Tranzystory dla początkujących

część 16

Realizacje praktyczne

Po zapoznaniu się z właściwościami wzmacniacza ze wspólnym emiterem masz wszystkie informacje potrzebne do samodzielnego zaprojektowania takiego wzmacniacza.
Dziś wspólnie wykonamy dwa przykłady. Co trzeba wiedzieć na wstępie i jekie przyjąć założenia.

Projektowanie wzmacniacza OE

W podręcznikach spotkasz różne schematy i różne sposoby obliczeń. Nie ma jednego, najlepszego schematu i sposobu. Możesz na przykład wykorzystać "przejrzysty" układ z rysunku 10 (EdW 4/99). Nie znaczy, że powinien się on stać podstawą konstruowanych przez Ciebie wzmacniaczy. Czasem wykorzystasz któryś układ z rysunku 9. Ale w praktyce i tak najczęściej będziesz wykorzystywał wzmacniacze operacyjne (zajmiemy się tym już niedługo). Tranzystory będziesz stosował raczej tylko w układzie wtórnika (ze wspólnym kolektorem) oraz w układach przełączających. Ale nie wypada, byś nie potrafił w razie potrzeby zaprojektować wzmacniacza tranzystorowego. Spróbujmy więc zaprojektować wspólnie dwa wzmacniacze w układzie OE.

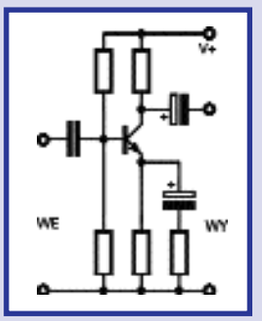
1. Pierwszy - wzmacniacz mikrofonu dynamicznego - powinien mieć wzmocnienie dla przebiegów zmiennych (akustycznych) równe 20, a zniekształcenia powinny być możliwie małe. Napięcie zasilające wynosi 12V.

2. Drugi, przeznaczony do jakiegoś urządzenia sygnalizacyjnego ma wzmacniać przebiegi zmienne (akustyczne) z mikrofonu elektretowego jak najwięcej, a poziom zniekształceń nie ma znaczenia.

W każdym przypadku musisz nie tylko skupić się na wzmacniaczu, ale też uwzględnić "co siedzi" na wyjściu i wejściu.

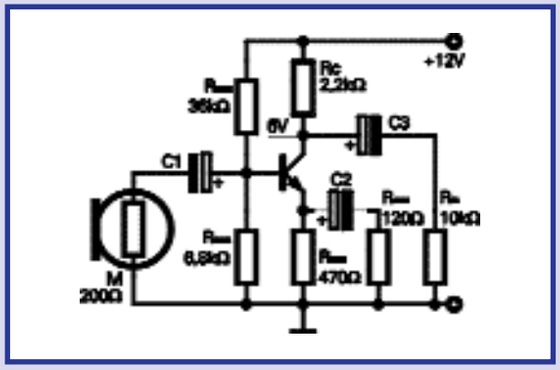
Przykład 1

Niech w pierwszym przypadku mikrofon dynamiczny ma rezystancję wewnętrzną 200Ω, a wyjście projektowanego wzmacniacza będzie obciążone rezystancją następnego stopnia równą 10kΩ. Zastosujemy układ z rysunku 10. Aby sygnał nie był niepotrzebnie tłumiony, rezystancja wejściowa naszego wzmacniacza powinna być 5...10 razy większa od rezystancji wewnętrznej mikrofonu, a rezystancja wyjściowa naszego wzmacniacza 5...10 razy mniejsza od rezystancji obciążenia. Rezystancja wyjściowa wzmacniacza OE jest równa rezystancji rezystora w kolektorze - a więc rezystor Rc powinien mieć wartość 1...2,2kΩ. Przyjmijmy wartość 2,2kΩ, by zmniejszyć prąd pobierany przez nasz wzmacniacz. Jeśli wzmocnienie ma być równe 20, wypadkowa "rezystancja emiterowa" musi wynieść 110Ω. Aby zwiększyć stabilność stałoprądowego punktu pracy, niech rezystancja emiterowa dla prądu stałego R_{E1} wynosi na przykład $R_C/5$, czyli około 470Ω. Teraz należy jeszcze dobrać rezystory dzielnika w obwodzie bazy.



Rys. 10

Przy dobieraniu rezystorów w obwodzie bazy należy wziąć pod uwagę kilka czynników. Dzielnik należy dobrać tak, by napięcie stałe na kolektorze było ustawione "w połowie zakresu roboczego". Ponieważ w tym przypadku wzmacniamy niewielkie sygnały mikrofonowe, bez zastanowienia możemy ustawić napięcie kolektora równe połowie napięcia zasilającego. Dzielnik R_{B1}, R_{B2} w układzie z rysunku 24 ma dać na bazie takie napięcie stałe, by na kolektorze napięcie stałe wynosiło około 6V. Wynika stąd,



Rys. 24

że prąd kolektora wyniesie około 6V/2,2kΩ=2,7mA, a napięcie na rezystorze R_{E1} 1,27V. Stąd napięcie stałe na bazie (i rezystorze R_{B2} powinno wynosić mniej więcej 1,27V+0,6V=1,87V, a na R_{B1} około (12-1,87) 10,13V. Przy założeniu, że nie zastosujemy jakiegoś archaicznego tranzystora z odzysku, śmiało możemy założyć, że współczynnik wzmocnienia prądowego β nie będzie mniejszy niż 100. Tym samym prąd bazy nie będzie większy niż 2,7mA/100=27μA. Prąd dzielnika w obwodzie bazy powinien być kilkakrotnie większy od maksymalnego spodziewanego prądu bazy. Niech będzie 10-krotnie większy: 10*27μA=0,27mA. Suma rezystancji dzielnika (dla ułatwienia pomijamy prąd bazy) wyniesie więc około (12V/0,27mA) 44kΩ. W pierwszym przybliżeniu (znów pomijając prąd bazy) możemy przyjąć, że stosunek rezystancji R_{B1}/R_{B2} musi być równy stosunkowi napięć na nich występujących czyli, około (10,13V/1,87V) 5,42 do 1. Nietrudno obliczyć, że rezystancja R_{B2} wyniesie mniej więcej 44kΩ/(5,42+1) czyli 6,8kΩ, a R_{B1} (5,42*6,8kΩ) 36kΩ. W tych uproszczonych obliczeniach pominąłem prąd bazy (nie większy niż 27μA). Nie zmieni to w istotnym stopniu warunków pracy, ale w praktycznym układzie można zmierzyć rzeczywiste napięcie stałe na kolektorze i ewentualnie skorygować wartość któregokolwiek z rezystorów R_{B1} lub R_{B2}.

Aby wzmocnienie napięciowe wyniosło 20, wypadkowa rezystancja emiterowa dla przebiegów zmiennych powinna być równa 110Ω. Na tę rezystancję złożą się wewnętrzna rezystancja emiterowa r_e, wynosząca około 10Ω (26mV/2,7mA) i równoległe połączenie R_{E1} i R_{E2} (100Ω). Ponieważ R_{E1} ma wartość 470Ω, R_{E2} musi mieć wartość

$R_{E2}= R_E*R_{E1} / (R_{E1}-R_E)$

R_{E2} = 100Ω*470Ω / (470Ω-100Ω) = 47000/370 = 127Ω.

W praktyce zastosujemy najbliższą wartość z szeregu, czyli 120Ω lub 130Ω.

Wypadałoby jeszcze sprawdzić, jaką rezystancję wejściową będzie mieć nasz wzmacniacz. Sam tranzystor (o wzmocnieniu co najmniej 100) będzie miał rezystancję wejściową nie mniejszą niż 100*100Ω czyli 10kΩ. Rezystancja wejściowa całego wzmacniacza dla przebiegów zmiennych będzie równa równoległemu połączeniu tej rezystancji wejściowej tranzystora (min. 10kΩ) i rezystancji RB1, RB2 (6,8kΩ, 36kΩ). Nietrudno obliczyć, że wyniesie ona co najmniej (10kΩ||6,8kΩ||36kΩ) 3,6kΩ. To bardzo dobrze, bo rezystancja wejściowa jest ponad 10 razy większa od rezystancji wewnętrznej mikrofonu (mikrofon 200-omowy nie powinien być obciążony rezystancją mniejszą niż 1kΩ).

Ostatecznie układ będzie wyglądał jak na rysunku 24.

Do pełni szczęścia brakuje jeszcze wartości pojemności. Dla najniższych częstotliwości roboczych (przyjmujemy 20Hz) reaktancja pojemnościowa powinna być mniejsza niż współpracująca z nią rezystancja. Dla C1 będzie to rezystancja wejściowa (3,6kΩ), dla C2 - rezystancja RE2 (120Ω), dla C3 - RL (10kΩ).

Skorzystamy ze wzoru

C= 0,16 / (f R)

pamiętając, że gdy podajemy częstotliwość w hercach, a rezystancję w omach to, wynik wychodzi w faradach.

Stąd minimalne pojemności

C1 - 2,2μF

C2 - 67μF

C3 - 800μF

Zastosujemy wartości większe, na przykład:

C1 - 4,7μF

C2 - 100μF

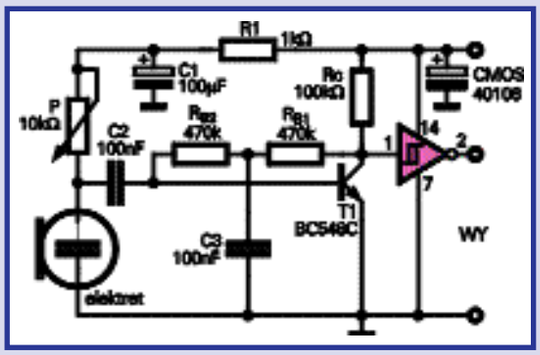
C3 - 4,7μF

W obliczeniach tych nie zajmowaliśmy się poziomem zniekształceń i szumów. Wiedza, którą już posiadłeś zapewne podpowiada, że należałoby zastosować stabilizację lub filtrację napięcia zasilającego. Nie będę tego omawiał, ponieważ to jest już wyższy stopień wtajemniczenia i wymaga wielu dodatkowych informacji. Nie będziemy się w to wgłębiać, ponieważ dziś wzmacniacze o wysokich parametrach budujemy z wykorzystaniem układów scalonych. Podany przykład ma tylko pokazać, jak można w prosty (wystarczający w praktyce) sposób obliczyć elementy wzmacniacza. Pamiętaj, że takie obliczenia nie uwzględniają wszystkich szczegółów i że po zbudowaniu wzmacniacza warto sprawdzić napięcie stałe na kolektorze i wartość wzmocnienia i w razie potrzeby skorygować wartość tego czy innego rezystora.

W każdym razie zawsze musisz uwzględnić zarówno rezystancję źródła sygnału - wzmacniacz musi mieć rezystancję wejściową (kilkakrotnie) większą niż rezystancja wewnętrzna źródła oraz rezystancję obciążenia - rezystancja wyjściowa (praktycznie wartość R_C) powinna być mniejsza niż zewnętrzna rezystancja obciążenia. W przypadku, gdy zewnętrzna rezystancja obciążenia jest mała, należy dodać na wyjściu wtórnik emiterowy.

Przykład 2

Drugi wzmacniacz ma wzmacniać przebiegi z dwukońcówkowego mikrofonu elektretowego (który możemy śmiało traktować jako źródło prądowe), a obciążeniem jest wejście bramki CMOS (Schmitta). Tym samym rezystancja obciążenia tym razem jest bardzo duża i wynosi setki megaomów. Zastosujemy zmodyfikowany schemat z rysunku 9b - ostatecznie układ będzie wyglądał jak na rysunku 25.



Rys. 25

Analizę zaczniemy tym razem od wejścia. Mikrofon elektretowy, będący w istocie źródłem prądowym (dzięki obecności wbudowanego weń tranzystora polowego) daje sygnał proporcjonalny do wartości rezystora obciążenia. W roli obciążenia mikrofonu zastosujemy potencjometr o wartości 10kΩ, by móc regulować czułość układu. Rezystancja wejściowa naszego wzmacniacza powinna być większa od rezystancji potencjometru i powinna wynosić co najmniej kilkadziesiąt kiloomów. Na razie pomińmy rezystancję R_{B2}. Rezystancja wejściowa samego tranzystora w takim układzie pracy będzie równa wewnętrznej rezystancji re pomnożonej przez wzmocnienie prądowe tranzystora. Ponieważ rezystancja wejściowa tranzystora ma być duża, co najmniej 50kΩ, zastosujemy tranzystor BC548 z grupy B lub C o wzmocnieniu prądowym nie mniejszym niż 200. Przy danych wartościach wewnętrzna rezystancja tranzystora r_e nie może być mniej-

sza niż 250Ω (50kΩ/200). Rezystancja re zależy od prądu kolektora (r_e=26mV/I_C). Stąd prąd kolektora nie może być większy niż 0,1mA (26mV/250Ω). Może być mniejszy - wtedy rezystancja wejściowa będzie jeszcze większa.

Przy wzmocnieniu prądowym powyżej 200 prąd bazy (płynący z kolektora przez R_{B1}, R_{B2}) będzie mniejszy niż 0,5μA. Oczywiście wartości R_{B1}, R_{B2} powinny być możliwie duże. Jeśli założymy maksymalny spadek napięcia na tych opornikach równy 0,5V, to ich sumaryczna rezystancja powinna wynosić około 1MΩ (0,5V/0,5μA). Mogą to więc być dwa rezystory o wartości 470...510kΩ. Przy tak dużych rezystancjach pojemność C3 nie musi być duża - dla najmniejszych częstotliwości użytecznych (powiedzmy 50Hz) reaktancja tego kondensatora powinna być kilkakrotnie mniejsza od wartości tych rezystorów (powiedzmy Xc=100kΩ). Stąd minimalna pojemność

C2min = 1 / (2*π*f*Xc) = 0,16 / (f*Xc)

C2min = 0,16 / (50Hz*0,1MΩ) = 0,033μF=33nF

My zwiększymy tę pojemność do 100nF. Taką też pojemność może mieć kondensator C1.

Spadek napięcia na rezystorach R_{B1}, R_{B2} jest mniejszy niż 0,5V, stąd napięcie na kolektorze tranzystora nie będzie większe niż 1...1,1V (napięcie U_{BE} tranzystora plus spadek napięcia na rezystorach R_{B1}, R_{B2}). Tym samym napięcie na rezystorze R_C (rysunek 25) wyniesie około 8V. Prąd kolektora powinien być mniejszy niż 0,1mA, stąd wartość R_C nie powinna być mniejsza niż 80kΩ (8V/0,1mA). Przyjmiemy "okrągłą" wartość 100kΩ. Tak duża wartość R_C tym razem jest dopuszczalna, ponieważ zewnętrznym obciążeniem jest wejście bramki CMOS, mające ogromną (pomijalnie wielką) rezystancję. W rezultacie wzmocnienie wzmacniacza nie powinno być mniejsze niż 400 (100kΩ/250Ω), co z powodzeniem powinno wystarczyć. W praktyce może być zauważalnie mniejsze ze względu na wpływ h_{22}, ale i tak zapewne wystarczy.

I to w zasadzie koniec obliczeń.

Tym razem konieczne jest zastosowanie obwodu R1C1 filtrującego napięcie zasilające mikrofonu. Bez tego obwodu, ze względu na duże wzmocnienie, układ w pewnych warunkach mógłby się wzbudzać.

Ktoś mógłby jeszcze zaproponować zwiększenie rezystancji R_C do na przykład 4,7MΩ (R_{B1}, R_{B2} do 22MΩ) by jeszcze zwiększyć rezystancję wejściową. Taka operacja jest jednak ryzykowna z kilku powodów. Po pierwsze przy bardzo małych prądach tranzystor może mieć zdecydowanie mniejsze wzmocnienia. Po drugie wzmocnienie napięciowe może zostać ograniczone przez nieuwzględnione w obliczeniach właściwości tranzystora reprezentowane przez parametr h_{22}. Po trzecie należy pamiętać nie tylko o rezystancji, ale też o pojemności obciążenia. Pojemność wejściowa bramki CMOS wynosi 5...10pF. Przy częstotliwości 10kHz będzie to oporność (reaktancja) rzędu

Xc = 0,16 / (10kHz*10pF) = 1,6MΩ

czyli mniejsza niż rezystancja R_C. Jak z tego widać, nadmierne zwiększanie R_C spowoduje obcięcie pasma od strony wysokich częstotliwości. Lepszym, choć bardziej kłopotliwym sposobem byłoby zastosowanie obciążenia w postaci źródła prądowego, ale to wymaga użycia dodatkowych elementów.

I to wszystko, co powinieneś wiedzieć o układzie OE. Upewnij się, czy wszystko zrozumiałeś, jeśli nie - albo popytaj znajomych, albo napisz do mnie.

W następnym odcinku zajmiemy się króciutko wzmacniaczem ze wspólną bazą i kilkoma innymi ciekawymi zagadnieniami.

Piotr Górecki