

Łukasz Januszkiewicz

**Wybrane zagadnienia
techniki antenowej
i mikrofalowej:
cz.4 układy zasilania anten**

Zadanie nr 14 – Studia podyplomowe „Bezprzewodowe systemy nadzoru i monitorowania”



KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY



Prezentacja multimedialna
współfinansowana przez Unię Europejską
w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego
w projekcie

*„Innowacyjna dydaktyka bez ograniczeń
– zintegrowany rozwój Politechniki Łódzkiej –
zarządzanie Uczelnią,
nowoczesna oferta edukacyjna
i wzmacniania zdolności do zatrudniania
osób niepełnosprawnych”*



Politechnika Łódzka
Instytut Elektroniki

90-924 Łódź, ul. Żeromskiego 116,
tel. 042 631 28 83
www.kapitalludzki.p.lodz.pl



KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY



Prezentacja multimedialna współfinansowana przez Unię Europejską w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego

Treści

- Układ zasilający antenę
- Linie transmisyjne
- Transformatory impedancji
- Symetryzatory



Politechnika Łódzka
Instytut Elektroniki

Wybrane zagadnienia techniki antenowej i mikrofalowej - wykład 4



KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY



Prezentacja multimedialna współfinansowana przez Unię Europejską w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego

Układ zasilający antenę

- Układ zasilający doprowadza i odprowadza sygnał wielkiej częstotliwości
- Układ zasilający stanowią:
 - Linie zasilające
 - Transformatory impedancji
 - Symetryzatory

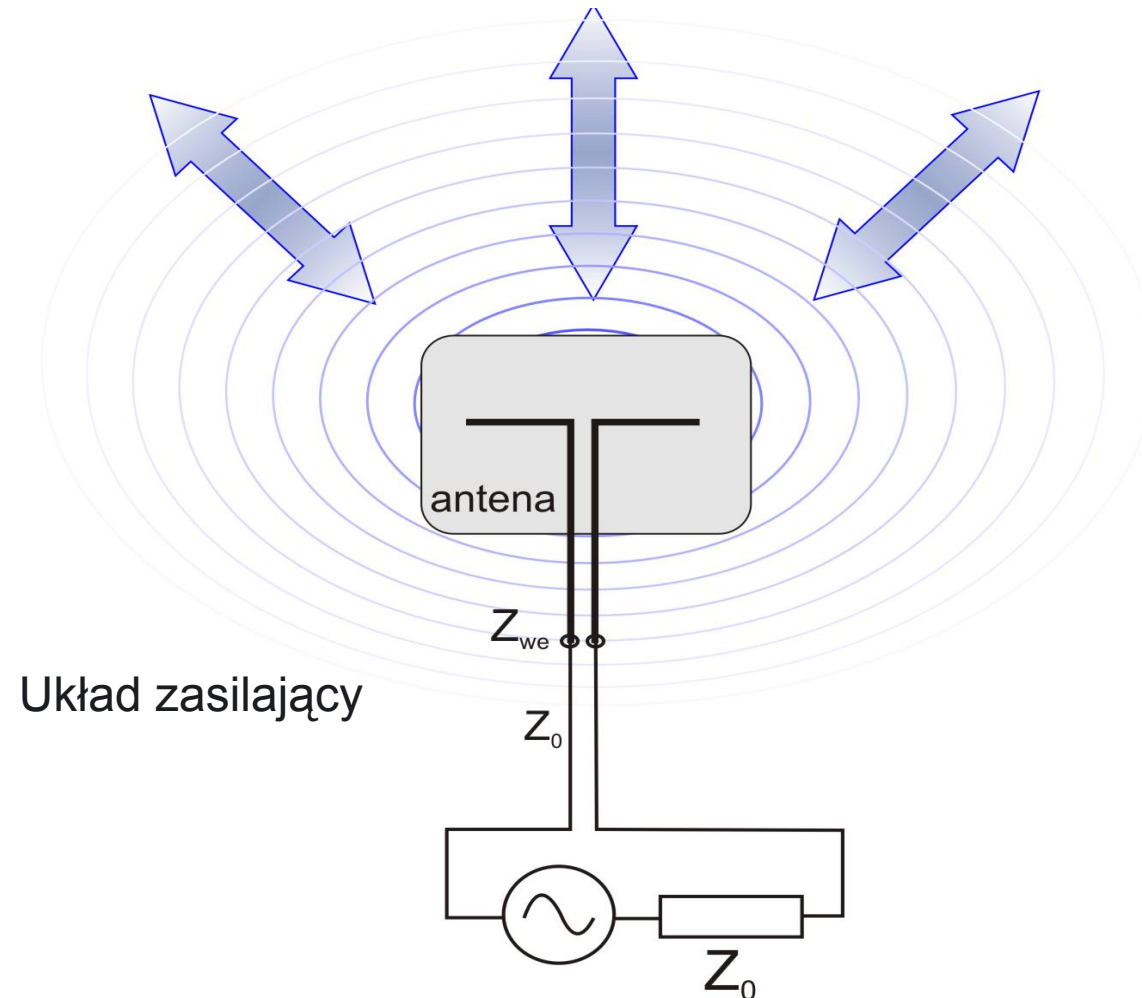


Politechnika Łódzka
Instytut Elektroniki

Wybrane zagadnienia techniki antenowej i mikrofalowej - wykład 4



Układ zasilający antenę





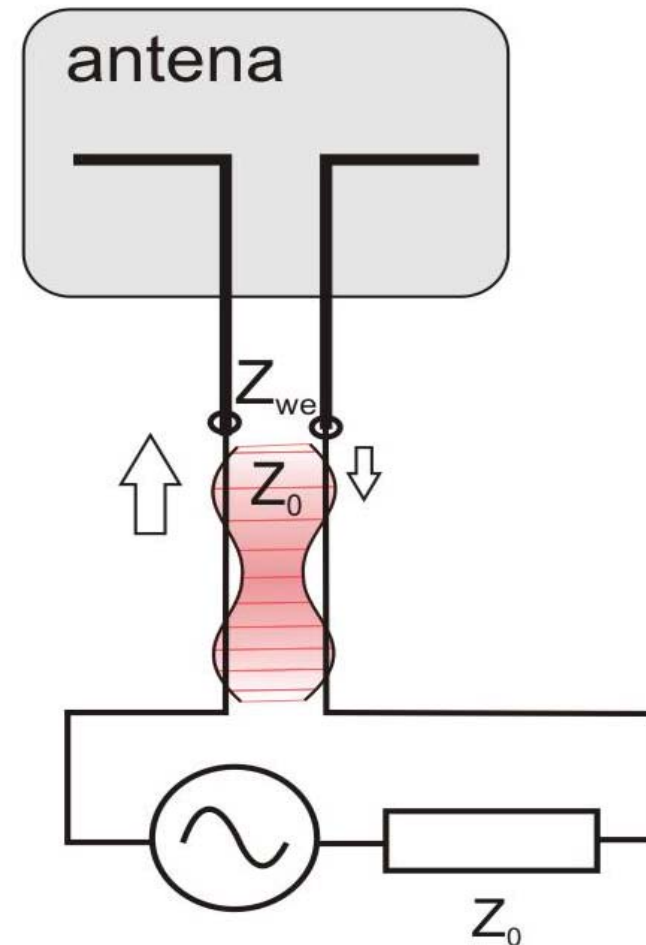
KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY



Prezentacja multimedialna współfinansowana przez Unię Europejską w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego

Układ zasilający antenę



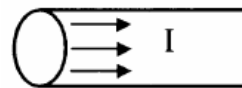
Politechnika Łódzka
Instytut Elektroniki

Wybrane zagadnienia techniki antenowej i mikrofalowej - wykład 4

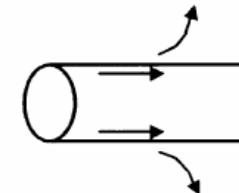
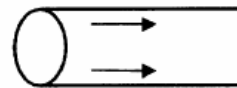


Linie transmisyjne

- W zakresie sygnałów niskiej częstotliwości do połączenia układów elektronicznych wykorzystywane są przewody albo ścieżki obwodów drukowanych.
- W technice wysokich częstotliwości przy projektowaniu elementów wiodących sygnał należy brać pod uwagę:
 - Zjawisko naskórkowości
 - Wypromieniowywanie fali elektromagnetycznej



Mała częstotliwość

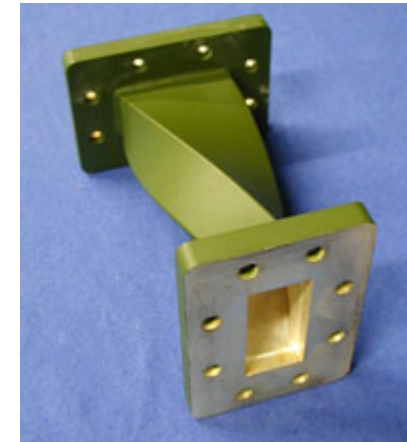


Wielka częstotliwość



Linie transmisyjne

- Zjawiska naskórkowości i wypromieniowywania energii powodują konieczność stosowania specjalnych struktur przeznaczonych do transmisji sygnałów w. cz. takich jak np. linie ekranowane , falowody, linie paskowe.





Linie transmisyjne

- Opis rozchodzenia się fali dają rozwiązania równań Helmholtza:

$$\nabla^2 \vec{E} + k^2 \vec{E} = 0$$

$$\nabla^2 \vec{H} + \omega^2 \mu \epsilon \vec{H} = 0$$

$$k = \omega \sqrt{\mu \epsilon} = \frac{2\pi}{\lambda} = 2\pi \frac{f}{v} = \frac{\omega}{v}$$

K – liczba falowa

V – prędkość propagacji





Linie transmisyjne

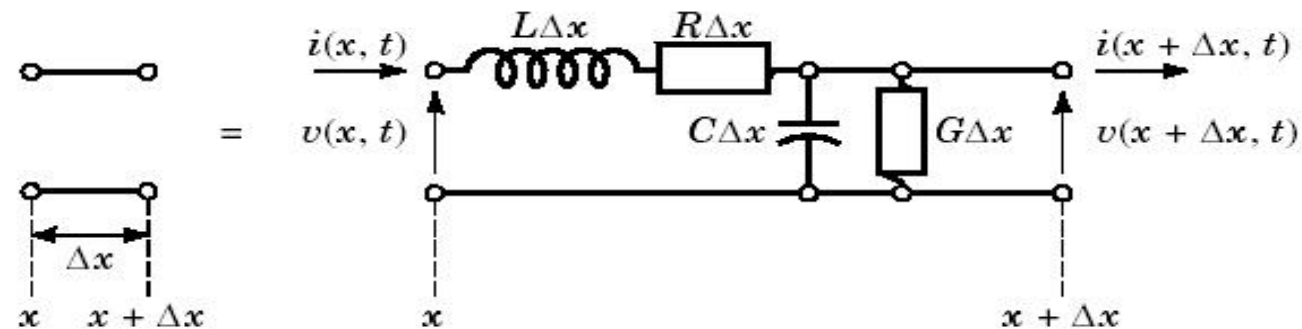
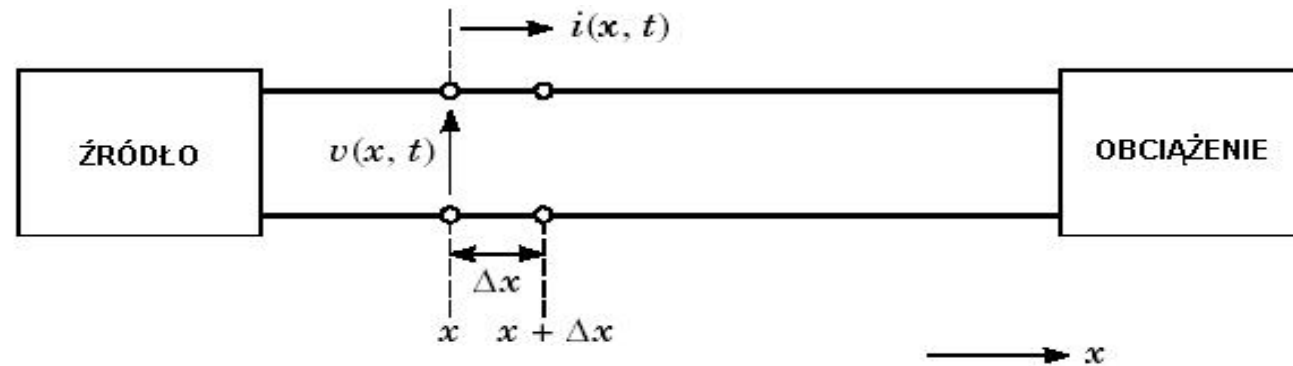
Rozwiązanie dla przypadku otwartej przestrzeni lub falowodu wypełnionego powietrzem ma ogólną postać

$$\vec{E}(x, y, z) = \vec{E}(x, y)e^{-jkz}$$

Z punktu widzenia aplikacji bardziej interesują nas parametry obwodowe, a nie falowe. Dla tego stosuje się do opisu linii transmisyjnych obwodowe parametry wyprowadzone z zastępczego schematu linii transmisyjnej



Linie transmisyjne



Napięcie i prąd w linii zależą zarówno od czasu jak i od zmiennej przestrzennej
 $v(x, t) \quad i(x, t)$



Linie transmisyjne

Z równań Kirchhoffa dla schematu zastępczego linii otrzymujemy:

$$v(x + \Delta x, t) - v(x, t) = \Delta v(x, t) = -(R \Delta x)i(x, t) - (L \Delta x) \frac{\partial i(x, t)}{\partial t}$$

$$i(x + \Delta x, t) - i(x, t) = \Delta i(x, t) = -(G \Delta x)v(x + \Delta x, t) - (C \Delta x) \frac{\partial v(x + \Delta x, t)}{\partial t}$$





Linie transmisyjne

Przyjmując nieskończenie małe przyrosty x otrzymujemy:

$$\frac{\partial v(x, t)}{\partial x} = -Ri(x, t) - L \frac{\partial i(x, t)}{\partial t}$$

$$\frac{\partial i(x, t)}{\partial x} = -Gv(x, t) - C \frac{\partial v(x, t)}{\partial t}$$

Dla napięcia:

$$\frac{d^2 V(x)}{dx^2} - \gamma^2 V(x) = 0$$

Gdzie stała falowa:

$$\gamma = [(R + j\omega L)(G + j\omega C)]^{1/2} = \alpha + j\beta$$





Linie transmisyjne

Wykorzystując notację zespoloną:

$$v(x, t) = \operatorname{Re}[V(x)e^{j\omega t}]$$

$$i(x, t) = \operatorname{Re}[I(x)e^{j\omega t}]$$

otrzymujemy dla napięcia i prądu odpowiednio:

$$V(x) = V_+ e^{-\gamma x} + V_- e^{\gamma x}$$

$$I(x) = I_+ e^{-\gamma x} - I_- e^{\gamma x}$$





Linie transmisyjne

Zależności wiążące napięcie i prąd fali biegnącej w stronę obciążenia „+” i w stronę generatora „-”:

$$I_+ = \frac{\gamma}{R + j\omega L} V_+, \quad I_- = \frac{\gamma}{R + j\omega L} V_-$$

Impedancja charakterystyczna linii definiowana jest jako:

$$Z_0 = \frac{V_+}{I_+} = \frac{V_-}{I_-} = \frac{R + j\omega L}{\gamma} = \left(\frac{R + j\omega L}{G + j\omega C} \right)^{1/2}$$





Linie transmisyjne

Dla linii bezstratnej: $R = G = 0$,

$$\gamma = j\beta = j\omega\sqrt{LC}$$

$$Z_0 = \sqrt{\frac{L}{C}}$$

Prędkość fazowa:

$$v_p = \frac{\omega}{\beta} = f\lambda_g = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

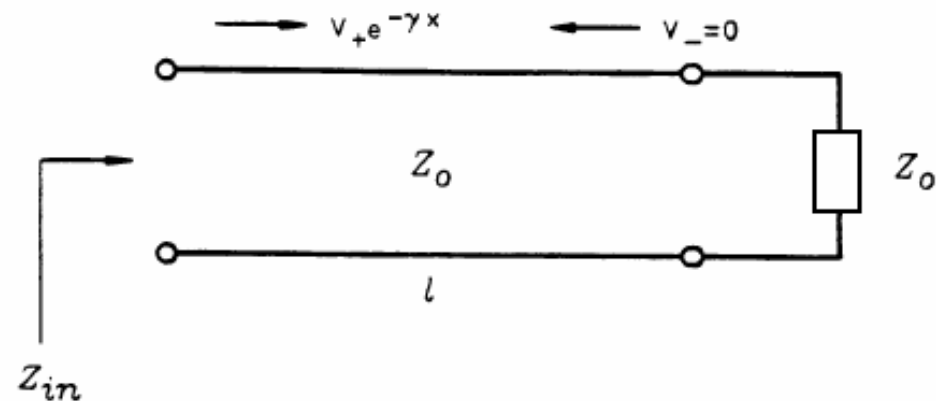
λ_g - długość przewodzonej fali



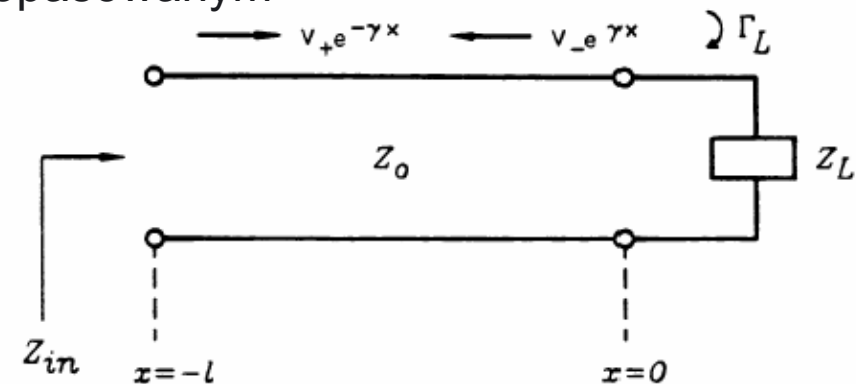
Linie transmisyjne

Zjawisko odbicia w linii

- linia zakończona obciążeniem dopasowanym



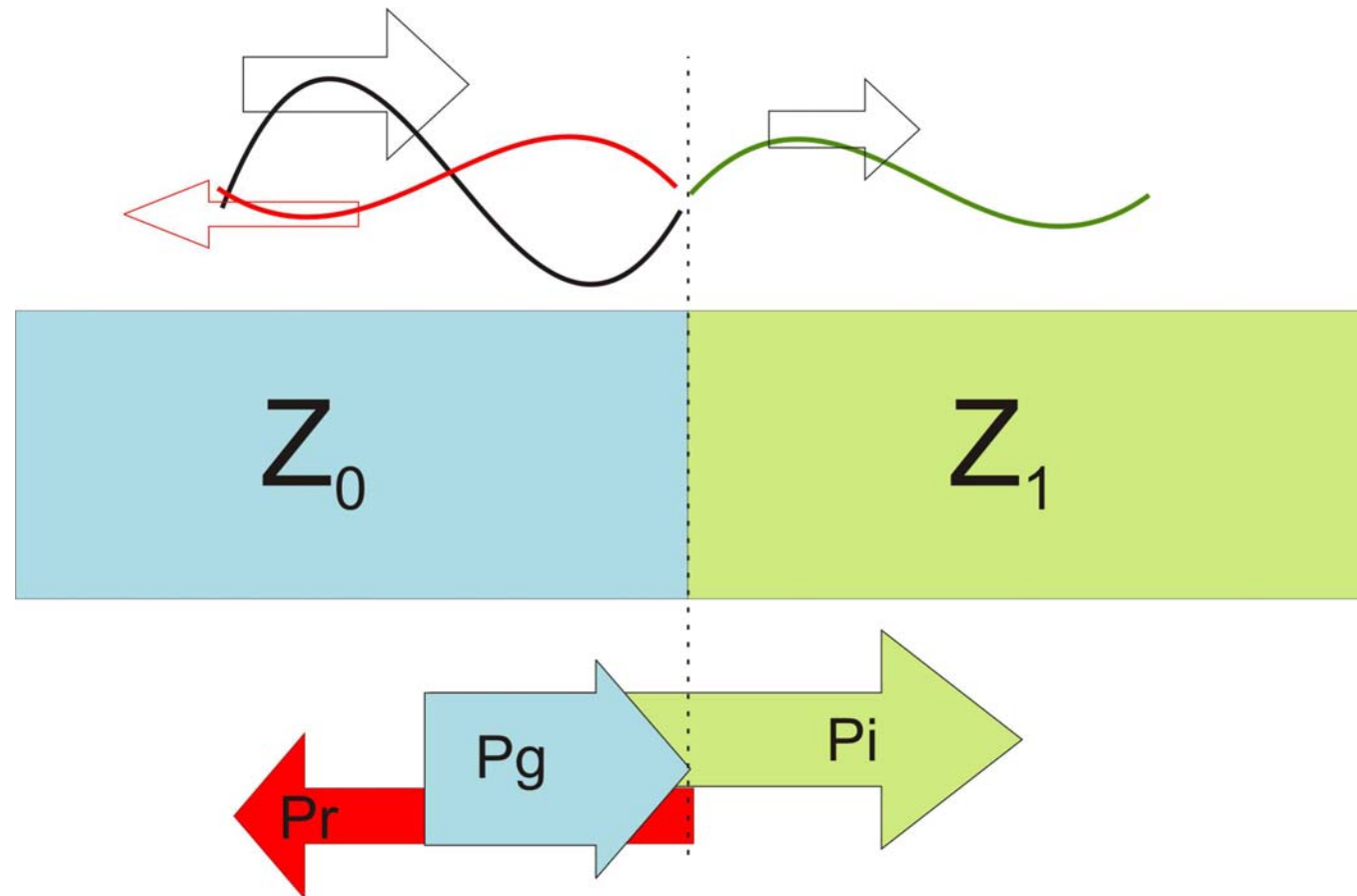
- linia zakończona obciążeniem niedopasowanym





Linie transmisyjne

- Odbicie sygnału na zmianie impedancji linii transmisyjnej





Linie transmisyjne

Zjawisko odbicia w linii

Napięcie w linii:

$$V(x) = V_+ e^{-\gamma x} + V_- e^{\gamma x}$$

Współczynnik odbicia wzdłuż linii $\Gamma(x)$ definiowany jest jako:

$$\Gamma(x) = \frac{\text{odbite } V(x)}{\text{transmit. } V(x)} = \frac{V_- e^{\gamma x}}{V_+ e^{-\gamma x}} = \frac{V_-}{V_+} e^{2\gamma x}$$

W miejscu podłączenia obciążenia:

$$\Gamma_L = \frac{V_-}{V_+} = \Gamma(0)$$





Linie transmisyjne

Z równania opisującego impedancję:

$$Z(x) = \frac{V(x)}{I(x)} = Z_0 \frac{e^{-\gamma x} + \Gamma_L e^{\gamma x}}{e^{-\gamma x} - \Gamma_L e^{\gamma x}}$$

Dla $x = 0$, $Z(x) = Z_L$ mamy:

$$Z_L = Z_0 \frac{1 + \Gamma_L}{1 - \Gamma_L}$$

$$\Gamma_L = |\Gamma_L| e^{j\phi} = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0}$$

Aby obliczyć impedancję wejściową linii obciążonej impedancją Z_L ,
przyjmujemy $x = -l$

$$Z_{in} = Z(-l) = Z_0 \frac{e^{\gamma l} + \Gamma_L e^{-\gamma l}}{e^{\gamma l} - \Gamma_L e^{-\gamma l}}$$





Linie transmisyjne

Impedancja wejściowa linii obciążonej:

$$Z_{\text{in}} = Z_0 \frac{Z_L + Z_0 \tanh \gamma l}{Z_0 + Z_L \tanh \gamma l}$$

Dla linii bezstratnej mamy: $\gamma = j\beta$

$$Z_{\text{in}} = Z_0 \frac{Z_L + jZ_0 \tan \beta l}{Z_0 + jZ_L \tan \beta l} = Z_{\text{in}}(l, f, Z_L, Z_0)$$

Dla małych częstotliwości $\beta l \approx 0$ $Z_{\text{in}} \approx Z_L$





Linie transmisyjne

Moc wprowadzana:

$$P_{\text{in}} = \frac{|V_+|^2}{Z_0}$$

Moc odbita:

$$P_r = \frac{|V_-|^2}{Z_0}$$

Moc transmitowana (dostarczona):

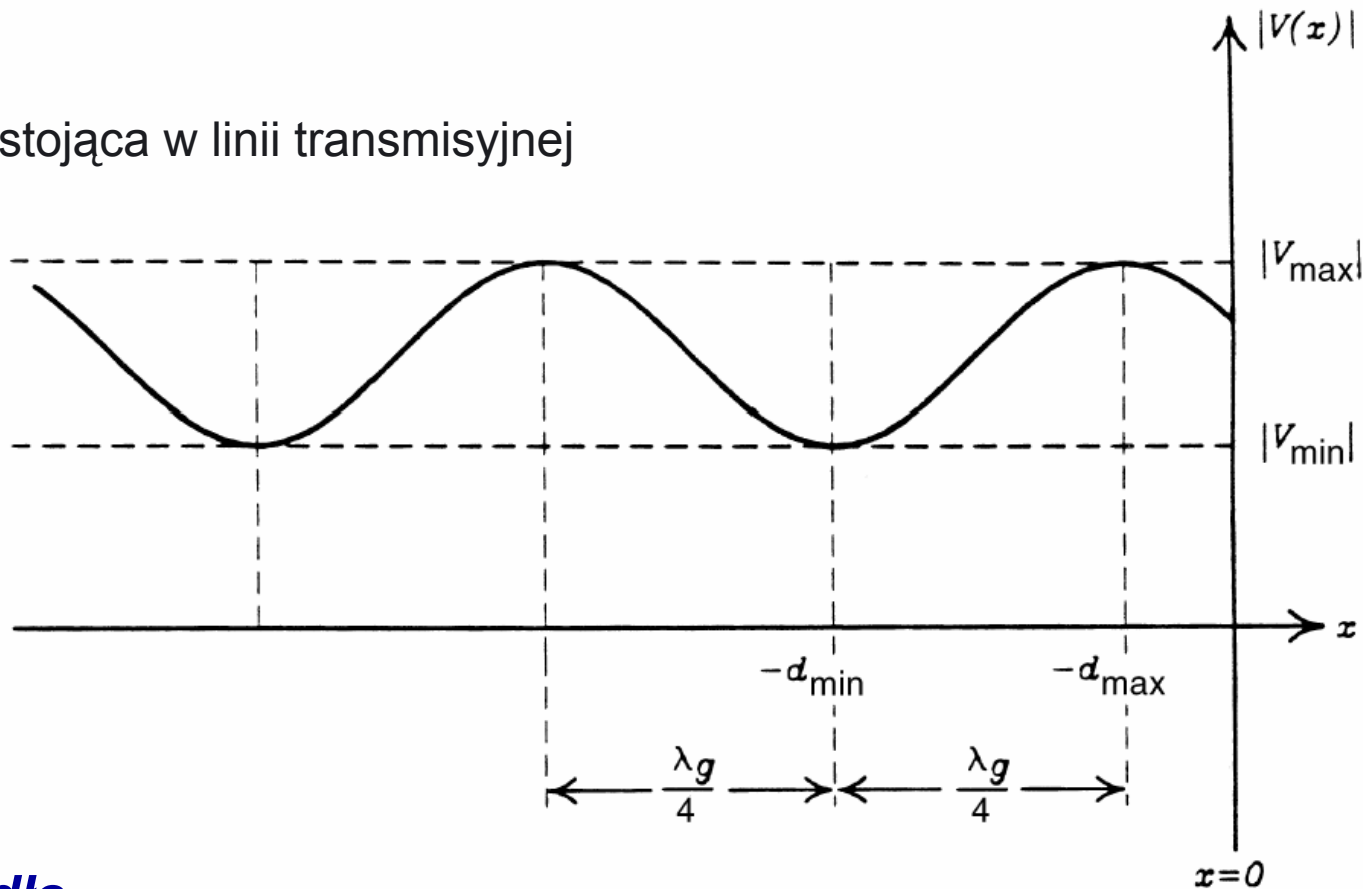
$$P_t = P_{\text{in}} - P_r = (1 - |\Gamma_L|^2)P_{\text{in}}$$





Linie transmisyjne

Fala stojąca w linii transmisyjnej



źródło

obciążenie





Linie transmisyjne

Współczynnik fali stojącej = WFS = VSWR jest związany ze współczynnikiem odbicia:

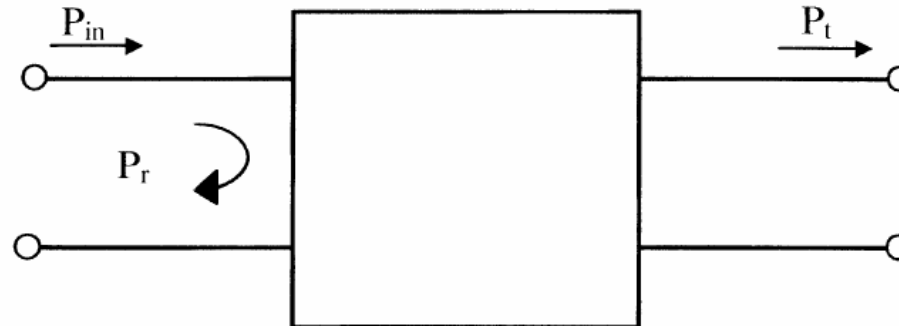
$$VSWR = \frac{|V_{\max}|}{|V_{\min}|} = \frac{1 + |\Gamma_L|}{1 - |\Gamma_L|}$$

$$|\Gamma_L| = \frac{VSWR - 1}{VSWR + 1} = |\Gamma(x)|$$





Układ zasilający antenę



- IL = Insertion Loss
- RL = Return Loss

$$IL = 10 \log \frac{P_{in}}{P_t}$$

$$RL = 10 \log \frac{P_{in}}{P_r}$$

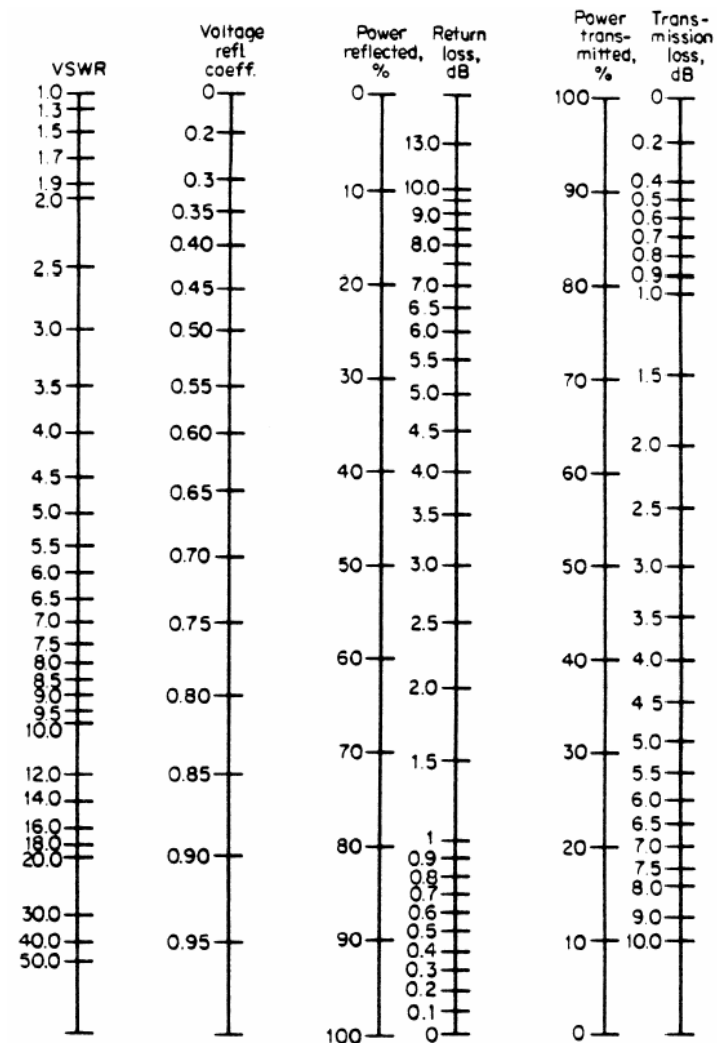
$$RL = -20 \log |\Gamma_L|$$





Układ zasilający antenę

- Parametry opisujące odbicie są równoważne – można je swobodnie przeliczać
- Niosą informację o tym jak bardzo impedancja obciążenia różni się od impedancji linii





Układ zasilający antenę

Impedancja znormalizowana:

$$\bar{Z}(x) = \frac{Z(x)}{Z_0} = \bar{R}(x) + j\bar{X}(x)$$

$$\Gamma(x) = \Gamma_r(x) + j\Gamma_i(x) \quad \bar{Z}(x) = \frac{Z(x)}{Z_0} = \frac{1 + \Gamma(x)}{1 - \Gamma(x)}$$

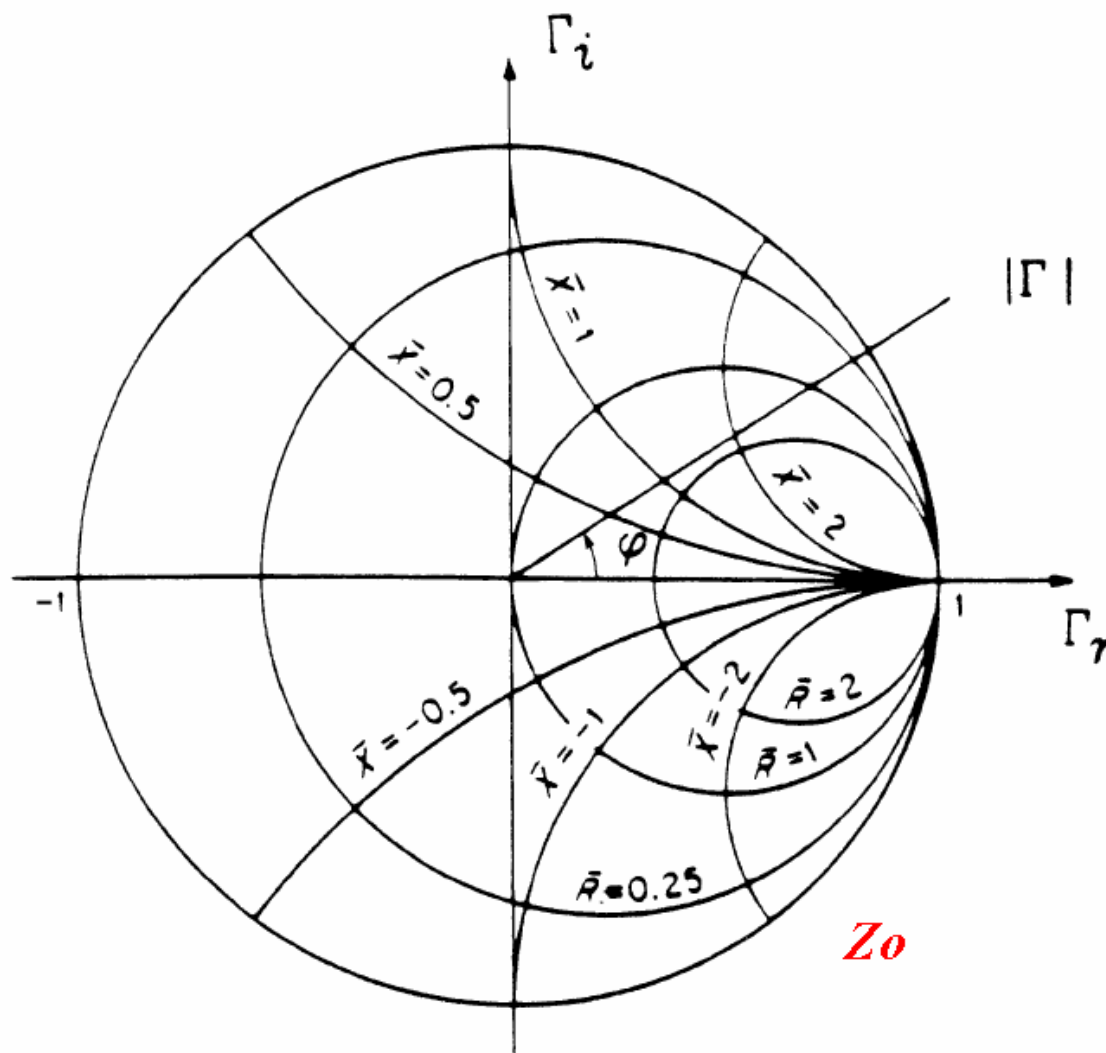
Po podstawieniu zespolonego współczynnika odbicia do równania na impedancję znormalizowaną otrzymujemy:

$$\left(\Gamma_r - \frac{\bar{R}}{1 + \bar{R}}\right)^2 + \Gamma_i^2 = \left(\frac{1}{1 + \bar{R}}\right)^2 \quad (\Gamma_r - 1)^2 + \left(\Gamma_i - \frac{1}{\bar{X}}\right)^2 = \left(\frac{1}{\bar{X}}\right)^2$$



Wykres Smitha

- Przestrzeń kartezjańska części rzeczywistej i urojonej współczynnika odbicia.
- $|\Gamma| \leq 1$ – Koło o promieniu 1
- Przestrzeń utworzona dla Impedancji unormowanej względem Z_0





Linia koncentryczna

- Fala TEM
- DC – 50GHz ($f \uparrow$ - $\alpha \uparrow$)
- Ze względu na ekranowanie występują znikome straty wywołane promieniowaniem
- Możliwość wykonania elastycznych linii
- Stosowane w technice radiowej, technice wideo, pomiarowej i wielu innych





KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY



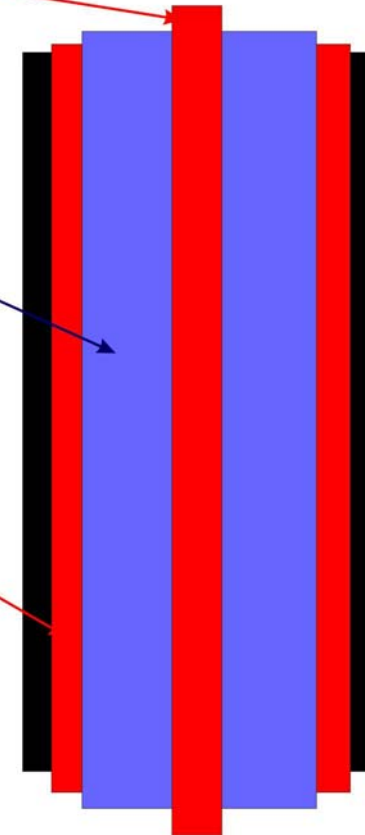
Prezentacja multimedialna współfinansowana przez Unię Europejską w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego

Linia koncentryczna

Przewód wewnętrzny

izolator

Przewód zewnętrzny



Politechnika Łódzka
Instytut Elektroniki

Wybrane zagadnienia techniki antenowej i mikrofalowej - wykład 4

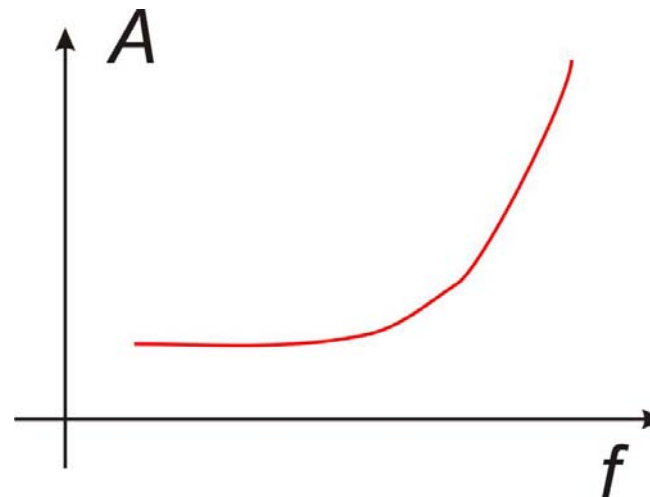


Linie transmisyjne

- Tłumienie linii:

$$A = 10 \log_{10} \frac{P_{we}}{P_{wy}}$$

P_{wy} – moc dostarczona przez odcinek linii o długości 1m lub 100m





Linia koncentryczna

Impedancja charakterystyczna linii koncentrycznej:

$$Z_0 = \frac{V}{I} = \frac{\sqrt{\mu/\varepsilon}}{2\pi} \ln \frac{r_o}{r_i}$$

Dla linii wypełnionej powietrzem (próżnią):

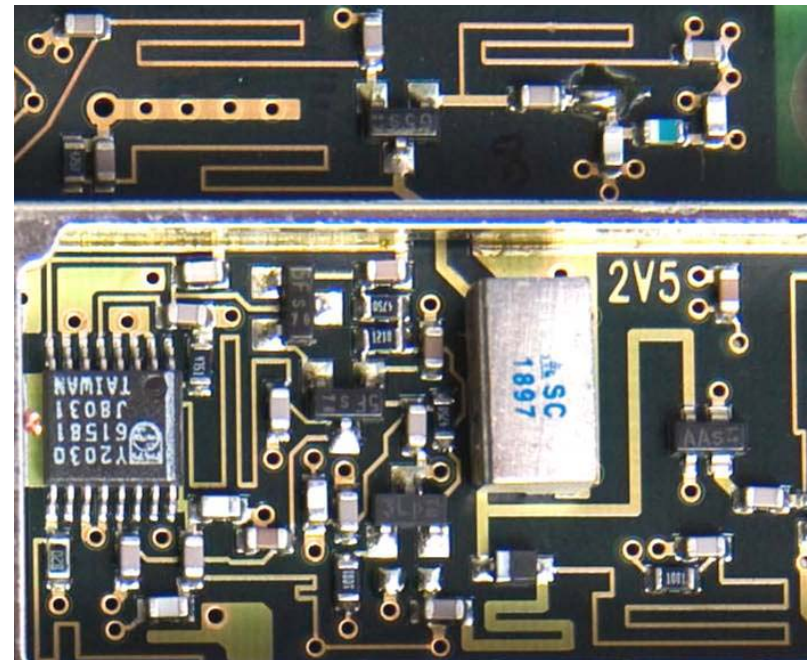
$$\sqrt{\mu/\varepsilon} = \sqrt{\mu_0/\varepsilon_0} = 377 \, \Omega$$

$$Z_0 = 60 \ln \frac{r_o}{r_i} \quad (\Omega)$$



Linie mikropaskowe

- Bardzo popularne ze względu na zalety technologiczne (technika PCB, fotolitografia).
- Ponad to ich zaletą jest: niski koszt, możliwość miniaturyzacji i integracji z elementami aktywnymi, duża powtarzalność wykonania, niski koszt
- Wady:
 - Względnie duże straty,
 - mniejsza obciążalność,
 - niestabilność temperaturowa.

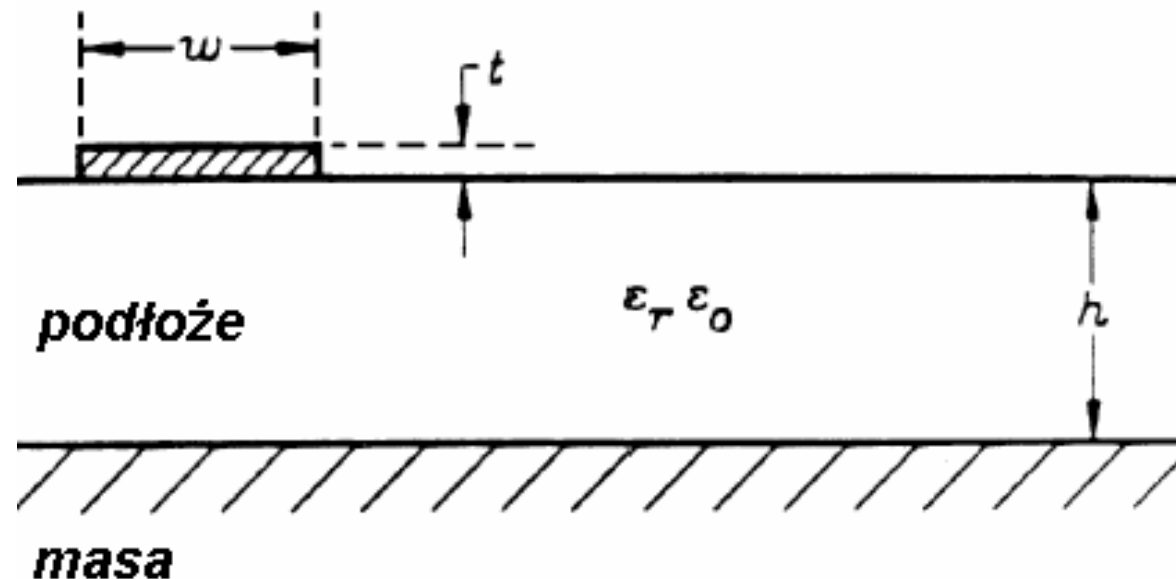


Wybrane zagadnienia techniki antenowej i mikrofalowej - wykład 4



Linie mikropaskowe

- Największy wpływ na parametry linii mikropaskowych mają parametry ε , w , h .
- Przewodność ścieżki i jej grubość jest mniej istotna





Linie mikropaskowe

- Równania analizy – szukane Z_0 , ϵ_{eff} , dane w/h , ϵ_r

$$w/h \leq 1$$

$$\epsilon_{\text{eff}} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left[\left(1 + \frac{12h}{w} \right)^{-1/2} + 0.04 \left(1 - \frac{w}{h} \right)^2 \right]$$

$$Z_0 = 60(\epsilon_{\text{eff}})^{-1/2} \ln \left(\frac{8h}{w} + \frac{0.25w}{h} \right) \quad \Omega$$

$$w/h > 1$$

$$\epsilon_{\text{eff}} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left(1 + \frac{12h}{w} \right)^{-1/2}$$

$$Z_0 = \frac{[120\pi(\epsilon_{\text{eff}})^{-1/2}]}{(w/h) + 1.393 + 0.667 \ln(1.444 + w/h)} \quad \Omega$$





Linie mikropaskowe

- Równania syntezy - szukane w/h , ϵ_{eff} , dane Z_0 , ϵ_r
- Dla wąskich pasków

$$Z_0 > 44 - 2\epsilon_r$$

$$\frac{w}{h} = \left(\frac{\exp H'}{8} - \frac{1}{4 \exp H'} \right)^{-1} \quad H' = \frac{Z_0 \sqrt{2(\epsilon_r + 1)}}{119.9} + \frac{1}{2} \left(\frac{\epsilon_r - 1}{\epsilon_r + 1} \right) \left(\ln \frac{\pi}{2} + \frac{1}{\epsilon_r} \ln \frac{4}{\pi} \right)$$

$$\epsilon_{\text{eff}} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} \left[1 - \frac{1}{2H'} \left(\frac{\epsilon_r - 1}{\epsilon_r + 1} \right) \left(\ln \frac{\pi}{2} + \frac{1}{\epsilon_r} \ln \frac{4}{\pi} \right) \right]^{-2}$$





Linie mikropaskowe

- Równania syntezy - szukane w/h , ϵ_{eff} , dane Z_0 , ϵ_r
- Dla szerokich pasków $Z_0 < 44 - 2\epsilon_r$

$$\frac{w}{h} = \frac{2}{\pi}[(d_e - 1) - \ln(2d_e - 1)] + \frac{\epsilon_r - 1}{\pi\epsilon_r} \left[\ln(d_e - 1) + 0.293 - \frac{0.517}{\epsilon_r} \right]$$

$$d_e = \frac{59.95\pi^2}{Z_0\sqrt{\epsilon_r}}$$

$$\epsilon_{\text{eff}} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left(1 + 10 \frac{h}{w} \right)^{-0.555}$$

lub:

$$\epsilon_{\text{eff}} = \frac{\epsilon_r}{0.96 + \epsilon_r(0.109 - 0.004\epsilon_r)[\log(10 + Z_0) - 1]}$$

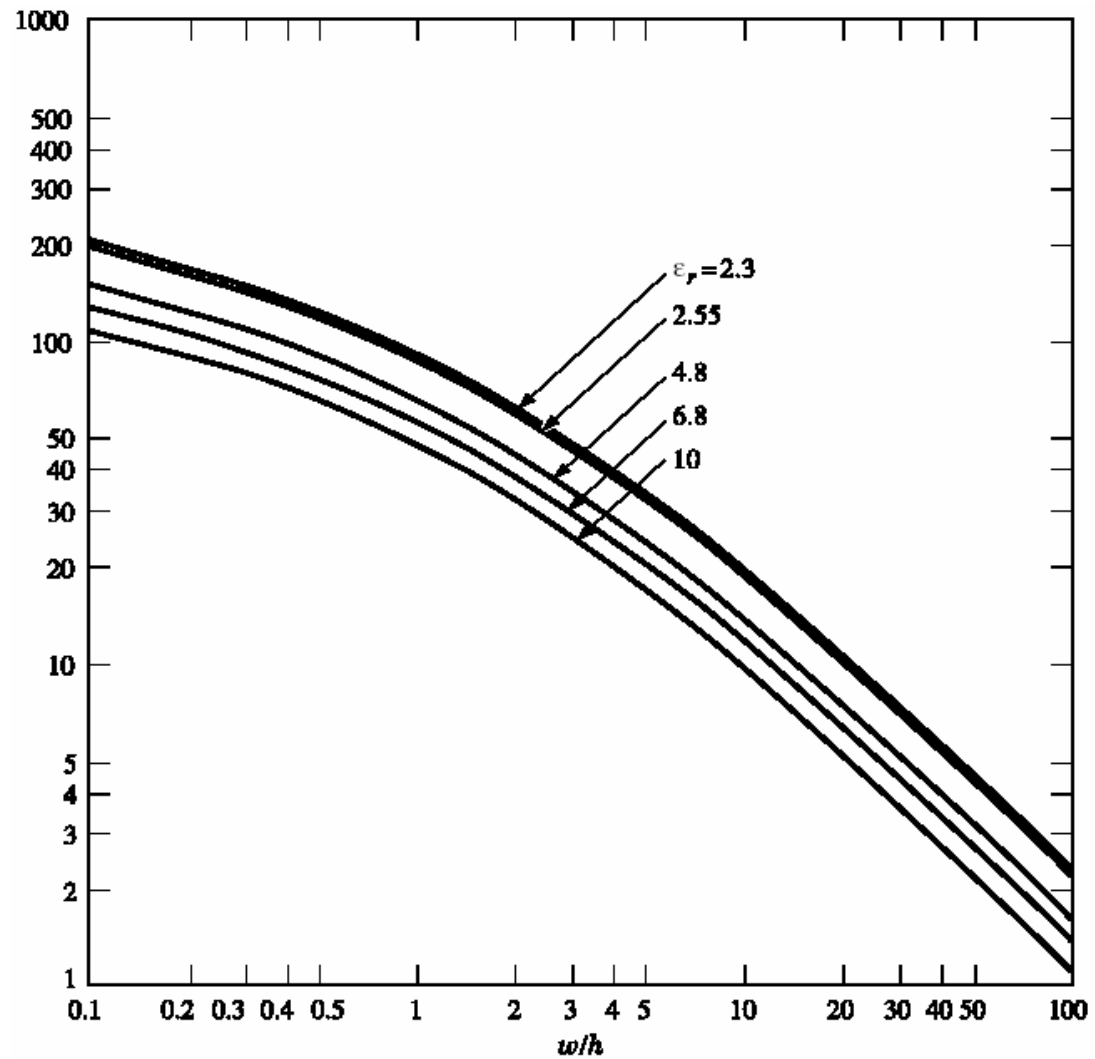




Linie mikropaskowe

Wykres do wyznaczania parametrów linii mikropaskowej metodą graficzną

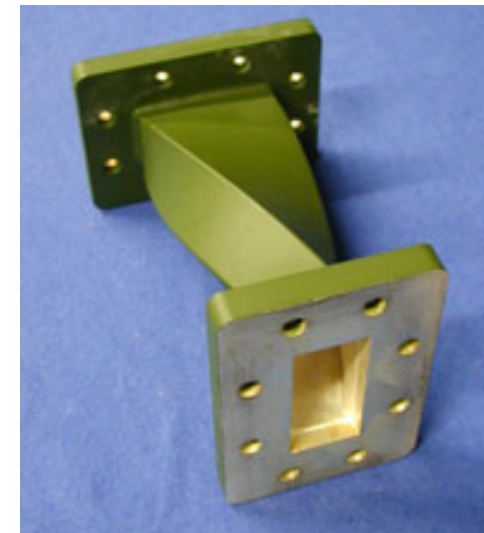
Z_0





Falowody

- Falowody – linie transmisyjne mikrofalowe
- Falowody to rury metalowe puste w środku
- Falowody dzieli się ze względu na kształt przekroju poprzecznego na:
 - Prostokątne
 - Kołowe (eliptyczne)





KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY



Prezentacja multimedialna współfinansowana przez Unię Europejską w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego

Falowody

Fala w wolnej przestrzeni

+



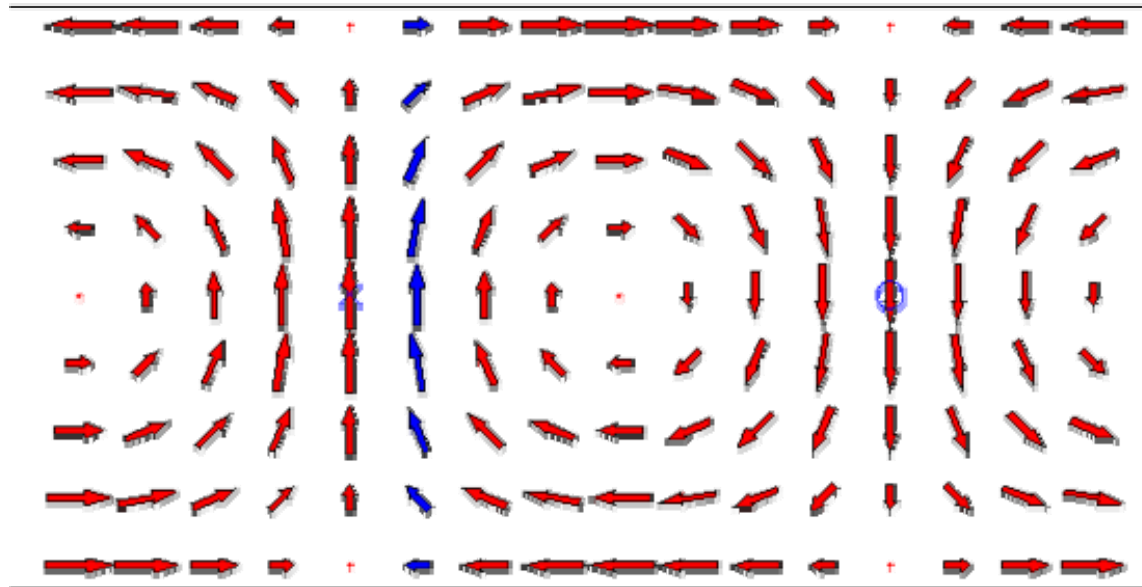
Politechnika Łódzka
Instytut Elektroniki

Wybrane zagadnienia techniki antenowej i mikrofalowej - wykład 4



Falowody

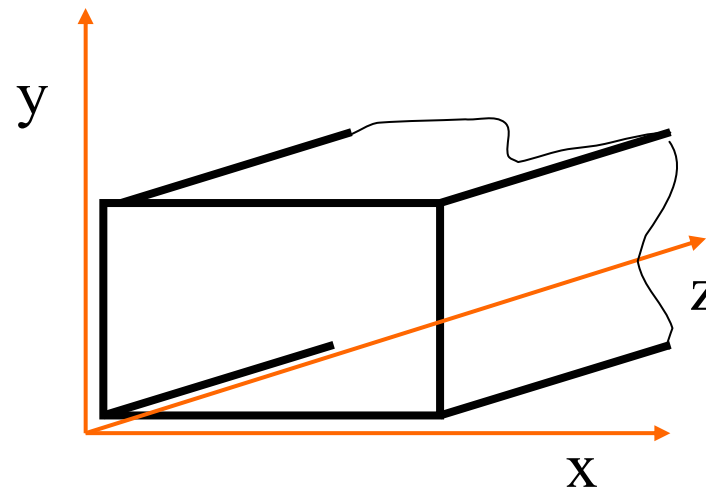
Fala w falowodzie





Falowody

- W falowodzie, ze względu na warunki brzegowe mogą rozchodzić się jedynie fale TE (H) lub TM (H)
- Dla fali TE mamy $E_Z=0$ i $H_Z \neq 0$
- Dla fali TM odpowiednio: $E_Z \neq 0$ i $H_Z = 0$





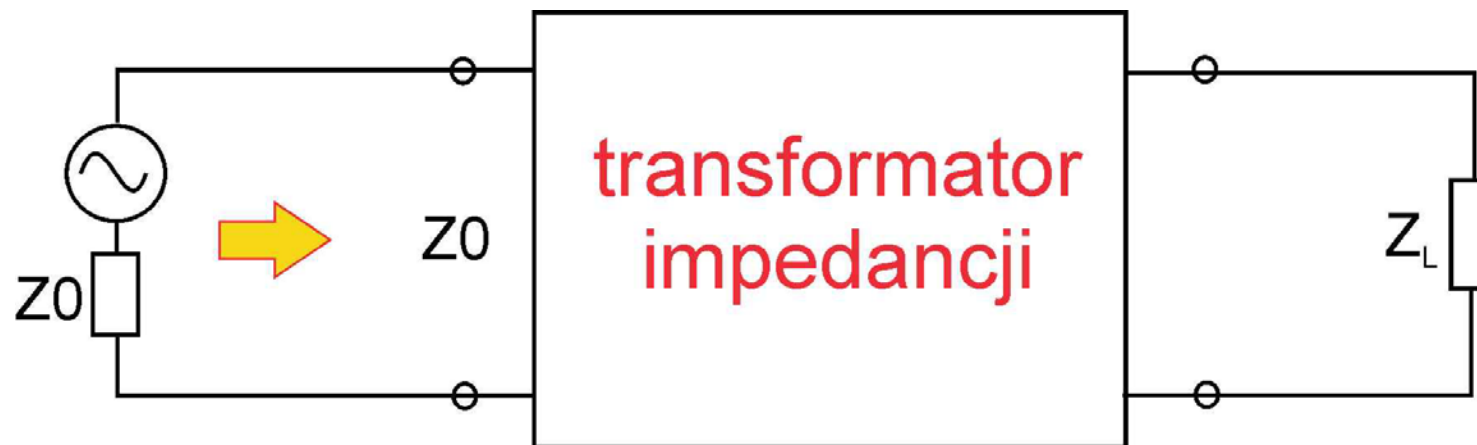
Falowody

- Wykorzystywane do transmisji sygnałów najwyższych częstotliwości i dużych mocy
- Stosowane w technice radarowej, transmisji satelitarnej (pomiędzy feeder'em, a konwerterem), mikrofalowych generatorach lampowych.
- W specjalnych wykonaniach stanowią elementy pomiarowe



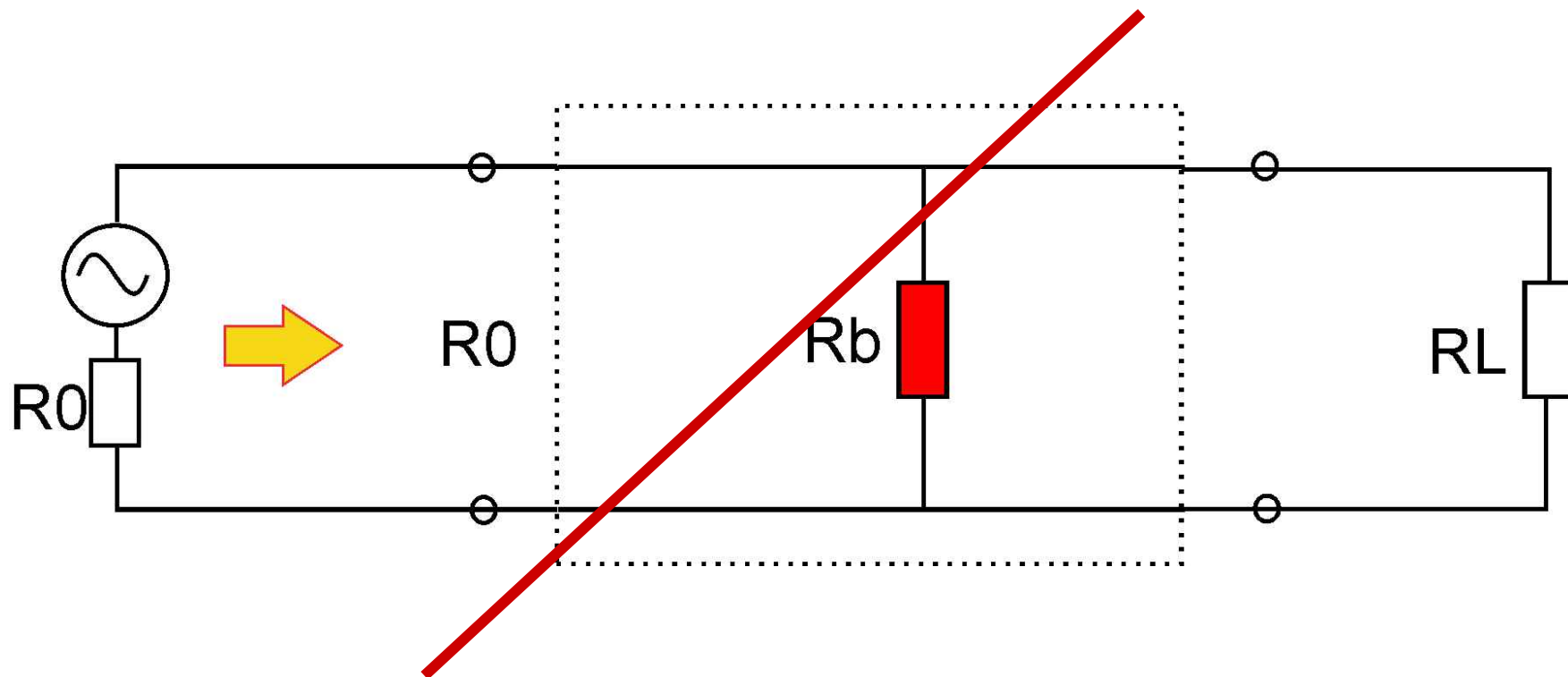
Transformatory impedancji

- Układy modyfikujące impedancję obciążenia
- Pozwalają zredukować odbicie sygnału
- Wprowadzają tłumienie (zależne od częstotliwości)



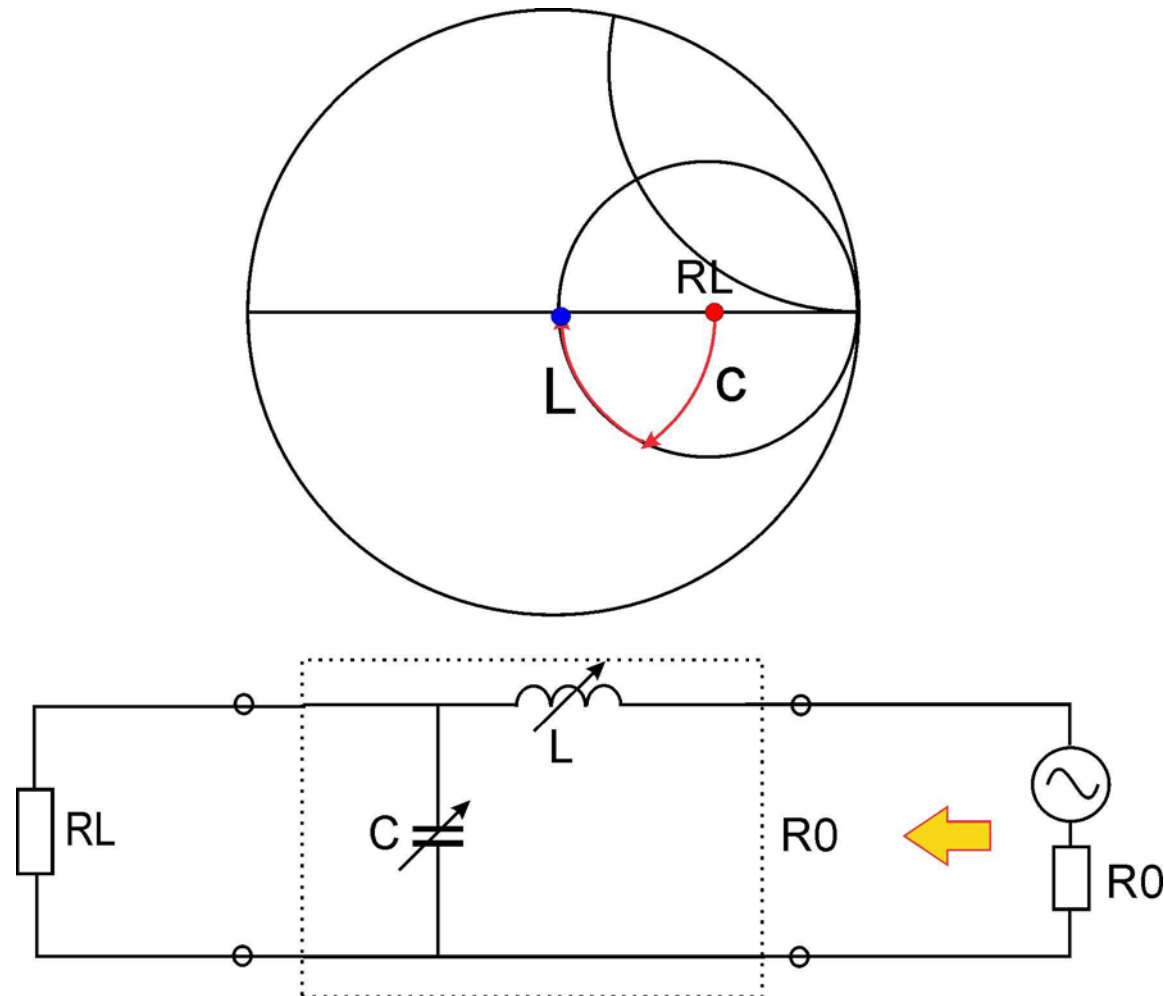
Transformator impedancji

- Trywialny transformator dopasowujący rezystancję

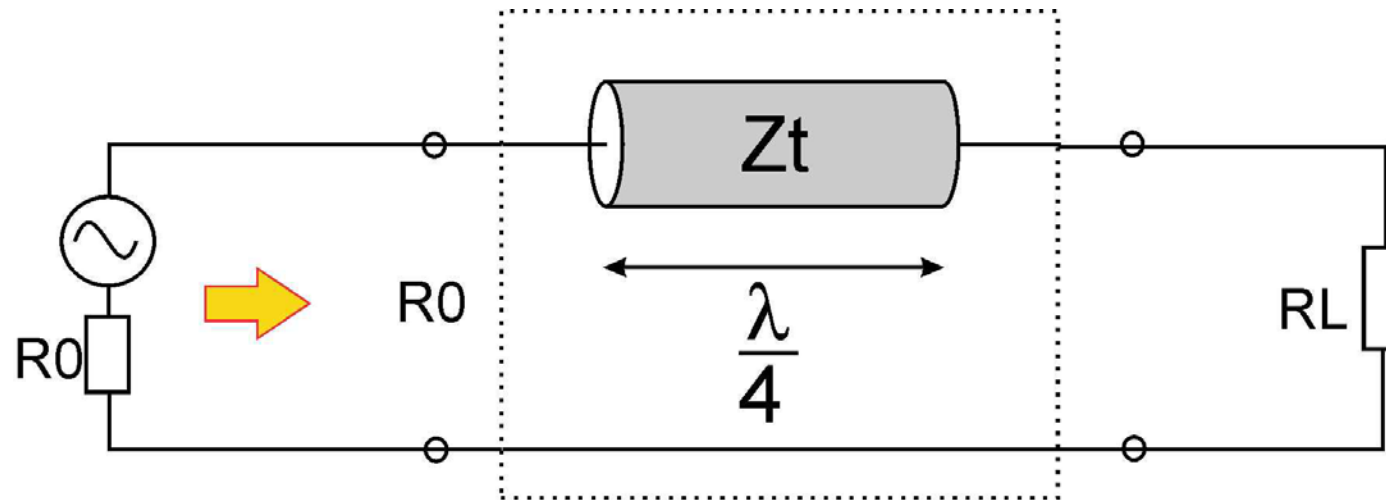




Transformator LC



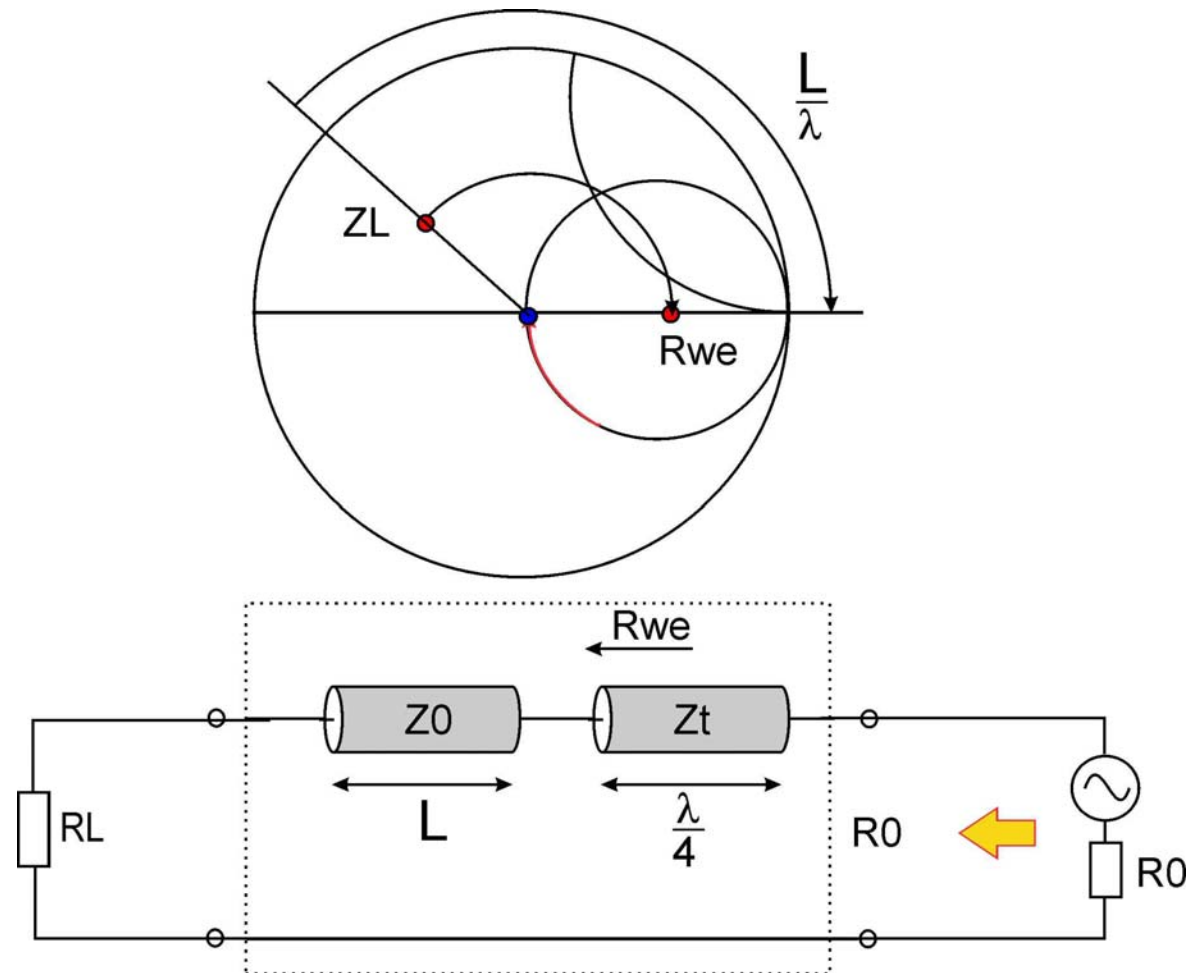
Transformator ćwierćfalowy



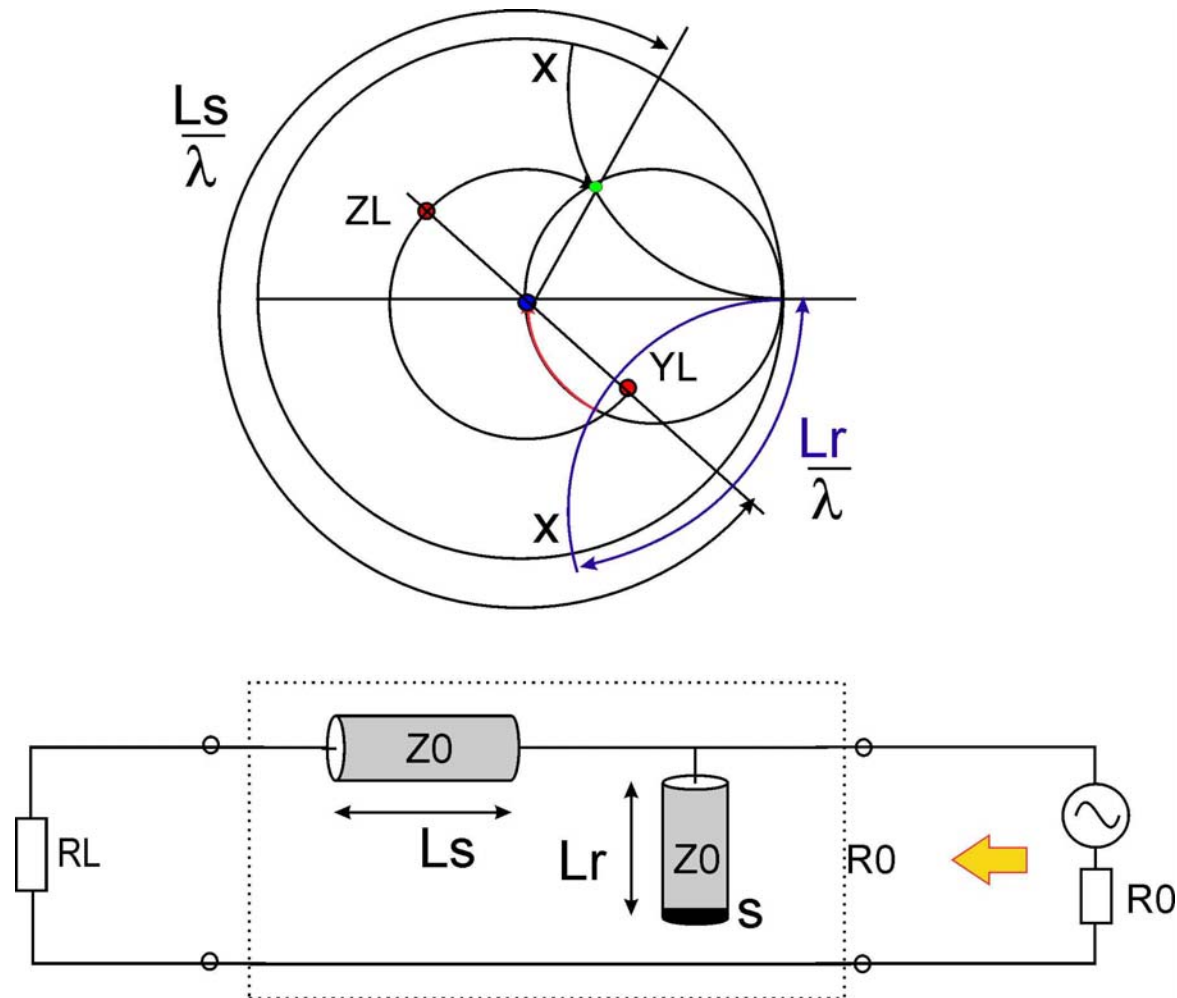
$$Z_t = \sqrt{R_0 * R_L}$$



Transformator szeregowy



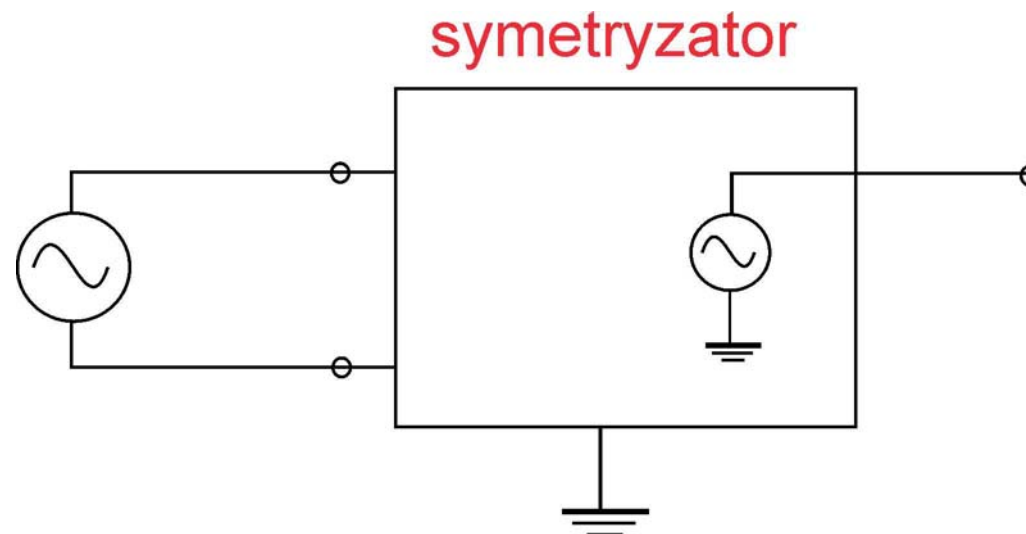
Transformator z pojedynczym stroikiem





Symetryzatory

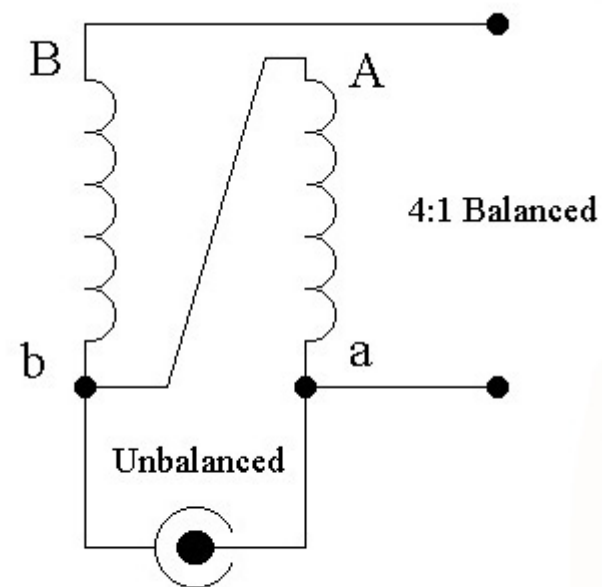
- Zamieniają źródło symetryczne na niesymetryczne
- Pozwalają podłączyć linie niesymetryczną do anteny zasilanej symetrycznie





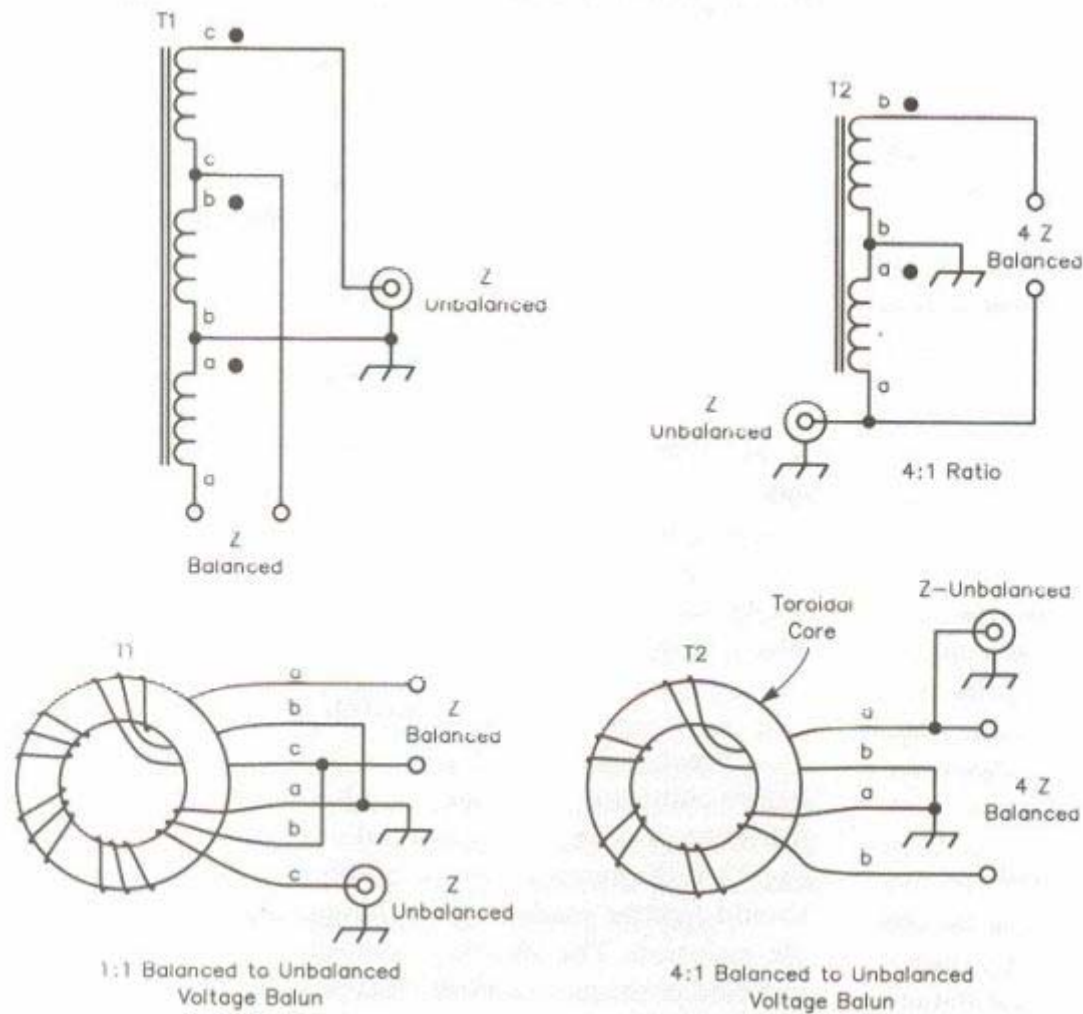
Symetryzatory

- Symetryzatory ze sprzężeniem indukcyjnym
- Mogą transformować impedancję (typowo 4:1)

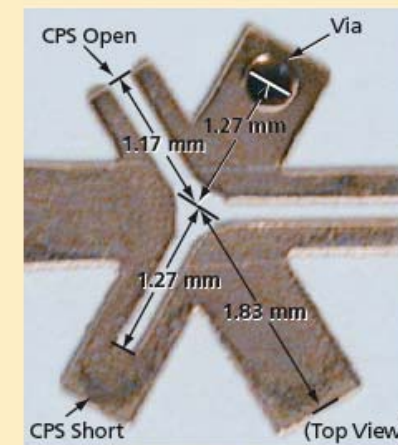
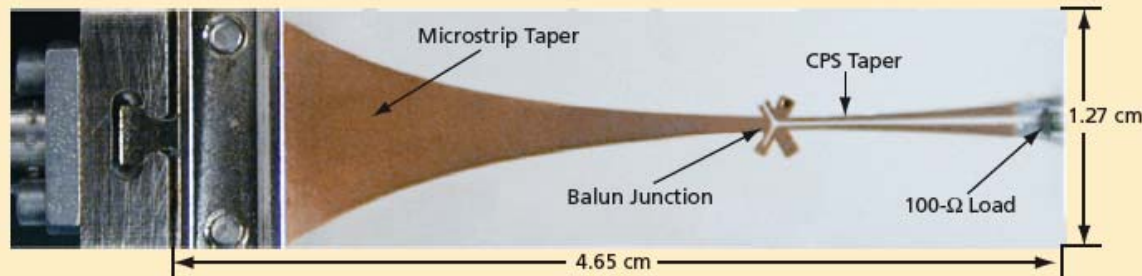




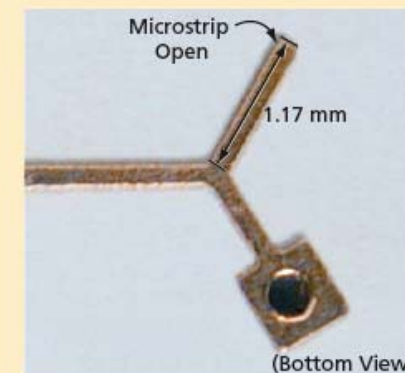
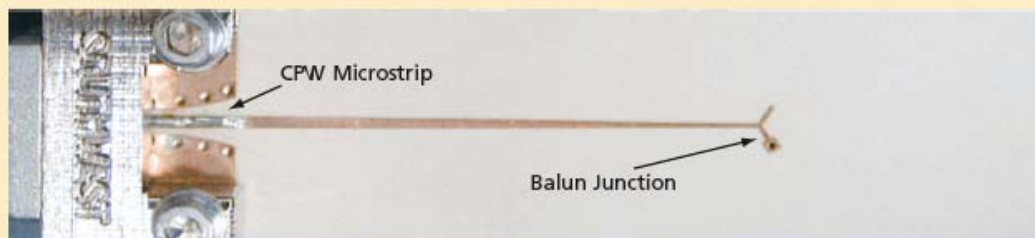
Symetryzatory



Symetryzator szerokopasmowy



MAGNIFIED DETAIL



MAGNIFIED DETAIL



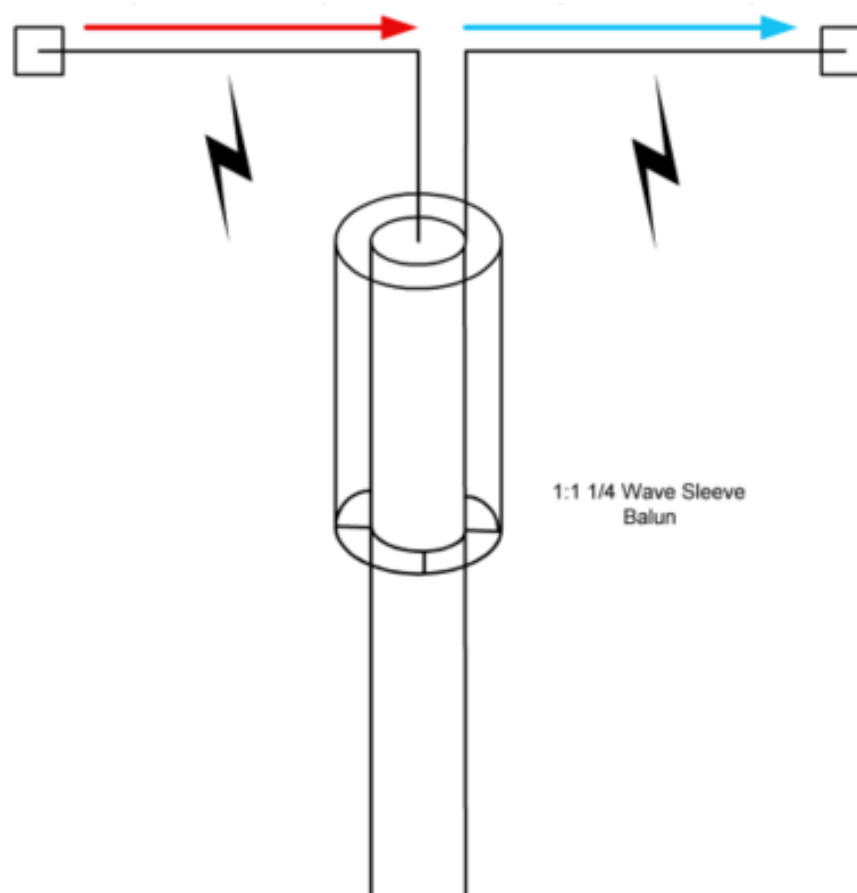
KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY



Prezentacja multimedialna współfinansowana przez Unię Europejską w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego

Symetryzator „bazooka”



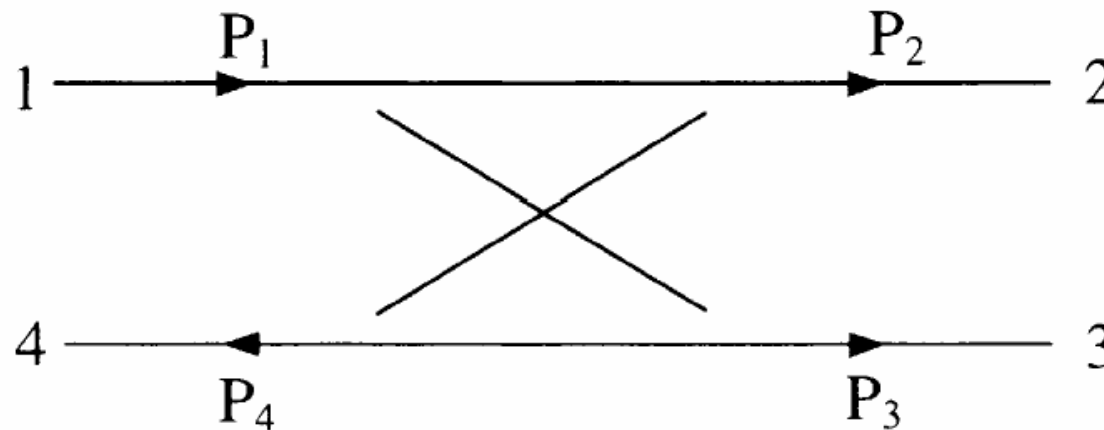
Politechnika Łódzka
Instytut Elektroniki

Wybrane zagadnienia techniki antenowej i mikrofalowej - wykład 4



Sprzęgacze kierunkowe

- Sprzęgacze kierunkowe to urządzenia o 4 portach
- Moc z wejścia P1 jest przekazywana („sprzęgana”) na wyjścia P2 i P3
- Wyjście P4 jest izolowane



- Porty: P1 – wejście,
- P2 – wyjście, P3 – wyjście sprzężone P4 – wyjście izolowane





Sprzęgacze kierunkowe

- Dla sprzęgaczy określa się 3 parametry charakterystyczne:

- Współczynnik sprzężenia $C = 10 \log \frac{P_1}{P_3}$

- Kierunkowość $D = 10 \log \frac{P_3}{P_4}$

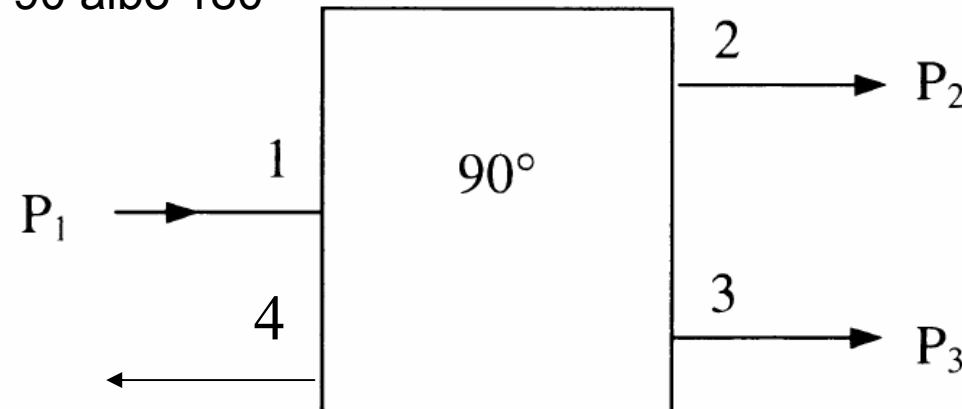
- Izolacje $I = 10 \log \frac{P_1}{P_4}$

$$= 10 \log \frac{P_1}{P_3} \frac{P_3}{P_4} = 10 \log \frac{P_1}{P_3} + 10 \log \frac{P_3}{P_4} = C + D$$

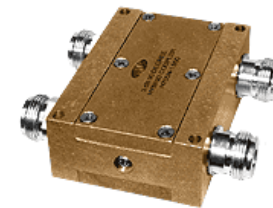


Sprzęgacze hybrydowe

- Sprzęgacze hybrydowe to szczególny rodzaj sprzęgaczy kierunkowych dla których współczynnik sprzężenia wynosi 3 dB.
- Sprzęgacze hybrydowe wprowadzają przesunięcie fazy sygnału wyjściowego o 90 albo 180°

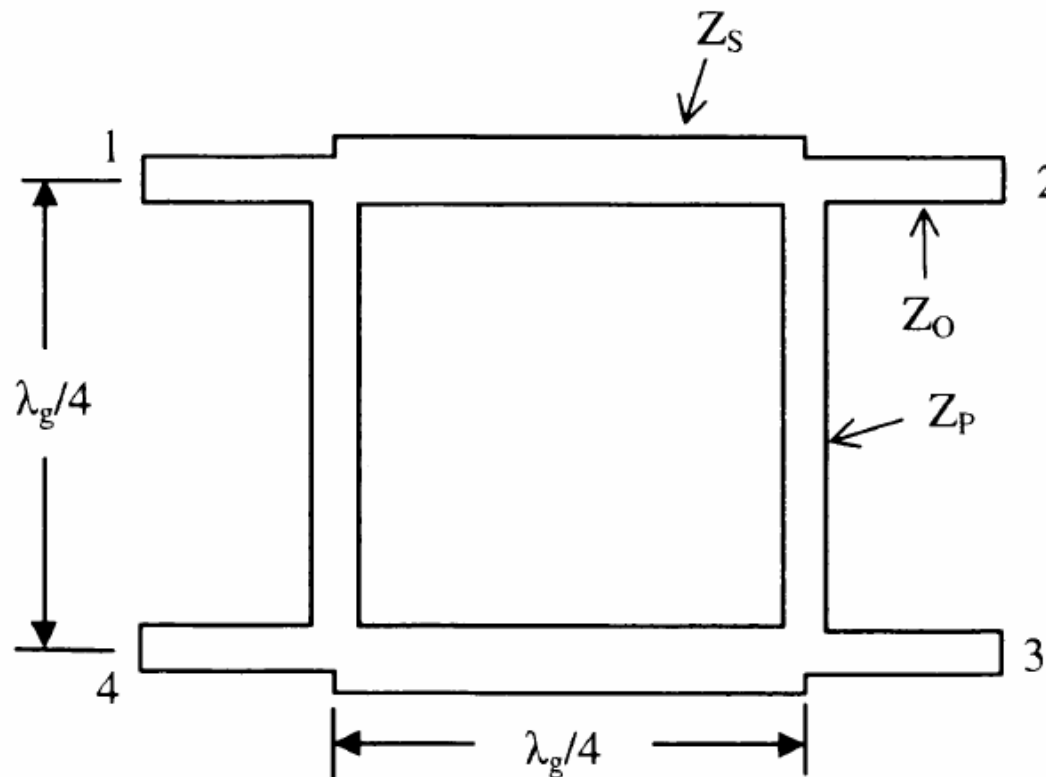


- Sygnał z wejścia 1 dzielony jest pomiędzy wyjście 2 i 3. Porty 1 i 4 są izolowane. Sygnały z wyjść 2 i 3 są przesunięte w fazie o 90°



Sprzęgacze hybrydowe

- Realizacja 90° sprzęgacza hybrydowego w technice mikropaskowej

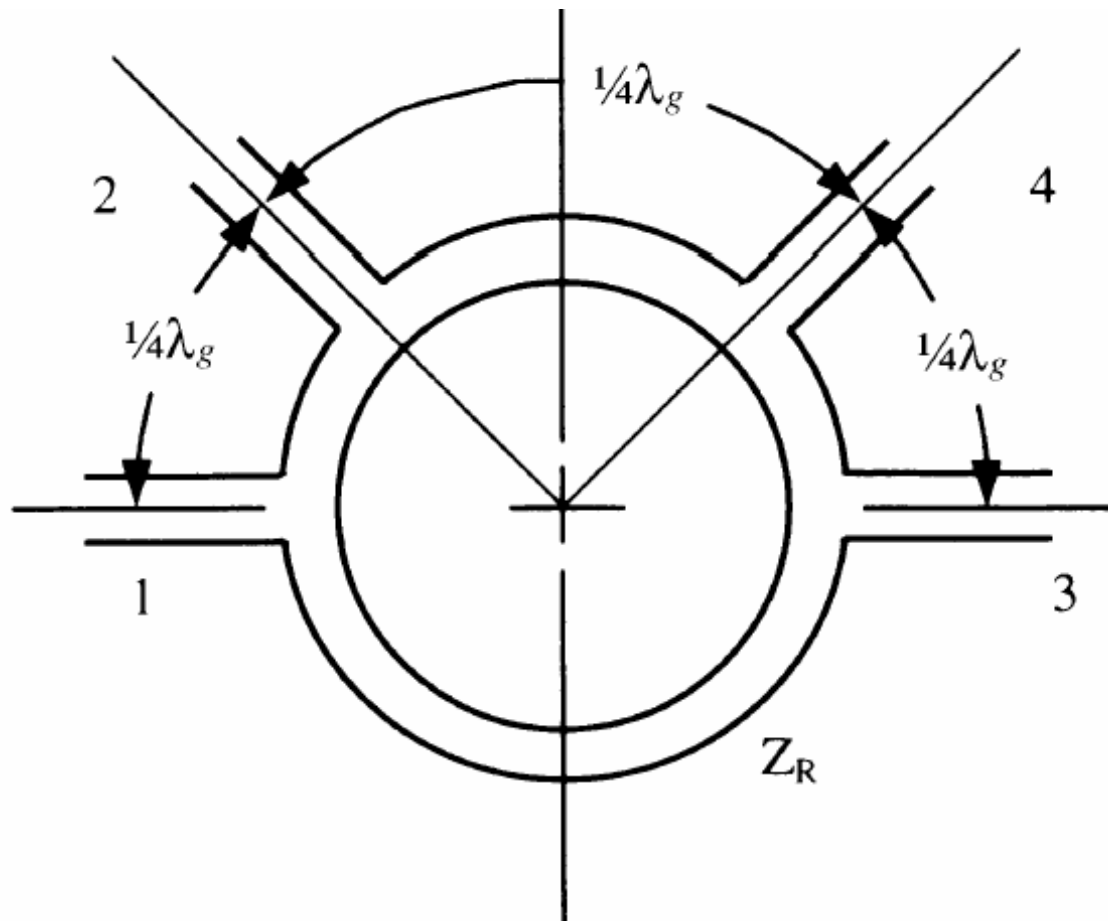


$$Z_s = Z_0 / \sqrt{2}$$

$$Z_p = Z_0$$



Sprzęgacze hybrydowe



$$Z_R = \sqrt{2}Z_0$$



KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY



Prezentacja multimedialna współfinansowana przez Unię Europejską w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego

Co należy zapamiętać

- Co stanowi układ zasilania anteny
- Kiedy dochodzi do odbicia sygnału w linii
- Do czego służy transformator impedancji
- Co to jest symetryzator



Politechnika Łódzka
Instytut Elektroniki

Wybrane zagadnienia techniki antenowej i mikrofalowej - wykład 4

Łukasz Januszkiewicz

Wybrane zagadnienia techniki antenowej i mikrofalowej

Zadanie nr 14 – Studia podyplomowe „Bezprzewodowe systemy nadzoru i monitorowania”

Dziękuję za uwagę



KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY



Prezentacja multimedialna
współfinansowana przez Unię Europejską
w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego
w projekcie

*„Innowacyjna dydaktyka bez ograniczeń
– zintegrowany rozwój Politechniki Łódzkiej –
zarządzanie Uczelnią,
nowoczesna oferta edukacyjna
i wzmacniania zdolności do zatrudniania
osób niepełnosprawnych”*



Politechnika Łódzka
Instytut Elektroniki

90-924 Łódź, ul. Żeromskiego 116,
tel. 042 631 28 83
www.kapitalludzki.p.lodz.pl