

2024仰望盃全國科學HomeRun實作大賽

決賽成果報告書

隊伍名稱: 特斯拉

作品名稱: 可分鋁鐵的金屬探測器

科學概念1: 電磁感應

電感是一種能將電能通過磁通量的形式儲存起來的被動電子元件。通常為導線卷繞的樣子，當有電流通過時，會從電流流過方向的右邊產生磁場。電感值的計算公式如下所示 $L \sim 5\mu\text{H} \times 20^2 \times 0.05 = 100\mu\text{H}$ 。卷數越多，磁場越強。同時，橫截面積變大，或改變磁芯都能夠使磁場增強。

科學概念2: 如何辨別鐵鋁等金屬

線圈附近的非磁性金屬(例如銅和鋁)會降低電感，因為變化的磁場會在物體中感應出渦流，從而降低局部磁場的強度。線圈附近的鐵磁性材料(例如鐵)會增加其電感，因為感應磁場與外部一致。(統宇電研公司 常見問題說明 (FAQ))

註: 決賽作品說明書內文總頁數最多10頁(不含本封面及授權同意書), 請勿寫上可辨識學校名稱之資訊。

決賽成果報告書內文

1. 發想動機：

利用電磁感應在施工中預防意外損害

在生活中常見到在施工過程中意外挖到電線或鋼筋的新聞報導，而這不僅可能會引發重大問題和造成人們生活上的困擾。為了避免這種情況的發生，我們可以在施工前使用感測器來檢測電線或鋼筋的位置。

在學校的物理課程中，我們學習到了電磁感應的原理，即改變磁場可以在導體中誘導出電流。我們可以將這個原理應用在施工中，以防止意外損害，降低這種事件的發生率。

通過使用能夠檢測磁場變化的感測器，我們可以在施工開始之前確定電線或鋼筋的存在和位置。這些感測器能夠檢測到電線或鋼筋產生的電磁場，並即時向施工人員提供反饋。這些信息可以幫助他們避開這些區域，或者採取必要的預防措施，以避免損壞。

在施工中應用電磁感應的原理可以極大地提升安全性和效率。通過將這項技術應用於施工中，我們可以最小化意外挖到電線或鋼筋的風險，降低施工過程中意外損害的發生率，確保施工更加安全和高效。

利用電磁感應辨別不同金屬

在做出金屬探測器的同時，我們也藉由數據探討電磁感應的原理。為了更深入探討金屬探測器中的科學原理，我們轉而研究金屬探測器所得數據和不同金屬的相關性。藉由所測得的數據進而判別探測物為何種金屬，便可以此依據來做金屬回收的分類。

透過自製的金屬探測器，可以在做資源回收的時候，將不易辨別的金屬如(鐵依照金屬探測器顯示的燈號分開，達到快速分類的效果，發揮回收物的最大效用。金屬探測器明顯的燈號可以讓人們以最快的速度，同時具備一定的準確度，進而降低分類錯誤的機率。

2. 作品創意性:(最多300字)

本作品有以下幾個特點:

(1)本作品將金屬探測器測出的數據做研究，也就是將結果量化，不再是以，並以電學中「電磁感應」的原理探討各金屬對磁場的影響。

(2)實用性:本作品設置簡易，容易操作，可以在作為基礎教學中介紹電磁感應以及arduino的教具。

此作品對一般教學演示及科學教具製作皆具有高度發展潛力。

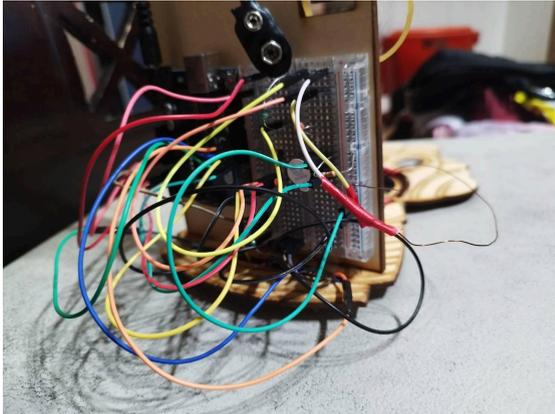
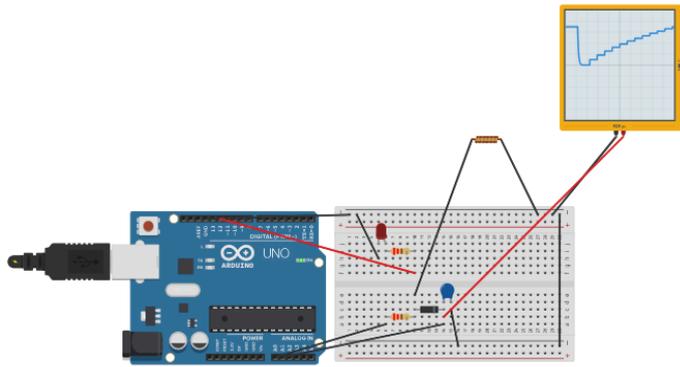
3. 硬體及電路架構圖：

使用 Arduino、電容器、二極體和電阻器，可以測量線圈的電感：將線圈作為高通 LR 濾波器的一部分，並用塊波對其進行饋送，每次都會產生短尖峰過渡。這些尖峰的脈衝長度與線圈的電感成正比。

事實上，LR濾波器的特徵時間為 $\tau=L/R$ 。對於 20 個繞組且直徑為 10 cm 的線圈， $L \sim 5\mu\text{H} \times 20^2 \times 0.05 = 100\mu\text{H}$ 。為了防止 Arduino 過流，最小電阻為 200Ohm。因此，我們預期脈衝長度約為 0.5 微秒。

鑑於 Arduino 的時脈頻率16MHz，這些很難直接高精度測量。相反，上升脈衝可用於對電容器充電，然後可透過 Arduino 類比數位轉換 (ADC) 讀取該電容器。0.5 微秒25mA 脈衝的預期電荷為12.5nC，這將在10nF電容器上提供1.25V。二極體上的壓降將減少這一點。如果脈衝重複幾次，電容器上的電荷將升至約2V。這可以透過 Arduino ADC 使用 Analog Read()讀出。然後，透過將讀出引腳更改為輸出並將其設定為0V幾微秒，可以快速對電容器進行放電。

整個測量大約需要200微秒，其中100 微秒用於電容器的充電和重置，100微秒用於ADC轉換。透過重複測量並對結果取平均值可以大幅提高精度：對 256 次測量取平均值需要 50ms，精度提高了16倍。透過這種方式，10位元 ADC可以達到 14 位元 ADC 的精度。所獲得的測量結果與線圈的電感呈現高度非線性關係，因此不適合測量電感的絕對值。然而，對於金屬檢測，我們只對由於附近金屬的存在而引起的線圈電感的微小相對變化感興趣，因此這種方法非常適合。



4. 作品成果報告:(可透過圖表或照片說明之)

當電流開始流過線圈時，就會產生磁場。根據法拉第感應定律，變化的磁場將產生與磁場變化相反的電場。因此，線圈上會產生一個電壓，該電壓阻礙電流的增加。這種效應稱為自感，電感的單位是亨利，當電流每秒變化1安培時，1亨利線圈會產生1V的電位差。具有 N 個繞組且半徑為 R 的線圈的電感約為 $5\mu\text{H} \times N^2 \times R$ ，其中 R 的單位為公尺。線圈附近存在金屬物體會改變其電感，根據金屬的類型，電感可以增加或減少。線圈附近的非磁性金屬(例如銅和鋁)會降低電感，因為變化的磁場會在物體中感應出渦流，從而降低局部磁場的強度。線圈附近的鐵磁性材料(例如鐵)會增加其電感，因為感應磁場與外部磁場一致。因此，測量線圈的電感可以顯示附近是否存在金屬

程式碼:

```

1
2 const byte npulse = 12; // 每次測量前電容器充電的脈衝數
3 const bool sound = true;
4 //const bool sound = false;
5 const bool debug = false;
6 //const bool debug = true;
7 float pulseHighTime=3.0; //每次充電3毫秒
8 float pulse_step=0.1; //每次充電加減0.1毫秒
9 const byte pin_pulse=A0;
10 const byte pin_cap =A1;
11 const byte pin_LED11 =11;
12 const byte pin_LED12 =12;
13 const byte pin_LED09 =9;
14 const byte pin_LED10 =10;
15 const byte pin_tone =8;
16 const int nmeas=256; //進行測量
17 long int sumsum=0; //running sum of 64 sums
18 int suma;
19 int counter[260] ;
20 int maxvala;
21 void setup() {
22     Serial.begin(9600);
23     if (debug) Serial.begin(9600);
24     pinMode(pin_pulse, OUTPUT);
25     digitalWrite(pin_pulse, LOW);
26     pinMode(pin_cap, INPUT);
27     pinMode(pin_LED09, OUTPUT);
28     digitalWrite(pin_LED09, LOW);
29     pinMode(pin_LED10, OUTPUT);
30     digitalWrite(pin_LED10, LOW);
31     pinMode(pin_LED11, OUTPUT);
32     digitalWrite(pin_LED11, LOW);
33     pinMode(pin_LED12, OUTPUT);
34     digitalWrite(pin_LED12, LOW);
35     if(sound)pinMode(pin_tone, OUTPUT);
36     if(sound)digitalWrite(pin_tone, LOW);
37 }
38
39
40 void loop() {
41     int minval=1023;
42     int maxval=0;
43     int i;
44     //進行測量258次，去掉最大最小
45     long unsigned int sum=0;
46     for (int imeas=0; imeas<nmeas+2; imeas++){
47         //reset the capacitor
48         pinMode(pin_cap,OUTPUT);
49         digitalWrite(pin_cap,LOW);
50         delayMicroseconds(100);
51         pinMode(pin_cap,INPUT);
52         //充電npulse次
53         for (int ipulse = 0; ipulse < npulse; ipulse++) {
54             digitalWrite(pin_pulse,HIGH); //takes 3.5 microseconds
55             delayMicroseconds(pulseHighTime);
56             digitalWrite(pin_pulse,LOW); //takes 3.5 microseconds
57             delayMicroseconds(pulseHighTime);
58         }
59         //讀取電容器上的充電
60         int val = analogRead(pin_cap); //takes 13x8=104 microseconds
61         minval = min(val,minval);

```

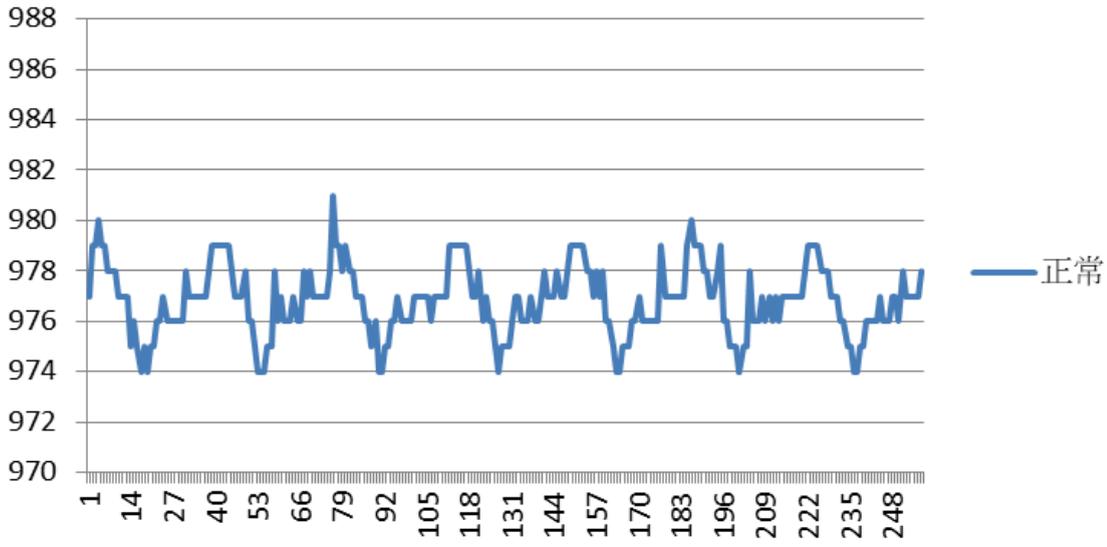
```

62     maxval = max(val,maxval);
63     sum+=val;
64     counter[imeas]=val;
65
66 }
67
68 //減去最小值和最大值以消除尖峰
69 sum-=minval; sum-=maxval;
70 float average=sum/nmeas;
71
72 if(Serial.available()){
73     int x = Serial.read();
74     //Serial.write(x);
75     if(x==97){ //如果按a
76         pulseHighTime+=pulse_step;
77     }
78     if(x==100){ //如果按d
79         pulseHighTime-=pulse_step;
80     }
81     if(x==111){ //如果按o
82         suma=sum;
83     }
84     if(x==112){ //如果按p
85         Serial.print("average=");
86         Serial.print(average);
87         Serial.print(",maxval=");
88         Serial.print(maxval);
89         Serial.print(", sum=");
90         Serial.print(sum);
91         Serial.print(", pulseHighTime=");
92
93         Serial.print(pulseHighTime);
94         Serial.print(", A1_value=");
95         Serial.println(analogRead(A1));
96         for ( i=0; i<256; i++){
97             Serial.print(counter[i]);
98             Serial.print(",");
99         }
100         Serial.println(counter[256]);
101     }
102
103 }

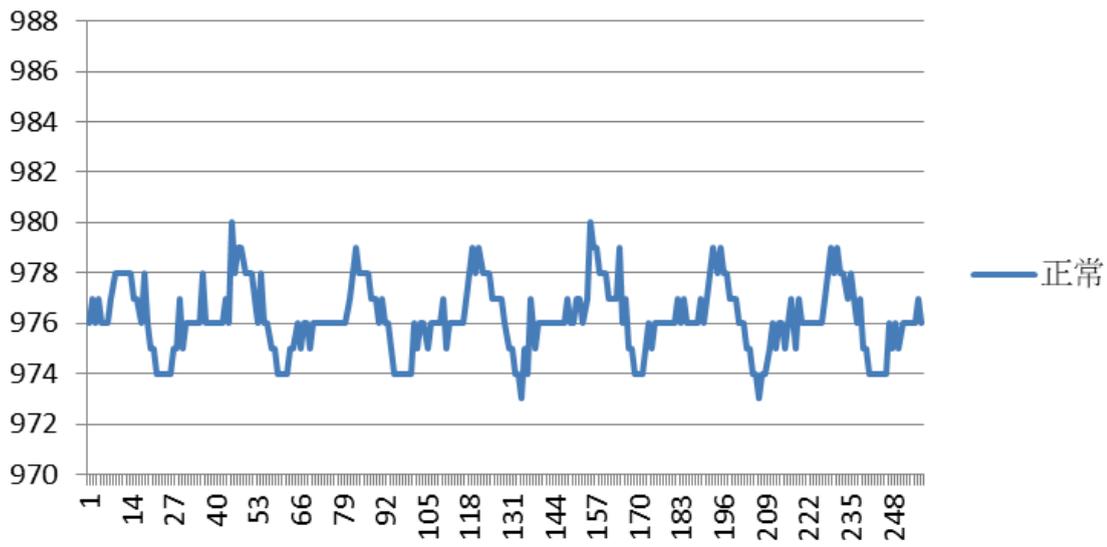
```

我們利用程式控制案p鍵印出平均(有扣除極值)、最大、總和、充電延遲時間(pulsehightime)這兩張都是線圈沒放物品時讀出的值，而之所以值差如此之大是因為我們一開始量測時沒放物品的值總是跳來跳去，那時也就理所當然地懷疑是環境問題，原本是想利用相對數據比較所以在第程式81行加入按o鍵存入數值(在沒物品時，按o鍵存入數值，加入金屬時便可拿測得的數值與存入的數值比較)，然而金屬加入前後其差值不是定值(在沒放時亂跳的情況下)，後來便加入陣列將所有測量值列出，發現居然很多值是零，因此合理推斷電路出問題，後來再換了一條線之後的值瞬間翻倍。

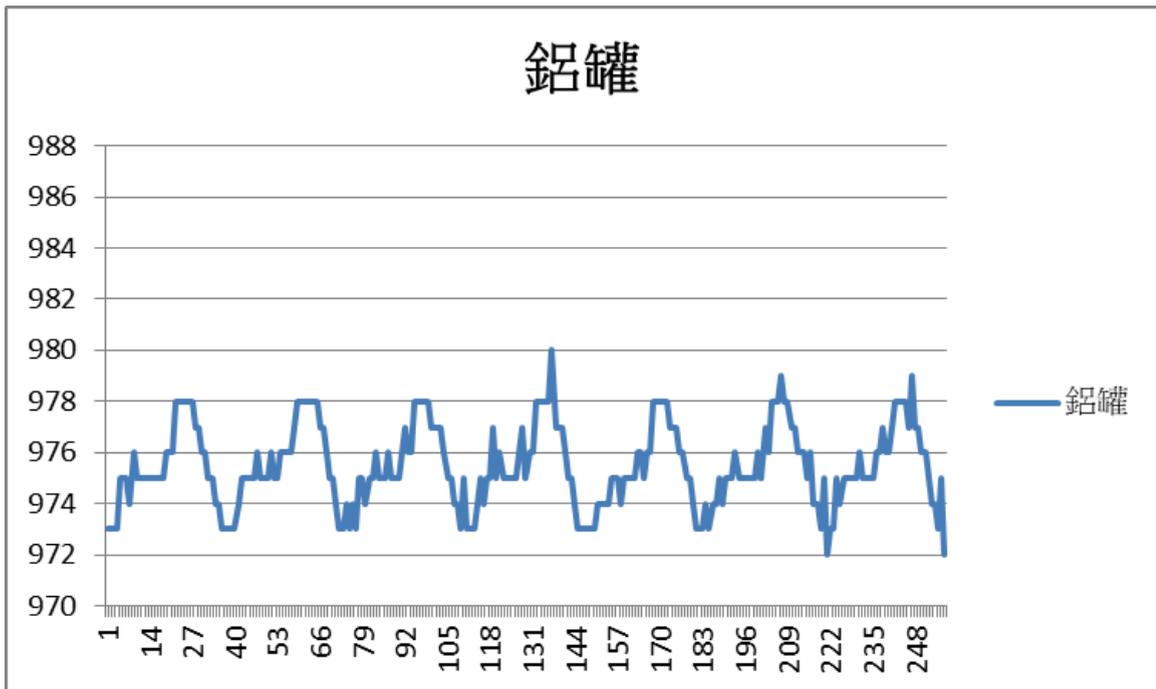
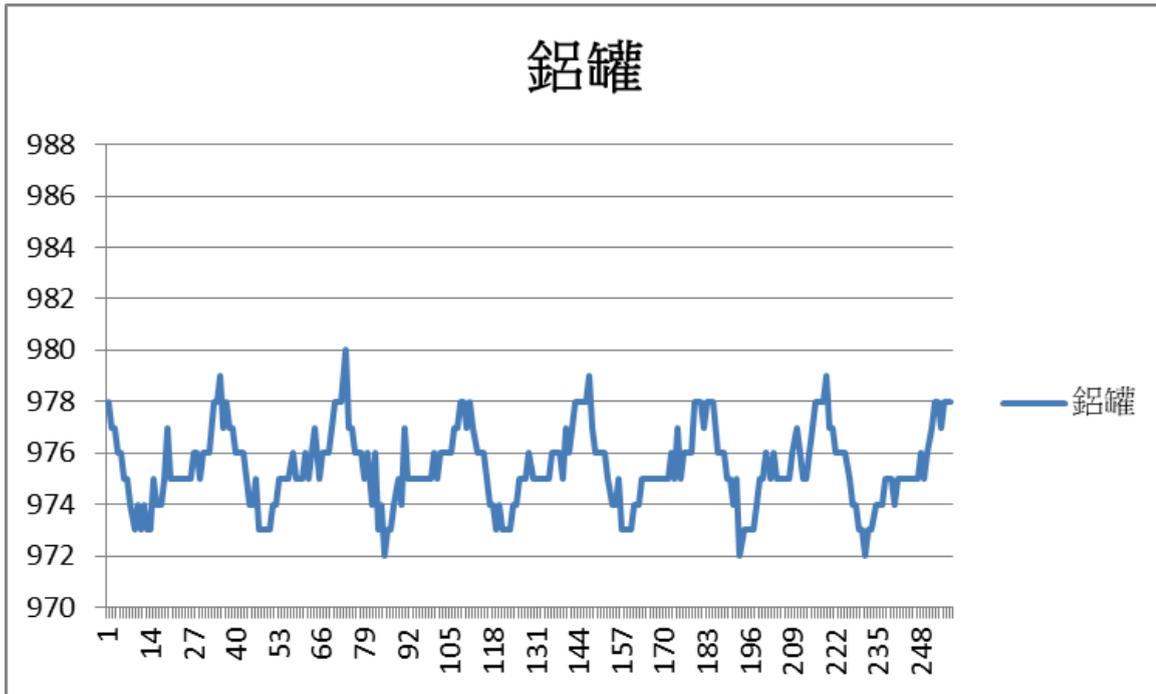
正常



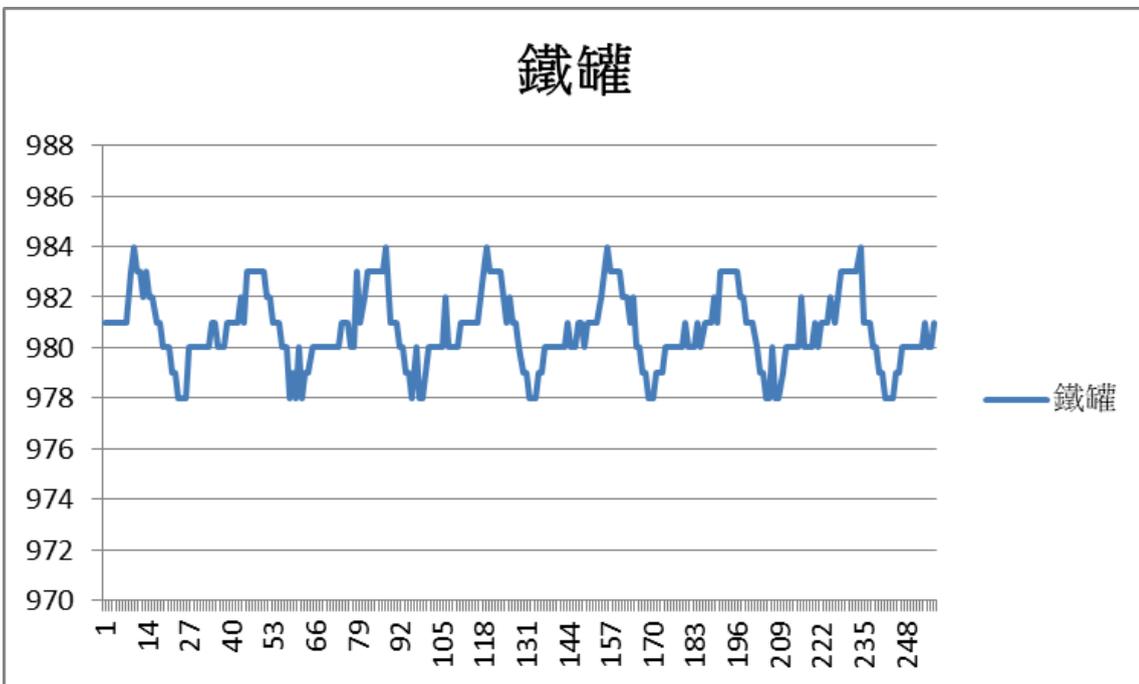
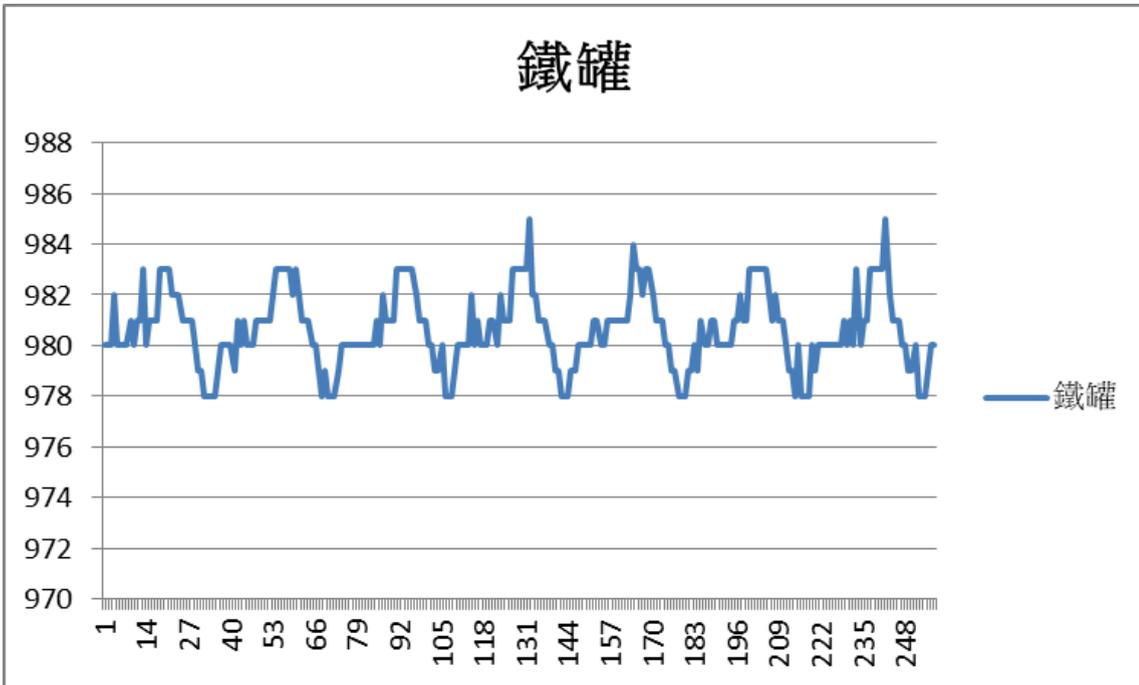
正常



放鋁罐:



放鐵罐:



由上圖可以觀測，我們推論造成測量值週期波動的原因是adurino讀取時間造成

5. 參考文獻：

1. Saddam Author (2018,January 6) <https://shorturl.at/bfCEX>

2.統宇電研公司 常見問題說明(FAQ)<https://shorturl.at/dftvB>

3.電感線圈公式<https://reurl.cc/NQrOy9>

