

# AMPLIFICADOR POLARIZADO POR DIVISOR DE TENSÃO

Fundação Universidade Federal de Rondônia  
Núcleo de Tecnologia  
Departamento de Engenharia Elétrica - DEE  
Disciplina de Eletrônica I

## I. OBJETIVOS

- Projetar e experimentar um circuito amplificador de sinal baseado no transistor TBJ npn.
- Determinar os parâmetros de polarização e posteriormente fazer a análise de pequenos sinais para determinar a impedância de entrada, a impedância de saída, o ganho de tensão e o ganho de corrente.
- Uma vez conhecidos os valores dos componentes, simular os mesmos no programa Multisim e mostrar os resultados de simulação.
- Posteriormente, montar o circuito em laboratório para verificar experimentalmente os resultados teóricos e de simulação.

## II. INTRODUÇÃO

### A. Polarização por divisor de tensão na base

O circuito da figura 3 mostra a polarização do transistor por divisão de tensão na base.

Esse tipo de polarização utiliza um divisor de tensão na base composto por dois resistores,  $R_{b1}$  e  $R_{b2}$ . Esse divisor, se bem projetado, torna o transistor muito mais estável.

A ideia básica é dividir a tensão  $V_{cc}$  em dois valores extremamente estáveis, de modo que a tensão em  $R_{b2}$  seja constante. Isso é conseguido fazendo com que a corrente  $I$  que atravessa  $R_{b1}$  seja bem maior que  $I_B$ , tornando esta última desprezível. Assim, a corrente em  $R_{b2}$  será também  $I$ .

Já vimos que o aumento da temperatura provoca aumento em  $I_C$  e  $I_E$ , tendendo a deslocar o ponto quiescente à região de saturação. O aumento de  $I_E$  provoca aumento de tensão em  $R_E$  que força uma diminuição de  $V_{BE}$ , já que a tensão em  $R_{b2}$  é constante. A redução de  $V_{BE}$  reduz  $I_B$  e, conseqüentemente,  $I_C$ .

Para o cálculo de  $R_{b1}$  e  $R_{b2}$  é preciso, então, definir o valor da corrente  $I$  em função das características do transistor. Vimos que  $I$  precisa ser bem maior do que  $I_B$ . Uma relação prática muito utilizada é considerar  $I$  igual a 10% da corrente do coletor  $I_C$ , já que esta é, em geral, maior que cem vezes  $I_B$ , pois  $I_C = \beta \cdot I_B$ . Assim,  $I = 0,1 \cdot I_C$ .

Novamente, tensão  $V_{RE}$  é 10% de  $V_{cc}$  para que o resistor  $R_E$  possa servir como sensor da variação de temperatura, isto é,  $V_{RE} = 0,1 \cdot V_{cc}$ .

A partir da malha externa do circuito, obtemos:

$$\begin{aligned} R_{b2} \cdot I &= V_{BE} + V_{RE} \Rightarrow R_{b2} \cdot 0,1 \cdot I_C = V_{BE} + V_{cc} \\ &\Rightarrow R_{b2} = \frac{V_{BE} + 0,1 \cdot V_{cc}}{0,1 \cdot I_C} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} (R_{b1} + R_{b2}) \cdot I &= V_{cc} \Rightarrow (R_{b1} + R_{b2}) \cdot 0,1 \cdot I_C = V_{cc} \\ &\Rightarrow R_{b1} = \frac{V_{cc}}{0,1 \cdot I_C} - R_{b2} \end{aligned}$$

Na malha de saída do circuito, temos:

$$\begin{aligned} V_{RE} = 0,1 \cdot V_{cc} &\Rightarrow R_E \cdot I_E = 0,1 \cdot V_{cc} \\ &\Rightarrow R_E = \frac{0,1 \cdot V_{cc}}{I_E} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{cc} &= R_c \cdot I_c + V_{CE} + 0,1 \cdot V_{cc} \\ &\Rightarrow R_c = \frac{0,9 \cdot V_{cc} - V_{CE}}{I_c} \end{aligned}$$

### B. Parâmetros importantes: $Z_i$ , $Z_o$ , $A_v$ e $A_i$

A próxima configuração a ser analisada é o circuito com polarização por divisor de tensão da figura 1. Lembre que o nome da configuração é consequência da polarização por divisor de tensão no lado da entrada para fixar o nível de  $V_B$ .

A substituição do circuito  $r_e$  equivalente resultará no circuito da figura 2. Note a ausência de  $R_E$  devido ao efeito de curto-circuito provocado pela baixa impedância do capacitor de desvio,  $C_E$ . Isto é, na frequência (ou frequências) de operação, a reatância do capacitor é muito pequena, comparada com  $R_E$  e é tratada como um curto-circuito nos terminais de  $R_E$ . Quando  $V_{cc}$  é fixado em zero, aterrada um terminal de  $R_{b1}$  e  $R_c$  conforme mostra a figura 2. Além disso, note que  $R_{b1}$  e  $R_{b2}$  permanecem no circuito de entrada, enquanto  $R_c$  é parte do circuito de saída. A combinação paralela de  $R_{b1}$  e  $R_{b2}$  é definida por:

$$R' = R_{b1} || R_{b2} = \frac{R_{b1} R_{b2}}{R_{b1} + R_{b2}}$$

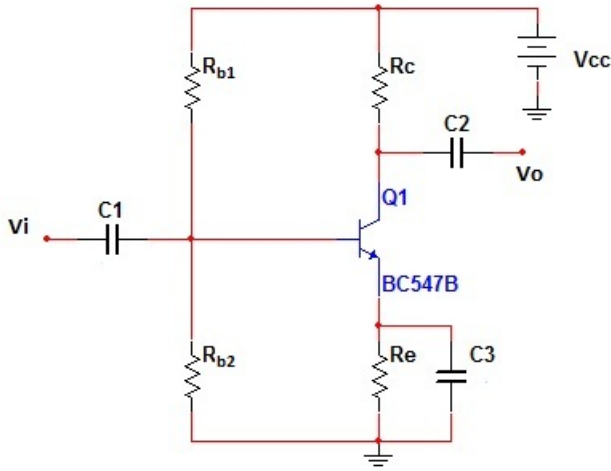


Figura 1. Divisor de Tensão.

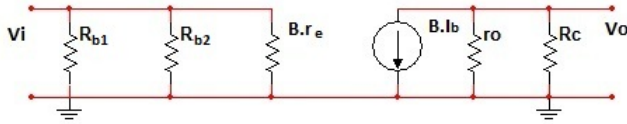


Figura 2. Circuito Equivalente.

$Z_i$ : Da figura 2,

$$Z_i = R' || \beta r_e$$

$$r_e = \frac{26m}{I_e}$$

$Z_o$ : Da figura 2, com  $V_i$  fixado em  $0V$  resultando em  $I_b = 0\mu A$  e  $\beta I_b = 0mA$ ,

$$Z_o = R_c || r_o$$

Se  $r_o \geq 10R_c$ ,

$$Z_o \cong R_c$$

$A_v$ : Uma vez que  $R_c$  e  $r_o$  estão em paralelo

$$V_o = -(\beta I_b)(R_c || r_o)$$

$$I_b = \frac{V_i}{\beta r_e}$$

$$V_o = -\beta \left( \frac{V_i}{\beta r_e} \right) (R_c || r_o)$$

$$A_v = \frac{V_o}{V_i} = -\frac{R_c || r_o}{r_e}$$

Para  $r_o \geq 10R_c$ ,

$$A_v = \frac{V_o}{V_i} = -\frac{R_c}{r_e}$$

$A_i$ : O ganho de corrente será

$$A_i = \frac{I_o}{I_i} = -\frac{\beta R' r_o}{(r_o + R_c)(R' + \beta r_e)}$$

Para  $r_o \geq 10R_c$

$$A_i = \frac{I_o}{I_i} = -\frac{\beta R' r_o}{r_o(R' + \beta r_e)}$$

$$A_i = \frac{I_o}{I_i} = -\frac{\beta R' r_o}{(R' + \beta r_e)}$$

E se  $R' \geq 10\beta r_e$ ,

$$A_i = \frac{I_o}{I_i} = -\frac{\beta R'}{R'} \cong -\beta$$

Como uma opção,

$$A_i = -A_v \frac{Z_i}{R_c}$$

### III. MATERIAIS UTILIZADOS

- Osciloscópio Minipa MO - 1262;
- Multímetro digital ICCEL MD - 6601;
- Gerador de funções ICCEL GV-2002;
- Gerador de Tensão DC Instrutherm FA - 3030;
- Transistor BC547, 2N3904;
- Resistores;
- Capacitores;
- Protoboard;

### IV. PARTE EXPERIMENTAL

#### A. Primeiro passo

Projetando um circuito com transistor polarizado por divisão de tensão na base:

- Monte o circuito da figura 3 com base nas fórmulas já apresentadas e nos dados da tabela I. Adapte os valores dos resistores para valores comerciais.

$V_{BE}$	0,6V
$\beta$	200
$V_{cc}$	9V
$I_c$	4,9mA
$V_{CE}$	6,48V

Tabela I

DADOS DA SEGUNDA CONFIGURAÇÃO.

- Agora insira uma tensão senoidal na entrada de  $50mV$  em série com um capacitor e também insira um capacitor no coletor e outro no emissor do transistor como representado na figura 4.
- Adquira os parâmetros  $Z_i$ ,  $Z_o$ ,  $A_v$  e  $A_i$ .

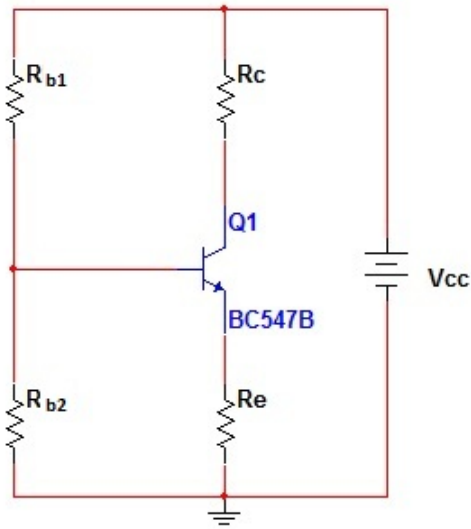


Figura 3. Polarização por divisor de tensão na base.

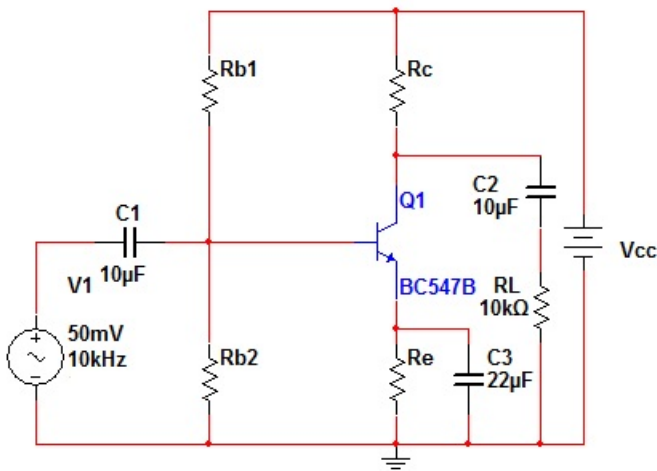


Figura 4. Análise para pequenos sinais.

### B. Segundo passo

Projeto com outro transistor:

- Repita os procedimentos anteriores utilizando agora o transistor 2N3904. Seus parâmetros encontram-se na tabela II:

$V_{BE}$	0,6V
$\beta$	100
$V_{cc}$	12V
$I_c$	10mA
$V_{CE}$	$V_{cc}/2$

Tabela II

DADOS DA PRIMEIRA CONFIGURAÇÃO.

### C. Terceiro passo

Simulação.

- Através de um software de simulação de circuitos, monte os circuitos finais dos passos anteriores e também adquira os parâmetros  $Z_i$ ,  $Z_o$ ,  $A_v$  e  $A_i$ .
- Faça uma comparação entre os circuitos teóricos e os experimentais discutindo a respeito. Comente também a respeito dos componentes empregados e suas limitações.

### REFERÊNCIAS

- BOYLESTAD, Robert; NASHESKY, Louis. "Dispositivos Eletrônicos e Teoria de Circuitos", 6ª edição. Rio de Janeiro: LTC, 1998.
- CRUZ, Eduardo Cesar Alves; CHOUERI JÚNIOR, Salomão. Eletrônica Aplicada, 1ª edição. São Paulo: Érica, 2007.