

# ELEKTRONIKA W EKSPERYMENCIE FIZYCZNYM

D. B. Tefelski

Zakład VI Badań Wysokociśnieniowych  
Wydział Fizyki Politechnika Warszawska, Koszykowa 75, 00-662 Warszawa, PL

14 marzec 2011

Układy o stałych rozłożonych, linie długie: równania linii,  
parametry czwórnikowe, dopasowanie falowe



# Plan prezentacji

- 1 Wstęp
  - Literatura
  - Widmo E-M
- 2 Układy o stałych rozłożonych
  - Układy o stałych skupionych
  - Układy o stałych rozłożonych
  - Linie długie

# Do przestudiowania



David J. Griffiths

Podstawy elektrodynamiki

Wydawnictwo Naukowe PWN SA, 2005



Janusz A. Dobrowolski

Technika wielkich częstotliwości

Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa  
2001

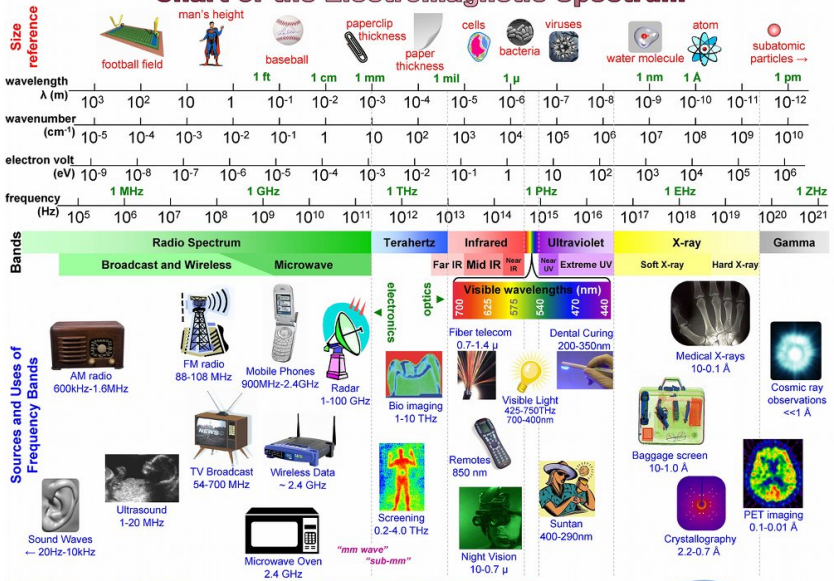


Romuald Litwin, Marian Suski

Technika mikrofalowa

Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 1972

# Chart of the Electromagnetic Spectrum



## Układy o stałych skupionych

Układy w których zmiany prądów i napięć przebiegają w czasie znacznie dłuższym od czasu rozchodzenia się sygnału w tych układach.

Elementy R, L, C – skupione są w niewielkim obszarze przestrzeni (przybliżenie punktowe)

$$l \ll \lambda$$

gdzie  $\lambda$  – długość fali elektromagnetycznej,  
 $l$  – największy z wymiarów obwodu elektrycznego

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

gdzie  $c$  – prędkość fali EM w próżni,  $f$  – częstotliwość fali EM

## Układy o stałych rozłożonych

Układy w których zmiany prądów i napięć przebiegają w czasie krótszym od czasu rozchodzenia się sygnału w tych układach. Wymiary układu są większe od długości fali sygnału.

## Równanie telegrafistów

Równania telegrafistów (równania linii długiej) są to pary liniowych równań różniczkowych, które opisują zmiany zespolonej amplitudy napięcia i prądu wzdłuż linii długiej z uwzględnieniem odległości oraz czasu. Równania zostały skonstruowane przez Oliviera Heavisidea. Teoria dotyczy wysokoczęstotliwościowych linii długich (takich jak linie telegraficzne) ale jest również ważna dla projektowania linii przesyłowych o wysokim napięciu elektrycznym.

## Dopasowanie falowe

Warunek dopasowania w linii  $Z = Z_c$  : obciążenie  $Z$  jest dopasowane falowo do linii.

Rozkład napięć i prądów wzdłuż linii:

$$U = U_0^+ e^{-\gamma x} (1 + \Gamma_0 e^{2\gamma x})$$

$$I = \left( \frac{U_0^+ e^{-\gamma x}}{Z_c} \right) (1 - \Gamma_0 e^{2\gamma x})$$

Gdy linia i obciążenie są dopasowane falowo - w linii nie ma fali odbitej ( $U^- = 0$ ), jest tylko fala padająca. Gdy linia jest bezstratna to amplituda fali wzdłuż linii jest stała.



## Współczynnik fali stojącej

WFS albo SWR (Standing Wave Ratio)

def.

$$\rho = \frac{U_{max}}{U_{min}}$$

Stosunek maksymalnej do minimalnej amplitudy napięcia w linii

$$\rho = \frac{|U^+| + |U^-|}{|U^+| - |U^-|}$$

## Współczynnik fali stojącej ...

Ponieważ współczynnik odbicia:  $\Gamma = \frac{U^-}{U^+}$

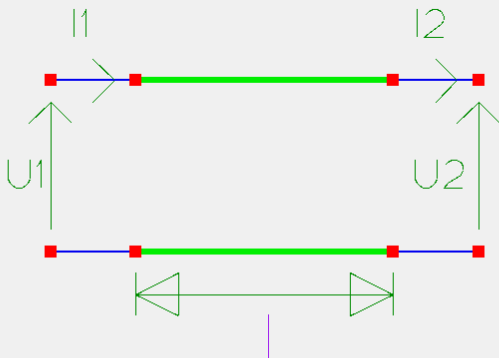
$$\rho = \frac{1+|\Gamma|}{1-|\Gamma|}$$

wsp. odbicia na końcu linii:  $\Gamma_0 = \frac{\frac{Z_L}{Z_C} - 1}{\frac{Z_L}{Z_C} + 1}$

Jeśli  $\frac{Z_L}{Z_C}$  jest liczbą rzeczywistą, to  $\Gamma_0$  jest rzeczywiste i  $\rho$ :

$$\rho = \begin{cases} \frac{Z_L}{Z_C} & \text{gdy } Z_L > Z_C \\ \frac{Z_C}{Z_L} & \text{gdy } Z_C \geq Z_L \end{cases}$$

## Reprezentacja czwórnikowa linii



## Macierz S

### Macierz rozproszenia S

- $S_{11}$  - wejściowy współczynnik odbicia
- $S_{21}$  - współczynnik transmisji z wejścia na wyjście
- $S_{12}$  - współczynnik transmisji z wyjścia na wejście
- $S_{22}$  - wyjściowy współczynnik odbicia