

Ćwiczenie 10.3. Załóżmy, że w ćwiczeniu 10.2. możemy zmieniać rezystancję obciążenia. Jaka wartość oporu obciążenia maksymalizuje przyrost mocy? Jaki jest przyrost mocy dla tej rezystancji obciążenia?

Odpowiedź: $R_L = 25 \Omega$, $G = 5 \cdot 10^6$.

10.2. Wzmacniacze kaskadowe

Gdy wyjście jednego wzmacniacza jest połączone z wejściem innego wzmacniacza, mówimy, że wzmacniacze są połączone kaskadowo.

Czasami podłącza się wyjście jednego wzmacniacza do wejścia drugiego, jak pokazano na rysunku 10.5. Nazywa się to połączeniem kaskadowym wzmacniaczy. Całkowite wzmocnienie napięciowe połączenia kaskadowego jest dane wzorem

$$A_v = \frac{v_{wy2}}{v_{we1}}$$

Jeśli pomnożymy i podzielimy prawą stronę przez v_{wy1} , otrzymamy

$$A_v = \frac{v_{wy1}}{v_{we1}} \frac{v_{wy2}}{v_{wy1}}$$

Ponadto, z rysunku 10.5 wynika, że $v_{we2} = v_{wy1}$. Można zatem zapisać

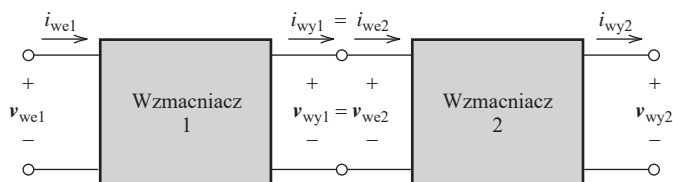
$$A_v = \frac{v_{wy1}}{v_{we1}} \frac{v_{wy2}}{v_{we2}}$$

Jednak $A_{v1} = v_{wy1}/v_{we1}$ to wzmocnienie pierwszego stopnia, a $A_{v2} = v_{wy2}/v_{we2}$ to wzmocnienie drugiego stopnia, więc mamy

$$A_v = A_{v1} A_{v2} \quad (10.6)$$

Przy obliczaniu wzmocnienia każdego stopnia należy uwzględnić efekty obciążenia.

Tak więc całkowite wzmocnienie napięciowe stopni wzmacniacza kaskadowego jest iloczynem wzmocnień napięciowych poszczególnych stopni. (Oczywiście, przy obliczaniu wzmocnienia każdego stopnia należy uwzględnić efekty obciążenia. Zauważmy, że rezystancja wejściowa drugiego stopnia obciąża pierwszy stopień).

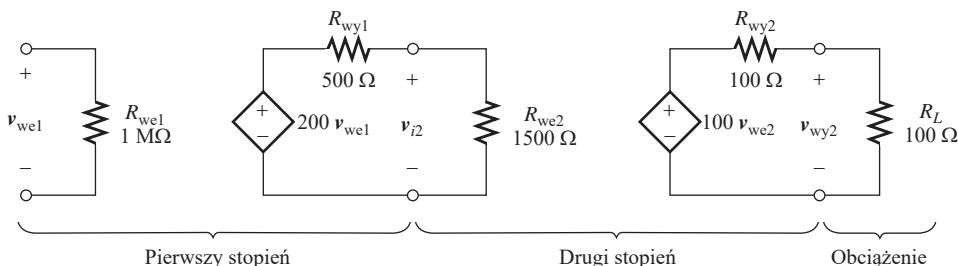


Rys. 10.5. Kaskadowe połączenie dwóch wzmacniaczy

Podobnie, całkowite wzmocnienie prądowe kaskadowego połączenia wzmacniaczy jest iloczynem wzmocnień prądowych poszczególnych stopni. Ponadto całkowite wzmocnienie mocy jest iloczynem wzmocnień poszczególnych stopni.

Przykład 10.2. Obliczanie wydajności wzmacniaczy kaskadowych

Rozważmy połączenie kaskadowe dwóch wzmacniaczy pokazane na rysunku 10.6. Oblicz wzmocnienie prądowe, wzmocnienie napięciowe i wzmocnienie mocy dla każdego stopnia oraz dla całego połączenia kaskadowego.



Rys. 10.6. Wzmacniacze kaskadowe z przykładów 10.2 oraz 10.3

Rozwiązanie

Uwzględniając obciążenie rezystancją wejściową drugiego stopnia, wzmocnienie napięciowe pierwszego stopnia wynosi

$$A_{v1} = \frac{v_{wy1}}{v_{we1}} = \frac{v_{we2}}{v_{we1}} = A_{vo1} \frac{R_{we2}}{R_{we2} + R_{wy1}} = 150,$$

gdzie wykorzystaliśmy fakt, że $A_{vo1} = 200$, co pokazano na rysunku 10.6. Podobnie,

$$A_{v2} = \frac{v_{wy2}}{v_{we2}} = A_{vo2} \frac{R_L}{R_L + R_{wy2}} = 50.$$

Zatem całkowite wzmocnienie napięciowe wynosi

$$A_v = A_{v1} A_{v2} = 7500.$$

Ponieważ R_{we2} jest rezystancją obciążenia dla pierwszego stopnia, możemy wyznaczyć wzmocnienie prądowe pierwszego stopnia, korzystając z równania (10.3):

$$A_{i1} = A_{v1} \frac{R_{we1}}{R_{we2}} = 10^5.$$

Podobnie, wzmocnienie prądowe drugiego stopnia możemy wyrazić jako

$$A_{i2} = A_{v2} \frac{R_{we2}}{R_L} = 750.$$

Wobec tego całkowite wzmocnienie prądowe układu to

$$A_i = A_{i1} A_{i2} = 75 \cdot 10^6.$$

Teraz możemy wyznaczyć wzmocnienia mocy

$$G_1 = A_{v1}A_{i1} = 1,5 \cdot 10^7,$$

$$G_2 = A_{v2}A_{i2} = 3,75 \cdot 10^4,$$

oraz

$$G = G_1G_2 = 5,625 \cdot 10^{11}.$$

Uproszczone modele stopni wzmacniacza kaskadowego

Dla wzmacniaczy kaskadowych można znaleźć uproszczone modele.

Czasami będziemy chcieli znaleźć uproszczony model wzmacniacza kaskadowego. Rezystancja wejściowa kaskady jest rezystancją wejściową pierwszego stopnia, a rezystancja wyjściowa kaskady jest rezystancją wyjściową ostatniego stopnia. Wzmocnienie napięciowe kaskady przy obwodzie otwartym (biegu luzem) jest obliczane przy biegu jałowym (braku obciążeniu) ostatniego stopnia. Należy jednak uwzględnić wpływ obciążenia każdego stopnia na stopień poprzedzający. Po wyznaczeniu wzmocnienia napięciowego biegu jałowego całego połączenia kaskadowego można sporządzić uproszczony model.

Przykład 10.3. Uproszczone modele stopni wzmacniacza kaskadowego

Znajdź całkowity uproszczony model połączenia kaskadowego z rysunku 10.6.

Rozwiązanie

Najpierw należy wyznaczyć wzmocnienie napięciowe pierwszego stopnia z uwzględnieniem obciążenia przez drugi stopień.

Wzmocnienie napięciowe pierwszego stopnia, uwzględniające obciążenie drugiego stopnia, wynosi

$$A_{v1} = A_{v01} \frac{R_{we2}}{R_{we2} + R_{wy1}} = 150.$$

Przy braku obciążenia (bieg jałowy), wzmocnienie drugiego stopnia wynosi

$$A_{v2} = A_{v02} = 100.$$

Całkowite wzmocnienie napięciowe jest iloczynem wzmocnień poszczególnych stopni.

Zatem całkowite wzmocnienie napięciowe wynosi

$$A_v = A_{v1}A_{v2} = 15 \cdot 10^3.$$

Impedancja wejściowa jest impedancją pierwszego stopnia, a impedancja wyjściowa jest impedancją ostatniego stopnia.

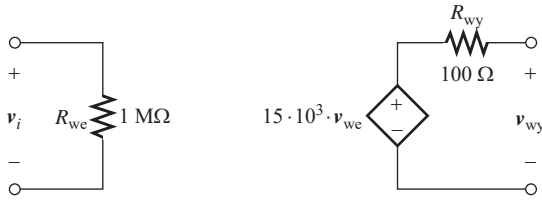
Rezystancja wejściowa wzmacniacza kaskadowego to

$$R_{we} = R_{we1} = 1 \text{ M}\Omega,$$

a rezystancja wyjściowa to

$$R_{wy} = R_{wy2} = 100 \text{ }\Omega.$$

Ten uproszczony model kaskady jest pokazany na rysunku 10.7.



Rys. 10.7. Uproszczony model wzmacniacza kaskadowego z rysunku 10.6. Zobacz przykład 10.3

Ćwiczenie 10.4. Trzy wzmacniacze o następujących podanych parametrach tworzą kaskadę:

Wzmacniacz 1: $A_{vo1} = 10$, $R_{we1} = 1 \text{ k}\Omega$, $R_{wy1} = 100 \Omega$.

Wzmacniacz 2: $A_{vo2} = 20$, $R_{we2} = 2 \text{ k}\Omega$, $R_{wy2} = 200 \Omega$.

Wzmacniacz 3: $A_{vo3} = 30$, $R_{we3} = 3 \text{ k}\Omega$, $R_{wy3} = 300 \Omega$.

Wyznacz parametry uproszczonego modelu wzmacniacza kaskadowego. Załóż, że wzmacniacze są połączone w kaskadę w kolejności 1, 2, 3.

Odpowiedź: $R_{we} = 1 \text{ k}\Omega$, $R_{wy} = 300 \Omega$, $A_{vo} = 5357$.

Ćwiczenie 10.5. Powtórz obliczenia z ćwiczenia 10.4, ale tym razem kolejność wzmacniaczy w kaskadzie to 3, 2, 1.

Odpowiedź: $R_{we} = 3 \text{ k}\Omega$, $R_{wy} = 100 \Omega$, $A_{vo} = 4348$.

10.3. Zasilanie i sprawność

Wewnętrzne obwody wzmacniaczy są zasilane z **zasilaczy**. Zasilacz zazwyczaj dostarcza do wzmacniacza prąd z kilku napięć stałych; przykładową konfigurację pokazano na rysunku 10.8. Średnia moc dostarczana do wzmacniacza przez każde źródło napięcia jest iloczynem średniego natężenia prądu i napięcia. Całkowita moc dostarczana do wzmacniacza jest sumą mocy dostarczanych przez każde źródło napięcia. Na przykład średnia moc całkowita dostarczana do wzmacniacza przedstawionego na rysunku 10.8 wynosi

$$P_s = V_{AA} I_A + V_{BB} I_B. \quad (10.7)$$

Zauważmy, że założyliśmy, iż kierunki prądów w napięciach zasilających są takie, że oba źródła dostarczają moc do wzmacniacza. Rzadko zdarza się sytuacja, w której część mocy pobranej z jednego źródła zasilania wraca do drugiego źródła. Możemy mieć tylko jedno napięcie zasilające lub kilka, więc liczba członów w obliczeniach mocy zasilania, takich jak równanie (10.7), jest zmienna. W przypadku stałych napięć zasilających w układach elektronicznych zwyczajowo stosuje się symbole pisane wielkimi literami z powtarzającymi się wielkimi indeksami, takie jak V_{CC} .

Przekonaaliśmy się, że wzmocnienie mocy typowych wzmacniaczy może być bardzo duże. W związku z tym moc wyjściowa dostarczana do obciążenia jest znacznie większa niż moc pobierana ze źródła sygnału. Ta dodatkowa moc jest pobierana

Liczba członów w tym równaniu zależy od liczby napięć zasilających podawanych na wzmacniacz.

Moc płynie do wzmacniacza z zasilaczy prądu stałego oraz ze źródła sygnału. Część tej mocy jest dostarczana do obciążenia w postaci sygnału użytecznego, a część jest rozpraszana w postaci ciepła.