

عملیات بالانس و جبران سازی

عملیات بالانس و جبران سازی نقش بسیار مهمی در دستیابی به مشخصات فنی مطلوب در مبدل ها دارند. این عملیات که در این بخش به جزئیات آنها خواهیم پرداخت، عبارت اند از:

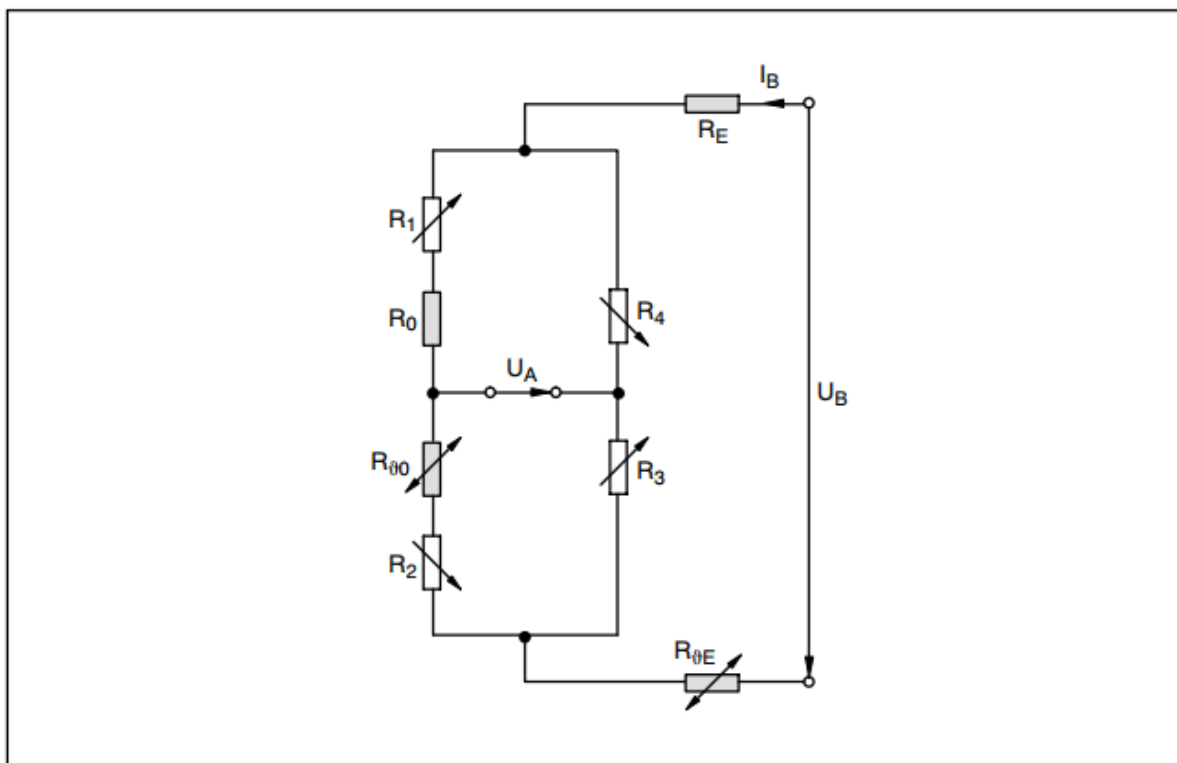
- جبران سازی خطای حرارتی در مدار پل و تستون، و همچنین جبران سازی خطای حرارتی نقطه صفر مبدل (TC_0).

- تصحیح نامتعادلات مقاومتی در مدار پل و تستون، و همچنین جبران یا بالانس نقطه صفر پل و تستون

- جبران وابستگی های حرارتی حساسیت خروجی مبدل، و همچنین جبران دمایی خود حساسیت (TC_C).

- حساسیت و مقدار نامی بالانس مبدل

برای انجام عملیات بالا در عمل، نیاز به اضافه کردن مقاومت های ثابت و حساس به دما در مدار پل و تستون و یا به صورت سری در خطوط تغذیه می باشد. شکل 1 مدار پایه ای یک مبدل را با در نظر گرفتن این مقاومت ها نشان می دهد.

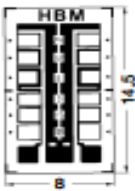
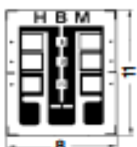


شکل 1: دیاگرام مداری پایه برای مبدل هایی که از استرین گیج استفاده می کنند

مقاومت های بالانس و جبران سازی:

جبران سازها و مقاومت های بالانس برای طراحی های عملی اهمیت ویژه ای دارند. شبکه های مقاومتی به همان روش استرین گیج ها، به سادگی قابل استفاده در مبدل ها هستند. بخش های بعدی نحوه استفاده این مقاومت ها را نشان می دهد و جدول 1 انواع مختلفی از آنها را به همراه مشخصات فنی آنها نشان می دهد. این جدول برای شرکت HBM می باشد.

Houshmand Sanat Tav Electronic CO.,LTD.

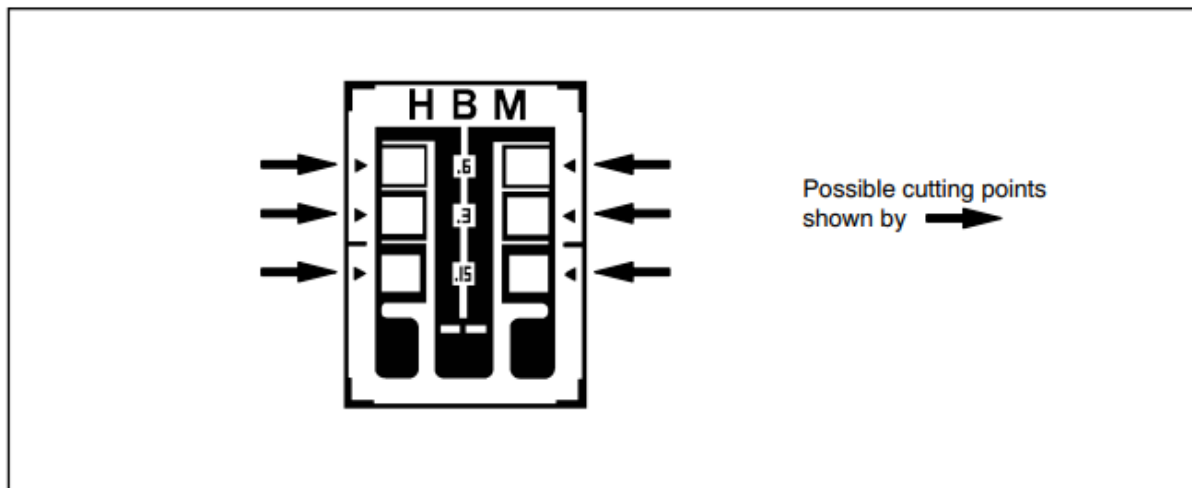
Designation	Adjustable foil resistors		
	for zero point balancing	for temperature compensation of the zero point	for temperature compensation of sensitivity
Type	NA1 6/4, 73	TN1 3/1,05	TC 1 4/60
Design (magnified)			
Resistor material	Constantan alloy	Nickel	Nickel
Temp. coeff. of the resistor (+20 °C...+70 °C)	-	$5,0 \cdot 10^{-3} / ^\circ\text{C}$	$5,0 \cdot 10^{-3} / ^\circ\text{C}$
Maximum resistance [Ω]	4,73 (per half)	1,05 (per half)	60
No. of stages	6 (per half)	3 (per half)	4
Individual resistance in steps Resist. tolerance [Ω]	2,4 1,2 0,6 0,3 0,15 0,08 $\pm 20 \%$	0,6 0,3 0,15 $\pm 20 \%$	32 16 8 4 $\pm 20 \%$
Special features	Resistance values can be set by cutting the conducting paths. Binary incrementing of the settable resistance values. Explicit marking of all resistance values on the elements. Symmetrical, double structure with three connections to link onto bridge corner points, so allowing balancing or compensation in positive and negative direction.		
Achievable	Zero point balancing to approx. 0.0285 mV/V or 57 $\mu\text{m/m}$ (smallest resistance step: 0.08 $\Omega \triangleq 114 \mu\text{m/m}$)	TC0 error can be compensated to approx. 0.15 % / 10 K relative to 2 mV/V or 4000 $\mu\text{m/m}$ (at smallest resistance step: 0.15 $\Omega \triangleq 11 \mu\text{m/m/10 K}$)	TC _C error in steel or aluminum elastic elements can be compensated to approx. 0.03 % / 10 K (at smallest resistance step: 4 $\Omega \triangleq 2.3 \mu\text{m/m/10 K}$)

جدول 1: المان های بالانس و جبران ساز شرکت HBM

نحوه تنظیم مقادیر مقاومت ها:

آرایش و ساختار شبکه های مقاومتی این اجازه را به کاربر می دهد که مقدار آن را به راحتی و با اطمینان تنظیم کند. روش کار برای هر سه المان مشابه هم می باشد. با برش های مکانیکی، مقاومت خروجی این المان ها تغییر می کند، و می توان مقدار دلخواه را با برش های خاص ایجاد و از آنها در پل و تستون

استفاده کرد. نقاط برش همانطور که در شکل 2 نشان داده شده است، توسط فلش هایی مشخص شده است.



شکل 2: شبکه مقاومتی فویلی قابل تنظیم برای جبران اثر حرارتی نقطه صفر مبدل

جبران سازی خطای حرارتی نقطه صفر پل و تستون (TC₀):

این خطای حرارتی تاثیر مستقیمی بر روی پایداری نقطه صفر مبدل دارد. از این رو به آن "ضریب حرارتی نقطه صفر (Temperature Coefficient of zero point)" نیز گفته می شود. برای حذف این خطا ابتدا باید منشا ایجاد آن را بدانیم.

برخلاف حالت های ایده آل تئوری پل و تستون متقارن که تاثیر پذیر از تغییرات دمایی نیست، در عمل خروجی نقطه صفر پل نشان داده است که وابستگی هایی به دمای محیط اطراف خود دارد. این وابستگی های دمایی به دلیل وجود مقاومت های حساس به دمای نامتقارن، در بازوهای پل می باشد. حتی با عمل کردن دقیق هم، این عدم تعادل ها را نمی توان از بین برد. دلایل این ادعا عبارت اند از:

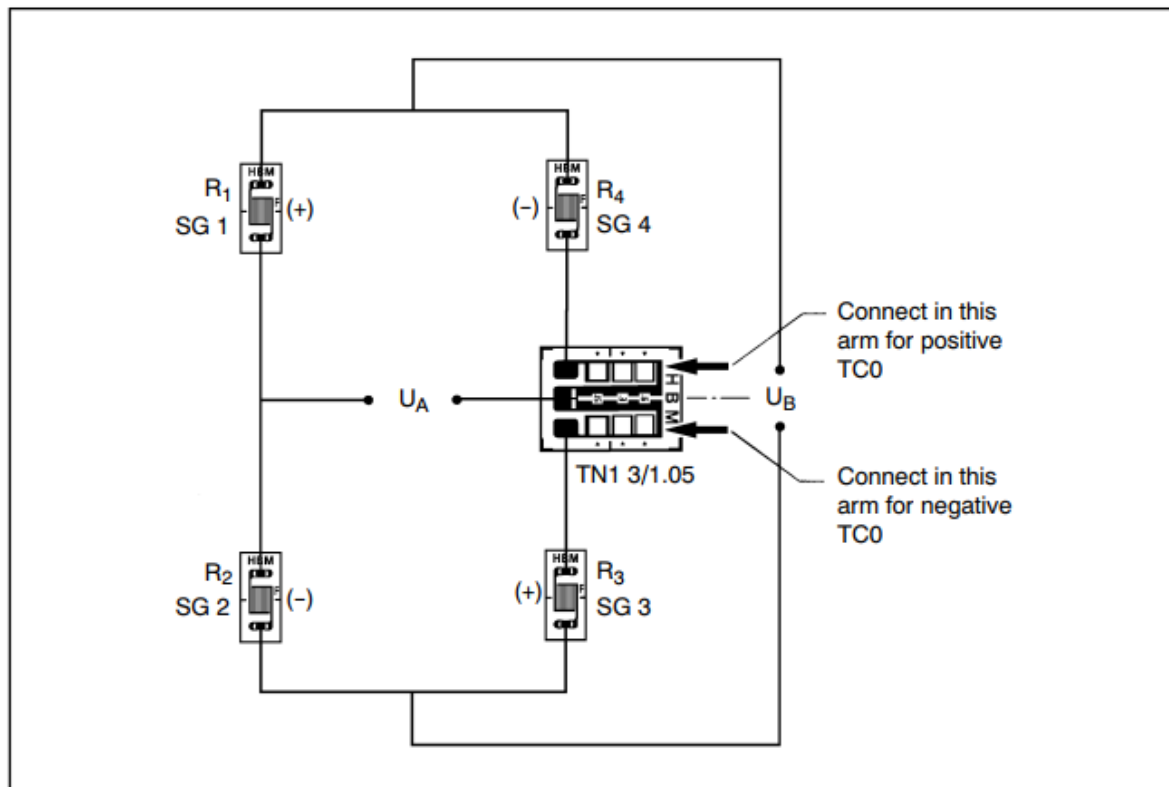
- تفاوت در اندازه و طول سیم های اتصال در بازوهای مختلف پل و تستون
- حتی در استرین گیج های با دقت بالا، تفاوت اندکی در مشخصات حرارتی آنها وجود دارد. یعنی دو گیج عینا ویژگی های حرارتی یکسانی را ندارند.

اگر دقت های اندازه گیری بالایی نیاز باشد، می توان خطاهای گفته شده در بالا را به طور قابل توجهی از خروجی مبدل حذف کرد. این کار با اضافه کردن یک مقاومت حساس به حرارت در بازوهای پل انجام می شود. میزان تغییرات مقاومت این المان حساس به حرارت باید به حدی باشد که بتواند عدم تقارن ایجاد شده توسط حرارت را در خروجی پل جبران کند. مطابق با تئوری مدار پل، تغییرات مقاومت در بازوهای

Houshmand Sanat Tav Electronic CO.,LTD.

مجاور پل با علامت های یکسان، اثرات آنها را از هم کم می کند و اگر این تغییرات دقیقاً از نظر دامنه یکسان باشند، اثر آنها در خروجی حذف می شود.

یک روش ساده برای جبران این خطا، استفاده از مقاومت های فویلی قابل تنظیم حساس به دما می باشد. نحوه قرار گرفتن این مقاومت در مدار پل، در شکل 3 نشان داده شده است.



شکل 3: نحوه قرار گرفتن مقاومت جبران ساز اثر حرارتی نقطه صفر فویلی در مدار پل و تستون

الان نوبت محاسبه مقدار این مقاومت می باشد. برای محاسبه مقدار این مقاومت ابتدا باید خطای حرارتی مبدل در محدوده دمایی کاری آن اندازه گیری شود.

بستگی به ابزارهای اندازه گیری، خطای حرارتی می تواند در واحد های mV/V یا $\mu m/m$ اندازه گیری شود.

در مرحله اول مقدار مقاومت R_{TN1} که قرار است در پل قرار داده شود، از رابطه زیر قابل محاسبه است.

$$R_{TN1} = 4 \cdot \frac{U_O}{U_B} \cdot \frac{R_{SG}}{\Delta \theta \cdot TC_{TN1}} \quad (1)$$

رابطه (2) از رابطه (1) مشتق گرفته شده است:

$$\frac{U_O}{U_B} = \frac{1}{4} \cdot \frac{\Delta R_{\theta}}{R_{SG}} \quad (2)$$

که در آن:

$$\Delta R_{\theta} = \alpha \cdot R_0 \cdot \Delta \theta$$

$$\Delta R_{\theta} = TC_{TN1} \cdot R_{TN1} \cdot \Delta \theta \quad (3)$$

می باشد. وقتی خطای حرارتی به صورت $\mu m/m$ اندازه گیری شود، مقدار R_{TN1} از رابطه زیر قابل محاسبه است.

$$R_{TN1} = 2 \cdot \frac{\epsilon \cdot R_{SG}}{\Delta \theta \cdot TC_{TN1}} \quad (4)$$

روابط زیر از رابطه (4) مشتق گرفته شده است:

$$\frac{\Delta R_{\theta}}{R_{SG}} = k \cdot \epsilon \approx 2 \cdot \epsilon$$

$$\Delta R_{\theta} = 2 \cdot \epsilon \cdot R_{SG} \quad (5)$$

در روابط بالا

R_{TN1} : مقدار مقاومت جبران ساز اثر دما که باید در بازوهای پل قرار داده شود.

R_{SG} : مقدار مقاومت اهمی استرین گیج بر حسب Ω

R_0 : مقدار مقاومت اصلی در دمای مرجع بر حسب Ω

ΔR_{θ} : میزان تغییر مقاومت در اثر تغییرات دما بر حسب Ω

TK_{TN1} : ضریب حرارتی مقاومت جبران ساز بر حسب $(\Omega/\Omega)/K$

$\Delta \theta$: تغییرات دما بر حسب K (کلوین)

$\frac{U_O}{U_B}$: حساسیت خروجی پل بر حسب V/V (سیگنال خروجی که در اثر تغییر دما به وجود آمده است)

ϵ : میزان کرنش به وجود آمده در اثر تغییرات دما بر حسب m/m

در اینجا باید خاطر نشان شود که اندازه گیری رفتار خروجی مبدل در دماهای مختلف، جهت بدست آوردن خطاهای حرارتی و حذف آنها، یک عمل پرهزینه‌ای می باشد. زیرا در حین اندازه گیری سیگنال خروجی، مبدل دقیقا باید در دماهای مشخص شده بماند. رنج دمای کاری بسیاری از مبدل ها معمولا از -10 تا $+70$ درجه سانتی گراد می باشد. خروجی مبدل معمولا در حدهای بالایی و پایینی رنج دمایی مورد نظر و در چند نقطه بین آنها اندازه گیری می شود. قبل از هر اندازه گیری در یک دمای مشخص، باید به مبدل فرصت داد تا به دمای تعادل برسد. مدت زمان رسیدن مبدل به دمای تعادل و پایدار شدن خروجی آن، به جرم عنصر ارتجاعی بستگی دارد. هر چه جرم آن بزرگتر باشد، مدت زمان رسیدن به دمای تعادل نیز بیشتر خواهد بود و برعکس.

مبدل مثال ما در رنج دمایی اشاره شده در بالا، مقدار $\epsilon = +30 \mu m/m$ خطای حرارتی برای آن اندازه گیری شده است. برای محاسبه مقدار مقاومت جبران ساز اثر دما R_{TN1} داریم:

$$\epsilon = +30 \mu m/m = +30 \cdot 10^{-6} m/m$$

$$\Delta \theta = 80 K$$

$$R_{SG} = 350 \Omega$$

$$TC_{TN1} = 5 \cdot 10^{-3} \frac{\Omega}{K}$$

$$k \approx 2$$

$$R_{TN1} = 2 \cdot \frac{\epsilon \cdot R_{SG}}{\Delta \theta \cdot TC_{TN1}}$$

$$= 2 \cdot \frac{30 \cdot 10^{-6} \cdot 350 \Omega}{80 K \cdot 5 \cdot 10^{-3}}$$

$$R_{TN1} = \underline{\underline{0,053 \Omega}}$$

مقدار این مقاومت باید توسط برش های مکانیکی در شبکه مقاومتی ایجاد، و در پل قرار داده شود. گاهی اوقات مقدار بدست آمده را دقیقا نمی توان توسط شبکه های مقاومتی ایجاد کرد.

Houshmand Sanat Tav Electronic CO.,LTD.

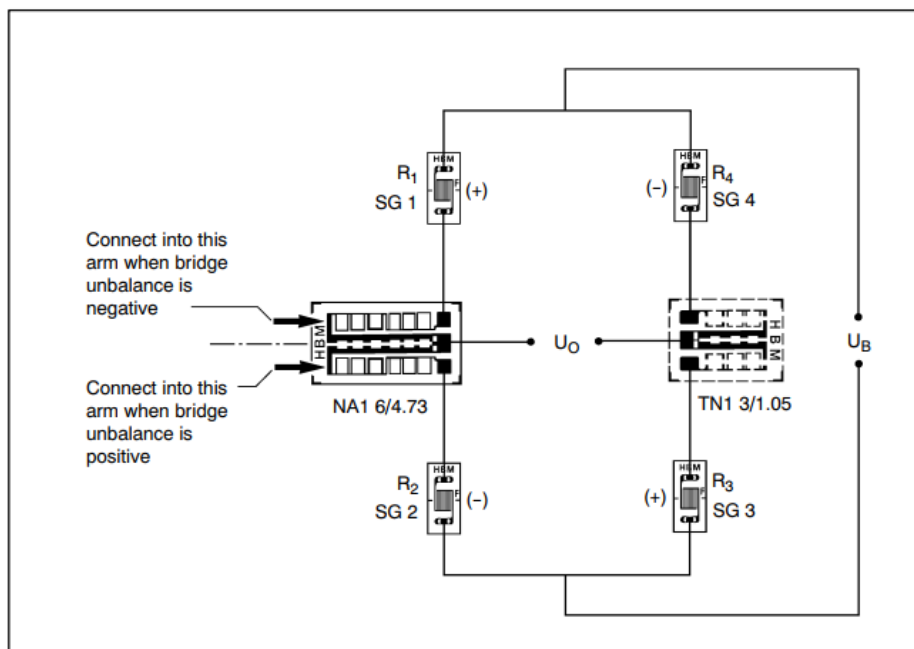
این حالت باید نزدیکترین مقدار قابل ایجاد را با مقدار محاسبه شده، در شبکه مقاومتی تنظیم و در پل قرار داده شود.

تصحیح بالانس صفر پل و تستون:

با اینکه تقویت کننده های مدرن امروزی که به همراه مبدل ها مورد استفاده قرار می گیرند، قابلیت انجام عمل بالانس صفر را دارند، یعنی عمل آفست گیری را به راحتی می توانند انجام دهند، اما هدف در طراحی مبدل ها این است که خروجی مبدل بدون اعمال بار مکانیکی به آن، صفر باشد. شرط تحقق این امر، تقارن کامل مدار پل می باشد.

دلایل وجود سیگنال در خروجی مبدل ها بدون اعمال بار به آنها، یعنی عدم تعادل پل و تستون به شرح زیر می باشند:

- وجود عدم تقارن در اندازه و طول سیم های اتصال در پل و تستون
- وجود عدم تقارن هایی در مقاومت اهمی خود گیج ها که اندکی با هم تفاوت دارند
- عدم تقارن هایی که از قرار دادن یک سری مقاومت های جبران کننده بخش قبل در مدار پل به وجود می آیند.
- عدم تقارن هایی که ناشی از عدم نصب صحیح گیج ها و ایجاد اختلال ها در آنها به وجود می آیند.
- این عدم تقارن هایی که از موارد گفته شده در بالا به وجود می آیند، با قرار دادن یک مقاومت کوچک غیر حساس به حرارت جبران می شوند.
- راحت ترین روش برای بالانس پل و تستون، استفاده از "مقاومت های فویلی قابل تنظیم" در مدار پل می باشد. شکل 4 نحوه قرار گیری این مقاومت در مدار پل و تستون را نشان می دهد. که در جهت مخالف مقاومت جبران ساز اثر حرارتی قرار گرفته است.



شکل 4: نحوه قرارگیری مقاومت فویلی قابل تنظیم در پل جهت بالانس کردن خروجی آن

برای محاسبه مقدار این مقاومت باید میزان عدم تعادل پل در دمای مرجع اندازه گیری شود. این اندازه گیری می تواند در واحدهای mV/V یا $\mu m/m$ باشد.

اگر اندازه گیری بر حسب mV/V باشد، از روابط زیر برای محاسبه مقدار مقاومت R_{NA1} استفاده می کنیم.

$$R_{NA1} = 4 \cdot R_{SG} \cdot \frac{U_O}{U_B} \quad (6)$$

یا

$$\frac{U_O}{U_B} = \frac{1}{4} \cdot \frac{\Delta R}{R_{SG}}$$

که در آن $R_{NA1} = \Delta R$ می باشد.

اگر اندازه گیری بر حسب $\mu m/m$ باشد، از روابط زیر برای محاسبه مقدار مقاومت R_{NA1} استفاده می کنیم.

$$R_{NA1} = 2 \cdot \epsilon \cdot R_{SG} \quad (7)$$

$$\frac{\Delta R}{R_{SG}} = k \cdot \epsilon \approx 2 \cdot \epsilon$$

که در آن $R_{NA1} = \Delta R$ می باشد.

در روابط بالا:

R_{NA1} : مقدار مقاومتی که باید در بازوهای پل قرار داده شود تا پل بالانس شود.

R_{SG} : مقدار مقاومت اهمی استرین گیج بر حسب Ω

ΔR : میزان تغییرات مقاومت متناظر با عدم تعادل پل،

$\frac{U_O}{U_B}$: حساسیت خروجی پل بر حسب V/V (سیگنال خروجی پل که در دمای مرجع اندازه گیری شده است و میزان عدم تعادل پل را نشان می دهد)

ϵ : میزان کرنش اندازه گیری شده ناشی از عدم تعادل پل بر حسب m/m

در مثال مبدل خودمان، مقدار عدم تعادل $-342 \mu m/m$ در دمای مرجع 20 درجه سانتی گراد، بعد از انجام عملیات جبران سازی TC_0 اندازه گیری شده است.

$$\epsilon = -342 \mu m/m = -342 \cdot 10^{-6} m/m$$

$$R_{SG} = 350 \Omega$$

$$R_{NA1} = \Delta R$$

$$R_{NA1} = 2 \cdot \epsilon \cdot R_{SG}$$

$$= 2 \cdot 342 \cdot 10^{-6} \cdot 350 \Omega$$

$$R_{NA1} = \underline{\underline{0,24 \Omega}}$$

حال باید این مقاومت که توسط شبکه مقاومتی فویلی قابل تنظیم، ایجاد و در پل مطابق شکل 4 قرار داده شود.

جبران سازی اثر دما بر حساسیت مبدل:

Houshmand Sanat Tav Electronic CO.,LTD.

تغییرات دما، علاوه بر تغییر نقطه صفر خروجی، حساسیت مبدل را نیز تحت تاثیر خود قرار می دهد. برای مبدل هایی که از روش ولتاژ ثابت تغذیه می شوند، داریم:

$$\text{سیگنال صفر} - \text{ولتاژ خروجی پل در بار نامی} \\ \text{ولتاژ تحریک پل} = \text{حساسیت نامی}$$

$$C = \frac{U_O}{U_B}$$

دلایل وابستگی حساسیت مبدل به تغییرات دما عبارت است از:

1- وابستگی دمایی مدول یانگ عنصر ارتجاعی

مدول یانگ عنصر ارتجاعی E با افزایش دما مقدار آن کاهش پیدا می کند. در نتیجه عنصر ارتجاعی که بار ثابتی به آن اعمال شده است، در دماهای بالا نسبت به دماهای پایین بیشتر دچار کرنش می شود. و متعاقبا کرنش ثبت شده توسط استرین گیج نه تنها به بار اعمالی، بلکه به دما نیز بستگی دارد.

Material		$\Delta E / \Delta \theta [10^{-5} / K]$
Spring steel	51 CrV4	-26
Spring steel	X5 CrNi CuNb 1744	-19
Copper-beryllium	CuBe 2	-35
Aluminum	AlCuMg 2	-58

جدول 2: وابستگی دمایی مدول یانگ برخی از مواد مورد استفاده در مبدل ها در دمای 0 الی 100 درجه

2 - وابستگی دمایی فاکتور گیج (K) استرین گیج ها

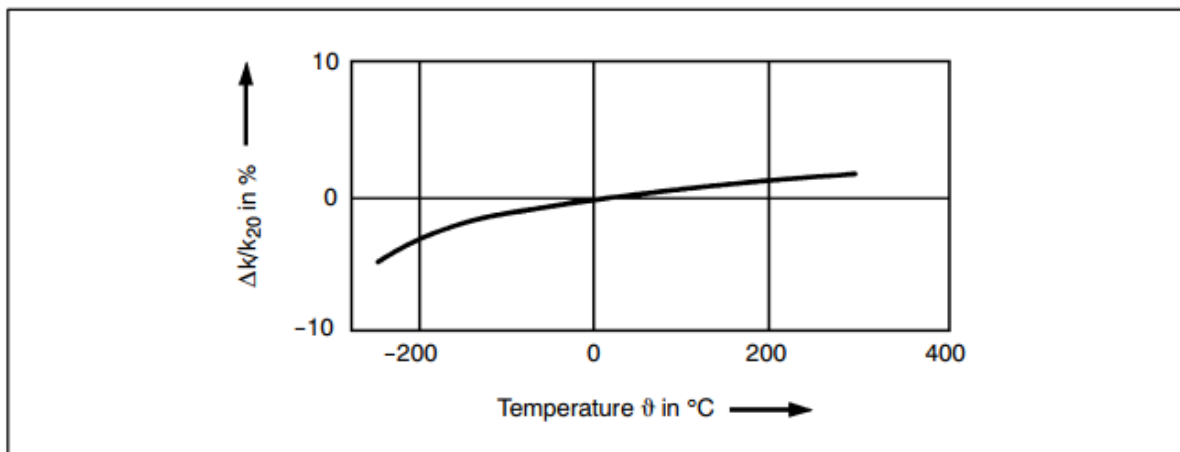
فاکتور گیج معیاری برای اندازه گیری حساسیت استرین گیج می باشد.

$$k = \frac{\Delta R/R_0}{\Delta I/I_0}$$

$$\frac{\Delta I}{I_0} = \epsilon$$

$$k = \frac{\Delta R/R_0}{\epsilon} \quad (8)$$

فاکتور گنج نیز وابستگی دمایی از خود نشان می دهد. شکل 5 یک نمونه منحنی فاکتور گنج را در برابر تغییرات دما نشان می دهد.

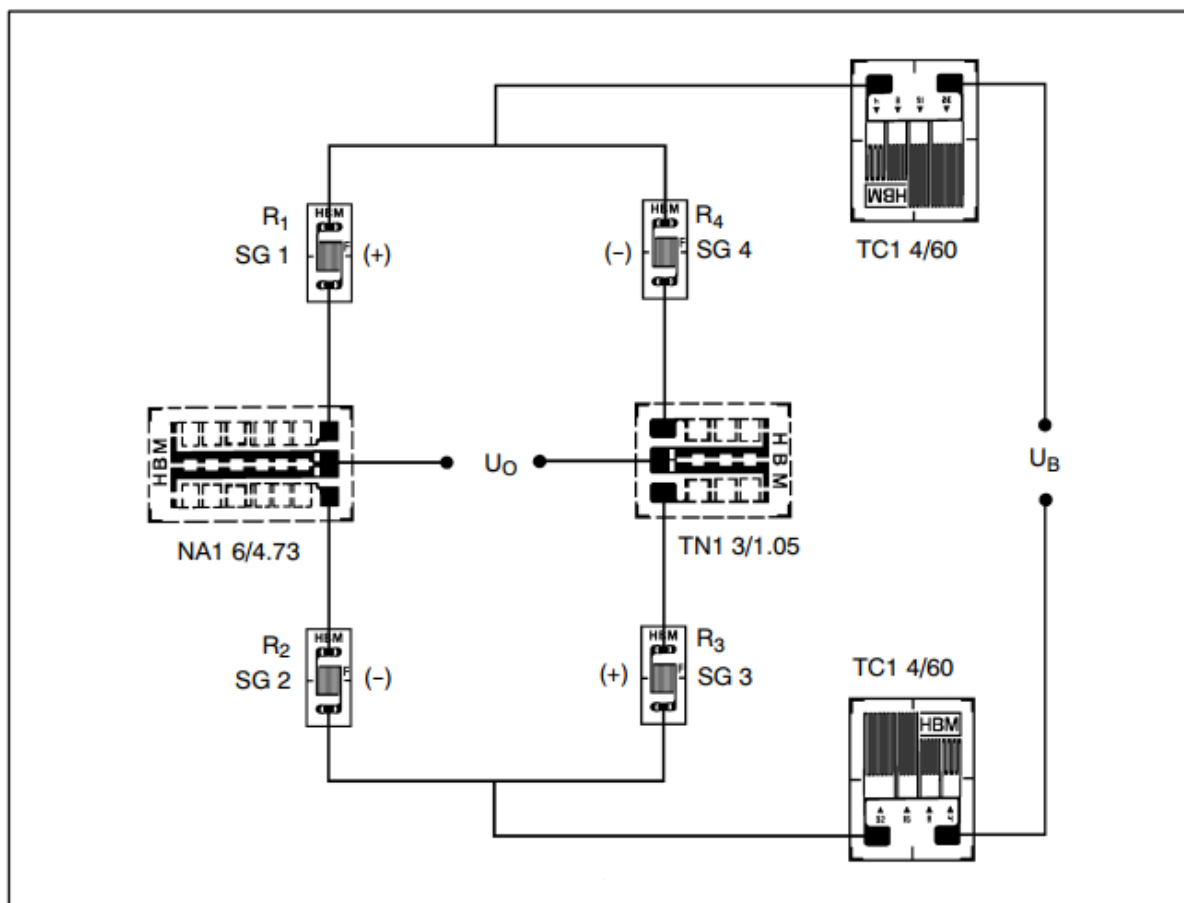


شکل 5: وابستگی فاکتور گنج نسبت به دما. این منحنی برای استرین گیج با آلایژ کنستانتان می باشد.

برای جبران سازی این خطا به مقاومت های حساس به دما با ضریب حرارتی مقاومتی بالا نیاز است. این

مقاومت ها به صورت سری با خطوط تغذیه در مدار پل وتستون قرار می گیرند. با افزایش حرارت مقدار این مقاومت ها بالا رفته و ولتاژ ورودی پل به میزانی که خروجی آن به خاطر موارد گفته شده در بالا، افزایش یافته بود، کاهش می یابد. این عمل تقریباً حساسیت خروجی را ثابت نگه می دارد.

نحوه قرار گیری این مقاومت های حساس به دما در شکل زیر نشان داده شده است.



شکل 6: نحوه قرارگیری مقاومت های حساس به دما جهت جبران اثر دما بر روی حساسیت مبدل

برای محاسبه مقدار این مقاومت ها باید خروجی مبدل در ظرفیت نامی آن در دماهای مورد نظر اندازه گیری شود.

مقدار مقاومت R_{TC1} به صورت زیر محاسبه می شود:

$$\Delta R_{\theta} = \left(\frac{K_1}{K_2} - 1 \right) \cdot R_B \quad (9)$$

$$R_{TC1} = \frac{\Delta R_{\theta}}{TC_{TC1} \cdot \Delta \theta} \quad (10)$$

که در آن:

R_{TC1} : مقدار مقاومت جبران ساز اثر دما بر حساسیت خروجی که باید به صورت سری با پل قرار داده شود.

R_B : مقدار مقاومت اهمی پل بر حسب Ω

Houshmand Sanat Tav Electronic CO.,LTD.

ΔR_0 : میزان تغییر مقاومت در اثر تغییرات دما بر حسب Ω

TC_{TC1} : ضریب حرارتی مقاومت جبران ساز بر حسب $(\Omega/\Omega)/K$

K_1 : حساسیت خروجی مبدل در بار نامی در ماکزیمم دمای کاری مبدل بر حسب mV/V یا $\mu m/m$

K_2 : حساسیت خروجی مبدل در بار نامی در دمای مرجع بر حسب mV/V یا $\mu m/m$

وابستگی دمایی حساسیت مبدل مثال ما، به صورت زیر اندازه گیری شده است:

سیگنال خروجی مبدل در بار نامی 1 کیلوگرم و در دمای مرجع 20 درجه سانتی گراد:

$$2498 \mu m/m = K_2$$

سیگنال خروجی مبدل در بار نامی 1 کیلوگرم و در ماکزیمم دمای کاری آن در 70 درجه سانتی گراد:

$$2539 \mu m/m = K_1$$

داریم:

$$K_1 = 2539 \mu m/m$$

$$K_2 = 2498 \mu m/m$$

$$\Delta \vartheta = 50 K$$

$$R_B = 350 \Omega$$

$$TC_{TC1} = 5 \cdot 10^{-3} \frac{\Omega}{\Omega}/K$$

$$\begin{aligned}\Delta R_{\theta} &= \left(\frac{K_1}{K_2} - 1 \right) \cdot R_B \\ &= \left(\frac{2539 \mu\text{m/m}}{2498 \mu\text{m/m}} - 1 \right) \cdot 350 \Omega \\ &= 5.7 \Omega \\ R_{TC1} &= \frac{\Delta R_{\theta}}{TC_{TC1} \cdot \Delta \theta} \\ &= \frac{5.7 \Omega}{5.0 \cdot 10^{-3} \frac{\Omega}{K} \cdot 50 K} \\ \underline{\underline{22.8 \Omega}} &= \underline{\underline{(2 \cdot 11.4 \Omega)}}$$

تنظیم حساسیت خروجی مبدل:

مبدل هایی که از استرین گیج استفاده می کنند، معمولاً به گونه ای طراحی می شوند که حساسیت خروجی آنها $2mV/V$ شود یعنی به ازای ورودی 1 ولت بتوان از خروجی مبدل سیگنالی به اندازه $2mV$ در بار نامی آن دریافت کرد.

به خاطر وجود خطاهای غیرقابل اجتناب، ساخت مبدل هایی که دقیقاً حساسیت مورد نظر را دهد، امکان پذیر نیست. برای همین عنصر ارتجاعی باید طوری طراحی شود که در بار نامی خود برای حساسیت مثلاً $2mV/V$ ، حساسیت $2.4mV/V$ را بدست بدهد.

حال برای رسیدن به حساسیت $2mV/V$ باید در مسیر سیگنال های ورودی، مقاومت های ثابت غیر حساس به حرارت R_E قرار داده شود. وظیفه این مقاومت ها کاهش تغذیه ورودی پل و تستون و در نتیجه کاهش حساسیت مبدل به مقدار مورد نظر است.

مقدار مقاومت R_E جهت تنظیم حساسیت خروجی مبدل، از رابطه زیر قابل محاسبه است.

$$R_E = R_B \cdot \left(\frac{K_1}{K_2} - 1 \right) \quad (11)$$

که در آن :

R_E : مقدار مقاومت مورد نیاز جهت تنظیم حساسیت مبدل به مقدار مورد نظر

R_B : مقاومت ورودی پل و تستون

K_1 : حساسیت مبدل قبل از تنظیم آن

K_2 : حساسیت مورد نظر برای مبدل

اقدامات حفاظتی محل نصب گیج ها:

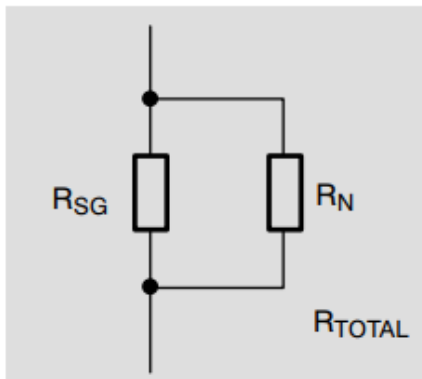
حفاظت از محل نصب گیج ها در مبدل ها از اهمیت ویژه ای برخوردار است، اینکه یک مبدل در طولانی مدت بتواند عملکرد مطلوب خود را در برابر عوامل خارجی مزاحم حفظ کند یا نه، بستگی زیادی به پوشش محل نصب گیج ها دارد.

پوشاندن گیج ها از آنها در برابر عوامل محیطی مانند رطوبت، گرد و غبار و عوامل مکانیکی مانند ضربه و ... محافظت می کند.

در میان این عوامل، رطوبت از همه مهم تر است. رطوبت مقاومت الکتریکی عایق را که به صورت یک مقاومت شنت که با نقطه اندازه گیری موازی شده است، کاهش می دهد.

مقدار این مقاومت های شنت با دما و رطوبت تغییر می کند و باعث می شود در خروجی مبدل خزش وجود داشته باشد.

مثال زیر یک معیاری را برای خطای رطوبت نشان می دهد. در این مثال از یک گیج 350 اهمی با فاکتور گیج 2 استفاده شده است. مقدار تغییرات مقاومت این گیج در بار نامی $1000\mu m/m$ برابر با 0.7 اهم می باشد. اگر مقاومت عایق الکتریکی به صورت یک مقاومت شنت در دو سر استرین گیج در نظر گرفته



$$\frac{1}{R_{Total}} = \frac{1}{R_{SG}} + \frac{1}{R_N} \quad (12)$$

$$R_{Total} = \frac{R_N \cdot R_{SG}}{R_{SG} + R_N} \quad (13)$$

شود، در این صورت مقاومت کل از روابط (12) و (13) قابل محاسبه است. با در نظر گرفتن مقدار 20000 مگا اهم برای R_N داریم:

$$R_{Total} = \frac{350 \, \Omega \cdot 2 \cdot 10^{10} \, \Omega}{2 \cdot 10^{10} \, \Omega + 350 \, \Omega}$$

$$\underline{\underline{R_{Total} = 349.999 \, \Omega}}$$

همانطور که می بینید، این تغییر بسیار کوچک در مقدار مقاومت گیج قابل چشم پوشی است. حال اگر مقاومت عایق الکتریکی به خاطر رطوبت به 2 مگا اهم کاهش یابد، داریم:

$$R_{Total} = \frac{350 \, \Omega \cdot 2 \cdot 10^6 \, \Omega}{2 \cdot 10^6 \, \Omega + 350 \, \Omega}$$

$$\underline{\underline{R_{Total} = 349.94 \, \Omega}}$$

تغییرات مقاومت در این حالت نسبت به حالت قبل، $\Delta R = 0.06 \, \Omega$ می باشد، این تغییرات در مقاومت معادل $85.7 \, \mu m/m$ تغییرات در کرنش می باشد. این میزان تغییرات در برابر کرنش نامی $1000 \, \mu m/m$ ، خطایی تقریباً 10% را نشان می دهد.

این مثال میزان تاثیر رطوبت بر عملکرد مبدل را به خوبی نشان می دهد، هرچقدر مقاومت گیج بیشتر باشد، اثرگذاری رطوبت به همان میزان بیشتر خواهد بود. برای همین محل نصب گیج ها و بقیه المان ها باید به خوبی در برابر این عوامل محافظت گردد. برای این کار چسب های مخصوصی از طرف سازندگان گیج ها وجود دارد که هر کدام از این چسب ها محل نصب المان ها را در برابر برخی از عوامل محیطی و مکانیکی محافظت می کند.