

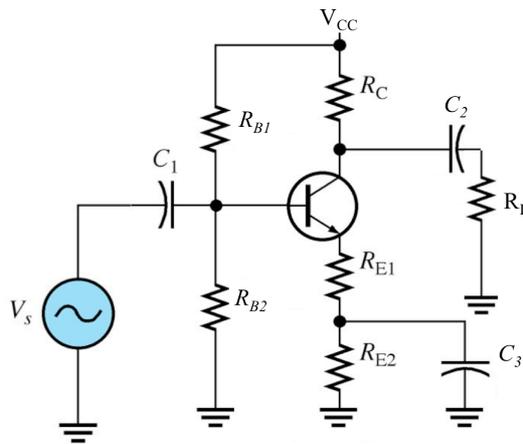
Tutorial

Projeto de amplificadores Classe-A

Considere amplificador hipotético, classe-A, com as seguintes características:

- $Z_{In} \geq Z_{Fonte}$
- $Z_{Out} \leq Z_{Carga}$
- $V_{in} = V_{Fonte}$
- $V_{Out} = V_{Carga}$
- $F_{Min} \leq Freq.Trab \leq F_{Max}$
-

O esquema do amplificador é mostrado abaixo:



Calcular os parâmetros deste amplificador:

1. Calcular a tensão de alimentação do circuito:

A primeira coisa que devemos calcular/definir para o nosso amplificador é a sua tensão de alimentação, a qual será definida a partir da tensão pico a pico a ser aplicada à carga (V_{pp} Carga).

- Observe que a tensão CA sobre a carga será exatamente igual a tensão de coletor do transistor (V_C). Desta forma a tensão máxima sobre a carga ocorrerá quando tivermos a tensão máxima sobre o coletor do transistor ($V_{C(Max)}$), ou seja, quando este estiver próximo à sua região de corte. Neste ponto tanto a corrente de coletor do transistor quanto a queda de tensão sobre a resistência no coletor (R_C), se aproximam de zero e a carga fica com uma tensão de pico aproximadamente igual a V_{CC} .
- Por outro lado, a tensão mínima sobre a carga ocorrerá quando tivermos a tensão mínima sobre o coletor do transistor ($V_{C(Min)}$), o que ocorre quando este se aproxima da sua região de saturação. Neste ponto teremos valores máximos tanto para a corrente do coletor, quanto para a queda de tensão sobre R_C .

Em resumo:

Considerando que $V_{RL} = V_C = V_{CC} - V_{RC}$, com $V_{RC} = R_C * I_C$, temos:

$V_{RL(Max)} = V_{C(Max)} \Rightarrow V_{RC(Min)} \Rightarrow I_{C(Min)}$, Transistor na região de corte

$V_{RL(Min)} = V_{C(Min)} \Rightarrow V_{RC(Max)} \Rightarrow I_{C(Max)}$, Transistor na região de saturação

Observe que $V_{C(Min)}$ nunca poderá ser menor que V_E . Lembre-se que V_E é definido por V_B , $V_E \cong V_B - 0,7$. Por padrão, como forma de garantir a estabilidade térmica do transistor e uma certa independência da sua polarização com o Beta(β), assumiremos $V_E = 1,0$ V.

Desta forma, chegamos a conclusão de que a tensão de alimentação do nosso amplificador deverá ser no mínimo igual a:

$$V_{CC} = V_{C(Max)} - V_{C(Min)} + V_E = V_{pp-carga} + 1V$$

Definida a tensão de alimentação, podemos agora passar ao projeto do amplificador propriamente dito.

2. Definição da impedância de saída do circuito amplificador:

O primeiro elemento que podemos definir em nosso projeto, uma vez que não depende de nenhum cálculo prévio, é a sua impedância de saída. A fim de obter a máxima transferência de potência (casamento de impedância) com o menor consumo de energia, faremos Z_{Out} do Amplificador igual à Z_{Carga} , ou seja, $R_C = R_L$. Tente deduzir como chegamos a esta conclusão.

Feito isto, podemos partir para o cálculo da polarização DC do nosso amplificador.

3. Polarização do amplificador (Análise DC):

Para a definição da polarização DC do nosso amplificador precisamos primeiramente definir o ponto de trabalho do transistor, ou seja, a corrente de coletor (I_C) e a tensão V_{CE} do mesmo quando este está em repouso.

Cálculo de V_{CE} :

Observe que, conforme analisamos a pouco, a tensão de saída do nosso amplificador, a tensão sobre a carga, será sempre igual a tensão de coletor do transistor. Seu valor excursiona de um valor máximo a um valor mínimo cobrindo todo o range da tensão V_{pp} da carga. Lembre-se que esta variação é ocasionada pela variação na corrente de coletor do transistor, que por sua vez ocasiona uma variação na tensão sobre o resistor R_C .

Desta forma, a fim de garantir a máxima excursão na saída do amplificador polarizaremos nosso circuito de forma a termos a tensão DC disponível para a carga dividida entre a V_{CE} e V_{RC} . Lembre-se que a tensão DC efetivamente disponível para ser aplicada a carga é igual a $V_{CC} - V_E$, uma vez que a tensão na saída nunca será menor que V_E .

Assim, podemos calcular V_{CE} a partir de:

$$V_{CE} = (V_{CC} - V_E)/2$$

$$V_{RC} = (V_{CC} - V_E)/2$$

Cálculo de I_C :

Definido V_{RC} , podemos definir I_C , uma vez que $I_C = I_{RC}$ e $I_{RC} = V_{RC}/R_C$.

Definidos R_C , V_{CE} , V_E , I_C e I_E podemos passar ao cálculo de R_{B1} , R_{B2} , R_{E1} e R_{E2} .

Cálculo R_{B1} e R_{B2} :

Como podemos perceber pelo esquema elétrico do nosso amplificador, R_{B1} e R_{B2} formam o divisor de tensão que polariza a base do transistor. Desta forma, devemos calculá-los de forma a fornecer uma tensão igual a $V_E + V_{BE}$ e uma corrente de polarização ($I_{B1} = I_{B2}$) igual a $10 \cdot (I_B = I_C/\beta_{\text{Mínimo}})$, garantindo estabilidade do circuito.

A fim de simplificar nossos cálculos, aceitaremos que um divisor de tensão pode fornecer uma corrente igual a 10 vezes o valor da corrente de base do transistor para R_{B1} e R_{B2} . Daí, temos:

$$V_{CC}/(R_{B1}+R_{B2}) = 10 \cdot (I_C/\beta_{\text{Mínimo}}), \text{ logo:}$$

$$V_{B2} = V_E + V_{BE}, \text{ com } R_{B2} = (V_E + V_{BE})/I_{R2}$$

$$V_{B1} = V_{CC} - V_{R2} \text{ com } R_{B1} = (V_{CC} - V_{R2})/I_{R1}$$

Cálculo de R_{E1} e R_{E2} :

Considerando $I_E \cong I_C$ (para um $\beta \gg 1$), podemos calcular R_{E1} e R_{E2} . Lembrando-se que:

$$V_{RE1} + V_{RE2} = V_E$$

$$R_{E1} + R_{E2} = V_E/I_E.$$

Com $V_E = +1V$.

Observação: para o cálculo de R_{E1} e R_{E2} precisamos antes encontrar alguns parâmetros a partir da análise AC.

4. Análise AC:

Cálculo dos capacitores de acoplamento e desacoplamento AC:

Para concluirmos nosso projeto, precisamos calcular os capacitores de acoplamento, C_1 e C_2 , e o de desacoplamento, C_3 .

Nesta fase do projeto temos que tomar alguns cuidados em nossa análise, pois estaremos, sempre que necessário, baseando nossas decisões numa mescla de análise AC com análise DC do circuito do amplificador. Por este motivo, em determinados momentos, estaremos considerando as fontes de tensão e os capacitores como estando curto-circuitados.

a. Cálculo de C_2 :

Como pode-se observar no esquemático do circuit, C_2 estará em série com R_C e R_L . Por este motivo é importante que, na frequência mínima de operação do circuito, este tenha uma reatância capacitiva baixa (X_C), em relação ao valor de $R_C + R_L$, de forma a não introduzir perdas significativas na

corrente que será entregue a carga. Desta forma, via de regra, adotaremos o seguinte procedimento:

$$X_{C_2} \leq (R_C + R_L) / 10, \text{ assim } C_2 \geq 10 / (2 * \pi * f_{\min} * (R_L + R_C))$$

b. Cálculo de C_1 :

C_1 está acoplado em série com a fonte do sinal de entrada do circuito amplificador, ou seja, em série com a impedância de saída da fonte de sinal AC. Sua reatância capacitiva deve ser tal que não introduza uma perda significativa no sinal de entrada do amplificador na frequência mínima de operação do circuito. Assim, antes que possamos calculá-lo devemos primeiro calcular a impedância de entrada do nosso amplificador.

Cálculo da impedância de entrada do amplificador:

O cálculo da impedância de entrada do amplificador é baseado na sua análise AC. Por este motivo estaremos considerando a fonte de alimentação e todos os seus capacitores como curto-circuitos.

Nesta configuração, quando olhamos a entrada do amplificador, veremos a impedância $Z_{\text{In-Amplificador}}$ equivalente a R_{B1} em paralelo com R_{B2} e em paralelo com a Impedância vista na base do transistor.

Ou seja:

$$Z_{\text{In-Amplificador}} = R_{B1} \parallel R_{B2} \parallel Z_{\text{In-Transistor}}$$

A impedância vista na base do transistor, $Z_{\text{In-Transistor}}$ é dada por:

$$Z_{\text{In-Transistor}} = \beta * (r_e' + \text{Impedância ligada ao terminal do emissor do transistor})$$

Obs: Levantar modelo híbrido para entendimento.

Neste caso, considerando que o capacitor C_3 está curto-circuitando R_{E2} , a impedância vista da base do transistor é igual a $\beta * (r_e' + R_{E1})$.

Em resumo temos:

$$Z_{\text{In-Amplificador}} = R_1 \parallel R_2 \parallel \beta * (r_e' + R_{E1})$$

Finalmente C_1 é dado:

$$C_1 = 10 / (2 * \pi * f_{\min} * (Z_{\text{In-Amplificador}} + Z_{\text{Out-Fonte}}))$$

$Z_{\text{Out-Fonte}}$ = Impedância da fonte do sinal AC

c. Cálculo de C_3 :

Para o cálculo de C_3 devemos levar em conta que este capacitor deve curto-circuitar R_{E2} na frequência de trabalho do amplificador. Assim,

$$C_3 = 10 / (2 * \pi * f_{\text{Min}} * R_{E2})$$

d. Cálculo de R_{E1} e R_{E2} :

Considerando $i_E \cong i_C$ (para um $\beta \gg 1$), podemos calcular R_{E1} e R_{E2} . Lembrando-se que:

$$V_{RE1} + V_{RE2} = V_E$$
$$R_{E1} + R_{E2} = V_E / I_E.$$

Considerando que o ganho do amplificador (AC) é dado por:

$$A_{V_{\text{Amplificador}}} = v_{\text{Out}} / v_{\text{In}}, \text{ ou melhor}$$

$$A_{V_{\text{Amplificador}}} = i_c * R_C / i_e * (R_{E1} + r_e'), \text{ sem carga } (R_L) \text{ acoplada ao circuito}$$

Com $i_c \cong i_e$

$$A_{V_{\text{Amplificador}}} = R_C / (R_{E1} + r_e')$$

Desta forma, temos:

$$R_{E1} = (R_C / A_{V_{\text{Amplificador}}}) - r_e'$$

Como $R_{E1} + R_{E2} = V_E / I_E$, temos

$$R_{E2} = V_E / I_E - R_{E1}$$

Observação importante:

“Se a impedância de entrada do amplificador ficar abaixo do esperado, como solução deveremos ou substituir o transistor utilizado por um com um ganho maior (β maior), ou implementar o amplificador em dois estágios dividindo o ganho total entre eles.

Exemplo: Se precisarmos construir um amplificador com ganho 100, com uma alta impedância de entrada, provavelmente teremos problemas. Neste caso é aconselhável implementar dois amplificadores de ganho 10 ligados em série (amplificador com múltiplos estágios).