

Budowa współczesnych wag elektronicznych

Aktualnie na rynkach światowych dominują głównie wagi wykorzystujące trzy rodzaje mechanizmów pomiarowych. Są to wagi tensometryczne, magnetoelektryczne oraz wibracyjne. Ich też dotyczy niniejsze opracowanie.

Pozostałe typy wag produkowane są w śladowych ilościach, bądź też całkowicie zaprzestano ich produkcji. Dlatego w tej dokumentacji nie bierzemy ich pod uwagę.

Przetworniki tensometryczne

Przetworniki tensometryczne są najpopularniejszym elementem pomiarowym wykorzystywanym do szybkich pomiarów w przemyśle. Są to czujniki przeznaczone do pomiarów naprężenia mechanicznego. Tensometr jest wykonany z metalowego drutu. Zmiana rezystancji dR tensometru jest proporcjonalna do naprężenia mechanicznego:

$$dR = kRe = kR \frac{\sigma}{E},$$

gdzie:

R - rezystancja tensometru bez naprężeń,

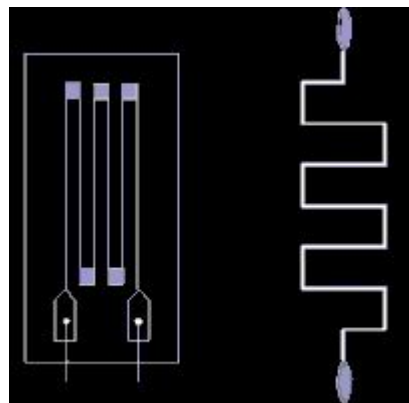
k - stała tensometryczna czujnika,

e - wydłużenie względne,

s - naprężenie,

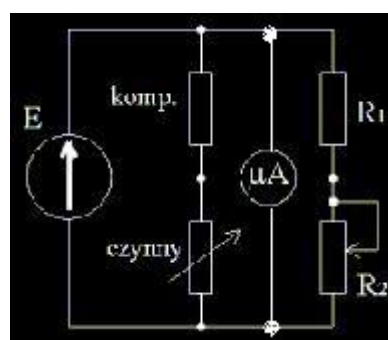
E - moduł sprężystości Younga.

Maksymalna zmiana rezystancji wynika z wartości stałej tensometru k oraz wydłużenia względnego (e) w zakresie odkształceń sprężystych. Materiały wykorzystywane do budowy tensometrów charakteryzują się małą wartością współczynnika temperaturowego rezystancji. Najczęściej stosuje się stopy takie jak: konstantan, nichrom, manganin, chromel. Istnieje kilkadziesiąt typów tensometrów rezystancyjnych, które różnią się min. wymiarami geometrycznymi, wartością rezystancji spoczynkowej (niskoomowe od 100 do 200 Ohm, wysokoomowe od 500 Ohm do 5 kOhm) oraz rodzajem folii izolacyjnej.



Rys. 1 Przykładowe rodzaje tensometrów rezystancyjnych

Tensometr najczęściej pracuje w układzie mostka Wheatstone'a. W układzie tym, oprócz tensometru czynnego stosuje się tensometr kompensacyjny, którego zadaniem jest ograniczenie wpływu temperatury na pomiar. Tensometr kompensacyjny nie może być poddany mierzonym naprężeniom i powinien znajdować się w tej samej temperaturze co tensometr czynny. Tensometry poprzeczne zmieniają swoją rezystancję tylko pod wpływem temperatury.



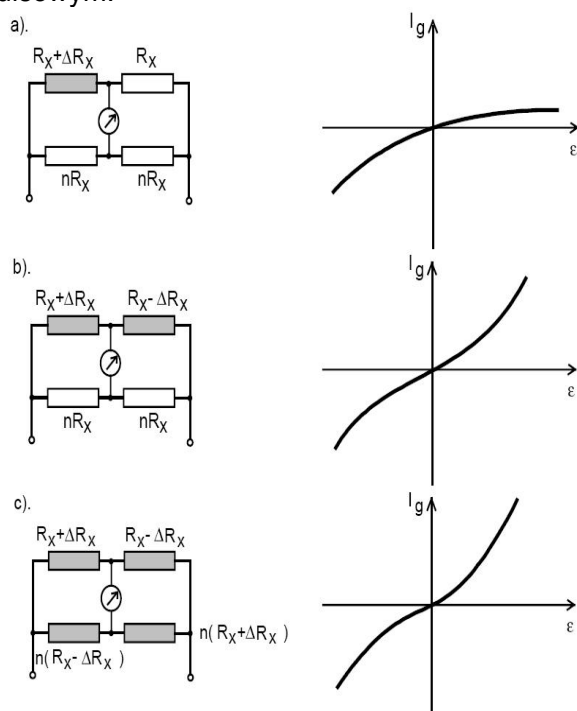
Rys. 2 Przykładowy schemat mostka Wheatstone'a

Przy pomiarach małych sił lub małych naprężeń stosuje się tensometry półprzewodnikowe, których czułość jest ok. stu razy większa niż tensometrów metalowych. Tensometry półprzewodnikowe są wrażliwe na zmiany temperatury i nie nadają się do pomiarów dokładnych.

Na rysunku poniżej przedstawiono trzy przypadki włączenia tensometrów w układ mostka (na rysunku szare rezystory). Przypadek przedstawiony na rys. a jest praktycznie nie stosowany, gdyż charakteryzuje się najniższą czułością względną ($S=0.25$) oraz dużą nieliniowością charakterystyki przetwarzania i brakiem kompensacji wpływu temperatury na rezystancję tensometru. Układ ten jest znany w literaturze jako układ ćwierćmostka.

Rys. b przedstawia jeden z przypadków układu półmostka. Występujące w nim tensometry charakteryzują się tym, że na każdy z nich działają naprężenia o przeciwnych kierunkach (np. ściskanie i rozciąganie). Układ taki charakteryzuje się dwukrotnie większą czułością względną ($S=0.5$), mniejszą nieliniowością oraz kompensacją wpływu temperatury na rezystancję tensometru.

Układ trzeci (rys. c) jest układem o największej wartości czułości względnej ($S=1$). W układzie tym występują dwa tensometry o dodatnim kierunku zmian rezystancji i dwa o ujemnym kierunku zmian rezystancji. Układ pełnego mostka zapewnia również kompensację wpływu temperatury na rezystancję tensometru. Każdy z tych mostków może być zasilany napięciem stałym, napięciem przemiennym (sinusoidalnym) lub przebiegiem impulsowym.



Rys. 3 Układy pracy mostków tensometrycznych
a) z jednym tensometrem – układ ćwierćmostka;
b) z dwoma tensometrami – układ półmostka;
c) z czterema tensometrami – układ pełnego mostka

Zachowując liniowość przyrostu oporu elektrycznego do przyrostu wydłużenia otrzymujemy precyzyjne narzędzie do zamiany odkształceń mechanicznych na sygnał elektryczny.

Element pomiarowy jest oczywiście zabezpieczony przed ingerencją wilgoci i działań mechanicznych, stąd wynikają stopnie ochrony IP podawane przez producentów.

Przetwornik tensometryczny posiada cztery wyprowadzenia (system 4-przewodowy) lub sześć (system 6-przewodowy). W każdym z tych systemów 4 przewody pełnią tę samą funkcję: 2 żyły zasilania i 2 do wyprowadzenia sygnału. Pozostałe 2 żyły w systemie 6-przewodowym umożliwiają dokładny pomiar napięcia zasilającego mostek, pomniejszonego o spadek napięcia na przewodach zasilających. Zabieg ten pozwala praktycznie uniezależnić się od długości wyprowadzeń tensometru (przy systemie 4-przewodowym jest to około 3m).

Przetworniki tensometryczne umożliwiają budowę urządzeń wagowych o rozdzielczościach $500 \leq n \leq 100.000$, gdzie:

$$n = \frac{Q_{\max}}{d}$$

przy oznaczeniach:

Q_m – wartość maksymalnego obciążenia
 d – wielkość działki elementarnej

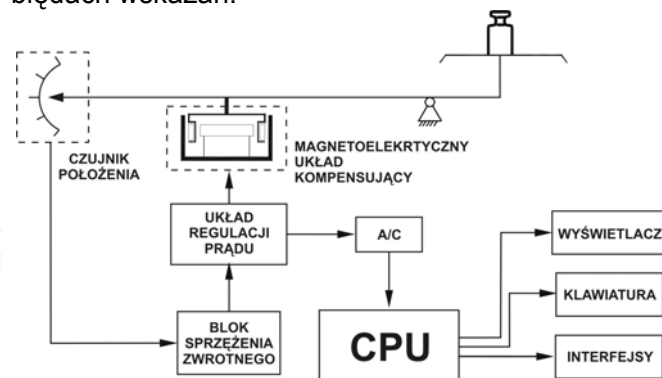
Zakres mierzonych wartości zawiera się od pojedynczych gramów do kilkudziesięciu ton.

Wagi tensometryczne marki RADWAG:

- Wagi przemysłowe
- Wagi medyczne
- Systemy wagowe

Przetworniki magnetoelektryczne

W wagach tych siła nie powoduje ugięcia zespołu mechanicznego prostowodu co umożliwia uzyskanie dużych rozdzielczości przy małych błędach wskazań.



Rys. 4 Schemat blokowy wagi z kompensacją magnetoelektryczną

Zasada działania jest następująca. Siła pochodząca od położonej na szalce masy jest równoważona przez siłę pochodzącą od cewki z prądem, usytuowanej w polu magnetycznym. Wielkością prądu płynącego w cewce steruje odpowiedni blok sprzężenia zwrotnego, na podstawie sygnału z czujnika położenia. Blok ten zawiera min. regulator PID dostosowujący parametry sygnału sterującego cewką do właściwości mechanizmu wagi. W konsekwencji położenie szalki pozostaje niezmiennie.

Wielkość prądu przekształcana jest na napięcie odkładane na bardzo dokładnym rezystorze pomiarowym. Wartość tego napięcia przetwarzana jest w przetworniku A/C na sygnał cyfrowy, który podlega jeszcze cyfrowej filtracji w zaawansowanych filtrach cyfrowych. Rozdzielczości przetworników A/C stosowanych w wagach dochodzą do 24 bitów czyli 16 mln działek.

Przy tak ogromnych rozdzielczościach konieczne jest zastosowanie kompensacji temperaturowej wag, ponieważ wartości parametrów temperaturowych podzespołów mechanicznych i elektronicznych są o rząd lub dwa rzędy wielkości wyższe niż rozdzielczość wagi.

Obecnie zaawansowane rozwiązania wag działają w oparciu o impulsową metodę pomiaru. W rozwiązaniu tym cewka zasilana jest prądem impulsowym. Pozwala to na usunięcie pewnych wad mechanicznych konstrukcji wagi a w konsekwencji pozwala osiągnąć wyższe dokładności ważenia. Metoda ta nie wykorzystuje przetwornika A/C ponieważ cewka sterowana jest bezpośrednio przez mikroprocesor, którego sygnał sterujący zawiera już informację o ważonej masie.

W/w rozwiązanie oparte jest na rozbudowanej dziedzinie cyfrowego przetwarzania sygnałów. Do praktycznej realizacji wymaga ona bardzo zaawansowanych implementacji sprzętowych, wykorzystujących min. procesory sygnałowe DSP.

Najnowsze rozwiązania laboratoryjnych wag RADWAG (XA i AS) działają w oparciu o metodę impulsową.

Przy stosowaniu tej metody ważenia nie należy zapominać, że:

$$F = m \cdot g ,$$

gdzie:

F – siła

m – masa

g – przyspieszenie ziemskie

Konsekwencją tego jest wpływ zmiany przyspieszenia ziemskiego na wskazania wagi, co oznacza różne wskazania wagi po przeniesieniu jej w inne miejsce, w którym zmieni się wartość „g”. Tę niedogodność likwiduje układ automatycznej adjustacji wewnętrznej, korygujący wskazania względem stałej masy odważnika zabudowanego w wadze.

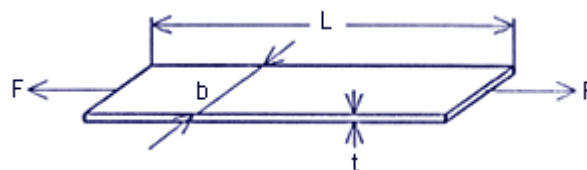
Wagi magnetoelektryczne marki RADWAG:

- Wagi analityczne
- Wagi precyzyjne (większość modeli)
- Systemy jubilerskie
- Wagi apteczne
- Wagosuszarki
- Kompartory małych i średnich mas

Przetworniki wibracyjne

Rysunek 6 przedstawia zasadę działania prostego czujnika sił wibrujących. Ogólnie mówiąc, naturalna wibracja dźwigaru wibratora pokazanego na rysunku jest obliczana jako:

$$F = A (1 + B \times F)$$

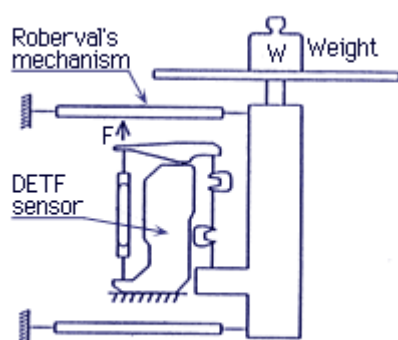
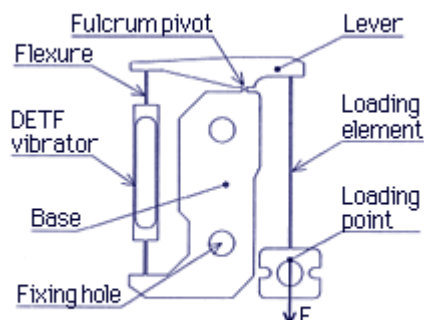


Rys. 5 Zasada działania prostego czujnika sił wibrujących

A i B są stałymi, określonymi przez wymiary dźwigaru wibratora (L, b oraz t jak na rys. 6), przedstawiającymi gęstość materiału oraz współczynnik Young'a. Dźwigar wibratora jest wykonany z metalu, tak więc, jego wymiary i gęstość są stałe. Dodatkowo, współczynnik Young'a jest także stabilny, ponieważ zastosowano specjalny, elastyczny materiał, którego błędy temperaturowe są mniejsze niż 10 ppm/°C. Wskutek tego, częstotliwość dźwigara wibratora jest wystarczająco stabilna dla osiągnięcia doskonałej dokładności ważenia.

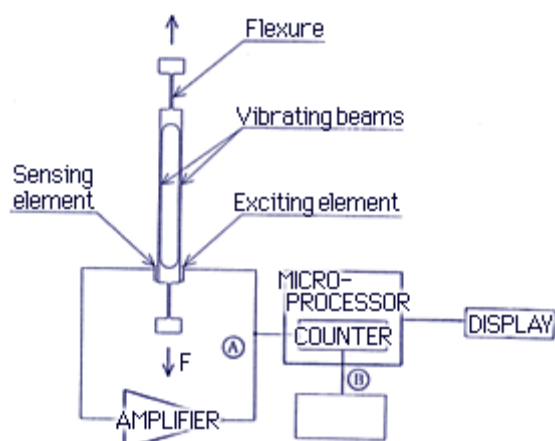
Czujnik dostrajania wibracji jarzemka jest ukształtowany tak, jak dwoje widełek strojących, używanych do strojenia instrumentów muzycznych, ustawionych do góry nogami. Co więcej, dźwignia (LEVER) oraz punkt podparcia (FULCRUM) są także połączone tak, że układ może być używany jako przetwornik siły lub masy.

Rysunek 6 przedstawia w uproszczeniu zasadę działania przetwornika wibracyjnego.



Rys. 6 Uproszczona zasada działania przetwornika wibracyjnego

Rysunek 7 pokazuje wagę wyposażoną w system dostrajania jarzemka. Czujnik ma dwa piezoceramiczne elementy, umieszczone blisko dolnych końców wibrujących dźwigarów. Ich rola jest podtrzymanie wibracji. Jeden działa jako wzmacniacz wibracji, drugi natomiast mierzy sygnał.



Rys. 7 Schemat wagi wyposażonej w system dostrajania jarzemka

Jedną z głównych zalet jest bardzo mały pobór prądu oraz brak przetwornika A/C w torze pomiarowym. Dużą zaletą jest możliwość zastosowania w strefach wybuchowych.

Nie mniej istotne jest, że punkt zerowy oraz czułość są bardzo stabilne przy zmianach temperatury. To oznacza, że czas nagrzewania nie występuje, natomiast kalibracja nie jest wymagana, jeśli uwzględniono odpowiednią wartość współczynnika grawitacji w miejscu użytkowania.

Porównanie metod pomiarowych najczęściej stosowanych w wagach elektronicznych

Przetwornik tensometryczny	Przetwornik magnetoelektryczny	System wibracyjny
Niskie koszty wykonania	Wyższe koszty wykonania niż wag tensometrycznych	Koszty wykonania na średnim poziomie
Prosta budowa	Skomplikowana budowa	Budowa bardziej zaawansowana od wag tensometrycznych
Niezawodna praca	Niezawodna praca	Niezawodna praca
Liniowa zależność sygnału wyjściowego od wejściowego	Nieliniowa zależność sygnału wyjściowego od wejściowego	Nieliniowa zależność sygnału wyjściowego od wejściowego
Rozdzielczość do 100 000 działek	Rozdzielczość do 100 000 000 działek	Rozdzielczość do 100 000 działek
Zakres ważenia od pojedynczych gramów do kilkudziesięciu ton	Zakres ważenia od ułamków mikrograma do kilkuset kilogramów	—
—	Mała wartość histerezy	—
—	—	Nie występuje czas inicjalizacji (nagrzewania) w związku z bardzo małym poborem prądu.
—	—	Łatwość zastosowania w strefach zagrożonych wybuchem