

### ► Question 1: PWM 頻率對系統的影響

Answer 1:

PWM (pulse width modulation) 是一種透過脈波(pulse)來調控類比訊號的方法。一般來說, 較高的 PWM 頻率代表訊號的周期較短, 意味著單位時間內有更多的脈衝, 因此可以更精確地調節輸出, 來增加系統的平滑度和精度, 也可以減少在系統中產生的電磁干擾。此外, 在控制迴路中, 較高的 PWM 頻率也可以讓系統有更快的響應, 從而減少積分誤差, 使系統更快地達到穩態。

我們在這次的實驗中發現, 較低的 PWM 頻率會導致系統的輸出產生幅度較大的振蕩。隨著頻率的增加, 振蕩的幅度也隨之減少, 進而提高系統的穩定性。只不過在 PWM 頻率超過 10kHz 時, 系統就已經趨於穩定, 這時提高 PWM 頻率對穩定系統的幫助十分有限, 意義已經不大。我們認為原因是此時 PWM 頻率已高出馬達的響應頻率許多, 如老師在課堂所說高出 1 個 order, 故對系統穩定性的幫助有限。

### ► Question 2: PID 參數對系統的影響

在本次實驗調整參數的過程中, 主要都是先增加 $K_p$ 來使輸出趨近目標角度, 再提高 $K_i$ 以減少 Steady-State Error, 最後調整 $K_d$ 使系統的 Stability 提升, 而這三項參數對系統的影響, 則如下 Table 1 :

Table 1 PID 參數對系統的影響。

	Overshoot	Steady-State Error	Settling time	Rise time	Stability
$K_p$ 增加	增加	減少	小幅增加	減少	變差
$K_i$ 增加	增加	大幅減少	增加	小幅減少	變差
$K_d$ 增加	減少	大幅減少	減少	小幅減少	變好

► Question 3: Step response, PID & steady-state error

Answer 3:

All the result data (CSV files) are stored at [here](https://drive.google.com/drive/folders/1e-bVmV9JSISeEN4JDoONX3aieyYQpDF1?usp=sharing). (<https://drive.google.com/drive/folders/1e-bVmV9JSISeEN4JDoONX3aieyYQpDF1?usp=sharing>)

Motor 1:

Table 2 Motor 1 set point 的 PID 參數。

P	I	D	Steady-state Error
0.6	0	10000	0.484°

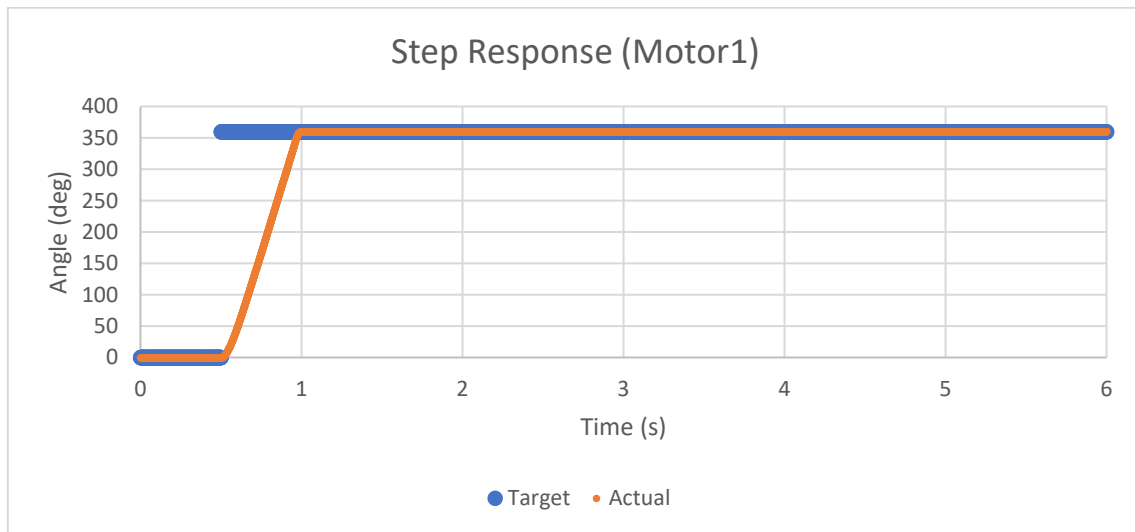


Figure 1 Motor 1 step response.

Motor 2:

Table 3 Motor 2 set point 的 PID 參數。

P	I	D	Steady-state Error
0.6	0	10000	0.427°

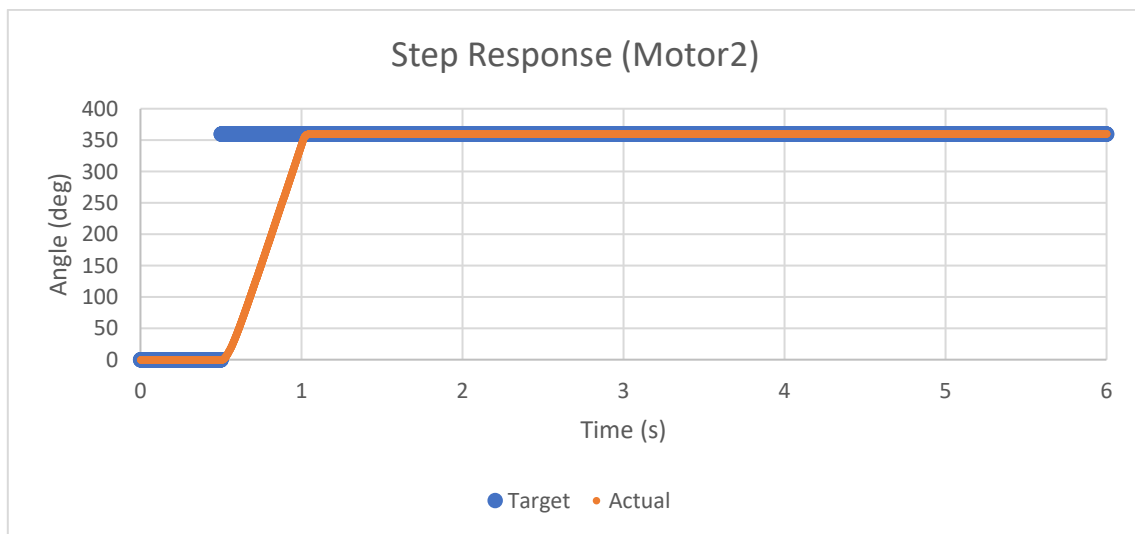


Figure 2 Motor 2 step response.

► Question 4: Sine wave input and response, PID & RMSE

Answer 4:

All the result data (CSV files) are stored at [here](https://drive.google.com/drive/folders/1e-bVmV9JSISeEN4JDoONX3aieyYQpDF1?usp=sharing). (<https://drive.google.com/drive/folders/1e-bVmV9JSISeEN4JDoONX3aieyYQpDF1?usp=sharing>)

Motor 1:

Table 4 Motor 1 sine wave input 的 PID 參數。

P	I	D	RMSE
0.2	0.000001	10000	1.580745°

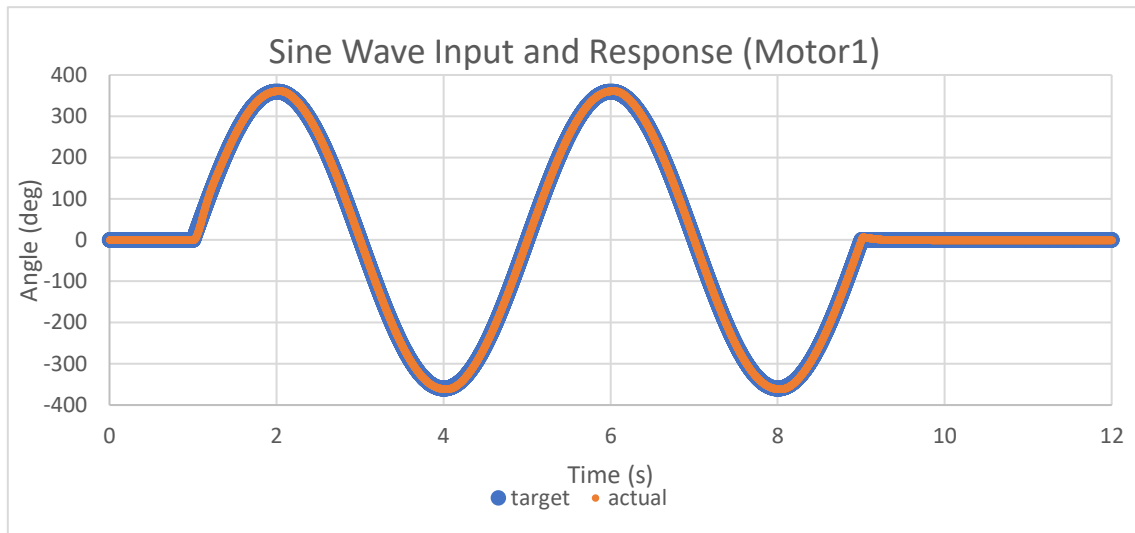


Figure 3 Motor 1 sine wave input and response.

Motor 2:

Table 5 Motor 2 sine wave input 的 PID 參數。

P	I	D	RMSE
0.6	0	10000	1.577692°

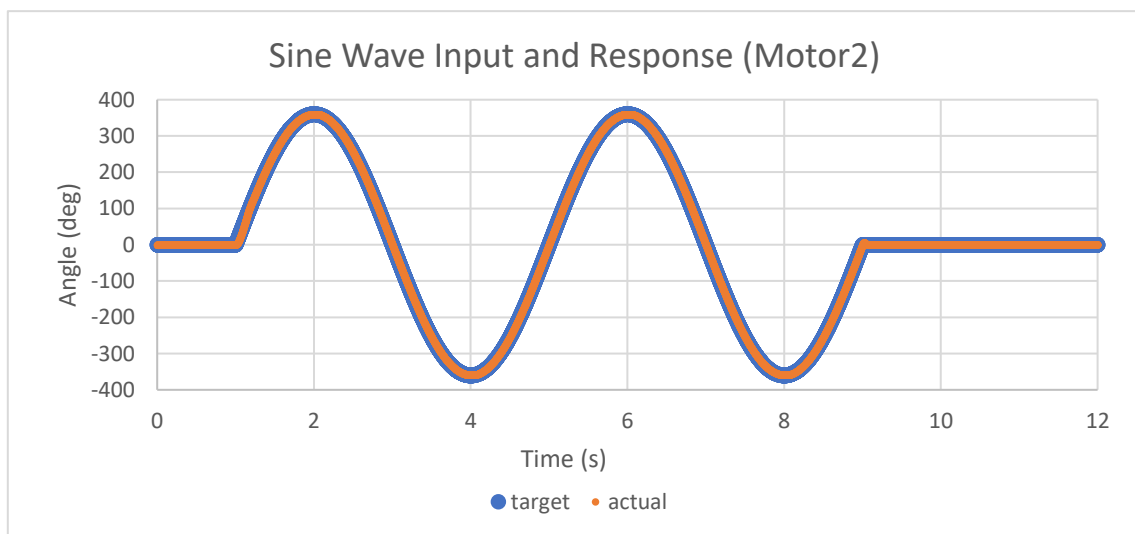


Figure 4 Motor 2 sine wave input and response.

## ► Question 5: LabView 程式截圖

Answer 5:

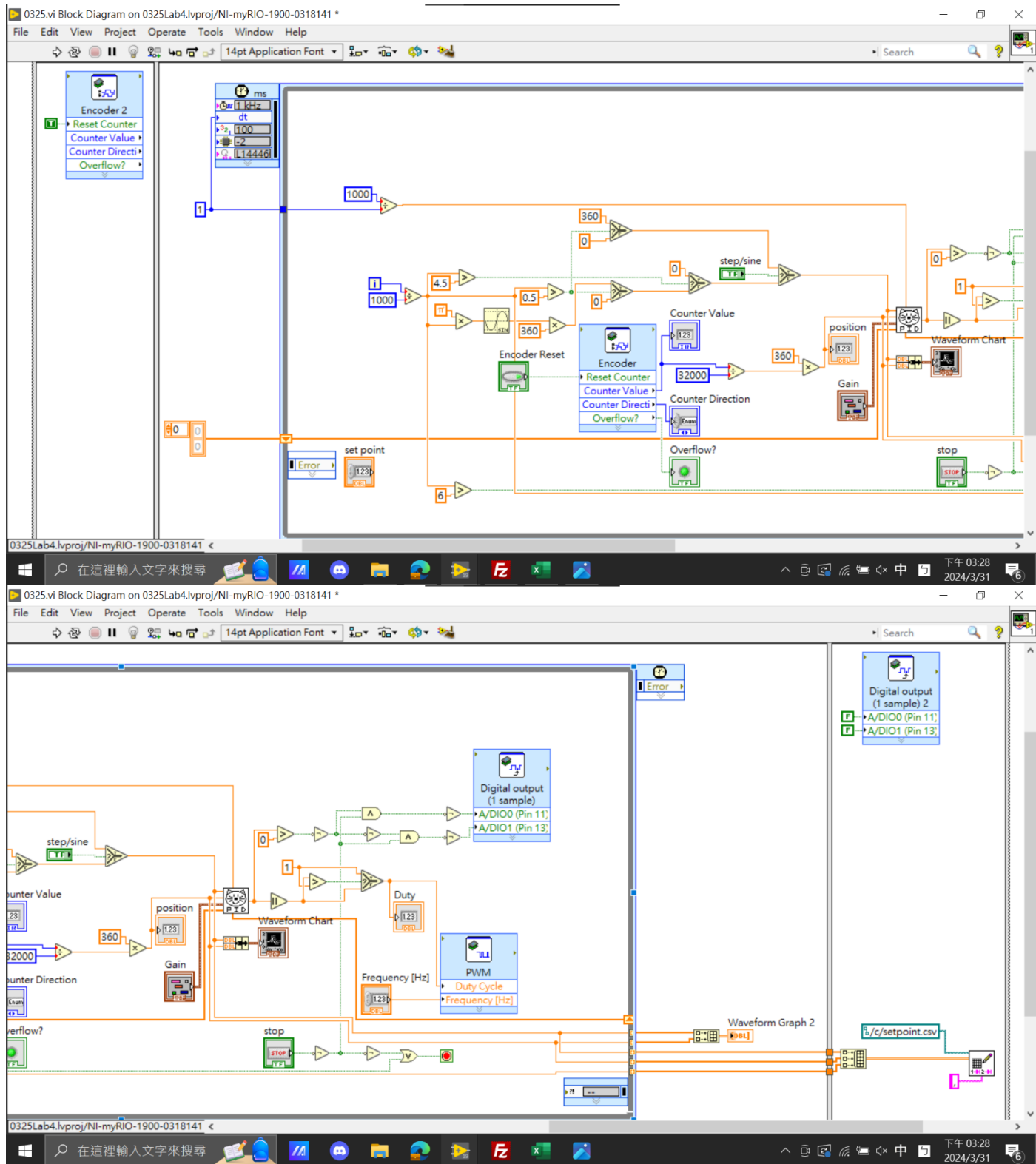


Figure 5 LabView set point 程式截圖

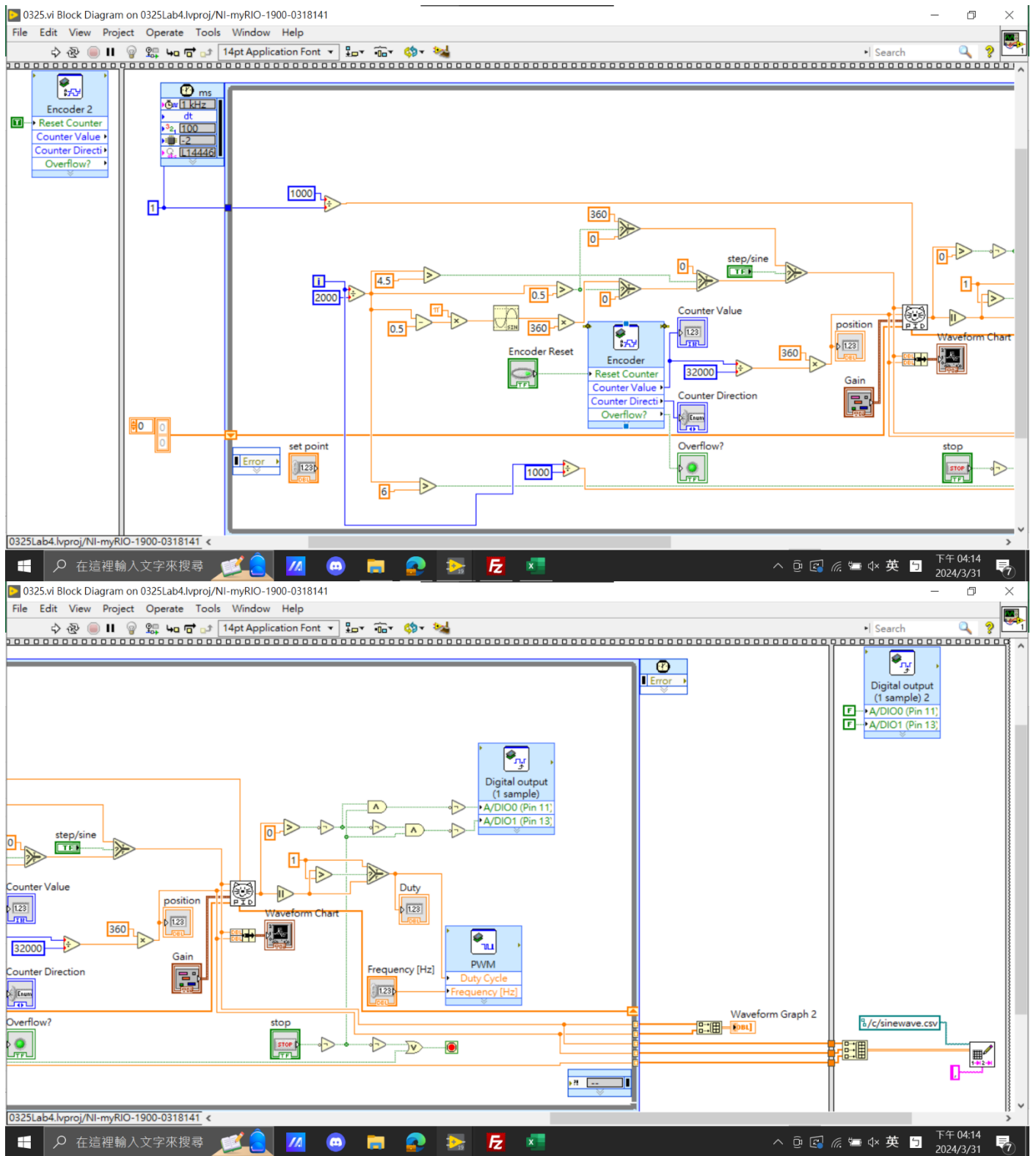


Figure 6 LabView Sine wave 程式截圖

► Question 5: 實驗照片

Answer 6:

