

تاریخچه استرین گیج ها و انواع آنها

مقدمه:

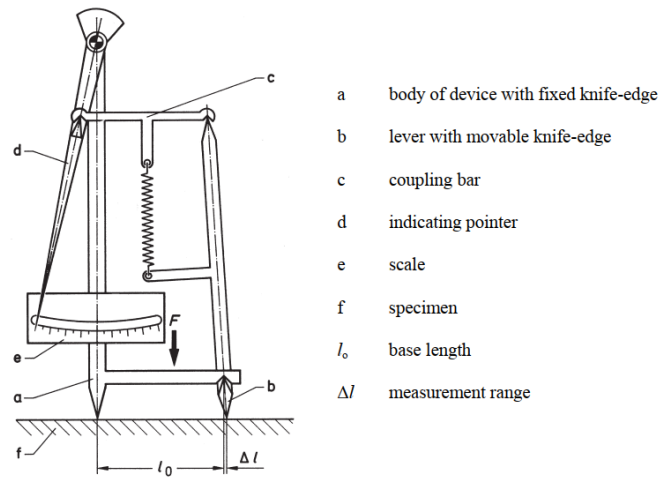
روش معمول ارزیابی قطعات ساختاری ماشین‌ها، ساختمان‌ها، وسایل نقلیه، هواپیما و غیره بر اساس محاسبات مقاومت مصالح است.

این روش رضایت بخش است به شرطی که بارهای اجسام هم از نظر کیفی و هم از نظر کمی شناخته شده باشند. مشکلات در جاهایی که بارها ناشناخته هستند یا فقط می‌توان آنها را حدوداً تقریب زد، به وجود می‌آیند. قبلاً خطر اضافه بار با استفاده از حاشیه های ایمنی، یعنی از طریق افزایش ابعاد، مقابله می‌شد. با این حال، استراتژی های طراحی مدرن به دلایل هزینه و تا حدی برای کاهش وزن، نیازمند صرفه جویی در مواد هستند. به منظور برآورده کردن الزامات ایمنی و ارائه یک عمر مفید، تنش های مواد باید شناخته شوند. بنابراین اندازه گیری در شرایط عملیاتی ضروری است.

پارامتر به کار رفته در ارزیابی قطعات سازه، تنش های مکانیکی هستند که ماده در معرض این تنش ها قرار می گیرد. تعیین تنش های مکانیکی در شرایط عملیاتی عملاً غیرممکن است. زیرا نمی توان تنش را به صورت مستقیم اندازه گیری کرد. البته با استفاده از فرآیند اشعه ایکس، تا حدودی می توان این کار را انجام داد، اما این فرآیند مشمول محدودیت هایی در کاربرد آن است. یک روش عملی برای تعیین تجربی تنش های مواد بر اساس کشفی است که در سال 1678 توسط دانشمند انگلیسی رابرت هوک (1635 - 1703) انجام شد و رابطه ای بین تنش مواد و تغییر شکل آنها پیدا کرد. این تغییر شکل که "کرنش" نامیده می شود، در سطح اجسام نیز رخ می دهد و بنابراین برای اندازه گیری قابل دسترسی است.

امروزه شاخه مهمی از تجزیه و تحلیل تنش تجربی بر اساس اصل اندازه گیری کرنش است.

در ابتدا از دستگاه های مکانیکی دست و پا گیر برای اندازه گیری کرنش استفاده شد که کرنش را با استفاده از نسبت اهرمی نشان می داد. یک مثال در شکل 1 نشان داده شده است.



شکل 1: تانسومتر هوگنبرگر با مکانیزم دو اهرمی

دستگاه هایی از این نوع یا مشابه برای مدت طولانی تنها روش انجام اندازه گیری هایی بودند که برای تجزیه و تحلیل استرس به کار گرفته می شدند. علیرغم طراحی مبتکرانه و ساخت دقیقشان، آنها دارای معایب ذاتی بودند که دامنه کاربرد آنها را به شدت محدود کرد و اهمیت آنها را کاهش داد، از جمله معایب آنها:

- تنها فرآیندهای استاتیکی را اندازه گیری می کردند.
- برای جلوگیری از لغزش دستگاه ها تحت ارتعاش، به گیره های قوی نیاز است.
- نمونه آزمایشی باید با توجه به ناظر ثابت شود،
- اندازه دستگاه ها محدودیت هایی را برای استفاده از آنها برای نمونه های آزمایشی کوچک ایجاد می کند و در برخی موارد چنین اندازه گیری غیرممکن است.
- پایه اندازه گیری نسبتاً طولانی آنها، فقط نتایج صحیح را برای شرایط کرنش یکنواخت به دست می دهد و تنش های متراکم قابل اندازه گیری نیست.
- شرایط محلی ممکن است برای ناظر غیرقابل تحمل باشد،
- ضبط خودکار اندازه گیری ها امکان پذیر نیست.

با توجه به این معایب و کاستی ها، محدودیت در انجام اندازه گیری های ایستا به عنوان یک نقطه ضعف بزرگ در نظر گرفته می شد. برای غلبه بر این معایب روش های اندازه گیری الکتریکی به عنوان راه حل ارائه شدند.

استرین گیج های فلزی:

Houshmand Sanat Tav Electronic CO.,LTD.

در نیمه دوم دهه 1930 توجه به اثری معطوف شد که چارلز وستون در سال 1843 در اولین انتشار خود در مورد مدار پل که او اختراع کرده بود، ذکر کرده بود. او در این مقاله از تغییر مقاومت در یک هادی الکتریکی به دلیل اثرات تنش مکانیکی سخن گفته بود. ویلیام تامسون (1824-1905، لرد کلونین پس از 1892) با برخی از آثار منتشر شده در 1856 جلوتر رفت.

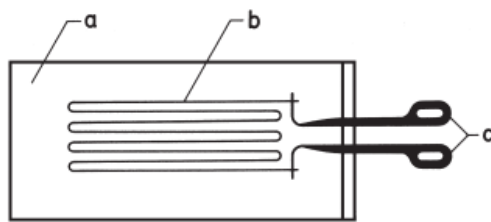
تغییر مقاومت یک سیم تحت کشش بسیار کم است. تامسون برای اندازه گیری های خود از گالوانومترهای بسیار حساس استفاده کرد که برای کاربردهای فنی عمومی یا برای استفاده در صنعت نامناسب بودند. آنها همچنین فقط برای اندازه گیری فرآیندهای استاتیک مناسب بودند.

در آلمان اولین تحقیقات برای توضیح این اثر در موسسه تحقیقاتی هوانوردی انجام شد، اما به دلایلی بعداً این موضوع پیگیری نشد. نوارهای فیلم کربنی برای اندازه گیری کرنش که توسط AEG ساخته

شده بودند، ثابت شد که زیاد کاربردی نیستند.

در طول سال 1938 در ایالات متحده، دو نفر تقریباً به طور همزمان اما مستقل روی ایده استفاده از "اثر تامسون" برای اهداف اندازه گیری کار می کردند. کار آنها منجر به توسعه کرنش سنج ها و کاربردهای گسترده بعدی آن شد. آنها استرین گیج هایی با ساختارهای پیچیده نسبت به گیج های امروزی، مطرح کرده بودند که واقعاً می توانستند نیازهای متعددی را برآورده کنند.

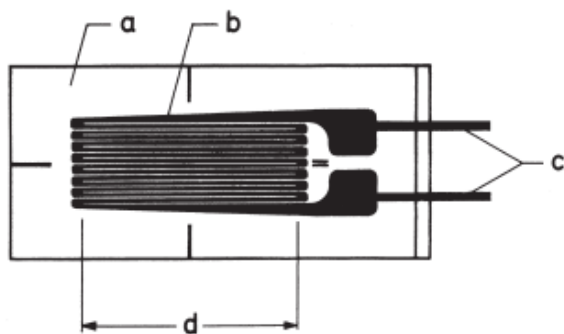
تقاضا، به ویژه از سوی صنعت هوانوردی آمریکا، آنقدر زیاد بود که این شیوه ساخت و ساز گیج دیگر جوابگو نبود. (Tatnall به گردش مالی در سال 1941 از 50000 استرین گیج در 2 ماه اشاره می کند). در نهایت تجربه نشان داد که ساختار پشتیبانی پیچیده گیج ها، غیر ضروری است و مدل ساده شده نشان داده شده در شکل 2 معرفی شد. این طرح تنها با تغییرات جزئی برای چندین دهه حفظ شد.



- a مواد حامل یا پشتی گیج
- b گیرندهای اندازه گیری یا آلیاژ حساس به کرنش
- c سیم های اتصال

شکل 2: طراحی یک کرنش سنج با گیرندهای اندازه گیری سیمی آن

در دوره بعد اصلاحات مختلفی به منظور منطقی کردن تولید انجام شد. در اینجا باید به تکنیک "مدار چاپی" پل آیسلا اشاره کرد که در شکل تصفیه شده خود منجر به توسعه "استرین گیج های فویلی" از حدود سال 1952 شد.



- a ماده حامل یا پشتی گیج
- b گیرندهای اندازه گیری
- c اتصالات گیج
- d طول موثر گیرندهای اندازه گیری

شکل 3: طراحی یک کرنش سنج با تکنولوژی مدار چاپی

امروزه این استرین گیج ها در انواع مختلفی تولید می شوند ، و روشی را ارائه می دهند که می تواند با کارهای اندازه گیری مختلف، حتی در شرایط سخت، مطابقت داشته باشد.

زمینه های اصلی کاربرد کرنش سنج ها عبارتند از:

- تجزیه و تحلیل تجربی تنش

- ساخت مبدل و سنسورها

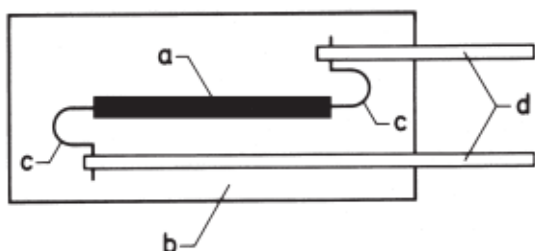
استرین گیج های نیمه هادی:

به غیر از کرنش سنج فلزی، انواع دیگری از کرنش سنج های مقاومتی نیز وجود دارد. کرنش سنج های نیمه هادی به این گروه تعلق دارند و دامنه کاربرد استرین گیج ها را در فناوری و صنعت گسترش می دهند. اصل اندازه گیری بر اساس اثر مقاومتی پیزو رسانای نیمه هادی است که

Houshmand Sanat Tav Electronic CO.,LTD.

توسط سی اس اسمیت در سال 1954 کشف شد. در ابتدا از ژرمانیوم برای ساخت این گيج ها استفاده می شد که بعدا سیلیکون جایگزین آن شد.

در ساختار، استرین گيج های نیمه هادی اساسا مشابه گيج های فلزی هستند. عنصر اندازه گیری شامل نواری به عرض چند دهم میلی متر و ضخامت چند صد میلی متر است که روی یک فویل حامل عایق ثابت شده و با پایه های اتصال ارائه می شود. با استفاده از یک سیم نازک طلايي به عنوان اتصال بین عنصر نیمه هادی و نوارهای اتصال از اثرات دیود جلوگیری می شود.



- a گیرندهای اندازه گیری
- b ماده حامل یا پشتیبان
- c سیم اتصال طلايي داخلی
- d استرپ های اتصال

شکل 4: ساختار یک نمونه گيج نیمه هادی

فاکتور گيج برای کرنش سنج های نیمه هادی معمولی موجود، یعنی نسبت بین کرنش اندازه گیری شده و سیگنال داده شده توسط استرین گيج، حدود پنجاه تا شصت برابر کرنش سنج های فلزی است. بنابراین، آنها عمدتا در ساخت مبدل ها برای اندازه گیری مقادیر فیزیکی استفاده می شوند.

کرنش سنج های نیمه هادی به طور گسترده ای در تحلیل تنش تجربی استفاده نمی شوند و دلایل مختلفی برای این امر وجود دارد:

- ویژگی های غیر خطی استرین گيج نیمه هادی که برای اندازه گیری های دقت بالا نیاز به تصحیح دارد.

- استرین گيج های نیمه هادی به طور قابل ملاحظه ای گران تر از انواع فلزی هستند.

- حتی زمانی که حساسیت بیشتر در نظر گرفته شود، اثرات نامطلوب وابسته به دما با استرین گيج های نیمه هادی شدیدتر از فلزی است و جبران این اثرات دشوارتر است.

- به دلیل ماهیت شکننده بودن نیمه هادی، حمل و نقل آن دشوارتر است.

Houshmand Sanat Tav Electronic CO.,LTD.

از سوی دیگر حساسیت بالا دلیلی برای استفاده از کرنش سنج های نیمه هادی برای اندازه گیری کرنش های بسیار کوچک است. سیگنال بزرگ داده شده توسط این نوع کرنش سنج در حضور میدان های تداخلی قوی از مزیت خاصی برخوردار است.

علاوه بر استرین گیج های معمول، انواع دیگری از آنها مانند گیج های خازنی، پیزوالکتریک، فوتوالاستیک و گیج های مکانیکی وجود دارند که در اینجا ما راجع به آنها صحبت نخواهیم کرد.

اصول کار استرین گیج ها:

در اندازه گیری کرنش توسط استرین گیج ها، فرض بر این است که کرنش ایجاد شده روس سطح جسم تحت تست، بدون هیچ تلفاتی به گیج منتقل می شود. این امر نیازمند یک پیوند یا اتصال نزدیک و محکم بین گیج و جسم تحت تست است. این پیوند محکم بین استرین گیج و جسم مورد نظر توسط یک چسب مناسب ایجاد می شود. یعنی استرین گیج توسط چسب های مخصوص روی سطح مور نظر چسبانده می شود. سایر مواد و روش های پیوند عمدتاً به کاربردهای خاص محدود می شوند، مانند اتصال سرامیکی برای رنج های دمایی بالا و جوش نقطه ای برای جوش زدن گیج به فولاد و غیره. هر دوی این فرآیندها به کرنش سنج های خاصی نیاز دارند.

با استرین گیج های مقاومتی، که تنها نوع مورد بررسی در اینجا هستند، کرنشی که از جسم اندازه گیری به استرین گیج منتقل می شود باعث تغییر در مقاومت الکتریکی آن می شود.

در مقدمه به دو نوع کرنش سنج مقاومتی اشاره شد، یعنی کرنش سنج فلزی و کرنش سنج نیمه هادی.

اصول کار این دو نوع گیج باهم متفاوت است که در ادامه تک تک آنها بررسی خواهد شد.

اصول کار استرین گیج های فلزی:

اصول کار کرنش سنج های فلزی بر اساس رابطه بین کرنش و مقاومت الکتریکی هادی است که توسط وتستون و تامسون کشف شد.

هر رسانای الکتریکی با تنش های مکانیکی مانند نیروهای کششی یا فشاری مقاومت خود را تغییر می دهد. بخشی از این تغییر مقاومت تا حدی به دلیل تغییر شکل هادی و بخشی از آن به دلیل تغییر در مقاومت

ویژه Q ماده هادی در نتیجه تغییرات ریزساختاری است. این فرآیند توسط رابطه زیر توصیف می شود.

$$\frac{dR}{R_0} = \varepsilon(1 + 2\nu) + \frac{dQ}{Q} \quad (1)$$

که در آن:

R : مقاومت الکتریکی

ε : کرنش

ν : نسبت پواسن

Q : مقاومت ویژه ماده

نتایج تحقیق در مورد مواد مختلف در قالب مقالات زیادی منتشر شده است. نمودار شکل 5 که از این مقالات معتبر استخراج شده است، در این نمودار منحنی هایی که به صورت عدد نام گذاری شده اند، نسبت تغییرات مقاومت الکتریکی به کرنش، یعنی S (شیب) را نشان می دهند.

$$S = \frac{\Delta R/R}{\Delta l/l} = \frac{\Delta R/R}{\varepsilon} \quad (2)$$

این اندازه گیری ها روی سیم هایی که آزادانه تنش دارند انجام شد.

این نمودار به دو ویژگی مهم اشاره می کند:

1. تفاوت های قابل توجهی در شیب اولیه منحنی ها وجود دارد. این شیب از 6.5+ برای پلاتین- ایریدیوم تا 10- برای نیکل گسترش می یابد. این تفاوت ها را می توان با تغییرات مشخص در تغییر مقاومت به دلیل ریزساختار توضیح داد.

2. در سطوح معینی از کرنش، شیب آن منحنی هایی تغییر می کند که شیب اولیه آنها از مقدار 2 بیشتر بود. این تغییر برای سطوح مختلف کرنش و همیشه در انتقال از شرایط تغییر شکل الاستیک به تغییر شکل پلاستیک رخ می دهد. اگر فرض شود که در ناحیه تغییر شکل پلاستیک نسبت پواسن مقدار $\nu = 0.5$ در یک حجم ثابت داشته باشد، آنگاه قسمت هندسی معادله (1)، یعنی:

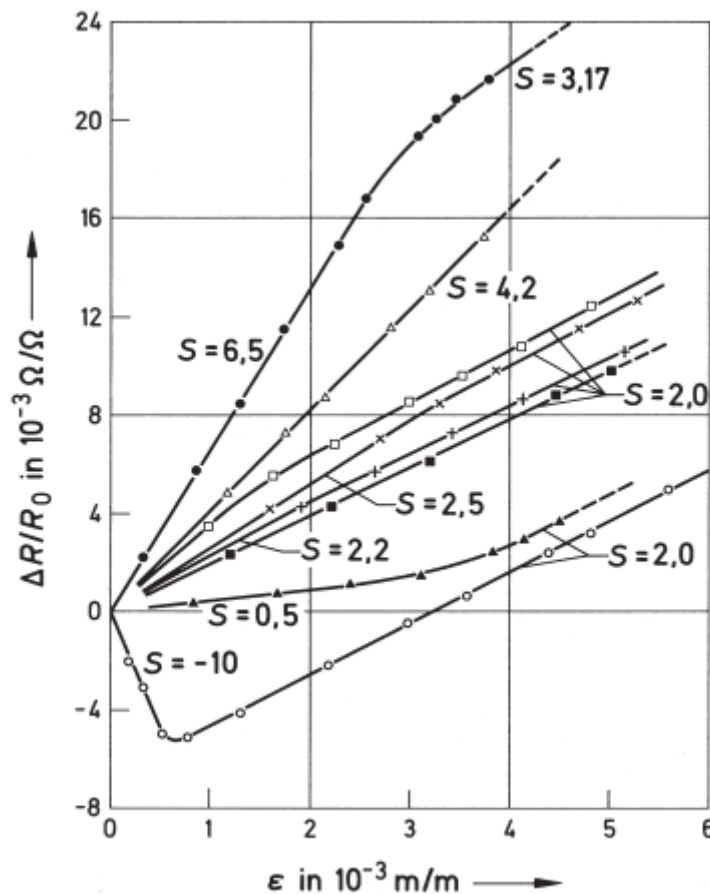
$$\frac{dR}{R_0} = \varepsilon(1 + 2\nu) = \varepsilon(1 + 2 * 0.5) = 2\varepsilon$$

نشان می دهد که سهم بخش ریزساختار در رابطه (1)، یعنی $\frac{dQ}{Q}$ صفر است.

بنابراین موادی که جذابیت خاصی دارند آنهایی هستند که شیب مشخصه اولیه آنها

$$S = \frac{\Delta R/R}{\Delta l/l} = 2 \frac{\Omega/\Omega}{m/m}$$

باشد. و این مقدار را در کل ناحیه الاستیک حفظ کند. این ویژگی در برخی از آلیاژها یافت می شود و بنابراین این آلیاژها برای ساخت استرین گیج ترجیح داده می شوند.



شکل 5: منحنی مشخصه مقاومت/کرنش برای سیم‌های با کشش آزاد

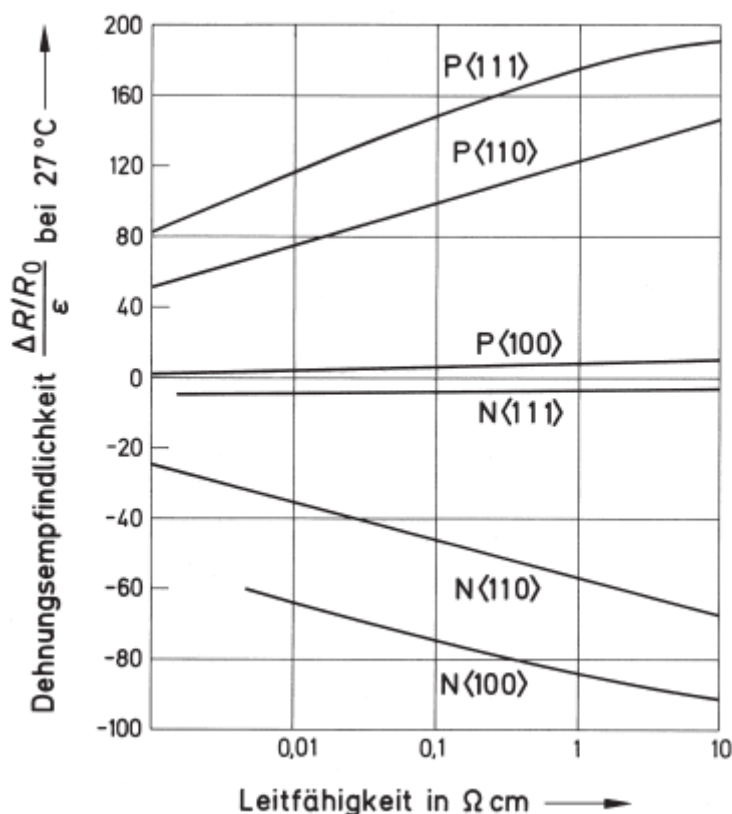
استرین گیج های نیمه هادی:

همانند استرین گیج های فلزی، اصول اندازه گیری کرنش سنج های نیمه هادی بر اساس تغییر مقاومت الکتریکی است، اما بر خلاف کرنش سنج های فلزی، رابطه کرنش-مقاومت عمدتاً به دلیل تغییر در تحرک الکترون های نیمه هادی است. سهم بخش هندسی رابطه (1) در گیج های نیمه هادی کمتر از 2% می باشد.

در حال حاضر فقط از سیلیکون برای ساخت استرین گیج های نیمه هادی استفاده می شود. به منظور دستیابی به خلوص مورد نیاز، عمل خالص سازی در کریستال را تا مرتبه 1 در برابر 10^{10}

اتم سیلیکون انجام می دهند، سپس اتم های ناخالصی خاصی به شبکه کریستالی اضافه می شوند. این فرآیند به عنوان "دوپینگ" شناخته می شود. اتم های سه ظرفیتی، به عنوان گیرنده هایی، برای دوپ کردن سیلیکون چهار ظرفیتی استفاده می شوند، به عنوان مثال. بور یا گالیم که ماده نیمه هادی p را بدست می دهد. اگر از اتم های پنج ظرفیتی استفاده شود، مانند فسفر یا آرسنیک، به خاطر وجود الکترونهای اضافی در آن، نیمه هادی نوع n به دست می آید. درجه دوپینگ میزان هدایت الکتریکی را در نیمه هادی های نوع N و P تعیین می کند.

ویژگی تک کریستال هایی که به این ترتیب تهیه می شوند این است که مقاومت الکتریکی آنها تحت تأثیر کرنش تغییر می کند و قدرت این اثر در سه محور شبکه کریستالی متفاوت است. یعنی این اثر در کریستال ناهمسانگرد است. برای کرنش مثبت در سیلیکون نوع p یک تغییر مثبت مقاومت در محور $\langle 111 \rangle$ اتفاق می افتد و با سیلیکون نوع N تغییر منفی در محور $\langle 100 \rangle$ رخ می دهد. با کرنش منفی این اثر معکوس می شود. این تأثیرات در جهات ذکر شده کاملاً محسوس است و در سایر جهات محوری بسیار ضعیف تر است.



شکل 6: فاکتور گیج برای سیلیکون تک کریستالی p و n در سه محور شبکه کریستالی در رابطه با میزان رسانایی

از شکل 6 می توان دریافت که فاکتور گیج، تغییر مقاومت در رابطه با کرنش، به رسانایی سیلیکون و در نتیجه به درجه دوپینگ بستگی دارد.

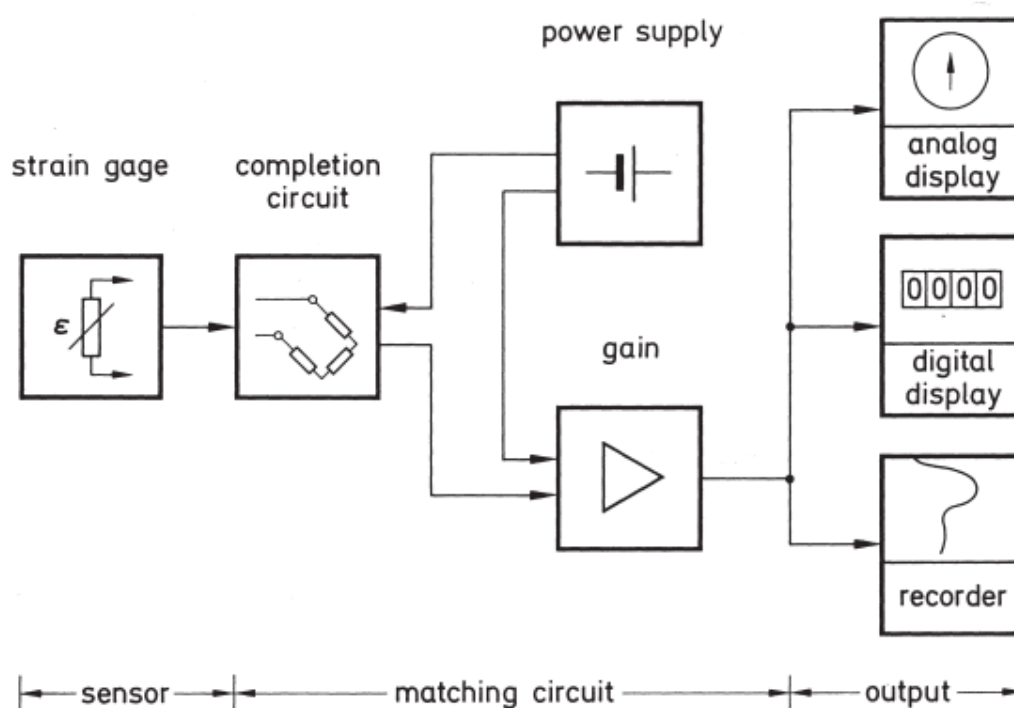
کرنش سنج های نیمه هادی از این رابطه تبعیت می کنند.

$$\frac{\Delta R}{R_0} = K\varepsilon \frac{T_0}{T} + C\varepsilon^2 \left(\frac{T_0}{T}\right)^2 + \dots$$

که در آن پارامترهای K ، ε ، T و C مشخصه ها و ویژگی های گيج های نیمه هادی را تعیین می کنند.

سیستم های اندازه گیری:

کرنش های اندازه گیری شده با استرین گيج ها معمولا بسیار کوچک هستند. در نتیجه تغییرات مقاومت نیز در گيج ها بسیار کوچک است و نمی توان مستقیما آنها را مثلا با یک اهم متر اندازه گیری کرد. بنابراین استرین گيج باید در یک سیستم اندازه گیری گنجانده شود که در آن تعیین دقیق تغییر مقاومت استرین گيج امکان پذیر باشد.



شکل 7: نمودار یک سیستم اندازه گیری، برای اندازه گیری کرنش توسط استرین گيج.

اولین بلوک در سیستم توسط خود استرین گيج تشکیل می شود. این بلوک کرنش مکانیکی را به مقاومت الکتریکی تبدیل می کند.

Houshmand Sanat Tav Electronic CO.,LTD.

جزء دوم در سیستم یک مدار اندازه گیری است که در اینجا به عنوان یک پل و تستون به همراه یک کرنش سنج در یک بازوی آن نشان داده شده است. هم کرنش سنج و هم مدار اندازه گیری در مفهوم فیزیکی اجزای غیرفعال هستند. برای به دست آوردن یک سیگنال مفید باید انرژی به آنها منتقل شود. این انرژی کمکی از یک منبع جداگانه گرفته می شود. معمولاً از یک ولتاژ الکتریکی ثابت استفاده می شود، اما می توان از جریان ثابت نیز استفاده کرد. هنگامی که مقاومت کرنش سنج به دلیل یک کرنش تغییر می کند، مدار پل تقارن خود را از دست می دهد و نامتعادل می شود. یک ولتاژ در خروجی پل به دست می آید که متناسب با عدم تعادل پل است.

یک تقویت کننده به عنوان سومین جزء در سیستم اندازه گیری گنجانده شده است که ولتاژ خروجی پل را تا سطح مناسب برای نشان دادن آن تقویت می کند. گاهی اوقات تقویت کننده ها طوری طراحی می شوند که جریان خروجی متناسب با ولتاژ خروجی پل ارائه دهند، اما برخی از مدل ها می توانند هم خروجی ولتاژ و هم جریان را ارائه دهند. در تقویت کننده های خطی، ولتاژ خروجی یا جریان خروجی متناسب با ولتاژ ورودی تقویت کننده است که ولتاژ خروجی پل نیز می باشد و این به نوبه خود متناسب با کرنش اندازه گیری شده است.

چهارمین جزء در سیستم اندازه گیری، نمایشگر است. نمایشگر سیگنال خروجی تقویت کننده را به شکلی تبدیل می کند که توسط انسان قابل فهم باشد. در ساده ترین حالت این امر می تواند توسط یک ولت متر یا یک آمپر متر انجام گیرد و یا توسط یک نمایشگر دیجیتال، ارقام اندازه گیری شده به نمایش گذاشته می شود. اگر نیاز باشد که تغییرات کرنش با زمان نشان داده شود، همانند چیزی که در فرآیندهای دینامیکی با آن روبه رو هستیم، در این صورت یک سیستم ضبط کننده داده های اندازه گیری (دیتالاگر)، بهتر از یک نمایشگر خواهد بود که صرفاً فقط مقدار اندازه گیری شده را نمایش می دهد. بعضی از تقویت کننده ها این ویژگی را دارند که هر دوی این سیستم ها را می توان به آنها متصل کرد، این امر در شکل 7 نشان داده شده است.

توضیحات بالا در مورد سیستم اندازه گیری، فقط نمای کلی آن را تشریح می کند. در عمل این سیستم توسط ابزارهای دیگر مانند اسکنرها، فیلترها، ضبط کننده های مقادیر پیک سیگنال، Limit سوئیچ ها، ابزارهای ضبط کننده حالت گذر و ...، گسترش داده می شود. دستگاه های پردازش داده دیجیتال هم می توانند به جای نمایشگر به سیستم متصل شوند و این امر انعطاف پذیری سیستم را به شدت بیشتر می کند.