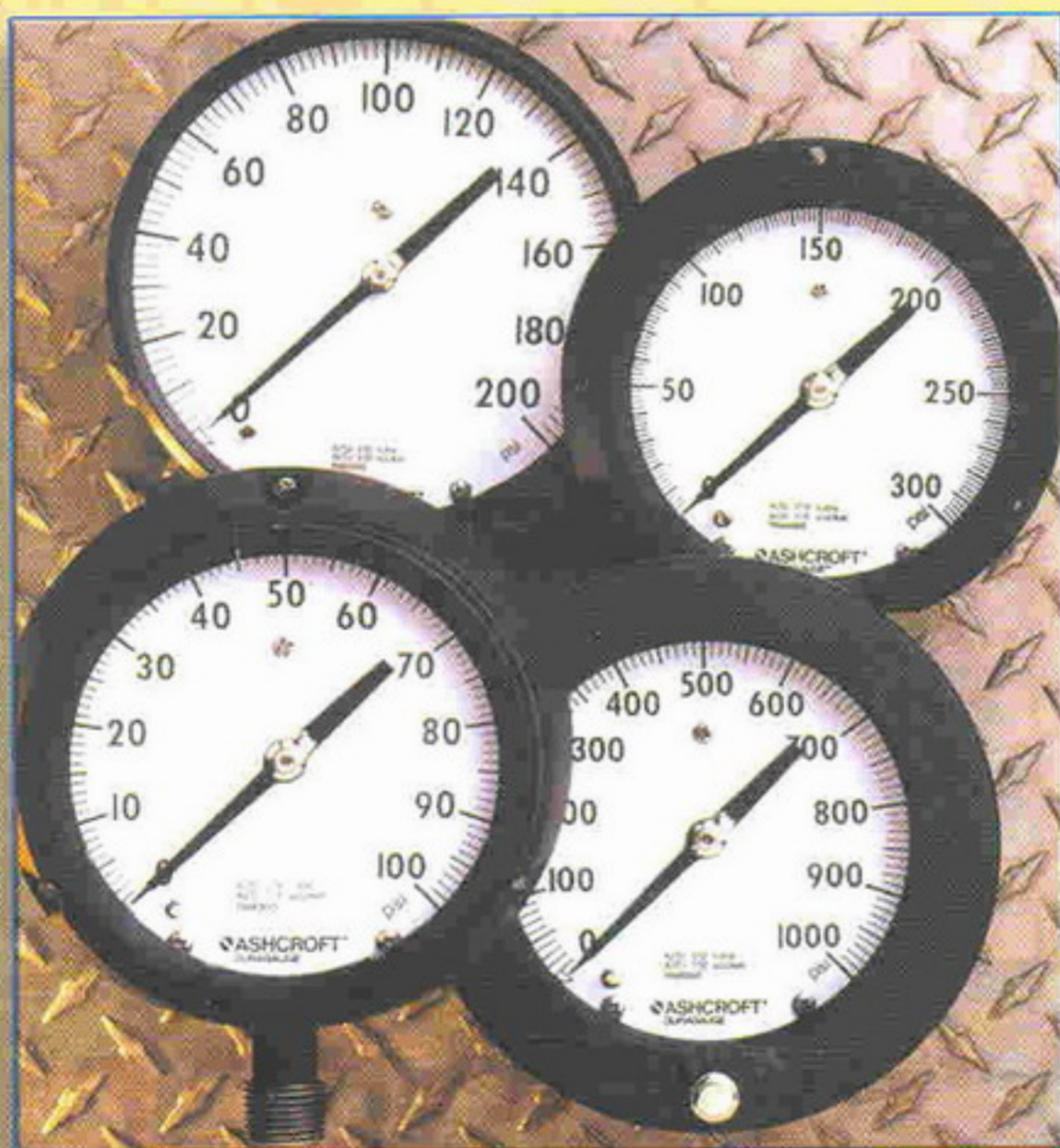
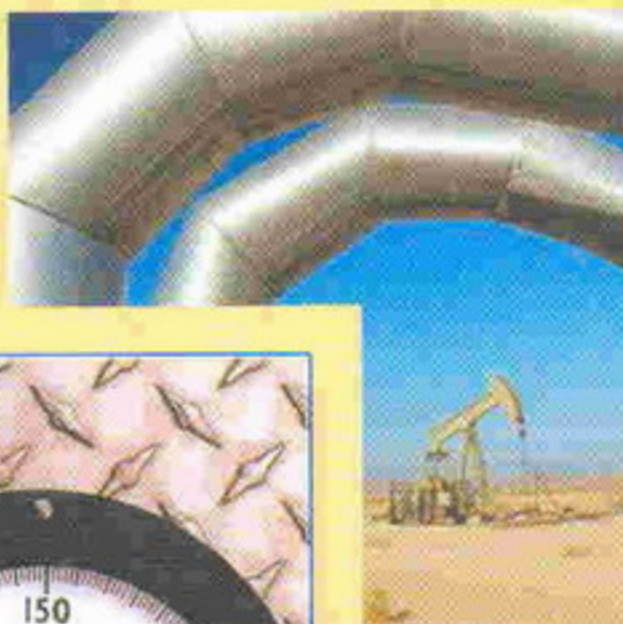
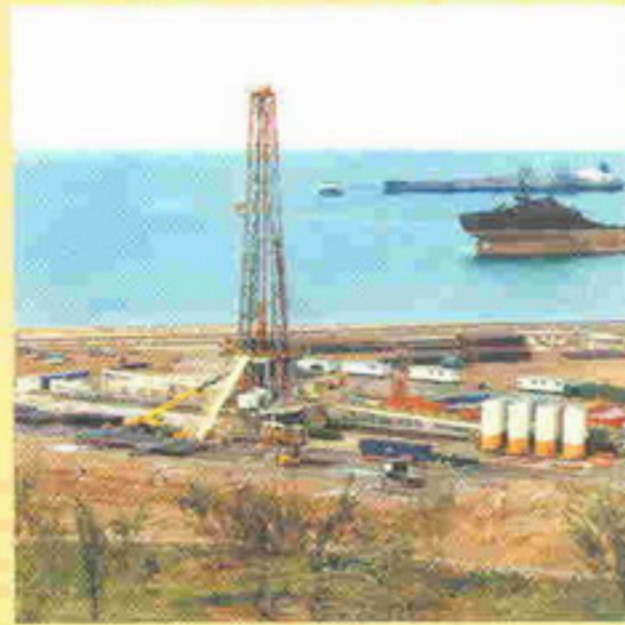




شرکت پشتیبانی ساخت و تهیه کالای نفت تهران



آشنایی با ابزار دقیق

مدیریت پشتیبانی ساخت تجهیزات مکانیک، برق و ابزار دقیق

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



شرکت پشתיبانی
ساخت و تهیه
کالای نفت تهران

آشنایی با ابزار دقیق

- ۵ مقدمه
- ۵ ۱- فشارسنج ها
- ۵ ۱-۱- روش کلی اندازه گیری فشار
- ۱۱ ۱-۲- روش های ایجاد سیگنال
- ۱۴ ۱-۳- اجزاء مختلف یک فشارسنج
- ۱۴ ۱-۴- مشخصات فنی فشارسنج
- ۱۶ ۱-۵- کالیبراسیون
- ۱۸ ۱-۶- مقادیر مورد نیاز و سازندگان خارجی
- ۱۸ ۲-۱- ترموکوپل یا زوج گرمایی
- ۱۹ ۲-۲- ترموکوپل های صنعتی
- ۲۲ ۲-۳- نمونه ای از مشخصات فنی ترموکوپل
- ۲۳ ۲-۴- ظرفیت های مورد نیاز ساخت داخل
- ۲۳ ۲-۵- استانداردها و کنترل کیفیت
- ۲۳ ۲-۶- تعدادی از سازندگان خارجی ترموکوپل
- ۲۴ ۳- تئوری ترموکوپل
- ۲۴ ۳-۱- اثر ترموکوپل
- ۲۴ ۳-۲- رسانایی و تئوری باند
- ۲۶ ۳-۳- اثر ترموالکتریک
- ۲۶ ۳-۴- اتصال اضافی
- ۲۷ ۳-۵- جبران بدون استفاده از اتصالات مرجع
- ۲۷ ۳-۶- مشخصات انواع ترموکوپل ها



۱- مقدمه

اندازه‌گیری، ضبط، ثبت و کنترل بسیاری از پارامترهای محیطی در یک فرآیند از مهمترین قسمت‌های کنترل فرآیند به شمار می‌آید و این کار به جز به مدد ابزار و وسایل اندازه‌گیری دقیق امکان‌پذیر نمی‌باشد.

کار اندازه‌گیری، ضبط و ثبت دقیق این پارامترها را ابزار دقیق (INSTRUMENTATION) می‌نامند.

امروزه روش و متدهای بسیار پیشرفته‌ای جهت اندازه‌گیری و ثبت بسیاری از پارامترهای یک فرآیند، ابداع و بکار گرفته می‌شوند. تلاش ما در گردآوری گزارش فنی بر این بوده است که اطلاعاتی هر چند مختصر ولی بسیار مفید در مورد برخی از ابزار و ادوات اندازه‌گیری که در صنعت نفت کاربرد فراوان دارند، در اختیار خوانندگان قرار داده شود. در این راستا، به بحث و بررسی در مورد فشارسنج‌ها (pressure gauges) و حرارت سنج‌ها (thermocouple or thermometer) پرداخته خواهد شد.

روش دیگر بر اساس تغییر شکل مکانیکی عناصر حسگر هستند. هنگامی که فشار به این عناصر وارد می‌شود که از متداول‌ترین این عناصر می‌توان دیافراگم و لوله بوردون را نام برد.

تغییر شکل مکانیکی عناصر بالا خود به وسیله روش‌های متنوعی اندازه‌گیری می‌شود. یک روش آن استفاده از تعدادی اهرم و چرخ‌دنده است که این تغییر شکل را تقویت کرده و به صورت مستقیم اندازه‌گیری می‌کند.

اندازه‌گیری مقاومت در strain gage، اندازه‌گیری ظرفیت، پیزوالکتریک و ... روش‌های دیگری هستند که می‌توان نام برد. همچنین وقتی که فشار بسیار کوچک باشد که نتوان از روشن تغییر شکل مکانیکی استفاده کرد به وسیله روش‌های غیرمستقیم که بر اساس اندازه‌گیری خصوصیات فیزیکی از قبیل هدایت کنندگی گرمایی، یونیزاسیون یا ویسکوزیته که با چگالی ملکولها متناسبند تعیین می‌شوند.

در شکل (۱) نمای ظاهری چند فشار سنج و در شکل (۲) جدول مربوط به روشهای مختلف اندازه‌گیری فشار نشان داده شده است.

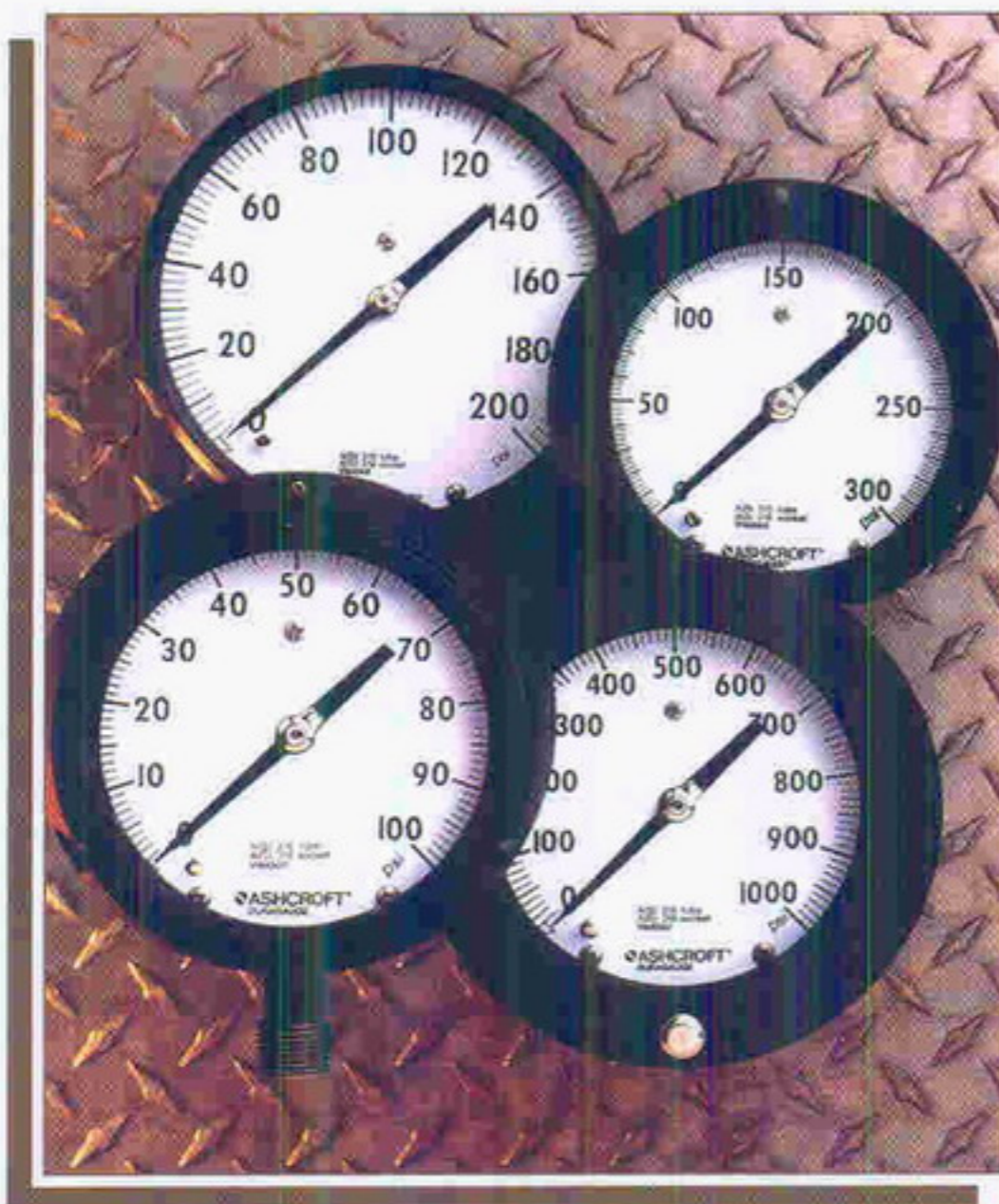
۱- فشارسنج‌ها

روش‌های مکانیکی اندازه‌گیری فشار سال‌هاست که شناخته شده است. مانومترها از اولین وسائل در اندازه‌گیری فشار بودند. لوله‌های U شکل این مانومترها غالباً از شیشه ساخته و تا حد مورد نیاز مقیاس‌بندی می‌شدند. ولی مانومترها بسیار بزرگ و دست و پاگیر بوده و برای جاسازی در لوله‌های کنترل اتوماتیک مناسب نیستند. به همین دلیل غالباً در آزمایشگاه‌ها به کار می‌روند.

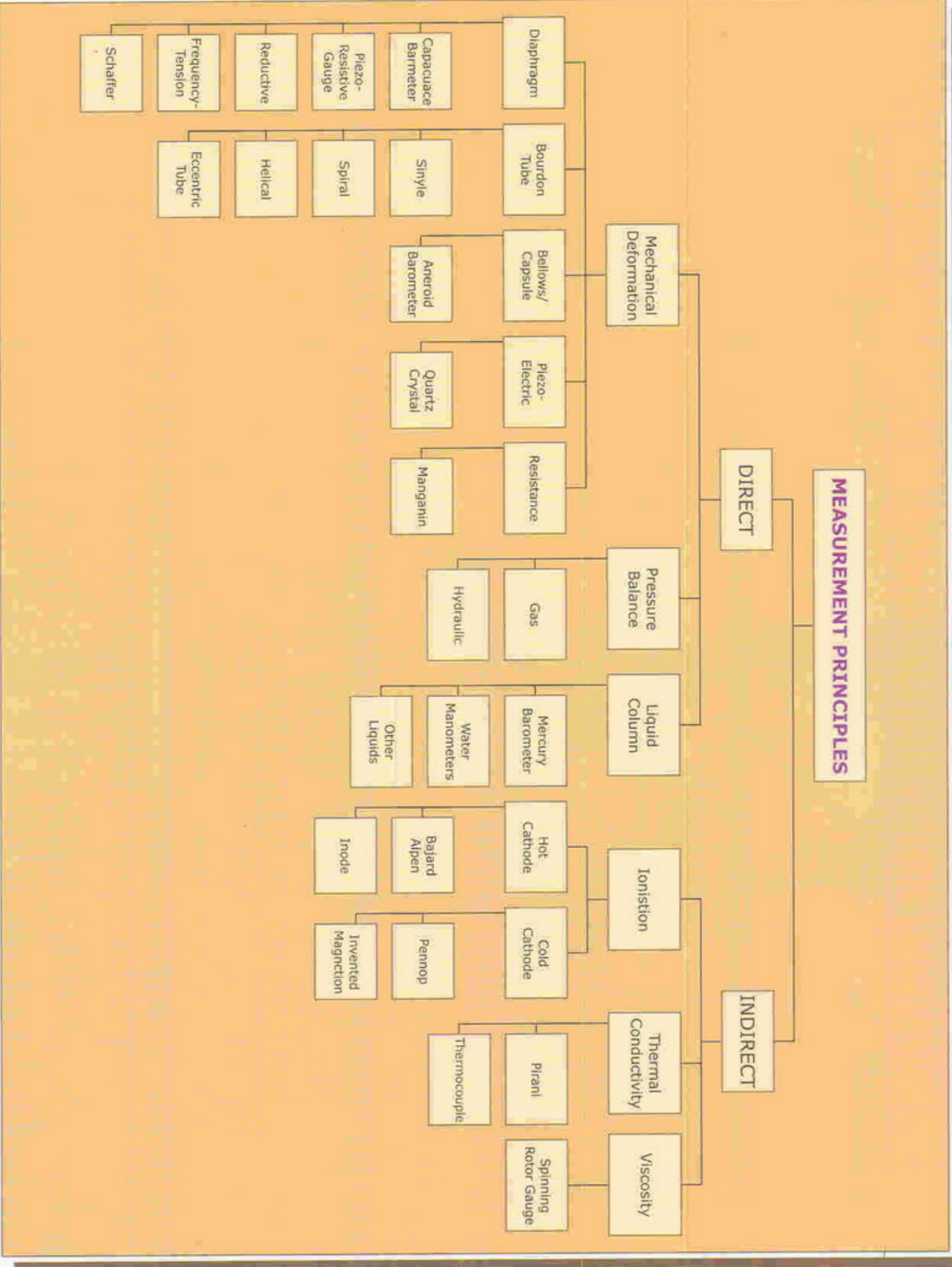
امروزه فشارسنج‌ها تحت عنوان (Pressure gauge) مورد استفاده قرار می‌گیرند. اصطلاح (Pressure gauge) معمولاً به نشانگرهایی اطلاق می‌شود که فشار موجود در فرآیند را به حرکت یک جسم نشانگر تبدیل می‌کند.

۱-۱- روش‌های کلی اندازه‌گیری فشار

روش‌های متعدد و متفاوتی در اندازه‌گیری فشار وجود دارد که در بخش‌های بعدی به توضیح آنها پرداخته می‌شود. یکی از این روش‌ها بر اساس ارتفاع ستونی از مایع با چگالی معین است.



شکل ۱



One possible classification of pressure measurement techniques (Illustrative only) : شکل ۲



صعود می کند ندارد و لیکن قطر سوراخ خیلی کوچک ممکن است به علت پدیده موئینگی سبب اشتباهات و خطاهائی در قرائت شود. معمولا توصیه می شود حداقل قطر سوراخ 6 mm باشد.

۱-۱-۲ دیافراگم (شکل ۴)

این روش که اولین بار توسط Shaffer در قرن نوزدهم مورد بهره برداری قرار گرفت از یک پوسته که دو لبه آن محکم بسته شده اند تشکیل شده است و تحت تاثیر نیرو قرار می گیرد. این پوسته به شکل های مختلفی می تواند باشد و لیکن بیشتر تولید کننده ها شکل دایره ای آن را تولید می کنند. اختلاف فشار دو وجه باعث تغییر شکل دیافراگم خصوصا مرکز آن خواهد شد که این تغییر شکل و در نتیجه فشار را می توان به وسیله سنسورهای الکتریکی و مکانیکی اندازه گرفت. دیافراگم (شکل ۴) کاربرد وسیعی در ترانسدیوسرهای فشار دارد و چون گیج های لوله بوردون داری حد پایین اندازه گیری 0/35 bar می باشند به طوری که پایین این حد مقدار جابجایی لوله بوردون به حدی کوچک می شود که احتمال خطای اندازه گیری وجود دارد، معمولا در گستره های کاری پایین از دیافراگم استفاده

۱-۱-۱ فشارسنج U-tube

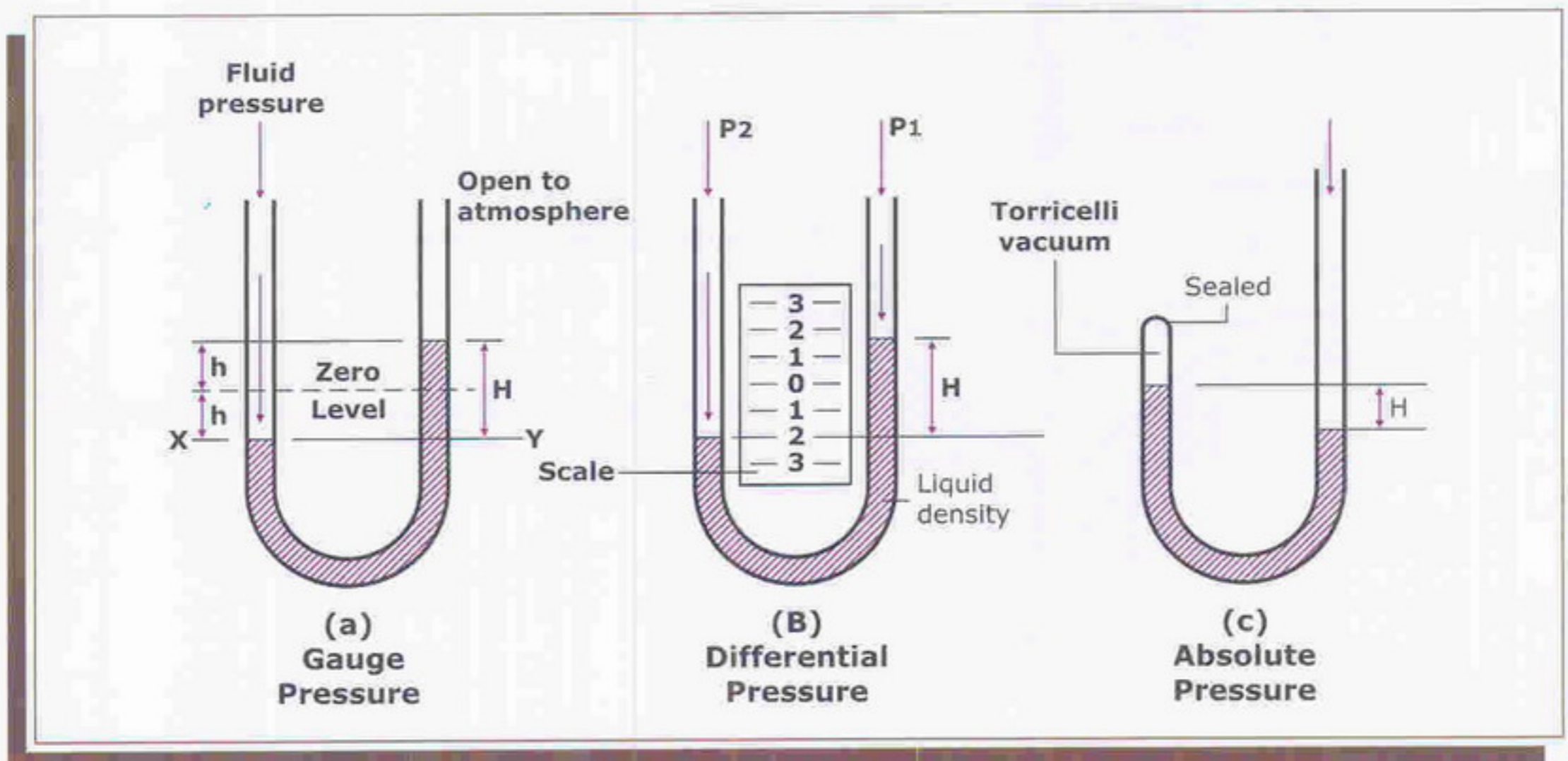
در شکل ۳ که یک مانومتر U-tube را نشان می دهد اختلاف ارتفاع دو سطح مایع، اختلاف فشار بین هر شاخه مانومتر را تعیین می کند. اگر این فشار در هر شاخه مانومتر تغییر کند مایع در یک شاخه به طرف بالا حرکت می کند و در نتیجه در شاخه دیگر به سمت پایین حرکت خواهد کرد. در حال تعادل از رابطه روبرو فشار محاسبه می شود.

$$P_1 = \rho gh + P_2$$

تذکره ۱: اگر (فشار اتمسفر $P_2 = 0$) باشد آنگاه P_1 یک فشار پیمانه ای خواهد بود و لیکن اگر شاخه سمت چپ را خلا کنیم یعنی ($P_2 = 0$) آنگاه P_1 فشار مطلق خواهد بود و آنگاه مانومتر تبدیل به بارومتر می شود.

معمولا مایع داخل این مانومترها را جیوه یا آب یا روغن تشکیل می دهد. اگر چه برای مقاصد بارومتری همیشه از جیوه استفاده می کنند.

چگالی جیوه بیش از ۱۳ برابر نسبت به چگالی آب یا روغن می باشد. در نتیجه برای یک فشار مشخص و معین ارتفاع کمتری نسبت به آب و روغن لازم است. بنابراین معمولا فشارهای کوچک و اختلاف فشارها را به وسیله روغن یا آب می سنجند. **تذکره ۲:** قطر سوراخ شاخه مانومتر تاثیری در ارتفاعی که مایع



شکل ۳

هم متصل است تشکیل شده است. فشار از طریق مجرانی که در یکی از این دیافراگمها وجود دارد وارد میشود و باعث تغییر شکل و حرکت در دیافراگم دیگر می شود. به طور واضح تاثیر داشتن دو دیافراگم معادل دو برابر جابجایی است. مانند روش بالا فشار را از طریق سنسورهای گوناگون می توان اندازه گیری نمود.

۴-۱-۱-۱ فانوسی (Bellows) شکل ۵

وجه تمایز مشخص بین فانوس و کپسولی وجود ندارد. فانوسی به صورت حلقه های فلزی از ورق های نازک که روی هم قرار گرفته و تشکیل استوانه را می دهند تشکیل شده است که

می کنند.

همچنین در مواقعی که پالس های با فرکانس پایین، اثر نامطلوب روی لوله بوردون دارند می توان از این گیج ها استفاده نمود. مثال: دیافراگم یک گیج فشار دارای قطر موثر ۷۰mm میباشد. اگر جابجایی آن وقتی که فشار ۲۷۰۰ N/m² اعمال می شود برابر ۵mm باشد، ضریب کشسانی آن چقدر خواهد بود؟

مساحت دیافراگم: $\frac{1}{4} \pi 70 \times 70 = 3840 \text{ mm}^2$

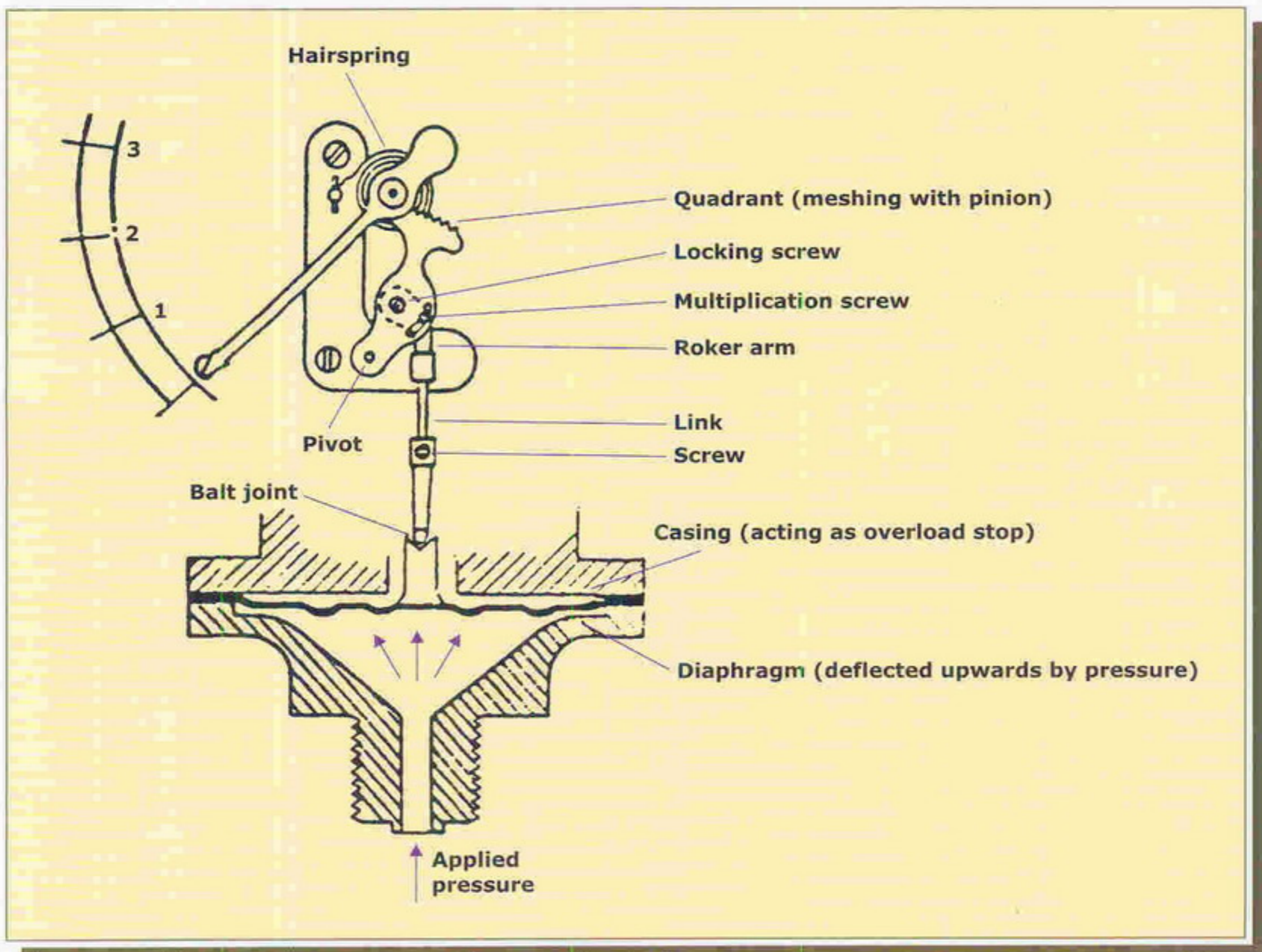
$F = P \cdot a = 2700 \times 3840 \times 10^{-6} = 10.368 \text{ N}$

$X = 5 \text{ mm} = 5 \times 10^{-3} \text{ m}$

$K = \frac{F}{X} = \frac{10.368}{5 \times 10^{-3}} = 2073.6 \text{ N/m}$

۳-۱-۱-۱ کپسول

کپسول ها از یک جفت دیافراگم که لبه های خارجی آنها به



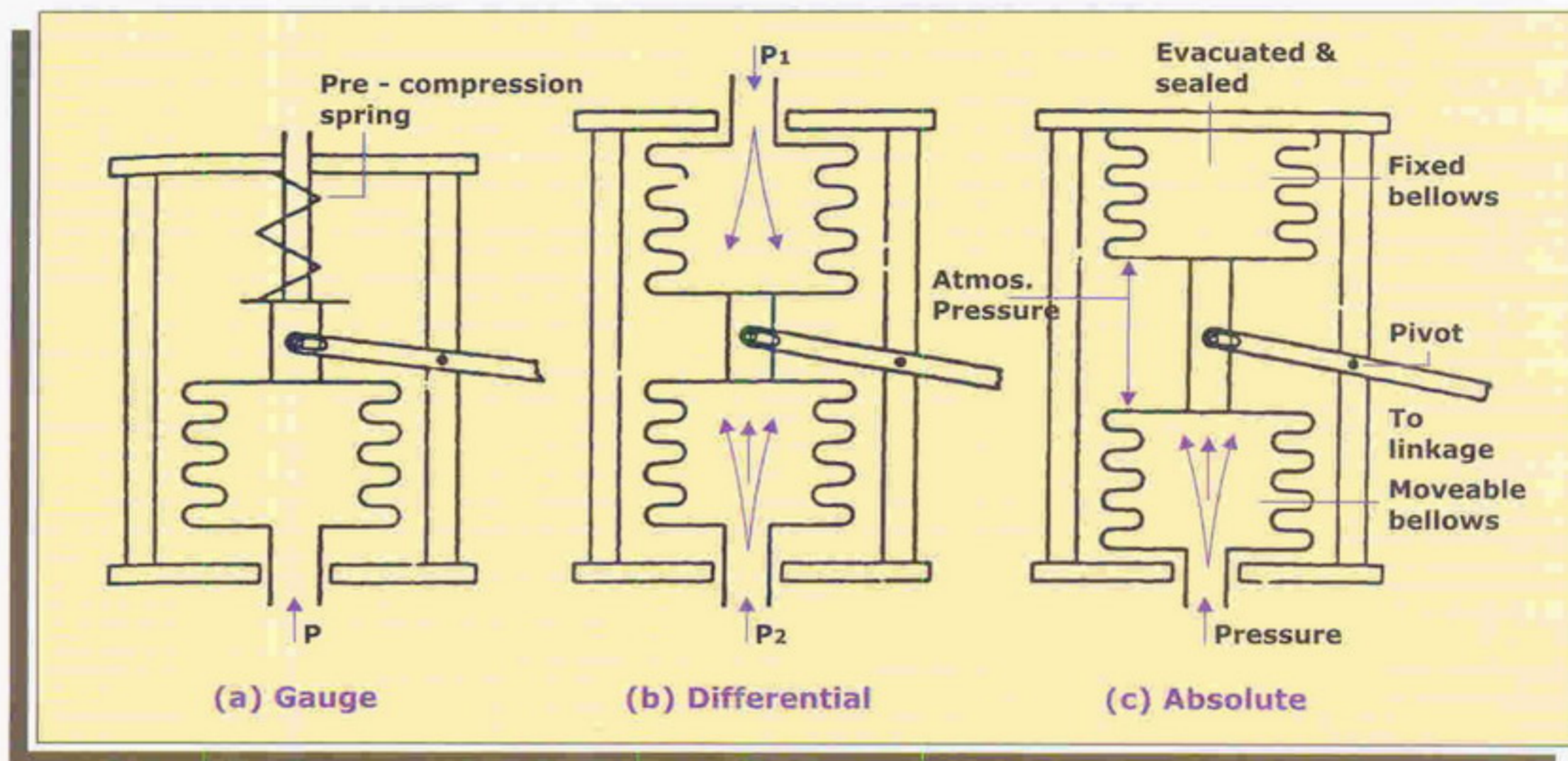
شکل ۴: Metallic diaphragm gauge

۲ جوشکاری حلقه‌هایی از ورق پرس شده
۳ پرس هیدرولیک لوله

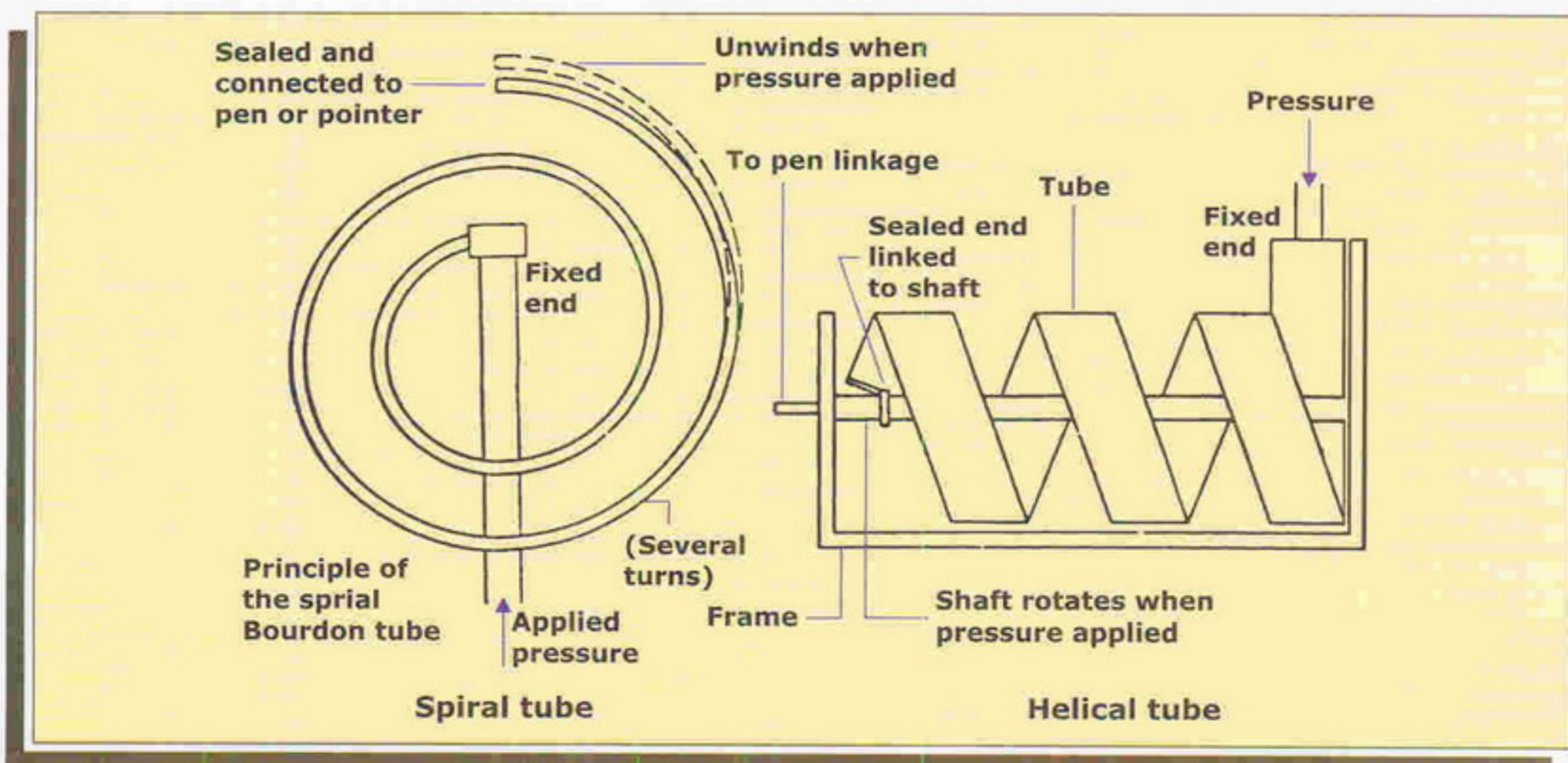
فانوس‌ها هرگز نباید از طول آزادشان جهت انبساط بکار برده شوند. اگر قرار است در اثر فشار طول آنها بزرگتر شود قبلاً به

تاخوردگی و چین آنها در مقایسه با ارتفاع استوانه کوچکتر می‌باشد.

فانوس‌ها را معمولاً به یکی از طریق زیر می‌سازند:
۱ تراشکاری از یک قطعه توپر



شکل ۵: Bellows gauges



شکل ۶: Bourdon tubes

وسیله یک فنر فشرده می‌شوند.

۵-۱-۱ لوله بوردون

گیج‌های بوردون اولین بار در قرن نوزدهم گسترش پیدا کردند و به نام مخترع آن بوردون نامگذاری شده‌اند. لوله بوردون انواع متنوع به صورت زیر دارند:

۱) تیوپ C شکل (شکل ۷)

۲) تیوپ مارپیچ (شکل ۶)

۳) تیوپ حلزونی (شکل ۶)

نوع C شکل آن در صنعت بیشتر کاربرد دارد که از یک لوله سربسته با سطح مقطع بیضی تشکیل شده که در طول مسیرش خمیده شده است. هنگامی که به این لوله فشار وارد می‌شود لوله تمایل دارد که راست (مستقیم) شود و یک سنسور این جابجائی را اندازه‌گیری می‌کند.

ابتدای تیوپ به پایه‌ای جوش شده است به طوری که یک سوراخ جهت اعمال فشار به لوله بوردون در این پایه وجود دارد و همانطور که گفته شد انتهای تیوپ مسدود بوده و می‌تواند آزادانه حرکت کند. این انتهای آزاد توسط یک محور اتصال به محور اتصال یک چرخ‌دنده قطاعی وصل گردیده است.

این چرخ‌دنده قطاعی با چرخ‌دنده کوچکی به نام پینیون (pinion) درگیر می‌باشد که بر روی محور این پینیون عقربه نصب گردیده است. بازی بین چرخ‌دنده قطاعی و پینیون توسط یک فنر موئی گرفته می‌شود.

بنابراین نباید تصور شود که علت وجود فنر موئی برگرداندن عقربه پس از حذف فشار می‌باشد چون این کار را خود لوله بوردون انجام می‌دهد.

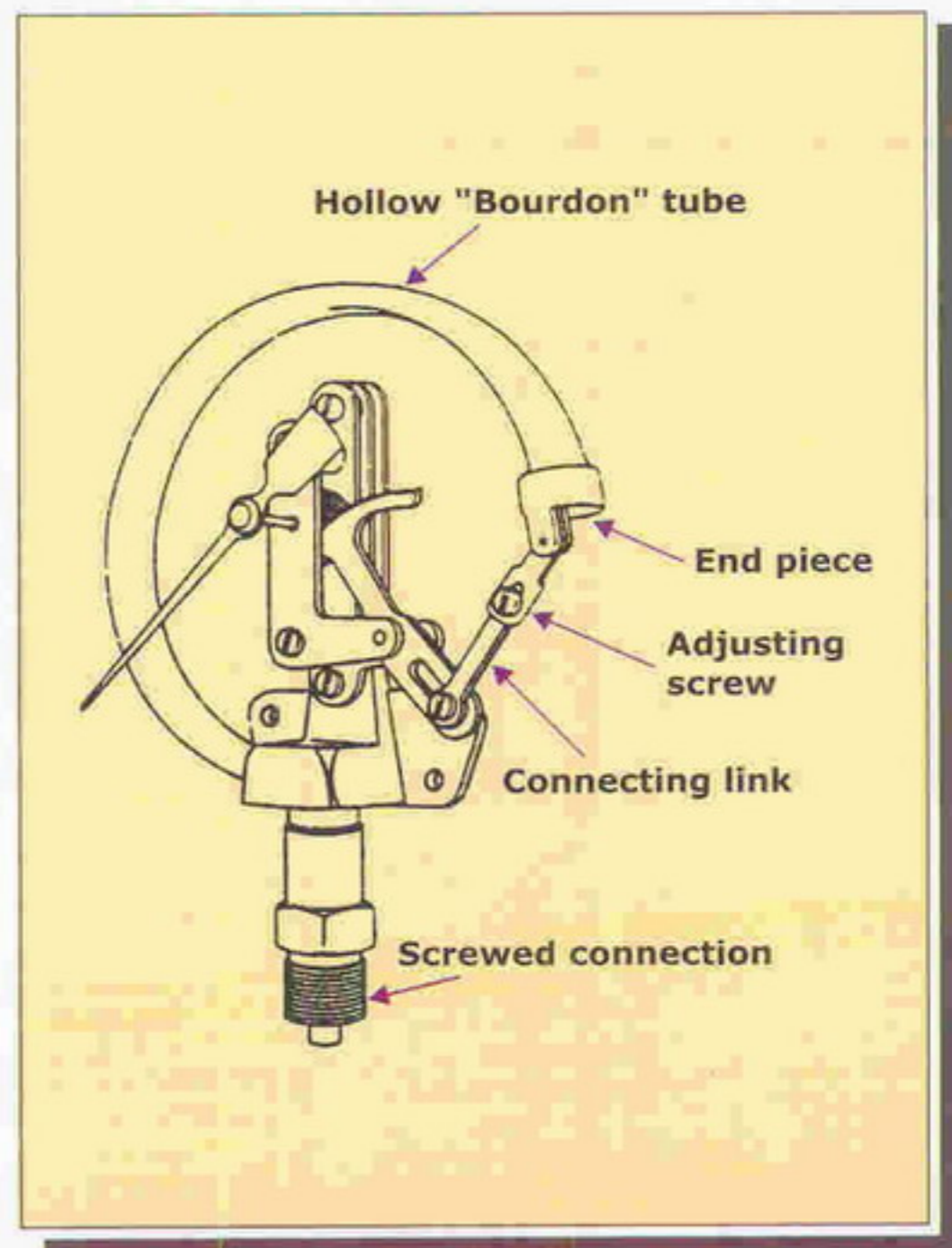
حرکت لوله بوردون بین $0/25$ تا $0/4$ اینچ می‌باشد. اگر بیش از این مقدار باز شود خاصیت ارتجاعی خود را از دست داده و فشارسنج اندازه صحیح را نشان نخواهد داد.

این حرکت توسط مکانیزم انتقال اولاً به یک حرکت زاویه‌ای تبدیل و ثانیاً از نظر مقدار تقویت می‌گردد به طوری که برای حداکثر انحراف لوله بوردون یعنی $0/4$ اینچ عقربه 270° حرکت زاویه‌ای خواهد داشت.

مزیت لوله بوردون این است که دارای گستره کاری وسیعی می‌باشند و با آنها می‌توان فشار پیمانه‌ای و مطلق و اختلاف فشار را اندازه‌گیری نمود و به دلیل سادگی و قابل اعتماد بودن جزو مهمترین گیج‌های فشار هستند که در صنعت مورد استفاده قرار می‌گیرند.

جنس لوله بوردون معمولاً از برنز و مس و فولاد و نیکل سخت می‌باشد. نکته‌ای که در مورد این نوع گیج‌ها حائز اهمیت است این است که ارتعاشات ممکن است باعث آسیب دیدگی جدی شود و در نتیجه باید از آن اجتناب کرد.

نوع spiral در حقیقت مانند چند C-tube است که به صورت سری به هم اتصال پیدا کرده‌اند. بنابراین جابجائی آن تحت فشار معین بیشتر می‌باشد و ضمناً در این نوع جابجائی سر لوله را طوری فراهم می‌کنند تا استفاده از چرخ‌دنده را محدود کند. بنابراین پیامد آن محدود کردن اصطکاک و فرسایش مکانیکی می‌باشد. از نوع Helical بیشتر برای فشارهای بالاتر استفاده می‌کنند.



شکل ۷: Bourdontube dial gauge

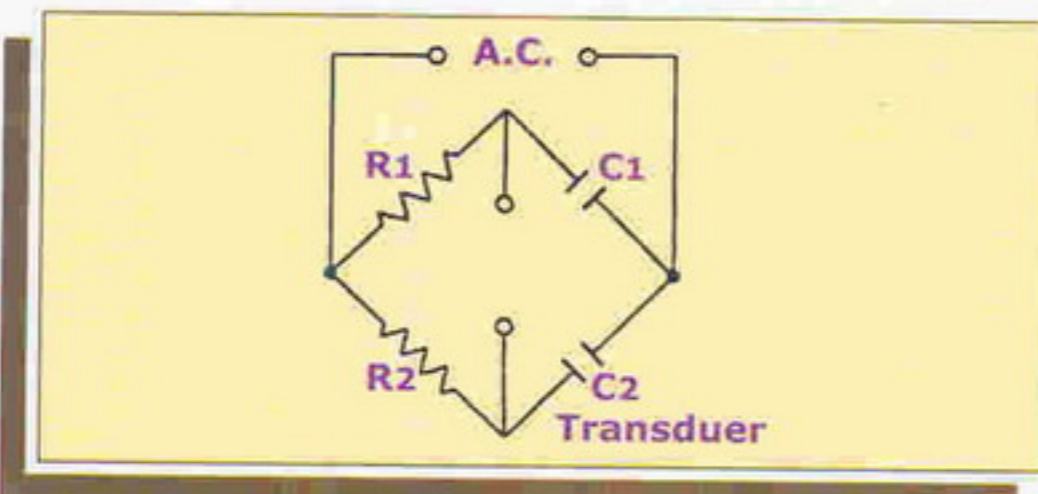
که بیشتر در ترانسدیوسرهای ظرفیتی مورد استفاده قرار می‌گیرد طبق شکل (۱۰) دیافراگم یک صفحه خازن را تشکیل می‌دهد و با دو الکترود دیگر که به منبع تغذیه ac وصل شده‌اند تشکیل دو خازن می‌دهند.

نکته حائز اهمیت این است که این دو قسمت باید از لحاظ الکتریکی ایزوله باشند و در کاربردهای عملی سیالی که فشار از طریق آن به دیافراگم وارد می‌شود باید نارسانا باشد. در این طریق وقتی فشار به دیافراگم وارد می‌شود باعث تغییر شکل آن و در نتیجه تغییر ظرفیت خازن می‌شود که با خروجی الکتریکی آن رابطه خطی دارد.

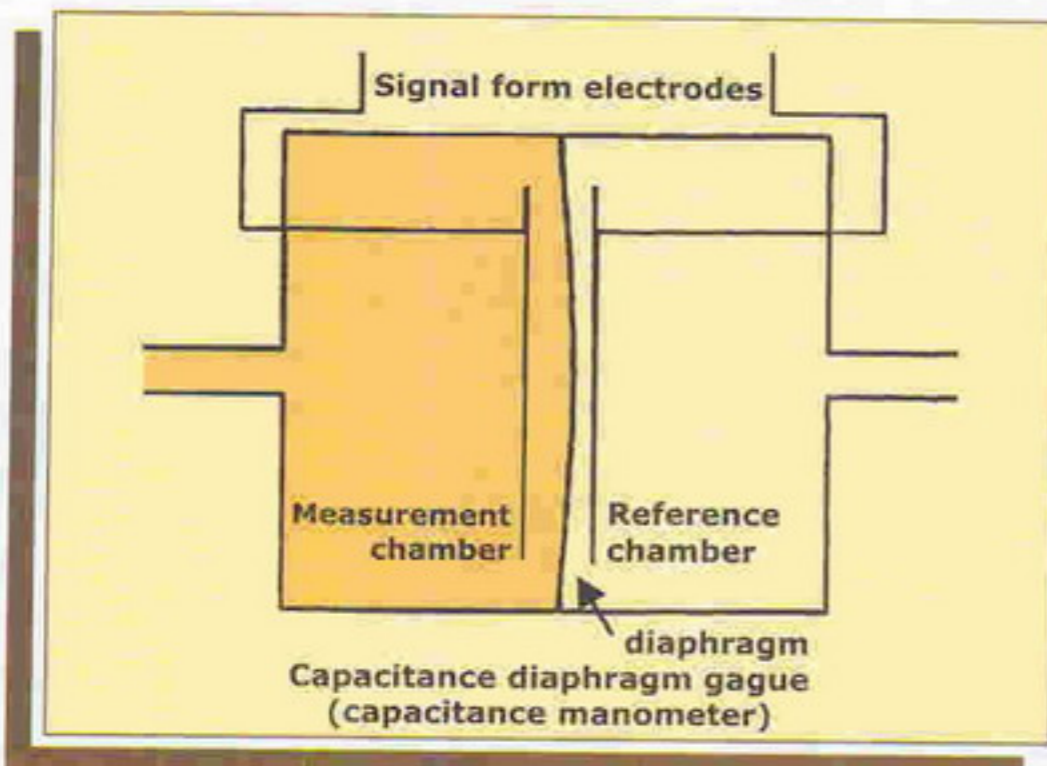
معمولا این ترانسدیوسرهای خازنی را در مدارهای پل الکتریکی می‌بندند که یک نمونه از این پل‌ها بنام (De sauty bridge) در شکل (۱۰) نمایش داده شده است.

از این وسایل در صنعت استفاده فراوان می‌شود و گستره کاری آنها 10^{-3} Pa تا 10^7 Pa می‌باشد و خروجی آنها دارای تکرارپذیری و قدرت تفکیک پذیری مناسب می‌باشد.

در صورتی که بخواهیم از این وسایل برای اندازه‌گیری فشار مطلق استفاده کنیم باید محفظه مرجع را از هوا تخلیه کنیم.



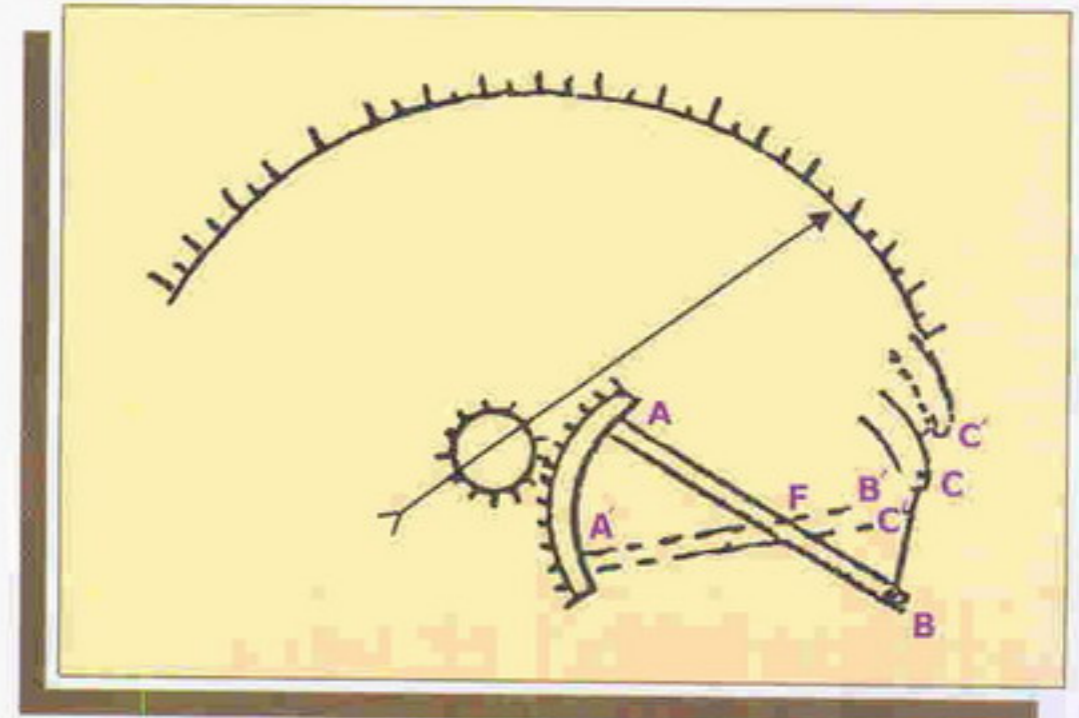
شکل ۹: De Sauty bridge



شکل ۱۰

مثال: اگر در لوله بوردون شکل (۸) در حالتی که به آن فشار وارد می‌شود حداکثر انحراف آن برابر با $0/4$ اینچ باشد میزان انحراف عقربه را با توجه به مفروضات زیر بر حسب درجه بیان کنید.

$$\begin{aligned} FA &= 1'' \\ FB &= 0/53'' \\ BB' &= 0/4'' \\ AA' &=? \end{aligned}$$



شکل ۸

اگر تیوپ مقدار $0/4$ اینچ باز شود مثلا از C به C' در این صورت B نیز به اندازه $0/4$ اینچ حرکت کرده و به حالت B' تغییر می‌کند. همین طور A به حالت A' در خواهد آمد. اگر چرخ دنده قطعی را با تقریب به صورت یک میله راست در نظر بگیریم از تشابه دو مثل AA'F و BB'F خواهیم داشت:

$$AA' = \frac{1'' + 0/4''}{0/53} = 0/75''$$

حالا اگر محیط چرخ دنده را مساوی ۱ فرض کنیم مقدار درجه حرکت عقربه با تناسب ساده بدست می‌آید.

$$\begin{aligned} 1'' & \quad 360^\circ \\ 0/75'' & \quad X = 270^\circ \end{aligned}$$

۱-۲- روش‌های ایجاد سیگنال

۱-۲-۱ نمایشگرهای مکانیکی (Mechanical display)

در این فشارسنج‌ها که در فصول گذشته بررسی شد جابجایی لوله بوردون و یا دیافراگم و یا کپسول بر اثر فشار اعمال شده از طریق تعدادی محور و چرخ دنده تقویت می‌شوند و بوسیله نشانگرهای مکانیکی که عموماً عقربه هستند نمایش داده می‌شود.

۱-۲-۲ روش‌های ظرفیتی (Capacitive technique)

تغییر ظرفیت یک خازن که به یک منبع ac وصل شده باشد باعث تغییر در امپدانس آن ($X_c = \frac{1}{WC}$) می‌شود. در این روش

۳-۲-۱ ترانسفورماتور تفاضلی متغیر خطی
(Linear Variable differential transformers = LVDT)

شکل ترانسفورماتور تفاضلی در شکل (۱۱) و (۱۲) نشان داده شده است. سه سیم پیچ با آرایش خطی با هسته مغناطیسی که می تواند به آزادی در درون سیم پیچ ها حرکت کند قرار گرفته اند. ولتاژ ورودی متناوبی به سیم پیچ مرکزی وارد می شود و ولتاژ خروجی در دو انتهای سیم پیچ های دیگر به علت تغییرات میدان مغناطیسی در اثر حرکت هسته مغناطیسی بوجود می آید. تا وقتی که هسته مغناطیسی در نزدیکی سیم پیچ مرکزی باقی بماند خروجی با تقریب زیادی خطی می باشد. در موقع کار کردن در گستره خطی به این وسیله ترانسفورماتور تفاضلی متغیر خطی (LVDT) گفته می شود. جابجائی هسته مرکزی می تواند مقادیر کمتر از ۱ mm تا چند صد برابر میلیمتر باشد. گستره کاری این نوع دستگاهها معمولا حدود 0/01 pa تا 10 Mpa می باشد. هسته مرکزی می تواند به مرکز یک دیافراگم یا انتهای یک فانوسی وصل گردد و جابجائی این هسته از طریق فشاری که به این عناصر وارد می شود انجام می پذیرد. از این دستگاهها می توان در سه حالت پیمانه ای، مطلق و اختلاف فشار استفاده کرد.

۴-۲-۱ استرین گیج ها (strain gauges)

مقاومت یک فلز بر اثر فشار وارد بر آن خواه به صورت کششی و خواه به صورت تنشی تغییر می کند. ساختمان استرین گیج ها از یک رشته سیم یا لایه نازک فلزی یا نیمه رسانا که روی یک صفحه نازک عایق تعبیه شده اند

تشکیل شده است. (شکل ۱۳)

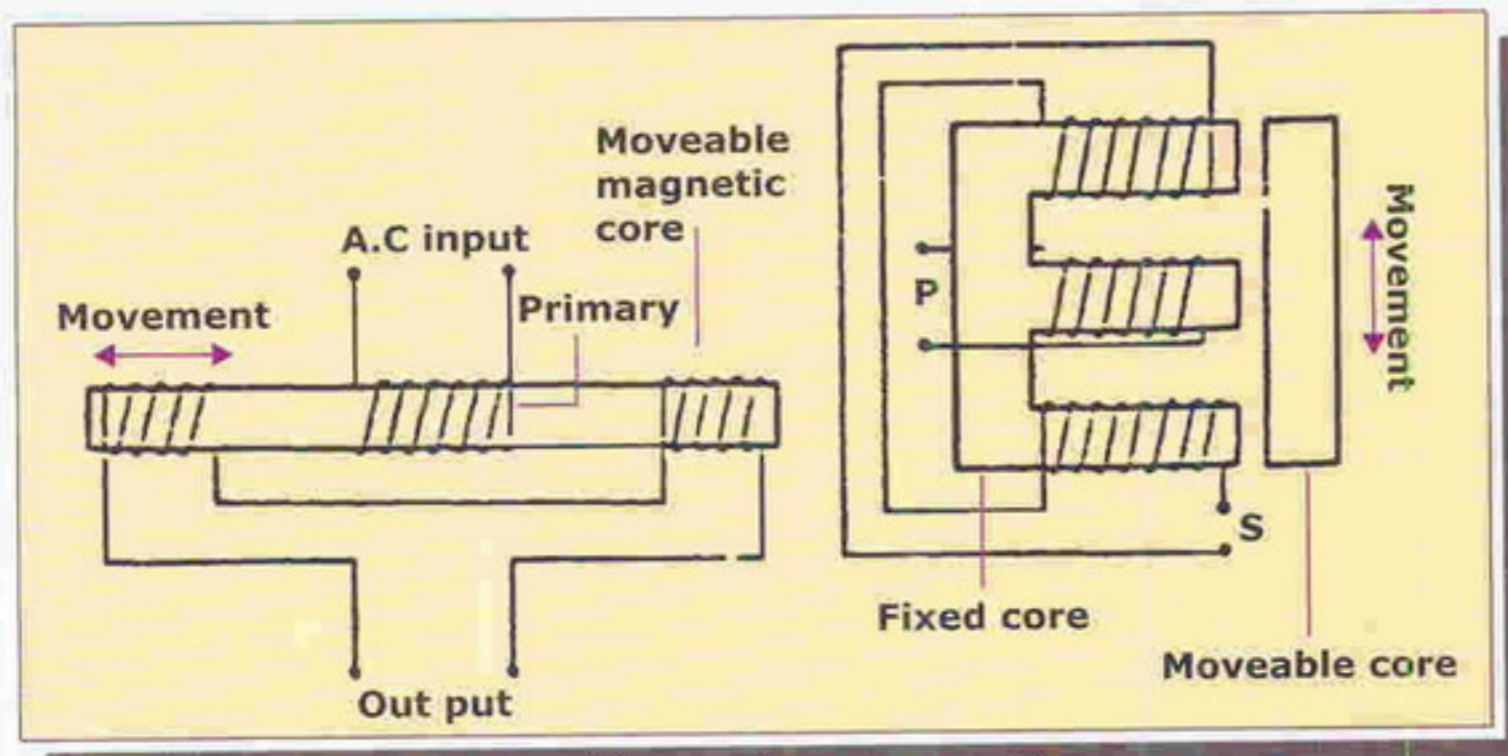
متداول است که این نوع گیج ها را روی یک شاخه پل و تستون وصل کنند و وقتی که به گیج هیچ فشاری وارد نمی شود پل و تستون را به حالت تعادل در آورند. هرگونه تغییر مقاومت گیج باعث میشود پل به حالت غیر تعادل متناظر با فشار اعمال شده در بیاید. از این روش می توان برای ساخت ترانسدیوسر تا گستره کاری 350 bar استفاده کرد.

گیج فاکتور S حساسیت یک گیج را نشان می دهد و به صورت زیر تعریف می شود

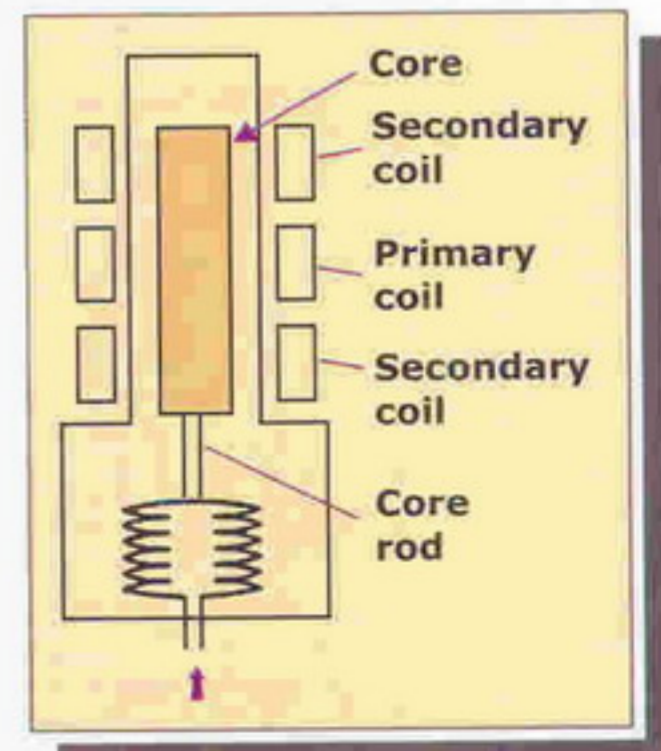
$$S = \frac{DR/R}{DI/I}$$

که DR و DI به ترتیب تغییر مقاومت و تغییر طول می باشند. گیج فاکتور در نیمه هادی ها خیلی بزرگتر از فلزات (حدود ۵۰ برابر) می باشد. هنگام نصب استرین گیج ها روی صفحه نازک عایق باید توجه داشت که این صفحه فاقد هرگونه روغن کاری، نقاشی و غیره باشد. شاید لازم باشد محل تماس را سنباده کنیم. بعد گرد و غبار ناشی از سنباده کاری را پاک کنیم. سپس می توان گیج را با چسب مخصوص به محل تماس چسباند به طوری که مطمئن شویم استرین گیج به صورت تخت با تماس کلی به محل نصب چسبیده است.

تغییرات دما، تغییر در مقاوت ایجاد می کند که ممکن است سبب ایجاد نتایج غلط شود. برای جلوگیری از خطاهای دمائی گیج مشخص را درست مانند گیج اولی در شاخه کناری پل و تستون می بندند. این گیج به نام dummy را باید کنار اولی قرار دهند و لیکن نباید تحت فشار قرار گیرد. بنابر این تغییرات دمائی روی هر دو گیج تاثیر می گذارد و در مجموع تاثیر آن روی کل پل و تستون خنثی می شود (شکل ۱۴).



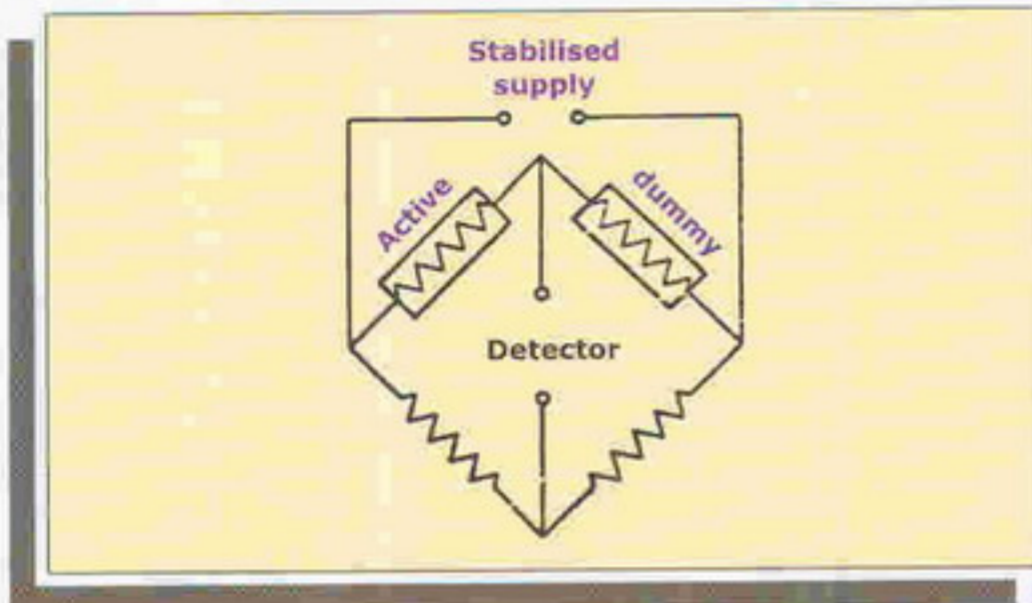
شکل ۱۲: Inductive transducers



شکل ۱۱: LVDT gauge



نوعی سرامیک نام برد. کاربرد اصلی این کریستال‌ها در اندازه‌گیری تغییرات فشار فرکانس بالا از قبیل اندازه‌گیری فشار در محفظه احتراق موتور می‌باشد. همانطور که در شکل زیر مشاهده می‌شود اعمال فشار در جهت محور Y ایجاد بار الکتریکی در جهت محور X می‌نماید.



شکل ۱۴: Strain gauge connections

۵-۲-۱ روش‌های پیزو الکتریک

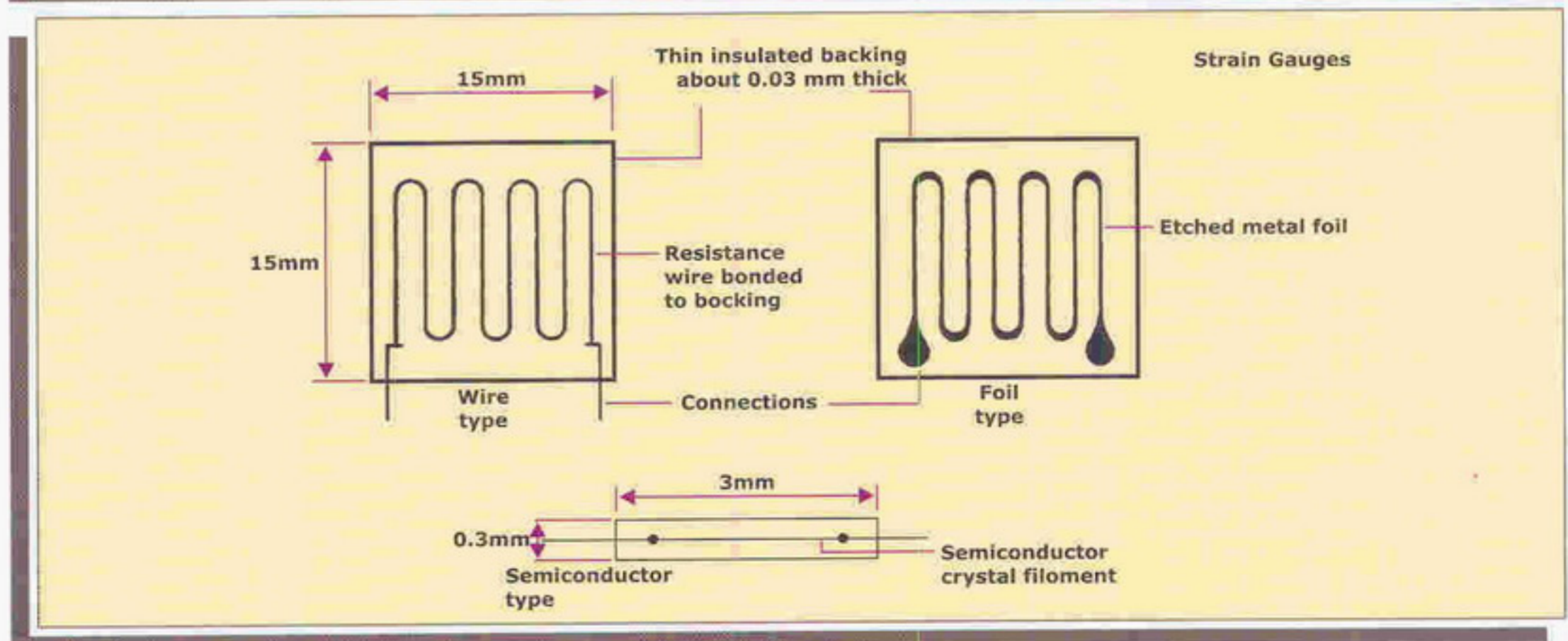
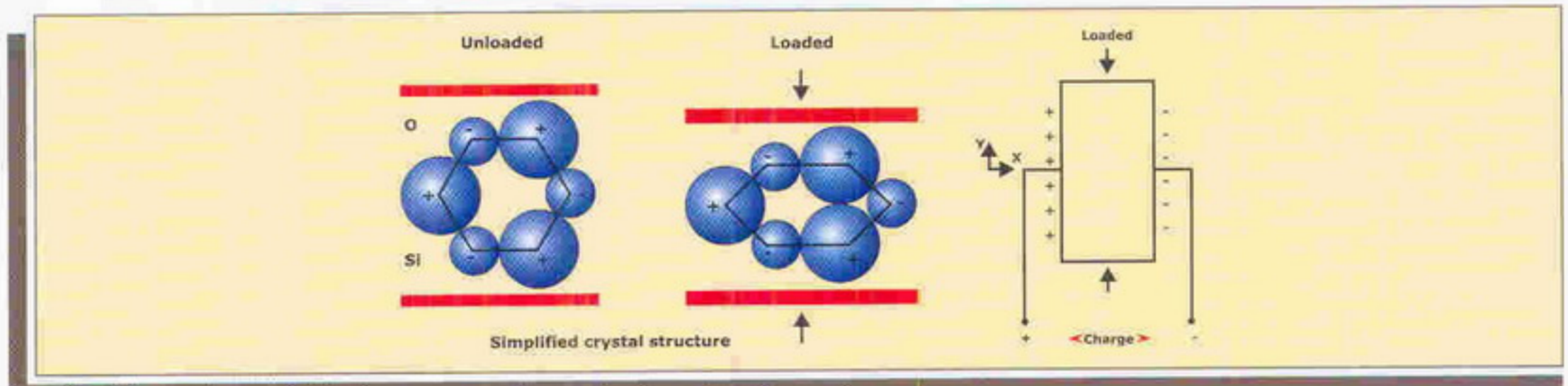
وقتی که یک کریستال پیزوالکتریک بین دو الکتروود صفحه‌ای قرار گیرد و نیروئی به صفحات وارد شود تنش و تغییر شکل مربوط به آن اختلاف پتانسیلی در سطح کریستال ایجاد می‌کند. این اثر را اثر پیزوالکتریک می‌نامند.

بنابراین از اثر پیزوالکتریک می‌توان برای اندازه‌گیری فشار استفاده کرد. از آنجائی که ولتاژ خروجی سریعاً افت می‌کند. لذا برای اندازه‌گیری آن نیاز به یک تقویت‌کننده با امپدانس ورودی بالا می‌باشد.

نکته حائز اهمیت در این روش است که نیاز به منبع تغذیه خارجی نمی‌باشد.

زمان پاسخ این روش بسیار کوتاه می‌باشد. بنابراین جهت اندازه‌گیری فشارهای دینامیک و پیک‌های فشار مورد استفاده قرار می‌گیرد و برای اندازه‌گیری فشارهای ثابت مناسب نمی‌باشند.

از موادی که دارای چنین اثری هستند می‌توان از کوارتز و



شکل ۱۳: Some typical strain gauges

۲ میلیمتر و حساسیت ولتاژ 0.0557 v.m/N تحت فشار 200psi قرار می‌گیرد. ولتاژ خروجی را اندازه بگیرید؟

$$P = 200 \times (6/895 \times 10^3) = 1/38 \times 10^6 \text{ N/M}^2$$

$$T = 2 \times 10^{-3} \text{ M}$$

$$E = (0.0557)(2 \times 10^{-3})(1/38 \times 10^6) = 153/7 \text{ V}$$

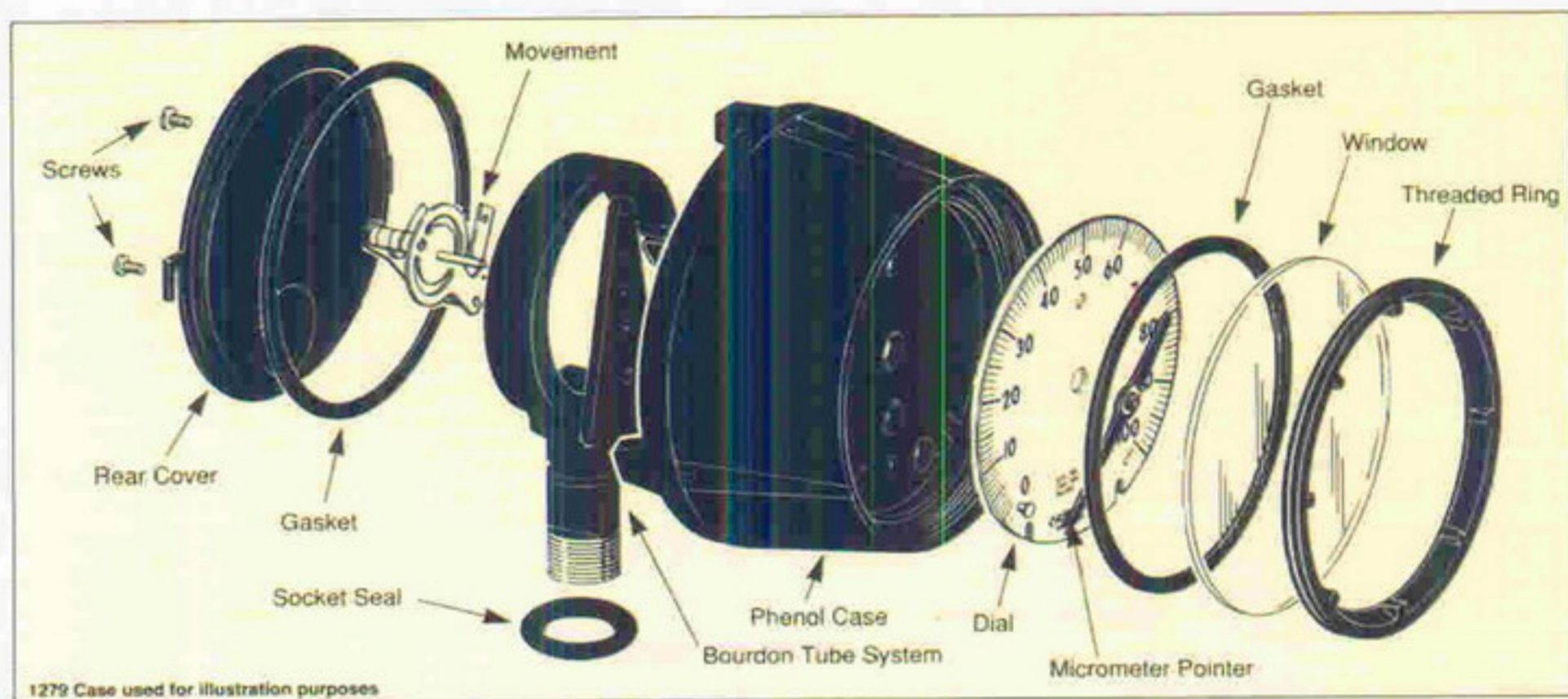
ولتاژ خروجی کریستال توسط فرمول زیر بدست می‌آید:

$$E = gtp$$

که t ضخامت کریستال بر حسب متر و p فشار اعمالی بر حسب نیوتن بر مترمربع و g حساسیت ولتاژ نامیده می‌شود.

مثال: کریستال پیزوالکتریک کوارتزی دارای ضخامت

۱-۳ اجزا مختلف یک فشارسنج (شکل ۱۵ و ۱۶)



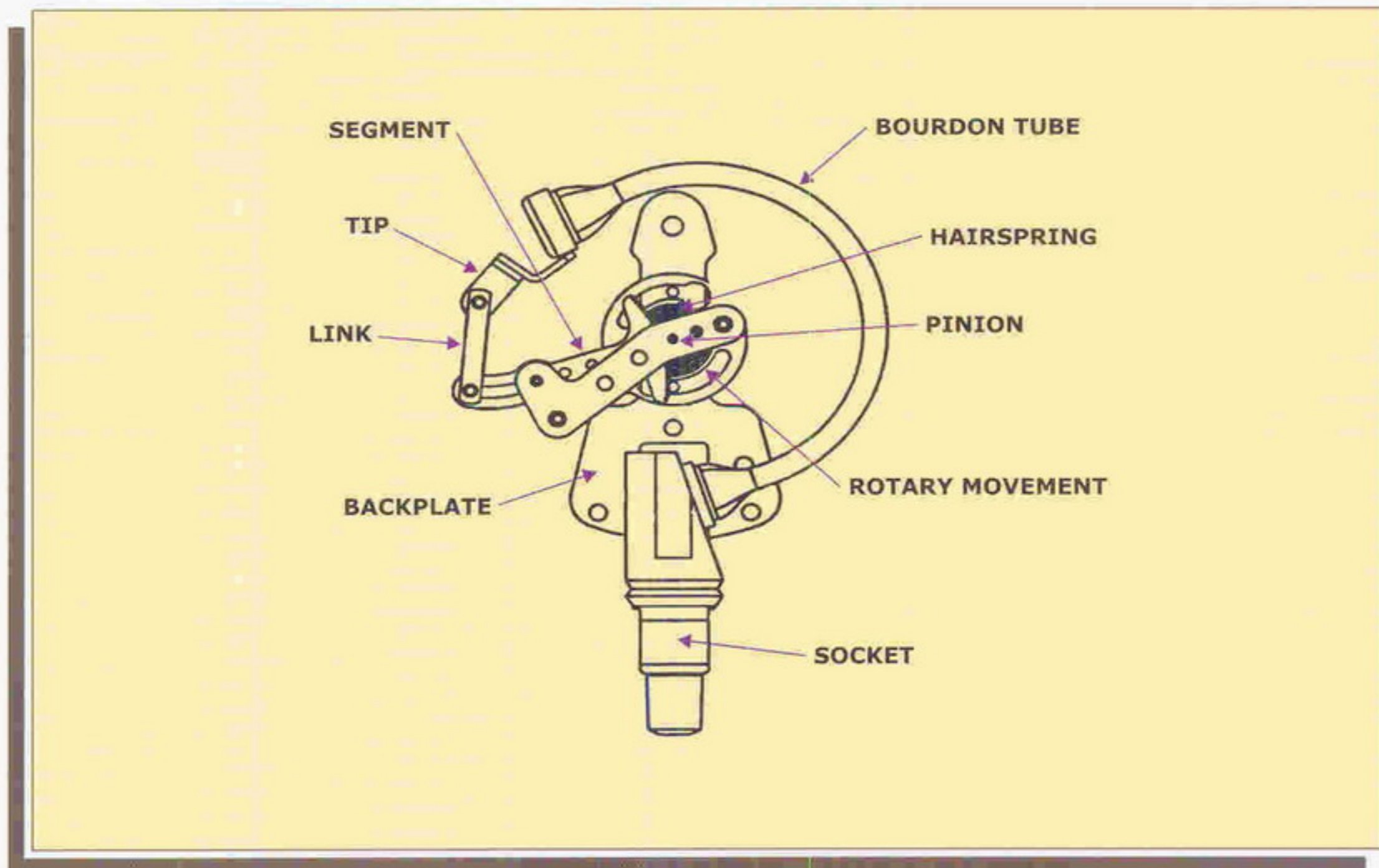
شکل ۱۵

۱-۴ مشخصات فنی فشارسنج

۱-۴-۱ نمونه مشخصات فنی فشارسنج

از آنجایی که فشارسنج‌ها از نظر سایز، متریکال و یا نوع دارای تنوع زیادی می‌باشد می‌توان به صورت نمونه به یک جدول به شرح ذیل اشاره نمود:

Dial (4) Size (inches)	Ordering Code	Bourdon Tube & Tip Material (all joints TIG welded except "A")	Socket Material	Tube Type	Range Selectin Limits (psi)	NPT Conn(1)
4.5" , 6" , 8.5"	A	Grade A Phosphor Bronze Brass Tip, Silver Brazed	Brass	C - Tube	12/1000	.25
4.5"	B	4130 alloy steel	1019 steel	C - Tube	15/1500	.25
				Helical	2000/5000	.5
4.5" , 6"	R	316 stainless steel	1019 steel	C - Tube	12/1500	.25
				Helical	20,000	.5
4.5" , 6" , 8.5" , 12"	S	316 stainless steel	316 stainless steel	C - Tube	12/1500	.25
				Helical	2000/20,000	.5
4.5" , 12"	P(2)	K Monel	Monel 400	C - Tube	15/1500	.25
				Helical	2000/30,000	.5



شکل ۱۶

1/2 اینچ بوده و از پایین است. جنس بدنه چدن، درب آن یک مرحله‌ای قفل می‌شود. جنس لوله C شکل و مکانیزم متحرک آن استیل، عقربه آن دارای سیستم تنظیم است. شیشه آن از نوع ایمنی دارای دریچه لاستیکی است که اگر لوله C شکل، سوراخ شد فشار از آن ناحیه تخلیه شود. مطابق با استاندارد BS 1780

RANG. NO 0-25 BAR
NO. 0-35 KG/CM2
NO. 0-40 BAR
NO. 0-50 - KG/CM2
NO. 0-70 - KG/CM2
NO. 0-100 - BAR

PRESS. GAUGE, 150MM ALUM. DUAL SCALE (BAR & PSI), SURFACE MOUNTING, 1/2 IN, NPT BOTTOM CONNECTION, 304 S.S. BAYONET LOCK, AISI SS.316 BOURDON TUBE AND MOVEMENT, MICROMETER ADJUSTABLE POINTER WITH SAEEY GLASS WINDOW AND BLOW OUT DISC, SCALE. RANGE: NO. 0-1 BAR TO NO. 0-400.

**۲-۴-۱ مشخصات نوع فشارسنج
مورد مصرف مستمر صنعت نفت**

مشخصات این نوع فشارسنج‌ها عمدتاً از صفحه (DIAL SIZE)، نوع درجه‌بندی (SCALE)، جنس مکانیزم انتقال دهنده فشار به عقربه (CASING BOURDON TUBE & MOVEMENT)، اندازه اتصال و اندازه‌گیری (RANGE) تشکیل شده است که به طور مثال می‌توان به مشخصات نوع فشارسنج که مورد مصرف مستمر صنعت نفت می‌باشد به شرح ذیل اشاره نمود:

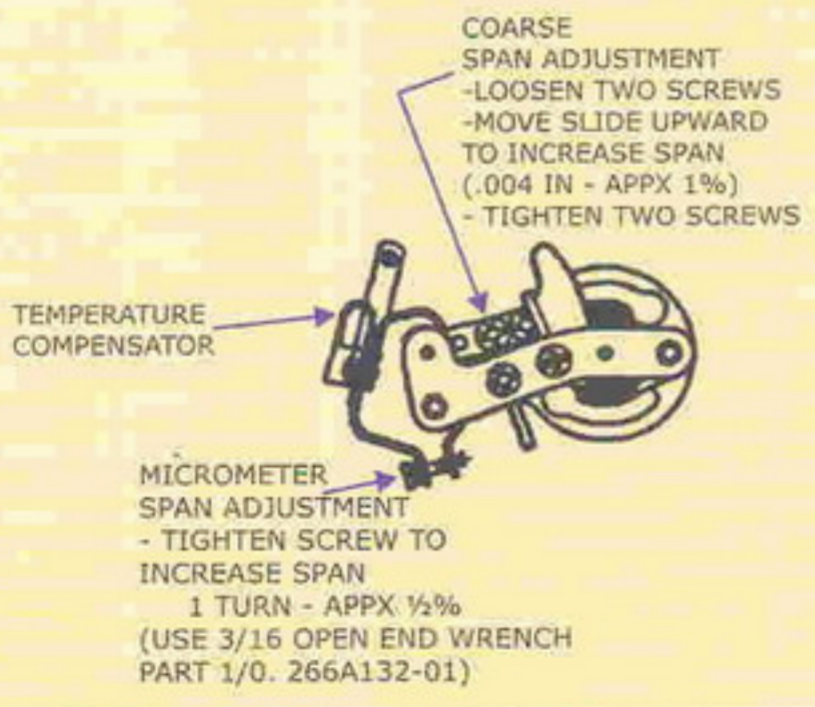
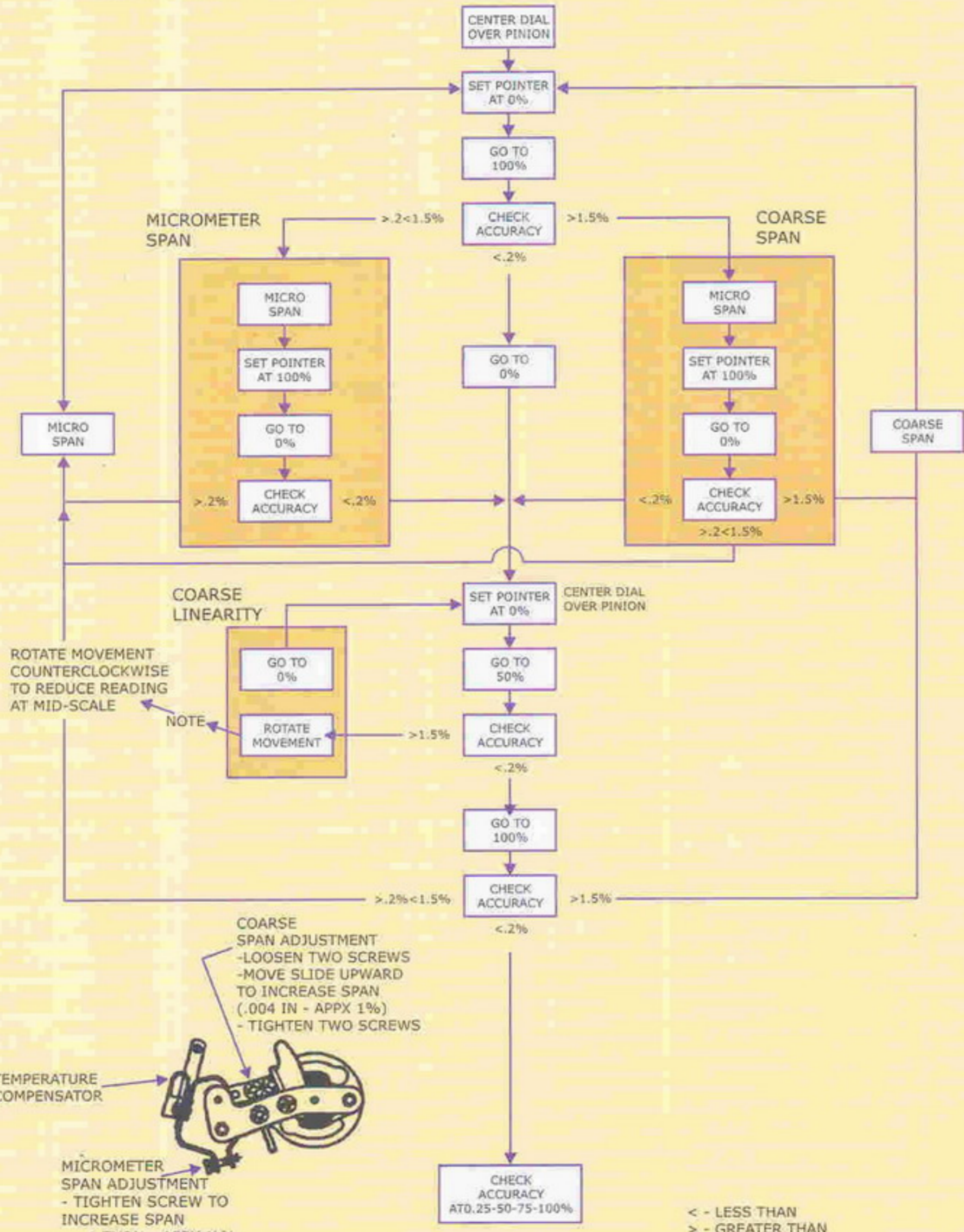
PRESS. GAUGE 100 MM. ALUM. DIAL DUAL SCALE (KG/CM2 & PSI), SURFACE MOUNTING, 1/2 IN. NPT BOTTOM CONN, CAST IRON CASE, BYONET LOCK. AISI Ss316 BOURDON TUBE AND MOVEMENT. MICROMETER ADJUSTABLE. POINTER WITH SAFETY GLASSWINDOW AND BLOW OUT DISC, SCALE RANGE AND GRADUATON ACCORDING TO BS 1780.

قطر صفحه ۱۰۰ میلی‌متر و صفحه مدرج آن دو نوع درجه‌بندی شده است. بر حسب کیلوگرم بر سانتیمتر مربع و پوند بر اینچ مربع، مستقیم روی منبع فشار نصب می‌شود. اندازه اتصال آن

۱-۵-۱- کالیبراسیون

TEST GAUGE CALIBRATION PROCEDURE
 THIS TEST GAUGE IS PROVIDED WITH A MICROMETER SPAN ADJUSTMENT. TO SIMPLIFY CALIBRATION, THE FLOW CHART BELOW OUTLINES THE RECOMENDED CALIBRATION PROCEDURE.

۱-۵-۱- پروسه کالیبراسیون
 تست گیج



< - LESS THAN
 > - GREATER THAN



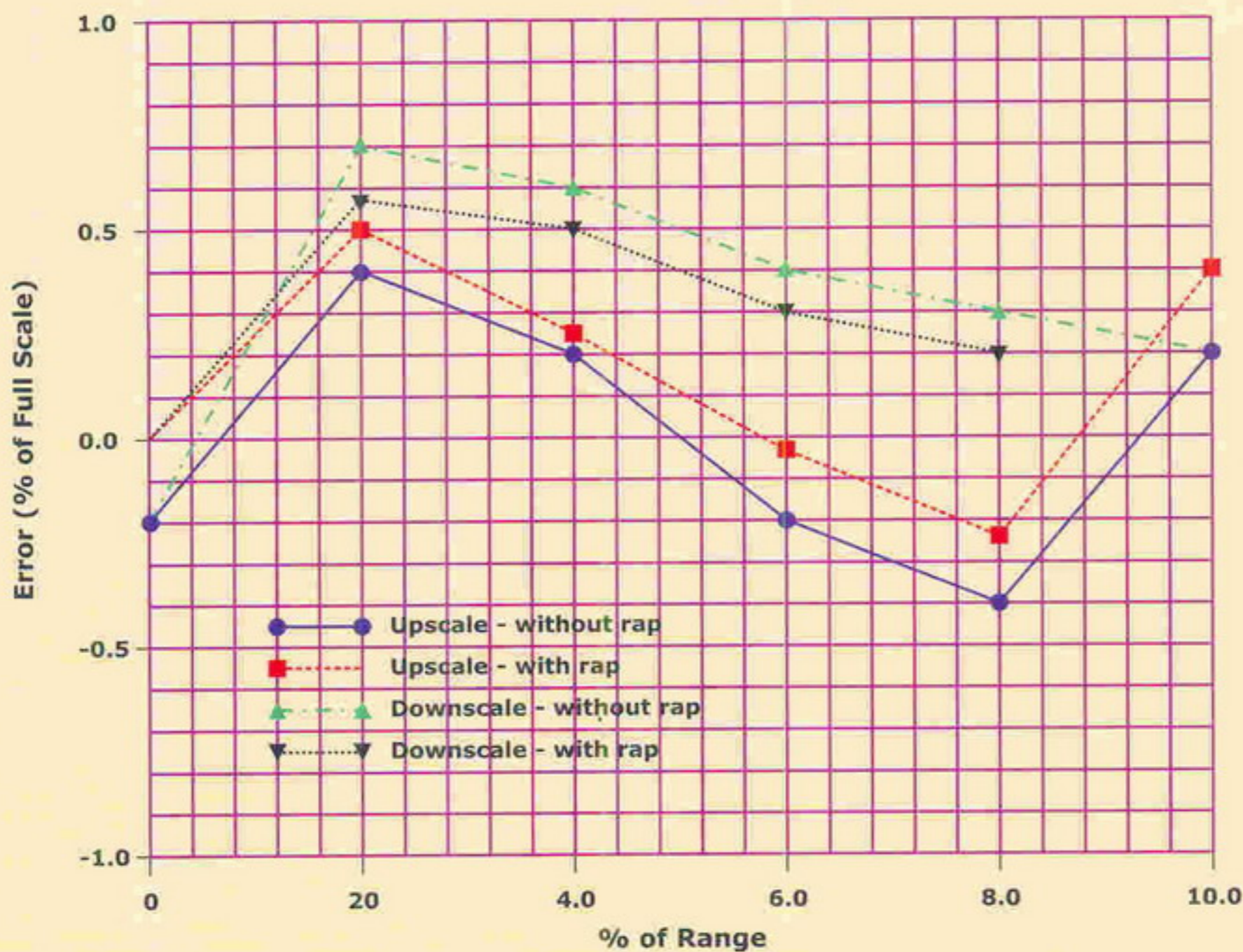
۲-۵-۱- نمونه چارت کالیبراسیون

TYPICAL CALIBRATION CHART
INDICATED VALUE (PSI)

True Value- PSI	Increasing - Without RAP	Increasing - With RAP	Decreasing - Without RAP	Decreasing - With RAP
0	-.4	0	-.4	0
40	+.8	+1.0	+1.4	+1.1
80	+.4	+.5	+1.2	+1.0
120	-.4	-1.0	+.8	+.6
160	-.8	-.5	+.6	+.4
200	+.4	+.8	+.4	+.4

ERROR (% OF FULL SCALE)

True Value- % Of Range	Increasing - Without RAP	Increasing - With RAP	Decreasing - Without RAP	Decreasing - With RAP
0	-.20	0	-.20	0
20	+.40	+.50	+.70	+.55
40	+.20	+.25	+.60	+.50
60	-.20	-.05	+.40	+.30
80	-.40	-.25	+.30	+.20
100	+.20	+.40	+.20	+.20



۱-۶-۱- مقادیر مورد نیاز و سازندگان خارجی

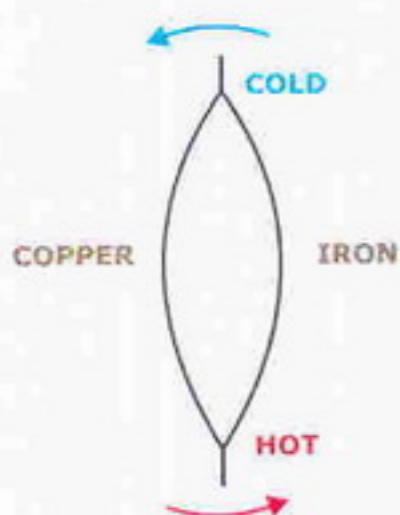
۱-۶-۱- ظرفیت‌های مورد نیاز ساخت داخل

در حال حاضر نیاز سالیانه کشور به فشارسنج در سایز و فشارهای مختلف در حدود ۵۰۰۰ عدد می‌باشد که از نظر حجم تقاضا نیز ساخت داخل نمودن این فشارسنج‌ها را توجیه می‌نماید. - استانداردهای کنترل کیفیت فشارسنج‌های مورد نظر که بیشتر در صنعت نفت مورد مصرف قرار می‌گیرند مطابق استاندارد BS و یا ANSI می‌باشد.

۱-۶-۲- سازندگان

تعدادی از تولیدکنندگان فشارسنج در جهان به شرح ذیل می‌باشد:

باشند و اگر دمای دو نقطه اتصال با یکدیگر اختلاف داشته باشد، یک جریان الکتریکی در مدار بوجود خواهد آمد. فرض کنیم مداری از دو سیم فلزی، یکی آهنی و دیگری داشته باشیم. به طوری که دو انتهای سیم‌ها به یکدیگر جوش شده باشد (مانند شکل زیر)، حال اگر یک اتصال را در دمای معمولی و اتصال دیگر را در دمای بالاتری قرار دهیم، یک نیرو محرکه الکتروموتوری متناسب با اختلاف دمای بین اتصال سرد و اتصال گرم در مدار تولید می‌گردد.



شکل ۱۷

COMPANY NAME	COUNTRY
1 WIKA ALEXANDER WIEGAND GMBH	GERMANY
2 BOURDON HAENNI	FRANCE
3 BUDENBERG GAUGE	ENGLAND
4 SPRIANO S.P.A.	ITALY
5 FISHER ROSEMOUNT	ENGLAND
6 METRA INSTRUMENTS	SWITZERLAND
7 BADOTHERM PROCES INSTRUMENTATIE B.V.	HOLLAND
8 DRESSER EUROPE GMBH (ASHCROFT)	GERMANY
9 TECSIS GMBH	GERMANY
10 BRISTOL BABCOCK	ENGLAND
11 KLAUS FISCHER GMBH & CO. KG.	GERMANY
12 STEWART BUCHANAN GAUGES LTD	ENGLAND

۱-۲- ترموکوپل یا زوج گرمایی

THERMOCOUPLE

در سال ۱۸۲۱ یک فیزیکدان آلمانی به نام SEEBECK موفق به کشف این موضوع شد که اگر مداری شامل دو فلز مختلف داشته باشیم که این دو سیم در دو نقطه به یکدیگر وصل شده



الف: در دمای بالاتر از معمول نیروی محرکه زیاد در آنها ایجاد شود.

ب: امکان تهیه آنها به مقدار زیاد وجود داشته باشد تا در صورت لزوم بدون میزان کردن مجدد تعویض گردند.

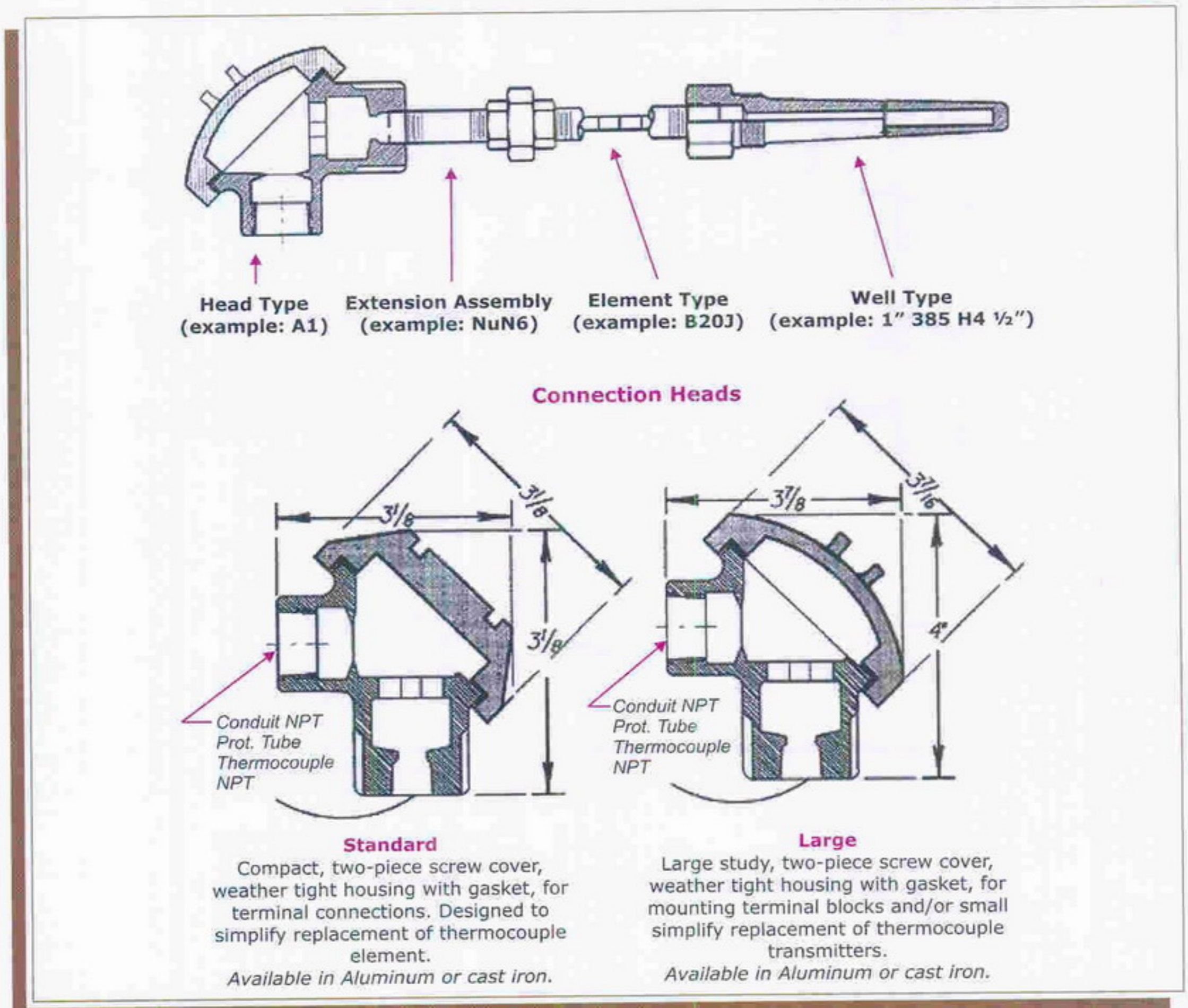
ج: در حداکثر دمای ممکن ذوب نشوند.

جهت ثابت نگه داشتن نیروی محرکه ترموالکتریکی می بایستی ترموکوپل را قبل از استفاده تا حداکثر درجه حرارت مورد نظر گرم نمود. جهت جلوگیری از افت هدایت الکتریکی سیمی و احتراز از اشتباه حاصله، ترموکوپل باید دقیقاً در محل مورد نظر نصب گردد.

در صورتی که دو اتصال سرد و گرم در یک دما قرار گیرند، نیروی محرکه الکتروموتوری تولید شده در دو اتصال یکدیگر را خنثی می کنند و در نتیجه جریانی از مدار عبور نمی کند. مطابق استاندارد ترموکوپل ها اتصال سرد را اتصال مرجع می نامند و دمای آن را صفر درجه سلسیوس فرض می کنند و اتصال گرم را اتصال اندازه گیری می نامند (شکل ۱۷).

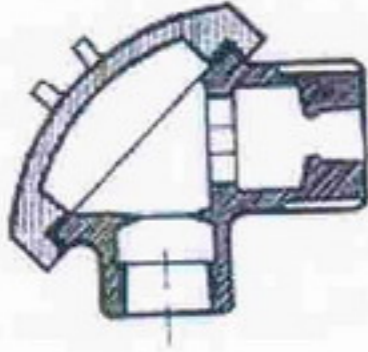
۲-۲- ترموکوپل های صنعتی (شکل ۱۸ و ۱۹ و ۲۰)

برای ساختن ترموکوپل به منظور مصارف صنعتی از فلزاتی استفاده می شود که دارای خواص ذیل باشند:

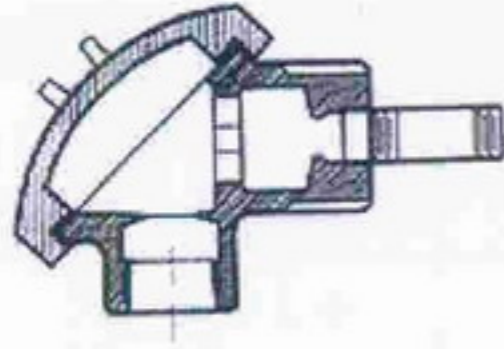


شکل ۱۸

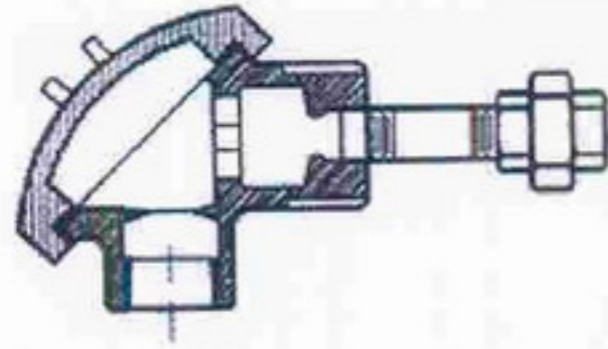
Standard Extension Assembly



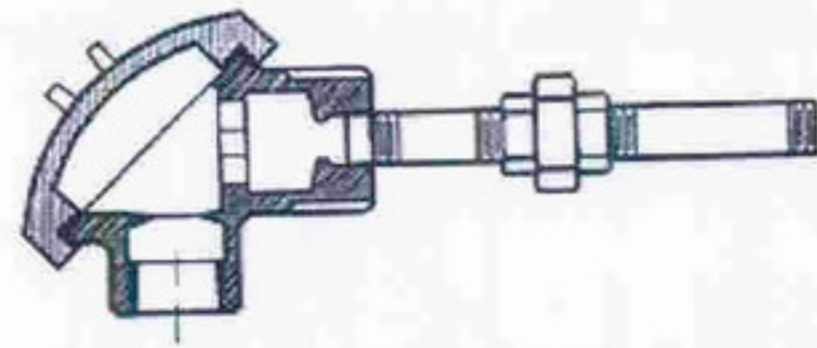
Direct Assembly
Connecting head on thermowell.
Specify Head Number
Example: A1



Nipple Extension
Threads directly into connection head and thermowell. Available in any length. Specify head and letter N and Nipple length in inches.
Example: A1-N3



Nipple / Union Extension
One nipple threaded into head and connected to thermowell by union. Available in any length. Specify head and letter NU and length in inches.
Example: A1-NU4



Nipple / Union Nipple Extension
Two nipples one threading into head and connected by union. Available in any length. Specify head and letter NUN and length in inches.
Example: A1-NUN6

Elements



Beaded Type
"B" Single, "BD" Dual wires with insulators



MGO
"M" Single, "MD" Dual Wires with compacted ceramic insulation in 304SS sheath*



MGO Spring Loaded Type
"MS" Single, "MDS" Dual Wires with compacted ceramic insulation in 304SS sheath* for spring loading.



Type	Application	Materials	Size	Welding	Cap & Chain
Standard Threaded Well for 3/8" Dia. Elements	Standard length, 3/8" stem, bi-metal thermometers. #14 gauge thermocouple elements. Armored liquid-in-glass test thermometers. Other temperature sensing elements having.377" max. dia.	Brass (ASTM B-16); Carbon Steel (C-1018); AISI 304; AISI 316; Monel. Wells are also available in special materials upon request.	3/4 NPT and 1" NPT standard; other thread sizes upon request.	n/a	Brass captive cap is available for keeping well bore clean when not in use.
Heavy Duty Threaded Well for 3/8" Dia. Elements	Standard length, 3/8" stem, bi-metal thermometers. #14 gauge thermocouple elements. Armored liquid-in-glass test thermometers. Other temperature sensing elements having.377" max. Dia.	Brass (ASTM B-16); Carbon Steel (C-1018); AISI 304; AISI 316; Monel. Wells are also available in special materials upon request.	1" NPT standard; other thread sizes upon request.	n/a	Brass captive cap is available for keeping well bore clean when not in use.
Standard Threaded Well for 1/4" Dia. Elements	Standard length, 1/4" stem, bi-metal thermometers. #20 gauge thermocouple elements. Unarmored liquid-in-glass test thermometers. Other temperature sensing elements having.252" max. Dia.	Brass (ASTM B-16); Carbon Steel (C-1018); Stainless Steel AISI 304; AISI 316; Monel. Wells are also available in special materials upon request.	1/2" NPT. 3/4 NPT and 1" NPT standard; other thread sizes upon request.	n/a	Brass captive cap is available for keeping well bore clean when not in use.
Heavy Duty Threaded Well for 1/4" Dia. Elements	Standard length, 1/4" stem, bi-metal thermometers. #20 gauge thermocouple elements. Unarmored liquid-in-glass test thermometers. Other temperature sensing elements having.252" max. Dia.	Brass (ASTM B-16); Carbon Steel (C-1018); Stainless Steel AISI 304; AISI 316; Monel. Wells are also available in special materials upon request.	3/4 NPT and 1" NPT standard; other thread sizes upon request.	n/a	Brass captive cap is available for keeping well bore clean when not in use.
Flanged Thermowells for 1" and 1 - 1/2" Dia. Elements	260F series fits std. length 1/4" dia. elements; 385F series fits std. length 3/8" dia. Elements	Flanges and wells made of Carbon Steel (C-1018), AIAI 304, AISI 316 and Monel are available for quick delivery. Other materials available.	1" NPT standard; other thread sizes upon request.	Primary weld is "J" groove type, secondary weld is 45 ° bevel groove. Welding is performed using inert gas shielded arc.	Brass captive cap is available for keeping well bore clean when not in use.

شکل ۲۰

۳-۲ - نمونه ای از مشخصات فنی ترموکوپل

Type	Conductor Materials (and alternative name)	EMF Specification	Tolerance Classes (accordance to BS EN 60584 part 2) Tolerance Class 1		
			Tolerance Class 1	Class	Tolerance Class 3
K	Nickel Chromium/ Nickel Aluminium (Chromel/Alumel)	BS EN 60584 part 1 ASTM E230/IEC 584 part 1	0 to 375°C, ± 1.5°C 0 to 1000°C, ± 0.004.1tI	-40 to 333°C, ± 2.5°C 333 to 1200°C, ± 0.0075.1tI	-167 to 40°C, ± 2.5°C -200 to -167°C, ± 0.015tI
J	Iron/Constantan (Iron/Copper-Nickel) (Fe/Con)	BS EN 60584 part 1 ASTM E230/IEC 584 part 1	0 to 375°C, ± 1.5°C 0 to 1000°C, ± 0.004.1tI	-40 to 333°C, ± 2.5°C 333 to 750°C, ± 0.0075.1tI	—
T	Copper/Constantan (Copper/Copper/ Nickel (Cu/Co)	BS EN 60584 part 1 ASTM E230/IEC 584 part 1	0 to 125°C, ± 0.5°C 0 to 350°C, ± 0.004.1tI	-40 to 133°C, ± 1°C 133 to 350°C, ± 0.0075.1tI	-67 to 40°C, ± 1 HC -200 to -67°C, ± 0.015tI
N	Nicrosil/Nisil	BS EN 60584 part 1 ASTM E230/IEC 584 part 1	0 to 375°C, ± 1.5°C 0 to 1000°C, ± 0.004.1tI	-40 to 333°C, ± 2.5°C 333 to 1200°C, ± 0.0075.1tI	-167 to 40°C, ± 2.5°C -200 to -167°C, ± 0.015tI
R	Platinum/13% Rhodium-Platinum	BS EN 60584 part 1 ASTM E230/IEC 584 part 1	0 to 1100°C, ± 1°C 0 to 1600°C, ± [1+0.0003(t-1100)]°C	0 to 600°C, ± 1.5°C 600 to 1600°C, ± 0.0025.1tI	—
S	Platinum/10% Rhodium-Platinum	BS EN 60584 part 1 ASTM E230/IEC 584 part 1	0 to 1100°C, ± 1°C 0 to 1600°C, ± [1+0.0003(t-1100)]°C	0 to 600°C, ± 1.5°C 600 to 1600°C, ± 0.0025.1tI	—
B	Platinum/30% Rhodium/ Platinum -6% Rhodium	BS EN 60584 part 1 ASTM E230	600 to 800°C ± 4 °C		



۲-۴- ظرفیت‌های مورد نیاز ساخت داخل

در حال حاضر نیاز سالانه کشور به ترموکوپل‌های صنعتی در حدود ۳۰۰۰ عدد می‌باشد که از نظر حجم تقاضا نیز ساخت داخل نمودن این ترموکوپل‌ها را توجیه می‌نماید.

۲-۵- استانداردها و کنترل کیفیت

ترموکوپل مورد مصرف در صنعت نفت اکثرا بر طبق استاندارد BS می‌باشد.

۲-۶- سازندگان خارجی

تعدادی از سازندگان خارجی ترموکوپل به شرح زیر می‌باشند:

COMPANY NAME	COUNTRY
1 BARTON INSTRUMENT SYSTEMS LTD	U.K.
2 SOLARTRON ISA	U.K.
3 YOKOGAWA ELECTRIC CORP	JAPAN
4 RUEGER SDN. BHD ASIA HEAD QUARTERS	MALAYSIA
5 METRA INSTRUMENTS S.A.	SWITZERLAND
6 HONEYWELL	ITALY
7 THERMO ELECTRIC EUROPE	HOLLAND
8 BADOTHERM PROCES INSTRUMENTATIE B.V	HOLLAND
9 ABB INSTRUMENTATION SPA	ITALY
10 BRISTOL BABCOCK LTD	U.K.
11 KLAUS FISCHER GMBH & CO.KG	GERMANY
12 ABB LTD	U.K.
13 BICC GENERAL PYROTENAX	U.K.

۳- تئوری ترموکوپل

۳-۱- اثر ترموکوپل

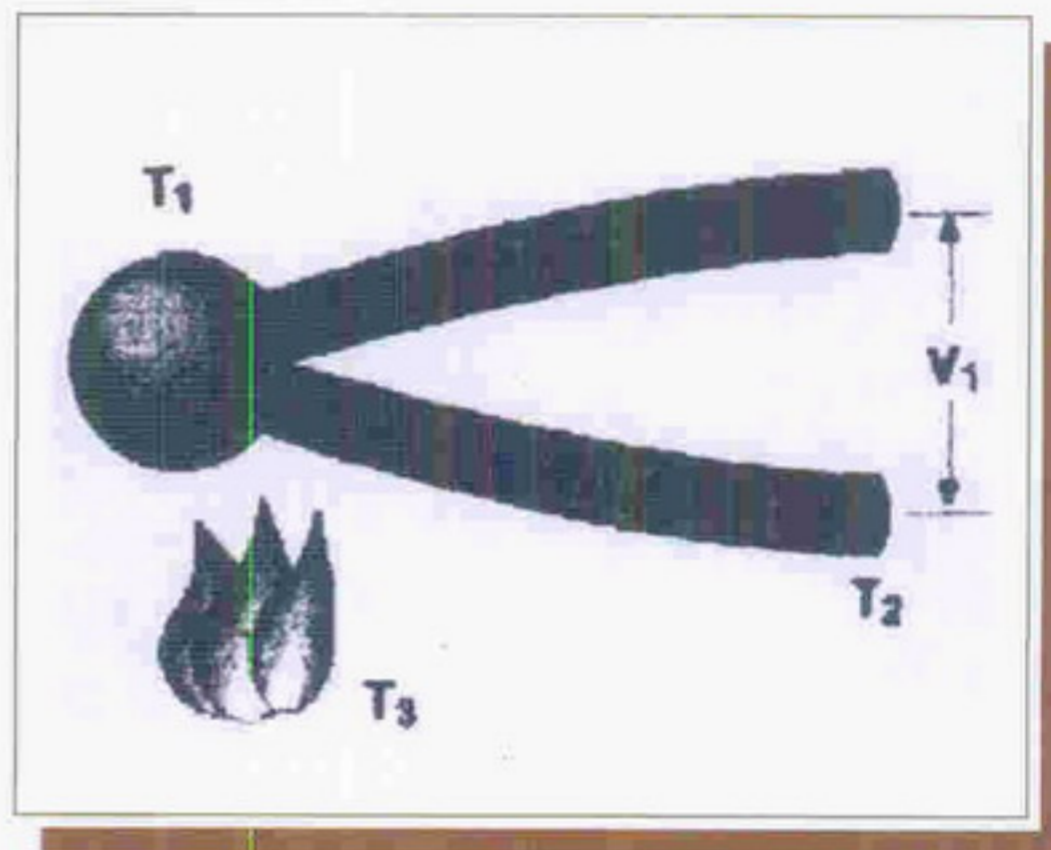
شکل (۲۱) نقطه اتصال یک ترموکوپل را نشان می‌دهد که با اتصال دو فلز A و B به وجود آمده است. ولتاژ دو سر نقطه اتصال (V_1) بستگی به نوع فلزات به کاررفته و دمای نقطه اتصال دارد.

مکانیسمی که باعث تولید این ولتاژ میشود بسیار پیچیده است. با این وجود برخی نتایج قطعی به دست آمده از این پدیده، ما را قادر می‌سازد که از این ولتاژ برای اندازه‌گیری دما استفاده کنیم. به عنوان مثال یکی از این نتایج این است که ولتاژ تولید شده تقریباً به صورت خطی با دما تغییر می‌کند.

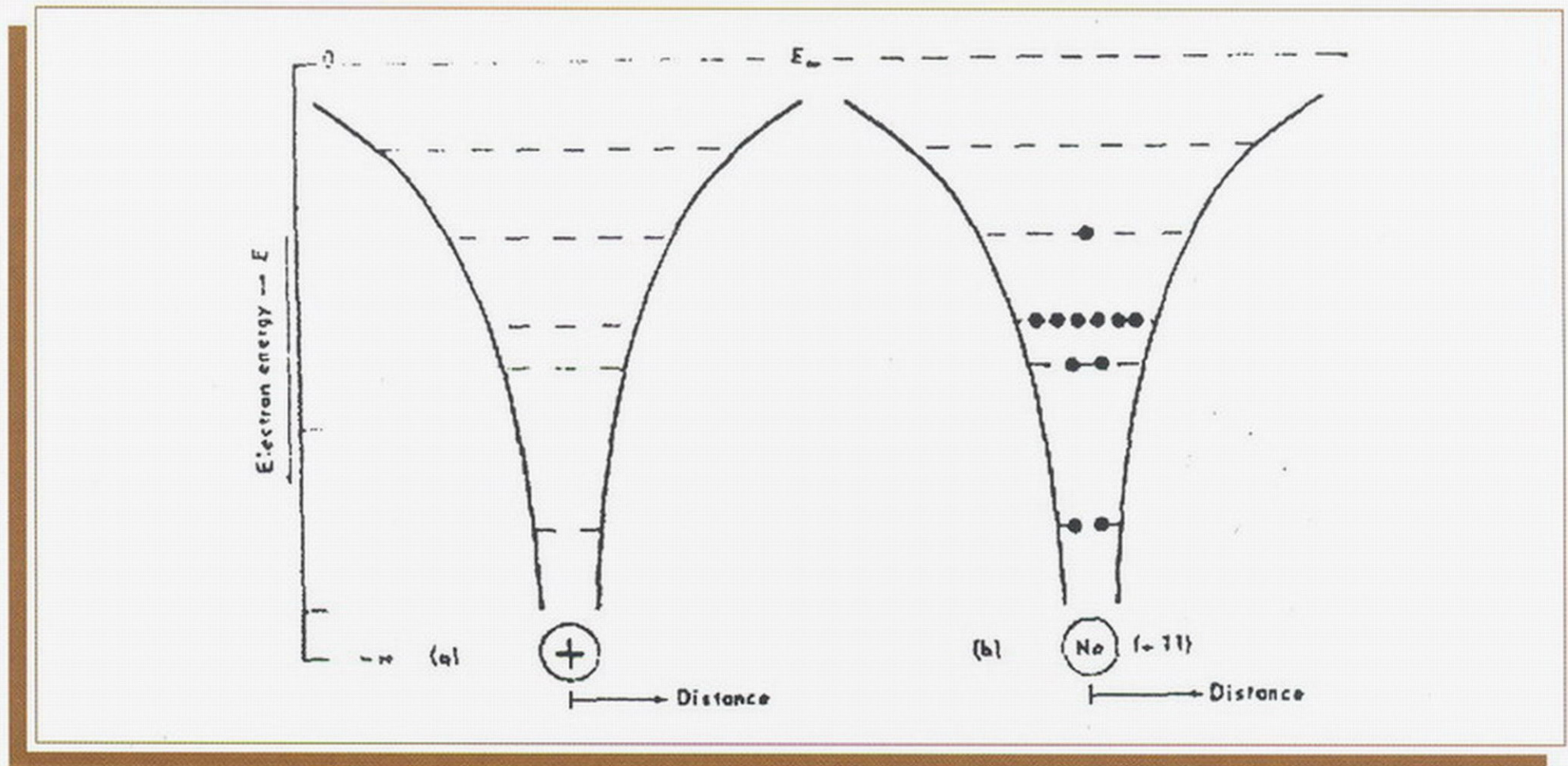
۳-۲- رسانایی و تئوری باند

(Band theory)

به منظور فهم و درک قانون (Seebeck) ترموکوپل، ابتدا لازم است که ریزساختار (micro structure) فلز و مؤلفه‌های اتمی از شبکه کریستالی را مورد مطالعه قرار دهیم. ساختار اتمی که توسط بوهرا ارائه شد و توسط شرودینگر و هایزنبرگ تغییر یافت، اینگونه بیان می‌دارد که الکترونها باید اطراف هسته در گردش باشند و با یک جاذبه الکترواستاتیکی به طرف هسته جذب که این جاذبه، نیروی گریز از مرکز حاصل از گردش آنان به دور هسته، خنثی می‌شود. حل معادله موج شرودینگر، سطوح گسسته انرژی را معرفی می‌کند که یک الکترون می‌تواند در آنجا بدون اتلاف انرژی حضور داشته باشد. شکل (a) ۲۲ نمایی از سطوح انرژی را برای یک اتم که در دمای اتاق قرار دارد نمایش می‌دهد. معیار انرژی، مقدار منفی را برای انرژی الکترونها نشان می‌دهد. این مقادیر با نزدیک شدن الکترون به هسته از نظر عددی افزایش می‌یابند. خطوط چین در شکل، سطوح گسسته‌ای را نشان می‌دهند که در آنجا نیروی جاذبه به سمت هسته با نیروی گریز از مرکز الکترون برابر می‌باشد. در شکل (b) ۲۲ نمایی از ۵ سطح گسسته انرژی برای اتم سدیم با ۱۱ الکترون در ساختار اربیتال نشان داده شده است. الکترونهای سه سطح ابتدایی که به هسته نزدیک‌ترین انرژی پتانسیل منفی تری (پایینتری) دارند، تک الکترون موجود در سطح چهارم، خیلی دورتر از هسته قرار دارد و در نتیجه نیروی جاذبه آن به سمت هسته کمتر می‌باشد و دارای بالاترین انرژی است و به همین جهت به آسانی کنده می‌شود. این الکترون منفرد در سطح بالایی با نام (Valence electron) شناخته می‌شود.



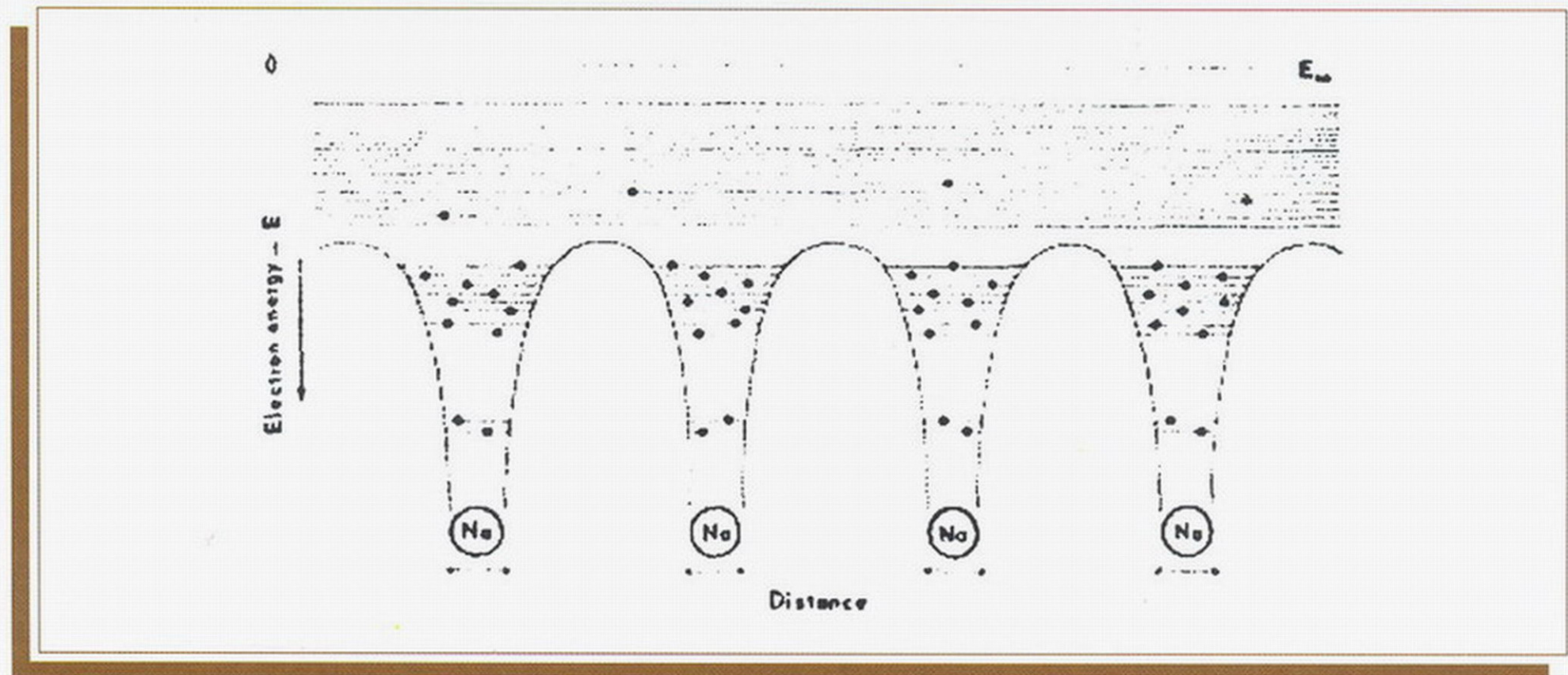
شکل ۲۱



شکل ۲۲

حضور اتمهای دیگر در شبکه نیستند. سطوح بیرونی تر نقش مهمی در انتقال الکترونها برعهده دارند. نتیجتاً یک الکترون والانس (Valence electron) می تواند به راحتی اتم مادر خود را ترک کند و آزادانه در شبکه کریستالی جابه جا شود.

در شکل (۲۳) نشان داده شده است که وقتی تعداد زیادی از اتمهای سدیم با یکدیگر ترکیب می شوند تا تشکیل یک کریستال فلز سدیم را بدهند چه اتفاقی روی می دهد. سطوح داخلی پر شده، به شدت به هسته وابسته اند، و تحت تأثیر



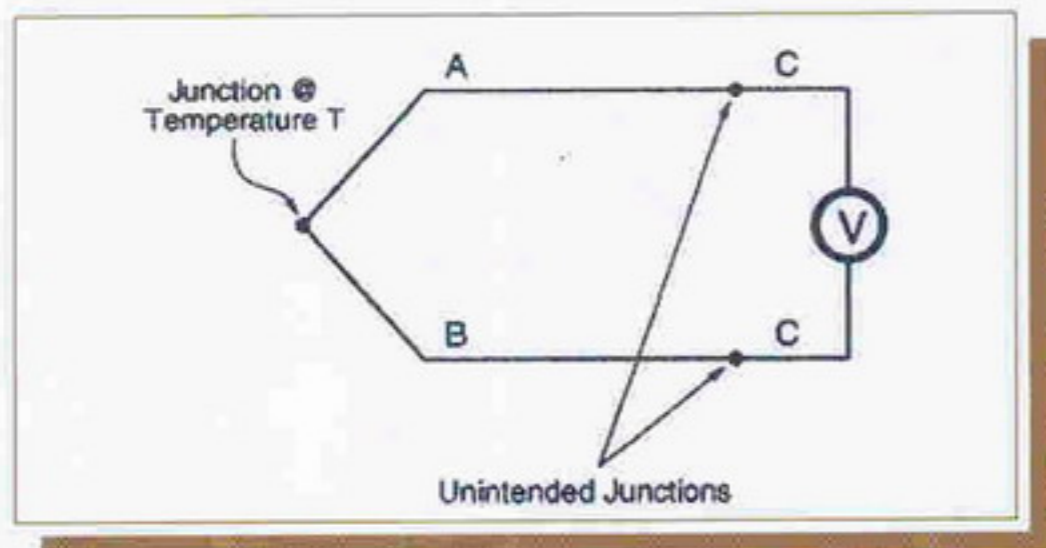
شکل ۲۳

۳-۴- اتصال اضافی

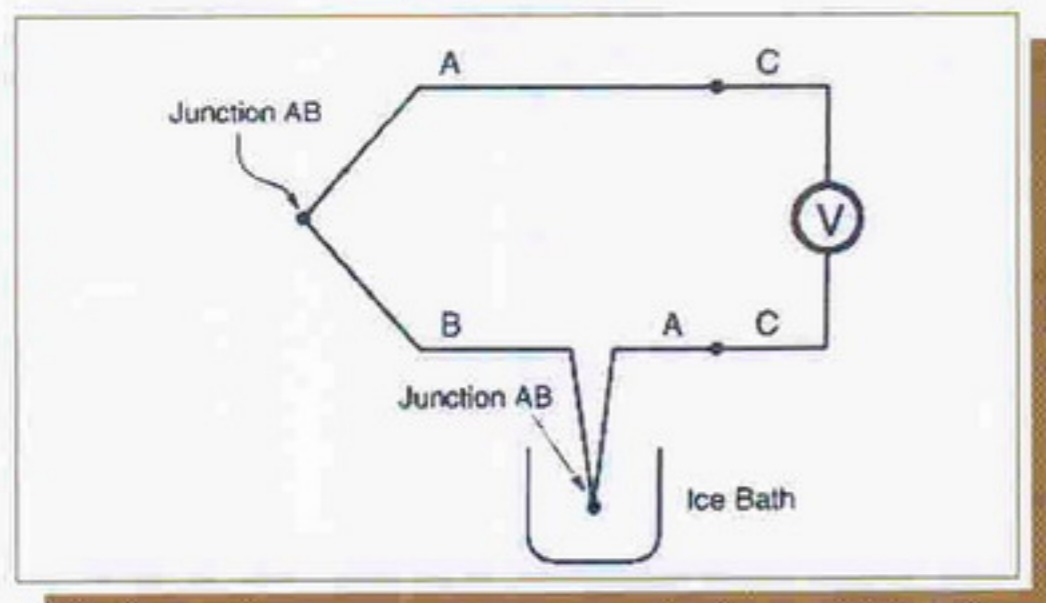
یک مشکل که در اندازه‌گیری ولتاژ دو سر اتصال دو فلز نامشابه پیش می‌آید آن است که، دو اتصال ترموکوپلی اضافی در محل اتصال فلزهای ترموکوپل به ولت‌متر شکل می‌گیرد شکل (۲۴). اگر سیمهای اتصال دهنده به ولت‌متر از آلیاژ "C" باشند آنگاه یک emf بین A-C و B-C پدید خواهد آمد. برای حل این مشکل دو راه حل وجود دارد:

۱- استفاده از یک اتصال مرجع که در یک دمای مشخص قرار دارد
 ۲- انجام تصحیحات در مورد ترموکوپل‌های تشکیل شده به خاطر اتصال به ولت‌متر.

شکل (۲۵) نحوه اتصال جبران کننده که مرجع نیز نامیده می‌شود را نشان می‌دهد. با این وجود هنوز دو ترموکوپل اضافی در محل اتصال مرجع به ولت‌متر وجود دارد اما این اتصالات یکسان می‌باشند (هر دو بین آلیاژ A و C ایجاد شده اند). اگر آنها در یک درجه حرارت باشند، ولتاژ ایجاد شده مساوی و در دو جهت مخالف بوده و یکدیگر را خنثی می‌نمایند. پس انرژی برای اندازه‌گیری نهایی ندارند. معمولاً اتصال مرجع در دمای صفرنگه داشته می‌شود (مثلاً به وسیله یک ظرف یخ).



شکل ۲۴



شکل ۲۵

پیشتر بیان شد که سطوح گسسته انرژی در فواصل مختلف از هسته قرار دارند. فضای بین این سطوح که هیچگاه شامل الکترون نمی‌باشد، شکافهای ممنوعه (forbidden gaps) خوانده می‌شوند. یک الکترون با انرژی پایینتر قادر است به یک سطح بالاتر انتقال یابد به شرط آنکه در آن سطح جای خالی برای الکترون موجود باشد. این فرایند جذب انرژی می‌تواند به صورت تحریک گرمایی صورت گیرد. هدایت الکتریکی هر ماده بستگی به گستره شکافهای ممنوعه دارد. اگر این شکاف بسیار بزرگ باشد ماده به صورت عایق درمی‌آید و برعکس اگر این شکاف خیلی کوچک باشد، ماده به صورت هادی در خواهد آمد.

۳-۳- اثر ترموالکتریک

اگر یک رسانا از یک سر آن گرم شود الکترونها در قسمت (hot junction) انرژی گرمایی بیشتری نسبت به الکترونهای سرد دیگر رسانا کسب می‌کنند و در نتیجه الکترونها از قسمت گرم به قسمت سرد حرکت می‌کنند جاییکه سطح انرژی پایین‌تر است. این در واقع همان اصل هدایت گرمایی در فلزات می‌باشد. این موضوع باعث انباشتگی الکترونها در انتهای سرد از رسانا می‌شود. بنابراین یک میدان الکتریکی پدید می‌آید یا به عبارت دیگر اختلاف پتانسیل بین دو سر رسانا به وجود می‌آید. این میدان الکتریکی همچنان افزایش می‌یابد تا یک تعادل دینامیکی بین نیروی حاصل از دافعه الکترون‌های ایجاد شده در انتهای سرد نیروی گسیل کننده الکترونها حاصل شود. تعداد الکترونهايي که در یک ثانیه از سطح مقطع عمودی سیم عبور می‌کنند در هر دو جهت یکسان است و لی سرعت در جهت گرم به سرد بیشتر است. این جریان در حالت ایجاد تعادل باعث می‌شود که بدون انتقال واقعی بار انرژی گرمایی از گرم به سرد انتقال یابد.

این پدیده در واقع به عنوان پایه اثر ترموالکتریک شناخته می‌شود. اگر پتانسیل الکتریکی تولید شده بخواد مورد اندازه‌گیری واقع شود، اتصالات الکتریکی برای این منظور باید به انتهای رسانا متصل شوند. بنابراین یک اختلاف دمای دیگر، مشابه قبلی در کل سیستم اندازه‌گیری ایجاد می‌شود این اختلاف فشار خود باعث ایجاد یک EMF در مدار می‌گردد. اگر کل سیستم آشکارساز اختلاف پتانسیل از یک فلز مشابه تشکیل شده باشد یک مدار متقارن تشکیل می‌شود و هیچ ولتاژ emf آشکار نمی‌گردد. بنابراین، برای اندازه‌گیری emf حاصل از ترموالکتریک حداقل ۲ فلز ناهمگون باید مورد استفاده قرار گیرند، همانطور که پیشتر در مورد ترموکوپلها بیان شد.



۵-۳- جبران بدون استفاده از اتصالات مرجع

روش دوم بر این اصل استوار است که ولتاژ AB مساوی مجموع ولتاژهای AC و CB است. مادامیکه تمام اتصالات در یک دما هستند فلز C اثری ندارد. در این روش با اندازه گیری ولتاژهای AC و CB می توان ولتاژی را که ولت متر نشان می دهد تصحیح نمود مزیت این روش این است که هر نوع ترموکوپل قابل استفاده بوده بدون آنکه نیاز به تغییر اتصالات جبران کننده و یا ظرف یخ داشته باشیم.

۶-۳- مشخصات انواع ترموکوپل ها

از میان تعداد بیشماری ترموکوپل که با دو فلز می توان ساخت تعدادی با حدود کاری مشخص و مورد نیاز بصورت استاندارد درآمده و با حروف J, K, E, R, S, B نشان داده می شوند. رنگ سیم ها تغییر می کند و استاندارد نیست. ترموکوپل ها با نام تجاری معروف هستند. مثل نوع K که به اسم CHROMEL-ALUMEL خوانده می شود. این اسم به جای آلیاژ N1-CR, N1-AL بکار می رود. یک ترموکوپل باید دارای ضریب بالا و ثابت SEEBECK بوده در ضمن دارا بودن گستره کاری وسیع ضد خوردگی نیز باشد. تغییرات در ترکیب آلیاژ مربوطه یکی از منابع ایجاد خطا محسوب می شود. میزان خطای استاندارد بین $0/8^{\circ}\text{C}$ تا $4/4^{\circ}\text{C}$ بستگی به نوع ترموکوپل مشخص شده است. توسط NIST مقادیر ولتاژی برای درجه حرارت های مختلف در حافظه SR۶۳۰ ضبط و ولتاژهای اندازه گیری شده تبدیل به درجه حرارت، وضوح $0/1^{\circ}\text{C}$ می گردند. نوع K برای اغلب موارد توصیه می گردد. این نوع دارای گستره کاری وسیع، خطای استاندارد کم و خاصیت ضد خوردگی خوب است.

AN INTRODUCTION TO INSTRUMENTATION

Preface	3
1- Pressure gauges	3
1-1- General methods in pressure measuring	3
1-2- Methods of signal generation	9
1-3- Different parts of a pressure gauge	12
1-4- Technical specification	12
1-5- Calibration	15
1-6- Required quantity	16
2-1- Thermocouple	16
2-2- Industrial thermocouple	17
2-3- A typical technical specification	20
2-4- Yearly requirement	21
2-5- Standard	21
2-6- Foreign manufacturers	21
3- Temperature measurement using thermocouples	22
3-1- Thermocouple effect	22
3-2- Productivity and Band theory	22
3-3- Thermocouple effect	24
3-4- Additional junctions	24
3-5- Compensation without reference junctions	25
3-6- Characteristics of thermocouple types	25



PREFACE

Measuring, recording and controlling of different parameters in a process are the main parts of process control and this cannot be accomplished without the help of instrument equipment and devices.

The above-mentioned tasks are called instrumentation.

Several advanced methods have been developed for control purposes and are used in industry.

In this technical report we have tried to provide the reader with some brief but very useful information about the measuring instruments which are widely used in oil industries.

Among the different instruments we have chosen pressure gauges and thermocouples to be studied and described.

1- PRESSURE GAUGES

Mechanical methods of measuring pressure have been known for centuries. U-tube manometers were among the first pressure indicators. Originally, these tubes were made of glass and scales were added to them as needed. But manometers are large, cumbersome and not well suited for integration into automatic control loops. Therefore, manometers are usually found in the laboratory or used as local indicators.

Pressure gauges usually are indicator which convert the process pressure to the motion of a pointer.

1-1- General methods

in pressure measuring

There are several methods for pressure measurement which are discussed in later paragraphs. One is based on the height of a column of a liquid with certain density, another is one in which the mechanical deformation of a sensor is measured. The widely used of this type are diaphragm and bourdon tube. The mechanical deformation itself is measured in different ways. One is to make use of some gear and lever which strengthen the deformation and measure it. Measuring resistance, capacitance and piezo electric effect are the other methods.

When the pressure is very small it can not be measured by mechanical methods, so the indirect ways based on physical properties such as thermal conductance ionization or viscosity are used. In fig 1 some pressure gauges and in fig 2 the table of different measuring methods are shown.

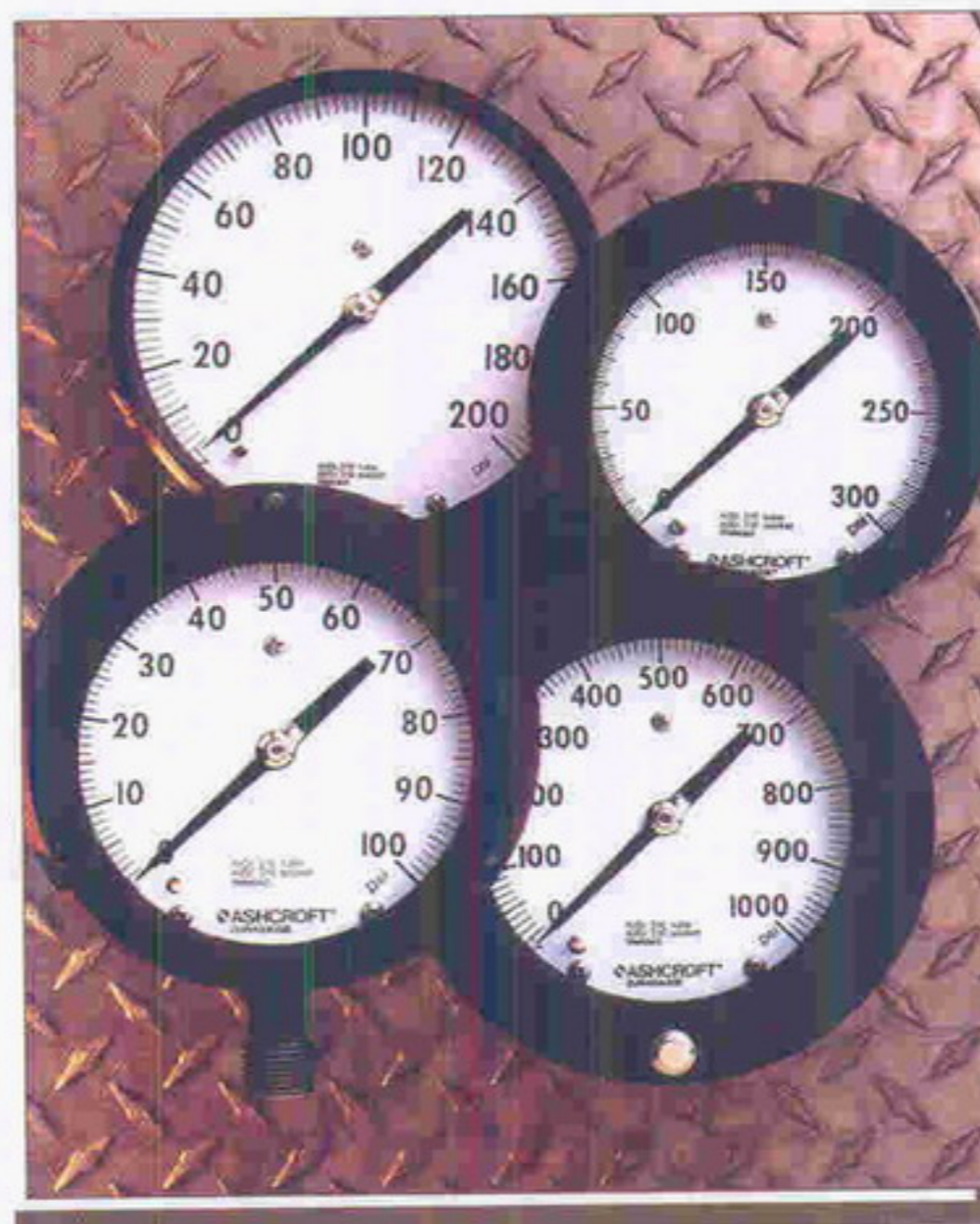


Fig. 1

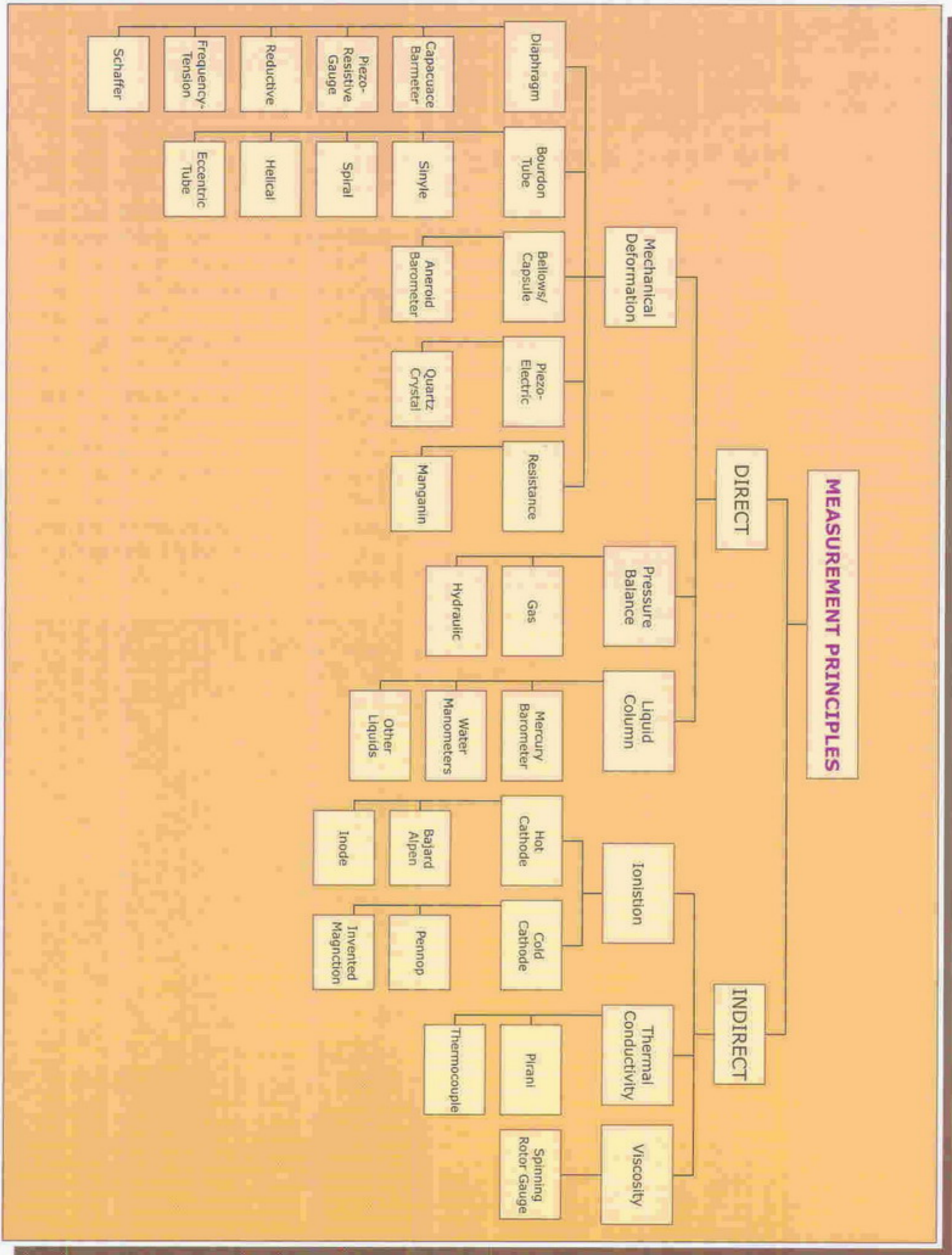


Fig. 2: One possible classification of pressure measurement techniques (illustrative only)

1-1-1- U-tube pressure gauge

Fig 3 is a u-tube manometer. The difference between the levels of liquid indicate the pressure difference, under pressure, liquid goes up in one leg while it goes down in the other. In equilibrium pressure is determined according to this relation : $P_1 = \rho gh + P_2$

note 1: If P_2 is atmospheric pressure, the P_1 is equal to gauge pressure. But if the left column is vacuum ($P_2 = 0$) then P_1 is the absolute pressure and we have a barometer. Usually the liquid is mercury, oil or water. Mercury is always used for barometer. Density of hg is over 13 times of water, so for a certain pressure hg needs less height than water. Therefore in case of small pressure and small differential pressure water is used.

Note 2 : The diameter of the tube has no effect on the liquid goes up but for very small diameters there may be some errors in reading the results . usually it is recommended that the diameter be over 6 mm.

1-1-2- Diaphragm (fig .4)

This method was first used by Shaffer 19th century, this is composed of a sheet whose edges are firmly fixed. Most manufacturers make it in circular shape. As a result of pressure difference on two sides a deformation takes place and is measured by electrical or mechanical sensors. Diaphragm have wide application in pressure transducers. Since the bourdon tubes have limits of 0.35 bar and less than this the displacement is so small that there may be some error in measurement, usually in low range diaphragm is used. The diaphragm is also used where the low frequency pulses have undesired effect on bourdon tube.

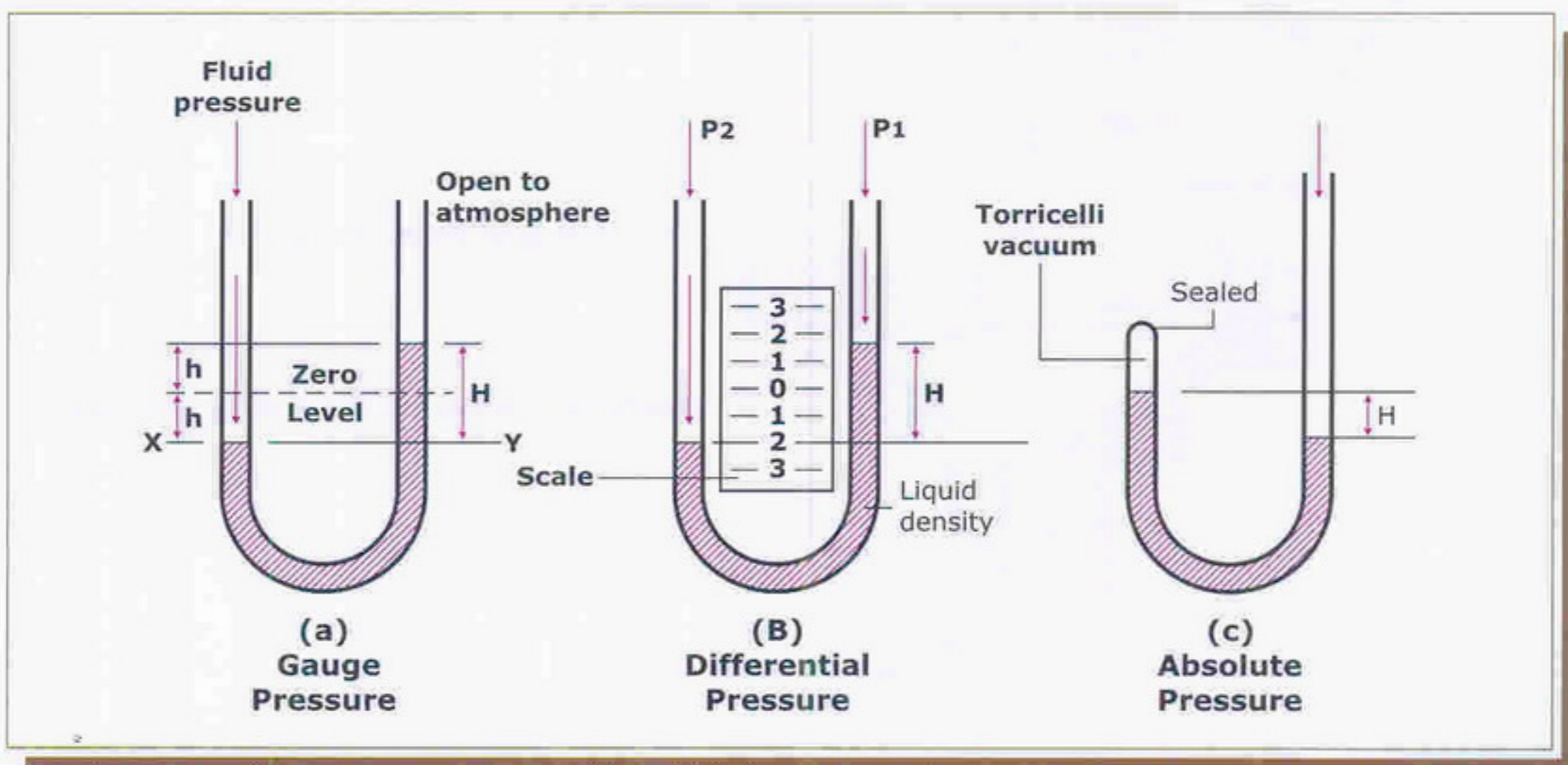


Fig. 3

Example: A diaphragm pressure gauge has effective diameter of 70 mm.

If the displacement of 5mm is the result of a pressure equal to 700 N/M, what is the coefficient of elasticity?

$$\text{Diaphragm area} = \frac{1}{4} P \times 70 \times 70 = 3840 \text{ mm}^2$$

$$F = P.A = 700 \times 3.840 \times 10^3 = 2.688 \text{ N}$$

$$X = 5 \text{ mm} = 5 \times 10^{-3} \text{ M}$$

$$K = F / X = 2.688 / 5 \times 10^{-3} = 537.6 \text{ N/M}$$

1-1-3- Capsule

Capsules consist of a pair of diaphragms whose edges are firmly joined together. Pressure is entered through a channel made in one diaphragm and deforms and displaces the other. Like other methods the displacement is measured by different sensors.

1-1-4- Bellows (fig.5)

There is no distinct difference between bellows and capsules. Capsules are made of rings of thin sheets placed one on the other and forming a cylinder. The wrinkles are small compared to the height of the cylinder. Bellows are usually made by one of the following methods :

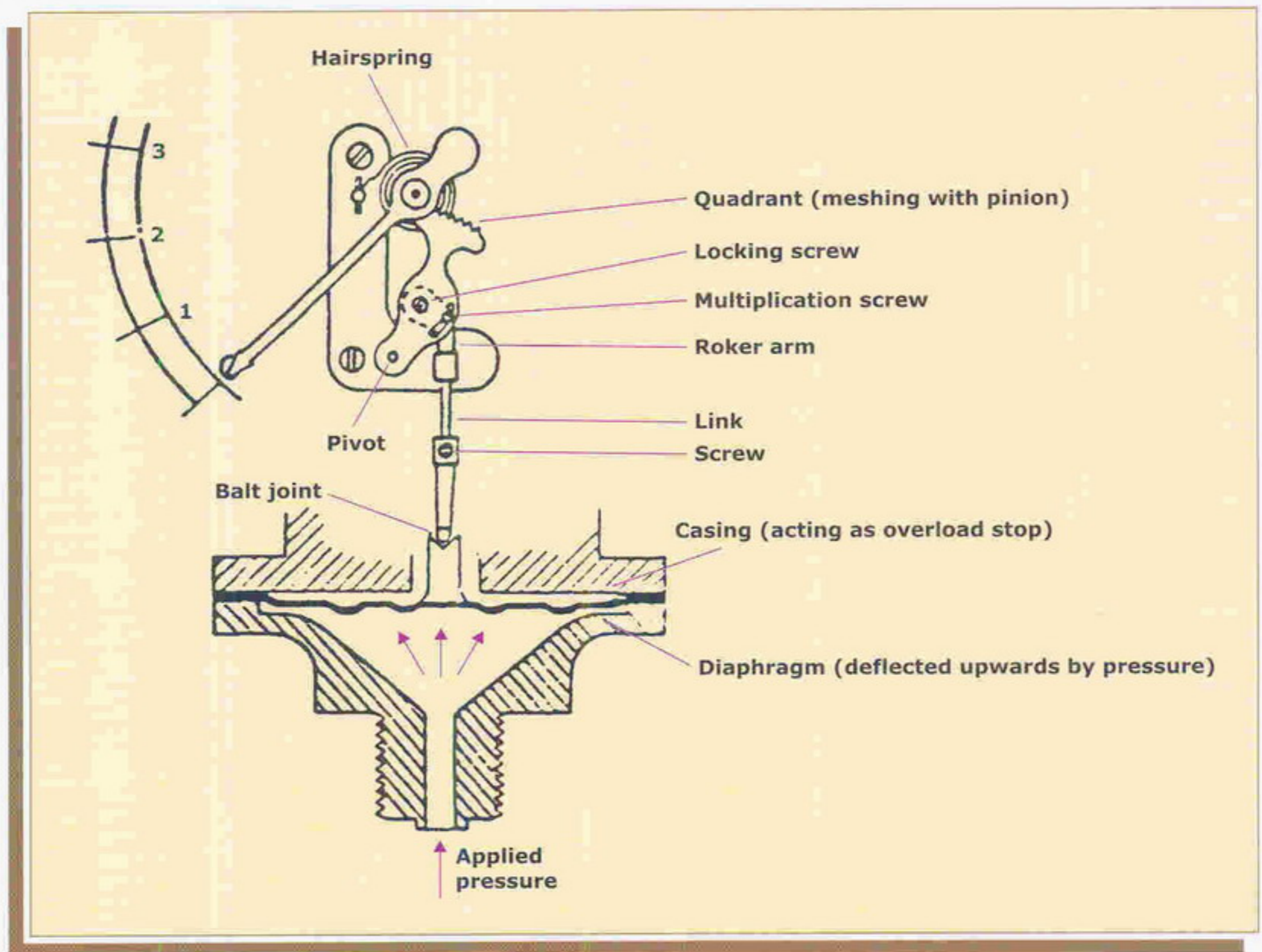


Fig. 4: Metallic diaphragm gauge

A: From a solid piece.

B: Welding the rings of pressed sheets.

C: Hydraulic press of a pipe.

Bellows should never be expanded by the free end. if they are to be expanded a spring should already be used to compress them first .

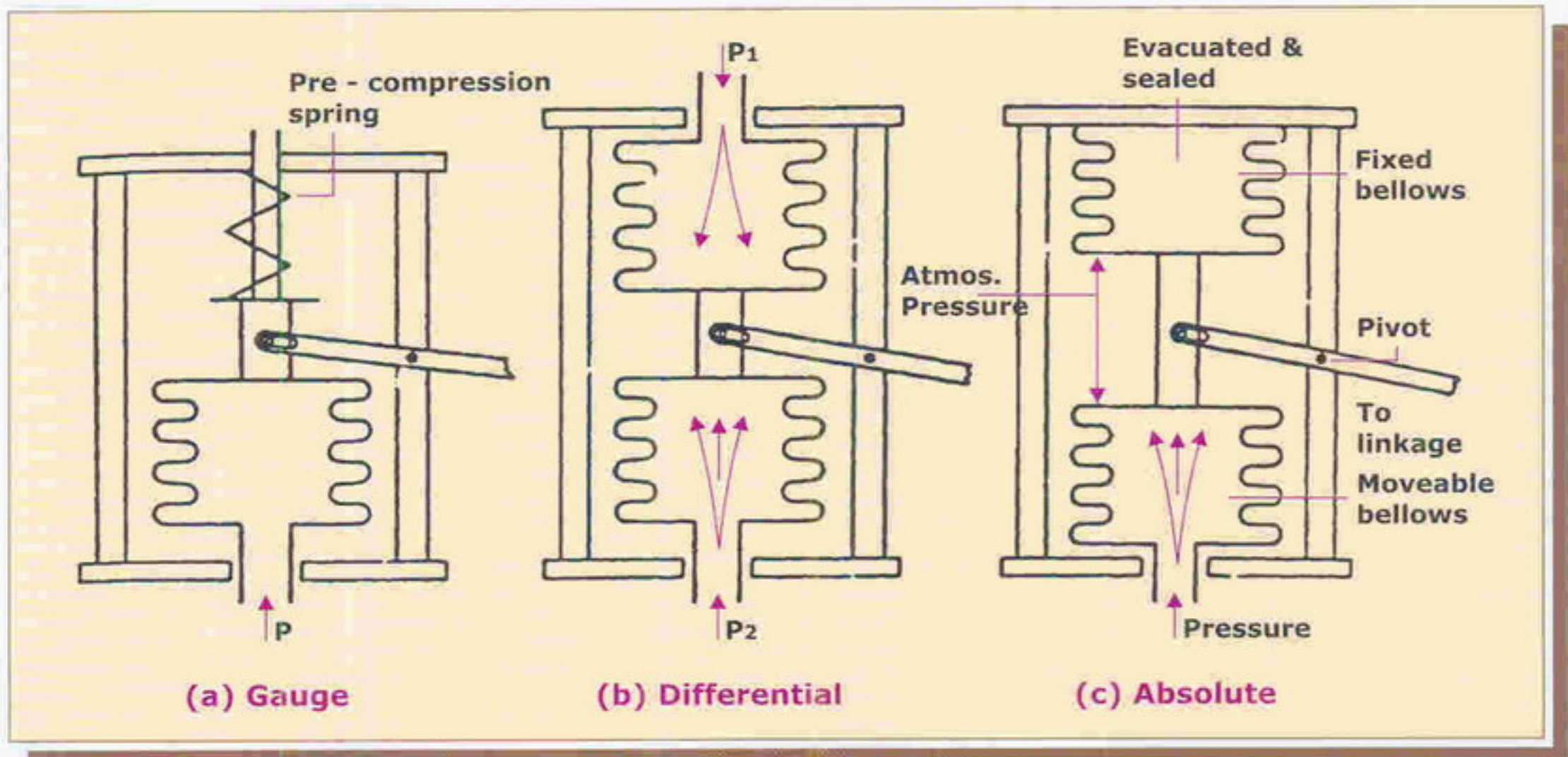


Fig.5: Bellows gauges

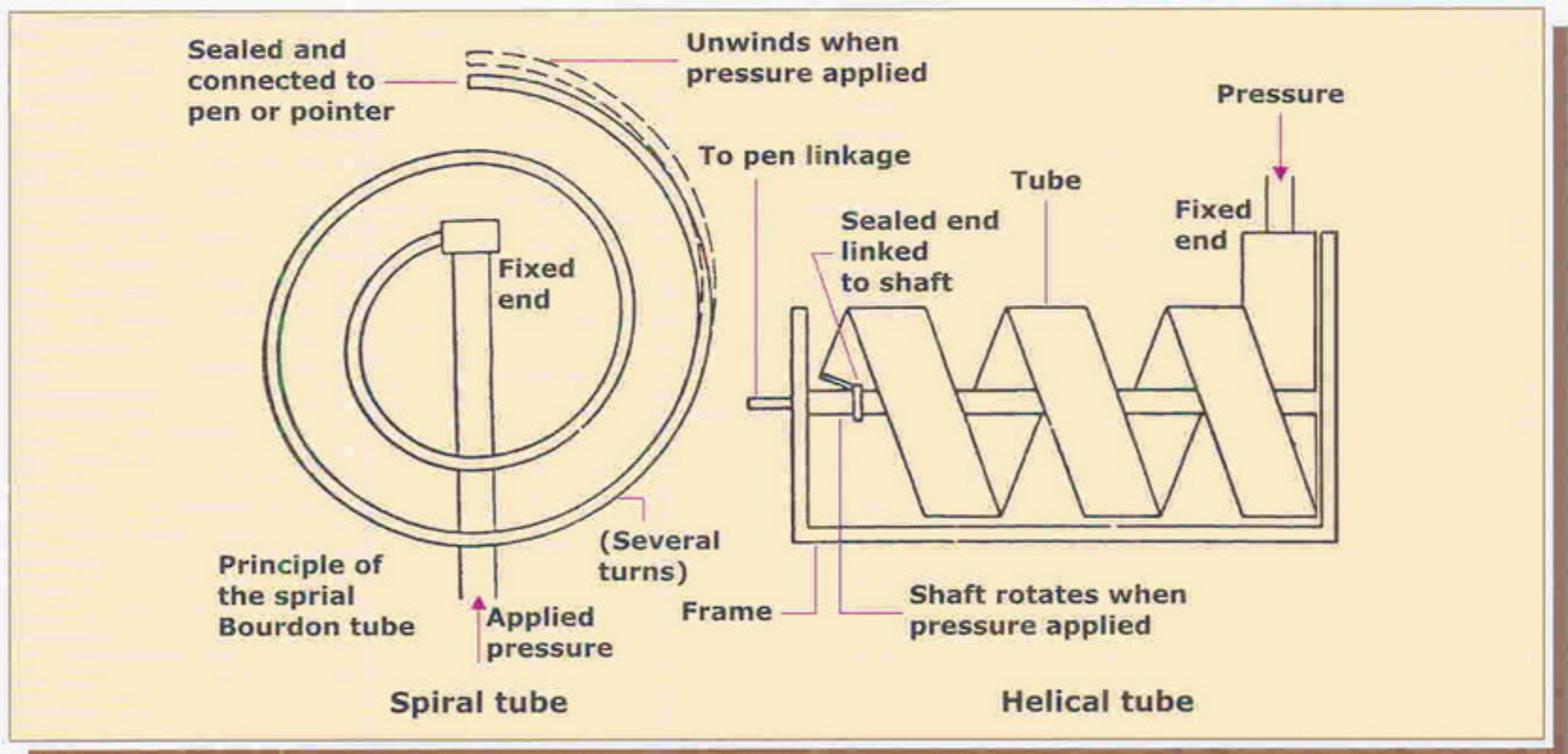


Fig.6: Bourdon tubes

1-1-5 Bourdon tube

These gauges were first used in 19th century and were named bourdon, after their inventor.

different types :

A- C- Shape tube

B- Helical tube

C- Spiral tube

C- Type is more common in industry and is composed of a tube with one closed end and elliptical cross section while is bent.

When the pressure is applied the tube tends to get straight while a sensor measures the displacement. At one end the tube is welded to a stand with a hole in it to let the pressure in. The other end is closed and free to move and connected to a quadrant gear. This gear is itself engaged to a small gear called pinion. The pointer is fixed to the shaft of the pinion. The motion between quadrant and pinion is controlled by a hair spring. So the hairspring is not for relocating the pointer after it is deflected, this is done by tube itself.

The motion of the tube is between 0.25 to 0.4 inch.

So if the tube is made to deflect more than this limit it loses its elasticity and the obtained results are not correct. The motion of the tube, through a transferring mechanism, is converted to an angular motion and then this motion is amplified such that for max. deflection of 0.4 inch the pointer goes through an angular motion equal to 270 °C.

The bourdon tube has the advantage of having a wide working pressure range so it can be used for measuring gauge, absolute and differential pressure in addition to this, being simple and reliable it is among the most important pressure gauges in the industry. The material of the tube is usually bronze, copper and steel. The important point when using these gauges is the serious damage on the tube caused by vibration and should be avoided. the spiral type is really like some c-tube joined in series so the displacement under a certain pressure is more. In this gauge the use of gear is limited so friction and mechanical wear is limited. Helical gauges are often used in higher pressure.

Example : If the bourdon tube of fig.8 is subjected to pressure, max. deflection will be 0.4 inch. Find the pointer displacement in degree with the help of following data:

$$FA=1'', FB=0.53'', BB'=0.4'', AA'=?$$

Answer : If the tube is opened by 0.4'' and goes from c to C', b also moves 0.4'' and goes from b to B'. In the same way a takes the new position. A' . If we take the quadrant gear approximately as a straight line, then considering the two triangles AA'F and BB'F:

$$AA' = 1'' \times 6.4'' = 0.75'' \times 0.53$$

$$AA' = \frac{1'' \times 6.4''}{0.53} = 6.75''$$

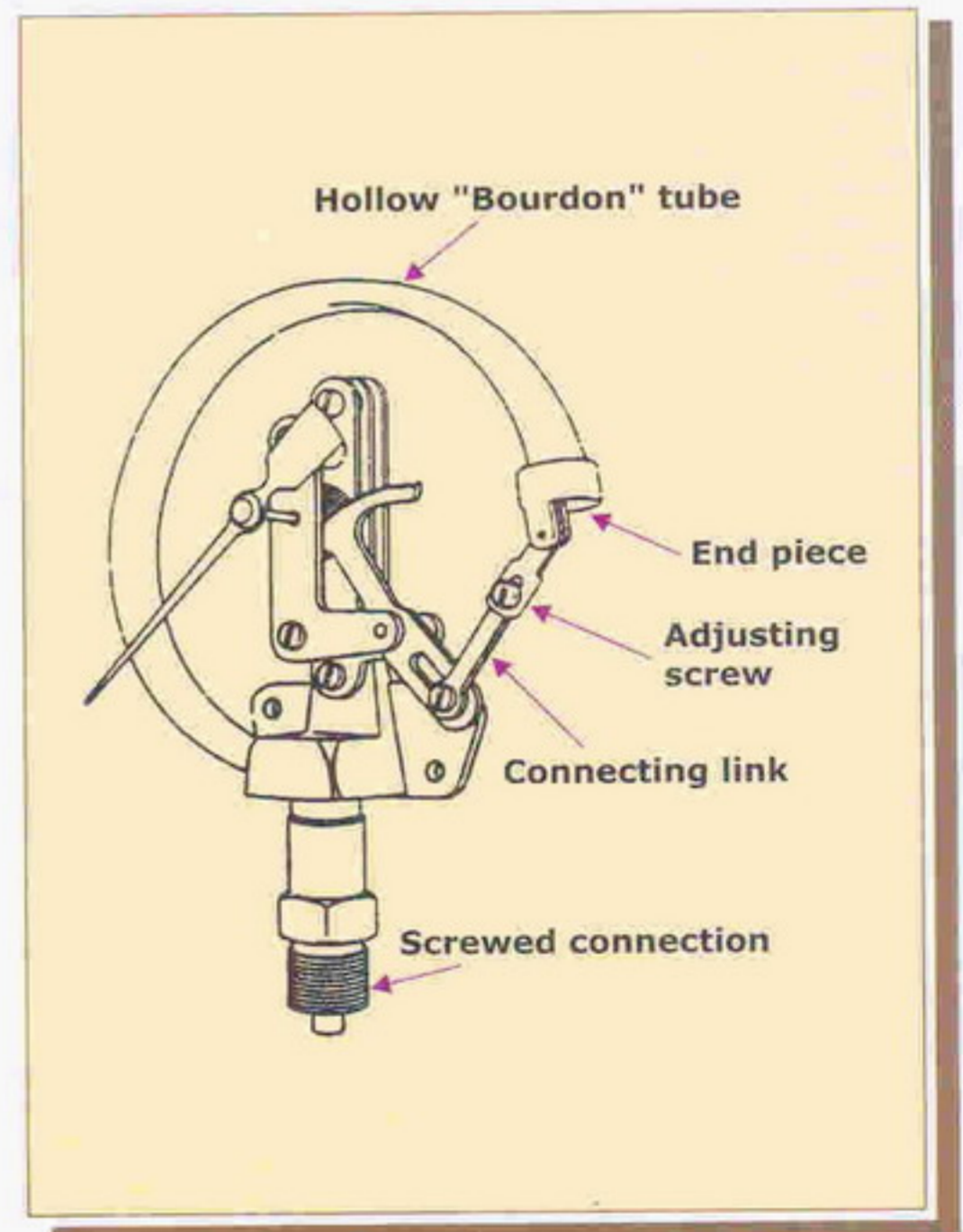


Fig. 7: Bourdon tube dial gauge

If we take the circumference of the gear equal to 1", then the displacement of the pointer can be found by the following simple proportion:

$$\frac{\text{Circumference } 1''}{0.75''} = \frac{360^\circ}{x=270^\circ}$$

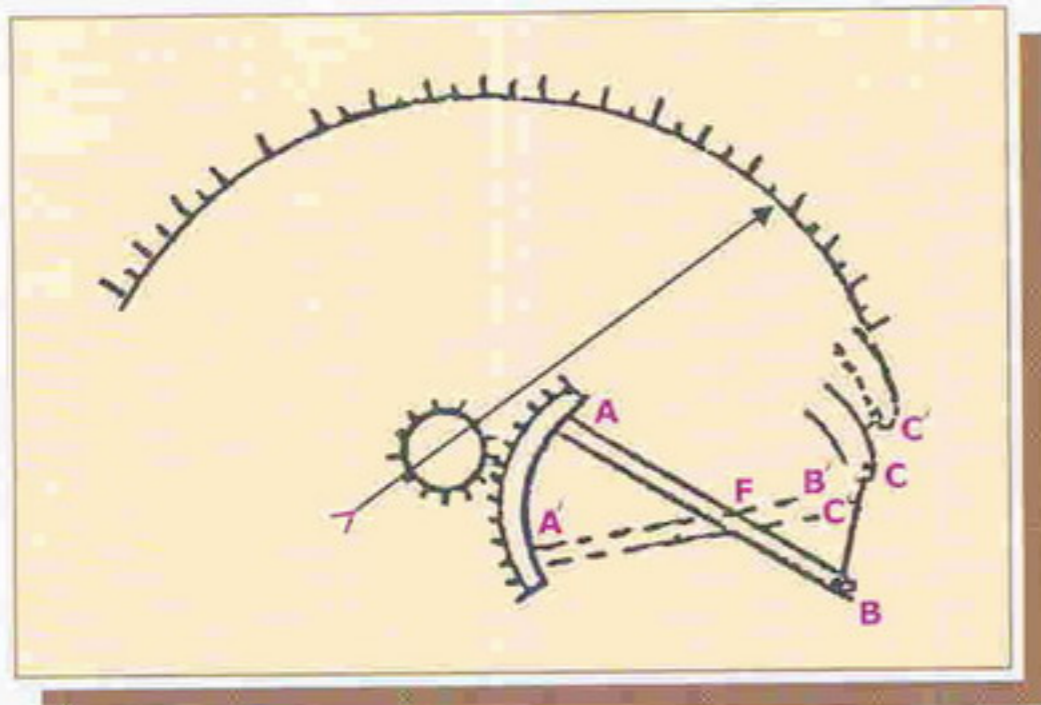


Fig. 8

1-2- Methods of signal generation

1-2-1- Mechanical displays

In the gauges studied in previous pages, the displacement of bourdon tube, diaphragm, or capsule due to pressure is amplified by some gears and levers and is shown by mechanical indicators which are usually pointers.

1-2-2- Capacitive techniques

When the capacitance of a capacitor connected to an AC source is changed, its impedance $X = 1/\omega c$ also changes.

According to the Fig. 10 the diaphragm constitutes one plate of the capacitor and with the aid of two electrodes connected to the AC supply it makes two capacitors. It should be noted that these two parts must be electrically isolated and in practical application the liquid through which the pressure is applied should be an insulator. The applied pressure results in diaphragm deformation and the change in capacitance, which is linearly related to the output. These capacitance transducers are usually connected in an electrical bridge. One type of these bridges, called (De Sauty Bridge), is shown in Fig. 9.

These devices are widely used in industry and their operating range is 10^{-3} pa to 10^7 pa with a suitable output regarding repeatability and resolution. If this device is used to measure the absolute pressure, there should be vacuum in the reference chamber.

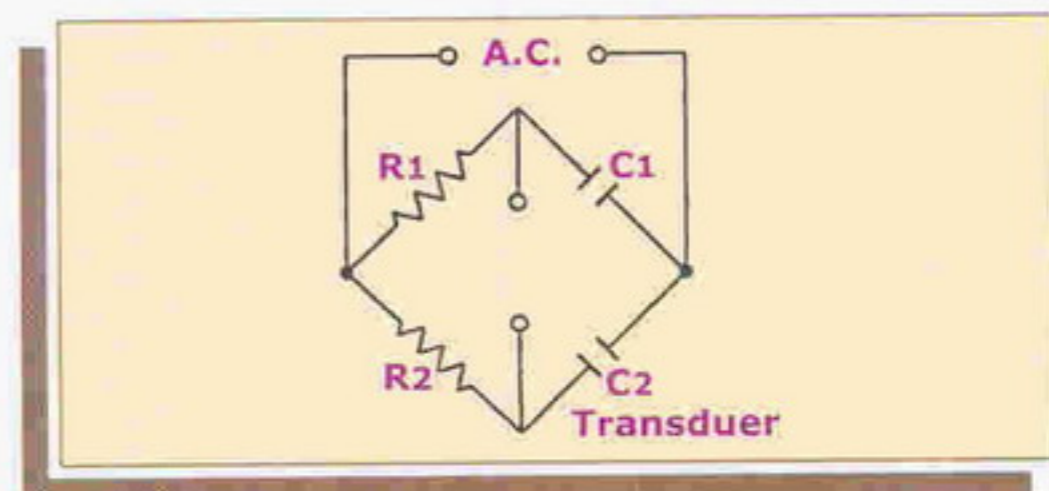


Fig. 9: De Sauty bridge

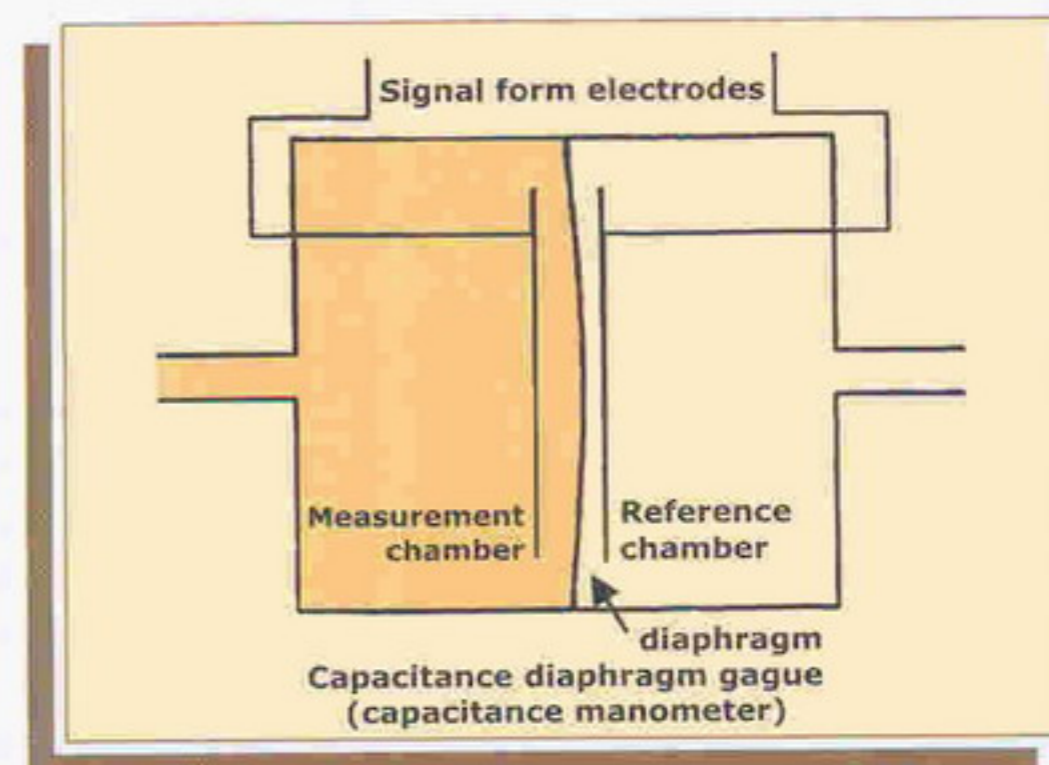


Fig. 10

1-2-3 linear variable differential transformers (LVDT)

LVDT is shown in fig.11 and 12. it is composed of three coils in a linear order and a magnetic core which is free to move inside them. An ac input is applied to the central coil and an output voltage is generated on the other two coils. The generated voltage is due to the changes in magnetic field as a result of coil movement. As far as the core is near the central coil the output is approximately linear. When the system is working in the linear range it is called LVDT. the core displacement can be less than 1mm to several hundred mm. working pressure range is usually above 5.01 pa to 10mpa.

The core can be attached to a diaphragm or to a bellows. The displacement of the core is actually due to the pressure applied to the device attached to it. this system can measure all three cases:

absolute, gauge and differential pressure.

1-2-4 strain gauges

The resistance of a metal changes under the pressure. The strain gauges are composed of a wire or a thin sheet of a metal or a semiconductor on a thin insulator backing (Fig.13). It is a common practice to connect the strain gauge to a

the bridge is in equilibrium. as soon as a pressure is applied, the resistance of the strain changes and an output proportional to the applied pressure appears. the sensitivity of the gauge is shown by s and is defined as

$$S = \frac{DR/R}{DL/L}$$

DR and DL are respectively resistance change and length change. S factor in semiconductors is about 50 times of that in metals.

When fixing the strain gauge the backing should be completely free of any oil or paint. It is a good practice to polish the surface of the backing by an emery-cloth.

Then the strain can be pasted on the backing with some special paste. It should be made sure that the strain is completely fixed on its place. changes in temperature leads to changes in resistance and finally the wrong results may be obtained. To avoid this type of error a second gauge just like the other one is connected to a branch of the bridge.

In this way the temperature changes have effect on both gauges and the overall effect on the bridge is neutralized. (Fig.14)

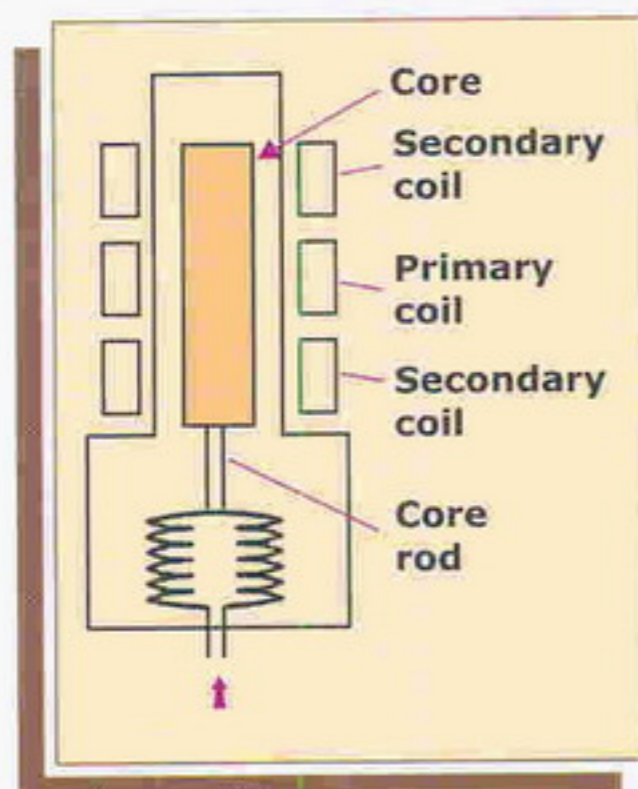


Fig.11: LVDT gauge

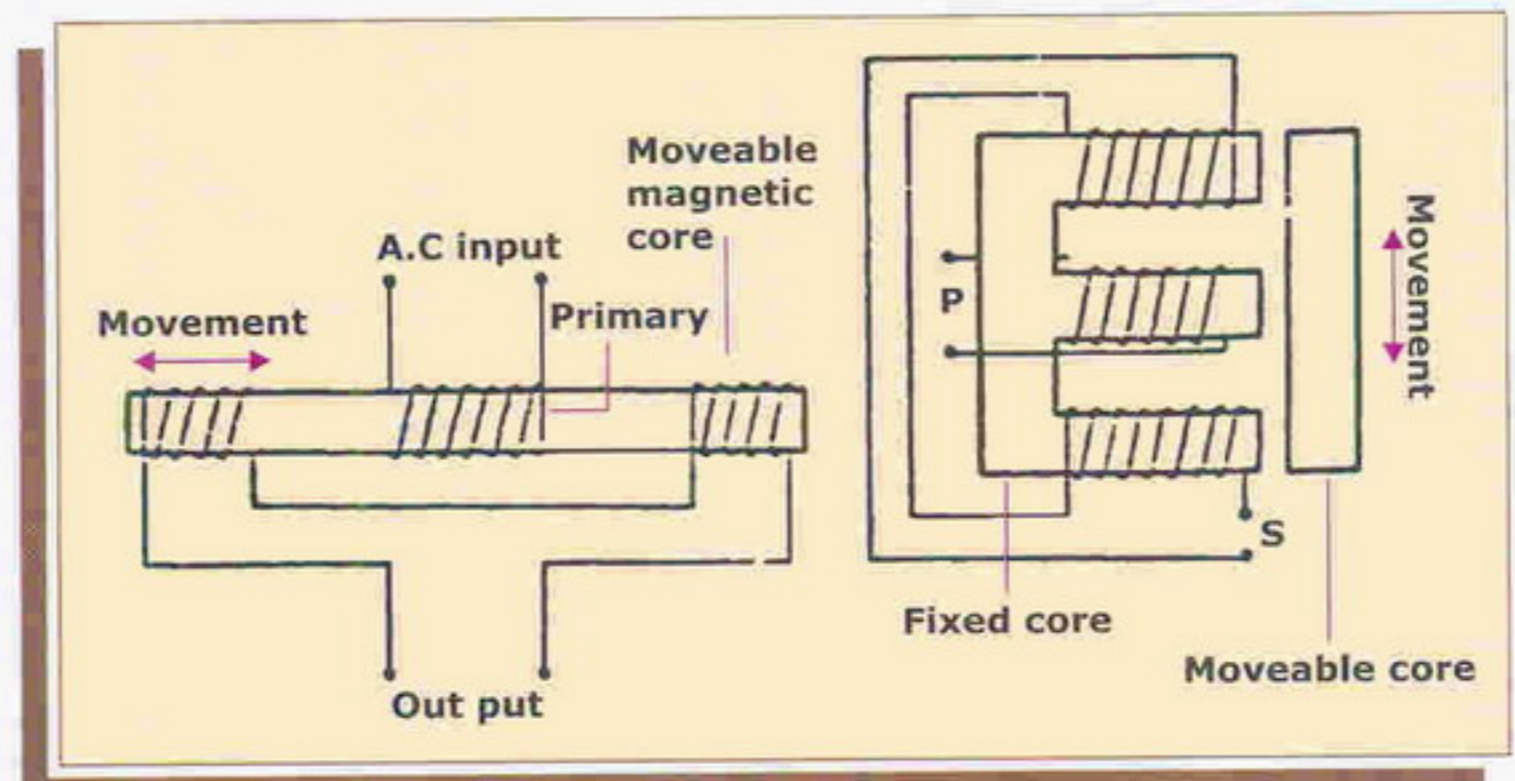


Fig.12: Inductive transduces

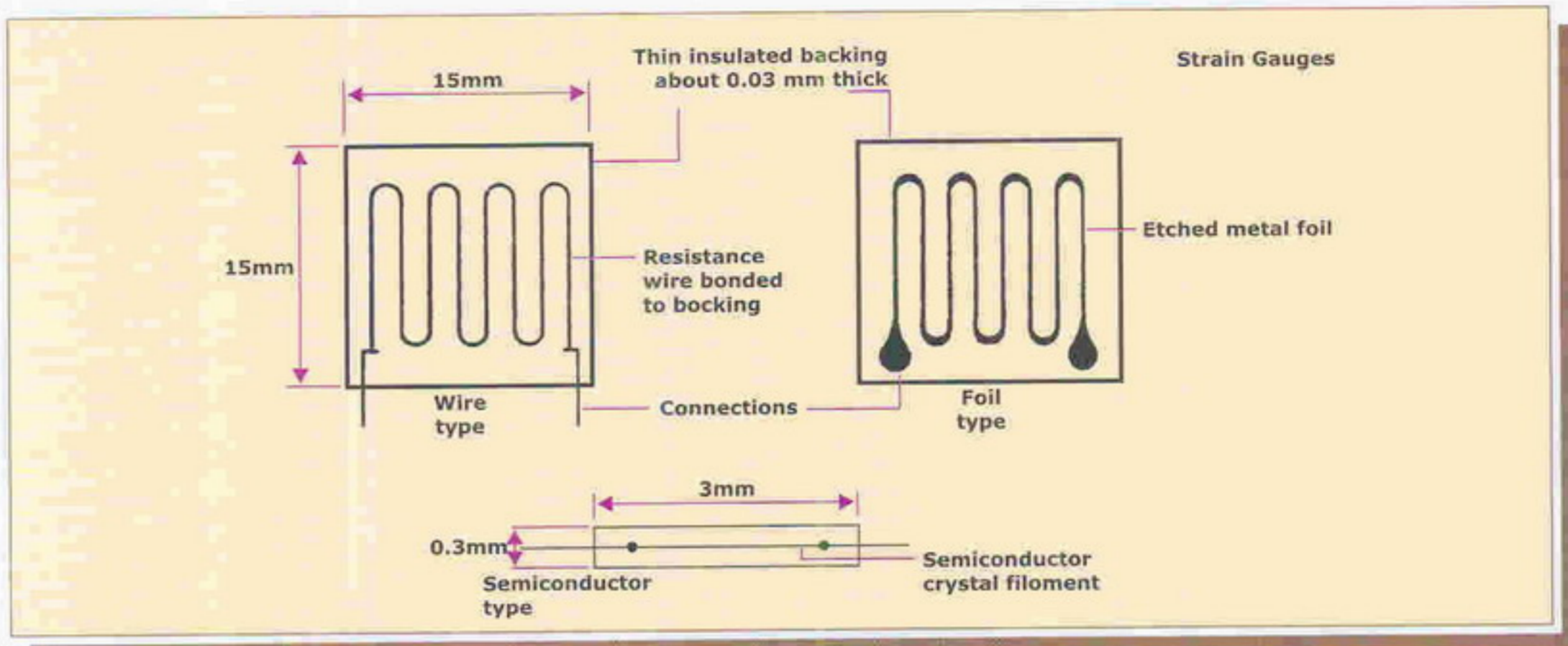
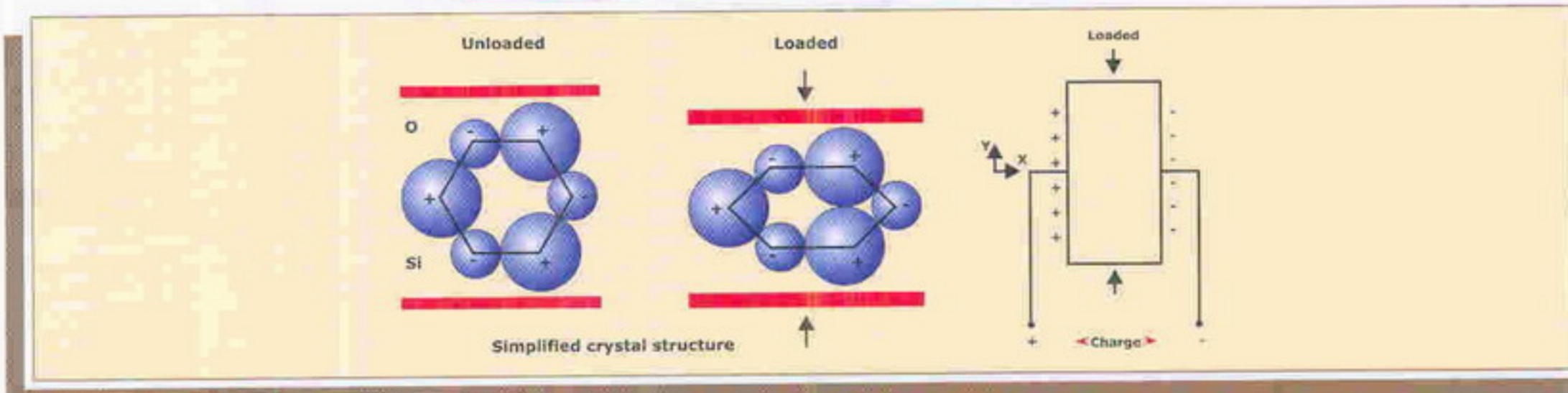


Fig.13: Some typical strain gauges



1-2-5 Piezoelectric Methods

When a piezoelectric crystal is placed between two plate electrodes and pressure is applied we get a differential voltage between them.

This voltage is due to deformation of the crystal under pressure and is called "The piezoelectric effect". As the output voltage rapidly drops, to measure it an amplifier with a high input

impedance is required.

The advantage of this method is that we need no external power supply. the response time is very short so it is suitable for dynamic and peak pressure and is not recommended for constant pressure. among the materials having such property, quartz and a type of ceramic can be mentioned here.

The main application of these crystals is in measuring the pressure changes of high frequency such as that in combustion chamber of motors. as it can be seen in following fig. pressure application in y direction generates electrical change in x direction.

The output voltage of the crystal is obtained by the following formula :

$$E = gtp$$

Where t is the crystal thickness in meter, p is the applied pressure in newton per square meter and g is the voltage sensitivity.

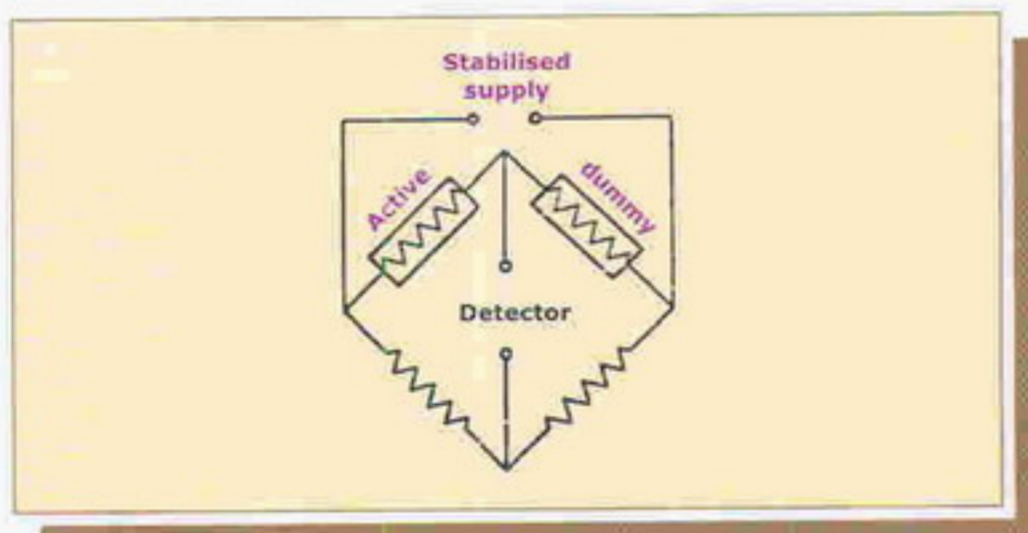


Fig.14: Strain gauge connections

Example: A quartz piezoelectric crystal has the thickness of 2 mm and voltage sensitivity of 0.0557 v.m/n . this crystal is under a pressure of 200 psi.

What is the output voltage ?

$$p=200 \times (6.895 \times 10^3) = 1.38 \times 10^6 \text{ n/m}^2$$

$$t=2 \times 10^{-3} \text{ m}$$

$$e=(0.0557)(2 \times 10^3)(1.38 \times 10^6) = 153.7 \text{ v}$$

1-3 different parts of a pressure gauge (fig.15 and 16)

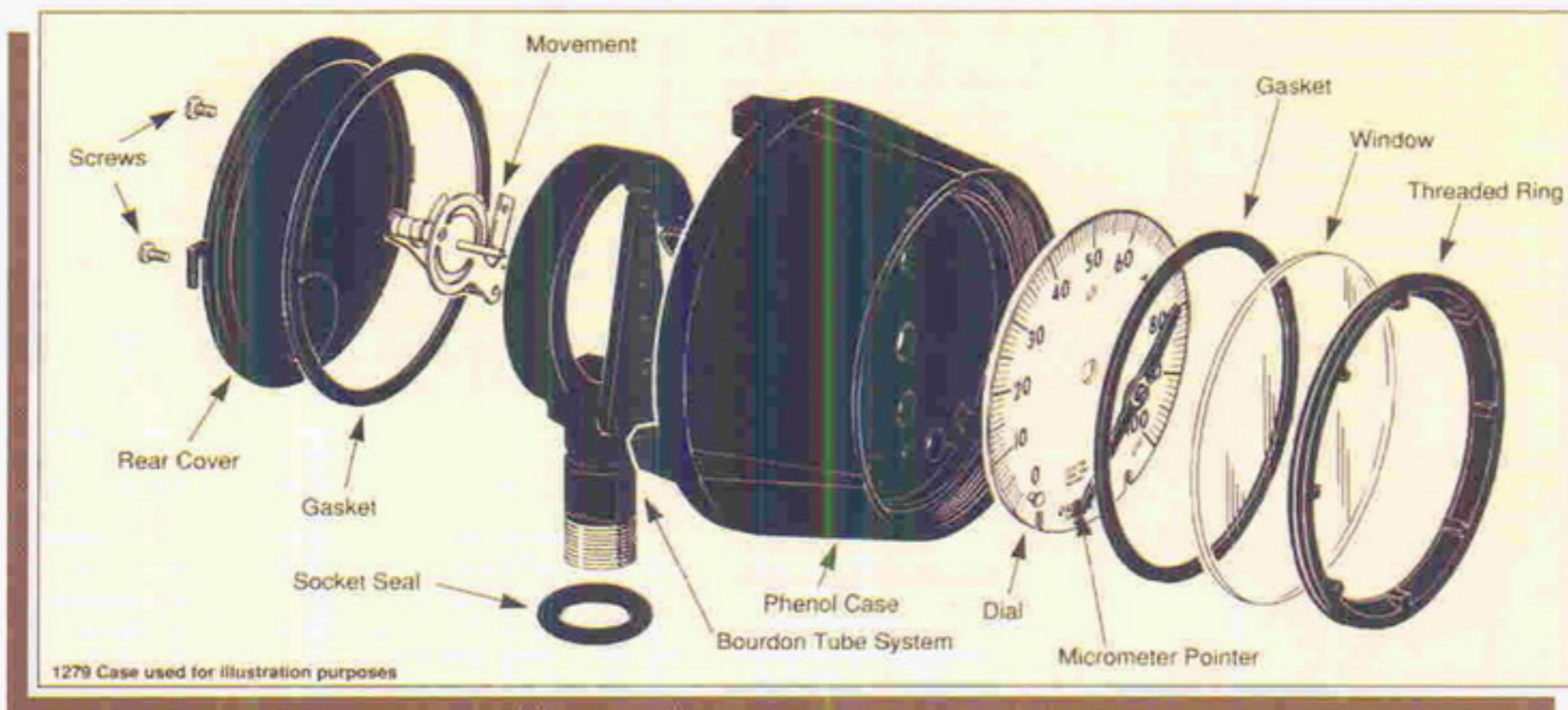


Fig.15

1-4- TECHNICAL SPECIFICATION OF PRESSURE GAUGE

1-4-1- A typical technical spec. of pressure gauge.

Since pressure gauges differ greatly regarding size, material, type and other specification following table is shown as an example.

Dial (4) Size (inches)	Ordering Code	Bourdon Tube & Tip Material (all joints TIG welded except "A")	Socket Material	Tube Type	Range Selectin Limits (psi)	NPT Conn(1)
4.5" , 6" , 8.5"	A	Grade A Phosphor Bronze Brass Tip, Silver Brazed	Brass	C - Tube	12/1000	.25
4.5"	B	4130 alloy steel	1019 steel	C - Tube	15/1500	.25
				Helical	2000/5000	.5
4.5" , 6"	R	316 stainless steel	1019 steel	C - Tube	12/1500	.25
				Helical	20,000	.5
4.5" , 6" , 8.5" , 12"	S	316 stainless steel	316 stainless steel	C - Tube	12/1500	.25
				Helical	2000/20,000	.5
4.5" , 12"	P(2)	K Monel	Monel 400	C - Tube	15/1500	.25
				Helical	2000/30,000	.5

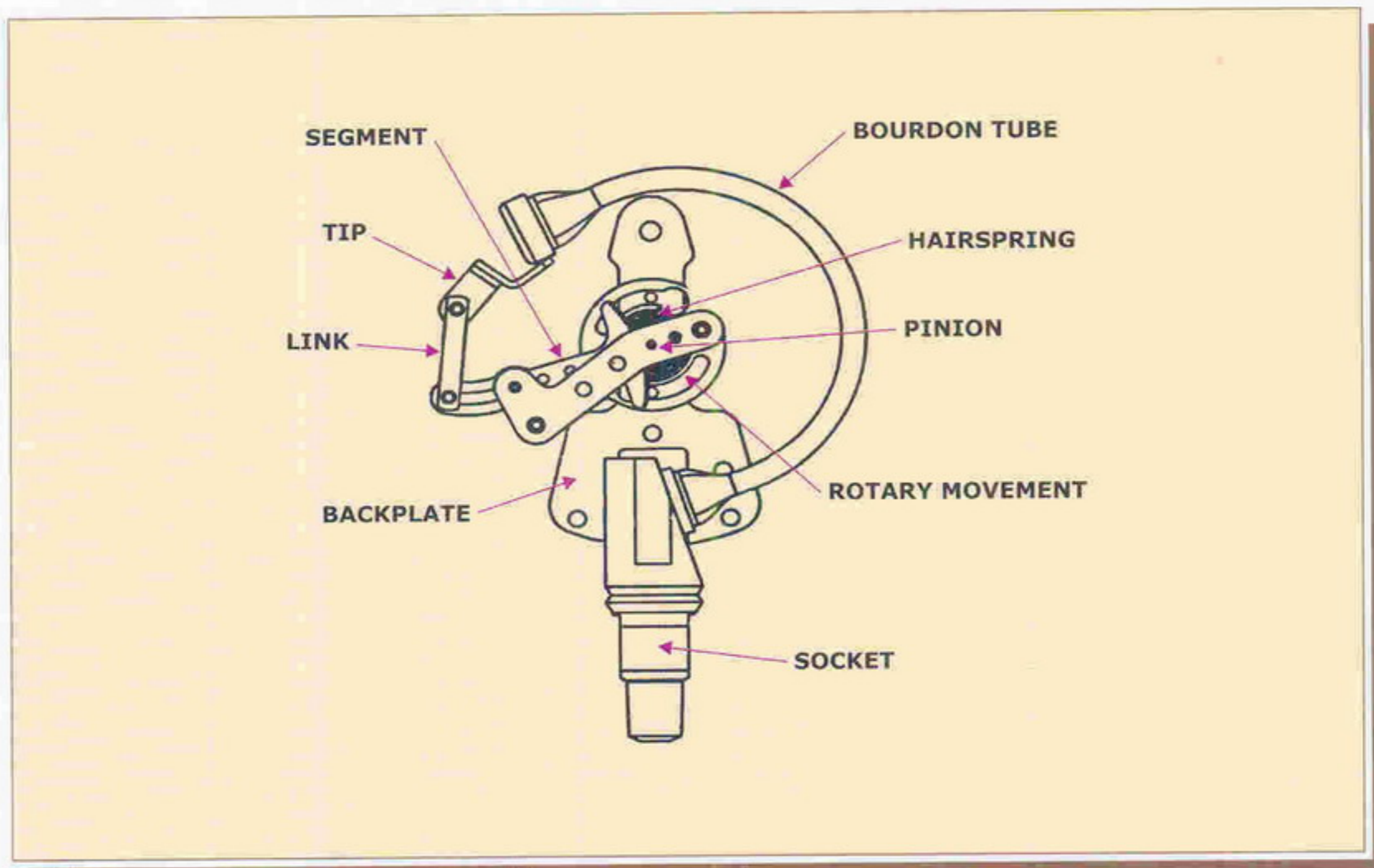


Fig.16

1-4-2- Specification of pressure gauges used in oil industry.

The spec. of these gauges are usually :
Dial size, scale, bourdon tube material, range, and movement, two descriptions are mentioned here relation to two pressure gauges used in oil industry.

A- Press. gauge 100 mm. alum. dial dual scale (kg/cm² and psi). Surface mounting 1/2 inch npt bottom conn, cast iron case, byonet lock. AISI 55316 bourdon tube and movement.

Micrometer adjustable. pointer with safety glass window and blow out disc . scale range and graduation according to BS 1780.

- Range no. 0-25 bar
- No. 0-35 kg/cm²
- No. 0-40 bar
- No. 0-50 kg/cm²
- No. 0- 70- kg/cm²
- No. 0-100 bar

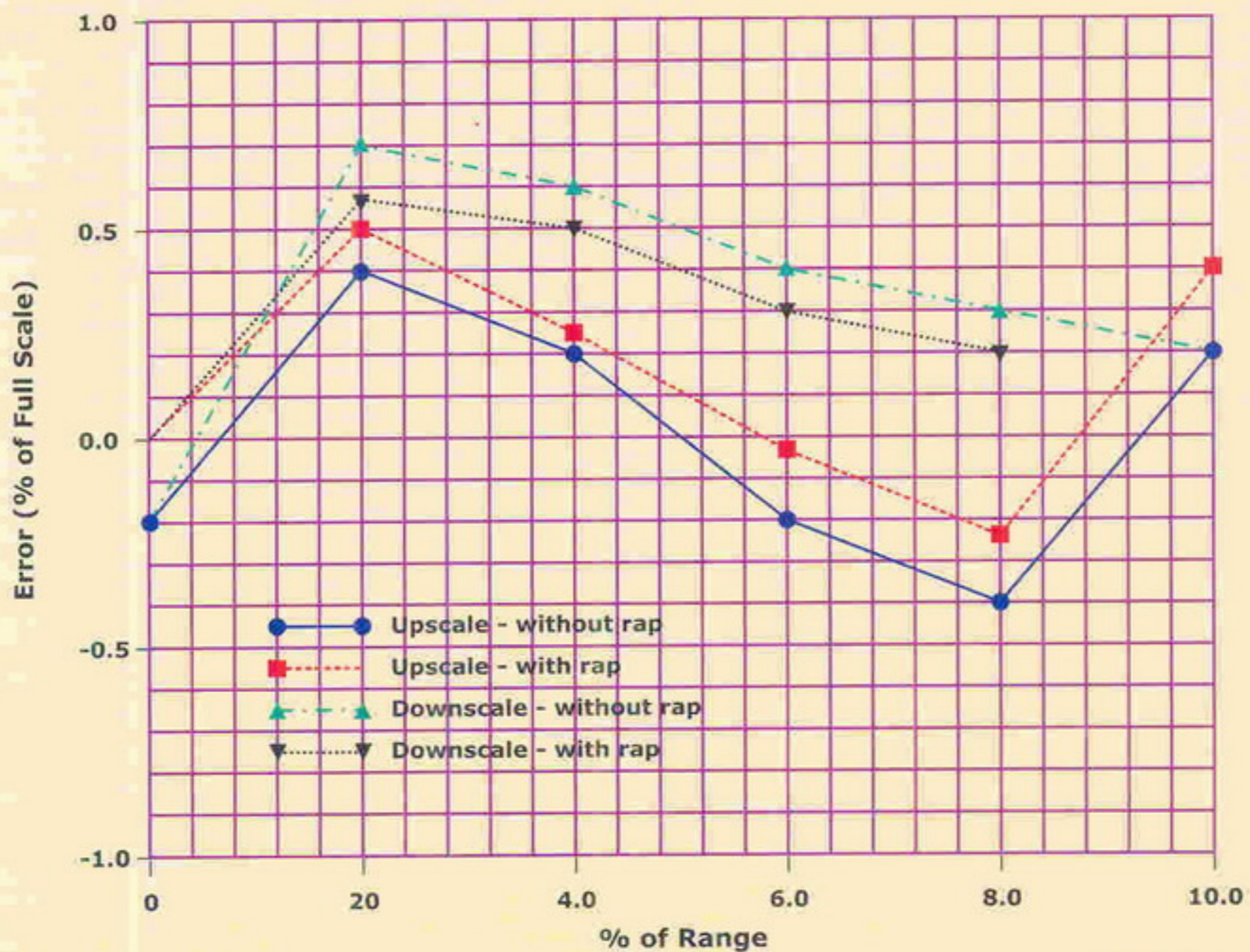
B-press. Gauge 150mm alum. dual scale (bar and psi), surface mounting, 1/2 in., npt bottom conn., 304 5.s. bayonet lock, aisi ss.316 bourdon tube and movement, micrometer adjustable pointer with safety glass window and blow out disc, scale range: no 0-1 bar to 0-400.

**1-5-2- TYPICAL CALIBRATION CHART
INDICATED VALUE (PSI)**

True Value- PSI	Increasing - Without RAP	Increasing - With RAP	Decreasing - Without RAP	Decreasing - With RAP
0	-.4	0	-.4	0
40	+.8	+1.0	+1.4	+1.1
80	+.4	+.5	+1.2	+1.0
120	-.4	-1.0	+.8	+.6
160	-.8	-.5	+.6	+.4
200	+.4	+.8	+.4	+.4

ERROR (% OF FULL SCALE)

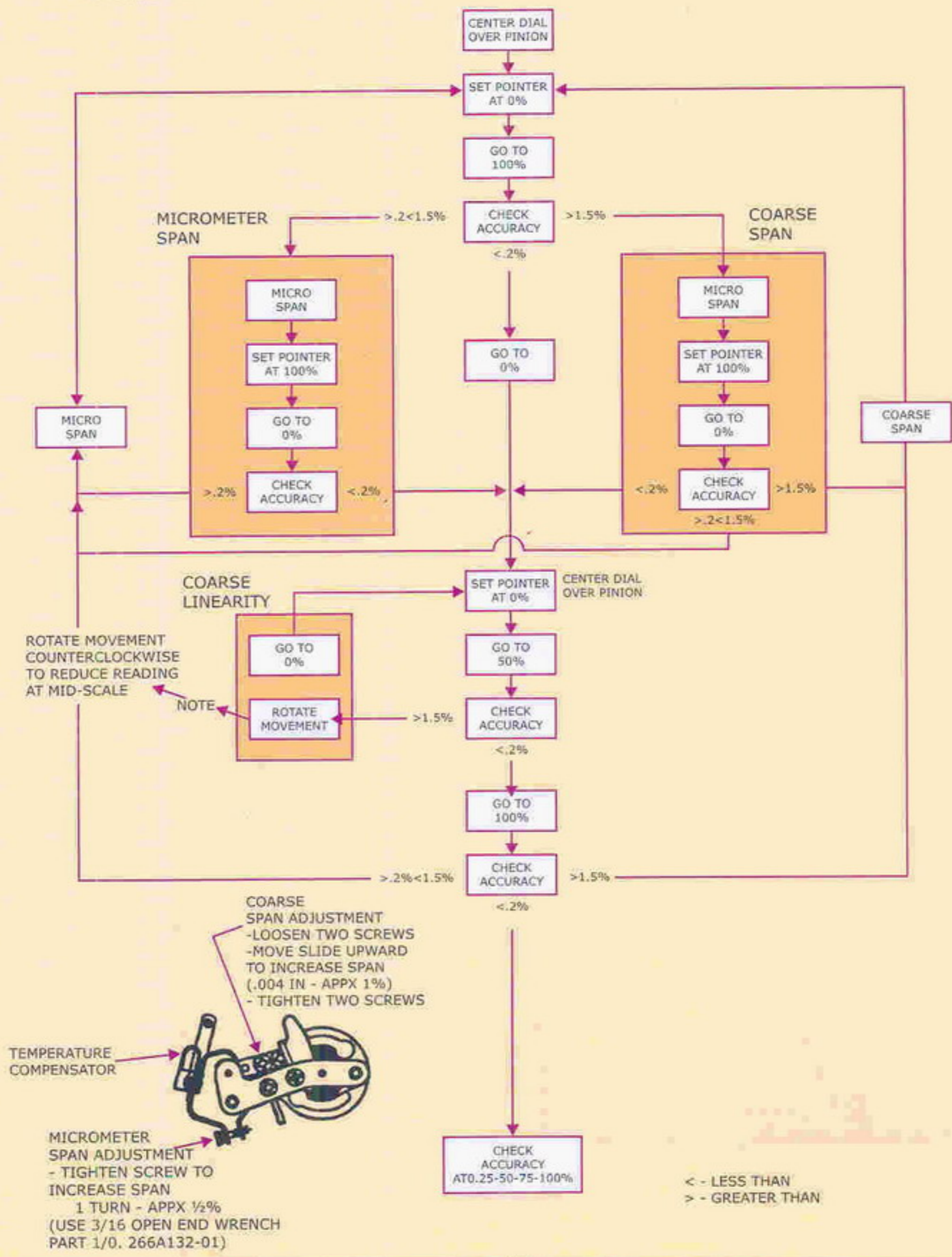
True Value- % Of Range	Increasing - Without RAP	Increasing - With RAP	Decreasing - Without RAP	Decreasing - With RAP
0	-.20	0	-.20	0
20	+.40	+.50	+.70	+.55
40	+.20	+.25	+.60	+.50
60	-.20	-.05	+.40	+.30
80	-.40	-.25	+.30	+.20
100	+.20	+.40	+.20	+.20



1-5- Calibration

1-5-1- TEST GAUGE CALIBRATION PROCEDURE

THIS TEST GAUGE IS PROVIDED WITH A MICROMETER SPAN ADJUSTMENT. TO SIMPLIFY CALIBRATION, THE FLOW CHART BELOW OUTLINES THE RECOMENDED CALIBRATION PROCEDURE.



1-6- Required quantity and foreign manufacturers

1-6-1- Yearly requirement to be made locally at present country's yearly requirement to pressure gauges in different sizes and ranges is about 5000 units which is reasonable to be manufactured locally regarding its quantity. Standards for pressure gauges used in oil industry are BS and ANSI.

1-6-2- Manufacturers

A number of press. gauge manufacturers are listed in the following table.

COMPANY NAME	COUNTRY
1 WIKA ALEXANDER WIEGAND GMBH	GERMANY
2 BOURDON HAENNI	FRANCE
3 BUDENBERG GAUGE	ENGLAND
4 SPRIANO S.P.A.	ITALY
5 FISHER ROSEMOUNT	ENGLAND
6 METRA INSTRUMENTS	SWITZERLAND
7 BADOTHERM PROCES INSTRUMENTATIE B.V.	HOLLAND
8 DRESSER EUROPE GMBH (ASHCROFT)	GERMANY
9 TECSIS GMBH	GERMANY
10 BRISTOL BABCOCK	ENGLAND
11 KLAUS FISCHER GMBH & CO. KG.	GERMANY
12 STEWART BUCHANAN GAUGES LTD	ENGLAND

2-1- Thermocouple

In 1821 a German physicist, Seebeck, discovered that if two different metal wires are joined at both ends and the ends are in different temperatures a current circulates in the circuit. suppose two wires one iron and the other copper are welded at both ends like the following fig. and subject one end to a temp. higher than the other, an electromotive force proportional to the temp. difference is generated.

In case of two junctions being in the same temperature then the emf at two ends are neutralized and no current passes in the circuit. according to the thermocouple standard the cold junction is called the reference junction and its temp. is taken as zero degree centigrade and the hot junction is called the measuring junction. (fig.17).

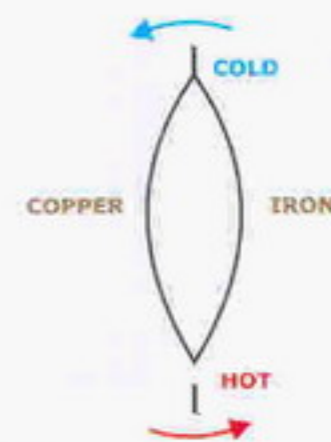


Fig.17



2-2- Industrial thermocouple

(fig.18,19,20)

Thermocouples manufactured for industrial application are of metals having the following properties.

- A- High emf generation in higher temperatures.
- B- Available in big quantities in order to be changed without re adjustment.

C- Not melted in max. possible temp.

To keep the thermoelectric force constant, the thermocouple should be warmed up to the Max. temp. before putting it in use. to avoid wires electrical conductance drop and so avoiding errors in results, thermocouple should be exactly fixed in the desired location.

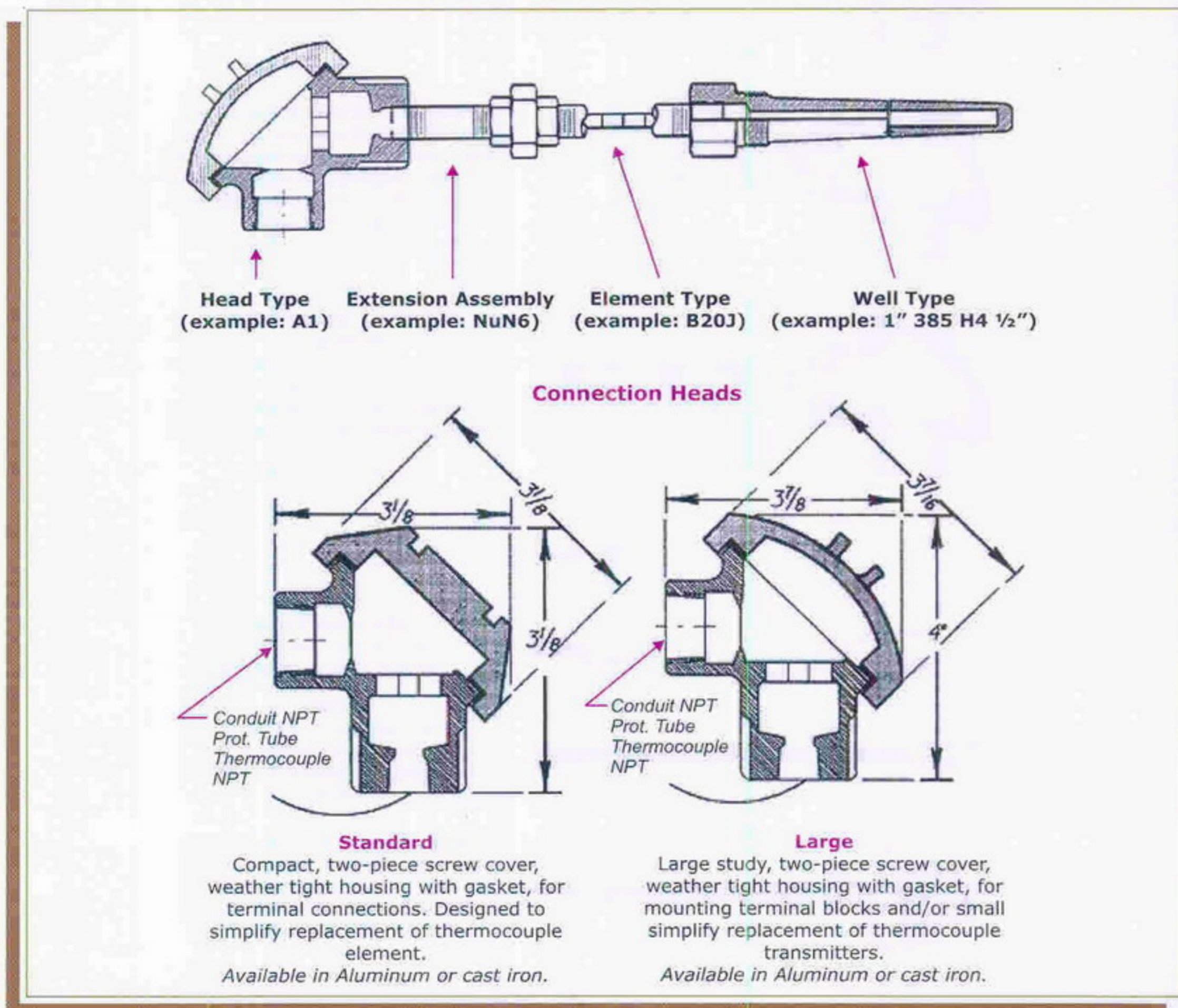
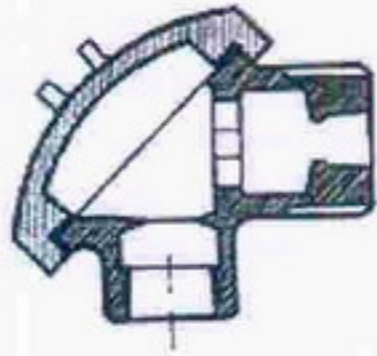
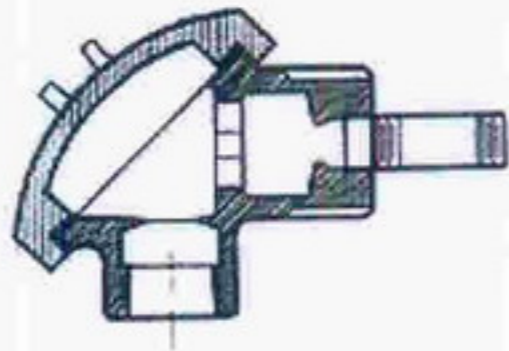


Fig.18

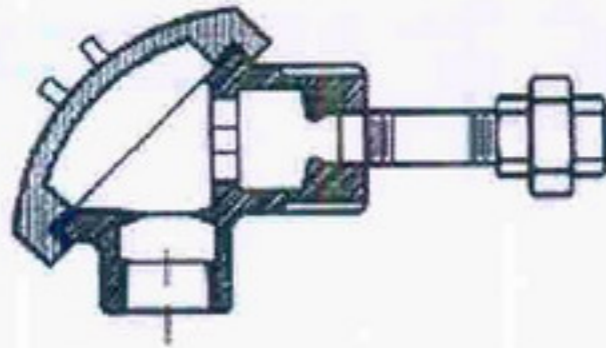
Standard Extension Assembly



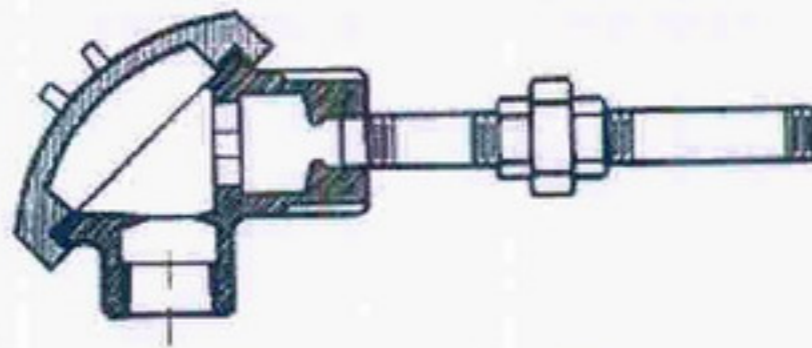
Direct Assembly
Connecting head on thermowell.
Specify Head Number
Example: A1



Nipple Extension
Threads directly into connection head and thermowell. Available in any length. Specify head and letter N and Nipple length in inches.
Example: A1-N3



Nipple / Union Extension
One nipple threaded into head and connected to thermowell by union. Available in any length. Specify head and letter NU and length in inches.
Example: A1-NU4



Nipple / Union Nipple Extension
Two nipples one threading into head and connected by union. Available in any length. Specify head and letter NUN and length in inches.
Example: A1-NUN6

Elements



Beaded Type
"B" Single, "BD" Dual wires with insulators



MGO
"M" Single, "MD" Dual Wires with compacted ceramic insulation in 304SS sheath*



MGO Spring Loaded Type
"MS" Single, "MDS" Dual Wires with compacted ceramic insulation in 304SS sheath* for spring loading.

Fig.19



Type	Application	Materials	Size	Welding	Cap & Chain
Standard Threaded Well for 3/8" Dia. Elements	Standard length, 3/8" stem, bi-metal thermometers. #14 gauge thermocouple elements. Armored liquid-in-glass test thermometers. Other temperature sensing elements having .377" max. dia.	Brass (ASTM B-16); Carbon Steel (C-1018); AISI 304; AISI 316; Monel. Wells are also available in special materials upon request.	3/4 NPT and 1" NPT standard; other thread sizes upon request.	n/a	Brass captive cap is available for keeping well bore clean when not in use.
Heavy Duty Threaded Well for 3/8" Dia. Elements	Standard length, 3/8" stem, bi-metal thermometers. #14 gauge thermocouple elements. Armored liquid-in-glass test thermometers. Other temperature sensing elements having .377" max. Dia.	Brass (ASTM B-16); Carbon Steel (C-1018); AISI 304; AISI 316; Monel. Wells are also available in special materials upon request.	1" NPT standard; other thread sizes upon request.	n/a	Brass captive cap is available for keeping well bore clean when not in use.
Standard Threaded Well for 1/4" Dia. Elements	Standard length, 1/4" stem, bi-metal thermometers. #20 gauge thermocouple elements. Unarmored liquid-in-glass test thermometers. Other temperature sensing elements having .252" max. Dia.	Brass (ASTM B-16); Carbon Steel (C-1018); Stainless Steel AISI 304; AISI 316; Monel. Wells are also available in special materials upon request.	1/2" NPT. 3/4 NPT and 1" NPT standard; other thread sizes upon request.	n/a	Brass captive cap is available for keeping well bore clean when not in use.
Heavy Duty Threaded Well for 1/4" Dia. Elements	Standard length, 1/4" stem, bi-metal thermometers. #20 gauge thermocouple elements. Unarmored liquid-in-glass test thermometers. Other temperature sensing elements having .252" max. Dia.	Brass (ASTM B-16); Carbon Steel (C-1018); Stainless Steel AISI 304; AISI 316; Monel. Wells are also available in special materials upon request.	3/4 NPT and 1" NPT standard; other thread sizes upon request.	n/a	Brass captive cap is available for keeping well bore clean when not in use.
Flanged Thermowells for 1" and 1 - 1/2" Dia. Elements	260F series fits std. length 1/4" dia. elements; 385F series fits std. length 3/8" dia. Elements	Flanges and wells made of Carbon Steel (C-1018), AISI 304, AISI 316 and Monel are available for quick delivery. Other materials available.	1" NPT standard; other thread sizes upon request.	Primary weld is "J" groove type, secondary weld is 45° bevel groove. Welding is performed using inert gas shielded arc.	Brass captive cap is available for keeping well bore clean when not in use.

Fig.20

2-3- A typical technical specification of thermocouple

Type	Conductor Materials (and alternative name)	EMF Specification	Tolerance Classes (accordance to BS EN 60584 part 2)		
			Tolerance Class 1	Class	Tolerance Class 3
K	Nickel Chromium/ Nickel Aluminium (Chromel/Alumel)	BS EN 60584 part 1 ASTM E230/IEC 584 part 1	0 to 375°C, ± 1.5°C 0 to 1000°C, ± 0.004. Itl	-40 to 333°C, ± 2.5°C 333 to 1200°C, ± 0.0075. Itl	-167 to 40°C, ± 2.5°C -200 to -167°C, ± 0.015 Itl
J	Iron/Constantan (Iron/Copper-Nickel) (Fe/Con)	BS EN 60584 part 1 ASTM E230/IEC 584 part 1	0 to 375°C, ± 1.5°C 0 to 1000°C, ± 0.004. Itl	-40 to 333°C, ± 2.5°C 333 to 750°C, ± 0.0075. Itl	—
T	Copper/Constantan (Copper/Copper/ Nickel (Cu/Co)	BS EN 60584 part 1 ASTM E230/IEC 584 part 1	0 to 125°C, ± 0.5°C 0 to 350°C, ± 0.004. Itl	-40 to 133°C, ± 1°C 133 to 350°C, ± 0.0075. Itl	-67 to 40°C, ± 1 HC -200 to -67°C, ± 0.015 Itl
N	Nicrosil/Nisil	BS EN 60584 part 1 ASTM E230/IEC 584 part 1	0 to 375°C, ± 1.5°C 0 to 1000°C, ± 0.004. Itl	-40 to 333°C, ± 2.5°C 333 to 1200°C, ± 0.0075. Itl	-167 to 40°C, ± 2.5°C -200 to -167°C, ± 0.015 Itl
R	Platinum/13% Rhodium-Platinum	BS EN 60584 part 1 ASTM E230/IEC 584 part 1	0 to 1100°C, ± 1°C 0 to 1600°C, ± [1+0.0003(t-1100)]°C	0 to 600°C, ± 1.5°C 600 to 1600°C, ± 0.0025. Itl	—
S	Platinum/10% Rhodium-Platinum	BS EN 60584 part 1 ASTM E230/IEC 584 part 1	0 to 1100°C, ± 1°C 0 to 1600°C, ± [1+0.0003(t-1100)]°C	0 to 600°C, ± 1.5°C 600 to 1600°C, ± 0.0025. Itl	—
B	Platinum/30% Rhodium/ Platinum -6% Rhodium	BS EN 60584 part 1 ASTM E230	600 to 800°C ± 4 °C	600 to 800°C ± 4 °C	600 to 800°C ± 4 °C



2-4- yearly requirement

to be manufactured locally

At present the country's need to the industrial thermocouple is about 3000.

This quantity justifies the local manufacturing of this device.

2-5- Standard

Thermocouples in oil industry are usually to BS standard.

2-6- Foreign Manufacturers

Some of the thermocouple manufactures in the world are listed in the following table:

COMPANY NAME	COUNTRY
1 BARTON INSTRUMENT SYSTEMS LTD	U.K.
2 SOLARTRON ISA	U.K.
3 YOKOGAWA ELECTRIC CORP	JAPAN
4 RUEGER SDN. BHD ASIA HEAD QUARTERS	MALAYSIA
5 METRA INSTRUMENTS S.A.	SWITZERLAND
6 HONEYWELL	ITALY
7 THERMO ELECTRIC EUROPE	HOLLAND
8 BADOTHERM PROCES INSTRUMENTATIE B.V	HOLLAND
9 ABB INSTRUMENTATION SPA	ITALY
10 BRISTOL BABCOCK LTD	U.K.
11 KLAUS FISCHER GMBH & CO.KG	GERMANY
12 ABB LTD	U.K.
13 BICC GENERAL PYROTENAX	U.K.

3-TEMPERATURE MEASUREMENT USING THERMOCOUPLES

3-1- Thermocouple effect

Figure 21 shows a thermocouple junction formed by joining two metals T A and B. The voltage across the thermocouple junction depends on the materials of metals used and the temperature of the Junction. The mechanism responsible for this voltage is quite complicated, however, there are certain phenomenological results which make the effect useful for measuring temperature. One of these results is that the voltage is approximately linear with temperature.

3-2- Productivity and Band Theory

To understand the thermocouple (Seebeck) effect, first one has to study the microstructure of a metal and of the component atoms from the crystal lattice.

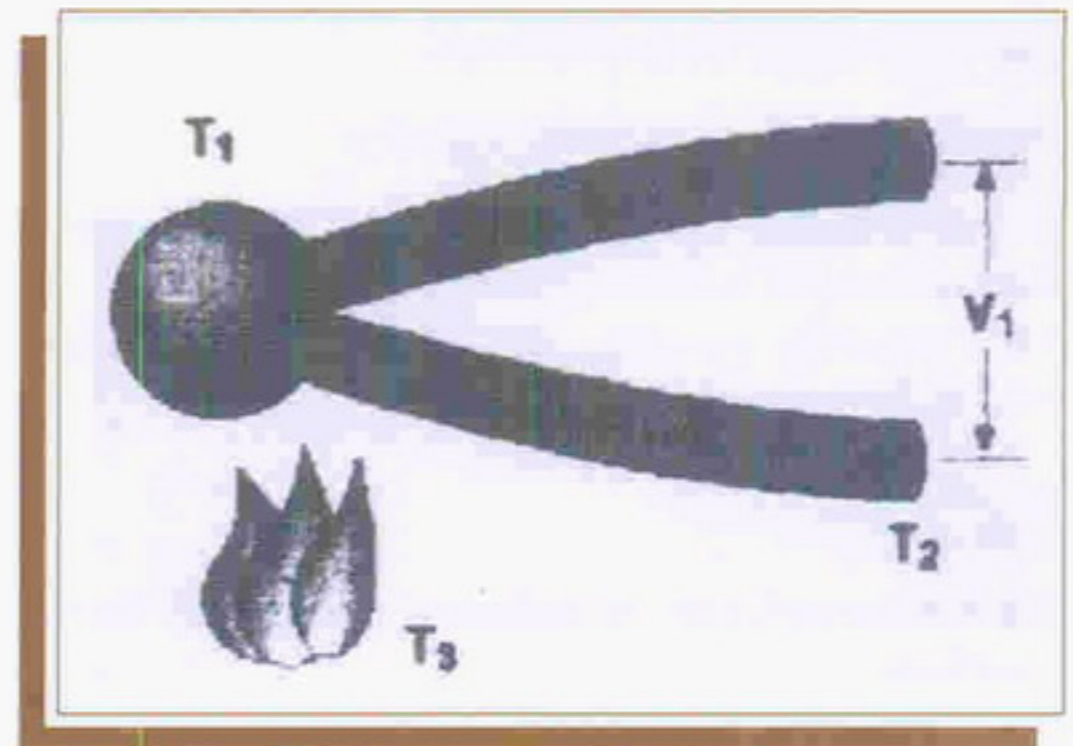


FIG. 21

Atomic structure, postulated by Bohr and modified by Schrodinger and Heisenberg, states that the atoms must revolve around the nucleus, with the electrostatic attraction toward the nucleus being balanced by the centrifugal force of the motion of the electrons in their orbits. The solution of Schrodinger wave equation defined discrete energy levels which an electron may occupy without loss of energy.

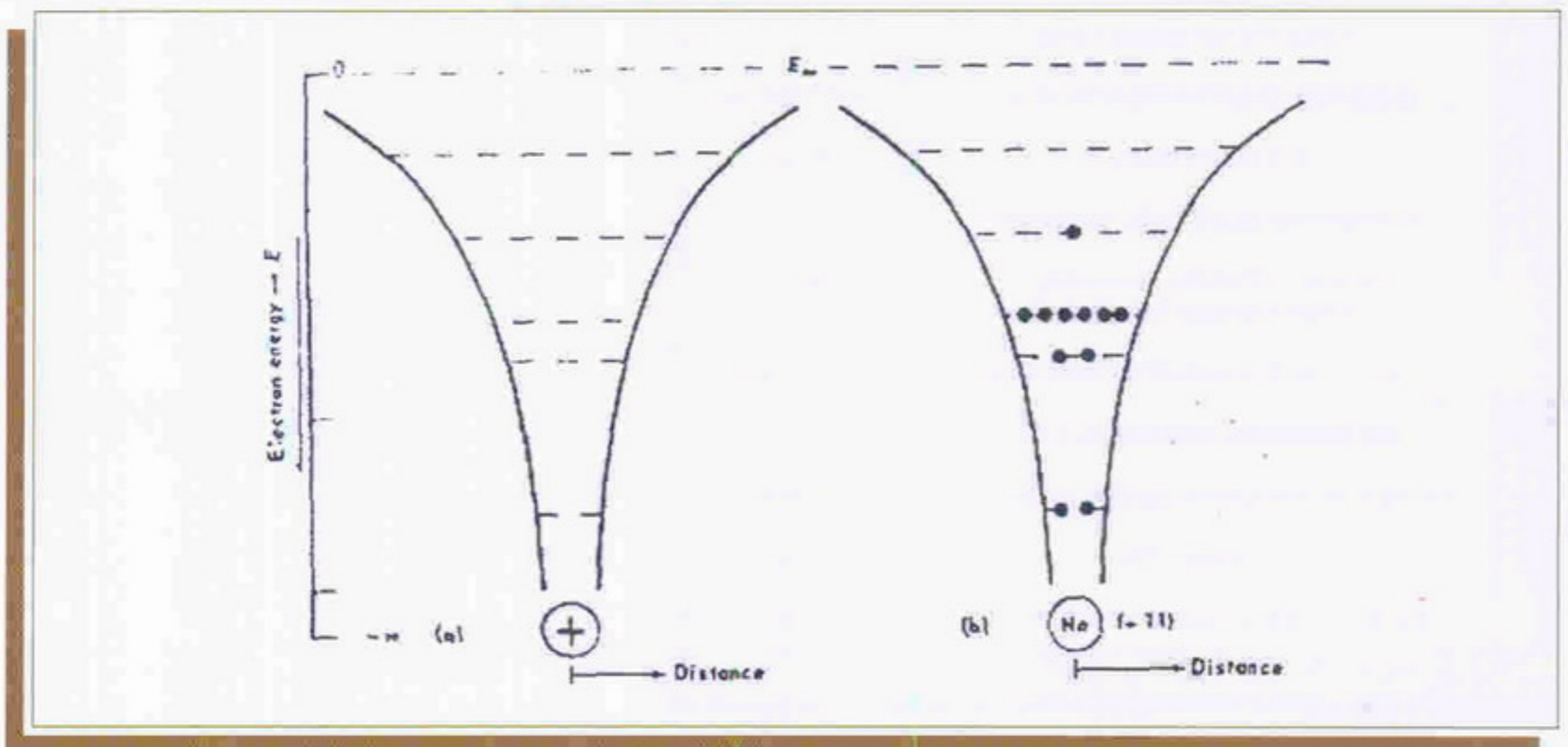


FIG. 22

Figure 22(9) depicts energy level scheme for an atom at room temperature. The energy scale shows negative values for the electron energy; they increase numerically as the electron nears the nucleus. The dotted lines represent discrete stable configurations where the electrostatic attractions (forces) of the nucleus for an electron are balanced by centrifugal forces. In Figure 22(6) are schematically indicated the first five energy levels for a sodium atom with 11 electrons in the orbital structure. The electrons in the first three levels, being closer to the nucleus, have lower (more negative) potential energies as a result of greater electrostatic attraction to the nucleus. The single electron in the , fourth level, being much farther from the nucleus and therefore least tightly held, has the highest energy and is most easily removed. This single electron in the upper level is known as the valence electron.

The allowed energy levels for a single atom broaden into bands when many atoms forms a periodic array. In Figure 23 is shown what happens when a large number of sodium atoms are combined to form crystal of sodium metal.

The inner, completed levels are very tightly bound to their nuclei and are virtually unaffected by the presence of the other atoms in the lattice. The outermost shells, whether they overlap or whether they are completely filled or not, play a significant role in electron transport phenomena. Consequently, a valence electron may easily leave its parent atom and wander freely through the crystal.

In the preceding paragraphs was presented the existence of levels of discrete energy at varying distance from the nucleus. The spaces between these levels which never contain electrons (conduction bands) are known as forbidden gaps. It is possible for an electron of lower energy to move up into an unoccupied state at a higher level, but this process requires the absorption of energy by the electron in a quantity equivalent to the difference in energy between the two levels. This energy absorption may take the form of thermal excitation. Consider the sodium metal whose atoms have completed inner bands and the valence (outer) bands are incompletely filled: The application of normal thermal energy can excite the electrons

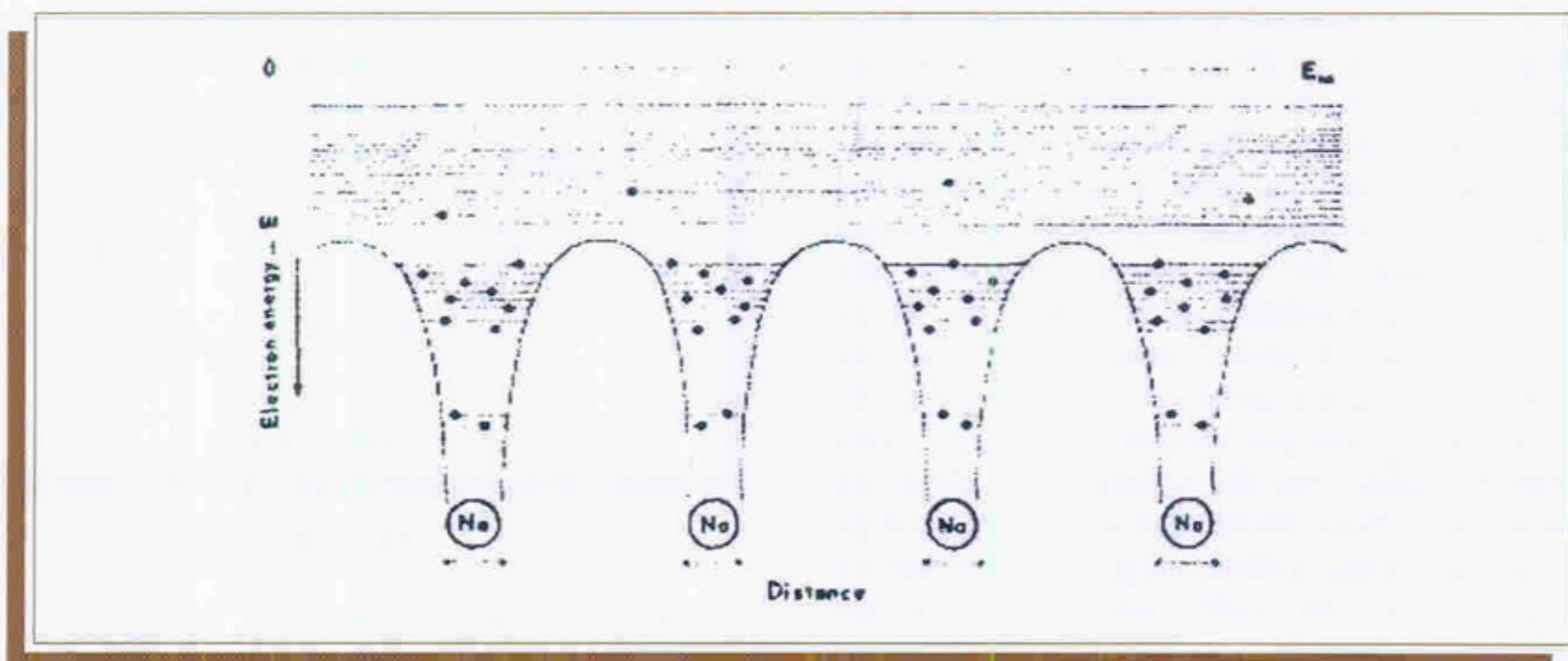


FIG. 23

Jump to the next outer, completely vacant (conduction) band and enter in the physical process of conduction.

Much depend upon the extent of the energy gap between valence and conduction bands. If the gap is very large, the element will be an insulator. This results from the fact that low energies cannot cause the valence electrons to jump across the energy gap and occupy states in the bottom of the unfilled conduction bands and to engage in the conduction process. If the gap is very small or the bands are overlapped, the element is a conductor. The more electrons that enter into this process, the better the conduction becomes. The resulting "holes" (absence of electrons) in the valence band also can enter in a "conduction" process.

3-3- Thermocouple effect

If a conductor is heated at one end, the mechanism giving rise to a thermoelectric current is that the electrons at the "hot" end (hot Junction) will acquire increased thermal energy relative to those at the "cold" end (cold or reference junction). The electrons from the hot end will diffuse to the cold end where their energy may be lowered. This is essentially the manner in which heat is conducted in a metal and is accompanied by the accumulation of negative charge at the cold end, thus setting up an electric field or a potential difference between the ends of the material. This electric field will build up until a state of dynamic equilibrium is established between the electrons urged down the temperature gradient and electrostatic repulsion due to the excess of charge at the cold end. The number of electrons passing through a cross section normal to the direction of flow per second in both directions will be equal, but the velocities of electrons proceeding from the hot end will be higher than those velocities of electrons passing through the section from the cold end. This difference ensures that there is a continuous transfer of heat (i.e. thermal conduction) down the temperature gradient without actual charge transfer once

dynamic equilibrium is set up. This phenomenon may be considered to be a basic thermoelectric effect.

If the potential difference so created is to be measured, electrical connections must be made to either end of the metal, thus setting up a similar temperature gradient in the complete detecting system, and this will contribute its own thermoelectric emf to the circuit. If the entire detecting circuit is made of the same material as that under test, a symmetrical circuit will result and no net emf will be detected. Therefore, in order to measure thermoelectric emf unsymmetrical circuits of at least two different materials must be constructed, as stated earlier about thermocouples.

3-4- Additional Junctions

A problem arises when measuring the voltage across a dissimilar metal junction -two additional thermocouple junctions form where the wires connect to the voltmeter (Figure 24). If the wire leads which connect to the voltmeter are made of alloy "C", then there exist thermal EMFS at the A-C and B-C junctions. There are two approaches to solve this problem: use a reference junction at a known temperature, or make corrections for the thermocouples formed by the connection to the voltmeter.

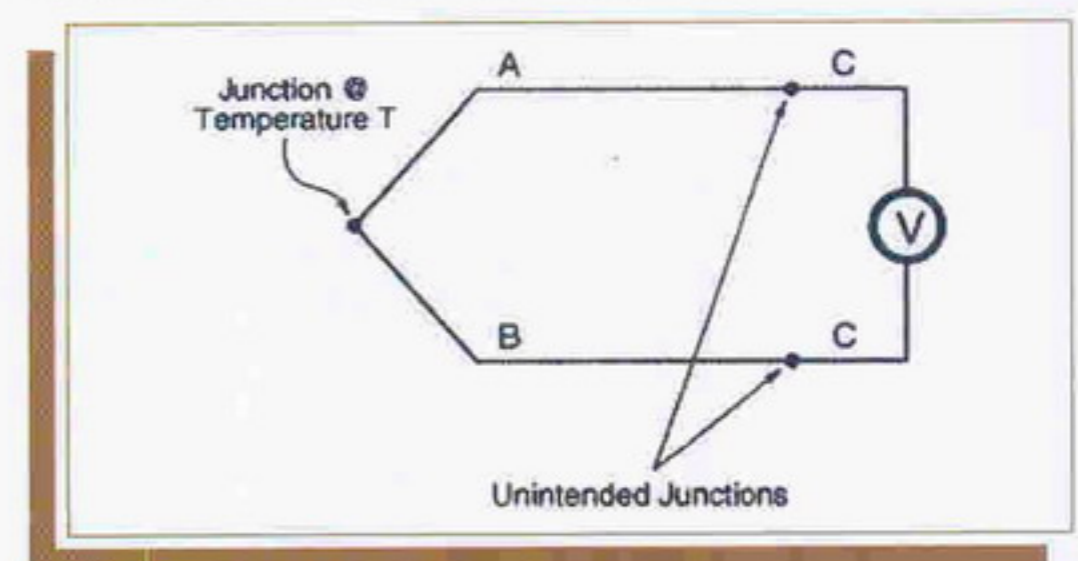


FIG. 24

Figure 25 shows the use of a "reference" or "compensating" junction. With this arrangement, there are still two additional thermocouple junctions formed where the



compensated thermocouple is connected to the voltmeter. However, the junctions are identical (they are both junctions between alloys A and C). If the junctions are at the same temperature, then the voltages across each junction will be equal and opposite, and will not affect the measurement. Typically, the reference junction is held at $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ (by an ice bath, for example) so that the voltmeter readings may be used to look up the temperature.

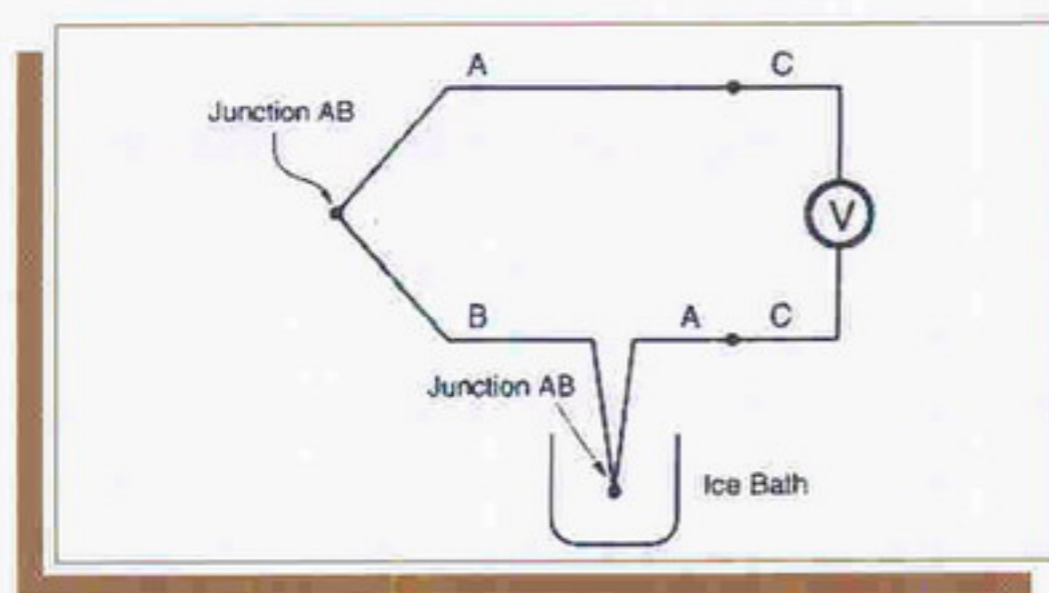


FIG. 25

3-5- Compensation Without Reference Junctions

The second approach to the problem relies on the fact that the 'voltage across the junction A-C plus the voltage across the junction C-B is the same as the voltage across a junction of A-B. As long as all the junctions are at the same temperature, the presence of an intermediate metal (C) has no effect. This allows us to correct for the voltage seen by the voltmeter in Figure 24 by measuring the temperature at the A-C and B-C junctions and subtracting the voltage which we would expect for an A-B junction (at the measured temperature). In the SR630 the temperature of the A-C and C-B Junctions are measured with a low cost, high resolution semiconductor detector, and the subtracted voltage is the tabulated voltage of the A-B thermocouple at the measured temperature of the A-C and C-B junctions. The advantage of this method is that any type thermocouple may be used without having to change compensation

junctions or maintain ice baths.

3-6- Characteristics of Thermocouple Types

Any two dissimilar metals may be used to make a thermocouple. Of the infinite number of thermocouple combinations which can be made, the world has standardized seven types which exhibit a range of desirable features. These 'thermocouple' types are known by a single letter designation: J, K, T, E, R, S or B. While the composition of these thermocouples are international standards, the colour codes of the wires are not. For example, in the USA, the negative lead is always red, while the rest of the world uses red to designate the positive lead. Often, the standard thermocouple types are referred to by their trade names. For example, K type is sometimes called Chrome-Alum, which is the trade names of the Ni-Cr and Ni-Al wire alloys.

It is important for a good thermocouple to have a large, stable Seebeck coefficient, wide temperature range, corrosion resistance, etc. Generally, each wire of the thermocouple is an alloy. Variations in the alloy composition and the condition of the junction between the wires are sources of error in temperature measurements. The standard error of thermocouple wire varies from $+0.8\text{ }^{\circ}\text{C}$ to $+4.4\text{ }^{\circ}\text{C}$, depending on the type of thermocouple used.

Voltage vs. temperature measurements have been tabulated by NIST for each of the seven standard thermocouple types. These tables are stored in the read-only memory of the SR630. The instrument operates by converting a voltage measurement to a temperature, with the internal microprocessor interpolating to achieve $0.1\text{ }^{\circ}\text{C}$ resolution.

The K type thermocouple is recommended for most general purpose applications. It offers a wide temperature range, low standard error, and has good corrosion resistance. The K type thermocouples provided by SRS have a standard error of $1.1\text{ }^{\circ}\text{C}$, half the standard error designated for this type.