

WOJSKOWA AKADEMIA TECHNICZNA
im. Jarosława Dąbrowskiego



Badanie wybranych przetworników mechano-elektrycznych

Metrologia techniczna i systemy pomiarowe

ZAiUL WML
Warszawa 2013

1. Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest zapoznanie studentów z wybranymi rodzajami przetworników mechatrycznych. Podczas ćwiczenia student zapozna się budową i zasadą działania przetworników parametrycznych i generacyjnych oraz wykona pomiary podstawowych parametrów wybranych przetworników.

2. Zakres wiadomości sprawdzany przed rozpoczęciem ćwiczenia

- Znajomość typów przetworników parametrycznych oraz generacyjnych;
- Umiejętność przyporządkowania przetwornika do odpowiedniego typu wg. budowy lub sposobu działania przetwornika;
- Znajomość schematycznej budowy i zasady działania potencjometru, tensometru oraz przetwornika elektrodynamicznego.

3. Ogólna charakterystyka elementów toru pomiarowego

Zasada działania wielu współczesnych przyrządów i układów pomiarowych, od prostych elektronicznych termometrów pokojowych i lekarskich po bezprzewodowe, przemysłowe, komputerowe systemy pomiarowe, opiera się na wstępnym przetwarzaniu mierzonych wielkości fizycznych, najczęściej nieelektrycznych, w ich elektryczny ekwiwalent – tzw. elektryczny sygnał pomiarowy, za pomocą przetworników rodzaju sygnału. Przetworzenie nieelektrycznego, analogowego sygnału wejściowego w sygnał elektryczny wymaga zastosowania, co najmniej jednego *przetwornika rodzaju sygnału*, którego fizyczna zasada działania taką transformację będzie umożliwiawała.

Podstawowym zadaniem stało się przetworzenie interesującej wielkości nieelektrycznej (mechanicznej, chemicznej lub optycznej) w miejscu pomiaru, w proporcjonalny elektryczny sygnał pomiarowy – prądowy lub napięciowy – łatwy w obróbce i podatny do przesyłania na odległość. Taką możliwość dają przetworniki mechano-elektryczne. Są to specjalnie konstruowane przetworniki rodzaju sygnału i stanowią niezbędny element każdego układu pomiarowego realizującego elektryczną metodę pomiaru wielkości nieelektrycznej.

Ogólnie **przetwornikiem pomiarowym** nazywamy układ fizyczny, zapewniający jednoznaczny związek określony funkcją przenoszenia (charakterystyką statyczną) między sygnałem wyjściowym y , a wielkością wejściową (mierzoną) x .

Pomiarowym przetwornikiem mechano-elektrycznym nazwiemy urządzenie, w którym zachodzi przetwarzanie rodzaju sygnału tzn. każda nowa wartość wejściowej nieelektrycznej wielkości fizycznej przetwarzana jest w:

- odpowiadającą jej wartość wybranego parametru obwodu elektrycznego przetwornika (w przetworniku *parametrycznym*);
- odpowiadającą jej wartość wyjściowej wielkości elektrycznej w postaci napięcia, prądu lub ładunku elektrycznego (w przetworniku *generacyjnym*).

Do najczęściej stosowanych w praktyce przetworników mechano-elektrycznych zaliczyć można:

1. Przetworniki parametryczne:

- Rezystancyjne (potencjometryczne, termorezystancyjne, tensometryczne, piezorezystancyjne),

- Impedancyjne - indukcyjnościowe (w tym wiroprowadowe) i pojemnościowe,
- Magnetyczne (hallotrony, magnetorezystancyjne, magnetostrykcyjne).

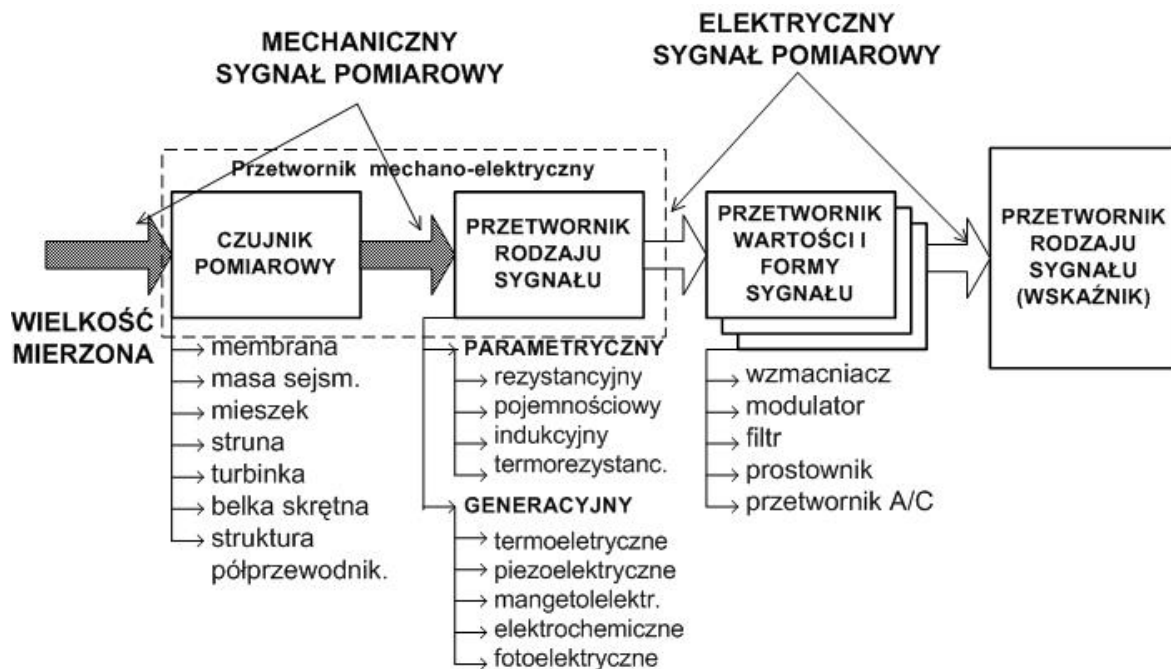
2. Przetworniki generacyjne:

- Termoelektryczne (tzw. termopary),
- Piezoelektryczne,
- Indukcyjne elektrodynamiczne,
- Reluktancyjne,
- Fotoogniwa.

Elektryczna metoda pomiarowa należy do metod przetworzeniowo-porównawczych. Polega na uzyskaniu sygnału elektrycznego o amplitudzie, fazie lub częstotliwości proporcjonalnej do wartości wielkości mierzonej, zwanego elektrycznym sygnałem pomiarowym. Ustalenie wyniku pomiaru poprzez porównanie z wzorcem, następuje w części elektrycznej toru pomiarowego za pomocą miernika elektrycznego wyskalowanego w jednostkach mierzonej wielkości nieelektrycznej.

W procesie pomiaru wielkości nieelektrycznej metodą elektryczną następuje kolejna zamiana sygnałów na inne, zwana przetwarzaniem sygnałów. Schemat toru pomiarowego, którego zadaniem jest przetworzenie sygnału nieelektrycznego w elektryczny przedstawiono na rys.1. Tor ten zbudowany jest z następujących elementów:

- *Czujnika pomiarowego.* Zadaniem jego jest przetworzenie według określonego prawa (zasady) i z określoną dokładnością wartości wielkości mierzonej na wartość innej wielkości lub inną wartość tej samej wielkości. Wielkość mierzona stanowi sygnał wejściowy czujnika pomiarowego, a wyjściowa – sygnał pomiarowy.
- *Przetwornika rodzaju sygnału.* Zadaniem tego przetwornika jest zmiana nieelektrycznej wielkości mierzonej na elektryczny sygnał pomiarowy dogodniejszy do dalszego przesyłania i do dalszego przetwarzania lub zamianę elektrycznego sygnału pomiarowego na efekt wizualny, akustyczny lub inny możliwy do odebrania przez obserwatora lub automat – jako ostatni etap przetwarzania. Do tego celu służą m.in. generacyjne i parametryczne przetworniki pomiarowe.
- *Przetwornika wartości lub formy sygnału,* którego zadaniem jest dopasowanie sygnału elektrycznego do dogodnego przekazywania go na odległość lub dopasowania go do właściwości urządzenia wyjściowego. Służą do tego m.in. modulatory, wzmacniacze, układy funkcjonalne np. różniczkujące, przetworniki A/C lub C/A.



Rys.1. Elementy toru pomiarowego i ich klasyfikacja.

Niezależnie od rodzaju, pomiarowy przetwornik mechano-elektryczny musi spełniać następujące, ogólne wymagania:

- Charakterystyka statyczna $f(x)$ musi być jednoznaczna w możliwie szerokim przedziale zmian wartości wielkości X oraz niezmienna w czasie;
- Funkcja przenoszenia $f(x)$ powinna być „odporna” na czynniki zewnętrzne (wartość sygnału Y powinna zależeć wyłącznie od wartości zmiennej X , a w jak najmniejszym stopniu od wartości zmiennych zakłócających);
- Pożądanym jest, aby funkcja przenoszenia $f(x)$ była funkcją liniową (gwarantuje to stałą czułość w zakresie pomiarowym);
- Oddziaływanie przetwornika na obiekt badany powinno być jak najmniejsze;
- Elektryczny przetwornik powinien charakteryzować się niskim poziomem szumów własnych – pozwala to obniżyć dolną granicę przedziału pomiarowego;

Charakterystyka dynamiczna przetwornika powinna być zbliżona do idealnej – tzn. w wybranym, w zależności od przeznaczenia przetwornika, paśmie częstotliwości zmian sygnału X przesunięcie fazowe między $x(t)$, a $y(t)$ powinno być zerowe, a stosunek amplitud sygnału X i Y powinien być stały.

4. Elektryczne przetworniki parametryczne

Elektrycznym, pomiarowym przetwornikiem parametrycznym nazywamy przetwornik, który przetwarza nieelektryczną wielkość fizyczną (wielkość wejściową) na odpowiednią wartość wybranego parametru obwodu elektrycznego przetwornika w postaci rezystancji indukcyjności, pojemności.

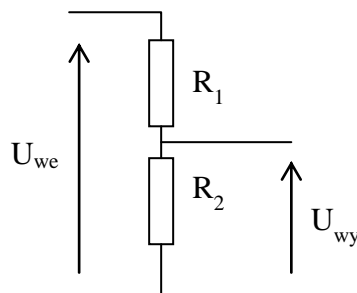
3.1. Przetworniki rezystancyjne.

Zasada działania przetworników rezystancyjnych opiera się na wykorzystaniu podstawowej zależności rezystancji R od parametrów przewodnika: długości l i pola powierzchni przekroju s oraz od rezystywności materiału ρ .

$$R = \rho l / s \quad (1)$$

Sygnałem wejściowym może być dowolna wielkość fizyczna (bezpośrednio: przemieszczenie liniowe lub kątowe, temperatura, a pośrednio: ciśnienie, naprężenia, przyspieszenia, poziom cieczy i wiele innych), która wywołać może zmianę jednego z ww. parametrów przewodnika, powodując w rezultacie zmianę jego rezystancji.

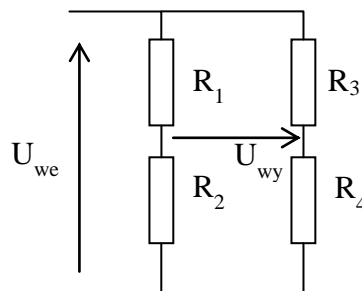
Przetworniki rezystancyjne najczęściej działają na zasadzie dzielnika napięcia lub łączone są w układy mostków w których zmiana rezystancji przetwornika powoduje pojawienie się lub zmianę wartości napięcia na przekątnej mostka. Z rezystancyjnego dzielnika napięcia przedstawionego na rysunku 2 łatwo można wyprowadzić wzór na wartość napięcia wyjściowego w zależności od stosunku rezystancji i wartości napięcia wejściowego.



Rys. 2. Rezystancyjny dzielnik napięcia.

$$U_{wy} = U_{we} \frac{R_2}{R_1 + R_2} \quad (2)$$

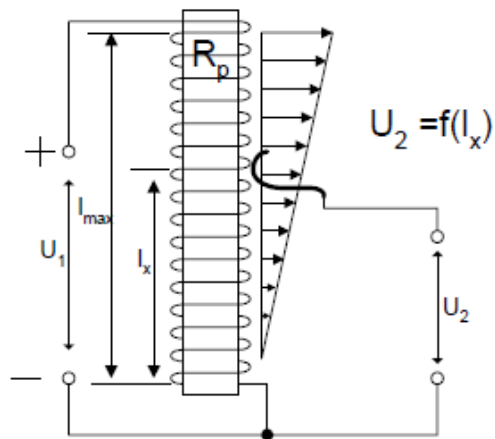
Mostek (rys 3) można traktować jako równoległe połączenie dwóch dzielników napięcia. Wówczas napięcie wyjściowe jest różnicą pomiędzy napięciami wyjściowymi tych dzielników połączonych do jednego źródła. Zastąpienie jednego lub więcej rezystorów przetwornikiem rezystancyjnym skutkuje pojawieniem się zmiany napięcia w przypadku zmiany rezystancji przetwornika.



Rys. 3. Mostek rezystancyjny.

$$U_{wy} = U_{we} \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2} - \frac{R_4}{R_3 + R_4} \right) \quad (3)$$

Przetwornik potencjometryczny działa w oparciu o zmianę rezystancji drutu oporowego (ścieżki rezystancyjnej) poprzez zmianę czynnej długości przewodnika l_x . Rezystancja R_x jest funkcją przemieszczenia x styku ślizgowego (szczotki, suwaka) potencjometru związanego z elementem, którego przemieszczenie lub wymiary określamy – rys.4.



Rys. 4. Przetwornik potencjometryczny.

Potencjometr zbudowany jest z drutu oporowego nawiniętego na karkas oraz ruchomej szczotki. W niektórych rozwiązaniach zamiast drutu stosowana jest węglowa ścieżka rezystancyjna. Zazwyczaj stosuje się potencjometry liniowe lub obrotowe, w których zależność oporu od położenia szczotki jest funkcją liniową. W specjalnych przypadkach, poprzez odpowiednie wyprofilowanie karkasu lub bocznikowanie uzyskuje się między położeniem (przemieszczeniem) szczotki a wartością rezystancji określoną zależność nieliniową. Wówczas mamy do czynienia z tzw. potencjometrem funkcjonalnym. W zależności od biegunowości sygnału wyjściowego przetworniki potencjometryczne mogą być jednobiegunowe lub dwubiegunowe – różniące kierunek przemieszczania styku.

Od drutu stosowanego w tego typu przetwornikach wymaga się stałego oporu w funkcji długości, małego współczynnika temperaturowego, małej ścieralności oraz znacznej odporności na korozję. Warunki te spełniają stopy niklu i miedzi (konstantan) oraz srebra i palladu. Styki wykonuje się ze specjalnych stopów ze złotem. Opór przejścia między drutem a stykiem (szczotką) powinien być stały, nie większy niż 0,5 Ω przy małym niezmiennym docisku.

Przetworniki potencjometryczne wykonuje się o oporze od 10^2 do 10^4 Ω . Przetworniki te budowane są na zakresy pomiarów liniowych od 0,1 do 200cm oraz kątowych od 0° do 270° , oraz wielobrotowe. Jako wskaźniki w układach pomiarowych z przetwornikami potencjometrycznymi stosuje się logometry lub miliwoltomierze magnetoelektryczne. W przypadku stosowania logometru dopuszcza się zmiany napięcia zasilającego do 20% wartości znamionowej.

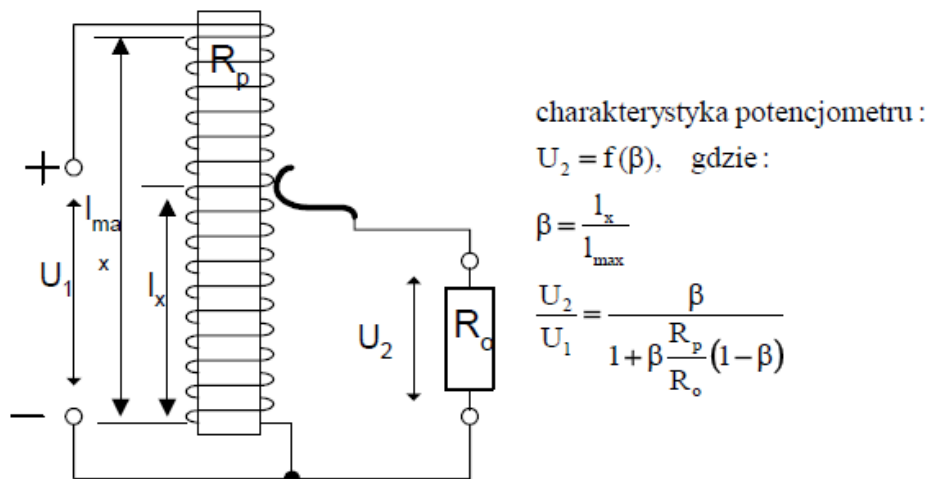
Do zalet przetworników potencjometryczny można zaliczyć:

- prostą budowę,
- dużą niezawodność,
- niskie koszty wytwarzania,
- małą masę i wymiary,
- możliwość zasilania napięciem prądu stałego jak i przemiennego.

Do podstawowych ich wad należą: iskrzenie, tarcie, duże opory ruchu, zmienna rezystancja przejścia związane z występowaniem kontaktu ślizgowego, mała rozdzielczość (do 0,01mm) oraz niewielki możliwy do uzyskania maksymalny współczynnik wzmocnienia $K=(2\div 3)V/mm$.

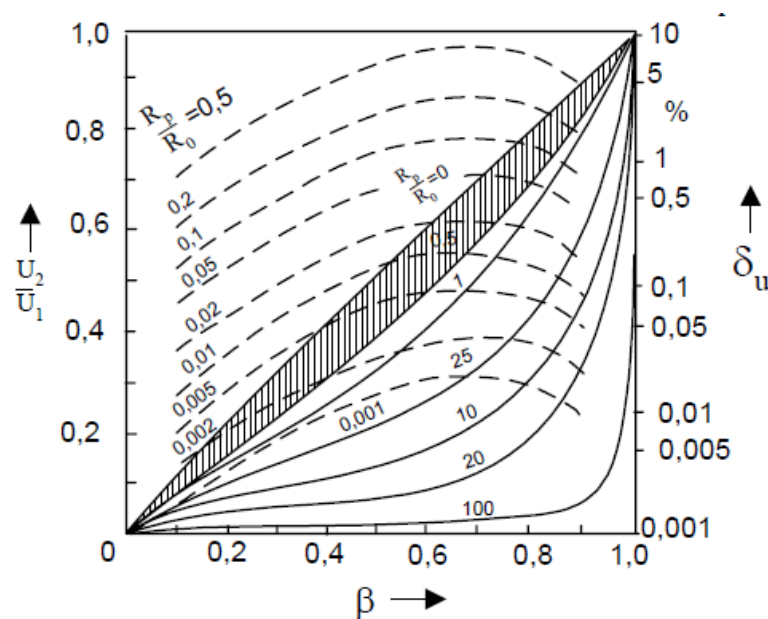
Przetworniki potencjometryczne charakteryzują się następującymi błędami: błędem nieliniowości, błędem zwojowym, błędami technologicznymi.

Rozpatrując zasadę działania przetwornika potencjometrycznego jako rezystancyjnego dzielnika napięcia U_2/U_1 , o przesuwym punkcie podziału a (rys.5), można wykazać iż liniowość przetwarzania σ_u zależy będzie od stosunku wartości rezystancji obciążenia R_o do rezystancji nominalnej potencjometru R_p oraz od położenia β suwaka na potencjometrze. Traktując spadek napięcia U_2 na rezystancji obciążenia jako „wyjście” z przetwornika a położenie suwaka jako „wejście” do przetwornika, jego „rodzinę” charakterystyk statycznych dla różnych stosunków R_p/R_o można przedstawić jak na rysunku 5.



Rys 5. Przetwornik potencjometryczny z obciążeniem R_o .

Prawą pionową oś wyskalowano w procentach błędu nieliniowości dla stosunku $R_p/R_o < 0,5$. Wynika stąd wniosek, że dla zachowania określonej liniowości $\sigma_u < 1\%$ zależności $U_2=f(x)$ musi być zachowany warunek $R_o > 10xR_p$.



Rys.5. Charakterystyki potencjometru dla różnych stosunków R_p/R_o .

Błąd zwojowy przetwornika potencjometrycznego objawia się schodkowością (kwantyzacją) napięciowego sygnału wyjściowego, spowodowaną przemieszczaniem się skokowym suwaka ze zwoju na zwój. Szerokością schodka jest poskok nawijania potencjometru równy średnicy izolowanego drutu nawojowego, wysokość zaś – rezystancją jednego zwoju $r_z=R_p/z$.

Ruch suwaka po jednym zwoju odpowiada na wykresie poziomej części schodka, przejście z jednego zwoju na drugi – pionowej części schodka. Największa wartość błędu zwojowego odpowiada połowie wysokości schodka tj. połowie rezystancji zwoju:

$$\Delta_{zR} = \frac{1}{2} r_z = \frac{1}{2} \frac{R}{Z},$$

wartość względna tego błędu wynosi:

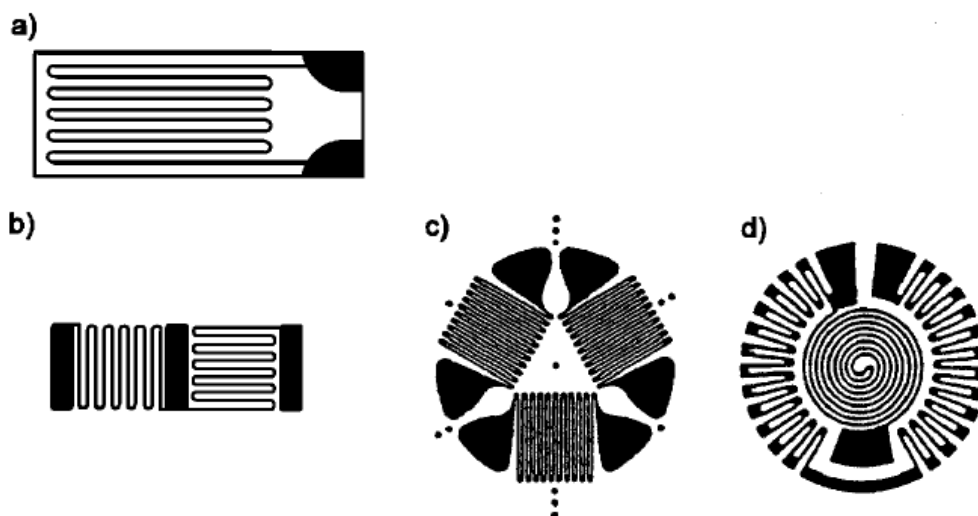
$$\frac{\Delta_{zR}}{R} = \frac{1}{2Z} 100\%$$

Błędy technologiczne wywołane są nierównomiernością nawinięcia, niejednorodnością przewodu na jego długości (nierówny przekrój, niejednorodność materiałowa), niedokładnością wykonania karkasu.

Całkowita nieliniowość przetworników potencjometrycznych jest sumą omówionych błędów. Błąd całkowity przetworników potencjometrycznych w nadajnikach ciśnienia lub położenia nie powinien przekraczać 1% a precyzyjnych przetworników w elektromechanicznych układach liczących 0,1%÷0,2%.

Przetworniki tensometryczne działają na zasadzie zmiany rezystancji pod wpływem zmiany ich naprężenia. Dzieje się tak wskutek zmian ich wymiarów pod wpływem naprężeń. Po naklejeniu na powierzchni elementów badanych, poddawanych dużym obciążeniom, przy małych, niezauważalnych wzrokowo zmianach ich wymiarów, tensometry reagują znaczną zmianą rezystancji.

Tensometry jako przetworniki pomiarowe, muszą charakteryzować się proporcjonalną, jednoznaczną zmianą rezystancji w funkcji naprężeń oraz muszą być montowane na obiekcie w odpowiednim miejscu gdzie będą maksymalnie poddawane naprężeniom. Ich rezystancja powinna zależeć jedynie od ich chwilowego naprężenia oraz nie może być zależna od innych czynników np. temperatury.



Rys. 6. Tensometry: a, b – drutowe-wężykowe; c, d – foliowe-membranowe.

Względna zmiana rezystancji tensometru określana jest wzorem:

$$\frac{\Delta R}{R} = K\varepsilon$$

gdzie:

$$K = \frac{\frac{\Delta R}{R}}{\frac{\Delta l}{l}}$$

nazywa się czułością tensometru,

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

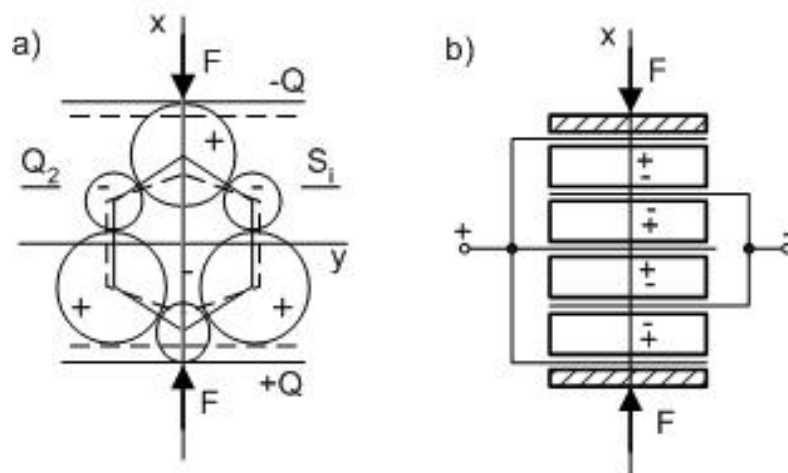
przy czym: l -długość tensometru, σ -naprężenie mechaniczne, E -moduł Younga.

5. Elektryczne przetworniki generacyjne

Elektrycznym, pomiarowym przetwornikiem generacyjnym nazywamy przetwornik, który przetwarza nieelektryczną wielkość fizyczną (wielkość wejściową) na odpowiednią wielkość elektryczną w postaci napięcia, prądu lub ładunku elektrycznego (wielkość wyjściową). Inaczej mówiąc, przetwornik generacyjny to element pomiarowy, który nie wymaga zewnętrznego zasilania, gdyż sam jest źródłem energii elektrycznej. Energia mierzonej wielkości przetwarzana jest bezpośrednio w energię sygnału elektrycznego.

3.2. Przetworniki piezoelektryczne.

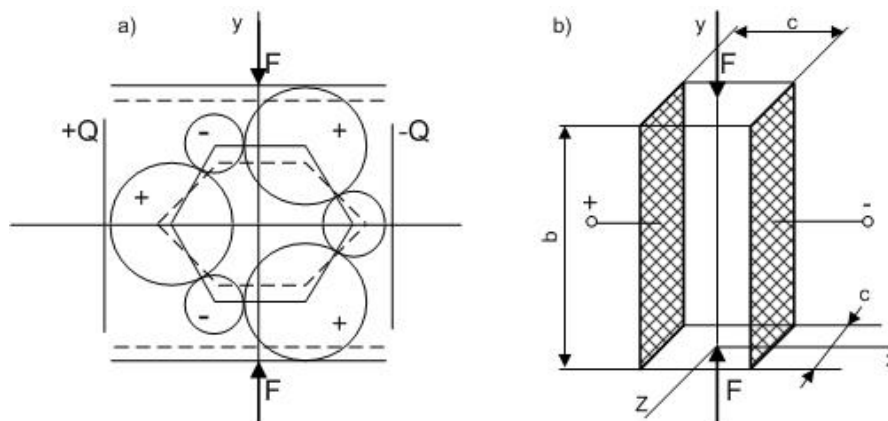
Zjawisko piezoelektryczne polega na powstawaniu wypadkowego momentu elektrycznego w pewnych kryształach zwanych *piezoelektrykami* pod wpływem ścinania lub ściskania (rozciągania) wzdłuż jednej z osi krystalograficznych. Jeśli płytkę płasko-równoległą o określonej orientacji krystalograficznej, wyciętą z kryształu piezoelektrycznego, podda się mechanicznym odkształceniom, to na przeciwległych jej ściankach powstają różnoimienne ładunki elektryczne (tzw. proste zjawisko piezoelektryczne). Jeśli umieści się ją w zewnętrznym polu elektrycznym – odkształca się pod jego wpływem (odwrotne zjawisko piezoelektryczne). Wartość odkształcenia zależy od wartości natężenia pola elektrycznego.



Rys. 7. Wzdłużny efekt piezoelektryczny.

Piezoelektryczność występuje w kryształach niemających środka symetrii np. w kryształach kwarcu, soli Seignette'a, tytanianu baru. Piezoelektryczność odkryli w 1880 roku fizycy francuscy: bracia Pierre i Paul Curie. W przetwornikach pomiarowych najczęściej stosuje się płytki wycięte z kryształu kwarcu. W porównaniu z innymi materiałami kwarc charakteryzuje się następującymi zaletami: znaczną wytrzymałością mechaniczną, dużą liniowością, brakiem histerezy, odpornością na działanie podwyższonych temperatur, znaczną stabilnością temperaturową oraz dużą rezystywnością.

Jeśli odpowiednio wyciętą płytkę ściskamy wzdłuż osi elektrycznej i ładunki powstają na powierzchniach przyłożenia siły mamy wówczas do czynienia ze wzdłużnym efektem piezoelektrycznym – rys.7.



Rys. 8. Poprzeczny efekt piezoelektryczny.

O poprzecznym efekcie mówimy wówczas gdy płytka jest ściskana wzdłuż osi mechanicznej, a ładunki pojawiają się na powierzchniach bocznych – rys.8. Z efektu piezoelektrycznego wzdłużnego korzysta się na ogół w czujnikach przyspieszeń, a poprzecznego – w czujnikach siły i ciśnienia.

Wartość ładunku elektrycznego, powstającego na elektrodach pojedynczej płytki piezoelektryka w przypadku korzystania z efektu wzdłużnego wynosi:

$$Q = d_{11} F [C]$$

gdzie: $d_{11} = 2,3 \times 10^{-12} [C/N]$.

Ponieważ wartość Q nie zależy w tym przypadku od rozmiarów geometrycznych płytki, w celu zwiększenia czułości przetwornika stosuje się łączenie płytek w zestawy z zachowaniem określonej polaryzacji płytek.

Dla N płytek:

$$Q = N d_{11} F$$

Niestety, zwiększenie liczby płytek pociąga za sobą wzrost błędu nieliniowości. W przypadku korzystania z efektu poprzecznego wartość ładunku indukowanego na elektrodach bocznych pod wpływem przyłożonej siły wynosi:

$$Q = d_{11} F (b/a)$$

gdzie: b i a – odpowiednie wymiary kwarcu wykonanego w postaci prostopadłościanu.

Czułość tego przetwornika można zwiększyć przez zmianę stosunku b/a , co praktycznie uzyskuje się przez wydłużenie prostopadłościanu w kierunku osi y (mechanicznej) do granicy określonej jej dopuszczalnym wybozczeniem i wytrzymałością mechaniczną.

Napięcie powstające na zaciskach samego przetwornika obciążonego siłą, zależy od jego własnej pojemności C_p :

$$U = Q/C_p$$

Czułości napięciowe wynoszą odpowiednio: dla efektu wzdłużnego:

$$S_p = d_{11} N / C_p$$

a dla efektu poprzecznego:

$$S_p = d_{11} b / C_p a.$$

W wyniku ściśnięcia płytek materiału piezoelektrycznego i obciążenia ich dodatkowo masą sejsmiczną tworzy się przetwornik czuły na przyspieszenia, ponieważ:

$$Q = N d_{11} F = N d_{11} m a = k_p a$$

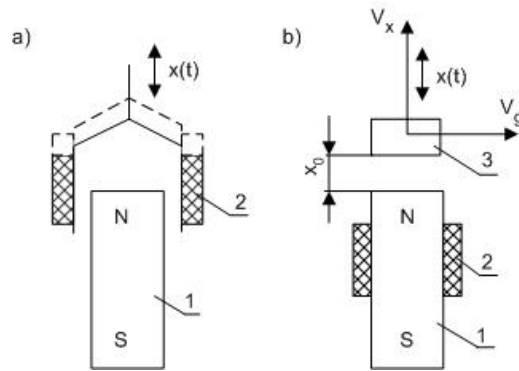
W celu zwiększenia czułości, piezoelektryczne czujniki przyspieszeń buduje się w oparciu o kryształ pracujący na ścinanie, czyli tzw. *shear effect*. Czułość ładunkowa d_{11} kwarcu pracującego na ścinanie jest dwukrotnie większa od czułości pojedynczej płytki w przypadku efektu wzdłużnego.

O właściwościach dynamicznych przetwornika piezoelektrycznego decydują zarówno parametry mechanicznego układu czujnika, jak i współpracującego z nim układu elektronicznego.

Do pomiaru sygnału elektrycznego z czujnika piezoelektrycznego stosuje się wzmacniacze napięcia lub wzmacniacze ładunku. Przy ich doborze bierze się pod uwagę parametry czujnika oraz linii łączącej (układ pomiarowy powinien być skalowany razem z kablem łączącym). Podane niedogodności można pominąć, jeśli czujnik jest zbudowany łącznie ze wzmacniaczami. W tym przypadku odpadają kłopoty związane z kablem wysokoomowym – przesyłane sygnały są odpowiednio wzmocnione w miejscu pomiaru i można je dosyć łatwo przesłać na znaczne odległości. Innym rozwiązaniem jest wykorzystanie wzmacniaczy ładunku.

3.3. Przetworniki elektrodynamiczne i reluktancyjne.

Generacyjne przetworniki indukcyjne dzieli się na elektrodynamiczne i reluktancyjne (elektromagnetyczne) – rys. 9. W obydwu przypadkach, indukowane siły elektromotoryczne są proporcjonalne do szybkości zmian strumieni magnetycznych obejmowanych przez cewki. Zjawisko to występuje przy wzajemnym przemieszczaniu się cewki i magnesu wytwarzającego pole magnetyczne, bądź też elementów ferromagnetycznych zamkniętego obwodu magnetycznego.



Rys. 9. Przetworniki indukcyjne: a- elektrodynamiczny; b- reluktancyjny.

W przetwornikach elektrodynamicznych cewka jest ruchoma, porusza się w polu magnetycznym magnesu stałego i powinna być połączona mechanicznie trwale lub dotykowo z ruchomym obiektem badanym.

W przetwornikach reluktancyjnych cewka jest umieszczona na ferromagnetycznym namagnesowanym rdzeniu i nie podlega ruchom w stosunku do rdzenia. Przemieszcza się natomiast element ferromagnetyczny, zmieniając szerokość szczeliny, a tym samym reluktancję obwodu magnetycznego i strumień obejmowany przez cewkę.

Dla obydwu typów przetworników indukowana siła elektromotoryczna:

$$E = z \frac{d\Phi}{dt} = z \frac{d\Phi}{dx} \frac{dx}{dt} = z \frac{d\Phi}{dx} v_x$$

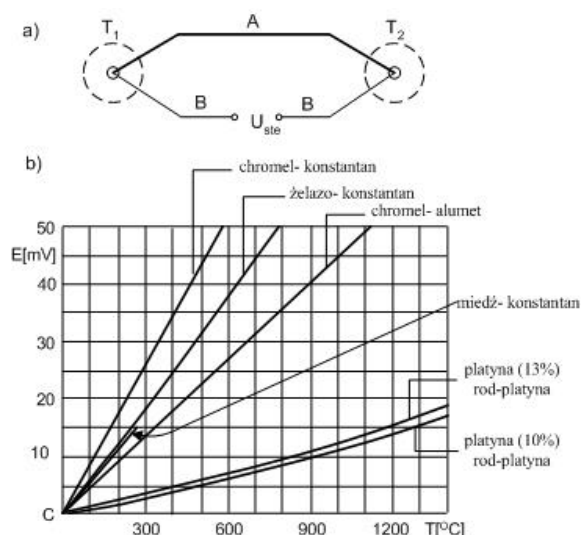
gdzie: z – liczba zwojów cewki; $d\Phi/dt$ – szybkość zmian strumienia magnetycznego [Wb/s]; $d\Phi/dx$ – odległościowa zmiana strumienia magnetycznego [Wb/m]; $v_x = dx/dt$ – prędkość ruchu elementu ruchomego [m/s].

W przypadku przetwornika reluktancyjnego wektor prędkości elementu ruchomego może być skierowany wzdłuż osi cewki lub do niej prostopadle. Przetworniki elektrodynamiczne sprzężone z mechanicznymi układami sejsmicznymi stosuje się w czujnikach drgań, reluktancyjne natomiast w czujnikach obrotów i prędkości kątowej – prędkości tachometryczne.

3.4. Termoelementy.

Termoelementy (termoogniwa, termopary) należą do najbardziej rozpowszechnionych urządzeń do pomiaru temperatury. Odnaczają się one szerokim zakresem mierzonych temperatur, znaczną niezawodnością, dużą dokładnością oraz elastycznością konstrukcji. Należy podkreślić, że termoelement zawsze mierzy różnicę temperatur.

Zasada działania termoelementu opiera się na wykorzystaniu zjawiska termoelektryczności, które jest wynikiem jednoczesnego występowania zjawiska Seebecka i zjawiska Thomsona (lorda Kelvina).



Rys. 10. Układ termooigniwa i charakterystyki typowych termopar.

Zjawisko Seebecka (1821 rok) polega na występowaniu stykowej siły termoelektromotorycznej w miejscu złączenia dwóch różnych metali wskutek różnej ilości swobodnych elektronów w obydwu metalach. Wartość siły termoelektromotorycznej zależy od rodzaju metali (stopów metali) oraz od temperatury miejsca styku.

Zjawisko Thomsona polega na występowaniu podobnej siły termoelektromotorycznej (różnicy potencjałów) na końcach jednorodnego przewodnika, gdy końce te znajdują w różnych temperaturach. Zjawisko tłumaczy się zależnością ilości wolnych elektronów w metalu od temperatury, co jest źródłem gradientów potencjałów powstających w jednorodnym przewodniku metalowym, o ile występują w nim gradienty temperatury.

W zamkniętym obwodzie termoelektrycznym wartość powstałej wypadkowej siły termoelektromotorycznej zależy od rodzaju metali A i B oraz od temperatury spoin, nie zależy natomiast od wymiarów przewodników i rozkładów temperatur na długości przewodnika. Warunkiem, który musi być spełniony, aby opisane zjawiska można było wykorzystać do celów pomiarowych jest utrzymanie stałej wartości temperatury jednej spoiny – zwanej spoiną zimną lub spoiną odniesienia (np. T_2). (rys. 10a)

Na termopary dobiera się materiały korzystając z tzw. szeregu potencjałowego metali, który określa się poprzez porównanie ich czułości termoelektrycznej (jednostkowej siły termoelektrycznej) w odniesieniu do platyny – tabela 1. Czułość dwóch dowolnych materiałów określa się jako różnicę czułości tych materiałów względem platyny.

Przy ustalonej temperaturze spoiny odniesienia wartość siły termoelektrycznej mierzonej np. za pomocą miliwoltomierza jest w szerokim zakresie funkcją temperatury spoiny „gorącej”.

Tabela.1.

Materiał	k_{sp} [mV/100K]
konstantan	- 3,2
nikiel	- 1,9
platyna	0,0
wolfram	0,7
miedź	0,7
żelazo	1,9
chromonikielina	2,2

3.5. Przetworniki fotoelektryczne

Zasada działania przetworników fotoelektrycznych polega na wykorzystaniu wpływu promieniowania widzialnego ($0,4 \div 0,7$ [μm]), a częściowo także promieniowania

podczerwonego i ultrafioletowego, na właściwości elektryczne niektórych elementów tych przetworników.

Przetworniki fotoelektryczne bezpośrednio stosuje się do pomiaru parametrów promieniowania, ale pośrednio służą również do pomiarów innych wielkości, jak np. przezroczystość ciał, przesunięcie, prędkość, do analizy składu chemicznego roztworów, itp.

Najczęściej spotykanymi czujnikami są fotorezystory, fotodiody, fototranzystory oraz fotoogniwa.

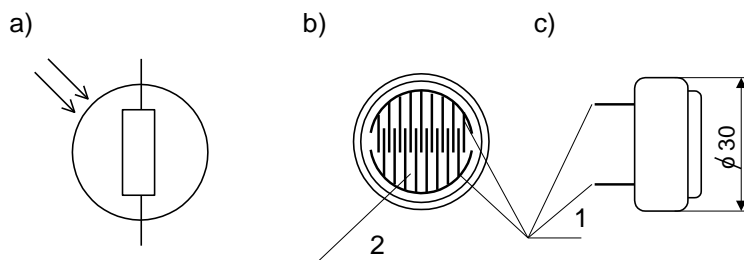
Fotorezystory

Fotorezystory są to elementy półprzewodnikowe, których rezystancja jest funkcją natężenia ich oświetlenia w zakresie podczerwieni i widzialnym. Wykonuje się je w postaci cienkich płytek lub warstw półprzewodnika o dużym stopniu czystości, naniesionych na izolacyjne podłoże. Elektrody wyjściowe mają zwykle kształt zazębających się grzebieni (rys.11.) całość jest zamknięta w obudowie szklanej lub metalowej ze szklanym okienkiem. Wykorzystywane do budowy fotorezystorów półprzewodniki to: siarczek kadmu (CdS), siarczek ołowiu (PbS), selenek ołowiu ($PbSe$), antymonek indu ($InSb$), siarczki talu (Tl_2S), german (Ge), krzem (Si).

W fotorezystorach wykorzystuje się zjawisko fotoelektryczne wewnętrznej emisji elektronów, które pod wpływem absorbowanej energii świetlnej przechodzą z pasma przewodnictwa. W skutek tego pojawiają się dodatkowe nośniki prądu i rezystancja fotorezystora maleje. Następuje to jednak tylko wtedy, gdy:

$$hf \geq W_g$$

gdzie: h – stała Plancka, f – częstotliwość padającej na fotorezystor fali świetlnej, W_g – szerokość energetycznej przerwy zabronionej.



Rys. 11. Fotorezystory: a) symbol; b) c) budowa; 1-elektrody, 2-powierzchnia czynna.

Rezystancja „ciemna” fotorezystorów jest rzędu $10^4 \div 10^{12} \Omega$, natomiast oświetlenie o natężeniu rzędu 50 lx zmniejsza ją kilka tysięcy razy.

Charakterystykę oświetleniową fotorezystora można aproksymować wyrażeniem:

$$I_E = aU + bUE^\gamma$$

gdzie: I_E – prąd fotoelektryczny, U – napięcie zasilania, E – natężenie oświetlenia, a, b, γ – współczynniki ($\gamma=0,5 \div 0,9$).

Czułość fotorezystorów:

$$S = \frac{dI}{dE} = \gamma b U E^{\gamma-1}$$

jest bardzo duża i sięga kilkudziesięciu miliamperów na luks.

Największą czułość wykazują fotorezystory zawierające selen, siarczki ołowiu, bizmutu, stop siarczku talu i tlenku talu, german, krzem – występuje tutaj zjawisko wewnętrznego fopowielania. Czułość fotorezystorów zmienia się wraz z długością fali świetlnej i zależy od rodzaju półprzewodnika. Do detekcji promieniowania widzialnego wykorzystuje się

fotorezystory zawierające kadm, natomiast pozostałe rodzaje fotorezystorów pracują głównie z zakresie podczerwieni.

Fotodiody

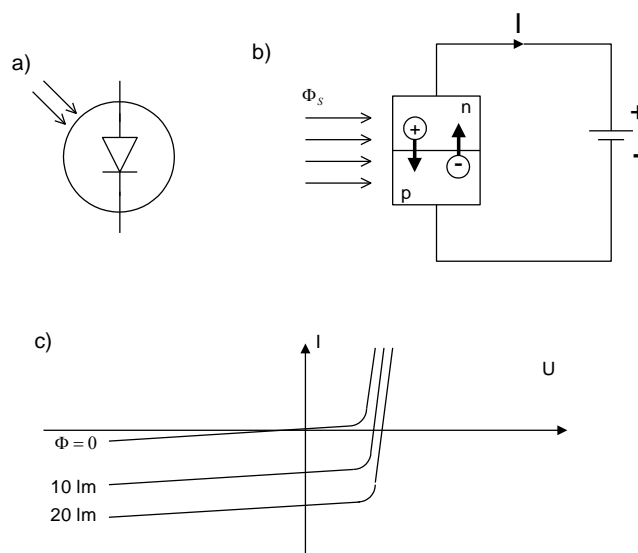
Fotodiody pracują najczęściej w układzie z zewnętrznym napięciem zasilania, polaryzującym je w kierunku zaporowym (rys. 12). Naświetlenie okolicy warstw typu *p* i *n* powoduje generację nośników mniejszościowych po obydwu stronach złącza, czego skutkiem jest przepływ dodatkowego prądu w kierunku zgodnym z kierunkiem prądu cieplnego (elektrony przechodzą z obszaru *p* do *n*, dziury- odwrotnie). Wypadkowy prąd złącza jest równy:

$$I = I_0 \cdot \exp\left(\frac{e \cdot U}{k \cdot T}\right) - I_0 - S \cdot E;$$

gdzie: *e*- ładunek elektronu; *U*-napięcie na złączu; *k*- stałą Boltzmana; *T*- temperatura bezwzględna złącza; *I*₀- prąd cieplny; *S*- czułość fotodiody; *E*- natężenie oświetlenia złącza.

Pierwszy człon wzoru reprezentuje prąd dyfuzyjny, drugi- prąd termiczny, a trzeci- prąd fotoelektryczny. Jeżeli fotodioda nie jest oświetlana (*E*=0), to jej prąd zależy od napięcia, jak w zwykłej diodzie. Przy polaryzacji dodatniej prąd szybko wzrasta i w minimalnym stopniu zależy od *E*, natomiast przy polaryzacji ujemnej napięcie *U* ma niewielki wpływ na wartość prądu, który staje się prawie proporcjonalny do *E*. Z tego powodu najczęściej wykorzystuje się obszar trzeciej ćwiartki układu charakterystyk prądowo-napięciowych fotodiody, czyli obszar polaryzacji zaporowej (rys.12.c).

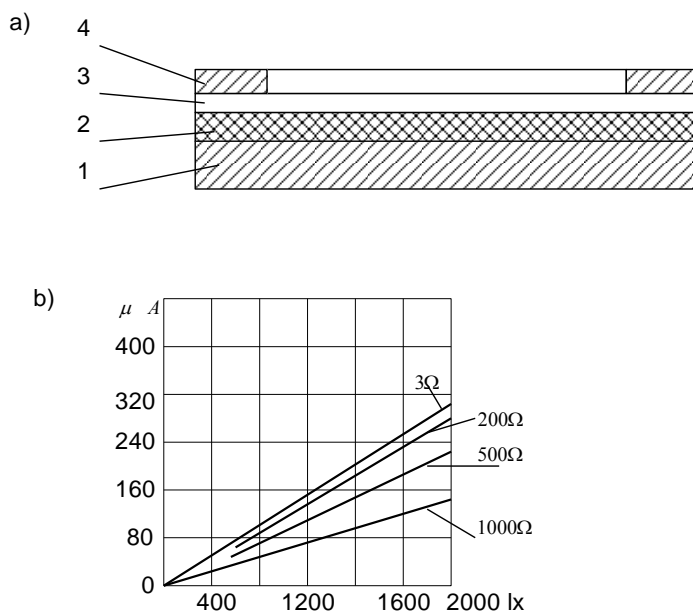
Istnieje także możliwość wykorzystania fotodiody niespolaryzowanej napięciem zewnętrznym jako generacyjnego czujnika promieniowania. W tym wypadku, pod wpływem energii świetlnej absorbowanej przez złącze *p-n*, zachodzi jego samoistna polaryzacja. Złącze staje się źródłem siły elektromotorycznej o wartości będącej funkcją natężenia oświetlenia, czyli fotoogniwem.



Rys. 12. Fotodioda: a) symbol; b) układ pracy i zasada działania; c) obszar wykorzystania charakterystyki prądowo-napięciowej.

Fotoogniwa

Fotoogniwami są elementy półprzewodnikowe, w których na granicy styku warstw p i n powstaje różnica potencjałów formująca się pod wpływem promieniowania świetlnego. Fotony o wystarczająco dużej energii wytwarzają w półprzewodniku pary elektron-dziura, przy czym elektrony dyfundują w kierunku warstwy p , a dziury w kierunku warstwy n , co powoduje powstawanie siły elektromotorycznej o znaku dodatnim od strony warstwy n . Opisane zjawisko nosi nazwę **efektu fotowoltaicznego**. Fotoogniwa są przetwornikami generacyjnymi pracującymi bez zasilania zewnętrznego.



Rys. 13. a) Budowa ogniwa selenowego: 1- metalowa elektroda dodatnia, 2- selen, 3-cienka przezroczysta warstwa złota lub platyny, 4- pierścień elektrody ujemnej. b) zależność prądu ogniwa selenowego od natężenia oświetlenia dla różnych rezystancji obciążenia.

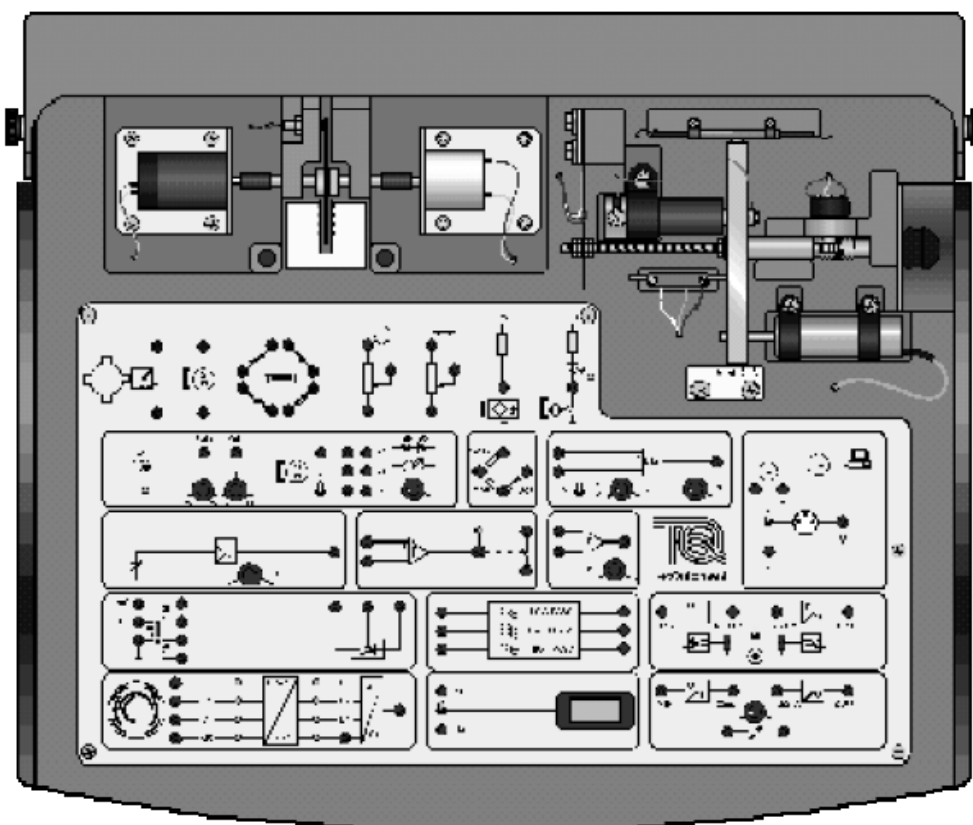
Ogniwo selenowe (rys.13.a) ma postać metalowej płytki (1) pokrytej warstwą krystalicznego selenu (2), na którą naniesiono bardzo cienką, przezroczystą dla promieni świetlnych, warstwę platyny lub złota (3) powleczoną bezbarwnym lakierem dla ochrony przed wilgocią. Do warstwy (3) przylega metalowy pierścień (4) pełniący rolę elektrody ujemnej. Elektroda dodatnią jest płytka (1). Między selenem, a górną metalu powstaje złącze p - n . Podczas oświetlania fotoogniwa, elektrony powstałe w warstwie zaporowej selenu, przechodzą do platyny (złota), na skutek, czego elektroda (4) ładuje się ujemnie. Prąd zwarcia fotoogniwa zmienia się prawie liniowo w funkcji natężenia oświetlenia (rys. 13b).

Głównymi źródłami błędów przetworników fotoelektrycznych w postaci fotoogniw są:

- Wrażliwość na temperaturę i wilgoć
- Zjawisko zmęczenia, które jest tym większe, im większe było natężenie ich oświetlenia.

6. Opis stanowiska laboratoryjnego

Stanowisko SIS (Sensor and Instrumentation System) przeznaczone jest do badania metrologicznych charakterystyk przetworników położenia liniowego i ruchu obrotowego, pracujących w różnych konfiguracjach układów pomiarowych. Widok płyty czołowej stanowiska przedstawia rysunek 14



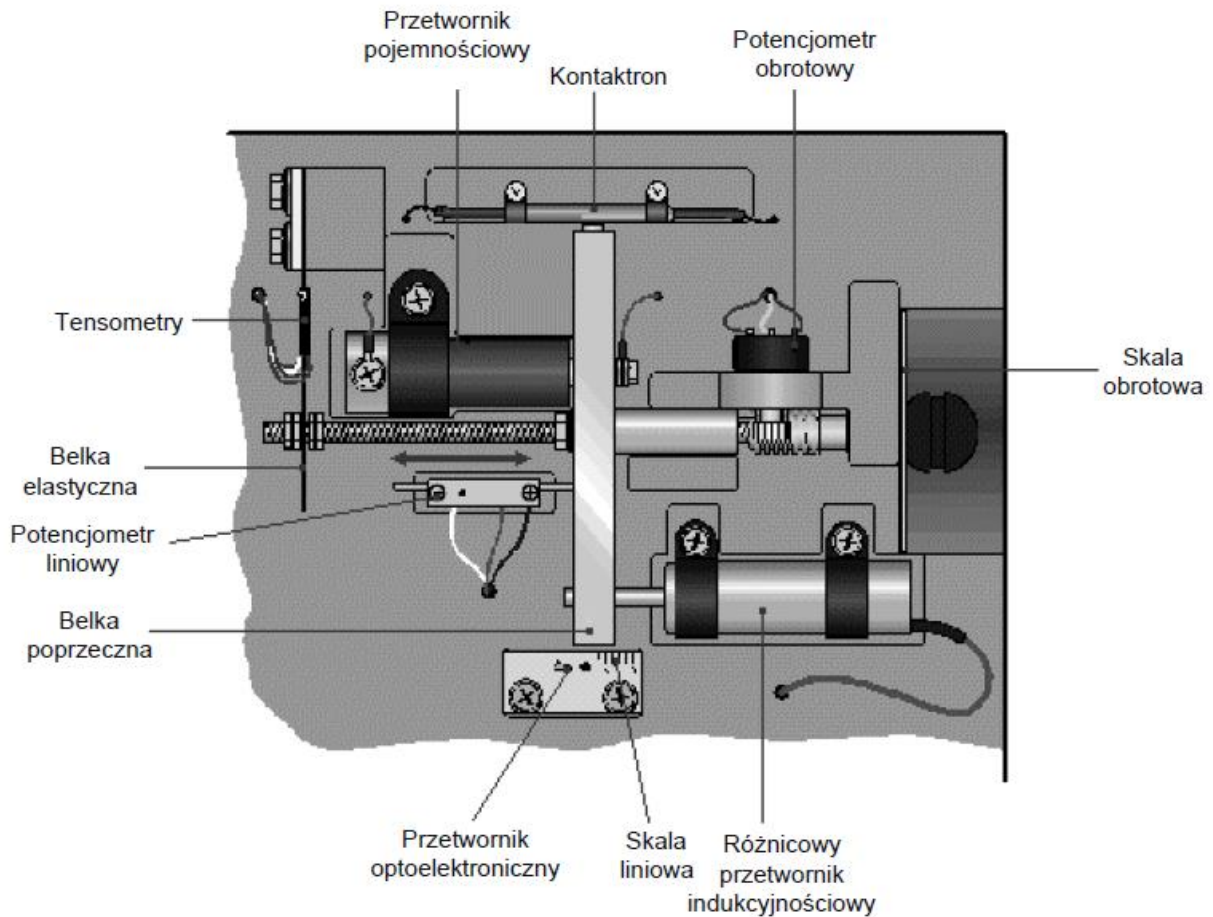
Rys.14. Płyta czołowa stanowiska.

Na płycie czołowej stanowiska umieszczono dwa niezależne układy umożliwiające zmianę wartości wielkości mierzonej: położenia liniowego i kąтового, połączone z właściwymi im zestawami przetworników. Dodatkowo, na płycie umieszczono elementarne układy przetwarzania (kondycjonowania) sygnałów pomiarowych. W połączeniu z przetwornikami pozwalają one konstruować i badać mniej lub bardziej rozbudowane układy pomiarowe.

Stanowisko zasilane jest z zewnętrznego transformatora napięciem 12V. Wymagane napięcia odniesienia $-5V$, $0V$, $+5V$ dostępne są na płycie czołowej stanowiska.

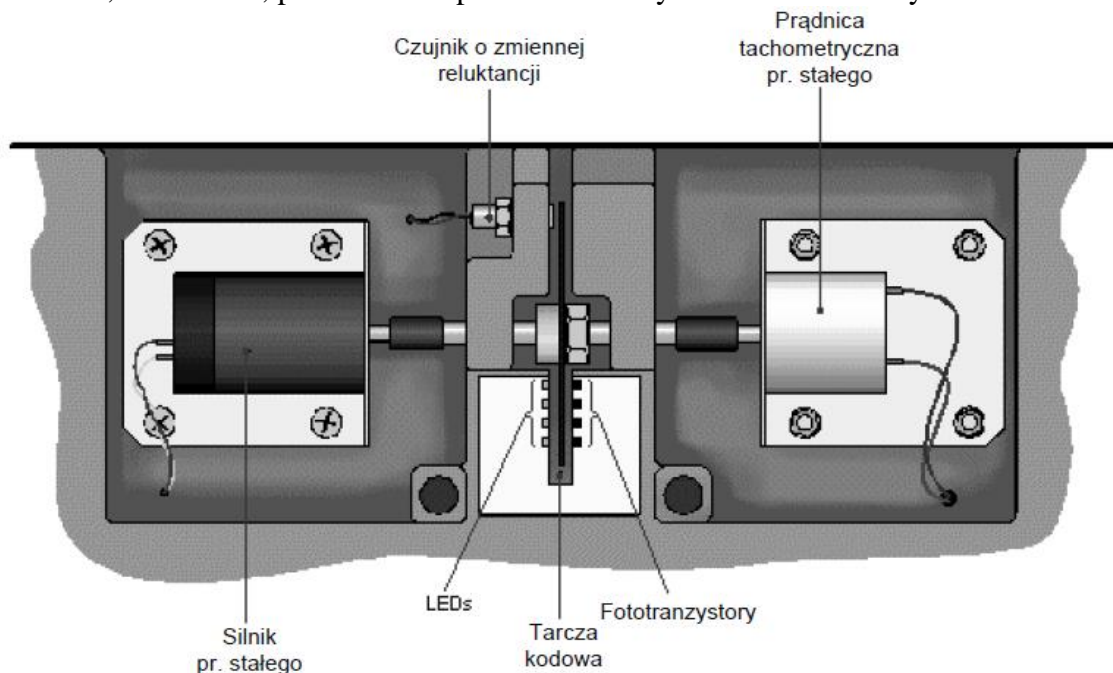
W układzie do badania przetworników położenia liniowego, zmianę położenia trzpienia w zakresie 9mm z dokładnością $\pm 0,05\text{mm}$ uzyskuje się przez ręczny obrót pokrętła umieszczonego z prawej strony układu. Odczytu bieżącej wartości położenia dokonuje się na skali obrotowej umieszczonej na wspólnej osi z pokrętłem. Pełen obrót skali odpowiada przemieszczeniu liniowemu 1mm, a przekładnia i skala zapewniają rozdzielczość ustawienia trzpienia $\pm 0,05\text{mm}$. Ruch liniowy trzpienia ograniczony jest przez ograniczniki.

UWAGA: Użycie zbyt dużej siły przy posługiwaniu się pokrętłem może doprowadzić do zniszczenia przekładni trzpienia oraz połączonych z nim przetworników.



Rys. 15. Układ do badania przetworników położenia liniowego.

Na stanowisku można badać następujące typy przetworników położenia liniowego, w różnych układach pomiarowych: tensometry, potencjometr liniowy, potencjometr obrotowy, różnicowy przetwornik indukcyjnościowy, przetwornik pojemnościowy o zmiennym polu powierzchni, kontaktron, przetwornik optoelektroniczny na bazie fototranzystora.

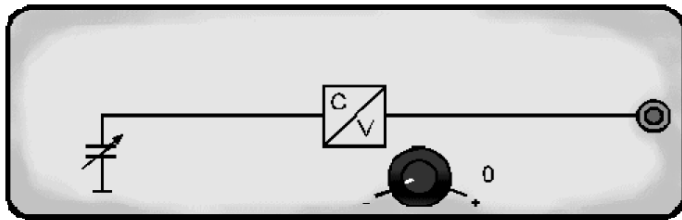


Rys. 16. Układ do badania przetworników ruchu obrotowego.

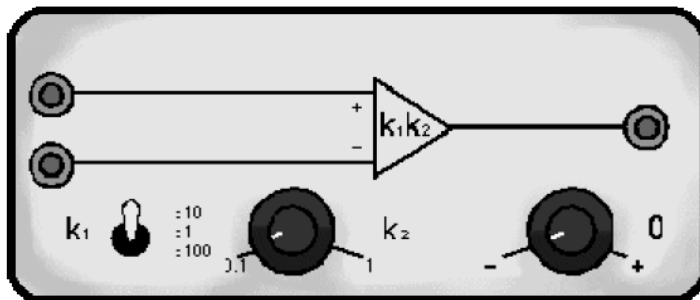
W układzie ruchu obrotowego zastosowano silnik elektryczny o zmiennej, sterowanej w zakresie od 0 do 2000obr/min prędkości obrotowej. Silnik ten może być sterowany w układzie otwartym lub zamkniętym. Do pomiaru położenia kąтового zastosowano 4-bitową tarczę kodową, o rozdzielczości 22,50, a do pomiaru prędkości obrotowej: prądnicę tachometryczną, tachometr optyczny oraz impulsowy czujnik o zmiennej reluktancji.

Elektroniczne układy kondycjonowania sygnałów służą do przetwarzania różnej postaci sygnałów z przetworników pomiarowych w sygnał napięcia prądu stałego oraz do jego wzmacniania. Na płycie czołowej stanowiska wyróżnić można:

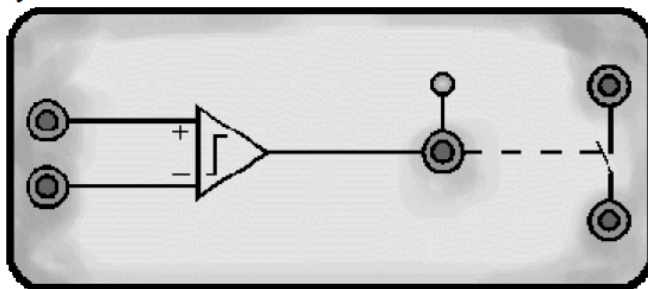
- **mostek pojemnościowy** zasilany z wewnętrznego oscylatora napięciem przemiennym 80 kHz, do współpracy z pojemnościowym przetwornikiem położenia liniowego. Wyprostowany sygnał wyjściowy z mostka ma postać napięcia stałego:



- **wzmacniacz różnicowy** o wzmacnieniu k_1k_2 (w zakresie 0,1 do 100) z możliwością ustawiania zera poprzez regulację („offsetowanie”) sygnału wyjściowego w zakresie $\pm 5V$:



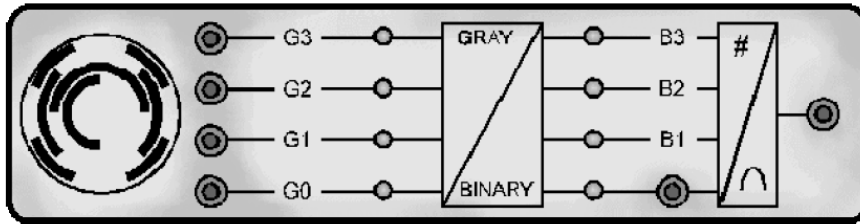
- **komparator** – służący do porównywania poziomu dwóch sygnałów wejściowych:



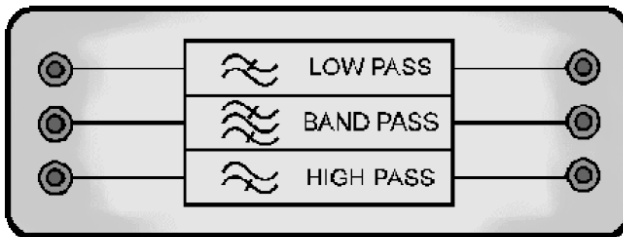
- **detektor fazoczuły** do współpracy z indukcyjnościowym, różnicowym przetwornikiem położenia liniowego:



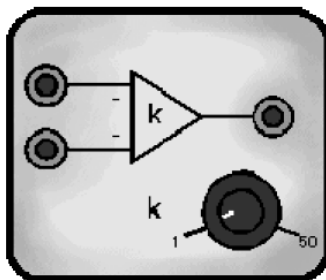
- **4-bitowy dekodery** przeznaczony do przetwarzania kodu Graya (z tarczy kodowej) w kod binarny:



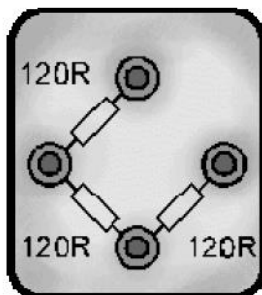
- **zespół filtrów** (filtr dolnoprzepustowy, pasmowy, górnoprzepustowy):



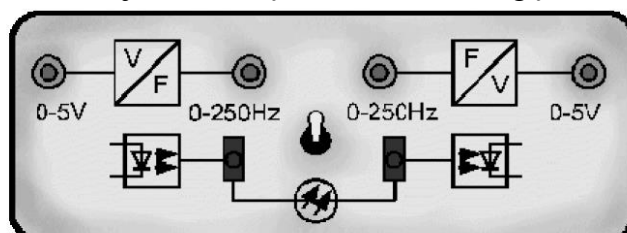
- **sumator** na bazie wzmacniacza różnicowego, ze zmiennym wzmocnieniem 1 do 50:



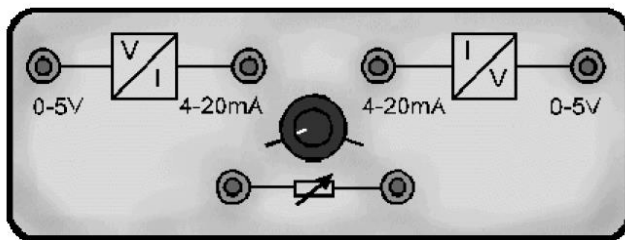
- **mostek rezystancyjny** na precyzyjnych rezystorach o wartości 120 każdy:



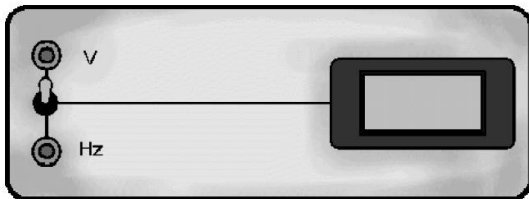
- **przetworniki napięcie/częstotliwość i częstotliwość/napięcie** ze stałym przełożeniem 50Hz/V w jedną stronę i 0,02V/Hz w drugą:



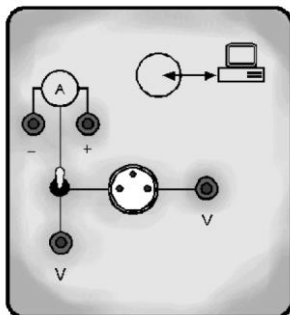
• przetworniki napięcie/prąd i prąd/napięcie:



Na płycie czołowej umieszczono również trój-pozycyjny **wskaźnik ciekłokrystaliczny**, służący jako wskaźnik woltomierza lub częstotściomierza.

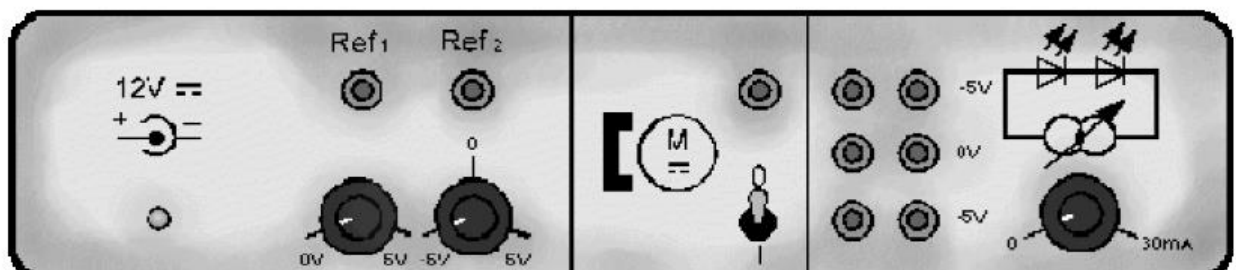


Stanowisko wyposażone jest również w **interfejs komputerowy** na bazie 12-bitowego przetwornika A/D i D/A z częstotliwością próbkowania powyżej 10kHz zależną od współpracującego komputera.



Na płycie czołowej stanowiska znajduje się **pulpit zasilania**, na którym oprócz gniazda zasilania stanowiska znajdują się:

- wyprowadzenia napięć (również z możliwością regulacji) do zasilania poszczególnych elementów;
- wejście zasilające silnika elektrycznego;
- potencjometr regulacji prądu płynącego przez diody LED.



DANE TECHNICZNE ELEMENTÓW

Zakres liniowego ruchu trzpienia 9mm (1mm/obr)
- rozdzielczość 0,05mm

Tensometr drutowy:

- rezystancja 120 Ω ,
- współczynnik 2,12

Potencjometr liniowy:

- rezystancja nominalna 10k Ω
- zakres ruchu 10mm
- liniowość $\pm 0,4\%$
- tolerancja 10%

Potencjometr obrotowy:

- rezystancja nominalna 10k Ω
- materiał rezystora przewodzące tworzywo szt.
- tolerancja $\pm 20\%$
- zakres ruchu obrotowego 360⁰
- przełożenie 0,0833 \div 1

Przetwornik indukcyjnościowy:

- zasilanie 3kHz, 5V
- liniowość $\pm 0,5\%$
- czułość $\pm 75\text{mV/mm}$

Kontaktron:

- znamionowa maks. moc przełączana: 80VA; 1,3A d.c. lub a.c.
- znamionowe maks. napięcie przełączane: 250 V a.c. rms
- napięcie przebicia 800V d.c.
- zakres wciągania 40 do 45 AT

Prądnicza tachometryczna prądu stałego: wyjście 2,5 \pm 0,25V /1000obr/min

Czujnik impulsowy o zmiennej reluktancji: 4 imp/obr.

Wzmacniacz różnicowy:

-k1 x1; x10; x100
-k2 0,1 do 100

Przetwornik V/F: 50Hz/V

Przetwornik F/V: 0,02V/Hz

Przetwornik V/I: U=(0 \div 5V) na I =(4 \div 20mA)

Przetwornik I/V: I=(4 \div 20mA) na U=(0 \div 5V)

Zasilacz:

-Ref1 0 do 5V regulowane

-Ref2 $\pm 5\text{V}$ regulowane

-Zasilacz D.C. +5V; 0V; -5V

-prąd obciążenia 0 do 30mA

Wskaźnik:

-zakres V 0 \div $\pm 10\text{V}$ z rozd. 0,1V

-zakres Hz od 0 do 500Hz

-dokładność $\pm 1\%$

-próg 200mV

Interfejs PC:

-wejście napięciowe $\pm 5\text{V}$

-rozdzielczość $\pm 2,5\text{mV}$

-wejście prądowe $\pm 500\text{mA}$

-rozdzielczość $\pm 0,25\text{mA}$

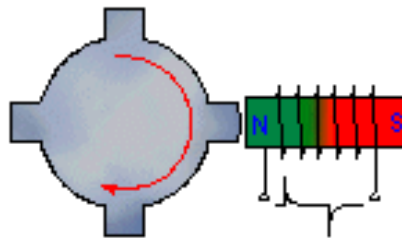
UWAGA: Przed przystąpieniem do wykonywania ćwiczenia, należy szczegółowo zapoznać się z rozmieszczeniem, przeznaczeniem, zasadą działania i parametrami poszczególnych przetworników i układów kondycjonujących sygnały pomiarowe.

UWAGA: Przystępując do pomiarów należy mieć przygotowany protokół pomiarowy z umieszczonymi w nim tabelami odpowiednimi dla każdego z punktów ćwiczenia.

7. Przebieg ćwiczenia

6.1 Pomiar prędkości obrotowej silnika z wykorzystaniem przetwornika reluktancyjnego:

Na rys.17 przedstawiono schemat działania czujnika reluktancyjnego w układzie pomiaru prędkości obrotowej silnika prądu stałego w stanowisku dydaktycznym. Prędkość obrotowa silnika może być regulowana w zakresie 0÷2000 [obr/min].

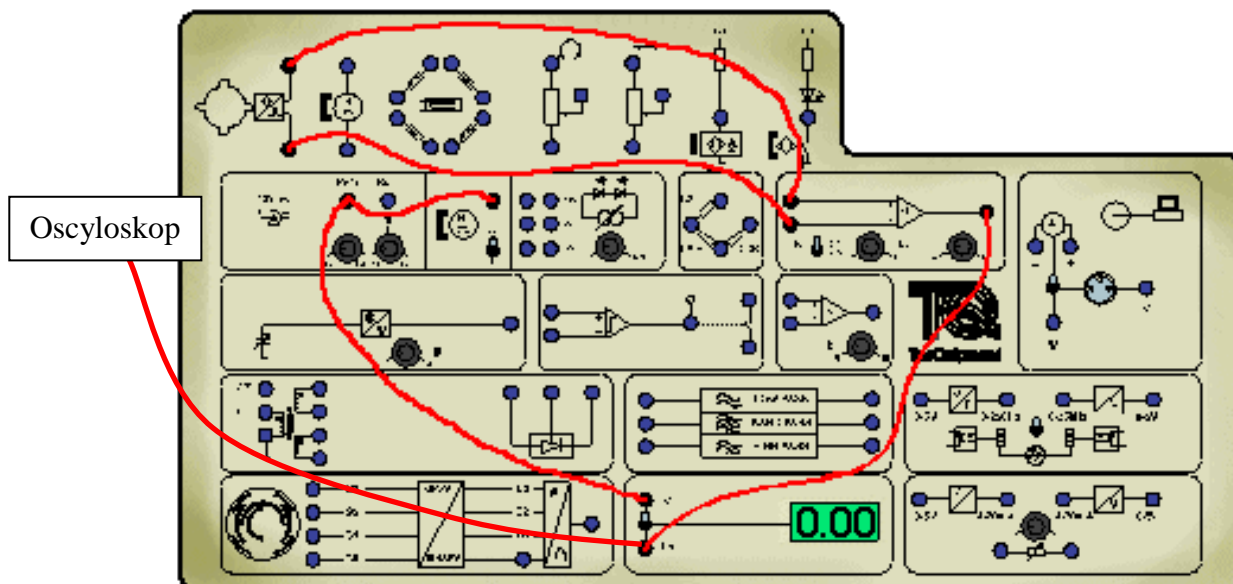


Rys.17. Schemat działania czujnika reluktancyjnego.

Podczas ćwiczenia laboratoryjnego przebadany zostanie czujnik reluktancyjny wykorzystywany do pomiaru prędkości obrotowej silnika prądu stałego. Podczas ćwiczenia student zapozna się z zasadą działania tego typu czujnika, konieczność wzmacniania sygnału pomiarowego oraz wpływ sygnału zakłócenia na element pomiarowy.

- 1.1. Podłączyć stanowisko dydaktyczne zgodnie z rys.18.
- 1.2. Ustawić przełącznik sterowania silnikiem w pozycję „0” oraz potencjometr Ref_1 w położenie „minimum”. Przełącznik wzmacniacza operacyjnego K_1 ustawić w położenie 100.
- 1.3. Ustawić następujące wartości na oscyloskopie: podstawa czasu: 5ms/div
wzmocnienie: 1V/div. NIE REGULOWAĆ NASTAW PODCZAS KOLEJNYCH POMIARÓW.
- 1.4. Włączyć zasilanie stanowiska dydaktycznego, a następnie przełączyć przełącznik sterowania silnikiem w pozycję „1”. Regulując potencjometrem Ref_1 należy ustawiać napięcie sterujące silnikiem zgodnie z tabelą 2. Na mierniku należy odczytać wartość częstotliwości dla poszczególnych wartości napięć, z oscylogramu odczytać wartość częstotliwości. Otrzymane wyniki należy zanotować w tabeli 2. Dla wartości Ref_1 4[V] należy wykonać zdjęcia oscylogramów.
- 1.5. Potencjometr Ref_1 należy ustawić w położenie „minimum” i ustawić wzmocnienie w układzie na wartość 10. Następnie należy wykonać pomiary zgodnie z punktem 1.4. Otrzymane wyniki zanotować w tabeli 2. Powtórzyć dla wzmocnienia 1.

- 1.6. Potencjometr Ref_1 należy ustawić w położenie „minimum” i wyłączyć zasilanie stanowiska dydaktycznego.
- 1.7 Dla poszczególnych punktów pomiarowych należy obliczyć prędkości obrotowe oraz wykreślić charakterystykę prędkości obrotowej w funkcji napięcia regulowanego. Przeanalizować wyniki i sformułować wnioski



Rys.18. Schemat podłączenia stanowiska laboratoryjnego do punktu pomiarowego nr 1.

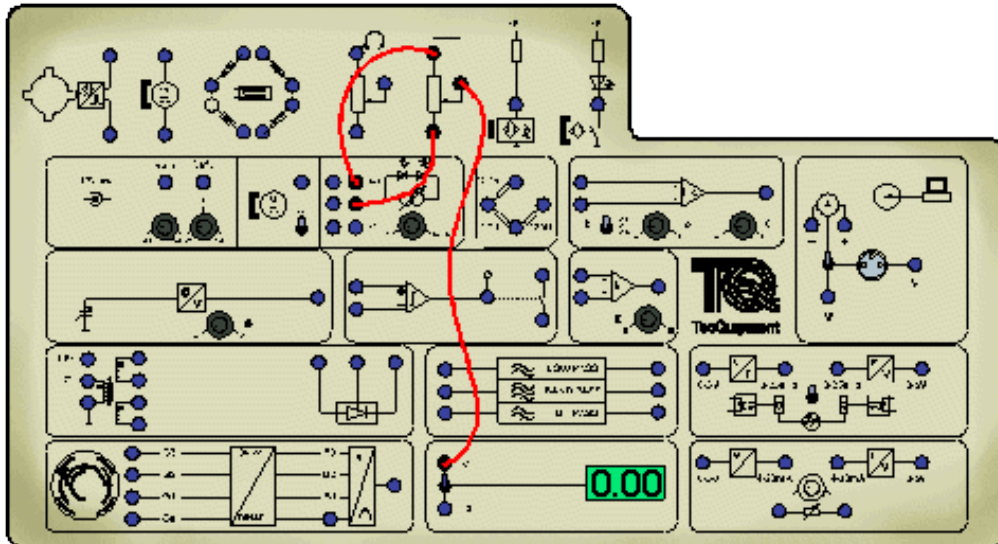
Tabela.2.

Ref ₁ [V]	Częstotliwość [Hz] dla K=100		Częstotliwość [Hz] dla K=10		Częstotliwość [Hz] dla K=1	
	Miernik	Oscyloskop	Miernik	Oscyloskop	Miernik	Oscyloskop
0,5						
1						
1,5						
2						
2,5						
3						
3,5						
4						
4,5						
5						

6.2 Pomiar przemieszczenia liniowego za pomocą potencjometru liniowego

Celem tej części ćwiczenia jest przebadanie potencjometru liniowego do pomiaru przemieszczeń w **czterech różnych układach pomiarowych**, dla każdego układu należy przygotować oddzielną tabelę na wyniki pomiarowe.

- 2.1. Używając dołączonych do stanowiska przewodów należy połączyć układ pomiarowy zgodnie ze schematem przedstawionym na rysunku 19. Układ połączeń odpowiada potencjometrowi w układzie dzielnika napięcia.



Rys. 19. Schemat połączeń potencjometru.

- 2.2. Używając pokrętki należy przemieścić trzpień w prawe skrajne położenie. Dla tego położenia trzpienia należy ustalić zerowe położenie tarczy ze skalą względem krawędzi obudowy przekładni.
- 2.3 Następnie z krokiem 1mm (jeden pełen obrót skali) należy przemieszczać trzpień w lewo zapisując w Tabeli 3 odczytane dla każdego zatrzymanego położenia wartości napięć. Powtórzyć pomiary przemieszczając trzpień od lewego do prawego skrajnego położenia. **Aby wyniki były poprawne dla całego zakresu ruchu trzpienia kierunek obrotu pokrętki i skali musi być niezmienny.**
- 2.4 Określić próg pobudliwości dla badanego układu. W tym celu należy ustawić trzpień w jego środkowym położeniu i dla tego położenia określić minimalną wartość przemieszczenia wywołującą zmianę wskazań wskaźnika; wartość tego minimalnego przemieszczenia należy odczytać ze skali na tarczy. Wykonać 10 takich pomiarów a wynik przedstawić w postaci:

$$Pp = \bar{P}p \pm \sigma\bar{p}$$

gdzie:

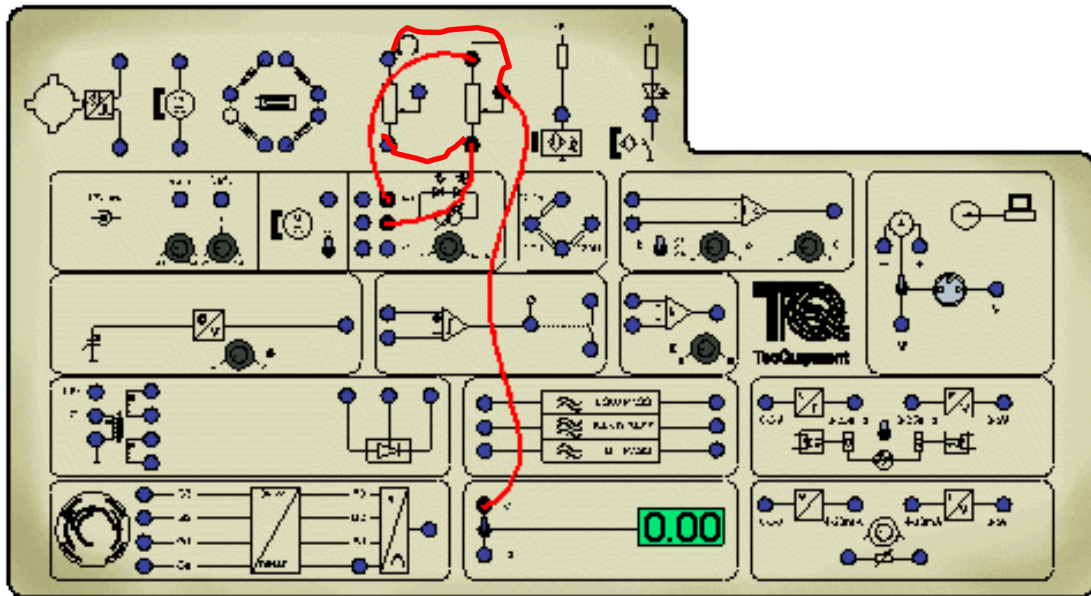
$\bar{P}p$ -średnia z pomiarów,

$\sigma\bar{p}$ - odchylenie standardowe średniej

Tabela 3.

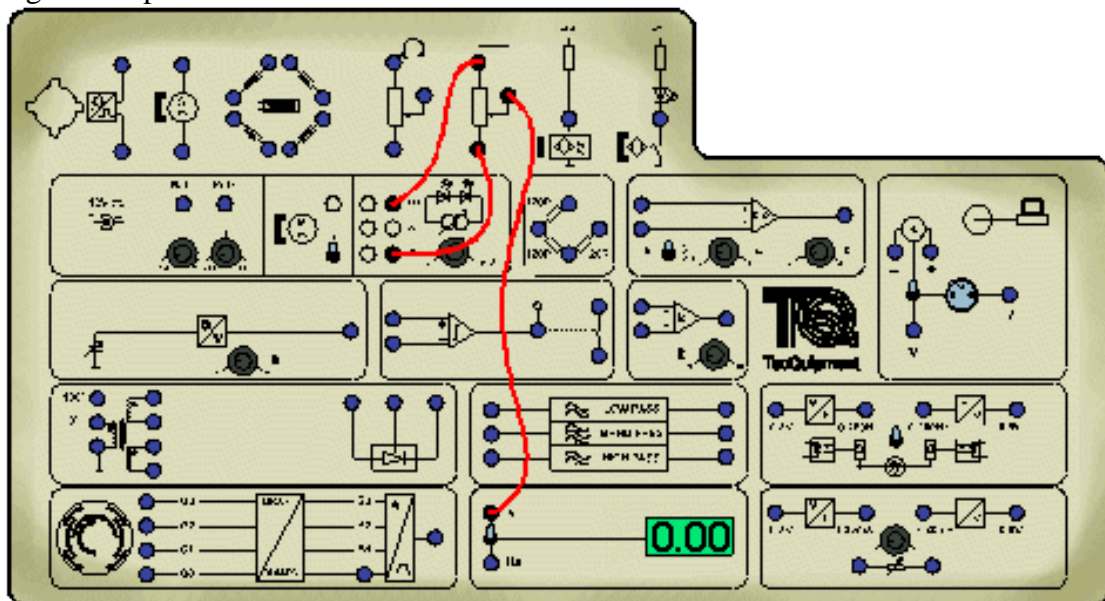
Lp	Przemieszczenie [mm]	Napięcie (przemieszczenie w lewo) [V]	Napięcie (przemieszczenie w prawo) [V]	Lp	Próg pobudliwości [mm]
1				1	
2				2	
3				3	
4				4	
5				5	
6				6	
7				7	
8				8	
9				9	
10				10	
				$\bar{P}p$	

2.5 Następnie należy przebadać potencjometr w układzie z obciążeniem. W tym celu należy połączyć układ zgodnie z Rys. 20 i wykonać czynności zgodnie z punktami 2.2-2.4



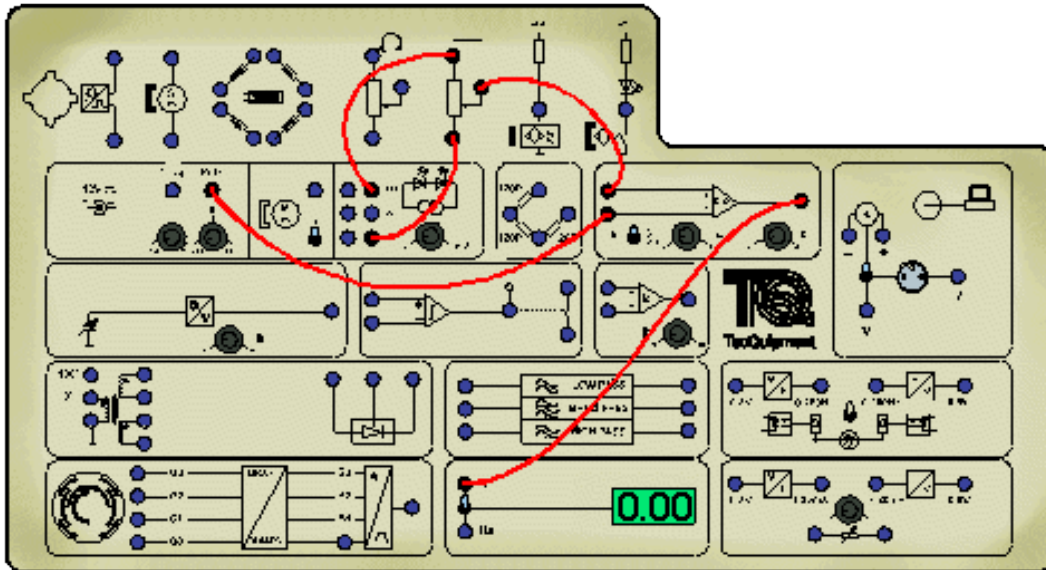
Rys. 20. Schemat połączeń stanowiska potencjometru w układzie z obciążeniem.

2.6 Kolejnym układem pomiarowym jest potencjometr w układzie dwubiegunowym. W celu wykonania pomiarów należy połączyć układ zgodnie z Rys. 21 i wykonać czynności zgodnie z punktami 2.2-2.4



Rys. 21. Schemat połączeń stanowiska potencjometru w układzie dwubiegunowym.

2.7 Ostatnim układem pomiarowym jest potencjometr w układzie dwubiegunowym ze wzmacniaczem. W celu wykonania pomiarów należy połączyć układ zgodnie z Rys. 22. Wzmocnienie wzmacniacza należy ustawić na poziomie 1. W układzie tym możliwe jest wyzerowanie sygnału wyjściowego dla trzpienia w skrajnym prawym położeniu poprzez zastosowanie napięcia odniesienia, o odpowiednio dobranej wartości, podanego na drugie wejście wzmacniacza. Wartość tę należy dobrać za pomocą potencjometru Ref₂. Po wyzerowaniu wskazań wskaźnika należy wykonać czynności zgodnie z punktami 2.2-2.4



Rys. 22. Schemat połączeń stanowiska potencjometru w układzie ze wzmacniaczem.

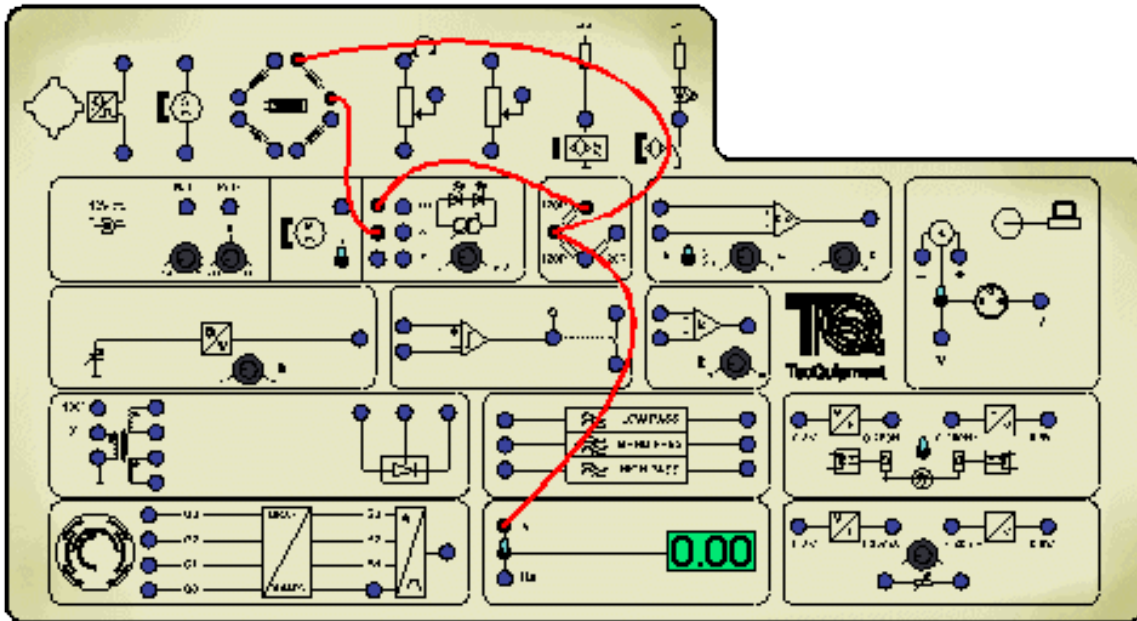
- 2.8. Dla każdego z układów pomiarowych na podstawie teorii dotyczącej potencjometrów, należy narysować schemat układu pomiarowego (NIE JEST TO SCHEMAT POŁĄCZEŃ ZAMIESZCZONY W INSTRUKCJI!) oraz ocenić charakter linii, którą powinniśmy otrzymać. Następnie wykreślić charakterystykę statyczną przetwornika (wykres skalowania). Określić histerezę i nieliniowość. Wyjaśnić przyczynę wystąpienia tych błędów. Dla charakterystyk liniowych znaleźć równanie prostej metodą regresji liniowej; wykreślić tę prostą, wyznaczyć czułość. Na podstawie opracowanych wyników pomiarów dokonać porównania różnych układów pomiarowych potencjometru liniowego.

6.3 Pomiar przemieszczenia liniowego za pomocą przetworników tensometrycznych

Na stanowisku SIS zastosowano 4 tensometry o nominalnej rezystancji 120Ω każdy, przyklejone do elastycznej belki, której wolny koniec przemieszcza się w czasie wysuwania i wsuwania trzpienia. Przy przemieszczaniu trzpienia belka wygina się, a tensometry ulegają odkształceniom. Z każdej strony belki przyklejono po dwa tensometry co powoduje, że w czasie odchylenia belki w jedną stronę dwa z nich są rozciągane (ich rezystancja rośnie) a dwa ściskane (ich rezystancja maleje). Zmiana kierunku odchylenia belki powoduje odwrócenie kierunku naprężeń w tensometrze.

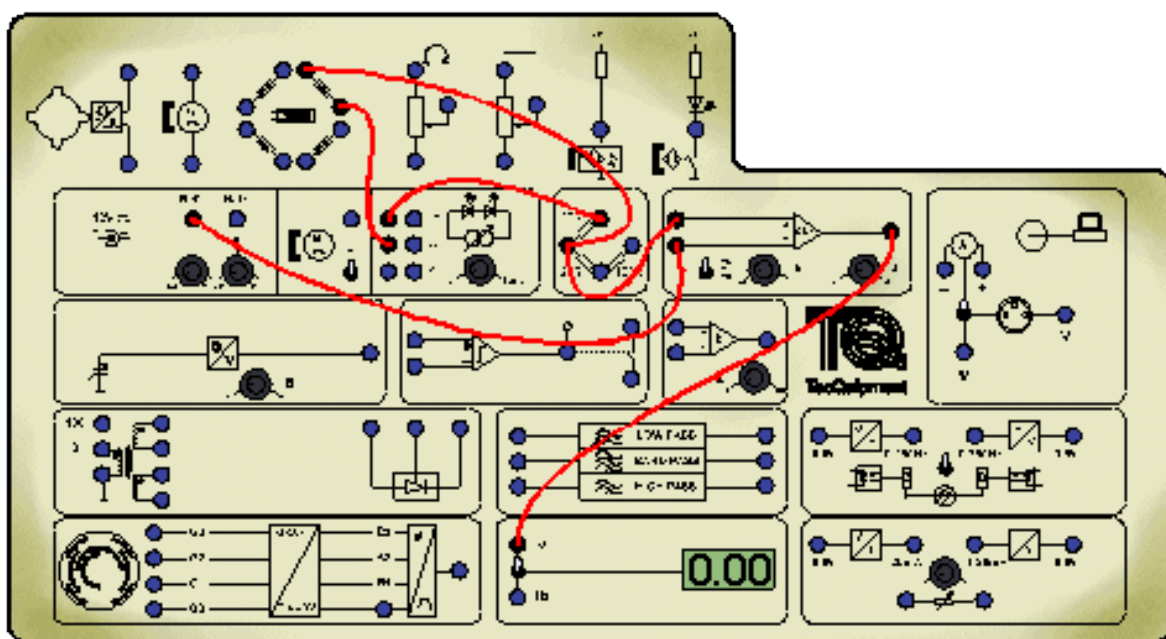
Celem tej części ćwiczenia jest ocena właściwości przetwornika tensometrycznego w **czterech różnych układach pomiarowych** do pomiaru przemieszczenia liniowego. Dla każdego układu należy przygotować oddzielną tabelę na wyniki pomiarowe.

- 3.1 Celem pierwszego eksperymentu jest określenie właściwości tensometru w układzie dzielnika napięcia. Korzystając z elementów dostępnych na płycie czołowej stanowiska należy wykonać układ połączeń przedstawiony na rysunku 23. Następnie, obracając powoli pokrętkiem należy przemieszczać trzpień ze skrajnego prawego położenia w lewo.. Uwzględniając wartość napięcia zasilania $V_{zas}=5V$ oraz biorąc pod uwagę nominalną wartość R_t odczytana wartość powinna wynosić ok. $2,5V$. Odczytana wartość napięcia w całym zakresie zmian położenia trzpienia zmienia się niewiele lub wcale. **Należy w sprawozdaniu określić przyczynę tej sytuacji.**



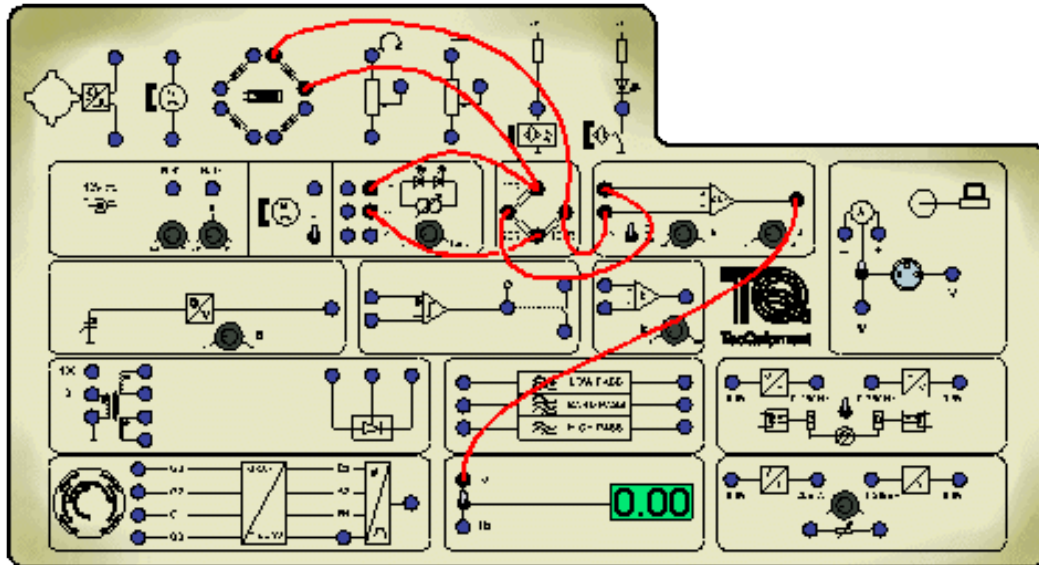
Rys. 23. Schemat połączeń stanowiska tensometru w układzie dzielnika napięcia.

3.2 W celu wzmocnienia sygnału pomiarowego sygnał wyjściowy należy podać na wejście wzmacniacza. Układ pomiarowy należy zmodyfikować do postaci przedstawionej na rysunku 24. Dla trzpienia ustawionego w prawym skrajnym położeniu, przy maksymalnym wzmocnieniu wzmacniacza $k_1k_2 = 100$, należy potencjometrem Ref₁ doprowadzić do ustalenia możliwie bliskiej zera wartości napięcia wskazywanego na wskaźniku. Następnie potencjometrem „offsetowania” zera wzmacniacza doprowadzić do wyzerowania wskazań. W tym przypadku sygnał wyjściowy (napięcie wskazywane przez wskaźnik), jest wzmocnioną różnicą dwóch sygnałów wejściowych podawanych na wejście wzmacniacza: spadku napięcia na tezystancji tensometru i ustalonej wartości napięcia odniesienia. Zmiana napięcia na wyjściu wzmacniacza może być więc spowodowana jedynie przez zmianę spadku napięcia na tensometrze w wyniku zmiany jego rezystancji. Następnie należy wykonać pomiary tak jak w punktach 2.2-2.4.



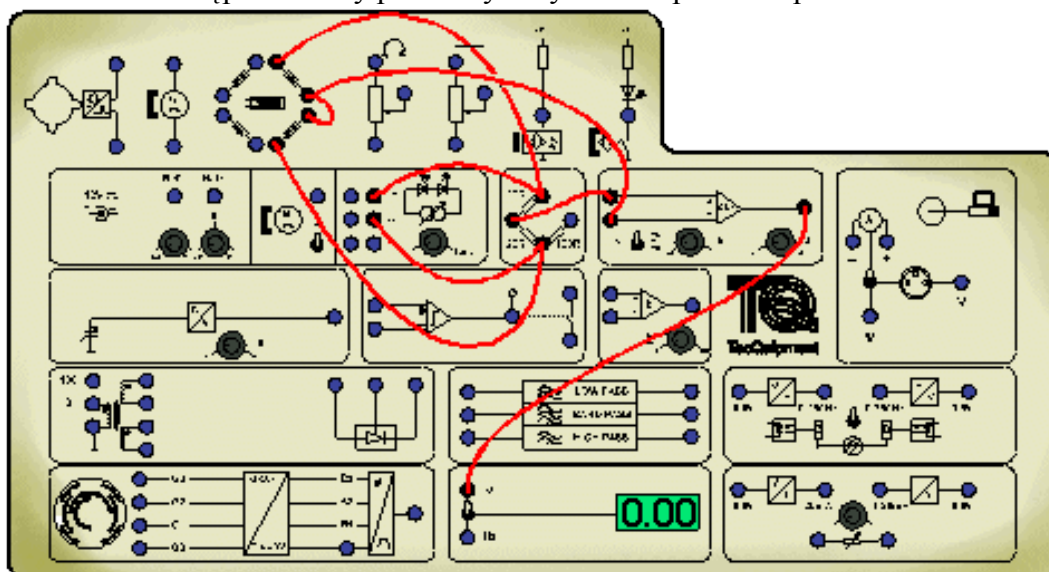
Rys. 24. Schemat połączeń stanowiska tensometru w układzie dzielnika napięcia ze wzmacniaczem.

- 3.3. Kolejny układ pomiarowy to ćwierć-mostek tensometryczny, który jest typowym przykładem mostka Wheatstone'a. Sygnał z przekątnej pomiarowej mostka podawany jest w przedstawionym układzie na wejście wzmacniacza. Zmiana rezystancji tensometru powoduje zmianę napięcia podawanego na jedno wejście wzmacniacza podczas gdy na drugie wejście podawane jest stałe napięcie z drugiego ramienia mostka zamiast wcześniej podawanego napięcia odniesienia. Należy połączyć układ zgodnie ze schematem przedstawionym na rysunku 25. Wyzerować wartość napięcia tak jak w punkcie 3.2. Następnie należy powtórzyć czynności opisane w punktach 2.2-2.4.



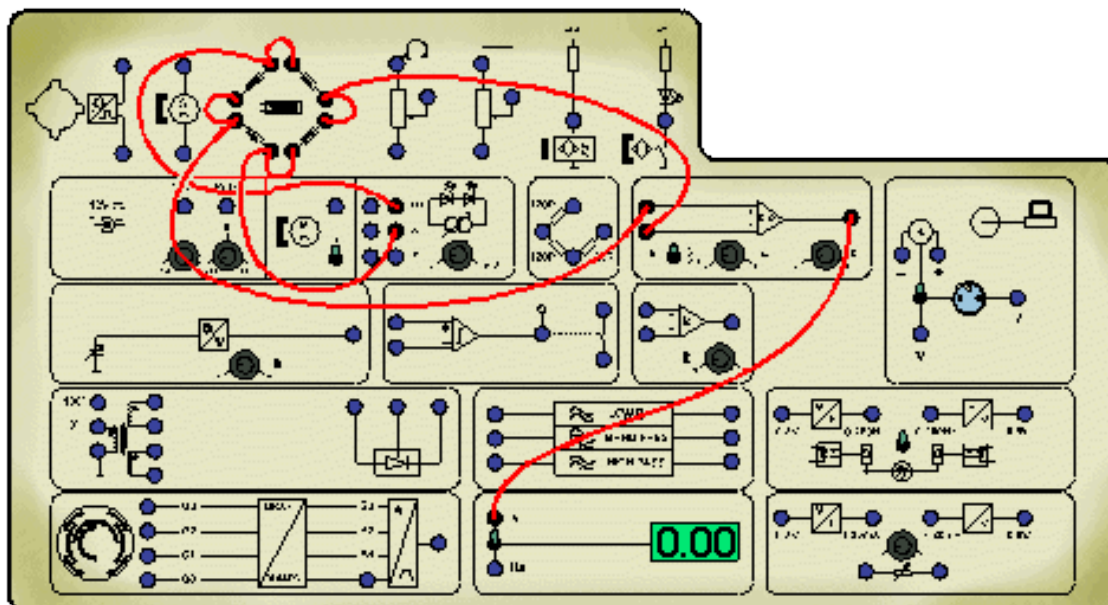
Rys. 25. Schemat połączeń stanowiska tensometru w układzie ćwierćmostka.

- 3.4 Mostek w postaci półmostka tensometrycznego jest rozwinięciem prostego mostka Wheatstone'a. Jeden z tensometrów jest zawsze rozciągany a drugi – ściskany, niezależnie od kierunku ruchu trzpienia. Zmiany napięcia wyjściowego są wywołane przez zmiany rezystancji w obu połączonych tensometrach. Ramię mostka o ustalonej wartości rezystancji stanowi źródło napięcia odniesienia, z którym porównywane jest napięcie wyjściowe z ramienia tensometrów. Należy połączyć układ zgodnie ze schematem przedstawionym na rysunku 26. Wyzerować wartość napięcia tak jak w punkcie 3.2. Następnie należy powtórzyć czynności opisane w punktach 2.2-2.4.



Rys. 26. Schemat połączeń stanowiska tensometru w układzie półmostka.

3.5 W ostatniej części ćwiczenia przebadany zostanie układ tensometrów w postaci pełnego mostka czasie ruchu trzpienia i wyginania elastycznej belki zmienia się napięcie w obu ramionach mostka, przy czym zawsze w jednym ramieniu rośnie a w drugim maleje. Ich różnica po wzmocnieniu stanowi sygnał wyjściowy pełnego mostka tensometrycznego. Należy połączyć układ zgodnie ze schematem przedstawionym na rysunku 27 Wyzerować wartość napięcia tak jak w punkcie 3.2. i powtórzyć czynności opisane w punktach 2.2-2.4.



Rys. 26. Schemat połączeń stanowiska tensometru w układzie pełnego mostka.

3.6. Dla każdego z układów pomiarowych na podstawie teorii dotyczącej tensometrów, należy narysować schemat układu pomiarowego (NIE JEST TO SCHEMAT POŁĄCZEŃ ZAMIESZCZONY W INSTRUKCJI!) oraz ocenić charakter linii, którą powinniśmy otrzymać. Następnie wykreślić charakterystykę statyczną przetwornika (wykres skalowania). Określić histerezę i nieliniowość. Wyjaśnić przyczynę wystąpienia tych błędów. Dla charakterystyk liniowych znaleźć równanie prostej metodą regresji liniowej; wykreślić tę prostą, wyznaczyć czułość. Na podstawie opracowanych wyników pomiarów dokonać porównania różnych układów pomiarowych przetwornika tensometrycznego.

Literatura:

- [1] T. Grzegorzczak, J. Janiszewski, R. Trębiński: „Metrologia i teoria eksperymentu”, skrypt WAT, Część 1 i 2.
- [2] A.Chwaleba, M. Poniński, A. Siedlecki: „Metrologia elektryczna”, WNT,
- [3] Hewlett-Packard/Agilent „54600/1/2/3B Oscilloscope User &Service Guide”