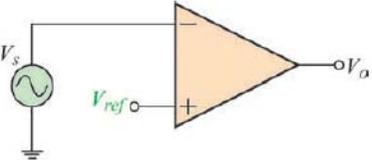
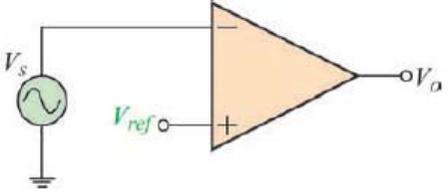


### 高職數位教材發展與推廣計畫－電子科單元教案設計表

單元編號	10-6-1	單元名稱	比較器	
對應之課綱	比較器		預計本單元總教學時間	50 分鐘（約 30-50 分鐘）
教學目標	單元目標	(1)說明比較器的電路概念。 (2)講解反相比較器的電路結構、動作原理及繪製電壓轉移曲線的方法。 (3)反相比較器例題演練與講解。 (4)講解非反相比較器的電路結構、動作原理及繪製電壓轉移曲線的方法。 (5)非反相比較器例題演練與講解。 (6)講解反相臨界電位比較器的電路結構、動作原理及繪製電壓轉移曲線的方法。 (7)反相臨界電位比較器例題演練與講解。 (8)非反相臨界電位比較器的電路結構、動作原理及繪製電壓轉移曲線的方法。 (9)非反相臨界電位比較器例題演練與講解。		
	具體目標 (例如:能說出、能寫出、能列舉、能運用)	(1)能繪製反相、非反相比較器電路圖、輸入/輸出波形圖、電壓轉移曲線圖。 (2)能繪製反相、非反相臨界電位比較器電路圖、輸入/輸出波形圖、電壓轉移曲線圖。 (3)能以數學式說明反相、非反相比較器輸入電壓與輸出電壓之間的關係。 (5)能以數學式說明反相、非反相臨界電位比較器輸入電壓與輸出電壓之間的關係。		
教學活動		教學	元件	元件內容說明

		時間	編號	類型	時間	(請填入 8-9 個元件)
準備活動	<input type="checkbox"/> 介紹本單元內容 透過動畫簡介說明本單元的學習內容吸引學生注意力。	1 分鐘	10-6-1-1 OPA 應用電路—比較器教學目錄畫面	動畫	1 分鐘	<input type="checkbox"/> 請製作一動態簡報 動畫內容主要表現下列意涵： 請在畫面左下角跑出一個忍者，忍者從懷中拿出一個卷軸配合手勢召喚出以下標題：「比較器基本概念說明」、「反相比較器」、「反相比較器例題演練」、「非反相比較器」、「非反相比較器例題演練」、「反相臨界電位比較器」、「非反相臨界電位比較器」等七大標題。 當點選上述標題文字時，即可連結至該標題的說明畫面，其中連結各標題的說明畫面如以下說明。
準備活動	<input type="checkbox"/> 比較器概論說明 利用概念圖說明比較器輸出電壓與輸入電壓之間的關係，藉以引起學生學習動機。	3 分鐘	10-6-1-2 OPA 比較器基本概念說明	動畫	1 分鐘	① 點選「比較器基本概念說明」標題： <input type="checkbox"/> 請製作一動畫 動畫內容主要表現下列意涵： <div style="text-align: center;"> </div> <b>比較器：</b> 開場畫面先浮現上方的示意圖，並在下方製作一「合併/分離」鈕，接著 OPA 的一輸入端送入直流電壓，另一端輸入弦波電壓，且在直流電壓及弦波電壓的左方製作可拖曳的滑動軸，教師可配合講解拖曳滑動軸改變直流及弦

						<p>波電壓的大小，在輸出端可立即看到相對應的波形輸出。藉此示意圖說明利用 OPA 所製做的比較器主要意涵為何，當點選上圖「合併/分離」按鈕時，可將各組輸入與輸出波形合併為一張圖形讓學生可清楚看出輸出與輸入波形之間的對應關係。</p>
<p>發展活動</p>	<p>▣反相比較器分析 分析反相比較器的電路結構、動作原理。</p>	<p>7 分鐘</p>	<p>10-6-1-3 反相比較器分析講解</p>	<p>簡報+動畫+圖說 (2D 動畫)</p>	<p>3 分鐘</p>	<p>②點選「反相比較器」標題： ▣請製作一簡報 簡報內容主要表現下列意涵：</p>  <p>請在畫面中動態顯示上圖及以下文字，並在右下角製做「分析重點」、「例題演練」按鈕： 上圖為 OPA 反相比較電路，其判斷方式如下</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 上圖電路未具有負回授，故本電路為 OPA 比較電路。</li> <li>2. 輸入電壓由反相端輸入，故本電路輸入與輸出波形相位反相。</li> </ol> <p>由上述條件可判斷本電路為 OPA 反相比較電路。 點選[分析重點]鈕可將上圖下方的說明文字及按鈕抹去，再重新逐步浮現以下文字及電路圖，如以下畫面：</p> 

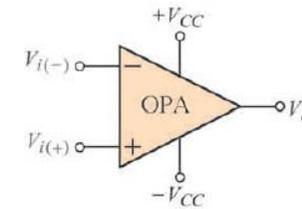
分析流程：

- (1) 無負回授情形下，OPA 輸出與輸入電壓之間的對應關係。
- (2) 繪製輸出與輸入電壓波形之間的對應關係。
- (3) 繪製電壓轉移曲線。

點選上列各標題時，請將上圖對應的電子元件或者波形輸入端點動態醒目標示，且由上述的元件或端點位置出現以下圖說畫面：

- (1) 無負回授情形下，OPA 輸出與輸入電壓之間的對應關係。

請製作下列圖說畫面



運算放大器輸出電壓與兩輸入端之間的電壓關係可如下式表示：

$$V_o = A_d V_d + A_c V_c$$

若運算放大器為理想運算放大器，則共模增益  $A_c = 0$ ，故上式可演化為：

$$V_o = A_d V_d = A_{vo} V_d = A_{vo} (V_{i(+)} - V_{i(-)})$$

已知 OPA 開迴路增益極大，故可推論以下關係：  
當  $V_{i(+)} > V_{i(-)}$  時， $V_o = A_{vo} (V_{i(+)} - V_{i(-)}) = \text{極大值} \times \text{有限正值}$ ，故  $V_o = +V_{sat} = +V_{cc}$

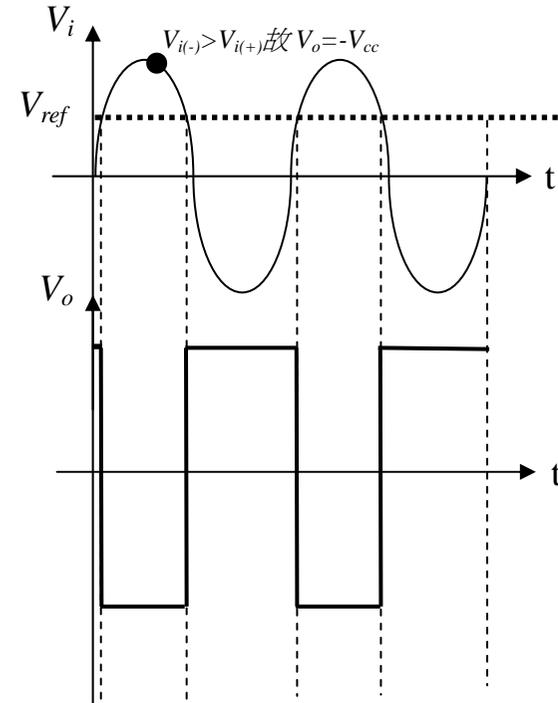
當  $V_{i(+)} < V_{i(-)}$  時， $V_o = A_{vo} (V_{i(+)} - V_{i(-)}) = \text{極大值} \times \text{有限負}$

值，故  $V_o = -V_{sat} = -V_{cc}$

(2)繪製輸出與輸入電壓波形之間的對應關係。

請製作一動畫

動畫內容主要表現下列意涵：

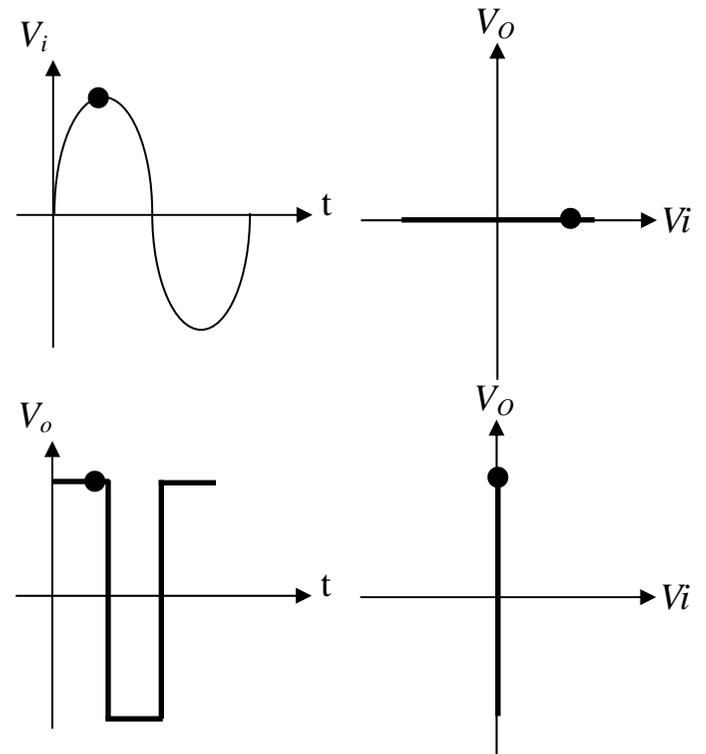


如上圖所示，請於輸入波形圖上製作一滑動點，利用滑鼠拖曳該滑動點可逐步於下方描繪輸出電壓波形圖，且在滑動點的旁邊顯示提示文字說明目前 OPA 兩輸入端電壓與輸出端電壓之間的關係。

(3)繪製電壓轉移曲線。

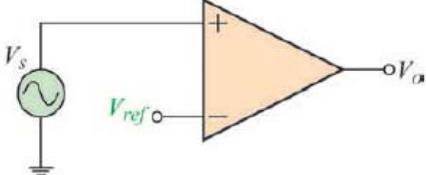
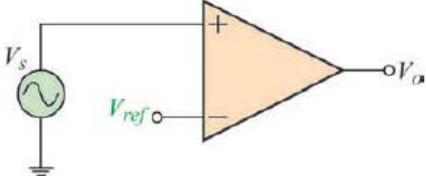
請製作一動畫

動畫內容主要表現下列意涵：



如上圖所示，請於輸入/輸出波形圖上製作一滑動點，利用滑鼠拖曳該滑動點可逐步於右方電壓轉移曲線上描繪對應的電壓軌跡。藉由兩者對應使同學瞭解電壓轉移曲線與輸入/輸出波形圖之間的關係。

接著將上述兩圖合併，再配合教師講解拖曳滑動點，即可使同學清楚瞭解如何透過輸入/輸出波形圖繪製電壓轉移曲線。

發展活動	<p>▣反相比較器例題演練</p> <p>講解並透過互動式問答演算例題，加深同學對反相比較器的分析流程與概念。</p>	4 分鐘	10-6-1-4 反相比較器例題演練	動畫+圖說 (2D 動畫)	1 分鐘	<p>③互動式反相比較器例題演練</p> <p>點選「例題演練」按鈕後，畫面中浮現一反相比較器電路圖，並於輸入端點顯示兩輸入端電壓波形圖，接著仿照上述講解模式帶領同學逐步畫出輸出波形圖及電壓轉移曲線。</p>
電發展活動	<p>▣非反相比較器分析</p> <p>分析非反相比較器的電路結構、動作原理。</p>	6 分鐘	10-6-1-5 非反相比較器分析講解	簡報+動畫+圖說 (2D 動畫)	2 分鐘	<p>④點選「非反相比較器」標題：</p> <p>▣請製作一簡報</p> <p>簡報內容主要表現下列意涵：</p>  <p>請在畫面中動態顯示上圖及以下文字，並在右下角製做「分析重點」、「例題演練」按鈕：</p> <p>上圖為 OPA 非反相比較電路，其判斷方式如下</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 上圖電路未具有負回授，故本電路為 OPA 比較電路。</li> <li>2. 輸入電壓由非反相端輸入，故本電路輸入與輸出波形相位同相。</li> </ol> <p>由上述條件可判斷本電路為 OPA 非反相比較電路。點選[分析重點]鈕可將上圖下方的說明文字及按鈕抹去，再重新逐步浮現以下文字及電路圖，如以下畫面：</p> 

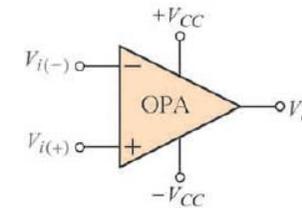
分析流程：

- (1) 無負回授情形下，OPA 輸出與輸入電壓之間的對應關係。
- (2) 繪製輸出與輸入電壓波形之間的對應關係。
- (3) 繪製電壓轉移曲線。

點選上列各標題時，請將上圖對應的電子元件或者波形輸入端點動態醒目標示，且由上述的元件或端點位置出現以下圖說畫面：

- (1) 無負回授情形下，OPA 輸出與輸入電壓之間的對應關係。

請製作下列圖說畫面



運算放大器輸出電壓與兩輸入端之間的電壓關係可如下式表示：

$$V_o = A_d V_d + A_c V_c$$

若運算放大器為理想運算放大器，則共模增益  $A_c = 0$ ，故上式可演化為：

$$V_o = A_d V_d = A_{vo} V_d = A_{vo} (V_{(+)} - V_{(-)})$$

且由前述觀念可知，OPA 開迴路增益極大，故可推論以下關係：

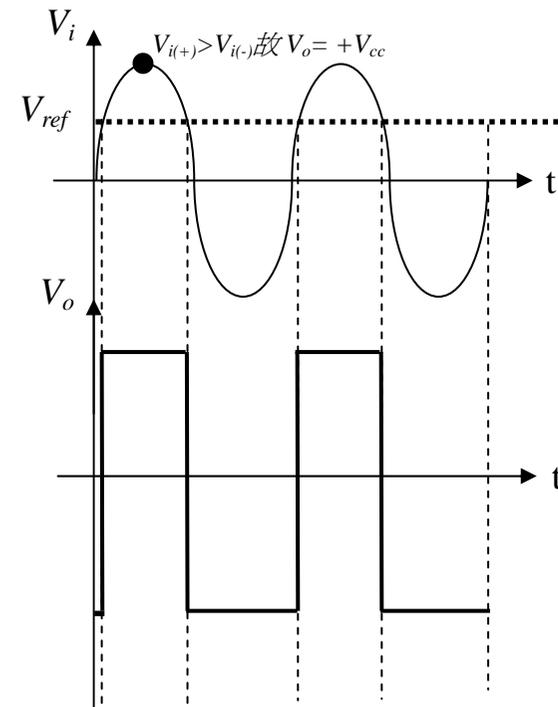
當  $V_{i(+)} > V_{i(-)}$  時， $V_o = A_{vo} (V_{i(+)} - V_{i(-)}) = \text{極大值} \times \text{有限正值}$ ，故  $V_o = +V_{sat} = +V_{CC}$

當  $V_{i(+)} < V_{i(-)}$  時， $V_o = A_{vo}(V_{i(+)} - V_{i(-)}) = \text{極大值} \times \text{有限負值}$ ，故  $V_o = -V_{sat} = -V_{cc}$

(2) 繪製輸出與輸入電壓波形之間的對應關係。

 請製作一動畫

動畫內容主要表現下列意涵：

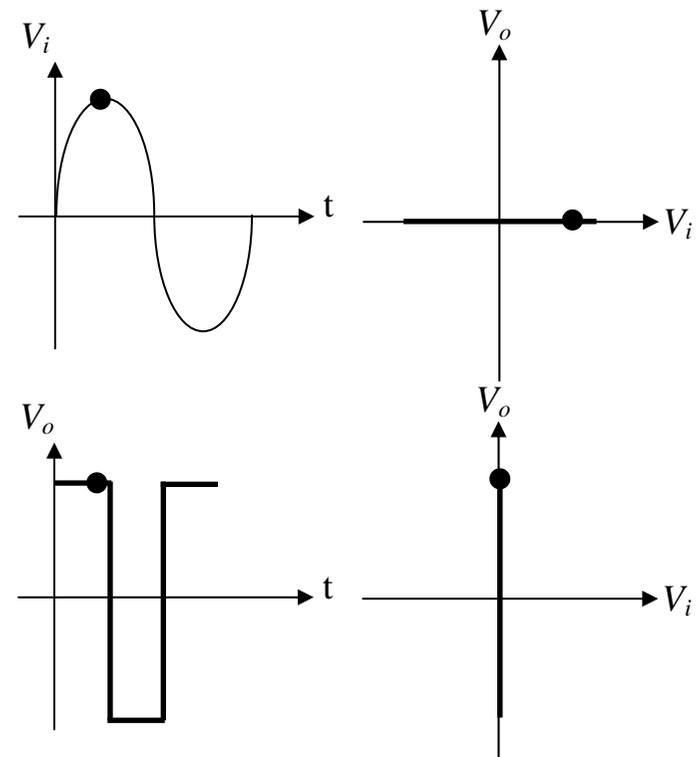


如上圖所示，請於輸入波形圖上製作一滑動點，利用滑鼠拖曳該滑動點可逐步於下方描繪輸出電壓波形圖，且在滑動點的旁邊顯示提示文字說明目前 OPA 兩輸入端電壓與輸出端電壓之間的關係。

(3)繪製電壓轉移曲線。

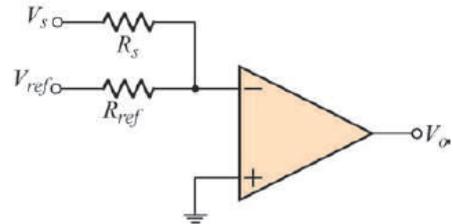
請製作一動畫

動畫內容主要表現下列意涵：

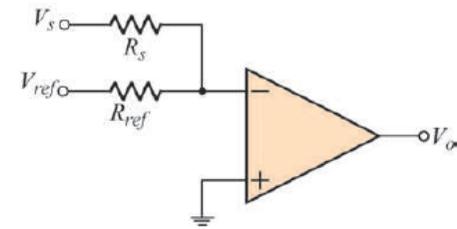


如上圖所示，請於輸入/輸出波形圖上製作一滑動點，利用滑鼠拖曳該滑動點可逐步於右方電壓轉移曲線上描繪對應的電壓軌跡。藉由兩者對應使同學瞭解電壓轉移曲線與輸入/輸出波形圖之間的關係。

接著將上述兩圖合併，再配合教師講解拖曳滑動點，即可使同學清楚瞭解如何透過輸入/輸出波形圖繪製電壓

						轉移曲線。
發展活動	<input type="checkbox"/> 非反相比較器例題演練 講解並透過互動式問答演算例題，加深同學對非反相比較器的分析流程與概念。	3 分鐘	10-6-1-6 非反相比較器例題演練	動畫+圖說 (2D 動畫)	1 分鐘	<input type="checkbox"/> 非反相比較器例題演練 點選「例題演練」按鈕後，畫面中浮現一非反相比較器電路圖，並於輸入端點顯示兩輸入端電壓波形圖，接著仿照上述講解模式帶領同學逐步畫出輸出波形圖及電壓轉移曲線。
發展活動	<input type="checkbox"/> 反相臨界電位比較器分析 分析反相臨界電位比較器的電路結構、動作原理。	9 分鐘	10-6-1-7 反相臨界電位比較器電路結構與動作原理講解與分析	簡報+動畫+圖說 (2D 動畫)	2 分鐘	<input type="checkbox"/> 點選「反相臨界電位比較器」標題： <input type="checkbox"/> 請製作一簡報 簡報內容主要表現下列意涵：  <p>請在畫面中動態顯示上圖及以下文字，並在右下角製做「分析重點」按鈕：</p> <p>上圖為 OPA 反相臨界電位比較電路，其判斷方式如下</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 上圖電路未具有負回授，故本電路為 OPA 比較電路。</li> <li>2. 輸入電壓及直流參考電壓 <math>V_{ref}</math> 由反相端輸入，故本電路輸入與輸出波形相位反相。</li> </ol> <p>由上述條件可判斷本電路為 OPA 反相臨界電位比較電路。</p>

點選[分析重點]鈕可將上圖下方的說明文字及按鈕抹去，再重新逐步浮現以下文字及電路圖，如以下畫面：



分析流程：

- (1)輸入電壓  $V_s$ 、參考電壓  $V_{ref}$  與反相端電壓  $V_{i(-)}$  三者之間的對應關係。
- (2)繪製輸出與輸入電壓波形之間的對應關係。
- (3)繪製電壓轉移曲線。

點選上列各標題時，請將上圖對應的電子元件或者波形輸入端點動態醒目標示，且由上述的元件或端點位置出現以下圖說畫面：

- (1)輸入電壓  $V_s$ 、參考電壓  $V_{ref}$  與反相端電壓  $V_{i(-)}$  三者之間的對應關係。

請製作下列圖說畫面

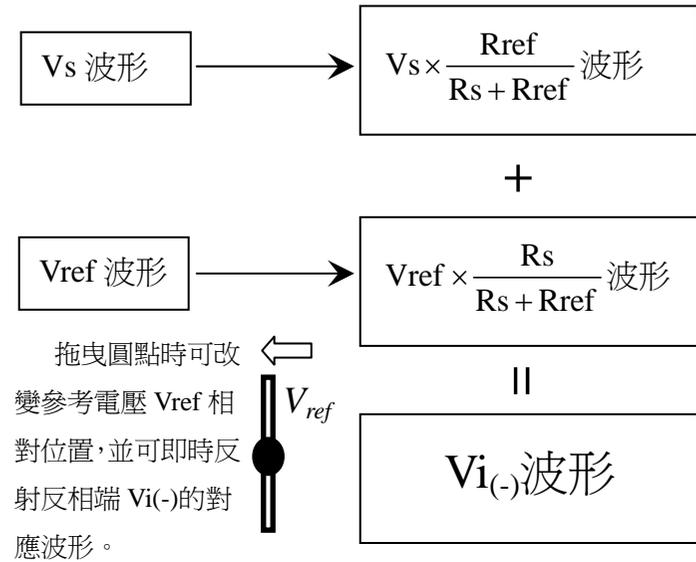
由上述電路圖可知，反相端輸入電壓可表示如下：

$$V_{i(-)} = V_s \times \frac{R_{ref}}{R_s + R_{ref}} + V_{ref} \times \frac{R_s}{R_s + R_{ref}}$$

上式中參考電壓  $V_{ref}$  與反相端  $V_{i(-)}$  的變化關係如下動畫表示：

請製作一動畫

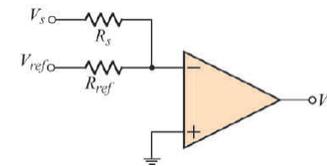
動畫內容主要表現下列意涵：



(2)繪製輸出與輸入電壓波形之間的對應關係。

綜合前述觀念可得以下兩論點：

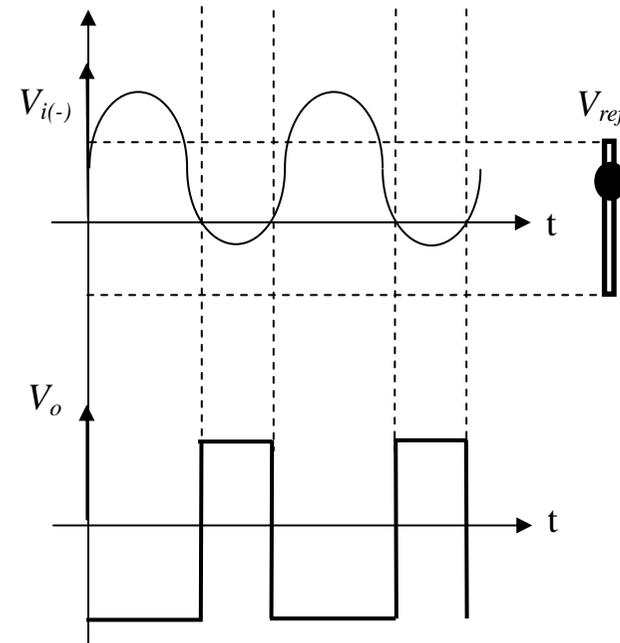
①論點一：



如電路圖所知，當  $V_{i(-)} > V_{i(+)}$ ，亦即當  $V_{i(-)} > 0$  時，輸出為負飽和，當  $V_{i(-)} < 0$  時，輸出為正飽和。故可知  $V_{i(-)}$  與輸出波形的對應關係如下動畫所示：

請製作一動畫

動畫內容主要表現下列意涵：



如上圖所示，請於  $V_{i(-)}$  波形圖上製作一滑動點，利用滑鼠拖曳該滑動點可逐步於下方描繪輸出電壓波形圖，且在滑動點的旁邊顯示提示文字說明目前 OPA 兩輸入端電壓與輸出端電壓之間的關係。而  $V_{ref}$  捲動軸可調整  $V_{i(-)}$  的相對位置。

②論點二：

1. 當  $V_{i(-)} > V_{i(+)}$ ，亦即  $V_S \times \frac{R_{ref}}{R_S + R_{ref}} + V_{ref} \times \frac{R_S}{R_S + R_{ref}} > 0$ ，

$V_S > -V_{ref} \times \frac{R_S}{R_{ref}}$  時，可得  $V_0 = -V_{sat} = -V_{cc}$ 。

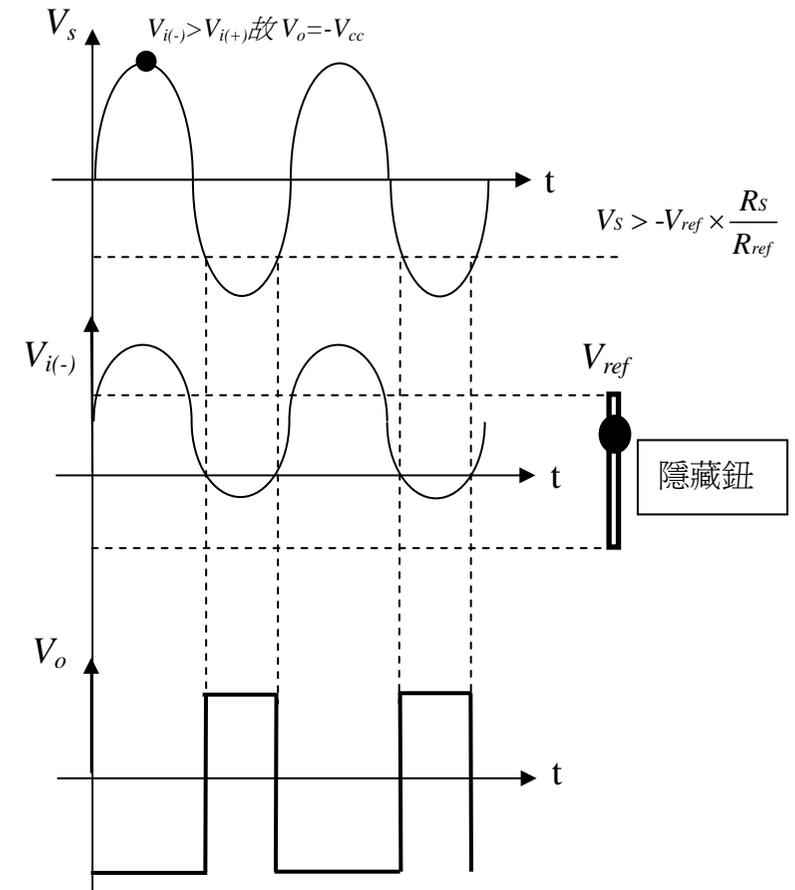
2. 當  $V_{i(-)} < V_{i(+)}$ ，亦即  $V_S \times \frac{R_{ref}}{R_S + R_{ref}} + V_{ref} \times \frac{R_S}{R_S + R_{ref}} < 0$ ，

$V_S < -V_{ref} \times \frac{R_S}{R_{ref}}$  時可得  $V_o = +V_{sat} = +V_{cc}$ 。

如以下動畫表示：

 請製作一動畫

動畫內容主要表現下列意涵：

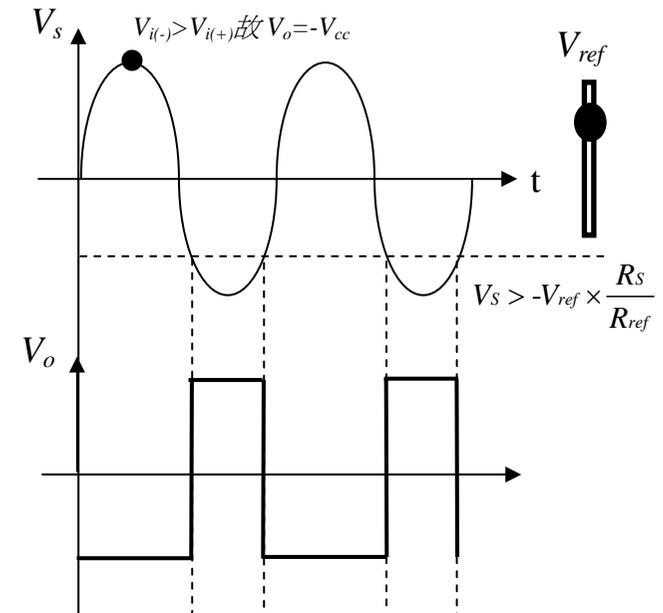


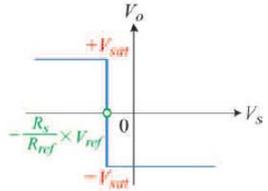
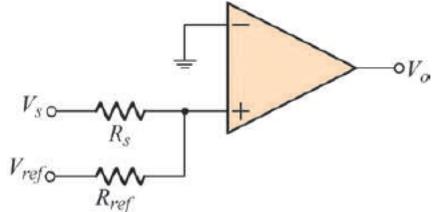
如上圖所示，請於  $V_s$  輸入波形圖上製作一滑動點，利用滑鼠拖曳該滑動點可逐步於下方描繪輸出電壓波形圖，且在滑動點的旁邊顯示提示文字說明目前 OPA 兩輸入端電壓與輸出端電壓之間的關係。若按下「隱藏」鈕，可隱藏反相端電壓波形，只顯示輸入與輸出波形，可幫助學生直接看輸入與輸出電壓之間的對映關係。

(3)繪製電壓轉移曲線。

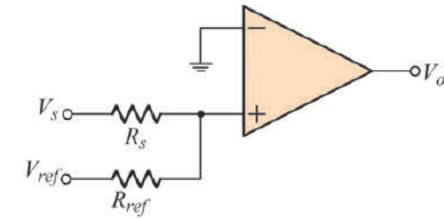
請製作一動畫

動畫內容主要表現下列意涵：



						 <p>如上圖所示，請於輸入/輸出波形圖上製作一滑動點，利用滑鼠拖曳該滑動點可逐步於下方電壓轉移曲線上描繪對應的電壓軌跡。藉由兩者對應使同學瞭解電壓轉移曲線與輸入/輸出波形圖之間的關係。</p>
發展活動	<input type="checkbox"/> 非反相臨界電位比較器分析 講解非反相臨界電位比較器的電路結構、動作原理。	9 分鐘	10-6-1-8 非反相臨界電位比較器電路結構與動作原理講解與分析	動畫+圖說 (2D 動畫)	2 分鐘	⑦ 點選「非反相臨界電位比較器」標題： <input type="checkbox"/> 請製作一動畫 動畫內容主要表現下列意涵：   <p>請在畫面中動態顯示上圖及以下文字，並在右下角製做「分析重點」按鈕：</p> <p>上圖為 OPA 非反相臨界電位比較電路，其判斷方式如下</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 上圖電路未具有負回授，故本電路為 OPA 比較電路。</li> <li>2. 輸入電壓及直流參考電壓 <math>V_{ref}</math> 由非反相端輸入，故本電路輸入與輸出波形相位同相。</li> </ol> <p>由上述條件可判斷本電路為 OPA 非反相臨界電位比較電路。</p> <p>點選[分析重點]鈕可將上圖下方的說明文字及按鈕</p>

抹去，再重新逐步浮現以下文字及電路圖，如以下畫面：



分析流程：

- (1) 輸入電壓  $V_s$ 、參考電壓  $V_{ref}$  與非反相端電壓  $V_{i(-)}$  三者之間的對應關係。
- (2) 繪製輸出與輸入電壓波形之間的對應關係。
- (3) 繪製電壓轉移曲線。

點選上列各標題時，請將上圖對應的電子元件或者波形輸入端點動態醒目標示，且由上述的元件或端點位置出現以下圖說畫面：

- (1) 輸入電壓  $V_s$ 、參考電壓  $V_{ref}$  與非反相端電壓  $V_{i(+)}$  三者之間的對應關係。

請製作下列圖說畫面

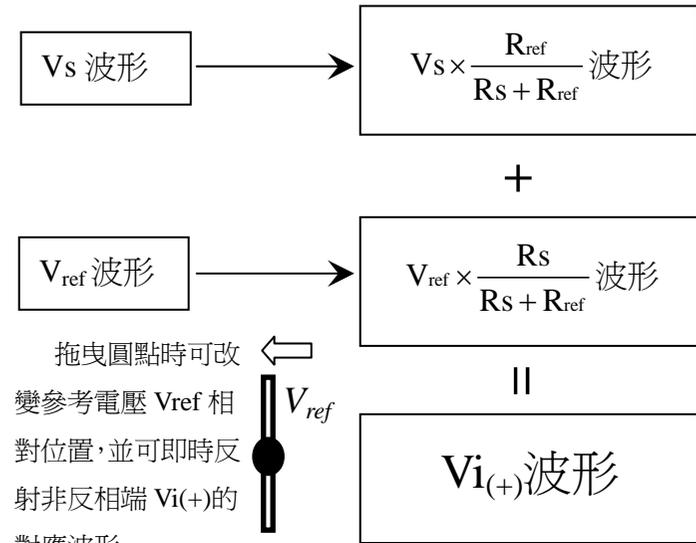
由上述電路圖可知，非反相端輸入電壓可表示如下：

$$V_{i(+)} = V_s \times \frac{R_{ref}}{R_s + R_{ref}} + V_{ref} \times \frac{R_s}{R_s + R_{ref}}$$

上式中參考電壓  $V_{ref}$  與非反相端  $V_{i(+)}$  的變化關係如下動畫表示：

請製作一動畫

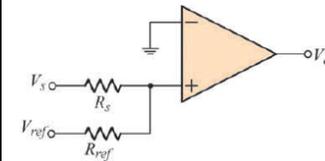
動畫內容主要表現下列意涵：



(2)繪製輸出與輸入電壓波形之間的對應關係。

綜合前述觀念可得以下兩論點：

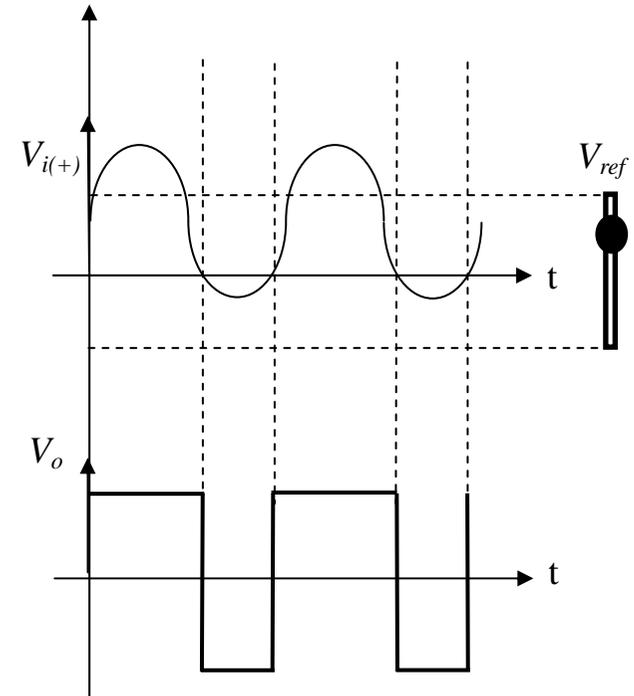
①論點一：



如電路圖所知，當  $V_{i(+)} > V_{i(-)}$ ，亦即當  $V_{i(+)} > 0$  時，輸出為正飽和，當  $V_{i(+)} < 0$  時，輸出為負飽和。故可知  $V_{i(+)}$  與輸出波形的對應關係如下動畫所示：

請製作一動畫

動畫內容主要表現下列意涵：



如上圖所示，請於  $V_{i(+)}$  波形圖上製作一滑動點，利用滑鼠拖曳該滑動點可逐步於下方描繪輸出電壓波形圖，且在滑動點的旁邊顯示提示文字說明目前 OPA 兩輸入端電壓與輸出端電壓之間的關係。而  $V_{ref}$  捲動軸可調整  $V_{i(+)}$  波形的相對位置。

②論點二：

1. 當  $V_{i(+)} > V_{i(-)}$ ，亦即  $V_S \times \frac{R_{ref}}{R_S + R_{ref}} + V_{ref} \times \frac{R_S}{R_S + R_{ref}} > 0$ ，

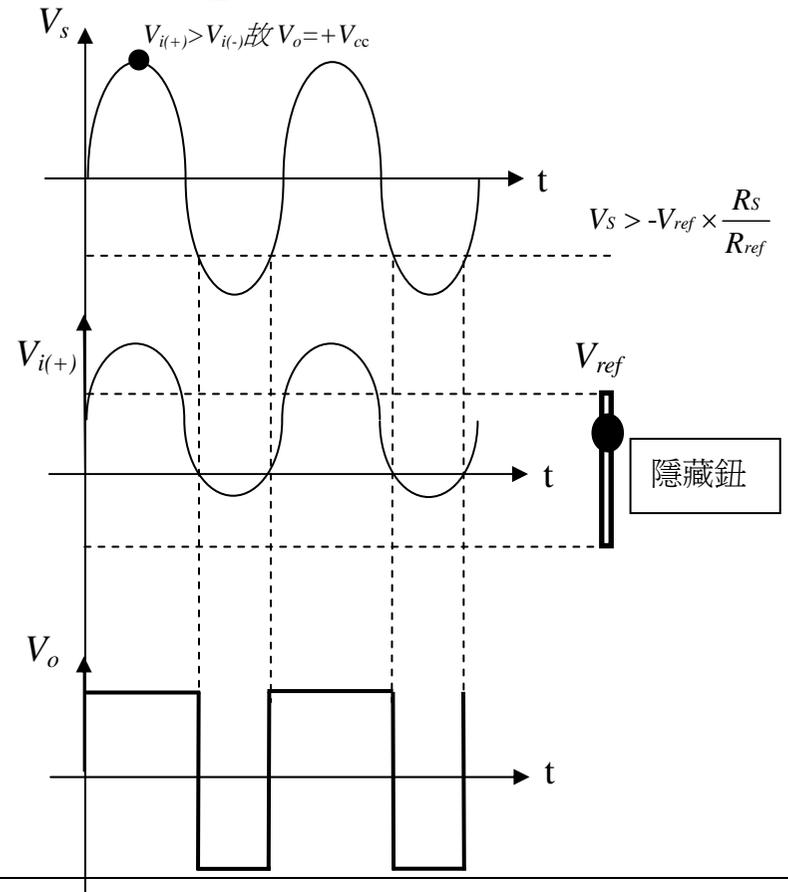
$V_S > -V_{ref} \times \frac{R_S}{R_{ref}}$  時，可得  $V_0 = +V_{sat} = +V_{cc}$ 。

2. 當  $V_{i(+)} < V_{i(-)}$ ，亦即  $V_S \times \frac{R_{ref}}{R_S + R_{ref}} + V_{ref} \times \frac{R_S}{R_S + R_{ref}} < 0$ ，

$V_S < -V_{ref} \times \frac{R_S}{R_{ref}}$  時可得  $V_0 = -V_{sat} = -V_{cc}$ 。

如以下動畫表示：

 請製作一動畫

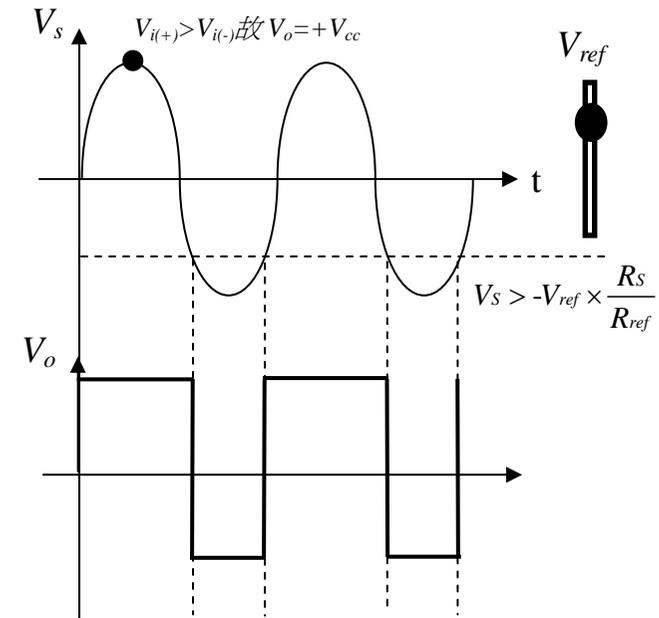


如上圖所示，請於  $V_s$  輸入波形圖上製作一滑動點，利用滑鼠拖曳該滑動點可逐步於下方描繪輸出電壓波形圖，且在滑動點的旁邊顯示提示文字說明目前 OPA 兩輸入端電壓與輸出端電壓之間的關係。若按下「隱藏」鈕，可隱藏非反相端電壓波形，只顯示輸入與輸出波形，可幫助學生直接看輸入與輸出電壓之間的對映關係。

(3)繪製電壓轉移曲線。

請製作一動畫

動畫內容主要表現下列意涵：



綜合活動	<input type="checkbox"/> 反相臨界電位比較器例題演練 講解並透過互動式問答演算例題，加深同學對反相臨界電位比較器的分析流程與概念。	4 分鐘	10-6-1-9 反相臨界電位比較器例題演練	動畫+圖說 (2D 動畫)	1 分鐘	反相臨界電位比較器例題演練 開始畫面中浮現一反相臨界電位比較器電路圖，接著仿照上述講解分析模式帶領同學逐步畫出輸出波形圖及電壓轉移曲線。
綜合活動	<input type="checkbox"/> 非反相臨界電位比較器例題演練 講解並透過互動式問答演算例題，加深同學對非反相臨界電位比較器的分析流程與概念。	4 分鐘	10-6-1-10 非反相臨界電位比較器例題演練	動畫+圖說 (2D 動畫)	1 分鐘	非反相臨界電位比較器例題演練 開始畫面中浮現一非反相臨界電位比較器電路圖，接著仿照上述講解分析模式帶領同學逐步畫出輸出波形圖及電壓轉移曲線。
合計：		50 分鐘		合計：	15 分鐘	10 個元件
可供設計參考資源列表 (請至少填入 2-3 項)						

參考資源(線上資源或參考書籍)	簡 述	
電子學 II 台科大出版 徐慶堂等編著	第 10 章 運算放大器	第 5 節 比較器
電子學 II 龍騰文化出版 陳清良編著	第 10 章 運算放大器	第 5 節 比較器
電子學(含實習)奪分寶典 II 考用出版股份有限公司 陳俊、林瑜惠、陳以熙編著	第 10 章 運算放大器	重點整理 7 比較器