

2023仰望盃全國科學 HomeRun 實作大賽

複賽作品說明書

隊伍名稱： 默士飛

作品名稱： 可程式電源供給—以增強型 N 通道 MOSFET 特性曲
線量測為例

隊 員： 許哲瑋、張德義

指導老師： 羅宏祥、鄭婉君

科學概念1： 可程式電源供給概念，利用 Arduino 的 PWM 輸出，
以程式控制 PWM 輸出，經數位類比轉換模組，達到
自動調整量測電壓。作為 MOSFET 之 V_{GS} 及 V_{DD} 電
壓，取代高價的數位電源供應器或類比電源電壓之手
動調整電壓值，精準控制測量電壓。

科學概念2： 以 Arduino 的類比讀取，取得 V_{DD} 及 V_{DS} 電壓值，排
除指針式電錶目視判讀誤差。自動連續紀錄量測值，
取代數位電錶一一量測後紀錄。
讀取 V_{DD} 及 V_{DS} 電壓值，以克希荷夫電壓定律
(KVL)及歐姆定律，求得輸出端 I_D 電流，取代直流電
流錶，藉此繪製 MOSFET 特性曲線。

複賽作品說明書內文

(最多10頁)

1. 發想動機：

在 Arduino 以 PWM 做呼吸燈的實驗中發現，藉由程式控制來調整 PWM 的輸出，可以調整輸出電壓而改變 LED 的亮度。因 PWM 的輸出脈波寬度不同，以致輸出的電壓不同。在電子學的課程，從二極體、雙極性接面電晶體 (BJT)、金屬氧化物半導體場效電晶體 (MOSFET)，都有講到特性曲線。量測這些電晶體的特性曲線方法並不困難，但在實際操作上卻不是很方便。微量調整電壓變化在類比手調電源供應器特別困難，即使數位電源供應器要做電壓微量調整亦很繁瑣，何況還需紀錄量測數值。

傳統的類比電源供應器，很難做到微小電壓差距的調整。數位電源供應器才可以符合電晶體特性曲線的量測操作，但是價位很高，必須在有提供設備的實習工場才能做。另一個問題是電流的測量必須和電路串聯，而且要觀察微小電流的變化有困難，特別是指針式三用電錶。數位式電錶容易觀測，但是要同時使用二個數位式電錶量電壓，一個量電流。

積體電路製造，半導體 MOSFET 的使用較 BJT 更為普遍。因增強型 MOSFET 體積較小、又 N 通道電子移動速度較 P 通道電洞快；未導通時輸出迴路無電流流動，省電不發熱，故大量使用。因此，需要對增強型 N 通道 MOSFET 工作特性有充分的認識。課堂上對於 MOSFET 工作特性，多以電子學課本既有之特性圖表說明，而電子學實習大多實作其放大電路，對於偏壓方式及特性曲線欠缺經由實驗來體認其特性。

特性曲線量測，測量電壓由小至大逐漸增加，可由程式控制 Arduino 之 PWM 輸出來模擬手動調整；而類比讀取可以取代電壓錶的測量，並顯示於序列埠監控視窗。在 MOSFET 電路中，經由 Arduino 的類比讀取，取得 V_{DD} 及 V_{DS} 電壓值，以克希荷夫電壓定律(KVL)及歐姆定律，求得輸出端 I_D 電流，取代直流電流錶測量。以此作為 MOSFET 特性曲線量測工具，可以摒除人為操作誤差，而且不需高價的數位電源供應器，簡化電流測量方式，便於同學自行實驗。

2. 硬體及電路架構圖：

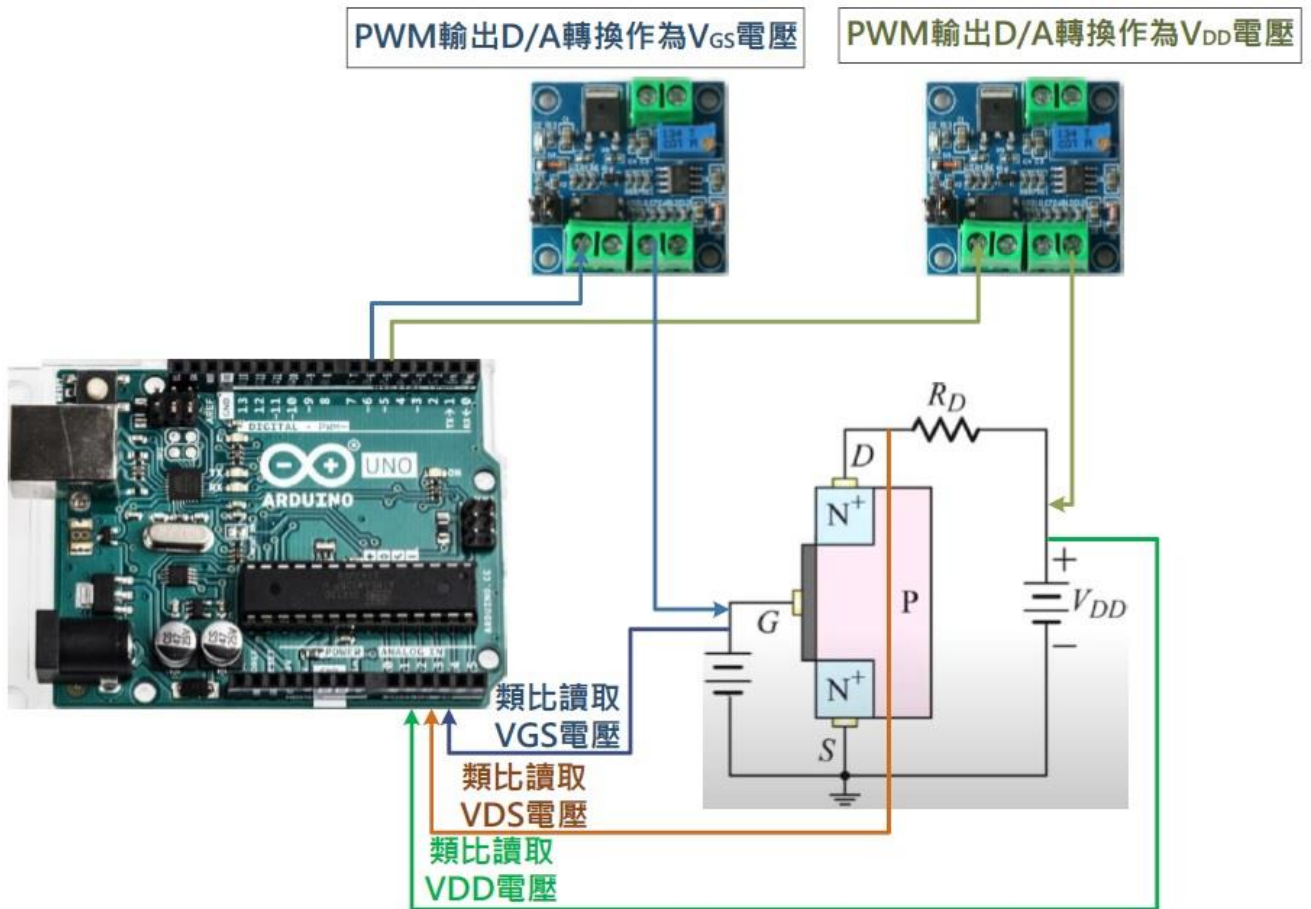


圖1 硬體電路架構圖

資料來源：參賽者繪製

3. 作品使用說明及應用：(可透過圖表或照片說明之)

- (1) 因 Arduino 的輸入、輸出最大為5V，且多數電子產品使用5V 電源，本案實作之 VDD 及 VGS 以5V 為限。如有大於5V 實驗需求，可調大類比模組輸出；在讀取上可外加分壓電路後換算，唯需考量分壓電阻造成的負載效應。
- (2) Arduino 的 PWM 輸出為數位信號，指針式電錶及數位電錶雖可讀取，但在判讀及紀錄上不方便。又 Arduino 的類比讀取，無法直接有效讀取 PWM 數據，且 PWM 輸出電流只有25mA，做為電源供應電流太小。因此，需要透過 PWM 轉類比電壓模組，來將原 PWM 輸出信號轉換成可被 Arduino 讀取的類比信號，以作為量測 MOSFET 的電源。
- (3) 各種二極體、雙極性接面電晶體 (BJT)、金屬氧化物半導體場效電晶體 (MOSFET) 等的特性曲線量測，都可以使用本案所使用的電源供應方式及電壓讀取方式，來提供及取得相關電壓數據，再推算相關電流以繪圖。

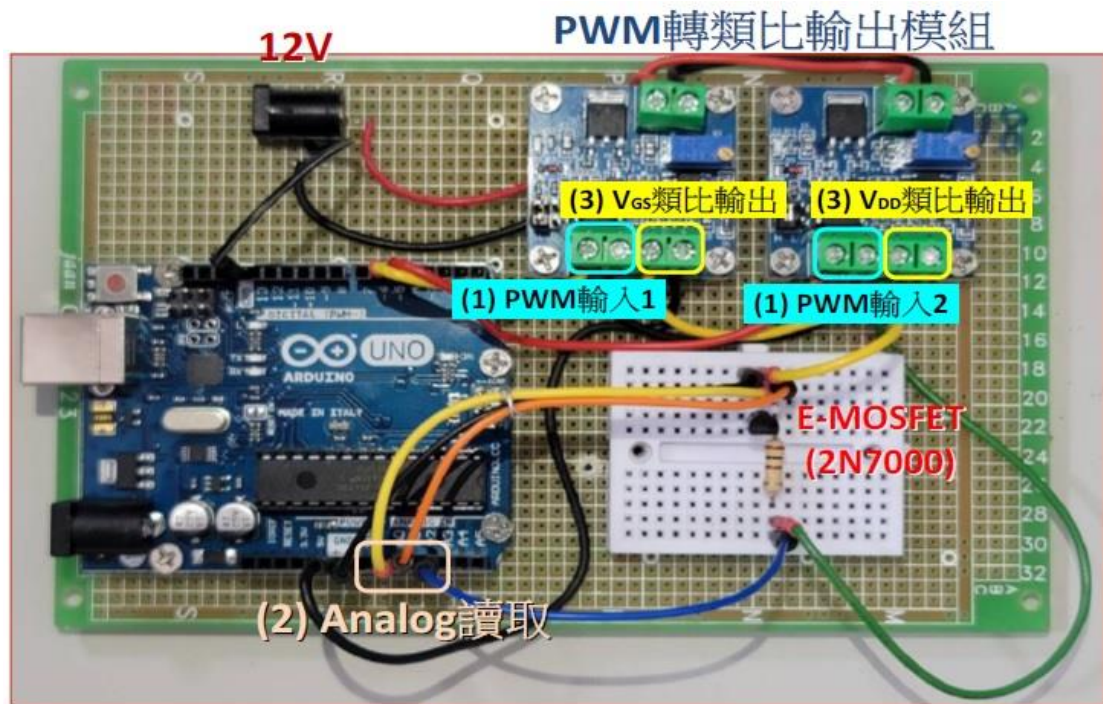


圖2 實作電路

資料來源：參賽者攝製

PWM 輸出值	PWM 輸出計算值	(1) PWM輸出電錶電壓量測值	Analog 讀取值	(2) Analog 讀取計算值	(3) 類比模組電錶電壓量測值	Analog 讀取與量測誤差值	PWM 輸出值	PWM 輸出計算值	(1) PWM輸出電錶電壓量測值	Analog 讀取值	(2) Analog 讀取計算值	(3) 類比模組電錶電壓量測值	Analog 讀取與量測誤差值
0	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0.00	130	2.55	2.52	543	2.65	2.81	0.16
5	0.10	0.12	0	0.00	0.00	0.00	135	2.65	2.61	566	2.76	2.93	0.17
10	0.20	0.21	0	0.00	0.01	0.01	140	2.75	2.71	590	2.88	3.04	0.16
15	0.29	0.31	0	0.00	0.14	0.14	145	2.84	2.80	613	2.99	3.16	0.17
20	0.39	0.41	26	0.13	0.26	0.13	150	2.94	2.90	637	3.11	3.28	0.17
25	0.49	0.50	49	0.24	0.37	0.13	155	3.04	3.00	660	3.22	3.40	0.18
30	0.59	0.60	73	0.36	0.49	0.13	160	3.14	3.09	684	3.34	3.51	0.17
35	0.69	0.69	96	0.47	0.60	0.13	165	3.24	3.19	707	3.45	3.63	0.18
40	0.78	0.79	120	0.59	0.72	0.13	170	3.33	3.28	731	3.57	3.75	0.18
45	0.88	0.89	143	0.70	0.83	0.13	175	3.43	3.38	754	3.68	3.87	0.19
50	0.98	0.98	167	0.82	0.95	0.13	180	3.53	3.48	777	3.79	3.99	0.20
55	1.08	1.08	190	0.93	1.07	0.14	185	3.63	3.57	800	3.91	4.11	0.20
60	1.18	1.17	213	1.04	1.18	0.14	190	3.73	3.67	823	4.02	4.23	0.21
65	1.27	1.27	237	1.16	1.30	0.14	195	3.82	3.76	846	4.13	4.35	0.22
70	1.37	1.37	260	1.27	1.40	0.13	200	3.92	3.86	867	4.23	4.47	0.24
75	1.47	1.46	284	1.39	1.53	0.14	205	4.02	3.96	888	4.34	4.59	0.25
80	1.57	1.56	307	1.50	1.65	0.15	210	4.12	4.05	909	4.44	4.71	0.27
85	1.67	1.65	330	1.61	1.76	0.15	215	4.22	4.15	927	4.53	4.83	0.30
90	1.76	1.75	354	1.73	1.88	0.15	220	4.31	4.24	944	4.61	4.96	0.35
95	1.86	1.85	378	1.85	2.00	0.15	225	4.41	4.34	960	4.69	5.08	0.39
100	1.96	1.94	401	1.96	2.11	0.15	230	4.51	4.43	975	4.76	5.21	0.45
105	2.06	2.04	425	2.08	2.23	0.15	235	4.61	4.53	987	4.82	5.33	0.51
110	2.16	2.13	448	2.19	2.34	0.15	240	4.71	4.62	998	4.87	5.46	0.59
115	2.25	2.23	472	2.30	2.46	0.16	245	4.80	4.72	1007	4.97	5.59	0.62
120	2.35	2.32	495	2.42	2.58	0.16	250	4.90	4.82	1015	4.96	5.73	0.77
125	2.45	2.42	519	2.53	2.69	0.16	255	5.00	4.91	1022	4.99	5.87	0.88

表1 PWM 輸出計算值及電錶量測值、PWM 轉類比模組輸出及類比讀取計算值與量測值

資料來源：參賽者編製

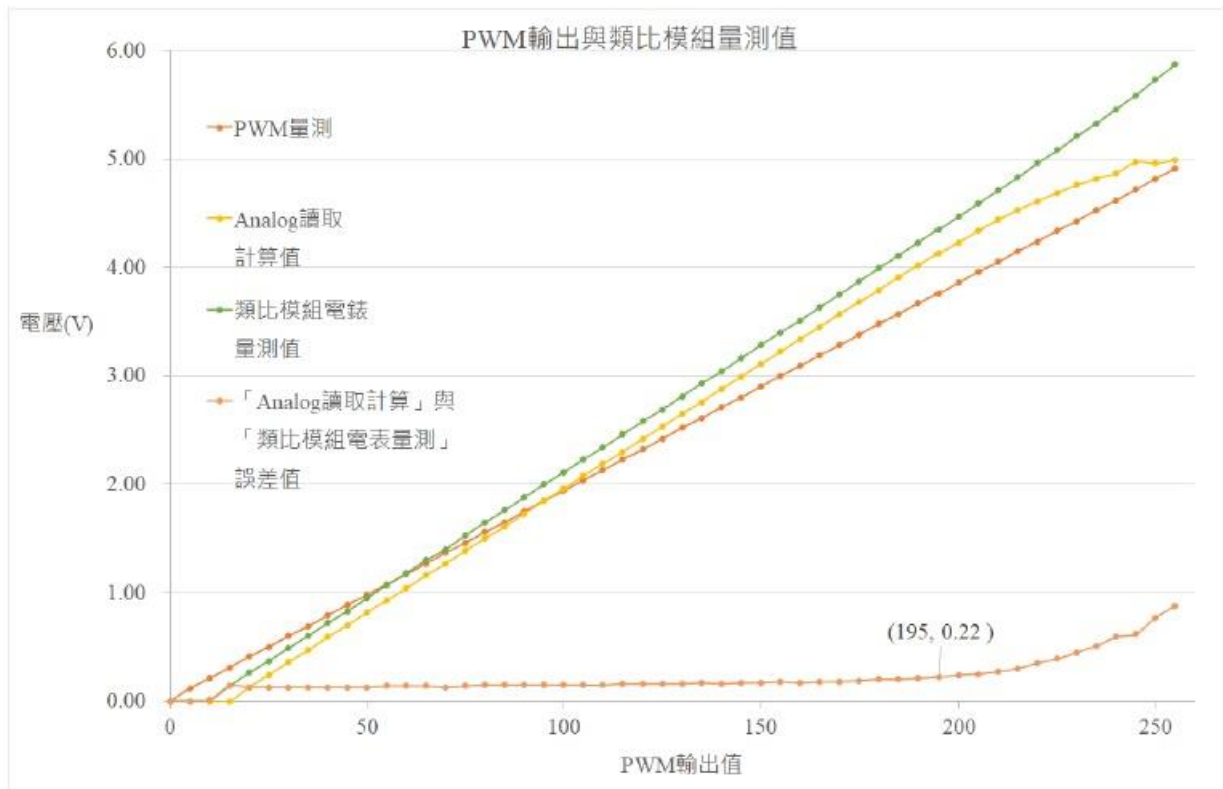


圖3 Analog 讀取計算與類比模組電錶量測誤差值圖

資料來源：參加者繪製

說明：

- (1) 如圖3，PWM 輸出量測與類比模組電錶量測值皆呈線性變化。
- (2) 如圖3，PWM 輸出值為15以前，類比讀取值為0。PWM 輸出值於15~200之間亦呈線性變化，然而 PWM 輸出值為200之後，類比讀取為非線性變化。
- (3) 類比模組電錶測量值跟 Analog 讀取計算值的誤差值平均為0.22，如圖在 PWM 輸出值為195時，誤差為0.22V，隨著 PWM 輸出值越大誤差值就會越大。
- (4) 為避免讀取輸入電壓過大損壞 Arduino，接腳可加5.1V 稽納二極體保護。

4. 作品創意性：(最多300字)

- (1) 實現可程式電源供給，利用 Arduino 的 PWM 輸出模擬類比電壓，以程式控制操作電壓逐漸增加，作為 MOSFET 之 V_{GS} 及 V_{DD} ，取代手動調整電源電壓，精準控制測量電壓
- (2) 以數位類比轉換模組¹，修正 Arduino 類比腳讀取數位值之錯誤，將量測值顯示於 Arduino 序列埠監控視窗，作為繪製特性曲線之數據。

¹ PWM 為數位輸出，無法由類比腳讀取，故經數位-類比轉換，以便作為類比讀取。

(3)Arduino 類比腳所讀取之 V_{DD} 及 V_{DS} 電壓值，以克希荷夫電壓定律² (KVL)及歐姆定律³，求得輸出端 I_D 電流，取代電流錶串接於電路中之不便，藉此繪製 MOSFET 特性曲線。

5. 作品成果報告

本可程式電源供給—以增強型 N 通道 MOSFET(2N7000) 特性曲線量測，操作者需對各工作區域施加電壓條件有充分瞭解，方能以程式由迴圈指令控制量測電壓。

PWM 輸出經類比轉換模組，供給電壓給 MOSFET 後，需給適當的 delay 值，讓模組、MOSFET 有充足的轉換工作時間，避免類比讀取值錯誤。

如圖4為 V_{DS} - I_D 輸出特性曲線圖，橫軸為 V_{DS} 、縱軸為 I_D ，為 V_{GS} 給予 PWM 輸入值於110~120之間，電壓大約為2.32~2.56V。為求線性電阻特性， V_{DS} 電壓值需控制在0~200mV，400~800mV 即進入非線性區。

如圖5為 V_{GS} - I_D 輸入輸出特性曲線，橫軸為 V_{GS} 、縱軸為 I_D ， V_{DD} 為 PWM 輸出值為160，電壓約為3.51V。由特性曲線可看出臨界電壓 $V_{GS(t)}$ (Threshold Voltage)約為2.3V。為考慮類比讀取與電錶量測之誤差。

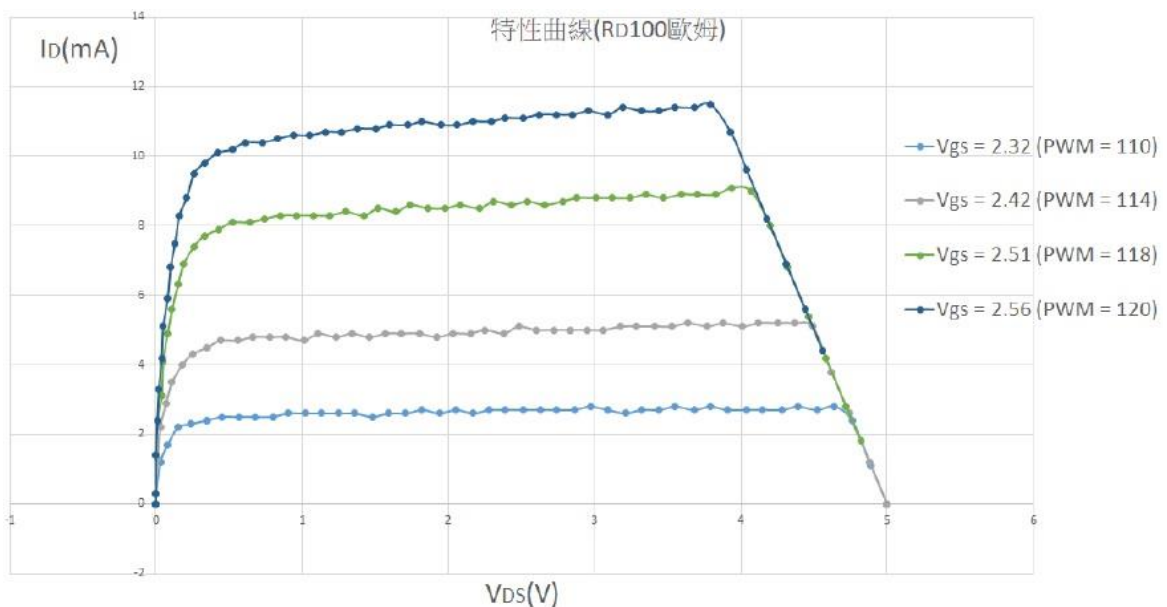


圖4 V_{DS} - I_D 輸出特性曲線(不考慮誤差)

資料來源：參加者繪製

²在任一封閉迴路中，電動勢的代數和等於各元件電壓降之和。 $V_{DD} = V_{RD} + V_{DS}$ 。

³ $I_D = (V_{DD} - V_{DS}) / R_D$

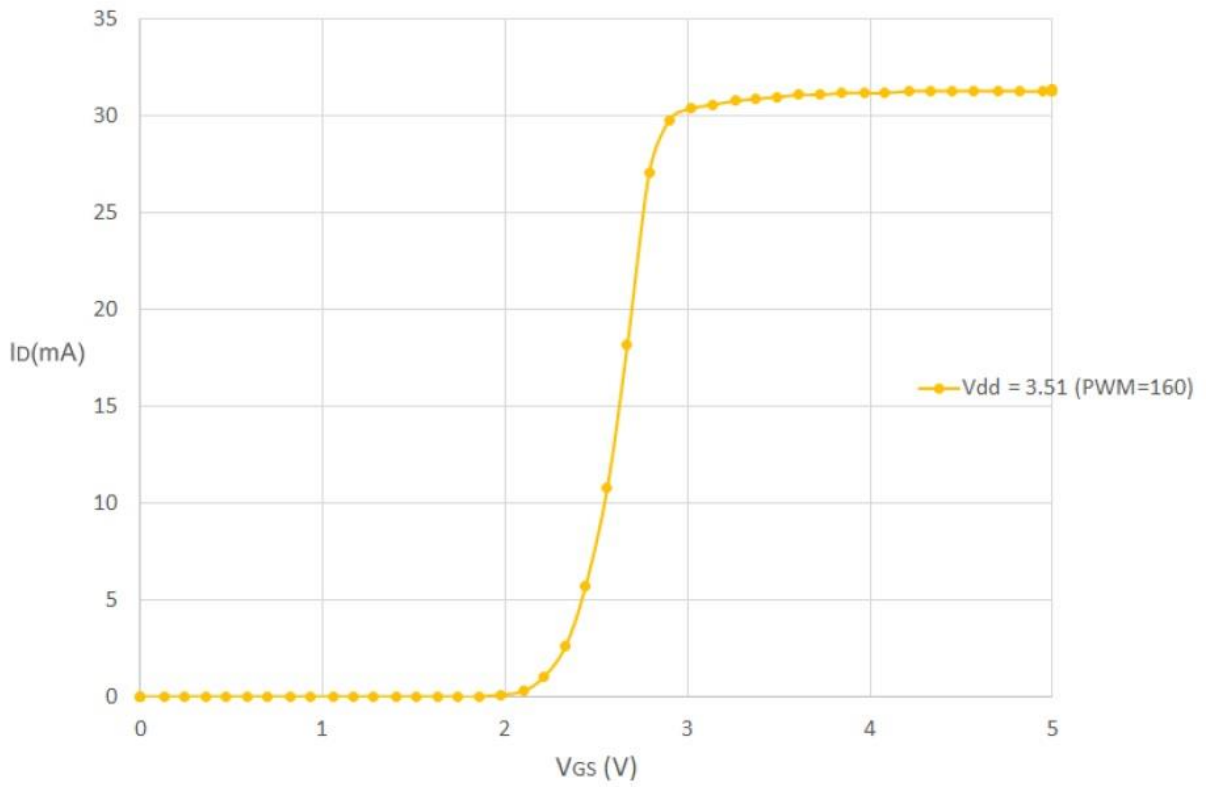


圖5 V_{GS} - I_D 輸入輸出特性曲線

資料來源：參加者繪製

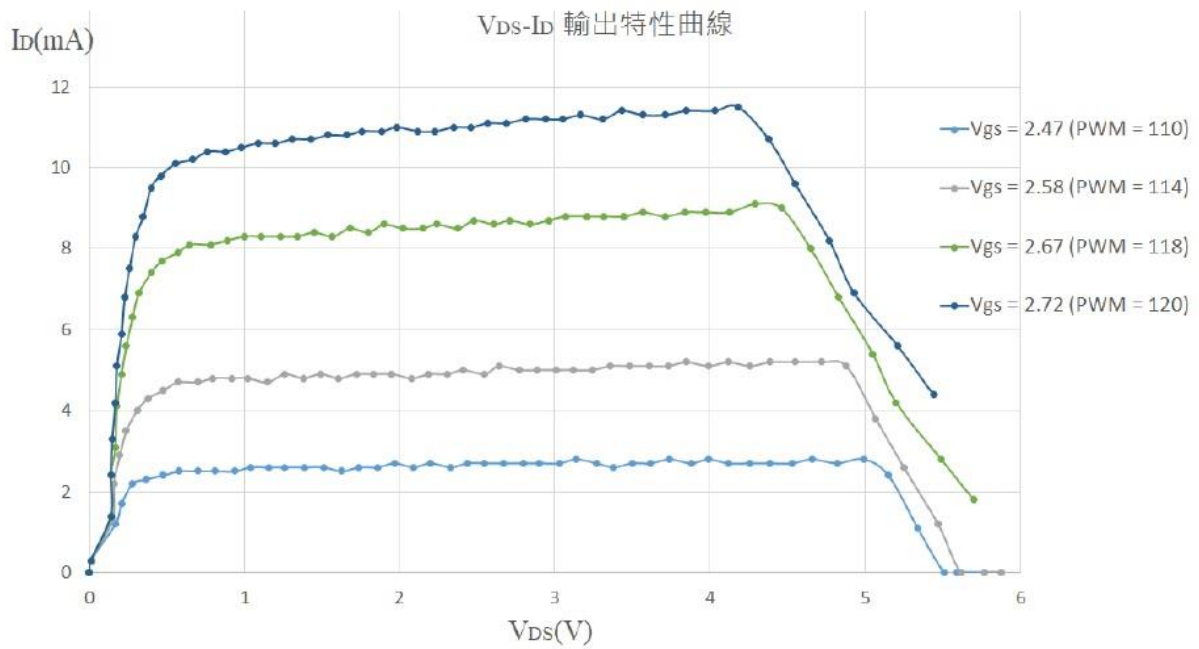


圖6 V_{DS} - I_D 輸出特性曲線(考慮誤差)

資料來源：參加者繪製

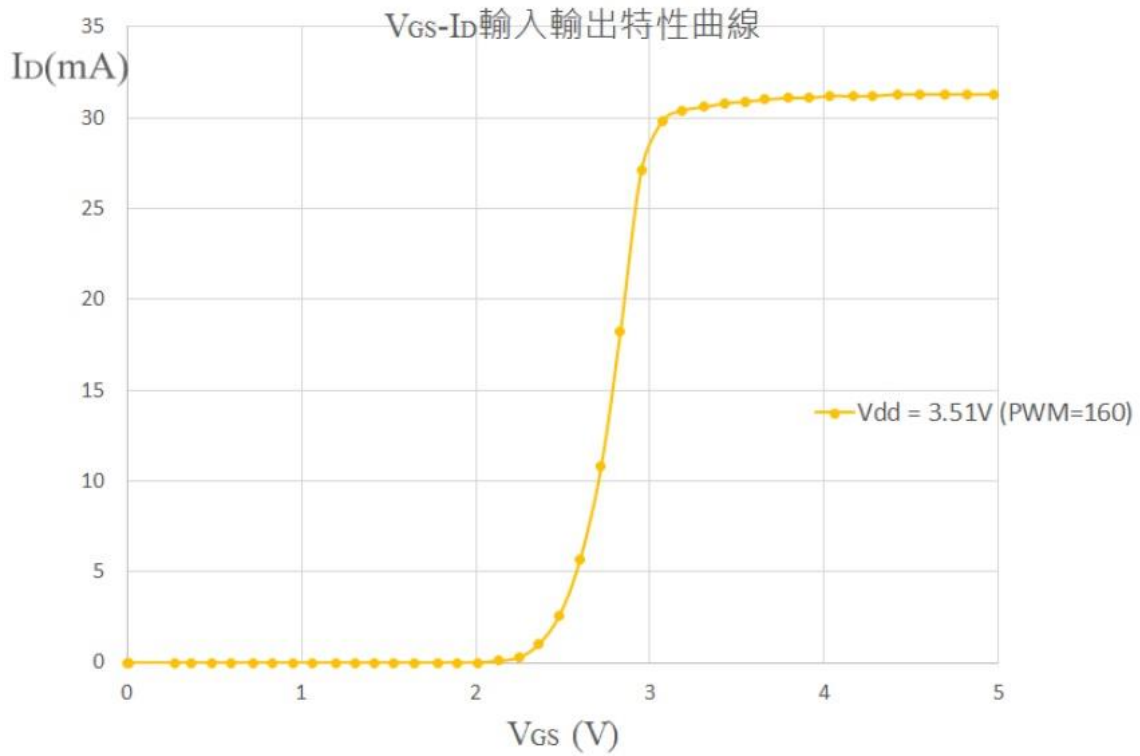


圖7 VGS-ID 輸入輸出特性曲線(考慮誤差)

資料來源：參加者繪製

```

1 int PWM1 = 6;
2 int PWM2 = 5;
3 int pwnValue1 = 0;//Vgs
4 int pwnValue2 = 200;//Vdd
5 //A0:Vgs ; A1:Vds ; A2:Vdd
6 long Vgs=0,Vds=0,Vdd=0;
7 void setup()
8 {
9     Serial.begin(9600);
10    Serial.println("CLEARSHEET"); // clears sheet starting at row 1
11    Serial.println("LABEL, PWM(Vgs) , PWM(Vdd) , Vgs(A0) , Vds(A1) , Vdd(A2) ");
12    pinMode(PWM1, OUTPUT);
13    pinMode(PWM2, OUTPUT);
14    pinMode(A0, INPUT);
15    pinMode(A1, INPUT);
16    pinMode(A2, INPUT);
17 }
18
19 void loop()
20 {
21     analogWrite(PWM1,pwnValue1);//送出PWM訊號
22     analogWrite(PWM2,pwnValue2);

```



```

23  delay(200); //等待0.2秒
24  Vgs = analogRead(A0); //讀取類比電壓
25  Vds = analogRead(A1);
26  Vdd = analogRead(A2);
27  Vgs *= 100;
28  Vds *= 100;
29  Vdd *= 100;
30  Vgs = map(Vgs, 0, 102300, 0, 500);
31  Vds = map(Vds, 0, 102300, 0, 500);
32  Vdd = map(Vdd, 0, 102300, 0, 500);
33  Serial.println( (String) "DATA, "+pwnValue1+", "+pwnValue2+'
34  , "+Vgs+", "+Vds+", "+Vdd+", AUTOSCROLL_20" );
35  if(pwnValue2<255)
36      pwnValue2+=5;
37  else{
38      pwnValue2 = 0;
39      if(pwnValue1<255)
40          pwnValue1+=5;
41      else
42          pwnValue1=0;
43  }
44  }

```

圖8 N通道 E-MOSFET 特性曲線量測的 Arduino 程式碼

6. 參考文獻：

- 王成緒、胡孝慈(2022)。基本電學(上)，新北市：台科大圖書股份有限公司。
- 王金松、賴錦瑞(2020)。電子學實習(下)，台北市：五南圖書出版股份有限公司。
- 江賢龍、周玉崑(2020)。電子學實習上，新北市：台科大圖書股份有限公司。
- 郭浩鵬(2016)。台達磨課師(DeltaMOOCx)電機與電子_電子學，台達電子文教基金會。
- 高昱綸、楊明豐(2022) 電子學含實習滿分總複習(上)，新北市：旗立資訊股份有限公司。
- 曹哲愷、黃育泰(2022) 電子學(上)，新北市：紅動創新股份有限公司。
- 楊明豐(2017)。Arduino 最佳入門與應用—打造互動設計輕鬆學第二版，台北市：碁峰資訊股份有限公司。
- 趙英傑(2020)。超圖解 Arduino 互動設計入門第4版，台北市：旗標科技股份有限公司。
- 蔡朝洋、蔡承佑(2022)。電子學實習上冊，新北市：全華圖書股份有限公司。

2023仰望盃全國科學 HomeRun 實作大賽

作品設計費支出明細表(複賽用)

隊伍名稱：默士飛

項目名稱	費用	備註
2N7000 MOSFET	5	
PWM 轉電壓模組 0%-100%轉換為0-10V 2片	120	一片60元
小麵包板 1片	10	
12V2A 電源供應器	100	
12VDC 電源插座	3	
塑膠柱、M3塑膠螺母、M3螺絲 12對	24	
100Ω、1KΩ 電阻	1	
連接導線	5	
固定板	0	回收品
總價 (新台幣) (元)	268	

註：除了大會所提供之 Arduino UNO 外，其餘作品設計費每組花費限額3,000元(大會不補助)。若作品有使用到網際網路，提供網路的設備不計入作品設計費，該設備只作為提供網路給作品使用。

複賽時並請提供「作品設計支出明細表」。