

REPORT

Experiment 1: 分壓電路

NOTICE: PLEASE MARK APPROPRIATE “LABEL” ON YOUR SCHEMATIC

R _{voltmeter} = ∞			
	voltage (V _{R1})		voltage (V _{R2})
R ₁ =100Ω	5V	R ₂ =100Ω	5V
R ₁ =1MΩ	5V	R ₂ =1MΩ	5V

R_{voltmeter} = ∞, R₁=R₂=100 Ω

Fig1-1-1 schematic (測量 V_{R1} 使用的電路圖):

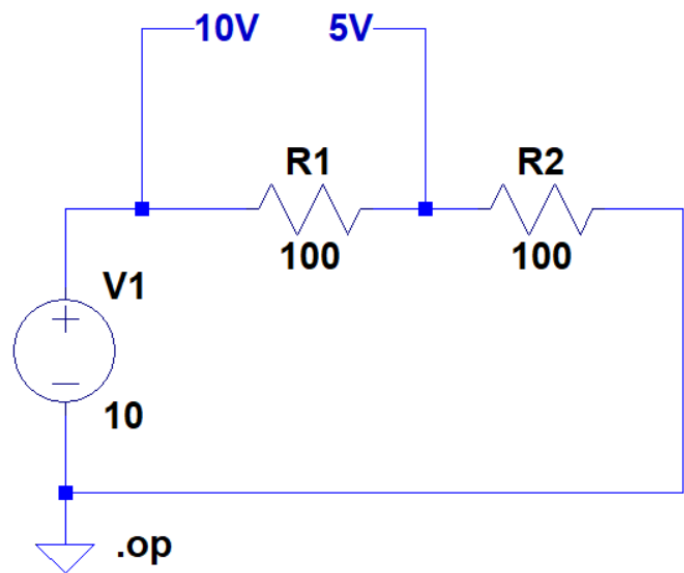
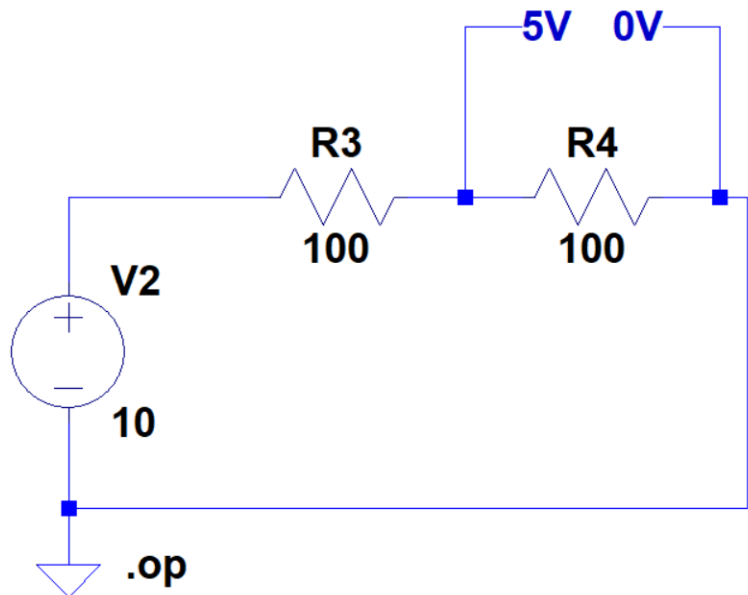


Fig1-1-2 schematic (測量 V_{R2} 使用的電路圖):



LTSPICE

$R_{\text{voltmeter}} = \infty$, $R1=R2=1\text{ M}\Omega$

Fig1-1-3 schematic (測量 V_{R1} 使用的電路圖):

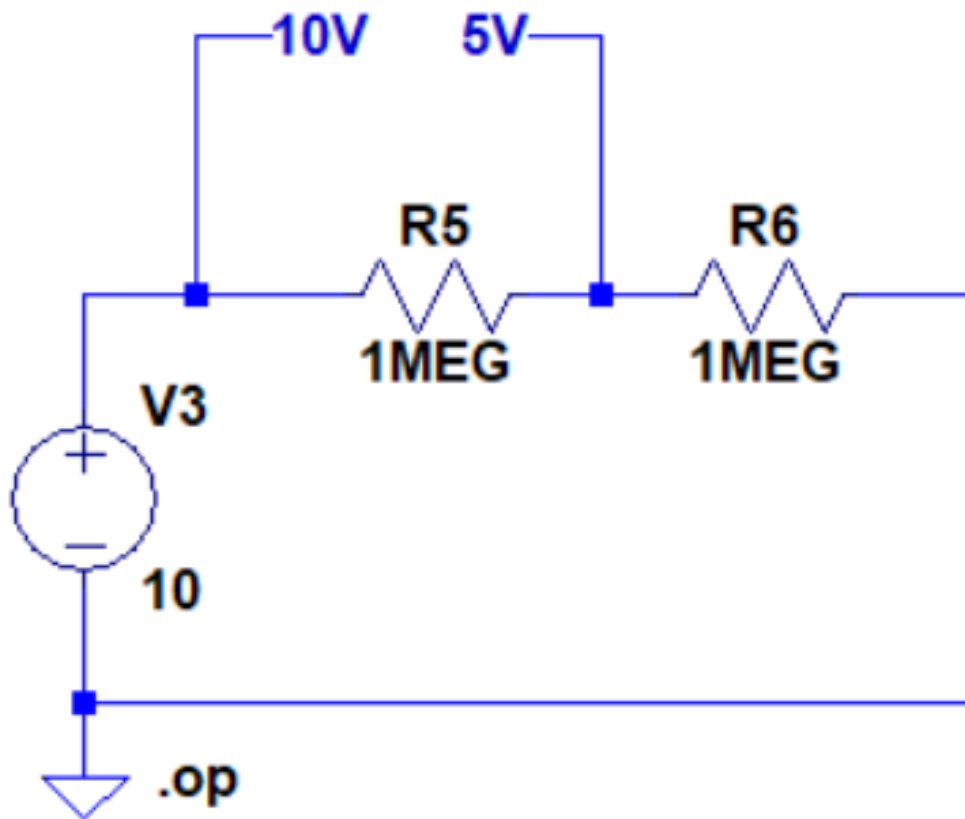
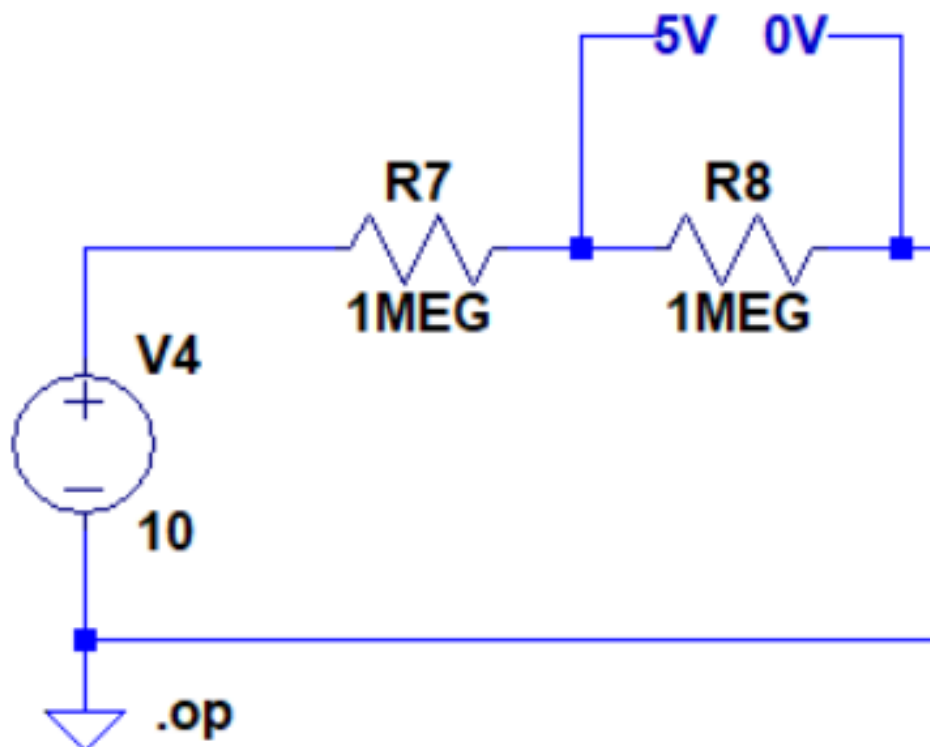


Fig1-1-4 schematic (測量 V_{R2} 使用的電路圖):



R_voltmeter = 1 MΩ			
	voltage (V _{R1})		voltage (V _{R2})
R ₁ =100Ω	4.9997501V	R ₂ =100Ω	4.9997501V
R ₁ =1MΩ	3.3333335V	R ₂ =1MΩ	3.3333333V

R_voltmeter = 1 MΩ, R1=R2=100 Ω

Fig1-2-1 schematic (測量 V_{R1} 使用的電路圖):

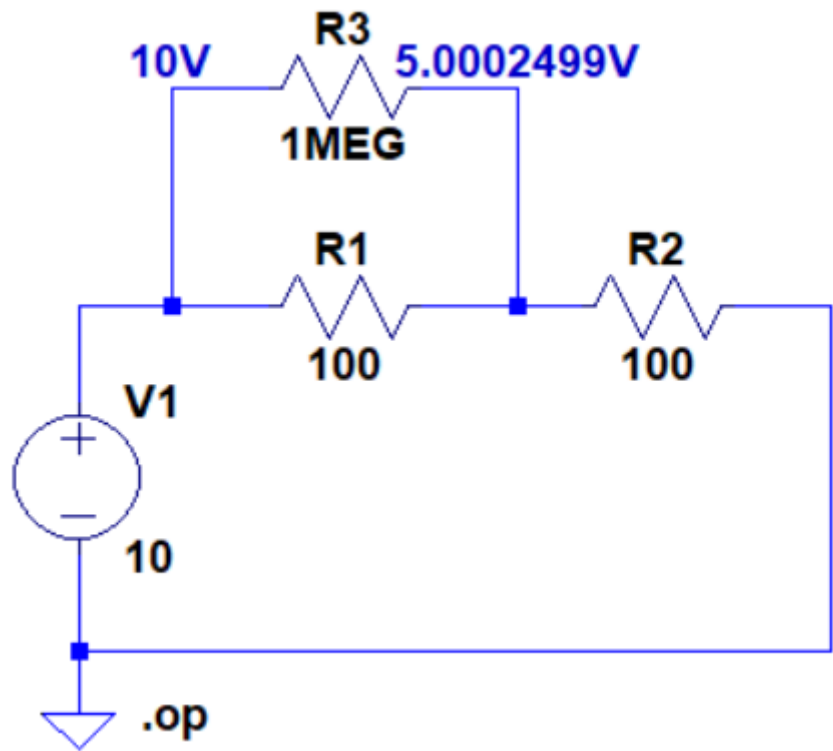
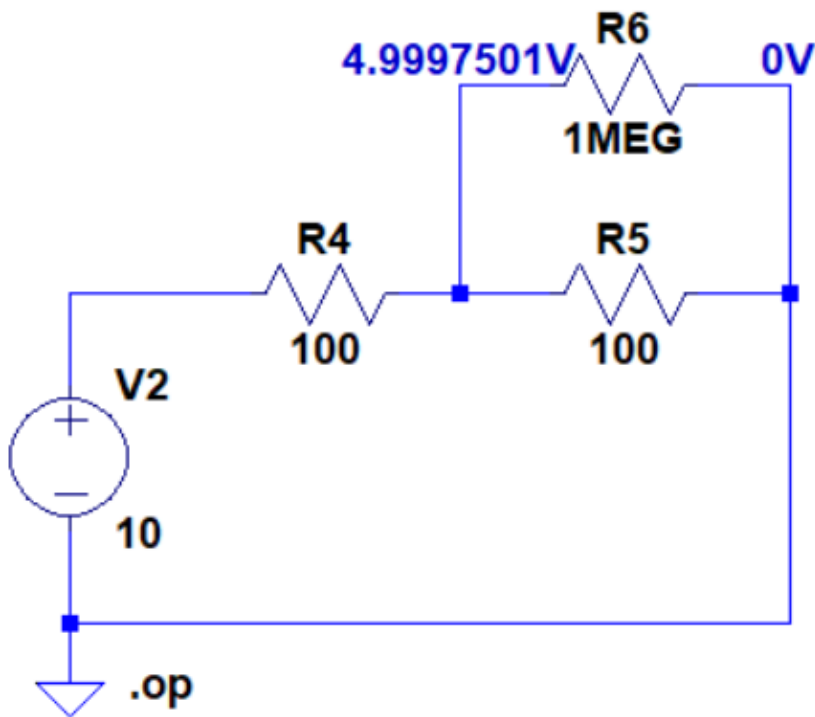


Fig1-2-2 schematic (測量 V_{R2} 使用的電路圖):



LTSPICE

$R_{\text{voltmeter}} = 1\text{ M}\Omega$, $R_1=R_2=1\text{ M}\Omega$

Fig1-2-3 schematic (測量 V_{R1} 使用的電路圖):

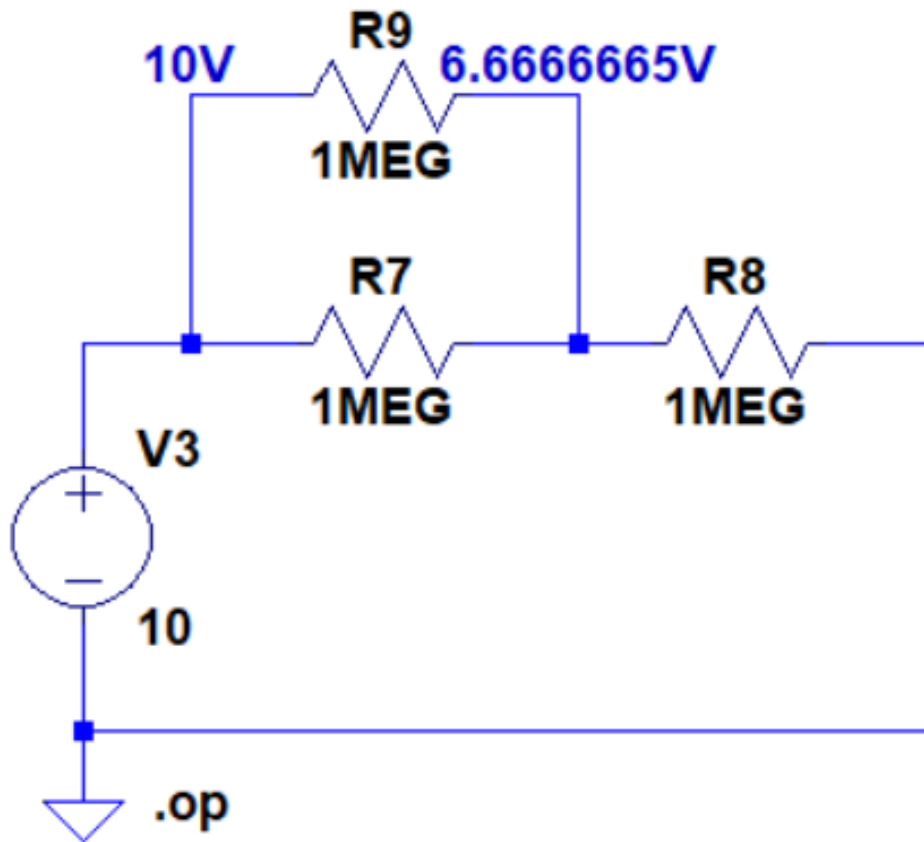
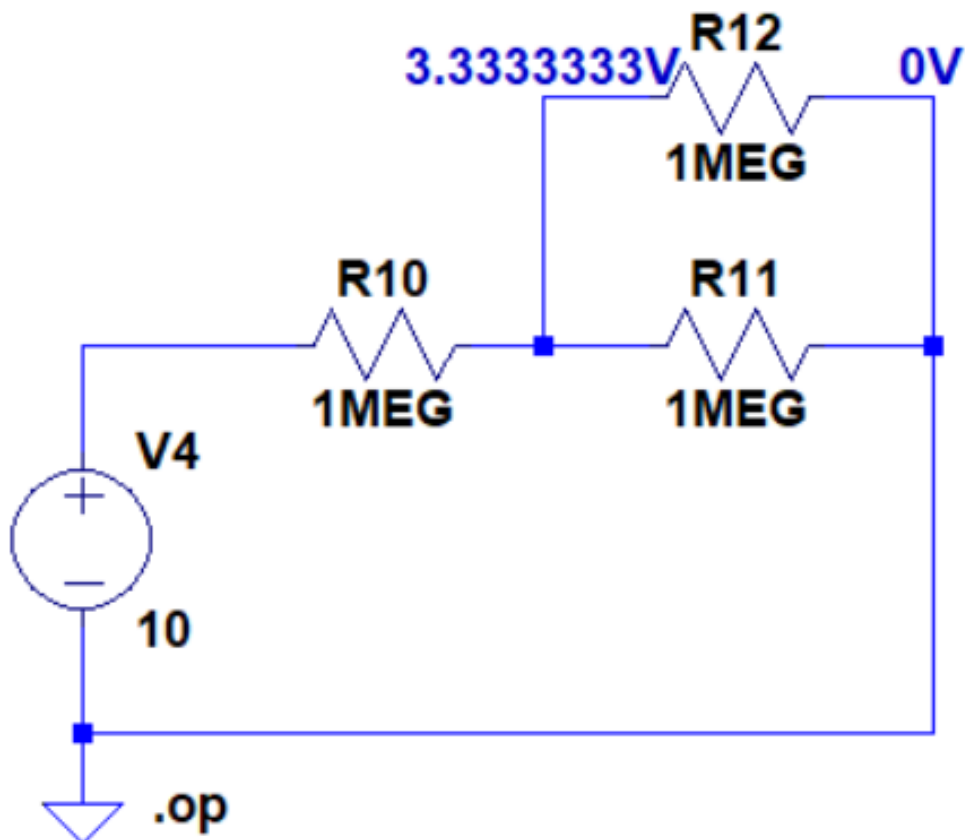


Fig1-2-4 schematic (測量 V_{R2} 使用的電路圖):



R_voltmeter = 10 MΩ			
	voltage (V _{R1})		voltage (V _{R2})
R ₁ =100Ω	4.9999752V	R ₂ =100Ω	4.9999752V
R ₁ =1MΩ	4.7619047V	R ₂ =1MΩ	4.7619047V

R_voltmeter = 10 MΩ, R1=R2=100 Ω

Fig1-3-1 schematic (測量 V_{R1} 使用的電路圖):

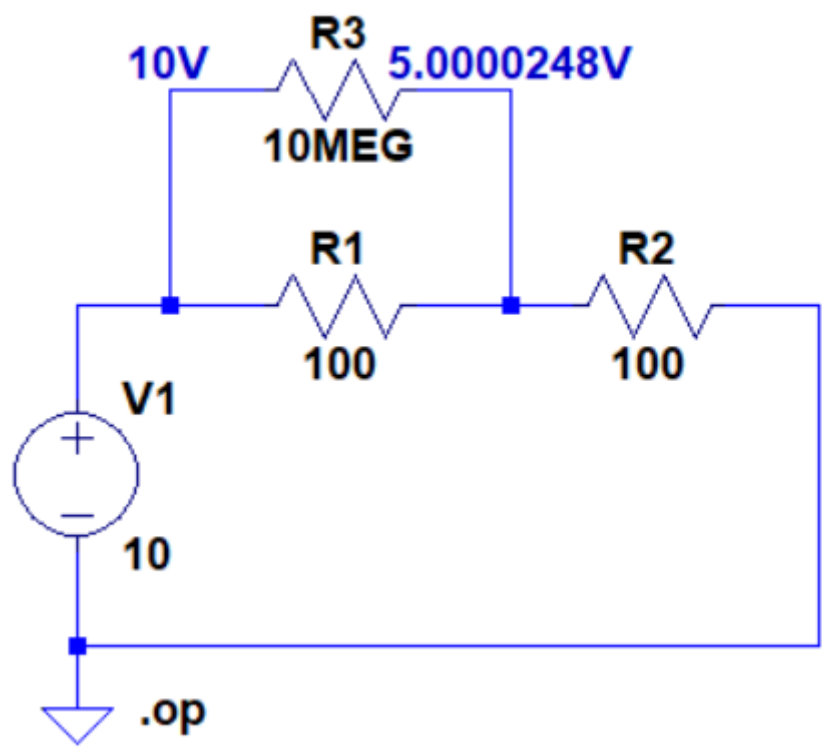
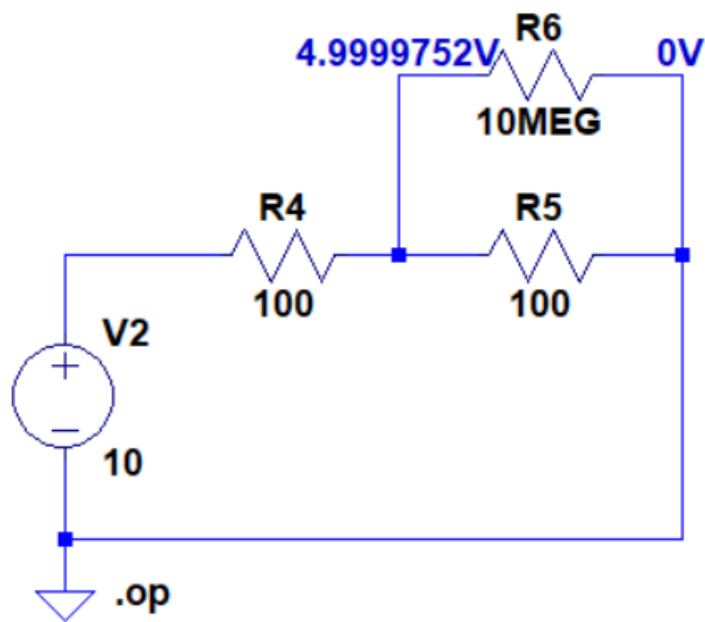


Fig1-3-2 schematic (測量 V_{R2} 使用的電路圖):



LTSPICE

$R_{\text{voltmeter}} = 10 \text{ M}\Omega$, $R_1=R_2=1 \text{ M}\Omega$

Fig1-3-3 schematic (測量 V_{R1} 使用的電路圖):

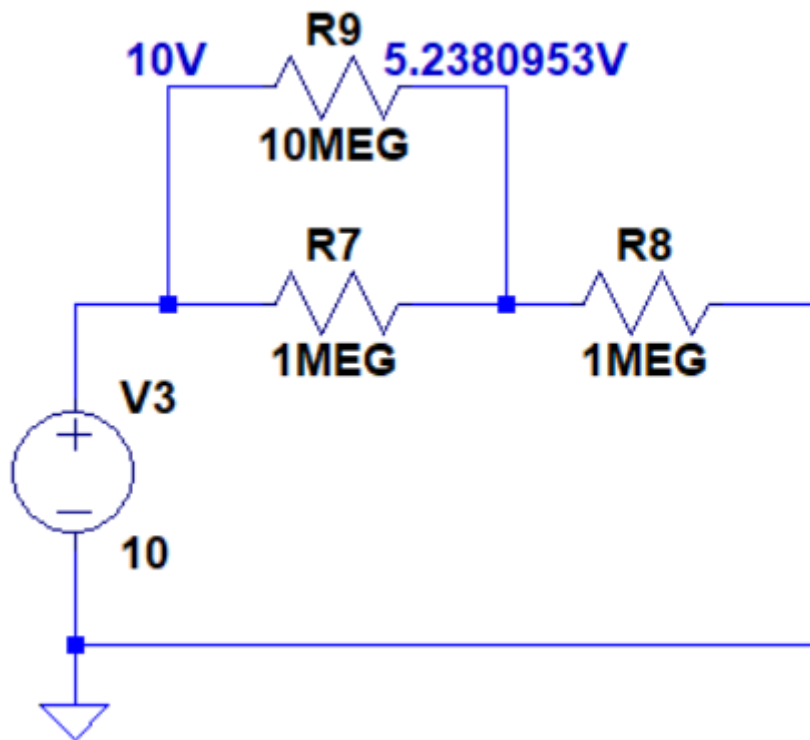
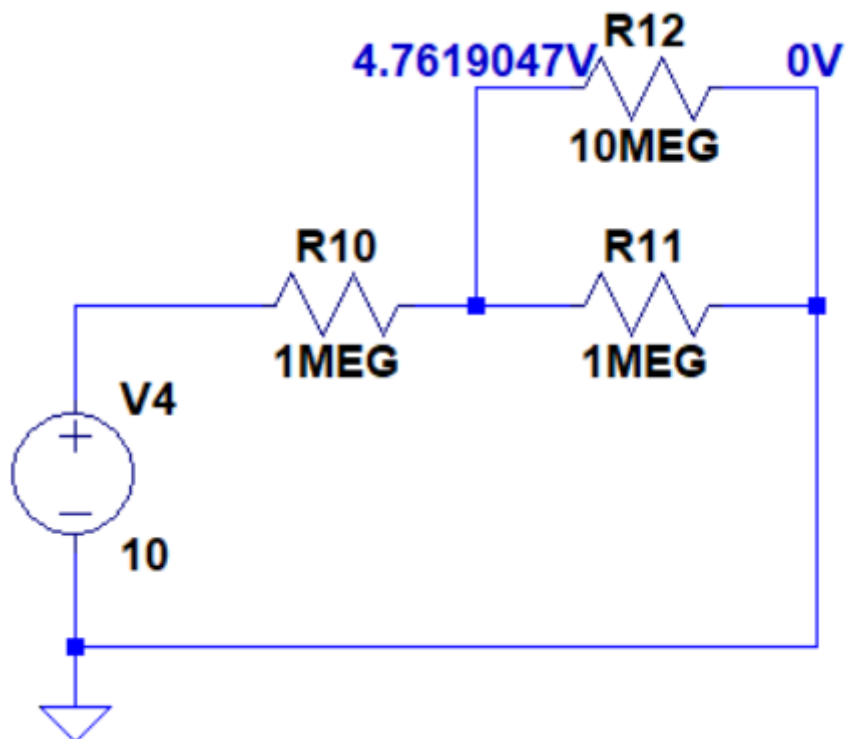


Fig1-3-4 schematic (測量 V_{R2} 使用的電路圖):

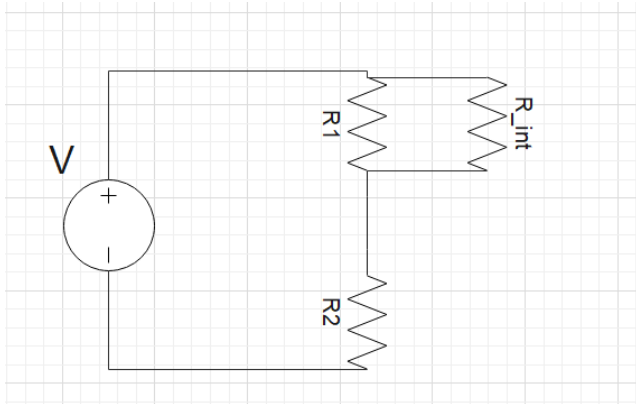


LTSPICE

問題：

請與 lab01-exp3 結果比較並分析異同。

在量測 R_1 的跨壓時，會將三用電表的內電阻 $R_{int} = 10M\Omega$ 並聯上去，如下圖：



因此在這個電路中，總電阻為：

$$R_{total} = (R_1 \parallel R_{int}) + R_2 = \frac{R_1 R_{int}}{R_1 + R_{int}} + R_2 \quad \dots(1)$$

總電流為：

$$I_{total} = \frac{V}{R_{total}} \quad \dots(2)$$

所以所測量出 R_1 的跨壓為：

$$V_{R_1} = V - I_{total} R_2 \quad \dots(3)$$

將(1)(2)代入(3)可得：

$$V_{R_1} = V \left(1 - R_2 \frac{(R_1 + R_{int})}{R_1 R_{int} + R_2 (R_1 + R_{int})} \right) \xrightarrow{R_1 = R_2} V \left(1 - \frac{(R_1 + R_{int})}{2R_{int} + R_1} \right)$$

此時，若 $R_1 \ll R_{int}$ 時，可以更進一步化簡為：

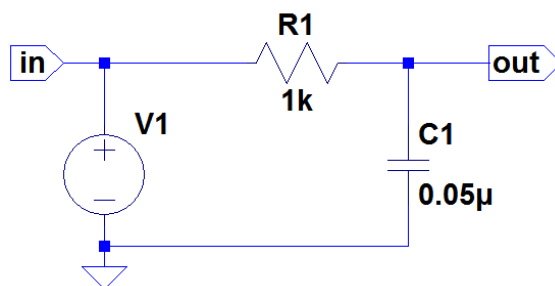
$$V_{R_1} = V \left(1 - \frac{R_1 + R_{int}}{2R_{int} + R_1} \right) \approx \frac{V}{2}$$

透過上述的推導，可以得知，若是在 $R_1 \ll R_{int}$ 的情況下(ex: 100Ω versus $10M\Omega$)，那麼量測到的跨壓會比較接近理論值：一半的供壓，那麼若是 R_1 的數量級接近 R_{int} 的話(ex: $1M\Omega$ versus $10M\Omega$)，那麼所量測到的跨壓理論上為 $\frac{10}{21}V \approx 4.762(Volt)$ 。

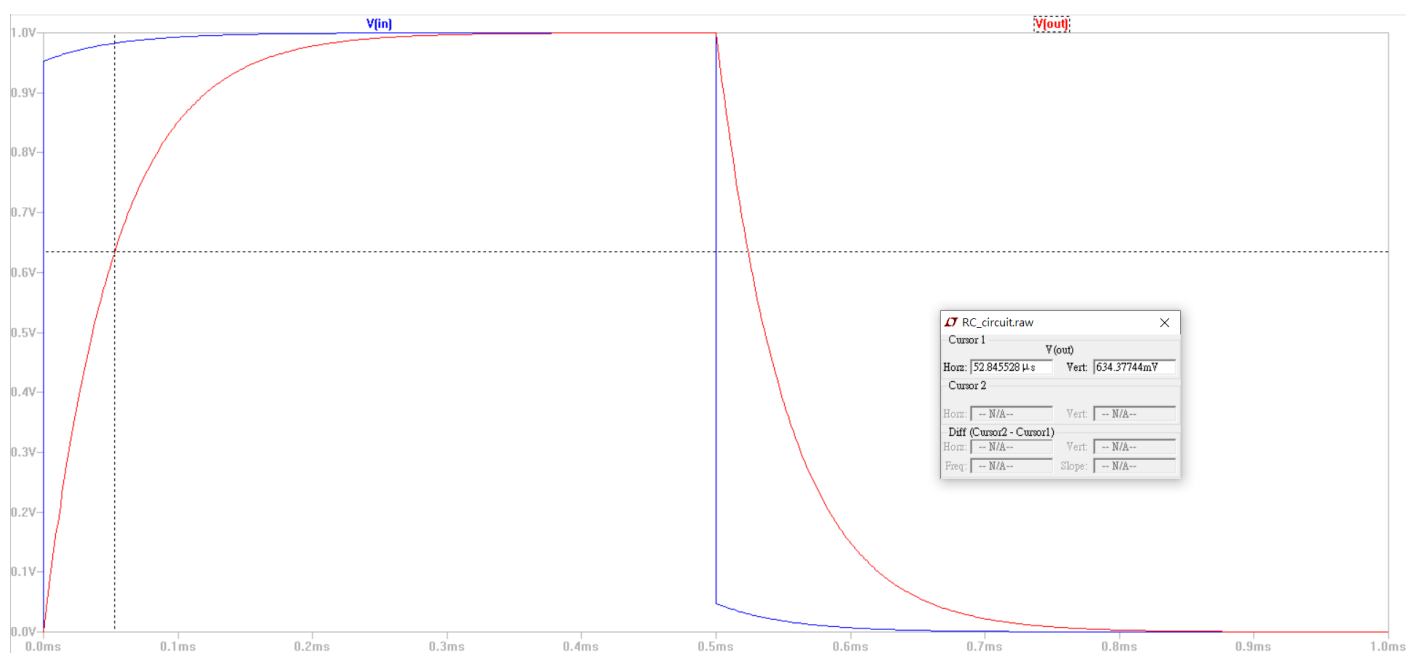
這個結果與 LTspice 模擬出來的結果相同，LTspice 在量測 $R_1, R_2 = 100\Omega$ 的跨壓時，跨壓大約是 $\frac{V_{in}}{2}$ ，

而在量測 $R_1, R_2 = 1M\Omega$ 時，跨壓大約是 $\frac{10V_{in}}{21}$ ，與理論計算值相同！

Experiment 2: RC 充放電電路



節點 in 與 out 的波形圖：
(請記得標示與時間常數有關的標籤)

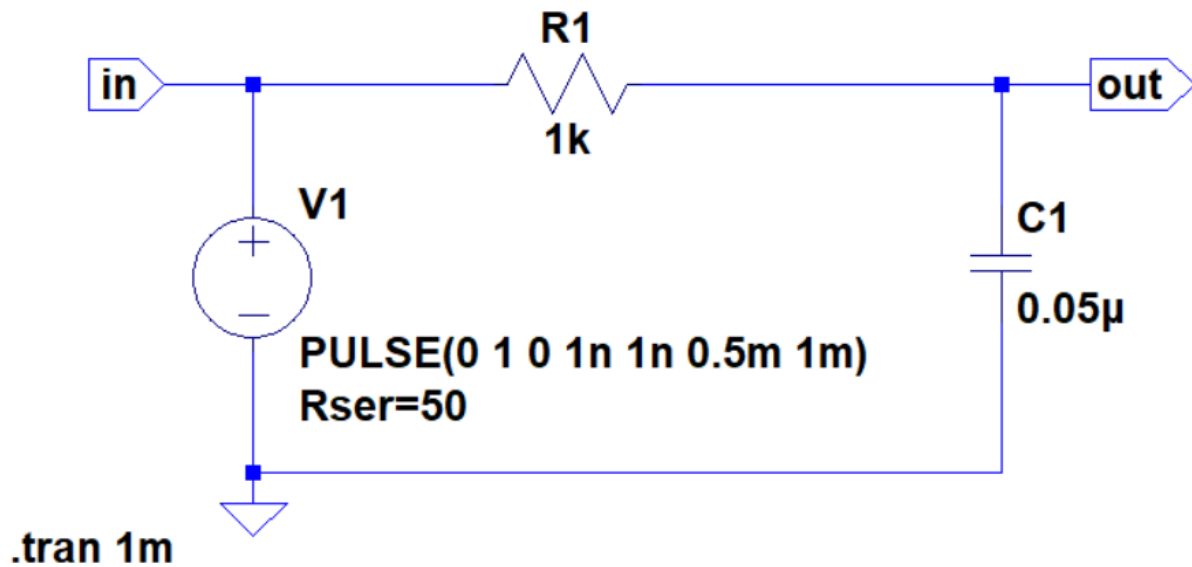


其中，節點 in 為 藍 色（填寫顏色），節點 out 為 紅 色

LTSPICE

Schematic for RC circuit:

RC circuit



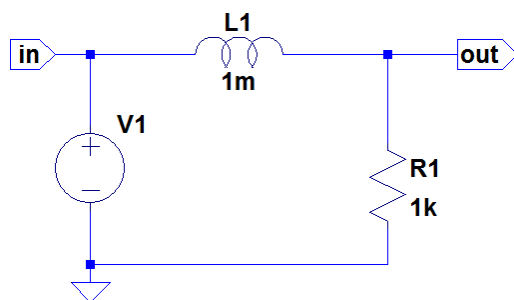
問題：

請與 lab03-exp1 結果比較並分析異同。

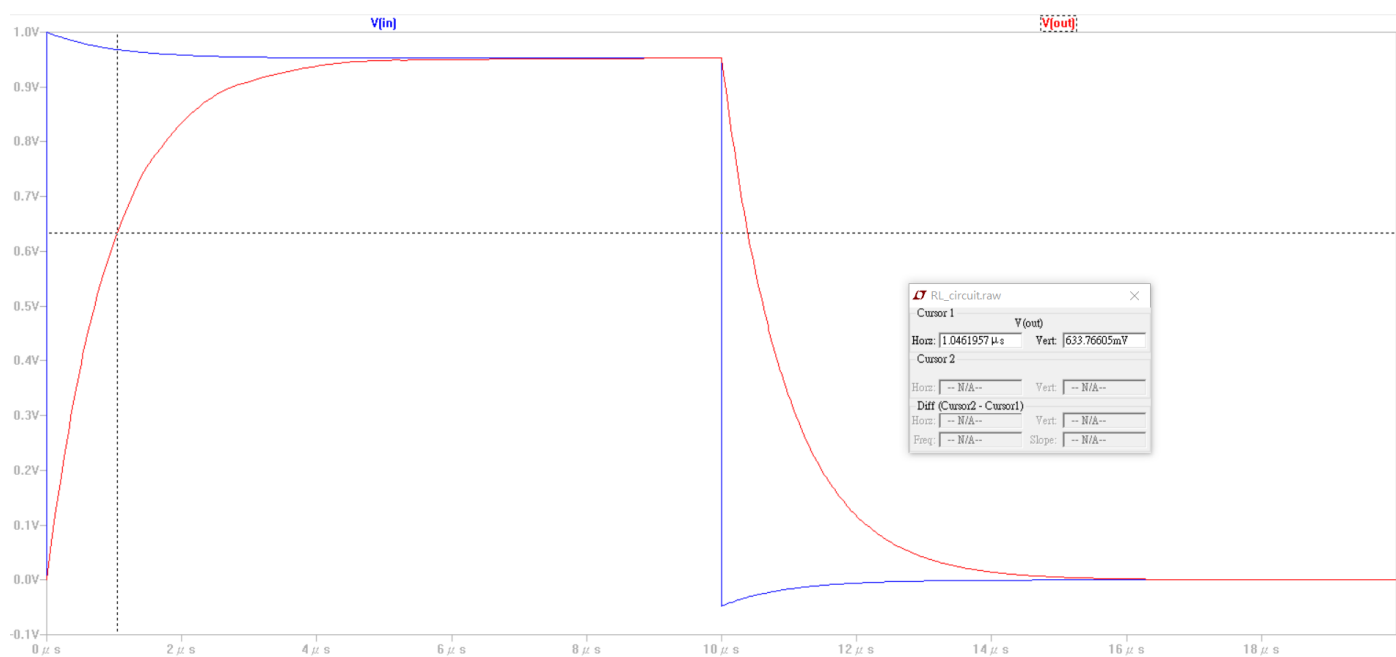


不管是在 LTspice 或是實際接電路測量，我都有成功的量測或是模擬出與理論計算值約略相同的時間常數： $time\ const = \tau = RC = 1k \cdot 0.05\mu F = 50\mu s$ ，但是在 LTspice 的模擬中，我觀測到 V_{out} 的曲線稍微比較不圓滑，有產生類似折線圖的感覺，推測是取的點不夠密集，或是還沒有達到最後的穩態，而是觀察到暫態的波形圖。對於紙筆測驗或是課堂教學來說，大多都是推導最後穩態的公式或是較為著重在分析穩態的結果，大多比較不會花時間去探討暫態在實驗中所代表的意義。我想這就是模擬的重要性了！能夠將無法手算出來的結果呈現出來，使我們能夠去觀察該電路或是模型在還沒達到平衡時對輸入的反應為何！

Experiment 3: RL 充放電電路



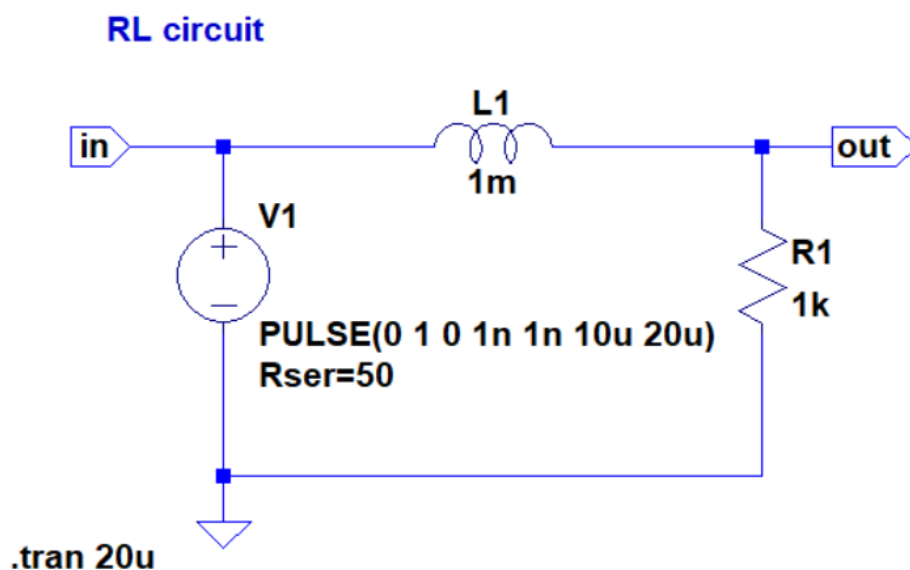
節點 in 與 out 的波形圖：
(請記得標示與時間常數有關的標籤)



其中，節點 in 為 藍 色（填寫顏色），節點 out 為 紅 色

LTSPICE

Schematic for RL circuit:



問題：

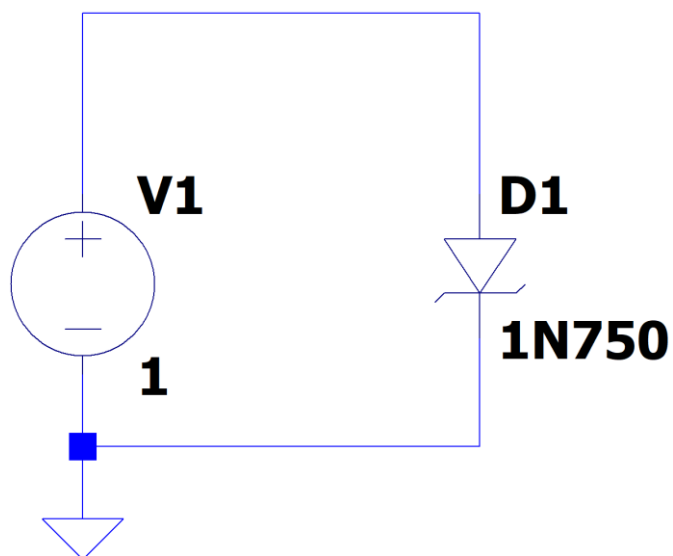
請與 lab03-exp1 結果比較並分析異同。



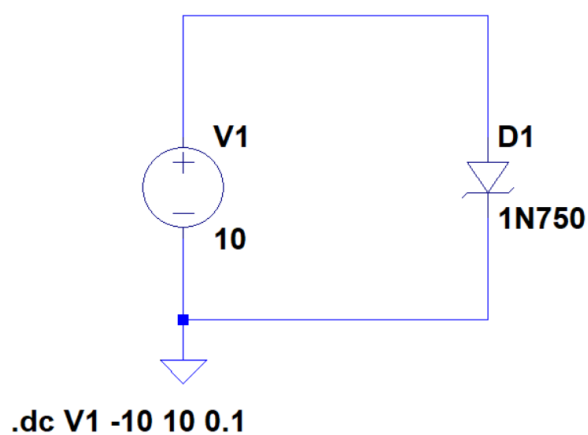
不管是在 LTspice 或是實際接電路測量，我都有成功的量測或是模擬出與理論計算值約略相同的時

間常數: $time\ const = \tau = \frac{L}{R} = \frac{1mH}{1k} = 1\mu s$ ，也有觀測到輸入波型 V_{in} 在不管是 posedge 或是 negedge

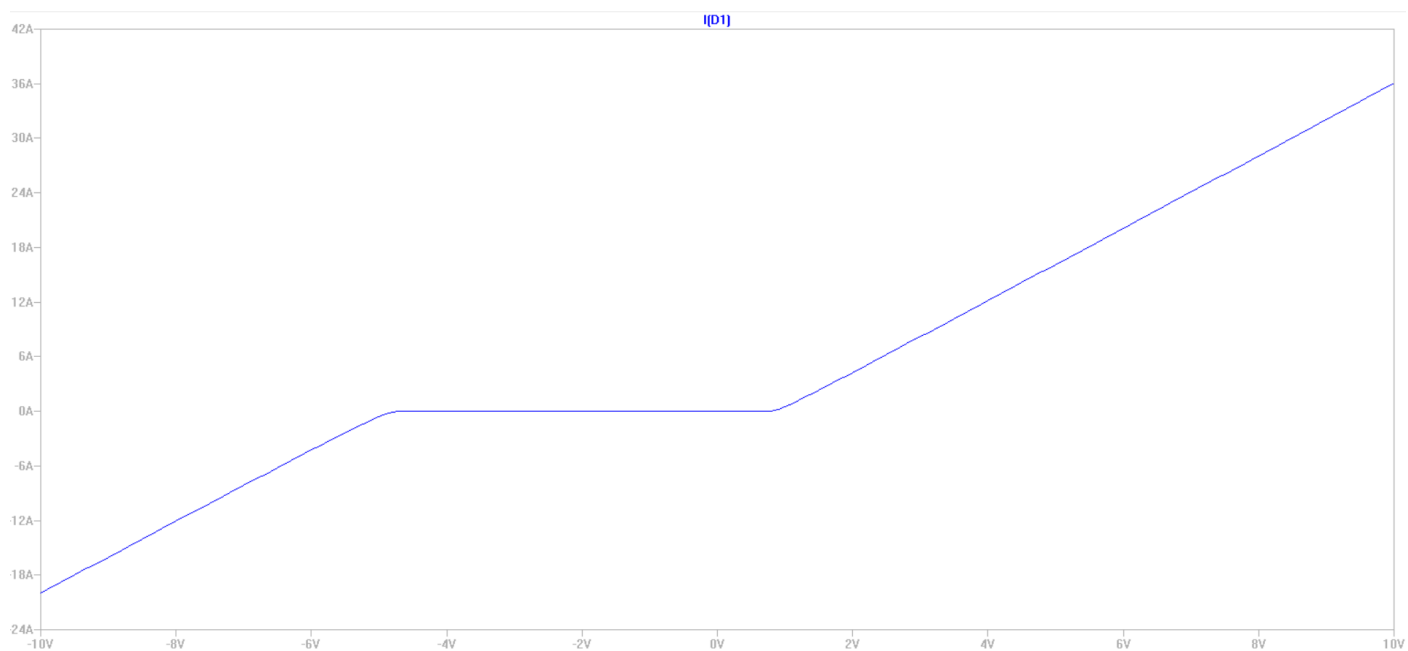
時，都不會直接到達初始的數值，而是會有些微的超過該數值，而後再降回或是升回原本方波設定的數值。推測應該是因為電感的效應，會有緩衝電流的功效，使其不能短時間快速改變電流數值，否則會造成電感跨壓無限大的情形。

Experiment 4: 二極體特性曲線

schematic 圖（含所有需要使用的指令）：



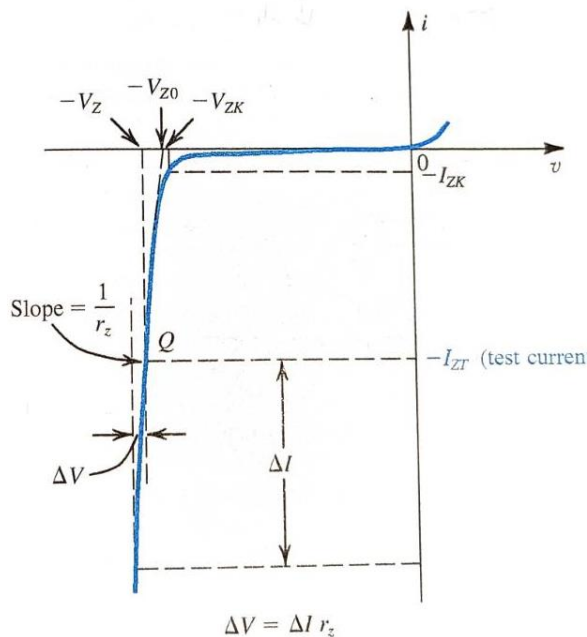
IV curve of 1N750 Zener diode:



LTSPICE

問題：

請嘗試描述圖中曲線的意義（可配合電子學內容）



Diode Properties	
Diode:	1N750
Manufacturer:	OnSemi
Type:	Zener
Average Forward Current[A]:	--
Breakdown Voltage[V]:	4.7

這題模擬的結果讓我糾結許久，一方面是結果與我預期的相差許多。原本預期在這邊能夠看到很明顯的崩潰現象，沒想到他的曲線竟然與幾乎看不太出崩潰的現象。就算輸入電壓已經比 breakdown voltage 還要小了，仍然僅有觀察到電流增加與電壓大致上呈現線性的關係，沒有觀察到任何崩潰現象(換我差點崩潰 XD)。推測結果為，該模型其實並非是一個很好的模型，沒辦法與真實世界的 Zenor diode 的行為非常良好的近似。

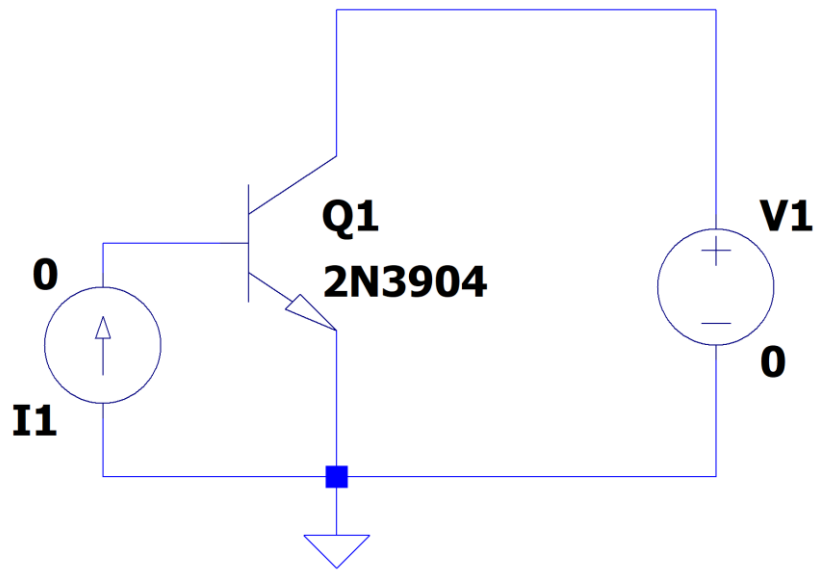
我認為若要更精確的描述這些模型，應該要縮小到原子的尺度，透過半導體物理或是一些相關的推導去模擬真正的 p-n junction 間的電子流動情形。若是僅僅使用簡化過的式子去做模擬，那麼只會造成不太好的結果。

然而，若是要做到原子尺度的模擬，那麼將會耗費相當大的計算支援，在我們的私人筆電是無法進行這麼巨大的運算的，因此我也還蠻認同 LTspice 免費給我們一個大致上的模型來做模擬，以簡化我們電腦的運算。

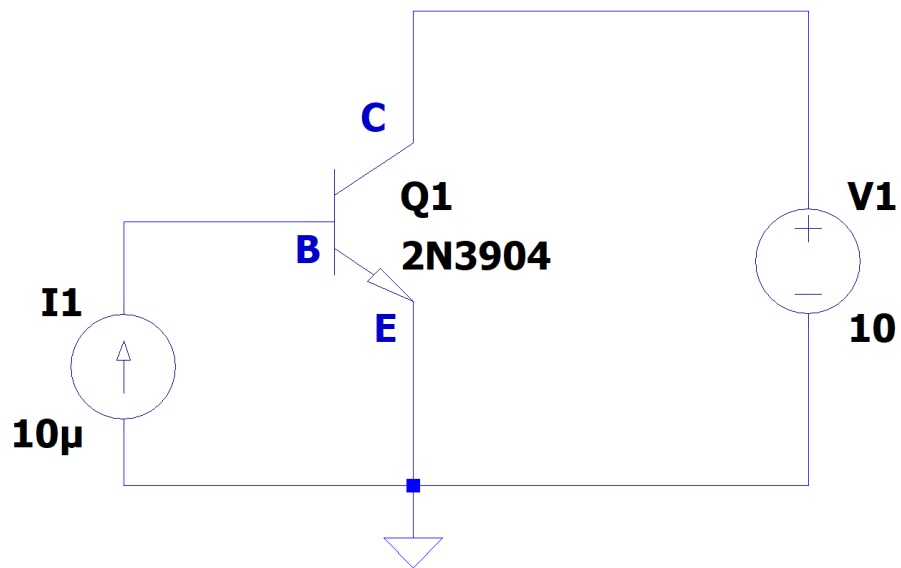
對我來說，我認為模擬比實際接電路還要好玩許多，雖然這些模擬都還是要以實際實驗去驗證模擬的準確性。但是透過不同的演算法去建立模型，並且比較準確度，實在是非常的有趣。

我之前就曾經使用過 VASP 這套軟體來模擬 graphene 的能帶圖，並且使用 Tight binding 這個演算法用 matlab 去解經過 Kronig-Penny Model 簡化過後的 Hamiltonian Matrix，並且真的得到與 VASP 幾乎相等的能帶圖！

但是在 LTspice 的模擬中，一個電路圖中通常都會有許多不同的元件，若是要將所有的元件都透過這樣的方式去計算，那麼一個大型的電路圖，將會耗費相當大的資源，因此 LTspice 僅提供一個粗略的模型，在日後的模擬要時常提醒自己要具備”模型”識讀的能力，以分辨哪些可信，那些不可信！

Experiment 5: BJT 特性曲線

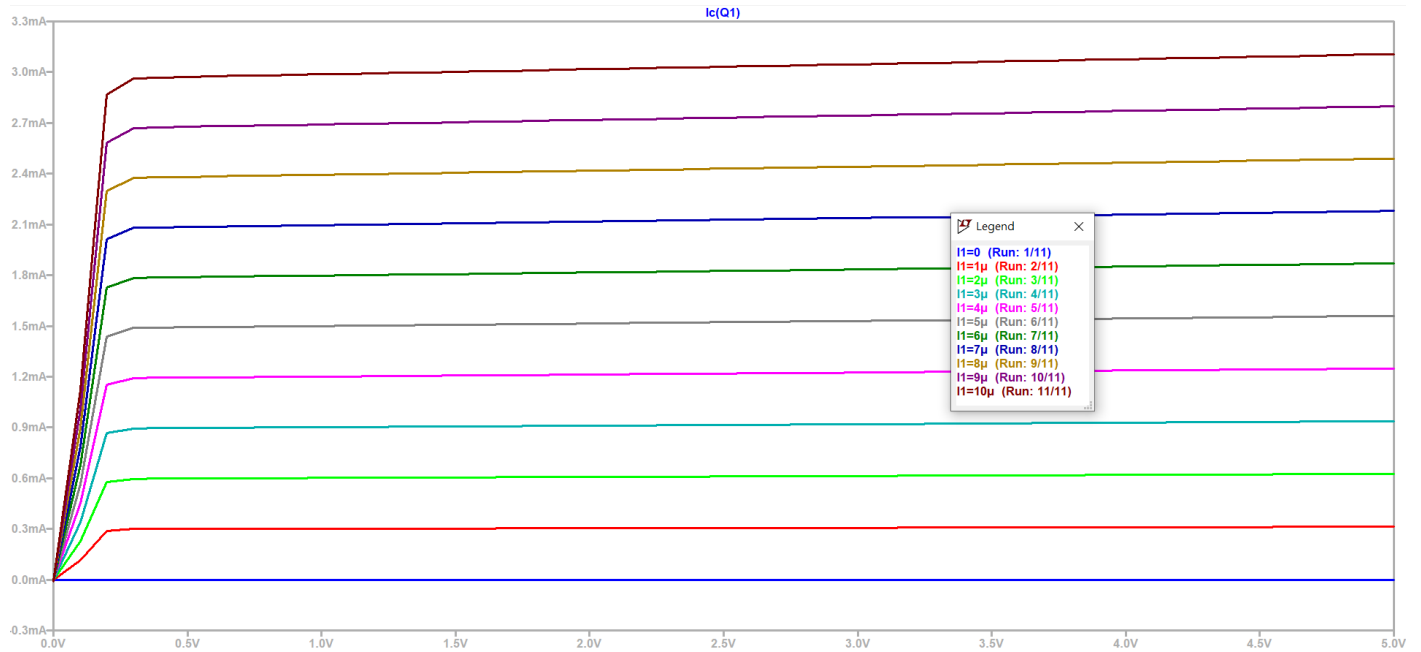
schematic 圖（含所有需要使用的指令）：



.dc V1 0 5V 0.1V I1 0 10u 1u

LTSPICE

IV curve of BJT 2N3904:



問題：

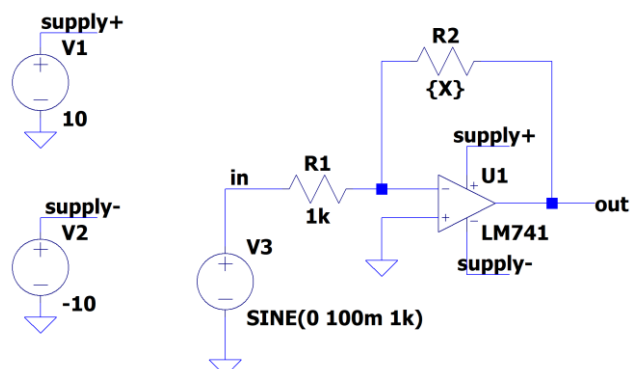
請問 DC sweep 中，1st source 與 2nd source 分別對應到曲線圖上的哪些地方？

1st source 對應到的是曲線圖上的 x 軸。可以看到電壓 V_{CE} 從 0V 增加到 5V。

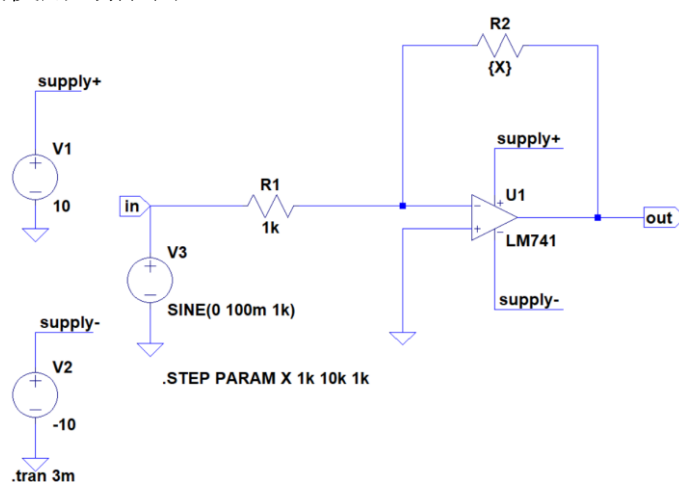
2nd source 乘上 300 後對應到的是曲線圖上的 y 軸。由於 $i_c = \beta i_b$ ，經過查詢 BJT 2N3904 的 data sheet 後可得知其 β 值為 300，因此 y 軸為 2nd source(I_1)乘上 300 後的結果。

我們也可以取當 $I_1 = i_b = 10\mu A$ 時，可以觀察到 $i_c = 3mA = \beta i_b = 300 \cdot 10\mu A$ 。

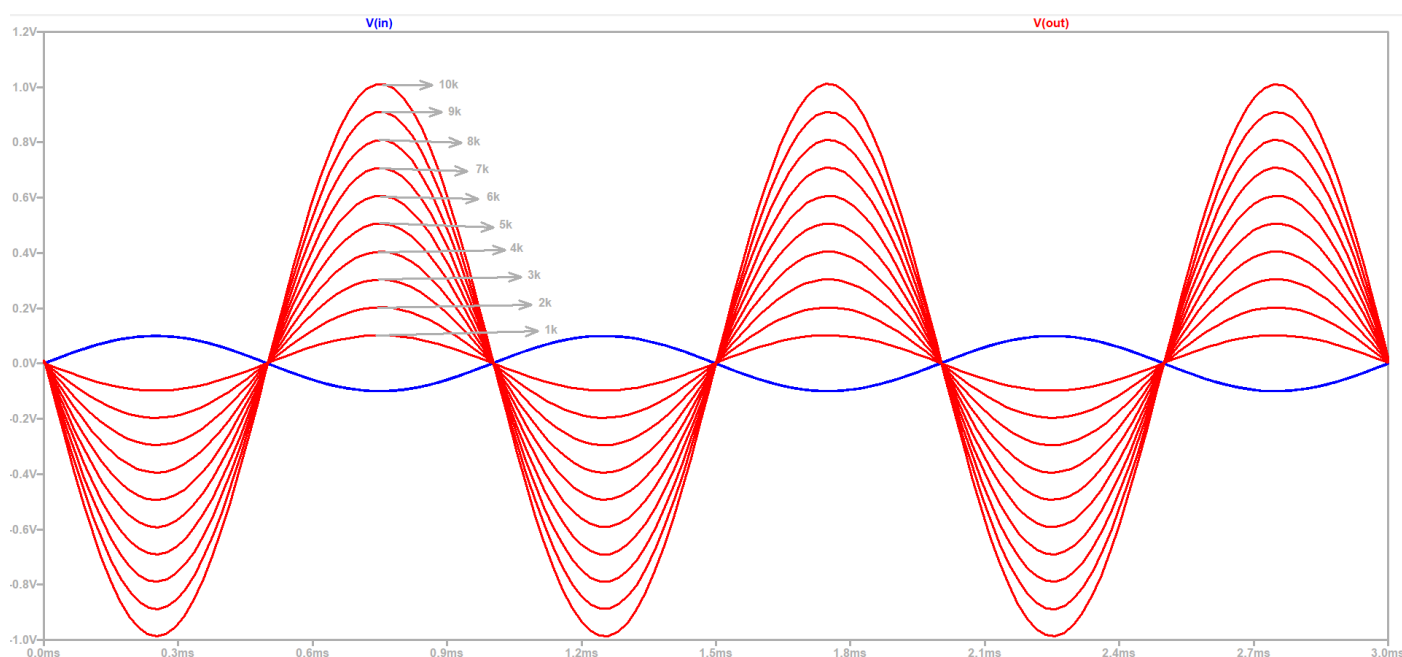
Experiment 6: 有可變電阻的電路 (.step param語法練習)



schematic 圖 (含所有需要使用的指令):



節點 out 的波形圖 (含各種 R2 電阻標示):



在這邊可以觀察到隨著 R_2 的增加, inverting amp gain: $A = -\frac{R_2}{R_1}$ 也會跟著改變, 因此輸出波型

$V_{out} = -\frac{R_2}{R_1} V_{in}$ 的振幅會隨之放大! 我也透過了這個機會學習到了如何在 LTspice 中使用參數的技巧!