

6 CIRCUITO DE COMUTAÇÃO COM TRANSÍSTOR

6.1 Objetivos

Estudar um circuito simples com um transístor bipolar.

Verificar que o circuito de comutação permite comutar correntes mais elevadas utilizando sinais com pouca energia.

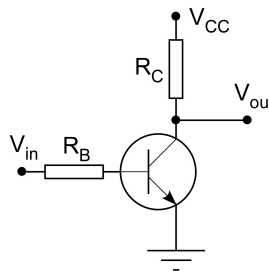
Determinar o ganho em corrente do transístor.

6.2 Execução do trabalho

Recomenda-se a leitura do Apêndice Transístores Bipolares.

Operação

O esquema do circuito a utilizar é o seguinte:



1. Dimensione o circuito da figura utilizando o transístor BC547, BC107 ou equivalente, de forma a obter o funcionamento desejado. Estes transístores têm um ganho de corrente (fator β) de ≈ 300 quando a temperatura é de 25°C . Em corte, a corrente do coletor é nula (inferior ao microampère), e na saturação poderá ser fixada, por exemplo, em 10 mA (I_{Cmax} , que deve obviamente ser inferior à corrente suportada pelo transístor). Utilize para V_{CC} a tensão de 5 V. Obtenha a tensão V_{in} a partir de um gerador de tensão, em onda triangular positiva (Use os controlos de amplitude e “offset” para obter a gama de trabalho). Use uma frequência de 1 kHz para obter uma boa visualização no osciloscópio.

Para dimensionar as resistências do circuito tenha em consideração os seguintes fatores:

- 1- A corrente de coletor máxima deverá ser bastante inferior à corrente máxima admissível neste transístor (100 mA). O valor indicado pelo fabricante para a corrente máxima tem que ser enquadrado com a potência máxima que ele dissipa (500 mW), isto quer dizer que o transístor poderá ter 100 mA desde que a diferença de potencial seja inferior a 5 V (o

transístor irá aquecer bastante nesta situação). Neste trabalho vamos obrigar a corrente a ser menor que 10 mA. Neste caso deveremos ter

$$R_C > \frac{V_{CC} - V_{CE_{sat}}}{0,01} \quad \text{em que } V_{CE_{sat}} \approx 0,2 \text{ V.}$$

2- A escolha da resistência de base (R_B) depende da nossa escolha para a zona de transição na saída. Uma transição rápida (i.e. para que uma pequena variação na tensão de entrada passe da zona de corte para a saturação escolheremos uma resistência baixa, para uma transição suave, escolheremos uma resistência maior. Recordemos que a corrente de coletor na zona linear é dada por

$$I_C = \beta I_B$$

e que I_B é dada por

$$\begin{aligned} I_B &= \frac{V_{in} - V_{BE}}{R_B} \quad \text{se } V_{in} > V_{BE} \quad (V_{BE} \approx 0,7 \text{ V}) \\ I_B &= 0 \quad \text{se } V_{in} < V_{BE}. \end{aligned}$$

2. Monte o circuito e registe o seu funcionamento.
3. Usando a zona de transição, estime o β do transístor para estas condições de funcionamento.
4. Repita a análise com outros valores de R_C e R_B .



BC546/547/548/549/550

Switching and Applications

- High Voltage: BC546, $V_{CE0}=85V$
- Low Noise: BC549, BC550
- Complement to BC558 ... BC560



NPN Epitaxial Silicon Transistor

Absolute Maximum Ratings $T_a=25^\circ C$ unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Value	Units
V_{CBO}	Collector-Base Voltage : BC546	80	V
	: BC547/550	50	V
	: BC548/549	30	V
V_{CEO}	Collector-Emitter Voltage : BC546	85	V
	: BC547/550	45	V
	: BC548/549	30	V
V_{EBO}	Emitter-Base Voltage : BC546/547	6	V
	: BC548/549/550	5	V
I_C	Collector Current (DC)	100	mA
P_C	Collector Power Dissipation	500	mW
T_J	Junction Temperature	150	$^\circ C$
T_{STG}	Storage Temperature	-65 ~ 150	$^\circ C$

Electrical Characteristics $T_a=25^\circ C$ unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Test Condition	Min.	Typ.	Max.	Units
I_{CBO}	Collector Cut-off Current	$V_{CB}=30V, I_E=0$			15	nA
h_{FE}	DC Current Gain	$V_{CE}=5V, I_C=2mA$	110		800	
$V_{CE(sat)}$	Collector-Emitter Saturation Voltage	$I_C=10mA, I_B=0.5mA$		90	250	mV
		$I_C=100mA, I_B=5mA$		200	600	mV
$V_{BE(sat)}$	Base-Emitter Saturation Voltage	$I_C=10mA, I_B=0.5mA$		700		mV
		$I_C=100mA, I_B=5mA$		900		mV
$V_{BE(on)}$	Base-Emitter On Voltage	$V_{CE}=5V, I_C=2mA$	580	660	700	mV
		$V_{CE}=5V, I_C=10mA$			720	mV
f_T	Current Gain Bandwidth Product	$V_{CE}=5V, I_C=10mA, f=100MHz$		300		MHz
C_{ob}	Output Capacitance	$V_{CB}=10V, I_E=0, f=1MHz$		3.5	6	pF
C_{ib}	Input Capacitance	$V_{EB}=0.5V, I_C=0, f=1MHz$		9		pF
NF	Noise Figure : BC546/547/548 : BC549/550 : BC549 : BC550	$V_{CE}=5V, I_C=200\mu A$		2	10	dB
		$f=1KHz, R_G=2K\Omega$		1.2	4	dB
		$V_{CE}=5V, I_C=200\mu A$		1.4	4	dB
		$R_G=2K\Omega, f=30\sim 15000MHz$		1.4	3	dB

h_{FE} Classification

Classification	A	B	C
h_{FE}	110 ~ 220	200 ~ 450	420 ~ 800

6.3 Introdução teórica

O circuito de comutação, frequentemente designado também por circuito inversor, é um dos elementos básicos da eletrónica. Por um lado permite controlar correntes elevadas com um sinal fraco, por outro lado permite implementar a função lógica “não” de forma simples.

A configuração mais usual encontra-se representada na figura seguinte.

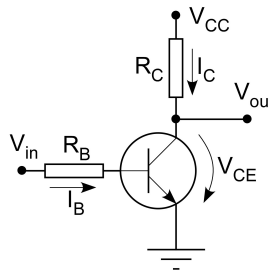


Figura 6-1. Circuito inversor (ou de comutação) utilizando um transistor.

A resistência R_C poderá ser um outro componente (motor, aquecedor, etc.) dependendo da utilização.

De uma forma simples, podemos considerar o transistor bipolar como dois díodos invertidos e com as duas junções suficientemente próximas para a passagem de corrente numa delas influenciar o funcionamento da outra. Isto quer dizer que trocando o coletor com o emissor, o transistor funcionaria da mesma forma (embora com características diferentes, pois as duas junções não são iguais). Podemos dividir o funcionamento do transistor em três regimes: linear, corte e saturação.

Se o transistor estiver a funcionar no modo linear (fora do corte e da saturação), a corrente no coletor (I_C) pode ser considerada como sendo proporcional à corrente de base (I_B):

$$I_C = \beta I_B. \quad (1)$$

No caso geral, a corrente que passa no coletor do transistor (I_C) será dada por:

$$\begin{aligned} I_C &= 0 && \text{se a corrente de base } (I_B) \text{ for nula (transistor em corte)} \\ I_C &= \beta I_B && \text{se houver corrente de base } (I_B > 0) \text{ e o transistor não estiver saturado} \\ I_C &= \frac{V_{CC} - V_{CE_{Sat}}}{R_C} && \text{se o transistor estiver saturado, i.e. se } I_B > \frac{V_{CC} - V_{CE_{Sat}}}{\beta R_C}. \end{aligned}$$

Em corte, a tensão aplicada no ramo da base não é suficiente para vencer o potencial do diodo base-emissor, tendo-se $I_B = 0$. Neste caso não há passagem de corrente no coletor e a tensão V_{out} é igual a V_{CC} . Para um transistor de Silício a teremos que vencer 0,6 V.

Em saturação, a corrente de base é suficientemente elevada para toda a tensão de alimentação cair em R_C . A tensão de saída não fica em zero devido a uma queda de tensão entre o coletor e o emissor ($V_{CE_{Sat}}$ normalmente inferior a 0,2 V).

Em funcionamento linear a corrente de base é dada por

$$I_B = \frac{V_{in} - V_{BE}}{R_B}. \quad (2)$$

Como em funcionamento linear temos $I_C = \beta I_B$ e $V_{out} = V_{CC} - R_C I_C$, teremos

$$V_{out} = V_{CC} - \frac{\beta R_C (V_{in} - V_{BE})}{R_B}. \quad (3)$$

O ‘ganho’ deste circuito é $-\beta R_C / R_B$. Se este valor for muito elevado teremos uma transição muito rápida, i.e., o transistor comutará entre a situação de corte ($V_{out} = V_{CC}$) e a de saturação ($V_{out} = V_{BE_{Sat}}$). Se o valor for mais baixo teremos uma transição suave entre estes dois valores¹.

Para uma análise mais completa do funcionamento do transistor bipolar recomenda-se a leitura do apêndice Transistores Bipolares.

¹Para amplificar sinais AC separa-se, com um condensador o funcionamento DC e o AC. Em DC coloca-se o transistor com a saída aproximadamente em $V_{CC}/2$ e o ganho pretendido em AC.