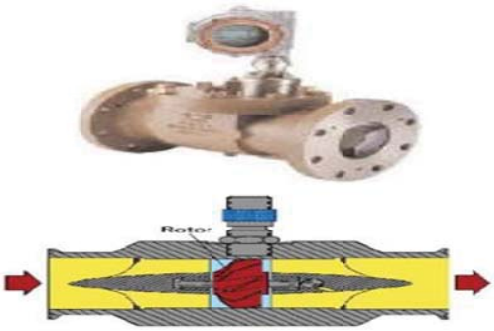


شکل ۱-۲۳. **فلومتر توربینی**

۲-فلو متر پروانه ای

طرز کار فلومترهای پروانه‌ای و تکنولوژی به کار رفته در آنها بسیار شبیه به فلومترهای توربینی است، تفاوت اصلی این دو مربوط به قطعه چرخان و نحوه‌ی قرار گیری آن در مسیر جریان سیال است. یک پروانه ای معمولا از یک پلاستیک تزریقی ضخیم ساخته شده و به یک بلبرینگ متصل شده است و به صورت مستقیم در مواجهه با جریان قرار می گیرد، اما توربین ها نازک تر بوده و معمولا از هر دو وجه خود با دو بلبرینگ سبک وزن در ارتباط هستند. فلومترهای پروانه ای از انرژی مکانیکی جریان برای چرخاندن روتور در داخل جریان سیال استفاده می کنند. تیغه های روی روتور به گونه‌ای روی آن نصب شده اند که انرژی جریان سیال را به انرژی چرخشی تبدیل کنند. محور روتور با بلبرینگ ها می‌چرخد و وقتی سیال با سرعت بیشتری جریان می یابد به تناسب آن روتور نیز با سرعت بیشتری می چرخد.

شکل ۱-۲۴. **فلومتر پروانه ای**

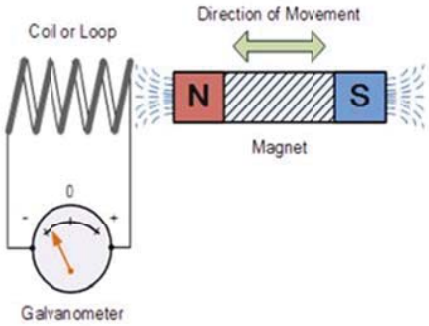
چرخش محور می تواند به صورت مکانیکی اندازه گیری و یا با آشکار سازی مغناطیسی پالس هایی که توسط قطعات فلزی متصل به آنها ارسال می شود، مطالعه شود. سنسورهای یک فلومتر پروانه‌ای به منظور جلوگیری از آسیب های احتمالی که ممکن است در اثر مرطوب شدن سنسور به وجود آید، در خارج از جریان سیال قرار داده می شوند.

وقتی سیال با سرعت بیشتری حرکت می کند، پالس های بیشتری تولید می شود. مخابره کننده [1] سیگنال پالس را به منظور بررسی دبی سیال پردازش می کند. مخابره کننده ها و حسگرها برای آشکار سازی در جهت و همچنین خلاف جهت جریان وجود دارند. فلومتر های پروانه‌ای دقیق و به نسبت ارزان قیمت هستند و حتی برای مواردی که مطالعه کوتاه مدت جریان مورد نیاز است، صرفه اقتصادی دارند. فلومترهای پروانه‌ای سرعت مایعات، گازها و بخاراتی نظیر هیدرو کربن ها، مواد شیمیایی، آب، مایعات برودتی، هوا و گازهای صنعتی را در لوله ها اندازه گیری می کنند.

باید به این نکته توجه داشت که استفاده از فلومترهای پروانه‌ای در سیالاتی که برای این فلومتر حالت روان کنندگی ندارند به علت عدم کارکرد مناسب بلبرینگ ها و در نتیجه پایین آمدن دقت، توصیه نمی شود. برخی از این فلومترها برای کارکردن در چنین محیط هایی، دارای قسمتی برای گریس کاری هستند. به علاوه، فلومترهای پروانه‌ای که برای یک منظور خاص طراحی شده اند(به عنوان مثال برای گاز طبیعی)، معمولا در یک محدوده دمایی خاص(مثلا ۶۰ درجه سانتیگراد) کار می کنند و به کار گرفتن آنها در دماهای بالاتر می تواند موجب صدمه دیدن آنها شود. این فلومتر می تواند برای سیالات بهداشتی، نسبتا تمیز و یا خورنده تا سایز ۲۴ اینچ مورد استفاده قرار گیرد. از نکات دیگری که در استفاده از این فلومتر باید در نظر داشت این است که کارکرد در سرعت های پایین با دقت کمتری همراه است و البته به علت احتمال آسیب رسیدن به اجزای دستگاه در سرعت های زیاد نیز نباید از آن استفاده کرد و همچنین این دستگاه باید در جریان های بیشتر از پنج درصد کل جریان به کار گرفته شود.

۳-دبی‌سنج الکترومغناطیسی

در یک نگاه کلی می توان گفت که یک میدان مغناطیسی به لوله اندازه گیری اعمال می شود که به موجب آن یک اختلاف پتانسیل متناسب با سرعت به وجود می آید. این فلومتر برای کار نیاز به یک سیال رسانا و لوله ای با سطح نارسانا (به عنوان مثال لوله‌ی استیل پوشیده شده با پلاستیک) دارد. . پدیده‌ی فیزیکی به کار رفته در این فلومترها، القای الکترومغناطیسی است. در سال ۱۸۳۱ مایکل فارادی انگلیسی یکی از مهم ترین قوانین الکترومغناطیسی را ارائه کرد که امروزه اساس کار الکتروموتورها، ژنراتورها، ترانسفورمترهای الکتریکی و القاگرها است. این قانون رابطه‌ی بین یک مدار الکتریکی و یا یک رسانا، با میدان مغناطیسی را بیان می کند.



شکل ۱-۲۵. **آزمایش القا فارادی**

[1] transmitter

فارادی آزمایشی را با یک آهنربا و یک سیم پیچ ترتیب داد و در طی این آزمایش متوجه شد که وقتی شار مغناطیسی عبوری از یک سیم پیچ تغییر می‌کند و یا رسانایی در میدان مغناطیسی حرکت می‌کند، یک نیروی محرکه در سیم پیچ القا می شود. بر اساس این یافته فارادی قوانین خود را به شرح زیر مطرح کرد:

قانون اول : هرگونه تغییر در میدان عبوری از سیم پیچ موجب القای نیروی محرکه الکتریکی و متناسب با آن جریان الکتریکی در مدار بسته می شود.

قانون دوم : اندازه‌ی نیروی محرکه‌ی القا شده در سیم پیچ، متناسب با آهنگ تغییرات شار مغناطیسی است که از سیم پیچ می گذرد.

شار مغناطیسی را با Φ نمایش می دهند و به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\Phi = \mathrm{BA}$$

که در این رابطه B میدان مغناطیسی و A سطح مقطع مورد نظر از لوله است. مطابق با قانون دوم فاراده می‌توان گفت:

$$\varepsilon \propto \frac{d\Phi}{dt}$$

اگر ثابت این تناسب را k در نظر بگیریم، رابطه به صورت زیر در می‌آید:

$$\varepsilon = k\frac{d\Phi}{dt} = k\frac{d(\mathrm{BA})}{t}$$

به بیان دیگر می‌توان گفت که اندازه‌ی نیروی محرکه‌ی القا شده متناسب با سرعت رسانایی که در میدان مغناطیسی حرکت می‌کند، طول آن و اندازه‌ی میدان مغناطیسی است.

اگر فاصله‌ی بین الکترودها D و طول مورد مطالعه L و شرایطی در نظر گرفته شود که جهت جریان سیال بین دو الکترود(سرعت سیال) و جهت میدان مغناطیسی حفظ شود و مقادیر D و B ثابت باشند، قانون القای فارادی به صورت زیر در می آید:

$$\mathrm{A} = \mathrm{DL} \Longrightarrow \varepsilon = k\mathrm{BD}\frac{d\mathrm{L}}{dt}$$

$$\varepsilon = k\mathrm{BDV}$$

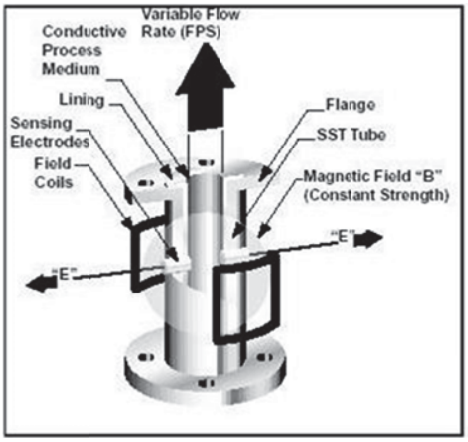
در این رابطه نیروی محرکه‌ی القا شده (emf) بر حسب ولت و k فاکتور تناسب است. یک فاکتور مفید دیگر که باید به این رابطه افزوده شود، Q است که کاربرد بهتری در مقاصد فلومتری دارد. توسط این فاکتور سرعت خطی مطابق با رابطه‌ی زیر به نرخ دبی حجمی مربوط می شود:

$$Q = A \times V$$

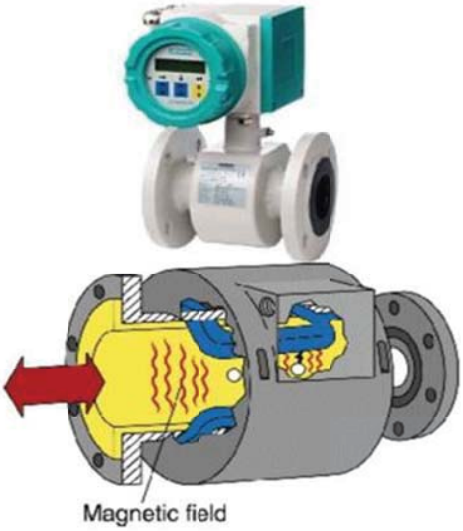
که در رابطه‌ی فوق Q نرخ دبی حجمی، A سطح مقطع مورد نظر از لوله و V سرعت خطی سیال است که با استفاده از این رابطه و رابطه‌ی قبل تر از آن، رابطه‌ی کاربردی زیر به دست می آید:

$$\varepsilon = \frac{kBDQ}{A}$$

در یک فرایند اندازه‌گیری استاندارد، دبی Q و ε خروجی اندازه گیری و k به صورت الکتریکی تنظیم می‌شود. این رابطه یک حالت ساده شده از اصل اندازه‌گیری دبی و همین طور رابطه‌ی خطی بین سرعت سیال و ولتاژ القا شده را نشان می دهد.



شکل ۱-۲۶. **اجزای مختلف فلومتر مغناطیسی**



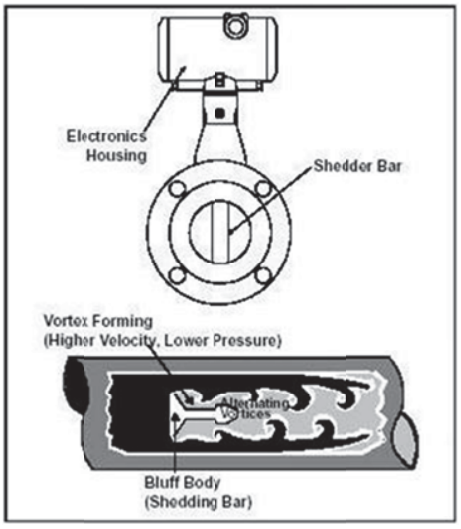
شکل ۱-۲۷. **فلومتر مغناطیسی**

٤.گردابه سنج[1]

اساس کار این دبی سنجها مبتنی بر پدیده Vortex Shedding موسوم به اثر وان کارمن است. درون آن یک مانع(Bluff Body) است و به هنگام عبور سیال از آن سیال شکافته شده و جریان‌های موضعی گردابه‌ای (Eddies) کوچکی تولید می شود که در امتداد و پشت مانع جمع می شوند. این گردابه‌ها باعث نوسان فشار می‌شوند و سپس توسط سنسور اندازه‌گرفته می‌شود. فرکانس تولید گردابه به طور مستقیم با سرعت سیال متناسب است. خروجی این وسیله مطابق فرمول زیر به ضریب K وابسته است.

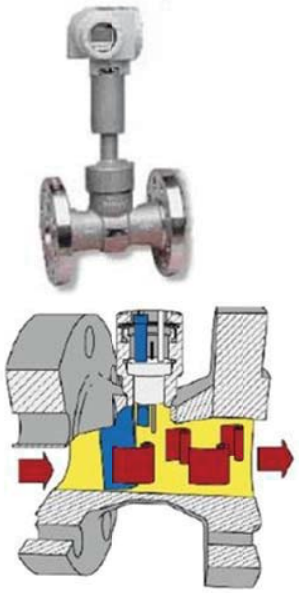
Fluid velocity = vortx fecane/ K-Factor

[1] Vortex meter



شکل ۱-۲۸. **گردابه سنج**

این ضریب با تغییر عدد رینولدز تغییر می یابد ولی در کل دامنه ای از جریان ثابت می‌ماند.گردابه‌سنج، دقت بالایی در سنجش دبی در محدوده‌ی تخت دارد. این دبی‌سنج هیچ گونه قطعه متحرکی ندارد و برای سیالات ویسکوز و دوغاب‌ها پیشنهاد نمی‌شود. همچنین در سیالاتی که سرعت آن‌ها خیلی کم است به دلیل عدم تشکیل گردابه مناسب نیست لذا برای ایجاد گردابه لازم است دبی به اندازه کافی زیاد باشد. این نوع وسیله عمدتا برای اندازه گیری دبی بخار به کار می‌روند ولی می‌توان برای اندازه گیری جریان مایع و گاز هم به کار برد. از مشخصه‌های دیگر آن این است که باید کاملا در لوله قرار بگیرند و قبل وبعدازآن لوله مستقیم باشد. همچنین دقت آن‌ها نسبت به دبی سنج‌های اختلاف فشاری مانند اریفیس پلیت بیشتر است و نصب آنها نسبتا ساده است . بعضی از مدل‌های آن فشار، دما و دبی جرمی را با هم اندازه‌گیری می کنند.



شکل ۱-۲۹.**گردابه سنج**

۱-۵-۳-دبی‌سنج‌های جرمی[1]

این نوع دبی‌سنج‌ها، دبی جرمی را برخلاف دبی‌سنج‌های حجمی، مستقیما و بدون واسطه اندازه می‌گیرند. در این دبی‌سنج‌ها، دبی‌جرمی را از طریق رابطه‌ی زیر به دست می آورند:

$$Q_M = Q_V \times \rho$$

در این معادله، Q_V دبی حجمی، Q_M دبی جرمی و ρ دانسیته سیال است. این‌چنین دبی‌سنج‌هایی ازترکیب دو وسیله که یکی سرعت سیال ودیگری دانسیته را اندازه می‌گیرد، تشکیل شده‌اند. وروردی‌ها در یک ریزپردازنده همراه با یک سری اطلاعات اضافی ترکیب شده و خروجی به عنوان دبی جرمی گزارش می‌شود.

با این حال دستگاه های معرفی شده در زیر مستقیما و بدون انجام محاسبات بین حجم و دانسیته این کار را انجام می‌دهند.

مزایای فلومتری گرمایی جرمی

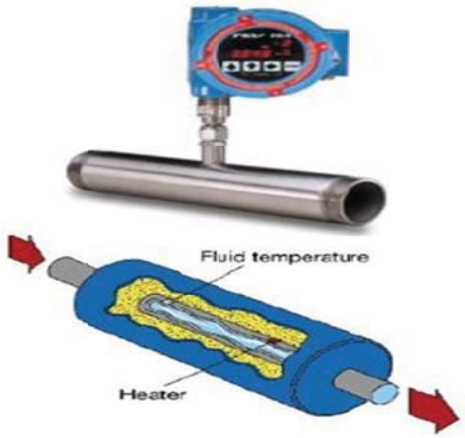
- فلومترهای گرمایی هیچ قسمت متحرکی ندارند و این موضوع باعث کاهش نیاز به نگهداری های ویژه شده و امکان استفاده از آنها را در شرایط خاص از جمله در مورد گاز اشباع شده را می‌دهد .
- اندازه گیرهای جرمی گاز به جای اندازه گیری های حجمی ، نرخ جریان جرمی را اندازه می گیرند و از این رو نیاز به تصحیح دمایی و یا فشاری ندارند و این بدان معنی است که نیاز به صرف هزینه‌ی بیشتری برای خرید و نصب تجهیزات دیگری نیست.
- فلومترهای گرمایی دقت خوبی دارند و قابلیت استفاده در محدوده‌ی وسیعی از دبی ها را دارند.
- فلومترهای گرمایی می توانند دبی را در لوله های بزرگ اندازه گیری کنند.

۱-دبی سنج های مبتنی بر سنجش دما[2]

اساس کار این وسیله بدین صورت است که جریان سیال، انرژی گرمایی خود را به المنت حساس به گرما می‌دهدو سپس با اندازه‌گیری گرمای منتقل شده به المنت جرم سیال عبور کرده، محاسبه می‌شود. مقدار گرمای جابجا شده به سرعت سیال، ظرفیت‌گرمایی و هدایت‌گرمایی سیال بستگی دارد و لذا این دبی‌سنج مستقل از دانسیته، فشار و ویسکوزیته سیال است.

این دبی‌سنج عمدتا برای اندازه‌گیری جریان گازهای تمیز با ظرفیت‌گرمایی معین به کار می‌رود وکاربرد گسترده‌ی آن درصنایع پالایش وصنایع شیمیایی است وازمعدود فناوری‌هایی است که می‌توان برای اندازه‌گیری جریان هوا در لوله‌های بزرگ استفاده کرد. از مشخصه‌های آن، نداشتن هیچ‌گونه قطعه‌ی متحرک و دقت بالای آن‌ها در اندازه‌گیری جریان هوا است.

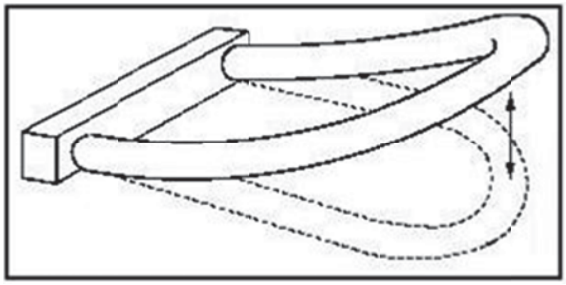
[1] Mass meters
[2] Thermo meter



شکل ۱-۳۰. **فلومتر دماسنج**

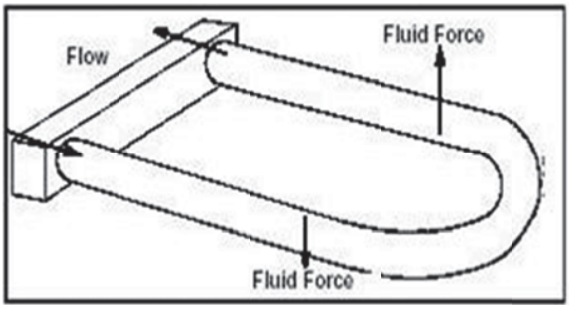
۲- دبی سنج کوریولیسی

این دبی‌سنج از یک لوله U شکل بدون مانع به عنوان حسگرجریان تشکیل شده است. تعیین دبی دراین ابزاردقیق بر اساس قانون دوم نیوتن است. لوله سنسور توسط نیروی الکترومغناطیسی سیم‌پیچی که در مرکز انحنای لوله قرار گرفته به حرکت درآمده و در فرکانس طبیعی‌اش ارتعاش می کند.



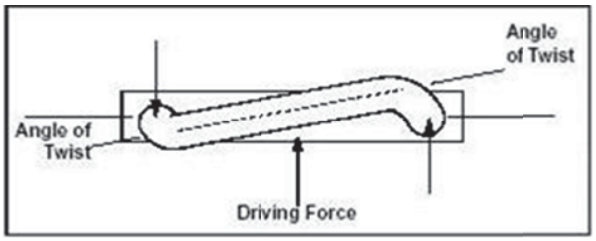
شکل ۱-۳۱. **دبی سنج کوریولیسی**

سیال به داخل لوله سنسور جریان می‌یابد و مجبوربه گرفتن حرکت عمودی لوله ارتعاش می‌شود. وقتی لوله نصف سیکل ارتعاش خودرا به سمت بالاطی می کند. سیال جریان‌یافته درلوله، باکشاندن لوله به سمت پایین دربرابر حرکت اجباری به سمت بالای آن مقاومت نشان می‌دهد.



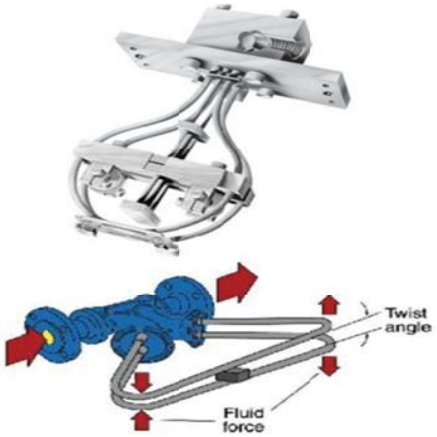
شکل ۱-۳۲. **نیروهای وارد بر کوریولیس متر**

سیال جاری خارج از سنسور یک حرکت روبه بالاناشی ازحرکت لوله دارد و به محض جریان یافتن به دور انحنای لوله مقاومتی دربرابرحرکت عمودی لوله نشان نمی‌دهد. این اختلاف نیروها، سبب پیچش لوله می‌شود. وقتی که لوله در نیمه‌ی دوم ارتعاشی خودبه سمت پایین حرکت می کند درجهت مخالف پیچیده می‌شود. این پدیده پیچش اثر کوریولیس[1] نامیده می‌شود.



شکل ۱-۳۳. **پدیده پیچش اثر کوریولیس**

با توجه به قانون دوم حرکت نیوتن، مقدارچرخش لوله سنسور مستقیما به مقدار دبی جرمی سیال جاری در لوله وابسته است.گیرنده های سرعت الکترومغناطیس در هر طرف لوله، سرعت ارتعاش لوله را اندازه می‌گیرند. دبی جرمی توسط اختلاف زمانی سیگنال‌های گیرنده، سرعت مشخص می‌شود. درصورت عدم جریان سیال، لوله هیچ‌گونه اختلاف زمانی بین سیگنال‌های سرعت وجود نخواهد داشت و در صورت جریان سیال لوله پیچ خورده و بین سیگنالهای جریان اختلاف زمان ایجاد می‌شود. اختلاف زمان ایجاد شده مستقیما متناسب با دبی جرمی است.



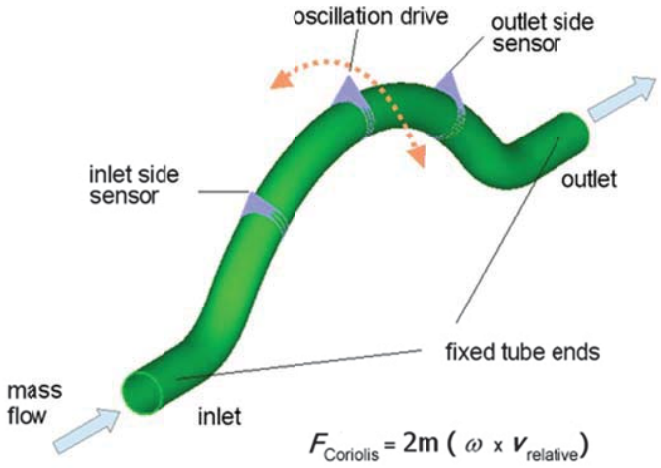
شکل ۱-۳۴. **دبی سنج کوریولیسی**

این دبی‌سنج به دما ، فشار و لزجت سیال وابسته نیست و با بسیاری از سیالات در گستره ی بزرگی از دبی‌ها کار می کند ودراندازه‌گیری دبی جرمی مایعات ،دوغاب‌ها وگازها و یا بخارات استفاده می‌شود. به دلیل داشتن دیواره نازک، باید از اندازه‌گیری سیالاتی که باعث خوردگی و فرسایش می‌شود، اجتناب کرد. لرزش دستگاه و ضربان سیال برآن تاثیرمنفی دارد. از مشخصه‌های دیگر این وسیله ، اندازه‌گیری دقیق دبی است و می توان درمواردی که

[1] Coriolis

احتیاج به کنترل دقیق، مدیریت سیال باارزش، نقل‌وانتقال سیالات تحت حفاظت و... از آن‌ها استفاده کرد. این نوع دبی‌سنج ازگرانقیمت ترین دبی سنج‌های موجود است وبعضی ازمدل‌های آن چگالی وغلظت جریان سیال را نیز اندازه‌گیری کنند.

برای دبی سنجی مایعات باید این اطمینان را داشت که دبی سنج کاملا پر از مایع است و هیچ گونه گاز و یا حبابی در آن موجود نیست و به صورت برعکس برای کاربرد در زمینه گازها باید مطمئن بود که دبی سنج به طور کامل پر از گاز است و هیچ گونه مایعی در آن موجود نیست. عملکرد دبی سنج جرمی کوریولیسی در شکل زیر مشاهده می شود.



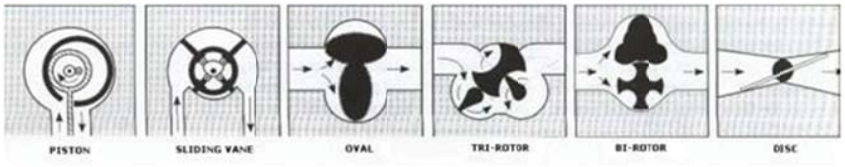
شکل ۱-۳۵. **عملکرد دبی‌سنج جرمی کوریولیس**

۱-۵-٤-دبی سنج‌های جابه جایی مثبت[1]

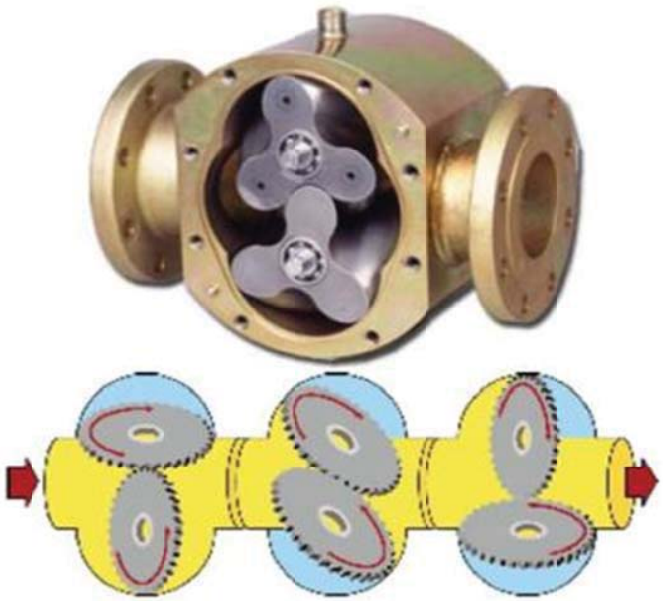
اساس کار این نوع دبی‌سنج‌ها، محاسبه دبی جریان حجمی جریان با محصورکردن مقداری از سیال در یک مخزن و سپس تخلیه‌ی سیال به خروجی است. حجم کل مایع عبوری از این وسیله در یک بازه زمانی از حجم سیال نمونه‌گیری شده وتعداد نمونه‌گیری‌ها بدست می‌آید. یک ماشین محاسبه گر دبی سیال را مستقیما گزارش می دهد. هرمخزن متحرک با سیال توسط آب‌بندهای باریکی ازمخزن بعدی جدا شده است. نیروی مورد نیاز دبی‌سنج های جابجایی مثبت از انرژی جریان بدست می‌آید.

این نوع دبی‌سنج‌ها به دلیل داشتن قطعات متحرک زیاد برای پساب‌ها مناسب نیستند. موارد استفاده‌ی آن‌ها در کل در سیالات یک‌طرفه مانند اندازه‌گیری آب یا گازطبیعی یا توزیع سوخت نفتی است. نشتی حول دنده‌ها و پره‌ها باعث ایجاد خطا در اندازه‌گیری دبی جریان می‌شود ولی سیالات لزج این خطا را کاهش می‌دهند. برای عملکرد دقیق آن‌ها به یک ساز و کار تصفیه و یا خازن الکتریکی جهت دفع هوای مایعات(یا یک صافی تصفیه گاز) نیاز است ولی درکل نشتی زیاد سیال از صفحات آب‌بندی، دقت آن‌ها نسبت به دیگر دبی‌سنج‌ها کاهش داده است. شکل زیر چندین مدل از این نوع دبی‌سنج را نشان می‌دهد:

[1] Positive displacement meters



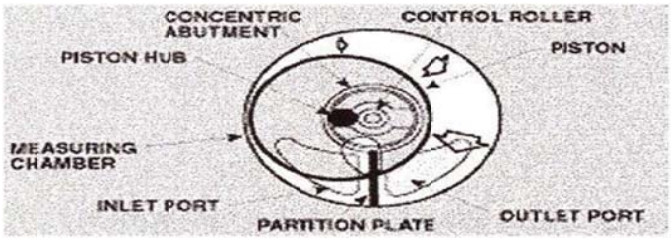
شکل ۱-۳۶. **انواع دبی‌سنج‌های جابجایی مثبت**



شکل ۱-۳۷. **تصویر دو نوع دبی سنج جرمی جابجایی مثبت**

۱-پیستون نوسان‌گر[1]

در این نوع دبی سنج ، مایع وارد یک مخزن به دقت ماشین کاری شده می شود که شامل یک پیستون نوسانگر است. موقعیت پیستون به گونه ای است که مخزن را به چندین قسمت تقسیم می‌کند. فشار سیال باعث نوسان پیستون و چرخش آن حول توپی مرکزی می‌شود . حرکت توپی توسط دیواره آن ،که مجهز به یک آهنربا است، تشخیص داده می‌شود. هرچرخش توپی معادل حجم ثابتی ازسیال است که توسط ماشین محاسبه‌گری اندازه‌گیری می‌شود. لقی کم بین پیستون ومخزن با به حداقل رساندن لغزش مایع باعث اندازه گیری دقیق وتکرارپذیر در هر دوره (سیکل)حجمی می‌شود . حداکثر لزجت مجاز ۴۰۰۰ سانتی پوز است.

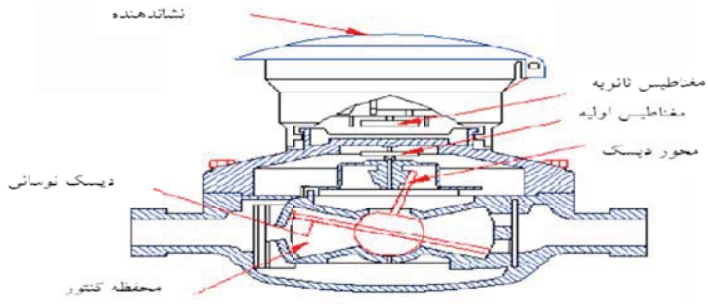


شکل ۱-۳۸. **پیستون نوسان‌گر**

[1] Oscillating Piston

۲-دیسک لرزان[1]

در این دبی‌سنج که با نام دبی‌سنج رقاصکی نیز نامیده می‌شود، قطعه‌ی محرک دیسکی متصل به یک کره‌ی مرکزی است که در داخل محفظه‌ای با دیواره‌های کروی قراردارد. محوری توسط مکانیزمی بادامکی، کره را شیب‌دار نگاه می‌دارد و از حرکت متناوبی آن جهت شمارش استفاده می‌کند. به بیان بهتر، اساس کار بدین نحو است که مایع وارد یک مخزن می‌شود که به دقت ماشین‌کاری شده و شامل یک دیسک لرزان است. فشار سیال، دیسک را به کمک یک دندانه غلتکی به لرزش درمی‌آورد و دیسک شروع به چرخش می‌کند. حرکت دیسک توسط حرکت دنده به ماشین محاسبه‌گر دبی انتقال می‌یابد. لقی کم بین دیسک و مخزن با به حداقل رساندن نشتی، باعث اندازه گیری دقیق و تکرارپذیردر هرسیکل‌حجمی می‌شود.این تجهیز عمدتا به عنوان کنتوراستفاده می‌شود ودقت اندازه‌گیری آن درحدود یک درصد خطاست.



شکل ۱-۳۹. **دیسک لرزان**

۳-دنده تخم‌مرغی[2]

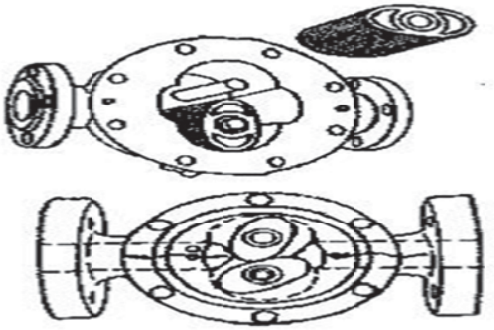
این دبی سنج ها، زیر مجموعه دبی سنج هایی موسوم به" Lobed impeller flow meter "هستند که تقریبا امروزه جای آنها را پر نموده اند. این نوع از دبی سنج ها از دو روتور تخم‌مرغی شکل یکسان که با دوشکاف کوچک پیرامون دنده ایجاد شده، تشکیل شده اند. دراین دبی سنج، پره‌ها (دنده ها) وپوسته‌ها به دقت تراشکاری شده و بواسطه‌ی لقی کم بین دنده‌ها، نشتی به حداقل رسیده است. دنده‌های تخم‌مرغی که روی دو محور مجزا و موازی هستند و آزادند(محرک نیستند) حجم کل مایع عبوری ازمخزن این وسیله را طی هر عمل گردش جارو می‌کنند؛ در این صورت، دبی توسط اندازه گیری سرعت چرخش محاسبه می‌شود.

در مقایسه با دبی‌سنج دیسک لرزان، کالیبراسیون آن به لزجت سیال وابستگی ندارد. از معایب این وسیله، تاثیرگذاری نوسانات برسنجش دبی است. این دبی‌سنج برای اندازه‌گیری دبی حلال‌ها و مایعات کم غلظت وگاهی برای اندازه گیری گازها به کار می‌رود.

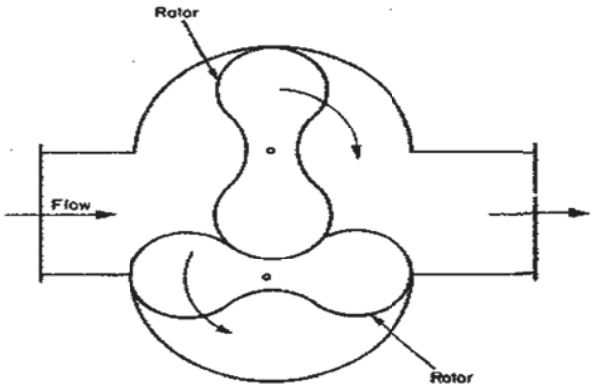
در این نوع از تجهیزات چنان‌چه تلرانس بین چرخ‌دنده ها و محفظه کاهش یابد دقت آن به حدود ۰/۱ درصد می‌رسد.

---

[1] Nutating Disk
[2] Oval Gear



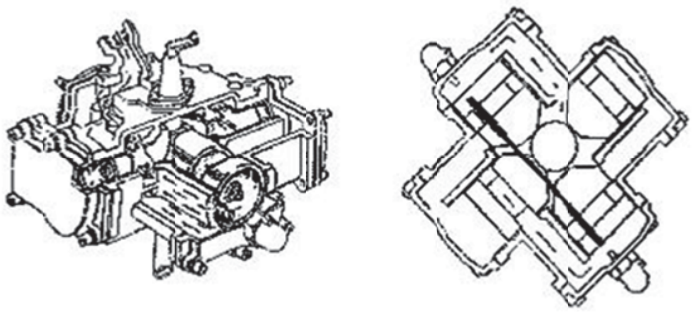
شکل ۱-۴۰. **دبی سنج دنده تخم مرغی**



شکل ۱-۴۱. **دبی سنج دنده تخم مرغی**

٤-مولتی پیستون

این نوع دبی سنج ها به صورت تک پیستونی و چند پیستونی وجود دارند و به طور گسترده در توزیع سوخت واندازه گیری هیدروکربن های سبک استفاده می شوند. علی‌رغم پیچیدگی طراحی، استفاده ازآن‌ها بسیاررایج است. در نوع چند پیستونی که در شکل ۱-۴۲ مشاهده می‌شود، پیستون‌ها دوبه‌دو روبروی هم قرارگرفته‌اند و با میل‌لنگ‌هایی به سیستم اندازه‌گیر متصل هستند. نحوه قرارگرفتن پیستون‌ها به گونه‌ای است به هنگام پر شدن سیلندرها از ورودی، سیلندر مقابل درحال تخلیه به خروجی است و در نتیجه سیال باحداقل نشتی جریان می‌یابد. طراحی مذکور به ضربان و لرزش سیال حساس است ولذا برای دبی‌های بیشتر از ۱۰۰ لیتر در دقیقه مناسب نیست.

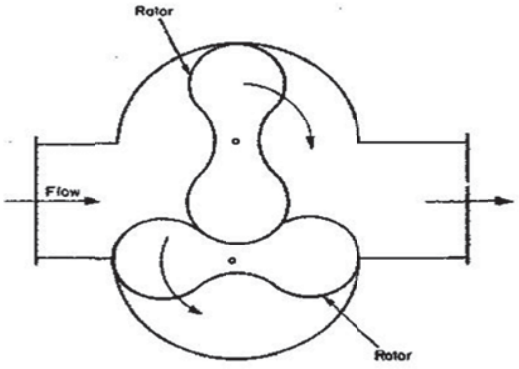


شکل ۱-۴۲. **دبی سنج مولتی پیستون**

۵-روت[1]

این دبی‌سنج دربسیاری ازموارد شبیه دبی‌سنج دنده تخم مرغی است.پره‌های گوشتی درخلاف جهت یکدیگر درمخزن دبی سنج گردش می‌کنند. دنده‌های بادامی شکل، کل مایع عبوری از مخزن را در هر عمل گردش جارو می‌کنند. دبی جریان توسط اندازه گیری سرعت گردش پره‌ها اندازه گرفته می‌شود.

ضریب کالیبراسیون این دبی سنج‌ها در مقایسه با دبی‌سنج دیسک لرزان با ویسکوزیته تغییر نمی‌کند. حداکثر ویسکوزیته مجاز ۵۰۰۰ سانتی پوز است.



شکل ۱-۴۳. **ساختار روت**

۱-۵-۵-دبی‌سنج‌های اپتیکی[2]

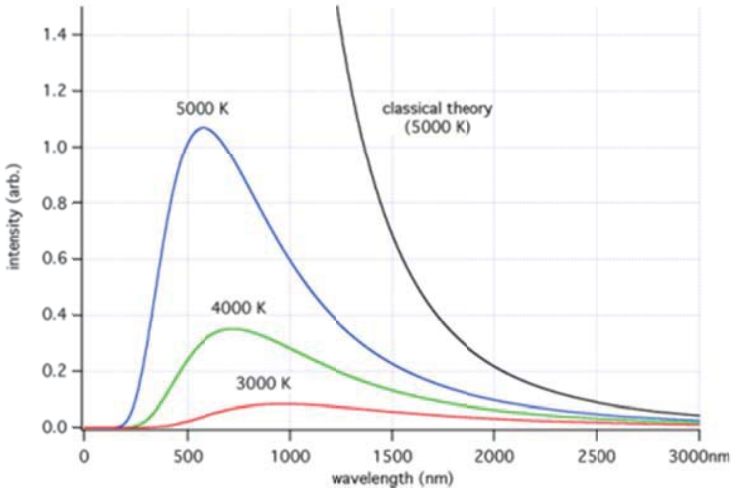
پیشرفت‌های ابتدایی در سرعت سنجی داپلری لیزری[3] (LDV) مربوط به اواخر دهه شصت میلادی است، یعنی زمانی که امواج لیزری با قیمت‌های غیرنجومی در دسترس قرار گرفتند. از آن زمان تاکنون لیزر با استفاده در ابزارهای پیچیده و قدرتمند چه در آزمایشگاه‌های تحقیقاتی و چه در صنعت، پیشرفت بسیاری داشته است.

پیشرفت در الکترونیک و نرم‌افزارهای کامپیوتری، روش‌های جمع‌آوری داده را بهبود بخشیده است و همچنین پیشرفت‌های اپتیکی به خصوص در زمینه فیبرهای نوری کاربردهای جدید بسیاری را ممکن ساخته است. مبانی پایه‌ای LDV موضوع پیچیده ای نیست، اما یک نگاه به برخی خصوصیات نور و همچنین پرتو لیزر خالی از فایده نخواهد بود.

مبانی لیزر

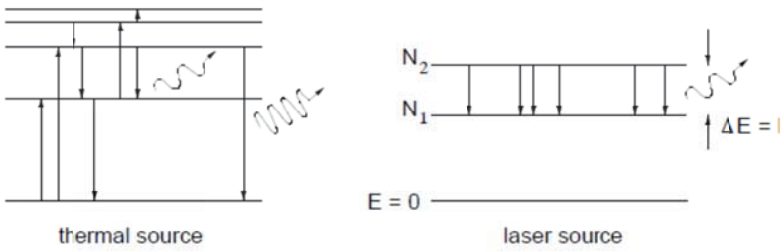
تمامی اشیا تابش گرمایی گسیل می‌کنندکه شامل طیف فرکانسی پیوسته‌ای است که قله طول موج طیف به دمای جسم بستگی دارد. اجسام با دمای بیشتر توزیعی از تابش‌ها را که قله طول موج آن در طول موج کوتاه تر یعنی در انرژی تابش بیشتر است، گسیل می‌کنند. در تابش خورشید (با در نظر گرفتن دمای $6000K$) در حدود $\lambda = 500\ \text{nm}$ رخ می‌دهد .

[1] Root
[2] Optic flowmeter
[3] Laser Doppler Velocity Metering



شکل ۱-۴۴. **نمودار تابش بر حسب فرکانس(طول موج)**

فوتون‌های یک منبع گرمایی در گستره‌ی وسیعی از طول موج‌ها و در تمامی جهات گسیل می‌شوند اما تابش لیزر کاملا متفاوت است، فوتون‌ها با انرژی‌های مشخص، یعنی با طول موج و فاز مشخص ظاهر می‌شوند و همگی آن‌ها در یک جهت حرکت می‌کنند.



شکل ۱-۴۵. **منبع نوری گرمایی و لیزری**

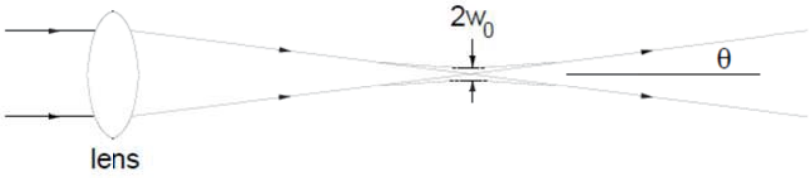
شکل فوق تفاوت‌های اساسی بین تابش گرمایی و لیزری را نشان می‌دهد.کوانتوم مکانیک بیان می‌کند که الکترون‌هایی که به دور هسته یک اتم می چرخند، نمی توانند هر مقدار دلخواهی انرژی داشته باشند و باید در یکی از حالت های گسسته انرژی باشند. اگر الکترونی یک کوانتوم انرژی تابشی را دریافت کند، به سطح گسسته انرژی بعدی می‌رود. به صورت مشابه الکترون می تواند تابش گسیل کند و بنابراین انرژی از دست بدهد و به حالت های دیگر برود . انرژی یک فوتون از نور با فرکانس f با رابطه ی زیر بیان می شود :

$$E = hf$$

که h ثابت پلانک با مقدار $h = 6.63 \times 10^{-34} Js$ است .

در یک مجموعه ازاتم ها در حالت نرمال، الکترون‌ها به صورت مداوم بین حالت‌های مختلفی که انرژی‌های مختلفی دارند جا به جا می شوند. الکترون‌ها به صورت مداوم طیف گوناگونی از انرژی (و در نتیجه فرکانس) را جذب و یا آزاد می‌کنند.

یک لیزر به وسیله برخی ابزارها به گونه‌ای طراحی شده است که تعداد زیادی از اتم‌ها، الکترون‌هایی در یک سطح انرژی برانگیخته ویژه دارند. این الکترون‌ها تمایل دارند که به سطح انرژی پایین‌تر خود بازگردند و در حین انجام این کار فوتون‌هایی با انرژی دقیقا مساوی اختلاف سطوح انرژی گسیل می‌کنند. لیزرها توانایی منحصر به فردی برای ساخت پرتو نور با تمرکز انرژی بالا دارند، با این وجود طبیعت کوانتومی فوتون‌ها موجب می شود که یک واگرایی کوچک در پرتو، همواره وجود داشته باشد. پرتو لیزر نمی‌تواند دقیقا روی یک نقطه تمرکز کند اما مطابق با شکل زیر پهنای پرتو متمرکز شده مقدار بسیار کوچک $2w_0$ است.



شکل ۱-۴۶. **پهنای پرتو لیزر**

ضخامت پهنای پرتو توسط رابطه زیر داده می شود :

$$\theta = \frac{\lambda}{\pi w_0}$$

از این رو تلاش برای رسیدن به تمرکز بالاتر (θ کوچکتر) به افزایش w_0 منجر می شود . از این رو پیدا کردن یک حالت بهینه متناسب با کاربرد مورد نظر در این رابطه ضروری به نظر می رسد.

مبانی اپتیکی

سرعت نور در خلا به صورت $C_0 = 3.0 \times 10^8 ms^{-1}$ و سرعت آن در محیطی با ضریب شکست n، به صورت $C = {C_0}/{n}$ است.

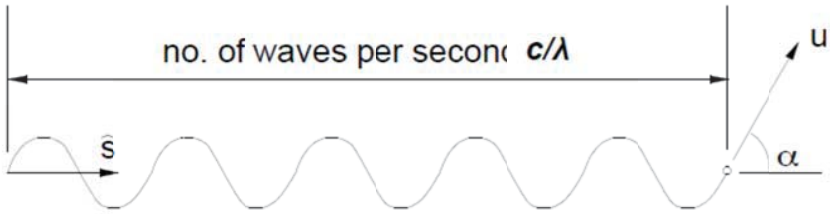
فرکانس، مستقل از محیط انتشار است و با رابطه‌ی $f = {C}/{\lambda}$ محاسبه می شود که در این رابطه فرکانس بر حسب هرتز (Hz) و طول موج بر حسب متر (m) است.

پارامتر مهم دیگر، عدد موج (k) بر حسب m^{-1} است که به صورت زیر قابل محاسبه است :

$$k = \frac{2\pi}{\lambda}$$

اثر داپلر

اثر داپلر نوری درست مانند اثر داپلر در صوت عمل می کند. اگر یک دریافت کننده (شنونده) به یک چشمه ثابت امواج صوتی نزدیک شود، نسبت به زمانی که نسبت به چشمه حرکتی نداشته باشد، با قله های موج در فرکانس های بالاتری برخورد خواهد کرد و اگر دریافت کننده از چشمه ثابت امواج صوتی دور شود، قله های موج را در فرکانس‌های پایین‌تری دریافت خواهد کرد. همین اتفاق دقیقا در مورد امواج نوری و لیزر نیز رخ می‌دهد.



شکل ۱-۴۷. **اثر داپلر برای یک چشمه ثابت و دریافت کننده متحرک**

اگر دریافت کننده متحرک نباشد، تعداد جبهه های موج که در زمان t دریافت می کند به صورت زیر است:

$$N_0 = ft = \frac{C}{\lambda}t$$

اما اگر دریافت کننده مطابق شکل فوق با سرعت u و زاویه α نسبت به جهت انتشار امواج، در حال حرکت باشد، سرعت دریافت امواج و همین طور تعداد موج هایی که در زمان دریافت می‌کند(N_1)، کاهش می‌یابد.

$$N_1 = \frac{\left(C - \text{مولفه } u \text{ در راستای انتشار امواج}\right)t}{\lambda} \Longrightarrow N_1 = \frac{1}{\lambda}(C - u \cdot \hat{s})t$$

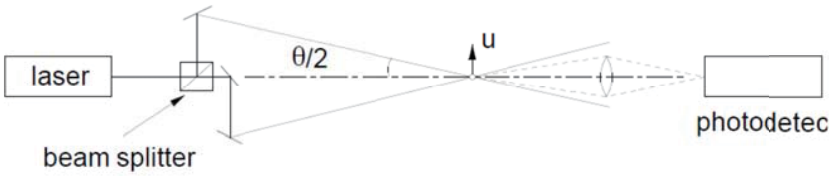
که $\hat{s}$ بردار واحد در راستای انتشار امواج است. بنابر این مقادیر فرکانس مربوط به دریافت کننده ثابت و متحرک (f_0 و f_1) با تعداد امواج دریافتی در واحد زمان و به صورت زیر داده می شود.

$$f_0 = \frac{C}{\lambda} \quad , \quad f_1 = \frac{1}{\lambda}(C - u \cdot \hat{s})$$

بنابراین یک شیفت فرکانسی به صورت زیر داریم :

$$\Delta f = f_0 - f_1 = \frac{1}{\lambda}\, u \cdot \hat{s} = \frac{|u| \cos\alpha}{\lambda}$$

که همانطور که گفته شد α زاویه بین جهت انتشار موج و دریافت کننده است.



شکل ۱-۴۸. **چینش آزمایشگاهی روش داپلر اپتیکی تفاضلی**

در شکل فوق، یک چینش اپتیکی را نمایش می دهد. یک پرتو لیزر از یک مقسم موج عبور می کند و به دو پرتو تقسیم می‌شود. با یک چینش از آینه‌ها این دو پرتو با زاویه θ، در نقطه اندازه‌گیری همگرا می‌شوند. این پرتوها توسط هر ذره‌ای که با جریان حمل می‌شود(دانه‌های جریان)، پراکنده می‌شود، سپس نور پراکنده شده وارد یک آشکارساز می‌شود، فقط نوری که در جهت دهانه آشکارساز باشد قابل جمع‌آوری است و بقیه نور پراکنده نشده از سیستم خارج می‌شود.

در مرحله اول ذرات جریان را می توان به عنوان دریافت کننده برای امواج لیزر در نظر گرفت و در مرحله بعد می توان آنها را فرستنده امواج برای آشکار ساز در نظر گرفت. فرایند اول- یعنی گسیل لیزر از یک چشمه ثابت به

ذرات متحرک – حالتی است که در شکل ۴ نمایش داده شده و در آن $\alpha = 90° - \frac{\theta}{2}$ است. بنابراین ذره نوری را دریافت می کند که یک شیفت فرکانسی به صورت زیر دارد :

$$f_1 = f_0 - \frac{|u| \sin\frac{\theta}{2}}{\lambda}$$

$$\cos\alpha = \cos\left(90 - \frac{\theta}{2}\right) = sin\frac{\theta}{2}$$

شیفت فرکانسی به علت وجود مولفه سرعت ذره در جهت دور شدن از چشمه، در فرکانس های پایین تر اتفاق می‌افتد.

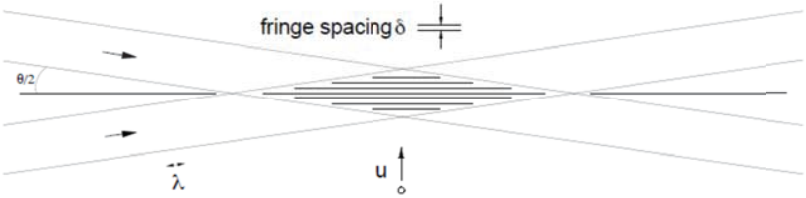
پرتو بالایی نیز به هنگامی که توسط ذرات دریافت می شود، شیفت فرکانسی پیدا خواهد کرد. اما در این حالت به دلیل حضور مولفه سرعت ذره به سوی چشمه، شیفت در فرکانس های بالاتری رخ خواهد داد و این شیفت فرکانسی به صورت زیر است:

$$f_2 = f_0 + \frac{|u| \sin\frac{\theta}{2}}{\lambda}$$

ذره موجود در جریان، نوری را که به آن می رسد پراکنده می کند. نور پراکنده شده شامل دو فرکانس f_1 و f_2 است. سرعت ذره هیچ مولفه ای در جهت دریافت کننده ندارد. بنابراین نوری که وارد آشکارساز می شود دارای همان فرکانسی است که اگر با ذره برخورد نمی کرد، آن فرکانس (f_1 و f_2) را داشت. مرحله نهایی تعیین اختلاف بین این دو فرکانس و محاسبه سرعت ذره از روی آن است.

زمانی که دو موج با فرکانس های یکسان ترکیب می شوند پدیده زنش می تواند رخ دهد. فرکانس زنش اختلاف بین فرکانس این دو مولفه است و به صورت زیر تعریف می شود :

$$f_{beat} = |f_2 - f_1| = \frac{2|u| \sin\frac{\theta}{2}}{\lambda}$$



شکل ۱-۴۹. **الگوی نواری به وجود آمده از تداخل امواج**

یک روش ملموس ولی با دقت کمتر برای درک این پدیده الگویی نواری وجود دارد که از تداخل امواج متقاطع به وجود می آید. ذره‌ای از سیال که داخل این حجم حرکت می کند در فاصله های زمانی τ که طول می کشد تا ذره از یک نوار روشن به نوار روشن بعدی برود، روشن خواهد شد. یک ذره در سیال که با سرعت u از یک الگوی نواری با پهنای نواری δ می گذرد، فلاش های نوری با فرکانس زیر می دهد :

$$f = \frac{1}{\tau} = \frac{1}{\delta/u} = \frac{u}{\delta}$$

و اما می دانیم که :

$$\delta = \frac{\lambda}{2 \sin\frac{\theta}{2}}$$

بنابراین با جایگذاری این مقدار به همان نتیجه ای می رسیم که در قسمت قبل رسیده بودیم :

$$f = \frac{2u}{\lambda}\sin\frac{\theta}{2}$$

پیاده سازی کاربردی LDV

اجزای یک سیستم LDV به طور کامل در دسترس است. کمپانی Dantec در کپنهاگ و کمپانی TSI Inc آمریکا، پیشرو در امر فروش این محصولات می‌باشند. مقسم موج و ابزارهای همگراساز اپتیکی معمولا در یک پک، آشکار ساز و ابزارهای اپتیکی همراه آن در یک پک دیگر و پردازشگر سیگنال و ابزارهای پیچیده و پیشرفته همراه آن در یک پک دیگر بسته بندی می شوند. این مجموعه معمولا به یک کامپیوتر متصل است.

نوع ذرات جریان برای یک سیستم LDV معمولا مشکلی به وجود نمی‌آورد، به جز در مورد شرایط بسیار تمیز برای آب که این سیستم به علت عدم وجود ذرات پراکنده کننده نور به اندازه کافی، برای این نوع دبی سنج ها مناسب نیست. در دبی سنج های گازی به منظور آشکارسازی بهتر از قطرات کوچک روغن ذرت استفاده می‌شود.

شکل ۱-۵۰. **دبی سنج لیزری(اپتیکی)**

در جدول زیر مقایسه‌ای بین دبی سنج های مختلف به لحاظ شرایط کاری و نوع سیال شده است:

شرایط	مثال	نوع سیال	دبی سنج
محدوده اندازه گیری وسیع دقت بالا / نیاز به رسیدگی	آب / فاضلاب	رسانا	الکترو مغناطیسی اولتراسونیک
مقاوم در برابر سائیدگی / مقاوم در برابر خوردگی / سرعت سیال کم / افت فشار کم	لجن فاضلاب / دوغاب غلیظ / آب میوه / کنسانتره	دوغاب ها	الکترو مغناطیسی
مقاوم در برابر سائیدگی / سرعت سیال کم / افت فشار کم	ماست / مایونز / شیر غلیظ شده	رسانا با چسبندگی زیاد	الکترو مغناطیسی
سرعت سیال کم / افت فشار کم	اسید / امولسیون / شیر / آب قلیایی / آب جو / شراب	رسانا با چسبندگی کم	الکترومغناطیسی
افت فشار کم / جریان با سرعت و چگالی و جرم کم	شکلات / شکر مایع / روغن ها و چربی ها / رنگ ها / لاک الکل	نارسانا با چسبندگی زیاد	کوریولیس
افت فشار کم / جریان با سرعت و چگالی و جرم کم	حلال ها / نفتا / استون / آب دیونیزه	نارسانا با چسبندگی کم	کوریولیس گردابه ای
نسبت متعادل فشار به دما،جرم و حجم	هوا / نیتروژن / هوای فشرده / دی اکسید کربن / آرگون / هلیوم	گازهای ساده	گردابه ای حرارتی(thermal)
مقاوم در برابر خوردگی / حساس نبودن به غلظت	بیو گاز / گازهای طبیعی	گازهای مرکب	گردابه ای حرارتی(thermal)
دمای بالا	گاز دود کش	گازهای خروجی	اختلاف فشاری
مقوم در برابر فشار بالا و دمای کم	اکسیژن	گازهای خالص	گردابه ای حرارتی (thermal) اختلاف فشاری
سرعت سیال بالا	اکسیژن / نیتروژن / مونواکسید کربن / پروپان / بوتان	گازهای مایع	کوریولیس گردابه ای
فشار بالا(بزرگ تر از ۱۶۰ بار)	بخار داغ	بخار اشباع	گردابه ای

۱-۶-مبانی و روش‌های سطح سنجی(ارتفاع سنجی)

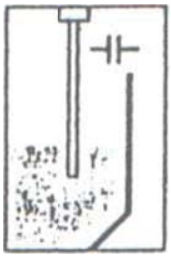
ارتفاع سنج‌ها همراه با جریان سنج‌های کانال باز یا به تنهایی به منظورارتفاع سنجی درمخازن، چاه ها، سیلوها یا امثال آن‌ها مورداستفاده قرارمی گیرند. سنجش سطح بر حسب نوع ماده که مایع یا جامد با ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی گوناگون باشد امری است که باید بادقت به آن توجه شود. چندین روش برای اندازه گیری و سنجش دائم سطح و تشخیص رسیدن به سطح مشخص و حفاظت از خالی شدن یا لبریزشدن وجود دارد که در این‌جا بطور مختصر اشاره می‌شود.

۱-٦-۱-روش خازنی (Capacitive):

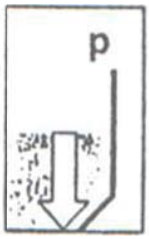
دیواره مـخزن و یک الکترود به عنوان صفحات خازن و مواد جامد یا مایع داخل مخزن به عنوان دی الکتریک خازن درنظر گرفتـه می شود تغییرات سطح ماده به عنوان تغییر دی الکتریک خازن است. این روش برای اندازه گیری سطح مـواد پر خطر در خلا و فشار بالا یا دمای بالا، پودر یا توده جامداتی رسانا یا نارسانا که به آسانی به حرکت درمـی‌آیند، بکار می رود.

۱-٦-۲-روش هیدرو ستاتیک [1]:

در اثر وزن مـایع یا جامد بر حسب جرم حجمی آن به یک دیافراگم حساس فشار وارد می آید. یک تغییر درسطح ماده سبب تغییردرفشار به دیافـراگم است. ایـن روش در مایعات و انـواع خمیرها با چسبندگی محدود و صنعت تولـید دارو و مواد غذایی و مواد پر خطر در دمای بالا به کار می‌رود.



شکل ۱-۵۱. **روش خازنی در سطح سنجی**



شکل ۱-۵۲. **روش هیدروستاتیک در سطح سنجی**

۱-٦-۳-روش راداری [2]:

یک آنتن مخروطی یا میله ای پالس‌های میکرو ویو(micro wave) ایجاد می کند که پس از برخورد به سطح جامد یا مایع برمی گردد. زمان طی شده بین فرستادن تا دریافت بازتابش انـدازه گـیری شده بـه عنوان فـاصله به نمـایش در می آید. در مـورد مایعات، پودرها و توده جامدات با بیش از دو دی‌الکتریک به کار می رود. این روش ارتفاع سنجی و این نوع ارتفاع سنج ها، در هر شرایطی مستقل از محیط اندازه گیری هستند و از آن تاثیر نمی‌پذیرند.

شکل ۱-۵۳. **روش رادار در سطح سنجی**

[1] Hydrostatic
[2] Radar

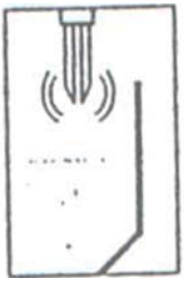
۱-٦-٤-روش الکترومکانیکی[1]:

یک وزنه آویزان به یک کابل در داخل مخزن فرو برده می شود و در هنگام برخورد به سطح ماده (جامد یا مایع)در اثر نیروی ارشمیدسی یا عکس العمل سطح ،تغییری درکشش کابل احساس می گردد بدین ترتیب ارتفاع سنجی صورت می گیرد. این روش در مورد مایعات و پودرها و توده جامداتی که به آسانی به حرکت در می آیند بکار می رود و اندازه گیری ارتفاع‌های زیاد با دقت نسبتا خوب امکان پذیر است.

۱-٦-٥-روش ویبراتور[2]:

یک پروب پیزو الکتریک لرزش (Vibration) تولید می کند که وقتی سطح ماده جامد یا سطح مایع بالا بیاید و به آن برخوردکند دامنه یا فرکانس لرزش های `پروب تغییر می کند و تشخیص رسیدن سطح ماده داخل مخزن به یک سطح مشخص به این روش ممکن است.

شکل ۱-۵۴. **روش الکترومکانیکی در سطح سنجی**



شکل ۱-۵۵. **روش ویبراتور در سطح سنجی**

۱-٦-٦-روش رسانایی[3]:

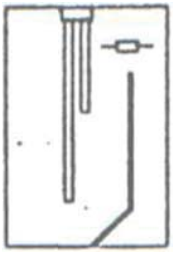
یک ولتاژ ضعیف متناوب AC بر پروبی که دارای دو الکترود یکی کوتاه و یکی بلند است، اعمال می شود. وقتی سطح ماده داخل مخزن به نوک الکترود کوتاه برسد مدار الکتریکی بسته شده و رسیدن به سطح مشخص شده را اعلام می کند.

۱-٦-۷-سطح‌سنجی به روش اولتراسونیک[4]:

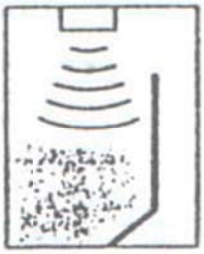
یک کریستال پیزو سرامیک که توسط یک مدارتحریک می شود پرتو امواج اولتراسونیک ایجاد می‌کند که پس از برخورد به سطح مایعات یا جامدات منعکس شده و بر می‌گردد. زمان طی شده به این طریق پس از اندازه گیری به فاصله تبدیل شده و به نمایش در می‌آید. در مورد همه مایعات، پودرها وتوده جامداتی که به آسانی به حرکت در می‌آیند و محیطهای پر خطر وغبارآلود شیمیایی به کار می رود. محدودیت‌های ایجاد شده به شرایط خلا یا دمای بالاو مقدار بخار مایعات در محیط بستگی دارد.

---

[1] Electromechanical
[2] Vibrator
[3] Conductive
[4] Ultrasonic Level Metering



شکل ۱-۵۶. **روش رسانایی در سطح سنجی**



شکل ۱-۵۷. **سطح سنجی به روش اولتراسونیک**

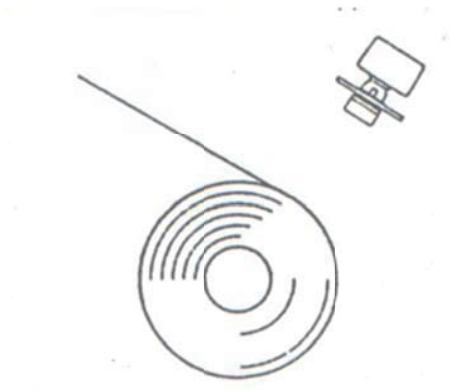
این روش برای سنجش دائم سطوح بدون تماس با آن مورد استفاده قرار می گیرد و مطابق با اصول تابش و بازتابش پرتو اولتراسونیک عمل می کند. مبدل پیزو الکتریک با کیفیت بالا، پالس های متمرکز شده و قوی اولتراسونیک را از خود تابش می دهد. سطح مایعات و جامدات این پالس های اولتراسونیک را انعکاس می دهد. معمولا مبدل هم به عنوان فرستنده و هم گیرنده عمل می کند، و در وضعیت گیرندگی مانند یک دریافت کننده با حساسیت بالا است که پالس های منعکس شده از سطح را دریافت می کند. زمان بین فرستادن پالس تا دریافت انعکاس ها و شکل سیگنال دریافتی پس از تشخیص توسط بخش الکترونیک پردازش می شود. با استفاده از سرعت صوت که به دمای محیط و ترکیب هوای محیط(GAS COMPOSITION) بستگی دارد و فاصله زمانی طی شده بین پالس تابشی از پروب و دریافتی توسط پروب، فاصله بین پروب و سطح فراورده توسط بخش الکترونیک به دقت محاسبه می شود. هیچ خطری در بکارگیری دستگاه های اولتراسونیک وجود ندارد. مبدل توسط سیگنال با ولتاژ زیاد و انرژی خیلی کم تحریک می شود. مکان نصب پروب کاملا باید با دقت انجام شود تا برخورد پرتو اولتراسونیک به مایع ورودی به تانک و دیواره های کنار مخزن، خطا دراندازه گیری ایجاد نکند.

مزایای استفاده از روش اولتراسونیک در سطح سنج:

۱. عدم تماس با سطح مورد نظر برای سنجش
۲. مراقبت و نگهداری لزومی ندارد.
۳. درشرایط پرخطرو قابل انفجار قابل استفاده است.
۴. اندازه گیری به چگالی یا دانسیته فراورده بستگی ندارد.
۵. اندازه گیری به ثابت دی الکتریک فراورده بستگی ندارد.
۶. اندازه گیری به فشار داخل مخزن (در محدوده مشخص شده) بستگی ندارد.
۷. معمولا این دستگاه ها دارای جبران کننده دمایی هستند.

کاربردها:

- اندازه گیری و سنجش سطح برای همه مایعات حتی انواع مایعات پرخطر
- اندازه گیری سطح جامدات مانند زغال سنگ، ماسه، پودر سنگ، شکر، نمک، حبوبات، خاک اره، آهک
- فاصله سنج با تشخیص عبور کالا روی تسمه نقاله، تشخیص مقدار پر شدن قرقره کاغذ.



شکل ۱-۵۸. **روش اولتراسونیک در سطح سنجی**

۱-۷-مبانی و روش‌های ضخامت‌سنجی اولتراسونیک[1]

ضخامت‌سنج های اولتراسونیک برای اندازه‌گیری ضخامت مواد از یک سمت آنها، استفاده می‌شوند. اولین ضخامت سنج تجاری از اصول کاری ردیاب های صوتی[2] پیروی می‌کرد که در سال ۱۹۴۰ معرفی شد . تجهیزات کوچک متنوع و قابل حمل از ۱۹۷۰ متداول شدند. اخیرا پیشرفت در تکنولوژی میکروپروسسورها به مرحله جدیدی از عملکرد پیچیده و کاربرد آسان این تجهیزات منجر شده است. کار تمامی ضخامت سنج‌های فرا صوتی بر پایه اندازه گیری بازه زمانی عبور پالس های موج صوتی از میان ماده مورد آزمایش است . فرکانس یا گام این پالس های صوتی فراتر از حد شنوایی انسان است و عموما فرکانس آنها بین بیست هزار تا بیست میلیون هرتز است. بدیهی است حد شنوایی گوش انسان ، بیست هزار هرتز است . این امواج فرکانس بالا توسط وسیله‌ای تولید و دریافت می شوند که مبدل فرا صوتی نامیده می شود که انرژی الکتریکی را به لرزش های مکانیکی و بلعکس تبدیل می کند.

امواج فرا صوت بکار رفته در آزمایشات صنعتی به خوبی نمی‌توانند از میان هوا عبور کنند، به همین دلیل از یک جفت واسط مثل پروپیلن گلیکول، گلیسرین ، آب یا نفت استفاده می شود که اغلب بین مبدل و قطعه قرار می گیرد. بیشتر ضخامت سنج‌های اولتراسونیک از روش " ضربه - انعکاس " برای اندازه گیری استفاده می‌کنند . امواج صوتی تولید شده توسط مبدل ، وارد قطعه شده و از بخش دیگر منعکس می‌شوند و به مبدل بازمی‌گردند .ضخامت‌سنج ، بازه زمانی بین پالس مرجع یا اولیه را با انعکاس آن با دقت اندازه‌گیری می‌کند. به طور نمونه این بازه زمانی تنها یک میلیونیم ثانیه است. اگر ضخامت سنج با سرعت صوت در آن نمونه برنامه ریزی شده باشد ، می توان ضخامت را با روابط ساده ریاضی از روی این بازه زمانی محاسبه کرد .

$$t = VT/2$$

t : ضخامت قطعه

V : سرعت صوت در آن ماده

T : زمان رفت و برگشت اندازه گیری شده

نکته مهم این است که سرعت صوت در ماده مورد آزمایش یک بخش ضروری از این محاسبه است. در مواد متفاوت سرعت انتقال صوت نیز متفاوت است و سرعت صوت به طور قابل توجهی با دما تغییر خواهدکرد. بنابر

[1] Ultrasonic Thickmetering
[2] Sonar

این ضروری است که ابزار ماوراء صوت با توجه به سرعت صوت در ماده مورد آزمایش کالیبره شود و دقت اندازه گیری وابسته به این کالیبراسیون است.

حقیقتا هر ماده مهندسی را می توان بدین وسیله اندازه گیری کرد. ضخامت سنج اولتراسونیک را می توان طوری تنظیم کرد که بتوان فلزات، پلاستیک، سرامیک‌ها، کامپوزیت‌ها، اپوکسی‌ها و شیشه را اندازه گیری کند. همچنین نمونه‌های بیولوژیک و مایع را نیز می‌توان اندازه‌گیری کرد . موادی که برای ضخامت سنج‌های متداول مناسب نیستند، شامل چوب، کاغذ، بتن و فوم است . اندازه گیری آنلاین یا همزمان پلاستیک های اکسترود شده یا فلزات نورد شده ، همچنین اندازه گیری لایه ها یا پوشش در مواد چند لایه نیز ممکن است .

ضخامت سنج اولتراسونیک عموما شامل یک مدار گیرنده و فرستنده، کنترل کننده و زمان سنج منطقی، مدار محاسباتی، مدار نمایش‌گر و یک تامین‌کننده نیرو است. فرستنده، تحت کنترل یک میکروپروسسور، یک پالس محرک را به مبدل می‌فرستد . پالس ماوراء صوت به وسیله‌ی مبدل که به نمونه تست متصل شده ، تولید می شود. انعکاس‌ها از انتها یا داخل سطح نمونه به وسیله‌ی مبدل دریافت و به سیگنال‌های الکتریکی تبدیل می‌شوند و یک آمپلی‌فایر دریافت کننده را برای آنالیز کردن تغذیه می کنند. میکرو پروسسور کنترل‌کننده و مدارهای زمان سنج منطقی پالس را منطبق کرده و سیگنال‌های انعکاسی مناسب را برای اندازه گیری بازه زمانی انتخاب می‌کنند. وقتی که انعکاس‌ها دریافت می شوند ، مدار زمان سنجی ، یک بازه برابر با رفت و برگشت پالس صوتی در نمونه تست را به دقت اندازه خواهد گرفت. اغلب این پروسه چندین بار تکرار شده تا یک مقدار متوسط و پایدار بدست آید .

سپس میکروپروسسور این بازه زمانی را همراه با سرعت صوت و داده های ذخیره شده در حافظه‌ی دستگاه به کار می‌برد تا ضخامت را اندازه‌گیری کند. این ضخامت سپس به نمایش در می‌آید و به طور متناوب بروز می‌شود. ضخامت خوانده شده همچنین ممکن است در حافظه بیرونی ذخیره شود یا به پرینتر منتقل گردد. اغلب ضخامت سنج های ماوراء صوت یکی از چهار نوع زیر هستند:

۱. مبدل - تماسی
۲. خط تاخیری
۳. شناور
۴. دوجزئی

که هرکدام مزایا و معایب خود را دارند.

۱-مبدل تماسی

ضخامت‌سنج‌هایی که از مبدل با تماس مستقیم استفاده می‌کنند به طور کلی در اجرا ساده هستند و به طور گسترده‌ای در اندازه گیری‌های صنعتی به کار می‌روند. بازه‌های زمانی عبارتند از: پالس‌های القایی اولیه تا اولین انعکاس منهای فاکتور تصحیح‌کننده‌ای که حساب ضخامت از سطح ابزار مبدل را دارد و لایه کوپل شده ، همچنین تاخیر الکتریکی در ابزار سنجش . به طور ضمنی مبدل تماسی در تماس مستقیم با قطعه مورد تست به کارگرفته می‌شود.مبدل های تماسی برای کاربرد های سنجش بجز موارد زیر توصیه می شوند .

۲-مبدل خط تاخیری

مبدل های خط تاخیری از یک سیلندر پلاستیک ، اپوکسی یا سیلیکا جوش خورده تشکیل شده اند و به عنوان خط تاخیری بین جزء مبدل و قطعه کار شناخته می شوند. یک دلیل عمده برای استفاده از مبدل خط تاخیری جدا کردن انعکاس ها از پالس‌های محرک در ماده نازک مورد اندازه‌گیری است. به عنوان یک موج بر، خط تاخیری

همچنین می تواند امواج را به قطعه‌ای که بسیار داغ است بفرستد تا اندازه گیری به وسیله‌ی مبدل تماسی حساس به گرما انجام شود . خط تاخیری را می توان طوری شکل داد که به راحتی با سطوح منحنی و فضاهای محدود کوپل شود. زمان بندی انعکاس ها در کاربردهای خط تاخیری ممکن است یکی ازاین دو حالت باشد: ۱) انتهای خط تاخیری به ابتدای انعکاس دیواره پشتی ۲) بین انعکاس های موفق دیواره. این نوع زمان سنجی دقت اندازه گیری مواد نازک را بهبود می بخشد و یا دقت اندازه گیری بیشتر از روش تماسی برای کاربردهای ویژه است.

۳-مبدل شناور

مبدل های شناور یک ستون آب را برای انتقال انرژی صوتی به داخل قطعه به کار می‌برند . آنها را می توان برای اندازه گیری بهنگام تولیدات متحرک ، اسکن، اندازه گیری چرخشی و بهینه سازی در شعاع های تیز و شیارها به کار برد . نوع زمان سنجی مشابه نوع تاخیر خطی است .

٤-مبدل دو جزئی

مبدل‌های دو جزئی اصولا برای اندازه گیری سطوح زبر و خشن مورد استفاده قرار می‌گیرند. در آن‌ها مبدل فرستنده و گیرنده جدا از هم هستند که هر دو روی یک خط تاخیری در یک زاویه متغیر برای تمرکز انرژی یک فاصله انتخاب شده در زیر سطح قطعه سوار شده‌اند . همچنین دقت عمل این نوع کمتر از انواع دیگر است. آن‌ها فقط برای کاربردهای زبر و خشن طراحی شده اند.

۱-۸-مبانی و روش‌های فشارسنجی

فشار به معنی مقدار نیروی وارد شده بر واحد سطح است. از همین مطلب می توان به واحد های گوناگون فشار در سیستم های مختلف دست یافت. دراستاندارد C.G.S "dync/cm²=bar"، دراستاندارد .M.K.S علمی "Pascal" و در M.K.S. عملی "Kgf/m²" و در استاندارد انگلیسی "Psi" واحد های فشار در سیستم های گوناگون هستند.

مقادیر فشار همیشه نسبت به یک فشار مبداء اندازه گیری می شوند که این فشار مبداء ، در واقع همان فشار اتمسفر یا فشار جو است. فشار اتمسفر به کمک آزمایش تریچلی در سطح دریا اندازه گیری می شود و مقدار آن برابر است با:

760 mm Hg = 14.7 Psi =1 atm = 1Kgf/cm² و 1 atm=1.013 Bar

فشاری که نسبت به فشار اتمسفر سنجیده می شود ، فشار نسبی است و فشاری که نسبت به فشار مطلق خلا سنجیده شود را فشار مطلق می‌گویند. وسایل و روش‌های اندازه‌گیری فشار بسیار متفاوتند ، شرح کوتاهی از آن‌ها در ادامه آمده است.

۱-۸-۱-اندازه گیری فشار توسط مانومتر ها[1]

ساختمان مانومترها که به فشار سنج‌های اولیه موسومند، از شیشه‌ای محکم ساخته شده و صفحه‌ی آن‌ها بر حسب اینچ، سانتی‌متر یا میلی‌متر مدرج شده و مایع درون آن ها معمولا آب یا جیوه است. از مانومترها برای اندازه گیری فشارهای کم استفاده می شود که در خواندن فشارهای خیلی کم از نوع آبی آن استفاده می‌گردد. مانومترها انواع زیادی دارند که در زیر به گونه های عمده‌ی آن ها اشاره شده است:

- مانومتر یک شاخه ای (Single Leg Manometer)

[1] Manometers

- مانومتر دو شاخه ای (V-Tube Manometer)
- مانومتر مورب (Inclined Manometer): این مانومتر حد تفکیک بهتری را فراهم می کند.

انواع بالا را نیز می توان با خاصیت القای مغناطیسی به کار برد که معمولا یا از سیالی با خاصیت مغناطیسی به کار می رود و یا این که شناوری روی سطح به عنوان هسته ی مغناطیسی به کار می برند.

اندازه گیری فشار توسط فشار سنج های لوله بوردن[1]

بوردن نام دانشمندی است که این وسیله را اختراع کرد. جنس لوله های بوردن بیشتر از برنز ، برنج، آلیاژهای مس، فولاد ضد زنگ و یا نیکل سخت است. خاصیت فیزیکی که در این روش اندازه گیری به کار رفته، ویژگی ارتجاعی مواد در برابر فشار است و به شکل های مختلف ساخته می شود:

لوله C شکل[2] : یک لوله با انتهای بسته است که زاویه‌ای در حدود ۲۵۰ درجه دارد و زمانی که به آن فشار وارد می شود، در اثر اختلاف اندازه ی محیط بیرونی و درونی، تمایل به راست شدن پیدا می کند. تغییر وضعیت لوله متناسب با فشار مورد اندازه گیری است. باز و جمع شدن لوله بین ۰/۲۵ تا ۰/۴ اینچ است و اگر بیشتر از این مقدار باز شود ، فنریت خود را از دست خواهد داد.

لوله فانوسی[3] : دم یا فانوس، ساختمانی شبیه به دم آهنگری دارد. رابطه فشار و جابجایی خطی است و حوزه جابجایی آن در حدود ۵ تا ۱۰ در صد کل طول آن است و به طور معمول برای اندازه گیری فشار نسبی از آن استفاده می شود.

لوله حلقوی[4] : نواری تو خالی که دارای یک گام طولی است و در اثر فشار تغییر شکل می دهد.

لوله حلزونی[5] : به صورت لوله ای است که به دور خود چرخیده باشد و حرکت آن نسبت به فشاردرمقایسه با لوله یC شکل بیشتر است.

دیافراگم[6] : جنس دیافراگم را می توان از فلز یا غیر فلز انتخاب کرد. در نوع غیر فلزی که در محدوده‌ی فشار پایین تری به کار می رود ، استفاده از چرم و لاستیک متداول‌تر است.

کپسول[7] : ترکیبی از دو دیافراگم است که از ناحیه ی لبه ها به یکدیگر جوش داده شده اند و نسبت به دیافراگم دقت بیشتری دارد.

۱-۸-۳-اندازه گیرهای الکتریکی فشار[8]

برای جلوگیری از استفاده ی قطعات و اجزای اضافی و افزایش هزینه و جلوگیری از وارد شدن نویز و ایجاد خطا در سنجش فشار و تبدیل آن به کمیتی الکتریکی با دو روش گفته شده در قبل ، از روش های زیر نیز استفاده می گردد:

---

[1] Bourdon Tube
2 C-Tube
[3] Bellows Tube
[4] Helical Tube
[5] Spiral Tube
[6] Diaphragm
[7] Capsule
[8] ElectricalPressure Measurement

استرین گیج ها[1]

معروف‌ترین اندازه گیرهای الکتریکی فشار هستند و معمولا برای اندازه‌گیری فشارهای بالا مورد استفاده قرار می گیرند. در واقع آن ها برای سنجش کرنش استفاده می‌شوند و می توان برای اندازه‌گیری فشارهای کم نیز از آن استفاده کرد. استرین‌گیج ها را معمولا از سیم هایی با جنس مس نیکل می سازند و به صورت زیکزاکی روی پلاستیک های مقاومی می چسبانند. ابعاد آن‌ها از چند میلی متر مربع تا چند سانتی‌مترمربع و دارای مقاومتی از چند ده تا چند هزارم اهم هستند. برای جلوگیری از اثر تغییرات درجه حرارت ، معمولا استرین گیج کمکی در جهت عمود بر استرین گیج اصلی و در نزدیکی آن قرار می دهند.

اندازه‌گیری‌های ظرفیتی فشار[2]

در این نوع اندازه‌گیری ، اغلب فشار مورد اندازه گیری به جابجایی و تغییر فاصله‌ی جوشن‌ها تبدیل می شود و در این صورت ، تغییر ظرفیت خازن حاصل می‌شود. تغییر ظرفیت نیز معمولا توسط یک پل AC و یا یک مدار اسیلاتور تبدیل به ولتاژ یا فرکانسی متناسب با فشار می‌گردد.

اندازه گیری های پیزوالکتریکی فشار[3]

عناصر پیزوالکتریک ، عناصری با قابلیت تبدیل انرژی مکانیکی به الکتریکی و بر عکس هستند. هر گاه یک عنصر پیزوالکتریک مانند یک کوارتز تحت فشار P قرار گیرد ، میلی ولت‌متر ولتاژی متناسب با فشار را نشان خواهد داد. در عناصر پیزوالکتریک ، پلاریته تولید شده متناسب با جهت فشار است.

[1] Strain-Gages
[2] Capacitive PressureMeasurement
[3] Piezoelectrical Pressure Measurement