

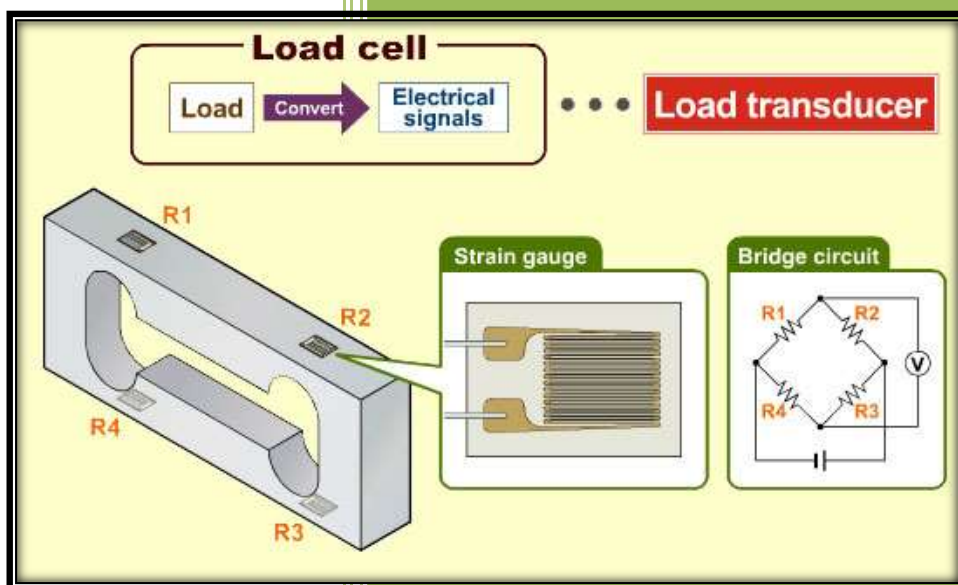


حسگرهای اندازه‌گیری نیرو

تعداد جلسات: ۱

پیش‌نیاز:

- ✓ مبدا آنالوگ به دیجیتال
- ✓ تقویت‌کننده ابزار دقیق
- ✓ پورت سریال



بسیاری از مواقع در کارگاه‌ها و یا مراکز صنعتی لازم است مقدار نیرو و گشتاورهای وارد بر یک جسم اندازه‌گیری شوند. به طور مثال برای بررسی میزان پایداری و مقاومت یک پل که روزانه چندین هزار خودرو از روی آن حرکت می‌کنند، بایستی میزان نیروهای وارد بر آن محاسبه شود. برای اندازه‌گیری نیروی‌های وارد بر یک جسم از مبدل‌هایی به نام نیروسنج استفاده می‌شود. در این آزمایش ابتدا نیروسنج معرفی شده و نحوه بهسازی خروجی آن برای استفاده در موارد صنعتی بیان می‌شود. در انتها با استفاده از یک نیروسنج و مدارهای لازم، ترازوی دیجیتالی ساخته می‌شود.

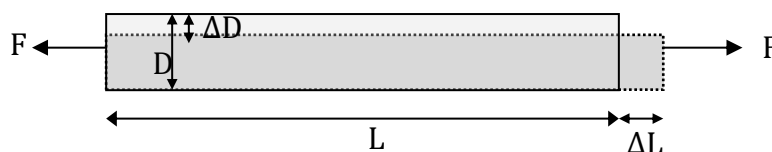
فهرست مطالب

| | |
|---|--------------------------|
| ۱ | فهرست مطالب |
| ۲ | بخش ۱- مختصری از تئوری |
| ۲ | ۱-۱- معرفی کرنش سنج |
| ۴ | ۱-۱-۱- مدار یک چهارم پل |
| ۴ | ۱-۱-۲- مدار نیم پل |
| ۵ | ۱-۱-۳- مدار تمام پل |
| ۶ | ۲-۱- نیروسنج |
| ۷ | بخش ۲- راهاندازی نیروسنج |

بخش ۱- مختصری از تئوری

۱-۱- معرفی کرنش سنج

به نسبت تغییر طول یک جسم نسبت به طول اولیه آن در اثر اعمال نیرو، کرنش^۱ گفته می‌شود که یک کمیت بدون بعد است.



شکل ۱- تغییر طول و سطح یک میله در اثر اعمال نیرو

بر اساس شکل ۱، مقدار کرنش میله در اثر نیروی وارد شده به آن از رابطه زیر به دست می‌آید:

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

با اندازه‌گیری کرنش ایجاد شده در میله و در اختیار داشتن مدول یانگ^۲ (ضریب الاستیسیته) آن، می‌توان تنش^۳ یا نیروی وارد شده به قطعه را محاسبه کرد که در اینجا از ذکر جزئیات و دیگر روابط صرف نظر شده است.

برای اندازه‌گیری کرنش ایجاد شده در یک جسم، از حسگری به نام کرنش‌سنج^۴ که از خانواده حسگرهای مقاومتی می‌باشد استفاده می‌شود. در شکل ۲ می‌توان تصویری از ساختار یک کرنش‌سنج را مشاهده کرد. کرنش‌سنج‌ها از قدیمی‌ترین حسگرهای کاربردی می‌باشند که برای اندازه‌گیری نیرو، فشار، وزن و گشتاور استفاده می‌شود.

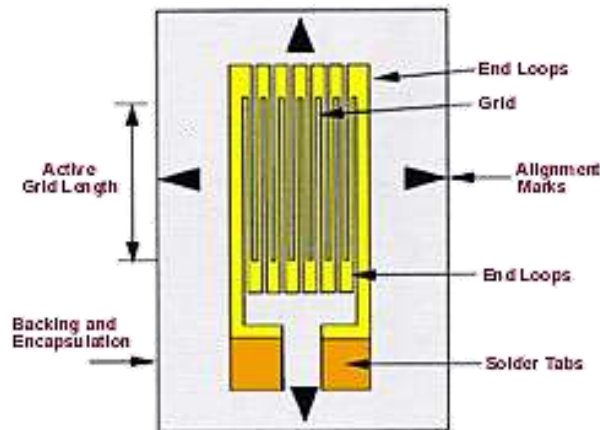
کرنش‌سنج‌های مقاومتی، لایه‌های نازک سیم‌های مقاومتی می‌باشند که بر روی سطوح اجزای یک ماشین یا سازه توسط چسب‌های مخصوصی نصب می‌شوند. در اثر نیروی اعمال شده به سطح و به تبع آن به کرنش‌سنج، طول سیم‌های مقاومتی افزایش (در صورت کشش) و یا کاهش (در صورت فشردگی) می‌یابد و همچنین ضخامت سیم‌ها نیز در اثر کشش یا فشار، به ترتیب کاهش یا افزایش می‌یابد. کرنش‌سنج‌ها یک رابطه خطی بین نیروی اعمالی و تغییر مقاومت خود در محدوده عملکردشان نشان می‌دهند.

^۱ Strain

^۲ Young's modulus

^۳ Stress

^۴ Strain Gauge



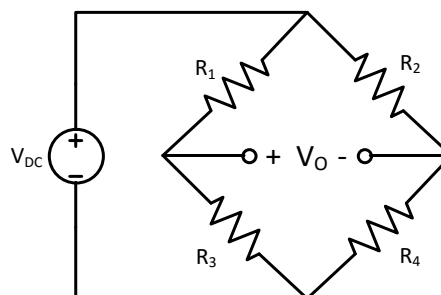
شکل ۲ - ساختار یک نمونه کرنش‌سنج

به رابطه مقاومت یک هادی فلزی توجه کنید:

$$R = \rho \frac{\ell}{A}$$

اگر یک لایه از ماده رسانا را بکشیم آن لایه درازتر و نازکتر می‌شود و لذا بر اساس رابطه بالا، مقاومت آن افزایش می‌یابد. برای حالت فشرده شدن نیز بر اساس رابطه فوق، مقاومت آن کاهش می‌یابد. البته باید توجه کرد که تغییرات مقاومت کرنش‌سنج‌ها بسیار ناچیز است.

معمولاً از حسگرها برای نمایش یک کمیت و یا گرفتن فیدبک و بستن حلقه کنترلی استفاده می‌شود. در هر دو حالت لازم است تا سیگنال‌ها از نوع الکتریکی باشند، لذا بایستی به شیوه‌ای تغییرات مقاومت یک کرنش‌سنج به یک سیگنال الکتریکی تبدیل شود. پل وتسون^۱ به همین منظور مورد استفاده قرار می‌گیرد. به مدار پل وتسون (شکل ۳) توجه کنید:



شکل ۳ - مدار پل وتسون

با توجه به شکل ۳ مقدار خروجی از رابطه زیر به دست می‌آید:

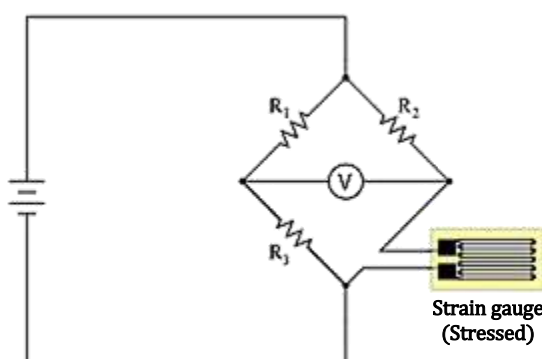
$$V_O = \left[\frac{R_3}{R_1 + R_3} - \frac{R_4}{R_2 + R_4} \right] V_{DC}$$

^۱ Wheatstone Bridge

برای قرار دادن کرنش‌سنج در پل سه شیوه رایج وجود دارد:

۱-۱-۱ مدار یک چهارم پل

در مدار یک چهارم پل^۱ یک عنصر از چهار عنصر پل با کرنش‌سنج جایگزین می‌شود (شکل ۴). بقیه مقاومت‌ها نیز ثابت و برابر با مقاومت اولیه کرنش‌سنج انتخاب می‌شوند. به این ترتیب در زمانی که هیچ نیرویی به کرنش‌سنج وارد نشود، پل در حالت تعادل قرار دارد و خروجی آن صفر می‌باشد. در این مدار با تغییر مقدار مقاومت کرنش‌سنج خروجی پل تغییر می‌کند و با اندازه‌گیری مقدار آن می‌توان مقدار نیرو را محاسبه کرد.

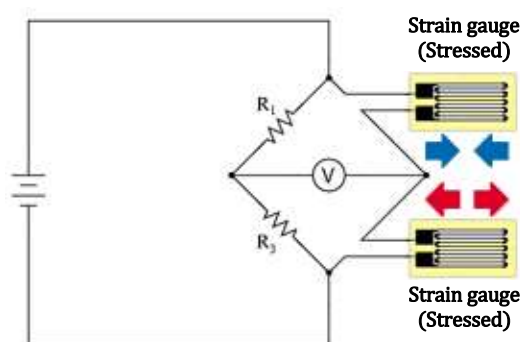


شکل ۴- اتصال کرنش‌سنج به مدار پل در حالت یک چهارم پل

پرسش ۱- با توجه به وابستگی مقاومت کرنش‌سنج‌ها به تغییرات دما، برای حذف اثر تغییر دما در اندازه‌گیری نیرو چه روشی پیشنهاد می‌کنید؟

۱-۱-۲ مدار نیم پل

در مدار نیم پل^۲ از دو کرنش‌سنج استفاده می‌شود که به صورت شکل ۵ در مدار پل قرار می‌گیرند.

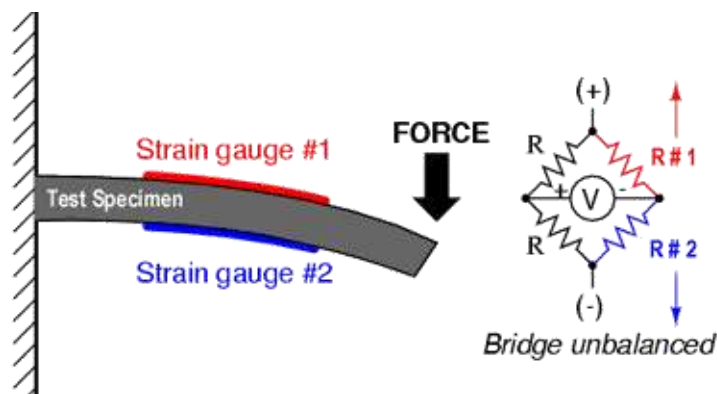


شکل ۵ - اتصال دو کرنش‌سنج در حالت نیم پل

این کرنش‌سنج‌ها معمولاً در زیر و روی جسم مورد نظر نصب می‌شوند، مطابق شکل ۶، به این ترتیب زمانی که به جسم نیرویی به سمت پایین وارد شود، یکی از کرنش‌سنج‌ها افزایش مقاومت و دیگری کاهش مقاومت خواهد داشت.

^۱ Quarter-Bridge

^۲ Half-Bridge

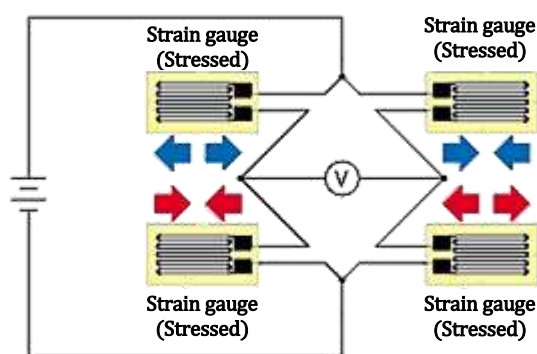


شکل ۶ - نحوه اتصال دو کرنش‌سنج به یک تیر سر آزاد و مدار پل متناظر

پرسش ۲- مزیت استفاده از مدار نیم پل در مقایسه با مدار یک چهارم پل برای اندازه‌گیری نیرو چیست؟

۳-۱-۱- مدار تمام پل

مدار تمام پل^۱ از چهار کرنش‌سنج بهره می‌برد و دیگر نیازی به مقاومت‌های ثابت ندارد. امروزه در اغلب نیروسنج‌های موجود در بازار از این مدار پل استفاده شده است.



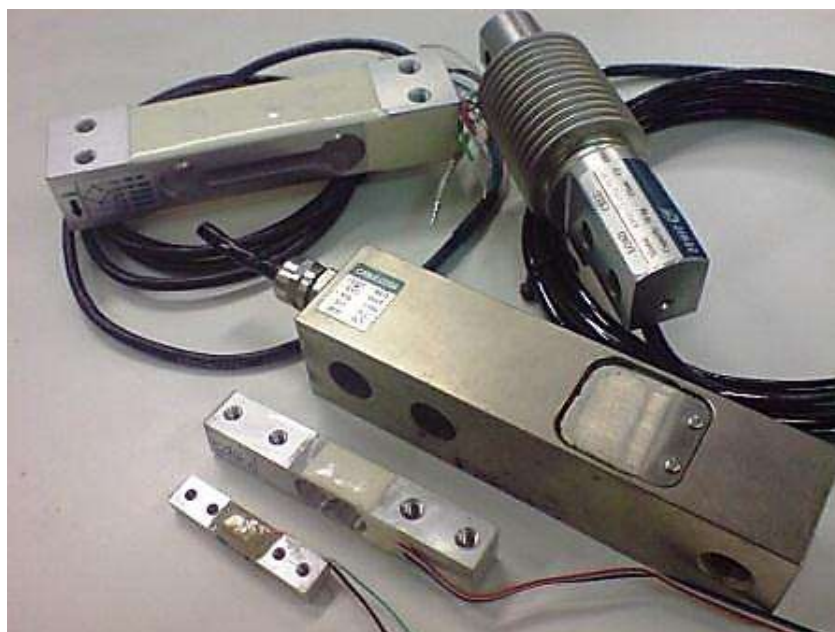
شکل ۷ - اتصال چهار کرنش‌سنج در حالت تمام پل

پرسش ۳- مزیت مدار تمام پل در مقایسه با مدار نیم پل چیست؟

^۱ Full-Bridge

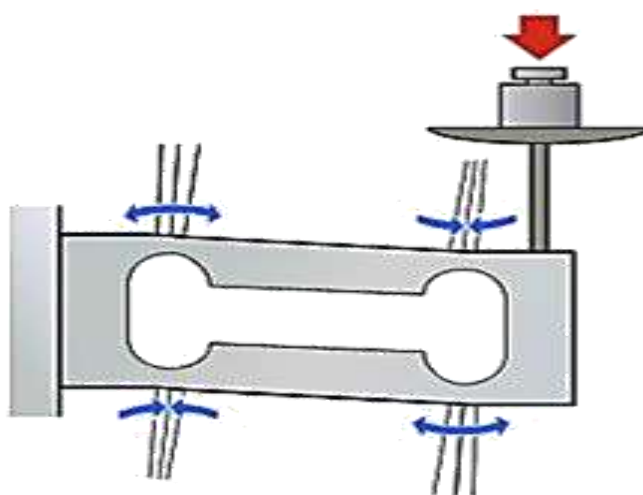
۲-۱- نیروسنج

نیروسنج^۱ یکی از ابزارهای صنعتی رایج برای اندازه‌گیری نیرو می‌باشد. معمولاً یک نیروسنج شامل چهار کرنش‌سنج می‌باشد که در یک مدار تمام پل قرار گرفته‌اند. نیروسنج‌ها بسته به کاربردها به شکل‌های مختلفی ساخته می‌شوند که در شکل ۸ چند نمونه از آنها آورده شده است.



شکل ۸- چند نیروسنج مختلف

در شکل ۹ نمایی از یک نیروسنج با مدار تمام پل در مواجهه با اعمال نیرو آورده شده است.



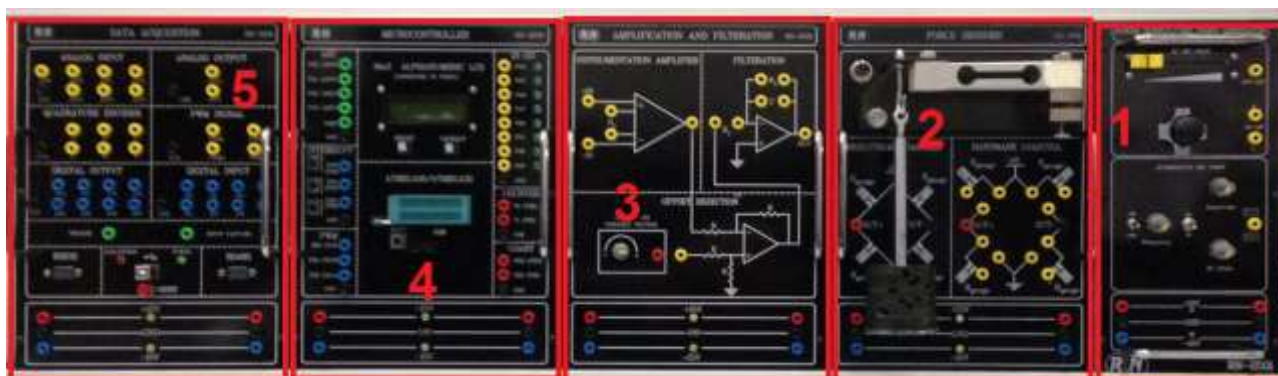
شکل ۹- تغییر شکل نیروسنج با اعمال نیرو

پرسش ۴- با مقایسه شکل ۶ و شکل ۹، دلیل وجود حفره‌های روی بدنه نیروسنج را بیان کنید.

^۱ Load Cell

بخش ۲- راه‌اندازی نیروسنج

به شکل ماژول‌ها دقت کنید.



پرسش ۱- با روشن کردن منبع تغذیه (ماژول ۱) و قرار دادن بار ماگزیمم روی نیروسنج (ماژول ۲)، خروجی مدار تمام پل را به کمک مولتی‌متر مشاهده کنید. میزان خروجی چقدر است؟

پرسش ۲- با توجه به میزان خروجی بدست آمده و حداکثر رنج مجاز ۵ ولت برای ورودی پایه آنالوگ میکروکنترلر (ماژول ۴)، حداکثر ضریب تقویت مجاز را برای مدار تقویت‌کننده بدست آورید.

برای تقویت خروجی نیروسنج از آی‌سی AD620 استفاده می‌شود. این آی‌سی یک تقویت‌کننده تفاضلی نسبتاً مقاوم در برابر نویز با بهره قابل تنظیم می‌باشد، تفاضلی بودن آن به این معناست که این آی‌سی اختلاف ولتاژ دو پایه مثبت و منفی خود را تقویت می‌کند. تغذیه این قطعه از ± 2.3 الی ± 18 ولت می‌باشد و می‌تواند بهره تفاضلی از ۱ تا ۱۰۰۰ ایجاد کند. تنظیم بهره با استفاده از یک مقاومت (R_G) صورت می‌پذیرد که طبق رابطه زیر است:

$$G = \frac{49.4 \text{ k}\Omega}{R_G} + 1 \qquad R_G = \frac{49.4 \text{ k}\Omega}{G - 1}$$

پرسش ۳- با توجه به حداکثر بهره محاسبه شده و رنج مقاومت در دسترس، مقدار مقاومتی برای تقویت‌کننده (ماژول ۳) انتخاب کنید. با برداشتن وزنه‌ها از روی نیروسنج خروجی تقویت‌شده به ازای ورودی صفر را مشاهده کنید. دلیل بوجود آمدن آفست چیست؟

پرسش ۴- برای حذف آفست بوجود آمده از مدار جمع‌کننده (ماژول ۳) استفاده می‌شود. به کمک این مدار و پیچ تنظیم، آفست خروجی را حذف کنید. خروجی نهایی را با توجه به فایل راهنمای DAQ (ماژول ۵) در سیمولینک مشاهده کنید. چرا خروجی فیلتر دارای آفست است؟

پرسش ۵- با زدن ضربه به میز رفتار خروجی را مشاهده کنید. برای حذف نویز چه روش‌هایی پیشنهاد می‌کنید؟

پرسش ۶- برای کاهش اثر نویز از فیلتر پایین‌گذر مرتبه اول استفاده کنید. به کمک مقاومت و خازن‌های در دسترس فیلتری پیاده‌سازی کنید و خروجی آن را در سیمولینک مشاهده کنید. با اعمال نویز رفتار سیگنال را بررسی کنید. با ایجاد تغییر در ثابت زمانی فیلتر، چه تغییری در رفتار آن ایجاد می‌شود؟

پرسش ۷- فیلتر پایین‌گذر را بار دیگر به کمک سیمولینک متلب پیاده‌سازی کنید و با فیلتر خود مقایسه کنید. آیا رفتار دو فیلتر یکسان است؟

پرسش ۸- مشخصه دینامیکی سنسور نیروسنج به چه صورت است؟ برای بدست آوردن آن چه روشی پیشنهاد می‌کنید؟

پرسش ۹- با توجه به خروجی فیلتر نشده جدول زیر را پر کنید. به کمک جعبه ابزار cftool تابعی برای تبدیل ولتاژ به وزن بدست آورید.

| جرم وزنه (gr) | خروجی تقویت شده (mV) | جرم وزنه (gr) | خروجی تقویت شده (mV) |
|---------------|----------------------|---------------|----------------------|
| ۴۰۰ | | ۵ | |
| ۵۰۰ | | ۱۰ | |
| ۶۰۰ | | ۱۵ | |
| ۷۰۰ | | ۲۰ | |
| ۸۰۰ | | ۳۰ | |
| ۹۰۰ | | ۴۰ | |
| ۱۰۰۰ | | ۵۰ | |
| ۱۲۰۰ | | ۱۰۰ | |
| ۱۴۰۰ | | ۱۵۰ | |
| ۱۶۰۰ | | ۲۰۰ | |
| ۱۸۰۰ | | ۲۵۰ | |
| ۲۰۰۰ | | ۳۰۰ | |
| | | ۳۵۰ | |

پرسش ۱۰- با توجه به رابطه بدست آمده، به کمک میکروکنترلر ترازوی دیجیتالی بسازید.