

# WPŁYW OBCIĄŻENIA WZMACNIACZA MOCY NA ZNIEKSZTAŁCENIA NIELINIOWE

Piszemy o zniekształceniach zwanych wielkosygnalowymi, które są związane z obciążeniem wzmacniacza.

Wzmacniacze mocy pracujące zwykle w ekonomicznej klasie AB charakteryzują się niestety również wieloma rodzajami zniekształceń nieliniowych wynikających zarówno z projektu układu, jak i z właściwości elementów wzmacniających. Część z nich występuje przy małych poziomach wyjściowych sygnałów, ale są też zniekształcenia tzw. wielkosygnalowe, związane z obciążeniem wzmacniacza.

Wzmacniacze mocy projektowane są zwykle do pracy z jedną wartością impedancji obciążenia, którą reprezentują zestawy głośnikowe. W danych technicznych wzmacniaczy z „wyższej półki” można jednak dostrzec, że podawana jest również moc wyjściowa dla obciążeń mniejszych niż znamionowe. Jest to bardzo istotna cecha, dobrze świadcząca o jakości wzmacniacza. Im wzmacniacz jest lepszy, tym ta zależność jest bardziej liniowa. Nie jest dzisiaj dla nikogo tajemnicą, że impedancja zestawów głośnikowych zmienia się w funkcji częstotliwości, często malejąc do wartości kilkakrotnie mniejszych niż znamionowa. Wzmacniacz powinien sobie z taką sytuacją poradzić. Oczywiście, konstruktorzy zestawów głośnikowych starają się, aby charakterystyka zestawu była jak najbardziej równomierna, ale problemy elektromechaniczne są trudne do rozwiązania. Tak więc wzmacniacz za-

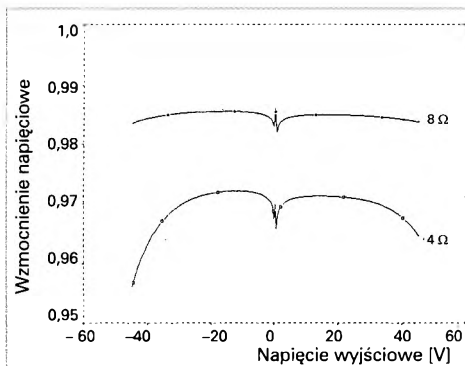
projektowany do współpracy z impedancją o wartości  $8 \Omega$  powinien prawidłowo współpracować z obciążeniem  $4 \Omega$ . Nie musi być to oczywiście praca ciągła – wystarczy, że będzie mógł pracować przez 1 min. Poprawna praca z mniejszymi impedancjami obciążenia wiąże się z koniecznością zastosowania droższych podzespołów, a więc transformator zasilacza o większej mocy, w filtrach kondensatory o większej pojemności w celu eliminacji wzrostu poziomu tętnień napięć zasilających, mocniejszy stopień wyjściowy, większy radiator itd.

Jednymi z najważniejszych parametrów charakteryzujących wzmacniacz są wszelkiego rodzaju zniekształcenia wzmacnianego sygnału. W stopniu mocy klasy AB obok zniekształceń skrośnych powstają zniekształcenia tzw. wielkosygnalowe, zależne zarówno od konstrukcji stopnia wyjściowego, jak i od parametrów elementów mocy w nim zastosowanych, przy czym parametrem decydującym jest zależność współczynnika wzmacnienia prądowego  $h_{21E}$  od wartości prądu kolektora.

Dla małych sygnałów, w typowym wzmacniaczu pracującym w klasie AB, przeważają zniekształcenia skrośne, ale i one zależą od impedancji obciążenia. Na rys. 1 przedstawiono przebieg współczynnika zniekształceń w funkcji częstotliwości pobudzenia dla wzmacniacza pracującego z obciążeniem od  $\infty$  do  $8 \Omega$ . Na wykresie widać wyraźnie, że w zakresie do mniej więcej 2 kHz wszystkie krzywe, poza tą dla  $8 \Omega$ , pokrywają się w zasadzie z tłem szumów, a dalsze zniekształcenia wynikają głównie ze zniekształceń skrośnych, jednak dla  $8 \Omega$  pojawia się nowy typ zniekształceń, zależny od wartości przepływającego prądu. Sytuacja będzie się oczywiście pogarszać ze wzrostem mocy wyjściowej i wraz ze zmniejszaniem się impedancji obciążenia.

Przyczyna pogorszenia parametrów wraz ze wzrostem wartości przepływającego prądu jest związana oczywiście z stopniem końcowym, przy czym mniej zależy to od konstrukcji wtórnika wyjściowego (typowy układ Darlingtona, czy układ ze 100% sprzężeniem zwrotnym) niż od jakości zastosowanych elementów końcowych.

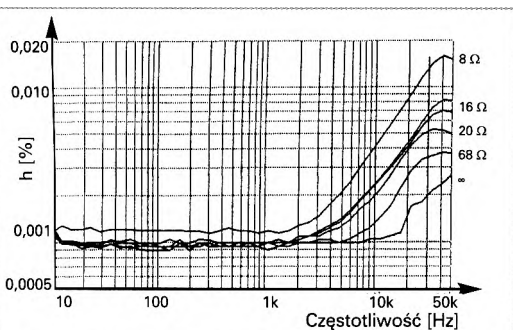
Na rys. 2 pokazano zmianę wzmacnienia napięciowego komplementarnego wtórnika wyjściowego w funkcji napię-



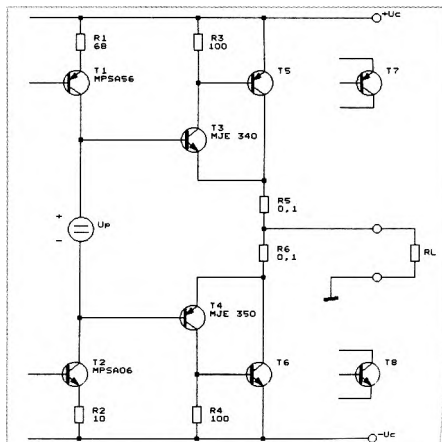
Rys. 2. Przebieg wzmacnienia napięciowego wtórnika końcowego wzmacniacza w funkcji napięcia wyjściowego dla dwóch wartości impedancji obciążenia 4 i  $8 \Omega$

cia wyjściowego dla dwóch wartości rezystancji obciążenia 8 i  $4 \Omega$ . Zachowanie tej samej amplitudy przebiegu wyjściowego oznacza dwukrotnie większą wartość prądu wyjściowego dla obciążenia  $4 \Omega$ . Zmniejszenie wzmacnienia następuje, jak to wynika z wykresu, od pewnej wartości prądu wyjściowego, dla której następuje szybkie zmniejszanie się współczynnika  $h_{21E}$  zastosowanych tranzystorów. Widoczne są także różnice pomiędzy poszczególnymi półkami stopnia wyjściowego.

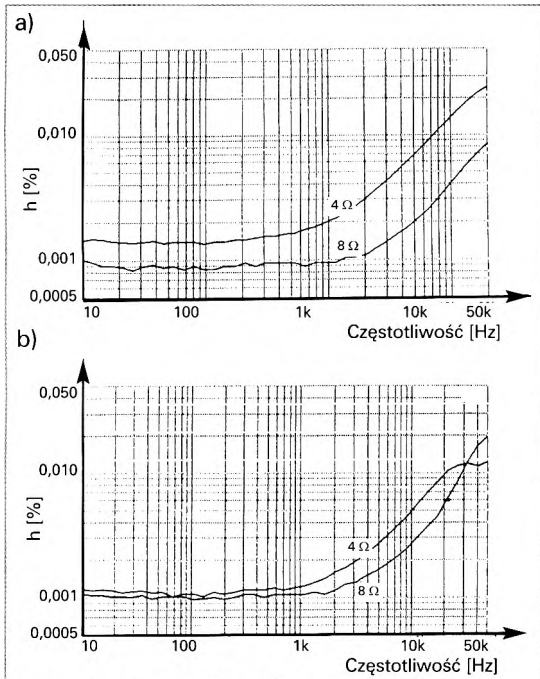
W modelowym wzmacniaczu mocy o konstrukcji stopnia wyjściowego pokazanego na rys. 3 poddano badaniom trzy różne pary tranzystorów mocy począwszy od historycznych już 2N3055/2N2955 ( $U_{ce0} = 60 \text{ V}$ ,  $P_D = 115 \text{ W}$ ,  $I_c = 15 \text{ A}$ ,  $f_T = 0,8 \text{ MHz}$ ) po współczesne MJ15024/15025 ( $U_{ce0} = 250 \text{ V}$ ,



Rys. 1. Przebieg współczynnika zniekształceń nieliniowych wzmacniacza mocy przy impedancji obciążenia w zakresie od  $\infty$  do  $8 \Omega$



Rys. 3. Stopień wyjściowy wzmacniacza mocy wykorzystywanego do badań



Rys. 4. Przebieg współczynnika zniekształceń nieliniowych wzmacniacza dla dwóch wartości impedancji obciążenia 4 i 8 Ω przy mocy wyjściowej 25 W/8 Ω i 50 W/4 Ω  
a – dla stopnia wyjściowego z tranzystorami 2N3055/MJ2955, b – dla stopnia wyjściowego z tranzystorami MJ15024/MJ15025

$P_d = 250 \text{ W}$ ,  $I_c = 16 \text{ A}$ ,  $f_T = 4 \text{ MHz}$ ) produkcji firmy „Motorola” oraz 2SA1302/2SC3281 ( $U_{ce0} = 200 \text{ V}$ ,  $P_d = 150 \text{ W}$ ,  $I_c = 15 \text{ A}$ ,  $f_T = 10 \text{ MHz}$ ) produkcji firmy Toshiba.

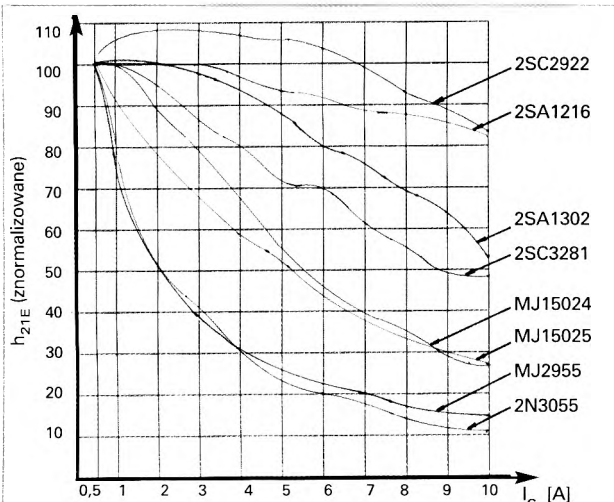
Na rys. 4 przedstawiono przebieg współczynnika zniekształceń nieliniowych wzmacniacza dla pierwszych dwóch par wymienionych powyżej elementów. Moc wyjściowa wynosiła odpowiednio 25 W/8 Ω oraz 50 W/4 Ω. Zarówno w jednym, jak i w drugim przypadku zniekształcenia dla obciążenia o wartości 4 Ω okazały się większe, jednak dla elementów starszego typu ta różnica była aż 3-krotna, nie mówiąc o tym, że ogół-

nie poziom zniekształceń był wyższy dla obu wartości obciążenia. W dobrze zaprojektowanym wzmacniaczu wzmocnienie w otwartej pętli nie będzie zbyt zależało od wartości impedancji obciążenia, pozostaje więc przyjrzeć się bliżej własnościom wyjściowych tranzystorów.

Na rys. 5 przedstawiono przebieg współczynnika wzmocnienia prądowego  $h_{21E}$  dla kilku typów tranzystorów mocy. W celu stworzenia wspólnej płaszczyzny porównawczej odniesiono wartości współczynników  $h_{21E}$  wszystkich elementów do wartości  $h_{21E} = 100$  przy  $I_c = 0,5 \text{ A}$ . Dla porównania przedstawiono również tranzystory cenionej przez elektroakustyków firmy Sanken: 2SC2922/2SA1216.

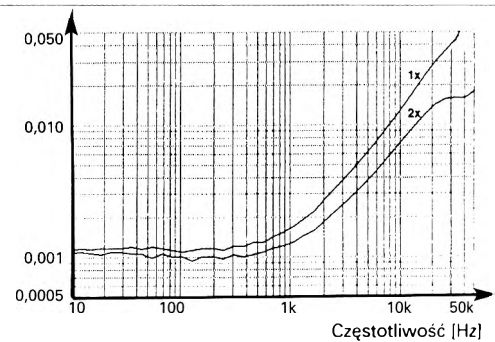
Najmniejszą zmianą współczynnika wzmocnienia prądowego w funkcji prądu kolektora charakteryzują się tranzystory 2SC2922/2SA1216, największą zmianę wykazuje para 2N3055/MJ2955. Elementy pozostałe mieszczą się między tymi skrajnościami.

Powstaje więc pytanie, jak należy zmodyfikować konstrukcję stopnia wyjściowego, aby uczynić wzmacniacz bardziej odpornym na zmianę impedancji obciążenia. Odpowiedź jest jednoznaczna – należy zwiększyć liczbę tranzystorów mocy w stopniu końcowym łącząc tranzystory równolegle. W ten sposób można zmniejszyć dwukrotnie maksymalny prąd płynący przez każdy z tranzystorów, a tym samym wartość współczynnika wzmocnienia prądowego  $h_{21E}$  będzie zmieniała się w węższym zakresie. Mniejszym zmianom ulegać też będzie częstotliwość graniczna  $f_T$  zastosowanych tranzystorów mocy, która również silnie zależy od wartości prądu kolektora.

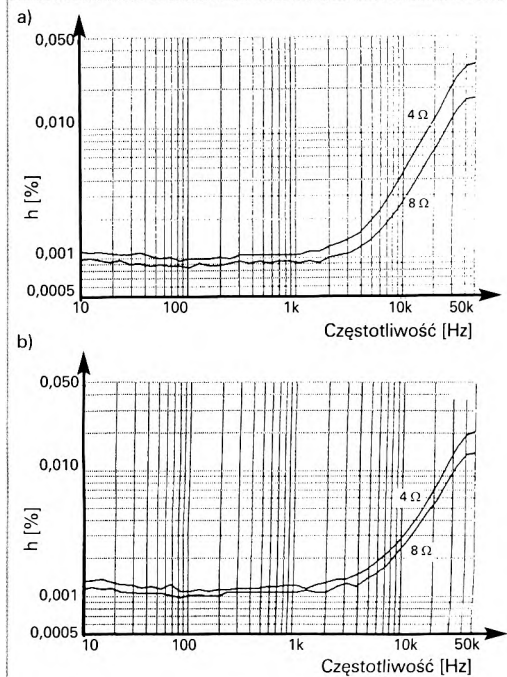


Rys. 5. Zależność współczynnika wzmocnienia prądowego  $h_{21E}$  od wartości prądu kolektora dla czterech par komplementarnych tranzystorów mocy

Na rys. 6 przedstawiono przebieg współczynnika zniekształceń nieliniowych dla pojedynczej pary MJ15024/15025 w stopniu wyjściowym oraz w przypadku zastosowania elementów łączonych po dwa równolegle przy impedancji obciążenia wynoszącej 4 Ω. Różnica jest wyraźnie widoczna. Stopień wyjściowy z podwojonymi elementami mocy charakteryzuje się mniejszymi zniekształceniami nieliniowymi przy tej samej mocy wyjściowej. Należy również wziąć pod uwagę, że nie są to elementy przeciążone, gdyż charakteryzują się dopuszczalną mocą strat  $P_d$  o wartości katalogowej 250 W.



Rys. 6. Zależność współczynnika zniekształceń nieliniowych wzmacniacza mocy od konstrukcji stopnia wyjściowego z pojedynczą parą komplementarną i w przypadku zastosowania tranzystorów mocy połączonych po dwa równolegle, na przykładzie tranzystorów MJ15024/MJ15025 przy impedancji obciążenia 4 Ω i mocy wyjściowej 60 W



Rys. 7. Zależność współczynnika zniekształceń nieliniowych wzmacniacza mocy z tranzystorami 2SC3281/2SA1302 w stopniu końcowym przy impedancji obciążenia 4 i 8 Ω w przypadku:  
a – stopnia wyjściowego z pojedynczymi tranzystorami  
b – stopnia wyjściowego z tranzystorami mocy połączonymi po dwa równolegle

Dalsza poprawa nastąpi przy zastosowaniu elementów 2SA1302/2SC3281 o jeszcze mniejszej zależności współczynnika wzmocnienia prądowego  $h_{21E}$  od wartości prądu kolektora.

Na rys. 7 przedstawiono stosowne wykresy dla mocy wyjściowej 40 W/8 Ω i 80 W/4 Ω.

Hi-Fi ■

#### LITERATURA:

- [1] Self D. „Load – invariant audio power” EW 1/97
- [2] Self D. „Distortion in power amplifiers” EW + WW 12/93
- [3] Katalogi firm: Motorola, Toshiba i Sanken