

運算放大器（OPA）

命題趨勢

本章在歷年命題中 OPA 部分每年約佔 20%~24%，是重點中的重點哦！
研讀的重點如下：

1. 差動放大電路的基本原理、 R_E 電阻對 A_d 、 $CMRR$ 值的影響。
2. $CMRR$ 、 A_d 、 A_c 的定義與 V_o 值的關係。
3. 理想 OPA 的特性（虛接地、SR 值、 V_{io} 等）與 $\mu A741$ IC 的接腳包裝。
4. OPA 基本電路（反相、非反相、減法等）的 V_o 計算。
5. 恆流源與電流鏡電路。
6. 積分、微分電路的差異與 V_o 值計算。
7. 反相或非反相史密特觸發電路的上、下臨界觸發電壓與磁滯電壓的計算。
8. 高、低通主動濾波電路的差異及其特性。
9. 比較器的基本原理。

學習章節

- 10 - 1 差動放大器（DA）
- 10 - 2 OPA 的特性與參數
- 10 - 3 OPA 反相（倒相）放大器
- 10 - 4 非反相（非倒相）放大器與電壓隨耦器
- 10 - 5 減法器（差放大器）
- 10 - 6 積分器
- 10 - 7 微分器
- 10 - 8 比較器
- 10 - 9 史密特觸發器
- ※ 10 - 10 濾波器（低通、高通、帶通、帶拒濾波器）
- ※ 10 - 11 其他應用電路

第10章 運算放大器 (OPA)



重點整理

10-1 差動放大器 (DA)

差動放大器的基本概念

1. 差動放大器 (differential amplifier, DA) 是運算放大器的基本放大級 (第一放大級), 主要作用是放大兩個輸入信號之差 (V_d), 並且具有排拒雜訊 (V_C , 共同信號) 干擾的功能, 所以廣泛用於線性的 IC (積體電路) 與電子儀表等電路中。
2. 共模拒斥比 (common-mode rejection ratio, CMRR) 的定義為

$$\text{CMRR} = \rho = \left| \frac{A_d}{A_C} \right|, \text{ 其中}$$

- (1) A_d (差模增益): 理想的差動放大器 (DA) 只放大不同的信號 (V_d), 所以 A_d 愈大愈好。
- (2) A_C (共模增益): 理想的差動放大器 (DA) 是不放大共同的信號 (V_C), 所以理想的 A_C 值為 0。
- (3) 若以 dB 值計算則為:

$$\text{CMRR} = 20 \log \left| \frac{A_d}{A_C} \right| \text{ (dB)}$$

3. 理想的 CMRR 值是無限大, 常以 CMRR 值來表示差動放大器 (DA) 性能的優劣; CMRR 值愈大, 即表示差動放大器愈能排斥共同的訊號 (雜訊)。

範例 1 有一差動放大器, 差模增益 $A_d = 1000$, 共模增益 $A_C = 0.1$, 則其共模拒斥比 CMRR 為多少? (A) 0.0001 (B) 100 (C) 1000 (D) 10000。 【94 電機電子四技】

解 (D) 共模拒斥比 $\text{CMRR} = \left| \frac{A_d}{A_C} \right| = \frac{1000}{0.1} = 10000$ 。

練習 1 差動放大器之共模拒斥比 (CMRR), 若共模增益為 0.2, 差模增益為 500, 則此 CMRR 為 (A) 2500 (B) 250 (C) 100 (D) $\frac{1}{250}$ 。 【81 電機四技】

答

範例 2 有一差動放大器，其差模增益 $A_d=1000$ 、共模增益 $A_c=1$ ，則其共模拒斥比 CMRR=?
(A)30dB (B)40dB (C)50dB (D)60dB。 【95 電機電子四技】

解 (D) CMRR 之 dB 值為 $CMRR = 20 \log \left| \frac{A_d}{A_c} \right| = 20 \log \frac{1000}{1} = 60 \text{ (dB)}$

練習 2-1 某差動放大器，差模訊號電壓增益 A_d 為 200，而共模拒斥比 CMRR=80dB，試求其共模訊號電壓增益 A_c 為何？ (A)0 (B)0.2 (C)0.02 (D)0.002。 【89 電子四技】

答

練習 2-2 某一差動放大器電路，若 CMRR=80dB，則此放大器的差動增益 (A_d) / 共模增益 (A_c) 的比值為 (A)4 倍 (B)80 倍 (C)10000 倍 (D)80000 倍。 【82 電機保甄】

答

範例 3 共模拒斥比 (CMRR) 愈大，則表示 (A)愈不易消除雜音 (B)頻寬愈大 (C)愈能消除共模信號 (common mode signal) (D)輸入阻抗愈大。 【82 電子四技】

解 (C) $CMRR = \left| \frac{A_d}{A_c} \right|$ ，當其比值愈大時，即表示愈能放大不同的信號，而將共同的信號（如雜音）消除的能力也愈佳。

練習 3 下列有關差動放大器的敘述，何者有誤？ (A)共模拒斥比 CMRR，愈小愈能抑制雜訊 (B)共模拒斥比 CMRR 定義為：差模增益 A_d 與共模增益 A_c 的比值 (C)差模增益 A_d 愈大愈好 (D)共模增益 A_c 愈小愈好。 【93 電子四技】

答

4. 差動放大器的輸出電壓 V_o 為

$$V_o = A_d V_d + A_c V_c = A_d V_d \left(1 + \frac{A_c \cdot V_c}{A_d \cdot V_d}\right) = A_d V_d \left(1 + \frac{1}{\text{CMRR}} \frac{V_c}{V_d}\right), \text{ 其中}$$

(1) V_d (差模信號): 不同的信號, 即欲放大的信號

$$V_d = V_{i1} - V_{i2} = \text{大} - \text{小}$$

(2) V_c (共模信號): 相同的信號, 如雜訊等干擾的信號

$$V_c = \frac{V_{i1} + V_{i2}}{2}$$

範例 4

有一差動放大器 $A_d=1000$, $\text{CMRR}=1000$, 有兩信號電壓分別為 99mV 及 101mV, 其中 99mV 接至輸入負端, 101mV 接至輸入正端, 求其輸出信號 V_o 為多少?

(A) 1.1V (B) 2.1V (C) 3.1V (D) 4V。

【90 電子四技】

解

(B) (1) 差模信號 $V_d = V_{i2} - V_{i1} = 101 - 99 = 2(\text{mV})$

$$\text{共模信號 } V_c = \frac{V_{i1} + V_{i2}}{2} = \frac{99 + 101}{2} = 100(\text{mV})$$

$$(2) V_o = A_d V_d + A_c V_c = A_d V_d \left(1 + \frac{1}{\text{CMRR}} \frac{V_c}{V_d}\right) = 1000 \times 2 \times \left(1 + \frac{1}{1000} \times \frac{100}{2}\right) = 2100(\text{mV}) = 2.1(\text{V})。$$

練習 4-1

假設放大器之差動增益為 $A_d=1000$, $\text{CMRR}=100$, 試計算輸入電壓 $V_{i1}=75\mu\text{V}$ (非反向輸入端電壓), $V_{i2}=25\mu\text{V}$ (反向輸入端電壓) 時之差動放大器的輸出電壓為

(A) 49.5mV (B) 51.5mV (C) 50.5mV (D) 48.5mV。

【89 電機推甄】

答

練習 4-2

若一差訊放大器其輸入電壓 $V_{i1}=150\mu\text{V}$, $V_{i2}=100\mu\text{V}$, 放大器的差訊增益 $A_d=1000$, 而 $\text{CMRR}=100$ 時, 其差訊放大器輸出為

(A) 150mV (B) 100mV (C) 75.5mV (D) 51.25mV。

【83 電子四技】

答

練習 4-3

某差動放大器, 其共模拒斥比 $\text{CMRR}=1000$, $A_d=1000$, 設輸入 $V_1=10\mu\text{V}$, $V_2=-10\mu\text{V}$, 則輸出電壓 $V_o=?$ (A) 40mV (B) 30mV (C) 20mV (D) 10mV。

【83 電子四技】

答

範例 5

某差動放大器之共模拒斥比 $\text{CMRR}=60\text{dB}$ ，差模增益 $A_d=150$ ，假設其共模輸入信號 V_C 為 1V 均方根值，則輸出之干擾雜訊的均方根值為

(A) 0.15V (B) 0.21V (C) 0.30V (D) 0.42V 。

【87 電機四技】

解

$$(A) \quad (1) \because \text{CMRR} = 20 \log \left| \frac{A_d}{A_c} \right| \quad \therefore 60 = 20 \log \frac{150}{A_c}, \text{ 得 } A_c = 0.15$$

$$(2) V_o = A_d V_d + A_c V_C = 150 \times 0 + 0.15 \times 1 \text{ (只有共模輸入信號輸入)} = 0.15(\text{V})。$$

練習 5

一運算放大器的兩個輸入端之輸入電壓均為 1mV ，此時之輸出電壓為 0.5mV ，則此運算放大器之共模增益為多少？ (A) 0.5 (B) 1 (C) 2 (D) ∞ 。

【88 電子四技】

答

註

本題應是差動放大器之筆誤。

範例 6

假設一差動放大器輸入電壓為 $V_{i1}=140\mu\text{V}$ ， $V_{i2}=60\mu\text{V}$ 時，其輸出電壓 $V_o=81\text{mV}$ ，輸入電壓為 $V_{i1}=120\mu\text{V}$ ， $V_{i2}=80\mu\text{V}$ 時，其輸出電壓 $V_o=41\text{mV}$ ，試求該放大器之共模拒斥比 (CMRR) 為何？ (A) 100 (B) 200 (C) 50 (D) 400 。

【90 電子四技】

解

$$(A) \quad (1) V_o = A_d V_d + A_c V_C$$

$$\textcircled{1} \text{ 當 } V_{i1}=140\mu\text{V}, V_{i2}=60(\mu\text{V})$$

$$\text{則 } V_d = V_{i1} - V_{i2} = 140 - 60 = 80(\mu\text{V}) \quad V_C = \frac{V_{i1} + V_{i2}}{2} = \frac{140 + 60}{2} = 100(\mu\text{V})$$

$$\text{所以 } 81 \times 10^3 = A_d \times 80 + A_c \times 100 \cdots \cdots \textcircled{1}$$

$$\textcircled{2} \text{ 當 } V_{i1}=120\mu\text{V}, V_{i2}=80(\mu\text{V})$$

$$\text{則 } V_d = V_{i1} - V_{i2} = 120 - 80 = 40(\mu\text{V}) \quad V_C = \frac{V_{i1} + V_{i2}}{2} = \frac{120 + 80}{2} = 100(\mu\text{V})$$

$$\text{所以 } 41 \times 10^3 = A_d \times 40 + A_c \times 100 \cdots \cdots \textcircled{2}$$

(2) 由①、②式聯立可得

$$\begin{cases} 81 \times 10^3 = 80 A_d + 100 A_c \cdots \cdots \textcircled{3} \\ 41 \times 10^3 = 40 A_d + 100 A_c \cdots \cdots \textcircled{4} \end{cases}$$

$$A_d = 1000, A_c = 10$$

$$(3) \text{ 共模拒斥比 } \text{CMRR} = \frac{A_d}{A_c} = \frac{1000}{10} = 100。$$

範例 7

一差動放大器的 $A_d=100$ ， $A_C=0.5$ ，兩個輸入分別是 $V_a(t)=0.01\cos(2\pi 400t)+0.2\cos(2\pi 60t)$ ， $V_b(t)=-0.01\cos(2\pi 400t)+0.2\cos(2\pi 60t)$ ，此差動放大器的輸出 $V_o(t)=$

(A) $2\cos(2\pi 400t)+0.1\cos(2\pi 60t)$ (B) $1\cos(2\pi 400t)+0.2\cos(2\pi 60t)$

(C) $2\cos(2\pi 400t)+0.2\cos(2\pi 60t)$ (D) $4\cos(2\pi 400t)+0.1\cos(2\pi 60t)$ 。 【86 電子台中】

解

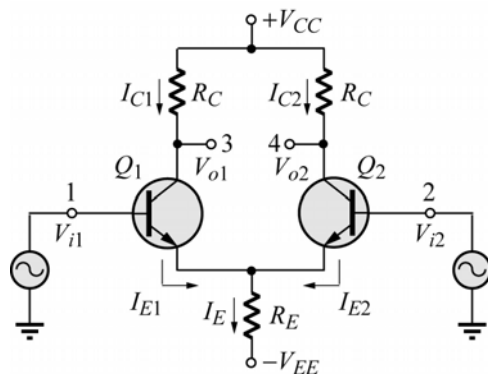
$$(A) \quad V_d = V_a(t) - V_b(t) = 0.01\cos(2\pi 400t) + 0.2\cos(2\pi 60t) - [-0.01\cos(2\pi 400t) + 0.2\cos(2\pi 60t)] \\ = 0.02\cos(2\pi 400t)$$

$$V_C = \frac{V_a(t) + V_b(t)}{2} = \frac{0.4\cos(2\pi 60t)}{2} = 0.2\cos(2\pi 60t)$$

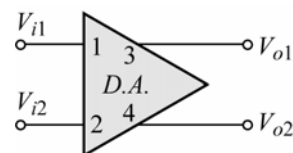
$$V_o = A_d V_d + A_C V_C = 100 \times [0.02\cos(2\pi 400t)] + 0.5 \times [0.2\cos(2\pi 60t)] = 2\cos(2\pi 400t) + 0.1\cos(2\pi 60t)。$$

差動放大器的直流分析

基本的差動放大器是由兩個特性一樣的電晶體，與兩個阻值一樣的集極電阻，加上一個共用的射極電阻所組成。



(a)基本電路



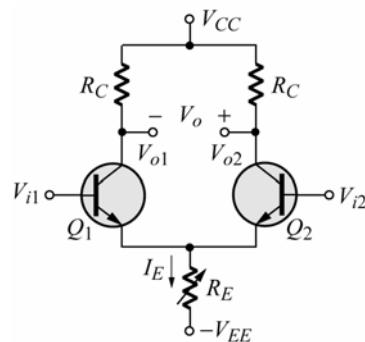
(b)符號

1. $\because V_{EE} = I_E R_E + V_{BE}$

$\therefore I_E = \frac{V_{EE} - V_{BE}}{R_E}$ ，而由於 $Q_1 = Q_2$ ， $R_{C1} = R_{C2}$ （特性皆一樣）故 $I_{E1} = I_{E2} = \frac{I_E}{2} \doteq I_{C1} = I_{C2}$

2. $V_{o1} = V_{o2} = V_{CC} - I_{C1} \times R_C = V_{CC} - I_{C2} \times R_C$

- 範例 8** 如圖(1)之 Q_1 與 Q_2 完全對稱，且 $V_{i1}=V_{i2}$ ，則在正常的運作下將 R_E 阻值調高的影響為
- (A) I_E 變小， V_{o1} 變高， V_o 不變
 (B) I_E 變小， V_{o1} 變低， V_o 不變
 (C) I_E 變大， V_{o1} 變低， V_o 不變
 (D) I_E 變小， V_{o1} 變高， V_o 變高。【92 電機電子四技】



圖(1)

解 (A) 若將 R_E 阻值調高，其產生的反應如下：

$R_E \uparrow$ ，則 $I_E \downarrow$ （即 $I_{E1} \downarrow$ 與 $I_{E2} \downarrow$ ），由於 $I_{C1} \downarrow$ 與 $I_{C2} \downarrow$ （ $\because I_{E1} \downarrow$ 、 $I_{E2} \downarrow$ ），
 所以造成 $V_{o1} \uparrow$ 與 $V_{o2} \uparrow$ ，但 $V_o (=V_{o2}-V_{o1})$ 不變。

- 範例 9** 如圖(2)所示之電路中，在 $v_S=0$ 時， I_B 約為何？
- (A) 1mA (B) 10 μ A (C) 5 μ A (D) 1 μ A。

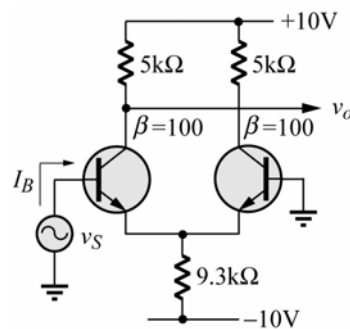
【85 電子保甄】

解 (C) (1) 當 $v_S=0$ 時， $V_{EE}=V_{BE}+I_E R_E$

$$\therefore I_E = \frac{V_{EE} - V_{BE}}{R_E} = \frac{10 - 0.7}{9.3k} = 1(\text{mA})$$

$$(2) \because I_{E1} = I_{E2} = \frac{1}{2} I_E = \frac{1}{2} = 0.5(\text{mA})$$

$$\therefore I_{B1} = I_{B2} = \frac{I_{E1}}{\beta + 1} \approx \frac{I_{E1}}{\beta} = \frac{0.5}{100} = 5(\mu\text{A})$$



圖(2)

差動放大器的交流分析

1. 差模增益 A_d

$$A_d = \frac{V_o}{V_d} \doteq \frac{-h_{fe} R_C}{2h_{ie}} \doteq \frac{-h_{fe} R_C}{2(1+h_{fe})r_e} \doteq \frac{-R_C}{2r_e} \quad (\text{其中 } V_o = V_{o1})$$

2. 共模增益 A_c

$$A_c = \frac{V_o}{V_C} \doteq \frac{-h_{fe} R_C}{h_{ie} + (1+h_{fe})2R_E} \doteq \frac{-R_C}{2R_E} \quad (\text{其中 } V_o = V_{o1})$$

3. 由 $A_c \doteq -\frac{R_C}{2R_E}$ 得知：

(1) 當 $R_E \uparrow$ ，則 $A_c \downarrow$ ，而 $\text{CMRR} = \left| \frac{A_d}{A_c} \right|$ 就愈大，愈能排斥共同的信號。

(2) 但 R_E 過大時，將造成電晶體電流過小，無法正常（在線性區）工作的情况，所以 R_E 常以恆流源（定電流源）取代（因為恆流源內阻近似 ∞ ，且又有固定電流）。

範例 10 如圖(3)所示之電路中，在小訊號中頻之 $(\frac{V_o}{V_s})$ 值約為何？ (A)-50dB (B)37dB (C)34dB (D)50dB。

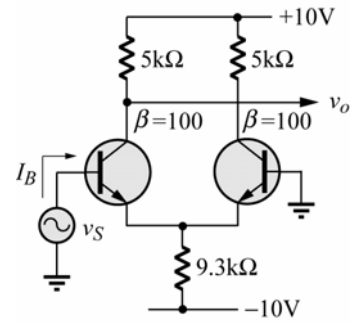
【85 電子保甄】

- 解** (C) (1) 由範例 9 解得電路之 $I_B=5\mu\text{A}$ 。
(2) 題目未給 h_{ie} 值，故須由直流偏壓求出近似值。

$$r_e = \frac{V_T}{I_{E1}} \frac{25}{0.5} = 50 (\Omega)$$

$$\frac{V_o}{V_s} = A_d \doteq -\frac{R_C}{2r_e} = -\frac{5\text{k}}{2 \times 50} = -50$$

- (3) $\text{dB}_V = 20 \log A_d = 20 \log 50 = 34(\text{dB})$ 。

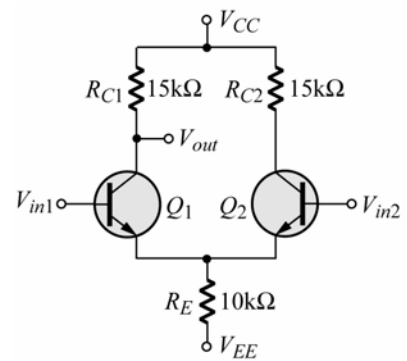


圖(3)

範例 11 如圖(4)所示電路，假設電晶體之 $h_{fe}=\beta=60$ ， $h_{ie}=r_\pi=3\text{k}\Omega$ ，當電路採雙端輸入、單端輸出時，其共模拒斥比 (CMRR) 約為 (A)150 (B)200 (C)300 (D)400。【91 電子四技】

- 解** (B) 差模增益 $A_d \doteq -\frac{\beta R_C}{2r_\pi} \doteq -\frac{h_{fe} R_C}{2h_{ie}} = -\frac{60 \times 15\text{k}}{2 \times 3\text{k}} = -150$
共模增益 $A_c \doteq -\frac{R_C}{2R_E} = -\frac{15\text{k}}{2 \times 10\text{k}} = -\frac{3}{4}$

$$\text{共模拒斥比 (CMRR)} = \left| \frac{A_d}{A_c} \right| = \left| \frac{-150}{-\frac{3}{4}} \right| = 200。$$



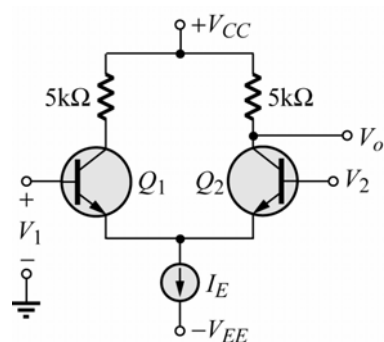
圖(4)

練習 11 如圖(5)中， Q_1 、 Q_2 為特性相同的電晶體，已知 $h_{fe}=100$ ，

$h_{ie}=1\text{k}\Omega$ ，則電壓增益 ($A_V=\frac{V_o}{V_1-V_2}$) 數值是

(A)250 (B)150 (C)100 (D)50。 【電子四技】

答



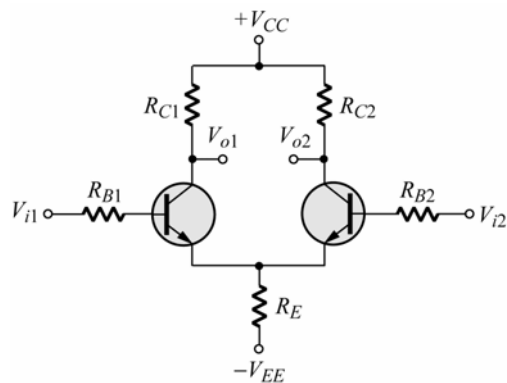
圖(5)

範例 12 如圖(6)所示之差訊放大器，若欲提高其共模拒斥比 (CMRR)，可將電路中的 R_E 以下列何者取代為最佳？ (A)定電壓源 (B)定電流源 (C)定電容 (D)定電感。 【84 電子四技】

解 (B) $\because \text{CMRR} = \left| \frac{A_d}{A_c} \right|$ ，而 $A_c = -\frac{R_C}{2R_E}$

$\therefore R_E$ 愈大，則 A_c 就愈小，CMRR 就愈大。

故在一般電路上 R_E 常以定電流源取代，而在積體電路 (IC) 上，則以電流鏡取代。



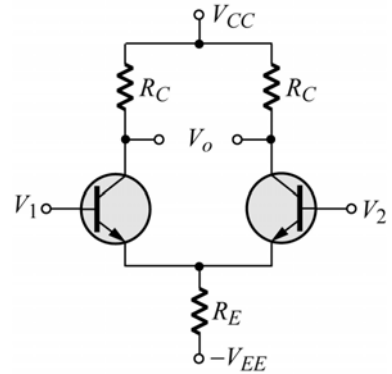
圖(6)

練習 12-1

如圖(7)所示之差動放大器，當 R_E 的值增加時，下列敘述何者為真？

- (A)共模拒斥比 CMRR 變小
(B)放大器穩定度降低
(C)共模增益 A_C 的絕對值變小
(D)電路的雜訊排斥能力變差。

【87 電子四技】



圖(7)

答

練習 12-2

一差動放大器，若欲提高其共模拒斥比（CMRR），可將電路中之射極電阻 R_E 以下列何者取代為最佳？ (A)定電壓源 (B)定電流源 (C)定電容 (D)定電感。

【89 電子四技】

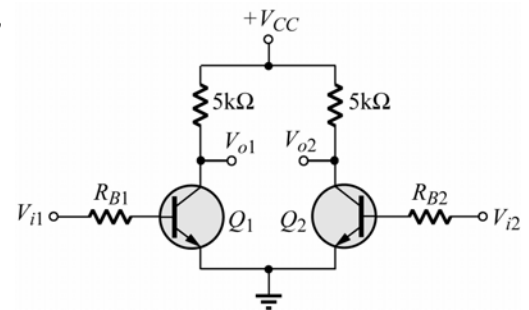
答

範例 13

如圖(8)所示是一差動放大器，若 Q_1 之 $A_{V1}=20$ ， $V_{i1}=1V$ ， Q_2 之 $A_{V2}=30$ ， $V_{i2}=0.6V$ ，則差動輸出電壓 $V_{od}=V_{o1}-V_{o2}$ 為多少？

- (A)-4V (B)-2V (C)1V (D)2V。

【89 電子四技】



圖(8)

解

(B) (1) 由於電路上沒有 R_E 電阻，所以 V_{i1} 不會對 V_{o2} 產生作用，而 V_{i2} 也不會對 V_{o1} 產生作用，故本電路並非差動放大器，只是將 Q_1 、 Q_2 的電路（CE 組態）並排在一起而已。

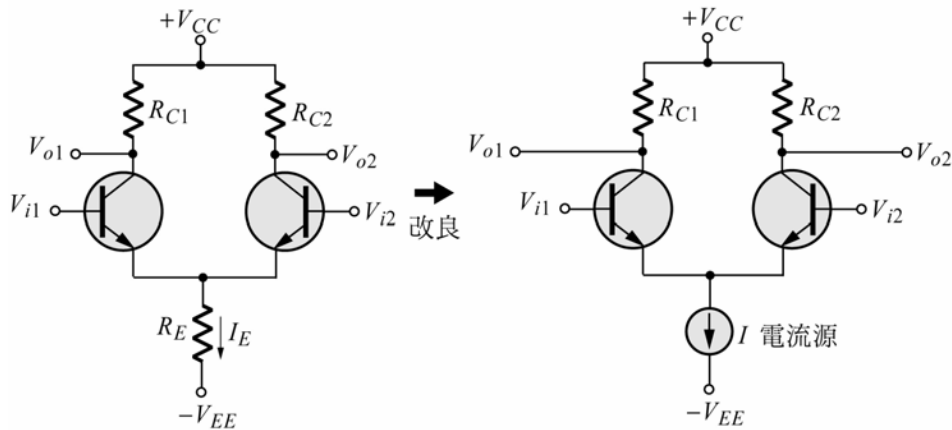
$$(2) V_{o1} = A_{V1} \times V_{i1} = (-20) \times 1 = -20(V)$$

$$V_{o2} = A_{V2} \times V_{i2} = (-30) \times 0.6 = -18(V)$$

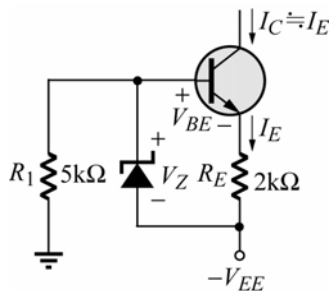
$$V_{od} = V_{o1} - V_{o2} = (-20) - (-18) = -2(V)。$$

恆流源與電流鏡

1. 差動放大器 (OPA 的輸入端皆採用) 為了獲得高 CMRR ($=\frac{A_d}{A_c}$) 值, 通常將射極電阻 (R_E) 改成電流源 (內阻為 ∞)。



2. 應用稽納二極體使 I_E 電流為定值

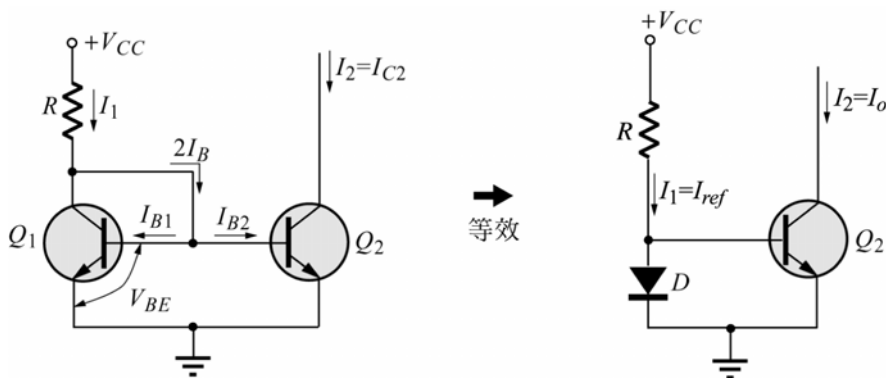


$$V_Z = V_{BE} + I_E R_E$$

$$I_E = \frac{V_Z - V_{BE}}{R_E} = \text{定值}$$

3. 電流鏡 (current mirror)

- (1) 常見的電流鏡



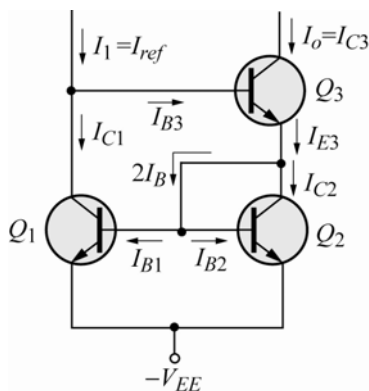
設 Q_1 、 Q_2 為特性完全相同的電晶體, 即

$$\beta_1 = \beta_2 = \beta \quad V_{BE1} = V_{BE2} = V_{BE} \quad I_{B1} = I_{B2} = I_B$$

$$\frac{\text{反射電流 } (I_o)}{\text{參考電流 } (I_{ref})} = \frac{I_2}{I_1} = \frac{\beta I_B}{\beta I_B + 2I_B} = \frac{\beta}{\beta + 2}$$

當 $\beta \gg 2$ 時, $I_1 \approx I_2$, 即 $I_o \approx I_{ref}$

設 Q_1 、 Q_2 、 Q_3 為特性完全相同的電晶體，
所以 $I_{B1}=I_{B2}=I_B$ ， $\beta_1=\beta_2=\beta_3=\beta$



$$I_{B3} = \frac{I_{E3}}{\beta + 1} = \frac{\beta + 2}{\beta + 1} I_B$$

$$I_o = I_{C3} = \beta I_{B3} = \beta \frac{\beta + 2}{\beta + 1} I_B$$

$$\begin{aligned} I_{ref} &= I_1 = I_{C1} + I_{B3} = \beta_1 I_{B1} + \frac{\beta+2}{\beta+1} I_B \\ &= \beta I_B + \frac{\beta+2}{\beta+1} I_B = \left(\beta + \frac{\beta+2}{\beta+1} \right) I_B \end{aligned}$$

故

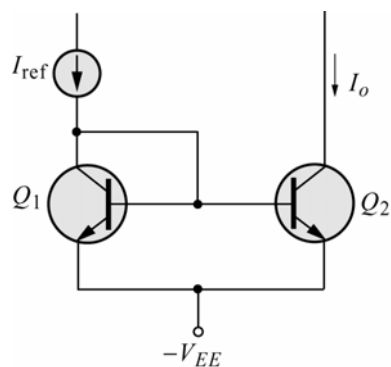
$$\frac{I_o}{I_{ref}} = \frac{I_o}{I_1} = \frac{(\beta^{\beta+2})I_B}{(\beta + \frac{\beta+2}{\beta+1})I_B} = \frac{\beta^{\beta+2}\beta+2\beta+2}{\beta^{\beta+2}+2\beta} = \frac{\beta^{\beta+2}}{\beta}$$

範例 14 如圖(9) Q_1 與 Q_2 為匹配 (matched) 之電晶體且皆操作於作用區 (active region), 求 $\frac{I_o}{I_{ref}} = ?$

$(\beta_1=\beta_2=\beta)$

(A) $\frac{1}{1 + \beta^2}$ (B) $\frac{1}{1 + \beta}$

(C) $\frac{1}{1+\frac{2}{\beta^2}}$ (D) $\frac{1}{1+\frac{2}{\beta}}$ 。 【91 電機四技】



(9)

解

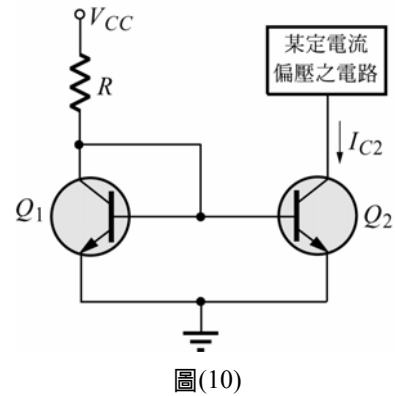
解 (D) $\frac{I_o}{I_{ref}} = \frac{\beta I_B}{\beta I_B + 2I_B} = \frac{\beta}{\beta + 2} = \frac{1}{1 + \frac{2}{\beta}}$ 。

範例 15 如圖(10)所示為一線性積體電路 (linear IC) 中，所用之電流鏡 (current mirror)，可提供定電流偏壓源，令 $V_{CC}=5V$ ， $R=2k\Omega$ ，且 Q_1 的特性與 Q_2 相同，則 I_{C2} 之電流大小約為？

(A) 1.1mA (B) 2.2mA (C) 3.3mA (D) 4.4mA。

【86 電子四技】

解 (B) $\because I_{C2} = I_R = \frac{V_{CC} - V_{BE1}}{R} = \frac{5 - 0.7}{2k} = 2.15(\text{mA})。$

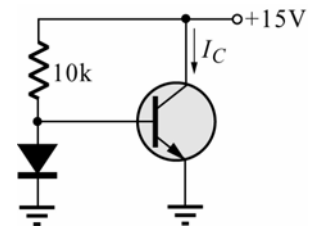


圖(10)

練習 15-1 如圖(11)為電流鏡電路，其鏡流 (mirror current) 是多少？
(A) 2.43mA (B) 1.57mA (C) 1.43mA (D) 1.24mA。

【84 電機四技】

答

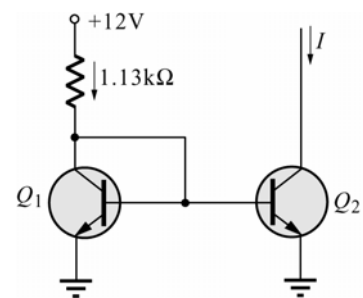


圖(11)

練習 15-2 如圖(12)是鏡像電流源， Q_1 、 Q_2 是相同電晶體， $I =$ (A) 10mA (B) 20mA (C) 5mA (D) 1mA。

【84 電機四技】

答



圖(12)

10-1 練習題答案與解析

1.(A) 2-1.(C) 2-2.(C) 3.(A) 4-1.(C) 4-2.(D) 4-3.(C) 5.(A) 11.(A) 12-1.(C)
12-2.(B) 15-1.(C) 15-2.(A)

1. $CMRR = \left| \frac{A_d}{A_c} \right| = \frac{500}{0.2} = 2500$ 。

2-1. CMRR 之 dB 值為 $CMRR = 20 \log \left| \frac{A_d}{A_c} \right|$ $80 = 20 \log \frac{200}{A_c}$ $\therefore 4 = \log \frac{200}{A_c}$ ，故 $A_c = \frac{200}{10^4} = 0.02$ 。

2-2. $\therefore CMRR = 20 \log \left| \frac{A_d}{A_c} \right|$ $\therefore 80 = 20 \log \left| \frac{A_d}{A_c} \right|$ ，得 $\frac{A_d}{A_c} = 10^4 = 10000$ 。

3. 差動放大器的共模拒斥比 $CMRR \left(\frac{A_d}{A_c} \right)$ 愈大則愈能排斥共同的訊號，即愈能抑止雜訊。

4-1. (1) $V_d = V_{i1} - V_{i2} = 75 - 25 = 50(\mu V)$ $V_c = \frac{V_{i1} + V_{i2}}{2} = \frac{75 + 25}{2} = 50(\mu V)$ 。

(2) $V_o = A_d V_d \left(1 + \frac{1}{CMRR} \frac{V_c}{V_d} \right) = 1000 \times 50 \left(1 + \frac{1}{100} \times \frac{50}{50} \right) = 50.5 \times 10^3 (\mu V) = 50.5(mV)$ 。

4-2. 本題使用 $V_o = A_d V_d + A_c V_c$ 求得 V_o

(1) $V_d = V_{i1} - V_{i2} = 150 - 100 = 50(\mu V)$ $V_c = \frac{V_{i1} + V_{i2}}{2} = \frac{150 + 100}{2} = 125(\mu V)$

(2) $\therefore CMRR = 100 = 20 \log \left| \frac{A_d}{A_c} \right| = 20 \log \left| \frac{1000}{A_c} \right|$ $\therefore A_c = 0.01$

(3) $V_o = A_d V_d + A_c V_c = 1000 \times 50 + 0.01 \times 125 = 51.25(mV)$ 。

4-3. (1) $V_d = V_1 - V_2 = 10 - 10 = 20(\mu V)$ $V_c = \frac{V_1 + V_2}{2} = \frac{10 - 10}{2} = 0(\mu V)$

(2) $\therefore CMRR = \left| \frac{A_d}{A_c} \right| = 1000$ $\therefore A_c = \frac{A_d}{1000} = \frac{1000}{1000} = 1$

(3) $V_o = A_d V_d + A_c V_c = 1000 \times 20 + 1 \times 0 = 20(mV)$ 。

5. (1) $V_d = 1 - 1 = 0$ $V_c = \frac{1 + 1}{2} = 1(mV)$

(2) $\therefore V_o = A_d V_d + A_c V_c$ $\therefore 0.5 = A_d \times 0 + A_c \times 1$ ，得 $A_c = 0.5$ 。

11. (1) $h_{fe} = \beta = 100$ ， $h_{ie} = r_\pi = 1k\Omega$

(2) $A_v = \frac{V_o}{V_1 - V_2} = \frac{-\beta R_c}{2r_\pi} = \frac{-h_{fe} R_c}{2h_{ie}} = \frac{-100 \times 5k}{2 \times 1k} = -250$ 。

12-1. \therefore 共模增益 $A_c = \frac{V_o}{V_c} \doteq -\frac{R_C}{2R_E}$ 且 $CMRR = \left| \frac{A_d}{A_c} \right|$

\therefore 當 $R_E \uparrow$ 時， $A_c \downarrow$ ， $CMRR \uparrow$ ，電路的雜訊排斥能力變佳，且放大器的穩定度提高。

12-2. 在差動放大器中， R_E 電阻愈大，則其 $CMRR$ 值也隨之增大，但太大的 R_E 電阻將造成電晶體的 I_B 太小而不能正常工作（須工作在作用區），故最佳的取代方式為採用定電流源，既可獲得適當的 I_B 電流，也可獲得高阻值（高 $CMRR$ 值）。

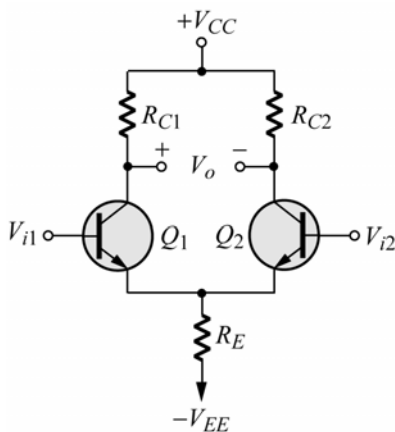
15-1. $I_C \doteq I_{I0k} = \frac{15 - 0.7}{10k} = 1.43 \text{ (mA)}。$

15-2. $I \doteq I_{I.13k} = \frac{12 - 0.7}{1.13k} = 10 \text{ (mA)}。$

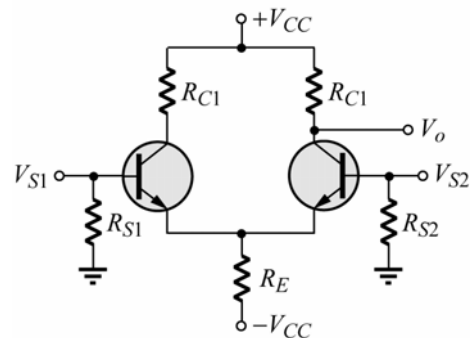


10-1 歷屆試題集錦

- () 1. 某一差動放大器電路，其共模拒斥比 $CMRR=100\text{dB}$ 時，則差模增益 (A_d) 與共模增益 (A_C) 的比值為何？ (A) 10^{10} (B) 10^5 (C) 10^4 (D) 10^3 。 【81 電子四技】
- () 2. 下列關於差動放大器(如圖(1)所示)的描述，何者錯誤？(註 A_C ：共模增益； A_d ：差模增益) (A)理想差動放大器當兩輸入端接上相同的訊號時，輸出 $V_o=0$ (B)理想差動放大器 $A_C=\infty$ ， $A_d=0$ (C)差動放大器的射極電阻 R_E 愈大時，可增加共模拒斥比 (D)共模拒斥比愈大，表示放大器的雜訊抑制能力愈佳。 【81 電子四技】

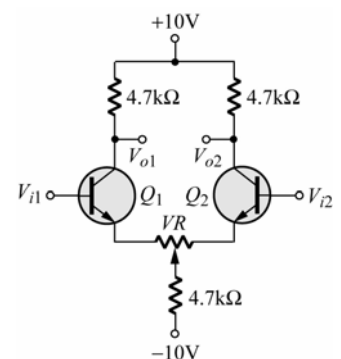


圖(1)



圖(2)

- () 3. 如圖(2)電路， $V_{S1}=1\text{V}$ ， $V_{S2}=1\text{V}$ 時， $V_o=0.08\text{V}$ ； $V_{S1}=0.5\text{V}$ ， $V_{S2}=-0.5\text{V}$ 時 $V_o=20\text{V}$ ，則此電路的 $CMRR$ 為 (A)160 (B)200 (C)250 (D)300。 【83 電機台北】
- () 4. 共模拒斥比 ($CMRR$) 為 20 分貝時，差模增益與共模增益之比值為 (A)0.1 (B)1 (C)10 (D)100。 【85 電機四技】
- () 5. 有關圖(3)的差動放大器，下列敘述何者錯誤？ (A)可變電阻 VR 的作用為直流平衡調整 (B) VR 太大將會使差動增益降低 (C)調整 VR 對電路之直流平衡點沒有影響 (D)若將 V_{i2} 接地，則形成單端輸入雙端輸出差動放大器。【86 電子保甄】
- () 6. 有一差動放大器，其輸入 $V_{i1}=0.5\text{mV}$ ， $V_{i2}=0.45\text{mV}$ ， $A_d=4500$ ， $CMRR=10^4$ ，則其輸出電壓為 (A)115mV (B)225mV (C)335mV (D)0.05mV。 【87 電機保甄】
- () 7. 設計電晶體差動放大器時，射極共同點接一穩定電流源之主要目的是 (A)增加負回授量 (B)增加頻寬 (C)增加增益量 (D)提高 $CMRR$ 。 【88 電機保甄】
- () 8. 理想之定電流源，其輸出阻抗為 (A)0 歐姆 (B) ∞ 歐姆 (C)1 仟歐姆 (D)100 仟歐姆。 【88 電機保甄】
- () 9. 欲提高差放大器的 $CMRR$ 值 (共模拒斥比)，則應 (A)加大基極電阻 R_C (B)加大射極電阻 R_E (C)加大集極電阻 R_C (D)加大輸入訊號。 【88 電子保甄】



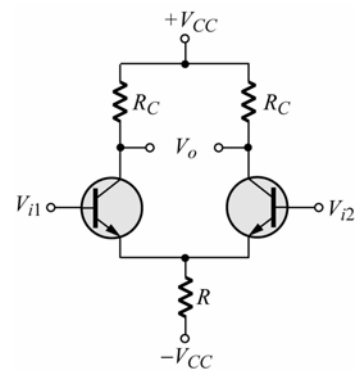
圖(3)

- () 10. 如圖(4)電路，為一差動放大器，當 V_{CC} 值下跌時，若仍滿足條件 $(1+h_{fe})2R_E \gg h_{ie}$ ，則下列何者仍將維持不變？

(A)共模增益絕對值 (B)差模增益絕對值 (C)共模拒斥比 (CMRR) (D)輸出信號 V_o 大小。 【88 電子保甄】

- () 11. 一個理想的電流源，其內阻應為 (A)零 (B)隨待測電流改變 (C)隨負載改變 (D)無窮大。 【88 電機四技】

- () 12. 差動放大器中之 R_E 電阻，在積體電路內，多以何種方式取代？ (A)定電感 (B)定電容 (C)定電壓源 (D)定電流源。 【88 電子四技】



圖(4)

- () 13. 下列對於差動放大器 (Differential Amplifier) 的敘述，何者是錯誤的？ (A)共模組態是指在兩輸入端接上極性相同的信號，而使得輸出等於零的電路結構 (B)差模組態是指讓兩輸入端有電壓差存在，而使得輸出不為零的電路結構 (C)共模拒斥比 (Common-Mode Rejection Ratio，簡稱 CMRR) 是指差模增益對共模增益的比值，此值愈小愈好 (D)理想的差動放大器會將共模信號抵消，而將差模信號放大。 【89 電子推甄】

- () 14. 差動放大器之 CMRR 定義為 (A) A_d/A_C (B) A_C/A_d (C) A_C-A_d (D) A_C+A_d 。
(A_C ：共模增益； A_d ：差模增益) 【89 電機推甄】

- () 15. 某差動放大器之共模拒斥比 CMRR=60dB、差模增益 $A_d=100$ ，若差動放大器之共模輸入訊號 $V_C=10V$ 、差模輸入訊號 $V_d=0.1V$ ；則此差動放大器之輸出電壓可能為 (A)10.01V (B)10.00V (C)11.00V (D)20.00V。 【90 電機四技】

- () 16. 下列有關差動放大器之敘述，何者錯誤？
(A)CMRR 越大越佳
(B)共模增益越小越好
(C)CMRR 越大越不能拒絕共模信號
(D)差模增益越大且共模增益越小，差動放大器性能越佳。 【97 電機電子四技】

10-1 歷屆試題答案與解析

- 1.(B) 2.(B) 3.(C) 4.(C) 5.(C) 6.(B) 7.(D) 8.(B) 9.(B) 10.(A)
11.(D) 12.(D) 13.(C) 14.(A) 15.(C) 16.(C)

1. $CMRR = \left| \frac{A_d}{A_C} \right|$ (無單位)

若以 dB 值為單位，則 $CMRR(dB) = 20 \log \left| \frac{A_d}{A_C} \right| = 100$

$\therefore \log \left| \frac{A_d}{A_C} \right| = 5$ ，故 $\left| \frac{A_d}{A_C} \right| = 10^5$ 。

2. (1)對理想差動放大器而言，當兩輸入端接上相同的信號（ $V_{i1} = V_{i2}$ ）時，輸出 $V_o = 0$ 。

(2)理想差動放大器其共模拒斥比 $\text{CMRR} = \left| \frac{A_d}{A_c} \right| = \infty \quad \therefore A_c = 0, A_d = \text{定值}。$

(3)CMRR 值愈大愈好，表示放大器對雜訊抑制能力愈佳。

(4)共模增益 $A_c = \frac{R_c}{2R_E}$ ，故 R_E 愈大， A_c 愈小，則 CMRR 值愈大。

3. (1)①當 $V_{S1} = 1\text{V}$ ， $V_{S2} = 1\text{V}$ 時，

$$V_d = V_{S1} - V_{S2} = 1 - 1 = 0(\text{V}) \quad V_c = \frac{V_{S1} + V_{S2}}{2} = \frac{1+1}{2} = 1(\text{V})$$

$$\textcircled{2} V_o = A_d V_d + A_c V_c$$

$$0.08 = A_d \times 0 + A_c \times 1, \text{ 得 } A_c = 0.08$$

- (2)①當 $V_{S1} = 0.5\text{V}$ ， $V_{S2} = -0.5\text{V}$ 時，

$$V_d = V_{S1} - V_{S2} = 0.5 - (-0.5) = 1(\text{V}) \quad V_c = \frac{V_{S1} + V_{S2}}{2} = \frac{0.5 - 0.5}{2} = 0(\text{V})$$

$$\textcircled{2} V_o = A_d V_d + A_c V_c$$

$$20 = A_d \times 1 + 0.08 \times 0, \text{ 得 } A_d = 20$$

$$(3) \text{CMRR} = \left| \frac{A_d}{A_c} \right| = \frac{20}{0.08} = 250。$$

4. $\therefore \text{CMRR} = 20 \log \left| \frac{A_d}{A_c} \right| = 20(\text{dB}) \quad \therefore \log \left| \frac{A_d}{A_c} \right| = 1, \text{ 得 } \left| \frac{A_d}{A_c} \right| = 10。$

5. (1)本題的答案實在有阿“ㄉㄩ”的，選(A)或(C)一定對 $\frac{1}{2}$ 。因為(A)(C)的意思剛好相反。

(2)調整 VR ，如同改變 Q_1 與 Q_2 等效 R_E 值， VR 改變，當然會改變 Q_1 與 Q_2 之 I_B 、 I_C 值，而影響直流平衡；所以調整 VR 的目的在減少因 Q_1 、 Q_2 特性不同造成 CMRR 的不同。

6. (1) $V_c = \frac{V_{i1} + V_{i2}}{2} = \frac{0.5 + 0.45}{2} = 0.475(\text{mV})$

$$V_d = V_{i1} - V_{i2} = 0.5 - 0.45 = 0.05(\text{mV})。$$

$$(2) \text{CMRR} = \left| \frac{A_d}{A_c} \right| = 10^4$$

$$\frac{4500}{A_c} = 10^4, \text{ 得 } A_c = 0.45。$$

$$(3) V_o = A_d V_d + A_c V_c = 4500 \times 0.05 + 0.45 \times 0.475 = 225.22(\text{mV})。$$

7. (1)因為 $\text{CMRR} = \left| \frac{A_d}{A_c} \right|$ ，而 $A_c = \frac{-R_c}{2R_E}$ ，當 R_E 電阻改為電流源時（即 $R_E \rightarrow \infty$ ），此時 $A_c \rightarrow 0$ ，

所以 $\text{CMRR} \rightarrow \infty$ ，愈能抑止雜訊。

(2)理想電流源內阻為 ∞ 。

8. 理想電流源的內阻為 ∞ ，而理想電壓源的內阻為 0。

9. $\because R_E \uparrow$ 造成差動放大器的共模增益 $A_C \downarrow$ ($A_C \doteq \frac{-R_C}{2R_E}$)

又 $\because \text{CMRR} = \left| \frac{A_d}{A_C} \right|$ ，當 $A_C \downarrow$ ，造成 $\text{CMRR} \uparrow$ 。

10. (1) 當 V_{CC} 下降 ($V_{CC} \downarrow$)，將造成 I_B 、 I_C 、 I_E 皆下降；

且因 $r_\pi \doteq \beta r_e \doteq \beta \frac{V_T}{I_E} \doteq \beta \frac{25\text{mV}}{I_E}$ ，所以 r_π 將會上升 ($r_\pi \uparrow$)。

另又因 $A_d \doteq \frac{-\beta R_C}{r_\pi}$ (電路為差動輸出)，由於 $r_\pi \uparrow$ ，故 $A_d \downarrow$ 。

(2) $A_C \doteq \frac{-R_C}{2R_E}$ ，所以 A_C 不受 V_{CC} 的影響，維持不變。

(3) $\text{CMRR} = \left| \frac{A_d}{A_C} \right|$ ，由於 $A_d \downarrow$ ，所以 $\text{CMRR} \downarrow$ 。

(4) $V_o = A_d V_d + A_C V_C$ ，由於 $A_d \downarrow$ ， A_C 不變，所以 $V_o \downarrow$ 。

11. 參考題 8 解析。

12. $\because R_E \uparrow$ ，則差動放大器之 $A_C \downarrow$ ，造成 $\text{CMRR} \uparrow$ ，愈趨理想。但是 R_E 過大，造成差動放大器不能正常工作 (I_B 過小)，所以在線性的積體電路中，多以定電流源取代。

13. (D) $\text{CMRR} = \left| \frac{A_d}{A_C} \right|$ ，此值愈大愈好，表示該電路愈能拆斥 (抵銷) 共同的輸入信號 (如雜音即是)。

14. $\text{CMRR} = \left| \frac{A_d}{A_C} \right|$ 。

15. (1) $\because \text{CMRR} = 20 \log \left| \frac{A_d}{A_C} \right| = 60(\text{dB})$

$$\therefore \left| \frac{A_d}{A_C} \right| = 10^3$$

(2) $\because A_d = 100$ ，且 $\left| \frac{A_d}{A_C} \right| = 10^3$ ， $\therefore A_C = 0.1$

(3) $V_o = A_d V_d + A_C V_C = 100 \times 0.1 + 0.1 \times 10 = 11(\text{V})$ 。

16. $\text{CMRR} = \left| \frac{A_d}{A_C} \right|$ ，其值愈大愈能拒絕 (抵消) 共模 (同) 信號 (如雜訊...)，愈大則表示差動放大器的性能愈佳。

10-2 OPA 的特性與參數

理想 OPA 的特性

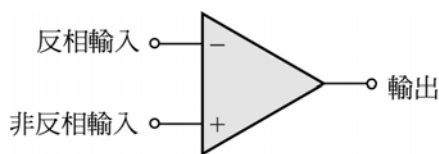
1. 輸入阻抗為無限大 ($R_i \rightarrow \infty$)。
2. 輸出阻抗為零 ($R_o \rightarrow 0$)。
3. 開迴路增益 (open loop gain) 為無限大 ($A_{vo} \rightarrow \infty$)。
4. 頻帶寬度為無限大 ($BW \rightarrow \infty$)。
5. 共模拒斥比為無限大 ($CMRR \rightarrow \infty$)。
6. 無輸入抵補電壓 ($V_{io}=0$)，即當 $V_i=0$ ($V_{i1}=V_{i2}$) 時，其 V_o 亦為 0。
7. 特性不受溫度變化而改變。
8. 響應時間為零，即無延遲時間。

• 註

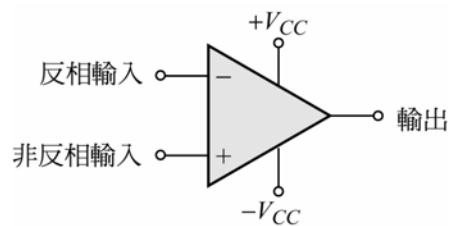
運算放大器 (Operational Amplifier, 常以 OPA 或 OP Amp 表示)

常用符號與包裝接腳

1. 常用符號 (反相輸入端與非反相輸入端位置可互換)



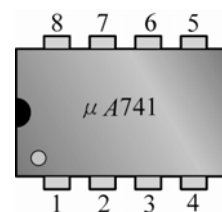
(a) 符號



(b) 符號 (含電源)

2. DIP 型包裝接腳 (以 $\mu A 741$ 為例)

- (1) 第 1、5 腳為抵補 (offset) 電壓調整。
- (2) 第 2 腳為反相輸入端。
- (3) 第 3 腳為非反相輸入端。
- (4) 第 4 腳為負電源。
- (5) 第 7 腳為正電源。
- (6) 第 6 腳為輸出端。
- (7) 第 8 腳為空腳。



範例 1 有關理想運算放大器的特性描述，下列何者錯誤？ (A) 開路電壓增益 $A_V \rightarrow \infty$ (B) 輸入阻抗 $R_i \rightarrow \infty$ (C) 輸出阻抗 $R_o \rightarrow \infty$ (D) 頻帶寬度 $BW \rightarrow \infty$ 。 【93 電機電子四技】

解

(C) 理想運算放大器 (OPA) 的特性。(熟記，常考哦！)

- | | | |
|-------------------------|---------------------------|---|
| (1) 輸入阻抗 $R_i = \infty$ | (2) 輸出阻抗 $R_o = 0$ | (3) 電壓增益 (開環路) $A_{VO} = \infty$ |
| (4) 頻帶寬度 $BW = \infty$ | (5) 共模拒斥比 $CMRR = \infty$ | (6) $V_{i1} = V_{i2}$ 時， $V_o = 0$ (無抵補電壓)。 |

練習 1-1

下列何者不為理想運算放大器 (OPA) 的特性？ (A)輸入阻抗無限大 (B)輸出阻抗無限大 (C)頻寬無限大 (D)共模互斥比無限大。

【88 電機四技】

答

練習 1-2

下列哪一項不是理想放大器 (ideal OP-AMP) 之特點？ (A)輸入阻抗無限大 (B)輸出阻抗等於零 (C)電壓放大倍數無限大 (D)抵補電壓無限大。

【87 電子保甄】

答

練習 1-3

非理想運算放大器 (OPA) 的原理敘述中，下列何者正確？ (A)輸入阻抗為有限值約 100Ω (B)輸出阻抗為有限值約 $100\text{ k}\Omega$ (C)頻寬為有限值 (D)增益可不必考慮。

【95 電子四技】

答

範例 2

編號為 $\mu A741$ 的 IC，其輸出為第幾接腳？

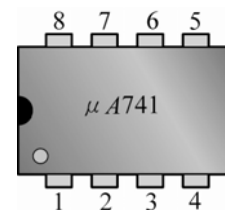
(A)第 3 腳 (B)第 4 腳 (C)第 5 腳 (D)第 6 腳。

【92 電機四技】

解

(D) 常用 OPA $\mu A741$ (或 LM 741) IC 的接腳與功能如下：

- (1) 1、5 腳：抵補電壓 (Offset Voltage) 平衡調整。
- (2) 2 腳：反相輸入端。
- (3) 3 腳：非反相輸入端 (或同相輸入端)。
- (4) 4 腳：負電源。
- (5) 7 腳：正電源。
- (6) 6 腳：輸出端。
- (7) 8 腳：空接。



練習 2-1

運算放大器之積體電路編號 741 的接腳定義，下列何者正確？

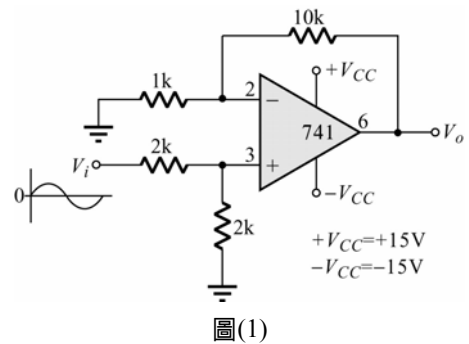
(A)第 3 腳為輸出 (B)第 6 腳為輸出 (C)第 2 腳為輸出 (D)第 7 腳為輸出。

【90 電機四技】

答

練習 2-2 如圖(1)所示為非反相放大電路，所用 OP Amp 為 8 隻腳的 $\mu A 741$ (或 LM741)，圖中未標示的電源接腳應為 (A) $+V_{CC}$ 接第 7 腳， $-V_{CC}$ 接第 4 腳 (B) $+V_{CC}$ 接第 5 腳， $-V_{CC}$ 接第 1 腳 (C) $+V_{CC}$ 接第 8 腳， $-V_{CC}$ 接第 1 腳 (D) $+V_{CC}$ 接第 1 腳， $-V_{CC}$ 接第 4 腳。

【83 電子四技】



答

範例 3 下列何者為運算放大器之編號？ (A) NE555 (B) 1N4001 (C) SN74LS00 (D) $\mu A 741$ 。

【95 電機四技】

解

- (D) (1) $\mu A 741$ 、709、747 及 LM101、201、301...皆為常見的運算放大器(OPA)編號。
 (2) NE555 為常用的定時器，多應用於無穩多振盪器、單穩態多諧振盪器。
 (3) 1N4001~1N4007 為整流二極體。
 (4) SN74LS00 為兩輸入端反及閘 (NAND) 的 IC。

練習 3 下列何者為運算放大器的編號？ (A) C106B (B) $\mu A 741$ (C) 2SC1815 (D) 1N4001。

【89 電機四技】

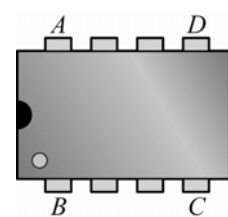
答

範例 4 如圖(2)為某 IC 的頂視圖，其第 1 支接腳的位置在何處？ (A) A (B) B (C) C (D) D。

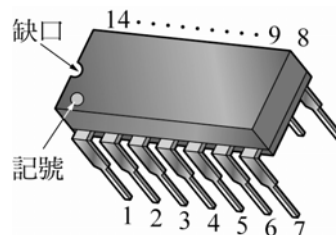
【91 電機四技】

解

- (B) 如圖為雙排並列接腳包裝 (DIP, Dual In-line Package) 的 IC，IC 的接腳編號以有“缺口”或“記號”的地方開始，依逆時鐘方向編排。



圖(2)

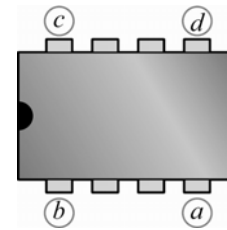


練習 4

如圖(3)為某 DIP 包裝 IC 的上視圖，其第 1 隻腳的位置為 (A)Ⓐ (B)Ⓑ (C)Ⓒ (D)Ⓓ。

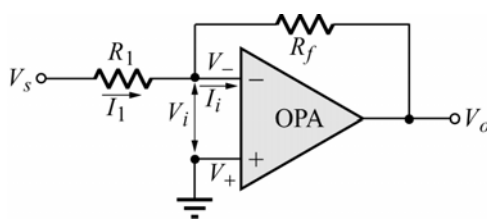
【83 電子四技】

答

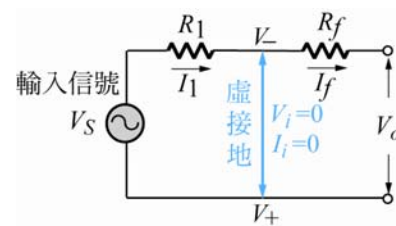


圖(3)

虛接地 (Virtual Ground) 的觀念



(a) 電路



(b) 虛接等效電路

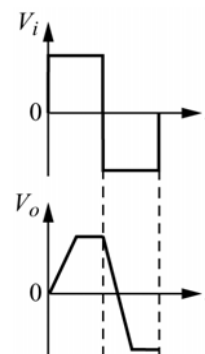
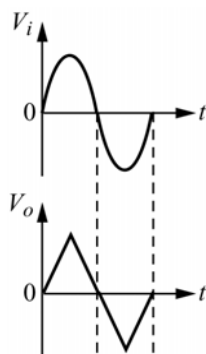
1. $V_i = 0$ ，即 $V_- = V_+$ ($\because V_i = \frac{V_o}{A_v} = \frac{V_o}{\infty} = 0$)
2. $I_i = 0$ ($\because I_i = \frac{V_i}{R_i} = \frac{V_i}{\infty} = 0$)，所以 $I_1 = I_f$

其中 $V_i = 0$ (即兩輸入端同電位 $V_- = V_+$) 的情況，在 OPA 的輸出發生飽和時，就不適用了，例如：正回授的史密特觸發電路、飽和時的負回授放大電路及比較器，皆不適用虛接地。

變動率 (Slew Rate, SR) 與頻寬 (BW)

1. 變動率 (SR，又稱為迴轉率、扭轉率)

- (1) 當輸入電壓變動時，輸出電壓所產生的最大變化率，亦即 OPA 之輸出電壓對時間變化的反應能力，常以 $V/\mu S$ 為單位。
- (2) 若輸入信號的頻率過高，超過 SR 所能反應的速度，將致使輸出波形失真，以下為輸入正弦波與方波時，所產生的失真情形。



2. 全功率頻率（寬）

$$SR = 2\pi f_{(\max)} \cdot V_{o(\max)}$$

其中 $f_{(\max)}$ ：OPA 所能輸入之最高頻率；當 V_o 為最大值（峰值）時，即稱為全功率（Full-Power）頻率（寬）；若輸入信號頻率超出此頻率，則輸出波形將會產生失真。

$V_{o(\max)}$ ：OPA 輸出正弦波的峰值電壓。

範例 5

如圖(4)電路，為一儀表放大器（Instrumentation Amplifier），

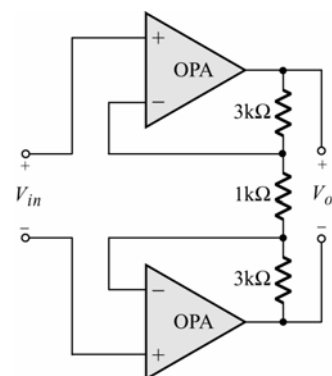
其電壓增益 $\frac{V_o}{V_{in}}$ 為 (A)6 (B)7 (C)8 (D)9。

【88 電子保甄】

解

(B) 因 OPA 具有虛接地特性（ $V_i=0$ ， $I_i=0$ ）

$$\text{故 } V_{in}=V_{1k}=V_o \times \frac{1k}{3k+1k+3k}, \text{ 所以 } A_V = \frac{V_o}{V_{in}} = \frac{3k+1k+3k}{1k} = 7。$$



圖(4)

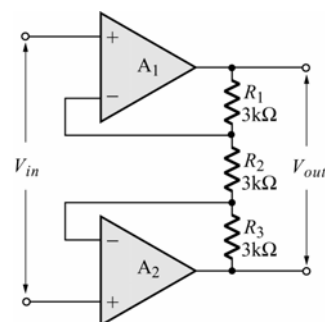
練習 5

如圖(5)中為一儀表放大器，其電路增益 $\frac{V_{out}}{V_{in}}$ 為

(A)3 (B)6 (C)9 (D)12。

【電子四技】

答



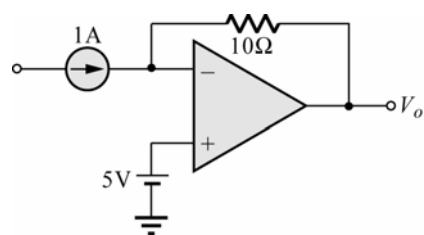
圖(5)

範例 6 如圖(6)的輸出電壓 $V_o = ?$

(A)15V (B)5V (C)0V (D)-5V。【84 電子台北】

解 (D) \because 虛接地 ($V_- = V_+$)

$$\therefore V_o = I \times R + V_- = I \times R + V_+ = (-1) \times 10 + 5 = -5(\text{V})。$$



圖(6)

範例 7 某一運算放大器之轉動率 $S.R. = 0.6\text{V}/\mu\text{S}$ ，若此運算放大器之輸出電壓峰對峰值為 10V；則此運算放大器在輸出不允許失真的狀況下，輸入所能允許正弦波之最高頻率約為 (A)9.5kHz (B)19kHz (C)38kHz (D)57kHz。【90 電機四技】

解 (B) $\because SR = 2\pi f_{(\text{max})} \cdot V_{o(\text{max})}$

$$\therefore 0.6 \times 10^6 = 2\pi \times f_{(\text{max})} \times \frac{10}{2} \quad \text{得 } f_{(\text{max})} = 19 \times 10^3 (\text{Hz}) = 19(\text{kHz})。$$

練習 7-1 若 $\mu\text{A} 741$ 之扭轉率 (Slew Rate) 為 $0.314\text{V}/\mu\text{S}$ ，欲得到峰值至少為 10V 的弦波輸出，求它所能輸入之最高頻率約為 (A)8kHz (B)7kHz (C)6kHz (D)5kHz。

【82 電子台北】

答

練習 7-2 對全功率頻寬 $f = 50\text{kHz}$ ，額定輸出電壓為 $\pm 12\text{V}$ 的 OPA 而言，頻率為 100kHz 且沒有失真的最大可能輸出為多少？ (A)5V (B)6V (C)10V (D)12V。【83 電子嘉南】

答

練習 7-3 某一運算放大器的迴轉率 (slew rate) 為 $35\text{V}/\mu\text{S}$ ，若要將輸出從零變化到 15V，需要多少時間？ (A) $2.333\mu\text{S}$ (B) $1.295\mu\text{S}$ (C) $0.429\mu\text{S}$ (D) $0.127\mu\text{S}$ 。【86 電機四技】

答

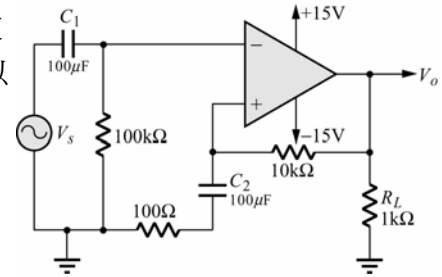
範例 8

如圖(7)所示之電路，當 V_s 是 20kHz, 0.1V_{P-P} 正弦波時，若其輸出為三角波，則主要原因可能為何（以 OPA 實際特性考量）？

- (A) OPA 的迴轉率 (slew rate) 太高
- (B) OPA 的迴轉率 (slew rate) 太低
- (C) 電源電壓太高
- (D) R_L 太小。

【85 電子保甄】

圖(7)

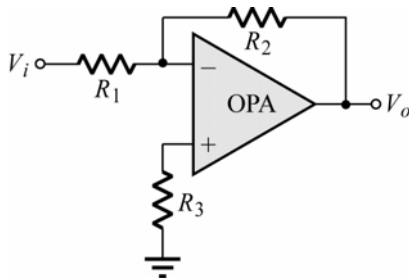


解

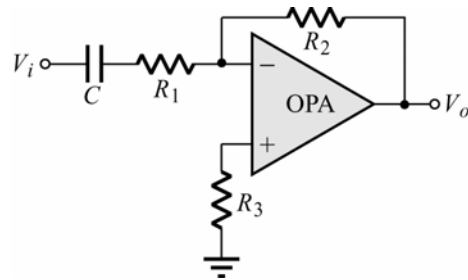
(B) OPA 的迴轉率 (slew rate, 單位為 V/μS) 太低時，其轉換速度會變慢，使得輸出波形產生變形，如輸入正弦波或方波時，輸出波形均會變形成類似三角波，而非線性放大。

OPA 輸入偏壓電流 I_B 的補償 (消除)

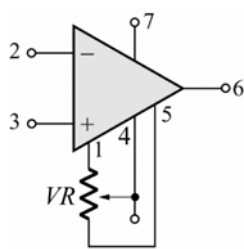
$$1. R_3 = R_1 // R_2$$



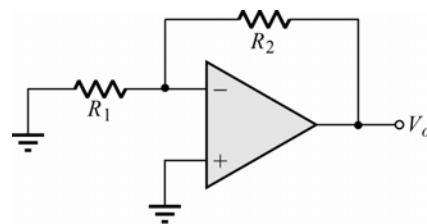
$$2. R_3 = R_2 \quad (\because C \text{ 在直流視為 } \infty)$$

OPA 輸入抵補電壓 V_{io} 的補償 (消除)

- 以 μA 741 的 IC 為例，在 1、5 腳間接上 10kΩ 的可變電阻 (VR) 來調整，使 $V_{io} = 0$ ，如圖(a)所示。



圖(a)



圖(b)

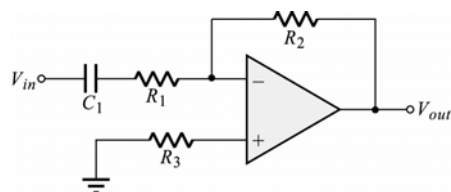
- 當 $V_{io} \neq 0$ 時， V_o 與 V_{io} 的關係如下 (參圖(b)所示)

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

範例 9

如圖(8)所示電路，若要消除運算放大器輸入偏壓電流 (input bias current) 的效應，則 R_3 之電阻值應為 (A) R_1 (B) R_2 (C) $R_1 + R_2$ (D) $R_1 // R_2$ 。

【91 電子四技】



圖(8)

解

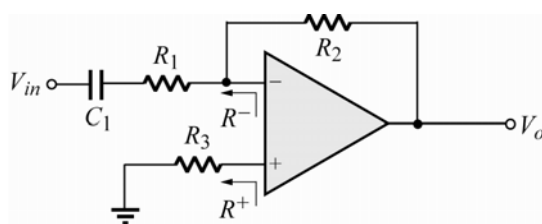
(B) (1) R_3 的作用：減低 OPA 輸入偏壓電流對輸出的影響

(2) R_3 的電阻值： $R_3 = R^+ = R^-$

R^+ 為由非反相端看出之直流電阻

R^- 為由反相端看出之直流電阻

由於 OPA 之 R_o (輸出阻抗 $\approx 0\Omega$)，所以 $R^- \approx R_2$ ，故 R_3 之值應為 R_2

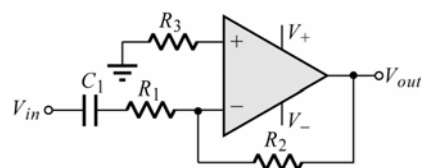


(3) 若不加 C_1 電容，則 $R_3 \approx R_1 // R_2$ 。

練習 9-1

如圖(9)所示 OPA 交流放大電路，為了減低 OPA 輸入偏壓電流對輸出的影響，則所附加電阻 R_3 值應為 (A) R_1 (B) R_2 (C) $R_1 + R_2$ (D) R_1 與 R_2 並聯值。

【83 電子保甄】



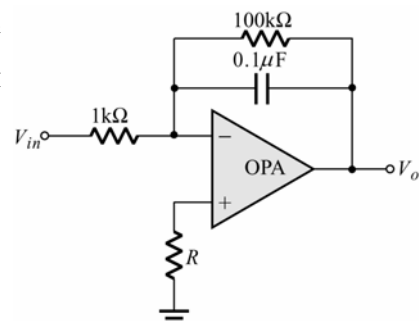
圖(9)

答

練習 9-2

如圖(10)電路，為一限制低頻增益之 OPA 反相積分器 (Integrator)，為了消除因偏壓電流 (Bias Current) 造成對輸出之影響，宜選取 R 值為 (A) 100Ω (B) $1k\Omega$ (C) $10k\Omega$ (D) $100k\Omega$ 。

【88 電子保甄】

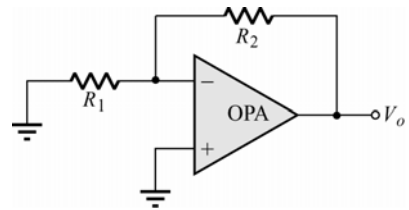


圖(10)

答

範例 10 如圖(11)電路，若 $R_1=1\text{k}\Omega$ ， $R_2=10\text{k}\Omega$ ， $V_o=0.11\text{V}$ ，則其輸入抵補電壓 (Input Offset Voltage) 為 (A)10mV (B)11mV (C)12mV (D)15mV。

【88 電子保甄】



圖(11)

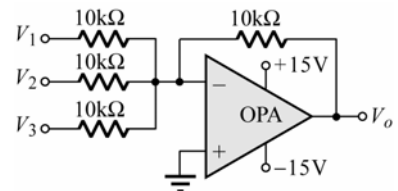
解 (A) (1) 由於反相、非反相輸入端均無信號輸入，而 V_o 卻有電壓輸出，此為輸入抵補電壓所引起的現象。

$$(2) V_o = (1 + \frac{R_2}{R_1}) \times V_{io}$$

$$0.11 = (1 + \frac{10\text{k}}{1\text{k}}) \times V_{io}, \text{ 所以 } V_{io} = 0.01\text{V} = 10\text{mV}。$$

練習 10 如圖(12)之 OPA 為非理想運算放大器，其中 V_{io} 為考慮 OPA 之輸入抵補電壓後之等效電壓值，且測得 $V_{io}=2.5\text{mV}$ 。若 $V_1=V_2=V_3=0\text{V}$ ，則輸出 V_o 為多少？ (A)2.5mV (B)10mV (C)-10mV (D)15V。

【86 電子保甄】

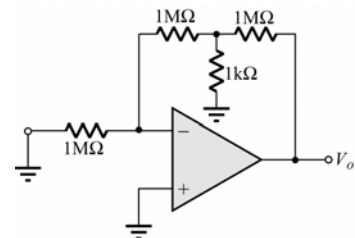


圖(12)

答

範例 11 如圖(13)已知運算放大器的輸入抵補電壓 (input offset voltage) 為 $\pm 5\text{mV}$ ，假設運算放大器的其餘特性均為理想，則此電路之輸出電壓 V_o 最接近 (A) $\pm 4\text{V}$ (B) $\pm 6\text{V}$ (C) $\pm 8\text{V}$ (D) $\pm 10\text{V}$ 。

【89 電子保甄】



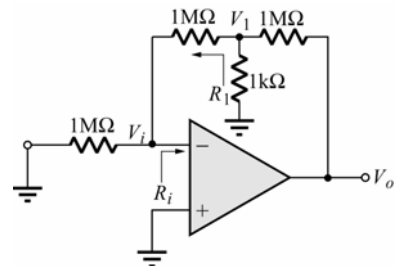
圖(13)

解 (D) (1) OPA 之輸入阻抗 $R_i = \infty$ $\therefore R_1 = 1\text{M} + 1\text{M} = 2\text{M}(\Omega)$

$$(2) V_1 = V_o \times \frac{2\text{M} // 1\text{k}}{1\text{M} + 2\text{M} // 1\text{k}} \approx V_o \times \frac{1\text{k}}{1\text{M} + 1\text{k}} = \frac{1}{1001} V_o$$

$$(3) V_i = \frac{1}{2} V_1 = \frac{1}{2002} V_o, \text{ 所以 } A_v = \frac{V_o}{V_i} = 2002$$

$$(4) V_o = A_v \times V_{io} = 2002 \times (\pm 5\text{mV}) = \pm 10.01\text{V}。$$



範例 12 設有一運算放大器之開路電壓增益為 100000，其電源電壓為 $\pm 15\text{V}$ ，令其輸出飽和電壓可達電源電壓之 90%，請問 V_{id} （差動輸入電壓）大約多少就可使該放大器飽和？
(A) $\pm 135\text{mV}$ (B) $\pm 135\mu\text{V}$ (C) $\pm 175\text{mV}$ (D) $\pm 175\mu\text{V}$ 。 【86 電子四技】

解 (B) (1) 由於 $V_{o(\text{sat})}$ 約為電源電壓的 90%，所以 $V_{o(\text{sat})} = \pm 15 \times 90\% = \pm 13.5(\text{V})$

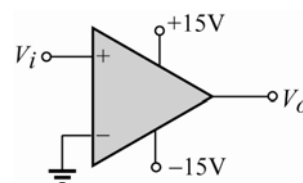
$$(2) \because V_o = V_{id} \times A_v \therefore V_{id} = \frac{V_o}{A_v} = \frac{\pm 13.5\text{V}}{100000} = \pm 135\mu\text{V}。$$

練習 12-1 設有一運算放大器，其直流開路增益 $A_{vol} = 100000$ ，若電源電壓為 $\pm 15\text{V}$ ，差動輸入訊號 V_{id} 會使放大器飽和的最小值為
(A) $\pm 95\mu\text{V}$ (B) $\pm 135\mu\text{V}$ (C) $\pm 155\mu\text{V}$ (D) $\pm 185\mu\text{V}$ 。 【82 電子四技】

答

練習 12-2 如圖(14)所示電路，運算放大器之開路增益為 100 dB，則可產生正飽和的最小輸入電壓為多少？
(A)150mV (B)15mV (C)1.5mV (D)150 μV 。

【95 電機電子四技】



圖(14)

答

10-2 練習題答案與解析

1-1.(B) 1-2.(D) 1-3.(C) 2-1.(B) 2-2.(A) 3.(B) 4.(B) 5.(A) 7-1.(D) 7-2.(B)
7-3.(C) 9-1.(B) 9-2.(B) 10.(B) 12-1.(B) 12-2.(D)

1-1. 理想運算放大器 (OPA) 的特性。(熟記，常考哦！)

- (1) 輸入阻抗 $R_i = \infty$ (2) 輸出阻抗 $R_o = 0$ (3) 電壓增益 (開環) $A_{vo} = \infty$
(4) 頻帶寬度 $\text{BW} = \infty$ (5) 共模拒斥比 $\text{CMRR} = \infty$ (6) $V_{i1} = V_{i2}$ 時， $V_o = 0$ (無抵補電壓)

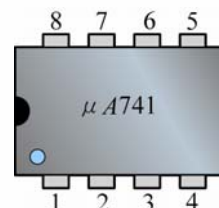
1-2. 理想 OPA 是沒有抵補電壓 (Offset Voltage) 存在，即抵補電壓為 0V 。

1-3. 實際的 OPA 參數如下：

- (1) 輸入阻抗 $1\text{M}\Omega \sim 10^7\text{M}\Omega$ (2) 輸出阻抗 100Ω 以下 (3) 頻寬 (BW) $10\text{kHz} \sim 10\text{MHz}$
(4) 電壓增益 25×10^3 以上，所以其頻寬為有限值。

2-1. 常用 OPA $\mu\text{A} 741$ (或 LM 741) IC 的接腳與功能如右：

- (1) 1、5 腳：抵補電壓 (Offset Voltage) 平衡調整。
(2) 2 腳：反相輸入端。
(3) 3 腳：非反相輸入端 (或同相輸入端)。



- (4) 4 腳：負電源。
- (5) 7 腳：正電源。
- (6) 6 腳：輸出端。
- (7) 8 腳：空接。

2-2. 常用 OPA $\mu A 741$ (或 LM 741) IC 的接腳與功能如下：

- (1) 1、5 腳：抵補電壓 (Offset Voltage) 平衡調整。
- (2) 2 腳：反相輸入端。
- (3) 3 腳：非反相輸入端 (或同相輸入端)。
- (4) 4 腳：負電源。
- (5) 7 腳：正電源。
- (6) 6 腳：輸出端。
- (7) 8 腳：空接。

3. $\mu A 741$ 或 LM741 為常用的 OPA 編號。

4. 通常所畫的 IC 圖均為 TOP View (上視圖, 而俯視圖則是較佳的翻譯); IC 接腳的計數, 由記號處作逆時針方向計數, 故 為第 1 腳, 為第 4 腳, 為第 5 腳, 為第 8 腳。

$$5. A_V = \frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{R_1 + R_2 + R_3}{R_2} = \frac{3k + 3k + 3k}{3k} = 3。$$

7-1. $\because SR = 2\pi f_{(max)} \cdot V_{o(max)} \therefore 0.314 \times 10^6 = 2\pi \times f_{(max)} \times 10$, 得 $f_{(max)} = 5 \times 10^3 (\text{Hz}) = 5k(\text{Hz})$ 。

7-2. 由於 OPA 的 $SR = 2\pi f_{(max)} \cdot V_{o(max)} = K$ (定值)

所以 $f_{(max)}$ 與 $V_{o(max)}$ 成反比, 即 $f_{(max)} \uparrow$ 則 $V_{o(max)} \downarrow$, 故當頻率加倍時, 則輸出 $V_{o(max)}$ 則減半, 即 $12 \times \frac{1}{2} = 6 (\text{V})$ 。

7-3. $SR = 35 \text{V}/\mu\text{s}$ 即表示由 0V 上升至 35V 而 $1 \mu\text{s}$ 的時間, 故由 0V 變化到 15V 需 $\frac{15}{35} \times 1 \mu\text{s} \approx 0.429 \mu\text{s}$ 。

9-1. 由於 C_I 電容在直流偏壓時, 呈現斷 (開) 路狀態, 所以 R_3 值應等於 R_2 , 以消除輸入偏壓電流對輸出的影響。

9-2. R 為消除輸入偏壓電流對輸出的影響, 其值約為 $1k//100k \approx 1k(\Omega)$ 。

$$10. \because V_o = (1 + \frac{R_2}{R_1})V_{io} \quad \text{其中 } R_1 = 10k//10k//10k = \frac{10k}{3} (\Omega), R_2 = 10k\Omega$$

$$\therefore V_o = (1 + \frac{R_2}{R_1})V_{io} = (1 + \frac{10k}{\frac{10k}{3}}) \times 2.5 = 10 (\text{mV})。$$

12-1. 當 OPA 飽和輸出時, 其輸出電壓 V_o 約為 $0.9V_{CC} = 0.9 \times (\pm 15) = \pm 13.5 (\text{V})$

\therefore 差動輸入信號 V_{id} 的最小值為

$$V_{id} = \frac{V_{o(max)}}{A_{vol}} = \frac{V_{o(sat)}}{A_{vol}} = \frac{\pm 13.5}{100000} = \pm 135 (\mu\text{V}), \text{ 故選(B)。}$$

(註：當年, 填(B)與(C)均給分, 由於未給 $V_{o(sat)} = \pm 0.9(V_{CC})$)

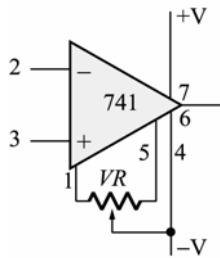
12-2. $\because 100 = 20 \log A_{vol} \therefore A_{vol} = 10^5 (\text{倍})$

$$\text{故可產生飽和的最小輸入電壓為 } V_{in(min)} = \frac{+V_{o(sat)}}{A_{vol}} = \frac{15}{10^5} = 150 (\mu\text{V})。$$

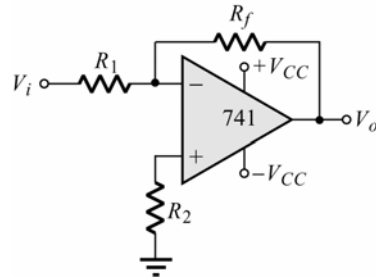


10-2 歷屆試題集錦

- () 1. 編號 741 的運算放大器，其輸出端在實際腳座的
(A)第 2 腳 (B)第 3 腳 (C)第 5 腳 (D)第 6 腳。 【81 電機四技】
- () 2. 如圖(1)所示，741 IC 外接的 V_R 其目的在於調整 (A)轉動率 (B)輸入偏移電壓
(Input offset voltage) (C)電壓增益 (D)共模排斥比。 【82 電機四技】



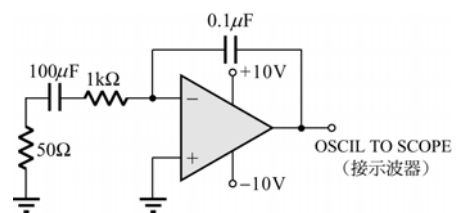
圖(1)



圖(2)

- () 3. 運算放大器的輸入端電路通常是
(A)二極體 (B)差動放大器 (C)達靈頓電路 (D)TRIAC。 【82 電子台北】
- () 4. 如圖(2)所示 OP Amp 反相放大器中， R_2 的作用為何？
(A) R_2 必須大於 R_f ，以免影響電路增益
(B) R_2 必須等於 $R_1 // R_f$ ，以消除偏壓電流 I_B 的影響
(C) R_2 可為任意值，保護 OP Amp 輸入端
(D) R_2 必須大於 R_1 ，以免構成負載效應。 【83 電子四技】
- () 5. 下列何者不是理想運算放大器應具有之特性？
(A)電壓增益無限大 (B)頻寬無限大 (C)輸入阻抗為零 (D)輸出阻抗為零。 【83 電機四技】

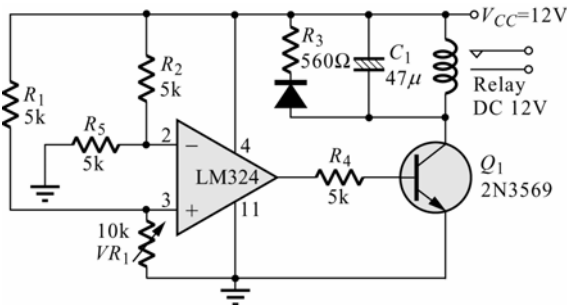
- () 6. 如圖(3)所示之電路已知無法正常工作，則最可能之原因為
(A)在 OPA 非反相輸入端無直流偏壓
(B)在 OPA 之反相輸入端無直流偏壓
(C)無輸出假負載 (dummy load)
(D)OPA 之供應電壓低於 $\pm 15V$ 。 【84 電子保甄】



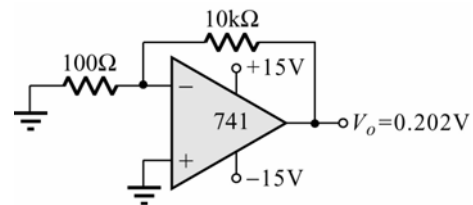
圖(3)

- () 7. 下列敘述何者有誤？ (A)理想電壓表內阻無限大 (B)理想電流表內阻無限大 (C)理想運算放大器輸入阻抗無限大
(D)理想電流源內阻無限大。 【84 電子保甄】
- () 8. 下列何者對理想運算放大器的敘述錯誤？
(A) $R_i = \infty$ (B) $A_V = \infty$ (C) $R_o = \infty$ (D) $CMRR = \infty$ 。 【84 電子保甄】

- () 9. 運算放大器之 CMRR (共模拒斥比) 值愈大時, 則表示 (A) 共模增益愈大 (B) 愈易消除雜訊 (C) 愈不易消除雜訊 (D) 差動放大器愈差。 【84 電機保甄】
- () 10. 如圖(4)所示為實驗電路, 當 LM324, 第二支腳為零電位, 下列敘述何者為真? (A) $V_{R1}=0\Omega$ (B) $V_{R1}=10k\Omega$ (C) R_3 電阻器短路 (D) R_5 電阻器短路。 【84 電子四技】

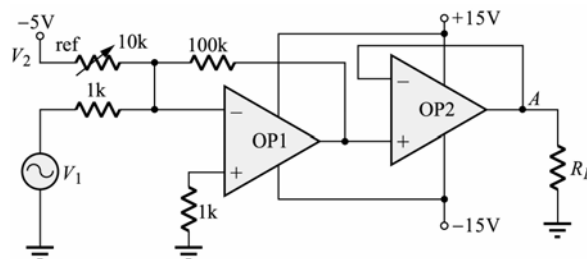


圖(4)



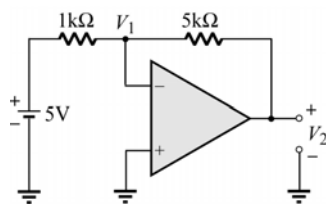
圖(5)

- () 11. 編號 741 運算放大器的第 2 支腳接 (A) 輸出 (B) 反相輸入 (C) 同相輸入 (D) 正電源。 【84 電機四技】
- () 12. 下列何者不是理想運算放大器的特性? (A) 輸入阻抗無限大 (B) 輸出阻抗為零 (C) 共模增益等於零 (D) 輸入電流不等於零。 【85 電機四技】
- () 13. 運算放大器之共模互斥比 CMRR 等於 (A) A_c/A_d (B) A_d/A_c (C) A_1/A_2 (D) A_2/A_1 。 【86 電機保甄】
- () 14. 如圖(5)的電路, 此 741 的輸入抵補電壓 $V_{io} =$ (A) 2mV (B) 3mV (C) 4mV (D) 5mV。 【86 電子台中】
- () 15. 下列何項不是一理想運算放大器 (OP Amp) 所具之特性? (A) 輸出阻抗為零 (B) 開環路電壓增益無限大 (C) 共模拒斥比 (CMRR) 無限大 (D) 輸入阻抗為零。 【86 電子四技】
- () 16. μA 741 運算放大器, 其輸出是在第幾隻接腳? (A) 腳 2 (B) 腳 3 (C) 腳 6 (D) 腳 7。 【86 電子四技】
- () 17. 如圖(6), 請問 -5V 的參考電壓及 10kΩ 之可變電阻, 其最主要目的是為了什麼? (A) 調整 OP1 之增益 (B) 消除信號源之直流抵補 (offset) 電壓的影響 (C) 增加 OP1 之工作速度 (D) 調整電路之頻寬。 【87 電子保甄】



圖(6)

- () 18. 下列何者為理想運算放大器之特性？ (A)電壓增益無窮大 (B)輸出阻抗無窮大 (C)輸入阻抗為零 (D)頻寬為零。 【88 電機保甄】
- () 19. 在 $\mu A 741$ 電路中，只有一個電容器，此電容器的作用為 (A)耦合電容 (B)補償電容 (C)極際電容 (D)旁路電容。 【88 電子保甄】
- () 20. 下列由理想運算放大器 (OPA) 所製作的應用電路中，哪一種電路中之 OPA 的輸入端不可看成虛短路？ (A)比較器 (B)非反相放大器 (C)反相放大器 (D)微分電路。 【88 電子四技】
- () 21. 若理想運算放大器的輸入阻抗為 R_i ，輸出阻抗為 R_o ，則下列何者正確？ (A) $R_i=0, R_o=0$ (B) $R_i=\infty, R_o=0$ (C) $R_i=0, R_o=\infty$ (D) $R_i=\infty, R_o=\infty$ 。 【88 電子四技】
- () 22. 如圖(7)所示電路，若運算放大器為理想，則 $V_1 = ?$ (A) $-15V$ (B) $+15V$ (C) $+5V$ (D) $0V$ 。 【96 電機四技】



圖(7)

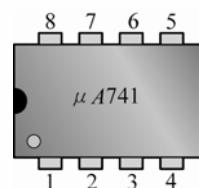
- () 23. 理想之運算放大器，其輸入阻抗為 (A)0 (B)1 (C)無限大 (D)介於 0 與 1 之間。 【97 電機四技】

10-2 歷屆試題答案與解析

- 1.(D) 2.(B) 3.(B) 4.(B) 5.(C) 6.(B) 7.(B) 8.(C) 9.(B) 10.(D)
 11.(B) 12.(D) 13.(B) 14.(A) 15.(D) 16.(C) 17.(B) 18.(A) 19.(B) 20.(A)
 21.(B) 22.(D) 23.(C)

1. 常用 OPA $\mu A 741$ (或 LM 741) IC 的接腳與功能如下：

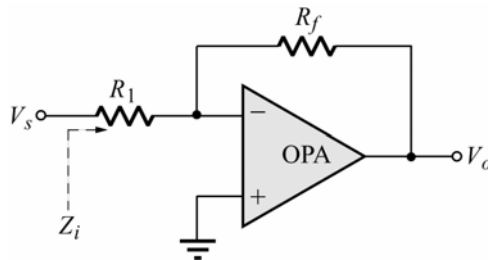
- (1) 1、5 腳：抵補電壓 (Offset Voltage) 平衡調整。
 (2) 2 腳：反相輸入端。
 (3) 3 腳：非反相輸入端 (或同相輸入端)。
 (4) 4 腳：負電源。 (5) 7 腳：正電源。 (6) 6 腳：輸出端。 (7) 8 腳：空接。



2. 編號 741 的 OPA，其第 1、5 腳為輸入抵補 (偏移) 電壓調整作用 (當無輸入信號或 $V_{in(-)} = V_{in(+)}$ 時， $V_o = 0$)。
 3. OPA 的輸入端通常為差動放大器，可使 OPA 具有較佳的抑止雜訊能力 (高 CMRR 值)。
 4. (1) R_2 的作用：消除輸入偏壓電流對輸出的影響。
 (2) R_2 的值：等於 OPA 的反相端向外看的直流電阻值，即 $R_i // R_f$ 。
 5. 常考理想 OPA 的特性，宜背起來！
 (1) 輸入阻抗為無限大 ($R_i \rightarrow \infty$)。

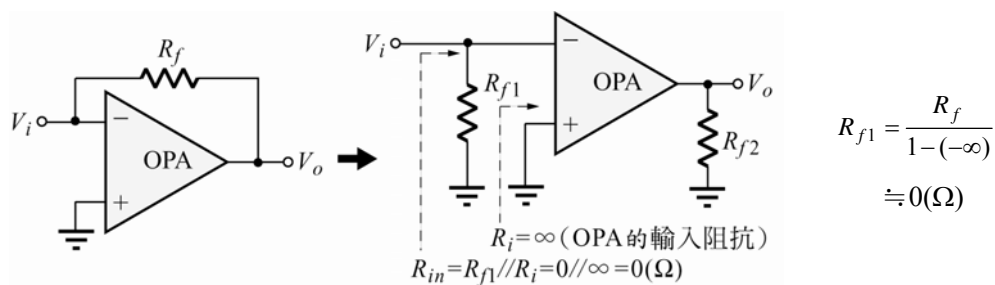
- (2) 輸出阻抗為零 ($R_o \rightarrow 0$)。
- (3) 開迴路增益 (open loop gain) 為無限大 ($A_{vol} \rightarrow \infty$)。
- (4) 頻帶寬度為無限大 ($BW \rightarrow \infty$)。
- (5) 共模拒斥比為無限大 ($CMRR \rightarrow \infty$)
- (6) 無輸入抵補電壓 ($V_{io}=0$)，即當 $V_i=0$ ($V_{i1}=V_{i2}$) 時，其 V_o 亦為 0。
6. 電路中由於 OPA 的反相輸入端無直流偏壓回路，故電路不能正常地工作。
7. (1) 因測電壓時，電壓表與電路並聯，為避免負載效應，所以，理想電壓表內阻無限大。
(2) 因測電流時，電流表與電路串聯，為避免負載效應，所以，理想電壓表內阻 0Ω 。
(3) 為避免功率損耗，所以，理想電壓源內阻 0Ω ，理想電流源內阻 ∞ 。
(4) 理想運算放大器輸入阻抗無限大，輸出阻抗 0Ω 。
8. 理想運算放大器的特性
(1) 大部分均為 ∞ ，如 $R_i \rightarrow \infty$ $A_V \rightarrow \infty$ $CMRR \rightarrow \infty$ $BW \rightarrow \infty$
(2) 只有 $R_o \rightarrow 0$ 、 $V_{io} = 0$ (無輸入抵補電壓)。
9. $CMRR$ 值愈大，愈能消除 (抵消、抑止) 雜訊。
10. 由於 OPA 之輸入阻抗很高，所以 $V_2 = V_{R5} = V_{CC} \times \frac{R_5}{R_2 + R_5} = 12 \times \frac{5k}{5k + 5k} = 6(V)$ ，只有 R_5 電阻器短路，才會使 V_2 之電壓為 $0V$ 。
11. 參考題 1 解析。
12. (1) 參考題 5 解析。(2) 由於 $CMRR = \left| \frac{A_d}{A_c} \right| \rightarrow \infty$ ，所以 $A_c \rightarrow 0$ (3) 由於 $R_i \rightarrow \infty$ ，所以 $I_i \rightarrow 0$ 。
13. (1) $CMRR = \left| \frac{A_d}{A_c} \right|$ (倍) (2) $CMRR = 20 \log \left| \frac{A_d}{A_c} \right|$ (dB 值)。
14. $V_o = (1 + \frac{10k}{100}) V_{io} = 101 \times V_{io} = 0.202$ ，得 $V_{io} = 2mV$ 。
15. (1) 參考題 5 解析。
(2) 理想 OPA 除輸出阻抗 $= 0$ ，無抵補電壓 (抵補電壓 $= 0$) 外，其餘大部分的特性皆為 ∞ (無限大)。
16. (1) 參考題 1 解析。
(2) 腳 2 為反相輸入，腳 3 為非反相輸入，腳 6 為輸出，腳 7 為正電源，腳 8 為空接。
(3) 741 與 555 兩顆 IC 的接腳該熟記哦！。
17. 若信號源 V_1 具有直流電壓，此時 $-5V$ 的參考電壓具有抵消 V_1 之直流電壓的作用，故可消除信號源之直流抵補 (offset) 電壓的影響。
18. 參考題 5 解析。
19. $\mu A741$ 內部有一補償電容，稱為中和電容，作為高頻負回授之用。
20. 因為比較器是應用在電壓增益為無限大的輸出飽和狀態，故不能應用虛接地的短路情況。
21. 參考 5 解析。
22. 由於 OPA 為理想，且電路為負回授放大電路，故 $V_1 = V_+ = V_- = 0V$ (虛接地)。
23. 理想 OPA 的輸入阻抗為無限大 (∞)。

10-3 OPA 反相 (倒相) 放大器

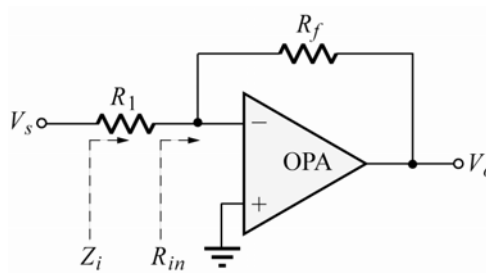


1. 為電壓並聯負回授的方式 (並-並負回授電路)。
2. $A_v = \frac{V_o}{V_s} = -\frac{R_f}{R_1}$ (負號表示 V_o 與 V_s 相差 180° 或反相)。
3. 輸出電壓 (V_o) 不受負載的影響, 即 $V_o = A_v \times V_s$ 。
4. $Z_i \doteq R_1$ (Z_i 為電路的輸入阻抗)。

(1) 依米勒效應



(2) 所以反相放大電路的輸入阻抗 $Z_i = R_1 + R_{in} \doteq R_1$



5. 輸出飽和時的狀態

當輸入信號過大, 致使 OPA 的輸出發生飽和, 此時虛接地的概念不再適用 ($V_- \neq V_+$), 而飽和時的輸出電壓 $V_{o(sat)}$ 約較電源電壓 ($\pm V_{CC}$) 低 1.5V 左右或電源電壓的 0.9 倍左右 ($V_{o(sat)} \doteq \pm 0.9 V_{CC}$); 不過, 若題目未特別聲明, 通常以 $V_{o(sat)} \doteq \pm V_{CC}$ 視之。

範例 1 如圖(1)所示的電路，運算放大器的飽和電壓為 $\pm 12\text{V}$ ，下列選項何者正確？

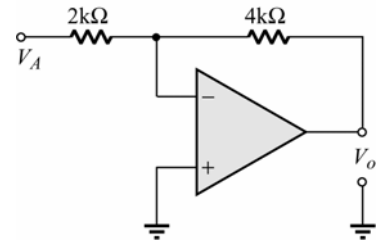
(A) 若 $V_A = -5\text{V}$ 則 $V_o = +12\text{V}$

(B) 若 $V_A = -5\text{V}$ 則 $V_o = -12\text{V}$

(C) 若 $V_A = +2\text{V}$ 則 $V_o = +4\text{V}$

(D) 若 $V_A = -2\text{V}$ 則 $V_o = +4\text{V}$ 。

【92 電子四技】



圖(1)

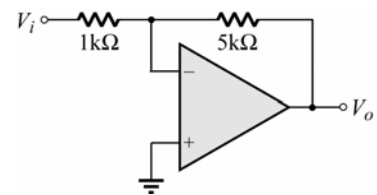
解 (D) (1) 若 $V_A = -2\text{V}$ ，則 $V_o = -\frac{4\text{k}}{2\text{k}} \times V_A = (-2) \times (-2) = 4(\text{V})$

(2) 若 $V_A = +2\text{V}$ ，則 $V_o = -\frac{4\text{k}}{2\text{k}} \times V_A = (-2) \times 2 = -4(\text{V})$

(3) 若 $V_A = -5\text{V}$ ，則 $V_o = -\frac{4\text{k}}{2\text{k}} \times V_A = (-2) \times (-5) = 10(\text{V})$ 。

練習 1-1 如圖(2)所示電路， $V_{o(\text{sat})} = \pm 15\text{V}$ ，若 $V_i = 2\text{V}$ ，則輸出電壓 V_o 約為 (A) -10V (B) -4V (C) 0.4V (D) 10V 。

【96 電子四技】

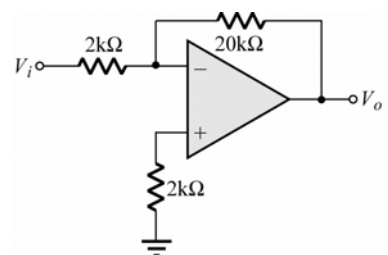


圖(2)

答

練習 1-2 如圖(3)之反相放大器中，其電壓增益 V_o/V_i 為多少分貝？ (A) $+20\text{dB}$ (B) $+10\text{dB}$ (C) -10dB (D) -20dB 。

【90 電子四技】



圖(3)

答

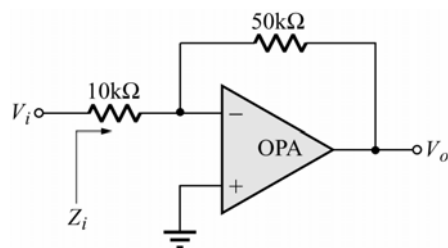
範例 2

如圖(4)所示之理想 OPA 電路，若 $V_i=200\text{mV}$ ，下列

敘述何者為錯誤？ (A) $\frac{V_o}{V_i}=-5$ (B) $Z_i=10\text{k}\Omega$

(C) $Z_i=\infty$ (D) $V_o=-1\text{V}$ 。

【88 電子四技】

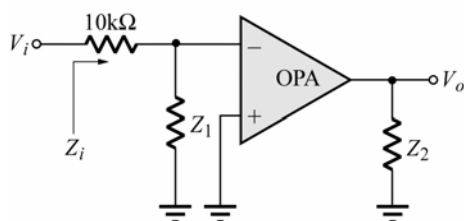


圖(4)

解

(C) (1) $A_v = \frac{V_o}{V_i} = -\frac{R_f}{R_i} = -\frac{50\text{k}}{10\text{k}} = -5$

(2) 原圖可等效為



由於 OPA 之 $A_v=\infty$ 或 $-\infty$ ，所以 $Z_i = \frac{Z'}{1-A_v} = \frac{50\text{k}\Omega}{1-(-\infty)} = 0\Omega$ 故 $Z_i=10\text{k}\Omega+Z_1=10\text{k}\Omega$

(3) $V_o=A_v \times V_i=(-5) \times (200\text{mV})=-1\text{V}$ 。

練習 2-1

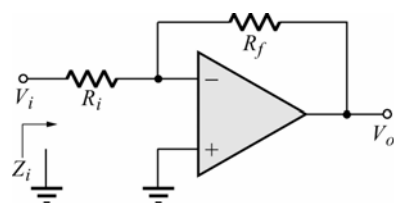
如圖(5)所示，假設其理想運算放大器工作於線性區，試問下列敘述何者錯誤？

(A) 此電路之電壓增益 $\frac{V_o}{V_i} = -\frac{R_f}{R_i}$

(B) 此電路為負回授連接法

(C) 輸入阻抗 Z_i 無窮大

(D) 理想運算放大器的輸入端具有虛接地之特性。



圖(5)

【87 電子四技】

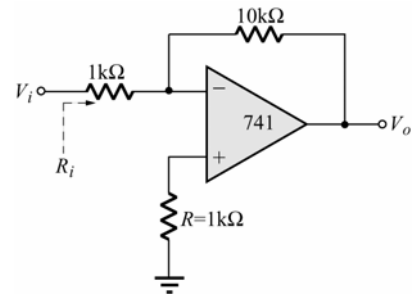
答

練習 2-2 如圖(6)所示的電路，下列敘述何者錯誤？

- (A) 電壓增益為-10
- (B) 屬反相放大器
- (C) R 有助於消除輸入偏壓電流 (input bias current) 的影響
- (D) 輸入電阻 R_i 甚大於 $1\text{k}\Omega$ 。

【82 電機四技】

答



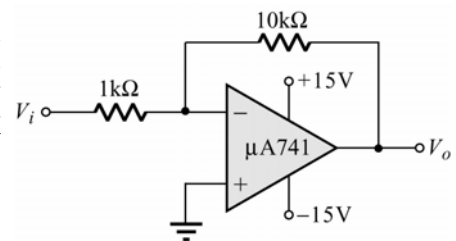
圖(6)

範例 3 如圖(7)為實際運算放大器之接線，且電源供給電壓為 15 及-15 伏特，若輸入電壓為 2 伏特，則輸出電壓約為多少？ (A)20 伏特 (B)14 伏特 (C)-14 伏特 (D)-20 伏特。

【90 電機四技】

解 (C) $V_o = A_v \times V_i = \left(-\frac{10\text{k}}{1\text{k}}\right) \times 2 = -20(\text{V})$

由於輸出電壓 (V_o) 已超過 OPA 的電源電壓，
所以 OPA 發生飽和現象， $V_o = V_{o(\text{sat})} = -V_{CC} = -15\text{V}$ ，故選(C)-14 伏特。

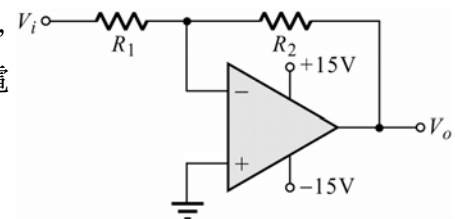


圖(7)

練習 3-1 如圖(8)由運算放大器組成反相放大器，當 $R_1=10\text{k}\Omega$ ， $R_2=100\text{k}\Omega$ ， $V_i=2\text{V}$ 時，則在輸出端 V_o 可顯現多少電壓值？ (A)20V (B)-20V (C)15V (D)-15V。

【電子四技】

答

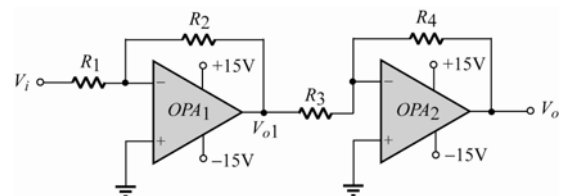


圖(8)

練習 3-2 如圖(9)所示之理想運算放大器電路，若 $R_1=R_2=R_3=1\text{k}\Omega$ ， $R_4=20\text{k}\Omega$ ， $V_i=1\text{V}$ ，則 V_o 為多少？ (A)-20V (B)-15V (C)15V (D)20V。

【95 電機電子四技】

答



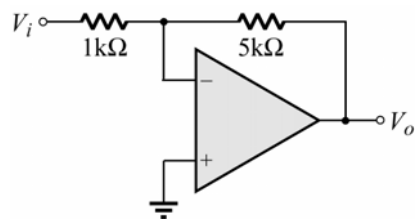
圖(9)

練習 3-3

如圖(10)所示電路， $V_{o(sat)} = \pm 15V$ ，
若 $V_i = 4\sin 200t V$ ，則輸出電壓 V_o 約為

- (A) $0.8 \sin 200t V$ (B) 輸出電壓 $V_{p-p} = 30V$
(C) $4 \sin 1000t V$ (D) 輸出電壓 $V_{p-p} = 0.8V$ 。

【96 電子四技】

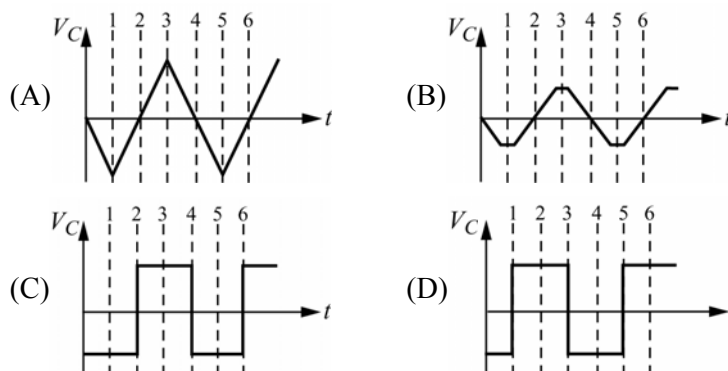


圖(10)

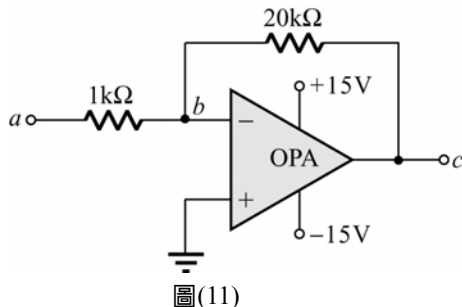
答

範例 4

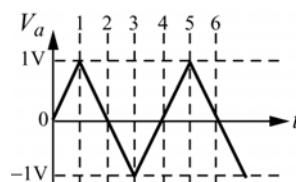
如圖(11)電路，若 a 點電壓波形如圖(12)，則 c 點電壓波形為以下何者？



【88 電子保甄】



圖(11)



圖(12)

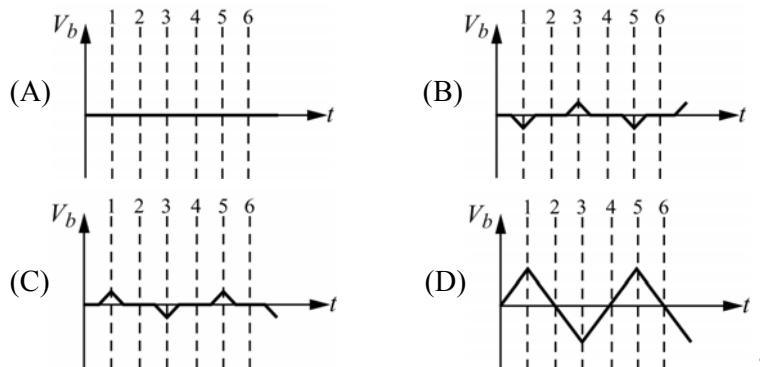
解

(B) (1) 當 OPA 未飽和時，即 $|V_o| < |\pm 15V|$ ，輸出電壓波形 (V_C) 隨著輸入電壓波形 (V_a) 作線性放

大，此時 $A_v = -\frac{20k}{1k} = -20$ ，故呈反相放大。

(2) 當 OPA 飽和時，輸出電壓的最大值約為電源電壓 ($\pm 15V$)，此時輸出電壓波形 (V_C) 呈現一平坦的波形 (固定為 $+15V$ 或 $-15V$)，故選(B)。

範例 5 接上題， b 點電壓波形為以下何者？



【88 電子保甄】

解 (C) (1)當 OPA 未飽和時，即 $|V_o| < |\pm 15V|$ ，依虛接地觀念，得 $V_b = V_- = V_+ = 0V$ （兩輸入端電壓）。

(2) ① 當 $V_a = +1V$ 時， $V_o = -15V$ （OPA 發生負飽和）

$$\frac{1 - V_b}{1k} = \frac{V_b - (-15)}{20k} \Rightarrow 20 - 20V_b = V_b + 15, \text{ 故 } V_b = \frac{5}{21} (V)$$

② 當 $V_a = -1V$ 時， $V_o = +15V$ （OPA 發生正飽和）

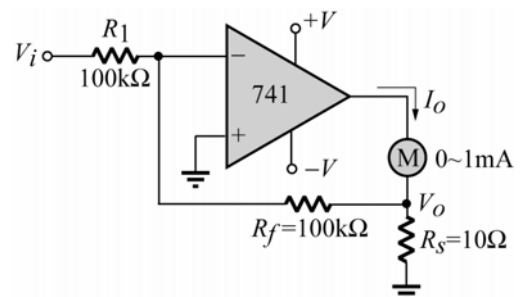
$$\frac{-1 - V_b}{1k} = \frac{V_b - 15}{20k} \Rightarrow -20 - 20V_b = V_b - 15, \text{ 故 } V_b = \frac{-5}{21} (V)$$

③ 所以 V_b 波形應如(C)圖，當 OPA 未飽和時， $V_b = 0V$ ；飽和時，則有微小的電壓值。

範例 6 如圖(13)所示，待測電壓 V_i 經放大器推動電流表，若表頭內阻不計，則當輸入電壓 V_i 為 $2mV$ 時，流過電流表的電流為多少？

(A) $0.8mA$ (B) $0.7mA$

(C) $0.5mA$ (D) $0.2mA$ 。 【86 電子四技】



圖(13)

解 (D) 由於電流表頭的內阻忽略不計，該電路為 OPA 反相放大器

$$\therefore V_o = V_i \times A_V = V_i \times \left(-\frac{R_f}{R_1}\right) = 2 \times \left(-\frac{100k}{100k}\right) = -2(mV)$$

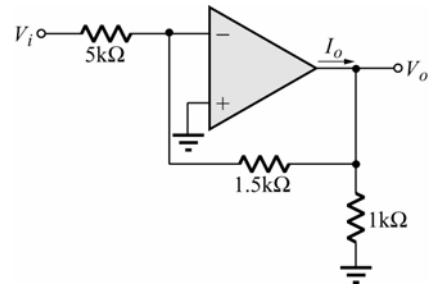
$$\text{故 } I_o = \frac{V_o}{R_s} = \frac{-2mV}{10\Omega} = -0.2mA \text{ (負號表電流方向與 } I_o \text{ 方向相反)。}$$

練習 6

如圖(14)所示電路， V_o 電壓為 2.5V，則 I_o 電流為
(A)2mA (B)3mA (C)4mA (D)5mA。

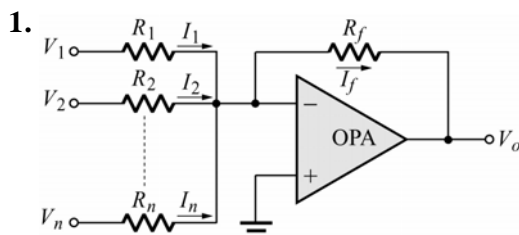
【82 電子四技】

答



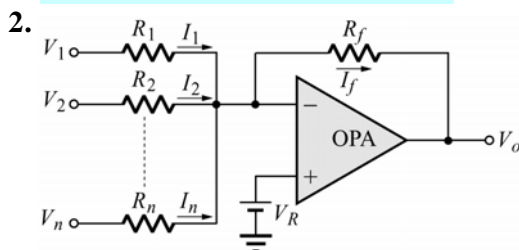
圖(14)

反相加法器



輸出電壓 (V_o) 等於各輸入訊號反相放大後再相加的總和，即

$$V_o = -\left(\frac{R_f}{R_1}V_1 + \frac{R_f}{R_2}V_2 + \cdots + \frac{R_f}{R_n}V_n\right)$$



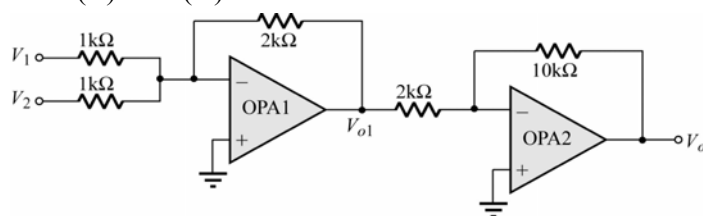
利用虛接地觀念，得其輸出電壓 (V_o) 為

$$V_o = (V_1 - V_R)\left(-\frac{R_f}{R_1}\right) + (V_2 - V_R)\left(-\frac{R_f}{R_2}\right) + \cdots + (V_n - V_R)\left(-\frac{R_f}{R_n}\right) + V_R$$

範例 7

如圖(15)所示電路，OPA1 之輸入電壓 $V_1 = 0.2V$ ， $V_2 = 0.5V$ ，OPA2 之輸出電壓 V_o 為何？
(A)0.7V (B)1.4V (C)7V (D)14V。

【90 電子四技】



圖(15)

解

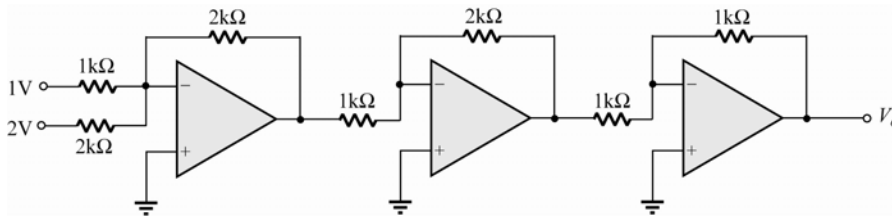
(C) 本電路為兩級的 OPA 放大，OPA1、OPA2 皆為反相加法器

$$(1) V_{o1} = \left(-\frac{2k}{1k}\right) \times V_1 + \left(-\frac{2k}{1k}\right) \times V_2 = (-2)(0.2) + (-2)(0.5) = -1.4(V) = V_{i2}$$

$$(2) V_o = \left(-\frac{10k}{2k}\right) \times V_{i2} = (-5) \times V_{o1} = (-5) \times (-1.4) = 7(V)。$$

練習 7-1 如圖(16)電路中之輸出電壓 V_o 為多少？ (A) $-6V$ (B) $-8V$ (C) $-10V$ (D) $-12V$ 。

【95 電機四技】

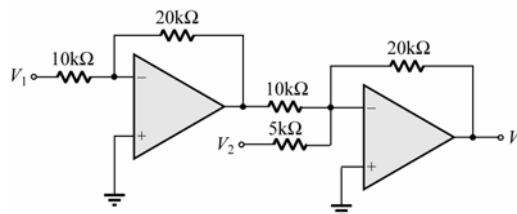


圖(16)

答

練習 7-2 如圖(17)所示之電路，運算放大器的飽和電壓為 $\pm 12V$ ，若 $V_1 = -2V$ ， $V_2 = 1.5V$ ，則 V_o 為多少？ (A) $-14V$ (B) $-12V$ (C) $12V$ (D) $14V$ 。

【94 電子四技】



圖(17)

答

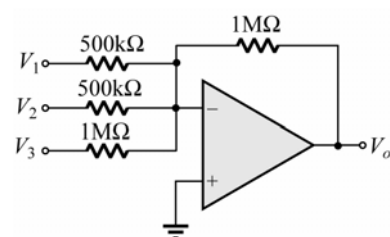
範例 8 如圖(18)所示電路， $V_1 = 1V$ ， $V_2 = 2V$ ， $V_3 = 3V$ ，則輸出電壓 V_o 為多少？

(A) $-9V$ (B) $-7V$ (C) $7V$ (D) $9V$ 。

【94 電機電子四技】

解 (A) 該電路為反相加法器，

$$\begin{aligned} \text{所以 } V_o &= \left(-\frac{1M}{500k}\right) \times V_1 + \left(-\frac{1M}{500k}\right) \times V_2 + \left(-\frac{1M}{1M}\right) \times V_3 \\ &= (-2) \times 1 + (-2) \times 2 + (-1) \times 3 = -9(V)。 \end{aligned}$$



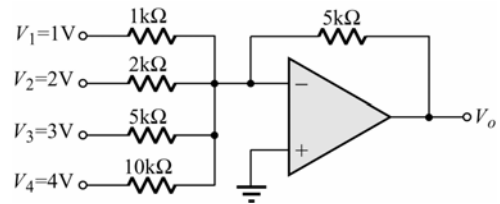
圖(18)

練習 8-1

如圖(19)所示為一運算放大電路，試求輸出電壓 V_o 為若干？ (A)-15V (B)-10V (C)10V (D)15V。

【83 電子四技】

答



圖(19)

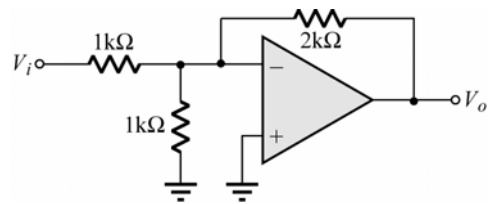
練習 8-2

如圖(20)，假定運算放大器為理想，

求 $\frac{V_o}{V_i} = ?$ (A)+1 (B)-1 (C)+2 (D)-2。

【91 電機四技】

答



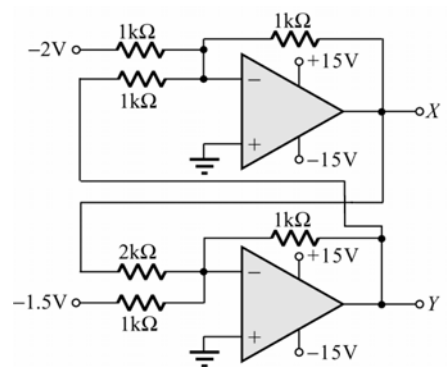
圖(20)

練習 8-3

如圖(21)為一類比電路，用運算放大器所組成，試求 X 點之電壓值為 (A)0.5V (B)1V (C)1.5V (D)2V。

【電子四技】

答



圖(21)

範例 9

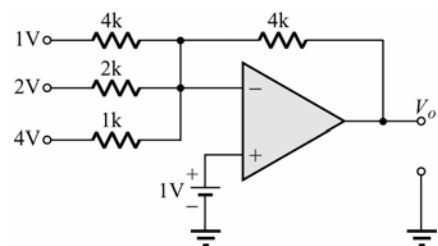
試求如圖(22)電路之 $V_o = ?$

(A) -8V (B) -10V (C) -12V (D) -13V。

【電子保甄】

解

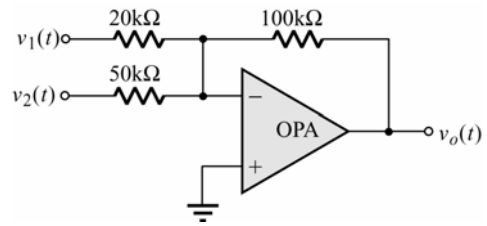
$$\begin{aligned} \text{(D)} \quad V_o &= (1-1) \times \left(-\frac{4k}{4k}\right) + (2-1) \times \left(-\frac{4k}{2k}\right) + (4-1) \times \left(-\frac{4k}{1k}\right) + 1 \\ &= 0 - 2 - 12 + 1 = -13(\text{V})。 \end{aligned}$$



圖(22)

範例 10 如圖(23)所示的電路中，OPA 為一理想運算放大器，當 $v_1(t)=0.5\sin 2\pi ft$ 伏特， $v_2(t)=1.25\cos 2\pi ft$ 伏特，其中 $f=100\text{Hz}$ ，則 $v_o(t)$ 之電壓有效值為多少伏特？

(A)0.75 (B)1.75 (C)2.5 (D)5。【電機保甄】



圖(23)

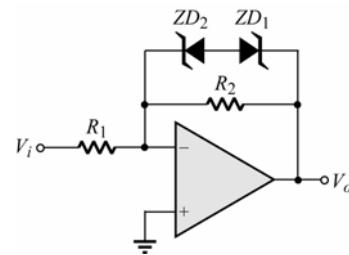
- 解** (C) (1) v_1 對 v_o 的影響為 $v_{o1}(t)=A_{v1}\times v_1(t)=-\frac{100\text{k}}{20\text{k}}\times 0.5\sin 2\pi ft=-2.5\sin 2\pi ft(\text{V})$
- (2) v_2 對 v_o 的影響為 $v_{o2}(t)=A_{v2}\times v_2(t)=-\frac{100\text{k}}{50\text{k}}\times 1.25\cos 2\pi ft=-2.5\cos 2\pi ft(\text{V})$
- (3) 由於正弦波與餘弦波相差 90° ，即 $\cos\theta=\sin(\theta+90^\circ)$

$$\text{所以 } v_o(t) \text{ 的有效值為 } v_{o(\text{rms})}=\sqrt{\left(\frac{2.5}{\sqrt{2}}\right)^2+\left(\frac{2.5}{\sqrt{2}}\right)^2}=2.5(\text{V})。$$

範例 11 如圖(24)電路的功用為何？

- (A)作比例限制器使用
(B)作精密整流器使用
(C)作信號比較器使用
(D)作電壓振盪器使用。

【90 電機四技】



圖(24)

- 解** (A) 設 ZD_1 之崩潰電壓（稽納電壓）為 V_{Z1} ， ZD_2 之崩潰電壓為 V_{Z2} ，而稽納二極體之順向電壓降皆為 V_d （0.7V）

(1) 當 $(V_{Z1}+V_d) > V_o > -(V_{Z2}+V_d)$ 時，由於 ZD_1 、 ZD_2 皆 OFF，所以 $V_o = -\frac{R_2}{R_1} V_i$ 。

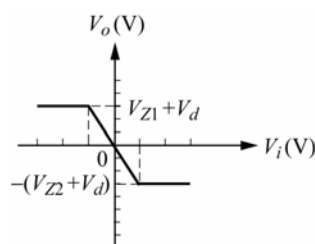
(2) 當 V_o （即 $-\frac{R_2}{R_1} V_i$ ） $\geq V_{Z1}+V_d$ 時，由於 ZD_1 逆向崩潰而 ZD_2 順向導通，

所以 V_o 被限制在 $V_{Z1}+V_d$ 的電壓。

(3) 當 V_o （即 $-\frac{R_2}{R_1} V_i$ ） $\leq -(V_{Z2}+V_d)$ 時，由於 ZD_2 逆向崩潰而 ZD_1 順向導通，

所以 V_o 被限制在 $-(V_{Z2}+V_d)$ 的電壓。

(4) 電路的輸入、輸出轉換曲線如圖所示，故可作為比例限制器。

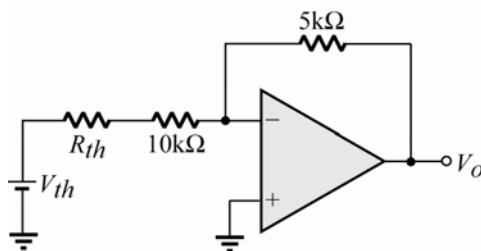


範例 12 如圖(25)所示之電路，若 OPA 為理想運算放大器，則 V_o 的電壓為多少？

(A) $-1.5V$ (B) $-1.25V$ (C) $1.25V$ (D) $1.5V$ 。

【97 電子四技】

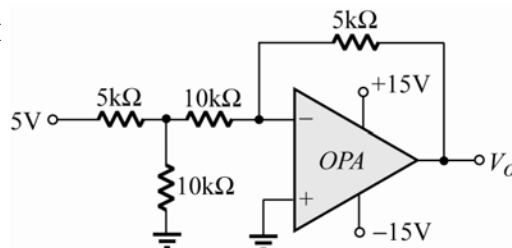
解 (B) (1) 等效電路如下



$$R_{th} = 5 // 10 = \frac{5 \times 10}{10 + 5} = \frac{10}{3} \text{ (k}\Omega\text{)} \quad V_{th} = 5 \times \frac{10}{5 + 10} = \frac{10}{3} \text{ (V)}$$

(2) 因為 OPA 電路為反相放大器，所以

$$V_o = \left(-\frac{5}{R_{th} + 10} \right) \times V_{th} = \left(-\frac{5}{\frac{10}{3} + 10} \right) \times \frac{10}{3} = -\frac{5}{4} = -1.25 \text{ (V)}。$$



圖(25)

10-3 練習題答案與解析

1-1.(A) 1-2.(A) 2-1.(C) 2-2.(D) 3-1.(D) 3-2.(C) 3-3.(B) 6.(C) 7-1.(B) 7-2.(B)
8-1.(A) 8-2.(D) 8-3.(B)

1-1. 該電路為 OPA 反相放大器，所以 $V_o = \left(-\frac{5k}{1k} \right) \times V_i = (-5) \times 2 = -10V$ 。

1-2. (1) $A_v = \frac{V_o}{V_i} = -\frac{20k}{2k} = -10$ (倍)

(2) $A_v(\text{dB}) = 20 \log |A_v| = 20 \log 10 = 20(\text{dB})$ 。

2-1. (1) $Z_{in} = \infty$ (理想 OPA)

(2) $R_{in} = \frac{R_f}{1 - A_v} // Z_{in} = \frac{R_f}{1 - \infty} // \infty = 0 // \infty = 0$

(3) $Z_i = R_i + R_{in} \doteq R_i + 0 = R_i$ 。

2-2. 輸入電阻 $R_i = 1k\Omega$ (註：應稱為輸入阻抗較佳)。

3-1. $\because V_o = A_v \times V_i = \left(-\frac{100k}{10k} \right) \times 2 = -20(V)$ 已超過 OPA 的電源電壓 ($\pm V_{CC}$)

\therefore OPA 發生飽和現象， $V_o = V_{o(sat)}^- \doteq -V_{CC} = -15$ 。

3-2. (1)該電路為二級的 OPA 反相放大器

$$V_{o1} = \left(-\frac{R_2}{R_1}\right) \times V_i = \left(-\frac{1k}{1k}\right) \times 1 = -1(V) \quad V_{o2} = \left(-\frac{R_4}{R_3}\right) \times V_{o1} = \left(-\frac{20k}{1k}\right) \times (-1) = 20(V)。$$

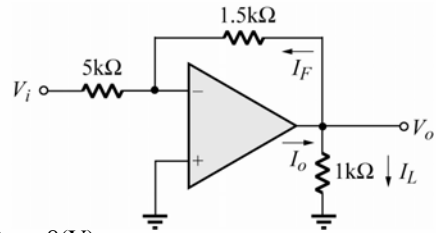
(2)由於 OPA 的電源電壓為 $\pm 15V$ ，OPA2 輸出產生飽和，所以其 V_o 為 $15V$ 。

3-3. $V_o = \left(-\frac{5k}{1k}\right) \times V_i = (-5) \times 4 \sin 200t = -20 \sin 200t(V)$ 其峰值 ($\pm 20V$) 已大超過輸出飽和電壓

$$V_{o(sat)} = \pm 15V，所以輸出電壓的峰對峰值 $V_{o(p-p)} = 15 - (-15) = 30V。$$$

6. 由於 OPA 的虛接地特性 ($V_- = V_+ = 0V$)

$$\therefore I_o = I_F + I_L = \frac{V_o}{1.5k} + \frac{V_o}{1k} = \frac{2.5}{1.5k} + \frac{2.5}{1k} = 4.17(mA)。$$



7-1. 該電路為 3 級的 OPA 放大電路，

$$V_o = \left[\left(-\frac{2k}{1k}\right) \times 1 + \left(-\frac{2k}{2k}\right) \times 2 \right] \times \left(-\frac{2k}{1k}\right) \times \left(-\frac{1k}{1k}\right) = (-2-2) \times (-2) \times (-1) = -8(V)。$$

7-2. 該電路為 2 級的 OPA 放大電路

$$(1) V_{o1} = A_{v1} \times V_1 = \left(-\frac{20k}{10k}\right) \times (-2) = 4(V)。$$

$$(2) V_o = \left(-\frac{20k}{10k}\right) \times V_{o1} + \left(-\frac{20k}{5k}\right) \times V_2 = (-2) \times 4 + (-4) \times 1.5 = -14(V)。$$

由於 $-14V$ 已超出 OPA 的飽和電壓 ($\pm 12V$)，所以 $V_o = V_{o(sat)}^- = -12V$ 。

8-1. 此電路為 OPA 反相加法器

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

8-2. 該電路可視為反相加法器 (另一輸入電壓為 $0V$ ——接地)

$$所以 V_o = \left(-\frac{R_f}{R_1}\right)V_1 + \left(-\frac{R_f}{R_2}\right)V_2 = \left(-\frac{2k}{1k}\right) \times V_i + \left(-\frac{2k}{1k}\right) \times 0 = -2V_i \quad 故 \quad \frac{V_o}{V_i} = -2。$$

$$8-3. \text{ 由電路得 } \begin{cases} X = \left(-\frac{1k}{1k}\right) \cdot (-2) + \left(-\frac{1k}{1k}\right) \cdot Y \cdots \cdots (1) \\ Y = \left(-\frac{1k}{2k}\right) \cdot X + \left(-\frac{1k}{1k}\right) \cdot (-1.5) \cdots (2) \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} X = 2 - Y \cdots \cdots (3) \\ Y = -\frac{1}{2}X + 1.5 \cdots (4) \end{cases}$$

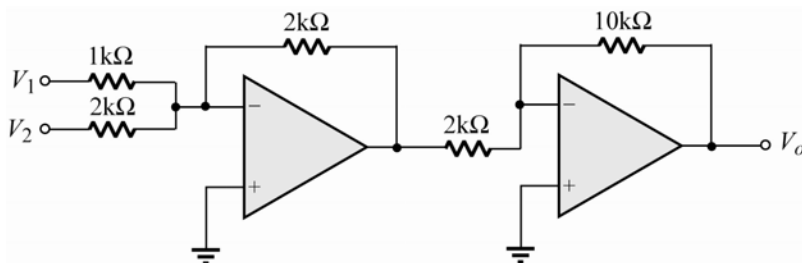
由 (3)、(4) 式求得 $X=1V$ ， $Y=1V$ 。



10-3 歷屆試題集錦

- () 1. 如圖(1)中，若 $V_1=0.2\text{V}$ ， $V_2=0.5\text{V}$ ，則 V_o 為
(A)4.5V (B)7V (C)10V (D)17V。

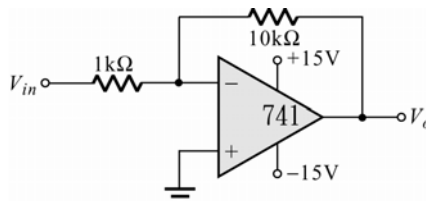
【電子四技】



圖(1)

- () 2. 有一實驗運算放大器電路如圖(2)，其電源接 $\pm 15\text{V}$ ，設 $V_{in}=2\text{V}$ ，則輸出 V_o 為
(A)-20V (B)+20V (C)-15V (D)+15V。

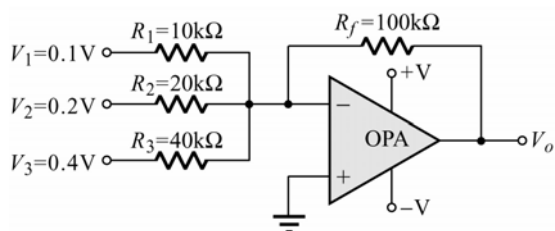
【81 電子四技】



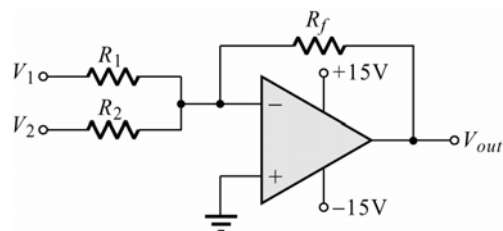
圖(2)

- () 3. 如圖(3)所示之反相加法電路，且運算放大器 (OPA) 為理想特性，則輸出電壓 V_o 為多少伏特？ (A)2 (B)1 (C)-3 (D)-2。

【81 電機四技】



圖(3)



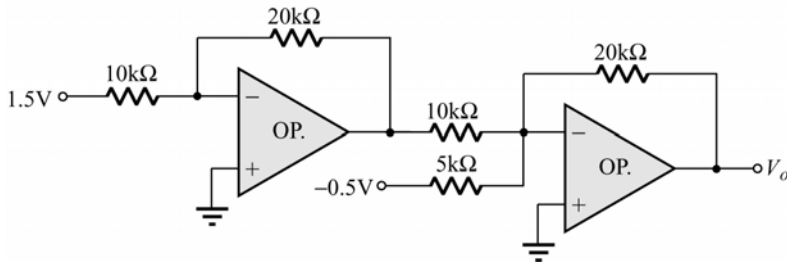
圖(4)

- () 4. 利用 OP-AMP 組成加法電路如圖(4)所示，若 $V_1=2\text{V}$ ， $V_2=-1\text{V}$ ， $R_f=10\text{k}\Omega$ ， $R_1=2\text{k}\Omega$ ，當 V_{out} 希望為 -6V 時，則 R_2 之值應為
(A)1kΩ (B)2kΩ (C)2.5kΩ (D)5kΩ。

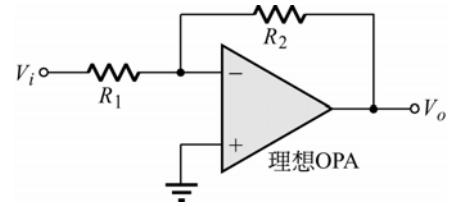
【82 電子四技】

- () 5. 如圖(5)中 V_o 為何值？ (A)8 伏特 (B)-8 伏特 (C)-6 伏特 (D)4 伏特。

【83 電機保甄】



圖(5)



圖(6)

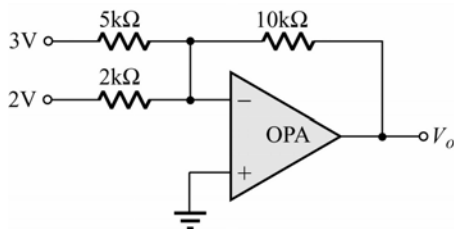
- () 6. 如圖(6)之電路，其電壓增益 $\frac{V_o}{V_i}$ 為 (A) $\frac{R_2}{R_1}$ (B) $1 + \frac{R_2}{R_1}$ (C) $-\frac{R_2}{R_1}$ (D) $1 - \frac{R_2}{R_1}$ 。

【84 電子保甄】

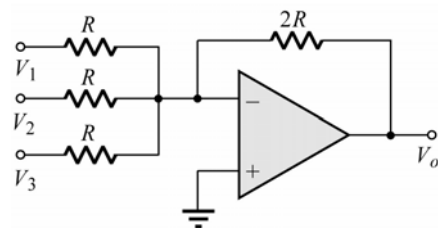
- () 7. 如圖(7)所示反相加法器，若 OPA 為理想運算放大器，且其正負飽和輸出電壓為 $\pm 10V$ ，則 V_o 應為 (A)+16V (B)-16V (C)+10V (D)-10V。 【84 電子四技】

- () 8. 當運算放大器接成反相放大器時，若輸入為 0.1V 輸出為 -1V，若輸入為 0.3V，輸出為 (A)3V (B)0V (C)-3V (D)-6V。 【85 電機四技】

- () 9. 如圖(8)所示之電路，令 $V_1=1V$ ， $V_2=2V$ ， $V_3=3V$ ，則 V_o 為多少伏特？ (A)-6V (B)-12V (C)-18V (D)-3V。 【86 電子四技】

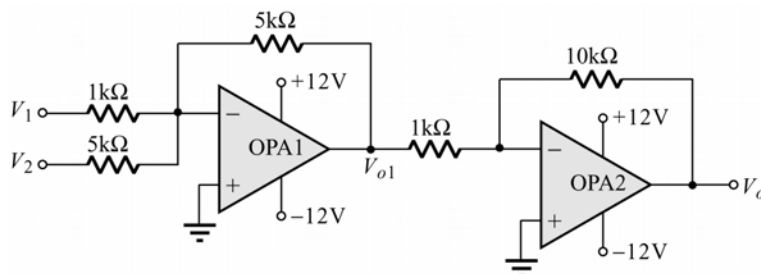


圖(7)



圖(8)

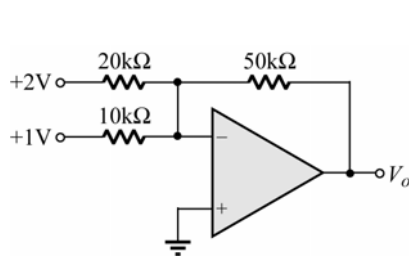
- () 10. 如圖(9)所示，若 $V_1=0.1V$ ， $V_2=0.2V$ ，則 $V_o=$ ？ (A)5V (B)6V (C)7V (D)8V。 【87 電子四技】



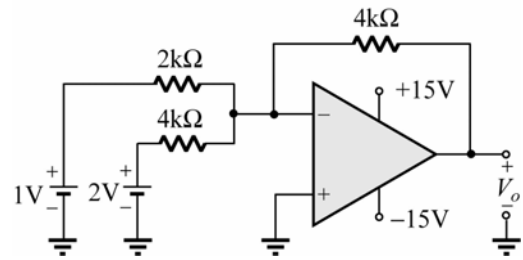
圖(9)

- () 11. 計算圖(10)運算放大器電路中的 V_o 值
(A)+10V (B)+5V (C)-5V (D)-10V。

【87 電機四技】



圖(10)



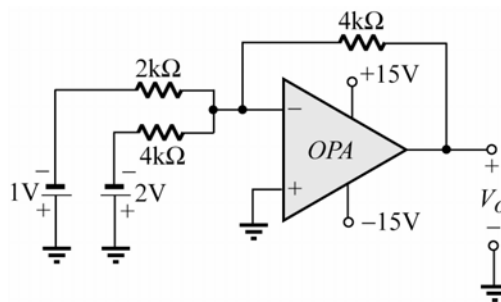
圖(11)

- () 12. 試求圖(11)電路之輸出電壓 V_o 為多少？ (A)-4V (B)-2V (C)2V (D)4V。

【94 電機四技】

- () 13. 如圖(12)所示之電路，若 OPA 為理想運算放大器，則 V_o 的電壓為多少？
(A)4V (B)2V (C)-2V (D)-4V。

【97 電子四技】



圖(12)

10-3 歷屆試題答案與解析

- 1.(A) 2.(C) 3.(C) 4.(C) 5.(A) 6.(C) 7.(D) 8.(C) 9.(B) 10.(C)
11.(D) 12.(A) 13.(A)

1. $V_o = [(-\frac{2k}{1k}) \times V_1 + (-\frac{2k}{2k}) \times V_2] \times (-\frac{10k}{2k}) = [(-2) \times 0.2 + (-1) \times 0.5] \times (-5) = 4.5 \text{ (V)}。$

2. (1) 電路為 OPA 的反相放大器。∴ $V_o = V_{in} \times A_v = 2 \times (-\frac{10k}{1k}) = -20 \text{ (V)}$

(2) 由於 $|V_o| \geq |V_{CC}|$ ，故 OPA 飽和。 $V_o \div -V_{CC} = -15 \text{ (V)}。$

3. 該電路為 OPA 反相加法器

$$V_o = (-\frac{100k}{10k}) \times V_1 + (-\frac{100k}{20k}) \times V_2 + (-\frac{100k}{40k}) \times V_3 = (-10) \times 0.1 + (-5) \times 0.2 + (-2.5) \times 0.4 = -3 \text{ (V)}。$$

4. ∵ $V_o = (-\frac{R_f}{R_1})V_1 + (-\frac{R_f}{R_2})V_2$ $-6 = (-\frac{10k}{2k}) \times 2 + (-\frac{10k}{R_2}) \times (-1)$ $-6 = -10 + \frac{10k}{R_2}$ $\frac{10k}{R_2} = 4$
∴ $R_2 = 2.5K(\Omega)。$

5. $V_o = (-\frac{20k}{10k}) \times 1.5 \times (-\frac{20k}{10k}) + (-\frac{20k}{5k}) \times (-0.5) = (-2) \times 1.5 \times (-2) + (-4) \times (-0.5) = 8 \text{ (V)}。$

6. 該電路為 OPA 的反相放大器，其 $A_v = \frac{V_o}{V_i} = -\frac{R_2}{R_1}。$

7. (1) 該電路為反相加法器，故 $V_o = 3 \times (-\frac{10k}{5k}) + 2 \times (-\frac{10k}{2k}) = -16 \text{ (V)}。$

(2) 由於 OPA 的飽和輸出電壓 ($V_{o(sat)}$) 為 $\pm 10V$ 所以 OPA 實際的輸出電壓 $V_o = V_{o(sat)}^- = -10V。$

8. (1) ∵ $V_o = A_v \times V_i$ ， $-1 = A_v \times 0.1$ ，得 $A_v = -10。$

(2) $V_o = A_v \times 0.3 = (-10) \times 0.3 = -3 \text{ (V)}。$

9. 該電路為 OPA 反相加法器 $V_o = (V_1 + V_2 + V_3) \times (-\frac{2R}{R}) = (1 + 2 + 3) \times (-2) = -12 \text{ (V)}。$

10. ∵ OPA1 為反相加法器，OPA2 為反相放大器

$$\therefore V_{o1} = (-\frac{5k}{1k}V_1 + \frac{5k}{5k}V_2) = -(5 \times 0.1 + 1 \times 0.2) = -0.7 \text{ (V)}$$

$$V_o = -\frac{10k}{1k}V_{i2} = -10 \times V_{o1} = -10 \times (-0.7) = 7 \text{ (V)}。$$

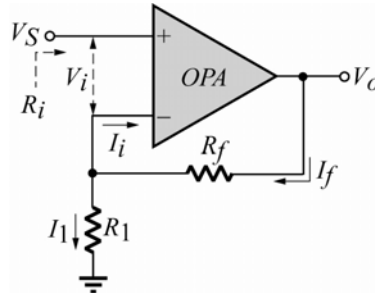
11. 該電路為 OPA 反相加法器 $V_o = (-\frac{50k}{20k}) \times 2 + (-\frac{50k}{10k}) \times 1 = (-2.5) \times 2 + (-5) \times 1 = -10 \text{ (V)}。$

12. 該電路為 OPA 反相加法器 $V_o = (-\frac{4k}{2k}) \times 1 + (-\frac{4k}{4k}) \times 2 = (-2) \times 1 + (-1) \times 2 = -4 \text{ (V)}。$

13. $V_o = (-\frac{4k}{2k}) \times (-1) + (-\frac{4k}{4k}) \times (-2) = 2 + 2 = 4 \text{ (V)}。$

10-4 非反相 (非倒相) 放大器與電壓隨耦器

非反相放大器

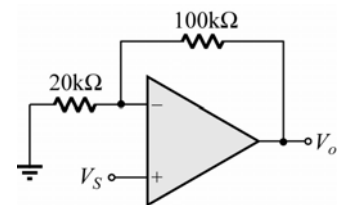


1. 為電壓串聯負回授的方式 (串-並負回授電路)。
2. $A_v = \frac{V_o}{V_s} = 1 + \frac{R_f}{R_1}$ (V_o 與 V_s 同相位)。
3. 輸出電壓 (V_o) 不受負載的影響, 即 $V_o = A_v \times V_s$ 。
4. $R_i \approx \infty$ (R_i 為電路的輸入阻抗)。
5. 輸出飽和時的狀態。
 - (1) $V_o = V_{o(sat)} \approx \pm V_{CC}$
 - (2) $V_+ \neq V_-$ (兩輸入端不同電位), 虛接地觀念不再適用。

範例 1 如圖(1)所示電路, $V_s = 1V$, 則輸出電壓 V_o 為多少?
(A) -12V (B) -6V (C) 6V (D) 12V。【94 電機電子四技】

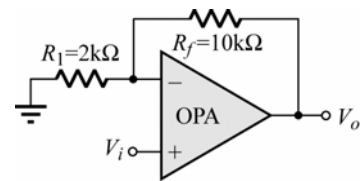
解 (C) 由於電路為非反相放大器,

$$\text{所以 } V_o = V_s \times A_v = 1 \times \left(1 + \frac{R_f}{R_1}\right) = 1 \times \left(1 + \frac{100k}{20k}\right) = 6(V)。$$



圖(1)

練習 1-1 如圖(2)所示電路, 假設理想 OPA, 若 $R_f = 10k\Omega$, $R_1 = 2k\Omega$, $V_i = 2V$, 則輸出電壓 $V_o = ?$
(A) 9V (B) 10V (C) 11V (D) 12V。【89 電子四技】



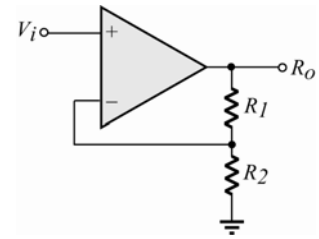
圖(2)

答

練習 1-2

如圖(3)所示之理想運算放大器電路，若 $R_1 = R_2 = 1\text{k}\Omega$ ， $V_i = 1\text{V}$ ，則 $V_o = ?$ (A) 0 V (B) 1 V (C) 2 V (D) 3 V。

【96 電機電子四技】



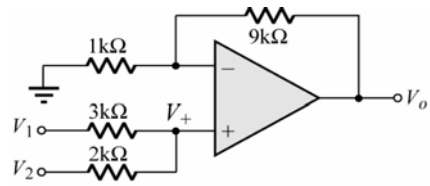
圖(3)

答

範例 2

如圖(4)為理想之運算放大器電路，若 $V_1 = 20\text{mV}$ ， $V_2 = 10\text{mV}$ 則 V_o 之大小為何？
(A) 0.1V (B) 0.14V (C) 2.7V (D) 0.2V。

【85 電機四技】



圖(4)

解

(B) (1)非反相輸入端電壓 (V_+) 為 $V_+ = V_1 \times \frac{2\text{k}}{3\text{k} + 2\text{k}} + V_2 \times \frac{3\text{k}}{3\text{k} + 2\text{k}} = 20 \times \frac{2}{5} + 10 \times \frac{3}{5} = 14(\text{mV})$

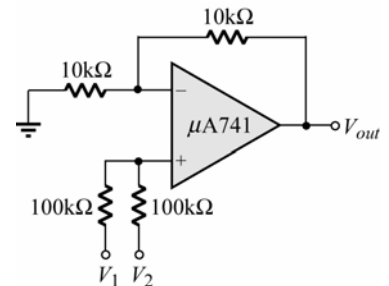
(2)該電路為非反相放大器，故 $V_o = V_i \times A_V = V_+ \times A_V = 14 \times (1 + \frac{9\text{k}}{1\text{k}}) = 140(\text{mV}) = 0.14(\text{V})$ 。

練習 2-1

下列有關圖(5)之敘述何者錯誤？

- (A) 為電壓和放大器
- (B) $V_{out} = V_1 + V_2$
- (C) 輸出電壓 V_{out} 可達 200 伏特
- (D) $\mu\text{A}741$ 的電源可由直流電源供應器提供。

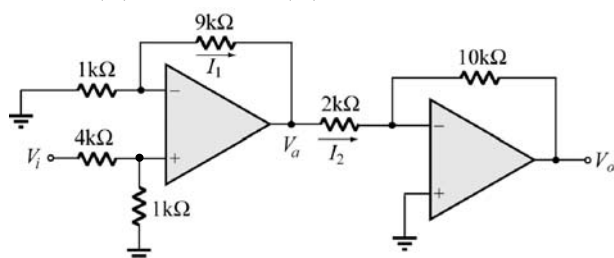
【87 電機四技】



圖(5)

答

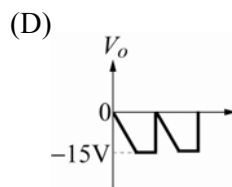
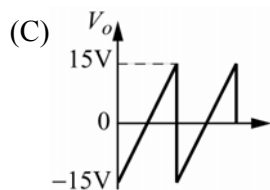
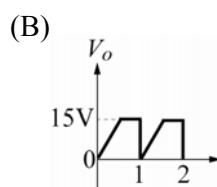
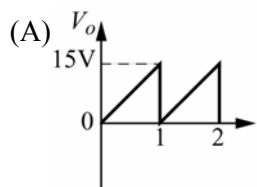
練習 2-2 理想運算放大器電路，如圖(6)所示，其中 $V_i=0.2\text{V}$ ，請問下列電流、電壓值何者錯誤？
 (A) $V_o=2\text{V}$ (B) $V_a=0.4\text{V}$ (C) $I_2=0.2\text{mA}$ (D) $I_1=-0.04\text{mA}$ 。 【93 電機電子四技】



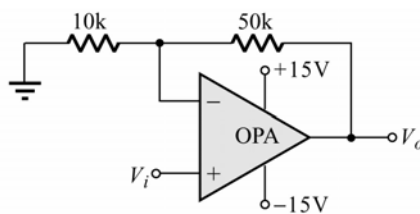
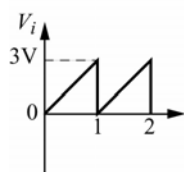
圖(6)

答

範例 3 如圖(7)的電路， V_o 的波形為



【83 電子台北】



圖(7)

解

(B) 由於電路為非反相放大器， $A_v = \frac{V_o}{V_i} = (1 + \frac{50\text{k}}{10\text{k}}) = 6$ ， $\frac{15}{6} = 2.5$

(1) 當 $|V_i| \leq 2.5\text{V}$ 時， $|V_o| \leq 15\text{V}$ ，故 V_o 波形可依 V_i 波形作線性放大。

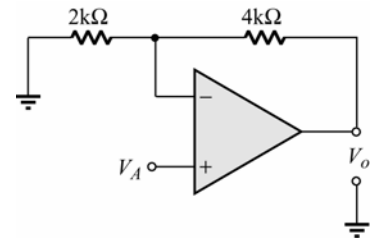
(2) 當 $V_i > 2.5\text{V}$ 時，OPA 發生飽和， $V_o = V_{o(sat)}^+ = +15\text{V}$ 所以 V_o 波形為(B)圖。

練習 3

如圖(8)所示的電路，運算放大器的飽和電壓為 $\pm 12\text{V}$ ，下列選項何者正確？

- (A)若 $V_A = -5\text{V}$ 則 $V_o = -12\text{V}$
 (B)若 $V_A = -5\text{V}$ 則 $V_o = +12\text{V}$
 (C)若 $V_A = -2\text{V}$ 則 $V_o = +3\text{V}$
 (D)若 $V_A = +2\text{V}$ 則 $V_o = +1\text{V}$ 。

【92 電子四技】



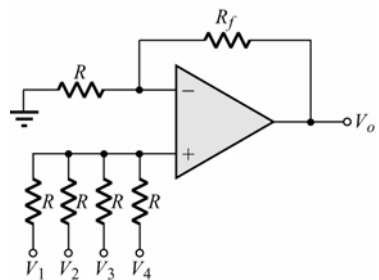
圖(8)

答

範例 4

如圖(9)所示之加法器，假設其理想運算放大器工作於線性區，若欲得到輸出電壓值 $V_o = V_1 + V_2 + V_3 + V_4$ ，則 R_f 之值應設定為多少？ (A) $2R$ (B) $3R$ (C) $4R$ (D) $5R$ 。

【87 電子四技】



圖(9)

解

(B) (1) 設 OPA 之非反相輸入端電壓為 V_+ ，

$$\text{則 } \frac{V_1 - V_+}{R} + \frac{V_2 - V_+}{R} + \frac{V_3 - V_+}{R} + \frac{V_4 - V_+}{R} = 0$$

$$\text{得 } V_+ = \frac{1}{4} (V_1 + V_2 + V_3 + V_4)$$

$$(2) \because V_o = A_v \times V_i = \left(1 + \frac{R_f}{R}\right) \times V_+ = V_1 + V_2 + V_3 + V_4$$

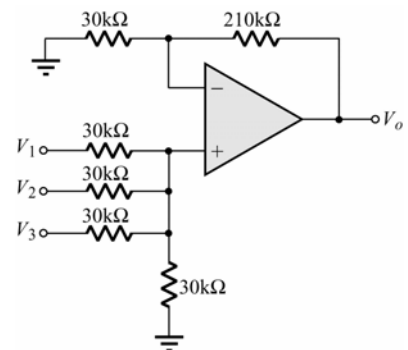
$$\therefore \left(1 + \frac{R_f}{R}\right) \times \frac{1}{4} (V_1 + V_2 + V_3 + V_4) = V_1 + V_2 + V_3 + V_4 \quad \text{故得 } R_f = 3R。$$

練習 4

如圖(10)所示，若 $V_1 = 10\text{mV}$ ， $V_2 = 20\text{mV}$ ， $V_3 = 30\text{mV}$ ，假設 OPA 為理想，試求其輸出電壓

- (A) 60mV (B) 120mV (C) 180mV (D) -60mV 。

【88 電子四技】



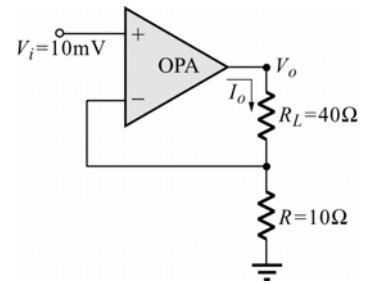
圖(10)

答

範例 5 如圖(11)中之 I_o 為多少？(假設該 OPA 為理想運算放大器)

(A) 0.8mA (B) 1mA (C) 0.25mA (D) 0.5mA。

【86 電子保甄】



圖(11)

解 (B) 解法有二：

(1) 由虛接地觀念知 $V_R = V_- = V_+ = V_i$

$$\therefore I_R = I_o = \frac{V_R}{R} = \frac{V_i}{R} = \frac{10\text{mV}}{10\Omega} = 1\text{mA}$$

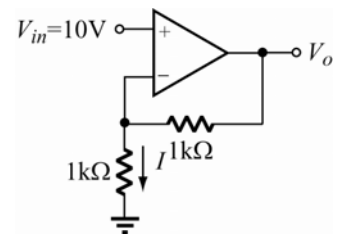
(2) 該電路為非反相放大電路

$$\therefore V_o = V_i \times \left(1 + \frac{R_L}{R}\right) = 10 \times \left(1 + \frac{40}{10}\right) = 50(\text{mV}) \quad \text{故 } I_o = \frac{V_o}{R_L + R} = \frac{50}{40 + 10} = 1(\text{mA})。$$

練習 5 試求圖(12)電路之電流 I 為多少？

(A) 10mA (B) 20mA (C) 30mA (D) 40mA。

【95 電機四技】

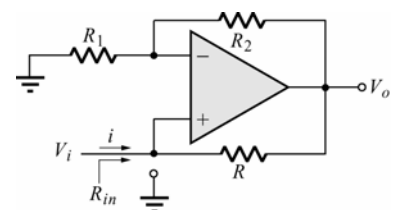


圖(12)

範例 6 如圖(13)所示若為一個理想的 OP 的電路，則 R_{in} 為

- (A) $-R\left(\frac{R_1}{R_2}\right)$ (B) $-R\left(\frac{R_2}{R_1}\right)$
 (C) $-R\left(\frac{R_1 + R_2}{R_1}\right)$ (D) $-R\left(\frac{R_1}{R_1 + R_2}\right)$ 。

【91 電子四技】



圖(13)

解 (A) (1) \therefore 為非反相放大電路 $\therefore V_o = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right)V_i$

$$(2) i = \frac{V_i - V_o}{R} = \frac{V_i - \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right)V_i}{R} = -\frac{R_2}{R_1 R} V_i (A)$$

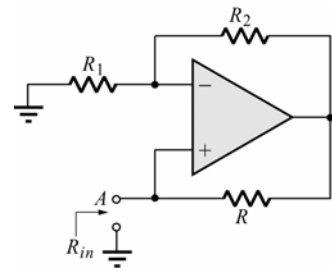
$$(3) R_{in} = \frac{V_i}{i} = \frac{V_i}{-\frac{R_2}{R_1 R} V_i} = -\left(\frac{R_1}{R_2}\right)R。$$

練習 6

如圖(14)已知 $R_1=100\text{k}\Omega$ ， $R_2=10\text{k}\Omega$ ， $R=100\text{k}\Omega$ ，則由 A 端看入之輸入電阻 R_{in} 為
(A) $1\text{M}\Omega$ (B) $-1\text{M}\Omega$ (C) $2\text{M}\Omega$ (D) $-2\text{M}\Omega$ 。

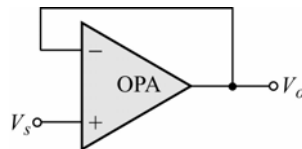
【89 電子保甄】

答



圖(14)

電壓隨耦器

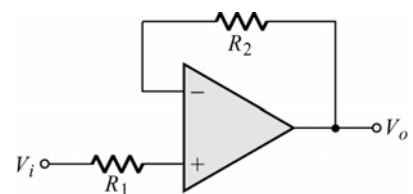


1. 由非反相放大器演變而來，當其 $R_1=\infty$ ，而 $R_f=0$ 時，即為電壓隨耦器（輸出 V_o 隨著輸入 V_s 作變化，因為 $A_V=1$ ）。
2. $A_V = \frac{V_o}{V_s} = 1 + \frac{R_f}{R_1} = 1 + \frac{0}{\infty} = 1$ （ $\beta=1$ ，百分之百負回授）。
3. 由於輸入阻抗高（ $R_i \approx \infty$ ），輸出阻抗低（ $R_o \approx 0$ ），所以常作為阻抗匹配的緩衝器。
4. 輸出飽和時的狀態
 - (1) $V_o = V_{o(\text{sat})} \approx \pm V_{CC}$
 - (2) $V_+ \neq V_-$ （兩輸入端不同電位），虛接地觀念不再適用。

範例 7

如圖(15)所示理想運算放大器電路， $R_1=R_2=1000$ 歐姆， $V_i=10$ 伏特，則 V_o 應為
(A) 4 伏特 (B) 6 伏特 (C) 8 伏特 (D) 10 伏特。

【88 電機保甄】



圖(15)

解

- (D) (1) 由於 OPA 之輸入阻抗為 ∞ ，所以 $V_i=V_+$ （ R_1 上沒有任何電壓降）。
(2) 依據非反相放大器的 V_o 公式

$$V_o = A_V \times V_+ = \left(1 + \frac{R_f}{R}\right) \times V_i = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \times 10 = 10(\text{V})$$

(3) 另解：

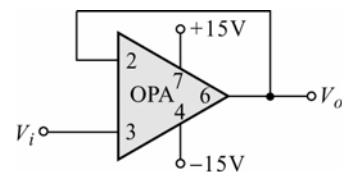
① $V_i=V_+=V_-$ （虛接地觀念）

② 由於 $I_i=0$ ，所以 R_2 上沒有電壓降，故 $V_i=V_+=V_-=V_o=10\text{V}$ 。

練習 7-1

電壓隨耦器之電路如圖(16)所示，有關其特性敘述，下列何者正確？ (A)電壓增益為-1 (B)電壓增益為 1 (C)輸入電阻非常小 (D)輸出電阻非常大。

【91 電子四技】



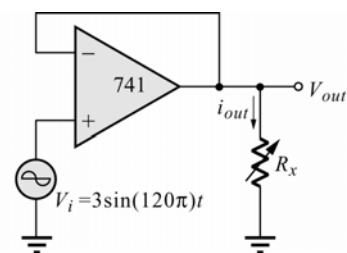
圖(16)

答

練習 7-2

下列有關圖(17)敘述何者錯誤？ (A)為非反向放大器之特例 (B) V_{out} 與 V_i 約相等 (C)電流 i_{out} 是週期性信號 (D)調整可變電阻 R_x 不影響 i_{out} 。

【86 電機四技】



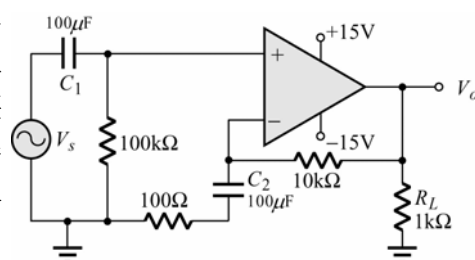
圖(17)

答

範例 8

如圖(18)所示之電路，在使用一段時間後，因某元件之問題，使得當 $V_s = 0$ 時，輸出為 0.4V DC，且會漂移，與原先正常時只有幾個 mV DC，相去甚遠。問題的原因可能為下列何者（以 OPA 實際特性考量）？ (A) C_1 開路 (B) C_1 短路 (C) C_2 開路 (D) C_2 短路。

【85 電子保甄】



圖(18)

解

(D) (1) 當電路正常，且 $V_s = 0$ 時，輸出抵補電壓 (V_{oo}) 只有幾 mV，此值即相當於反相 (-) 與非反相 (+) 間的輸入抵補電壓 (V_{io})。

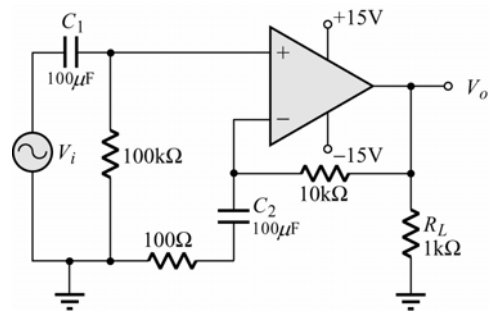
(2) 當 C_2 短路時， $V_{oo} = V_{io} \times A_V = A_{io} \times (1 + \frac{10k}{100}) = V_{io} \times 101$

若 $V_{io} = 4\text{mV}$ ，則 $V_{oo} \approx 0.404(\text{V})$ 。

練習 8-1 如圖(19)所示之電路，其小訊號中頻之電壓增益約為何（設 OPA 為 741）？

(A)10 (B)100 (C)101 (D)100,000。

【85 電子保甄】



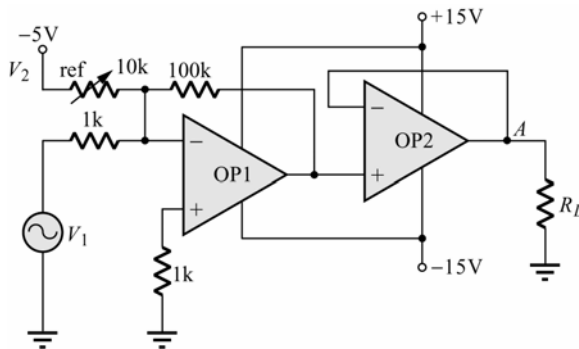
圖(19)

答

練習 8-2 如圖(20)所示，假設信號源 \$V_1\$ 壞了（輸出開路），則在 A 點的直流電壓大約為何？

(A)\$\pm 0V\$ (B)\$\pm 7V\$ (C)\$+14V\$ (D)\$-14V\$。

【87 電子保甄】



圖(20)

答

10-4 練習題答案與解析

1-1.(D) 1-2.(C) 2-1.(C) 2-2.(A) 3.(A) 4.(B) 5.(A) 6.(B) 7-1.(B) 7-2.(D)
8-1.(C) 8-2.(C)

1-1. 該電路為非反相放大器，故 $V_o = V_i \times A_v = 2 \times \left(1 + \frac{R_f}{R_1}\right) = 2 \times \left(1 + \frac{10k}{2k}\right) = 2 \times 6 = 12(V)$ 。

1-2. 此電路為 OPA 非反相放大器 $V_o = \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right) \times V_i = \left(1 + \frac{1k}{1k}\right) \times 1 = 2(V)$ 。

2-1. (1)非反相輸入端電壓（ V_+ ）為

$$V_+ = V_1 \times \frac{100k}{100k + 100k} + V_2 \times \frac{100k}{100k + 100k} = \frac{1}{2} V_1 + \frac{1}{2} V_2$$

$$V_{out} = V_i \times A_v = V_+ \times \left(1 + \frac{10k}{10k}\right) = \left(\frac{1}{2} V_1 + \frac{1}{2} V_2\right) \times 2 = V_1 + V_2 \quad \text{故為電壓和放大器。}$$

(2) 編號 $\mu A741$ 的 OPA 通常使用的電源電壓 ($\pm V_{CC}$) 為 $\pm 10V \sim \pm 15V$ 左右，

所以 V_{out} 最大的電壓為飽和輸出電壓 (約 0.9 倍的 $\pm V_{CC}$)。

$$2-2. (1) V_o = V_i \times \frac{1k}{4k+1k} \times (1 + \frac{9k}{1k}) \times (-\frac{10k}{2k}) = 0.2 \times \frac{1}{5} \times 10 \times (-5) = -2 (V)$$

$$(2) V_a = V_i \times \frac{1k}{4k+1k} \times (1 + \frac{9k}{1k}) = 0.2 \times \frac{1}{5} \times 10 = 0.4 (V)$$

$$(3) I_2 = \frac{V_a}{2k} = \frac{0.4}{2k} = 0.2 (mA)$$

$$(4) I_1 = -\frac{V_a}{9k+1k} = -\frac{0.4}{10k} = -0.04 (mA)$$

$$\text{或 } I_1 = -\frac{V_+}{1k} = -\frac{V_i \times \frac{1k}{4k+1k}}{1k} = -\frac{0.2 \times \frac{1k}{5k}}{1k} = -0.04 (mA)。$$

3. 當 $V_A = -5V$ 時, $V_o = A_V \times V_A = (1 + \frac{4k}{2k}) \times (-5) = -15V$ 超出 OPA 的飽和電壓 ($\pm 12V$)，

故 $V_o = V_{o(sat)} = -12V$ 。

4. (1) 設 OPA 之非反相輸入端電壓為 V_+ ，則

$$\frac{V_1 - V_+}{30k} + \frac{V_2 - V_+}{30k} + \frac{V_3 - V_+}{30k} = \frac{V_+}{30k} \quad V_1 - V_+ + V_2 - V_+ + V_3 - V_+ = V_+$$

$$10 - V_+ + 20 - V_+ + 30 - V_+ = V_+ \quad \therefore V_+ = \frac{60}{4} = 15(mV)$$

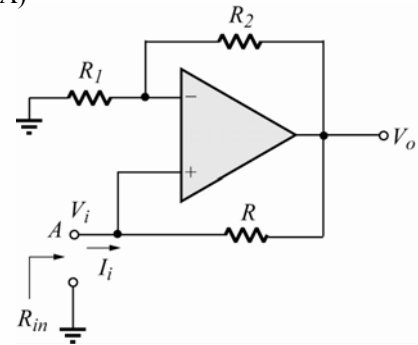
$$(2) V_o = A_V \times V_+ = (1 + \frac{210k}{30k}) \times 15 = 120(mV)。$$

5. (1) \because 虛接地特性 $\therefore V_+ = V_- = V_{in} = 10V$ (2) $I = \frac{V}{1k} = \frac{10}{1k} = 10 (mA)。$

6. (1) 為非反相放大, 所以 $V_o = (1 + \frac{R_2}{R_1})V_i = (1 + \frac{10}{100})V_i = 1.1V_i$

$$(2) I_i = \frac{V_i - V_o}{R} = \frac{V_i - 1.1V_i}{100k} = \frac{-0.1V_i}{100k} (A)$$

$$(3) R_{in} = \frac{V_i}{I_i} = \frac{V_i}{\frac{-0.1V_i}{100k}} = -1 M(\Omega)。$$



7-1. OPA 的電壓隨耦器 $A_V = 1$ 。

7-2. (1) 該電路為電壓隨耦器；由於 $A_V = 1$ ，所以 $V_o = V_i = 3\sin(120\pi)tV$

(2) $i_{out} = \frac{V_{out}}{R_x}$ ，故 i_{out} 受 R_x 影響。

8-1. 輸入中頻信號時, C_2 可視為短路, 該非反相放大器之電壓增益 $A_V = 1 + \frac{10k}{100} = 1 + 100 = 101$ 。

8-2. (1) 當 V_I Open(輸出開路), OP1 之輸出 V_{o1} 最小值為 $V_{o1(min)}$

$$V_{o1(min)} = (-5) \times (-\frac{100k}{10k}) = +50 (V), \text{ 由於電源為 } \pm 15V \text{ 所以 } V_{o1(min)} = 15V。$$

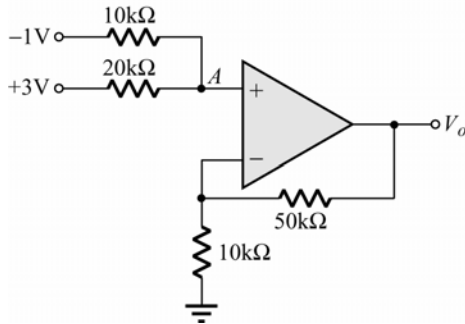
(2) 由於 OP2 為電壓隨耦器 $A_V = 1$ ，故 $V_A = V_{o1} = +15V$ 。



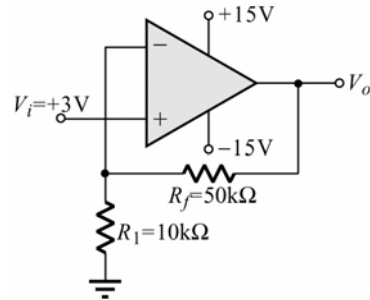
10-4 歷屆試題集錦

- () 1. 若使用理想之運算放大器，圖(1)之 V_o 為
(A)0.5V (B)1.0V (C)1.5V (D)2.0V。

【電子二專】



圖(1)



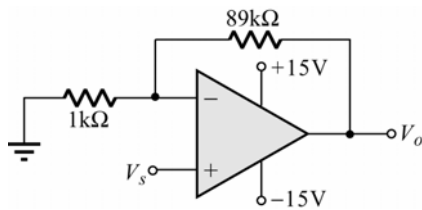
圖(2)

- () 2. 如圖(2)電路所示，其輸出電壓 V_o 為
(A)-18V (B)+2V (C)+18V (D)+15V。

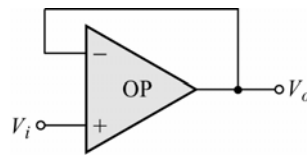
【電子二專】

- () 3. 如圖(3)電路中，運算放大器外加直流電源為 $\pm 15V$ ，當 $V_s = 200mV$ ，輸出電壓 V_o 為
(A)18V (B)-18V (C)15V (D)-15V。

【電子四技】



圖(3)



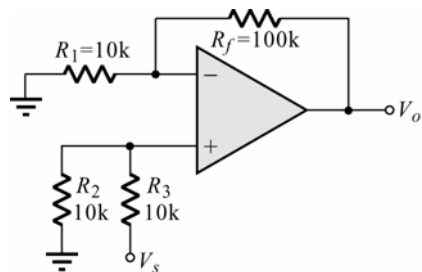
圖(4)

- () 4. 如圖(4)所示之運算放大器電路，其輸出電壓 (V_o) 為
(A)- V_i (B)1 (C)-1 (D) V_i 。

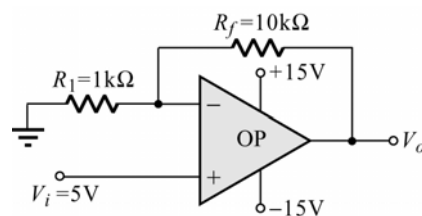
【80 電子保甄】

- () 5. 如圖(5)中 V_s 為+2V 直流電壓，則 V_o 為 (運算放大器為理想運算放大器)
(A)11 伏特 (B)1 伏特 (C)-1 伏特 (D)-11 伏特。

【80 電子四技】



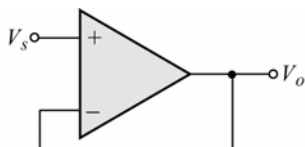
圖(5)



圖(6)

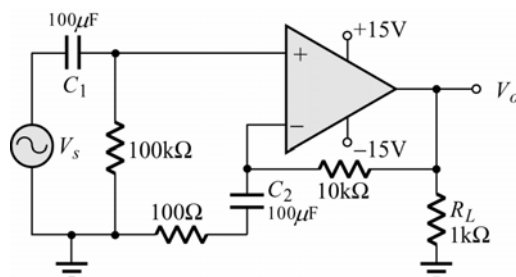
- () 6. 如圖(6)所示之電路，其輸出電壓 V_o 為 (A)+55V (B)-55V (C)+15V (D)-15V。

- () 7. 如圖(7)所示之電路，屬於何種負回授型態？ (A)電壓串聯負回授 (B)電壓並聯負回授 (C)電流串聯負回授 (D)電流並聯負回授。 【84 電子保甄】



圖(7)

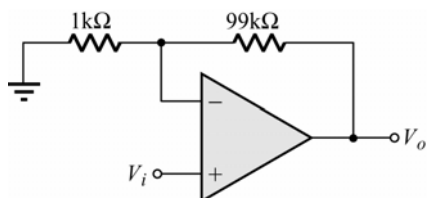
- () 8. 承上題，其回授因數 β ，即回授信號與輸出信號的比值，應為 (A)0 (B)0.5 (C)1 (D)2。 【84 電子保甄】



圖(8)

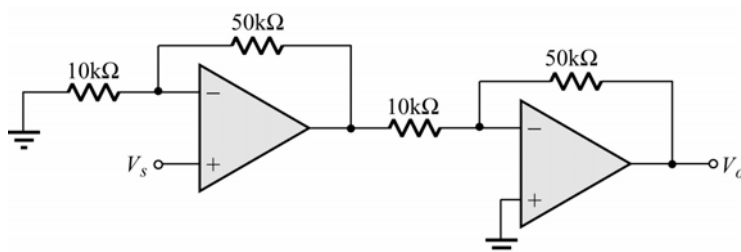
- () 9. 如圖(8)所示之電路，負回授之型態為何？ (A)電壓串聯負回授 (B)電壓並聯負回授 (C)電流串聯負回授 (D)電流並聯負回授。 【85 電子保甄】

- () 10. 如圖(9)所示， $V_i=10\text{mV}$ ，則 V_o 為 (A)-1V (B)-1.1V (C)1V (D)1.1V。 【85 電子四技】



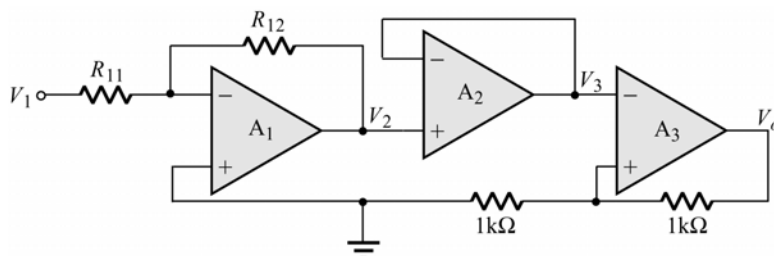
圖(9)

- () 11. 如圖(10)為理想運算放大器之電路，其電壓增益 V_o/V_s 為 (A)-30 (B)-25 (C)25 (D)36。 【86 電機保甄】



圖(10)

- () 12. 如圖(11)所示的電路為理想運算放大器，其電源電壓為 $\pm 15\text{V}$ ，若 $R_{12}=4R_{11}$ ，當 V_1 為 -1.9V 時，求 V_3 處的電壓，下列何者較為正確？ (A)+7.6V (B)-7.6V (C)+9.5V (D)-9.5V。 【91 電子四技】



圖(11)

- () 13. 承上題，若 $V_1=\sin(2000\pi t)\text{V}$ 時，則示波器測量到的電壓波形，下列何者較為正確？ (A)直流 (B)正弦波 (C)脈波 (D)三角波。 【91 電子四技】

() 14. 如圖(12)所示之電路中， $\frac{V_o}{V_i} = ?$

- (A) $1 + \frac{R_1}{R_2}$ (B) $-(1 + \frac{R_1}{R_2})$ (C) $1 + \frac{R_2}{R_1}$ (D) $-(1 + \frac{R_2}{R_1})$ 。

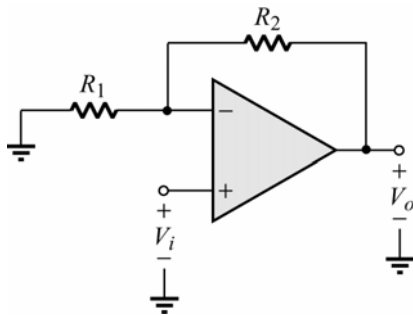
【92 電機四技】

() 15. 如圖(13)所示，求輸出電壓 $V_{out} = ?$ (A) 4V (B) 6V (C) 8V (D) 10V。

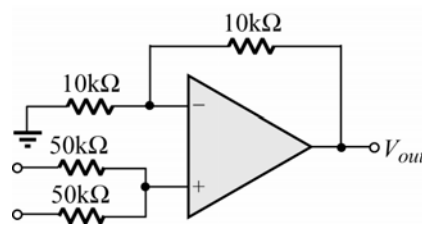
【93 電機四技】

() 16. 如圖(14)中的運算放大器假設具有理想特性，當 $V_i = 1V$ 輸入時，求輸出電壓 V_o 為多少？ (A) -2V (B) -1V (C) 1V (D) 2V。

【94 電機四技】



圖(12)

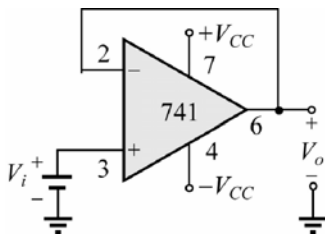


圖(13)

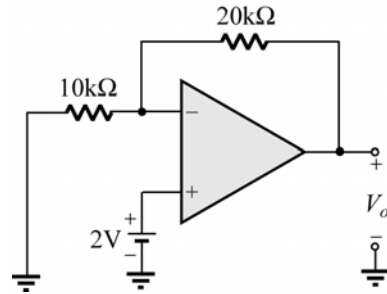
() 17. 如圖(15)中的運算放大器假設具有理想特性，其輸出電壓 V_o 為多少？

- (A) 1V (B) 2V (C) 4V (D) 6V。

【94 電機四技】



圖(14)

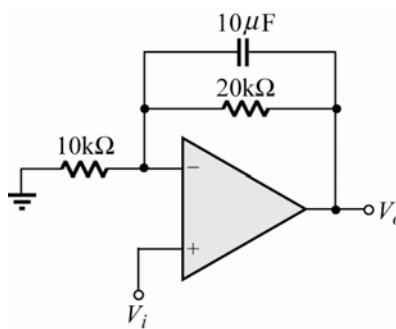


圖(15)

() 18. 如圖(16)所示之理想運算放大器電路，其高頻電壓增益約為何？

- (A) 0dB (B) -10dB (C) -15dB (D) -20dB。

【97 電機電子四技】



圖(16)

10-4 歷屆試題答案與解析

- 1.(D) 2.(D) 3.(C) 4.(D) 5.(A) 6.(C) 7.(A) 8.(C) 9.(A) 10.(C)
 11.(A) 12.(A) 13.(B) 14.(C) 15.(C) 16.(C) 17.(D) 18.(A)

$$1. V_+ = (-1) \times \frac{20k}{10k+20k} + 3 \times \frac{10k}{10k+20k} = \frac{1}{3} (V)$$

$$V_o = A_v \times V_+ = (1 + \frac{50k}{10k}) \times \frac{1}{3} = 2 (V)。$$

$$2. V_o = A_v \times V_i = (1 + \frac{50k}{10k}) \times 3 = 18 (V)$$

由於 OPA 的電源電壓為 $\pm 15 V$ ，所以 OPA 的輸出發生飽和， $V_o = +15V$ 。

$$3. V_o = A_v \times V_s = (1 + \frac{89k}{1k}) \times 0.2 = 18 (V)$$

由於 OPA 的電源電壓為 $\pm 15 V$ ，所以 OPA 的輸出發生飽和， $V_o = +15V$ 。

4. 該電路為 OPA 的電壓隨耦器， $A_v = 1$ ，即 $V_o = V_i$ 。

5. 該電路為 OPA 的非反相放大器

$$\therefore V_o = A_v \times V_i = (1 + \frac{R_f}{R_1}) \times \frac{R_3}{R_3 + R_2} V_s = (1 + \frac{100k}{10k}) \times \frac{10k}{10k+10k} \times 2 = 11 (V)。$$

6. (1) 該電路為 OPA 非反相放大器

$$V_o = V_i \times A_v = V_i \times (1 + \frac{R_f}{R_1}) = 5 \times (1 + \frac{10k}{1k}) = 55 (V)。$$

(2) 由於 $|V_o| \geq |V_{CC}|$ ，故 OPA 飽和， $V_o = +V_{CC} = +15(V)$ 。

7. $\because A_{vf} = \frac{V_o}{V_s} = 1$ 為電壓隨耦器 \therefore 為電壓串聯負回授型態，而電壓隨耦器一般均作為阻抗匹配使用，因其具有高輸入阻抗與低輸出阻抗的特性。

8. 回授因數 $\beta = \frac{V_f}{V_o} = \frac{V_o}{V_o} = 1$ (為百分之百的負回授)。

9. OPA 的非反相放大器及電壓隨耦器均為電壓串聯負回授電路。

10. 該電路為非反相放大器，故

$$V_o = V_i \times A_v = 10 \times (1 + \frac{99k}{1k}) = 1000 (mV) = 1(V)。$$

11. 該電路為兩級的 OPA 放大，第一級為非反相放大，第二級為反相放大

$$\frac{V_o}{V_s} = A_{v1} \times A_{v2} = (1 + \frac{50k}{10k}) \times (-\frac{50k}{10k}) = 6 \times (-5) = -30。$$

$$12. V_2 = -\frac{R_{12}}{R_{11}} V_1 = -\frac{4R_{11}}{R_{11}} V_1 = (-4) \times (-1.9) = 7.6 \text{ (V)}$$

$V_3 = V_2 = 7.6 \text{ V}$ (A_2 OPA 為電壓隨耦器, $A_V=1$)。

13. (1)由於承上題, 故 V_3 處為測量電壓波形, 所以為正弦波, 即

$$V_3 = V_2 = -\frac{R_{12}}{R_{11}} V_1 = -4V_1 = -4\sin(2000\pi t) \text{ 伏特}$$

(2) V_o 處為一直流電壓 (+15V 或 -15V), 故其波形為一直線。

(3)本題並未明確指出何處的電壓波形, 實在不該...出題者該記一小過。

$$14. \text{該電路為 OPA 非反相放大, } A_V = \frac{V_o}{V_i} = 1 + \frac{R_2}{R_1}。$$

$$15. (1) V_+ = 4 \times \frac{50k}{50k+50k} + 4 \times \frac{50k}{50k+50k} = 4 \text{ (V)}。$$

$$(2) V_o = A_V \times V_+ = (1 + \frac{10k}{10k}) \times 4 = 8 \text{ (V)}。$$

16. 該電路為 OPA 的電壓隨耦器, $A_V=1$, 即 $V_o=V_i=1\text{V}$ 。

$$17. \text{該電路為 OPA 非反相放大 } V_o = A_V \times V_i = (1 + \frac{20k}{10k}) \times 2 = 6 \text{ (V)}。$$

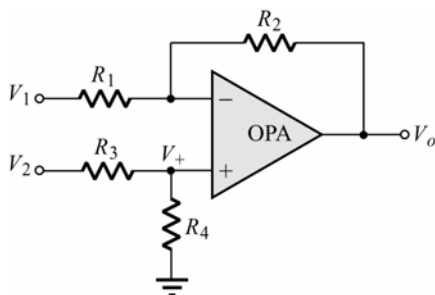
$$18. \text{由於在高頻時 } 10 \mu\text{F} \text{ 的電容抗視為 } 0 \text{ (短路), 所以該電路的高頻電壓增益 } A_V = (1 + \frac{0}{10k}) = 1,$$

其 dB 值則為 $20 \log A_V = 20 \log 1 = 0 \text{ (dB)}$ 。

10-5 減法器 (差放大器)

基本型減法器

利用重疊定理，將 V_1 輸入與 V_2 輸入分別應用前述的反相放大器與非反相放大器的公式，就可獲得其輸出電壓，即



1. 令 $V_2=0$ ，考慮 V_1 對 V_o 的影響 (反相放大作用)

$$V_{o1} = -\frac{R_2}{R_1} V_1$$

2. 令 $V_1=0$ ，考慮 V_2 對 V_o 的影響 (非反相放大作用)

$$V_{o2} = (1 + \frac{R_2}{R_1}) V_+ = (1 + \frac{R_2}{R_1}) (\frac{R_4}{R_3 + R_4} V_2)$$

3. 所以 $V_o = V_{o1} + V_{o2} = (-\frac{R_2}{R_1} V_1) + (1 + \frac{R_2}{R_1}) (\frac{R_4}{R_3 + R_4} V_2)$

4. 當 $R_1=R_3$ 、 $R_2=R_4$ 時

$$\begin{aligned} V_o &= (-\frac{R_2}{R_1} V_1) + (1 + \frac{R_2}{R_1}) (\frac{R_4}{R_3 + R_4} V_2) \\ &= (-\frac{R_2}{R_1} V_1) + (1 + \frac{R_2}{R_1}) (\frac{R_2}{R_1 + R_2} V_2) = \frac{R_2}{R_1} V_2 - \frac{R_2}{R_1} V_1 = (V_2 - V_1) \frac{R_2}{R_1} \end{aligned}$$

範例 1 如圖(1)所示電路，若 OPA 視為理想放大器，則輸出電壓 V_{out} 為多少？

(A) -4V (B) 6V (C) 2V (D) -2V。

【89 電子四技】

解 (C) 解法有二：

- (1) 該電路為減法放大器，

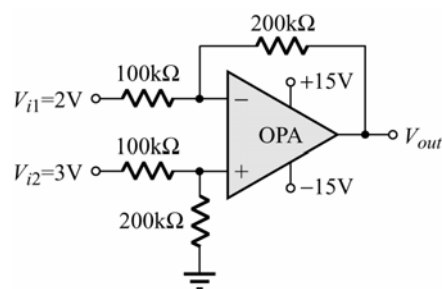
且 $R_1=R_3=100\text{k}\Omega$ ， $R_2=R_4=200\text{k}\Omega$ ，

$$\text{所以 } V_{out} = (V_{i2} - V_{i1}) \times \frac{200\text{k}}{100\text{k}} = (3 - 2) \times 2 = 2(\text{V})。$$

- (2) 利用重疊原理，分別計算出反相放大器與非反相放大器之 V_o ，再相加求其真正的輸出值。

$$V_{o1} = A_V \times V_{i1} = (-\frac{200\text{k}}{100\text{k}}) \times 2 = -4(\text{V}) \quad V_{o2} = A_V \times V_+ = (1 + \frac{200\text{k}}{100\text{k}}) \times (3 \times \frac{200\text{k}}{100\text{k} + 200\text{k}}) = 3 \times 2 = 6(\text{V})$$

$$\text{所以 } V_{out} = V_{o1} + V_{o2} = -4 + 6 = 2(\text{V})。$$



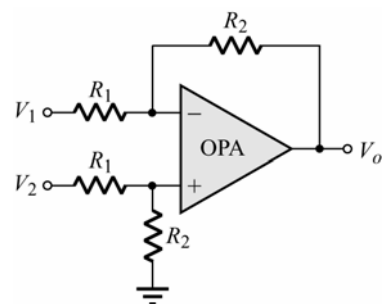
圖(1)

練習 1-1

如圖(2)所示之 OPA 電路，若 OPA 為理想運算放大器，則 V_o 應為

- (A) $-\left(\frac{R_2}{R_1}\right) \times (V_1 - V_2)$ (B) $\left(\frac{R_2}{R_1}\right) \times (V_1 - V_2)$
 (C) $-\left(\frac{R_2}{R_1}\right) \times (V_2 - V_1)$ (D) $\left(\frac{R_1}{R_2}\right) \times (V_1 - V_2)$ 。

【84 電子四技】



圖(2)

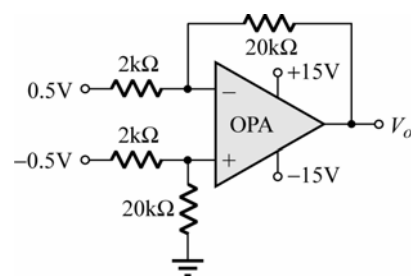
答

練習 1-2

如圖(3)的輸出電壓 V_o 應近似於下列何值？

- (A) 10V (B) 0V (C) -10V (D) 15V。 【86 電子保甄】

答



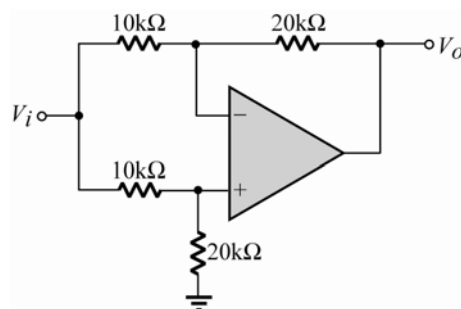
圖(3)

練習 1-3

如圖(4)所示之運算放大器電路，當 $V_i = 5\sin(2\pi \times 1000t)V$ 時，輸出電壓 $V_o = ?$

- (A) $-10 \sin(2\pi \times 1000t)V$
 (B) $-10 \cos(2\pi \times 1000t)V$
 (C) $5 \sin(2\pi \times 1000t)V$
 (D) 0V。

【96 電機電子四技】



圖(4)

答

範例 2

在圖(5)的減法器中，輸出電壓 $V_o = V_2 - 2V_1$ ，則 R_2/R_3 須等於多少？ (A)0.33 (B)0.5 (C)1 (D)2。

【89 電機四技】

解

(D) 利用重疊定理分別計算

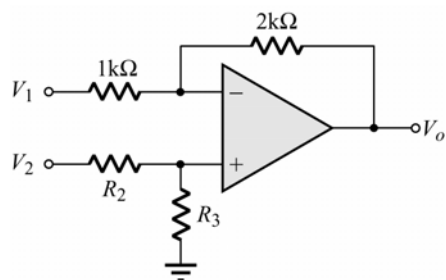
(1) 考慮 V_1 時，將 V_2 設為 0

$$V_{o1} = A_{V1} \times V_1 = \left(-\frac{2k}{1k}\right) \times V_1 = -2V_1$$

$$(2) \text{ 考慮 } V_2 \text{ 時，將 } V_1 \text{ 設為 } 0 \quad V_{o2} = A_{V2} \times V_2 = \left(1 + \frac{2k}{1k}\right) \times \left(V_2 \times \frac{R_3}{R_2 + R_3}\right) = \frac{3R_3}{R_2 + R_3} V_2$$

$$(3) \text{ 由於 } V_o = V_2 - 2V_1 = V_{o1} + V_{o2} = -2V_1 + \frac{3R_3}{R_2 + R_3} V_2$$

$$\text{所以 } \frac{3R_3}{R_2 + R_3} V_2 = V_2, \text{ 得 } R_2 = 2R_3, \text{ 故 } R_2/R_3 = 2。$$



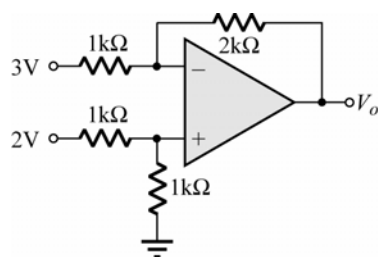
圖(5)

練習 2-1

如圖(6)假設運算放大器是理想的，則 V_o 的值為 (A)-3V (B)3V (C)-4V (D)4V。

【89 電子推甄】

答



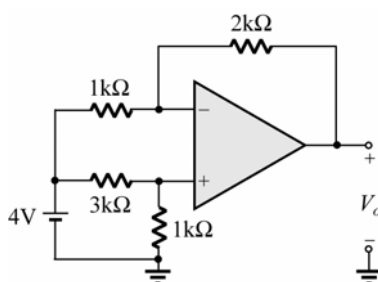
圖(6)

練習 2-2

理想運算放大器電路，如圖(7)所示，請問 $V_o = ?$ (A)-5V (B)5V (C)-6V (D)6V。

【93 電機電子四技】

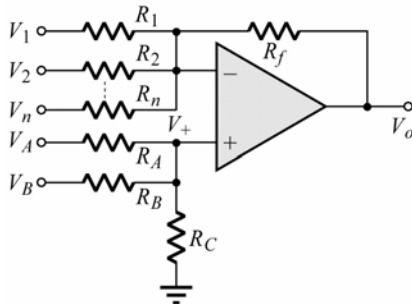
答



圖(7)

複雜型減法器（多端輸入）

此時若應用重疊定理就會稍嫌複雜，只須應用密爾門定理求得非反相輸入端的電壓（ V_+ ），再應用虛接地的觀念即可獲得輸出電壓（與前面 10-3 節反相加法器中類似）。



$$V_+ = \frac{\frac{V_A}{R_A} + \frac{V_B}{R_B} + \frac{0}{R_C}}{\frac{1}{R_A} + \frac{1}{R_B} + \frac{1}{R_C}} \quad (\text{密爾門定理})$$

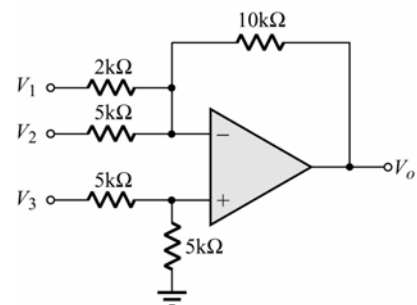
$$V_o = (V_1 - V_+) \times \left(-\frac{R_f}{R_1}\right) + (V_2 - V_+) \times \left(-\frac{R_f}{R_2}\right) + \dots + (V_n - V_+) \times \left(-\frac{R_f}{R_n}\right) + V_+$$

範例 3 如圖(8)已知 $V_1=1\text{V}$ ， $V_2=-1\text{V}$ ， $V_3=2\text{V}$ ，
則 $V_o=$ (A)4V (B)5V (C)6V (D)7V。

【89 電子保甄】

解 (B) (1) $V_+ = V_3 \times \frac{5\text{k}}{5\text{k} + 5\text{k}} = 2 \times \frac{1}{2} = 1(\text{V})$

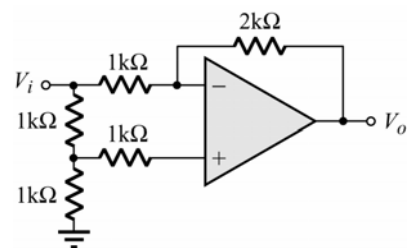
$$(2) V_o = (V_1 - V_+) \times \left(-\frac{10\text{k}}{2\text{k}}\right) + (V_2 - V_+) \times \left(-\frac{10\text{k}}{5\text{k}}\right) + V_+ \\ = (1-1) \times (-5) + (-1-1) \times (-2) + 1 = 5(\text{V})。$$



圖(8)

練習 3-1 如圖(9)中使用理想運算放大器，若 $V_i=10$ 伏特，
則輸出電壓 V_o 為 (A)-5 伏特 (B)5 伏特
(C)-10 伏特 (D)10 伏特。 【82 電機台北】

答

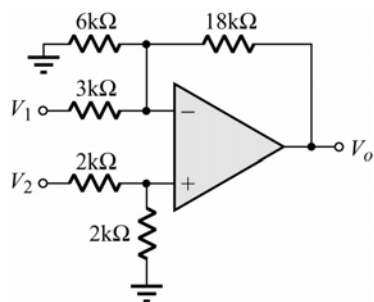


圖(9)

練習 3-2 如圖(10)輸出 V_o 與輸入 V_1 、 V_2 之關係為

- (A) $-9V_1+5V_2$ (B) $-6V_1+3.5V_2$
(C) $-6V_1+5V_2$ (D) $-9V_1+3.5V_2$ 。 【83 電子台北】

答



圖(10)

註

6kΩ電阻可視為接上 0V 電壓的電阻。

範例 4 如圖(11)所示電路，其輸出電壓 V_o 為多少？

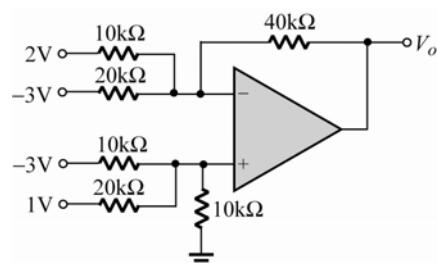
- (A) $-9V$ (B) $-7V$ (C) $3V$ (D) $4V$ 。
【95 電機電子四技】

解

(A) (1) 設 OPA 非反相輸入端的電壓，為 V_+

$$\frac{-3-V_+}{10k} + \frac{1-V_+}{20k} + \frac{0-V_+}{10k} = 0, \text{ 得 } V_+ = -1(V)$$

$$(2) V_o = [2 - (-1)] \times \left(-\frac{40k}{10k}\right) + [-3 - (-1)] \times \left(-\frac{40k}{20k}\right) - 1 = 3 \times (-4) + (-2) \times (-2) - 1 = -9(V)。$$

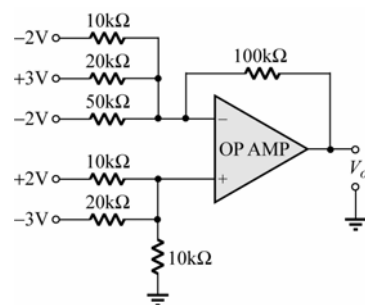


圖(11)

練習 4-1 如圖(12)所示之電路，其輸出電壓 V_o 約為

- (A) $14V$ (B) $12V$ (C) $10V$ (D) $8V$ 。
【電子四技】

答



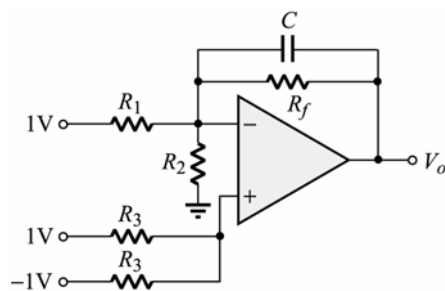
圖(12)

練習 4-2 如圖(13)為理想運算放大器之電路，其輸出電壓為多少伏特？ (A) $-\frac{R_f}{R_1}$ (B) $-\frac{1/(1/R_f + C)}{R_1}$

(C) $-\frac{(R_f + 1/C)}{R_1 + R_2}$ (D) $-\left(\frac{R_f}{R_1}\right)\left(\frac{R_3}{R_2}\right)。$

答

【92 電機電子四技】



圖(13)

範例 5 如圖(14)所示之 OPA 電路，其增益 V_o/V_i 為多少？

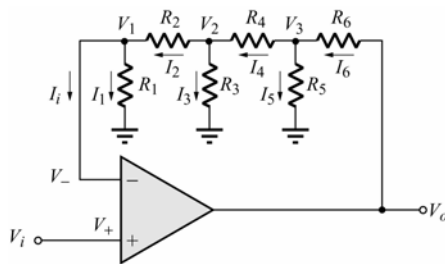
(A)13 (B)11 (C)12 (D)14。 【83 電子嘉南】

解

(A) 設 $V_i = +1V$ (原因：電路電阻為 $1M\Omega$ ，若電阻為 $5M\Omega$ ，則設 $+5V$)，另為了說明方便，故將所有電阻以編號方式表示。

(1) $V_i = V_+ = V_- = V_1 = 1V$ (虛接地， $I_i = 0$ 、 $R_i = \infty$)

$$I_1 = \frac{V_1}{R_1} = \frac{V_i}{R_1} = \frac{1}{1} = 1(\mu A)$$

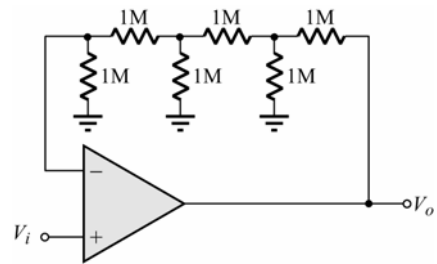


(2) $\because I_2 = I_1 + I_i = I_1 = 1\mu A \quad \therefore V_2 = I_2 R_2 + V_1 = 1 \times 1 + 1 = 2(V)$

(3) $\because I_3 = \frac{V_2}{R_3} = \frac{2}{1} = 2(\mu A) \quad I_4 = I_2 + I_3 = 1 + 2 = 3(\mu A) \quad \therefore V_3 = I_4 R_4 + V_2 = 3 \times 1 + 2 = 5(V)$

(4) $\because I_5 = \frac{V_3}{R_5} = \frac{5}{1} = 5(\mu A) \quad I_6 = I_4 + I_5 = 3 + 5 = 8(\mu A) \quad \therefore V_o = I_6 R_6 + V_3 = 8 \times 1 + 5 = 13(V)$

(5) $\frac{V_o}{V_i} = \frac{13}{1} = 13。$



圖(14)

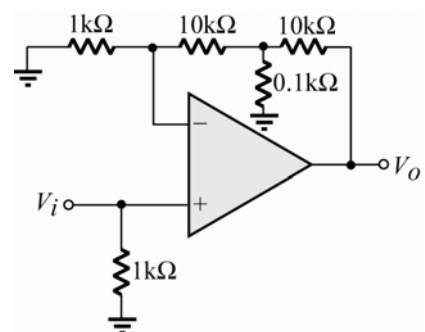
練習 5 如圖(15)所示之理想運算放大器電路，其電壓增益

$\frac{V_o}{V_i}$ 之值為何？ (A)621 (B)821 (C)1121

(D)1321。

【97 電機電子四技】

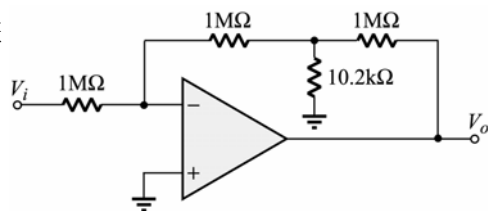
答



圖(15)

範例 6 如圖(16)為理想運算放大器之電路，其電壓增益為 (A)-1.01 (B)-2 (C)-2.01 (D)-100。

【92 電機電子四技】



圖(16)

解 (D) (1) 設 $V_i=1\text{V}$ ，則 $I_1 = \frac{V_i - V_1}{R_1} = \frac{1-0}{1\text{M}} = 1(\mu\text{A})$ (OPA 虛接地 $V_1=0$)

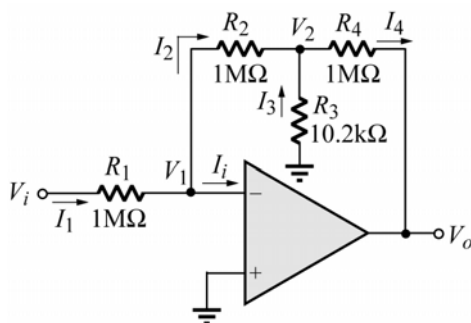
(2) $\therefore I_i=0$ (OPA 的 $R_i \rightarrow \infty$)， $\therefore I_2 = I_1 - I_i = I_1 = 1\mu\text{A}$

故 $V_2 = -I_2 R_2 = -1 \times 1 = -1(\text{V})$

(3) $I_3 = \frac{V_2}{R_3} = \frac{-1}{10.2\text{k}} \approx -\frac{1}{10\text{k}} = -0.1(\text{mA}) = -100(\mu\text{A})$

(4) $V_o = -I_4 R_4 + V_2 = -(I_2 + I_3) \times R_4 + V_2 = -(1+100) \times 1 + (-1) = -102(\text{V})$

所以 $A_v = \frac{V_o}{V_i} \approx \frac{-102}{1} = -102$ ，故選(D)。



10-5 練習題答案與解析

1-1.(A) 1-2.(C) 1-3.(D) 2-1.(A) 2-2.(A) 3-1.(A) 3-2.(C) 4-1.(B) 4-2.(A) 5.(C)

1-1. $V_o = V_2 \times \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2}\right) \times \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) + V_1 \times \left(-\frac{R_2}{R_1}\right) = V_2 \times \left(\frac{R_2}{R_1}\right) - V_1 \times \frac{R_2}{R_1} = -\left(\frac{R_2}{R_1}\right)(V_1 - V_2)$ 或 $V_o = (V_2 - V_1) \times \frac{R_2}{R_1}$ 。

1-2. 電路為 OPA 的減法器 $\therefore V_o = (-0.5 - 0.5) \times \frac{20\text{k}}{2\text{k}} = -10(\text{V})$ 。

1-3. 該電路為 OPA 減法器，由於 $V_{i1} = V_{i2}$ ，所以 $V_o = 0$ 。

2-1. 分別利用反相放大器與非反相放大器，求得其輸出總和

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

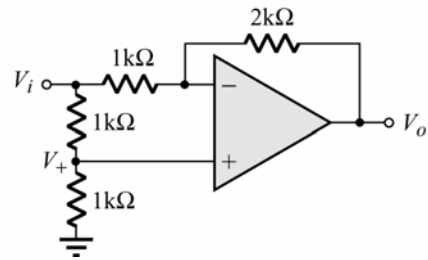
2-2. 在反相輸入端 $1\text{k}\Omega$ 處與非反相輸入端 $3\text{k}\Omega$ 處均輸入 4V 之，利用重疊定理，得

$$V_o = 4 \times \left(-\frac{2\text{k}}{1\text{k}}\right) + 4 \times \frac{1\text{k}}{3\text{k} + 1\text{k}} \times \left(1 + \frac{2\text{k}}{1\text{k}}\right) = (-8) + 3 = -5(\text{V})。$$

- 3-1. (1) 由於靠近非反相輸入端的 $1k\Omega$ 電阻沒有電流流過 (\because OPA 輸入阻抗 ∞)，所以沒有電壓降 (電壓降為 0)，故可省略；該電路等效圖如下圖所示。

$$(2) V_+ = V_i \times \frac{1k}{1k + 1k} = 10 \times \frac{1}{2} = 5(V)$$

$$V_o = (V_i - V_+) \times \left(-\frac{2k}{1k}\right) + V_+ = (10 - 5) \times (-2) + 5 = -5(V)。$$



3-2. (1) $V_+ = 1 \times \frac{2k}{2k + 2k} \times V_2 = \frac{1}{2} V_2$

$$(2) V_o = (V_1 - V_+) \times \left(-\frac{18k}{3k}\right) + (0 - V_+) \times \left(-\frac{18k}{6k}\right) + V_+$$

$$= (V_1 - \frac{1}{2} V_2) \times (-6) + 3V_+ + V_+ = -6V_1 + 3V_2 + 2V_2 = -6V_1 + 5V_2。$$

- 4-1. 此為複雜型減法器，依密爾門定理得

$$V_+ = \frac{\frac{2}{10k} + \frac{-3}{20k} + \frac{0}{10k}}{\frac{1}{10k} + \frac{1}{20k} + \frac{1}{10k}} = \frac{\frac{20k}{5}}{20k} = 0.2(V)$$

$$V_o = (-2 - V_+) \times \left(\frac{-100k}{10k}\right) + (3 - V_+) \times \left(\frac{-100k}{20k}\right) + (-2 - V_+) \times \left(\frac{-100k}{50k}\right) + V_+$$

$$= (-2 - 0.2) \times (-10) + (3 - 0.2) \times (-5) + (-2 - 0.2) \times (-2) + 0.2 = 22 - 14 + 4.4 + 0.2 = 12.6(V)。$$

- 4-2. (1) 由於電路為直流放大，所以電容 C 可忽略，而電阻 R_2 可視為接 0V 電壓的電阻。

- (2) 利用複雜型減法器的解法即可得輸出電壓 V_o 。

① OPA 非反相輸入端的電壓 V_+ 為 $V_+ = \frac{R_3}{R_3 + R_3} \times 1 + \frac{R_3}{R_3 + R_3} \times (-1) = 0(V)$

② $V_o = (1 - V_+) \times \left(-\frac{R_f}{R_1}\right) + (0 - V_+) \times \left(-\frac{R_f}{R_2}\right) + V_+ = (1 - 0) \times \left(-\frac{R_f}{R_1}\right) + (0 - 0) \times \left(-\frac{R_f}{R_2}\right) + 0 = -\frac{R_f}{R_1}。$

5. 設 $V_i = 1V$ ，OPA 由於 OPA 電路虛接地之故，所以 $V_i = V_+ = V_- = 1V$

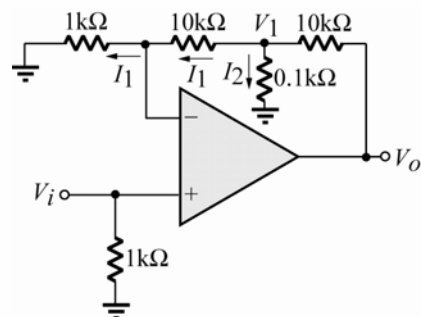
$$I_1 = \frac{V_-}{1k} = \frac{1}{1k} = 1(mA), \quad V_1 = I_1 \times 10k + V_- = 1 \times 10 + 1 = 11(V)$$

$$I_2 = \frac{V_1}{0.1k} = \frac{11}{0.1k} = 110(mA)$$

$$V_o = (I_1 + I_2) \times 10k + V_1$$

$$= (1 + 110) \times 10 + 11 = 1121(V)$$

$$\text{所以 } \frac{V_o}{V_i} = \frac{1121}{1} = 1121。$$



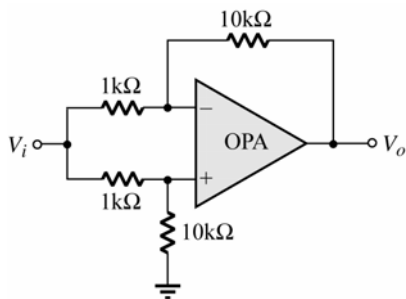


10-5 歷屆試題集錦

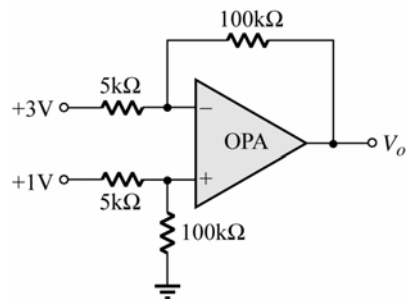
- () 1. 如圖(1)所示電路，當 $V_i = 10\sin\omega t$ 時， V_o 為

(A) 0 (B) $-15\sin\omega t$ (C) $100\sin\omega t$ (D) $-100\sin\omega t$ 。

【80 電機四技】



圖(1)



圖(2)

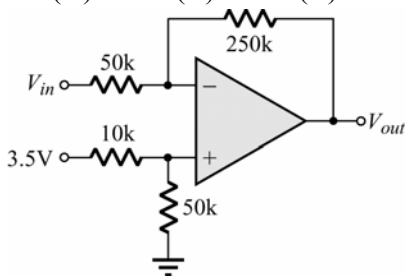
- () 2. 如圖(2)所示電路，其輸出電壓 V_o 應為 (A) 20V (B) -20V (C) 40V (D) -40V。

【81 電機保甄】

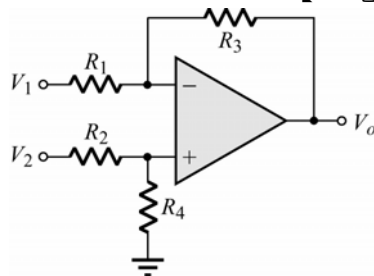
- () 3. 如圖(3)所示，當輸入電壓 V_{in} 為 5V 時，其輸出電壓 V_{out} 為

(A) +5V (B) -5V (C) +7.5V (D) -7.5V。

【82 電子保甄】



圖(3)



圖(4)

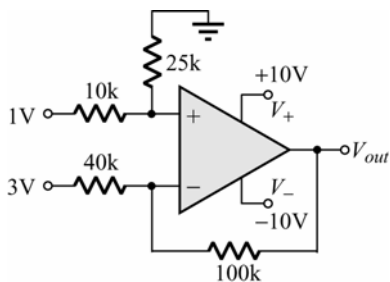
- () 4. 如圖(4)所示電路中，如果 $V_1 = 4\text{mV}$ ， $V_2 = 3\text{mV}$ ， $R_1 = R_2 = 10\text{k}\Omega$ ， $R_3 = R_4 = 600\text{k}\Omega$ ，且運算放大器 (OPA) 具有理想特性，則輸出電壓 V_o 為多少？

(A) 720mV (B) 60mV (C) 0 (D) -60mV。

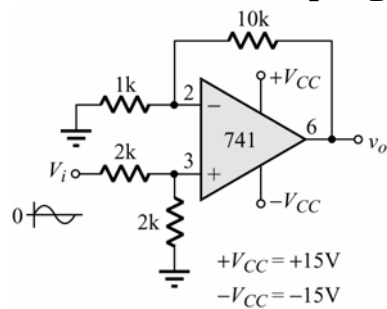
【83 電機四技】

- () 5. 如圖(5)所示，其輸出電壓 V_{out} 為 (A) -5V (B) 5V (C) -2.5V (D) 2.5V。

【83 電子保甄】



圖(5)

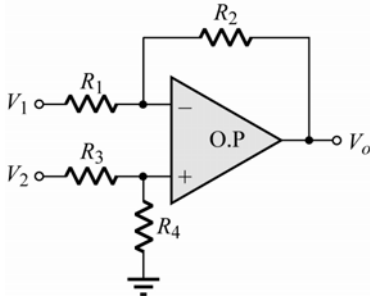


圖(6)

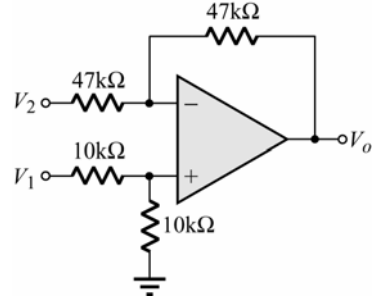
- () 6. 如圖(6)所示為非反相放大電路，若 V_i 為 $1\text{V}_{\text{P-P}}$ ，1kHz 的正弦波，則輸出 V_o 的振幅為 (A) $1\text{V}_{\text{P-P}}$ (B) $10\text{V}_{\text{P-P}}$ (C) $11\text{V}_{\text{P-P}}$ (D) $5.5\text{V}_{\text{P-P}}$ 。

【83 電子四技】

- () 7. 如圖(7)電路中 $R_1=10\text{k}\Omega$, $R_2=20\text{k}\Omega$, $R_3=40\text{k}\Omega$, $R_4=20\text{k}\Omega$, $V_1=1\text{V}$, $V_2=3\text{V}$, 則輸出電壓 V_o 為何? (A)1V (B)2V (C)3V (D)-1V。 【84 電機四技】

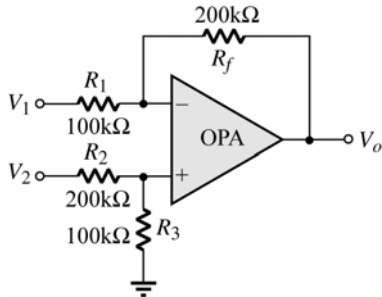


圖(7)

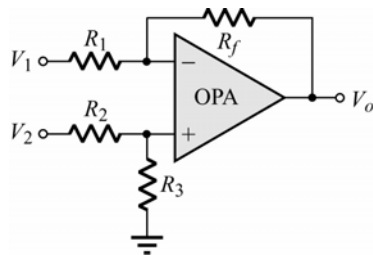


圖(8)

- () 8. 如圖(8)所示, 若 $V_1=3\text{V}$, $V_2=2\text{V}$, 則 V_o 為 (A)1V (B)2V (C)-1V (D)-2V。 【85 電子四技】
- () 9. 如圖(9)所示, 若 $V_1=8\text{V}$, $V_2=16\text{V}$, $R_1=R_3=100\text{k}\Omega$, $R_2=R_f=200\text{k}\Omega$, 則輸出電壓 V_o 應接近多少? (A)8V (B)0V (C)-8V (D)16V。 【86 電子四技】

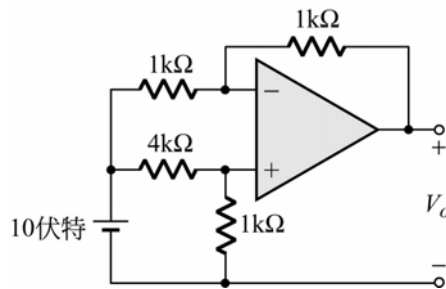


圖(9)



圖(10)

- () 10. 如圖(10)所示, 若 $R_1=10\text{k}\Omega$, $R_2=5\text{k}\Omega$, $R_3=5\text{k}\Omega$, $R_f=10\text{k}\Omega$, 且 $V_1=2$ 伏特, $V_2=3$ 伏特, 則輸出電壓 V_o 為 (A)1V (B)2V (C)3V (D)5V。 【88 電機四技】
- () 11. 如圖(11)所示之電路, 電壓 V_o 應為 (A)-6 伏特 (B)-8 伏特 (C)-10 伏特 (D)-12 伏特。 【88 電機保甄】



圖(11)

10-5 歷屆試題答案與解析

- 1.(A) 2.(D) 3.(D) 4.(D) 5.(A) 6.(D) 7.(A) 8.(A) 9.(B) 10.(A)
11.(A)

1. 解法有二：

(1) 該電路為 OPA 減法器，且 $V_{i1}=V_{i2}$ ，所以 $V_o = (V_{i1}-V_{i2}) \times \frac{10k}{1k} = 0 \times 10 = 0 \text{ (V)}$ 。

(2) 利用重疊定理，各別計算，最後再相加

$$\textcircled{1} V_{o1} = A_{v1} \times V_+ = (1 + \frac{10k}{1k}) \times \frac{10k}{1k+10k} \times V_i = 10V_i \text{ (非反相放大)}。$$

$$\textcircled{2} V_{o2} = A_{v2} \times V_i = (-\frac{10k}{1k}) \times V_i = -10V_i \text{ (反相放大)}。$$

$$\textcircled{3} V_o = V_{o1} + V_{o2} = 10V_i - 10V_i = 0 \text{ (V)}。$$

2. 該電路為 OPA 減法器 $V_o = (1-3) \times \frac{100k}{5k} = -2 \times 20 = -40 \text{ (V)}$ 。

註：利用重疊定理亦可求得 V_o 。

3. 該電路為 OPA 的減法器，所以利用重疊定理求得 V_{out} 值

$$V_{out} = V_+ \times (1 + \frac{250k}{50k}) + V_{in} \times (-\frac{250k}{50k}) = 3.5 \times \frac{50k}{10k+50k} \times (1+5) + 5 \times (-5) = 17.5 - 25 = -7.5 \text{ (V)}。$$

4. 該電路為 OPA 的減法器，且由於 $R_1=R_2$ ， $R_3=R_4$ ，所以

$$V_o = (V_2 - V_1) \times \frac{R_2}{R_1} = (3-4) \times \frac{600k}{10k} = -60 \text{ (mV)}。$$

5. 該電路為 OPA 的減法電路，利用重疊定理得

$$V_{out} = V_+ \times (1 + \frac{100k}{40k}) + 3 \times (-\frac{100k}{40k}) = 1 \times \frac{25k}{10k+25k} \times (1 + \frac{100k}{40k}) + 3 \times (-\frac{100k}{40k}) = 2.5 + (-7.5) = -5 \text{ (V)}。$$

6. 該電路為 OPA 非反相放大器

$$V_o = V_+ \times A_v = V_i \times \frac{2k}{2k+2k} \times (1 + \frac{10k}{1k}) = 1 \times \frac{2}{4} \times 11 = 5.5 \text{ (V}_{P-P})。$$

7. 該電路為 OPA 減法器，但由於 $R_1 \neq R_3$ ， $R_2 \neq R_4$ ，所以只能利用重疊定理求得 V_o 值。

$$\begin{aligned} V_o &= (-\frac{R_2}{R_1}) \times V_1 + (1 + \frac{R_2}{R_1}) \times V_+ = (-\frac{R_2}{R_1}) \times V_1 + (1 + \frac{R_2}{R_1}) \times \frac{R_4}{R_3 + R_4} \times V_2 \\ &= (-\frac{20k}{10k}) \times 1 + (1 + \frac{20k}{10k}) \times \frac{20k}{40k+20k} \times 3 = (-2) + 3 \times \frac{1}{3} \times 3 = 1 \text{ (V)}。 \end{aligned}$$

8. 利用重疊定理，將電路分為非反相放大器與反相放大器即可求得 V_o 值

$$(1) V_{o1} = V_1 \times \frac{10k}{10k+10k} \times A_v = 3 \times \frac{10k}{20k} \times (1 + \frac{47k}{47k}) = 3 \text{ (V)} \text{ (非反相放大)}。$$

$$(2) V_{o2} = V_2 \times A_v = 2 \times (-\frac{47k}{47k}) = -2 \text{ (V)} \text{ (反相放大)}。$$

$$(3) V_o = V_{o1} + V_{o2} = 3 + (-2) = 1 \text{ (V)}。$$

9. 該電路為 OPA 的減法電路，利用重疊定理得 V_o 值

$$V_o = V_+ \times \left(1 + \frac{R_f}{R_1}\right) + V_1 \times \left(-\frac{R_f}{R_1}\right) = V_2 \times \frac{R_3}{R_2 + R_3} \times \left(1 + \frac{R_f}{R_1}\right) + V_1 \times \left(-\frac{R_f}{R_1}\right)$$

$$= 16 \times \frac{100k}{200k + 100k} \times \left(1 + \frac{200k}{100k}\right) + 8 \times \left(-\frac{200k}{100k}\right) = 16 - 16 = 0 \text{ (V)}。$$

10. 同題 9 方式

$$V_o = 3 \times \left(\frac{5k}{5k + 5k}\right) \times \left(1 + \frac{10k}{10k}\right) + 2 \times \left(-\frac{10k}{10k}\right) = 3 \times \frac{1}{2} \times 2 + 2 \times (-1) = 1 \text{ (V)}。$$

11. 本題除了應用重疊定理解出 V_o 外，亦可應用複雜型減法器的解法，即

$$(1) V_+ = 10 \times \frac{1k}{4k + 1k} = 2 \text{ (V)}$$

$$(2) V_o = (V_1 - V_+) \times \left(-\frac{1k}{1k}\right) + V_+ = (10 - 2) \times (-1) + 2 = -6 \text{ (V)}。$$