

Opracowanie wykładów 0-2 z EiM

Maciej B.

18 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)

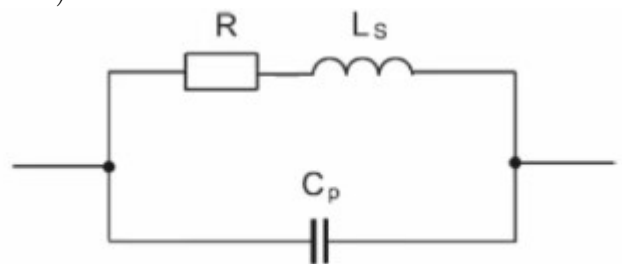
Po polsku:

Jeśli jest sygnał okresowy, to jego widmo przedstawiamy jako pionowe kreski co ω o wysokości poszczególnych amplitud (sinusoida ma jedną kreskę na ω_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 $n = 6 \times 2^n$ (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 (α 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 σ_∞ - 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_∞ 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 ε - przenikalność względna dielektryka pomiędzy płytami kondensatora, ε_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

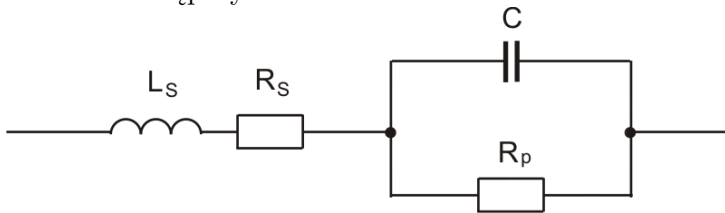
$$U(j\omega) = \frac{1}{j\omega C} I(j\omega) \quad Z(j\omega) = \frac{U(j\omega)}{I(j\omega)} = \frac{1}{j\omega C} = \frac{1}{\omega C} \cdot e^{-j\frac{\pi}{2}}$$

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

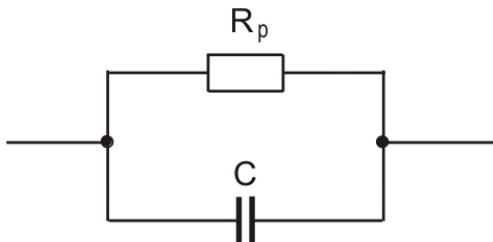
$$P = U_{sk} I_{sk} \cos \phi$$

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

Schemat zastępczy:



Upraszczany do 1 z:



- Podstawowe parametry kondensatora:

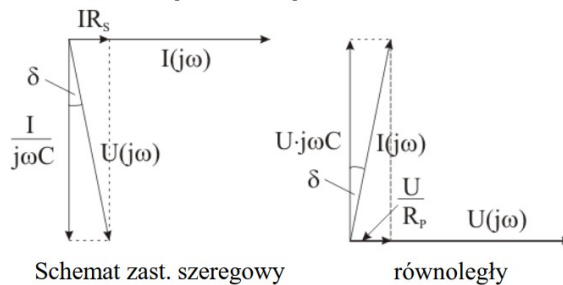
- Nominalna wartość pojemności - patrz rezystory
- Tolerancja pojemności - || -
- Maksymalne robocze napięcie stałe - podobnie
- Maksymalna wartość skuteczna napięcia zmiennego - składowa nałożona na napięcie stałe
- Współczynnik temperaturowy pojemności $TCC = \frac{1}{C} \frac{\Delta C}{\Delta T}$

Tangens kąta stratności – odpowiednio dla modelu szeregowego i równoległego

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

• Dobroć

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



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:

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

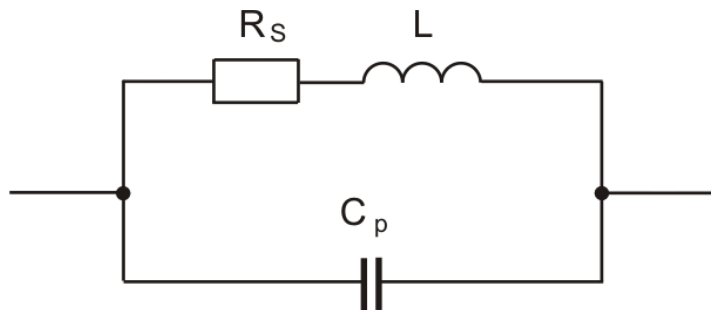
W dziedzinie zmiennej s:

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

W dziedzinie częstotliwości:

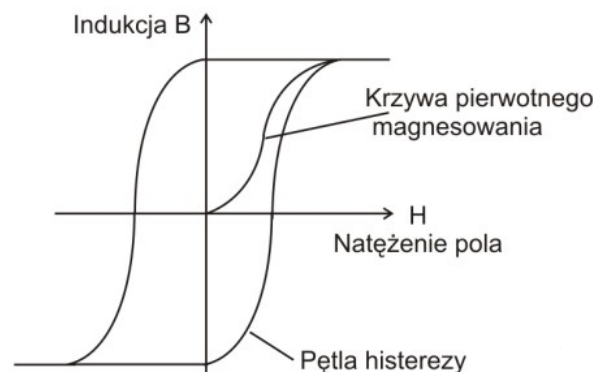
$$U(j\omega) = j\omega L \cdot I(j\omega) \quad Z(j\omega) = j\omega L = \omega L \cdot e^{+j\frac{\pi}{2}}$$

- Występują cewki powietrzne oraz cewki ze rdzeniem (ferromagnetycznym)
- Najlepsza jest cewka z rdzeniem toroidalnym, gdzie $L = \mu\mu_0 \frac{N^2 S}{l}$ (μ - względna przenikalność magnetyczna materiału rdzenia, μ_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):

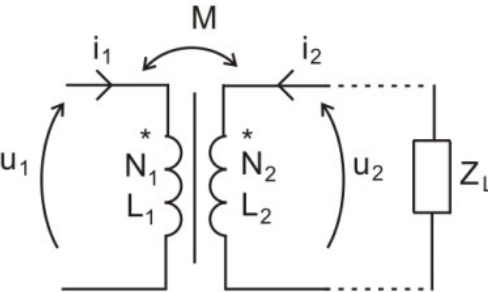
$$U_1 = N_1 \frac{d\Phi_1}{dt} \quad U_2 = N_2 \frac{d\Phi_2}{dt} \quad \Phi_1 = \Phi_2$$

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

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

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

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

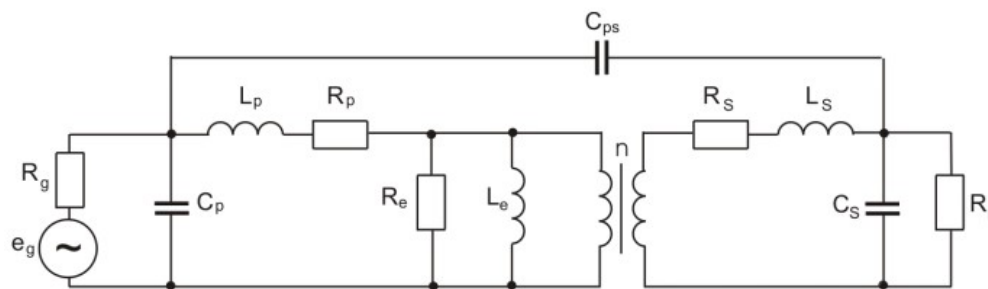
Tak więc, źródło energii dołączone do uzwojenia pierwotnego „widzi” rezystancję:

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

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

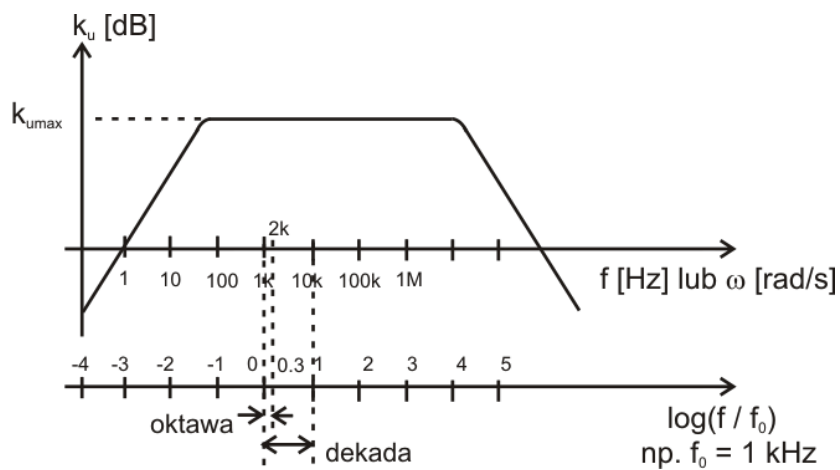
$$K_p[dB] = 10 \log \frac{P_2}{P_1} \quad (\text{logarytm dziesiętny})$$

$$\text{Dla mocy (często przyjmowane): } K_p[dBm] = 10 \log \frac{P}{P_0} = 10 \log \frac{P}{1[mW]}$$

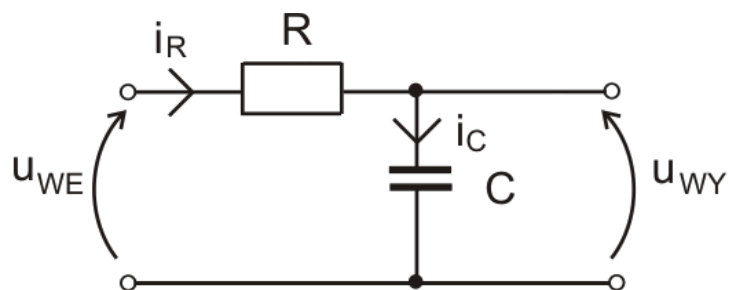
$$\text{Dla pomiaru napięcia na tym samym rezystorze: } K_p[dB] = 20 \log \frac{U_2}{U_1} = K_u[dB]$$

Przypomnieć sobie własności logarytmów !!!

Przy użyciu skali logarytmicznej następuje ekspansja (rozciągnięcie) wykresu w zakresie małych częstotliwości oraz jego kompresja (ściśnięcie) w zakresie dużych częstotliwości



3.2 Filtr dolnoprzepustowy



- Opis w dziedzinie czasu przy braku obciążenia

$$i_C = i_R$$

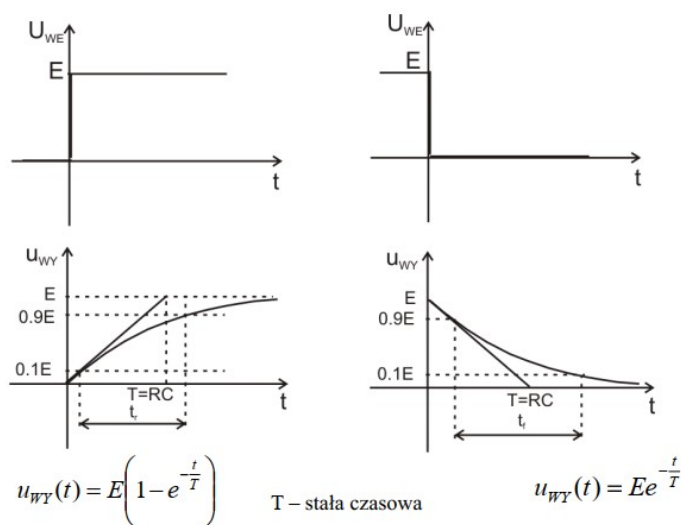
$$i_C = C \frac{du_{WY}}{dt}$$

$$i_R = \frac{u_{WE} - u_{WY}}{R}$$

$$\frac{u_{WE} - u_{WY}}{R} = C \frac{du_{WY}}{dt}$$

$$RC \frac{du_{WY}}{dt} + u_{WY} = u_{WE}$$

Odpowiedź na skok jednostkowy



Na rysunku pokazano sposób zdefiniowania czasu narastania (t_r) i opadania (t_f) jako czasu potrzebnego na zmianę sygnału pomiędzy 10% i 90% różnicy między wartością początkową i końcową. Dla przebiegu wykładniczego dane jest: $t_r = t_f \approx 2,2T$ (2,2 stałej czasowej)

- Opis w dziedzinie s (z wykorzystaniem transformacji Laplace'a)

Transmitancja czwórnika: $K(s) = \frac{u_{wy}(s)}{u_{we}(s)}$

Transmitancję wyznacza się poddając równanie różniczkowe opisujące obwód transformacji Laplace'a, albo – częściej – wykorzystując odpowiednie prawa teorii obwodów bezpośrednio do schematu.

Analizę obwodu przeprowadza się w następujący sposób: $u_{we}(t) \rightarrow$ (stosujemy przekształcenie do postaci transformaty) $u_{we}(s) \Rightarrow u_{wy}(s) = u_{we}(s) * K(s) \rightarrow$ (stosujemy przekształcenie z postaci transformaty do "normalnej") $u_{wy}(t)$

$$K(s) = \frac{U_{wy}(s)}{U_{we}(s)} = \frac{Z_2}{Z_1 + Z_2} = \frac{\frac{1}{sC}}{R + \frac{1}{sC}} = \frac{1}{1 + sRC}$$

W naszym przypadku:

Reszta PDF-a będzie dokończona dzisiaj wieczorem ☺.

4 Półprzewodniki

Wykład 3 nie jest opisywany, bo nie jest wymagany.