LABORATORIUM
POMIARÓW WIELKOŚCI NIEELEKTRYCZNYCH

Pomiary statycznych parametrów indukcyjnościowych przetworników przemieszczenia liniowego

Wrocław 1994

Pomiary statycznych parametrów indukcyjnościowych czujników przemieszczenia liniowego

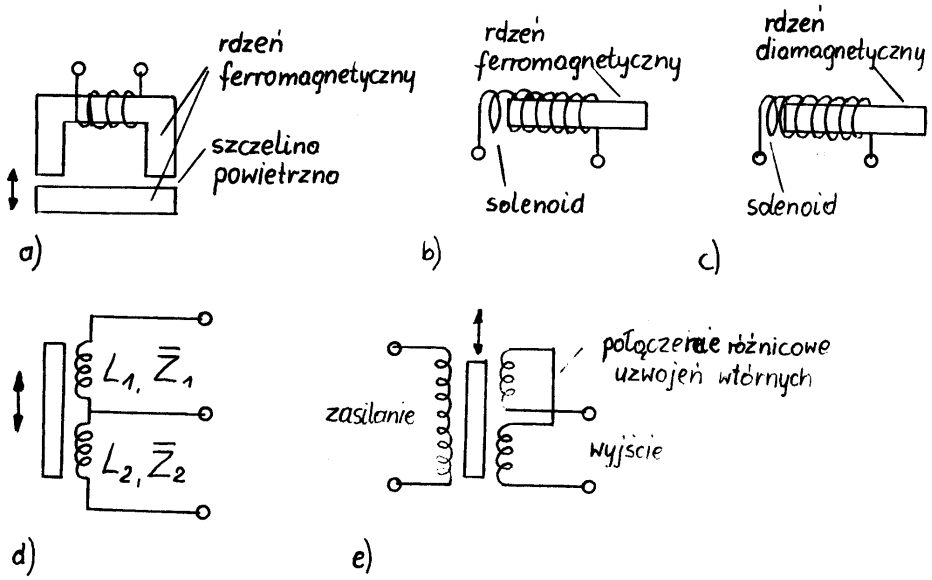
Celem ćwiczenia jest poznanie zasady działania czujników dławikowych i transformatorowych, w typowych układach pracy, określenie ich podstawowych parametrów statycznych oraz zbadanie ich podatności na zmiany wielkości wpływających na wyniki pomiarów.

Program ćwiczenia:
1. Zapoznanie się z układem pomiarowym i przygotowanie go do pomiarów.
2. Pomiar charakterystyki statycznej przetwarzania, określenie zakresu, czułości, nieliniowości oraz histerezy.
3. Określenie powtarzalności (błędu przypadkowego) przetwarzania.
4. Określenie podatności czujnika za zmiany napięcia zasilania oraz na zmiany częstotliwości zasilania.
5. Omówienie źródeł błędu. Określenie podstawowego błędu przetwarzania oraz błędów dodatkowych.

Wprowadzenie do tematu.

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.



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

Zmianę indukcyjności dławika można uzyskać na trzy podstawowe sposoby: przez zmianę szczeliny powietrznej w rdzenie 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 :

$$Lp = \frac{\mu_o \cdot z^2 \cdot S}{1}$$

Gdzie: L_o- indukcyjność własna [H], z – liczba zwojów, S – pole powierzchni przekroju poprzecznego [m^2] l – długość uzwojenia [m].$\mu_o = 4\pi \cdot 10^{-7}$H/m – przenikalność magnetyczna próżni.

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

$$L = \mu_r \cdot L_o$$

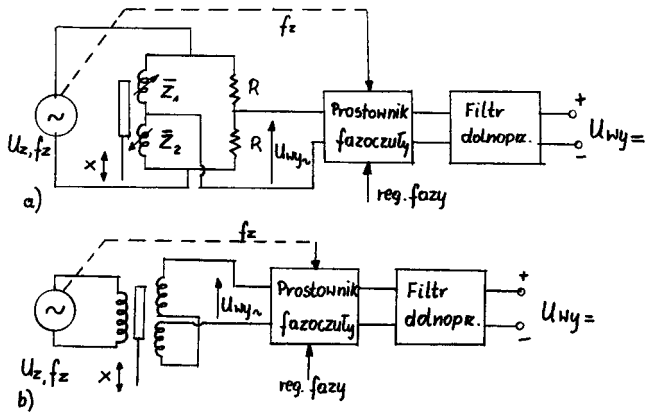
Dobierając odpowiednio parametry solenoidu i rdzenia można uzyskać liniową zależność pomiędzy przemieszczeniem rdzenia w solenoidzie i zmianą indukcyjności własnej solenoidu (liniową charakterystykę przetwarzania).

Czujniki dławikowe są najczęściej budowane jako układy symetryczne, różnicowe, w których zwiększeniu indukcyjności własnej jednego segmentu czujnika (np. L_1 – rys. 1.d.) 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 rozrównoważony (rys.2)

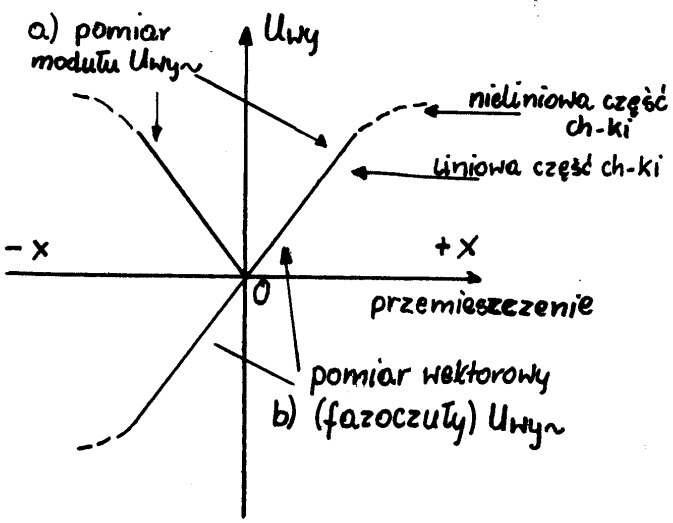
Najczęściej stosowany w praktyce jest czujnik transformatorowy różnicowy (rys. 1c). Zmiana położenia rdzenia ferromagnetycznego powoduje zmianę sprzężenia magnetycznego pomiędzy uzwojeniem pierwotnym (zasilającym) oraz dwoma uzwojeniami wtórnymi, połączonymi przeciwsobnie. Jeżeli do wyjścia jest dołączony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



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

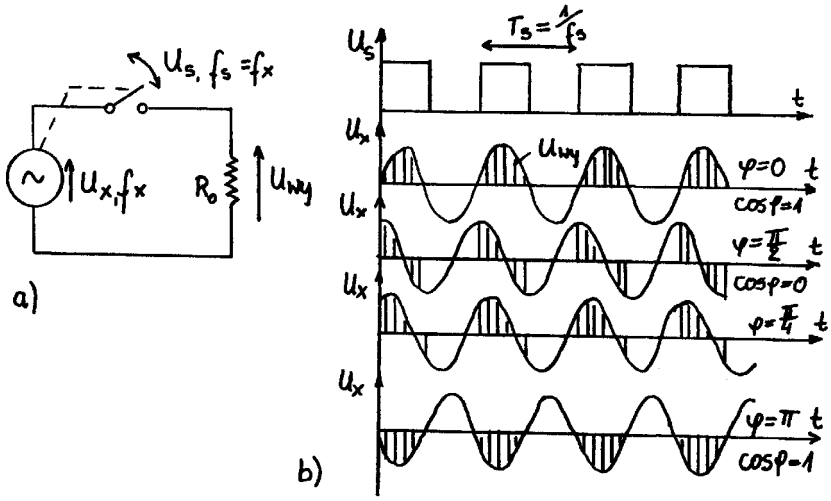


Rys.3. Typowy przebieg charakterystyki przetwarzania czujnika różnicowego: a) – pomiar madułu napięcia $U_{wy\sim}$

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:

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

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

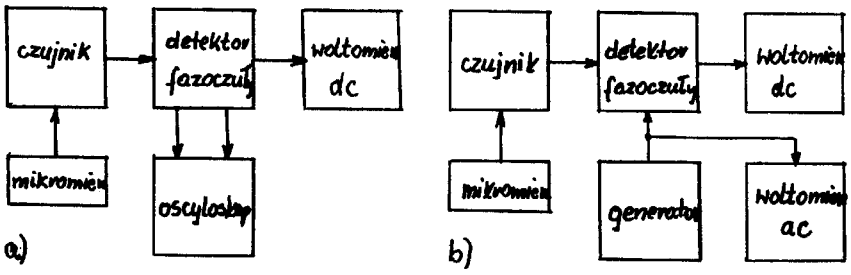


Rys.4. Ilustracja zasady działania prostownika fazoczułego, synchronicznego: a)- podstawowy układ, b) przebiegi czasowe.

Omówienie szczegółowe programu. (wg punktów programu)

Ad.1 Pomiary przewidziane w punktach 2 i 3 programu należy wykonać w układzie przedstawionym na rys. 5a, natomiast pomiary z punktu 4 w układzie z rys. 5b.

Uwaga: W pomiarach wykonywanych w punktach 2 i 3 programu (rys.5a) korzysta się z generatora wewnętrznego, wbudowanego do detektora, który zapewnia nominalne warunki pracy czujników.



Uwaga: fazę ustawić na mx U_{wy}

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

Ad.2. Zmierzyć <u>charakterystykę statyczną</u> przetwornika przemieszczeń liniowych (czujnik + prostownik) $U_{wy} = f(x)$, gdzie x – przemieszczenie:

a) dla czujnika dławikowego AGH5
b) dla czujnika transformatorowego UT12

Zmiany przemieszczenia zadawać mikrometrem.

Określić <u>zakres przemieszczeń</u> odpowiadających liniowej charakterystyce przetwarzania. Obliczyć <u>błąd nieliniowości przetwarzania</u>, zdefiniowany w stosunku do prostej najlepiej aproksymującej punkty pomiarowe, przechodzącej przez zero. Narysować wykres błędu bezwzględnego i względnego nieliniowości. Nominalny zakres pomiarowy czujnika AGH5 wynosi ± 5mm, a czujnika OT12 - ± 1mm, względem „zera".

Wyznaczyć <u>czułość C</u> układu przetwornika jako nachylenie prostej aproksymującej, odniesione do napięcia zasilania czujnika (U_z = 4V), tzn. [C] = mV/V/mm.

Określić <u>błąd histerezy</u> dla dwóch kierunków przemieszczenia rdzenia.

Uwaga: Do znalezienia prostej aproksymującej punkty pomiarowe zastosować metodę <u>najmniejszych kwadratów.</u>

Ad.3. Niekontrolowane czynniki (np. luzy w prowadzeniu rdzenia, tarcie itp.) są przyczynami powstawania <u>błędów przypadkowych</u> . Miarą tych błędów jest <u>powtarzalność</u> pomiaru, którą można określić w podany niżej sposób.

Dokonać 6-10 pomiarów określonego przemieszczenia, przekręcając śrubę mikrometru raz w jedna, raz w drugą stronę od badanej nastawy. Obliczyć odchylenie średnie kwadratowe s pojedynczego pomiaru z serii oraz, korzystając z rozkładu t-Studenta, określić przedział ufności $\pm \Delta_{max}$ przy zadanym poziomie ufności &:

$$S = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} (x - \overline{x})^z}{n - 1}}$$

Gdzie: $\overline{x}$ - wartość średnia, n- liczba pomiarów oraz

$\Delta_{max} = t \cdot s$

gdzie: $t_{\&, n-1}$ – współczynnik rozkładu t-Studenta (z tablicy).

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

Granica przedziału ufności, Δ_{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.

Ad.4. Zbadać wpływ napięcia i częstotliwości zasilania na pracę czujników i prostownika fazoczułego. Napięcie i częstotliwość zmienić w granicach ± 10% w stosunku do wartości nominalnych. Zmiana częstotliwości może powodować zarówno przesunięcie „zera", jak i zmianę czułości.

Ad.5. Błędem podstawowym przetwarzania określa się błąd występujący w nominalnych warunkach pomiaru. Błędy dodatkowe pochodzą z odstępstw od tych warunków.

Spis przyrządów.

a) przetwornik przemieszczenia liniowego, tzn. czujnik z detektorem fazoczulym, wraz z uchwytem mocującym i mikrometrem
b) woltomierz DC cyfrowy (np. V541, Metex M4650CR))
c) woltomierz AC cyfrowy (np.V541 lub V543)
d) oscyloskop dwukanałowy
e) generator przebiegu sinusoidalnego o regulowanym napięciu wyjściowym ≥ 7V, i regulowanej częstotliwości (np. PO23)

Dane katalogowe czujników.

Parametry	OT12	AGH5
Zakres maksymalny	3mm	11mm
Zakres liniowej pracy	±1mm	±5mm
Nieliniowość	±1%	±0.5%
Czułość		47mV/V/mm
Histereza	1%	-
Zkares temperatur	-30°C ÷+60°C	-40°C ÷+100°C
Tem. współcz. zera		0.005%/°C
Temp. współcz. czułości		0.005%/°C
Zasilanie	5V, 5kHz	5V, 10kHz

BIBLIOGRAFIA

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