



- **Calibração indireta**

Quando não há meios práticos de se proceder a calibração direta dos transdutores antes de utilizá-los, aplicam-se técnicas de calibração indireta.

O método mais comum para uma calibração indireta rápida de um conjunto de strain-gages ou um transdutor resistivo é a técnica conhecida como ***shunt call***.

Consiste na aplicação de uma **resistência** precisa através da interligação de dois terminais da ponte resistiva que constitui o transdutor, **simulando um estímulo físico real**.



- **Calibração indireta**

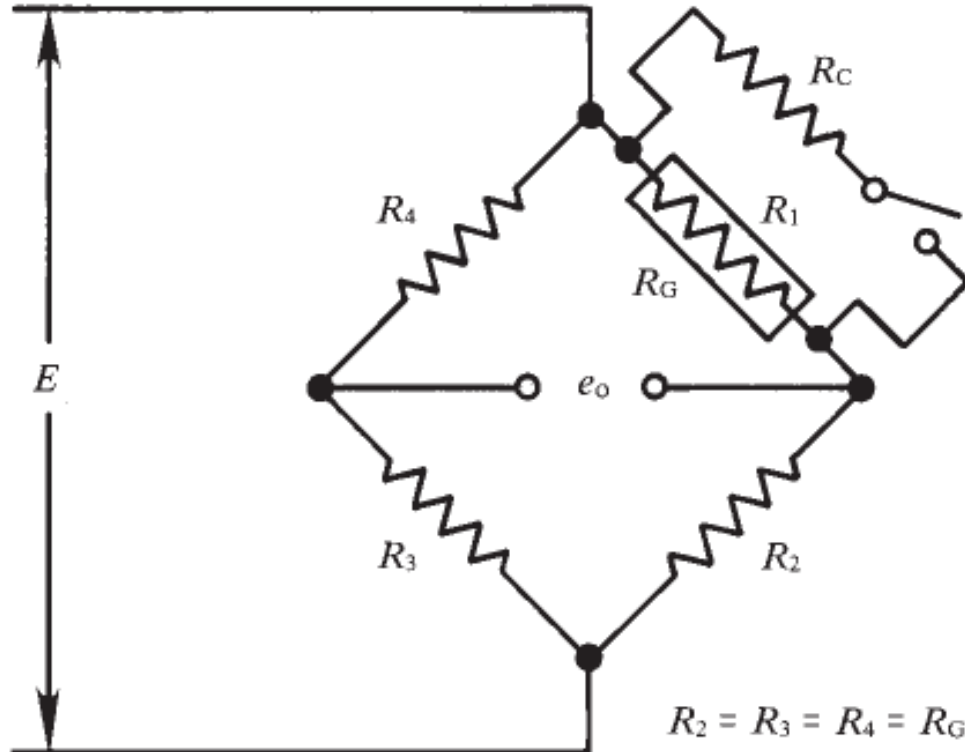
Após a aplicação desta resistência, a leitura de saída do transdutor se comporta exatamente como se um carregamento conhecido tivesse sido aplicado.

Transdutores com amplificadores acoplados têm geralmente um resistor de calibração interno instalado.

Transdutores com saídas em milivolts geralmente não possuem um circuito interno de calibração shunt, entretanto, o efeito de um resistor shunt de calibração conhecido sendo conectado através dos cabos poderá ser anotado na folha de Calibração do Transdutor.

Análise Experimental

Shunt Calibration of Strain Gage Instrumentation



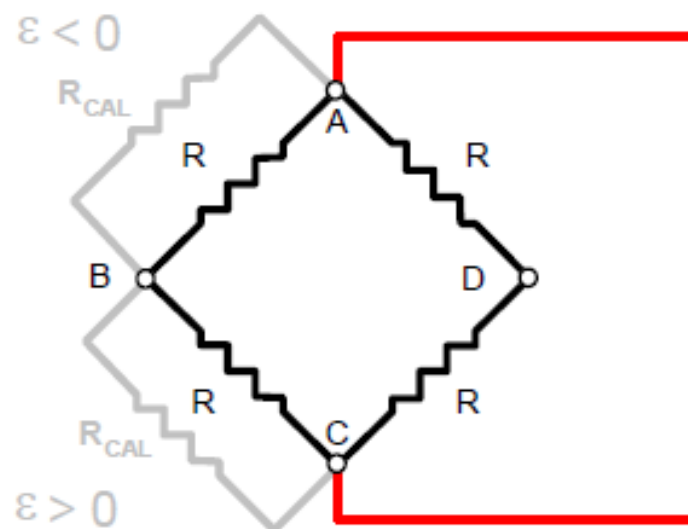
$$\Delta R = \frac{R_1 R_C}{R_1 + R_C} - R_1$$

$$\frac{\Delta R}{R_1} = \frac{-R_1}{R_1 + R_C}$$

$$\frac{\Delta R}{R_G} = F_G \varepsilon$$

$$\varepsilon_S = \frac{-R_G}{F_G (R_G + R_C)}$$

Note: You should perform an offset null compensation just before you perform a shunt calibration. Performing a shunt calibration before an offset null compensation causes improper gain adjustment because the offset signal voltage is compensated multiple times.



$$R = \frac{R_g R_{CAL}}{R_g + R_{CAL}}; \quad \Delta R = R - R_g$$

$$\frac{\Delta R}{R_g} = \frac{R_{CAL}}{R_g + R_{CAL}} - 1 = -\frac{R_g}{R_g + R_{CAL}}$$

$$\frac{\Delta R}{R} = k \cdot \varepsilon = -\frac{R_g}{R_g + R_{CAL}}; \quad \varepsilon = -\frac{1}{k} \frac{1}{1 + R_{CAL}/R_g}$$

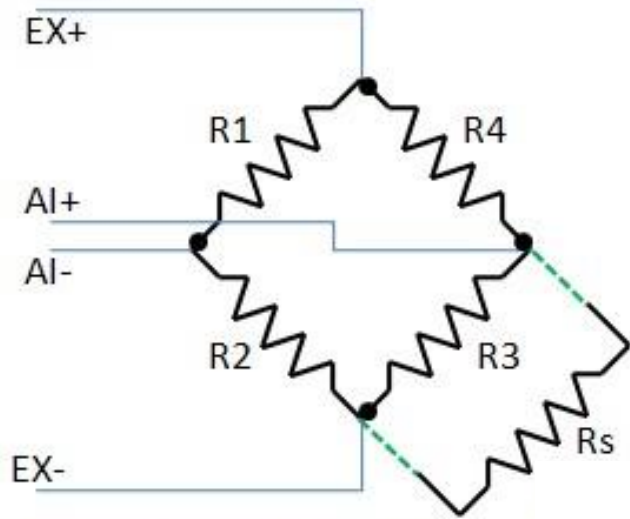
Exemplo: Calibração no braço 1 da ponte.

$$R_{CAL} = -R_g \left[\frac{1}{k\varepsilon} + 1 \right]; \quad k = 2; \quad \varepsilon = -10^{-3}; \quad R_{CAL} = 499 \cdot R_g$$

$$R_g = 120 \, \Omega; \quad R_{CAL} = 59\,880 \, \Omega \qquad R_g = 350 \, \Omega; \quad R_{CAL} = 174\,650 \, \Omega$$

Análise Experimental

Shunt Calibration of Strain Gage Instrumentation



$$\Rightarrow U = \frac{V_0}{V_{EX}} \text{ (com shunt)}$$

$$\Rightarrow U = \left(\frac{R_4}{R_4 + R_{eq}} - \frac{R_1}{R_1 + R_2} \right)$$

$$\Rightarrow R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = R_G$$

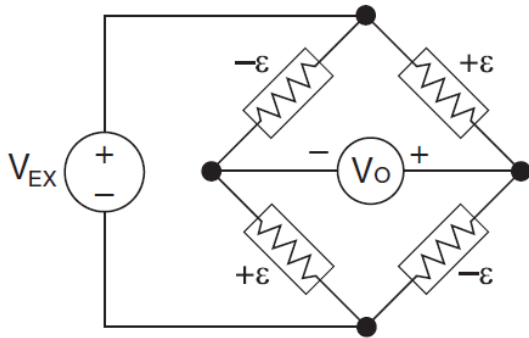
$$\Rightarrow U = \frac{R_G}{R_G + \frac{R_S R_G}{R_S + R_G}} - \frac{1}{2} = \frac{R_S + R_G}{2R_S + R_G} - \frac{1}{2}$$

$$\Rightarrow U = \frac{R_G}{4R_S + 2R_G}$$

U é a relação entre a tensão do sinal esperado e a tensão de excitação ao se utilizar o circuito com o resistor de calibração engatado (“shunt”) no R3.

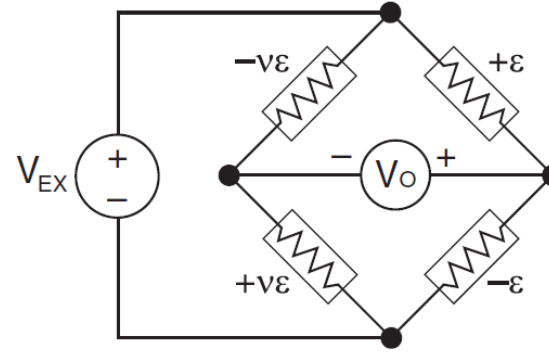
Parameter U appears in the equations for simulated strain and is defined by the following equation:

$$\Rightarrow U = \frac{R_G}{4R_S + 2R_G}$$



Full-Bridge I

$$strain(\varepsilon) = \frac{-V_r}{GF}$$



Full-Bridge II

$$strain(\varepsilon) = \frac{-2V_r}{GF(\nu + 1)}$$

To simulate the effect on strain of applying a shunt resistor across **R3**, use the following equation:

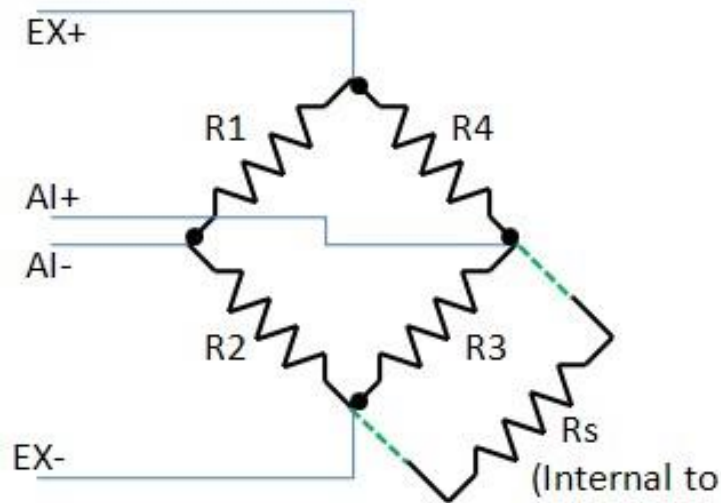
$$\varepsilon_s = \frac{-U}{GF}$$

$$\varepsilon_s = \frac{-2U}{GF(1 + \nu)}$$

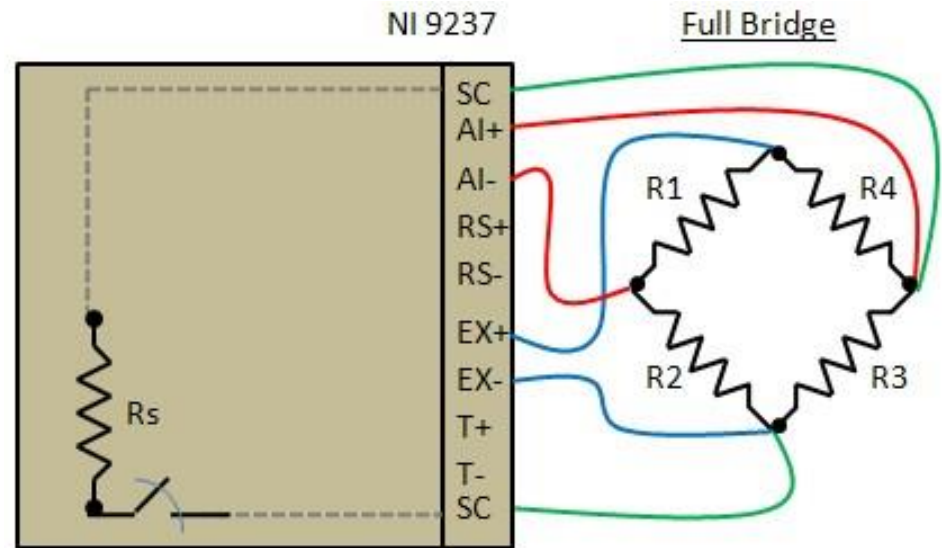
Análise Experimental

Shunt Calibration of Strain Gage Instrumentation

Connection Diagram for a Full Bridge Strain Gage and the NI 9237

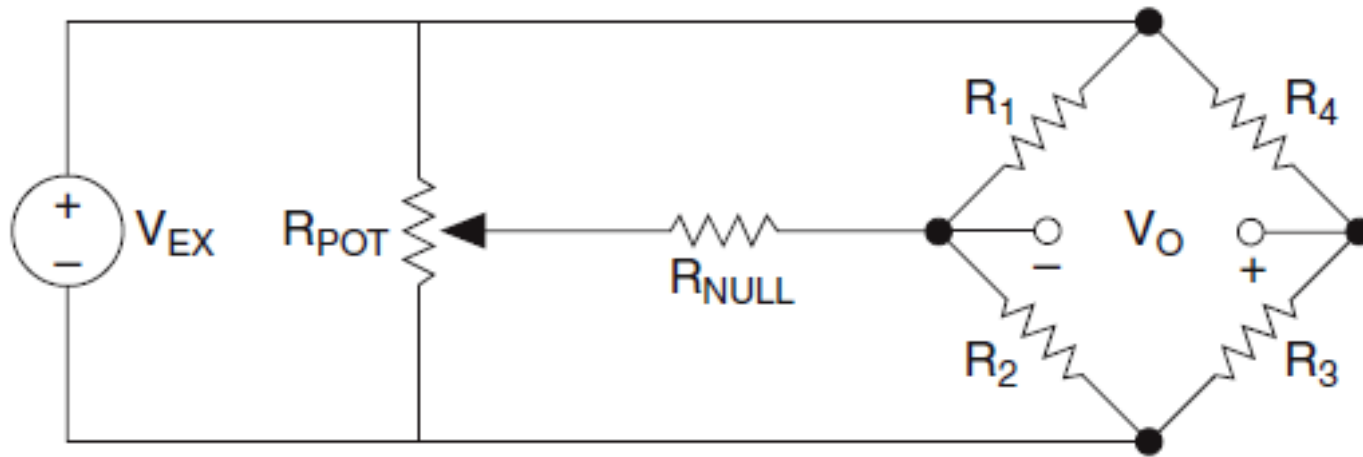


NOTE: R1 and R2 are not accessible in half and quarter bridge configurations



----- Internal to 9237
 ——— External wires (User Provided)

Offset-Nulling Circuit



Através de uma resistência ajustável, ou potenciômetro (R_{POT}), fisicamente ajustado à saída da ponte, pode-se controlar o nível de saída da ponte e definir a saída inicial para zero volt, como por exemplo ilustra a Figura acima.

O valor da R_{NULL} define a faixa em que o circuito pode ser equilibrado.

Ajuste de *Offset* feito pelo *Signal Express*

Strain Gage Calibration

NATIONAL INSTRUMENTS™

Measure and Calibrate

Channel Information		Offset Adjustment		Gain Adjustment (with shunt)			
Name	Phys. Channel	Meas. Strain	Err %	Sim. Strain	Meas. Strain	Gain Adj. Val.	Err %
Dev1_ai0	Dev1/ai0	5,523E-9	0,00	n/a	n/a	n/a	n/a



Calibration successful

Measure

Reset Data

Calibrate

Help

<< Back

Finish

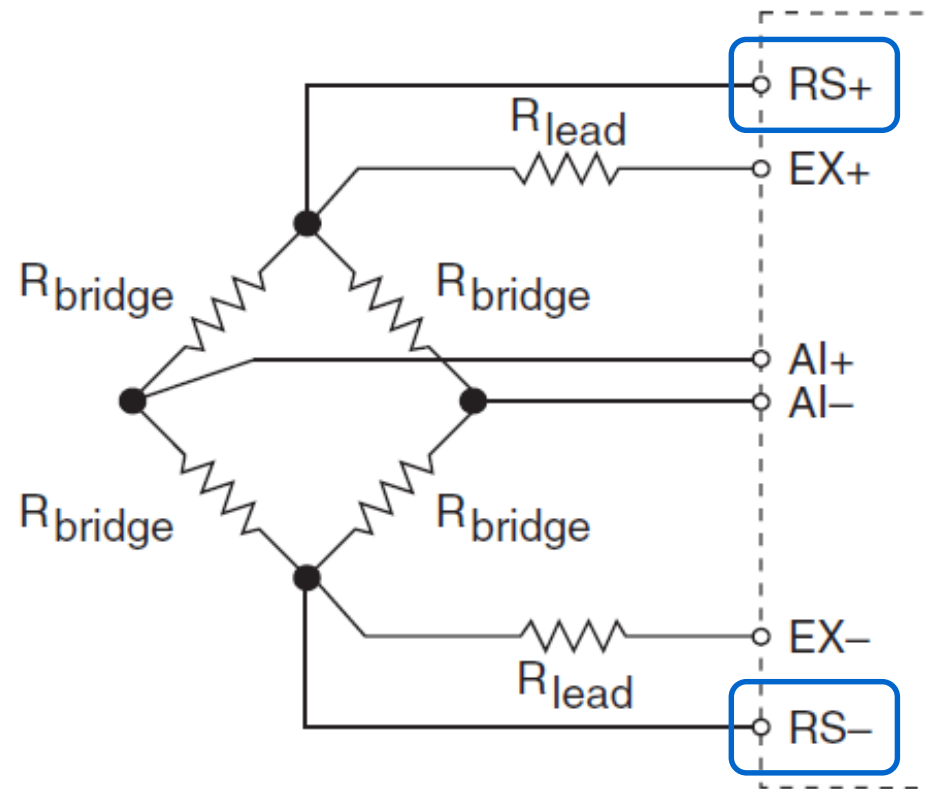
Cancel

Remote Sensing / Excitation Sensing

A detecção remota corrige automaticamente e de forma contínua erros devidos a utilização de longos condutores na excitação da ponte, e geralmente, é mais apropriada para a dispositivos em meia-ponte ou ponte completa.

Condutores de comprimento e calibre pequeno têm maior resistência, o que pode resultar em erros de ganho.

A resistência nos fios que estabelecem a tensão de excitação da ponte provoca uma queda de tensão, que é uma fonte de erro de ganho.



Remote Sensing

A tensão de excitação real na ponte é menor do que a tensão entre os pólos EX+ e EX-. Se não for utilizada a detecção remota da tensão real na ponte, o erro de ganho resultante é:

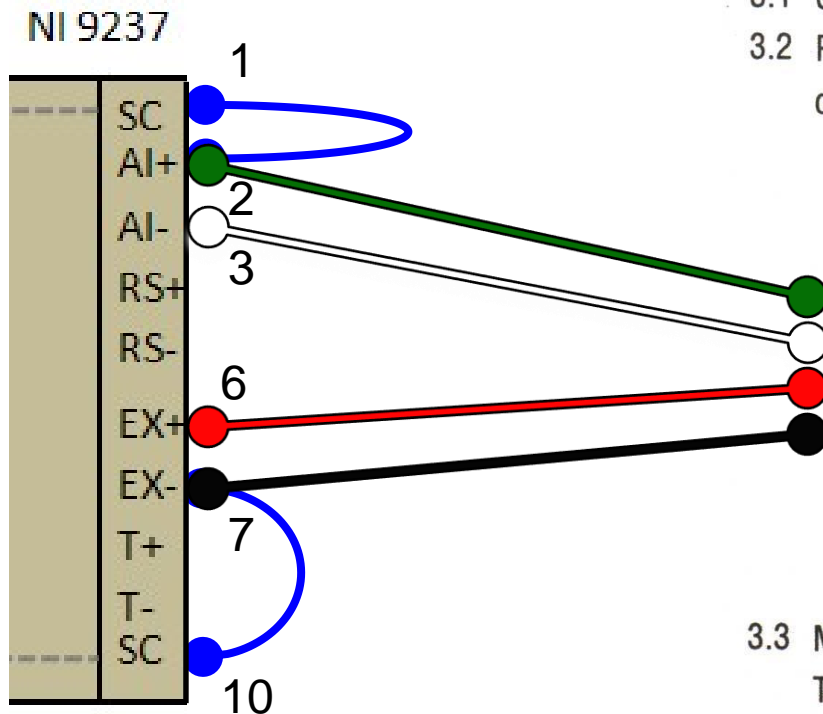
$$\frac{R_{lead}}{R_{bridge}} \quad \text{para sensores em meia-ponte;}$$

$$\frac{2 \cdot R_{lead}}{R_{bridge}} \quad \text{para sensores em ponte completa.}$$

Ao se ligarem os condutores de detecção remota diretamente nas resistências da ponte, a placa de aquisição (NI 9237, por exemplo) percebe a tensão real na ponte e elimina os erros de ganho causadas pela resistência dos condutores dos pólos EX+ e EX-.

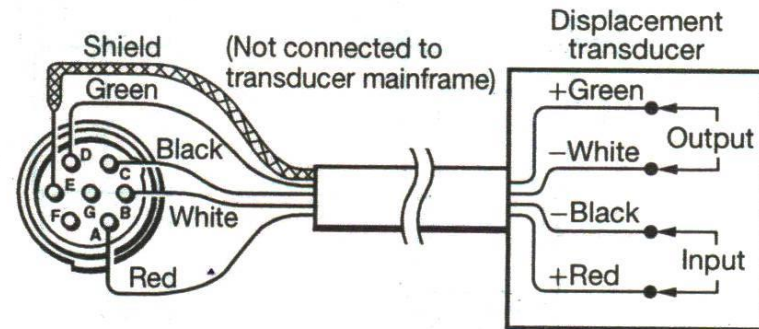
Alguns sistemas de aquisição possuem a detecção remota para compensar este erro de ganho. Em geral, basta conectar os fios extras para a detecção remota dos pontos onde os condutores da tensão de excitação se ligam à ponte do circuito.

Ligação de um transdutor resistivo



3. Connection and measurement

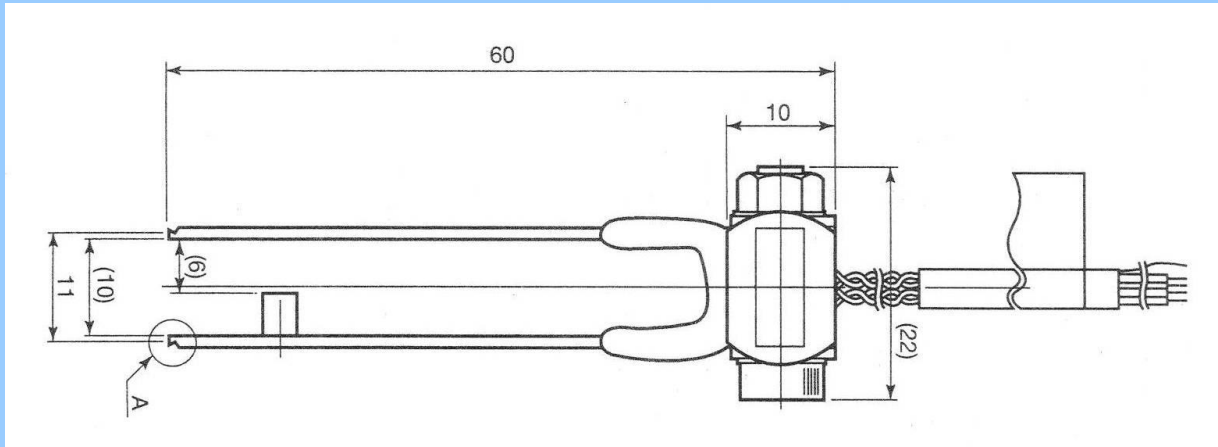
- 3.1 Connect the transducer to a strain amplifier.
- 3.2 Perform connection as illustrated below when using an NDIS connector.



3.3 Measurement

To measure, mount the transducer to the measuring area. Measurement values increase in the PLUS direction as the space grows between the beams.

Clip Gage – Kyowa – DTC-A-5



7. Specifications

Rated capacity	DTC-A-2: 2mm (Mounting groove interval :8 to 10mm)
	DTC-A-5: 5mm (Mounting groove interval :4 to 9mm)
Rated output	2.5mV/V (5000×10^{-6} strain) $_{-10\%}^{+20\%}$
Non-linearity	±1%RO or better
Hysteresis	±1%RO or better
Repeatability	1%RO or better
Recommended bridge voltage	2 to 4V, AC or DC
Safe bridge voltage	10V, AC or DC
Input resistance	350Ω±2%
Output resistance	350Ω±2%

Compensated temperature range 0 to 50°C

Safe temperature range -10 to 60°C

Cable 0.08mm² 4-conductor shielded vinyl 2m, ø3.2mm, exposed end

Mass Approx. 20g (excl. cable)

Measuring force DTC-A-2: 4 to 20N

DTC-A-5: 1 to 10N

Safe overload rating 130% (with stopper)

■ Accessories	Calibration sheet	1
	Instruction manual	1
	Warranty	1

検査成績書

Test Data Sheet

型式名 Model	DTC-A-5	検査年月日 Inspected date	2009. 4.27	製造番号 Serial No.	FR5470007
定格容量 Rated Capacity	5mm	温度 Temp.	23 °C	湿度 Humidity	50 %RH

1. 定格出力 Rated output	2673 μ V/V
	5346 $\times 10^{-6}$ ※
2. 非直線性 Nonlinearity	0.30 %RO
3. ヒステリシス Hysteresis	0.28 %RO
4. 校正係数 Calibration constant	0.001871# /1 μ V/V
	0.0009353# /1.0 $\times 10^{-6}$ ※
5. 入出力抵抗 Input & Output resistance	入力 Input 350.2 Ω
	出力 Output 350.3 Ω

Gage Factor

Ponte completa:

$$\Rightarrow G = \frac{V_r}{\epsilon}$$

単位 Unit.....※：ひずみ Strain
#：[mm]



KYOWA ELECTRONIC INSTRUMENTS CO.,LTD.

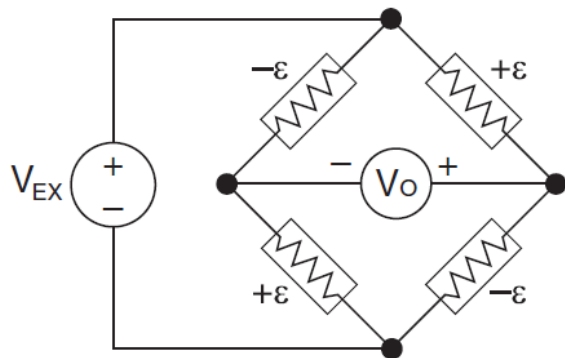
検査者
Inspector 

責任者
Supervisor 

合格

Exemplo utilizando placa NI-9237 e transdutor DTC-A-5

Transdutor resistivo em ponte completa:



Full-Bridge I

$$\text{strain}(\varepsilon) = \frac{-V_r}{GF}$$

$$\Rightarrow R_S = 100k\Omega$$

$$\Rightarrow R_G = 350\Omega$$

$$\Rightarrow U = \frac{-R_G}{4R_S + 2R_G}$$

$$\varepsilon_S = \frac{-U}{GF}$$

$$\Rightarrow \varepsilon_S = \frac{-\left[\frac{-350}{4 \cdot 100.000 + 2 \cdot 350} \right]}{2}$$

$$\Rightarrow \varepsilon_S = 436,736 \mu\text{m}/\text{m}$$

Efeito teórico do **shunt** em R3 em termos de deformação

Shunt Cal no Signal Express

Strain Gage Calibration

NATIONAL INSTRUMENTS™

Setup hardware

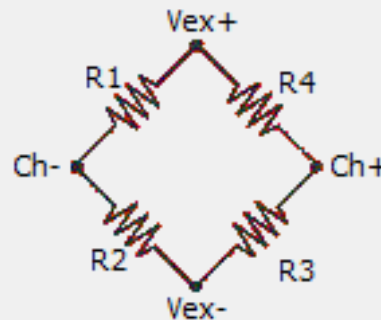
1. Leave strain gage at rest (no strain).
2. If performing shunt calibration, connect your shunt resistor to your hardware terminals. See your hardware manual for details.

- Enable Offset Nulling
- Enable Shunt Calibration

Shunt Resistor

Value

Location



NOTE: R1 and R2 are not accessible in Half and Quarter Bridge configurations.

Help

<< Back

Next >>

Cancel


Shunt Cal no Signal Express

Strain Gage Calibration

NATIONAL INSTRUMENTS™

Measure and Calibrate

Channel Information		Offset Adjustment		Gain Adjustment (with shunt)			
Name	Phys. Channel	Meas. Strain	Err %	Sim. Strain	Meas. Strain	Gain Adj. Val.	Err %
Dev1_ai0	Dev1/ai0	-27,981E-9	0,00	436,736E-6	436,687E-6	1,004	0,00

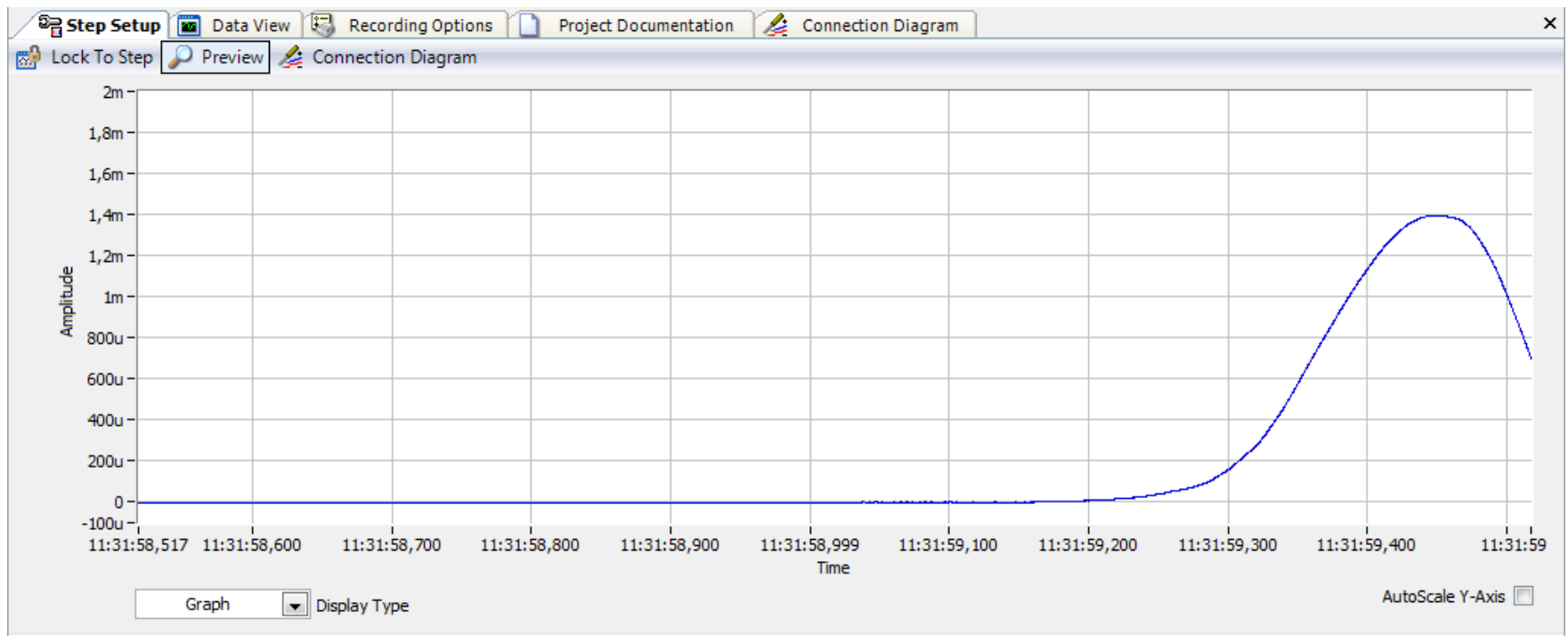
 Calibration successful

Measure Reset Data Calibrate

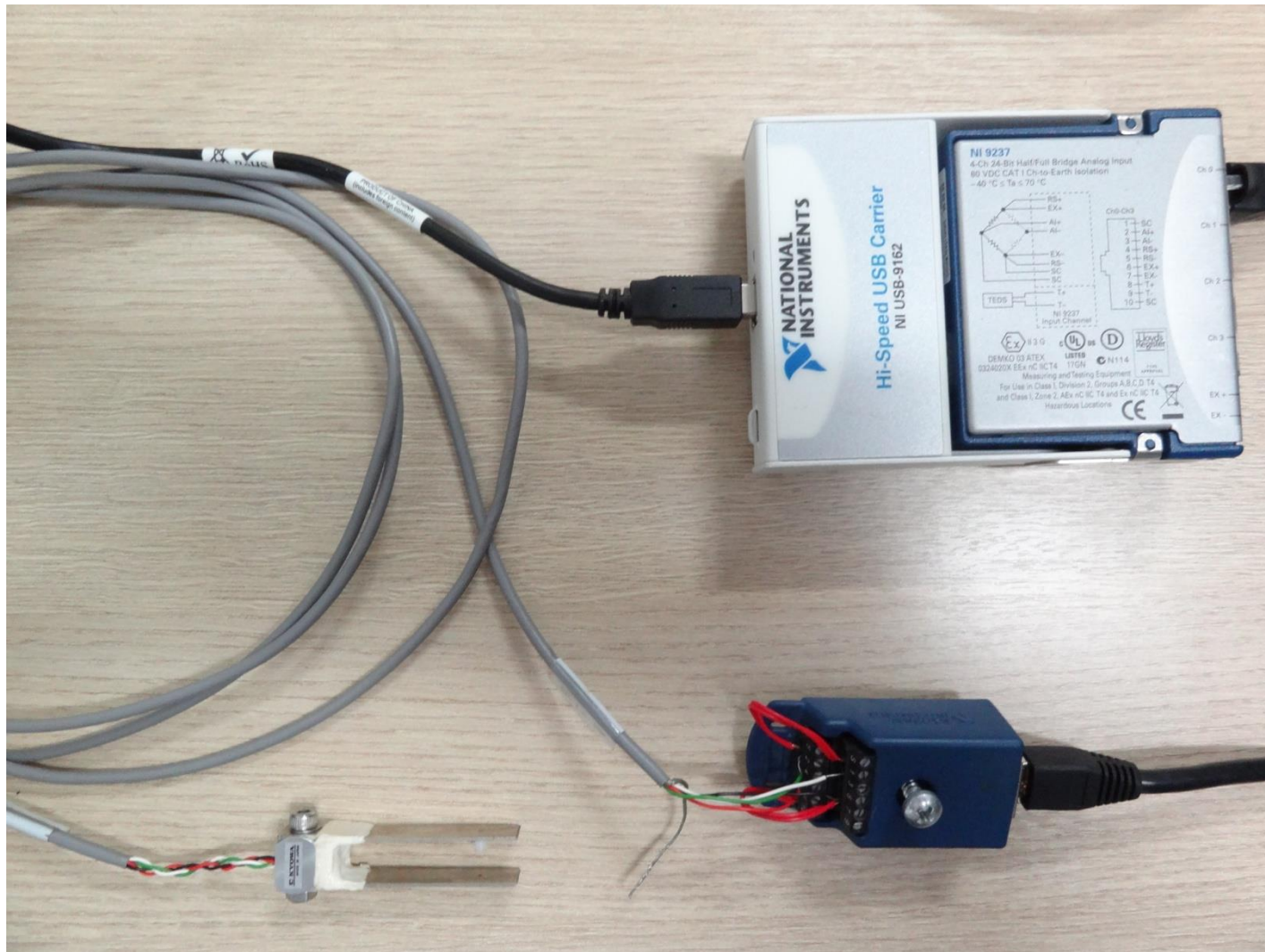
Help << Back Finish Cancel

Shunt Cal no Signal Express

Sinal de um estímulo, após *offset* e *shunt*



Set up: NI 9237 + Clip Gage



Set up: ligações para “Shunt Cal” no NI 9949



Análise Experimental

Shunt Calibration of Strain Gage Instrumentation

- Calibração indireta

A determinação da saída sob condições de calibração indireta **shunt cal** é feita finalmente com a seguinte equação:

$$\text{gain adjust factor} = \frac{\text{simulated signal level}}{\text{measured signal level with shunt resistor engaged}}$$

$$\Rightarrow K = \frac{V_{Eng}}{V_{AD}}$$

$$\Rightarrow K = \left(\frac{R_G}{R_G + R_{CAL}} \right) \cdot \frac{K_{sensor}}{GF} = Shunt_{Eng} \left[\frac{\text{Unid Eng}}{\text{Volt}} \right]$$

$$\varepsilon_{CALL} \cdot K_{sensor}$$



Curso de Análise Experimental

Shunt Calibration of Strain Gage Instrumentation

Referências:

Using a Bridge-Based Sensor with an Analog Input

<http://digital.ni.com/public.nsf/allkb/F2E6C863FE26A2E1862576D10018EFB7>

Connecting Strain Gauges and Shunt Resistors to the NI 9237

<http://digital.ni.com/public.nsf/allkb/892C84122A6501AE86257547007E5C53>

Shunt Calibration of Strain Gage Instrumentation

http://www.digikey.com/Web%20Export/Supplier%20Content/Micro-Measurements_1033/PDF/MicroMeasurement-shunt-calibration.pdf?redirected=1

http://www.pcb.com/techsupport/docs/ftq/TN-9-0202_Shunt_Calibration.pdf

Field Set-Up of Transducer and Instrument

https://measurementsensors.honeywell.com/ProductDocuments/PDFs_From_Old_Site/Field_Set_Up.pdf

CURSO EXTENSOMETRIA Prof. Edison da Rosa. Prof. Carlos R. de M. Roesler

www.grante.ufsc.br/download/AExT_Full.pdf

Curso de Análise Experimental

Shunt Calibration of Strain Gage Instrumentation



Referências:

Sistemas Labview para o dispositivo NI 9237:

- <http://zone.ni.com/devzone/cda/epd/p/id/5902>
- <http://digital.ni.com/public.nsf/allkb/76FB3F1EC361E64E8625742B0070A4E9>
- <http://zone.ni.com/devzone/cda/epd/p/id/5816>
- http://boardreader.com/thread/9237_Null_Offset_with_TEDS_NI_Discussion_5pg4Xw5de.html
- <https://decibel.ni.com/content/docs/DOC-12258>
- <http://digital.ni.com/public.nsf/websearch/57BEE29D9B9331BE482573530078D386?OpenDocument>
- <http://zone.ni.com/devzone/cda/epd/p/id/5816>

Determining the Accuracy of your Strain Gage Measurements

- <http://zone.ni.com/devzone/cda/tut/p/id/8909>