

AMPLIFICADOR EMISSOR COMUM

OBJETIVOS:

- analisar o funcionamento de um amplificador na configuração emissor comum;
- analisar a relação de fase entre a entrada e a saída de um sinal.

INTRODUÇÃO TEÓRICA

Quando um transistor de um amplificador em emissor comum é polarizado próximo ao centro da reta de carga CC, ao se acoplar um sinal na base, este sinal será amplificado no coletor.

O emissor comum é também conhecido como emissor à terra, visto que o emissor é o terminal de referência para a entrada e a saída do sinal.

Uma das principais aplicações do transistor é a amplificação. Entendemos por amplificação o fato mediante o qual uma variação ocorrida na entrada de um circuito, aparece amplificada na saída.

Aplicando-se esse conceito ao transistor, se provocarmos uma variação da polarização de base, obteremos uma variação muito maior da corrente de coletor e da tensão coletor-emissor.

Geralmente, empregando o transistor como amplificador, as variações da polarização de base são provocadas pela aplicação de um pequeno sinal AC na entrada, que aparece na saída com seu valor ampliado, mas sendo um reflexo fiel da entrada.

Definiremos a seguir alguns conceitos importantes:

Entrada: malha à qual se aplica um sinal proveniente de uma fonte que se deseja amplificar, como por exemplo, um microfone. Designada pelo subscrito “i” (do inglês: input)

Saída: circuito do qual se obtém o sinal simplificado. Designa-se a saída pelo subscrito “o” (do inglês: output).

Distorção: deformação no sinal de saída em relação à entrada.

Tensão de entrada: “ v_i ”, tensão que é aplicada na entrada para ser amplificada.

Tensão de saída: “ v_o ”, tensão alternada que se manifesta nos extremos da carga.

Corrente de entrada: “ i_i ”, corrente que é solicitada do gerador, pelo circuito de entrada.

Corrente de saída: “ i_o ”, corrente alternada que circula pela carga.

Impedância de entrada: “ Z_i ”, resistência de entrada do amplificador, vista pelo gerador ou fonte de sinal.

$$Z_i = \frac{v_i}{i_i}$$

Impedância de saída: “ Z_o ”, resistência interna que apresenta “ v_o ” se outro dispositivo é conectado saída do amplificador. Isto significa que o amplificador está sendo usado como fonte de sinal.

$$Z_o = \frac{v_o}{i_o}$$

Ganho de tensão: “ A_v ”, relaciona as tensões de saída e de entrada.

Ganho de corrente: “ A_i ”, é a relação entre as correntes de saída e de entrada.

$$A_i = \frac{i_o}{i_i}$$

Neste caso, referida exclusivamente ao transistor (não ao circuito associado a ele). Recebe o nome de beta de corrente alternada ($\beta_{c.a.}$). Define-se como o coeficiente entre o incremento da corrente de coletor e o incremento da corrente de base.

$$\beta_{c.a.} = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B}, \text{ ou o que é igual, } \beta_{c.a.} = \frac{i_C}{i_b}$$

$\beta_{c.a.}$ também é chamada de h_{fe} que não deve ser confundida com H_{FE} .

Ganho de potência: “ A_p ”, é o coeficiente entre a potência AC absorvida pela carga e a potência absorvida pelo circuito de entrada do amplificador.

$$A_p = \frac{P_o}{P_i}, \text{ ou melhor, } A_p = \frac{v_o \cdot i_o}{v_i \cdot i_i}$$

Relação de fase: defasagem que apresenta o sinal de saída em relação ao sinal de entrada.

Configuração: denomina-se assim a disposição que apresenta o transistor frente ao sinal de entrada e ao sinal de saída, dependendo seu nome do terminal comum à entrada e saída. Abordaremos nesta experiência a configuração emissor comum (E.C.), ficando outras configurações para as próximas experiências.

Geralmente um amplificador inclui capacitores, cuja função é oferecer fácil passagem aos sinais alternados e bloquear a corrente contínua.

Na figura 1, temos em amplificador em emissor comum com polarização por divisor de tensão na base, conhecido também como amplificador auto polarizado.

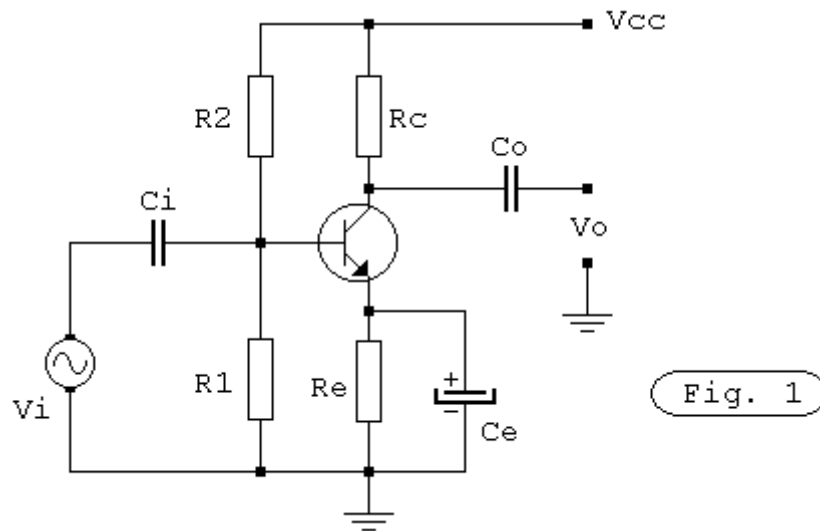


Fig. 1

Para facilitar a análise dos amplificadores, considera-se o circuito como sendo dois circuitos independentes: um para AC (corrente alternada) e outro para DC (corrente contínua).

Na figura 2 temos um circuito equivalente para AC.

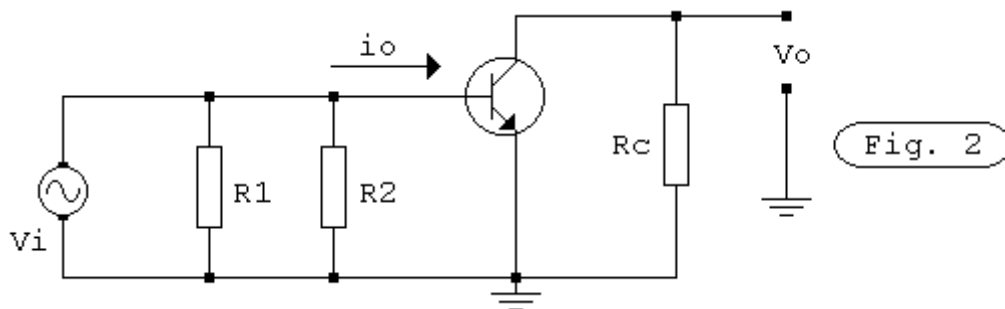
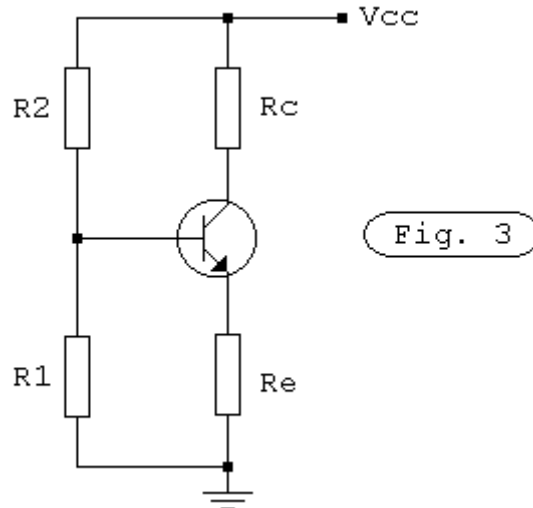


Fig. 2

Circuito equivalente AC

- a) Curto circuita-se Vcc
- b) Consideram-se os capacitores como curtos-circuitos, uma vez que os mesmos tem a finalidade de facilitar a passagem de AC.

Na figura 3 temos o circuito equivalente para DC.



Circuito equivalente DC

- a) Curto circuita-se “ v_i ”
- b) Considerar os capacitores abertos, uma vez que apresentam resistência infinita para DC.

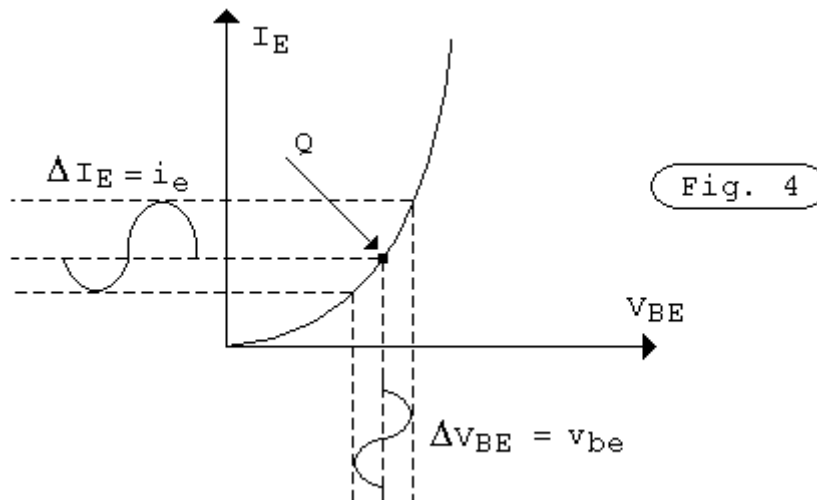
OBS: Os valores das tensões e correntes em qualquer ponto do circuito, serão as resultantes da superposição (soma) das tensões e correntes dc e ac presentes, no mesmo instante, em cada um dos circuitos equivalentes.

ANÁLISE:

Impedância de entrada:

Como a tensão v_i é aplicada ao circuito paralelo formado por R1 e R2 e pelo transistor, devemos então conhecer a resistência que apresenta o transistor para a fonte de v_i .

O sinal de entrada v_i é aplicado ao circuito base-emissor, que é formado por um diodo, cuja curva característica é mostrada na figura 4.



A polarização do diodo base-emissor vem determinada pelo ponto Q, que implica numa corrente I_E para uma tensão V_{BE} . Ao aplicar-se v_i , esta produz uma

variação em torno desse valor de V_{BE} ; estas variações apresentam um ΔV_{BE} , que provoca variações de $I_E = \Delta I_E$.

A relação entre essas variações chama-se **RESISTÊNCIA DINÂMICA DO EMISSOR**, ou resistência de emissor para AC.

$$r_e = \frac{\Delta V_{BE}}{\Delta I_E}$$

Como ΔI_E e ΔV_{BE} podem ser exatamente v_{be} e i_e , é possível escrever:

$$r_e = \frac{v_{be}}{i_e}$$

Note que o valor de i_e depende da localização do ponto Q, devido a não linearidade gráfica e isto implica que r_e não é constante para todas as polarizações de base. Ainda nestas condições como o valor de v_i é pequeno, é usual tomar como aproximação a resistência dinâmica de emissor:

$$r_e = \frac{25\text{mV}}{I_E}$$

Até aqui estamos obtendo a resistência dinâmica de emissor para AC.

Voltando para a figura 4, nota-se que o transistor só absorve do gerador uma corrente i_b e estabelecendo uma aproximação $i_e = i_c$, temos:

$$i_b = \frac{i_e}{\beta_{c.a.}}, \text{ ou seja, } i_e = i_b h_{fe}$$

Isto resulta que a impedância de entrada do transistor será h_{fe} vez maior do que r_e , isto é:

$$Z_i(T) = h_{fe} \frac{v_{be}}{i_e} = h_{fe} r_e$$

Com a impedância do transistor quantificada, a impedância de entrada do circuito será:

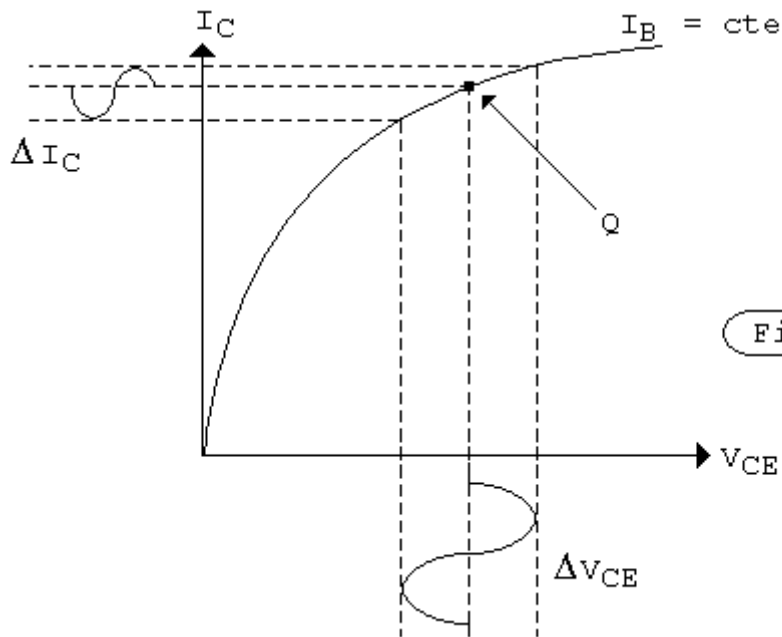
$$Z_i = R1 // R2 // h_{fe} r_e$$

($R1$ em paralelo com $R2$ em paralelo com $h_{fe} r_e$)

Como é conveniente que z_i tenha uma impedância elevada para reduzir ao mínimo os efeitos da resistência interna do gerador, $R1$ e $R2$ devem ter valores elevados. A impedância de entrada desta configuração apresenta valores compreendidos entre $2\text{k}\Omega$ e $6\text{k}\Omega$.

Impedância de saída:

Semelhante ao caso anterior, devemos utilizar o circuito equivalente de AC para estudar a impedância de saída. Nele observa-se que v_o é tomado pelo circuito paralelo formado por R_C e pelo circuito coletor-emissor, pelo qual devemos analisar este último. Veja a figura a seguir:

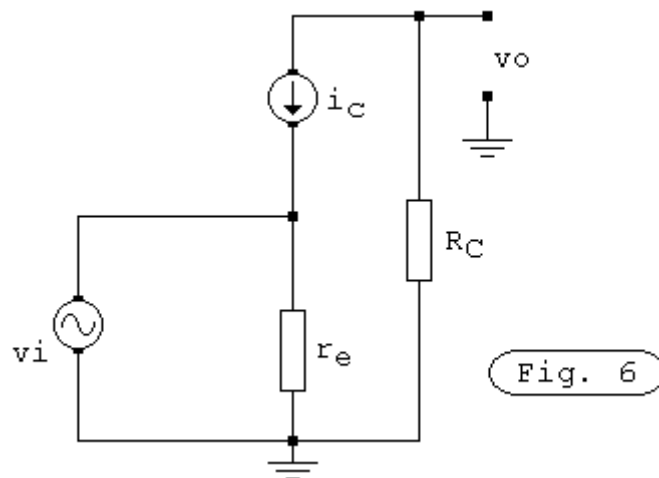


Em condições de repouso, Q implica dois valores I_C e V_{BE} para I_B . Mantendo-se I_B constante provocamos variações de I_C equivalentes a ΔI_C . O coeficiente entre ambas determina a resistência dinâmica de coletor, que coincide com a impedância de saída deste, a qual chamaremos de $Z_{o(T)}$ e será:

$$Z_{o(T)} = \frac{\Delta V_{CE}}{\Delta I_C}, \text{ ou seja, } Z_{o(T)} = \frac{v_{ce}}{i_c}$$

É fácil observar pela figura 5 que as variações de V_{CE} são muito maiores que as de I_C e que, além disso, aquelas são de valores muito superiores a esta, geralmente volts frente a miliampères. Isso dá uma ideia de quanto é elevada a impedância de saída do transistor.

A conclusões semelhantes chega-se quando se substitui o circuito coletor-emissor por uma fonte de corrente quase ideal (impedância interna muito alta), de valor i_c , em série com uma resistência de valor r_e . Veja a figura 6.



Logo, a impedância do circuito será:

$$Z_o = Z_o(T) // R_C$$

Como $Z_o(T)$ é muito elevada frente a R_C , podemos considerar como boa aproximação:

$$Z_o = R_C$$

Ganho de tensão:

Analisando o circuito equivalente da figura 6 e considerando $i_e = i_c$, temos:

$$v_o = -R_C i_e$$

e, por outro lado:

$$v_i = r_e i_e$$

de onde:

$$A_v = \frac{v_o}{v_i} = - \frac{R_C i_e}{r_e i_e}$$

e, finalmente:

$$A_v = - \frac{R_C}{r_e}$$

onde o sinal menos (-) indica que v_o está defasada 180° em relação a v_i .

Ganho de corrente:

O ganho de corrente, A_i , é definido pela relação entre i_o e i_i , isto é:

$$A_i = \frac{i_o}{i_i}$$

Quando essa relação é referida exclusivamente ao transistor, temos:

$$A_i(T) = \frac{i_c}{i_b} = h_{fe}$$

Quanto ao ganho de corrente do circuito, este será diferente, uma vez que parte da corrente de entrada deriva-se através de R_1 e R_2 , circulando pelo transistor somente i_b .

Como:

$$i_o = \frac{v_o}{Z_o} \quad \text{e} \quad i_i = \frac{v_i}{Z_i}$$

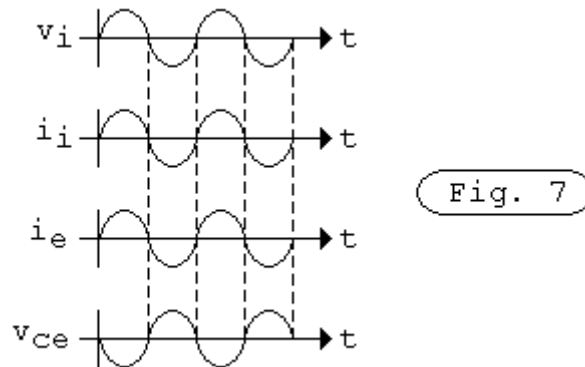
teremos:

$$A_i = \frac{i_o}{i_i} = \frac{v_o Z_i}{v_i Z_o}$$

Analisando a última fórmula, podemos concluir que o resultado é esperado, uma vez que: para um mesmo circuito, duas resistências de carga distintas implicam um duas retas de carga diferentes e ganhos de corrente distintos, sendo menores quanto maior for R_C . Por outro lado, R_C também determina a corrente de emissor, a qual influi sobre o valor da impedância de entrada.

Relação de fase:

Veja na figura abaixo, as relações de fase na configuração emissor comum.



Considerações sobre os capacitores C_i e C_o :

Na análise dos circuitos equivalentes, consideramos os capacitores de acoplamento C_i e C_o como curtos-circuitos; para efeitos práticos podem ser considerados curtos-circuitos se no pior dos casos, suas reatâncias só representarem 10% da impedância do circuito que a afetam. Logicamente as piores condições num dispositivo amplificador para as reatâncias capacitivas são as baixas frequências.

Retornemos ao circuito da figura 1.

Observa-se que C_i está em série com Z_i , portanto:

$$X_{C_i} \leq 0,1 Z_i$$

de onde C_i tomando a frequência menor (f_{\min}) será:

$$X_{C_i} = \frac{1}{2\pi f_{\min} \cdot C_i}$$

logo:

$$0,1 Z_i \geq \frac{1}{2\pi f_{\min} \cdot C_i} \implies C_i \geq \frac{1}{2\pi f_{\min} \cdot 0,1 Z_i}$$

e, finalmente:

$$C_i \geq \frac{10}{2\pi f_{\min} \cdot Z_i}$$

Para obter o valor de C_o podemos seguir o mesmo critério, o qual está em série com Z_o , logo:

$$C_o \geq \frac{10}{2\pi f_{\min} \cdot Z_o}$$

Considerações sobre o capacitor de desacoplamento do emissor (C_E):

Se estudarmos o circuito da figura 1 sem C_E , ao se aumentar ou diminuir i_b , aumenta ou diminui i_e e portanto, surge uma tensão nos terminais de R_E . Como as variações da corrente de emissor são h_{fe} vezes maiores do que as variações de i_b , a

tensão de emissor provoca uma redução elevada da tensão efetiva base-emissor v_{be} , com o que o ganho do amplificador vê-se altamente reduzido. É importante ver claramente que esta redução é produzida por v_e , ou seja, o componente alternado na resistência de emissor.

O critério para se calcular C_E é o mesmo adotado para se calcular C_i e C_o , ou seja:

$$X_{CE} = \frac{R_E}{10}$$

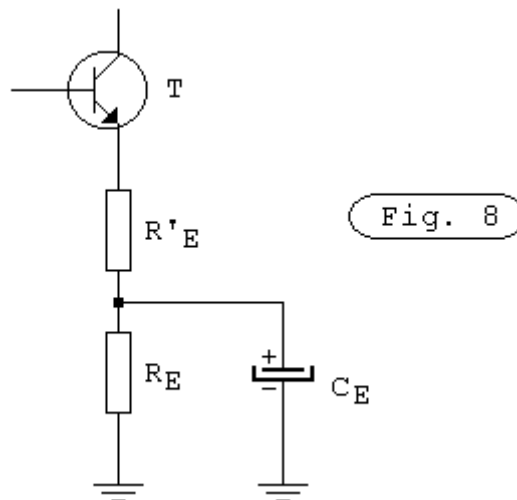
Quando a frequência se eleva, X_{CE} é muito pequena, representando um curto virtual sobre R_E , desta forma, a única resistência efetiva no circuito de emissor é a própria resistência dinâmica r_e . Uma vez que seu valor é altamente instável, o ganho de tensão será altamente afetado. Diante desse fato, é preferível reduzir parte do ganho para se conseguir maior estabilidade do circuito.

Geralmente isto é conseguido derivando-se parcialmente R_E , dividindo-se em duas, conforme ilustra a figura 8.

Observa-se que R_E está desacoplada para sinais alternados, enquanto que R'_E não o está.

Com isto a resistência total de emissor para corrente alternada será: $r_e + R'_E$, conseguindo um duplo efeito:

- a) dar maior estabilidade ao circuito, diminuindo o ganho;
- b) aumentar a impedância de entrada da base, porque aumentou a resistência do circuito de emissor para AC.



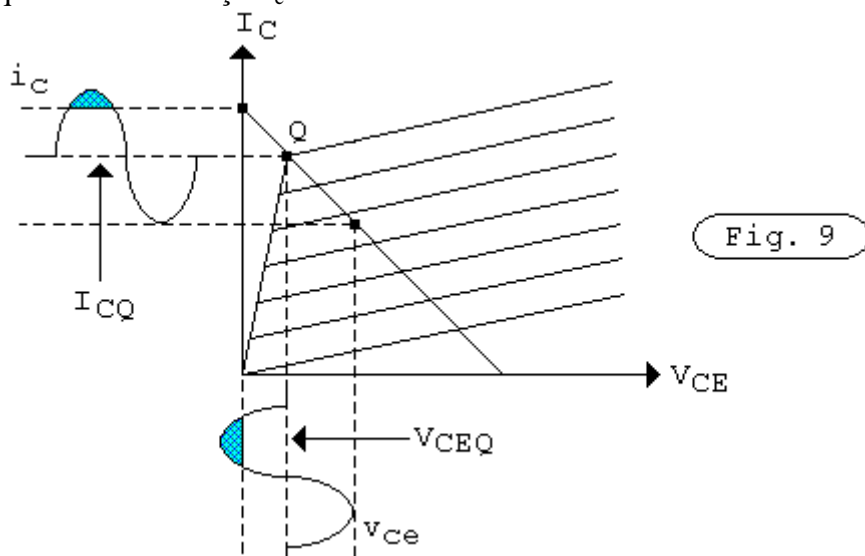
Distorção:

Se o circuito da figura 1 trabalha próximo ao centro da reta de carga e o sinal v_i tem uma amplitude relativamente pequena, é previsível que o circuito não apresente um sinal de saída distorcido. Existem basicamente três tipos de distorção:

DISTORÇÃO DE SAÍDA POR SATURAÇÃO

Se por qualquer circunstância o ponto Q se desloca conforme indica a figura 9, os valores mais elevados de v_i podem levar o transistor na região de saturação, onde o

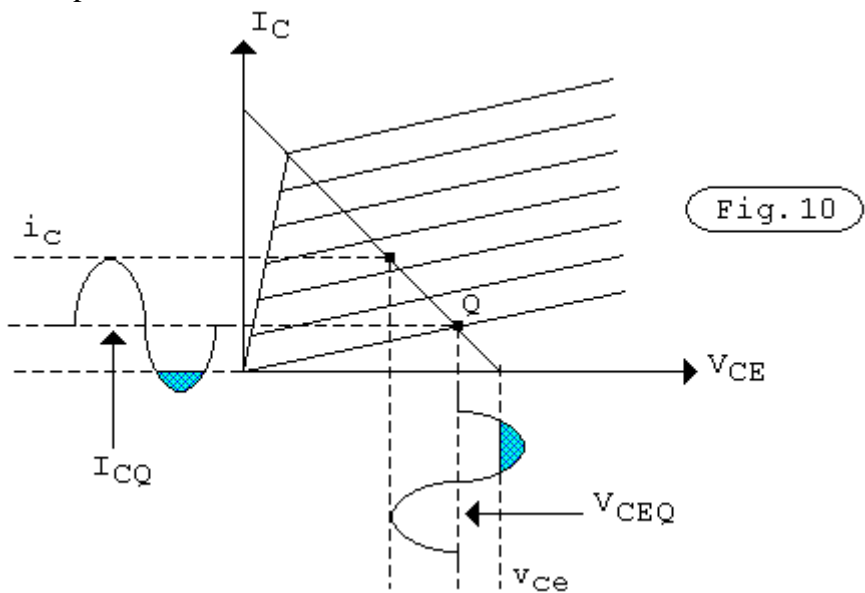
coletor não segue as variações do sinal de entrada e provoca um recorte nos valores máximos que deveria alcançar i_c .



DISTORÇÃO DE SAÍDA POR CORTE

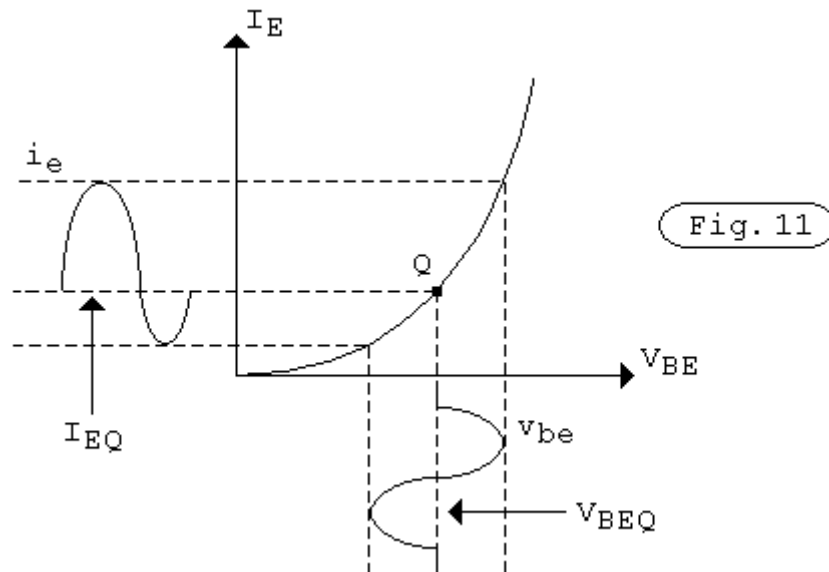
Neste caso, conforme ilustra a figura 10, o ponto Q situa-se bem próximo do corte ou em alguns casos no corte.

Desta forma, para valores mais negativos de v_i o transistor entrará em corte, uma vez que v_{ce} não poderá aumentar além de V_{CE} e I_C irá a zero.



DISTORÇÃO DE ENTRADA

A distorção de entrada deve-se ao fato da não linearidade da curva característica $I_E \times V_{BE}$, conforme ilustra a figura 11.



Se amplitude de v_i é pequena, o trecho da curva afetado é pequeno, podendo assim ser considerado como uma reta nesse intervalo.

Se v_i é elevada, a curvatura fica acentuada e então i_e não segue as variações de v_{be} e a corrente de coletor também não seguirá essas variações.

CONSIDERAÇÕES GERAIS:

1- Para obter sinais de saída sem distorção, é conveniente que a corrente de coletor i_c não tenha variações superiores de 15% a 20% do valor estático I_C .

2- Os amplificadores de baixa frequência (B.F.) tem como aplicação principal a amplificação de sinais de áudiofrequência (que é a gama compreendida entre 10Hz a 18kHz). É norma internacional efetuar as medidas de desempenho dos amplificadores de áudio na frequência de 1kHz.

3- A reta de carga tem uma influência direta sobre os ganhos de tensão e de corrente do circuito. Uma resistência de coletor de valor baixo implica numa inclinação acentuada da reta de carga e portanto, uma maior ganho de corrente e um menor ganho de tensão. Pelo contrário, uma resistência de coletor de valor elevado oferece resultados inversos aos expostos.

PARTE PRÁTICA

MATERIAIS NECESSÁRIOS

- 1- Gerador de áudio ou gerador de funções
- 1- Voltímetro analógico ou digital
- 1- Osciloscópio
- 1- Fonte de alimentação 0 -20V
- 1- Módulo de ensaios ELO - 1

1- Monte o circuito da figura 12. Abra Sw.

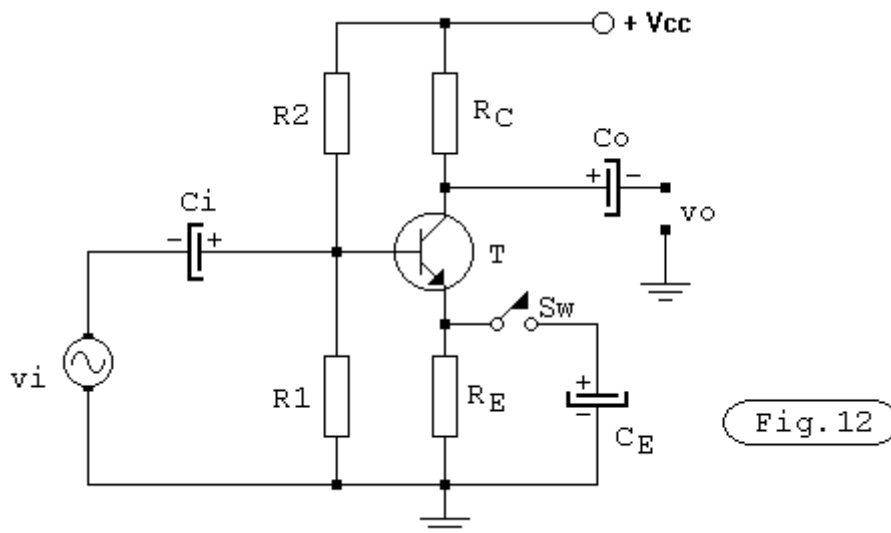


Fig. 12

- R1 = 3,3KΩ (R22)
- R2 = 10KΩ (R27)
- RC = 2,2KΩ, 1/4W (R21)
- RE = 220Ω, 1/4W (R7)
- Ci = 22μF, 25V (C6)
- Co = 33μF, 25V (C7)
- CE = 47μF, 25V (C8)
- T = BC107B ou BC 547B (T3)
- Vcc = 20V
- vi = gerador senoidal

- 2- Ajuste vi para 40mVpp a uma frequência de 1kHz.
- 3- Calcule a tensão DC na base, emissor e coletor e anote as respostas na tabela 1.
- 4- Calcule e anote a tensão AC na base, emissor e coletor, na tabela 1.

Tabela 1: tensões DC e AC

TENSÕES	CALCULADO			MEDIDO		
	VB	VE	VC	VB	VE	VC
CC						
CA						

- 5- Meça as tensões calculadas nos passos 3 e 4 e anote na tabela 1.
- 6- Com o auxílio de um osciloscópio de 2 canais observe simultaneamente as tensões de entrada e saída (vi e vo respectivamente). Desenhe as tensões de entrada e saída em papel milimetrado A4 observando os valores de pico a pico e eficaz, bem como a relação de fase entre essas tensões.
- 7- Com um voltímetro e um osciloscópio meça a tensão VE (medir nos extremos de RE) com Sw aberta e fechada e anote esses valores na tabela 2.

Tabela 2: tensões em RE

CONDIÇÕES	Tensão DC	Tensão AC
Sw aberta		
Sw fechada		

8- Compare as medições feitas em R_E com e sem capacitor de desacoplamento (C_E) e apresente conclusões:

9- Calcule os valores de Z_i , Z_o , A_v , A_i e A_p e anote na tabela 3.

Tabela 3

Z_i	Z_o	A_v	A_i	A_p

10- Compare as tensões v_i e v_o medidas no passo 6 e determine o ganho de tensão A_v .

$$A_v = \underline{\hspace{2cm}}$$

11- No circuito da figura 12, suponha: R_E aberto, R_1 aberto, R_2 aberto e C_E em curto. Calcule V_E , V_C e V_B e anote na tabela 4. Simule esses defeitos, meça as tensões e complete a tabela 4. Ao calcular e simular os defeitos, não se esqueça de retornar à posição original o componente cujo defeito foi anteriormente simulado.

Tabela 4: simulação de defeitos

DEFEITOS	CALCULADO			MEDIDO		
	V_C	V_E	V_B	V_C	V_E	V_B
R1 aberto						
R2 aberto						
R_E aberto						
C_E aberto						

PROJETO:

12- No circuito da figura 12, determine o valor do resistor de coletor para produzir um ganho teórico de 100, adotando valor comercial de resistência. Calcule e meça as tensões listadas na tabela 5.

Tabela 5: projeto

	CALCULADO	MEDIDO
	V_{CE}	
V_C		
V_E		
V_B		

QUESTÕES:

1- Qual é a r_e teórica do amplificador da figura 12?

2- Qual é o ganho de tensão aproximado do amplificador da figura 12?

3- O emissor do amplificador da figura 12 tem um pequeno ou nenhum sinal AC., devido a existência do:

- a) resistor de emissor
- b) capacitor de acoplamento na entrada
- c) capacitor de passagem do emissor
- d) fraco sinal de base

4- Os valores DC da polarização do transistor não são afetados pela resistência DC do gerador de sinal porque o capacitor de acoplamento de entrada:

- a) bloqueia a componente DC.
- b) transmite a componente AC.
- c) bloqueia a componente AC.
- d) transmite a componente DC.

5- O que ocorre com os valores de tensão DC do circuito quando o capacitor de acoplamento C_o abre? E com os valores de AC?

6- Explique os valores de tensão que você obteve com o resistor R_E aberto, no circuito da figura 12.

7- Porque a configuração estudada nesta experiência chama-se emissor comum?

8- Explique porque pode-se considerar quando do levantamento do circuito equivalente da figura 12, como dois circuitos independentes, um para DC e outro para AC.

9- O circuito da figura 13, possui os seguintes dados:

$$V_{CC} = 6V$$

$$V_C = 0,4V_{CC}$$

$$I_C = 5mA$$

$$I_2 = 10.I_B$$

$$V_{CE} = 0,5V_{CC}$$

$$V_{BE} = 0,6V$$

$$\beta = 100$$

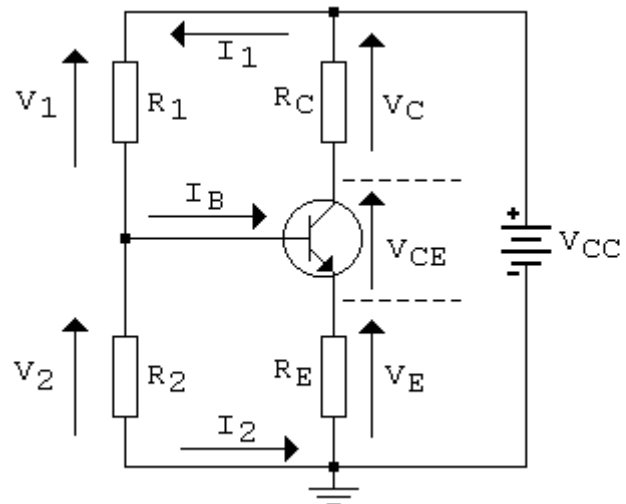


Fig. 13

Determine:

V_C	I_E	I_1	R_2
V_{CE}	I_2	R_C	P_{RE}
V_E	V_1	R_E	P_{RC}
I_B	V_2	R_1	P_C