

第 7 章 串級放大電路

立即練習詳解

7-1 串級放大系統

理論重點 1 串級放大系統特性 p.7-6

$$1. \frac{v_o}{v_i} = \frac{R_{i1}}{R_S + R_{i1}} \times A_{v1} \frac{R_{i2}}{R_{o1} + R_{i2}} \times A_{v2} \frac{R_L}{R_{o2} + R_L} = \frac{1k}{1k + 1k} \times 20 \times \frac{1k}{1k + 1k} \times 40 \times \frac{10k}{10k + 10k} = 100$$

$$2. (1) \frac{v_o}{v_i} = A_{v1} \times A_{v2} \times A_{v3} \times \frac{R_L}{R_o + R_L} = 10 \times 20 \times 5 \times \frac{10k}{10k + 10k} = 500$$

$$(2) \frac{i_o}{i_i} = A_{vT} \frac{R_i}{R_L} = 500 \times \frac{1k}{10k} = 50$$

$$(3) v_o = 500v_i = 500 \times 2mV = 1V$$

$$(4) i_o = \frac{v_o}{R_L} = \frac{1}{10k} = 0.1mA$$

理論重點 2 分貝 p.7-10

$$1. (1) A_{p1(\text{dB})} = 10 \log_{10} 100 = 10 \log_{10} 10^2 = 20 \text{ dB}$$

$$(2) A_{pT(\text{dB})} = A_{p1(\text{dB})} + A_{p2(\text{dB})} = 20\text{dB} + 3\text{dB} = 23 \text{ dB}$$

$$2. (1) A_{vT(\text{dB})} = A_{v1(\text{dB})} + A_{v2(\text{dB})} = 20\text{dB} + 40\text{dB} = 60 \text{ dB}$$

$$(2) 60\text{dB} = 20 \log_{10} A_{vT} \Rightarrow A_{vT} = 10^{\frac{60}{20}} = 10^3 = 1000$$

$$3. (1) A_p = A_v \times A_i = 25 \times 4 = 100$$

$$(2) A_{p(\text{dB})} = 10 \log_{10} A_p = 10 \log_{10} 100 = 10 \log_{10} 10^2 = 2 \times 10 = 20 \text{ dB}$$

$$4. A_{v(\text{dB})} = 60\text{dB} = 20 \log_{10} A_v \Rightarrow A_v = 10^{\frac{60}{20}} = 10^3 = 1000$$

$$5. (1) A_{vT} = A_{v1} \times A_{v2} = 100 \times 10000 = 10^6$$

$$(2) A_{v(\text{dB})} = 20 \log_{10} A_{vT} = 20 \log_{10} 10^6 = 6 \times 20 = 120 \text{ dB}$$

$$6. (1) -23\text{dBm} = 10 \log_{10} \frac{P_2}{1\text{mW}} \Rightarrow 2.3\text{dBm} = \log_{10} \frac{1\text{mW}}{P_2}$$

$$(2) \log_{10} \frac{1\text{mW}}{P_2} = 2.3\text{dBm} = 2\text{dBm} + 0.3\text{dBm} = \log_{10} 100 + \log_{10} 2 = \log_{10} 200$$

$$\frac{1\text{mW}}{P_2} = 200 \Rightarrow P_2 = \frac{1\text{mW}}{200} = 5 \mu\text{W}$$

$$7. (1) 10\text{dBm} = 10 \log_{10} \frac{P_o}{1\text{mW}} \Rightarrow P_o = 10 \text{ mW}$$

$$(2) V_o = \sqrt{P_o \times R_o} = \sqrt{10\text{mW} \times 25\Omega} = 0.5 \text{ V}$$

8. $A_{p(\text{dB})} = 20\log_{10} \frac{V_o}{V_i} + 10\log_{10} \frac{R_i}{R_o} = 20\log_{10} 1 + 10\log_{10} \frac{30\text{k}\Omega}{30\Omega} = 0 + 30 = 30 \text{ dB}$
9. $A_{p(\text{dB})} = 10\log_{10} \frac{P_o}{P_i} = 10\log_{10} \frac{10\text{W}}{0.01\text{W}} = 10\log_{10} 10^3 = 30 \text{ dB}$
10. (1) $V_o = \sqrt{P_o \times R_o} = \sqrt{40\text{W} \times 10\Omega} = 20 \text{ V}$
- (2) $40\text{dB} = 20\log_{10} \left(\frac{V_o}{V_i} \right)$
- $$\frac{V_o}{V_i} = 10^{\frac{40}{20}} = 100$$
- $$V_i = \frac{V_o}{100} = \frac{20\text{V}}{100} = 200 \text{ mV}$$
11. (1) $20\text{dB} = 20\log A_{v1}$, $A_{v1} = 10^1 = 10$, $V_1 = V_i A_{v1} = 20\text{m} \times 10 = 200 \text{ mV}$
- (2) $26\text{dBm} = 10\log \frac{P_o}{1\text{mW}}$, $P_o = 400 \text{ mW}$
- (3) $V_o = \sqrt{P_o R_L} = \sqrt{400\text{m} \times 1\text{k}} = 20 \text{ V}$
- (4) $A_{v2(\text{dB})} = 20\log \frac{V_o}{V_1} = 20\log \frac{20}{200\text{m}} = 40 \text{ dB}$
- (5) $A_{vT(\text{dB})} = A_{v1(\text{dB})} + A_{v2(\text{dB})} = 20 + 40 = 60 \text{ dB}$
12. $A_{p(\text{dB})} = 20\log_{10} \frac{V_o}{V_i} + 10\log_{10} \frac{R_i}{R_o} = 20\log_{10} \frac{8}{4} + 10\log_{10} \frac{100}{4}$
- $$= 10\log_{10} 2^2 + 10\log_{10} 25 = 10\log_{10} 4 \times 25$$
- $$= 10\log_{10} 10^2 = 20 \text{ dB}$$

》》》實習重點 3 三用電表測量 dB 值 p.7-11

1. (1) $20\log \frac{250}{10} = 28 \text{ dB}$
- (2) $10\text{dB} + 28\text{dB} = 38 \text{ dB}$

7-2 RC 耦合串級放大電路

》》》理論重點 1 直流分析 p.7-13

1. (1) $I_{C1(\text{sat})} = 2I_{C1} = 2 \times 2\text{m} = 4 \text{ mA}$
- 因 $I_{C1(\text{sat})} = \frac{V_{CC} - V_{CE1(\text{sat})}}{R_{C1} + R_{E1}}$, 故 $R_{E1} \doteq \frac{V_{CC}}{I_{C1(\text{sat})}} - R_{C1} = \frac{16}{4\text{m}} - 3\text{k} = 1 \text{ k}\Omega$
- (2) $I_{C2(\text{sat})} = 2I_{C2} = 2 \times 1\text{m} = 2 \text{ mA}$
- 因 $I_{C2(\text{sat})} = \frac{V_{CC} - V_{CE2(\text{sat})}}{R_{C2} + R_{E2}}$, 故 $R_{E2} \doteq \frac{V_{CC}}{I_{C2(\text{sat})}} - R_{C2} = \frac{16}{2\text{m}} - 6\text{k} = 2 \text{ k}\Omega$

》》》理論重點 2 交流分析 p.7-18

$$2. (1) A_{v1} = \frac{v_{o1}}{v_i} = -\frac{R_{C1} // R_{i2}}{R_{E1}} \doteq -\frac{R_{C1}}{R_{E1}}, \text{ 因 } \frac{v_{o1}}{v_i} = -\frac{1V}{0.2V} = -5, \text{ 故 } R_{C1} = 5R_{E1} = 5 \text{ k}\Omega$$

$$(2) A_{v2} = \frac{v_o}{v_{i2}} = -\frac{R_{C2} // R_L}{R_{E2}}, \text{ 因 } \frac{v_o}{v_{i2}} = \frac{-4}{1} = -4, \text{ 故 } R_{C2} // R_L = 4R_{E2} = 4 \text{ k}\Omega$$

$$\text{則 } R_{C2} = \frac{1}{\frac{1}{4} - \frac{1}{R_L}} = \frac{1}{\frac{1}{4} - \frac{1}{20}} = 5 \text{ k}\Omega$$

7-3 變壓器耦合串級放大電路
》》》理論重點 1 直流分析 p.7-20

$$1. (1) V_{E2} = V_{B2} - V_{BE2} = 4.7 - 0.7 = 4 \text{ V}, I_{C2} \doteq I_{E2} = \frac{V_{E2}}{R_{E2}} = \frac{4}{2k} = 2 \text{ mA}$$

$$(2) V_{CE2} = V_{CC} - V_{E2} = 12 - 4 = 8 \text{ V}$$

》》》理論重點 2 交流分析 p.7-23

- (1) 低頻響應不良主因是變壓器線圈阻抗。
- (2) 高頻響應不良主因是初、次級線圈的雜散電容抗。

$$2. (1) v_{b1(m)} = 0.1V/DIV \times 1DIV = 0.1 \text{ V}$$

$$v_{c1(m)} = 0.2V/DIV \times 2DIV = 0.4 \text{ V}$$

$$v_{b2(m)} = 0.2V/DIV \times 1DIV = 0.2 \text{ V}$$

$$v_{c2(m)} = 0.5V/DIV \times 2DIV = 1 \text{ V}$$

$$(2) \frac{v_i}{v_{b1}} = \frac{1}{4}, v_i = \frac{1}{4}v_{b1} = \frac{1}{4} \times 0.1 = 25 \text{ mV}$$

$$\frac{v_o}{v_{c2}} = \frac{1}{2}, v_o = \frac{1}{2}v_{c2} = \frac{1}{2} \times 1 = 0.5 \text{ V}$$

$$\frac{v_o}{v_i} = \frac{0.5V}{25mV} = 20$$

7-4 直接耦合串級放大電路
》》》理論重點 1 直流分析 p.7-26

$$1. (1) V_{B1} = V_{CC} \frac{R_3}{R_1 + R_2 + R_3} = 15 \times \frac{5k}{5k + 5k + 5k} = 5 \text{ V}$$

$$(2) V_{E1} = V_{B1} - V_{BE1} = 5 - 0.7 = 4.3 \text{ V}$$

$$(3) I_{E1} = I_{C1} = I_{E2} = I_{C2} = \frac{V_{E1}}{R_E} = \frac{4.3}{1k} = 4.3 \text{ mA}$$

$$(4) V_{C2} = V_{CC} - I_{C2}R_C = 15 - 4.3 \times 1k = 10.7 \text{ V}$$

$$(5) V_{E1} = I_{E1}R_E = 4.3m \times 1k = 4.3 \text{ V}$$

$$(6) V_{B2} = V_{CC} \frac{R_2 + R_3}{R_1 + R_2 + R_3} = 15 \times \frac{5k + 5k}{5k + 5k + 5k} = 10 \text{ V}$$

$$(7) V_{E2} = V_{B2} - V_{BE2} = 10 - 0.7 = 9.3 \text{ V} = V_{C1}$$

$$(8) V_{CE1} = V_{C1} - V_{E1} = 9.3 - 4.3 = 5 \text{ V}$$

$$(9) V_{CE2} = V_{C2} - V_{E2} = 10.7 - 9.3 = 1.4 \text{ V}$$

理論重點 2 交流分析 p.7-29

$$1. (1) R_{i2} = r_{\pi 2} + (1 + \beta_2)R_{E2} \approx (1 + \beta_2)R_{E2} = 101 \times 2k = 202 \text{ k}\Omega$$

$$(2) A_{v1} = \frac{v_o}{v_i} = -\frac{R_{C1} // R_{i2}}{r_{e1} + R_{E1}} \approx -\frac{R_{C1}}{R_{E1}} = -\frac{5k}{3k} = -\frac{5}{3}$$

$$(3) A_{v2} = \frac{v_o}{v_{i2}} = -\frac{R_{C2}}{r_{e2} + R_{E2}} \approx -\frac{R_{C2}}{R_{E2}} = -\frac{3k}{2k} = -\frac{3}{2}$$

$$(4) A_{vT} = \frac{v_o}{v_i} = A_{v1}A_{v2} = \left(-\frac{5}{3}\right)\left(-\frac{3}{2}\right) = 2.5$$

7-5 達靈頓電路

理論重點 1 基本特性 p.7-31

1. 因 I_{B2} 及 I_{E1} 方向不同，故不是達靈頓電路。
2. 達靈頓電路之電流增益約為 β^2 。
3. 輸出阻抗低。

理論重點 2 直流分析 p.7-33

$$1. (1) I_{E2} = \frac{V_{CC} - V_{CE2}}{R_E} = \frac{12 - 6}{100} = 60 \text{ mA}$$

$$(2) I_{E1} = I_{B2} = \frac{I_{E2}}{1 + \beta_2} \approx \frac{60\text{m}}{100} = 0.6 \text{ mA}$$

$$(3) I_{B1} = \frac{I_{E1}}{1 + \beta_1} \approx \frac{0.6\text{m}}{100} = 6 \mu\text{A}$$

$$(4) V_{B1} = V_{BE1} + V_{BE2} + I_{E2}R_E = 0.7 + 0.7 + 60\text{m} \times 100 = 7.4 \text{ V}$$

$$(5) R_B = \frac{V_{CC} - V_{B1}}{I_{B1}} = \frac{12 - 7.4}{6\mu} \approx 767 \text{ k}\Omega$$

$$2. (1) V_{B2} = V_{BE2} + I_{E2}R_E = 0.7 + 60\text{m} \times 100 = 6.7 \text{ V}$$

$$(2) V_{CE1} = V_{CC} - V_{B2} = 12 - 6.7 = 5.3 \text{ V}$$

理論重點 3 交流分析 p.7-36

$$1. A_i = \frac{I_E}{I_B} = (1 + \beta_1)(1 + \beta_2) = (1 + 49)(1 + 49) = 2500$$

$$2. A_i \approx \beta_1\beta_2 = 100 \times 100 = 10000$$

$$3. (1) R_{b1} \approx \beta_1\beta_2R_E = 100 \times 100 \times 1k = 10 \text{ M}\Omega$$

$$(2) R_i = R_B // R_{b1} = 2\text{M} // 10\text{M} = 1.66 \text{ M}\Omega$$

7-6 頻率響應

理論重點 1 頻率響應曲線 p.7-39

1. 直接耦合低頻響應最好。
2. 高頻響應主要由雜散電容、極際電容決定。

理論重點 2 截止頻率 p.7-41

1.
$$P_o = \frac{V_o^2}{R_o} = \frac{|0.707 A_{v(\text{mid})} \times V_i|^2}{R_o} = 0.5 \frac{|A_{v(\text{mid})} V_i|^2}{R_o} = 0.5 P_{o(\text{mid})}$$
2. 當 $f = f_H$ 時， $A_v = \frac{1}{\sqrt{2}} A_{v(\text{mid})}$ 。
3. $BW = f_H - f_L = 21\text{k} - 1\text{k} = 20\text{ kHz}$
4. 在截止頻率時，增益下降為中頻增益的 70.7%。

理論重點 3 串級放大頻率響應 p.7-45、p.7-48

1. 當 $f = 10f_H$ 時，增益下降為原來的 $\frac{1}{\sqrt{1 + (\frac{f}{f_H})^2}} = \frac{1}{\sqrt{1 + 10^2}} \doteq \frac{1}{10}$ ，即 $20 \log \frac{1}{10} = -20\text{ dB}$
2. $f \geq 10f_H$ ，相位移 -90° ， $f = f_H$ ，相位移 -45° ， $f \leq \frac{f_H}{10}$ ，相位移 0°
3. $BW_{(2)} \doteq BW \times \sqrt{2^{\frac{1}{2}} - 1} = 0.64BW < BW$
4. 級數愈多，則
 - (1) 頻寬愈窄， $BW_{(n)} = BW \sqrt{2^{\frac{1}{n}} - 1}$ 。
 - (2) 電壓增益愈高， $A_{vT} = A_{v1} \times A_{v2} \times \dots \times A_{vn}$ 。
 - (3) 與輸入、輸出阻抗無關。
 - (4) 電壓穩定性愈低。

模擬試題詳解

》》 電子學試題 p.7-58

$$1. (1) -23\text{dB} = -20\text{dB} - 3\text{dB} = 10\log_{10} \frac{1}{100} + 10\log_{10} \frac{1}{2} = 10\log_{10} \frac{1}{200}$$

$$(2) 10\log_{10} \frac{P_o}{1\text{mW}} = -23\text{dB} = 10\log_{10} \frac{1}{200}$$

$$\Rightarrow \frac{P_o}{1\text{mW}} = \frac{1}{200}$$

$$\Rightarrow P_o = \frac{1\text{mW}}{200} = 5\mu\text{W}$$

$$2. (1) A_p = A_v \times A_i = 40 \times 25 = 10^3$$

$$(2) A_{p(\text{dB})} = 10\log_{10} A_p = 10\log_{10} 10^3 = 30\text{dB}$$

$$3. -20\text{dB} = 10\log_{10} \frac{P_o}{P_i}$$

$$\Rightarrow \frac{P_o}{P_i} = 10^{-2}$$

$$\Rightarrow P_o = 10^{-2} \times P_i = 10^{-2} \times 10\text{mW} = 1\text{mW}$$

$$4. (1) P_i = \frac{V_i^2}{R_i} = \frac{(0.03)^2}{300} = 3\mu\text{W}$$

$$(2) A_{p(\text{dB})} = 10\log_{10} \frac{P_o}{P_i} = 10\log_{10} \frac{30\text{W}}{3\mu\text{W}} = 10\log_{10} 10^7 = 70\text{dB}$$

$$5. (1) 60\text{dB} = 20\log_{10} A_v, \text{ 則 } A_v = 10^3 = 1000$$

(2) 單極放大器爲了線性考量，其增益不宜太高，因此使用兩級放大器。

(3) 共射極放大電路輸入阻抗較大，輸入信號衰減較小。

$$6. (1) \text{第一級：} 20\log_{10} 100 = 40\text{dB}$$

$$(2) \text{第二級：} 20\text{dB}$$

$$(3) \text{第三級：} 20\log_{10} 50 = 34\text{dB}$$

$$(4) \text{分貝總電壓增益：} 40 + 20 + 34 = 94\text{dB}$$

$$7. (1) \text{第一級分貝電壓增益：} 20\log_{10} A_1$$

$$(2) \text{第二級分貝電壓增益：} A_2$$

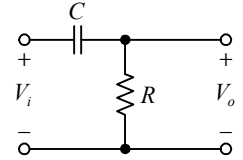
$$(3) \text{分貝總電壓增益：} A_2 + 20\log_{10} A_1$$

$$8. (1) 10 = 10\log_{10} \frac{P_o}{1\text{mW}}, P_o = 10\text{mW}$$

$$(2) P_o = \frac{V_o^2}{R_o}, \text{ 則 } V_o = \sqrt{P_o R_o} = \sqrt{10\text{m} \times 16} = 0.4\text{V}$$

$$(3) P_o = \frac{(0.4)^2}{8} = 0.02\text{W}, 10\log_{10} \frac{0.02}{1\text{mW}} = 13\text{dBm}$$

9. (1) 耦合電容與電晶體輸入阻抗形成高通電路，如右圖。



(2) 因 $\frac{V_o}{V_i} = \frac{R}{\sqrt{R^2 + X_C^2}}$ 且 $X_C = \frac{1}{2\pi fC}$ ，

若 C 愈大，則 $X_C \rightarrow 0$ ， $\frac{V_o}{V_i} = 1$ ，信號沒有衰減。

10. RC 耦合放大電路之低頻響應主要受限於

- (1) 耦合電容
- (2) 射極旁路電容

11. RC 耦合放大電路之高頻響應主要受限於

- (1) 極際電容或寄生電容
- (2) 雜散電容

12. $\frac{v_o}{v_i} = \frac{v_{i1}}{v_i} \times \frac{v_{o1}}{v_{i1}} \times \frac{v_{i2}}{v_{o1}} \times \frac{v_{o2}}{v_{i2}} \times \frac{v_o}{v_{o2}} = 1 \times 20 \times \frac{1k}{4k + 1k} \times 50 \times \frac{4k}{4k + 4k} = 100$

13. $\frac{v_o}{v_i} = \frac{v_{i1}}{v_i} \times \frac{v_{o1}}{v_{i1}} \times \frac{v_{i2}}{v_{o1}} \times \frac{v_{o2}}{v_{i2}} \times \frac{v_o}{v_{o2}} = \frac{4}{1} \times 20 \times \frac{1}{2} \times 50 \times \frac{1}{2} = 1000$

14. 直接耦合放大電路沒有耦合電容，其低頻響應佳，但級與級間沒有耦合電容隔離直流，工作點較不穩定。

15. 直接耦合放大電路沒有耦合電容，其低頻響應特性最佳。

16. (1) $I_{E1} = \frac{V_{CC} - V_{BE1}}{\frac{R_B}{1 + \beta_1} + R_{E1}} = \frac{12 - 0.7}{\frac{1M}{101} + 1k} \doteq 1 \text{ mA}$

(2) $V_{C1} \doteq V_{CC} - I_{C1}R_{C1} = 12 - 1m \times 4.7k = 7.3 \text{ V}$

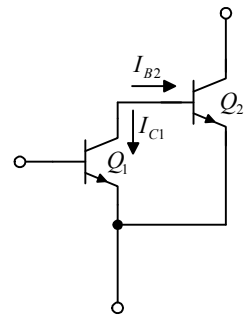
(3) $V_{B2} = V_{C1} = 7.3 \text{ V}$

(4) $V_{E2} = V_{B2} + V_{BE2} = 7.3 + 0.7 = 8 \text{ V}$

(5) $I_{E2} = \frac{V_{CC} - V_{E2}}{R_{E2}} = \frac{12 - 8}{2k} = 2 \text{ mA}$

17. $\frac{v_o}{v_i} \doteq \frac{R_{C1}}{R_{E1}} \times \frac{R_{C2}}{R_{E2}} = \frac{4.7k}{1k} \times \frac{4k}{2k} = 9.4$

18. 判別是否為達靈頓連接，其 $I_{B2} = I_{C1}$ 且方向必須相同，右圖 $I_{B2} = I_{C1}$ ，但方向不同，故非達靈頓電路。



19. (1) $\beta = 99$

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

(3) $R_b \doteq (1 + \beta)^2 R_E = (1 + 99)^2 (1k) = 10 \text{ M}\Omega$

(4) $R_i \doteq R_B // R_b = 10 \text{ M}\Omega // 10 \text{ M}\Omega = 5 \text{ M}\Omega$

20. (1) $A_i = \beta_1 \beta_2 = 30 \times 40 = 1200$

(2) $R_i = \beta_1 \beta_2 R_E = 30 \times 40 \times 0.5k = 600 \text{ k}\Omega$

21. (1) $\frac{V_o(j\omega)}{V_i(j\omega)} = \frac{1}{1 - j(\frac{f}{f_H})}$

$$(2) \left| \frac{V_o}{V_i} \right| = \sqrt{\frac{1}{1 + \left(\frac{f}{f_H}\right)^2}} = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{3}{1}\right)^2}} = \frac{1}{\sqrt{10}} = 0.316$$

$$(3) V_o = 0.316V_i = 0.316 \times 10 = 3.16 \text{ V}$$

$$22. 20\log_{10} \frac{50}{10} = 20\log_{10} 5 = 10\log_{10} 5^2 = 10\log_{10} 25$$

$$23. f_{H(2)} = f_H \times \sqrt{2^{\frac{1}{2}} - 1} = 10\text{kHz} \times 0.64 = 6.4 \text{ kHz}$$

$$24. f_{L(2)} = f_L \times \frac{1}{\sqrt{2^{\frac{1}{2}} - 1}} = 160\text{Hz} \times \frac{1}{0.64} = 250 \text{ Hz}$$

25. 截止頻率點的功率為中頻功率的 0.5 倍。

》》 電子學實習試題 p.7-61

$$1. (1) \text{修正值為 } 20\log_{10} \frac{50}{10} = 14 \text{ dBm}$$

(2) 實際 dBm 值為刻度指示值加修正值，即 $16\text{dBm} + 14\text{dBm} = 30 \text{ dBm}$ 。

$$(3) \text{因 } 30\text{dBm} = 10\log_{10} \frac{P_o}{1\text{mW}}, \text{ 則 } \frac{P_o}{1\text{mW}} = 10^3, \text{ 故 } P_o = 1 \text{ W}。$$

$$2. (1) A_{vT} = \frac{v_o}{v_i} = \frac{v_{o2}}{v_{i1}} = \frac{2}{20\text{m}} = 100$$

$$(2) A_{vT(\text{dB})} = 20\log_{10} A_{vT} = 20\log_{10} 100 = 40 \text{ dB}$$

$$3. v_{i(P-P)} = \frac{v_{o(P-P)}}{A_{vT}} = \frac{\pm 5\text{V}}{100} = \pm 50 \text{ mV}$$

4. 放大電路未做好阻抗匹配時，將形成負載效應，使電壓增益及輸出功率皆減少。

5. 級間以電容連接，故稱為電容耦合。

$$6. (1) v_{b1(m)} = 20\text{mV}/\text{DIV} \times 1\text{DIV} = 20 \text{ mV}$$

$$v_{c1(m)} = 50\text{mV}/\text{DIV} \times 2\text{DIV} = 100 \text{ mV}$$

$$v_{b2(m)} = 50\text{mV}/\text{DIV} \times 2\text{DIV} = 100 \text{ mV}$$

$$v_{c2(m)} = 0.2\text{V}/\text{DIV} \times 1\text{DIV} = 0.2\text{V} = 200 \text{ mV}$$

$$(2) \frac{v_o}{v_i} = \frac{v_{c2}}{v_{b1}} = \frac{200\text{m}}{20\text{m}} = 10$$

$$7. (1) \frac{v_{c1}}{v_{b1}} = \frac{-100\text{mV}}{20\text{mV}} = -5$$

$$(2) \frac{v_{c2}}{v_{b2}} = \frac{-200\text{mV}}{100\text{mV}} = -2$$

$$8. (1) v_{i(m)} = 0.05\text{V} = 50 \text{ mV}$$

$$(2) v_{o(P-P)} = \pm v_{i(m)} A_{vT} = \pm (50\text{mV}) \times (10) = \pm 500 \text{ mV}$$

$$9. (1) A_{v1} = \frac{v_{c1}}{v_{b1}} = \frac{-0.2V}{50mV} = -4$$

$$(2) A_{v2} = \frac{v_{c2}}{v_{b2}} = \frac{-1V}{0.2V} = -5$$

$$(3) A_{vT} = A_{v1}A_{v2} = (-4) \times (-5) = 20$$

$$(4) \text{由 } A_{v1} = -\frac{r_{L1}}{R_{E1}} = -\frac{R_{C1} // R_{b2}}{R_{E1}}, \text{ 因 } R_{b2} \gg R_{c1}, \text{ 得}$$

$$A_{v1} = -\frac{R_{C1}}{R_{E1}} = -4 \quad R_{C1} = 4R_{E1} = 4 \text{ k}\Omega$$

$$(5) \text{由 } A_{v2} = -\frac{r_{L2}}{R_{E2}} = -\frac{R_{C2} // R_L}{R_{E2}} = -5, \text{ 得 } R_{C2} // R_L = 5R_{E2} = 5 \text{ k}\Omega$$

因 $R_L = 10 \text{ k}\Omega$ ，故 $R_{C2} = 10 \text{ k}\Omega$ 。

$$10. (1) \text{由 } v_i = \pm 0.05 \text{ V}, v_{B1} = V_{B1} + v_i, \text{ 則 } 1.95V \leq v_{B1} \leq 2.05V$$

$$(2) \text{由 } v_{c1} = v_{b1}A_{v1} = \pm 0.05 \times 4 = \pm 0.2 \text{ V}, v_{C1} = V_{C1} + v_{c1} = (10.8 \pm 0.2) \text{ V},$$

則 $10.6V \leq v_{C1} \leq 11V$

$$(3) \text{由 } v_{B2} = V_{B2} + v_{c1} = (2 \pm 0.2) \text{ V}, \text{ 則 } 1.8V \leq v_{B2} \leq 2.2V$$

$$(4) \text{由 } v_{c2} = v_{b2}A_{v2} = \pm 0.2 \times 5 = \pm 1 \text{ V}, v_{C2} = V_{C2} + v_{c2} = (3 \pm 1) \text{ V}, \text{ 則 } 2V \leq v_{C2} \leq 4V$$

$$11. (1) v_{i(P-P)} = \pm 5mV / \text{DIV} \times 1\text{DIV} \times 10 = \pm 0.05 \text{ V}$$

$$(2) v_{b1(P-P)} = v_{i(P-P)} = \pm 0.05 \text{ V}$$

$$(3) v_{c1(P-P)} = \pm 20mV / \text{DIV} \times 2\text{DIV} \times 10 = \pm 0.4 \text{ V}$$

$$(4) Q_1 \text{ 工作於線性區（不失真），電壓增益為 } \frac{v_{c1}}{v_{b1}} = \frac{\mp 0.4V}{\pm 0.05V} = -8$$

(5) Q_2 輸出 v_{c2} 波形負半週失真，電晶體已進入飽和區工作。

$$12. (1) Q_2 \text{ 電晶體工作於線性區的條件：}$$

$$\beta I_{B2} < I_{C2(sat)}$$

$$\text{其中： } I_{B2} = \frac{V_{CC} - V_{BE2}}{R_{B2} + (1 + \beta_2)R_{E2}}, \quad I_{C2(sat)} = \frac{V_{CC} - V_{BE2}}{R_{C2} + R_{E2}}$$

(2) 由以上兩式可知：增加 R_{B2} 值或減少 R_{C2} 值皆可使電晶體工作於線性區。

(3) Q_2 電壓增益：

$$A_{v2} = \frac{v_{c2}}{v_{b2}} = -\beta_2 \frac{R_{C2} // R_L}{r_{\pi 2}}$$

若不使電壓增益改變，則 R_{C2} 值不能改變，因此應選答案(A)。

$$13. (1) v_{b1(m)} = 0.1V / \text{DIV} \times 1\text{DIV} = 0.1 \text{ V}$$

$$(2) v_{c1(m)} = 0.2V / \text{DIV} \times 2\text{DIV} = 0.4 \text{ V}$$

$$(3) v_{b2(m)} = 0.2V / \text{DIV} \times 2\text{DIV} = 0.4 \text{ V}$$

$$(4) v_{c2(m)} = 0.5V / \text{DIV} \times 2\text{DIV} = 1 \text{ V}$$

$$(5) \frac{v_i}{v_{b1}} = \frac{1}{4}, \quad v_i = \frac{1}{4}v_{b1} = \frac{1}{4} \times 0.1V = 25 \text{ mV}$$

$$(6) \frac{v_o}{v_{c2}} = \frac{1}{1}, v_o = v_{c2} = 1 \text{ V}$$

$$(7) \frac{v_o}{v_i} = \frac{1\text{V}}{25\text{mV}} = 40$$

$$14. (1) A_{v1} = \frac{v_{c1}}{v_{b1}} = \frac{-0.4\text{V}}{0.1\text{V}} = -4$$

$$(2) A_{v2} = \frac{v_{c2}}{v_{b2}} = \frac{-1\text{V}}{0.4\text{V}} = -2.5$$

$$15. (1) \text{因 } \frac{v_o}{v_i} = 40, \text{ 則 } v_o = 40v_i = 40 \times 0.02\text{V} = 0.8 \text{ V}$$

$$(2) v_{o(P-P)} = \pm 0.8 \text{ V}$$

$$16. (1) A_{v1} = \frac{v_{c1}}{v_{b1}} = \frac{-0.5\text{V}}{0.1\text{V}} = -5$$

$$(2) A_{v2} = \frac{v_{c2}}{v_{b2}} = \frac{-1\text{V}}{0.25\text{V}} = -4$$

$$(3) \frac{v_o}{v_i} = \frac{v_{b1}}{v_i} \frac{v_{c1}}{v_{b1}} \frac{v_{b2}}{v_{c1}} \frac{v_{c2}}{v_{b2}} \frac{v_o}{v_{c2}} = \frac{4}{1} \times (-5) \times \frac{1}{2} \times (-4) \times 1 = 40$$

$$(4) \frac{v_{c2}}{v_{b2}} = \frac{-r_{L2}}{R_{E2}} = \frac{-\frac{1}{2}R_L}{R_{E2}} = -4, \text{ 則 } R_L = 8R_{E2} = 8 \text{ k}\Omega$$

$$17. (1) v_{i(m)} = 0.025\text{V} = 25 \text{ mV}$$

$$(2) \text{由 } \frac{v_{b1}}{v_i} = \frac{4}{1}, \text{ 得 } v_{b1} = 4v_i = 4 \times 25\text{mV} = 0.1 \text{ V} \circ$$

$$(3) \text{由 } \frac{v_{c1}}{v_{b1}} = -5, \text{ 得 } v_{c1} = -5v_{b1} = (-5) \times 0.1\text{V} = -0.5 \text{ V} \circ$$

$$(4) \text{由 } \frac{v_{b2}}{v_{c1}} = \frac{1}{2}, \text{ 得 } v_{b2} = \frac{1}{2}v_{c1} = \frac{1}{2} \times (-0.5\text{V}) = -0.25 \text{ V} \circ$$

$$(5) \text{由 } \frac{v_{c2}}{v_{b2}} = -4, \text{ 得 } v_{c2} = -4v_{b2} = (-4) \times (-0.25\text{V}) = 1 \text{ V} \circ$$

$$(6) \text{由 } \frac{v_o}{v_{c2}} = \frac{1}{1}, \text{ 得 } v_o = v_{c2} = 1 \text{ V} \circ$$

$$(7) \text{由 } v_i = \pm 0.025, \text{ 得 } -0.025\text{V} \leq v_i \leq 0.025\text{V} \circ$$

$$(8) \text{由 } v_{B1} = V_{B1} \pm v_{b1} = (2.0 \pm 0.1)\text{V}, \text{ 得 } 1.9\text{V} \leq v_{B1} \leq 2.1\text{V} \circ$$

$$(9) \text{由 } v_{B2} = V_{B2} \pm v_{b2} = (2.0 \pm 0.25)\text{V}, \text{ 得 } 1.75\text{V} \leq v_{B2} \leq 2.25\text{V} \circ$$

$$(10) \text{由 } v_o = v_{c2(P-P)} = \pm 1 \text{ V}, \text{ 得 } -1\text{V} \leq v_o \leq 1\text{V} \circ$$

$$18. (1) v_{b1(m)} = 20\text{mV}/\text{DIV} \times 1\text{DIV} = 20 \text{ mV}$$

$$(2) v_{c1(m)} = 50\text{mV}/\text{DIV} \times 2\text{DIV} = 100 \text{ mV}$$

$$(3) v_{b2(m)} = 0.1\text{V}/\text{DIV} \times 1\text{DIV} = 0.1 \text{ V}$$

$$(4) v_{c2(m)} = 0.1\text{V}/\text{DIV} \times 2\text{DIV} = 0.2 \text{ V}$$

- (5) $\frac{v_o}{v_i} = \frac{v_{c2}}{v_{b1}} = \frac{0.2V}{20mV} = 10$
19. (1) $A_{v1} = \frac{v_{c1}}{v_{b1}} = \frac{-100mV}{20mV} = -5$
- (2) $A_{v2} = \frac{v_{c2}}{v_{b2}} = \frac{-0.2V}{0.1V} = -2$
20. (1) $v_{i(m)} = 0.02V = 20 \text{ mV}$
- (2) $v_{o(P-P)} = \pm v_{i(m)} A_{vT} = \pm (20mV) \times (10) = \pm 200 \text{ mV}$
21. (1) $A_{v1} = \frac{v_{c1}}{v_{b1}} = \frac{-0.1V}{20mV} = -5$
- (2) $A_{v2} = \frac{v_{c2}}{v_{b2}} = \frac{-0.25V}{0.1V} = -2.5$
- (3) $A_{vT} = A_{v1} A_{v2} = (-5) \times (-2.5) = 12.5$
- (4) 由 $A_{v1} = \frac{-r_{L1}}{r_{e1} + R_{E1}} = \frac{-R_{C1} // R_{b1}}{r_{e1} + R_{E1}} \doteq -\frac{R_{C1}}{R_{E1}} = -5$ ，則 $R_{C1} = 5R_{E1} = 5 \text{ k}\Omega$
- (5) 由 $A_{v2} = \frac{-r_{L2}}{r_{e2} + R_{E2}} = \frac{-R_{C2} // R_L}{r_{e2} + R_{E2}} \doteq \frac{-R_{C2} // R_L}{R_{E2}} = -2.5$ ，則 $R_{C2} // R_L = 2.5 \text{ k}\Omega$ ，
 因 $R_L = 5 \text{ k}\Omega$ ，可得 $R_{C2} = 5 \text{ k}\Omega$ 。
22. (1) 由 $v_{B1} = V_{B1} \pm v_{b1} = 2V \pm 20mV$ ，則 $1.98V \leq v_{B1} \leq 2.02V$
- (2) 由 $v_{C1} = V_{C1} \pm v_{c1} = 5.4V \pm 0.1V$ ，則 $5.3V \leq v_{C1} \leq 5.5V$
- (3) 由 $v_{B2} = V_{B2} \pm v_{b2} = 3.3V \pm 0.1V$ ，則 $3.2V \leq v_{B2} \leq 3.4V$
- (4) 由 $v_{C2} = V_{C2} \pm v_{c2} = 5.5V \pm 0.25V$ ，則 $5.25V \leq v_{C2} \leq 5.75V$
23. 直接耦合放大電路，不使用電容或變壓器耦合，低頻響應最好。但級間直流偏壓會相互影響，造成偏壓不穩定。
24. (1) $V_A = V_{CC} \frac{R_2}{R_1 + R_2}$ ，因 R_2 開路，故 V_A 上升
- (2) V_A 上升，使 I_{C1} 上升，而 $V_B = V_{CC} - I_{C1} R_{C1}$ ， V_B 將因 I_{C1} 上升而下降
- (3) V_B 下降，使 I_{C2} 上升，而 $V_C = I_{C2} R_{C2}$ 將上升
25. $BW_{(2)} \doteq \sqrt{2^{\frac{1}{2}} - 1} BW = 0.64 \times 10 \text{ kHz} = 6.4 \text{ kHz}$

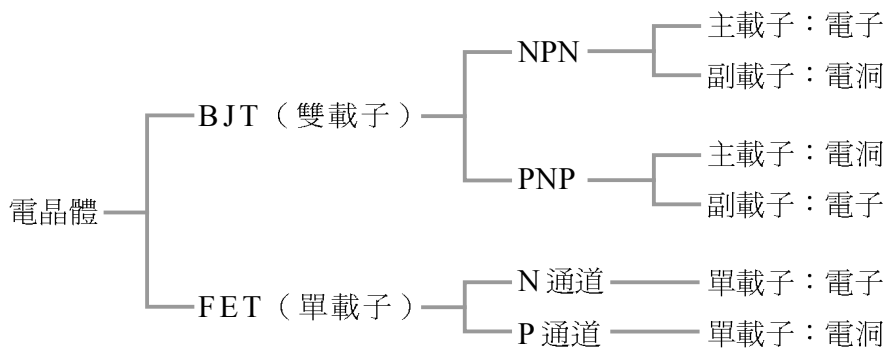
第 8 章 場效電晶體

立即練習詳解

8-1 場效電晶體簡介

》》理論重點 1 FET 與 BJT 的比較 p.8-5

1. FET 內部電容大，高頻響應差，操作速度慢。
2. FET 為單載子元件，沒有少數載子流。
3. FET 輸入阻抗高，可達 $10^8 \Omega$ 以上。
4. FET 輸入阻抗大，連接至信號源時，負載效應小。
5. (1) FET 為單載子元件。
(2) P 通道電荷載子為電洞，N 通道電荷載子為電子。
6. BJT 為電流控制元件，FET 為電壓控制元件。
- 7.



8. FET 為電壓控制元件。

》》實習重點 2 場效電晶體之識別 p.8-6

1. 2SJ 為 P 通道 FET，2SK 為 N 通道 FET。

》》實習重點 3 G、D、S 接腳之判別 p.8-8

1. (1) 箭頭指向通道 (N 型)。
(2) 通道為實線，表示有預製通道。
2. 常將基體接腳連接至源極，使其逆偏而達隔離作用。
3. (1) 場效電晶體三支腳：閘極 (Gate)、汲極 (Drain)、源極 (Source)。
(2) 雙極電晶體三支腳：基極 (Base)、集極 (Collector)、射極 (Emitter)。

8-2 JFET 之構造及特性

》》理論重點 2 JFET 之特性 p.8-14

$$1. I_D = I_{DSS} \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_{GS(off)}}\right)^2 = (10\text{mA}) \left(1 - \frac{1.5}{5}\right)^2 = 4.9 \text{ mA}$$

$$2. I_D = I_{DSS} \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_{GS(off)}}\right)^2 = 0.009 \left(1 - \frac{V_{GS}}{-3}\right)^2 = 0.009 \left(1 + \frac{V_{GS}}{3}\right)^2 \text{ A}$$

8-3 JFET 之特性曲線

理 論 重 點 1 轉 移 特 性 曲 線 與 輸 出 特 性 曲 線 p.8-16

1. (1) JFET 及空乏型 MOSFET : $I_D = I_{DSS} \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_{GS(off)}}\right)^2$
 (2) 增強型 MOSFET : $I_D = K(V_{GS} - V_T)^2$
 (3) BJT : $I_D = I_S e^{\frac{V_{BE}}{V_T}}$
2. (1) 如圖(1b), 當 $V_{GS} = -3 \text{ V}$ 時, $I_D = 0.5 \text{ mA}$ 。
 (2) $V_{DS} = V_{DD} - I_D R_D = 12 \text{ V} - 0.5 \text{ mA} \times 1 \text{ k}\Omega = 11.5 \text{ V}$
3. (1) JFET 閘源極加逆偏。
 圖(A)為 N 通道 JFET : $V_{GS} < 0$
 圖(B)為 P 通道 JFET : $V_{GS} > 0$
 (2) 空乏型 MOSFET 閘源極可加順偏或逆偏。
 圖(C)為 N 通道空乏型 MOSFET :
 $V_{GS} > 0$ 為順偏, $I_D > I_{DSS}$
 $V_{GS} < 0$ 為逆偏, $I_D < I_{DSS}$
 圖(D)為 P 通道空乏型 MOSFET :
 $V_{GS} < 0$ 為順偏, $I_D > I_{DSS}$
 $V_{GS} > 0$ 為逆偏, $I_D < I_{DSS}$

8-4 JFET 之直流偏壓

理 論 重 點 1 自 給 偏 壓 (self-bias) p.8-19

1. (1) $I_D = \frac{V_{DD} - V_{DS}}{R_D + R_S} = \frac{20 - 10}{6 \text{ k} + 2 \text{ k}} = 1.25 \text{ mA}$
 (2) $V_S = I_D R_S = (1.25 \text{ mA})(2 \text{ k}\Omega) = 2.5 \text{ V}$
 (3) $V_{GS} = V_G - V_S = 0 - 2.5 = -2.5 \text{ V}$
2. (1) $I_D = I_{DSS} \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_{GS(off)}}\right)^2$
 $1 = 4 \left(1 - \frac{V_{GS}}{-4}\right)^2 \Rightarrow V_{GS} = -2 \text{ V}$
 (2) $V_{GS} = V_G - V_S = -I_D R_S$
 $R_S = \frac{-V_{GS}}{I_D} = \frac{-(-2)}{1 \text{ mA}} = 2 \text{ k}\Omega$
3. (1) $I_S = I_D$
 (2) α 為電晶體共基極放大電路之電流增益, $I_C = \alpha I_E$ 。

$$4. (1) I_D = I_{DSS} \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_{GS(off)}}\right)^2 = 5 \left(1 - \frac{V_{GS}}{-4}\right)^2$$

$$(2) V_{GS} = V_G - V_S = 0 - I_D R_S = -0.4 I_D$$

(3) 解聯立方程式(1)(2)兩式

$$I_D = -2.5 V_{GS} = 5 \left(1 - \frac{V_{GS}}{-4}\right)^2$$

$$V_{GS}^2 + 16 V_{GS} + 16 = 0$$

$$V_{GS} = \begin{cases} -8 + 4\sqrt{3} = 4(\sqrt{3} - 2) \\ -8 - 4\sqrt{3} \quad (\text{不合, 因 } -8 - 4\sqrt{3} < V_{GS(off)}) \end{cases}$$

理論重點 2 固定偏壓 (fixed bias) p.8-22

1. (1) $V_{GS} = 0$, $I_D = I_{DSS} = 5 \text{ mA}$

(2) $V_o = V_{DS} = V_{DD} - I_D R_D = 12 \text{ V} - (5 \text{ mA})(1 \text{ k}\Omega) = 7 \text{ V}$

2. (1) $V_{GS} = 0$ 時, $I_D = I_{DSS} = 12 \text{ mA}$

(2) 定電流區條件: $V_{GD} \leq V_{GS(off)}$, 則 $V_{GD} = V_G - V_D = -V_{GG} - (V_{DD} - I_D R_D) \leq V_{GS(off)}$, 故 $V_{DD} \geq -V_{GG} + I_D R_D - V_{GS(off)}$

(3) V_{DD} 最小值: $V_{DD} = -V_{GG} + I_D R_D - V_{GS(off)} = 0 + 12 \times 0.5 - (-4) = 10 \text{ V}$

理論重點 3 分壓式偏壓 (voltage-divider bias) p.8-24

1. (1) $I_D = I_{DSS} \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_{GS(off)}}\right)^2 = 16 \left(1 - \frac{V_{GS}}{-4}\right)^2$

(2) $V_{GS} = V_G - V_S = V_{DD} \times \frac{R_2}{R_1 + R_2} - I_D R_S = 20 \times \frac{100}{900 + 100} - I_D = 2 - I_D$

(3) 解聯立方程式(1)(2)得: $V_{GS} = -2 \text{ V}$, $I_D = 4 \text{ mA}$

(4) $V_{DS} = V_{DD} - I_D (R_D + R_S) = 20 - 4(3 + 1) = 4 \text{ V}$

8-5 空乏型 MOSFET 之構造及特性

理論重點 1 空乏型 MOSFET 之構造 p.8-26

- 輸入阻抗由大而小依序為: MOSFET > JFET > BJT。
- FET 皆為單載子元件, BJT 則為雙載子元件。

理論重點 2 空乏型 MOSFET 之特性 p.8-29

1. $V_{GS} = 0 \text{ V}$ 時, $I_D = I_{DSS} = 8 \text{ mA}$

2. $I_D = I_{DSS} \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_{GS(off)}}\right)^2 = (12) \left(1 - \frac{-2}{-4}\right)^2 = 3 \text{ mA}$

8-6 空乏型 MOSFET 之特性曲線

理論重點 1 轉移特性曲線與輸出特性曲線 p.8-31

- 空乏型 MOSFET 閘極可加順偏、逆偏、零偏壓, 以 N 通道為例:

- (1) 順偏壓 $V_{GS} > 0$: 通道寬度增加 $\rightarrow I_D$ 增加 $\rightarrow I_D > I_{DSS}$
- (2) 零偏壓 $V_{GS} = 0$: 通道寬度不變 $\rightarrow I_D = I_{DSS}$
- (3) 逆偏壓 $V_{GS} < 0$: 通道寬度減少 $\rightarrow I_D$ 減少 $\rightarrow I_D < I_{DSS}$

8-7 空乏型 MOSFET 之直流偏壓

》》理論重點 1 零偏壓 (zero-bias) p.8-33

- 1. (1) $V_{GS} = 0$ 時, $I_D = I_{DSS} = 8 \text{ mA}$
- (2) $V_{DS} = V_{DD} - I_D R_D = 12 - (8)(1) = 4 \text{ V}$

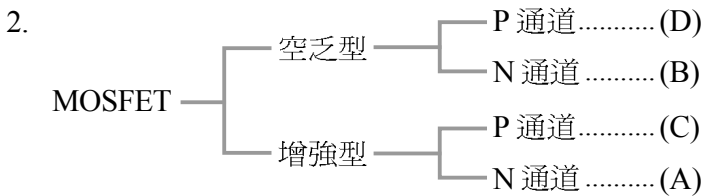
》》理論重點 2 分壓式偏壓 (voltage-divider bias) p.8-34

- 1. (1) $V_G = V_{DD} \frac{R_2}{R_1 + R_2} = 12 \times \frac{1}{5+1} = 2 \text{ V}$
- (2) $V_{GS} = V_G - V_S = 2 - 0 = 2 \text{ V}$
- (3) $I_D = I_{DSS} \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_{GS(off)}}\right)^2 = (8) \left(1 - \frac{2}{-4}\right)^2 = 2.25 \text{ mA}$

8-8 增強型 MOSFET 之構造及特性

》》理論重點 1 增強型 MOSFET 之構造 p.8-36

- 1. MOSFET 的二氧化矽 (SiO_2) 絕緣層很薄 (約 $800 \text{ \AA} \sim 1000 \text{ \AA}$, $1 \text{ \AA} = 10^{-10} \text{ m}$) , 而其能容忍的最大電場強度約為 10^7 V/m 。



- 3. 無偏壓下 ($V_{GS} = 0 \text{ V}$)
 - (1) JFET : $V_{GS} = 0$ 時, $I_D = I_{DSS}$ (已有通道存在, 且通道最大) 。
 - (2) 空乏型 MOSFET : $V_{GS} = 0$ 時, $I_D = I_{DSS}$ (已有通道存在) 。
 - (3) 增強型 MOSFET : $V_{GS} = 0$ 時, $I_D = 0$ (無通道產生) 。

》》理論重點 2 增強型 MOSFET 之特性 p.8-39

- 1. (1) 元件工作於夾止區的條件 :
 - ① $V_{GD} = V_{GS} - V_{DS} < V_T$
 - ② $V_{GS} > V_T$
- (2) $I_D = K(V_{GS} - V_T)^2$
 $2 \text{ mA} = (0.5 \text{ mA/V}^2)(V_{GS} - 2)^2$
 $\Rightarrow V_{GS} = 4 \text{ V}$ 或 $V_{GS} = 0$ (不合, 因 $V_{GS} > V_T$ 時, 才有電流流動)
- 2. (1) $V_{GD} = V_{GS} - V_{DS} = -4 - (-4) = 0 > V_T \Rightarrow$ 通道夾止
- (2) $I_D = K(V_{GS} - V_T)^2 = 0.5(-4 + 2)^2 = 2 \text{ mA}$

8-9 增強型 MOSFET 之特性曲線

理論重點 1 轉移特性曲線與輸出特性曲線 p.8-42

1. 增強型 MOSFET 必須工作於 $|V_{GS} - V_T| > 0$ ，才有電流 I_D 流動。
2. (1) $V_{GS} = V_G - V_S = 2 - 5 = -3 < V_T$
 (2) $V_{GD} = V_G - V_D = 2 - 3 = -1 > V_T$

8-10 增強型 MOSFET 之直流偏壓

理論重點 1 汲極回授偏壓 p.8-44

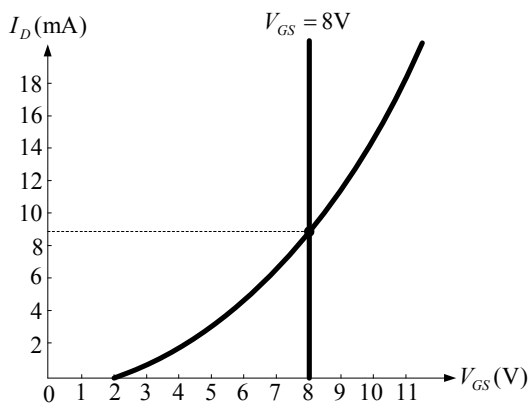
1. Q_1 是 N 通道增強型 MOSFET 且工作於夾止區，因 $V_{GD} = 0 < V_T$ 。
2. (1) $V_{GD} = 0 \text{ V} < V_T \Rightarrow$ 元件工作於夾止區
 (2) $\begin{cases} \text{曲線方程式：} I_D = K(V_{GS} - V_T)^2 = K(V_{DD} - V_o - V_T)^2 = 1 \times (9 - V_o)^2 \dots\dots \textcircled{1} \\ \text{直流負載線：} V_o = V_{DD} - V_{DS} = I_D R_S = 1000 I_D \dots\dots \textcircled{2} \end{cases}$
 (3) 解聯立方程式①②，得

$$I_D = (9 - V_o)^2 = \frac{V_o}{1000} \approx 0 \Rightarrow V_o \approx 9 \text{ V}$$

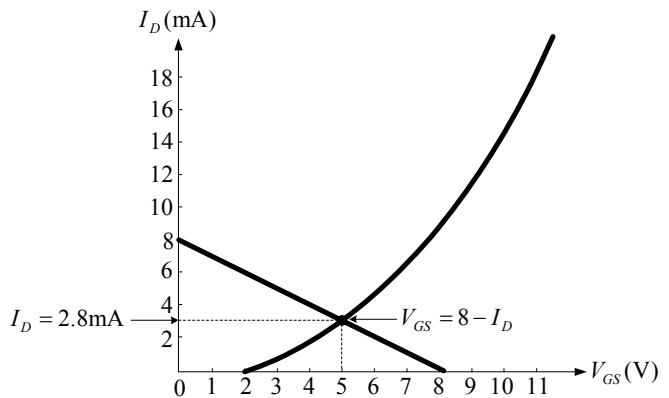
 (4) $I_D = \frac{V_o}{R_S} = \frac{9}{1\text{M}} = 9 \mu\text{A}$
 $V_{DS} = V_{DD} - V_o = 10 - 9 = 1 \text{ V}$
 (5) $P = V_{DS} \times I_D \approx 9 \mu\text{W}$
3. $V_{GD} = 0 \text{ V} < V_T \Rightarrow$ 工作於夾止區（或稱為飽和區、定電流區）

理論重點 2 分壓式偏壓 p.8-47

1. (1) 因 $V_S = 0$ ，故 $V_{GS} = V_G - V_S = V_G = V_{DD} \frac{R_{G2}}{R_{G1} + R_{G2}} = 20 \times \frac{80}{120 + 80} = 8 \text{ V}$
 (2) 圖解法： $V_{GS} = 8 \text{ V}$ 時， $I_D \approx 9 \text{ mA}$ 。如下圖(1)



圖(1)



圖(2)

2. (1) $V_{GS} = V_G - V_S = V_G - I_D R_S = 8 - I_D$ 。如上圖(2)
 (2) 圖解法： $I_D = 2.8 \text{ mA}$ ， $V_{GS} = 8 - I_D = 8 - 2.8 = 5.2 \text{ V}$

I_D	0	8mA
V_{GS}	8V	0

模擬試題詳解

》》 電子學試題 p.8-58

- FET 的汲、源極濃度相同，可以對調使用。
- (1) $I_D = I_{DSS} \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_{GS(off)}}\right)^2$
(2) N 通道 JFET 閘源極須加逆偏壓，即 $V_{GS} \leq 0$ 。
- $I_D = I_{DSS} \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_{GS(off)}}\right)^2 = 4 \left(1 - \frac{V_{GS}}{-2}\right)^2 \text{ mA} = 4 \left(1 + \frac{V_{GS}}{2}\right)^2 \text{ mA}$
- (1) 選項(B)為 N 通道 JFET 的轉移特性曲線。
(2) 選項(C)為 N 通道增強型 MOSFET。
(3) 選項(D)為 P 通道增強型 MOSFET。
- (1) JFET 閘極須加逆向偏壓，即 $V_{GS} \geq 0$ ，若 $V_{GS} = 0$ 時， $I_D = I_{DSS}$ ，若 $V_{GS} = V_{GS(off)}$ 時， $I_D = 0$ 。
(2) P 通道 JFET 的 $0 < V_{GS} < V_{GS(off)}$ 時，才有汲極電流 I_D 。
- (1) $I_D = I_{DSS} \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_{GS(off)}}\right)^2$ ， $1 = 4 \left(1 - \frac{V_{GS}}{-4}\right)^2$ ，故 $V_{GS} = -2 \text{ V}$
(2) $V_S = V_G - V_{GS} = 0 - (-2) = 2 \text{ V}$ ，則 $R_S = \frac{V_S}{I_D} = \frac{2}{1\text{m}} = 2 \text{ k}\Omega$
- $V_{DS} = V_{DD} - I_D(R_D + R_S) = 20 - (1\text{m})(5\text{k} + 2\text{k}) = 13 \text{ V}$
- (1) $V_{GS} = V_G - V_S = 0 - I_D R_S = -I_D$
(2) $I_D = I_{DSS} \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_{GS(off)}}\right)^2$ ，則 $I_D = 8 \left(1 - \frac{V_{GS}}{-4}\right)^2$
(3) 解(1)(2)聯立方程式得 $I_D = 2 \text{ mA}$ ， $V_{GS} = -2 \text{ V}$
- (1) 定電流區條件： $V_{GD} \leq V_{GS(off)}$ ，即 $V_{GD} = V_G - V_D \leq -4$ ，則 $V_D \geq V_G + 4 = 4$
(2) $V_{DD} = I_D R_D + V_D \geq (2\text{m})(4\text{k}) + 4 = 12 \text{ V}$
- (1) $I_D = I_{DSS} \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_{GS(off)}}\right)^2$ ，則 $2 = 8 \left(1 - \frac{V_{GS}}{-4}\right)^2$ ， $V_{GS} = -2 \text{ V}$
(2) $V_S = V_G - V_{GS} = 0 - (-2) = 2 \text{ V}$ ，則 $R_S = \frac{V_S}{I_D} = \frac{2}{2\text{m}} = 1 \text{ k}\Omega$
- (1) 定電流區條件： $V_{GD} \leq V_{GS(off)}$ ，即 $V_{GD} = V_G - V_D \leq -4$ ，則 $V_D \geq V_G + 4 = 4$
(2) $V_{DD} = I_D R_D + V_D$ ，則 $20 = 2R_D + V_D \geq 2R_D + 4$ ，則 $R_D \leq 8 \text{ k}\Omega$
- (1) $V_{GS} = V_G - V_S = 0 - 0 = 0$
(2) $I_D = \frac{V_{DD} - V_{DS}}{R_D} = \frac{12 - 4}{2\text{k}} = 4 \text{ mA}$
(3) 在 $V_{GS} = 0$ 時， $I_D = I_{DSS} = 4 \text{ mA}$
- (1) 圖(A)為 N 通道空乏型 MOSFET
(2) 圖(B)為 P 通道空乏型 MOSFET
(3) 圖(C)為 N 通道增強型 MOSFET
(4) 圖(D)為 P 通道增強型 MOSFET

14. N 通道空乏型 MOSFET 已事先預製 N 型通道。
15. (1) JFET 在零偏壓 $V_{GS} = 0$ 時的通道最大。
(2) 空乏型 MOSFET 在零偏壓 $V_{GS} = 0$ 時，通道約只有最大的一半。
16. (1) 圖(A)為 N 通道增強型 MOSFET
(2) 圖(B)為 P 通道增強型 MOSFET
(3) 圖(C)為 N 通道空乏型 MOSFET
(4) 圖(D)為 P 通道空乏型 MOSFET
17. (1) $V_G = V_{DD} \frac{R_2}{R_1 + R_2} = 16 \times \frac{1}{7+1} = 2 \text{ V}$
(2) $V_{GS} = V_G - V_S = 2 - I_D R_S = 2 - I_D$
(3) $I_D = I_{DSS} \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_{GS(off)}}\right)^2$ ，則 $I_D = 16 \left(1 - \frac{V_{GS}}{-4}\right)^2$
(4) 解(1)(2)聯立方程式得 $I_D = 4 \text{ mA}$ ， $V_{GS} = -2 \text{ V}$
18. $V_{DS} = V_{DD} - I_D (R_D + R_S) = 16 - (4\text{m})(2\text{k} + 1\text{k}) = 4 \text{ V}$
19. (1) 選項(A)為 N 通道空乏型 MOSFET。
(2) 選項(B)為 P 通道空乏型 MOSFET。
(3) 選項(C)為 N 通道增強型 MOSFET。
20. 增強型 MOSFET 之 $I_D = K(V_{GS} - V_T)^2$ ，必須在 $V_{GS} \geq V_T$ 時才有通道產生。
21. $I_D = K(V_{GS} - V_T)^2$ ，當 $V_{GS} < V_T$ 時， $I_D = 0$ 。
22. 增強型 MOSFET 工作時，閘極必須加順偏壓，即 P 通道加負偏壓，N 通道加正偏壓，且 $|V_{GS}| \geq |V_T|$ 時，才會產生通道電流。
23. (1) 選項(A)為 N 通道 JFET 的輸出特性曲線。
(2) 選項(B)為 P 通道 JFET 的輸出特性曲線。
(3) 選項(C)為 N 通道增強型 MOSFET。
24. (1) $I_D = K(V_{GS} - V_T)^2 = 0.25(V_{GS} - 1)^2$
(2) $V_{GS} = V_{DS} = V_{DD} - I_D R_D = 8 - 5I_D$
(3) 解聯立方程式(1)、(2)兩式，得 $I_D = 1 \text{ mA}$ ， $V_{GS} = V_{DS} = 3 \text{ V}$ 。
25. (1) $I_D = K(V_{GS} - V_T)^2 = 0.5(V_{GS} - 2)^2$
(2) $V_{GS} = 12 \times \frac{10}{10+10} - I_D \times 1 = 6 - I_D$
(3) 解聯立方程式(1)、(2)兩式，得 $I_D = 2 \text{ mA}$ ， $V_{GS} = 4 \text{ V}$ 。

》》 電子學實習試題 p.8-61

- MOSFET 閘極與源極或汲極間，因有二氧化矽 (SiO_2) 隔離，均為斷路狀態，無法以三用電表判斷接腳。
- (1) 若紅棒接閘極，黑棒接汲極或源極，測得低電阻值時，則通道為 P 型。
(2) 若黑棒接閘極，紅棒接汲極或源極，測得低電阻值時，則通道為 N 型。
- FET 輸入阻抗大，可降低信號源的負載效應。

4. 閘極與通道間只有一個 PN 接合面。
5. 當 $V_{GS} = V_{GS(off)}$ 時， $I_D = 0$ 。
6.
$$I_D = I_{DSS} \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_{GS(off)}}\right)^2$$
7. (1) 因 V_{GS} 愈負， I_D 愈小，則 V_{GS} 為逆偏，元件為 JFET，且 $V_{GS(off)} = -4 \text{ V}$ 。
 (2) N 通道 JFET： $V_{GS(off)} < 0$
 P 通道 JFET： $V_{GS(off)} > 0$
 故元件為 N 通道 JFET。
8. 由圖(a)得知 $I_{DSS} = 8 \text{ mA}$ ， $V_{GS(off)} = -4 \text{ V}$ 。又 $I_D = I_{DSS} \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_{GS(off)}}\right)^2$ ，則 $I_D = 8 \left(1 - \frac{V_{GS}}{-4}\right)^2 \text{ mA}$
9. N 通道 JFET： $V_{GS(off)} < 0$
 P 通道 JFET： $V_{GS(off)} > 0$
10. (1) P 通道 JFET 工作於定電流區的條件： $V_{GD} \geq V_{GS(off)}$ ，則 $V_{GD} = V_{GS} - V_{DS} \geq V_{GS(off)}$
 (2) $V_{DS} = V_{DD} + I_D R_D = -10 \text{ V} + I_D R_D$
 (3) 綜合(1)(2)，因 $V_{GS} = 0$ 時， $I_D = 4 \text{ mA}$ ，則

$$V_{GS} - V_{DS} = 0 - V_{DS} = 10 \text{ V} - 4 \text{ mA} \times R_D \geq 2 \text{ V}$$

$$R_D \leq 2 \text{ k}\Omega$$
11. (1) P 通道 JFET 工作於定電流區的條件： $V_{GD} \geq V_{GS(off)}$ ，則 $V_{GD} = V_{GS} - V_{DS} \geq V_{GS(off)}$
 其中 $V_{GS} \geq 0$ ， $V_{DS} \leq 0$ 。若 V_{GS} 愈大，則較小的 V_{DS} 絕對值即可使元件夾止。
 (2) 對於較小的 V_{DS} ，其 I_D 值亦小。
12. (1) 因 $V_{GS} = 0$ ，則 $I_D = I_{DSS} = 6 \text{ mA}$
 (2) $V_{DS} = V_{DD} - I_D R_D = 9 - 6 \times 1 = 3 \text{ V}$
13. (1) 因為三用電表 ACV 檔使用半波整流電路，輸入有效值電壓會轉成平均值電壓，所以電表刻度必須乘上 2.2 倍修正。
 (2) 如果使用 ACV 檔測量直流電壓，經半波整流後還是直流電壓，電表刻度會顯示乘上 2.2 倍的數值，所以原 $V_{DS} = 3 \text{ V}$ ，乘上 2.2 倍後 $V_{DS} = 6.6 \text{ V}$ 。
14. (1) $I_D = I_{DSS} \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_{GS(off)}}\right)^2$ ，則

$$\begin{cases} 4.5 = I_{DSS} \left(1 - \frac{-1}{V_{GS(off)}}\right)^2 \dots\dots \textcircled{1} \\ 2 = I_{DSS} \left(1 - \frac{-2}{V_{GS(off)}}\right)^2 \dots\dots \textcircled{2} \end{cases}$$
 解聯立方程式， $\frac{\textcircled{1}}{\textcircled{2}} = 2.25 = \frac{\left(1 - \frac{-1}{V_{GS(off)}}\right)^2}{\left(1 - \frac{-2}{V_{GS(off)}}\right)^2}$ ，則 $1.5 = \frac{V_{GS(off)} + 1}{V_{GS(off)} + 2}$ ，得

$$V_{GS(off)} = -4 \text{ V}，I_{DSS} = 8 \text{ mA}$$
- (2) 當 $V_{GS} = -3 \text{ V}$ 時，得 $I_D = 8 \left(1 - \frac{-3}{-4}\right)^2 = 0.5 \text{ mA}$

15. 由 JFET 特性得知：

$$V_{GS} = 0 \text{ 時，得 } I_D = I_{DSS} = 4 \text{ mA} \text{。}$$

$$|V_{GS}| \geq |V_{GS(off)}| \text{ 時， } I_D = 0 \text{，得 } V_{GS(off)} = -2 \text{ V} \text{。}$$

16. (1) JFET 工作於定電流區的條件： $V_{DG} \geq |V_{GS(off)}|$ ，則 $V_{DS} - V_{GS} \geq 2\text{V}$

$$(2) V_{DS} = V_{DD} - I_D R_D$$

$$(3) \text{ 當 } V_{GS} = 0 \text{ 時， } I_D = 4 \text{ mA} \text{， } V_{DS} = V_{DD} - 4 \text{，則 } V_{DS} - V_{GS} = V_{DD} - 4 - 0 \geq 2 \quad V_{DD} \geq 6 \text{ V}$$

17. (1) 由 $I_D = I_{DSS} \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_{GS(off)}}\right)^2$ ，則 $1 = 4 \left(1 - \frac{V_{GS}}{-2}\right)^2$ ，得 $V_{GS} = -1 \text{ V}$ 。

$$(2) \text{ 由 } V_S = V_G - V_{GS} = 0 - (-1) = I_D R_D \text{，得 } R_D = \frac{1}{I_D} = \frac{1}{1 \text{ mA}} = 1 \text{ k}\Omega \text{。}$$

18. (1) 使用上，常將基體接腳逆偏隔離。

(2) 對 N 通道而言：基體為 P 型，連接至源極（負電壓）。

對 P 通道而言：基體為 N 型，連接至源極（正電壓）。

19. (1) 空乏型 MOSFET 以實線表示預製通道，增強型 MOSFET 以虛線表示無預製通道。

(2) 箭頭所指為 N 型。

20. (1) JFET 工作時，閘極必須加逆偏。

(2) 對 N 通道而言：閘極加負偏。

對 P 通道而言：閘極加正偏。

21. (1) N 通道空乏型 MOSFET： $V_{GS(off)} < 0$

P 通道空乏型 MOSFET： $V_{GS(off)} > 0$

$$(2) I_D = I_{DSS} \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_{GS(off)}}\right)^2 = 8 \left(1 - \frac{V_{GS}}{4}\right)^2 \text{ mA} = 0.008 \left(1 - \frac{V_{GS}}{4}\right)^2 \text{ A}$$

22. (1) 因 V_{GS} 增加， I_D 增加，則 V_{GS} 為順偏，元件為增強型 MOSFET，且 $V_T = 2 \text{ V}$ 。

(2) N 通道空乏型 MOSFET： $V_T > 0$

P 通道增強型 MOSFET： $V_T < 0$

故元件為 N 通道增強型 MOSFET。

23. 在轉移特性曲線上任選一點 $(V_{GS}, I_D) = (4\text{V}, 2\text{mA})$ ，又 $I_D = K(V_{GS} - V_T)^2$ ，則 $2 = K(4 - 2)^2$ ，可得 $K = 0.5 \text{ mA/V}^2$ ，故 $I_D = 0.5(V_{GS} - 2)^2 \text{ mA}$

$$24. I_D = K(V_{GS} - V_T)^2 = 0.5(V_{GS} - 2)^2 \dots\dots ①$$

$$V_{GS} = V_{DS} = V_{DD} - I_D R_D = 14 - I_D \dots\dots ②$$

解聯立方程式①②，則

$$14 - V_{GS} = 0.5(V_{GS} - 2)^2 \Rightarrow V_{GS}^2 - 2V_{GS} - 24 = 0$$

$$\Rightarrow (V_{GS} + 4)(V_{GS} - 6) = 0$$

得 $V_{GS} = 6 \text{ V}$ 或 -4 V （不合）。

25. (1) $I_D = K(V_{GS} - V_T)^2$

I_D 與 K 成正比，新元件 K 值較小，故 I_D 值較小。

(2) 因 $V_{DS} = V_{DD} - I_D R_D$ ， I_D 減少則 V_{DS} 增加。

第 9 章 場效電晶體放大電路

立即練習詳解

9-1 FET 放大器工作原理

》》理論重點 1 FET 的小信號放大作用 p.9-6

1. FET 的 g_m 值比 BJT 小，故電壓增益較小。

9-2 FET 交流等效電路

》》理論重點 1 FET 交流等效電路及相關數說明 p.9-8

1. $\mu = g_m \times r_d = (10 \text{ mA/V}) \times (1 \text{ M}\Omega) = 10000$
2. $g_m = \frac{2I_{DSS}}{|V_{GS(off)}|} \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_{GS(off)}}\right) = \frac{2 \times 12}{|-4|} \left(1 - \frac{-1.5}{-4}\right) = 3.75 \text{ 毫姆歐}$
3. $g_m = \frac{2I_{DSS}}{|V_{GS(off)}|} \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_{GS(off)}}\right) = \frac{2 \times 10 \text{ mA}}{|-2|} \left(1 - \frac{-1}{-2}\right) = 5 \text{ mA/V}$

9-3 共源極（CS）放大電路

》》理論重點 1 含源極電容之 CS 放大電路 p.9-10

1. $A_v = \frac{v_o}{v_i} = -g_m(r_d // R_D) = -(2 \text{ mA/V})(30 \text{ k} // 10 \text{ k}) = -15$
2. $A_v = -g_m \times (r_d // R_D) = -(1 \text{ mA/V}) \times (20 \text{ k} // 20 \text{ k}) = -10$

》》理論重點 2 不含源極電容之 CS 放大電路 p.9-14

1. $A_v = \frac{-g_m \times R_D}{1 + g_m R_S} = \frac{-(1.4 \text{ m}) \times (4.3 \text{ k})}{1 + (1.4 \text{ m})(120)} = -5.15$
2. (1) $R_i = R_G = 1 \text{ M}\Omega$
 (2) $R_o = R_D = 4.3 \text{ k}\Omega$
- (3) $A_i = \frac{i_o}{i_i} = \frac{-\frac{v_o}{R_D}}{\frac{v_i}{R_i}} = \frac{-v_o}{v_i} \frac{R_i}{R_D} = -A_v \frac{R_i}{R_D} = -(-5.15) \frac{1 \text{ M}}{4.3 \text{ k}} = 1.2 \times 10^3$
3. $A_v = -g_m \times (r_d // R_D) = -(2 \text{ m}) \times (20 \text{ k} // 20 \text{ k}) = -20$
4. $A_v = -g_m \times (r_d // R_D) = -(2 \text{ mA/V}) \times (20 \text{ k} // 2 \text{ k}) \doteq -4$

》》理論重點 3 R_L 及 R_S 的影響 p.9-16

- $A_v = -g_m \times (R_D // R_L) = -(2\text{mA/V}) \times (10\text{k} // 40\text{k}) = -16$
- (1) $v_i = v_{gs}$
(2) $v_o = -g_m v_{gs} (r_d // R_L)$
(3) $\frac{v_o}{v_i} = -g_m \times (r_d // R_L) = -(2.2\text{mS}) \times (20\text{k} // 2\text{k}) \doteq -4$

9-4 共汲極 (CD) 放大電路 (源極隨耦器)

》》理論重點 1 CD 放大電路 p.9-18

- $A_v = \frac{g_m R_S}{1 + g_m R_S} = \frac{(2)(4\text{k})}{1 + (2)(4\text{k})} = 0.89$
- (1) $A_v = \frac{v_o}{v_i} = \frac{0.8v_i}{v_i} = 0.8$
(2) $A_v = \frac{g_m R_S}{1 + g_m R_S} = \frac{2R_S}{1 + 2R_S} = 0.8$, 則 $R_S = 2\text{k}\Omega$
- (1) $R'_o = \frac{1}{g_m} = \frac{1}{2\text{mA/V}} = 500\ \Omega$
(2) $R_o = R_S // R'_o = 2\text{k} // 500 = 400\ \Omega$

9-5 共閘極 (CG) 放大電路

》》理論重點 1 CG 放大電路 p.9-21

- (1) $V_{GS} = V_G - V_S = 0 - I_D R_S = -I_D$
(2) $I_D = I_{DSS} \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_{GS(off)}}\right)^2 = (8) \left(1 - \frac{V_{GS}}{-4}\right)^2$
(3) 解(1)(2)聯立方程式, 得 $V_{GS} = -2\text{V}$, $I_D = 2\text{mA}$
(4) $g_m = \frac{2I_{DSS}}{|V_{GS(off)}|} \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_{GS(off)}}\right) = \frac{2 \times 8\text{mA}}{4\text{V}} \left(1 - \frac{-2}{-4}\right) = 2\text{mA/V}$
(5) $A_v = \frac{v_o}{v_i} = g_m (r_d // R_D // R_L) = g_m (R_D // R_L) = 2\text{m} \times (5\text{k} // 20\text{k}) = 2\text{m} \times 4\text{k} = 8$
- (1) $R_i = R_S // \frac{1}{g_m} = 500 // \frac{1}{2\text{m}} = 500 // 500 = 250\ \Omega$
(2) $R_o = R_D = 5\text{k}\Omega$
(3) $A_v = g_m R_D = 2\text{m} \times 5\text{k} = 10$
- (1) $A_v = \frac{v_o}{v_i} = \frac{10v_i}{v_i} = 10$
(2) $A_v = g_m R_D = 2R_D = 10$, 則 $R_D = 5\text{k}\Omega$

$$4. (1) V_{GS} = -I_D R_S = -I_D$$

$$(2) I_D = I_{DSS} \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_{GS(off)}}\right)^2 = 4 \left(1 - \frac{V_{GS}}{-2}\right)^2$$

$$(3) \text{解(1)(2)聯立方程式, 得 } V_{GS} = -1 \text{ V}, I_D = 1 \text{ mA}$$

$$(4) g_m = \frac{2I_{DSS}}{|V_{GS(off)}|} \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_{GS(off)}}\right) = \frac{2 \times 4}{2} \left(1 - \frac{-1}{-2}\right) = 2 \text{ mA/V}$$

$$(5) A_v = \frac{v_o}{v_i} = g_m R_D = 2 \text{ m} \times 5 \text{ k} = 10$$

模擬試題詳解

》》》 電子學試題 p.9-33

1. 定電流區又稱為飽和區或夾止區，輸出信號與輸入信號呈線性正比例。

$$2. \quad g_{m0} = \frac{2I_{DSS}}{|V_{GS(off)}|} = \frac{2 \times 10}{|-4|} = 5 \text{ mA/V}$$

$$3. \quad g_m = \frac{2I_{DSS}}{|V_{GS(off)}|} \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_{GS(off)}}\right) = \frac{2 \times 10}{|-4|} \left(1 - \frac{-2}{-4}\right) = 5 \times \frac{1}{2} = 2.5 \text{ mA/V}$$

$$4. \quad g_m = \frac{2I_{DSS}}{|V_{GS(off)}|} \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_{GS(off)}}\right), \text{ 則 } 4.5 = \frac{2 \times 12}{4} \left(1 - \frac{V_{GS}}{-4}\right), \text{ 故 } V_{GS} = -1 \text{ V}$$

$$5. \quad (1) \quad I_D = I_{DSS} \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_{GS(off)}}\right)^2, \text{ 則 } 1 - \frac{V_{GS}}{V_{GS(off)}} = \sqrt{\frac{I_D}{I_{DSS}}} = \sqrt{\frac{2}{8}} = \frac{1}{2}$$

$$(2) \quad g_m = \frac{2I_{DSS}}{|V_{GS(off)}|} \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_{GS(off)}}\right) = \frac{2 \times 8}{4} \times \frac{1}{2} = 2 \text{ mA/V}$$

$$6. \quad (1) \quad V_{GS} = V_G - V_S = -I_D R_S = -I_D$$

$$(2) \quad I_D = I_{DSS} \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_{GS(off)}}\right)^2 = (8) \left(1 - \frac{V_{GS}}{-4}\right)^2$$

$$(3) \quad \text{解(1)(2)聯立方程式得 } I_D = 2 \text{ mA}, V_{GS} = -2 \text{ V}$$

$$(4) \quad g_m = \frac{2I_{DSS}}{|V_{GS(off)}|} \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_{GS(off)}}\right) = \frac{2 \times 8 \text{ mA}}{4} \left(1 - \frac{-2}{-4}\right) = 2 \text{ mA/V}$$

$$7. \quad \frac{v_o}{v_i} = -g_m (r_d // R_D) = -2 \text{ m} \times (20 \text{ k} // 5 \text{ k}) = -8$$

$$8. \quad A_v = -g_m r_L = -g_m (r_d // R_D) = -2 \text{ m} \times (2 \text{ k} // 20 \text{ k}) = -4$$

$$9. \quad A_v = \frac{v_o}{v_i} = -g_m R_D = -2 \text{ m} \times 5 \text{ k} = -10$$

$$10. \quad (1) \quad V_{GS} = V_G - V_S = -2 - 0 = -2 \text{ V}$$

$$(2) \quad I_D = I_{DSS} \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_{GS(off)}}\right)^2 = 12 \left(1 - \frac{-2}{-4}\right)^2 = 3 \text{ mA}$$

$$(3) \quad g_m = \frac{2I_{DSS}}{|V_{GS(off)}|} \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_{GS(off)}}\right) = \frac{2 \times 12}{|-4|} \left(1 - \frac{-2}{-4}\right) = 6 \times \frac{1}{2} = 3 \text{ mA/V}$$

$$(4) \quad A_v = \frac{v_o}{v_i} = -g_m (r_d // R_D) = -3 \text{ m} \times (30 \text{ k} // 10 \text{ k}) = -3 \times 7.5 = -22.5$$

$$11. \quad (1) \quad V_{GS} = V_G - V_S = 0 - I_D R_S = -I_D (R_{S1} + R_{S2}) = -I_D$$

$$(2) \quad I_D = I_{DSS} \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_{GS(off)}}\right)^2 = (8) \left(1 - \frac{V_{GS}}{-4}\right)^2$$

$$(3) \quad \text{解(1)(2)聯立方程式得 } I_D = 2 \text{ mA}, V_{GS} = -2 \text{ V}$$

$$(4) \quad g_m = \frac{2I_{DSS}}{|V_{GS(off)}|} \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_{GS(off)}}\right) = \frac{2 \times 8 \text{ mA}}{|-4 \text{ V}|} \left(1 - \frac{-2}{-4}\right) = 2 \text{ mA/V}$$

- (5)
$$\frac{v_o}{v_i} = \frac{-g_m R_D}{1 + g_m R_{S1} + \frac{R_{S1} + R_D}{r_d}} = \frac{-2\text{m} \times 5\text{k}}{1 + 2\text{m} \times 0.5\text{k} + \frac{0.5\text{k} + 5\text{k}}{20\text{k}}} = -4.4$$
12.
$$\frac{v_o}{v_i} = -\frac{r_d // R_D}{\frac{1}{g_m}} = -g_m (r_d // R_D) = -2\text{m} \times (20\text{k} // 5\text{k}) = -8$$
13. (1)
$$V_{GS} = V_G - V_S = 0 - I_D R_S = -2\text{m} \times 1\text{k} = -2\text{V}$$
- (2)
$$I_D = I_{DSS} \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_{GS(off)}}\right)^2$$
, 則
$$I_{DSS} = \frac{I_D}{\left(1 - \frac{V_{GS}}{V_{GS(off)}}\right)^2} = \frac{2\text{m}}{\left(1 - \frac{-2}{-4}\right)^2} = \frac{2\text{m}}{\frac{1}{4}} = 8\text{mA}$$
- (3)
$$g_m = \frac{2I_{DSS}}{|V_{GS(off)}|} \left(1 - \frac{V_{GS}}{|V_{GS(off)}|}\right) = \frac{2 \times 8\text{m}}{4} \left(1 - \frac{-2}{-4}\right) = 2\text{mA/V}$$
- (4)
$$\frac{v_o}{v_i} = -g_m R_D = -2\text{m} \times 5\text{k} = -10$$
14.
$$A_v = \frac{v_o}{v_i} = \frac{-R_D}{\frac{1}{g_m} + R_S} = \frac{-5\text{k}}{\frac{1}{2\text{m}} + 1\text{k}} = \frac{-5\text{k}}{1.5\text{k}} = -3.33$$
15. (1)
$$V_G = V_{DD} \frac{R_2}{R_1 + R_2} = 20 \times \frac{1}{9 + 1} = 2\text{V}$$
- (2)
$$I_D = I_{DSS} \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_{GS(off)}}\right)^2$$
, 則
$$2 = 8 \left(1 - \frac{V_{GS}}{-4}\right)^2$$
,
$$V_{GS} = -2\text{V}$$
- (3)
$$V_S = V_G - V_{GS} = 2 - (-2) = 4\text{V}$$
- (4)
$$R_S = \frac{V_S}{I_D} = \frac{4}{2\text{m}} = 2\text{k}\Omega$$
16. (1)
$$g_m = \frac{2I_{DSS}}{|V_{GS(off)}|} \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_{GS(off)}}\right) = \frac{2 \times 8\text{m}}{4} \left(1 - \frac{-2}{-4}\right) = 2\text{mA/V}$$
- (2)
$$\frac{v_o}{v_i} = -g_m R_D = -2\text{m} \times 5\text{k} = -10$$
17.
$$A_v = \frac{v_o}{v_i} = \frac{-R_D}{\frac{1}{g_m} + R_S} = -\frac{5\text{k}}{\frac{1}{2\text{m}} + 500} = -\frac{5\text{k}}{0.5\text{k} + 0.5\text{k}} = -5$$
18.
$$\frac{v_o}{v_i} = \frac{R_S}{\frac{1}{g_m} + R_S} = \frac{2\text{k}}{\frac{1}{2\text{m}} + 2\text{k}} = 0.8$$
19.
$$R_o = R_S // \frac{1}{g_m} = 2\text{k} // \frac{1}{2\text{m}} = 2\text{k} // 0.5\text{k} = 0.4\text{k}\Omega$$
20.
$$R_o = R_S // \frac{1}{g_m}$$
, 則
$$\frac{1}{R_o} = \frac{1}{R_S} + g_m$$
- $$R_S = \frac{1}{\frac{1}{R_o} - g_m} = \frac{1}{\frac{1}{200} - 4\text{m}} = 1\text{k}\Omega$$

$$21. \frac{v_o}{v_i} = \frac{R_S // R_L}{\frac{1}{g_m} + R_S // R_L} = \frac{1k // 1k}{\frac{1}{4m} + 1k // 1k} = \frac{500}{250 + 500} = 0.66$$

22. 電壓增益低於 1。

$$23. (1) v_i = v_{sg} = -v_{gs}$$

$$(2) v_o = -g_m v_{gs} (R_D // r_d)$$

$$(3) \frac{v_o}{v_i} = \frac{-g_m v_{gs} (R_D // r_d)}{-v_{gs}} = g_m (R_D // r_d) = 2m \times (5k // 20k) = 8$$

$$24. (1) R_i = R_S // \frac{1}{g_m} = 2k // \frac{1}{2m} = 400 \Omega$$

$$(2) \frac{v_o}{v_i} = g_m R_D = 2 \times 4 = 8$$

$$25. (1) I_D = I_{DSS} \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_{GS(off)}}\right)^2 = 4 \left(1 - \frac{V_{GS}}{-2}\right)^2$$

$$(2) V_{GS} = -I_D R_S = -I_D$$

$$(3) \text{解(1)(2)式聯立方程式得 } V_{GS} = -1 \text{ V}, I_D = 1 \text{ mA}$$

$$(4) g_m = \frac{2I_{DSS}}{|V_{GS(off)}|} \left(1 - \frac{V_{GS}}{|V_{GS(off)}|}\right) = \frac{2 \times 4}{2} \left(1 - \frac{-1}{-2}\right) = 2 \text{ mA/V}$$

$$(5) \frac{v_o}{v_i} = g_m R_D = 2m \times 5k = 10$$

》》 電子學實習試題 p.9-36

1. FET 增益頻寬積低。

$$2. (1) I_D = \frac{V_{DD} - V_D}{R_D} = \frac{(12 - 4)\text{V}}{4k\Omega} = 2 \text{ mA}$$

$$(2) \text{由 } I_D - V_{GS} \text{ 特性曲線得知：當 } I_D = 2 \text{ mA 時，} V_{GS} = -2 \text{ V}$$

$$(3) g_m = \frac{2I_{DSS}}{|V_{GS(off)}|} \left(1 - \frac{V_{GS}}{|V_{GS(off)}|}\right) = \frac{2 \times 8m}{4} \left(1 - \frac{-2}{-4}\right) = 2 \text{ mA/V}$$

$$3. (1) R_S = \frac{V_S}{I_D} = \frac{2\text{V}}{2\text{mA}} = 1 \text{ k}\Omega$$

$$(2) \frac{v_o}{v_i} = -\frac{R_D}{\frac{1}{g_m} + R_S} = -\frac{4k}{\frac{1}{2m} + 1k} = -2.6$$

$$4. (1) V_{GS} = V_{GG} = -2 \text{ V}$$

(2) 由 $I_D - V_{GS}$ 特性曲線得知：

$$\text{當 } V_{GS} = -2 \text{ V 時，} I_D = 2 \text{ mA}$$

$$(3) g_m = \frac{2I_{DSS}}{|V_{GS(off)}|} \left(1 - \frac{V_{GS}}{|V_{GS(off)}|}\right) = \frac{2 \times 8m}{4} \left(1 - \frac{-2}{-4}\right) = 2 \text{ mA/V}$$

$$(4) \frac{v_o}{v_i} = -g_m R_D = -2m \times 4k = -8$$

5. (1) $V_{DS} = V_{DD} - I_D R_D = 12\text{V} - 2\text{mA} \times 4\text{k}\Omega = 4\text{V}$
 (2) $V_{GS} = V_{GG} = -2\text{V}$
 (3) $V_{GD} = V_{GS} - V_{DS} = -2 - 4 = -6\text{V}$
 (4) 由 $I_D - V_{GS}$ 特性曲線得知：當 $I_D = 0$ 時， $V_{GS(off)} = -4\text{V}$
 (5) 因 $V_{GD} < V_{GS(off)}$ ，故 JFET 工作於飽和區。
6. $V_{DS} = V_{GS} = 4\text{V}$
7. (1) 由圖(b)得知 Q 點： $V_{GS} = 4\text{V}$ ， $I_D = 2\text{mA}$ ， $V_T = 2\text{V}$
 (2) 由 $I_D = K(V_{GS} - V_T)^2$ ，則 $2\text{m} = (4 - 2)^2$ ，得 $K = 0.5\text{mA/V}^2$
 (3) $g_m = 2K(V_{GS} - V_T) = 2 \times 0.5\text{m} \times (4 - 2) = 2\text{mA/V}$
 (4) $\frac{v_o}{v_i} = -g_m R_D = -2\text{mA/V} \times 2\text{k}\Omega = -4$
8. (1) $I_D = K(V_{GS} - V_T)^2 = 0.5(V_{GS} - 2)^2$
 $V_{GS} = V_{DS} = V_{DD} - I_D R_D = 8 - 10I_D$
 得 $V_{GS} = 3\text{V}$ ， $I_D = 0.5\text{mA}$
 (2) $g_m = 2K(V_{GS} - V_T) = 2 \times 0.5\text{m} \times (3 - 2) = 1\text{mA/V}$
 (3) $\frac{v_o}{v_i} = -g_m R_D = -1\text{mA/V} \times 10\text{k}\Omega = -10$
9. (1) 由圖(b) $I_D - V_{GS}$ 特性曲線得知 Q 點： $V_{GS} = -2\text{V}$ ， $I_D = 2\text{mA}$
 (2) $V_{DS} = V_{DD} - I_D(R_D + R_S) = 12\text{V} - 2\text{mA}(4\text{k}\Omega + 1\text{k}\Omega) = 2\text{V}$
10. (1) 由圖(b) $I_D - V_{GS}$ 特性曲線得知： $I_{DSS} = 8\text{mA}$ ， $V_{GS(off)} = -4\text{V}$
 (2) $g_m = \frac{2I_{DSS}}{|V_{GS(off)}|} \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_{GS(off)}}\right) = \frac{2 \times 8\text{mA}}{4\text{V}} \left(1 - \frac{-2\text{V}}{-4\text{V}}\right) = 2\text{mA/V}$
 (3) $\frac{v_o}{v_i} = -g_m R_D = -2\text{mA/V} \times 4\text{k}\Omega = -8$
11. (1) R_D 值不影響 Q 點，因此 g_m 不變。
 (2) $\frac{v_o}{v_i} = -g_m R_D = -2\text{mA/V} \times 2\text{k}\Omega = -4$
12. (1) $r_d = \frac{\mu}{g_m} = \frac{50}{2.5\text{mA/V}} = 20\text{k}\Omega$
 (2) $\frac{v_o}{v_i} = -g_m(r_d // R_D // R_L) = -2.5\text{mA/V} \times (20\text{k}\Omega // 5\text{k}\Omega // 20\text{k}\Omega) = \frac{-25}{3} = -8.33$
13. $\frac{v_o}{v_i} = -g_m(r_d // R_D) = -2\text{mS} \times (30\text{k}\Omega // 10\text{k}\Omega) = -2\text{mS} \times 7.5\text{k}\Omega = -15$
14. (1) $v_i = v_{gs} + g_m v_{gs} R_S = v_{gs}(1 + g_m R_S)$
 (2) $v_o = -g_m v_{gs} R_D$
 (3) $\frac{v_o}{v_i} = \frac{-g_m v_{gs} R_D}{v_{gs}(1 + g_m R_S)} = \frac{-g_m R_D}{1 + g_m R_S} = \frac{-2\text{mA/V} \times 5\text{k}\Omega}{1 + 2\text{mA/V} \times 1\text{k}\Omega} = \frac{-10}{3} = -3.33$

15. (1) 由圖(b) $I_D - V_{GS}$ 特性曲線得知 Q 點： $V_{GS} = -2\text{ V}$ ， $I_D = 2\text{ mA}$
 (2) $V_S = I_D R_S = 2\text{ mA} \times 1\text{ k}\Omega = 2\text{ V}$
 (3) $V_{DS} = V_D - V_S = V_{DD} - V_S = 8 - 2 = 6\text{ V}$
16. (1) 由圖(b) $I_D - V_{GS}$ 特性曲線可知 JFET 元件參數： $I_{DSS} = 8\text{ mA}$ ， $V_{GS(off)} = -4\text{ V}$
 (2) $g_m = \frac{2I_{DSS}}{|V_{GS(off)}|} \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_{GS(off)}}\right) = \frac{2 \times 8\text{ mA}}{4\text{ V}} \left(1 - \frac{-2\text{ V}}{-4\text{ V}}\right) = 2\text{ mA/V}$
 (3) $\frac{v_o}{v_i} = \frac{R_S}{\frac{1}{g_m} + R_S} = \frac{g_m R_S}{1 + g_m R_S} = \frac{2\text{ mA/V} \times 1\text{ k}\Omega}{1 + 2\text{ mA/V} \times 1\text{ k}\Omega} = \frac{2}{3} = 0.666$
17. (1) $I_D = I_{DSS} \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_{GS(off)}}\right)^2 = 4 \left(1 - \frac{V_{GS}}{-2}\right)^2$
 (2) $V_{GS} = V_G - V_S = -V_S = -I_D R_S = -I_D$
 (3) 解聯立方程式(1)(2)可得 Q 點： $V_{GS} = -1\text{ V}$ ， $I_D = 1\text{ mA}$
 (4) $g_m = \frac{2I_{DSS}}{|V_{GS(off)}|} \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_{GS(off)}}\right) = \frac{2 \times 4\text{ mA}}{2\text{ V}} \left(1 - \frac{-1\text{ V}}{-2\text{ V}}\right) = 2\text{ mA/V}$
 (5) $\frac{v_o}{v_i} = \frac{g_m R_S}{1 + g_m R_S} = \frac{2\text{ mA} \times 1\text{ k}}{1 + 2\text{ mA} \times 1\text{ k}} = \frac{2}{3} = 0.666$
18. (1) $v_i = v_{gs} + g_m v_{gs} R_S = v_{gs} (1 + g_m R_S)$
 (2) $v_o = g_m v_{gs} R_S$
 (3) $\frac{v_o}{v_i} = \frac{g_m v_{gs} R_S}{v_{gs} (1 + g_m R_S)} = \frac{g_m R_S}{1 + g_m R_S} = \frac{2\text{ mA/V} \times 1\text{ k}\Omega}{1 + 2\text{ mA/V} \times 1\text{ k}\Omega} = \frac{2}{3} = 0.666$
19. (1) 由圖(b) $I_D - V_{GS}$ 特性曲線得知 Q 點： $V_{GS} = -2\text{ V}$ ， $I_D = 2\text{ mA}$
 (2) $V_D = V_{DD} - I_D R_D = 12\text{ V} - 2\text{ mA} \times 4\text{ k}\Omega = 4\text{ V}$
20. (1) 由圖(b) $I_D - V_{GS}$ 特性曲線得知： $I_{DSS} = 8\text{ mA}$ ， $V_{GS(off)} = -4\text{ V}$
 (2) $g_m = \frac{2I_{DSS}}{|V_{GS(off)}|} \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_{GS(off)}}\right) = \frac{2 \times 8\text{ mA}}{4\text{ V}} \left(1 - \frac{-2\text{ V}}{-4\text{ V}}\right) = 2\text{ mA/V}$
 (3) $\frac{v_o}{v_i} = g_m R_D = 2\text{ mA/V} \times 4\text{ k}\Omega = 8$
21. R_D 值不影響 Q 點，因此 Q 點不變。
22. CG 放大電路： $R_i = \frac{1}{g_m} // R_G \doteq \frac{1}{g_m}$
23. CD 放大電路： $R_o = \frac{1}{g_m} // R_S \doteq \frac{1}{g_m}$
24. (1) $v_i = v_{sg} = -v_{gs}$
 (2) $v_o = -g_m v_{gs} R_D$
 (3) $\frac{v_o}{v_i} = \frac{-g_m v_{gs} R_D}{-v_{gs}} = g_m R_D = 2\text{ mA/V} \times 5\text{ k}\Omega = 10$
25. 共閘極 (CG) 放大器，交流信號輸入至源極端，而由汲極輸出，閘極為共同接腳。

第 10 章 運算放大器

立即練習詳解

10-1 理想運算放大器簡介

》》理論重點 1 運算放大器之基本原理 p.10-9

1. 理想 OPA 的特性：
 - (1) $R_m = \infty$
 - (2) $R_o = 0$
 - (3) 開迴路電壓增益 $A_{vo} = \infty$
 - (4) 頻寬 $BW = \infty$
 - (5) 零抵補電壓
2. $R_i = \infty$
3. $R_o = 0$

》》實習重點 2 運算放大器之識別 p.10-11

1. OPA 為主動元件。
2. 7 腳為正電源 $+V_{CC}$
3. (1) 線性 IC：運算放大器 IC
(2) 數位 IC：TTL IC、CMOS IC、記憶體 IC

10-2 理想運算放大器之特性及參數

》》理論重點 1 運算放大器之特性 p.10-13

1. (1) 當 $V_{(+)} = V_{(-)}$ ，即 $I_{(+)}(R_1 // R_2) = I_{(-)}R_3$ 時，可消除輸入偏壓效應。
(2) 若 $V_{(+)} = V_{(-)}$ ，則 $R_3 = R_1 // R_2$ 。
2. (1) 射極隨耦器： $R_i \cong \beta R_E$
(2) 達靈頓電路： $R_i \cong \beta^2 R_E$
(3) BJT 輸入級運算放大器： $R_i = 10^6 \Omega$
(4) FET 輸入級運算放大器： $R_i = 10^{12} \Omega$
3. 因輸入信號振幅須甚大於抵補電壓，才能得到正確的輸出，故抵補電壓宜愈小愈好，對微小的輸入信號才能得到正確的輸出。

》》理論重點 2 運算放大器之參數 p.10-15

1. (1) $SR = \frac{\Delta V_o}{\Delta t}$
(2) $\Delta t = \frac{\Delta V_o}{SR} = \frac{15V - 0V}{35V/\mu s} \cong 0.429 \mu s$

$$2. (1) SR = \frac{\Delta V_o}{\Delta t} \Rightarrow \Delta V_o = SR \times \Delta t = (2\text{V}/\mu\text{s}) \times (12\mu\text{s}) = 24\text{V}$$

$$(2) A_v = \frac{\Delta V_o}{\Delta V_i} = \frac{24\text{V}}{0.5\text{V}} = 48$$

$$3. SR = 2\pi f V_m \Rightarrow f = \frac{SR}{2\pi V_m} = \frac{0.628\text{V}/\mu\text{s}}{2 \times 3.14 \times 20\text{V}} = 5\text{kHz}$$

$$4. (1) \frac{\Delta V_i}{\Delta t} = \frac{0.5\text{V}}{6\mu\text{s}} = 0.083\text{V}/\mu\text{s}$$

$$(2) \frac{\Delta V_o}{\Delta t} = \frac{\Delta V_i}{\Delta t} A_v = 0.083 \times 48 = 4\text{V}/\mu\text{s}$$

$$5. (1) SR = \frac{\Delta V_o}{\Delta t}$$

$$(2) \Delta t = \frac{\Delta V_o}{SR} = \frac{10\text{V} - (-10\text{V})}{20\text{V}/\mu\text{s}} = 1\mu\text{s}$$

10-3 差動放大器

》》理論重點 1 直流分析 p.10-17

$$1. (1) I_{C1} = I_{C2} = \frac{I}{2} = \frac{1\text{mA}}{2} = 0.5\text{mA}$$

$$(2) V_{C1} = V_{CC} - I_{C1} R_{C1} = 10 - 0.5 \times 10 = 5\text{V}$$

$$(3) V_{C2} = V_{CC} - I_{C2} R_{C2} = 10 - 0.5 \times 5 = 7.5\text{V}$$

》》理論重點 2 交流分析 p.10-22

$$1. (1) V_d = V_{i1} - V_{i2} = 140 - 60 = 80\mu\text{V}$$

$$V_c = \frac{1}{2}(V_{i1} + V_{i2}) = \frac{1}{2}(140 + 60) = 100\mu\text{V}$$

$$V_o = A_d V_d + A_c V_c$$

$$\Rightarrow 81\text{mV} = A_d \times 80\mu\text{V} + A_c \times 100\mu\text{V}$$

$$\Rightarrow 81000 = 80A_d + 100A_c \dots\dots\dots\textcircled{1}$$

$$(2) V_d = V_{i1} - V_{i2} = 120 - 80 = 40\mu\text{V}$$

$$V_c = \frac{1}{2}(V_{i1} + V_{i2}) = \frac{1}{2}(120 + 80) = 100\mu\text{V}$$

$$V_o = A_d V_d + A_c V_c$$

$$\Rightarrow 41\text{mV} = A_d \times 40\mu\text{V} + A_c \times 100\mu\text{V}$$

$$\Rightarrow 41000 = 40A_d + 100A_c \dots\dots\dots\textcircled{2}$$

(3) 解聯立方程式

$$\begin{cases} 80A_d + 100A_c = 81000 \\ 40A_d + 100A_c = 41000 \end{cases}$$

$$\text{得 } A_d = 1000, A_c = 10, \text{CMRR} = \left| \frac{A_d}{A_c} \right| = \frac{1000}{10} = 100$$

2. (1) $V_c = \frac{1}{2}(V_{i1} + V_{i2}) = \frac{1}{2}(1+1) = 1 \text{ mV}$
- (2) $A_c = \frac{V_o}{V_c} = \frac{0.5 \text{ mV}}{1 \text{ mV}} = 0.5$
3. CMRR 愈大愈佳。
4. (1) $60 \text{ dB} = 20 \log \text{CMRR} \Rightarrow \text{CMRR} = 10^{\frac{60}{20}} = 1000$
- (2) $\text{CMRR} = \left| \frac{A_d}{A_c} \right| \Rightarrow A_c = \frac{A_d}{\text{CMRR}} = \frac{150}{1000} = 0.15$
- (3) $A_c = \frac{V_o}{V_c} \Rightarrow V_o = A_c V_c = 0.15 \times 1 = 0.15 \text{ V}$
5. $100 \text{ dB} = 20 \log \text{CMRR}$
 $\text{CMRR} = 10^{\frac{100}{20}} = 10^5$
6. (1) $V_c = \frac{1}{2}(V_{i1} + V_{i2}) = \frac{1}{2}(10 - 10) = 0$
- (2) $V_d = V_{i1} - V_{i2} = 10 - (-10) = 20 \mu \text{V}$
- (3) $V_o = A_d V_d \left(1 + \frac{1}{\text{CMRR}} \frac{V_c}{V_d}\right) = (1000) \times (20 \mu \text{V}) \times \left(1 + \frac{1}{1000} \frac{0}{20}\right) = 20 \text{ mV}$
7. (1) $\text{CMRR} = \left| \frac{A_d}{A_c} \right| = \left| \frac{200}{0.2} \right| = 10^3$
- (2) $20 \log \text{CMRR} = 20 \log 10^3 = 60 \text{ dB}$
8. $\text{CMRR} = \left| \frac{A_d}{A_c} \right|$ 愈大，則共模增益愈小，表示其抵消雜訊的能力愈強。
9. CMRR 愈大，表示其消除雜訊的能力愈佳。
10. 理想差動放大器的 $A_c = 0$ ， $A_d = \infty$ 。

》》理論重點 3 差動放大器之定電流源 p.10-25

1. (1) $I_{in} = \frac{10 - 0.7}{9.3 \text{ k}} = 1 \text{ mA}$
- (2) $I = \frac{\beta}{\beta + 2} I_{in} \approx I_{in} = 1 \text{ mA}$
2. (1) $I_{in} = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R + R} = \frac{12 - 0.7}{10 \text{ k} + 10 \text{ k}} = 0.565 \text{ mA}$
- (2) $I_C = \frac{\beta}{\beta + 2} I_{in} = \frac{50}{50 + 2} \times 0.565 \text{ mA} = 0.543 \text{ mA}$
3. (1) $I \approx I_{C2} = 1 \text{ mA}$
- (2) $R = \frac{V_{CC} - V_{BE1}}{I} = \frac{30 - 0.7}{1 \text{ mA}} = 29.3 \text{ k}\Omega$

10-4 反相放大器

理論重點 1 基本特性 p.10-29

$$1. V_o = -\frac{R_2}{R_1}V_i = -\frac{100}{10} \times 10\text{mV} = -100\text{mV}$$

$$2. V_o = -\frac{R_2}{R_1}V_i = -\frac{10}{2} \times 1 = -5\text{V}$$

$$3. V_1 \frac{R_2}{R_1 + R_2} + V_o \frac{R_1}{R_1 + R_2} = 0 \Rightarrow \frac{V_o}{V_i} = -\frac{R_2}{R_1}$$

4. (1) OPA 虛接：

$$V_{(+)} = V_{(-)}, I_{(+)} = I_{(-)} = 0$$

$$\text{則 } V_{(+)} = V_{(-)} = I_{(+)}R_3 = 0 \times 9\text{k}\Omega = 0$$

$$(2) \text{ 因 } i_i = \frac{v_i - V_{(-)}}{R_1} = \frac{v_i - 0}{R_1} = \frac{v_i}{R_1}, \text{ 故 } R_i = \frac{v_i}{i_i} = R_1 = 10\text{ k}\Omega$$

$$5. (1) A_v = \left| \frac{v_o}{v_i} \right| = \frac{5}{1} = 5$$

$$(2) A_v = -\frac{R_2}{R_1}$$

因此(A)(C)(D)皆可達成，但(C)之電阻值太小會有負載效應，而(D)之電阻值太大會產生非線性失真。

$$6. (1) A_{v1} = -\frac{R_2}{R_1} = -\frac{5\text{k}}{1\text{k}} = -5$$

$$(2) A_{v2} = -\frac{R_4}{R_3} = -\frac{10\text{k}}{1\text{k}} = -10$$

$$(3) A_v = A_{v1} \times A_{v2} = (-5) \times (-10) = 50$$

理論重點 2 應用電路 p.10-32

$$1. (1) I_2 = \frac{V_Z}{R_2} = \frac{6}{4\text{k}} = 1.5\text{ mA}$$

$$(2) I_f = I_2 = 1.5\text{ mA}$$

$$2. (1) I_2 = \frac{V_Z}{R_2} = \frac{6}{300} = 20\text{ mA}$$

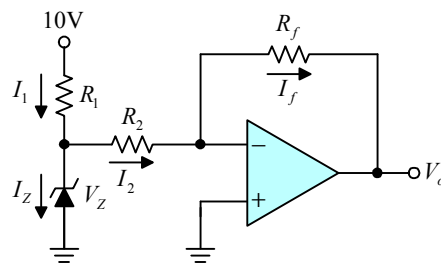
$$(2) I = I_2 = 20\text{ mA}$$

$$3. (1) I_{300\Omega} = \frac{6}{300} = 20\text{ mA}$$

$$(2) I_{330\Omega} = \frac{18-6}{330} = 36.36\text{ mA}$$

$$(3) I_Z = I_{330\Omega} - I_{300\Omega} = 16.36\text{ mA}$$

$$4. I_L = I_{300\Omega} = 20\text{ mA}$$



$$5. I = \frac{V_Z}{5k} = \frac{5}{5k} = 1 \text{ mA}$$

10-5 非反相放大器

》》理論重點 1 基本特性 p.10-36

$$1. (1) V_{(+)} = V_{in} \frac{2R}{R+2R} = \frac{2}{3} V_{in}$$

$$(2) V_{out} = V_{(+)} \left(1 + \frac{2R}{R}\right) = 3V_{(+)} = 3 \times \frac{2}{3} V_{in} = 2V_{in}$$

$$(3) \frac{V_{out}}{V_{in}} = 2$$

$$2. (1) A_{v1} = 1 + \frac{R_2}{R_1} = 1 + \frac{50k}{10k} = 6$$

$$(2) A_{v2} = -\frac{R_4}{R_3} = -\frac{50k}{10k} = -5$$

$$(3) A_v = A_{v1} \times A_{v2} = 6 \times (-5) = -30$$

$$3. A_v = 1 + \frac{R_2}{R_1} = 1 + \frac{12k}{3k} = 5$$

$$4. (1) A_v = 1 + \frac{R_2}{R_1} = 1 + \frac{20k}{20k} = 2$$

$$(2) V_o = A_v \times V_i = 2 \times 2 = 4 \text{ V}$$

$$5. (1) A_v = 1 + \frac{R_2}{R_1} = 1 + \frac{99k}{1k} = 100$$

$$(2) V_o = A_v \times V_i = 100 \times 10 \text{ mV} = 1 \text{ V}$$

$$6. A_v = 1 + \frac{R_f}{R_1} = 1 + \frac{11k}{1k} = 12$$

$$7. (1) V_{(+)} = V_{(-)} = V_i$$

$$(2) V_i = \frac{R_1}{R_1 + R_2} V_o \Rightarrow \frac{V_o}{V_i} = \frac{R_1 + R_2}{R_1}$$

$$8. V_o = I(R_1 + R_2) = 0.1 \text{ mA} \times (10 \text{ k}\Omega + 90 \text{ k}\Omega) = 10 \text{ V}$$

$$9. V_i = IR_1 = 0.1 \text{ mA} \times 10 \text{ k}\Omega = 1 \text{ V}$$

$$10. (1) f_L = \frac{1}{2\pi RC} = \frac{0.159}{20 \text{ k}\Omega \times 10 \mu\text{F}} \doteq 0.8 \text{ Hz}$$

$$(2) f_i = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{6280}{2\pi} = 1000 \text{ Hz}$$

因 $f_i \gg f_L$ ，故電容可視為短路。

$$(3) \text{ 因 } A_v = \frac{v_o}{v_i} = 1 + \frac{R_2}{R_1} = 1 + \frac{100 \text{ k}\Omega}{20 \text{ k}\Omega} = 6, \text{ 故 } v_o = v_i A_v = 6 \sin(6280t) \text{ V}$$

11. (1) $X_C = \frac{1}{2\pi fC}$ ，對直流而言， $f = 0$ ，故 $X_C = \infty$ ，電容視為開路。

(2) $\frac{v_o}{v_i} = 1 + \frac{R_2}{\infty} = 1$

$v_o = v_i = 1 \text{ V}$

12. (1) $R_1 = \frac{V_i}{I} = \frac{1}{0.2\text{mA}} = 5 \text{ k}\Omega$

(2) $R_2 = \frac{V_o - V_i}{I} = \frac{(5-1)\text{V}}{0.2\text{mA}} = \frac{4\text{V}}{0.2\text{mA}} = 20 \text{ k}\Omega$

13. $I = \frac{V_i}{R_1}$ ，與 R_2 無關。

》》》理論重點 2 電壓隨耦器 p.10-39

1. $V_o = V_i = 10 \text{ V}$

2. (1) 第一級為隨耦器，第二級為反相放大器，第三級為非反相放大器。

(2) $A_{v1} = 1$ ， $A_{v2} = -\frac{20\text{k}}{10\text{k}} = -2$ ， $A_{v3} = 1 + \frac{20\text{k}}{20\text{k}} = 2$

$A_v = A_{v1} \times A_{v2} \times A_{v3} = 1 \times (-2) \times 2 = -4$

(3) $V_o = A_v \times V_i = (-4) \times 1 = -4 \text{ V}$

3. (1) (A)(B)(C)三圖皆為隨耦器，且 $v_o = v_i$ 。

(2) (D)圖之 v_i 已短路，故 $v_o = 0$ 。

10-6 加法器

》》》理論重點 1 反相加法器 p.10-45

1. $V_o = -\left(\frac{1\text{M}}{500\text{k}} \times 0.2\text{V} + \frac{1\text{M}}{500\text{k}} \times 1\text{V} + \frac{1\text{M}}{1\text{M}} \times 1\text{V}\right)$
 $= -(0.4\text{V} + 2\text{V} + 1\text{V}) = -3.4 \text{ V}$

2. $V_o = -\left(\frac{5\text{k}}{1\text{k}} \times V_1 + \frac{5\text{k}}{2\text{k}} \times V_2 + \frac{5\text{k}}{5\text{k}} \times V_3 + \frac{5\text{k}}{10\text{k}} \times V_4\right)$
 $= -(5 \times 1\text{V} + 2.5 \times 2\text{V} + 1 \times 3\text{V} + 0.5 \times 4\text{V})$
 $= -(5\text{V} + 5\text{V} + 3\text{V} + 2\text{V}) = -15 \text{ V}$

3. $V_o = -\left(\frac{R_f}{R_1} V_1 + \frac{R_f}{R_2} V_2\right) = -\left[\frac{200\text{k}}{100\text{k}} \times 5\text{V} + \frac{200\text{k}}{100\text{k}} \times (-4\text{V})\right] = -2 \text{ V}$

4. $V_o = -\left(\frac{50\text{k}}{20\text{k}} \times 2\text{V} + \frac{50\text{k}}{10\text{k}} \times 1\text{V}\right) = -(5\text{V} + 5\text{V}) = -10 \text{ V}$

5. $V_o = -\left(\frac{6\text{k}}{1\text{k}} \times 1\text{V} + \frac{6\text{k}}{2\text{k}} \times 2\text{V} + \frac{6\text{k}}{3\text{k}} \times 3\text{V}\right) = -(6\text{V} + 6\text{V} + 6\text{V}) = -18 \text{ V}$

6. $V_o = -\left(\frac{10\text{k}}{2\text{k}} \times V_1 + \frac{10\text{k}}{5\text{k}} \times V_2\right) = -(5 \times 1\text{V} + 2 \times 2\text{V}) = -9 \text{ V}$

$$7. V_o = -\left(\frac{R}{R}V_a + \frac{R}{R}V_b\right) = -V_a - V_b$$

$$8. V_o = -\left(\frac{10k}{5k} \times 3V + \frac{10k}{2k} \times 2V\right) = -(6V + 10V) = -16V$$

因 $-16V < -10V$ ，輸出已飽和，故 $V_o = -10V$

$$9. (1) v_2 = V_m \sin(\omega t) = \sin\left(\frac{2\pi}{T}t\right) = \sin\left(\frac{2\pi}{1ms}t\right) = \sin(6280t) V$$

$$(2) v_o = -\frac{100k\Omega}{10k\Omega}v_1 - \frac{100k\Omega}{50k\Omega}v_2 = -10v_1 - 2v_2 = -10v_1 - 2\sin(6280t)$$

$$(3) \text{觀察圖(9b)，可知 } -10v_1 = 1，\text{故 } v_1 = \frac{-1}{10} = -0.1V \text{（直流電壓）}$$

$$10. (1) V_o = -\frac{R_3}{R_1}V_1 - \frac{R_3}{R_2}V_2 = -\frac{R_3}{R_1} + 2 \times \frac{R_3}{R_2}$$

$$\text{若 } R_1 = 10k\Omega，R_2 = 20k\Omega，\text{則 } V_o = -\frac{R_3}{10} + 2 \times \frac{R_3}{20} = 0$$

V_o 不隨 R_3 改變而改變。

$$(2) \text{因 } V_o = -\frac{R_3}{R_1} + 2 \times \frac{R_3}{R_2}，\text{則 } V_o \text{ 隨 } R_1 \text{ 增加而增加。}$$

$$(3) \text{因 } V_o = -\frac{R_3}{R_1} + 2 \times \frac{R_3}{R_2}，\text{則 } V_o \text{ 隨 } R_2 \text{ 增加而減少。}$$

》》理論重點 2 非反相加法器 p.10-49

$$1. (1) V_+ = \frac{\frac{1}{10k} + \frac{-2}{20k}}{\frac{1}{10k} + \frac{1}{20k} + \frac{1}{20k}} = 0$$

$$(2) V_o = V_+(1 + \frac{20k}{10k}) = 0$$

$$2. (1) V_+ = \frac{\frac{V_1}{50k} + \frac{V_2}{100k}}{\frac{1}{50k} + \frac{1}{100k} + \frac{1}{100k}} = \frac{2V_1 + V_2}{2 + 1 + 1} = 0.5V_1 + 0.25V_2$$

$$(2) V_o = V_+(1 + \frac{60k}{20k}) = 2V_1 + V_2 = 2 + 2\sin\omega t$$

10-7 減法器

》》理論重點 1 減法器 p.10-53

$$1. V_o = (10V)\left(-\frac{1k}{1k}\right) + (10V)\left(\frac{1k}{1k+4k}\right)\left(1 + \frac{1k}{1k}\right) = -10V + 4V = -6V$$

2. (1) 令 $V_2 = 0$ ，則

$$\begin{aligned} V_{o1} &= -\left(\frac{12\text{k}}{6\text{k}} \times 0 + \frac{12\text{k}}{3\text{k}} \times V_1\right) \\ &= -4V_1 \end{aligned}$$

- (2) 令 $V_1 = 0$ ，則

$$\begin{aligned} V_{o2} &= V_2 \left(\frac{2\text{k}}{2\text{k} + 2\text{k}}\right) \left(1 + \frac{12\text{k}}{6\text{k} // 3\text{k}}\right) \\ &= V_2 \left(\frac{1}{2}\right) (7) \\ &= 3.5V_2 \end{aligned}$$

- (3) $V_o = V_{o1} + V_{o2} = -4V_1 + 3.5V_2$

3. $\frac{R_2}{R_1} = \frac{400\text{k}}{2\text{k}} = 200$

4. 依重疊定理，得知

$$V_o = -\frac{R_2}{R_1} V_s + (-V_{os}) \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) = -\frac{R_2}{R_1} V_s - V_{os} \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right)$$

5. (1) 理想電流源之內阻為無限大。

(2) $V_o = -1\text{A} \times 10\Omega + 5\text{V} \left(1 + \frac{10}{\infty}\right) = -10\text{V} + 5\text{V} = -5\text{V}$

6. $V_o = \left(\frac{60\text{k}}{15\text{k}}\right)(1 - 2) = -4\text{V}$

7. $V_o = (3) \left(-\frac{2\text{k}}{1\text{k}}\right) + (2) \left(\frac{1\text{k}}{1\text{k} + 1\text{k}}\right) \left(1 + \frac{2\text{k}}{1\text{k}}\right) = -6\text{V} + 3\text{V} = -3\text{V}$

8. 因 $\frac{R_f}{R_1} = \frac{R_3}{R_2}$ ，則 $V_o = \frac{R_3}{R_2} (V_2 - V_1) = \frac{5}{5} (3 - 2) = 1\text{V}$

9. $V_o = V_1 \left(-\frac{R_f}{R_1}\right) + V_2 \left(\frac{R_3}{R_2 + R_3}\right) \left(1 + \frac{R_f}{R_1}\right) = (8) \left(-\frac{200\text{k}}{100\text{k}}\right) + (16) \left(\frac{100\text{k}}{200\text{k} + 100\text{k}}\right) \left(1 + \frac{200\text{k}}{100\text{k}}\right) = -16\text{V} + 16\text{V} = 0\text{V}$

10. 因 $\frac{10\text{k}}{10\text{k}} = \frac{10\text{k}}{10\text{k}}$ ，則 $V_o = \frac{10\text{k}}{10\text{k}} (V_2 - V_1) = 4 - 2 = 2\text{V}$

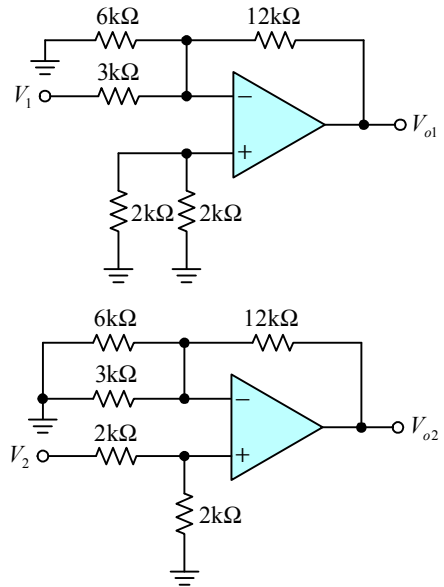
11. 因 $\frac{R_2}{R_1} = \frac{R_4}{R_3}$ ，則 $V_o = \frac{R_2}{R_1} (V_2 - V_1) = \frac{100}{1} [1\text{m} - (-1\text{m})] = 0.2\text{V}$

12. 因 $\frac{47\text{k}}{47\text{k}} = \frac{10\text{k}}{10\text{k}}$ ，則 $V_o = \frac{47\text{k}}{47\text{k}} (V_2 - V_1) = 2 - 3 = -1\text{V}$

13. (1) $V_{(+)} = V_{(-)} = V_A = 2\text{V}$ ， $V_o = V_B = 4\text{V}$

(2) $\frac{V_1 - V_A}{R_1} = \frac{V_A - V_o}{R_2}$ ，故 $R_2 = \frac{V_A - V_o}{V_1 - V_A} R_1 = \frac{(2 - 4)\text{V}}{(1 - 2)\text{V}} \times 10\text{k}\Omega = 20\text{k}\Omega$

(3) $\frac{V_2 - V_A}{R_3} = \frac{V_A}{R_4}$ ，故 $R_4 = \frac{V_A}{V_2 - V_A} R_3 = \frac{2\text{V}}{(3 - 2)\text{V}} \times 10\text{k}\Omega = 20\text{k}\Omega$



$$14. V_o = (V_2 - V_1) \frac{R_2}{R_1} = [1 - (-1)]V \times \left(\frac{100k\Omega}{20k\Omega}\right) = 10V$$

$$15. (1) V_{o1} = \frac{-R_2}{R_1} V_1 = -\frac{100k\Omega}{20k\Omega} \times (-1)V = 5V$$

$$(2) V_{o2} = V_2 \frac{R_4}{R_3 + R_4} \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) = 1V \times \frac{\infty}{R_3 + \infty} \times \left(1 + \frac{100k\Omega}{20k\Omega}\right) = 6V$$

$$(3) V_o = V_{o1} + V_{o2} = 5 + 6 = 11V$$

10-8 微分器

》》理論重點 1 一般型微分器 p.10-59

1. (1) 方波 $\xrightarrow{\text{微分}}$ 脈波。

(2) 圖(A)為 RC 微分器輸出波形，經運算放大器反相放大後，相差 180°，輸出波形為圖(D)。

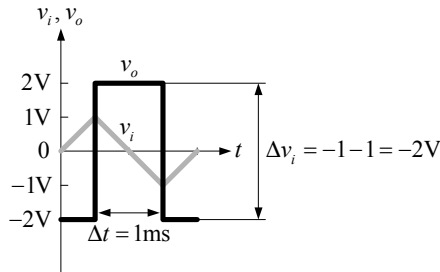
2. (1) 方波 $\xrightarrow{\text{微分}}$ 脈波

(2) 三角波 $\xrightarrow{\text{微分}}$ 方波

(3) 正弦波 $\xrightarrow{\text{微分}}$ 餘弦波

3. 同題 2 說明。

$$4. (1) T = \frac{1}{f} = \frac{1}{500} = 2\text{ms}, \Delta t = \frac{T}{2} = \frac{2\text{ms}}{2} = 1\text{ms}$$



$$(2) v_o = -RC \frac{\Delta v_i}{\Delta t} = -1k\Omega \times 1\mu F \times \frac{-2V}{1\text{ms}} = +2V$$

$$5. v_o = -RC \frac{dv_i}{dt} = -1k\Omega \times 1\mu F \times \frac{d(\sin(1000t)V)}{dt}$$

$$= -1\text{ms} \times 1000 \cos(1000t)V = -\cos(1000t)V$$

6. $v_o = -RC \frac{dv_i}{dt}$ ，C 減少則 v_o 振幅會減少
 v_o 振幅與 C 成正比。

7. 微分電路。

8. (1) 方波 $\xrightarrow{\text{微分}}$ 脈波

(2) 三角波 $\xrightarrow{\text{微分}}$ 方波

(3) 正弦波 $\xrightarrow{\text{微分}}$ 餘弦波

理論重點 2 改良型微分器 p.10-62

$$1. (1) f = \frac{1}{2\pi R_1 C} = \frac{1}{2\pi \times 1\text{k}\Omega \times 1\mu\text{F}} = 159 \text{ Hz}$$

$$f_i = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{62800}{2\pi} = 10 \text{ kHz}$$

(2) 因 $f_i \gg f$ ，故 $Z = R_1 - jX_C \approx R_1$ ，電路如同反相放大器。

$$v_o = -\frac{R_2}{R_1} v_i = -\frac{1\text{k}\Omega}{1\text{k}\Omega} \times 0.5 \sin(62800t) = -0.5 \sin(62800t) = 0.5 \sin(62800 + 180^\circ) \text{ V}$$

10-9 積分器

理論重點 1 一般型積分器 p.10-67

1. $V_o = -\frac{1}{RC} \int V_i dt$ ，若 V_i 為直流電壓，且電容電流為線性 ($i_C = i_R = \frac{V_i}{R}$)，故

(1) $V_i > 0$ ，則 V_o 以直線方式減少。

(2) $V_i < 0$ ，則 V_o 以直線方式增加。

$$2. (1) \Delta V_o = -\frac{1}{RC} V_i \Delta t = -\frac{1}{(1)(1)} (2\text{V})(20\text{sec}) = -40 \text{ V}$$

(2) 因輸出已飽和，故 $V_o = -V_{CC} = -10 \text{ V}$

$$3. V_o = -\frac{1}{RC} V_i dt = -\frac{1}{(100\text{M})(1\mu)} \int 3770 \sin 377t dt$$

$$= -\frac{3770}{377} (-\cos 377t) = 10 \cos 377t$$

$$4. i_C = C \frac{dV_C(t)}{dt} = -C \frac{dV_o(t)}{dt}$$

$$5. (1) \Delta V_o = -\frac{1}{RC} V_i \Delta t = -\frac{1}{(1\text{M})(1\mu)} (1)(2) = -2 \text{ V}$$

$$(2) V_o = V_{C(0)} + \Delta V_o = -1 - 2 = -3 \text{ V}$$

$$6. (1) V_o = V_{C(0)} + \Delta V_o \leq -V_{sat}，則 \Delta V_o \leq -V_{sat} - V_{C(0)} = -12 - (-1) = -11 \text{ V}$$

$$(2) \Delta V_o = -11 = -\frac{1}{RC} V_i \Delta t = -\frac{1}{(1\text{M})(1\mu)} (1) \Delta t，則 \Delta t = 11 \text{ 秒}$$

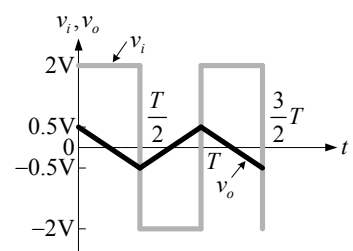
$$7. (1) \Delta t = \frac{T}{2} = \frac{1}{2f} = \frac{1}{2 \times 1\text{kHz}} = 0.5 \text{ ms}$$

$$(2) \Delta v_o = -\frac{1}{RC} v_i \Delta t$$

$$(3) 當 v_i = 2 \text{ V 時，} \Delta t = \frac{T}{2} = 0.5 \text{ ms}$$

$$\Delta v_o = -\frac{1}{1\text{k}\Omega \times 1\mu\text{F}} \times 2\text{V} \times 0.5\text{ms} = -1 \text{ V}$$

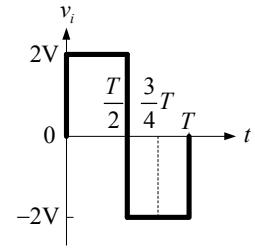
$$v_o = v_o(0) + \Delta v_o = 0.5 - 1 = -0.5 \text{ V}$$



(4) 當 $v_i = -2\text{ V}$ 時, $\Delta t = T - \frac{T}{2} = \frac{T}{2} = 0.5\text{ ms}$

$$\Delta v_o = -\frac{1}{1\text{k}\Omega \times 1\mu\text{F}} \times (-2\text{V}) \times 0.5\text{ms} = +1\text{ V}$$

$$v_o = v_o\left(\frac{T}{2}\right) + \Delta v_o = -0.5 + 1 = 0.5\text{ V}$$



8. (1) $T = \frac{1}{f} = \frac{1}{1\text{kHz}} = 1\text{ ms}$

(2) 當 $t = \frac{3}{4}T = \frac{3}{4} \times 1\text{ms} = 0.75\text{ ms}$ 時 :

$$v_i = -2\text{ V}$$

$$\Delta t = \frac{3}{4}T - \frac{T}{2} = \frac{T}{4} = 0.25\text{ ms}$$

$$\Delta v_o = -\frac{1}{RC} v_i \Delta t = -\frac{1}{1\text{k}\Omega \times 1\mu\text{F}} \times (-2\text{V}) \times 0.25\text{ms} = 0.5\text{ V}$$

$$v_o = v_o\left(\frac{T}{2}\right) + \Delta v_o = -0.5 + 0.5 = 0$$

9. (1) 方波 $\xrightarrow{\text{積分}}$ 三角波
 正弦波 $\xrightarrow{\text{積分}}$ 餘弦波
 脈波 $\xrightarrow{\text{積分}}$ 方波

- (2) 輸出波形相角領先輸入波形 90°

$$\text{因 } V_o = -\frac{1}{RC} \int V_i dt$$

$$\theta = -180^\circ + \tan^{-1} \angle \frac{-X_C}{R}$$

若 $X_C \gg R$, 則 $\theta = -180^\circ - 90^\circ = -270^\circ$ 或 $+90^\circ$ 。

10. (1) $\Delta V_o = -\frac{1}{RC} V_i \Delta t = -\frac{1}{(5\text{k})(100\mu)} (1)(1) = -2\text{ V}$

(2) $V_o = V_{C(0)} + \Delta V_o = 0 - 2 = -2\text{ V}$

》》》 理論重點 2 改良型積分器 p.10-70

1. (1) $Z_2 = R_p // (-jX_C)$

(2) 當 $R_p \gg -jX_C$, 則 $Z_2 \doteq -jX_C$, $V_o = -\frac{1}{RC} \int V_i dt$

(3) 當 $R_p \ll -jX_C$, 則 $Z_2 \doteq R_p$, $V_o = -\frac{R_p}{R} V_i$

2. 積分電路似低通電路。

3. (1) $f_H = \frac{1}{2\pi R_2 C} = \frac{1}{2\pi \times 10\text{k}\Omega \times 0.01\mu\text{F}} = 1590\text{ Hz}$

$$(2) f = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{628}{2\pi} = 100 \text{ Hz}$$

因 $f \ll f_H$ ，故 $Z_2 = R_2 // (-jX_C) \approx R_2$ ，電路如同反相放大器

$$v_o = -\frac{R_2}{R_1}v_i = -\frac{10\text{k}\Omega}{1\text{k}\Omega} \times 0.5\sin(628t)\text{V} = -5\sin(628t)\text{V}$$

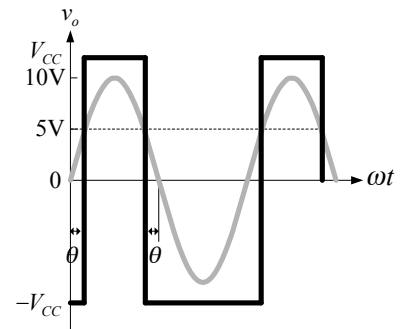
10-10 比較器

理 論 重 點 1 基本比較器 p.10-73

1. $V_1 = 0$ 且 $V_2 = V_{CC} \sin \omega t$ 時， V_o 為方波

$$(1) \frac{\sin \theta}{\sin 90^\circ} = \frac{V_2}{V_m} = \frac{5}{10}, \text{ 則 } \theta = 30^\circ$$

$$(2) \text{ 工作週期} = \frac{180^\circ - 2\theta}{360^\circ} \times 100\% = \frac{120^\circ}{360^\circ} \times 100\% = 33.3\%$$



理 論 重 點 2 零位比較器 p.10-75

1. (1) $V_{in} < 0$ ，即 $V_{(-)} < V_{(+)}$ ，則 $V_o = +V_{sat} = +5\text{V}$

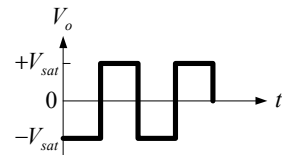
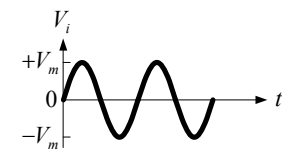
(2) $V_{in} > 0$ ，即 $V_{(-)} > V_{(+)}$ ，則 $V_o = -V_{sat} = -5\text{V}$

2. 此電路為零位比較器，且

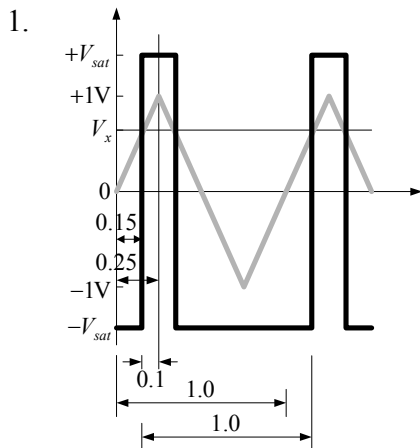
(1) $V_{in} > 0$ ，即 $V_{(-)} > V_{(+)}$ 時， $V_o = -V_{sat}$

(2) $V_{in} < 0$ ，即 $V_{(-)} < V_{(+)}$ 時， $V_o = +V_{sat}$

(3) 輸出為對稱方波



理 論 重 點 3 正電位比較器 p.10-78

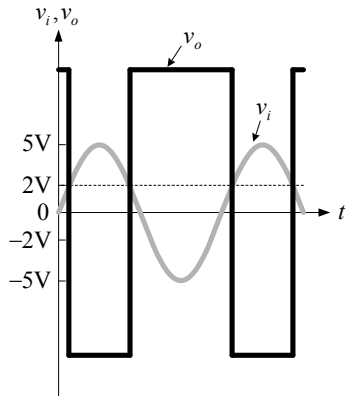


2. (1) $V_{(+)} = V_Z = 6\text{V}$

$$V_{(-)} = 15\text{V} \frac{R_3}{R_1 + R_3} = 15\text{V} \frac{10\text{k}}{5\text{k} + 10\text{k}} = 10\text{V}$$

(2) 因 $V_{(+)} < V_{(-)}$ ，故 $V_o = -V_{sat} = -0.9V_{CC} = -0.9 \times 15 = -13.5\text{V}$

3. 如下圖所示。



4. (1) $v_i > V_R$ ，即 $V_{(+)} > V_{(-)}$ 時： $v_o = +V_{sat} = +10\text{ V}$

(2) $v_i < V_R$ ，即 $V_{(+)} < V_{(-)}$ 時： $v_o = -V_{sat} = -10\text{ V}$

5. (1) $V_{(-)} = (15\text{V}) \frac{10\text{k}}{10\text{k} + 10\text{k}} = 7.5\text{ V}$

$$V_{(+)} = (15\text{V}) \frac{3.3\text{k}}{4.7\text{k} + 3.3\text{k}} = 6.1875\text{ V}$$

(2) 因此 $V_{(+)} < V_{(-)}$ ，故 $V_o = -V_{sat} = -15\text{ V}$ ，則 LED₁ 暗，LED₂ 亮。

》》理論重點 4 負電位比較器 p.10-31

1. (1) 因 $f = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{6280}{2\pi} = 1000\text{ Hz}$ ，則

$$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{1000} = 1\text{ ms}$$

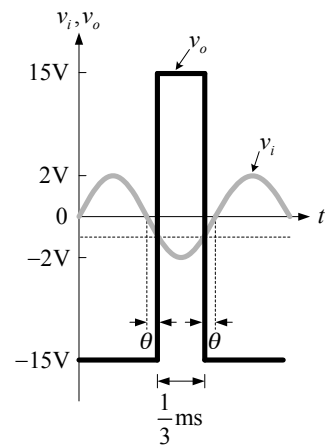
如右圖所示。

(2) 由 $\frac{\frac{1}{3}\text{ms}}{1\text{ms}} = \frac{180^\circ - 2\theta}{360^\circ}$ ，得 $\theta = 30^\circ$

(3) 由 $\frac{-2}{\sin 90^\circ} = \frac{V_R}{\sin 30^\circ}$ ，得 $V_R = -1\text{ V}$

2. (1) 由 $\frac{-2}{\sin 90^\circ} = \frac{-1}{\sin \theta}$ ，得 $\theta = 30^\circ$

(2) 工作週期 = $\frac{180^\circ + 2\theta}{360^\circ} \times 100\% = \frac{180^\circ + 60^\circ}{360^\circ} \times 100\% = 66.6\%$



》》理論重點 5 臨界電位比較器 p.10-34

1. (1) $V_{(+)} = V_1 \frac{R_2}{R_1 + R_2} + V_2 \frac{R_1}{R_1 + R_2} = \frac{V_1}{2} + \frac{V_2}{2}$

$$V_{(-)} = 0$$

(2) 若 $V_{(+)} > V_{(-)}$ ，即 $V_1 > -V_2$ 時， $V_o = 9\text{ V}$

若 $V_{(+)} < V_{(-)}$ ，即 $V_1 < -V_2$ 時， $V_o = -9\text{ V}$

- (3) 若 $V_2 > 0$ ，則 V_o 為大於 50% 之脈波
- (4) 若 $V_2 < 0$ ，則 V_o 為小於 50% 之脈波
- (5) 若 $V_2 = 0$ 時， V_o 為方波

》》理論重點 6 窗型比較器 p.10-86

1. (1) $V_{in} > 8V$ 時， $V_{o1} = +V_{sat} = 12V$ ， $V_{o2} = -V_{sat} = 0$ ， D_1 on， D_2 off，LED 亮
- (2) $V_{in} < 4V$ 時， $V_{o1} = -V_{sat} = 0$ ， $V_{o2} = +V_{sat} = 12V$ ， D_1 off， D_2 on，LED 亮
- (3) $4V < V_{in} < 8V$ 時， $V_{o1} = V_{o2} = -V_{sat} = 0$ ， D_1 、 D_2 off，LED 不亮

10-11 其他 OPA 應用電路

》》理論重點 1 OPA 應用電路介紹 p.10-88

1. (1) 隨耦器： $V_o = V_C$
- (2) 當 $V_i > V_o$ 時， D 導通，電容充電。
- (3) 當 $V_i < V_o$ 時， D 截止，因 OPA 內阻無限大，電容無法放電，使電容兩端電壓永遠保持在輸入信號的正峰值電壓。
2. (1) OPA1 及 OPA2 為儀表放大器，增益 $\frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{10k + 10k + 10k}{10k} = 3$
- (2) OPA3 為減法器，增益 $\frac{V_{out}}{V_{out1}} = \frac{100k}{10k} = 10$
- (3) $\left| \frac{V_{out}}{V_{in}} \right| = 3 \times 10 = 30$

模擬試題詳解

》》》 電子學試題 p.10-119

$$1. (1) V_m = \frac{V_{P-P}}{2} = \frac{20}{2} = 10 \text{ V}$$

$$(2) SR = 2\pi f_{\max} V_m$$

$$\text{即 } f_{\max} = \frac{SR}{2\pi V_m} = \frac{1\text{V}/\mu\text{s}}{2\pi \times 10} \approx 16 \text{ kHz}$$

$$2. (1) SR = \frac{\Delta V_o}{\Delta t}$$

$$(2) \Delta t = \frac{\Delta V_o}{SR} = \frac{10\text{V} - (-10\text{V})}{10\text{V}/\mu\text{s}} = 2 \mu\text{s}$$

3. 增益放大器才能提高電壓增益。

$$4. (1) A_d = -\beta \frac{R_C}{2r_\pi} = -100 \times \frac{10\text{k}}{2 \times 2\text{k}} = -250$$

$$(2) A_c = -\frac{R_C}{2R_E} = -\frac{10\text{k}}{2 \times 10\text{k}} = -0.5$$

$$(3) \text{CMRR} = \frac{A_d}{A_c} = \frac{-250}{-0.5} = 500$$

$$5. (1) A_v = \left| \frac{V_o}{V_i} \right| = \left| -\frac{R_2}{R_1} \right| = \frac{100\text{k}\Omega}{10\text{k}\Omega} = 10$$

$$(2) V_i = \frac{V_o}{A_v} = \frac{\pm 11\text{V}}{10} = \pm 1.1 \text{ V}$$

$$6. V_o = -IR_2 = -0.1\text{mA} \times 100\text{k}\Omega = -10 \text{ V}$$

$$7. I = \frac{V_i - 0}{R_1}, \text{ 則 } V_i = IR_1 = 0.1\text{mA} \times 10\text{k}\Omega = 1 \text{ V}$$

$$8. V_o = V_i \left(1 + \frac{100\text{k}}{R}\right), \text{ 則 } 12 = 2 \left(1 + \frac{100\text{k}}{R}\right), R = 20 \text{ k}\Omega$$

9. 此為隨耦器，故 $V_o = V_{(-)} = V_{(+)} = V_z = 5 \text{ V}$

$$10. V_o = (1\text{V})\left(-\frac{100\text{k}}{50\text{k}}\right) + (2\text{V})\left(-\frac{100\text{k}}{100\text{k}}\right) = -2\text{V} - 2\text{V} = -4 \text{ V}$$

$$11. V_o = (2\text{V})\left(-\frac{100\text{k}}{R}\right) + (-1\text{V})\left(-\frac{100\text{k}}{20\text{k}}\right) = 1 \text{ V}, \text{ 則 } \frac{100\text{k}}{R} = 2, R = 50 \text{ k}\Omega$$

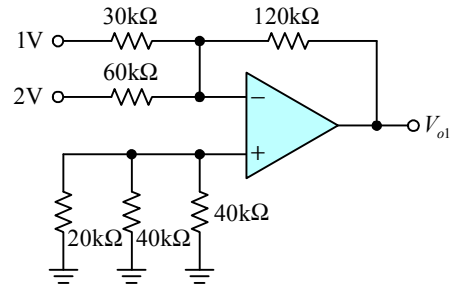
$$12. V_o = (-5)\left(-\frac{1\text{k}}{2\text{k}}\right) + (-5)\left(-\frac{1\text{k}}{4\text{k}}\right) = 3.75 \text{ V}$$

$$13. V_o = (1\text{V})\left(-\frac{100\text{k}}{10\text{k}}\right) + (2\text{V})\left(\frac{10\text{k}}{10\text{k} + 10\text{k}}\right)\left(1 + \frac{100\text{k}}{10\text{k}}\right) = -10\text{V} + 11\text{V} = 1 \text{ V}$$

14. 依重疊定理

(1) 令非反相輸入端電壓為 0，則

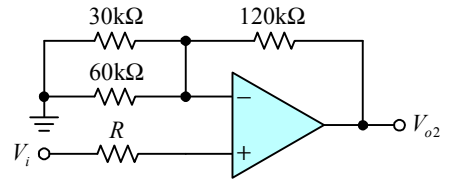
$$\begin{aligned} V_{o1} &= (1V)\left(-\frac{120k}{30k}\right) + (2V)\left(-\frac{120k}{60k}\right) \\ &= -4V - 4V \\ &= -8V \end{aligned}$$



(2) 令反相輸入端電壓為 0，則

$$\textcircled{1} V_i = \frac{\frac{1}{20k} + \frac{2}{40k} + \frac{0}{40k}}{\frac{1}{20k} + \frac{1}{40k} + \frac{1}{40k}} = \frac{2+2+0}{2+1+1} = 1V$$

$$\begin{aligned} \textcircled{2} V_{o2} &= V_i\left(1 + \frac{120k}{30k//60k}\right) \\ &= (1V)(1+6) \\ &= 7V \end{aligned}$$



(3) $V_o = V_{o1} + V_{o2} = -8V + 7V = -1V$

$$15. \left| \frac{V_o}{V_i} \right| = A_1 \times A_2 = \frac{50k + 10k + 50k}{10k} \times \frac{20k}{10k} = 11 \times 2 = 22$$

16. 當 $X_c > R_1$ 時，電路為微分器，則 $\Rightarrow \frac{1}{2\pi fC} > R_1 \Rightarrow f < \frac{1}{2\pi R_1 C}$

17. 方波 $\xrightarrow{\text{微分}}$ 脈波
 方波 $\xrightarrow{\text{積分}}$ 三角波

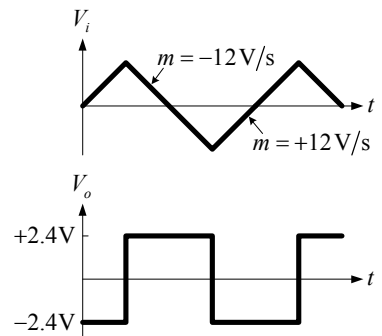
$$18. V_o = -RC \frac{\Delta V_i}{\Delta t} = -(1M)(0.2\mu)(12) = -2.4V$$

19. 對微分電路而言，輸入為方波，則輸出為脈波

$$V_{out} = -RC \frac{\Delta V_{in}}{\Delta t}$$

$$20. V_o = -\frac{1}{RC} \int_0^T V_i dt = -\frac{1}{RC} \left[\frac{V_m}{t} \right]_0^T = -\frac{T}{RC} V_m$$

\swarrow 輸出 V_o 隨著 t 成線性增加
 \searrow 輸入 V_i 之最大值



$$21. V_o = -\frac{1}{RC} \int V_i dt = -\frac{1}{(100k)(10\mu)} \int 2 \sin dt = 2 \cos t$$

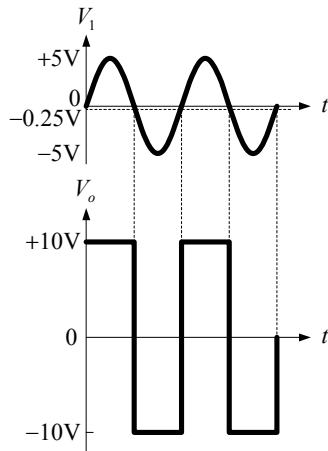
$$22. V_o = -\frac{1}{RC} \int V_i dt, \text{ 則 } \Delta V_o = -\frac{1}{RC} V_i dt = -\frac{1}{(100k)(10\mu)} (5V)(1) = -5V$$

$$23. (1) V_{(+)} = V_1 \frac{R_2}{R_1 + R_2} + V_2 \frac{R_1}{R_1 + R_2} = V_1 \frac{4}{2+4} + (0.5) \frac{2}{2+4} = \frac{2}{3} V_1 + \frac{1}{6}$$

$$V_{(-)} = 0$$

(2) 當 $V_{(+)} > V_{(-)}$ 時， V_o 由 $-V_{sat}$ 轉至 $+V_{sat}$ ，則 $\frac{2}{3} V_1 + \frac{1}{6} > 0$ ，即 $V_1 > -0.25V$ 時，
 $V_o = +V_{sat} = +10V$ 。

- (3) 當 $V_{(+)} < V_{(-)}$ 時， V_o 由 $+V_{sat}$ 轉至 $-V_{sat}$ ，則 $\frac{2}{3}V_1 + \frac{1}{6} < 0$ ，即 $V_1 < -0.25\text{ V}$ 時，
 $V_o = -V_{sat} = -10\text{ V}$ 。
- (4) 輸出為 $\pm 10\text{ V}$ 之脈波。



24. (1) 若 $V_1 = 10\sin\omega t\text{ V}$ 且 $V_2 = 0$ 時， V_o 為方波
 (2) 若 $V_1 = 10\sin\omega t\text{ V}$ 且 $V_2 > 0$ 或 $V_2 < 0$ 時， V_o 為脈波

25. (1) $V_{(+)} = 15 \times \frac{5\text{k}}{10\text{k} + 5\text{k}} = 5\text{ V}$
 (2) $V_{(-)} = V_Z = 6\text{ V}$
 (3) $V_{(+)} < V_{(-)}$ ，故 $V_o = -V_{sat} = -15\text{ V}$

》》》 電子學實習試題 p.10-124

- 輸入抵補電壓最大值為 6 mV 。
- $V_m = \frac{SR}{2\pi f_{\max}} = \frac{0.314\text{ V}/\mu\text{s}}{2\pi \times 10\text{ kHz}} = 5\text{ V}$
- $\Delta t = \frac{\Delta v_o}{SR} = \frac{5\text{ V} - (-5)\text{ V}}{20\text{ V}/\mu\text{s}} = 0.5\ \mu\text{s}$
- (1) $\Delta t = 20\ \mu\text{s}/\text{DIV} \times 1\text{ DIV} = 20\ \mu\text{s}$
 (2) $\Delta v_o = 2\text{ V}/\text{DIV} \times 6\text{ DIV} = 12\text{ V}$
 (3) $SR = \frac{\Delta v_o}{\Delta t} = \frac{12\text{ V}}{20\ \mu\text{s}} = 0.6\text{ V}/\mu\text{s}$
- (1) $A_v = -\frac{R_2}{R_1} = -\frac{100\text{ k}\Omega}{10\text{ k}\Omega} = -10$
 (2) $v_o = A_v v_i = -10 \times 2\sin(6280t) = -20\sin(6280t)\text{ V}$
 (3) 因 $|v_o| > |V_{sat}|$ ，故 v_o 峰對峰值電壓為 $\pm V_{sat} = \pm 10\text{ V}$ 。
- (1) $|v_o| = 1\text{ V}/\text{DIV} \times 2.5\text{ DIV} = 2.5\text{ V}$
 (2) 由 $\frac{v_o}{v_i} = \frac{-2.5}{0.5} = -5$ ，則 $-\frac{R}{10\text{ k}\Omega} = -5$ ，得 $R = 50\text{ k}\Omega$

7. (1) $|v_i| = 1\text{V}/\text{DIV} \times 1\text{DIV} = 1\text{V}$

(2) $|v_o| = 1\text{V}/\text{DIV} \times 2\text{DIV} = 2\text{V}$

(3) 由 $\frac{v_o}{v_i} = -\frac{100\text{k}\Omega}{R} = -\frac{2}{1} = -2$ ，得

$$R = \frac{100\text{k}\Omega}{2} = 50\text{k}\Omega$$

8. (1) $A_v = \left| \frac{v_o}{v_i} \right| = \left| -\frac{R_2}{R_1} \right| = \frac{100\text{k}\Omega}{20\text{k}\Omega} = 5$

(2) $v_i = \frac{v_o}{A_v} = \frac{\pm 10}{5} = \pm 2\text{V}$

9. (1) $G_2 = \frac{100\text{k}\Omega}{10\text{k}\Omega} = 10$

(2) $G_1 BW_1 = G_2 BW_2$ ，則 $10^5 \times 10^1 = 10 \times BW_2$ ，得 $BW_2 = 10^5\text{ Hz}$

10. (1) 對直流電壓而言，電容抗視為開路。

(2) $V_o = 0$

11. (1) $R = \frac{5\text{V}}{0.5\text{mA}} = 10\text{k}\Omega$

(2) $V_o = 5 + 0.5\text{mA} \times 10\text{k}\Omega = 10\text{V}$

12. (1) $I = \frac{2\text{V}}{20\text{k}\Omega} = 0.1\text{mA}$

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

(3) $R = \frac{V_o - V_i}{I} = \frac{(10 - 2)\text{V}}{0.1\text{mA}} = 80\text{k}\Omega$

13. (1) 對直流電壓而言，電容抗視為開路，電路如同隨耦器。

(2) $V_o = V_i = 1\text{V}$

14. (1) $R_1 = \frac{V_i}{I} = \frac{0.5\text{V}}{50\mu\text{A}} = 10\text{k}\Omega$

(2) $R_2 = \frac{V_o - V_i}{I} = \frac{(5.5 - 0.5)\text{V}}{50\mu\text{A}} = 100\text{k}\Omega$

15. (1) 依KCL定律： $\frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2} = I$

(2) 因 $R_1 = 2R_2$ ，則 $\frac{1}{2R_2} + \frac{0.5}{R_2} = 0.1\text{m}$ ， $1 + 1 = 0.1 \times 2R_2 = 0.2R_2$ ，得

$$R_2 = \frac{2}{0.2\text{m}} = 10\text{k}\Omega, R_1 = 2R_2 = 20\text{k}\Omega$$

16. $V_o = -\left(\frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2}\right)R_f$

若 R_1 增加，則 V_o 絕對值減少。

17. (1) $V_B = \frac{V_1}{100\text{k}\Omega}(50\text{k}\Omega + 100\text{k}\Omega) = \frac{1}{100\text{k}\Omega}(150\text{k}\Omega) = 1.5\text{ V}$

(2) 因 $V_o = V_2 = 2 = (V_B - V_A) \times \frac{100\text{k}\Omega}{50\text{k}\Omega}$ ，則 $V_B - V_A = 1$ ，得 $V_A = V_B - 1 = 0.5\text{ V}$

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

$$\Delta t = \frac{T}{2} = \frac{2\text{ms}}{2} = 1\text{ ms}$$

(2) $\Delta v_i = 1 - (-1) = 2\text{ V}$

(3) $v_o = -RC \frac{\Delta v_i}{\Delta t} = -1\text{k}\Omega \times 1\mu\text{F} \times \frac{2\text{V}}{2\text{ms}} = -2\text{ V}$

19. (1) $f_H = \frac{1}{2\pi RC} = \frac{1}{2\pi \times 1\text{k}\Omega \times 0.1\mu\text{F}} = 1590\text{ Hz}$

(2) 因 $f_i = 100\text{Hz} \ll f_H$ ，故電路為反相微分器。

20. (1) 方波積分後產生三角波。

(2) $\Delta v_o = -\frac{1}{RC} v_i \Delta t$ ，電路為反相積分器。

21. (1) $\Delta t = \frac{T}{2} = \frac{1}{2f} = \frac{1}{2 \times 100} = 5\text{ ms}$

(2) $\Delta v_o = -\frac{1}{RC} v_i \Delta t = -\frac{1}{100\text{k}\Omega \times 0.1\mu\text{F}} \times 1\text{V} \times 5\text{ms} = -0.5\text{ V}$

(3) $V_m = |\Delta v_o| = 0.5\text{ V}$

22. (1) $T = \frac{1}{f} = \frac{1}{100} = 10\text{ ms}$

(2) 當 $t = \frac{T}{4} = \frac{10\text{ms}}{4} = 2.5\text{ ms}$ 時， $v_i = 1\text{ V}$ ，則

$$\Delta v_o = -\frac{1}{RC} v_i \Delta t = -\frac{1}{100\text{k}\Omega \times 0.1\mu\text{F}} \times 1\text{V} \times 2.5\text{ms} = -0.25\text{ V}$$

$$v_o = v_o(0) + \Delta v_o = 0 + (-0.25) = -0.25\text{ V}$$

23. (1) $v_i > -1\text{ V}$ ，即 $V_{(+)} > V_{(-)}$ 時： $v_o = +V_{sat} = +10\text{ V}$

(2) $v_i < -1\text{ V}$ ，即 $V_{(+)} < V_{(-)}$ 時： $v_o = -V_{sat} = -10\text{ V}$

24. (1) 觀察圖(18b)可知轉態點電壓 $V_R = -1\text{ V}$ 。

(2) 由 $\frac{-2}{\sin 90^\circ} = \frac{-1}{\sin \theta}$ ，得 $\theta = 30^\circ$

(3) 工作週期 = $\frac{180^\circ - 2\theta}{360^\circ} \times 100\% = \frac{180^\circ - 60^\circ}{360^\circ} \times 100\% = 33.3\%$

25. (1) 當 $v_i > 2\text{ V}$ ， $v_o = +12\text{ V}$ ，則 $V_{(+)} > V_{(-)}$ 。

(2) 當 $v_i < 2\text{ V}$ ， $v_o = -12\text{ V}$ ，則 $V_{(+)} < V_{(-)}$ 。

第 11 章 基本振盪電路應用

立即練習詳解

11-1 振盪原理

》》理論重點 1 振盪器之基本原理與分類 p.11-9

1. 振盪電路具有一正回授網路，能將微小的雜訊，推動放大電路而產生振盪。
2. 若 $\beta A = -1\angle 0^\circ = 1\angle 180^\circ$ ，則 $A_f = \frac{A}{1-1\angle 0^\circ} = \frac{A}{0} = \infty$ ，可產生振盪。

11-2 正弦波產生電路

》》理論重點 1 RC 相移振盪器 p.11-13

1. (1) $T = 0.2\text{ms}/\text{DIV} \times 5\text{DIV} = 1\text{ms}$
 (2) $f = \frac{1}{T} = \frac{1}{1\text{ms}} = 1\text{kHz}$
 (3) 由 $f = \frac{\sqrt{6}}{2\pi RC}$ ，得 $R = \frac{\sqrt{6}}{2\pi fC} = \frac{2.45}{2 \times 3.14 \times 1\text{kHz} \times 0.01\mu\text{F}} \doteq 39\text{k}\Omega$
2. (1) $A = -\frac{R_f}{R_1} = -29$ ， $R_f = 29R_1$
 (2) (A)及(B)選項 A 皆小於 29，而(C)選項 A 大於 29，皆無法產生振盪。

》》理論重點 2 韋恩 (Wien) 電橋振盪器 p.11-16

1. $\frac{R_3}{R_4} = \frac{R_1}{R_2} + \frac{C_2}{C_1}$ ，若 $R = R_1 = R_2$ ， $C = C_1 = C_2$ ，則 $\frac{R_3}{R_4} = 1+1 = 2$ ，即 $R_3 = 2R_4$
2. $\frac{R_1}{R_2} = \frac{R}{R} + \frac{C}{C} = 2$
3. $f = \frac{1}{2\pi\sqrt{R_1R_2C_1C_2}}$ ，若 $R = R_1 = R_2$ ， $C = C_1 = C_2$ ，則 $f = \frac{1}{2\pi RC}$
4. 振盪條件：

$$\beta = \frac{R_4}{R_3 + R_4} = \frac{1}{3}$$
，得 $R_3 = 2R_4$ 。
5. 韋恩電橋振盪器的回授型式包含正回授及負回授兩種電路。

》》理論重點 3 LC 振盪器 p.11-20

2. (1) $C = \frac{C_1C_2}{C_1 + C_2} = 100\text{pF}$
 (2) $f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \doteq \frac{0.16}{\sqrt{(100\mu)(100\text{p})}} = 1.6\text{MHz}$

- 考畢子振盪器的反饋網路由一個電感，二個電容組成。

》》實習重點 4 石英晶體振盪器 p.11-23

- 石英晶體振盪電路為高穩定度及高精確度的振盪電路。
- 壓電效應是指在石英晶體兩極施加機械壓力，則晶體在相對表面產生交流電壓。反之，若在石英晶體的兩極加一電場，晶體就會產生機械變形。
- 石英晶體振盪器為高精準度及高穩定性的振盪器。

11-3 多諧振盪器

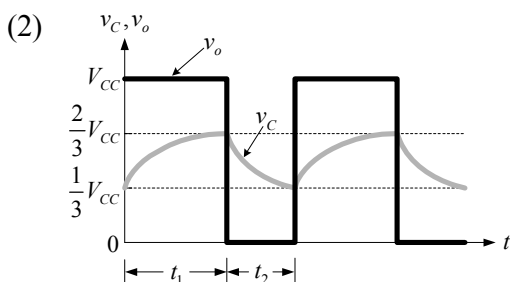
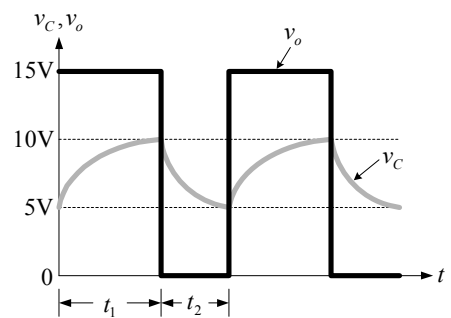
》》理論重點 1 電晶體多諧振盪器 p.11-28

- 多諧振盪器 (multivibrator) 中的放大器工作於截止區或飽和區，輸出產生兩種準位明確的信號，如方波或脈波等之多次諧波。
- V_{C2} 輸出為方波
 - C_1 充電路徑： $V_{CC} \rightarrow R_{C2} \rightarrow C_1 \rightarrow Q_1$ 之 $B-E$
 C_1 放電 (反向充電) 路徑： $V_{CC} \rightarrow R_{B1} \rightarrow C_1 \rightarrow Q_2$ 之 $C-E$
 - C_2 充電路徑： $V_{CC} \rightarrow R_{C1} \rightarrow C_2 \rightarrow Q_2$ 之 $B-E$
 C_2 放電 (反向充電) 路徑： $V_{CC} \rightarrow R_{B2} \rightarrow C_2 \rightarrow Q_1$ 之 $C-E$
 - $\beta R_C \geq R_B$ 時， Q_1 及 Q_2 才能進入飽和區，因此 $\beta \geq \frac{R_B}{R_C} = \frac{100k}{10k} = 10$
- 因 Q_1 及 Q_2 一直導通，故 R_1 、 R_2 、 R_3 、 R_4 無故障。
 - 未振盪是因電路無正回授，其故障原因為 C_1 或 C_2 開路。

》》理論重點 2 555 IC 多諧振盪器 p.11-34

- 一個 RS 正反器。
- 電路為無穩態多諧振盪器。
 - 輸出波形為脈波，其工作週期：

$$\frac{R_A + R_B}{R_A + 2R_B} \times 100\%$$
 - 當 $t_1 \doteq 0.7(R_A + R_B)C$ 時：
 在 t_1 期間的 $v_o = 15V$ ，電容處於充電狀態。
 當 $t_2 \doteq 0.7R_B C$ 時：
 在 t_2 期間的 $v_o = 0$ ，電容處於放電狀態。
- 正反器輸出 $\overline{Q} = 0$ ：電晶體截止。
 正反器輸出 $\overline{Q} = 1$ ：電晶體導通。



- t_1 期間： $\overline{Q} = 0$ ，電晶體截止，電容充電。
 t_2 期間： $\overline{Q} = 1$ ，電晶體導通，電容放電。

4. (1) 電路為無穩態多諧振盪器。
- (2) 輸出 v_o 波形週期： $T = 0.693(R_A + R_B)C$
- (3) 二極體的作用為開關。

11-4 施密特觸發電路

理論重點 1 基本型施密特觸發電路 p.11-37

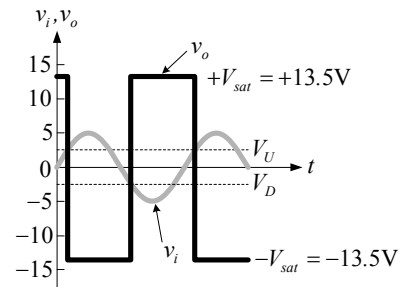
1. (1) 施密特觸發電路：將類比信號轉變成數位信號。
- (2) 帶通濾波器：輸出某一特定頻率信號。
- (3) 電壓隨耦器：阻抗匹配或緩衝用。
- (4) 橋式整流器：將交流信號轉變成脈動直流信號。

$$2. (1) V_U = 13.5 \times \frac{2.2}{10 + 2.2} = 2.43 \text{ V}$$

$$(2) V_D = -13.5 \times \frac{2.2}{10 + 2.2} = -2.43 \text{ V}$$

- (3) 若 $v_i \geq V_U$ ，則 $v_o = -V_{sat}$ 。
- 若 $v_i \leq V_D$ ，則 $v_o = +V_{sat}$ 。

- (4) 輸出波形如右圖。



3. 因 $V_D < v_i < V_U$ ，輸入電壓在上、下臨限電壓之間，故 v_o 無變化，可能為 $+V_{sat}$ 或 $-V_{sat}$ 。

理論重點 2 反相輸入型施密特觸發電路 p.11-41

$$1. (1) \text{ 當 } V_o = +V_{sat} = V_{CC}^+ \text{ 時, } V_H^+ = V_R \frac{R_1}{R_1 + R_2} + (V_{CC}^+) \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

$$(2) \text{ 當 } V_o = -V_{sat} = V_{CC}^- \text{ 時, } V_H^- = V_R \frac{R_1}{R_1 + R_2} + (V_{CC}^-) \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

$$(3) \text{ 遲滯電壓 } V_H \equiv V_H^+ - V_H^- = (V_{CC}^+ - V_{CC}^-) \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

$$2. (1) V_{(+)} = V_R \frac{R_1}{R_1 + R_2} + V_o \frac{R_2}{R_1 + R_2} = (1) \frac{10\text{k}}{10\text{k} + 100} + V_o \frac{100}{10\text{k} + 100} = 0.99 + \frac{100}{10.1\text{k}} V_o$$

- (2) 當 $V_o = +V_{sat} = +5 \text{ V}$ ，可得上臨界電壓 V_U

$$V_U = 0.99 + \frac{100}{10.1\text{k}} (+5\text{V}) = 1.04 \text{ V}$$

- (3) 當 $V_o = -V_{sat} = -5 \text{ V}$ ，可得下臨界電壓 V_D

$$V_D = 0.99 + \frac{100}{10.1\text{k}} (-5\text{V}) = 0.94 \text{ V}$$

$$3. (1) V_{(+)} = (1) \frac{9\text{k}}{1\text{k} + 9\text{k}} + V_o \frac{1\text{k}}{1\text{k} + 9\text{k}} = 0.9 + 0.1V_o, \quad V_{(-)} = V_i$$

- (2) 當 $V_o = +V_{sat}$ ，可得上臨界電壓 V_U

$$V_U = 0.9 + 0.1(+V_{sat})$$

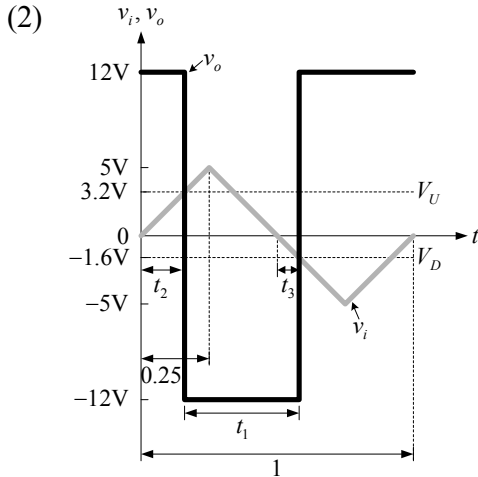
(3) 當 $V_o = -V_{sat}$ ，可得下臨界電壓 V_D

$$V_D = 0.9 + 0.1(-V_{sat})$$

(4) 磁滯電壓 $V_H \equiv V_U - V_D = 2 \times 0.1 \times V_{sat} = 2 \times 0.1 \times 13 = 2.6 \text{ V}$

4. (1)
$$V_U = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_R + \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{sat} = \frac{80}{20 + 80} \times 1 + \frac{20}{20 + 80} \times 12 = 3.2 \text{ V}$$

$$V_D = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_R - \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{sat} = \frac{80}{20 + 80} \times 1 - \frac{20}{20 + 80} \times 12 = -1.6 \text{ V}$$



① 由 $\frac{5}{0.25} = \frac{3.2}{t_2}$ ，得 $t_2 = 0.16$

② 由 $\frac{-5}{0.25} = \frac{-1.6}{t_3}$ ，得 $t_3 = 0.08$

③ $t_1 = 0.5 - t_2 + t_3 = 0.5 - 0.16 + 0.08 = 0.42$

$$\text{工作週期} = \frac{T - t_1}{T} \times 100\% = \frac{1 - 0.42}{1} \times 100\% = 58\%$$

5. (1) $V_R = 0$ 時， $V_U = -V_D$ ，因此輸出波形為方波。

(2) 方波之工作週期為 50%。

》》 理論重點 3 非反相輸入型施密特觸發電路 9.11-46

1. (1)
$$V_{(+)} = V_i \frac{R_2}{R_1 + R_2} + V_o \frac{R_1}{R_1 + R_2} = V_i \frac{10\text{k}}{5\text{k} + 10\text{k}} + V_o \frac{5\text{k}}{10\text{k} + 10\text{k}} = \frac{2}{3} V_i + \frac{1}{3} V_o$$

$$V_{(-)} = 0$$

(2) 令 $V_{(+)} = V_{(-)}$ ，則 $V_i = -\frac{1}{2} V_o$

當 $V_o = -V_{sat}$ 時， $V_U = -\frac{1}{2}(-V_{sat}) = \frac{1}{2} V_{sat} = \frac{1}{2} \times 15 = 7.5 \text{ V}$

2. (1)
$$V_{(+)} = v_i \frac{90}{10 + 90} + v_o \frac{10}{10 + 90} = 0.9v_i + 0.1v_o$$

$$V_{(-)} = 0$$

(2) 令 $V_{(+)} = V_{(-)}$ ，求 V_U 、 V_D ：

由(1)得 $0.9v_i + 0.1v_o = 0$ ，亦即 $v_i = -\frac{1}{9}v_o$

因 $v_o = \pm 13.5 \text{ V}$ ，代入上式中，得

$$V_U = -\frac{1}{9}(-13.5) = 1.5 \text{ V}$$

$$V_D = -\frac{1}{9}(13.5) = -1.5 \text{ V}$$

(3) $v_i > V_U$ 或 $v_i < V_D$ 時， v_o 才會轉態。

$$3. V_H = V_U - V_D = 2 \frac{R_2}{R_1} V_{sat} = 2 \times \frac{1\text{k}}{9\text{k}} \times 13.5 = 3 \text{ V}$$

11-5 方波產生電路

理論重點 1 OPA 型方波產生電路 p.11-50

1. 此為方波產生器：

$$(1) \beta = \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

$$(2) T = t_1 + t_2 = 2RC \ln\left(\frac{1+\beta}{1-\beta}\right)$$

$$2. (1) T = 2RC \ln\left(1 + \frac{2R_2}{R_1}\right)$$

(2) $f = \frac{1}{T}$ ，頻率與 R_1 、 R_2 、 R 、 C 值皆有關係

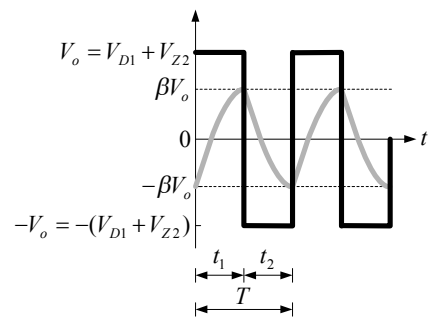
3. (1) 施密特電路 $V_R = 0$ 時， $V_U = -V_D$ ，則輸出為方波。

$$(2) T = 2RC \ln\left(1 + \frac{2R_2}{R_1}\right)$$

$$4. (1) v_{C(P-P)} = V_U - V_D = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{sat} - \frac{R_2}{R_1 + R_2} \times (-V_{sat}) = \frac{2R_2}{R_1 + R_2} V_{sat}$$

故 R_2 增加， $v_{C(P-P)}$ 增加，而 R_2 減少，則 $v_{C(P-P)}$ 減少。

(2) 因 $v_{o(P-P)} = V_{sat} - (-V_{sat}) = 2V_{sat}$ ，不隨 R_2 而變。



11-6 三角波產生電路

理論重點 1 OPA 型三角波產生電路 p.11-53

$$1. (1) T = 4\left(\frac{R_2}{R_1}\right)RC, f = \frac{1}{T}$$

(2) 輸出頻率與 R 、 C 、 R_2 成反比，與 R_1 成正比

$$2. V_o = \pm\left(\frac{R_2}{R_1}\right)V_{sat} = \pm\left(\frac{10\text{k}}{20\text{k}}\right)(13) = \pm 6.5 \text{ V}$$

模擬試題詳解

>>> 電子學試題 p.11-76

1. 振盪器不需任何輸入信號（ $v_s = 0$ ），即可由極小雜訊源推動放大電路而產生振盪。
2. 若 $1 + \beta A = 0$ ，則 $A_f = \frac{A}{0} = \infty$ ，電路產生振盪，因此 $\beta A = -1 \angle 0^\circ$
3. 此為 RC 相移正弦波產生器。
4. (1) 振盪頻率 $f = \frac{1}{2\pi RC} = \frac{1}{2\pi \times 10k \times 10n} = \frac{1}{2\pi} \times 10^4 \text{ Hz}$
- (2) 產生振盪時， $\beta_{(-)} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} = \frac{1}{3}$ ，則

$$\frac{R_1 + R_2}{R_1} = 1 + \frac{R_2}{R_1} = 1 + \frac{100k}{R_1} = 3, R_1 = 50 \text{ k}\Omega$$
5. 所謂壓電效應是指在石英晶體兩極施加機械壓力，使其產生交流電壓。
6. $T = 0.7R_2C_1$
7. (1) Q_1 飽和條件： $\beta_1 R_{C1} \geq R_{B1}$ ，則 $\beta_1 \geq \frac{R_{B1}}{R_{C1}} = \frac{30k}{1k} = 30$
- (2) Q_2 飽和條件： $\beta_2 R_{C2} \geq R_{B2}$ ，則 $\beta_2 \geq \frac{R_{B2}}{R_{C2}} = \frac{10k}{470} = 21.3$
- (3) 因 Q_1 及 Q_2 特性完全相同，故選擇 $\beta_{\min} = \beta_1 = 30$ ，才能使 Q_1 及 Q_2 皆可飽和。
8. (1) LED1 一週內亮的時間 $t_1 = 0.7R_{B1}C_1 = 0.7 \times 10k \times 220\mu = 1.54 \text{ 秒}$
- (2) LED2 一週內亮的時間 $t_2 = 0.7R_{B2}C_2 = 0.7 \times 10k \times 100\mu = 0.7 \text{ 秒}$
9. (1) 無穩態電路不須外加控制信號觸發即能工作。
- (2) 單穩態電路須外加控制信號觸發，自動輸出會改變狀態，約 $0.7R_B C_B$ 的時間後，輸出又回到原先狀態。
- (3) 雙穩態電路須外加控制信號，輸出會改變狀態，但不會自動回到原先狀態。
10. (1) $T = 0.7(R_1 + 2R_2)C = 0.7 \times (5k + 2 \times 10k) \times 0.01\mu = 175 \mu\text{s}$
- (2) $f = \frac{1}{T} = 5714 \text{ Hz}$
11. 工作週期 = $\frac{R_1 + R_2}{R_1 + 2R_2}$ ，若 $R_1 \ll R_2$ ，則工作週期約為 50%
12. 輸出為脈波信號。
14. (1) 工作週期 = $\frac{R_1 + R_2}{R_1 + 2R_2} = 0.6$ ，則 $R_1 + 2R_2 = \frac{R_1 + R_2}{0.6} = \frac{30k}{0.6} = 50 \text{ k}\Omega$
- (2) $T = 0.7(R_1 + 2R_2)C = 0.7 \times 50k \times 0.01\mu\text{F} = 0.35 \text{ ms}$
15. $T = 1.1RC = 1.1 \times 10k \times 100\mu = 1.1 \text{ 秒}$
16. (1) $A_1 = -\frac{100k}{50k} = -2$
- (2) $V_1 = A_1 V_i = -2 \times 2 = -4 \text{ V}$

$$17. (1) V_{(+)} = V_o \frac{100k}{100k + 100k} = \frac{V_o}{2}$$

$$(2) V_{(-)} = V_1 = -4 \text{ V}$$

(3) 令 $V_{(+)} = V_{(-)}$ 求比較電壓 V_U 、 V_D ，因 $V_o = \pm V_{CC}$ ，則

$$V_U = \frac{+V_{CC}}{2} = \frac{12}{2} = 6 \text{ V} \cdot V_D = \frac{-V_{CC}}{2} = \frac{-12}{2} = -6 \text{ V}$$

(4) 因 $V_D < V_1 < V_U$ ，故 V_o 可能是 +12V，也可能是 -12V。

$$18. (1) V_{(+)} = V_R \frac{R_1}{R_1 + R_2} + V_o \frac{R_2}{R_1 + R_2} = \frac{90}{90 + 10} + V_o \frac{10}{90 + 10} = 0.9 + 0.1V_o$$

$$(2) V_{(-)} = V_i$$

(3) 令 $V_{(+)} = V_{(-)}$ 求 V_1 、 V_2 ，則 $V_i = 0.9 + 0.1V_o$

因 $V_o = \pm 12 \text{ V}$ ，則

$$V_1 = 0.9 + 0.1 \times 12 = 2.1 \text{ V}$$

$$V_2 = 0.9 + 0.1 \times (-12) = -0.3 \text{ V}$$

$$19. (1) V_{(+)} = V_i \frac{R_1}{R_1 + R_2} + V_o \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

$$(2) V_{(-)} = 0$$

(3) 令 $V_{(+)} = V_{(-)}$ 求 V_U 、 V_D ，則

$$V_i \frac{R_1}{R_1 + R_2} + V_o \frac{R_2}{R_1 + R_2} = 0 \cdot \text{則}$$

$$V_i = -V_o \frac{R_1}{R_2} \cdot \text{因 } V_o = \pm V_{sat} \cdot \text{故}$$

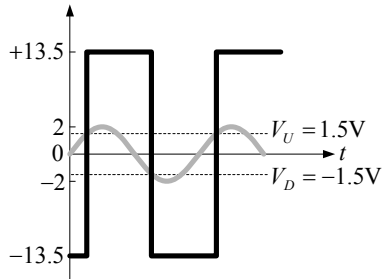
$$V_U = -(-V_{sat}) \frac{R_1}{R_2} = V_{sat} \frac{R_1}{R_2} = 13.5 \times \frac{10}{90} = 1.5 \text{ V}$$

$$V_D = -(V_{sat}) \frac{R_1}{R_2} = -V_{sat} \frac{R_1}{R_2} = -13.5 \times \frac{10}{90} = -1.5 \text{ V}$$

(4) $V_H = V_U - V_D = 1.5 - (-1.5) = 3 \text{ V}$

20. 因 $V_i = 2 > V_U$ ，則 $V_o = +V_{sat} = +13.5 \text{ V}$ 。

21. V_o (volts)

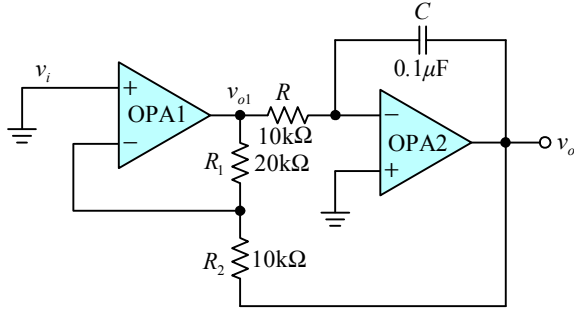


22. 因 $V_D < V_i < V_U$ ，故輸出 V_o 無變化，可能是 +13.5V 或 -13.5V。

23. (1) V_f 及 V_c 電壓振幅相同，但波形不同， V_f 為方波， V_c 為近似三角波。

$$(2) \beta = \frac{R_2}{R_1 + R_2} = \frac{5k}{10k + 5k} = \frac{1}{3} \cdot \text{則 } V_{C(P-P)} = \pm \beta V_{sat} = \pm \frac{1}{3} \times 15 = \pm 5 \text{ V}$$

24. (1) v_{o1} 為方波，峰對峰值電壓： $\pm V_{sat} = \pm 12 \text{ V}$
 (2) v_o 為三角波，峰對峰值電壓： $\pm (\frac{R_2}{R_1})V_{sat} = \pm (\frac{10}{20}) \times 12 = \pm 6 \text{ V}$
25. (1) OPA1 輸入腳反接，功能如同非反相放大器，因 $v_i = 0$ ，故 $v_{o1} = 0$ 。
 (2) $\Delta v_o = -\frac{1}{RC}v_{o1}\Delta t = 0$



》》 電子學實習試題 p.11-80

- (1) 需有穩定的直流電源電壓。
 (2) 需有正回授網路。
 (3) 若 $A_f = \frac{A}{1 + \beta A}$ 時，則 $\beta A \geq 1 \angle 180^\circ$ ， $A_f \gg A$ ，電路產生振盪。
- 無穩態多諧振盪器為方（脈）波振盪器。
- (1) 依巴克毫生振盪準則， $\beta A = 1 \angle 0^\circ$ ，因放大器 A 相移 180° ，因此回授網路 β 相移 180° 。
 (2) 每階 RC 相移 $\theta = \frac{180^\circ}{3} = 60^\circ$
- a、c 為低頻正弦波振盪器，b、d 為高頻正弦波振盪器。
- $f_o = \frac{1}{2\pi\sqrt{6}RC} = 650 \text{ Hz}$
- (1) 此電路為韋恩電橋正弦波振盪器。
 (2) 電路振盪時，回授量 $\beta = \frac{1}{3} = \frac{R_1}{R_1 + VR}$ ，即 $VR = 2R_1 = 20 \text{ k}\Omega$
 (3) 輸出頻率： $f_o = \frac{1}{2\pi RC}$
- (1) 振盪條件： $|\beta A| \geq 1$
 $A \geq \frac{1}{\beta} = \frac{1}{-\frac{1}{29}} = -29$
 (2) $A = \frac{-R_1}{R}$
- (1) $f_o = \frac{1}{2\pi\sqrt{R_1 R_2 C_1 C_2}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{1\text{k}\Omega \times 1\text{k}\Omega \times 0.1\mu\text{F} \times 0.4\mu\text{F}}} = \frac{0.159}{2 \times 10^{-4}} = 800 \text{ Hz}$
 (2) 韋恩電橋振盪電路為低頻正弦波振盪器。

9. (1) $\frac{R_3}{R_4} = \frac{R_1}{R_2} + \frac{C_2}{C_1} = \frac{1\text{k}\Omega}{1\text{k}\Omega} + \frac{0.4\mu\text{F}}{0.1\mu\text{F}} = 1 + 4 = 5$
- (2) 設計上使 $\frac{R_3}{R_4}$ 約略大於 5，較易產生振盪。
10. (1) 電路為韋恩 (Wien) 電橋振盪電路。
- (2) 因 $R_1 = R_2 = R$ ， $C_1 = C_2 = C$ ，則 $f_o = \frac{1}{2\pi RC}$
11. (1) 正回授量 β_+ ： $\beta_+ = \frac{Z_2}{Z_1 + Z_2}$ ，其中 $Z_1 = R_1 - jX_{C1}$ ， $Z_2 = R_2 // (-jX_{C2})$
- (2) 負回授量 β_- ： $\beta_- = \frac{R_4}{R_3 + R_4}$
- (3) 增加 R_3 值時， β_- 減少，使 $\beta_- < \beta_+$ ，故電路振盪但會飽和失真。
12. 石英晶體振盪電路振盪頻率穩定，頻率精度 $10^{-10} \sim 10^{-8}$ 量級。
13. 900MHz 屬高頻段，使用石英晶體振盪器較適當。
14. 電路產生振盪時，正回授量最大，並且振盪頻率等於石英晶體的串聯諧振頻率，阻抗最小。
15. (1) $\mu\text{A}741$ ：運算放大器。
- (2) 74LS76：TTL 數位 IC。
- (3) NE555：定時器 IC。
- (4) CD4093：CMOS 數位 IC。
16. (1) $V_U = \frac{2}{3}V_{CC} = \frac{2}{3} \times 15 = 10\text{ V}$ ， $V_D = \frac{1}{3}V_{CC} = \frac{1}{3} \times 15 = 5\text{ V}$
- (2) $v_i > V_U$ ， $v_o = -V_{CC} = -15\text{ V}$
 $v_i < V_D$ ， $v_o = +V_{CC} = 15\text{ V}$
17. 因 $v_i < V_D$ ，故 $v_o = V_{CC} = 15\text{ V}$
18. 施密特觸發電路又稱為波形整型電路，可以將變化緩慢的信號轉換為變化快速的數位信號。
19. (1) $v_i > V_U$ 時，即 $V_{(-)} > V_{(+)}$ ： $v_o = -V_{sat}$
- (2) $v_i < V_D$ 時，即 $V_{(-)} < V_{(+)}$ ： $v_o = +V_{sat}$
20. (1) $V_U = V_{sat} \frac{R_1}{R_1 + R_2} = 10 \times \frac{10}{10 + 90} = 1\text{ V}$
- (2) $V_D = -V_{sat} \frac{R_1}{R_1 + R_2} = -10 \times \frac{10}{10 + 90} = -1\text{ V}$
- (3) $v_i > V_U$ 時，即 $V_{(-)} > V_{(+)}$ ： $v_o = -V_{sat}$
- (4) $v_i < V_U$ 時，即 $V_{(-)} < V_{(+)}$ ： $v_o = +V_{sat}$
21. (1) $V_U = V_{sat} \frac{R_1}{R_1 + R_2} = 10 \times \frac{30}{30 + 70} = 3\text{ V}$
- (2) $V_D = -V_{sat} \frac{R_1}{R_1 + R_2} = -10 \times \frac{30}{30 + 70} = -3\text{ V}$
- (3) 因 $V_D < v_i < V_U$ ，故輸出 v_o 不轉態，為一直流電壓，可能為 $+10\text{ V}$ ，也可能為 -10 V 。

$$22. (1) V_{(+)} = v_i \frac{R_2}{R_1 + R_2} + v_o \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

$$V_{(-)} = 0$$

$$(2) \text{ 令 } V_{(+)} = V_{(-)}, \text{ 由(1)可得 } v_i = -\frac{R_1}{R_2} v_o$$

(3) 因 $v_o = +V_{sat}$ 或 $-V_{sat}$ ，故

$$V_U = \frac{R_1}{R_2} V_{sat} = \frac{R_1}{R_2} \times 10 = 2$$

$$V_D = -\frac{R_1}{R_2} V_{sat} = -\frac{R_1}{R_2} \times 10 = -2$$

$$(4) \text{ 則由 } V_U \text{ 及 } V_D \text{ 可得 } \frac{R_1}{R_2} = \frac{2}{10} = \frac{1}{5} = 0.2$$

23. (1) 圖示為施密特觸發器。

$$V_U = \frac{10}{10 + 10} V_{sat} = \frac{1}{2} \times 10 = 5 \text{ V}$$

$$V_D = \frac{-10}{10 + 10} V_{sat} = -\frac{1}{2} \times 10 = -5 \text{ V}$$

$$(2) f = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{6280}{2\pi} = 1 \text{ kHz}$$

24. (1) 屬非穩態多諧振盪器的一種。

$$(2) \text{ 電容器電壓振幅：} \pm V_{sat} \frac{R_2}{R_1 + R_2} = \pm 12 \times \frac{10}{10 + 10} = \pm 6 \text{ V}$$

$$(3) \text{ 輸出 } v_o \text{ 電壓振幅：} \pm V_{sat} = \pm 12 \text{ V}$$

$$(4) T = 2RC \ln\left(1 + \frac{2R_2}{R_1}\right) = 2RC \ln\left(1 + \frac{2 \times 10}{10}\right) = 2RC \times \ln 3 = 2RC \times 1.1 = 2.2RC$$

25. (1) 一般函數波產生器產生正弦波、方波及三角波三種信號。

(2) 基本振盪電路為三角波產生器。

三角波經施密特觸發器產生脈波，三角波經波形整型電路產生正弦波。