Katedra Mechaniki i Podstaw Konstrukcji Maszyn
POLITECHNIKA OPOLSKA

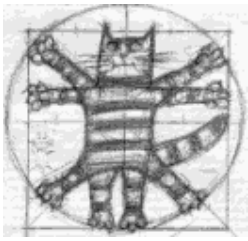
NATIONAL INSTRUMENTS™ LabVIEW™

Pomiary tensometryczne

dr inż. Roland PAWLICZEK

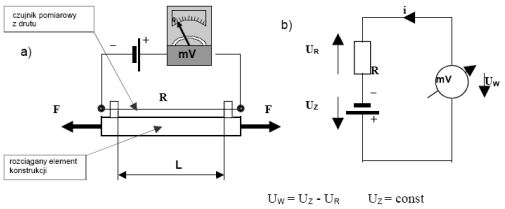
Pomiary tensometryczne

Przygotowali:
Paweł Ochocki
Andrzej Augustyn



Pomiary tensometryczne

Zasada działania tensometru

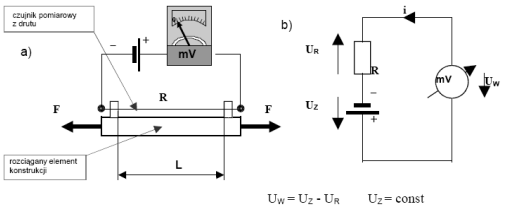


$$R \uparrow = \rho \frac{L \uparrow}{A \downarrow}$$

gdzie:
R – rezystancja drutu oporowego w Ω,
ρ – rezystywność, opór elektryczny właściwy w Ω ·m,
L – długość przewodnika w m,
A – powierzchnia przekroju przewodnika w m²,

Pomiary tensometryczne

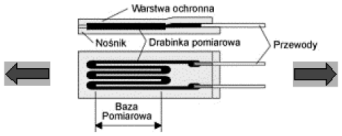
Zasada działania tensometru

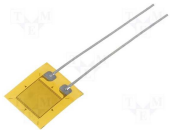


$$\sigma = \frac{F}{A} = E\varepsilon \qquad \frac{\Delta R}{R} = k\varepsilon \quad \Rightarrow \quad \varepsilon = \frac{1}{k}\frac{\Delta R}{R}$$

Pomiary tensometryczne

Rodzaje tensometrów





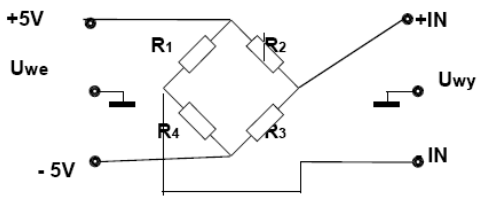
tensometry oporowe:
- wężykowe,
- zygzakowe,
- kratowe,
- foliowe,
- półprzewodnikowe.

Tensometry wykorzystuje się także pośrednio do pomiaru innych wielkości nieelektrycznych (np. siły, ciśnienia, drgań).

Pomiary tensometryczne

Mostki tensometryczne

Warunkiem równowagi mostka jest równanie :
R1 • R3 = R2 • R4



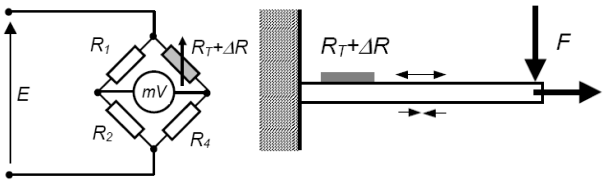
Stosowane układy pomiarowe

Układ ćwierć-mostka:

jeżeli *R1=R2 i R4=RT to:*

$$U = -\frac{E}{4}\left(\frac{\Delta R_T}{R_T + \Delta R_T/2}\right)$$

Może być wykorzystany np. do pomiaru zginania i rozciągania:

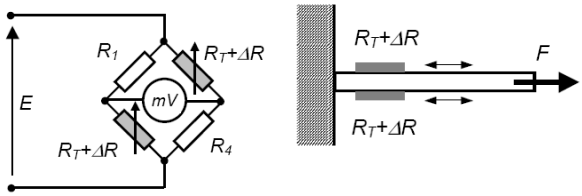


Stosowane układy pomiarowe

Układ pół-mostka:

$$U = -\frac{E}{2}\left(\frac{\Delta R_T}{R_T}\right)$$

Może być wykorzystany np. do pomiaru rozciągania
(w poniższym układzie nieczułym na zginanie):

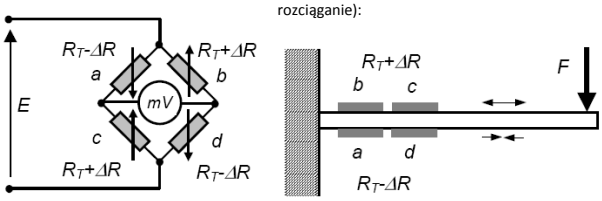


Stosowane układy pomiarowe

Układ pełnego mostka:

$$U = -E\left(\frac{\Delta R_T}{R_T}\right)$$

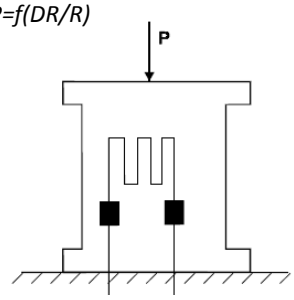
Może być wykorzystany np. do pomiaru zginania
(w poniższym układzie nieczułym na rozciąganie):



Pomiar wielkości mechanicznych

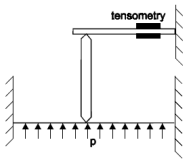
Pomiar siły

P=f(DR/R)

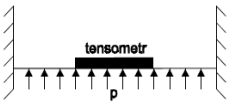


Pomiar wielkości mechanicznych

Pomiar ciśnienia

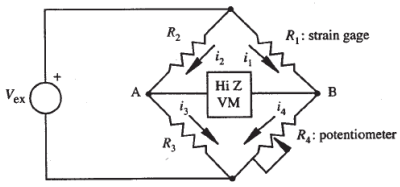


Rysunek 17. Schemat przetwornika do pomiaru ciśnienia z elementem pośrednim



Rysunek 16. Schemat przetwornika do pomiaru ciśnienia z elementem sprężystym w kształcie membrany

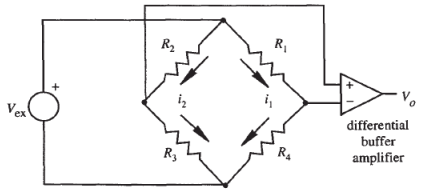
Statyczne balansowanie mostka



Oporność tensometru czynnego R_1 nie zależy od napięcia zasilającego V_{ex}

$$R_1 = \frac{R_4 R_2}{R_3}$$

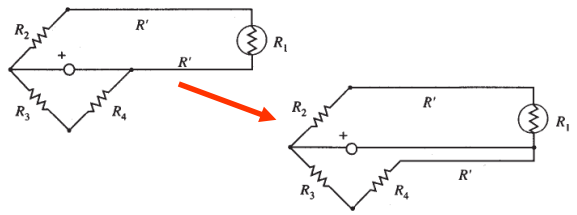
Pomiar odkształceń



Przy pojawieniu się odkształcenia oporność tensometru czynnego R_1 zmieni się o ΔR_1. Pomiar napięcia V_0 umożliwia określenie zmiany oporności.

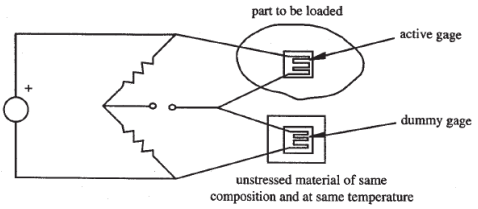
$$\frac{\Delta R_1}{R_1} = \frac{\frac{R_4}{R_1}\left(\frac{\Delta V_0}{V_{ex}} + \frac{R_2}{R_2+R_3}\right)}{\left(1 - \frac{\Delta V_0}{V_{ex}} - \frac{R_2}{R_2+R_3}\right)} - 1$$

Wpływ połączeń na błędy pomiaru ćwierćmostka



Jeżeli punkt pomiarowy z tensometrem R_1 znajduje się daleko konieczne jest zastosowanie dodatkowych kabli, które wprowadzają do układu rezystancję R'. Różnica temperatur może wpłynąć na zmiany oporności. Aby tego uniknąć stosuje się trzecie połączenie wprowadzające te same oporności w całym mostku.

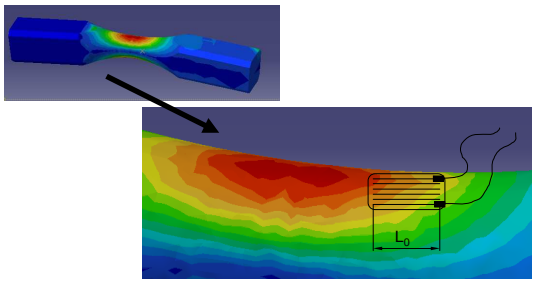
Kompensacja temperatury



Jeżeli punkt pomiarowy z tensometrem R_1 znajduje się w otoczeniu o innej temperaturze stosuje się układ półmostkowy z jednym tensometrem kompensacyjnym (dummy gauge) naklejonym na elemencie nieobciążonym wykonanym z tego samego materiału co obiekt badany.

Pomiary tensometryczne

Wynik pomiaru tensometrycznego dla nierównomiernych rozkładów odkształceń zależy od bazy tensometru:



IM MNIEJSZA BAZA – TYM LEPIEJ !!!

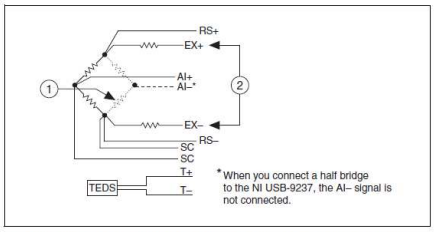
Mostek tensometryczny **USB9237**

www.ni.com

NI USB9237 - 4-ro kanałowy mostek tensometryczny z transmisją USB z możliwością zasilania do 5V z USB.
- połączenie z tensometrami za pomocą przewodu RJ 50
- NI WLS-9237 z możliwością transmisji radiowej
- kompatybilność struktury *Smatr Sensors* (TEDS)

Mostek tensometryczny **USB9237**

Schemat połączeń:



1 The dotted line indicates that the full bridge is optional while the half bridge is required.
2 These four signals are the only signals that must be connected.

Figure 7. Half- and Full-Bridge Connections

Mostek tensometryczny **USB9237**

Oznaczenie wejść:

Table 2. Terminal Assignments

RJ-50 (10p10c) Modular Plug and Receptacle Pin Numbers	RJ-50 Pin	RJ-45 Pin	Signal Name	Signal Description
	1	—	SC	Shunt calibration
	2	1	AI+	Positive input signal
	3	2	AI–	Negative input signal
	4	3	RS+	Positive remote sense signal
	5	4	RS–	Negative remote sense signal
	6	5	EX+	Positive excitation signal*
	7	6	EX–	Negative excitation signal*
	8	7	T+	TEDS data
	9	8	T–	TEDS return*
	10	—	SC	Shunt calibration

* These signals are shared by all four RJ-50 connectors on the NI USB-9237.

Mostek tensometryczny **USB9237**

Remote sensing: korekcja błędu wzmocnienia mostka od zasilania tensometrów:

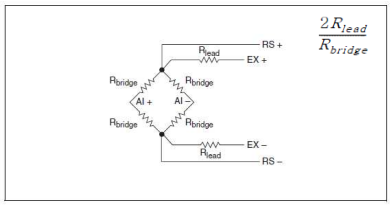


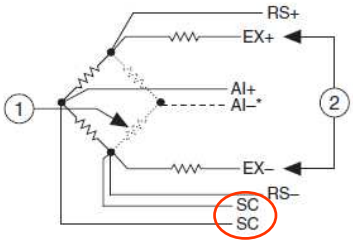
Figure 8. Remote Sensor Error Compensation

$U_{Ex+\,Ex-}$=10 V, R_{bridge}=120Ω, R_{lead}=10Ω → $U_{RS+\,RS-}$=[1-(20/120)]*10V=8,33V

Ciągła i automatyczna korekcja błędu zasilania tensometrów wynikająca ze spadku napięcia na rezystancji przewodów zasilających mostek.

Mostek tensometryczny **USB9237**

Shunt calibration: zalecana zwłaszcza dla układu półmostka. Koryguje błędy wynikające z dodatkowych rezystancji przewodów zasilających mostek i łączących z tensometrem **czynnym**. Tensometr bierny może się znajdować bliżej mostka.



Mostek tensometryczny **USB9237**

Excitation Voltage: zasilanie mostka 2,5 V – 10V.

Możliwe jest zasilanie ze złącza USB o wartości **2,5V 3,3V** i **5,0V** z ograniczeniem na moc do 150mW.
Moc dla układu mostka

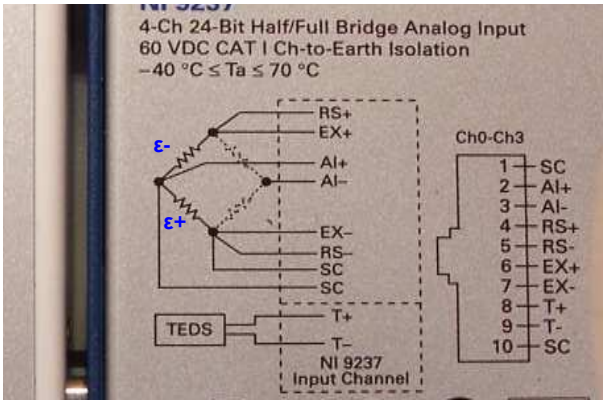
$$P = \frac{V_{Ex}^2}{R}$$

gdzie R jest rezystancją zastępczą układu tensometrów.

Ze złącza USB można zasilać:
- 5,0V dla czterech półmostków z tensometrami R=350Ω
- 3,3V dla czterech pełnych mostków z tensometrami R=350Ω
- 2,5V dla czterech półmostków z tensometrami R=120Ω

Dla większych mocy konieczne jest zasilanie zewnętrzne, np. z baterii.

Mostek tensometryczny **USB9237**

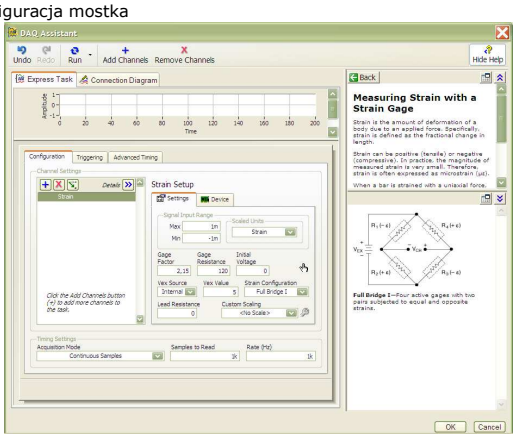


Mostek tensometryczny **USB9237**

Konfiguracja mostka

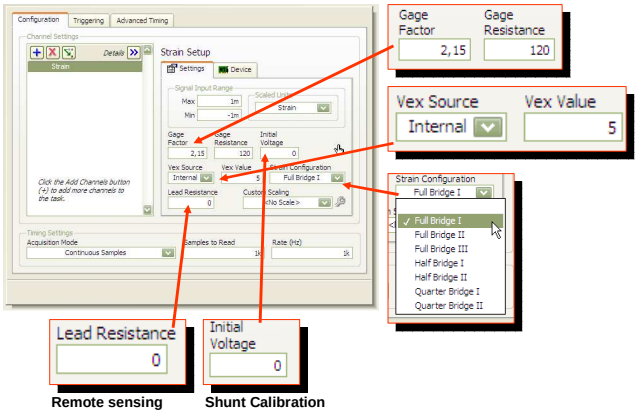
Mostek tensometryczny **USB9237**

Konfiguracja mostka



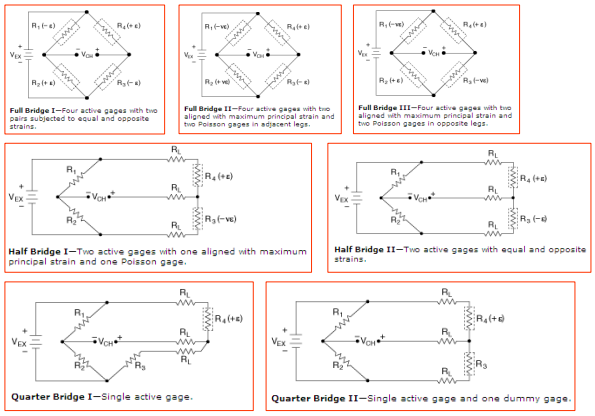
Mostek tensometryczny **USB9237**

Konfiguracja mostka



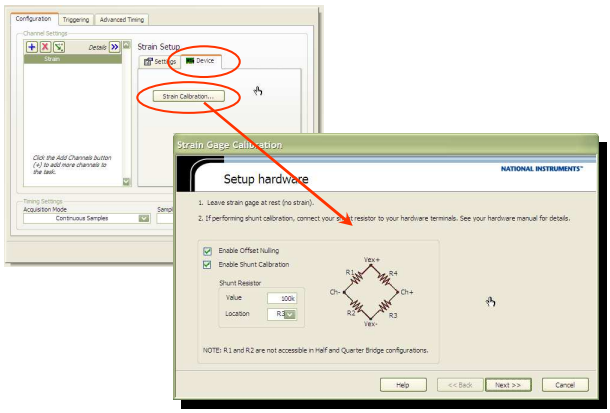
Mostek tensometryczny **USB9237**

Konfiguracja mostka



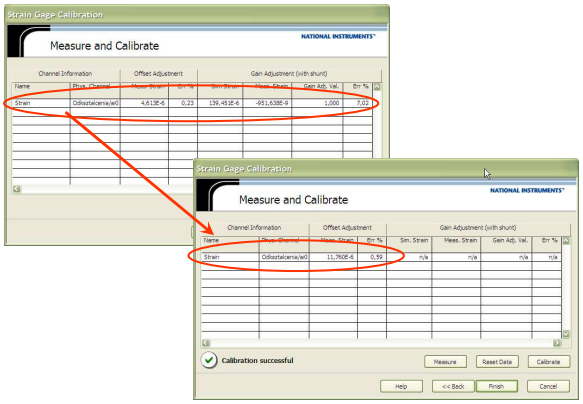
Mostek tensometryczny **USB9237**

Automatyczna kalibracja



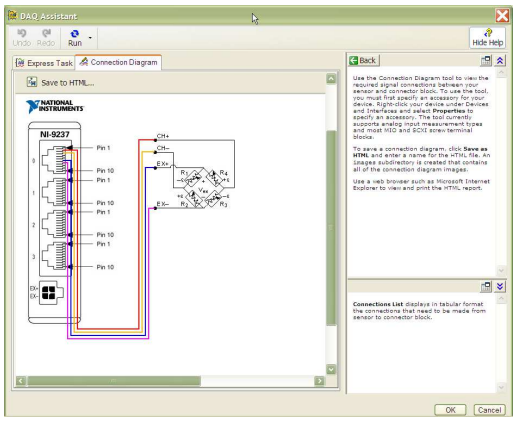
Mostek tensometryczny **USB9237**

Automatyczna kalibracja



Mostek tensometryczny **USB9237**

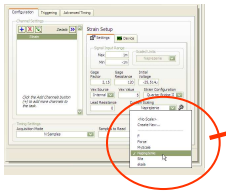
Pomoc:

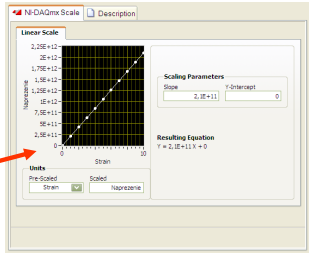


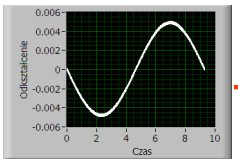
Mostek tensometryczny **USB9237**

Skalowanie pomiarów:

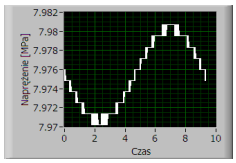
$$\sigma = E\varepsilon$$







$E=2{,}1\cdot 10^5$ MPa



Mostek tensometryczny **USB9237**

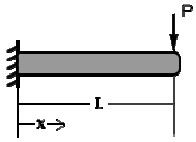
Przykład: Pomiar deformacji belki wspornikowej o przekroju pełnym

Naprężenia σ_i w wybranym punkcie belki x: $\sigma_i(x) = E\varepsilon_i(x)$

Moment zginający w przekroju x: $\sigma_i(x) = \dfrac{M_{gi}(x)}{W_g} = \dfrac{M_{gi}(x)}{\dfrac{bh^2}{6}} = \dfrac{6M_{gi}(x)}{bh^2}$

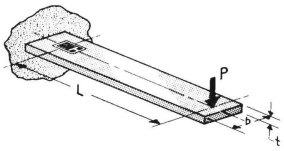
$$M_{gi}(x) = \tfrac{1}{6}bh^2\sigma_i(x) = \tfrac{1}{6}bh^2E\varepsilon_i(x)$$

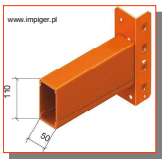
Stąd obciążenie P: $M_{gi}(x) = P(L-x) \quad \Rightarrow \quad P = \dfrac{M_{gi}(x)}{L-x}$

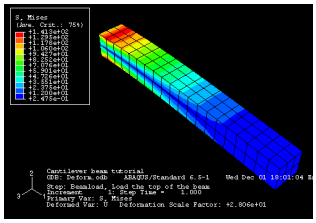


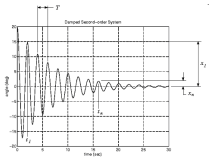
Mostek tensometryczny **USB9237**

Przykład: Pomiar deformacji belki wspornikowej



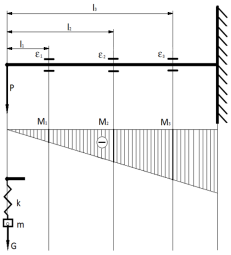






Mostek tensometryczny **USB9237**

Przykład: Pomiar deformacji belki wspornikowej



$$f_n = \frac{\alpha_n^2}{2\pi l^2}\sqrt{\frac{EJ}{\rho A}}$$

$\alpha_1 = 1.875$

$\rho = 7850$ [kg/m³],