

## 實驗(一)：儀器介紹與基本操作

### 前言

本實驗的目的是介紹電子電路實驗中最常用的四種儀器：示波器(Oscilloscope, OSC)、函數波形產生器(Function Generator, FG)、直流電源供應器(DC Power Supplier)、多功能電錶(Multimeter)；分別說明其工作原理、功能特性、操作要領、與使用時的注意事項。



電子電路實驗每組之基本儀器配備

### 基本原理

#### 一、示波器的工作原理與操作

示波器是用於“觀察”與“量測”電子信號的基本儀器，相當於人類用來“看見”電子訊號的眼睛；了解並熟悉示波器的工作原理與正確使用方法，才能成功地捕捉到想要觀察的電子信號，進而加以定量地量測。

## 1.1 示波器的工作原理

### 類比式示波器與數位式示波器

示波器可以分成兩大類；早期的示波器都是類比式示波器(Analog Oscilloscope)，其主體構造是一個類似電視機的陰極射線管(Cathode-Ray Tube, CRT)，因此體積較大；之後由於數位電子與數位技術的進步，因此有數位式示波器(Digital Oscilloscope)的產生。數位式示波器具有許多優點與功能，例如波形與資料之儲存、延遲觸發、波形平均、與數學計算等等，因此類比式的示波器逐漸被淘汰；同時由於液晶顯示器的普及，數位式示波器在放棄傳統的陰極射線管而採用液晶顯示器後，體積變得更小，攜帶與使用均更加方便。

類比式示波器與數位式示波器的構造雖然不同，但是示波器的基本工作原理是相同的，因此以下的介紹將由類比式示波器開始。

### 水平(時間)與垂直(電壓)控制

類比式示波器的構造如圖 1-1 所示。其中，類似電視機的陰極射線管(CRT)可以產生一電子束，電子束打到塗有螢光劑的螢幕上，會產生一個亮的光點。假設此時在水平軸(x-軸)的電極板上加上一電壓，可以使電子束在水平方向偏折(deflection)，因此使光點產生水平方向的位移，經過設計可以使位移量與電壓成線性正比；如果 x-軸電極板上加的電壓為一隨時間改變的鋸齒形電壓，則光點會由左向右等速移動，然後快速回到最左邊的原點；如此週而復始，形成週期性的水平方向掃描(horizontal scanning or x-scanning)。此時，如果待測的電壓信號經過一放大器放大後，加載於 y-軸的電極板上，則會使陰極射線管產生的電子束發生垂直方向(y-軸)的偏折，使光點在螢幕上產生垂直方向的移動；同時，光點的垂直偏折量與輸入電壓信號的大小成正比。如果將光點的水平方向(時間)與垂直方向(電壓)的運動結合起來，則螢幕上顯示的變化波形即可對應到待測的時變電壓信號(time-varying voltage signal)，此為示波器的基本原理。如果光點的運動速度夠快，且軌跡(trajjectory)相同而且重複，則人體眼睛的視覺暫存現象會使光點的掃描看成是一條連續曲線，示波器螢幕上即會顯示一條似乎是固定不動的信號曲線，但實際上是不斷更新的曲線。一般而言，類比式示波器量測的信號多是屬於週期性(periodic)而且穩定的重複信號。

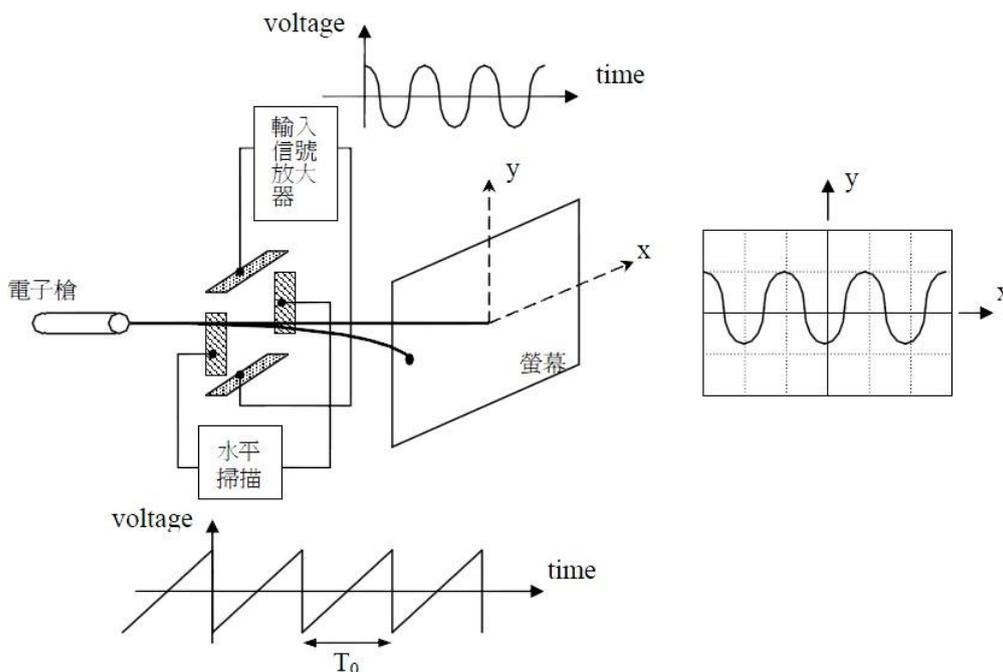


圖 1-1,示波器的基本構造與工作原理

由上述的工作原理可知：如果要正確地顯示輸入信號於示波器螢幕上，水平掃描鋸齒波的週期( $T_0$ )必須適當的選擇與調整，並且必須配合輸入信號的時間週期，才能夠在螢幕的寬度上產生一到數個週期的信號；因此示波器內部必定有一個調控水平掃描週期( $T_0$ )的機制，以定義示波器螢幕寬度所代表的時間長度。相同的，待測之電壓信號需要經過一個放大器，才能展現垂直軸方向的變化，放大器的放大倍率必須適當的選擇與調整，使信號可以完全展現於螢幕上；因此示波器內部必定有一個可以調控垂直放大倍率的機制，以定義示波器螢幕高度所代表的電壓大小。

可以想見，如果使用者沒有根據待測之電子信號的時間週期與電壓大小，設定適當的水平掃描週期(亦即示波器螢幕水平方向的時間長度)或垂直電壓放大倍率(亦即示波器螢幕垂直高度的電壓範圍)，所得到之圖形有可能非常混亂或不具代表性。

## 示波器的觸發

即使示波器內部的水平掃描時間與垂直放大倍率均已妥善設定，仍然存在一個重要的問題有待解決：“觸發”(trigger)的問題。因為水平掃描信號是由示波器內部送出，一般而言，並不會與待測電壓信號“同步”(synchronized)，因此即使待測信號是週期性的穩定信號，但是由於每次經由示波器“隨機”擷取一個段落後展示於螢幕上的信號片段，可能是輸入信號中任何位置上的一個片段；當許多這樣的片段重疊於螢幕之後，螢幕上看到的仍是一團紊亂變動的信號曲線。

解決此一問題的方法在於“觸發”。“觸發”的意思是在某一特定的時間點上讓示波器開始水平掃描(對類比式示波器而言)或開始取樣(sampling，對數位式示波器而言)，示波器決定觸發與否，是要看“觸發信號”(trigger signal)是否滿足“觸發條件”(trigger conditions)而定；如果滿足才會開始水平掃描或開始取樣，稱之為一個“觸發事件”(trigger event)發生。由於一般示波器可以同時量測多個輸入電壓信號，因此示波器使用者必須指定其中一個輸入信號當作觸發信號源(trigger source)，通常是由示波器的輸入信號(二個或四個 channels)中選擇一個輸入信號同時兼任觸發信號；或者是另外有一個獨立於輸入信號之外的外部觸發信號(external trigger signal)，在此情況下示波器將會有一個獨立的外部觸發信號的 BNC 輸入端。有了觸發信號後可以開始設定觸發條件，一般是二個觸發條件：觸發電壓水準(trigger level，+或-的 DC 電壓值)與觸發斜率(slope，上升或下降)，當觸發信號同時滿足二個觸發條件，示波器開始水平掃描或開始取樣，掃描或取樣完成後，示波器會回到“待命”(armed)的狀態，並開始監測觸發信號是否滿足觸發條件，也就是等待下一個合格的觸發事件。利用此一觸發機制，可以將待測信號“固定地”展現於示波器的螢幕上，如圖 1-2 所示。

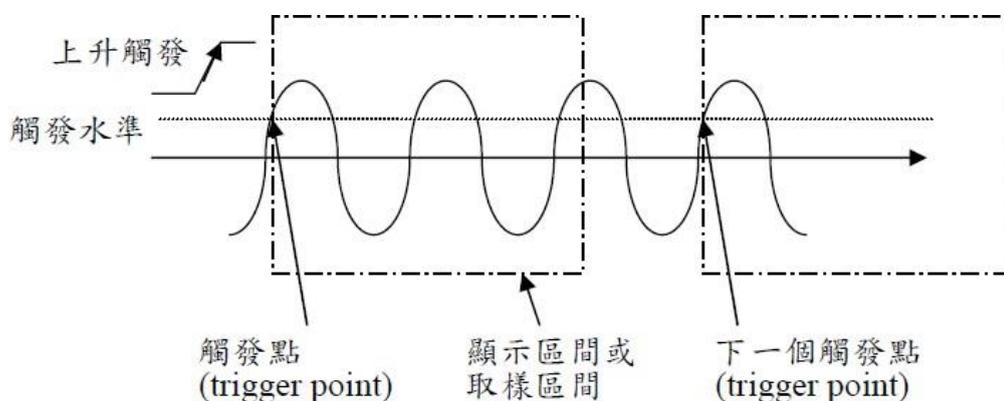


圖 1-2, 示波器的觸發

### 三種觸發模式：Auto(自動)、Normal(一般或正常)、SingleShot (單擊)

如前所述，示波器必須先完成“觸發”(觸發信號滿足觸發條件)後才會進行波形擷取；同時，如果待測信號是週期且穩定的，則可於示波器螢幕上得到穩定之信號波形(signal waveform)。但是，如果觸發信號或觸發條件的設定不正確，而無法觸發時，示波器螢幕即成為空白或鎖死，此時有些使用者可能並不會知覺有觸發之問題；另外，如果信號波形不是週期或穩定的，則示波器螢幕會出現紊亂跳動的波形，此時應如何觀察這些信號呢？

為解決這些問題，一般示波器都會提供三種觸發模式，供使用者選用；Auto(自動)、Normal(一般或正常)、Single Shot(單擊)。其中，Normal(一般或正常)的觸發模式即是如前所述，一定要在觸發信號滿足觸發條件的前提下，示波器才會進行波形擷取的動作。

Auto(自動)的觸發模式則是：示波器仍然會檢查觸發信號是否滿足觸發條件，如果是，則進行波形擷取；但是，如果在等待一定的時間(此一時間大小由示波器內部設定)之後，觸發信號均不能滿足觸發條件，則示波器會“自動”觸發，並開始擷取信號波形。因此，在 Auto(自動)觸發模式下，示波器螢幕一定會有信號波形出現，但是很有可能這些信號波形是由示波器“自動”觸發的，因此並不同步，也就不能形成重複而穩定之波形；但是，在 Auto(自動)觸發模式下，使用者可以看見信號，並進而調整適當的觸發條件，使得波形可以穩定觸發；這是 Auto(自動)觸發模式最大的目的。

在 Auto 或 Normal 之觸發模式下，示波器螢幕上的波形是不斷更新的，如果想要鎖定最新的一次信號，不讓示波器進行新的波形擷取，則必須使用 SingleShot(單擊)觸發模式；在此模式下，示波器會檢查觸發事件(trigger event，亦即觸發信號是否滿足了觸發條件)，當發生觸發事件時，即立即進行單一次的信號波形擷取，並將所擷取的波形顯示於示波器螢幕上，然後停止擷取動作，等待示波器使用者的下一步動作。

### 三種電壓耦合(Coupling)模式：DC(直流)、AC(交流)、GND(接地)

示波器是用於量測輸入信號的電壓，電壓信號具有 DC 與 AC 的二種成份，如圖所示；當輸入信號接入示波器的 BNC 接頭，示波器可以選擇對此電壓信號進行三種電壓耦合模式：DC(直流)、AC(交流)、GND(接地)。首先，在 GND(接地)耦合模式下，示波器的信號端自行接地，成為短路，因此量測到的信號一直為 0，螢幕顯示之波形為一水平直線，且其高度即為 0 電壓準位的位置；如你所猜測的，GND(接地)耦合的用途在於找出示波器之 0 電壓準位的位置。

在 DC(直流)耦合模式下，輸入信號的電壓值會為完整地顯示於示波器的螢幕，並對應於其 0 電壓準位的參考位置。但是，當信號之 DC 成份遠大於 AC 成份時，波形很可能會溢出螢幕之外，此時，雖然可以調整垂直電壓的解析度(scale)，或 0 電壓參考準位的位置，但是 AC 成份的解析度會因此而變得很差。因此，示波器提供另一種 AC(交流)的耦合模式，當使用者選用此一 AC(交流)耦合模式時，示波器會“濾除掉”輸入信號的 DC 成份，因此僅僅留下並顯示輸入信號的 AC 成份。在許多電子電路實驗中，只有 AC 電壓信號是重要的，此時，為了看清楚 AC 電壓信號，可以啟動 AC(交流)耦合模式，以去除 DC 電壓成份。

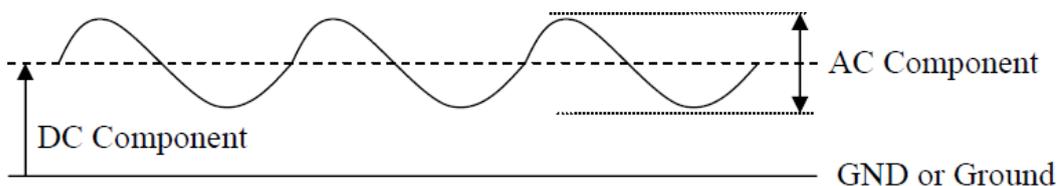


圖 1-3, 電壓信號的 DC 成份與 AC 成份

## 1.2 數位示波器的工作原理與操作

如 1.1 節所述，數位示波器與類比示波器的基本概念是相同的，但是構造與功能是大不相同的。類比示波器最大的問題是只能做簡單的基本量測(時間、周期/頻率、電壓大小)且信號無法儲存，頂多是用相機將螢幕上的波形翻拍成相片，但是無法將所量測到的信號波形(signal waveform)以數位的方式紀錄下來，因此也無法做進一步的信號分析與處理。但是對數位示波器而言，這些問題可以迎刃而解，因為數位示波器的構造與工作原理是先將待測電壓信號“取樣”，也就是利用一個類比數位轉換器(ADC, Analog-to-Digital Converter)，將輸入的類比電壓信號以某一個取樣頻率(sampling frequency)，轉換成數位信號，再儲存於示波器的記憶體中，同時將信號波形顯示於陰極射線管(或是液晶顯示器)的螢幕上。

由以上敘述可知，數位示波器除了仍然保持與傳統類比示波器同樣的基本功能：水平掃描速度控制(事實上是取樣速度與顯示速度)、垂直放大控制、與觸發功能外，另外還多了一些重要的規格與功能。

本實驗室所使用的數位示波器為太克公司(Tektronix, U.S.A.)出產的 TDS 系列的 TDS2002C(或 TDS1002B)數位示波器，以下將整理此一機型之數位示波器的重要特點，並分別說明其意義與對操作使用上的影響。

### 1. 取樣頻率( $f_s$ , sampling frequency, 或取樣速度) 與最大取樣頻率

取樣頻率是指數位示波器的 ADC 將類比電壓信號轉換成數位信號時的工作頻率。根據數位信號處理中的取樣定律(Sampling Theory)，假設待量測的類比信號的頻寬上限或截止頻率是  $f_o$  (也就是說，如果對此信號做傅立葉分析以求得此信號的頻譜，則在頻率  $f_o$  以上的頻譜分量是零或微小可忽略的)，則取樣頻率應該要大於頻寬上限  $f_o$  的二倍( $f_s > 2f_o$ ,  $2f_o$  又稱之為 Nyquist Frequency)，才可以避免造成信號的混疊(Aliasing)。因此在操作上，應該先使用較高的取樣頻率，再逐漸下降。

每一種機型的數位示波器都有一個最大的取樣頻率，又稱之為示波器的數位頻寬(Digital Bandwidth)，例如 Tektronix TDS2002C(或 TDS1002B)的最大取樣頻率為 1 GHz (或 1 GS/s)，表示取樣時點與點之間最密可以達到 1 ns 的時間間隔。另外，所有的電子儀表都有所謂的頻寬(Bandwidth)，或稱類比頻寬(Analog Bandwidth)，用以表示此一電子儀器可以正確工作的頻率範圍；以量測儀器而言(例如示波器)，通常會標示其-3dB 的頻寬，例如 Tektronix TDS2002C(或 TDS1002B)數位示波器的頻寬(或-3dB 頻寬)是 70 MHz，因此對遠低於 70 MHz 的信號成份(signal component)可以正確量測其電壓值，但是當信號頻率增高時，電子電路模組的量測誤差亦隨之增加，在 70 MHz 時，TDS2002C(或 TDS1002B)量測值約為實際正確值的 70% ( $1/\sqrt{2} \approx 0.707$ ) 而已，頻率更高時誤差更大。

### 2. 取樣點數 (sampling data point) 與最大取樣點數

取樣點數是指示波器每次擷取信號時所使用到的取樣數目，一台示波器在擷取波形時，每一個波形或每一筆訊號的取樣總點數是可以調整設定的，其最大允許的取樣點數則由其 ADC 的暫存器記憶體的大小決定，有些機型的數位示波器可以加裝記憶體，以增加最大取樣點數。

由於數位示波器在完成一次信號擷取時的取樣點數是有限的，因此取樣頻率和取樣點數共同決定了一次信號擷取的時間長短；例如以 1 MHz 的取樣頻率，每次擷取 1024 (1k) 點，則每一筆信號的總時間長度是 1.024ms，而點與點之間的時間間隔是 1  $\mu$ s。如果以 10 MHz

的取樣頻率，每次擷取 5120(5k) 點，則每一筆信號的總時間長度是 0.512ms，雖然點與點之間變密了(0.1 $\mu$ s)，但是信號的總時間長度則變小了，因此使用數位示波器時必須在“看的清楚”(時間的解析度)與“看的完整”(總時間長度夠不夠長)之間做取捨。

以上討論是針對一般的數位示波器，TektronixTDS2002C(或 TDS1002B)的取樣點數為固定的 2500 點，因此沒有設定取樣點數的問題存在。

### 3. 前置觸發 (pre-trigger) 與延遲觸發 (delay trigger or post-trigger) 的功能

數位示波器的觸發與類比示波器相同，由“觸發信號”與“觸發條件”控制，但是數位示波器具有一項獨特的功能：前置觸發與延遲觸發。如圖 1-4 所示，啟動“觸發信號”與“觸發條件”時，取樣區間的起始點是以觸發信號為時間的參考點，再前置若幹的時間量 (pre-trigger) 或延遲若幹的時間量 (delay-trigger 或 post-trigger)。

前置觸發與延遲觸發有許多應用上的便利性與實際需要，其中之一是容許示波器的使用者由同一個時間參考點“往前”或“往後”觀察信號，彌補取樣總時間長度不足的問題。

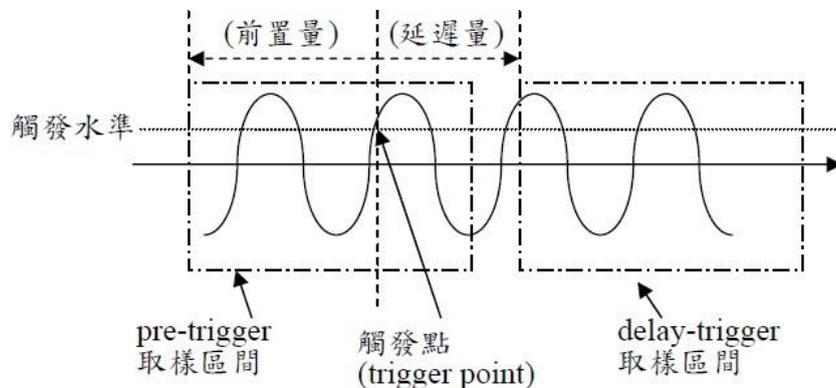


圖 1-4, 數位示波器的前置觸發(pre-trigger)與延遲觸發(delay trigger)

### 4. 垂直解析度(vertical resolution)

一般電子裝置的類比/數位轉換器(ADC)在將類比信號轉成數位信號時，有一定的垂直解析度，常見的有 8-bit、10-bit、12-bit、16-bit，絕大部分的數位示波器是使用 8-bit (包括 TDS2002C(或 TDS1002B)，因此假設示波器的垂直放大設定為-1V~+1V，則示波器會將此 2V 的區間分割成 256 ( $=2^8$ ) 格，因此每一格約為 8 mV，此為垂直解析度。電壓值是以整數 0~255 的方式儲存，因此有量子化誤差(Quantization Error) 存在，這在螢幕上可能不容易觀察到，但是在將波形資料由電腦取出並繪圖時，便可觀察到。避免量子化誤差的方法是審慎地使用示波器的垂直放大設定，儘量使信號波形充滿整個示波器的螢幕上下邊界，以充分利用 8-bit 的垂直解析度。另一種減低量子化誤差的方法是使用示波器的波形重複平均功能。

### 5. 重複平均(Average) 的功能

數位示波器的另一項特殊功能為重複平均(Average)，也就是連續取樣 N 次的信號波形，並且將 N 次平均後的結果顯示於螢幕之上；如此一來，可以大幅度消除雜訊，得到較清晰的波形；當然，前提是信號為週期性重複之信號，而且已經由觸發的方式“固定”於示波器螢幕之上。

重複平均的功能可以“部分地”解決量子化誤差(Quantization Error) 或垂直解析度的問題。

舉例而言，假設採用 8 次平均(N=8)，某一取樣時間點上有 2 次取得 126 的值，另外有 6 次取得 127 的值(這是因為有雜訊或信號不穩定)，則示波器會以接近 126.75 的方式紀錄這個取樣點的取樣值；以 Tektronix TDS2002C(或 TDS1002B)為例，在啟動重複平均功能後，紀錄平均值的記憶體是 11-bit (取樣仍是 8-bit)，也就是在每一格之間(例如 126~127 之間)再細分 8 小格，因此平均後的取樣值為 126 又 3/4 大格或 126 大格+6 小格；如此一來，資料點的數值雖然仍然是離散的(discrete)，但是離散點之間的間隔較小，因此信號波形會較為平滑。

使用重複平均功能時需注意的是：平均需要較長的時間，同時示波器是採用先進先出(first in first out)的工作模式，也就是使用最近取樣的 N 次信號進行平均，並顯示於螢幕，因此當輸入信號已經改變時，示波器需要一段較長的時間才能反應這樣的變化(N 愈大，所需時間愈長)。解決此問題的方法是撥弄垂直放大鈕或水平時間控制鈕，這會使示波器的平均動作重新開始，因此可以較快地反應波形變化。原則上，當需要觀察信號會隨時間快速變化時，不要啟動平均功能；如果一定要，可以使用較小的 N 值。TDS2002C(或 TDS1002B)可使用的 N 值有 4、16、64、128 等四種。

## 6. 量測 (measurement) 與游標 (cursor) 的功能

對數位示波器而言，量測是非常容易的，包括水平(時間)與垂直(電壓)的量測，因為所有的波形訊號均以數位的資料型式，儲存於記憶體之中，因此示波器可以在內部進行各種計算，再將結果顯示於螢幕。量測的方式有自動量測與游標量測二種。在自動量測時，TDS2002C(或 TDS1002B)需先設定要自動量測那一個 channel (Ch1 or Ch2)，然後對此一 channel 的信號進行取樣，並對取樣後的數位波形資料進行以下五種量測：頻率、週期、平均值、峰間值(最大與最小值的差)、週期均方根值(rms, root-mean-square)，並立即將結果顯示於示波器螢幕。

游標量測則是一種人工的量測，量測時使用二個游標(Cursor)，由面板上的旋鈕控制其位置。游標可以是一對可移動的水平線(量電壓)，或是一對可移動的垂直線(量時間)，二個游標的絕對位置與相對位置的數值可以顯示於螢幕，因此達到量測的目的。

## 7. 視窗(Zoom in and Zoom Out)功能

示波器螢幕上水平方向一共分成 10 格，一次取樣波形的 2500 點資料即呈現於螢幕水平方向的 10 格內，每一水平格的時間稱之為“時基”(Time Base)或“主要時基”(Main Time Base)，TDS2002C(或 TDS1002B)的時基(Time Base)可由最小(取樣最快)之 5 ns/div，以 1、2.5、5 的方式，一直可調整到最大(取樣最慢)之時基 5 s/div。而時基的設定也決定取樣頻率，例如時基(Time Base)選用 5  $\mu$ s/div，因為全部取樣 2500 點，因此一水平格內取 250 點；而一水平格的時間(也就是時基，Time Base)是 5  $\mu$ s，因此 1  $\mu$ s 取樣 50 點，取樣頻率是 50 MHz，或說 50 MS/s (Mega samples per second)。由於 TDS2002C(或 TDS1002B)的最大取樣頻率為 1GHz，因此當時基設定小於 250 ns/div 時，會出現取樣頻率不夠快的問題，此時 TDS2002C(或 TDS1002B)仍會工作，但是取樣點會不足 2500 點。

有時示波器使用者想要觀察波形的細節，因此不需要將全部的 2500 點資料完全呈現於螢幕，此時可以使用視窗(Zoom)的功能，有點類似光學中的“局部放大”。啟動視窗功能會將部分的波形資料(例如 500 點)展開在整個螢幕上，達到“局部放大”的效果，此時每一水平格的時間稱之為“視窗時基”(Window Time Base)，以有別於“主要時基”(Main Time Base)；可想而知，“視窗時基”一定小於(或快於)“主要時基”。

至於視窗內的局部資料(例如 500 點)是在整體資料(2500 點)中的那一個位置，則由水

平位置來控制。另一種方法是使用一對垂直線的 Cursor 來標定所要“細看”的時間區域，再啟動視窗功能，示波器即會將 Cursor 標定的區域，“放大”到整個螢幕。

#### 8. 數學運算 (mathematic operation) 與波形記憶 (waveform memory) 的功能

數學運算是將 Ch1 與 Ch2 二個輸入的波形進行一些簡單的計算，例如將 Ch1-Ch2 的結果顯示於螢幕上；或將先前得到的信號波形存在記憶體中，然後再叫出來顯示於螢幕上，當然，記憶的波形在螢幕上是“死的”，不像 Ch1 或 Ch2 的活(live)信號；“活的”信號會不斷隨時間更新變動，記憶的波形則不會。

#### 9. 輸出裝置與電腦連線介面

數位示波器最大的優點是量測到的信號波形可以輸出，常用的方式有：(a).示波器內建軟碟機，(b).RS-232 連線，(c).GPIB 介面(又稱 IEEE-488 介面)，(d).USB 介面。軟碟機的速度較慢，且不夠自動化。RS232 是電腦的標準配備，又稱為串列埠(Serial Port)，因此使用上較簡單，傳輸速度中等。GPIB 介面是 General Purpose Interface Bus 的縮寫，早期由 HP 公司發展出來，專門做機器-機器或機器-電腦的連線與資料傳輸，因此 HP 公司(現在的安捷倫-Agilent-公司) 仍然以 GPIB 的名稱稱呼 GPIB 介面；之後由“電機暨電子工程師學會”(The Institute of Electrical and Electronics Engineers, IEEE) 採用並制定為介面傳輸的標準(Standard or Protocol)，編號 488，因此又稱 IEEE-488 介面(最新的版本為 IEEE-488.2)。

使用 GPIB 介面，示波器本身需裝有符合 GPIB 介面規範的電子硬體與連接器 (Connector)，同時電腦上則要加裝一塊 GPIB 介面卡(ISA 或 PCI 插槽)，二者再以 GPIB 專用的電纜線(GPIB Cable) 連接。一塊 GPIB 介面卡可以同時接 16 部儀器(但是電纜線的總長度有一定的限制)，一台電腦可以有二塊 GPIB 介面卡，因此功能非常強大，而且因為 GPIB 傳輸是以平行(parallel)的方式進行，因此速度非常快。

實驗室中的 TDS2002C(或 TDS1002B)沒有軟碟機，但裝有 USB 的硬體選項，因此可與電腦連線，進行電腦與示波器之間的指令傳輸與資料傳輸，連線的軟體為 OpenChoice，此軟體由 Tektronix 公司提供，專門提供 TDS 系列之數位示波器，經由 RS232、GPIB 或 USB 介面與電腦連線。

#### 10. BNC 同軸電纜(Coaxial Cable)與探棒(Probe)的使用



BNC 同軸電纜

示波器的輸入端為一個 BNC 接頭(BNC Connector)，用於連接 BNC 同軸電纜；同軸電纜(Coaxial Cable) 的結構，由內而外，一共有四層，分別是心導體(Central or Core Conductor)、介電層(Dielectric Layer)、外導體(Outer Conductor)、與塑膠外皮。心導體與外導體構成了信號的傳輸線(Transmission Line)，外導體通常是編織網狀的金屬結構，而且是接地的(Ground)，因此電位是 0；接地的外導體可以形成電磁遮蔽(Shielding)，以保護在心導體上傳輸的電壓

信號不受外界的電磁干擾(EMI, Electro-Magnetic Interference, 電視機、收音機、手機等等)。同軸電纜依使用之頻率範圍有許多種類, BNC 是屬於較低頻但是很常用的一種, 使用頻率範圍由 DC 到幾百 MHz, 因此涵蓋大部分的電子電路應用。

BNC 同軸電纜使用 BNC 連接器, 同軸連接器的種類也很多, 由一般常用的 BNC Connector, 到高頻的 UHF Connector、SMA Connector、與 N-type Connector, 同時有公 (male)、母 (female) 之分。BNC 同軸電纜較常用於一般低於 100 MHz 的電子信號傳輸。

在電子電路實驗上, 直接使用 BNC 同軸電纜有時會很不方便, 尤其是連接到電路板或電子零件時; 因此大部分的示波器都搭配有探棒 (Probe)。探棒的一端是 BNC 同軸電纜與 BNC 接頭, 可連接到示波器的 BNC 信號輸入端; 另一端則是探針與鱷魚夾, 因此可以較容易的探測或接觸到某二點之間的電壓信號; 探棒的探針是接到同軸電纜的心導體, 鱷魚夾則是接到同軸電纜的外導體; 因此待測二端點之間的電壓信號即可經由同軸電纜傳送到示波器。



Tektronix--P2100--被動式探棒



Tektronix—TPP0101--被動式探棒

探棒 (Probe) 的種類很多, 實驗室中與 TDS2002C (或 TDS1002B) 示波器搭配的探棒是 Tektronix 的 P2100 與 TPP0101 被動式探棒 (Passive Probe, 因此一定還有一種“主動式”探棒--Active Probe), P2100 被動式探棒具有 1X 與 10X 二種衰減 (Attenuation) 設定, 由探棒上的選鈕控制。選擇 1X 衰減, 意味探棒量測到的電壓會完全進入示波器, 因此是沒有衰減; 選擇 10X 衰減, 則探棒會將量測到的電壓除以 10 (10X) 後再送入示波器。

在實驗中使用 P2100 被動式探棒, 除非信號非常微弱, 否則應該儘量使用 10X 衰減, 原因如下;

- a. P2100 探棒在 1X 衰減時, 頻寬會被限制在 DC ~ 7MHz, 而 TDS2002C (或 TDS1002B) 的類比頻寬是 70 MHz, 造成探棒限制住整個量測系統 (示波器+探棒) 的頻寬。而 P2100 探棒在 10X 衰減時, 頻寬變成 DC ~ 100 MHz, 因此可以充分應用到 TDS2002C (或 TDS1002B) 的全部頻寬範圍。
- b. P2100 探棒在 1X 衰減時, 量測系統 (示波器+探棒) 的輸入阻抗是 1 M $\Omega$ , 與 TDS2002C (或 TDS1002B) 本身的輸入阻抗相同; 但是探棒在 10X 衰減時, 量測系統 (示波器+探棒) 的輸入阻抗會變成 10 M $\Omega$ 。在量測時, 量測系統的輸入阻抗愈大, 其所吸引的電流就愈小, 因此對待測電路的負載影響 (Loading Effect) 就愈小。因此我們需要大的輸入阻抗。

使用 TDS2002C (或 TDS1002B) 與 P2100 探棒時, 一定記得要在示波器的垂直控制區中, 設定正確的探棒衰減, TDS2002C (或 TDS1002B) 容許選擇 1X、10X、100X、1000X 四種探棒衰減設定, 這樣 TDS2002C (或 TDS1002B) 才會知道信號是否經過某一定值的衰減, 並且

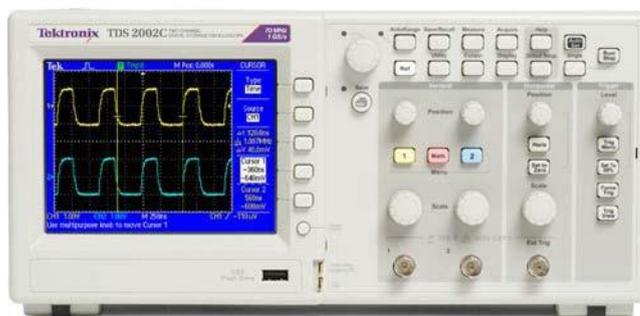
會自動補正其衰減量，使示波器量測到或呈現出來的信號大小，仍然與探棒前端量測到的信號大小一致；如未正確設定探棒衰減，會造成非常大的誤差。有些較高階的示波器與探棒具有自動辨識的功能，其 BNC 接頭上有額外的信號端，會“告知”示波器探棒的衰減量，因此使用者不需要擔心探棒的衰減設定。

## 11. 其它

- (1) 自動設定鍵(AUTOSET)：這是初學者的“救命金丹”，按下此鍵，示波器會自行檢查 Ch1 與 Ch2 的輸入信號，並且自行設定“它”所認定的最佳設定條件，包括水平時間設定、垂直電壓設定、觸發設定等等多項參數，因此可以節省一些摸索的時間。但是記住：機器不可能比人聰明，因此不要過度仰賴 AUTOSET 鍵；經常按 AUTOSET 鍵，會讓別人知道你對示波器不熟悉。
- (2) 設定儲存功能：示波器開機時或自動載入一些設定值，稱之為內定值(Default)，使用後如果想保留當時的設定值，可以儲存設定，以後再次使用時可以呼叫出這些設定。
- (3) 另有許多功能，可自行參可中、英文手冊。

## 1.3 數位示波器的重要規格及其意義

本實驗室所使用的數位示波器為太克公司 (Tektronix, U.S.A.) 出產的 TDS 系列的 TDS2002C(或 TDS1002B)數位示波器，以下將整理此一系列數位示波器的重要規格，並分別說明其意義與對操作使用上的影響。



Tektronix --TDS2002C(或 TDS1002B)--數位示波器

重要規格		
1. 典型的擷取率	180 波形/Sec	
2. 輸入阻抗(未接探棒)	1 M $\Omega$ with 20 pF	
3. 最高電壓	300V <sub>RMS</sub>	
4. 類比頻寬	70 MHz	
5. 數位頻寬	50 S/sec to 1 GS/s (1GHz)	
6. 垂直解析度	8 bits	
7. 取樣點數	固定 2500 點	
8. 平均取樣	4、16、64、128	

## 二、函數波形產生器(Function Generator)



RIGOL 公司—DG1022 型--函數波形產生器

函數波形產生器可以視為是一個交流電壓源，可以產生各種不同型式、大小、與頻率的週期性電壓信號，一般常用的信號形式有正弦波(sinusoidal wave)、三角波(triangular wave)、鋸齒波(saw tooth wave)、脈衝波或方波(pulse or square wave)等等波形，電壓信號的大小可以由數個 mV 到 10V 左右，電壓信號的頻率範圍可以從 1 $\mu$ Hz 到 20MHz 左右。

除了上述的基本功能外，一般的函數波形產生器還可以選擇 DC Offset，也就是輸出的交流(AC)電壓信號是凌駕於一個 DC 值上。

本電子電路實驗室所使用的函數波形產生器除了有二個可獨立控制開關的電壓信號輸出(Signal Out)的 BNC 接頭外，另外還會有一個同步輸出(Synchronized Output)的 BNC 接頭(位於函數波形產生器後方，由面板按鈕 Utility→SyncOn/SyncOff 控制同步輸出開關)，負責輸出一個 0~5V 的同步脈衝波(或方波)信號，之所以稱之為“同步”，是因為此一脈衝波在時間上是與輸出信號(可能是正弦波、三角波、鋸齒波、或脈衝波)同步的，舉例而言，同步輸出之脈衝波的上緣時間可以和輸出信號的正弦波的零相位點是同一個時間，或者二者之間的時間差是固定的；函數波形產生器之所以要有一個同步輸出的脈衝波信號，是提供一個時間參考(time reference)，因為其它的電子儀器可以利用此一同步信號，達到與函數波形產生器的輸出信號“同步”的效果；一個最明顯的例子是將同步輸出脈衝信號當作示波器的外部觸發信號，以觸發示波器的取樣工作，同時將波形產生器的輸出信號接到示波器的 CH1，如此便可以在示波器上穩定的讀取到波形產生器的輸出信號。



同步輸出(Synchronized Output)的 BNC 接頭

本電子電路實驗室所架設的函數波形產生器亦有相當進階的功能。本函數波形產生器具有許多數位顯示，顯示輸出電壓信號的大小、頻率、DC Offset 等等，以便於設定或調整；同時其輸出的頻率範圍也可增高。如果其功能繼續增加，除了幾種標準的波形輸出外，允許使用者任意“編輯”某種波形，再以某一頻率週期性地輸出此一波形，則此函數波形產生器改稱為「任意波形產生器」(Arbitrary Waveform Generator, 簡稱 AWG)，任意波形產生器通常加裝有 RS232 介面或 USB 介面或 GPIB 介面，可以和電腦連線，因此除了由控制面板輸入或編輯波形外，也可以在電腦上編輯波形後傳入任意波形產生器的記憶體中。

本實驗室所使用的函數波形產生器為 RIGOL 公司之 DG1022 型機器，重要規格與功能解說如下：

重要規格		說明
輸出波形	正弦波、三角波、方波、脈波、非對稱波	直接於控制面板上找到各波形圖示，依照各自需求選取，而左上角即會顯示輸出波型。
頻率範圍	1 $\mu$ Hz ~ 20MHz	按下 Freq 按鈕，可直接指定頻率數值：1 $\mu$ Hz -20MHz
輸出振幅	$\pm 10V$ (open load) $\pm 5V$ (50 $\Omega$ load)	可以透過 Ampl 按鍵後，用數字鍵指定所需振幅。
輸出阻抗	50 $\Omega \pm 2\%$	
直流抵補輸出 (DC Offset)	$\pm 10V$ (open load) $\pm 5V$ (50 $\Omega$ load)	輸出的交流(AC)電壓信號可以是凌駕在一個 DC 電壓值上。此一 DC 電壓值稱之為 DC Offset。

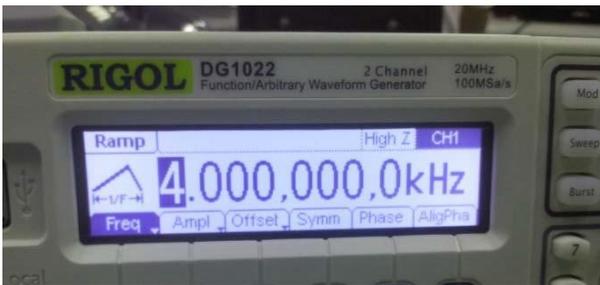
以下將以範例的方式，說明函數波形產生器的操作與設定：

### 範例(一)

設定: 波形選擇“三角波”，頻率為 4kHz，振幅為 5V。

可以根據以下步驟做設定

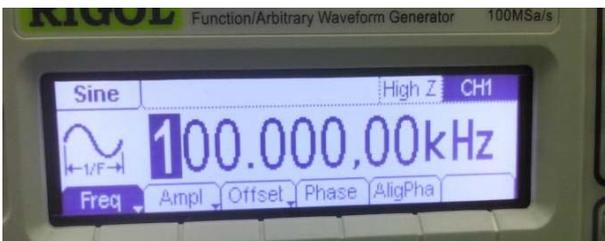
1. 於控制面板上挑選三角波圖示。
2. 依照螢幕顯示，選擇 Freq 選項，輸入所需數字 4kHz。
3. 在選擇 Ampl 選項，輸入 10Vpp。



### 範例(二)

設定: 接續範例(一)的結果，將波形改成“正弦波”，頻率為 100kHz，振幅 500mV

1. 於控制面板上挑選正弦波圖示。
2. 依照螢幕顯示，選擇 Freq 選項，輸入所需數字 100kHz。
3. 在選擇 Ampl 選項，輸入 1VPP。



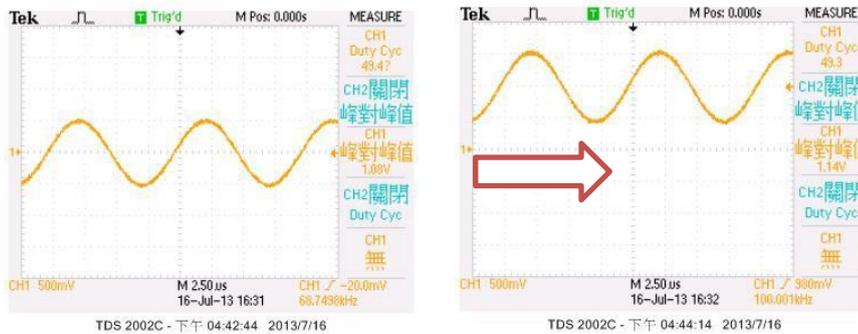
### 範例(三)

設定: 接續範例(三)的結果，使用 DC Offset 的功能，使輸出訊號具有+1V 的 DC Offset

1. 透過控制面板上選擇 Offset 選項，然後輸入+1V 的 DC Offset。

下圖為顯示調整過 Offset 的波形圖





函數波形產生器作為一個信號輸出源，對應的示波器，則是一個信號輸入與觀測的裝置，因此函數波形產生器有一個“輸出阻抗”(Output Impedance,  $50\Omega$ )，而示波器則有一個“輸入阻抗”(Input Impedance, 未接探棒時為  $1\text{ M}\Omega$ ，接上探棒則為  $10\text{ M}\Omega$ )，函數波形產生器可以視為一個可變電壓源與一個串聯的  $50\Omega$  內電阻，可變電壓源的最大輸出是  $\pm 10\text{V}$ ，當函數波形產生器的外接負載(External Loading)非常大(例如接示波器時)或是開路(open load)時，電流非常小或為零， $50\Omega$  內電阻的壓降非常小，因此可變電壓源的輸出( $\pm 10\text{V}$ )完全反應在外接負載；但是如果外接負載與內電阻的  $50\Omega$  相當時，外接負載與內電阻便形成分壓電路，可變電壓源的輸出( $\pm 10\text{V}$ )一部份反應在外接負載，一部份反應在  $50\Omega$  內電阻。舉例而言，當外接負載也是  $50\Omega$  時，外接負載上的壓降就只有  $\pm 5\text{V}$ ，這是為何以上第 3 項的輸出振幅是  $\pm 10\text{ V}$  for open load and  $\pm 5\text{V}$  for  $50\Omega$  load。

除了上述的基本功能外，一般的函數波形產生器還有幾種附加功能，可以透過操作面板上按鈕來選擇(Symmetry/Duty Cycle、DC Offset、Sweep[Lin/Log]和 inverted pulse)：

1. 調整對稱度(Symmetry)：輸出方波時，設定 DtyCyc，可調整輸出波形的“Duty Cycle”從 20%~80%；輸出三角波時，設定 Symm，可調整輸出波形的“Symmetry”從 0%~100%。
2. DC Offset：輸出的交流(AC)電壓信號是騎在一個 DC 值上，信號峰值加 DC Offset 不可超過  $\pm 10\text{V}$ ( $\pm 5\text{V}$  在  $50\Omega$  load)，否則輸出波形會被截掉。
3. 掃頻(Frequency Sweep)：可透過此功能可對訊號作線性和對數掃頻，而掃頻的設置方式有兩種，可直接設定開始以及終止位置，另一種方式為設定中心位置以及一段所需的範圍，以此兩種設定方式來進行掃頻功能。

### 三、直流電源供應器(DC Power Supplier)

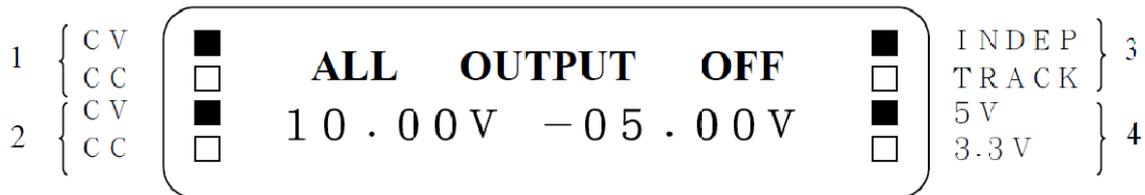


茂迪公司--LPS-305 型--直流電源供應器提供一個固定的直流電壓(當然，同時提供一個直流電流)，其功能類似一個電池，但是使用較方便且有彈性。

本實驗室使用的是茂迪公司之 LPS-305 型機器，重要特性與規格如下：

重要特性與規格		說明
輸出電壓	可調式正電輸出：定電壓 0~30V 可調式負電輸出：定電壓 0~-30V	按數字鍵 7(+VSET)可以設定正電壓值 按數字鍵 4(-VSET)可以設定負電壓值
輸出電流	可調式正電輸出：定電流 0~2. A 可調式負電輸出：定電流 0~-2.5A	按數字鍵 8(+ISET)可以設定正電流值 按數字鍵 5(-ISET)可以設定負電流值
固定輸出電壓/電流	5V/3A or 3.3V/3A	按小數點鍵“.”(Output ON/OFF)，可以選擇固定電壓 5V 或 3.3V(按數字鍵 2 來選擇 5V 或 3.3V)
最大輸出功率	165Watt	
最大輸出電壓	+32V/ -32V	
最大輸出電流	+3A/ -3A	
可加裝 RS232 介面		

開機後，液晶顯示器會顯示如下圖：



- 表示正電源是在定電壓 (CV) 模式或定電流 (CC) 模式。  
當四方型點閃爍，此電源是在設定輸出的模式。
- 表示負電源是在定電壓 (CV) 模式或定電流 (CC) 模式。  
當四方型點閃爍，此電源是在設定輸出的模式。
- 表示負電源與正電源在獨立不同或追蹤的模式 (按數字鍵 1 可選擇)。

TRACK：同步狀態表示負電源與正電源輸出等值，但極性相反。

INDEP：獨立狀態表示負電源與正電源輸出值不一樣。



同步狀態



獨立狀態

- 選擇固定輸出 5V 或 3.3V，輸出時四方型點會閃爍。

以下將以範例的方式，說明直流電源供應器的操作與設定：

範例(一)：設定輸出為固定電壓 5V，步驟如下：

STEP1：使用最左邊的兩個輸出孔，分別為 5V/3.3V(正輸出)和 COM2(負輸出)。

STEP2：按小數點設定固定輸出為 5V，設定完畢按 ENTER 鍵就完成了

範例(二)：設定輸出為正電壓 12V，負電壓 5V，步驟如下：

STEP1：使用最右邊的三個輸出孔，分別為-(白色標示) 負輸出和 COM1(黑色標示) 正負電源的  
功同輸出接頭和+(紅色標示) 正輸出。



STEP2：設定為 INDEP (負電源與正電源輸出值不一樣)

STEP3：按數字鍵 7 (+VSET) 可設定正電壓值為 12V，設定完畢按 ENTER 鍵。按數字鍵 4 (-  
VSET) 可設定負電壓值為 5V，設定完畢按 ENTER 鍵。



STEP4：輸出電壓只要按 ON / OFF 鍵即可。



#### 四、多功能數位電錶(Digital Multimeter, DMM)



茂迪公司--MT800 型- 桌上型萬用電錶

俗稱的“三用電錶”是將量測電流、電壓、電阻的電流計、電壓計、與歐姆計三者合而為一而得名，其實這三種電錶的量測方法都是利用電動機原理量測電流大小。

首先讓導線繞置於一可動線圈中，然後放置於永久磁鐵中，當待測電流流經導線時，因電磁作用產生力矩，使可動線圈發生偏轉，可動線圈架設於一環狀彈簧上，因此在一定角度的偏轉後達到力矩平衡，由於導線中的電流大小與產生的力矩成正比，因此也與偏轉的角度成正比，因此可以用一指針指示偏轉角度，進而得到待測電流的大小；電壓計與歐姆計的量測原理相同，只是前者需有一個已知的電阻，再利用歐姆定律由量測到的電流推測出電壓值；而歐姆計則需要準備一個已知的直流電源，同樣由歐姆定律與量測電流得到電阻的歐姆值。

早期的電錶，如上所述，是類比式的，因此有一個指針。現在則多是數位的，利用電晶體電路達到量測的效果，除了原本電流計、電壓計、與歐姆計三者的基本功能外，更增加需多額外的功能，例如量測電容、電感、二極體、與電晶體參數等等，因此稱之為多功能數位電表(Digital Multimeter, DMM)。

本實驗室使用茂迪公司之 MT800 型桌上型萬用電錶。



操作面板上共可以分成三區，依序說明如下：

#### 第一區：輸入端

根據所要量測的東西，選擇適當的輸入端，輸入端上都有清楚的標示。

例如：要量測電壓或電阻，可以選擇最上面的兩個孔，若是量測電流可以選擇標示 mA 或是 A 的輸入孔，再搭配接地，不過若不知量測的電流範圍，可以先選擇使用標示為 A 的輸入孔。

#### 第二區：測量功能轉盤

白色標誌是最初設定值，藍色標誌是選擇藍鍵後才有效。順時針方向依序可以選擇量測電壓 (V)、電壓 (mV)、電阻值、二極體、導通檢查、電流 (mA)、電流 (A)、電容、頻率和佔空比測量、溫度測量。

#### 第三區：功能按鍵，可選擇基本功能

LIGHT：用來打開/關背光。

BAR：該鍵用來調出模擬條。

DIGIT：按此鍵可以切換 4 3/4 和 3 3/4 位顯示。

RANGE：自動/手動量程切換鍵，由手動切換為自動量測時應按住此鍵 2 秒。

O：按“O”選擇 F4 目錄操作。

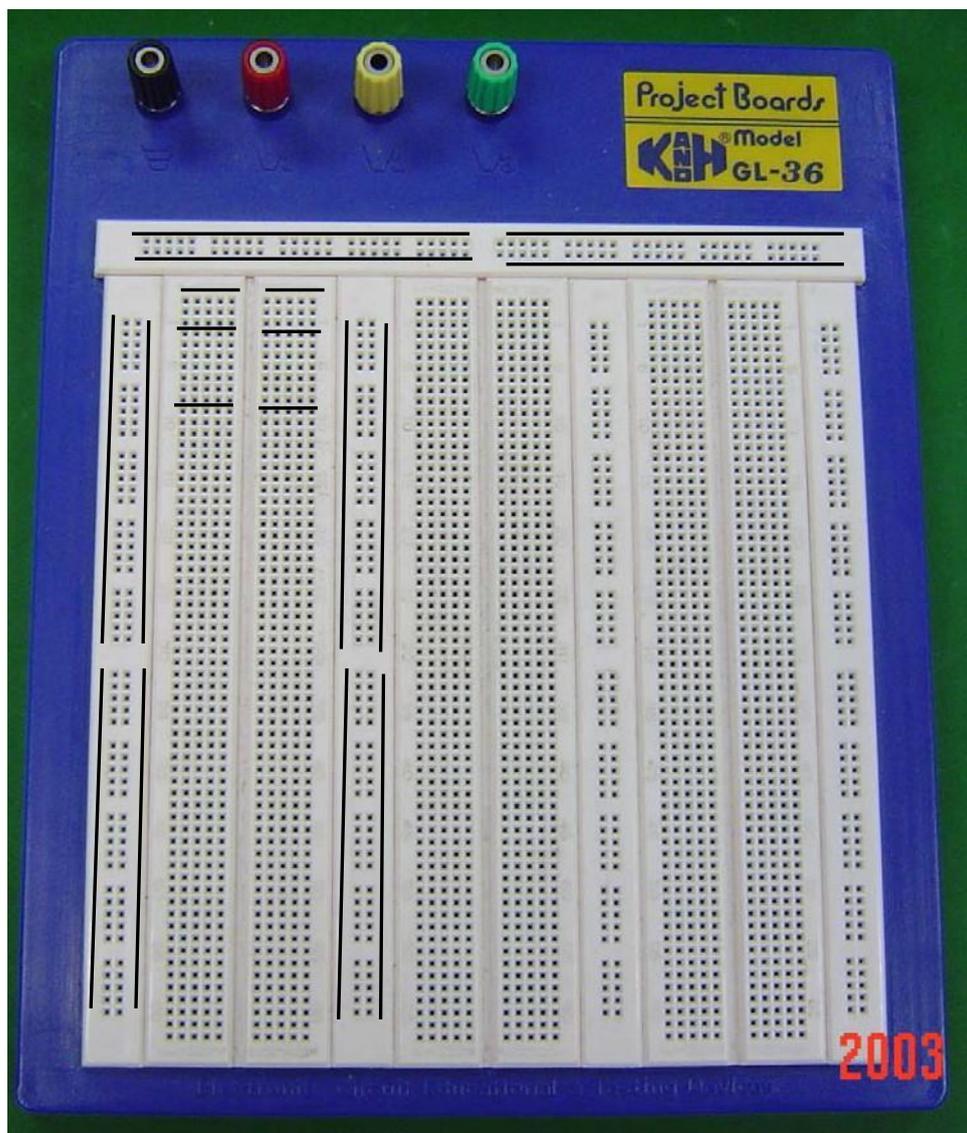
BLUE：按該鍵用於切換錶盤上藍色和白色所標示功能。

重要特性與規格如下：

重要特性與規格	
最大輸入電壓	1000V (750VAC) CAT
最大漂浮電壓	1000V (750VAC) 輸出端與接地間
最大輸入電流	400mA (mA 端與 COM 之間) 10A (A 端與 COM 之間)
最大開路電壓	600VA 端與 COM 之間
液晶顯示	4 3/4 或 3 3/4
數字刷新	40,000 或 4,000
速度	2 次/S(40000) , 4 次/S (4000)

## 五、其他附件

1. 電路測試板(project board)，俗稱麵包板。注意，下圖中，以一條黑色直線串連數個孔洞，是表示這些孔洞是連接到同一塊電極金屬，因此在電氣上是相互導通的。



2. BNC 電子連接器(electrical connector)與同軸電纜(coaxial cable)
3. 線材(cable)
4. 溫控銲槍與銲錫

## 實驗內容與實驗報告

一、使用 Function Generator 與 Digital Oscilloscope，產生下列波形，並將波形由電腦紀錄到磁片，畫在實驗報告中；

1. Sinusoidal wave, 100 kHz, -5V~+5V

2. Triangular wave, 10 kHz, -0.5V~+0.5V

- NO DC offset in Function Generator
- 使用 Ch1, DC coupling，可以使用 Averaging，但需說明
- 使用 Ch1 當作觸發信號源

二、(觸發模式：Auto、Normal、Single Shot) 如實驗項目一，使用 Ch1 當作觸發信號源與量測信號，使用 Function Generator 與 Digital Oscilloscope，產生 Square Wave Signal, 10 kHz, -2 V ~ +2 V，

1. 先使用 Normal 觸發，得到穩定之波形；然後上下移動觸發水平箭頭，使信號消失，接著改用 Auto 觸發，紀錄你觀察之結果，解釋其原因。

三、重複實驗項目一，但是使用 Function Generator 的 Sync 輸出信號到 Ch2，並當做 TDS2002C(或 TDS1002B) 的觸發信號源，同時量測 Ch1 與 Ch2 的信號，並且同時顯示於 TDS2002C(或 TDS1002B)的螢幕上，二者的波形均需畫在實驗報告中。

四、如同實驗項目一，使用 Function Generator 與 Digital Oscilloscope，產生 Sinusoidal wave, 1 kHz, -1 V ~ +1 V，進行以下實驗：

1. 先使用手動之游標量測，量測 Sinusoidal wave 的週期、頻率、峰對谷之電壓值；

2. 再使用自動量測量測週期、頻率、峰對谷之電壓值；

3. 比較(1)(2)之量測結果與 Function Generator 的設定值的差異。解釋你得到的結果。

五、量測 Function Generator 的內電阻：Function Generator 先產生 Sinusoidal wave, 1 kHz, -1 V ~ +1 V，NO DC Offset，AC-Coupling，再進行以下實驗：

1. 選擇四個電阻，分別為 50  $\Omega$ 、100 $\Omega$ 、200 $\Omega$ 、500 $\Omega$ ，先以數位電錶分別量測其正確的電阻值。

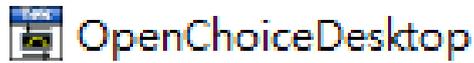
2. 將 Function Generator 的負載以 BNC 轉鱷魚夾電纜線加載到這些電阻之上，同時以 Oscilloscope 配合 10X 探棒量測負載於這些電阻的電壓值。

3. 將量測結果用於推算 Function Generator 的內電阻值

## 附錄(一)：Tektronix OpenChoice 示波器擷取軟體操作方法

### 示波器畫面擷取

1. 開啟電腦並進入 window xp 系統。
2. 點選桌面上 OpenChoiceDesktop，如下圖所示



3. 左上角選擇「畫面擷取」，如圖下所示



4. 點選介面上之「選擇儀器」，產生新的視窗，如下圖所示



5. 點選第一項「USB0::0x03A1::C013904::INSTR」後，再點選確定，然後再點選左邊列「取得畫面」，結果如下所示

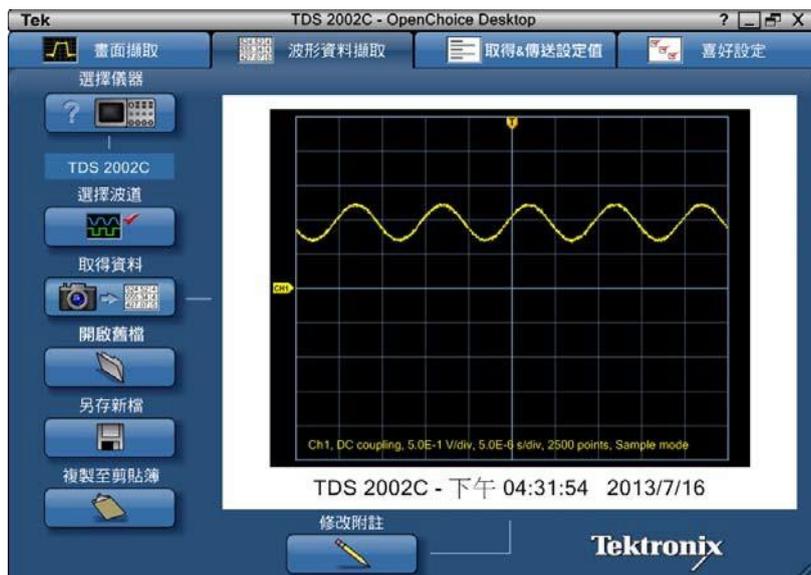


6. 再點選左邊列的按鈕「另存新檔」，產生如下的圖形，選擇預存之檔案類型以及檔名之後即可存圖形檔



## 波形資料點擷取

1. 回到程式主介面之後，點選「波形資料擷取」後，再點選左邊列「取得資料」即可得到類似下圖之畫面

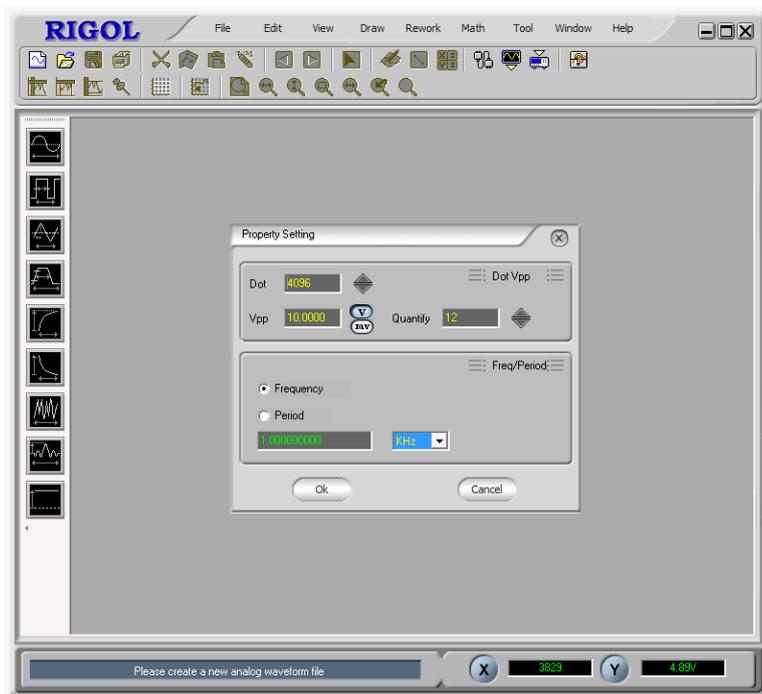


2. 點選左邊列之按鈕「另存新檔」後會出現下面的畫面，其中副檔名為 csv 的檔案為 Excel 檔，另外也可以存成 txt 檔

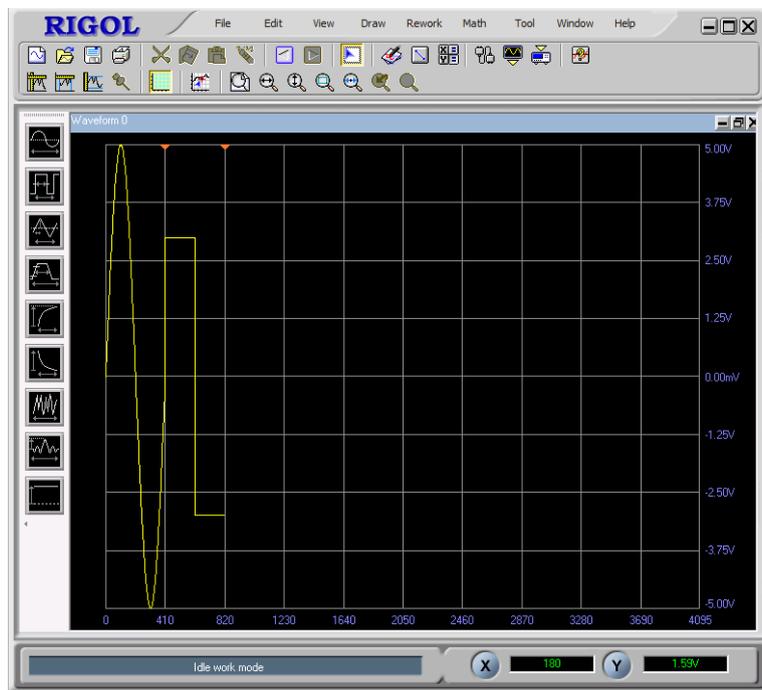


## 附錄(二)任意波形產生器

1. 進入 File → new → Analog Waveform，跳出 Property Setting 視窗。
2. 設定 Dot 為 4096、Vpp 為 10 v、Quantify 為 12、Frequency 為 1 kHz。
3. 選擇 OK。

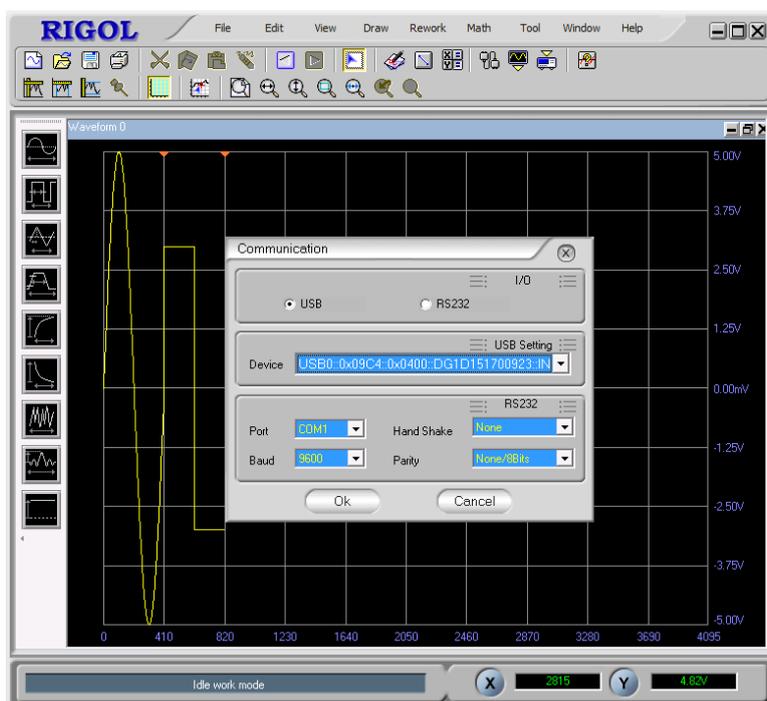


4. 選擇視窗左方範例波形進行編輯。

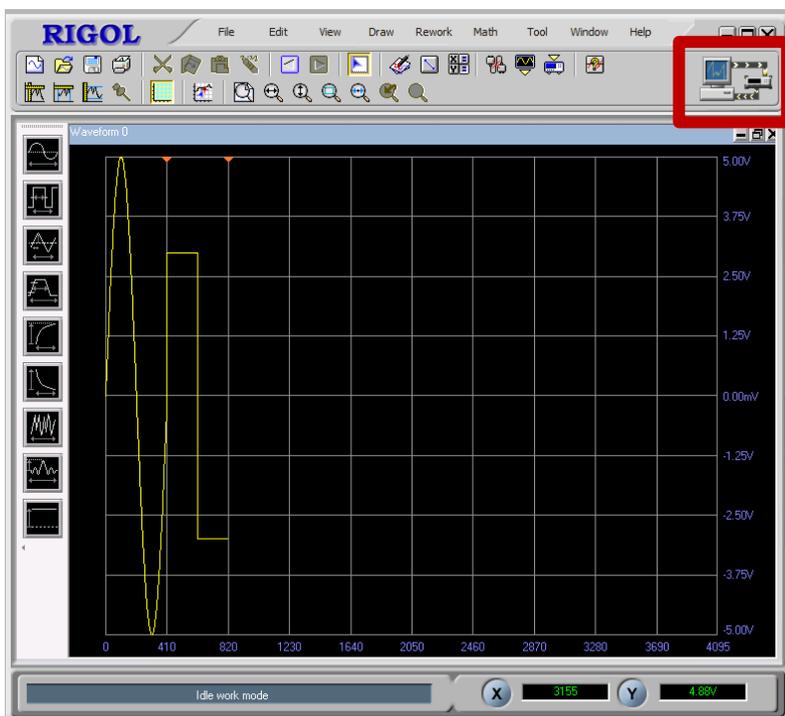


## 函數波形輸出

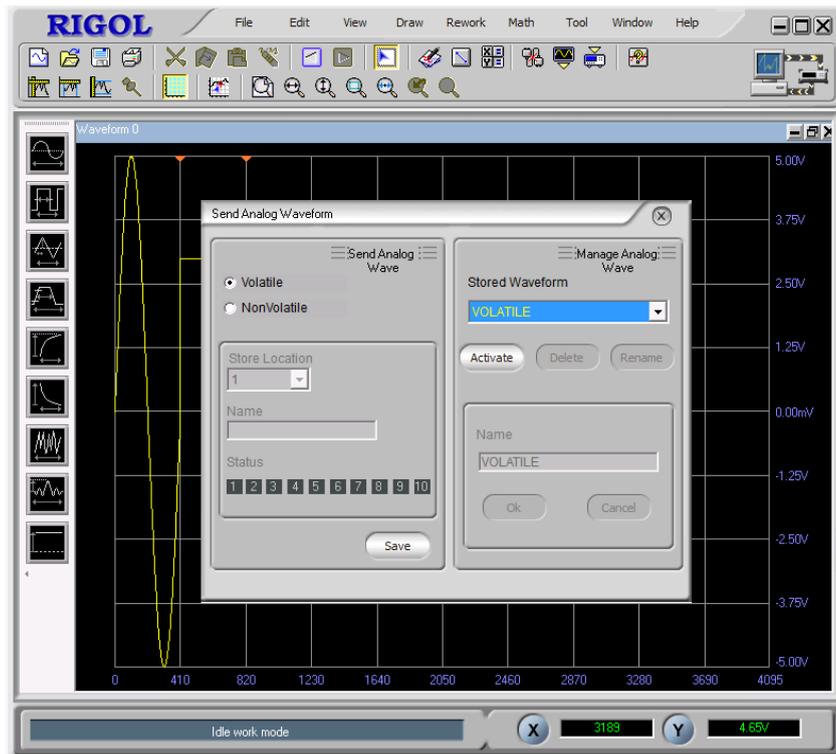
1. 選擇 Tool→Communication，選擇 USB→選擇機台型號 DG1022→選擇 OK。



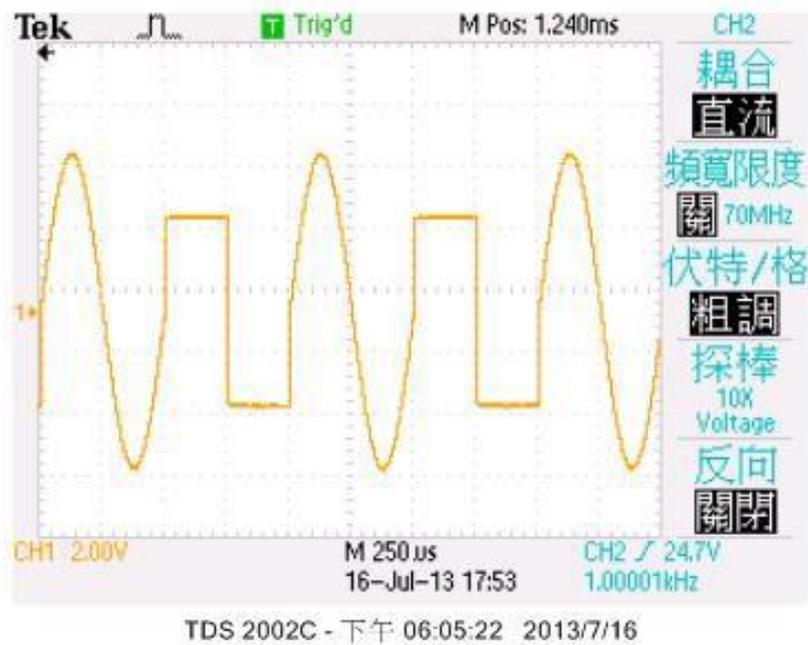
2. 連接後視窗右上方會顯示如下圖所示的圖示。



3. 選擇 Tool→Send Waveform，選擇 Volatile→Stored Waveform 部分選擇 VOLATILE→選擇 Save。

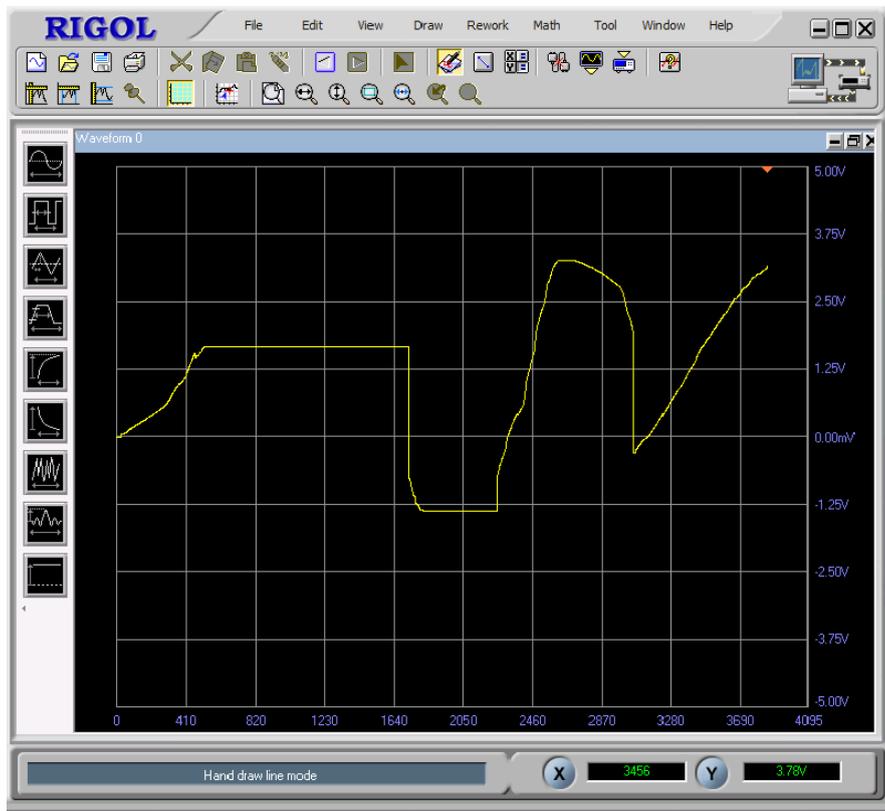


4. 調整示波器後可得波形。

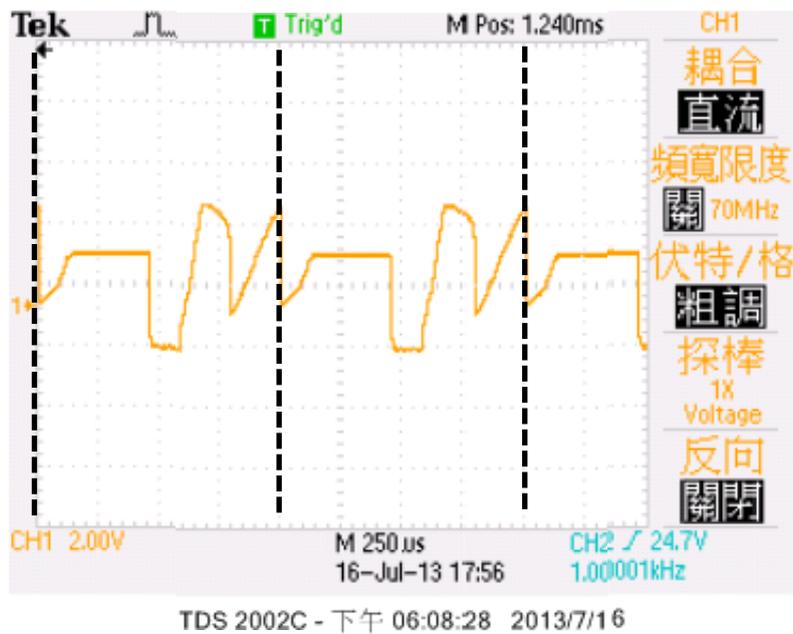


## 手繪波型輸出

1. 開啟一個新檔後，選擇 Draw→Hand draw，接著手繪出波形。
2. 選擇 Tool→Send Waveform，選擇 Volatile→Stored Waveform 部分選擇 VOLATILE→選擇 Save。



3. 調整示波器後可得波形。



## 材料表

電阻( $\Omega$ )	數量
50	1
100	1
200	1
500	1