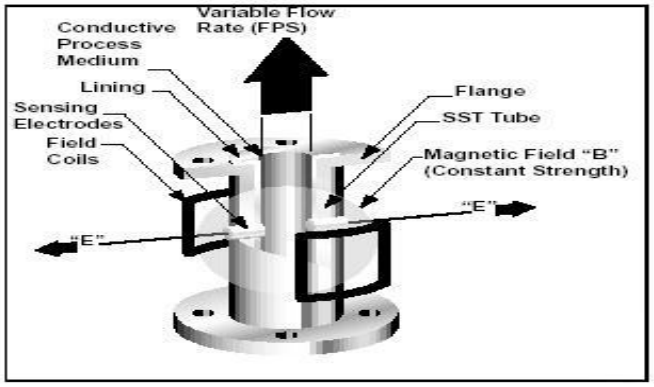
اساس كار سيستم دبي‌سنج‌هاي مغناطيسي مبتني بر قانون القاي مغناطيسي فارادي است بدين صورت كه هرگاه رسانايي در يك ميدان مغناطيسي حركت كند در آن ولتاژ جريان القاء مي‌شود.

مقدار ولتاژ القايي، مستقيما متناسب با سرعت رسانا ، V ، پهناي رسانا، D ، و قدرت ميدان مغناطيسي ، B ، مي‌باشد شكل 8 رابطه بين اجزاء فيزيكي دبي‌سنج مغناطيسي و قانون فارادي را نشان مي‌دهد.

هنگامي كه مايع رسانا از ميدان مغناطيسي با سرعت V عبور مي‌كند الكترودها ولتاژ القايي را دريافت مي‌كنند. پهناي رسانا به فاصله بين الكترودها بستگي دارد (بدنه ايزوله از اتصال كوتاه با ديواره جلوگيري مي‌كند)، تنها متغير اين وسيله سرعت مايع رسانا است و به دليل آن كه قدرت ميدان مغناطيسي و فواصل الكترودها ثابت نگه داشته شده است ولتاژ خروجي ، E ، مستقيما با سرعت متناسب است.

اين دبي‌سنج هيچ گونه قطعه متحركي ندارد و انسدادي در برابر جريان سيال ايجاد نمي‌كند و به دليل آنكه نيازي به دانسيته و ويسكوزيته سيال براي اندازه‌گيري ندارد براي سنجش دبي دوغابها، مايعات خورنده مناسب مي‌باشد. با وجود عدم افت فشار در آنها (به دليل عدم وجود مانع بر سر راه جريان) براي گازها مناسب نمي‌باشد. سيال در اين نوع اندازه‌گيري بايد حداقل رسانايي الكتريسيته را كه وابسته به سازنده دبي‌سنج است را داشته باشد. سيال مورد استفاده بايد رساناي الكتريسيته و غير مغناطيسي باشد.

به طور كل موارد استفاده از اين نوع دبي‌سنج براي سنجش دبي شامل سيالات آبكي، مايعات رسانا، دوغابها و مايعات خورنده مي‌باشد و به طور گسترده در صنايع غذايي و آشاميدني و خمير و كاغذسازي به كار برده مي‌شود.
از مواردي كه نمي‌توان از اين دبي‌سنج‌ها استفاده كرد سيالات نفتي، گازها، هواي متراكم و ... مي‌باشند. از مشخصه‌هاي ديگر اين دبي‌سنج، گران قيمت بودن و سختي نصب آن مي‌باشد.

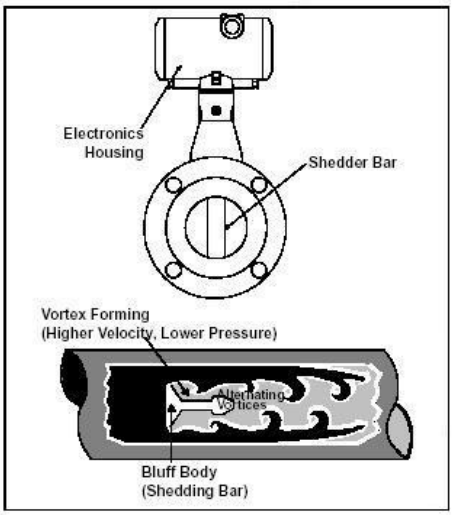


شكل8- نمايي از دبي سنج مغناطيسي

:Vortex Meters

اساس كار دبي‌سنج‌هاي Vortex مبتني بر پديده Vortex Shedding موسوم به اثر وان‌كارمن مي‌باشد.درون آن يك مانع (Bluff Body) است و به هنگام عبور سيال از آن سيال شكافته شده و گردابه‌هاي (Eddies) كوچكي توليد مي‌شود كه در امتداد و پشت مانع جمع مي‌شوند(شكل9). اين گردابه‌ها باعث نوسان فشار مي‌شوند و سپس توسط سنسور اندازه گرفته مي‌شود. فركانس توليد گردابه به طور مستقيم با سرعت سيال متناسب است.

www.icheh.com



شكل 9- نمايي از دبي سنج ورتكس

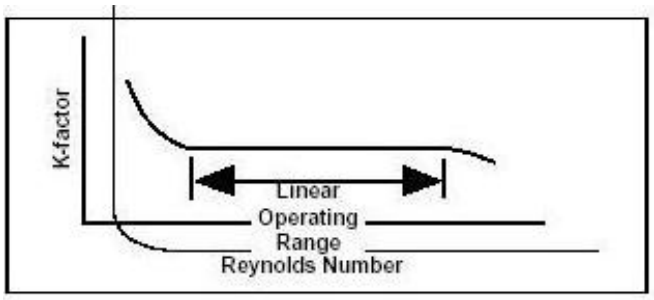
خروجي Vortex وابسته به ضريب k مي‌باشد:

اين ضريب با تغيير عدد رينولدز تغيير مي‌يابد ولي در كل در دامنه‌اي از جريان ثابت مي‌ماند (شكل10). دبي‌سنج Vortex دقت بالايي در سنجش دبي در محدوده تخت نشان داده شده در شكل 10 دارد.

اين دبي‌سنج هيچ گونه قطعه متحركي ندارد و براي سيالات ويسكوز و دوغابها پيشنهاد نمي‌شود همچنين در سيالاتي كه سرعت آنها خيلي كم است به دليل عدم تشكيل گردابه مناسب نمي‌باشد لذا براي ايجاد گردابه لازم است دبي به اندازه كافي زياد باشد.

اين نوع وسيله عمدتا براي اندازه‌گيري دبي بخار به كار مي‌روند ولي مي‌توان براي اندازه‌گيري جريان مايع و گاز هم به كار برد.

از مشخصه‌هاي ديگر آن اين است كه بايد كاملا در لوله قرار بگيرند و قبل و بعد از آن لوله مستقيم باشد. همچنين دقت آنها نسبت به دبي‌سنج‌هاي DP (اختلاف فشاري) مانند اريفيس پليت بيشتر است و نصب آنها نسبتا ساده مي‌باشد.بعضي از مدلهاي آن فشار، دما و دبي جرمي را با هم اندازه‌گيري مي‌كنند.



شكل10- رابطه بين ضريب K وعدد رينولدز

:Ultrasonic Meters

اين دبي‌سنج‌ها جهت تعيين دبي سيال از امواج صوتي استفاده مي‌كنند. پالسهاي مبدل پيزوالكتريك از سيال متحرك با سرعت صوت عبور كرده و سپس سرعت سيال با روشهايي كه در زير شرح داده شده، اندازه گيري مي شود.

روش اول اندازه‌گيري، روش ترانزيت زماني مي‌باشد. در اين روش دو مبدل مقابل هم قرار گرفته‌اند و امواج صوتي عبوري از ميان آنها زاويه 45 درجه با جهت سيال درون لوله مي‌سازند؛ سرعت صوت از مبدل بالا دست تا مبدل پايين دست برابر سرعت ذاتي صوت به اضافه سرعت سيال است. در يك اندازه‌گيري همزمان در دو طرف لوله، مقداري كه (به طور الكتريكي) تعيين مي‌شود بيانگر سرعت سيال است و به طور خطي متناسب با دبي جريان است.

درحاليكه روش ترانزيت زماني در اكثر سيالات به خوبي كار مي‌كند ضروري است كه از گاز يا جامدات به دور باشد تا از پراكندگي امواج صوتي بين مبدلها جلوگيري شود.

روش ديگر اندازه‌گيري اين دبي‌سنج استفاده از اثر دوپلر مي‌باشد. وسايل اندازه‌گيري جريان در اين روش از دو نوع المنت مبدل استفاده مي‌كنند كه در يك طرف لوله قرار گرفته‌اند.

يك موج مافوق صوت با فركانس ثابت توسط يكي از المنتها به سيال ارسال مي‌شود و سپس جامدات و حبابهاي درون سيال، موج صوتي را به المنت مقصد منعكس مي‌كنند. طبق قانون دوپلر در صورت وجود يك حركت نسبي بين المنت ارسال كننده و دريافت كننده موج، فركانس يا طول موج با يك تغيير مكاني همراه است. در دبي‌سنج دوپلر، حركت نسبي اجسام معلق در سيالات، تمايل به فشردن موج صوتي به طول موجهاي كوتاهتر (فركانس بالاتر) دارند. فركانس دريافتي در المنت مقصد با فركانس ارسال

شده مقايسه الكتريكي مي‌شود تا اختلاف فركانسي را كه مستقيما متناسب با سرعت سيال در لوله است محاسبه شود.

در مقايسه با روش ترانزيت زماني ، عملكرد صحيح اين روش اندازه‌گيري مستلزم وجود گازها يا جامدات معلق در جريان مي‌باشد.

با وجود آنكه اندازه‌گيري به روش Ultrasonic مزاياي زيادي اعم از عدم وجود موانع در لوله، كم بودن هزينه سنسور دارند، ولي عملكرد آنها به شدت وابسته به شرايط جريان است به عبارتي دقت آنها به نوع سيال بستگي دارد و همچنين رسوب در لوله باعث كاهش دقت اندازه‌گيري آنها مي‌شود.

3- دبي سنجهاي جرمي (Mass Meters) :

اين نوع دبي‌سنج‌ها دبي جرمي را بر خلاف دبي‌سنج‌هاي حجمي، مستقيما و بدون واسطه اندازه مي‌گيرند. بسياري از چنين دبي‌سنجها، دبي جرمي را از طريق رابطه

بدست مي‌آورند در اين معادله Q_M دبي جرمي و Q_V دبي حجمي و ρ دانسيته سيال است.

اين چنين دبي‌سنج‌ها از تركيب دو وسيله كه يكي سرعت سيال و ديگري دانسيته را اندازه مي‌گيرد تشكيل شده‌اند.ورودي‌ها در يك ريزپردازنده همراه با يك سري اطلاعات اضافي تركيب شده و خروجي به عنوان دبي جرمي گزارش مي‌شود.

با اين حال دستگاههاي معرفي شده در ذيل مستقيما و بدون انجام محاسبات بين حجم و دانسيته اين كار را انجام مي‌دهند.

:Thermal Meters

اساس كار اين وسيله بدين صورت است كه جريان سيال، انرژي گرمايي خود را به المنت حساس به گرما مي‌دهد و سپس با اندازه‌گيري گرماي منتقل شده به المنت جرم سيال عبور كرده محاسبه مي‌شود.

مقدار گرماي جابجا شده به سرعت سيال، ظرفيت گرمايي و هدايت گرمايي سيال بستگي دارد و لذا اين دبي‌سنج مستقل از دانسيته، فشار و ويسكوزيته سيال مي‌باشد.

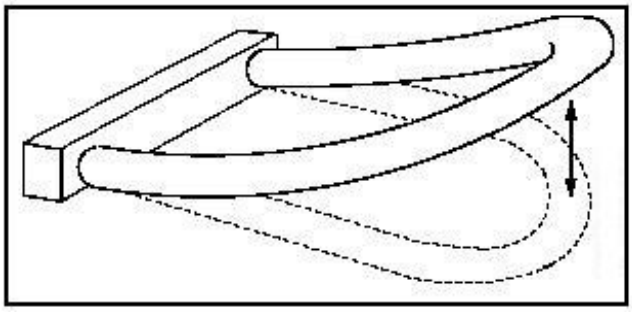
اين دبي‌سنج عمدتا براي اندازه‌گيري جريان گازهاي تميز با ظرفيت گرمايي معين به كار مي‌رود و كاربرد گسترده آن در صنايع پالايش و صنايع شيميايي مي‌باشد و از

www.icheh.com

محدود فناوري‌هايي است كه مي‌توان براي اندازه‌گيري جريان هوا در لوله‌هاي بزرگ استفاده كرد.
از مشخصه‌هاي آن، نداشتن هيچ گونه قطعه متحرك و دقت بالاي آنها در اندازه‌گيري جريان هوا مي‌باشد.

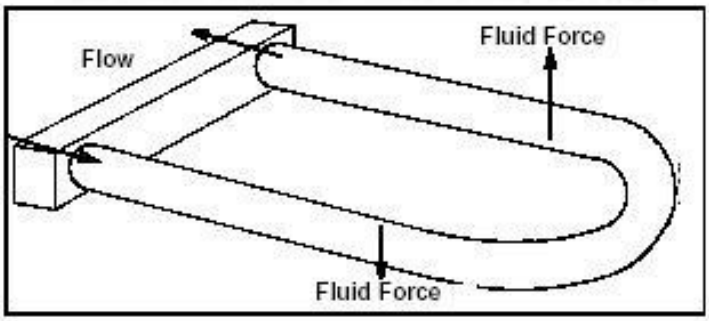
: Coriolis Meters

اين دبي‌سنج از يك لوله U شكل (بدون هيچ گونه مانع) به عنوان سنسور جريان ، تشكيل شده است و تعيين دبي در آن بر اساس قانون دوم نيوتن مي‌باشد.
لوله سنسور توسط نيروي الكترومغناطيسي سيم‌پيچي كه در مركز انحناي لوله قرار گرفته به حركت در آمده و در فركانس طبيعي‌اش ارتعاش مي‌كند (شكل 11).



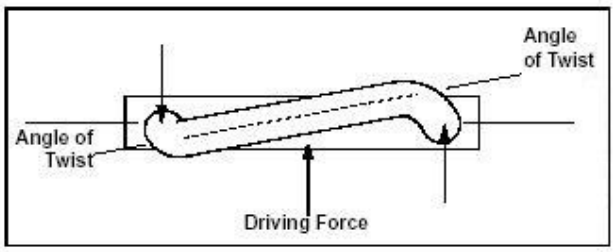
شكل11- نمايي از لرزش لوله سنسور كوريوليس

سيال به داخل لوله سنسور جريان مي‌يابد و مجبور به گرفتن حركت عمودي لوله ارتعاش مي‌شود. وقتي لوله نصفي از سيكل ارتعاش خود را به سمت بالا طي مي‌كند (شكل 12) سيال جريان يافته در لوله ، با كشاندن لوله به سمت پايين در برابر حركت اجباري به سمت بالاي آن مقاومت نشان مي‌دهد.



شكل12- نيروهاي سيال در لوله سنسور كوريوليس

سيال جاري خارج از سنسور يك حركت رو به بالا ناشي از حركت لوله دارد و به محض جريان يافتن به دور انحناي لوله مقاومتي در برابر حركت عمودي لوله نشان نمي‌دهد. اين اختلاف نيروها مسبب پيچش لوله مي‌شود(شكل 13). وقتي كه لوله در نيمه دوم ارتعاشي خود به سمت پايين حركت مي‌كند در جهت مخالف پيچيده مي‌شود. اين پديده پيچش اثر Coriolis ناميده مي‌شود.



شكل13- نمايي از اثر كوريوليس

با توجه به قانون دوم حركت نيوتن، مقدار چرخش لوله سنسور مستقيما به مقدار دبي جرمي سيال جاري در لوله وابسته است. گيرنده‌هاي سرعت الكترومغناطيسي در هر طرف لوله، سرعت ارتعاش لوله را اندازه مي‌گيرند.دبي جرمي توسط اختلاف زماني سيگنالهاي گيرنده سرعت مشخص مي‌شود.در صورت عدم جريان سيال، لوله هيچ‌گونه پيچ خوردگي نداشته و در نتيجه هيچ گونه اختلاف زماني بين سيگنالهاي سرعت وجود نخواهد داشت و در صورت جريان سيال لوله پيچ خورده و بين سيگنالهاي جريان اختلاف زمان ايجاد مي‌شود. اختلاف زمان ايجاد شده مستقيما متناسب با دبي جرمي است.

اين دبي‌سنج به دما، فشار و ويسكوزيته سيال وابسته نمي‌باشد و با بسياري از سيالات در گستره‌اي بزرگي از دبي‌ها كار مي‌كند و در اندازه‌گيري دبي جرمي مايعات، دوغابها و گازها و يا بخارات استفاده مي‌شود. به دليل داشتن ديواره نازك، بايد از اندازه‌گيري سيالاتي كه باعث خوردگي و فرسايش آن مي‌شوند اجتناب كرد. لرزش دستگاه و ضربان سيال بر آن تاثير منفي دارد.

و از مشخصه‌هاي ديگر اين وسيله اندازه‌گيري دقيق دبي جريان است. و مي‌توان در مواردي كه احتياج به كنترل دقيق، مديريت سيالات با ارزش، نقل و انتقال سيالات تحت حفاظت و ... از آنها استفاده كرد.

اين نوع دبي سنج از گرانقيمت‌ترين دبي‌سنج‌هاي موجود مي‌باشد و بعضي از مدلهاي آن دانسيته و غلظت جريان سيال را نيز اندازه‌گيري كنند.

4-دبي‌سنجهاي جابجايي مثبت(Positive displacement meters):

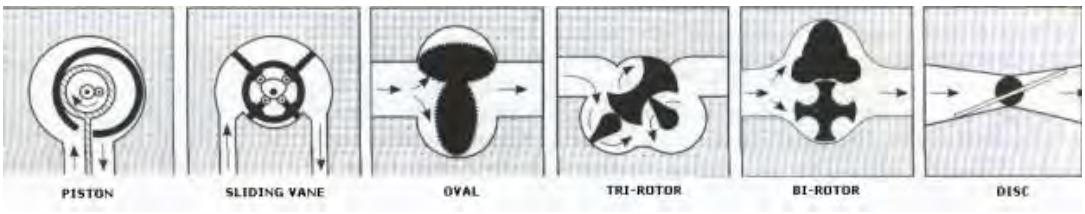
اساس كار اين نوع دبي‌سنجها ، محاسبه دبي جريان حجمي جريان با محصور كردن مقداري از سيال در يك مخزن و سپس تخليه سيال به خروجي مي‌باشد. حجم كل مايع عبوري از اين وسيله در يك پريود زماني از حجم سيال نمونه‌گيري شده و تعداد نمونه‌گيريها بدست مي‌آيد. دبي سيال مستقيما توسط يك ماشين محاسبه‌گر گزارش داده مي‌شود.

هر مخزن متحرك با سيال توسط آب بندهاي باريكي از مخزن بعدي جدا شده است. نيروي مورد نياز دبي سنجهاي جابجايي مثبت از انرژي جريان بدست مي‌آيد.

اين نوع دبي‌سنجها به دليل داشتن قطعات متحرك زياد براي پسابها مناسب نمي‌باشند. موارد استفاده آنها در كل در سيالات يك طرفه مانند اندازه‌گيري آب يا گاز طبيعي يا توزيع سوخت نفتي مي‌باشد. نشتي حول دنده‌ها و پره‌ها باعث ايجاد خطا در اندازه گيري دبي جريان مي‌شود ولي سيالات ويسكوز اين خطا را كاهش مي‌دهند.

براي عملكرد دقيق آنها به يك مكانيسم تصفيه و يا خازن الكتريكي جهت دفع هواي مايعات (يا يك صافي تصفيه گاز) نياز مي‌باشد ولي در كل نشتي زياد سيال از صفحات آب‌بندي، دقت آنها نسبت به ديگر دبي‌سنجها كاهش داده است.

شكل زير چندين مدل از اين نوع دبي‌سنج را نشان مي‌دهد.



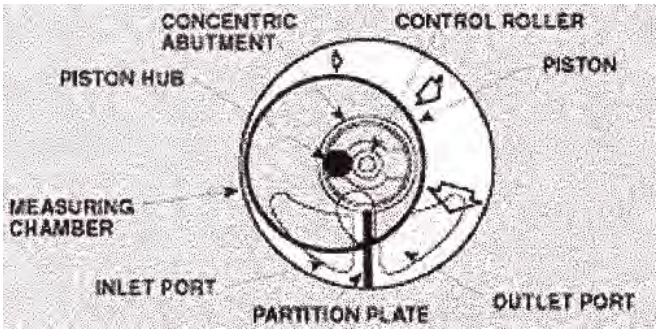
شكل14- نمايي از انواع دبي سنجهاي جابجايي مثبت

:Oscillating Piston

مايع وارد يك مخزن به دقت ماشين كاري شده‌اي كه شامل يك پيستون نوسانگر است مي شود؛ موقعيت پيستون به گونه‌اي است كه مخزن را به چندين قسمت تقسيم مي‌كند.فشار سيال باعث نوسان پيستون وچرخش آن حول توپي مركزي مي‌شود .

www.icheh.com

حركت توپي توسط ديواره آن كه مجهز به يك آهنربا است تشخيص داده مي‌شود. هر چرخش توپي معادل حجم ثابتي از سيال است كه توسط ماشين محاسبه‌گري اندازه‌گيري مي‌شود.لقي كم بين پيستون ومخزن با به حداقل رساندن لغزش مايع باعث اندازه‌گيري دقيق و تكرارپذير در هر سيكل حجمي مي‌شود.ماكزيمم ويسكوزيته مجاز 4000 سانتي‌پوز است.

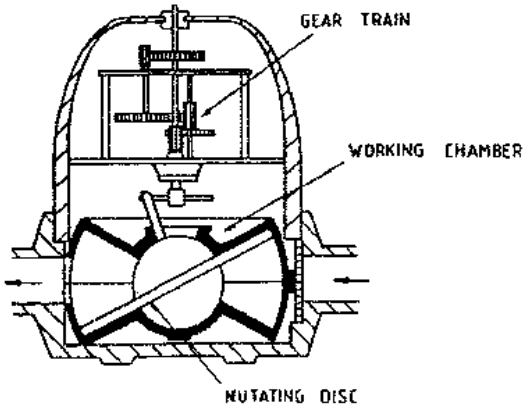


شكل15- نمايي دبي‌سنج Oscillating Piston

:Nutating Disk

مايع وارد يك مخزن به دقت ماشين‌كاري شده‌اي كه شامل يك ديسك لرزان است مي‌شود. فشار سيال، ديسك را به كمك يك دندانه غلتكي به لرزش در مي‌آورد و ديسك شروع به چرخش مي كند. حركت ديسك توسط حركت دنده به يك ماشين محاسبه‌گر دبي انتقال مي‌يابد.

لقي كم بين ديسك و مخزن با حداقل رساندن نشتي ، باعث اندازه گيري دقيق و تكرارپذير در هر سيكل حجمي مي شود.



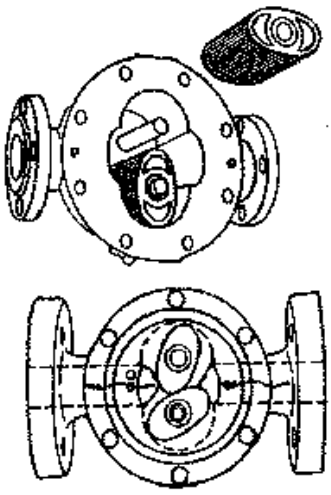
شكل16- نمايي از دبي‌سنج Nutating Disk

:Oval Gear

www.icheh.com

از دو روتور تخم‌مرغي شكل يكسان كه توسط دو شكاف كوچك پيرامون دنده ايجاد شده؛ تشكيل شده است . دنده‌هاي تخم مرغي حجم كل مايع عبوري از مخزن اين وسيله را طي هر عمل گردش جارو مي‌كند ؛ دبي توسط اندازه‌گيري سرعت چرخش محاسبه مي‌شود.

لقي كم بين دنده‌ها نشتي را به حداقل مي‌رساند. در مقايسه با دبي‌سنج Nutating Disk كاليبراسيون آن با ويسكوزيته تغيير نمي‌كند. از معايب اين وسيله تاثير گذاري نوسان بر عمل سنجش دبي مي‌باشد. اين دبي‌سنج براي اندازه‌گيري دبي حلالها و مايعات كم غلظت به كار مي‌رود.



شكل17- نمايي از دبي‌سنج Oval Gear

:Multi-Piston

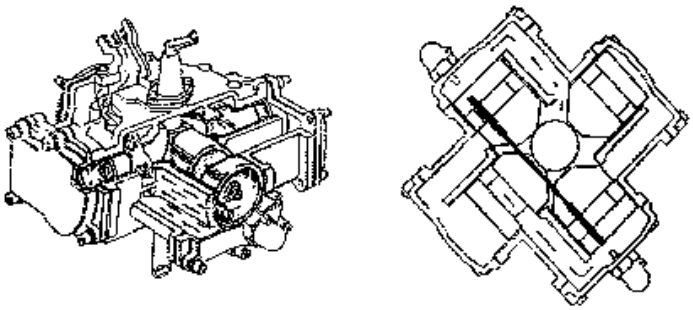
اين نوع دبي‌سنجها به صورت تك پيستوني و چند پيستوني وجود دارند و به طور گسترده در توزيع سوخت و اندازه‌گيري هيدروكربنهاي سبك استفاده مي‌شوند و علارغم پيچيدگي طراحي استفاده از آنها بسيار رايج است .

در نوع چند پيستوني كه در شكل زير نمايش داده شده است پيستونها دوبدو روبروي هم قرار گرفته‌اند و توسط ميل‌لنگهايي به سيستم اندازه‌گير متصل هستند .

نحوه قرار گرفتن پيستونها به گونه‌اي است به هنگام پر شدن سيلندرها از ورودي ، سيلندر مقابل در حال تخليه به خروجي است و در نتيجه سيال با حداقل نشتي جريان مي يابد.

طراحي مذكور به ضربان و لرزش سيال حساس است و لذا براي دبيهاي بيشتر از 100l/min مناسب نمي باشد

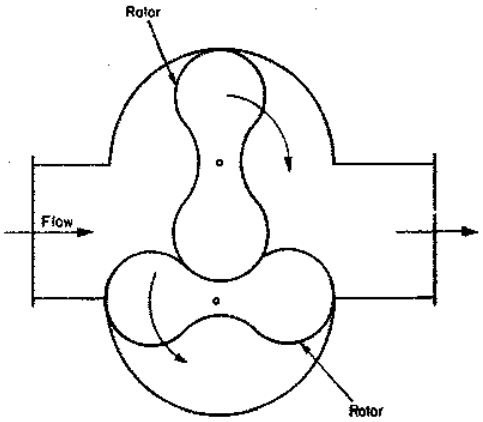
www.icheh.com



شكل18- نمايي از دبي‌سنج Multi-Piston

:Roots

دبي‌سنج Roots در بسياري از موارد مشابه دبي سنج Oval Gears است. پره‌هاي گوشتي(Lobed impellers) در خلاف جهت يكديگر در مخزن دبي‌سنج گردش مي‌كنند؛دنده‌هاي بادامي‌شكل، كل مايع عبوري از مخزن را در هر عمل گردش جارو مي‌كنند. دبي جريان توسط اندازه‌گيري سرعت گردش پره‌ها اندازه گرفته مي‌شود .ضريب كاليبراسيون اين دبي‌سنجها در مقايسه با دبي سنج Nutating Disk با ويسكوزيته تغيير نمي‌كند. ماكزيمم ويسكوزيته مجاز 5000 سانتي‌پوز است.



شكل19- نمايي از دبي‌سنج Roots

عوامل مؤثر بر انتخاب دبي سنجها

حداقل مواردي كه بايد در انتخاب دبي سنجها مورد ملاحظه قرار گيرند عبارتنداز:

www.icheh.com

- مقاومت در برابر محيط، فشار سيال ، دماي سيال و ...
- تامين دقت اندازه گيري مورد نظر
- قابليت تعمير ونگهداري
- قيمت خريد ونصب
- سادگي نصب به روي تجهيزات
- پايداري زياد

www.icheh.com

جداول

جدول 1- مزايا و معايب بعضي از اقسام دبي‌سنج‌ها

نوع دبي‌سنج	مزايا	عيوب	صنايع مورد كاربرد	نوع سيال
Orifice Plate	قيمت اوليه پايين، فن‌آوري ساده، كاركرد ساده	داشتن افت فشار	پالايشگاههاي نفت و گاز، نيروگاهها	نفتي
Magnetic Meters	دقت بالا، بدون افت فشار، اندازه‌گيري در دو جهت، قابل استفاده در لوله‌هاي بزرگ	نياز به سيال رسانا، جرم‌گيري الكترودها توسط سيال	صنايع شيميايي، آب و فاضلاب ،صنايع خمير و كاغذسازي، صنايع غذايي و نوشيدني	مايع
Coriolis Meters	دقت بالا	حساس به لرزش، قيمت اوليه بالا، مناسب نبودن براي لوله‌هاي بزرگ	صنايع شيميايي، صنايع غذايي و نوشيدني و خمير و كاغذسازي	نفتي
Thermal Meters	قيمت پايين، اندازه‌گيري سيالات با دانسيته كم	نداشتن دقت بالا، احتياج به تميزكاري	صنايع شيميايي و آب و فاضلاب، تصفيه خانه و نيروگاهها	گاز
Positive Displacement Meters	دقت بالا، محدوديت‌پذيري گسترده	در لوله‌هاي بزرگ نمي‌توان استفاده كرد. افت	پالايشگاههاي نفت و گاز، صنايع شيميايي و	مايع و گاز

www.icheh.com

		فشار بالا، با سوسپانسيونها آسيب مي‌بيند	خمير و كاغذسازي	
Turbine Meters	دقت بالا، فن‌آوري پيشرفته	جريان سرعت بالا به آن صدمه وارد مي‌كند	پالايشگاهها، صنايع نفت و گاز و صنايع آب و فاضلاب	مايع و گاز
Vortex Meters	دقت بالا، نصب ساده، اندازه‌گيري مايع، گاز و بخار	لرزش باعث تاثير بر دقت آن مي‌شود. قيمت بالا	نيروگاهها، صنايع غذايي و نوشيدني، پالايشگاهها	نفتي
Ultrasonic Meters	نگهداري كم، قابل استفاده در لوله‌هاي بزرگ	قيمت اوليه بالا، بعضي مدلهاي آن احتياج به سيال تميز دارد. احتياج به ساپورت در نصب	صنايع آب و فاضلاب، صنايع نفت و گاز، پالايشگاهها	مايع و گاز

جدول 2- اصول كاركرد دبي‌سنج‌ها

نوع دبي‌سنج	فناوري
Coriolis	سيال از درون لوله لرزان عبور مي‌كند و مسبب پيچش لوله مي‌شود. دبي جرمي متناسب با درجه چرخش لوله است.
Magnetic	يك ميدان مغناطيسي در لوله‌ها ايجاد مي‌كند و عمدتا از سيم‌پيچهاي الكترومغناطيسي كه از ميان آن سيال رسانا عبور مي‌كند و به محض عبور سيال رسانا از لوله، ولتاژ القاء مي‌شود. الكترودها مقدار ولتاژ اندازه گيري كرده كه متناسب با

www.icheh.com

	دبي جريان است.
Ultarsonic single path transit time	زماني كه يك پالس يا موج ما فوق صوت از يك طرف لوله به طرف ديگر رفته و بر مي‌گردد را اندازه مي‌گيرد اختلاف زماني بين زمان رفت و برگشت موج متناسب با دبي جريان است.
Ultrasonic Multi path transit time	از چندين مسير امواج فوق صوتي براي محاسبه دبي جريان استفاده مي‌كند كه عمدتا از دو مسير شش تايي تشكيل شده است.
Ultrasonic Doppler	دبي را بر اساس تغيير فركانس امواج ما فوق صوتي كه به ذرات درون سيال بر مي‌خورند اندازه گرفته مي‌شود.
Vortex	يك مانع (bluff body) در برابر جريان قرار گرفته است هنگام عبور جريان از اين مانع، گردابه‌هايي ايجاد مي‌شود؛ دبي‌سنج مقدار گردابه‌ها را اندازه مي‌گيرد، دبي متناسب با فركانس گردابه‌ها ايجاد شده، مي‌باشد.
DP-Orifice plate	از يك صفحه فلزي مسطح با يك منفذ درون آن تشكيل شده است و دبي‌سنج اختلاف فشار بين جريان بالادستي و پايين دستي را اندازه مي‌گيرد كه با آن مي‌توان دبي جريان را محاسبه كرد.
DP-Venturi tube	از يك لوله كه ابتداي آن همگرا و انتهاي آن واگرا است تشكيل شده است.دبي جريان از اختلاف فشار بين جريان بالادستي و پايين دستي اندازه گرفته شده توسط اين وسيله محاسبه مي‌شود.
DP-pitot tube	يك لوله L شكل به خط جريان افزوده شده است كه فشار استاتيك و ديناميك سيال را اندازه مي‌گيرد. ابتداي اين لوله مستقيما در برابر جريان سيال مي‌باشد. اختلاف بين فشار ديناميك و استاتيك متناسب با دبي است.
DP-flow nozzle	از يك لوله كه ابتداي آن صاف و انتهاي آن نوك تيز مي‌باشد تشكيل شده است. دبي بر اساس اختلاف فشار بين جريان بالادستي و پايين دستي بدست مي‌ايد.

جدول3- مشخصات دبي سنجها

Flowmeter Element	Recommended Service	Pressure Loss	Typical Accuracy(%)	Required Upstream pipe diameters	Viscosity Effect	Relative Cost
Orifice	**Clean, dirty liquids:some Slurries**	**Medium**	**2 to 4 of full Scale**	**10 to 30**	**High**	**Low**
Venturai tube	**Clean, dirty**	**Low**	**1 of full scale**	**5 to 20**	**High**	**High**

www.icheh.com

	and viscous liquid: some slurries					
Flow nozzle	Clean and dirty liquids	Medium	1 to 2 of full scale	10 to 30	High	Medium
Pitot tube	Clean liquids	Very low	3 to 5 of full scale	20 to 30	Low	Medium
Elbow meter	Clean, dirty liquids: some slurries	Very low	5 to 10 of full scale	30	Low	Low
Target meter	Clean, dirty viscous liquids, some slurries	Medium	1 to 5 of full scale	10 to 30	Medium	Low
Positive Displacment	Clean, viscous liquids	High	0.5 of full scale	None	High	Medium
Turbine	Clean, viscous liquids	High	0.25 of rate	5 to 10	High	Medium
Vortex	Clean, viscous liquids	Medium	1 of rate	10 to 20	Medium	Medium
Electromagnetic	Clean, dirty liquids	None	0.5 of rate	5	None	High
Ultrasonic(Dopler)	Dirty, viscous liquids and slurries	None	5 of full scale	5 to 30	None	High
Ultrasonic(Time of travel)	Clean, viscous liquids	None	1 to 5 of full scale	5 to 30	None	High
Mass (Coriolis)	Clean, dirty	Low	0.4 of rate	None	None	High

www.icheh.com

	viscous liquids:some slurries					
Mass (Thermal)	**Clean, dirty viscous liquids:some slurries**	**Low**	**1 of full scale**	**None**	**None**	**High**

ضمیمه

www.icheh.com

تبديل واحد دبي‌ها

Volumetric Flow Rate

cu ft/sec	cu ft/min	liters/min	cu meters/ min	cu meters/ hour	gal/min
1	60	1699	1.699	101.95	448.83
0.01667	1	28.32	.02832	1.699	7.481
5.855×10^{-4}	0.03531	1	0.001	0.06	0.2642
0.5885	35.31	1000	1	60	264.2
0.00981	.5885	16.667	0.01667	1	4.403
0.002228	0.1337	3.786	0.003785	0.2271	1

Gravimetric Flow Rate

lb/sec	lb/min	lb/hr	gm/sec	gm/min	Kg/hr
1	60	3600	435.6	27220	1633
0.01667	1	60	7.560	453.6	27.22
0.0002778	0.01667	1	0.1260	7.560	0.4536
0.002205	0.1323	7.938	1	60	3.600
3.675×10^{-5}	0.002205	0.1323	0.01667	1	0.600
6.125×10^{-4}	0.03675	2.205	0.2778	16.67	1

Volume

Gallons (U.S.)	Cubic Feet	Cubic Inches	Barrels (oil)	Cubic Centimeters	Liters	Imperial Gallons
1	0.1337	231	0.02381	3785	3.785	0.8327
7.481	1	1728	0.1781	28320	28.32	6.229
0.004329	0.0005787	1	0.0001031	16.39	0.01639	0.003605
42	5.615	9702	1	159000	15.894	34.97
0.000264	0.0000353	0.06102	6.29×10^{6}	1	0.001	0.000220
1.201	0.1606	277.4	0.02860	4546	4.546	1
0.264	0.0353	61.03	0.0629	1000	1	0.220

Velocity

ft/sec	ft/min	cm/sec	meter/sc	meter/min
1	60	30.48	0.3048	18.29
0.01667	1	0.5080	0.005080	0.3048
0.03281	1.9685	1	0.01	0.600
3.281	196.85	100	1	60
0.0547	3.281	1.667	0.01667	1

روابط رياضي و خصوصيات حاكم بر بعضي دبي سنجها به صورت شماتيك

www.icheh.com

Flow Measurement

Flow Visualization
Volumetric and Mass Flow Rate
Velocity

1

Flow Measurements

- Flow Visualization
- Obstruction Flow Meters
- Pitot-Static Tubes
- Variable-Area Meter
- Turbine, Paddlewheel, Vortex, Ultrasonic, and Magnetic Flow Meters
- Mass Flow Meters
- Hot-wire/Hot-film
- LDA (Laser Doppler Anemometer)
- PIV (Particle Image Velocimetry)

2

Flow Visualization

- Qualitative means to "see" what the flow field looks like.
- Provide information on where to locate invasive flow sensors.

Direction Indicators	Particle Tracers
Wind Vanes	Smoke (gas flows)
Threads attached to thin rods	Dust particles
Threads attached to surfaces	Hydrogen Bubbles-in water
	Liquid dye injection-milk is good

3

Compressible Flow, M=V/c >0.3

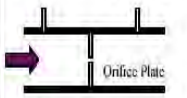
- Density does not remain constant
- Introduce an expansion factor Y

$$\dot{m} = \rho_2 V_2 A_2 = Y\left[\frac{C_d A_2}{\sqrt{1-(A_2/A_1)^2}}\right]\cdot\sqrt{2\rho_1(P_1-P_2)}$$

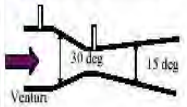
Y = expansion factor (from calibration)
A_1 = pipe/inlet flow area
A_2 = orifice/constriction flow area
P_1 and P_2 = pressure at A_1 and A_2, respectively.

4

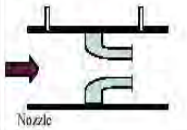
Obstruction Meters



- Orifice Meters
  - Inexpensive
  - Easy to install
  - Large pressure losses

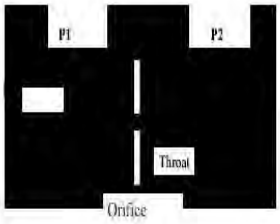


- Venturi Meters
  - High accuracy
  - Expensive to construct
  - Good pressure recovery



- Flow Nozzles
  - Difficult to install properly
  - High Accuracy
  - Good Pressure recovery

5



Simple Obstruction Flow Meter, Q=VA
•Conservation of Mass
•Bernoulli Equation

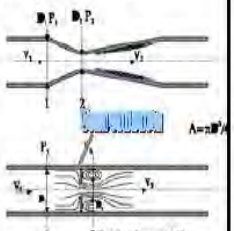
6

www.icheh.com

Governing Equations

Conservation of Mass
(Incompressible Flow)

$$(\rho VA)_1 = (\rho VA)_2$$



Bernoulli's Equation
(incompressible, frictionless)

$$\frac{P_2 - P_1}{\rho} = \frac{V_2^2 - V_1^2}{2} + g(z_2 - z_1)$$

7

Volumetric Flow Rate

Discharge Coefficient

$$Q_{ideal} = V_2 A_2 = \left[\frac{C_d A_2}{\sqrt{1-(A_2/A_1)^2}}\right] \cdot \sqrt{\frac{2(P_1 - P_2)}{\rho}}$$

A_1 = pipe/inlet flow area

A_2 = orifice/constriction flow area

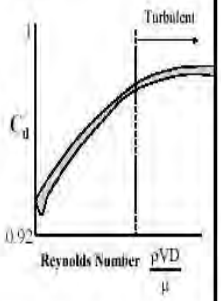
P_1 and P_2 = Pressure at A_1 and A_2, respectively.

$\Delta P \sim V^2$ ⇒ Requires wide range in pressure measurement
Poor resolution at low velocities

8

Coefficient of Discharge Values

- Orifice Flow Meters
  $C_d \approx 0.62$
- Nozzle Flow Meters
  $C_d \approx 0.96$
- Venturi Flow Meters
  $C_d \approx 0.98$



9

Compressible Flow, M=V/c >0.3

- Density does not remain constant
- Introduce an expansion factor Y

$$\dot{m} = \rho_2 V_2 A_2 = Y\left[\frac{C_d A_2}{\sqrt{1-(A_2/A_1)^2}}\right] \cdot \sqrt{2\rho_1(P_1 - P_2)}$$

Y = expansion factor (from calibration)

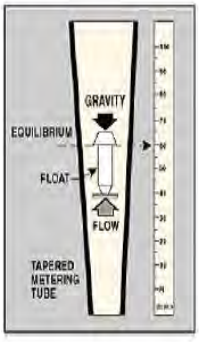
A_1 = pipe/inlet flow area

A_2 = orifice/constriction flow area

P_1 and P_2 = pressure at A_1 and A_2, respectively.

10

Measurement of volumetric/mass flow
Rotameter / Variable Area Meter



- Not really a float
- Force balance
- Calibrated for a specific fluid (air, H_2O, oil) at T,P
- Correction need for different fluids.
- Correction needed for different T,P.

11

Principle of Operation

$$F_{drag} + F_{buoyancy} = W_{float} \quad \text{(Force Balance)}$$

$$F_{drag} = C_D \frac{\rho V^2 A_{frontal}}{2}$$

$$F_{drag} + \rho_{fluid} V_{float} g = \rho_{float} V_{float} g$$

$$F_{drag} = (\rho_{float} - \rho_{fluid}) V_{float} g$$

12

www.icheh.com

Rotameter correction

When operating a rotameter at densities different than those for which it calibrated, a correction to the reading is required.

$$\dot{m}_{use} = \dot{m}_{cal}\sqrt{\frac{\rho_{use}}{\rho_{cal}}}$$

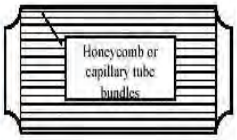
$$\dot{m} = \rho \cdot Q$$

$$\rho_{use} \cdot Q_{use} = \rho_{cal} \cdot Q_{cal}\sqrt{\frac{\rho_{use}}{\rho_{cal}}}$$

13

Laminar Flow Meter

- Correlating pressure drop in laminar flow conditions to flow rate
  - Incompressible Newtonian Fluid (friction ∝ velocity gradient)
  - Steady Flow Conditions
  - Fully Developed, Laminar Flow (Re<2000)
    - L (required)=0.05·Re_d· d
- Low pressure drop across these devices (2" to 10" H_2O)



14

Governing Equations

$$Q = \frac{\Delta P \cdot \pi \cdot d^4}{128 \cdot \mu \cdot L}$$

$$Q_{actual} = Q_{calibrated} \cdot \frac{\mu_{cal.}}{\mu_{act.}}$$

where

Q = flow rate, m^3/s

d = hydraulic diameter, m

ΔP = pressure drop, Pa

μ = viscosity, Pa·s

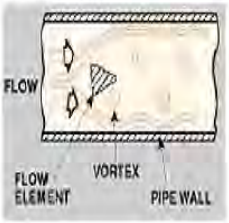
L = pipe length, m

**Correction needed for use with different gasses or at a different temperature.

15

Vortex Meters

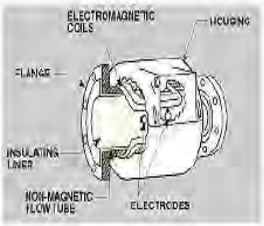
- Based on fact that when a bluff body is placed in a stream, large scale vortices are alternately formed.
- Frequency of vortex formation is proportional to the fluid velocity. There are various sensing schemes used to detect the vortices.
- Accuracy is 1% of flow rate.



16

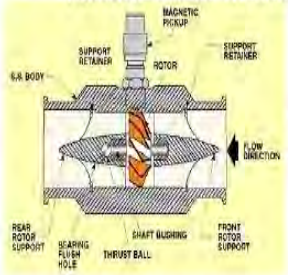
Magnetic Flowmeter

- Based on Faraday's law of induced voltage for a conductor moving in a magnetic field.
  - Voltage generated is proportional to the fluid velocity.
- Accuracies of 0.5% to 1%
- Good candidate for corrosive liquids and slurries.



17

Turbine Flow Meters



Cost=$1500

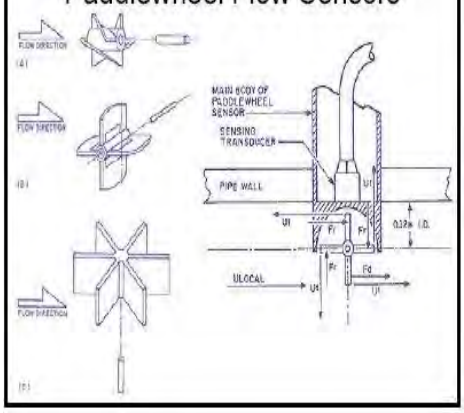
Accuracy=0.5%

- **Commonly used in pipe flows (liquids or gases).**
- **Rotational speed of turbine is proportional to velocity.**
- **Bearing maintenance and frequent calibration required.**

18

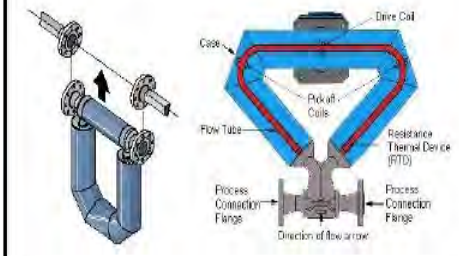
www.icheh.com

Paddlewheel Flow Sensors



19

Coriolis Mass Flow Meter



20

Why Coriolis flow meters?

- Highly Accurate (0.1% to 0.5%Reading)
- Reliable
- Minimal pressure drop
- Easy to use
- Flexible
  - Mass flow rate, volume density, viscosity, temperature
  - Measure liquids, gases, slurries.

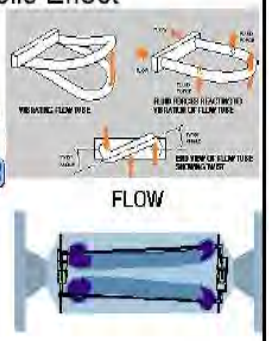
Orientation is dependent on fluid (gas or liquid).

21

Coriolis Effect

- Tube Vibration:
  Process fluid entering the sensor causes the tubes to oscillate up and down and with a twist.

Like your garden hose



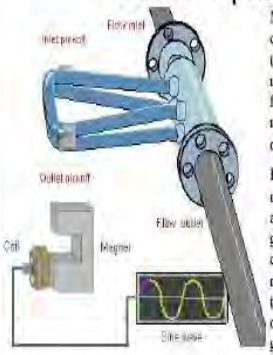
22

Flow Condition—Coriolis Effect

- When fluid is moving through the tubes, Coriolis forces are induced.
- These forces cause the flow tubes to twist in opposition to each other.
- When the tube is moving upward, the fluid pushes down on the tube.
- Having the tube's upward momentum as it travels around the bend, the fluid flowing out resists having its vertical motion decreased by pushing up on the tube. This causes the tube to twist. Higher the flow, the greater the twist.

23

Sensor Operation



Magnet and coil assemblies, called pick-offs, are mounted on the flow tubes. Wire coils are mounted on the side legs of one flow tube, and magnets are mounted on the side legs of the opposing flow tube.

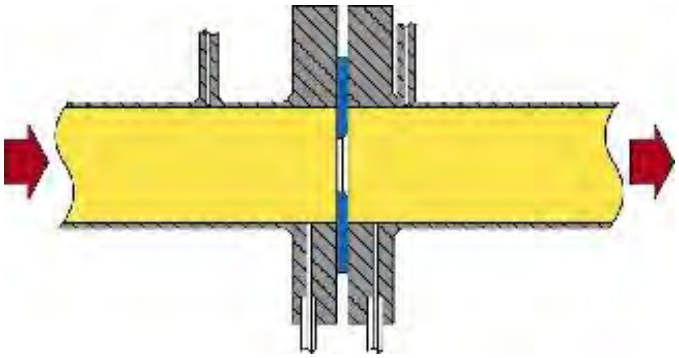
Each coil moves through the uniform magnetic field of the adjacent magnet. The voltage generated from each pickoff coil creates a sine wave. Because the magnets are mounted on one tube, and the coils on the opposing tube, the sine waves generated represent the motion of one tube relative to the other.

24

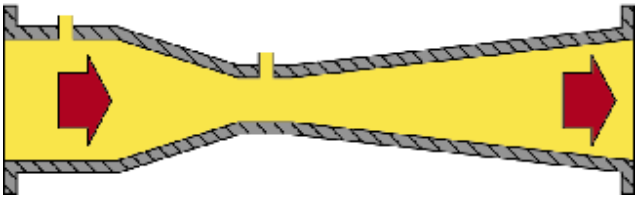
www.icheh.com

شكل و نماهاي دبي سنجها

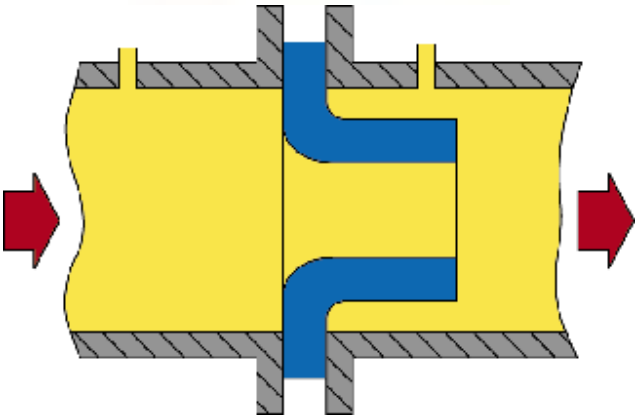
Orifice plate:



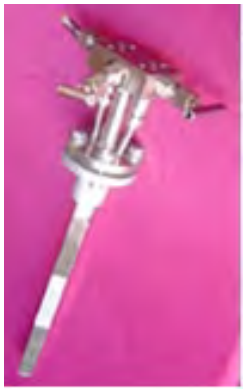
Venturi Tubes:



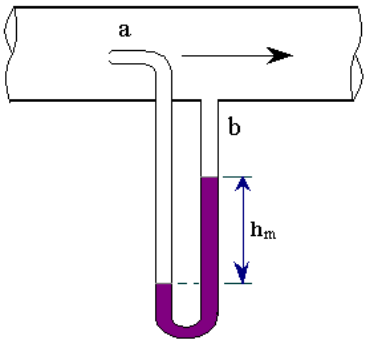
Flow Nozzle:



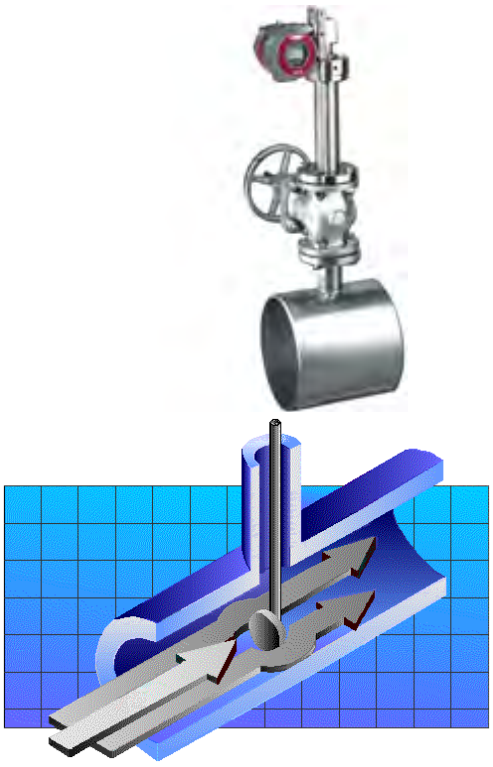
Pitot Tubes:



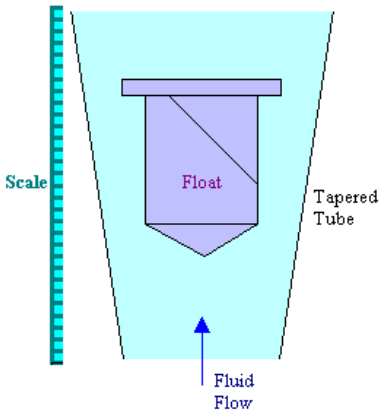
www.icheh.com



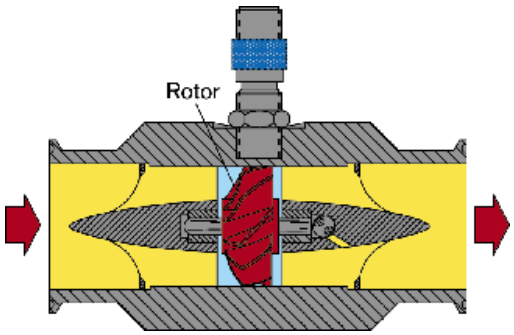
Target Meter:



Rotameter:

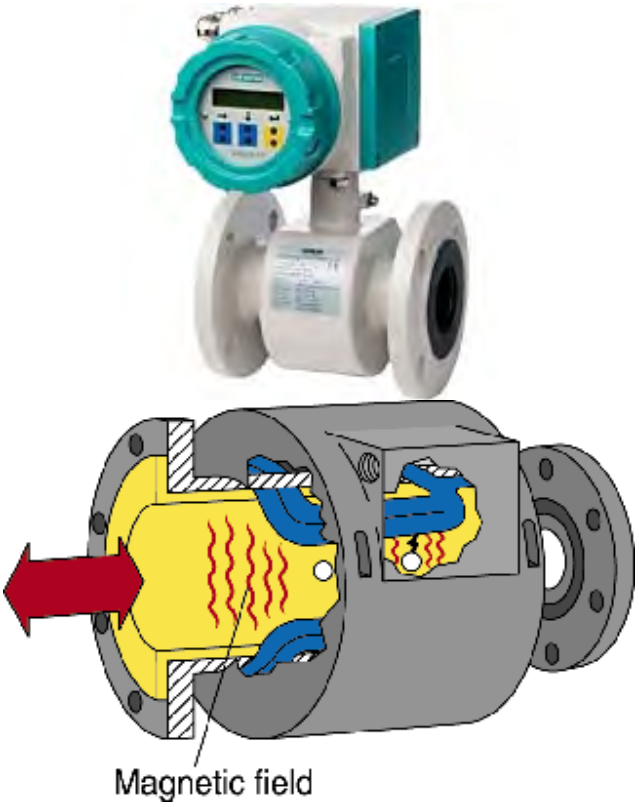


Turbine Meter:

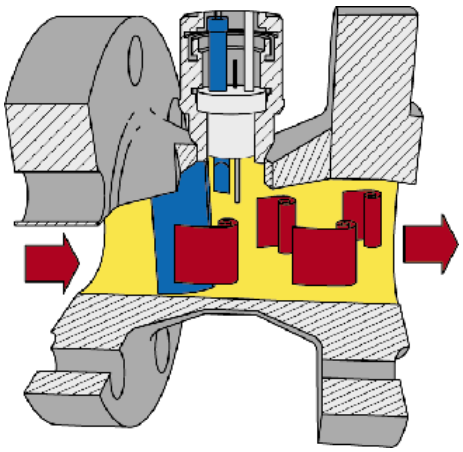


www.icheh.com

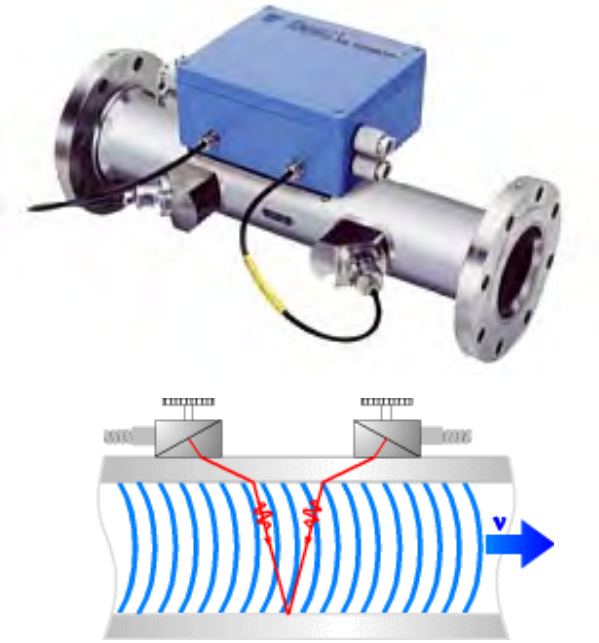
Electromagnetic Flowmeter:



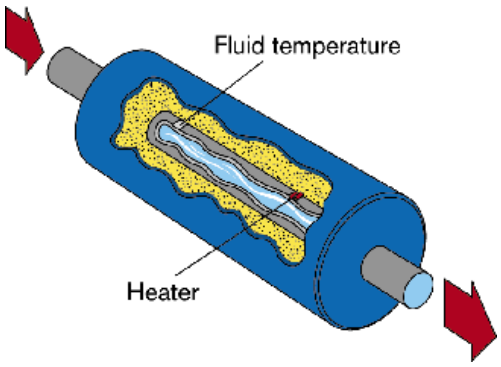
Vortex Meter:



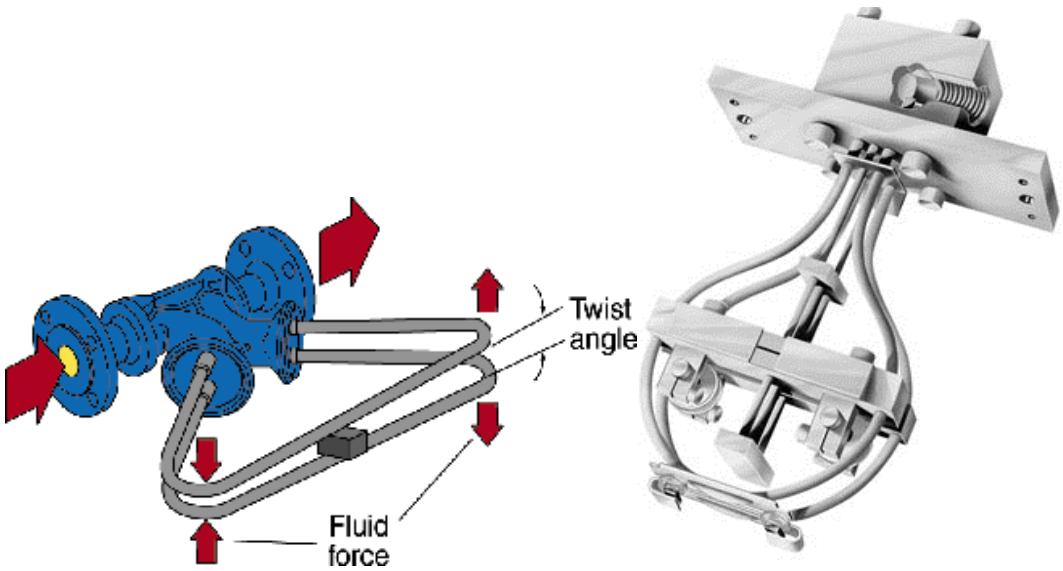
Ultrasonic Meter:



Thermal Meter:

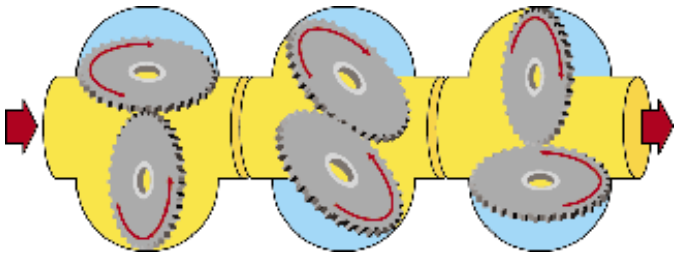


Coriolis Meter:



Positive Displacement Meter:

www.icheh.com



منابع:

1-Measurement and Control Basics 2nd Edition, Thomas A.Hughes

2-Instrumentation Reference Book, B.E Noltingk

3-Essentials of process control, William L.luyben, Michael

L.luyben

4-Process control: Designing Processes and control systems
T.Marlin
5-ROFI,Industrial valves
6-Flow of Industrial Fluids - Theory and Equations , Raymond
Mulley

www.icheh.com

7-Instrumentation and Control Systems Documentation Fredrick A.Meier , Clifford A.Meier
8-Maintenance of Instrument & System , 2nd Edition , L.D. Goettsche
9-Fundamentals of Industrial Control , 2nd Edition , D.A. Coggan
10-The Condensed Handbook of Measurement and Control, 2nd Edition , N.E.Battilcha
11-Fundamentals of Process Control Theory , P.W.Murrill