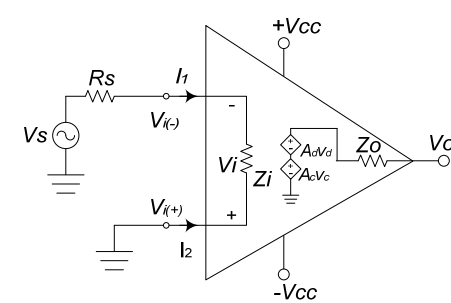
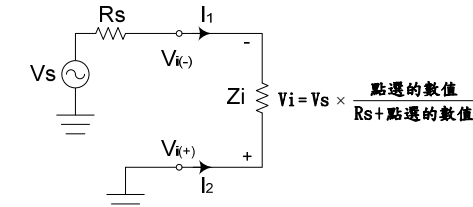


高職數位教材發展與推廣計畫－電子科單元教案設計表

單元編號	10-2-1	單元名稱	運算放大器之特性及參數	
對應之課綱	運算放大器之特性及參數		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	<p>1.學習目標：</p> <p>(1)瞭解運算放大器的實際「輸入特性」參數。</p> <p style="text-align: center;">①輸入阻抗(Z_i) ②輸入抵補電壓(V_{io}) ③輸入偏壓電流(I_{ib})</p> <p style="text-align: center;">④輸入抵補電流(I_{io})</p> <p>(2)瞭解運算放大器的實際「輸出特性」參數。</p> <p style="text-align: center;">①輸出阻抗(Z_o) ②輸出最大電壓擺幅(V_{op})</p> <p>(3)瞭解運算放大器的實際「動態特性」參數。</p> <p style="text-align: center;">①開迴路電壓增益(A_{vo}) ②共模拒斥比(CMRR) ③轉動率(SR)</p> <p style="text-align: center;">④增益頻寬積(GBP)</p> <p>2.課程內容：</p> <p>(1)說明實際使用運算放大器可能遭遇的問題，藉此引起學生動機。</p> <p>(2)講解運算放大器實際「輸入特性」參數。</p> <p>(3)講解運算放大器實際「輸出特性」參數。</p> <p>(4)講解運算放大器實際「動態特性」參數。</p> <p>(5)透過「射燈謎」遊戲讓同學了解運算放大器主要特性參數的內涵。</p> <p>(6)透過「大家來找碴」遊戲讓同學了解消除輸入偏壓電流的推導公式。</p>		
	具體目標 (例如:能說出、能寫出、能列舉、能運用)	<p>(1)能說明運算放大器的「輸入阻抗」、「輸入抵補電壓」、「輸入偏壓電流」、「輸入抵補電流」等代表意義。</p> <p>(2)能說明運算放大器的「輸出阻抗」、「輸出最大電壓擺幅」等代表意義。</p> <p>(3)能說明運算放大器的「開迴路電壓增益」、「共模拒斥比」、「轉動率」、「增益頻寬積」等代表意義。</p>		
教學活動		教學	元件	元件內容說明

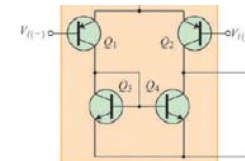
		時間	編號	類型	時間	(請填入 8-9 個元件)
準備活動	<p>▣操作運算放大器實際遭遇問題。</p> <p>以動畫播放的方式向學生說明運算放大器在實際使用上可能遭遇到的問題，藉以引起學生的學習動機。</p>	5 分鐘	1.10-2-1-1	動畫	1 分鐘	<p>▣請製作一動畫</p> <p>動畫內容主要表現下列意涵： (轉動率不足導致輸出波形變形的動畫) 開場畫面顯示 1 顆球在畫面中間跳躍並於三秒後攤開變形為一運算放大器電路符號，運算放大器左邊輸入一正弦波形，右邊則為放大後的輸入波形，在 OPA 的上方有一滑桿，可控制動態特性參數「轉動率(SR)」的大小，當 SR 小到某一臨界值以下輸出端波形開始變形，SR 若更小，波形變形更嚴重。請在畫面上方顯示以下文字。 轉動率(SR)：該參數為一性能指標，亦即說明實際 OPA 輸出端每秒可以變動的最大電壓值。</p>
發展活動	<p>▣OPA 實際輸入特性參數重點介紹。</p> <p>說明本單元即將介紹的 OPA 輸入特性參數。</p>	1 分鐘	1.10-2-1-2 運算放大器 輸入特性參數 教學目錄 畫面	動態簡報 (2D 動畫)	1 分鐘	<p>▣請製作以下動態簡報</p> <p>動態簡報內容主要表現下列意涵： (顯示一旅人走入畫面的動畫) 開始畫面時，由畫面左方走進一位背著包袱的旅人，接著旅人將手伸入包袱中抓取物品向空中揮灑。此時畫面右方配合揮灑動作出現「輸入阻抗」、「輸入抵補電壓」、「輸入偏壓電流」、「輸入抵補電流」等標題。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下：</p>

<p>發展活動</p>	<p>▣ OPA 實際輸入特性參數。 以動畫配合簡報播放及圖說的方式向學生說明實際運算放大器有哪些實際「輸入特性」參數及各個參數所代表的內涵。</p>	<p>12 分鐘</p>	<p>2.10-2-1-3 運算放大器 輸入特性參數解說</p>	<p>動畫+簡報+圖說 (2D 動畫)</p>	<p>3 分鐘</p>	<p>① 點選「輸入阻抗」標題： 請製作下列簡報</p>  <p>在簡報中顯示上圖，將上圖的輸入阻抗 Z_i 醒目標示，當點選上圖 Z_i 醒目標示時可在上圖下方出現以下表格：</p> <table border="1" data-bbox="1384 710 2067 861"> <thead> <tr> <th colspan="3">輸入阻抗 Z_i</th> </tr> <tr> <th>理想值</th> <th>BJT 當輸入時</th> <th>FET 當輸入時</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>∞</td> <td>$10^6 \Omega$</td> <td>$10^{12} \Omega$</td> </tr> </tbody> </table> <p>當點選上述表格中的數值時可利用蹦現的方式出現以下的圖說畫面。</p> <p>圖說文字：</p>  <p>上述圖形 V_s 為一動態正弦波，依使用者點選的表格數值而呈現不同的輸入電壓波形 V_i、輸入電流 (μA、nA) 與輸入阻抗 Z_i 的數值，藉以說明輸</p>	輸入阻抗 Z_i			理想值	BJT 當輸入時	FET 當輸入時	∞	$10^6 \Omega$	$10^{12} \Omega$
輸入阻抗 Z_i															
理想值	BJT 當輸入時	FET 當輸入時													
∞	$10^6 \Omega$	$10^{12} \Omega$													

入阻抗的大小對放大器的影響。其中點選 10^6 與 10^{12} 兩組數值時，還可同時顯示以 BJT 與 FET 製作的差動放大器，藉由說明 BJT 與 FET 輸入端來讓同學瞭解不同元件製做的 OPA 所造成的輸入阻抗差異。

② 點選「輸入抵補電壓」標題：

請製作下列簡報



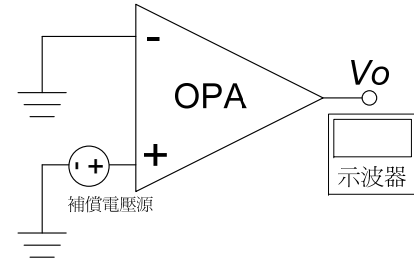
(輸入端差動放大器電路圖)

在簡報顯示上圖，將上圖屬於 OPA 兩輸入端接地，並將電晶體 Q_1 、 Q_2 醒目標示，說明因兩電晶體特性的不匹配，將造成兩輸入端雖然接地卻還是在輸入端有一些微的電壓差導致 $V_{io} \neq 0$ 的情況，接著點選上圖電晶體可於上圖下方出現以下表格：

輸入抵補電壓 (V_{io})		
理想值	BJT 當輸入時	FET 當輸入時
0	$\pm 1\text{mV}$	$\pm 50\text{mV}$
V_{io} 圖示改善方法		V_{io} 實際改善方法

當點選上述表格中的「 V_{io} 圖示改善方法」與可出現以下的互動畫面。

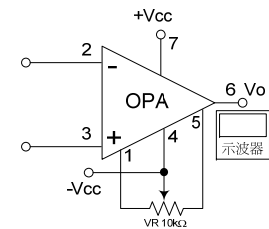
圖說文字：



在上圖補償電壓源旁設計一顯示數值的可控制滑桿，當往上、下拉代表輸入不同電壓以補償 V_{io} ，使得示波器讀值歸零，當示波器讀值為零時，此時補償電源的電壓值即為 OPA 內部的 V_{io} 數值。

當點選上述表格中的「 V_{io} 實際改善方法」可出現以下的互動畫面。

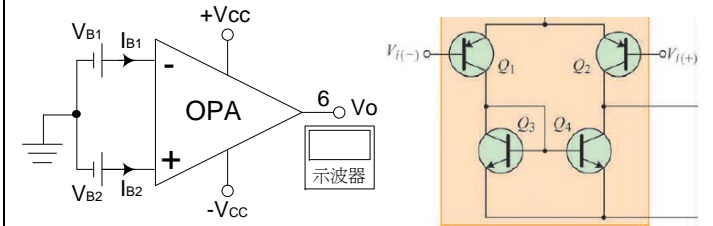
圖說文字：



在上圖可變電阻旁設計一可控制滑桿，當往左、右拉時，代表改變電阻值調整不同的補償電壓以調整 V_{io} 使得示波器歸零，當輸出端示波器讀值為零時，此時即代表「輸入抵補電壓 (V_{io})」校正完畢。

③ 點選「輸入偏壓電流」標題後：

請製作下列簡報



(OPA 輸入端偏壓電流示意圖)

簡報中顯示上圖，並將電晶體 \$Q_1\$、\$Q_2\$ 醒目標示，並在輸入端加入動態電流，說明使用 OPA 時兩電晶體需基極電流才能動作，故定義所謂的輸入偏壓電流 \$I_B\$。點選上圖 \$I_{B1}\$ 或 \$I_{B2}\$ 電流可出現以下圖說畫面說明輸入偏壓電流的定義及實際數值。

圖說文字：

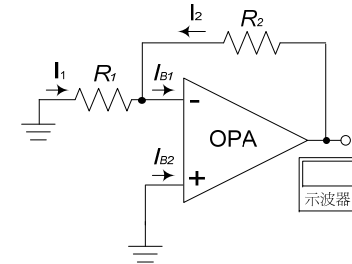
輸入偏壓電流定義 (\$I_{ib}\$)：當 OPA 輸出電壓為零時，流入兩輸入端電流的平均值。

$$I_{ib} = \frac{I_{B1} + I_{B2}}{2}$$

輸入偏壓電流 (\$I_{ib}\$)	
理想值	典型值
0	50nA
輸入偏壓電流改善方法	

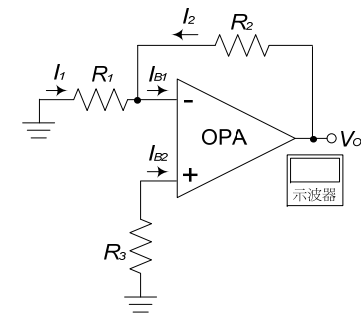
若點選表格中「輸入偏壓電流改善方法」可出現以下的圖說畫面。

圖說文字：



(未改善輸入偏壓電流的電路動畫)

解說雖然兩輸入端接地，但因輸入偏壓電流不為 0，故 R_2 上的電壓不為零而使得 $V_O \neq 0$ 的問題，其中 I_2 需呈現動態的電流流動，而 V_O 端示波器需呈現因 I_2 造成 V_O 電壓不為 0。在此畫面右下角請製做一按鈕「解決之道」，當使用者點選後，在上圖的 V_i 端將浮現一電阻 R_3 並將 R_3 醒目標示，如下圖所示。

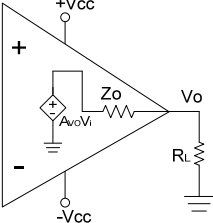
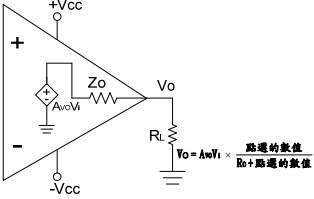


(改善輸入偏壓電流的電路)

④ 點選「輸入抵補電流 (I_{io})」標題後：

請製作下列簡報

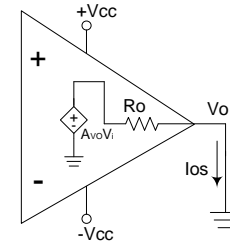
						<p>(輸入端差動放大器電路圖)</p> <p>簡報中顯示上圖，將 OPA 兩輸入端接地，並將電晶體 Q_1、Q_2 醒目標示，說明因兩電晶體特性的不匹配，將造成兩輸入端電流不相等的問題，接著點選上圖電晶體可蹦現以下說明畫面：</p> <p>📁 圖說文字：</p> <p>輸入抵補電流定義：當 OPA 輸出電壓為零時，流入兩輸入端電流的差值。</p> <table border="1" data-bbox="1384 810 2069 957"> <thead> <tr> <th colspan="3">輸入偏壓電流 (I_{io})</th> </tr> <tr> <th>理想值</th> <th>BJT</th> <th>FET</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td> <td>10nA</td> <td>10pA</td> </tr> </tbody> </table>	輸入偏壓電流 (I_{io})			理想值	BJT	FET	0	10nA	10pA
輸入偏壓電流 (I_{io})															
理想值	BJT	FET													
0	10nA	10pA													
發展活動	<p>☐ OPA 實際輸出特性參數重點介紹。</p> <p>說明本單元即將介紹的 OPA 輸出特性參數。</p>	1 分鐘	1.10-2-1-4 運算放大器輸出特性參數目錄畫面	動態簡報 (2D 動畫)	1 分鐘	<p>📺 請製作以下動態簡報</p> <p>動畫內容主要表現下列意涵：</p> <p>(顯示工人走進畫面的動畫)</p> <p>開始畫面時，由畫面左方走進一位背著大鐵鎚的工人，接著工人拿著大鐵鎚往地面一敲，整個畫面震動。此時畫面右方配合震動掉下「輸出阻抗 (Z_o)」、「輸出短路電流 (I_{os})」、「輸出電壓擺幅 (V_{op})」等標題。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</p>									

						畫面如下：						
發展活動	<p>▣ OPA 實際輸出特性參數。</p> <p>以簡報播放配合圖說的方式向學生說明實際運算放大器有哪些實際「輸出特性」參數及各個參數所代表的內涵。</p>	11 分鐘	1.10-2-1-5 運算放大器輸入特性參數解說	簡報+圖說 (2D 動畫)	2 分鐘	<p>①點選「輸出阻抗(Z_o)」標題：</p> <p>請製作下列簡報</p>  <p>簡報中顯示上圖，將上圖的輸出阻抗 Z_o 醒目標示，當點選上圖 Z_o 時可在上圖下方浮現以下表格：</p> <table border="1" data-bbox="1384 692 2067 842"> <thead> <tr> <th colspan="2">輸出阻抗 Z_o</th> </tr> <tr> <th>理想值</th> <th>典型值</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td> <td>75Ω</td> </tr> </tbody> </table> <p>當點選表格中的 75Ω 時可利用蹦現的方式出現以下的圖說畫面。</p> <p>圖說文字：</p>  <p>請將 Z_o 阻抗醒目標示，藉由上圖說明輸出電阻對負載 R_L 的影響。當點選 Z_o 阻抗時，另外再顯示 OPA 輸出端實際電路，藉由說明實際電路讓同</p>	輸出阻抗 Z_o		理想值	典型值	0	75Ω
輸出阻抗 Z_o												
理想值	典型值											
0	75Ω											

學更瞭解 OPA 輸出電阻。

② 點選「輸出短路電流(I_{os})」標題：

請製作下列簡報



簡報中顯示上圖，將輸出短路電流 I_{os} 醒目標示，當點選 I_{os} 時，在上圖下方顯示以下表格。

輸出短路電流(I_{os})	
理想值	典型值
∞	25mA

再點選表格中的 25mA 時，將上圖輸出短路改接兩個 LED，並利用圖說的方式出現以下文字：

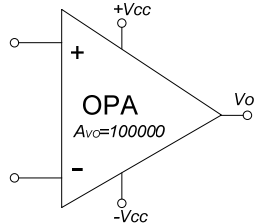
圖說文字：

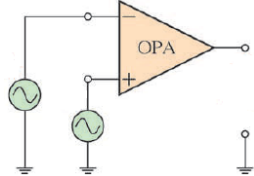
說明：

通常 OPA 輸出端為防止供應過大電流而燒毀，故均設有保護電路，此一參數即說明了 OPA 可輸出的最大電流值。若傳統 LED 需 10~15mA 方可動作，則上述 OPA 最多只能使兩顆 LED 正常動作。

③ 點選「輸出電壓最大振幅(V_{op})」標題：

請製作下列簡報

						 <p>在簡報中顯示上圖，在上圖的輸出端左方送入一動態正弦波，輸入波形的大小可由一滑桿控制，並於輸出端出現對應動態的正弦波，當輸入弦波過大時，輸出發生截波，此時在輸出波形的最高與最低點醒目標示，點選醒目標示即可出現以下圖說畫面：</p> <p>📁圖說文字：</p> <table border="1" data-bbox="1384 715 2067 863"> <thead> <tr> <th colspan="2">輸出端最大電壓振幅(V_{op})</th> </tr> <tr> <th>理想值</th> <th>典型值(HA17741 為例)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>∞</td> <td>約為輸入電源的 90%</td> </tr> </tbody> </table> <p>說明文字：輸出端最大振幅是指 OPA 輸出端以零為參考點所能輸出的最大正電壓或最大負電壓。</p>	輸出端最大電壓振幅(V_{op})		理想值	典型值(HA17741 為例)	∞	約為輸入電源的 90%
輸出端最大電壓振幅(V_{op})												
理想值	典型值(HA17741 為例)											
∞	約為輸入電源的 90%											
發展活動	<p>☐OPA 實際動態特性參數重點介紹。</p> <p>說明本單元即將介紹的 OPA 動態特性參數。</p>	1 分鐘	1.10-2-1-6 運算放大器動態特性參數目錄畫面	動態簡報 (2D 動畫)	1 分鐘	<p>📺請製作以下動態簡報</p> <p>動畫內容主要表現下列意涵：</p> <p>(顯示魔法師飛入畫面的動畫)</p> <p>開始畫面時，由畫面左上方飛入一位魔法師，接著魔法師後方同時移入以下「開迴路電壓增益(A_{vo})」、「共模拒斥比(CMRR)」、「轉動率(SR)」、「增益頻寬積(GBP)」等四大標題。當點選標題文字時，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下：</p>						


<p>發展活動</p>	<p>▣ OPA 實際動態特性參數。 以簡報播放配合圖說的方式向學生說明實際運算放大器有哪些實際「輸出特性」參數及各個參數所代表的內涵。</p>	<p>9 分鐘</p>	<p>2.10-2-1-7 運算放大器 動態特性參數 解說</p>	<p>簡報+動畫 (2D 動畫)</p>	<p>3 分鐘</p>	<p>①點選「開迴路電壓增益(A_{vo})」標題： 請製作下列簡報 簡報文字： 開迴路電壓增益(A_{vo})—在無任何回授網路的情況下，OPA 輸出端電壓與兩輸入端電壓差的最大比值。</p> <table border="1" data-bbox="1386 424 2069 572"> <thead> <tr> <th colspan="2">開迴路電壓增益 A_{vo}</th> </tr> <tr> <th>理想值</th> <th>典型值(HA17741 為例)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>∞</td> <td>10^5</td> </tr> </tbody> </table> <p>當點選上述 10^5 數值之後，將出現如下的互動式畫面。 請製作以下動畫 動畫內容主要表現下列意涵：</p>  <p>啟始畫面中顯示上圖，並於輸入端送入動態正弦波，在 OPA 上方製作一滑桿做為控制開迴路電壓增益的大小，且在輸入與輸出波形旁顯示波形峰值，另外在 OPA 的圖形內部顯示文字 $A_{vo}=10^5$ 的大小並醒目標示，而輸出端將跟隨輸入信號大小送出放大後的對應波形。當電壓增益 A_{vo} 過大時，輸出波形必須呈現出對應的失真圖形。</p> <p>②點選「共模拒斥比(CMRR)」標題： 請製作下列簡報</p>	開迴路電壓增益 A_{vo}		理想值	典型值(HA17741 為例)	∞	10^5
開迴路電壓增益 A_{vo}												
理想值	典型值(HA17741 為例)											
∞	10^5											

簡報文字：

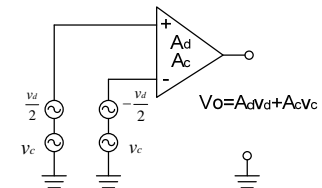
共模拒斥比(CMRR)—用來衡量運算放大器對共模(雜訊)信號的排除能力。

共模拒斥比(CMRR)	
理想值	典型值
∞	CMRR 實際操作範例

當點選上述「CMRR 實際操作範例」之後，將出現如下的互動式畫面。


請製作以下動畫

動畫內容主要表現下列意涵：



在啟始畫面中顯示上圖，並於輸入端送入動態正弦波與一小的雜訊信號，並於輸入端顯示兩者混合後的訊號，在 OPA 上方製作一滑桿做為控制 CMRR 的大小，當滑動滑桿時可在輸出端的對應波形上看到輸出信號上的差模以及共模信號被相對放大或縮小。

③點選「轉動率(SR)」標題：


請製作下列簡報

簡報文字：

OPA 的輸出端在單位時間內能夠變化的最大電壓值。

轉動率(SR)	
理想值	典型值(HA17741 為例)
∞	0.5V/ μ s


當點選上述「0.5V/ μ s」數值之後，將出現如下的互動式畫面。

請製作以下動畫

動畫內容主要表現下列意涵：

(轉動率不足導致輸出波形變形的動畫)

開場畫面顯示一運算放大器電路符號，運算放大器左邊輸入一正弦波形，右邊則為放大後的輸入波形，在電路符號的上方有一拉桿，可控制動態特性參數「轉動率(SR)」的大小，當SR小到某一臨界值以下輸出波形開始變形，SR若更小，輸出端波形更嚴重。請在本畫面右下角製作「例題練習」按鈕，可連結以下簡報。

請製作下列簡報

簡報文字


例題練習：

若有一OPA輸出端迴轉率為1V/ μ s，試問OPA輸出端每秒最大變動電壓為幾伏特？

(計算過程與答案)

其中計算過程與答案可配合老師講解逐漸浮現。

④點選「頻寬頻寬積(GBP)」標題：


請製作下列簡報

簡報文字：

當 OPA 操作於一臨界頻率點以上時，此時隨著操作頻率(f)漸高，開迴路電壓增益(A_{vo})將逐漸下降，基於此項特性定義了一項參數稱為「增益頻寬積(GBP)」，用來描述 OPA 操作頻率範圍與開迴路電壓增益之間的關係。其數學描述式如下：

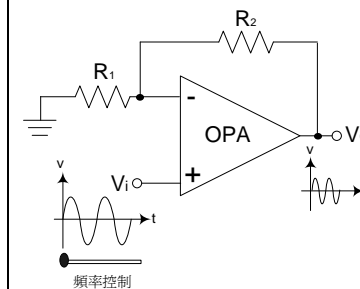
$$GBP = A_{vo} \times BW$$

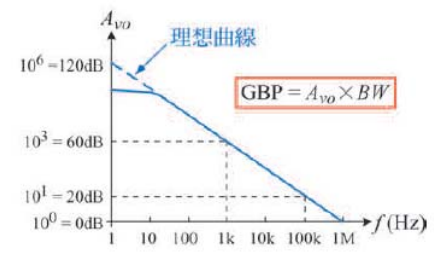
點選以上數學式時可開啟一互動式畫面：

請製作以下動畫

動畫內容主要表現以下意涵：

點選以下電路將於輸入/輸出端顯示動態波形，其中輸入端波形可藉由頻率滑動軸控制頻率高低，不同的輸入頻率將對應不同放大倍數的輸出波形，且電路的放大倍數與輸入頻率乘積將可動態顯示於頻率響應曲線中的一個工作點。



						
綜合活動	透過「射燈謎」遊戲讓同學了解運算放大器主要特性參數的內涵。	5 分鐘	1.10-2-1-8	動畫	2 分鐘	<p>🎮請製作以下動畫</p> <p>動畫內容主要表現下列意涵： 畫面顯示四盞燈籠，燈籠下方分別顯示 OPA 四種不同特性參數的描述，在畫面的中間下方顯示一對弓箭，使用者可利用弓箭射擊正確答案的燈籠。若射中正確答案則燈籠變成獎品圖示，若射錯答案，燈籠起火燒毀。另外在畫面右下角請設計「下一題」按鈕。</p>
綜合活動	透過互動式遊戲讓同學演練 GBP 的解題過程。	5 分鐘	1.10-2-1-9	動畫	1 分鐘	<p>🎮請製作以下動畫</p> <p>動畫內容主要表現下列意涵： 開始時畫面中出現如下電路：</p> 