



Politechnika Wroclawska

Wydział Elektryczny,
Katedra Maszyn, Napędów i Pomiarów Elektrycznych
Laboratorium Przetwarzania i Analizy Sygnałów Elektrycznych
(bud A5, sala 310)

Instrukcja dla studentów kierunku Automatyka i Robotyka do zajęć laboratoryjnych

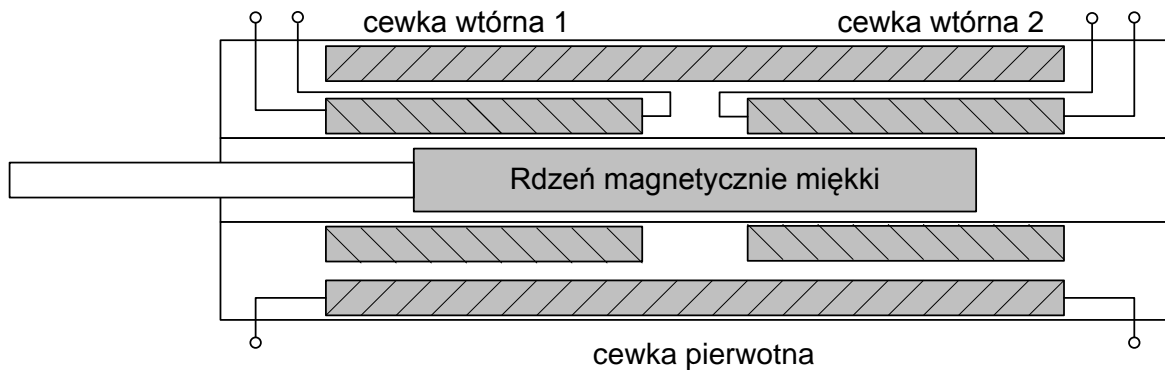
Pomiary przemysłowe

Ćwiczenie 11 (seria II)

Indukcyjnościowe przetworniki przemieszczeń

1 Pomiary przemieszczenia liniowego - Transformator różnicowy

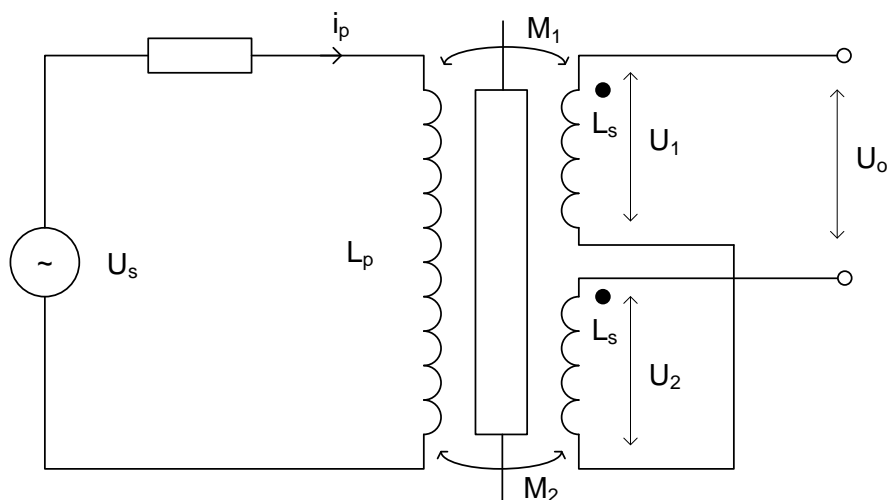
W transformatorach różnicowych zwanych również czujnikami LVDT (*Linear Variable Differential Transformer*) wielkość zmieniająca się pod wpływem przemieszczenie x jest indukcyjność wzajemna pomiędzy uzwojeniem pierwotnym a uzwojeniami wtórnymi. Zmianę indukcyjności wzajemnej w czujnikach LVDT uzyskuje się poprzez ruchomy rdzeń sprzęgający magnetycznie uzwojenia czujnika. Czujnik LVDT składa się z 3 uzwojeń oraz ruchomego rdzenia ferromagnetycznego. Budowę transformatora różnicowego przedstawiono na rysunku 1



Rys.1 Budowa transformatora różnicowego

Uzwojenie pierwotne typowego transformatora różnicowego zasilane jest napięciem przemiennym o częstotliwości z zakresu od 50Hz do 20kHz. Uzwojenia wtórne posiadają identyczną liczbę zwojów oraz podobny rozkład zwojów.

Połączenie uzwojeń wtórnych zależy od zastosowanego układu przetwarzania sygnału. Przeważnie uzwojenia wtórne połączone są końcami lub początkami cewek tak by indukowane w nich napięcie się kompensowało. Przykładowe połączenie uzwojeń transformatora różnicowego przedstawiono na rysunku 2. Takie połączenie uzwojeń umożliwia określenie centralnego położenia rdzenia ferromagnetycznego, przy którym napięcie wyjściowe U_o wynosi 0.



Rys.2 Połączenie uzwojeń wtórnych w transformatorze różnicowym

Przesunięcie rdzenia względem pozycji środkowej będzie powodowało, różnicę pomiędzy indukcyjnością wzajemną uzwojeń wtórnych a uzwojenia pierwotnego. Asymetria indukcyjności wzajemnej spowoduje różnicę między napięciami u_1 i u_2 ,

$$u_1 = M_1 \cdot si_p$$

$$u_2 = M_2 \cdot si_p$$

przez co na wyjściu czujnika pojawi się napięcie wyjściowe u_o będące różnicą napięć wyidukowanych w uzwojeniach wtórnych

$$u_o = u_1 - u_2 = (M_1 - M_2) \cdot si_p.$$

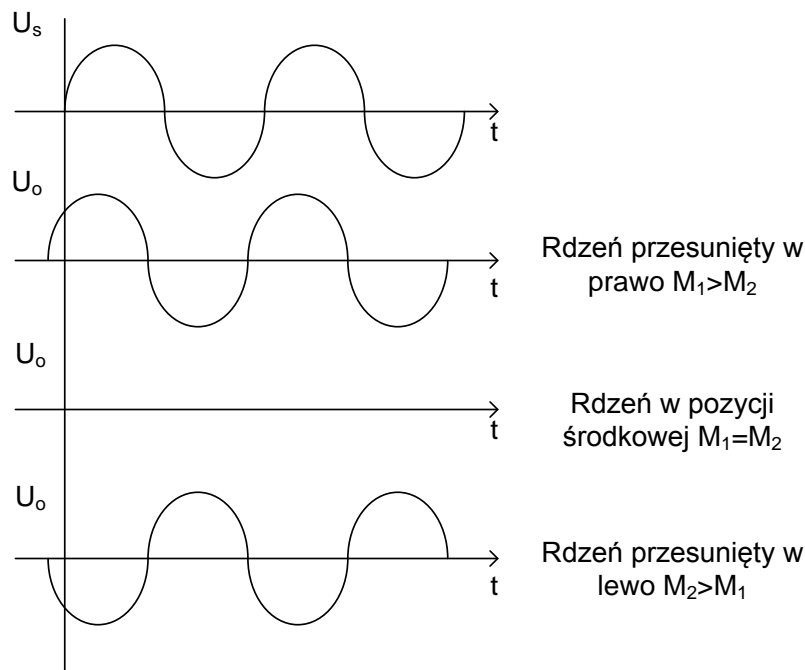
Przyjmując prąd i_p płynący w uzwojeniu pierwotnym równy:

$$i_p = \frac{u_s}{(R + sL_p)}$$

można przyjąć, że napięcie wyjściowe układu

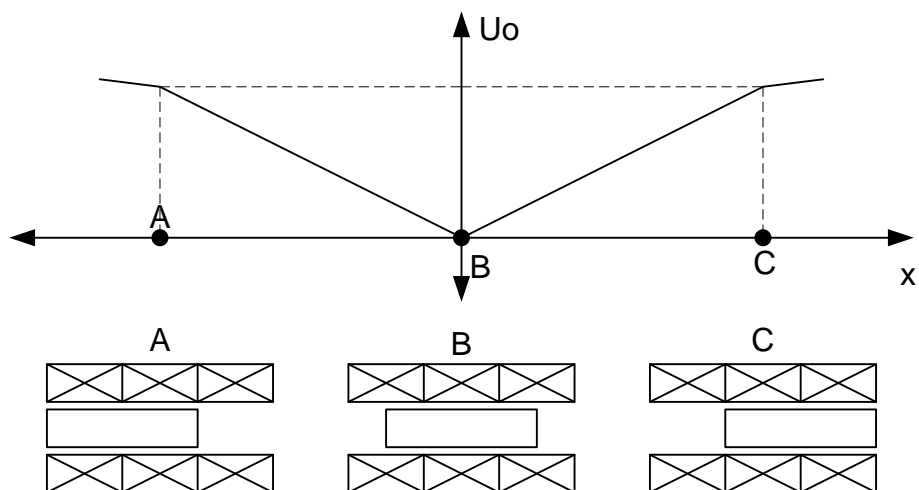
$$u_o = u_s \frac{(M_1 - M_2)s}{(R + sL_p)}$$

zależy od różnicy pomiędzy indukcyjnością wzajemną M_1 i M_2 które zmieniają się pod wpływem zmiany położenia rdzenia. Kierunek oraz przemieszczenie trzpienia pomiarowego względem punktu środkowego czujnika będzie określony amplitudą i fazą napięcia wyjściowego. Faza napięcia wyjściowego ulega zmianie przy przejściu rdzenia pomiarowego przez położenie środkowe. Zależność fazy od położenia rdzenia przedstawiona na rysunku 3.



Rys.3. Przebieg napięcia wyjściowego dla różnych położen rdzenia.

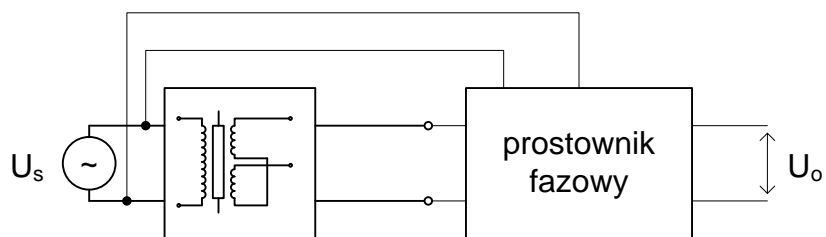
Dla układu uzwojeń wtórnych połączonych przeciwsobnie (Rys. 2) wartość skuteczna napięcia wyjściowego U_o od położenia rdzenia nie jest funkcją jednoznaczną (Rys. 4)



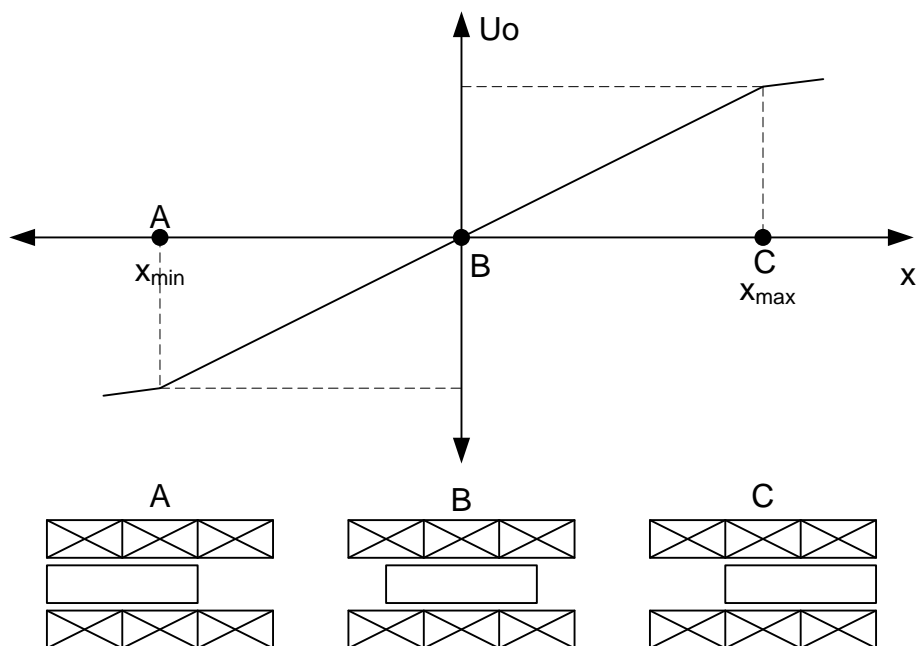
Rys.4: Zależność sygnału wyjściowego od położenia rdzenia dla układu z rysunku 2.

Przedstawiona charakterystyka napięcia wyjściowego nie daje możliwości jednoznacznego określenia pozycji trzpienia pomiarowego, gdyż napięcie wyjściowe przyjmuje taką samą wartość dla dwóch położów rdzenia ferromagnetycznego.

Istnieje wiele sposobów umożliwiających określenie położenia rdzenia względem pozycji środkowej. Jedną z nich jest użycie prostownika fazoczułego. Prostownik synchronizowany jest z napięciem z generatora a przetwarza napięcie przemiennie z wyjścia czujnika na napięcie stałe proporcjonalne do przemieszczenia w zakresie x_{\min} do x_{\max} .

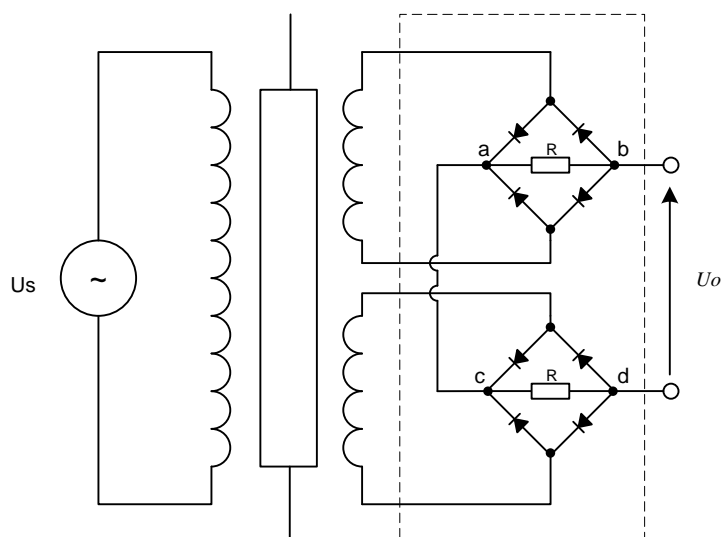


Rys.5. Połączeni czujnika LVDT z prostownikiem fazoczułym



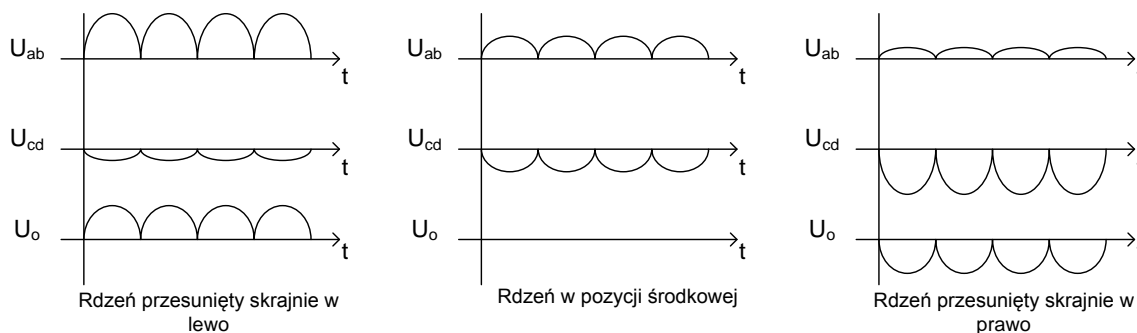
Rys.6. Charakterystyka amplitudy napięcia U_o od przesunięcia x

Gdy cewki wtórne transformatora LVDT nie są połączone końcami lub początkami, to stosując dwa prostowniki uzyskamy układ o jednoznacznej funkcji przetwarzania (Rys.7). Układ składa się z dwóch mostków prostowniczych, z których każdy połączony jest z jednym uzwojeniem wtórnym. Napięcie wyjściowe układu jest różnicą napięć z obydwu mostków. W celu ułatwienia obserwacji przebiegów na oscyloskopie prostowniki nie wyposażono w kondensatory filtrujące.



Rys.7. Transformator różnicowy z układami prostownikowymi

Sygnalem wyjściowym będzie napięcie stałe określające położenie rdzenia ferromagnetycznego względem pozycji środkowej. Kierunek przesunięcia określa polaryzacja napięcia. Na rysunku 8. przedstawiono wartości chwilowe napięcia w mostkach prostowniczych.



Rys.8. Kształt napięć w układzie LVDT z mostkami prostowniczymi (Rys.7)

Parametry czujników LVDT zależą od konstrukcji. Zakres mierzonych przemieszczeń za pomocą transformatorów różnicowych może się zawierać w kilku μm do kilku cm , przy czym niepewność pomiaru jest rzędu 0.1-1% zakresu pomiarowego czujnika. Charakterystyczną wielkością każdego czujnika transformatorowego jest czułość pomiaru, która opisuje zmianę napięcia wyjściowego od przemieszczenia.

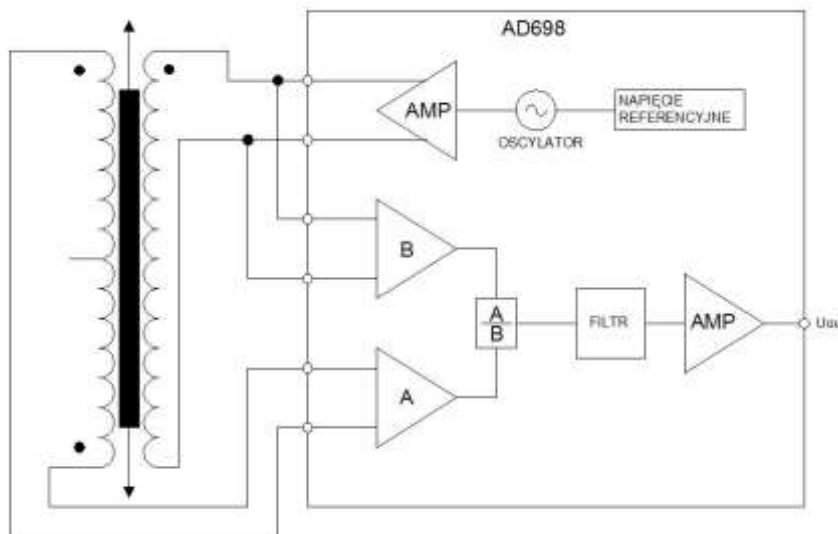
Wielką zaletą czujników LVDT jest ich trwałość. W porównaniu z czujnikami potencjometrycznymi transformatory różnicowe nie posiadają fizycznego połączenia rdzenia z cewkami przez co znacznie wydłuża się żywotność takiego czujnika.

Szerokie zastosowanie transformatorów różnicowych spowodowało opracowanie przez wielu producentów układów scalonych kondycjonerów do czujników transformatorowych.

Przykładowy układ AD698 – zastosowany w makiecie dydaktycznej – produkowany przez Analog Devices jest kompletnym, monolitycznym kondycjonerem sygnału z czujników LVDT. Głównym zastosowaniem układu w połączeniu z czujnikiem jest określenie z dużą dokładnością i powtarzalnością mierzonego przemieszczenia w postaci napięcia stałego. Układ AD698 posiada wbudowane wszystkie komponenty potrzebne do pomiaru przemieszczenia poprzez zastosowanie transformatora różnicowego w różnych konfiguracjach np. w konfiguracji półmostkowej lub w połączeniu przeciwsobnym. Dostosowanie układu do wybranego czujnika odbywa się poprzez podłączenie do układu kilku elementów pasywnych od których będzie zależała częstotliwość napięcia oraz wzmocnienie sygnału wyjściowego z czujnika.

Układ posiada wbudowany generator sinusoidalny o niskim zniekształceniu służący do zasilania czujnika. Zaimplementowane w układzie dwa synchroniczne kanały demodulacji umożliwiają pomiar amplitudy zarówno napięcia zasilającego czujnik jak i sygnału wyjściowego. Mierzona wartość sygnału wejściowego jest dzielona przez wartość chwilową napięcia zasilającego czujnik, a następnie mnożona przez współczynnik skalujący. Zastosowanie takiej metody pomiaru umożliwia wyeliminowanie błędów skalowania powstałych w skutek zmiany amplitudy napięcia zasilającego czujnik.

Zasadę działania układu scalonego AD 698 można zaobserwować na schemacie blokowym przedstawionym poniżej



Rys. 9. Schemat blokowy kondycjonera AD698

W przedstawionym układzie transformator różnicowy pełni rolę czujnika przemieszczenia zamieniającego przesunięcie rdzenia na napięcie przemiennie proporcjonalne do mierzonego przemieszczenia. Amplituda napięcia wyjściowego rośnie przy oddalaniu rdzenia od środka czujnika. W celu określić kierunek przemieszczenia, konieczny jest pomiar fazy napięcia wyjściowego. Dwa zaimplementowane demodulatory synchroniczne służą do pomiaru napięcia w uzwojeniu pierwotnym i uzwojeniu wtórnym czujnika. Mierzony sygnał jest przetwarzany w układzie określającym stosunek między napięciem wyjściowym a napięciem zasilającym czujnik (A/B). Otrzymany w taki sposób sygnał jest filtrowany a następnie wzmacniany w celu wyskalowania.

2 Przebieg ćwiczenia

2.1 Czujnik przemieszczenia transformatorowy - Układ z mostkiem prostownikowym fazoczułym.

1. Sprawdź czy występują luzy mechaniczne pomiędzy rdzeniem a trzpieniem pchającym rdzeń – w razie potrzeby usunąć.
2. Podłączyć generator. Ustawić częstotliwość około 1,5kHz i wartość napięcia międzyszczytowego na 10V. Do zacisków U_{out} podłączyć woltomierz.
3. Przełączniki w górnym rzędzie ustawić w pozycji do dołu – pozycja - „mostek prostowniczy”
4. Obserwować na oscyloskopie napięcie w czasie przesuwania rdzenia na cewkach wtórnych L1 i L2 (przełączniki dolne w pozycji AC) oraz na wyjściu prostowników (przełączniki w pozycji DC. UWAGA – do obserwacji używać oscyloskopu z izolowanymi wejściami (dostępne FLUKE 105 lub Tektronix TPS2014)
5. Znaleźć centralną pozycję rdzenia - napięcie na wyjściu $U_{out} = V$.
6. Zmierzyć napięcie wyjściowe w zależności od ustawienia rdzenia w zakresie ± 15 mm od pozycji centralnej. W czasie pomiaru przełączniki dolne ustawić w pozycji DC lub odłączyć oscyloskop.

2.2 Czujnik przemieszczenia transformatorowy - Układ z kondycjonerem AD 698

1. Sprawdź czy występują luzy mechaniczne pomiędzy rdzeniem a trzpieniem pchającym rdzeń – w razie potrzeby usunąć.
2. Przełączniki w górnym rzędzie ustawić w pozycji do góry - do napisu „AD698”.
3. Przełączniki dolne ustawić w pozycji „AC”.
4. Obserwować na oscyloskopie (z izolowanymi wejściami) kształt na wejściu B układu AD698 (stała wartość i kształt) - zacisk L1 oraz napięcie na wejściu cewek wtórnych podłączonych różnicowo - zacisk L2
5. Znaleźć centralną pozycję rdzenia - napięcie na wyjściu = 0V.
6. Zmierzyć zmianę napięcia wyjściowego U_{out} w zależności od ustawienia rdzenia w zakresie ± 15 mm od pozycji centralnej.

2.3 Zadania do wykonania w sprawozdaniu z ćwiczenia laboratoryjnego

W sprawozdaniu umieścić

1. Wykresy zależności napięcia wyjściowego czujników od przemieszczenia (położenia) $U_{out}=f(x)$.
2. Na wykresie zaznaczyć zakres liniowej pracy czujnika i wykonać aproksymację liniową. Obliczyć błąd nieliniowości (liniowość).
3. Obliczyć czułość przetwornika przemieszczenia w zakresie liniowej pracy.
4. Wyjaśnić przebieg charakterystyk poza zakresem liniowej pracy czujników.