



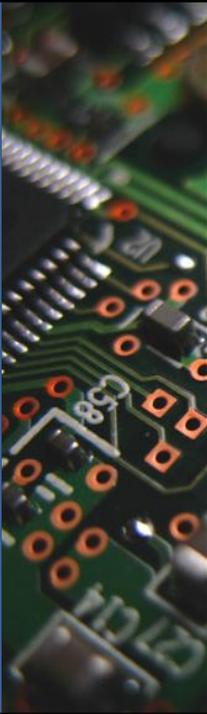
UFMG

ELT085 - Circuitos Eletrônicos Analógicos

Prof. Dr. Thiago de Oliveira
Departamento de Eng. Eletrônica



GRUPO DE ELETRÔNICA DE POTÊNCIA DA UFMG

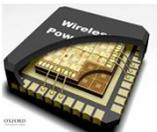



GRUPO DE ELETRÔNICA DE POTÊNCIA DA UFMG



Apresentação

- **Prof. Thiago de Oliveira**
 - Sala 2620
 - E-mail: troliveira@cpdee.ufmg.br
 - www.troliveira.com
- **Bibliografia**
 - Sedra, A.S.; Smith, K.C. *Microelectronic Circuits*. 7ª Edição, volume único, Oxford press; (edições anteriores também servem)



2



Apresentação

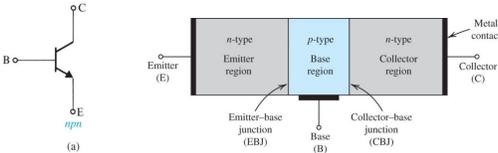
- **Distribuição de Pontos e Dados Importantes**
 - Prova I – 20 pts (20/09);
 - Prova II – 20 pts (25/10);
 - Prova III – 20 pts (20/11);
 - Projeto – 10 pts.
 - Exercícios em Sala – 30pts
- **Feriados**
 - 15/11.

3



Revisão – Amplificadores Transistorizados

- **TBJ – Dispositivo e regiões de operação**



(a)

Table 6.1 BJT Modes of Operation

Mode	EBJ	CBJ
Cutoff	Reverse	Reverse
Active	Forward	Reverse
Saturation	Forward	Forward

- **Região Ativa**

$$V_{BE} \geq 0,7V \quad V_{BC} \leq 0,5V$$

$$V_{CE} \geq 0,2V$$

$$I_C = I_S e^{\left(\frac{V_{BE}}{V_T}\right)} \quad I_E = \frac{I_C}{\alpha}$$

$$I_B = \frac{I_C}{\beta} \quad \alpha = \frac{\beta}{\beta + 1}$$
- **Região Saturação**

$$V_{BE} \geq 0,7V \quad V_{BC} \geq 0,5V$$

$$V_{CE} \approx 0,2V$$

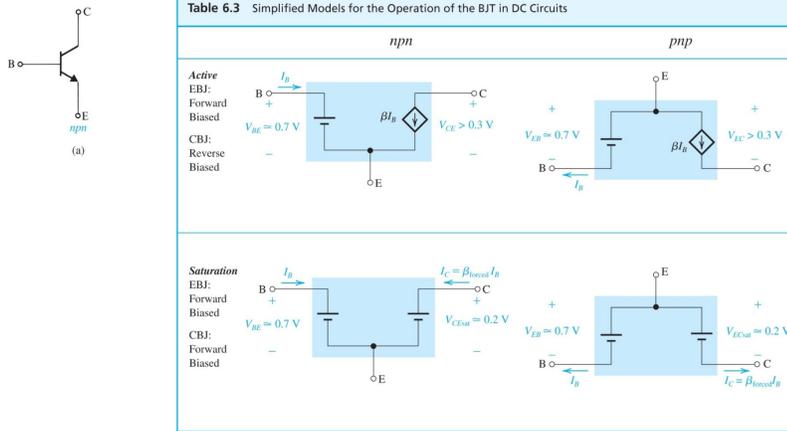
$$I_C = I_{Csat}$$

4



Revisão – Amplificadores Transistorizados

• TBJ – Dispositivo e regiões de operação

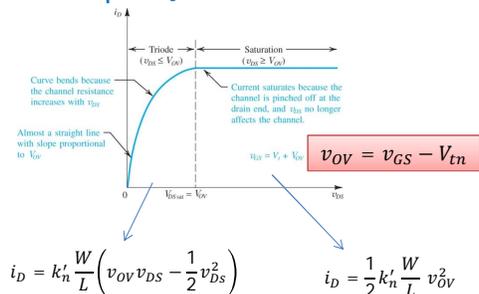
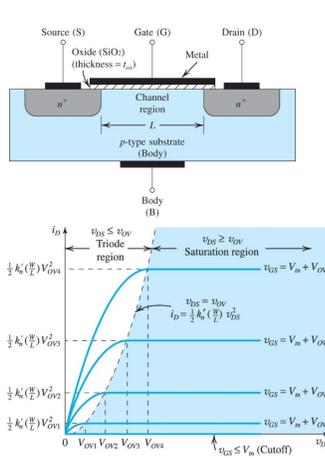


5



Revisão – Amplificadores Transistorizados

• MOS – Dispositivo e Regiões de Operação



$$i_D = k'_n \frac{W}{L} \left(v_{OV} v_{DS} - \frac{1}{2} v_{DS}^2 \right)$$

$$i_D = \frac{1}{2} k'_n \frac{W}{L} v_{OV}^2$$

- Se $v_{DS} \ll v_{OV}$:
 - $i_D \approx k'_n \frac{W}{L} v_{OV} v_{DS}$;
 - $k'_n \frac{W}{L} v_{OV} = \frac{1}{r_{DS}}$;
 - MOS opera como uma resistência.
- Se $v_{DS} \geq v_{OV}$:
 - MOS opera como uma fonte de corrente.

6

gpe
GRUPO DE ELETRÔNICA DE POTÊNCIA DA UFMG

Revisão – Amplificadores Transistorizados

- MOS – Dispositivo e Regiões de Operação

(c)

$i_G = 0$
 v_{GS}
 v_{DS}
 i_D
 $\frac{1}{2} k_n' \frac{W}{L} (v_{GS} - V_m)^2$
 $v_{GS} \geq V_m$
 $v_{DS} \geq v_{GS} - V_m$

7

gpe
GRUPO DE ELETRÔNICA DE POTÊNCIA DA UFMG

Revisão – Amplificadores Transistorizados

- TBJ e MOS – Efeito Early na região linear

(a)

(b)

i_C
 v_{CE}
 v_{BE}
 i_B
 i_E
 $D_B (I_S / \beta)$
 βi_B
 r_o

i_D
 v_{DS}
 v_{GS}
 $i_G = 0$
 $\frac{1}{2} k_n' \frac{W}{L} (v_{GS} - V_m)^2$
 r_o

8

gpe
GRUPO DE ELETRÔNICA
DE POTÊNCIA DA UFMG

Revisão – Amplificadores Transistorizados

- Operação de Amplificadores
 - Modelos de pequenos sinais:

(a) (b) (a) (a)

$g_m = I_C/V_T$
 $r_e = V_T/I_E = \alpha/g_m$

11

gpe
GRUPO DE ELETRÔNICA
DE POTÊNCIA DA UFMG

Revisão – Amplificadores Transistorizados

- Operação de Amplificadores
 - Tipos básicos de polarização de transistores:

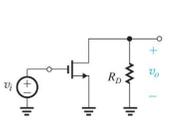
(c) (a)

12

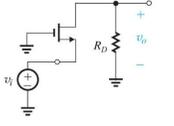


Revisão – Amplificadores Transistorizados

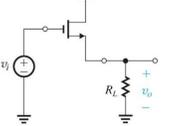
- Operação de Amplificadores
 - Tipos básicos de amplificadores



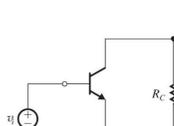
(a) Common Source (CS)



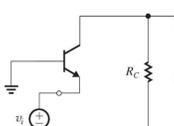
(b) Common Gate (CG)



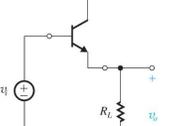
(c) Common Drain (CD)
or Source Follower



(d) Common-Emitter (CE)



(e) Common-Base (CB)



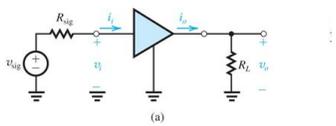
(f) Common-Collector (CC)
or Emitter Follower

13



Revisão – Amplificadores Transistorizados

- Operação de Amplificadores
 - Características de amplificadores básicos



(a)

Modelo	R _{in}	R _o	A _{vo}
CE/CS	Alto	Alto	Alto Inv.
CC/CD	Alto	Baixo	Unitário
CB/CG	Baixo	Alto	Alto N. Inv

- CE/CS – Amplificador de tensão;
- CC/CD – Buffer de tensão;
- CB/CG – Buffer de corrente;

14

gpe
GRUPO DE ELETRÔNICA
DE POTÊNCIA DA UFMG

Revisão – Amplificadores Transistorizados

- Exemplo de análise
 - Definir Polarização, características do amplificador e limites de operação:

- VDD = 15V;
- kn = 4mA/V²;
- Vtn = 1V;
- VA = 100V;
- ID = 0.5mA;
- VD = 6V;
- VS = 3.5V;
- IRG = 2uA;
- Rsig = 100k;
- RL = 10k;

15

gpe
GRUPO DE ELETRÔNICA
DE POTÊNCIA DA UFMG

Revisão – Amplificadores Transistorizados

- Exemplo de análise
 - Polarização

$$R_D = \frac{15V - 6V}{0.5mA} = 18k$$

$$R_S = \frac{3.5V}{0.5mA} = 7k$$

- VDD = 15V;
- kn = 4mA/V²;
- Vtn = 1V;
- VA = 100V;
- ID = 0.5mA;
- VD = 6V;
- VS = 3.5V;
- IRG = 2uA;
- Rsig = 100k;
- RL = 10k;

$$V_{GS} = \sqrt{\frac{2I_D}{k_n}} + V_{tn} = 1.5V \quad V_G = 1.5V + 3.5V = 5V$$

$$R_{G1} + R_{G2} = \frac{15}{2\mu A} = 7.5M\Omega$$

$$V_G = \frac{V_{DD}R_{G2}}{R_{G1} + R_{G2}} \rightarrow R_{G1} = R_{G2} \left(\frac{V_{DD}}{V_G} - 1 \right) = 2R_{G2}$$

$$R_{G1} = 5M\Omega$$

$$R_{G2} = 2.5M\Omega$$

16

gcp
GRUPO DE ELETRÔNICA
DE POTÊNCIA DA UFMG

Revisão – Amplificadores Transistorizados

- Exemplo de análise
 - Análise c.a.

$g_m = k_n(V_{GS} - V_{tn}) = 2\text{mA/V}$
 $r_o = \frac{V_A}{I_D} = 200\text{k}$

$R_{in} = R_{G1} \parallel R_{G2} = 1.67\text{M}$
 $R_o = R_D \parallel r_o = 16.5\text{k}$
 $A_{vo} = -\frac{g_m v_i R_o}{v_i} = -33\text{ v/v}$

$G = \frac{v_o}{v_{sig}} = \frac{R_{in}}{R_{sig} + R_{in}} \times (-g_m R_o \parallel R_L) = -11.75\text{ v/v}$

• VDD = 15V;
 • kn = 4mA/V²;
 • Vtn = 1V;
 • VA = 100V;
 • ID = 0.5mA;
 • VD = 6V;
 • VS = 3.5V;
 • I_{RG} = 2uA;
 • R_{sig} = 100k;
 • RL = 10k;
 • RD = 18k;
 • RS = 7k;
 • RG1 = 5M;
 • RG2 = 2.5M

$R_{in} = R_{G1} \parallel R_{G2}$
 $v_i = v_{sig} \frac{R_{in}}{R_{in} + R_{sig}} \quad v_{gs} = v_i$

$R_o = R_D \parallel r_o$
 $v_o = -g_m v_{gs} (R_D \parallel R_L \parallel r_o)$

17