11. CZWÓRNIKI – KLASYFIKACJA, RÓWNANIA

11.1. WIELOBIEGUNNIK A WIELOWROTNIK I CZWÓRNIK

Definicja1.

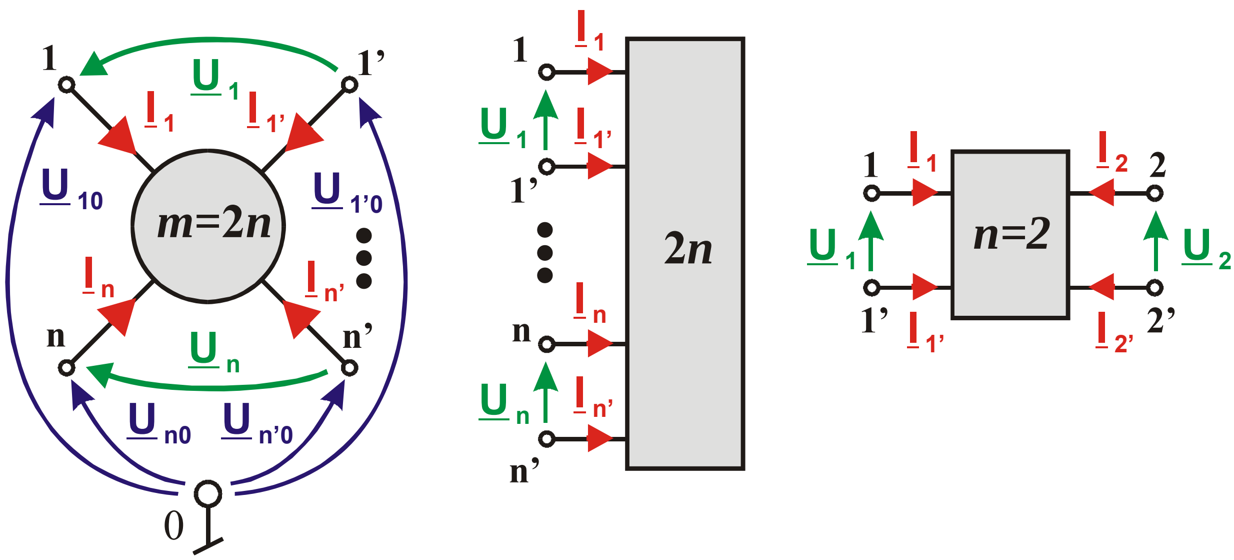
Jeśli: wielobiegunnik posiada parzystą liczbę zacisków (tzn. m=2n) zgrupowanych w n par
i dla każdej pary zacisków zachodzi związek (*warunek regularności*)

$$\boxed{\underline{I}_{k'} = -\underline{I}_k} \qquad (11.1)$$

to:
- każdą tak określoną parę zacisków nazywamy "bramą", "wrotami";
- napięcie na bramie określone jest odpowiednią różnicą napięć zaciskowych tworzących tę bramę;
- wielobiegunnik nazywamy wówczas WIELOWROTNIKIEM bądź WIELOBRAMNIKIEM.

Definicja 2.

Czwórnikiem (dwubramnikiem, dwuwrotnikiem) nazywamy wielowrotnik, dla którego 2n=4, czyli n=2.



Wyodrębnienie z klasy wielobiegunników wielowrotników a z ich zbioru czwórników

Każdy wielowrotnik a zatem i czwórnik można opisać wektorem napięć i prądów związanych z jego wrotami i tak:

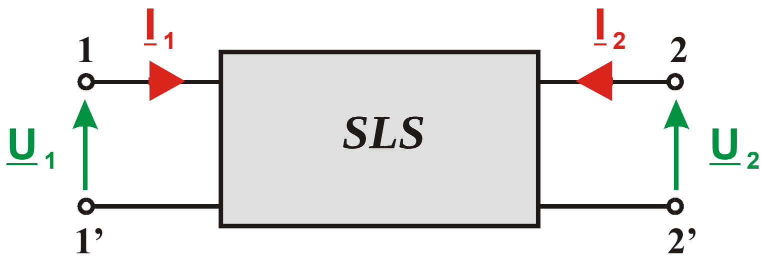
dla wielowrotnika

$$\underline{\mathbf{I}} = [\underline{I}_1, \underline{I}_2, \ldots, \underline{I}_n]^T, \quad \underline{\mathbf{U}} = [\underline{U}_1, \underline{U}_2, \ldots, \underline{U}_n]^T \tag{11.2}$$

dla czwórnika

$$\underline{\mathbf{I}} = [\underline{I}_1, \underline{I}_2]^T, \quad \underline{\mathbf{U}} = [\underline{U}_1, \underline{U}_2]^T \tag{11.3}$$

Przyjęte założenia pozwalają przedstawić czwórnik następująco



Para zacisków 1-1' – wrota **pierwotne**
2-2' – wrota **wtórne**

Granicznymi stanami pracy każdej z bram są:

- **stan jałowy** – gdy prąd danej bramy jest równy zeru ($\underline{I}_1=0$ lub $\underline{I}_2=0$)
- **stan zwarcia** – gdy napięcie danej bramy jest równe zeru ($\underline{U}_1=0$ lub $\underline{U}_2=0$)

11.2. PODSTAWOWE RÓWNANIA (ZACISKOWE) CZWÓRNIKA

Równaniami czwórnika nazywamy zależności wiążące ze sobą WIELKOŚCI ZACISKOWE, a więc prąd i napięcie wejściowe ($\underline{I}_1$, $\underline{U}_1$) oraz prąd i napięcie wyjściowe ($\underline{I}_2$, $\underline{U}_2$).

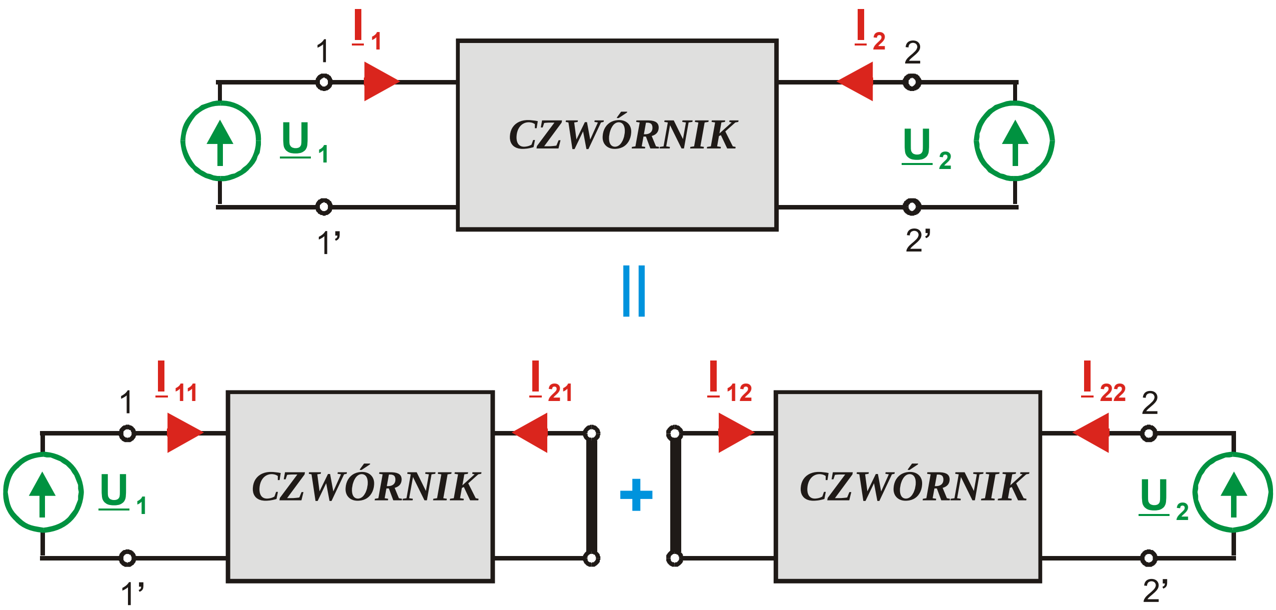
Spośród czterech wielkości zaciskowych tylko dwie mogą być przyjęte jako niezależne, a dwie pozostałe jako zależne. Para wielkości niezależnych może być wybrana na sześć różnych sposobów, **czwórnik można zatem opisać jednym z sześciu rodzajów równań zaciskowych**.

	Para wielkości zaciskowych		RODZAJ RÓWNAŃ
	ZALEŻNYCH	NIEZALEŻNYCH	
1.	$\underline{I}_1$, $\underline{I}_2$	**$\underline{U}_1$, $\underline{U}_2$**	**ADMITANCYJNE**
2.	$\underline{U}_1$, $\underline{U}_2$	**$\underline{I}_1$, $\underline{I}_2$**	**IMPEDANCYJNE**
3.	$\underline{U}_1$, $\underline{I}_2$	**$\underline{I}_1$, $\underline{U}_2$**	**HYBRYDOWE**
4.	$\underline{I}_1$, $\underline{U}_2$	**$\underline{U}_1$, $\underline{I}_2$**	**HYBRYDOWE ODWROTNE**
5.	$\underline{U}_1$, $\underline{I}_1$	**$\underline{U}_2$, $\underline{I}_2$**	**ŁAŃCUCHOWE**
6.	$\underline{U}_2$, $\underline{I}_{12}$	**$\underline{U}_1$, $\underline{I}_1$**	**ŁAŃCUCHOWE ODWROTNE**

dr inż. Marek Szulim
e-mail: mszulim@wat.edu.pl

1. RÓWNANIA ADMITANCYJNE CZWÓRNIKA

Przyjmujemy, że **wielkościami niezależnymi są napięcia**: pierwotne $\underline{U}_1$ oraz wtórne $\underline{U}_2$. Odpowiada to następującemu sposobowi pobudzenia czwórnika



$$\left.\begin{aligned}\underline{I}_1 &= \underline{I}_{11} + \underline{I}_{12}\\ \underline{I}_2 &= \underline{I}_{21} + \underline{I}_{22}\end{aligned}\right\}$$

gdzie:

$$\underline{I}_{11} = \underline{y}_{11}\underline{U}_1 \qquad \underline{I}_{12} = \underline{y}_{12}\underline{U}_2$$

$$\underline{I}_{21} = \underline{y}_{21}\underline{U}_1 \qquad \underline{I}_{22} = \underline{y}_{22}\underline{U}_2$$

Zatem równania admitancyjne czwórnika otrzymuje się jako:

$$\boxed{\left.\begin{aligned}\underline{I}_1 &= \underline{y}_{11}\underline{U}_1 + \underline{y}_{12}\underline{U}_2\\ \underline{I}_2 &= \underline{y}_{21}\underline{U}_1 + \underline{y}_{22}\underline{U}_2\end{aligned}\right\}} \qquad \textbf{(11.4)}$$

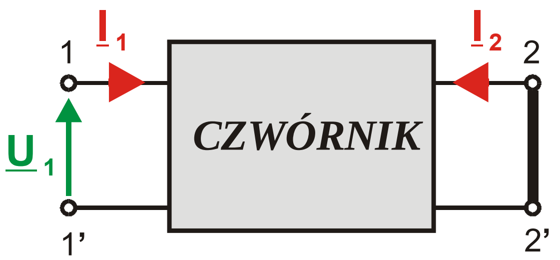
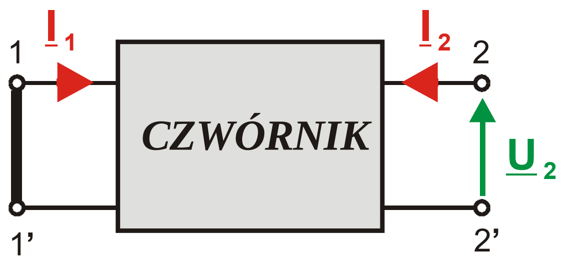
dr inż. Marek Szulim
e-mail: mszulim@wat.edu.pl

$$\boxed{\left.\begin{aligned}\underline{I}_1 &= \underline{y}_{11}\underline{U}_1 + \underline{y}_{12}\underline{U}_2\\ \underline{I}_2 &= \underline{y}_{21}\underline{U}_1 + \underline{y}_{22}\underline{U}_2\end{aligned}\right\}} \qquad \textbf{(11.4)}$$

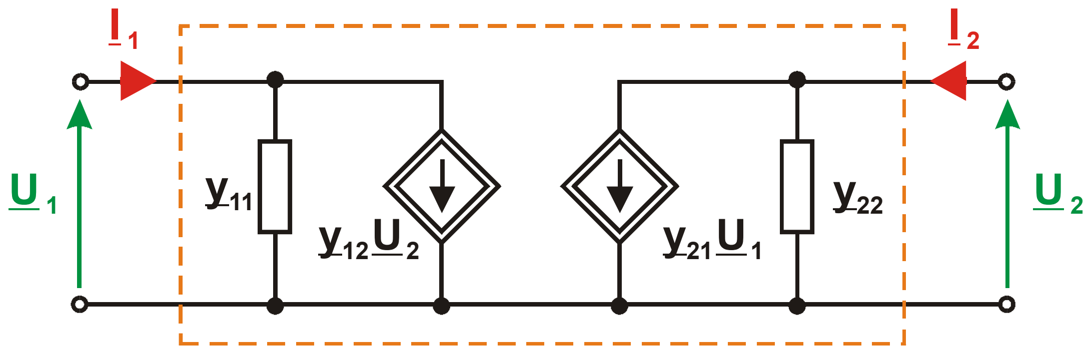
lub w postaci macierzowej

$$\begin{bmatrix}\underline{I}_1\\ \underline{I}_2\end{bmatrix} = \begin{bmatrix}\underline{y}_{11} & \underline{y}_{12}\\ \underline{y}_{21} & \underline{y}_{22}\end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix}\underline{U}_1\\ \underline{U}_2\end{bmatrix} = \underline{\mathbf{Y}} \cdot \begin{bmatrix}\underline{U}_1\\ \underline{U}_2\end{bmatrix} \qquad (11.5)$$

Elementy **macierzy admitancyjnej $\underline{\mathbf{Y}}$** nazywamy **parametrami admitancyjnymi czwórnika** - można je wyznaczyć z układu równań 11.4 (jako stosunki prądów zaciskowych do napięć zaciskowych przy zwarciu jednej z par zacisków):

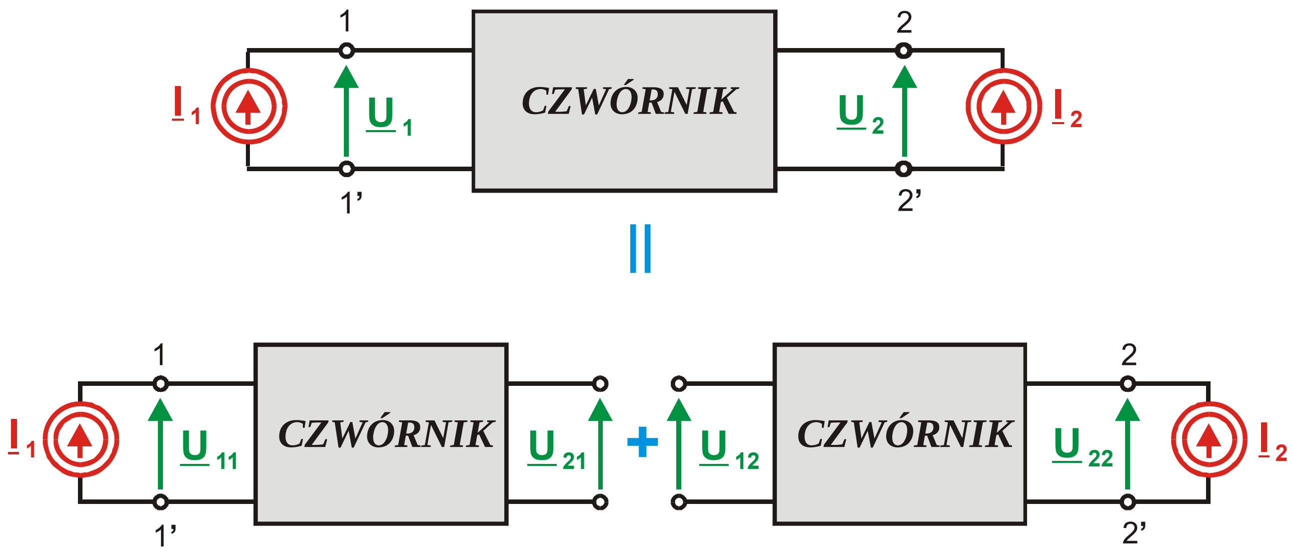
$\underline{y}_{11} = \left.\dfrac{\underline{I}_1}{\underline{U}_1}\right\vert_{\underline{U}_2=0}$ admitancja dwójnika 1-1' (od P)	$\underline{y}_{12} = \left.\dfrac{\underline{I}_1}{\underline{U}_2}\right\vert_{\underline{U}_1=0}$ admitancja wzajemna od W do P
$\underline{y}_{21} = \left.\dfrac{\underline{I}_2}{\underline{U}_1}\right\vert_{\underline{U}_2=0}$ admitancja wzajemna od P do W	$\underline{y}_{22} = \left.\dfrac{\underline{I}_2}{\underline{U}_2}\right\vert_{\underline{U}_1=0}$ admitancja dwójnika 2-2' (od W)
	

Model obwodowy (**schemat zastępczy**) czwórnika dla równań (11.4/5)



2. RÓWNANIA IMPEDANCYJNE CZWÓRNIKA

Przyjmujemy, że wielkościami **niezależnymi są prądy** $\underline{I}_1$ oraz $\underline{I}_2$. Odpowiada to następującemu sposobowi pobudzenia czwórnika



$$\left.\begin{aligned} \underline{U}_1 &= \underline{U}_{11} + \underline{U}_{12} \\ \underline{U}_2 &= \underline{U}_{21} + \underline{U}_{22} \end{aligned}\right\}$$

gdzie:

$$\underline{U}_{11} = \underline{z}_{11}\underline{I}_1 \qquad \underline{U}_{12} = \underline{z}_{12}\underline{I}_2$$
$$\underline{U}_{21} = \underline{z}_{21}\underline{I}_1 \qquad \underline{U}_{22} = \underline{z}_{22}\underline{I}_2$$

Zatem równania impedancyjne czwórnika otrzymuje się jako:

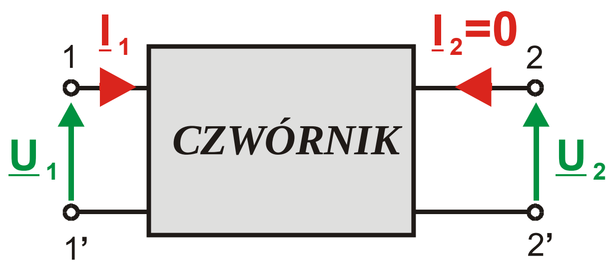
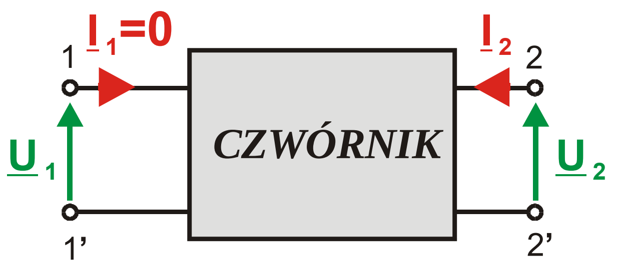
$$\boxed{\left.\begin{aligned} \underline{U}_1 &= \underline{z}_{11}\underline{I}_1 + \underline{z}_{12}\underline{I}_2 \\ \underline{U}_2 &= \underline{z}_{21}\underline{I}_1 + \underline{z}_{22}\underline{I}_2 \end{aligned}\right\}} \qquad \mathbf{(11.6)}$$

lub w postaci macierzowej

$$\begin{bmatrix} \underline{U}_1 \\ \underline{U}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \underline{z}_{11} & \underline{z}_{12} \\ \underline{z}_{21} & \underline{z}_{22} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \underline{I}_1 \\ \underline{I}_2 \end{bmatrix} = \underline{\mathbf{Z}} \cdot \begin{bmatrix} \underline{I}_1 \\ \underline{I}_2 \end{bmatrix} \qquad (11.7)$$

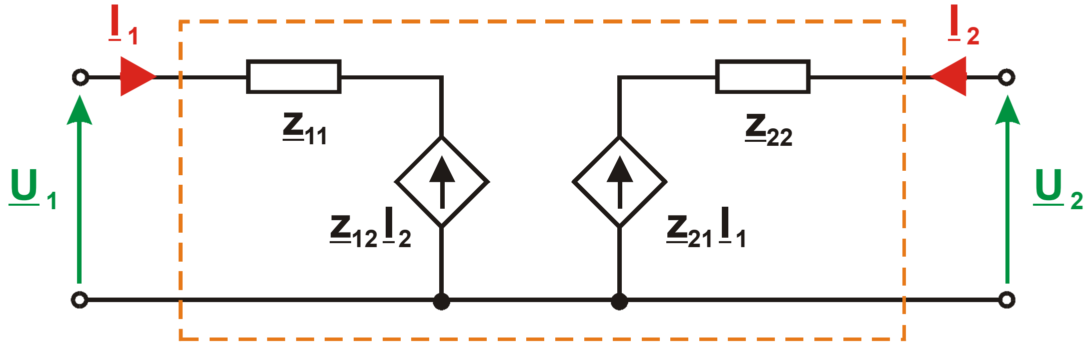
gdzie $\underline{\mathbf{Z}}$ nazywamy macierzą **impedancyjną czwórnika**.

Elementami macierzy impedancyjnej (**parametrami impedancyjnymi**) są w ogólnym przypadku liczby zespolone mające wymiar impedancji [Ω]. Można je wyznaczyć z równań 11.6 jako stosunki napięć zaciskowych do prądów zaciskowych przy <u>rozwarciu</u> jednej z par zacisków:

$\underline{z}_{11} = \left.\dfrac{\underline{U}_1}{\underline{I}_1}\right\vert_{\underline{I}_2=0} = \underline{Z}_{1o}$ impedancja dwójnika 1-1' (od P) *impedancja wejściowa pierwotna rozwarciowa*	$\underline{z}_{12} = \left.\dfrac{\underline{U}_1}{\underline{I}_2}\right\vert_{\underline{I}_1=0}$ impedancja wzajemna od W do P
$\underline{z}_{21} = \left.\dfrac{\underline{U}_2}{\underline{I}_1}\right\vert_{\underline{I}_2=0}$ impedancja wzajemna od P do W	$\underline{z}_{22} = \left.\dfrac{\underline{U}_2}{\underline{I}_2}\right\vert_{\underline{I}_1=0} = \underline{Z}_{2o}$ impedancja dwójnika 2-2' (od W) *impedancja wejściowa wtórna rozwarciowa*
	

Model obwodowy (**schemat zastępczy**) czwórnika dla równań (11.6/7)

$$\left.\begin{aligned}\underline{U}_1 &= \underline{z}_{11}\underline{I}_1 + \underline{z}_{12}\underline{I}_2\\ \underline{U}_2 &= \underline{z}_{21}\underline{I}_1 + \underline{z}_{22}\underline{I}_2\end{aligned}\right\}$$



dr inż. Marek Szulim
e-mail: mszulim@wat.edu.pl

3. RÓWNANIA HYBRYDOWE (szeregowo-równoległe)

Jeśli przyjmiemy, że wielkościami **niezależnymi jest prąd pierwotny** $\underline{I}_1$ **oraz napięcie wtórne** $\underline{U}_2$ - otrzymamy równania **hybrydowe** (mieszane) czwórnika:

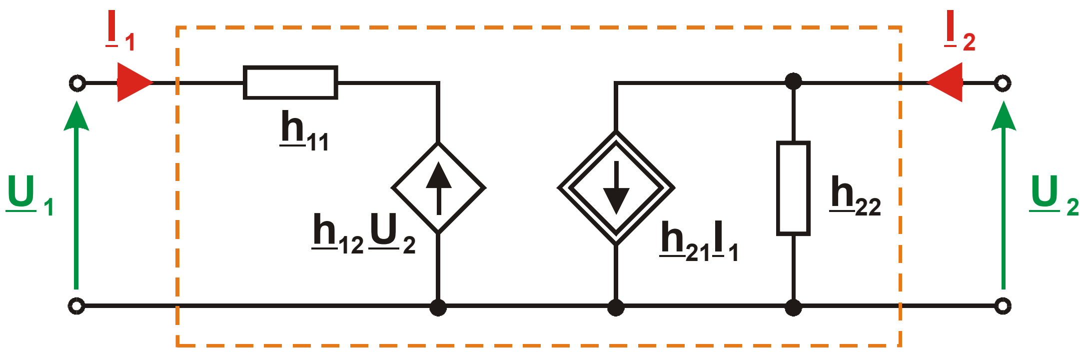
$$\boxed{\left.\begin{aligned} \underline{U}_1 &= \underline{h}_{11}\underline{I}_1 + \underline{h}_{12}\underline{U}_2 \\ \underline{I}_2 &= \underline{h}_{21}\underline{I}_1 + \underline{h}_{22}\underline{U}_2 \end{aligned}\right\}} \tag{11.8}$$

lub w postaci macierzowej

$$\begin{bmatrix} \underline{U}_1 \\ \underline{I}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \underline{h}_{11} & \underline{h}_{12} \\ \underline{h}_{21} & \underline{h}_{22} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \underline{I}_1 \\ \underline{U}_2 \end{bmatrix} = \underline{\mathbf{H}} \cdot \begin{bmatrix} \underline{I}_1 \\ \underline{U}_2 \end{bmatrix} \tag{11.9}$$

gdzie $\underline{\mathbf{H}}$ nazywamy macierzą hybrydową czwórnika.

Model obwodowy czwórnika dla równań (11.8)



$\underline{h}_{11} = \left.\dfrac{\underline{U}_1}{\underline{I}_1}\right\|_{\underline{U}_2=0}$ [Ω]	$\underline{h}_{12} = \left.\dfrac{\underline{U}_1}{\underline{U}_2}\right\|_{\underline{I}_1=0}$ [-]
$\underline{h}_{21} = \left.\dfrac{\underline{I}_2}{\underline{I}_1}\right\|_{\underline{U}_2=0}$ [-]	$\underline{h}_{22} = \left.\dfrac{\underline{I}_2}{\underline{U}_2}\right\|_{\underline{I}_1=0}$ [S]

4. RÓWNANIA HYBRYDOWE ODWROTNE (równoległo-szeregowe)

Jeśli przyjmiemy, że wielkościami **niezależnymi jest napięcie pierwotne** $\underline{U}_1$ **oraz prąd wtórny** $\underline{I}_2$ - otrzymamy równania **hybrydowe odwrotne** (mieszane odwrotne) czwórnika:

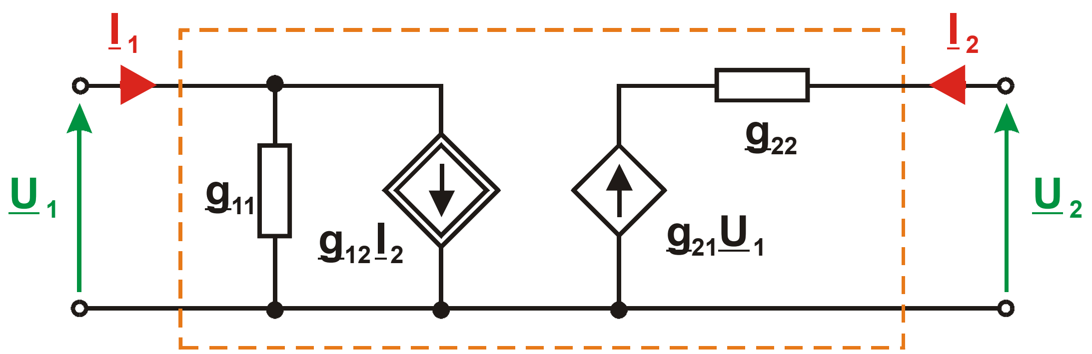
$$\boxed{\left.\begin{aligned}\underline{I}_1 &= \underline{g}_{11}\underline{U}_1 + \underline{g}_{12}\underline{I}_2 \\ \underline{U}_2 &= \underline{g}_{21}\underline{U}_1 + \underline{g}_{22}\underline{I}_2\end{aligned}\right\}} \qquad \textbf{(11.10)}$$

lub w postaci macierzowej

$$\begin{bmatrix}\underline{I}_1 \\ \underline{U}_2\end{bmatrix} = \begin{bmatrix}\underline{g}_{11} & \underline{g}_{12} \\ \underline{g}_{21} & \underline{g}_{22}\end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix}\underline{U}_1 \\ \underline{I}_2\end{bmatrix} = \underline{\mathbf{G}} \cdot \begin{bmatrix}\underline{U}_1 \\ \underline{I}_2\end{bmatrix} \qquad (11.11)$$

gdzie $\underline{\mathbf{G}}$ nazywamy macierzą hybrydową odwrotną czwórnika.

Schemat zastępczy czwórnika

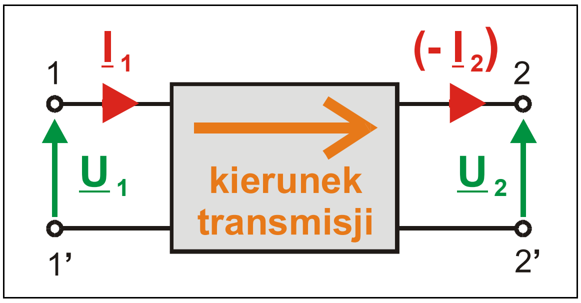


$\underline{g}_{11} = \left.\dfrac{\underline{I}_1}{\underline{U}_1}\right\vert_{\underline{I}_2=0}$ [S]	$\underline{g}_{12} = \left.\dfrac{\underline{I}_1}{\underline{I}_2}\right\vert_{\underline{U}_1=0}$ [-]
$\underline{g}_{21} = \left.\dfrac{\underline{U}_2}{\underline{U}_1}\right\vert_{\underline{I}_2=0}$ [-]	$\underline{g}_{22} = \left.\dfrac{\underline{U}_2}{\underline{I}_2}\right\vert_{\underline{U}_1=0}$ [Ω]

dr inż. Marek Szulim
e-mail: mszulim@wat.edu.pl

5. RÓWNANIA ŁAŃCUCHOWE CZWÓRNIKA

Równaniami łańcuchowymi opisujemy czwórnik wówczas, **gdy znana jest para wielkości elektrycznych związanych z bramą wtórną** [$\underline{U}_2$, $\underline{I}_2$] a poszukujemy wielkości elektrycznych związanych z bramą pierwotną [$\underline{U}_1$, $\underline{I}_1$].



$$\left.\begin{aligned} \underline{U}_1 &= \underline{a}_{11}\underline{U}_2 + \underline{a}_{12}(-\underline{I}_2) \\ \underline{I}_1 &= \underline{a}_{21}\underline{U}_2 + \underline{a}_{22}(-\underline{I}_2) \end{aligned}\right\} \tag{11.12}$$

lub w postaci macierzowej

$$\begin{bmatrix} \underline{U}_1 \\ \underline{I}_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \underline{a}_{11} & \underline{a}_{12} \\ \underline{a}_{21} & \underline{a}_{22} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \underline{U}_2 \\ -\underline{I}_2 \end{bmatrix} = \underline{\mathbf{A}} \cdot \begin{bmatrix} \underline{U}_2 \\ -\underline{I}_2 \end{bmatrix} \tag{11.13}$$

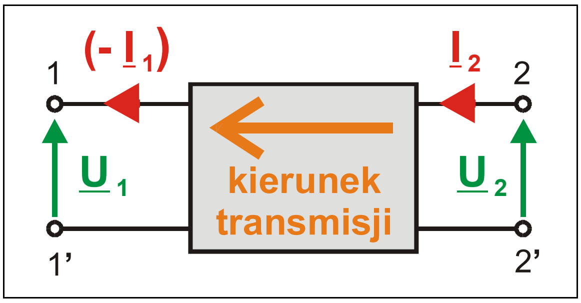
gdzie $\underline{\mathbf{A}}$ nazywamy **macierzą łańcuchową czwórnika** a jej elementy **parametrami łańcuchowymi** czwórnika (są one stosunkami wielkości zaciskowych pierwotnych do wtórnych, określonymi przy rozwarciu lub zwarciu zacisków wtórnych)

$\underline{a}_{11} = \left.\dfrac{\underline{U}_1}{\underline{U}_2}\right\|_{\underline{I}_2=0}$ [-]	$\underline{a}_{12} = \left.\dfrac{\underline{U}_1}{-\underline{I}_2}\right\|_{\underline{U}_2=0}$ [Ω]
$\underline{a}_{21} = \left.\dfrac{\underline{I}_1}{\underline{U}_2}\right\|_{\underline{I}_2=0}$ [S]	$\underline{a}_{22} = \left.\dfrac{\underline{I}_1}{-\underline{I}_2}\right\|_{\underline{U}_2=0}$ [-]

dr inż. Marek Szulim
e-mail: mszulim@wat.edu.pl

6. RÓWNANIA ŁAŃCUCHOWE ODWROTNE

Jeśli znane są wielkości związane z bramą pierwotną [$\underline{U}_1$, $\underline{I}_1$] a poszukujemy związanych z bramą wtórną [$\underline{U}_2$, $\underline{I}_2$], to równania typu (11.12) przyjmują postać



$$\left.\begin{aligned} \underline{U}_2 &= \underline{b}_{11}\underline{U}_1 + \underline{b}_{12}(-\underline{I}_1) \\ \underline{I}_2 &= \underline{b}_{21}\underline{U}_1 + \underline{b}_{22}(-\underline{I}_1) \end{aligned}\right\} \qquad \textbf{(11.14)}$$

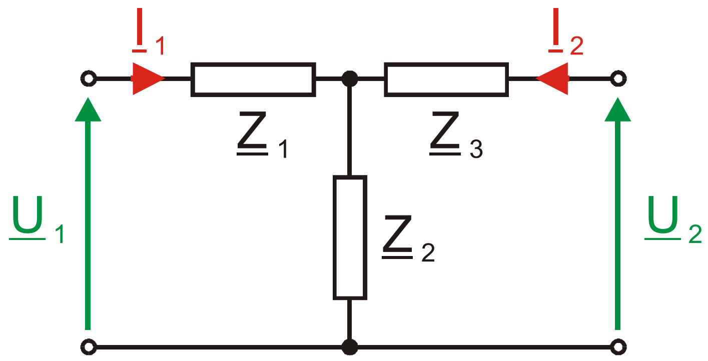
lub w zapisie macierzowym

$$\begin{bmatrix} \underline{U}_2 \\ \underline{I}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \underline{b}_{11} & \underline{b}_{12} \\ \underline{b}_{21} & \underline{b}_{22} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \underline{U}_1 \\ -\underline{I}_1 \end{bmatrix} = \underline{\mathbf{B}} \cdot \begin{bmatrix} \underline{U}_1 \\ -\underline{I}_1 \end{bmatrix} \qquad (11.15)$$

gdzie $\underline{\mathbf{B}}$ nazywamy **macierzą łańcuchową odwrotną czwórnika** a jej elementy **parametrami łańcuchowymi odwrotnymi** czwórnika (są one stosunkami wielkości zaciskowych wtórnych do pierwotnych, określonymi przy rozwarciu lub zwarciu zacisków pierwotnych)

$\underline{b}_{11} = \left.\dfrac{\underline{U}_2}{\underline{U}_1}\right\|_{\underline{I}_1=0}$ [-]	$\underline{b}_{12} = \left.\dfrac{\underline{U}_2}{-\underline{I}_1}\right\|_{\underline{U}_1=0}$ [Ω]
$\underline{b}_{21} = \left.\dfrac{\underline{I}_2}{\underline{U}_1}\right\|_{\underline{I}_1=0}$ [S]	$\underline{b}_{22} = \left.\dfrac{\underline{I}_2}{-\underline{I}_1}\right\|_{\underline{U}_1=0}$ [-]

PRZYKŁAD 11.1 Wyznaczyć parametry łańcuchowe czwórnika.



Dane:

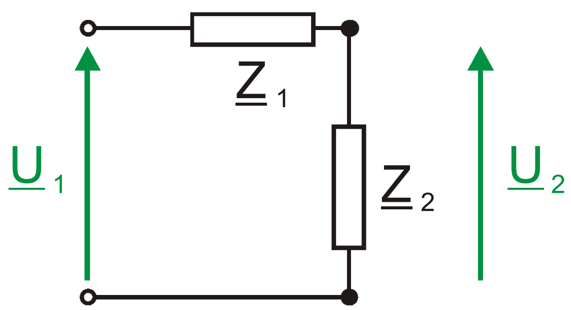
$\underline{Z}_1$=j10Ω,
$\underline{Z}_2$=5Ω,
$\underline{Z}_3$=j10Ω.

Równania łańcuchowe (11.12):

$$\begin{cases} \underline{U}_1 = \underline{a}_{11}\,\underline{U}_2 + \underline{a}_{12}\,(-\underline{I}_2) \\ \underline{I}_1 = \underline{a}_{21}\,\underline{U}_2 + \underline{a}_{22}\,(-\underline{I}_2) \end{cases}$$

Wprowadzamy $\underline{I}_2^{|} = -\underline{I}_2$

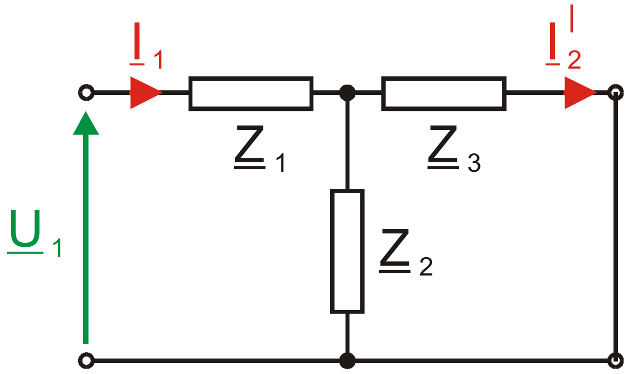
- $\underline{a}_{11} = \left.\dfrac{\underline{U}_1}{\underline{U}_2}\right| \; gdy\ \underline{I}_2^{|} = 0$



$$\underline{U}_2 = \frac{\underline{Z}_2}{\underline{Z}_1 + \underline{Z}_2}\underline{U}_1$$

$$\underline{a}_{11} = \frac{\underline{U}_1}{\dfrac{\underline{Z}_2}{\underline{Z}_1 + \underline{Z}_2}\underline{U}_1} = \frac{\underline{Z}_1 + \underline{Z}_2}{\underline{Z}_2} = 1 + \frac{\underline{Z}_1}{\underline{Z}_2} = 1 + j2\,[-]$$

- $$\underline{a}_{12} = \left.\frac{\underline{U}_1}{\underline{I}_2^{|}}\right| gdy\ \underline{U}_2 = 0$$



z dzielnika prądu:

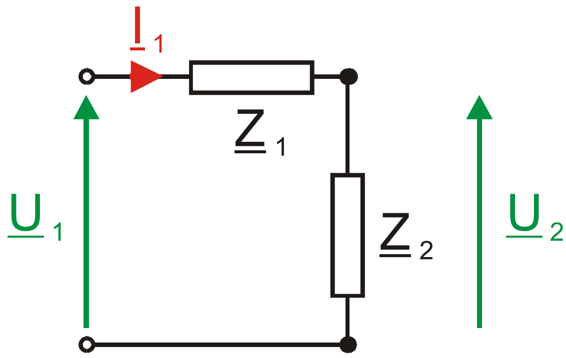
$$\underline{I}_2^{|} = \frac{\underline{Z}_2}{\underline{Z}_2 + \underline{Z}_3}\underline{I}_1 \quad \Rightarrow \quad \underline{I}_1 = \underline{I}_2^{|}\left(\frac{\underline{Z}_2 + \underline{Z}_3}{\underline{Z}_2}\right) = \underline{I}_2^{|}\left(1 + \frac{\underline{Z}_3}{\underline{Z}_2}\right)$$

$$\underline{U}_1 = \underline{I}_2^{|}\,\underline{Z}_3 + \underline{I}_1\,\underline{Z}_1 = \underline{I}_2^{|}\,\underline{Z}_3 + \underline{I}_2^{|}\,\underline{Z}_1\left(1 + \frac{\underline{Z}_3}{\underline{Z}_2}\right)$$

$$\underline{a}_{12} = \frac{\underline{I}_2^{|}\,\underline{Z}_3 + \underline{I}_2^{|}\,\underline{Z}_1\left(1 + \frac{\underline{Z}_3}{\underline{Z}_2}\right)}{\underline{I}_2^{|}} = \underline{Z}_1 + \underline{Z}_3 + \frac{\underline{Z}_1\,\underline{Z}_3}{\underline{Z}_2} = (-20 + j20)\,[\Omega]$$

- $$\underline{a}_{21} = \left.\frac{\underline{I}_1}{\underline{U}_2}\right| gdy\ \underline{I}_2^{|} = 0$$

$$\underline{a}_{21} = \frac{\underline{I}_1}{\underline{I}_1\,\underline{Z}_2} = \frac{1}{\underline{Z}_2} = 0{,}2\,[S]$$



$$\underline{U}_2 = \underline{I}_1\,\underline{Z}_2$$

- $$\underline{a}_{22} = \left.\frac{\underline{I}_1}{\underline{I}_2^{|}}\right| gdy\ \underline{U}_2 = 0$$

$$\underline{a}_{22} = \frac{\underline{I}_1}{\frac{\underline{Z}_2}{\underline{Z}_2 + \underline{Z}_3}\underline{I}_1} = 1 + \frac{\underline{Z}_3}{\underline{Z}_2} = 1 + j2\,[-]$$

11.3. KLASYFIKACJA CZWÓRNIKÓW

Czwórnik pasywny i aktywny

Czwórnik nazywamy pasywnym, jeżeli przy początkowej energii zgromadzonej w układzie równej zeru, całkowita energia dostarczona do niego jest nieujemna:

$$\int_0^t [u_1(\tau)i_1(\tau) + u_2(\tau)i_2(\tau)]d\tau \geq 0 \qquad (11.16)$$

Niespełnienie tego warunku oznacza aktywność czwórnika.

W stanie ustalonym przy wymuszeniach harmonicznych:

- czwórnik jest PASYWNY jeśli moc czynna pobierana przez wrota czwórnika jest nieujemna dla każdej pary napięć i prądów zaciskowych

$$\mathrm{Re}\left(\underline{U}_1\, \underline{I}_1^*\right) + \mathrm{Re}\left(\underline{U}_2\, \underline{I}_2^*\right) \geq 0 \qquad (11.17)$$

- czwórnik jest AKTYWNY, jeśli istnieją takie wartości napięć i prądów zaciskowych, dla których pobierana przez wrota moc czynna jest ujemna

$$\mathrm{Re}\left(\underline{U}_1\, \underline{I}_1^*\right) + \mathrm{Re}\left(\underline{U}_2\, \underline{I}_2^*\right) < 0 \qquad (11.18)$$

Czwórnik prawidłowy i nieprawidłowy

Czwórnik klasy SLS nazywamy czwórnikiem **prawidłowym**, jeśli posiada wszystkie macierze charakterystyczne.

Warunkiem koniecznym i wystarczającym prawidłowości czwórnika jest aby dowolna z jego macierzy charakterystycznych była nieosobliwa, a wszystkie jej elementy były różne od zera. Macierze $\underline{\mathbf{Y}}$, $\underline{\mathbf{Z}}$ oraz $\underline{\mathbf{H}}$, $\underline{\mathbf{G}}$ są parami macierzami odwrotnymi:

$$\underline{\mathbf{Z}}\cdot = \underline{\mathbf{Y}}^{-1} \; ; \quad \underline{\mathbf{G}} = \underline{\mathbf{H}}^{-1} \qquad (11.19)$$

Czwórnik nazywamy **nieprawidłowym** (zdegenerowanym), jeśli posiada nie więcej niż pięć i nie mniej niż dwie macierze charakterystyczne. Czwórnik, który posiada wyłącznie jedną macierz nazywamy **zerowym**.

dr inż. Marek Szulim
e-mail: mszulim@wat.edu.pl

Czwórnik bilateralny, unilateralny i nielateralny

Ze względu na zdolność do przesyłania sygnałów w obu lub jednym kierunku, czwórnik nazywamy:

- BILATERALNYM – jeśli posiada obydwie macierze łańcuchowe ($\underline{\mathbf{A}}$ i $\underline{\mathbf{B}}$) **-** co oznacza możliwość przesyłania sygnałów w obie strony.
- UNILATERALNYM – jeśli posiada tylko jedną macierz łańcuchową ($\underline{\mathbf{A}}$ lub $\underline{\mathbf{B}}$)**:**
  - gdy istnieje tylko macierz $\underline{\mathbf{A}}$ – to czwórnik ma zdolność przesyłania sygnałów od zacisków pierwotnych do wtórnych;
  - gdy istnieje tylko macierz $\underline{\mathbf{B}}$ – to czwórnik ma zdolność przesyłania sygnałów od zacisków wtórnych do pierwotnych.
- NIELATERALNYM – jeśli nie posiada żadnej macierzy łańcuchowej **-** co oznacza niezdolność do przesyłania sygnałów.

Czwórnik odwracalny i nieodwracalny

Czwórnik, który spełnia zasadę wzajemności nazywamy czwórnikiem ODWRACALNYM lub inaczej ENERGETYCZNIE SYMETRYCZNYM. Zgodnie z zasadą wzajemności warunki odwracalności czwórnika można wyrazić za pomocą elementów macierzy charakterystycznych:

Macierz	$\underline{\mathbf{Y}}$	$\underline{\mathbf{Z}}$	$\underline{\mathbf{A}}$	$\underline{\mathbf{B}}$	$\underline{\mathbf{H}}$	$\underline{\mathbf{G}}$
Czwórnik odwracalny	$\underline{y}_{12}=\underline{y}_{21}$	$\underline{z}_{12}=\underline{z}_{21}$	$\det\underline{\mathbf{A}}=1$	$\det\underline{\mathbf{B}}=1$	$\underline{h}_{12}=-\underline{h}_{21}$	$\underline{g}_{12}=-\underline{g}_{21}$

Czwórnik, który nie spełnia zasady wzajemności jest czwórnikiem nieodwracalnym.

Czwórnik symetryczny i niesymetryczny

Czwórnik, który spełnia zasadę wzajemności
a ponadto
zamiana miejscami wrót wejściowych z wyjściowymi tego czwórnika nie powoduje żadnych zmian wielkości elektrycznych zaciskowych,
nazywamy
CZWÓRNIKIEM SYMETRYCZNYM
lub inaczej
IMPEDANCYJNIE SYMETRYCZNYM.

Konsekwencją symetryczności czwórnika są szczególne własności jego macierzy charakterystycznych:

Macierz	$\underline{\mathbf{Y}}$	$\underline{\mathbf{Z}}$	$\underline{\mathbf{A}}$	$\underline{\mathbf{B}}$	$\underline{\mathbf{H}}$	$\underline{\mathbf{G}}$
Czwórnik symetryczny	$\underline{y}_{12}=\underline{y}_{21}$	$\underline{z}_{12}=\underline{z}_{21}$	$\det\underline{\mathbf{A}}=1$	$\det\underline{\mathbf{B}}=1$	$\underline{h}_{12}=-\underline{h}_{21}$	$\underline{g}_{12}=-\underline{g}_{21}$
	$\underline{y}_{11}=\underline{y}_{22}$	$\underline{z}_{11}=\underline{z}_{22}$	$\underline{a}_{11}=\underline{a}_{22}$	$\underline{b}_{11}=\underline{b}_{22}$	$\det\underline{\mathbf{H}}=1$	$\det\underline{\mathbf{G}}=1$

UWAGA: nie każdy czwórnik odwracalny jest symetryczny - warunkiem koniecznym symetryczności czwórnika jest jego odwracalność.

dr inż. Marek Szulim
e-mail: mszulim@wat.edu.pl