

# Opracowanie wykładów 0-2 z EiM

Maciej B.

16 stycznia 2022

## 1 Podstawowy

### 1.1 Podstawowe Definicje

Dioda - lampa dwuelektrodowa do prostowania sygnałów

Sygnał - wielkość fizyczna zmieniająca się w czasie zawierająca pewną informację

### 1.2 Kierunek płynięcia prądu

Umowny kierunek jest równy kierunkowi "poruszania się" dziur, faktycznie elektrony płyną w kierunku przeciwnym

### 1.3 Podział sygnałów

- deterministyczne - opisywalne funkcją matematyczną
- stochastyczne - nieopisywalne funkcją matematyczną

### 1.4 Podział sygnałów

- analogowe (ciągłe i dyskretne), cyfrowe, "mixed signal" (występują bloki analogowe i cyfrowe)  
ciągłe - przyjmują przedział wartości, dyskretne - przyjmują konkretne wartości
- liniowe i nieliniowe (dla ukł. analogowych, układy cyfrowe są z reguły nieliniowe)  
Układ liniowy - opisany liniowym równaniem różniczkowym, w stanie ustalonym charakterystyka przejściowa jest linią prostą
- stacjonarne (parametry niezmiennie w czasie) i niestacjonarne (parametry się zmieniają w trakcie działania)

### 1.5 Twierdzenie Fouriera i widmo sygnału

Twierdzenie Fouriera - przebieg okresowy możemy przedstawić w postaci szeregu funkcji sinusoidalnych (składowe o częstotliwościach stanowiących całkowite wielokrotności sygnału)

Widmo - przedstawienie sygnału w dziedzinie częstotliwości lub pulsacji otrzymane przy pomocy transformacji Fouriera (w przypadku funkcji okresowych przedstawiane w postaci impulsów Diraca)

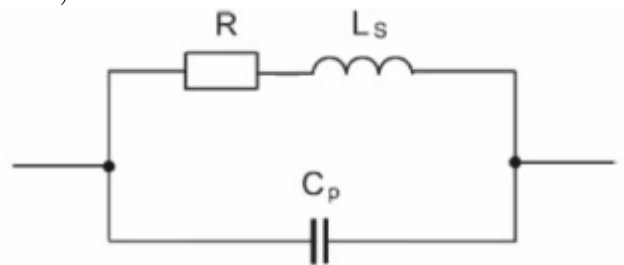
Po polsku:

Jeśli jest sygnał okresowy, to jego widmo przedstawiamy jako pionowe kreski co  $\omega$  o wysokości poszczególnych amplitud (sinusoida ma jedną kreskę na  $\omega_0$ , bo ma jedną amplitudę)

## 2 Podstawowe elementy obwodów RLC

### 2.1 Rezystor

- Rezystancja:  $R = \frac{u}{i}$
- Moc prądu stałego (energia zamieniana na ciepło):  $P = UI = I^2 R = \frac{U^2}{R}$
- Moc średnia prądu dla przebiegu sinusoidalnego:  $P = U_{sk} I_{sk} = \frac{U}{\sqrt{2}} \frac{I}{\sqrt{2}} = \frac{1}{2} I^2 R = \frac{1}{2} \frac{U^2}{R}$
- rezystancja rzeczywista = rezystancja nominalna  $\pm$  tolerancja
- Klasa oznaczano jako  $En$ , gdzie  $n = 6 * 2^n$  (np. E6, E12, E24, ..., E192), jest tak dobierana aby zakresy dopuszczalnych rezystancji rzeczywistych  $n$  rezystorów pokrywały całą dekadę (dekada to od  $10^n$  do  $10^{n+1}$ )



Schemat zastępczy rzeczywistego rezystora:

- Moc znamionowa – maksymalna moc, która może się wydzielać w sposób ciągły w rezystorze w postaci ciepła, NIE powodując w nim nieodwracalnych zmian
- Maksymalna temperatura pracy – maksymalna temperatura, jaką może osiągać rezystor podczas wydzielania mocy, przy której NIE następują nieodwracalne zmiany
- Maksymalne napięcie pracy – dopuszczalne napięcie na rezystorze, przy którym NIE występuje ryzyko przebicia
- Temperaturowy współczynnik rezystancji ( $\alpha$  lub  $TCR$ ) – współczynnik wyrażany w procentach na stopień lub w milionowych częściach na stopień
- $TCR = \frac{\frac{\Delta R}{R_n}}{\Delta T}$
- $R(T) = R_n(T_0)[1 + TCR(T - T_0)]$

## 2.2 Termistor

- Rezystor nieliniowy wykonany z półprzewodnika z dużą zależnością temperaturową.
- Konduktywność (przewodnictwo) półprzewodników zwiększa się z temperaturą zgodnie z zależnością:  $\sigma_T = \sigma_\infty \exp(-\frac{B}{T})$  gdzie  $\sigma_\infty$  - konduktywność asymptotyczna w wysokiej temperaturze, B - stała materiałowa
- Rezystancja jest odwrotnie proporcjonalna do konduktywności, czyli:  $R_T = R_\infty \exp(\frac{B}{T})$
- Zamiast niemierzalnego parametru  $R_\infty$  w katalogach podaje się rezystancje nominalną termistora w określonej temperaturze, np. 25°C
- Cechy Termistora:
  - nominalna rezystancja (w temperaturze 25°C)
  - tolerancja rezystancji nominalnej (kilkadziesiąt procent)
  - moc maksymalna (zazwyczaj kilkaset miliwatów)
  - temperaturowy współczynnik rezystancji  $\alpha_T = -\frac{B}{T^2}$ , zazwyczaj ujemny (termistor NTC), rzadziej dodatni (PTC)
  - podłączony szeregowo może służyć jako zabezpieczenie

## 2.3 Warystor

- silnie nieliniowy element
- gwałtowny wzrost przewodzonego prądu po przekroczeniu napięcia charakterystycznego (zazwyczaj kilkaset volt)
- podłączony równolegle może służyć jako zabezpieczenie

## 2.4 Kondensator

- element pasywny dwukońcówkowy
- Pojemność:  $C = \frac{Q}{U}$
- Pojemność kond. płaskiego:  $C = \varepsilon \varepsilon_0 \frac{S}{d}$ , gdzie  $\varepsilon$ - przenikalność względna dielektryka pomiędzy płytami kondensatora,  $\varepsilon_0$ - przenikalność elektryczna próżni,  $S$  - powierzchnia płyt,  $d$  - odległość pomiędzy płytami
- Energia zgromadzona w polu elektrycznym kondensatora:  $W = \frac{CU^2}{2}$

### Zależności pomiędzy prądem i napięciem dla różnych metod opisu:

W dziedzinie czasu:

$$i(t) = C \frac{du(t)}{dt} \quad u = \frac{1}{C} \int_0^t i(t) dt + U_c(0)$$

W dziedzinie zmiennej s (z wykorzystaniem transformacji Laplace'a)

$$U(s) = \frac{1}{sC} I(s) \quad \text{impedancja} \quad Z(s) = \frac{U(s)}{I(s)} = \frac{1}{sC}$$

W dziedzinie częstotliwości

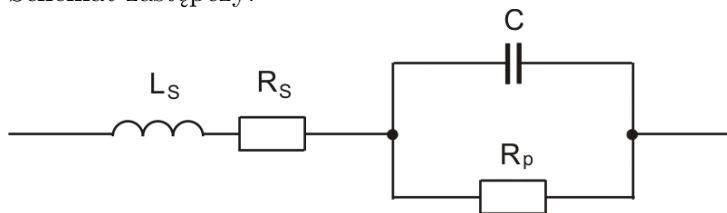
$$U(j\omega) = \frac{1}{j\omega C} I(j\omega) \quad Z(j\omega) = \frac{U(j\omega)}{I(j\omega)} = \frac{1}{j\omega C} = \frac{1}{\omega C} \cdot e^{-j\frac{\pi}{2}}$$

W idealnym kondensatorze przy pobudzeniu sinusoidalnym prąd wyprzedza napięcie o  $90^\circ$ .  
Wynika z tego, że moc czynna (wydzielana w postaci ciepła):

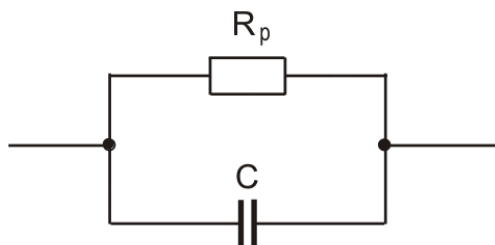
$$P = U_{sk} I_{sk} \cos \phi$$

jest w idealnym kondensatorze równa zero ( $\phi$  - przesunięcie fazy pomiędzy prądem i napięciem).

Schemat zastępczy:



Upraszczany do 1 z:



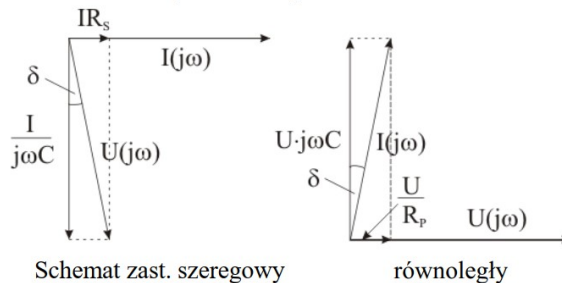
- Podstawowe parametry kondensatora:
  - Nominalna wartość pojemności - patrz rezystory
  - Tolerancja pojemności - || -
  - Maksymalne robocze napięcie stałe - podobnie
  - Maksymalna wartość skuteczna napięcia zmiennego - składowa nałożona na napięcie stałe
  - Współczynnik temperaturowy pojemności  $TCC = \frac{1}{C} \frac{\Delta C}{\Delta T}$

**Tangens kąta stratności** – odpowiednio dla modelu szeregowego i równoległego

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{R_s}{\frac{1}{\omega C}} = \omega C R_s \quad \operatorname{tg} \delta = \frac{\frac{1}{\omega C}}{R_p} = \frac{1}{\omega C R_p}$$

• Dobroć

$$Q = \frac{1}{\operatorname{tg} \delta}$$



## 2.5 Cewka

- element pasywny dwukońcówkowy
- ma zdolność gromadzenia energii w polu magnetycznym
- indukcyjność:  $L = \frac{N\Phi}{I}$
- Energia zgromadzona w polu magnetycznym:  $W = \frac{LI^2}{2}$

W dziedzinie czasu:

$$u(t) = L \frac{di(t)}{dt} \quad i = \frac{1}{L} \int_0^t u(t) dt + I_L(0)$$

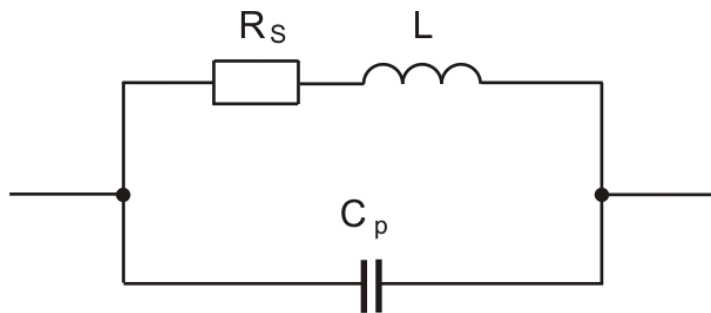
W dziedzinie zmiennej s:

$$U(s) = sL \cdot I(s) \quad \text{impedancja} \quad Z(s) = sL$$

W dziedzinie częstotliwości:

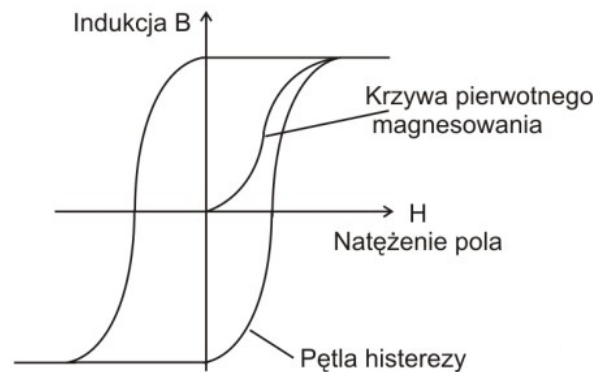
$$U(j\omega) = j\omega L \cdot I(j\omega) \quad Z(j\omega) = j\omega L = \omega L \cdot e^{+j\frac{\pi}{2}}$$

- Występują cewki powietrzne oraz cewki ze rdzeniem (ferromagnetycznym)
- Najlepsza jest cewka z rdzeniem toroidalnym, gdzie  $L = \mu\mu_0 \frac{N^2 S}{l}$  ( $\mu$ - względna przenikalność magnetyczna materiału rdzenia,  $\mu_0$  – przenikalność magnetyczna próżni,  $S$  – powierzchnia przekroju poprzecznego rdzenia,  $l$  – średnia długość linii pola magnetycznego)
- Nie są dostępne w postaci szeregów ustandaryzowanych elementów
- Podstawowe parametry: wartość nominalna indukcyjności oraz współczynnik temperaturowy indukcyjności
- Dobroć  $Q = \frac{\omega L}{R_s}$



- Schemat zastępczy:

W przypadku cewek z rdzeniem ze względu na krzywą magnesowania materiału ferromagnetycznego indukcyjność cewki staje się nieliniową funkcją płynącego przez cewkę prądu.



## 2.6 Transformator

- Składa się z dwóch lub więcej uzwojeń sprzężonych ze sobą magnetycznie (zazwyczaj silnie za pomocą rdzenia ferromagnetycznego)
- Uzwojenie, do którego doprowadzany jest prąd zmienny, nazywane uzwojeniem pierwotnym, wytwarza w rdzeniu zmienny strumień magnetyczny
- Ten zmienny strumień indukuje z kolei napięcie w uzwojeniu nazywanym uzwojeniem wtórnym, do którego dołączane jest obciążenie transformatora

- Energia elektryczna jest przekazywana z uzwojenia pierwotnego do wtórnego, ulegając pośredniemu przetworzeniu na energię pola magnetycznego. Oznacza to tzw. izolację galwaniczną pomiędzy obwodem pierwotnym i wtórnym, to znaczy brak bezpośredniego połączenia elektrycznego pomiędzy nimi

Idealny transformator można opisać równaniami:

$$U_1(s) = sL_1 \cdot I_1(s) + sM \cdot I_2(s)$$

$$U_2(s) = sM \cdot I_1(s) + sL_2 \cdot I_2(s)$$

$L_1$  i  $L_2$  oznaczają indukcyjności własne uzwojenia pierwotnego i wtórnego, a  $M$  jest ich indukcyjnością wzajemną:

$$M = k\sqrt{L_1 L_2}$$

$k$  oznacza współczynnik sprzężenia pomiędzy oboma uzwojeniami ( $0 < k < 1$ ).

W przypadku idealnego sprzężenia ( $k = 1$ ):

$$\frac{U_2}{U_1} = \frac{s\sqrt{L_1 L_2} I_1 + sL_2 I_2}{sL_1 I_1 + s\sqrt{L_1 L_2} I_2} \cdot \frac{\frac{1}{\sqrt{L_2}}}{\frac{1}{\sqrt{L_1}}} = \frac{s\sqrt{L_1} I_1 + s\sqrt{L_2} I_2}{s\sqrt{L_1} I_1 + s\sqrt{L_2} I_2} \cdot \frac{\sqrt{L_2}}{\sqrt{L_1}} = \sqrt{\frac{L_2}{L_1}}$$

Stosunek ten nazywamy przekładnią transformatora (pamiętamy, że indukcyjność jest proporcjonalna do kwadratu liczby zwojów):

$$\frac{U_2}{U_1} = \sqrt{\frac{L_2}{L_1}} = \frac{N_2}{N_1} = n$$

Ten sam wynik można uzyskać w inny sposób, zakładając, że cały strumień magnetyczny jest kupiony w rdzeniu transformatora (brak strumienia rozproszonego):

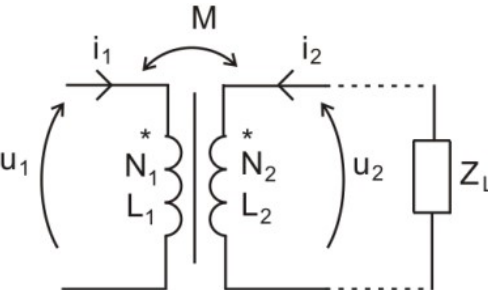
$$U_1 = N_1 \frac{d\Phi_1}{dt} \quad U_2 = N_2 \frac{d\Phi_2}{dt} \quad \Phi_1 = \Phi_2$$

$$\frac{U_2}{U_1} = \frac{N_2}{N_1}$$

W idealnym transformatorze nie występują straty energii (sprawność przekazania energii z uzwojenia pierwotnego do wtórnego wynosi 100%), tak więc dla wartości skutecznych napięci i prądu możemy napisać bilans mocy:

$$U_1 I_1 = U_2 I_2$$

$$\frac{I_2}{I_1} = \frac{U_1}{U_2} = \frac{1}{n}$$



W przypadku obciążenia rezystancyjnego:

$$Z_L = R_L \quad \text{oraz} \quad I_2 = \frac{U_2}{R_L}$$

$$U_1 I_1 = U_2 \frac{U_2}{R_L} \quad I_1 = \frac{U_2^2}{U_1} \frac{1}{R_L} = n^2 U_1 \frac{1}{R_L}$$

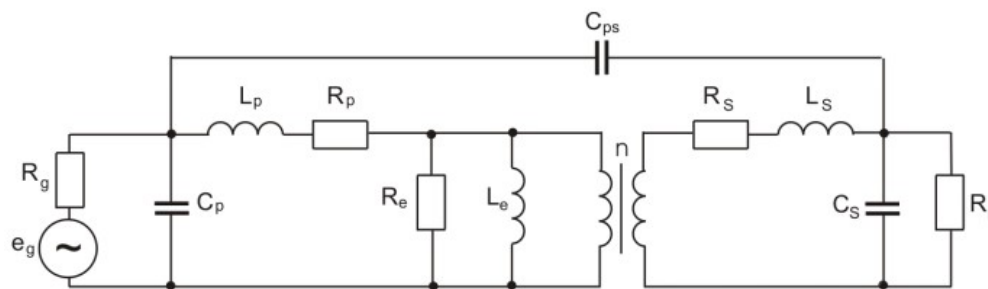
Tak więc, źródło energii dołączone do uzwojenia pierwotnego „widzi” rezystancję:

$$R_L' = \frac{U_1}{I_1} = \frac{U_1}{n^2 U_1 \frac{1}{R_L}} = \frac{R_L}{n^2}$$

Zdolność transformacji rezystancji jest kolejną ważną i unikalną własnością transformatora. Jest ona wykorzystywana do dopasowania energetycznego obciążenia do źródła w celu przekazania maksymalnej mocy do tego obciążenia.

W transformatorze podwyższającym ( $n > 1$ ), rezystancja obciążenia zostaje przeniesiona na stronę pierwotną zmniejszona  $n^2$  razy.

Schemat zastępczy rzeczywistego transformatora



### 3 Opisywanie obwodów

#### 3.1 Skala logarytmiczna

$$K_p[dB] = 10 \log \frac{P_2}{P_1} \quad (\text{logarytm dziesiętny})$$

Przypomnieć sobie własności logarytmów !!!

#### 3.2 Skok jednostkowy

- będzie dokończone

#### 3.3

### 4 Półprzewodniki

Wykład 3 nie jest opisywany, bo nie jest wymagany.