

第 1 章 概論

立即練習詳解

1-1 電子學發展歷史及未來趨勢

》》理論重點 2 電子學的發展歷史 p.1-5

1. 電子學是研究荷電質點在氣體、真空或半導體中移動的科學。
2. 電晶體輸出功率較真空管小。
4. TRIAC：雙向矽控器。
FET：場效電晶體。
SCR：矽控整流器。

》》理論重點 3 電子學的未來趨勢 p.1-6

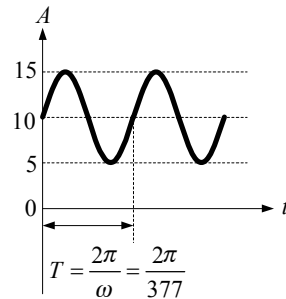
1. 4C（元件、通訊、計算、控制）的發展，彼此之間相輔相成，密不可分。
2. 耗電量愈來愈小。

1-2 直流與交流

》》理論重點 1 直流與交流波形 p.1-8

1. 正弦波的極性也會隨時間而變。
2. (1) 平均值 $I_{av} = 10 \text{ A}$

$$(2) \text{有效值 } I_{rms} = \sqrt{(10)^2 + \left(\frac{5}{\sqrt{2}}\right)^2} = 10.6 \text{ A}$$



1-3 正弦波 (sine wave)

》》理論重點 1 正弦波標準式 p.1-10

1. (1) $\frac{T}{2} = 0.025 \text{ ms}$, $T = 0.05 \text{ ms}$
(2) $f = \frac{1}{T} = \frac{1}{0.05\text{ms}} = 20 \text{ kHz}$
2. (1) $T = \frac{1}{f} = \frac{1}{100} = 10 \text{ ms}$
(2) $\Delta t = \frac{\theta}{2\pi} \times T = \frac{45^\circ}{360^\circ} \times (10\text{ms}) = 1.25 \text{ ms}$

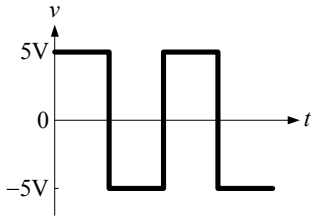
》》理論重點 2 正弦波的電壓值 p.1-14

2. $V_{rms} = \frac{V_{P-P}}{2\sqrt{2}} = \frac{5}{2\sqrt{2}} \text{ V}$
3. (1) $V_m = \frac{V_{P-P}}{2} = \frac{20}{2} = 10 \text{ V}$
 (2) $\omega = 2\pi f = 2\pi \times (10^3)$
 (3) $v(t) = V_m \sin(2\pi ft + \theta) = 10 \sin(2\pi \times 10^3)t \text{ V}$
4. (1) $\omega = 2\pi f = 2\pi \frac{1}{T}$, $T = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2\pi}{3140} = \frac{2 \times 3.14}{3140} = 2 \text{ ms}$
 (2) $I_{rms} = \frac{1}{\sqrt{2}} I_m = \frac{1}{\sqrt{2}} (10\sqrt{2}) = 10 \text{ A}$
5. $V_{rms} = \frac{1}{\sqrt{2}} V_m = \frac{1}{\sqrt{2}} (100\sqrt{2}) = 100 \text{ V}$
6. (1) $v(t) = V_m \sin(2\pi ft + \theta) = 100 \sin(377t - 30^\circ)$
 (2) $V_m = 100 \text{ V}$
 (3) $\omega = 2\pi f = 377$, $f = \frac{377}{2\pi} = 60 \text{ Hz}$
7. (1) $v(t) = V_m \sin(2\pi ft + \theta) = 100 \sin(314t - 30^\circ)$
 (2) $V_m = 100 \text{ V}$
 (3) $v(0.01) = 100 \sin(314 \times 0.01 - 30^\circ) = 100 \sin(\pi - 30^\circ) = 100 \sin(150^\circ) = 50 \text{ V}$
8. 家用電器額定電壓是指有效值電壓。
9. $V_m = \sqrt{2} V_{rms} = \sqrt{2} (110) = 156 \text{ V}$
10. $i(\frac{1}{240}) = 100 \sin(377 \times \frac{1}{240} - 60^\circ) = 100 \sin(2\pi \times 60 \times \frac{1}{240} - 60^\circ)$
 $= 100 \sin(\frac{\pi}{2} - 60^\circ) = 100 \sin 30^\circ = 50 \text{ A}$
11. $V_{rms} = 0.707 V_m$; $V_{av} = 0.636 V_m$; 故 $V_m > V_{rms} > V_{av}$
12. 同第 11 題說明。
13. 波峰因數 = $\frac{\text{最大值}}{\text{有效值}} = \frac{V_m}{\frac{1}{\sqrt{2}} V_m} = \sqrt{2}$
14. 波形因數 = $\frac{\text{有效值}}{\text{平均值}} = \frac{\frac{1}{\sqrt{2}} V_m}{\frac{2}{\pi} V_m} = 1.11$

1-4 方波與脈波

理論重點 1 方波 (square wave) p.1-20

$$1. V_{rms} = \sqrt{\frac{V_1^2 \times t_1 + V_2^2 \times t_2}{T}} = \sqrt{\frac{(5)^2 \left(\frac{T}{2}\right) + (-5)^2 \left(\frac{T}{2}\right)}{T}} = \sqrt{\frac{50}{2}} = 5 \text{ V}$$



2. 上升時間為 10% ~ 90% 共佔 1 格，故 $t_r = 0.5 \mu\text{sec}/\text{cm} \times 1\text{cm} = 0.5 \mu\text{sec} = 500 \text{ nsec}$

3. $T = 50 \mu\text{s}/\text{格} \times 4 \text{ 格} = 200 \mu\text{s}$

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{200 \mu\text{s}} = 5 \text{ kHz}$$

4. 工作週期 = $\frac{\left(\frac{T}{2}\right)}{T} \times 100\% = 50\%$

理論重點 2 脈波 (pulse) p.1-23

$$1. V_{av} = \frac{V_1 \times t_1 + V_2 \times t_2 + V_3 \times t_3}{T} = \frac{(10)(1) + (40)(1) + (-20)(1)}{3} = 10 \text{ V}$$

$$2. (1) V_{av} = \frac{V_1 \times t_1 + V_2 \times t_2}{T} = \frac{(1)(2) + (3)(2)}{4} = 2 \text{ V}$$

$$(2) \text{ 工作週期} = \frac{t_1}{T} \times 100\% = \frac{2}{4} \times 100\% = 50\%$$

$$3. V_{rms} = \sqrt{\frac{V_1^2 \times t_1 + V_2^2 \times t_2}{T}} = \sqrt{\frac{(1)^2(1) + (0)^2(1)}{2}} = \frac{1}{\sqrt{2}} \text{ V}$$

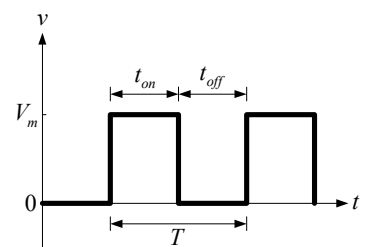
$$4. V_{av} = \frac{V_1 \times t_1 + V_2 \times t_2}{T} = \frac{(1)(1) + (0)(1)}{2} = \frac{1}{2} \text{ V}$$

$$5. (1) V_{av} = \frac{V_1 \times t_1 + V_2 \times t_2}{T} = \frac{(100)(1) + (0)(1)}{2} = 50 \text{ V}$$

$$(2) V_{rms} = \sqrt{\frac{V_1^2 \times t_1 + V_2^2 \times t_2}{T}} = \sqrt{\frac{(100)^2(1) + (0)^2(1)}{2}} = 70.7 \text{ V}$$

$$6. V_{av} = \frac{V_1 \times t_1 + V_2 \times t_2}{T} = \frac{V_m \times t_{on} + 0 \times t_{off}}{T} = V_m \times \frac{t_{on}}{T}$$

$$\text{工作週期} = \frac{t_{on}}{T} = \frac{V_{av}}{V_m}$$



$$7. \text{ 工作週期} = \frac{t_{on}}{T} \times 100\% = 25\% ; \frac{t_{on}}{T} = 0.25 ,$$

$$T = \frac{t_{on}}{0.25} = \frac{200\mu\text{s}}{0.25} = 800\mu\text{s} , f = \frac{1}{T} = \frac{1}{800\mu\text{s}} = 1.25\text{ kHz}$$

$$8. (1) \text{ 動圈式測平均值 } V_{av} = \frac{(10)(1) + (0)(1)}{2} = 5\text{ V}$$

$$(2) \text{ 動鐵式測有效值 } V_{rms} = \sqrt{\frac{(10)^2(1) + (0)^2(1)}{2}} = 7.07\text{ V}$$

$$9. \text{ 工作週期} = \frac{t_P}{T} \times 100\% = \frac{1\text{ms}}{5\text{ms}} \times 100\% = 20\%$$

1-5 三角波與鋸齒波

理 論 重 點 1 三角波 p.1-26

1. (1) $0 \leq t \leq 5$ 秒

$$v(t) = 10 , i(t) = 2t$$

$$\begin{aligned} W &= \int_0^5 v(t)i(t)dt \\ &= \int_0^5 10 \times 2tdt \\ &= 10t^2 \Big|_0^5 = 250 \text{ 焦耳} \end{aligned}$$

(2) $5 < t \leq 10$ 秒

$$v(t) = 0 , i(t) = -2t$$

$$W = 0$$

$$2. V_{av} = \frac{V_{av1} \times t_1 + V_{av2} \times t_2 + V_{av3} \times t_3}{T} = \frac{(10)(2) + (\frac{10}{2})(2) + (\frac{-10}{2})(2)}{6} = \frac{10}{3}\text{ V}$$

$$\begin{aligned} 3. V_{rms} &= \sqrt{\frac{V_{rms1}^2 \times t_1 + V_{rms2}^2 \times t_2 + V_{rms3}^2 \times t_3}{T}} = \sqrt{\frac{(10)^2(2) + (\frac{10}{\sqrt{3}})^2(2) + (\frac{-10}{\sqrt{3}})^2(2)}{6}} \\ &= \frac{10\sqrt{5}}{3}\text{ V} \end{aligned}$$

4.

波形	平均值	有效值	波形因數 $F.F.$	波峰因數 $C.F.$
正弦波	$\frac{2}{\pi}V_m$	$\frac{1}{\sqrt{2}}V_m$	$\frac{\pi}{2\sqrt{2}} = 1.11$	$\sqrt{2} = 1.414$
方波	V_m	V_m	1	1
三角波	$\frac{1}{2}V_m$	$\frac{1}{\sqrt{3}}V_m$	$\frac{2}{\sqrt{3}} = 1.155$	$\sqrt{3} = 1.732$
直流	V_m	V_m	1	1

理論重點 2 鋸齒波 p.1-29

- 示波器的水平時基信號為鋸齒波。
- 鋸齒波由基本波、偶次諧波與奇次諧波組成。
- (1) $V_{rms} = \frac{V_m}{\sqrt{3}}$
 - (2) $V_{av} = \frac{V_m}{2}$
 - (3) $F.F. = \frac{V_{rms}}{V_{av}} = \frac{2}{\sqrt{3}} = 1.155$
- (1) 示波器水平掃描時間為 $(10.2\text{ms} - 0.2\text{ms}) = 10\text{ms}$ 。
 - (2) 示波器水平共 10 格，因此掃描速率 $\text{time/div} = \frac{10\text{ms}}{10\text{格}} = 1\text{ms/格}$ 。
- $2\pi f = 400\pi$ ， $f = 200\text{Hz}$ ； $T = \frac{1}{f} = \frac{1}{200\text{Hz}} = 5\text{ms}$ ， $X = \frac{10\text{ms}}{5\text{ms}} = 2$

1-6 工場設施介紹

實習重點 4 示波器基本操作 p.1-37

- (1) $f = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{628}{2\pi} = 100\text{Hz}$
 - (2) $T = \frac{1}{f} = \frac{1}{100} = 10\text{ms}$
 - (3) 示波器水平刻度有 10 格，每週佔 5 格，則至少可以顯示 2 週，故刻度旋鈕
 $\text{TIME/DIV} = \frac{10\text{ms}}{5} = 2\text{ms}$
- $\text{VOLTS/DIV} = \frac{10\text{V}}{5} = 2\text{V}$

模擬試題詳解

》》》 電子學試題 p.1-47

1. 邏輯閘數目由多到少依序為：VLSI > LSI > MSI > SSI
2. 元件數目
 - (1) SSI : 10 ~ 100個
 - (2) MSI : 100 ~ 1000個
 - (3) LSI : 1000 ~ 10000個
 - (4) VLSI : 10000 ~ 100000個
3. Pentium III 是 CPU 的產品名稱，其內部元件數目超過 10000 個以上。
5. (1) $V_m = \sqrt{2}V_{rms} = 110\sqrt{2} = 155 \text{ V}$
 (2) $2\pi ft = 2 \times 3.14 \times 60 \times t \doteq 377t$
 (3) $\theta = +30^\circ$ (超前)
 (4) $v(t) = V_m \sin(2\pi ft + \theta) = 155 \sin(377t + 30^\circ)$
6. (1) $V_m = 100\sqrt{2} \text{ V}$
 (2) $V_{rms} = \frac{V_m}{\sqrt{2}} = \frac{100\sqrt{2}}{\sqrt{2}} = 100 \text{ V}$
7. (1) 家用電壓為有效值，即 $V_{rms} = 110 \text{ V}$
 (2) $V_{P-P} = 2V_m = 2\sqrt{2}V_{rms} = 2 \times 1.414 \times 110 = 312 \text{ V}$
8. (1) $T = \frac{1}{f} = \frac{1}{100\text{Hz}} = 10 \text{ ms}$
 (2) $\frac{\theta}{360^\circ} = \frac{t}{T} \Rightarrow t = \frac{\theta}{360^\circ} \times T = \frac{45^\circ}{360^\circ} \times 10\text{ms} = 1.25 \text{ ms}$
9. $v(\frac{1}{300}) = 100 \sin(314 \times \frac{1}{300} + 30^\circ) = 100 \sin(2\pi \times 50 \times \frac{1}{300} + 30^\circ)$
 $= 100 \sin(\frac{\pi}{3} + \frac{\pi}{6}) = 100 \sin(90^\circ) = 100 \text{ V}$
10. (1) $\frac{T}{4} = 0.05\text{ms} \Rightarrow T = 4 \times 0.05\text{ms} = 0.2 \text{ ms}$
 (2) $f = \frac{1}{T} = \frac{1}{0.2\text{ms}} = 5 \text{ kHz}$
11. (1) $v(t) = V_m \sin(2\pi ft + \theta) = 100 \sin 314t$,
 $\Rightarrow V_m = 100 \text{ V}$, $f = 50 \text{ Hz}$, $\theta = 0^\circ$
 (2) $V_{rms} = \frac{V_m}{\sqrt{2}} = \frac{100}{\sqrt{2}} = 50\sqrt{2} \text{ V}$
 (3) $T = \frac{1}{f} = \frac{1}{50\text{Hz}} = 20 \text{ ms}$

12. 正弦波的波形因數 $= \frac{V_{rms}}{V_{av}} = \frac{0.707V_m}{0.636V_m} = 1.11$
13. 兩同頻率之正弦波相加，振幅改變但頻率不變。
14. B 落後 A 90° 。
15. (1) $i(t) = 10\sin(377t + 30^\circ)\text{A}$
 (2) $i(t) = 10\sin(377 \times 0 + 30^\circ) = 5\text{A}$
16. (1) $\omega = 2\pi f = 314$ ， $f = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{314}{2 \times 3.14} = 50\text{Hz}$
 (2) $T = \frac{1}{f} = \frac{1}{50} = 20\text{ms}$
 (3) $\frac{20\text{ms}}{5\text{ms}} = 4\text{格/週}$
 (4) 示波器水平刻度有 10 格，則 $\frac{10}{4} = 2.5\text{週}$
17. (1) $P = I_{rms}^2 \times R \Rightarrow I_{rms} = \sqrt{\frac{P}{R}} = \sqrt{\frac{10}{10}} = 1\text{A}$
 (2) $I_{rms} = \sqrt{\frac{I_m^2 \times 1 + 0 \times 3}{4}} \Rightarrow I_m = 2I_{rms} = 2\text{A}$
18. (1) $V_{av} = \frac{2 \times 2 + 6 \times 2}{4} = 4\text{V}$
 (2) 工作週期 $= \frac{2}{4} \times 100\% = 50\%$
19. $V_{av} = \frac{5 \times 0.25 + V_{\min} \times 0.75}{1} = 2$ ，則 $V_{\min} = 1\text{V}$
20. $I_{av} = \frac{I_m}{2}$
21. (1) $\frac{T}{2} = 4 - 0 = 4\mu\text{s} \Rightarrow T = 2 \times 4\mu\text{s} = 8\mu\text{s}$
 (2) $f = \frac{1}{T} = \frac{1}{8\mu\text{s}} = 125\text{kHz}$
22. (1) $T = 2\mu\text{s/cm} \times 2\text{cm} = 4\mu\text{s}$
 (2) $f = \frac{1}{T} = \frac{1}{4\mu\text{s}} = 250\text{kHz}$
23. (1) 正弦波 $V_{av} = \frac{2}{\pi}V_m$ ， $V_m = \frac{\pi}{2}V_{av} = \frac{3.14}{2} \times 100 = 157\text{V}$
 (2) 方波 $V_{av} = V_m = 100\text{V}$
 (3) 三角波 $V_{av} = \frac{V_m}{2}$ ， $V_m = 2V_{av} = 2 \times 100 = 200\text{V}$

$$24. (1) \text{ 上升時間 } t_1 = \frac{10\text{V}}{100\text{V/ms}} = 0.1 \text{ ms}$$

$$(2) T = 2t_1 = 2 \times 0.1\text{ms} = 0.2 \text{ ms}$$

$$(3) f = \frac{1}{T} = \frac{1}{0.2\text{ms}} = 5 \text{ kHz}$$

$$25. \text{ F.F.} = \frac{V_{rms}}{V_{av}} = \frac{\frac{1}{\sqrt{3}}V_m}{\frac{1}{2}V_m} = \frac{2}{\sqrt{3}} = 1.54$$

》》 電子學實習試題 p.1-49

1. (1) 串聯使用： $V_{\max} = 60 \text{ V}$ ， $I_{\max} = 2 \text{ A}$

(2) 並聯使用： $V_{\max} = 30 \text{ V}$ ， $I_{\max} = 4 \text{ A}$

3. (1) $T = 0.1\text{ms/DIV} \times 4\text{DIV} = 0.4 \text{ ms}$

(2) $f = \frac{1}{T} = \frac{1}{0.4\text{ms}} = 2.5 \text{ kHz} = 2500 \text{ Hz}$

(3) $V_m = 2\text{V/DIV} \times 2.5\text{DIV} = 5 \text{ V}$

(4) $v(t) = V_m \sin(2\pi ft + \theta) = 5 \sin(5000\pi t)\text{V}$

4. (1) 因 $T = 0.4 \text{ ms}$ ，且 $\frac{0.4\text{ms}}{0.4\text{ms/DIV}} = 2 \text{ DIV}$ ，則每週佔兩格

(2) 因水平刻度共 10 格，則 $\frac{10}{2} = 5$ ，顯示 5 個週期

5. (1) $\frac{V_{m2}}{V_{m1}} = \frac{4\text{格}}{2.5\text{格}} = \frac{V_{m2}}{5\text{V}}$ ，則 $V_{m2} = 8 \text{ V}$

(2) $\omega_1 = \omega_2 = 314 \text{ rad/sec}$

(3) $\theta_2 = -\frac{0.5}{4} \times 360^\circ = -45^\circ$

(4) $v_2(t) = V_{m2} \sin(\omega_2 t + \theta_2) = 8 \sin(314t - 45^\circ)$

6. 由 $v_1(t)$ 波形得知：

$$V_{m1} = 5 \text{ V 且佔 } 2.5 \text{ 格，則垂直刻度 VOLTS/DIV} = \frac{5\text{V}}{2.5} = 2 \text{ V}$$

$$T_1 = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{6.28}{314} = 20 \text{ ms 且佔 } 4 \text{ 格，則水平刻度 TIME/DIV} = \frac{20\text{ms}}{4} = 5 \text{ ms}$$

7. 保險絲燒斷後應使用相同規格替換。

8. 應先撥至最高檔位以避免燒毀，再逐次降低檔位提高準確度。

9. 由通電設備所引起的火災，稱為 C 類火災。

第 2 章 二極體

立即練習詳解

2-1 本質半導體 (intrinsic semiconductor)

》》理論重點 1 本質半導體的特性 p.2-8

- (1) 能量 $W = V(\text{伏特}) \times I(\text{安培}) \times t(\text{秒}) = V(\text{伏特}) \times Q(\text{庫侖})$
- (2) $1 \text{ eV} = -1.6 \times 10^{-19} \text{ 庫侖} \cdot \text{伏特}$
- 室溫下， $\text{Si} = 1.1 \text{ eV}$ ， $\text{Ge} = 0.72 \text{ eV}$ 。
- 半導體材料為四價元素：矽 (Si)、鍺 (Ge)、砷化鎵 (GaAs)。雲母為絕緣體。
- 價電子脫離軌道形成空缺即為電洞，將使原子變成帶正電的離子。

2-2 外質半導體 (extrinsic semiconductor)

》》理論重點 1 外質半導體的特性 p.2-10

- P 型半導體之多數載子為電洞，少數載子為電子。
- N 型材料中，帶正電的質子數目仍然等於帶負電的電子數目，因此呈電中性。
- 兩種載子：多數載子與少數載子。
- (1) 任何原子皆為電中性，即電子數目等於質子數目。
- (2) 原子最外層軌道上的電子稱為價電子。
- (3) 在 0°K 下，沒有自由電子，如同一絕緣體。

》》理論重點 2 N 型半導體 p.2-12

- 純質半導體摻入五價元素：磷、砷、銻，可成為 N 型半導體。
- 在 N 型半導體中，多數載子為電子，少數載子為電洞。

》》理論重點 3 P 型半導體 p.2-13

- (1) $p \doteq N_A = \frac{5 \times 10^{22}}{10^8} = 5 \times 10^{14} \text{ 電洞}/\text{cm}^3$
- (2) $n = \frac{n_i^2}{N_A} = \frac{(1.5 \times 10^{10})^2}{5 \times 10^{14}} = 4.5 \times 10^5 \text{ 電子}/\text{cm}^3$
- (3) 電洞濃度 $p >$ 電子濃度 n ，形成 P 型半導體
- P 型材料中多數載子為電洞，少數載子為電子，兩者皆有傳導電流。

2-3 PN 接面 (junction) 二極體

》》理論重點 1 PN 接面二極體的特性 p.2-15

- 在接面附近，N 端的電子擴散至 P 端與電洞結合，因此在接面附近，N 端形成正離子，P 端形成負離子。

2. 原子為電中性，失去電子後將形成正離子。
3. 在空乏層內，P 端僅有負離子，N 端僅有正離子。
4. 空乏區內僅有正、負離子，沒有電子與電洞。

2-4 二極體之偏壓

理論重點 1 順向偏壓 (forward bias) p.2-16

1. 順向偏壓→空乏區變小
逆向偏壓→空乏區變大
2. 二極體的順向電壓隨溫度增加而減少，矽為 $-2.5\text{mV}/^\circ\text{C}$ ，鍺為 $-1\text{mV}/^\circ\text{C}$ 。

理論重點 2 逆向偏壓 (reverse bias) p.2-18

1. PN 接面加逆向偏壓將使空乏區變大。
2. 二極體施加逆向偏壓 (P 端為負，N 端為正) 對少數載子 (P 端為電子，N 端為電洞) 而言為順向偏壓，因此會形成少數載子流。

$$3. I_{S(350^\circ\text{K})} = I_{S(300^\circ\text{K})} \times 2^{\frac{350-300}{10}} = (1\mu\text{A})(32) = 32\mu\text{A}$$

$$4. I_{S(65^\circ\text{C})} = I_{S(25^\circ\text{C})} \times 2^{\frac{65-25}{10}} = (2\text{nA})(16) = 32\text{nA}$$

種類 \ 特性	最高工作溫度	臨界切入電壓	反向飽和電流	逆向峰值電壓
矽二極體	$150^\circ\text{C} \sim 200^\circ\text{C}$	$0.6\text{V} \sim 0.7\text{V}$	數 nA	250V
鍺二極體	$90^\circ\text{C} \sim 120^\circ\text{C}$	$0.2\text{V} \sim 0.3\text{V}$	數 μA	50V

2-5 二極體 (diode) 之特性曲線

理論重點 1 二極體結構與符號 p.2-19

1. (1) 矽製二極體功能為整流、截波。
(2) 鍺製二極體功能為檢波。
2. 接腳使用金屬材料，是為了形成歐姆接觸 (ohmic contact)。

理論重點 2 二極體之等效電路模型 p.2-25

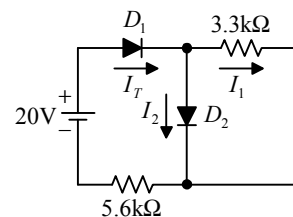
1. 依分流定理，二極體並聯可增加最大電流。
2. 依分壓定理，二極體串聯可增加最大逆向電壓。

$$3. (1) I_1 = \frac{V_{D2}}{3.3\text{k}} = \frac{0.7\text{V}}{3.3\text{k}} = 0.212\text{ mA}$$

$$(2) I_T = \frac{20 - V_{D1} - V_{D2}}{5.6\text{k}} = \frac{20 - 0.7 - 0.7}{5.6\text{k}} = 3.32\text{ mA}$$

$$(3) I_2 = I_T - I_1 = 3.32 - 0.212 = 3.1\text{ mA}$$

4. (1) D_1 較 D_2 容易導通，假設 D_1 導通， D_2 截止。
(2) $V_o = 5\text{V} \Rightarrow$ 受 D_2 受逆偏截止 (假設成立)。



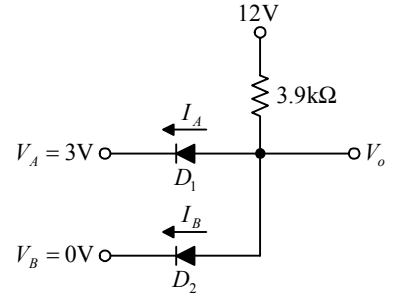
5. (1) 因 $V_A = 3\text{ V}$ 、 $V_B = 0\text{ V}$ ， D_2 較 D_1 容易導通，假設 D_1 截止， D_2 導通。

(2) D_2 導通 $V_o = 0\text{ V}$

\Rightarrow 使 D_1 受逆偏截止（假設成立），則

$$I_A = 0\text{ A}$$

$$I_B = \frac{12 - 0}{3.9\text{k}} = 3.08\text{ mA}$$



6. (1) D_3 較 D_1 、 D_2 容易導通，假設 D_1 、 D_2 截止， D_3 導通。

(2) $V = 1$ 伏特 \Rightarrow 使 D_1 、 D_2 受逆偏截止、（假設成立）。

(3) $I = \frac{10 - 1}{2\text{k}} = 4.5$ 毫安培。

7. (1) D 受順偏導通。

(2) $V_o = (16 - 0.7 - 5.3) \times \frac{2\text{k}}{3\text{k} + 2\text{k}} + 5.3 = 9.3\text{ V}$ 。

8. (1) 諾頓 \Rightarrow 戴維寧

$$E = I \times 2.2\text{k} = 10\text{mA} \times 2.2\text{k} = 22\text{ V}$$

(2) $V_o = (22 - 0.7) \frac{2.2\text{k}}{2.2\text{k} + 2.2\text{k}} = 10.65\text{ V}$

9. 理想二極體特性曲線

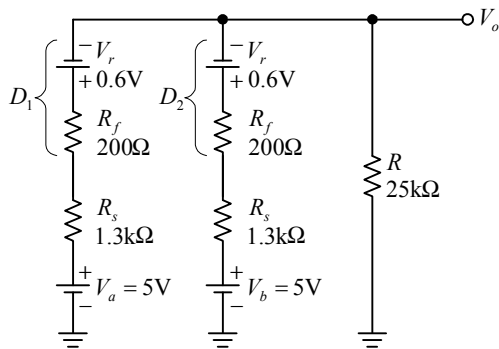
(1) 順向特性： $R_f = 0$ ， $V_F = 0$

(2) 逆向特性： $R_r = \infty$ ， $I_R = \frac{V_R}{R_r} = 0$

10. (1) $V_a = V_b = 5\text{ V}$ ，假設 D_1 及 D_2 皆導通

(2) 利用密爾門定理，得

$$V_o = \frac{\frac{5 - 0.6}{1.3\text{k} + 200} + \frac{5 - 0.6}{1.3\text{k} + 200}}{\frac{1}{1.3\text{k} + 200} + \frac{1}{1.3\text{k} + 200} + \frac{1}{25\text{k}}} = 4.27\text{ V}$$



(3) $V_o = 4.27\text{ V}$ ，對 D_1 及 D_2 而言皆導通（假設成立）。

》》理論重點 3 二極體之電阻特性 p.2-27

1. $R_B = \frac{0.9V}{60mA} = 15 \Omega$
2. $R_f = \frac{V_{DQ} - V_r}{I_{DQ}} = \frac{0.7 - 0.6}{20mA} = 5 \Omega$

》》理論重點 4 二極體之電容特性 p.2-29

1. 主要是發生在順向偏壓下。

2-6 二極體的識別

》》實習重點 1 二極體規格 p.2-31

1. 二極體串聯電阻的目的在平衡兩個二極體所通過的電流，以獲得熱平衡。
2. 1N4004 最大逆向耐電壓為 400V。

》》實習重點 2 二極體編號 p.2-33

1. 1N4001 規格為 1A/50V，1N4002 規格為 1A/100V。
2. 二極體具有單向導通的特性。

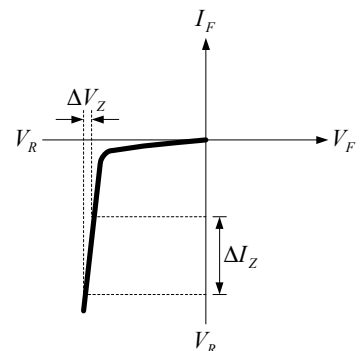
》》實習重點 3 二極體量測 p.2-36

1. 電表黑棒（電池正端）接二極體 P 端，紅棒（電池負端）接二極體 N 端時，二極體為順向偏壓，電阻值很小。
2. 鍺二極體（如 1N60）之 LV = 0.2 V。
矽二極體（如 1N4001）之 LV = 0.6 V。
3. 示波器 CH1、CH2 均應輸入電壓值。如待測電路所示，CH1 接於 H 端之電壓值為 $V_D + I_D R_2 \cong V_D$ ，CH2 接於 V 端之電壓值為 $-I_D R_2$ ，正比於 $-I_D$ ，因此所得波形為(D)圖。
4. (1) 鍺二極體 LV = 0.2 V，矽二極體 LV = 0.6 V。
(2) 鍺二極體 $V_K = 0.2 V$ ，矽二極體 $V_K = 0.5 V$ 。
(3) 二極體不具放大作用。
5. $I_{\max} = \frac{1.5 \times 2}{20 \times 10} = \frac{3}{200} = 15 \text{ mA}$

2-7 稽納二極體 (Zener diode)

》》理論重點 1 稽納二極體的特性 p.2-39

1. 如右圖所示，雖然 ΔI_Z 變動很大，但 ΔV_Z 卻變動很小，因此可保持稽納二極體兩端電壓的穩定性穩壓。
2. 稽納二極體工作於逆向崩潰區時，具穩壓作用。
3. (A)圖為一般二極體。
(B)圖為稽納二極體。
(C)圖為發光二極體。
(D)圖為光電二極體。



》》理論重點 2 稽納二極體穩壓電路 p.2-43

1. (1) $V_i \frac{R_Z}{R_1 + R_2} = 20 \frac{20k}{10k + 20k} = 13.3 \text{ V} > V_Z \Rightarrow$ 稽納二極體正常工作

(2) $V_o = V_Z = 10 \text{ V}$

2. (1) $V_i \frac{R_L}{R_S + R_L} = 15 \frac{200}{100 + 200} = 10 \text{ V} > V_Z \Rightarrow$ 稽納二極體正常工作

(2) $I_S = \frac{V_i - V_Z}{R_S} = \frac{15 - 5}{100} = 100 \text{ mA}$

(3) $I_L = \frac{V_Z}{R_L} = \frac{5}{200} = 25 \text{ mA}$

(4) $I_Z = I_S - I_L = 100 - 25 = 75 \text{ mA}$

(5) $P_Z = V_Z I_Z = (5\text{V})(75\text{mA}) = 375 \text{ mW}$

3. (1) $V_i \frac{R_L}{R_S + R_L} = 12 \frac{1k}{1k + 1k} = 6 \text{ V} < V_Z \Rightarrow$ 稽納二極體不工作

(2) $V_o = V_i \frac{R_L}{R_S + R_L} = 6 \text{ V}$

4. 稽納二極體功用為穩壓 \Rightarrow 定電壓器。

5. (1) $V_i \frac{R_L}{R_S + R_L} \geq V_Z \Rightarrow$ 稽納二極體才可正常工作

(2) $R_{L(\min)} = \frac{V_Z}{V_i - V_Z} R_S = \frac{10}{20 - 10} (1k) = 1 \text{ k}\Omega$

6. (1) $I_{Z(\max)} = \frac{P_{Z(\max)}}{V_Z} = \frac{500\text{mW}}{10\text{V}} = 50 \text{ mA}$

(2) $I = \frac{V_i - V_Z}{R_S} = \frac{35 - 10}{2.5k} = 10 \text{ mA} = I_Z$

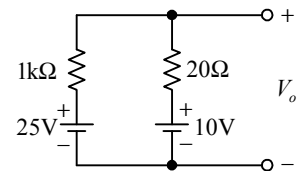
(3) $I_Z < I_{Z(\max)} \Rightarrow$ 稽納二極體正常工作不會燒毀

7. (1) $r_Z = \frac{\Delta V_Z}{\Delta I_Z} = \frac{50\text{mV}}{2\text{mA}} = 25 \Omega$

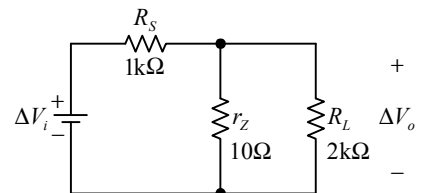
(2) $V_Z = 6.8 + (4\text{mA})(25\Omega) = 6.9 \text{ V}$

8. 利用密爾門定理，可得

$$V_o = \frac{\frac{25}{1k} + \frac{10}{20}}{\frac{1}{1k} + \frac{1}{20}} \doteq 10.3 \text{ V}$$

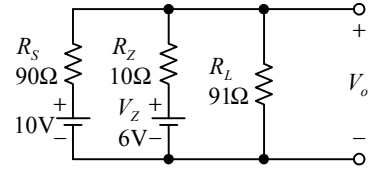


9. $\Delta V_o = \Delta V_i \frac{r_Z // R_L}{R_S + (r_Z // R_L)} \doteq \Delta V_i \frac{r_Z}{R_S + r_Z}$
 $= (60 - 20) \frac{10}{1k + 10} \doteq 0.4 \text{ V}$



10. 利用密爾門定理，可得

$$V_o = \frac{\frac{16}{90} + \frac{6}{10}}{\frac{1}{90} + \frac{1}{10} + \frac{1}{91}} = \frac{16 + 6 \times 9}{1 + 9 + 1} = 6.37 \text{ V}$$



11. (1) 累增崩潰 ($V_Z > 6\text{V}$) \Rightarrow 正溫度係數

(2) 稽納崩潰 ($V_Z < 6\text{V}$) \Rightarrow 負溫度係數

12. (1) $I_{S(\max)} = \frac{V_{i(\max)} - V_Z}{R_S} = \frac{15 - 10}{100} = 50 \text{ mA}$

(2) $I_{L(\min)} = \frac{V_Z}{R_{L(\max)}} = \frac{10}{1000} = 10 \text{ mA}$

(3) $I_{Z(\max)} = I_{S(\max)} - I_{L(\min)} = 50 - 10 = 40 \text{ mA}$

(4) $P_{Z(\max)} = V_Z I_{Z(\max)} = (10\text{V})(40\text{mA}) = 0.4 \text{ W}$

13. (1) $V_{Z2} = I_1(2\text{k}) = (5\text{mA})(2\text{k}) = 10 \text{ V}$

(2) $V_{Z1} = I_2(1\text{k}) + V_{Z2} = (10\text{mA})(1\text{k}) + 10\text{V} = 20 \text{ V}$

2-8 發光二極體 (Light Emitting Diode)

理 論 重 點 1 發 光 二 極 體 的 特 性 p.2-47

1. $I = \frac{15 - 2}{2.2\text{k} + 300} = 5.2 \text{ mA}$

2. (1) 開關接通瞬間，電容兩端壓降 $V_C = 0$ ，則 $I = \frac{10 - 2}{1\text{k}} = 8 \text{ mA}$ (最大)，LED 最亮。

(2) 電容開始充電，則 $I = \frac{10 - 2 - V_C}{1\text{k}}$ ，電流 I 隨 V_C 增加而減少，因此 LED 亮度漸弱，當 V_C 充電至 8V 時， $I = 0$ ，LED 熄滅。

3. $R = \frac{5 - 2}{15\text{mA}} = 200 \Omega$

4. LED 發光顏色與製造材料有關：

(1) 砷化鎵 (GaAs) \Rightarrow 紅外線不可見光

(2) 砷磷化鎵 (GaAsP) \Rightarrow 黃或綠可見光

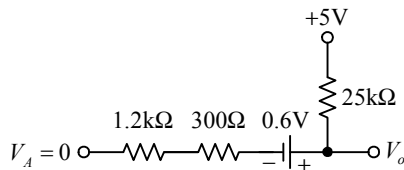
(3) 磷化鎵 (GaP) \Rightarrow 紅或綠可見光

模擬試題詳解

>>> 電子學試題 p.2-63

1. (1) $\Delta V = -2.5\text{mV} \times (65 - 25) = -0.1\text{V}$
 (2) $V_D = 0.6 + \Delta V = 0.6 - 0.1 = 0.5\text{V}$
2. 矽的反向飽和電流約數 nA，鍺的反向飽和電流約數 μA 。
3. (1) 矽二極體，如 1N4001，PIV 值大，用來作整流。
 (2) 鍺二極體，如 1N60，切入電壓 V_r 小，用來作檢波。
4. $R = \frac{V_S - V_D}{I} = \frac{5 - 0.7}{21.5\text{mA}} = 200\ \Omega$
5. (1) 截止區： $V_r < 0.5\text{V}$
 (2) 工作區： $0.6 \leq V_r \leq 0.7$
 (3) 飽和區： $V_r \geq 0.8\text{V}$
6. (1) $V_A = 0\text{V}$ ， $V_B = 5\text{V}$ ， D_1 較 D_2 容易導通，假設 D_1 導通， D_2 截止

$$(2) V_o = \frac{\frac{0.6}{1.2\text{k} + 300} + \frac{5}{25\text{k}}}{\frac{1}{1.2\text{k} + 300} + \frac{1}{25\text{k}}} = \frac{0.6 \times 25 + 5 \times 1.5}{25 + 1.5} = \frac{22.5}{26.5} = 0.85\text{V}$$



- (3) $V_{D2} = V_o - V_B = 0.85 - 5 = -4.15\text{V}$ ， D_2 截止（假設成立）
7. (1) 依分流定則，二極體並聯可增加最大電流。
 (2) 依分壓定則，二極體串聯可增加最大逆向電壓。
 (3) 空乏區與逆向偏壓成正比。
8. (1) $E \frac{R_L}{R_S + R_L} = 50 \times \frac{10}{2 + 10} = 41.7\text{V} > V_Z$ ，稽納二極體正常工作，
 $V_L = V_Z = 30\text{V}$
 (2) $I_L = \frac{V_Z}{R_L} = \frac{30}{10\text{k}} = 3\text{mA}$
 (3) $I_S = \frac{E - V_Z}{R_S} = \frac{50 - 30}{2\text{k}} = 10\text{mA}$
 (4) $I_Z = I_S - I_L = 10 - 3 = 7\text{mA}$
9. (1) $r_z = \frac{\Delta V_Z}{\Delta I_Z} = \frac{5.1 - 5}{1\text{m}} = 100\ \Omega$
 (2) $V_Z = 5 + \Delta I_Z r_z = 5 + 2\text{m} \times 100 = 5.2\text{V}$

10. (1) $E \times \frac{R_L}{R_S \times R_L} \geq V_Z \Rightarrow$ 可使稽納正常工作

(2) $E \times \frac{R_{L(\min)}}{R_S \times R_{L(\min)}} = V_Z \Rightarrow R_{L(\min)} = \frac{V_Z}{E - V_Z} \times R_S = \frac{5}{10 - 5} \times 500 \Omega = 500 \Omega$

11. (1) R_L 最大值必須確保稽納二極體不燒壞。

(2) $I_{Z(\max)} = \frac{P_Z}{V_Z} = \frac{400\text{m}}{10} = 40 \text{ mA}$

(3) $I_S = \frac{V_i - V_Z}{R_S} = \frac{15 - 10}{100} = 50 \text{ mA}$

(4) $I_{L(\min)} = I_S - I_{Z(\max)} = 50 - 40 = 10 \text{ mA}$

(5) $R_{L(\max)} = \frac{V_Z}{I_{L(\min)}} = \frac{10}{10\text{mA}} = 1000 \Omega$

12. 因 $V_i \frac{R_L}{R_S + R_L} = 12 \frac{3\text{k}}{9\text{k} + 3\text{k}} = 3 \text{ V} < V_Z \Rightarrow$ 稽納二極體不工作

故 $I_L = \frac{V_S}{R_S + R_L} = \frac{12}{9\text{k} + 3\text{k}} = 1 \text{ mA}$

13. 因 $I_Z \geq 0 \Rightarrow$ 稽納二極體可正常工作

故 $I_S = I_Z + I_L = I_L = 200 \text{ mA}$

$R_S = \frac{V_i - V_Z}{I_S} = \frac{16 - 12}{200\text{mA}} = 20 \Omega$

14. $P_{Z(\max)} = V_Z \times I_{Z(\max)} = (12\text{V})(200\text{mA}) = 2.4 \text{ W}$

15. (1) $I_S = I_{Z(\min)} + I_{L(\max)} = 1 + 49 = 50 \text{ mA}$

(2) $R_{S(\max)} = \frac{V_{i(\max)} - V_Z}{I_S} = \frac{36 + 9 - 15}{50\text{mA}} = 600 \Omega$

16. 因 $10 \frac{8\text{k}}{2\text{k} + 8\text{k}} = 8 \text{ V} > V_Z \Rightarrow$ 稽納二極體正常工作

故 $V_o = V_Z = 6.8 \text{ V}$

17. 因 $10 \frac{2\text{k}}{2\text{k} + 2\text{k}} = 5 \text{ V} < V_Z \Rightarrow$ 稽納二極體不工作

故 $V_o = 5 \text{ V}$

19. LED 發光顏色與製造材料有關。

20. 發光二極體的功用為顯示或指示。

》》 電子學實習試題 p.2-65

1. (1) 價電子吸收能量離開原子軌道，形成正離子。
 (2) 自由電子釋放能量進入原子軌道，形成負離子。
2. $p = n = n_i$ ，本質濃度 $n_i = 1.5 \times 10^{10}$ 原子/cm³
3. 常用材料為矽、鍺，並摻雜三價（硼、鎵、銦）或五價（磷、砷、銻）元素。
4. 障壁電壓無法以直流電壓表測得。
5. $I_D = I_S(e^{\frac{V_D}{nV_T}} - 1)$
6. 未加偏壓時，障壁電壓無法以直流電壓表測得。
7. 串聯使用時，可以增加最大逆向電壓。
8. 二極體單向導通。
9. (1) $V_o = V_Z + I_Z r_Z = 3.9 + 1\text{m} \times 20 = 3.92 \text{ V}$
 (2) $I_S = \frac{V_S - V_o}{R_S} = \frac{5 - 3.92}{200} = 5.4 \text{ mA}$
 (3) $I_{L(\text{max})} = I_S - I_{ZK} = 5.4\text{m} - 1\text{m} = 4.4 \text{ mA}$
 (4) $R_{L(\text{min})} = \frac{V_o}{I_{L(\text{max})}} = \frac{3.92}{4.4\text{m}} = 891 \Omega$
10. 稽納二極體接順向偏壓時，特性與一般二極體完全相同。
11. (1) V_A 愈小，發光二極體愈亮。
 (2) 脈波工作週期愈小，則平均值愈小。
12. (1) $I_L = \frac{10\text{V}}{10\text{k}\Omega} = 1 \text{ mA}$
 (2) $I_Z > 0$
 (3) $I = I_Z + I_L > 1 \text{ mA}$
 (4) $R = \frac{20 - 10}{I} < \frac{10\text{V}}{1\text{mA}} = 10 \text{ k}\Omega$
13. (1) 7805 的 out 及 GND 之間的電壓為 5V。
 (2) $V_{out} = 5 + 2.7 = 7.7 \text{ V}$

第 3 章 二極體之應用電路

立即練習詳解

3-1 直流電源電路

》》理論重點 1 直流電源電路系統 p.3-12

1. 整流電路將交流電壓轉換成脈動直流電壓，但漣波成份較大。
2. 電壓調節器又稱為穩壓電路。

3-2 變壓器 (transformer)

》》理論重點 1 變壓器的特性 p.3-13

1. $\frac{N_1}{N_2} = \sqrt{\frac{Z_1}{Z_2}} = \sqrt{\frac{540}{15}} = 6 \Rightarrow N_1 : N_2 = 6 : 1$
2. (1) $V_{1(rms)} = \frac{V_{1(m)}}{\sqrt{2}} = \frac{100\sqrt{2}}{\sqrt{2}} = 100 \text{ V}$
 (2) $\frac{V_1}{V_2} = \frac{N_1}{N_2} = 10 \Rightarrow V_{2(rms)} = \frac{V_{1(rms)}}{10} = \frac{100}{10} = 10 \text{ V}$
3. (1) $\frac{Z_1}{Z_2} = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2$
 (2) $\frac{1600}{Z_2} = \left(\frac{10}{1}\right)^2 \Rightarrow Z_2 = \frac{1600}{100} = 16 \Omega$

3-3 整流電路 (rectifiers)

》》理論重點 1 半波整流電路 (half-wave rectifiers) p.3-17

1. (1) 半波整流：輸出頻率 = 輸入頻率，即 $f_o = f_i$ 。
 (2) 全波整流：輸出頻率 = $2 \times$ 輸入頻率，即 $f_o = 2f_i$ 。
2. $V_{dc} = 0.318V_m = (0.318)(10) = 3.18 \text{ V}$
3. (1) $V_{dc} = 0.318V_m = (0.318)(110\sqrt{2}) = 49.5 \text{ V}$
 (2) $P_{dc} = \frac{V_{dc}^2}{R_L} = \frac{(49.5)^2}{1k} = 2.45 \text{ W}$
4. (1) $\frac{V_1}{V_2} = \frac{N_1}{N_2} \Rightarrow \frac{110}{V_2} = \frac{5}{1} \Rightarrow V_2 = 22 \text{ V}$
 (2) $V_{dc} = 0.45V_{rms} = (0.45)(22) = 9.9 \text{ V}$

》》理論重點 2 全波整流 (center-tapped full-wave rectifiers) p.3-20

1. 漣波百分率 $\begin{cases} \text{半波} \\ \text{全波} \end{cases}$
2. $V_{dc} = 0.636V_m = 0.636(\sqrt{2}V_{rms}) = 0.899(10) = 8.99 \text{ V}$
3. (1) $V_{dc} = I_{L(dc)} \times R_L = (1\text{mA})(1\text{k}) = 1 \text{ V}$
 (2) $V_{dc} = \frac{2}{\pi}V_m \Rightarrow V_m = \frac{\pi}{2}V_{dc} = \frac{\pi}{2} \text{ V}$
 (3) $PIV = 2V_m = 2(\frac{\pi}{2}) = \pi \text{ V}$

》》理論重點 3 橋式整流 (bridge full-wave rectifiers) p.3-23

1. 整流 $\begin{cases} \text{半波整流: } PIV = V_m \\ \text{全波整流} \begin{cases} \text{中心抽頭式: } PIV = 2V_m \\ \text{橋式: } PIV = V_m \end{cases} \end{cases}$
2. $PIV = V_m$
3. (1) $f_i = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{377}{2\pi} = 60 \text{ Hz}$
 (2) $f_o = 2f_i = 2(60) = 120 \text{ Hz}$
4. 二極體數目 $\begin{cases} \text{半波整流: } D = 1 \\ \text{全波整流} \begin{cases} \text{中心抽頭式: } D = 2 \\ \text{橋式: } D = 4 \end{cases} \end{cases}$

》》實習重點 4 橋式整流器量測 p.3-24

1. 內部由 4 個整流二極體所組成。

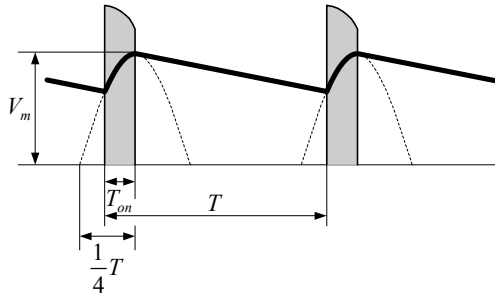
3-4 濾波電路 (filters)

》》理論重點 1 電容濾波電路 (capacitor-input filter) p.3-31

1. $V_{r(rms)} = \frac{V_{r(P-P)}}{2\sqrt{3}} \leq \frac{2}{2\sqrt{3}} = 0.577 \text{ V}$
 $V_{r(rms)} = \frac{2.4}{R_L C} V_m \leq 0.577$ ，則
 $C \geq \frac{2.4}{R_L(0.577)} V_m = \frac{2.4}{(10)(0.577)}(100) = 41.6 \mu\text{F}$
2. (1) $\frac{110}{V_{r(rms)}} = \frac{110}{20} \Rightarrow V_{rms} = 20 \text{ V}$
 (2) $V_{dc} = (1 - \frac{8.33}{R_L C}) V_m \doteq V_m = \sqrt{2}V_{rms} = 28 \text{ V}$

PIV 值	半波整流	全波整流	橋式整流
不含電容	V_m	$2V_m$	V_m
含電容	$2V_m$	$2V_m$	V_m

4. 濾波電容愈大，放電時間愈長，充電時間愈短，使二極體導通時間 T_{on} 變短， $I_m = I_C = C \frac{dV_C}{dt}$ ， I_m 隨 C 增加而增加。
5. 二極體導通時，電容充電至最大值 V_m ，因此二極體導通時間 $T_1 < \frac{1}{4}$ 週。



6. $r = \frac{V_{r(rms)}}{V_{dc}} \times 100\% = \frac{5}{100} \times 100\% = 5\%$
7. (1) $\frac{100}{V_{rms}} = \frac{n_1}{n_2} = \frac{10}{1} \Rightarrow V_{rms} = 10 \text{ V}$
- (2) $PIV = 2V_m = 2(\sqrt{2}V_{rms}) = 2\sqrt{2}(10) = 20\sqrt{2} \text{ V}$

3-5 倍壓電路 (voltage multipliers)

》》理論重點 1 半波二倍壓電路 (half-wave voltage doublers) p.3-33

- $V_{C1} = V_m$ ， $V_o = V_{C2} = 2V_m$
- 2 個二極體 \Rightarrow 2 倍倍壓器。
- (1) $\frac{V_1}{V_2} = \frac{N_1}{N_2} \Rightarrow \frac{20}{V_{rms}} = \frac{2}{1} \Rightarrow V_{rms} = 10 \text{ V}$
- (2) $V_o = 2V_m = 2\sqrt{2}V_{rms} = 2\sqrt{2} \times 10 = 20\sqrt{2} \text{ V}$

》》理論重點 2 全波二倍壓電路 (full-wave voltage doublers) p.3-35

- $V_o = V_{C1} + V_{C2} = V_m + V_m = 2V_m = 2\sqrt{2}V_{rms} = 2\sqrt{2} \times 100 \doteq 282 \text{ V}$
- $PIV = 2V_m = 282 \text{ V}$

》》理論重點 3 半波 N 倍壓電路 p.3-38

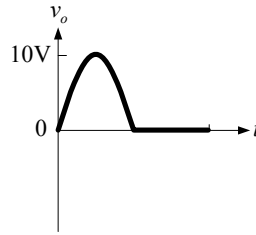
- (1) $V_{rms} = \frac{100}{10} = 10 \text{ V}$ ， $V_m = \sqrt{2}V_{rms} = 10\sqrt{2} \text{ V}$
- (2) $V_o = V_{C1} + V_{C2} = V_m + 2V_m = 3V_m = 30\sqrt{2} \text{ V}$
- 10 個二極體 \Rightarrow 10 倍壓器。
- 除了 C_1 電壓為 E_m ，其餘電容均為 $2E_m$ ， $V_a = V_{C_2} = 2E_m$ 。
- $V_b = V_{C_2} + V_{C_4} + V_{C_6} + V_{C_8} + V_{C_{10}} = 5 \times (2E_m) = 10 \times E_m$

3-6 截波電路 (clipping circuit)

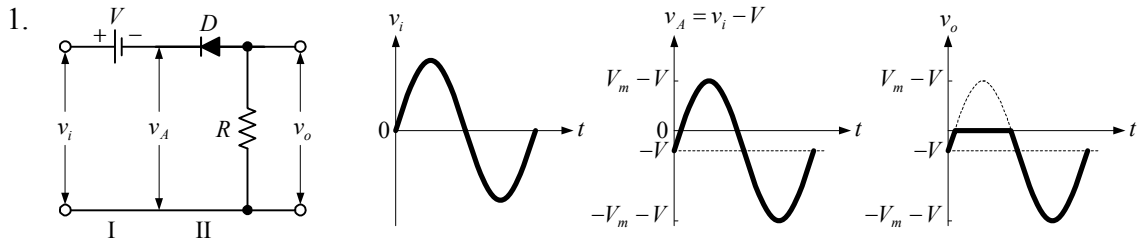
理論重點 1 串聯式截波電路 p.3-41

- (1) 輸出波形如右。
- (2) 輸出直流電壓 V_{dc} :

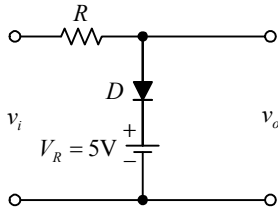
$$\begin{aligned} V_{dc} &= 0.318V_m \\ &= 0.318 \times 10 \\ &= 3.18 \text{ V} \end{aligned}$$



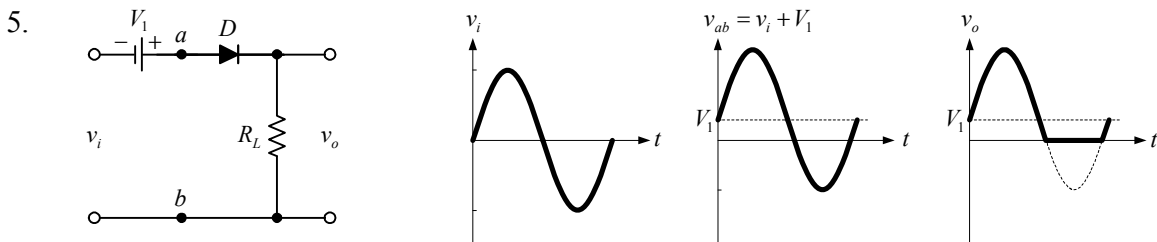
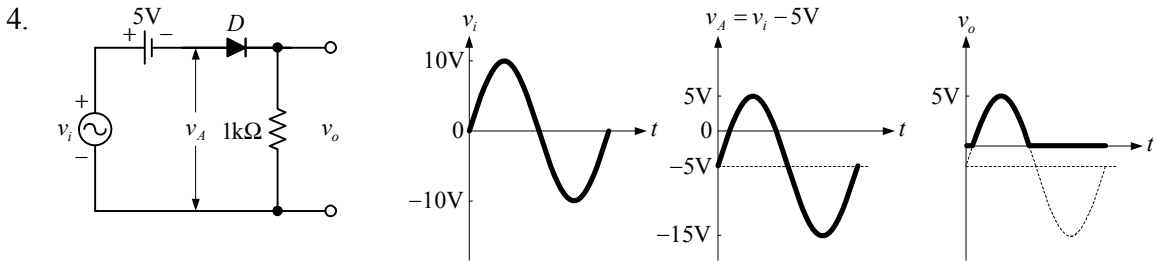
理論重點 2 加偏壓之串聯式截波電路 p.3-49



- 輸出 v_o 為 V_2 以下 (D_2 向下) 且 V_1 以上 (D_1 向上) 之間的波形，即 $V_1 \leq v_o \leq V_2$ 。
- (1) 電路可等效如下：

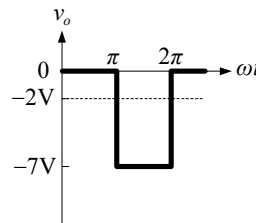


- 輸出 v_o 為 V_R 以下 (D 向下) 之波形。



- (1) 輸出波形如右 (v_i 平均直流電壓箝位至 -2V ，且 v_o 為 0V 以下之波形)。

- (2)
$$V_{dc} = \frac{0 + (-7)\pi}{2\pi} = -3.5 \text{ V}$$

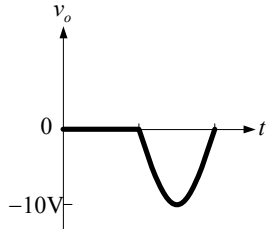


理 論 重 點 3 含 實 際 二 極 體 之 串 聯 式 截 波 電 路 p.3-53

1. (1) $v_i \leq -0.7\text{ V}$ 時，二極體導通， $v_o = v_i + 0.7\text{ V}$ ，最大值 $V_{o(m)} = -5 + 0.7 = -4.3\text{ V}$
- (2) $v_i > -0.7\text{ V}$ 時，二極體截止， $v_o = 0$

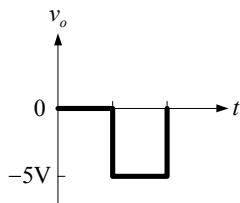
理 論 重 點 4 並 聯 式 截 波 電 路 p.3-55

1. (1) 輸出波形 (v_o 為 0 V 以下之波形)：



(2) $V_{dc} = -0.318V_m = -0.318 \times 10 = -3.18\text{ V}$

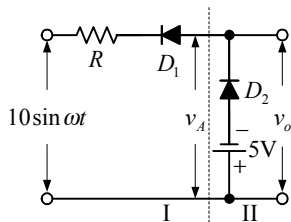
2. (1) 輸出波形 (v_o 為 0 V 以下之波形)：



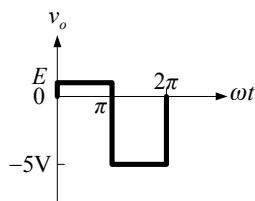
(2) $V_{dc} = \frac{-5}{2} = -2.5\text{ V}$

理 論 重 點 5 加 偏 壓 之 並 聯 式 截 波 器 電 路 p.3-61

1. 輸出 v_o 為 $+5\text{ V}$ (正偏壓) 以下 (D 向下) 之波形。
2. 輸出為 $+4\text{ V}$ 以下 (D 向下) 之波形，即 $-8\text{ V} \leq v_o \leq 4\text{ V}$ 。
3. (1) 第 I 部分：串聯式截波器， $-10\text{ V} \leq v_A \leq 0$ 。
- (2) 第 II 部分：並聯式截波器， $-5\text{ V} \leq v_o \leq 0$ 。



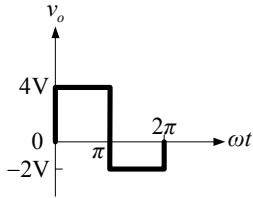
4. (1) 輸出波形 (v_o 為 E 以下之波形)：



(2) 輸出峰對峰值電壓 $V_{P-P} = E - (-5) = 1\text{ V/DIV} \times 6\text{ DIV} = 6\text{ V}$ ，則 $E = 1\text{ V}$

》》理論重點 6 雙偏壓之並聯式截波電路 p.3-65

- (1) 輸出 v_o 為 $+20\text{V}$ 以下 (D_1 向下) 與 -15V 以上 (D_2 向上) 之間的波形。
 (2) $V_{P-P} = +20 - (-15) = 35\text{V}$
- 輸出為 $+3\text{V}$ 以下 (D_1 向下) 與 $+2\text{V}$ 以上 (D_2 向上) 之間的波形, 即 $2\text{V} \leq v_o \leq 3\text{V}$ 。
- (1) 輸出波形 (v_o 為 4V 以下且 -2V 以上之波形) :



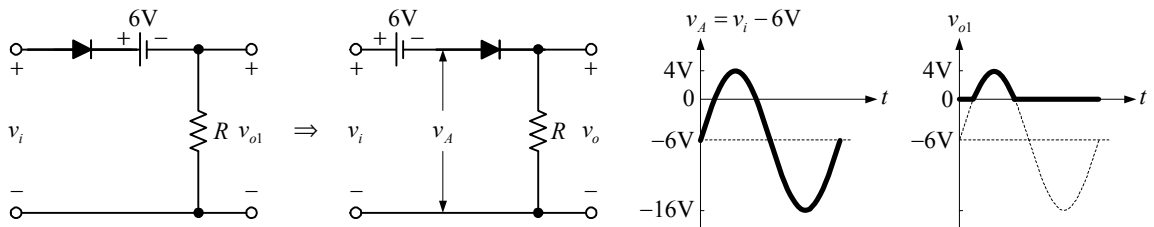
$$(2) V_{dc} = \frac{4 \times \pi + (-2) \times \pi}{2\pi} = 1\text{V}$$

》》理論重點 7 含實際二極體之並聯式截波電路 p.3-67

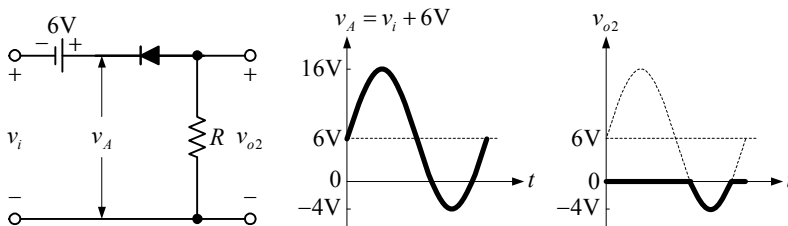
- (1) $v_i > 0.7\text{V}$ 時, 二極體導通, $v_o = 0.7\text{V}$
 (2) $v_i < 0.7\text{V}$ 時, 二極體截止, $v_o = v_i$

》》理論重點 8 稽納二極體截波電路 p.3-70

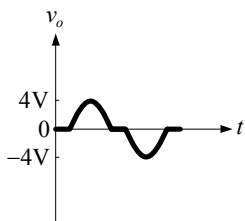
- (1) 正半週: $V_m = 4.5\text{V} \leq V_{Z2}$, 無法使 ZD_2 崩潰, 則 ZD_1 、 ZD_2 皆截止, $v_o = v_i$ 。
 (2) 負半週: $|-V_m| = 4.5\text{V} \leq V_{Z1}$, 無法使 ZD_1 崩潰, 則 ZD_1 、 ZD_2 皆截止, $v_o = v_i$ 。
- (1) $v_i \geq 0$ 時, 電路等效如下:



- (2) $v_i < 0$ 時, 電路等效如下:



- (3) 輸出 v_o 之波形為 v_{o1} 與 v_{o2} 兩者的合成, 即



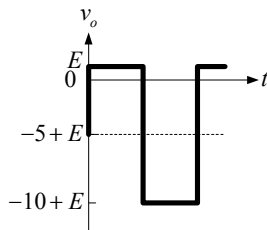
3-7 箝位電路 (clamping circuit)

理論重點 1 正箝位電路 p.3-75

1. 箝位電路由二極體、電阻器及電容器所組成。
2. 箝位電路包括：二極體、電阻、電容。
3. 箝位電路的時間常數 RC 選擇為： $RC \geq 10\left(\frac{T}{2}\right)$ ，太小的 RC 時間常數，放電太快，會造成輸出的失真。
4. 因 $t > 5RC$ ，使電路變成微分電路，而理想二極體之切入電壓 $V_r = 0\text{V}$ ，則負脈波將被濾除，使輸出僅剩正脈波，答案為(A)。
5. 利用速解法得知：輸出 v_o 箝位至 0V 以上 (D 向上)，即 $0 \leq v_o \leq 2V_p$ 。
6. 利用速解法得知：輸出 v_o 箝位至 $+V_D$ 以上 (D 向上)，即 $+V_D \leq v_o \leq 2V_1 + V_D$ 。
7. 利用速解法得知：輸出 v_o 箝位至 -5V 以上 (D 向上)，即 $-5\text{V} \leq v_o \leq 15\text{V}$ 。

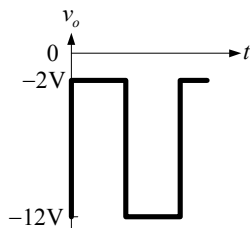
理論重點 2 負箝位電路 p.3-80

1. (1) 輸出波形 (v_o 箝位至 E 以下)：



$$(2) \text{ 由 } V_{dc} = -4 = \frac{E + (-10 + E)}{2} = -5 + E, \text{ 則 } E = 1\text{V}。$$

2. (1) 輸出波形 (v_o 箝位至 -2V 以下)：



$$(2) V_{dc} = \frac{-2 + (-12)}{2} = -7\text{V}$$

理論重點 3 含實際二極體之箝位電路 p.3-82

1. 箝位至 $-V_D$ 以上，即 $-0.7\text{V} \leq v_o \leq 9.3\text{V}$
2. 箝位至 $+V_D$ 以上，即 $-9.3\text{V} \leq v_o \leq 0.7\text{V}$

》》理論重點 4 箝位電路 R 、 C 值之影響 p.3-85

1. (1) 半週時間 $t = \frac{T}{2} = \frac{1}{2f} = \frac{1}{2 \times 500} = 1 \text{ ms}$

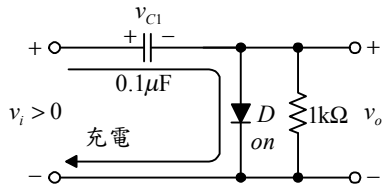
$RC = 1\text{k}\Omega \times 0.1\mu\text{F} = 0.1 \text{ ms}$

(2) 當 $RC \ll t$ 時，電路如同微分器，因二極體 D 向下，則正半週截波。

輸入正半週 ($v_i > 0$) 時，電容充電：

電容電壓 v_{C1} 最大值為 $V_m = 5 \text{ V}$

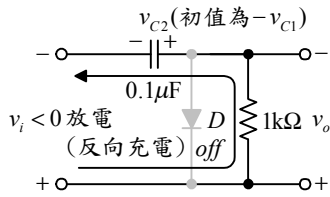
輸出電壓 $v_o = V_D = 0$



(3) 輸入負半週 ($v_i < 0$) 時，電容放電 (反向充電)：

電容電壓初值為 $-v_{C1} = -5 \text{ V}$

$$v_{C2} = [v_i - v_C(0)](1 - e^{-\frac{t}{RC}}) + v_C(0) = [v_i + v_{C1}](1 - e^{-\frac{t}{RC}}) - v_{C1}$$



① 當 $t = 0$ 時：

$$v_{C2}(0) = [5 + 5](1 - e^{-0}) - 5 = 10 - 5 = 5 \text{ V}$$

$$v_o(0) = v_i - v_{C2} = -5 - 5 = -10 \text{ V}$$

② 當 $t = \frac{T}{2}$ 時：

$$v_{C2}\left(\frac{T}{2}\right) = [5 + 5](1 - e^{-10}) - 5 = 10 - 5 = 5 \text{ V}$$

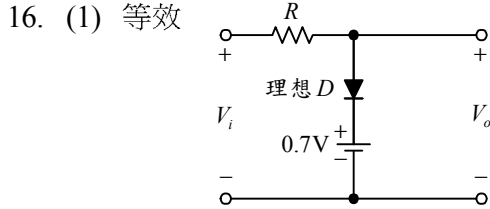
$$v_o\left(\frac{T}{2}\right) = v_i - v_{C2} = 5 - 5 = 0$$

模擬試題詳解

》》》 電子學試題 p.3-105

1. 漣波電壓 $V_{r(rms)}$ 愈小愈好，但不可能為零。
2. (1) $r = \frac{V_{r(rms)}}{V_{dc}} = \frac{0.707V_{r(m)}}{V_{dc}} = \frac{0.707 \times 1}{20} = 0.0354$
 (2) $r\% = 3.54\%$
3. (1) 次級圈峰值電壓 $= \frac{V_m}{2}$
 (2) 直流電壓 $V_o = 0.318\left(\frac{V_m}{2}\right) = 0.159V_m$
4. (1) 次級圈有效值電壓 $= \frac{110V}{5} = 22V$
 (2) 直流電壓 $V_{dc} = 0.45 \times V_{rms} = 0.45 \times 22 = 9.9V$
5. $X_C = \frac{1}{2\pi fC}$ ，電容 C 加大，將使 X_C 減小，則流過二極體的電流變大。
6. (1) 全波整流電路輸出信號頻率 $f_o = 2f_i$ 。
 (2) $T = \frac{1}{f_o} = \frac{1}{2f_i}$
7. $f_o = 2f_i = 2 \times 60 = 120 \text{ Hz}$
8. (1) $V_{dc} = 10V$
 (2) $V_{r(rms)} = \frac{V_{r(m)}}{\sqrt{2}} = \frac{0.2}{\sqrt{2}} = 0.1414$
 (3) $r\% = \frac{V_{r(rms)}}{V_{dc}} \times 100\% = \frac{0.1414}{10} \times 100\% = 1.414\%$
9. $V_L = V_i \times \frac{R_L}{R_S + R_L} \Rightarrow R_S = R_L \times \left(\frac{V_i}{V_L} - 1\right) = 100 \times \left(\frac{10}{8} - 1\right) = 25 \Omega$
10. 理想電壓源，內阻 $R_i \rightarrow 0$ 。
 理想電流源，內阻 $R_i \rightarrow \infty$ 。
11. (1) 次級圈有效值電壓為 $V_{rms} = 100V \times \frac{1}{10} = 10V$
 (2) 次級圈峰值電壓為 $V_m = \sqrt{2}V_{rms} = 10\sqrt{2}V$
 (3) 輸出 V_o 有效值電壓為 $V_{o(rms)} = 0.5V_m = 0.5 \times 10\sqrt{2}V = 5\sqrt{2}V = 7.07V$
 (4) 輸出 V_o 平均值電壓為 $V_{dc} = 0.318V_m = 0.318 \times 10\sqrt{2}V = 4.5V$
12. 漣波因數 $r = \frac{V_{r(rms)}}{V_{dc}}$ ，漣波因數愈小，漣波電壓 $V_{r(rms)}$ 愈小，濾波效果愈佳。
13. 除了 $V_{C1} = V_m$ ，其餘電容壓降皆為 $2V_m$ 。

14. (1) 次級有效值電壓 $V_{rms} = 20V \times \frac{1}{2} = 10V$
 (2) $V_o = 2V_m = 2 \times \sqrt{2}V_{rms} = 2 \times \sqrt{2} \times 10V = 20\sqrt{2}V$
15. (1) $V_o = 3V_m = 150V$, $V_m = 50V$
 (2) $PIV = 2V_m = 2 \times 50V = 100V$

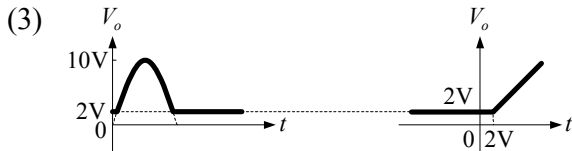


(2) 輸出 V_o 為 $+0.7V$ 以下 (D 向下) 之波形, 即 $-3V \leq V_o \leq 0.7V$ 。

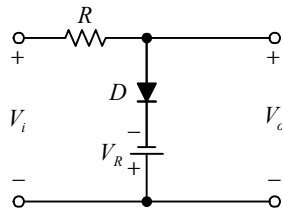
17. 輸出 V_o 為 $3V$ 以下 (D_1 向下) 與 $1.5V$ 以上 (D_2 向上) 之間的波形, 即 $1.5V \leq V_o \leq 3V$ 。

18. 輸出 V_o 為 $2V$ 以上 (D 向上) 之波形, 即 $2V \leq V_o \leq 10V$ 。

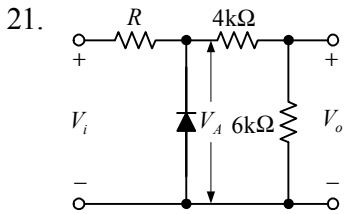
19. (1) 當 $2 - V_i \geq 0$, 即 $V_i \leq 2V$ 時, 二極體順偏導通, $V_o = 2V$ 。
 (2) 當 $2 - V_i < 0$, 即 $V_i > 2V$ 時, 二極體逆偏截止, $V_o = V_i$ 。



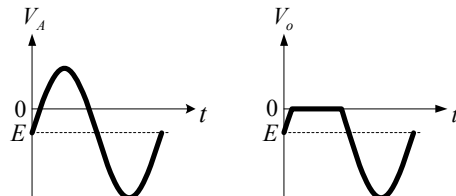
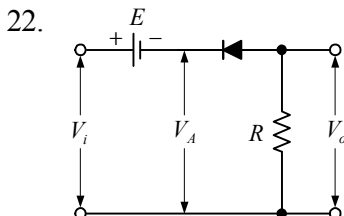
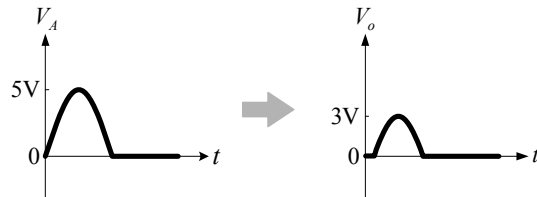
20. (1) 當 $-5 - V_i \geq 0$, 即 $V_i \leq -5V$ 時, 二極體順偏導通, $V_o = V_i$ 。
 (2) 當 $-5 - V_i < 0$, 即 $V_i > -5V$ 時, 二極體逆偏截止, $V_o = -5V$ 。
 (3) 本題可將電路等效如右圖:



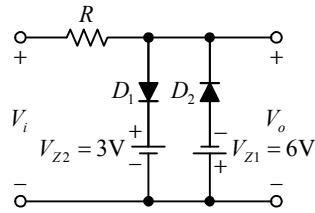
速解法: $-V_R$ 以下 (D 向下) 之波形。



$$V_o = V_A \times \frac{6k}{4k + 6k} = 0.6V_A$$



23. (1) 電路等效如右：



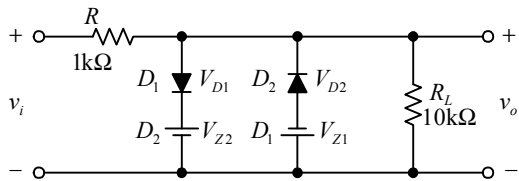
(2) 輸出電壓： $-V_{Z1} \leq V_o \leq V_{Z2}$ ，但因 $-V_m > -V_{Z1}$ ， D_2 截止，故 $-V_m \leq V_o \leq V_{Z2}$ ，即 $-5V \leq V_o \leq 3V$ 。

24. 此為負箝位電路，輸出箝位至 $+V_R$ 以下（ D 向下），即 $-3V_R \leq V_o \leq V_R$ 。

25. 輸出 V_o 箝位至 1V 以上（ D 向上），故 $1V \leq V_o \leq 11V$ 。

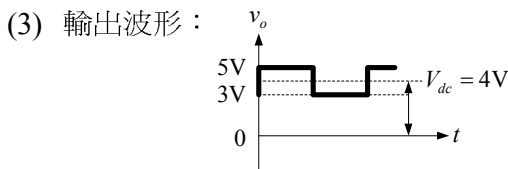
》》 電子學實習試題 p.3-109

1. (1) v_i 為正半週時， D_1 順偏， D_2 逆偏崩潰， v_o 最大值為 $0.6 + 4 = 4.6V$ 。
- (2) v_i 為負半週時， D_1 逆偏崩潰， D_2 順偏， v_o 最大值為 $-6 - 0.6 = -6.6V$ 。
- (3) 等效電路如下圖：



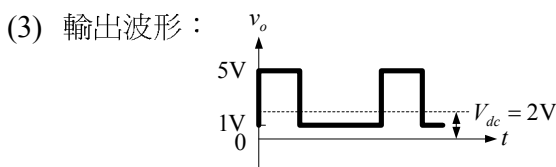
由 $-V_{D2} - V_{Z1} \leq v_o \leq V_{D1} + V_{Z2}$ ，得 $-6.6 \leq v_o \leq 4.6$ 。

2. (1) 當 $v_i \geq 0.7V$ 時，二極體順偏導通，則 $v_o = v_i - 0.7$ 。
- (2) 當 $v_i < 0.7V$ 時，二極體逆偏截止，則 $v_o = 0$ 。
3. 示波器 VOLTS/DIV = 2V，共有 2.5 格 (DIV)，則輸出峰對峰值電壓為 $2 \times 2.5 = 5V$ 。
4. 輸入電壓 v_i 之平均值由 0V 上升為 $E - 0.7 = 1.3V$ ，則 $E = 2V$ 。
5. 輸入電壓 v_i 之平均值由 0V 下降為 $-E - 0.7 = -(5 - 3.3) = -1.7$ ，則 $E = 1V$ 。
6. (1) 輸出 v_o 範圍： $E \leq v_o \leq +5V$ 。
- (2) 用三用電表 DCV 10V 測量平均值電壓為 $V_{dc} = 4 = \frac{E + 5}{2}$ ，則 $E = 3V$ 。



7. (1) 輸出範圍： $E \leq v_o \leq +5V$ 。
- (2) 用三用電表 DCV 10V 測量平均值電壓為

$$V_{dc} = 2 = \frac{5 \times 0.25 + E \times 0.75}{1} = \frac{5 \times 1 + E \times 3}{4}，則 E = 1V。$$



8. 圖(A)輸出： $v_o = \frac{1+3}{2} = 2\text{ V}$

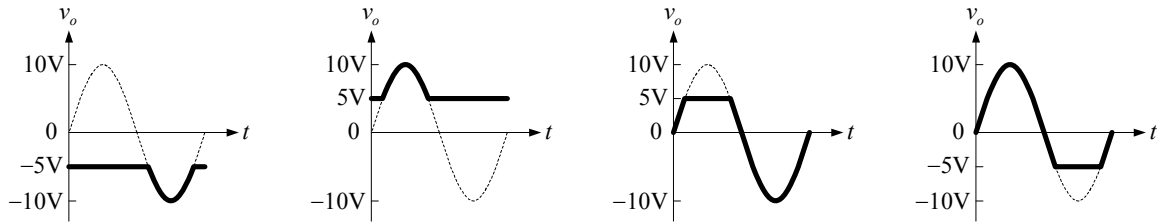
圖(B)輸出： $1\text{ V} \leq v_o \leq 3\text{ V}$

圖(C)輸出： $v_o = \frac{1+(-3)}{2} = -1\text{ V}$

圖(D)輸出： $-1\text{ V} \leq v_o \leq 3\text{ V}$

9. (1) 輸入 v_i 為正半週且 $v_i \geq V_{D1} + V_{Z1}$ 時：
 $v_o = V_{D1} + V_{Z1} = 0.6 + 6 = 6.6\text{ V}$
 (2) 輸入 v_i 為負半週且 $v_i \leq -(V_{Z2} + V_{D2})$ 時：
 $v_o = -(V_{Z2} + V_{D2}) = -(6 + 0.6) = -6.6\text{ V}$
 (3) 正、負半週皆產生截波，因此 v_o 近似方波。

10. 圖(A)輸出： 圖(B)輸出： 圖(C)輸出： 圖(D)輸出：



11. (1) $v_o = \frac{1\text{k}\Omega}{1\text{k}\Omega + 1\text{k}\Omega} v_i = \frac{v_i}{2}$ ($-2.5\text{ V} \leq v_o \leq 2.5\text{ V}$)

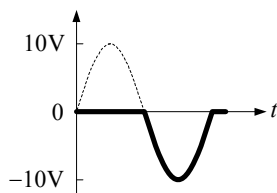
(2) 兩個稽納二極體皆無法崩潰。

12. (1) 由轉換曲線得知：當 $v_i \geq 1\text{ V}$ 時， $v_o = 1\text{ V}$ ；當 $v_i < 1\text{ V}$ 時， $v_o = v_i$ 。

(2) 輸出電壓： $-V_m \leq v_o \leq 1\text{ V}$ 。

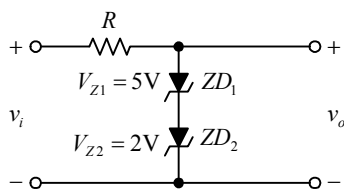
13. v_o 為 2V 以上波形。

14. (1) 輸出波形如下圖，為半波整流。



(2) $V_{dc} = -0.318V_m = -0.318 \times 10 = -3.18\text{ V}$

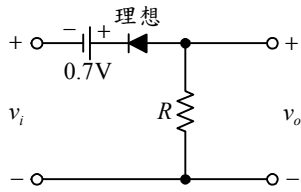
15. (1) 電路如下圖：



(2) 當 $v_i \geq 0$ ， ZD_1 及 ZD_2 順偏， $v_o = 0$ 。

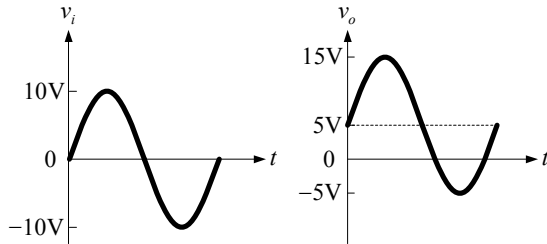
(3) 當 $v_i < 0$ 且 $v_i \leq -7\text{ V}$ ， ZD_1 及 ZD_2 逆向崩潰， $v_o = -7\text{ V}$ 。

16. (1) 等效電路如下圖所示：



(2) v_i 直流準位由 0V 箝位至 +0.7V，且二極體在負半週導通，故答案為(C)。

17. (1) 輸出 v_o 箝位在 $-5V \leq v_o \leq 15V$ ，因此平均直流電壓值 $V_{av} = 5V$ 。

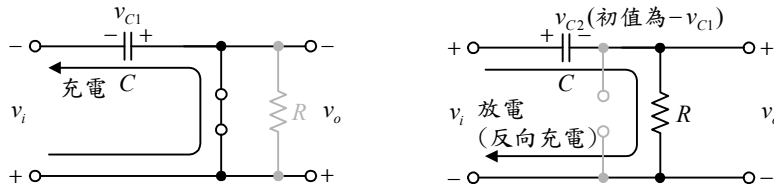


(2) 三用電表 DCV 50V 測得平均直流電壓值，即 $V_{dc} = \frac{15 + (-5)}{2} = 5V$ 。

18. (1) 由 $T = \frac{1}{f} = \frac{1}{500} = 2\text{ms}$ ，得 $\frac{T}{2} = 1\text{ms}$ 。

(2) 因 $RC \geq 10(\frac{T}{2}) = 10\text{ms}$ ，則 $R \geq \frac{10}{C} = \frac{10\text{ms}}{0.1\mu\text{F}} = 100\text{k}\Omega$ 。

19. (1) 充電情形：



(2) v_{C1} 可充電至最大電壓為 $V_m - 0.7 = 5 - 0.7 = 4.3V$ 。

(3) 充電電壓 v_{C2} ：

$$v_{C2} = [5 - (-4.3)](1 - e^{-\frac{t}{RC}}) + (-4.3) = 9.3(1 - e^{-\frac{t}{RC}}) - 4.3$$

$$(RC = 1\text{k}\Omega \times 1\mu\text{F} = 1\text{ms})$$

$$\text{當 } t = \frac{T}{2} = \frac{1}{2f} = \frac{1}{2 \times 500} = 1\text{ms} \text{ 時， } v_{C2} = 1.58V。$$

(4) $v_o = v_i - v_{C2} = 5 - 1.58 = 3.42V$

20. (1) $t = \frac{T}{2} = \frac{1}{2f} = \frac{1}{2 \times 500} = 1\text{ms}$

(2) 當 $v_i < 0$ 時，得 $v_C = v_{C1} = 5 - 0.7 = 4.3V$ 。

(3) 當 $v_i > 0$ 時，得 $v_C = v_{C2} = [5 - (-4.3)](1 - e^{-\frac{1\text{ms}}{RC}}) + (-4.3) \doteq 1.58V$ 。

(4) $v_o = 5 - 1.58 = 3.42V$

(5) 因此輸出波形為圖(C)。

21. 因箝位電路 v_o 為以上（二極體向上），則 $2\text{V} \leq v_o \leq 12\text{V}$ 。
22. (1) 輸出 v_o 範圍： $E \leq v_o \leq 10 + E$ 。
- (2) 輸出 v_o 平均直流為 $7 = \frac{E + (10 + E)}{2} = 5 + E$ ，則 $E = 2\text{V}$ 。
23. 當 $RC \geq 10\left(\frac{T}{2}\right) = \frac{5}{f}$ 時，可得到正確的箝位波形。
24. (1) 因 $0 \leq v_o \leq 2V_m$ ，得 $0 \leq v_o \leq 10\text{V}$ 。
- (2) $V_{dc} = \frac{0 + 10}{2} = 5\text{V}$
25. (1) 電路為箝位電路，輸出電壓： $2\text{V} \leq v_o \leq 12\text{V}$ 。
- (2) $V_{dc} = \frac{2 + 12}{2} = \frac{14}{2} = 7\text{V}$

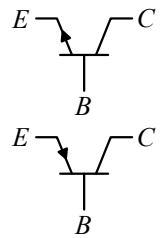
第 4 章 雙極性接面電晶體

立即練習詳解

4-1 雙極性電晶體之構造及特性

》》理論重點 1 電晶體之構造 p.4-4

- 在電晶體符號中，箭頭永遠指向 N 型半導體，在 NPN 型中為射極，在 PNP 型中為基極。
- (1) NPN 電晶體：
箭頭指向 N 型半導體（射極），射極注入多數載子流為電子流。
- (2) PNP 電晶體：
箭頭指向 N 型半導體（基極），射極注入多數載子流為電洞流。



》》理論重點 2 電晶體之特性 p.4-5

- (1) C 寬度最大：高耐壓
- (2) B 寬度最小：調節 I_C 大小
- NPN 電晶體中，基極的多數載子為電洞，少數載子為電子。

》》理論重點 3 電晶體之電流分量 I_E 、 I_B 及 I_C p.4-7

- 對電晶體而言， $I_E = I_C + I_B$
- 對電晶體而言， $I_E = I_C + I_B$

》》理論重點 4 電晶體之 α 、 β 及 γ 參數 p.4-9

- β 隨溫度升高而增加。
- $$\beta = \frac{\alpha}{1-\alpha} = \frac{0.98}{1-0.98} = 49$$
- $$\beta = \frac{\alpha}{1-\alpha}$$
- $$\beta = \frac{\alpha}{1-\alpha}$$
- $$\beta = \frac{I_C}{I_B} = \frac{I_E - I_B}{I_B} = \frac{5.05 - 0.05}{0.05} = 100$$
- $$\alpha = \frac{\beta}{1+\beta} = \frac{100}{101} = \frac{a}{b} \Rightarrow a=100, b=101$$

$$2a+b = 2 \times 100 + 101 = 301$$
- $$\beta = \frac{I_C}{I_B} = \frac{I_E - I_B}{I_B} = \frac{6.2 - 0.2}{0.2} = 30$$

》》實習重點 5 電晶體之識別 p.4-13

5. (1) 小功率電晶體：TO-92
 (2) 中功率電晶體：TO-220、TO-39
 (3) 大功率電晶體：TO-3
6. (1) 1N60：鍺二極體
 (2) 1N4001：矽二極體
 (3) CS9013：小功率電晶體
 (4) TIP41：中功率電晶體
7. (1) A：PNP 高頻用
 (2) B：PNP 低頻用
 (3) C：NPN 高頻用
 (4) D：NPN 低頻用

》》實習重點 7 β 值之測量 p.4-20

1. (1) $I_B = \frac{V_{CC} - V_B}{R_B} = \frac{(12 - 2)V}{1M\Omega} = 10 \mu A$
 (2) $I_E = \frac{V_E}{R_E} = \frac{1.3V}{1k\Omega} = 1.3 \text{ mA}$
 (3) 因 $1 + \beta = \frac{I_E}{I_B} = \frac{1.3\text{mA}}{10\mu A} = 130$ ，則 $\beta = 129$ 。
2. (1) $I_{C(sat)} = \frac{V_{CC} - V_{CE(sat)}}{R_C + R_E} = \frac{(12 - 0.2)V}{4.7k\Omega + 1k\Omega} \doteq 2.1 \text{ mA}$
 (2) $I_B = \frac{(12 - 0.7)V}{1M\Omega + 251 \times 1k\Omega} \doteq 9.03 \mu A$ ， $\beta I_B = 250 \times 9.03 \mu A \doteq 2.26 \text{ mA}$
 (3) 因 $\beta I_B > I_{C(sat)}$ ，故電晶體已飽和， $V_{CE} = V_{CE(sat)} = 0.2 \text{ V}$ 。
3. $\beta = \frac{I_C}{I_B} = \frac{2.1\text{mA}}{15\mu A} = 140$
4. $\beta = \frac{I_C}{I_B} = \frac{2\text{mA}}{20\mu A} = 100$
5. (1) 由圖(b)輸出特性曲線得知 $I_{C(sat)} = 4 \text{ mA}$ ， $V_{CC} = 12 \text{ V}$
 (2) 由 $I_{C(sat)} = \frac{V_{CC} - V_{CE(sat)}}{R_C}$ ，可得： $R_C = \frac{V_{CC} - V_{CE(sat)}}{I_{C(sat)}} = \frac{(12 - 0.2)V}{4\text{mA}} = 2.95 \text{ k}\Omega$
6. (1) 由圖(b)得知，當 $V_C = 9 \text{ V}$ 時， $V_{CE} = V_C = 9 \text{ V}$ ，則 $I_C = 1 \text{ mA}$
 (2) $I_B = \frac{I_C}{\beta} = \frac{1\text{mA}}{100} = 10 \mu A$

4-2 電晶體之工作原理

》》理論重點 1 電晶體的工作模式 p.4-23

1. 飽和區：BE 與 BC 皆為順偏。
2. 同上。
3. 線性放大工作在工作區（active region）。
4. 作用區：BE 順偏，BC 逆偏。
5. 電晶體在數位電路中，工作截止區（邏輯 1）與飽和區（邏輯 0），如同一開關。

》》理論重點 2 電晶體各工作區域的工作原理 p.4-26

- (1) 作用區： BE 順偏， BC 逆偏。
- (2) 反轉區： BE 逆偏， BC 順偏，此區域是射極與集極對調使用，將會造成增益與逆向崩潰電壓下降。
- 線性放大工作點落於工作區內。

4-3 電晶體組態簡介

》》理論重點 1 共基極組態（Common Base，簡記 CB） p.4-28

- V_{CB} 增加，使基極有效寬度減少，降低載子在基極內復合機率，少數載子濃度增加，而使 I_E 略微增加。

》》理論重點 2 共射極組態（Common Emitter，簡記 CE） p.4-30

$$1. (1) I_{C(sat)} = \frac{V_{CC} - V_{CE(sat)}}{R_C} = \frac{(12 - 0.2)V}{4k\Omega} = 2.95 \text{ mA}$$

$$(2) S \text{ 開啓 (off) : } I_C = I_{CEO} = 0.1 \text{ mA}$$

$$(3) S \text{ 閉合 (on) : } I_C = \beta I_B + I_{CEO} = 1.3 \text{ mA}$$

則 $\beta I_B = 1.2 \text{ mA} < I_{C(sat)}$ ，電晶體工作於線性區。

$$(4) \text{ 因 } I_B = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_B} = \frac{(5 - 0.7)V}{430k\Omega} = 10 \mu\text{A} \text{，故}$$

$$\beta = \frac{1.2\text{mA}}{I_B} = \frac{1.2\text{mA}}{10\mu\text{A}} = 120$$

$$2. (1) I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B} = \frac{(12 - 0.6)V}{380k\Omega} = 30\mu\text{A} = I_{B2}$$

$$(2) \text{ 當 } I_B = I_{B2} = 30 \mu\text{A} \text{ 時， } I_{CQ} = I_C = 3 \text{ mA} \text{。}$$

$$3. (1) \text{ 由圖(b)得知： } I_B = 30\mu\text{A} \text{ 時， } I_C = 3 \text{ mA， } V_{CE} = 3 \text{ V} \text{。}$$

$$(2) R_C = \frac{V_{CC} - V_{CE}}{I_C} = \frac{(12 - 3)V}{3\text{mA}} = 3 \text{ k}\Omega$$

$$4. \beta = \frac{I_C}{I_B} = \frac{3\text{mA}}{30\mu\text{A}} = 100$$

》》理論重點 4 CB、CE、CC 組態比較 p.4-35

- 功率增益由大至小依序為： $CE > CB > CC$ 。
- 電流增益由大至小依序為： $CC > CE > CB$ 。
- 功率增益由大至小依序為： $CE > CB > CC$ 。
- 相位差：
 - $CB \Rightarrow 0^\circ$
 - $CE \Rightarrow 180^\circ$
 - $CC \Rightarrow 0^\circ$
- CC：高輸入阻抗、低輸出阻抗。

4-4 電晶體之放大作用

》》理論重點 1 放大作用的工作原理 p.4-37

1. V_{CC} 的大小不影響電晶體的工作點，電晶體仍然工作於線性主動區。
2. 電晶體的互導 g_m 值很大，其放大倍數為 $-g_m R_C$ 。

4-5 電晶體之開關作用

》》理論重點 1 開關作用的工作原理 p.4-40

1. $I_C = 0$ ， $V_{CE} = V_{CC} - I_C R_C = V_{CC}$
2. $V_{CE} = V_{CE(sat)} = 0.2 \text{ V}$
3. 電晶體當作開關使用時，工作於截止區及飽和區。

$$4. (1) I_{C(sat)} = \frac{V_{CC} - V_{CE(sat)}}{R_C} = \frac{5 - 0.2}{5k} = 0.96 \text{ mA}$$

$$(2) I_{B(sat)} = \frac{I_{C(sat)}}{\beta} = \frac{0.96\text{m}}{20} = 48 \mu\text{A}$$

$$(3) I_B = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_B} = \frac{5 - 0.7}{R_B} = \frac{4.3}{R_B}$$

若 $I_B \geq I_{B(sat)}$ ，則電晶體工作於飽和區

$$\text{因此 } \frac{4.3}{R_B} \geq 48\mu, R_B \leq \frac{4.3}{48\mu} = 89.6 \text{ k}\Omega$$

5. 電晶體當作開關使用時，工作於(a)區之飽和區及(b)區之截止區。

$$6. (1) I_{C(sat)} = \frac{V_{CC} - V_{CE(sat)}}{R_C} = \frac{(12 - 0.2)\text{V}}{5\text{k}\Omega} = 2.36 \text{ mA}$$

$$(2) \text{因 } I_C = I_{C(sat)} = 2.36 \text{ mA}，\text{故電晶體已飽和，則 } V_{CE} = V_{CE(sat)} = 0.2 \text{ V}$$

$$(3) \text{飽和區：} \beta I_B > I_{C(sat)}，\text{即 } \beta > \frac{I_{C(sat)}}{I_B} = \frac{2.36\text{mA}}{30\mu\text{A}} = 78.7$$

4-6 最大額定值

》》實習重點 1 電晶體之額定值 p.4-42

$$1. (1) P_{C(\max)} = V_{CE} \times I_{C(\max)} = 10 \times 5\text{m} = 50 \text{ mW}$$

$$(2) I_{C(\max)} = \frac{P_{C(\max)}}{V_{CE}} = \frac{50\text{mW}}{5\text{V}} = 10 \text{ mA}$$

$$2. (1) I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B} = \frac{20.7 - 0.7}{500k} = 40 \mu\text{A}$$

$$(2) I_C = \beta I_B = 100 \times 40\mu = 4 \text{ mA}$$

$$(3) V_{CE} = V_{CC} - I_C R_C = 20.7 - 4\text{m} \times 2850 = 9.3 \text{ V}$$

$$(4) I_{C(\max)} = \frac{P_{C(\max)}}{V_{CE}} = \frac{60\text{mW}}{9.3} = 6.45 \text{ mA}$$

模擬試題詳解

》》》 電子學試題 p.4-52

1. $\frac{I_E}{I_B} = 1 + \beta \Rightarrow I_B = \frac{I_E}{1 + \beta} = \frac{2.0}{1 + 49} = 0.04 \text{ mA}$
2. $I_B = \frac{I_E}{1 + \beta} = \frac{2\text{m}}{1 + 99} = 20 \mu\text{A}$
3. (1) $\gamma = \frac{\Delta I_E}{\Delta I_B} = \frac{1\text{m} - 0.5\text{m}}{30\mu - 20\mu} = 50$
 (2) $\beta = \gamma - 1 = 50 - 1 = 49$
4. $\beta = \gamma - 1 = \frac{I_E}{I_B} - 1 = \frac{5.05}{0.05} - 1 = 100$
5. FET 為單載子傳送電流，其餘皆為雙載子傳送電流。
6. MJ2955 為 PNP 型電晶體。
7. (1) 障壁電位隨溫度的增加而降低。
 (2) 障壁電位隨摻雜濃度的增加而降低。
 (3) 障壁電位與基 - 射極逆向偏壓無關。
8. $\beta = \frac{I_C}{I_B} = \frac{I_E - I_B}{I_B} = \frac{2.5\text{m} - 50\mu}{50\mu} = 49$
9. $\alpha = \frac{\beta}{1 + \beta} = \frac{\beta}{\gamma}$
10. (1) $\alpha = \frac{I_C}{I_E} = \frac{I_E - I_B}{I_E} = \frac{1 - 0.05}{1} = 0.95$
 (2) $\beta = \frac{\alpha}{1 - \alpha} = \frac{0.95}{1 - 0.95} = 19$
11. 將電晶體的 E、C 極對調使用， β 值及耐壓均會降低。
12. (1) 主動區模式： $V_{EB} > 0$ ， $V_{CB} < 0$ ， $V_{CE} < 0$
 (2) $V_{EB} > 0$ ，則 $V_E > V_B$
 $V_{CB} < 0$ ，則 $V_C < V_B$
 $V_{CE} < 0$ ，則 $V_C < V_E$
 綜合上述分析，則 $V_E > V_B > V_C$
13. $\beta I_B = 100 \times 50\mu = 5 \text{ mA} > I_C$ ，電晶體工作於飽和區，飽和電流 $I_{C(sat)} = 2 \text{ mA}$
14. (1) $\beta_1 = \frac{\alpha_1}{1 - \alpha_1} = \frac{0.985}{1 - 0.985} = 66$ ， $\beta_2 = \frac{\alpha_2}{1 - \alpha_2} = \frac{0.99}{1 - 0.99} = 99$
 (2) $\frac{\Delta\beta}{\beta_1} \times 100\% = \frac{99 - 66}{66} \times 100\% = 50\%$
15. (1) $I_{CEO} = (1 + \beta)I_{CBO}$ ， $\beta = \frac{I_{CEO}}{I_{CBO}} - 1 = \frac{5\mu}{50\text{n}} - 1 = 99$
 (2) $I_C = \beta I_B = 99 \times 20\mu\text{A} = 1.98 \text{ mA}$

16. (1) $\beta = \frac{I_C}{I_B} = \frac{1\text{m}}{10\mu} = 100$

(2) $I_C = \beta I_B = 100 \times 50\mu = 5\text{ mA}$

(3) 因 $\beta I_B > I_{C(sat)}$ ，電晶體已飽和，故 $I_C = I_{C(sat)} = 4\text{ mA}$

17. (1) $\beta = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B} = \frac{2\text{m} - 1\text{m}}{30\mu - 20\mu} = 100$

(2) $I_C = \beta I_B = 100 \times 40\mu\text{A} = 4\text{ mA}$ ，因 $\beta I_B < I_{C(sat)}$ ，故 $I_C = \beta I_B = 4\text{ mA}$

18. 因 $\beta I_B > I_{C(sat)}$ ，故 $I_C = I_{C(sat)} = 5\text{ mA}$

19. (1) 線性放大器：作用區。 (2) 開關：飽和區及截止區。

20. $V_{BE} = V_B - V_E = 0 - 1 = -1 < 0.7$

$V_{BC} = V_B - V_C = 0 - 5 = -5 < 0.5$ ，故電晶體工作於截止區。

21. $V_{EB} = V_E - V_B = 0.7 - 0 = 0.7$

$V_{CB} = V_C - V_B = 0.5 - 0 = 0.5$ ，故電晶體工作於飽和區。

22. $\beta = \frac{I_C}{I_B} = \frac{2.5\text{m}}{50\mu} = 50$

23. 電晶體飽和時的條件為 $\beta I_B \geq I_{C(sat)}$ 或 $I_B \geq I_{B(sat)}$ ，則

$$I_{B(sat)} = \frac{I_{C(sat)}}{\beta} = \frac{5\text{m}}{50} = 100\ \mu\text{A}$$

24. (1) 輸入阻抗由小而大：CB < CE < CC。

(2) 輸出阻抗由小而大：CC < CE < CB。

(3) 共射極放大電路功率增益最大。

(4) 共射極放大電路因米勒效應， $C_i = (1 - A)C_{bc}$ ，高頻響應最差。

25. C 極摻雜濃度低，當作輸入端時，電流增益低。

26. 電晶體操作在主動區，以保持線性放大。

27. 共射組態操作於截止區之 $I_C = I_{CEO}$ 。

28. (1) $I_B = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_B} = \frac{5 - 0.7}{R_B} = \frac{4.3}{R_B}$

(2) $I_{C(sat)} = \frac{V_{CC} - V_{CE(sat)}}{R_C} = \frac{5 - 0.2}{R_C} = \frac{4.8}{R_C}$

(3) 飽和區條件： $\beta I_B \geq I_{C(sat)}$ ，則 $100 \times \frac{4.3}{R_B} \geq \frac{4.8}{R_C}$ ，故 $R_B \leq 90 R_C$

29. (1) $V_{CC} - I_C R_C \leq V_{CE(\text{max})}$

(2) 因 $0 \leq I_C \leq I_{C(\text{max})}$ ，當 $I_C = 0$ 時，可得 V_{CC} 最大值為 $V_{CC} = V_{CE(\text{max})} = 15\text{ V}$

30. (1) $I_B = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_B} = \frac{10 - 0.7}{930\text{k}} = 10\ \mu\text{A}$

(2) $I_C = \beta I_B = 100 \times 10\mu\text{A} = 1\text{ mA}$

(3) $V_{CE} = V_{CC} - I_C R_C = 15 - 1\text{m} \times 5\text{k} = 10\text{ V}$

(4) $I_{C(\text{max})} = \frac{P_{D(\text{max})}}{V_{CE}} = \frac{30\text{m}}{10} = 3\text{ mA}$

》》 電子學實習試題 p.4-54

- (1) 2N3055 為高功率 NPN 型電晶體。
 - (2) TIP42 為中功率 PNP 型電晶體。
 - (3) 2SC9013 為低功率 NPN 型電晶體。
 - (4) 2SK30 為 N 通道 JFET。
- 中、高功率型電晶體常將 C 極與外殼相連，以增加其散熱面積。
- (1) TO-3：大功率電晶體。
 - (2) TO-39：中功率電晶體。
 - (3) TO-92：小功率電晶體。
 - (4) TO-220：中功率電晶體。



- 見上題詳解。
- (1) 箭頭指向 N 型半導體（射極）。
 - (2) 射極多數載子為電子，少數載子為電洞。
- (1) 射極（E）摻雜濃度高，增益高但耐壓低。
 - (2) 集極（C）摻雜濃度低，耐壓高但增益低。
- 電表黑棒為正且接於基極，紅棒為負且接於射極，此時電晶體 B-E 順偏，可得低電阻值。
- TO-92 為小功率電晶體， β 值最大，適用於小訊號放大。
- 增加散熱面積。
- (1)
$$I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B} = \frac{(12 - 0.7)V}{600k\Omega} = 18.8 \mu A$$
 - (2)
$$I_C = \frac{V_{CC} - V_C}{R_C} = \frac{(12 - 9)V}{1.5k\Omega} = 2 \text{ mA}$$
 - (3)
$$\beta = \frac{I_C}{I_B} = \frac{2\text{mA}}{18.8\mu A} = 106$$
- $$\beta = \frac{I_C}{I_B} = \frac{2.1\text{mA}}{15\mu A} = 140$$
- (1)
$$I_{C(sat)} = \frac{V_{CC} - V_{CE(sat)}}{R_C} = \frac{(15 - 0.2)V}{2k\Omega} = 7.4 \text{ mA}$$
 - (2) 因 $\beta I_B = 140 \times 15\mu A = 2.1 \text{ mA} < I_{C(sat)}$ ，故 $I_C = \beta I_B = 2.1 \text{ mA}$ 。
- (1)
$$I_{C(sat)} = \frac{V_{CC} - V_{CE(sat)}}{R_C} = \frac{(15 - 0.2)V}{10k\Omega} = 1.48 \text{ mA}$$
 - (2) 因 $\beta I_B = 140 \times 15\mu A = 2.1 \text{ mA} > I_{C(sat)}$ ，故 $I_C = I_{C(sat)} = 1.48 \text{ mA}$ 。
- $$I_E = I_B + I_C = 25\mu A + 3.5\text{mA} = 3.525 \text{ mA}$$

$$15. (1) \beta = \frac{I_C}{I_B} = \frac{3.5\text{mA}}{25\mu\text{A}} = 140$$

$$(2) I_{C(sat)} = \frac{V_{CC} - V_{CE(sat)}}{R_C} = \frac{15\text{V}}{5\text{k}\Omega} = 3\text{mA}$$

(3) 因 $\beta I_B = 140 \times 25\mu\text{A} = 3.5\text{mA} > I_{C(sat)}$ ，故 $I_C = I_{C(sat)} = 3\text{mA}$ 。

$$(4) I_E = I_B + I_C = 25\mu\text{A} + 3\text{mA} = 3.025\text{mA}$$

$$16. R_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{I_B} = \frac{(12 - 0.6)\text{V}}{20\mu\text{A}} = 570\text{k}\Omega$$

17. (1) 由第 16 題數據計算 β 值。

$$I_{C(sat)} = \frac{V_{CC} - V_{CE(sat)}}{R_C} = \frac{(12 - 0.2)\text{V}}{3.3\text{k}\Omega} = 3.6\text{mA}$$

$$I_C = \frac{V_{CC} - V_C}{R_C} = \frac{(12 - 5.4)\text{V}}{3.3\text{k}\Omega} = 2\text{mA} < I_{C(sat)}$$

$$\text{電晶體工作於線性區：} \beta = \frac{I_C}{I_B} = \frac{2\text{mA}}{20\mu\text{A}} = 100$$

(2) 若 $I_B = 50\mu\text{A}$ ，則 $\beta I_B = 100 \times 50\mu\text{A} = 5\text{mA} > I_{C(sat)}$ 。

$$\text{電晶體工作於飽和區：} V_C = V_{CE(sat)} = 0.2\text{V}$$

18. 由輸出特性曲線得知，當 $I_B = 20\mu\text{A}$ 時， $I_C = 2\text{mA}$ 。

$$19. \beta = \frac{I_C}{I_B} = \frac{2\text{mA}}{20\mu\text{A}} = 100$$

20. (1) 由列表可知 $I_{C(sat)} = 3.9\text{mA}$ ，並且 $\beta = \frac{I_C}{I_B} = \frac{1\text{mA}}{10\mu\text{A}} = 100$ 。

(2) 若 $I_B = 60\mu\text{A}$ ，則 $\beta I_B > I_{C(sat)}$ ，故 $I_C = I_{C(sat)} = 3.9\text{mA}$ 。

21. 由 $\beta I_B = 100 \times 0.03\text{mA} = 3\text{mA} < I_{C(sat)}$ ，可知電晶體工作於工作區。

22. 由 $\gamma = 1 + \beta = \frac{I_E}{I_B} = \frac{14}{0.2} = 70$ ，求得 $\beta = 70 - 1 = 69$ 。

23. (1) 電表內阻與滿刻度電壓成正比。

(2) DCV250V 檔之內阻最大，故測得 V_B 值最大，但要特別注意 DCV250V 檔所得的人為誤差較大。

$$24. (1) I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_1 + (1 + \beta)R_E} = \frac{(18 - 0.7)\text{V}}{90\text{k}\Omega + 101\text{k}\Omega} = 91\mu\text{A}$$

$$(2) I_{C(sat)} = \frac{V_{CC} - V_{CE(sat)}}{R_C + R_E} = \frac{(18 - 0.2)\text{V}}{5\text{k}\Omega + 1\text{k}\Omega} = 2.97\text{mA}$$

(3) $\beta I_B = 100 \times 91\mu\text{A} = 9.1\text{mA} > I_{C(sat)}$

由 $I_C = I_{C(sat)} = 2.97\text{mA}$ ，得 $V_{CE} = V_{CE(sat)} = 0.2\text{V}$ 。

25. (1) $I_C = I_E - I_B = 2\text{mA} - 0.02\text{mA} = 1.98\text{mA}$

$$(2) \beta = \frac{I_C}{I_B} = \frac{1.98\text{mA}}{0.02\text{mA}} = 99$$

$$(3) \alpha = \frac{\beta}{1 + \beta} = \frac{99}{1 + 99} = 0.99$$

第 5 章 電晶體直流偏壓電路

立即練習詳解

5-1 直流工作點

理論重點 1 偏壓與工作點 p.5-6

1. 電晶體工作於主動區可得不失真輸出信號。

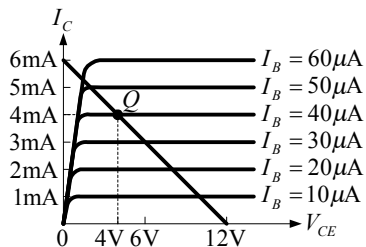
理論重點 2 負載線觀念 p.5-9

1. (1) $I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B}$ ，且 $I_C = \beta I_B$ ，因此 R_C 改變不影響 I_C ， Q 點仍然在 I_{B2} 上。
- (2) $I_{C(sat)} \doteq \frac{V_{CC}}{R_C}$ ， R_C 減少，使 $I_{C(sat)}$ 增加，工作點移至 C 點附近。

實習重點 3 共射極放大電路特性測試 p.5-11

1. (1) $V_{CE} = V_{CC} - I_C R_C$
- (2) 令 $I_C = 0$ ，則 $V_{CE(off)} = V_{CC} = 12\text{ V}$ 。
- (3) 令 $V_{CE} = 0$ ，則 $I_{C(sat)} = \frac{V_{CC}}{R_C} = \frac{12\text{ V}}{2\text{ k}\Omega} = 6\text{ mA}$ 。

直流負載線如下圖：



- (4) 當 $V_{CE} = V_C = 4\text{ V}$ 時，得工作點 Q ： $I_B = 40\ \mu\text{A}$
- (5) $R_B = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{I_B} = \frac{(5.7 - 0.7)\text{ V}}{40\ \mu\text{A}} = 125\ \text{k}\Omega$
2. (1) 由圖(1b)特性曲線得知： $I_B = 30\ \mu\text{A}$ ， $I_C = 3\text{ mA}$ ，故 $\beta = \frac{I_C}{I_B} = \frac{3\text{ mA}}{3\ \mu\text{A}} = 100$
- (2) $I_B = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_B} = \frac{(5.7 - 0.7)\text{ V}}{50\ \text{k}\Omega} = 0.1\text{ mA}$
- (3) 由圖(1b)特性曲線得知： $I_{C(sat)} \doteq 6\text{ mA}$
- (4) 因 $\beta I_B = 100 \times 0.1\text{ mA} = 10\text{ mA} > I_{C(sat)}$ ，故電晶體已飽和，則 $I_C = I_{C(sat)} \doteq 6\text{ mA}$
3. 共射極放大電路的 E 極為共同接點， B 極為輸入端， C 極為輸出端。

》》理論重點 4 溫度的影響 p.5-13

1. $I_{CO(65^{\circ}\text{C})} = I_{CO(25^{\circ}\text{C})} \times 2^{\frac{65-25}{10}} = (2\text{nA})(2^4) = 32\text{ nA}$
2. (1) $\Delta V_{BE} = (-2.5\text{mV}/^{\circ}\text{C})(25^{\circ}\text{C} - 65^{\circ}\text{C}) = +0.1\text{ V}$
 (2) $V_{BE(25^{\circ}\text{C})} = V_{BE(65^{\circ}\text{C})} + \Delta V_{BE} = 0.6 + 0.1 = 0.7\text{ V}$
3. $I_{CO(5^{\circ}\text{C})} = I_{CO(25^{\circ}\text{C})} \times 2^{\frac{5-25}{10}} = (1.6\text{nA})(\frac{1}{4}) = 0.4\text{ nA}$
4. $\Delta T = \frac{(0.55 - 0.6)\text{V}}{-2.5\text{mV}/^{\circ}\text{C}} = 20^{\circ}\text{C}$
 $T = 25^{\circ}\text{C} + \Delta T = 25^{\circ}\text{C} + 20^{\circ}\text{C} = 45^{\circ}\text{C}$
5. 溫度對 I_{CO} 、 β 、 V_{BE} 三者皆有影響。

》》理論重點 5 穩定因數 p.5-14

1. 穩定因數愈小時，電晶體的熱穩定性愈好。

5-2 固定偏壓電路

》》理論重點 1 固定偏壓電路 p.5-17

1. $I_C = \beta I_B = (50)(48\mu\text{A}) = 2.4\text{ mA}$
2. $V_{CE} = V_{CC} - I_C R_C = 12 - (2.4\text{mA})(2.1\text{k}\Omega) = 6.96\text{ V}$
3. (1) $I_C = \frac{V_{CC} - V_{CE}}{R_C} = \frac{12 - 6}{2\text{k}} = 3\text{ mA}$
 (2) $I_B = \frac{I_C}{\beta} = \frac{3\text{mA}}{100} = 30\mu\text{A}$
 (3) $R_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{I_B} = \frac{12 - 0.72}{30\mu\text{A}} = 376\text{ k}\Omega$
4. (1) $I_C = \frac{V_{CC} - V_{CE}}{R_C} = \frac{20 - 10}{1\text{k}} = 10\text{ mA}$
 (2) $I_B = \frac{I_C}{\beta} = \frac{10\text{mA}}{100} = 100\mu\text{A}$
 (3) $R_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{I_B} = \frac{20 - 0.7}{100\mu\text{A}} = 200\text{ k}\Omega$
5. (1) $I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B} = \frac{20.7 - 0.7}{1\text{M}} = 20\mu\text{A}$
 (2) $I_C = \beta I_B = (120)(20\mu\text{A}) = 2.4\text{ mA}$
 (3) $V_C = V_{CC} - I_C R_C = 20.7 - (2.4\text{mA})(2.2\text{k}) = 15.42\text{ V}$
6. (1) $I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B} = \frac{12 - 0.7}{377\text{k}} = 30\mu\text{A} = 0.03\text{ mA}$
 (2) $I_C = \beta I_B = (100)(30\mu\text{A}) = 3\text{ mA}$

$$(3) V_C = V_{CC} - I_C R_C = 12 - (3\text{mA})(2\text{k}) = 6\text{V}$$

$$(4) I_{C(\text{sat})} = \frac{V_{CC} - V_{CE(\text{sat})}}{R_C} \doteq \frac{V_{CC}}{R_C} = \frac{12}{2\text{k}} = 6\text{mA}$$

(5) $\because \beta I_B < I_{C(\text{sat})}$ \therefore 電晶體操作於作用區

$$7. (1) I_C = \frac{V_{CC} - V_{CE}}{R_C} = \frac{(10 - 5)\text{V}}{2\text{k}\Omega} = 2.5\text{mA}$$

$$(2) I_B = \frac{I_C}{\beta} = \frac{2.5\text{mA}}{100} = 25\mu\text{A}$$

$$(3) R_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{I_B} = \frac{(10 - 0.7)\text{V}}{25\mu\text{A}} = 372\text{k}\Omega$$

$$8. (1) \text{原電晶體: } I_C = \frac{V_{CC} - V_{CE}}{R_C} = \frac{(12 - 6)\text{V}}{2\text{k}\Omega} = 3\text{mA}$$

$$I_B = \frac{I_C}{\beta} = \frac{3\text{mA}}{120} = 25\mu\text{A}$$

$$(2) \text{新電晶體: } \beta = \frac{I_C}{I_B} = \frac{2\text{mA}}{25\mu\text{A}} = 80$$

$$9. (1) I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B} = \frac{(12 - 0.7)\text{V}}{100\text{k}\Omega} = 113\mu\text{A}$$

$$(2) I_{R_C} = \frac{V_{CC} - V_D}{R_C} = \frac{(12 - 1.5)\text{V}}{470\Omega} = 22.3\text{mA}$$

$$(3) I_{C(\text{sat})} = \frac{V_{CC} - V_{CE(\text{sat})}}{R_C} = \frac{(12 - 0.2)\text{V}}{470\Omega} = 25\text{mA}$$

$$(4) \beta I_B = 100 \times 113\mu\text{A} = 11.3\text{mA}$$

因 $\beta I_B < I_{C(\text{sat})}$ ，電晶體工作於線性區，故 $I_C = \beta I_B = 11.3\text{mA}$ 。

$$(5) I_D = I_{R_C} - I_C = 22.3\text{mA} - 11.3\text{mA} = 11\text{mA}，\text{LED 正常發亮。}$$

$$10. (1) I_B = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_B} = \frac{(5 - 0.7)\text{V}}{500\text{k}\Omega} = 8.6\mu\text{A}$$

$$(2) I_C = \beta I_B = 100 \times 8.6\mu\text{A} = 0.86\text{mA}$$

因 LED 之工作電流在 $10\text{mA} \sim 40\text{mA}$ 之間，故 LED 不亮。

$$11. (1) V_{CE} = \frac{1}{2} V_{CC} = \frac{1}{2} \times 12 = 6\text{V}$$

$$(2) R_C = \frac{V_{CC} - V_{CE}}{I_C} = \frac{12 - 6}{1\text{m}} = 6\text{k}\Omega$$

5-3 回授偏壓電路

理論重點 1 射極回授偏壓電路 p.5-23

$$1. I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B + (1 + \beta)R_E} = \frac{12 - 0.7}{700\text{k} + (1 + 100)(1\text{k})} = 14.1\mu\text{A} \doteq 15\mu\text{A}$$

2. $I_C = \beta I_B = (100)(15\mu\text{A}) = 1.5\text{ mA}$
3. $V_{CE} = V_{CC} - I_C R_L - I_E R_E \doteq V_{CC} - I_C (R_L + R_E) = 12 - (1.5\text{mA})(3\text{k} + 1\text{k}) = 6\text{ V}$
4. (1) $I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B + (1 + \beta)R_E} = \frac{20 - 0.7}{400\text{k} + (1 + 100)(1\text{k})} = 38.5\ \mu\text{A}$
- (2) $V_B = V_{CC} - I_B R_B = 20 - (38.5\ \mu\text{A})(400\text{k}) = 4.56\text{ V}$
5. (1) $I_C = \frac{V_{CC} - V_{CE}}{R_C + R_E} = \frac{(12 - 6)\text{V}}{3\text{k}\Omega + 1\text{k}\Omega} = 1.5\text{ mA}$
- (2) $I_B = \frac{I_C}{\beta} = \frac{1.5\text{mA}}{100} = 15\ \mu\text{A}$
- (3) $I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B + (1 + \beta)R_E}$ ，則
- $$R_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{I_B} - (1 + \beta)R_E = \frac{(12 - 0.7)\text{V}}{15\ \mu\text{A}} - (1 + 100)(1\text{k}\Omega) = 652\ \text{k}\Omega$$
6. (1) 由 $I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B + (1 + \beta)R_E}$ ，若 $R_E = 0$ ，則 I_B 值增加， $I_C = \beta I_B$ 亦增加。
- (2) 由 $V_{CE} \doteq V_{CC} - I_C (R_C + R_E)$ ，因 I_C 值增加，但 $R_E = 0$ ，所以 V_{CE} 值未必減少。
- $$I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B} = \frac{(12 - 0.7)\text{V}}{652\text{k}\Omega} = 17.3\ \mu\text{A}$$
- $$I_C = \beta I_B = 100 \times 17.3\ \mu\text{A} = 1.73\text{ mA}$$
- $$V_{CE} = V_{CC} - I_C R_C = 12 - 1.73\text{mA} \times 3\text{k}\Omega = 6.81\text{ V} \quad \therefore V_{CE} \text{ 增加}$$

理 論 重 點 2 集極回授偏壓電路 p.5-27

1. (1) $I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B + (1 + \beta)R_C} = \frac{9.7 - 0.7}{200\text{k} + (1 + 99)(1\text{k})} = 30\ \mu\text{A}$
- (2) $I_C = \beta I_B = (99)(30\ \mu\text{A}) = 2.97\text{ mA}$
2. (1) $I'_C = \frac{V_{CC} - V_{CE}}{R_C} = \frac{12 - 6}{1\text{k}} = 6\text{ mA}$
- $\therefore I'_C = I_B + I_C = (1 + \beta)I_B$
- $\therefore I_B = \frac{I'_C}{1 + \beta} = \frac{6\text{mA}}{1 + 99} = 60\ \mu\text{A}$
- (2) $R_B = \frac{V_{CE} - V_{BE}}{I_B} = \frac{6 - 0.7}{60\ \mu\text{A}} = 88.3\ \text{k}\Omega$

理 論 重 點 3 集極與射極回授偏壓電路 p.5-30

1. (1) $V_{CE} = V_{CC} - I_C (R_C + R_E) = 12 - 1\text{m} \times (5\text{k} + 1\text{k}) = 6\text{ V}$
- (2) $I_B \doteq \frac{I_C}{\beta} = \frac{1\text{m}}{100} = 10\ \mu\text{A}$
- (3) $R_B = \frac{V_{CE} - V_{BE}}{I_B} = \frac{6 - 0.7}{10\ \mu\text{A}} = 530\ \text{k}\Omega$

$$2. (1) I_B = \frac{V_C - V_B}{R_B} = \frac{7 - 1.7}{530k} = 10 \mu\text{A}$$

$$(2) I_C = \beta I_B = 100 \times 10 \mu = 1 \text{ mA}$$

$$(3) R_C = \frac{V_{CC} - V_C}{I_C} = \frac{12 - 7}{1\text{m}} = 5 \text{ k}\Omega$$

$$3. R_E = \frac{V_E}{I_E} \doteq \frac{V_E}{I_C} = \frac{1}{1\text{m}} = 1 \text{ k}\Omega$$

5-4 分壓偏壓電路

》》理論重點 1 分壓偏壓電路 p.5-34

$$1. (1) R_{th} = 100k // 50k = 33.3 \text{ k}\Omega$$

$$(2) V_{th} = 15 \times \frac{50}{100 + 50} = 5 \text{ V}$$

$$(3) I_B = \frac{V_{th} - V_{BE}}{R_{th} + (1 + \beta)R_E} = \frac{5 - 0.7}{33.3k + (1 + 100)(3k)} = 12.8 \mu\text{A}$$

$$(4) I_C = \beta I_B = (100)(12.8 \mu\text{A}) = 1.28 \text{ mA}$$

$$2. V_B = V_{BE} + I_E R_E = 0.7 + (1.28 \text{ mA})(3k) = 4.54 \text{ V}$$

$$3. (1) I_2 = \frac{V_{BE}}{R_2} = \frac{0.7}{212k} = 3.3 \mu\text{A}$$

$$(2) I_1 = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_1} = \frac{12 - 0.7}{212k} = 53 \mu\text{A}$$

$$(3) I_B = I_1 - I_2 = 53 - 3.3 = 49.7 \mu\text{A}$$

$$(4) I_C = \beta I_B = (100)(49.7 \mu\text{A}) = 4.97 \text{ mA}$$

$$(5) V_{CE} = V_{CC} - I_C R_C = 12 - (4.97 \text{ mA})(1k) = 7.03 \text{ V}$$

$$4. (1) \text{ 因 } \beta R_E > 10R_2, \text{ 故 } V_B = 15 \times \frac{68k}{47k + 68k} = 8.87 \text{ V}$$

$$(2) V_E = V_B - V_{BE} = 8.87 - 0.7 = 8.17 \text{ V}$$

$$(3) I_E = \frac{V_E}{R_E} = \frac{8.17}{68k} = 0.12 \text{ mA}$$

$$(4) I_C \doteq I_E = 0.12 \text{ mA}$$

$$(5) V_{CE} = V_{CC} - I_C R_C - I_E R_E = 15 - (0.12 \text{ mA})(39k + 68k) = 2.16 \text{ V}$$

$$5. I_C = \frac{V_{CC} - V_C}{R_C} = \frac{10 - 5}{5k} = 1 \text{ mA}$$

$$6. I_B = \frac{I_C}{\beta} = \frac{1 \text{ mA}}{200} = 5 \mu\text{A}$$

$$7. V_{th} = 10 \times \frac{4}{6 + 4} = 4 \text{ V}$$

$$R_{th} = 6k // 4k = 2.4 k\Omega$$

$$I_B = \frac{V_{th} - V_{BE}}{R_{th} + R_B} = \frac{4 - 0.7}{2.4k + 0.9k} = 1 \text{ mA}$$

$$8. (1) I_1 = \frac{V_{CC} - V_B}{R_1} = \frac{(12 - 2)V}{100k\Omega} = 0.1 \text{ mA}$$

$$(2) I_C = \frac{V_{CC} - V_C}{R_C} = \frac{(12 - 6.8)V}{4k\Omega} = 1.3 \text{ mA}$$

$$(3) I_B = \frac{I_C}{\beta} = \frac{1.3\text{mA}}{100} = 13 \mu\text{A}$$

$$(4) I_2 = I_1 - I_B = 0.1\text{mA} - 13\mu\text{A} = 87 \mu\text{A}$$

$$(5) R_2 = \frac{V_B}{I_2} = \frac{2V}{87\mu\text{A}} = 23 k\Omega$$

$$9. (1) \text{原圖：} V_{CE} = V_C - V_E = 6.8 - 1.3 = 5.5 \text{ V}$$

(2) R_2 移除：

$$I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_1 + (1 + \beta)R_E} = \frac{(12 - 0.7)V}{100k\Omega + (1 + 100)(1k\Omega)} = 56.2 \mu\text{A}$$

$$\beta I_B = 100 \times 56.2\mu\text{A} = 5.62 \text{ mA}$$

$$I_{C(sat)} = \frac{V_{CC} - V_{CE(sat)}}{R_C + R_E} = \frac{(12 - 0.2)V}{4k\Omega + 1k\Omega} = 2.36 \text{ mA}$$

因 $\beta I_B > I_{C(sat)}$ ，電晶體已飽和，故 $V_{CE} = V_{CE(sat)} = 0.2 \text{ V}$ 。

5-5 射極偏壓電路

》》理論重點 1 射極偏壓電路 p.5-38

$$1. (1) I_B = \frac{V_{EE} - V_{BE}}{R_B + (1 + \beta)R_E} = \frac{-(-10.7) - 0.7}{400k + 101 \times 1k} = 20 \mu\text{A}$$

$$(2) I_C = \beta I_B = 100 \times 20\mu = 2 \text{ mA}$$

$$(3) V_C = 0 - I_C R_C = -2\text{m} \times 2k = -4 \text{ V}$$

$$(4) V_E = I_E R_E - V_{EE} = 2\text{m} \times 1k - 10.7 = -8.7 \text{ V}$$

$$(5) V_{CE} = V_C - V_E = -4 - (-8.7) = 4.7 \text{ V}$$

5-6 共基極偏壓電路

》》理論重點 1 雙電源式共基極偏壓電路 p.5-40

$$1. (1) V_{CB} = \frac{1}{2} V_{CC} = \frac{1}{2} \times 10 = 5 \text{ V}$$

$$(2) I_E = I_C = \frac{V_{CC} - V_{CB}}{R_C} = \frac{10 - 5}{5k} = 1 \text{ mA}$$

$$(3) R_E = \frac{V_{EE} - V_{BE}}{I_E} = \frac{2 - 0.7}{1\text{m}} = 1.3 k\Omega$$

$$2. (1) I_E = \frac{V_{EE} - V_{BE}}{R_E} = \frac{2 - 0.7}{500} = 2.6 \text{ mA}$$

$$(2) I_{C(sat)} \doteq \frac{V_{CC}}{R_C} = \frac{10}{5k} = 2 \text{ mA}$$

(3) 因 $\alpha I_E > I_{C(sat)}$ ，故電晶體工作於飽和區。

》》理論重點 2 單電源式共基極偏壓電路 p.5-43

1. (1) 因為 $\beta R_E < 10R_2$ ，所以使用精確解計算。

$$(2) V_{th} = V_{CC} \frac{R_2}{R_1 + R_2} = 20 \times \frac{10k}{90k + 10k} = 2 \text{ V}$$

$$(3) R_{th} = 90k // 10k = 9 \text{ k}\Omega$$

$$(4) I_B = \frac{V_{th} - V_{BE}}{R_{th} + (1 + \beta)R_E} = \frac{2 - 0.7}{9k + (1 + 100)(1k)} = 11.8 \mu\text{A}$$

$$(5) I_C = \beta I_B = (100)(11.8 \mu\text{A}) = 1.18 \text{ mA}$$

$$2. (1) V_C = V_{CC} - I_C R_C = 20 - (1.18 \text{ mA})(4k) = 15.28 \text{ V}$$

$$(2) V_B = V_{BE} + I_E R_E = 0.7 + (1.19 \text{ mA})(1k) = 1.89 \text{ V}$$

$$(3) V_{CB} = V_C - V_B = 15.28 - 1.89 = 13.39 \text{ V}$$

5-7 共集極偏壓電路

》》理論重點 1 共集極偏壓電路 p.5-46

$$1. (1) I_B = \frac{V_{EE} - V_{BE}}{R_B + (1 + \beta)R_E} = \frac{20 - 0.7}{240k + (1 + 80)(2k)} = 48 \mu\text{A}$$

$$(2) I_{C(sat)} = \frac{V_{EE} - 0.2}{R_E} = \frac{20 - 0.2}{2k} = 9.9 \text{ mA}$$

(3) 因為 $\beta I_B < I_{C(sat)}$ ，所以 $I_C = \beta I_B = (80)(48 \mu\text{A}) = 3.84 \text{ mA}$

(4) $V_{EE} = I_E R_E + V_E$ ，即

$$V_E = V_{EE} - I_E R_E \doteq V_{EE} - I_C R_E = 20 - (3.84 \text{ mA})(2k) = 12.32 \text{ V}$$

$$2. (1) I_{C(sat)} \doteq \frac{V_{CC} - V_{CE(sat)}}{R_E} = \frac{9 - 0.2}{2.5k} = 3.52 \text{ mA}$$

$$(2) I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B + (1 + \beta)R_B} = \frac{9 - 0.7}{100k + (1 + 45)(2.5k)} = 38.6 \mu\text{A} \doteq 40 \mu\text{A}$$

(3) $\therefore \beta I_B = (45)(40 \mu\text{A}) = 1.8 \text{ mA} < I_{C(sat)} \quad \therefore I_C = \beta I_B = 1.8 \text{ mA}$

$$(4) I_E = (1 + \beta)I_B = (1 + 45)(40 \mu\text{A}) \doteq 1.8 \text{ mA}$$

模擬試題詳解

>>> 電子學試題 p.5-59

1. 電晶體工作在工作區時， $B-E$ 接順偏， $B-C$ 接逆偏，對 NPN 而言， $V_{BE} > 0$ ， $V_{CE} > 0$ ， $V_{BC} < 0$ 。
2. Q 點應選擇位於負載線中央，才能得到最大且不失真的輸出信號。
3. Q 點靠近截止點時將發生正半週截波現象，因此集極電流 I_C 減小， $I_C = \beta I_B$ ， I_B 不變，則 β 值減小。

$$4. (1) I_{C1} = \frac{V_{CC} - V_{CE1}}{R_C} = \frac{12 - 5.16}{6k} = 1.14 \text{ mA}$$

$$(2) I_{B1} = \frac{I_{C1}}{\beta} = \frac{1.14\text{m}}{100} = 11.4 \mu\text{A}$$

$$(3) R_B = \frac{V_{CC} - V_{BE1}}{I_{B1}} = \frac{12 - 0.6}{11.4\mu} = 1 \text{ M}\Omega$$

$$(4) I_{C2} = \frac{V_{CC} - V_{CE2}}{R_C} = \frac{12 - 5.1}{6k} = 1.15 \text{ mA}$$

$$(5) I_{B2} = \frac{I_{C2}}{\beta} = \frac{1.15\text{m}}{100} = 11.5 \mu\text{A}$$

$$(6) V_{BE2} = V_{CC} - I_{B2}R_B = 12 - (11.5\mu)(1\text{M}) = 0.5 \text{ V}$$

$$(7) \Delta T = \frac{0.5 - 0.6}{-2.5\text{m}/^\circ\text{C}} = 40^\circ\text{C}$$

$$(8) T = 25^\circ\text{C} + \Delta T = 25^\circ\text{C} + 40^\circ\text{C} = 65^\circ\text{C}$$

$$5. (1) I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B} = \frac{12 - 0.6}{200k} = 57 \mu\text{A}$$

$$(2) I_{C(sat)} = \frac{V_{CC} - V_{CE(sat)}}{R_C} = \frac{12 - 0.2}{10k} = 1.18 \text{ mA}$$

- (3) 因為 $\beta I_B = 50 \times 57 \mu\text{A} = 2.85 \text{ mA} > 1.18 \text{ mA}$ ，所以電晶體進入飽和區，則 $I_C = I_{C(sat)} = 1.18 \text{ mA}$

$$6. (1) I_C = \frac{V_{CC} - V_{CE}}{R_C} = \frac{12 - 6}{5k} = 1.2 \text{ mA}$$

$$(2) I_B = \frac{I_C}{\beta} = \frac{1.2\text{mA}}{100} = 12 \mu\text{A}$$

$$(3) R_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{I_B} = \frac{12 - 0.6}{12\mu\text{A}} = 950 \text{ k}\Omega$$

$$7. (1) I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B} = \frac{12 - 0.7}{400k} = 28.25 \mu\text{A}$$

$$(2) I_C = \beta I_B = 100 \times 28.25 \mu\text{A} = 2.825 \text{ mA}$$

$$(3) V_C = -(V_{CC} - I_C R_C) = -(12 - 2.825\text{m} \times 3k) = -3.525 \text{ V}$$

$$8. (1) \beta = \frac{I_C}{I_B} = \frac{1\text{mA}}{10\mu\text{A}} = 100$$

$$(2) I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B + (1 + \beta)R_E}, \text{ 則}$$

$$R_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{I_B} - (1 + \beta)R_E = \frac{12 - 0.6}{10\mu} - (1 + 100)(1\text{k}) \doteq 1\text{M}\Omega$$

$$9. (1) I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B + (1 + \beta)R_E} = \frac{12 - 0.6}{680\text{k} + 101\text{k}} = 14.6\mu\text{A}$$

$$(2) I_C = \beta I_B = 100 \times 14.6\mu = 1.46\text{mA}$$

$$(3) B \text{ 點之 } I_C \text{ 約為 } 1.5\text{mA}$$

$$10. (1) I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B + (1 + \beta)R_E}, R_B \text{ 增加, 使 } I_B \text{ 減少}$$

$$(2) I_C = \beta I_B, I_B \text{ 減少, 使 } I_C \text{ 減少}$$

$$(3) V_{CE} = V_{CC} - I_C R_C, I_C \text{ 減少, 使 } V_{CE} \text{ 增加}$$

$$11. (1) I_B = \frac{V_{EE} - V_{BE}}{R_B + (1 + \beta)R_E} = \frac{12 - 0.7}{500\text{k} + (1 + 100)(1\text{k})} = 18.8\mu\text{A}$$

$$(2) I_C = \beta I_B = 100 \times 18.8\mu = 1.88\text{mA}$$

$$(3) V_C = I_C R_C = 1.88\text{mA} \times 4\text{k} = 7.52\text{V}$$

$$12. (1) I_C = \frac{V_{CC} - V_{CE}}{R_C} = \frac{10 - 5}{5\text{k}} = 1\text{mA}$$

$$(2) I_B = \frac{I_C}{\beta} = \frac{1\text{mA}}{100} = 10\mu\text{A}$$

$$(3) R_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{I_B} = \frac{10 - 0.7}{10\mu\text{A}} = 930\text{k}\Omega$$

$$13. (1) I_C = \frac{V_{CC} - V_C}{R_C} = \frac{12 - 7}{5\text{k}} = 1\text{mA}$$

$$(2) I_B = \frac{I_C}{\beta} = \frac{1\text{mA}}{100} = 10\mu\text{A}$$

$$(3) V_E = V_{CC} - I_B R_B - V_{BE} = 12 - 10\mu \times 900\text{k} - 0.7 = 2.3\text{V}$$

$$(4) R_E = \frac{V_E}{I_E} = \frac{V_E}{I_C} = \frac{2.3}{1\text{mA}} = 2.3\text{k}\Omega$$

$$14. (1) \text{ 計算直流偏壓時, 電容器均視為開路, 則}$$

$$I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B + (1 + \beta)(R_C + R_E)} = \frac{18 - 0.7}{300\text{k} + (76)(2.5\text{k} + 0.5\text{k})} = 32.8\mu\text{A}$$

$$(2) I_C = \beta I_B = 75 \times 32.8\mu\text{A} = 2.46\text{mA}$$

$$(3) V_C = V_{CC} - I_C R_C = 18 - (2.46\text{mA})(2.5\text{k}) = 11.85\text{V} \doteq 12\text{V}$$

$$15. (1) V_E = I_E R_E \doteq I_C R_E = 1\text{mA} \times 1\text{k} = 1\text{V}$$

$$(2) V_{CE} = \frac{1}{2} V_{CC} = \frac{1}{2} \times 12 = 6\text{V}$$

- (3) $V_C = V_{CE} + V_E = 6 + 1 = 7 \text{ V}$
- (4) $R_C = \frac{V_{CC} - V_C}{I_C} = \frac{12 - 7}{1\text{m}} = 5 \text{ k}\Omega$
16. (1) $V_B = V_{BE} + V_E = 0.7 + 1 = 1.7 \text{ V}$
- (2) $I_B = \frac{I_C}{\beta} = \frac{1\text{m}}{100} = 10 \mu\text{A}$
- (3) $R_B = \frac{V_{CC} - V_B}{I_B} = \frac{12 - 1.7}{10\mu} \doteq 1 \text{ M}\Omega$
17. (1) $V_{th} = 22 \times \frac{4}{40 + 4} = 2 \text{ V}$
- (2) $R_{th} = 40\text{k} // 4\text{k} = 3.636 \text{ k}\Omega$
- (3) $I_B = \frac{V_{th} - V_{BE}}{R_{th} + (1 + \beta)R_E} = \frac{2 - 0.6}{3.63\text{k} + 101\text{k}} = 13.4 \mu\text{A}$
- (4) $I_C = \beta I_B = 13.4\mu\text{A} \times 100 = 1.34 \text{ mA}$
- (5) $V_{CE} \doteq V_{CC} - I_C(R_C + R_E) = 22 - 1.34\text{mA} \times (10\text{k} + 1\text{k}) = 7.26\text{V} \doteq 7.4 \text{ V}$
18. (1) $I_C = \frac{V_{CC} - V_{CE}}{R_C + R_E} = \frac{12 - 6}{5\text{k} + 1\text{k}} = 1 \text{ mA}$
- (2) $I_B = \frac{I_C}{\beta} = \frac{1\text{m}}{100} = 0.01 \text{ mA}$
- (3) $V_B = V_{BE} + I_E R_E \doteq 0.7 + 1\text{m} \times 1\text{k} = 1.7 \text{ V}$
- (4) 由 KCL 定律，得 $\frac{V_B}{R_{B2}} + I_B = \frac{V_{CC} - V_B}{R_{B1}}$
 則 $\frac{1.7}{R_{B2}} + 0.01 = \frac{12 - 1.7}{90}$ ，故 $R_{B2} = 16.27 \text{ k}\Omega$
19. (1) $V_E = I_E R_E \doteq I_C R_E = 1\text{m} \times 1\text{k} = 1 \text{ V}$
- (2) $V_C = V_{CE} + V_E = 6 + 1 = 7 \text{ V}$
- (3) $R_C = \frac{V_{CC} - V_C}{I_C} = \frac{12 - 7}{1\text{m}} = 5 \text{ k}\Omega$
20. (1) $V_B = V_{BE} + V_E = 0.7 + 1 = 1.7 \text{ V}$
- (2) $I_2 = \frac{V_B}{R_2} = \frac{1.7}{10\text{k}} = 0.17 \text{ mA}$
- (3) $I_1 = I_2 + I_B = 0.17\text{m} + \frac{1\text{m}}{100} = 0.18 \text{ mA}$
- (4) $R_1 = \frac{V_{CC} - V_B}{I_1} = \frac{12 - 1.7}{0.18\text{m}} = 57 \text{ k}\Omega$
21. (1) $I_E = \frac{V_Z - V_{BE}}{R_E} = \frac{6 - 0.6}{1\text{k}} = 5.4 \text{ mA}$
- (2) $I_C \doteq I_E = 5.4 \text{ mA}$

$$(3) I_B = \frac{I_C}{\beta} = \frac{5.4\text{mA}}{100} = 54 \mu\text{A}$$

$$(4) V_C = 0 - I_C R_C = -5.4\text{mA} \times 1\text{k} = -5.4 \text{V}$$

$$(5) V_E = I_E R_E + V_{EE} = 5.4\text{mA} \times 1\text{k} - 15 = -9.6 \text{V}$$

$$(6) V_{CE} = V_C - V_E = -5.4 - (-9.6) = 4.2 \text{V}$$

$$22. (1) I_B = \frac{V_{EE} - V_{BE}}{R_B + (1 + \beta)R_E} = \frac{12 - 0.7}{500\text{k} + (1 + 100)(1\text{k})} = 18.8 \mu\text{A}$$

$$(2) I_C = -\beta I_B = -100 \times 18.8 \mu\text{A} = -1.88 \text{mA}$$

$$(3) V_C = V_{CC} - I_C R_C = -12 - (1.88\text{mA})(5\text{k}) = -2.6 \text{V}$$

$$23. (1) I_C = \frac{V_{CC} - V_{CB}}{R_C} = \frac{12 - 6}{6\text{k}} = 1 \text{mA}$$

$$(2) I_E \doteq I_C = 1 \text{mA}$$

$$(3) R_E = \frac{V_{EE} - V_{BE}}{I_E} = \frac{2 - 0.7}{1\text{m}} = 1.3 \text{k}\Omega$$

$$24. (1) I_E = \frac{V_{CC} - V_{CE}}{R_E} = \frac{12 - 6}{2\text{k}} = 3 \text{mA}$$

$$(2) I_C \doteq I_E = 3 \text{mA}$$

$$(3) I_B = \frac{I_C}{\beta} = \frac{3\text{mA}}{100} = 30 \mu\text{A}$$

$$(4) I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B + (1 + \beta)R_E}, \text{ 則}$$

$$R_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{I_B} - (1 + \beta)R_E = \frac{12 - 0.7}{30 \mu\text{A}} - (1 + 100)(2\text{k}) \doteq 175 \text{k}\Omega$$

25. S 介於 $1 \sim (1 + \beta)$ 之間且愈小愈好。

》》》 電子學實習試題 p.5-62

1. (1) 由 $I_B = 20 \mu\text{A}$ ，查圖(1b)之輸出特性曲線，得 $I_C = 2 \text{mA}$ 。

$$(2) V_{CE} = V_{CC} - I_C R_C = 12\text{V} - 2\text{mA} \times 3\text{k}\Omega = 6 \text{V}$$

$$2. R_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{I_B} = \frac{(12 - 0.7)\text{V}}{20 \mu\text{A}} = 565 \text{k}\Omega$$

$$3. \beta = \frac{I_C}{I_B} = \frac{2\text{mA}}{20 \mu\text{A}} = 100$$

4. 工作點設計在負載線中央最適當。

$$5. (1) R_C = \frac{V_{CC} - V_{CE}}{I_C} = \frac{(12 - 6)\text{V}}{2\text{mA}} = 3 \text{k}\Omega$$

$$(2) I_B = \frac{I_C}{\beta} = \frac{2\text{mA}}{100} = 20 \mu\text{A}$$

$$(3) R_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{I_B} = \frac{(12 - 0.7)\text{V}}{20 \mu\text{A}} = 565 \text{k}\Omega$$

$$6. (1) I_C = \frac{V_{CC} - V_C}{R_C} = \frac{(12 - 6)V}{5k\Omega} = 1.2 \text{ mA}$$

$$(2) I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B} = \frac{(12 - 0.7)V}{1M\Omega} = 11.3 \mu\text{A}$$

$$(3) \beta = \frac{I_C}{I_B} = \frac{1.2\text{mA}}{11.3\mu\text{A}} = 106$$

7. (1) 主動區：

$$\beta I_B < I_{C(sat)}$$

$$\beta \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B} < \frac{V_{CC} - V_{CE(sat)}}{R_C}$$

$$\beta R_C < R_B$$

(2) 答案(A)(B)皆符合主動區條件，但是：

$$\text{答案(A): } I_{B1} = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_{B1}} = \frac{(12 - 0.7)V}{200k\Omega} = 56.5 \mu\text{A}$$

$$I_{C1} = \beta I_{B1} = 5.65 \text{ mA}$$

$$V_{CE1} = V_{CC} - I_{C1}R_C = 12\text{V} - 5.65\text{mA} \times 1k\Omega = 6.35 \text{ V}$$

$$\text{答案(B): } I_{B2} = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_{B2}} = \frac{(12 - 0.7)V}{500k\Omega} = 22.6 \mu\text{A}$$

$$I_{C2} = \beta I_{B2} = 2.26 \text{ mA}$$

$$V_{CE2} = V_{CC} - I_{C2}R_C = 12\text{V} - 2.26\text{mA} \times 4k\Omega = 2.96 \text{ V}$$

因為 $V_{CE1} \doteq \frac{V_{CC}}{2}$ ，所以答案(A)的組合較適當。

$$8. (1) \text{圖(5a): } I_B = \frac{(12 - 0.6)V}{200k\Omega} = 57 \mu\text{A}$$

$$I_{C(sat)} = \frac{(12 - 2)V}{500\Omega} = 20 \text{ mA}$$

$$I_C = 100 \times 57 \mu\text{A} = 5.7 \text{ mA}$$

$$I_D = I_C = 5.7 \text{ mA}$$

$$(2) \text{圖(5b): } I_B = \frac{(12 - 0.6)V}{100k\Omega} = 113 \mu\text{A}$$

$$I_{C(sat)} = \frac{(12 - 2)V}{1k\Omega} = 10 \text{ mA}$$

$$I_C = 100 \times 113 \mu\text{A} = 11.3 \text{ mA} > I_{C(sat)}$$

$$I_D = I_{C(sat)} = 10 \text{ mA (最亮)}$$

$$(3) \text{圖(5c): } I_B = \frac{(5 - 0.6)V}{200k\Omega} = 22 \mu\text{A}$$

$$I_{C(sat)} = \frac{(12 - 2)V}{1k\Omega} = 10 \text{ mA}$$

$$I_C = 100 \times 22 \mu\text{A} = 2.2 \text{ mA}$$

$$I_D = I_{C(sat)} - I_C = 10\text{mA} - 2.2\text{mA} = 7.8 \text{ mA}$$

$$(4) \text{ 圖(5d)} : I_B = \frac{(10 - 0.6)V}{100k\Omega} = 94 \mu A$$

$$I_{C(sat)} = \frac{(12 - 2)V}{2k\Omega} = 5 \text{ mA}$$

$$I_C = 100 \times 94 \mu A = 9.4 \text{ mA} > I_{C(sat)}$$

$$V_{CE(sat)} = 0.2 \text{ V}$$

$$I_D = 0 \text{ (最暗)}$$

$$9. I_C = \frac{V_{CC} - V_C}{R_C} = \frac{(12 - 6)V}{6k\Omega} = 1 \text{ mA}$$

$$10. (1) I_{C(sat)} = \frac{V_{CC} - V_{CE(sat)}}{R_C} = \frac{(12 - 0.2)V}{6k\Omega} = 1.97 \text{ mA}$$

$$(2) I_{B(sat)} = \frac{I_{C(sat)}}{\beta} = \frac{2\text{mA}}{100} = 19.7 \mu A$$

$$(3) I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B} < I_{B(sat)}$$

$$R_B > \frac{V_{CC} - V_{BE}}{I_{B(sat)}} = \frac{(12 - 0.7)V}{19.7 \mu A} = 575 \text{ k}\Omega$$

11. (1)

R_B	R_C	$I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B}$	βI_B	$I_{C(sat)} = \frac{V_{CC} - V_{CE(sat)} - V_F}{R_C}$	$I_C = I_D$
500k Ω	5k Ω	22.6 μA	2.26mA	1.93mA	1.93mA
100k Ω	1k Ω	0.113mA	11.3mA	9.8mA	9.8mA
50k Ω	470 Ω	0.226mA	22.6mA	20.9mA	20.9mA
10k Ω	100 Ω	1.13mA	113mA	98mA	98mA

(2) LED 工作電流約在 10mA ~ 40mA 之間，電流愈大則 LED 愈亮，但太大的電流將會使 LED 燒毀，太小的電流則 LED 不亮。

12.

故障原因	I_B	$I_C = \beta I_B$	V_B	V_E	V_C
R_B 開路	0 μA	0mA	0V	0V	12V
R_C 開路	11.3 μA	1.13mA	0.7V	0V	0V
$B-E$ 短路	12 μA	0mA	0V	0V	12V
$C-E$ 開路	11.3 μA	1.13mA	0.7V	0V	12V
正常	11.3 μA	1.13mA	0.7V	0V	6.7V

$$13. (1) I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B} = \frac{(12 - 0.7)V}{500k\Omega} = 22.6 \mu A$$

$$(2) I_{C(sat)} = \frac{V_{CC} - V_{CE(sat)}}{R_C} = \frac{(12 - 0.2)V}{10k\Omega} = 1.18 \text{ mA}$$

(3) 因 $\beta I_B > I_{C(sat)}$ ，故電晶體操作於飽和區，且

$$I_C = I_{C(sat)} = 1.18 \text{ mA}, V_{CE} = V_{CE(sat)} = 0.2 \text{ V}$$

14. (1) 電晶體工作於線性區的條件： $\beta R_C < R_B$
- (2) 電晶體放大倍率： $A_v = -\frac{R_C}{R_E}$
- (3) 綜合(1)(2)可知(A)的組合最佳。
15. (1) 由 $I_{B1} = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B + (1 + \beta)R_C}$ 以及 $I_{B2} = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B}$ ，得知 $I_{B2} > I_{B1}$ 。
- (2) 因 $I_C = \beta I_B$ ，故 $I_{C2} > I_{C1}$ 。
- (3) 由 $V_{CE} = V_{CC} - I_C R_C$ ，因 $I_{C2} > I_{C1}$ ，故 $V_{CE2} < V_{CE1}$ 。
- (4) $V_{E1} = V_{E2} = 0$
16. (1) $I_C \doteq \frac{V_{CC} - V_{BE}}{\frac{R_B}{1 + \beta} + R_C} = \frac{(12 - 0.7)V}{\frac{500k\Omega}{101} + 6k\Omega} \doteq 1 \text{ mA}$
- (2) $V_{CE} \doteq V_{CC} - I_C R_C = 12V - 1\text{mA} \times 6k\Omega = 6V$
17. (1) 由 $I_C \doteq \frac{V_{CC} - V_{BE}}{\frac{R_B}{1 + \beta} + R_C}$ ，因 R_B 增加，故 I_C 減少。
- (2) 由 $V_{CE} \doteq V_{CC} - I_C R_C$ ，因 I_C 減少，故 V_{CE} 增加。
18. (1) $I_{C1} \doteq \frac{V_{CC} - V_{BE}}{\frac{R_B}{1 + \beta} + R_C}$
- $$I_{C2} \doteq \frac{2V_{CC} - V_{BE}}{\frac{2R_B}{1 + \beta} + 2R_C} \doteq \frac{2(V_{CC} - V_{BE})}{2(\frac{R_B}{1 + \beta} + R_C)} = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{\frac{R_B}{1 + \beta} + R_C}$$
- (2) 因 $I_{C1} \doteq I_{C2}$ ，故 $V_{CE1} \doteq V_{CE2}$ 。
19. $I_B = \frac{V_C - V_B}{R_B} = \frac{(7 - 1.7)V}{500k\Omega} \doteq 10 \mu\text{A}$
20. (1) $I_C = \beta I_B = 100 \times 10 \mu\text{A} = 1 \text{ mA}$
- (2) $R_C \doteq \frac{V_{CC} - V_C}{I_C} = \frac{(12 - 7)V}{1\text{mA}} = 5 \text{ k}\Omega$
- (3) $R_E \doteq \frac{V_E}{I_C} = \frac{1V}{1\text{mA}} = 1 \text{ k}\Omega$
21. (1) $V_{CE} \doteq V_{CC} - I_C(R_C + R_E)$
 $I_C = \beta I_B$
 若 β 增加，則 I_C 增加， V_{CE} 減少。
- (2) $I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B + (1 + \beta)R_E}$
 若要使 V_{CE} 保持不變，則 R_B 值須增加。

$$22. (1) I_B = \frac{V_{CC} - V_B}{R_B} = \frac{(12 - 2)V}{1M\Omega} = 10 \mu A$$

$$(2) I_C = \frac{V_{RC}}{R_C} = \frac{4.5V}{5k\Omega} = 0.9 \text{ mA}$$

$$(3) \beta = \frac{I_C}{I_B} = \frac{0.9\text{mA}}{10\mu A} = 90$$

23. (1) 圖(A)及圖(B)，電晶體無法正常工作

$$(2) I_C \doteq I_E = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{\frac{R_B}{1 + \beta} + R_E}$$

NPN 電晶體電路 $R_E = 1 \text{ k}\Omega$ ， $R_C = 5 \text{ k}\Omega$ ，與圖(D)相同。

而圖(C)之 $R_E = 5 \text{ k}\Omega$ ，將使 I_C 值較原圖小。

$$24. (1) V_{th} = 16V \times \frac{10k\Omega}{90k\Omega + 10k\Omega} = 1.6 \text{ V}$$

$$(2) R_{th} = 90k\Omega // 10k\Omega = 9 \text{ k}\Omega$$

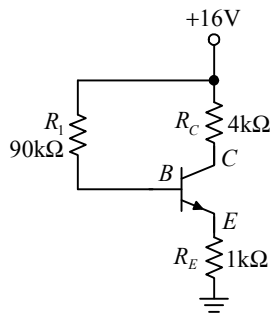
$$(3) V_B = V_{th} - I_B R_{th}$$

$$I_B = \frac{V_{th} - V_B}{R_{th}} = \frac{(1.6 - 1.5)V}{9k\Omega} \doteq 11 \mu A$$

$$(4) I_C = \frac{V_{CC} - V_C}{R_C} = \frac{(16 - 12.8)V}{4k\Omega} = 0.8 \text{ mA}$$

$$(5) \beta = \frac{I_C}{I_B} = \frac{0.8 \text{ mA}}{11\mu A} \doteq 73$$

25. (1) 等效電路如下圖：



$$(2) I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B + (1 + \beta)R_E} = \frac{(16 - 0.6)V}{90k\Omega + 74k\Omega} \doteq 94 \mu A$$

$$(3) I_{C(sat)} = \frac{V_{CC} - V_{CE(sat)}}{R_C + R_E} = \frac{(16 - 0.2)V}{4k\Omega + 1k\Omega} \doteq 3.2 \text{ mA}$$

(4) 因 $I_C = \beta I_B > I_{C(sat)}$ ，故 $V_{CE} = V_{CE(sat)} = 0.2 \text{ V}$ 。

第 6 章 電晶體放大電路

立即練習詳解

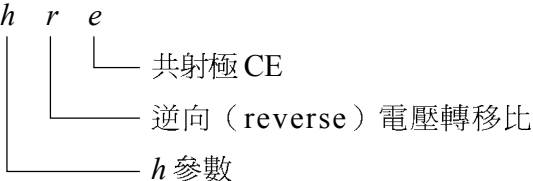
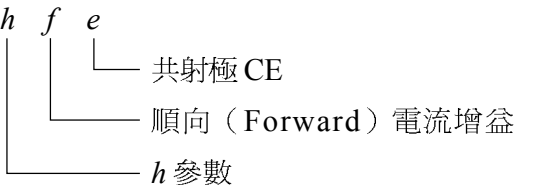
6-1 電晶體放大器工作原理

》》理論重點 1 電晶體的小信號放大作用 p.6-5

1. 工作點設計在線性區中央，可以得到最大線性不失真輸出。
2. 小信號是指輸入信號的振幅夠小，使操作區域能侷限在輸入曲線的線性區段中。

6-2 電晶體交流等效電路

》》理論重點 1 h 參數模型 p.6-8

1. (1)
$$\begin{cases} v_i = h_{11}i_1 + h_{12}v_o \\ i_2 = h_{21}i_1 + h_{22}v_o \end{cases}$$
 - (2) $i_1 = 0$ 時，可得 h_{12} 、 h_{22} 。
 - (3) $v_o = 0$ 時，可得 h_{11} 、 h_{21} 。
2. h r e

3. h f e


》》理論重點 2 r 參數模型 p.6-10

1. $r_\pi = \frac{V_T}{I_B} = (1 + \beta) \frac{V_T}{I_E} = (1 + \beta)r_e$
2. $h_{fb} = \frac{I_C}{I_E} < 0$ 且 $\alpha = \left| \frac{I_C}{I_E} \right| > 0$ ，故 $h_{fb} = -\alpha$

6-3 共射極放大電路

》》理論重點 1 射極加旁路電容 C_E 的 CE 放大電路 p.6-15

1. (1) $V_{th} = V_{CC} \frac{R_2}{R_1 + R_2} = 20 \times \frac{56}{220 + 56} = 4.06 \text{ V}$
- (2) $R_{th} = R_1 // R_2 = 220\text{k} // 56\text{k} = 44.6 \text{ k}\Omega$

$$(3) I_E = \frac{V_{th} - V_{BE}}{\frac{R_{th}}{1 + \beta} + R_E} = \frac{4.06 - 0.7}{\frac{44.6k}{181} + 2.2k} = 1.37 \text{ mA}$$

$$(4) r_e = \frac{26\text{mV}}{I_E} = \frac{26\text{mV}}{1.37\text{mA}} = 19 \Omega$$

$$(5) A_v = -\frac{R_C}{r_e} = -\frac{6.8k}{19} = -358$$

2. (1) $v_i = i_i r_\pi$

(2) $v_o = -\beta i_i R_L$

$$(3) A_v = \frac{v_o}{v_i} = \frac{-\beta i_i R_L}{i_i r_\pi} = -\beta \frac{R_L}{r_\pi} = -100 \times \frac{2k}{1k} = -200$$

3. (1) $Z_b = r_\pi = 1 \text{ k}\Omega$

(2) $R_i = R_1 // R_2 // Z_b = 82 \text{ k}\Omega // 18k // 1k \approx 1 \text{ k}\Omega$

(3) $R_o = R_C = 4 \text{ k}\Omega$

$$(4) A_v = -\beta \frac{R_C // R_L}{r_\pi} = -100 \times \frac{4k // 4k}{1k} = -200$$

$$(5) A_i = -A_v \times \frac{R_{in}}{R_L} = -(-200) \times \left(\frac{1k}{4k}\right) = 50$$

4. (1) $A_v = -\frac{r_L}{r_e} = -\beta \frac{r_L}{r_\pi} = -100 \times \frac{4k // 4k}{1k} = -200$

(2) $v_o = A_v v_i = -200 \times 20 \sin(2000\pi t) \text{ mV} = -4 \sin(2000\pi t) \text{ V}$

5. (1) 工作點靠近截止區附近，發生正半週截波失真。

(2) 減少 R_B 值，使 $I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B}$ 增加， $I_C = \beta I_B$ 亦增加，使工作點移向負載線中央。

》》理論重點 2 射極不加旁路電容 C_E 的 CE 放大電路 p.6-18

1. $A_v \approx -\frac{R_C}{R_E} = -\frac{2k}{1k} = -2$

2. $A_v \approx -\frac{R_C}{R_E} = -\frac{4k}{400} = -10$

3. (1) $R_b = r_\pi + (1 + \beta)R_E = 1.4k + (1 + 100)(1.2k) = 122.6 \text{ k}\Omega$

(2) $R_i = R_1 // R_2 // R_b = 40k // 10k // 122.6k = 8k\Omega // 122.6k\Omega$

》》理論重點 3 含信號源內阻 R_S 的 CE 放大電路 p.6-22

1. (1) $R_i = R_B // r_\pi \approx r_\pi$

$$(2) A_v = \frac{v_o}{v_S} = \frac{v_i}{v_S} \times \frac{v_o}{v_i} = \frac{R_i}{R_S + R_i} \times \left(-\beta \frac{R_C // R_L}{r_\pi}\right) = \frac{R_B // r_\pi}{R_S + (R_B // r_\pi)} \times \left(-\beta \frac{R_C // R_L}{r_\pi}\right)$$

$$= \frac{r_\pi}{R_S + (R_B // r_\pi)} \times \left(-\beta \frac{R_C // R_L}{r_\pi}\right) = \frac{-R_C // R_L}{R_S + (R_B // r_\pi)} \beta$$

$$2. (1) R_i = R_1 // R_2 // r_\pi = 9.1\text{k} // 2.7\text{k} // 2.6\text{k} \doteq 1.16\text{ k}\Omega$$

$$(2) A_{v_S} = \frac{v_o}{v_S} = \frac{v_i}{v_S} \times \frac{v_o}{v_i} = \frac{R_i}{R_S + R_i} \times \left(-\beta \frac{R_C}{r_\pi}\right)$$

$$= \frac{1.16\text{k}}{1\text{k} + 1.16\text{k}} \times \left(-200 \frac{2.4\text{k}}{2.6\text{k}}\right)$$

$$\doteq -94.7$$

$$3. (1) I_{C(sat)} \doteq \frac{V_{CC}}{R_C} = \frac{8}{0.2\text{k}} = 40\text{ mA}$$

$$(2) I_B = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_B} = \frac{1.3 - 0.7}{6\text{k}} = 0.1\text{ mA}$$

$$(3) \beta I_B = 200 \times 0.1\text{mA} = 20\text{ mA}$$

$$(4) \text{因爲 } \beta I_B < I_{C(sat)}, \text{ 所以 } I_C = \beta I_B = 20\text{ mA}$$

$$(5) V_C = V_{CC} - I_C R_C = 8 - (20\text{mA})(0.2\text{k}) = 4\text{ V}$$

$$(6) R_i = r_\pi = 1\text{ k}\Omega$$

$$(7) A_v = \frac{v_o}{v_S} = \frac{v_i}{v_S} \times \frac{v_o}{v_i} = \frac{R_i}{R_B + R_i} \times \left(-\beta \frac{R_C}{r_\pi}\right)$$

$$= \frac{1}{6 + 1} \times \left(-200 \times \frac{0.2\text{k}}{1\text{k}}\right) = \frac{-40}{7}$$

$$(8) V_{o(\text{峰值})} = A_v \times V_{S(\text{峰值})} = \frac{-40}{7} \times 0.35 = -2\text{ V}$$

$$(9) v_o = V_C \pm V_{o(\text{峰值})} \Rightarrow 2\text{V} \leq v_o \leq 6\text{V}$$

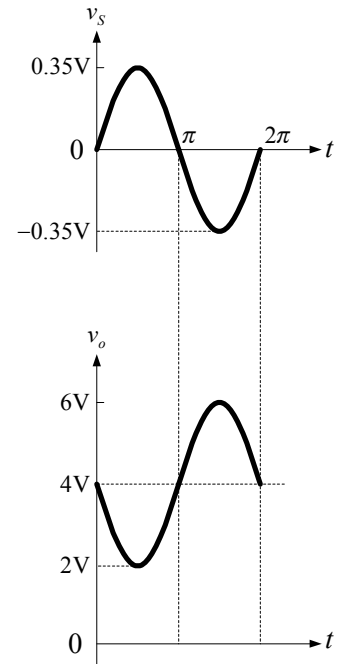
$$4. (1) R_b = r_\pi + (1 + \beta)R_E \doteq \beta R_E = 200 \times 100 = 20\text{ k}\Omega$$

$$(2) R_i = R_1 // R_2 // R_b = 40\text{k} // 10\text{k} // 20\text{k} = 5.7\text{ k}\Omega$$

$$(3) A_v = \frac{v_o}{v_S} = \frac{v_i}{v_S} \times \frac{v_o}{v_i} = \frac{R_i}{R_S + R_i} \times \left(-\frac{R_C // R_L}{R_E}\right)$$

$$= \frac{5.7\text{k}}{600 + 5.7\text{k}} \times \left(-\frac{1\text{k} // 1\text{k}}{100}\right)$$

$$= -4.5$$



6-4 共集極放大電路

»» 理論重點 1 CC 放大電路 p.6-26

$$1. (1) R_b = r_\pi + (1 + \beta)R_E = 1\text{k} + (1 + 99)(100) = 11\text{ k}\Omega$$

$$(2) R_i = R_B // R_b \doteq R_b = 11\text{ k}\Omega$$

$$2. (1) R_b = r_\pi + (1 + \beta)R_E \doteq \beta R_E = 200 \times 2.5\text{k} = 500\text{ k}\Omega$$

$$(2) R_i = R_1 // R_2 // R_b = 1\text{M} // 1\text{M} // 500\text{k} = 250\text{ k}\Omega$$

$$3. (1) R_e = \frac{r_\pi}{1 + \beta} = \frac{1275}{1 + 98} = 12.9\text{ }\Omega$$

$$(2) R_o = R_E // R_e \doteq R_e = 12.9\text{ }\Omega$$

4. (1) $R_e = \frac{r_\pi}{1 + \beta} = \frac{1.1\text{k}}{1 + 50} \doteq 21.6 \Omega$
 (2) $R_o = R_E // R_e \doteq R_e \ll R_E = 1\text{k}\Omega$
5. (1) $r_e = \frac{r_\pi}{1 + \beta} = \frac{2\text{k}}{101} \doteq 20 \Omega$, $\frac{v_o}{v_i} = \frac{R_E}{r_e + R_E} \doteq 1$
 (2) $R_b = r_\pi + (1 + \beta)R_E = 2\text{k} + 101\text{k} = 103\text{k}\Omega$
 $R_i = R_B // R_b = 1\text{M} // 103\text{k} = 93.4\text{k}\Omega$

6-5 共基極放大電路

》》理論重點 1 CB 放大電路 p.6-31

1. (1) $R_i = R_E // r_e \doteq r_e = 25 \Omega$
 (2) $A_v = -\alpha \frac{R_C // R_L}{r_e} = 0.99 \frac{5\text{k} // 5\text{k}}{25} = 99$
2. $R_o = R_C = 5\text{k}\Omega$
3. (1) $v_o = 2\text{V}/\text{DIV} \times 2\text{DIV} = 4\text{V}$
 (2) $r_e = \frac{r_\pi}{1 + \beta} \doteq \frac{2\text{k}}{100} = 20$
 (3) $\frac{v_o}{v_i} = \frac{r_L}{r_e} = \frac{4}{20\text{m}} = 200$, $r_L = 200r_e = 200 \times 20 = 4\text{k}\Omega$
 (4) $r_L = R_C // R_L = 4\text{k}\Omega$, $\frac{1}{R_C} + \frac{1}{R_L} = \frac{1}{4}$, 則 $R_C = \frac{1}{(\frac{1}{4} - \frac{1}{20})} = 5\text{k}\Omega$
4. 新電晶體 β 值較大, 使 I_C 值增加, V_{CB} 值減少, 而產生負半週失真。

模擬試題詳解

》》》 電子學試題 p.6-47

2. 所謂小信號是指輸入信號的振幅很小且限制在輸入曲線的線性區工作。

3. (1) 電流流入電晶體為正，流出電晶體為負。

$$(2) \alpha > 0, \beta > 0, \gamma > 0$$

$$(3) h_{fb} = \frac{I_C}{I_E} < 0, h_{fe} = \frac{I_C}{I_B} > 0, h_{fc} = \frac{I_E}{I_B} < 0$$

$$(4) h_{ib} = r_e, h_{ie} = r_{\pi} = (1 + \beta)r_e$$

$$4. r_{\pi} = (1 + \beta)r_e$$

5. 射極電阻愈小，電壓增益愈大但輸入阻抗減小。

$$6. C_E \text{ 開路時, } A_v = -\frac{R_C}{R_E} = -\frac{4\text{k}}{1\text{k}} = -4, \text{ 則 } v_o = A_v v_i = -0.4 \sin 314t$$

$$7. (1) R_b = (1 + \beta)(r_e + R_E) = (1 + 99)(43.3 + 1\text{k}) = 104.3 \text{ k}\Omega$$

$$(2) R_i = R_B // R_b = 1.8\text{M} // 104.3\text{k} \doteq 104.3 \text{ k}\Omega$$

$$(3) R_o = R_C = 4 \text{ k}\Omega$$

$$8. (1) v_i = i_b \times 1\text{k}$$

$$(2) v_o = -50i_b \times 10\text{k}$$

$$(3) \frac{v_o}{v_i} = \frac{-50i_b \times 10\text{k}}{i_b \times 1\text{k}} = -500$$

$$9. (1) v_i = i_b(2\text{k})$$

$$v_o = -i_c(10\text{k} // 10\text{k}) = -100i_b(5\text{k})$$

$$(2) \frac{v_o}{v_i} = \frac{-100i_b(5\text{k})}{i_b(2\text{k})} = -250$$

$$10. (1) \frac{i_b}{i_i} = \frac{1\text{M}}{1\text{M} + 2\text{k}} \doteq 1$$

$$(2) \frac{i_c}{i_b} = \frac{100i_b}{i_b} = 100$$

$$(3) \frac{i_o}{i_c} = \frac{10\text{k}}{10\text{k} + 10\text{k}} = \frac{1}{2}$$

$$(4) A_i = \frac{i_o}{i_i} = \frac{i_b}{i_i} \times \frac{i_c}{i_b} \times \frac{i_o}{i_c} = 50$$

$$11. (1) I_E = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{\frac{R_B}{1 + \beta} + R_E} = \frac{12 - 0.7}{\frac{1\text{M}}{101} + 1\text{k}} \doteq 1 \text{ mA}$$

$$(2) r_e = \frac{26\text{mV}}{I_E} = \frac{26\text{m}}{1\text{m}} = 26 \Omega$$

$$(3) A_v = -\frac{R_c}{r_e} = -\frac{5\text{k}}{26} = -192$$

$$12. A_v = -\frac{R_c}{r_e + R_E} = -\frac{5k}{26 + 1k} = -4.9$$

$$13. (1) V_B = V_{CC} \times \frac{R_2}{R_1 + R_2} = 18 \times \frac{10k}{90k + 10k} = 1.8 \text{ V}$$

$$(2) V_E = V_B - V_{BE} = 1.8 - 0.7 = 1.1 \text{ V}$$

$$(3) I_E = \frac{V_E}{R_E} = \frac{1.1}{1k} = 1.1 \text{ mA}$$

$$(4) V_C = V_{CC} - I_C R_C \doteq 18 - 1.1 \times 5 = 12.5 \text{ V}$$

$$(5) v_{o(m)} = v_i A_v = 0.5 \times 5 = 2.5 \text{ V}$$

$$(6) v_o = V_C \pm v_{o(m)} = 12.5 \pm 2.5, \text{ 則 } 10\text{V} < v_o < 15\text{V}$$

$$14. (1) I_E = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{\frac{R_B}{1 + \beta} + R_E} = \frac{12 - 0.7}{\frac{770k}{101} + 1k} = 1.3 \text{ mA}$$

$$(2) r_e = \frac{26\text{mV}}{I_E} = \frac{26\text{m}}{1.3\text{m}} = 20 \Omega$$

$$(3) A_v = -\frac{R_C}{r_e} = -\frac{5k}{20} = -250$$

$$15. A_v \doteq -\frac{R_C}{R_E} = -\frac{5k}{1k} = -5$$

$$16. (1) I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B} = \frac{12 - 0.7}{500k} = 22.6 \mu\text{A}$$

$$(2) r_\pi = \frac{26\text{mV}}{I_B} = \frac{26\text{m}}{22.6\mu} = 1.15 \text{ k}\Omega$$

$$(3) R_i = R_B // r_\pi \doteq r_\pi = 1.15 \text{ k}\Omega$$

$$(4) \frac{v_o}{v_i} = -\frac{R_i}{R_S + R_i} \times \frac{\beta(R_C // R_L)}{r_\pi} = -\frac{1.15k}{350 + 1.15k} \times \frac{100 \times (4k // 4k)}{1.15k} = -133$$

$$17. (1) I_E = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{\frac{R_B}{1 + \beta} + R_E} = \frac{10 - 0.7}{\frac{100k}{1 + 100} + 1k} = 4.65 \text{ mA}$$

$$(2) r_e = \frac{V_T}{I_E} = \frac{25\text{mV}}{4.65\text{mA}} = 5.4 \Omega$$

$$(3) A_v = \frac{R_E}{r_e + R_E} = \frac{1k}{5.4 + 1k} = 0.99$$

$$18. R_o = r_e // R_E \doteq r_e = 5.4 \Omega$$

19. (1) r_e : 射極交流電阻

(2) r_π : 基極交流電阻

$$20. \text{ 共集極放大電路 } A_v = \frac{R_E}{r_e + R_E} < 1$$

$$22. (1) I_E = \frac{V_{EE} - V_{BE}}{R_E} = \frac{10 - 0.6}{10k} = 0.94 \text{ mA}$$

$$(2) r_e = \frac{26\text{mV}}{I_E} = \frac{26\text{mV}}{0.94\text{mA}} = 27.7 \Omega$$

$$(3) \alpha = \frac{\beta}{1 + \beta} = \frac{99}{1 + 99} = 0.99$$

$$(4) A_v = \alpha \frac{R_C}{r_e} = 0.99 \times \frac{5k}{27.7} = 178.7$$

$$23. (1) R_i = R_E // r_e \doteq r_e = 27.7 \Omega$$

$$(2) R_o = R_C = 5 \text{ k}\Omega$$

$$24. (1) v_i = -i_e r_e$$

$$(2) v_o = -i_o R_C = -\alpha i_e R_C$$

$$(3) A_v = \frac{v_o}{v_i} = \frac{-\alpha i_e R_C}{-i_e r_e} = \alpha \frac{R_C}{r_e} = 0.99 \times \frac{5k}{25} = 198$$

25. C_1 交流等效短路，使電晶體基極接地。

》》 電子學實習試題 9.6-51

1. (1) $V_{CE} = V_C - V_E = 2.6 - 2.55 = 0.05 \text{ V}$ ，電晶體已飽和，即 $\beta I_B > I_{c(sat)}$ 。

$$(2) \text{由 } V_{th} = V_{CC} \times \frac{R_2}{R_1 + R_2}, R_{th} = R_1 // R_2, I_{B1} = \frac{V_{th} - V_{BE}}{R_{th} + (1 + \beta)R_E},$$

若 R_2 斷路，則 $I_{B2} = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_1 + (1 + \beta)R_E} > I_{B1}$ 可能使電晶體飽和。

2. (1) 偏壓工作點近截止區，會發生正半週失真。

(2) 偏壓工作點近飽和區，會發生負半週失真。

(3) 由 $I_C = \beta I_B$ ，若 β 值太小，則工作點電流 I_C 近截止區。

3. 電晶體 V_{BE} 隨溫度每上升 1°C ，則下降 2.5mV ，即 $-2.5\text{mV}/^\circ\text{C}$ 。

$$4. (1) A_v = \frac{v_o}{v_i} = -\frac{R_C}{r_e + R_E} = -\frac{5k\Omega}{\frac{2.5k\Omega}{101} + 1k\Omega} = -5$$

$$(2) v_o = A_v v_i = -5 \times 20\text{mV} = -0.1 \text{ V (反相)}$$

$$5. (1) v_i = i_b r_\pi$$

$$(2) v_o = -100 i_b R_C$$

$$(3) \frac{v_o}{v_i} = \frac{-100 i_b R_C}{i_b r_\pi} = -100 \times \frac{R_C}{r_\pi} = -100 \times \frac{5k\Omega}{2k\Omega} = -250$$

$$6. \frac{i_o}{i_i} = \frac{i_b}{i_i} \frac{i_c}{i_b} \frac{i_o}{i_c} = \frac{R_B}{R_B + r_\pi} \frac{100 i_b}{i_b} \frac{i_c}{i_c} = \frac{1M\Omega}{1M\Omega + 2k\Omega} \times 100 \doteq 100$$

7. (1) 無負載增益： $A_{v1} = -\beta \frac{R_C}{r_\pi} = -100 \times \frac{5\text{k}\Omega}{2\text{k}\Omega} = -250$
- (2) 有負載增益： $A_{v2} = -\beta \frac{R_C // R_L}{r_\pi} = -100 \times \frac{5\text{k}\Omega // 20\text{k}\Omega}{2\text{k}\Omega} = -200$
- (3) $\frac{200}{250} = 0.8$
8. (1) $v_i = i_b r_\pi + i_o R_E = i_b r_\pi + i_e R_E = i_e \left(\frac{r_\pi}{1 + \beta} + R_E \right) = i_e (r_e + R_E)$
- (2) $v_o = i_o R_E = i_e R_E$
- (3) $\frac{v_o}{v_i} = \frac{R_E}{r_e + R_E} = \frac{1\text{k}\Omega}{\frac{2\text{k}\Omega}{101} + 1\text{k}\Omega} = 0.98$
9. (1) $R_b = r_\pi + (1 + \beta)R_E = 2\text{k}\Omega + (1 + 100)(1\text{k}\Omega) = 103\text{ k}\Omega$
- (2) $\frac{i_o}{i_i} = \frac{i_b i_e i_o}{i_i i_b i_e} = (1 + \beta) \times \frac{R_B}{R_B + R_b} = (101) \times \frac{1\text{M}\Omega}{1\text{M}\Omega + 103\text{k}\Omega} = 91.6$
10. $\frac{v_o}{v_s} = \frac{v_i}{v_s} \frac{v_o}{v_i} = \left(\frac{r_\pi}{R_S + r_\pi} \right) \times \left(-\beta \frac{R_C}{r_\pi} \right)$
 $= \left(\frac{2\text{k}\Omega}{0.5\text{k}\Omega + 2\text{k}\Omega} \right) \times \left(-50 \times \frac{5\text{k}\Omega}{2\text{k}\Omega} \right) = -0.8 \times 125 = -100$
11. $v_{o(P-P)} = \pm v_{i(m)} A_v = \pm (20\text{mV}) \times (100) = \pm 2\text{ V}$
12. (1) $\frac{v_o}{v_s} = \frac{v_i}{v_s} \frac{v_o}{v_i}$
- (2) $\frac{v_i}{v_s} = \frac{r_\pi}{R_S + r_\pi} = \frac{2\text{k}\Omega}{0.5\text{k}\Omega + 2\text{k}\Omega} = 0.8$
- (3) $\frac{v_o}{v_i} = \frac{v_o}{v_s} \frac{v_s}{v_i} = -50 \times \frac{1}{0.8} = -62.5$
13. C_E 斷路時：
 $\frac{v_o}{v_i} = -\frac{R_C}{R_E} = -4.7$
 $v_o = v_i A_v = 20\text{mV} \times -4.7 = -94\text{ mV}$ (負號代表反相)
14. (1) $I_B = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_B} = \frac{(1.7 - 0.7)\text{V}}{8\text{k}\Omega} = 0.125\text{ mA}$
- (2) $I_C = \beta I_B = 80 \times 0.125\text{mA} = 10\text{ mA}$
- (3) $V_C = V_{CC} - I_C R_C = 20\text{V} - 10\text{mA} \times 1\text{k}\Omega = 10\text{ V}$
- (4) $\frac{v_o}{v_s} = \frac{v_i}{v_s} \frac{v_o}{v_i} = \left(\frac{r_\pi}{R_B + r_\pi} \right) \times \left(-\beta \frac{R_C}{r_\pi} \right) = \left(\frac{2\text{k}\Omega}{8\text{k}\Omega + 2\text{k}\Omega} \right) \times \left(-80 \times \frac{1\text{k}\Omega}{2\text{k}\Omega} \right) = -8$
- (5) v_o 振幅範圍為 $V_C \pm \left(\frac{v_o}{v_s} \right) V_{s,m} = 10 \pm (-8)(0.5) \Rightarrow 6\text{V} \sim 14\text{V}$
15. $R_i = R_B // r_\pi = 1\text{M}\Omega // 2\text{k}\Omega \doteq 2\text{ k}\Omega$

$$16. (1) A_v = \frac{v_o}{v_i} = -\frac{4V}{50mV} = -80$$

$$(2) \text{ 因 } A_v = -\beta \frac{R_C}{r_\pi}, \text{ 則 } r_\pi = -\beta \frac{R_C}{A_v} = (-100) \times \left(\frac{2k\Omega}{-80} \right) = 2.5 k\Omega$$

$$17. (1) v_i = i \times 2k\Omega = 0.02mA \times 2k\Omega = 40 mV$$

$$(2) v_o = -50i \times 5k\Omega = -50 \times 0.02mA \times 5k\Omega = -5 V$$

$$(3) \frac{v_o}{v_i} = \frac{-5V}{40mV} = -125$$

$$18. (1) A_v = \left| \frac{v_o}{v_i} \right| = \frac{3V}{25mV} = 120$$

$$(2) \text{ 由 } \left| \frac{v_o}{v_i} \right| = \beta \frac{R_C}{r_\pi} = 120, \text{ 則 } r_\pi = \frac{\beta R_C}{120} = \frac{60 \times 5k\Omega}{120} = 2.5 k\Omega$$

19. 輸出波形與輸入波形相位同相。

$$20. (1) R_e = \frac{r_\pi}{1 + \beta} = \frac{1k\Omega}{1 + 99} = 10 \Omega$$

$$(2) R_o = R_e // R_E = 10\Omega // 1k\Omega \doteq 10 \Omega$$

$$21. V_{CE} = V_{CC} - I_E R_E = 12V - 4mA \times 1k\Omega = 8 V$$

$$v_{o(P-P)} = \min[\pm V_{CE}, \pm I_E R_E] = \min[\pm 8V, \pm 4V] = \pm 4 V$$

$$22. (1) v_i = -i_e r_e$$

$$(2) v_o = -0.99 i_e R_C$$

$$(3) \frac{v_o}{v_i} = 0.99 \times \frac{R_C}{r_e} = 0.99 \times \frac{5k\Omega}{50\Omega} = 99$$

$$23. \frac{i_o}{i_i} = \frac{i_e i_c i_o}{i_i i_e i_c} = \left(\frac{R_E}{R_E + r_e} \right) \times \left(\frac{-\alpha i_e}{i_e} \right) = -\alpha \frac{R_E}{R_E + r_e} = (-0.99) \times \left(\frac{1k\Omega}{1k\Omega + 50\Omega} \right) = -0.94$$

24. 此電路為單電源共基極組態。

$$25. (1) I_E = \frac{V_E}{R_E} = \frac{1V}{1k\Omega} = 1 mA$$

$$(2) r_e = \frac{26mV}{1mA} = 26 \Omega$$

$$(3) \frac{v_o}{v_i} = \frac{R_C}{r_e} = \frac{5k\Omega}{26\Omega} = 192$$