## 結報評分標準

圖表	數據	發現問題	電路分析	心得+結論	Reference
15%	15%	10%	30%	20%	10%

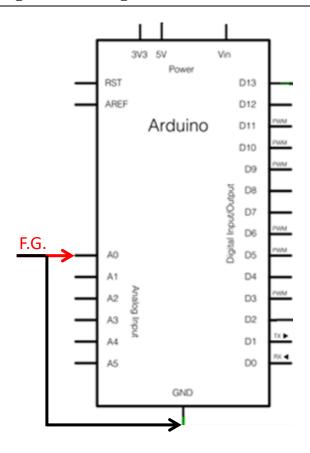
### \*\*請假後補交結報的規定\*\*

- 1. 請假需依規定提出假單申請,並安排時間補做實驗並將核準過的假單截圖貼於下方,助教才會進行 結報的批改。
- 2. 以請假日計算; 需在一星期內完成補做驗, 二個星期內補交結報(將結報交至 Delay 區)。逾時不進行結報批改。例如: 3/1 請假, 需在 3/8 前完成補做實驗, 3/15 前補交結報。

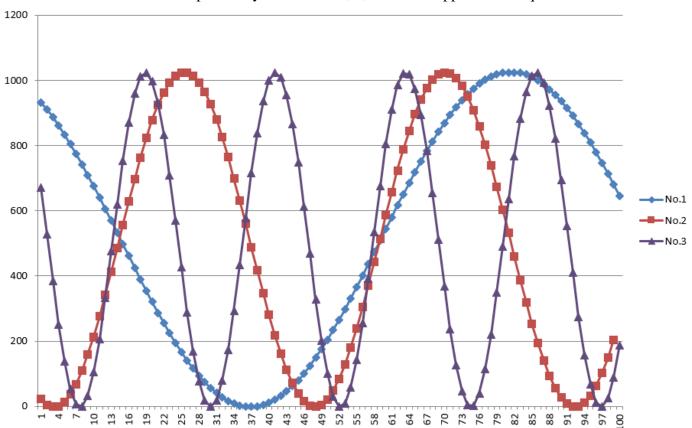
\_\_\_\_\_

# **REPORT**

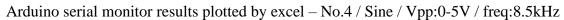
## **Experiment 1: Sampling and Aliasing.**

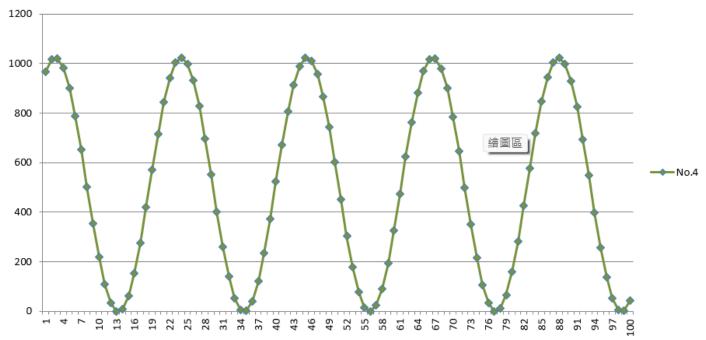


1. Arduino serial monitor results plotted by excel – No.1, 2, 3 / Sine / Vpp:0-5V / freq:100/200/400Hz

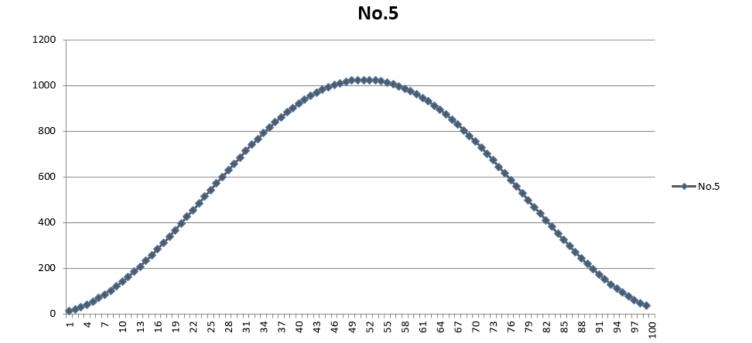


2.





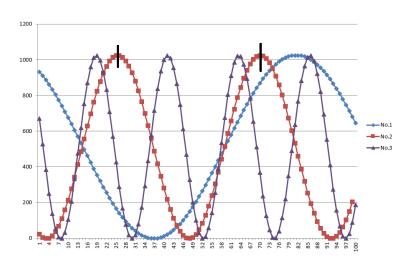
3. Arduino serial monitor results plotted by excel – No.5 / Sine / Vpp:0-5V / freq:9kHz



4.

Lab6

Please estimate the sampling frequencies by your experiment results of No.1~No.3, and explain how you obtain it. Are the three sampling frequencies the same?



計算取樣頻率,分析如下:

我先在各個波的兩個相鄰波峰(No.2、3)、峰對谷(No.1)上找到頂點,然後再分析經過多少次取樣週期,然後我們可以獲得以下的數據:

- 1. No.1 峰對谷經過 45 個取樣週期
- 2. No.2 峰對峰經過 45 個取樣週期
- 3. No.3 峰對峰經過 22 個取樣週期

No. 1 frequency = 100 Hz 
$$\Rightarrow$$
 1 period =  $\frac{1}{100}$  (5)  
 $(45 \times 2) \Rightarrow 90 \text{ Trample} = \frac{1}{100} \Rightarrow \text{ Trample} = \frac{1}{9090}$   
 $f_{\text{sample}} = \frac{1}{T_{\text{sample}}} = 9 \text{ kHz}$ 

No. 2 frequency = 200 Hz 
$$\Rightarrow$$
 1 period =  $\frac{1}{200}$  (5)  
45 T sample =  $\frac{1}{200}$   $\Rightarrow$  T sample =  $\frac{1}{9000}$   
 $f$  sample =  $\frac{1}{T}$   $= 9 \text{ KHz}$  #

No. 3 frequency = 
$$400 \text{ Hz}$$
  $\Rightarrow$  1 period =  $\frac{1}{400}$  (5)  
22 T sample =  $\frac{1}{400}$   $\Rightarrow$  T sample =  $\frac{1}{8800}$   
f sample =  $\frac{1}{T}$  sample =  $8.8 \text{ k Hz}$  #

#### Question:

Use the result of No1., No.2, and No.3 to estimate the correct sampling rate (calculate the average of these three conditions). And apply this correct sampling rate to derive the signal frequency of No.4 and No.5 respectively. (Notice that the frequencies you calculated are false signal frequency.)

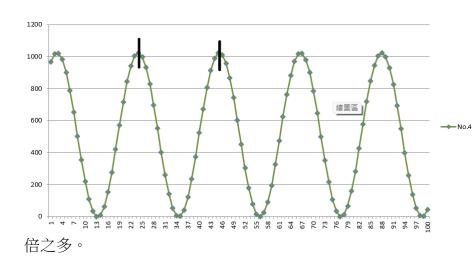
Please try to explain them in your report

我將分兩個部分討論:

1. 計算 No.1~No.3 的平均取樣頻率:

$$f_{avg} = \frac{9k + 9k + 8.8k}{3} = 8934(Hz)$$

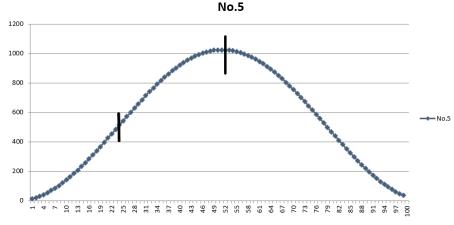
2. 使用上述的平均取樣頻率去計算 No.4、No.5 的頻率再加以比較:



取 No.4 峰對峰的樣本點並發現一個完整的波會經過 21 個取樣週期,在上面我們已經計算出取樣頻率為 8934(Hz),則可以得出:

$$f_{No.4} = \frac{8934}{21} = 426(Hz)$$

這個計算真的很讓我震撼,沒想到 與示波器頻率(8.5k)差了足足快 21



No.5 的波取樣點很難抓,因為它並沒有像是 No.1 那般可以抓半波,也沒有其他波那樣可以抓到完整的一個波(經過四次振福),所以我就用 No.5 的最大值的一半位置抓一次振福所經過的取樣週期,再推得 No.5 的週期。

經過 Excel 的標點我們可以得知一次振幅里會經過 27 個樣本週期,所以可以推測一個完整的波將會經過 108 個樣本週期,接下來開始計算 No.5 的預測頻率:

$$f_{No.5} = \frac{8934}{108} = 82(Hz)$$

這次的差距又更大的了,與函數產生器輸出的波頻率(9k)上差了快 108 倍,為甚麼會差那麼多呢?

首先我先來整理下線索:

- 1. 我們從相對低頻(No.1~No.3)測量推得取樣頻率,而且數字大概是(9k),這結論是經過三個不同頻率的推測得出的結果,我相信這點是無庸置疑的。
- 2. 我們把眼光放到之前的取樣頻率上,設計了 No.4~No.5 等接近之前取樣頻率的波,但是這次並不是只取到兩個點,而是能夠形成一個有幅度的波型。

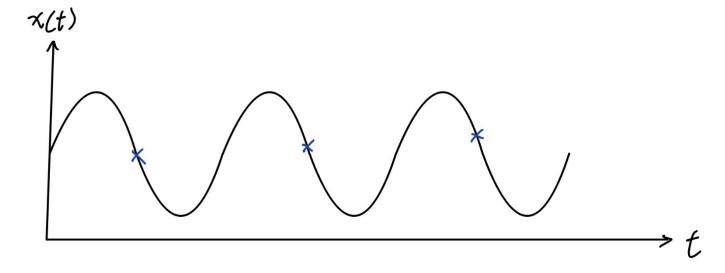
根據上述的推論我有兩個猜測:

### 猜測1

取樣頻率會因為輸入的樣本頻率不同而有所改變,按照這概念,我們可以先認知說取樣頻率會隨著樣本頻率的升高而跟著升高,並且在量級上取樣頻率會遠大於樣本頻率(很直覺,因為這樣更可以分析波型),不過這理論又會有奇妙的地方,因為我們可以從 No.4~No.5 發現照理來說頻率越高,在圖形上範圍內能夠顯示的波會越多,這理論可以在 No.1~No.3 的圖表上得到支持,但是這理論搬到 No.4~No.5 上就不怎實用了,理論上 No.5 能顯示更多的全波,但現在卻只能顯示不到一個全波的圖形。

#### 猜測 2

取樣頻率還是沒有變化,但是取樣會變成一個全波只取一個樣本點,然後再以微妙的差距把波型印出,從上面的線索二可以得出這想法,具體的運作過程如下:

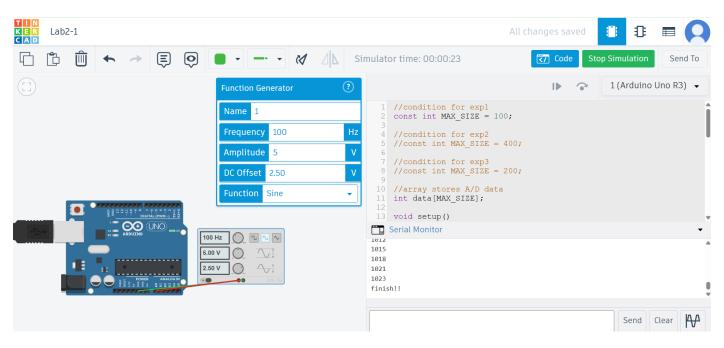


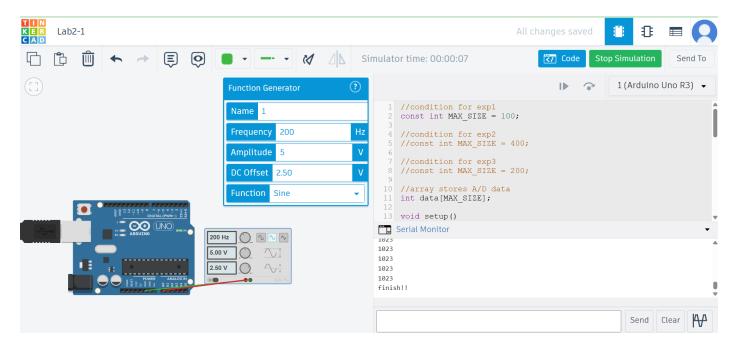
透過微小的落差巧妙地取樣,然後在把點與點之間連線,這樣就可以取得與函數圖形差不多的圖,這樣也就能夠解釋為什麼頻率 9k 的 No.5 取樣結果是一個全波(與取樣頻率相近),也可以解釋為何用平

均取樣頻率預估 No.4、No.5 的時候會產生如此大的誤差,因為在同一個週期內不會同時取樣超過兩個點。

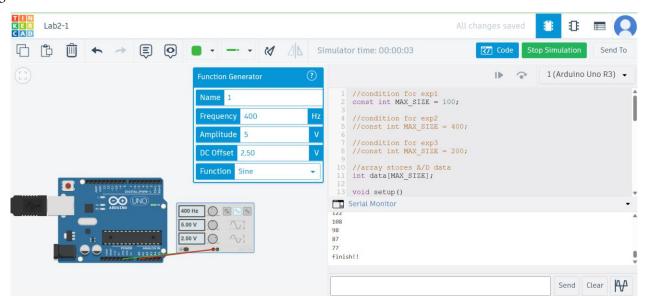
### Tinkercad 模擬

#### No.1

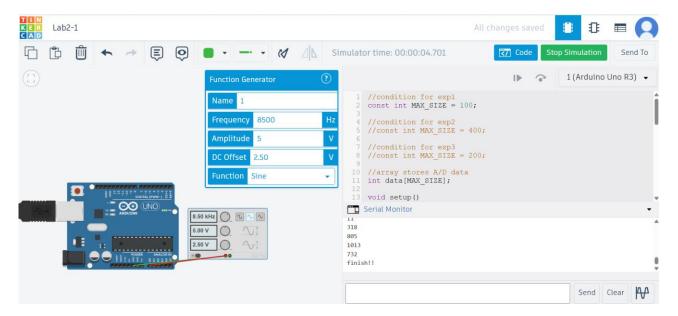


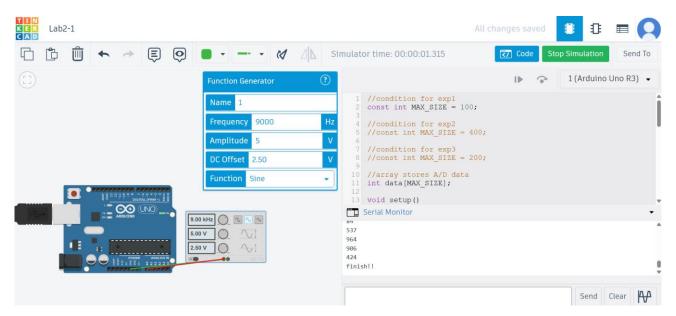


No.3

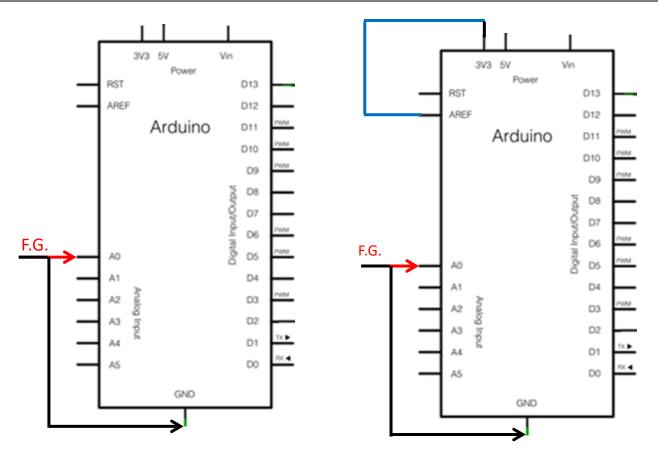


#### No.4





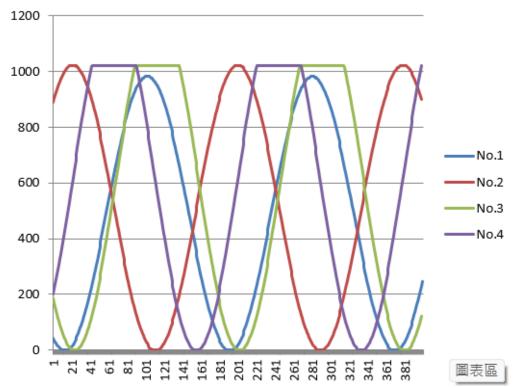
## **Experiment 2: Reference Voltage for Analog Input.**



NOTE: Remember modify the sketch in Exp1, change MAX\_SIZE from 100 to 400.

NOTE: Remember uncomment analogReference(EXTERNAL); when you connect pin 3.3V to AREF.

1. Arduino serial monitor results plotted by excel – Sine / Vpp:0-4.8V/5V/6V/4V+Aref:3.3V / freq:50Hz



#### Question:

1). Please estimate the full-scale input range A<sub>FS</sub> of ADC of Arduino by your experiment results of No.1~No.3, and explain how you obtain it.

首先我們先討論下什麼是 AFS 和什麼是 ADC:

- 1. ADC 是(Analog-to-Digital Converter),從名字上就知道他是一種轉換器,可以理解成他將電壓等比例轉換成另外一個數值,然後在 Arduino UNO 版中是 0~1023,其中 1023 代表著 ADC 所能轉換的最大值,也就是  $A_{FS}$ 。
- 2. AFS 是 ADC 輸入端的最大電壓值,超過這個值的輸入電壓將無法被正確測量。

其中轉換的公式為:

$$A_{FS} = \frac{V_{in} \times 1024}{N}$$

其中 Vin 是輸入的電壓,N 則是 ADC 將 Vin 轉換到 0~1023 之中的值,接下來帶入 No.1~No.3 的數值找出 UNO 版的  $A_{FS}$ 。

982
983
984
984
984
982
980

1023

10211019

1023

從 No.1 的數據圖中我們可以發現最大值大約落在 984、983 等數值,然後再帶入 Vin=4.8V 等條件,我們可以從公式中推得:

$$\frac{4.8 \times 1024}{984} = 4.995$$

1018	從 No.2 的數據圖中我們可以發現最大值大約落在 1023, 然後再帶入 Vin=5V 等條件, 我
1020	
1023	們可以從公式中推得:
1000	

$$\frac{5 \times 1024}{1023} = 5$$

同時出現那麼多 1023 數值我們可以在上方的圖中觀察到,在頂峰的部分有輕微被削到。

1023	從 No.3 的數據圖中我們可以發現最大值大約落在 1023, 然後再帶入 Vin=6V 等條件, 我
1023	們可以從公式中推得:
1022	11.13/1/17/11/11/11/11/11/11/11/11/11/11/11/1

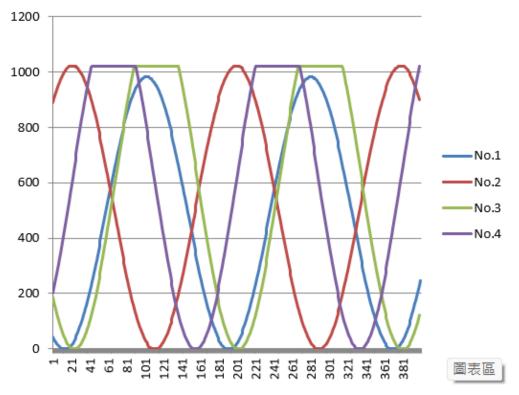
使用平均的概念計算 AFS

$$A_{FS} = \frac{4.995 + 5}{2} = 4.998 \cong 5$$

所以我估計 Arduino UNO 版的 AFS 值為 5V。

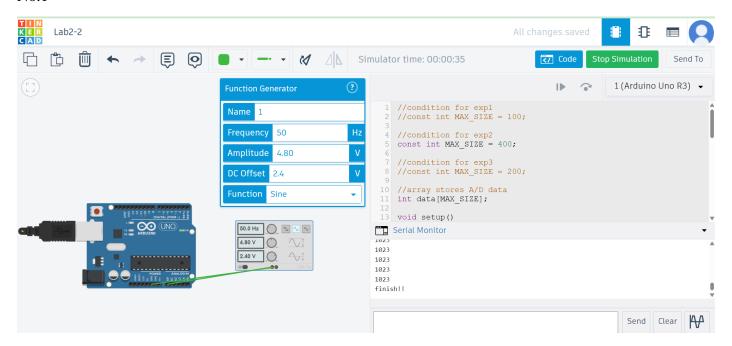
## 2). Please try to explain the experiment results of No.4 in your report

Arduino 的 AREF 腳位意旨設定上題所說的  $A_{FS}$  的值,透過外加外部電壓方式自定義電壓上限為何,在 No.4 的圖中我們可以看到 AREF 腳位與 3V3(3.3V)腳位接在一起,所以  $A_{FS}$  的值也就被定在 3.3V。



基於剛才的理論,我們可以先有個認知,因為我們 Vin 的最大值是 4V > 3.3V, 所以會有很明顯切平,這 點可以在左邊那張圖紫色 線中觀察到。

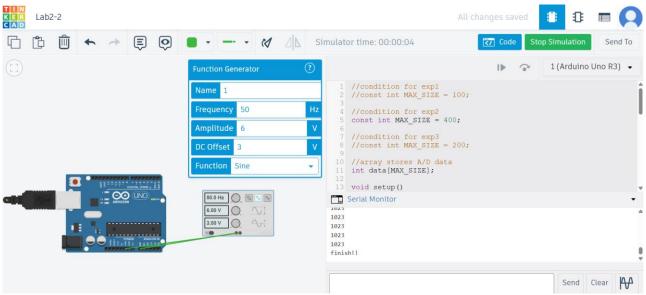
## Tinkercad 模擬



## No.2



#### No.3



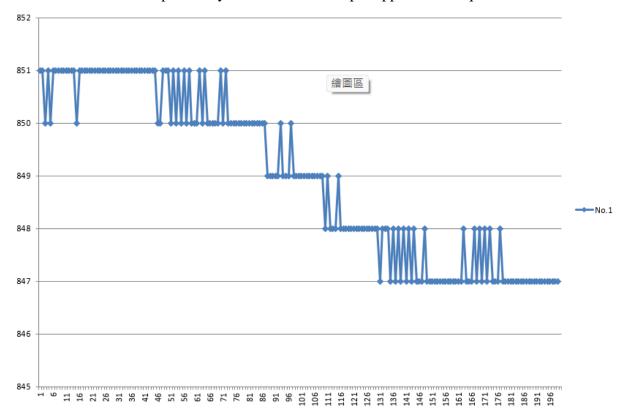


## **Experiment 3: Quantization Error.**

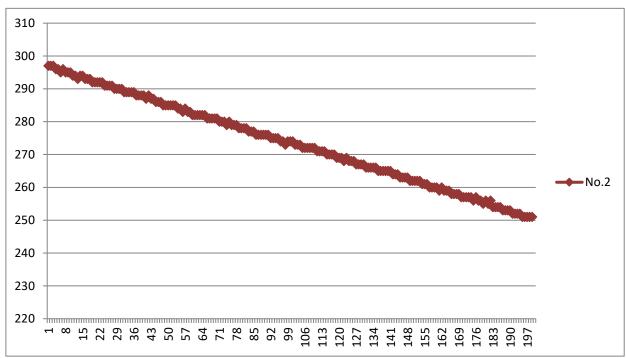
NOTE: Remember modify the sketch in Exp1, change MAX\_SIZE from 100 to 200.

NOTE: Remember uncomment analogReference(EXTERNAL); when you connect pin 3.3V to AREF.

1. Arduino serial monitor results plotted by excel –No.1 / Ramp / Vpp:0-5V / freq:0.1Hz

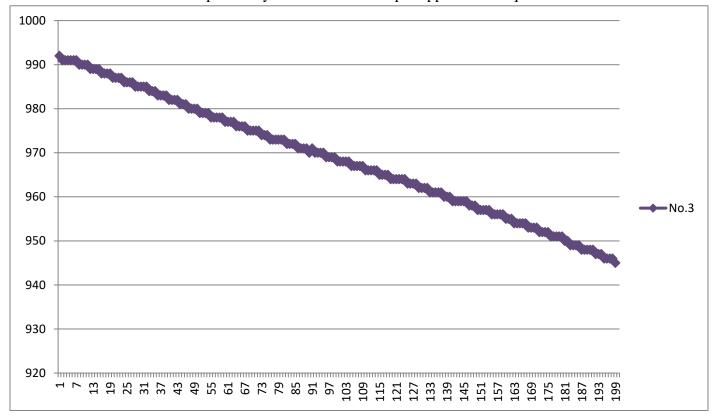


2. Arduino serial monitor results plotted by excel –No.2 / Ramp / Vpp:0-5V / freq: 1Hz

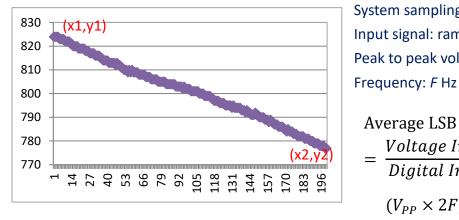


3.

Arduino serial monitor results plotted by excel -No.3 / Ramp / Vpp:0-5V / freq: 1Hz / Aref:3.3V



4. Please calculate average LSB (Least Significant Bit) by experiment results of No.1 ~ No.3 in those intervals. Please use the average sampling frequency fs which you calculate from Exp1.



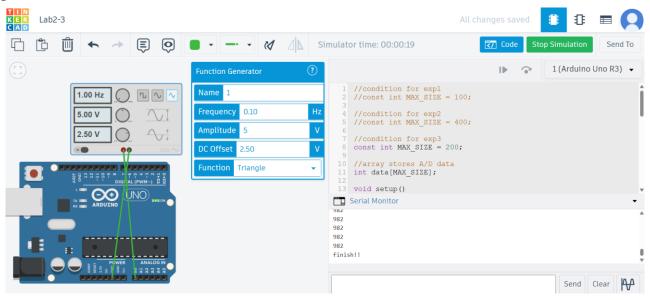
System sampling frequency: fs (from exp1)
Input signal: ramp wave,
Peak to peak voltage: Vpp

Average LSB voltage  $= \frac{Voltage\ Interval}{Digital\ Interval}$   $= \frac{(V_{PP} \times 2F) \times \frac{x_2 - x_1}{f_s}}{|y_2 - y_1|}$ 

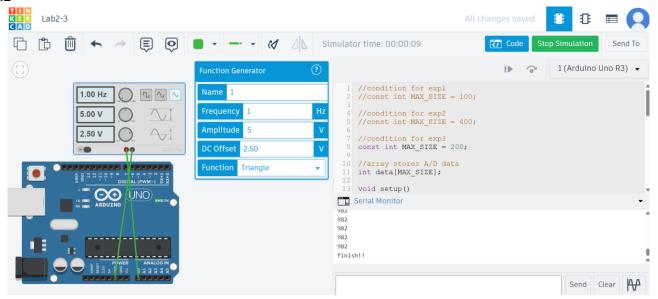
No.	1	2	3
Average LSB voltage	0.00547	0.00476	0.00468

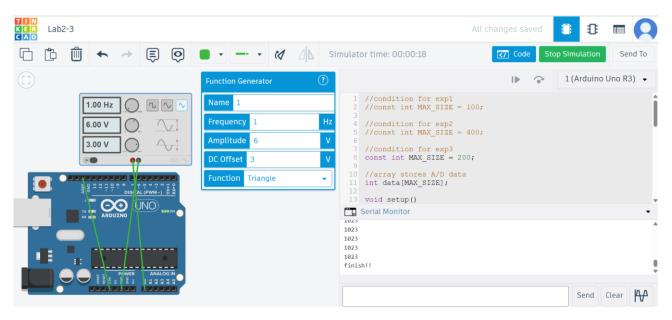
#### Tinkercad 模擬

## No.1



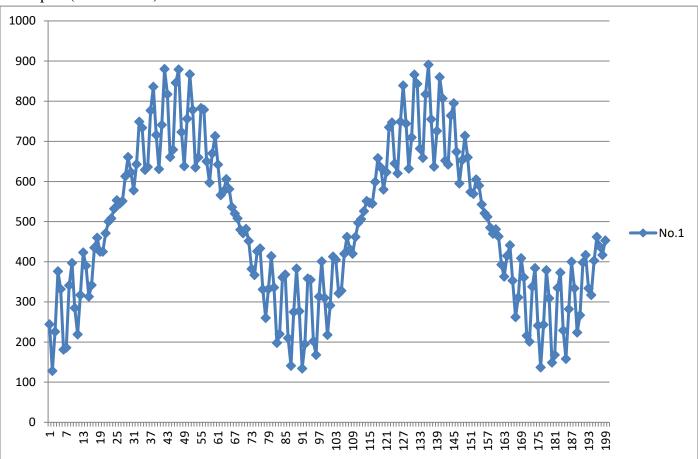
#### No.2



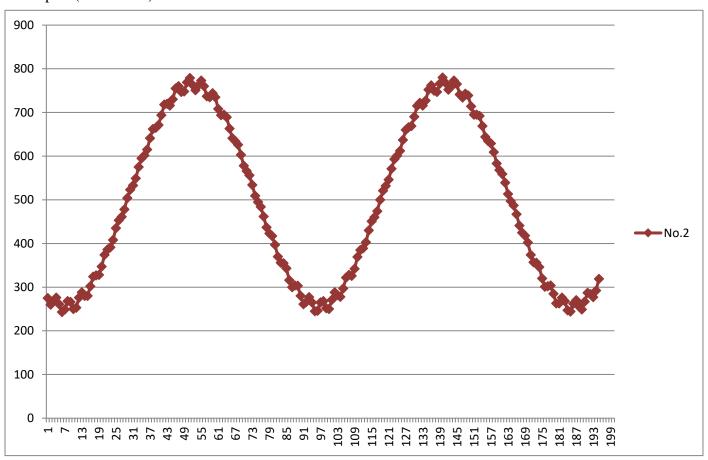


## **Experiment 4: Moving average filter.**

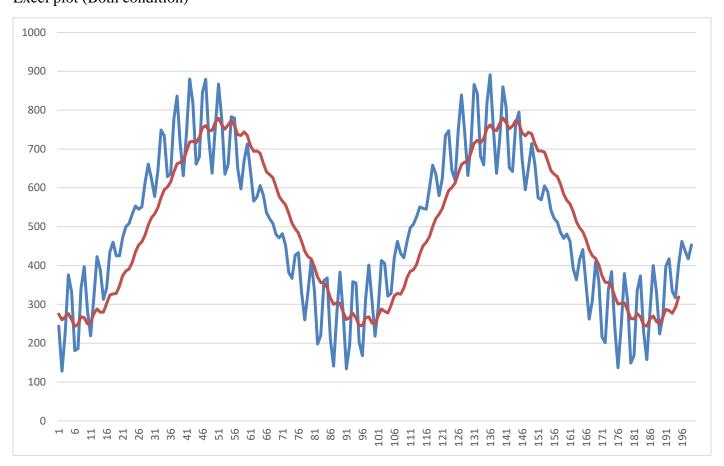
## Excel plot (Before filter)



## Excel plot (After filter)

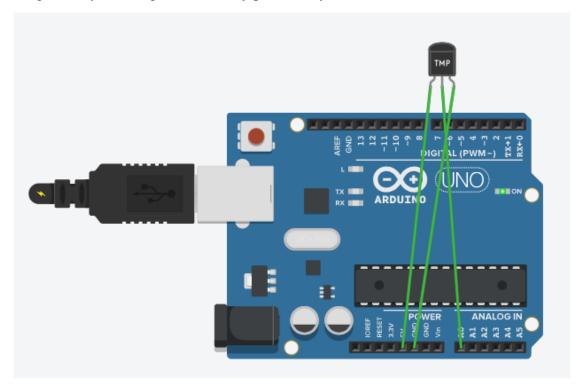


ADC Lab6
Excel plot (Both condition)



Experiment 5: Analog temperature sensor

The circuit diagram of your design: (label every port clearly)



The sketch of your design: (copy from the Arduino IDE window and paste here)

```
void setup() {
    Serial.begin(9600);

void loop() {
    float tmp;
    tmp = analogRead(A0)*(500.0) / 1023;
    Serial.print("tmp:");
    Serial.print(tmp);
    Serial.println(" C");
    delay(1000);
}
```

The screen capture of the serial monitor: (show the room temperature value on the window)

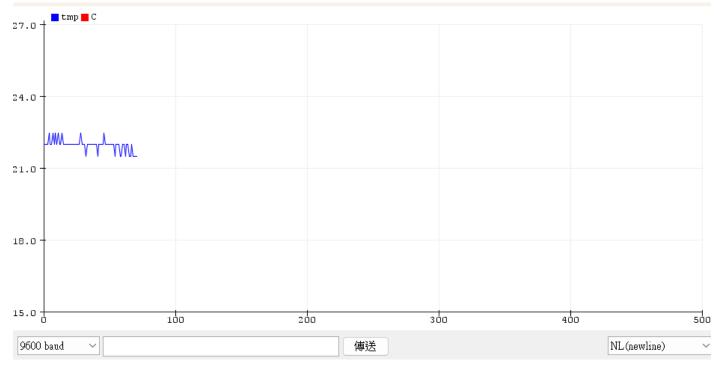
```
tmp:21.51 C
tmp:21.51 C
tmp:21.51 C
tmp:21.51 C
tmp:21.51 C
tmp:21.99 C
tmp:21.51 C
tmp:21.51 C
tmp:21.99 C
tmp:21.99 C
tmp:21.99 C
tmp:21.99 C
tmp:21.99 C
tmp:21.99 C
```

The screen capture of the serial monitor: (show the heated temperature value on the window)

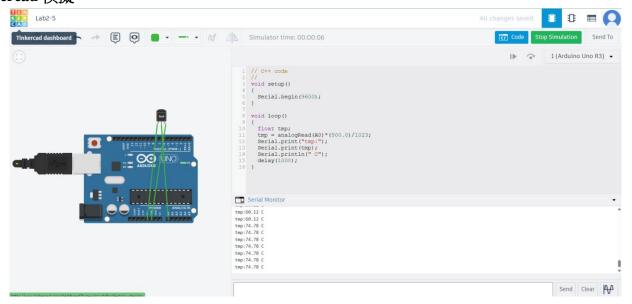
tmp:22.48 C
tmp:22.48 C
tmp:21.99 C
tmp:23.46 C
tmp:21.99 C
tmp:21.99 C
tmp:22.97 C
tmp:22.48 C
tmp:22.48 C
tmp:23.46 C
tmp:23.46 C
tmp:23.46 C
tmp:23.46 C
tmp:248 C

tmp:22.48 C

The screen capture of the serial plotter: (show the change of the temperature)

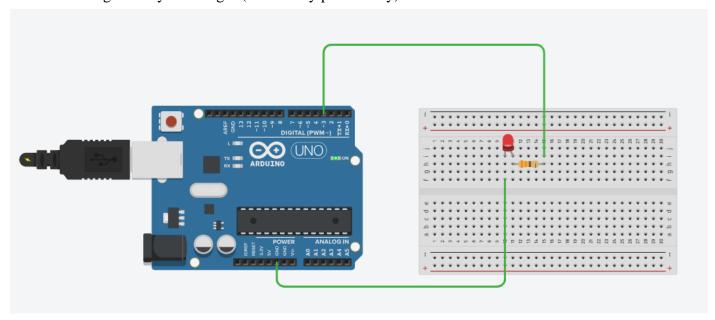


### Tinkercad 模擬



Experiment 6: Breathing light

The circuit diagram of your design: (label every port clearly)



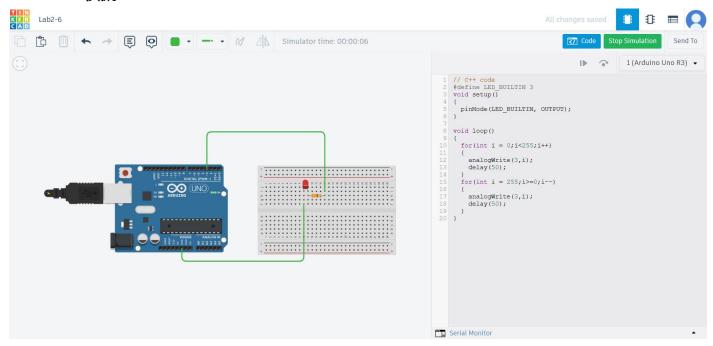
The sketch of your design: (copy from the Arduino IDE window and paste here)

```
void setup() {
   // put your setup code here, to run once:
   pinMode(3,OUTPUT);
}

void loop() {
   // put your main code here, to run repeatedly:
   for(int i = 0;i<255;i++)
   {
      analogWrite(3,i);
      delay(50);
   }
   for(int i=255;i>=0;i--)
   {
      analogWrite(3,i);
      delay(50);
   }
}
```

Your demo video(both LED and waveform) link: <a href="https://youtube.com/shorts/U4Ukj1UCBGY?feature=share">https://youtube.com/shorts/U4Ukj1UCBGY?feature=share</a>

## Tinkercad 模擬



#### ♣ 結論

實驗一主要是讓我們認識 sample 的原理和會遇到的奇異現象。

實驗二接著帶我們認識 ADC 轉換是存在著電壓值上限,超過電壓的上限後會讓值鎖在 1023。

實驗三讓我們使用不常用的函數 ramp,還有介紹 LSB 的意義。

實驗四帶我們實作 moving average filter。

實驗五介紹新的 Arduino 元件,主要適用於溫度感測。

實驗六著重於程式方面,讓我們用簡單的電路,用 for loop 以及類比控制等方法控制 LED 燈的 亮度。

## ♣ 心得

今天的實驗對我來說還蠻熟悉的,之前上訊號與系統的 Z-transform、discrete fourier transform 與 discrete time fourier transform 的時候就一直提到什麼叫取樣,將連續的訊號轉換成離散的訊號等等的操作,但那些都只停留在理論層面,不曾手動體驗過,所以那時候念起來還蠻抽象的,但現在用 Arduino 彌補當初的遺憾說起來也蠻激動的,不過沒想到會遇到那麼多奇葩事...

第一點主要是我的問題,一開始我就已經準備好 Arduino 檔案,準備要燒入 Arduino UNO 版後記錄離散化的數據,但不知道為什麼我按 Control+A 一直選取不了終端內的資料,就連滑鼠想要拉動選取都有困難,當下真的是搞超久,直到大助過來幫忙才發現原來是新版 Arduino 的問題(我用的是 2.3.4版),我還以為新版的照理來說功能會越完善,怎麼連那麼重要的功能都鎖起來了...

第二點真的很搞,我換到舊版之後我還以為之後的實驗會很順遂,但讓我沒想到的是之前是Control+A有問題,結果現在是Contral+C和Control+V出了更大的問題,之前是完全用不了,現在是可以用了,但卻不是每一次按都能生效,可能重複按個七八次才會真正複製到數據,連續的硬體設備上的錯誤讓我有點心灰意冷,我從五點四十分來到這裡,做了快兩小時半的實驗卻還卡在實驗一,不過幸好後來有掌握些能提高成功率的技巧,才不至於爆氣提早走人。

## ♣ 引用

ADC & AFS

https://www.electronicwings.com/arduino/adc-in-arduino

AREF

https://support.arduino.cc/hc/en-us/articles/360018922239-About-the-AREF-pin