

實驗物理學（二）

實驗結報

實驗一、複習基本儀器使用與原理

第二組

洪 瑜 B125090009

黃巧涵 B122030003

洪懌平 B102030019

2025/02/25

1 實驗目的

1. 確認麵包板的運作原理（實驗一；Sec.3.1）
2. 熟悉以電腦軟體PicoScope操控示波器和相關電子設備的操作（實驗二；Sec.3.2）
3. 透過訊號產生器改變不同頻率，以得知頻率和直流電訊號之關係（實驗三；Sec.3.3）
4. 透過量測不同歐姆檔位的電壓，推測三用電表的內電阻（實驗四；Sec.3.4）
5. 透過串連電阻將電壓分壓（實驗五；Sec.3.5）

2 實驗原理

2.1 麵包板測量原理

可透過歐姆定律得知孔位的連接性

- 若兩孔位相通， $R \sim 0$
- 若兩孔位不通， $R \sim \infty$

2.2 訊號產生器和正弦波

訊號產生器可產生不同頻率、振幅的正弦訊號，用下述公式表示：

$$V(t) = V_{pp} \sin(2\pi ft + \phi) + V_{DC} \quad (1)$$

其中 V_{pp} 為峰對峰值、 f 為頻率、 t 為時間、 ϕ 為相位、 V_{DC} 為直流偏移(DC offset)

2.3 電表測量AC和DC之方式

- DCV（直流電壓檔）：
測量訊號的直流電壓（DC offset），其通常通過低通濾波器將交流訊號過濾。
- ACV（交流電壓檔）：
電表會測量其訊號交流成分，但不包含直流偏移（DC Offset），而其測量使用均方根（RMS, Root Mean Square）電壓：

$$V_{RMS} = \frac{V_{pp}}{\sqrt{2}} \quad (2)$$

若此時訊號為DC+AC，例如：

$$V(t) = 1 + \sin(2\pi ft) \quad (3)$$

而電表的DCV檔只測量直流部分（1V），不會顯示交流部分（1V sine wave），濾波器已經去除大部分AC成分。

這也是在實驗中：

- $V_{DC} = 0V$ ，DCV讀數為0V（因為訊號的平均為0）
- $V_{DC} = +1V$ ，DCV讀數為1V（因為訊號的平均為1V）

2.4 分壓器

一個由兩個串聯電阻組成的電路，根據歐姆定律，分壓器之輸出電壓 V_{out} 可用下列公式計算：

$$V_{out} = V_{in} \frac{R_2}{R_1 + R_2} \quad (4)$$

其中 V_{in} 為輸入電壓、 R_1 和 R_2 為串聯之電阻、 V_{out} 為輸出電壓

3 實驗步驟

3.1 實驗一：麵包板

1. 規劃不同線路的連接方式
2. 按照所規劃之連接方式實際操作於麵包板
3. 確認實際操作之結果與理論相符

3.2 實驗二：複習示波器和訊號產生器

1. 利用機器所附連接線將PicoScope連接於筆電(Fig.1左)
2. 本實驗利用Channel A量測，故將線路接至Channel A（最左側）之連接口，並與訊號產收器進行連接
3. 確認設備運作正常
4. 透過調整訊號產生器輸出之弦波訊號頻率及DC offset，得出個弦波訊號之圖樣

3.3 實驗三：電表的電壓檔

1. 透過示波器調整訊號產生器到指定參數（ $f=100\text{ Hz}$ ； $V_{pp} = 2\text{ V}$ ； $V_{DC}=0$ ）
2. 使用三用電表的DCV檔位及ACV檔位量測電壓值
3. 調整 $V_{DC}=+1\text{ V}$ ，重複步驟2.
4. 調整訊號產生器頻率至100KHz、1MHz，並測量其在 $V_{DC}=0$ 和 $V_{DC}=+1\text{ V}$ 時的DCV和ACV數值。

3.4 實驗四：歐姆檔

1. 將三用電表A調整至電壓檔位、並將三用電表B調整至電阻檔位，連接三用電表A及三用電表B（見Fig. 1中）
2. 連接後，接三用電表B切換不同的電阻檔位，並記錄其電壓值
3. 將上述裝置串連一個電阻（使用10 Ω 和1k Ω ）重複步驟2.

3.5 實驗五：分壓器

1. 連接電路如Fig.1右
2. $V_{in}=5V$ （由電源供應器提供），電阻分別使用10k、100k、1M和10M Ω
3. 使用三用電表測量 V_{out}
4. 使用PicoScope軟體調整訊號產生器的參數（ $f=100\text{ Hz}$ ； $V_{pp}=10V$ ； $V_{DC}=0$ ）
5. 將電路和示波器連結，並使用其探針（ $\times 1$ ）測量 V_{out}
6. 切換探針至（ $\times 10$ ），並重複上述步驟

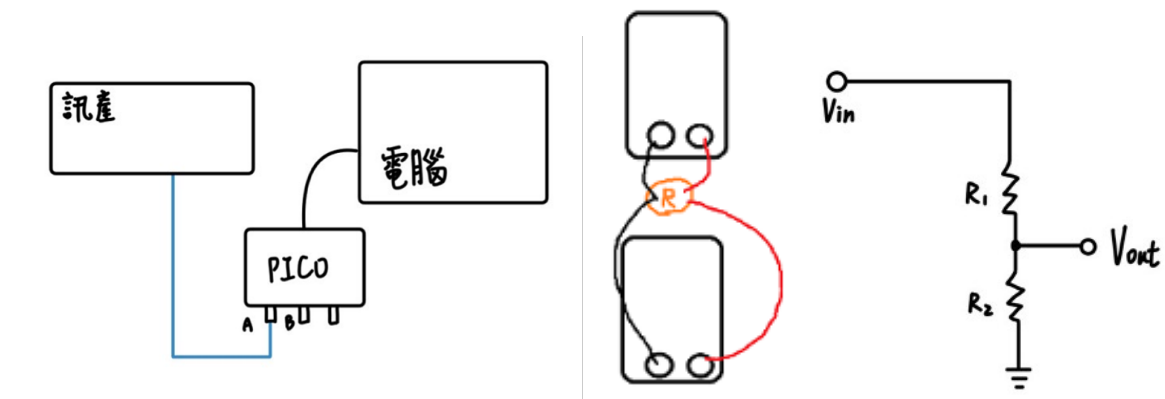


Figure 1: 實驗線路示意圖（左：實驗二；中：實驗四；右：實驗五）

4 實驗結果和分析

4.1 實驗一：麵包板

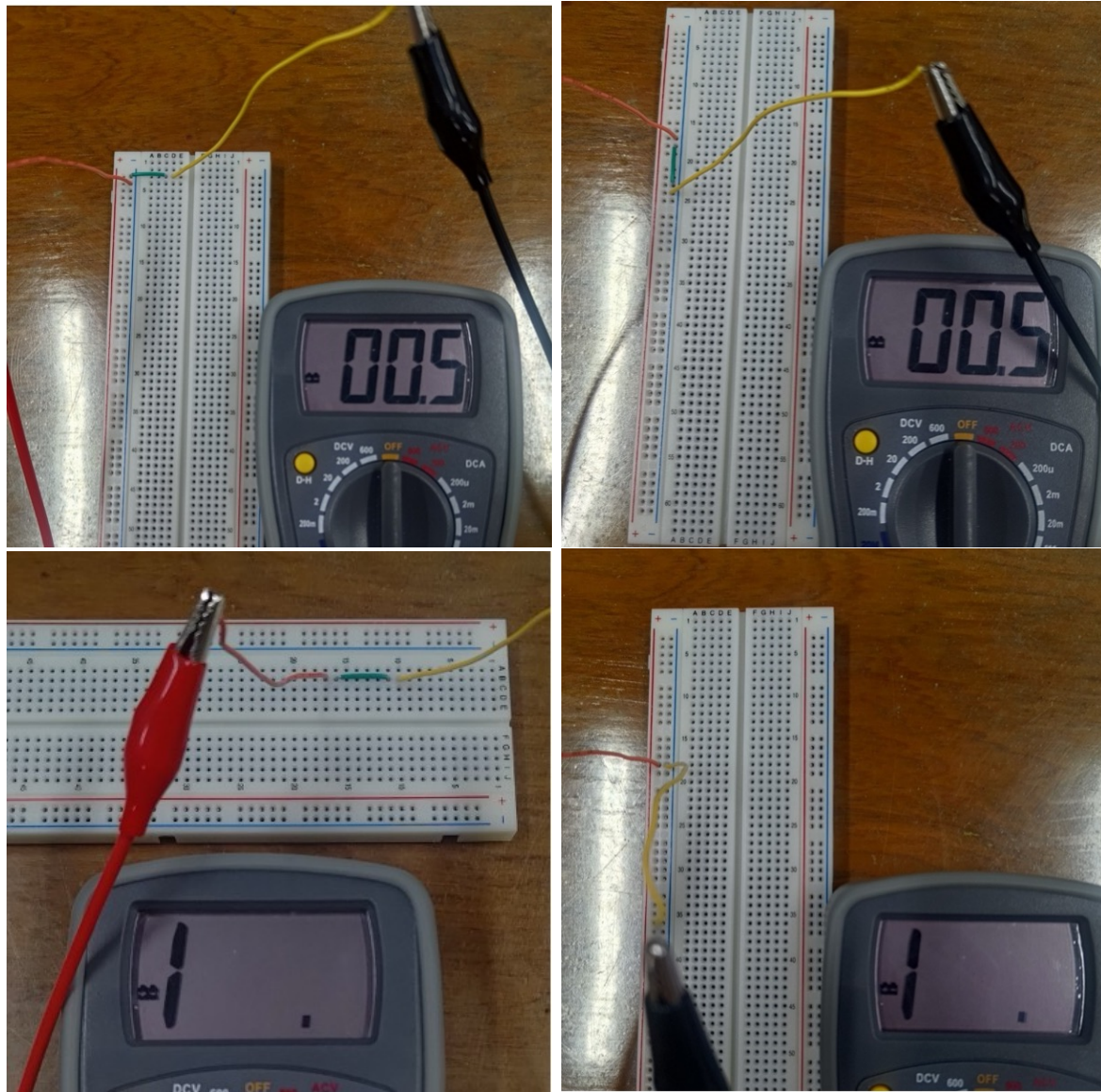


Figure 2: 麵包板不同接線方式之接通狀態（左上右上：通路；左下右下：斷路）

通過在麵包板上連接的情況，可以得到我們所測之各孔間的導通狀態與實驗理論相符：若將麵包板以直向擺放時，左右兩側之孔洞為縱向導通；中間的孔洞以橫向導通。將三用電錶轉至歐姆檔，倘若三用電錶測量之數值趨近0時，則表電路接通；反之，螢幕因電阻過大而顯示不出數值時，則表示電路未導通。

4.2 實驗二：複習示波器和訊號產生器

1. 無任何訊號連接之情況：

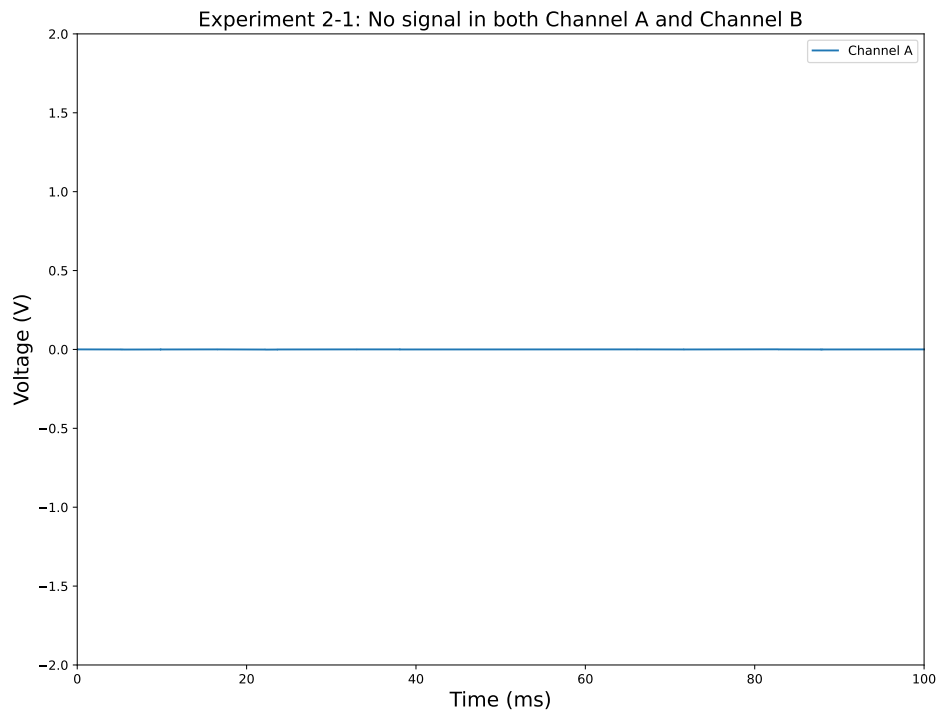


Figure 3: 無任何訊號連接之情況

由於沒有連接訊號，示波器所偵測並顯示出的圖形應為一條水平直線。但從圖表中可看見仍有少許起伏。推測是因為此示波器的靈敏度較高，並受到其他雜訊影響，如環境干擾（桌面震動、其他電子設備）或是示波器內部產生之雜訊。若想要進一步減少雜訊影響，可考慮減少示波器頻寬，或增加示波器的電壓範圍。此實驗使用的是PicoScope示波器，因此也可以透過更換供電設備，或是使用品質較好之USB線連接器材。

2. 調整訊號產生器至參數： $f=200\text{ Hz}$; $V_{pp}=1\text{V}$; $V_{DC}=0\text{V}$

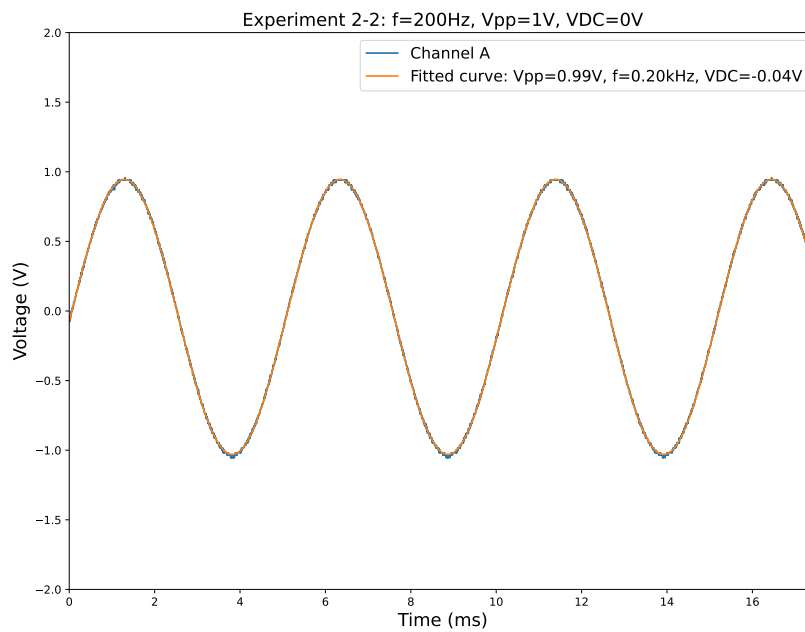


Figure 4: $f=200\text{ Hz}$, $V_{pp}=1\text{V}$, $V_{DC}=0\text{V}$

3. 調整訊號產生器至參數： $f=200\text{ Hz}$; $V_{pp}=1\text{V}$; $V_{DC}=1\text{V}$

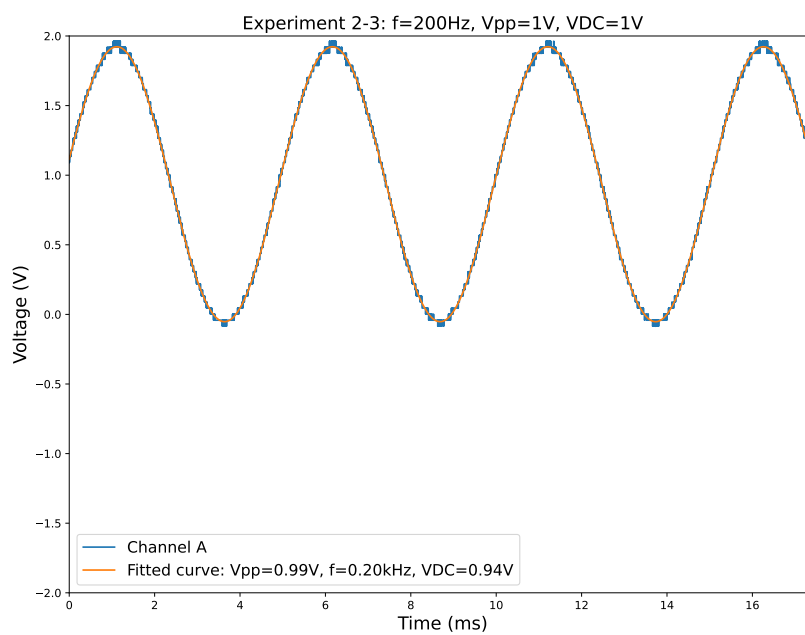


Figure 5: $f=200\text{ Hz}$; $V_{pp}=1\text{V}$; $V_{DC}=1\text{V}$

4. 調整訊號產生器至參數： $f=2\text{ kHz}$; $V_{pp}=1\text{V}$; $V_{DC}=0\text{V}$

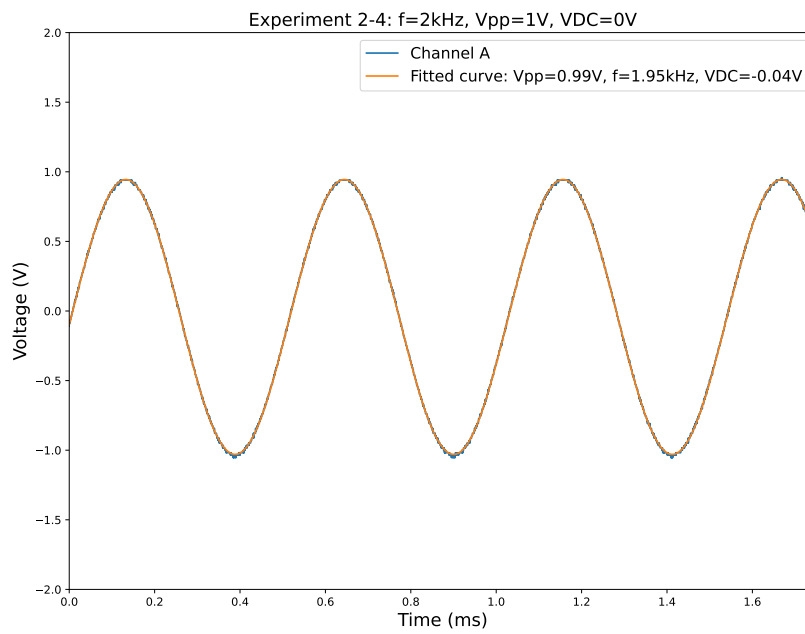


Figure 6: $f=2\text{ kHz}$; $V_{pp}=1\text{V}$; $V_{DC}=0\text{V}$

5. 調整訊號產生器至參數： $f=2\text{ kHz}$; $V_{pp}=1\text{V}$; $V_{DC}=1\text{V}$

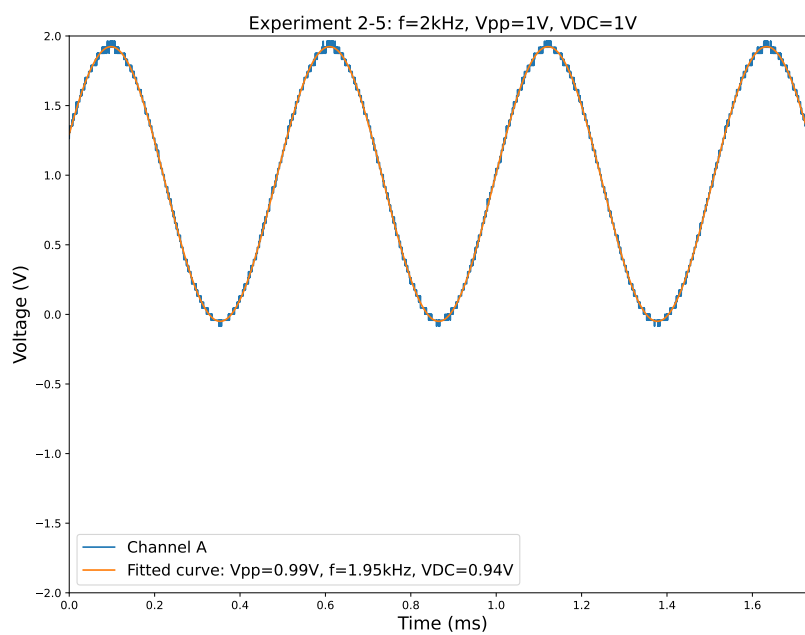


Figure 7: $f=200\text{ Hz}$; $V_{pp}=1\text{V}$; $V_{DC}=1\text{V}$

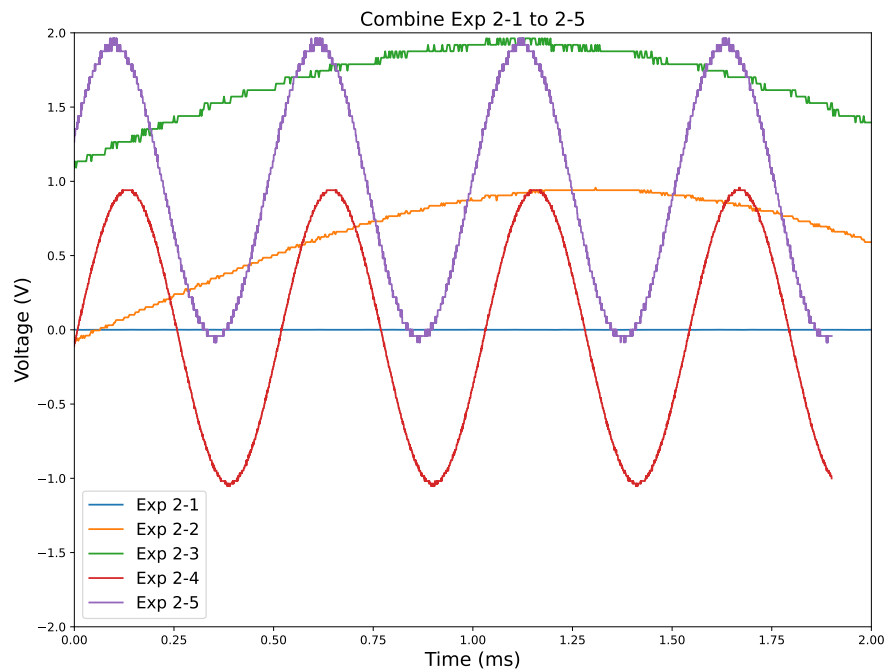


Figure 8: 實驗2-1到2-5數據

根據實驗原理Sec.2.2，波形須符合：

$$V(t) = V_{pp}\sin(2\pi ft) + V_{DC} \quad (5)$$

藉Eq.5，可對實驗2-2到2-5之數據做擬合，可得實際數據的 V_{pp} 、 f 和 V_{DC} 。(詳細參數可見Fig. 4-7圖內標示) 由這些數據，我們可推知：

- 由於訊號產生器的旋鈕無法精準至 $V_{pp} = 1.00\text{V}$ ，故皆使用最接近的 $V_{pp} = 0.99\text{V}$ 進行量測
- 實驗2-2與2-4的 DC offset (V_{DC})皆等於 0V ，因此Fig.4與Fig.6之波形皆對稱於 0V ，且最大值為 $+1\text{V}$ ，最小值為 -1V
- 實驗2-3與2-5的 DC offset 同樣因旋鈕精準度，只能調到最接近 1V 的 0.94V 。同樣帶入5可得知波形應向上平移 0.94V ，此時訊號最大值為 $+1.94\text{V}$ ，最小值則應為 -0.06V 。對照實際數據 (Fig.5和Fig.7)，確認實際測值與理論相符。

4.3 實驗三：電表的電壓檔

實驗	頻率 (Hz)	V_{pp}	DC offset	DCV read	DCV ideal	ACV read	ACV ideal
		(V)					
3-1	100	2	0	0.05	0	0.04	0.707
3-2	100	2	1	1.10	1	1.80	0.707
3-3	100k	2	0	<0.00	0	<0.00	0.707
3-4	100k	2	1	1.10	1	1.80	0.707

DC offset 除了會讓訊號在波形上產生偏移，在使用某些無法正確分辨出AC與DC訊號的量測工具（如三用電表）時，會導致量測出的數據與理論數字有落差。三用電表的ACV量測內建低通濾波器，頻率約為50Hz-1kHz，故在參數頻率為100kHz時，AC訊號已超出量測範圍。且三用電表的ACV測量在接近其上限頻率時可能開始衰減，而非直接完全無法測量，故讀值顯示為<0.00V。

量測低頻訊號（100Hz）時，ACV讀值應為純AC訊號的RMS值，但ACV檔位的量測數值可能因電表的頻率響應而產生偏差，導致ACV實際讀值小於理論值。理論上ACV讀值不應受DC Offset影響，但由於三用電表缺乏高通濾波（AC耦合功能），導致DC offset也會影響ACV讀值。相較之下，DCV只取DC Offset，不受頻率影響，應該等於設定的Offset值。三用電表因為在高頻時可能會導致AC讀值衰減。若選用示波器進行量測，則可得出更精準的RMS值。

4.4 實驗四：電表的歐姆檔

此實驗的目的是透過不同檔位的三用電錶在歐姆檔下測量開路電壓 (V_{out}) 和串聯已知電阻的分壓情況，推測三用電錶的內部電壓源 (V_a) 和內部輸出阻抗 (R_{out})。

1. 無電阻的情況將三用電表和三用電表

電阻檔 Ω	$V_{out}(V)$
20M	0.22
200k	0.41
20k	0.41
2k	0.42
200	0.40

由此可見，在200k Ω 、20k Ω 、2k Ω 、200 Ω 檔時，開路電壓約為0.40~0.42V，而20M Ω 檔較低，約為0.22V。這表示不同檔位的內部電路不同，但我們可以合理假設內部電壓源 V_a 約為0.4V（取0.41V作為近似值）。

當三用電錶測量某個已知電阻 R_x 時，它實際上與內部輸出阻抗 R_{out} 形成分壓電路，公式為：

$$V_{out} = V_a \frac{R_x}{R_{out} + R_x} \quad (6)$$

我們可以利用這個公式來推導不同檔位下的 R_{out}

2. 三用電表、三用電表、和 10.2Ω （理論 10Ω ）的電阻串連

電阻檔 Ω	$V_{out}(V)$
20M	<0.00
200k	<0.00
20k	0.03
2k	1.00
200	1.20

由於：

- $20M\Omega$ 和 $200k\Omega$ 檔數值為0V，這些檔位內部阻抗遠大於 10.2Ω ，以致於無法產生可測電壓
- $2k\Omega$ 檔數值為1.00V，這表示內部阻抗與 10.2Ω 相比較大，但仍有影響
- 200Ω 檔時測得 1.20V，代表內部電阻相對較低。

利用 $2k\Omega$ 檔的數據 (1.00V) 來推算 R_{out} ，根據得Eq.12， R_{out} 在 $2k\Omega$ 檔 $\approx 4\Omega$

3. 三用電表、三用電表、和 997Ω （理論 $1k\Omega$ ）的電阻串連

電阻檔 Ω	$V_{out}(V)$
20M	<0.00
200k	3.80
20k	28.80
2k	83.20
200	102.40

根據相同的方法，推得在 $20k\Omega$ 檔 $R_{out} \approx 365\Omega$

更多分析見問題與討論Sec.5.4

4.5 實驗五：分壓器

1. 使用電源供應器提供5V直流電壓作為 V_{in}

$R_1, R_2(\Omega)$	$V_{out}(V)$
10k	2.53
100k	2.51
1M	2.38
10M	1.74

2. 使用訊號產生器提供 $V_{pp} = 10.01\text{V}$ （理論值：10V），並使用探針×1

$R_1, R_2(\Omega)$	$V_{out}(\text{V})$
10k	4.92
100k	4.71
1M	3.36
10M	0.87

3. 使用訊號產生器提供 $V_{pp} = 10.01\text{V}$ （理論值：10V），並使用探針×10

$R_1, R_2(\Omega)$	$V_{out}(\text{V})$
10k	0.49
100k	0.49
1M	0.48
10M	0.25

根據Eq.4計算理論電壓，若我們選擇 $R_1 = R_2$ ，可知道應測得 $V_{out} = \frac{1}{2}V_{in}$ 。觀察由電源供應器提供5.00V時所測之 V_{out} ，可觀察出測得之 V_{out} 皆接近2.50V；但在電阻挑選10M時有較大的誤差，推測原因為兩電阻可能有些許誤差，下次做實驗必須更縝密的完成每個步驟，包含量測所挑選之電阻。

而在由訊號產生器提供10.00V（實際值10.01V）時所測之 V_{out} ，可看出若所挑選之電阻越大，則誤差越大，推測理由是：

- 因為若R電阻選擇太大，漏電流的影響會變得更明顯
- 在使用×1的探針（1MΩ）時，若 R_1 和 R_2 挑選過大，則：

$$R_{eff} = \frac{R_{1,2} \times 1M\Omega}{R_{1,2} + 1M\Omega} \quad (7)$$

使得 V_{out} 顯著低於理論值

- 在使用×10探針（10MΩ）時，所測數據和理論約相差10倍，推測原因為單位問題，或許在改變探針時沒注意到單位改變，期許下次做實驗要更加留心

5 問題與討論

5.1 描述一下麵包板上方孔是怎樣連接的。這樣設計有什麼好處？

正極連接於標示為紅線處，負極連接在藍線處；而以Fig.9而言，在左右兩側之孔洞縱向可導通，位於中間之孔洞則像橋線所繪，橫向可導通。

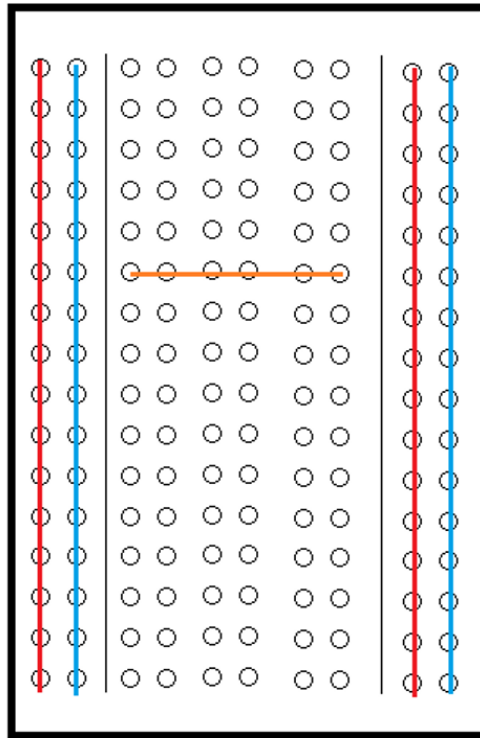


Figure 9: 麵包板線路排列示意圖

麵包板上方的孔以此連接方式有以下好處:

- 元件腳位可直接插入孔位，不需焊接即可達成電路串聯或並聯
- 電源和接地可直接藉由上方橫排分佈，方便供給各縱排相同的跨壓

5.2 示波器與三用電表的差別

- 示波器：

為一種時域（Time Domain）測量儀器，其作用是將電壓訊號轉換為可視化的波形，並顯示在螢幕上。可透過示波器觀察訊號的形狀、振幅、頻率和相位，及直流偏移等等。

主要經由四個步驟：

1. 訊號輸入：電訊號經由探棒進入示波器輸入端
2. 模數轉換：訊號進入垂直放大器調整其適當的電壓範圍，再進入類比數位轉換器，將電壓訊號轉成數位訊號
3. 時基與掃描：依照所設之取樣率擷取訊號數據點，並重建波形
4. 顯示即及處理：透過處理單元將電壓對應到時間，繪出及時波形；並顯示時螢幕上（X軸表示時間、Y軸表示電壓）

- 三用電表：

一種測量電壓、電流、電阻的測量儀器。

主要可測數值之原理如下：

1. 直流電壓測量（DCV）：採用電阻分壓分路來測量兩點間的電壓。公式如下：

$$V_{out} = V_{in} \frac{R_2}{R_1 + R_2} \quad (8)$$

其中 R_1 、 R_2 為內部電阻網路的分壓電阻。

2. 交流電壓測量（ACV）：利用整流電路和RMS轉換電路來測量交流訊號之有效值（即為上述提及之RMS）；並透過整流二極體將AC轉為DC。
3. 電流量測（A）：串聯於電路中，利用分流電阻產生壓降，測量此壓降計算電流大小。電壓降根據歐姆定律為

$$V = IR \quad (9)$$

4. 電阻測量（ Ω ）：三用電表內部提供一已知電壓源，通過被測電阻產生電流，並根據歐姆定律計算電阻值。

- 兩者差異：

特性	示波器	三用電表
主要功能	顯示訊號波形 分析時域特性	測量電壓（V）、 電流（A）、電阻（ Ω ）
測量方式	顯示隨時間變化的波形	顯示單一數值
測量結果	波形圖形化顯示 可分析頻率、振幅、相位等等	數值顯示 有效值或平均值
交流訊號	可顯示瞬時值和波形形狀	顯示有效值（RMS）

5.3 解釋程序三所得的結果。哪種電錶可量到較高頻的交流信號？在低頻(100Hz)時， V_{pp} 和 ACV 檔的讀值有何關係？

當量測訊號為正弦波，在低頻範圍（100Hz）使用電表測得的是RMS（均方根）電壓。正弦波的RMS值可以用公式計算：

$$V_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T v^2(t) dt} \quad (10)$$

理論上測得的 V_{pp} 與 ACV 會符合 RMS 計算公式。

對於正弦波， V_{pp} 與 ACV的關係為：

$$V_{rms} = \frac{V_{pp}}{\sqrt{2}} \quad (11)$$

量測低頻訊號（100Hz）時，ACV檔位的量測數值因電表的特性而產生偏差，導致ACV實際讀值小於理論值。同時DC offset影響ACV讀值，表示電表的AC測量可能缺乏高通濾波，也就是AC耦合。

若要量測到更精確的高頻交流訊號，應使用具高頻響應與具備一定RMS量測精確度的量測工具，如 True RMS 萬用電錶。

DC offset 除了會讓訊號在波形上產生偏移，在使用某些無法正確分辨出AC與DC訊號的量測工具（如三用電表）時，會導致量測出的數據與理論數字有落差。三用電表的ACV量測內建低通濾波器，頻率約為50Hz ~ 1kHz，故在參數頻率為100kHz時，AC訊號已超出量測範圍。且三用電表的 ACV 測量在接近其上限頻率時可能開始衰減，而非直接完全無法測量，故讀值顯示為 <0.00V。

量測低頻訊號（100Hz）時，ACV 讀值應為純 AC 訊號的 RMS 值，但ACV檔位的量測數值可能因電表的頻率響應而產生偏差，導致ACV實際讀值小於理論值。理論上 ACV 讀值不應受 DC Offset 影響，但由於三用電表缺乏高通濾波（AC 耦合功能），導致DC offset也會影響ACV讀值。相較之下，DCV 只取 DC Offset，不受頻率影響，應該等於設定的 Offset 值。

三用電表因為在高頻時可能會導致AC讀值衰減。若選用示波器進行量測，則可得出更精準的RMS值。

5.4 由程序四的結果,我們可以用一個簡單模型來模擬電錶在歐姆檔的情形；請畫一個表，列出電錶不同檔之 V_a 與 R_{out}

根據實驗四之實驗結果 (Sec.4.4)，結合公式：

$$V_{out} = V_a \frac{R_x}{R_{out} + R_x} \quad (12)$$

可推算出下列結果：

三用電表、三用電表和 10.2Ω （理論 10Ω ）的電阻串聯		
Ω 檔位	內部電壓 $V_a(V)$	內部等效電阻 $R_{out}(\Omega)$
20M	<0.00	$\sim \infty$
200k	<0.00	$\sim \infty$
20k	0.03	$\sim \infty$
2k	1.00	7.39
200	1.20	5.10

三用電表、三用電表和 997Ω （理論 $1k\Omega$ ）的電阻串聯		
Ω 檔位	內部電壓 $V_a(V)$	內部等效電阻 $R_{out}(\Omega)$
20M	<0.00	$\sim \infty$
200k	3.80	120.94
20k	28.80	14.44
2k	83.20	5.07
200	102.40	<0.00

總結上述表格結果，可得出：

- 較高阻檔（ $20M\Omega$ 、 $200k\Omega$ ）：內部阻抗較高，適合量測高阻值之電阻
- 中等阻檔（ $20k\Omega$ ）：內部阻抗相對低，適合測量 $k\Omega$ 級之電阻
- 較低阻檔（ $2k\Omega$ 、 200Ω ）：內部阻抗較低，影響測量結果，適合測小電阻

5.5 由程序五步驟1的結果，求出電錶 DCV 檔之輸入阻抗

當三用電錶測量時，會形成一個串聯電路，包含電源、負載電阻 R_L 和三用電錶內部阻抗 Z_m ；直流電壓輸出為 V_{in} ，測得電壓 V_{out} 會因為內部阻抗造成電壓下降，公式如下：

$$V_{out} = V_{in} \frac{R_L}{R_L + Z_m} \quad (13)$$

將每組數據帶入，可得出 Z_m 約為 $9.75k\Omega$