



中央研究院

原子與分子科學研究所

科學家 在 玩 什麼？

系列演講暨體驗活動

種子小老師訓練營

園丁無法叫植物長大





魏金明博士團隊
表面與奈米結構
之理論計算

用電腦做工具
來學科學



林志民博士團隊

大氣化學
儀器設計

用電子訊號做工具
來學科學



陳應誠博士團隊

冷原子
慢光

用光做工具
來學科學

	7/4 (一)	7/5 (二)	7/6 (三)	7/7 (四)	7/8 (五)
9:00 ~10:30	共同課 電學實驗	共同課 光學實驗	專題課程	專題課程	
下課					
11:00 ~12:30	電學實驗	光學實驗	專題	專題	
	午餐	午餐	午餐	午餐	
1:10 ~ 1:50	參觀 電腦機房 (分組)	參觀玻璃工廠 1:10 ~ 1:40 1:40 ~ 2:10	分兩組參觀 大氣化學Lab 冷原子Lab	分兩組參觀 冷原子Lab 大氣化學Lab	
2:00 ~ 3:30	共同課 電腦實驗	液氮體驗 共同課回顧與 選專題	專題課程	專題課程	
下課					
4:00 ~5:30	電腦實驗	選定專題 分組帶開	專題	專題	
18:00~ 20:00					成果 發表

Prepare to be Wrong. 錯誤是學習的契機

Ask Questions. 問問題可增進學習的效率

思考、思考、再思考

不剝奪你思考的趣味



⊕ 示波器：電子世界的眼睛

Trigger: 決定按快門的時機 (抓住瞬間波形)

Demo: 示波器內建參考方波、電池之電壓、
交流電之波形(用衰減探棒)、**氣球靜電、雜訊、
法拉第的實驗、小馬達發電 ...**

張文亮著 電學之父—法拉第的故事「第十五章電磁感應交響曲」

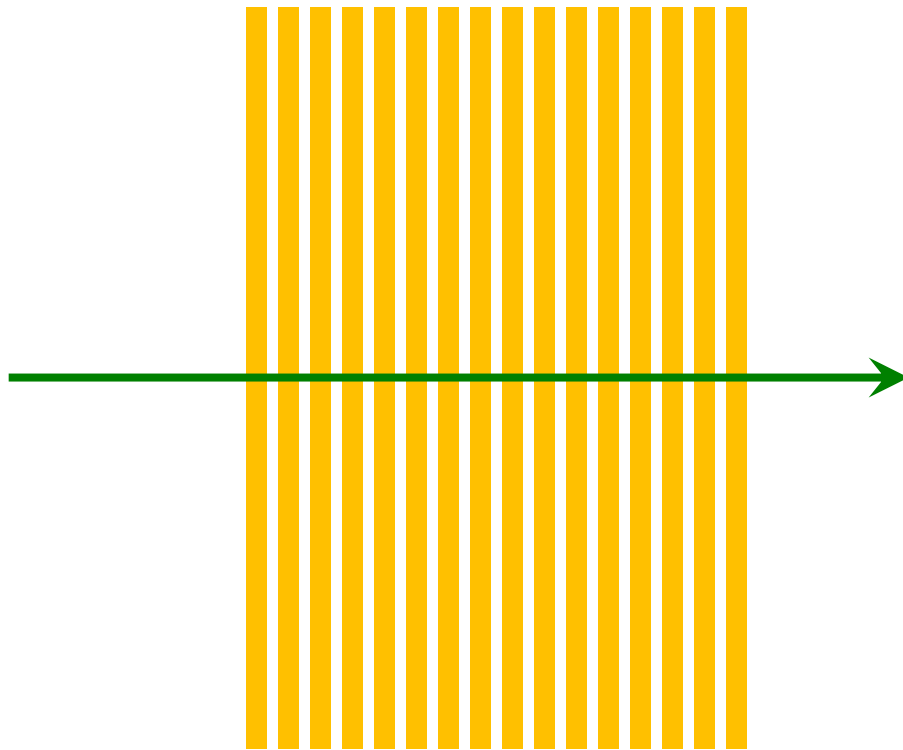
... 他用一個圓形的軟鐵，左右兩邊各繞上圓形的線圈，左端線圈接上伏特電池，右端線圈接上電流檢流器。法拉第的想法是左端的導線可以產生電流，電流在垂直方向產生磁力，因此把導線繞成圓形線圈後，線圈的中央可以產生最強磁力。左端的磁應該可以傳到右端的線圈而產生電流。一八二一年，法拉第就把這實驗裝置做好，左端接上伏特電池，右端檢流器指針輕微抖動一下，然後就不動了。顯然右端沒有電流通過；**法拉第在實驗裝置旁，等了很久，檢流器指針像隻死人的手指，動也不動一下。實驗結束，導線離開伏特電池，檢流器指針又輕微抖動一下，重歸寂然。**

法拉第想可能是... 電力不夠... 他又在軟鐵上多繞了幾層線圈... 用不同的角度去纏繞線圈，用不同尺寸的軟鐵，甚至用更靈敏的電子檢流器，結果還是一樣。但是法拉第在實驗備忘錄上寫著：「十年的努力實驗，依然沒有結果。沒有結果，也是成果，因為已經愈來愈接近真實的答案了。」...

法拉第回到實驗室，將線圈自軟鐵取下。法拉第拿著一塊細長磁鐵，小心翼翼地隔空，穿入線圈中，磁鐵與線圈沒有接觸，應該會感應吧！法拉第看著線圈上檢流器的指針。時鐘上的指針，一秒鐘、一秒鐘，滴滴答答的過去，檢流器的指針卻動也不動。唉！實驗還是失敗了！法拉第將磁鐵自線圈中取，出放在桌上，上樓去睡覺了。**不過他彷彿看到，如同以前做過千百次的實驗，每次實驗結束了，檢流器的指針會突然輕微地振動一下，為實驗畫下神秘的休止符。這是怎麼一回事？**

First-order kinetics happens very often in research and in nature (almost everywhere).

光吸收 核衰變 熱水冷卻 化學反應 ...



Demo (Fluorescent Dye)

$$100\% * 0.99 = 99\%$$
$$99\% * 0.99 = 98.01\%$$
$$98.01\% * 0.99 = 97.03\%$$
$$97.03\% * 0.99 = 96.06\%$$

$$0.99^{10} = 90.4\%$$
$$0.99^{20} = 81.8\%$$
$$0.99^{40} = 66.9\%$$
$$0.99^{80} = 44.8\%$$
$$0.99^{160} = 20.0\%$$

光吸收 核衰變 熱水冷卻 化學反應 ...

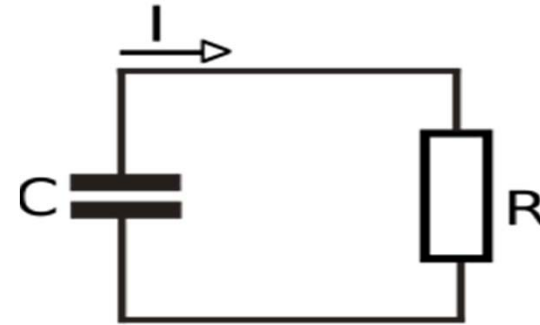
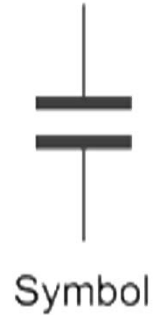
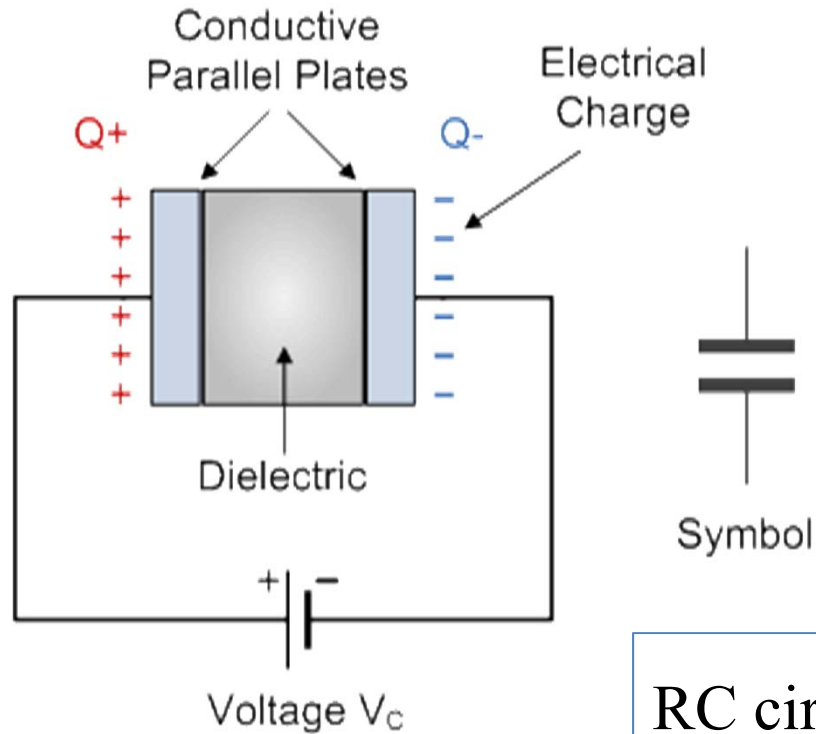
指數函數及其斜率(slope)

例: $y_1 = 2^x$

$$\begin{aligned} \text{slope} &= \frac{dy}{dx} = \frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{2^{x+\Delta x} - 2^x}{(x + \Delta x) - x} = \frac{2^x(2^{\Delta x} - 1)}{\Delta x} = 2^x \frac{(2^{\Delta x} - 2^0)}{\Delta x - 0} \\ &= (0.693) 2^x \end{aligned}$$

Note that: $\frac{(2^{\Delta x} - 1)}{\Delta x} = \text{slope at } x = 0$

Test this result with a calculator using a small Δx value like 0.001.



RC circuit:

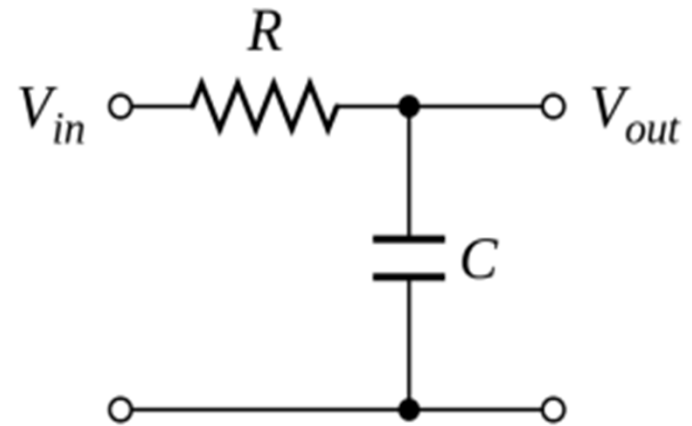
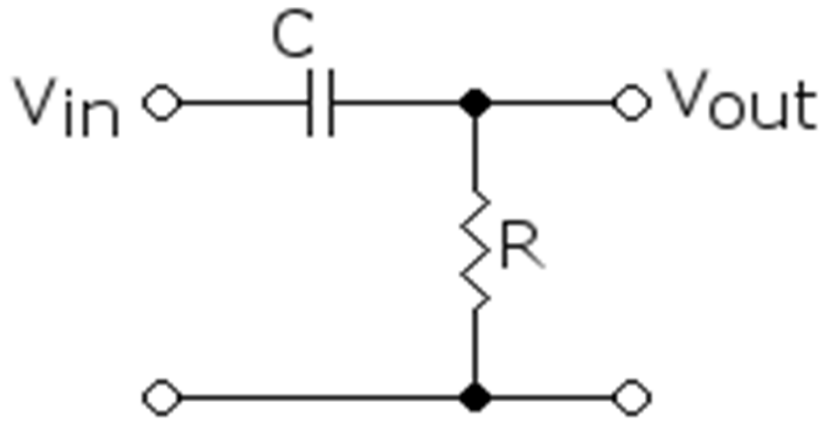
$$i = -dQ/dt = -C dV/dt$$

$$V = i R = -RC dV/dt \quad dV/dt \propto V$$

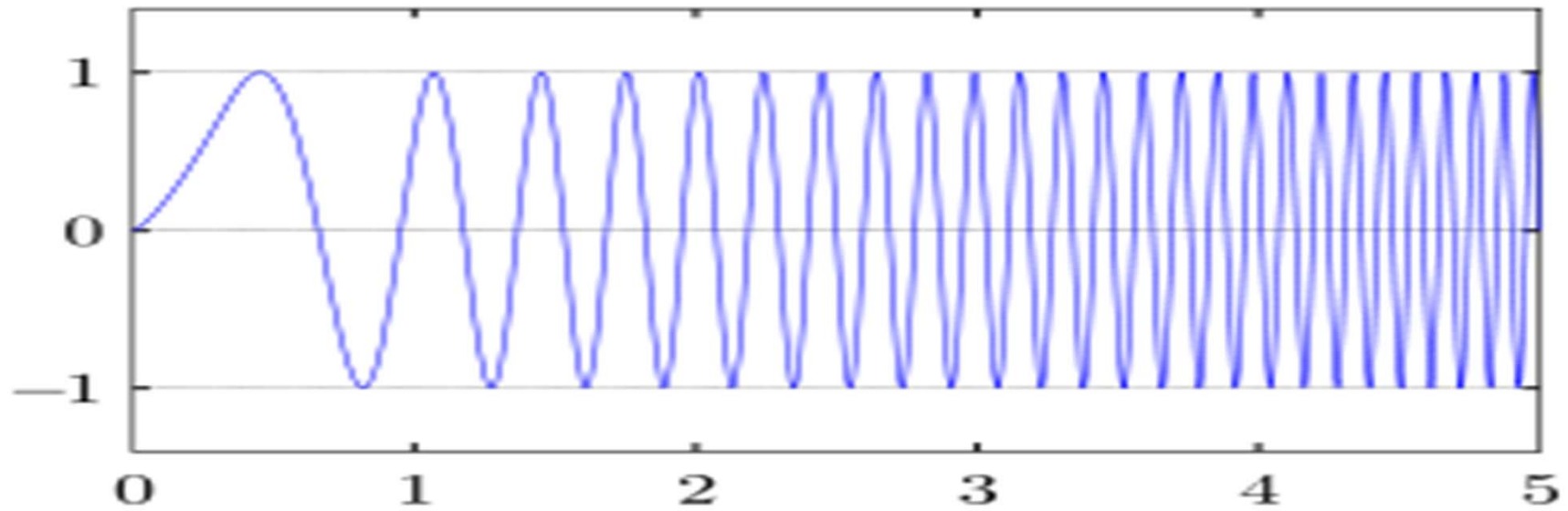
$$V(t+\Delta t) = V + (dV/dt)\Delta t$$

Demo: slow RC

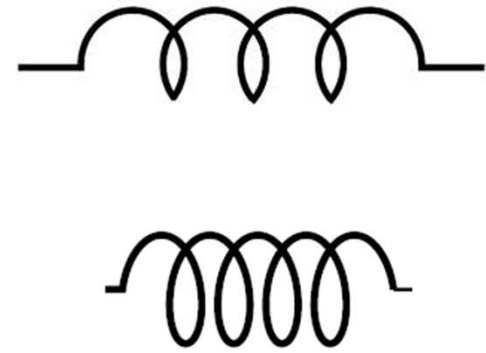
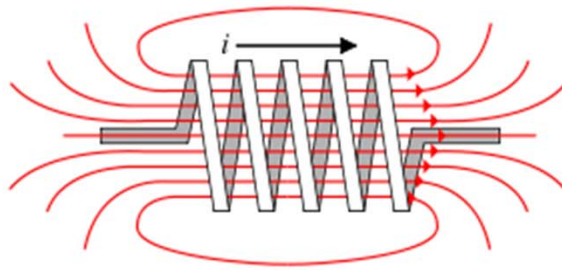
This is a first-order kinetic equation, which happens very often in research and in nature (almost everywhere).



Demo: square pulse



Demo: chirped sin wave



Fixed-value

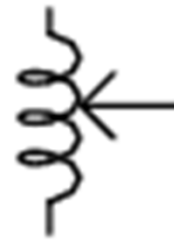
Iron core



Variable

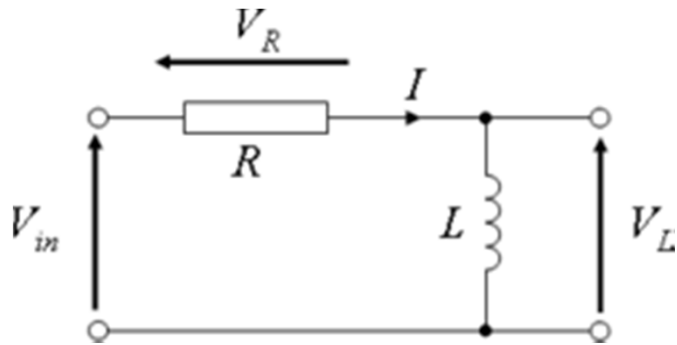
Variac

Tapped

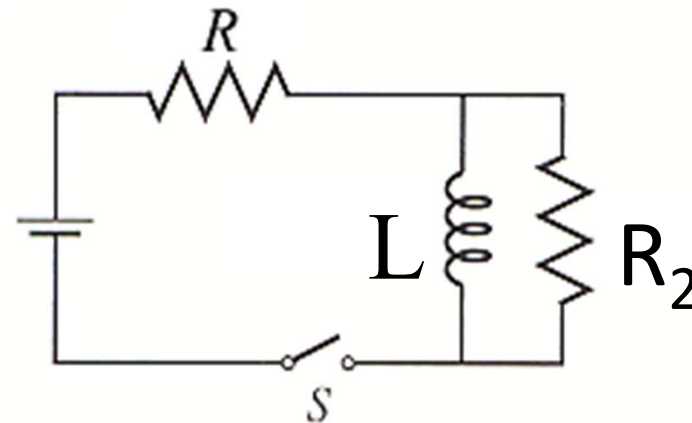
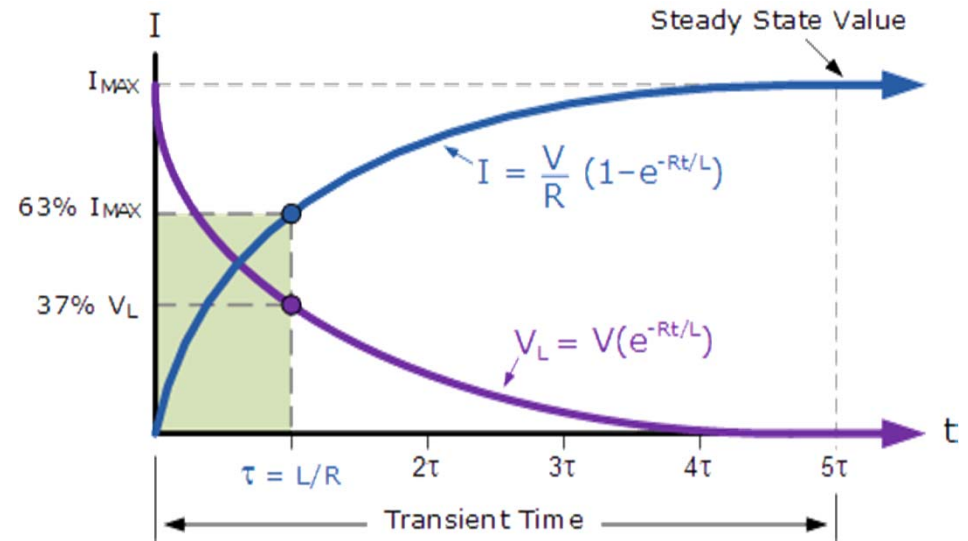


電感： $V = L di/dt$

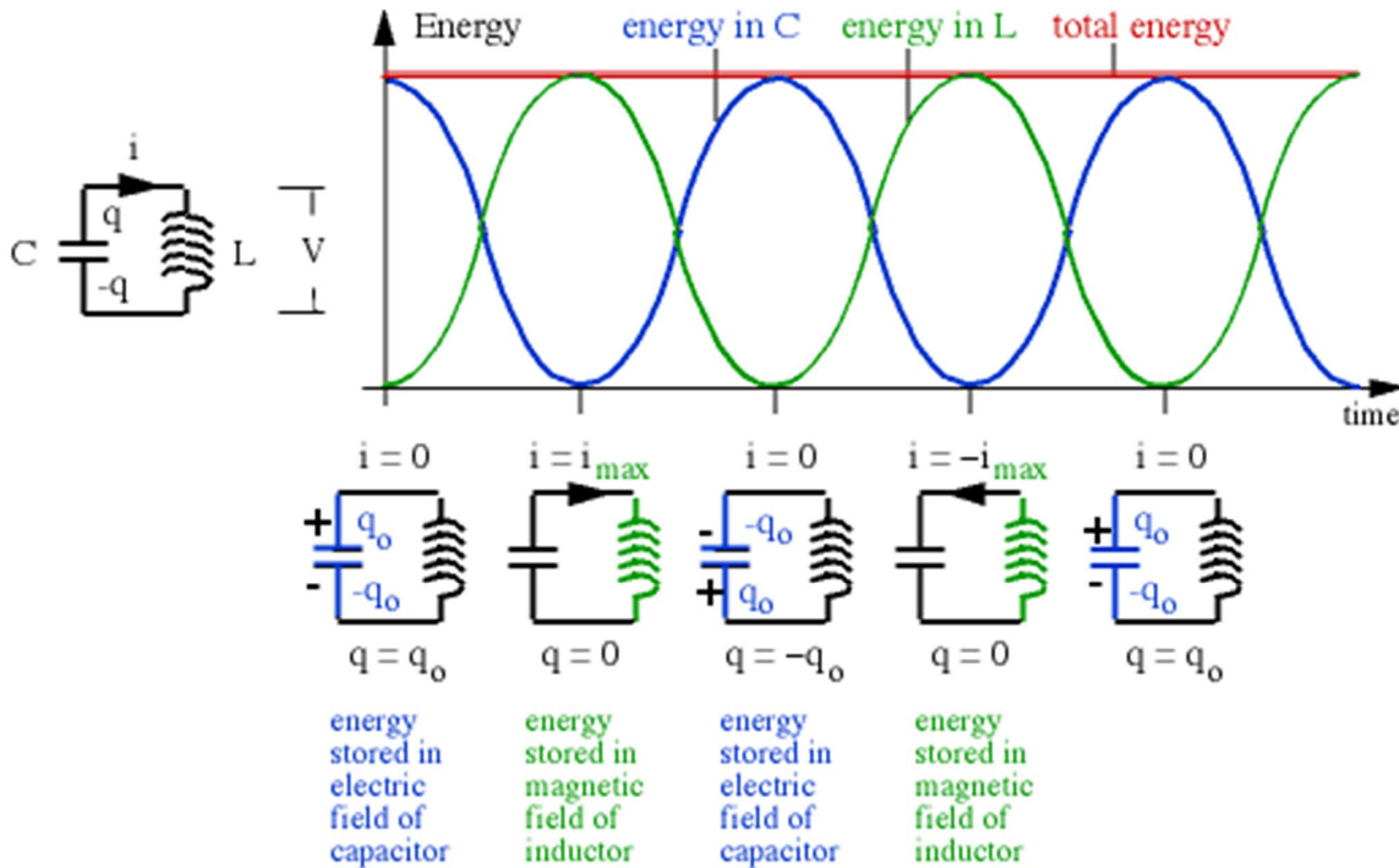
用電流來思考(電流須連續?)



Demo: square wave input

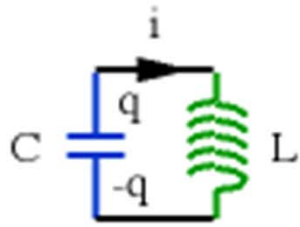


Demo: Battery input



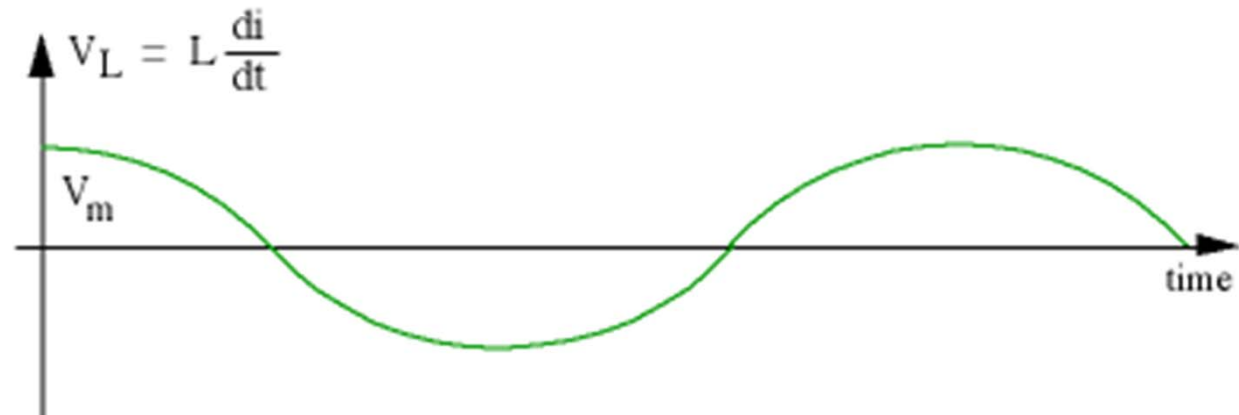
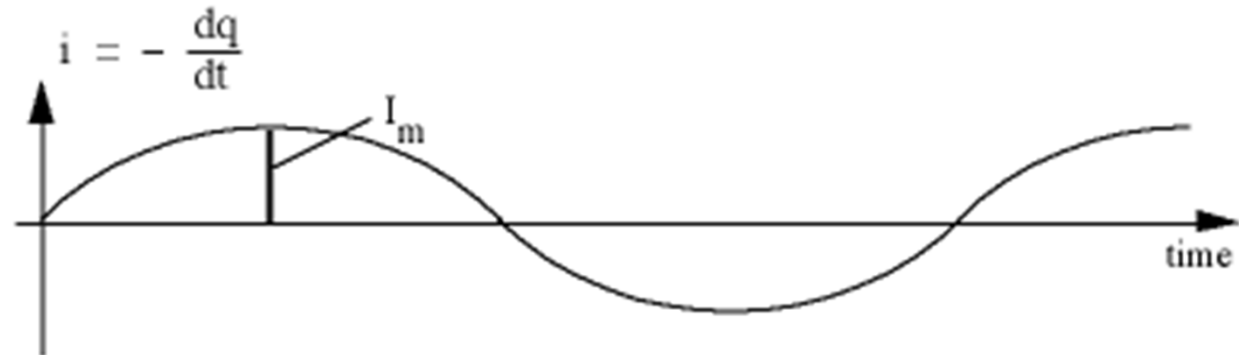
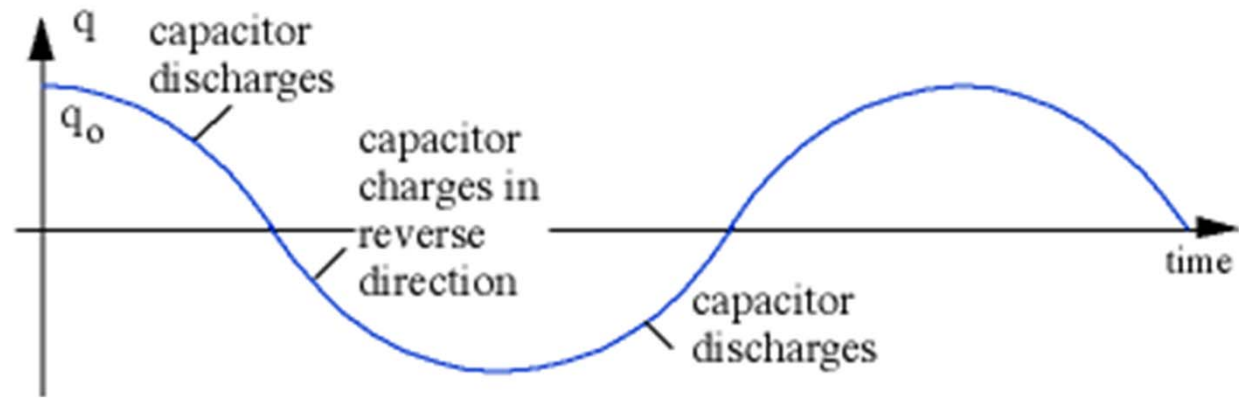
Demo: Battery input

<http://www.animations.physics.unsw.edu.au/jw/LCresonance.html>



In the direction of the arrow, the current is the rate at which the capacitor is discharging

The voltage drop across the inductor (-1 times its emf) depends upon the rate at which the current changes and the inductance L.



break

用實測教導模型歸納與分析 —以訊號之反射實驗為例

林志民

中央研究院原子與分子科學研究所
國立臺灣大學化學系

如果小的時候只會考試，我怕

老了連試都考不好



相當多的研究是無法預知結果的，而是從現有的實驗結果，做分析與歸納，找出規律，進而建立物理模型，再而能預測類似實驗的結果或做出新穎的設計。

個人發現，學生普遍欠缺此類經驗。學生的物理模型，多由書本或教師告知而來；學生研究工作中的預測或設計，常由老師代勞。畢竟，此類工作極依賴經驗(但沒有人生下來就有經驗)，大部分的學生無法立即進行上述的研究流程。

為此，本人設計了一套題目，要求學生在一週內，由自己的實驗結果建立模型，並互相驗證，優者可試著做出新設計。**有趣的是，在此練習中，愈年輕的學生反應愈好。**

My Goal is

*To Simulate a Research Process
with Real Experiments.*

There is no substitution for experiments.

A Research Process:

To measure something new

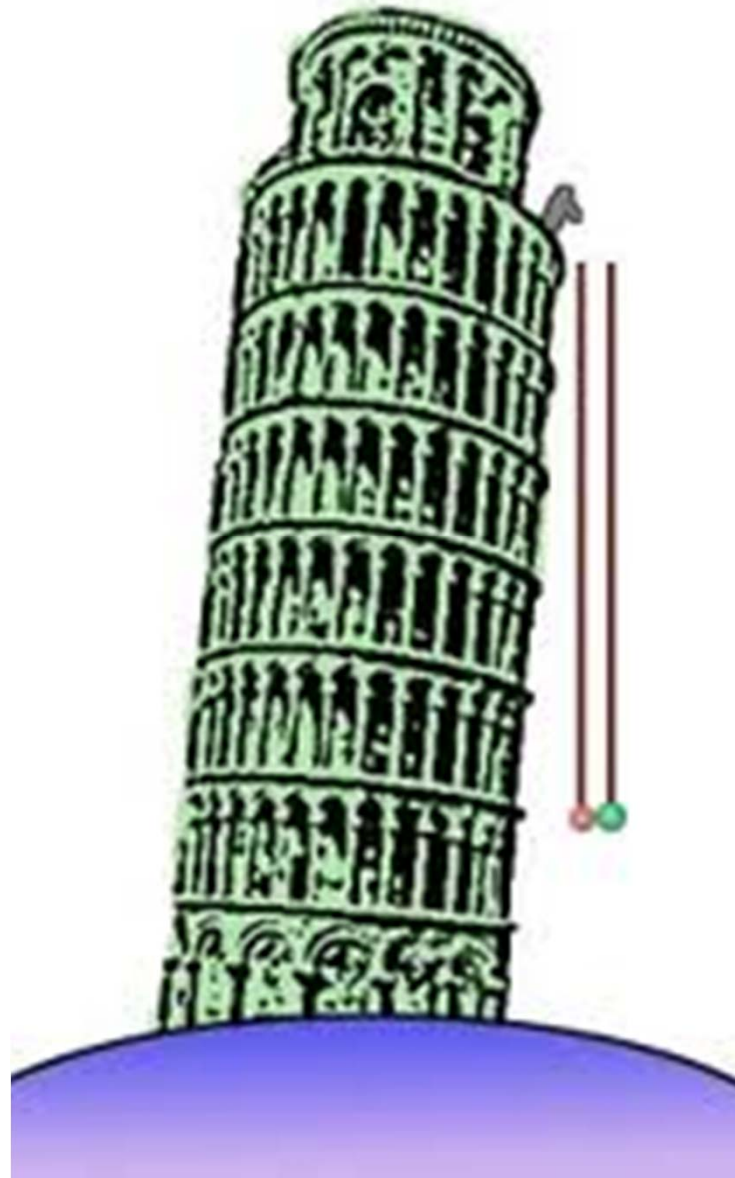
To describe and explain the measurements

(科學家 *or* 記者)

To build a model

To test the model by more experiments

To predict new things with the model



Why Simulation?

Faster < 1 week

Lower cost < 10,000 NTD

More exact < 10% error

Why 訊號之反射實驗？

When I was young, ...

It is not easy to find the answer on Web.

Difficult enough ...

yet EASY enough ...

It happens everyday.

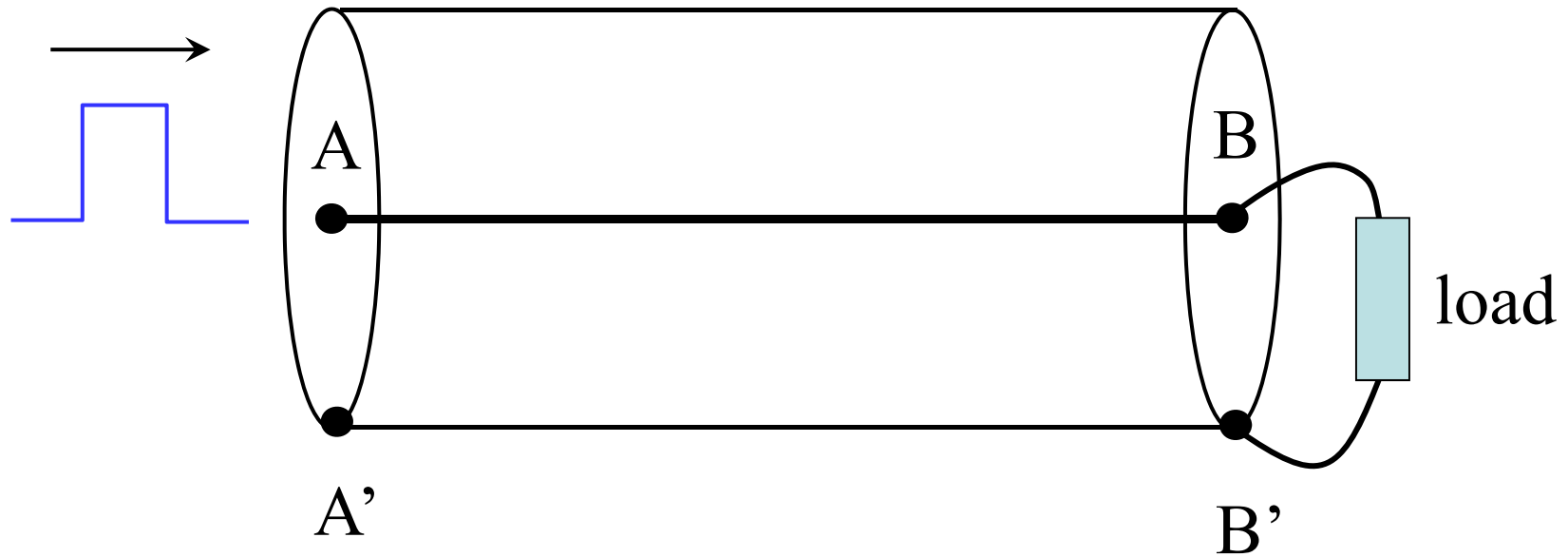
只給實驗目標、不給步驟

要求學生自行決定測量範圍

逐時檢查實驗操作與結果：

- 1) 避免錯得太遠 (小錯是好的)
- 2) 確定達到該有的精確度
- 3) 協助養成良好的實驗習慣

(Long) Coaxial Cable ($Z_0 = 50 \Omega$)

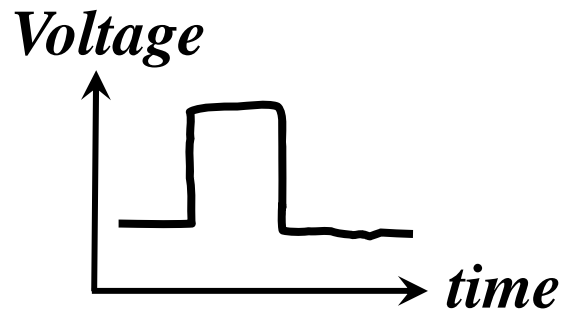
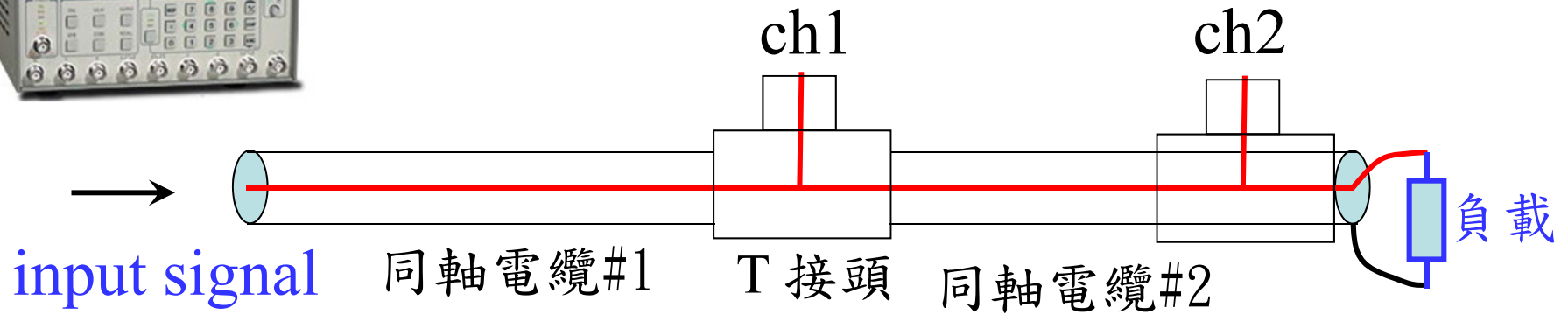


To Monitor: Waveforms at A/A' and B/B'

訊號產生器



示波器



Demo:

Helpful Tips (要先驗證或測量)

- (1) 電波之傳遞需要時間(速率=?)
- (2) 電波在電纜中傳遞，當還沒到達末端時，
電波本身會覺得電纜是無限長的
- (3) 電荷不會憑空消失(Where the charges go?)
- (4) 電阻的運作遵守歐姆定律， $\Delta V=IR$ ，
 ΔV 為電阻兩端之電壓差

共同目標=? 在玩中學科學

如何達到? 操作 思考 問問題

可增進學科學的效率



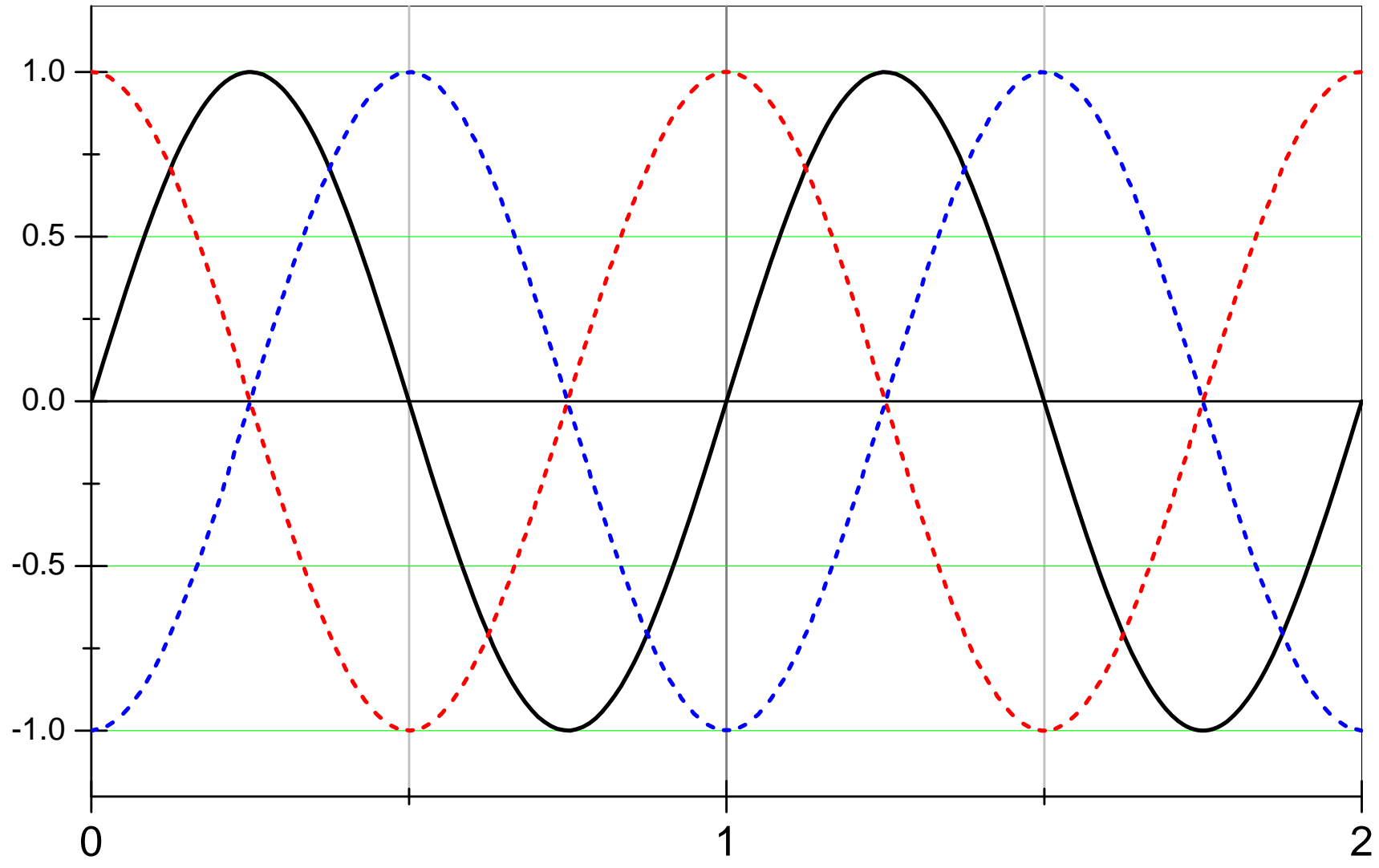
⊕ Complex Impedance is useful in analyzing L and C. See <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/electric/impcom.htm>

$V_m e^{j\omega t}$ 之實部

$$\begin{array}{l} V = V_m \cos \omega t \\ I = I_m \cos(\omega t - \phi) \end{array} \quad \begin{array}{l} \text{represent} \\ \text{by} \end{array} \quad \begin{array}{l} V = V_m e^{j\omega t} \\ I = I_m e^{j[\omega t - \phi]} \end{array}$$

Define impedance Z as

$$V = IZ \quad Z = V/I$$



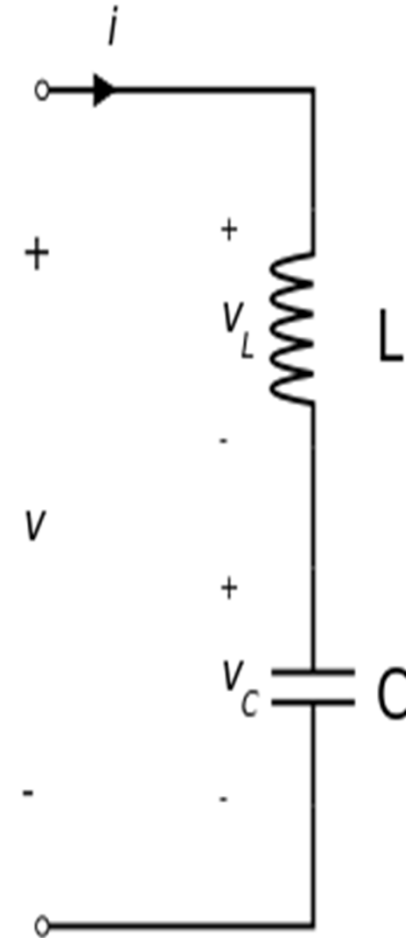
$$V = V_C + V_L = I (Z_C + Z_L)$$

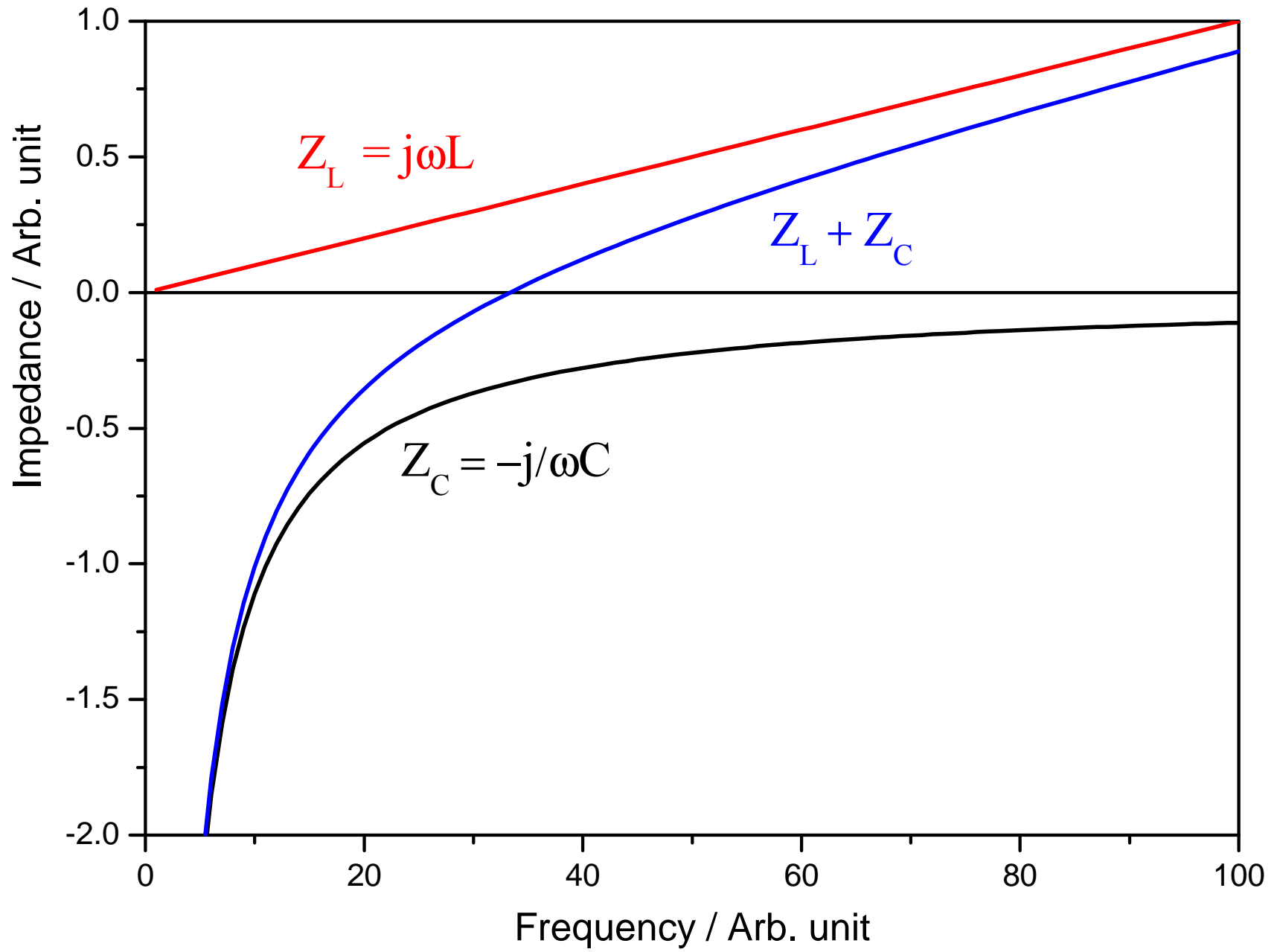
$$= I (1/j\omega C + j\omega L)$$

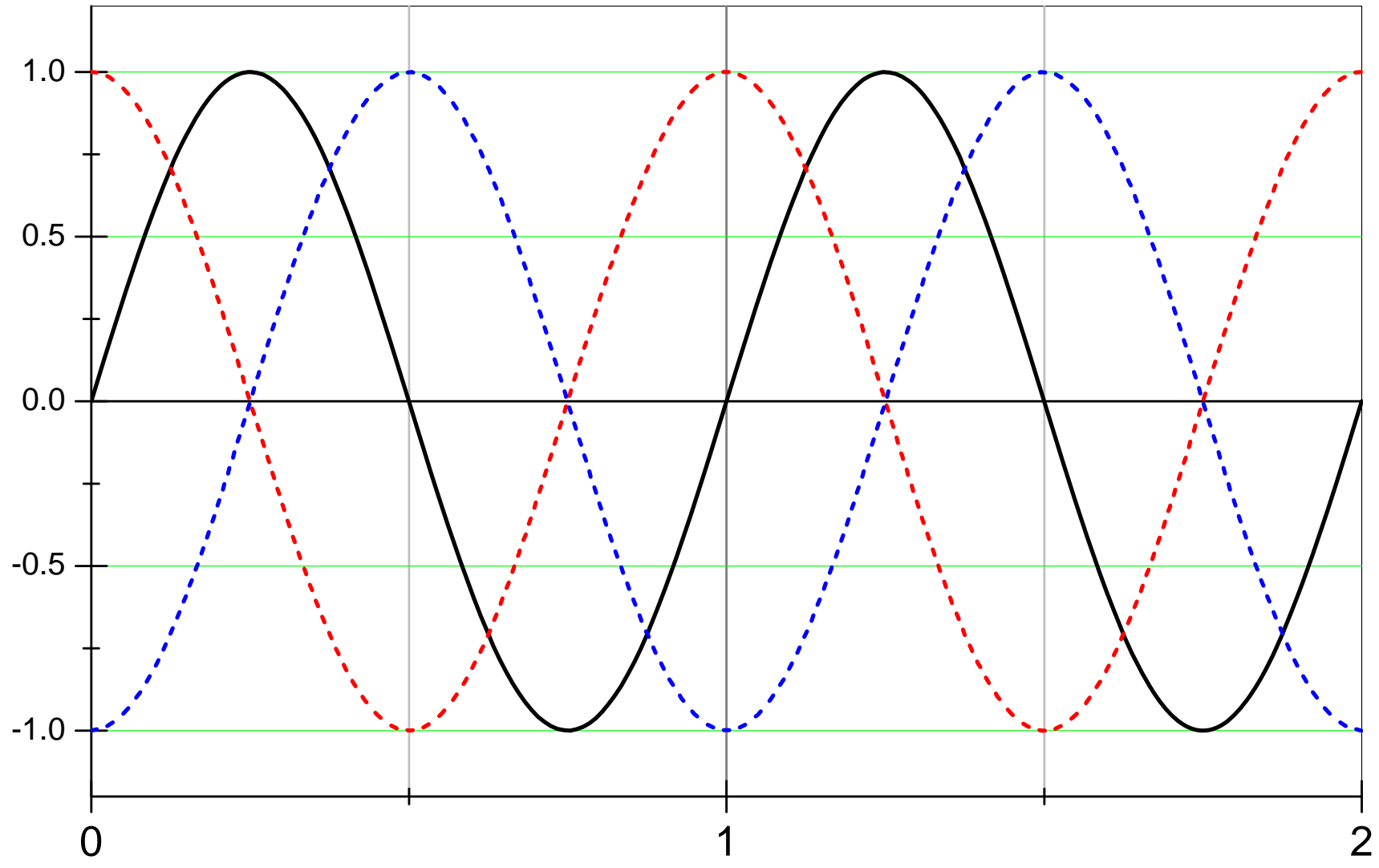
$$= I (j\omega L - j/\omega C) \quad j^2 = -1$$

Measure the amplitude of V , V_C and V_L

at resonance and **at off-resonance**?







報到、家長同意書：李佩蓉

午餐統計、回收指引：林佳叡

參觀電腦機房領隊：李敬焯

參觀玻璃工廠 1:10 林志民 1:40 陳應誠

液氮體驗：趙彤

參觀Lab解說： 大氣化學Lab:林志民、趙彤

冷原子Lab:

For example: (after a simple demo experiment)

Mission 1:

(1a) Measure the speed of an electric pulse propagating in a coaxial cable.

(1b) Measure the voltage reflection coefficient of a 50Ω coaxial cable which is terminated with: (i) resistive loads; (ii) capacitive loads; (iii) inductive loads.

You should choose a suitable range of resistors, capacitors and inductors and a suitable frequency range (pulse width) to make the measurements **meaningful**.

(1c) Make a R+C load that matches a 50Ω coaxial cable for fast pulses (width ≤ 100 ns) but has almost zero current for dc voltage (≥ 1 us).

Also check pulses of very large widths.

(1d) Make a short pulse generator, of which the pulse width is controlled by the cable length. A fast high voltage switch is provided. [Do (1d) after all other training missions].