



WOJSKOWA AKADEMIA TECHNICZNA

INSTYTUT OPTOELEKTRONIKI

LABORATORIUM DETEKCCI SYGNAŁÓW OPTYCZNYCH

GRUPA:	PROTOKÓŁ DO ĆWICZENIA nr	
	Temat ćwiczenia: Badanie czujnika nacisku	
Skład podgrupy nr	Data wykonania ćwiczenia	Prowadzący ćwiczenie
	1.	
	2.	
3.		
4.		
5.		
6.		

Tab. 1. Dane urządzeń pomiarowych

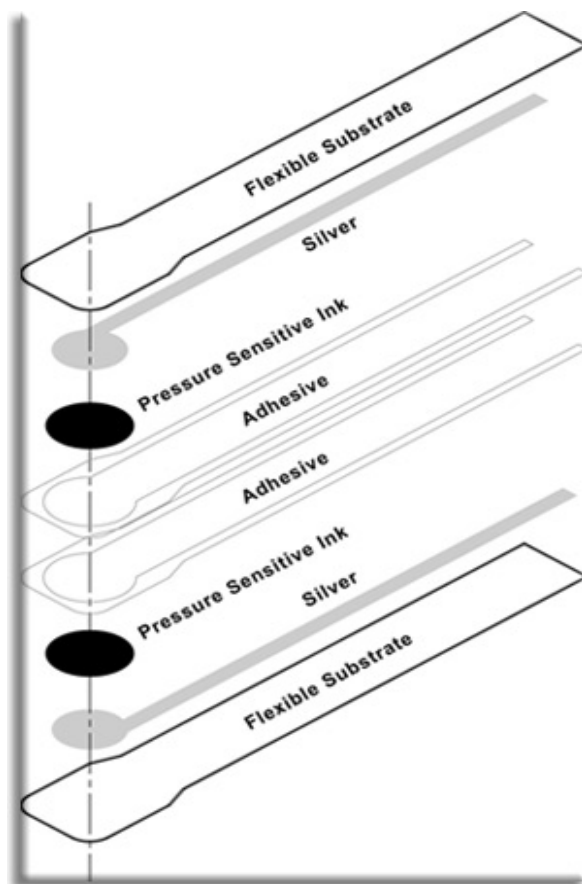
Lp.	Nazwa urządzenia	Marka/Typ	Numer	Podstawowe dane techniczne
1				
2				
3				
4				
5				
6				

1. Wprowadzenie

Czujnik nacisku (ang. Force Sensing Resistor) składa się z przewodzącego polimeru, który zmienia rezystancję w przewidywalny sposób pod wpływem przyłożenia siły do jego powierzchni. Czuła warstwa składa się z cząsteczek zarówno przewodzących prąd i nieprzewodzących. Zbudowana jest ona w postaci matrycy. Rozmiary cząsteczek są rzędu ułamków mikronów, w celu poprawy właściwości mechanicznych i zwiększenia trwałości powierzchni. Przyłożenie siły do powierzchni czujnika powoduje, że cząstki stykają się z elektrodami przewodzącymi, co powoduje zmianę rezystancji czujnika.

2. Budowa czujnika nacisku

Budowę czujnika nacisku typu FlexiForce A201 przedstawiono na rys. 1. Jest to ultra-cienki czujnik wykonany w postaci elastycznego obwodu drukowanego. Czujnik ten zbudowany jest z dwóch warstw podłoża (poliester). Następnie na każdą warstwę podłoża nakładana jest warstwa materiału przewodzącego np. srebra oraz warstwa materiałów czułych na zmianę ciśnienia. Tak wytworzone struktury są ze sobą sklejane tworząc kompletny czujnik nacisku.



Rys. 1. Budowa czujnika nacisku

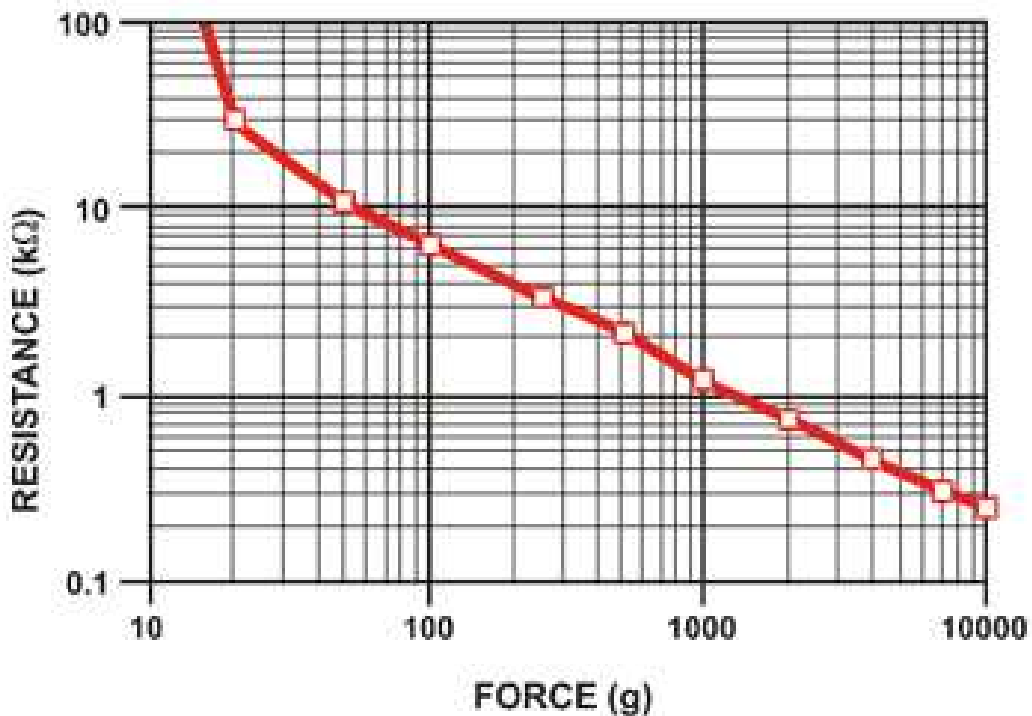
Na rysunku 2 pokazano fotografię typowego czujnika nacisku typu Interlink 402 o średnicy powierzchni aktywnej 0,5”.



Rys. 2. Fotografia czujnika nacisku typu Interlink 402

3. Zasada działania czujnika nacisku

Typową zależność zmian rezystancji czujnika nacisku pod wpływem przyłożonej siły przedstawiono na rys. 3. Dane przedstawione na wykresie są typowe dla czujników o średnicy powierzchni aktywnej 12,7mm.



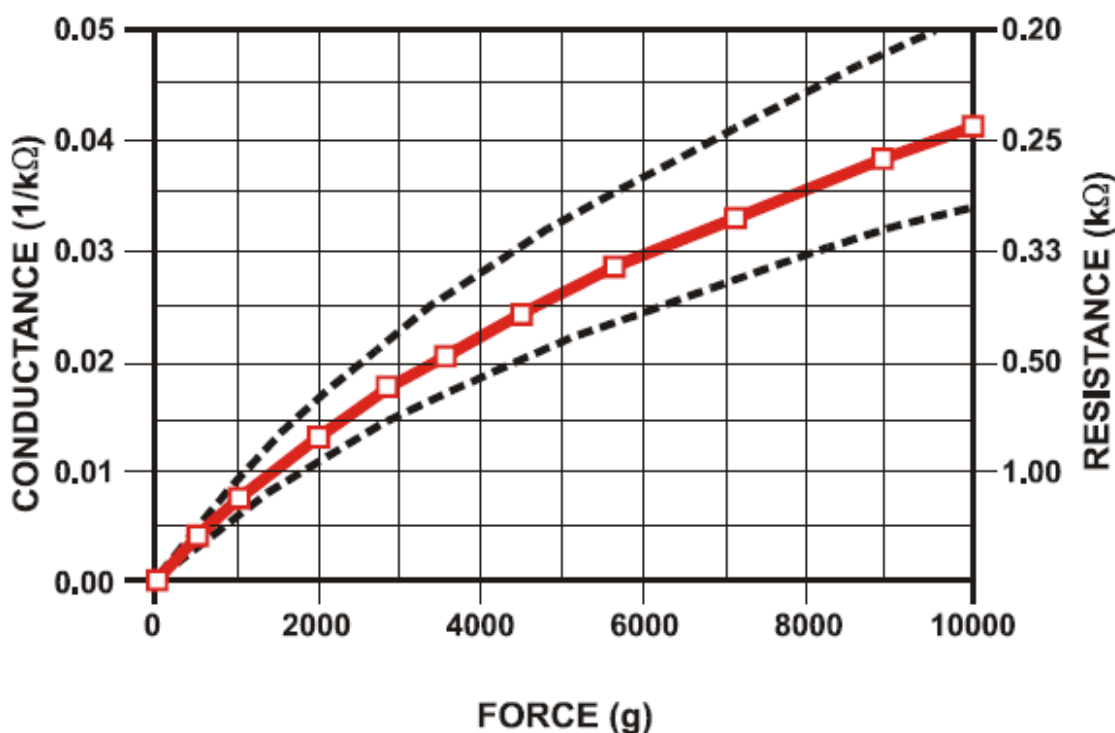
Rys. 3. Zależność zmiany rezystancji czujnika nacisku pod wpływem przyłożonej siły

Jak wynika z rysunku 3, w zakresie niskich wartości przyłożonych sił widoczny jest gwałtowny nieliniowy spadek rezystancji od 100k Ω do 10k Ω , następnie przebieg ma inne nachylenie.

W górnym zakresie charakterystyki widoczne jest nasycenie czujnika dla wartości około 10kg. Typowo ciśnienie nasycenia wynosi od około 0,69MPa do 1,38MPa. Dla danych pokazanych na rys. 3 i 4, zakres mierzonych ciśnień wynosi od 0 do 1,28MPa. Rezystancja czujnika jest odwrotnie proporcjonalna do przyłożonej siły nacisku.

Kształt charakterystyki zależy jest od materiału, z którego został wykonany czujnik, wartości powierzchni aktywnej, grubości warstwy kleju itp.

Na rysunku 4 pokazano typową zależność zmian konduktancji czujnika nacisku pod wpływem przyłożonej siły (0-10kg). Linia przerywaną oznaczony został obszar dopuszczalnej wartości błędu pomiarowego, którego szerokość zależy głównie od dokładności używanych urządzeń pomiarowych. Niepewność pomiaru w tym przypadku wynosi od 10% do 25%.



Rys. 4. Zależność zmiany konduktancji czujnika nacisku pod wpływem przyłożonej siły (0-10kg)

Do zalet czujników FSR należy zaliczyć ich małe rozmiary (grubość zwykle mniej niż 0,5 mm), niski koszt wytworzenia i dużą odporność na wstrząsy. Czujnik FSR może ulec uszkodzeniu, jeśli ciśnienie lub siła są przykładane przez długi okres czasu (rzędu godzin). Wadą ich jest małą dokładność: wyniki pomiaru mogą się różnić o 10% i więcej.

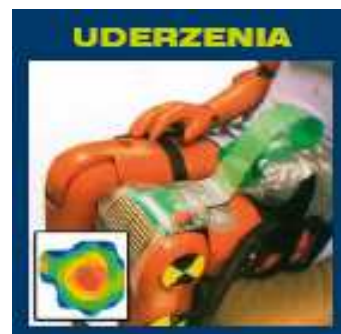
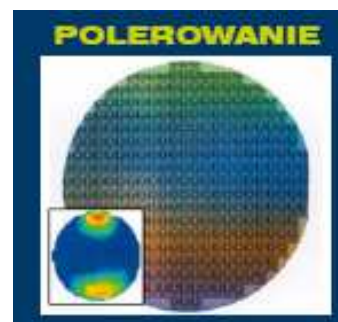
4. Zestawienie typowych parametrów czujników nacisku

Tab. 1. Typowe parametry czujników nacisku

Parametr	Wartość
Wymiary	Max = 51 x 61 cm Min = 0.5 x 0.5 cm
Grubość	0.20 do 1.25 mm
Czułość ciśnieniowa	(< 0.1 kg/cm ² do 10 kg/cm ²)
Powtarzalność pomiarów	± 2% do ± 5%
Rozdzielczość	> 0.5% całego zakresu pomiarowego
Minimalny nacisk	20 g do 100 g
Rezystancja bez obciążenia	> 1MΩ
Czas narastania zmian charakterystyki	1-2 msec
Czas życia	> 10 million uruchomień
Zakres temperatur pracy	-30°C to +70°C

5. Zastosowanie czujników nacisku

- Do testowania i pomiarów
- W badaniach i rozwoju
- Do justowania maszyn
- W kontroli jakości
- W przemyśle samochodowym
- W testowaniu opon
- W testowaniu szczęk i tarcz hamulcowych
- W katalizatorach
- W poduszkach powietrznych
- W uszczelkach pod głowicami
- W ustawianiu wycieraczek do szyb
- W projektowaniu foteli i łóżek
- W badaniach uderzeń
- W uchwytach i ergonomii
- W montażu ogniw paliwowych
- W ustawianiu nacisku wałków
- Do polerowania szkła
- W produkcji wyświetlaczy ciekłokrystalicznych
- W wypełnianiu form
- W robotyce
- W pakowaniu i uszczelnianiu



Rys. 5. Przykłady zastosowań czujników nacisku

6. Badanie czujnika nacisku

Stanowisko do badań czujnika nacisku składa się z modułu czujnika podłączonego do miernika rezystancji oraz wzorców wagi.

Poprawność podłączenia czujnika można sprawdzić delikatnie naciskając czujnik (rys. 6).



Rys. 6. Fotografia czujnika nacisku podłączonego do miernika rezystancji

6.1. Pomiar zmian rezystancji czujnika nacisku pod wpływem przyłożonej siły

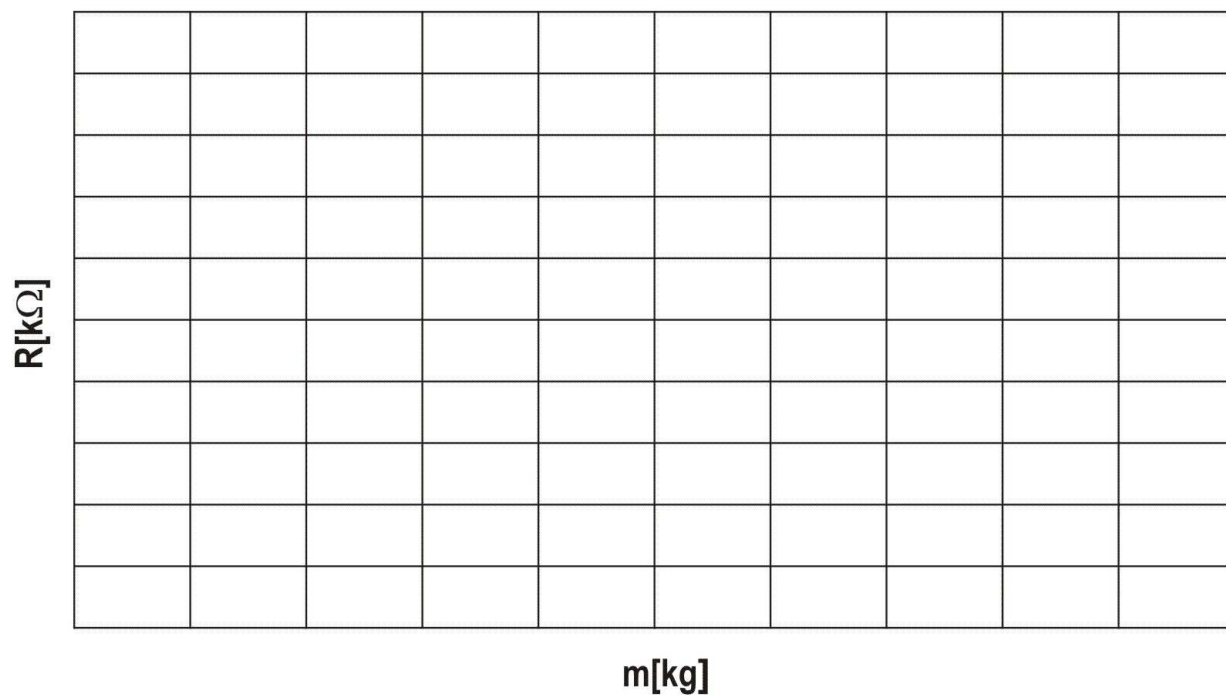
- 1) Zapoznać się z układem pomiarowym.
- 2) Podłączyć moduł czujnika do miernika rezystancji.
- 3) Zwiększając siłę nacisku przykładaną do powierzchni czujnika za pomocą wzorców wagi zbadać jej wpływ na rezystancję czujnika.
- 4) Pomiar przeprowadzić dla różnych twardości podłoża (blat stołu, gąbka) oraz różnych powierzchni nacisku na czujnik (podkładka). Wyniki zanotować w tab. 2 i 3.
- 5) Po zakończeniu pomiarów należy usunąć wzorce wagi z czujnika i wyłączyć miernik.

Na podstawie otrzymanych wyników pomiarów należy przeliczyć otrzymane wartości rezystancji na konduktancje zgodnie ze wzorem

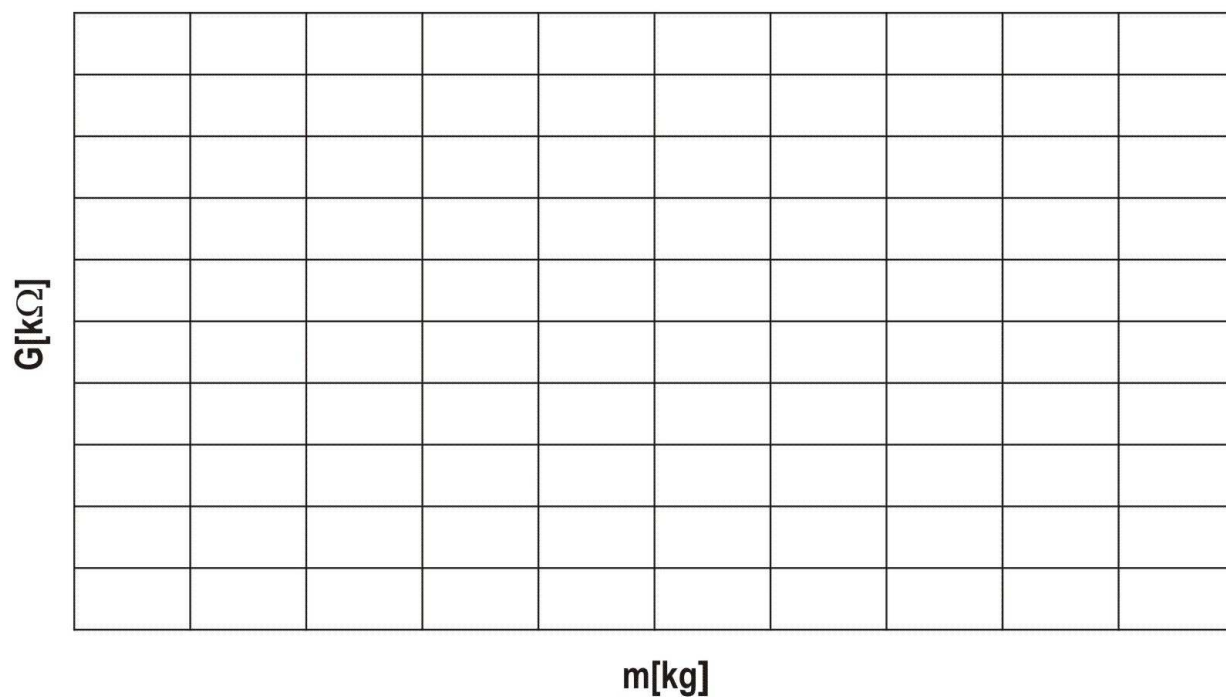
$$G = \frac{1}{R}$$

i narysować:

- a) zależność zmian rezystancji czujnika w funkcji przykładanej siły,
- b) zależność zmian konduktancji czujnika w funkcji przykładanej siły.



Rys. 7. Charakterystyki zmian rezystancji czujnika nacisku pod wpływem przyłożonej siły dla różnych podłoży i różnych powierzchni nacisku



Rys. 8. Charakterystyki zmian konduktancji czujnika nacisku pod wpływem przyłożonej siły dla różnych podłoży i różnych powierzchni nacisku

7. Podstawowe wiadomości teoretyczne dotyczące pomiarów siły

Siłę można mierzyć pośrednio poprzez pomiar skutków jej działania. Skutki działania siły mogą być skutkami dynamicznymi lub statycznymi. Dynamicznym skutkiem działania siły jest ruch ciała z odpowiednim przyspieszeniem lub odkształcenie ciała zmienne w czasie. Skutki statyczne to odkształcenia stałe w czasie.

Do pomiaru sił wykorzystuje się obiekty odkształcalne sprężyste wraz z czujnikami odkształceń lub czujnikami przyspieszenia. Przetworniki do pomiaru sił mogą być wykorzystywane do pomiaru masy ze względu na liniowy związek pomiędzy masą i siłą ciężkości.

Najczęściej do pomiaru odkształceń statycznych wykorzystywane są parametryczne przetworniki rezystancyjne oraz magnetosprężyste, natomiast do pomiaru sił dynamicznych wykorzystuje się generacyjne czujniki piezoelektryczne.

7.1. Przetwornik tensometryczny (tensometr)

Tensometr jest przetwornikiem pomiarowym przeznaczonym do pomiaru naprężeń mechanicznych. Zbudowany jest z cienkiej sprężystej warstwy izolacyjnej, na którą naniesiono warstwę metaliczną – folię metalową lub rzadziej drut oporowy. Przetwornik przyklejany jest do badanego obiektu odpowiednim klejem. Warstwa izolacyjna powinna wraz z klejem przenosić naprężenie badanego obiektu na element rezystancyjny.

Odształcenie obiektu powoduje odkształcenie tensometru, co za tym idzie zmianę wymiarów geometrycznych ścieżki metalowej. Rezystancja drutu, z którego wykonany jest tensometr wyraża się zależnością

$$R = \rho \frac{l}{S},$$

gdzie: ρ - rezystywności drutu, l – całkowita długość drutu w tensometrze, S - pole przekroju drutu.

Dla odkształceń sprężystych ścieżki, w zakresie stosowalności prawa Hooke'a, zmienia się długość ścieżki i jej pole przekroju. Naprężenie ε , definiowane następująco

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l}$$

jest ono proporcjonalne do względnej zmiany rezystancji tensometru R według zależności

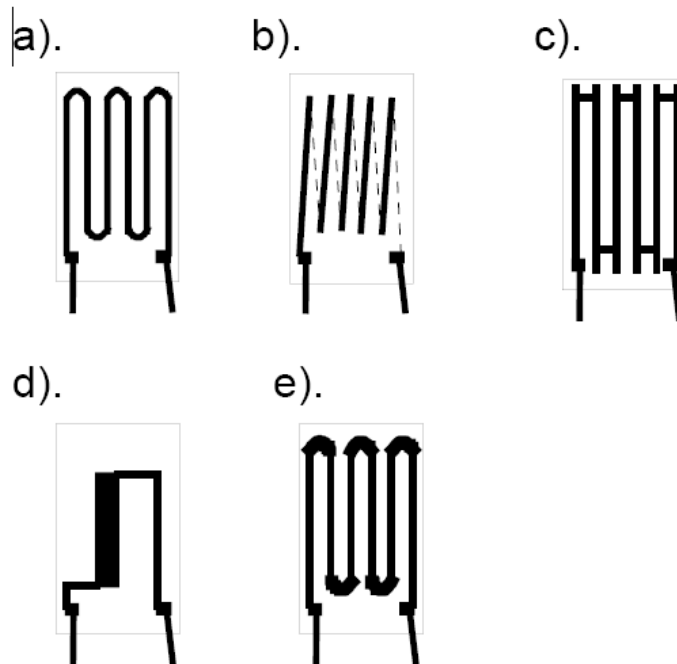
$$\frac{\Delta R}{R} = k \cdot \varepsilon$$

Stała k nosi nazwę czułości odkształceniowej tensometru i dla typowych tensometrów foliowych ma wartość rzędu 2.

Czułość tensometru można zwiększyć konstrukcyjnie stosując szereg cienkich ścieżek ułożonych równolegle i połączonych szeregowo. Taki tensometr charakteryzuje się ponadto

dużą czułością na naprężenie wzdłuż ścieżek, oraz praktycznie zerową na naprężenia poprzeczne.

W zależności od kształtu i ułożenia elementu oporowego wyróżnia się tensometry wężykowe (drut rezystancyjny o średnicy ułamków mm uformowany w kształcie wielokrotnego wężyka), tensometry kratowe (szereg drucików ułożonych równoległe i połączonych znacznie grubszymi odcinkami taśmy miedzianej) oraz tensometry oporowe foliowe – stosowane najczęściej - składające się z siatki rezystancyjnej w postaci wężykowej, wykonanej z cienkiej metalowej folii skleionej klejem z podkładką nośną. Na rysunku 9 przedstawiono przykładowe konstrukcje tensometrów.



Rys. 9. Przykłady konstrukcji tensometrów: a) wężykowy, b) zygzakowy, c) kratowy, d) półprzewodnikowy, e) foliowy

Wykonywane są także tzw. rozety tensometryczne stanowiące układ tensometrów umieszczonych na jednym podłożu i usytuowanych pod odpowiednim kątem względem siebie (np. dwa tensometry pod kątem 90° lub trzy pod kątem 120°). Takie tensometry umożliwiają pomiary naprężeń w różnych kierunkach.

Istotny wpływ na właściwości tensometru ma temperatura. Zmiany temperatury mogą skutkować zmianami geometrycznymi obiektu badanego jak i samego tensometru.

Temperatura wywołuje także zmiany rezystancji ścieżki rezystancyjnej oraz przewodów pomiarowych. Wpływ temperatury na tensometr można zminimalizować stosując odpowiednie materiały konstrukcyjne.

Oprócz tensometrów metalowych buduje się również tensometry półprzewodnikowe, w których wykorzystuje się efekt piezorezystywny. Naprężanie materiału piezorezystywnego powoduje silną zmianę rezystancji. Do wad tensometrów półprzewodnikowych można zaliczyć nieliniowość i silną zależność rezystancji od temperatury oraz wyższą cenę.

Współczynnik czułości odkształceniowej tensometrów półprzewodnikowych na wartość od 40 do 200, czyli kilkadziesiąt razy większą niż tensometrów metalowych i w zależności od typu przewodnictwa może być dodatni lub ujemny.

Materiały półprzewodnikowe wykazują silną anizotropię, dzięki czemu można z nich uzyskiwać elementy tensometryczne wykonane w postaci beleczek lub pręcików, czułe na odkształcenia wzdłużne, natomiast bardzo mało czułe na odkształcenia poprzeczne i kątowe.

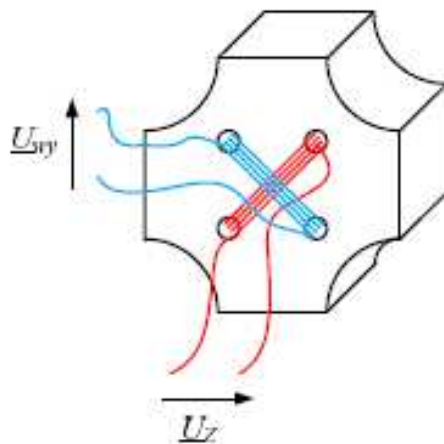
Tensometry półprzewodnikowe wykazują liniowość tylko w wąskim zakresie odkształceń, nie przekraczających 0,05%. Poza tym zakresem odkształceń konieczne jest stosowanie tablic z charakterystyką stałą tensometru k , która zmienia się nieliniowo.

7.2. Przetwornik magnetosprężysty

Przetworniki magnetosprężyste wykorzystują zależność przenikalności magnetycznej od siły działającej na rdzeń. Jest to zjawisko tzw. odwróconej magnetostrykcji zwane zjawiskiem Villariego. Przenikalność magnetyczna μ rdzenia jest funkcją działającej na niego siły

$$\mu = f(F).$$

Czujnik składa się ze rdzenia oraz dwóch cewek: wzbudzającej i pomiarowej usytuowanych względem siebie pod kątem 90° (rys.10). Cewka wzbudzająca jest zasilana prądem sinusoidalnie przemiennym. Rozkład pola magnetycznego w rdzeniu zmienia się po przyłożeniu do niego siły ze względu na zmniejszenie przenikalności magnetycznej w kierunku działania siły oraz zwiększenie przenikalności w kierunku poprzecznym do kierunku jej działania. Wywołuje to zmianę wartości napięcia indukowanego w cewce odbiorczej.



Rys. 10. Budowa czujnika magnetosprężystego

Przetworniki magnetosprężyste charakteryzują się dużą czułością oraz odpornością na przeciążenie. Dostarczają sygnałów pomiarowych o stosunkowo dużej wartości na wyjściu i charakteryzują się małą impedancją wyjściową. Wykorzystywane są do budowy czujników dużych sił oraz mas. Charakterystyki czujników magnetosprężystych są liniowe w początkowym zakresie, później stają się nieliniowe. Dodatkowo charakterystyka przetwarzania przetwornika

charakteryzuje się histerezą - napięcie wyjściowe dla tej samej siły może przyjmować dwie różne wartości w zależności od wartości siły działającej uprzednio.

7.3. Przetworniki piezoelektryczne

W przetwornikach piezoelektrycznych wykorzystywane jest zjawisko generacji ładunku w materiale piezoelektrycznym poddanym działaniu siły. Do budowy przetworników piezoelektrycznych wykorzystuje się kwarc, turmalin oraz materiały ceramiczne i sole. Generowany ładunek Q jest proporcjonalny do siły F

$$Q = c \cdot F .$$

Ładunek gromadzony w przetworniku jest dość szybko rozładowywany przez impedancję układu pomiarowego współpracującego z przetwornikiem, a zatem przetwornik magnetościśmowy nie może być wykorzystywany do pomiaru sił statycznych. W pomiarach sił zmiennych w czasie ładunek jest na bieżąco odbudowywany. Przetworniki piezoelektryczne wykorzystuje się do pomiaru sił zmiennych w czasie o częstotliwościach do 60 kHz. Budowane są podobnie jak w przypadku tensometrów czujniki złożone z dwóch lub trzech przetworników umożliwiające pomiary kierunkowe.

8. Literatura

1. A.Gajek, Z.Juda, „Czujniki”, WKŁ, 2008.
2. A.Sarzyński „Czujniki tensometryczne i urządzenia pomiarowe firmy Wobit”, Elektrosystemy, 2008.
3. www.imeia.elektropol.pl/download/aci/Pomiar_sil.pdf.
4. www.kmpkm.ps.pl/pub/Wytrzymalosc_Materialow/Laboratorium/skrypty/pomiary%20odkształcen%20tensometrami%20rezystancyjnymi.pdf.

Ćwiczenie opracowała - mgr inż. Małdalena Gutowska