

Wydział Elektryczny  
Katedra Elektrotechniki Teoretycznej i Metrologii  
Zakład Metrologii

Instrukcja do zajęć laboratoryjnych

Temat ćwiczenia:

***Pomiary tensometryczne  
z zastosowaniem systemu Spider 8***

**Ćwiczenie nr 71**

Laboratorium z przedmiotu:

***Miernictwo wielkości nieelektrycznych***

Opracował:

*Dr inż. Ryszard Piotrowski*

Białystok 2001 r.

# 1. Wprowadzenie

**Cel ćwiczenia:** Ćwiczenie zakłada dwa zasadnicze cele dydaktyczne:

1. Zapoznanie studentów z istotą pomiarów tensometrycznych
2. Nauczenie podstawowych zasad wykorzystywania w metrologii komputerowych systemów pomiarowym na przykładzie systemu *Spider8*.

## 1.1. Geneza elektrycznej tensometrii oporowej

**Bezpośredni** pomiar naprężeń mechanicznych w elementach maszyn i urządzeń jest bardzo trudny, często wręcz niemożliwy, dlatego powszechnie stosowana jest **metoda pośrednia**, polegająca na pomiarze **odkształceń** materiału konstrukcji i obliczaniu na ich podstawie poszukiwanych **naprężeń**. Związek między **naprężeniem** a **odkształceniem** został ustalony doświadczalnie i nosi nazwę **prawa Hooke'a**. Stanowi ono, że w określonych granicach naprężeń iloraz naprężenia  $\sigma$  i odkształcenia  $\varepsilon$  jest wartością stałą dla danego materiału i nosi nazwę **modułu Younga E** (wzór 1).

$$\frac{\sigma}{\varepsilon} = const = E \cdot \left[ \frac{N}{cm^2} \right] \quad (1)$$

gdzie:

$$\sigma = \frac{F}{S} \cdot \left[ \frac{N}{cm^2} \right] \quad (2)$$

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l} \cdot \left[ \frac{cm}{cm} \right] \quad (3)$$

Podstawiając do zależności (1) równości (2), (3), otrzymamy zależność (4).

$$\frac{F \cdot l}{S \cdot \Delta l} = E \cdot \left[ \frac{N}{cm^2} \right] \quad (4)$$

Wielkości występujące w zależnościach (1), (2), (3), oznaczają:

- $\sigma$  - poszukiwane naprężenie jednostkowe materiału (siła działająca na jednostkę pola powierzchni)
- $\mathcal{E}$  - wydłużenie jednostkowe materiału (przyrost długości materiału odniesiony do długości początkowej)
- $E$  – moduł sprężystości, nazywany także modułem Younga
- $F$  – siła powodująca naprężenie i towarzyszące jej wydłużenie materiału
- $S$  – pole powierzchni materiału (w szczególności próbki materiału poddawanej rozciąganiu)
- $l$  – pierwotna długość próbki (długość przed poddaniem jej działaniu siły)
- $\Delta l$  – przyrost długości próbki

Odształcenia materiału w zakresie naprężeń sprężystych, to znaczy w zakresie stosowalności prawa Hooke’a są niewielkie i ich pomiar nastrocza istotnych trudności. Z pomocą przychodzi tu metoda elektryczna pomiaru zwana **tensometrią oporową**.

Tensometria oporowa zasadza się na znanym zjawisku fizycznym, polegającym na zmianie rezystancji drutu metalowego podlegającego wydłużeniu pod działaniem sił mechanicznych. Zjawisko to zostało odkryte przez wybitnego fizyka i konstruktora angielskiego Williama Thomsona (późniejszego lorda Kelvina) w roku 1856, wykorzystane zaś do celów tensometrii oporowej po raz pierwszy przez E.E. Simmonsa z California Institute of Technology dopiero w roku 1937. Idea tensometru rozwinięta została dalej przez A.C. Ruge’a z Massachusetts Institute of Technology. Nakleił on drut na podkładkę papierową, którą z kolei przykleił do powierzchni badanego elementu, co stanowiło już właściwie prototyp współczesnego tensometru. W roku 1939 firma Baldwin Southwork Company uruchomiła ich normalną produkcję.

Siły  $F$  działające na drut metalowy rozciągają go (rys.1), powodując:

- wzrost jego długość  $l$ ,
- zmniejszenie pola powierzchni przekroju poprzecznego  $S$ ,
- wzrost rezystywności  $\rho$ ,

co prowadzi do wzrostu rezystancji  $R$ , określonej znaną zależnością (5):

$$R = \rho \frac{l}{S} \cdot [\Omega] \quad (5)$$

gdzie:

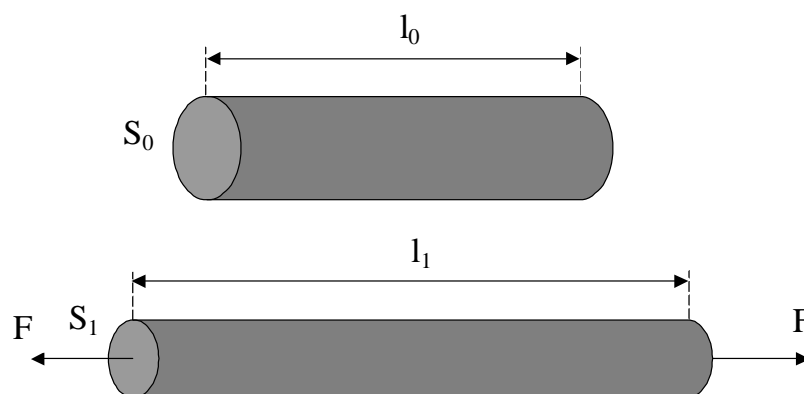
$\rho$  - rezystywność materiału drutu

$l$  – długość drutu

$S$  – pole przekroju poprzecznego drutu

Wzrost rezystywności wynika ze wzrostu odległości między atomami metalu przy rozciąganiu go i zmniejszeniu ruchliwości swobodnych elektronów. Zmiana rezystywności ma największy wpływ na zmianę rezystancji tensometrów półprzewodnikowych.

Zmiana rezystywności wynika tam z naruszenia struktury krystalicznej materiału półprzewodnikowego.



Rys.1. Deformacja drutu pod wpływem sił rozciągających

Przy ściskaniu drutu mają miejsce zjawiska odwrotne do opisanych wyżej, to znaczy:

- zmniejszanie się długości drutu  $l$ ,
- zwiększanie się pola powierzchni przekroju poprzecznego  $S$ ,
- zmniejszanie się rezystywności  $\rho$ ,

co prowadzi, jak to wynika ze wzoru (5) do zmniejszania się rezystancji  $R$  drutu.

## 1.2. Tensometr

**Tensometr jest to rezystancyjny przetwornik pomiarowy przetwarzający odkształcenie liniowe (wydłużenie lub skrócenie) obiektu badanego na zmianę (zmniejszenie lub zwiększenie) swojej rezystancji.**

W zakresie odkształceń sprężystych materiału, z którego wykonany jest przetwornik, między wspomnianym odkształceniem i zmianą rezystancji zachodzi liniowa zależność:

$$\frac{\Delta R}{R_0} = K \frac{\Delta l}{l_0} \quad (6)$$

gdzie:

- $R_0$  – rezystancja początkowa tensometru
- $L_0$  – długość początkowa drutu tensometru
- $\Delta R$  – zmiana rezystancji tensometru
- $\Delta l$  – zmiana długości drutu tensometru
- $K$  – współczynnik tensoczułości**

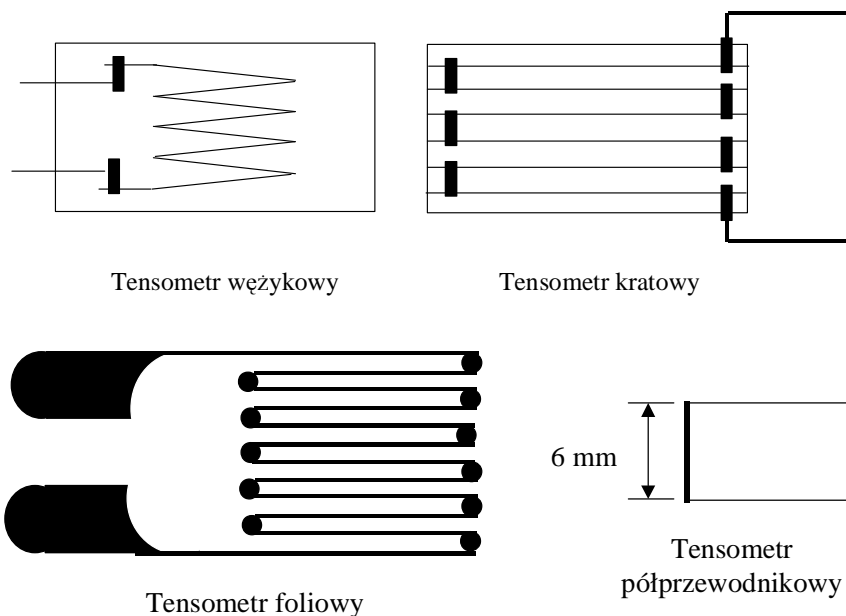
Wartość **współczynnika tensoczułości** dla większości stosowanych w praktyce materiałów wynosi ok. 2. Współczynnik ten jest najważniejszym parametrem tensometru.

### 1.3. Budowa tensometru

Spotykane są następujące rodzaje tensometrów:

- drutowe*
- foliowe*
- półprzewodnikowe*

Tensometry drutowe mogą być *zygzakowe (wężykowe)* i *kratowe* – patrz rysunek 2.



Rys.2. Rodzaje tensometrów metalowych

**Tensometr drutowy kratowy** zawiera szereg równolegle ułożonych drucików oporowych (konstantanowych, zaś przy wyższych temperaturach – nichromowych) o średnicy ok.  $25\ \mu\text{m}$  ( $25\ \mu\text{m} = 0,025\ \text{mm}$ ). Druty nakleja się na cienki papier lub folię i przykrywa od góry takim samym paskiem papieru. Poszczególne druty łączy się w szeregowy obwód elektryczny o końcówkach wyprowadzonych na zewnątrz. Utworzony w ten sposób rezystor ma rezystancję równą ok.  $120\ \Omega$ .

W **tensometrze foliowym** kształt rezystora wycięty jest z cienkiej folii konstantanowej.

W **tensometrze wężykowym** (zygzakowym) druty oporowe ułożone są pod pewnym kątem względem siebie.

**Tensometry półprzewodnikowe**, w których w wyniku odkształceń dokonuje się przede wszystkim zmiana rezystywności, wykazują istotne zalety w porównaniu z tensometrami metalowymi. Mają od nich o wiele mniejsze wymiary, **większy od 20 do 100 razy współczynnik tensoczułości K**, poza tym współczynnik ten może być dodatni lub ujemny.

## 1.4. Materiały używane do budowy tensometrów

Materiałami używanymi do budowy tensometrów są stopy oporowe, z których najczęściej wykorzystywany jest konstantan (60% Cu, 40% Ni). Ma on liniową charakterystykę przetwarzania, to znaczy zależność zmian rezystancji od odkształcenia liniowego, mały współczynnik temperaturowy rezystancji, możliwość kształtowania w formie bardzo cienkich drucików. Jego współczynnik tensoczułości K ma wartość 2.

Przy wyższych temperaturach pracy stosowane są tensometry wykonane z nichromu (80% Ni, 20% Cr). Współczynnik tensoczułości tego stopu ma wartość, podobnie jak konstantan: 2,1 – 2,3.

Coraz częściej do budowy tensometrów stosowane są półprzewodniki, głównie krzem (patrz wyżej: tensometry półprzewodnikowe).

## 1.5. Przyklejanie tensometrów

Odształcenie obiektu badanego jest odbierane przez tensometr za pośrednictwem kleju, który powinien charakteryzować się dobrą przyczepnością do podłoża. Musi on też mieć podobne właściwości mechaniczne jak materiał, na którym tensometr jest naklejony. Klej musi być niewrażliwy na działanie

czynników zewnętrznych takich jak temperatura, wilgotność, działanie chemikalii.

Poszczególne firmy zalecają do swoich tensometrów specjalne kleje ze ściśle podaną technologią naklejania. Przygotowanie powierzchni materiału badanego oraz klejenie powinno być wykonane bardzo starannie, gdyż pomiary tensometryczne mają sens tylko wtedy, gdy tensometr stanowi jedną całość z mierzonym obiektem.

Przy temperaturze pracy do  $100^{\circ}\text{C}$  używane są kleje acetonowo-celuloidowe, a przy temperaturze do  $200^{\circ}\text{C}$  – kleje polimeryzujące na bazie smołowej, np. kleje bakelitowo-fenolowe lub poliwinylbenzenowe. Przy bardzo wysokich temperaturach pracy stosowane są specjalne emalie ceramiczne wypalane w piecu

## 1.6. Układy pomiarowe

**Wielkość mechaniczna** jaką jest zmiana długości obiektu badanego jest przetwarzana na **wielkość elektryczną** – zmianę rezystancji tensometru. Zmiana rezystancji jest zazwyczaj bardzo mała ( $\Delta R/R=10^{-5}-10^{-2}$ ) Przyjmując więc, że rezystancja tensometru ma wartość początkową np.  $120\ \Omega$ , jej przyrost podczas pomiaru może wynieść od  $1,2\cdot 10^{-3}\ \Omega$  do  $1,2\ \Omega$ . Tak małe zmiany rezystancji muszą być mierzone specjalnymi metodami. Odpowiednie do tego celu są metody mostkowe pomiaru rezystancji. Klasyczny mostek Wheatstone'a okazuje się tu niestety za mało czuły. Stosowane są więc zwykle zmodyfikowane mostki Wheatstone'a, na wyjściu których umieszczany jest wzmacniacz.

O ile w mostkach niezrównoważonych wystarczy stosowanie odpowiednio czułego wzmacniacza, to w mostkach zrównoważonych trzeba zapewnić precyzyjną, więc kilkustopniową regulację rezystancji. Dodatkową komplikacją jest też konieczność wstępnego równoważenia amplitudowego i fazowego (nierówność rezystancji). Wszystkie te zagadnienia są istotne nie tylko przy pomiarach tensometrycznych, ale wszędzie tam gdzie wielkością wyjściową jest mała zmiana rezystancji.

Mostki mogą być zasilane zarówno napięciem stałym jak i przemiennym. Obecnie najczęściej są używane mostki prądu przemiennego ze względu na niższy koszt wzmacniacza i możliwość wyeliminowania wpływu sił termoelektrycznych.

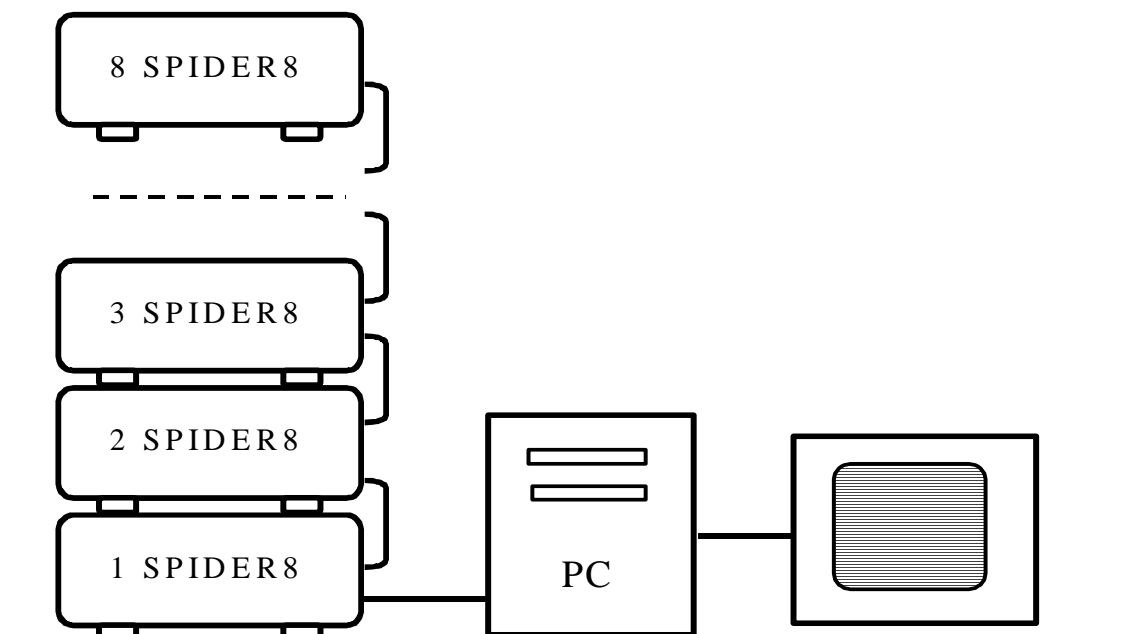
## 2. Komputerowy system pomiarowy *Spider 8*

W niniejszym ćwiczeniu stosowany jest system pomiarowy o nazwie *Spider 8*.

*Spider8* jest uniwersalnym komputerowym systemem pomiarowym firmy Hottinger Baldwin Messtechnik, przeznaczonym do laboratoryjnych pomiarów głównie wielkości mechanicznych, takich jak: ciśnienie, siła, przyspieszenie, odkształcenie mechaniczne, przemieszczenie. Umożliwia także pomiar temperatury przy zastosowaniu termoelementów typu J, K, T, S oraz termorezystorów platynowych typu PT100, PT500, PT100, a także pomiar napięć i prądów stałych, rezystancji, częstotliwości, pracować może też jako licznik impulsów.

*Spider8* pracuje pod zarządem programu komputerowego o nazwie *Spider8 Control* opartego na systemie MC Windows.

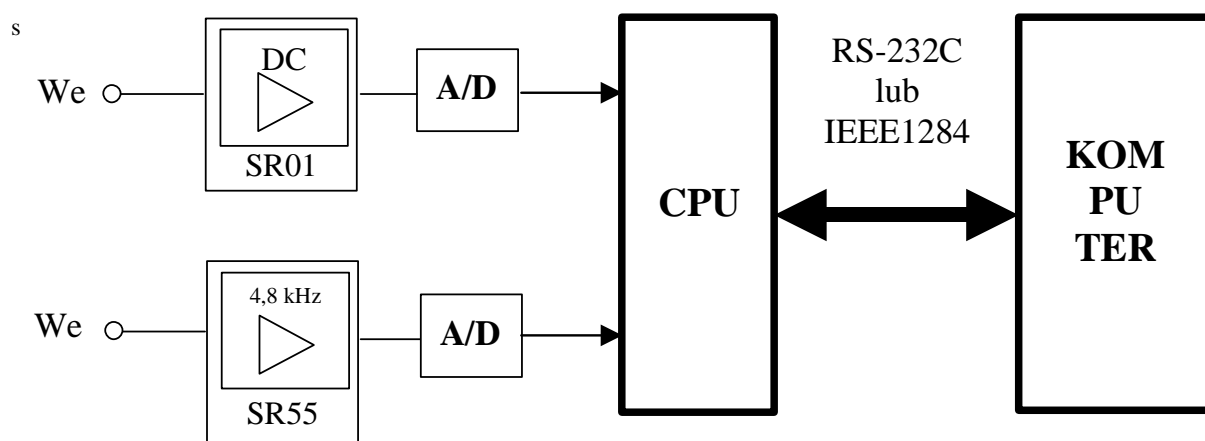
System nie posiada żadnych mechanicznych elementów sterujących, takich jak przełączniki (z wyjątkiem włącznika zasilania), potencjometry, itp. Użytkownik komunikuje się z systemem poprzez komputer klasy PC przy pomocy myszy i klawiatury.



Rys.3. Pełny zestaw systemu komputerowego *Spider8*



*Spider8* ma budowę modułową i może zawierać do 8 modułów (rys. 3), z których każdy posiada osiem kanałów pomiarowych. Daje to możliwość rozbudowania systemu do 64 kanałów pomiarowych. Ważną cechą systemu jest to, iż poszczególne kanały odizolowane są od siebie galwanicznie i zabezpieczone przed zakłóceniami elektromagnetycznymi specjalnym systemem ekranowania obejmującym także przyłączone do systemu przetworniki pomiarowe. Na uwagę zasługuje także fakt, iż praca wszystkich kanałów jest zsynchronizowana, to znaczy pomiary w poszczególnych kanałach dokonywane są jednocześnie. Jest to istotne w przypadkach, gdy zachodzi potrzeba dokonywania porównań różnych wielkości zmiennych w czasie.



Rys.4. Dwa typy kanałów pomiarowych Spider'a8

*Spider8* może zawierać dwa charakterystyczne moduły: SR01 oraz SR55. (rys.4). Pierwszy z nich zawiera wzmacniacz prądu stałego (DC), a dalej przetwornik analogowo-cyfrowy (A/D – od ang. analog to digital). Moduł SR01, służy do pomiaru napięć i prądów stałych, rezystancji, sił elektromotorycznych powstających w termoelementach.

Moduł SR55 służy do przyłączania układów tensometrycznych (układów pełnego mostka, półmostka), przetworników indukcyjnych różnego typu oraz do pomiaru częstotliwości. Moduł ten generuje tzw. częstotliwość nośną (carrier-frequency), to znaczy napięcie sinusoidalne o częstotliwości 4,8 kHz, które służy do zasilania tensometrycznych układów mostkowych oraz przetworników indukcyjnych. Za tym modułem także znajduje się przetwornik analogowo-cyfrowy (A/D). Przetworzone na postać cyfrową sygnały pomiarowe doprowadzane są do procesora (CPU), gdzie poddawane są różnorodnym procesom przetwarzania. Nadzrędnym elementem składowym systemu pomiarowego jest komputer PC, nazwany w cyfrowych systemach pomiaro-

wych – kontrolerem. To za jego pośrednictwem użytkownik systemu programuje i kieruje pracą Spider'a, posługując się klawiaturą i myszką.

Spider8 łączyć można z komputerem PC przy pomocy interfejsu szeregowego RS-232C lub równoległego IEEE1284. Ten ostatni służy także do przyłączenia bezpośrednio do Spider'a8 drukarki, a także do łączenia w kaskadę kolejnych ośmiu zestawów systemu (rys. 3).

### 3. Omówienie ćwiczenia

Ćwiczenie polega na pomiarze metodą tensometryczną odkształceń powstających w stalowej belce zamocowanej sztywno jednym końcem i obciążanej na drugim końcu znaną co do wartości siłą  $P$ , a następnie obliczeniu naprężeń mechanicznych powstających w różnych jej miejscach (rys. 6).

Nie mniej ważnym zadaniem dla studentów jest opanowanie podstaw obsługi nowoczesnego sprzętu pomiarowego w postaci systemu *Spider8*.

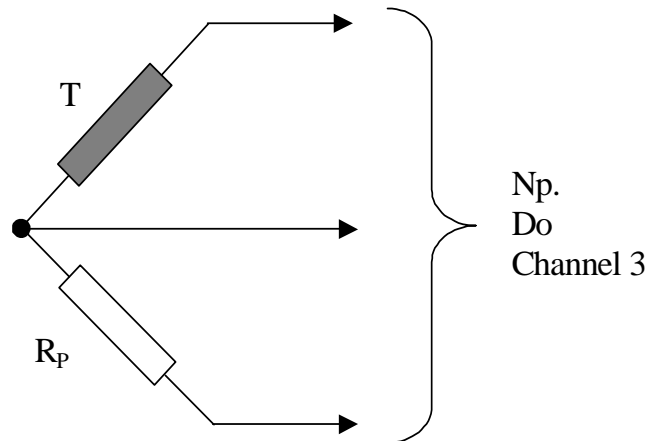
#### 3.1. Opis układu pomiarowego

Schemat ideowy układu pomiarowego przedstawia rysunek 6. Nie pokazano na nim monitora stanowiącego oczywiście nieodłączną część komputera PC. W układzie, którego schemat przedstawiony jest na rysunku 6, występuje stalowa belka zamocowana sztywno jednym końcem. Do drugiego jej końca przykładana jest siła  $P$  wywołująca w belce moment gnący. W wyniku tego górne warstwy belki ulegają rozciąganiu, dolne natomiast ścisaniu. Zakłada się, że tensometry  $T_1, T_9, T_{13}$  ulegają takim samym odkształceniom jak fragmenty belki, na których są naklejone, to znaczy rozciąganiu, natomiast tensometry  $T_2, T_{14}$  - ścisaniu. Jak już to wyjaśniono wcześniej, odkształceniom mechanicznym tensometrów towarzyszą zmiany ich rezystancji, które w niniejszym ćwiczeniu mierzone są w układzie półmostkowym przez system komputerowy *Spider8*.

*Spider8*, a właściwie jego pojedynczy moduł, jaki używany jest w ćwiczeniu, ma osiem kanałów pomiarowych oznaczonych przez producenta numerami 0, 1, 2, ... 7. Są to tak zwane kanały sprzętowe systemu (hardware channel). Odpowiada im osiem tak zwanych kanałów wejściowych (input channel) oznaczonych numerami 1, 2, 3, ...8.

W ćwiczeniu, ze względu na czasowe ograniczenia sprzętowe zainstalowane są tylko niektóre kanały pomiarowe. Wynika stąd także ograniczona liczba stosowanych tensometrów.

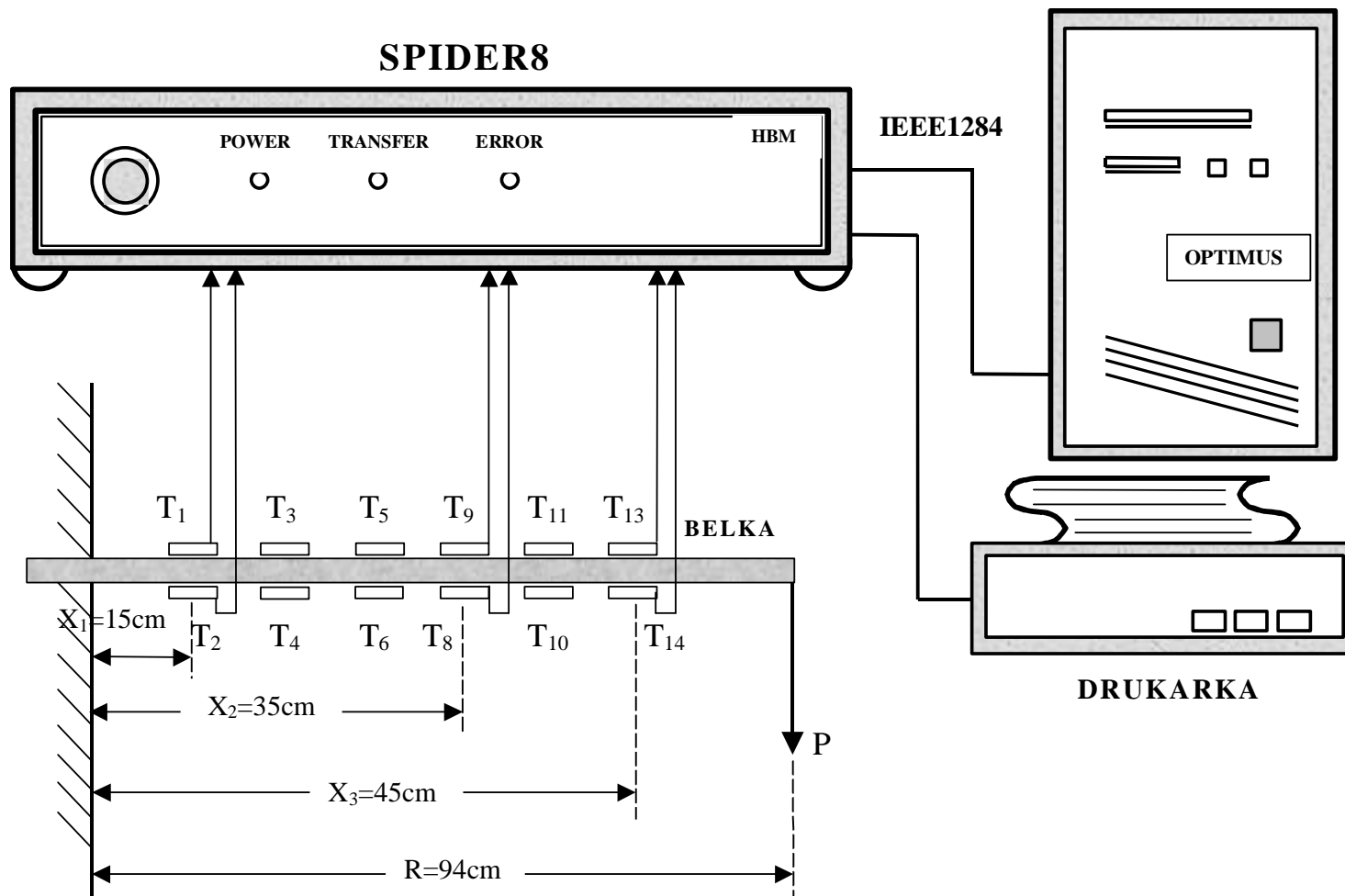
Spider8 połączony jest z komputerem poprzez interfejs równoległy IEEE1284.



Rys. 5. Idea pracy pojedynczego tensometru T w układzie półmostka

Każdy z tensometrów T występujących na rysunku 6 pracuje w układzie tzw. półmostkowym (rys. 5), znajduje się tam w jednym z ramion półmostka. W drugim ramieniu mostka występuje tzw. rezystor wyrównawczy R<sub>P</sub> (padding resistor) o rezystancji równej rezystancji tensometru. Rezystor ten jest niewidoczny dla ćwiczących.

Układ półmostkowy zasilany jest z układu *Spider8'a* napięciem sinusoidalnym o częstotliwości 4,8 kHz. Jest to tak zwana częstotliwość nośna (carrier frequency).

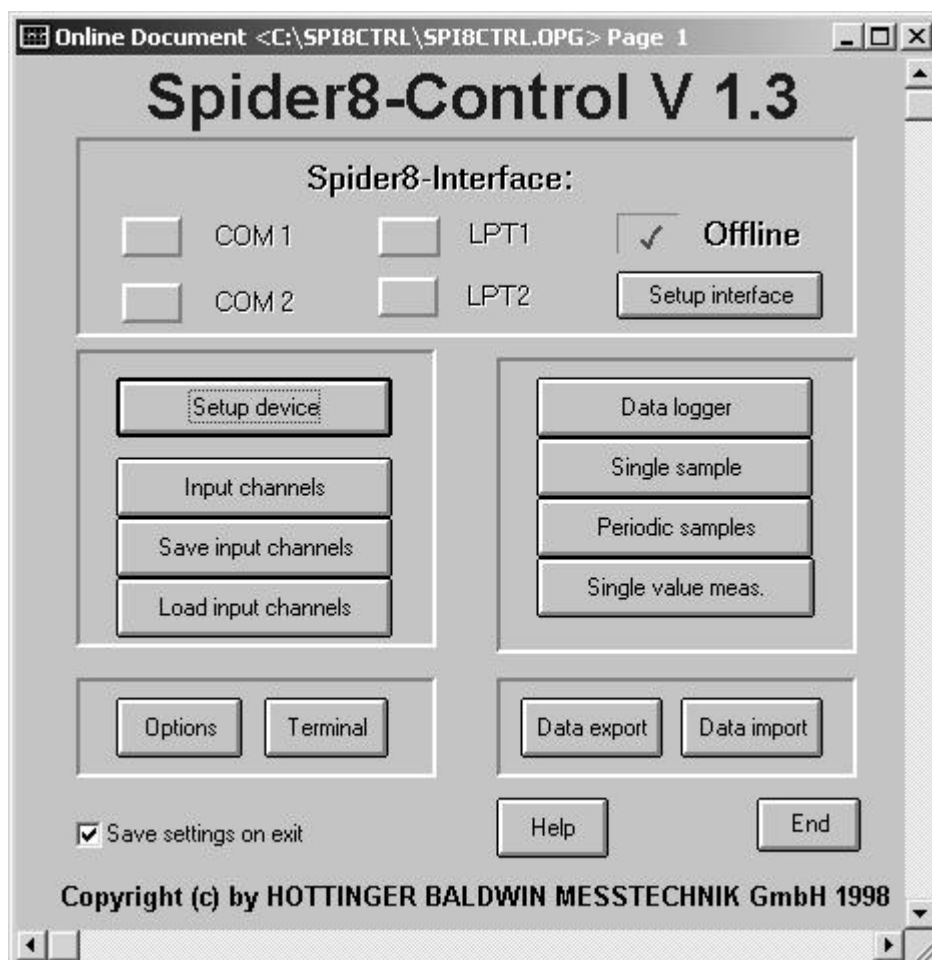


Rys.6. Schemat ideowy układu pomiarowego

## 3.2. Program (przebieg) ćwiczenia

Studenci zastają w laboratorium już połączony układ pomiarowy. Powinni następująco:

1. Włączyć napięcie zasilające komputer i poczekać na zainstalowanie się programu Windows
2. W tym czasie należy włączyć napięcie zasilające Spider'a (duży przycisk na płycie czołowej), obserwując uważnie trzy diody sygnalizacyjne tego urządzenia. Pierwsza z nich (zielona) świeci się ciągle podczas pracy systemu. Dwie pozostałe (pomarańczowa i czerwona) zapalają się na krótko, następnie obie gasną, sygnalizując w ten sposób sprawność urządzenia.
3. Po skończonej instalacji na ekranie pojawi się wśród innych ikona programu **Spider8-Control** (głowa czarnego kota). Należy kliknąć dwukrotnie na tę ikonę. Otworzy się pierwsze okno programu przedstawione na rysunku 7.

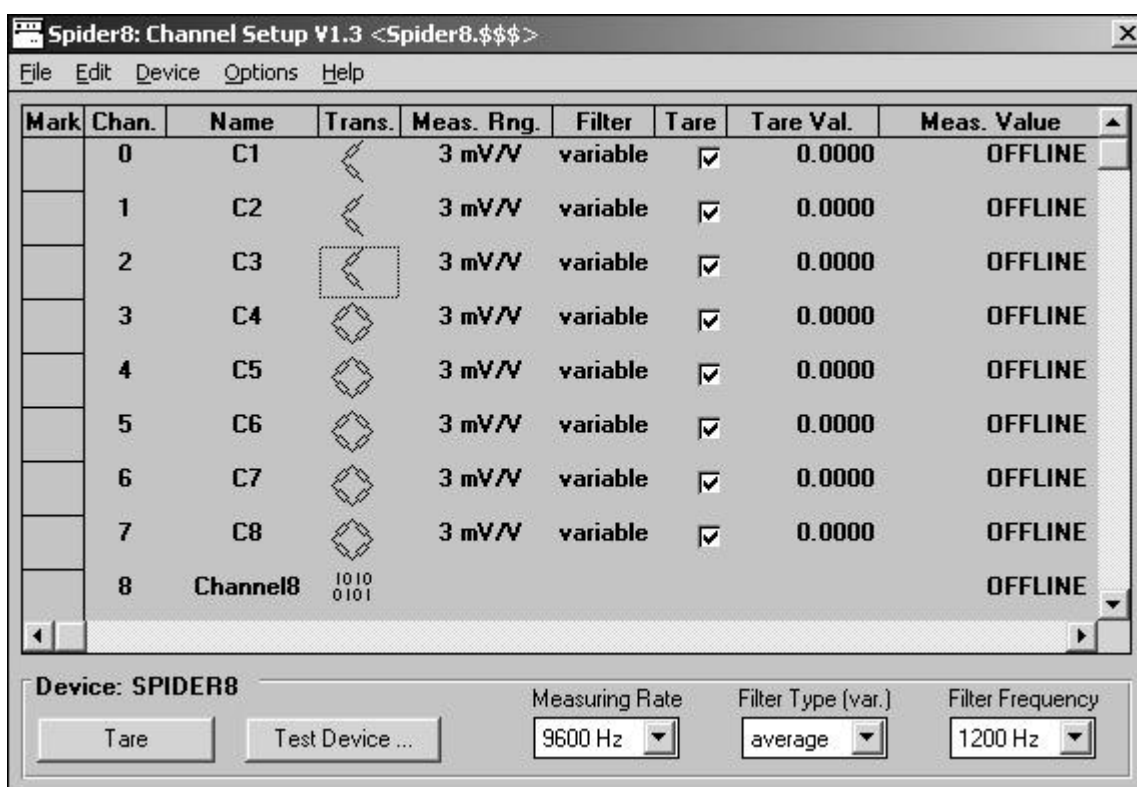


Rys. 7. Pierwsze okno programu *Spider8-Control*

W tym miejscu, dla większej przejrzystości instrukcji pomija się objaśnienie roli wszystkich przycisków okna. Zainteresowanych odsyła się do pełnej instrukcji obsługi systemu Spider8.

Użytkownik może wybrać rodzaj interfejsu: szeregowego: COM1 lub COM2, albo równoległego: LPT1 lub LPT2. Ponieważ wcześniej został zrealizowany fizycznie interfejs równoległy LPT1, nie zachodzi potrzeba dokonywania takiego wyboru, przy interfejsie tym znajdzie się znak √. System może pracować w trybie **Offline**, to znaczy bez fizycznie przyłączonych do niego przetworników. Użytkownik może dokonać wtedy wstępnych ustawień parametrów systemu i zapamiętać je w pliku o rozszerzeniu \*.sp8, by po przejściu podczas pomiarów do trybu **Online** wywołać te ustawienia bez potrzeby ponownego konfigurowania systemu. Ćwiczący nie muszą dokonywać tych operacji.

4. Kliknij przycisk **Setup device**, na ekranie monitora pojawi się kolejne okno, przedstawione na rysunku 8



Rys.8. Okno pojawiające się po naciśnięciu przycisku **Setup device**

Na wstępie należy sprawdzić sprawność systemu, klikając na okienko o nazwie **Test Device ...**. Otworzy się wtedy okno pomocnicze (nie pokazane w

tej instrukcji), w którym najprawdopodobniej ćwiczący zobaczą następujące informacje, wskazujące na sprawność Spider'a:

<b>Power Supply:</b>	<b>OK.</b>
<b>Ser. Interface:</b>	<b>OK</b>
<b>Par. Interface</b>	<b>OK</b>
<b>RAM:</b>	<b>OK.</b>
<b>EEPROM:</b>	<b>OK</b>

Powrót do okna z rysunku 8 uzyskujemy klikając na przycisk **OK**.

W kolumnie okna oznaczonej **Chan.** widocznych jest osiem wspomnianych kanałów sprzętowych o numerach 0 – 7. Kanał o numerze 8 dotyczy wejścia cyfrowego i leży w tym przypadku poza obszarem zainteresowań ćwiczących.

W kolumnie oznaczonej **Name** widnieją się nazwy kanałów: C1, C2, C3, itd. nadane standardowo przez producenta. Nazwy te zmieniać może użytkownik (patrz dalsze wyjaśnienia) dostosowując je do rodzaju przetworników i programu badań. W przypadku niniejszego ćwiczenia są to nazwy wskazujące na tensometry w układzie półmostkowym, jako stosowane przetworniki i rodzaj odkształceń, jakimi będą poddawane (rozciąganie i ściskanie, patrz rys. 9).

Zwróćmy następnie uwagę na kolumnę „**Trans.**” (od słowa transducer – przetwornik), w której użytkownik wybiera rodzaj przetwornika. Klikając w wybranym wierszu tej kolumny, otworzymy rozświetlone „podokno” zawierające symbole wszystkich możliwych przetworników. Kliknięciem na odpowiedni symbol dokonujemy wyboru interesującego nas przetwornika, symbol tego przetwornika pojawi się w odpowiednim wierszu kolumny. W przypadku niniejszego ćwiczenia powinniśmy wybrać symbol półmostka. Jeżeli wybrany symbol nie odpowiada przetwornikowi rzeczywiście przyłączonemu do Spider'a, w kolumnie „**Measur. Value**” (wartość zmierzona) pojawi się napis „**OFFLINE**”, jeżeli zaś przetwornik danego rodzaju (np. półmostek), istnieje, w kolumnie tej pojawi się jakaś wartość liczbowa (w domyśle – wynik pomiaru).

W niniejszym ćwiczeniu występują w każdym kanale te same przetworniki (układ półmostkowy), można więc przyspieszyć proces wybierania rodzaju przetwornika, klikając na napis **Mark** w pierwszej kolumnie. Tło okna zmieni wtedy swoją barwę na granatową. W nowo pojawiającym się okienku zaproponowane są trzy opcje wyboru, należy wybrać **Select All Channels**. We wszystkich wierszach tej kolumny pojawi się wtedy znak  $\surd$ . Oznacza to, że wszelkie ustawienia dokonywane w jednym z wierszy będą automatycznie przenoszone na wszystkie pozostałe. W dowolnym wierszu kolumny **Trans.** Wybieramy wtedy układ półmostkowy, co spowoduje, że we wszystkich wierszach pojawi się natychmiast symbol tego układu.

W kolumnie **Meas Rng** wybiera się zakresy pomiarowe. Zagadnieniu temu należy poświęcić osobne wyjaśnienie. Jeżeli przy pomocy Spider'a mierzone będzie napięcie, zakres pomiarowy wyrażony zostanie w woltach (V), w przypadku pomiaru prądu – miliamperach (mA), rezystancji – w omach ( $\Omega$ ). Natomiast w przypadku pomiarów tensometrycznych zakres pomiarowy wyrażony jest w miliwoltach na wolt (np. 3mV/V). Jest to w gruncie rzeczy zakres „bezwymiarowy”, po uproszczeniu ułamka, zostaje tylko przedrostek **mili** (np. 0,235 m). Należy przez to rozumieć, że zmierzony został następujący względny przyrost rezystancji tensometru:

$$\frac{R - R_0}{R_0} = 0,235 \cdot \left[ \frac{mV}{V} \right] = 0,235 \cdot \left[ \frac{10^{-3}V}{V} \right] = 0,235 \cdot 10^{-3} = 235 \cdot 10^{-6} = 235 \mu Str$$

gdzie  $R_0$  oznacza rezystancję początkową tensometru.

Dodatni wynik pomiaru oznacza wtedy, że  $R > R_0$  – tensometr uległ rozciągnięciu, natomiast wynik ujemny wskazuje, że tensometr uległ ściśnięciu, gdyż  $R < R_0$ .

Kolejną kolumną w omawianym oknie jest kolumna o nazwie **Filter**. Użytkownik ma do dyspozycji trzy rodzaje filtrów:

- a) **Average value**, b) **Butterworth**, c) **Bessel**

Te dolnoprzepustowe filtry mają za zadanie tłumienie niepożądanych wysokich częstotliwości, które mogą wywoływać zjawisko interferencji. W okienku o nazwie **Filter Frequency** wyświetlana jest wartość częstotliwości odcięcia filtru. Wartość ta zmienia się automatycznie zależnie od wybranej przez użytkownika częstotliwości próbkowania sygnału - **Measuring Rate**. Ćwiczący mogą doświadczyć tego automatycznego mechanizmu, zmieniając wartość częstotliwości próbkowania w okienku **Measuring Rate** i obserwując, jak zmienia się po chwili częstotliwość odcięcia w okienku **Filter Frequency**. Napis **variable** w kolumnie **Filter** wskazuje na stosowanie filtru o nastawianej (zmiennej) częstotliwości odcięcia.

Ćwiczącym poleca się wybór filtru Average value, uśrednia on wyniki kilku próbkowań sygnału.

Końcową, ważną czynnością, którą należy wykonać przed pomiarami jest **wyzerowanie przyrządu**. Należy kliknąć w okienku **Tare** u dołu omawianego okna, w kolumnie **Tare Val.** pojawią się wartości liczbowe, a jednocześnie w kolumnie **Meas. Value** wyświetlane wartości zaczną zmierzać do zera. Gdy będą bliskie zera, zamykamy okno, klikając na przycisk w górnym prawym rogu okna. Spowoduje to powrót do pierwotnego okna przedstawionego na rysunku 7. W oknie tym należy teraz kliknąć na przycisk **Input channels**, otworzymy w ten sposób okno przedstawione na rysunku 9.



No.	Timebase	Title	Instrument	Hardware Channel	Scaling	Status
1		Tens.1 (R)	SPIDER8	0	EXTERN	OK
2		Tens.9 (R)	SPIDER8	1	EXTERN	OK
3		Tens.13 (R)	SPIDER8	2	EXTERN	OK
4		Tens.2 (S)	SPIDER8	3	EXTERN	OK
5		Tens.14 (S)	SPIDER8	4	EXTERN	OK
6		C6	SPIDER8	5	EXTERN	ERR-217
7		C7	SPIDER8	6	EXTERN	ERR-217
8		C8	SPIDER8	7	EXTERN	OK
9		C9	NC	----	EXTERN	
10		C10	NC	----	EXTERN	
11		C11	NC	----	EXTERN	
12		C12	NC	----	EXTERN	
13		C13	NC	----	EXTERN	
14		C14	NC	----	EXTERN	
15		C15	NC	----	EXTERN	
16		C16	NC	----	EXTERN	

Rys. 9. Okno o nazwie **Data Input Channels**

W oknie tym w pierwszej kolumnie (**No.**)wymienione są numery kanałów wejściowych (Input channels).

W kolumnie drugiej (bez tytułu) sygnalizowane jest włączenie (zielona strzałka) lub wyłączenie tych kanałów (drogowy znak zakazu wjazdu wszelkich pojazdów). Ćwiczący mogą doświadczyć możliwości włączania i wyłączania kanałów, klikając w wybranym wierszu tej kolumny, a następnie klikając na przycisk **Active ON/OFF**.

W kolumnie **Timebase** użytkownik włączyć lub wyłączyć mechanizm generowania znaczników czasu, które zapisywane będą w oddzielnym kanale i towarzyszyć poszczególnym wynikom rejestrowanym przez przyrząd. W tym ćwiczeniu znaczniki te nie będą generowane, ponieważ pomiary nie będą miały ścisłego związku z czasem (będą to pomiary statyczne). Tym niemniej ćwiczący mogą doświadczyć włączania i wyłączania mechanizmu generowania wskaźników czasu, klikając dwukrotnie w dowolnym wierszu kolumny **Timebase**. Włączenie będzie sygnalizowane pojawieniem się symbolu zegara, a wyłączenie jego zniknięciem. Ten sam efekt uzyskuje się klikając jednokrotnie w dowolnym wierszu kolumny, a następnie klikając na przycisk **Timestamps ON/OFF**. Mogą także zmieniać jednostkę czasu, klikając na przycisk **Timestamp Unit**.

W kolumnie **Title** użytkownik może wpisywać swoje własne nazwy, odpowiadające używanym przez siebie przetwornikom oraz programowi badań. Producent nadał poszczególnym kanałom proste nazwy C1, C2, C3, itd. Wpisywanie nazw odbywa się przez kliknięcie w danym wierszu, a następnie kliknięcie przycisku **Rename channel**. Pojawi się wtedy podświetlone okienko o nazwie **Name**, w którym wpisuje się odpowiednią nazwę i naciska Enter. W następstwie w wybranym wierszu kolumny pojawi się ta sama nazwa. W niniejszym ćwiczeniu w pięciu pierwszych wierszach tej kolumny występują oznaczenia odpowiadające zastosowanym przetwornikom tensometrycznym i charakterowi ich pracy. Mianowicie trzy pierwsze tensometry: T1, T9, T13 są rozciągane, stąd w oznaczeniu symbol (R), natomiast tensometry: T2, T14 podlegają ścisaniu, stąd w oznaczeniu symbol (S).

W kolumnie **Instrument** widnieją nazwy przyrządu, z którego czerpane będą wyniki pomiarów. Jest nim oczywiście **SPIDER8**. Na rysunku 9 zadeklarowane jest to dla wszystkich możliwych kanałów wejściowych (od 1 do 8), mimo że niektóre z nich nie są czynne (6, 7, 8). Natomiast kanały o numerach wyższych od ośmiu oznaczone są, jako nie istniejące, napisem **NC**. Istnieją też inne opcje, które można wybierać w tej kolumnie, ale w tym ćwiczeniu pomijamy je.

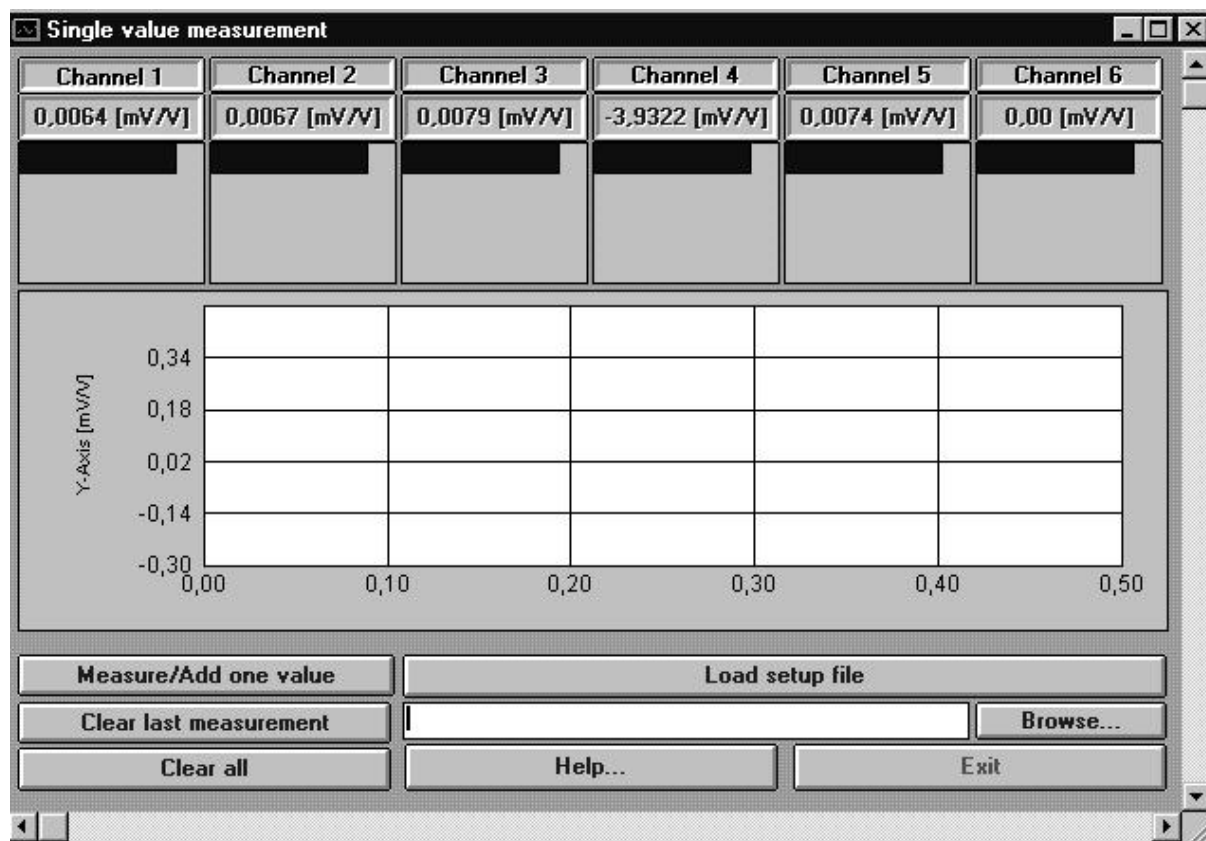
W kolumnie **Hardware Cannel** wyświetlane są numery kanałów sprzętowych. Ze względu na pewną systematykę, którą producent wprowadził w ramach całego systemu, numery kanałów sprzętowych zaczynają się od zera, podczas gdy kanałów wejściowych zaczynają się od jedyńki (patrz kolumna **No**).

W kolumnie **Scaling** użytkownik może wybrać, albo automatyczne skalowanie wyników pomiarów przez przyrząd, co zaznaczone jest napisem **EXTERN**, albo własne skalowanie. Poleca się wybranie opcji **EXTERN**. Niemniej ćwiczący mogą doświadczyć możliwych w tym względzie opcji, klikając w danym wierszu tej kolumny, a następnie klikając na przycisk **Scale Mode**.

W kolumnie **Status** wyświetlana jest ważna informacja dotycząca sprawności układu połączeń istniejących rzeczywiście przetworników ze Spider'em. Przed rozpoczęciem pomiarów należy zaznaczyć wszystkie interesujące nas wiersze omawianej kolumny, przytrzymując lewy przycisk myszki, a następnie kliknąć na przycisk **Check Status**. Po krótkiej chwili we wszystkich wierszach kolumny, jeśli tylko układ połączeń jest poprawny, pojawi się napis **OK**. Dla kanałów, do których nie zostały przyłączone przetworniki wyświetlany jest komunikat błędu **ERR-217**. Wyjaśnienia wymaga kanał wejściowy 8 (sprzętowy 7), dla którego wyświetlany jest komunikat **OK**, mimo że nie jest on włączony (patrz kolumna druga). W kanale tym występuje moduł typu SR01, który przystosowany jest m. in. do pomiaru napięcia stałego. Brak połączenia z przetwornikiem interpretowany jest przez system jako brak napię-

cia na wejściu pomiarowym, czyli napięcie o wartości zerowej, stąd komunikat **OK.** oznaczający gotowość systemu do pomiarów.

Okno zamykamy, powracając do okna pierwszego, przedstawionego na rysunku 7.



Rys. 10. Okno docelowe ćwiczenia o nazwie **Single value measurement**

Prawa kolumna tego okna zawiera cztery różne moduły pomiarowe:

- **Data logger**
- **Single sample**
- **Periodic samples**
- **Single value meas.**

W niniejszym ćwiczeniu wykorzystuje się ostatni moduł, to znaczy **Single value meas.** Kliknij na przycisk z tym napisem, otworzy się okno o tej samej nazwie. Przedstawia je rysunek 10. W oknie występuje sześć kolumn odpowiadających sześciu kanałom pomiarowym. Kliknięcie na przycisk **Measure/Add one value** spowoduje zapisanie (uchwycenie) wartości mierzonych w danej chwili jednocześnie w sześciu kanałach. Zostaną one zapisane w drugim wierszu tablicy, podczas gdy w pierwszym wierszu obserwować można dokonujące się w czasie rzeczywistym (na bieżąco) zmiany

wartości mierzonych. Następne kliknięcie na przycisk **Measure/Add one value** pozwoli zapisać kolejnych sześć wyników w interesującej mierzącego chwili czasu. W znajdującym się poniżej układzie współrzędnych prostokątnych zaczną pojawiać różnokolorowe wykresy. Mają one w tym wypadku znaczenie jedynie ilustracyjne, pozwalają np. zorientować się, które tensometry są rozciągane (prosta wznosząca się), a które ściskane (prosta opadająca).

Ponieważ w ćwiczeniu wykorzystuje się tylko pięć kanałów, w kanale szóstym wyświetlane będą wartości zerowe, zaś prosta odpowiadająca wynikom tego kanału będzie osią odciętych.

### 3.3. Przebieg pomiarów

1. Wygasić ewentualne drgania belki (belka nieobciążona)
2. Włączyć zasilanie komputera i poczekać na zainstalowanie się programu Windows
3. W tym czasie włączyć zasilanie Spider'a. Dioda LED koloru zielonego (POWER) będzie świecić się ciągle w czasie trwania pomiarów, natomiast dioda pomarańczowa (TRANSFER) i czerwona (ERROR) świecą bardzo krótko i natychmiast gasną, co sygnalizuje sprawność urządzenia. Dioda TRANSFER będzie świecić w tych okresach czasu, w których odbywać się będzie transfer (przesyłanie) informacji ze Spider'a do komputera. Dioda ERROR świeci się tylko w przypadku pojawienia się błędu w programie Spider8-Control. Należy wtedy przerwać pomiary i usunąć przyczyny powstania błędu. Zwykle odbywa się to przez zresetowanie komputera i rozpoczęcie pomiarów od początku.
4. Po zainstalowaniu się programu Windows, na ekranie monitora pojawi się ikonka programu Spider8-Control (głowa czarnego kota), zarządzającego pracą systemu Spider. Należy **klikać dwukrotnie** na tę ikonkę.
5. Po krótkim czasie otworzy się pierwsze okno programu, przedstawione na rysunku 7.
6. Nacisnąć przycisk **Setup device**, otworzy się okno przedstawione na rysunku 8. W oknie tym klikać na przycisk **Test Device**, otworzy się jeszcze jedno okno, w którym powinny ukazać się następujące informacje wskazujące na sprawność poszczególnych elementów systemu komputerowego.

<b>Power Supply:</b>	<b>OK.</b>
<b>Ser. Interface:</b>	<b>OK</b>
<b>Par. Interface</b>	<b>OK</b>
<b>RAM:</b>	<b>OK.</b>
<b>EEPROM:</b>	<b>OK</b>

- Zamknij to okno przeznaczonym do tego celu przyciskiem w prawym górnym rogu.
7. Nastąpi powrót do okna z rysunku 8. Kliknij na nazwę **Mark** w tym oknie, tło okna przybierze kolor granatowy oraz otworzy rozjaśnione okienko, w którym należy wybrać polecenie **Select All Channels**.
  8. W wyniku tej operacji we wszystkich wierszach kolumny **Mark** pojawi się charakterystyczny znak  $\surd$ . Oznacza on, że od tej chwili ustawienia dokonane w jednym, dowolnym kanale, będą automatycznie zrealizowane we wszystkich aktywnych kanałach.
  9. Klikamy w dowolnym wierszu kolumny **Trans.**, ukazują się symbole wszystkich możliwych przetworników. Klikamy na układ półmostkowy, co sprawia, że automatycznie we wszystkich aktywnych kanałach pojawia się ten sam symbol układu półmostkowego, a jednocześnie w kolumnie **Meas. Value** znikają napisy **OFFLINE**, pojawiają się zaś wartości liczbowe (w domyśle wyniki pomiarów). „Wyniki” te są przejawem braku zerowania systemu, które wykonamy za chwilę.
  10. W kolumnie **Meas. Rng.** Wybrać należy zakres 3 mV/V, jako najodpowiedniejszy do celów niniejszego ćwiczenia.
  11. W kolumnie **Filter** pozostawić **variable**
  12. W okienku **Measuring Rate** wybrać 100 Hz
  13. W okienku **Filter Type** wybrać average, w okienku **Filter Frequency** układ samoczynnie dobierze częstotliwość odcięcia
  14. Naciskając przycisk **Tare**, uruchamiamy proces zerowania wskazań we wszystkich aktywnych kanałach. Obserwować będziemy, trwające przez kilka sekund zjawisko zbliżania się wartości wyświetlanych w kolumnie **Measure Value** do zera i jednoczesne narastanie wartości liczbowych w kolumnie **Tare Val**.
  15. Po „wyzerowaniu kolumny” **Measure Value**, zamykamy omawiane okno
  16. Nastąpi powrót do okna z rysunku 7.
  17. Kliknąć przycisk **Input channels**, otworzy się okno przedstawione na rysunku 9. Wygląd tego okna powinien odpowiadać obrazowi ukazanemu na rysunku 9, jeżeli jest inny, należy opisanymi wcześniej sposobami doprowadzić do widocznego wyglądu
  18. Zamknąć opisane wyżej okno, powracając po raz kolejny do okna pierwotnego z rysunku 7.
  19. Spośród czterech, opisanych wcześniej modułów pomiarowych, należy wybrać **Single value meas**. Po kliknięciu na ten moduł, otworzy się okno przedstawione na rysunku 10.
  20. W najwyższym wierszu tablicy tego okna pojawią się zmieniające się w czasie wartości liczbowe, niestety – różne od zera. Będzie to wynikiem nieuniknionego zjawiska zwanego „płynięciem zera”. Należy zapisać te wartości, klikając na przycisk **Measure/Add one value**. Wyniki z pierw-

szego wiersza zostaną zapisane (zamrożone) w pamięci systemu i jednocześnie uwidocznione w drugim od góry wierszu tablicy.

21. Delikatnie zawiesić na końcu belki odważnik o masie 2 kg i stłumić oscylacje belki
22. W najwyższym wierszu tablicy pojawią się wyniki odpowiadające wydłużeniom względnym fragmentów belki, na których naklejone zostały tensometry. Klikając na przycisk **Measure/Add one value** zapiszemy te wyniki w pamięci systemu. Pojawią się one natychmiast w najniższym wierszu tablicy. Jednocześnie zaczną być kreślone krzywe na arkuszu roboczym widniejącym w dolnej części okna. Proste narastające odpowiadają tensometrom rozciągany, zaś opadające – tensometrom ściskanym.
23. Delikatnie zawiesić na końcu belki dodatkowy odważnik o masie 2 kg i stłumić oscylacje belki.
24. W najwyższym wierszu okna pojawią się nowe wyniki. Klikając na przycisk **Measure/Add one value** zapiszemy je w pamięci systemu. Pojawią się one natychmiast w najniższym wierszu okna. Zmieni się też odpowiednio wygląd prostych na wykresie.
25. W ostatnim etapie eksperymentu, na końcu belki zawieszamy trzeci, wskazany przez prowadzącego, odważnik. Klikając na przycisk **Measure/Add one value** zapiszemy nowe wyniki w pamięci systemu. Pojawią się one natychmiast w najniższym wierszu tablicy. Zmieni się też odpowiednio wygląd wykresu
26. W pierwszym wierszu tablicy wyświetlanej w oknie notowane będą ciągle wyniki pomiarów w czasie rzeczywistym. Mimo nie zmieniającego się obciążenia belki wyniki te ulegać będą powolnym zmianom w rezultacie wspomnianego wcześniej zjawiska „płynięcia zera”.
27. Rezultaty zapisane w czasie trwania eksperymentu można wydrukować, klikając prawym przyciskiem myszy na obszar wykresu i wybierając lewym przyciskiem opcję **Print Page**. Zostanie wówczas wydrukowana tablica wyników wraz z wykresami.

**Uwaga:** Wyniki wyrażone w jednostkach [mV/V] widniejące na monitorze są już wartościami odkształceń jednostkowych (względnych), ponieważ współczynnik tensoczułości  $K$ , patrz zależność (6), został wcześniej wprowadzony w programie *Spider8 Control*. Wyniki te należy pomnożyć przez 1000, aby otrzymać je w tradycyjnie stosowanych jednostkach -  $\mu\text{Str}$  (mikrostrejnach).

28. Na podstawie wyników pomiarów widniejących na wydruku (w przypadku awarii drukarki wyniki należy odpisać z monitora), wypełnij Tablicę 1. i uzupełnij ją wynikami obliczeń poszczególnych naprężeń

jednostkowych  $\sigma$ . Naprężenia  $\sigma$  oblicza się ze wzoru (1), przyjmując wartość modułu Younga  $E = 2,1 \cdot 10^{11}$  [N/m<sup>2</sup>].

(przypomnijmy: 1kG  $\approx$  9,81N.)

Tablica 1

P	T1		T9		T13		T2		T14	
	$\epsilon$	$\sigma$	$\epsilon$	$\sigma$	$\epsilon$	$\sigma$	$\epsilon$	$\sigma$	$\epsilon$	$\sigma$
kG	$\mu\text{Str}$	N/m <sup>2</sup>	$\mu\text{Str}$	N/m <sup>2</sup>	$\mu\text{Str}$	N/m <sup>2</sup>	$\mu\text{Str}$	N/m <sup>2</sup>	$\mu\text{Str}$	N/m <sup>2</sup>
0										
2										
4										
9										

### ***W sprawozdaniu należy:***

1. Sporządzić tablicę pomocniczą: Tablica 2

Tablica 2

P	Tensometry rozciągane			Tensometry ściskane	
	T1	T9	T13	T2	T14
	X <sub>1</sub> =15cm	X <sub>2</sub> =35 cm	X <sub>3</sub> =45 cm	X <sub>1</sub> =15cm	X <sub>2</sub> =45 cm
	$\sigma_1$	$\sigma_2$	$\sigma_3$	$\sigma_1$	$\sigma_2$
kG	N/m <sup>2</sup>	N/m <sup>2</sup>	N/m <sup>2</sup>	N/m <sup>2</sup>	N/m <sup>2</sup>
2					
4					
9					

2. Na podstawie wyników otrzymanych w Tablicy 2, wykreślić we wspólnym układzie współrzędnych prostokątnych zależności:  $\sigma = f(x_i)$ , dla poszczególnych tensometrów i poszczególnych wartości siły P.

gdzie:

$x_i$  – odległość i-tego tensometru od miejsca zamocowania belki

3. We wspólnym układzie współrzędnych prostokątnych wykreślić zależności  $\sigma = f(P)$  dla wszystkich tensometrów stosowanych w pomiarach
4. Odpowiedzieć na pytanie, jakie wnioski dla konstruktorów urządzeń mechanicznych wynikają z wyników pomiarów otrzymanych w trakcie ćwiczenia ?

## 4. Pytania kontrolne

1. Podaj definicję odkształcenia jednostkowego  $\varepsilon$ .
2. Podaj definicję naprężenia jednostkowego  $\delta$ .
3. Podaj wzór określający prawo Hooke'a
4. Podaj związek, jaki występuje między naprężeniem jednostkowym i odkształceniem jednostkowym.
5. Wyjaśnij zasadę działania tensometru oporowego.
6. Jakie parametry drutu oporowego zmieniają się w wyniku rozciągania tego drutu?
7. Wymień rodzaje tensometrów
8. Omów korzyści wynikające z pomiarów wielopunktowych.
9. Podaj główne cechy systemu komputerowego *Spider8*

## 5. Literatura

1. Roliński Z. *Zarys elektrycznej tensometrii oporowej* wyd. II WNT, Warszawa 1966
2. Styburski W. *Przetworniki tensometryczne* WNT, Warszawa 1971
3. Łapiński M. *Pomiary elektryczne i elektroniczne wielkości nieelektrycznych* WNT, Warszawa 1974
4. Zimmermann R. *Pomiary drgań i naprężeń metodami elektrycznymi*, PWT, Warszawa 1959
5. Lion K.S. *Przyrządy do badań naukowych* WNT, Warszawa 1962