

บทที่ 4

ผลการทดสอบ

หลังจากที่ได้ทำการออกแบบและสร้างวงจรเปิด/ปิดพัลส์ PWM พ้นขดลวดตรวจจับ และเขียน โปรแกรมใช้งาน เสร็จเป็นที่เรียบร้อยแล้ว จึงได้ทำการประกอบ โมดูลต่างๆ เข้าด้วยกัน ผ่านสายส่งสัญญาณ ก่อนที่จะทำการทดสอบการทำงานและเก็บข้อมูล

โดยในงานวิจัยฉบับนี้จะนำโลหะมาทดสอบจำนวน 3 ชนิด ได้แก่ แผ่นอลูมิเนียม แผ่นทองแดง และแผ่นเหล็ก ที่มีพื้นที่แตกต่างกัน 2 ค่า คือขนาด 2x2 ตารางนิ้ว และขนาด 4x4 ตารางนิ้ว มาทำการทดสอบหาค่าผลตอบแทนเชิงเวลาตัดศูนย์ของกระแสไฟฟ้าในขดลวดที่เกิดขึ้นจากโลหะชนิดนั้นๆ โดยการทดสอบในอากาศ ระบายของแผ่นโลหะและระบายของขดลวดจะวางในแนวตั้งฉากกับระบายของพื้นโลก ส่วนการทดสอบในพื้นที่ดิน ระบายของแผ่นขดลวดจะวางขนานกับพื้นโลกและระบายของแผ่นโลหะ พร้อมทั้งทำการทดสอบเพื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติในการใช้งานที่ดีขึ้นเมื่อเทียบกับเครื่องตรวจค้นวัตถุโลหะแบบ Garrett Super Scanner โดยเครื่องตรวจจับโลหะที่พัฒนาและสร้างขึ้นมาในงานวิจัยครั้งนี้ จะต้องทำการตรวจจับมีดขนาดใหญ่ มีดขนาดเล็ก/มีดคัตเตอร์, ห่อบุหรี่ ในระยะทางที่ไกลมากกว่า 6 นิ้ว, 3 นิ้ว, 1 นิ้ว ตามลำดับ

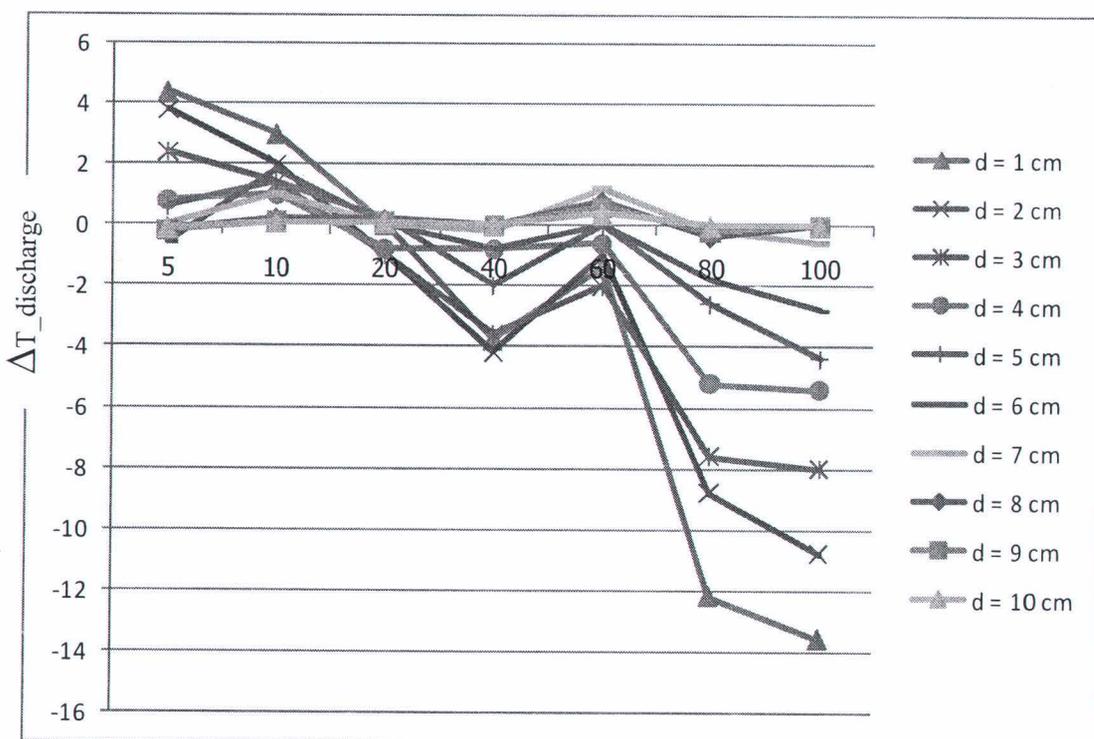
ในการทดสอบแต่ละครั้ง จะต้องทำการตั้งค่าค่าเริ่มต้นก่อน โดยจะเริ่มต้นจากการทดสอบชิ้นงานในสถานะที่ไม่มีโลหะที่จะตรวจจับ ระยะเวลาตัดศูนย์ของกระแสไฟฟ้าในขดลวดเมื่อไม่มีโลหะ ($T_{\text{discharge}_{\text{air}}}$) จะทำหน้าที่เสมือนเป็นค่าขีดเริ่ม (Threshold) ที่ใช้เปรียบเทียบกับค่าระยะเวลาตัดศูนย์ของกระแสไฟฟ้าในขดลวดเมื่อมีโลหะ ($T_{\text{discharge}_{\text{metal}}}$) ณ ระยะห่างค่าต่างๆ กัน ที่มีค่าตั้งแต่ 1 - 30 ซม. โดยในที่นี้ กราฟผลตอบแทนเชิงเวลาตัดศูนย์ของกระแสไฟฟ้าในขดลวดที่ได้จากการทดสอบจะถูกพล็อตออกมาดังแสดงในรูปที่ 4.1 – 4.6 ซึ่งแกน x คือค่าจำนวนพัลส์สัญญาณ PWM ตั้งแต่ 5 หน่วยของไทมเมอร์ TIM1 ไปจนถึง 100 หน่วยของไทมเมอร์ TIM1 ซึ่งสามารถเทียบเป็นค่าความกว้างของพัลส์ PWM คำนวณ ในหน่วยมิลลิวินาทีได้ ดังแสดงในตารางที่ 3.1 หน้า 47 และแกน y คือค่าผลต่างของระยะเวลาตัดศูนย์ของกระแสไฟฟ้าในขดลวดเมื่อไม่มีโลหะกับระยะเวลาตัดศูนย์ของกระแสไฟฟ้าในขดลวดเมื่อมีโลหะ ($\Delta T_{\text{discharge}}$) ในหน่วยนาโนวินาที ดังแสดงในสมการที่ (4.1)

$$\Delta T_{\text{discharge}} = T_{\text{discharge}_{\text{air}}} - T_{\text{discharge}_{\text{metal}}} \quad (4.1)$$

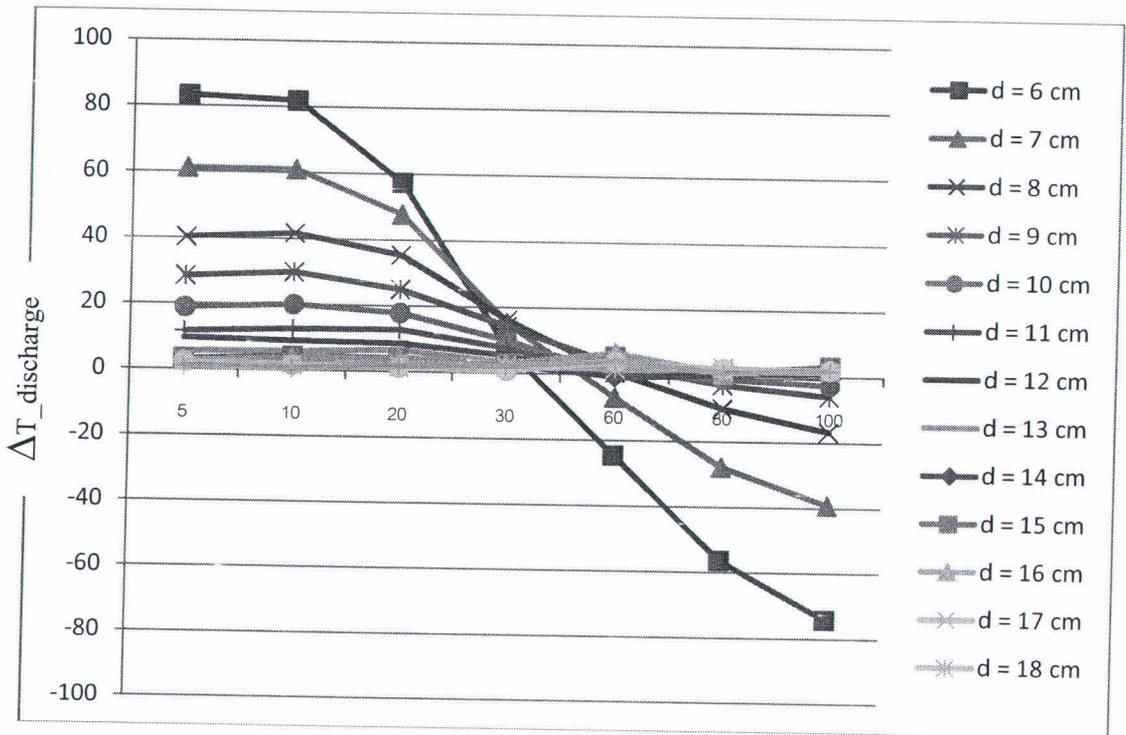
โดยผลการทดสอบที่แสดงอยู่ในรูปกราฟผลตอบแทนของระยะเวลาตัดศูนย์ของกระแสไฟฟ้าในขดลวดที่ได้จากการทดสอบแผ่นโลหะแต่ละชนิดและค่าระยะทางที่ตรวจจับวัตถุหรือโลหะแต่ละชนิดพบ มีดังนี้

4.1 ผลการทดสอบที่เกิดขึ้นกับแผ่นอลูมิเนียมที่วางในอากาศ

รูปที่ 4.1 แสดงกราฟค่า $\Delta T_{\text{discharge}}$ ของแผ่นอลูมิเนียมขนาด 2x2 ตารางนิ้วทุกค่าที่ได้จากการทดสอบทั้งหมด ตั้งแต่ระยะห่างระหว่างขดลวดกับแผ่นโลหะ 1 ซม. ไปจนถึงระยะห่างที่ไกลมากที่สุดที่ตรวจจับได้ไม่เกิน 10 ซม. (ระยะห่างมีค่าเพิ่มขึ้น ครั้งละ 1 ซม.) โดยค่า $\Delta T_{\text{discharge}}$ (แกน y) จะมีค่าเปลี่ยนแปลงจากบวกเป็นลบและมีความชันเป็นลบ เมื่อความกว้างพัลส์มีค่าเพิ่มขึ้น โดยในช่วงที่ค่าความกว้างพัลส์มีค่าโดยประมาณน้อยกว่า 15 หน่วยของไทมเมอร์ TIM1 ค่า $\Delta T_{\text{discharge}}$ จะมีค่าเป็นบวก แต่เมื่อค่าความกว้างพัลส์มีค่ามากกว่า 15 หน่วยของไทมเมอร์ TIM1 ขึ้นไป ค่า $\Delta T_{\text{discharge}}$ ที่ได้กลับมีค่าเป็นลบ โดยระยะตรวจจับได้เท่ากับ 1 ซม. ให้ค่า $\Delta T_{\text{discharge}}$ ที่เป็นค่าบวกที่มากที่สุด แต่จะให้ค่า $\Delta T_{\text{discharge}}$ ที่เป็นค่าลบที่มีค่าน้อยที่สุด



รูปที่ 4.1 ค่า $\Delta T_{\text{discharge}}$ ของแผ่นอลูมิเนียมขนาด 2x2 ตารางนิ้วที่ตรวจจับได้ไม่เกิน 10 ซม.



รูปที่ 4.2 ค่า $\Delta T_{\text{discharge}}$ ของแผ่นอลูมิเนียมขนาด 4x4 ตารางนิ้วที่ตรวจจับได้ไม่เกิน 20 ซม.

รูปที่ 4.2 แสดงกราฟค่า $\Delta T_{\text{discharge}}$ ของแผ่นอลูมิเนียมขนาด 4x4 ตารางนิ้วทุกค่าที่ได้จากการทดสอบทั้งหมด ตั้งแต่ระยะห่างระหว่างขดลวดกับแผ่นโลหะ (d) เท่ากับ 1 ซม. ถึงระยะห่างไม่เกิน 20 ซม. โดยค่า $\Delta T_{\text{discharge}}$ (แกน y) จะมีค่าเปลี่ยนแปลงจากบวกเป็นลบและมีความชันเป็นลบเมื่อความกว้างพัลส์มีค่าเพิ่มขึ้น โดยในช่วงที่ค่าความกว้างพัลส์มีค่าโดยประมาณน้อยกว่า 30 หน่วยของไทมเมอร์ TIM1 ค่า $\Delta T_{\text{discharge}}$ จะมีค่าเป็นบวก แต่เมื่อค่าความกว้างพัลส์มีค่ามากกว่า 30 หน่วยของไทมเมอร์ TIM1 ขึ้นไป ค่า $\Delta T_{\text{discharge}}$ ที่ได้กลับมีค่าเป็นลบ นอกจากนี้ ระยะตรวจจับได้เท่ากับ 1 ซม. ให้ค่า $\Delta T_{\text{discharge}}$ ที่เป็นค่าบวกที่มากที่สุด แต่จะให้ค่า $\Delta T_{\text{discharge}}$ ที่เป็นค่าลบที่มีค่าน้อยสุด เช่นเดียวกับแผ่นอลูมิเนียมขนาด 2x2 ตารางนิ้ว

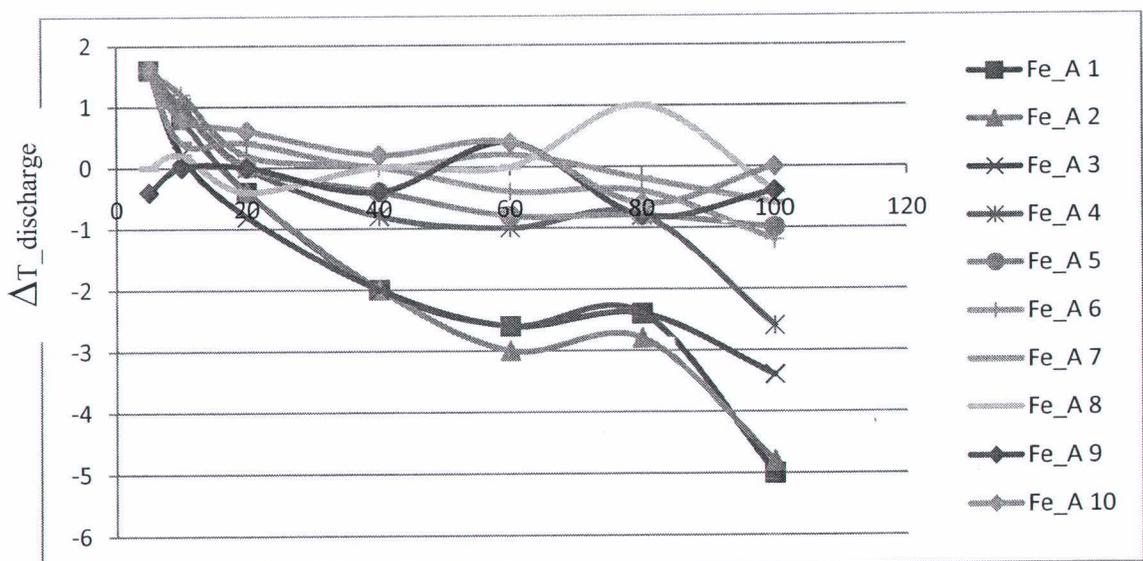
4.2 ผลการทดสอบที่เกิดขึ้นกับแผ่นทองแดงที่วางในอากาศ

อ้างอิงรูปที่ 4.3 แสดงกราฟค่า $\Delta T_{\text{discharge}}$ ของแผ่นทองแดงขนาด 2x2 ตารางนิ้วทุกค่าที่ได้จากการทดสอบ ซึ่งระยะห่างที่ตรวจจับได้มีค่าไม่เกิน 9 ซม. จากการวิเคราะห์กราฟข้อมูลที่ได้การทดสอบ พบว่า ระยะที่ตรวจจับแผ่นทองแดงขนาด 4x4 ตารางนิ้วได้จริง มีค่าไม่เกิน 9 ซม. โดยค่า $\Delta T_{\text{discharge}}$ มีค่าเป็นบวกทุกๆ ค่าและมีลักษณะเป็นรูปตัวยูคว่ำ โดยค่า $\Delta T_{\text{discharge}}$ จะมีค่าที่

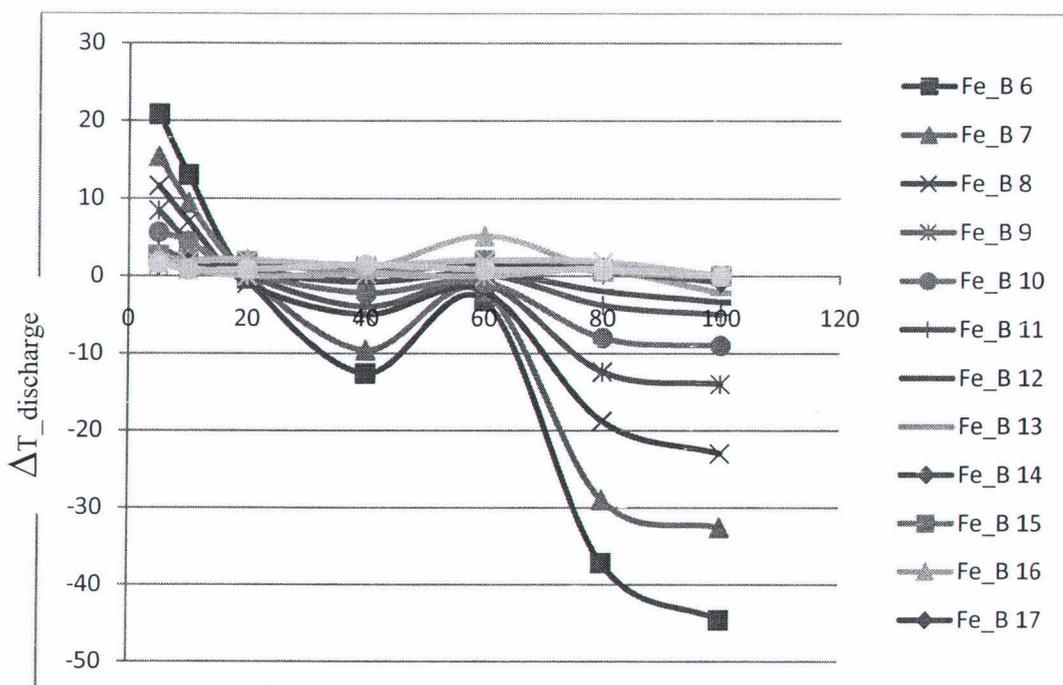
อ้างอิงรูปที่ 4.4 แสดงกราฟค่า $\Delta T_{\text{discharge}}$ ของแผ่นทองแดงขนาด 4x4 ตารางนิ้วทุกค่าที่ได้จากการทดสอบ ซึ่งระยะห่างที่ตรวจจับได้มีค่าไม่เกิน 18 ซม. โดยค่า $\Delta T_{\text{discharge}}$ มีค่าเป็นบวกทุกๆ ค่าและมีลักษณะเป็นรูปตัวยูคว่ำ มีจุดสูงสุดอยู่ที่ค่าความกว้างพัลส์ประมาณ 40 หน่วยของไทมเมอร์ TIM1 ซึ่งเส้นกราฟที่ได้รับมีความแน่นอนและแตกต่างจากเส้นกราฟที่เกิดขึ้นจากการทดสอบแผ่นทองแดงขนาด 2x2 ตารางนิ้ว อย่างเห็นได้ชัดเจน โดยในรูปที่ 4.3 นั้น คำว่า Cu_A หมายถึง แผ่นทองแดงขนาด 2x2 ตารางนิ้วและตัวเลขหลัง Cu_A นั้นคือระยะห่างที่เครื่องตรวจจับโลหะสามารถตรวจจับได้ และในรูปที่ 4.4 นั้น คำว่า Cu_B หมายถึง แผ่นทองแดงขนาด 4x4 ตารางนิ้วและตัวเลขหลัง Cu_B นั้นคือระยะห่างที่เครื่องตรวจจับโลหะสามารถตรวจจับได้

4.3 ผลการทดสอบที่เกิดขึ้นกับแผ่นเหล็กที่วางในอากาศ

รูปที่ 4.5 แสดงกราฟค่า $\Delta T_{\text{discharge}}$ ของแผ่นเหล็กขนาด 2x2 ตารางนิ้วทุกค่าที่ได้จากการทดสอบทั้งหมด โดยระยะที่ตรวจจับแผ่นเหล็กขนาด 2x2 ตารางนิ้วได้จริง มีค่าไม่เกิน 10 ซม. เท่านั้น โดยค่า $\Delta T_{\text{discharge}}$ มีค่าเปลี่ยนแปลงขึ้นลงตลอดเวลา มีทั้งค่าบวกและลบ ในช่วงที่ค่าความกว้างพัลส์มีค่าน้อยกว่า 20 หน่วยของไทมเมอร์ TIM1 ค่า $\Delta T_{\text{discharge}}$ ที่ระยะตรวจจับได้ค่าใดๆ ก็ตาม จะมีค่าที่ใกล้เคียงกันมาก แต่หลังจากที่ค่าความกว้างพัลส์มีค่ามากกว่า 20 หน่วยของไทมเมอร์ TIM1 ค่า $\Delta T_{\text{discharge}}$ ที่ได้รับจะมีค่าที่แตกต่างกันมาก โดยในรูปที่ 4.5 นั้น คำว่า Fe_A หมายถึง แผ่นเหล็กขนาด 2x2 ตารางนิ้ว และตัวเลขหลัง Fe_A นั้น คือ ระยะห่างที่เครื่องตรวจจับโลหะสามารถตรวจจับแผ่นเหล็กขนาด 2x2 ตารางนิ้ว ได้



รูปที่ 4.5 ค่า $\Delta T_{\text{discharge}}$ ของแผ่นเหล็กขนาด 2x2 ตารางนิ้วที่ตรวจจับระยะห่าง 10 ซม.



รูปที่ 4.6 ค่า $\Delta T_{\text{discharge}}$ ของแผ่นเหล็กขนาด 4x4 ตารางนิ้วที่ตรวจจับ ไม่เกินระยะห่าง 17 ซม.

อ้างอิงรูปที่ 4.6 แสดงกราฟค่า $\Delta T_{\text{discharge}}$ ของแผ่นเหล็กขนาด 4x4 ตารางนิ้วทุกค่าที่ได้จากการทดสอบทั้งหมด ที่ซึ่งมีระยะห่างที่ตรวจจับได้จริงไม่เกิน 17 ซม. พบว่า กราฟผลตอบสนองที่ได้รับจากการทดสอบที่เกิดขึ้นกับแผ่นเหล็กขนาด 4x4 ตารางนิ้วที่วางในอากาศจะมีลักษณะที่คล้ายกับกราฟของแผ่นอลูมิเนียม กล่าวคือ ค่า $\Delta T_{\text{discharge}}$ มีการเปลี่ยนแปลงจากบวกเป็นลบและความชันเป็นลบมากขึ้น โดยในช่วงที่ค่าความกว้างพัลส์มีค่าโดยประมาณน้อยกว่า 20 หน่วยของไทเมอร์ TIM1 ค่า $\Delta T_{\text{discharge}}$ จะมีค่าเป็นบวก และตั้งแต่ค่าความกว้างพัลส์มีค่ามากกว่า 20 หน่วยของไทเมอร์ TIM1 ขึ้นไป ค่า $\Delta T_{\text{discharge}}$ ที่ได้มีค่าเป็นลบ โดยในรูปที่ 4.6 นั้น คำว่า Fe_B หมายถึง แผ่นเหล็กขนาด 4x4 ตารางนิ้วและตัวเลขหลัง Fe_B นั้นคือระยะห่างที่เครื่องตรวจจับโลหะสามารถตรวจจับแผ่นเหล็กขนาด 4x4 ตารางนิ้วได้

4.4 ผลการทดสอบตรวจจับโลหะจำพวกมีดขนาดใหญ่ มีดขนาดเล็ก และพอยล์ห่อบุหรี่

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงผลการทดสอบเครื่องตรวจจับโลหะที่ใช้ขดลวด 2 ขดในการทดลอง โดย 2 ขดลวดดังกล่าวจะทำหน้าที่เป็นขดลวดด้านส่งและด้านรับ โดยในการทดสอบนั้น จะทำการกำหนดให้ค่าความเหนี่ยวนำของขดลวดด้านส่งนั้นมีค่าคงที่เท่ากับ $330 \mu\text{H}$ แล้วทำการเปลี่ยนแปลงค่าความเหนี่ยวนำของขดลวดด้านรับให้มีค่าต่างๆ กับ 3 ค่า (ค่าตัวเหนี่ยวนำทั้ง 3 ค่านี้สามารถซื้อได้ตามท้องตลาด) ได้แก่ $330 \mu\text{H}$, $470 \mu\text{H}$ และ $680 \mu\text{H}$ ตามลำดับ โดยค่าความเหนี่ยวนำของ

ขดลวดด้านส่งและด้านรับที่ใช้งาน รวมถึงระยะทางที่ตรวจจับพบโลหะจำพวกเหล็ก อลูมิเนียม และพอยล์โลหะมีแสดงไว้ในตารางที่ 4.1

จากผลการทดสอบ พบว่า ขดลวดด้านรับที่มีค่าความเหนี่ยวนำเท่ากับ 680 μH จะให้ระยะทางในการตรวจจับพบโลหะที่มากที่สุดเท่ากับ 12 ซม. ซึ่งอาจจะเป็นเพราะ ยิ่งขดลวดด้านรับมีค่าความเหนี่ยวนำมากขึ้นเท่าใด ระยะทางในการตรวจจับพบโลหะจำพวกเหล็ก อลูมิเนียม และพอยล์โลหะก็จะยังมีค่าที่ห่างมากขึ้นได้ (โดยในที่นี้ ไม่ได้ทำการทดสอบโลหะชนิดอื่นๆ เนื่องจากต้องการที่จะเปรียบเทียบระยะห่างไกลสุดที่ตรวจจับได้ระหว่างเครื่องตรวจจับโลหะที่นำเสนอกับเครื่องตรวจค้นวัตถุโลหะ Garrett Super Scanner ที่มีขายตามท้องตลาดเท่านั้น)

จากการนำเครื่องตรวจจับโลหะที่นำเสนอมาตรวจจับโลหะทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ มีดขนาดใหญ่ มีดขนาดเล็ก และพอยล์ห่อบุหรี่ พบว่า ระยะห่างที่ตรวจจับโลหะทั้ง 3 ชนิดนี้ได้โดยใช้เครื่องตรวจจับโลหะที่นำเสนอจะให้ค่าที่สูงกว่าระยะห่างที่ตรวจจับโลหะได้โดยใช้เครื่องตรวจค้นวัตถุโลหะ Garrett Super Scanner ดังแสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.1 ค่าความเหนี่ยวนำของ 2 ขดลวดและระยะทางที่ตรวจจับพบโลหะ

ค่าความเหนี่ยวนำของ ขดลวดด้านส่ง (μH)	ค่าความเหนี่ยวนำของ ขดลวดด้านรับ (μH)	ระยะทางโดยเฉลี่ยที่ตรวจจับ พบโลหะจำพวกเหล็ก อลูมิเนียม และพอยล์โลหะ (ซม.)
330	330	8
330	470	10
330	680	12

ตารางที่ 4.2 การเปรียบเทียบระยะห่างที่ตรวจจับโลหะพบจากการใช้เครื่องตรวจจับโลหะ 2 ชนิด

ลำดับที่	ชนิดของโลหะที่นำมา ทดสอบ	ระยะทางที่ตรวจจับได้โดยใช้ เครื่องตรวจค้นวัตถุโลหะ แบบ Garrett Super Scanner	ระยะทางที่ตรวจจับได้ โดยใช้เครื่องตรวจจับ โลหะที่นำเสนอ
1	มีดขนาดใหญ่	≤ 6 นิ้ว (15.24 ซม.)	≤ 8 นิ้ว (20.32 ซม.)
2	มีดขนาดเล็ก/มีดคัตเตอร์	≤ 3 นิ้ว (7.62 ซม.)	≤ 5 นิ้ว (12.70 ซม.)
3	พอยล์ห่อบุหรี่	≤ 1 นิ้ว (2.54 ซม.)	≤ 2 นิ้ว (5.08 ซม.)