تقویت‌کننده ترنسدیوسرهای مبتنی بر استرین‌گیج

فهرست

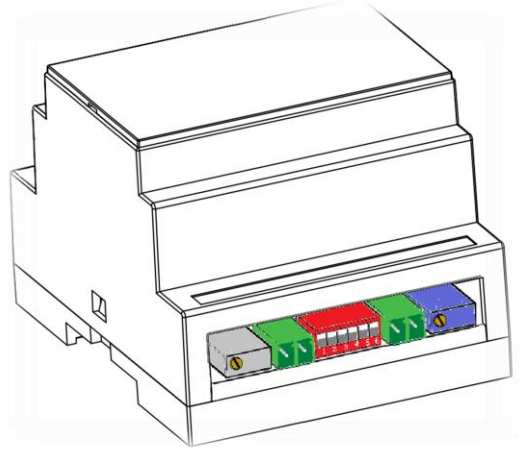
---

۱) توضیحات عمومی
۲) بلوک دیاگرام ماژول
۳) تنظیمات ورودی/خروجی
۴) اندازه‌گیری نیرو
۵) اندازه‌گیری توسط سنسورهای مبتنی بر استرین‌گیج
۶) اندازه‌گیری توسط استرین‌گیج
۷) محاسبه استرین
۸) کالیبراسیون ورودی/خروجی
۹) کالیبراسیون شانت

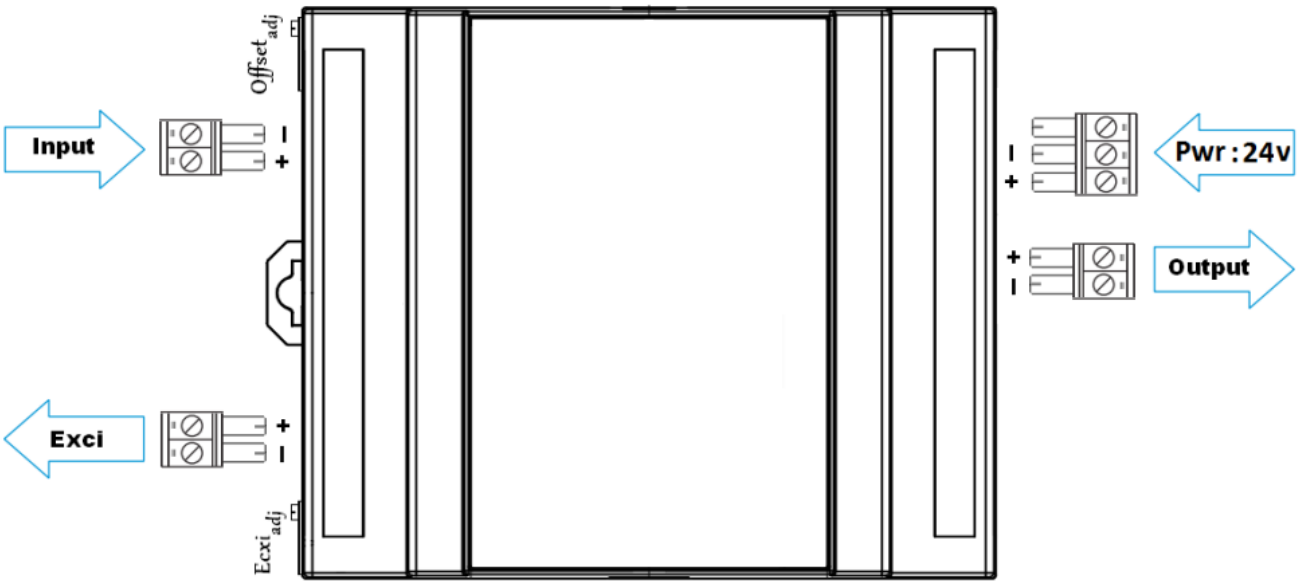
۱. توضیحات عمومی

این ماژول یک ترنسمیتر با قابلیت نصب بر روی ریل برای لودسل یا سنسورهای مبتنی بر استرین‌گیج می‌باشد. ۳۰۱۴ به همراه ترنسدیوسری که به آن متصل می‌شود، یک سیستم اندازه‌گیری کامل را تشکیل می‌دهد.

خروجی می‌تواند بطور مستقیم جهت کنترل یک فرآیند بکار گرفته شود. تمام مدارهای ماژول بصورت آنالوگ پیاده‌سازی شده است و تنظیمات متنوعی جهت انطباق با کاربردهای مختلف فراهم شده است.



نمای ترنسمیتر از سمت ورودی

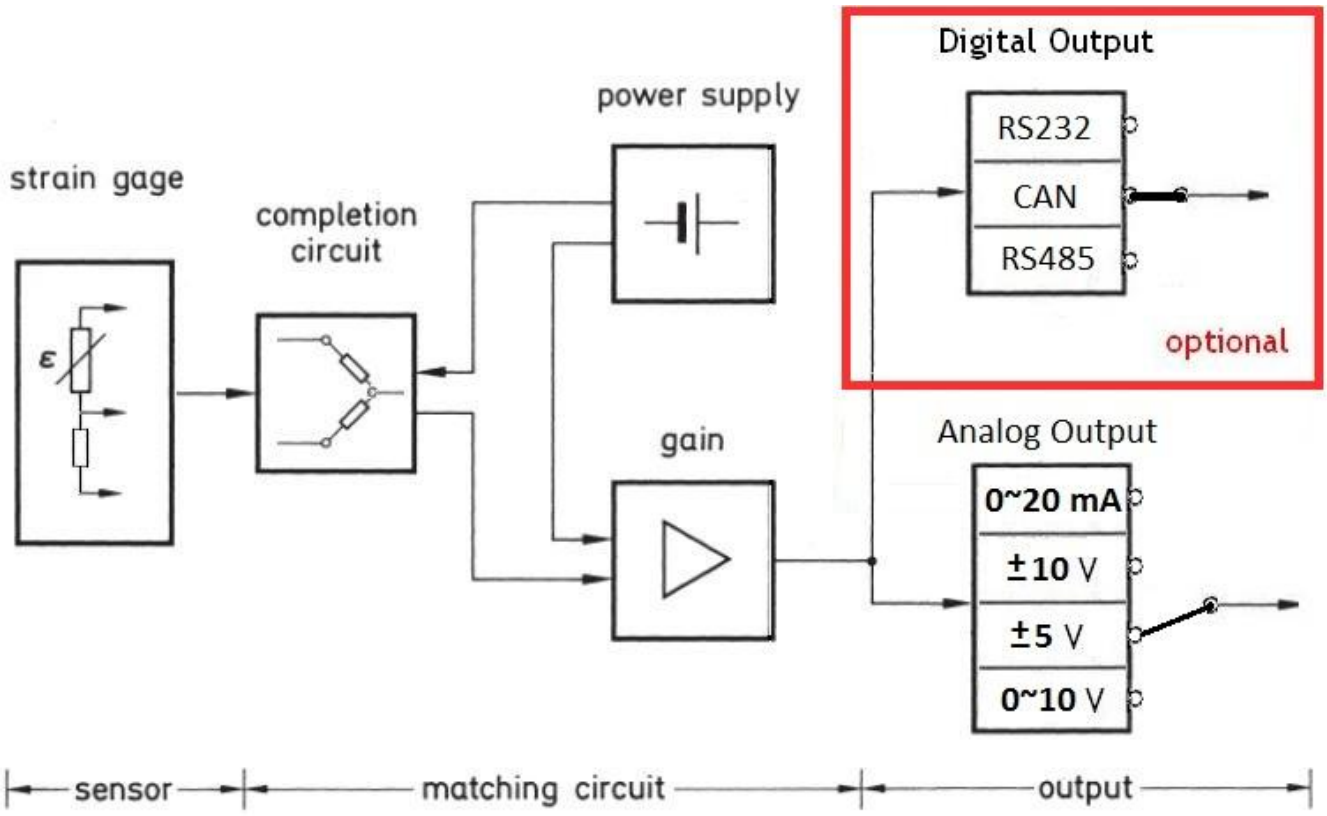


نمای ترنسمیتر از بالا

نام کانکتور	توضیحات
Exci	تغذیه مدار پل وتستون (مقدار پیش فرض ۱۰ ولت)
Input	سیگنال ورودی
Pwr	تغذیه dc ماژول می باشد. (۲۴v±۱۰٪)
Output	ولتاژ (یا جریان) خروجی

۲. بلوک دیاگرام ماژول

شکل زیر بلوک دیاگرام ماژول را نمایش می‌دهد.



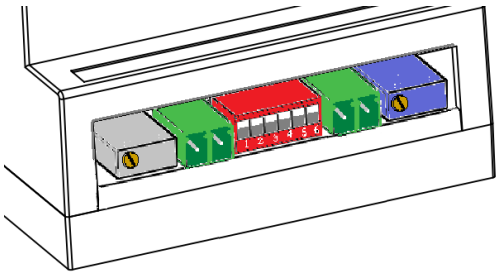
ذکر چند نکته در مورد این بلوک دیاگرام ضروری است.

- اگر پل وتستون در حالت پل ¼ یا نیم‌پل تنظیم شود، نیم دیگری از مدار پل در داخل ماژول تشکیل می‌شود. در حالت تمام‌پل، نیم‌پل داخلی از مدار خارج می‌گردد.

- تغذیه مدار پل قابل تنظیم است و بدون ایزولاسیون از تغذیه اصلی فراهم شده است.

- خروجی‌های دیجیتال در این ماژول وجود ندارد و تنها بنا بر سفارش اضافه می‌شود.

۳. تنظیمات ورودی/خروجی



الف) تنظیمات ورودی

- دو پتانسیومتر یکی جهت تغییر آفست (واقع در سمت چپ) و دیگری جهت تنظیم ولتاژ تغذیه پل (سنسور) در محدوده‌ی ۱ تا ۱۰ ولت در سمت راست تعبیه شده است.

- شش عدد سوئیچ برای تنظیمات دیگر ورودی در نظر گرفته شده است. انتخاب نوع مدار پل توسط دو سوئیچ ۱و۲، امکان حذف یا اضافه شدن مدار تغییر آفست با سوئیچ ۴ و انتخاب بازه ورودی توسط دو سوئیچ ۵ و ۶ انجام می گیرد. (● = ON)

- در ابتدای هر تست یا آزمایش سوئیچ ۴ مربوط به آفست را در حالت OFF قرار دهید و خروجی را بررسی کنید. اگر لازم بود آن را در حالت ON قرار دهید و توسط پتانسیومتر تنظیم کنید.

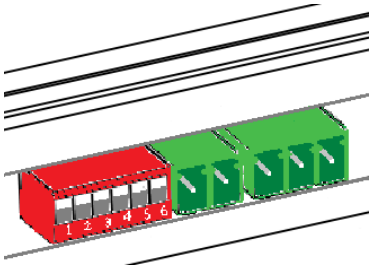
تنظیمات ورودی	۶	۵	۴	۳	۲	۱
نوع مدار پل Quarter یا Half						●
نوع مدار Full-Bridge					●	
امکان تغییر آفست در Bridge			●			
بازه ورودی ۱۰mV±	●	●				
بازه ورودی ۲۰mV±		●				

به عنوان مثال اگر یک لودسل (نوع مدار پلFull-Bridge) در اختیار داشته باشیم و بخواهیم بدون تغییر در آفست آن را بخوانیم و عدد حساسیت لودسل معادل $۲mV/V$ باشد. باید تنظیمات را مانند شکل زیر انجام دهیم:

اگر مقدار ولتاژ تغذیه سنسور را تغییر ندهیم، در حالت پیش فرض ۱۰ ولت می‌باشد. بنابراین محدوده خروجی بایستی روی **۲۰ mV** = $۱۰V * ۲ \frac{mV}{V}$ تنظیم شود.

ب) تنظیمات خروجی

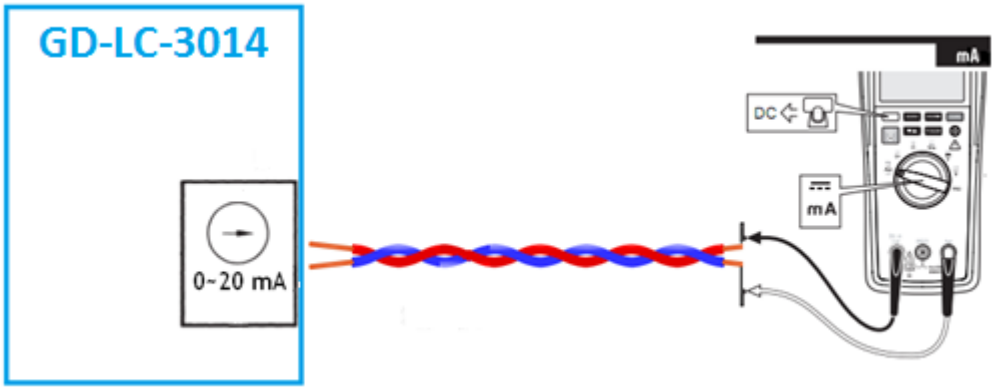
برای انتخاب نوع و محدوده‌ی سیگنال خروجی باید سوئیچ‌های ۱ تا ۶ در سمت خروجی مطابق جدول زیر تنظیم شود. (● = ON)



تنظیمات بازه خروجی	۶	۵	۴	۳	۲	۱
۰~۲۰ mA		●		●	●	
±۱۰ V	●		●			
±۵ V	●		●			●
۰~۱۰ V	●		●		●	

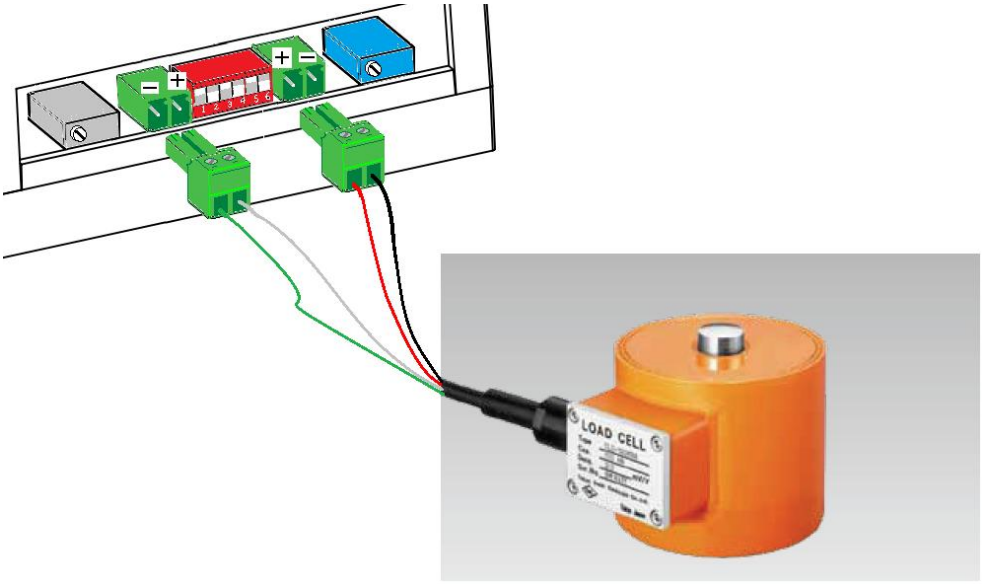
اگر خروجی از نوع ولتاژ باشد، ولتاژ خروجی می‌تواند توسط یک ولتمتر دقیق اندازه‌گیری شود و یا توسط یک دستگاه داده برداری ثبت و ضبط شود.

اگر خروجی از نوع جریانی تنظیم شده باشد، اندازه‌گیری از فاصله دور (تا حدود ۳۰ متری) میسر می‌باشد. می‌توانیم بطور مستقیم جریان را اندازه‌گیری کنیم و یا با قرار دادن یک مقاومت ۲۵۰ اهم در حلقه، جریان خروجی ماژول را به ولتاژ تبدیل کنیم. در این حالت توصیه می‌شود از زوج سیم بهم‌تابیده استفاده شود.



۴. اندازه‌گیری نیرو

این ماژول برای اندازه‌گیری نیرو توسط انواع لودسل‌های فشاری و فشاری-کششی مناسب است. کافی است سیم‌های ولتاژ تغذیه و خروجیِ لودسل را به صورت صحیح به ماژول متصل کنید و تنظیمات سوئیچ‌ها را مطابق نیاز خود انجام دهید.



برای مثال، با فرض اتصال یک لودسل ۱۰ ton فشاری-کششی با حساسیت ۱.۹۶۵ mv/V به ماژول مراحل اندازه‌گیری را دنبال می‌کنیم.

گام اول) تنظیمات در سمت ورودی

تغذیه ماژول(Exci) به صورت پیش فرض روی ۱۰V کالیبره شده است. با متصل کردن این ولتاژ به لودسل، بیشترین خروجی برابر ±۱۹.۶۵mv=±۱.۹۶۵*۱۰ خواهد بود. با فرض نداشتن آفست (صفر بودن ولتاژ، هنگام بی باری لودسل) نیازی به تغییر آفست نداریم و بایستی سوئیچ‌های سمت ورودی را مطابق شکل روبرو تنظیم کنیم.

گام دوم) تنظیمات در سمت خروجی

حالت اول- خروجی ولتاژی ±۱۰v مورد نظر است. وضعیت سوئیچ ها مطابق شکل زیر خواهد بود.

در این حالت انتظار داریم در حالت بی باری، ولتاژ خروجی لودسل صفر ولت باشد. اگر خروجی صفر نبود می‌توان آن را بصورت نرم افزاری در دستگاه داده‌برداری جبران کرد یا به روش سخت‌افزاری سوئیچ شماره ۴ در سمت ورودی را در وضعیت ON قرار دهیم و پتانسیومتر سمت چپ را تنظیم کنیم تا خروجی صفر شود.

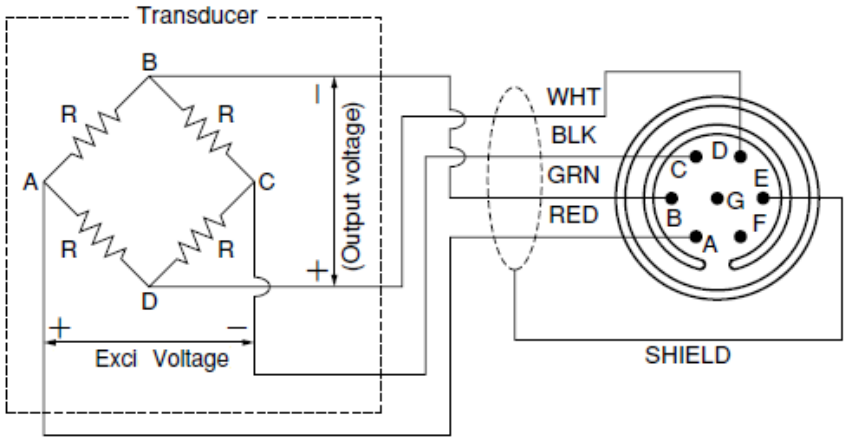
حالت دوم - خروجی ولتاژی ۰~۱۰v مورد نظر است. پس از تنظیم سوئیچ‌ها در حالت متناظر انتظار داریم در حالت بی‌باری خروجی ۵.۰۰v+ باشد. با افزایش نیروی فشاری، ولتاژ تا ۱۰v زیاد می‌شود و با افزایش نیروی کششی، ولتاژ تا ۰v کم می‌شود.

حالت سوم - خروجی جریانی ۰~۲۰mA مورد نظر است. پس از تنظیم سوئیچ‌ها انتظار داریم در حالت بی‌باری خروجی ۱۰mA+ باشد. با افزایش نیروی فشاری، جریان تا ۲۰mA زیاد می‌شود و با افزایش نیروی کششی، جریان تا ۰mA کم می‌شود.

۵. اندازه‌گیری توسط سنسورهای مبتنی بر استرین‌گیج

هر نوع سنسور موجود در بازار که مبتنی بر استرین‌گیج باشد، قابل اتصال بـه ایـن مـاژول اسـت. از جملـه ایـن سنسورها می‌توان به موارد زیر اشاره کرد.

- Pressure Transducer
- Displacement Transducer
- Acceleration Transducer

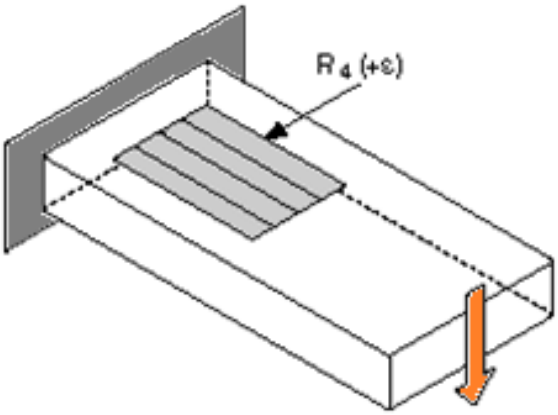


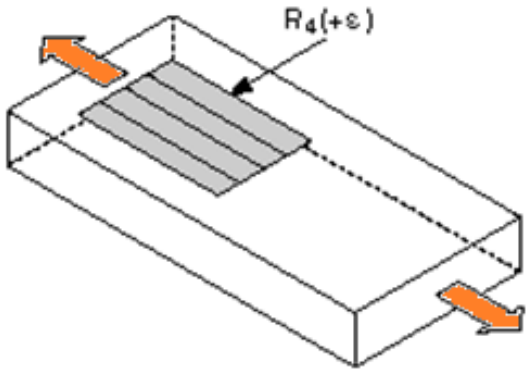
تنظیمات ورودی و خروجی با کمی تغییرات، مانند لودسل می‌باشد.

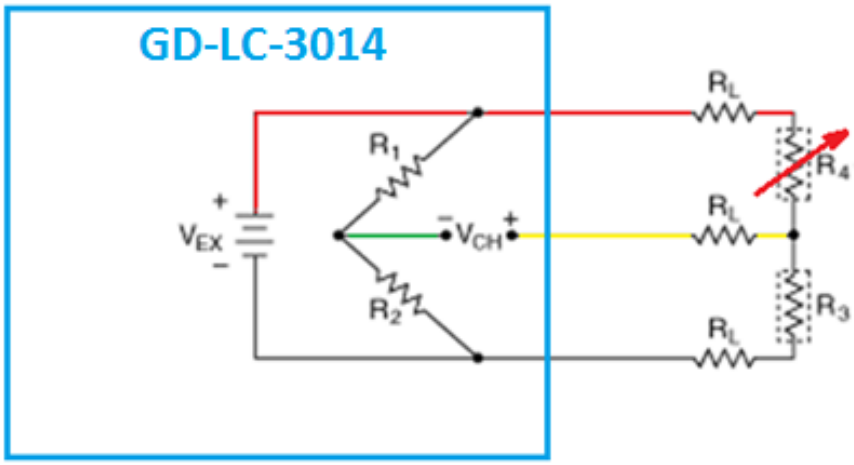
۶. اندازه‌گیری توسط استرین‌گیج

۱- حالت استرین گیج تک (Single) یا پل ¼ (Quarter- Bridge)

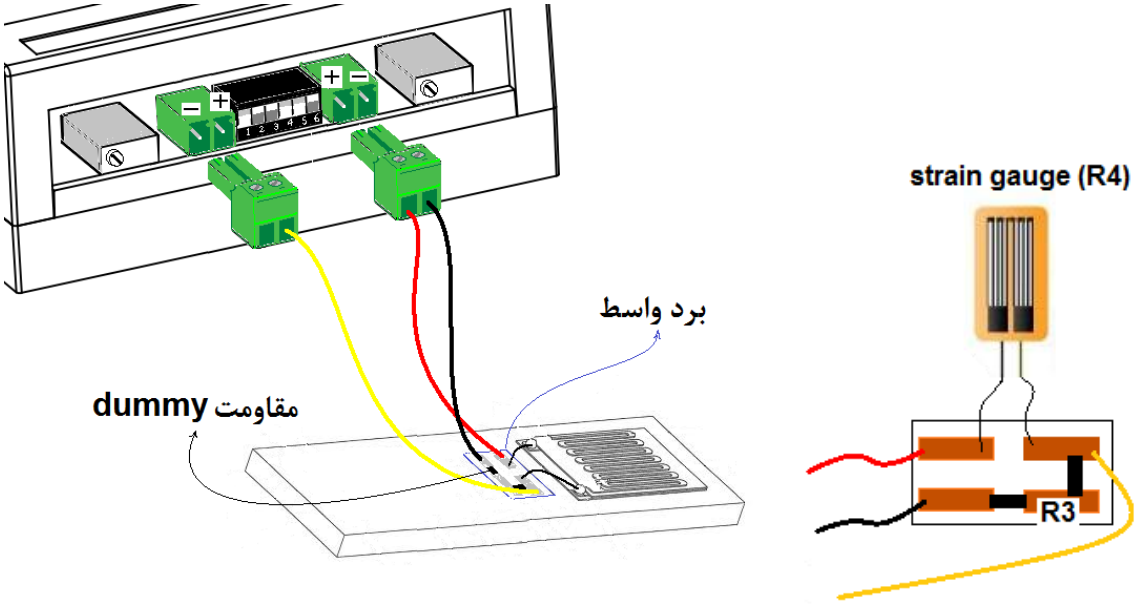
در این پیکربندی تنها یک مقاومت فعال (استرین گیج R۴) وجود دارد که در راستای محور اصلیِ استرین (محوری یا خمشی) روی قطعه‌ی تست نصب شده است و استرین را تحمل می‌کند. سایر مقاومت‌های مدار پل ثابت هستند. کاربرد این آرایش معمولا جایی است که سنسور روی یک قطعه مکانیکی چسبانده شده و هدف تحلیل کرنش‌های قطعه‌ی مورد آزمایش است.







مقاومت R۳ مقداری برابر با مقدار اهم استرین‌گیج دارد و در کاربردهای عادی غیر فعال است. این مقاومت روی برد واسط (PCB کوچکی در کنار گیج) چسبانده می‌شود و با نام dummy شناخته می شـود. بـه ایـن ترتیـب نیمی از مدار پل در خارج از ماژول تکمیل می‌شود.

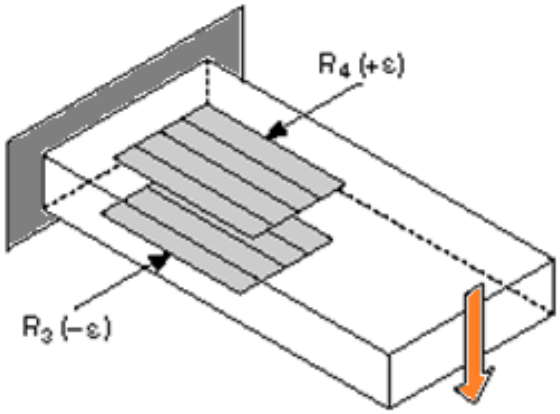


دو برد واسط به همراه ماژول قابل سفارش است. یکی جهت بکارگیری استرین‌گیج ۳۵۰ اهمـی و دیگـری بـرای سنسور ۱۲۰ اهمی. در صورتی که مقاومت گیج مقدار دیگری باشد، کافی است یک مقاومت برابر بـا آن در بـرد واسط جایگزین شود.

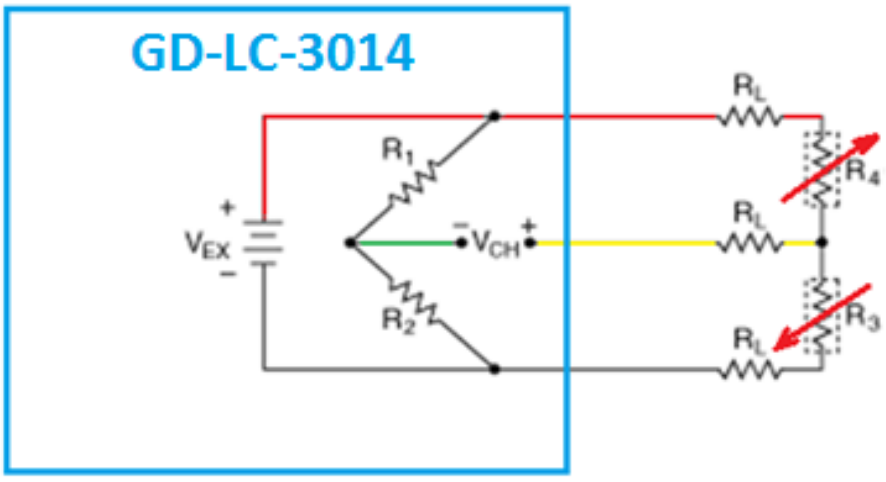
✓ توجه: اگر تغییرات دمایی در مدت تست قابل توجه باشد، از یک استرین‌گیج در محل خنثی (جایی که فاقد استرین و هم دما با R۴ است) روی قطعه‌ی تست استفاده می‌شود تا اثـر تغییـرات دمـایی در انـدازه‌گیـری حذف شود.

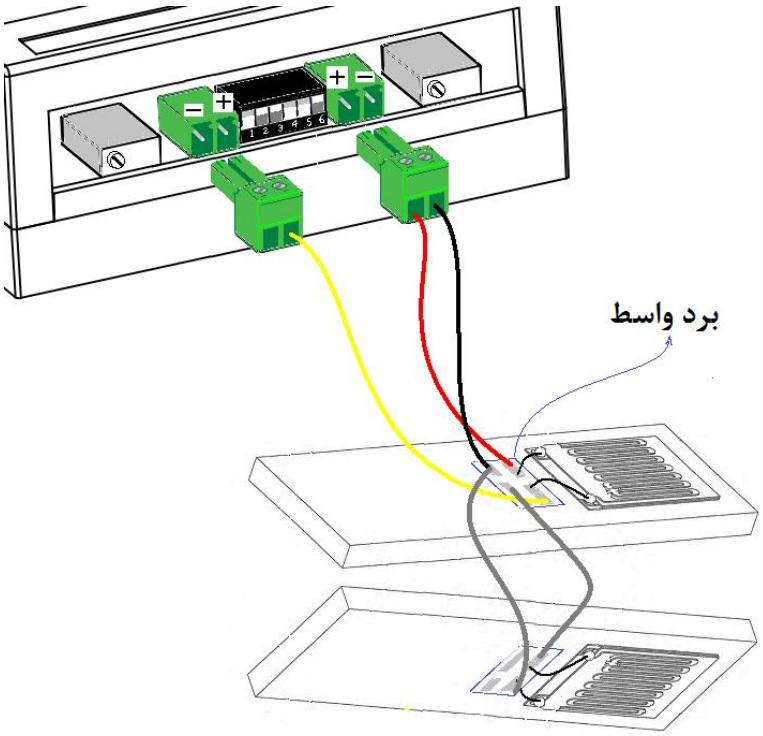
۲- حالت نیم پل (Half-Bridge)

در این حالت یک استرین‌گیج در بالا و دیگری در زیر قطعه‌ی تست نصب می‌شود به گونه‌ای که به یکی استرین مثبت و به دیگری استرین منفی تحمیل شود. (اندازه گیری استرین خمشی)

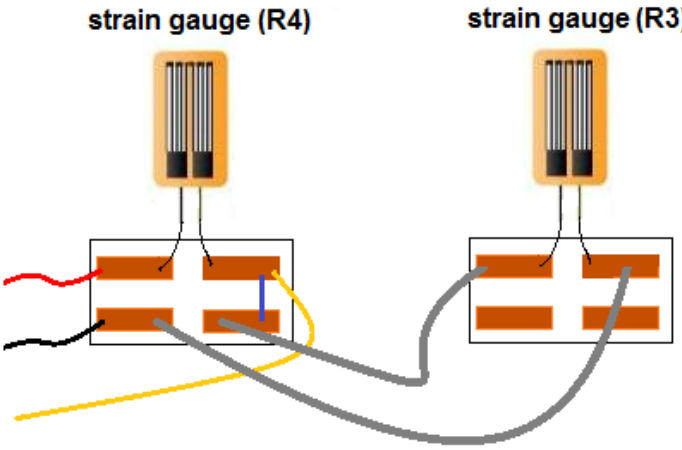


در این ترکیب مقاومت dummy وجود ندارد. نیمی از مدار پل در خارج از ماژول توسط دو عدد استرین‌گیج تکمیل می‌شود.



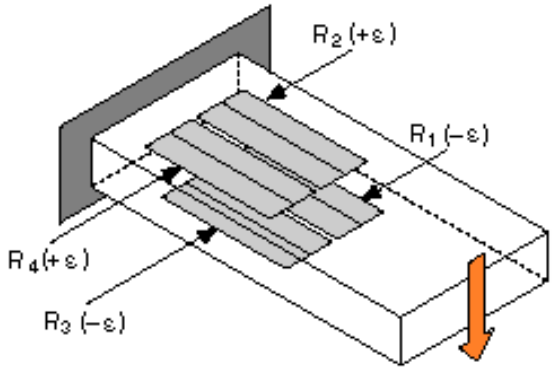


بردهای واسط به همراه ماژول قابل سفارش است. یکی برای استرین گیج در زیر قطعه‌ی تست و دیگری برای سنسور نصب شده بر روی قطعه‌ی تست. از این بردها برای اتصال سیم‌های بسیار نازک استرین‌گیج به سیم‌های متصل شونده به ترنسمیتر استفاده می‌گردد.

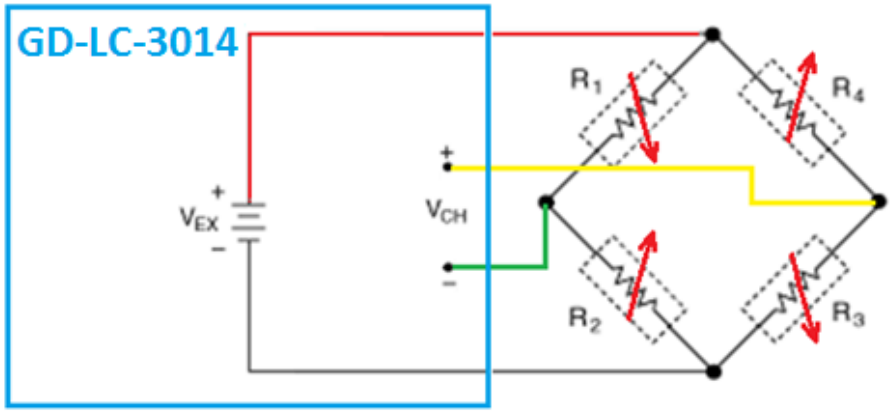


۳- حالت تمام پل (Full-Bridge)

در این حالت دو گیج در بالا و دو گیج در زیر قطعه‌ی تست نصب می‌شود و استرین یا تنش اعمال شده به قطعه به هر چهار سنسور منتقل می‌شود.



این ترکیب مداری همان آرایشی است که در Transducer هایی مثل لودسل، ابزارهای اندازه‌گیری جابجایی، برخی فشارسنج‌ها و ... وجود دارد و اتصال سیم‌ها به ماژول مشابه لودسل است.



۷. محاسبه استرین

توجه: فرمول های این قسمت، بر مبنای مدار مورد استفاده ارائه شده است.

محاسبه استرین در سه مرحله انجام می‌گیرد. در مرحله اول مقدار اصلی ورودی، در مرحله دوم مقدار تغییرات واقعی و در مرحله آخر مقدار استرین محاسبه می‌شود.

الف) محاسبه Vin

- اگر خروجی در حالت جریانی باشد، جریان بر حسب آمپر باید در فرمول زیر قرار گیرد تا تغییرات اصلی ورودی (Vin) بدست آید.

$$V_{in} = I_o - \mathbf{0.01}$$

- اگر خروجی در حالت ولتاژی باشد، ولتاژ اندازه‌گیری شده بر حسب ولت باید در فرمول زیر قرار گیرد تا تغییرات اصلی ورودی (Vin) بدست آید.

$$V_{in} = (\mathbf{0.002} \times \ V_o) - \mathbf{0.01}$$

ب) محاسبه تغییرات واقعی ورودی

باید تغییرات ولتاژی را بیابیم که صرفا مبین تغییرات اهمی استرین‌گیج (مستقل از تغذیه مدار و آفست اولیه) باشد:

$$V_r = \frac{(V_{in} - V_{ib})}{V_{ex}}$$

Vin: ولتاژ اصلی ورودی

Vib: ولتاژ آفست اولیه پل وتستون

Vex: ولتاژ تغذیه مدار پل وتستون

ج) محاسبه استرین

مقدار دقیق استرین ورودی بر حسب ولتاژ Vr بصورت زیر محاسبـــه می شود.

نوع مدار پل	فرمول محاسبه
Quarter-Bridge	Strain (Ɛ) = $\frac{-4\,Vr}{GF(1+2Vr)} \times (1 + \frac{R_L}{R_g})$
Half-Bridge	Strain (Ɛ) = $\frac{-2\,Vr}{GF} \times (1 + \frac{R_L}{R_g})$
Full-Bridge	Strain (Ɛ) = $\frac{-\,Vr}{GF}$

Vr: تغییرات واقعی ورودی (محاسبه شده در مرحله ب)

GF: گیج فاکتور (پارامتر مربوط به استرین گیج)

RL: مقاومت سیم‌ها

Rg: مقاومت نرمال استرین گیج

در محدوده استرین های کوچک (۱٪) با تقریب بسیار خوبی می‌توانیم محاسبات را ساده کنیم.

$$\boldsymbol{\varepsilon = \frac{-4 \times V_{real}}{GF + 2 \times GFV_{real}} \cong \frac{-4 \times V_{real}}{GF}}$$

استفاده از فرمول ساده شده در استرین‌های بزرگتر، اندکی خطا ایجاد می‌کند.

برای راحتی کاربر یک فایل Excel با نام Strain calc آماده شده است که محاسبات را بصورت اتوماتیک انجام می‌دهد. این فایل در سایت قابل دانلود می‌باشد.

۸. کالیبراسیون ورودی/خروجی

ماژول ۳۰۱۴ کالیبره شده تحویل مشتری می‌گردد، اما اگر به هر دلیل از کالیبره خارج شد می‌توانید طبق روال زیر و توسط یک کالیبراتور ولتاژ (که امکان اعمال خروجی mV) ماژول را کالیبره کنید. کالیبراسیون ماژول در نقاط کار نزدیک به انتهای بازه‌ی اندازه‌گیری انجام می‌شود.

- تغذیه را جدا کنید و توسط Dip Sw تنظیمات را برای انتخاب بازه ورودی/خروجی انجام دهید.
- نوع مدار پل را در حالت Full Bridge قرار دهید.
- مدار تنظیم آفست را با تنظیم Dip-Sw از مدار خارج کنید.
- جعبه ماژول را باز کنید تا به پتانسیومتر چند دور SPAN دسترسی پیدا کنید.
- محاسبات زیر را انجام دهید.

مثال (در شرایط بازه ورودی ۱۰ mV± وبازه خروجی ۱۰ V±)

Lci = -۰.۰۱ + (۰.۰۱×۰.۰۵) = -۰.۰۰۹۵=-۹.۵mV

Hci = ۰.۰۱ - (۰.۰۱×۰.۰۵) = ۰.۰۰۹۵ = ۹.۵mV

Lco= -۱۰ + (۱۰×۰.۰۵) = -۹.۵

Hco= ۱۰ - (۱۰×۰.۰۵) = ۹.۵

محاسبه چهار پارامتر برای کالیبراسیون

Lci = Min_input + FSI × ۰.۰۵

Hci = Max_input - FSI × ۰.۰۵

Lco = Min_output + FSO × ۰.۰۵

Hco = Max_output - FSO × ۰.۰۵

Lci	کمترین مقداری که باید توسط کالیبراتور اعمال شود.	FSI	حد بازه‌ی ورودی
Hci	بیشترین مقداری که باید توسط کالیبراتور اعمال شود.	FSO	حد بازه‌ی خروجی
Lco	کمترین مقداری که باید اندازه‌گیری شود.	RoL	خروجی واقعی در ورودی حداقل
Hco	بیشترین مقداری که باید اندازه‌گیری شود.	RoH	خروجی واقعی در ورودی حداکثر

- تغذیه ماژول را متصل کنید.
- مقدار Lci را توسط کالیبراتور به ورودی‌ها اعمال کنید و خروجی واقعی (ROL)را اندازه‌گیری کنید.
- مقدار Hci را توسط کالیبراتور به ورودی‌ها اعمال کنید و خروجی واقعی (ROH)را اندازه‌گیری کنید.
- مقدار پتانسیومتر SPAN را آنقدر تغییر دهید تا رابطه زیر برقرار شود:

$$Lco + Hco = ROL + ROH$$

- در صورت برقراری رابطه ماژول کالیبره شده است.

۹. کالیبراسیون شانت

بعد از نصب استرین‌گیج و قبل از اجرای تست اصلی بایستی از صحت نصب سنسور و دقت سیگنال دریافتی در دستگاه داده‌برداری مطمئن شویم. با استفاده از روش کالیبراسیون شانت، دقت کلی اندازه‌گیری بررسی می‌شود. ساده‌ترین روش برای ایجاد تغییر مشخص در مقدار اهم استرین‌گیج موازی کردن یک مقاومت چندصد کیلواهمی با استرین‌گیج است.

قبل از موازی کردن باید مقدار مقاومت و همچنین مقدار استرین‌گیج را (در همان حالتی که نصب شده) توسط یک اهم‌متر دقیق اندازه‌گیری کرده و مقاومت معادل و مقدار تغییری که در دستگاه داده‌برداری انتظار داریم را حساب کنیم. سپس مقدار خروجی را در حالت آزمایش عملی اندازه می‌گیریم و با هم مقایسه می‌کنیم. بهتر این است که این کار با چندین مقاومت تست شود.

اگر اندازه‌گیری مقاومت‌ها با اهمتر دقیقی انجام شده باشد، می‌توان به نتایج روش تئوری اعتماد کرد. با مقایسه‌ی نتایج، ضریب اصلاحی در سیستم اندازه‌گیری در نظر گرفته می‌شود که نتایج عملی را به نتایج تئوری نزدیک کند.

جهت اجرای کالیبراسیون شانت در اینجا از کیت Strain Gauge Bridge استفاده می‌کنیم. به کمک این ابزار یک تغییر مشخص به ورودی ماژول وارد می‌کنیم، سپس مقدار خروجی تئوری و عملی با هم مقایسه می‌شود تا دقت مورد ارزیابی قرار گیرد. روش اجرای کالیبراسیون شنت توسط کیت پل استرین‌گیج و ماژول ۳۰۱۴ را می‌توانید در سایت ما مشاهده کنید.

021 77578105-07
0937-5773500
0919-2491307
info@gundo.ir
Google https://gundo-embedded.com