

فصل هفتم

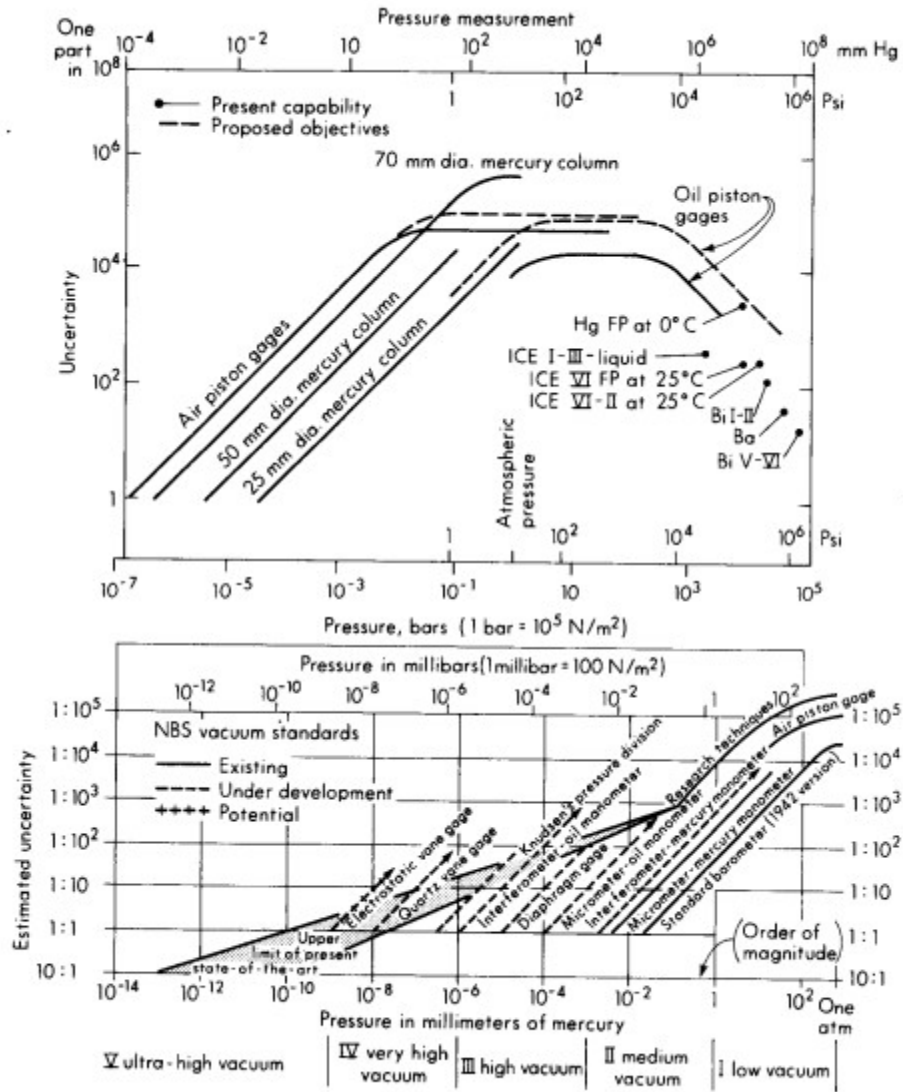
اندازه گیری فشار

۷-۱ مقدمه :

فشار یک کمیت اصلی نیست. اما از تقسیم دو کمیت نیرو و سطح، که خود اینها نیز از کمیت‌های اصلی، (جرم، طول و زمان) نتیجه می‌شوند، حاصل می‌گردد. فشارسنج‌های استاندارد می‌توانند از خلاء: متوسط (حدود 0.1 mmHg مطلق) تا چندین هزار psi (در محدوده کار مانومترها و پیستون‌های وزن مرده را) اندازه گیری کنند.

برای فشارهایی در حدود 0.001 تا 0.1 mmHg ، فشارسنج‌های مک‌لود (سنج‌های مکشی) استاندارد شده‌اند. در فشارهای زیر $3-10 \text{ mmHg}$ ، از تکنیک‌های تقویت کننده استفاده می‌شود که در آنها فشار طی عبور از روزنه‌های متوالی از مقدار بسیار کم در پایین دست جریان، به مقدار بزرگتر قابل اندازه گیری در بالادست جریان، تبدیل می‌شود. در این حالت فشار تقویت شده را می‌توان توسط یک فشارسنج مک‌لود اندازه گرفت.

عدم قطعیت و خطاهای فشارسنج‌های استاندارد به صورت گرافیکی در شکل‌های (۷-۱ الف) و (۷-۱ ب) آورده شده‌اند. ویژه گیها و اصول کارکرد بعضی از آنها در ذیل آورده خواهد شد. از آنجایی که فشار را به راحتی می‌توان ضمن اعمال به یک سطح مشخص به نیرو تبدیل نمود، اندازه گیری فشار و نیرو از این جهت مشابه اند. به غیر از تکنیک‌های خاص خلاء، بیشتر وسایل اندازه گیری فشار، براساس فشار ناشی از اعمال یک بار معلوم بر سطحی مشخص که باعث تغییر شکل الاستیک آن می‌شود، کار می‌کنند. البته در فشارهای پایین نیز از نیرو به طور غیرمستقیم برای اندازه گیری فشار استفاده می‌کنیم که در بخش اندازه گیری فشارهای پایین شرح داده خواهد شد.

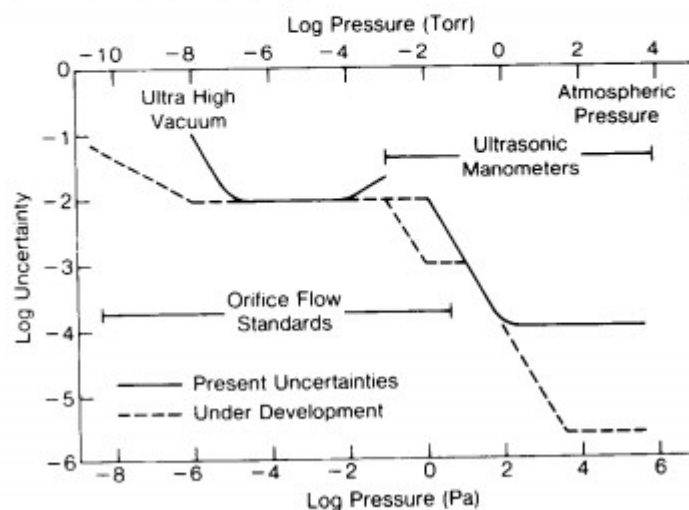


(a)

الف

Gage and Pressure Measurement Uncertainties

Type of Instrument	Range	Uncertainty
Gas-operated PG	1.4 kPa to 17 MPa	± 57 ppm
Oil-operated PG	700 kPa to 100 MPa	± 63 ppm
	100 MPa to 280 MPa	± 60 to ± 150 ppm
Oil-operated PG	40 to 400 MPa	± 186 ppm



(b)

ب

شکل‌های (۱-۷) استانداردهای فشار

۲-۷ سنج‌های وزن مرده

اجزاء مربوط به مکانیزم وزن مرده یا سنجه پیستونی در شکل (۲-۷) نشان داده شده است. این مکانیزم بیشتر برای درجه‌بندی فشارسنج‌های کم دقت به کار می‌رود. فشارسنج موردنظر که باید درجه‌بندی شود به مخزنی پر از مایع متصل می‌شود. مخزن به یک مکانیزم سیلندر و پیستون، با امکان قرار دادن وزنه‌های

استاندارد مختلف بر روی پیستون، متصل است و شیر تخلیه نشان داده شده در شکل برای تنظیم موقعیت پیستون می‌باشد.

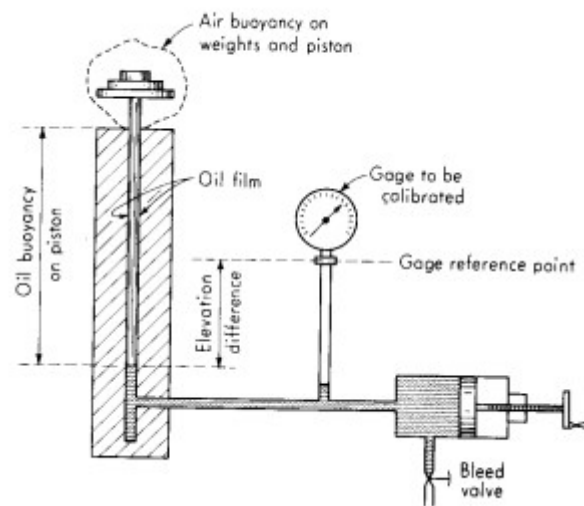
برای حصول نتایج دقیق تر لازم است به نکاتی توجه شود: برای اندازه گیری دقیق باید نیروی اصطکاک بین سیلندر و پیستون به صفر یا حداقل ممکن برسد. استفاده از لقی مناسب بین سیلندر و پیستون، داشتن صافی سطح کافی و چرخاندن پیستون نسبت به سیلندر تا حدود زیادی این مشکل را حل می کند. لقی بین سیلندر و پیستون این سؤال را پیش می آورد که سطح مقطع مورد نظر برای اعمال فشار کدام سطح است؟ سطح پیستون یا سطح سیلندر (خطای عدم قطعیت سطح)؟ با دقتی مناسب سطح مقطع میانگین بین سیلندر و پیستون می تواند جوابگوی این مسئله باشد.

لقى بین سیلندر و پیستون همچنین باعث نشت مقداری مایع از قسمت پرفشار به قسمت کم فشار (محیط خارج) می شود. این سیال ضمن عبور از بین دیواره سیلندر و پیستون، یک نیروی برشی محوری به پیستون اعمال می کند که موجب خطا می گردد. اثر مربوط به این نیرو را می توان با تئوری های مربوط به مکانیک سیالات محاسبه کرد.

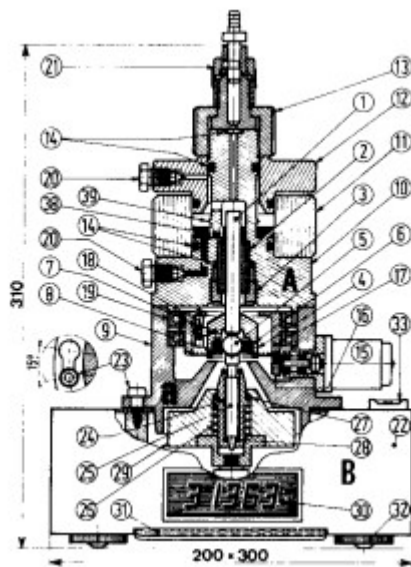
از آنجایی که همواره نیروی وزن پیستون به مایع اعمال می شود، حداقل فشاری به اندازه فشار وزن پیستون^(۱) خواهیم داشت. در اندازه گیری فشارهای خیلی پایین برای حل این مشکل از سیلندر و پیستون مایل استفاده می کنیم. بنابراین از فشار صفر (در حالت ایده آل برای یک پیستون افقی) تا فشار وزن پیستون به راحتی قابل دسترسی خواهد بود.

با بکارگیری گازهای خنثی مانند نیتروژن، به عنوان سیال تحت فشار، قادر به اندازه گیری فشار از صفر تا ۶۰۰ psi خواهیم بود. دقت می تواند تا ۰/۰۱٪ در محدوده ۰/۳ تا ۱۵ psi باشد و تا حدود ۰/۰۱۵٪ در محدوده ۲ الی ۶۰۰ psi تغییر کند. شکل (۷-۳) نوع دیگری از این نوع فشارسنج را که ترکیبی از یک سنجه دقیق پیستونی همراه با یک ترازوی مغناطیسی (دینامومتر الکتریکی) است نشان می دهد. پیستون توسط نیروی الکترو-مغناطیسی شناور می شود. قسمت A این دستگاه شامل مکانیزم سیلندر و پیستون، وسایل اندازه گیری مربوط و متعلقات مربوط به یکنواخت کردن جریان تغذیه فشار می باشد و قسمت B شامل دینامومتر الکتریکی و بخش آنالیز و خروجی دستگاه است. گستره کامل دستگاه از ۸۰ تا ۱۲۰۰ psi بوده و دقت آن در فشارهای پایین از رابطه $(P - 4 + 10 \times 10^{-4}) \pm$ به دست می آید که P فشار واقعی بر حسب psi می باشد. دقت نمایشگر ۱ E/شمارش است.

اگر بخواهیم از سنجه های وزن مرده برای اندازه گیری فشار مطلق استفاده کنیم، باید این مجموعه را در محفظه تخلیه شده ای که در حالت ایده آل فشار صفر را داراست قرار دهیم. در واقع میزان فشار محفظه هیچگاه صفر نیست و برای محاسبات نیاز به اندازه گیری آن داریم که از مانومترها برای این کار استفاده می کنیم.



شکل (۷-۲) آزماینده وزن مرده



شکل (۷-۳) آزماینده استاندارد فشار با استفاده از ترازوی الکترومغناطیسی

شکل‌های متفاوتی برای مانومترها وجود دارد، اما همگی خود تنظیم بوده و توانایی کارکرد در اختلاف فشارهای کم را داشته و قابلیت نمایش پیوسته در محدوده اندازه‌گیری را دارند. سنج‌های وزن مرده و مانومترها در بسیاری از جهات قابل مقایسه‌اند اما در فشارهای بالا، به خاطر احتیاج به ستون مایع خیلی بلند، به کارگیری مانومترها مشکل است. انواع مختلف مانومترها در شکل (۴-۷) نشان داده شده است.

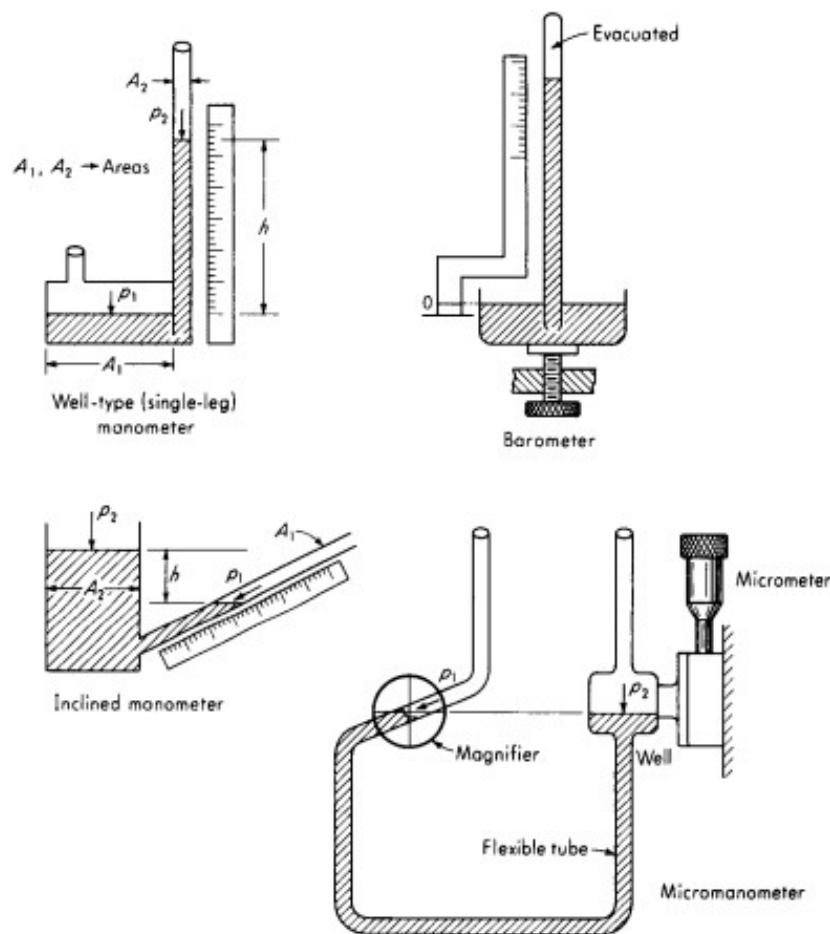
رابطه کلی مانومترها به صورت زیر می‌باشد.

$$h = \frac{P_1 - P_2}{\rho g} \quad (۱-۷)$$

که g معرف شتاب جاذبه محلی و ρ مبین چگالی وزنی مایع داخل مانومتر است. اگر P_2 فشار اتمسفر باشد، h نمایانگر اندازه‌گیری مستقیم فشار نسبی P_1 خواهد بود. توجه داشته باشید که سطح مقطع مانومتر در کارکرد آن بی‌تأثیر است حتی اگر یکنواخت نباشد! در یک مکان مشخص (مقدار g ثابت) حساسیت مانومتر تنها به چگالی مایع مانومتر بر می‌گردد. آب و جیوه معمولترین مایعات مانومتر هستند.

شکل (۴-۷) کاربردهای وسیعی از انواع مانومترها را نشان می‌دهد. مانومتر مخزنی^(۱) به خاطر سادگی کاربرد زیادی دارد. همچنین از آنجایی که $A_1 \gg A_2$ می‌توان از تغییر ارتفاع در مخزن صرف نظر کرده و با قراردادن یک صفحه مدرج ثابت، مستقیماً فشار مورد نظر را اندازه گرفت.

بارومتر نوع دیگری از مانومتر است که در شکل (۴-۷) نشان داده شده است. اساس کار بارومتر این است که اگر یکی از مقادیر فشار صفر باشد اختلاف فشار مبین فشار مطلق نیز خواهد بود. با مسدود کردن یک طرف لوله مانومتر و تخلیه هوای آن بارومتر حاصل می‌شود. البته باید در نظر گرفت که فضای خلاء بالای لوله دارای فشار صفر مطلق نیست و فشار بخار اشباع مایع مانومتر در دمای محیط روی مایع اعمال می‌شود. اما میزان این فشار و خطای ناشی از آن در برابر سایر عوامل خطا، قابل چشم‌پوشی است (فشار بخار اشباع جیوه در $70^\circ F$ برابر $4-10$ psi است). برای افزایش دقت در خواندن فشار اندازه‌گیری شده توسط بارومتر، می‌توان آن را به صورت مایل قرار داد و مقیاس درجه‌بندی را بزرگتر کرد.



شکل (۴-۷) انواع بارومتر

برای اندازه گیری اختلاف فشارهای بسیار کم به کمک مانومتر، همان طور که در شکل (۴-۷) نشان داده شده، از مایعات سبکتر همراه با یک ذره بین با خطوط موئین صلیبی و یک میکرومتر استفاده می شود. پس از تنظیم کردن اولیه سطح مایع روی صلیب، فشارها را به دو لوله مانومتر اعمال کرده و با جابجا کردن لوله یا ذره بین، دوباره سطح مایع را روی صلیب تنظیم می کنیم. ارتفاع جابجا شده معرف ارتفاع ستون مایع و در نتیجه اختلاف فشار است. با این روش می توان فشارهایی تا حد 0.001 in آب را اندازه گرفت. با استفاده از بوتیل الکل به جای آب و افزایش دقت میکرومتر تا 0.0002 in ، می توان اختلاف فشارهای تا حد $6 \times 10^{-6} \text{ psi}$ را اندازه گرفت.

برای کم کردن خطای مانومتر و بارومتر به موارد زیر می توان اشاره کرد: در خواندن ارتفاع مایع به صورت عادی تأثیر انبساط حجمی مایع مانومتر در اثر اختلاف دما باید در نظر گرفته شود. همچنین مقدار دقیق g باید توسط آزمایش

اندازه‌گیری شود. خطاهای دیگر مربوط به عمود نبودن لوله U شکل، مشکل خواندن ارتفاع به خاطر انحنای حاصل از اثر نیروهای چسبندگی بین مایع و شیشه و مسائل مربوط به بزرگنمایی سطح مایع مانومتر می‌باشند. اما در هر صورت دقتی تا حدود 0.1 mmHg توسط مانومترها قابل دسترسی است.

قسمتی از خطاهای مانومترها مربوط به نحوه خواندن ارتفاع ستون مایع توسط آزمایش کننده است. یک راه حل برای رفع این مشکل استفاده از یک گسیل کننده امواج صوتی در داخل لوله و اندازه‌گیری انعکاسهای صوتی حاصل شده در اثر برخورد امواج با سطح مایع می‌باشد. نمونه‌های عملی این دستگاه دارای حساسیت 0.003 in جیوه و دقت کاربردی 0.01 in جیوه یا 0.03% درصد می‌باشند. تغییر دما اثر قابل توجهی بر روی سرعت صوت دارد و از این رو در بکارگیری روش اندازه‌گیری مذکور معمولاً از یک سیستم فیدبک برای ثابت نگه داشتن دما در حدود $95 \pm 0.5^\circ \text{F}$ استفاده می‌شود.

برای شبیه‌سازی رفتار دینامیکی مانومتر، که معمولاً در اندازه‌گیری استاتیکی فشار به کار می‌رود، با مشکلاتی روبرو می‌شویم که در نتیجه حصول پاسخ دینامیکی مانومتر کار را دشوار می‌کند. برای بررسی رفتار دینامیکی مانومتر یک مدل ساده در شکل‌های (۷-۵ الف و ب) که شامل نیروهای اینرسی و نیروی متعادل کننده سیستم (شبیه فنر) می‌باشد، نشان داده شده است.

اما به طور کلی، اگر از ویسکوزیته و اینرسی (جرم) گازی که فشارش اندازه‌گیری می‌شود صرف‌نظر کنیم، حرکت مایع داخل لوله مانومتر در اثر اعمال نیروهای زیر خواهد بود:

۱- نیروی جاذبه (وزن سیال) که به طور یکنواخت به تمام سیال اعمال می‌شود.

۲- نیروی مقاومی که به واسطه حرکت سیال داخل لوله به وجود می‌آید و مربوط به تنشهای برشی ناشی از گرانروی مایع مانومتر می‌باشد.

۳- نیرو اعمال شده به دو انتهای بدنه سیال توسط فشارهای P_1 و P_2

۴- فشار عمودی لوله روی بدنه سیال (عکس‌العمل نیروهایی که فشار داخل سیال به دیواره‌های لوله وارد می‌کند).

۵- اثر کشش سطحی مایع در دو انتهای بدنه سیال

در نظر گرفتن تمام نیروهای ذکر شده منجر به معادلات غیرخطی پیچیده و غیرقابل حل ریاضی می‌شود. بنابراین برای ساده‌سازی شکل (۷-۵-الف) را به جای شکل (۷-۵-ب) در نظر گرفته و برای جبران اثر افقی کردن لوله یک نیروی برگرداننده قوی روی سیال قرار می‌دهیم. در توضیح لازم بودن این نیرو می‌توان چنین استدلال کرد که همان طوری که در یک متر هرگونه تغییر طول با نیروی مقاوم برای غلبه بر این تغییر طول و رسیدن به تعادل عمل می‌کند، در ستونهای مانومتر هرگونه اختلاف ارتفاع با نیروی برگرداننده فتری جبران می‌شود. این نیرو برابر $2\rho R^2 x g$ می‌باشد که "g" وزن مخصوص سیال مایع مانومتر است. همان‌طور که ذکر شد این نیرو با X متناسب است و همیشه در خلاف جهت X اعمال می‌شود. از اثر مربوط به خم 3180 مانومتر در مدل افقی آن، خصوصاً هنگامی که شعاع خم در مقایسه با قطر لوله زیاد است، با دقت خوبی می‌توان صرف‌نظر کرد. اثر مربوط به کشش سطحی مایع و دیواره نیز ناچیز می‌باشد. برای محاسبه نیروی مقاوم^(۱) به واسطه تنش برشی لوله و گرانیروی سیال، عبارت اختلاف فشار این گونه تعریف می‌شود:

$$\Delta P = f \frac{\gamma L V_{av}^2}{2gd} = f \frac{L}{d} \rho \frac{V_{av}^2}{2g_o} \quad (7-2)$$

که

g_o = ضریب تبدیل واحد جرم

ρ = چگالی سیال kg/m^3

f = ضریب اصطکاک

γ = وزن مخصوص محلی سیال

V_{av} = سرعت متوسط سیال ft/sec

۱ - monometer Well-type

g = شتاب جاذبه محلی ft/sec^2

d, L = طول و قطر لوله که باید هم واحد باشند.

با نوشتن روابط مربوط به تنش برشی دیواره لوله و قراردادن $X^{(n)} = D^n X$ می توان نشان داد که :

$$\frac{X}{P}(D) = \frac{1/2\gamma}{\frac{2D^2}{3g/L} + \left[4\mu L/Z^2\gamma\right]^{D+1}} \quad (3-7)$$

که در اینجا μ گرانیوی سیال می باشد. اگر این رابطه را با رابطه یک سیستم مرتبه دو مقایسه کنیم، خواهیم داشت:

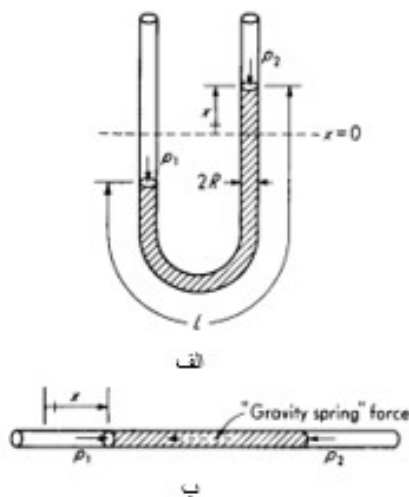
$$\zeta \triangleq 2.45\mu \sqrt{\frac{gl}{R^2\gamma}} \quad (4-7)$$

$$\omega_n \triangleq \sqrt{\frac{3g}{2L}} \quad (5-7)$$

برای مثال : یک مانومتر جیوه ای با مشخصات $R=0.13\text{in}$ ، $L=2.65\text{in}$ ، $\mu = 2.18 * 10^{-7} \text{lbf}$ و $\gamma =$

0.491lbf/in^3 را در نظر بگیرید. با قرار دادن مقادیر داده شده در روابط (4-7) و (5-7) فرکانس طبیعی

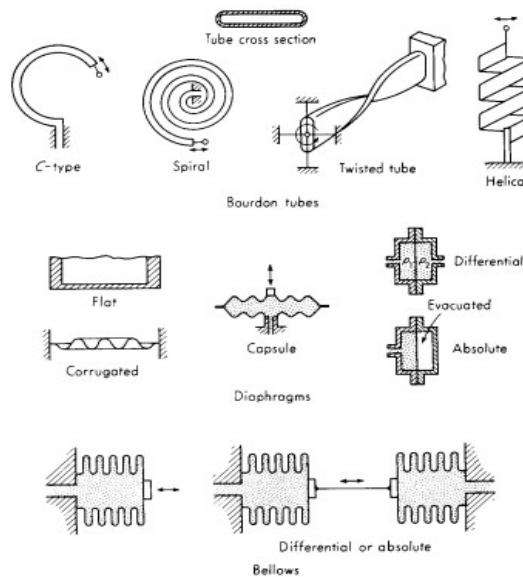
4.7rad/s و نسبت میرائی $\zeta=0.007$ حاصل می شود. مقدار Z به دست آمده میرائی بسیار کمی را نشان می دهد.



شکل (5-7) مدل تئوریک مانومتر

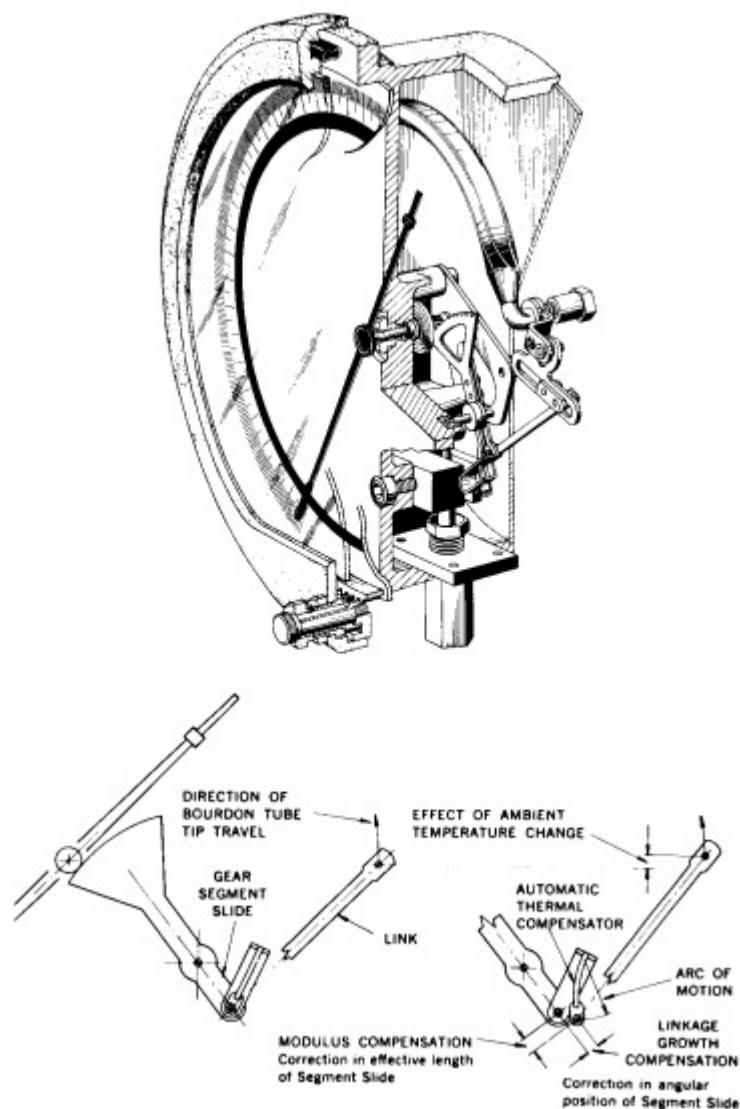
۷-۴ ترانسدیوسرهای الاستیک

برای اندازه گیری فشار در محدوده های وسیع از المانهای حس کننده انعطاف پذیر فلزی مانند لوله بردن، دیافراگم و یا خرطومی^(۱) استفاده می شود. شکل (۶-۷) انواع این وسایل را نشان می دهد. به طور کلی در این وسایل سیگنال فشار ابتدا به یک سیگنال حرکتی و سپس به سیگنالهای الکتریکی تبدیل می شود. به عنوان مثال، کرنش سنجها می توانند مستقیماً و یا با واسطه بر روی دیافراگم فشار قرار گیرند. فشارسنج لوله با قطرهای ۱ تا ۱۶ اینچ، در کاربردهای تجارتی ارزان قیمت برای فشارهای استاتیکی استفاده می شود. اساس کار لوله بردن برایین مبنا است که در یک لوله بامقطع غیرگرد اختلاف فشار بین داخل و خارج لوله تمایل به گرد کردن مقطع لوله خواهد داشت. این امر موجب تغییر شکل در انتهای آزاد لوله بردن با شکل C، حلزونی یا مارپیچ و یا باعث چرخش زاویه ای در نوع تابیده شده خواهد شد. بررسی اثر فشار روی این لوله ها و محاسبات از طریق تئوری، بسیار پیچیده و غیرقابل حل است و طراحیها بیشتر براساس داده های تجربی می باشد.



شکل (۶-۷) ترانسدیوسرهای الاستیک فشار

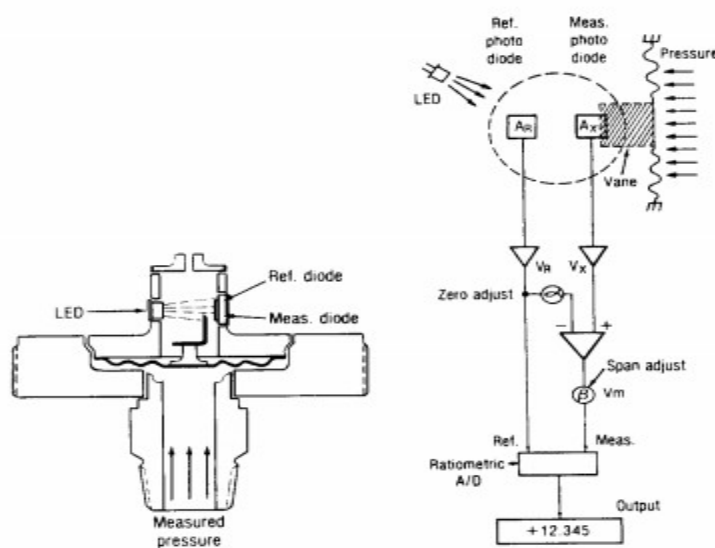
لوله بردن با شکل C برای فشارهای تا حد ۱۰۰۰۰۰ و با شکل های حلزونی و مارپیچ، که تغییر شکل های بیشتری دارند، برای فشارهای زیر ۱۰۰۰ psi مناسب است. شکل (۷-۷) فشارسنج لوله بردن با شکل C را برای دقت ۰/۱٪ نشان می دهد.



شکل (۷-۷) سنبه لوله بردن

فشارسنج الکترواپتیکی

شکل (۷-۸) فشارسنج الکترواپتیکی را نشان می‌دهد که در آن از یک دیود نوری (LED) و دو فتودیود برای اندازه‌گیری جابجایی استفاده نموده است. جابجایی اندازه‌گیری شده خود نتیجه عملکرد المان الاستیک تحت فشار است. از ویژگی‌های مهم این وسیله پوشش مناسب خطاهای مربوط به عملکرد غیرخطی بین فشار و تغییر مکان می‌باشد. نحوه عملکرد به این گونه است که مقادیر جابجایی اندازه‌گیری شده به کمک یک PROM^(۲) (حافظه برنامه‌پذیری که فقط قابل خواندن است) با ارقام از پیش تعیین شده‌ای مقایسه می‌شوند و داده فشار مربوط به آن اندازه‌گیری، محاسبه می‌شود. دما ورودی دیگر این دستگاه است اما به دلیل برخورداری هر دو فتودیود از نور یک LED و نصب آنها بر روی یک صفحه خطای ناشی از انبساط‌های حرارتی اجزای الاستیک از بین می‌روند. محدوده کارکرد این وسیله در درجه‌بندی مطلق از ۵psi تا ۶۰۰۰psi با دقت ۰/۱٪ می‌باشد. دقت تأثیر درجه حرارت ۰/۰۴٪/°F به ازاء هر درجه فارنهایت تغییر دما در محدوده ۰ تا ۱۶۰°F می‌باشد. سیستم صفر کننده خودکار نیز خطاهای مربوط به پسماندهای مکانیکی و الکترونیکی اجزای مکانیکی و دیودهای الکترونیکی را پوشش می‌دهد.



شکل (۷-۷) ترانسدیوسر فشار الکترواپتیکی

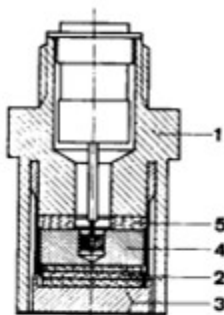
فشارسنج پیزوالکتریک

فشارسنج‌های پیزوالکتریک ویژگیهای مشابهی با شتاب سنج‌ها و ترانسدیوسرهای اندازه‌گیری پیزوالکتریک که قبلاً شرح داده شده، دارند. این نوع سنج‌ها معمولاً از فرکانس طبیعی بالایی برخوردار هستند و پاسخ ناچیزی به ورودیهای شتابی مزاحم دارند.

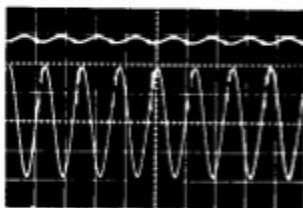
ترانسدیوسرهای اندازه‌گیری فشار پایین و یا سایر ترانسدیوسرهایی که روی وسایل با ارتعاشات زیاد نصب می‌شوند باید دارای مکانیزم جبران شتاب تا میزان کاهش ۱:۵ یا ۱:۱۰ باشند. شکل (۷-۹) جزئیات و تأثیرات مربوط به خنثی کردن آثار مربوط به شتاب حاصل از ارتعاشات شدید را نشان می‌دهد. شکل (۷-۹-ب) پاسخ دو سیستم یکی همراه با مکانیزم جبران شتاب (منحنی بالایی) و دیگری بدون آن (منحنی پایینی) را نشان می‌دهد. شکل (۷-۹-ج) یک نمونه عملی مربوط به نصب دستگاه روی اگرز یک موتور دیزل همراه با جبران کننده شتاب و بدون آنرا نشان می‌دهد. شکل (۷-۹-د) بیانگر عملکرد ضعیف این سیستم در تشدیدهای بدنه یک لوله شوک آیرودینامیکی است، از اینرو فرکانس طبیعی مجموعه باید تا حد ممکن بالا انتخاب شود. شکل (۷-۹-ه) بهبود وضعیت کارکرد را در حالتی که فرکانس طبیعی چهار برابر مقدار اولیه شده است نشان می‌دهد. ترانسدیوسرهایی که براین اساس ساخته می‌شوند دارای فرکانس تشدید تا حدود 2KH ۵۰۰ و زمان صعود 1msec ^(۱) و درصد اضافه جهش کمتر از ۱۵ در پاسخ به ورودی پله‌ای می‌باشند. حساسیت شتاب‌سنج تا 0.02psi/g برای گستره اندازه‌گیری تا 500psi می‌باشد.

۱ - Bellows

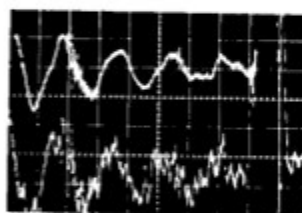
۲ - Programmable read only memory



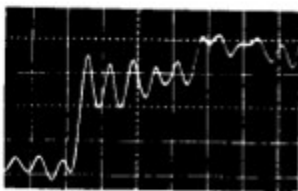
الف



ب



ج



د



هـ

شکل (۷-۹) ترانسدیوسر فشارپیزوالکتریکی

فشارسنج دیافراگمی

در فشارسنج‌های دیافراگمی معمولاً از یک کرنش‌سنج استفاده شده که یا مستقیماً روی صفحه دیافراگم قرار دارد و یا بر روی میله‌ای که نیروی لازم برای جابجایی آن از دیافراگم تأمین شده، نصب می‌شود. در تغییر شکل‌های بزرگ دیافراگم به صورت غیرخطی عمل می‌کند. تئوری لازم برای بدست آوردن تغییر مکان در میانه دیافراگم در رابطه زیر آمده است.

(۷-۷)

$$P = \frac{16Et^4}{3R^4(1-\nu^2)} \left[\frac{yc}{t} + 0.488 \left(\frac{yc}{t} \right)^3 \right]$$

که در آن :

P : اختلاف فشار دوطرف دیافراگم

E : مدول الاستیسیته

t : ضخامت دیافراگم

ν : ضریب پواسون

R : شعاع دیافراگم از مرکز لبه‌ها

همان‌طور که ملاحظه می‌شود رابطه P بر حسب yc خطی نیست اما برای فشارهای کوچک عبارت $0.488 \left(\frac{yc}{t} \right)^3$ قابل چشم‌پوشی است و لذا تغییر مکان هر نقطه به فاصله r از مرکز دیافراگم از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$y = \frac{3P(1-\nu^2)(R^2-\nu^2)}{16Et^3} \quad (7-7)$$

برای بررسی آثار غیرخطی ابتدا لازم است کرنشهای اصلی صفحه‌ای معلوم شوند. بدین منظور از کرنش‌سنجهای روزت^(۱) استفاده می‌شود. در شکل (۷-۱۰) سنجه ۲ و ۴ هرچه نزدیکتر به مرکز دیافراگم قرار گیرند، برای خواندن کرنشهای مماسی (در جهت q) مناسب‌تر خواهند بود. کرنش‌سنجهای ۱ و ۳ برای خواندن کرنشهای شعاعی به کار می‌روند و از آنجایی که بیشترین مقدار این کرنشها در نزدیکی لبه‌ها رخ می‌دهد، کرنش‌سنجهای ۱ و ۳ در نزدیک لبه‌های دیافراگم نصب می‌شوند.

بررسی مشخصات و پاسخهای دینامیکی دیافراگم نیاز به دانستن فرکانس طبیعی و سایر خصوصیات دینامیکی دیافراگم دارد. یک دیافراگم بینهایت فرکانس طبیعی دارد که کوچکترین آنها موقعی که دیافراگم را در سیالی با چگالی ρ_f با شرایط دیواره‌ای درگیر داشته باشیم، رخ می‌دهد و از روابط زیر محاسبه می‌شود:

$$\omega_n = \frac{10.21}{CR^3} \sqrt{\frac{Et^2}{12 \rho_f (1-\nu^2)}} \quad (8-7)$$

که در اینجا:

$$C \triangleq \sqrt{1 + 0.669 \frac{\rho_f R}{\rho_d t}}$$

که ρ_d چگالی جرمی دیافراگم است.

بعضی از عواملی که فرکانس طبیعی را تغییر می‌دهند عبارتند از:

۱- شرایط درگیری لبه که اگر کاملاً محکم روی دیواره نصب نشوند موجب کاهش سختی و در نتیجه کم شدن فرکانس طبیعی می‌شود.

۲- اگر دیافراگم کاملاً مسطح نباشد موقع سفت کردن پیچها و اتصال به دیواره، صفحه چروک شده، سفتی بالا رفته و فرکانس طبیعی افزایش می‌یابد.

۳- در اندازه گیری فشار داخل مایع، اینرسی سیال باعث پایین آمدن فرکانس طبیعی می‌شود (خصوصاً وقتی که قطر لوله انتقال مایع به دیافراگم کم باشد). اگر سیال گاز باشد، گاز محبوس شده در پشت دیافراگم باعث افزایش سختی و بالا رفتن فرکانس خواهد شد. مثال: داده‌های مربوط به یک ترانسدیوسر فشار از نوع دیافراگمی که مورد آزمایش قرار گرفته، به عنوان یک مثال عددی از این مبحث ذکر می‌شود. دیافراگم از جنس برنز فسفری است و مشخصات زیر را داراست:

$$E = 16 * 10^6 \text{ psi}$$

$$R = 1.830 \pm 0.002 \text{ in}$$

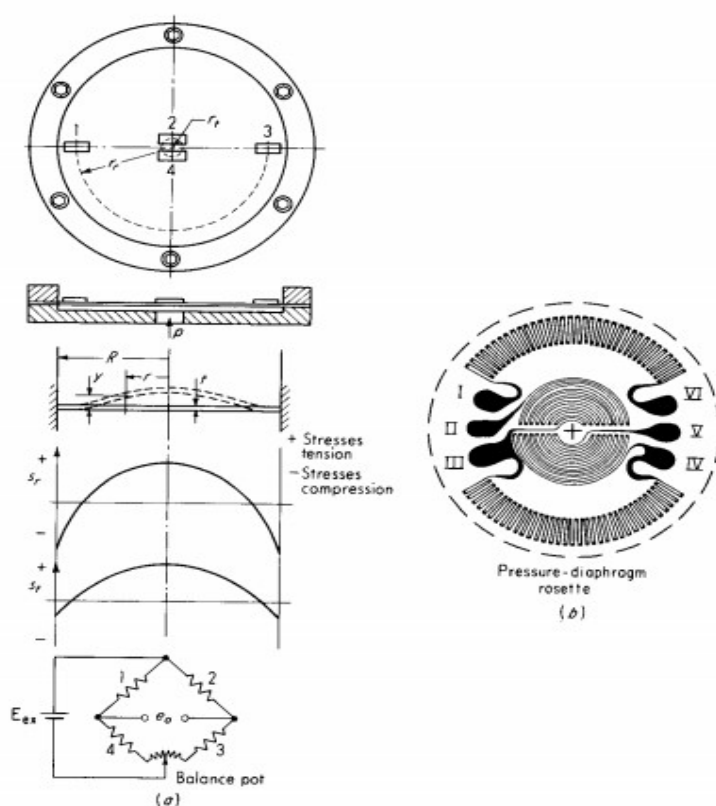
$$r_t = 0.15 \pm 0.01 \text{ in}$$

$$r_r = 0.52 \pm 0.01 \text{ in}$$

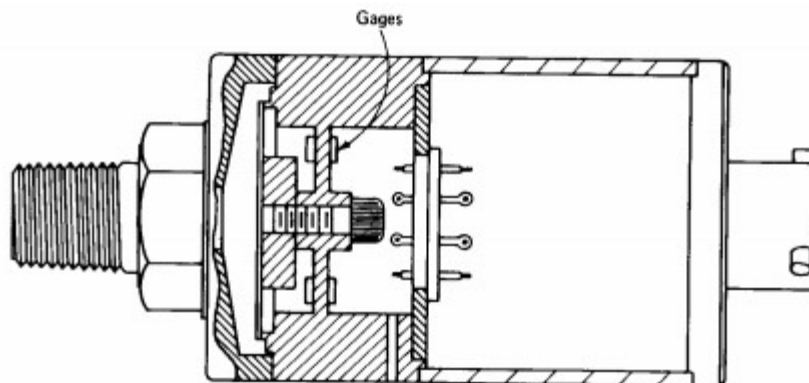
$$\rho = 0.00083 \text{ lbf.} \frac{\text{s}^2}{\text{in}^4}$$

$$t = 0.0454 \pm 0.0003 \text{ in}$$

کرنش سنج به کار رفته دارای ضریب سنج ۲٪/۱/۹۷+/- و مقاومتی برابر 0.3Ω است. تغذیه پل و تستون با برق DC ۷/۵V بود. مقدار حساسیت تئوریک دستگاه ۵/۵۱۶mV/psi محاسبه شده است. مقدار بیشینه غیرخطی بودن دستگاه دو درصد محدوده کل درجه بندی آن است. فرکانس طبیعی مجموعه از طریق محاسبات تئوری ۹۲۴Hz است اما در شرایط آزمایش با هوای آزاد در دو طرف دیافراگم ۸۹۷Hz به دست آمده است. شکل (۷-۱۱) جزئیات مربوط به یک ترانسدیوسر فشار با دیافراگم نازک همراه با کرنش سنجهای نصب شده بر روی فویلهای خم شونده و جزئیات مربوط به تصحیح تأثیرات دما را نشان می دهد.

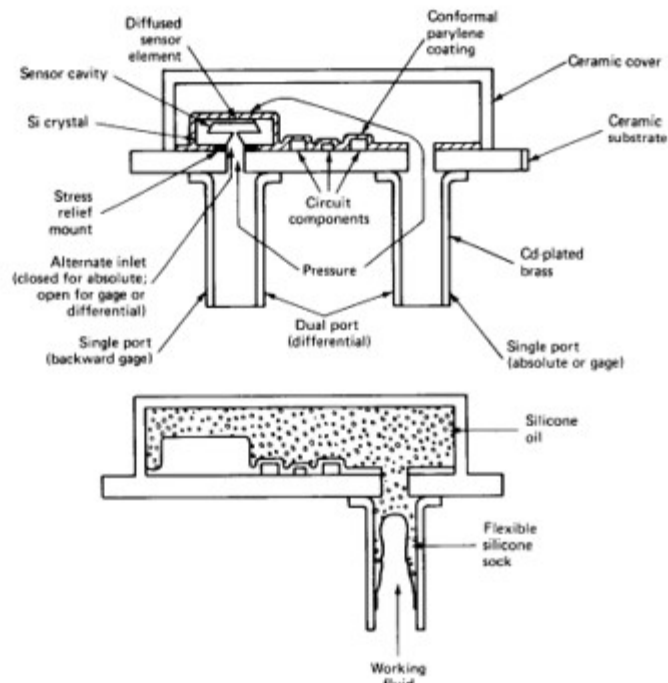


شکل (۷-۱۰) فشارسنج دیافراگمی

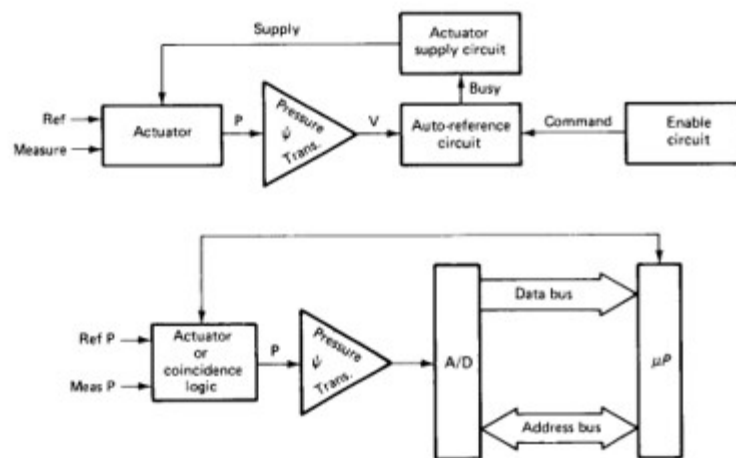


شکل (۷-۱۱) فشارسنج دیافراگمی با استفاده از کرنش سنج ورقه‌ای مقید

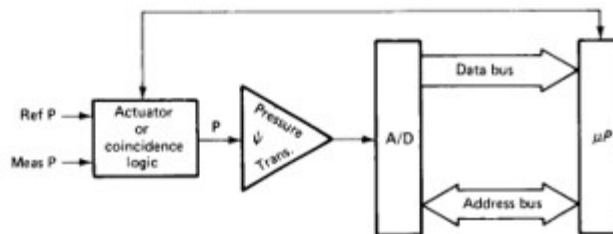
شکل (۷-۱۲) مدلی از یک ترانسدیوسر فشار را که در آن سیال مورد نظر مستقیماً با دیافراگم در تماس نیست نشان می‌دهد. در این وسیله از یک سیال واسطه مانند روغن سیلیکونی برای انتقال فشار کمک گرفته شده است. از ویژگی‌های این طرح تنظیم خودکار صفر و حذف تأثیر دما و کرنش زمانی (خزش) در اندازه‌گیری می‌باشد. نحوه عملکرد این دستگاه به گونه‌ای است که سیستم همواره خود را با شرایط معلومی تطبیق می‌دهد. مثلاً فشار نسبی هوای خارج را صفر در نظر گرفته و داده‌های دیگر را بر این اساس محاسبه می‌کند. بنابراین از دو ورودی، یکی ورودی مبنا و دیگری ورودی که باید اندازه‌گیری می‌باشد. دارد. مدار فیدبک مربوطه و مجموعه سخت‌افزاری و نرم‌افزاری این دستگاه در شکل (۷-۱۲-ب) نشان داده شده است.



الف



ب



شکل (۷-۱۲) فشارسنج دیافراگمی بامرجع یابی اتوماتیک

اکثر فشارسنج‌ها در انواع نسبی^(۱)، مطلق^(۲)، تفاضلی^(۳) و آب‌بندی شده^(۴) موجود می‌باشند. نوع آب‌بندی شده همانند نوع مطلق است با این تفاوت که محفظه مبنای آن فشاری غیر از فشار صفر مطلق دارد. بعضی از ترانسدیوسرهای فشار دارای حس‌کننده‌های الکتریکی در داخل محفظه اندازه‌گیری می‌باشند که با سیال اندازه‌گیری شونده در تماسند. از این رو استفاده از آنها برای گازهای خشک خورنده محدود می‌باشد.

ترانسدیوسرهای فشار تفاضلی

ترانسدیوسرهای فشار تفاضلی به طور وسیع در سیستمهای کنترل برای اندازه گیری سطح مایع، چگالی، گرانش و غیره به کار می روند. ویژگی خاص این ترانسدیوسرها اندازه گیری اختلاف فشارهای بسیار کم در فشارهای کارکرد خیلی بالا می باشد. مثلاً اختلاف فشاری در محدوده صفر تا $5\text{H in } \text{H}_2\text{O}$ در جایی که فشار کارکرد 2000 psi باشد.

فشارسنج خرطومی

شکل (۷-۱۳) شماتیک یک فشارسنج خرطومی را نشان می دهد. نیروی حاصل از تفاضل دو فشار عمل کننده روی سطوح خرطومی، باعث جابجایی خرطومی می شود که این جابجایی را می توان یا به یک سیگنال الکتریکی تبدیل کرد و یا اینکه پس از تقویت مکانیکی آن را مستقیماً نمایش داد. فشارسنج خرطومی برخلاف فشارسنج دیافراگمی به خاطر حرکت بیشتر و جرم آن (K کوچک، m زیاد) معمولاً فرکانس طبیعی پایینی دارد و برای اندازه گیریهای گذرا مناسب نیست.

۱ - gage

۲ - absolute

۳ - differential

۴ - seal

فشارسنج تفاضلی دیافراگمی

همان طور که در شکل (۷-۱۴) دیده می شود انحراف یک دیافراگم تحت فشار را می توان به کمک تغییر ظرفیت مجموعه خازنی سنجید. این نوع فشار سنج ها برای اندازه گیریهای دینامیکی مناسب هستند زیرا فرکانس طبیعی دیافراگم بالاست، حساسیت دستگاه نسبت به تغییر ظرفیت خوب است و با دقت ویژه ای قادر به آشکار ساختن تغییر

ظرفیت می باشد. سیستم نشان داده شده در شکل (۷-۱۴) اساس کار فشارسنج تفاضلی دیافراگمی LVDT می باشد. شکل (۷-۱۵) شماتیک این نوع فشارسنج را نشان می دهد. مدل های تجارتي این وسیله قادر هستند اختلاف فشارهایی تا 0.0035 psi (۰/۲۵ پاسکال) را اندازه گیری کنند. ظرفیت یک خازن با توجه به شکل (۷-۱۶) چنین به دست می آید.

$$C = K \epsilon_0 \frac{A}{d} \quad (۷-۹)$$

که در اینجا

ϵ_0 : ضریب گذردهی خلاء

K: ثابت دی الکتریک عایق

d, A : مساحت و فاصله صفحات

می باشند. با تغییر فاصله d و مساحت مشترک، ظرفیت خازن طبق رابطه بالا تغییر می کند. این تغییر ظرفیت به عنوان مبنا تغییر فاصله به کار گرفته می شود. گستره قابل استفاده فشارسنج ها در شکل (۷-۱۷) نشان داده شده است.

۷-۵ ترانس دیوسرهای تعادل نیرو و استوانه لرزان

اصول تعادل نول و مدار فیدبک در اندازه گیری فشار همانند فرآیند اندازه گیری نیرو می باشد. شکل (۷-۱۸-الف) یک سیستم پنوماتیکی - مکانیکی و دیاگرام بلوکی مربوط به آن را نشان داده، در حالی که شکل (۷-۱۸-ب) همین سیستم را با مکانیزم الکترومکانیکی نشان می دهد. تقویت زیاد باعث خطی شدن و ایجاد دقت مناسب در این گونه سروسیستمها می شود. این دیاگرامهای بلوکی فقط حالات استاتیکی اندازه گیری را نشان می دهند، اما در اندازه گیری دینامیکی همواره باید ملاحظات مربوط به پایداری سیستم مدنظر قرار گیرد.

ترانس دیوسرهای فشار گاز که از استوانه لرزان ساخته شده اند دارای دقت بالا و پایداری دینامیکی می باشند و حتی برای درجه بندی مناسب هستند. برای توضیح این مورد باید به تأثیر فشار گاز در فرکانس طبیعی مجموعه (عملکردی شبیه چگالی سنج) اشاره کرد. از این فرکانس می توان با مدارهای الکتریکی استاندارد شده به عنوان یک خروجی استفاده نمود. برای دقت بهتر می توان دما را نیز اندازه گرفته و تصحیحات مربوط به آنرا اثر داد. در این خصوص از معادله زیر برای ارتباط این کمیتها استفاده می شود.

$$\omega^2 = \frac{Eg}{(1-\nu^2)\gamma r^2} \left[\frac{(1-\nu^2)\gamma^4}{(n^2+\gamma^2)^2} + \frac{t^2}{12r^2} (n^2 + \gamma^2)^2 + \frac{(1-\nu^2)r}{Et} \left[n^2 + \frac{\gamma^2}{2} \right] P \right] \quad (7-10)$$

که در اینجا

w = فرکانس طبیعی

g = وزن مخصوص سیال

ν = ضریب پواسون

g = شتاب جاذبه

E = مدول الاستیسیته

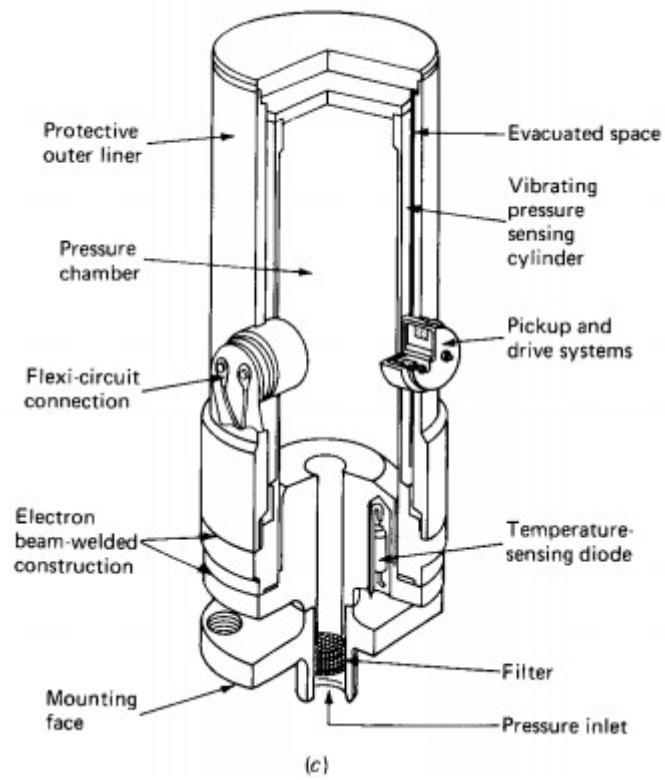
t, r, L = طول، شعاع و ضخامت دیواره استوانه

n, m = شماره مود ارتعاشی طولی و دایره ای

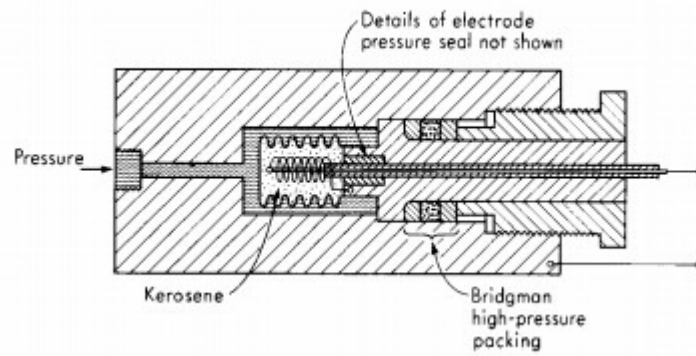
$$\lambda = \frac{\pi r(m + 0.3)}{L}$$

می‌باشند. باید توجه کرد که در معادله بالا فشار تنها بریکی از عبارتها تأثیر می‌گذارد. از محاسبات ریاضی معلوم می‌شود که برای افزایش تأثیر عبارت فشار باید ضخامت دیواره استوانه کم شود.

به طور مثال در استفاده از ماده NI-SPANC (به خاطر خاصیت پایداری حرارتی و مقاومت مناسب) به طول ۲/۰ in و شعاع ۰/۴ in، اگر فشار گاز از صفر مطلق تا ۲۰ psi تغییر کند، فرکانس طبیعی از ۴۰۰۰ Hz به ۵۰۰۰ Hz تغییر خواهد کرد. با محاسبات سعی و خطای رایانه‌ای برای این مثال مقادیر $m=1$ و $n=4$ برای $t=0/03$ in به دست می‌آید. یک نمونه از ترانسدایوسر تجارتي از این نوع در شکل (7-19) نشان داده شده که دارای ۰/۰۱ درصد دقت در محدوده ۲۰ تا ۱۰۰ درصد گستره کارکرد خود و ۱۲ ماه پایداری در ۰/۰۱ درصد کل درجه‌بندی آن می‌باشد.



شکل (۷-۱۸) فشارسنج پیزوماتیکی



شکل (۷-۱۹) سنج فشارقوی

۶-۷ اندازه‌گیری فشار قوی

اصطلاح فشار قوی معمولاً به فشارهای حدود ۱۰۰۰۰۰psi اطلاق می‌شود. چنین فشارهای بالایی را به راحتی می‌توان توسط کرنش سنج‌ها، سل‌های فشار و یا لوله بردن که قبلاً توضیح داده شد اندازه گرفت. برای اندازه‌گیری فشارهای بالا لوله بردن با مقطع نزدیک به دایره مناسب است در حالی که برای فشارهای کمتر باید مقطع را تا حدی از دایره منحرف کرد که در این صورت انحرافات عقربه صلب‌تر و کنترل شده‌تر خواهد بود. لوله‌های مارپیچ با چندین دور نیز در فشارهای زیاد مناسب هستند. دقت آنها در حدود ۱٪ کل مقدار اندازه‌گیری است و منجر به خطای مربوط به تغییر دما $F^3/10^2$ ٪ می‌شوند. کرنش سنج‌هایی که در سل‌های فشار به کار می‌روند قادرند که خطاهای مربوط به تغییر دما را تا ۰/۲۵ برای محدوده وسیعی از دما کاهش دهند.

برای مایعاتی که فشارهای بالاتر از ۱۰۰۰۰۰psi دارند از سنجه‌های الکتریکی مبتنی بر تغییر مقاومت موادی چون منگانه‌ن (۴۸٪ مس، ۱۲٪ منگنز و ۴۰٪ نیکل) یا گلدکروم استفاده می‌شود.

۷-۲ اندازه‌گیری فشار قوی

اصطلاح فشار قوی معمولاً به فشارهای حدود ۱۰۰۰۰۰psi اطلاق می‌شود. چنین فشارهای بالایی را به راحتی می‌توان توسط کرنش سنج‌ها، سل‌های فشار و یا لوله بردن که قبلاً توضیح داده شد اندازه گرفت. برای اندازه‌گیری فشارهای بالا لوله بردن با مقطع نزدیک به دایره مناسب است در حالی که برای فشارهای کمتر باید مقطع را تا حدی از دایره منحرف کرد که در این صورت انحرافات عقربه صلب‌تر و کنترل شده‌تر خواهد بود. لوله‌های مارپیچ با چندین دور نیز در فشارهای زیاد مناسب هستند. دقت آنها در حدود ۱٪ کل مقدار اندازه‌گیری است و منجر به خطای مربوط به تغییر دما $F/10^2$ ٪ می‌شوند. کرنش سنج‌هایی که در سل‌های فشار به کار می‌روند قادرند که خطاهای مربوط به تغییر دما را تا ۰/۲۵ برای محدوده وسیعی از دما کاهش دهند.

برای مایعاتی که فشارهای بالاتر از ۱۰۰۰۰۰psi دارند از سنجه‌های الکتریکی مبتنی بر تغییر مقاومت موادی چون منگانه‌ن (۴۸٪ مس، ۱۲٪ منگنز و ۴۰٪ نیکل) یا گلدکروم استفاده می‌شود. اساس کار این سنجه‌ها طبق رابطه زیر می‌باشد.

$$R = R_1(1 + b\Delta P)$$

که در اینجا R_1 مقاومت سیم در فشار اتمسفر و b ضریب تغییر مقاومت بر فشار نسبی است. شکل (۷-۲۰) شماتیک یکی از این سنجها را نشان می دهد. سیم پیچ حس کننده فشار در محفظه بزرگتری قرار گرفته که یک سر آن به بدنه سل فشار و سر دیگر آن از طریق یک میله ایزوله شده به بیرون سل ارتباط دارد. سیم پیچ داخل یک خرطومی انعطاف پذیر پر شده از نفت سفید قرار دارد. این مایع نقش انتقال دهنده فشار به سیم پیچ را بازی می کند. تغییر مقاومت سیم پیچ توسط یک پل ویستون مناسب اندازه گیری می شود. خواص فشاری - حرارتی دو نوع ماده بکار رفته در سیم پیچ در جدول ذیل ذکر شده است.

مقاومت الکتریکی W.cm	حساسیت حرارتی W/W/F ³	حساسیت فشار W/W/psi	
6-10×45 6-10×4/2	6-10×7/1 6-10×8/0	7-10×68/1 7-10×673/0	منگانین (Manganin) گلدکروم (Gold chrome)

گلدکروم با وجود اینکه حساسیت فشار کمتری نسبت به منگانین دارد اما به خاطر حساسیت حرارتی کمتر و کم بودن خطای ناشی از آن بیشتر مورد استفاده قرار می گیرد. تغییر دما و به دنبال آن خطاهای ناشی از آن موقعی رخ می دهد که تحت تأثیر یک تغییر فشار ناگهانی، یک تغییر دمای گذرا ناشی از انقباض یا انبساط آدیاباتیک در مایع نفت سفید ایجاد شود. در نتیجه تغییر مقاومت سیم پیچ در اثر تغییر دما، خطایی گذرا ایجاد می شود که در مواردی مقدار این خطا قابل توجه است.

نمونه های تجارتي این سنجها دارای حداکثر محدوده کارکرد مدرج شده تا ۲۰۰۰۰۰psi و دقت ۰/۱٪ تا ۰/۵٪ می باشند. اندازه گیری موضعی تنشهای سطح بین غلطکهای نورد، یا در ناحیه تماس دو دندانه چرخنده های درگیر یا تماس بین بادامک و پیرو و یا یاتاقانها نیز بر همین اساس ولی با کمی تفاوت محاسبه انجام می شود. در این موارد با قرار دادن تکه ای از منگانین یا گلدکروم به مساحت ۰/۰۰۲in^۲ و ضخامت ۳min در ناحیه تماس، تغییر مقاومت و به دنبال آن فشار اعمالی محاسبه می شود.

۷-۷ اندازه گیری فشار ضعیف (خلأ)

برای اندازه گیری فشارهای کم دو واحد اندازه گیری بیان شده است، یکی تور (Torr) و دیگری میکرومتر (ستون مایع). یک تور معادل فشاری است که ۱mm Hg در شرایط استاندارد محیط وارد می کند. همچنین یک میکرومتر برابر ۱۰ تور می باشد. مانومترها و خرطومی ها در فشارهای کمتر از ۰/۱ تور کارآیی خوبی ندارند. «سنجه لوله بردن» فشارهایی تا حدود ۱۰ تور را نمایش می دهد و «سنجه های دیاگرامی» می توانند تا ۳-۱۰ تور را نشان دهند. برای فشارهای کمتر از این مقادیر «سنجه های مکشی» به کار می روند که در زیر نام برده شده اند.

۷-۷-۱ فشارسنج مک لود

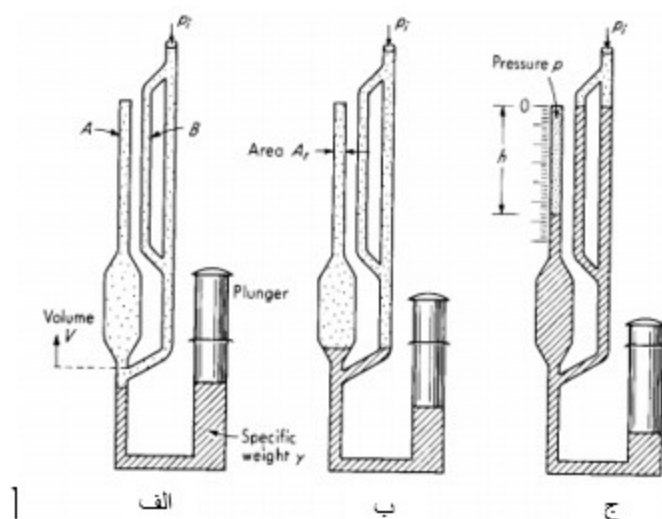
این فشارسنج یکی از سنجه های فشار ضعیف می باشد که همانند مانومتر، مقدار فشار مایع از ابعاد ستون مایع قابل محاسبه است. این فشارسنج در فشارهای کمتر از ۴-۱۰ تور کارآیی ندارد مگر اینکه از تقویت کننده های فشار استفاده شود تا مقدار فشار چند برابر شود. خطای فشارسنج مک لود کمتر از ۱٪ و در فشارهای خیلی پایین بیش از این مقدار خواهد بود. شکل (۷-۲۰) یک شمای کلی از این فشارسنج را نشان می دهد. مطابق شکل (۷-۲۰-الف) موقعی که شاسی (پلانگر) بالا کشیده شود سطح جیوه در تیوپ (لوله) پایین می آید و گاز با فشار مجهول دو محفظه A و B را پر می کند. وقتی شاسی رها شود سطح جیوه شروع به بالا رفتن می کند و مقداری گاز در محفظه A محبوس می شود (شکل ۷-قاب). شاسی را به داخل فشار داده تا سطح جیوه بالا بیاید و در تیوپ (لوله) B به نقطه صفر علامت گذاری شده برسد (شکل ۷-۲۰-ج). از روی عددی که ستون A آنرا مشخص می کند و به کمک قانون بویل فشار مجهول قابل محاسبه است.

$$P_i V = P A_t h \quad (۷-۱۱)$$

$$P = P_i + \gamma L \quad (۷-۱۲)$$

$$\text{if } V \gg A_t h \Rightarrow P_i = \frac{\gamma A_t h^2}{V - A_t h} \quad (۷-۱۳)$$

در بکارگیری این نوع فشارسنج باید دقت کرد که اگر گاز مورد نظر حاوی بخار جیوه باشد، محاسبات بالا و قانون بویل که برای گاز ایده آل بیان شده است، با خطا همراه خواهند بود. وقتی از این سنجه برای درجه بندی فشارسنجهای دیگر استفاده می شود باید تدابیری برای جلوگیری از ورود بخارهای جیوه به گاز مورد نظر در نظر گرفته شود.



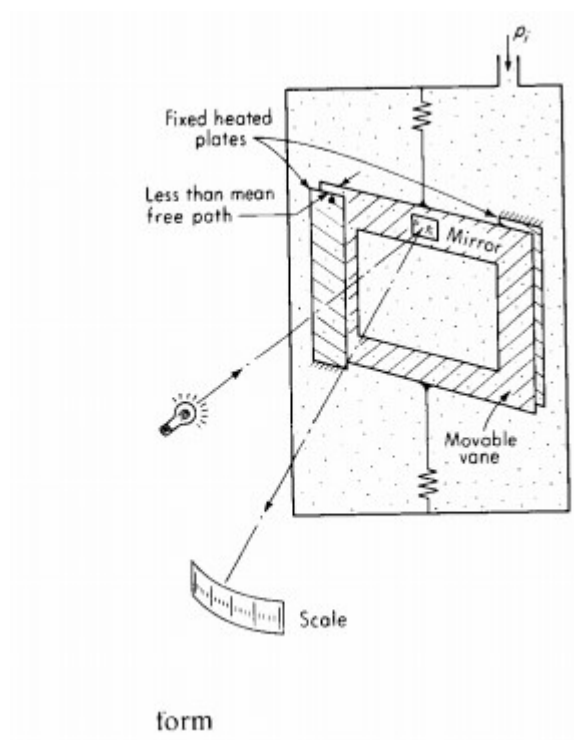
شکل (۷-۲۰) فشارسنج مکملود

۷-۲-۷ فشارسنج نودسن

این فشارسنج نیز برای فشارهای خیلی پایین بکار گرفته می شود. در شکل (۷-۲۱) محفظه دستگاه اندازه گیری که در فشار مجهولی قرار گرفته است، نشان داده شده است. این محفظه حاوی پره چرخانی است که تا دمای مطلق T_F گرم شده است (این دما باید دقیقاً مشخص باشد). یک فنر پیچشی که به پره متصل است و در کنار دو صفحه ثابت دیگر در دمای T_V قرار دارد، در برابر چرخش پره مقاومت می کند. فاصله بین پره و صفحات ثابت باید کمتر از فاصله آزاد میانگین مولکولهای گاز مورد بررسی باشد. تئوری سینتیک گازها نشان می دهد که مولکولهای گاز از طرف صفحه گرم شده با ممتن بیشتری نسبت به صفحه سردتر حرکت می کنند. بنابراین نیرویی به صفحه قابل چرخش وارد می آید که موجب چرخش آن می شود. میزان این چرخش از طریق انحراف اشعه توسط آینه نصب شده روی صفحه چرخان قابل اندازه گیری می باشد. بررسیهای علمی نشان می دهد که فشار مطلق گاز برای دماهای T_F و T_V معلوم مستقیماً با میزان این نیرو متناسب است. شکل کاملتر این قانون به صورت زیر است:

$$P_i = \frac{KF}{\sqrt{\frac{T_f}{T_v} - 1}}$$

که در آن F نیرو و K ثابتی است که برای هر گاز مقدار مشخصی دارد. بنابراین فشارسنج نودسن برای هر گاز مقدار K مشخصی دارد و باید درجه بندی شود. این نوع فشارسنج در محدوده 10^{-2} تا 10^{-8} تور کارایی دارد.

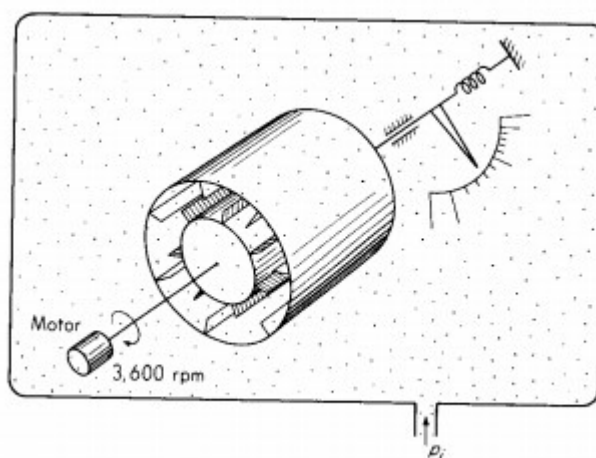


شکل (۷-۲۱) فشارسنج نودسن

۷-۳ اندازه گیری انتقال ممتنم (سنجش ویسکوزیته)

با استفاده از تئوری سینتیک گازها می توان برای فشارهای کمتر از 10^{-2} تور نتیجه گرفت که ویسکوزیته گاز متناسب با فشار مطلق آن است. برای اندازه گیری ویسکوزیته به عنوان مثال می توان از دو استوانه داخل هم که یکی با سرعت ثابت در حال چرخش است استفاده کرد. در این حالت با اندازه گیری ممان ایجاد شده روی استوانه دیگر می توان ویسکوزیته را محاسبه کرد. البته لازم به ذکر است که در فشارهای بالاتر از ۱ تور، ویسکوزیته و فشار مستقل

از هم عمل می کنند. رابطه فشار و ویسکوزیته یک گاز با گاز دیگر متفاوت است و لذا هر گاز درجه بندی مجزایی دارد. با این روش در شرایط آزمایشگاهی می توان فشارهای تا 10^{-7} تور را اندازه گیری کرد. شماتیک یک نمونه تجارتي از این فشارسنج در شکل (۷-۲۲) مشاهده می شود که برای هوای خشک از ۰ تا ۲۰ تور درجه بندی شده است. سیکل درجه بندی خطی نیست و گستره ۰ تا ۰/۰۱ تور مقدار ۱۰٪ کل سیکل را شامل می شود. در فشارهای کمتر از 10^{-7} تور دستگاه با شکلی متفاوت بکار گرفته می شود که در آن حالت ویسکوزیته را با کاهش سرعت یک گوی چرخان اندازه گیری می کنند.

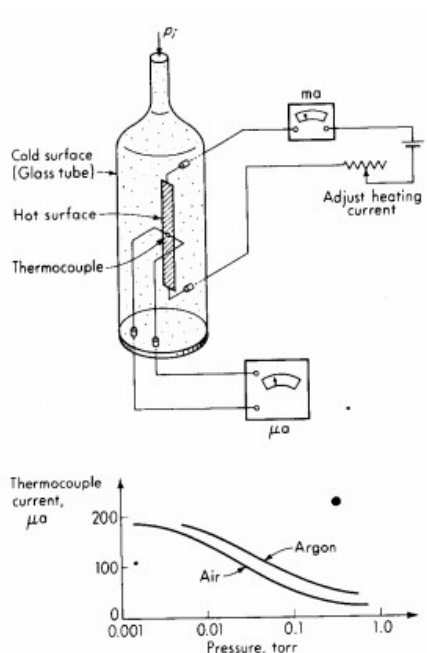


شکل (۷-۲۲) فشارسنج مومنتم

۷-۷-۴ اندازه گیری ضریب جابجایی گاز

طبق تئوری سینتیک گازها موقعی که فشار داخل یک گاز به اندازه کافی کاهش یابد، به طوری که فاصله آزاد میانگین مولکول ها در مقایسه با ابعاد آنها زیاد باشد، ضریب جابجایی گاز نیز همانند ویسکوزیته آن متناسب با فشار مطلق آن خواهد بود. مشابه اندازه گیری ویسکوزیته فاصله بین صفحات گرم و سرد نیز باید از فاصله آزاد میانگین مولکول ها کمتر باشد. در اینجا نیز اگر فشار از حد معینی زیادتر شود ضریب جابجایی گاز مستقل از فشار آن خواهد شد. حالت گذرای تناسب ضریب جابجایی با فشار و استقلال ضریب جابجایی از فشار در محدوده 10^{-2} تور تا ۱ تور می باشد. انرژی گرمایی ورودی هر جزء موقعی که به یک تعادل دمایی رسیده است برابر با مجموع انرژی انتقالی از طریق جابجایی و تشعشعی می باشد. لازم به ذکر است که هریک از این مقادیر به نوع و ترکیبات شیمیایی گاز مورد

نظر و شرایط هندسی بستگی دارد. تحقیقات نشان می‌دهد که با کم کردن دمای سطوح تا حد ممکن $q * T^4$ و بکار بردن سطوحی با ضریب صدور پایین می‌توان اثر انتقال حرارت تشعشی را کاهش داد. شکل (۷-۲۳) شماتیک المان ترموکوپل در محفظه خلاء را نشان می‌دهد که سطح داغ در آن همان سطح مشخص شده در شکل است که دمای آن با شدت جریان عبوری از این صفحه متناسب است و سطح سرد هم شیشه‌ای است که در دمای اتاق می‌باشد این نوع فشارسنج از 10^{-4} تور تا ۱ تور کارآیی دارد.



شکل (۷-۲۳) فشارسنج ترموکوپل

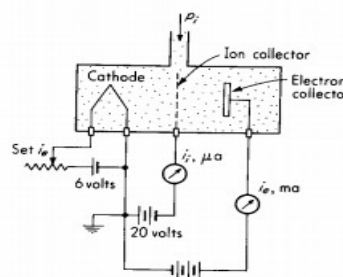
۷-۷-۵ سنج‌های یونیزاسیون

می‌دانیم که تغییرات انرژی پتانسیل و جنبشی با هم برابر است زیرا انرژی درونی ماده که برابر با مجموع این دو انرژی است، باید ثابت باشد. وقتی انرژی به اندازه کافی زیاد باشد سطح انرژی الکترونها اطراف یک اتم بالا رفته و آن الکترونها می‌توانند ترازهای انرژی را ترک کنند و در نتیجه اتم به یون تبدیل شود. در عمل یونیزاسیون جریانی از الکترونها از کاتد خارج می‌شوند. برخی از این الکترونها دومین الکترون کنده شده از اتم هستند. لازم به ذکر است که در حالت کلی این وضعیت دیر اتفاق می‌افتد. شدت جریان عبوری از کاتد و آند با هم برابر است. تعداد یونهای

مثبت تشکیل شده نیز مستقیماً با i_e یعنی شدت جریان کاتد یا آند متناسب اند که این شدت جریان هم با فشار مطلق گاز متناسب است. برای یک شدت جریان ثابت سرعت یونیزاسیون گاز معادل اندازه گیری تعداد مولکول‌های گاز در واحد حجم و در نتیجه همان مفهوم فشار می‌باشد. حساسیت (S) یک سنجه یونیزه شده به صورت زیر تعریف می‌شود.

$$S \triangleq \frac{i_i}{P i_e} \quad (۷-۱۴)$$

که در این رابطه i_i شدت جریان یونی در خروجی سنجه و i_e جریان الکترون‌ها و P فشار گاز مورد نظر است. برای اینکه حساسیت مستقل از جریان الکترون‌ها i_e باشد مقدار $S \cdot i_e$ به عنوان حساسیت در نظر گرفته می‌شود و بنابراین حساسیت فقط به خواص گاز بستگی خواهد داشت. شکل (۷-۲۴) نشان دهنده المانهای اصلی یک سنجه یونیزاسیون از نوع «کاتد گرم» می‌باشد که به واسطه گرم شدن، الکترون‌ها از کاتد آزاد می‌شوند. یکی از معایب این دستگاه سوختن کاتد گرم به هنگام قرار گرفتن در هوای حاوی اکسیژن در فشارهای مورد آزمایش می‌باشد. سنجه‌های کاتد گرم در محدوده 10^{-10} تور تا 10^{-1} تور قابل استفاده‌اند. «سنجه کاتد سرد فیلیپ» مشکل سوختن کاتد گرم را حل کرده است. شلیک الکترون‌ها از کاتد و حرکت در یک مسیر مارپیچ به طرف آند، با سرد انتخاب کردن کاتد و استفاده از شتاب دهنده‌های قوی به کمک ولتاژهای بالا (۲۰۰۰V) و ایجاد یک میدان مغناطیسی بسیار قوی، انجام شده است. محدوده کاربرد سنجه‌های یونیزاسیون 10^{-2} تور تا 10^{-13} تور است. برای فشارهای کمتر از 10^{-13} تور (نوع خاصی قادر به کارکرد تا این حد می‌باشند) از اسپکترومترهای جرمی (طیف نمای جرمی) استفاده می‌شود. با این روش می‌توان فشار جزئی اجزای تشکیل دهنده یک گاز را نیز اندازه گرفت.



شکل (۷-۲۴) سنجه یونیزاسیون