ترانسدیوسرهای مایعات Fluid Transducers

مایعات بسته به پارامترهای که اندازه می‌گیرند به سه گروه تقسیم‌بندی می‌شوند: فشار ، سطح و جریان. فرآیندهای تولیدی که در ارتباط با مایعات هستند بایستی قادر به اندازه‌گیری یک و یا چند مورد از پارامترهای فوق باشند. در عملیات صنعتی مربوط به تولید غذا، دارو و تولیدات شیمیائی، و در تمام خطوط مربوط به تولید نفت ، اعم از کشف، حفاری، پمپاژ و جابجائی، تصفیه و فروش آن می توان ترانسدیوسرهای مایعات را دید.

نظارت و کنترل تمام انواع موتورهای با سوخت فسیلی، نیاز به ترانسدیوسرهای مایعات دارد.

سیستم‌های هیدرولیکی (مانند روبات‌های صنعتی) که برای تولید اتوماتیک استفاده می‌شوند، نیاز به کنترل دقیق فشار، جریان و سطح دارند.

به طور کلی، ترانسدیوسرهای مایعات بطور وسیعی در تمام صنایع جهان استفاده می‌شوند.

ترانسدیوسرهای فشار

فشار بصورت نیروی اعمال شده از سوی یک مایع به یک سطح معین تعریف می‌شود. بنابراین بصورت نیرو در واحد سطح بیان می گردد.

معمولاً فشار در مقایسه با یک مبنا اندازه‌گیری می‌شود. به عنوان مثال، یک مبنا خلأ کامل است. در خلأ کامل، فشار صفر می باشد. بنابراین فشار اندازه‌گیری شده که مبنای آن خلأ است، معمولاً فشار مطلق Absolute Pressure نامیده می‌شود.

روش عمده دیگر تعریف فشار، فشار گیج است. فشار گیج از فشار محیط (هر مقداری که در لحظه اندازه‌گیری باشد) بعنوان مبنا استفاده می‌کند.

تمام اندازه‌گیری‌های فشار احتیاج به دو ورودی دارند، یکی برای اندازه‌گیری و دیگری برای مبنا.

در سنسورهای اندازه گیری فشار مطلق، معمولاً محفظه ورودی مبنا را خلأ نموده و آنرا مسدود می‌نمایند. در فشارسنج‌های گیج ورودی مبنا را باز می‌گذارند تا تحت فشار محیط واقع شود.

نوع سومی از فشارسنج ها اجازه می‌دهد تا ورودی مبنا را به هر فشار دومی (با انتخاب خود) متصل کنیم. چون تفاضل فشار بین دو نقطه از یک سیستم در تعداد زیادی از اندازه‌گیری‌های کنترل مهم است، ترانسدیوسرهای تفاضلی و یا دیفرانسیلی فشار نیز بطور وسیعی استفاده می‌شوند.

فشار در پائین یک مخزن مایع بستگی به ارتفاع مخزن و چگالی آن مایع دارد:

$$p = \rho g h$$

که در آن

ρ = چگالی مایع

g= ضریب تبدیل جرم به وزن ($980.655\ cm/s^2$)

این فشار معمولاً هد Head نامیده می‌شود.

فشار مساویست با نیرو در واحد سطح. در واحد متریک فشار $newtons/meter^2$ است که معمولاً پاسکال (Pa) نامیده می‌شود.

واحد انگلیسی فشار $lb/in.^2$ است. این فشار بصورت psia برای فشار مطلق و psig برای فشار گیج و یا psid برای فشار تفاضل مخفف شده است. برای تبدیل داریم:

$1\ psi = 6.8948 \times 10^3\ Pa$

ارتفاع یک مخزن جیوه یا آب که باعث بوجود آمدن فشار معینی می‌شود نیز به عنوان واحدی برای اندازه‌گیری فشار استفاده می‌گردد.

۱ اینچ جیوه $= 3.386 \times 10^3\ Pa$

$1\ mm\ Hg = 133.32\ Pa$

فشار هد تولید شده بوسیله یک میلی‌متر جیوه معمولاً تور torr نامیده می‌شود. این واحد بطور فزاینده‌ای برای اندازه‌گیری خلأ استفاده می‌گردد.

$1\ torr = 1\ mm\ Hg = 133.32\ Pa$

چون آب دارای غلظت خیلی کمتری از جیوه است، تولید فشار هد کمتری می‌کند:

۱ اینچ آب $(H_2O) = 2.491 \times 10^2\ Pa$

فشار استاندارد آتمسفر در سطح دریا تعریف می‌شود:

$1\ atm = 760\ mm\ Hg = 1.01325 \times 10^5\ Pa$

فشار بارومتریک، در هواشناسی استفاده می‌شود و با واحد بار یا میلی بار اندازه گیری می گردد:

$1\ bar = 1 \times 10^5\ Pa$

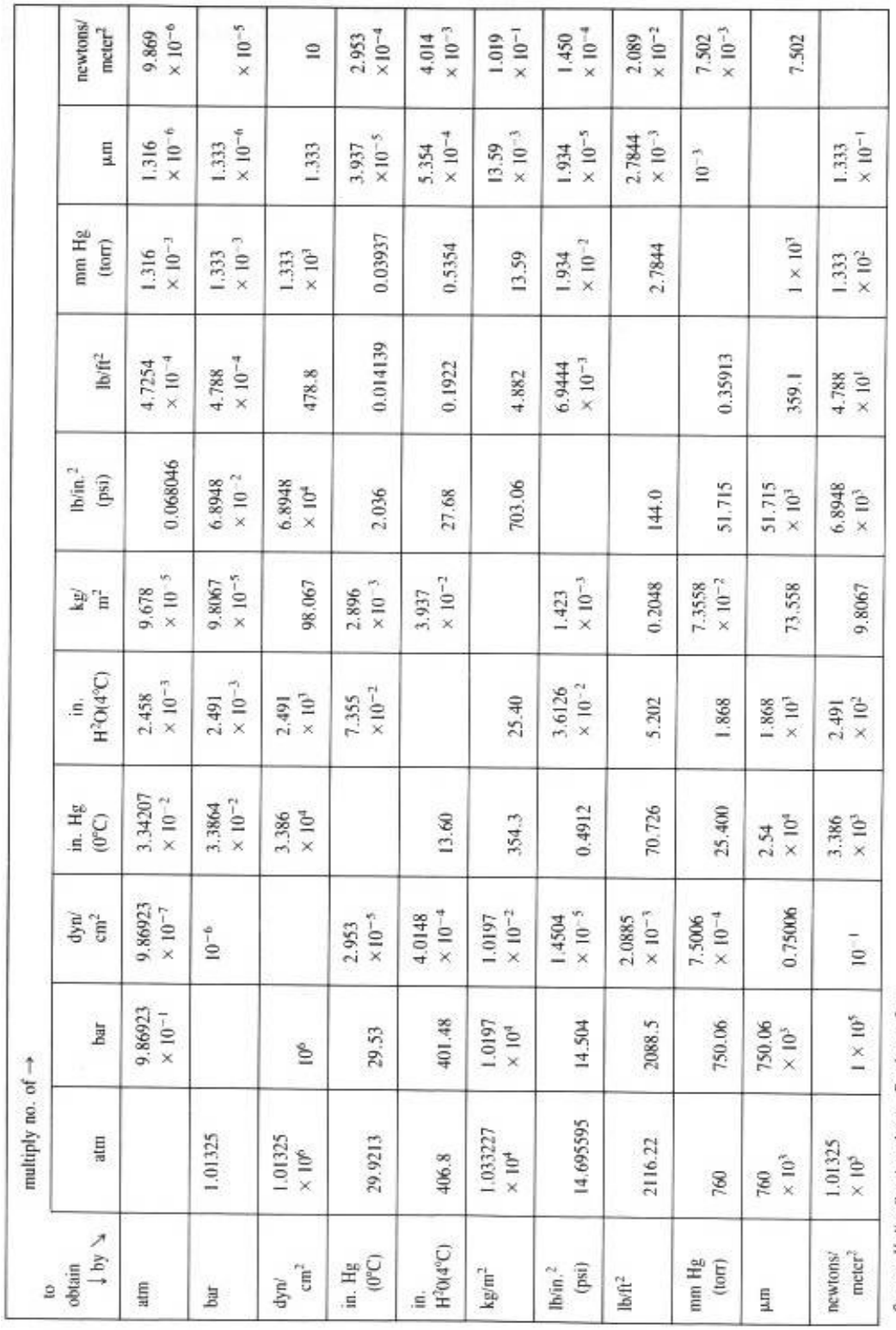
روابط فوق در جدول زیر خلاصه و درج شده‌اند.

ترانسدیوسرهای فشار نوعی از وسایل مکانیکی هستند که کشش آنها متناسب با فشار اعمال شده به آنها است. استرین گیج، LVDT، پتانسیومتر، اندوکتانس متغیر، و یا ظرفیت خازنی متغیر، این جابجائی را حس کرده و به سیگنال الکتریکی تبدیل می‌کنند.

دسته عمده ای از ترانسدیوسرهای فشار، از یک دیافراگم که در پاسخ به فشار تغییر شکل می‌دهد و یک یا چند استرین گیج برای اندازه‌گیری کشش استفاده می‌کنند. دیافراگم ممکن است از جنس استیل زنگ نزن یا از جنس سیلیکان باشد. همچنین ممکن است استرین گیج بصورت یک شبکه نواری شکل و یا از نوع نیمه هادی باشد.

فشار اعمال شده به دیافراگم از طریق ورودی فشار تولید جابجائی کمی خواهد کرد که باعث کشش در استرین گیج می‌شود. استرین گیج تولید تغییرات مقاومت الکتریکی متناسب با فشار خواهد کرد. معمولاً از

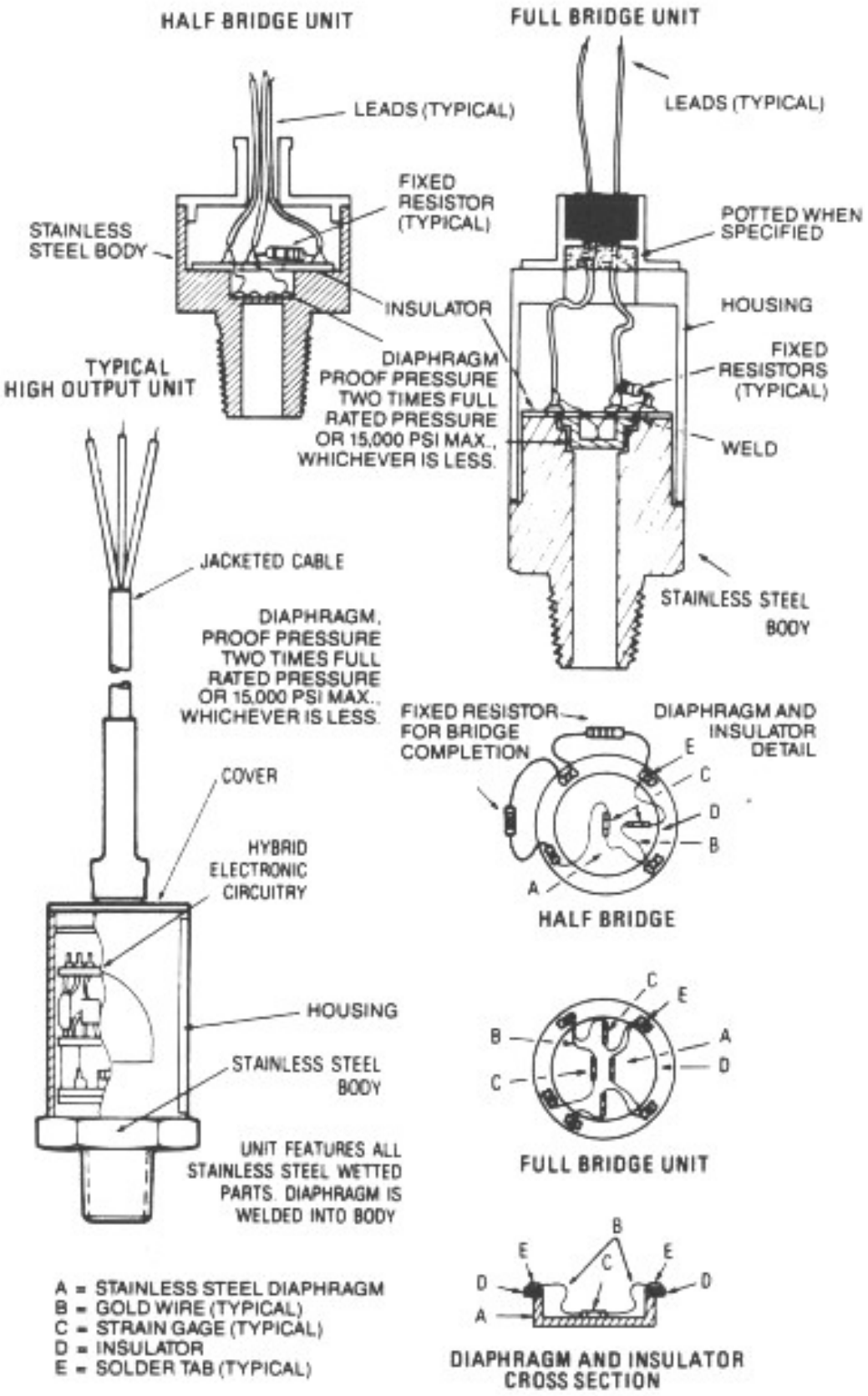
چهار گیج و یا دو گیج و دو مقاومت ثابت برای تشکیل پل وتستون استفاده می‌شود. دیافراگم و استرین گیج مربوط به یک ترانسدیوسر فشار در شکل زیر نشان داده شده اند.



to obtain ↓ by ↘ multiply no. of →	atm	bar	dyn/cm²	in. Hg (0°C)	in. H²O(4°C)	kg/m²	lb/in.² (psi)	lb/ft²	mm Hg (torr)	μm	newtons/meter²
atm		9.86923 × 10⁻¹	9.86923 × 10⁻⁷	3.34207 × 10⁻²	2.458 × 10⁻³	9.678 × 10⁻⁵	0.068046	4.7254 × 10⁻⁴	1.316 × 10⁻¹	1.316 × 10⁻⁶	9.869 × 10⁻⁶
bar	1.01325		10⁻⁶	3.3864 × 10⁻²	2.491 × 10⁻³	9.8067 × 10⁻⁵	6.8948 × 10⁻²	4.788 × 10⁻⁴	1.333 × 10⁻³	1.333 × 10⁻⁶	× 10⁻⁵
dyn/cm²	1.01325 × 10⁶	10⁶		3.386 × 10⁴	2.491 × 10³	98.067	6.8948 × 10⁴	478.8	1.333 × 10³	1.333	10
in. Hg (0°C)	29.9213	29.53	2.953 × 10⁻⁵		7.355 × 10⁻²	2.896 × 10⁻³	2.036	0.014139	0.03937	3.937 × 10⁻⁵	2.953 × 10⁻⁴
in. H²O(4°C)	406.8	401.48	4.0148 × 10⁻⁴	13.60		3.937 × 10⁻²	27.68	0.1922	0.5354	5.354 × 10⁻⁴	4.014 × 10⁻³
kg/m²	1.033227 × 10⁴	1.0197 × 10⁴	1.0197 × 10⁻²	354.3	25.40		703.06	4.882	13.59	13.59 × 10⁻³	1.019 × 10⁻¹
lb/in.² (psi)	14.695595	14.504	1.4504 × 10⁻⁵	0.4912	3.6126 × 10⁻²	1.423 × 10⁻³		6.9444 × 10⁻³	1.934 × 10⁻²	1.934 × 10⁻⁵	1.450 × 10⁻⁴
lb/ft²	2116.22	2088.5	2.0885 × 10⁻³	70.726	5.202	0.2048	144.0		2.7844	2.7844 × 10⁻³	2.089 × 10⁻²
mm Hg (torr)	760	750.06	7.5006 × 10⁻⁴	25.400	1.868	7.3558 × 10⁻²	51.715	0.35913		10⁻³	7.502 × 10⁻³
μm	760 × 10³	750.06 × 10³	0.75006	2.54 × 10⁴	1.868 × 10³	73.558	51.715 × 10³	359.1	1 × 10³		7.502
newtons/meter²	1.01325 × 10⁵	1 × 10⁵	10⁻¹	3.386 × 10³	2.491 × 10²	9.8067	6.8948 × 10³	4.788 × 10¹	1.333 × 10²	1.333 × 10⁻¹	

Source: Kulite Semiconductor Products, Inc.

جدول - تبدیل فشار



دیافراگم های با ترانسدیوسر استرین گیج

مقاومت تفاضلی با اعمال ولتاژ ثابت به پل اندازه‌گیری می‌شود. جابجائی دیافراگم باعث ایجاد خروجی آنالوگ (میلی ولت) متناسب با فشار خواهد شد.

در مدارهای نیمه پل، از مقاومت‌های ثابت برای تکمیل پل و جبران سازی حرارتی، تنظیم صفر و دسترسی به رنج کامل ولتاژ خروجی استفاده می‌شود.

ولتاژهای خروجی متفاوتی را می‌توان از طریق تقویت کننده و یا سایر تنظیم کننده های سیگنال که در داخل و یا خارج از ترانسدیوسر قرار دارند، تولید کرد. همچنین می‌توان با استفاده از مدارهای داخلی، ولتاژهای متفاوتی برای تغذیه این ترانسدیوسرها بدست آورد.

علاوه بر قیمت کم و دقت خوب، ترانسدیوسرهای فشار (با استرین گیج نصب شده بر روی دیافراگم فولاد زنگ نزن) دارای پایداری حرارتی خوب بوده و می‌توان آنها را با مواد ضدخوردگی نیز پوشاند. گر چه، آنها دارای خروجی پائینی (در حدود $3\ mV/V$) هستند که تقویت کنندگی را پیچیده تر می‌کند.

مشخصه‌های گیج‌های نیمه هادی از نقطه نظرهای دقت کل و کارائی خیلی خوب است. آنها از یک ویفر سیلیکون خالص تهیه می‌شوند و فرآیند تولیدشان شامل مراحل اکسید شدن، تنظیم ویفر، خوراندن نوری و دیفیوژن است. سیم‌های طلا به خروجی‌های گیج لحیم می‌شوند و بعنوان اتصالهایی برای بدست آمدن بهترین هدایت و مقاومت ثابت استفاده می‌گردند.

مقادیر مقاومت ابتدائی در زمان تولید بصورت دقیقی اندازه‌گیری و کنترل می‌شوند. سپس مقاومت در ۷۰، ۳۰ و $۱۳۰\dot{F}$ اندازه‌گیری می‌شود. گیج‌ها به ترتیبی نصب می‌شوند که مشخصه حرارتی‌شان با تلرانس کمی نزدیک هم باشند. این مراحل کنترل شده برای تولید استرین گیجی با مشخصه همخوان با کاتالوگ، مهم است. استرین گیج‌ها (از نوع ورقه‌های فلزی یا نیمه‌هادی) بوسیله اپوکسی به یک دیافراگم فلزی دقیق متصل می‌شوند. ضخامت دیافراگم تعیین کننده رنج فشار ترانسدیوسر است. دیافراگم‌های تخت فولاد زنگ نزن (که برای تنش‌های کم طراحی شده‌اند) دارای جابجائی کمی هستند.

این باعث عمر بالا و خطی بودن عالی آنها می‌شود. دیافراگم یا قسمتی از ساخت یک قطعه سیستم است یا قسمتی از سرهم بندی قطعات که بوسیله جوشکاری به بدنه متصل می‌شود. بنابراین استرین گیج از محیط اندازه‌گیری و دیافراگم از کشش های بیرونی ایزوله می‌شود. در این صورت دیگر نیاز به وسایل دیگری برای حفاظت از استرین گیج و الکترونیک مربوطه‌شان از محیط اندازه‌گیری نیست.

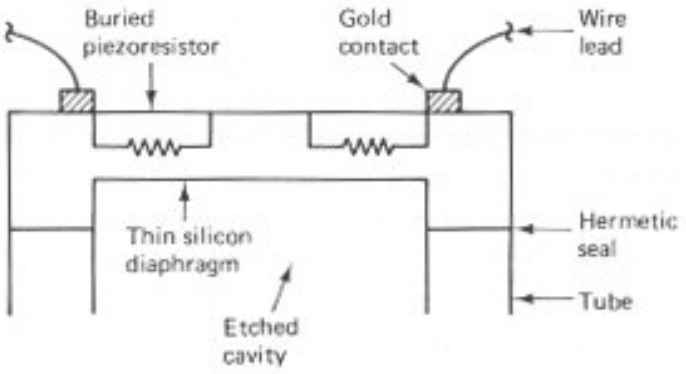
جنس دیافراگم و بدنه دارای تطابق ضریب حرارتی هستند. بنابراین کشش‌های حرارتی ناشی از تغییرات در درجه حرارت محیط، مینیمم می‌شود. راه حل دیگری به جای دیافراگم که بر روی آن یک نوع استرین گیج نصب شده، دیافراگم‌های پیزو رزیستیو (سیلیکان) می باشد. استرین گیج نیمه هادی بر روی دیافراگم سیلیکان تولید می‌شود، که این موضوع خود دارای مزایای متعددی است.

حساسیت زیاد، یا گیج فاکتور آنها، حدود ۱۰۰ برابر استرین گیج‌های سیمی است. پیزو رزیستیو مستقیماً داخل یک محیط تک کریستالی و یکنواخت ساخته می‌شود. بنابراین مقاومت تولید شده به این روش، در داخل عضو حساس به نیرو ساخته شده است. توجه داشته باشید که معمولاً انواع دیگر استرین گیج‌ها ، بر

روی قطعه حساس که ماده متفاوتی است، نصب می‌شوند. این خود باعث کشش‌های الاستیک حرارتی شده و ساخت را پیچیده می‌کند. بیشتر استرین گیج‌ها بدلیل ضعف چسب به مرور زمان، ناپایدار هستند. علاوه بر این حساسیت به درجه حرارت و پسماند نیز بدلیل کشش الاستیک حرارتی تولید می‌شود.

سیلیکان یک ماده ایده‌آل برای دریافت نیروی اعمال شده است. سیلیکان یک کریستال خوب بوده و بطور دائمی کشیده نمی‌شود. پس از اعمال تنش به آن، به شکل اولیه‌اش بازمی‌گردد. ویفر سیلیکان بهتر از دیافراگمهای فلزی برای حس فشار، عمل می‌کند، زیرا سیلیکان دارای الاستیسیته خوبی است و رنج کاری آن نیز وسیع است. دیافراگمهای سیلیکانی فقط به دلیل پاره شدن، از بین می روند.

المان حس کننده، شامل چهار مقاومت پیزو رزیستیو تقریباً مساویست که در سطح یک دیافراگم نازک دایره‌ای شکل دفن شده‌اند. اتصالات طلا از سطح دیافراگم سیلیکان، اتصال به مقاومت‌های پیزو را میسر می‌کنند و در نهایت نیز، اتصالات خارجی به آنها وصل می‌شوند و یا برای پوشاندن سر سیم ها به کار می روند. دیافراگم نازک بوسیله خوردگی شیمیائی یک سطح دایره‌ای شکل در جهت مخالف یا دیگر مقاومت‌های پیزو درست می‌شود. قسمت خورده نشده سیلیکان، اتصالات محکمی برای دیافراگم و نصب سایر قطعات تشکیل می‌دهد. شکل ۶۳ـ۳ نمایش سطح مقطع المان حساس با اتصالات فلزی مربوط به آن است. فشار باعث جابجائی دیافراگم نازک شده و یک کشش یا تنش در دیافراگم و مقاومت‌های دفن شده در آنها ایجاد می‌کند. مقاومت این استرین گیج‌ها متناسب با فشار اعمال شده یه دیافراگم تغییر می‌نماید. بنابراین، تغییر در فشار (ورودی مکانیکی) به تغییر در مقاومت (خروجی الکتریکی) تبدیل می‌گردد. المان حس کننده (ترانسدیوسر) انرژی را از یک نوع به نوع دیگر تبدیل می‌کند.

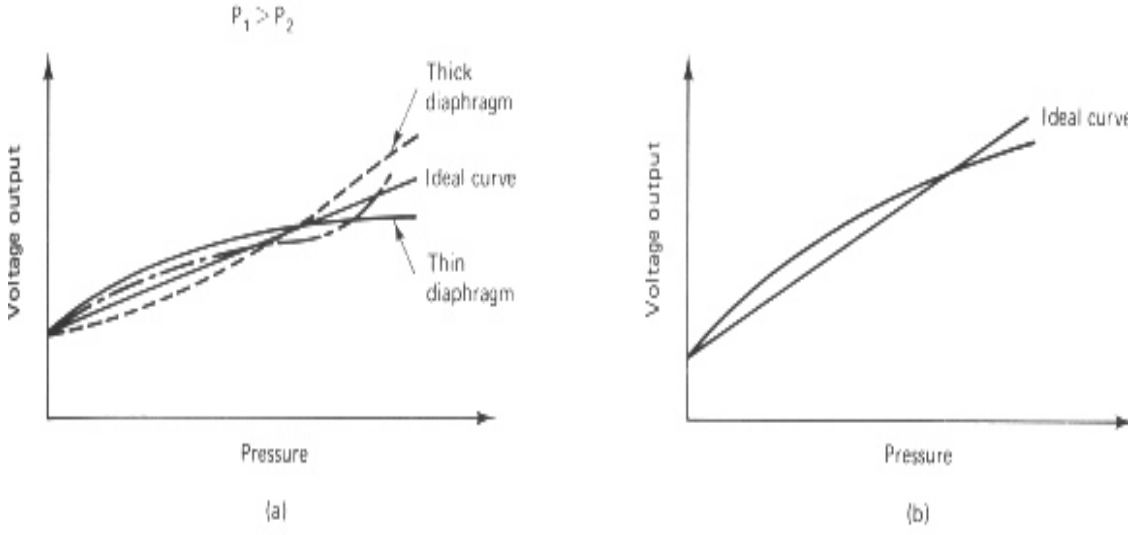


نمای برشی یک المان حسگر ترانسدیوسر فشار piezoresistive

مقاومت‌ها را می‌توان یا بصورت نیم پل و یا بصورت تمام پل وتستون به هم متصل نمود. تمام مقاومت‌های چهارگانه تقریبا به مقدار مساوی تغییر می‌کنند. توجه کنید که دو مقاومت افزایش و دو تای دیگر با توجه به جهت ساخت کریستالی سیلیکان، کاهش می یابند.

دیافراگم‌های با ضخامت متفاوت، وقتی تحت فشار P_1 که از P_2 بزرگتر است جابجا می شوند، تولید شکل منحنی‌های خروجی متفاوتی می نمایند. این موضوع در شکل زیر نشان داده شده است. اگر دیافراگم در

جهت مخالف ($P_1<P_2$) جابجا شود، یک منحنی غیرخطی، بدون توجه به ضخامت دیافراگم، تولید می‌کند.



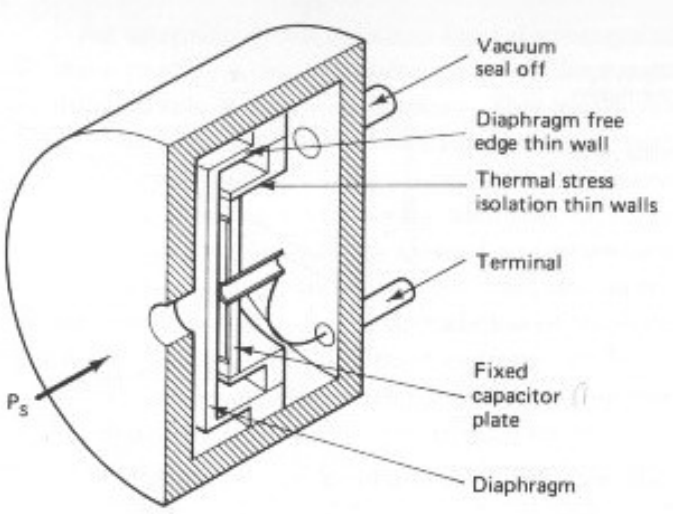
غیرخطی بودن دیافراگم سیلیکون (a)P1>P2 (b)P1<P2

فشار صفر ($P_1=P_2$) باعث تولید خروجی صفر نمی‌شود. حتی با نمایش عقربه به صفر نیز، ولتاژی در داخل واحد اندازه‌گیری مشاهده می‌شود. این مقدار، مقدار جابجائی صفر یا ولتاژ صفر نامیده می‌شود و تعیین کننده نقطه شروع منحنی پاسخ ترانسدیوسر است.

فشار را می‌توان به هر دو طرف المان حس کننده اعمال نمود. P_1 فشار سر پایانی است و فقط بایستی از گازهای تمیز و خشک مانند هوا در اندازه‌گیری‌های انجام شده در این طرف استفاده نمود. محدودیت کمی برای جهت P_2 وجود دارد. فقط اینکه محیط‌های غیرمتجانس با پلی استر، سیلیکان یا چسب‌های از نوع سیلیکان را نمی‌بایست استفاده نمود.

در وسایلی که به صورت مطلق اندازه گیری می کنند، P_2 توسط خلاء مسدود و جدا می‌شود تا مبنای ثابتی وجود داشته باشد. اختلاف فشار بین خلاء مبنا و P_1 اندازه‌گیری شده، باعث انحراف دیافراگم گردیده و موجب تغییر در ولتاژ خروجی می‌شود. وسایل تفاضلی و گیج، فشار را در مقایسه با فشار دیگر اندازه‌گیری می‌کنند. در وسایل تفاضلی، مقدار مورد اندازه‌گیری به P_2 متصل می‌شود.

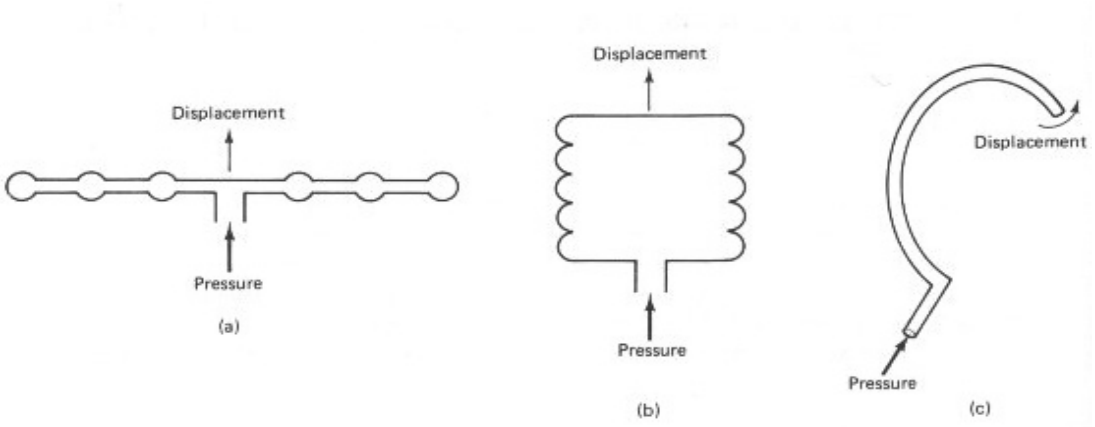
شما می‌توانید بجای احساس کشش در دیافراگم، چگونگی حرکت در پاسخ به فشار اعمال شده را حس کنید. چون این حرکت معمولاً نسبتی از میلی‌متر است، مبدل جابجائی به سیگنال الکتریکی باید خیلی حساس باشد. این امر با انتخاب یک صفحه از خازن به عنوان دیافراگم، ممکن است. یک ترانسدیوسر فشار مطلق در شکل زیر نشان داده شده است. البته مشابه سایر وسایل خازنی که تا به حال دیده اید، مدار تنظیم کننده سیگنال متعددی بایستی مورد استفاده قرار گیرد. این مدار معمولاً یک پل (با تقویت کننده الکترونیکی و یکسو کننده) و یا یک اسیلاتور RF (با مبدل فرکانس به ولتاژ) می‌باشد.

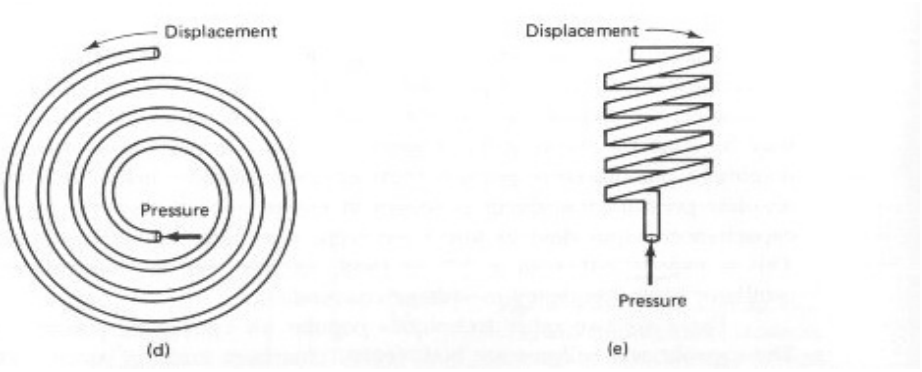


ترانسدیوسر فشار مطلق خازنی

دو تکنیک رایج دیگر نیز برای تبدیل فشار به جابجائی مورد استفاده قرار می‌گیرند. کپسول و دستگاه ریه مانند Bellows، هر دو محفظه‌های مسدود شده فلزی هستند. وقتی فشار داخل محفظه بر فشار خارج آن غلبه کند، محفظه بزرگ می‌شود. نوع کپسولی دارای یک حلقه یا پیچیدگی است در حالیکه نوع ریه مانند، دارای چندین حلقه یا پیچیدگی است. این موضوع در شکل زیر نشان داده شده است.

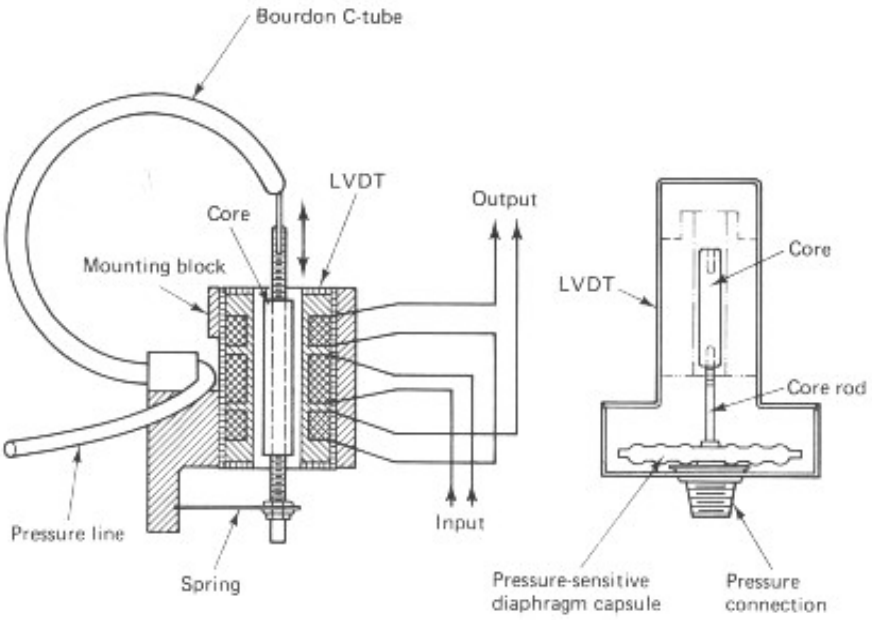
نوع آخر ترانسدیوسر فشار که بیشتر استفاده می شود، از یک لوله بردون Bourdon تشکیل شده است. لوله روی یک منحنی نرم تا ۱۸۰ درجه خم می شود. این موضوع، باعث بیشتر شدن سطح خارجی منحنی نسبت به سطح داخلی آن می شود.اعمال فشار به داخل لوله، باعث وارد آمدن نیروی بیشتری به سطح خارجی شده و باعث می گردد که لوله راست شود. مقدار این جابجایی متناسب با فشار است. برای بدست آوردن چرخش بجای حرکت خطی، لوله بردون را میتوان به صورت حلقه های متحدالمرکز و یا مارپیچ سیم پیچی نمود. هر چه تعداد دورها بیشتر باشد، میزان جابجایی به ازای اعمال یک فشار ثابت بیشتر خواهد بود. به شکل زیر توجه نمایید.





ترانسدیوسرهای فشار به جابجایی (a) کپسول(b) بادی (c)تیوب بردن ساده(d) مارپیچی (e) حلزوتی

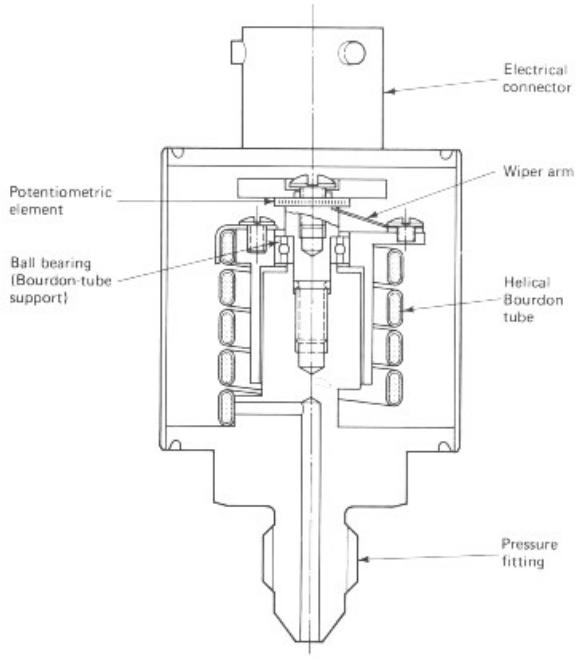
لوله بردون فشار را به جابجایی تبدیل می کند. معمولاً این جابجایی بوسیله یک عقربه و یک صفحه مدرج که به لوله بردون متصل است، نمایش داده می شود.برای تولید خروجی الکتریکی ، بایستی اجازه دهید که لوله بردون یک ترانسدیوسر موقعیت را درایو کند. نوع لوله حلقه شده و نوع کپسول متصل شده به هسته یک LVDT در شکل ۶۷-۳ نشان داده شده اند.



ترانسدیوسر فشار حسگر LVDT با(a) یک تیوب بردن و (b) یک کپسول

ترانسدیوسر های فشار با خروجی بالا، قادرند قسمت متحرک یک پتانسیومتر را بچرخانند. با اتصال قسمت متحرک پتانسیومتر به لوله بردون از نوع حلزونی، محدوده کافی برای به حرکت در آوردن جاروبک از کمترین به بیشترین مقدار بدست می آید (شکل زیر).

چندین مشخصه معمولی برای ترانسدیوسرهای فشار و بدون وابستگی به آنکه چگونه فشار حس و یا به سیگنال الکتریکی تبدیل می شود، موجود است. درآنالیز نهایی، آنچه شما با آن سروکار دارید، مقادیر هستند. این مقادیر عبارت اند از تنظیم صفر اولیه ،اثرات حرارتی بر روی صفر و اثرات حساسیت حرارتی و همچنین غیر خطی بودن ، تکرار پذیری ،پسماند و غیره که در مثال زیر نشان داده شده اند.



ترانسدیوسر فشار حسگر پتانسیومتر با یک تیوب بردن helical

مثال – یک ترانسدیوسر فشار مشخصات زیر را دارد:

فشار ورودی : 0_100 psi، رنج کامل خروجی : 100mV، دقت صفر : ± 1 mV،

دقت : $\pm 1\%$ FS، تنظیم صفر : 0.02% FS/°F (تنظیم صفر در 75°F)

اثر حساسیت حرارتی : 0.02% FS/°F (تفاوت از 75°F)، با فرض اینکه ترانسدیوسر در 95°F کار می کند، خطای مطرح شده توسط دقت ها، اثر حرارتی صفر، و اثر حرارتی حساسیت را حساب کنید.

حل_ دقت، خطایی را ایجاد می کند که ممکن است به بزرگی

$$\text{error} = \pm\ 0.01\% \times 100 \text{ psi} = \pm 1 \text{ psi}$$

باشد. دقت صفر ± 1 mV یا ± 1 psi است. ترانسدیوسر در کارخانه برای خروجی صفر با 0 psi در 75°F تنظیم شده است.

با استفاده از آن در 95°F در صفر و رنج کامل جابجایی خواهیم داشت.

$$\text{error} = \pm 0.0002/°\text{F} \times 100 \text{ psi} \times (95°\text{F} - 75°\text{F})$$
$$= \pm 0.4 \text{ psi}$$

با توجه به هر سه اثر با هم، ممکن است وقتی هیچ فشاری اعمال نشده، تا ± 1.4 psi یا ± 1.4mV در خروجی بخوانید(دقت صفر + تنظیم صفر). در هر نقطه دیگر، خطا ممکن است تا ± 1.4 psi یا ± 1.4mV شود (دقت + حساسیت حرارتی)

ترانسدیوسرهای جریان Flow transducers

جریان به شما می‌گوید که ماده با چه سرعتی حرکت می‌کند. جریان را به سه صورت تعریف می‌کنند. جریان حجمی، جریان جرمی و سرعت جریان. جریان حجمی (Q) نشان می‌دهد که چه حجمی از یک مایع متحرک در واحد زمان از یک نقطه رد شده است. واحد آن m^3/s و یا gal/min است. جریان جرمی (Q_m) به صورت واحد جرم بر واحد زمان است (kg/s). سرعت مواد معمولاً سرعت جریان (Q_v) خوانده شده و بصورت m/s نشان داده می‌شود. این سه کمیت بوسیله معادلات زیر در رابطه با هم هستند:

$Q =$ جریان حجمی

$Q_m =$ جریان جرمی $= \rho Q$

$Q_v =$ سرعت جریان $= \dfrac{Q}{A}$

که در آن ρ چگالی مایع و A سطح مقطع لوله است.

جریان را همچنین می‌توان بصورتهای لایه‌ای و مغشوش نیز شرح داد. در جریان لایه‌ای مایع بصورت موازی با سطح دیواره‌ء لوله حرکت می‌کند و بصورت یکنواخت و در یک جهت یکنواخت جابجا می شود. در جریان مغشوش، مایع دائماً به هم می‌خورد. در یک نقطه معین یا در یک لحظه از زمان، سرعت جریان ممکن به مقدار زیادی تغییر کند. انتخاب ترانسدیوسر بستگی به نوع جریان لایه‌ای و مغشوش دارد. خود ترانسدیوسر نیز ممکن است تا حدی موجب ایجاد اغتشاش در ماده شود. به لحاظ عددی، درجه اغتشاش بوسیله عدد رینولد داده می‌شود.

$$N = \frac{Q_v d \rho}{\mu}$$

که در آن N عدد رینولد ، Q_v سرعت جریان ، d قطر لوله ، ρ چگالی و μ ویسکوزیته مایع می باشد.

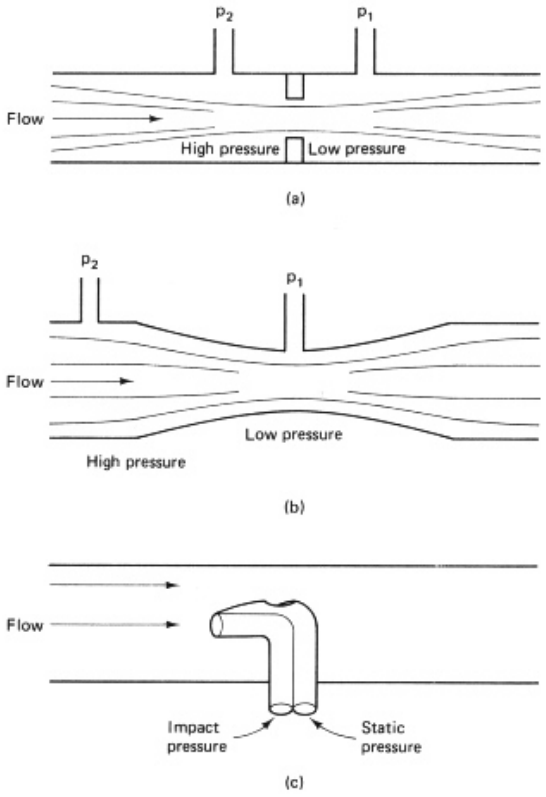
برای $N > 4000$ جریان مغشوش و برای $N < 2000$ جریان لایه‌ایست. نوع ماده که جریان آن سنجیده می‌شود بشدت بر انتخاب نوع ترانسدیوسر مؤثر است. چگالی ممکن است از شکل پودری و یا انواع دیگر جامدات متحرک در طول یک نوار نقاله، تا یک جابجائی خالص و خشک یک گاز خنثی وجود داشته باشد، ممکن است از یک ماده باشند یا اجسام خارجی بزرگی در آنها موجود باشد، ممکن است دارای ایزولاسیون الکتریکی خوبی بوده و یا هادی باشند. ممکن است خاصیت بازی، اسیدی و یا خنثی داشته باشند.

این تنوع خواص مواد باعث تعدد انواع ترانسدیوسرهای جریان است. در حالت عمومی، ترانسدیوسرهای جریان به دو گروه تقسیم می‌شوند. در یک، گروه یک مانع در مسیر جریان قرار داده شده و از انرژی جریان برای تولید یک اثر قابل اندازه‌گیری استفاده می‌کنند، (توربین، چرخهای پرپره‌ای، لوله‌های کج و شناور) و گروه دوم ترانسدیوسرهای بدون مانع، از تکنیکهای الکترومغناطیسی و مافوق صوت استفاده می‌کنند.

گذاشتن یک مانع در مسیر جریان باعث دو اثر می‌شود. باعث می‌شود که فشار در دهانه مانع افت کند. فشار طرف بالا دست بالا می‌رود در حالی که فشار در پایین‌دست افت می‌کند. دوم اینکه، جریان کاهش می‌یابد. این اثر، مشابه آنست که یک مقاومت را به صورت سری در یک مدار قرار دهیم. جریان باعث افت ولتاژ (افت فشار) در دو سر مقاومت (مانع) شده و جریان کل در مدار پایین می‌آید.

دیافراگم صفحه سوراخ‌دار **Orifice** ساده‌ترین نوع فشار سنج های دیفرانسیلی با مانع است.

یک دیافراگم صفحه با یک سوراخ در مرکز آن، در مسیر جریان یک خط قرار داده می‌شود. افت فشار در دو طرف صفحه بوسیله ترانسدیوسر فشار تفاضلی اندازه‌گیری می‌شود. این نوع در شکل زیر نشان داده شده است.



سنسورهای جریان با موانع فشار تفاضلی (a) صفحه سوراخ دار (b) venturi (c) تیوب Pitot

معادله برنولی، از اصلی‌ترین معادلات در مکانیک مایعات است. این معادله رابطه بین انرژی جنبشی و پتانسیل در هر دو نقطه از یک جریان مایع غیرقابل تراکم را بدست می‌دهد. با استفاده از این اصل رابطه بین جریان و افت فشار در دو طرف یک سطح سوراخ دار بصورت زیر است

$$Q = k\sqrt{p_2 - p_1}$$

که در آن

$Q =$ جریان

$k =$ ثابتی که بوسیله ابعاد مانع سوراخدار و واحد

اندازه‌گیری تعین می‌شود

Q_2 = فشار طرف فشار زیاد

P_1 = فشار در طرف فشار کم

توجه کنید که جریان متناسب با ریشه دوم افت فشار است، بنابراین شما بایستی خروجی ترانسدیوسر فشار را از طریق یک مدار الکترونیکی که معمولاً مدول آشکار کننده ریشه است، برای تولید یک سیگنال که متناسب و بطور خطی با فشار تغییر می‌کند، آشکار سازی کنید.

صفحه مانع سوراخدار دارای مزایای متعددی است. من جمله طراحی و ساخت و نصب آن آسان است. این سادگی باعث کم شدن نیاز به نگهداری و تعمیر نیز می‌شود. از این نوع ترانسدیوسر می‌توان برای اغلب مایعات که ذرات اضافی ندارند، استفاده نمود. با وجود این، چندین عیب هم برای آن موجود است. خروجی $(\Delta\rho)$ غیرخطی است. توجه داشته باشید که شما نیاز به آشکارسازی ریشه دوم آن دارید. هر چه خروجی بزرگتری نیاز داشته باشید، افت فشار بیشتری نیز بایستی تولید نمایید. این بطور فزاینده‌ای سیستم را بارگذاری می‌کند و سرعت جریانی را که می‌خواهید اندازه بگیرید، پایین می‌آورد. بدلیل وجود مانع ناگهانی، صفحه سوراخدار معمولاً گیر می‌کند.

روش ونچوری **Venturi** درشکل فوق نشان داده شده. بجای وجود سد ناگهانی در مسیر جریان، قطر لوله کم کم کاهش و سپس افزایش داده شده است. روابط بین جریان و اختلاف فشار، مشابه صفحه سوراخداراست. گر چه، چون مانع ناگهانی وجود ندارد، لوله کمتر گیر خواهد کرد. همچنین فشار در لوله خروجی خیلی نزدیک به فشار ورودی (P_2) است. بنابراین خطای اندازه‌گیری جریان در اثر بارگذاری فشار در حالت ونچوری کمتر از صفحه سوراخدار یا اوریفیس است. به ساختمان فیزیکی صفحه سوراخدار و ونچوری در شکل فوق توجه نمایید.

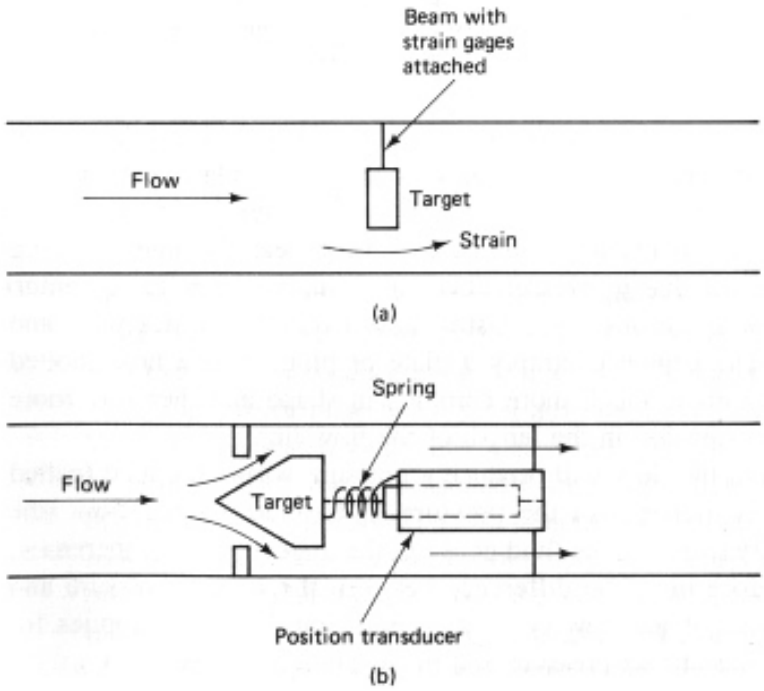
صفحه سوراخدار معمولاً یک صفحه است با یک سوراخ که در بین فلانچهای لوله‌ها نصب شده، ونچوری یک شکل پیچیده‌تر است و بنابراین گرانتر بوده و احتیاج به یک فاصله اضافی در طول خط جریان دارد.

قرار دادن یک لوله در داخل یک جریان، تولید فشار در این لوله می‌کند که (فشار برخورد نامیده می‌شود) این فشار خیلی بیشتر از فشار جریان جانبی است (فشار استاتیک). همچنانکه سرعت (جریان) یک مایع بالا می‌رود، فشار برخورد افزایش می‌یابد، هر چند فشار استانیک اینگونه نیست. اختلاف بین فشار برخورد و فشار استاتیک برای لوله پیتوت **Pitot** نیز برقرار است که درآن p_2 فشار برخورد و p_1 فشار استاتیک است.

لوله پیتوت برای اندازه‌گیری جریان گاز بخوبی کار می‌کند. در حقیقت به مدت خیلی طولانی بعنوان سنسور در بعضی هواپیماها برای نمایش سرعت هوا استفاده می شده است. همچنین در کاربردهای پزشکی برای اندازه‌گیری فشار خون استفاده می‌گردد. گر چه ، در محیط‌های صنعتی اگر مایع ذراتی داشته باشد، ممکن است یا گیر کند و یا خورده شود.

مایعاتی که از داخل لوله‌ها حرکت می‌کنند، به هر مانعی که با آن برخورد نمایند نیرویی وارد می‌کنند. این نیرو متناسب با جریان مایع است. می‌توانید این نیرو را اندازه‌گیری کنید تا اندازه‌ای از جریان بدست آید.

این اصل در هر دو سیستم اندازه‌گیری جریان با بازوی مزاحم و روتامتر بکار می‌رود. اندازه‌گیر جریان با بازوی مزاحم در شکل زیر نمایش داده شده است. جریان مایع



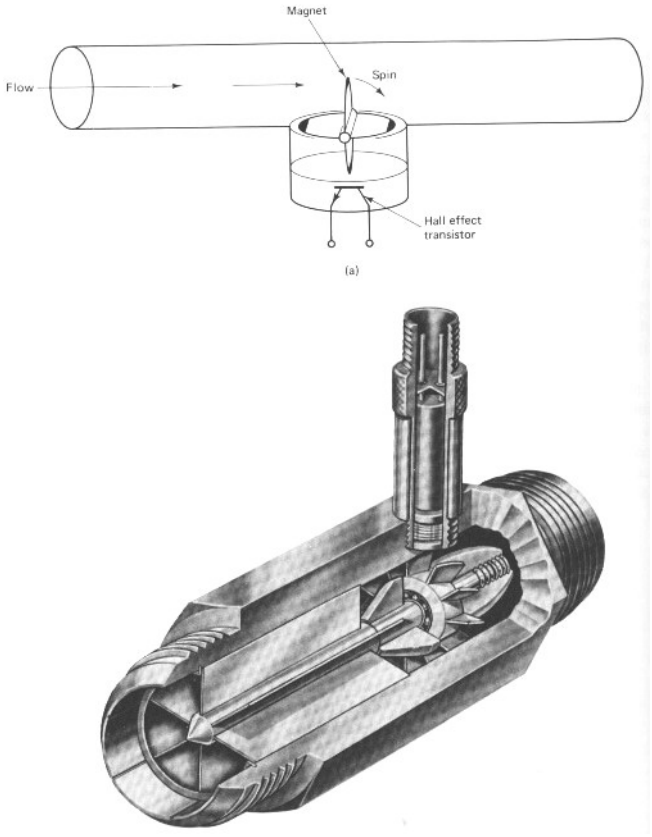
ترانسدیوسرهای جریان انکساری (a) شعاع پایه rotameter (b) ناحیه-متغیر

باعث می‌شود که نیرو به هدف وارد آمده و انحراف را باعث می‌شود. این انحراف کوچک بوسیله استرین گیج‌های نصب شده بر روی بازو حس شده و می‌توان آنرا بصورت معمول الکترونیکی اندازه‌گیری کرده و نمایش داد. برای جبران سازی، تغییرات در هر دو جهت را می‌توان احساس کرد. جهت جریان با پلاریته ولتاژ خروجی تعیین می‌شود. (قابلیت اندازه‌گیری جریان در هر دو جهت در داخل ترانسدیوسرهای جریان مایع غیرعادی است). معایب مربوط به سایر سنسورهای جریان از نوع مزاحم یا صفحه سوراخدار مشابه با بازوی مزاحم است. افت فشار در دو طرف بیم به مقدار کم اهمیتی وجود دارد که مشابه با صفحه سوراخدار است. بازوی مزاحم باعث گرفتگی می‌شود و حتی ممکن است بوسیله اجزاء داخل مایع صدمه ببیند. علاوه بر این سیم‌های استرین گیج‌ها بایستی از داخل دیواره‌های لوله به خارج آورده شوند، که این خود احتیاج به کار اضافه برای مجزا سازی ترانسدیوسر دارد.

روتامتر با سطح متغیر در شکل فوق b نمایش داده شده است. جریان باعث فشرده شدن هدف به عقب و فشردن فنر می‌شود. هدف در یک موقعیت که نیروی فنر و نیروی جریان مایع در حالت تعادل باشند می‌ایستد. چون نیروی فشرده شدن یک فنر متناسب با جابجائی آن است، اندازه‌گیری این موضوع که چقدر هدف جابجا شده مقداری است از جریان مایع. اگر این وسیله بصورت عمودی نصب شود نیروی شناب ثقل

زمین را می‌توان با فنر جایگزین نمود. این نوع ترانسدیوسر جریان باعث ایجاد افت فشار قابل توجهی می‌شود (بنابراین جریان مایع را کاهش داده و باعث خطا می‌شود) و حتی ممکن است غیرخطی هم باشد. علاوه بر این شما بایستی سیمهای پتانسیومتر و یا LVDT متصل به این دستگاه را که جابجائی را عملاً اندازه‌گیری می‌کنند، بخارج بیاورید.

بجای تولید یک حرکت خطی، می‌توان از جریان به ترتیبی استفاده کرد که یک سنسور را بچرخاند. سپس در صورت اندازه‌گیری سرعت چرخش سنسور می‌توانید جریان مایع را بدست آورید. نوع ساده‌تر از یک چرخ پره‌دار با یک پروانه که بداخل مایع رفته استفاده می کند. هر چه سرعت جریان بیشتر باشد. چرخ پره‌دار سریع‌تر می‌چرخد. به شکل زیر توجه کنید. در یک انتهای پروانه یک مغناطیس دائمی نصب شده است. در داخل بدنه دستگاه نیز ترانزیستور با اثر هال نصب گردیده است که هر دفعه که پروانه از مقابل آن می‌گذرد یک پالس در خروجی تولید می‌کند. فرکانس این پالسها متناسب با جریان مایع است.



ترنسدیوسرهای جریان نوع چرخشی: (a) چرخ پارویی (b) توربین جریان

ترانسدیوسر جریان با چرخ پره دار به صورت یک دستگاه ساخته شده مستقیما به داخل لوله ای که در آن جریان برقرار است به طریقه نصب استاندارد، پیچ می شود.

ترانسدیوسر جریان با چرخ پره‌دار افت فشار خیلی کمی تولید می‌کند. بنابراین بارگذاری آن بر سیستم ناچیز است. سیگنال خروجی آن سادگی به می‌تواند با هر سیستم دیجیتال و یا میکروپروسسوری و یا کنترل کننده‌های برنامه‌ریزی شونده تطبیق داده شود. از آنجایی که شما فقط چهار پالس در هر دور چرخش آن

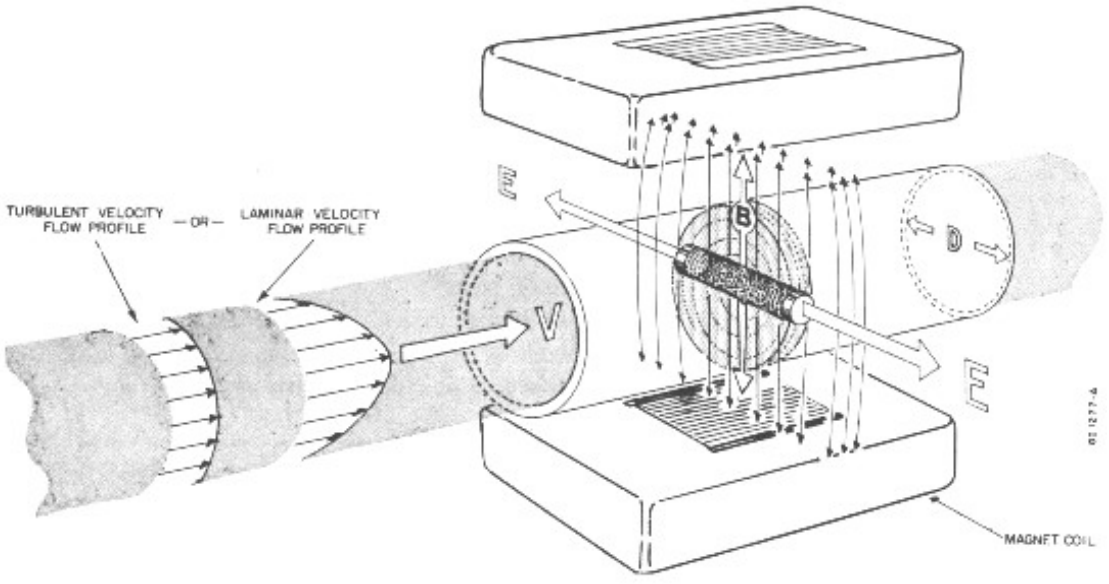
می‌گیرید، در جریان مایع کم شما بایستی یا زمان بین پالسها را اندازه‌گیری کنید یا قدرت تفکیک را از دست بدهید.

با اضافه کردن تعداد پره‌ها قدرت تفکیک بهتری بدست می‌آید. چنانچه از نوع توربین بجای چرخ پره‌دار استفاده کنیم تأخیر از بین می‌رود. این نوع در شکل فوق b نشان داده شده، مغناطیس‌ها از لبهٔ پروانه‌ها جدا شده‌اند، بجای آن پروانه‌ها از مواد با مقاومت مغناطیسی کم ساخته می‌شوند و از یک پیک آپ مغناطیسی در آن استفاده شده است.

راه حل دیگر استفاده از یک سنسور نوری منعکس کننده است تا بوسیله آن چرخش نوکهای پروانه را آشکار کنیم. این نوع دستگاه مشکلات تأخیر زمانی تولید شده بوسیله پیک آپ مغناطیسی را از بین می‌برد و مشابه با چرخ پروانه‌دار، خروجی فرکانس است. کالیبره نمودن، که بستگی به فرکانس خروجی نسبت به سرعت جریان دارد، به درجه حرارت و غلظت چسبندگی مایع افت فشار و اغتشاش در جریان مایع نیز بستگی دارد. غالباً احتیاج به یک تنظیم کننده جریان در جلوتر از پره‌ها بعلاوه یک شبکه برای حفاظت پره‌ها از مواد داخل مایع داریم. توربین اغلب اوقات در سیستم‌های هیدرولیک جاییکه مایع دارای اثر روغن کاری داخلی است بکار می‌رود.

تمام انواع اندازه‌گیرهای از نوع مزاحم که تا بحال دیدیم بوسیله انرژی جریان مایع برای تولید اثر قابل اندازه‌گیری کار می‌کنند. حذف این انرژی از جریان مایع بایستی تا اندازه‌ای باعث کاهش سرعت شود. بعبارت دیگر، اندازه‌گیری جریان مایع با هر کدام از این نوع وسایل، جریان مایع را پائین می‌آورد.

روشهای اندازه‌گیری غیر مزاحم، سیستم را بارگذاری نمی‌کنند و جریان مایع را کاهش نمی‌دهند. اگر شما جریان مایعی را اندازه‌گیری می‌کنید که کمی هادی است (حتی آب هم کار می‌کند)، می‌توان از اندازه‌گیر جریان الکترومغناطیسی استفاده کرد. اصول کار این دستگاه در شکل زیر نشان شده است. یک قسمت لوله غیرهادی مورد نیاز است.

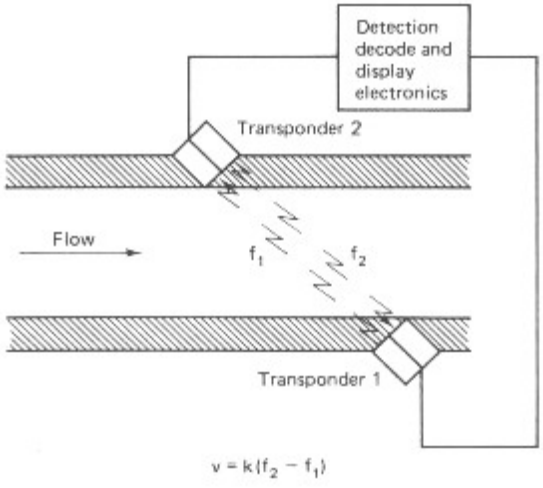


جریان سنج الکترومغناطیسی

آستر کردن یک لوله فلزی با یک ماده غیر هادی نیز کار می‌کند. اینکه چه ماده‌ای بایستی استفاده کرد بستگی زیادی به درجه حرارت و خورندگی مایع دارد. یک میدان مغناطیسی به صورت عمود با جهت جریان قرار داده می‌شود. قانون ژنراتور آن است که اگر یک هادی، یک میدان مغناطیسی را قطع کند یک ولتاژ در آن القاء خواهد شد که بصورت عمود بر جهت میدان و جهت حرکت است. الکترودهادی به صورتی قرار می‌گیرند تا این EMF القاء شده را حس کنند. این ولتاژ القاء شده بصورت خطی و مستقیماً با سرعت جریان، قدرت میدان مغناطیسی و قطر لوله متناسب است.

این نوع ترانسدیوسر مزایای خوبی دارد که عبارت است از عدم افت فشار و عدم بارگذاری بر جریان مایع. عکس شدن جهت جریان مایع بسادگی قابل آشکار شدن است. همچنین هیچ گرفتگی یا امکان شکستن قطعه‌ای نیست.گر چه، مایع بایستی هادی باشد و یک قسمت مخصوص از لوله مورد نیاز است و خروجی‌ها در حدود میکرو ولت هستند. بالاخره تغذیه مغناطیس الکتریکی ممکن است مساله ساز باشد. استفاده از ولتاژ dc ممکن است باعث شود که مایع‌های با هدایت کم پلاریزه شده و در اطراف پیک آپ‌های الکتریکی قرار بگیرند و اثرشان را کاهش دهند. تحریک با ولتاژ ac نیز می توان استفاده کرد اما این باعث تولید خروجی ac شده و اثر خازنی مربوط به مایع خروجی را کاهش می دهد. از dc پالسی هم استفاده می گردد، گر چه درایو پیچیده‌تر و مدارهای حس کننده بیشتر و حساس‌تری مورد نیاز است.

نوع دیگر اندازه‌گیر جریان مایع غیرمزاحم از انتشار امواج ما فوق صوت بداخل مایع استفاده می‌کند. یک شکل آن در شکل زیر نشان داده شده است. ترانسدیوسرها کریستالهای پیزو الکتریک هستند که قادرند هم عمل ارسال و هم عمل دریافت سیگنالهای ما فوق صوت را انجام دهند. آنها ممکن است در فرکانسهای محدوده مگاهرتی کار کنند. این ترانسدیوسرها بصورت ۴۵° درجه با جهت جریان مایع نصب می‌شوند. هر کدام یک فرکانس ارسال می‌کنند. سیگنالی که با جریان حرکت کرده در فرکانس بالاتری نسبت به آنچه ارسال شده، دریافت می‌شود. سیگنالی که در جهت خلاف مایع حرکت می‌کند فرکانس کمتری خواهد داشت. این اختلاف در فرکانس‌های رسیده مستقیماً با سرعت مایع متناسب است.



ترانسدیوسرهای جریان آلتراسونیک

از سنسور ما فوق صوت جریان می‌توان برای مایعات غیرهادی و یا گازها نیز استفاده کرد. به هیچ وجه هم مزاحمتی برای جلوگیری از حرکت جریان و یا بارگذاری بر روی آن نخواهد داشت. در حقیقت ترانسدیوسرهایی هستند که آنها را می‌توان از خارج بر روی لوله بست و بصورت غیردائمی عمل

اندازه‌گیری جریان داخل لوله را انجام داد. عیب جریان سنج ما فوق صوت، قیمت و الکترونیک مربوط به آن است.

ترانسدیوسرهای سطح مایعات

در بیشتر فرآیندهای تولیدی ، دانستن اینکه چقدر مواد در یک تانک یا خمره موجود است، اهمیت فراوانی دارد. سرریز شدن تانک می‌تواند باعث حادثه گران‌قیمت و شاید خیلی خطرناک شود. از سوی دیگر، خالی شدن کامل یک تانک بوسیله پمپ، ممکن است فرآیندی را که قرار بود از تانک اکنون خالی، مواد دریافت کند از بین ببرد. یا ممکن است به خطوط خالی انتقال لوله‌ای اگر که احتیاج به وجود مواد برای جذب حرارت باشد، صدمه بزند.

همچنین در تولیدات شیمیائی و مواد غذائی، نتیجه خوب نهائی احتیاج به مخلوط کردن دقیق مقدار مناسب اجزاء متشکله با توجه به دستورالعمل مربوط را دارد. اندازه‌گیری دقیق مقدار ماده‌ها نیز حیاتی است.

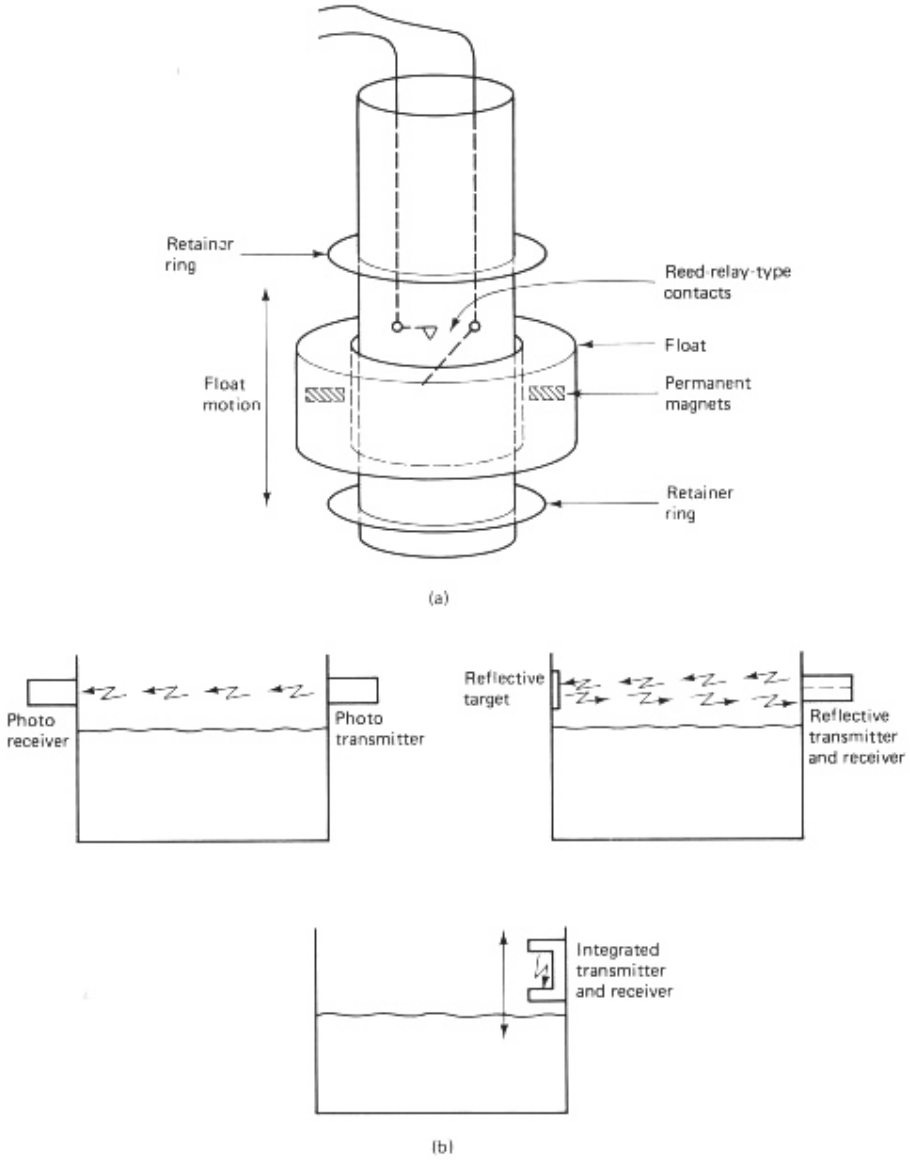
موادی که سطح یا ارتفاع آنها را اندازه‌گیری می‌کنید لزوماً مایعات هموژن یا همجنس یا یکجور نیستند. بسته به فرآیند، آنها ممکن است، پودر، قطعات یا تکه‌های ریز و خرد شده باشند. ممکن است برای موادغذائی و یا خیلی خورنده باشند، ممکن است در کناره‌های تانک یا خمره جمع بشوند و یا بصورت موجی بهم بخورند یا در طلاطم باشند. تمام این خواص ممکن است بر روی انتخاب ترانسدیوسر سطح شما تأثیر بگذارند.

ترانسدیوسرهای سطح را می‌توان بدو دسته عمده تقسیم‌بندی نمود:

۱ـ ترانسدیوسرهای پیوسته ۲ـ ترانسدیوسرهای غیر پیوسته. ترانسدیوسرهای پیوسته سطح دقیق را متناسب و در تمام ارتفاع تانک بصورت پیوسته نمایش می‌دهند. این نوع بطور دقیق در این قسمت معرفی می‌شوند. از سوی دیگر بعضی اوقات ممکن است نیاز به یک اعلام خطر یا نمایش فقط وقتی که سطح تانک به مقدار معین می‌رسد و یا ممکن است باعث سرریز شدن با خطر برای تانک شده و یا تانک تخلیه شود داشته باشیم. برای این کاربردها در خروجی، بسته شدن یک کلید ساده و یا یک ولتاژ پله‌ای کافی است. در حقیقت، یک چنین ترانسدیوسر غیرپیوسته‌ای عملاً برای کنترل خیلی ساده‌تر از خروجی یک ترانسدیوسر پیوسته است.

کلید شناور نشان داده شده در شکل زیر a دارای یک کلید در حالت عادی باز یا بسته است، کنتاکت های آن مشابه کنتاکت های رله‌ها عمل می‌کنند. آنها بوسیله فنر در حالت باز نگهداشته می‌شوند و از یک ماده فرومغناطیسی ساخته شده‌اند. وقتی یک مغناطیس بر روی آنها قرار بگیرد و یا حرکت کند، میدان مغناطیسی باعث بسته شدن کنتاکت ها خواهد شد. این کنتاکت ها داخل یک لوله غیرفلزی و تخلیه شده از هوا قرار می‌گیرند (مانند لامپ) . یک مغناطیس دائم داخل شناور تعبیه شده است. این شناور در پاسخ به

سطح مورد اندازه‌گیری، به بالا و یا پائین حرکت می‌کند. البته دو صفحه محدود کننده حرکت‌های انتهائی آنرا محدود می‌کنند. کنتاکت ها می‌توانند با dc و یا ac تا ولتاژ ۱۱۵ ولت تحریک شوند. بنابراین سادگی عمل استفاده از یک شناور برای اعمال ورودی به مدارهای منطقی یا دیجیتال میسر است. و نهایتا می‌توان از آنها برای تحریک کنترلر برنامه‌ریزی شونده استفاده کرد و یا می‌توانند بطور مستقیم تغذیه یک سیستم اعلام خطر یا عمل‌کننده را تحریک کنند.



ترنسدیوسرهای سطح گسسته (a) سوئیچ شناور (b) فوتوالکتریک

آشکارسازی نوری نیز می‌تواند به منظور احساس سطح مورد استفاده قرار گیرد، البته این در حالتی میسر است که خواص اپتیکی یا نوری ماده باعث ممانعت کامل از عبور نور شوند. چندین راه ممکن در شکل فوق نشان داده شده است. فرستنده‌های نوری معمولاً دیودهای نوری مادون قرمز یا لنزها و جهت‌دهنده های مناسب نوری هستند. گیرنده، یک ترانزیستور حساس به نور با یک فیلتر نوری مناسب برای گرفتن طول موج

نوری ارسال شده است. این موضوع باعث کم شدن خطاهای ناشی از نور محیط کار خواهد شد. وقتیکه سطح پائین‌تر از سنسور است نور به گیرنده میرسد و ترانزیستور نوری اشباع می‌شود و یک سطح پایین دیجیتال می دهد. وقتیکه سطح تانک مانع عبور نور می‌شود، فتوترانزیستور خاموش می‌گردد. علاوه بر یک منبع dc شما ممکن است نیاز به یک مقاومت پول آپ بین ترانزیستور با کلکتور باز و ولتاژی داشته باشید که سطح بالای منطقی شما را دارد.

گیرنده‌های نوری نیز موجودند که بجای فتوترانزیستور از فتوتایریستور استفاده می‌کنند. این گیرنده‌ها یک خروجی ۱۱۵ ولتی وقتی که شعاع نوری به آنها بخورد تولید می‌کنند.

دستگاه‌های با فرستنده و گیرنده در یک محل از نقطه نظر نصب نسبت به واحدهائی که دارای گیرنده و فرستنده مجزا هستند ساده‌تر می باشند. فقط یک دسته سیستم احتیاج است. چنانچه هدف به اندازه کافی بزرگ باشد تنظیم زیاد حساس نیست. مدارهای انتگرال شده فرستنده و گیرنده انعطاف بیشتری را میسر می‌کنند. بوسیله نصب آنها بر روی یک میله می‌توان سطح آنها را تغییر داده و پائین‌تر و بالاتر برد که در این صورت به سادگی می‌توان سطح آلارم را انتخاب نمود.

آشکار کننده‌های نوری عمر بیشتری نسبت به کلیدهای شناور دارند. چون هیچ قسمت مکانیکی که عمل نکند در آنها موجود نیست. فقط آشکار کننده‌های نوری احتیاج دارند که ماده مانع انتقال نور گردد. این موضوع کاربرد آنها را برای بعضی مواد محدود می‌کند.

از اندازه‌گیری انتقال حرارت نیز می‌توان برای آشکار سازی وجود مواد در تانک استفاده نمود. یک سنسور درجه حرارت مقاومتی تغذیه می گردد که باعث گرم شدن خودش بشود. حرارت منتشر شده بداخل هوا از این سنسور کم است. و باعث می‌شود که سنسور درجه حرارت نسبتاً بالائی را آشکار کند. وقتی درون مایعی داخل شود یا مایع آنرا در بر گیرد، حرارت بسادگی بیشتری از سنسور منتقل شده و سنسور به مجرد در بر گرفته شدن بوسیله مایع، حرارت آن را دچار تغییر زیادی می‌نماید. یک مدار آماده‌سازی سیگنال خارجی برای به کار انداختن سنسور و تبدیل خروجی آن به سیگنال قابل استفاده مورد نیاز است. این تکنیک در صورتیکه حرارت عادی مایع نزدیک حرارت سنسور در هوا باشد و یا درجه حرارت مایع خیلی تغییر کند، دارای مساله خواهد بود.

در بعضی کاربردها فقط لازم است بدانیم که مایع بالاتر یا پائین‌تر از سطح خاصی است. این موضوع تنها اطلاعاتی است که یک ترانسدیوسر سطح غیرپیوسته به شما می‌دهد. گر چه در بیشتر فرآیندهای کنترلی، احتیاج به یک مقدار دقیق و خطی از مقدار مواد در یک تانک داریم. این موارد احتیاج به ترانسدیوسر سطح پیوسته دارند، روشهای متعددی برای تولید یک سیگنال که مقدار مواد داخل تانک را آشکار کند موجود است.

پنج روش در این قسمت توضیح داده می‌شوند:

۱ـ فشار در پائین تانک بطور خطی متناسب است با سطح مایع در تانک چه مایع و چه جامد. ۲ـ وزن تانک معرف مقدار ماده ای است که داخل آن است. ۳ـ از شناورها می‌توان برای آشکارسازی سطح مایعات استفاده

کرده و یک پتانسیومتر یا شیر را به حرکت درآورد ۴ـ برای مایعاتی که از نظر الکتریکی عـایق هـستند و یـا جامدها، تانک و یک الکترود می‌توانند تبدیل به یک خازن بزرگ شوند. ۵ـ بـا آشکارسـازهای اولتراسـونیک، مشابه آنهائی که برای آشکار سازی فاصله و تنظیم اتوماتیک دوربین‌ها استفاده می‌شوند، مـی‌تـوان بـسادگی فاصله با سطح مایع را بدست آورد.

در قسمت های قبل مشاهده نمودید که فشار در پائین ارتفاعی از مایع بوسیله هد تعریـف شـده و متناسـب است با ارتفاع مایع:

$$p = \rho hg$$

که در آن p، هد یا فشار است

ρ ، چگالی مایع و h، ارتفاع سطح مایع است.

بنابراین می‌توانید سطح مایع درون یک تانک را بوسیله اندازه‌گیری فشار در ته تانک تعیین کنید.

گر چه این تکنیک چندین پیش‌فرض دارد که شما بایستی از آن آگاه باشید.اول، برای اینکه نتـایج همیـشه تکرارپذیر و ثابت باشد مایع بایستی یکنواخت باشد. در حقیقت این بدین معنی اسـت کـه چگـالی بایـستی ثابت باشد. دوم، ارتفاع بدست آمده از اندازه‌گیری فشار مربوط به سطح بالای ترانسدیوسر است. بنابراین اگـر نتوان ترانسدیوسر فشار را در ته تانک نصب نمود، بایستی از یک مدار آماده‌سازی سیگنال برای اضافه یا کـم کردن و تنظیم صفر استفاده کنید. این موضوع در شکل زیر نشان داده شده است.

آخرین مطلب تحت بررسی وقتی از فشار برای نمایش سطح استفاده می‌کنیم، مربوط به فـشار بـالای تانـک است. اگر سر تانک باز و در فشار اتمسفر باشد. رابطه فشار معمولی قابـل اسـتفاده اسـت و مـی‌تـوان از یـک ترانسدیوسر فشار گیج(فشار با مبنای اتمسفر) استفاده نمود. گر چه اگر سـر تانـک مـسدود باشـد، فـشار در پائین تانک بستگی به هد یا ارتفاع مایع و همچنین فشار در بالای مایع دارد.

$$p_{bottom} = \rho hg + p_{top}$$

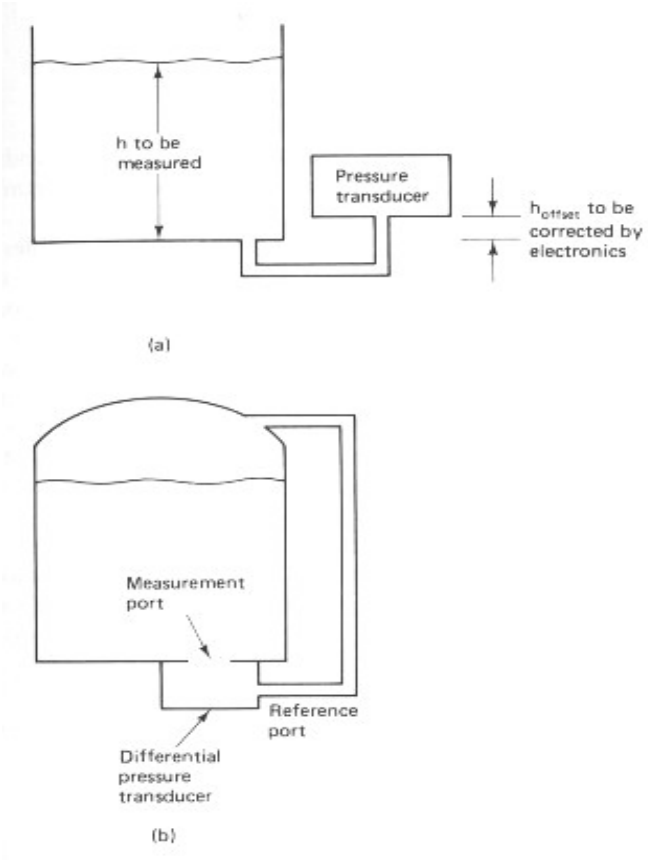
و یا

$$h = \frac{p_{bottom} - p_{top}}{\rho g}$$

برای محاسبه خودکار در این حالت، می‌توانید از یک ترانسدیوسر فشار تفاضلی یا تفاضـل بـا مبنـای متـصل شده به بالای تانک که در شکل فوق نشان داده شده استفاده کنید.

یک اندازه واقعی از مقداری که در تانک است، وزن آن است. این موضوع برای حالتهایی که تانک دارای مایع و یا جامد و یا مقداری بین آنها است معتبر می باشد. تانک را بایستی بر روی سلول‌های بار قرار داد. اگر نیاز به بیشتر از یک سلول بار باشد، بایستی یا مطمئن شوید که بار یکنواخت پخش شده باشـد و یـا بایـستی از نوعی مدار که بار اعمال شده به هر سلول بار را جمع می‌کند، استفاده نمایید. نهایتاً، مدار الکترونیک تنظـیم کننده سیگنال بایستی به نحوی عمل نماید که خروجی صفر در موقع خالی بودن تانک بدست آید. تمام این

احتیاجات به آن پیچیدگی که به نظر می‌رسد نیست. در بیشتر دستگاه‌ها، یک اندازه‌گیر اصلی و فرعی را می‌توان به سیستم حامل یا گیج متصل نمود. سپس می‌توانید یک دفعه سیستم را با پر کردن و خالی کردن کالیبره نموده و مقداری را که بایستی به مقادیر اندازه‌گیری شده بیافزایید، پیدا کنید.



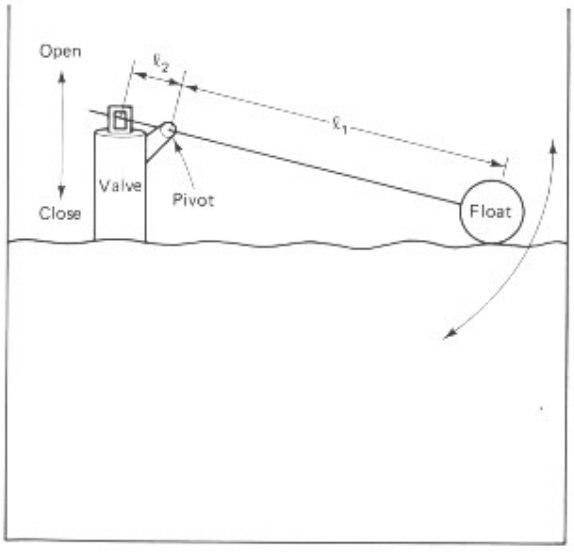
اندازه گیری سطح با حس کردن فشار با (a)یک ترنسدیوسر آفست و(b) یک مخزن درزگیری شده.

شاید مورد استفاده‌ترین ترانسدیوسر سطح و سیستم کنترل یک شیر شناور داخل تانک فلاش تانک منازل است. اصول کار آن در شکل زیر نمایش داده شده است. شناور بطرف بالا و پائین و بر روی سطح آب تانک حرکت می‌کند. از طریق یک تکیه‌گاه یک شیر کنترل می‌شود. وقتی سطح آب پائین است، شناور پائین آمده، شیر را باز می‌کند، همچنانکه شناور بالا می‌رود شیر را فشرده کرده و نهایتاً آنرا می‌بندد. بازوی متصل کننده شناور به شیر از طریق تکیه‌گاه بطور مکانیکی نیروی اعمال شده به شناور را با ضریب l_1/l_2 ، تقویت می‌نماید.

برای کنترل‌های پیچیده‌تر، بجای شیر از یک پتانسیومتر با حرکت خطی استفاده می‌شود. با حرکت شناور به بالا و پائین لغزنده پتانسیومتر حرکت می‌کند. از چرخ دنده می‌توان به منظور تبدیل حرکت بازوی l_2 به چرخش برای حرکت درآوردن پتانسیومترهای حرکت دورانی استفاده نمود.

این سیستم شناور و پتانسیومتر برای اندازه‌گیری سطح دارای مزایای متعددی نسبت به سایر ترانسدیوسرهایی که مطالعه گردید، است. سیگنال خروجی می‌تواند یک ولتاژ dc بزرگ باشد. که این موضوع

احتیاج به آماده‌سازی بیشتر سیگنال را حذف نموده و کنترل و نمایش الکترونیکی آن آسان مـی‌شـود. ثانیـاً سیستم ساده است، بنابراین هم کم قیمت و هم مطمئن می باشد.



سیستم کنترل سطح درایو شناور

هر چند، معایب متعددی نیز برای آن وجود دارد. شناور دارای محدوده رنج حرکت محدودی است. مکـانیزم بایستی داخل تانک و بطور صحیحی نصب شود. در بیشتر کاربردها، قرار دادن چیزی داخل تانک غیـرممکن است. همچنین، پتانسیومتر بایستی به دقت عایق شده و از داخل شدن آن به مایع جلوگیری شود.

ظرفیت خازن صفحات موازی مساویست با

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

که در آن C، ظرفیت خازنی

A، سطح صفحات

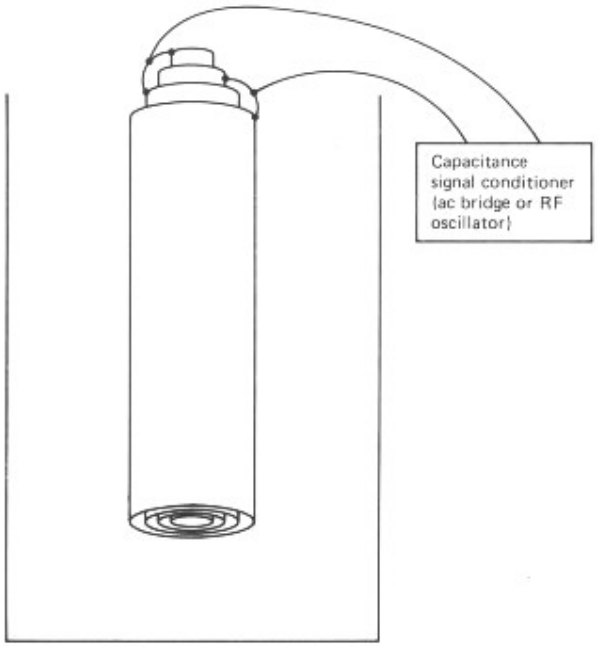
ε ، ضریب دی الکتریک

و d، فاصله بین صفحات است.

ثابت دی الکتریک هوا تقریباً ۱، آب دارای ثابت ۸۰ مرتبه بالاتر است. در حالی که بعضی از جامدات ممکـن است دارای ضریب دی‌الکتریک ۱۰۰۰۰ یا بیشتر باشد. این تغییرات زیاد در ثابت دی‌الکتریک را می‌توان بـه منظور استفاده کردن در اندازه‌گیری سطح استفاده کرد. به شکل زیر توجه کنید.

پروبهای هم مرکز داخل تانک قرار داده شده‌اند. همچنانکه سطح بالا می‌رود، مقدار ثابت دی‌الکتریک متوسط نیز بطور خطی افزایش می‌یابد. بنابراین ظرفیت اندازه‌ای از سطح داخل تانک است. برای افزایش اثرات خازنی می‌توان از چندین الکترود هم مرکز استفاده کرد. متصل کردن صفحات به صورت یک در میـان بـه یکـدیگر

سطح را افزایش می‌دهد. مشابه با دیگر ترانسدیوسرهای خازنی نشان داده شده در این فصل، ترانسدیوسر خازنی سطح بایستی با مدار آماده‌سازی سیگنال الکترونیکی تجهیز شده باشد تا بتوان ظرفیت را به یک سیگنال که از آن می‌توان ساده‌تر استفاده کرد تبدیل نمود. با یک پل ac دامنه ظرفیت تعیین کننده دامنه سیگنال خروجی پل است. استفاده از خازنهای حساس به سطح برای تنظیم فرکانس یک اسیلاتور تولید یک فرکانس که مستقیماً در رابطه با سطح تانک است می‌کند.



ترانسدیوسر سطح خازنی

اگر تانک هادی باشد، امکان آن است که یک الکترود به تانک داخل کرده و از خود تانک بعنوان صفحه دیگر خازن استفاده کنیم. گر چه با در نظر گرفتن دقیق محدودیت‌ها، بعنوان دلایل ایمنی تانکهای فلزی بایستی به زمین متصل شوند، که این موضوع ممکن است از نقطه‌نظر الکترونیک تنظیم کننده سیگنال مهم باشد. همچنین ممکن است باعث نویز الکتریکی بدلیل وجود حلقه‌های زمین بشویم. و یا بدلیل اتفاقات سیگنالهای گمراه کننده بداخل تانک تزریق و بنابراین مدار کنترل بشود.

اگر مایعی که سطح آنرا اندازه می‌گیریم هادی باشد، می‌توان از اندازه‌گیری مقاومت بجای ظرفیت استفاده کرد. بجای صفحات هم محور شکل فوق از دو سیم مقاومتی استفاده می‌شود. بایستی مقاومت سیم، بالا و پایدار باشد و مقاومت آن در واحد طول بخوبی تعیین شده باشد. همچنانکه سطح بالا می‌رود، سیم بیشتری اتصال کوتاه شده و مقاومت کل را پایین می‌آورد. پس مقاومت بطور معکوس متناسب با سطح است. این تکنیک وقتی که می‌خواهیم ارتفاع سطح جیوه را در یک مانومتر و یا سنجش فشار خون اندازه‌گیری کنیم خیلی معمولی است.

با اختراع سیستم اتوماتیک فوکوس دوربین عکاسی یک آشکارساز فاصله اولتراسونیک کم قیمت، ساده برای استفاده و مدولار بدست آمده است. برای اندازه‌گیری سطح با یک اندازه‌گیر مسافت اولتراسونیک ، بایستی

سیستم را بالای تانک نصب کنید بصورتی که بطرف پائین متمرکز شده باشد. یک پالس برای شروع اندازه‌گیری به سیستم اعمال می‌شود. وقتیکه سیگنال اولتراسونیک فرستاده می‌شود، سیستم یک پالس در خروجی می‌دهد. وقتی سیگنال برگشتی دریافت شد، یک پالس دیگر از خروجی سیستم داده می‌شود. با استفاده از یک شمارنده خارجی بایستی زمان بین پالس ارسال شده و پالس مربوط به سیگنال برگشتی را اندازه‌گیری بنمائید. چون سیگنال اولتراسونیک با سرعت حرکت می‌کند، زمان بین ارسال و دریافت سیگنال اندازه‌ای از فاصله با سطح مایع است. فواصل مورد اندازه‌گیری بین 0.5 تا ۱۰ متر بایستی باشد.

$$d = 0.5\upsilon t$$

که در آن d، فاصله تا سطح مایع

υ، سرعت صوت = 331.5 m/s در سطح دریا و دمای 0^oC

t، زمان کل رفت و برگشت است.

نصب فاصله یاب اولتراسونیک بر بالای تانک خیلی مناسب است. دسترسی و نصب آن آسان و لازم نیست سیستم را ایزوله نموده و در مقابل تأثیر مواد بر روی آن محافظت نمائیم. هر چند، همچنانکه تانک پر می‌شود، فاصله بین سنسور و سطح کوچکتر و کوچکتر شده. این باعث زمانهای کوچکتر و شمارش کمتر در تایمر خروجی می‌شود. بعبارت دیگر هر چه سطح بالاتر می‌رود، اطلاعات جمع‌آوری شده تولید شماره کمتری می‌کند. دو راه حل موجود است، یکی استفاده از آشکارساز اولتراسونیک که با مواد داخل تانک کار می کند. سیستم را در ته تانک قرار دهید. شعاع از سطح مایع منعکس شده و زمان بیشتری را برای رفت و برگشت به سطح مایع نیاز دارد. راه حل دوم استفاده از یک سیستم آماده‌سازی اطلاعات **Data manipulation** با یک شمارنده برای تصحیح اطلاعات دریافت شده از آشکارساز اولتراسونیک نصب شده در بالای تانک است.

مثال- بلوک دیاگرام و روابط مربوط به استفاده از یک آشکارساز فاصله اولتراسونیک را برای اندازه‌گیری تانکی به عمق ۵ متر بدست آورید. دستگاه بایستی دارای خروجی صفر در موقع خالی بودن تانک و خروجی ۱۰۰۰ در موقع پربودن آن باشد.

حل ـ بلوک دیاگرام در شکل زیر نشان داده شده است. سنسور اولتراسونیک در فاصله 0.5 متر بالای سطح تانک پر نصب می‌شود. وقتیکه تانک خالی است امواج 5.5 متر را طی کرده و برمی‌گردند. که این امر در مدت

$$t_{empty} = \frac{5.5m}{(0.5)(331.5m/s)}$$
$$= 33.183\,ms$$

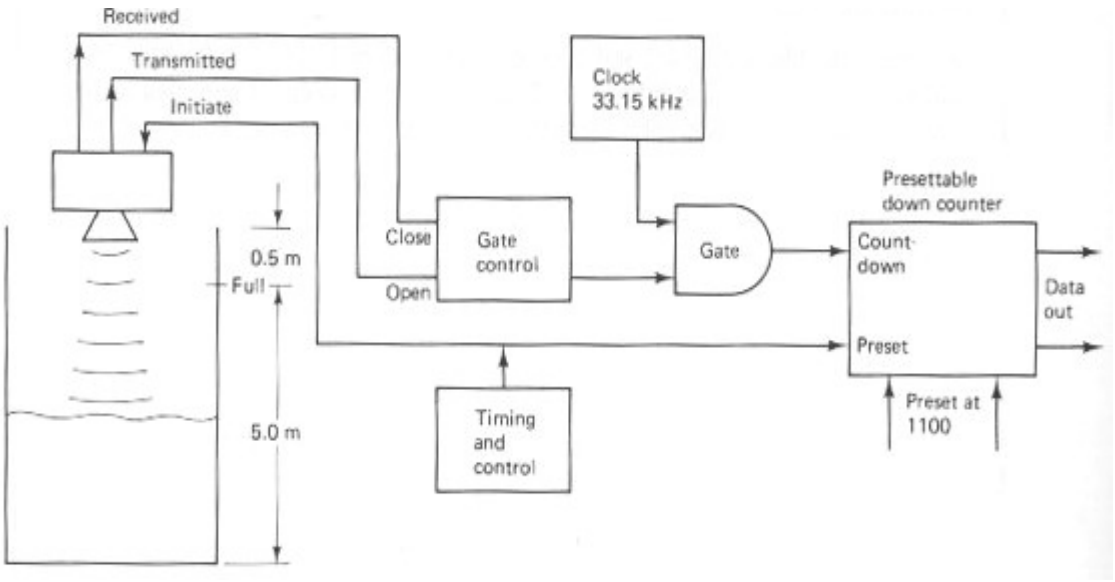
صورت می‌گیرد. زمانیکه تانک پر است امواج 0.5 متر را طی کرده و برمی‌گردند. که این امر در مدت

$$t_{full} = \frac{0.5m}{(0.5)(331.5\,m/s)}$$
$$= 3.017\,ms$$

صورت می‌گیرد. اختلاف زمان بین وضعیت‌های پروخالی مساویست با

$$t_{diff} = 33.183\,ms - 3.017\,ms$$
$$= 30.167\,ms$$

این اختلاف در زمان بایستی تولید یک شمارش ۱۰۰۰ بشود،



سنسور سطح آلترا سونیک Top-mounted

بنابراین زمان بین و شمارش مساویست با

$$t_{per\ count} = \frac{30.167 ms}{1000} = 30.167\,\mu s$$

این سیگنال شمارش را می‌توان بوسیله یک ساعت که در سرعت

$$f_{clock} = \frac{1}{30.167 \mu s} = 33.15\,kHz$$

کار می‌کند درست کرد. اکنون به دقت به بلوک دیاگرام شکل ۷۸ـ۳ دقت کنید. زمان گیری و بلوک کنترل، اندازه‌گیری را با اعمال یک پالس به ترانسدیوسر و شمارنده تنظیم شده از قبل شروع می‌کند. شمارنده به اندازه ۱۱۰۰ پر شده است. وقتی ترانسدیوسر موج صوتی را می‌فرستد، یک پالس هم ایجاد می‌کند. این باعث باز شدن گیت شده و شروع به کاهش شمارش از ۱۱۰۰ برای هر $30.17\ \mu s$ می‌کند. اگر تانک پر باشد پس از $3.017\ ms$ خط دریافت سیگنال پالس‌دار شده و گیت مسدود می‌شود. در طول این مدت شمارنده فقط ۱۰۰ تا شمرده و شمارنده را باندازه ۱۰۰۰ گذاشته است. اگر تانک خالی باشد. در زمان $33.183\ ms$ خط دریافت سیگنال پالس‌دار شده و گیت را مسدود می‌کند. در طی این زمان شمارنده ۱۱۰۰ بار شمرده و شماره ۰ بر جای مانده است.