

Wielu Czytelników nadesłało do redakcji „Młodego Technika”, listy z prośbami o wyjaśnienie możliwości i sposobu zastępowania oryginalnych zestawów głośnikowych innymi, czasem nieprzystosowanymi do posiadanego wzmacniacza. Co decyduje o dopasowaniu głośnika do wzmacniacza i jakie są konsekwencje braku dopasowania? Pytania dotyczyły również sposobu ograniczania maksymalnej mocy oddawanej do głośników itp. Ten artykuł ma na celu przybliżenie Czytelnikom ww. tematyki.

Każdy wzmacniacz, niezależnie od tego czy jest lampowy, tranzystorowy czy też na układzie scalonym, można przedstawić graficznie jako blok funkcjonalny (rys. 1). Nie interesuje nas przy tym jego struktura wewnętrzna, stopień skomplikowania itd., lecz parametry zewnętrzne, to znaczy właściwości, jakie stanowi dla urządzeń dołączonych do niego. Ścisłej – do jego wejścia i wyjścia.

Najważniejsze parametry wzmacniacza to:

- napięcie zasilania (U_z),
- impedancja wejściowa (Z_{we}),
- czułość (U_{we}),
- moc wyjściowa (P_{wy}),
- optymalna impedancja głośników (Z_o).

Parametry te zobrazowane są na rysunku 2.

Z reguły moc wzmacniacza jest bardzo uzależniona od napięcia zasilającego. Im napięcie wyższe, tym moc wyjściowa wzmacniacza jest większa. Nie można oczywiście przekroczyć dopuszczalnego napięcia zasilania, gdyż skutkiem będzie uszkodzenie elementów wzmacniających.

Dla każdego typu wzmacniacza w postaci układu scalonego, producent podaje minimalną i maksymalną wartość **napięcia zasilania**. Wartości tych nie należy przekraczać. Choć zaniżone napięcie nie zaszkodzi strukturze wewnętrznej, to jednak zniekształcenia sygnału wyjściowego mogą znacznie zwiększyć się wskutek nie w pełni ustalonych warunków pracy elementów wzmacniacza (tranzystorów, diod). Nie zmieniając napięcia zasilającego, można jednak podwyższyć moc około 2 razy, wykorzystując połączenie mostkowe dwóch



CO MA GŁOŚNIK DO WZMACNIACZA?

takich samych wzmacniaczy z dodatkiem odwracacza fazy na wejściach – rys. 3. Charakterystyczne dla takiego układu jest to, że głośnik włącza się do obu wyjść wzmacniacza, a nie między wyjście i wspólny biegun zasilania. Zasilacz do tego wzmacniacza musi oczywiście mieć większą moc.

Następnym parametrem jest **impedancja wejściowa**. Parametr ten decyduje o tym, jak źródło sygnału jest obciążone przez wzmacniacz. Im impedancja wejściowa jest mniejsza, tym źródło sygnału (mikrofon, gramofon itp.) jest bardziej stłumione. Można temu zapobiegać, stosując na wejściu dodatkowy układ spełniający funkcje transformatora impedancji. Może to być zwykły, miniaturowy trafo częstotliwości akustycznych (np. jak w mikrofonach dynamicznych) lub w wykonaniu elektronicznym – wtórnik emiterowy na tranzystorze bipolarnym. Obecnie budowane wzmacniacze mają impedancję wejściową mieszczącą się w granicach 10 – 1000 kiloomów.

Wzmacniacze operacyjne, zawierające tranzystory polowe FET, charakteryzują się impedancją wejściową rzędu kilkudziesięciu do kilkuset megaomów.

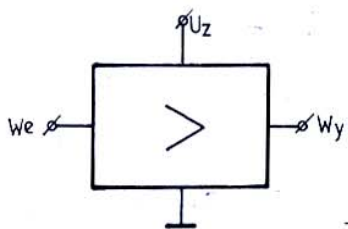
Kolejnym omawianym parametrem będzie **moc wyjściowa**. Można ją regulować przez stosowanie na wejściu dzielnika rezystorowego. Na rysunku 4 pokazane jest, jak należy włączyć dwa rezystory: R_1 i R_2 , aby uzyskać efekt zmniejszenia mocy wzmacniacza. Tłumienie jest tym większe, im R_1 ma większą wartość i R_2 mniejszą. Zakładając, że Z_{we} wzmacniacza jest nieporównywalnie większa od wartości rezystorów, napięcie U_2 można wyrazić wzorem:

$$U_2 = U_1 \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

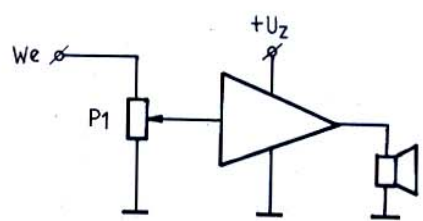
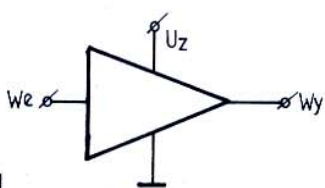
Jeżeli rezystory mają taką samą wartość, to napięcie na wejściu wzmacniacza U_2 , będzie 2-krotnie mniejsze niż napięcie sygnału U_1 . Napięcie na wyjściu również zmaleje dwa razy, a moc dostarczana do głośnika zmaleje 4-krotnie, zgodnie ze wzorem:

$$P = \frac{U^2}{Z_o}$$

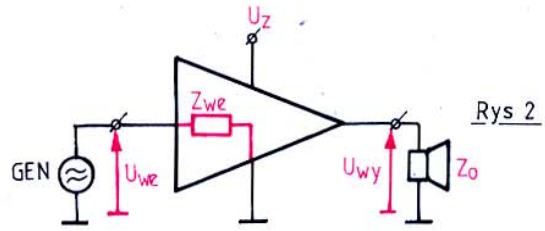
W praktyce, wzmocnienie jest regulowane potencjometrem włączonym wg rysunku 5. Chcąc ograniczyć maksymalną moc wyjściową, w gotowym już wzmacniaczu, najprościej można to zrobić instalując dodatko-



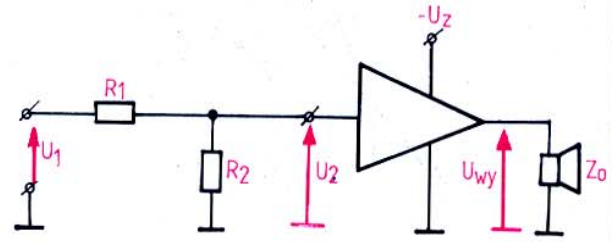
Rys.1



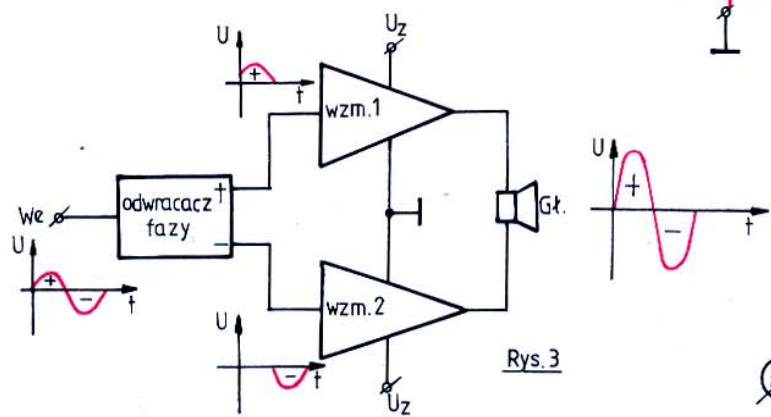
Rys.5



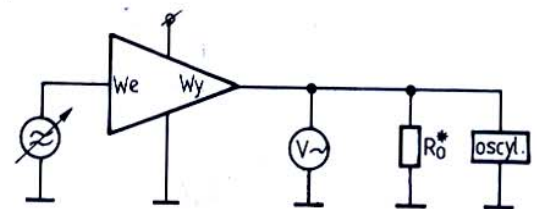
Rys.2



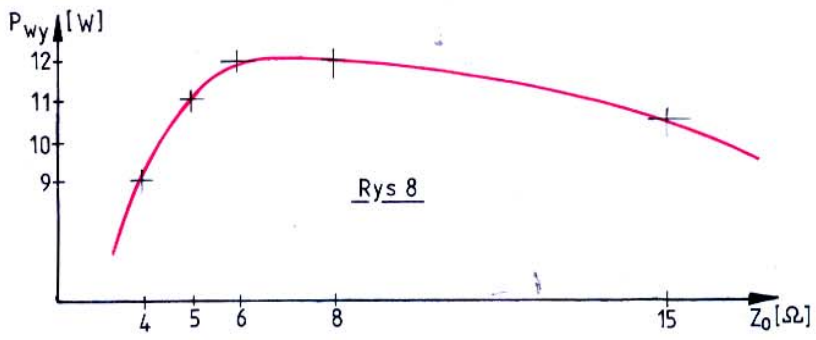
Rys.4



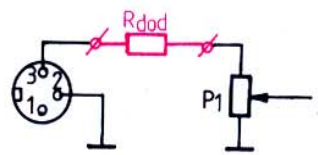
Rys.3



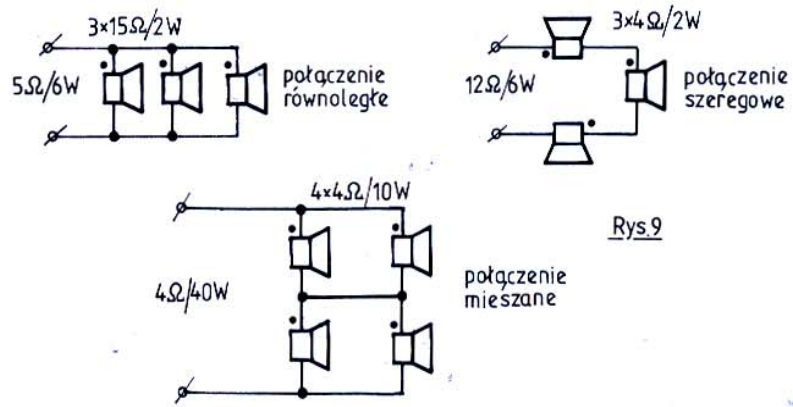
Rys.7



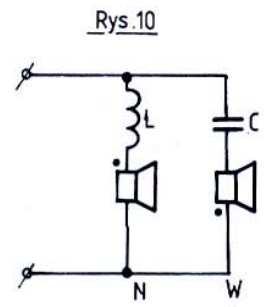
Rys.8



Rys.6



Rys.9



Rys.10

Tabela 1

R_o [Ω]	P_{wy} [W]
4	9
5	11
6	12
8	12
15	10,5

wy rezystor szeregowy między „gorącą” końcówką potencjometru, a wejściem sygnału – rys. 6. Tworzy się wtedy dzielnik analogiczny jak na rysunku 4.

Obecnie zajmujemy się pojęciem **czułości**. Mówi ona o tym, jakie napięcie należy doprowadzić do wejścia wzmacniacza, aby na jego wyjściu (obciążeniu), uzyskać moc znamionową. Współczesne, scalone układy małej mocy, mają czułość od 2 mV (UL 1493, UL 1498) do 100 mV (UL 1481). Końcowe wzmacniacze bardzo dużej mocy, charakteryzują się czułością rzędu 0,775 V (0 DB), co jest przyjęte jako norma międzynarodowa.

Jak wspomnieliśmy już w części dotyczącej napięcia zasilania, moc wyjściowa zależy również od impedancji zestawu głośnikowego a w pasmie akustycznym parametr ten zmienia się wraz z częstotliwością napięcia doprowadzanego do wejścia głośników. Główną przyczyną takiego stanu rzeczy jest obecność zwrotnicy elektrycznej w zespole głośnikowym jak również indukcyjny charakter uzwojeń głośników. Zadaniem zwrotnicy jest rozdzielenie częstotliwości niskich, średnich i wysokich sygnału i doprowadzenie ich odpowiednio do głośników: nisko-, średnio- i wysokotonowego. Gdy zwrotnica jest dobrze dobrana, wtedy nierównomierność impedancji w zależności od częstotliwości nie jest tak duża. Na przykład: dla zespołu o impedancji znamionowej 8 omów, może się ona wahać w granicach od 5 do 15 omów w całym pasmie akustycznym.

Jak dobrać zatem zestawy głośnikowe, gdy nie znamy parametrów wyjściowych wzmacniacza? Otóż najprostszym z dokładnych sposobów jest zbudowanie układu według rysunku 7 i dokonanie pomiaru mocy wyjściowej, w funkcji rezystancji ob-

ciążającej R_o . Układ pomiarowy, oprócz głównego „składnika” – czyli wzmacniacza, składa się z generatora akustycznego 1 kHz, o regulowanym napięciu wyjściowym, woltomierza napięcia przemiennego, oscyloskopu i zestawu rezystorów dużej mocy 15–20 W. Przykładowo, mając do dyspozycji cztery rezystory 15 omów/20 W, odpowiednio łącząc je można uzyskać rezystancje: około 4 omów, 5 omów, 7,5 omów, 15 omów. Są to wartości zbliżone do impedancji typowych zestawów głośnikowych. Najtrudniej będzie zapewne z oscyloskopem, ale bardziej doświadczeni majsterkowicze, czytelnicy „Młodego Technika”, mieli okazję go już wykonać we własnym zakresie. Takie proste urządzenie było opisane w „MT” 7/88. Pomiaru dokonujemy w następujący sposób: do wyjścia wzmacniacza dołączamy rezystor 4 om i stopniowo zwiększamy napięcie generatora. Obserwujemy na ekranie oscyloskopu, jak zmienia się amplituda i przebieg napięcia. W momencie, gdy sinusoida zaczyna się zniekształcać, odczytujemy wartość napięcia z woltomierza. Znając rezystancję obciążenia, obliczamy nie zniekształconą, skuteczną wartość mocy wzmacniacza ze wzoru:

$$P_{wy} = \frac{U^2}{R}$$

Tak samo postępujemy dla $R_o = 5$; 8; 15 omów, za każdym razem odczytując wartość napięcia skutecznego z woltomierza.

Przykład: Dla $R_o = 8$ omów, odczytaliśmy napięcie $U_{wy} = 10V$. Moc jest zatem równa:

$$P_{wy} = 10^2 : 8 = 100 : 8 = 12,5 W$$

Co jeszcze wynika z takich pomiarów? Moc wyjściowa jest zależna nie tylko od napięcia zasilającego, ale także od impedancji obciążającej, którą należy starannie dobrać, aby wzmacniacz pracował prawidłowo, bez odbić mocy. Odbicia mocy powstają przy zbyt małym, jak również przy zbyt dużym oporze obciążającym. Energia odbierana przez głośnik w obu tych przypadkach maleje!

Dokonano pomiaru wzmacniacza lampowego MV-2. Według instrukcji, powinien on oddawać moc 12 W, przy obciążeniu głośnikiem 6 omów. Wyniki pomiarów pokazują tabela 1.

Graficznie, wynik pomiarów wzmacniacza MV-2 przedstawia rysunek 8. Wyraźnie widać tu spadek mocy wyjściowej przy oporze Z_o mniejszym od 6 omów i większym od 8 omów.

Pozostaje jeszcze jedno zagadnienie – łączenie głośników. Głośniki łączone w zestaw muszą mieć tę samą moc znamionową i tę samą impedancję. Przykłady możliwych połączeń pokazuje rysunek 9. Moc zestawu jest sumą mocy poszczególnych głośników. Dla połączenia szeregowego, oporność zestawu jest wprost proporcjonalna do liczby głośników. Przy połączeniu równoległym, impedancja jest odwrotnie proporcjonalna. Prawidłowość tę opisują wzory:

$$Z_{szer.} = Z_1 + Z_2 + Z_3$$

$$Z_{równ.} = 1/Z_1 + 1/Z_2 + 1/Z_3$$

Kropki obok głośników wskazują na fazowość połączenia. O tym, że głośniki są „w fazie”, świadczy przemieszczanie się ich membran. Można to sprawdzić, np. podłączając baterię płaską do wtyczki zestawu głośnikowego. Membrany będą jednocześnie wypychane lub wsysane do obudowy.

W ten galwaniczny sposób nie można jednak łączyć ze sobą głośników nisko- i wysokotonowych lub szerokokopasmowych. Do tego celu służy w zestawie właśnie zwrotnica głośnikowa, której funkcję opisano wcześniej. Najprostsza jest zwrotnica dwudrożna (rys. 10), złożona z elementów L, C. Głośnik niskotonowy połączony jest szeregowo z cewką indukcyjną, a wysokotonowy współpracuje z kondensatorem bezbiegunowym. Ze wzrostem częstotliwości reaktancja cewki wzrasta, natomiast kondensatora maleje. Oznacza to, że prąd głośnika wysokotonowego wzrasta ze wzrostem częstotliwości a prąd niskotonowego maleje. Opisują to wzory:

$$X_L = 2\pi fL \rightarrow I_L = U/X_L$$

$$X_C = 1/2\pi fC \rightarrow I_C = U \cdot 2\pi fC$$

Na indukcyjności i pojemności prąd zmienia fazę względem napięcia i dlatego, aby to skompensować, kropki na głośnikach są po przeciwnej stronie.

Dariusz Poliński