

รายงานการวิจัย

การพัฒนาเครื่องตรวจจับโลหะแบบเดินผ่านชนิดหลายโซน

Development of Multi-Zone Walk Through Metal Detector



จัดทำโดย

นาย อภินัย ฤกษ์รัตน์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยเพื่อพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมด้วย
วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ

RCH

TK

6565

DA

๑๒๕๗๗

ปีงบประมาณ 2552

เลขหมู่.....

120275

| | |
|--------|---------|
| b..... | 1๒๖๖๐๒๕ |
| i..... | |

เอกสารนี้เป็นทรัพย์สินของสถาบันฯ ใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีเมล: lib@kmitl.ac.th โทร: ๐๒-๑๑๒๕-๒๕๕๕

โครงการวิจัย (ภาษาไทย) “การพัฒนาเครื่องตรวจจับโลหะแบบเดินผ่านชนิดหลายโซน”
(ภาษาอังกฤษ) “Development of Multi-Zone Walk Through Metal Detector”

ชื่อผู้วิจัย (ภาษาไทย) นายอภิไนย์ ฤกษ์รัตน์
(ภาษาอังกฤษ) Mr. Apinai Rerkratn

หน่วยงานที่รับผิดชอบงานวิจัย และที่อยู่

แผนก/ภาควิชา วิศวกรรมการวัดและระบบควบคุม กอง/คณะ คณะวิศวกรรมศาสตร์
กรม/มหาวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
กระทรวง/ทบวง กระทรวงศึกษาธิการ
ที่อยู่ ถนนฉลองกรุง เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520
โทรศัพท์ 02-739-0758 โทรสาร 02-739-0758

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยเพื่อพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมด้วยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
ประจำปี.....2552..... จำนวนเงิน.....490,000.....บาท
ระยะเวลาการทำการวิจัย.....1.....ปี ตั้งแต่.....1..ตุลาคม..2551....ถึง....30..กันยายน..2552

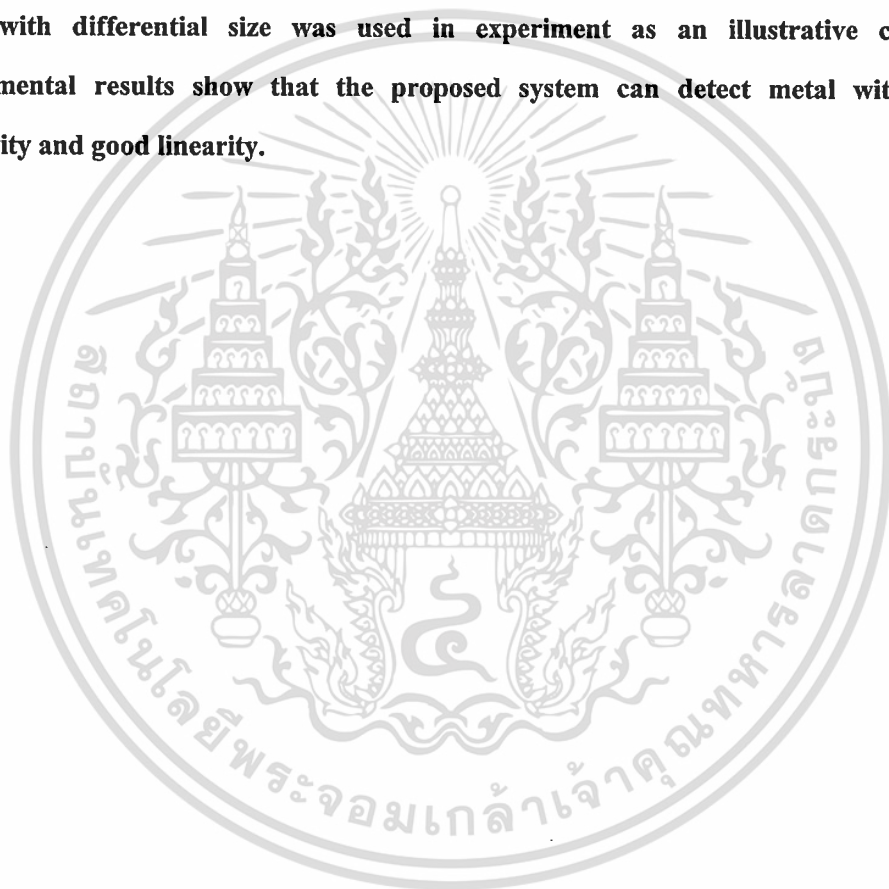
บทคัดย่อ

รายงานโครงการวิจัยนี้กล่าวถึงการพัฒนาเครื่องตรวจจับโลหะแบบเดินผ่านชนิดหลายโซน โดยระบบที่พัฒนาขึ้นจะใช้เทคนิคการตรวจจับโลหะแบบพัลส์อินดักชัน(Pulse induction) และใช้เทคนิคการตรวจจับสัญญาณแบบแซมเปิลแอนด์โฮลด์(Sample and hold method) ซึ่งระบบที่พัฒนาขึ้นจะประกอบด้วย วงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์, วงจรตรวจจับสัญญาณ, วงจรตรวจจับสัญญาณแรงดันยอด, วงจรเปรียบเทียบแรงดัน, วงจรแสดงผล, ขดลวดค้นหา, วงจรส่งสัญญาณเตือน และวงจรควบคุมการตรวจจับสัญญาณ วงจรต่างๆดังกล่าวมาจะทำหน้าที่ส่งและรับสัญญาณจากขดลวดค้นหา ซึ่งแรงดันเอาท์พุทที่ได้จะเป็นสัดส่วนกับขนาดและชนิดของวัตถุที่ทำการตรวจจับ โดยในการทดลองระบบที่พัฒนาขึ้นมากับโลหะที่มีขนาดต่างๆภายใต้เงื่อนไขที่ต่างกัน ผลปรากฏว่าระบบที่พัฒนาขึ้นสามารถตรวจจับโลหะได้ด้วยค่าความไวที่น่าพอใจและมีความเป็นลิเนียร์ของขนาดสัญญาณเอาท์พุทที่ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ABSTRACT

This paper presents the multi-zone walk through metal detector. The proposed system employs pulse induction technique for detect metal and sample and hold technique for detect signal. The system consists of the pulse generator circuit, detector circuit, peak detector circuit, comparator circuit, display circuit, search coil and signal control circuit. The proposed circuit will sent and receive the signal via search coil. The output voltage signal of the proposed technique is proportional to size, shape and type of target metal. The metal with differential size was used in experiment as an illustrative case study. Experimental results show that the proposed system can detect metal with satisfied sensitivity and good linearity.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงได้ดี ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณในความช่วยเหลือเป็นอย่างมากทั้งทางด้านเครื่องมือ อุปกรณ์ ตลอดจนคำแนะนำและข้อมูลต่างๆจากบุคคลต่อไปนี้

1. นางสาว วรรณดี เพชรหมณีล้ำค่า ที่ช่วยให้คำปรึกษาและเอื้อเฟื้อข้อมูลสำหรับเขียนรายงานโครงการวิจัย
2. นาย สิริชัย ธรรมารักษ์วัฒน์ ที่ช่วยเหลือในการทดลองและเก็บข้อมูล

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่สนับสนุนเครื่องมือ อุปกรณ์ และสถานที่ในการทำโครงการวิจัยครั้งนี้

อภิไฉย ฤกษ์รัตน์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

| | หน้า |
|--|------|
| บทคัดย่อ..... | I |
| กิตติกรรมประกาศ..... | III |
| สารบัญ..... | II |
| สารบัญตาราง..... | V |
| สารบัญรูป..... | VI |
| บทที่ 1 บทนำ..... | 1 |
| 1.1 วัตถุประสงค์ของ โครงการวิจัย..... | 1 |
| 1.2 ขอบเขตของ โครงการวิจัย..... | 2 |
| 1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ และหน่วยงานที่จะนำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์..... | 2 |
| 1.4 แผนการถ่ายทอดเทคโนโลยีหรือผลการวิจัยสู่กลุ่มเป้าหมาย..... | 2 |
| 1.5 วิธีการดำเนินการวิจัย และสถานที่ทำการทดลอง/เก็บข้อมูล..... | 3 |
| 1.6 ระยะเวลาที่ทำการวิจัย และแผนการดำเนินงานตลอดโครงการวิจัย..... | 3 |
| 1.7 ปัจจัยที่เอื้อต่อการวิจัย..... | 4 |
| บทที่ 2 เทคโนโลยีในการตรวจจับอาวุธ..... | 5 |
| 2.1 Acoustic-Based Hard Object Detector..... | 5 |
| 2.2 X-Ray Imaging..... | 5 |
| 2.3 Hand-Held Metal Detector..... | 6 |
| 2.4 Walk-Through Metal Detector..... | 6 |
| บทที่ 3 หลักการทำงานของเครื่องตรวจจับโลหะ..... | 8 |
| 3.1 แหล่งกำเนิดสัญญาณ..... | 10 |
| 3.2 วัตถุ(Object)..... | 12 |
| 3.2.1 คุณสมบัติการนำไฟฟ้าของวัตถุ(Electrical conductivity)..... | 12 |
| 3.2.2 ค่าความซึมซาบได้ของแม่เหล็ก(Magnetic permeability)..... | 13 |
| 3.2.3 รูปร่างของวัตถุ..... | 17 |
| 3.3 วงจรตรวจจับสัญญาณ (Detector circuit)..... | 17 |
| 3.3.1 Beat Frequency Oscillator Method (BFO Method)..... | 18 |
| 3.3.2 VLF Phase Angle..... | 19 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

| | | |
|---------|--|----|
| 3.3.3 | Off Resonance..... | 20 |
| 3.3.4 | Induction Balance (IB) และ Transmit/Receive (TR)..... | 21 |
| 3.3.4.1 | IB Detector (Induction Balance)..... | 22 |
| 3.3.4.2 | T/R Detector(Transmit/Receive)..... | 23 |
| 3.3.5 | Pulse Induction (PI)..... | 23 |
| บทที่ 4 | ระบบตรวจสอบโลหะแบบเดินผ่านชนิดหลายโซน..... | 29 |
| 4.1 | วงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์ (Pulse Generator)..... | 30 |
| 4.2 | วงจรตรวจจับสัญญาณ(Detector Circuit)..... | 34 |
| 4.3 | วงจรตรวจจับสัญญาณแรงดันยอด (Peak Detector)..... | 34 |
| 4.4 | วงจรเปรียบเทียบแรงดัน (Comparator Circuit)..... | 36 |
| 4.5 | วงจรแสดงผล (Display circuit)..... | 37 |
| 4.6 | วงจรควบคุมการตรวจจับสัญญาณ(Signal Control Circuit)..... | 38 |
| 4.7 | วงจรส่งสัญญาณเตือน(Alarm Circuit)..... | 39 |
| 4.8 | ขดลวดค้นหา(Detection Coil)..... | 39 |
| 4.9 | ระบบตรวจสอบโลหะแบบเดินผ่านชนิดหลายโซน..... | 39 |
| 4.10 | การออกแบบแผ่นวงจรพิมพ์สำหรับระบบตรวจสอบโลหะแบบเดินผ่านชนิดหลายโซน..... | 42 |
| 4.11 | การสร้างแผ่นวงจรพิมพ์สำหรับระบบตรวจสอบโลหะแบบเดินผ่านชนิดหลายโซน..... | 55 |
| บทที่ 5 | การทดสอบระบบตรวจสอบโลหะแบบเดินผ่านชนิดหลายโซน..... | 64 |
| 5.1 | การทดสอบสัญญาณของวงจรอิเล็กทรอนิกส์สำหรับระบบตรวจสอบโลหะแบบเดินผ่านชนิดหลายโซน..... | 64 |
| 5.2 | การทดสอบค่าความไวของวงจรอิเล็กทรอนิกส์สำหรับระบบตรวจสอบโลหะแบบเดินผ่านชนิดหลายโซนที่พัฒนาขึ้นมา(ระยะห่าง)..... | 71 |
| 5.3 | การทดสอบค่าความไวของวงจรอิเล็กทรอนิกส์สำหรับระบบตรวจสอบโลหะแบบเดินผ่านชนิดหลายโซนที่พัฒนาขึ้นมา (ขนาดของโลหะ)..... | 71 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

| | หน้า |
|--|------|
| บทที่ 6 บทสรุป..... | 73 |
| เอกสารอ้างอิง..... | 74 |
| ภาคผนวก ก | |
| - ลักษณะการวางเลย์เอาท์ของต้นแบบระบบตรวจสอบโลหะในเนื้อไม้..... | 76 |
| - ต้นแบบเครื่องตรวจจับโลหะแบบเดินผ่านชนิดหลายโซน..... | 77 |



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

| ตารางที่ | หน้า |
|---|------|
| 3.1 คุณสมบัติการนำไฟฟ้าของวัสดุชนิดต่างๆ..... | 12 |
| 3.2 ค่า Relative permeability ของวัสดุต่างๆ..... | 14 |
| 3.3 ข้อดีและข้อเสียของเทคนิคในการตรวจจับโลหะแบบต่างๆ..... | 25 |



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

| รูปที่ | หน้า |
|--|------|
| 2.1 ระบบ X-ray imaging สำหรับตรวจหาอาวุธในสนามบิน..... | 5 |
| 2.2 เครื่องตรวจจับโลหะแบบมือ (Hand-Held Metal Detector)..... | 6 |
| 2.3 เครื่องตรวจจับโลหะแบบเดินผ่าน (Walk-Through Metal detector)..... | 7 |
| 3.1 เครื่องตรวจจับโลหะแบบมือถือ (Hand-Held : HH)..... | 8 |
| 3.2 เครื่องตรวจจับโลหะแบบมือถือ (Extend-arm)..... | 8 |
| 3.3 เครื่องตรวจจับโลหะแบบเดินผ่าน (Walk-through : WT)..... | 9 |
| 3.4 ส่วนประกอบหลักของเครื่องตรวจจับโลหะ..... | 9 |
| 3.5 ลักษณะของสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นรอบๆเส้นทองแดง..... | 10 |
| 3.6 ลักษณะของสนามแม่เหล็กเกิดขึ้นในคอยล์..... | 11 |
| 3.7 ค่าความเข้มของสนามแม่เหล็กที่ระยะห่างจากคอยล์ต่างๆ..... | 11 |
| 3.8 การเรียงตัวของแท่งแม่เหล็กเล็กๆ(Magnetic domain) ภายในวัตถุ..... | 14 |
| 3.9 ผลของสนามแม่เหล็กต่อวัตถุประเภท Paramagnetic material..... | 15 |
| 3.10 ผลของสนามแม่เหล็กต่อวัตถุประเภท Ferromagnetic material..... | 15 |
| 3.11 ผลของสนามแม่เหล็กต่อวัตถุประเภท Diamagnetic material..... | 16 |
| 3.12 ผลกระทบจากแผ่น โลหะที่มีค่า Relative permeability แตกต่างกับต่อสนามแม่เหล็กที่ป้อนเข้าไปในวัตถุนั้น | 16 |
| 3.13 ผลของทิศทางของสนามแม่เหล็กกับวัตถุที่ทำการตรวจจับ..... | 17 |
| 3.14 บล็อกไดอะแกรมของเครื่องตรวจจับ โลหะแบบ Beat Frequency Oscillator (BFO)..... | 19 |
| 3.15 บล็อกไดอะแกรมของเครื่องตรวจจับ โลหะแบบ VLF Phase Angle..... | 19 |
| 3.16 สัญญาณเอาท์พุทของวงจรตรวจจับเฟส (phase Detector)..... | 20 |
| 3.17 บล็อกไดอะแกรมของเครื่องตรวจจับ โลหะแบบ Off Resonance..... | 21 |
| 3.18 เครื่องตรวจจับ โลหะแบบที่ใช้หลักการ Induction Balance (IB) แบบ IB Detector (Induction Balance)..... | 22 |
| 3.19 เครื่องตรวจจับ โลหะแบบที่ใช้หลักการ Induction Balance (IB) แบบ T/R Detector (Transmit/Receive)..... | 23 |
| 3.20 บล็อกไดอะแกรมเครื่องตรวจจับ โลหะแบบ Pulse Induction (PI)..... | 24 |
| 3.21 บล็อกไดอะแกรมของเครื่องตรวจจับ โลหะแบบเดินผ่านชนิดหลาย โชน..... | 26 |
| 3.22 ลักษณะสัญญาณเอาท์พุทของวงจรในส่วนต่างๆ ในเครื่องตรวจจับ โลหะแบบเดินผ่าน..... | 27 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

| รูปที่ | หน้า |
|---|------|
| 3.23 การติดตั้งขดลวดตรวจสอบในแต่ละด้านของแต่ละโซนภายในเครื่องตรวจสอบโลหะแบบเดินผ่านชนิดหลายโซน (ขดลวดด้านตัวส่ง(Tx) และ ขดลวดด้านตัวรับ(Rx) จะมีรูปแบบการวางเหมือนกัน)..... | 28 |
| 3.24 ดันแบบเครื่องตรวจจับโลหะแบบเดินผ่านชนิดหลายโซนและรูปการแบ่งโซน | |
| การตรวจสอบ..... | 28 |
| 4.1 บล็อกไดอะแกรมของเครื่องตรวจจับโลหะแบบเดินผ่านชนิดหลายโซนที่ใช้เทคนิคแบบ PULSE INDUCTION (1 โซน)..... | 29 |
| 4.2 วงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์ (Pulse Generator)..... | 31 |
| 4.3 วงจรสร้างสัญญาณพัลส์โดยใช้ไอซี LM555..... | 31 |
| 4.4 วงจรตรวจจับสัญญาณ (Detector Circuit)..... | 34 |
| 4.5 วงจรตรวจจับสัญญาณแรงดันยอด..... | 35 |
| 4.6 วงจรภายใน IC CD4538..... | 35 |
| 4.7 วงจรเปรียบเทียบแรงดัน..... | 37 |
| 4.8 วงจรแสดงผล..... | 38 |
| 4.9 วงจรควบคุมการตรวจจับสัญญาณ..... | 38 |
| 4.10 วงจรส่งสัญญาณเตือน..... | 39 |
| 4.11 วงจรอิเล็กทรอนิกส์สำหรับจับขดลวดค้นหา..... | 40 |
| 4.12 วงจรอิเล็กทรอนิกส์สำหรับตรวจจับสัญญาณ..... | 41 |
| 4.13 วงจรอิเล็กทรอนิกส์สำหรับการแสดงผล..... | 42 |
| 4.14 วงจรอิเล็กทรอนิกส์สำหรับจับขดลวดค้นหา..... | 43 |
| 4.15 ลายวงจรพิมพ์และการลงอุปกรณ์สำหรับวงจรจับขดลวดค้นหา..... | 44 |
| 4.16 ลายวงจรพิมพ์สำหรับวงจรจับขดลวดค้นหา..... | 45 |
| 4.17 การลงอุปกรณ์สำหรับวงจรจับขดลวดค้นหา..... | 46 |
| 4.18 วงจรอิเล็กทรอนิกส์สำหรับตรวจจับสัญญาณ..... | 47 |
| 4.19 ลายวงจรพิมพ์และการลงอุปกรณ์ของวงจรอิเล็กทรอนิกส์สำหรับตรวจจับสัญญาณ..... | 48 |
| 4.20 ลายวงจรพิมพ์ของวงจรอิเล็กทรอนิกส์สำหรับตรวจจับสัญญาณ..... | 49 |
| 4.21 การลงอุปกรณ์ของวงจรอิเล็กทรอนิกส์สำหรับตรวจจับสัญญาณ..... | 50 |
| 4.22 วงจรอิเล็กทรอนิกส์สำหรับการแสดงผล..... | 51 |
| 4.23 ลายวงจรพิมพ์และการลงอุปกรณ์ของวงจรอิเล็กทรอนิกส์สำหรับการแสดงผล..... | 52 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

| รูปที่ | หน้า |
|--------|--|
| 4.24 | ลายวงจรพิมพ์ของวงจรอิเล็กทรอนิกส์สำหรับการแสดงผล.....53 |
| 4.25 | การลงอุปกรณ์ของวงจรอิเล็กทรอนิกส์สำหรับการแสดงผล.....54 |
| 4.26 | วงจรพิมพ์ของวงจรอิเล็กทรอนิกส์สำหรับขับขดลวดคั่นหา (ด้านลายทองแดง).....55 |
| 4.27 | วงจรพิมพ์ของวงจรอิเล็กทรอนิกส์สำหรับขับขดลวดคั่นหา (ด้านอุปกรณ์).....56 |
| 4.28 | การลงอุปกรณ์ของวงจรอิเล็กทรอนิกส์สำหรับขับขดลวดคั่นหา.....57 |
| 4.29 | วงจรพิมพ์ของวงจรอิเล็กทรอนิกส์สำหรับตรวจจับสัญญาณ (ด้านลายทองแดง).....58 |
| 4.30 | วงจรพิมพ์ของวงจรอิเล็กทรอนิกส์สำหรับตรวจจับสัญญาณ (ด้านอุปกรณ์).....59 |
| 4.31 | การลงอุปกรณ์ของวงจรอิเล็กทรอนิกส์สำหรับตรวจจับสัญญาณ.....60 |
| 4.32 | วงจรพิมพ์ของวงจรอิเล็กทรอนิกส์สำหรับการแสดงผล (ด้านลายทองแดง).....61 |
| 4.33 | วงจรพิมพ์ของวงจรอิเล็กทรอนิกส์สำหรับการแสดงผล (ด้านอุปกรณ์).....62 |
| 4.34 | การลงอุปกรณ์ของวงจรอิเล็กทรอนิกส์สำหรับการแสดงผล.....63 |
| 5.1 | บล็อกไดอะแกรมของเครื่องตรวจจับ โลหะแบบเดินผ่านชนิดหลาย โชนที่ใช้เทคนิคแบบ PULSE INDUCTION (1 โชน).....64 |
| 5.2 | เอาต์พุทของวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์.....65 |
| 5.3 | ลักษณะของสัญญาณของวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์และสัญญาณจากขดลวดคั่นหา(ขณะไม่มี โลหะอยู่ใกล้ขดลวดคั่นหา).....66 |
| 5.4 | ลักษณะของสัญญาณของวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์และสัญญาณจากขดลวดคั่นหา(ขณะมี โลหะอยู่ใกล้ขดลวดคั่นหา).....66 |
| 5.5 | ลักษณะของสัญญาณจากขดลวดคั่นหาและสัญญาณหลังจากผ่านวงจรขยายสัญญาณ(ขณะไม่มี โลหะอยู่ใกล้ขดลวดคั่นหา).....67 |
| 5.6 | ลักษณะของสัญญาณจากขดลวดคั่นหาและสัญญาณหลังจากผ่านวงจรขยายสัญญาณ(ขณะมี โลหะอยู่ใกล้ขดลวดคั่นหา).....67 |
| 5.7 | ลักษณะของสัญญาณอินพุทและเอาต์พุทของวงจร โม โนสเตเบิลตัวที่ 1.....68 |
| 5.8 | ลักษณะของสัญญาณอินพุทและเอาต์พุทของวงจร โม โนสเตเบิลตัวที่ 2.....68 |
| 5.9 | ลักษณะของสัญญาณในวงจรตรวจจับสัญญาณแรงดันยอด (ขณะไม่มีโลหะอยู่ใกล้ขดลวด คั่นหา).....69 |
| 5.10 | ลักษณะของสัญญาณในวงจรตรวจจับสัญญาณแรงดันยอด (ขณะมีโลหะอยู่ใกล้ขดลวด คั่นหา).....69 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

| รูปที่ | หน้า |
|---|------|
| 5.11 ลักษณะของสัญญาณเอาต์พุตในวงจรตรวจจับสัญญาณแรงดันยอด(ขณะไม่มีโลหะอยู่ใกล้ขดลวดค้นหา)..... | 70 |
| 5.12 ลักษณะของสัญญาณเอาต์พุตในวงจรตรวจจับสัญญาณแรงดันยอด (ขณะมีโลหะอยู่ใกล้ขดลวดค้นหา)..... | 70 |
| 5.13 แรงดันเอาต์พุตของวงจรตรวจจับแรงดันยอดต่อระยะห่างของโลหะทดสอบกับขดลวดค้นหาต่างๆ..... | 71 |
| 5.14 แรงดันเอาต์พุตของวงจรตรวจจับแรงดันยอดต่อขนาดแท่งโลหะขนาดต่างๆ..... | 72 |
| ก1 แสดงการวางเลย์เอาต์ด้านหน้าของต้นแบบเครื่องตรวจจับ โลหะแบบเดินผ่านชนิดหลายโซน..... | 76 |
| ก2 แสดงการวางเลย์เอาต์ด้านบนของต้นแบบเครื่องตรวจจับ โลหะแบบเดินผ่านชนิดหลายโซน..... | 76 |
| ก3 แสดงการวางเลย์เอาต์ด้านหลังของต้นแบบเครื่องตรวจจับ โลหะแบบเดินผ่านชนิดหลายโซน..... | 76 |
| ก4 ต้นแบบเครื่องตรวจจับ โลหะแบบเดินผ่านชนิดหลายโซน..... | 77 |
| ก5 ด้านหน้าของต้นแบบเครื่องตรวจจับ โลหะแบบเดินผ่านชนิดหลายโซน..... | 77 |
| ก6 ด้านบนของต้นแบบเครื่องตรวจจับ โลหะแบบเดินผ่านชนิดหลายโซน..... | 78 |
| ก7 ด้านหลังของต้นแบบเครื่องตรวจจับ โลหะแบบเดินผ่านชนิดหลายโซน..... | 78 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

ในสถานการณ์ปัจจุบันมีการก่อการร้ายเกิดขึ้นบ่อยครั้งมาก ดังนั้นเพื่อให้เกิดความปลอดภัยในชีวิตและทรัพย์สินของประชาชนทำให้ต้องมีการรักษาความปลอดภัยเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะสถานที่ราชการ หรือสถานที่มีคนเข้าออกมากๆ เช่น ศาล, สถานทูต หรือสนามบิน เป็นต้น อุปกรณ์หนึ่งที่นิยมนำมาใช้ในการรักษาความปลอดภัยก็คือ เครื่องตรวจจับโลหะแบบเดินผ่าน

เครื่องตรวจจับโลหะแบบเดินผ่านเป็นอุปกรณ์ชนิดหนึ่งที่ใช้ในการตรวจจับหาอาวุธหรือวัตถุที่ทำจากโลหะ เช่น มีด ปืน สนับมือ ระเบิดมือ หรือของมีคมต่างๆ ที่ซุกซ่อนอยู่ตามร่างกายของผู้รับการตรวจ โดยตัวเครื่องจะแสดงผลการตรวจพบโลหะในรูปแบบของเสียงเตือนหรือแสงสว่างให้ผู้คุมเครื่องได้ทราบว่ามีส่วนโลหะพาดตัวผ่านเครื่องตรวจจับโลหะเข้ามา ในปัจจุบันเครื่องตรวจจับโลหะแบบเดินผ่านเรายังคงต้องสั่งซื้อมาจากต่างประเทศด้วยราคาต่อเครื่องที่สูง (2000-10000 USD) นอกจากนี้ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษายังมีราคาค่อนข้างสูงเนื่องจากเทคโนโลยีส่วนใหญ่นำเข้าจากต่างประเทศ ดังนั้นทางผู้วิจัยจึงได้เสนอโครงการวิจัยในการพัฒนาสร้างเครื่องตรวจจับโลหะแบบเดินผ่านชนิดหลายโซนที่ควบคุมด้วยวงจรรีเลย์ทรอนิกส์ขึ้นมา เพื่อพัฒนาเทคโนโลยีในการสร้างเครื่องตรวจจับโลหะแบบเดินผ่านนี้ขึ้นมาเองเพื่อทดแทนการนำเข้าเครื่องตรวจจับโลหะจากต่างประเทศ โดยในโครงการวิจัยนี้จะได้ทำการออกแบบและสร้างต้นแบบเครื่องตรวจจับโลหะแบบเดินผ่านชนิดหลายโซนที่ควบคุมด้วยวงจรรีเลย์ทรอนิกส์ เพื่อนำเครื่องต้นแบบที่สร้างขึ้นไปใช้ในการรักษาความปลอดภัยตามสถานที่ต่าง ๆ ดังที่กล่าวมา

1.1 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1. พัฒนาต้นแบบเครื่องตรวจจับโลหะแบบเดินผ่านชนิดหลายโซนสำหรับตรวจจับหาอาวุธหรือวัตถุที่ทำจากโลหะ เช่น มีด ปืน สนับมือ ระเบิดมือ หรือของมีคมต่างๆ ที่ซุกซ่อนอยู่ตามร่างกายของผู้รับการตรวจ ทั้งนี้เพื่อประโยชน์และความปลอดภัยของประชาชนทั่วไป
2. พัฒนาต้นแบบเครื่องตรวจจับโลหะแบบเดินผ่านชนิดหลายโซนโดยใช้เทคโนโลยีและวัสดุภายในประเทศ
3. พัฒนาเทคนิคในการสร้างเครื่องตรวจจับโลหะแบบเดินผ่าน
4. สร้างบุคลากรทางเครื่องมือวัดอิเล็กทรอนิกส์
5. พัฒนาเทคโนโลยีทางด้านเครื่องตรวจจับโลหะ
6. พัฒนาเทคโนโลยีในการตรวจสอบแบบไม่ทำลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 ขอบเขตของโครงการวิจัย

โครงการวิจัยนี้เป็นการพัฒนาต้นแบบโลหะแบบเดินผ่านชนิดหลายโซนสำหรับใช้ในการตรวจจับหาอาวุธหรือวัตถุที่ทำจากโลหะ เช่น มีด ปืน สนับมือ ระเบิดมือ หรือของมีคมต่างๆ ที่ซุกซ่อนอยู่ตามร่างกายของผู้รับการตรวจ ทั้งนี้เพื่อประโยชน์และความปลอดภัยของประชาชนทั่วไป โดยเฉพาะสถานที่ราชการ หรือสถานที่ที่มีคนเข้าออกมากๆ เช่น ศาล, สถานทูต หรือสนามบิน เป็นต้น

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ และหน่วยงานที่จะนำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์

1. ต้นแบบเครื่องตรวจจับ โลหะแบบเดินผ่านชนิดหลายโซนสำหรับตรวจจับหาอาวุธหรือวัตถุที่ทำจากโลหะ เช่น มีด ปืน สนับมือ ระเบิดมือ หรือของมีคมต่างๆ ที่ซุกซ่อนอยู่ตามร่างกายของผู้รับการตรวจ ทั้งนี้เพื่อประโยชน์และความปลอดภัยของประชาชนทั่วไป
2. ต้นแบบเครื่องตรวจจับ โลหะแบบเดินผ่านชนิดหลายโซน โดยใช้เทคโนโลยีและวัสดุภายในประเทศ
3. ได้เทคโนโลยีพื้นฐานในการสร้างเครื่องตรวจจับโลหะแบบเดินผ่านสำหรับในการนำไปพัฒนาต่อในการผลิตเชิงอุตสาหกรรม ทั้งนี้เพื่อทดแทนการนำเข้าเครื่องตรวจจับโลหะแบบเดินผ่านจากต่างประเทศ
4. กระตุ้นให้เกิดการทำวิจัยและพัฒนาอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์โดยใช้เทคโนโลยีและวัสดุภายในประเทศ
5. เป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับการพัฒนาเครื่องตรวจจับ โลหะเพื่อใช้งานด้านอื่นๆ
6. ช่วยประหยัดเงินตราในการนำเข้าเครื่องตรวจจับโลหะแบบเดินผ่านจากต่างประเทศ มาใช้งานในหน่วยงานหรือสถานที่ราชการต่างๆ หรือสถานที่ที่มีคนเข้าออกมากๆ เช่น ศาล, สถานทูต หรือสนามบิน เป็นต้น

1.4 แผนการถ่ายทอดเทคโนโลยีหรือผลการวิจัยสู่กลุ่มเป้าหมาย

นำเสนอรายงานผลงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ พร้อมทั้งนำเสนอบทความวิจัยในสถานที่ต่างๆ และถ่ายทอดเทคโนโลยีในการสร้างเครื่องตรวจจับ โลหะแบบเดินผ่านชนิดหลายโซนสำหรับตรวจจับหาอาวุธหรือวัตถุที่ทำจากโลหะ แก่บุคคลและหน่วยงานต่างๆ ที่สนใจนำเครื่องตรวจจับโลหะแบบเดินผ่านชนิดหลายโซน ไปใช้งานหรือพัฒนาต่อ เช่น

- นักศึกษา จากมหาวิทยาลัยหรือสถาบันต่างๆ
- นักวิจัยจากหน่วยงานต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- สถานที่ราชการ หรือสถานที่ที่มีคนเข้าออกมากๆ เช่น ศาล, สถานีทูต หรือสนามบิน เป็นต้น
- หน่วยงานทางภาคอุตสาหกรรม ที่ต้องการพัฒนาระบบต่อยอดเพื่อนำไปทำการการผลิตเชิงอุตสาหกรรม
- ผู้สนใจที่จะนำเครื่องตรวจจับโลหะแบบเดินผ่านชนิดหลายโซนไปประยุกต์ใช้งาน
 - ฯลฯ

1.5 วิธีการดำเนินการวิจัย และสถานที่ทำการทดลอง/เก็บข้อมูล

เพื่อให้การวิจัยสร้างเครื่องตรวจจับโลหะแบบเดินผ่านชนิดหลายโซนสำเร็จรวดเร็วกว่าในระยะเวลาที่กำหนดประมาณ 12 เดือน จึงขอแบ่งวิธีการวิจัยดังขั้นตอนต่อไปนี้

1. ศึกษาข้อมูลทั่วไปของเครื่องตรวจจับโลหะแบบต่าง ๆ
2. ศึกษาข้อมูลของเครื่องตรวจจับโลหะแบบเดินผ่าน
3. ออกแบบและสร้างเครื่องตรวจจับโลหะแบบเดินผ่านชนิดหลายโซน
4. ทดสอบเครื่องตรวจจับโลหะแบบเดินผ่านชนิดหลายโซนที่ได้ออกแบบขึ้นมา
5. ปรับปรุงคุณภาพของเครื่องตรวจจับโลหะแบบเดินผ่านชนิดหลายโซนที่ได้พัฒนาขึ้นมา
6. สร้างต้นแบบเครื่องตรวจจับโลหะแบบเดินผ่านชนิดหลายโซน
7. สรุปผลและเขียนรายงานฉบับสมบูรณ์

สำหรับสถานที่ในการทำการทดลองและเก็บข้อมูลจะใช้สถานที่ของคณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

1.6 ระยะเวลาที่ทำการวิจัย และแผนการดำเนินงานตลอดโครงการวิจัย

เริ่มต้นตั้งแต่เดือนตุลาคม 2551 จนถึง กันยายน 2552 ซึ่งจะทำการวิจัยให้เสร็จภายในปีงบประมาณ 2552

แผนการดำเนินการตลอดโครงการวิจัย

| ขั้นตอนการดำเนินงาน | งบประมาณปี 2552 | | | | | | | | | | | |
|---|-----------------|-----|-----|-----|-----|------|------|-----|------|-----|-----|-----|
| | ตค. | พย. | ธค. | มค. | กพ. | มีค. | เมย. | พค. | มิย. | กค. | สค. | กย. |
| 1. ศึกษาข้อมูลทั่วไปของเครื่องตรวจจับโลหะแบบต่างๆ | ←→ | | | | | | | | | | | |
| 2. ศึกษาข้อมูลของเครื่องตรวจจับโลหะแบบเดินผ่าน | | ←→ | | | | | | | | | | |
| 3. ออกแบบและสร้างเครื่องตรวจจับโลหะแบบเดินผ่านชนิดหลายโซน | | | ←→ | | | | | | | | | |
| 4. ทดสอบเครื่องตรวจจับโลหะแบบเดินผ่านชนิดหลายโซนที่ได้ออกแบบขึ้นมา | | | | | ←→ | | | | | | | |
| 5. ปรับปรุงคุณภาพของเครื่องตรวจจับโลหะแบบเดินผ่านชนิดหลายโซนที่ได้พัฒนาขึ้นมา | | | | | | | | ←→ | | | | |
| 6. สร้างต้นแบบเครื่องตรวจจับโลหะสำหรับงานอุตสาหกรรม | | | | | | | | | | ←→ | | |
| 7. สรุปผลและเขียนรายงานฉบับสมบูรณ์ | | | | | | | | | | | ←→ | |

1.7 ปัจจัยที่เอื้อต่อการวิจัย

1. อุปกรณ์, เครื่องมือวัด และเครื่องมือทดสอบที่ใช้ในการวิจัยส่วนใหญ่จะเป็นเครื่องมือและอุปกรณ์ที่มีอยู่แล้วภายในคณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อาทิเช่น Precision LCR Meter, Logic Analyzer, Spectrum Analyzer, Gauss Meter, Magnetic Generator, Digital Oscilloscope, Power Supply, Function Generator เป็นต้น ซึ่งอุปกรณ์เหล่านี้เป็นเครื่องมือวัดและทดสอบที่จำเป็นในการสร้างและทดสอบเครื่องตรวจจับโลหะแบบเดินผ่านชนิดหลายโซน

2. อุปกรณ์ส่วนใหญ่ที่ใช้ในการทำวิจัยส่วนใหญ่สามารถหาซื้อและจัดทำภายในประเทศได้ โดยมีบางส่วนที่จะต้องสั่งซื้อจากต่างประเทศ เช่น ไอซีสำเร็จรูปต่างๆ เป็นต้น เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

เทคโนโลยีในการตรวจจับอาวุธ

ในปัจจุบันเทคโนโลยีในการตรวจจับอาวุธหรืออุปกรณ์ต้องห้ามได้มีการพัฒนาก้าวหน้าเป็นอย่างมาก ทั้งนี้เพื่อความปลอดภัยต่อชีวิตและทรัพย์สินของประชาชนทั่วไป ดังนั้นตามสถานที่สำคัญต่างๆ จะมีอุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจหาอาวุธหรือสิ่งของต้องห้ามชนิดต่างๆมากมาย โดยอุปกรณ์แต่ละชนิดก็จะใช้เทคนิคและวิธีการที่แตกต่างกันไป[1] ดังตัวอย่าง เช่น

2.1 Acoustic-Based Hard Object Detector

เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจอาวุธที่เป็นของแข็ง โดยจะใช้หลักการของคุณสมบัติการสะท้อน(Reflection) ของคลื่นเสียงในวัตถุที่แตกต่างกันไปในวัตถุต่างๆ เช่น หากเป็นวัตถุที่มีลักษณะอ่อนนุ่ม เช่น เนื้อเยื่อมนุษย์ ก็จะมีค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนต่ำ ทำให้สัญญาณที่ตรวจจับได้มีค่าต่ำ แต่หากวัตถุเป็นของแข็ง เช่น พลาสติก หรือ โลหะ ก็จะมีค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนสูง ทำให้สัญญาณที่ตรวจจับได้มีค่าสูงเป็นต้น

2.2 X-Ray Imaging

ระบบ X-Ray Imaging เป็นระบบตรวจหาอาวุธที่นิยมใช้กันทั่วไปตามสนามบิน ภาพจาก X-Ray Imaging ได้จากเทคนิคของการวัดค่าความแตกต่างของการลดทอนรังสีเอ็กซ์ตามความหนาแน่นของวัตถุในแต่ละส่วนที่ทำกรสแกนแล้วนำมาสร้างภาพกลับ แม้ว่าระบบ X-Ray Imaging จะให้คุณภาพของความภาพสูงแต่ราคาของระบบค่อนข้างแพงทั้งทางด้านราคาของเครื่อง การติดตั้ง การดำเนินการ และการใช้งานถูกจำกัดเนื่องจากระบบมีขนาดใหญ่ จึงต้องถูกติดตั้งอยู่ประจำที่



เอกสารนี้เป็นเอกสารรูปที่ 2.1 ระบบ X-ray imaging สำหรับตรวจหาอาวุธในสนามบิน[2] ปรึกษาขอข้อมูลการดำเนินการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 Hand-Held Metal Detector

เครื่องตรวจจับโลหะแบบมือถือ (Hand-Held Metal Detector) ระบบตรวจจับโลหะแบบนี้เป็นระบบที่นิยมกันทั่วไปในการรักษาความปลอดภัยตามสถานที่ต่างๆ เนื่องจากมีขนาดเล็กและราคาค่อนข้างต่ำเมื่อเทียบกับระบบตรวจสอบโลหะแบบอื่นๆ สำหรับหลักการทำงานของเครื่องตรวจจับโลหะแบบมือถือนี้จะมีอยู่หลายวิธีแต่ส่วนใหญ่ จะใช้หัวตรวจจับโลหะจะประกอบด้วยขดลวด 2 ชุด คือ ขดลวดตัวส่ง (TX coil) และ ขดลวดตัวรับ (RX coil) สำหรับในส่วน of ขดลวดตัวส่งจะถูกขับด้วยวงจรขับเคลื่อนด้วยความถี่ของตัวกำเนิดสัญญาณ เมื่อกระแสไฟฟ้าไหลเข้าไปยังขดลวดตัวส่งที่ปลายหัวตรวจจับจะทำให้เกิดสนามแม่เหล็กขึ้นที่ขดลวดตัวส่ง โดยมีขั้วอยู่ในแนวตั้งฉากกับทิศทางของขดลวดตัวส่ง หากสนามแม่เหล็กดังกล่าวไปกระทบกับวัตถุที่นำไฟฟ้าได้ดี เช่น โลหะ จะกระตุ้นให้วัตถุดังกล่าวนั้น เกิดสนามแม่เหล็กอ่อนๆ ในทิศทางตรงข้ามกัน ทำให้สนามแม่เหล็กที่ได้สะท้อนกลับมา สู่หัวตรวจจับที่ขดลวดตัวรับ สัญญาณที่ขดลวดตัวรับจะถูกขยายโดยปรีแอมป์ ก่อนที่จะส่งไปยังวงจรที่คิดเท็กเตอร์และดีซีแอมป์ สัญญาณจากเอาต์พุทของดีซีแอมป์จะถูกแสดงผลผ่านมิเตอร์และสัญญาณเสียง ทำให้เราทราบได้ว่า มีวัตถุที่ทำจากโลหะอยู่ในบริเวณใกล้เคียงหรือไม่



รูปที่ 2.2 เครื่องตรวจจับโลหะแบบมือถือ (Hand-Held Metal Detector)[3]

2.4 Walk-Through Metal Detector

เครื่องตรวจจับโลหะแบบเดินผ่าน (Walk-Through Metal detector) เป็นอุปกรณ์สำหรับตรวจจับอาวุธที่ทำจากโลหะที่นิยมใช้กันทั่วไปในการรักษาความปลอดภัยตามสถานที่สำคัญต่างๆ เช่น สนามบิน, สถานีรถไฟ, เรือนจำ และศาล เป็นต้น สำหรับหลักการทำงานจะอาศัยการเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็กที่ตัวรับ นั่นคือเมื่อมีโลหะผ่านเข้ามาในประตูตรวจจับ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำมาใช้งานจริงต้องปฏิบัติตามเงื่อนไขการใช้งาน ไม่ว่าการณ์ใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Detector Gate) ก็จะเกิดการเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็กเนื่องจากผลของโลหะทำให้สนามแม่เหล็กที่ตัวรับเกิดการเปลี่ยนแปลง ทั้งนี้ขนาดของการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณที่ตัวรับจะขึ้นอยู่กับขนาดของโลหะที่ผ่านเข้าไปในประตูตรวจจับซึ่งหากถึงระดับที่ผู้ตรวจสอบตั้งไว้ก็จะแสดงสัญญาณเตือนออกมาในรูปแบบของแสงและเสียงให้ผู้ตรวจสอบได้ทราบว่าโลหะผ่านเข้ามาในประตูตรวจสอบ

เนื่องจากเครื่องตรวจจับโลหะแบบเดินผ่านนี้ยังมีราคาที่ยังค่อนข้างสูงมาก(2,000-10,000 USD) จึงทำให้เครื่องตรวจจับชนิดนี้มีใช้เฉพาะสถานที่สำคัญๆ เท่านั้น ดังนั้นทางผู้วิจัยจึงได้มีแนวคิดที่จะพัฒนาเครื่องตรวจจับโลหะชนิดนี้ขึ้นมา เพื่อเป็นการพัฒนาเทคโนโลยีในการตรวจจับโลหะและประหยัดเงินตราในการนำเครื่องตรวจจับโลหะแบบเดินผ่านจากต่างประเทศ



รูปที่ 2.3 เครื่องตรวจจับโลหะแบบเดินผ่าน (Walk-Through Metal detector)[4]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

หลักการทํางานของเครื่องตรวจจับโลหะ

ในหัวข้อนี้ทางผู้วิจัยจะอธิบายถึงหลักการทํางานและข้อมูลที่สำคัญในการทํางานเข้าใจเกี่ยวกับเครื่องตรวจจับโลหะแบบมือถือ (Hand-Held : HH) และเครื่องตรวจจับโลหะแบบเดินผ่าน (Walk-Through : WT) ที่มีใช้กันอย่างแพร่หลายตามสถานที่ต่างๆ ที่ต้องการรักษาความปลอดภัย เช่น ศาล กระทรวง กรม หรือตามสถานที่ต่างๆ

โดยปกติแล้วเครื่องตรวจจับโลหะแบบมือถือและแบบเดินผ่านที่ออกแบบมาทางการค้าจะมีจุดมุ่งหมายในการตรวจจับอาวุธหรืออุปกรณ์ต่างๆ ที่ทํามาจากโลหะ แต่อย่างไรก็ตาม ยังมีการนำเครื่องตรวจจับโลหะเหล่านี้ไปประยุกต์ใช้ในการค้นหาวัตถุต่างๆ ที่ฝังอยู่ใต้พื้นดิน เช่น กับระเบิดโลหะของมีค่าต่างๆ เป็นต้น แต่โดยทั่วไปแล้วรูปแบบของเครื่องตรวจจับโลหะชนิดต่างๆ ดังที่กล่าวมาจะมีลักษณะอยู่ 3 แบบ ดังแสดงในรูปที่ 3.1 ถึง รูปที่ 3.3

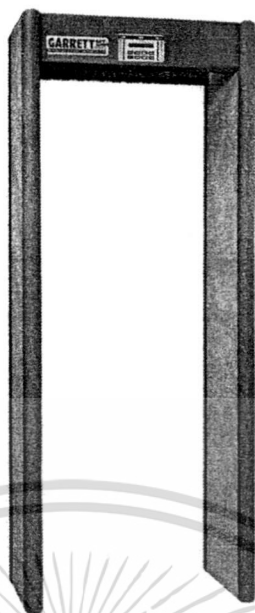


รูปที่ 3.1 เครื่องตรวจจับโลหะแบบมือถือ (Hand-Held : HH)[5]



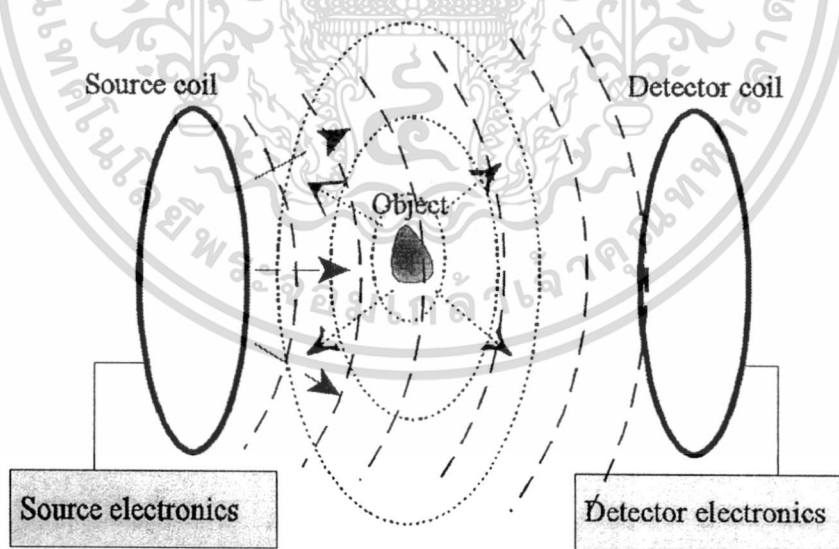
รูปที่ 3.2 เครื่องตรวจจับโลหะแบบมือถือ (Extend-arm) [6]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 เครื่องตรวจจับโลหะแบบเดินผ่าน (Walk-through : WT) [5]

เครื่องตรวจจับโลหะแบบต่างๆ ดังที่กล่าวมาส่วนใหญ่จะอาศัยหลักการพื้นฐานของการตรวจจับการเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็ก โดยส่วนประกอบหลักของเครื่องตรวจจับโลหะสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.4



--- Magnetic field generated by the source
 Magnetic field generated by the object

รูปที่ 3.4 ส่วนประกอบหลักของเครื่องตรวจจับโลหะ [7]

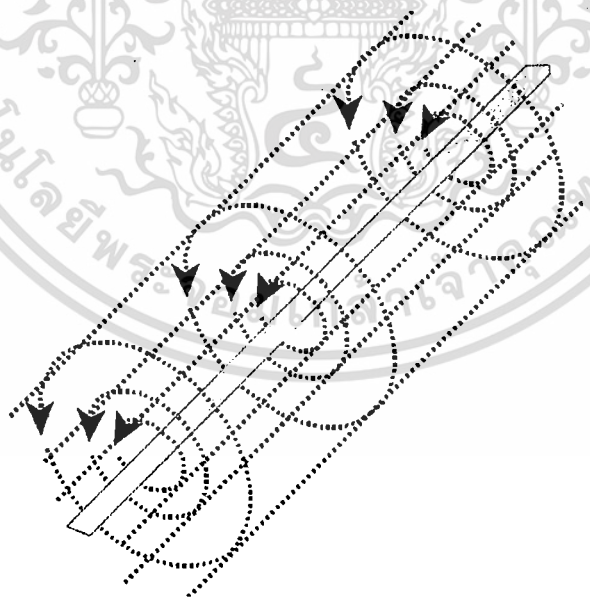
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.4 เครื่องตรวจจับโลหะจะประกอบด้วยส่วนสำคัญคือ แหล่งกำเนิดสัญญาณ (Source electronic) ขดลวดตัวส่ง (Source coil) วัตถุ (Object) ขดลวดตัวรับ (Detector coil) และตัวตรวจจับสัญญาณ (Detector electronic) โดยการทำงานจะอาศัยหลักการที่วัตถุที่นำไฟฟ้า เช่น เหล็ก หรือ โลหะ จะมีตอบสนองต่อสนามแม่เหล็กแตกต่างจากวัตถุที่ไม่นำไฟฟ้า เมื่อทำการเปิดเครื่องตรวจจับโลหะ กระแสไฟฟ้าจะไหลเข้าไปยังขดลวดโลหะที่หัวตรวจจับ ทำให้เกิดสนามแม่เหล็กขึ้น โดยมีขั้วอยู่ในแนวตั้งฉากกับทิศทางของขดลวด เมื่อสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นไปตกกระทบกับวัตถุที่นำไฟฟ้า เช่น เหล็กหรือโลหะ จะกระตุ้นให้วัตถุตัวนำดังกล่าวนั้น เกิดสนามแม่เหล็กอ่อนๆ ในทิศทางตรงกันข้ามกับตัวส่ง สนามแม่เหล็กอ่อนๆที่เกิดขึ้นในวัตถุตัวนำนั้นจะสะท้อนกลับมาสู่หัวตรวจจับเกิดเป็นสัญญาณที่ตัวรับที่มีเฟสแตกต่างกับสัญญาณที่ส่งไป ซึ่งหากวัตถุมีการนำไฟฟ้าที่ดีมากขึ้นความแตกต่างระหว่างเฟสของสัญญาณที่ตัวส่งและตัวรับก็จะมากขึ้นตามไปด้วย ความแตกต่างของเฟสระหว่างสัญญาณที่ตัวส่งและตัวรับดังกล่าวนี้ ทำให้เราสามารถทราบได้ว่า มีวัตถุที่ทำจากโลหะอยู่บริเวณใกล้เคียงหรือไม่

สำหรับรายละเอียดของส่วนประกอบต่างๆของเครื่องตรวจจับโลหะสามารถแสดงได้ดังนี้

3.1 แหล่งกำเนิดสัญญาณ

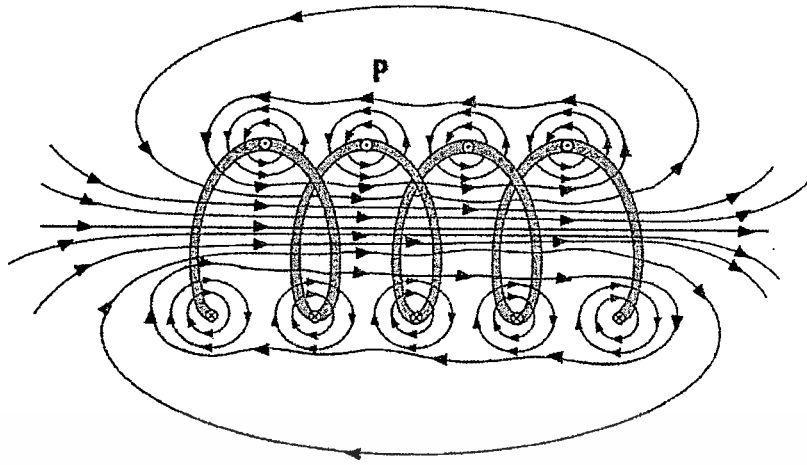
เมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านลวดทองแดงจะทำให้เกิดสนามแม่เหล็ก (Magnetic field) รอบๆลวดทองแดงที่มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่าน โดยลักษณะของสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นจะมีลักษณะดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 ลักษณะของสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นรอบๆเส้นทองแดง[7]

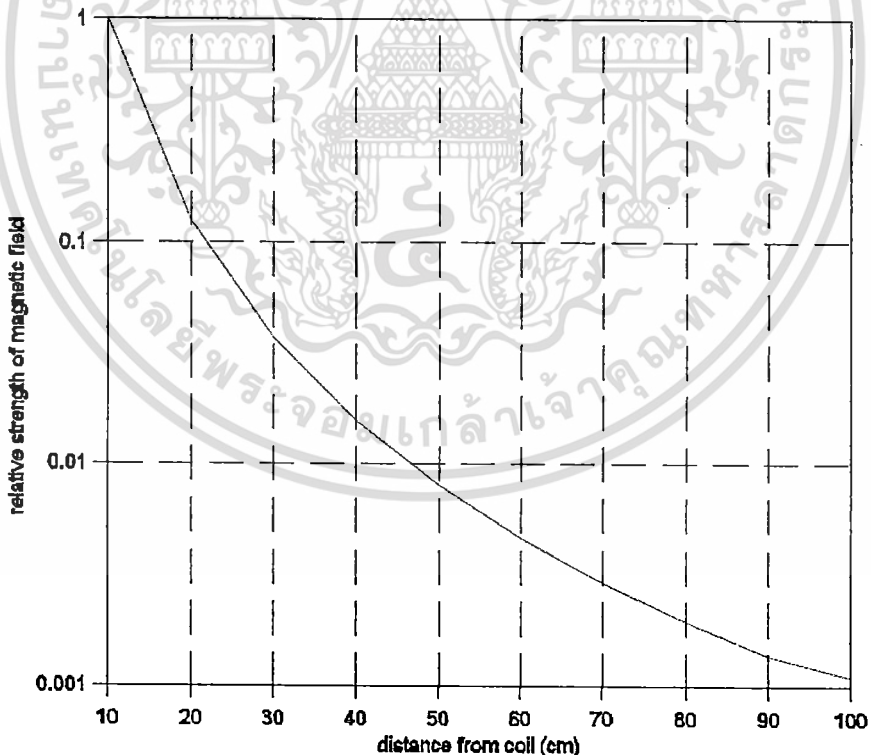
จากรูปที่ 3.5 การเพิ่มขนาดของสนามแม่เหล็กจะทำได้โดยการพันเส้นลวดเป็นขดที่เรียกว่าคอยล์ดังแสดงในรูปที่ 3.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6 ลักษณะของสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นในคอยล์ [8]

จากรูปที่ 3.6 ค่าความเข้มของสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นในคอยล์จะขึ้นอยู่กับจำนวนรอบและค่ากระแสที่ไหลผ่านขดลวดนั้น โดยที่ความเข้มของสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นจะมีค่าลดลงตามระยะห่างของคอยล์กับวัตถุหรือโลหะที่จะทำการค้นหา สำหรับค่าความเข้มของสนามแม่เหล็กจะเปลี่ยนแปลงไปตามระยะห่างจากคอยล์ดังกราฟในรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 ค่าความเข้มของสนามแม่เหล็กที่ระยะห่างจากคอยล์ต่างๆ [7]

จากรูปที่ 3.7 แสดงให้เห็นว่าค่าความเข้มของสนามแม่เหล็กจะลดลงอย่างรวดเร็วตามระยะทางที่เพิ่มขึ้น โดยที่ระยะห่าง 100 เซนติเมตร ปริมาณความเข้มของสนามแม่เหล็กลดลงไปไม่ต่ำกว่าครึ่ง อีกทั้งยังมีให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เกือบ 1000 เท่า ดังนั้นสัญญาณที่ตรวจจับได้จะมีขนาดเล็กมาก ดังนั้นในการสร้างเครื่องตรวจจับโลหะให้สามารถตรวจจับโลหะที่อยู่ระยะไกลๆ วงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้จะต้องถูกออกแบบมาเป็นอย่างดีเพื่อให้มีค่าความไวในการตรวจจับโลหะสูง(High sensitivity)

3.2 วัตถุ(Object)

วัตถุแต่ละชนิดนอกจากจะมีขนาด รูปร่าง ซึ่งเป็นลักษณะพื้นฐานแตกต่างกันออกไปแล้ว วัตถุแต่ละชนิดยังมีคุณสมบัติทางแม่เหล็กแตกต่างกันออกไป โดยตัวที่ทำให้คุณสมบัติทางแม่เหล็กของวัตถุแตกต่างกันออกไปมีอยู่ 2 ชนิดคือ คุณสมบัติการนำไฟฟ้า(Electrical Conductivity) และ คุณสมบัติการซึมซาบแม่เหล็ก(Magnetic permeability) ซึ่งคุณสมบัติที่สำคัญของวัตถุทั้ง 2 อย่างนี้จะส่งผลต่อคุณสมบัติการตอบสนองต่อสนามแม่เหล็กที่ส่งออกมาจากคอยล์ ซึ่งสามารถอธิบายได้ดังนี้

3.2.1 คุณสมบัติการนำไฟฟ้าของวัตถุ(Electrical conductivity)

คุณสมบัติการนำไฟฟ้าของวัตถุคือความสามารถของวัตถุในการยอมให้ประจุไฟฟ้าไหลผ่านวัตถุ โดยวัตถุที่ยอมให้ประจุไฟฟ้าไหลผ่านได้เรียกว่าตัวนำไฟฟ้า(Conductor) เช่น โลหะ ซึ่งประจุไฟฟ้าจะถูกพาโดยอิเล็กตรอน(Electrons) สำหรับในสารละลาย เช่น น้ำเกลือ ประจุไฟฟ้าจะสามารถเคลื่อนที่ไหลผ่านได้โดยการพาของไอออน(Ion) สำหรับวัตถุต่างๆจะมีค่าคุณสมบัติการนำไฟฟ้าแตกต่างกันออกไปตามชนิดของวัตถุดังแสดงไว้ในตารางที่ 3.1 โดยหน่วยของค่าความนำไฟฟ้าจะมีค่าเป็นซีเมนส์ต่อเมตร(Siemens per meter : S/m) โดยค่าความนำไฟฟ้าของเนื้อเยื่อมนุษย์(Human tissue) จะมีค่าประมาณ 0.5 S/m

ตารางที่ 3.1 คุณสมบัติการนำไฟฟ้าของวัตถุชนิดต่างๆ[7]

| Material | Conductivity (S/m) |
|-----------------|-----------------------|
| copper | 57 000 000 |
| aluminum | 35 000 000 |
| brass | 11 000 000 |
| lead | 5 000 000 |
| stainless steel | 2 000 000 |
| cast iron | 1 000 000 |
| graphite | 100 000 |
| sea water | 4 |
| distilled water | • 0.0001 |
| bakelite | • 0.000 000 001 |
| glass | • 0.000 000 000 001 |
| diamond | • 0.000 000 000 000 1 |
| air | 0. |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรรมใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลักษณะการไหลของประจุไฟฟ้าภายในลวดทองแดงจะมีลักษณะเหมือนกับการไหลของน้ำในท่อ ท่อที่มีขนาดใหญ่เปรียบได้กับวัตถุที่มีค่าการนำไฟฟ้าสูงซึ่งจะทำให้การไหลของน้ำหรือประจุไฟฟ้าสามารถไหลผ่านได้ง่าย แต่อย่างไรก็ตามการไหลของน้ำหรือประจุไฟฟ้าจะเกิดขึ้นได้ต่อเมื่อมีแหล่งจ่ายน้ำหรือแหล่งจ่ายไฟ(Voltage source) โดยการเคลื่อนที่ของประจุไฟฟ้านี้เราเรียกว่ากระแสไฟฟ้า(Electrical current)

นอกจากการใช้แหล่งจ่ายแรงดันป้อนให้กับวัตถุเพื่อทำให้เกิดการไหลของประจุไฟฟ้าแล้ว การเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็ก(Time-varying magnetic field) ที่สร้างจากแหล่งกำเนิดสัญญาณสนามแม่เหล็กยังสามารถทำให้เกิดการไหลของประจุไฟฟ้าในวัตถุได้อีกด้วย โดยเราเรียกการไหลของประจุไฟฟ้าในวัตถุที่เกิดจากสนามแม่เหล็กนี้ว่า กระแสไหลวน(Eddy current)

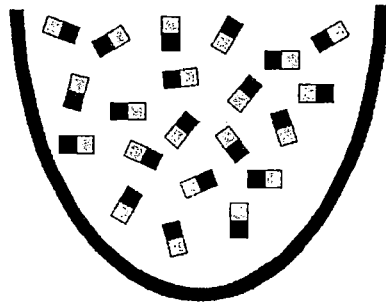
จากที่กล่าวมาสนามแม่เหล็กสามารถทำให้เกิดการไหลของประจุไฟฟ้าในวัตถุที่เราเรียกว่า กระแสไหลวน โดยค่ากระแสไหลวนที่เกิดขึ้นในวัตถุจะมีค่ามากหรือน้อยจะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติการนำไฟฟ้าของวัตถุ ความถี่ของการเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็ก ค่าความซึมซาบแม่เหล็กขนาดและรูปร่างของวัตถุ แต่อย่างไรก็ตาม ไม่ได้หมายความว่าสนามแม่เหล็กสามารถเหนี่ยวนำทำให้เกิดกระแสไหลวนได้ตลอด ทั้งนี้เนื่องจากกระแสไหลวนจะเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่อสนามแม่เหล็กมีการเปลี่ยนแปลง ถ้าสนามแม่เหล็กมีค่าคงที่ก็จะไม่เกิดกระแสไหลวน ซึ่งเราจะเรียกสนามแม่เหล็กที่ทำให้เกิดกระแสไหลวนบนวัตถุนี้ว่าสนามแม่เหล็กปฐมภูมิ(Primary magnetic) นอกจากนี้กระแสไหลวนที่เกิดบนวัตถุยังสร้างสนามแม่เหล็กขึ้นมาซึ่งเราเรียกสนามแม่เหล็กที่เกิดจากกระแสไหลวนบนวัตถุนี้ว่าสนามแม่เหล็กทุติยภูมิ(Secundary magnetic) ซึ่งสนามแม่เหล็กทุติยภูมิที่เกิดขึ้นนี้จะส่งผลกระทบต่อสนามแม่เหล็กปฐมภูมิด้วย โดยจะไปหักล้างทำให้สนามแม่เหล็กด้านทุติยภูมิมีค่าลดลง ซึ่งเราสามารถตรวจจับด้วยวงจรรีดิคทรอนิกส์ของเครื่องตรวจจับ โลหะเพื่อนำไปแสดงผลต่อไป

จากที่ค่าของกระแสไหลวนที่เกิดบนวัตถุจะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติการนำไฟฟ้าของวัตถุ ดังนั้นในวัตถุที่มีคุณสมบัติการนำไฟฟ้าที่ไม่ดี เช่น การไฟต์ (Graphite) จะมีค่ากระแสไหลวนเกิดขึ้นน้อย แต่ถ้าวัตถุที่มีคุณสมบัติการนำไฟฟ้าดี เช่น ทอง อลูมิเนียม ทองแดง จะเกิดกระแสไหลวนบนตัววัตถุนั้นมาก นอกจากผลของคุณสมบัติการนำไฟฟ้าของวัตถุจะมีผลต่อกระแสไหลวนแล้ว ค่าความซึมซาบได้ทางแม่เหล็ก(Magnetic permeability) ยังมีผลต่อค่ากระแสไหลวนที่เกิดขึ้นบนวัตถุ ซึ่งจะได้กล่าวรายละเอียดในหัวข้อถัดไป

3.2.2 ค่าความซึมซาบได้ของแม่เหล็ก(Magnetic permeability)

โดยปกติแล้วในวัตถุต่างๆจะมีองค์ประกอบภายในที่เปรียบเสมือนมีแท่งแม่เหล็กเล็กๆ(Magnetic domain)ที่มีขั้วเหนือและขั้วใต้วางรวมกันอยู่อย่างไม่เป็นระเบียบดังแสดงในรูปที่

เอกสาร 3.8 เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.8 การเรียงตัวของแท่งแม่เหล็กเล็กๆ(Magnetic domain) ภายในวัตถุ[7]

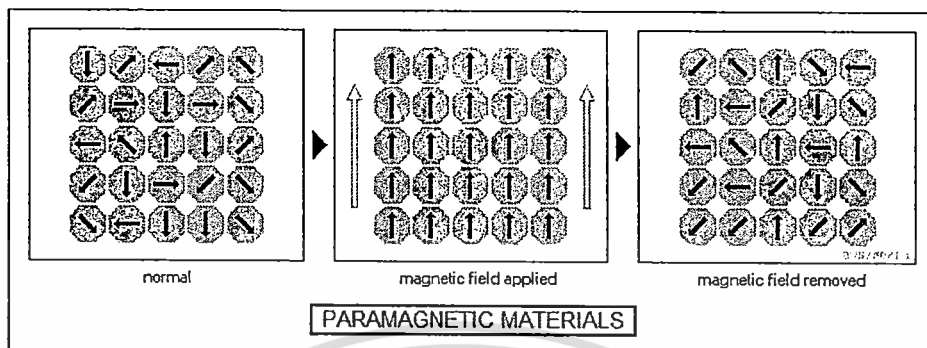
จากรูปที่ 3.8 ในวัตถุจะประกอบด้วยแท่งแม่เหล็กเล็กๆจำนวนมากที่วางตัวไม่เป็นระเบียบ (สีดำแสดงขั้วเหนือ(North pole) และสีขาวแสดงขั้วใต้(South pole)) ซึ่งการเรียงตัวแบบนี้วัตถุจะไม่กระจายสนามแม่เหล็กออกมา โดยปกติแล้วเราจะแบ่งวัตถุออกเป็น 3 ชนิดใหญ่ๆตามขนาดของค่าความซึมซาบได้ของแม่เหล็กเมื่อเทียบกับสุญญากาศ(Vacuum) ซึ่งเราเรียกว่า Relative permeability ซึ่งสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 ค่า Relative permeability ของวัตถุต่างๆ[7]

| Material | Relative Permeability | Classification |
|---------------------------|-----------------------|----------------|
| supernalloy | 1 000 000 | ferromagnetic |
| purified iron | 200 000 | ferromagnetic |
| iron (0.2 % impurities) | 5000 | ferromagnetic |
| mild steel (0.2 % carbon) | 2000 | ferromagnetic |
| nickel | 600 | ferromagnetic |
| cobalt | 250 | ferromagnetic |
| aluminum | 1,000 02 | paramagnetic |
| air | 1,000 000 4 | paramagnetic |
| vacuum | 1. | nonmagnetic |
| water | 0.999 991 | diamagnetic |
| copper | 0.999 991 | diamagnetic |
| lead | 0.999 983 | diamagnetic |
| silver | 0.999 83 | diamagnetic |

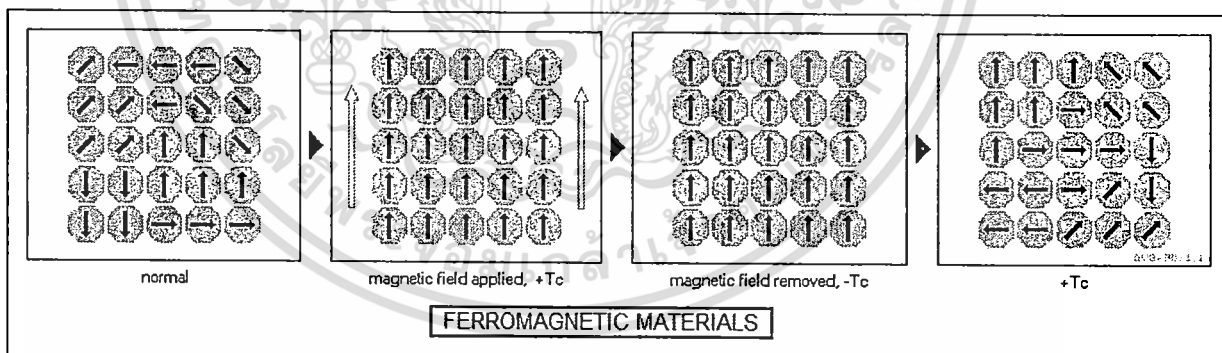
จากตารางที่ 3.2 เราสามารถอธิบายคุณสมบัติของวัตถุในประเภทต่างๆ ได้ดังนี้ สำหรับในวัตถุประเภท Paramagnetic material วัตถุประเภทนี้เมื่อป้อนสนามแม่เหล็กเข้าไปจะทำให้เกิดการเรียงตัวของแท่งแม่เหล็กเล็กๆภายในวัตถุนั้นไปในทิศทางเดียวกับสนามแม่เหล็กที่ป้อนเข้าไปในวัตถุ แต่เมื่อเรานำเอาสนามแม่เหล็กออกไป แท่งแม่เหล็กเล็กๆที่อยู่ในวัตถุนั้นจะกระจายกันไปคนเเกกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลักษณะทางเหมือนเดิม โดยผลของสนามแม่เหล็กต่อวัสดุประเภท Paramagnetic material สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 ผลของสนามแม่เหล็กต่อวัสดุประเภท Paramagnetic material [9]

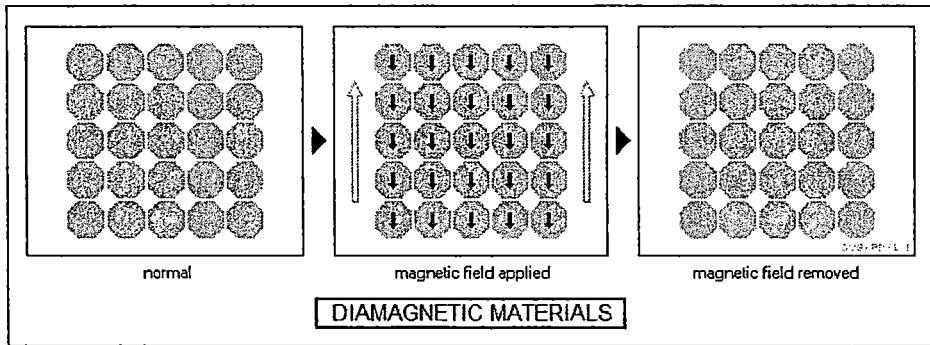
ในวัสดุประเภท Ferromagnetic material วัสดุประเภทนี้เมื่อป้อนสนามแม่เหล็กเข้าไปจะทำให้เกิดการเรียงตัวของแท่งแม่เหล็กเล็กๆภายในวัสดุนั้นไปในทิศทางเดียวกับสนามแม่เหล็กที่ป้อนเข้าไปในวัตถุ และถึงแม้ว่าเรานำเอาสนามแม่เหล็กออกไปจากวัตถุแล้ว วัตถุยังคงรักษาการเรียงตัวของแท่งแม่เหล็กเล็กๆที่อยู่ภายในวัตถุไว้ได้ โดยผลของสนามแม่เหล็กต่อวัสดุประเภท Ferromagnetic material สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 ผลของสนามแม่เหล็กต่อวัสดุประเภท Ferromagnetic material [9]

วัสดุประเภทสุดท้ายคือ Diamagnetic material สำหรับวัสดุประเภทนี้ถึงแม้ว่าเราจะทำการป้อนสนามแม่เหล็กเข้าไปในวัสดุประเภทนี้ จะไม่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของแท่งแม่เหล็กเล็กๆที่อยู่ในวัตถุ และจะเกิดการสร้างสนามแม่เหล็กที่มีทิศทางตรงกันข้ามกับสนามแม่เหล็กที่ป้อนเข้าไป โดยผลของสนามแม่เหล็กต่อวัสดุประเภท Diamagnetic material สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.11

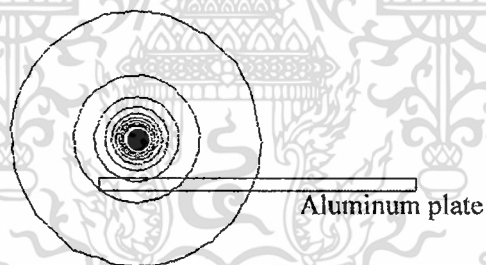
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



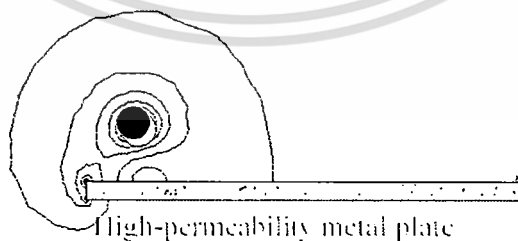
รูปที่ 3.11 ผลของสนามแม่เหล็กต่อวัสดุประเภท Diamagnetic material [9]

สำหรับวัสดุที่มีค่า Relative permeability มากกว่า 1 จะส่งผลกระทบต่อแหล่งกำเนิดสนามแม่เหล็กอยู่ 2 อย่างคือ พลังงานที่วัสดุต้องใช้ในการเรียงแท่งแม่เหล็กเล็กๆที่อยู่ภายในวัตถุ ซึ่งพลังงานนี้จะได้จากแหล่งกำเนิดสนามแม่เหล็ก และอีกอย่างหนึ่งคือพลังงานที่สูญเสียไปในการเหนี่ยวนำทำให้เกิดกระแสไหลวน นอกจากนี้ในวัสดุที่มีค่า Relative permeability มากกว่า 1 ยังส่งผลกระทบต่อสนามแม่เหล็กจากแหล่งกำเนิดมีความเข้มข้นไปอีกด้วยซึ่งสามารถแสดงได้ดังรูปที่

3.12



(ก) Low permeability aluminum plate [7]



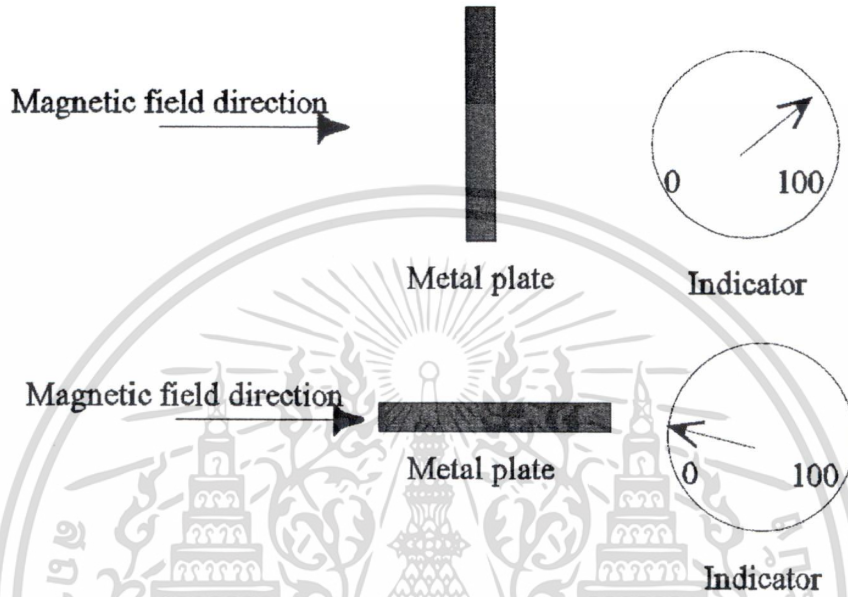
(ข) High permeability metal plate [7]

รูปที่ 3.12 ผลกระทบจากแผ่น โลหะที่มีค่า Relative permeability แตกต่างกันต่อสนามแม่เหล็กที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งาน ป้อนเข้าไปในวัตถุนั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.3 รูปร่างของวัตถุ

สำหรับขนาดและรูปร่างของวัตถุ จะมีผลต่อการตรวจจับของเครื่องตรวจจับโลหะในแง่ของทิศทางของสนามแม่เหล็กที่ใช้ในการตรวจจับ โดยในรูปที่ 3.13 แสดงผลของทิศทางของสนามแม่เหล็กที่ใช้ในการตรวจจับโลหะในทิศทางต่างๆ



รูปที่ 3.13 ผลของทิศทางของสนามแม่เหล็กกับวัตถุที่ทำการตรวจจับ [7]

3.3 วงจรตรวจจับสัญญาณ (Detector circuit)

ในปัจจุบันได้มีการพัฒนาวิธีการในการตรวจจับโลหะแบบต่างๆ ขึ้นมามากมายหลายวิธี โดยใช้เทคนิคในการตรวจจับโลหะแตกต่างกันไป โดยในแต่ละวิธีก็จะมีข้อดีข้อเสียแตกต่างกันออกไป โดยวิธีที่ได้รับความนิยมและ ใช้งานแพร่หลายในปัจจุบันมีอยู่ด้วยกัน 5 วิธี [10-12] คือ

3.3.1 Beat Frequency Oscillator Method (BFO Method)

3.3.2 VLF Phase Angle

3.3.3 Off Resonance

3.3.4 Induction Balance (IB) หรือ Transmit / Receive (TR)

3.3.5 Pulse Induction

โดยในแต่ละวิธีจะมีรายละเอียดของการทำงานดังนี้

3.3.1 Beat Frequency Oscillator Method (BFO Method)

เครื่องตรวจจับโลหะชนิดนี้จะใช้เทคนิค BFO (Beat Frequency Oscillator) ซึ่งมีข้อดีคือระบบมีราคาถูก โดยส่วนประกอบของระบบจะประกอบด้วยวงจรกำเนิดสัญญาณ (Oscillator) 2 ชุด ความถี่ประมาณ 100 KHz โดยที่ชุดหนึ่งจะกำเนิดสัญญาณความถี่คงที่ (Fix Frequency) และอีกชุดหนึ่งจะสามารถเปลี่ยนค่าความถี่โดยค่าอินดักแตนซ์ (Inductance) ของขดลวดค้นหา (Search Coil) สัญญาณจากวงจรกำเนิดสัญญาณทั้ง 2 ชุด จะถูกนำมาผ่านวงจรมิกเซอร์ (Mixer Circuit) เอาท์พุทของวงจรมิกเซอร์ จะเป็นสัญญาณที่เกิดจากผลบวกและผลต่างของความถี่จากวงจรกำเนิดสัญญาณทั้ง 2 ชุด ดังตัวอย่างที่ 1

$$\text{ความถี่ของวงจรกำเนิดสัญญาณชุดที่ 1 (Fix Frequency)} = 100 \text{ KHz}$$

$$\text{ความถี่ของวงจรกำเนิดสัญญาณชุดที่ 2 (Vary Frequency)} = 100.5 \text{ KHz}$$

เพราะฉะนั้น ความถี่เอาท์พุทของสัญญาณเมื่อผ่านวงจรมิกเซอร์จะมีค่าเท่ากับ

$$|F_1 + F_2| = |100 + 100.5| = 200.5 \text{ KHz}$$

$$|F_1 - F_2| = |100 - 100.5| = 500 \text{ Hz}$$

เมื่อเรานำสัญญาณเอาท์พุทที่ได้ไปผ่านวงจรฟิลเตอร์ก็จะได้สัญญาณความถี่ 500 Hz เพื่อนำสัญญาณที่ได้ไปขยายเพื่อขับลำโพงต่อไป หากเรานำขดลวดค้นหาเข้าไปใกล้โลหะ ก็จะทำให้ค่าอินดักแตนซ์ของวงจรกำเนิดสัญญาณชุดที่ 2 เกิดการเปลี่ยนแปลง ส่งผลให้ความถี่ของวงจรกำเนิดสัญญาณชุดที่ 2 เปลี่ยนแปลง จากตัวอย่างที่ 1 สมมุติว่าโลหะทำให้ความถี่ของวงจรกำเนิดสัญญาณชุดที่ 2 เปลี่ยนเป็น 100.6 KHz ดังนั้น เราจะหาเอาท์พุทของวงจรมิกเซอร์ได้ดังนี้

$$|F_1 + F_2| = |100 + 100.6| = 200.6 \text{ KHz}$$

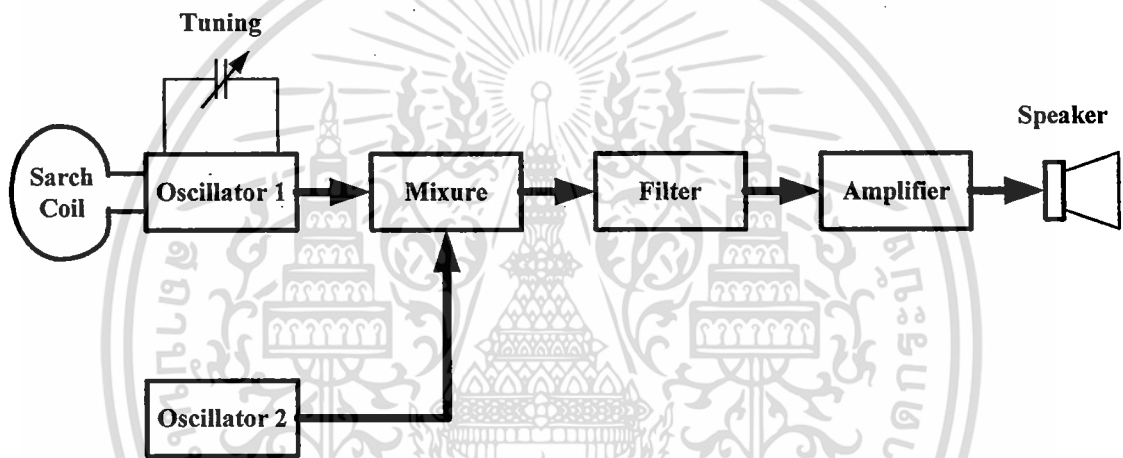
$$|F_1 - F_2| = |100 - 100.6| = 600 \text{ Hz}$$

เมื่อเรานำสัญญาณเอาท์พุทที่ได้ไปผ่านวงจรฟิลเตอร์ก็จะได้สัญญาณความถี่ 600 Hz เพื่อนำสัญญาณที่ได้ไปขยายเพื่อขับลำโพงต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลของความถี่เอ้าท์พุทที่เปลี่ยนแปลงทำให้เราทราบได้ว่ามีโลหะอยู่ใกล้กับขดลวดค้นหา โดยสัญญาณเอ้าท์พุทของวงจรจะมีความถี่เท่าใด จะขึ้นอยู่กับผลของโลหะที่เข้ามาใกล้ขดลวดค้นหา โดยเมื่อโลหะชนิดที่เป็น Ferrous เข้ามาใกล้ขดลวดค้นหาจะมีผลทำให้ค่าอินดักแตนซ์ของขดลวดค้นหาเพิ่มขึ้น ส่งผลทำให้ความถี่ของสัญญาณเอ้าท์พุทลดลง และในทางตรงกันข้ามหากโลหะที่เป็น Non-Ferrous เข้ามาใกล้ขดลวดค้นหาจะมีผลทำให้ค่าอินดักแตนซ์ของขดลวดค้นหาลดลง ส่งผลทำให้ความถี่ของสัญญาณเอ้าท์พุทเพิ่มขึ้น

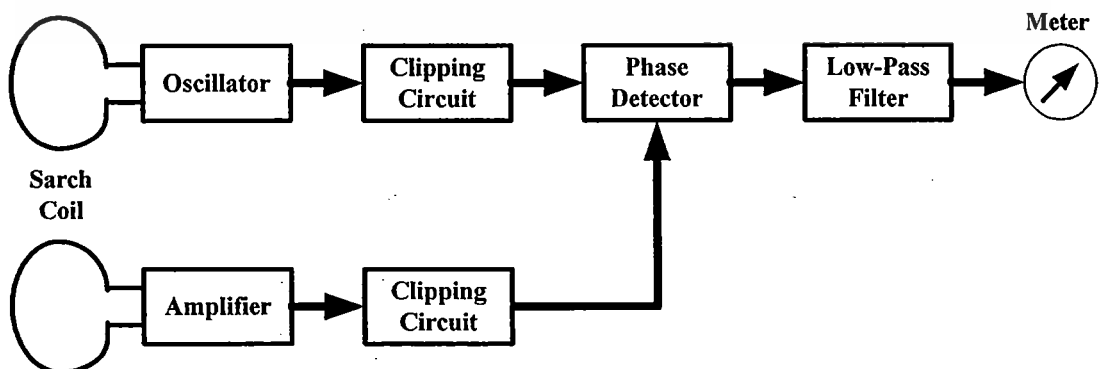
สำหรับข้อเสียของระบบตรวจจับโลหะแบบนี้ก็คือต้องใช้ วงจรกำเนิดสัญญาณถึง 2 ชุด และต้องทำการปรับความถี่ใหม่ทุกครั้งที่ใช้งาน อีกทั้งค่า Sensitivity ของวงจรมีค่าต่ำ นอกจากนี้วงจรใช้ความถี่สูงจึงอาจเกิดความผิดพลาดเนื่องจาก ผลของ Ground Capacitance



รูปที่ 3.14 บล็อกไดอะแกรมของเครื่องตรวจจับโลหะแบบ Beat Frequency Oscillator (BFO)

3.3.2 VLF Phase Angle

เครื่องตรวจจับโลหะชนิดนี้จะใช้ค่าความต่างเฟสมาเป็นตัวตรวจจับ ซึ่งมีการทำงานดังใน บล็อกไดอะแกรมต่อไปนี้

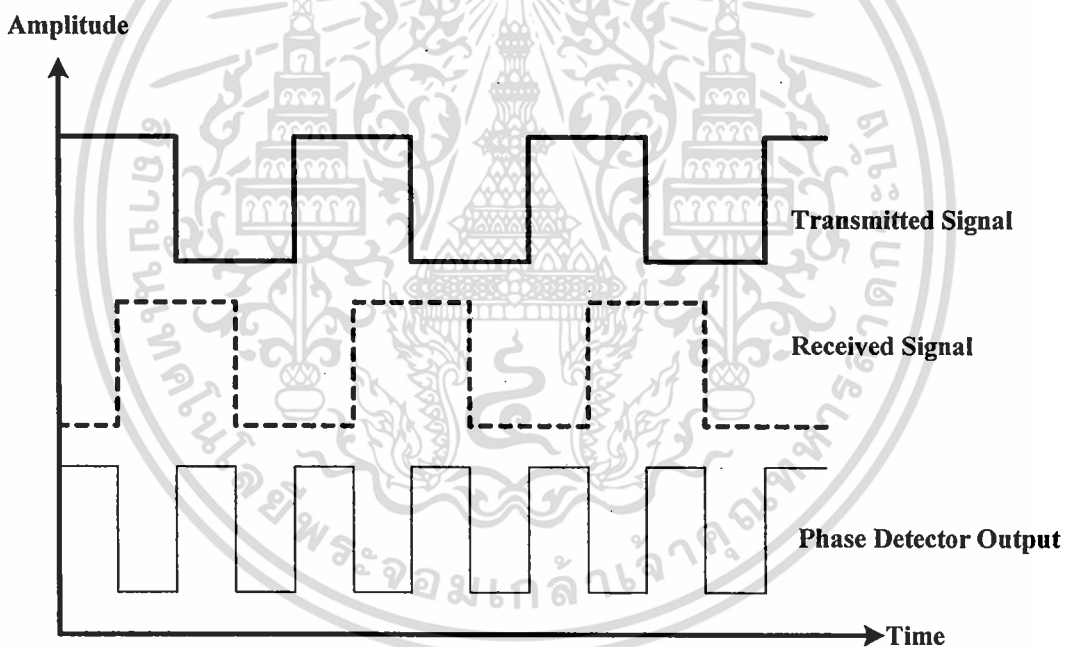


รูปที่ 3.15 บล็อกไดอะแกรมของเครื่องตรวจจับโลหะแบบ VLF Phase Angle

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากบล็อกไดอะแกรมรูปที่ 3.15 ระบบจะประกอบด้วยขดลวด 2 ขด ทำหน้าที่เป็นขดลวดค้นหา โดยขดหนึ่งจะต่ออยู่กับวงจรกำเนิดสัญญาณซึ่งจะสร้างสัญญาณสี่เหลี่ยม (Square Wave) ออกมาที่ความถี่ค่าหนึ่ง ส่วนขดลวดอีกขดหนึ่งจะเป็นตัวรับสัญญาณที่ความถี่เดียวกันแล้วนำไปเข้าวงจรขยายสัญญาณ (Amplifier Circuit) เพื่อขยายสัญญาณ จากนั้นจึงนำสัญญาณทั้งสองไปเข้าวงจรตรวจจับเฟส (Phase Detector) เพื่อสร้างสัญญาณที่เกิดจากความต่างเฟสของสัญญาณทั้งสองดังรูปที่ 3.16

เมื่อมีโลหะเข้าใกล้ขดลวดค้นหาจะทำให้ค่าความต่างเฟสของสัญญาณทั้งสองมีการเปลี่ยนแปลง โดยสัญญาณทั้งสองจะมีความต่างเฟสมากขึ้นเมื่อโลหะนั้นเป็นชนิด Ferrous และ ความต่างเฟสของสัญญาณทั้งสองจะมีค่าลดลงถ้าเป็นโลหะชนิด Non-Ferrous หลังจากนั้นเราจะนำสัญญาณความต่างเฟสของสัญญาณทั้งสองนี้ไปผ่านวงจรกรองความถี่ต่ำ (Low-Pass Filter) เพื่อกรองคอมโพเนนต์ความถี่สูงออกไป ก่อนที่จะส่งไปยังมิเตอร์เพื่อแสดงผล

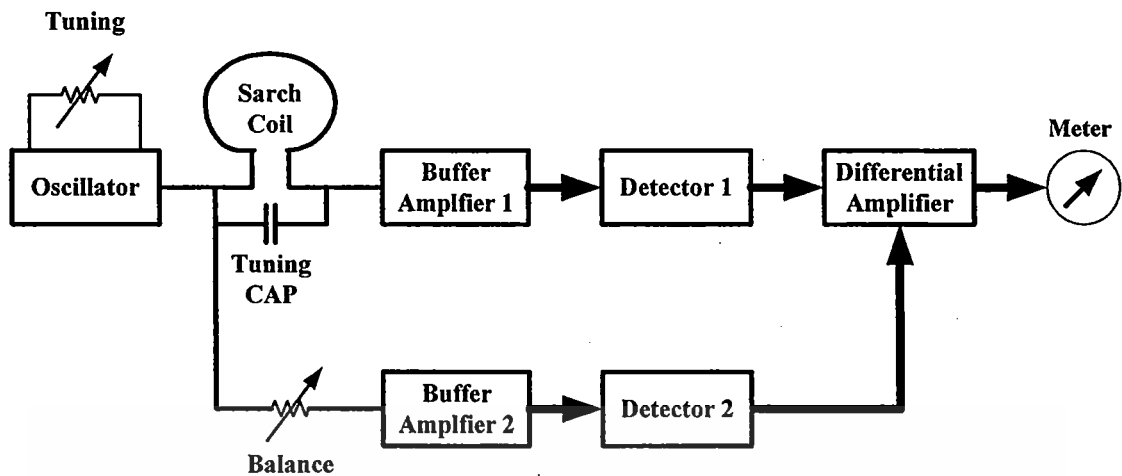


รูปที่ 3.16 สัญญาณเอาต์พุตของวงจรตรวจจับเฟส (phase Detector)

3.3.3 Off Resonance

เครื่องตรวจจับโลหะชนิดนี้ จะมีลักษณะการทำงานคล้ายกับวิธี BFO (Beat Frequency Oscillator) แต่จะอาศัยหลักการสมดุลของสนามแม่เหล็กด้วย โดยส่วนประกอบของเครื่องตรวจจับโลหะชนิด Off resonance สามารถแสดงได้ดังบล็อกไดอะแกรมต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.17 บล็อกไดอะแกรมของเครื่องตรวจจับโลหะแบบ Off Resonance

จากบล็อกไดอะแกรมรูปที่ 3.17 วงจรขยายความแตกต่าง(Differential Amplifier) จะทำหน้าที่ตรวจจับความแตกต่างของสัญญาณอินพุตที่มาจากสองส่วนคือ ส่วนที่หนึ่งได้มาจากวงจรกำเนิดสัญญาณ (Oscillator) ผ่านวงจร LC Tuning ซึ่งทำหน้าที่เป็นขดลวดค้นหา บัฟเฟอร์แอมป์ 1 (Buffer Amplifier1) และวงจรตรวจจับสัญญาณ 1(Detector Circuit1) ส่วนสัญญาณอินพุตอีกส่วนหนึ่งจะมาจากวงจรกำเนิดสัญญาณ (Oscillator) ผ่านวงจรปรับสมดุล(Balance) บัฟเฟอร์แอมป์ 2 (Buffer Amplifier 2) และวงจรตรวจจับสัญญาณ 2 (Detector Circuit2) โดยปกติแล้วเราจะปรับวงจรปรับสมดุลให้เอาท์พุทวงจขยายความแตกต่างเป็น 0 แต่เมื่อเรานำขดลวดค้นหาเข้าไปใกล้โลหะจะทำให้ค่าอินดักแตนซ์ของขดลวดค้นหาเปลี่ยนไป ทำให้ความถี่รีโซแนนซ์ (Resonance Frequency) ของวงจร LC Tuning เปลี่ยนไป ส่งผลให้เกิดการไม่ดุล (Imbalance) ของแรงดันอินพุตทั้งสองของวงจรขยายความแตกต่าง ทำให้มีแรงดันเกิดขึ้นที่เอาท์พุทของวงจรซึ่งสามารถวัดได้โดยใช้มิเตอร์

สำหรับเครื่องตรวจจับโลหะชนิดนี้จะไม่เป็นที่นิยมมากนัก เนื่องจากมี Sensitivity ที่ต่ำ และวงจรมีความยุ่งยาก

3.3.4 Induction Balance (IB) และ Transmit/Receive (TR)

เครื่องตรวจจับโลหะชนิดนี้จะใช้หลักการของ Induction Balance ซึ่งสามารถอธิบายหลักการได้โดยละเอียดดังนี้

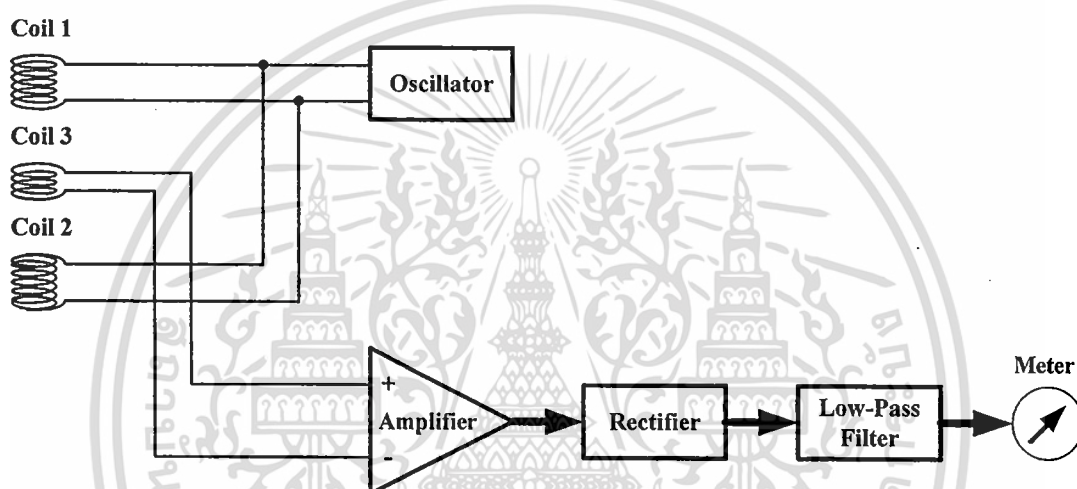
วงจรถูกกำเนิดสัญญาณจะส่งสัญญาณไปยังขดลวดตัวส่ง(Transmit Coil) ทำให้เกิดสนามแม่เหล็กขึ้นรอบๆ ขดลวด ขดลวดตัวรับ(Receive Coil) ซึ่งวางเหลื่อม(Overlapping) กันกับขดลวดตัวส่งจะรับสนามแม่เหล็กที่มีลักษณะสมดุล(Balance) ทำให้เกิดสัญญาณที่เอาท์พุทเพียงค่า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เล็กน้อยหรือไม่มีเลย เมื่อมีโลหะเข้ามาในสนามแม่เหล็กจะทำให้เกิดความไม่สมดุล (Imbalance) ของสนามแม่เหล็ก เนื่องจากสนามแม่เหล็กที่ขดลวดตัวรับเกิดการเปลี่ยนแปลง ผลของการเปลี่ยนแปลงนี้สามารถนำไปผ่านวงจรขยาย (Amplifier), วงจรเรียงกระแส (Rectifier), และวงจรกรองความถี่ (Filter) จะได้สัญญาณเอาต์พุตจากระบบเป็นสัญญาณแรงดันดีซี (D.C. Voltage) จากนั้นจึงนำสัญญาณนี้ไปแสดงผลโดยใช้มิเตอร์

เครื่องตรวจจับโลหะแบบที่ใช้หลักการ Induction Balance (IB) จะแบ่งเป็น 2 ชนิดคือ

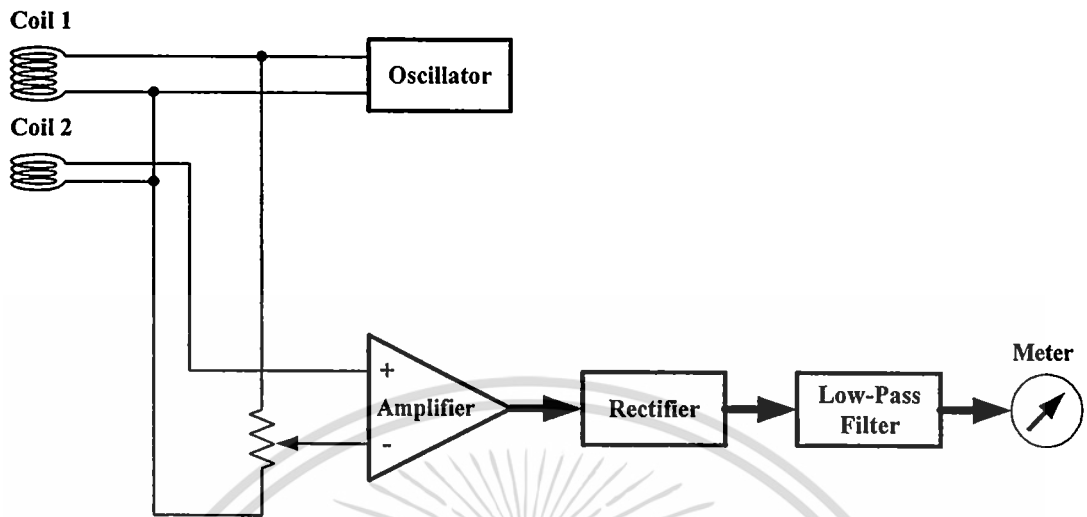
3.3.4.1 IB Detector (Induction Balance) ประกอบด้วยขดลวดตรวจจับ 3 ชุด ดังรูปที่ 3.18



รูปที่ 3.18 เครื่องตรวจจับ โลหะแบบที่ใช้หลักการ Induction Balance (IB) แบบ IB Detector (Induction Balance)

จากบล็อกไดอะแกรมในรูปที่ 3.18 วงจรกำเนิดสัญญาณจะผลิตความถี่ป้อนเข้าขดลวด 2 ชุด โดยเรียงขดลวดทั้งสามดังนี้ วางขดลวดทั้งสามซ้อนกัน โดยเว้นระยะห่างจากขดลวดขดกลาง ขดลวดที่อยู่ด้านบนและด้านล่างจะต่ออยู่กับวงจรกำเนิดสัญญาณ ขดลวดด้านล่างจะพันทิศทางตรงกันข้ามกับขดลวดด้านบน ดังนั้นขดลวดทั้งสองจะให้สนามแม่เหล็กที่มีเฟสต่างกัน (Anti-phase Field) สมดุลของสนามแม่เหล็กจะเกิดขึ้นกับขดลวดขดกลาง ทำให้ไม่มีสัญญาณเกิดขึ้น เมื่อนำโลหะเข้าใกล้กับขดลวด จะเกิดการไม่สมดุลของสนามแม่เหล็กขึ้น สัญญาณนี้สามารถไปทำการขยายโดยวงจรขยาย (Amplifier Circuit) และเปลี่ยนเป็นแรงดันดีซีโดยวงจรเรกติไฟเออร์ จากนั้นจึงนำสัญญาณนี้ไปแสดงผลโดยใช้มิเตอร์ต่อไป

3.3.4.2. T/R Detector(Transmit/Receive) จะประกอบด้วยขดลวดตรวจจับ 2 ชุดดังรูปที่ 3.19



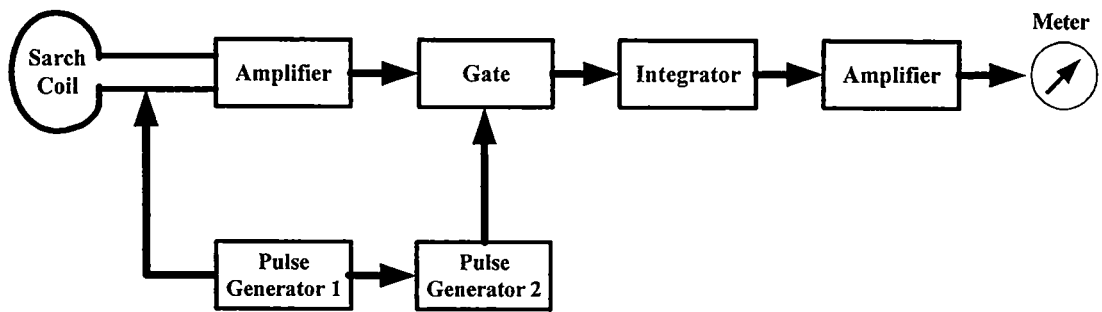
รูปที่ 3.19 เครื่องตรวจจับ โลหะแบบที่ใช้หลักการ Induction Balance (IB) แบบ T/R Detector(Transmit/Receive)

จากบล็อกไดอะแกรมในรูปที่ 3.19 ขดลวดจะถูกต่อเข้ากับวงจรกำเนิดสัญญาณเพียงขดเดียว ส่วนอีกขดจะต่อเข้ากับวงจรขยายแบบไม่กลับเฟส (Non-Inverting Amplifier) โดยที่อินพุตขากลับเฟส (Inverting) จะต่อกับสัญญาณที่เป็นแรงดันอ้างอิง (ใช้ตัวต้านทานปรับค่าได้) โดยปกติเรา จะทำการปรับค่าแรงดันอ้างอิงเพื่อให้สัญญาณเอาต์พุตเป็น 0 เมื่อมีโลหะเข้ามาใกล้ขดลวดค้นหา จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสัญญาณที่เอาต์พุต สัญญาณนี้จะถูกทำการขยายโดยวงจรขยาย (Amplifier Circuit) และเปลี่ยนเป็นแรงดันดิจิทัลโดยวงจรเรกติไฟเออร์ จากนั้นจึงนำสัญญาณนี้ไป แสดงผลโดยใช้มิเตอร์ต่อไป

เครื่องตรวจจับ โลหะทั้งสองชนิดนี้ สัญญาณที่ได้รับจากการตรวจจับของขดลวดชุดรับจะ เพิ่มขึ้นเมื่อตรวจพบโลหะชนิด Ferrous และจะลดลงเมื่อเป็น โลหะชนิด Non-Ferrous

3.3.5 Pulse Induction (PI)

ลักษณะ โครงสร้างและการทำงานของเครื่องตรวจจับ โลหะแบบพัลส์อิน ดักชั่น(Pulse Induction:PI) สามารถแสดงได้ดังบล็อกไดอะแกรมในรูปที่ 3.20



รูปที่ 3.20 บล็อกไดอะแกรมเครื่องตรวจจับโลหะแบบ Pulse Induction (PI)

จากบล็อกไดอะแกรมในรูปที่ 3.20 วงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์ (Pulse Generator) จะส่งสัญญาณพัลส์ช่วงสั้นๆ ไปยังขดลวดค้นหาทำให้เกิดสนามแม่เหล็กขึ้นรอบๆขดลวด ที่ขอบขาลงของสัญญาณแต่ละพัลส์สนามแม่เหล็กบริเวณขดลวดจะลดลงจนกระทั่งแรงดันตกลงเป็นศูนย์ ทำให้ไม่มีกระแสไหลผ่านขดลวด แต่เนื่องจากขดลวดจะยังคงสะสมพลังงานไว้ภายในจึงเกิดเป็นแรงดัน BACK E.M.F. ซึ่งทำให้แรงดันตกคร่อมขดลวดมีทิศทางตรงข้าม (Reverse Voltage) แต่เนื่องจากเป็นพลังงานสะสมจึงสลายตัวลงจนแรงดัน BACK E.M.F. ตกลงเป็น 0 และเราใช้การสลายตัวนี้เป็นจุดที่ใช้ในการเปรียบเทียบในการตรวจจับโลหะ

เมื่อมีโลหะไม่ว่าจะเป็น Ferrous หรือ Non-Ferrous เข้าใกล้ขดลวดค้นหาจะได้รับผลจากสนามแม่เหล็กเกิดเป็น Eddy Current หรือ Magnetized ที่โลหะนั้นตามแต่ชนิดของโลหะและผลที่ได้นี้จะขึ้นชนิดใดก็ตาม จะทำให้ระยะเวลาที่แรงดัน BACK E.M.F. ใช้ในการตกลงเป็น 0 มีค่ามากกว่าเดิม

วงจรตรวจจับสัญญาณ (Detector Circuit) จะเป็นวงจรที่ตรวจจับจากพื้นที่ภายใต้สัญญาณของการตกลง (Decay) ของแรงดัน BACK E.M.F. ซึ่งจะทำให้ได้โดยนำสัญญาณจากขดลวดค้นหาทำการขยายและทำเป็น Sample Voltage ที่เป็นสัดส่วนกับเวลาในการตกลงของแรงดัน BACK E.M.F. แล้วนำแรงดันจากเอาต์พุทของวงจรถ่ายโอนเทออร์ (Integrator Circuit) นี้ไปควบคุม Voltage Control Oscillator (VCO) ซึ่งไปขับลำโพงอีกทีหนึ่ง

สำหรับเครื่องตรวจจับโลหะชนิดนี้จะมี Sensitivity มาก โดยส่วนประกอบของเครื่องนี้เป็นโลหะไม่ได้ เพราะจะไปรบกวนและมีผลต่อเครื่องตรวจจับ แต่ไม่มีปัญหาเกี่ยวกับ Ground Effect สำหรับข้อเสียคือไม่สามารถแยกได้ว่าโลหะนั้นเป็น Ferrous หรือ Non-Ferrous และเครื่องตรวจจับโลหะชนิดนี้ยังใช้พลังงานสูงมากอีกด้วย

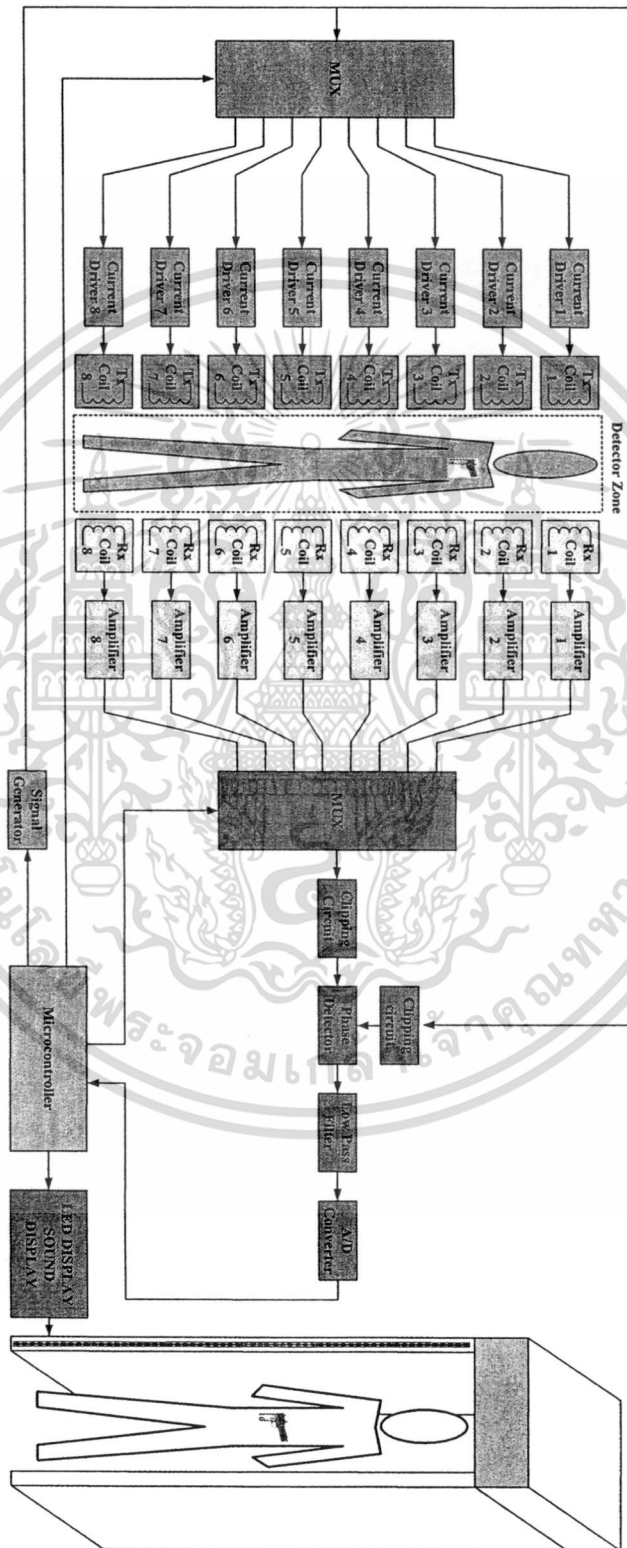
จากวิธีการในการตรวจจับโลหะแบบต่างๆแบบต่างๆที่กล่าวมาทั้งหมดสามารถสรุปข้อดีและข้อเสียของแต่ละวิธีได้ดังตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 ข้อดีและข้อเสียของเทคนิคในการตรวจจับสนิทโลหะแบบต่างๆ [12]

| System | Advantages | Drawbacks | Conclusions |
|-------------------------------------|--|--|--|
| 1. BFO without discriminator | <p>Cheap</p> <p>Easily operated</p> <p>Low power consumption</p> | <p>Drift, fixed sensitivity.</p> <p>Standard system insensitive</p> <p>Susceptible to RF interference</p> <p>No meter facility</p> | The beginners system |
| 2. VCO | <p>Low cost, low power</p> <p>Adjustable sensitivity</p> <p>Meter and audio discrimination for ferrous/non-ferrous objects</p> | <p>Requires frequency stabiliser for optimum performance</p> | A good all purpose system offering discrimination and performance of more costly and complicated systems |
| 3. IB | <p>Good depth penetration with adjustable sensitivity</p> <p>Ferrous discrimination possible by offset tuning</p> | <p>Critical coil alignments and connecting cable(s)</p> <p>RF sensitive</p> | A good all purpose system albeit lacking some refinements on 'cheaper models |
| 4. IB Radiometer | <p>Low power</p> <p>Adjustable sensitivity</p> <p>Meter and audio discrimination</p> <p>Excellent depth penetration in most mediums</p> <p>Excellent tuning stability with auto tune facility</p> <p>Excellent ground reject</p> | <p>Reduced effectiveness on copper nickel alloy</p> <p>Difficult to manufacture - thus costly</p> <p>Critical coil alignments</p> | Costs quite a bit, but the best all purpose machine |
| 5. Pulse induction | <p>Excellent depth penetration</p> <p>Excellent ground rejection</p> <p>Immune to small bits of silver paper</p> <p>Versatile coil arrangements</p> <p>Variable sensitivity</p> | <p>High power drain</p> <p>Poor location of small objects</p> <p>Over susceptible to ferrous objects</p> <p>Costly</p> | The most sensitive - but lack of discrimination power makes PI suitable for certain purposes only |

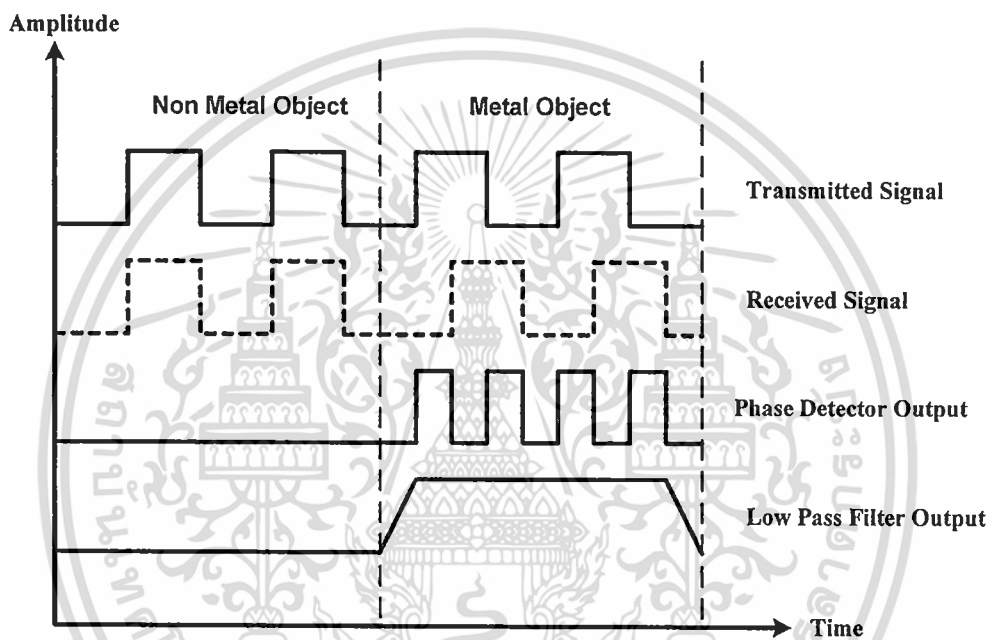
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับในโครงการวิจัยนี้กล่าวถึงการพัฒนาต้นแบบเครื่องตรวจจับโลหะแบบเดินผ่าน ชนิดหลายโซนที่ควบคุมการทำงานโดยวงจรรีเลย์ทรอนิกส์สำหรับโครงสร้างของเครื่องตรวจจับโลหะแบบเดินผ่านชนิดหลายโซนที่จะทำการพัฒนาขึ้นสามารถแสดงได้ดังบล็อกไดอะแกรมดังรูปที่ 3.21



รูปที่ 3.21 บล็อกไดอะแกรมของเครื่องตรวจจับโลหะแบบเดินผ่านชนิดหลายโซน
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.21 ระบบจะประกอบด้วยชุดตรวจโลหะทั้งหมด 8 ชุด (8 โชน) โดยการทำงานของแต่ละโชนจะถูกควบคุมโดยวงจรอิเล็กทรอนิกส์ในการสลับช่วงเวลาในการตรวจจับโลหะในแต่ละโชนทั้ง 8 โชน ในแต่ละโชนของชุดตรวจโลหะนั้นจะประกอบด้วยขดลวด 2 ขด ทำหน้าที่เป็นขดลวดค้นหา โดยขดหนึ่งจะต่ออยู่กับวงจรกำเนิดสัญญาณซึ่งจะสร้างสัญญาณรูปสี่เหลี่ยม (Square Wave) ออกมาที่ความถี่ค่าหนึ่ง ส่วนขดลวดอีกขดหนึ่งจะเป็นตัวรับสัญญาณที่ความถี่เดียวกันแล้วนำไปเข้าวงจรขยายสัญญาณ (Amplifier Circuit) เพื่อขยายสัญญาณ จากนั้นจึงนำสัญญาณทั้งสองไปเข้าวงจรตรวจจับเฟส (Phase Detector) เพื่อสร้างสัญญาณที่เกิดจากความต่างเฟสของสัญญาณทั้งสองดังรูปที่ 3.22

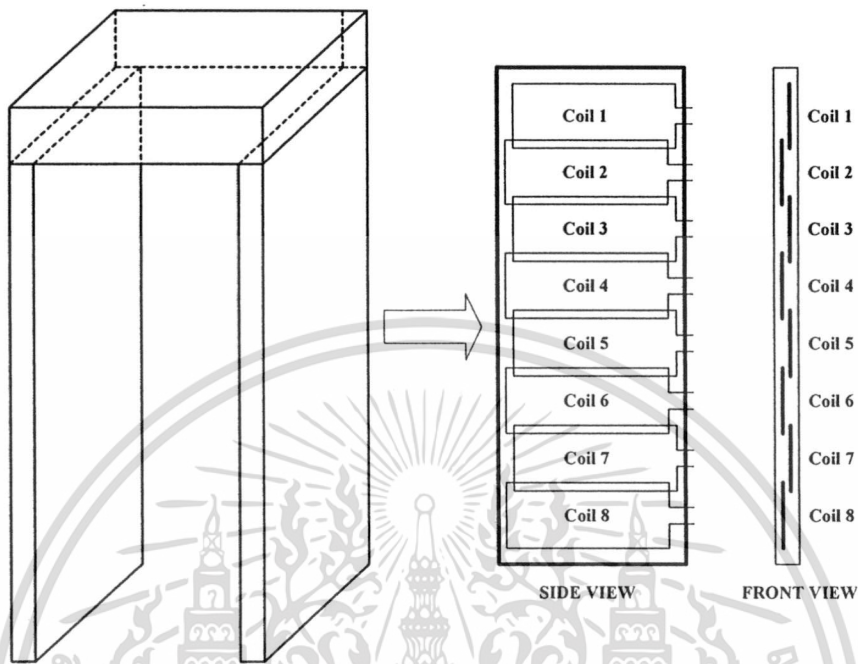


รูปที่ 3.22 ลักษณะสัญญาณเอาท์พุทของวงจรในส่วนต่างๆ ในเครื่องตรวจจับโลหะแบบเดินผ่าน

เมื่อมีโลหะเข้าใกล้ขดลวดค้นหาจะทำให้ค่าความต่างเฟสของสัญญาณทั้งสองมีการเปลี่ยนแปลง โดยสัญญาณทั้งสองจะมีความต่างเฟสมากขึ้นเมื่อโลหะนั้นเป็นชนิด Ferrous และความต่างเฟสของสัญญาณทั้งสองจะมีค่าลดลงถ้าเป็นโลหะชนิด Non-Ferrous หลังจากนั้นเราจะนำสัญญาณความต่างเฟสของสัญญาณทั้งสองนี้ไปผ่านวงจรกรองความถี่ต่ำ (Low-Pass Filter) เพื่อกรองคอมโพเนนต์ความถี่สูงออกไปซึ่งจะได้ค่าระดับแรงดันคิซีซีที่แปรผันตามค่าความต่างเฟสของสัญญาณทั้งสอง ก่อนที่จะส่งไปยังวงจรแปลงสัญญาณแอนาลอกเป็นดิจิตอลเพื่อส่งค่าระดับแรงดันที่ได้เข้าวงจรอิเล็กทรอนิกส์เพื่อเปรียบเทียบกับค่าแรงดันอ้างอิง (Reference Voltage) ที่ได้ทำการตั้งค่าไว้ หากค่าแรงดันเอาท์พุทจากวงจรกรองความถี่ต่ำที่วัดได้สูงกว่าค่าแรงดันอ้างอิงที่ตั้งค่าไว้ก็ให้ระบบทำการแสดงสัญญาณเตือนในรูปแบบแสงหรือเสียงในโชนที่ทำการตรวจพบโลหะเพื่อให้ผู้ทำการตรวจสอบทราบว่า มีโลหะผ่านเข้ามาในระบบตรวจจับโลหะ ณ โชนที่ตรวจพบโลหะ

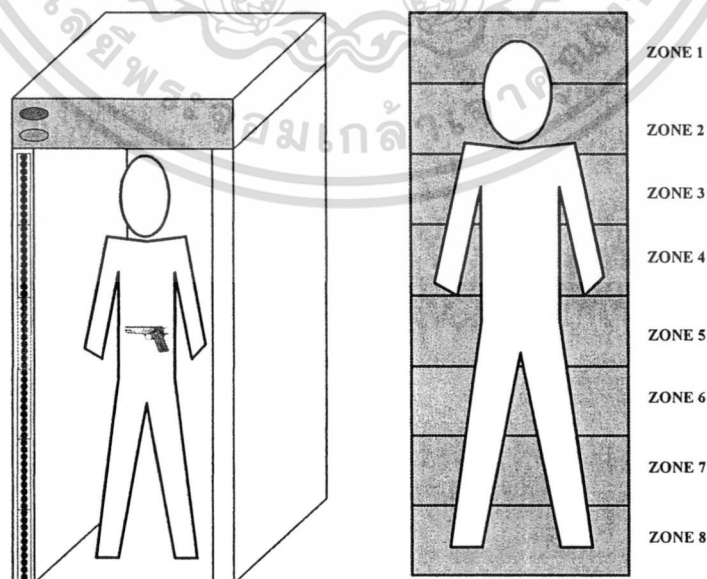
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับการติดตั้งขดลวดตรวจสอบในแต่ละโซนภายในเครื่องตรวจสอบโลหะแบบเดินผ่านชนิดหลายโซนสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.23



รูปที่ 3.23 การติดตั้งขดลวดตรวจสอบในแต่ละด้านของแต่ละโซนภายในเครื่องตรวจสอบโลหะแบบเดินผ่านชนิดหลายโซน (ขดลวดด้านตัวส่ง(Tx) และ ขดลวดด้านตัวรับ(Rx) จะมีรูปแบบการวางเหมือนกัน)

สำหรับลักษณะของต้นแบบเครื่องตรวจสอบโลหะแบบเดินผ่านชนิดหลายโซนที่จะทำการพัฒนาขึ้นจะมีลักษณะดังรูปที่ 3.24



รูปที่ 3.24 ต้นแบบเครื่องตรวจจับโลหะแบบเดินผ่านชนิดหลายโซนและรูปการแบ่งโซนการ

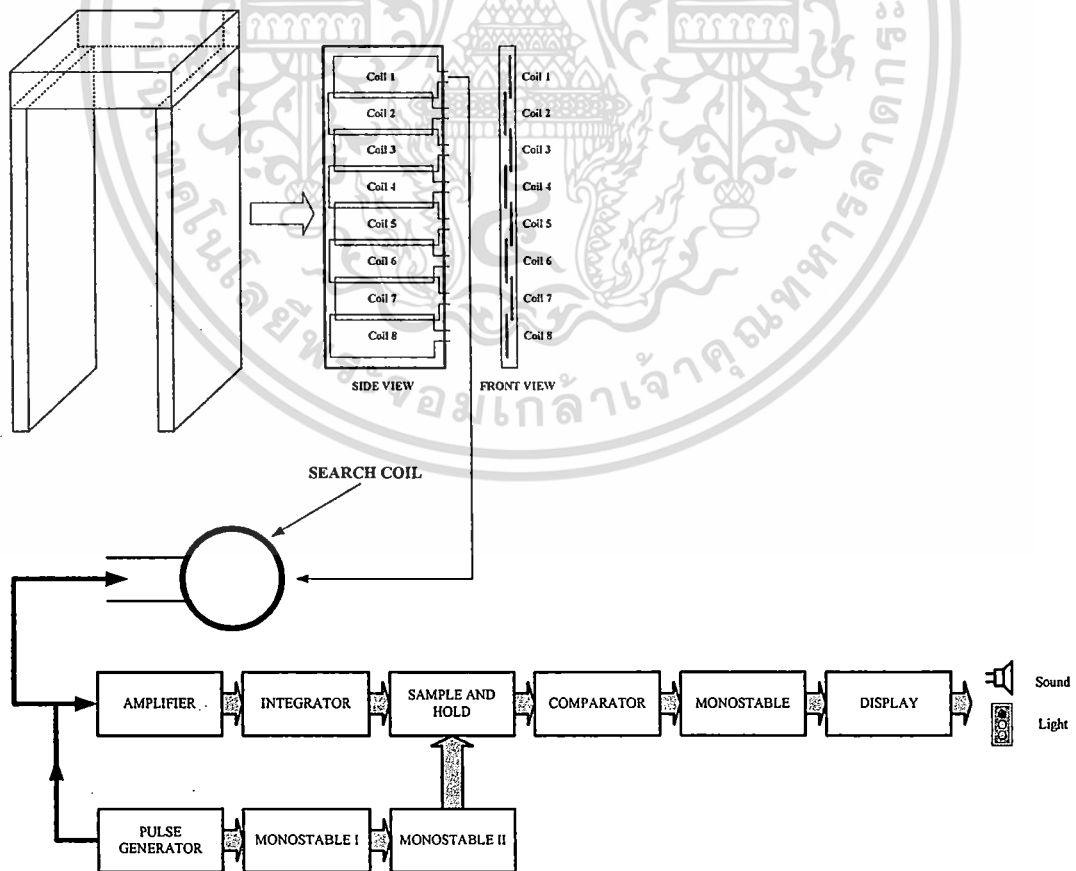
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อตรวจสอบเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

เครื่องตรวจสอบโลหะแบบเดินผ่านชนิดหลายโซน

สำหรับเครื่องตรวจสอบโลหะแบบเดินผ่านที่มีการใช้งานอยู่ในปัจจุบันขณะนี้จะใช้เทคนิคแตกต่างกันไป แต่จากการศึกษาของผู้วิจัยซึ่งได้ทำการศึกษาข้อมูลเทคนิคในการตรวจจับโลหะแบบต่างๆ พบว่าเทคนิคในการตรวจจับโลหะนั้นมีอยู่หลายวิธี แต่สำหรับการสร้างเครื่องตรวจจับโลหะแบบเดินผ่านนั้นมีวิธีที่นิยมนำมาใช้อยู่ 2 วิธี คือ วิธี IB Radiometer และ วิธี Pulse induction ซึ่งในแต่ละวิธีนั้นจะมีขั้นตอนและเทคนิคในการตรวจจับโลหะแตกต่างกันออกไป โดยจากการที่ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาและทดลองหาวิธีการที่เหมาะสมในการนำมาสร้างเครื่องตรวจจับโลหะแบบเดินผ่านชนิดหลายโซน ทางผู้วิจัยพบว่าวิธีการ Pulse induction เป็นวิธีหนึ่งที่เหมาะสมสำหรับการนำมาพัฒนาสร้างเป็นเครื่องตรวจจับแบบเดินผ่าน ซึ่งทางผู้วิจัยจะได้ทำการอธิบายวิธีการออกแบบและสร้างส่วนประกอบต่างๆของเครื่องตรวจจับโลหะแบบเดินผ่านชนิดหลายโซน โดยใช้เทคนิค Pulse induction ดังรายละเอียดต่อไปนี้

สำหรับเทคนิคการตรวจจับโลหะแบบPulse Induction จะมีการทำงานดังบล็อกไดอะแกรม ดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 บล็อกไดอะแกรมของเครื่องตรวจจับโลหะแบบเดินผ่านชนิดหลายโซนที่ใช้เทคนิคแบบ PULSE INDUCTION (1 โซน)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

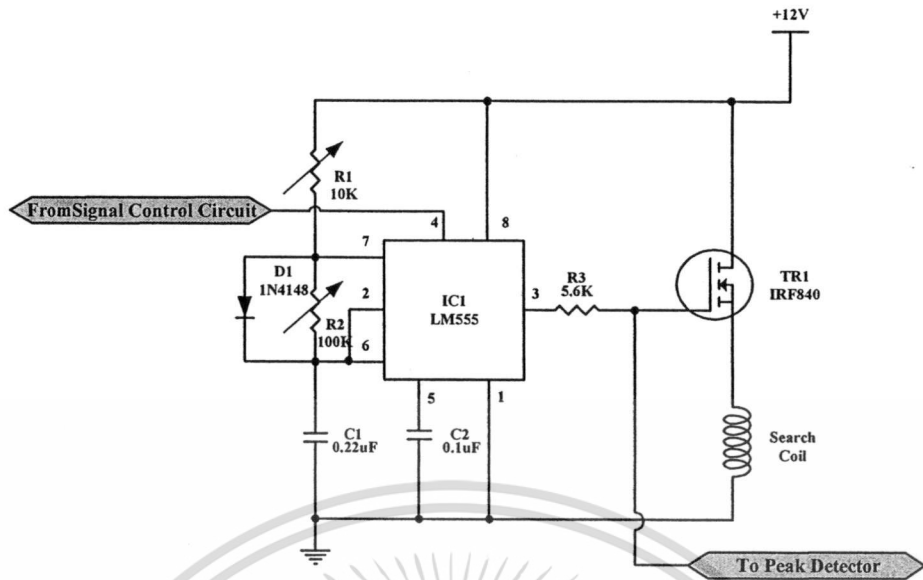
จากบล็อกไดอะแกรมในรูปที่ 4.1 ชุดตรวจสอบโลหะใน 1 โชนจะประกอบไปด้วยวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์ (Pulse Generator) ทำหน้าที่ส่งสัญญาณพัลส์ช่วงสั้นๆ (ในระบบนี้ใช้ประมาณ 50-100 พัลส์ ต่อวินาที ด้วยค่าความถี่ไซเคิลประมาณ 1-10 เปอร์เซนต์) เข้าไปในขดลวดค้นหา (Search Coil) ทำให้เกิดสนามแม่เหล็กรอบๆขดลวดค้นหา ที่ขอบขาลงของสัญญาณแต่ละพัลส์ สนามแม่เหล็กจะลดลง จนกระทั่งเมื่อแรงดันตกเป็นศูนย์ ทำให้ไม่มีกระแสไหลผ่านขดลวดค้นหา แต่ขดลวดจะสะสมพลังงานไว้ภายใน เกิดเป็น Back e.m.f ทำให้เกิดแรงดันตกคร่อมขดลวดในทิศทางตรงข้าม (Reverse Voltage) แต่เนื่องจากเป็นพลังงานสะสมจะสลายตัวลงจน Back e.m.f. ตกลงเป็นศูนย์เช่นกัน เมื่อมีโลหะไม่ว่าจะเป็นชนิด Ferrous หรือชนิด Non-Ferrous เข้ามาใกล้ขดลวดค้นหา โลหะนั้นจะได้รับผลจากสนามแม่เหล็กเกิดเป็น Eddy Current ที่โลหะนั้น ซึ่งจะส่งผลให้ระยะเวลาที่ Back e.m.f. จะตกลงเป็น 0 เพิ่มขึ้น จากผลดังกล่าวทำให้เราสามารถตรวจได้ว่ามีโลหะอยู่ใกล้ขดลวดค้นหาหรือไม่

สำหรับการตรวจจับโลหะ เราจะทำการขยายสัญญาณจากขดลวดค้นหา แล้วจึงนำสัญญาณที่ได้ไปผ่านวงจรรวมอินทิเกรเตอร์ (Integrator Circuit) ก่อนที่จะส่งไปยังวงจรแซมเปิลแอนด์โฮลด์ (Sample and Hold Circuit) โดยสัญญาณที่ใช้ในการแซมปลิง (Sampling) จะได้จากวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์ โดยจะทำการหน่วงเวลาโดยใช้วงจรโมนอสเตเบิล (Monostable Circuit) 2 ชุด ก่อนที่จะส่งไปควบคุมการแซมปลิงของวงจรแซมเปิลแอนด์โฮลด์ สัญญาณเอาต์พุตจากวงจรแซมเปิลแอนด์โฮลด์จะถูกไปเปรียบเทียบกับค่าระดับแรงดันที่ตั้งไว้โดยวงจรเปรียบเทียบแรงดัน (Comparator Circuit) ซึ่งถ้าหากค่าระดับแรงดันเกินค่าที่ตั้งไว้ ก็จะส่งสัญญาณเอาต์พุตไปจับวงจรแสดงผลเป็นเสียงและแสงเพื่อแสดงให้ผู้ควบคุมทราบว่า มีโลหะผ่านเข้ามาใกล้ขดลวดค้นหาใน โชนที่ทำการตรวจจับ โดยระยะเวลาในการส่งสัญญาณเตือนจะกำหนดได้โดยวงจรโมนอสเตเบิล

สำหรับรายละเอียดของวงจรในส่วนต่างๆ ที่ได้ทำการออกแบบและสร้างขึ้นมาสามารถแสดงได้ดังต่อไปนี้

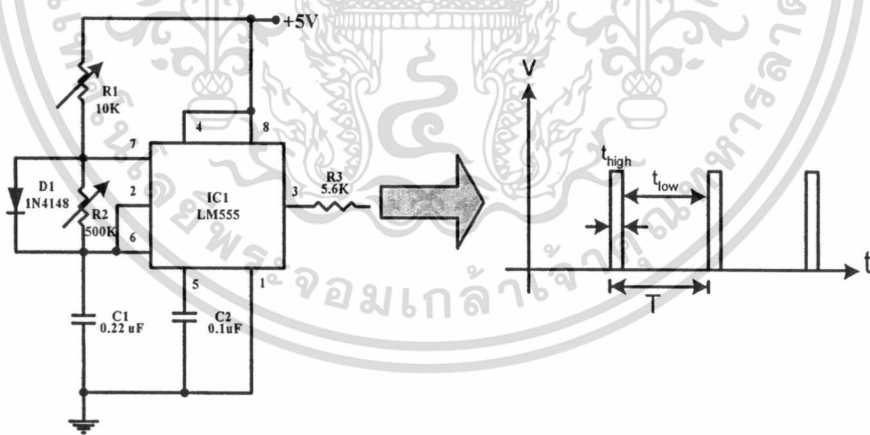
4.1 วงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์ (Pulse Generator)

สำหรับวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์ที่ใช้ในเครื่องตรวจจับโลหะแบบเดินผ่านชนิดหลายโชน นี้จะใช้ไอซี LM555 เป็นตัวกำเนิดสัญญาณพัลส์ โดยการควบคุมการทำงานจากวงจรควบคุมการตรวจจับสัญญาณ เอาต์พุตของไอซี LM555 จะถูกส่งไปขับ TR1 ซึ่งเป็นมอสเฟต (MOSFET) เบอร์ IRF840 เพื่อขยายสัญญาณก่อนที่จะส่งไปขับขดลวดค้นหาดังรูปที่ 4.2 และเอาต์พุตส่วนหนึ่งจะถูกส่งไปควบคุมการทำงานของวงจรตรวจจับสัญญาณแรงดันยอด



รูปที่ 4.2 วงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์ (Pulse Generator)

จากวงจรรูปที่ 4.2 ไอซี LM555 จะถูกต่อให้ทำงานในรูปแบบของวงจรอะสเตเบิล (Astable circuit) ดังวงจรในรูปที่ 4.3 โดยเราสามารถหาค่าคาบเวลาและความถี่ของสัญญาณเอาต์พุตสำหรับ ขั้วขดลวดค้นหาได้ดังนี้



รูปที่ 4.3 วงจรสร้างสัญญาณพัลส์โดยใช้ไอซี LM555

จากวงจรในรูปที่ 4.3 เราจะนำไดโอดมาต่อขนานกับ R2 เพื่อช่วยในการจัดค่าความถี่ (Duty-cycle) ของเอาต์พุตจากวงจร (ในวงจรนี้เราใช้ R1, R2 และ C1 ในการควบคุมการสร้างพัลส์ ที่ความถี่ต่างๆ) เราสามารถคำนวณหาค่าคาบเวลาที่เอาต์พุตมีค่าสูง (t_{high}), ค่าคาบเวลาที่เอาต์พุตมีค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่า (t_{low}), ค่าคาบเวลารวมทั้งหมด (T), ค่าความถี่ (f) และค่าความถี่เกิด ของวงจรได้จากสมการที่ (4.1), (4.2), (4.3), (4.4) และ (4.5) ตามลำดับ

$$t_{high} = 0.695 * R1 * C1 \quad (4.1)$$

$$t_{low} = 0.695 * R2 * C1 \quad (4.2)$$

$$T = 0.695 * (R1 + R2) * C1 \quad (4.3)$$

$$f = 1/T \quad (4.4)$$

$$\text{Duty Cycle}(\%) = (t_{high}/T) * 100 \quad (4.5)$$

จากสมการที่ (4.1) ถึง (4.5) เราสามารถหาค่าคาบเวลาที่เอาต์พุตมีค่าสูง (t_{high}), ค่าคาบเวลาที่เอาต์พุตมีค่าต่ำ (t_{low}), ค่าคาบเวลารวมทั้งหมด (T), ค่าความถี่ (f) และค่าความถี่เกิด ของวงจรในรูปแบบที่ 4.3 ได้ดังนี้

ในกรณีที่ปรับ $R1 = 1K$, $R2 = 100K$, $C1 = 0.22\mu F$ จะได้สัญญาณพัลส์ที่มีคุณสมบัติดังนี้

$$t_{high} = 0.695 * R2 * C1 = 0.695 * 1K * 0.22\mu F = 0.1529 \text{ ms}$$

$$t_{low} = 0.695 * R1 * C1 = 0.695 * 100K * 0.22\mu F = 15.29 \text{ ms}$$

$$T = 0.695 * (R1 + R2) * C1 = 0.695 * (100K + 1K) * 0.22\mu F = 15.4429 \text{ ms}$$

$$\text{ความถี่ของพัลส์} = 1/T = 1/15.4429 \text{ ms} = 64.75 \text{ Hz}$$

$$\text{Duty Cycle}(\%) = (t_{high}/T) * 100 = (0.1529/15.4429) * 100 = 0.99 \%$$

ดังนั้นกรณีที่ปรับ $R1 = 1K$, $R2 = 100K$, $C1 = 0.22\mu F$ เราจะได้สัญญาณพัลส์ที่มีค่าคาบเวลาที่เอาต์พุตมีค่าสูงเท่ากับ 0.1529 ms, ค่าคาบเวลาที่เอาต์พุตมีค่าต่ำเท่ากับ 15.29 ms, ค่าคาบเวลารวมทั้งหมดเท่ากับ 15.4429 ms, ค่าความถี่ (f) เท่ากับ 64.75 Hz และค่าความถี่เกิดเท่ากับ 0.99 %
 ไม่ว่าจะปรับใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในกรณีที่ปรับ $R_1 = 10K$, $R_2 = 100K$, $C_1 = 0.22\mu F$ จะได้สัญญาณพัลส์ที่มีคุณสมบัติดังนี้

$$t_{high} = 0.695 * R_2 * C_1 = 0.695 * 10K * 0.22\mu F = 1.529 \text{ ms}$$

$$t_{low} = 0.695 * R_1 * C_1 = 0.695 * 100K * 0.22\mu F = 15.29 \text{ ms}$$

$$T = 0.695 * (R_1 + R_2) * C_1 = 0.695 * (100K + 10K) * 0.22\mu F = 16.819 \text{ ms}$$

$$\text{ความถี่ของพัลส์} = 1/T = 1/16.819 \text{ ms} = 59.46 \text{ Hz}$$

$$\text{Duty Cycle(\%)} = (t_{high}/T) * 100 = (1.529/16.819) * 100 = 9.09 \%$$

ดังนั้นกรณีที่ปรับ $R_1 = 10K$, $R_2 = 100K$, $C_1 = 0.22\mu F$ เราจะได้สัญญาณพัลส์ที่มีค่าคาบเวลา
ที่เอาต์พุตมีค่าสูงเท่ากับ 1.529 ms, ค่าคาบเวลาที่เอาต์พุตมีค่าต่ำเท่ากับ 15.29 ms, ค่าคาบเวลารวม
ทั้งหมดเท่ากับ 16.819 ms, ค่าความถี่(f)เท่ากับ 59.46 Hz และค่าดีวตีไซเคิลเท่ากับ 9.09 %

ในกรณีที่ปรับ $R_1 = 1K$, $R_2 = 10K$, $C_1 = 0.22 \mu F$ จะได้สัญญาณพัลส์ที่มีคุณสมบัติดังนี้

$$t_{high} = 0.695 * R_2 * C_1 = 0.695 * 1K * 0.22\mu F = 0.1529 \text{ ms}$$

$$t_{low} = 0.695 * R_1 * C_1 = 0.695 * 10K * 0.22\mu F = 1.529 \text{ ms}$$

$$T = 0.695 * (R_1 + R_2) * C_1 = 0.695 * (10K + 1K) * 0.22\mu F = 1.6819 \text{ ms}$$

$$\text{ความถี่ของพัลส์} = 1/T = 1/1.6819 \text{ ms} = 594.57 \text{ Hz}$$

$$\text{Duty Cycle(\%)} = (t_{high}/T) * 100 = (0.1529/1.6819) * 100 = 9.09 \%$$

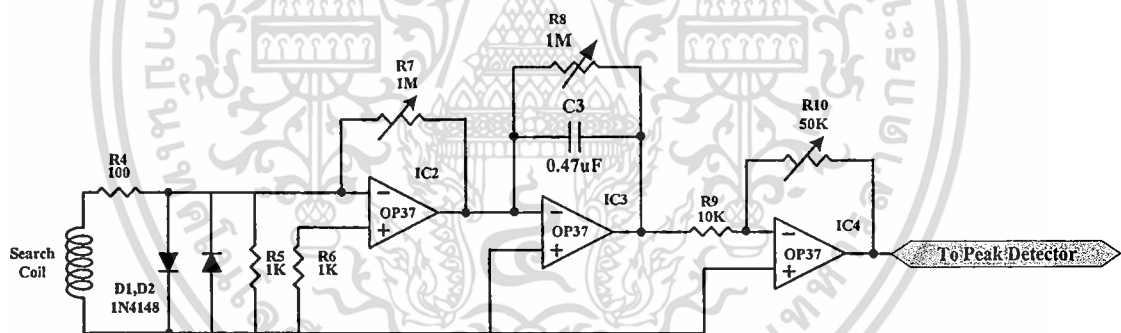
ดังนั้นกรณีที่ปรับ $R_1 = 1K$, $R_2 = 10K$, $C_1 = 0.22\mu F$ เราจะได้สัญญาณพัลส์ที่มีค่าคาบเวลาที่
เอาต์พุตมีค่าสูงเท่ากับ 0.1529 ms, ค่าคาบเวลาที่เอาต์พุตมีค่าต่ำเท่ากับ 1.529 ms, ค่าคาบเวลารวม
ทั้งหมดเท่ากับ 1.6819 ms, ค่าความถี่(f)เท่ากับ 594.57 Hz และค่าดีวตีไซเคิลเท่ากับ 9.09 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตัวอย่างจะเห็นว่าเราสามารถปรับเปลี่ยนความถี่และค่าควิตตี้ไซเคิลของวงจรได้โดยการปรับค่า R1 และ R2 ซึ่งความถี่และค่าควิตตี้ไซเคิลจะมีผลต่อค่าความไวในการตรวจจับโลหะ (Sensitivity) และค่าการสิ้นเปลืองพลังงานของวงจร (Power consumption) ดังนั้นในการใช้งานจริงเราจะต้องทำการปรับความถี่และค่าควิตตี้ไซเคิลของวงจรให้เหมาะสม เนื่องจากหากปรับความถี่และค่าควิตตี้ไซเคิลมากเกินไปวงจรจะกินกระแสไฟมากทำให้สิ้นเปลืองพลังงานมากเกินไป แต่ถ้าปรับค่าความถี่และค่าควิตตี้ไซเคิลน้อยเกินไปก็จะทำให้วงจรมีความไวในการตรวจจับโลหะต่ำ

4.2 วงจรตรวจจับสัญญาณ(Detector Circuit)

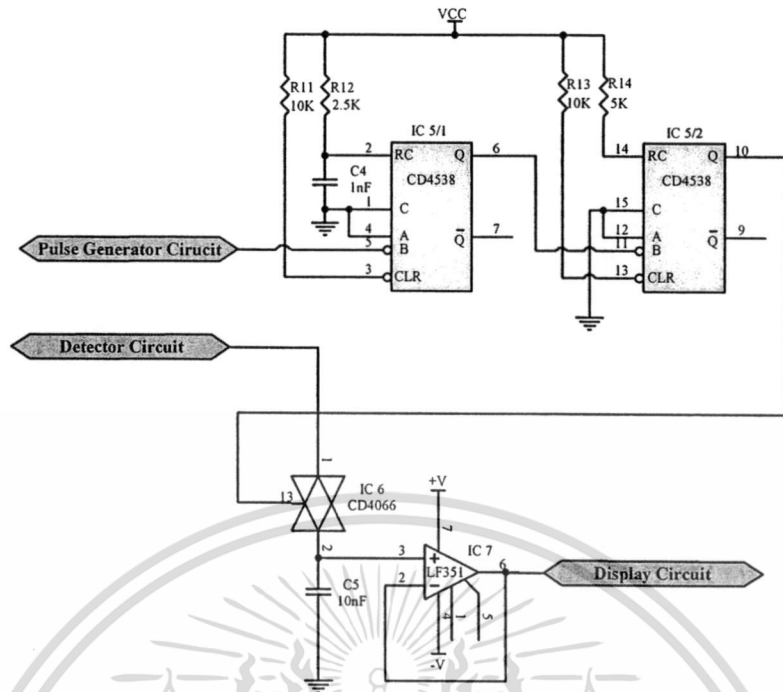
สำหรับวงจรตรวจจับสัญญาณจะประกอบด้วยไดโอด D1 และ D2 ต่อเป็นวงจรคลิปปิ่ง (Clipping Circuit) เพื่อทำหน้าที่ป้องกันอินพุตของออปแอมป์ IC2(OP37) ซึ่งต่อเป็นวงจรขยายสัญญาณ (Amplifier circuit) โดย IC2 จะทำหน้าที่ขยายสัญญาณจากวงจรคลิปปิ่ง ก่อนส่งไปยัง IC3(OP37) ซึ่งต่อเป็นวงจรอินทิเกรเตอร์ เอาท์พุทของวงจรอินทิเกรเตอร์ จะถูกส่งเข้าวงจรขยายสัญญาณเพื่อปรับขนาดแรงดันเอาท์พุทให้เหมาะสมก่อนจะส่งต่อไปยังวงจรตรวจจับสัญญาณแรงดันยอดต่อไป สำหรับลักษณะของวงจรตรวจจับสัญญาณสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 วงจรตรวจจับสัญญาณ (Detector Circuit)

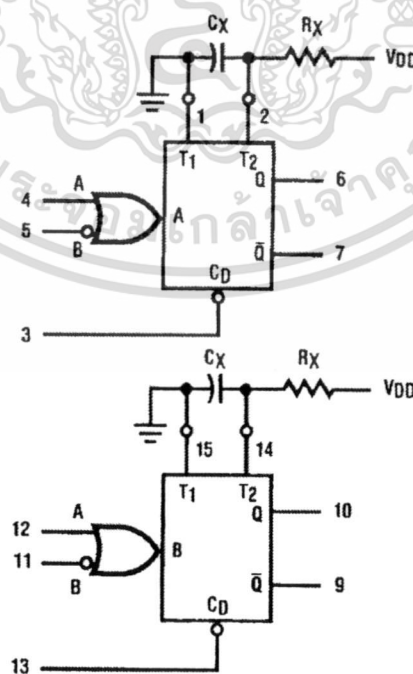
4.3 วงจรตรวจจับสัญญาณแรงดันยอด (Peak Detector)

วงจรตรวจจับสัญญาณแรงดันยอดทำหน้าที่ตรวจจับแรงดันยอดของสัญญาณที่ได้รับจากวงจรตรวจจับสัญญาณ เพื่อนำค่าแรงดันยอดที่ได้ส่งไปยังวงจรเปรียบเทียบแรงดันต่อไป โดยลักษณะของวงจรสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 วงจรตรวจจับสัญญาณแรงดันขด

จากรูปที่ 4.5 ลักษณะของวงจรจะใช้การตรวจจับสัญญาณแรงดันขดที่ใช้เทคนิคของการแซมเปิลแอนด์โฮลด์ (Sample and Hold circuit) โดยวงจรจะประกอบไปด้วย IC5 CD4538, IC6 CD4066 และ IC LF351 โดย IC CD4538 ซึ่งเป็นไอซีที่ประกอบด้วยวงจรโมโนสเตเบิล 2 ชุดดังแสดงในรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 วงจรภายใน IC CD4538

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.6 โดยในการนำมาใช้งานจะกำหนดการทำงานที่ขอบขาลง(Negative-going Transition) ของอินพุทโดยสามารถกำหนดกำหนดคาบเวลาของวงจรมอนอสเตเบิลแต่ละชุดได้ดังสมการที่ (4.6)

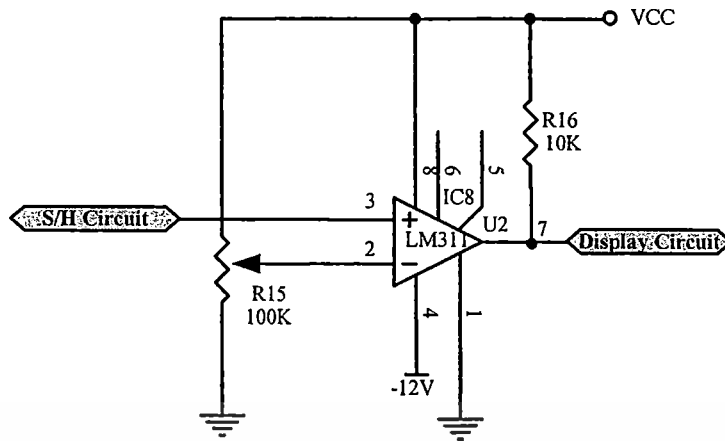
$$PW_{out} = R_x C_x \quad (4.6)$$

- เมื่อ PW_{out} คือ ค่าคาบเวลาเอาต์พุทของวงจรวินาที)
 R_x คือ ค่าความต้านทานที่ต่อภายนอกสำหรับกำหนดค่าคาบเวลา(โอห์ม)
 C_x คือ ค่าความจุไฟฟ้าที่ต่อภายนอกสำหรับกำหนดค่าคาบเวลา(ฟารัด)

จากวงจรในรูปที่ 4.5 การทำงานของวงจรมีดังนี้คือสัญญาณที่ได้จากเอาต์พุทของวงจรถูกนำเกิดสัญญาณพัลส์จะถูกป้อนให้กับอินพุทของ IC5/1 ที่ต่อเป็นวงจรมอนอสเตเบิลที่กำหนดการทำงานที่ขอบขาลง (Negative-going Transition) ของอินพุท โดยเราสามารถจะทำการปรับช่วงเวลาในการแซมเปิลได้โดยการปรับค่า R_x สัญญาณเอาต์พุทที่ได้จากวงจรมอนอสเตเบิลตัวที่ 1 จะถูกป้อนให้กับอินพุทของวงจรมอนอสเตเบิลตัวที่ 2 ที่กำหนดการทำงานที่ขอบขาลงเช่นเดียวกันกับวงจรมอนอสเตเบิลตัวที่ 1 โดยมีค่าคาบเวลาของพัลส์เอาต์พุทเท่ากับ 400 นาโนวินาทีโดยพัลส์เอาต์พุทของวงจรมอนอสเตเบิลตัวที่ 2 นี้จะถูกส่งไปควบคุมให้ IC6 CD4066 ซึ่งเป็นอะนาลอกสวิทช์ทำการปิดวงจรเพื่อทำการแซมเปิล (Sample) สัญญาณอินพุทที่ได้จากวงจรตรวจจับสัญญาณไปเก็บประจุที่ C5 แรงดันที่ตกคร่อม C5 จะถูกส่งผ่าน IC7 LF351 ซึ่งต่อเป็นบัฟเฟอร์ก่อนจะส่งสัญญาณที่แซมเปิลได้ไปยังวงจรเปรียบเทียบแรงดัน(Comparator circuit ต่อไป

4.4 วงจรเปรียบเทียบแรงดัน (Comparator Circuit)

วงจรเปรียบเทียบแรงดันจะทำหน้าที่ในการเปรียบเทียบค่าแรงดันที่ได้จากวงจรตรวจจับสัญญาณแรงดันยอดกับค่าแรงดันอ้างอิง(Voltage Reference: V_{ref}) หากแรงดันที่ได้จากวงจรตรวจจับสัญญาณแรงดันยอดสูงกว่าค่าแรงดันอ้างอิง วงจรเปรียบเทียบแรงดันก็จะสร้างสัญญาณส่งไปยังวงจรแสดงผล(Display circuit) เพื่อทำการเตือนให้ผู้ควบคุมทราบว่ามิโหลผ่านเข้ามาที่ขดลวดค้นหา สำหรับวงจรเปรียบเทียบแรงดันที่ใช้ในโครงการวิจัยนี้จะใช้ IC เบอร์ LM311 ซึ่งมีลักษณะการต่อวงจรดังรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 วงจรเปรียบเทียบแรงดัน

จากวงจรในรูปที่ 4.7 ด้วยคุณสมบัติของ IC LM311 ซึ่งทางด้านเอาต์พุตมีลักษณะการทำงานแบบสวิตช์ ที่ขา 7 สามารถต่อกับแหล่งจ่ายไฟอื่นที่มีขนาดสูงกว่าแหล่งจ่ายไฟลบ (ขา 4) ได้ถึง 40 โวลต์ แต่ในส่วนของวงจรมีจะต่อกับแหล่งจ่ายไฟ 5 โวลต์ โดยมี R16 ต่อไว้เพื่อจำกัดกระแสเอาต์พุต โดยจากลักษณะการทำงานแบบสวิตช์นั้นเมื่อ ขา 2 มีแรงดันสูงกว่า 3 จะทำให้สวิตช์เปิดวงจรแรงดันที่เอาต์พุตจะเท่ากับแหล่งจ่ายไฟที่ต่อกับขา 7 ซึ่งก็คือ 5 โวลต์ แต่เมื่อแรงดันที่ขา 2 (V_{ref}) ต่ำกว่าที่ขา 3 (แรงดันจากวงจรตรวจจับสัญญาณแรงดันยอค) ก็จะทำให้สวิตช์ปิดวงจรเอาต์พุตที่ขา 7 ก็จะถูกต่อกับขา 1 ซึ่งต่ออยู่กับกราวด์ แรงดันเอาต์พุตก็จะเป็น 0 ซึ่งเรานำสัญญาณนี้ไปกระตุ้นให้วงจรแสดงผลทำงาน

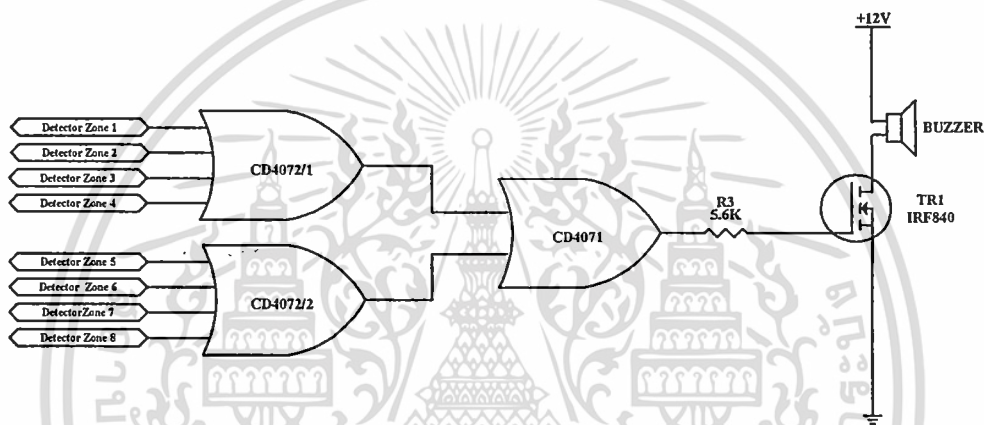
4.5 วงจรแสดงผล (Display circuit)

วงจรแสดงผลจะประกอบด้วย IC LM555 ต่อเป็นวงจรโมโนสเตเบิล (Monostable circuit) โดยรับสัญญาณควบคุมมาจากวงจรเปรียบเทียบแรงดัน เมื่อมีโลหะผ่านเข้ามาในขดลวดค้นหาจะทำให้วงจรเปรียบเทียบแรงดันส่งพัลส์มาที่ขา 2 ของ IC LM555 ให้วงจรโมโนสเตเบิลทำงานสร้างแรงดันเอาต์พุตของ IC LM555 ที่ขา 3 ออกมา ซึ่งแรงดันเอาต์พุตจะส่งไปขับ TR2 BD681 ให้ขับ LED สีแดง และส่งสัญญาณไปยังวงจรส่งสัญญาณเตือนเพื่อทำการส่งเสียงเตือนออกมาให้ผู้ควบคุมทราบว่ามีโลหะผ่านเข้ามาที่ขดลวดค้นหาในโซนที่ทำการตรวจสอบ แต่หากไม่มีโลหะผ่านเข้ามาในขดลวดค้นหาเอาต์พุตของ IC 555 จะเป็นศูนย์ทำให้ TR3 E3055 และ TR4 BD681 ทำงานส่งผลให้ LED สีเขียวสว่างเพื่อแสดงผลให้ผู้ควบคุมทราบว่าไม่มีโลหะผ่านเข้ามาที่ขดลวดค้นหาในโซนที่ทำการตรวจสอบ โดยลักษณะของวงจรแสดงผลสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.8

ตรวจจับโลหะทั้ง 8 โซนให้ทำงานเรียงลำดับกันไป จากโซนที่ 1 ถึงโซนที่ 8 เมื่อครบแล้วก็จะเริ่มทำการวนกลับมาที่โซนที่ 1 ใหม่เป็นดังนี้ไปเรื่อย ๆ โดยความเร็วและคาบเวลาในการตรวจจับโลหะในแต่ละโซนจะขึ้นอยู่กับค่าความถี่ของสัญญาณที่สร้างขึ้นจากไอซี LM555

4.7 วงจรส่งสัญญาณเตือน(Alarm Circuit)

วงจรส่งสัญญาณเตือนจะรับสัญญาณมาจากวงจรแสดงผลของวงจรตรวจจับโลหะในแต่ละโซนเพื่อนำไปขับบัชเซอร์(Buzzer)ส่งเสียงเตือนออกมาให้ผู้ควบคุมทราบว่ามีโลหะผ่านเข้ามาที่ขดลวดค้นหาในโซนที่ทำการตรวจสอบ โดยลักษณะของวงจรส่งสัญญาณเตือนสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.10



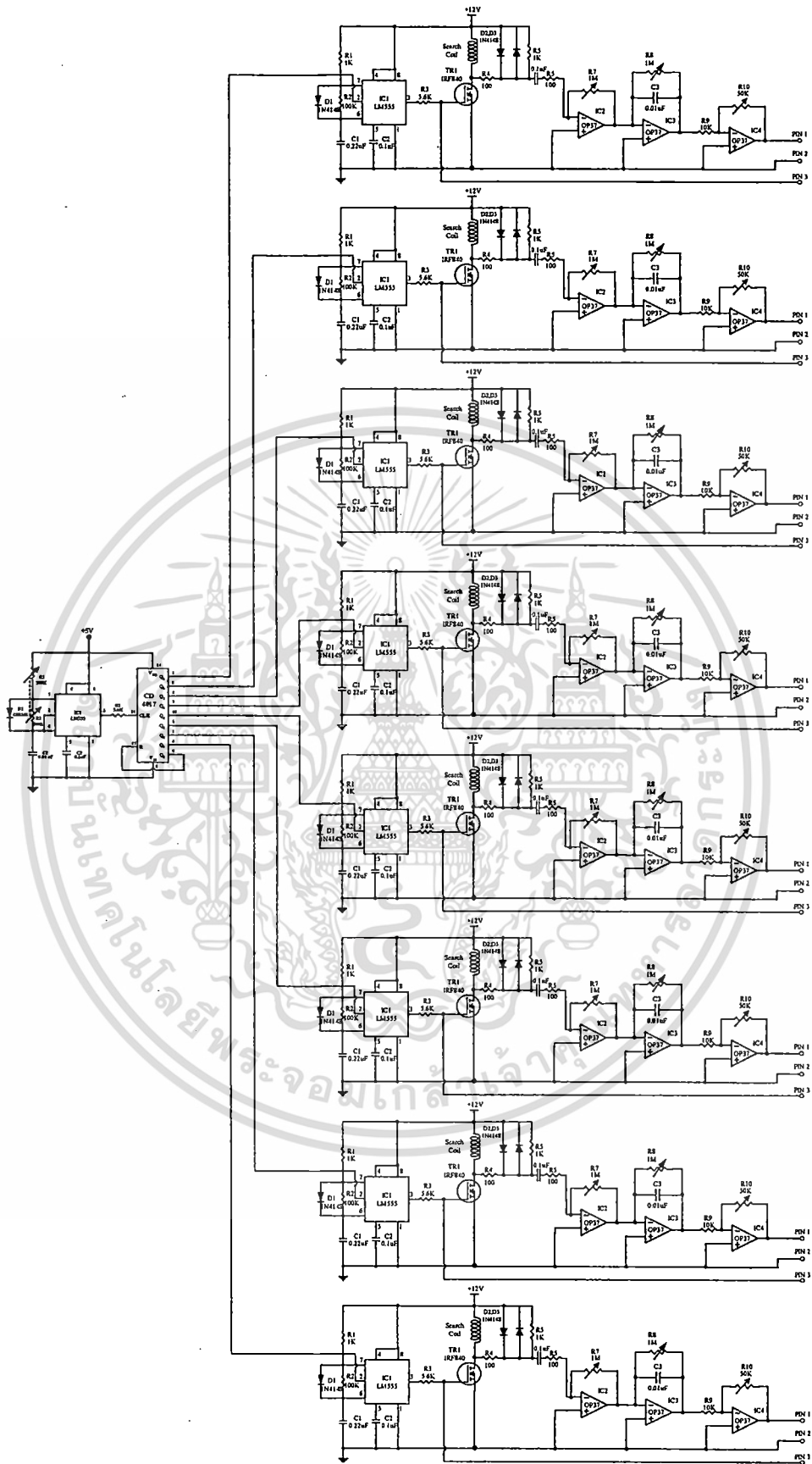
รูปที่ 4.10 วงจรส่งสัญญาณเตือน

4.8 ขดลวดค้นหา(Detection Coil)

สำหรับขดลวดค้นหาที่ใช้ในการตรวจจับโลหะแต่ละโซนจะประกอบลวดทองแดงเบอร์ 25 พันรอบแกนที่ทำด้วยพลาสติกวงกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 18 เซนติเมตร จำนวน 50 รอบ

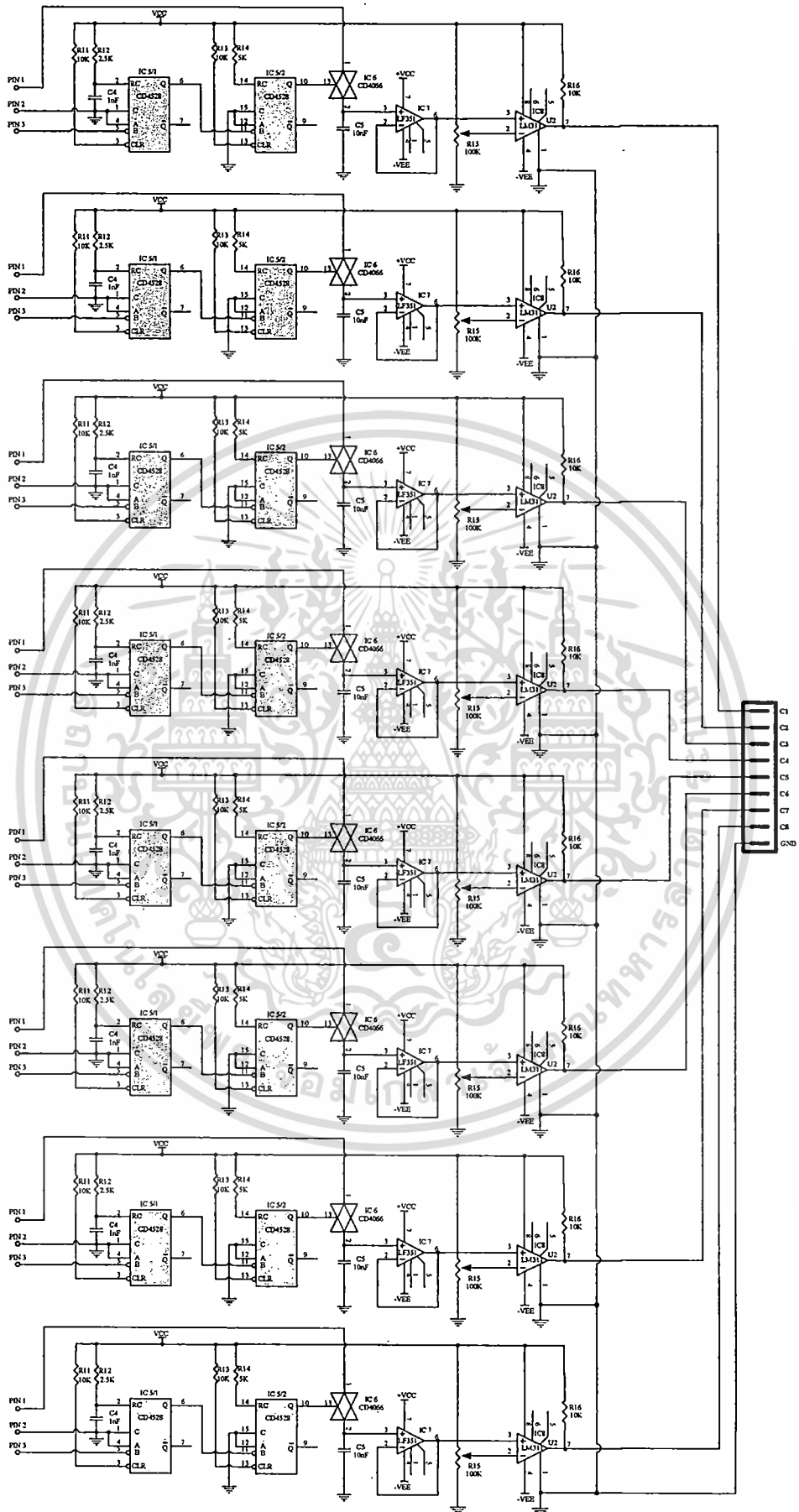
4.9 เครื่องตรวจสอบโลหะแบบเดินผ่านชนิดหลายโซน

จากรายละเอียดของวงจรอิเล็กทรอนิกส์ในส่วนต่างๆที่ออกแบบขึ้นมาเราสามารถแยกวงจรของเครื่องตรวจสอบโลหะแบบเดินผ่านชนิดหลายโซนออกเป็น 3 ส่วนด้วยกันเพื่อความสะดวกในการออกแบบแผ่นวงจรพิมพ์ดังรูปที่ 4.11 ถึงรูปที่ 4.13

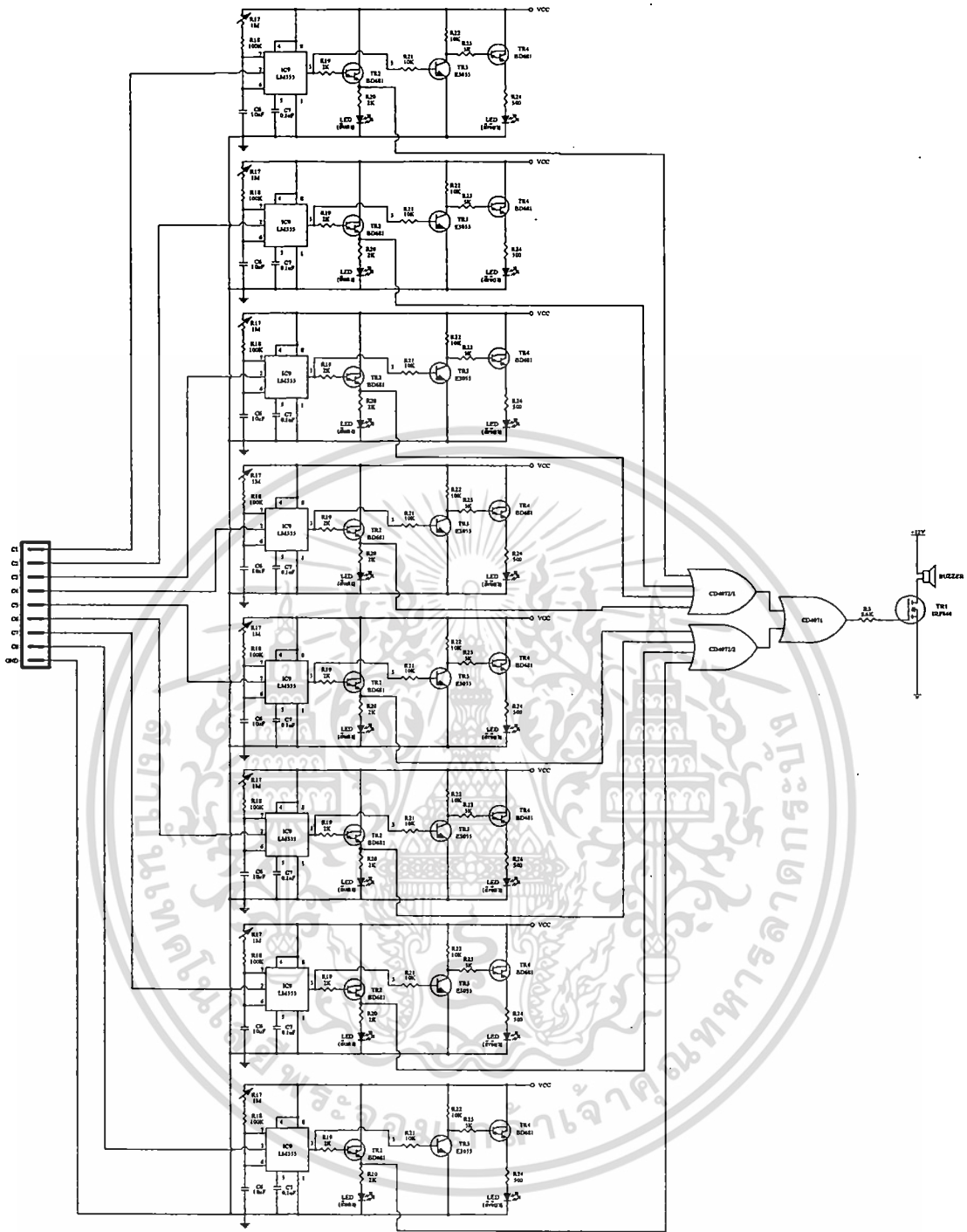


รูปที่ 4.11 วงจรอิเล็กทรอนิกส์สำหรับขั้วขดลวดค้นหา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น. เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนรูปที่ 4.12 วงจรอิตีกรอนิกส์สำหรับตรวจจับสัญญาณไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

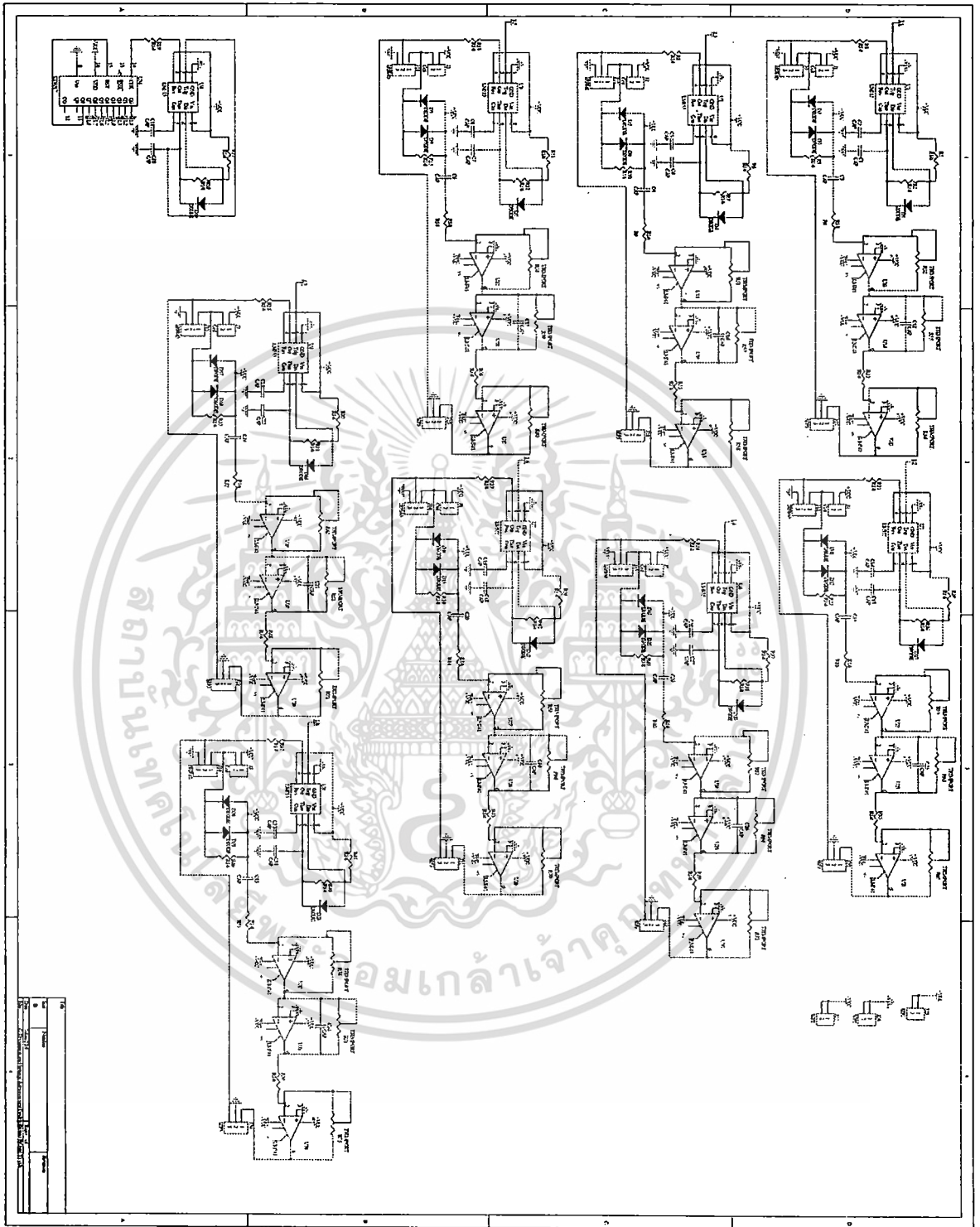


รูปที่ 4.13 วงจรอิเล็กทรอนิกส์สำหรับการแสดงผล

4.10 การออกแบบแผ่นวงจรพิมพ์สำหรับเครื่องตรวจสอบโลหะแบบเดินผ่านชนิดหลาย

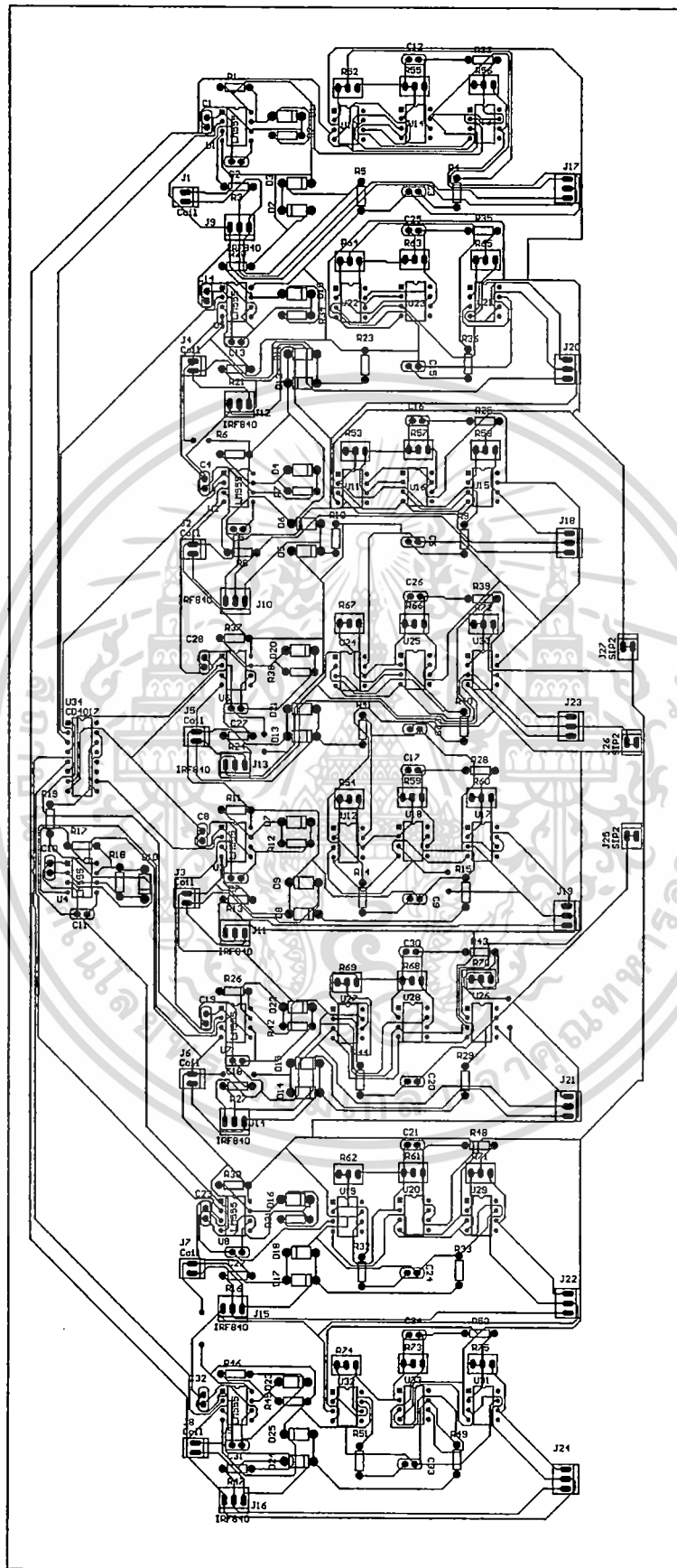
โซน

จากวงจรอิเล็กทรอนิกส์ในส่วนต่างๆของเครื่องตรวจสอบโลหะแบบเดินผ่านชนิดหลายโซนที่แสดงในรูปที่ 4.11 ถึง รูปที่ 4.13 เราสามารถออกแบบแผ่นวงจรพิมพ์สำหรับวงจรในเอกสารส่วนนี้ต่างได้ดังรูปที่ 4.14 ถึง 4.25 ใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



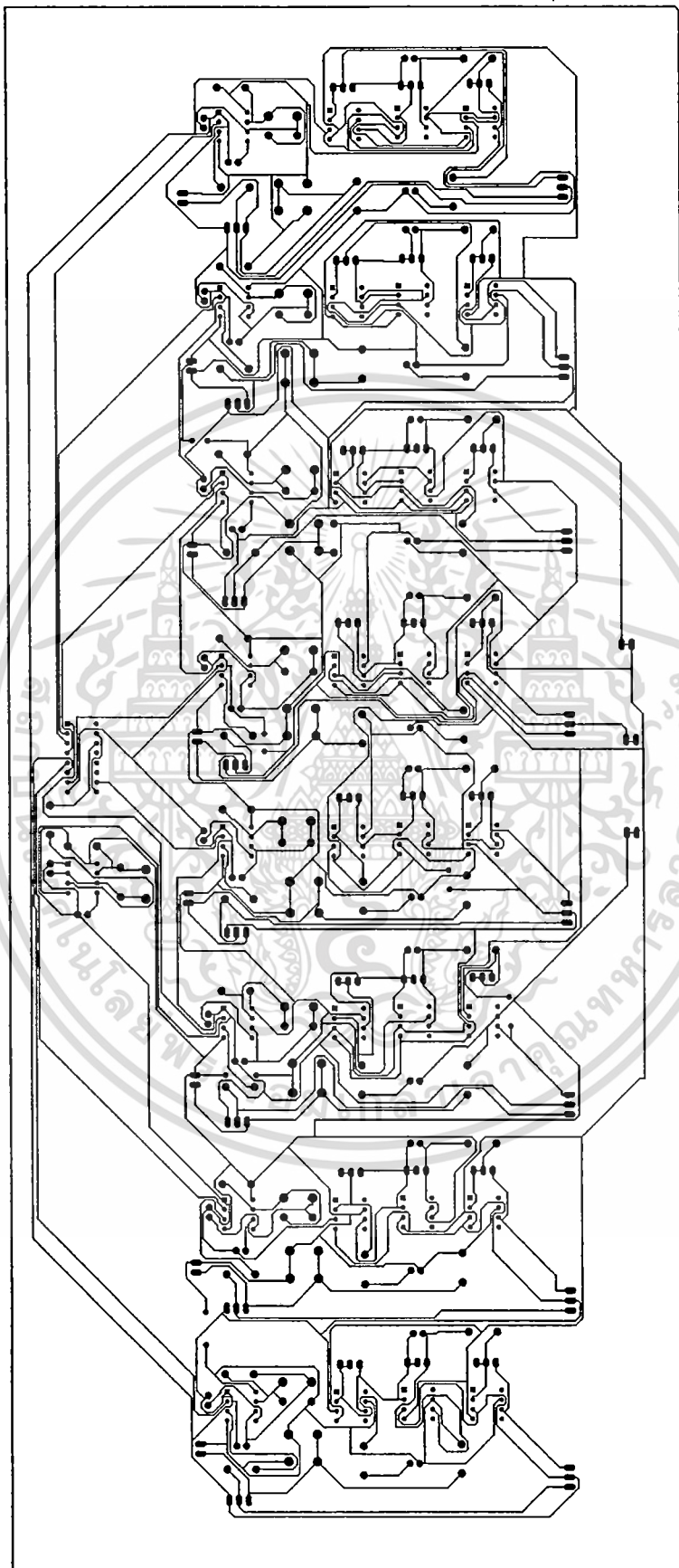
รูปที่ 4.14 วงจรอิเล็กทรอนิกส์สำหรับขับหลอดคั่นหา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



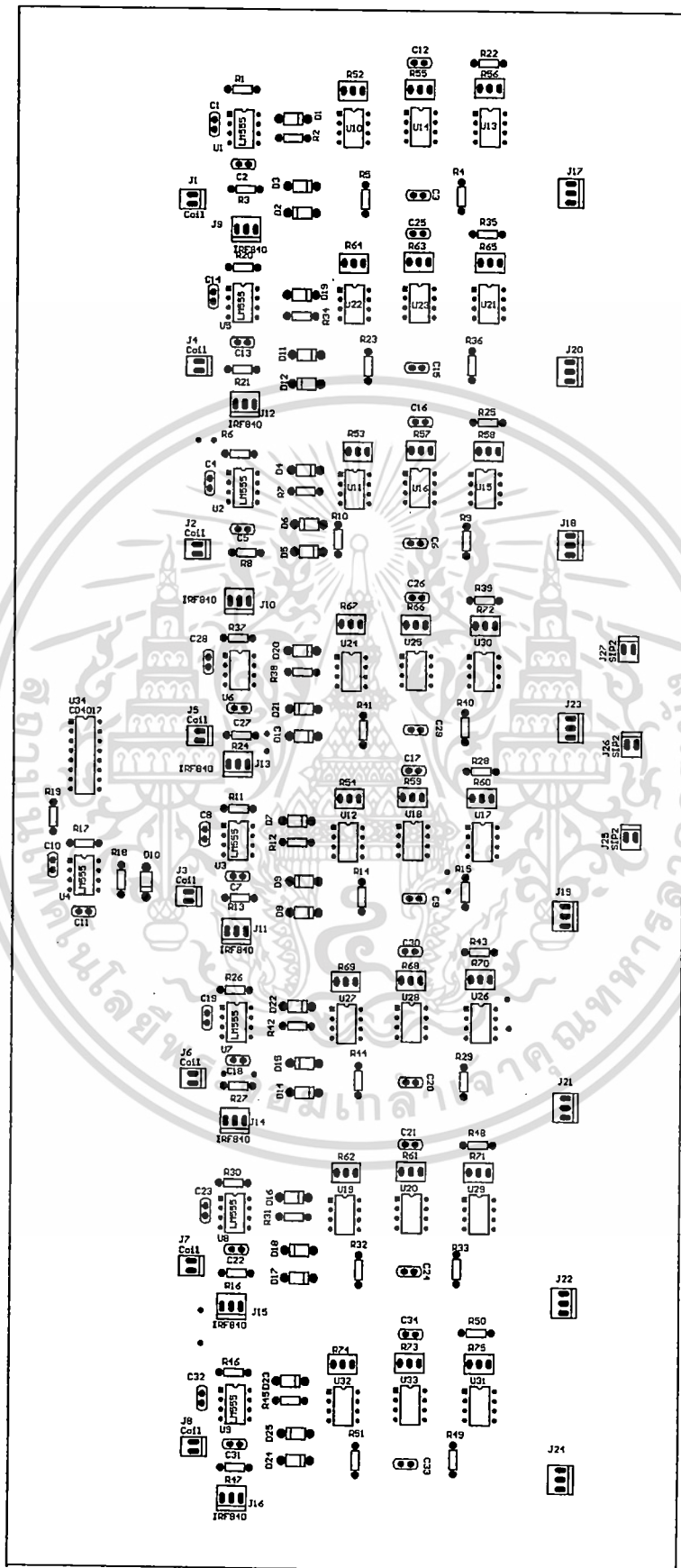
108.84.10007

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่วางไว้สำหรับเอาไว้สำหรับเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 รูปที่ 4.15 ลายวงจรพิมพ์และการลงอุปกรณ์สำหรับวงจรขับเคลื่อนคลวดคั่นหา
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



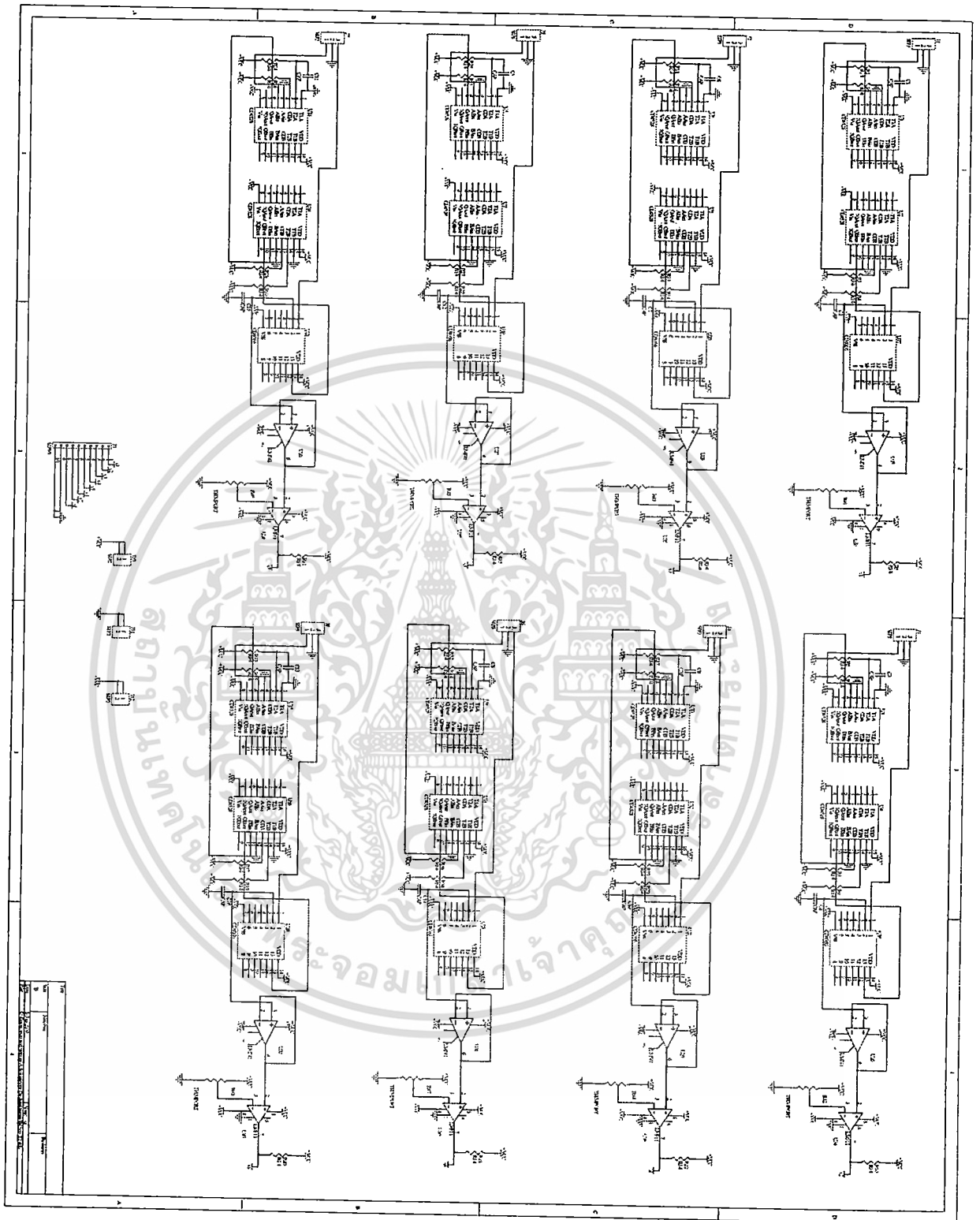
025-54-4303

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในวงจำกัดเท่านั้น ไม่ควรเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
รูปที่ 4.16 ลายวงจรพิมพ์สำหรับวงจรจับขาดลวดค้นหา
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



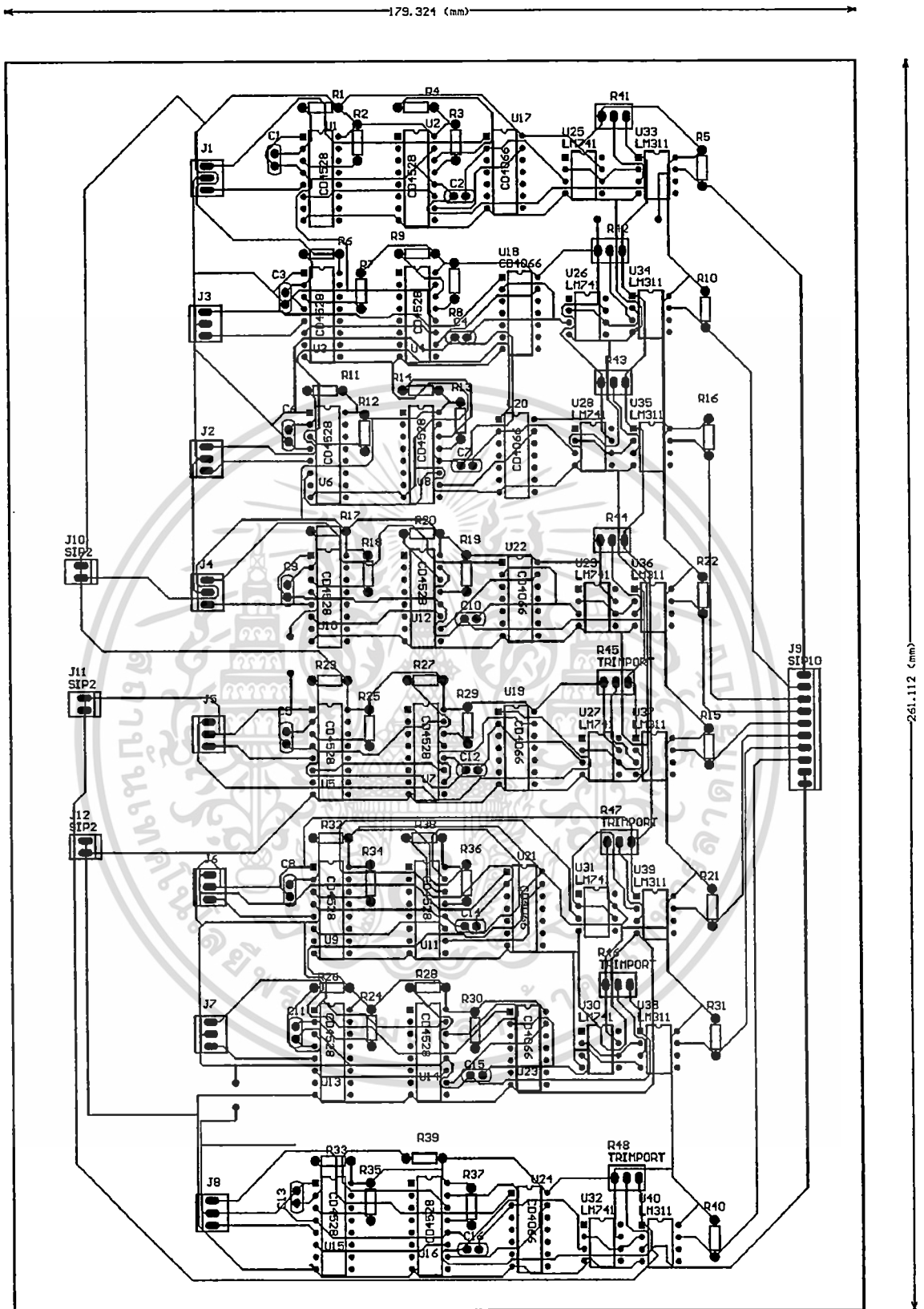
06-84 (cont.)

รูปที่ 4.17 การลงอุปกรณ์สำหรับวงจรขับขดลวดค้นหา
 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับภายในของหน่วยงานนี้ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



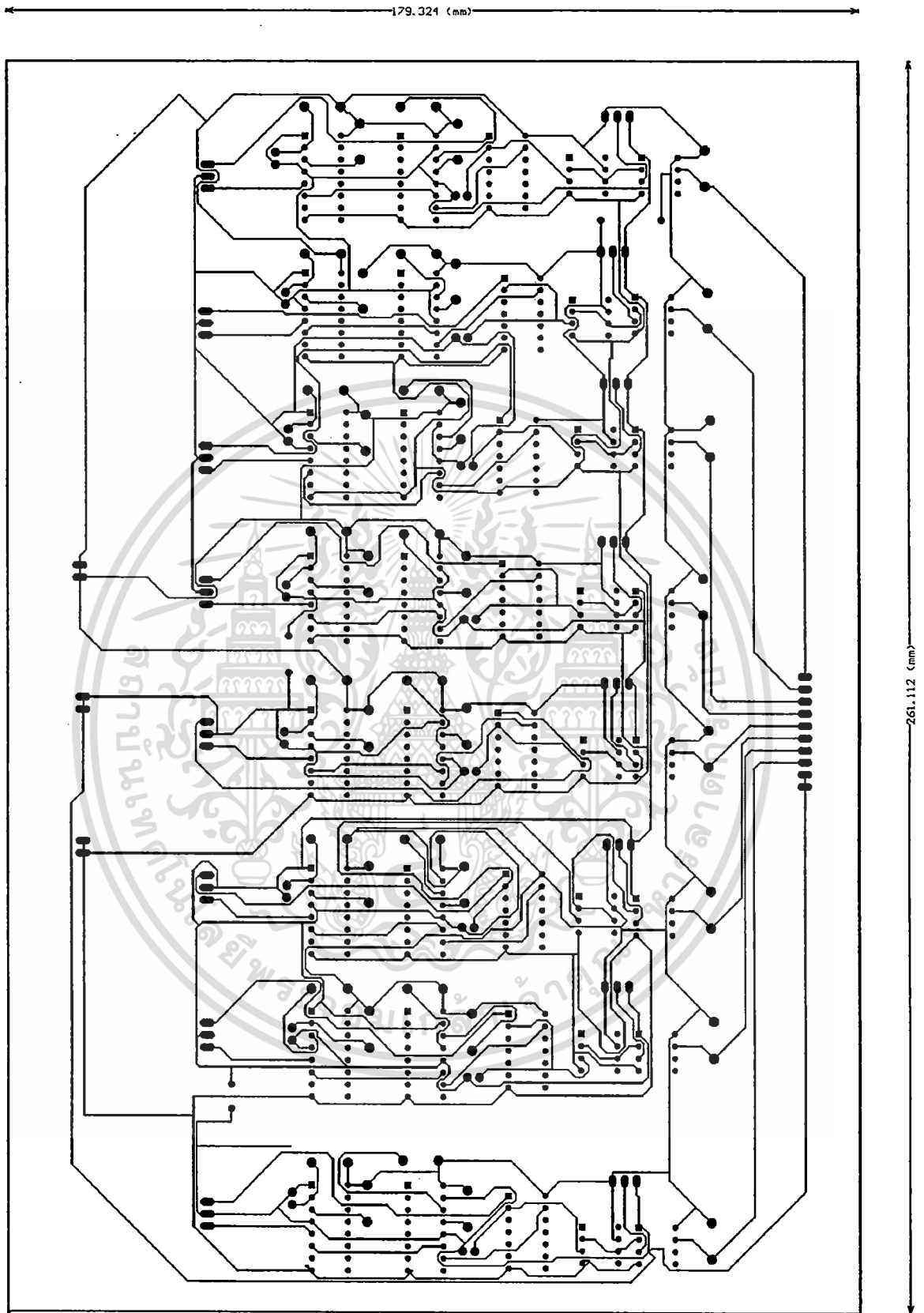
รูปที่ 4.18 วงจรอิเล็กทรอนิกส์สำหรับตรวจจับสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



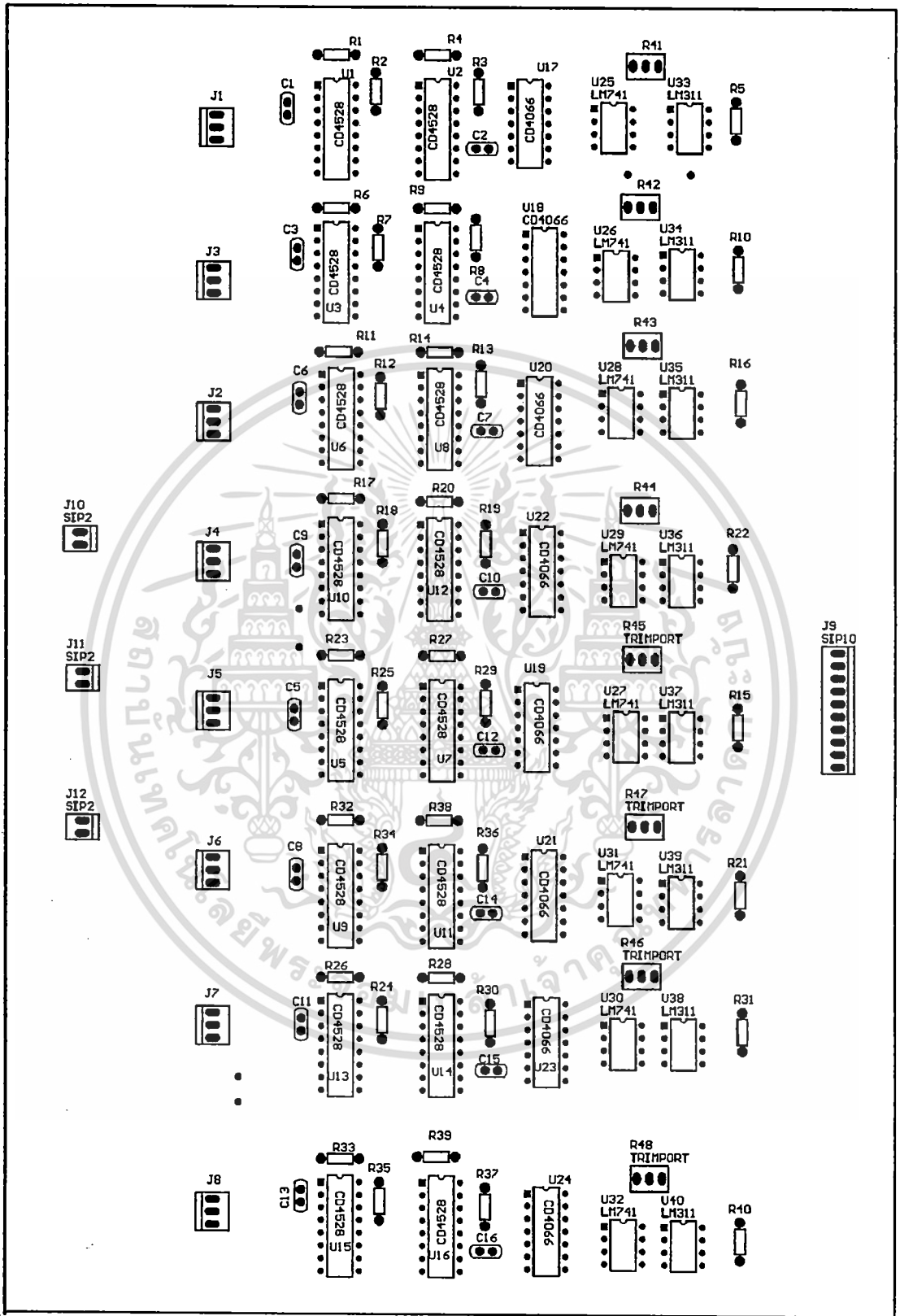
รูปที่ 4.19 ลายวงจรพิมพ์และการลงอุปกรณ์ของวงจรอิเล็กทรอนิกส์สำหรับตรวจจับสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



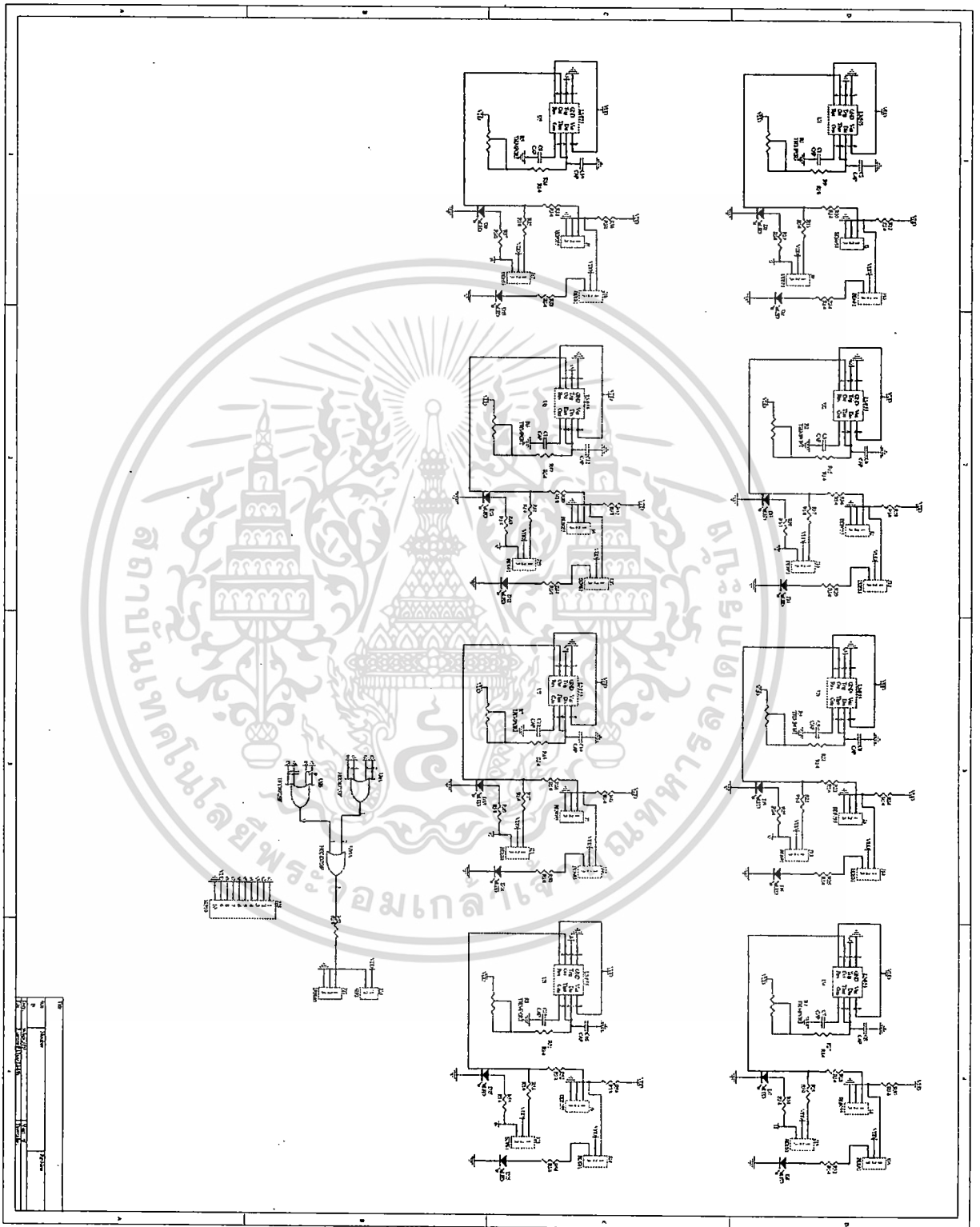
รูปที่ 4.20 ลายวงจรพิมพ์ของวงจรอิเล็กทรอนิกส์สำหรับตรวจจับสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



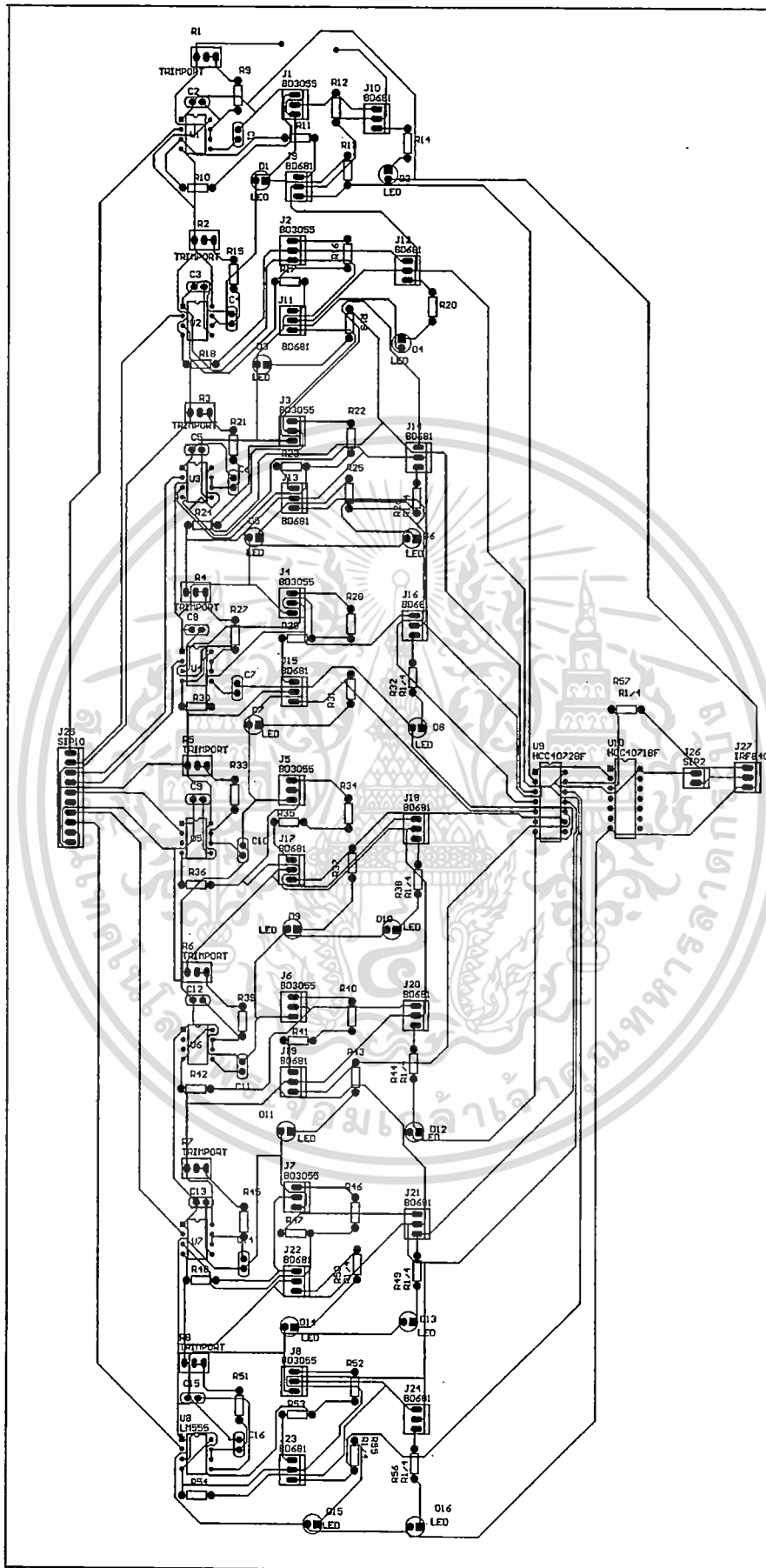
รูปที่ 4.21 การลงอุปกรณ์ของวงจรอิเล็กทรอนิกส์สำหรับตรวจจับสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



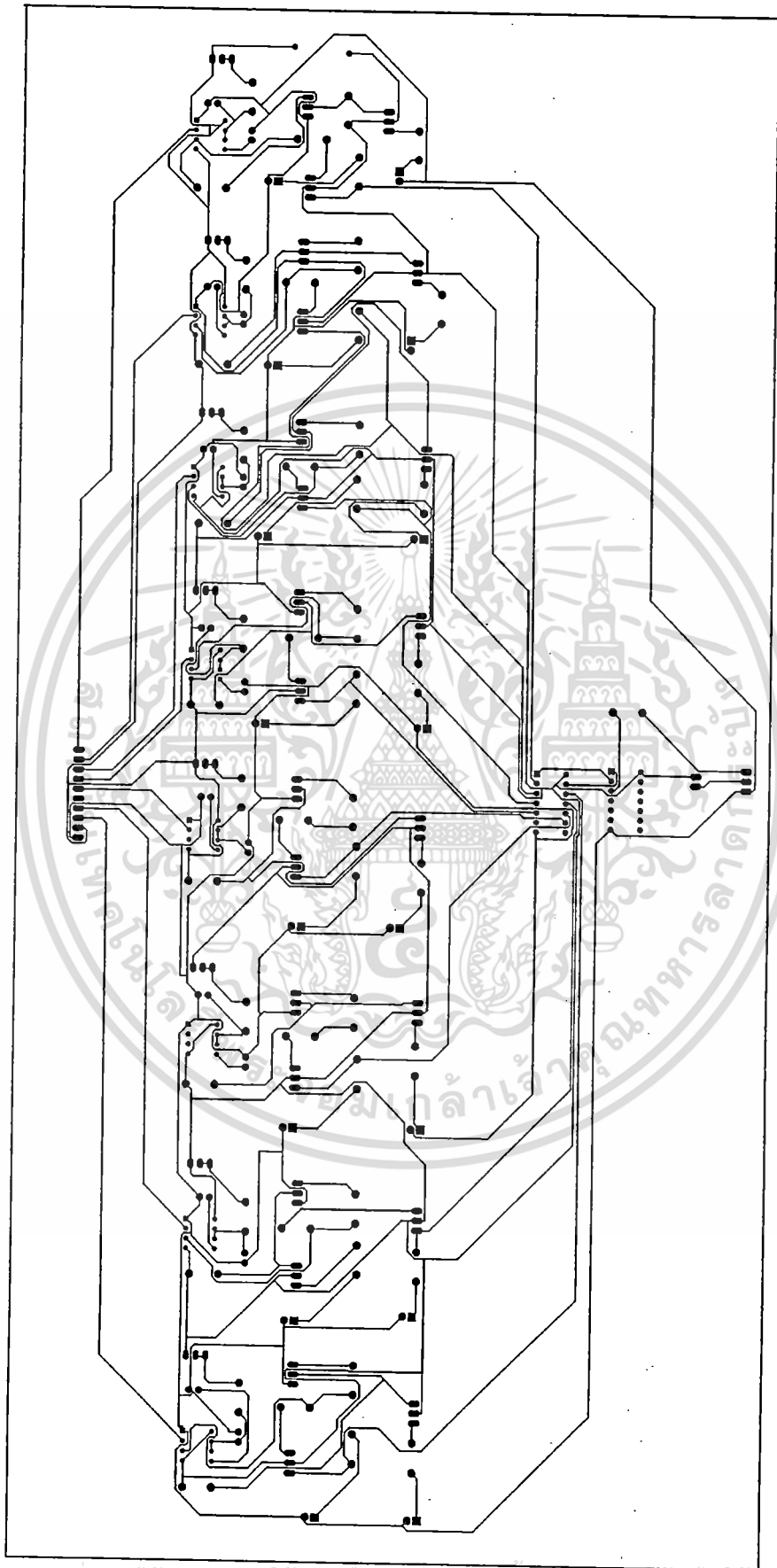
รูปที่ 4.22 วงจรอิเล็กทรอนิกส์สำหรับการแสดงผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



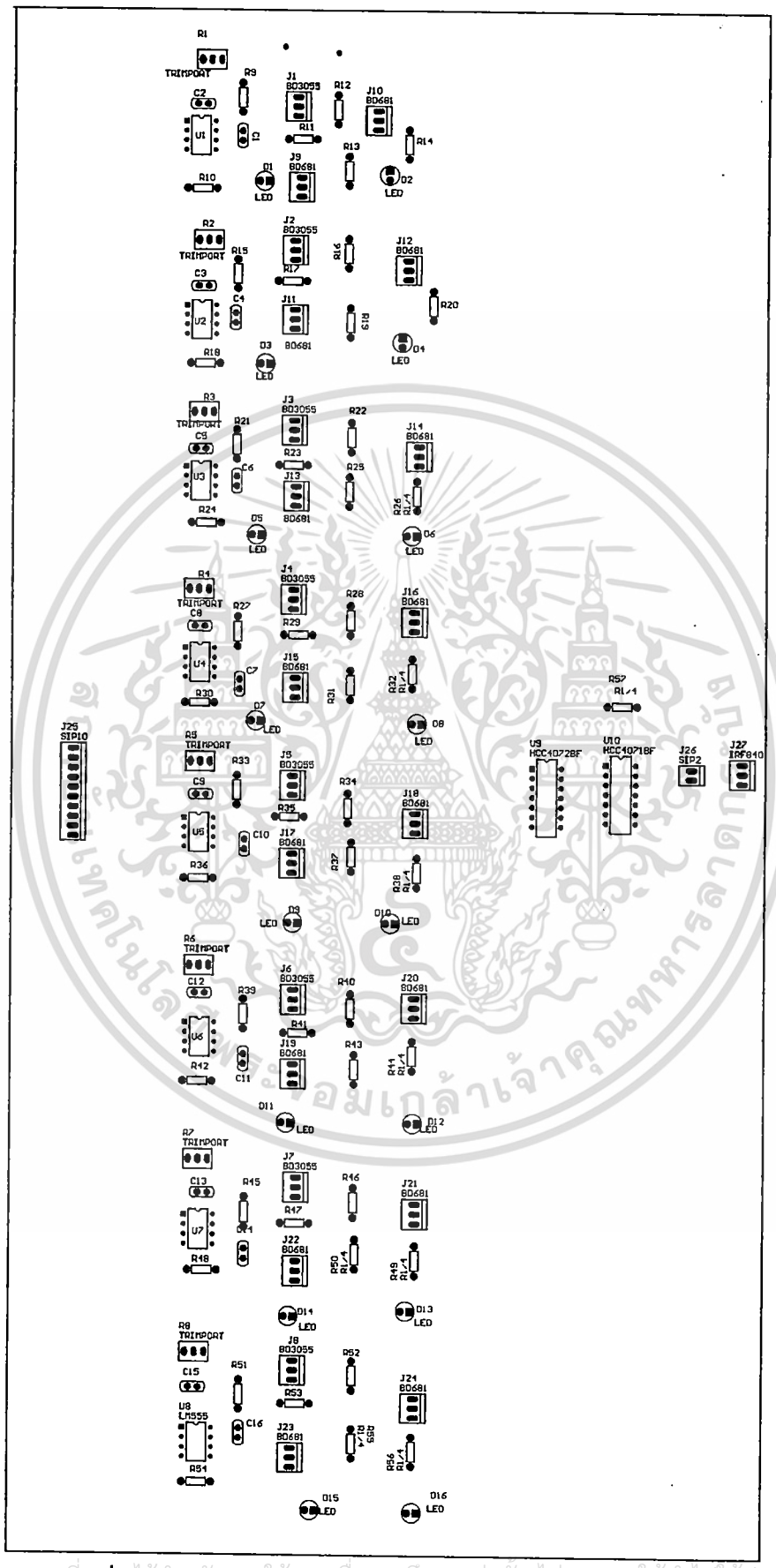
IC2-335 (mm2)

รูปที่ 4.23 ลายวงจรพิมพ์และการลงอุปกรณ์ของวงจรถอนิกส์สำหรับการแสดงผล
 เอกสารนี้เป็นทรัพย์สินของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ไม่ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



102.306 (mm)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่นำไปสำหรับงานวิจัยเพื่อการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 รูปที่ 4.24 ลายวงจรพิมพ์ของวงจรอิเล็กทรอนิกส์สำหรับการแสดงผล
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

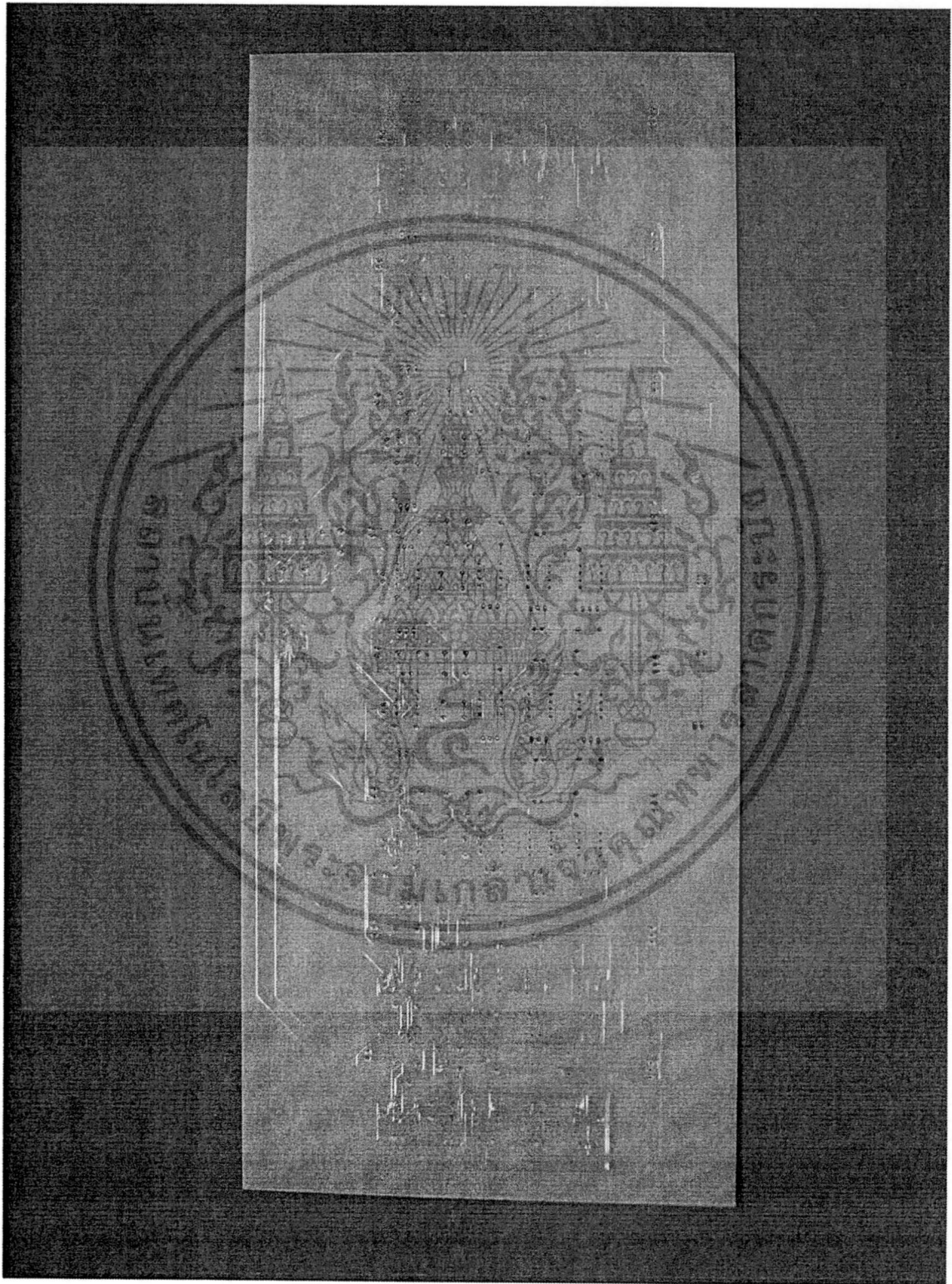


021.306 (rev)

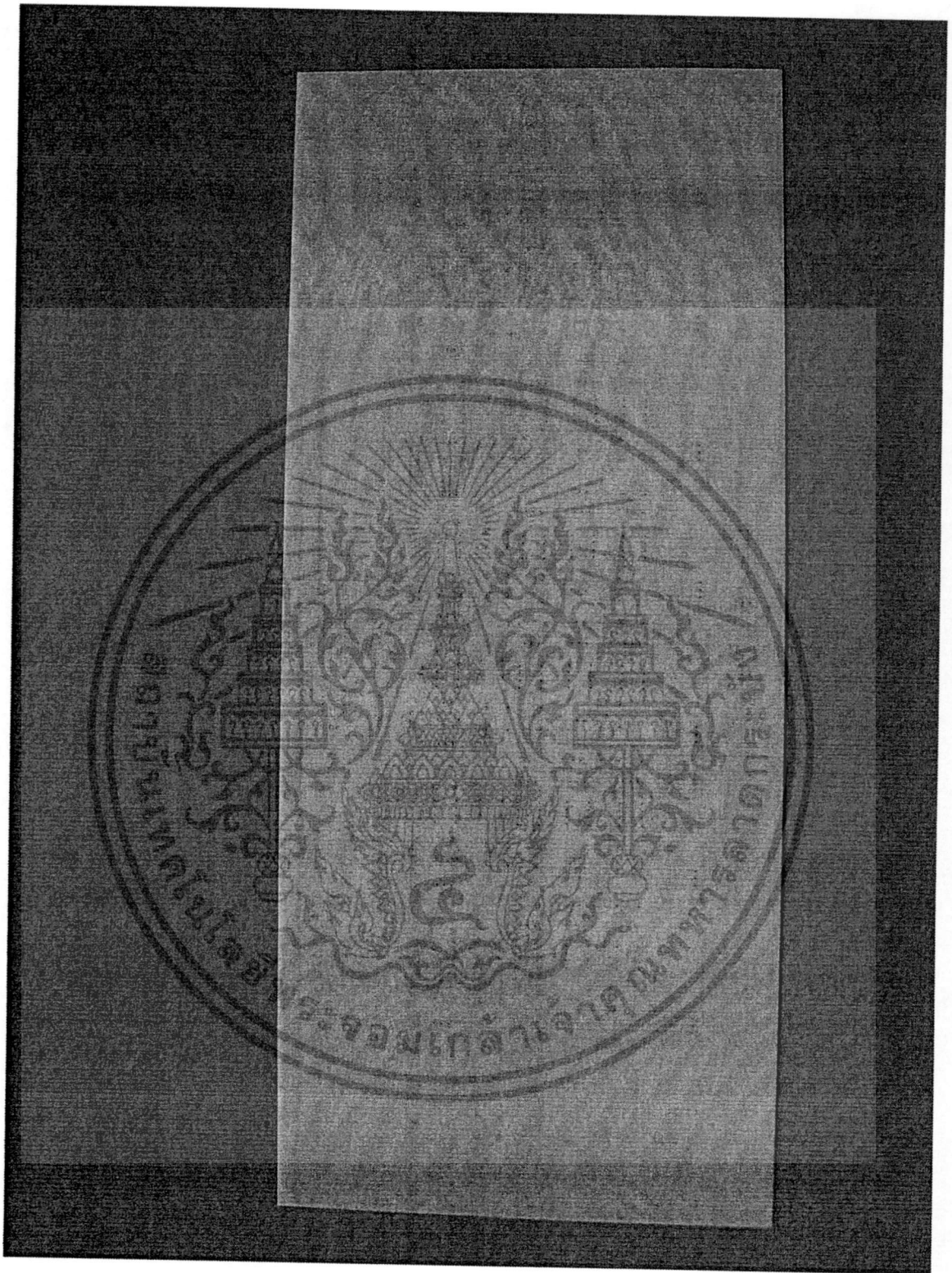
เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของศูนย์บริการวิชาการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 รูปที่ 4.25 การลงอุปกรณ์ของวงจรมัลติไมโครนิกส์สำหรับการแสดงผล
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.11 การสร้างแผ่นวงจรพิมพ์สำหรับเครื่องตรวจสอบโลหะแบบเดินผ่านชนิดหลายโซน

จากวงจรอิเล็กทรอนิกส์ในส่วนต่างๆของเครื่องตรวจสอบโลหะแบบเดินผ่านชนิดหลายโซนที่แสดงในรูปที่ 4.11 ถึง รูปที่ 4.13 เราสามารถสร้างแผ่นวงจรพิมพ์สำหรับวงจรในส่วนต่างได้ดังรูปที่ 4.26 ถึง 4.34

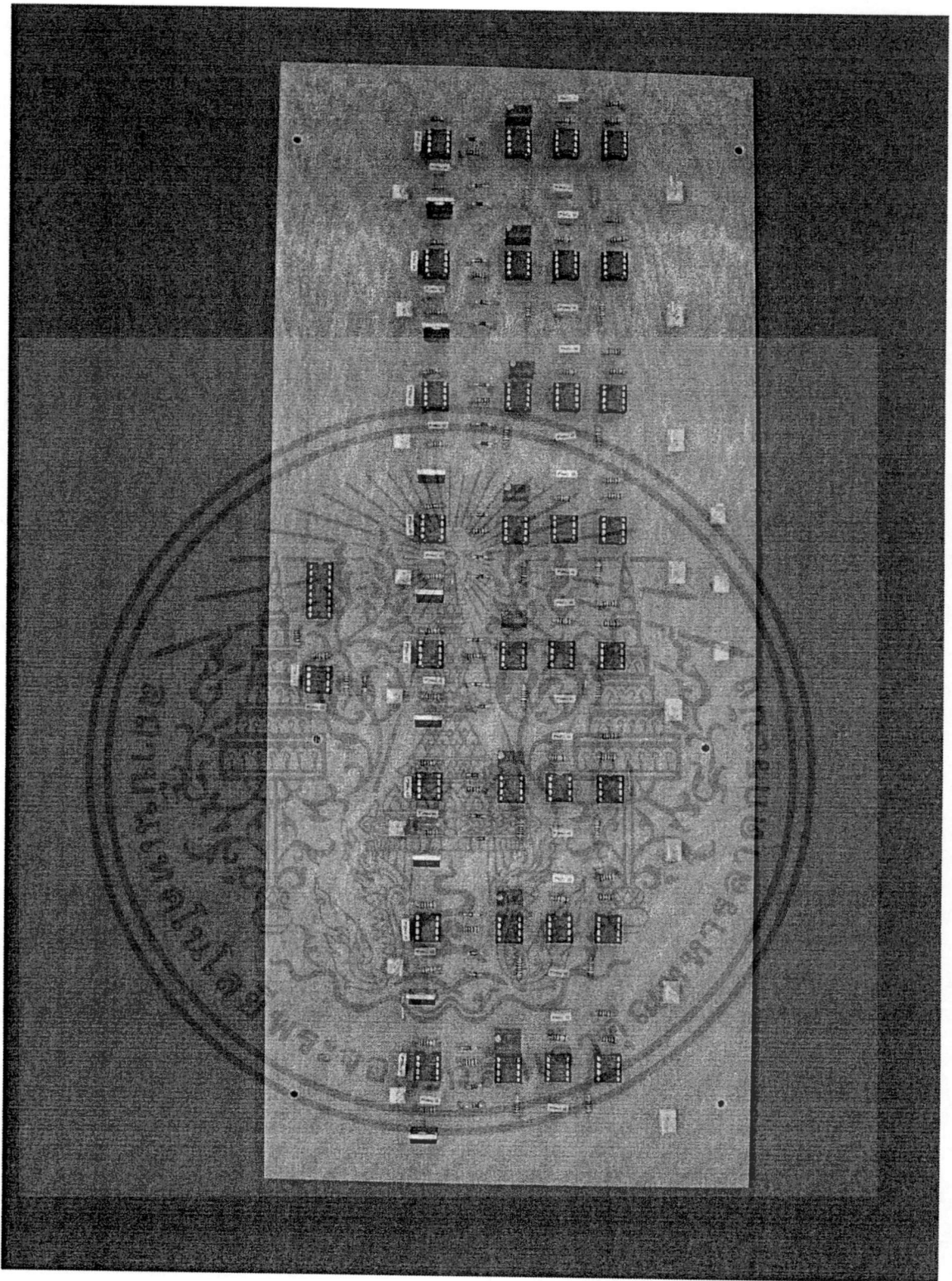


เอกสารนี้เป็นรูปที่ 4.26 วงจรพิมพ์ของวงจรอิเล็กทรอนิกส์สำหรับขับเคลื่อนตัวกั้นห้า (ด้านซ้ายของแผง) งานการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



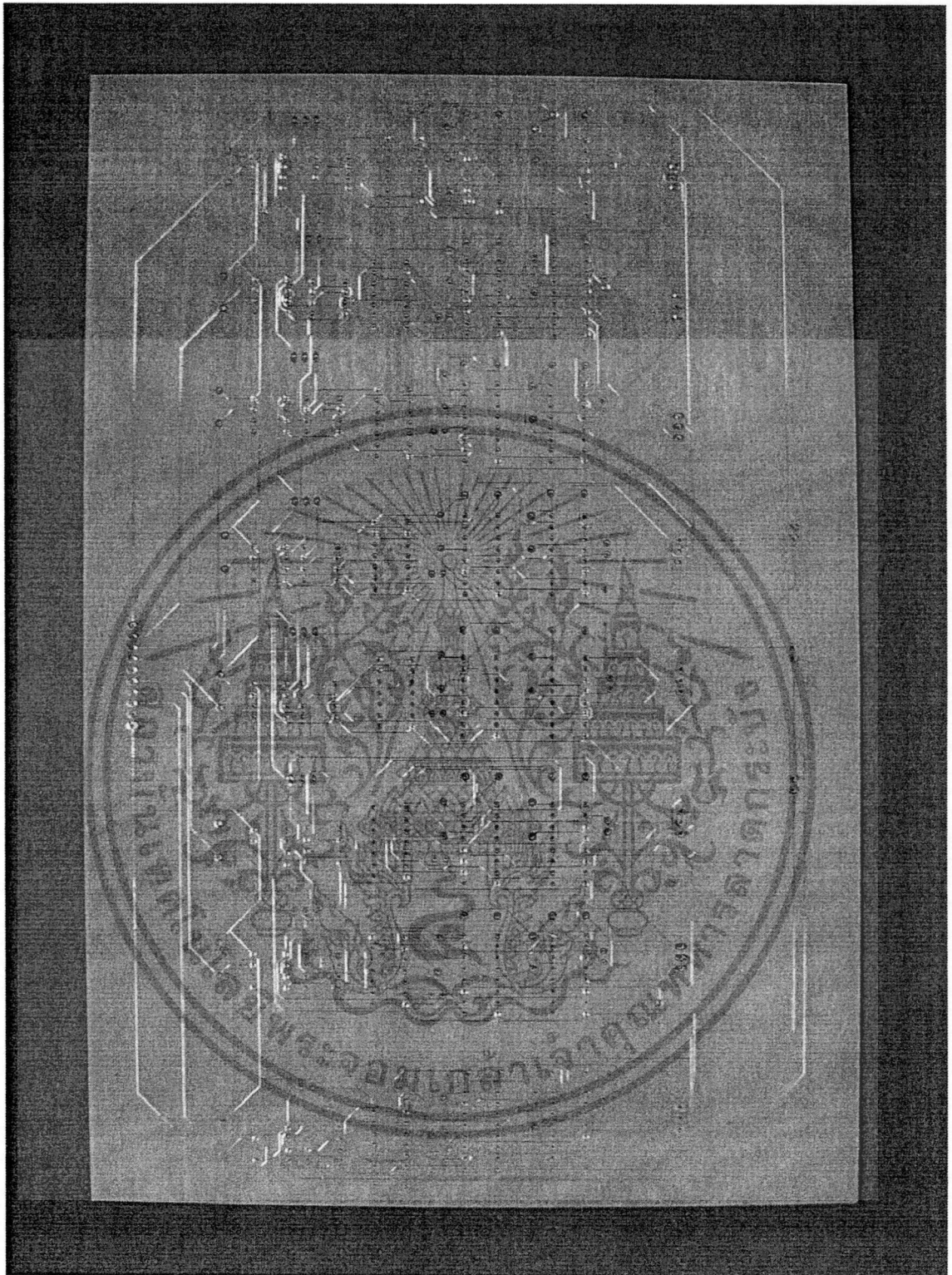
รูปที่ 4.27 วงจรพิมพ์ของวงจรถอนิกส์สำหรับขับเคลื่อนคั่นหา (ด้านอุปกรณ์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



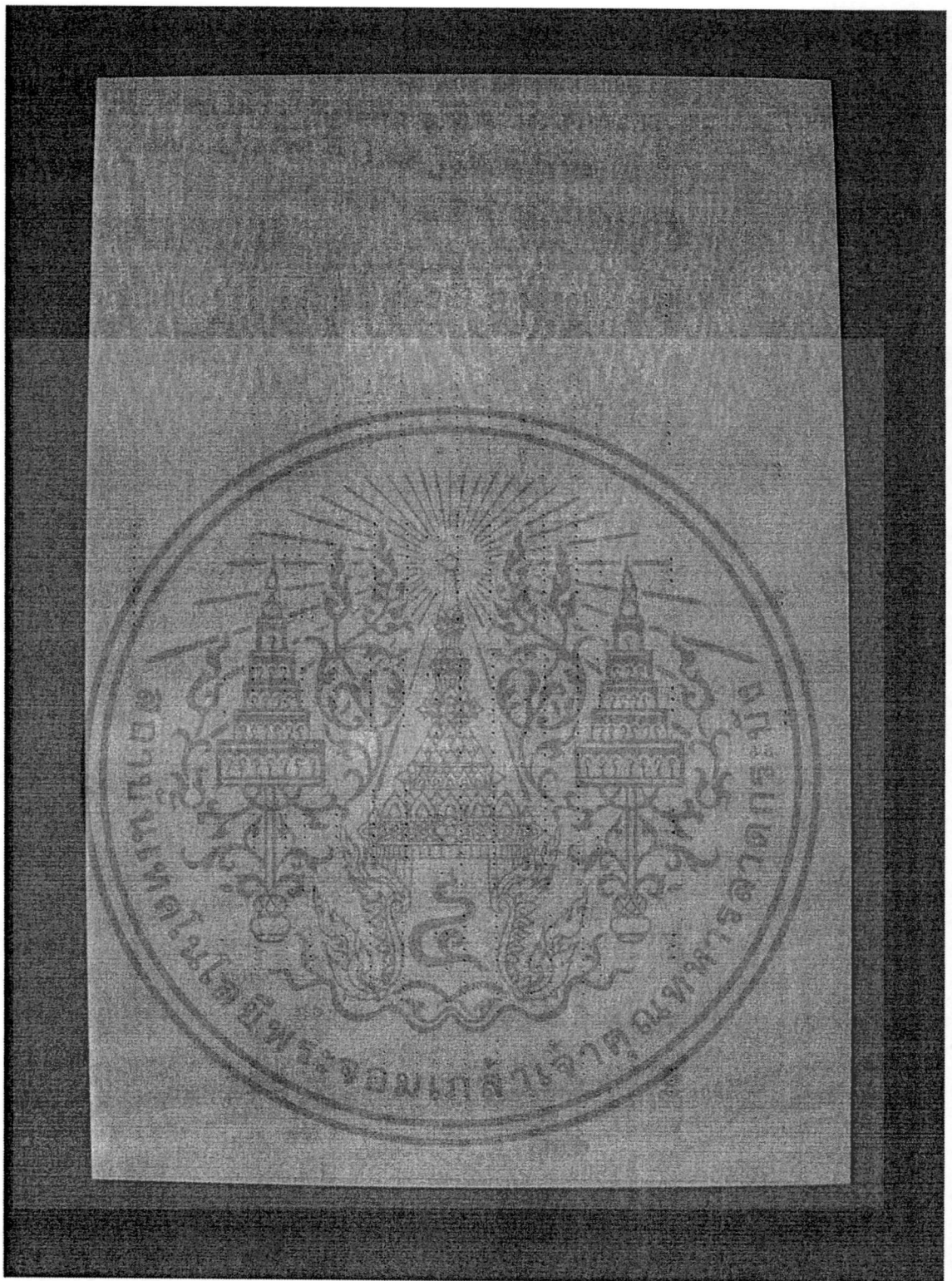
รูปที่ 4.28 การลงอุปกรณ์ของวงจรอิเล็กทรอนิกส์สำหรับขับหลอดค้นหา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



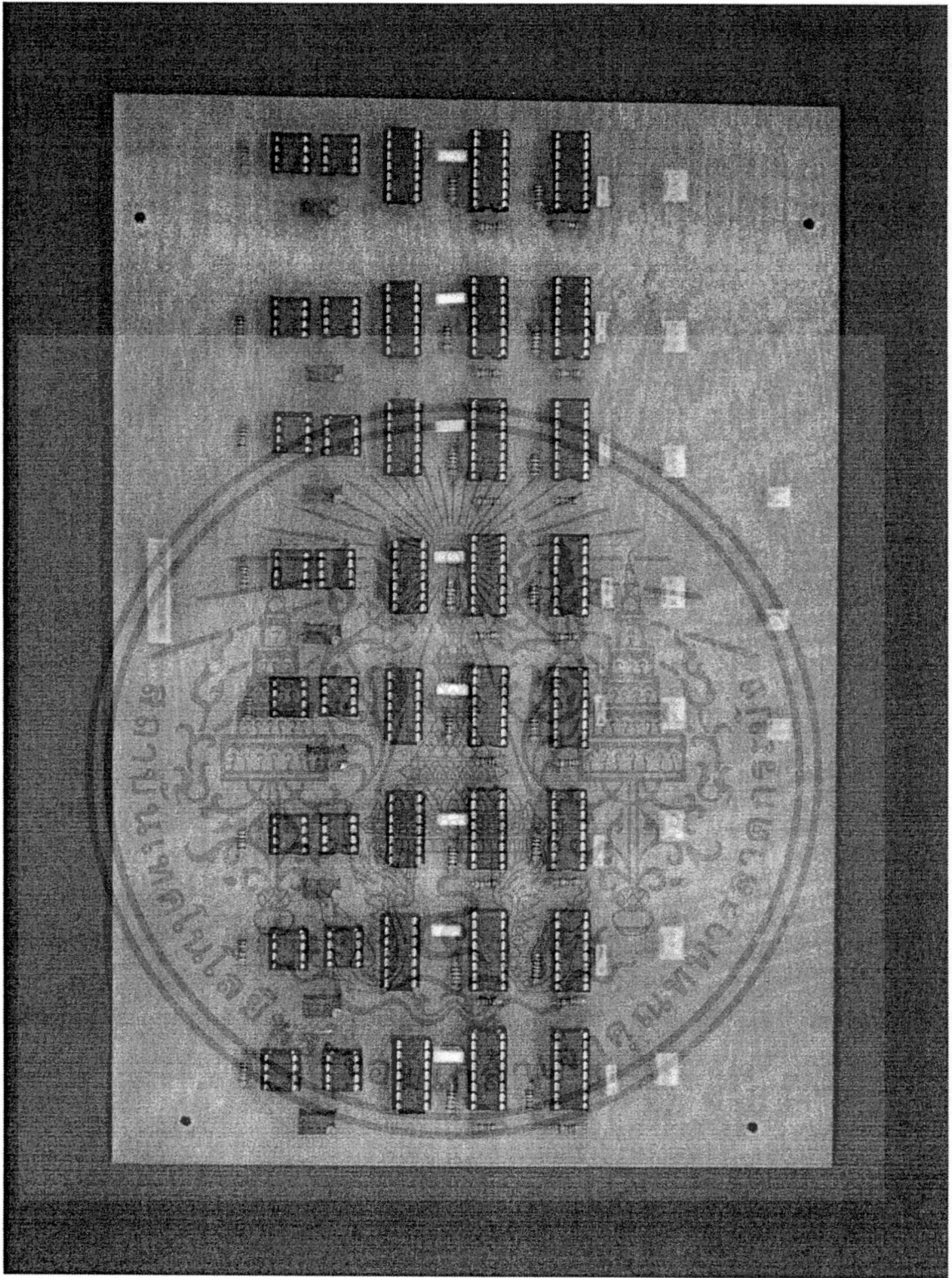
รูปที่ 4.29 วงจรพิมพ์ของวงจรอิเล็กทรอนิกส์สำหรับตรวจจับสัญญาณ (ด้านลายทองแดง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



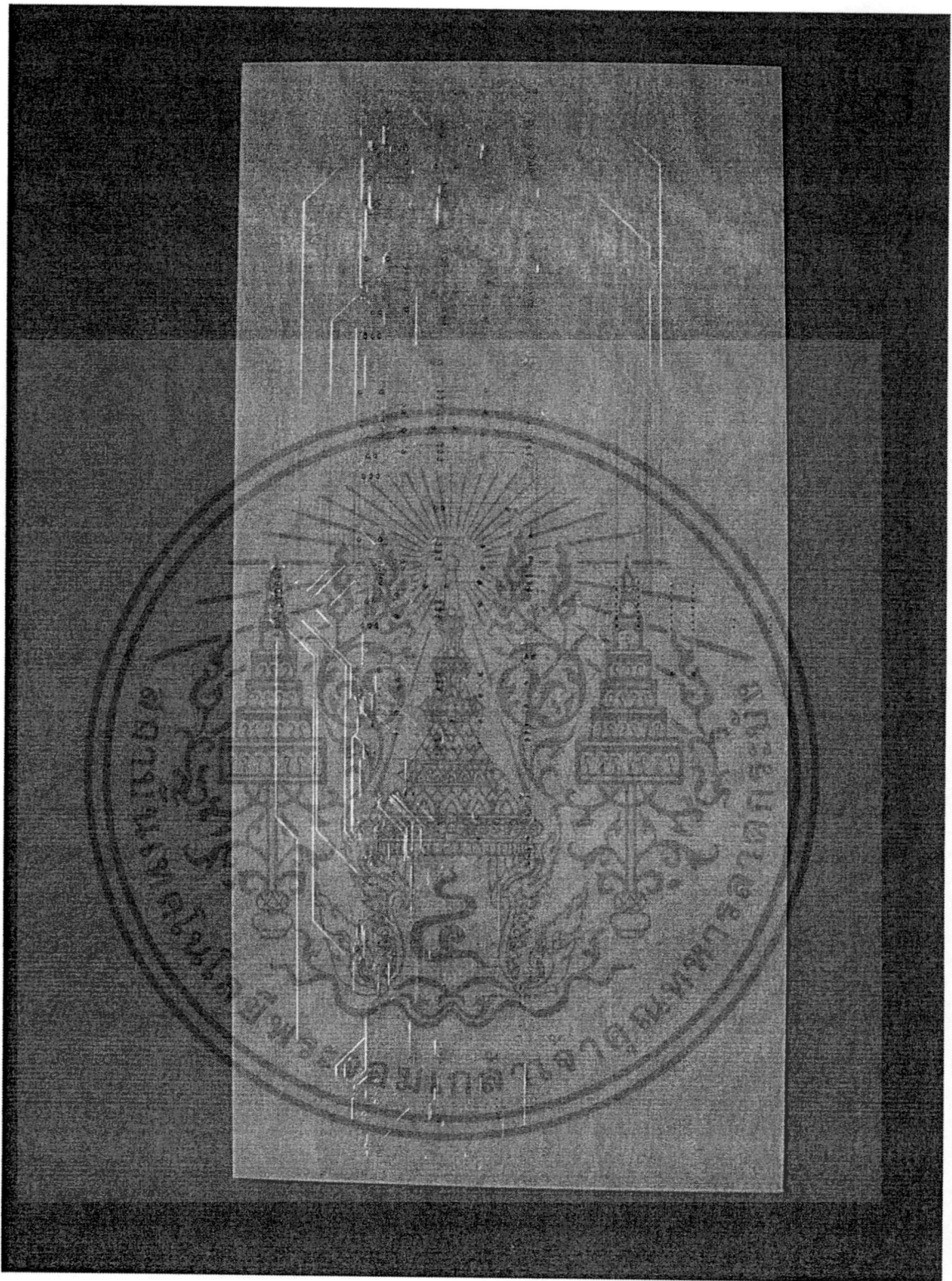
รูปที่ 4.30 วงจรพิมพ์ของวงจรถอมนิกส์สำหรับตรวจจับสัญญาณ (ด้านอุปกรณ์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



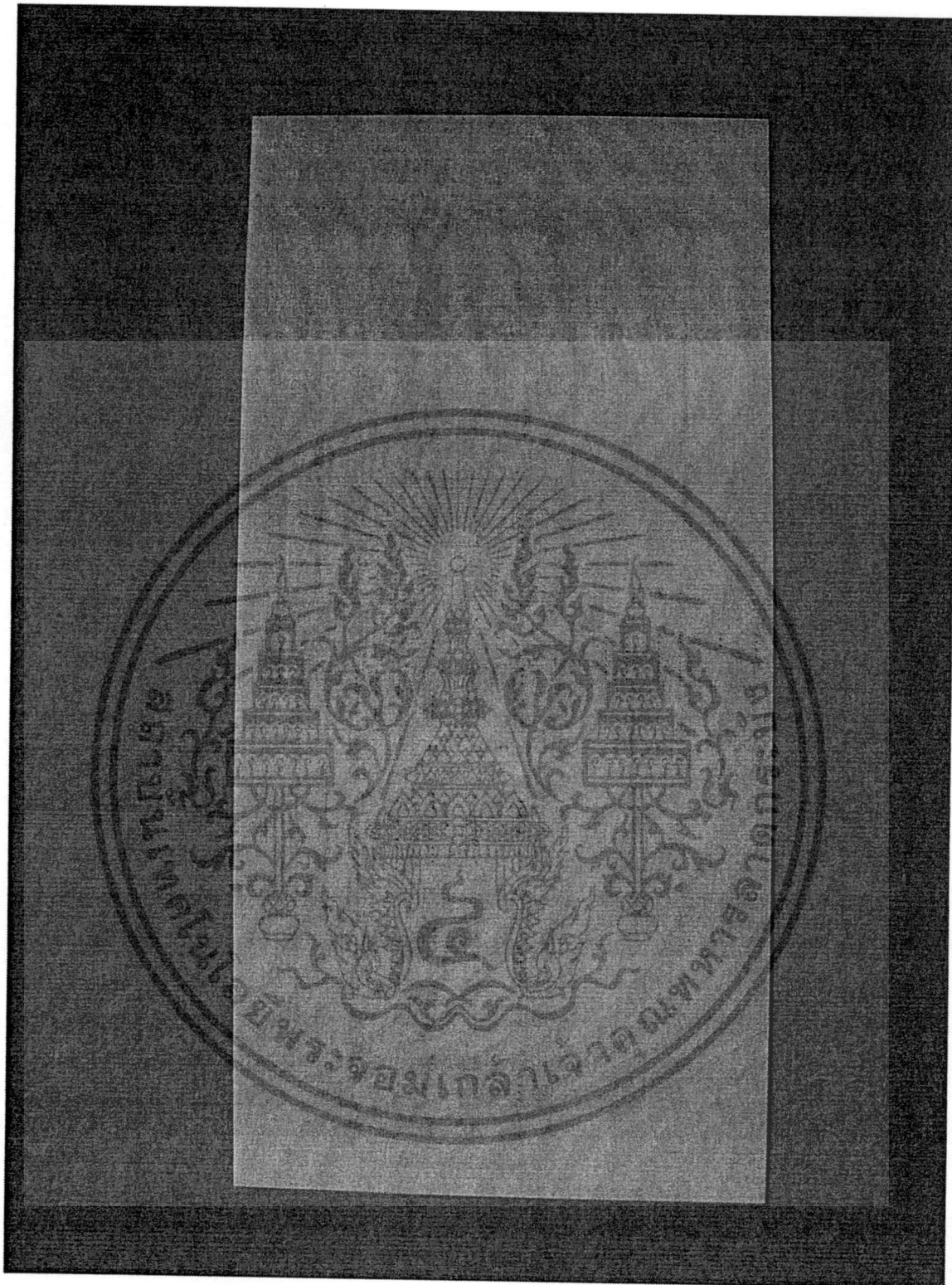
รูปที่ 4.31 การลงอุปกรณ์ของวงจรถอนิกส์สำหรับตรวจจับสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



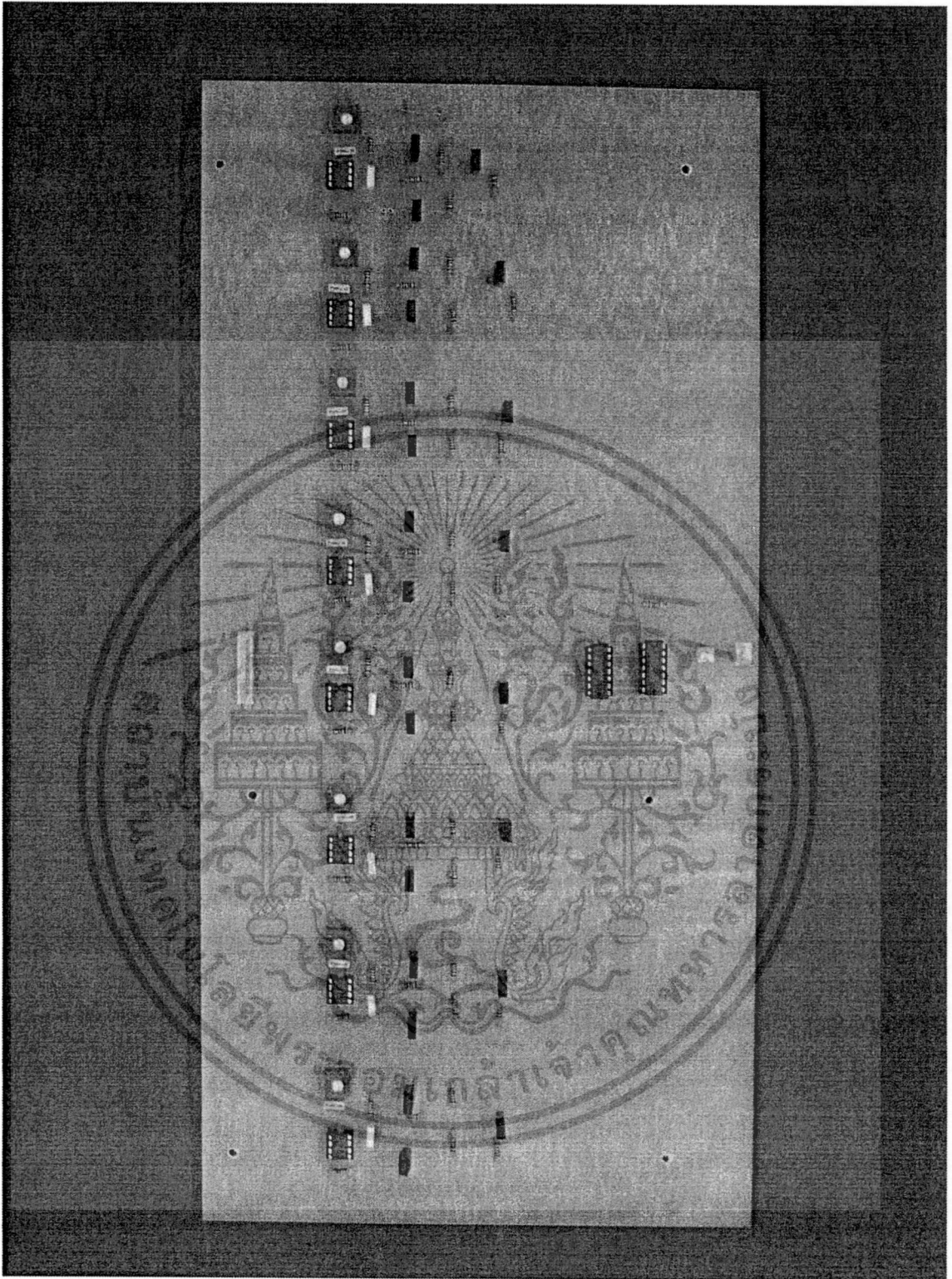
รูปที่ 4.32 วงจรพิมพ์ของวงจรอิเล็กทรอนิกส์สำหรับการแสดงผล (ด้านลายทองแดง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.33 วงจรพิมพ์ของวงจรถอนิกส์สำหรับการแสดงผล (ด้านอุปกรณ์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



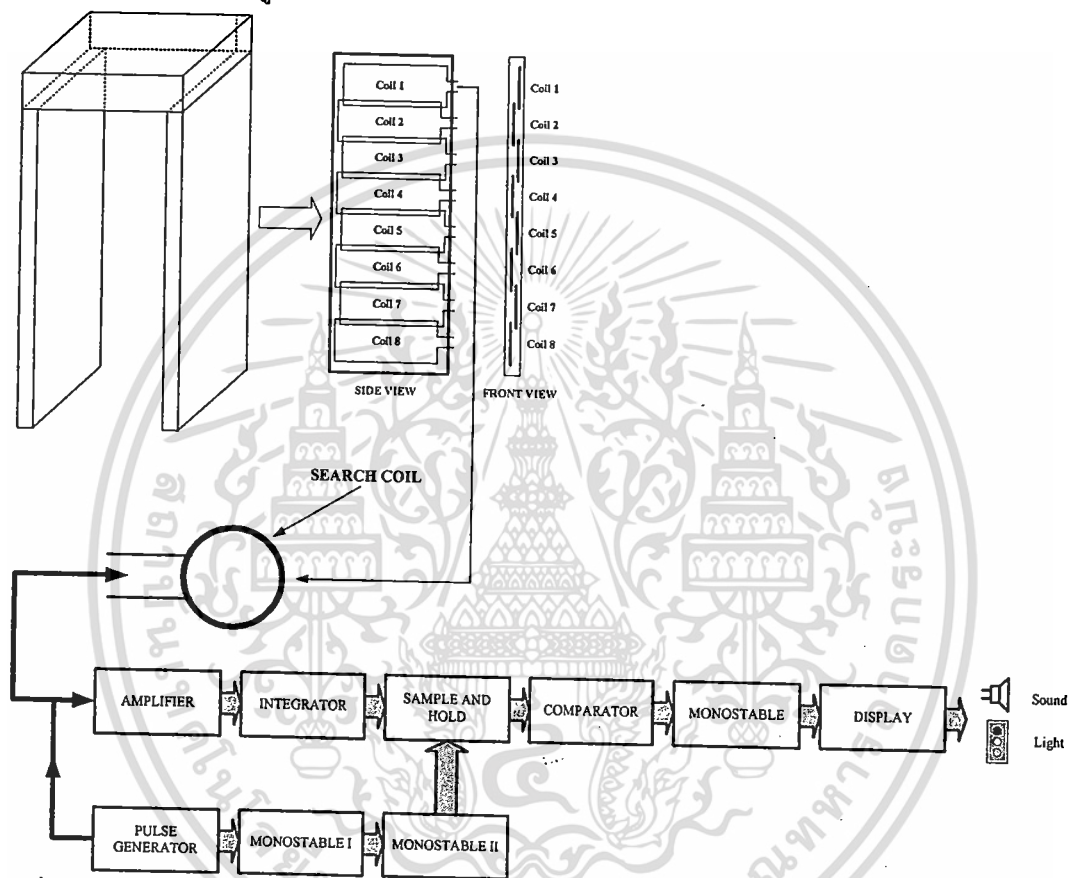
รูปที่ 4.34 การลงอุปกรณ์ของวงจรอิเล็กทรอนิกส์สำหรับการแสดงผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

การทดสอบเครื่องตรวจสอบโลหะแบบเดินผ่านชนิดหลายโซน

จากวงจรอิเล็กทรอนิกส์สำหรับเครื่องตรวจสอบโลหะแบบเดินผ่านชนิดหลายโซนที่กล่าวมาในบทที่ 4 สำหรับในบทนี้จะเป็นการทดสอบสัญญาณของวงจรอิเล็กทรอนิกส์ในส่วนต่างๆของระบบที่ออกแบบขึ้นดังรูปที่ 5.1



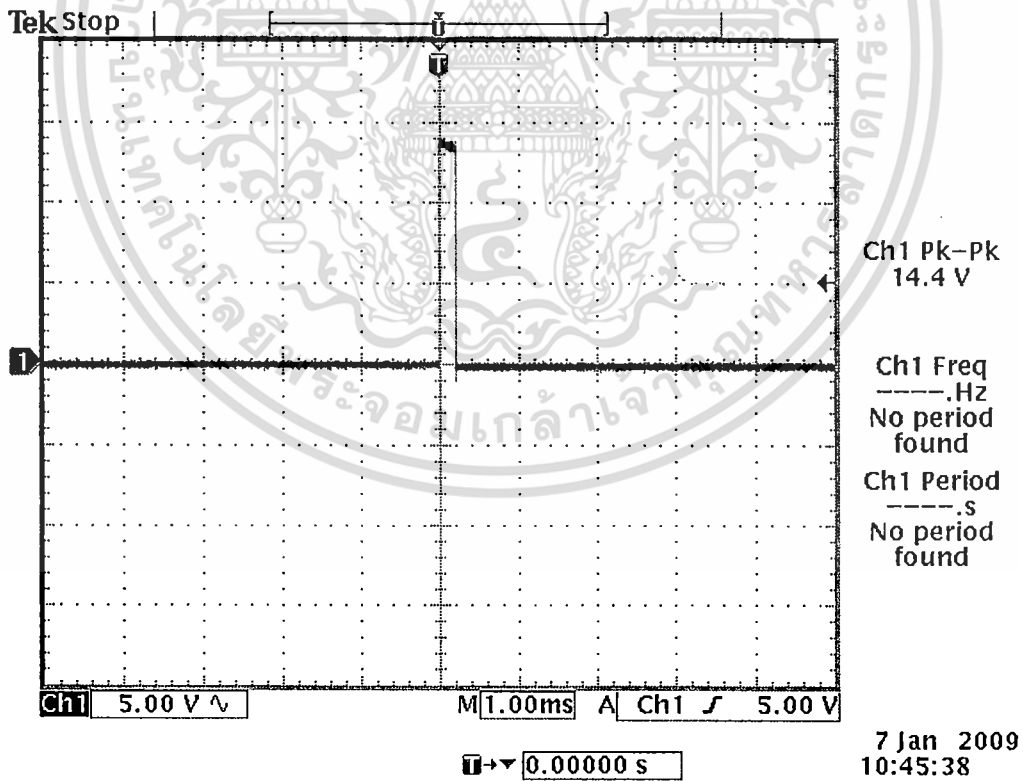
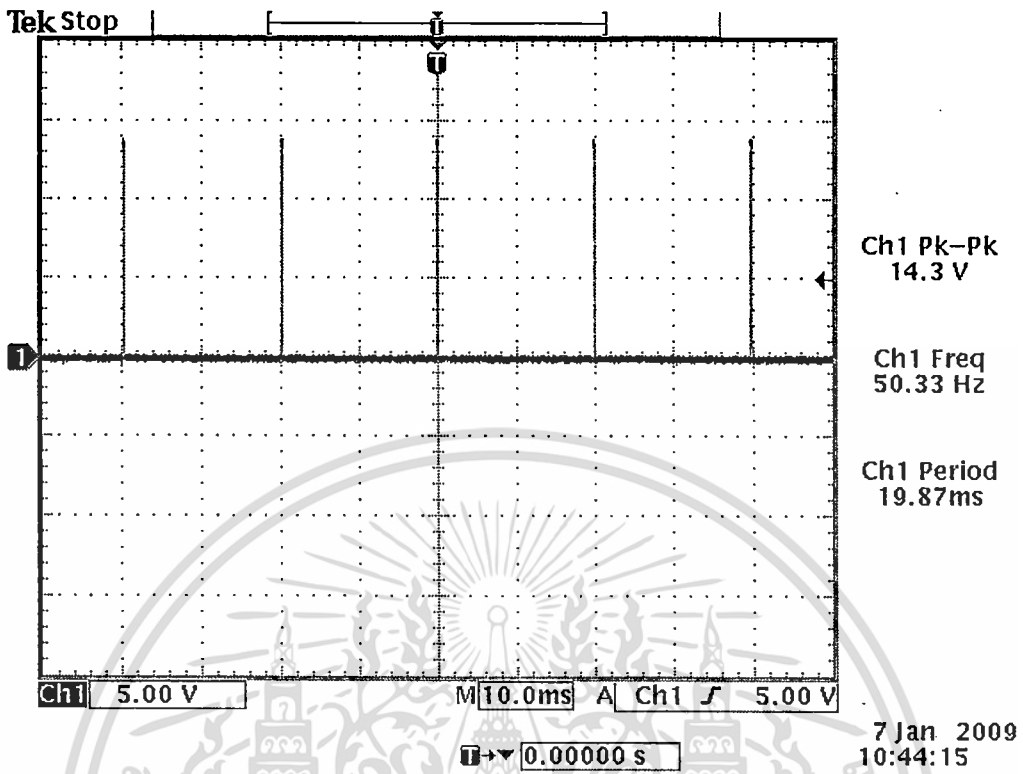
รูปที่ 5.1 บล็อกไดอะแกรมของเครื่องตรวจจับโลหะแบบเดินผ่านชนิดหลายโซนที่ใช้เทคนิคแบบ PULSE INDUCTION (1 โซน)

จากบล็อกไดอะแกรมในรูปที่ 5.1 เราสามารถแสดงสัญญาณที่ได้จากการทดสอบวงจรในส่วนต่างๆ และภายใต้เงื่อนไขที่แตกต่างกันไปได้ดังรายละเอียดดังนี้

5.1 การทดสอบสัญญาณของวงจรอิเล็กทรอนิกส์สำหรับเครื่องตรวจสอบโลหะแบบเดินผ่านชนิดหลายโซน

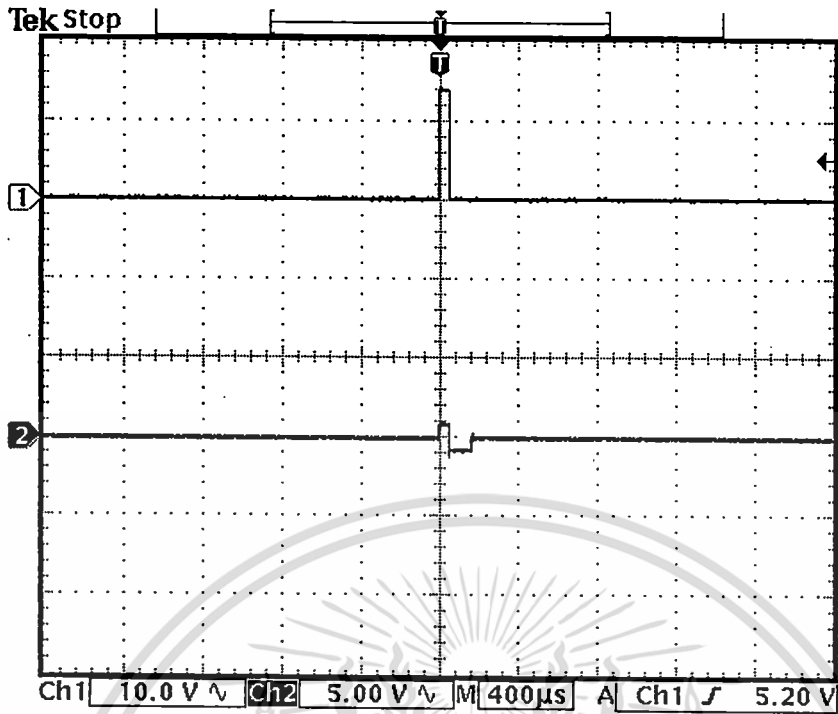
จากบล็อกไดอะแกรมของเครื่องตรวจจับโลหะแบบเดินผ่านชนิดหลายโซนดังแสดงในรูปที่ 5.1 เราสามารถแสดงสัญญาณที่ได้จากการวัดสัญญาณ ณ จุดทดสอบต่างๆ ภายใต้เงื่อนไขที่เอกละเอียดต่างกันไปดังรายละเอียดดังรูปที่ 5.2 ถึงรูปที่ 5.12

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.2 เอาท์พุทของวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์

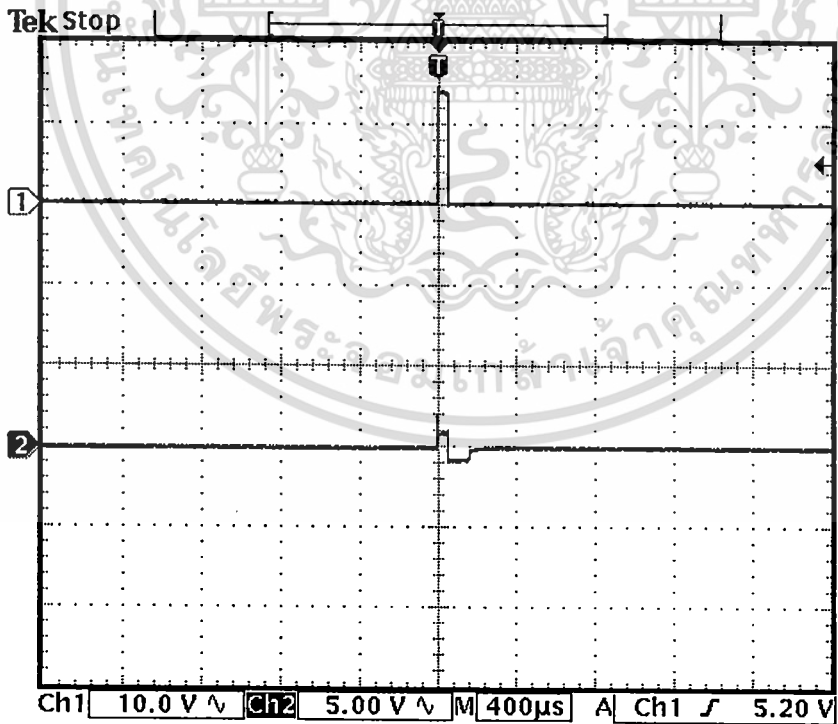
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



9 Apr 2009
10:14:14

0.00000 s

รูปที่ 5.3 ลักษณะของสัญญาณของวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์และสัญญาณจากขดลวดคั่นหา
(ขณะไม่มีโหลดอยู่ใกล้ขดลวดคั่นหา)

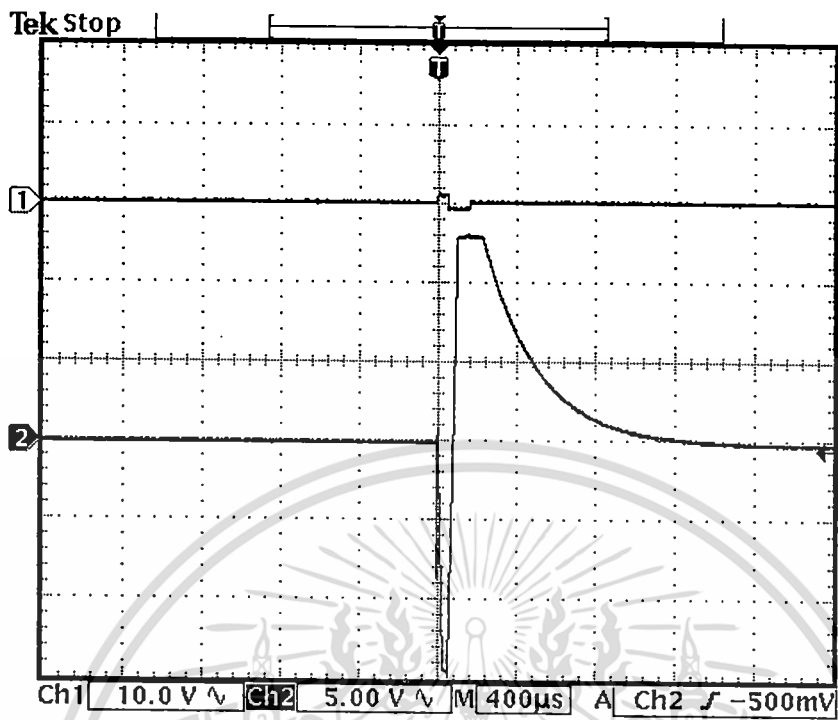


9 Apr 2009
10:14:34

0.00000 s

รูปที่ 5.4 ลักษณะของสัญญาณของวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์และสัญญาณจากขดลวดคั่นหา
(ขณะมีโหลดอยู่ใกล้ขดลวดคั่นหา)

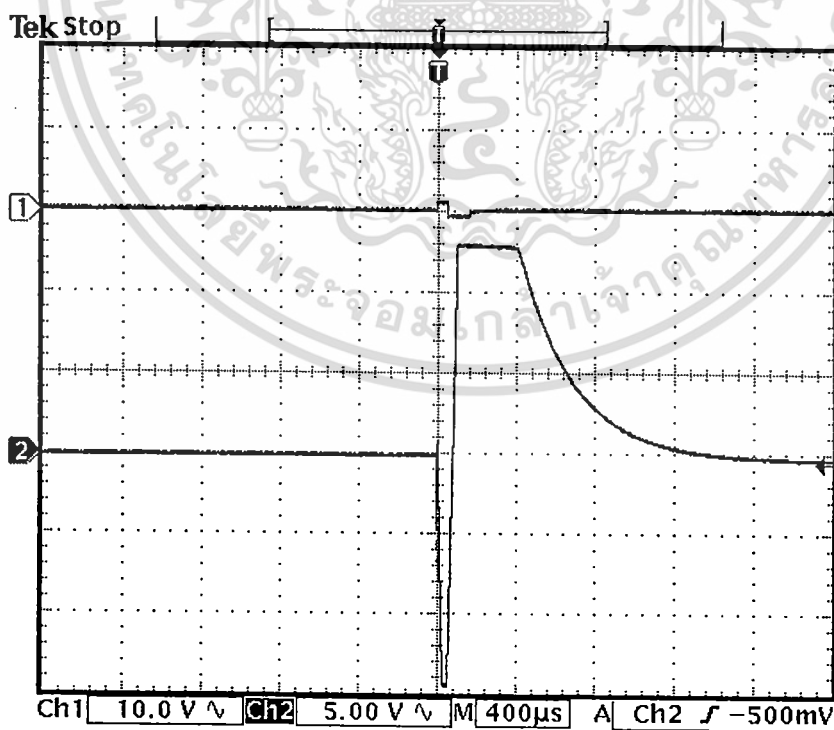
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



9 Apr 2009
10:16:02

0.00000 s

รูปที่ 5.5 ลักษณะของสัญญาณจากขดลวดค้นหาและสัญญาณหลังจากผ่านวงจรขยายสัญญาณ (ขณะไม่มีโลหะอยู่ใกล้ขดลวดค้นหา)



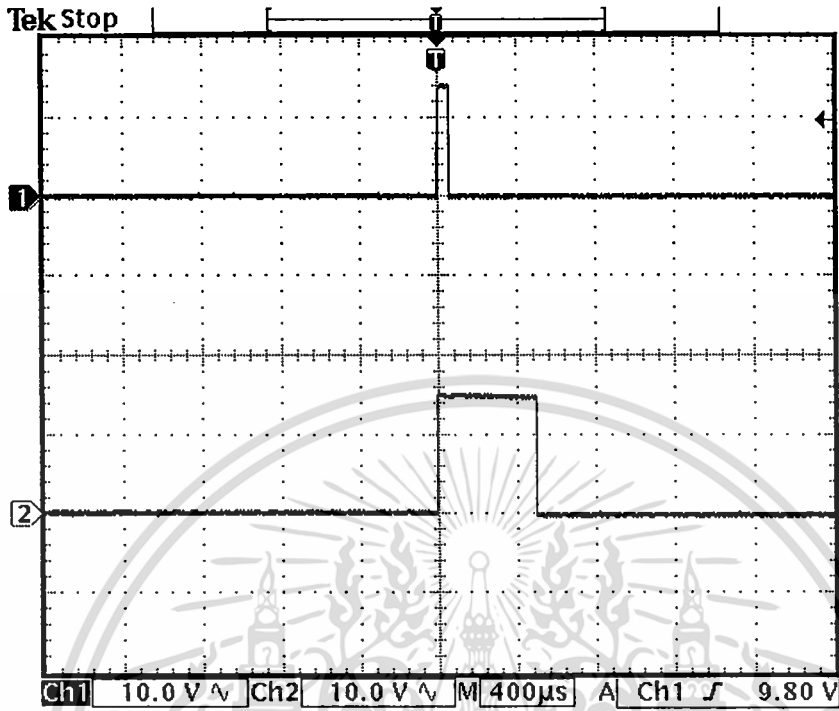
9 Apr 2009
10:16:20

0.00000 s

รูปที่ 5.6 ลักษณะของสัญญาณจากขดลวดค้นหาและสัญญาณหลังจากผ่านวงจรขยายสัญญาณ

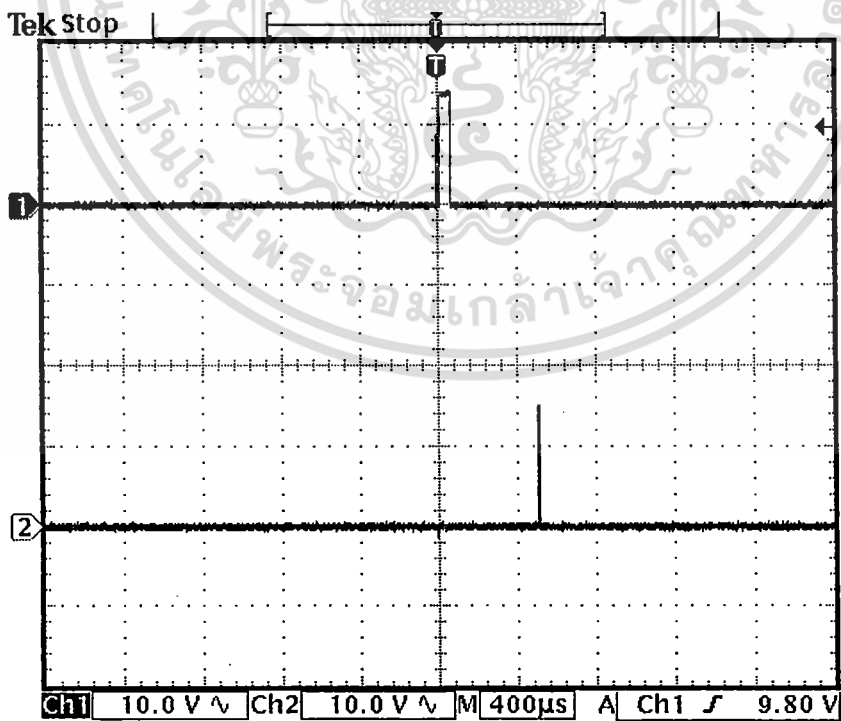
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้เฉพาะในโครงการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า (ขณะมีโลหะอยู่ใกล้ขดลวดค้นหา)

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



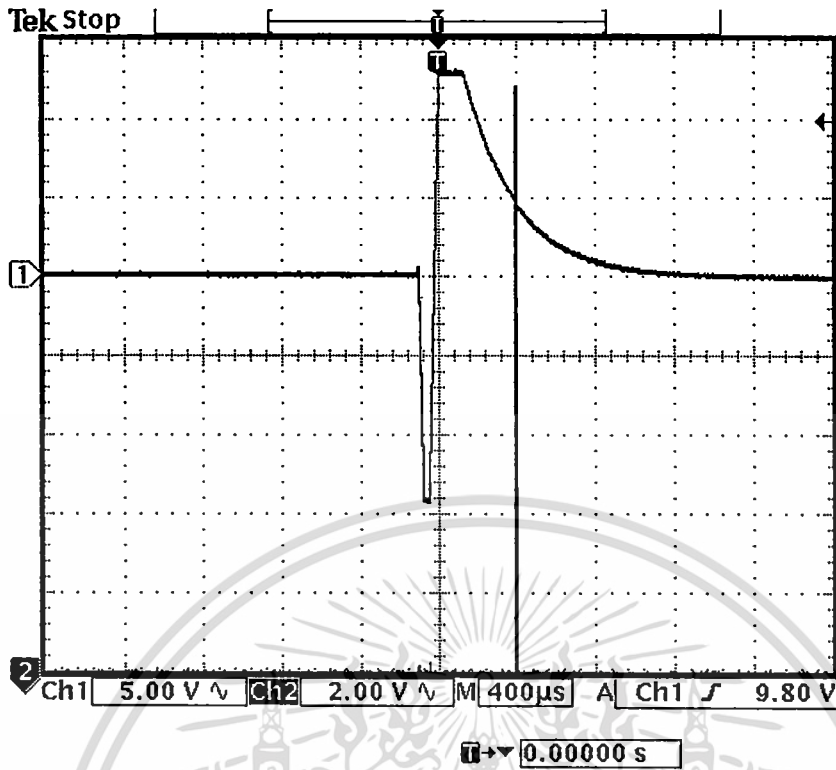
9 Apr 2009
11:28:04

รูปที่ 5.7 ลักษณะของสัญญาณอินพุตและเอาต์พุตของวงจร โมโนสเตเบิลตัวที่ 1



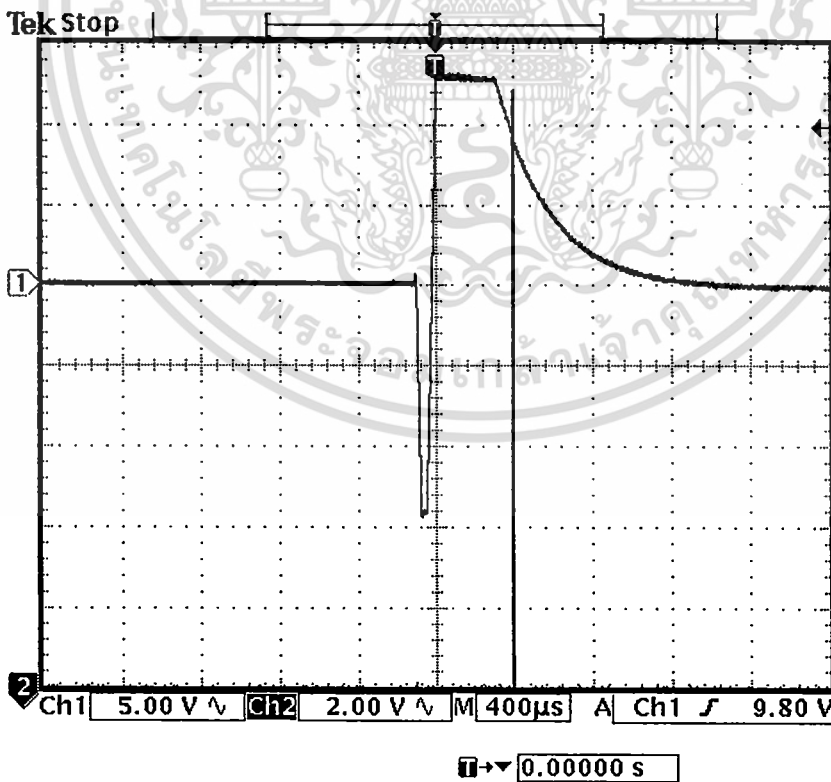
9 Apr 2009
11:34:33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 5.8 ลักษณะของสัญญาณอินพุตและเอาต์พุตของวงจร โมโนสเตเบิลตัวที่ 2
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



9 Apr 2009
11:35:21

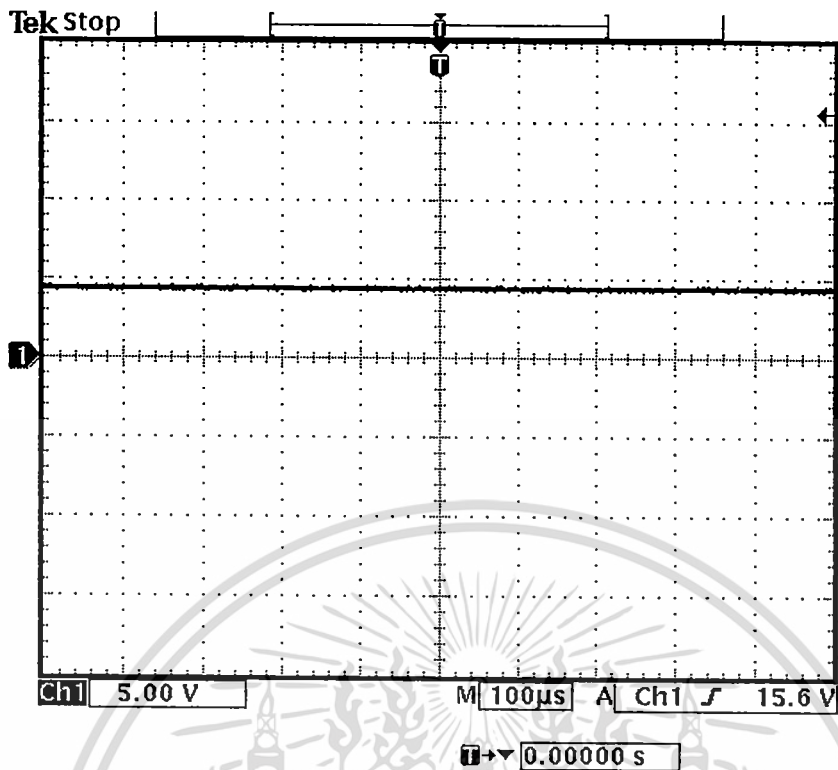
รูปที่ 5.9 ลักษณะของสัญญาณในวงจรตรวจจับสัญญาณแรงดันขอด (ขณะไม่มีโลหะอยู่ใกล้ขดลวดค้นหา)



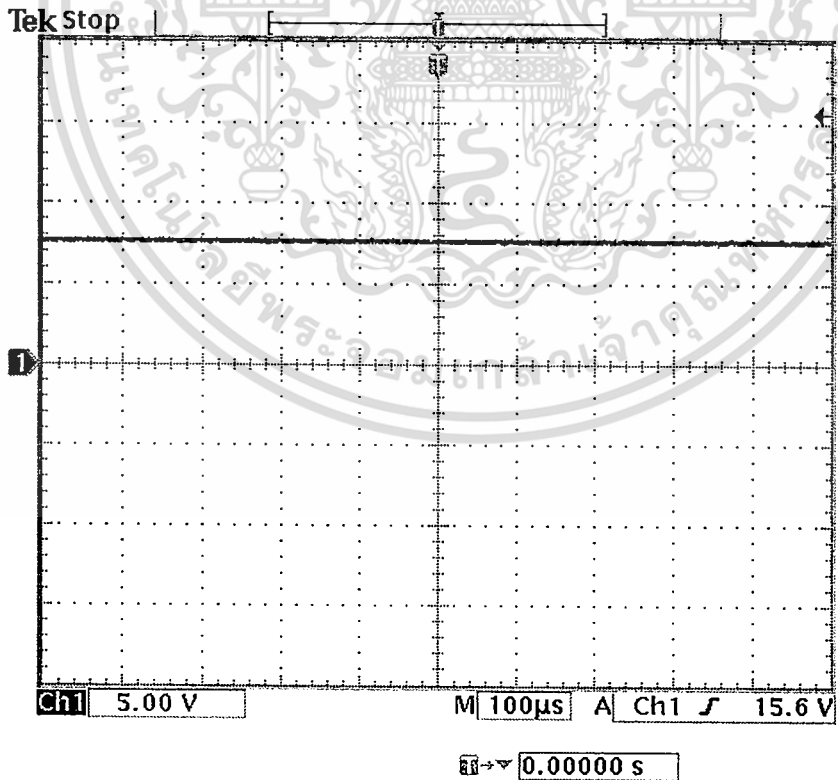
9 Apr 2009
11:35:39

รูปที่ 5.10 ลักษณะของสัญญาณในวงจรตรวจจับสัญญาณแรงดันขอด (ขณะมีโลหะอยู่ใกล้ขดลวดค้นหา)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



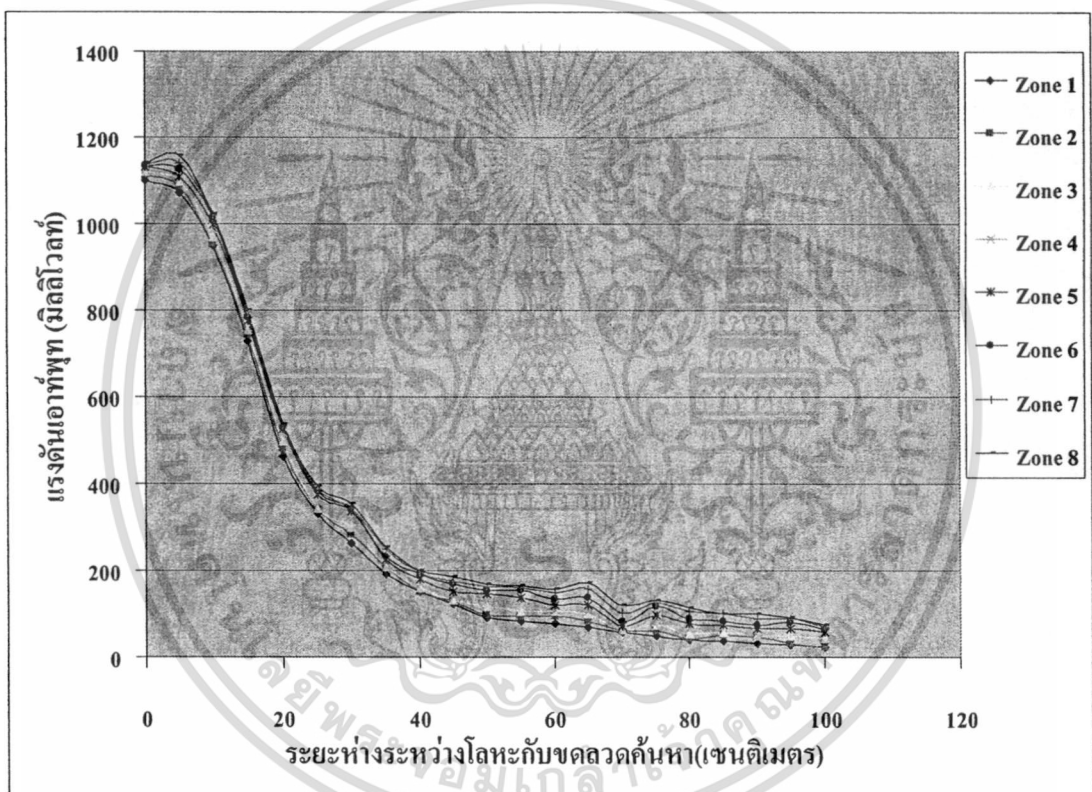
รูปที่ 5.11 ลักษณะของสัญญาณเอาต์พุตในวงจรตรวจจับสัญญาณแรงดันขอด(ขณะไม่มีโลหะอยู่ใกล้ขดลวดค้นหา)



รูปที่ 5.12 ลักษณะของสัญญาณเอาต์พุตในวงจรตรวจจับสัญญาณแรงดันขอด (ขณะมีโลหะอยู่
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ใกล้ขดลวดค้นหา)
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 การทดสอบค่าความไวของวงจรอิเล็กทรอนิกส์สำหรับเครื่องตรวจสอบโลหะแบบเดินผ่านชนิดหลายโซนที่พัฒนาขึ้นมา(ระยะห่าง)

สำหรับการทดสอบค่าความไวของวงจรอิเล็กทรอนิกส์สำหรับเครื่องตรวจสอบโลหะแบบเดินผ่านชนิดหลายโซนที่พัฒนาขึ้นมา โดยในการทดสอบจะทำการวางแท่งโลหะขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 5 เซนติเมตรยาว 10 เซนติเมตรที่ระยะห่างจากขดลวดค้นหาที่โซน 1 ถึงโซน 8 เป็นระยะทาง 5,10,15,20,25,30,35,40,45,50,55,60,65,70,75,80,85,90,95 และ 100 เซนติเมตรจากขดลวดค้นหาที่โซนต่างๆตามลำดับ จากนั้นจึงทำการวัดแรงดันเอาต์พุตของวงจรตรวจจับแรงดันยอดที่วัดได้จากโซนต่างๆ โดยผลการทดลองที่ได้สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 5.13



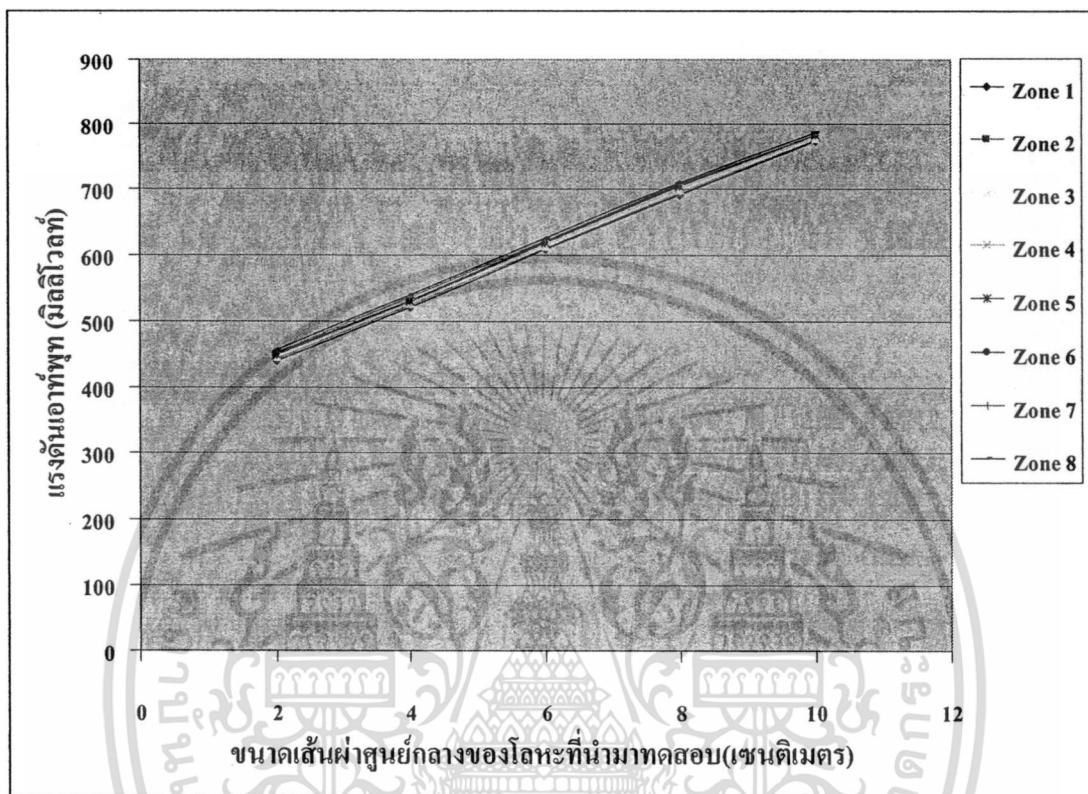
รูปที่ 5.13 แรงดันเอาต์พุตของวงจรตรวจจับแรงดันยอดต่อระยะห่างของโลหะทดสอบกับขดลวดค้นหาต่างๆ

5.3 การทดสอบค่าความไวของวงจรอิเล็กทรอนิกส์สำหรับเครื่องตรวจสอบโลหะแบบเดินผ่านชนิดหลายโซนที่พัฒนาขึ้นมา (ขนาดของโลหะ)

สำหรับการทดสอบค่าความไวของวงจรอิเล็กทรอนิกส์สำหรับเครื่องตรวจสอบโลหะแบบเดินผ่านชนิดหลายโซนที่พัฒนาขึ้นมาต่อขนาดของโลหะที่นำมาทดสอบ โดยสำหรับการทดสอบนั้นเราจะใช้แท่งโลหะขนาดต่างๆ วางไว้ห่างจากหัวตรวจจับโลหะ 50 เซนติเมตร แล้วทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำมาใช้เพื่อประโยชน์อื่นใด การค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเปลี่ยนขนาดของโลหะที่นำมาทดสอบให้มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางตั้งแต่ 2,4,8 และ 10 เซนติเมตร จากนั้นจึงทำการวัดแรงดันเอาท์พุทของวงจรถวายจับแรงดันยอด โดยผลการทดลองที่ได้สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 5.14



รูปที่ 5.14 แรงดันเอาท์พุทของวงจรถวายจับแรงดันยอดต่อขนาดแท่งโลหะขนาดต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

บทสรุป

จากการทดสอบวงจรต่างๆที่ใช้ในเครื่องตรวจจับโลหะแบบเดินผ่านชนิดหลายโซนผลปรากฏว่าวงจรต่างๆสามารถทำงานได้ตามที่ออกแบบไว้ และสามารถใช้ในการตรวจสอบหาโลหะที่นำมาทดสอบได้ แต่อย่างไรก็ตามระบบที่พัฒนาขึ้นยังคงต้องพัฒนาต่อไปเพื่อให้สามารถตรวจสอบโลหะที่มีขนาดเล็กและที่อยู่ระยะห่างจากขดลวดค้นหา(Search coil)มากๆได้ โดยข้อเสนอแนะสำหรับผู้สนใจที่จะนำระบบที่พัฒนาขึ้นมานี้ไปพัฒนาต่อมีดังนี้

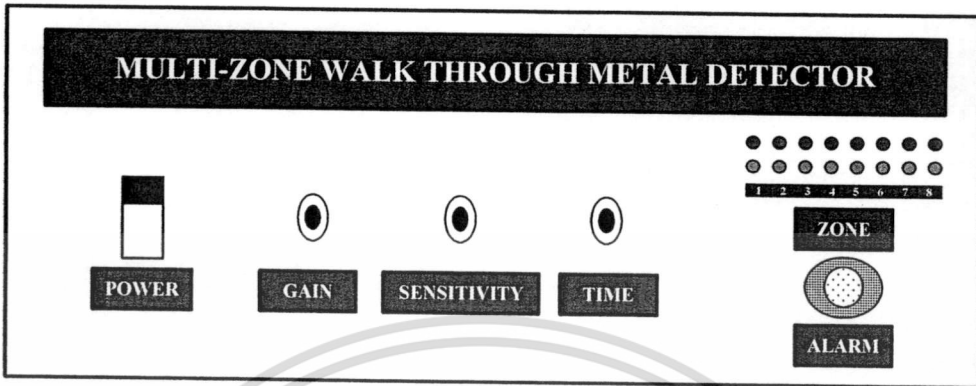
- จากผลการทดลองพบว่า ที่ระยะระหว่างขดลวดค้นหา(Search coil)กับวัตถุมากกว่า 40 เซนติเมตร สัญญาณเอาต์พุตที่ได้จะมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก ทำให้ยากต่อการตรวจจับสัญญาณ ดังนั้นจะต้องมีการพัฒนางจรตรวจจับสัญญาณให้มีค่าความไวในการตรวจจับสัญญาณให้สูงกว่านี้
- ในส่วนของสัญญาณที่ใช้ในการตรวจสอบโลหะจะใช้ความถี่เพียงความถี่เดียวทำให้ระบบที่พัฒนาขึ้นมีค่าความไว(Sensitivity) ในการตรวจสอบโลหะสูงเฉพาะโลหะบางชนิด ดังนั้นถ้าสามารถพัฒนาให้ระบบใช้หลายความถี่ในการตรวจสอบจะช่วยให้ค่าความไว(Sensitivity) ในการตรวจสอบโลหะต่างชนิดกันดีขึ้น
- ในส่วนของการทดสอบการสิ้นเปลืองพลังงาน(Power consumption) นั้นจะขึ้นอยู่กับความถี่ของสัญญาณที่ใช้ในการตรวจสอบโลหะ
- ระบบที่พัฒนาขึ้นมายังประสบปัญหาการกวนกันของสัญญาณระหว่างขดลวดในโซนต่างๆ ทำให้บางครั้งมีการส่งสัญญาณเตือนผิดพลาด

เอกสารอ้างอิง

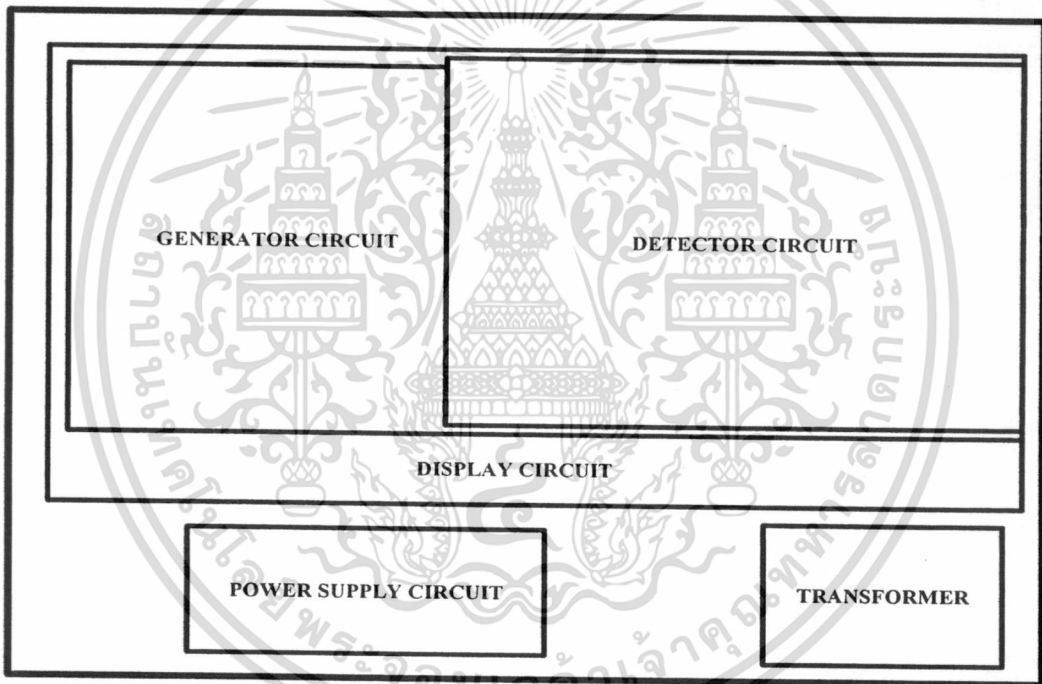
- [1] Nicholas G. Paulter. "Guide to the Technologies of Concealed Weapon and Contraband Imaging and Detection". Electricity Division, National Institute of Standards and Technology. February, 2001.
- [2] <http://www.free-medical-books.com/download/interpreting-an-x-ray.html>
- [3] Mary W. Green. "A Guide for Schools and Law Enforcement Agencies" Sandia National Laboratories, September 1999.
- [4] <http://www.weloveshopping.com/shop/showproduct.php?pid=10309602&shopid=116732>
- [5] <http://www.garrett.com>
- [6] <http://www.benmeadows.com/search/fisher/9226/>
- [7] Nicholas G. Paulter. "Users Guide for Hand-Held and Walk-Through Metal Detectors" Electricity Division, National Institute of Standards and Technology, January 2001.
- [8] <http://www.ndt-ed.org/>
- [9] http://www.vectorsite.net/tpqm_04.html
- [10] วรณดี เพชรหมณีล้ำค่า "การพัฒนาระบบตรวจสอบโลหะในเนื้อไม้" รายงานการวิจัย ภาควิชาวิศวกรรมระบบควบคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปีงบประมาณ 2551
- [11] ศิริพงษ์ สุวรรณลักษณ์ และ สุภชัย แสงทอง. "เครื่องตรวจหาวัตถุระเบิดชนิดโลหะ" วิทยานิพนธ์ สาขาเทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์ ภาควิชาวิศวกรรมสารสนเทศ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปีการศึกษา 2544.
- [12] Theoretical and Practical Considerations in Metal Locator Design, 1979.

ภาคผนวก ก

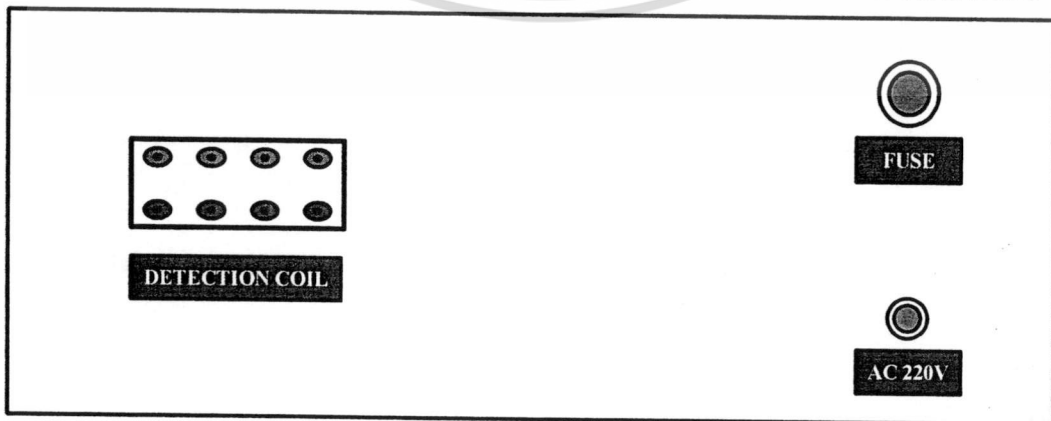
ลักษณะการวางเลย์เอาต์ของต้นแบบเครื่องตรวจจับโลหะแบบเดินผ่านชนิดหลายโซน



รูปที่ ก1 แสดงการวางเลย์เอาต์ด้านหน้าของต้นแบบเครื่องตรวจจับโลหะแบบเดินผ่านชนิดหลายโซน



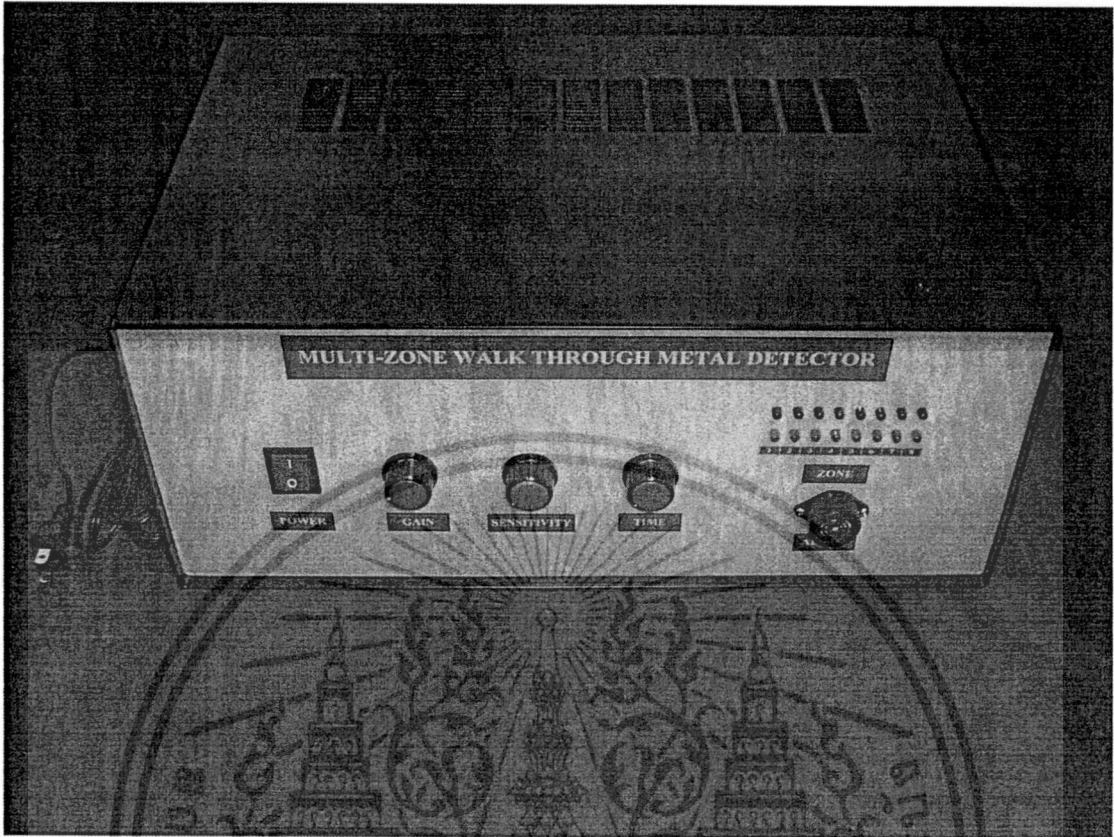
รูปที่ ก2 แสดงการวางเลย์เอาต์ด้านบนของต้นแบบเครื่องตรวจจับโลหะแบบเดินผ่านชนิดหลายโซน



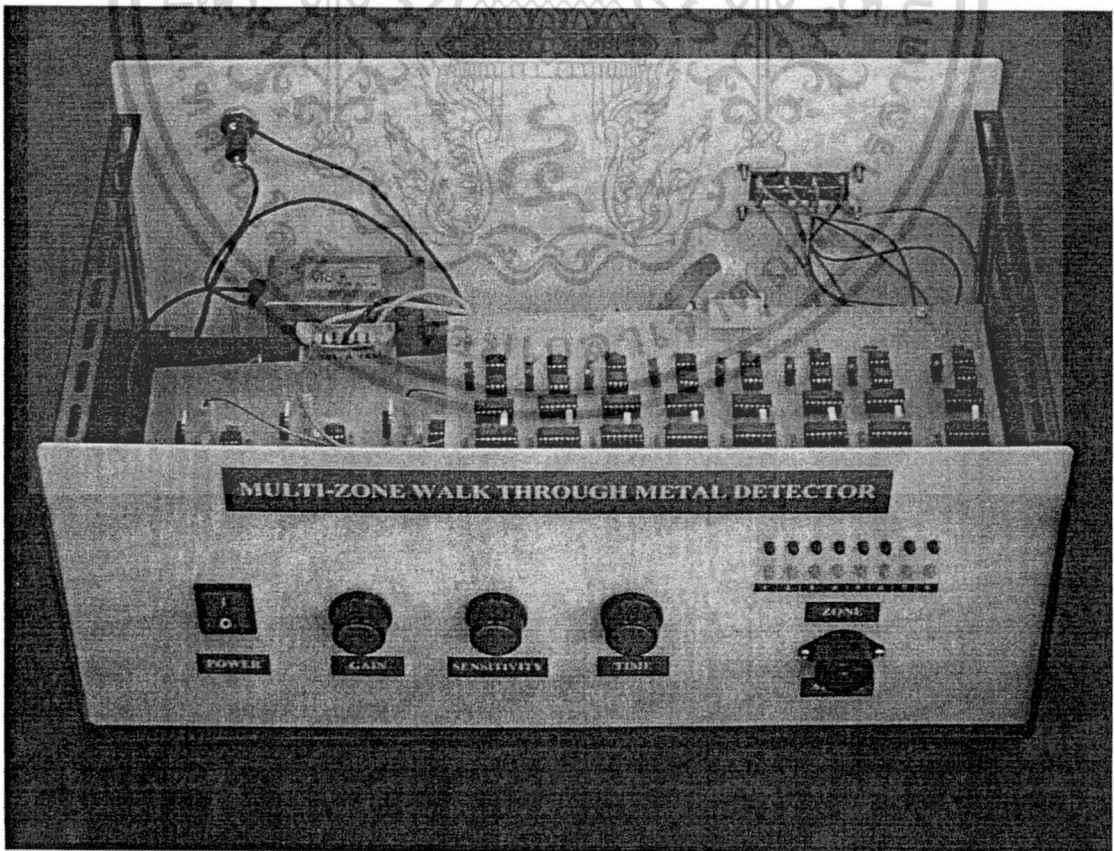
รูปที่ ก3 แสดงการวางเลย์เอาต์ด้านหลังของต้นแบบเครื่องตรวจจับโลหะแบบเดินผ่านชนิดหลายโซน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

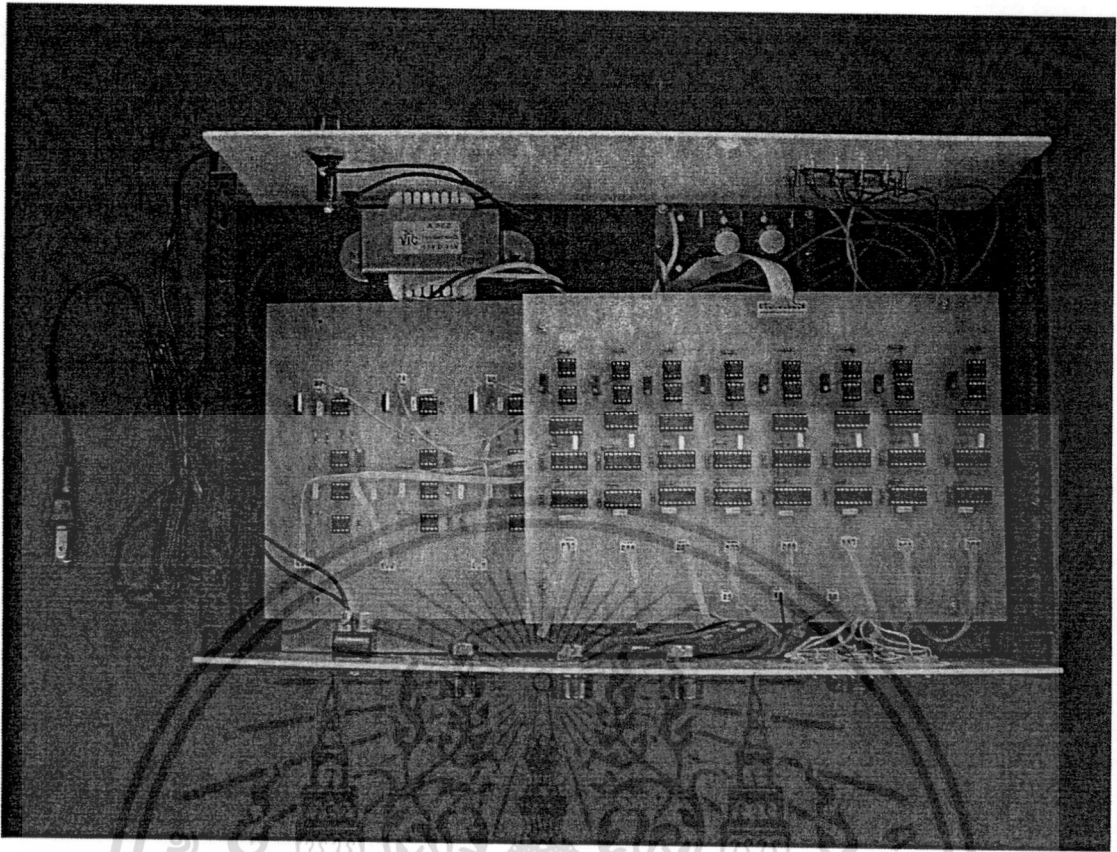
ต้นแบบเครื่องตรวจจับโลหะแบบเดินผ่านชนิดหลายโซน



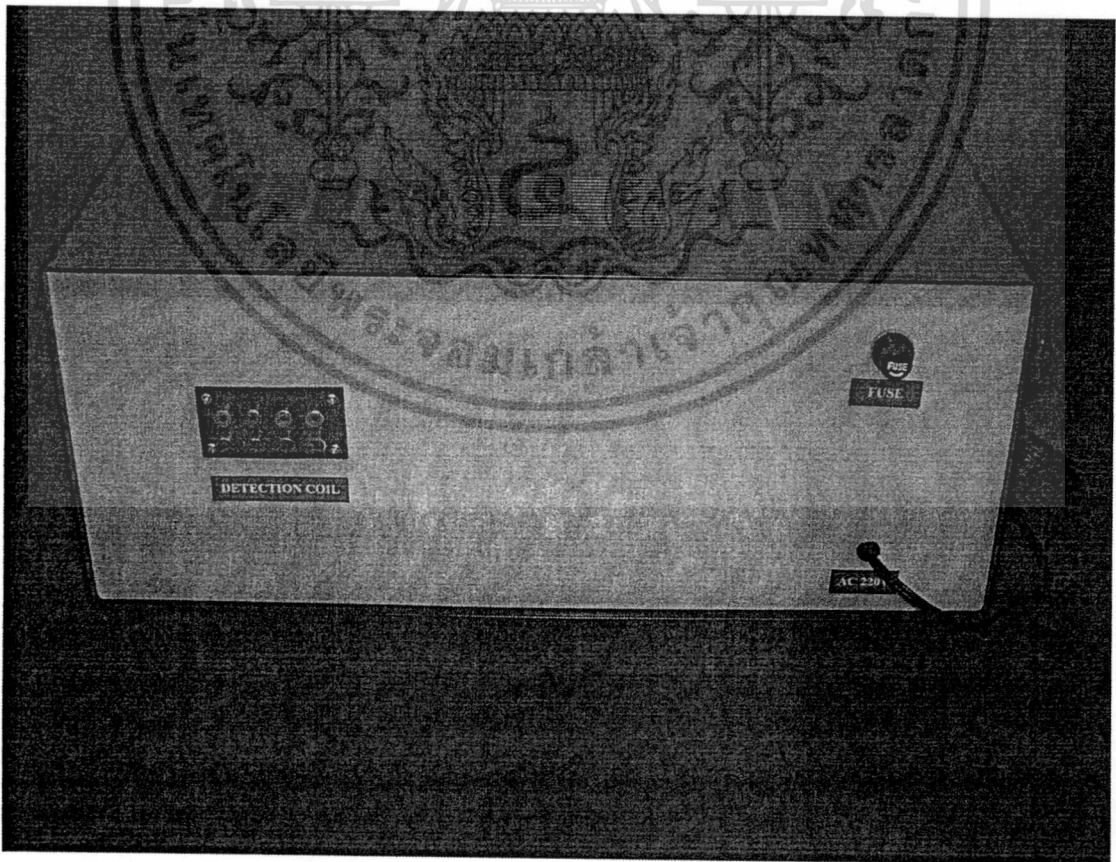
รูปที่ ก4 ต้นแบบเครื่องตรวจจับโลหะแบบเดินผ่านชนิดหลายโซน



รูปที่ ก5 ด้านหน้าของต้นแบบเครื่องตรวจจับโลหะแบบเดินผ่านชนิดหลายโซน
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6 ด้านบนของต้นแบบเครื่องตรวจจับโลหะแบบเดินผ่านชนิดหลายโซน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ 7 ด้านหลังของต้นแบบเครื่องตรวจจับโลหะแบบเดินผ่านชนิดหลายโซน
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้