

# Lekcja 21

## Temat: Wzmacniacze mocy m.cz.

**Wzmacniacz mocy** – dostarcza do obciążenia wymaganą dużą moc wyjściową. Wzmacniacz mocy jest końcowym ogniwem wzmacniania sygnału - jeśli wzmacniany sygnał jest słaby to przechodzi najpierw przez oddzielny lub wbudowany przedwzmacniacz.

Ważnym problemem konstrukcyjnym wzmacniaczy mocy jest zapewnienie:

- małych zniekształceń sygnału
- dużej sprawności wzmacniacza
- właściwego chłodzenia wzmacniacza

Ważnym kryterium dla projektantów wzmacniaczy mocy jest dobór komponentów z uwzględnieniem ich możliwości granicznych jak np. moc, napięcie elektryczne, czy natężenie prądu. Za słabe do naszych wymagań ulegną uszkodzeniu, a znacznie je przekraczające spowodują niepotrzebny wzrost kosztu konstrukcji. Optymalny dobór tych elementów (zwłaszcza półprzewodników) zapewni możliwie niską cenę układu przy zachowaniu dużej niezawodności.

Wzmacniacze mocy można podzielić na:

- wzmacniacze małej częstotliwości (m.cz.) - używane głównie do wzmacniania pasma akustycznego – w głośnikach, słuchawkach),
- wzmacniacze wielkiej częstotliwości (w.cz.) - używane głównie do wzmacniania pasma radiowego w nadajnikach,
- wzmacniacze bardzo wielkiej częstotliwości (b.w.cz.) – gigahercowe).

W wzmacniaczach mocy najczęściej stosuje się tranzystory bipolarne, MOS, diody, lampy elektronowe układy RC, LC i transformatory.

We wzmacniaczu wyróżnia się 2 obwody:

- obwód zasilania, który stwarza warunki do wzmacniania sygnału,
- obwód sygnału, jest związany z przenoszeniem sygnału przez wzmacniacz.

Dla wzmacnianego sygnału wzmacniacz stanowi czwórnik, w którym – do WE dołączono źródło sygnału o impedancji  $Z_g$ . Do wyjścia dołączono obciążenie  $Z_o$ .

Pomiędzy wielkościami wejścia a wyjścia istnieją zależności:

$$\begin{aligned}U_{wy} &= K_U * U_{we}, \\ I_{wy} &= K_I * I_{we}, \\ P_{wy} &= K_P * P_{we},\end{aligned}$$

gdzie:  $K_U$  – współczynnik wzmocnienia napięciowego,  
 $K_I$  – współczynnik wzmocnienia prądowego,  
 $K_P$  – współczynnik wzmocnienia mocy.

Parametry wzmacniacza mocy są następujące:

- wzmocnienie mocy (określane jako stosunek mocy wydzielanej w obciążeniu do mocy wejściowej)
- moc wyjściowa (podawana w watach przy określonym poziomie sygnału wejściowego)
- pasmo przenoszonych częstotliwości
- współczynnik sprawności energetycznej (podawany w procentach)
- współczynnik zniekształceń nieliniowych

Klasy pracy wzmacniaczy mocy zależą od położenia punktu pracy tranzystora oraz od poziomu sygnału sterującego wyróżnia się klasy: A, B, AB, C

## Klasy pracy wzmacniacza

### **Klasa A**

Jest to podstawowa klasa pracy tranzystora (lampy) gdzie wykorzystywany jest jego liniowy odcinek charakterystyki wzmocnienia. Podczas pracy wzmacniacza przez element wzmacniający zawsze płynie prąd. Nie następuje jego wyłączenie. Wszystkie wzmacniacze pracujące w konfiguracji "single ended" pracują w klasie A. W układach tych nie występują zniekształcenia skrośne ale słychać z nieparzystych harmonicznych ocieplających dźwięk. Wzmacniacze klasy A posiadają niską sprawność energetyczną ze względu na duże straty mocy, które są zamieniane w ciepło. Dla tego przy tranzystorach mocy występował parametr "moc admisyjna", czyli jaką moc tranzystor może wypromieniować w postaci ciepła. Inaczej mówiąc ile mocy może stracić tak aby nie została uszkodzona jego struktura. Parametr ten jest teraz zastąpiony oznaczeniem  $P_{tot}$  - moc maksymalna, ale producent podaje ten parametr w odniesieniu do temperatury złącza lub otoczenia (przynajmniej powinien).

## **Klasa B**

Określana jako klasa pracy tranzystorów (lamp) w konfiguracji przeciwsoonej lub z angielskiego "push pull". W układzie tym polaryzowany jest zawsze tylko jeden element wzmacniający i tylko przez jeden płynie prąd do obciążenia. Obciążenie jest sterowane z dwóch kluczy osobno dla dodatniej i ujemnej połówki sygnału. Wzmacniacz w takiej konfiguracji posiada największą sprawność energetyczną ze wzmacniaczy analogowych. Powstał układ par komplementarnych tranzystorów mocy przeznaczonych do pracy w takich układach. Dla tego nieraz taki wzmacniacz jest nazywany układem komplementarnym. Komplementarna para tranzystorów jest taka wtedy, gdy jeden z nich jest PNP, drugi NPN i odpowiadają sobie parametrami (tak jest najlepiej).

## Klasa AB

Jest to pośredni układ pracy tranzystorów w układzie przeciwobnym, gdzie do pewnego prądu wyjściowego polaryzowane są obie połówki w kluczach wyjściowych. Dopiero po przekroczeniu pewnego prądu wyjściowego, gdy na rezystorach emiterowych powstanie spadek napięcia odejmującego się od napięcia polaryzacji i jeden z kluczy zostanie odcięty, wzmacniacz przechodzi w klasę B. Generalnie to bez sygnału i przy małym wysterowaniu wzmacniacz taki pracuje w klasie A by przy dużym wysterowaniu przejść w klasę B. Zaletą takiego rozwiązania jest brak zniekształceń skrośnych przy małych sygnałach, a przy dużym wysterowaniu wzmacniacza zniekształcenia te są maskowane przez sygnał. Wzmacniacze te mają trochę mniejszą sprawność od wzmacniacza w klasie B. Niekiedy w takiej konfiguracji są budowane wzmacniacze w klasie A, po prostu ustawiony jest duży prąd spoczynkowy tranzystorów mocy i wzmacniacz nie wchodzi w klasę B. Nieraz niechcący tak wyjdzie i mówimy, że wzmacniacz brzmi bardzo miękko.

## Klasa C

Tranzystor lub lampa pracują w nieliniowym odcinku swojej charakterystyki, nie posiadając stałej polaryzacji i sterowane są wyłącznie sygnałem wejściowym. Główne zastosowanie to stopnie mocy w.cz. w nadajnikach radiowych. W akustyce ta klasa pracy nie jest stosowana, chyba że wyjdzie znów niechcący i wtedy wzmacniacz "charczy".

## Klasa D

Jest to układ pracy wzmacniacza, w którym tranzystory mocy występują wyłącznie jako klucze i nie pracują w liniowym odcinku charakterystyki. Przewodzą lub nie. Sterowane są z generatora o zmiennej szerokości impulsu PWM (pulse with modulation). Może to być w najprostszej konfiguracji generator przebiegu trójkątnego z pływającym zerem w ten sposób wpływając na różnicę w czasie trwania dodatniej i ujemnej połówki sygnału. Generator ten jest oczywiście sterowany sygnałem wejściowym. Na wyjściu takiego wzmacniacza znajduje się filtr dolnoprzepustowy filtrujący z sygnału użytecznego częstotliwość nośną. Wzmacniacze te charakteryzują się małymi stratami mocy, na poziomie 5%, ale też bardzo dużymi zniekształceniami. Największym problemem w tych wzmacniaczach jest skonstruowanie układów sterujących kluczami tak aby dobrać odpowiednie czasy załączenia tak aby się nie pokrywały zbocza, lub nie "rozjeżdżały", czyli wypracować kompromis między zniekształceniami i mocą traconą, lub traconymi tranzystorami mocy.

## **Klasy wzmacniaczy**

**A** - wzmacniacze, w których cały sygnał wzmacnia jedna lampa lub tranzystor, pracujące w płaskiej części swojej charakterystyki. Sprawność wzmacniacza jest rzędu 10-25%

**B** - wzmacniacze przeciwobne, w których pół sygnału wzmacnia jedna lampa lub tranzystor, pracujące w płaskiej części swojej charakterystyki, a drugie pół druga. Sprawność wzmacniacza jest rzędu 78%. Największe zniekształcenia występują przy przejściu sygnału przez 0, dlatego tak klasa częściej jest stosowana w sprzęcie estradowym niż w w HiFi.

**AA** - Jest to sposób budowy wzmacniacza "dwa w jednym", czyli dobrej jakości wzmacniacz małej mocy, pracujący w klasie A, i drugi, który pracuje w klasie B, o większej mocy. Oba wzmacniacze są połączone specjalnym mostkiem tak, aby przy małych sygnałach pracował ten o mniejszej mocy, przy większym zaś sygnale płynnie włączany jest drugi, mocniejszy. Wzmacniacze takie mają niskie zniekształcenia nieliniowe i bardzo małe przesunięcia fazowe. Wzmacniacze takie propaguje m.in. Technics. Jest to bardziej klasa marketingowa, niemająca wiele wspólnego z tradycyjnym podziałem wzmacniaczy na klasy.

**AB** - wzmacniacze przeciwobne, w których część sygnału wzmacnia jedna lampa lub tranzystor, pracujące nie tylko w płaskiej części swojej charakterystyki. Sprawność wzmacniacza jest rzędu 50-75%

**C** - wzmacniacz wykorzystuje się całą szerokość charakterystyki, także tą nieliniową. Wzmacniacze takie dają dużą moc. Nie używane powszechnie w technice audio ze względu na wysokie zniekształcenia

**D** - wzmacniacze impulsowe używane w technice audio o wysokiej sprawności energetycznej, często nazywane wzmacniaczami cyfrowymi. Sprawność wzmacniacza wynosi 90-95%.

**E, F, S** - wzmacniacze rezonansowe nie używane powszechnie w technice audio

**G** - Jest rozwinięciem klasy AB. Wzmacniacze, w których napięcie zasilania stopnia wyjściowego jest płynnie zmieniane od 1/2 do (prawie) maksymalnego napięcia zasilacza danego wzmacniacza. Dzięki temu uzyskuje się większą sprawność stopnia końcowego przy mniejszych sygnałach niż w klasie AB. W praktyce dochodzą jeszcze straty stopnia zmieniającego napięcie. (jest to odpowiednik Amerykańskiej klasy H)

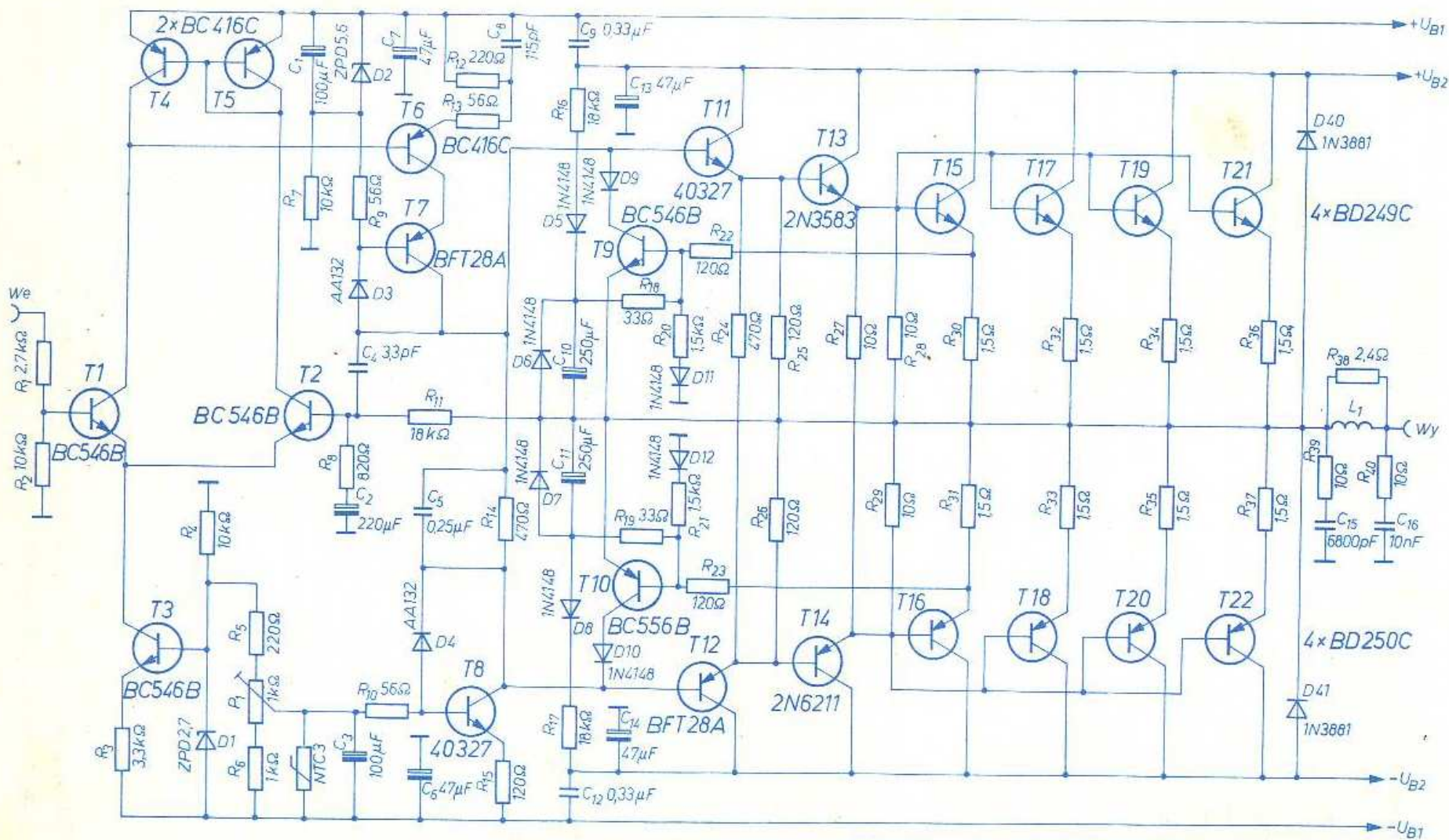


**H** - Jest rozwinięciem klasy G. Wzmacniacze, w których napięcie zasilania stopnia wyjściowego jest przełączane (kluczowane) w zależności od potrzeb między dwoma lub trzema różnymi napięciami, np. 1/3, 2/3 i 3/3 maksymalnego napięcia zasilacza danego wzmacniacza. Dzięki temu tak jak w klasie G uzyskuje się większą sprawność przy mniejszych sygnałach w stosunku do klasy AB, przy czym straty stopnia przełączającego są znacznie mniejsze niż w klasie G (jest to odpowiednik Amerykańskiej klasy G). Wzmacniacze tej klasy stosuje się w klasycznych wzmacniaczach nagłośnienia profesjonalnego (estradowego). Niektóre wzmacniacze tej klasy posiadają tzw. pompę ładunkową (bootstrap) i same „wytwarzają” wyższe napięcie, które może być wykorzystane w chwili, gdy końcówka mocy będzie potrzebowała takiego napięcia. Takie wzmacniacze stosuje się w miejscach gdzie poziom napięcia jest ograniczony (np. instalacja samochodowa 14,4V).

**T** - jak Tripath - Są to wzmacniacze impulsowe, podobnie jak w klasie D. Stopień wyjściowy, zawierający tranzystory MOSFET, jest również sterowany przebiegiem prostokątnym. W odróżnieniu od klasy D, częstotliwość impulsów nie jest stała i zmienia się w granicach 50 kHz - 1,5 MHz. Bardzo skomplikowane są stopnie sterujące. Częstotliwość i wypełnienie są wyznaczone przez rozbudowane cyfrowe układy elektroniczne, według bardzo skomplikowanych algorytmów. Jedną z przyczyn występowania zniekształceń we wzmacniaczach klasy D jest niedoskonałość i rozrzut parametrów wyjściowych tranzystorów MOSFET. Sterownik wzmacniacza klasy T jest układem samo uczącym się, gdzie wszystkie parametry elementów są odczytywane a wszelkie niedoskonałości odpowiednio kompensowane. Przy zastosowaniu tak zaawansowanej obróbki cyfrowej, wzmacniacze tej klasy mają lepszą liniowość, mniejszy poziom szumów własnych i szerszy zakres dynamiki. Charakterystyka przenoszenia jest bardziej płaska i liniowa, a zakłócenia elektromagnetyczne generowane przez układ są minimalne. Udaje się uzyskać współczynnik zniekształceń THD+N poniżej 0,08%, a współczynnik zniekształceń intermodulacyjnych IMD poniżej 0,04%. Przy olbrzymich mocach uzyskiwanych przez taki wzmacniacz parametry te stawiają wzmacniacz tej klasy na równi z bardzo dobrymi wzmacniaczami klas A i AB. Sprawność energetyczna wynosi 80 - 92 %.

## Głównymi parametrami wzmacniaczy muzycznych są:

- pasmo przenoszenia (użyteczny zakres częstotliwości przetwarzanych przez wzmacniacz)
- charakterystyka częstotliwościowa (wykres zmian wzmocnienia w odniesieniu do użytecznego pasma akustycznego)
- sprawność (zależna od klasy układu wzmacniającego)
- stosunek sygnał/szum (dB)
- poziom zniekształceń (tzw. THD w odniesieniu do przebiegu wzorcowego i mocy znamionowej)
- dynamika sygnału (dB)
- współczynnik tłumienia (tzw. damping factor - stosunek impedancji obciążenia do impedancji źródła)
- maksymalna moc znamionowa (tzw. RMS - moc skuteczna, dawniej podawano moc sinusoidalną)
- maksymalna moc muzyczna (maksymalna moc chwilowa)
- obciążalność wyjścia - impedancja (obecnie zakres oporności podłączanych głośników).



Rys. 13-2 Schemat wzmacniacza wysokiej klasy o mocy 150 W