

## Amplificador a transistor

Amplificador significa ampliar um sinal ou um som através da amplitude.

Tipos de amplificadores

Os amplificadores podem ser divididos em várias categorias:

Quanto à **amplitude** dos sinais.

**Amplificador de Pequeno Sinal ou Baixa Potência** – são circuitos onde os sinais de entrada são da ordem de centenas de  $\mu V$  a algumas dezenas de mV ou com algumas centenas de mW de potência.

**Amplificador de Média Potência** – são circuitos onde os sinais de entrada são na ordem de centenas de mV ou algumas unidades de Watt de potência.

**Amplificador de Potência** – Cujo às tensões de entrada são ordem de centenas de mV ou com potências na ordem de centenas de Watts.

Quanto à **freqüência** temos:

**Amplificadores de baixa freqüência** – são os que operam com freqüências na faixa de 0,1Hz à 30KHz.

**Amplificadores de média freqüência** – Operam com freqüências na faixa de LF (Baixa Freqüência)

**Amplificadores de Alta Freqüência** – Operam com freqüências de VHF.

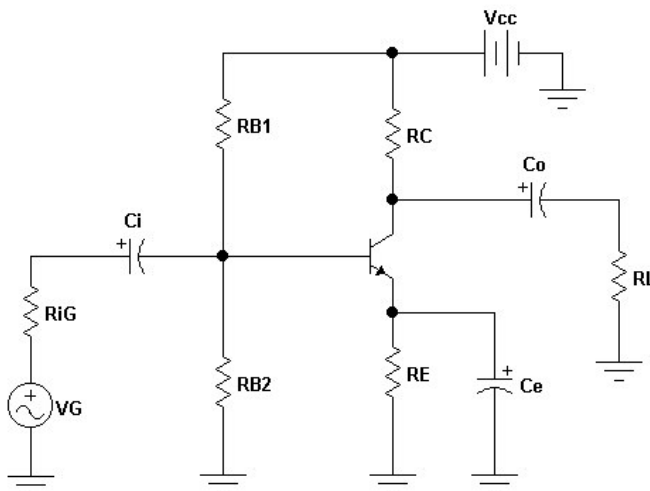
Porém para efeito de estudo os amplificadores, eles podem ser divididos apenas em três categorias que são:

- **Amplificadores de baixa potência e freqüência**
- **Amplificadores de Potência**
- **Amplificadores de alta freqüência**

Vamos a partir de agora focar mais os amplificadores de baixa potência e freqüência, pois é o mais utilizado.

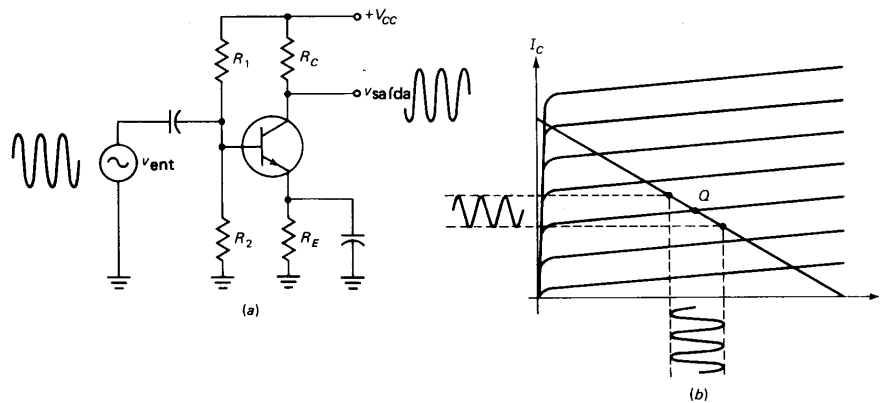
### AMPLIFICADOR EMISSOR COMUM

O amplificador emissor comum atua como amplificador de tensão em muitos sistemas de áudio e de controle. O objetivo é dar ganho inicial de tensão ao sinal CA proveniente de uma fonte de sinal qualquer.



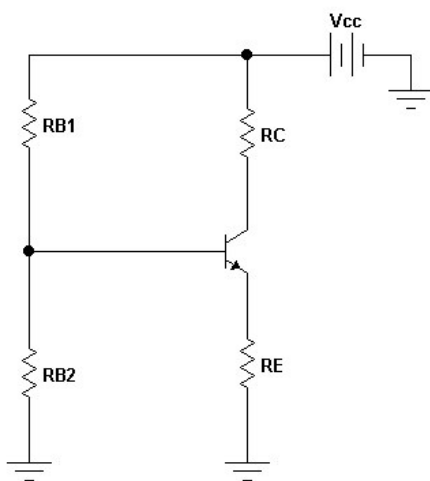
### Inversão de fase

Devido às variações CA na corrente do coletor, a tensão de saída da figura a seguir, oscila senoidalmente acima da tensão quiescente. Observe que a tensão de saída está invertida relativamente à tensão CA de entrada, significando que ela está defasada em  $180^\circ$  com a entrada. Durante o semiciclo positivo da tensão de entrada, a corrente de base aumenta, fazendo crescer a corrente de coletor. Isto produz uma queda de tensão maior através da resistência do coletor; portanto a tensão do coletor diminui, e obtemos o primeiro semiciclo negativo da tensão de saída. Reciprocamente, no semiciclo negativo da tensão de entrada, flui uma corrente menor do coletor, e a queda de tensão através do resistor do coletor diminui. Por esta razão, a tensão do coletor ao terra aumenta e obtemos o semiciclo positivo da tensão de saída.



Vamos agora projetar o amplificador emissor comum e todos seus componentes.

### 1ª Etapa – Polarizando o transistor



Para construir um amplificador emissor comum precisamos ter como base à polarização de transistor por divisor de base porque é com ela que podemos estabilizar o ponto quiescente do transistor na reta de carga.

Sabemos que numa polarização de transistor por divisor de base a tensão em coletor-emissor deve ser 50% do valor de  $V_{CC}$ , portanto:

$$V_{CE} = 50\% V_{CC} \text{ ou}$$

$$V_{CE} = 0,5 \times V_{CC}$$

Praticamente podemos também adotar para que a tensão no resistor de emissor seja 10% de tensão de alimentação, ou seja:

$$V_{RE} = 10\% V_{CC} \text{ ou}$$

$$V_{RE} = 0,1 \times V_{CC}$$

Para definir o resistor  $R_E$  basta usar a lei de ohm considerando que a corrente de coletor seja a mesma que a corrente de emissor para transistores onde o ganho do mesmo seja maior do que 100, ou seja:

$$\beta_{CC} > 100 \Rightarrow I_C = I_E$$

A influencia do ganho do transistor na polarização do divisor de base faz com que tenhamos o ponto quiescente estabilizado e para isso usa-se em projeto a seguinte regra:

$$R_{B2} < 0,1 \times \beta_{CC} \times R_E$$

Usando a 1ª lei de kirchhoff podemos determinar a tensão em  $R_{B2}$  que é:

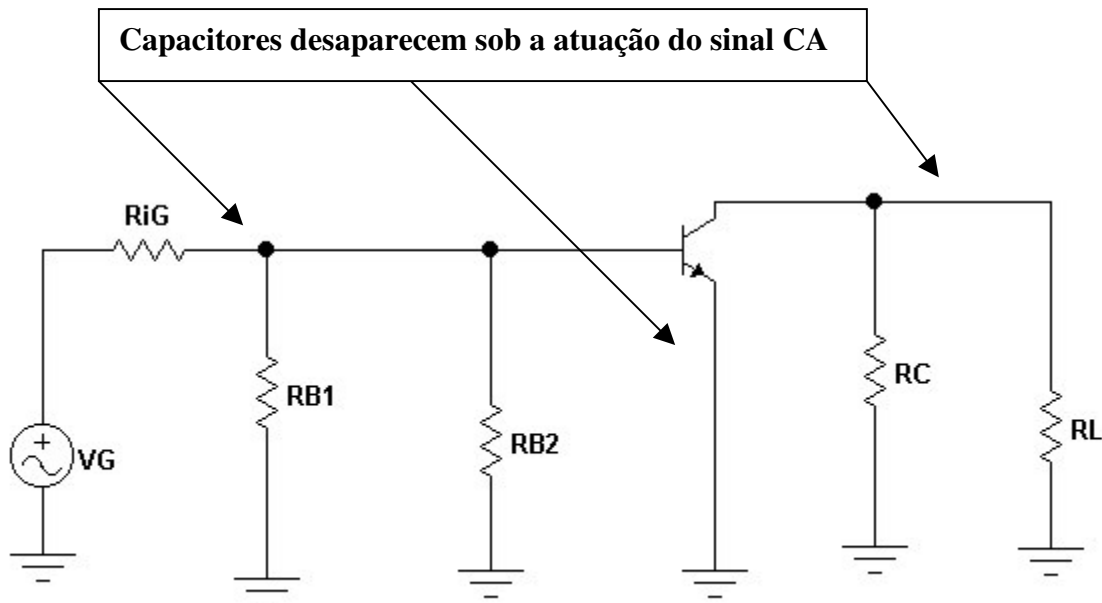
$$V_{RB2} = V_{RE} + V_{BE}$$

E usando as regra do divisor de tensão podemos definir o resistor  $R_{B1}$ , ou seja:

$$R_{B1} = \frac{V_{CC} - V_{RB2}}{V_{RB2}} \times R_{B2}$$

## 2ª Etapa – Analise CA

Quando é aplicado um sinal na entrada do circuito o sinal CA visualiza o circuito de outra forma onde os capacitores se tornam um curto para o sinal CA.



## Modelo CA para o amplificador emissor comum

### Funcionamento

Sabendo que o capacitor é um curto para o sinal CA podemos substituí-los por curtos foi o que aconteceu na entrada, no emissor e na saída do sinal.

Como no emissor o capacitor é um curto, e sabemos que o curto é o caminho mais curto e rápido para corrente, portanto o resistor de emissor fica inutilizado quando o circuito está sobre influência sobre o sinal CA.

### Resistência CA do emissor

É a resistência imposta pelo transistor quando influenciado pelo sinal CA e esta resistência é definida por uma equação onde a mesma é válida para uma temperatura de 25°C. A resistência  $r'_e$  aumenta 1% para cada aumento de 3°C. Além disso a equação admite uma junção PN retangular, pelo fato da forma da curva do diodo variar com uma junção não retangular ao valor de  $r'_e$ .

Podemos resumir que esta formula pode ser usada para amplificadores de pequenos sinais sendo que os dados mais precisos são os do parâmetro  $h$ .

$$r'_e = \frac{25\text{mV}}{I_E}$$

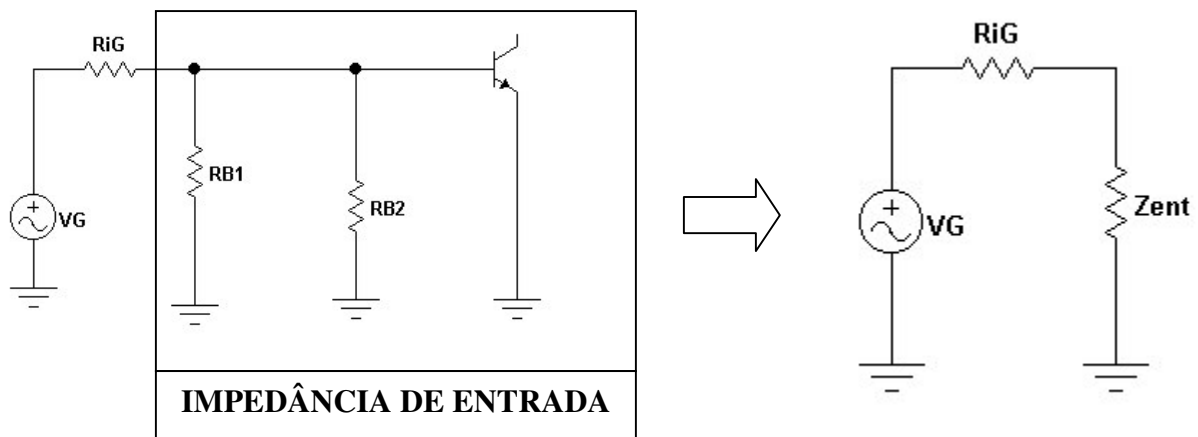
Sendo que os 25mV indica a condição para uma temperatura de 25°C

### Impedância de Entrada ( $Z_{ENT}$ )

A impedância de Entrada em um amplificador nada mais é que a resistência que o sinal CA encontrar na entrada do circuito. Como foi observado no modelo CA podemos definir a resistência, ou seja, a impedância de entrada da seguinte forma:

$$Z_{ENT} = R1 || R2 || \beta r'_e$$

Veja o resultado:



### Impedância de Saída ( $Z_S$ )

É a resistência encontrada pelo sinal CA na saída do circuito impedância esta que é o valor do resistor de coletor.

$$Z_{SAÍDA} = R_C$$

## 3ª Etapa – Capacitores

### Curva de Resposta em Freqüência

O comportamento de um amplificador de um amplificador em função da sua faixa de freqüência de operação está relacionado, nas freqüências mais baixas, com o valor dos **capacitores de acoplamento e desacoplamento** e, nas freqüências mais altas com as **capacitâncias parasitas** para junções coletor-base  $C_c$  e emissor-base  $C_o$ , fornecidas pelos manuais dos fabricantes.

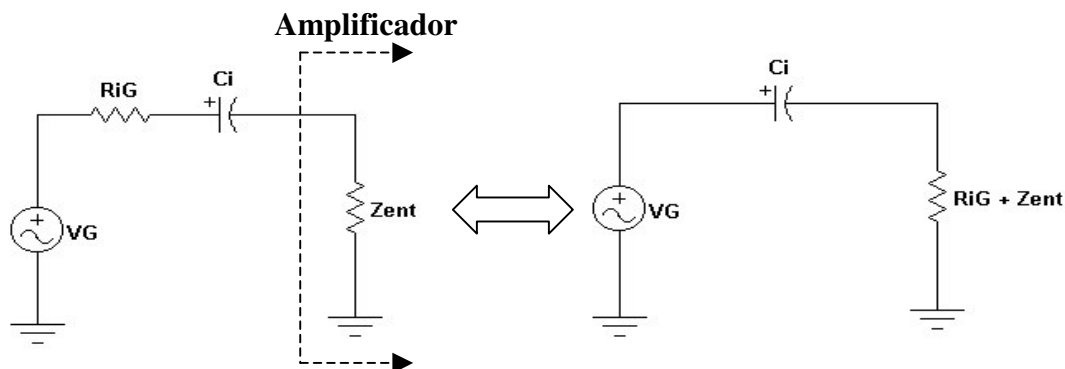
Assim a nossa maior preocupação recai sobre o valor dos capacitores de acoplamento e desacoplamento, e o efeito deles na freqüência de corte inferior do amplificador, desconsiderando a freqüência de corte superior natural ou **fixando-a** através de um outro **capacitor externo**, como será visto mais adiante.

### Freqüência de corte Inferior

Num amplificador emissor comum, existem dois capacitores de acoplamento,  $C_1$  (de entrada) e  $C_2$  (de saída), e um capacitor de deslocamento  $C_E$  (de emissor). Cada um deles impõe ao amplificador uma freqüência de corte inferior diferente, devendo ser considerada, portanto apenas a maior delas, denominada **freqüência de corte inferior dominante  $f_{CID}$** .

### Capacitor de Entrada

O circuito de entrada equivalente ao modelo AC do amplificador emissor comum, considerando a influencia do capacitor de entrada  $C_1$  na freqüência de corte inferior, é mostrado na figura abaixo:



Pelo circuito de entrada simplificado, vê-se que ele é um filtro passa-alta. O capacitor  $C_i$  deve ser considerado um curto-circuito para frequência acima da frequência mínima de operação  $f_m$ , desejada para o amplificador. Para isso a reatância capacitiva deve ser bem menor que  $(R_{iG} + Z_{ENT})$

$$XC_i > \frac{1}{2\pi \times F \times C} \quad XC_i > \frac{(R_{iG} + Z_{ENT})}{N}$$

Das expressões acima tiramos a fórmula abaixo:

$$C_i > \frac{N}{2\pi \times F_m \times (R_{iG} + Z_{ENT})}$$

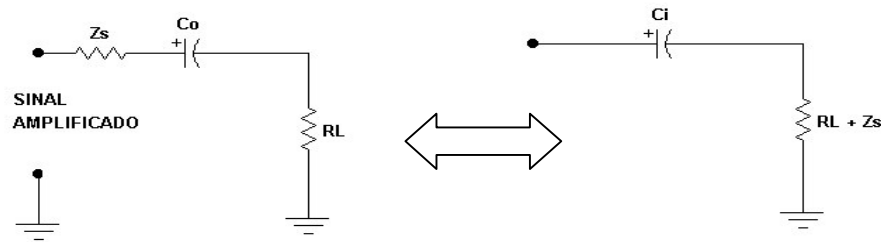
Onde N é o numero de vezes menor que a frequência mínima de operação desejada. Portanto, o valor de N deve ser escolhido conforme a frequência de corte a resposta em frequência desejada.

Então podemos definir a frequência de corte inferior da seguinte forma:

$$F_{Ci} > \frac{1}{2\pi \times (R_{iG} + Z_{ENT}) \times C_1}$$

### Capacitor de Saída

O capacitor  $C_o$  pode representar o circuito de saída do modelo híbrido do amplificador emissor comum para a frequência de corte inferior da seguinte forma:



Analogicamente a análise feita no circuito de entrada, tem-se:

$$XC_o > \frac{1}{2\pi \times F \times C} \quad XC_o > \frac{(R_L + Z_S)}{N}$$

Portanto o valor de  $C_o$  e da frequência de corte inferior que ele impõe (em valor comercial) podem ser determinados por:

$$C_o > \frac{N}{2\pi \times F_m \times (R_L + Z_S)} \quad F_{Co} > \frac{1}{2\pi \times (R_L + Z_S) \times C_2}$$

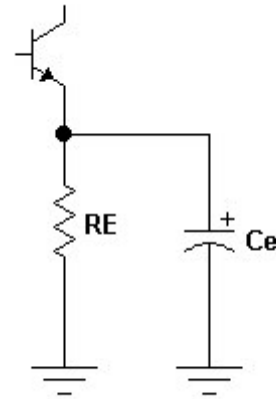
### Capacitor de Desacoplamento de Emissor

Para determinar o capacitor de desacoplamento de emissor, um cuidado importante deve ser tomado em relação à frequência de corte inferior.

Como o capacitor  $C_E$  serve para manter a tensão de  $R_E$  constante durante toda a banda de frequência, se a frequência de corte inferior imposta por ele for dominante, no intervalo correspondente a queda de 3dB, o capacitor  $C_E$  pode provocar a realimentação negativa do sinal AC através de  $R_E$  reduzindo ainda mais o ganho do amplificador.

Isto pode ser evitado impondo-se para  $C_E$  uma frequência de corte inferior pelo menos **quatro vezes menor** que a frequência de corte inferior dominante  $f_{CID}$  (imposta por  $C_I$  ou  $C_O$ ), ou seja,  $f_{CI}(C_E) < f_{CID} / 4$ , determinado-se o valor de  $C_E$  a partir da expressão:

$$C_E > \frac{4}{2\pi \times f_{CID} \times R_E}$$



### Frequência de Corte Superior

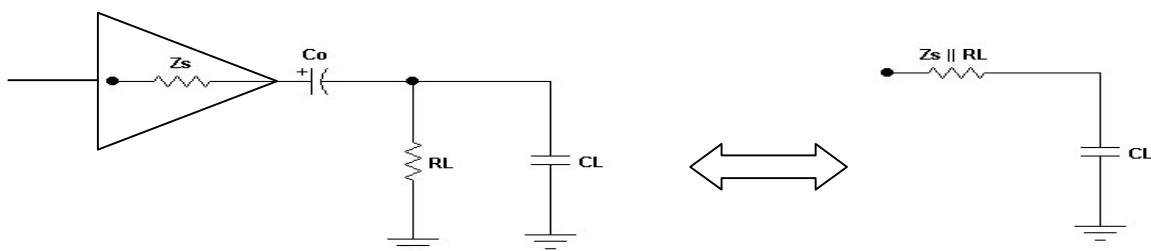
Como já mostrado anteriormente, a frequência de corte superior é imposta pelas capacitâncias parasitas das junções do transistor, tendo uma ordem de grandeza muito maior que 30KHz, que é a frequência máxima considerada para amplificadores de baixa frequência.

Portanto, em princípio, seu calculo pode ser desconsiderado, já que os transistores garantem uma resposta de frequência plana até 30KHz.

Por outro lado, muitas vezes é necessário fixar a frequência de corte superior de um amplificador, para que ele tenha uma banda de frequência bem determinada.

Isso é comum, por exemplo, quando se deseja restringir a faixa de frequência de áudio à faixa correspondente aos alto-falantes para sons graves (woofer – 20 a 100Hz), médios (mid range – 100Hz a 10KHz) ou agudos (tweeter – 10KHz a 200KHz).

Para isso, pode-se acrescentar um capacitor  $C_L$  em paralelo com a carga  $R_L$ , ficando o circuito equivalente na saída do amplificador na figura abaixo:



Porém como  $C_O$  pode se considerado um curto para as freqüências acima da freqüência de corte inferior, o capacitor  $C_L$  enxerga somente uma resistência de Thévenin, dada por  $Z_S \parallel R_L$ . Como mostra o seu circuito simplificado que nada mais é que um filtro passa-baixa.

Assim, adotando uma freqüência máxima de operação desejada ( $f_M$ ) como freqüência de corte superior ( $f_M = f_{CS}$ ), chega-se ao valor de  $C_L$  e da freqüência de corte superior resultante (usando  $C_L$  comercial) pelas expressões:

$$C_L > \frac{1}{2\pi \times F_M \times (R_L \parallel Z_S)} \quad F_{CS} > \frac{1}{2\pi \times (R_L \parallel Z_S) \times C_L}$$

#### 4ª Etapa – Calculo e analise do ganho de tensão

O ganho de tensão de um amplificador é a razão da tensão CA de saída pela tensão CA de entrada.

Em símbolos,

$$A = \frac{V_{Saída}}{V_{Entrada}}$$

Se medirmos uma tensão CA de saída de 250mV e uma tensão de entrada de 2,5mV, então o ganho de tensão será

$$\frac{250mV}{2,5mV} \quad A = 100$$

Podemos determinar o ganho através do circuito modelo CA onde sabemos que  $r'e$  é igual a tensão de entrada do circuito portanto devemos calcular da seguinte forma:

$$A = \frac{-R_C}{r'e}$$

O sinal negativo na formula indica a inversão de fase

Com a mesma corrente (aproximadamente) passando por  $R_C$  e  $r'e$ , a razão de tensões tem que ser igual à razão das resistências. Em outras palavras, como  $i_C \sim i_E$  flui praticamente a mesma corrente através de  $R_C$  e de  $r'e$ . A tensão de saída  $V_{SAÍDA}$  aparece através de  $R_C$ , e a tensão de entrada  $V_{ENTRADA}$  aparece através de  $r'e$ . Por isso, a razão de tensão de  $V_{SAÍDA}/V_{ENTRADA}$  deve ser igual à razão de resistências  $R_C / r'e$ .

#### 5ª ETAPA – Analise dos valores de tensão de entrada e saída.

Devido ao gerador de áudio possui uma resistência interna isso provoca no mesmo uma perda de tensão isto por ao estabilizarmos uma tensão de 1Vpp no gerador o valor que o equipamento está mandando ao circuito não é mais do valor ajustado, deve se considerar a impedância do gerador.

É o que vamos analisar a partir de agora.



### Análise da entrada

Vamos usar o exemplo um gerador de sinais que possui uma resistência interna de  $50\Omega$  e vamos ajustar a tensão de  $1V_{pp}$

Vamos estimar que a impedância de entrada do amplificador é de  $50\Omega$

A tensão que o circuito realmente terá na entrada será de:

$$V_{ENT} = \frac{Z_{ENT}}{R_{IG} + Z_{ENT}} \times V_G$$

Substituindo na formula:

$$\frac{Z_{ENT}}{R_{IG} + Z_{ENT}} \quad V_{ENT} = \frac{50}{50 + 50} \times 1V_{pp}$$

$$V_{ENT} = 0,5V$$

Isto significa que quando estou ajustando  $1V_{pp}$  no gerador, na realidade o sinal de entrada possui apenas  $0,5V$ .

### Análise da Saída

Da mesma forma que na entrada, quando usamos alguma carga na saída do amplificador esta mesma vai fazer com que a tensão de saída diminua, mas podemos também saber o quanto isso diminui, basta usar a formula abaixo:

Vamos imaginar o seguinte problema, determinar a tensão de saída para um amplificador que usa uma carga de  $16\Omega$  cujo a tensão de saída do amplificador é de  $10V_{pp}$  e a impedância de saída seja de  $32\Omega$

$$V_{SRL} = \frac{R_L}{R_L + Z_S} \times V_S$$

Substituindo na formula

$$\frac{R_L}{R_L + Z_S} \quad V_{SRL} = \frac{16}{16 + 32} \times 10V_{pp}$$

$$V_{SRL} = 3,334V$$

Isto significa que quando eu coloco uma carga de  $16\Omega$  na saída do amplificador e terei na saída uma tensão de  $3,334V$

