

Ćwiczenie nr 14. Pomiary przemieszczeń liniowych

Cel ćwiczenia: Poznanie zasady działania czujników dławikowych i transformatorowych, w typowych układach pracy, określenie ich podstawowych parametrów statycznych oraz zbadanie ich podatności na zmiany wielkości wpływających na wyniki pomiarów.

Program ćwiczenia:

1. Zapoznanie się z układem pomiarowym i przygotowanie go do pomiarów.
2. Pomiar charakterystyki statycznej przetwarzania $U_{wy} = f(x)$, gdzie x – przemieszczenie, określić zakres, czułość, nieliniowość oraz histerezę. Pomiary należy wykonać w układzie przedstawionym na Rys. 5a.
3. Narysować wykres błędu bezwzględnego i względnego nieliniowości. Wyznaczyć czułość C układu przetwornika jako nachylenie prostej aproksymującej, odniesione do napięcia zasilania czujnika ($U_z = 4V$), tzn. $[C] = mV/V/mm$.
4. Określić błąd histerezy dla dwóch kierunków przemieszczenia rdzenia.
5. Określenie powtarzalności (błędu przypadkowego) przetwarzania. Pomiary należy wykonać w układzie przedstawionym na Rys. 5a. Dokonać 6-10 pomiarów określonego przemieszczenia, przekręcając śrubę mikrometru raz w jedną, raz w drugą stronę od badanej nastawy. Obliczyć odchylenie średnie kwadratowe z pojedynczego pomiaru z serii oraz, korzystając z rozkładu t-Studenta, określić przedział ufności $\pm \Delta_{max}$ przy zadanym poziomie ufności α : (zależność 2, Tab 1.)
6. Określenie podatności czujnika za zmiany napięcia zasilania oraz na zmiany częstotliwości zasilania. Napięcie i częstotliwość zmienić w granicach $\pm 10\%$ w stosunku do wartości nominalnych. Zmiana częstotliwości może powodować zarówno przesunięcie „zera”, jak i zmianę czułości.
7. Omówienie źródeł błędów. Określenie podstawowego błędów przetwarzania oraz błędów dodatkowych.

Wprowadzenie:**1. Zasada działania**

Zasada pracy czujników indukcyjnościowych polega na zmianie ich indukcyjności własnej (czujniki dławikowe) lub wzajemnej (czujniki transformatorowe) pod wpływem mierzonego przemieszczenia. W praktyce stosowane są różne rozwiązania, pokazane na Rys. 1

Zmianę indukcyjności dławika można uzyskać na trzy podstawowe sposoby: przez zmianę szczeliny powietrznej w rdzeniu ferromagnetycznym dławika (Rys. 1a), przez zmianę przenikalności magnetycznej ośrodka wypełniającego cewkę indukcyjną – solenoid (Rys. 1b) lub przez wykorzystanie strat na prądy wirowe w przewodzącym rdzeniu diamagnetycznym (Rys. 1c)

Rozwiązanie pierwsze, t.j. ze zmianą szczeliny w rdzeniu (zmianą oporu magnetycznego, czyli reluktancji rdzenia- stąd ich nazwa „czujniki reluktancyjne”) stosuje się w pomiarach przemieszczeń mniejszych od 1mm. Do pomiarów większych przemieszczeń, nawet od 500mm, stosuje się czujniki solenoidalne. Indukcyjność własną długiego solenoidu powietrznego o równomiernie nawiniętych zwojach można obliczyć ze wzoru :

$$L_0 = \frac{\mu_0 \cdot z^2 \cdot S}{l} \quad (1)$$

Gdzie: L_0 – indukcyjność własna [H],
 z – liczba zwojów,

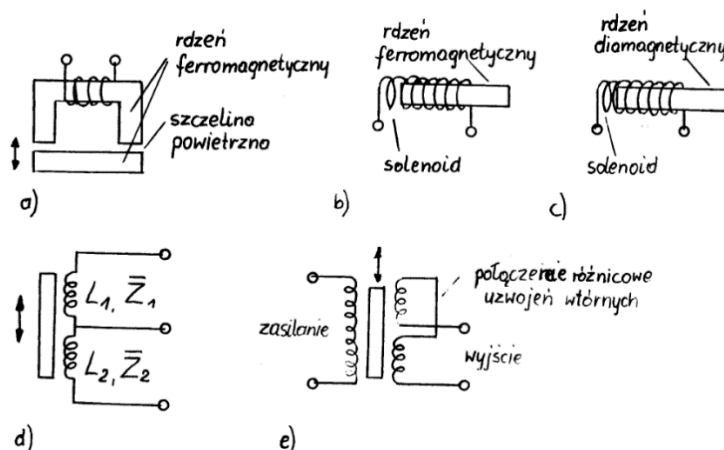
S – pole powierzchni przekroju poprzecznego [m^2]

l – długość uzwojenia [m]

$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} H/m$ – przenikalność magnetyczna próżni.

Wprowadzając do solenoidu rdzeń ferromagnetyczny (z żelaza, niklu, ferrytu itp.) o przenikalności magnetycznej, uzyskuje się zwiększenie indukcyjności własnej L_0 do wartości L , tzn..

$$L = \mu_r \cdot L_0 \quad (2)$$



Rys. 1 Przykłady rozwiązań indukcyjnościowych czujników przemieszczenia liniowego: (a), (b), (c) – dławikowe, (d) – dławikowy różnicowy, (e) – transformatorowy różnicowy.

Dobierając odpowiednio parametry solenoidu i rdzenia można uzyskać liniową zależność pomiędzy przemieszczeniem rdzenia w solenoidzie i zmianą indukcyjności własnej solenoidu (liniową charakterystykę przetwarzania).

Czujniki dławikowe są najczęściej budowane jako układy symetryczne, różnicowe, w których zwiększeniu indukcyjności własnej jednego segmentu czujnika (np. L_1 – Rys. 1d.) towarzyszy analogicznie zmniejszanie indukcyjności własnej drugiego segmentu (np. L_2 – Rys. 1d). Umożliwia to uzyskanie bardziej liniowej charakterystyki przetwarzania, zmniejsza siłę potrzebną do przesunięcia rdzenia i zmniejsza niektóre niepożądane wpływy (np. skutki wpływu temperatury na zmianę rezystancji uzwojeń). Podstawowym układem pracy takich czujników jest mostek rozrównawiony (Rys. 2)

Najczęściej stosowany w praktyce jest czujnik transformatorowy różnicowy (Rys. 1e). Zmiana położenia rdzenia ferromagnetycznego powoduje zmianę sprzężenia magnetycznego pomiędzy uzwojeniem pierwotnym (zasilającym) oraz dwoma uzwojeniami wtórnymi, połączonymi przeciwnie. Jeżeli do wyjścia jest dołączony odbiornik napięciowy (tzn. o dużej impedancji wejściowej), czujnik charakteryzuje się bardzo dobrą liniowością charakterystyki przetwarzania.

2. Podstawowe układy pracy

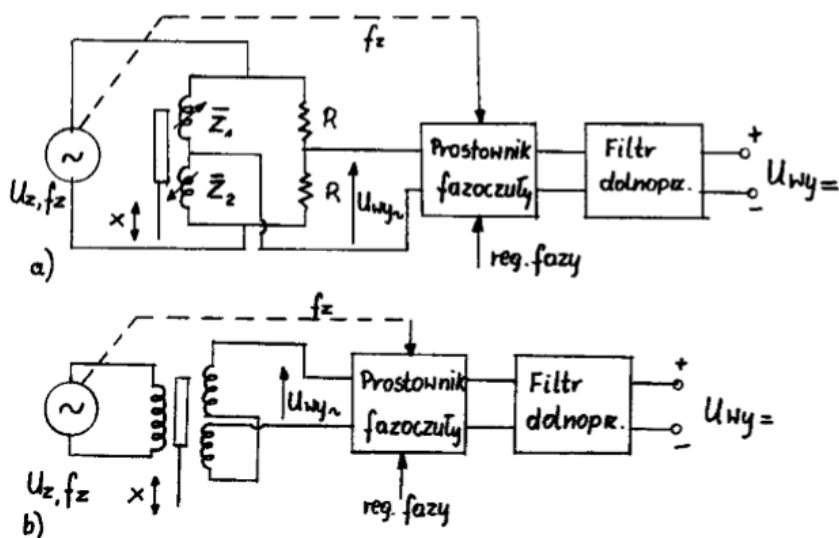
Podstawowe układy pracy czujników różnicowych, dławikowego i transformatorowego, pokazano na Rys. 2 W celu umożliwienia rozróżniania kierunku przemieszczenia rdzenia stosuje się w nich prostownik fazoczuły, synchroniczny – ilustruje to Rys. 3

Istotę działania prostownika fazoczułego, synchronicznego, wyjaśnia Rys. 4. Jeżeli w obwodzie pomiarowym (Rys. 4) działa przełącznik zwierno – rozwierny sterowany napięciem U_s , zmieniającym się z tą samą częstotliwością co napięcie mierzonej U_x , to na wyjściu tego obwodu występuje napięcie U_{wy} określone zależnością:

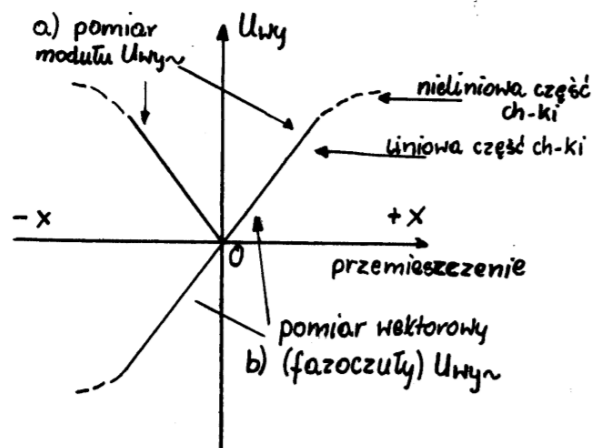
$$U_{wy} = U_x \cdot \cos\varphi(U_x, U_s) \quad (1)$$

Ćwiczenie nr 14. Pomiary przemieszczeń liniowych

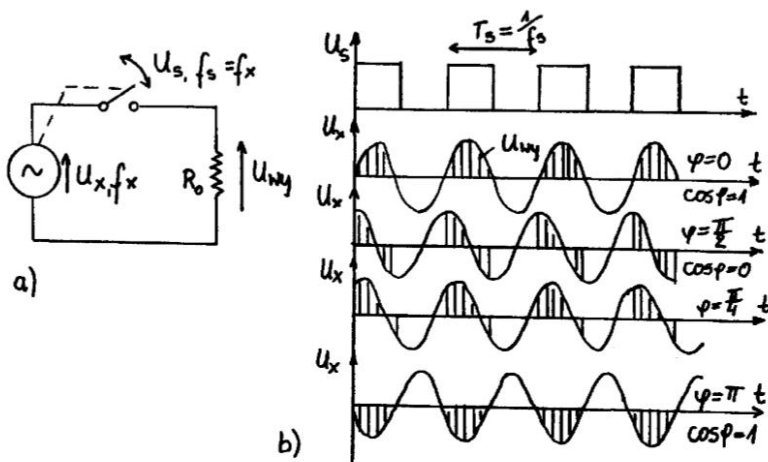
Gdzie: φ - kąt przesunięcia fazowego między napięciami U_x i U_s . W zależności od wartości kąta φ , wartość średnią napięcia U_{wy} przyjmuje wartości od U_x do $-U_x$ – ilustruje to Rys. 4b. Jest to prostowanie synchroniczne, fazoczułe jednopółwkowe. Wprowadzając do obwodu drugi przełącznik, sterowany w przeciwfazie w stosunku do pierwszego, uzyskuje się prostowanie dwupółwkowe. Zaznaczona na Rys. 3 regulacja fazy służy do doregulowania początkowej wartości kąta φ



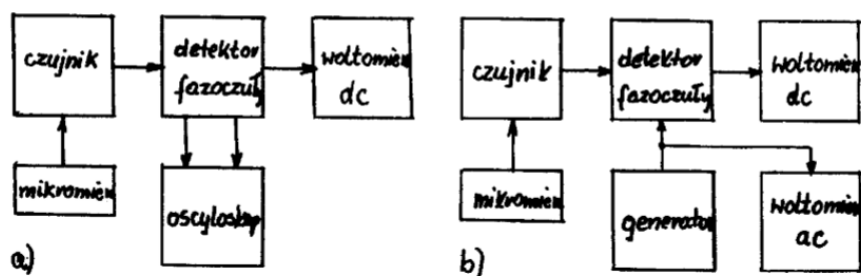
Rys. 2 Podstawowe układy pracy czujników różnicowych: a) - dławikowego, b) - transformatorowego



Rys. 3 Typowy przebieg charakterystyki przetwarzania czujnika różnicowego: a) - pomiar modułu napięcia U_{wy}



Rys. 4 Ilustracja zasady działania prostownika fazoczułego, synchronicznego: a)- podstawowy układ, b) przebiegi czasowe.



Rys. 5 Układy pomiarowe: a) do punktów 2 i 3 programu, b) do punktu 4 programu.

Do określenia powtarzalności pomiaru, zastosować następujący sposób. Dla określonej liczby pomiarów od 6 do 10 obliczyć odchylenie średnie kwadratowe z pojedynczego pomiaru z serii (zależność 2) oraz, korzystając z rozkładu t-Studenta, określić przedział ufności $\pm \Delta_{\max}$ przy zadanym poziomie ufności α (Tab. 1)

$$S = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (2)$$

Gdzie: $\bar{x}$ - wartość średnia, n - liczba pomiarów oraz $\Delta_{\max} = t \cdot s$ gdzie: t - współczynnik rozkładu t-Studenta (z tablicy).

Tab. 1 Fragment tablica rozkładu t-Studenta

n-1	4	5	6	7	8	9	10	11	12
P=1- α =0,95	2,776	2,572	2,447	2,365	2,206	2,262	2,228	2,201	2,179
P=1- α =0,99	4,604	4,032	3,707	3,499	3,355	3,250	3,169	3,106	3,055

Granica przedziału ufności, $\Delta_{\max}$, jest błędem powtarzalności lub niepewności pojedynczego pomiaru. Jeżeli ten błąd jest dużo mniejszy od błędu nieliniowości charakterystyki (co najmniej 3-5 razy), celowym jest przeprowadzenie korekcji charakterystyki.

Ćwiczenie nr 14. Pomiary przemieszczeń liniowych

Tab. 2 Dane katalogowe czujników.

Parametry	OT12	AGH5
Zakres maksymalny	3mm	11mm
Zakres liniowej pracy	$\pm 1\text{mm}$	$\pm 5\text{mm}$
Nieliniowość	$\pm 1\%$	$\pm 0.5\%$
Czułość		47mV/V/mm
Histeresa	1%	-
Zkres temperatur	$-30^{\circ}\text{C} \div +60^{\circ}\text{C}$	$-40^{\circ}\text{C} \div +100^{\circ}\text{C}$
Tem. współcz. zera		0.005%/°C
Temp. współcz. czułości		0.005%/°C
Zasilanie	5V, 5kHz	5V, 10kHz

Pytania kontrolne:

1. Jak definiujemy indukcyjność własną długiego solenoidu powietrznego?
2. Omówić podstawowe układy pracy czujników różnicowych, dławikowego i transformatorowego?
3. Opisać zasadę pracy czujników indukcyjnościowych?
4. Omówić zasadę określenia powtarzalność pomiaru z zastosowaniem rozkładu t-Studenta.
5. Narysować i omówić typowy przebieg charakterystyki przetwarzania czujnika różnicowego.

Literatura

1. Łapiński M., Pomiary elektryczne i elektroniczne wielkości nieelektrycznych, WNT, Warszawa 1974
2. Romer E., Miernictwo przemysłowe, PWN, Warszawa 1978
3. Szumielewicz B., Słomski B., Styburski W., Pomiary elektroniczne w Technice, WNT, Warszawa 1982

Zestaw przyrządów pomiarowych

1. przetwornik przemieszczenia liniowego, tzn. czujnik z detektorem fazoczulym, wraz z uchwytem mocującym i mikrometrem
2. woltomierz DC cyfrowy (np. V541, Metex M4650CR))
3. woltomierz AC cyfrowy (np. V541 lub V543)
4. generator przebiegu sinusoidalnego o regulowanym napięciu wyjściowym $\geq 7\text{V}$, i regulowanej częstotliwości (np. PO23)