

AMPLIFICADOR COLETOR COMUM OU SEGUIDOR DE EMISSOR

OBJETIVOS: Estudar o funcionamento de um transistor na configuração coletor comum ou seguidor de emissor; analisar a defasagem entre os sinais de entrada e saída.

INTRODUÇÃO TEÓRICA

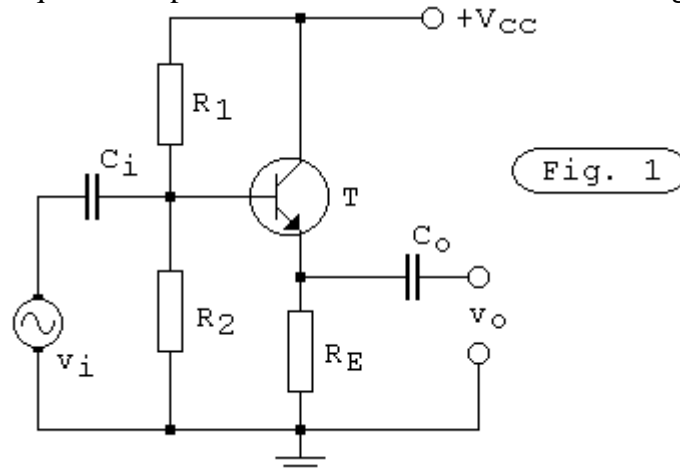
O circuito coletor comum (C.C.), também denominado seguidor de emissor, caracteriza-se por possuir o coletor como terminal comum para a entrada e saída do sinal.

Sua característica principal é que possui uma alta impedância de entrada e uma impedância de saída muito baixa.

Por esse motivo é muito utilizado como *buffer*, que funciona como um estágio de reforço entre a alta impedância da fonte de sinal e baixa impedância da carga.

A denominação seguidor de emissor é devido ao fato da tensão de emissor seguir as variações da tensão na base.

O circuito equivalente para corrente contínua é mostrado na figura 1.



Observando atentamente o circuito da figura 1, conclui-se que é idêntico ao E.C., onde a resistência de coletor foi suprimida e a resistência de carga passa a ser R_E .

A V_E estática será:

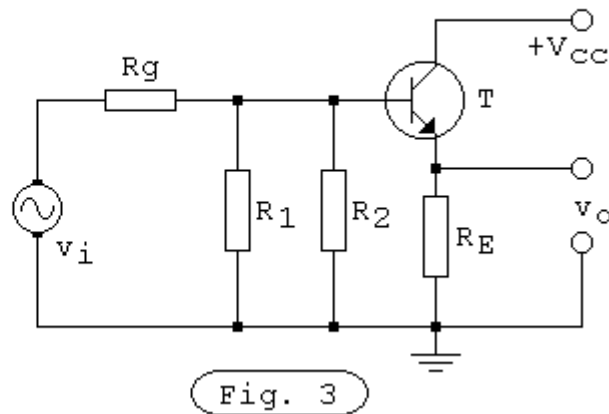
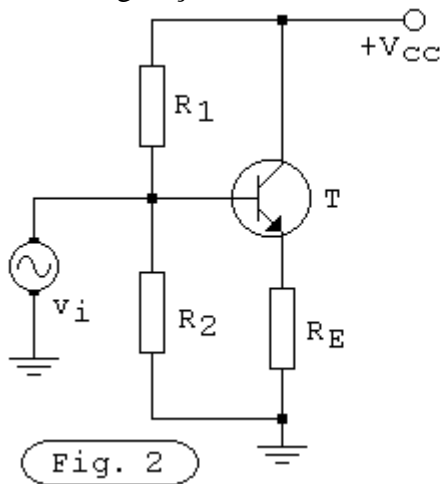
$$V_E = V_{CC} - V_{CE}$$

Dessa forma, a tensão na base será:

$$V_B \cong V_{CC} - V_{CE} + 0,7$$

Na figura 2 temos o circuito equivalente para DC e na figura 3 temos o circuito equivalente para AC.

Através desses circuitos equivalentes, passaremos a estudar as características dessa configuração.



IMPEDÂNCIA DE ENTRADA:

Nessa configuração a tensão de entrada é aplicada em $R_1//R_2$, conforme se observa na figura 3.

Como R_E não está desacoplada, então a resistência efetiva do emissor será:

$$r_e + R_E$$

É importante salientar que na configuração emissor comum, com o emissor desacoplado por C_E essa resistência era somente r_e .

Assim o gerador vê a impedância no transistor:

$$Z_{i(T)} = (r_e + R_E)h_{fe}$$

Como h_{fe} é elevada e R_E também o é em relação a r_e , a impedância de entrada do transistor vem que determinada exclusivamente pelo produto $R_E.h_{fe}$. Como normalmente $R_1//R_2$ é muito menor que $R_E.h_{fe}$ podemos escrever:

$$Z_i = R_1//R_2//(R_E + r_e).h_{fe}$$

Logo: $Z_i = R_1//R_2$

IMPEDÂNCIA DE SAÍDA:

Levando-se em consideração que normalmente o sinal aplicado a esta configuração provém de fontes com impedância interna elevada, devemos levar em consideração que o sinal aplicado ao transistor não é v_i , mas, apenas uma parte dele, que denominaremos v_b , ficando assim a outra parte do sinal na impedância do gerador a qual denominaremos R_g .

Aplicando-se o teorema de Thèvenin encontraremos a resistência de Thèvenin, conforme ilustra a figura 4.

A impedância de Thèvenin será: $Z_{TH} = R_g // R_1 // R_2$

A tensão de Thèvenin será: $V_{TH} = v_b$

Substituindo o transistor por uma fonte de corrente i_c em série com a resistência r_e , temos o circuito equivalente mostrado na figura 5 para AC.

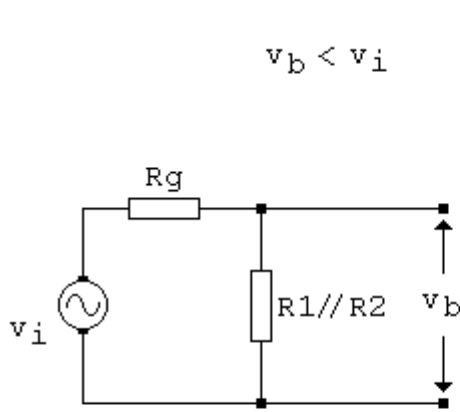


Fig. 4

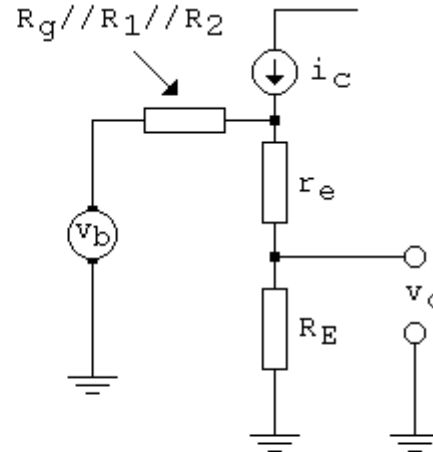


Fig. 5

Circuito equivalente para c.a.

Analisando a tensão de saída v_o , verifica-se que R_E está em paralelo com a impedância de saída do transistor que é:

$$Z_{O(T)} = \frac{R_g // R_1 // R_2}{h_{fe}} + r_e$$

Analisando a influência de h_{fe} sobre a resistência equivalente associada ao circuito de base vendo-a depois da saída, temos:

$$Z_o = Z_{O(T)} // R_E$$

Como R_E é normalmente elevada frente a $Z_{O(T)}$, a impedância de saída desta configuração é aproximadamente a interna do próprio transistor, ou seja, muito baixa (algumas dezenas de ohms).

GANHO DE TENSÃO:

Considerando a tensão v_b como a tensão efetiva aplicada ao circuito mostrado na figura 6, teremos a forma simplificada desse circuito, mostrada na figura 7.

Observe no circuito da figura 6, que efetivamente a tensão de entrada aplicada no transistor é v_b uma vez que para do sinal de entrada perde-se em virtude da resistência interna do gerador “ R_g ”.

Então, para efeito de cálculos podemos considerar que a tensão v_i é a própria v_b , conforme sugere o circuito simplificado da figura 7.

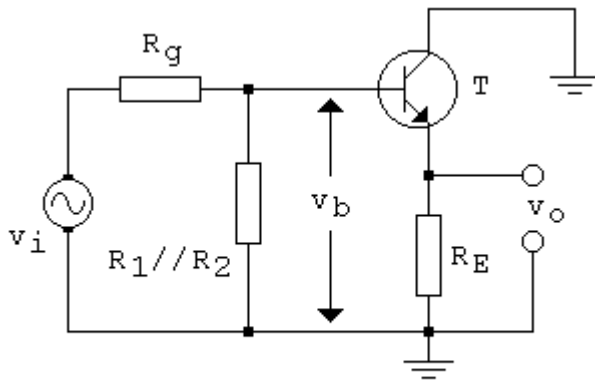


Fig. 6

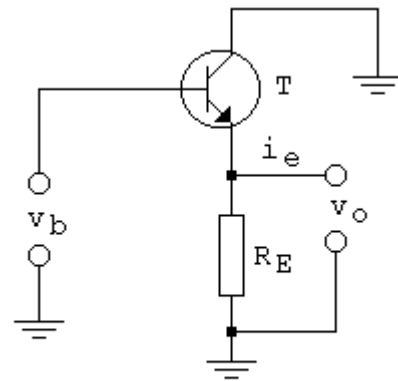


Fig. 7

Como a resistência que apresenta o transistor a v_b é a resistência dinâmica do diodo emissor, isto é, r_e , teremos então:

$$v_b = (R_E + r_e) \cdot i_e$$

Podemos então escrever que: $v_b = v_i$ (efetiva)

Analisando o circuito simplificado da figura 7, vemos que:

$$v_o = R_E i_e$$

Logo:

$$A_V = \frac{v_o}{v_i} = \frac{R_E i_e}{(R_E + r_e) i_e} = \frac{R_E}{R_E + r_e}$$

Analisando a fórmula acima nota-se então que $A_V < 1$, mas, considerando-se $R_E \gg r_e$, podemos desprezar então a influência de r_e , onde teremos:

$$A_V = \frac{v_o}{v_i} = \frac{R_E}{R_E} = 1$$

GANHO DE CORRENTE:

Como nesta configuração relaciona-se as correntes i_e e i_b , presume-se então um ganho de corrente elevado e desta forma teremos:

$$A_i(T) = \frac{i_o}{i_i} = \frac{i_e}{i_b}$$

Como $i_c \cong i_e$, então:

$$A_{i(T)} \cong h_{fe}$$

O ganho de corrente do circuito será ligeiramente menor devido a influência de R_1/R_2 e será:

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

Considerando $v_o \cong v_i$, obtemos:

$$A_i = \frac{Z_o}{Z_i}$$

Como $Z_i \gg Z_o$, obtém-se um ganho de corrente elevado e de valores muito parecidos com os da configuração E.C.

RELAÇÃO DE FASE:

O próprio nome “seguidor de emissor” sugere que as tensões de entrada e de saída estão em fase.

Ao aumentar v_i aumenta a polarização efetiva de base, aumentando i_e a qual provoca um aumento da queda de tensão em R_E . Ao contrário, se diminuir v_i diminuirá também i_e e como consequência diminuirá a tensão nos extremos de R_E , tensão essa que é a própria v_o .

Dessa forma, as tensões v_i e v_o seguem a mesma relação de fase, conforme ilustra o gráfico da figura 8.

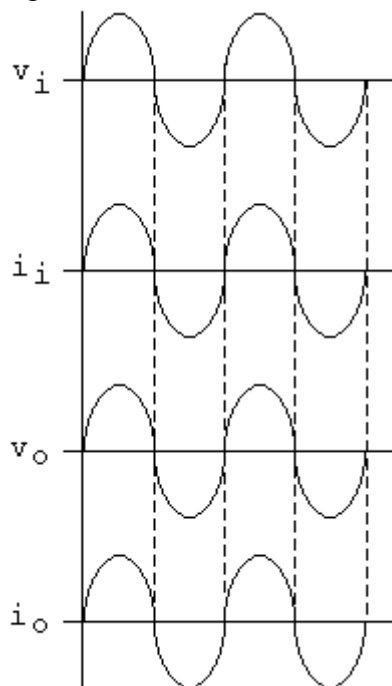


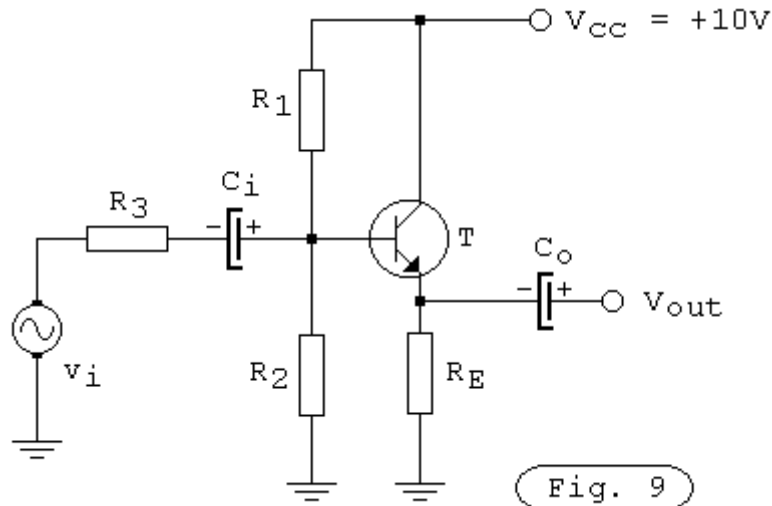
Fig. 8

PARTE PRÁTICA

MATERIAIS NECESSÁRIOS

- 1- Fonte de alimentação 0-20V
- 1- Multímetro digital ou analógico
- 1- Osciloscópio
- 1- Módulo de ensaios ELO -1

1- Monte o circuito da figura 9.



v_i - gerador de áudio

$R_1 = R_2$ - resistores de $10\text{K}\Omega$, $1/4\text{W}$ (R27, R28)

R_3 - resistor de $3,9\text{K}\Omega$, $1/4\text{W}$ (R23)

R_E - resistor de $4,7\text{K}\Omega$, $1/4\text{W}$ (R24)

C_i - capacitor eletrolítico de $1\mu\text{F}$, 25V (C1)

C_o - capacitor eletrolítico de $470\mu\text{F}$, 25V (C12)

T - transistor BC337 ou 2N3904 (T5)

2- Calcule as tensões DC e AC na base, emissor e coletor do transistor e anote na tabela 1. Considere o sinal do gerador 1V_{pp} a uma frequência de 10kHz .

3- Meça as tensões DC e AC (pico a pico) no circuito, anotando-as na tabela 2.

Tabela 1

Tensões	VALORES CALCULADOS			VALORES MEDIDOS		
	B	E	C	B	E	C
CC						
CA						

4- Calcule a impedância de saída do circuito e anote na tabela 2.

5- Reduza o sinal do gerador de 1V para 100mV , mantendo a frequência de 10kHz .

6- Meça a tensão de pico a pico na saída, sem carga.

7- Conecte um resistor de 47Ω , $1/4\text{W}$ na saída.

8- Meça e anote a tensão de pico a pico na saída, com carga.

9- Calcule a impedância de saída do seguidor de emissor com os dados obtidos nos procedimentos 6 a 8. Anote sua resposta experimental na tabela 2.

Tabela 2: impedância de saída

CALCULADA	
SEM CARGA	
COM CARGA	
EXPERIMENTAL	

VERIFICAÇÃO DE DEFEITOS:

10- Para o circuito da figura 9, suponha que R_1 esteja aberto. Estime as tensões DC e AC e anote na tabela 3.

11- Repita o passo anterior para cada um dos defeitos listados na tabela 3.

12- Simule cada um dos defeitos. Meça e anote as tensões DC e AC na tabela 3.

Tabela 3: verificação de defeitos

DEFEITO	CALCULADO		MEDIDO	
	V_E	v_e	V_E	v_e
R_1 aberto				
R_2 aberto				
R_3 aberto				
R_E aberto				
C_i aberto				
C_o aberto				

PROJETO:

13- Considere o circuito da figura 9. Determine um valor para R_E de modo que a corrente DC no emissor seja de 2,5mA.

14- Monte o circuito utilizando o valor de R_E projetado. Complete a tabela 4, de acordo com os itens nela listados.

Tabela 4: projeto

R_E calculado	
V_E medida	
I_E medida	

INFORMAÇÃO ADICIONAL:

A tabela 5 mostra um resumo comparativo entre as configurações E.C., B.C. e C.C. no que diz respeito aos ganhos de tensão, corrente e potência, bem como os valores típicos das impedâncias de entrada e saída.

Dentre as três configurações, a que apresenta maior ganho de potência é a configuração emissor comum.

Tabela 5

CONFIGURAÇÃO	A_v	A_i	A_p	Z_i	Z_o	θ
E.C.	alto	alto	m.alto	média	média	180°
B.C.	alto	1	alto	baixa	média	0
C.C.	$\cong 1$	alto	alto	média	baixa	0

QUESTÕES:

1- Qual a principal aplicação do seguidor de emissor?

2- Explique resumidamente porque não se desacopla o emissor em uma configuração seguidor de emissor.

3- Qual é a característica do ganho de tensão e do ganho de corrente em um seguidor de emissor?

4- Qual é a impedância característica de entrada e saída em um seguidor de emissor?

5- Porque a configuração coletor comum introduz baixa distorção no sinal de saída?
