

Classes de operação dos amplificadores de áudio

Objetivo.

Esclarecer em linhas gerais os conceitos envolvidos quando o assunto são as "classes de operação de amplificadores".

Vamos estabelecer alguns conceitos básicos e com quase nenhuma matemática, explicar estes conceitos e expandi-los de modo a termos uma visão geral.

Introdução.

Todos nós já ouvimos falar em classe de operação dos amplificadores, ou melhor dizendo, "Amplificadores classe A", "classe B", "classe C", "AB", "AB1", etc.

Quando nos referimos à classe de um amplificador, nós não estamos nos referindo à sua qualidade de reprodução sonora diretamente, mas ao modo como os circuitos internos estão arranjados para que ele trabalhe corretamente e desempenhe sua função primordial: amplificar um sinal elétrico.

Tomemos como partida a definição de alguns conceitos importantes:

- Quadripolos: diz-se que um elemento que possui 2 terminais de entrada e dois terminais de saída é um quadripolo. Classificam-se em quadripolos ativos ou passivos.
- Quadripolo ativo: o sinal que sai do elemento analisado é igual ou maior em amplitude que o o sinal que entrou.
- Quadripolo passivo: é o oposto, ou seja, o sinal de saída mostra-se atenuado em relação ao sinal de entrada.
- Ganho: é a relação numérica (número adimensional) entre o valor do sinal de saída dividido pelo valor do sinal de entrada. Exemplo: 20Vpp de saída para um sinal de 20mV de entrada no quadripolo, temos: $20(\text{Vpp})/0,02(\text{Vpp})=1000$. Portanto para um quadripolo ativo que apresente esta relação, dizemos que o ganho em tensão foi de 1000:1, ou simplesmente $AV=1000$.
- Ganho em dB (Decibéis). [dB] = um décimo da unidade Bell. Não vamos nos ater à matemática da coisa, mas precisamos saber que o dB (decibel) é uma unidade que expressa grandezas logarítmicas trazidas ao mundo linear. É uma maneira muito confortável e conveniente de se escrever, por exemplo, em uma escala plana, todo o espectro audível do ser humano sem precisarmos de um gráfico de vários metros de comprimento. Imagine se fizéssemos uma graduação a cada 1Hz. Teríamos um gráfico com pelo menos 20.000 divisões. Para facilitar usamos uma escala logarítmica, justamente como a unidade dB, onde cada vez que dobramos a escala, temos na verdade uma

multiplicação por 10x. Para expressarmos um ganho (ou atenuação) em dB lançamos mão da seguinte fórmula: $AV (dB) = 20 \times \log(AV)$. Para um AV de 1000, temos um $AV(dB) = +60dB$.

- Rendimento (η): diz-se que é o quanto existe de efetividade de transformação de um tipo de energia em outra. É o tanto de energia que saiu do sistema (nosso quadripolo ativo, por exemplo) menos a energia que foi perdida para o ambiente, na forma de calor, luz, movimento, etc. É uma relação entre energias, portanto um número adimensional, como o ganho. Diz-se que o rendimento de um quadripolo é igual à divisão da potência de saída pela potência de entrada (P_{out}/P_{in}).
- Potência elétrica: é a capacidade de um componente qualquer em produzir algum trabalho, seja ele convertendo corrente em luz, calor, movimento, etc. No caso da potência elétrica, esta é igual à corrente multiplicada pela tensão (ou vice-versa). Potência de entrada = Tensão de entrada x Corrente de entrada. Potência de saída = Tensão de saída x Corrente de saída.
- Curva de transferência: É uma curva (ou reta, parábola, hipérbole, etc) que mostra graficamente o comportamento da relação entre duas grandezas físicas, normalmente Correntes versus Tensão, Potência versus temperatura, Impedância versus frequência, etc.
- Ponto Quiescente (Q). Coordenada de um ponto (x;y) na curva de transferência do elemento ativo do quadripolo, onde o circuito se mantém polarizado, ou estabilizado, quando não existe excitação de entrada. É o ponto de "repouso elétrico" do amplificador proporcionado pelos componentes polarizadores do elemento ativo (resistores, capacitores, indutores, diodos etc).
- Elemento ativo em um quadripolo: é o componente principal responsável pelo comportamento de ganho ou atenuação do quadripolo. São os transistores de junção, FETs, unijunção, tríodos, pentodos, beam-power tubes, amplificadores operacionais, amplificadores híbridos, etc.
- I_a = Corrente de ânodo, I_k = corrente de cátodo, V_g = tensão de grade, V_{gk} = tensão entre grade e cátodo, V_a = tensão de ânodo, V_k = tensão de cátodo, R_a = resistência de ânodo, G_m = ganho de tensão (usado para válvulas), μ = transcondutância mútua

Conhecendo-se estes conceitos básicos, podemos falar sobre as classes de operação e suas características.

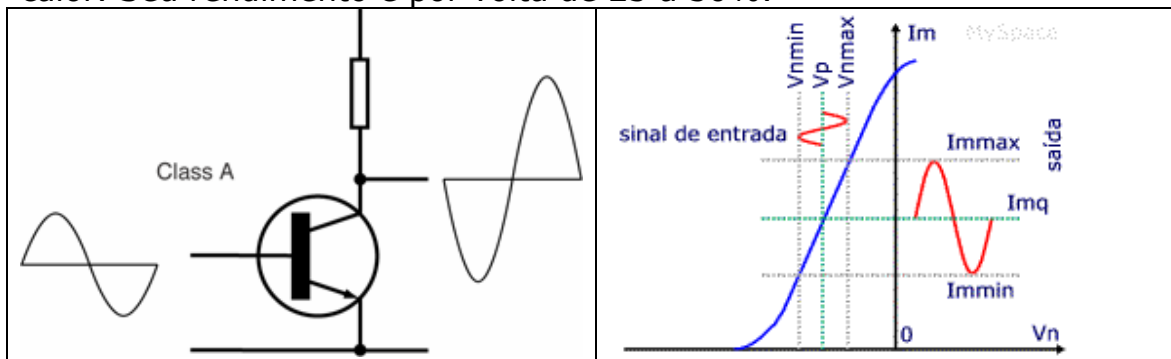
Classes de Operação:

Classe A

Usados para amplificar os sinais de maneira simples e direta. É o modo de operação ancestral de todos os amplificadores. Nasceu junto com os primeiros amplificadores de áudio baseados no Áudion de DeForrest, fabricados pela Western Electric Corporation of América a partir da década de 1910 para equipar os primeiros rádio-receptores e telégrafos sem fio.

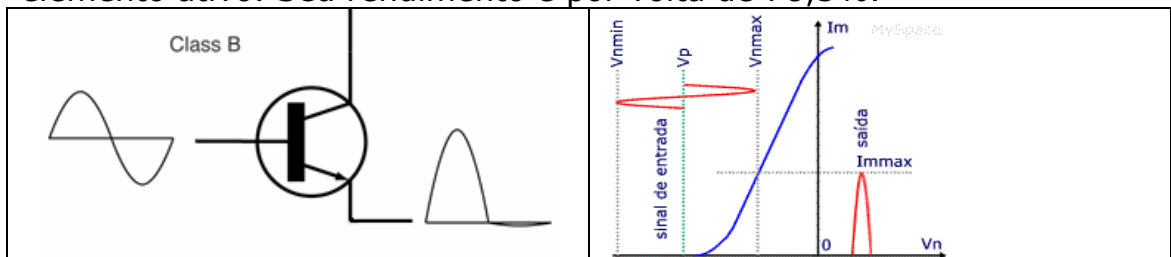
O ponto de trabalho (polarização) do elemento ativo (válvula) é forçado a ficar no meio da curva de transferência $I_a \times V_k$ (em função de uma determinada tensão V_g).

Dada esta característica de colocação do ponto Q no meio da curva, o sinal a amplificar percorre toda a extensão da curva de transferência indo da parte mais inferior da curva até a parte mais superior, ou seja, o amplificador está constantemente trabalhando e por conseqüência, irradiando energia na forma de calor, logo nem toda a potência é convertida em programa sonoro. Existem perdas por dissipação de calor. Seu rendimento é por volta de 25 a 50%.



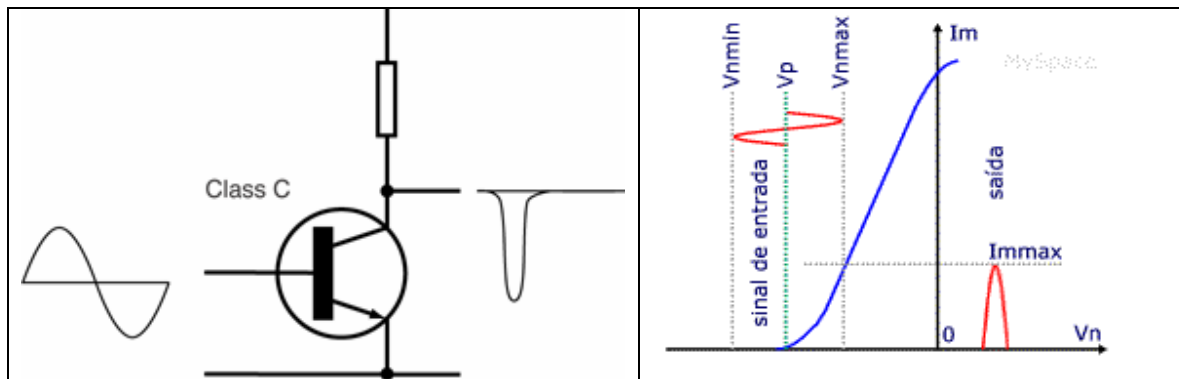
Classe B

Os amplificadores classe B nasceram da necessidade de se converter as perdas por irradiação de calor em energia útil. Polarizam-se os elementos ativos de modo que só conduzam $\frac{1}{2}$ programa, ou seja, só o semiciclo positivo (ou negativo, conforme a polarização) do sinal em questão. Permanece conduzindo somente 50% do tempo, o resto do tempo permanece no estado "cortado", sem dissipar energia para o meio ambiente na forma de calor. É mais eficiente que a classe A, porém não possui fidelidade alguma em função do corte e saturação do elemento ativo. Seu rendimento é por volta de 78,5%.



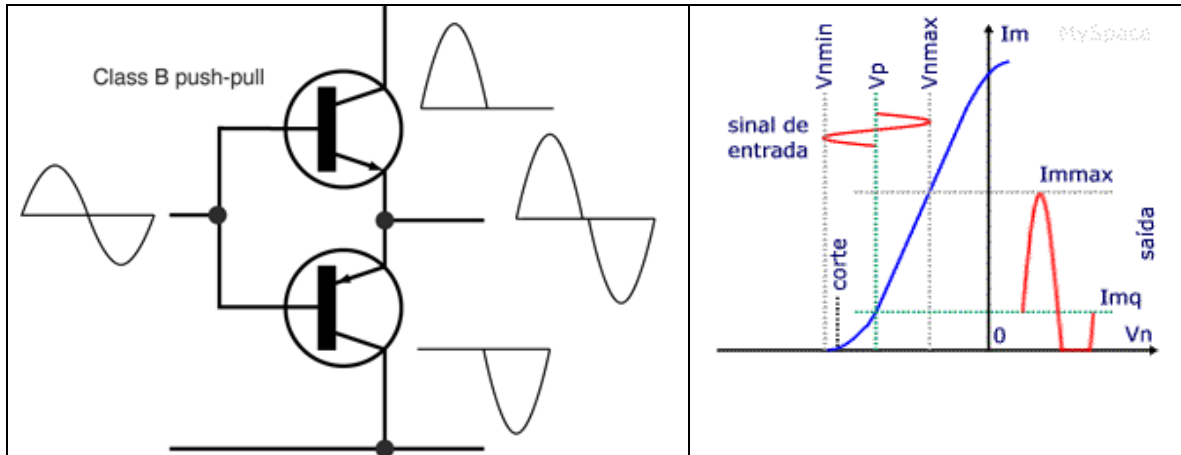
Classe C

Foi a evolução natural da Classe B. Surgiu com a necessidade de implementação dos grandes transmissores de telegrafia (à princípio), telefonia e em seguida a rádio-telegrafia e rádio-telefonia. Como o programa de RF (radiofrequência) nos transmissores não carrega informação além daquela modulada em amplitude ou em frequência, não é necessário ter fidelidade alguma de reprodução (o sinal não vai diretamente para um transdutor: alto-falante). A única coisa que interessa é a máxima transferência de potência para a antena, logo se polariza o elemento ativo de tal forma que somente uma parte do semiciclo é efetivamente utilizado, garantindo que praticamente toda a potência se converta em energia e nada fique sobre o elemento ativo que trabalha nos extremos de suas curvas de transferência, ou seja, no corte ou saturação totais. Seu rendimento é por volta de 90%.



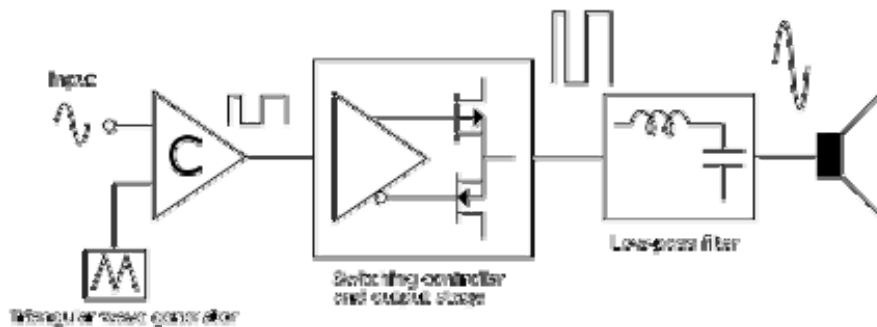
Classe AB (AB1 e AB2)

Com o passar do tempo, a sofisticação dos transdutores sonoros (caixas, alto-falantes, cornetas, etc) foi aumentando e, com a disseminação da sétima arte na década de 1930, surgiram os primeiros amplificadores comerciais que se utilizavam o que havia de melhor nas duas primeiras classes de operação: fidelidade e máxima transferência de potência. Isto mesmo, os amplificadores classe AB, são híbridos das duas primeiras classes explanadas anteriormente. Utilizamos uma configuração tipo push-pull onde temos dois elementos operando em contra-fase, ou seja, cada elemento recebe uma parte do sinal defasada de 180° e fica responsável por conduzir "um pouco mais" que somente o seu semiciclo, e os circuitos auxiliares, ao redor do elemento ativo, fazem a "emenda" do programa sonoro sobrepondo os dois sinais amplificados individualmente e recompondo o sinal original que foi amplificado em duas metades, separadamente. No gráfico abaixo vemos a representação para apenas um dos elementos do push-pull. O outro elemento é exatamente a mesma coisa só que defasado em 180° .

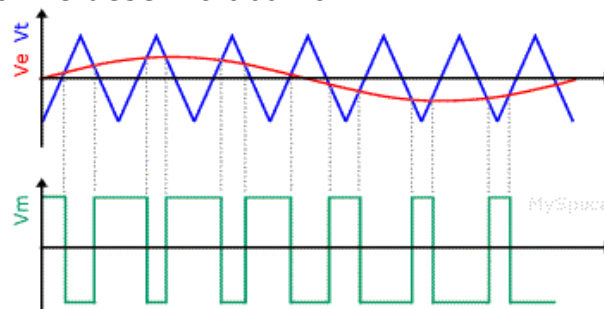


Classes AB1 e AB2 diferem em função da corrente de grade que pode ou não fluir para o elemento amplificador (válvula) dependendo das características dos mesmos. Estas diferenças só têm sentido quando falamos de amplificadores valvulados, para os demais elementos ativos, nos limitamos à terminologia AB. Seu rendimento é por volta de 75%.

Classe D



São os chamados amplificadores digitais ou PWM (Pulse Width Modulation). É uma classe de operação onde os elementos ativos são forçados a trabalhar digitalmente, ou seja, no corte (nível lógico zero) ou na saturação (nível lógico um). O sinal de áudio passa por um circuito comparador que trabalha chaveando os elementos de potência, gerando um trem de pulsos modulados em "tempo ligado" e "tempo desligado", conforme desenho abaixo.



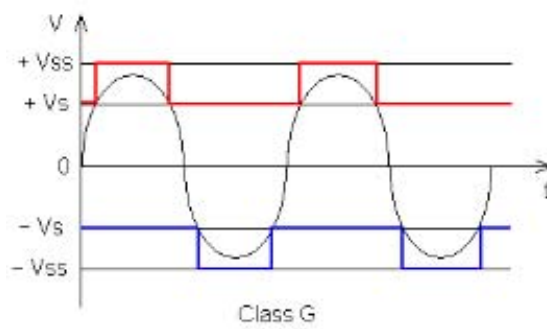
Com este tipo de comportamento, podemos dizer que praticamente não existem perdas por dissipação de calor e a eficiência deste circuito chega bem próximo de 100%, porém a reconstrução do sinal original amplificado, fica a cargo de um circuito reativo (indutivo geralmente) que acaba por introduzir alguns inconvenientes: desvios de fase, desvios de frequência, harmônicos, transientes, perda de resolução devido à taxa de amostragem, etc. Definitivamente não são amplificadores indicados para High-End. São muito utilizados em unidades de PA (Public Address, ou sonorização em grande ambientes) autônomas, onde a fidelidade sonora ao ar-livre não têm tanta importância quanto o volume sonoro. Também são largamente empregados em amplificadores de sub-graves onde os desvios de fase e frequência são praticamente imperceptíveis. Seu rendimento é por volta de 90%.

Classes E e F

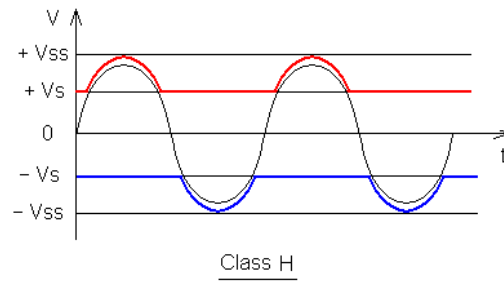
São amplificadores sintonizados utilizados para amplificação de RF e não se prestam a amplificação de sinais de áudio, visto possuem uma banda passante muito estreita e da ordem 200kHz em diante, chegando à faixa dos Ghz.

Classes G e H

São ambas variações da classe AB e foram criadas para melhorar a eficiência da classe original. Na classe G temos as fontes de alimentação variáveis que são chaveadas conforme a solicitação do programa de áudio (em valores pré-fixados), evitando assim dissipação desnecessária. São usados diversos valores fixos de tensões nas fontes.



Na Classe H, um circuito modulador varia o tempo todo a tensão das fontes em função do programa, ficando apenas alguns volts acima da tensão necessária comandada pelo programa de áudio, aumentando ainda mais a eficiência.



Ambas as classes são usadas em amplificação de altíssimas potências, onde transformadores de força e dissipadores de potência podem se tornar fatores proibitivos na concepção e execução de um projeto. Seu rendimento é por volta de 95 a 98%.

Conclusão

Existem ainda duas outras classes de operação, mas são preciosismos dos fabricantes que acabaram embalando a "Classe D" em "roupagens" um pouco mais sofisticadas, porém com as mesmas características básicas, nos referimos às Classes T e Z.

Espero que este breve texto possa trazer alguma luz aos iniciantes e esclarecer alguns aspectos básicos do maravilhoso mundo da amplificação de áudio.

Mãos à obra!

Luciano Peccerini Junior