



Politechnika Wrocławska

**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

## **Czujniki i Przetworniki**

### **Ćwiczenie 3**

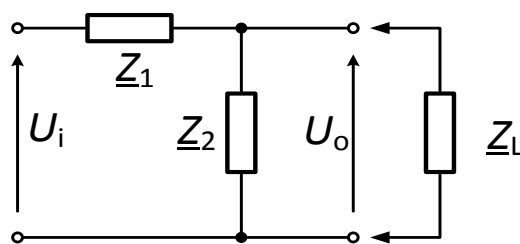
#### **Pomiar charakterystyk amplitudowych i fazowych obwodów wejściowych przetworników**

Czujnikami nazywane są układy przekształcające wielkość pierwotną, fizyczną – charakteryzującą obiekt pomiaru na wielkość elektryczną. Przetworniki są to urządzenia, które dokonują przekształceń danej wielkości na inną wielkość według przyjętej zależności (określonej transmitancją). np. napięcie elektryczne i natężenie prądu. Często zachodzi potrzeba przekształcenia typu „napięcie – napięcie” lub „prąd – napięcie”. Przetworniki analogowe są stosowane w torze pomiarowym w celu dopasowania wielkości na wyjściu czujnika do zakresu wejściowego kolejnego elementu w łańcuchu pomiarowym.

## Dzielniki napięcia

Dzielniki napięcia są używane w przetwornikach i aparaturze elektronicznej głównie w celu **amplitudowego dopasowania poszczególnych bloków funkcyjnych**. Najczęściej stosuje się je, gdy występujące na wejściu urządzenia napięcie elektryczne jest zbyt wysokie.

Transmitancja napięciowa  $K$  (stopień podziału) dzielnika, w zależności od elementów, z jakich jest wykonany, może zależeć od częstotliwości.



Rys. 1. Impedancyjny dzielnik napięcia

Ogólnie, dla nieobciążonego (impedancja obciążenia  $Z_L \rightarrow \infty$ ) dzielnika impedancyjnego przedstawionego na rys.1. transmitancja  $K_{u0}$  określona jest zależnością:

$$\underline{K}_{u0} = \frac{U_o}{U_i} = \frac{Z_2}{Z_1 + Z_2} = \frac{R_2 + jX_2}{(R_1 + R_2) + j(X_1 + X_2)} = \quad (1)$$

$$= \operatorname{Re}(\underline{K}_{u0}) + j \operatorname{Im}(\underline{K}_{u0}) = |\underline{K}_{u0}| e^{j\varphi}$$

$$|\underline{K}_{u0}| = \frac{\sqrt{R_2^2 + X_2^2}}{\sqrt{(R_1 + R_2)^2 + j(X_1 + X_2)^2}} \quad (2)$$

$$\varphi = \operatorname{arctg} \frac{X_2}{R_2} - \operatorname{arctg} \frac{X_1 + X_2}{R_1 + R_2} \quad (3)$$

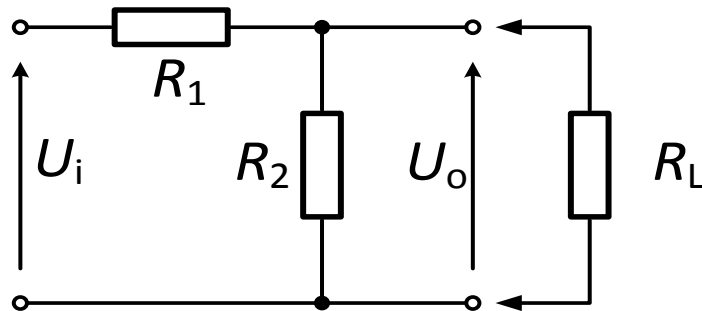
$$\operatorname{Re}(\underline{K}_{u0}) = |\underline{K}_{u0}| \cos \varphi ; \quad \operatorname{Im}(\underline{K}_{u0}) = |\underline{K}_{u0}| \sin \varphi$$

Dla dzielnika obciążonego ( $Z_{ob} \neq \infty$ ) transmitancję  $K_u$  należy obliczać z :

$$\underline{K}_u = \frac{U_o}{U_i} = \frac{Z_2 \parallel Z_L}{Z_1 + Z_2 \parallel Z_L} \quad (4)$$

### Dzielnik rezystancyjny

Dzielnik rezystancyjny (rys.2.) utworzony jest wyłącznie z rezystorów.



Rys.2. Dzielnik rezystancyjny

Brak elementów reaktancyjnych (kondensatory, cewki) powoduje, że może on pracować zarówno przy napięciu stałym jak i przemiennym.

Transmitancja  $K_{u0}$  (dzielnik nieobciążony;  $R_L \gg R_2$ ), takiego dzielnika, po przekształceniu (1) wynosi:

$$K_{u0} = \frac{U_o}{U_i} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \quad (5)$$

Natomiast uwzględniając obciążenie dzielnika rezystancją  $R_L$ , jego transmitancja ulegnie zmianie:

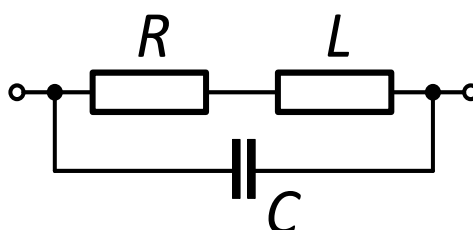
$$K_u = \frac{U_o}{U_i} = \frac{R_2 \parallel R_L}{R_1 + R_2 \parallel R_L} \quad (6)$$

W warunkach  $K_{u0}$  i  $K_u$  przesunięcie fazowe  $\varphi = 0^\circ$  i nie zależy od pulsacji  $\omega$ .

Idealny rezystor nie wprowadza przesunięcia fazowego.

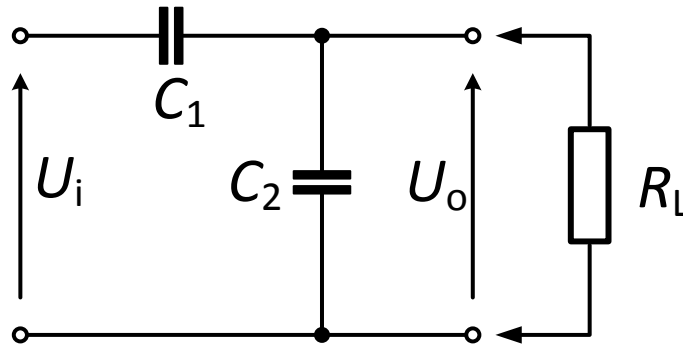
Rezystor rzeczywisty (rys. 3.) oprócz rezystancji  $R$  zawiera w sobie resztkowe elementy reaktancyjne (indukcyjność i pojemność).

Indukcyjność  $L$  jest sumą indukcyjności doprowadzeń oraz „cewki” wykonanej z materiału rezystancyjnego. Pojemność  $C$  odpowiada sumie pojemności międzyzwojowych oraz pojemności w stosunku do masy.



### Dzielnik pojemnościowy

Na rys.4. przedstawiono schemat ideowy dzielnika pojemnościowego, stosowanego w obwodach napięcia przemiennego, głównie przy wysokich napięciach lub przy wielkich częstotliwościach.



Rys.4. Dzielnik pojemnościowy

Napięcie wyjściowe  $U_o$  dzielnika nieobciążonego ( $R_L \gg X_{C2}$ ) określone jest:

$$U_o = \underline{K}_{u0} U_i$$

gdzie:

$$\underline{K}_{u0} = \frac{jX_2}{j(X_1 + X_2)} = \frac{\frac{1}{j\omega C_2}}{\left(\frac{1}{j\omega C_1} + \frac{1}{j\omega C_2}\right)} = \frac{C_1}{C_1 + C_2} \quad (7)$$

Przesunięcie fazowe  $\varphi = 0^\circ$  i nie zależy od pulsacji  $\omega$ .

W przypadku dzielnika obciążonego rezystancją  $R_L$ , napięcie wyjściowe:

$$U_o = \underline{K}_u U_i$$

gdzie zgodnie z (2):

$$\underline{K}_u = \frac{U_o}{U_i} = \frac{jX_2 \parallel R_L}{jX_1 + jX_2 \parallel R_L} = \frac{\frac{1}{j\omega C_2} \parallel R_L}{\frac{1}{j\omega C_1} + \frac{1}{j\omega C_2} \parallel R_L} = \frac{\frac{R_L}{1 + j\omega C_2 R_L}}{\frac{1}{j\omega C_1} + \frac{R_L}{1 + j\omega C_2 R_L}} \quad (8)$$

Jak widać z (8), przesunięcie fazowe  $\varphi$  i transmitancja  $\underline{K}_u$  dzielnika pojemnościowego obciążonego rezystancją są zależne od pulsacji  $\omega$  (częstotliwości).

Dodatkowo trzeba pamiętać, że kondensator nie jest „idealną pojemnością”.

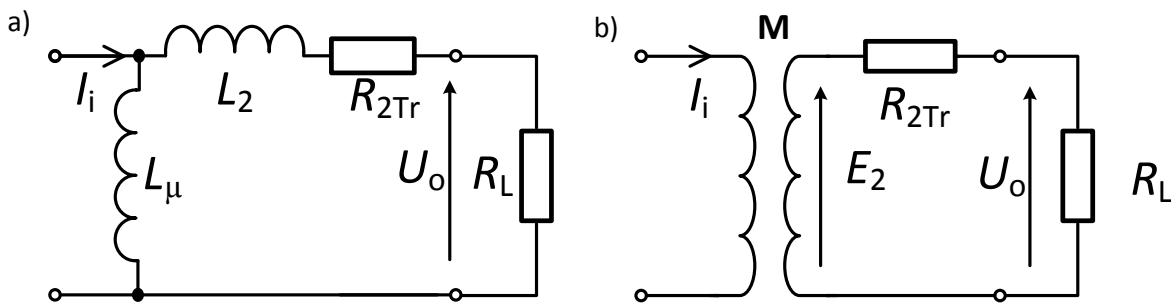
W rzeczywistym kondensatorze należałoby uwzględnić:

- rezystancje doprowadzeń
- straty dielektryczne i upływność dielektryka.

- indukcyjność doprowadzeń.

### Przetwornik i/u – transreaktor

Transreaktor jest urządzeniem przetwarzającym prąd wejściowy  $I_i$  na napięcie wyjściowe  $U_o$ . Zbudowane są podobnie do transformatorów z różnicą polegającą na tym, że rdzeń ferromagnetyczny posiada szczelinę. Na skutek tego indukcyjność magnesowania ( $L_\mu$ ) jest mała, a straty w rdzeniu nieznaczne. Schemat zastępczy i ideowy transreaktora przedstawia rys.5.



Rys.5. Transreaktor – schemat zastępczy (a), ideowy (b)

Jeżeli prąd pierwotny (wejściowy)  $I_i$  jest sinusoidalny, to wg. rys. 5a, napięcie wtórne (wyjściowe)  $U_o$  transreaktora wyraża równanie

$$U_o = \underline{K}_z I_i$$

w którym, transmitancję  $\underline{K}_z$  (transreaktancja) określa zależność:

$$\underline{K}_z = \frac{U_o}{I_i} = \frac{j\omega L_\mu R_L}{j\omega(L_\mu + L_2) + R_{2Tr} + R_L} \quad (9)$$

gdzie:  $L_\mu$  – indukcyjność magnesująca,  $L_2$  – indukcyjność uzwojenia wtórnego,  $R_{2Tr}$  – rezystancja uzwojenia wtórnego.

Na podstawie rys. 5b. można wykazać, że:

$$E_{2sr} = \omega M I_{imax} = 2\pi f M I_{imax} \quad (10)$$

gdzie  $f$ , to częstotliwość a  $M$  to indukcyjność wzajemna, oraz:

$$U_o = E_2 \frac{R_L}{R_L + R_{2Tr}}$$

Wady transreaktorów:

- $E_2$  zależy od częstotliwości
- $E_2$  jest przesunięte o  $90^\circ$  w stosunku do  $I_i$

- mała  $R_L$  dodatkowo zmienia przesunięcie fazowe  $\varphi$  pomiędzy  $U_o$  a  $I_i$

## OPIS ĆWICZENIA

### A. DZIELNIK REZYSTANCYJNY

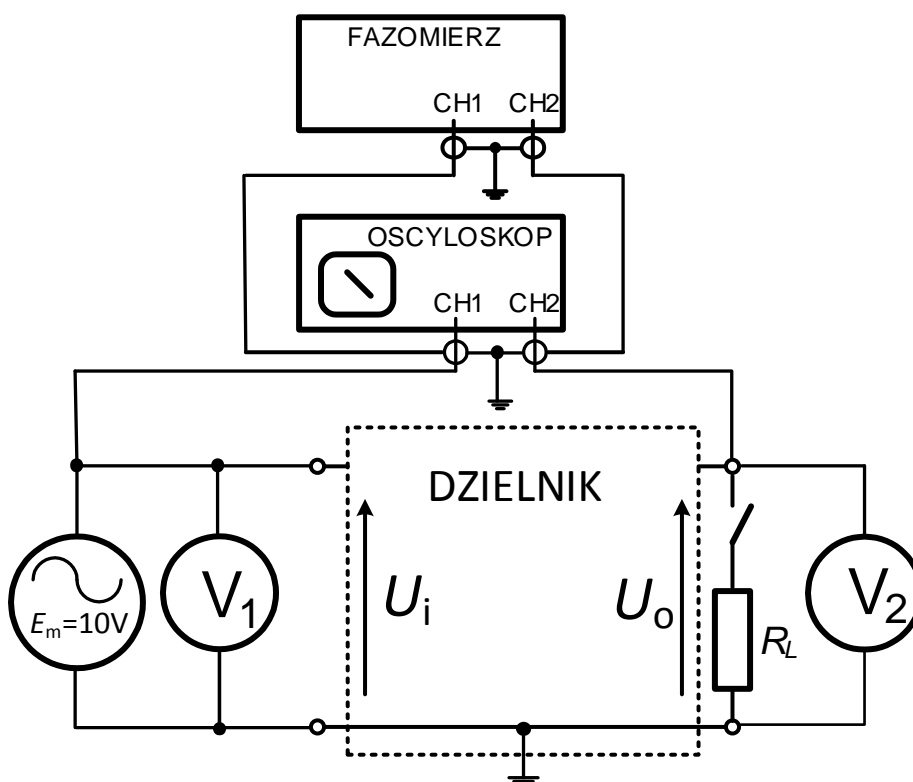
1) Oblicz teoretyczne transmitancje (stopnie podziału)  $K_{u0}$  i  $K_u$  dzielnika z rys.2 zbudowanego z precyzyjnych rezystorów drutowych:

$$R_1 = 23,7 \text{ k}\Omega \quad 0,2\%;$$

$$R_2 = 2,64 \text{ k}\Omega \quad 0,1\%$$

$$R_L = 10 \text{ k}\Omega$$

2) Do dzielnika dołącz przyrządy zgodnie z rys. 7.



Rys.7. Układ do badania dzielników

3) Zaprogramuj parametry GENERATORA:

$$\text{Amplituda } E_m = U_{im} = 10\text{V} = \text{const.}$$

$$\text{Częstotliwość } f = 50\text{Hz}$$

4) Zmieniając częstotliwość  $f$  zmierz charakterystyki amplitudowe i fazowe dzielnika nieobciążonego i obciążonego;

5) Wyniki zanotuj w tabeli 1 i tabeli 2

### Uwaga:

Interpretację graficzną pomiaru  $\varphi$  metodą oscyloskopową zawiera DODATEK

## B. DZIELNIK POJEMNOŚCOWY

1) Oblicz teoretyczne transmitancje (stopnie podziału)  $K_{u0}$  i  $K_u$  dzielnika z rys.3 zbudowanego z kondensatorów:

$$C_1 = 10\text{nF}/630\text{V}$$

$$C_2 = 100\text{nF}/630\text{V}$$

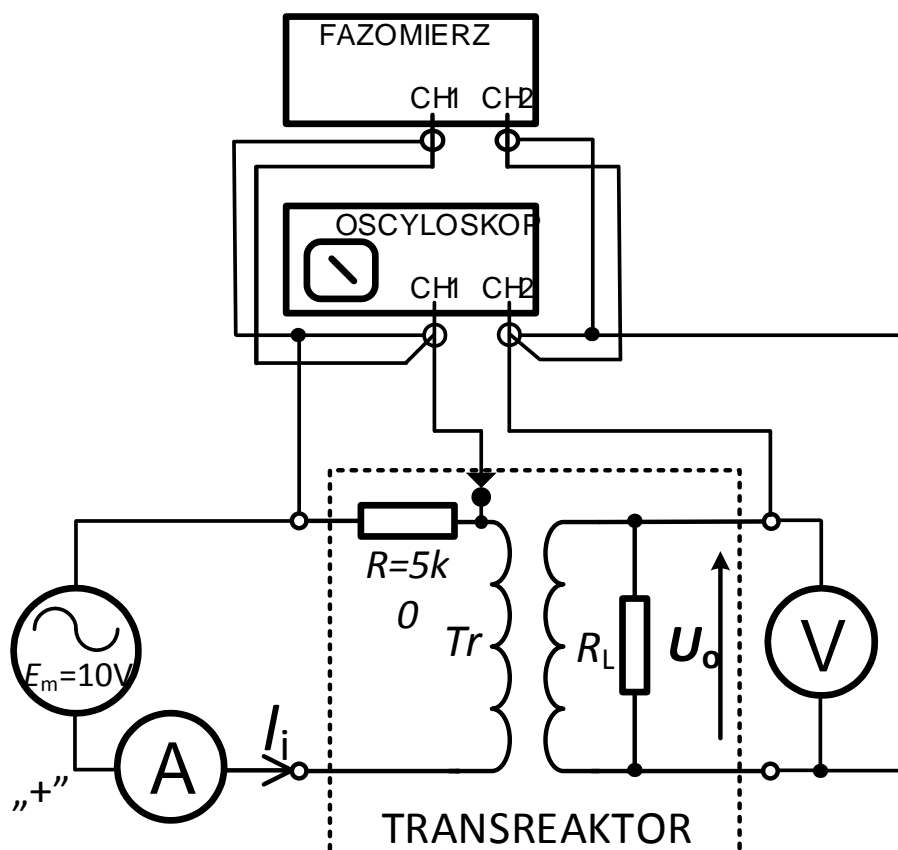
$$R_L = 10\text{k}\Omega$$

2) Powtórz badania zgodnie z p. A 2) – A 4)

3) Wyniki zanotuj w tabeli 3 i tabeli 4

## B. TRANREAKTOR

1) Do transreaktora dołącz przyrządy zgodnie z rys. 8



Rys.8. Układ do badania transreaktora

Uwaga: Rezystor  $R=5\text{k}\Omega$  służy do ustalenia prądu w obwodzie pierwotnym

2) Powtórz badania transreaktora zgodnie z p. A 2) – A 4)

3) Wyniki zanotuj w tabeli 5.

Protokół ćwiczenia:

## POMIAR CHARAKTERYSTYK AMPLITUDOWO - FAZOWYCH ...

Wrocław. ....

Grupa : .....

1. ....
2. ....
3. ....
4. ....

Termin:

Tabela 1. Pomiar charakterystyk amplitudowo-fazowych dzielnika rezystancyjnego nieobciążonego

f	$U_i$	$U_o$	$K_{u0}$	B	b	b/B	$\Phi_0$	$\Phi_{HP}$	$R_L$
[Hz]	[V]	[V]	[V/V]	[V]	[V]	-	[°]	[°]	[Ω]
50				20					∞
100									
200									
500									
1k									
2k									
5k									

Tabela 2. Pomiar charakterystyk amplitudowo-fazowych dzielnika rezystancyjnego obciążonego

f	$U_i$	$U_o$	$K_u$	B	b	b/B	$\Phi_0$	$\Phi_{HP}$	$R_L$
[Hz]	[V]	[V]	[V/V]	[V]	[V]	-	[°]	[°]	[Ω]
50				20					10k
100									
200									
500									
1k									
2k									



5k									
----	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Tabela 3. Pomiar charakterystyk amplitudowo-fazowych dzielnika pojemnościowego nieobciążonego

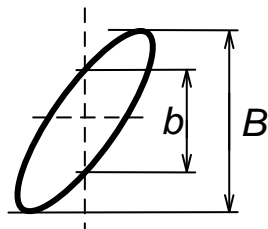
f	$U_i$	$U_o$	$K_{u0}$	B	b	b/B	$\Phi_0$	$\Phi_{HP}$	$R_L$
[Hz]	[V]	[V]	[V/V]	[V]	[V]	-	[°]	[°]	[Ω]
50				20					$\infty$
100									
200									
500									
1k									
2k									
5k									

Tabela 4. Pomiar charakterystyk amplitudowo-fazowych dzielnika pojemnościowego obciążonego

f	$U_i$	$U_o$	$K_u$	B	b	b/B	$\Phi_0$	$\Phi_{HP}$	$R_L$
[Hz]	[V]	[V]	[V/V]	[V]	[V]	-	[°]	[°]	[Ω]
50				20					10k
100									
200									
500									
1k									
2k									
5k									

Tabela 5. Pomiar charakterystyk amplitudowo-fazowych transreaktora obciążonego

f	$I_i$	$U_o$	$K_z$	B	b	b/B	$\Phi_0$	$\Phi_{HP}$	$R_L$
[Hz]	[V]	[V]	[V/V]	[V]	[V]	-	[°]	[°]	[Ω]
50									759
100									
200									
500									
1k									
2k									



$$\varphi = \arcsin(b/B)$$

