



**UNIVERSIDADE DO ESTADO DE MINAS GERAIS**

**Docente: Rildo Afonso de Almeida**

**Eletrônica Aplicada**



## Classes de Amplificadores

Em eletrônica, o amplificador é o dispositivo de circuito mais comumente usado com grandes possibilidades de aplicação.

Para os pré-amplificadores e amplificadores de potência eletrônicos relacionados a áudio, estão dois tipos diferentes de sistemas amplificadores que são usados para propósitos relacionados à amplificação sonora.

Mas, além desta finalidade específica da aplicação, existem enormes diferenças em vários tipos de amplificadores, principalmente em amplificadores de potência.



## Classes de Amplificadores

### Classes De Amplificadores De Potência

Por muito tempo, as únicas classes de amplificadores relevantes para áudio de alta qualidade eram **Classe-A** e **Classe-AB**.

Isso ocorria porque as válvulas eram os únicos dispositivos ativos, e os amplificadores de válvula **Classe-B** geravam tanta distorção que mal eram aceitáveis, mesmo para fins de endereçamento público. Todos os amplificadores com pretensões de alta fidelidade operavam em **push-pull Classe-A**.



# Classes de Amplificadores

## Amplificadores Classe-A

Em um amplificador **Classe A**, a corrente flui continuamente em todos os dispositivos de saída, o que torna a sua eficiência muito baixa, mas quase nenhuma distorção de crossover.

O amplificador final **Classe A** é a configuração mais simples e também uma das melhores configurações para reprodução de áudio de alta qualidade e pode ser implementado usando um seguidor de emissor padrão.



# Classes de Amplificadores

## Amplificadores Classe-A

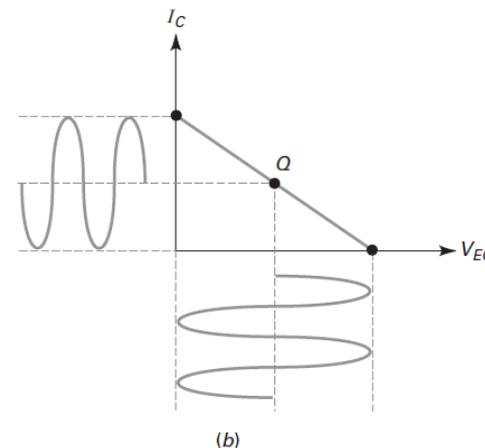
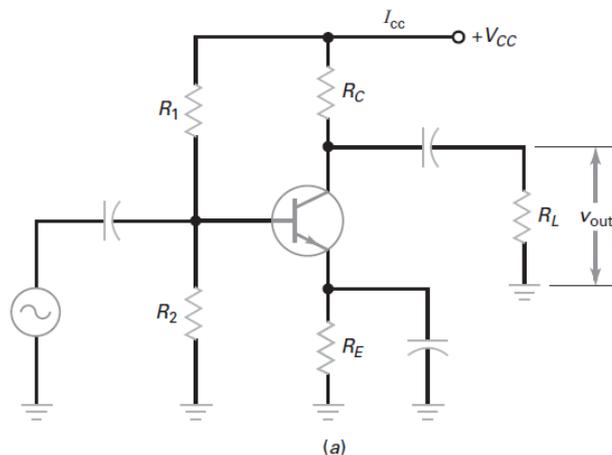
A corrente quiescente através do transistor é igual ao pico da corrente de saída **AC**, o que significa que o transistor é polarizado no meio de sua faixa de trabalho e simplesmente conduz mais ou menos corrente quando acionado por uma voltagem alternada.

A eficiência de um amplificador **classe A** é muito baixa: **25%** na amplitude máxima de saída e ainda menos em níveis de sinal baixos.

# Classes de Amplificadores

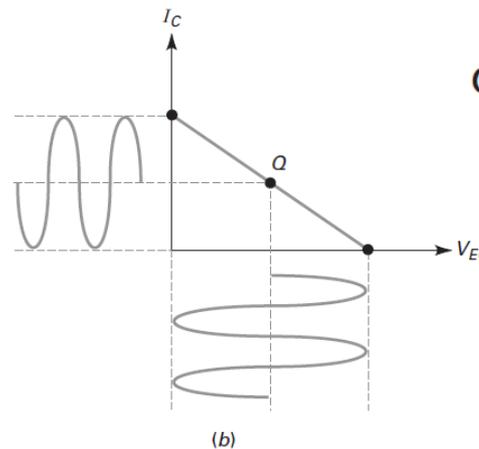
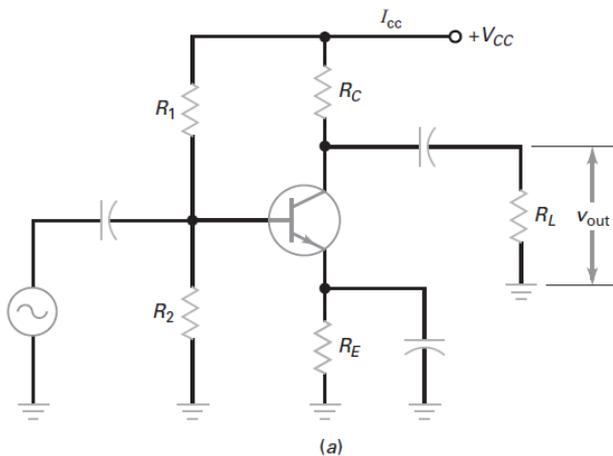
## Amplificadores Classe-A

A eficiência pode ser melhorada usando um projeto simétrico com 2 transistores, mas mesmo assim a maior eficiência. é **50%**, o circuito básico ilustrativo, pode ser visualizado a Figura abaixo.



# Classes de Amplificadores

## Amplificadores Classe-A



Ganho de potência

$$A_p = \frac{P_{out}}{P_{in}}$$

Potência de saída

$$P_{out} = \frac{v_{rms}^2}{R_L}$$

$$P_{out} = \frac{v_{out}^2}{8R_L}$$

$$P_{out(max)} = \frac{MPP^2}{8R_L}$$

Dissipação de potência no transistor

$$P_{DQ} = V_{CEQ} I_{CQ}$$

A potência CC fornecida para um amplificador pela fonte CC é:

$$P_{cc} = V_{CC} I_{cc}$$

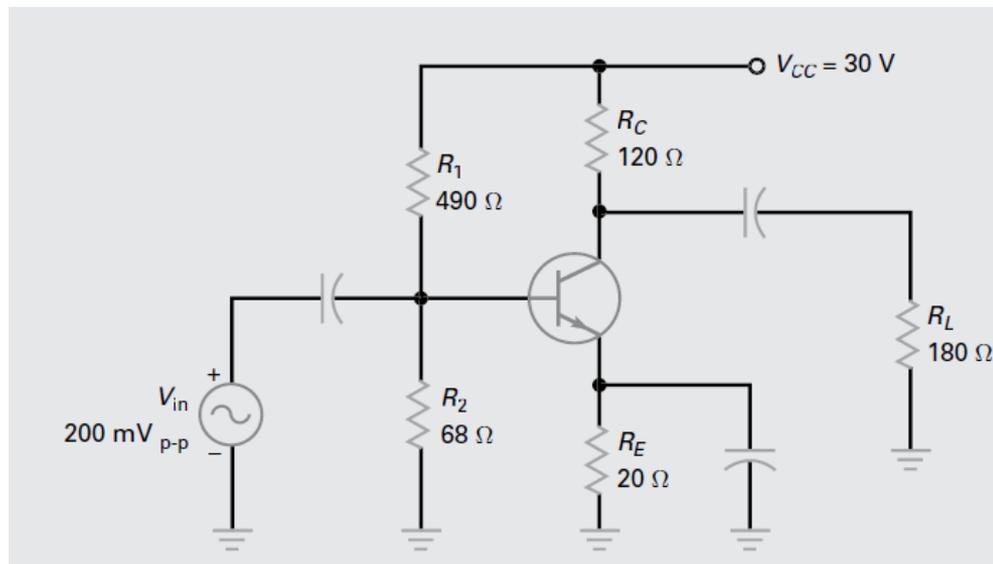
Eficiência

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\%$$

# Classes de Amplificadores

## Amplificadores Classe-A - Exemplo

Se a tensão pico a pico de saída for de 18 V e a impedância de entrada da base for de  $100 \Omega$ , qual é o ganho de potência na Figura abaixo?





## Classes de Amplificadores

### Amplificadores Classe-B

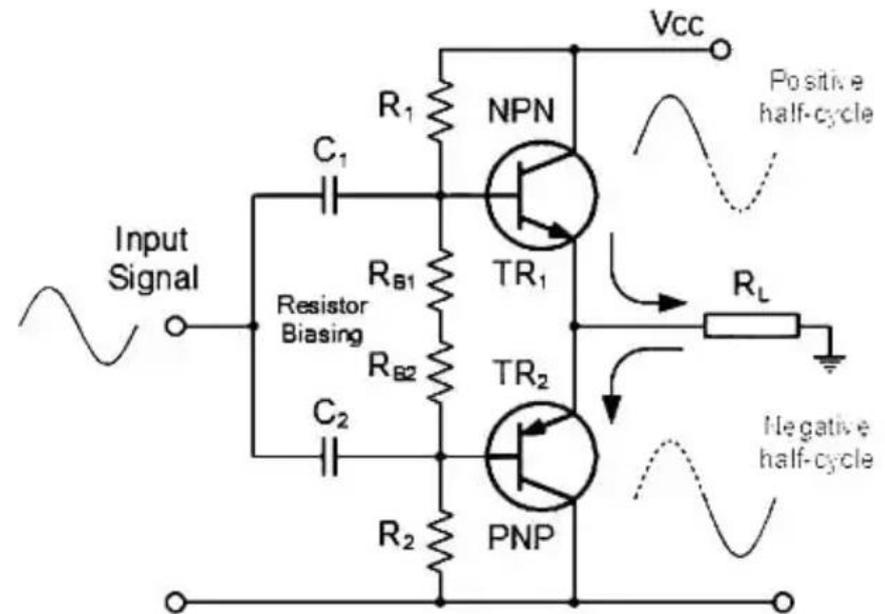
A operação de um amplificador de áudio **Classe-B** usa um par de transistores polarizados de forma que o transistor ativo, conduza em uma das metades da forma de onda, ou seja, meio ciclo da onda, e a outro na outra metade.

Isso é, em outro ciclo de onda, que significa que eles conduzem cada um em seu momento um ângulo de **180°** que é a metade do ciclo total.

# Classes de Amplificadores

## Amplificadores Classe-B

Estágios de áudio **Classe-B** podem ter números de eficiência de até 75%, embora às custas de uma distorção um tanto maior do que com um estágio **Classe-A** usando o mesmo layout. O circuito básico ilustrativo, pode ser visualizado na figura ao lado.





## Classes de Amplificadores

### Amplificadores Classe-B

Maior eficiência permite que uma maior potência de saída seja obtida com dissipadores de calor menores, e o uso de **feedback negativo** pode, com um projeto cuidadoso, reduzir a distorção a níveis desprezíveis.

O **Classe-B** (ou **Classe A – B**) é o método de operação preferido para amplificadores com **CI** em níveis de potência de até cerca de **15 W** de saída.



# Classes de Amplificadores

## Amplificadores Classe-AB

Os amplificadores **Classe-AB**, não foram um desenvolvimento de classe, e sim uma combinação de duas classes já existentes, o **Classe-A** e o **Classe-B**, que já pudemos estudar acima.

Eles são atualmente os tipos mais comumente usados na grande maioria dos fabricantes de amplificadores de áudio de potência.



# Classes de Amplificadores

## Amplificadores Classe-AB

O amplificador **Classe-AB** é uma variação de um amplificador de **Classe-B** conforme descrito acima, exceto que ambos os dispositivos podem conduzir ao mesmo tempo em torno do ponto de crossover das formas de onda, eliminando os problemas de distorção de crossover do amplificador de **Classe-B** anterior.



## Classes de Amplificadores

### Amplificadores Classe-AB

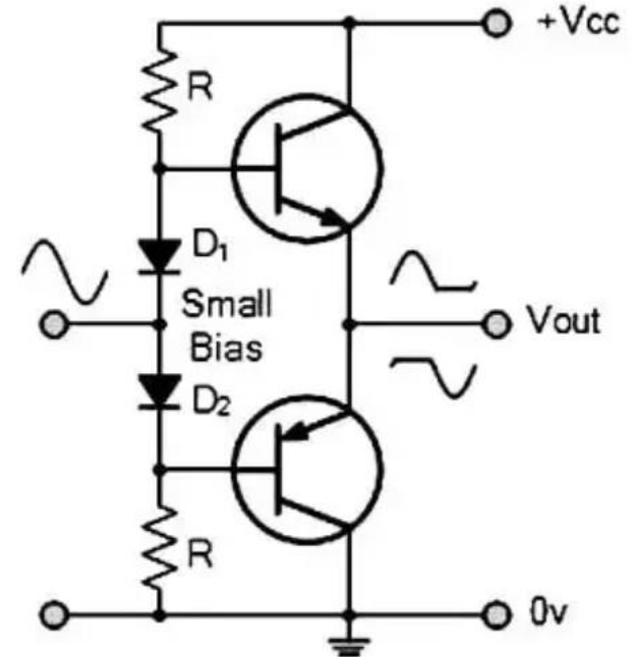
A **Classe-AB** é menos linear do que **A** ou **B**, os dois transistores têm uma tensão de polarização muito pequena, normalmente de 5 a 10% da corrente quiescente para polarizar os transistores logo acima de seu ponto de corte.

Então, o dispositivo de condução, seja bipolar ou FET, ficará “*LIGADO*” por mais de meio ciclo, mas muito menos de um ciclo completo do sinal de entrada.

## Classes de Amplificadores

### Amplificadores Classe-AB

Portanto, em um projeto de amplificador de **classe-AB**, cada um dos transistores em configuração **push-pull** está conduzindo por um pouco mais do que meio ciclo de condução na **classe-B**, mas muito menos do que o ciclo completo de condução da **classe-A**. O circuito básico ilustrativo, pode ser visualizado na figura ao lado.





# Classes de Amplificadores

## Amplificadores Classe-C

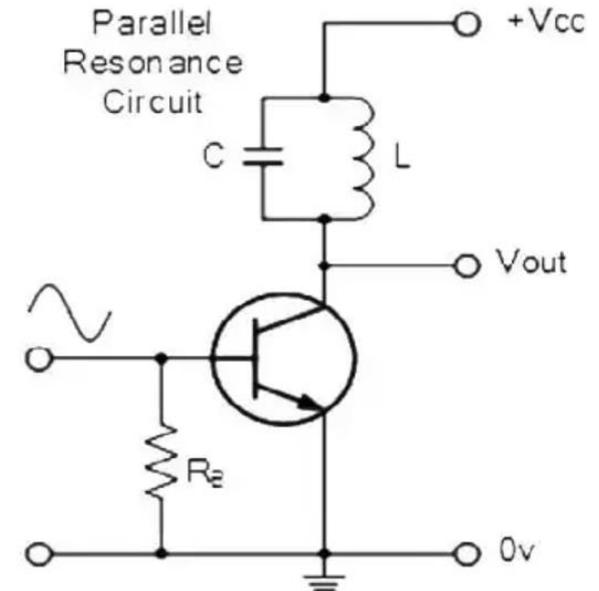
As estruturas dos amplificadores **Classe-C** tem maior eficiência, no entanto, a linearidade são as menores das classes de amplificadores mencionados aqui. As classes anteriores, **A**, **B** e **AB** são consideradas amplificadores lineares, pois a amplitude e fase dos sinais de saída estão linearmente relacionadas à amplitude e fase dos sinais de entrada.

No entanto, o amplificador de **classe-C** é fortemente polarizado de modo que a corrente de saída seja zero por mais da metade de um ciclo de sinal senoidal de entrada com o transistor ocioso em seu ponto de corte.

# Classes de Amplificadores

## Amplificadores Classe-C

Em outras palavras, o ângulo de condução do transistor é significativamente menor do que **180 graus** e geralmente está em torno da área de **90 graus**. O circuito básico ilustrativo, pode ser visualizado na figura ao lado.





## Classes de Amplificadores

### Amplificadores Classe-C

Embora essa forma de polarização do transistor dê uma eficiência muito melhorada de cerca de *80%* ao amplificador, ela introduz uma distorção muito forte do sinal de saída. Portanto, os amplificadores de **classe-C** não são adequados para uso como amplificadores de áudio.



# Classes de Amplificadores

## Amplificadores Classe-C

Devido à sua forte distorção de áudio, os amplificadores **classe-C** são comumente usados em osciladores de onda senoidal de alta frequência e certos tipos de amplificadores de frequência de rádio, onde os pulsos de corrente produzidos na saída do amplificador podem ser convertidos em ondas senoidais completas de uma determinada frequência pelo uso de circuitos ressonantes **LC** em seu circuito coletor.



## Classes de Amplificadores

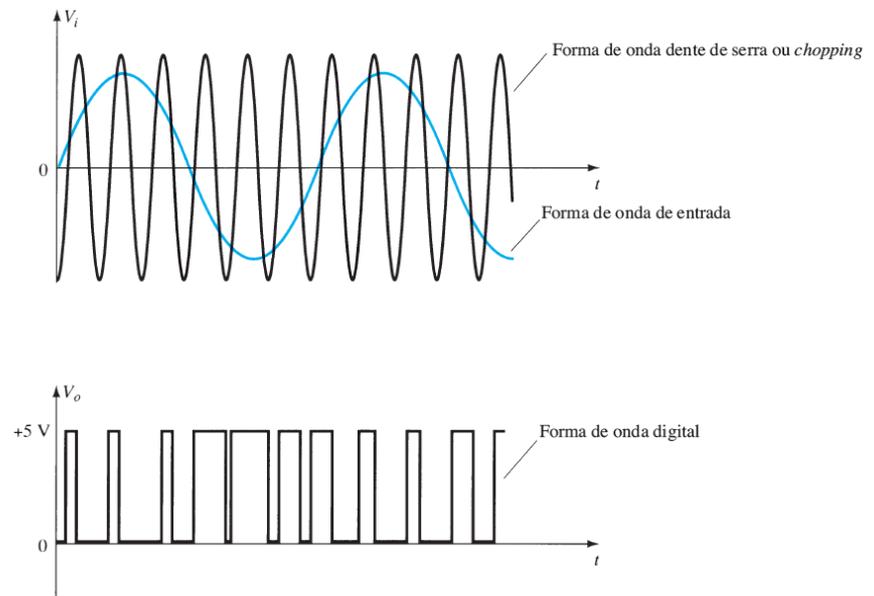
### Amplificadores Classe-D

Um amplificador classe D é projetado para operar com sinais digitais ou pulsados. Uma eficiência acima de 90% é obtida com esse tipo de circuito, o que o torna bastante interessante para a amplificação de potência. É necessário, entretanto, converter qualquer sinal de entrada em uma forma de onda pulsada antes de utilizá-lo para acionar uma carga de grande potência e converter o sinal novamente a um tipo senoidal para recuperar o sinal original.

# Classes de Amplificadores

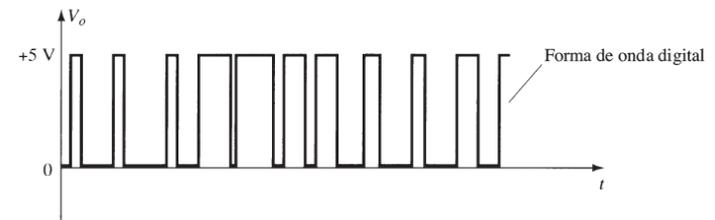
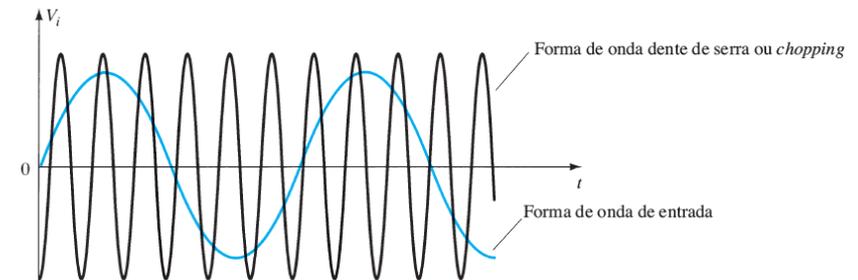
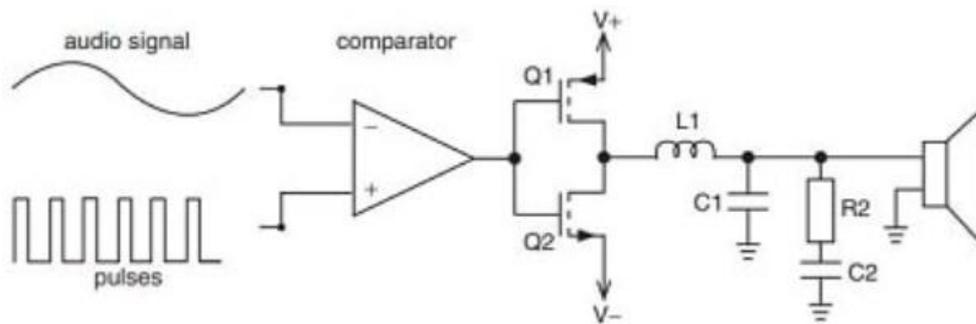
## Amplificadores Classe-D

A Figura ao lado mostra como um sinal senoidal pode ser convertido em um sinal pulsado por meio de uma forma de onda dente de serra ou recortada (*chopping*) para ser aplicada junto com a entrada a um circuito amp-op do tipo comparador, assim produzindo um sinal pulsado representativo.



# Classes de Amplificadores

## Amplificadores Classe-D



# Classes de Amplificadores

## Amplificadores Classe-D

Embora a letra D seja utilizada para descrever a operação seguinte à classe C, ela também poderia ser associada à palavra “digital”, pois é essa a natureza dos sinais envolvidos na operação desse tipo de amplificador.

A Figura a seguir mostra um diagrama em blocos da unidade necessária para amplificar o sinal classe D e então convertê-lo de volta a um sinal senoidal utilizando um filtro passa-baixas. Visto que os transistores do amplificador usados para gerar o sinal de saída estão basicamente ligados ou desligados, eles conduzem corrente apenas quando estão ligados, apresentando uma pequena perda de potência devido à baixa tensão no estado ligado.

# Classes de Amplificadores

## Amplificadores Classe-D

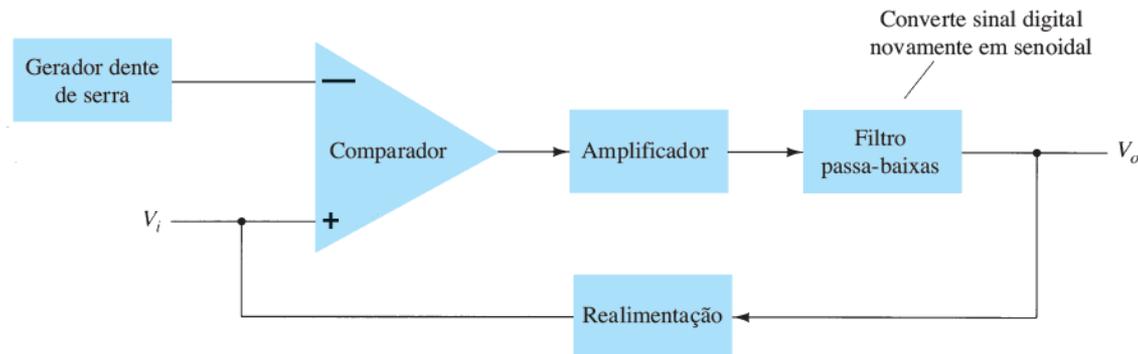


Diagrama em blocos do amplificador classe D.

Uma vez que a maior parte da potência aplicada ao amplificador é transferida para a carga, a eficiência do circuito é normalmente muito alta. Dispositivos de potência MOSFET se tornaram bastante populares como dispositivos acionadores para amplificadores classe D.



# Classes de Amplificadores

Resumo

Conclusões e conceitos importantes

## 1. Classes de amplificadores:

*Classe A* – o estágio de saída conduz por  $360^\circ$  completos (um ciclo completo de forma de onda).

*Classe B* – os estágios de saída conduzem por  $180^\circ$  cada (juntos, oferecem um ciclo completo).

# Classes de Amplificadores

## Resumo

### Conclusões e conceitos importantes

#### 1. Classes de amplificadores:

*Classe AB* – os estágios de saída conduzem entre  $180^\circ$  e  $360^\circ$  cada (oferecem um ciclo completo com menor eficiência).

*Classe C* – o estágio de saída conduz por menos que  $180^\circ$  (utilizado em circuitos sintonizados).

*Classe D* – opera utilizando sinais digitais ou pulsados.



# Classes de Amplificadores

Resumo

Conclusões e conceitos importantes

## 2. Eficiência do amplificador:

**Classe A** – eficiência máxima de 25% (sem transformador) e de 50% (com transformador).

**Classe B** – eficiência máxima de 78,5%.



# Classes de Amplificadores

Resumo

Conclusões e conceitos importantes

## 3. Considerações de potência:

- a) Potência de entrada é fornecida pela fonte de alimentação CC.
- b) Potência de saída é aquela entregue para a carga.
- c) Potência dissipada pelos dispositivos ativos é basicamente a diferença entre as potências de entrada e saída.



# Classes de Amplificadores

## Resumo

### Conclusões e conceitos importantes

4. A operação *push-pull* (ou complementar) é tipicamente

o funcionamento oposto de dois dispositivos, um de cada vez — um “empurra” metade do ciclo e o outro “puxa” metade do ciclo.

5. A *distorção harmônica* se refere à natureza não senoidal de uma forma de onda periódica, sendo a distorção definida como a relação entre as amplitudes das harmônicas e a da fundamental.



# Classes de Amplificadores

Resumo

Conclusões e conceitos importantes

6. O dissipador de calor se refere à utilização de encapsulamentos metálicos ou placas e ventiladores para a remoção do calor gerado em um elemento de circuito.



# Classes de Amplificadores

## Resumo

### Conclusões e conceitos importantes

Comparação entre classes de amplificadores.

	<b>Classe A</b>	<b>Classe AB</b>	<b>Classe B</b>	<b>Classe C<sup>a</sup></b>	<b>Classe D</b>
Ciclo de operação	360°	180° a 360°	180°	Menor do que 180°	Operação por pulsos
Eficiência em potência	25% a 50%	Entre 25% (50%) e 78,5%	78,5%		Normalmente acima de 90%

*<sup>a</sup>Geralmente, a classe C não é utilizada para transferir grandes quantidades de potência; portanto, a eficiência não é dada aqui.*



## Bibliografia Básica

- 1 - BOYLESTAD, R. L. Dispositivos eletrônicos e teoria de circuitos. 11.ed. São Paulo: Pearson, 2013.
- 2 - MALVINO, A. P. Eletrônica. 7.ed. Porto Alegre: AMGH, 2007. v.1.
- 3 - MENDONCA, A. *Eletrônica digital: curso prático e exercícios*. Rio de Janeiro: MZ, 2004. 569p



## Bibliografia Complementar

- 1 - MILLMAN, J. Eletrônica: dispositivos e circuitos. 2.ed. São Paulo: McGraw-Hill, 1981. v.2.
- 2 - MALVINO, A. P.; LEACH, D. P. Eletrônica digital – princípio e aplicações. McGraw Hill, 1 V, São Paulo, 1988.
- 3 - MILLMAN, J. Eletrônica: dispositivos e circuitos. 2.ed. São Paulo: McGraw-Hill, 1981. v.1.
- 4 - LEACH, D. Eletrônica digital no laboratório. São Paulo: Makron Books, 1993.
- 5 - MALVINO, A. P. Eletrônica. 7.ed. Porto Alegre: AMGH, 2007. v.2.