

## บรรณานุกรม

## บรรณานุกรม

### ภาษาไทย

#### หนังสือ

ประจัน พลังสันติกุล.(2549). **C Programming for AVR Microcontroller and WINAVR (C Compiler)** การเขียนโปรแกรมควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์ AVR ด้วยภาษา C กับ WinAVR. กรุงเทพฯ: แอพซอฟต์แวร์เทค.

#### สารสนเทศจากสื่ออิเล็กทรอนิกส์

บริษัท อีทีที จำกัด. (2000-2011).คู่มือการใช้งานบอร์ด ET-EASY168 STAMP.  
สืบค้นเมื่อ ตุลาคม 2553. จาก <http://www.ett.co.th>

### ภาษาต่างประเทศ

#### BOOKS

- I. Grant, F. S. and West, G. F. (1965). **Interpretation Theory in Applied Geophysics**. (1<sup>st</sup> ed.). New York, U.S.A. : McGraw-Hill.
- S.R. Paranjothi. (2010). **Electric Circuit Analysis**. (3rd ed.). New Delhi, India : New Age International.

#### ARTICLES

- J. A. Corbyn. (1980, March). "Pulse Induction Metal Detector." **Wireless World**. pp. 40 - 44.
- J. A. Corbyn. (1980, April). "Pulse Induction Metal Detector – 2." **Wireless World**. pp.1 - 3.

## ELECTRONIC SOURCES

Claudio Girardi.(2010).Single-layer Coil Inductance and Q. Retrieved October 16, 2010, from

**<http://www.qsl.net/in3otd/indcalc.html>**

DeepTech Metal Detectors. (2007). MEGAPULSE III - Pulse Induction Metal Detector.

Retrieved January 15, 2010, from **<http://www.deeptech-bg.com/megapulseIII/>**

**MegapulseIII.pdf**

DeepTech Metal Detectors. (2007). Coil and Search Head Design – Patents and Utility Models

(Part 1). Retrieved February 10, 2010, from **<http://www.deeptech->**

**bg.com/search\_coils.pdf**

DSP,Lammert Bies.(1997-2010). Pulse induction metal detector. Retrieved August 14, 2010, from

**[http://www.lammertbies.nl/electronics/PI\\_metal\\_detector.html](http://www.lammertbies.nl/electronics/PI_metal_detector.html)**.

Garrett Super Scanner.(2007). PI Metal Detector. Retrieved. March 19, 2010, from

**[http://www.garrett.com/security/s\\_superscanner\\_specification.pdf](http://www.garrett.com/security/s_superscanner_specification.pdf)**

Handheld Metal Detector.(2010). MD-1001. Retrieved April 1, 2010, from

**<http://www.gunkamoy.com/index.php?lay=show&ac=article&Id=352&Ntype=4>**

James M.Ganby,Marcus Jackson.(March 7,1995). Patents of Metal Detector. Retrieved

July 25, 2010, from **<http://www.freepatentsonline.com/D356044.html>**

Michael R. Starcher.(2006). Blind Squirrel PI Metal Detector. Retrieved May 20,2010, from

**<http://oldradiobuilder.com/MDET.html>**

Nina Gajjar.(2006). FET Metal detector with IC Audio Amplifier. Retrieved June 11, 2010, from

**<http://nina.foxdelta.com/detector.html>**

Salman Durrani, James Boxall, Stephen Purvis, Garrick Madge, and Tathagat Banerjee, .(2006).

A Pulse Induction Metal Detector (ENGN3227). Retrieved September 21, 2010, from

**[http://users.cecs.anu.edu.au/~Salman.Durrani/\\_teaching/TA5.pdf](http://users.cecs.anu.edu.au/~Salman.Durrani/_teaching/TA5.pdf)**

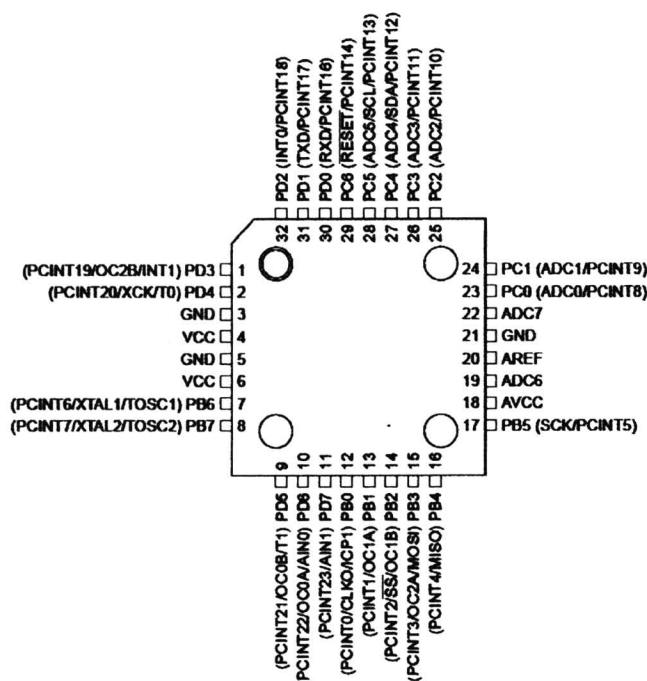
Vallon.(2010). VMH3CS Mine Detector. Retrieved November 9, 2010, from

**[http://www.vallon.de/pdf/VMH3CS\\_leaflet\\_09\\_2010.pdf](http://www.vallon.de/pdf/VMH3CS_leaflet_09_2010.pdf)**

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

## ไมโครคอนโทรลเลอร์ AVR ATmega168<sup>1</sup>



รูปที่ ก รูปร่างและตำแหน่งขาต่างๆ ของ AVR ATmega168 ชนิด 32 TQTF<sup>1</sup>

ATmega168 เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ขนาด 8 บิตตระกูล AVR ของบริษัท Atmel ที่มีรูปร่างไอซีเป็นตัวยกแบบ 32 TQTF ดังแสดงในรูปที่ 2.5 และทำงานที่ความถี่คล็อก 20 MHz มีขาพอร์ตอินพุต/เอาต์พุต มี GPIO ใช้งานจำนวน 22 บิต และมี Digital GPIO จำนวน 14 บิต มีไทมเมอร์/เคาน์เตอร์ใช้งานทั้งหมด 3 ตัว ได้แก่ ไทมเมอร์/เคาน์เตอร์ 0 และ 2 ที่ทำงานแบบ 8 บิต และไทมเมอร์/เคาน์เตอร์ 1 ที่ทำงานแบบ 16 บิต โดยในงานวิจัยนี้จะใช้งานโมดูลและฟังก์ชันที่สำคัญ ดังนี้

1) ไทมเมอร์ 0 ถูกใช้งานเพื่อสร้างสัญญาณ PWM (Pulse Width Modulation) ซึ่งจะถูกส่งผ่านวงจรเปิด/ปิดพัลส์ แล้วส่งต่อไปยังขดลวด

<sup>1</sup> Atmel Corporation. (2009). Data Sheet - 8-bit Microcontroller with 8K Bytes In-System Programmable Flash for ATmega48/V, ATmega88/V, and ATmega168/V.

2) ไทเมอร์ 1 ถูกใช้งานเพื่อตรวจจับผลตอบสนองเชิงเวลาตัดศูนย์หรือระยะเวลาการลดลงของกระแสไฟฟ้าในขดลวดที่เกิดจากโลหะ ซึ่งเริ่มจับเวลาตั้งแต่กระแสไฟฟ้าเริ่มมีค่าลดลงไปจนถึงเวลาที่มีค่าเท่ากับ 0

3) ขาสัญญาณอินเตอร์รัปต์ 0 ถูกใช้งานเพื่อไปสั่งการให้ไทเมอร์ 1 หยุดจับเวลา โดยถูกกำหนดโหมดการทำงานเป็นแบบตัดศูนย์ หรือ Falling Edge

4) ค่าความกว้างพัลส์ของสัญญาณ PWM ด้านบวกที่ถูกสร้างขึ้นนั้นจะมีค่าต่างๆ กัน เนื่องจากโลหะแต่ละชนิดมีผลตอบสนองต่อสัญญาณ PWM ที่ค่าความกว้างของพัลส์แตกต่างกัน ซึ่งส่งผลโดยตรงทำให้ผลตอบสนองเชิงเวลาตัดศูนย์ของกระแสไฟฟ้าในขดลวดที่เกิดจากโลหะแต่ละชนิดมีค่าแตกต่างกันด้วย นอกจากนี้ ยังทำให้ทราบได้ว่าโลหะแต่ละชนิดมีกราฟผลตอบสนองเชิงเวลาตัดศูนย์ของกระแสไฟฟ้าในขดลวดเป็นอย่างไร โดยสมการที่ใช้ในการหาค่าความกว้างของสัญญาณพัลส์ PWM จากการใช้ AVR ATmega168 และค่าเวลาของความกว้างของสัญญาณพัลส์ PWM ที่มีหน่วยวัดเป็นจำนวนเท่าของหนึ่งหน่วยของไทเมอร์ 0 และใช้ Prescaler (ตัวหารความถี่สัญญาณนาฬิกา) มีค่าเท่ากับ 64 จะแสดงไว้ในหัวข้อย่อยที่ 3.1 ของบทที่ 3

### ไทเมอร์/เคาน์เตอร์ 0 ของ AVR ATmega168

ไทเมอร์/เคาน์เตอร์ 0 ของ AVR ATmega168 มีขนาด 8 บิต โดยมีหน้าที่ต่างๆ ดังนี้

1. ทำงานในโหมดไทเมอร์และเคาน์เตอร์ขนาด 8 บิต
2. เคลียร์ค่าไทเมอร์เมื่อเปรียบเทียบข้อมูลตรงกัน พร้อมกับทำ Auto Reload
3. สร้างสัญญาณ Pulse Width Modulator (PWM) ที่เป็นแบบ Phase Correct PWM
4. สร้างสัญญาณความถี่ได้
5. มีปริสเกลเลอร์ (Prescaler)
6. สร้างสัญญาณอินเตอร์รัปต์ได้ เมื่อเกิดโอเวอร์โฟลว์หรือเปรียบเทียบข้อมูลตรงกัน

กลุ่มรีจิสเตอร์ที่เกี่ยวข้องการทำงานของไทเมอร์/เคาน์เตอร์ 0 ดังนี้

1. รีจิสเตอร์ TCCR0A (Time/Counter Control Register Channel A) เป็นรีจิสเตอร์กำหนดแหล่งนาฬิกาที่ใช้และกำหนดโหมดการทำงาน

2. รีจิสเตอร์ TCNT0 (Time/Counter Register) เป็นรีจิสเตอร์ที่ใช้ในการนับ โดยค่าของการนับขึ้นอยู่กับค่าเซตบิตในรีจิสเตอร์ TCCR0A

3. รีจิสเตอร์ OCR0A (Output Compare Register Channel A) เป็นรีจิสเตอร์ที่ใช้ในกำหนดค่าเพื่อเปรียบเทียบกับค่าในรีจิสเตอร์ TCNT0 เมื่อตรงกัน จะให้ผลลัพธ์ตามเงื่อนไขที่ได้กำหนดไว้ในรีจิสเตอร์ TCCR0A

4. รีจิสเตอร์ TIFR (Time/Counter Interrupt Flag Register) เป็นรีจิสเตอร์แฟล็กแสดง การเกิดอินเตอร์รัปต์ของไทเมอร์/เคาน์เตอร์ 0

5. รีจิสเตอร์ TIMSK (Time/Counter Interrupt Mark Register) เป็นรีจิสเตอร์เอ็นเอเบิลการใช้งานอินเตอร์รัปต์ของไทเมอร์/เคาน์เตอร์ 0 โดยกำหนดเงื่อนไขการเกิดอินเตอร์รัปต์ได้

### **ไทเมอร์/เคาน์เตอร์ 1 ของ AVR ATmega168**

**ไทเมอร์/เคาน์เตอร์ 1 ของ AVR ATmega168 มีขนาด 16 บิต โดยมีหน้าที่ต่างๆ ดังนี้**

1. ทำงานในโหมดไทเมอร์/เคาน์เตอร์ (Normal Mode) ขนาด 16 บิต
  2. มีโหมดเปรียบเทียบข้อมูลอิสระ 3 ช่อง
  3. มีโหมดตรวจจับสัญญาณอินพุตพร้อมกับมีโมดูลป้องกันสัญญาณรบกวน
  4. เคลียร์ค่าไทเมอร์ เมื่อเปรียบเทียบข้อมูลตรงกัน (Clear Timer on Compare Match หรือ CTC) พร้อมกับทำ Auto Reload
  5. สร้างสัญญาณ PWM รูปแบบต่างๆ ได้แก่ แบบ Fast PWM Mode, แบบ Phase Correct Fast PWM Mode และ แบบ Phase and Frequency Correct PWM Mode
  6. สร้างสัญญาณอินเตอร์รัปต์ เมื่อเกิดโอเวอร์โฟลว์หรือเมื่อเปรียบเทียบข้อมูลตรงกัน
- กลุ่มรีจิสเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการทำงานของไทเมอร์/เคาน์เตอร์ 1 มีดังนี้**

1. รีจิสเตอร์ TCCR1A (Time/Counter1 Control Register A) เป็นรีจิสเตอร์ที่ใช้กำหนดโหมดการทำงานของไทเมอร์/เคาน์เตอร์ 1 โดยจะใช้งานร่วมกับรีจิสเตอร์ TCCR1B

2. รีจิสเตอร์ TCCR1B (Time/Counter1 Control Register B) เป็นรีจิสเตอร์ที่ใช้กำหนดโหมดตรวจจับสัญญาณอินพุตที่ขาพอร์ต PD4 (ICP1) สำหรับอินพุตตัวจับสัญญาณช่องที่ 1 และขาพอร์ต PE7 (ICP3) สำหรับอินพุตตัวจับสัญญาณช่องที่ 2

3. รีจิสเตอร์ TCCR1C (Time/Counter1 Control Register C) เป็นรีจิสเตอร์ที่ทำงานเกี่ยวข้องกับการสร้างสัญญาณในรูปแบบ non-PWM

4. รีจิสเตอร์ TCNT1H และ TCNT1L (Time/Counter 1) ใช้กำหนดค่าเริ่มต้นในการนับ



5. รีจิสเตอร์ OCR1AH และ OCR1AL (Output Compare Register 1A) ใช้กำหนดค่าสิ้นสุดในการนับเพื่อเปรียบเทียบค่าข้อมูลตรงกัน
6. รีจิสเตอร์ OCR1BH และ OCR1BL (Output Compare Register 1B) ใช้กำหนดค่าของ Prescaler ที่ใช้งานเมื่อใช้งานไทเมอร์/เคาน์เตอร์
7. รีจิสเตอร์ OCR1CH และ OCR1CL (Output Compare Register 1C) ใช้กำหนดค่าของ Prescaler ที่ใช้งานเมื่อใช้งานไทเมอร์/เคาน์เตอร์
8. รีจิสเตอร์ ICR1H และ ICR1L (Input Capture Register 1) ใช้กำหนดค่าเพื่อใช้ในการตรวจจับสัญญาณอินพุต

## ภาคผนวก ข

ผลการทดลองตรวจจับอุณหภูมิเนื้อมขนาดเล็ 2x2 ตารางนิ้ว ระยะ 1 – 15 cm

ผลการทดลองตรวจจับอุณหภูมิเนื้อมขนาดเล็ 2x2 ตารางนิ้ว ระยะ 1 – 15 cm มีแสดงไว้ใน ตารางที่ ก ซึ่งได้ทำการทดสอบโดยการส่งสัญญาณพัลส์ PWM ที่มีการเปลี่ยนแปลงขนาดความกว้าง ของพัลส์ด้านบวกตั้งแต่ 3 หน่วยของไทมเมอร์ 0 ไปจนถึง 50 หน่วยของไทมเมอร์ 0

ตารางที่ ข ค่า ΔT\_discharge ในระยะ 1 – 15 cm ของแผ่นอุณหภูมิเนื้อมขนาดเล็ 2x2 ตารางนิ้ว

| ความกว้างพัลส์ | ระยะทางที่ตรวจจับพบอุณหภูมิเนื้อมขนาดเล็ (cm) |      |      |      |      |      |      |      |      |     |     |     |      |      |      |
|----------------|-----------------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|-----|-----|------|------|------|
|                | 1                                             | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10  | 11  | 12  | 13   | 14   | 15   |
| 3              | 5                                             | 4.6  | 3.4  | 2    | 3.2  | 1.2  | 1.2  | 1.2  | 0.8  | 1.2 | 1.2 | 0.8 | 0.4  | -0.6 | 0.2  |
| 4              | 4.4                                           | 3.8  | 2.4  | 0.8  | 0.6  | -0.6 | 0    | -0.2 | 0.4  | 0.4 | 0   | 0.2 | -0.4 | -0.4 | 0    |
| 5              | 4.4                                           | 3.2  | 2.6  | 1.2  | 2.4  | 0.4  | 0.4  | 0.4  | 0.4  | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 0.4  | 0.2  | 0.4  |
| 6              | 4.6                                           | 4.4  | 2    | 2.2  | 1.6  | 1.6  | 1.2  | 0.4  | -0.4 | 1.2 | 0.8 | 1.6 | -0.4 | -0.2 | 0.6  |
| 7              | 5                                             | 4.2  | 2.8  | 1.8  | 2    | 1.2  | 1.2  | 2    | 2    | 1.2 | 1.6 | 1.6 | 2    | 1.2  | 0    |
| 8              | 3.8                                           | 2.8  | 2.4  | 1.4  | 0.4  | 0.4  | 0.8  | 0.4  | 0.4  | 0.4 | 1.2 | 0.8 | 0.4  | 0.4  | -0.4 |
| 9              | 4                                             | 3.2  | 3.2  | 1.4  | 1.2  | 1.2  | 1.2  | 0.2  | 0.4  | 0.4 | 0.6 | 1   | 0.4  | 0.2  | 0.6  |
| 10             | 3                                             | 2    | 1.4  | 1    | 1.4  | 1.8  | 1    | 0.2  | 0.6  | 0.4 | 0.6 | 0.6 | 0.2  | -0.2 | -0.6 |
| 11             | 3.2                                           | 3.4  | 1.4  | 1.4  | 1.4  | 1.4  | 1.4  | 1.4  | 1.4  | 1.4 | 1.4 | 1.4 | 1.4  | 0.8  | 0.6  |
| 12             | 1.6                                           | 1.4  | 0.2  | -0.8 | 0.2  | -0.4 | -0.4 | -0.4 | -1   | 0   | 0.2 | 0.4 | -0.4 | -0.6 | -0.8 |
| 13             | 1.2                                           | 1.6  | 0.8  | 1.2  | 0.6  | 0.2  | 0.2  | 0.6  | 0.6  | 1.4 | 0.4 | 0.6 | 0.6  | 0    | -1   |
| 14             | 1.4                                           | 1.4  | 0.6  | 1    | 0.6  | 0.2  | 0.6  | 1    | 1    | 1   | 1.2 | 1.4 | 0.8  | 0.8  | 0    |
| 15             | 0.2                                           | -0.6 | -1.4 | -1.4 | -0.6 | -0.4 | 0.4  | 0.2  | -0.2 | 0.2 | 0.6 | 0.6 | 0.6  | 0.2  | 0    |
| 16             | -0.8                                          | -0.8 | -0.6 | 0    | -0.2 | -0.2 | 0    | -0.2 | 0.2  | 0.6 | 1.4 | 1   | 1    | 0.8  | 0.4  |
| 17             | -0.4                                          | -0.2 | -0.2 | 0.8  | -0.4 | -0.8 | 0.2  | 0.2  | 0.4  | 0.6 | 0.2 | 0.8 | 0    | 0    | -0.2 |
| 18             | 0                                             | -1   | -1   | -0.8 | 0.2  | 0    | 0    | 0.2  | 0    | 0.8 | 0.4 | 0.8 | 0    | 0    | -0.2 |
| 19             | -1.4                                          | -1   | -2   | -0.6 | 0    | 0    | 1.2  | 0.8  | 0.6  | 0.8 | 0.8 | 1   | 0.6  | 0.6  | -0.6 |
| 20             | -2.4                                          | -1.6 | -1.2 | -1.2 | -0.2 | -0.2 | 0.6  | 0.4  | 1.6  | 1.4 | 1.4 | 1.2 | 1.4  | 1.8  | -0.2 |
| 21             | -2.8                                          | -2   | -2   | 0    | 0.2  | 0.2  | 0.6  | 0.4  | 1    | 1   | 1   | 1   | 1    | 1    | 0.2  |
| 22             | -3.2                                          | -4   | -1.8 | -1.4 | -1.8 | -1.4 | -1   | -0.2 | -0.2 | 0   | 0.2 | 0.8 | -0.4 | -0.8 | -0.2 |
| 23             | -3                                            | -3   | -2.4 | -1   | -1   | -0.2 | 0.4  | -0.4 | 1    | 1   | 1.2 | 1.2 | 1.2  | 1    | -0.2 |
| 24             | -4                                            | -3.8 | -2.4 | -1.4 | -0.4 | 0    | 1.2  | 0.4  | 0.4  | 1   | 1.2 | 1   | 0.4  | 1    | 0.4  |
| 25             | -3.8                                          | -4.2 | -3.6 | -0.8 | -2   | -0.8 | -0.2 | 0    | 0.6  | 0.2 | 0.2 | 0.4 | 0.6  | 0.4  | -0.6 |

ตารางที่ ข ค่า  $\Delta T_{\text{discharge}}$  ในระยะ 1 – 15 cm ของแผ่นลูมิเนียมขนาดเล็ก 2x2 ตารางนิ้ว (ต่อ)

| ความกว้าง<br>ฟุตส์ | ระยะทางที่ตรวจจับพบอุณหภูมิขนาดเล็ก (cm) |       |       |       |       |       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|--------------------|------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|                    | 1                                        | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     | 7    | 8    | 9    | 10   | 11   | 12   | 13   | 14   | 15   |
| 26                 | -4.4                                     | -5    | -4.6  | -3.4  | -1.8  | -1.2  | -1.2 | 0    | -0.8 | -0.8 | -0.8 | -0.2 | -0.8 | -0.8 | -0.8 |
| 27                 | -5.8                                     | -4.8  | -4.2  | -2.4  | -1.4  | -0.8  | 0    | 0.2  | -0.6 | -0.4 | 0    | 0.8  | 0    | 0    | -0.4 |
| 28                 | 250                                      | 251.2 | 252   | 150.6 | 151.2 | 202.2 | -0.8 | -0.4 | 0.8  | 0.4  | 0.6  | 0.4  | 0.6  | 0.8  | -0.4 |
| 29                 | -6.6                                     | -5    | -3.6  | -1.4  | -1.6  | -1.6  | 0    | 0    | 2    | 0.8  | 0.8  | 1.8  | 0.8  | 1.2  | 0    |
| 30                 | -5.4                                     | -5    | -4    | -2    | -0.8  | -0.8  | -0.4 | -0.2 | 0.2  | 1    | 0.6  | 0.2  | 0.4  | 0.2  | -0.2 |
| 31                 | -6.6                                     | -5.8  | -5.4  | -3.4  | -0.6  | -0.6  | -0.4 | -0.4 | 0    | 1    | 0.8  | 0.6  | 0.4  | 0    | -0.4 |
| 32                 | -6.4                                     | -5.2  | -5.2  | -3    | -0.4  | -0.2  | 1    | 0.2  | 0.2  | 1.2  | 1.8  | 1.8  | 1.8  | 0.6  | 0.4  |
| 33                 | -9                                       | -7.2  | -6.8  | -3.6  | -3    | -2.8  | -1.2 | -0.4 | 0    | 0.2  | 0.4  | 1    | 0.6  | 0.6  | -0.4 |
| 34                 | -9.6                                     | -8    | -5.8  | -3.6  | -2.6  | -2.4  | -1.6 | -1.4 | -0.2 | -0.4 | -0.4 | 0.4  | 0.2  | 0.4  | -0.6 |
| 35                 | -8                                       | -7.2  | -4.4  | -2.4  | -2.2  | -2    | 0    | 0    | 0.2  | 0.2  | 0.4  | 0.2  | 0    | 0    | -0.2 |
| 36                 | -14.6                                    | -12.6 | -11.6 | -10.4 | -4.4  | -5.2  | -1.2 | -2.2 | 0.4  | -2.8 | -1.2 | -0.8 | 2.8  | -3.2 | 0.4  |
| 37                 | -9.6                                     | -8.8  | -5.6  | -3.8  | -3    | -3    | -0.8 | -1   | 0    | 0    | 0    | 0.8  | 0    | 0    | -0.4 |
| 38                 | -9                                       | -8.4  | -6.6  | -4    | -3.8  | -2.4  | -1   | -0.8 | -1.4 | 0.2  | 0.2  | 0    | 0.4  | 0    | -0.8 |
| 39                 | -112                                     | -214  | -6.8  | -5.2  | -1.8  | -0.8  | -1   | -0.6 | -0.6 | -0.2 | 0.4  | 0    | -0.2 | -0.6 | -0.2 |
| 40                 | 245                                      | 247   | 146   | -5.6  | -2.4  | -2    | -0.8 | -1.6 | -0.4 | 0    | 0.2  | 0.6  | 0    | 0    | -0.2 |
| 41                 | -11                                      | -8.2  | -6.8  | -4.2  | -3    | -3    | -0.2 | 0    | 0.4  | 2    | 0.8  | 1.2  | 2    | 1.2  | 0    |
| 42                 | -10.6                                    | -9.4  | -6.6  | -4.6  | -3.2  | -2.6  | -1.2 | -0.4 | 1.2  | 1.4  | 1    | 0.8  | 1.4  | 1    | 0    |
| 43                 | -11.8                                    | -10.2 | -7.4  | -4.8  | -4.2  | -2.8  | -2.2 | -1.2 | -0.8 | -0.8 | -0.4 | 0.2  | -0.8 | -0.4 | 0    |
| 44                 | -10.6                                    | -10   | -7.6  | -5.2  | -3.2  | -1.8  | -0.8 | -1.2 | 0    | 0    | 0    | 0.4  | 0    | 0    | 0    |
| 45                 | -12.2                                    | -8.8  | -7.6  | -5.2  | -2.6  | -1.8  | -0.2 | -0.4 | -0.6 | -0.6 | 0.2  | 0.2  | -0.4 | -0.2 | -0.2 |
| 46                 | -12.6                                    | -10.8 | -8.6  | -5.6  | -4    | -3.4  | -1.8 | -1.2 | -1.8 | -0.2 | 0    | -0.4 | 0.2  | 0.2  | -0.2 |
| 47                 | -4.4                                     | -11   | -9    | -6    | -3.4  | -3    | -1.6 | -1.2 | -1.6 | 0    | 0    | 0    | 0    | -0.4 | -0.4 |
| 48                 | -12.8                                    | -9.4  | -8    | -5    | -3    | -1.2  | -1   | 0    | 0    | 0    | 1    | 0.6  | 0.2  | 0.2  | -0.6 |
| 49                 | -13                                      | -10.6 | -7.8  | -6.2  | -3    | -2    | -0.8 | 0    | 0    | 1.6  | 1.6  | 1.2  | 2    | 1.4  | 0    |
| 50                 | -13.6                                    | -10.8 | -8    | -5.4  | -4.4  | -2.8  | -0.6 | 0    | 1.2  | 1.6  | 1.4  | 1.4  | 1.6  | 1.2  | -0.4 |

ภาคผนวก ค



ผลการทดลองตรวจจับสนุมนิยมขนาดใหญ่ 4x4 ตารางนิ้ว ระยะ 1 – 15 cm

ผลการทดลองตรวจจับสนุมนิยมขนาดใหญ่ 4x4 ตารางนิ้ว ระยะ 1 – 15 cm มีแสดงไว้ในตารางที่ ข ซึ่งได้ทำการทดสอบโดยการส่งสัญญาณพัลส์ PWM ที่มีการเปลี่ยนแปลงขนาดความกว้างของพัลส์ด้านบวกตั้งแต่ 3 หน่วยของไทมเมอร์ 0 ไปจนถึง 50 หน่วยของไทมเมอร์ 0

ตารางที่ ค ค่า  $\Delta T_{\text{discharge}}$  ในระยะ 1 – 15 cm ของแผ่นอุโมงนียมขนาดใหญ่ 4x4 ตารางนิ้ว

| ความกว้างพัลส์ | ระยะ ทางที่ตรวจจับสนุมนิยมขนาดใหญ่ (cm) |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|----------------|-----------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|                | 1                                       | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   | 11   | 12   | 13   | 14   | 15   |
| 3              | 72.8                                    | 52.6 | 35   | 24.4 | 16.6 | 10   | 7    | 5    | 3.8  | 4    | 3    | 3    | 2.6  | 2.4  | 1.4  |
| 4              | 78.2                                    | 56.4 | 38   | 26.6 | 18.2 | 13.4 | 8.2  | 6.4  | 4.6  | 5    | 3.4  | 3.6  | 3.4  | 3    | 1.4  |
| 5              | 81.4                                    | 59   | 40.4 | 27.6 | 18   | -243 | -246 | 5.6  | 4    | 4.8  | 3.6  | 2.4  | 1.6  | 1.6  | 1.6  |
| 6              | 83.2                                    | 61.2 | 40.2 | 28.4 | 18.8 | 11.6 | 9.6  | 5.6  | 2.8  | 3.2  | 2.6  | 2.6  | 2.6  | 2.2  | 1    |
| 7              | 84.4                                    | 62.4 | 43   | 29.8 | 19.8 | 13.8 | 8.8  | 7.8  | 4.8  | 4.8  | 2.8  | 2.8  | 2.8  | 2.4  | 1    |
| 8              | 84                                      | 61.8 | 43   | 30.2 | 20.6 | 13.2 | 9.4  | 6.2  | 4.4  | 5    | 3    | 1.8  | 2    | 2.2  | 1.6  |
| 9              | 83                                      | 61.6 | 42.4 | 30.6 | 20.6 | 12.4 | 9.6  | 6    | 5.2  | 4.6  | 4    | 2.4  | 2.4  | 2    | 1.6  |
| 10             | 81.8                                    | 61   | 41.6 | 29.8 | 20   | 12.6 | 9    | 5.8  | 4.2  | 4.2  | 3.8  | 2    | 2    | 1.6  | 0.6  |
| 11             | 79.6                                    | -196 | 41.6 | 30   | 20.2 | 13.6 | 9.4  | 6.6  | 4    | 4.4  | 3.6  | 3    | 3.2  | 2.2  | 1.8  |
| 12             | 78.2                                    | 59.6 | 42.6 | 29.8 | 20.2 | 14.2 | 9.8  | 6.6  | 5.2  | 6    | 4.2  | 3.4  | 2.2  | 2.2  | 1.4  |
| 13             | 76.2                                    | 57.8 | 42   | 30   | 20.2 | 13.8 | 9.2  | 6.2  | 4.4  | 4.6  | 3.4  | 2.6  | 2    | 2.4  | 1.4  |
| 14             | 72.6                                    | 56   | 40   | 28   | 19   | 13.4 | 9.2  | 6    | 3.8  | 3.8  | 3.8  | 2.6  | 2    | 1.8  | 1.8  |
| 15             | 69.6                                    | 55.2 | -216 | 28.6 | 19   | 13.6 | 9.8  | 7    | 4.4  | 4.8  | 4.6  | 3    | 2.2  | 1.8  | 1.8  |
| 16             | 66.8                                    | 52.8 | 37.2 | 28   | 18.6 | 12.8 | 8.2  | 5.4  | 3.4  | 4    | 2.8  | 2    | 1.8  | 1.8  | 1.6  |
| 17             | 62.6                                    | 50.6 | 37.2 | 27.8 | 18   | 12.6 | 8.6  | 6    | 4.4  | 4.8  | 4.8  | 2.8  | 0.8  | 1.2  | 2.2  |
| 18             | 57.4                                    | 47.8 | 35.4 | 25   | 17.8 | 12.8 | 8.6  | 6.6  | 4.2  | 4    | 4.2  | 2.6  | 1.4  | 1.2  | 1.8  |
| 19             | 53.6                                    | 44.6 | 32.8 | 23.6 | 16.8 | 10.6 | 7.6  | 4.6  | 3    | 3.8  | 2.6  | 2.2  | 2.6  | 2.2  | 1    |
| 20             | 49.4                                    | 42.6 | 32   | 24.2 | 16.2 | -244 | -248 | -251 | -252 | -251 | -253 | -253 | -253 | -253 | -203 |
| 21             | -209                                    | -215 | 30   | 22.6 | 15   | 12   | 7.2  | 5    | 3    | 4.4  | 3    | 1.8  | 1.8  | 1.2  | 0.4  |
| 22             | 41.6                                    | 38   | 29.4 | 21.6 | 14.4 | 9.6  | 7.4  | 4.4  | 3.8  | 3    | 3.4  | 1.8  | 1.6  | 1.6  | 0.8  |
| 23             | 37.4                                    | 34.6 | 28   | 21   | 14.2 | 9.6  | 6.2  | 5.2  | 4    | 4.2  | 4.2  | 2.2  | 2.6  | 2.2  | 1.2  |
| 24             | 34                                      | 32.4 | 25.8 | 20   | 14.2 | 10   | 7    | 4.8  | 3.2  | 3.4  | 2    | 1.8  | 2    | 2    | 1.8  |
| 25             | 29.4                                    | 29.2 | 24.6 | 19.4 | 13.4 | 10   | 6.2  | 4.4  | 3.6  | 4.6  | 3.2  | 2.8  | 2.8  | 2.6  | 2    |

ตารางที่ ค ค่า  $\Delta T_{\text{discharge}}$  ในระยะ 1 – 15 cm ของแผ่นอลูมิเนียมขนาดใหญ่ 4x4 ตารางนิ้ว (ต่อ)

| ความกว้าง<br>พัลส์ | ระยะทางที่ตรวจจับพบอุณหภูมิขนาดใหญ่ (cm) |       |       |       |       |      |      |     |      |     |     |      |      |      |     |
|--------------------|------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|------|------|-----|------|-----|-----|------|------|------|-----|
|                    | 1                                        | 2     | 3     | 4     | 5     | 6    | 7    | 8   | 9    | 10  | 11  | 12   | 13   | 14   | 15  |
| 26                 | 24.6                                     | 27.4  | 23.2  | 18    | 12.8  | 10   | 7    | 3.6 | 3.4  | 4.2 | 2.8 | 1.8  | 1.8  | 1.6  | 0.2 |
| 27                 | 19.6                                     | 24.6  | 20.8  | 17    | 12.4  | 8.6  | 6.8  | 3.8 | 2.6  | 3.6 | 2.8 | 2.2  | 1.8  | 1.4  | 1.4 |
| 28                 | 271.6                                    | 277   | 274.8 | 272.4 | 266.8 | 7.6  | 5.4  | 3.8 | 2.4  | 3   | 1.8 | 1.8  | 1.8  | 1.8  | 0.2 |
| 29                 | 12.2                                     | 17.6  | 17.4  | 14.8  | 10.2  | 5.8  | 5.2  | 4.2 | 2.4  | 3.4 | 2.6 | 1.8  | 1.4  | 1    | 1.6 |
| 30                 | 7.8                                      | 15.2  | 16.2  | 14.2  | 10    | 7.6  | 5.4  | 3.2 | 2.6  | 3   | 3   | 2    | 2.2  | 0.8  | 2.2 |
| 31                 | 3.4                                      | 12.6  | 14.8  | 12.8  | 9.2   | 6.6  | 4.8  | 3   | 2.6  | 3   | 3   | 1.8  | 2    | 0.8  | 1.4 |
| 32                 | -2                                       | 8.8   | 11.6  | 11.2  | 7.8   | 5.8  | 3.4  | 2.6 | 1.8  | 3   | 2   | 1.6  | 7.2  | 1.8  | 1   |
| 33                 | -4.2                                     | 6.4   | 11.2  | 11.6  | 8     | 6.2  | 5.2  | 4   | 2.8  | 4.4 | 3   | 3    | 3    | 3    | 1.4 |
| 34                 | -9.6                                     | 4.2   | 9     | 9.6   | 8     | 6.8  | 4.4  | 3.6 | 2.8  | 4   | 2.2 | 1.4  | 1.4  | 1.4  | 1.4 |
| 35                 | -23                                      | 1.2   | 7.6   | 8.6   | 7.2   | 4.6  | 5.2  | 2.6 | 2.6  | 3   | 2.4 | 1.4  | 1    | 2.6  | 2.2 |
| 36                 | -24.6                                    | -7    | 0.6   | 3     | 0.2   | -0.2 | -1   | 0   | -0.6 | 5.6 | 6.6 | 3.4  | 1.8  | 3.8  | 4.2 |
| 37                 | -22.8                                    | -5    | 3     | 6     | 4.8   | 4    | 3.4  | 2.4 | 1.4  | 2.8 | 1.2 | 2    | 2    | 2    | 1.6 |
| 38                 | -181                                     | -7.2  | 2.6   | 5.6   | 4     | 4.6  | 3.6  | 2   | 2    | 2.6 | 3.2 | 1.6  | 1.6  | 1.6  | 1.6 |
| 39                 | -32.8                                    | -11.8 | -0.8  | 2.6   | 3.4   | 2.2  | 1.4  | 1.4 | 1.2  | 1.2 | 1.4 | -0.6 | -0.2 | -0.2 | 0   |
| 40                 | 219.8                                    | 241.8 | -2.6  | 2.2   | 2.2   | 2.2  | 1    | 1   | -0.6 | 1.8 | 1.4 | 2    | 2.2  | 2.2  | 0.2 |
| 41                 | -39.6                                    | -16   | -2.4  | 2.4   | 2.4   | 2.6  | 2.6  | 2.2 | 1    | 2.6 | 2.6 | 2.6  | 2.6  | 2.6  | 0.6 |
| 42                 | -44.2                                    | -18   | -5    | 1.4   | 2     | 2.8  | 2.8  | 0.6 | 0.6  | 1.8 | 1.8 | 0.8  | 1.4  | 1.6  | 1.8 |
| 43                 | -48                                      | -22.2 | -6.6  | -0.4  | 1.4   | 0.4  | 1.8  | 0.6 | 2    | 2   | 2   | 0    | 0.8  | 0.6  | 2   |
| 44                 | -52.6                                    | -24.2 | -8.6  | -1.4  | -0.2  | 0.6  | 0.6  | 1   | 1    | 1.6 | 2.2 | 0.6  | 0.6  | 0.8  | 0.6 |
| 45                 | -56.4                                    | -27.8 | -10   | -2.8  | -1    | 0.4  | 0.4  | 0.4 | 0.4  | 1   | 0.8 | 1.4  | 2.4  | 2.2  | 1   |
| 46                 | -59.6                                    | -29   | -11.2 | -3    | -0.6  | 1.8  | 1.2  | 1   | 1.6  | 2.8 | 2.4 | 2    | 2.8  | 2.8  | 1.4 |
| 47                 | -64                                      | -31.8 | -13.6 | -5.2  | -1.8  | 0.4  | 1    | 0.4 | 0.6  | 2   | 0.6 | 1    | 1    | 0.8  | 0.4 |
| 48                 | -68.2                                    | -34.8 | -15.4 | -5.6  | -2.4  | -0.6 | -0.2 | 0   | -0.6 | 1.4 | 0.6 | 1.2  | 1.2  | 1.2  | 0.8 |
| 49                 | -72.4                                    | -37.6 | -16.8 | -6.8  | -3    | -0.8 | -0.4 | 0   | 0    | 2   | 0.4 | 2    | 2    | 1.8  | 0.8 |
| 50                 | -74.2                                    | -39.2 | -16.8 | -6    | -2.6  | -0.2 | 0.6  | 0.6 | 1.2  | 3.2 | 2.4 | 1.6  | 1.6  | 2    | 2   |

ภาคผนวก ง

ผลการทดลองตรวจจับทองแดงขนาดเล็ก 2x2 ตารางนิ้ว ระยะ 1 – 15 cm

ผลการทดลองตรวจจับปลาหมึกขนาดเล็ก 2x2 ตารางนิ้ว ระยะ 1 – 15 cm มีแสดงไว้ในตารางที่ ค ซึ่งได้ทำการทดสอบโดยการส่งสัญญาณพัลส์ PWM ที่มีการเปลี่ยนแปลงขนาดความกว้างของพัลส์ด้านบวกตั้งแต่ 3 หน่วยของไทมเมอร์ 0 ไปจนถึง 50 หน่วยของไทมเมอร์ 0

ตารางที่ ก ค่า  $\Delta T_{discharge}$  ในระยะ 1 – 15 cm ของแผ่นทองแดงขนาดเล็ก 2x2 ตารางนิ้ว

| ความกว้างพัลส์ | ระยะทางที่ตรวจจับพบทองแดงขนาดเล็ก (cm) |      |      |       |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |
|----------------|----------------------------------------|------|------|-------|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|------|
|                | 1                                      | 2    | 3    | 4     | 5   | 6   | 7   | 8   | 9   | 10   | 11   | 12   | 13   | 14   | 15   |
| 3              | 8.2                                    | 7.4  | 5.8  | 5     | 2.8 | 2.8 | 1.2 | 1   | 1.4 | 1.4  | 1.4  | 1.4  | 0.2  | 0.2  | 0.4  |
| 4              | 9                                      | 7    | 4.8  | 3.8   | 2.6 | 2.2 | 1.4 | 2   | 2   | 1.6  | 2    | 1.2  | 0    | -0.4 | -0.8 |
| 5              | 9.2                                    | 7.6  | 5.4  | 4.8   | 3   | 2.2 | 2.4 | 1.8 | 2   | 2    | 2    | 1.6  | 0    | 0    | 0    |
| 6              | 10                                     | 8.8  | 6.8  | 4.6   | 2.8 | 2.4 | 1.4 | 1.4 | 1.6 | -0.4 | -0.4 | 0.6  | 0    | -0.4 | -0.4 |
| 7              | 11.6                                   | 9.6  | 7.4  | 5.4   | 4   | 3.6 | 2.8 | 1.6 | 1.6 | 1.6  | 1.6  | 1.6  | 0.4  | 0.4  | 1.6  |
| 8              | 11.6                                   | 8.8  | 6.8  | 4.8   | 4.4 | 3.8 | 1.8 | 1.8 | 1.8 | 0.6  | -0.2 | 0.2  | -0.2 | -0.6 | -1.2 |
| 9              | 11.8                                   | 8.4  | 6.4  | 4.4   | 3.4 | 2.6 | 0.4 | 2.4 | 2   | 0.2  | 0.2  | 0.2  | -0.6 | -0.8 | -1.6 |
| 10             | 11.8                                   | 8.6  | 6.6  | 4.4   | 3.2 | 2.4 | 0.4 | 1.6 | 1.6 | 0.4  | -0.6 | 0.6  | -0.6 | -1   | -1.6 |
| 11             | 12.2                                   | 10.4 | 7.2  | 5.2   | 3   | 2.6 | 2.2 | 1.2 | 1.6 | 1.8  | 2    | 1.6  | 1    | 0    | 0.2  |
| 12             | 12.4                                   | 9.6  | 6.4  | 5     | 3.4 | 2   | 1.8 | 0.6 | 1.2 | 1    | 0    | 0    | 0.2  | -1.2 | -0.6 |
| 13             | 11.6                                   | 9.6  | 7.6  | 4.6   | 4   | 2.6 | 2.2 | 1.6 | 1.4 | 0.6  | 1.6  | 0.4  | 0.8  | 0    | -0.8 |
| 14             | 12.2                                   | 9    | 7    | 5     | 2.4 | 1.8 | 1.8 | 1   | 1   | 0.4  | 1    | 1    | 0    | -0.6 | 0.4  |
| 15             | 12                                     | 9.2  | 6.6  | 3.8   | 3.4 | 2.2 | 1.8 | 0.6 | 1   | -0.2 | 0.2  | 0.2  | -0.2 | -0.6 | -0.4 |
| 16             | 11                                     | 8.6  | 6.8  | 4.8   | 2.8 | 2.2 | 2.8 | 1.2 | 0.6 | 0.6  | 0.2  | 0    | -0.2 | -1.6 | -1.4 |
| 17             | 11.4                                   | 8.2  | 7.2  | 4.4   | 2.4 | 2   | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 0.4  | 0.4  | 0.4  | 0.2  | -0.4 | -1.4 |
| 18             | 11                                     | 7    | 6    | 4.8   | 2.2 | 1.2 | 0   | 0   | 0   | 0    | -0.8 | 0    | -0.2 | -1.4 | -2   |
| 19             | 11.6                                   | 10.6 | 6.6  | 5     | 2.6 | 2.8 | 1.6 | 1.6 | 1.6 | 0.6  | 0.8  | 0.6  | 0.2  | -0.2 | 0.4  |
| 20             | -243                                   | -244 | -248 | -46.2 | 4.6 | 4.6 | 3.6 | 3   | 3   | 1.6  | 1.8  | 1.6  | 0.8  | 0.8  | 1.2  |
| 21             | 12                                     | 9.4  | 8.4  | 4.6   | 4.2 | 3.6 | 2.2 | 1.8 | 1.8 | 1    | 1.2  | 0.6  | 0.4  | -0.2 | -0.6 |
| 22             | 11                                     | 7.4  | 6.6  | 3.4   | 2   | 1.2 | 1   | 0.6 | 0.2 | 0.6  | -0.6 | -0.4 | -0.4 | -2   | -2   |
| 23             | 12                                     | 8.4  | 6.6  | 5     | 3.4 | 3.2 | 2   | 2   | 2.2 | 1.2  | 1.4  | 1.6  | 0    | 0    | 0    |
| 24             | 10.2                                   | 8.2  | 6    | 4.6   | 3   | 2   | 1.2 | 0.8 | 1   | 0.2  | -0.2 | 0.4  | 0    | -1   | -1   |
| 25             | 10.2                                   | 8.2  | 6.2  | 3.6   | 2.4 | 2.4 | 1.6 | 1.6 | 0.8 | 0.2  | 0.6  | 0.4  | 1.2  | -0.6 | -0.8 |



ภาคผนวก จ

ผลการทดลองตรวจจับทองแดงขนาดใหญ่ 4x4 ตารางนิ้ว ระยะ 1 – 15 cm

ผลการทดลองตรวจจับทองแดงขนาดใหญ่ 4x4 ตารางนิ้ว ระยะ 1 – 15 cm มีแสดงไว้ในตารางที่ ง ซึ่งได้ทำการทดสอบโดยการส่งสัญญาณพัลส์ PWM ที่มีการเปลี่ยนแปลงขนาดความกว้างของพัลส์ด้านบวกตั้งแต่ 3 หน่วยของไทมเมอร์ 0 ไปจนถึง 50 หน่วยของไทมเมอร์ 0

ตารางที่ ง ค่า  $\Delta T_{discharge}$  ในระยะ 1 – 15 cm ของแผ่นทองแดงขนาดใหญ่ 4x4 ตารางนิ้ว

| ความกว้างพัลส์ | ระยะทางที่ตรวจจับพบทองแดงขนาดใหญ่ (cm) |      |      |      |       |      |      |      |      |      |      |     |     |      |      |
|----------------|----------------------------------------|------|------|------|-------|------|------|------|------|------|------|-----|-----|------|------|
|                | 1                                      | 2    | 3    | 4    | 5     | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   | 11   | 12  | 13  | 14   | 15   |
| 3              | 74.4                                   | 53.2 | 34.6 | 23   | 15    | 8.2  | 5.8  | 5    | 3    | 2.4  | 2.6  | 2   | 2   | 0.4  | 1.6  |
| 4              | 83.8                                   | 59.2 | 38.8 | 23.8 | 16    | 10.8 | 7    | 5.2  | 3    | 2    | 1.6  | 1   | 1   | -0.4 | 0.2  |
| 5              | 92                                     | 65.6 | 43.6 | 27   | -33.4 | -244 | 7.4  | 6    | 3    | 3    | 2.6  | 2.2 | 2   | 1.4  | 1.8  |
| 6              | 98.6                                   | 69   | 45.6 | 27.8 | 18.2  | 12   | 7.8  | 6.4  | 3.6  | 2.8  | 2    | 2   | 0.4 | 0    | 0.4  |
| 7              | 103.6                                  | 73.2 | 48.2 | 30.6 | 19.4  | 13.4 | 8.6  | 6.6  | 4.4  | 2.2  | 2.4  | 0.6 | 0.6 | 0.6  | 0.6  |
| 8              | 107.8                                  | -179 | 50.4 | 32.8 | 20.4  | 13.8 | 9.2  | 6.2  | 4.2  | 3    | 2.4  | 1.2 | 0.4 | -0.4 | -0.4 |
| 9              | 112.4                                  | 80.4 | 53.6 | 33.8 | 22.4  | 14.4 | 10.6 | 7.4  | 5.4  | 4.2  | 3.4  | 2.4 | 0.4 | 1    | 0.6  |
| 10             | 115.6                                  | 82.8 | 53.8 | 34.6 | 22.2  | 14.4 | 10   | 6.6  | 4.2  | 3.2  | 2.8  | 2   | 0.8 | 0.8  | 0.8  |
| 11             | 118.2                                  | 85   | -200 | 35.6 | 24    | 14.6 | 10   | 6.8  | 4.6  | 4    | 2.6  | 1.8 | 1.4 | 1.4  | 1    |
| 12             | 121                                    | 87   | 57   | 36   | 25    | 15.4 | 10.6 | 7.4  | 4.4  | 3.2  | 2.6  | 2   | 1   | 1    | 1.2  |
| 13             | 124                                    | 90   | 59   | 37.2 | 25    | 16.4 | 11   | 8.4  | 6.2  | 4.4  | 2.8  | 2.2 | 2   | 0.8  | 1.6  |
| 14             | 124                                    | 90.8 | 59.6 | 37.8 | 24.4  | 15.6 | 11   | 8.4  | 5.8  | 3.4  | 2.2  | 1   | 0.8 | 0.6  | 1.2  |
| 15             | 125.8                                  | 90.6 | 59.2 | -218 | 25.2  | 16.2 | 11.2 | 7.4  | 5.4  | 3.6  | 2.2  | 2   | 1.2 | 0.4  | 1    |
| 16             | 125.6                                  | -165 | 60.8 | 38.6 | 25.2  | 15.4 | 10.6 | 7.4  | 4.8  | 3.6  | 2.8  | 1.2 | 1   | 0.8  | 1.2  |
| 17             | 127.8                                  | 92.6 | 62.4 | 39.2 | 27    | 17.4 | 11.8 | 8.2  | 6.2  | 5.2  | 3.6  | 2.4 | 0.4 | 0.6  | 1.4  |
| 18             | 127.6                                  | 92.8 | 61.4 | 38.8 | 25.4  | 16.6 | 11.2 | 7.2  | 4.4  | 3.4  | 2.4  | 2.2 | 0.2 | 0.4  | 0.6  |
| 19             | 126.6                                  | 92.2 | 61.2 | 38.2 | 25.2  | 14.4 | 10.2 | 7.8  | 3.4  | 1.2  | 1.2  | 1.2 | 0.4 | 0.6  | 1    |
| 20             | 128.4                                  | 93.2 | 62.6 | 39.6 | 27.6  | 16.8 | -244 | -247 | -251 | -253 | -151 | 1.6 | 1.6 | 0.6  | 1.2  |
| 21             | 128                                    | 94.6 | 63.8 | -165 | 27    | 17.6 | 12   | 8.6  | 6.8  | 4    | 3.6  | 2   | 1.6 | 0    | 1.2  |
| 22             | 127.8                                  | 93.8 | 63.6 | 40   | 25.8  | 16.4 | 11   | 8.2  | 5.6  | 4    | 2.8  | 2   | 1.2 | 1    | 1    |
| 23             | 127                                    | 93.2 | 61.8 | 40.4 | 26.2  | 16.2 | 11.8 | 8.4  | 4.6  | 2.2  | 2.2  | 2.2 | 1.4 | 0.4  | 0.6  |
| 24             | 126.2                                  | 93.8 | 63   | 40.4 | 26.6  | 16.4 | 10   | 7.8  | 4.8  | 2.8  | 3    | 2   | 1   | 0.8  | 1    |
| 25             | 126.2                                  | 92.4 | 63   | 39.8 | 26.2  | 17   | 11   | 8.6  | 4    | 4    | 2.2  | 1.2 | 1   | 1    | 1    |

ตารางที่ จ ค่า  $\Delta T_{\text{discharge}}$  ในระยะ 1 – 15 cm ของแผ่นทองแดงขนาดใหญ่ 4x4 ตารางนิ้ว (ต่อ)

| ความกว้าง<br>ฟุตส์ | ระยะทางที่ตรวจจับพบทองแดงขนาดใหญ่ (cm) |       |      |       |      |       |       |      |     |     |      |      |      |      |      |
|--------------------|----------------------------------------|-------|------|-------|------|-------|-------|------|-----|-----|------|------|------|------|------|
|                    | 1                                      | 2     | 3    | 4     | 5    | 6     | 7     | 8    | 9   | 10  | 11   | 12   | 13   | 14   | 15   |
| 26                 | 125.8                                  | 92.6  | 61.8 | 39.6  | 25.2 | 17.2  | 9.8   | 7.2  | 4.2 | 2.8 | 2.6  | 1.8  | 1.2  | -0.4 | 0.4  |
| 27                 | 125.4                                  | 92.6  | 63   | 40    | 26.2 | 16.6  | 10.8  | 8.6  | 5   | 3.8 | 3.2  | 2.8  | 1.6  | 1.6  | 1.6  |
| 28                 | 380.4                                  | 348   | 318  | 295.8 | 282  | 272.8 | 267.2 | 8    | 5   | 4.2 | 1.6  | 1.4  | 0.2  | 0.2  | 0.2  |
| 29                 | 122.4                                  | 91.8  | 61.6 | 38.8  | -231 | 16.6  | 10.2  | 7.2  | 4.6 | 3   | 2.6  | 0.8  | 0.6  | 0    | 0.6  |
| 30                 | 121                                    | 91.6  | 61.4 | 39.2  | 25.8 | 16.2  | 11.6  | 7.8  | 5   | 3.8 | 2.8  | 1.2  | 1    | -1   | 0.2  |
| 31                 | 120                                    | 89.4  | 60.8 | 39.6  | 25.2 | 15.8  | 11.6  | 7.2  | 3.8 | 3   | 2.2  | 1.2  | 1.4  | -0.2 | 1.4  |
| 32                 | 119.4                                  | 90.2  | 61   | 39.6  | 25.6 | 16.4  | 10.6  | 7.6  | 5.6 | 3.6 | 3    | 2.2  | 1.8  | 1.6  | 1.8  |
| 33                 | -137                                   | 89.6  | 60   | 38.2  | 25.4 | 17    | 10.4  | 8.4  | 5.4 | 3.4 | 2    | 0.6  | 0.4  | 0.4  | 0.4  |
| 34                 | 116.4                                  | 89    | 60   | 39.2  | 26   | 17    | 11    | 7    | 5.4 | 4.8 | 3.8  | 2.2  | 0    | 0    | 0.2  |
| 35                 | 106                                    | 78.6  | 58.4 | 37.2  | 24.4 | 15.8  | 12    | 7.8  | 6   | 3   | 2.8  | 1.2  | 1.2  | 0.2  | 1.2  |
| 36                 | 111.4                                  | 84.8  | 56   | 36.2  | 23.2 | 14.8  | 9.2   | 5.6  | 2.4 | 3   | -0.4 | -1.6 | -1.6 | 0    | 0.2  |
| 37                 | 111.4                                  | 85.4  | 58.4 | 37.4  | 24.2 | 15    | 10.4  | 7.4  | 5.4 | 4.2 | 2.4  | 0.4  | 0.4  | 0.2  | 0.2  |
| 38                 | 112                                    | 85.4  | 58.6 | 36.8  | 26.4 | 16    | 12.4  | 7.4  | 5.8 | 4.4 | 2.6  | 0.6  | 1    | 0.8  | 0.6  |
| 39                 | 109.2                                  | 84.2  | 57.8 | 36.2  | 25   | 16.4  | 12    | 7.2  | 4.2 | 3.2 | 2.8  | 2.4  | 2    | 1.6  | 2    |
| 40                 | 364.2                                  | 339.6 | 313  | 293   | 281  | 271.4 | 267   | 265  | 4   | 4   | 2.4  | 2    | 1.6  | 1.6  | 2    |
| 41                 | 105.8                                  | 81.8  | 56.8 | 36    | 23.8 | -241  | -246  | -248 | 4   | 2.8 | 1    | 0.2  | 0.2  | 0.2  | 0    |
| 42                 | 103.8                                  | 80.4  | 55.6 | 36    | -233 | 15.4  | 9.8   | 7    | 4.4 | 3.4 | 2.4  | 0.4  | 0.4  | 0.4  | 0.2  |
| 43                 | 103                                    | 80.8  | 55.6 | 35    | 23.6 | 14.8  | 11    | 6    | 6   | 3.6 | 3.4  | 1.8  | 1    | 0.4  | 0.4  |
| 44                 | 101.4                                  | 79.4  | -201 | 35.8  | 22.8 | 15.2  | 10.6  | 7.8  | 4.8 | 4.2 | 2.8  | 2.8  | 0.8  | 0.8  | 0.8  |
| 45                 | 99.2                                   | 78.4  | 54.4 | 36    | 25   | 14.8  | 10.4  | 8.2  | 5.4 | 4.4 | 2.6  | 2    | 1.6  | 1.4  | 1.8  |
| 46                 | 99.2                                   | -178  | 54   | 36    | 25   | 16.4  | 10.6  | 8    | 6.4 | 4   | 2.6  | 1.4  | 1    | 1.2  | 1.2  |
| 47                 | -159                                   | 78    | 54.2 | 35    | 24   | 16    | 11.2  | 8    | 5   | 4.4 | 2.4  | 2    | 2    | 1.6  | 2    |
| 48                 | 94.8                                   | 75    | 51.8 | 34    | 22   | 13.8  | 10.2  | 8    | 4   | 3.4 | 2.8  | 2    | 1.8  | 1.4  | 1.8  |
| 49                 | 91.4                                   | 72.8  | 50   | 33.4  | 20.4 | 13.8  | 8.4   | 7    | 3   | 1.4 | 0.4  | 0    | -0.4 | -0.4 | 0    |
| 50                 | 89                                     | 71    | 49.4 | 32    | 20   | 13    | 7.8   | 5    | 4   | 2   | 0.8  | 0    | -2   | -1.6 | -1.6 |

ภาคผนวก จ

ผลการทดลองตรวจจับเหล็กขนาดเล็ก 2x2 ตารางนิ้ว ระยะ 1 – 15 cm

ผลการทดลองตรวจจับเหล็กขนาดเล็ก 2x2 ตารางนิ้ว ระยะ 1 – 15 cm มีแสดงไว้ในตารางที่ จ ซึ่งได้ทำการทดสอบโดยการส่งสัญญาณพัลส์ PWM ที่มีการเปลี่ยนแปลงขนาดความกว้างของพัลส์ ด้านบวกตั้งแต่ 3 หน่วยของไทมเมอร์ 0 ไปจนถึง 50 หน่วยของไทมเมอร์ 0

ตารางที่ จ ค่า  $\Delta T_{discharge}$  ในระยะ 1 – 15 cm ของแผ่นเหล็กขนาดเล็ก 2x2 ตารางนิ้ว

| ความกว้างพัลส์ | ระยะทางที่ตรวจจับพบเหล็กขนาดเล็ก (cm) |      |      |       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|----------------|---------------------------------------|------|------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|                | 1                                     | 2    | 3    | 4     | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   | 11   | 12   | 13   | 14   | 15   |
| 3              | 1.6                                   | 0.6  | 1    | 0.6   | 0.4  | 0.4  | 1.2  | -0.6 | -0.6 | 1    | -0.6 | -0.2 | -0.6 | -0.6 | -0.6 |
| 4              | 1.6                                   | 1.6  | 1.6  | 1.6   | 1.6  | 1.6  | 1.6  | 0    | -0.4 | 1.6  | -0.4 | 0    | 0.4  | -0.4 | 0.4  |
| 5              | 2                                     | 2    | 2    | 2     | 2    | 2    | 2    | 1.2  | 0.2  | 2    | 0.4  | 0.2  | 0.4  | -1   | -0.6 |
| 6              | 0                                     | 0    | 0.4  | 0.4   | 0.4  | 0    | 0    | 0    | 0    | 1.2  | 0    | -0.4 | -1.6 | -2   | -1.6 |
| 7              | -0.8                                  | -0.4 | -0.4 | -0.4  | -0.4 | -0.8 | 0.4  | 0.4  | 0.4  | 0.8  | 0.8  | -0.8 | -0.8 | -2.4 | -1.2 |
| 8              | 0.6                                   | 0.2  | 0    | 0.4   | 0.4  | 0.2  | 0    | -0.6 | -0.4 | 0.2  | -0.4 | -0.4 | -0.2 | -0.4 | -0.8 |
| 9              | 0.6                                   | -0.6 | -0.2 | 1     | 0.6  | 1    | -0.6 | -0.2 | -0.6 | 0.2  | -0.6 | -0.6 | -0.8 | -1   | -0.6 |
| 10             | 0.8                                   | 0.8  | 0.2  | 1     | 1    | 1.2  | 0.4  | 0.2  | 0    | 0.8  | 0    | -0.2 | -0.2 | -0.8 | -0.4 |
| 11             | 0                                     | 0    | -0.2 | 0.2   | 0.6  | 0.2  | 0    | -0.2 | 0    | 0.8  | 0.2  | 0    | -1   | -1.6 | -1.2 |
| 12             | -0.4                                  | -1   | -1.2 | -0.4  | -0.6 | 0.4  | 0    | 0.4  | -0.2 | -0.4 | 0.2  | -0.8 | -1.2 | -1.4 | -1.6 |
| 13             | 0.2                                   | 0    | -0.2 | 0.8   | 0.6  | 0.4  | 0.2  | 0.8  | -0.4 | 0.6  | 0    | 0.2  | -1   | -0.8 | 0.2  |
| 14             | -0.6                                  | -1.6 | -1.2 | -0.6  | 0.2  | 0.2  | 0.4  | -0.6 | -0.2 | 0.4  | 0.2  | 0    | -0.8 | -1   | -0.8 |
| 15             | -1.4                                  | -1.6 | -2.6 | -0.6  | -0.2 | -0.2 | 0    | -0.8 | -0.6 | 0.2  | -0.8 | -0.4 | -1.6 | -2.2 | -1.8 |
| 16             | -0.8                                  | -0.8 | -1.4 | 0.2   | 0.2  | 0.2  | 0.2  | 0.2  | 0    | 0.6  | 0.8  | -0.4 | 0    | 0.2  | -0.6 |
| 17             | -0.6                                  | -0.2 | -0.6 | 0.4   | 0.8  | 0.8  | -0.2 | 0    | 0.2  | 1.6  | 0    | 0.2  | -0.4 | 0    | 0    |
| 18             | -0.4                                  | -0.4 | -0.8 | 0     | 0    | 0.2  | 0.4  | -0.4 | 0    | 0.6  | -0.4 | -0.2 | -1.2 | -1   | -1   |
| 19             | -1.6                                  | -2   | -2.2 | -13.8 | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0.2  | -0.2 | -0.8 | -1   | -0.6 |
| 20             | -2.4                                  | -2.8 | -2.4 | -0.8  | -0.8 | -0.4 | -0.2 | 1    | -0.8 | -0.6 | 0.8  | -0.8 | -0.8 | -1.4 | -0.8 |
| 21             | -1.4                                  | -2   | -1.4 | 0     | 0.2  | 0    | 0.2  | 0    | 0    | 1.2  | 0.4  | 0    | 0    | -0.4 | 0    |
| 22             | -1.4                                  | -2   | -1.2 | 0     | 0    | -0.2 | 0    | 0.2  | 0.2  | 0.2  | 0.2  | 0.2  | 0    | -0.6 | -0.4 |
| 23             | -0.4                                  | -0.6 | -0.6 | 1     | 1.2  | 1.2  | 0.4  | 0.2  | 0.8  | 1.4  | 1.4  | 0.8  | 0.6  | 0    | 0.2  |
| 24             | -2.2                                  | -2.6 | -2.2 | -0.6  | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | -0.2 | -0.2 | -0.4 | -0.6 |
| 25             | -2                                    | -2   | -2   | -0.8  | -0.4 | 0    | 0    | 0    | -0.4 | 0.2  | 0    | -0.6 | 0    | -0.2 | -0.6 |

ตารางที่ จ ค่า  $\Delta T_{\text{discharge}}$  ในระยะ 1 – 15 cm ของแผ่นเหล็กขนาดเล็ก 2x2 ตารางนิ้ว (ต่อ)

| ความกว้าง<br>พัลส์ | ระยะทางที่ตรวจจับพบเหล็กขนาดเล็ก (cm) |       |      |      |      |      |      |       |      |      |       |      |      |       |       |
|--------------------|---------------------------------------|-------|------|------|------|------|------|-------|------|------|-------|------|------|-------|-------|
|                    | 1                                     | 2     | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8     | 9    | 10   | 11    | 12   | 13   | 14    | 15    |
| 26                 | -1.2                                  | -2    | -1.2 | -0.4 | 0.4  | 0.8  | 0.4  | 0.4   | -0.6 | 0.2  | 0.4   | 0    | -1   | -0.8  | -0.4  |
| 27                 | -2                                    | -2.2  | -2.2 | -1.6 | -0.2 | -0.4 | -0.2 | 0     | 0    | -0.2 | 0     | -0.2 | -1.2 | -1.2  | -0.8  |
| 28                 | 202                                   | 202.2 | 203  | 204  | 204  | 102  | -51  | 152.8 | 0    | 0.4  | -50.4 | -51  | 51   | 152.8 | 152.8 |
| 29                 | -1                                    | -1    | -0.4 | 0.8  | 0.8  | 1    | 0.2  | 0.4   | 0    | 2    | 1.4   | 0    | 0    | 1.2   | 1     |
| 30                 | -1.4                                  | -1    | -0.4 | 0    | 0    | 1.2  | 0    | 0.2   | -0.4 | 1.2  | 0.4   | 0.2  | 0.2  | 0     | 0.2   |
| 31                 | -1.2                                  | -0.8  | -0.6 | 0.2  | 0.2  | 1.4  | 1    | 0.2   | -0.2 | 0.8  | 0.4   | 0    | 0    | -0.2  | -0.8  |
| 32                 | -2                                    | -2    | -2   | -0.2 | -0.2 | 0    | 0    | -0.2  | 0    | 1.2  | 0     | 0    | 0    | -0.2  | 0     |
| 33                 | -2.6                                  | -3.4  | -2.6 | -1.4 | -0.4 | -0.6 | 0    | -0.2  | -0.2 | 0.8  | 0.4   | 0.4  | -0.2 | -0.8  | -0.2  |
| 34                 | -3.2                                  | -3.2  | -2.4 | -1.2 | -0.8 | -1.2 | -0.4 | -0.6  | -0.6 | -0.2 | -0.4  | -0.2 | -1.6 | -1.2  | -1.4  |
| 35                 | -2.6                                  | -3    | -2.6 | -1   | -0.8 | -0.4 | 0.2  | 0     | 0.4  | 0.4  | 0.4   | 0.4  | -0.8 | -1.2  | -1.2  |
| 36                 | -6                                    | -5.4  | -3.6 | -3   | 0.8  | -2   | -0.2 | -2    | 0    | 1.2  | -2.2  | -2   | -2   | -3.8  | -2.4  |
| 37                 | -2.4                                  | -2.8  | -2.8 | -0.4 | -0.4 | 0    | -0.4 | -0.4  | -0.4 | -0.4 | 0     | -0.4 | -0.4 | -0.4  | 0     |
| 38                 | -1.4                                  | -2.2  | -1.4 | 0.6  | 1.2  | 1.6  | -0.4 | 0     | -0.4 | 1.6  | 0.6   | -0.4 | 1.2  | 0.8   | 0.8   |
| 39                 | -2                                    | -2.4  | -0.8 | 0.6  | 0.4  | 0.6  | 0.6  | 0.4   | 0.6  | 0.8  | 0.8   | 0.6  | -0.2 | -0.2  | 0.2   |
| 40                 | -3.4                                  | -4.2  | -3.4 | -1.4 | -1.4 | -1.4 | 0.2  | -0.4  | 0.2  | 0.4  | 0.2   | 0.6  | -1.2 | -1.4  | -0.4  |
| 41                 | -3                                    | -3    | -1.8 | -1   | 0    | 0    | 0    | 0     | 0    | 1.6  | 1.2   | 0    | 0    | 0     | -0.2  |
| 42                 | -3.8                                  | -4    | -3.6 | -1.4 | -1.6 | -1.6 | -0.4 | -0.2  | -0.8 | 0    | 0.4   | -0.6 | 0    | 0     | -0.6  |
| 43                 | -3                                    | -3    | -1.8 | -0.2 | -0.2 | -0.2 | 0.2  | 0.2   | 0.2  | 1.2  | 0.6   | 0.2  | -0.2 | 0     | -0.2  |
| 44                 | -2.8                                  | -3.2  | -2.4 | -0.6 | -0.2 | 0.2  | 0.2  | -0.4  | 0.2  | 1    | 0.2   | 0    | -0.8 | -0.8  | -0.8  |
| 45                 | -4.4                                  | -4.2  | -3   | -1.2 | -0.4 | 0.4  | -0.4 | 0     | -0.4 | 0.8  | -0.4  | 0    | 0.4  | -0.4  | 0     |
| 46                 | -1.8                                  | -2.2  | -2.2 | 0.2  | 1    | 1.2  | -0.4 | -0.2  | -0.6 | 1.2  | 1     | 0    | 1    | 1.2   | 0.8   |
| 47                 | -1.2                                  | -2    | -2.4 | 0.8  | 1.8  | 1.8  | -0.2 | 0.4   | -0.2 | 1.6  | 1.4   | 0    | 0.6  | 0.8   | 0.6   |
| 48                 | -4.4                                  | -4    | -2.4 | -1.4 | -1   | -0.6 | -0.2 | -0.2  | 0.6  | 0.4  | 0.8   | 0    | -0.8 | -1.4  | -1    |
| 49                 | -3.8                                  | -4.4  | -2.4 | -2   | -1.6 | 0    | 0    | 0     | 0    | 1    | 1.2   | 0    | 0    | 0     | 0     |
| 50                 | -5                                    | -4.8  | -3.4 | -2.6 | -1   | -1.2 | -0.6 | -0.4  | -0.4 | 0    | 0     | 0    | 0    | -0.2  | -0.4  |

ภาคผนวก ข

ผลการทดลองตรวจนับเหล็กขนาดใหญ่ 4x4 ตารางนิ้ว ระยะ 1 – 15 cm

ผลการทดลองตรวจนับเหล็กขนาดใหญ่ 4x4 ตารางนิ้ว ระยะ 1 – 15 cm มีแสดงไว้ในตารางที่ ๓ ซึ่งได้ทำการทดสอบโดยการส่งสัญญาณพัลส์ PWM ที่มีการเปลี่ยนแปลงขนาดความกว้างของพัลส์ด้านบวกตั้งแต่ 3 หน่วยของไทมเมอร์ 0 ไปจนถึง 50 หน่วยของไทมเมอร์ 0

ตารางที่ ๓ ค่า  $\Delta T_{discharge}$  ในระยะ 1 – 15 cm ของแผ่นเหล็กขนาดใหญ่ 4x4 ตารางนิ้ว

| ความกว้างพัลส์ | ระยะทางที่ตรวจนับพบเหล็กขนาดใหญ่ (cm) |      |      |      |      |      |      |      |     |      |       |      |     |      |     |
|----------------|---------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|-----|------|-------|------|-----|------|-----|
|                | 1                                     | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9   | 10   | 11    | 12   | 13  | 14   | 15  |
| 3              | 22.8                                  | 16.6 | 11.6 | 7.6  | 5.8  | 3.6  | 3.8  | 3.6  | 3.4 | 3.6  | 3.267 | 1.6  | 1.6 | 0.8  | 1.6 |
| 4              | 20.8                                  | 15.4 | 11.6 | 8.4  | 5.6  | 3.6  | 2.2  | 2.6  | 2.6 | 2.6  | 2.433 | 1.4  | 1.4 | 1.6  | 1.6 |
| 5              | 19                                    | -242 | -93  | 7    | 4    | 2.2  | 1.2  | 2    | 1.8 | 2    | 1.833 | 0    | 1.4 | -0.4 | 0.2 |
| 6              | 20                                    | 15   | 10.4 | 7    | 4    | 4    | 3.6  | 4    | 2.8 | 2.8  | 2.8   | 2    | 2   | 0.4  | 1.4 |
| 7              | 16.4                                  | 11.4 | 7.6  | 5    | 2.6  | 1.4  | 0.8  | 0.4  | 0.4 | 0.4  | 0.4   | 0.4  | 0.2 | 0.4  | 0.4 |
| 8              | 17.2                                  | 11   | 7.8  | 5    | 3    | 2    | 1.6  | 1.2  | 0   | 0    | 0     | 1.2  | 0.4 | 0    | 0.6 |
| 9              | 14.4                                  | 10.6 | 8    | 5.4  | 4.8  | 3    | 2.2  | 1    | 1   | 1    | 1.167 | 0.6  | 1.8 | 0    | 0.4 |
| 10             | 13                                    | 9.4  | 7    | 4.6  | 4.4  | 2    | 2    | 2    | 2   | 2    | 2     | 1.6  | 1.8 | 0.8  | 0.8 |
| 11             | 10.8                                  | 8.6  | 5.8  | 3.4  | 2.4  | 2.4  | 1.2  | 2.4  | 2.4 | 2.2  | 2.367 | 1.4  | 2   | 0.8  | 0.8 |
| 12             | 8.6                                   | 6.6  | 4.8  | 2    | 1.8  | 1.2  | 0    | 0.8  | 0.2 | 1.6  | 1.267 | 0.4  | 0.2 | -0.4 | 0.4 |
| 13             | 8                                     | 5.6  | 3    | 2.2  | 2    | 1.2  | 1.4  | 1.6  | 1.4 | 2    | 1.667 | 1.6  | 1.2 | 0.8  | 1.4 |
| 14             | 5.6                                   | 3.6  | 2.8  | 2.2  | 2.2  | 1    | 1.4  | 0.8  | 2.2 | 1.4  | 1.067 | 0.8  | 1.6 | 0.2  | 0.8 |
| 15             | 2.6                                   | 1.4  | 2.4  | 1.2  | 1.2  | 0.2  | 0.2  | 0.6  | 0.4 | 0.4  | 0.9   | 0.2  | 0.8 | 0.2  | 0.2 |
| 16             | 1.4                                   | 1    | 0.4  | 1.4  | 0.4  | 0.8  | 1    | 0.6  | 0.6 | 1.2  | 1.367 | 1    | 0.6 | 0.4  | 1   |
| 17             | 0.4                                   | 0.2  | 0.6  | 0.6  | 2    | 1    | 0.4  | 1    | 1.4 | -7.2 | -0.2  | 1.2  | 1.4 | 0.4  | 0.8 |
| 18             | -0.4                                  | 0    | -1   | 0    | 0.4  | 0.4  | 0.8  | 2    | 2   | 1.8  | 2.133 | 1    | 2   | 0    | 0.8 |
| 19             | -3.2                                  | -2   | -2   | -1   | -0.8 | 0.2  | 0.4  | 1.8  | 2   | 2    | 5.167 | 1.2  | 2   | 0    | 0.8 |
| 20             | -5.6                                  | -5   | -3   | -3   | -2   | -1.6 | -0.8 | -0.8 | 0   | 0.2  | 0.033 | 0.2  | 0   | 0    | 0   |
| 21             | -7                                    | -4.6 | -3   | -2.4 | -2   | -1.2 | 0    | 0    | 0.4 | 0.4  | 0.067 | 0.8  | 0.4 | 0    | 0   |
| 22             | -8.8                                  | -6   | -4   | -2.6 | -0.2 | 0.2  | 0    | 1    | 1   | 1.2  | 1.7   | 1    | 1.6 | 0.6  | 1   |
| 23             | -9.4                                  | -8   | -5   | -2.6 | -2   | -1.2 | -1.2 | 0    | 0.4 | 1.4  | 1.9   | 1.2  | 1.6 | -0.2 | 0.8 |
| 24             | -10.6                                 | -7.6 | -5.8 | -3   | -2.2 | -1.2 | 0    | 1.6  | 1.4 | 1.2  | 1.7   | -0.2 | 1.8 | 0    | 0.4 |
| 25             | -12.6                                 | -9.6 | -5   | -4   | -2.2 | -0.8 | -0.8 | 0.2  | 1.2 | 1    | 1     | 1.4  | 1.4 | 0.2  | 1.4 |



ตารางที่ ข ค่า  $\Delta T_{\text{discharge}}$  ในระยะ 1 – 15 cm ของแผ่นเหล็กขนาดใหญ่ 4x4 ตารางนิ้ว (ต่อ)

| ความกว้าง<br>พลัส | ระยะทางที่ตรวจจับพบเหล็กขนาดใหญ่ (cm) |       |       |       |       |      |      |      |      |      |       |      |     |      |      |
|-------------------|---------------------------------------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|------|------|-------|------|-----|------|------|
|                   | 1                                     | 2     | 3     | 4     | 5     | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   | 11    | 12   | 13  | 14   | 15   |
| 26                | -13.4                                 | -10.8 | -6.6  | -3.8  | -3    | -1   | -0.8 | 0.4  | 1.2  | 1.2  | 1.2   | 1.2  | 1.2 | -0.4 | 1.2  |
| 27                | -14.6                                 | -12   | -7.2  | -5.2  | -2.8  | -0.4 | -0.4 | 0.4  | 1.2  | 1.2  | 1.2   | 1.2  | 1.2 | 0.8  | 1.2  |
| 28                | 237.8                                 | 242.6 | 247.2 | 249.2 | 150.6 | 48.6 | -2   | -1   | 0.6  | 0.6  | 0.6   | 0.6  | 0.6 | 0    | 0.6  |
| 29                | -18.6                                 | -13.8 | -9.8  | -6.2  | -4    | -2.2 | -1.2 | -1   | -1.2 | 1    | 1     | 1.2  | 1   | 0    | 1.4  |
| 30                | -19.8                                 | -14.6 | -8.8  | -6.2  | -3.4  | -1   | 0.2  | 0.6  | 0.6  | 0.8  | 0.633 | 1.4  | 0.8 | -0.2 | 1.6  |
| 31                | -21.2                                 | -15.6 | -9.4  | -5.4  | -3    | -1.2 | -0.2 | 1.2  | 1.4  | 1.6  | 1.6   | 1.4  | 1.6 | -0.2 | 1.6  |
| 32                | -22.4                                 | -17.6 | -11.6 | -7    | -4.6  | -2.6 | -1.6 | 0.2  | 0.6  | 2    | 2.333 | 1.8  | 2.4 | 0.2  | 1    |
| 33                | -31                                   | -20.2 | -13.6 | -8.8  | -5.8  | -4.8 | -3.2 | -2   | -0.8 | -0.6 | -0.1  | -0.4 | 0   | 0    | -0.4 |
| 34                | -25.4                                 | -19.4 | -14   | -8.6  | -5.6  | -3.6 | -1.8 | -1.6 | 0    | 0.4  | 0.4   | -0.2 | 0.6 | 0.2  | 0.2  |
| 35                | -25.2                                 | -19.4 | -11.8 | -7.8  | -4    | -2   | -1.6 | 1    | 1    | 1    | 1.167 | 1.8  | 1.2 | 0    | 2    |
| 36                | -30.4                                 | -24.2 | -16   | -11.4 | -8.4  | -6.6 | -4.4 | -3.6 | 0.8  | 4.8  | 6.133 | 6.4  | 4.8 | 6.4  | 6.4  |
| 37                | -29                                   | -21.4 | -14   | -9.6  | -6.2  | -3.2 | -2.4 | 0    | 0    | 0    | 0     | 1.6  | 0   | 0.4  | 2    |
| 38                | -288                                  | -23.2 | -15.4 | -10   | -5.4  | -4   | -2   | -1   | -0.8 | 0.6  | 0.933 | 0.4  | 1   | 0    | 0.2  |
| 39                | -31                                   | -125  | -271  | -163  | -5    | -3   | -0.6 | 0.8  | 1.6  | 2    | 2.167 | 2    | 2   | 0    | 2.2  |
| 40                | 223.2                                 | 231.6 | 240   | 245.6 | -6    | -3.6 | -2.2 | 0    | 0    | 2    | 2     | 1.6  | 2.2 | 0.6  | 1.2  |
| 41                | -35.6                                 | -26.8 | -18   | -12   | -8.6  | -6   | -2.6 | -2   | -1.6 | -0.4 | -0.07 | 0.2  | 0   | 0    | 0    |
| 42                | -36                                   | -27.4 | -18.8 | -11.4 | -8    | -4   | -3   | -2.6 | -0.8 | 0    | 0     | 0.4  | 0.4 | 0    | 0.6  |
| 43                | -35.4                                 | -26.4 | -16.4 | -11   | -6    | -2   | -1   | -1   | 0.8  | 1    | 1     | 1.6  | 1   | 0    | 2    |
| 44                | -37.4                                 | -27.6 | -18.4 | -12   | -7.4  | -5.4 | -2   | -0.4 | 0    | 0.4  | 1.067 | 0    | 1.6 | -0.4 | 0.6  |
| 45                | -37.2                                 | -29   | -18.8 | -12.4 | -8    | -3.8 | -2   | 0.8  | 0.6  | 0.6  | 0.767 | 1    | 1.8 | 1    | 0.8  |
| 46                | -40.6                                 | -30.2 | -19.8 | -12.2 | -8    | -4.6 | -3.6 | -1   | -0.6 | 0.2  | 0.7   | 0    | 1   | 0    | 0.8  |
| 47                | -41.2                                 | -31   | -21   | -12.8 | -9    | -5   | -3   | 0    | 0    | 0.8  | 1.8   | 0.4  | 2   | 0    | 0.4  |
| 48                | -41                                   | -30.2 | -19   | -13   | -8    | -4.8 | -1.4 | 0.2  | 1.4  | 2    | 2     | 2    | 2   | 0.2  | 1.8  |
| 49                | -44                                   | -33   | -22   | -15   | -10.4 | -6   | -4   | -2   | -1.6 | -2   | -0.33 | 0.8  | 0   | 0    | 0.4  |
| 50                | -44.6                                 | -32.6 | -23   | -14   | -9    | -5   | -3.4 | -2.2 | -0.8 | 0    | 0     | 0    | 0   | 0    | 0    |

ภาคผนวก ข

ผลการทดลองตรวจจับแผ่นอุณหภูมิขนาดใหญ่ 4x4 ตารางนิ้วที่วางในพื้นที่ทราย

ผลการทดลองและเก็บค่า  $\Delta T_{\text{discharge}}$  ที่เกิดขึ้นจากการตรวจจับโลหะแผ่นอุณหภูมิขนาด 4x4 ตารางนิ้วที่วางในพื้นที่ทราย โดยใช้อัลกอริทึมในการจำแนกชนิดของโลหะตามรูปที่ 3.3 ซึ่งกำหนดให้ใช้ค่าความกว้างพัลส์ด้านบวกของสัญญาณ PWM จำนวน 15 พัลส์เท่ากับ 3, 6, 9, 12, 15, 18, 21, 24, 27, 30, 33, 36, 39, 42 และ 45 หน่วยของไทมเมอร์ 0 และแสดงผลการจำแนกแผ่นอุณหภูมิได้สำเร็จผ่านทางหลอด LED สีแดง ดังแสดงในรูปที่ 4.15

ตารางที่ ๗ ค่า  $\Delta T_{\text{discharge}}$  ในระยะ 1 – 7 cm ของแผ่นอุณหภูมิขนาดใหญ่ 4x4 ตารางนิ้ว

| ค่า $\Delta T_{\text{discharge}}$ | ระยะทางที่ตรวจจับพบโลหะ (cm) |      |      |    |    |    |    |
|-----------------------------------|------------------------------|------|------|----|----|----|----|
| ความกว้างพัลส์ (μs)               | 1                            | 2    | 3    | 4  | 5  | 6  | 7  |
| 9.64                              | 72                           | 53   | 35   | 24 | 17 | 10 | 7  |
| 19.27                             | 85                           | 62   | 42   | 29 | 21 | 13 | 11 |
| 28.91                             | 83                           | 61   | 42   | 29 | 19 | 12 | 8  |
| 38.54                             | 78                           | 59   | 42   | 29 | 20 | 14 | 10 |
| 48.18                             | 69                           | 55   | -217 | 28 | 19 | 13 | 10 |
| 57.82                             | 57                           | 48   | 35   | 25 | 19 | 13 | 9  |
| 67.45                             | -209                         | -216 | 29   | 21 | 15 | 12 | 8  |
| 77.09                             | 33                           | 32   | 25   | 20 | 14 | 10 | 7  |
| 86.72                             | 19                           | 24   | 20   | 16 | 11 | 8  | 6  |
| 96.36                             | 9                            | 17   | 17   | 15 | 11 | 9  | 7  |
| 106.00                            | -4                           | 7    | 12   | 12 | 9  | 6  | 5  |
| 115.63                            | -19                          | -2   | 6    | 8  | 6  | 5  | 4  |
| 125.27                            | -33                          | -12  | -1   | 3  | 4  | 2  | 1  |
| 134.90                            | -44                          | -19  | -6   | 1  | 3  | 3  | 3  |
| 144.54                            | -58                          | -29  | -11  | -2 | -1 | 0  | 0  |

ภาคผนวก ฅ

ผลการทดลองตรวจจับแผ่นทองแดงขนาดใหญ่ 4x4 ตารางนิ้วที่วางในพื้นที่ทราย

ผลการทดลองและเก็บค่า  $\Delta T_{\text{discharge}}$  ที่เกิดขึ้นจากการตรวจจับ โลหะแผ่นทองแดงขนาด 4x4 ตารางนิ้วที่วางในพื้นที่ทราย โดยใช้อัลกอริทึมในการจำแนกชนิดของโลหะตามรูปที่ 3.3 ซึ่งกำหนดให้ใช้ค่าความกว้างพัลส์ด้านบวกของสัญญาณ PWM จำนวน 15 พัลส์เท่ากับ 3, 6, 9, 12, 15, 18, 21, 24, 27, 30, 33, 36, 39, 42 และ 45 หน่วยของไทมเมอร์ 0 และแสดงผลการจำแนกแผ่นอลูมิเนียมได้สำเร็จผ่านทางหลอด LED สีฟ้า ดังแสดงในรูปที่ 4.16

ตารางที่ ๓ ค่า  $\Delta T_{\text{discharge}}$  ในระยะ 1 – 7 cm ของแผ่นทองแดงขนาดใหญ่ 4x4 ตารางนิ้ว

| ค่า $\Delta T_{\text{discharge}}$ | ระยะทางที่ตรวจจับพบโลหะ (cm) |    |    |      |      |    |    |
|-----------------------------------|------------------------------|----|----|------|------|----|----|
| ความกว้างพัลส์ (μs)               | 1                            | 2  | 3  | 4    | 5    | 6  | 7  |
| 9.64                              | 74                           | 52 | 36 | 23   | 15   | 8  | 7  |
| 19.27                             | 97                           | 69 | 46 | 27   | 17   | 12 | 9  |
| 28.91                             | 113                          | 81 | 53 | 34   | 23   | 15 | 11 |
| 38.54                             | 121                          | 86 | 57 | 36   | 25   | 15 | 10 |
| 48.18                             | 126                          | 90 | 59 | -217 | 25   | 16 | 11 |
| 57.82                             | 126                          | 92 | 61 | 38   | 25   | 16 | 9  |
| 67.45                             | 128                          | 95 | 64 | -216 | 27   | 18 | 12 |
| 77.09                             | 125                          | 91 | 63 | 40   | 24   | 15 | 9  |
| 86.72                             | 125                          | 91 | 63 | 40   | 27   | 16 | 10 |
| 96.36                             | 120                          | 92 | 62 | 39   | 25   | 17 | 12 |
| 106.00                            | -139                         | 89 | 59 | 38   | 25   | 15 | 10 |
| 115.63                            | 105                          | 79 | 50 | 29   | 17   | 9  | 3  |
| 125.27                            | 109                          | 84 | 58 | 36   | 25   | 17 | 11 |
| 134.90                            | 103                          | 80 | 56 | 35   | -234 | 15 | 8  |
| 144.54                            | 99                           | 78 | 54 | 36   | 25   | 14 | 12 |

ภาคผนวก ญ

ผลการทดลองตรวจจับแผ่นเหล็กขนาดใหญ่ 4x4 ตารางนิ้วที่วางในพื้นที่ทราย

ผลการทดลองและเก็บค่า  $\Delta T_{discharge}$  ที่เกิดขึ้นจากการตรวจจับโลหะแผ่นทองแดงขนาด 4x4 ตารางนิ้วที่วางในพื้นที่ทราย โดยใช้อัลกอริทึมในการจำแนกชนิดของโลหะตามรูปที่ 3.3 ซึ่งกำหนดให้ใช้ค่าความกว้างพัลส์ด้านบวกของสัญญาณ PWM จำนวน 15 พัลส์เท่ากับ 3, 6, 9, 12, 15, 18, 21, 24, 27, 30, 33, 36, 39, 42 และ 45 หน่วยของไทมเมอร์ 0 และแสดงผลการจำแนกแผ่นอลูมิเนียมได้สำเร็จผ่านทางหลอด LED สีเขียว ดังแสดงในรูปที่ 4.17

ตารางที่ ๓ ค่า  $\Delta T_{discharge}$  ในระยะ 1 – 7 cm ของแผ่นเหล็กขนาดใหญ่ 4x4 ตารางนิ้ว

| ค่า $\Delta T_{discharge}$ | ระยะทางที่ตรวจจับพบโลหะ (cm) |     |     |     |     |    |    |
|----------------------------|------------------------------|-----|-----|-----|-----|----|----|
| ความกว้างพัลส์ (us)        | 1                            | 2   | 3   | 4   | 5   | 6  | 7  |
| 9.64                       | 22                           | 15  | 10  | 6   | 5   | 2  | 2  |
| 19.27                      | 20                           | 15  | 10  | 7   | 4   | 4  | 4  |
| 28.91                      | 14                           | 10  | 8   | 5   | 5   | 3  | 3  |
| 38.54                      | 8                            | 7   | 4   | 2   | 1   | 2  | -1 |
| 48.18                      | 2                            | 2   | 2   | 1   | 1   | 0  | 0  |
| 57.82                      | -1                           | 0   | -1  | 0   | 0   | 2  | 2  |
| 67.45                      | -8                           | -5  | -3  | -3  | -2  | -1 | 0  |
| 77.09                      | -11                          | -7  | -5  | -2  | -2  | 0  | 0  |
| 86.72                      | -14                          | -12 | -8  | -4  | -1  | 0  | 2  |
| 96.36                      | -21                          | -15 | -9  | -6  | -5  | -1 | -2 |
| 106.00                     | -26                          | -19 | -12 | -8  | -5  | -4 | -3 |
| 115.63                     | -29                          | -23 | -16 | -9  | -7  | -5 | -3 |
| 125.27                     | -31                          | -24 | -27 | -8  | -5  | -3 | 0  |
| 134.90                     | -36                          | -27 | -19 | -12 | -8  | -4 | -3 |
| 144.54                     | -40                          | -31 | -21 | -15 | -10 | -5 | -4 |

ภาคผนวก ฅ

โปรแกรมไมโครคอนโทรลเลอร์ AVR ATmega168 ที่ใช้ในการสร้างสัญญาณพัลส์ PWM และใช้  
 จําแนกชนิดของโลหะ

```
#define F_CPU 2000000UL // 20 MHz
#include <avr/io.h>
#include <util/delay.h>
#include <stdio.h>
#include <compat/deprecated.h>
#include <avr/interrupt.h>
#include <avr/eeprom.h>
#define BAUD 50000UL // 57600 BPS
#define MYUBRR F_CPU/8/BAUD-1
unsigned char rec;
unsigned long int x;
volatile unsigned int TCNT_value[15];
volatile unsigned int count, threshold_value[15];
volatile unsigned int i,j,l;
void delay_ms(unsigned int time) /* Delay Module */
{
    while(time-->0) { _delay_ms(1.0); }
}
void init_serial(unsigned int ubrr) /* Initial UART */
{
    UBRR0H = (unsigned char)(ubrr>>8); /* Set baud rate */
    UBRR0L = (unsigned char)ubrr;
    UCSR0A = (1<<U2X0); /* double speed */
    UCSR0B = (1<<RXEN0)|(1<<TXEN0)|(1<<RXCIE0); /* Enable Rx and Tx */
    UCSR0C = (3<<UCSZ00); /* Set frame format: 8data, 1stop bit */
}
```

```

/***** MAIN *****/
int main(void)
{
    EICRA = 0x0A;      // Falling Edge Triggered for Ext' INT. 0
    EIMSK = 0x01;      //Enable INT0
    TCCR0A = 0x83;      //timer0 fast PWM mode
    TIMSK0 = 0x02;      //Enable Timer0 compare match
    DDRC = 0x0F;        //PC0 PC1 PC2 PC3 as output
    DDRD = 0x40;        //PD6 OC0A as output
    init_serial(MYUBRR); //Initial serial port
    SREG|= 0x80;        //Enable Interrupt
    while(1)
    {
        for (h = 0 ; h < 15 ; h++)
            pulse[h]=((h+1)*5);
        TCNT0=0;        //Initial timer0 value
        OCR0A = pulse[h]; //set switch time on maximum value =255
        TCCR0A = 0x83;    //timer0 fast PWM mode
        TCCR0B = 0x03;    //start timer0 prescale 64
    }
    if((TCNT_value[0]>5)&&(TCNT_value[1]>9)&&(TCNT_value[2]>6)&&(TCNT_value[3]
>8)&&(TCNT_value[4]>8)&&(TCNT_value[5]>7)&&(TCNT_value[7]>5)&&
(TCNT_value[8]>4)&&(TCNT_value[9]>8)&&(TCNT_value[10]>5)&&(TCNT_value [11]
>8)&&(TCNT_value[14]<-2))
    {
        fprintf(&mystdout,"A1");        PORTC=0x06;
    }
    else

```

```

    if((TCNT_value[0]>5)&&(TCNT_value[1]>7)&&(TCNT_value[2]>9)&&(TCNT_value[3]>
8)&&(TCNT_value[5]>7)&&(TCNT_value[7]>7)&&(TCNT_value [8]>8)&&(TCNT_value
[9]>10)&&
(TCNT_value[10]>8)&&(TCNT_value[11]>2)&&(TCNT_value
[12]>9)&&(TCNT_value[14]>10))
    {
        fprintf(&mystdout,"Cu");          PORTC=0x05;          }
        else
        if((TCNT_value[0]>0)&&(TCNT_value[1]>2)&&(TCNT_value[2]>1)          )&&
(TCNT_value[3]>-2)&&
(TCNT_value[6]<1)&&(TCNT_value[7]<0)&&(TCNT_value[8]<4)&&(TCNT_value[9]<0)
&&
(TCNT_value[10]<-1)&&(TCNT_value[11]<-2)&&(TCNT_value[12]<2)&&
(TCNT_value[13]<-1)&&(TCNT_value[14]<-2))
        {
            fprintf(&mystdout,"Fe");          PORTC=0x03;          }
            delay_ms(25);
        }          //end while(1);
        return 0;
    }          //end int main (void)
/*****          END MAIN          *****/
/*****/

ISR(TIMER0_COMPA_vect)    //need T1 count
{
    TCCR1B=0x01;          //start timer1 counter
    return;
}

ISR(INT0_vect)          // External Interrupt 0 Function

```

```
{  
  
    TCCR1B=0x00;                //stop timer1 counter  
    threshold_value[count]=TCNT1;  
    count++;  
    OCR0A=pulse[count];  
    TCNT_value[count]=TCNT1-threshold_value[count];  
    count++;  
    fprintf(&mystdout,"SNOOPY OK");    }  
    OCR0A=pulse[count];  
    return;  
}
```



## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล

พันธุ์ สุทัศน์ แขะระจ่าง

ประวัติการศึกษา

วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์

มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร

ตำแหน่งและสถานที่ทำงานปัจจุบัน ประจำแผนกการสื่อสารระหว่างประเทศ กองนโยบายและแผน

สำนักแผนและอำนวยการสื่อสาร กรมการสื่อสารทหาร

กองบัญชาการกองทัพไทย

