

PELP1 - wykład 4

Elementy nieliniowe. Wzmacniacz operacyjny. Moc.

dr inż. Łukasz Maślikowski

Instytut Systemów Elektronicznych
Politechnika Warszawska

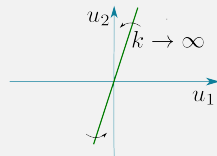
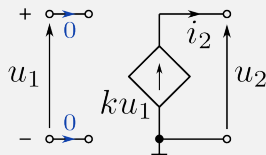
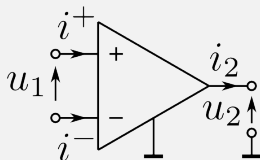
17 marca 2021

Spis treści

- 1 Wzmacniacz operacyjny
- 2 Nieliniowe dwójniki rezystancyjne
- 3 Nieliniowe układy rezystancyjne
- 4 Moc
- 5 Dopasowanie energetyczne

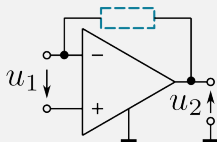
Wzmacniacz operacyjny (WO) - otwarta pętla

- idealny WO jest granicznym przypadkiem źródła sterowanego (dowolnego) dla współczynnika sterowania $\rightarrow \infty$
- najbardziej intuicyjny opis dla źródła napięciowego sterowanego napięciem $u_1 = u^+ - u^-$
- jeśli $k \rightarrow \infty$ to charakterystyka $u_2(u_1)$ dąży do pionowej prostej w zerze, a na wyjściu są możliwe dwie wartości $u_2 \rightarrow \pm\infty$



WO - zamknięta pętla sprzężenia zwrotnego

- po zamknięciu pętli ujemnego sprzężenia zwrotnego (zapewniającej wpływ wyjścia u_2 na wejście u_1), wzmacniacz wypracowuje zerową wartość u_1 i daje ograniczone napięcie wyjściowe u_2
- równania idealnego WO z zamkniętą pętlą ujemnego sprzężenia zwrotnego to
 - $i^+ = i^- = 0$
 - $u_1 = 0$
 - u_2 oraz i_2 dostosowują się do reszty obwodu
- prąd i_2 powraca do wzmacniacza końcówką masy



Opór nieliniowy

- Opór nieliniowy **nie spełnia** prawa Ohma
 - charakterystyka $u = f_R(i)$ lub $i = f_G(u)$ jest nieliniowa

W punkcie pracy (U_0, I_0) leżącym na charakterystyce $f_R(i)$ bądź $f_G(u)$ możemy określić:

- opór statyczny $R_s|_{(U_0, I_0)} = U_0/I_0$
- przewodność statyczną $G_s|_{(U_0, I_0)} = I_0/U_0$
- opór dynamiczny $R_d|_{(U_0, I_0)} = \frac{du(i)}{di}|_{(U_0, I_0)}$
- przewodność dynamiczną $G_d|_{(U_0, I_0)} = \frac{di(u)}{du}|_{(U_0, I_0)}$

Dla oporu liniowego $R_s = R_d = R$

Dioda idealna (zwarciowo - rozwarciowa)

- przy strzałkowaniu prądu w kierunku przewodzenia diody element określony równaniami:

$$i = 0 \quad \text{dla} \quad u < 0$$

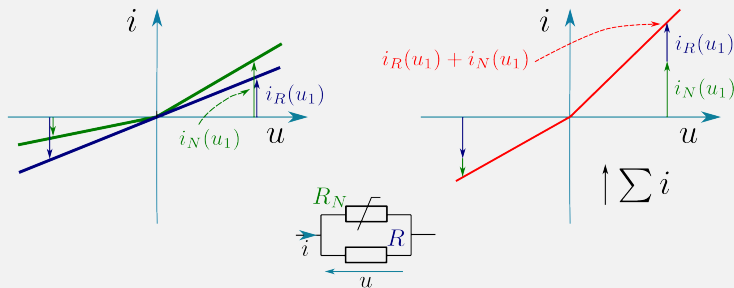
$$u = 0 \quad \text{dla} \quad i > 0$$

- dla ujemnego napięcia można zastąpić rozwarciem
- dla dodatniego prądu można zastąpić zwarciem



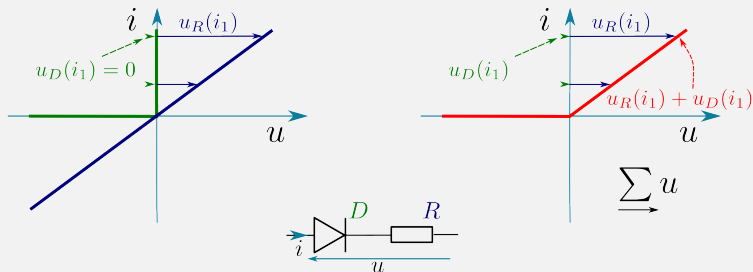
Składanie charakterystyk - połączenie równoległe

- można graficznie wyznaczać charakterystykę elementu zastępczego, złożonego z równoległych elementów składowych
- dla każdego u należy zsumować prądy płynące przez poszczególne elementy składowe



Składanie charakterystyk - połączenie szeregowe

- można graficznie wyznaczać charakterystykę elementu zastępczego, złożonego z szeregowych elementów składowych
- dla każdego i należy zsumować napięcia na poszczególnych elementach składowych



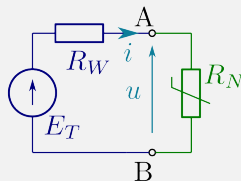
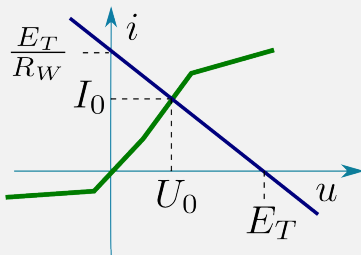
Układ z jednym elementem nieliniowym

Jeśli w układzie występuje tylko jeden element nieliniowy to wygodnie jest wykorzystać twierdzenie o źródłach zastępczych.

- dzielimy układ na część liniową (źródło) i nieliniową (obciążenie) połączoną zaciskami A–B
- część liniową zamieniamy na źródło Thévenina lub Nortona
- do źródła zastępczego dołączamy element nieliniowy i wyznaczamy jego punkt pracy
- wracamy do oryginalnego układu i korzystając z zasady kompensacji wyznaczamy szukane wartości u i i w jego wnętrzu

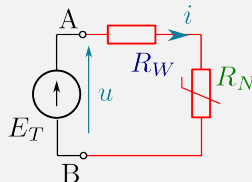
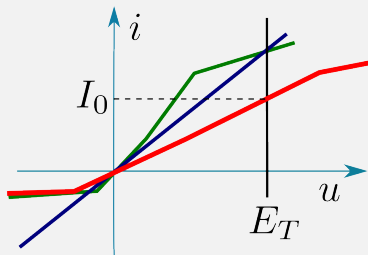
Metoda prostej oporu

- po zamianie części liniowej układu na źródło zastępcze Thévenina (analogicznie Nortona) wyznaczamy punkt pracy obciążenia nieliniowego poprzez przecięcie:
 - charakterystyki zastępczego źródła rzeczywistego $i = \frac{E_T}{R_W} - \frac{1}{R_W}u$
 - z charakterystyką obciążenia
- dla źródła zmiennego $e_T(t)$ można powtórzyć tę operację dla różnych chwil czasu i otrzymać przebieg $i(t)$



Metoda rzutowania przebiegu

- pokrewna metoda polega na przecięciu:
 - charakterystyki źródła idealnego E_T (analogicznie dla J_N)
 - z charakterystyką obciążenia połączonego z oporem wewnętrznym źródła
- dla źródła zmiennego $e_T(t)$ można otrzymać przebieg $i(t)$ przez rzutowanie przebiegu $e_T(t)$ przez charakterystykę łączną



Moc chwilowa

Gdy napięcie zastrzałkowane jest przeciwnie do prądu

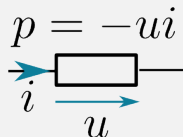
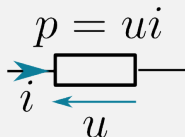
- moc **pobierana** przez element w danej chwili wyraża się wzorem

$$p = ui$$

- jeżeli $p > 0$, element rzeczywiście pobiera moc
- jeżeli $p < 0$, element **oddaje** moc

- moc **oddawana** przez element w danej chwili wyraża się wzorem

$$p_o = -ui$$



Moc w oporze i źródłach

- moc pobierana przez opór jest zawsze dodatnia
 - opór nigdy nie oddaje mocy
 - jest elementem stratnym
- opór liniowy pobiera moc $p = ui = Ri^2 = Gu^2 = \frac{u^2}{R}$
- źródło idealne napięciowe e oddaje do układu moc $p_o = ei$
- źródło idealne prądowe j oddaje do układu moc $p_o = ju$
- moc p_o oddawana przez źródło może być ujemna, co odpowiada dodatniej mocy pobieranej

Zasada Tellegena

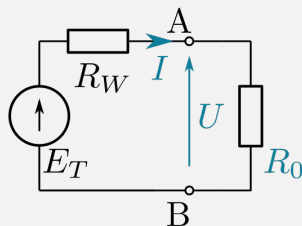
Suma mocy chwilowych pobieranych przez wszystkie elementy układu jest w każdej chwili równa 0.

Dopasowanie energetyczne

Klasyczny problem dopasowania energetycznego

jak dobrać taki opór obciążenia R_0 , żeby dla rzeczywistego źródła o ustalonych parametrach E_T, R_W (bądź J_N, G_W) w obciążeniu wydzielala się maksymalna moc P

- jeżeli układ źródła ma bardziej skomplikowaną strukturę, należy przekształcić go do postaci źródła zastępczego Thévenina bądź Nortona



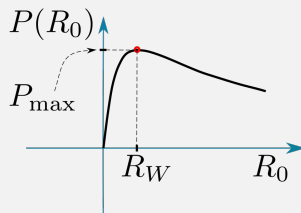
$$\begin{aligned}
 P &= UI = \\
 &= \frac{E_T R_0}{R_W + R_0} \frac{E_T}{R_W + R_0} = \\
 &= \frac{E_T^2 R_0}{(R_W + R_0)^2}
 \end{aligned}$$

Dopasowanie energetyczne

- szukamy maksimum funkcji jednej zmiennej $P(R_0)$
- dziedziną jest półoś rzeczywista $R_0 > 0$ (klasyczny problem dopasowania)

Dopasowanie zachodzi gdy:

- $R_0 = R_W$
- $G_0 = G_W$



Moc dysponowana

- dane źródło rzeczywiste o ustalonych parametrach E_T, R_W (bądź J_N, G_W) może oddać do obciążenia ograniczoną moc
- moc ta nazywana jest mocą dysponowaną źródła P_{dysp}
- jest oddawana jeśli spełniony jest warunek dopasowania

$$P_{\text{dysp}} = P(R_W) = E_T^2 \frac{R_W}{(R_W + R_W)^2} = \frac{E_T^2}{4R_W} = \frac{J_N^2}{4G_W}$$