

## Amplificadores multiandar

Um **amplificador de tensão** deverá apresentar as seguintes características: impedância de entrada elevada; impedância de saída baixa; e ganho em tensão elevado. “Simbolicamente”, serão representadas como

$$R_{in} = \uparrow \quad R_{out} = \downarrow \quad |A_V| = \uparrow \quad (\text{características pretendidas para um amp. de tensão})$$

Habitualmente pode-se viver com um  $A_V$  negativo, o que acontece no andar em emissor-comum (Fig. 1).

De entre os andares básicos com BJTs, o emissor-comum (CE) na Fig. 1 é o mais próximo do amplificador de tensão ideal *no que toca ao ganho*. Recorrendo ao modelo incremental do BJT, e notando que em regime incremental  $C_e$  curto circuita  $R_e$ , obtemos as impedâncias nos portos terminais e o ganho de tensão do CE:

$$R_{in} = R_1 || R_2 || h_{ie} \quad R_{out} = R_C || r_O \quad A_V = -(h_{fe} R_C / h_{ie}) \quad (\text{Emissor - Comum})$$

Como é sabido, os parâmetros incrementais dependem da polarização (ou valores quiescentes das variáveis) do transístor. No BJT, o que mais varia com a polarização é  $h_{ie} = (\partial v_{BE} / \partial i_B) |_{i_B = I_{BQ}} = (\partial i_B / \partial v_{BE})^{-1} |_{v_{BE} = V_{BEQ}}$ . Na zona activa  $i_B = \beta^{-1} i_C = \beta^{-1} I_S \exp(v_{BE} / V_T)$ , pelo que

$$h_{ie}^{-1} = \frac{1}{\beta V_T} I_S \exp(V_{BEQ} / V_T) = \frac{I_{CQ}}{\beta V_T} \quad \Rightarrow \quad h_{ie} = \frac{V_T}{I_{BQ}} = \beta \frac{V_T}{I_{CQ}}$$

onde o ‘Q’ indica que se utilizam os valores quiescentes (ou valores DC) no cálculo,  $V_T$  é a tensão térmica e  $I_S$  é a corrente de saturação do BJT na zona activa directa. Assume-se  $V_T \approx 25$  mV à temperatura ambiente.

Quanto a  $h_{fe} \approx h_{FE} \equiv \beta$  e a  $r_O = h_{oe}^{-1} = \partial v_{CE} / \partial i_C$ , pouco variam com os valores quiescentes na zona activa, pelo que podem ser considerados constantes.

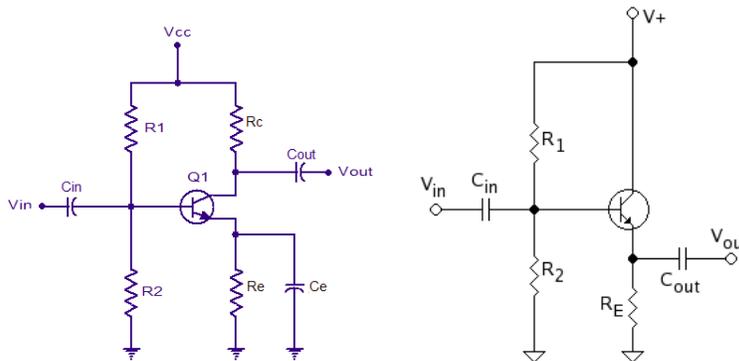


Fig. 1: À esquerda, andar em configuração emissor-comum (CE). À direita, andar colector-comum (CC).

Na Fig. 1 é também mostrado um andar CC. As suas características como amplificador incremental são

$$R_{in} = R_1 || R_2 || [h_{ie} + (1 + h_{fe}) R_E] \approx R_1 || R_2 \quad R_{out} = R_E || r_O || \frac{h_{ie}}{1 + h_{fe}} \approx \frac{h_{ie}}{h_{fe}}$$

$$A_V = \frac{(1 + h_{fe}) R_E}{h_{ie} + (1 + h_{fe}) R_E} \approx 1 \quad (\text{Colector - Comum})$$

Indicamos parâmetros aproximados que são bastante utilizados na prática. É um bom exercício calculá-los, bem como os do emissor-comum que já referimos.

Como amplificador de sinal, o CC é um “buffer” – amplificador de tensão com ganho  $A_V \approx 1$  e  $R_{in}$  elevada.

## Cascata de 3 andares de amplificação

Uma cascata de 3 andares CC-EC-CC, ordenados da entrada (à esquerda) para a saída (à direita), será um bom amplificador de tensão *prático*.

Por razões pedagógicas, **poderá fazer-se uma alteração nesta cascata**: substituir o 1º andar CC pelo andar CS realizado com um JFET (Fig. 2) que apresenta  $R_{in} \rightarrow \infty$  e ganho em tensão moderado (cerca de -5 a -10) o que *aumentará a impedância de entrada*. O amplificador multiandar passará a ser uma cascata CS-CE-CC com ganho total aproximado a 50 (supondo a saída em vazio, e um gerador ideal com resistência interna nula aplicado na entrada).

**No entanto, poderá fazer o 1º andar em configuração CC** usando um transistor BC549B (ou equivalente). Neste caso a ganho em tensão da cascata de amplificação será cerca de -8.

Os 3 andares deverão ser ligados entre si por condensadores de acoplamento (entre 1 e 100  $\mu\text{F}$ ), para evitar que os pontos quiescentes dos andares interfiram. O mesmo se deve fazer no acoplamento do amplificador ao gerador e à carga (altifalante). Na Fig. 2 mostra-se uma cascata CE-CE, como ilustração.

**(1º Andar - opção A) - No andar CC**, realizado com o transistor npn BC549B, ou equivalente, em que  $\beta \equiv h_{FE} \approx 300$ , defina  $R_1 = R_2 = 22 \text{ k}\Omega$  e  $R_E = 2.7 \text{ k}\Omega$ . O ganho é cerca de 1. Faça  $V_+ = V_{CC} = V_{dd} = 15 \text{ V}$ .

**(1º Andar - opção B) - No andar CS**, com o JFET BF245 B/C, a ser estudado em breve, pretende-se que  $I_{DQ} \sim 1.5 \text{ mA}$  e  $V_{DSQ} \sim 7.5 \text{ V}$ . Para isso faz-se  $R_d = 1 \text{ k}\Omega$ ,  $R_{G2} = 12 \text{ M}\Omega$ , e  $R_{G1} = 1 \text{ M}\Omega$  para o BF245B e 2M7 para o BF245C.

**(2º Andar) - No andar CE** degenerado intermédio, defina  $R_1 = 27 \text{ k}\Omega$ ,  $R_2 = 8.2 \text{ k}\Omega$ ,  $R_C = 560 \Omega$ , e  $R_E = 220 + 68 \Omega$ , fazendo o bypass com  $C_e$  apenas aos 220  $\Omega$ , o que permitirá controlar o ganho do andar CE degenerado para -8. Use na realização do andar o BC549B.

**(3º Andar) - No andar CC terminal** defina  $R_1 = R_2 = 2.2 \text{ k}\Omega$  e  $R_E = 68 \Omega$ . Como  $R_E$  tem de dissipar quase 1 Watt, e as resistências vulgares suportam apenas 1/3 de Watt, realize  $R_E$  com 3 resistências de 220  $\Omega$  em paralelo. O transistor BD135, de média potência, será utilizado neste andar. O seu ganho de corrente é  $\beta \approx 100$  (valor típico).

A impedância do altifalante variará com o modelo que lhe calhar em sorte. Pode admitir que é superior a 8  $\Omega$  mas não maior do que 100 ou 200  $\Omega$ . Pode também medi-la.

Faça o acoplamento do gerador à cascata de 3 andares de amplificação pelo já referido condensador de acoplamento em série com a entrada do primeiro andar e em série com uma resistência  $R_g$  de valor entre 10  $\text{k}\Omega$  e 100  $\text{k}\Omega$ , para simular um sensor or transdutor com impedância interna elevada.

Depois faça a seguinte experiência: ligue entre o gerador e o altifalante apenas o andar CE e observe a saída no osciloscópio (e ouça-a também! A banda da audição é tipicamente entre 20 Hz e 20 kHz). Depois repita a brincadeira com a cascata de 3 amplificadores, e observe a melhoria registada!

## Efeito de Miller

Meça a largura de banda (LB) do andar CE da fig. 1, com os componentes especificados e com uma resistência  $R_g$  de 100  $\text{k}\Omega$  entre o gerador e  $C_{in}$ . O efeito de Miller prevê que a LB do amplificador CE seja  $\approx (2\pi(R_g || R_1 || R_2 || h_{ie})(c_{be} + |A_V|c_{cb}))^{-1}$ . Os condensadores incrementais do BC549B são  $c_{be} \approx 11 \text{ pF}$  e  $c_{cb} \approx 1,5 \text{ pF}$ .

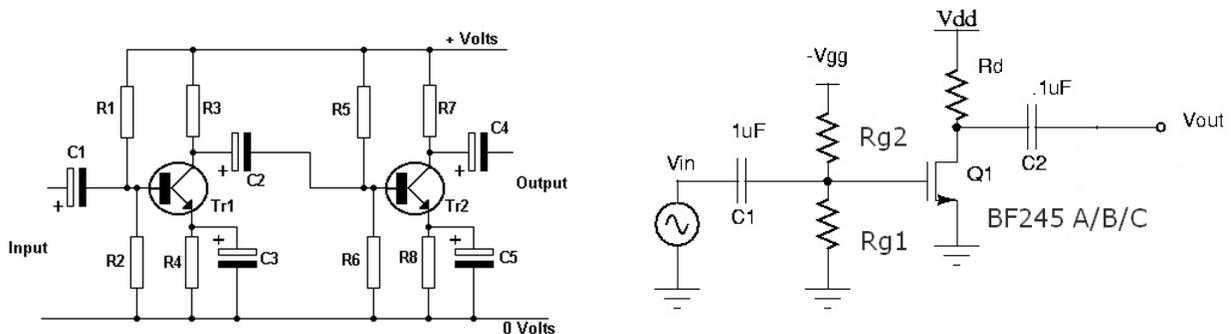


Fig. 2: Amplificador multiandar em cascata CE-CE; andar CS com nFET.