



LABORATORIUM
POMIARU WIELKOŚCI NIEELEKTRYCZNYCH
METODAMI ELEKTRYCZNYMI

POMIARY PRZEMIESZCZEŃ LINIOWYCH I KĄTOWYCH

POMIARY PRZEMIESZCZEŃ LINIOWYCH I KĄTOWYCH

1. Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest poznanie metod pomiaru przemieszczeń liniowych i kątowych z wykorzystaniem czujników indukcyjnościowych, impulsowych i cyfrowych oraz pomiar charakterystyk statycznych tych czujników.

2. Podstawy teoretyczne

2.1. Wprowadzenie

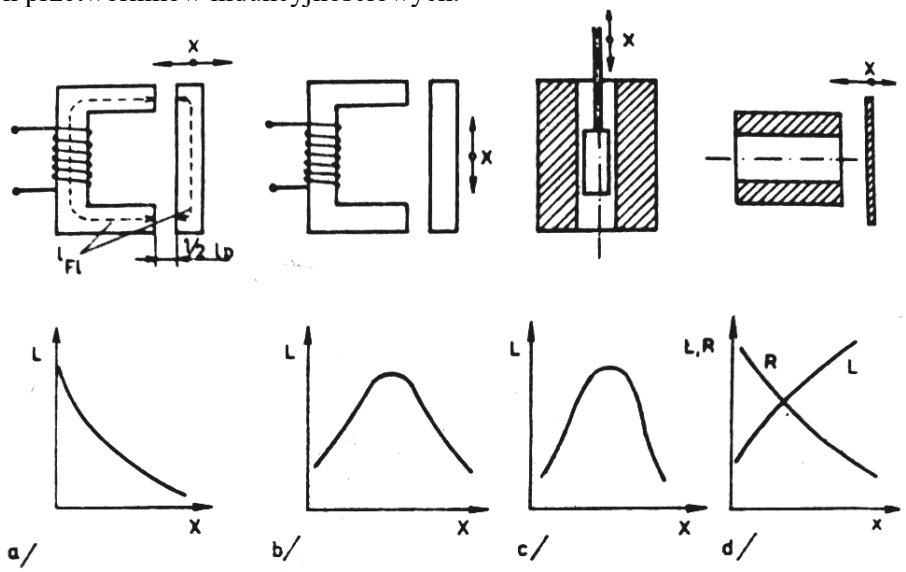
Przemieszczenia liniowe są związane z ruchem postępowym, a przemieszczenia kątowe z ruchem obrotowym ciała. W przypadku pomiaru przemieszczeń w stosunku do pewnego nieruchomego układu odniesienia, mówi się o przemieszczeniach względnych, w przypadku przyjęcia układu odniesienia masy sejsmicznej w czujniku sejsmicznym - mówi się o przemieszczeniach bezwzględnych, a metodę pomiaru nazywa się absolutną.
W ćwiczeniu zajmujemy się pomiarami przemieszczeń względnych.

Zakres wartości mierzonych przemieszczeń liniowych zawiera się od części milimetra do metrów, a zakres wartości przemieszczeń kątowych $1 \cdot 10^{-5}$ rad do wielokrotności radianów. Wymagane dokładności są bardzo różne, od najwyżej osiągalnych (rzędu 0,001% mierzonej wielkości) do normalnych technicznych (1 - 2%). Dokładności najwyższe uzyskuje się wykorzystując do pomiaru czujniki impulsowe i cyfrowe.

2.2. Czujniki przemieszczeń liniowych i kątowych

2.2.1. Czujniki indukcyjnościowe

W czujnikach indukcyjnościowych wykorzystuje się zależność zmiany indukcji własnej L obwodu magnetycznego od zmian przesunięcia liniowego x lub kątowego α. Na rys. 1. przedstawiono zasadę, działania różnych przetworników indukcyjnościowych.



Rys. 1. Zasada działania i charakterystyki przetwarzania podstawowych przetworników indukcyjnościowych: a) dławikowego o zmiennej długości szczeliny, b) dławikowego o zmiennej powierzchni szczeliny, c) solenoidalnego, d) wiroprądowego.

W przetwornikach dławikowych indukcyjność L można zmieniać zmieniając długość szczeliny l_p (rys. 1. a) lub powierzchnię szczeliny (rys. 1. b). W przetwornikach solenoidalnych indukcyjność zmienia się wskutek zmian strumienia skojarzonego z cewką przy przesuwaniu rdzenia (rys. 1. c). Przetworniki wiroprądowe

(rys. 1 d) mogą pracować jako indukcyjnościowe i rezystancyjne. Jeżeli przez cewkę płynie prąd przemienny, to w przewodzącej tarczy indukują się prądy wirowe o natężeniu zależnym od odległości x. Strumień magnetyczny prądów wirowych osłabia pole własne cewki, Zmniejszając jej intuicyjność L przy zbliżaniu tarczy. Jednoczenie zbliżenie tarczy powoduje wzrost natężenia prądów wirowych, a więc i wzrost strat energetyczny i rezystancji R cewki.

Indukcyjność przetworników o zamkniętych obwodach (rys. 1. a) i b) można wyrazić za pomocą zależności:

$$L = \frac{n^2}{R_\mu} \tag{1}$$

przy czym:

R_μ – reluktancja obwodu magnetycznego,

n – liczba zwojów cewki.

W najprostszym obwodzie magnetycznym reluktancja jest sumą reluktancji szczeliny $R_{\mu p}$ i rdzenia $R_{\mu Fe}$

$$R_{\mu p} = \frac{l_p}{\mu_o \cdot s_p} \tag{2}$$

$$R_{\mu Fe} = \frac{l_{Fe}}{\mu_o \cdot \mu \cdot s_{Fe}} \tag{3}$$

Indukcyjność cewki wyraża się wzorem:

$$L = \frac{n^2}{\frac{l_p}{\mu_o \cdot s_p} + \frac{l_{Fe}}{\mu_o \cdot \mu \cdot s_{Fe}}} \tag{4}$$

przy czym:

l_p, s_p – długość i przekrój szczeliny,

l_{Fe}, s_{Fe} – średnia droga strumienia w rdzeniu i przekrój rdzenia,

μ_0, μ – przenikalność magnetyczna próżni i względna materiału rdzenia.

W zależności (4) nie uwzględniono magnetycznych strumieni rozproszenia. Impedancję cewki przetwornika można zapisać jako:

$$Z = R + j\omega \cdot L = R + j\omega \cdot \frac{n^2}{\frac{l_p}{\mu_o \cdot s_p} + \frac{l_{Fe}}{\mu_0 \cdot \mu \cdot s_{Fe}}} \tag{5}$$

Dla stosowanych materiałów ferromagnetycznych rdzeni przetwornika $\mu_0\mu \gg \mu_0$, $R_{Fe} \ll R_{\mu p}$ i zależności (4) i (5) można zapisać w postaci

$$L = n^2 \cdot \mu_o \cdot s_p \cdot \frac{1}{l_p} \tag{6}$$

$$Z = R + j\omega \cdot n^2 \cdot \mu_o \cdot s_p \cdot \frac{1}{l_p} \tag{7}$$

Z zależności (6) i (7) wynika, że zarówno indukcyjność L jak i impedancja cewki przetwornika Z jest funkcją hiperboliczną długości szczeliny powietrznej.

Jedną z metod linearyzacji charakterystyki przetwarzania czujnika jest odpowiedni dobór zakresu zmian szczeliny i wartości szczeliny początkowej.

Jeżeli organ ruchomy przesuwa się o x w prawo i w lewo wokół ustalonego położenia d_o, to długość szczeliny możemy zapisać:

$$l_p = 2d_o + 2x \tag{8}$$

a jej reluktancję:

$$R_{\mu p} = R_{\mu p0} + r_{\mu p} = \frac{2d_0}{\mu_o \cdot s_p} + \frac{2x}{\mu_o \cdot s_p} \tag{9}$$

Uwzględniając zależności (6), (8), (9) otrzymuje się

$$L = \frac{L_0}{1 + \frac{x}{d_o}} \tag{10}$$

Przy czym L_0 – indukcyjność początkowa (przy x = 0), która wynosi

$$L_0 = \frac{1}{2} n^2 \frac{\mu_o \cdot s_p}{d_o} \tag{11}$$

Względną zmianę indukcyjności przetwornika można wyrazić zależnością

$$\frac{L-L_0}{L_0} = \frac{\Delta L}{L_0} = \frac{\frac{x}{d_o}}{1+\frac{x}{d_o}} \tag{12}$$

lub w postaci szeregu potęgowego

$$\frac{\Delta L}{L_o} = \frac{x}{d_o}\left[1 - \frac{x}{d} + \left(\frac{x}{d_o}\right)^2 + \cdots\right] \tag{13}$$

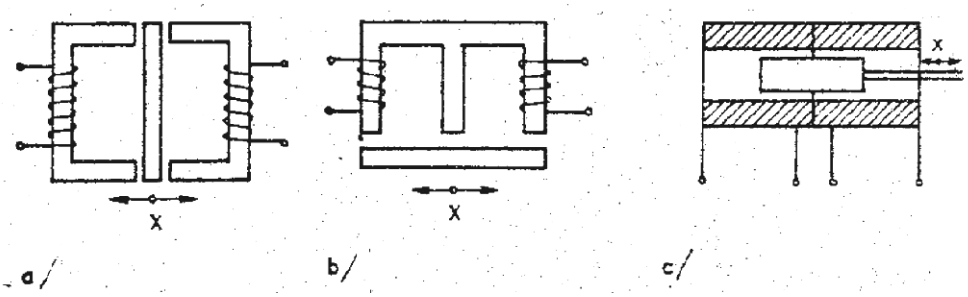
Dla małych przesunięć x (mniejszych niż 15% d_o) charakterystyka przetwornika indukcyjnego jest liniowa, a czułość przetwornika na względne przesunięcie $\frac{x}{d_0}$ jest równa 1.

$$\frac{\frac{\Delta L}{L_o}}{\frac{x}{d_o}} = 1 \tag{14}$$

Maksymalna szczeliny powinna być równa długości krytycznej $d_o = d_{kr}$, aby przy malej zmianie jej długości nie zamieniał się kąt fazowy impedancji Z cewki przetwornika. Zmiana kąta fazowego powoduje dodatkowe błędy przetwornika.

Wadami czujników dławikowych są:
– zależność natężenia prądu w cewce od wartości napięcia zasilającego i częstotliwości,
– mały zakres liniowej pracy (15% wartości początkowej) przetwornika,
– działanie znacznych sil elektromechanicznych na jarzmo przetwornika.

Dla uniknięcia tych wad i ze względu na inne zalety (zwiększenie zakresu liniowej pracy zmniejszenie błędów temperaturowych) przetworniki dławikowe i inne indukcyjne buduje się w układzie różnicowym (rys. 2). Przy x = 0, zwora zajmuje położenie względem obydwu rdzeni (względnie obydwu cewek) jak na rys. 2c) reluktancje dróg strumieni obydwu cewek są jednakowe. Jeżeli zwora przesunie się w lewo lub w prawo od położenia symetrycznego, indukcyjność cewek 1 oraz 2 zmieniają się jednakowo co do wartości bezwzględnej, lecz przeciwnie co do znaku. Indukcyjność cewki L_1 wzrasta o tyle, o ile L_2 maleje (lub odwrotnie).



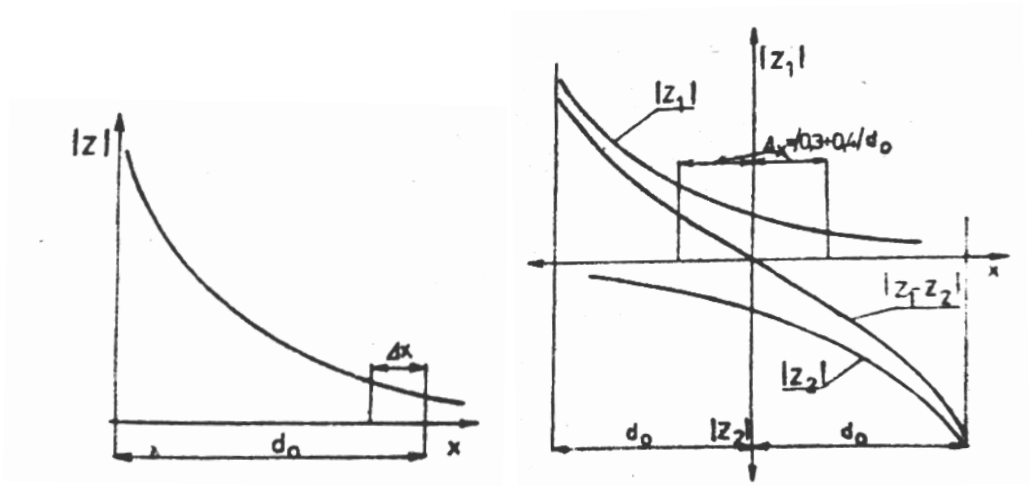
Rys. 2. Indukcyjnościowe przetworniki różnicowe a) o zmiennej długości szczeliny, b) o zmiennej powierzchni szczeliny, c) solenoidalny.

Różnica względnych zmian indukcyjności przetwornika wynosi

$$\frac{\Delta L}{L_{o1}} - \frac{\Delta L}{L_{o2}} = \frac{2\frac{x}{d_o}}{1-\left(\frac{x}{d_o}\right)^2} \approx 2\frac{x}{d_o}\left[1 + \left(\frac{x}{d_o}\right)^2 + \left(\frac{x}{d_o}\right)^4 + \cdots\right] \tag{15}$$

i zmienia się w funkcji przesunięcia bardziej liniowo niż względna zmiana indukcyjności przetwornika pojedynczego. Przebieg zależności $Z_1 = f(x)$ i $Z_2 = f(x)$ oraz $Z_1 - Z_2 = f(x)$ dla przetwornika z rys. 2. a) przedstawiono na rys. 3. Z rysunku widać, że liniowa część charakterystyki przetwornika różnicowego jest większa niż dla przetwornika pojedynczego. Pozwala to zwiększyć zakres pomiarowy przetworników różnicowy do wartości 0,3 - 0,4 d_o.

Czujniki transformatorowe, których działanie opiera się na zmianie indukcyjności wzajemnej M pod wpływem przesunięcia liniowego x lub kątowego α zostały omówione w ćwiczeniu "Pomiary ciśnień". Tam też dokonano przeglądu układów pomiarowych do współpracy z czujnikami transformatorowymi różnicowymi.



a) b)

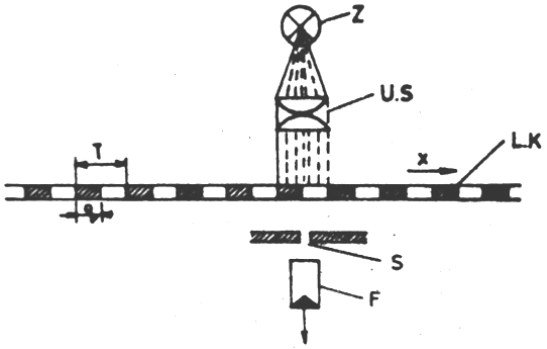
Rys. 3. Charakterystyki przetwarzania i zakresy pomiarowe czujnika indukcyjno-dławikowego: a) pojedynczego, b) różnicowego.

2.2.2. Impulsowe czujniki przemieszczeń

Działanie impulsowych czujników przemieszczeń polega na wytwarzaniu impulsów, z których każdy odpowiada jednostkowemu przemieszczeniu (kwantowi). Liczba impulsów zliczonych w liczniku określa przemieszczenie od umownie przyjętego położenia, któremu przyporządkowano stan zerowy licznika. Wartość jednostkowego przemieszczenia (kwantu) określa rozdzielczość czujnika.

Sygnał impulsowy uzyskuje się w rezultacie współdziałania urządzenia kodującego z odczytującym. Urządzenia kodujące impulsowych czujników przemieszczeń stanowią linijki, tarcze i bębny ze ścieżkami z równomiernie naniesionymi znakami (lub wycięciami). Urządzania odczytujące budowane są w oparciu o różne zasady fizyczne. Najczęściej spotykane w praktyce, to przetworniki fotoelektryczne, hallotronowe, stykowe i indukcyjne.

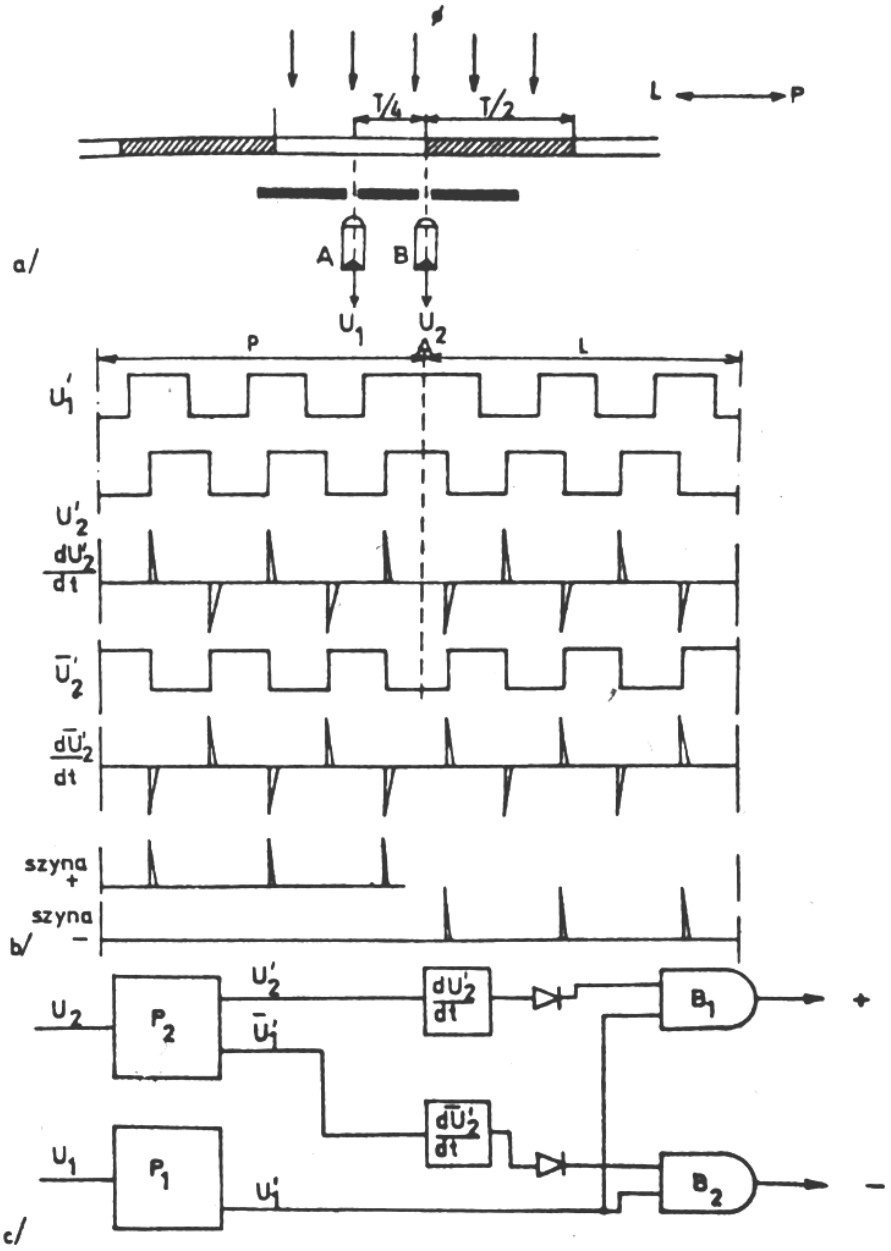
Na rys. 4. przedstawiono zasadę działania fotoelektrycznego impulsowego czujnika przemieszczeń liniowych. Linijka ze ścieżką w postaci pól przepuszczających i zatrzymujących odpowiednio uformowaną wiązkę światła, przemieszcza się względem układu: źródło światła – szczelina – fotodioda. Rozdzielczość czujnika wyrażona najmniejszym wyróżnialnym przemieszczeniem wynosi T/2. Metody fotochemiczne pozwalają nanieść na szkło ścieżki mające od 100 do 500 linii na mm, co pozwała osiągać rozdzielczość rzędu 1μm. Wyróżnianie kierunku przemieszczania w czujnikach impulsowych można zrealizować za pomocą dwóch elementów odczytujących przesuniętych względem siebie o T/4.



Rys. 4. Schemat fotoelektrycznego impulsowego czujnika przemieszczeń liniowych: Z – źródło światła, US – układ soczewek, LK – linijka kodowa, S – szczelina, F – fotoelement.

Na rys. 5. przedstawiono sposób wyznaczania kierunku przemieszczenia na przykładzie fotoelektrycznego czujnika impulsowego. Napięcie wyjściowe czujników za pomocą przerzutników P_1 i P_2 zostaje uformowane w sygnały prostokątne. Kierunek przemieszczenia określa się jednoznacznie poprzez porównanie sygnałów wyjściowych z jednego przerzutnika ze zróżniczkowanym sygnałem wyjściowym z drugiego przerzutnika. Porównanie to zachodzi w bramkach B_1 i B_2. Diody znajdujące się za układami

różniczkującymi przepuszczają jedynie impulsy o polaryzacji dodatniej, a impulsy ujemne nie są w dalszej pracy układu wykorzystywane.



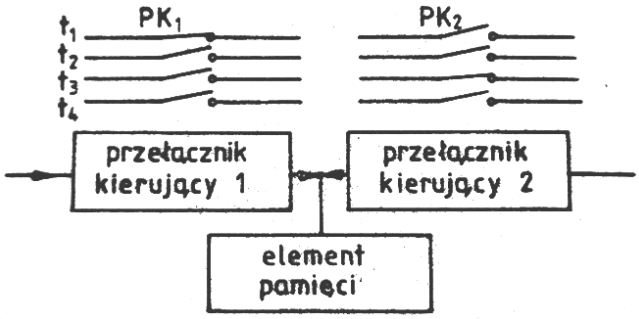
Rys. 5. Schemat wyróżniania kierunków w impulsowym czujniku przemieszczeń: a) usytuowanie fotodiod, b) przebiegi czasowe sygnałów, c) schemat blokowy.

Na rys. 5. b) przedstawiono przebiegi czasowe sygnałów i ich pochodnych w funkcji przemieszczania się linijki kodowej. Do chwili A linijka przemieszcza się w kierunku L. Sygnały z przerzutnika P_1 wyprzedzają sygnały z przerzutnika P_2. Dodatnie impulsy z okładu różniczkującego $\frac{dU_2'}{dt}$ przechodzą przez bramkę B_1 (otwartą sygnałem P_1) na szynę „+" licznika rewersyjnego. Po zmianie kierunku przemieszczenia od punktu A sygnały z P_2 wyprzedzają sygnały z P_l. Dodatnie impulsy $\frac{dU_2'}{dt}$ nie są przepuszczane przez bramkę B_1, gdyż jest ona zamknięta sygnałem z przerzutnika P_2. Zanegowany sygnał z przerzutnika P_2 po zróżniczkowaniu $\frac{dU_2'}{dt}$ poprzez bramkę B_2 otwartą sygnałem z przerzutnika P_1 kierowany jest na szynę „-" licznika rewersyjnego zmniejszając jego stan.

Jako impulsowe czujniki przemieszczeń, wykorzystuje się między innymi liniowe czujniki wizyjne CCD. Umożliwiają one pomiar przemieszczeń bezdotykowo. Czujniki CCD (Charge Coupled Devices) – ze sprzężeniem ładunkowy, stanowią jedną z grup szerokiej klasy przetworników z przenoszeniem ładunku

CTD (Charge Transfer Devices), przeznaczonych do przetwarzania sygnałów, w dziedzinie czasu. Przyrządy CTD stanowią realizację pamięci analogowych, pamiętających dane w postaci próbek ładunku, z jednoczesnym opóźnieniami między odbiorem i doprowadzeniem sygnału. Sposób działania przyrządu CTD ilustruje rys. 6. Przełącznik PK_1 kieruje sygnał na czas t_1, do elementu pamięci. W tym czasie przełącznik PK_2 jest rozwarty. W następnej chwili t_2, obydwa przełączniki są rozwarte. W chwili t_3 przełącznik PK_2 jest zamknięty, umożliwiając transmisję sygnału do następnego stopnia. W czasie t_4 obydwa przełączniki są rozwarte.

Połączenie zestawu takich elementów w układ drabinkowy, umożliwia opóźnienie szeregu próbek sygnału i zapewnia prawidłową ich transmisję od wejścia do wyjścia.

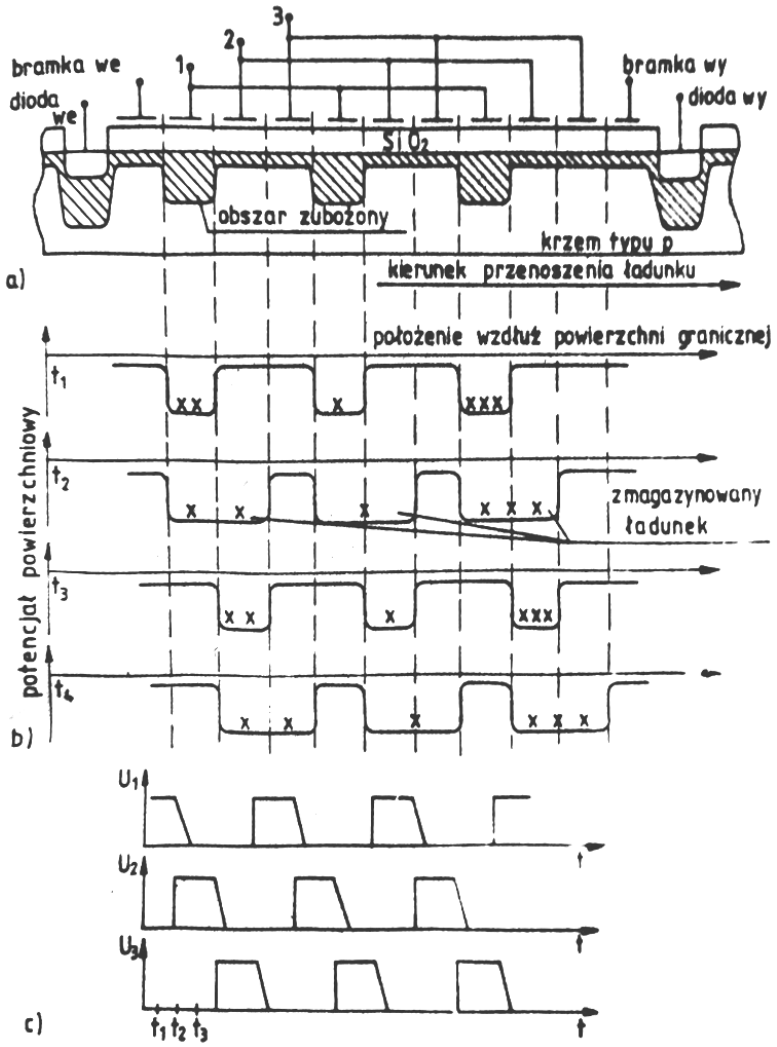


Rys. 6. Zasada działania przyrządu CTD.

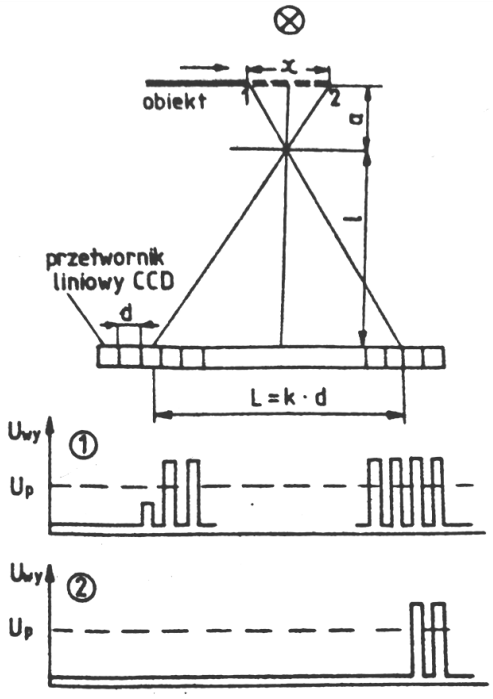
Na rys. 7. przedstawiono przekrój poprzeczny przyrządu CCD oraz zobrazowano proces przenoszenia ładunku, przy zastosowaniu trójfazowego sygnału zegarowego. W przyrządzie zastosowano izolującą warstwę SiO_2, na podłożu krzemowym typu p. Przy dodatniej polaryzacji bramek, ich metalowa powierzchnia ładuje się dodatnio, a w przylegającym do dielektryka obszarze p pojawi się ładunek ujemny, który odpycha od powierzchni granicznej większościowe dziury. Tworzą się w ten sposób, pod dodatnio spolaryzowanymi bramkami, obszary zubożone (zakreskowane na rys. 7. a). Większe dodatnie napięcie polaryzacji, na elektrodach 1, 2 i 3 będzie przyczyną głębszego wnikanie obszaru zubożonego, w obszar podłoża typu p. Obszar dyfuzyjny typu n na wejściu i branka wejściowa, odgrywają rolę źródła i bramki tranzystora polowego, które mogą wstrzykiwać elektrony w obszar drenu, pod elektrodę 1. Gromadzenie się elektronów w obszarach zubożonych, oznacza istnienie w tych miejscach minimum potencjału dla elektronów.

Przy oświetleniu przyrządu CCD światem widzialnym lub podczerwonym i zaobserwowaniu przez przyrząd fotonów tego promieniowania, w strukturze przyrządu generowane są pary elektron – dziura. Elektrony z tych par gromadzą się w minimach potencjałów. Ilość zgromadzonego w ten sposób ładunku, jest proporcjonalna do całki względem czasu, z padającego promieniowania. Oświetlenie przyrządów CCD, można realizować zarówno przez górną i dolną jego powierzchnię. Małe szumy, towarzyszące przenoszeniu ładunku, w przyrządach CCD oraz możliwość małoszumowego odczytu sygnału na wyjściu, są czynnikami predestynującym przyrządy CCD do stosowania w układach kamery półprzewodnikowej lub czujnika obrazowego, o bardzo dobrych właściwościach w zakresie małego poziomu oświetlenia.

Na rys. 7. c), zilustrowano jeden ze sposobów przesuwania zmagazynowanego ładunku, w przyrządach CCD, za pomocą trójfazowego ciągu impulsów zegarowych. W czasie t_1, ładunek jest magazynowany pod elektrodami 1. W chwili t_2. do elektrod 2 zostaje doprowadzone napięcie i zmagazynowany ładunek jest przesuwany, za pomocą mechanizmów unoszenia i dyfuzji, do szerszego obszaru magazynowania, rozciągającego się od elektrodami 1 i 2. Od momentu t_2, następuje także powolne zmniejszenie napięcia na elektrodach 1, co pozwala zakończyć proces przenoszenia ładunku, pod elektrody 2. W chwili t_3, zgromadzony ładunek znajduje się pod elektrodami 2. W następnej chwili t_4, do elektrod 3 zostaje doprowadzone napięcie U_b i magazynowany ładunek przesuwany jest pod elektrody 2 i 3. Powtarzanie tego procesu, w kolejnych fazach, umożliwia realizację kolejnych przenoszeń magazynowanych ładunków, wzdłuż przyrządu CCD.



Rys. 7. Działanie przyrządu CCD: a) przekrój poprzeczny przyrządu, b) przesuwanie ładunku wzdłuż przyrządu, c) przebiegi napięć na elektrodach sterujących przesuwaniem ładunku.



Rys. 8. Zasada pomiaru przemieszczeń przy pomocy przetwornika liniowego CCD.

Na rys. 8. przedstawiono zasadę pomiaru przemieszczeń, z wykorzystaniem liniowego czujnika wizyjnego CCD. Jeżeli stała odwzorowania układu optycznego wynosi

$$\beta = \frac{x}{L} = \frac{a}{l} \tag{16}$$

To wartość mierzonego przesunięcia można zapisać

$$x = \beta k d \tag{17}$$

gdzie:

d – długość pojedynczego elementu światłoczułego czujnika CCD,
k – liczba przysłoniętych elementów, przemieszczanym obiektem.

Produkowane liniowe czujniki CCD, zawierają 256, 1024, 2046 lub więcej elementów światłoczułych, o długości 13µm każdy. Pozwala to wykonywać pomiary przemieszczeń, tymi czujnikami, metodę zliczania impulsów odpowiadających oświetlonym (lub nieoświetlonym) elementom czujnika, z błędem od 0,5 do 0,05%. Przy zapewnieniu stałego oświetlenia czujnika CCD, istnieje możliwość wyróżnienia większej niż 2 poziomów sygnału wyjściowego, odpowiadających oświetlonym lub nieoświetlonym elementom światłoczułym przetwornika. Wykorzystując liniową zależność napięcia od oświetlenia elementów światłoczułych czujnika CCD oraz dobrą powtarzalność tej zależności, dla poszczególnych elementów, można rozróżnić nawet 100 poziomów sygnału wyjściowego. Oznacza to możliwość uzyskania granicznej rozdzielczości rzędu 0.01 d, to znaczy ~0.13µm.

Czujniki przemieszczenia działające na zasadzie kodowania przestrzennego.

W czujnikach przemieszczeń wykorzystujących kodowanie przestrzenne, każdej wartości mierzonego przemieszczenia przyporządkowany jest odpowiadający temu przemieszczeniu kod cyfrowy, odczytywany bezpośrednio z urządzenia kodującego. Jako urządzenia kodujące stosuje się listwy, tarcze i bębny kodowe. Na rys. 9. przedstawiono listwy i tarcze kodowe z maskami czteropozycyjnymi kodzie dwójkowym i 5 pozycyjnym kodzie Greya. Niech zakreskowanym częściom maski odpowiadają logiczne 1, a nie zakreskowanym logiczne zero. Przy przemieszczeniu się maski względem nieruchomej linii odczytu kodu z elementów odczytujących (1E0 - 4E0) otrzymujemy wartość przemieszczenia w kodzie dwójkowym w zakresie od 0000 (0) do 1111 (15). Dokładność przetwarzania przemieszczeń w kod wynosi $\frac{1}{2^n} = \frac{1}{2^4} = \frac{1}{16}$ pełnego zakresu.

Przejście z jednej dyskretnej wartości do drugiej związane jest ze zmiana kodu w jednej lub wielu pozycjach. Na przykład przy przejściu od wartości 0111 (7) do 1000 (8) kod zmienia się jednocześnie. nie we wszystkich pozycjach. Może to prowadzić, przy nieprzewidzianych przesunięciu elementów odczytujących, do powstawania grubych błędów przetwarzania. Na przykład na granicy pomiędzy 0111 (7) a 1000 (8) można uzyskać dowolna wartość w przedziale od 0000 (0) do 1111 (15). Dla wyeliminowania tej wady w czujnikach działających na zasadzie kodowania przestrzennego stosuje się maski z kodami cyklicznymi lub specjalne układy odczytu.

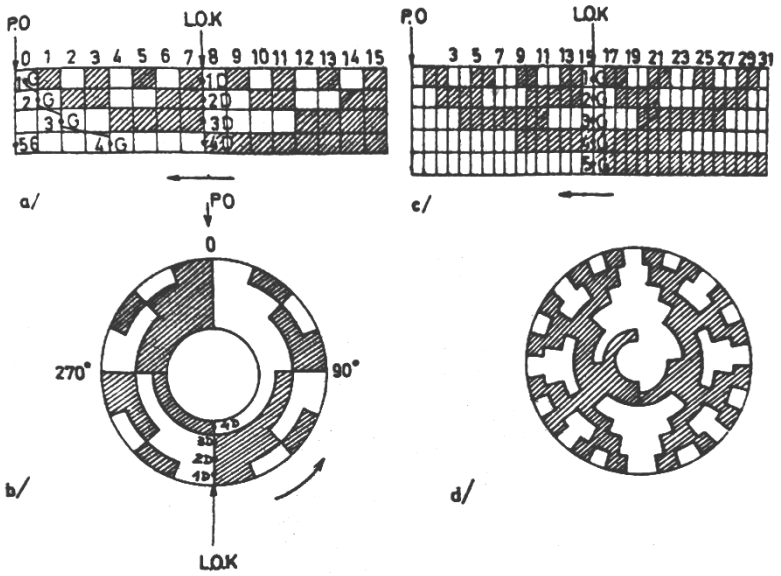
Urządzenia kodujące z maskami w kodzie cyklicznym charakteryzują się tym, że przejściu z jednej dyskretnej wartości do drugiej odpowiada zmiana kodu tylko w jednej pozycji. Maskę w kodzie Greya można zbudować w oparciu o maskę w zwykłym kodzie dwójkowym, jeżeli przesunąć ścieżki kodowe względem początku odczytu w kierunku dodatnim przemieszczenia maski o połowę wagi pozycji (rys. 9. c). Dla zapewnienia jednoznaczności zmiany kodu w stałym zakresie przemieszczenia się maski, należy wprowadzić ścieżkę starszej pozycji (piątą), a także (n+1) element odczytujący. Można również odczytać kod Greya z maski w kodzie dwójkowym, jeśli elementy odczytujące przesunąć odpowiednio w stosunku do linii odczytu kodu.

Eliminację niejednoznaczności odczytu kodu w układach odczytu realizuje się metodą podwójnej szczotki lub metodą Barkera (kod V). Metoda podwójnej szczotki polega na zastosowaniu we wszystkich pozycjach oprócz najmłodszej dwóch elementów odczytujących przesuniętych względem linii odczytu na odległość

$$1 = \mp\frac{1}{2}q \tag{18}$$

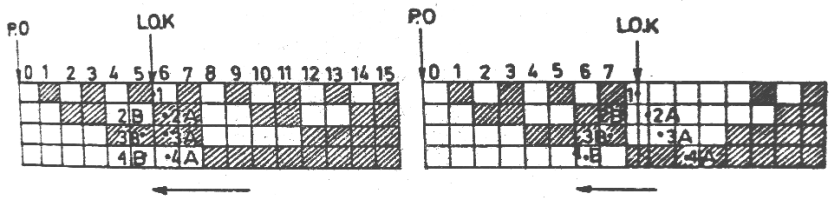
przy czym

q - rozdzielczość czujnika.



Rys. 9. Listwy i tarcze kodowe: a), b) - w kodzie dwójkowym; c), d) - w kodzie cyklicznym; PO – początek odczytu, LOK – linia odczytu kodu, 1G – 5G – elementy odczytujące w kodzie Greya, 1D – 5D – elementy odczytujące w kodzie dwójkowym.

Elementy odczytujące grupy A przesunięte są względem linii odczytu LO w stronę wzrostu odczytu, natomiast elementy grupy P przesunięte są w stronę przeciwną. Wybór grupy A lub B do odczytu informacji zależy od stanu odczytanego przez element pozycji najmłodszej. Jeśli w pozycji najmłodszej jest odczytana wartość 0, to w pozycjach pozostałych odczyt następuje z elementów grupy A, a jeśli w młodszej pozycji jest wartość 1, to w pozycjach pozostałych odczyt następuje z elementów grupy B. Jeśli w momencie odczytu maska znajduje się w położeniu pokazany m na rys. 10. a), to odczytany kod będzie albo 0101 (5) albo 0110 (6).



Rys. 10. Metody odczytu kodu z masek kodowych: a) metoda podwójnej szczotki, b) metoda Barkera, PO - początek odczytu, LOK - linia odczytu kodu, 1A – 4A, 1B – 4B - elementy odczytujące.

W metodzie Barkera wykorzystuje się też dwa elementy odczytujące we wszystkich pozycjach maski oprócz najmłodszej, z tym że elementy te rozmieszczone są w stosunku do linii odczytu na odległość

$$l_n = \pm\frac{q}{2} \cdot 2^{n-2} \quad (n = 2, 3, \dots) \tag{19}$$

gdzie

n – numer pozycji.

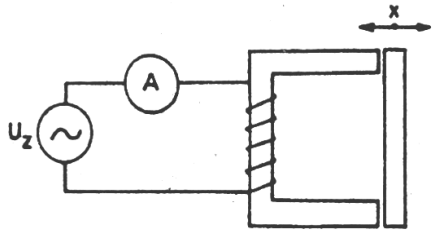
Zarówno przy metodzie odczytu metodą podwójnej szczotki jak i przy metodzie Barkera maska wykonywana jest w zwykłym kodzie dwójkowym.

Elementy odczytujące czujników impulsowych i działających na zasadzie kodowania przestrzennego działają na wielu różnych zasadach fizycznych. Najczęściej spotykane w praktyce to: przetworniki fotoelektryczne, magnetyczne, pojemnościowe, indukcyjne i stykowe.

2.3. Układy pomiarowe

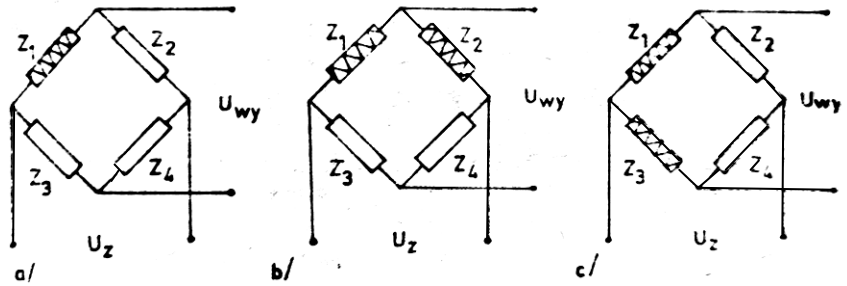
Prosty układ pomiarowy z czujnikiem indukcyjnym, w którym można zrealizować pomiar przemieszczeń z wykorzystaniem czujnika dławikowego, przedstawiono na rys. 11. Miarą przemieszczenia jest moduł impedancji czujnika wyznaczony ze wskazań amperomierza prądu zmiennego. Czujnik zasilany jest ze źródła napięciem o określonej częstotliwości i wartości skutecznej. Amperomierz może być

wyskalowany bezpośrednio w jednostkach przemieszczenia. Układ ten jest jednak niewygodny, gdyż tylko część zakresu amperomierza jest wykorzystywana do pomiaru przesunięć. Ponadto pomiar przemieszczeń w tym układzie obarczony jest dużym błędem wynikającym z niezamierzonych zmian częstotliwości i wartości napięcia zasilania.



Rys. 11. Układ do pomiaru modułu impedancji czujnika indukcyjnego za pomocą amperomierza.

Czujniki indukcyjnościowe o zmiennej indukcyjności własnej, najczęściej pracują w układach mostkowych. W najprostszym przypadku jedną z gałęzi mostka jest impedancja Z, czujnika, pozostałe gałęzie są elementami mostka (rys. 12. a). Pojedynczy czujnik indukcyjny w układzie mostka jest rzadko stosowany w praktyce ze względu na duży wpływ czynników zakłócających pomiar, małą czułość, znaczną nieliniowość i istnienie siły działającej na rdzeń. W praktyce, w układach mostkowych pracują czujniki indukcyjne różnicowe, które włącza się w sąsiednie gałęzie mostka, symetrycznie względem przekątnej odbiornika (rys. 12. b) lub symetrycznie względem przekątnej zasilania. (rys. 12. c).



Rys. 12. Czujniki indukcyjne w układzie mostka: a) układ z czujnikiem pojedynczym, układ z czujnikiem różnicowym, b) symetryczny względem zasilania, c) symetryczny względem odbiornika.

Napięcie wyjściowe U_{wy} przekątnej pomiarowej mostka, gdy obciążeniem jej jest wzmacniacz ($Z_{obc} \rightarrow \infty$), można zapisać

$$U_{wy} = U_z \cdot \frac{Z_1 Z_4 - Z_2 Z_3}{(Z_1+Z_2)(Z_2+Z_3)} \tag{20}$$

Po podstawieniu w równaniu (20) wartości impedancji dla układu o symetrii względem odbiornika: $Z_1=Z+\Delta Z$, $Z_2=Z$, $Z_3=Z_4=nZ$, $\varepsilon=\Delta Z/Z$ otrzymamy dla układu z pojedynczym czujnikiem

$$U_{wy} = \frac{1}{2} U_z \cdot \frac{\varepsilon}{2+\varepsilon} \tag{21}$$

dla układu różnicowego, w którym $Z_1=Z+\Delta Z$ i $Z_2=Z-\Delta Z$

$$U_{wy} = \frac{1}{2} U_z \cdot \varepsilon \tag{22}$$

Analogicznie dla układu o symetrii względem gałęzi zasilania dla układu z pojedynczym czujnikiem, a więc $Z_1=Z+\Delta Z$, $Z_3=Z$, $Z_2=Z_4=nZ$

$$U_{wy} = U_z \cdot \varepsilon \frac{n}{(1+n)(1+n-\varepsilon)} \tag{23}$$

Dla układu różnicowego $Z_1=Z+\Delta Z$, $Z_3=Z-\Delta Z$, $Z_2=Z_4=n\cdot Z$

$$U_{wy} = U_z \cdot \varepsilon \frac{2n}{(n+1)^2 - \varepsilon^2} \tag{24}$$

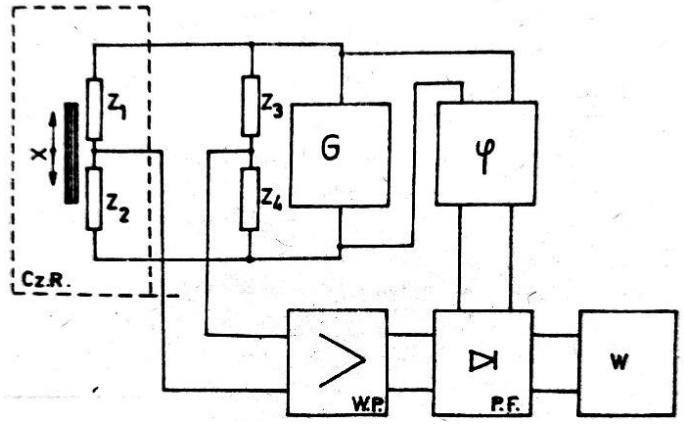
W układzie mostkowym przy włączeniu czujnika różnicowego symetryczne względem odbiornika napięcie wyjściowe jest liniową funkcją względnej zmiany impedancji. Dla pozostałych układów zależność napięcia wyjściowego w funkcji względnej zmiany impedancji jest nieliniowa.

W układach mostkowych symetrycznych względem gałęzi zasilania liniowość charakterystyk

przetwarzania można kształtować przez odpowiedni dobór stosunku impedancji ramion n.

Typowy układ pomiarowy do współpracy z różnicowymi czujnikami indukcyjnymi połączonymi w mostek przedstawiono na rys. 13. Przy niezbyt szybkich zmianach mierzonych przemieszczeń x lub α zamiast generatora zasilającego częstotliwością nośną, mostek czujnika, można stosować zasilanie sieciowe (50 Hz) z odpowiednim stabilizatorem napięcia. W przypadku stosowania czujników indukcyjnościowych o dużych wymiarach jest zbędne stosowanie wzmacniacza. Dla wyróżnienia kierunku mierzonego przemieszczenia w układzie zastosowano demodulator fazoczuły. (Działanie i opis demodulatora fazoczułego przedstawiono w ćwiczeniu "Pomiary odkształceń i naprężeń mechanicznych").

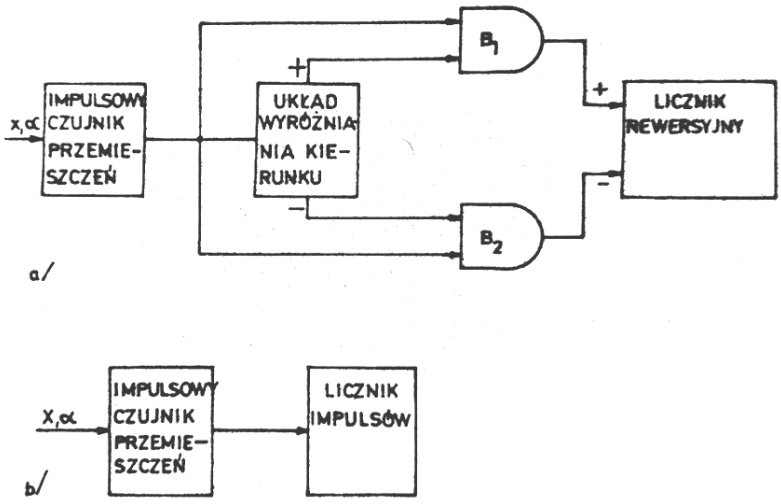
W przedstawionym układzie uzyskuje się dokładność pomiaru w granicach 1,5 – 2%.



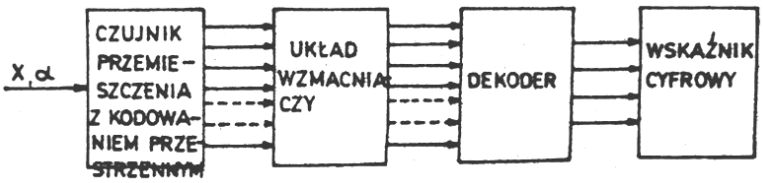
Rys. 13. Typowy układ do pomiaru przemieszczeń z wykorzystaniem indukcyjnych czujników różnicowych: G– generator, φ – przesuwnik fazowy, WP– wzmacniacz pomiarowy, PF – prostownik fazoczuły, W– wskaźnik.

Podstawowy układ pomiarowy do współpracy z czujnikami impulsowymi przedstawiono na rys. 14. a). Sygnały elektryczne z wyjścia czujnika impulsowego doprowadzane są do układu wyróżniania kierunku oraz do bramek. W zależności od kierunku przemieszczenia na jednym z dwóch wyjść układu wyróżniania kierunku pojawia się sygnał otwierający odpowiednią bramkę. Impulsy przechodzą przez otwartą bramkę do licznika rewersyjnego, w którym zachodzi ich algebraiczne sumowanie.

Czujnik impulsowy może również współpracować z czasomierzem-częstościomierzem wykorzystywanym jako licznik impulsów (rys. 14. b). W takim układzie można mierzyć wartość przemieszczenia bez możliwości określenia kierunku przemieszczenia. Dokładność pomiaru przemieszczeń z wykorzystaniem czujników impulsowych wynosi 0,001% przy rozdzielczości liniowej 1μm i kątowej kilku sekund kątowych.



Rys. 14. Schemat blokowy układów pomiarowych z impulsowymi czujnikami przemieszczeń: a) z wyróżnieniem kierunku przemieszczenia, b) bez wyróżnienia kierunku przemieszczenia.



Rys. 15. Schemat układu pomiarowego z czujnikiem przemieszczenia z kodowaniem przestrzennym.

Na rys. 15. przedstawiono ogólny schemat układu pomiarowego do współpracy z czujnikami działającymi na zasadzie kodowania przestrzennego. Uformowane sygnały kodu odczytanego z czujnika doprowadzane są po podłączeniu do układu deszyfratora, a następnie do wskaźnika cyfrowego wyświetlającego mierzone wartości przemieszczenia w kodzie dziesiętnym. Złożoność tego układu zależy od ilości ścieżek na masce kodowej czujnika. Wykonywane w praktyce czujniki tego typu do pomiaru przemieszczeń kątowych mają 16 ścieżek, dla których w metodzie odczytu podwójnej szczotki wymagany jest 31 kanałowy układ czytający, wzmacniający i formujący.

Dokładność pomiaru przemieszczeń z wykorzystaniem czujników z kodowaniem przestrzennym jest tego samego rzędu jak czujników impulsowych.

2.3.2. Błędy występujące w pomiarach przemieszczeń

W pomiarach przemieszczeń z wykorzystaniem czujników indukcyjnościowych na błąd pomiaru składają się głównie nieliniowość charakterystyki przetwarzania czujników, zmiany częstotliwości i wartości napięcia zasilającego, zmiany temperatury otoczenia, zmiany kąta fazowego impedancji czujnika oraz klasa zastosowanego urządzenia pomiarowego współpracującego z czujnikiem. Błąd nieliniowości jest błędem podstawowym czujników indukcyjnościowych. Zmniejszyć go można przez odpowiedni dobór zakresu zmian przemieszczenia (x lub α) i długości szczeliny oraz przez odpowiednie ukształtowanie obwodu magnetycznego. Błąd nieliniowości jest znacznie mniejszy dla czujników różnicowych.

Przy zasilaniu czujników indukcyjnościowych napięciem o częstotliwości sieciowej mogą wystąpić błędy spowodowane wahaniami napięcia zasilającego i wahaniami częstotliwości tego napięcia. Błąd częstotliwościowy jest spowodowany głównie zmianą rezystancji strat w rdzeniu i zmianą efektywnej przenikalności magnetycznej. Dla zmniejszenia tych błędów należy stosować stabilizację napięcia sieciowego oraz układy pomiarowe, w których wynik pomiaru nie zależy od napięcia i częstotliwości (mierniki ilorazowe).

Zmiana kąta fazowego impedancji czujnika dławikowego wpływa na dokładność pomiaru przy stosowaniu metody mostkowej i kompensacyjnej. Również w przypadku stosowania czujnika różnicowego powstają błędy pomiarowe wskutek niepełnej symetrii obwodów magnetycznych. Dla zmniejszenia błędów powodowanych zmianą kątów fazowych należy budować obie połówki czujnika różnicowego o identycznej konstrukcji i z możliwie jednakowych materiałów.

Zmiany temperatury otoczenia powodują zmiany rezystancji cewek czujników i zmiany wymiarów geometrycznych elementów czujników. W czujnikach różnicowych pracujących w układach mostkowych, jeżeli tylko obydwie połówki czujnika są identyczne, a zmiany impedancji wywołane wielkościami wpływowymi są jednakowe, błędy dodatkowe się kompensują. W praktyce stosując kompensacyjne układy pomiarowe można uzyskać błąd pomiaru przemieszczeń z wykorzystaniem czujników indukcyjnościowych rzędu 0,1 – 0,5%, natomiast z urządzeniami pomiarowymi wychyłowymi dokładność ta wynosi 1,5 – 2. Błąd pomiaru przemieszczeń przy zastosowaniu czujników impulsowych i działających na zasadzie kodowania przestrzennego zdeterminowany jest rozdzielczością czujnika. Dla czujników przemieszczenia kątowego za pełny zakres zmian wielkości wejściowej przyjmuje się kąt pełny 360° (2π). Dla czujników impulsowych przemieszczenia kątowego α błąd przetwarzania wynikający z liczby N odcinków, na które podzielona została maska tarczy kodowej, wynosi

$$q = \frac{360^\circ}{N} \tag{25}$$

A dla czujników przemieszczenia liniowego x

$$q = \frac{x_{max} - x_{min}}{N} \tag{26}$$

Dla czujników działających na zasadzie kodowania przestrzennego błąd przetwarzania wynosi – dla przemieszczeń kątowych

$$q = \frac{360^\circ}{2^n - 1} \tag{27}$$

– dla przemieszczeń liniowych

$$q = \frac{x_{max} - x_{min}}{2^n - 1} \tag{28}$$

przy czym

n – ilość pozycji kodowych na masce kodowej czujnika.

2.3.3. Właściwości dynamiczne czujników przemieszczenia

Indukcyjnościowe czujniki przemieszczeń można w większości przypadków traktować jako człony proporcjonalne. Za człony proporcjonalne uważa się czujniki wiroprądowe oraz czujniki, których rdzenie lub zawory są bezpośrednio i stykowo połączone z obiektem mierzonym. Mierzone przemieszczenie x(α) może być wtedy zniekształcone wprowadzeniem czujnika. W tych przypadkach ograniczenie przenoszenia częstotliwości mierzonych przemieszczeń jest powodowane przez częstotliwość zasilania czujnika. Typowa wartość częstotliwości napięcia zasilającego czujniki indukcyjnościowe wynosi 50 kHz chociaż spotyka się też dla celów specjalnych urządzenia z częstotliwością 100 kHz.

Czujniki indukcyjnościowe przemieszczenia dotykowe, w których rdzeń lub zwora współpracują ze sprężyną ustalającą położenia zerowe trzpienia wyjściowego należy traktować jako człony oscylacyjne. W tego typu czujnikach ograniczanie przenoszonych częstotliwości powodowane jest rezonansem mechanicznym czujnika. Aby nie zniekształcać mierzonego przemieszczenia, sztywność sprężyny czujnika winna być możliwie mała. Mała sztywność sprężyny obniża częstotliwość rezonansu mechanicznego i zmniejsza pasmo częstotliwości mierzonych. Podstawowym parametrem charakteryzującym własności dynamiczne czujników impulsowych i działających w oparciu o kodowanie przestrzenne jest czas przetwarzania t_p.

Czas przetwarzania t_p czujników działających w oparciu o kodowanie przestrzenne jest równy czasowi odczytu t przy równoległym odczytywaniu kodu

$$t_p = t_{cz} \tag{29}$$

a przy szeregowym odczytywaniu kodu

$$t_p = n \cdot t_{cz} \tag{30}$$

przy czym

n – ilość pozycjo kodowych.

Czas przetwarzania czujników impulsowych jest wyznaczonym czasem zaliczania impulsów przez licznik. Czas przetwarzania wyznacza dopuszczalną szybkość zmian wielkości mierzonego przemieszczenia $\left(\frac{dx}{dt}\right)_{max}$. Zmian wielkości mierzonego przemieszczenia x nie spowoduje powstania błędu, jeżeli w czasie przetwarzania t_p zmiana wielkości mierzonej nie będzie większa od wartości odpowiadającej rozdzielczości czujnika. Dopuszczalną więc szybkość zmiany wielkości mierzonej można zapisać

$$\left(\frac{dx}{dt}\right)_{max} = \frac{x_{max} - x_{min}}{2^n \cdot t_p} \tag{31}$$

dla czujników o kodowaniu przestrzennym

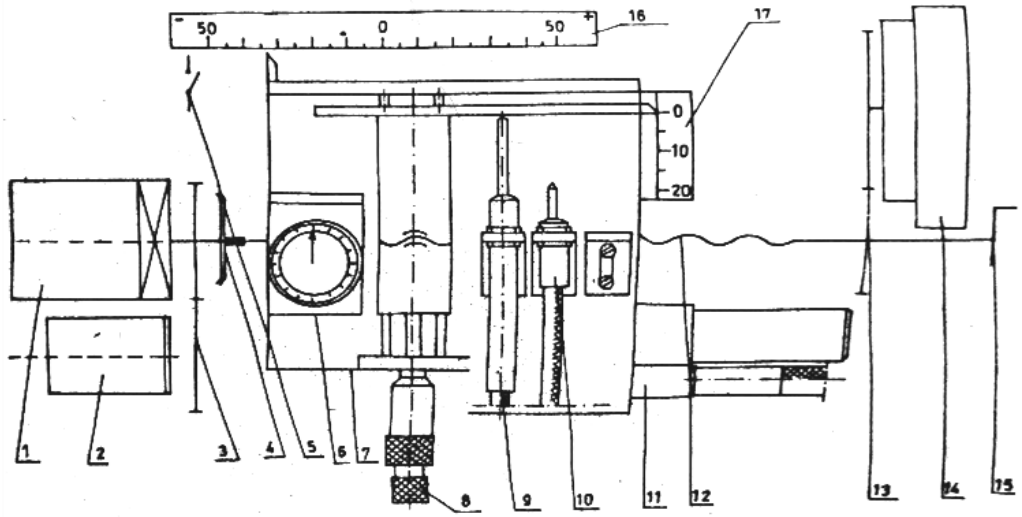
$$\left(\frac{dx}{dt}\right)_{max} = \frac{x_{max} - x_{min}}{N \cdot t_p} \tag{32}$$

dla czujników impulsowych.

3. Pomiary

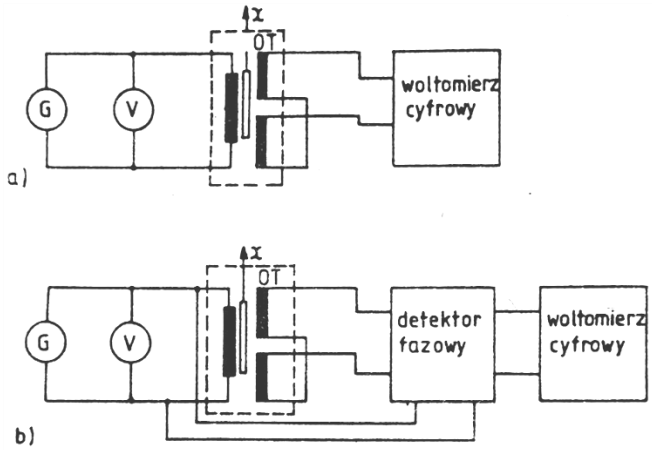
1. Wyznaczyć charakterystyki przetwarzania czujników przemieszczeń liniowych transformatorowych różnicowych. Należy wyznaczyć charakterystyki przetwarzania czujników: OT-12 i DTA-10G8 o zakresach 20mm, OT–08 o zakresie 10 mm, i OT-33 o zakresie $\pm$ 50 mm. Czujniki zamontowane są w urządzeniu do wytwarzania przemieszczeń liniowych i kątowych (rys. 16). Zadawanie przemieszczeń dla czujników DTA-10G8, OT-08 i OT-12 dokonuje się przy pomocy śruby mikrometrycznej 8, natomiast dla czujnika OT-33 pokrętłem 15, a wartość zadawanego przemieszczenia odczytuje się z przymiaru 16. Wyznaczyć charakterystykę dla napięcia zasilania 3 V o częstotliwości f=10kHz w układzie pomiarowym jak na

rys. 17. a). Na podstawie przeprowadzonych pomiarów wyznaczyć czułość, błąd nieliniowości oraz napięcie niezrównoważenia dla każdego z badanych czujników.



Rys. 16. Schemat urządzenia do zadawania przemieszczeń liniowych i kątowych: 1 – silnik 2 fazowy SA–06R, 2 – impulsowy czujnik przemieszczenia kątowego MPL 3 – przekładnia zębata 1:1, 4 – sprzęgło cierne, 5 – wyłącznik krańcowy, 6 – czujnik zegarowy MDA o zakresie 3mm, 7 – suport wzdłużny, 8 – suport poprzeczny ze śrubą mikrometryczną, 9 – czujnik transformatorowy różnicowy OT-08 $M_1 \pm 10$mm, 10 – czujnik transformatorowy różnicowy OT-12 M $\pm$ 1mm, 11 – czujnik transformatorowy różnicowy OT-32 – 50mm, 12 – śruba pociągowa, 13 – przekładnia nawrotna, 14 – impulsowy czujnik hallotronowy przemieszczenia kątowego, 15 – pokrętło śruby pociągowej, 16 – pomiar kreskowy 0 – 20 mm, 17 – przymiar kreskowy 0 – 50 mm.

2. Wyznaczyć charakterystykę przetwarzania jednego z czujników przemieszczeń różnicowo-transformatorowego, w układzie jak na rys. 17. b). Typ czujnika oraz rodzaju stosowanego detektora fazoczułego, wskaże prowadzący zajęcia. Parametry napięcia zasilania czujnika, dobrać jak w punkcie 1. Na podstawie dokonanych pomiarów wyznaczyć: błąd nieliniowości, czułość oraz błąd niezrównoważenia zera układa; czujnik-detektor. Oszacować błędy samego detektora fazoczułego, wykorzystują dodatkowo, wyniki uzyskane w punkcie 1.



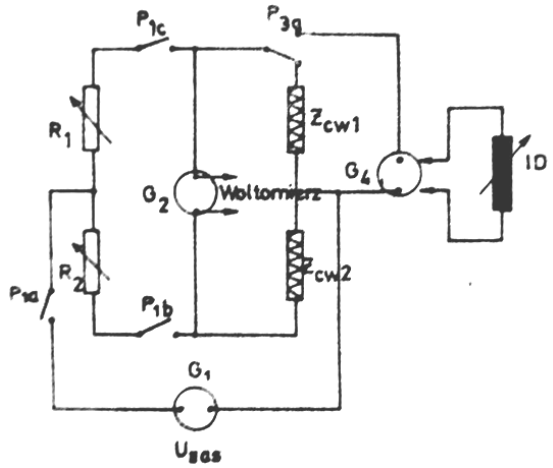
Rys. 17. Układy pomiarowe do wyznaczania charakterystyk przetwarzania transformatorowych czujników przemieszczeń.

3. Wyznaczyć wpływ zmian częstotliwości napięcia zasilania na charakterystykę przetwarzania czujnika OT. Przy stałej wartości napięcia zasilania U_z = 3 V oraz ustalonej wartości x = const wyznaczyć zależność napięcia wyjściowego w zależności od częstotliwości napięcia zasilania U_{wy}=g(f) dla jednego z czujników OT. Pomiary wykonać dla zakresu częstotliwości 8–20 kHz. Napięcie zasilania sinusoidalne. Układ pomiarowy jak w punkcie 3.1. Na podstawie pomiarów wyznaczyć przedział częstotliwości, w którym czułość jest największa, wyznaczyć wartość tej czułości.

4. Wyznaczyć wpływ kształtu napięcia zasilania na charakterystykę przetwarzania czujnika OT. Dla jednego z czujników OT wyznaczyć charakterystykę przetwarzania przy zasilaniu napięciem prostokątna i trójkątnym. Wartość napięcia zasilania 3 V, częstotliwość f=10kHz. Układ pomiarowy jak w punkcie 3.1. Na podstawie pomiarów wyznaczyć podstawowe parametry statyczne czujnika i porównać je z uzyskanymi w punkcie 3.1.

5. Wyznaczyć właściwości statyczne czujników dławikowych. Jako czujnik dławikowy wykorzystuje się czujnik transformatorowy różnicowy OT–08, w którym wyprowadzony jest środek uzwojeń wtórnych. Po wyłączeniu uzwojenia pierwotnego, uzwojenia wtórne wykorzystywane są jako uzwojenie czujnika dławikowego. Schemat wyprowadzenia zacisków czujnika OT–08 do pracy jako czujnik dławikowy w układzie mostka pokazano na rys. 18.

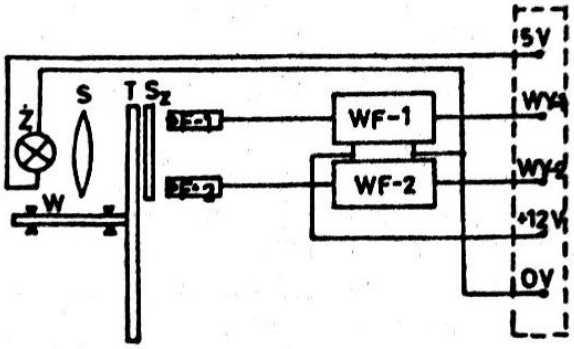
a) Wyznaczyć charakterystykę przetwarzania U=f(x) czujnika dławikowego pojedynczego. Do zasilania zastosować napięcie sinusoidalne o wartości 3 V i częstotliwości 10kHz. Wykorzystując rezystory dekadowe i indukcyjność dekadową połączyć układ mostka (rys. 18). Doprowadzić mostek do równowagi dla x=0. Napięcie wyjściowe z mostka mierzyć woltomierzem cyfrowym. Wyznaczyć charakterystykę przetwarzania U_{wy}=f(x) dla wartości stosunków rezystancji n= R_1/R_2=1; 0,5; 0,1. Na podstawie przeprowadzonych pomiarów wyznaczyć czułość i błąd nieliniowości oraz wpływ stosunku rezystancji na te parametry.



Rys. 18. Schemat układu pomiarowego.

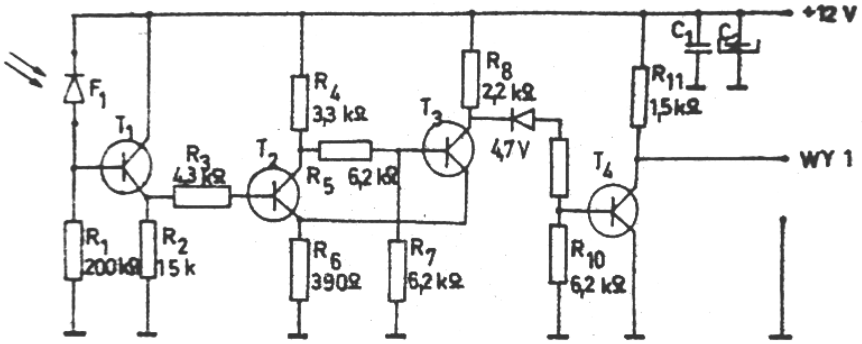
b) Wyznaczyć charakterystyki przetwarzania U_{wy}=f(x) czujnika dławikowego różnicowego. Wykorzystując rezystory dekadowe połączyć układ mostka (rys. 18). Wcisnąć przycisk P_1. Doprowadzić mostek do równowagi dla x = 0. Zasilanie i pomiar realizować jak w punkcie a). Charakterystyki przetwarzania wyznaczyć dla wartości R_1/R_2 1; 0,5; 0,1. Na podstawie przeprowadzonych pomiarów wyznaczyć czułość i błąd nieliniowości oraz wpływ stosunku rezystancji na te parametry. Porównać parametry czujnika różnicowego z pojedynczym.

6. Przeprowadzić badanie impulsowych czujników przemieszczeń kątowych, fotoelektrycznego typu MPL i hallotronowego typu IH-2/100. Schemat elektryczny impulsowego czujnika kąta obrotu MPL pokazano na rys. 19. Na precyzyjnie ułożyskowanym wale W zamocowana jest szklana tarcza T, na obwodzie której znajdują się dwie koncentryczne ścieżki pól przeźroczystych i nieprzeźroczystych. Pola jednej ścieżki są przesunięte względem pól drugiej o kąt T/4. Po jednej stronie ruchomej tarczy T umieszczony jest oświetlacz, a po drugiej fotodiody F_1, i F_2. Pomiędzy fotodiodami a ruchomą tarczą T znajduje się nieruchomy zespół szczelin formujący strumień świetlny wysyłany przez oświetlacz i padający na fotodiody. Układy WF_1 służą do wzmocnienia sygnałów z fotodiod i uformowania ich w ciąg impulsów prostokątnych. Impulsy prostokątne jednego kanału są przesunięte o T/4 w stosunku do impulsów drugiego kanału.



Rys. 19. Układ połączeń elektrycznych czujnika impulsowego MPL: W – wał, T – tarcza ruchoma, S – soczewka, Ż – żarówka, Sz– zespół szczelin, F–1, F–2 – fotodiody, WF–1, WF–2 – układy wzmacniające i formujące kanału 1 i 2.

Schemat ideowy jednego układu wzmacniająco-formującego WF–1 (drugi układ WF–2 jest identyczny) przedstawiono na rys. 20. Sygnał z przetwornika fotoelektrycznego F, zostaje wzmocniony (tranzystor T_1) oraz uformowany w przerzutniku Schmitta (tranzystory T_2 i T_3) w ciąg impulsów prostokątnych.



Rys. 20. Schemat ideowy układu wzmacniająco-formującego czujnika obrotowo- impulsowego MPL.

Czujniki impulsowe MPL charakteryzują się następującymi parametrami:
- liczba impulsów na i obrót – od 300 do 1500 (zależnie od typu),
- współczynnik wypełnienia impulsów – 50%
- czas narastania impulsów – max 2,5μs,
- czas opadania impulsów – max 0,5 μs,
- amplituda impulsów napięcia wyjściowego:
  - a) przy stanie „0" logiczne – od 0 do 0.5 V,
  - b) przy stanie „1" logiczne – od 11,5 do 12 V,
- częstotliwość graniczna 20 kHz.

Czujnik hallotronowy typ IH - 2/100 składa się z tarczy 1 z nałożoną na obwodzie warstwą magnetyczną 2, głowic odczytujących 3 i układu elektronicznego (rys. 21). Tarcza jest dokładnie ułożyskowana i sprzęgnięta z wałem, którego przemieszczenie kątowe ma być mierzone. Warstwa magnetyczna o grubości 1 mm znajdująca się na tarczy jest namagnesowana podłużnie do dwóch na przemian występujących stanów nasycenia magnetycznego. Głowice hallotronowe umieszczone nad warstwą magnetyczną w odległości 0,1 – 0,2 mm odtwarzają zapis magnetyczny. Sygnał wyjściowy z głowic ma przebieg okresowy zbliżony do sinusoidalnego o amplitudzie kilkudziesięciu my niezależnej od prędkości kątowej tarczy. Głowice hallotronowe są przesunięte względem siebie na obwodzie tarczy, wskutek czego napięcie wyjściowe jednej z głowic jest opóźnione w stosunku do drugiej. Umożliwia to określenia kierunku przemieszczenia się w tarczy oraz wytworzenie sygnału o dwukrotnie większej częstotliwości. Układ elektroniczny czujnika zawiera dzielnik częstotliwości przez 2 oraz przez 10.

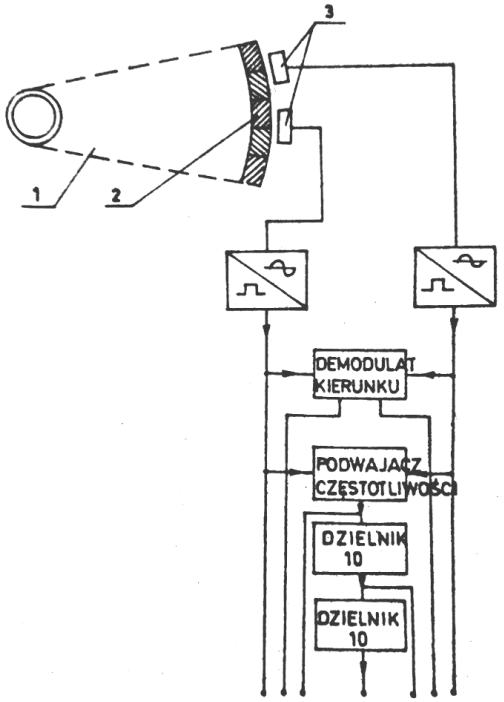
Czujnik impulsowy hallotronowy IH – 2/100 charakteryzuje się następującymi parametrami:
- liczba impulsów na 1 obrót – 200, 100, 50, 10,
- współczynnik wypełnienia impulsów 45 – 55%,
- amplituda impulsów napięcia wyjściowego:

1) przy stanie „0” logiczne – 0.2 V,
2) przy stanie „1” logiczne – 14,3V $\pm$ 5%,

– maksymalna prędkość obrotowa – 3000 obr/min

a) Wyznaczyć rozdzielczość czujników impulsowych MPL 3 1 IH-2/100. Połączyć badany czujnik z częstościomierzem cyfrowym włączonym na zliczanie impulsów według rys. 21. Po wyzerowaniu częstościomierzy wykonać 10 obrotów wału czujnika za pomocą pokrętła 15 w urządzeniu do zadawania przemieszczeń i odczytać wskazanie częstościomierza. Określić rozdzielczość q obydwu czujników z zależności $q = 10 \cdot 360° / N$ oraz liczbę impulsów p na jeden obrót, N – liczba impulsów.

b) Zarejestrować i wyznaczyć parametry impulsów wyjściowych czujnika. Wyjścia kanału 1 i 2 czujnika podłączyć do oscyloskopu dwukanałowego. Ustawić pokrętłem autotransformatora zasilającego silnik dwufazowy wybraną prędkość obrotową czujnika, zaobserwować i zapisać przebiegi z oscyloskopu. Wyznaczyć na podstawie pomiaru wartość przesunięcia, amplitudy i częstotliwość przebiegów z czujnika. Porównać z danymi katalogowymi.



Rys. 21. Schemat budowy czujnika hallotronowego obrotowo-impulsowego IH – 2/100.

c) Wyznaczyć częstotliwość graniczną czujnika MPL. Zwiększając stopniowo wartość napięcia zasilającego silnik, obserwować kształt fali prostokątnej na ekranie oscyloskopu. Zmierzyć przy pomocy stroboskopu prędkość obrotową silnika, przy której następuje wyraźna deformacja kształtu fali prostokątnej. Wyznaczyć f_g jako iloczyn liczby obrotów na sekundę przez liczbę impulsów p na jeden obrót.

Literatura:

1. Tumański S.: Technika pomiarowa, WNT, Warszawa, 2016, ebook – 2013;
2. Piotrowski J. (red.): Pomiary. Czujniki i metody pomiarowe wybranych wielkości fizycznych i składu chemicznego, wyd. I, WNT, Warszawa, 2009; wyd. II, PWN, Warszawa, 2017;
3. Zakrzewski J.: Czujniki i przetworniki pomiarowe, Wyd. Politechniki Śląskiej, Gliwice, 2004;
4. Kampik M., Zakrzewski J: Sensory i przetworniki pomiarowe, wyd. I, Wyd. Politechniki Śląskiej 2013;
5. Miłek M.: Metrologia elektryczna wielkości nieelektrycznych, Oficyna Wydawnicza Uniwersytetu Zielonogórskiego, Zielona Góra, 2006;