

Skuteczna kompensacja rezystancji przewodów.

Punkty pomiarowe, np. na mostach lub skrzydłach samolotów często znajdują się w **większej odległości** od przyrządów pomiarowych. Punkty pomiarowe, które nie są bezpośrednio dostępne muszą być zatem połączone z przyrządami pomiarowymi za pomocą **długich kabli**.

Wada: rezystancja przewodu w kablu może wynieść do kilku omów i **negatywnie wpływać na pomiar**. Szczególnie negatywny wpływ mają **elektryczne zmiany rezystancji** w przewodzie podczas pomiarów, np. ze względu na zmiany temperatury.

Dla przewodów, które występują szeregowo z tensometrami (SG) na tej samej gałęzi mostka, **odpowiedź temperaturową** powstałą na skutek ogrzewania przewodu oblicza się w następujący sposób:

$$\Delta R_K = R_K \cdot \alpha_K \cdot \Delta \vartheta = \varrho \cdot \frac{l}{A} \cdot \alpha_K \cdot \Delta \vartheta$$

gdzie:

$\Delta \vartheta$ – zmiana temperatury

R_K - oporność przewodu

ΔR_K - zmiana rezystancji przewodu

R_{DMS} - oporność tensometru

k — stała tensometru

l - długość przewodu

A - przekrój przewodu

α_{MK} - odpowiedź temperaturowa punktu pomiarowego wynikająca ze zmiany temperatury przewodu

α_K - współczynnik temperaturowy dla materiału z którego wykonany jest przewód

$$\alpha_{Cu} \approx 0,004 \frac{\Omega}{\Omega} \cdot \frac{1}{K}$$

Q = przewodność materiału przewodu

$$\rho_{Cu} \approx 0,018 \frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}}$$

Przykład:

Przewód miedziany o długości 1 m (po 0,5 m każdy – zasilający i powrotny) i przekroju 0,15 mm²; w szeregu z 120 Ω tensometrem powoduje odpowiedź temperaturową 20 mikrometrów/m, przy zmianie temperatury o 10 K. Wszystkie pozostałe warunki są równe, odpowiedź temperaturowa z 350Ω tensometrem wynosi tylko 7 μm/m..

Różne typy **układów tensometrycznych** umożliwiają **kompensację rezystancji przewodu**. W tym artykule przedstawiono **trzy typy obwodów** opartych na układzie mostka Wheatstone'a wyjaśniając ich wady i zalety.

Układ 2-przewodowy.

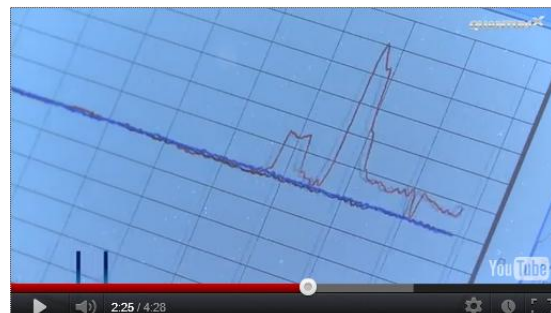
W układzie 2-przewodowym, tensometry i wzmacniacz są połączone za pomocą dwóch przewodów (patrz rys. 1). Diagram układu pokazuje, że **rezystancja kabla jest dwukrotnie dodana** (zasilanie i powrót) do oporu tensometru.

Wpływa to zarówno na **punkt zerowy mostka**, jak i jego **czułość**. Nawet w przypadku przewodów o długości kilku centymetrów, rezystancja kabla odgrywa dużą rolę. Układ 2-przewodowy jest szczególnie **wrażliwy na zmiany temperatury** w czasie pomiaru, ponieważ zmiany w oporności bezpośrednio wpływają na wartość zmierzoną.

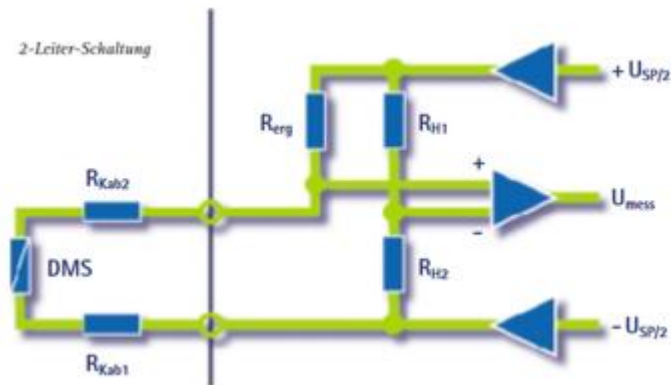
Stabilność temperaturowa 2-przewodowego układu została przetestowana przy użyciu zainstalowanych tensometrów i QuantumX MX1615 - wzmacniacza przeznaczonego dla mostków tensometrycznych.



Wynik testu: Wynik pomiarów uzyskany za pomocą układu 2-przewodowego nie ma znaczenia. **Zmiana rezystancji w kablu**, np. ze względu na zmiany temperatury, **w pełni wpływa na wynik pomiaru**.



Asymetryczne zmiany rezystancji w układzie tensometrycznym również powodują **błędy pomiarowe**. Zmiany rezystancji nie są korygowane.

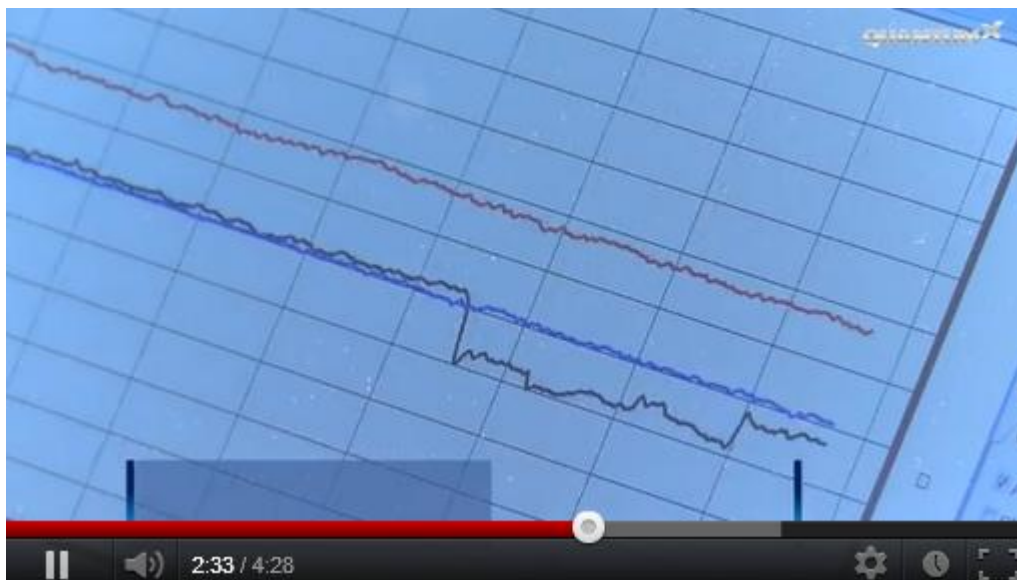


Rys.. 1: Połączenie tensometrów w konfiguracji 2-przewodowej.

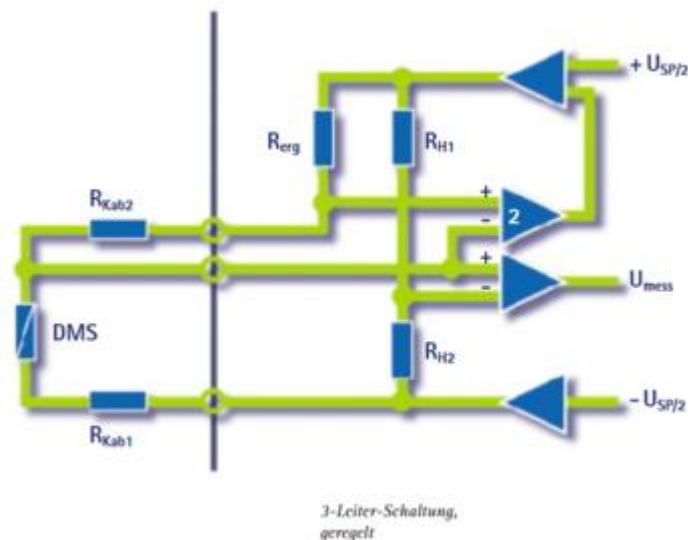
Regulowany układ 3-przewodowy.

W obwodzie 3-przewodowym, **dodatkowy przewód** jest podłączony do jednego z punktów rezystancji pomiarowej, co skutkuje **drugim obwodem pomiarowym** używanym jako odniesienie. Regulowany układ 3-przewodowy mierzy **napięcie górnej rezystancji kabla i zwiększa napięcie wzbudzenia** o podwojoną wartość zmierzoną. W rezultacie **napięcie na tensometrze jest identyczne z lub bez przewodu**, a kabel **nie ma wpływu na czułość**.

Regulowany układ 3-przewodowy wymaga, by **dwa przewody przewodzące prąd** miały **identyczną rezystancję**, gdyż **napięcie jest mierzone tylko na jednym z nich, jednak do korekty brana jest podwojona wartość**. Dlatego połączenie dwóch żył równolegle w celu zmniejszenia rezystancji przewodu w przypadku 4-przewodowego jest całkowicie błędne. To doprowadziłoby do znacznego błędu w punkcie zerowym. Z drugiej strony dla rozet i łańcuchów tensometrycznych istotne jest, aby upewnić się, że rezystor R_{Kab1} odpowiada wszystkim rezystorom R_{Kab2} połączonym równolegle.



Nasz test pokazuje również: **Zmiany rezystancji są korygowane tylko w jednym przewodzie kabla. Asymetryczne zmiany w oporności, np. zakłócenia w punktach połączeniowych, w pełni wpływają na wynik pomiaru. Symetryczne zmiany w oporności, np. zmiany temperatury w czasie pomiaru, są kompensowane przez przewód kompensacyjny.**

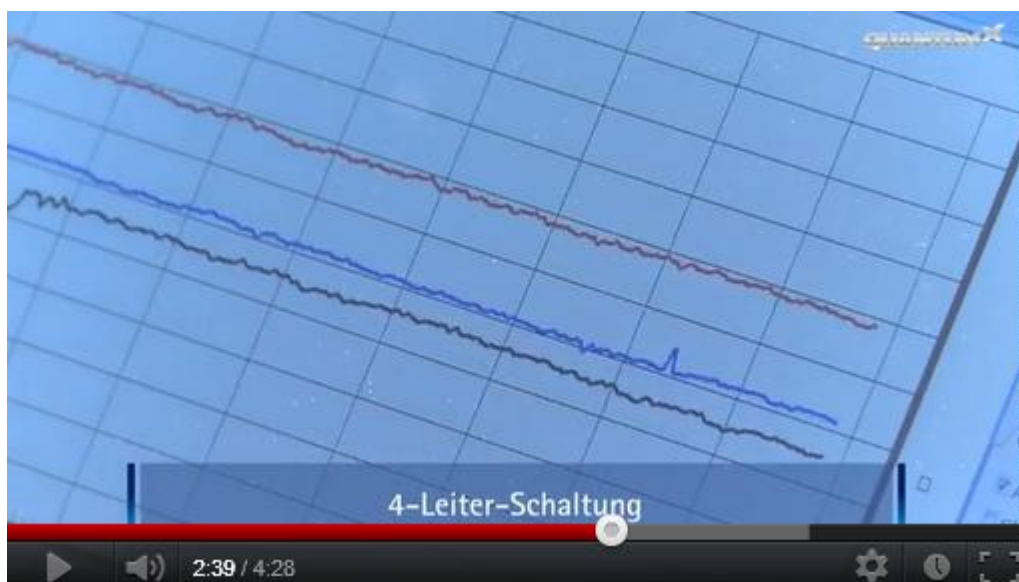


Rys.. 2: Połączenie tensometru w konfiguracji 3-przewodowej

Regulowany układ 4-przewodowy.

Tylko 4-przewodowy układ lub **opatentowany obwód Kreuzer'a firmy HBM** umożliwia **kompensację różnych oporów przewodów**. Znany **prąd** elektryczny płynie przez **rezystor** za pomocą dwóch przewodów. Spadek **napięcia** na rezystorze RKab1 jest **korygowany** (przy wysokiej impedancji) za pomocą dwóch dodatkowych przewodów.

Obwód Kreuzer'a mierzy **napięcie** na rezystorze RKab2 i **dodaje ją do wzbudzenia**. **Napięcie**, a tym samym **prąd** płynący przez rezystor Rerg są **niezależne od rezystancji kabla**. **Błędy punktu zerowego i czułości** wynikające z efektów kablowych są elektronicznie **kompensowane**.



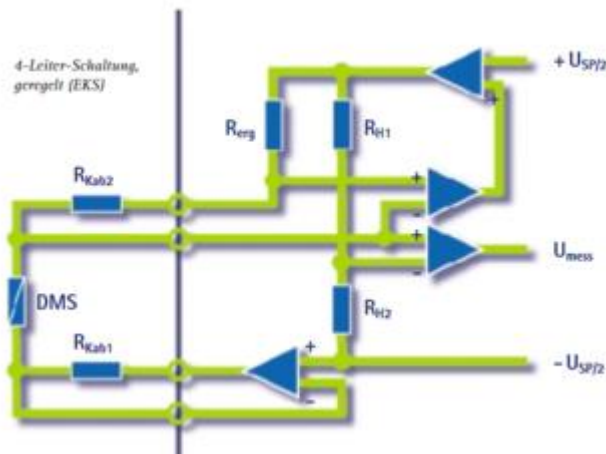
Uwaga: trzy wykresy pokazują pomiar tensometryczny przy użyciu **2 -, 3 - i 4-przewodowych układów**. Tutaj wydaje się, że wszystkie trzy techniki oferują identyczną stabilność. Idealnie,

widzimy kroki w wykresach dla układów 2 - i 3-przewodowych, w 4-przewodowym wykres pozostaje stabilny.

Nasz test dowodzi: opatentowany obwód Kreuzer'a pozwala na **dokładne wyniki pomiarów** przez:

- **stabilność przy wysokich temperaturach**
- **i korekcję zmian** w oporności w obydwóch przewodach kabla.

Asymetryczne zmiany w oporności, np. na złączach i **symetryczne zmiany** rezystancji, np. przez zmianę temperatury, są **korygowane** i nie mają wpływu na wynik pomiaru.



Rys.. 3: Połączenie tensometrów przy użyciu opatentowanego obwodu Kreuzer'a firmy HBM.

Biuro Inżynierskie Maciej Zajączkowski, ul. Krauthofera 16, PL 60-203 Poznań
Tel./Fax. +48 61 66 25 666, e-mail: info@bimzajac.com.pl, www: <http://www.hbm.com.pl>