

ترانسدیوسرهای نیرو (Force transducers)

در کنترل نیرو و سرو سیستم ها اندازه گیری نیرو خیلی اهمیت دارد. رشته خاصی از مهندسی (آنالیز عملی تنش) برای محاسبه نیروهای اعمال شده به قسمتهای مختلف ماشین و یا وسایل نقلیه بوجود آمده است. اندازه گیری دقیق نیرو، طراحی ماشین های (شامل اتومبیل ها و وسایل نقلیه فضایی) سبک تری را میسر می سازد. همچنین می توان به بهره بالاتر، قابلیت اطمینان بیشتر و قیمت کمتر و از سوی دیگر، به کارایی بالاتری نیز برای این ماشین ها رسید.

با اندازه گیری نیرو می توان مقدار پارامترهایی را که امکان اندازه گیری مستقیم آنها وجود ندارد، به دست آورد. در میدان ثقل زمین، نیرو اندازه ای از جرم ماده است. بنابراین می توان از ترانسدیوسر های نیرو برای تعیین وزن ، مقدار ماده موجود در یک تانک و سطح آن استفاده کرد.

فشار یکی از پارامترهای کلیدی در سیستم های هیدرولیک و پنوماتیک است. فشار مساویست با نیرو در واحد سطح است، بنابراین تکنیکهای اندازه گیری نیرو غالباً برای اندازه گیری فشار نیز استفاده میشوند.

فشار در سطح یک روزنه، نشان دهنده سرعت مایعی است که از داخل آن روزنه عبور می کند. بنابراین ترانسدیوسرهای نیرو برای اندازه گیری جریان (Flow) نیز استفاده می شوند.

اگر نیروی اعمال شده به یک جرم معلوم باشد، می توان شتاب وارد بر جرم را تعیین کرد. بنابراین اندازه گیری نیرو، اطلاعاتی راجع به شتاب یک وسیله نیز ارائه می دهد.

$$F = ma$$

$$a = \frac{dv}{dt}$$

یا

$$v = \int a dt$$

سرعت، از انتگرال گیری شتاب حاصل میشود.

$$v = \frac{dx}{dt} \quad \text{یا} \quad x = \int v dt$$

با استفاده از شتابسنج (وسیله ای که نیروی اعمال شده به جرم معینی را اندازه می گیرد) و کامپیوتر می توانید شتاب، سرعت و موقعیت یک وسیله نقلیه را محاسبه نمایید. این موضوع اصل جهت یابی یا تعیین موقعیت بر اساس اینرسی است (Inertia Navigation Systems).

در نهایت، چون نیروی اعمال شده به یک فنر مستقیماً متناسب با افزایش طولش می باشد داریم:

$$F=kx \quad \text{ثابت فنر} = k$$

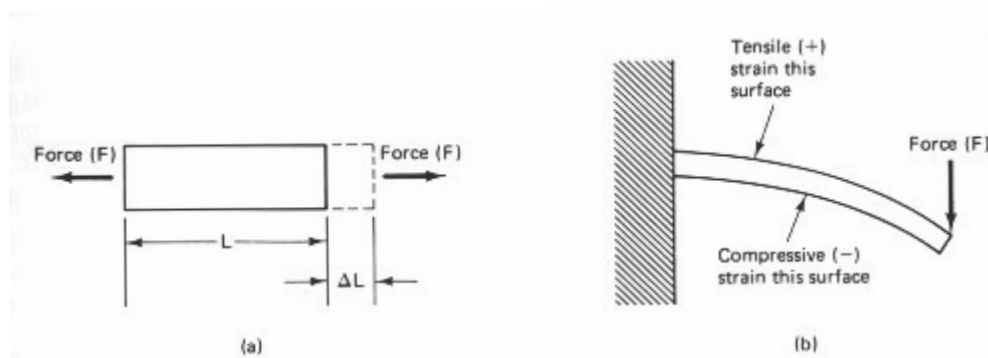
اندازه گیری نیروی اعمال شده به فنر (در یک سیستم جرم فنر دمپر و یا نیرو سنج) از طریق اندازه گیری جابجائی میسر است.

تنش stress و کشش strain

رابطه بین تنش و کشش یکی از مهم‌ترین اصول در مطالعه مکانیک مواد بوده و برای آنالیز تنش از اهمیت فوق‌العاده‌ای برخوردار است.

وقتی که به بدنه جسمی نیرو وارد می‌شود، بدنه تغییر شکل می‌دهد. این تغییر شکل (تغییر طول) کشش نامیده شده است. کمیت کشش بصورت تغییر شکل در واحد طول و یا درصد تغییر طول تعریف شده و با علامت ϵ نمایش داده می‌شود

کشش ممکن است کشیده شدن (مثبت و یا افزایش طول) و یا فشرده شدن (منفی و یا کاهش طول) باشد. با توجه به شکل زیر رابطه کشش بصورت زیر است.



(a) کشش با یک نیروی اعمال شده از یک سو، (b) کشیده شدن و فشرده شدن طرفین تیر یک سر در گیر

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L}$$

بنابراین کشش یک نسبت و بدون بعد است. برای توجه داشتن به اهمیت فیزیکی کشش معمولاً آنرا بصورت inch/inch می‌نویسند.

برای بیشتر فلزات، کشش اندازه‌گیری شده در کارهای آزمایشی معمولاً کمتر از 0.00500 in/in می‌باشد. چون مقادیر کشش معمولاً خیلی کوچک هستند غالباً بصورت واحد میکرو کشش microstrain مشخص میشوند که برابر است با $\epsilon \times 10^6$ ، این مقدار مساوی یک قسمت در یک میلیون قسمت و یا ppm است و با علامت $\mu\epsilon$ مشخص میشود. به عنوان مثال:

$$0.005 \text{ in/in} = 5000 \mu\epsilon = 0.5\%$$

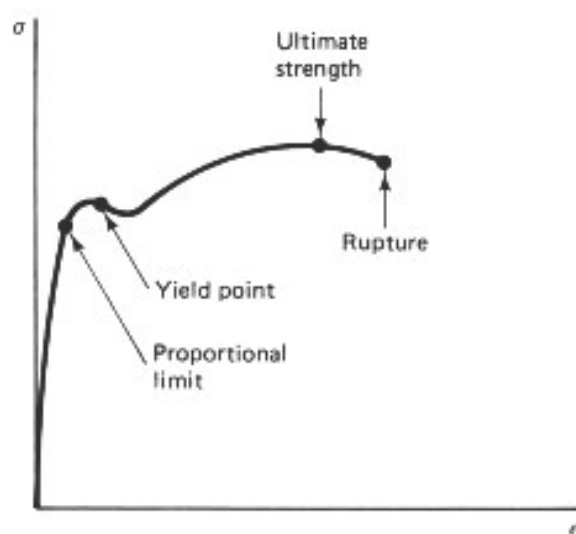
هرچند نیروها و کشش‌ها کمیت‌های قابل اندازه‌گیری و استفاده توسط طراحان و برای آنالیز تنش هستند، تنش عبارتی است که برای مقایسه بار اعمال شده به یک ماده، و قابلیت تحمل بار آن ماده، استفاده می‌شود.

معمولاً نیاز است تا ماشین‌ها و سازه‌ها تا حد ممکن کوچک و سبک طرح شوند، بنابراین برای این منظور میباید قطعات را نیز عملاً تا بالاترین سطح مجازشان تحت تنش قرار داد. بنابراین تنش به نیروی اعمال شده در واحد سطح معینی مربوط است و رابطه آن به صورت زیر بوده و دارای واحد نیرو در واحد سطح میباشد.

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

پس از تعریف تنش و کشش، لازم است رابطه تنش و کشش مشخص شود. که در این صورت قادر خواهیم بود تنش را با استفاده از اندازه گیری کشش تعیین نماییم.

اگر میله ای از فولاد نرم داشته باشیم و کم کم بر روی آن در جهت محورش، بار، نیرو و یا تنش اعمال کنیم و منحنی تغییرات کشش را نسبت به تنش اعمال شده در جهت بار اعمال شده رسم نماییم، دیاگرام تنش کشش حاصل میشود شکل زیر.



نمودار کشش تنش برای یک قطعه از فولاد نرم

با توجه به شکل فوق ملاحظه میشود که تا نقطه‌ای که حد تناسبی نامیده می شود، رابطه ای خطی بین تنش و کشش موجود است. قانون هوک این رابطه را تعریف نموده است. شیب این خط مستقیم دیاگرام تنش_کشش، مدول الاستیسیته یا مدول یانگ آن ماده است.

مدول الاستیسیته، (E)، دارای واحدی مشابه تنش است، (نیرو در واحد سطح)، و برای مواد بوسیله آزمایش تعیین می شود. رابطه تنش و کشش بصورت زیر میباشد.

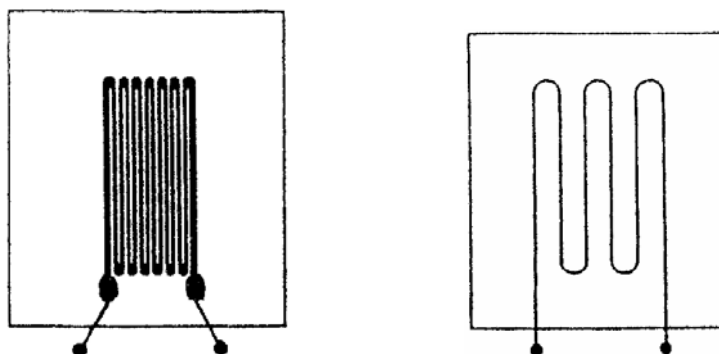
$$\sigma = E \cdot \epsilon$$

دو نقطه جالب دیگر هم در دیاگرام تنش کشش وجود دارند. نقطه نرم شدن Yield point و مقدار نهائی توانائی تنش Ultimate strength value. نقطه نرم شدن، سطحی از تنش است که به ازای آن، کشش بطور فزاینده‌ای با یک مقدار کمی افزایش و یا بدون افزایش تنش زیاد می شود. اگر بالاتر از نقطه نرمی، به ماده تنش داده شود، و سپس تنش قطع شود، ماده به اندازه اولیه خودش بر نخواهد گشت، بلکه مقداری کشش در خود حفظ می کند. حد نهائی توانائی، ماکزیمم تنشی است که ماده می تواند قبل از پاره شدن، تحمل نماید.

کشش

یکی از مهمترین مشخصه های الکتریکی، که متناسب با کشش تغییر می کند، مقاومت الکتریکی است. وسایلی که خروجی آنها بستگی به این مشخصه دارد، گیج های کشش Strain Gauge و نیمه هادی ها هستند. استرین گیج ها مقاومت های کربنی، سیم های فلزی محکم شده و یا گیج های فویلی مقاومتی هستند. گیج های کربنی و مقاومتی بر گیج های سیم های فلزی محکم شده ارجحیت دارند. ارزان هستند، طولشان می تواند کم باشد و خیلی حساس به کشش هستند. گر چه حساسیت بالا به درجه حرارت و رطوبت یکی از معایب گیج های کشش مقاومت کربنی است.

استرین گیج های نیمه هادی بر مبنای اثرات پیزو رزیستیو در برخی مواد نیمه هادی مانند سیلیکان و ژرمانیوم استوارند. گیج های نیمه هادی رفتار الاستیک دارند و می توان آنها را طوری طراحی نمود که با تغییرات کشش تغییرات مقاومت مثبت و یا منفی داشته باشند. می توان آنها را از نظر فیزیکی در ابعاد کوچک ساخت در حالی که همچنان دارای مقاومت نامی بالایی باشند. حد کشش برای این گیج ها در بازه 100μ تا $10,000 \mu\epsilon$ است و غالباً برای کشش های تا $3000 \mu\epsilon$ آزمایش می شوند. گیج های نیمه هادی از خود حساسیت زیادی نسبت به کشش نشان می دهند اما تغییرات مقاومت آنها با کشش غیر خطی است. مقاومت و خروجی آنها به درجه حرارت حساس بوده و خروجی بالای آنها که در اثر تغییر مقاومت از حدود ۱۰ تا ۲۰٪ است، می تواند در صورت استفاده در مدارهای پل، مشکلاتی را در اندازه گیری بوجود بیاورد.

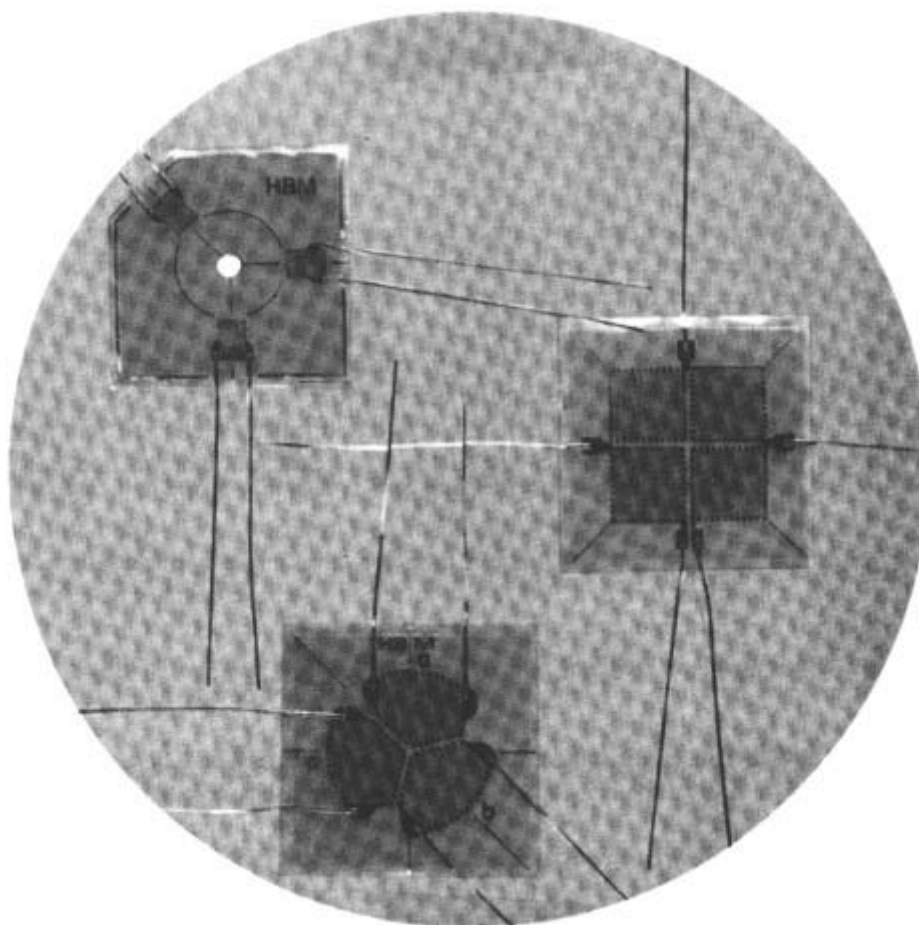


استرین گیج های مقاومتی باند شده، بیش از همه در وسایل اندازه گیری کشش، بکار می روند. این وسیله شامل یک شبکه از سیم خیلی نازک یا غالباً فویل های فلزی نازک محکم شده بر روی یک لایه نازک عایق که حامل نامیده می شود، هستند (شکل های بالا). مقاومت الکتریکی مواد این شبکه بطور خطی با کشش تغییر می کند. حامل به قطعه آزمایش با چسب چسبانیده می شود. وقتیکه نمونه بارگذاری شد، کشش روی سطح آن توسط چسب و حامل به ماده شبکه منتقل می شود. کشش قطعه مورد آزمایش با اندازه گیری تغییرات مقاومت الکتریکی ماده شبکه قابل محاسبه است. شکل زیر، گیج کششی از نوع مقاومت باند شده را با شبکه فویل های کنستانتان و ماده حامل پلی آمید نشان می دهد.

گیج کششی از نوع مقاومت باند شده، ارزان قیمت است و می تواند با طول کمی ساخته شود. این وسیله فقط از تغییرات دما اثر می پذیرد، ابعاد فیزیکی و وزن کمی داشته و حساسیت بالایی نسبت به کشش دارد. گیج کششی برای اندازه گیری کشش های استاتیک و دینامیک مناسب است.

وقتیکه یک هادی فلزی کشیده می شود، تغییر مقاومت الکتریکی می دهد و این تغییر است که استرین گیج را یک وسیله مفید می سازد. اندازه گیری تغییرات مقاومت با کشش را فاکتور گیج (GF) Gage factor می نامند. فاکتور گیج بصورت نسبت درصد تغییر مقاومت به درصد تغییر طول (کشش) در جهت محور گیج، تعریف می شود. فاکتور گیج یک کمیت بدون بعد است که هر چه بزرگتر باشد، گیج کششی حساس تر است. معادله فاکتور گیج بصورت زیر است.

$$GF = \frac{\Delta R / R}{\Delta L / L} = \frac{\Delta R / R}{\epsilon}$$



گیج کشش

مثال - یک گیج کشش با نوار استیلی باند شده که 10.00 cm طول دارد و سطح مقطع آن 4.00 cm^2 است. مدول الاستیسیته یانگ برای استیل $20.7 \times 10^{10} \text{ N/m}^2$ می باشد. گیج کششی، مقاومت نامی (وقتی کشش نیافته است) برابر با 240Ω و فاکتور گیج مساوی $2,20$ است. وقتی بار را قرار می دهیم، مقاومت گیج 0.013Ω تغییر می کند. تغییر طول نوار استیل و مقدار نیروی وارد شده به نوار را محاسبه کنید.

حل - با استفاده از معادله فوق:

$$GF = \frac{\Delta R / R}{\Delta L / L}$$

یا

$$\frac{\Delta R}{R} = GF \left(\frac{\Delta L}{L} \right)$$

یا

$$\begin{aligned} \Delta L &= \frac{\Delta R}{R} \frac{L}{GF} \\ &= \frac{0.013 \Omega}{240 \Omega} \times \frac{0.1 \text{ m}}{2.20} = 2.46 \times 10^{-6} \text{ m} \end{aligned}$$

بنابراین

$$\sigma = E \cdot \varepsilon$$

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

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L}$$

بنابراین

$$\frac{F}{A} = E \frac{\Delta L}{L}$$

یا

$$F = E \frac{\Delta L}{L} A$$

برای ثابت بودن واحدها، مساحت باید از cm^2 به m^2 تبدیل شود

$$A = 4 \text{ cm}^2 \times \frac{1 \text{ m}^2}{10^4 \text{ cm}^2} = 4 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$\begin{aligned} F &= 20.7 \times 10^{10} \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \times \frac{2.46 \times 10^{-6} \text{ m}}{0.1 \text{ m}} \times 4 \times 10^{-4} \text{ m}^2 \\ &= 2.037 \times 10^3 \text{ N} \end{aligned}$$

و در واحد پوند:

$$F = 2.037 \times 10^3 \text{ N} \times \frac{1 \text{ lb}}{4.482 \text{ N}} = 454 \text{ lb}$$

در حالت ایده آل ترجیح داده میشود که تغییر مقاومت استرین گیج فقط در پاسخ به تنش ناشی از کشش اعمال شده به نمونه مورد آزمایش باشد. اما مقاومت و حساسیت کششی تمام نمونه‌های مواد شناخته شده،

با تغییر درجه حرارت تغییر می‌کند. این بدان معنی است که مقاومت گیج و فاکتور گیج با درجه حرارت تغییر می‌کنند.

مقاومت یک هادی در حرارت T مساویست با

$$R_T = R_{T_0} (1 + \alpha_0 \Delta T)$$

که در آن:

$R_T = T$ مقاومت در دمای

$R_{T_0} = T_0$ مقاومت در دمای مرجع

α_0 = ضریب حرارتی

$\Delta T = T - T_0$ تغییر دما از

این مقاومت جدید شامل مقاومت اصلی یا اولیه R_0 در T_0 و تغییر مقاومت ΔR در نتیجه حرارت ΔT است. پس:

$$\Delta R = \alpha_0 \Delta T R_{T_0}$$

مثال - تغییر مقاومت ناشی از تغییر دما به مقدار 1°C را برای گیج کششی مثال فوق محاسبه نمایید. ضریب حرارتی (α_0) برای غالب فلزات برابر است با

$$\alpha_0 = 0.003925 / ^\circ\text{C}$$

با جایگزین کردن مقادیر لازم در معادله فوق

$$\begin{aligned} \Delta R &= (0.003925 / ^\circ\text{C})(1^\circ\text{C})(240\Omega) \\ &= 0.942 \Omega \end{aligned}$$

اما کشش وارده بر بار در مثال فوق تنها 0.013Ω تغییر در مقاومت گیج پدید آورد. بنابراین 1°C تغییر در دمای گیج کششی، تغییری در مقاومت به اندازه

$$\frac{\Delta R_{\text{temp}}}{\Delta R_{\text{stress}}} = \frac{0.942 \Omega}{0.013 \Omega} = 72.5$$

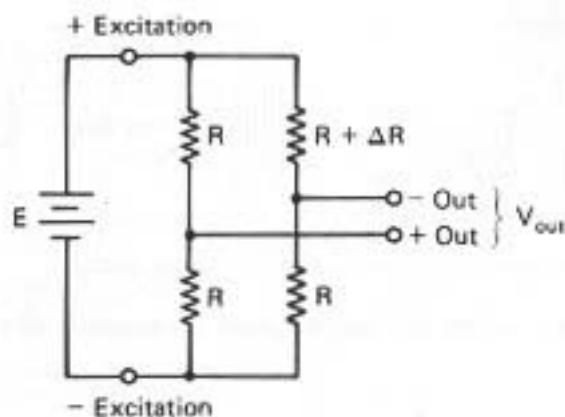
ایجاد نموده است. 72.5 برابر مقداری که بار 454 lb ایجاد کرد!

از مثال فوق نتیجه میشود که جبران سازی برای دما بسیار ضروری است.

مدار پل وتستون

به دلیل حساسیت فوق العاده مدار پل وتستون، غالب اوقات از این نوع پل برای اندازه گیری های استاتیکی کشش استفاده می شود. مدار پل ساده در شکل زیر نمایش داده شده است. بدون تنش $\Delta R=0$ است، تمام مقاومت های چهارگانه مساویند، $+out = -out$ و بنابراین $V_{out}=0$ می باشد.

در صورت اعمال تنش مقاومت استرین گیج به اندازه ΔR تغییر می کند و در نتیجه ولتاژ خروجی دیفرانسیلی نیز تغییر خواهد نمود.



شکل ۴۴-۳ پل وتسون ساده اندازه گیر فشار

$$\begin{aligned} V_{out} &= \frac{R}{R+R} E - \frac{R}{R+(R+\Delta R)} E \\ &= \frac{1}{2} E - \frac{RE}{2R+\Delta R} \\ &= \frac{(2R+\Delta R)E - 2RE}{2(2R+\Delta R)} \\ &= E \frac{\Delta R}{4R+2\Delta R} \end{aligned}$$

از آنجایی که ΔR ، مربوط به اثر تنش، در صورت و مخرج رابطه فوق وجود دارد، خروجی پل با اعمال نیرو بطور غیر خطی تغییر می کند.

هر چند R چند صد اهم است در حالیکه ΔR معمولاً حدود 0.01Ω می باشد که ۱۰۰۰۰ برابر کوچکتر است. بنابراین چون

$$4R \gg 2\Delta R$$

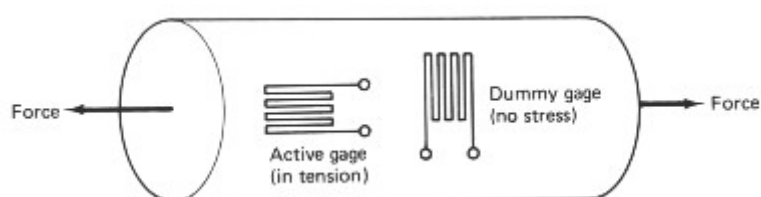
می توان رابطه فوق را بصورت زیر و با حذف $2\Delta R$ در مخرج بازنویسی کرد:

$$V_{out} = \frac{\Delta RE}{4R}$$

در نظر داشته باشید که V_{out} یک مقدار تفاضلی است و هیچ مرجع زمینی ندارد. همچنین مقدار خیلی کوچکی بوده و از منبعی با مقاومت خروجی $R/2$ خارج می شود که ممکن است حدود چند صد اهم یا بیشتر باشد. می بایست این سیگنال را با یک مدار با امپدانس ورودی خیلی بزرگ و قابلیت ایجاد یک سیگنال خروجی نسبت به زمین که تنها به تفاضل ورودی هایش (که همان +out و -out هستند) وابسته باشد، تقویت نمود.

مزیت استفاده از پل وتستون چیست؟ با قرار دادن دو مقاومت استرین گیج در یک طرف پل وتستون می توان تأثیر حرارت را حذف نمود.

به شکل زیر توجه کنید. یک گیج کشش به نحوی نصب شده که نیروی اعمال شده باعث افزایش طولش می شود. این ترانسدیوسر فعال است. ترانسدیوسر دوم بصورت عمود بر جهت تنش نصب شده و هیچ تنش قابل ملاحظه ای بر روی آن وجود ندارد. بنابراین اعمال نیرو، تغییر طولی در آن ایجاد نمی کند. این ترانسدیوسر مجازی است. نیروی اعمال شده فقط بر روی گیج فعال تأثیر گذاشته و پل را نامتعادل می سازد. با وجود این، هر تغییری در درجه حرارت بر هر دو گیج و به مقدار مساوی تأثیر می گذارد. تغییر مشابه در مقاومت هر دو مقاومت در یک طرف پل باعث عدم تعادل پل نخواهد شد. به عبارت دیگر out- تغییر نکرده و نتیجتاً تأثیر درجه حرارت حذف می شود.



شکل ۳-۴۵ جایگذاری درجه های فعال و مصنوعی برای جبران دما

مثال - V_{out} شکل فوق را با فرض $R_0=240\ \Omega$ و $E=10\ V$ بیابید. همچنین داریم:

(الف) تنش باعث می شود که مقاومت بالایی در سمت راست (مقاومت فعال) به اندازه $0.013\ \Omega$ افزایش یابد.

(ب) دما باعث می شود هر دو مقاومت سمت راست (فعال و غیر فعال)، $9.4\ \Omega$ افزایش یابند.

(ج) تنش موجب $0.013\ \Omega$ افزایش مقاومت گیج فعال و دما باعث $9.4\ \Omega$ افزایش مقاومت در هر دو گیج می شود.

حل_ الف) با استفاده از معادله فوق داریم:

$$V_{out} = \frac{(240\ \Omega)(10V)}{240\ \Omega + 240\ \Omega} - \frac{(249.4\ \Omega)(10\ \Omega)}{249.4\ \Omega + 249.4\ \Omega}$$

$$= 5V - 5V = 0V$$

تنش سیگنال بسیار کوچکی ایجاد می نماید.

(ب) با استفاده از قانون تقسیم ولتاژ داریم:

$$V_{out} = \frac{(240\ \Omega)(10V)}{240\ \Omega + 240\ \Omega} - \frac{(249.4\ \Omega)(10\ \Omega)}{249.4\ \Omega + 249.4\ \Omega}$$

$$= 5V - 5V = 0V$$

استفاده از گیج مجازی اثر دما را از بین می برد.

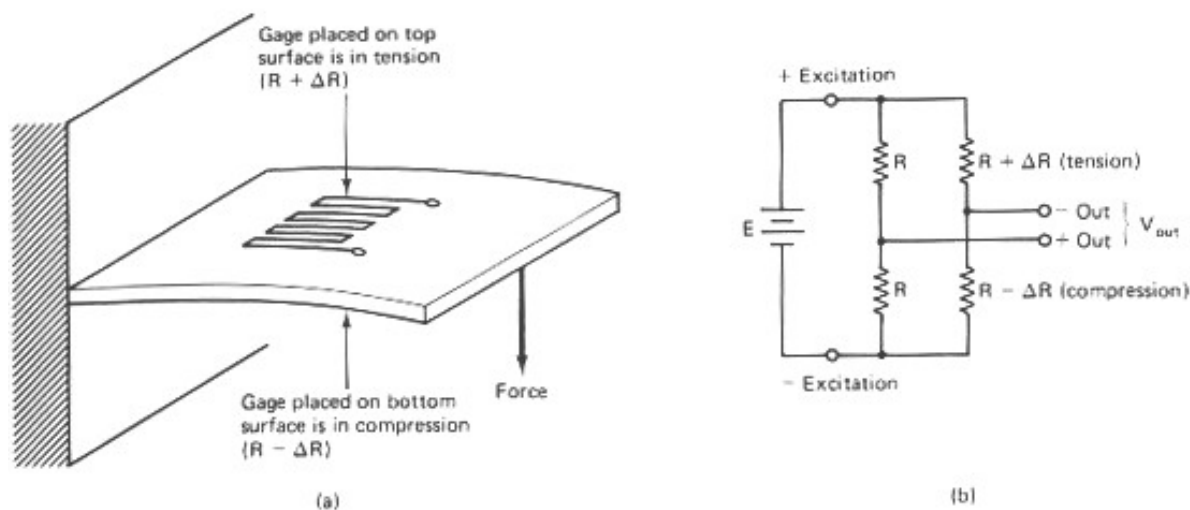
(ج) با تغییر دما و مقاومت ناشی از تنش داریم:

$$\begin{aligned}
 V_{\text{out}} &= \frac{(240\Omega)(10V)}{240\Omega + 240\Omega} - \frac{(249.4\Omega)(10\Omega)}{249.4\Omega + (249.4\Omega + 0.013\Omega)} \\
 &= 5V - \frac{(249.4\Omega)(10\Omega)}{498.813\Omega} \\
 &= 5V - 4.99987V \\
 &= 0.13\text{mV}
 \end{aligned}$$

بنابراین، حتی در حضور تغییرات دما و تنش، استفاده از گیج مجازی اثر تغییر دما را از بین می برد. اگر بخواهیم مشکلات و هزینه‌های مربوط به نصب ۲ گیج بر روی جسم را تحمل کنیم، می توان از هر دو آنها بصورت فعال استفاده کرد. با اتصال هر دو گیج فعال در یک طرف پل، تأثیر حرارت حذف می شود. از سوی دیگر با نصب گیج‌ها به ترتیبی که یکی تحت کشش باشد و مقاومت آن با بار افزایش یابد و دیگری تحت فشار بوده و مقاومت آن با بار کاهش یابد، ولتاژ خروجی بزاء یک بار معین در مقایسه با پل مجهز به یک گیج فعال، دو برابر می شود.

$$V_{\text{out}} = \frac{\Delta RE}{2R}$$

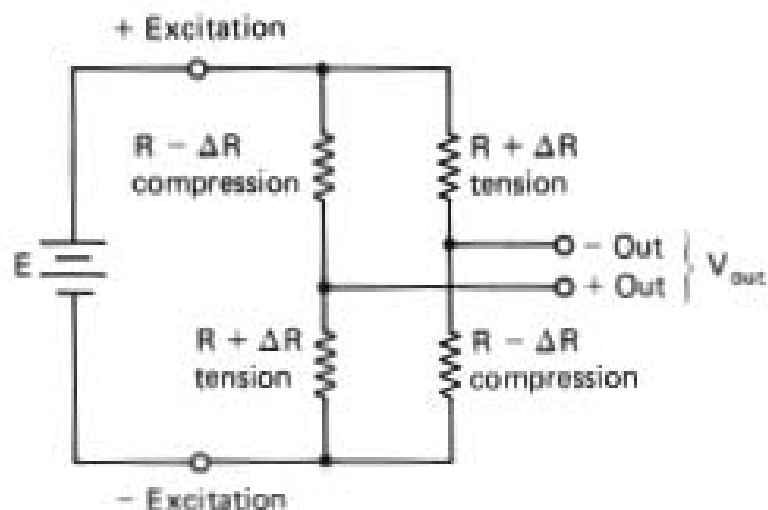
برای ساختن مدار شکل فوق در طرف چپ پل بایستی از دو مقاومت مشابه که از نقطه نظر حرارتی تغییرات مشابه دارند، استفاده نمود.



شکل ۴۶-۳ دو درجه فشار فعال (a) جایگذاری فیزیکی (b) پیکربندی پل

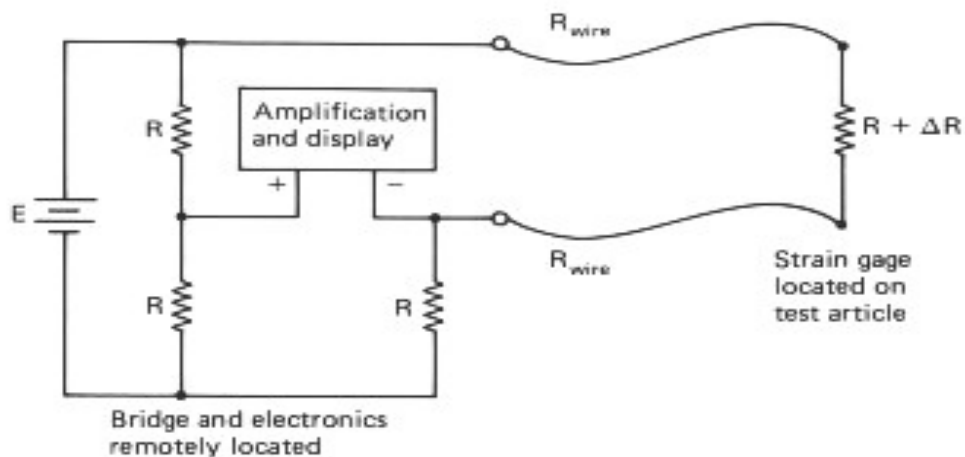
همچنین می توان از دو گیج کششی دیگر نیز استفاده کرد. مدار پل با استرین ۴ گیج فعال در شکل زیر نشان داده شده است. خروجی این پل با چهار استرین گیج فعال برای بار مثبت دو برابر بزرگتر از خروجی پل با دو استرین گیج فعال است.

$$V_{\text{out}} = \frac{\Delta RE}{R}$$

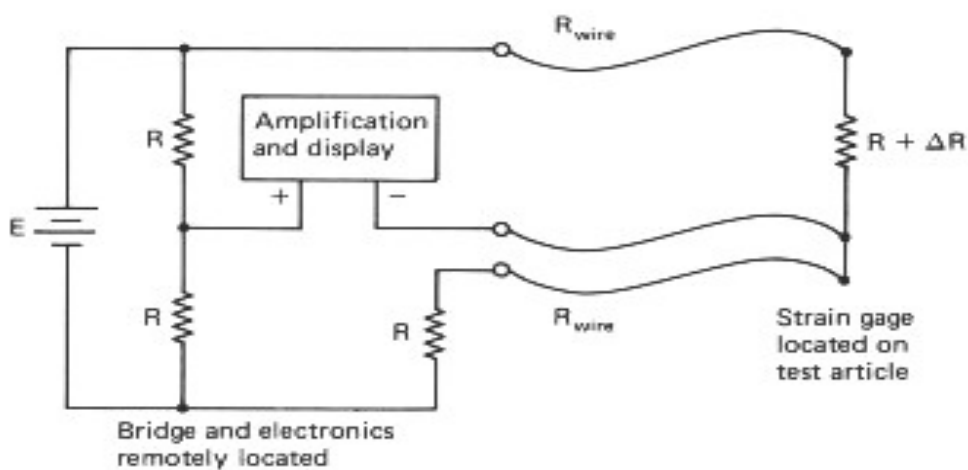


پل با چهار گیج کشش فعال

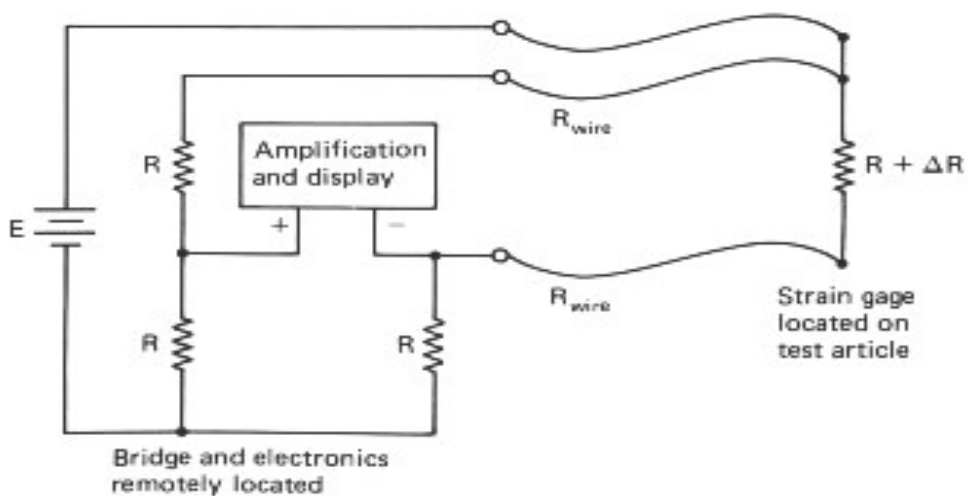
سیم‌کشی مناسب استرین گیج، منبع تحریک و مدار الکترونیکی وضعیت دهنده سیگنال Signal conditioning خیلی مهم هستند. این موضوع وقتی بیشتر اهمیت پیدا می‌کند که قسمتی از مدار پل در محل جسم مورد آزمایش و قسمت دیگر آن در محل اندازه‌گیری در فاصله دوری از آن قرار داشته باشد. نکته کلیدی آن است که دقیقاً طول مساوی و نوع مشابهی از سیم برای هر دو شاخه پل استفاده شود. در این صورت مقاومت اضافی مرتبط به سیم‌های رابط بصورت متعادلی به هر دو طرف اضافه می‌شود. حالت‌های درست و نادرست سیم‌کشی در شکل‌های زیر نشان داده شده‌اند. این روش‌های صحیح تغییرات مقاومتی سیم (R_{wire}) را که ناشی از تغییر دما هستند، جبران می‌نماید.



(a)



(b)



(c)

شکل ۳-۴۸ اتصال درجه فشار به یک پل متحرک

3_3.4 سلول های بار Load cells

نتیجه مناسب و مطمئن استفاده از استرین گیج، فقط وقتی به دست خواهد آمد که گیج‌ها به نحو مناسبی نصب شده باشند. گیج‌ها باید دقیقاً نیرو را از جسم به گیج منتقل نمایند. از طرف دیگر، جسم نیز بایست کشش و فشردگی یکسانی در شاخه‌های مخالف پل وارد آورد. مشخصات فیزیکی جسم بایستی معلوم باشد و اتصال لحیم مربوط به استرین گیج‌ها مساوی و بامقاومت کمی باشد. تمام این مسائل مثل یک دستور بلند و بالا است.

راه حل معمولی خریدن یک سلول بار است. سلول بار ترانسدیوسری است که برای اندازه‌گیری مستقیم نیرو طراحی شده است. شامل بدنه ایست است که استرین گیج‌ها بطور مناسبی بر روی آن نصب شده اند (معمولاً چهار تا). ابعاد جسم و پارامترهای تنش_کشش استرین گیج‌ها مناسب هم بوده و تنها کاری که بایستی انجام داد، تغذیه و تقویت و نمایش الکترونیکی است. چندین نوع سلول بار در شکل زیر نشان داده شده‌اند. گر چه شما مشخصات متعددی در خصوص سلولهای بار ملاحظه می‌کنید، لیکن مهم‌ترین آنها، خروجی در ظرفیت نامی آن است که معمولاً حساسیت نامیده می‌شود و بر حسب mV/V بیان می‌شود. این خروجی، یک ولتاژ خروجی تفاضلی از پل است که برای هر ولت منبع تغذیه در اثر بار کامل نتیجه می‌شود.

مثال - یک سلول بار GSE5353 دارای ظرفیت بار کامل 500 lb است.

الف) ولتاژ تحریک توصیه شده چیست؟

ب) با استفاده از ولتاژ تحریک، ولتاژ خروجی بازا هر پوند چقدر است؟

ج) غیر خطی بودن بر حسب پوند چقدر است؟

د) جابجائی صفر (بر حسب پوند) چیست البته چنانچه حرارت در رنج کاری مناسب آن تغییر کند.

ه) اگر برای وزن کردن یک تانکر استفاده شود، بایستی تانکر را از سلول بار آویزان کرد یا بر روی آن قرار داد؟ چرا؟

با استفاده از شکل زیر

الف) ولتاژ تحریک توصیه شده توسط تولید کننده با 10 V dc است.

ب)

$$V_{\text{out(max)}} = (V_{\text{تحریک}}) (\text{خروجی در مقدار نامی})$$

$$= (2 \text{ mV/V})(10 \text{ V}) = 20 \text{ mV}$$

ولی این مقدار برای ۵۰۰ پوند است. بنابراین

$$V_{\text{out/lb}} = \frac{V_{\text{out(max)}}}{\text{full_scale load}}$$

$$= \frac{20 \text{ mV}}{500 \text{ lb}} = 40 \mu\text{V/lb}$$

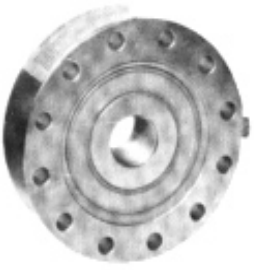
این بدین معنی است که مدار الکتریکی بایستی قادر باشد تا بدقت سیگنال تفاضلی $40 \mu V$ و یا کمتر را تقویت کند تا قابلیت تشخیص و نمایش تغییرات یک پوندی را داشته باشد.

(ج) خاصیت غیر خطی بودن برابر $\pm 0.05\% FS$ است.

$$\text{nonlinearity} = (\pm 0.05\% FS)(500 \text{ lb}) = \pm 0.25 \text{ lb}$$

بنابر این فرق نمی کند وسایل الکترونیکی شما تا چه اندازه خوب باشند، $\pm 0.25 \text{ lb}$ عدم قطعیت در پاسخ وجود خواهد داشت. نمایش نتایج با قابلیت تفکیک پذیری بیشتر از $\frac{1}{2} \text{ lb}$ بهبود یافته است.

(د) بازه دمایی بین $+25$ و $+125^\circ F$ است. بنابر این $100^\circ F$ جابجایی داریم. جابجایی صفر با دما $+0.002\% FS/^\circ F$ است.



GSE's 4650 Series of Low Height Load Cells are designed for operation in industrial environments. Low deflection and insensitivity to off-center loading are important factors in many installations.

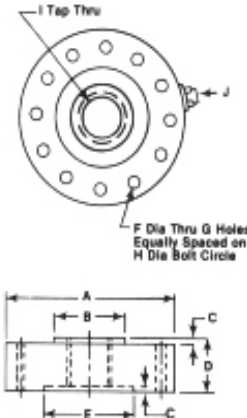
All units are machined from a solid billet of tool steel, nickel plated for corrosion resistance. The units are sealed with welded diaphragms and are inherently barometrically compensated.


Specifications

Output at Rated Capacity	4mv/v nominal*
Overload Rating	safe - 50% FS, ultimate - 200% FS
Nonlinearity	$\pm 0.2\% FS$
Hysteresis	$\pm 0.15\% FS$
Repeatability	$\pm 0.05\% FS$
Excitation Voltage	10v nominal, 15 maximum
Bridge Resistance	350 ohms nominal
Temperature Effect on Zero	$\pm 0.002\% FS$ per $^\circ F$
Temperature Effect on Span	$\pm 0.002\%$ of reading per $^\circ F$
Compensated Temperature Range	$+25^\circ F - 125^\circ F$
Deflection	0.001" FS
Fixture Material	tool steel, nickel plated

Stock units are calibrated in compression, but may also be used in tension.

*For Fatigue Rated Applications (minimum 10^6 cycle life), load cell should be derated to 50% of capacity.





The Model 5341, 5353 and 5354 load cells are very accurate strain gage sensors used for weighing and force measurement. Their high accuracy makes them ideally suited for critical weighing applications. The 5353 and 5354 Models are sealed devices that offer the durability and ruggedness required of units used in production environments. The Model 5341 is a lower range unit intended for controlled environments.

Model 5341

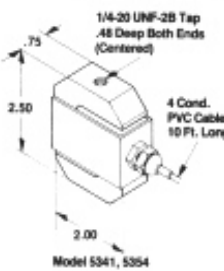
Model 5353

Specifications

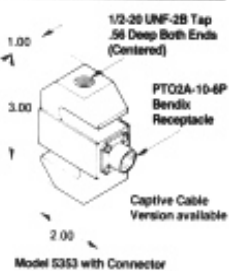
Output at rated capacity	2mv/v nominal
Overload rating	50% FS
Nonlinearity	$\pm 0.05\% FS$
Bridge resistance	350 ohms nominal
Compensated temperature range	$+25^\circ F - 125^\circ F$
Operating temperature range	0 - 200 $^\circ F$
Temperature effect on zero	$\pm 0.002\% FS$ per $^\circ F$
Temperature effect on span	$\pm 0.002\%$ of reading per $^\circ F$
Recommended Excitation	10 V. D. C.

Specifications are for tension loading.

Model	Capacity Lbs.	Material
5341	25, 50	Aluminum
5353	500, 1,000	Aluminum
5353	2,000, 5,000	Steel
5354	100, 200	Aluminum



Model 5341, 5354



Model 5353 with Connector

سلولهای بار

$$\begin{aligned} \text{zero shift} &= (+0.002\% / ^\circ\text{F})(100^\circ\text{F})(500 \text{ lb}) \\ &= +1 \text{ lb} \end{aligned}$$

این مقدار ۴ برابر خاصیت غیر خطی است. بنابراین اگر ترانسدیوسر تغییرات زیادی در دما را تجربه کند، باید مقدار صفر را دوباره تنظیم کنید.

ه) تذکری که در پایان مشخصات آمده است می گوید " مشخصات برای بار فشرده کننده هستند " بنابراین باید بار را به گونه ای قرار دهید که از سلول بار آویزان باشد.