

EE 530 Eletrônica Básica I

Amplificadores de Potência

Amplificadores de Potência

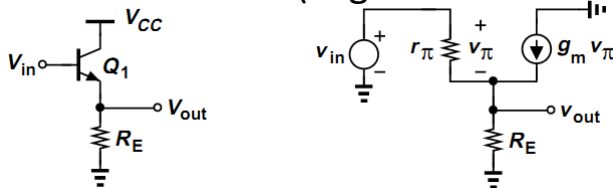
- Motivação:
 - Até o momento nos preocupamos com o ganho de tensão e as impedâncias de entrada e saída;
 - Porém, muitas aplicações necessitam de circuitos que entreguem alta potência à carga:
 - Telefone celular (1W)
 - Amplificadores de áudio (1000W)

Amplificadores de Potência

- Requisitos:
 - Distorção baixa para operação em grandes sinais;
 - Eficiência (η) alta: $\eta = P_{\text{Load}}/P_{\text{source}}$;
 - Níveis elevados de tensão \Rightarrow Tensão de ruptura maior;
 - Dissipação de grande quantidade de energia \Rightarrow aquecimento

Amplificadores com o TBJ

- Coletor comum (Seguidor de Emissor)



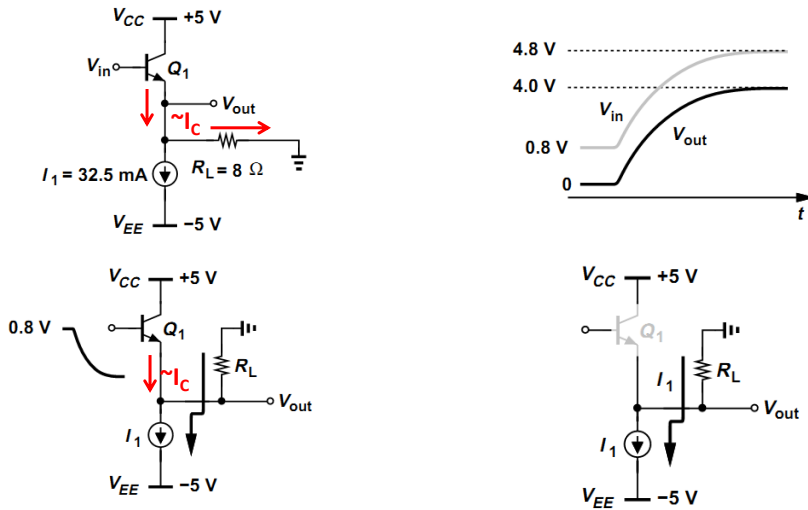
$$v_{out} = R_E \left(\frac{v_{\pi}}{r_{\pi}} + g_m v_{\pi} \right) = R_E v_{\pi} \left(\frac{1}{r_{\pi}} + g_m \right) = R_E v_{\pi} \left(\frac{1}{r_{\pi}} + \frac{\beta}{r_{\pi}} \right) \Rightarrow v_{\pi} = \frac{v_{out}}{R_E \left(\frac{1}{r_{\pi}} + \frac{\beta}{r_{\pi}} \right)}$$

$$v_{in} = v_{out} + v_{\pi} = v_{out} + \frac{v_{out}}{R_E \left(\frac{1}{r_{\pi}} + \frac{\beta}{r_{\pi}} \right)} = v_{out} \left(1 + \frac{1}{\frac{R_E}{r_{\pi}} (1 + \beta)} \right) = v_{out} \left(1 + \frac{r_{\pi}}{R_E (1 + \beta)} \right)$$

$$\frac{v_{out}}{v_{in}} = \frac{1}{1 + \frac{r_{\pi}}{\beta + 1} \cdot \frac{1}{R_E}} = \frac{1}{\frac{(\beta + 1)R_E + r_{\pi}}{(\beta + 1)R_E}} = \frac{(\beta + 1)R_E}{(\beta + 1)R_E + \frac{\beta}{g_m}} \Rightarrow \frac{v_{out}}{v_{in}} \approx \frac{R_E}{R_E + \frac{1}{g_m}}$$

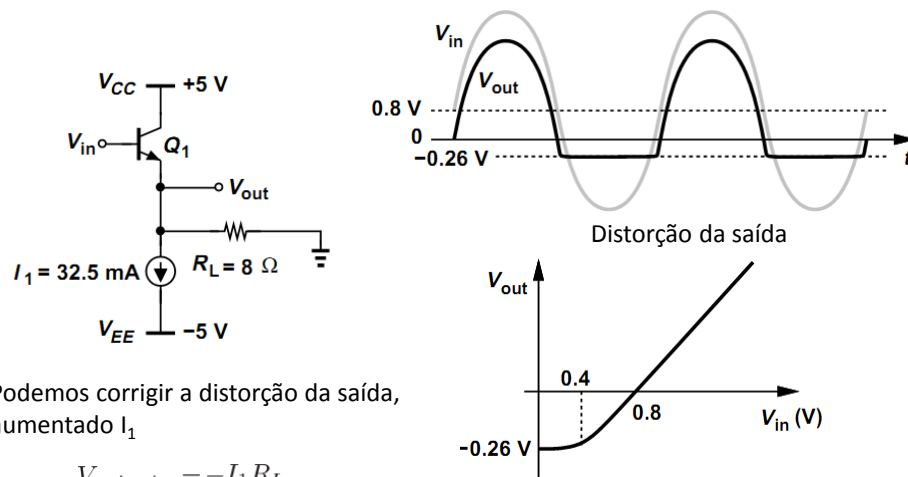
Amplificadores de Potência

- Seguidor de emissor (Z_{out} baixo)



Amplificadores de Potência

- Seguidor de emissor (Z_{out} baixo)



Podemos corrigir a distorção da saída, aumentando I_1

$$V_{out,min} = -I_1 R_L$$

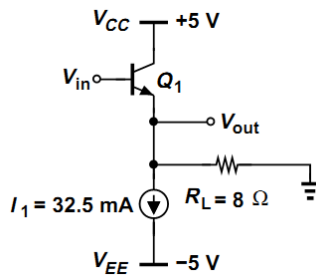
No entanto a eficiência cai.

Amplificadores de Potência

- Exemplo 13.1 – Razavi

- V_{out} ? $I_S = 5 \times 10^{-15} \text{ A}$; $V_{in} = 0,5 \text{ V}$;

- V_{in} ? $I_{C1} = 1\% I_1$



$$V_{in} - V_T \ln \left[\left(\frac{V_{out}}{R_L} + I_1 \right) \frac{1}{I_S} \right] = V_{out}$$

$$V_{in} = 0.5 \text{ V} \Rightarrow V_{out} \approx -211 \text{ mV}$$

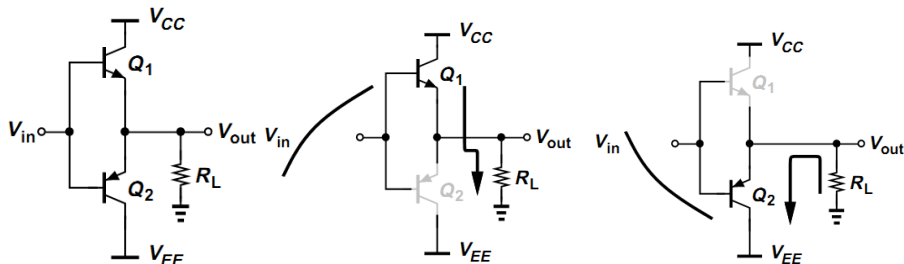
$$V_{in} = V_T \ln \frac{I_{C1}}{I_S} + (I_{C1} - I_1) R_L$$

$$I_{C1} \approx 0.01 I_1 \Rightarrow V_{in} \approx 390 \text{ mV}$$

Amplificadores de Potência

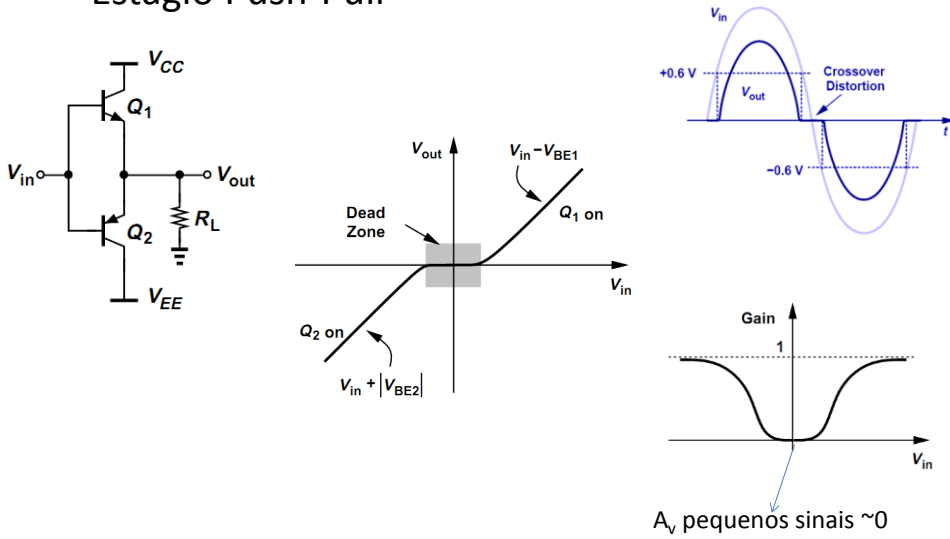
- Estágio Push-Pull

- Um modo de aumentar I_1 somente quando necessário e melhorar o desempenho é utilizar o push-pull



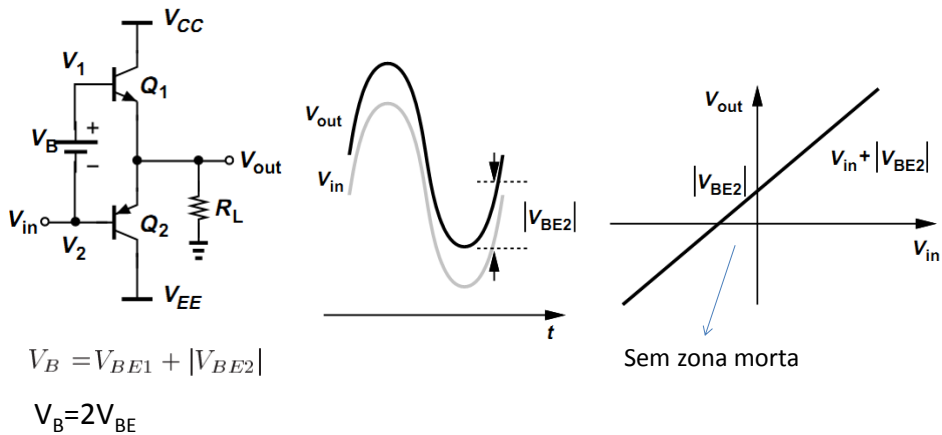
Amplificadores de Potência

- Estágio Push-Pull



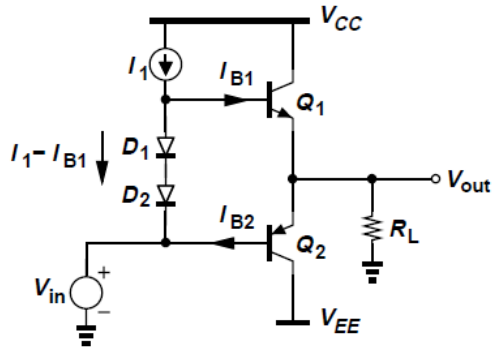
Amplificadores de Potência

- Estágio Push-Pull Aprimorado



Amplificadores de Potência

- Estágio Push-Pull Aprimorado



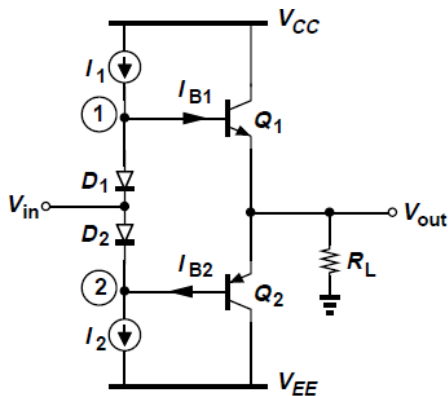
$$I_{in} = I_1 - I_{B1} + |I_{B2}|$$

$$\begin{aligned} \text{Se } V_{out}=0 \text{ \& } \beta_1=\beta_2 \gg 1 \\ \Rightarrow I_{B1}=I_{B2} \end{aligned}$$

A fonte V_{in} tem que absorver as correntes

Amplificadores de Potência

- Estágio Push-Pull Aprimorado



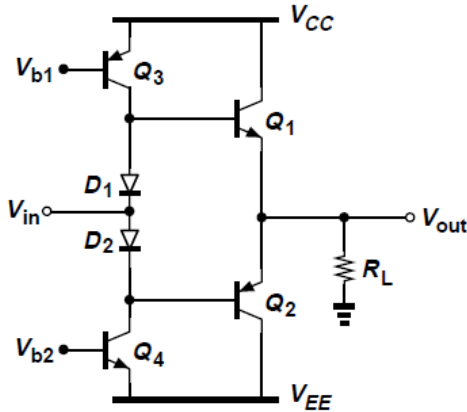
$$V_{D1} \approx V_{BE} \rightarrow V_{out} \approx V_{in}$$

$$\begin{aligned} \text{Se } I_1=I_2 \text{ \& } I_{B1} \approx I_{B2} \\ \rightarrow I_{in}=0 \text{ quando } V_{out}=0 \end{aligned}$$

A fonte V_{in} não absorve corrente

Amplificadores de Potência

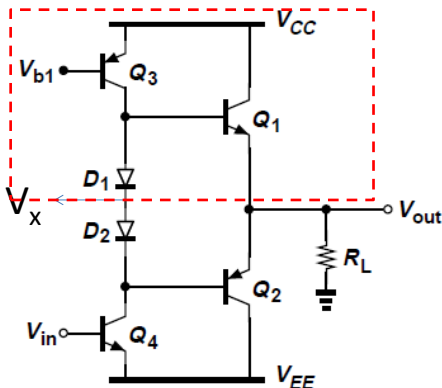
- Estágio Push-Pull Aprimorado



Implementação da fonte de corrente

Amplificadores de Potência

- Adição do estágio emissor comum \Rightarrow maior ganho.

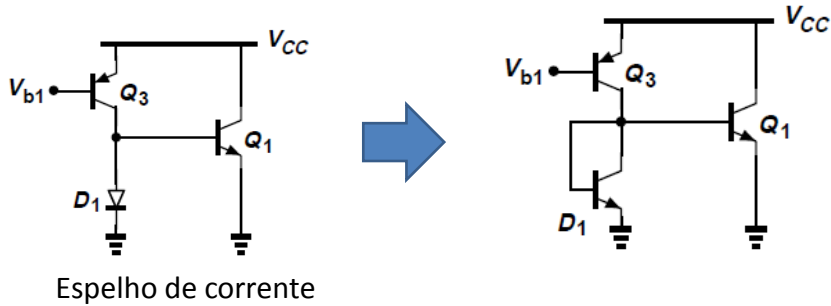


Corrente em Q_1 :

Para $V_{out}=0$, $I_{C3}=I_{C4}$,
 $|V_{BE}|=V_D$, temos que
 $V_x=0$

Amplificadores de Potência

- Corrente em Q1



Espelho de corrente

$$V_{D1} = V_T \ln \frac{|I_{C3}|}{I_{S,D1}}$$

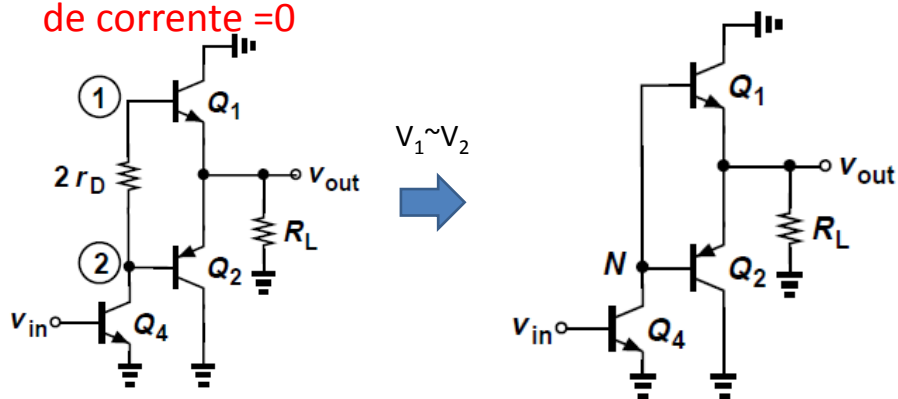
$$V_{BE1} = V_T \ln(I_{C1}/I_{S,Q1})$$

$$I_{C1} = \frac{I_{S,Q1}}{I_{S,D1}} |I_{C3}|$$

Amplificadores de Potência

- Adição do estágio emissor comum \Rightarrow maior ganho.

GANHO: Modelo de pequenos sinais, fonte de corrente = 0

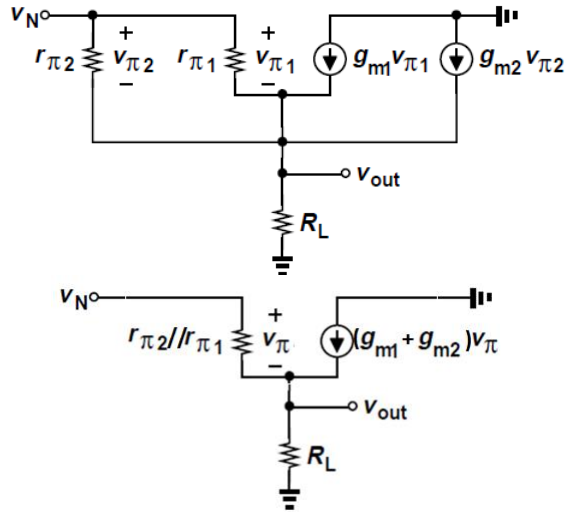
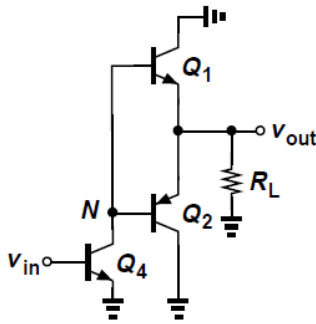


$V_1 \sim V_2$

Amplificadores de Potência

- Adição do estágio emissor comum \Rightarrow maior ganho.

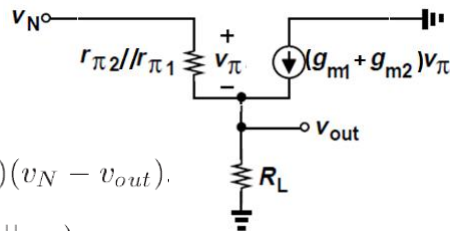
GANHO ($V_{A1} = \infty$)



Amplificadores de Potência

- Adição do estágio emissor comum \Rightarrow maior ganho.

GANHO ($V_{A1} = \infty$)



$$\frac{v_{out}}{R_L} = \frac{v_N - v_{out}}{r_{\pi 1} || r_{\pi 2}} + (g_{m1} + g_{m2})(v_N - v_{out}).$$

$$\frac{v_{out}}{v_N} = \frac{1 + (g_{m1} + g_{m2})(r_{\pi 1} || r_{\pi 2})}{\frac{r_{\pi 1} || r_{\pi 2}}{R_L} + 1 + (g_{m1} + g_{m2})(r_{\pi 1} || r_{\pi 2})}$$

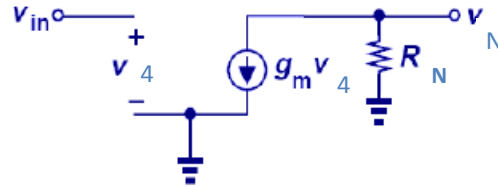
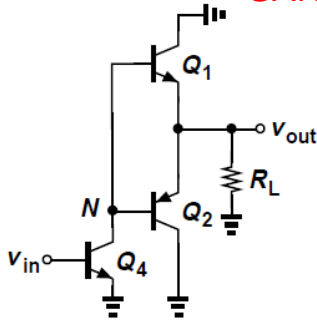
$$\frac{v_{out}}{v_N} = \frac{R_L}{R_L + \frac{1}{g_{m1} + g_{m2}}}$$

$$R_N = (g_{m1} + g_{m2})(r_{\pi 1} || r_{\pi 2})R_L + r_{\pi 1} || r_{\pi 2}$$

Amplificadores de Potência

- Adição do estágio emissor comum \Rightarrow maior ganho.

GANHO ($V_{A1} = \infty$)



$$\frac{v_{out}}{v_{in}} = \frac{v_N}{v_{in}} \cdot \frac{v_{out}}{v_N}$$

$$\frac{v_N}{v_{in}} = -g_{m4} R_N$$

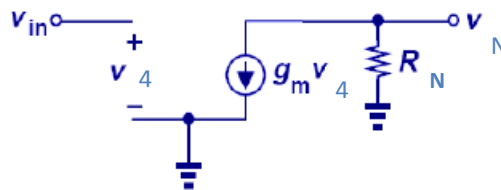
$$\frac{v_{out}}{v_N} = \frac{R_L}{R_L + \frac{1}{g_{m1} + g_{m2}}}$$

$$R_N = (g_{m1} + g_{m2})(r_{\pi 1} || r_{\pi 2}) R_L + r_{\pi 1} || r_{\pi 2}$$

Amplificadores de Potência

- Adição do estágio emissor comum \Rightarrow maior ganho.

GANHO ($V_{A1} = \infty$)



$$\frac{v_{out}}{v_{in}} = \frac{v_N}{v_{in}} \cdot \frac{v_{out}}{v_N}$$

$$\frac{v_N}{v_{in}} = -g_{m4} R_N$$

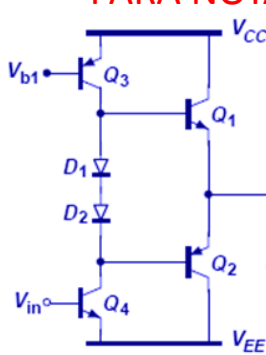
$$\frac{v_{out}}{v_{in}} = -g_{m4} \left[(g_{m1} + g_{m2})(r_{\pi 1} || r_{\pi 2}) R_L + r_{\pi 1} || r_{\pi 2} \right] \frac{\frac{v_{out}}{v_N}}{R_L + \frac{1}{g_{m1} + g_{m2}}}$$

$$\frac{v_{out}}{v_{in}} = -g_{m4} (r_{\pi 1} || r_{\pi 2}) (g_{m1} + g_{m2}) R_L$$

Amplificadores de Potência

- Exemplo 13.10- Encontrar as correntes I_C

PARA NOTA



CE $A_V=5$

Output Stage $A_{V2}=0.8$

$R_L=8\Omega$

$\beta_{npn} = 2\beta_{pnp} = 100$

$I_{C1} \approx I_{C2}$

$A_{V1} = A_V = -4/A_{V2}$

$$g_{m1} + g_{m2} = \frac{1}{2\Omega}$$

$$g_{m1} \approx g_{m2} \approx (4\Omega)^{-1}$$

$$I_{C1} \approx I_{C2} \approx 6.5\text{mA}$$

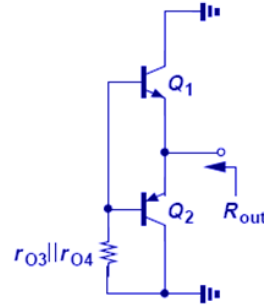
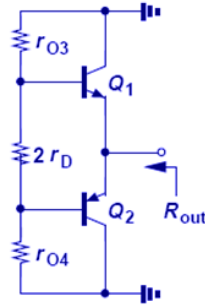
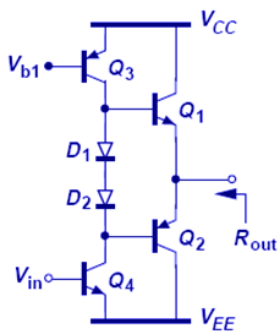
$$r_{\pi1} \parallel r_{\pi2} = 133\Omega$$

$$I_{C3} \approx I_{C4} \approx 195\mu\text{A}$$

CH 13 Output Stages and Power Amplifiers

Amplificadores de Potência

- Impedância de saída (Exemplo 13.9) **Para casa**



$$R_{out} \approx \frac{1}{g_{m1} + g_{m2}} + \frac{r_{O3} \parallel r_{O4}}{(g_{m1} + g_{m2})(r_{\pi1} \parallel r_{\pi2})}$$

$\beta_1 = \beta_2$

$$R_{out} = \frac{1}{g_{m1} + g_{m2}} + \frac{r_{O3} \parallel r_{O4}}{\beta_1}$$

O β é pequeno em transistores de potência, aumentando R_{out}
 Problema para R_L baixo