

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

รายงานการวิจัย

การพัฒนาระบบตรวจสอบโลหะในเนื้อไม้

Development of Timber Metal Detector System



โดย

นางสาว วรรณดี เพชรมณีล้ำค่า

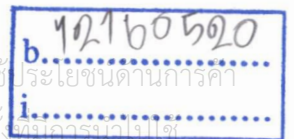
ภาควิชาวิศวกรรมระบบควบคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยเพื่อพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมด้วย
วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ

RGH
TK-674.65

ปีงบประมาณ 2551

จ249๗



เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 105793
วัน,เดือน,ปี..... 2 S.ค. 2552

โครงการวิจัย (ภาษาไทย) “การพัฒนาระบบตรวจสอบโลหะในเนื้อไม้”
(ภาษาอังกฤษ) “Development of Timber Metal Detector System”

ชื่อผู้วิจัย (ภาษาไทย) นางสาว วรณดี เพชรณดีล้ำค่า
(ภาษาอังกฤษ) Miss Wandee Petchmaneelumka

หน่วยงานที่รับผิดชอบงานวิจัย และที่อยู่

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

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยเพื่อพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมด้วยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
ประจำปี.....2551..... จำนวนเงิน.....455,000.....บาท
ระยะเวลาการทำการวิจัย.....1.....ปี ตั้งแต่.....1.....ตุลาคม..2550.....ถึง.....30.....กันยายน..2551

บทคัดย่อ

โครงการวิจัยนี้กล่าวถึงการพัฒนาต้นแบบระบบตรวจสอบโลหะในเนื้อไม้โดยระบบที่พัฒนาขึ้นจะประกอบด้วย วงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์ วงจรตรวจจับสัญญาณ วงจรตรวจจับแรงดันยอด วงจรเปรียบเทียบแรงดัน วงจรแสดงผล และหัวตรวจจับโลหะ สำหรับการทำงานของระบบตรวจสอบโลหะในเนื้อไม้ที่ใช้ในโครงการวิจัยนี้จะใช้เทคนิคของพัลส์อินดักชัน(PULSE INDUCTION) จากการทดสอบระบบที่พัฒนาขึ้นมากับโลหะที่มีขนาดต่างๆ ผลปรากฏว่าระบบที่พัฒนาขึ้นมาสามารถใช้ในการตรวจจับโลหะที่ฝังอยู่ตามเนื้อไม้ได้

ABSTRACT

This research project presents the development for timber metal detector system. The proposed system consists of pulse generator, detector circuit, peak detector, voltage comparator circuit, display circuit and detection head. The system is based on pulse induction method to detect metal in timber. Timber with various sizes of metal were tested in experiment. Experimental results demonstrate that metal fig in timber can be detected by the proposed system with high sensitivity.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ.....	I
สารบัญ.....	II
สารบัญตาราง.....	V
สารบัญรูป.....	VI
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย.....	1
1.2 ขอบเขตของโครงการวิจัย.....	1
บทที่ 2 ประเภทของเครื่องตรวจจับโลหะ.....	2
2.1 Beat Frequency Oscillator Method (BFO Method).....	2
2.2 VLF Phase Angle.....	4
2.3 Off Resonance.....	5
2.4 Induction Balance (IB) และ Transmit/Receive (TR).....	6
2.4.1 IB Detector (Induction Balance).....	6
2.4.2 T/R Detector(Transmit/Receive)	7
2.5 Pulse Induction (PI).....	7
บทที่ 3 ระบบตรวจสอบโลหะในเนื้อไม้.....	10
3.1 วงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์ (Pulse Generator).....	11
3.2 วงจรตรวจจับสัญญาณ(Detector Circuit).....	14
3.3 วงจรตรวจจับแรงดันยอด (Peak Detector)	15
3.4 วงจรเปรียบเทียบแรงดัน (Comparator Circuit).....	17
3.5 วงจรแสดงผล (Display circuit)	18
3.6 หัวตรวจจับโลหะ(Detection Head)	18
บทที่ 4 การทดสอบระบบที่พัฒนาขึ้นมา.....	22
4.1 การทดสอบวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์ (Pulse Generator)	23
4.2 การทดสอบวงจรตรวจจับสัญญาณ(Detector Circuit).....	24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
4.3 การทดสอบวงจรตรวจจับแรงดันยอด (Peak Detector).....	26
4.4 การทดสอบวงจรเปรียบเทียบแรงดัน(Comparator circuit)	29
4.5 การทดสอบระบบตรวจสอบโลหะในเนื้อไม้แบบ PULSE INDUCTION.....	34
4.5.1 การทดสอบค่าความไวของระบบตรวจสอบโลหะในเนื้อไม้ต่อขนาดของโลหะ.....	34
4.5.2 การทดสอบค่าความไวของระบบตรวจสอบโลหะในเนื้อไม้ต่อระยะห่างของโลหะ.....	34
บทที่ 5 บทสรุป.....	47
เอกสารอ้างอิง.....	68
ภาคผนวก ก ลักษณะการวางเลย์เอาท์ของต้นแบบระบบตรวจสอบโลหะในเนื้อไม้.....	69
ภาคผนวก ข ต้นแบบระบบตรวจสอบ โลหะในเนื้อไม้.....	75

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ข้อดีและข้อเสียของเทคนิคในการตรวจจับโลหะแบบต่างๆ.....	9



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 บล็อกไดอะแกรมของเครื่องตรวจจับโลหะแบบ Beat Frequency Oscillator (BFO).....	3
2.2 บล็อกไดอะแกรมของเครื่องตรวจจับโลหะแบบ VLF Phase Angle.....	4
2.3 สัญญาณเอาต์พุตของวงจรตรวจจับเฟส (phase Detector).....	4
2.4 บล็อกไดอะแกรมของเครื่องตรวจจับโลหะแบบ Off Resonance	5
2.5 เครื่องตรวจจับโลหะแบบที่ใช้หลักการ Induction Balance (IB) แบบ IB Detector (Induction Balance).....	6
2.6 เครื่องตรวจจับโลหะแบบที่ใช้หลักการ Induction Balance (IB) แบบ T/R Detector (Transmit/Receive).....	7
2.7 บล็อกไดอะแกรมเครื่องตรวจจับโลหะแบบ Pulse Induction (PI).....	8
3.1 บล็อกไดอะแกรมของระบบตรวจสอบโลหะในเนื้อไม้แบบ PULSE INDUCTION.....	10
3.2 วงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์ (Pulse Generator).....	11
3.3 วงจรสร้างสัญญาณพัลส์โดยใช้ไอซี LM555.....	12
3.4 วงจรตรวจจับสัญญาณ (Detector Circuit).....	15
3.5 วงจรวงจรตรวจจับสัญญาณแรงดันยอด.....	15
3.6 วงจรภายใน IC CD4538.....	16
3.7 วงจรเปรียบเทียบแรงดัน.....	17
3.8 วงจรแสดงผล.....	18
3.9 ส่วนประกอบของหัวตรวจจับโลหะที่ทำการสร้างขึ้นมา.....	19
3.10 ขนาดของหัวตรวจจับโลหะที่ทำการสร้างขึ้นมา.....	19
3.11 ส่วนประกอบของหัวตรวจจับโลหะที่ทำการสร้างขึ้นมา (ด้านหน้า)	19
3.12 ส่วนประกอบของหัวตรวจจับโลหะที่ทำการสร้างขึ้นมา (ด้านบน)	20
3.13 ส่วนประกอบของหัวตรวจจับโลหะที่ทำการสร้างขึ้นมา (ด้านข้าง)	20
3.14 วงจรอิเล็กทรอนิกส์สำหรับระบบตรวจสอบโลหะในเนื้อไม้.....	21
4.1 บล็อกไดอะแกรมของระบบตรวจสอบโลหะในเนื้อไม้แบบ PULSE INDUCTION.....	22
4.2 วงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่สร้างขึ้นมาสำหรับระบบตรวจสอบโลหะในเนื้อไม้.....	22
4.3 การทดสอบวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่สร้างขึ้นมาสำหรับระบบตรวจสอบโลหะในเนื้อไม้.....	23
4.4 เอาต์พุตของวงจรมีสัญญาณพัลส์.....	23
4.5 สัญญาณจากเอาต์พุตของวงจรมีสัญญาณพัลส์และสัญญาณจากขดลวดค้นหา.....	24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.6	ลักษณะของสัญญาณอินพุทและเอาต์พุทของวงจรมายสัญญาณ.....	24
4.7	สัญญาณเอาต์พุทของวงจรตรวจจับสัญญาณขณะที่ไม่มีโลหะอยู่ใกล้กับขดลวดค้นหา....	25
4.8	สัญญาณเอาต์พุทของวงจรตรวจจับสัญญาณขณะที่มีโลหะอยู่ใกล้กับขดลวดค้นหา.....	25
4.9	ลักษณะของสัญญาณอินพุทและเอาต์พุทของวงจรถ้าเนคสัญญาณพัลส์สำหรับวงจรมวมเปิดแอนด์โฮลด์.....	26
4.10	ลักษณะของสัญญาณอินพุทและสัญญาณแวมปลิ่งของวงจรมวมเปิดแอนด์โฮลด์ (ขณะที่ไม่มีโลหะอยู่ใกล้ขดลวดค้นหา).....	26
4.11	ลักษณะของสัญญาณอินพุทและสัญญาณแวมปลิ่งของวงจรมวมเปิดแอนด์โฮลด์(ขณะที่มีโลหะอยู่ใกล้ขดลวดค้นหา).....	27
4.12	ลักษณะของสัญญาณอินพุทและสัญญาณเอาต์พุทของวงจรมวมเปิดแอนด์โฮลด์.....	27
4.13	ลักษณะของสัญญาณในส่วนต่างๆของวงจรมวมเปิดแอนด์โฮลด์ (ขณะที่ไม่มีโลหะอยู่ใกล้ขดลวดค้นหา).....	28
4.14	ลักษณะของสัญญาณในส่วนต่างๆของระบบวงจรมวมเปิดแอนด์โฮลด์ (ขณะที่มีโลหะขนาดเล็กอยู่ใกล้ขดลวดค้นหา).....	28
4.15	ลักษณะของสัญญาณในส่วนต่างๆของวงจรมวมเปิดแอนด์โฮลด์ (ขณะที่มีโลหะขนาดใหญ่อยู่ใกล้ขดลวดค้นหา).....	29
4.16	แสดงลักษณะของสัญญาณขณะที่แรงดันอินพุทต่ำกว่าค่าแรงดันอ้างอิง.....	29
4.17	แสดงลักษณะของสัญญาณขณะที่แรงดันอินพุทสูงกว่าค่าแรงดันอ้างอิง.....	30
4.18	วงจรมวมเปิดแอนด์โฮลด์สำหรับระบบตรวจสอบโลหะในเนื้อไม้.....	30
4.19	ลายวงจรมวมเปิดแอนด์โฮลด์และการลงอุปกรณ์ของวงจรมวมเปิดแอนด์โฮลด์สำหรับระบบตรวจสอบโลหะในเนื้อไม้.....	31
4.20	ลายวงจรมวมเปิดแอนด์โฮลด์ของวงจรมวมเปิดแอนด์โฮลด์สำหรับระบบตรวจสอบโลหะในเนื้อไม้.....	31
4.21	การลงอุปกรณ์ของวงจรมวมเปิดแอนด์โฮลด์สำหรับระบบตรวจสอบโลหะในเนื้อไม้.....	32
4.22	วงจรมวมเปิดแอนด์โฮลด์ของวงจรมวมเปิดแอนด์โฮลด์สำหรับระบบตรวจสอบโลหะในเนื้อไม้ (ด้านลายทองแดง).....	32
4.23	วงจรมวมเปิดแอนด์โฮลด์ของวงจรมวมเปิดแอนด์โฮลด์สำหรับระบบตรวจสอบโลหะในเนื้อไม้ (ด้านอุปกรณ์).....	33
4.24	การลงอุปกรณ์ของวงจรมวมเปิดแอนด์โฮลด์สำหรับระบบตรวจสอบโลหะในเนื้อไม้.....	33
4.25	แรงดันเอาต์พุทของวงจรมวมเปิดแอนด์โฮลด์ต่อขนาดแท่งโลหะขนาดต่างๆ.....	34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.26 แรงดันเอาต์พุทของวงจรตรวจจับสัญญาณต่อระยะห่างของโลหะ(รัศมี 0.5 มิลลิเมตร)กับหัวตรวจจับโลหะ.....	35
4.27 แรงดันเอาต์พุทของวงจรตรวจจับสัญญาณต่อระยะห่างของโลหะ(รัศมี 1 มิลลิเมตร)กับหัวตรวจจับโลหะ.....	35
4.28 เปรียบเทียบแรงดันเอาต์พุทของวงจรตรวจจับสัญญาณต่อระยะห่างของโลหะกับหัวตรวจจับโลหะที่ขนาดของโลหะต่างๆ.....	36
ก1 แสดงการวางเลย์เอาต์ด้านหน้าของต้นแบบระบบตรวจสอบโลหะในเนื้อไม้.....	39
ก2 แสดงการวางเลย์เอาต์ด้านบนของต้นแบบระบบตรวจสอบโลหะในเนื้อไม้.....	39
ก3 แสดงการวางเลย์เอาต์ด้านหลังของต้นแบบระบบตรวจสอบโลหะในเนื้อไม้.....	39
ข1 ต้นแบบระบบตรวจสอบโลหะในเนื้อไม้.....	40
ข2 ด้านหน้าของต้นแบบระบบตรวจสอบโลหะในเนื้อไม้.....	40
ข3 ด้านบนของต้นแบบระบบตรวจสอบโลหะในเนื้อไม้.....	41
ข4 ด้านหลังของต้นแบบระบบตรวจสอบโลหะในเนื้อไม้.....	41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

ในปัจจุบันปัญหาเรื่องการขาดแคลนไม้ในการใช้งานมีเพิ่มมากขึ้นเนื่องจากการห้ามการตัดไม้จากป่าธรรมชาติ ทำให้ต้องมีการนำเข้าไม้จากประเทศเพื่อนบ้าน ซึ่งมีราคาค่อนข้างสูง ด้วยเหตุนี้จึงมีการนำไม้ที่ผ่านการใช้งานแล้วนำกลับมาใช้อีก (Recycle) เพื่อประหยัดค่าใช้จ่าย แต่การนำไม้ที่ผ่านการใช้งานแล้วมาแปรรูปมักเกิดปัญหากับใบเลื่อยตัดไม้เนื่องจากมีเศษโลหะ เช่น ตะปู ทำให้เกิดปัญหาใบเลื่อยหัก ดังนั้นจึงต้องทำการตรวจสอบไม้ก่อนที่จะเข้าเครื่องตัด โดยใช้คนทำการตรวจสอบทำให้สูญเสียเวลาและแรงงานในการตรวจมาก หรือหากจะทำการตรวจด้วยเครื่องตรวจสอบโลหะก็มีราคาแพงมากเนื่องจากต้องทำการนำเข้าเครื่องตรวจจับโลหะจากต่างประเทศ ดังนั้นทางผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะพัฒนาระบบตรวจสอบโลหะในเนื้อไม้ที่ขึ้นมาเพื่อใช้ในการตรวจสอบไม้ก่อนที่จะนำไม้เข้าเครื่องตัดหรือแปรรูปทั้งนี้เพื่อป้องกันการชำรุดของใบเลื่อยตัด ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อวงการอุตสาหกรรมไม้ในประเทศไทย

1.1 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1. พัฒนาด้านแบบระบบตรวจสอบโลหะในเนื้อไม้โดยใช้เทคโนโลยีและวัสดุภายในประเทศ เพื่อใช้ในการตรวจสอบหาโลหะที่ฝังอยู่ในเนื้อไม้ก่อนที่จะนำไม้เข้าเครื่องตัดหรือแปรรูปทั้งนี้เพื่อป้องกันการชำรุดของใบเลื่อยตัด ซึ่งเป็นประโยชน์ต่ออุตสาหกรรมไม้ในประเทศไทย
2. พัฒนาเทคโนโลยีทางการตรวจสอบโลหะ
3. พัฒนาเทคโนโลยีในการตรวจสอบแบบไม่ทำลาย

1.2 ขอบเขตของโครงการวิจัย

โครงการวิจัยนี้เป็นการพัฒนาด้านแบบระบบตรวจสอบโลหะในเนื้อไม้ เพื่อนำระบบที่สร้างขึ้นไปประยุกต์ใช้งานในการตรวจสอบโลหะในเนื้อไม้เพื่อป้องกันการหักของใบเลื่อยโดยระบบจะทำการตรวจสอบโลหะในเนื้อไม้โดยอัตโนมัติ เมื่อพบโลหะก็จะทำการหยุดใบเลื่อยหรือส่งสัญญาณไปหยุดมอเตอร์ที่ใช้สำหรับเลื่อนไม้เข้าเครื่องตัด พร้อมทั้งส่งสัญญาณเตือนให้ผู้ควบคุมทราบว่าไม้ที่มีโลหะอยู่ในเนื้อไม้ก่อนที่จะใบเลื่อยจะทำการตัดเนื้อไม้ที่มีโลหะฝังอยู่

บทที่ 2

ประเภทของเครื่องตรวจจับโลหะ (Metal Detector)

ในปัจจุบันได้มีการพัฒนาวิธีการในการตรวจจับโลหะแบบต่างๆ ขึ้นมามากมายหลายวิธี โดยใช้เทคนิคในการตรวจจับโลหะแตกต่างกันไป โดยในแต่ละวิธีก็จะมีข้อดีข้อเสียแตกต่างกันออกไป โดยวิธีที่ได้รับความนิยมและ ใช้กันแพร่หลายในปัจจุบันมีอยู่ด้วยกัน 5 วิธี[1-2] คือ

- 2.1 Beat Frequency Oscillator Method (BFO Method)
- 2.2 VLF Phase Angle
- 2.3 Off Resonance
- 2.4 Induction Balance (IB) หรือ Transmit / Receive (TR)
- 2.5 Pulse Induction

โดยในแต่ละวิธีจะมีรายละเอียดของการทำงานดังนี้

2.1 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

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

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

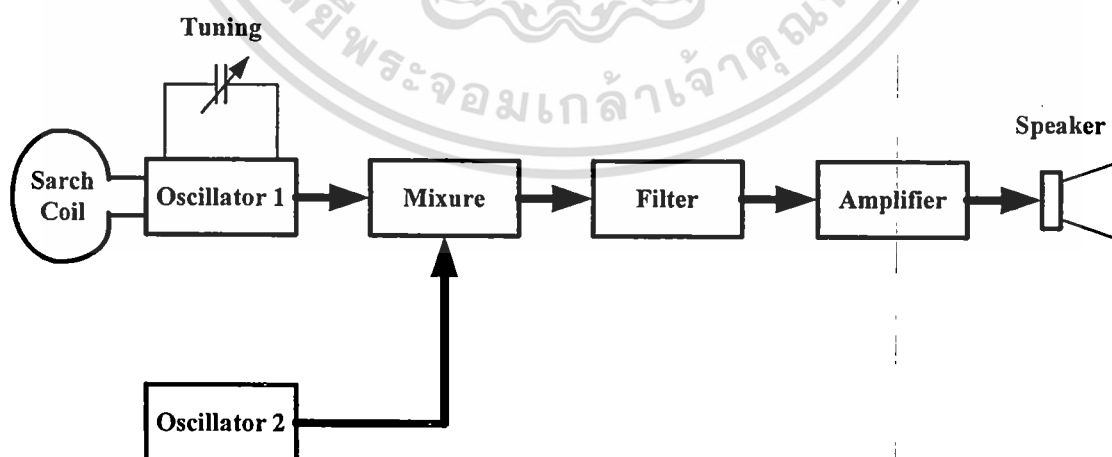
$$|F_1+F_2| = |100+100.6| = 200.6 \text{ KHz}$$

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

เมื่อเรานำสัญญาณเอาต์พุตที่ได้ไปผ่านวงจรฟิลเตอร์ก็จะได้สัญญาณความถี่ 600 Hz เพื่อนำสัญญาณที่ได้ไปขยายเพื่อขับลำโพงต่อไป

จากผลของความถี่เอาต์พุตที่เปลี่ยนแปลงทำให้เราทราบได้ว่ามีโลหะอยู่ใกล้กับขดลวดค้นหา โดยสัญญาณเอาต์พุตของวงจรจะมีความถี่เท่าใด จะขึ้นอยู่กับผลของโลหะที่เข้ามาใกล้ขดลวดค้นหา โดยเมื่อโลหะชนิดที่เป็น Ferrous เข้ามาใกล้ขดลวดค้นหาจะมีผลทำให้ค่าอินดักแตนซ์ของขดลวดค้นหาเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ความถี่ของสัญญาณเอาต์พุตลดลง และในทางตรงกันข้ามหากโลหะที่เป็น Non-Ferrous เข้ามาใกล้ขดลวดค้นหาจะมีผลทำให้ค่าอินดักแตนซ์ของขดลวดค้นหาลดลง ส่งผลให้ความถี่ของสัญญาณเอาต์พุตเพิ่มขึ้น

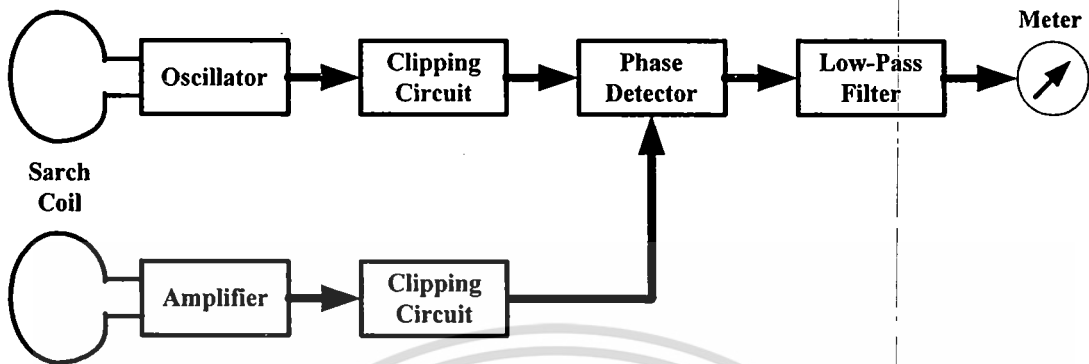
สำหรับข้อเสียของระบบตรวจจับโลหะแบบนี้ก็คือต้องใช้ วงจรกำเนิดสัญญาณถึง 2 ชุด และต้องทำการปรับความถี่ใหม่ทุกครั้งที่ใช้งาน อีกทั้งค่า Sensitivity ของวงจรมิกเซอร์ต่ำ นอกจากนี้วงจรมิกเซอร์ใช้ความถี่สูงจึงอาจเกิดความผิดพลาดเนื่องจาก ผลของ Ground Capacitance



รูปที่ 2.1 บล็อกไดอะแกรมของเครื่องตรวจจับโลหะแบบ Beat Frequency Oscillator (BFO)

2.2 VLF Phase Angle

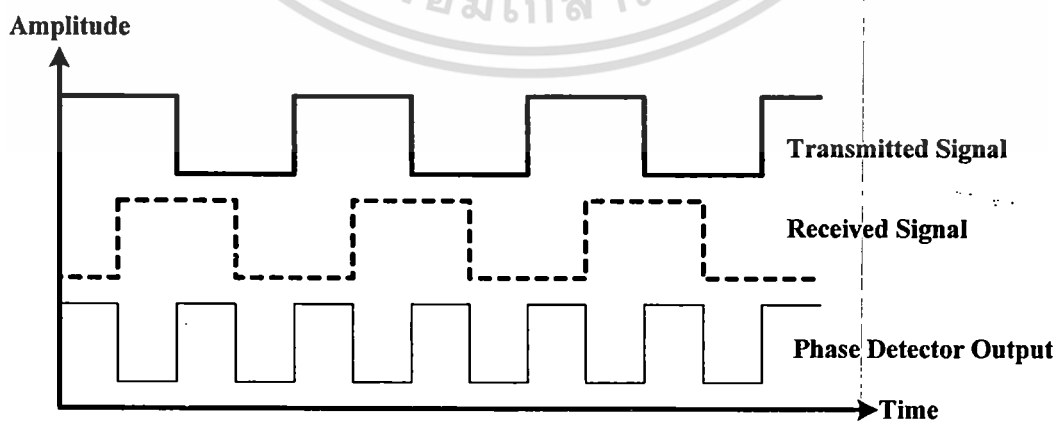
เครื่องตรวจจับโลหะชนิดนี้จะใช้ค่าความต่างเฟสมาเป็นตัวตรวจจับ ซึ่งมีการทำงานดังในบล็อกไดอะแกรมต่อไปนี้



รูปที่ 2.2 บล็อกไดอะแกรมของเครื่องตรวจจับโลหะแบบ VLF Phase Angle

จากบล็อกไดอะแกรมรูปที่ 2.2 ระบบจะประกอบด้วยขดลวด 2 ขด ทำหน้าที่เป็นขดลวดค้นหา โดยขดหนึ่งจะต่ออยู่กับวงจรกำเนิดสัญญาณซึ่งจะสร้างสัญญาณสี่เหลี่ยม (Square Wave) ออกมาที่ความถี่ค่าหนึ่ง ส่วนขดลวดอีกขดหนึ่งจะเป็นตัวรับสัญญาณที่ความถี่เดียวกันแล้วนำไปเข้าวงจรขยายสัญญาณ (Amplifier Circuit) เพื่อขยายสัญญาณ จากนั้นจึงนำสัญญาณทั้งสองไปเข้าวงจรตรวจจับเฟส (Phase Detector) เพื่อสร้างสัญญาณที่เกิดจากความต่างเฟสของสัญญาณทั้งสองดังรูปที่ 2.3

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

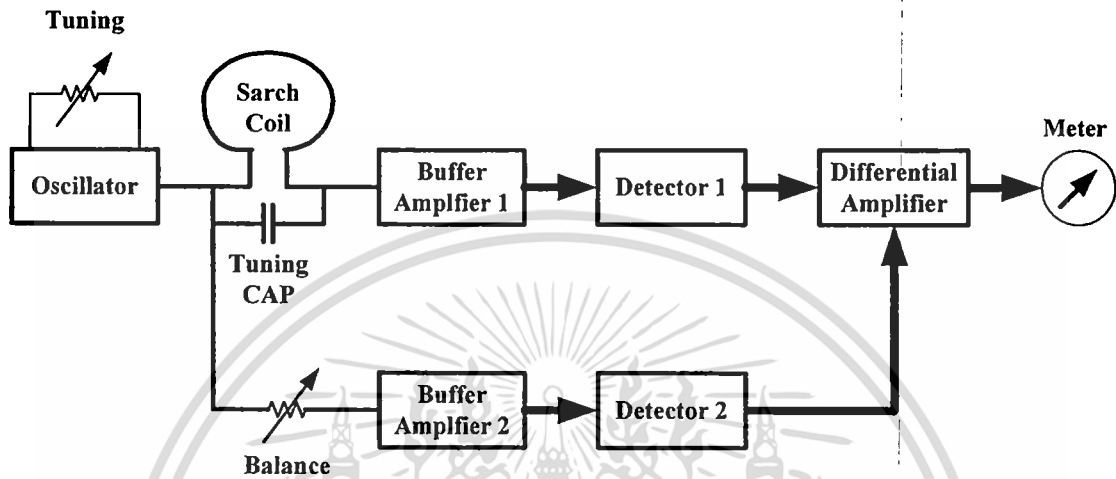


รูปที่ 2.3 สัญญาณเอาท์พุทของวงจรตรวจจับเฟส (phase Detector)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 Off Resonance

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



รูปที่ 2.4 บล็อกไดอะแกรมของเครื่องตรวจจับโลหะแบบ Off Resonance

จากบล็อกไดอะแกรมรูปที่ 2.4 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 ทำให้ความถี่เรโซแนนซ์ (Resonance Frequency) ของวงจร LC Tuning เปลี่ยนไป ส่งผลให้เกิดการไม่ดุล (Imbalance) ของแรงดันอินพุตทั้งสองของวงจรขยายความแตกต่าง ทำให้มีแรงดันเกิดขึ้นที่เอาท์พุทของวงจรซึ่งสามารถวัดได้โดยใช้มิเตอร์

สำหรับเครื่องตรวจจับโลหะชนิดนี้จะไม่เป็นที่นิยมมากนัก เนื่องจากมี Sensitivity ที่ต่ำ และวงจรมีความยุ่งยาก

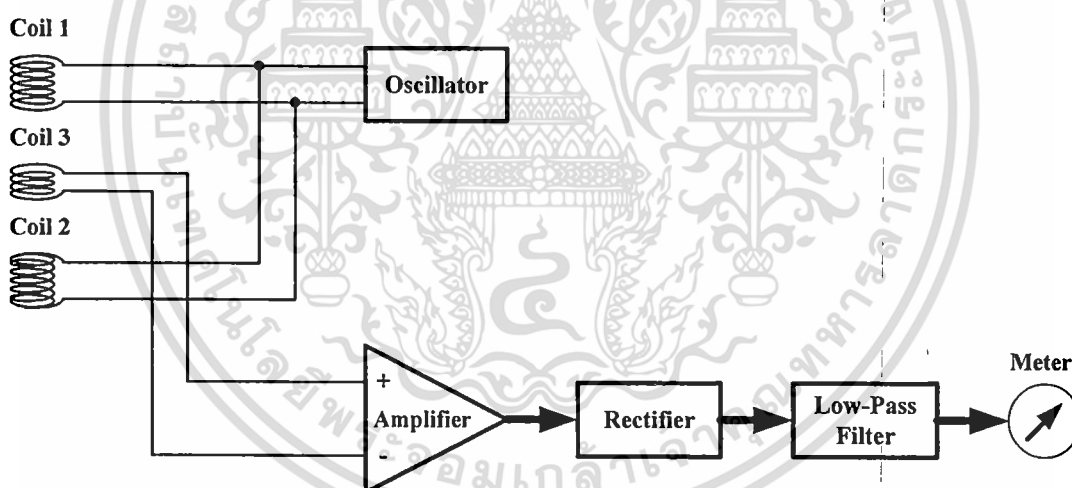
2.4 Induction Balance (IB) และ Transmit/Receive (TR)

เครื่องตรวจจับโลหะชนิดนี้จะใช้หลักการของ Induction Balance ซึ่งสามารถอธิบายหลักการได้โดยละเอียดดังนี้

วงจรกำเนิดสัญญาณจะส่งสัญญาณไปยังขดลวดตัวส่ง (Transmit Coil) ทำให้เกิดสนามแม่เหล็กขึ้นรอบๆ ขดลวด ขดลวดตัวรับ (Receive Coil) ซึ่งวางเหลื่อม (Overlapping) กันกับขดลวดตัวส่งจะรับสนามแม่เหล็กที่มีลักษณะสมดุล (Balance) ทำให้เกิดสัญญาณที่เอาต์พุตเพียงเล็กน้อยหรือไม่มีเลย เมื่อมีโลหะเข้ามาในสนามแม่เหล็กจะทำให้เกิดความไม่สมดุล (Imbalance) ของสนามแม่เหล็ก เนื่องจากสนามแม่เหล็กที่ขดลวดตัวรับเกิดการเปลี่ยนแปลง ผลของการเปลี่ยนแปลงนี้สามารถนำไปผ่านวงจรขยาย (Amplifier), วงจรเรียงกระแส (Rectifier), และวงจรกรองความถี่ (Filter) จะได้สัญญาณเอาต์พุตจากระบบเป็นสัญญาณแรงดันดีซี (D.C. Voltage) จากนั้นจึงนำสัญญาณนี้ไปแสดงผลโดยใช้มิเตอร์

เครื่องตรวจจับโลหะแบบที่ใช้หลักการ Induction Balance (IB) จะแบ่งเป็น 2 ชนิดคือ

2.4.1 IB Detector (Induction Balance) ประกอบด้วยขดลวดตรวจจับ 3 ชุด ดังรูปที่ 2.5



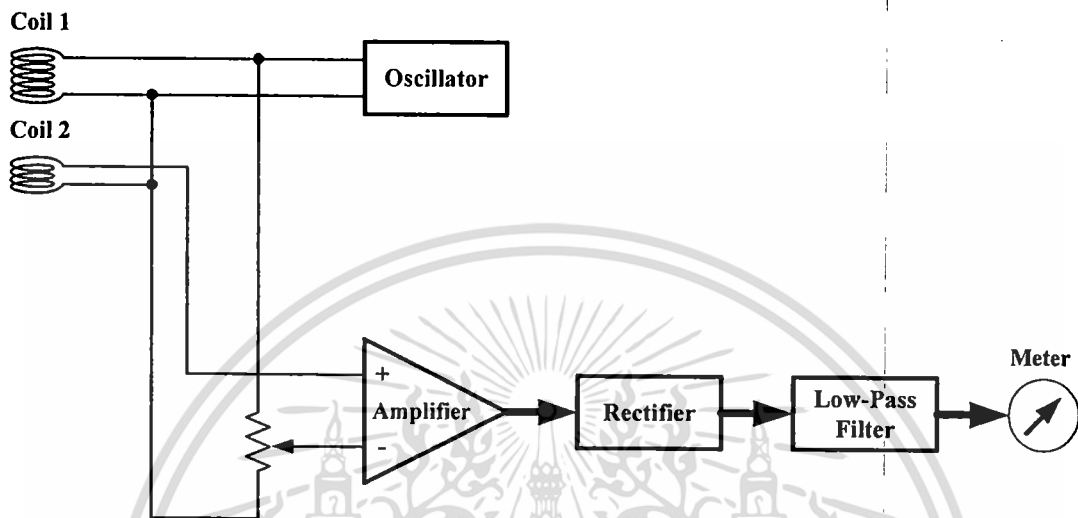
รูปที่ 2.5 เครื่องตรวจจับโลหะแบบที่ใช้หลักการ Induction Balance (IB) แบบ IB Detector (Induction Balance)

จากบล็อกไดอะแกรมในรูปที่ 2.5 วงจรกำเนิดสัญญาณจะผลิตความถี่ป้อนเข้าขดลวด 2 ชุด โดยเรียงขดลวดทั้งสามดังนี้ วางขดลวดทั้งสามซ้อนกัน โดยเว้นระยะห่างจากขดลวดขดกลาง ขดลวดที่อยู่ด้านบนและด้านล่างจะต่ออยู่กับวงจรกำเนิดสัญญาณ ขดลวดด้านล่างจะพันทิศทางตรงกันข้ามกับขดลวดด้านบน ดังนั้นขดลวดทั้งสองจะให้สนามแม่เหล็กที่มีเฟสต่างกัน (Anti-phase Field) สมดุลของสนามแม่เหล็กจะเกิดขึ้นกับขดลวดขดกลาง ทำให้ไม่มีสัญญาณเกิดขึ้น เมื่อนำโลหะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เข้าใกล้กับขดลวด จะเกิดการไม่สมดุลของสนามแม่เหล็กขึ้น สัญญาณนี้สามารถไปทำการขยายโดย วงจรขยาย (Amplifier Circuit) และเปลี่ยนเป็นแรงดันคิซีโดยวงจรเร็คติไฟเออร์ จากนั้นจึงนำ สัญญาณนี้ไปแสดงผลโดยใช้มิเตอร์ต่อไป

2.4.2. T/R Detector(Transmit/Receive)จะประกอบด้วยขดลวดตรวจจับ 2 ชุดดังรูปที่ 2.6



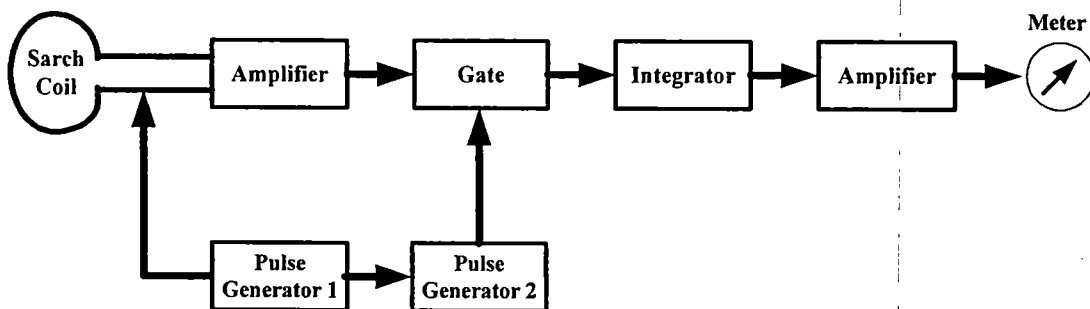
รูปที่ 2.6 เครื่องตรวจจับ โลหะแบบที่ใช้หลักการ Induction Balance (IB) แบบ T/R Detector(Transmit/Receive)

จากบล็อกไดอะแกรมในรูปที่ 2.6 ขดลวดจะถูกต่อเข้ากับวงจรกำเนิดสัญญาณเพียงขดเดียว ส่วนอีกขดจะต่อเข้ากับวงจรขยายแบบ ไม่กลับเฟส (Non-Inverting Amplifier) โดยที่อินพุทจากกลับเฟส (Inverting) จะต่อกับสัญญาณที่เป็นแรงดันอ้างอิง (ใช้ตัวต้านทานปรับค่าได้) โดยปกติเราจะทำการปรับค่าแรงดันอ้างอิงเพื่อให้สัญญาณเอาท์พุทเป็น 0 เมื่อมีโลหะเข้ามาใกล้ขดลวดค้นหาจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสัญญาณที่เอาท์พุท สัญญาณนี้จะถูกทำการขยายโดยวงจรขยาย (Amplifier Circuit) และเปลี่ยนเป็นแรงดันคิซีโดยวงจรเร็คติไฟเออร์ จากนั้นจึงนำสัญญาณนี้ไปแสดงผลโดยใช้มิเตอร์ต่อไป

เครื่องตรวจจับ โลหะทั้งสองชนิดนี้ สัญญาณที่ได้รับจากการตรวจจับของขดลวดชุดรับจะเพิ่มขึ้นเมื่อตรวจพบ โลหะชนิด Ferrous และจะลดลงเมื่อเป็น โลหะชนิด Non-Ferrous

2.5 Pulse Induction (PI)

ลักษณะ โครงสร้างและการทำงานของเครื่องตรวจจับ โลหะแบบพัลส์อินดักชัน(Pulse Induction:PI) สามารถแสดงได้ดังบล็อกไดอะแกรมในรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 บล็อกไดอะแกรมเครื่องตรวจจับโลหะแบบ Pulse Induction (PI)

จากบล็อกไดอะแกรมในรูปที่ 7 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. แล้วนำแรงดันจากเอาท์พุทของวงจรรีโวลติเตอร์ (Integrator Circuit) นี้ไปควบคุม Voltage Control Oscillator(VCO) ซึ่งไปขับลำโพงอีกทีหนึ่ง

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

จากวิธีการในการตรวจจับโลหะแบบต่างๆแบบต่างๆที่กล่าวมาทั้งหมดสามารถสรุปข้อดี และข้อเสียของแต่ละวิธีได้ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ข้อดีและข้อเสียของเทคนิคในการตรวจจ็บโลหะแบบต่างๆ

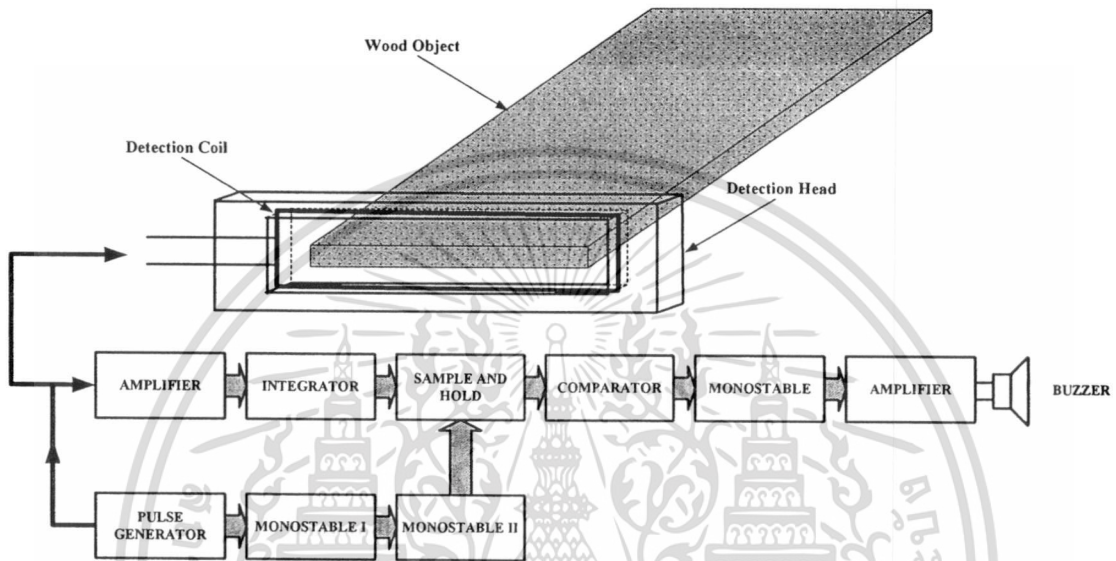
System	Advantages	Drawbacks	Conclusions
1. BFO without discriminator	<p>Cheap</p> <p>Easily operated</p> <p>Low power consumption</p>	<p>Drift, fixed sensitivity.</p> <p>Standard system insensitive</p> <p>Susceptible to RF interference</p> <p>No meter facility</p>	The beginners system
2. VCO	<p>Low cost, 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

บทที่ 3

ระบบตรวจสอบโลหะในเนื้อไม้

สำหรับในโครงการวิจัยการพัฒนา ระบบตรวจสอบโลหะในเนื้อไม้นี้จะใช้เทคนิคการตรวจจับโลหะแบบ Pulse Induction ซึ่งมีการทำงานดังบล็อกไดอะแกรมดังนี้



รูปที่ 3.1 บล็อกไดอะแกรมของระบบตรวจสอบโลหะในเนื้อไม้แบบ PULSE INDUCTION

จากบล็อกไดอะแกรมในรูปที่ 3.1 วงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์ (Pulse Generator) ทำหน้าที่ส่งสัญญาณพัลส์ช่วงสั้นๆ (ในระบบนี้ใช้ประมาณ 50-100 พัลส์ ต่อวินาทีด้วยค่าความถี่เกิดประมาณ 1-10 เฟอร์เซ็นต์) เข้าไปในขดลวดค้นหา (Search Coil) ทำให้เกิดสนามแม่เหล็กรอบๆขดลวดค้นหาที่ขอบขาลงของสัญญาณแต่ละพัลส์สนามแม่เหล็กจะลดลง 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 จากผลดังกล่าวทำให้เราสามารถตรวจได้ว่ามีโลหะ อยู่ใกล้เคียงขดลวดค้นหาหรือไม่

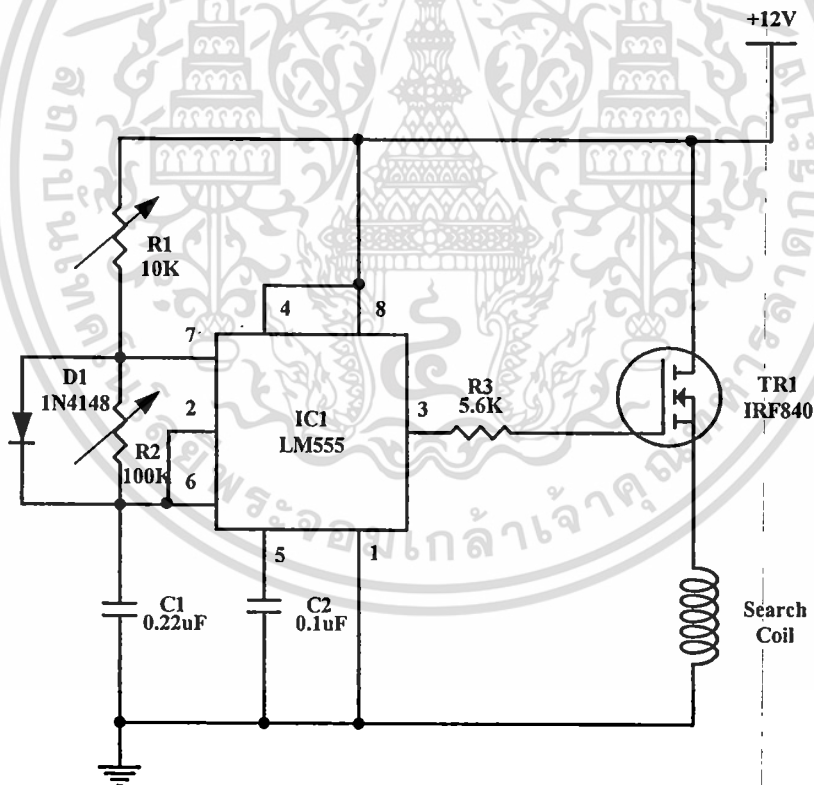
สำหรับการตรวจจับโลหะ เราจะทำการขยายสัญญาณจากขดลวดค้นหา แล้วจึงนำสัญญาณที่ได้ไปผ่านวงจรอินทิเกรเตอร์(Integrator Circuit) ก่อนที่จะส่งไปยังวงจรแซมเปิลแอนด์โฮลด์(Sample and Hold Circuit) โดยสัญญาณที่ใช้ในการแซมปลิง (Sampling) จะได้จากวงจรมีกำเนิดสัญญาณ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พัลส์ โดยจะทำการหน่วงเวลาโดยใช้วงจรโมโนสเตเบิล (Monostable Circuit) 2 ชุก ก่อนที่จะส่งไปควบคุมการแฉมปลิ่งของวงจรแฉมเปิดแอนด์โฮล สัญญาณเอาต์พุทจากวงจรแฉมเปิดแอนด์โฮลจะถูกไปเปรียบเทียบกับค่าระดับแรงดันที่ตั้งไว้โดยวงจรเปรียบเทียบแรงดัน(Comparator Circuit) ซึ่งถ้าหากระดับแรงดันเกินค่าที่ตั้งไว้ ก็จะส่งสัญญาณเอาต์พุทไปขับบัลลิสเตอร์ โดยระยะเวลาในการส่งสัญญาณเตือนจะกำหนดได้โดยวงจรโมโนสเตเบิล

สำหรับรายละเอียดของวงจรในส่วนต่างๆ ที่ได้ทำการออกแบบและสร้างขึ้นมาสามารถแสดงได้ดังต่อไปนี้

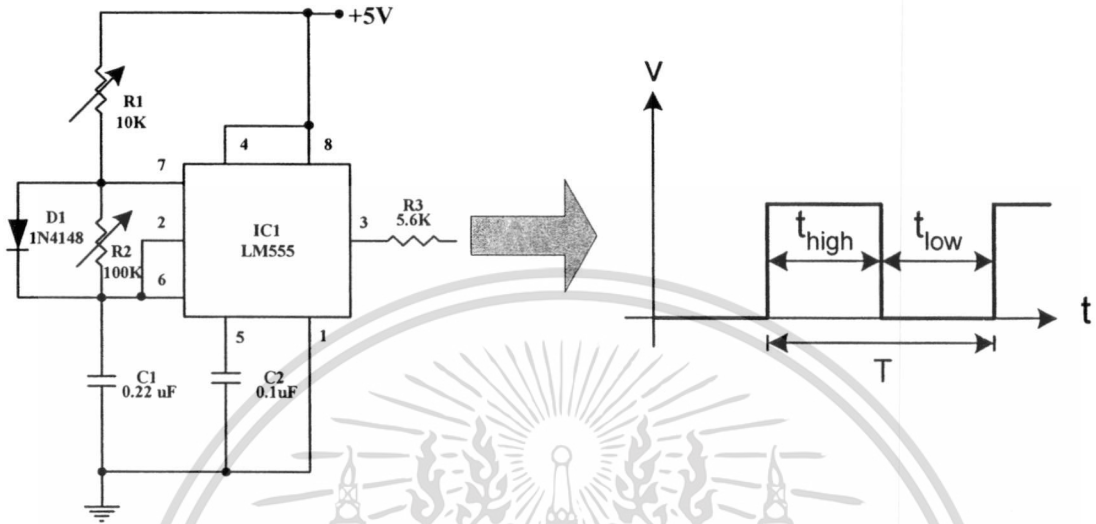
3.1 วงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์(Pulse Generator)

สำหรับวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์ที่ใช้ในระบบตรวจสอบโลหะในเนื้อไม้นี้จะใช้ไอซี LM555[3] เป็นตัวกำเนิดสัญญาณพัลส์ โดยเอาต์พุทของไอซี LM555 จะถูกส่งไปขับ TR1 ซึ่งเป็นมอสเฟต(MOSFET) เบอร์IRF840[4] เพื่อขยายสัญญาณก่อนที่จะส่งไปขับขดลวดค้นหาดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 วงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์ (Pulse Generator)

จากวงจรรูปที่ 3.2 ไอซี LM555 จะถูกต่อให้ทำงานในรูปแบบของวงจรอะสเตเบิล(Astable circuit)ดังวงจรในรูปที่ 3.3 โดยเราสามารถหาค่าคาบเวลาและความถี่ของสัญญาณเอาต์พุตสำหรับ ขั้วขดลวดค้นหาได้ดังนี้



รูปที่ 3.3 วงจรสร้างสัญญาณพัลส์โดยใช้ไอซี LM555

จากวงจรในรูปที่ 3.3 เราจะนำไดโอดมาต่อขนานกับ R2 เพื่อช่วยในการจัดค่าความถี่เกิด (Duty-cycle) ของเอาต์พุตจากวงจร(ในวงจรนี้เราใช้ R1, R2 และ C1 ในการควบคุมการสร้างพัลส์ ที่ความถี่ต่างๆ) เราสามารถคำนวณหาค่าคาบเวลาที่เอาต์พุตมีค่าสูง(t_{high}), ค่าคาบเวลาที่เอาต์พุตมีค่าต่ำ(t_{low}), ค่าคาบเวลารวมทั้งหมด(T), ค่าความถี่(f) และค่าความถี่เกิด ของวงจรได้จากสมการที่ (3.1), (3.2), (3.3), (3.4) และ (3.5) ตามลำดับ

$$t_{high} = 0.695 \cdot R1 \cdot C1 \quad (3.1)$$

$$t_{low} = 0.695 \cdot R2 \cdot C1 \quad (3.2)$$

$$T = 0.695 \cdot (R1 + R2) \cdot C1 \quad (3.3)$$

$$f = 1/T \quad (3.4)$$

$$\text{Duty Cycle}(\%) = (t_{high}/T) \cdot 100 \quad (3.5)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการที่ (3.1) ถึง (3.5) เราสามารถหาค่าคาบเวลาที่เอาต์พุตมีค่าสูง(t_{high}), ค่าคาบเวลาที่เอาต์พุตมีค่าต่ำ(t_{low}), ค่าคาบเวลารวมทั้งหมด(T), ค่าความถี่(f) และค่าความถี่ไซเคิลของวงจรในรูปแบบที่ 3.3 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 และค่าความถี่ไซเคิลเท่ากับ 0.99 %

ในกรณีที่ปรับ $R1= 10K$, $R2 = 100K$, $C1 = 0.22\mu F$ จะได้สัญญาณพัลส์ที่มีคุณสมบัติดังนี้

$$t_{high} = 0.695 * R2 * C1 = 0.695 * 10K * 0.22\mu F = 1.529 \text{ ms}$$

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

$$T = 0.695 * (R1 + R2) * C1 = 0.695 * (100K + 10K) * 0.22\mu F = 16.819 \text{ ms}$$

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

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

ดังนั้นกรณีที่ปรับ $R1 = 10K$, $R2 = 100K$, $C1 = 0.22\mu F$ เราจะได้สัญญาณพัลส์ที่มีค่าคาบเวลา
ที่เอาต์พุตมีค่าสูงเท่ากับ 1.529 ms , ค่าคาบเวลาที่เอาต์พุตมีค่าต่ำเท่ากับ 15.29 ms , ค่าคาบเวลารวม
ทั้งหมดเท่ากับ 16.819 ms , ค่าความถี่(f)เท่ากับ 59.46 Hz และค่าความถี่ไซเคิลเท่ากับ 9.09%

ในกรณีที่ปรับ $R1 = 1K$, $R2 = 10K$, $C1 = 0.22\mu F$ จะได้สัญญาณพัลส์ที่มีคุณสมบัติดังนี้

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

$$t_{\text{low}} = 0.695 * R1 * C1 = 0.695 * 10K * 0.22\mu F = 1.529\text{ ms}$$

$$T = 0.695 * (R1 + R2) * C1 = 0.695 * (10K + 1K) * 0.22\mu F = 1.6819\text{ ms}$$

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

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

ดังนั้นกรณีที่ปรับ $R1 = 1K$, $R2 = 10K$, $C1 = 0.22\mu F$ เราจะได้สัญญาณพัลส์ที่มีค่าคาบเวลาที่
เอาต์พุตมีค่าสูงเท่ากับ 0.1529 ms , ค่าคาบเวลาที่เอาต์พุตมีค่าต่ำเท่ากับ 1.529 ms , ค่าคาบเวลารวม
ทั้งหมดเท่ากับ 1.6819 ms , ค่าความถี่(f)เท่ากับ 594.57 Hz และค่าความถี่ไซเคิลเท่ากับ 9.09%

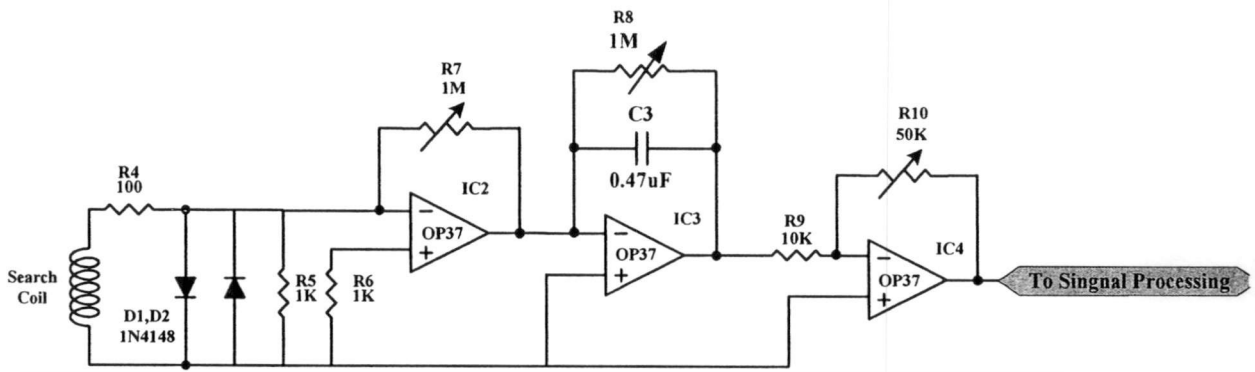
จากตัวอย่างจะเห็นว่าเราสามารถปรับเปลี่ยนความถี่และค่าความถี่ไซเคิลของวงจรได้โดยการ
ปรับค่า $R1$ และ $R2$ ซึ่งความถี่และค่าความถี่ไซเคิลจะมีผลต่อค่าความไวในการการตรวจจับโลหะ
(Sensitivity) และค่าการสิ้นเปลืองพลังงานของวงจร(Power consumption) ดังนั้นในการใช้งานจริง
เราจะต้องทำการปรับความถี่และค่าความถี่ไซเคิลของวงจรให้เหมาะสม เนื่องจากหากปรับความถี่และ
ค่าความถี่ไซเคิลมากเกินไปวงจรจะกินกระแสไฟมากทำให้สิ้นเปลืองพลังงานมากเกินไป แต่ถ้าปรับ
ค่าความถี่และค่าความถี่ไซเคิลน้อยเกินไปก็จะทำให้วงจรมีความไวในการตรวจจับโลหะต่ำ

3.2 วงจรตรวจจับสัญญาณ(Detector Circuit)

สำหรับวงจรตรวจจับสัญญาณจะประกอบด้วยไดโอดD1 และ D2 ต่อเป็นวงจรคลิปปิ่ง
(Clipping Circuit) เพื่อทำหน้าที่ป้องกันอินพุตของออปแอมป์ IC2(OP37[5]) ซึ่งต่อเป็นวงจรขยาย
สัญญาณ(Amplifier circuit) โดย IC2 จะทำหน้าที่ขยายสัญญาณจากวงจรคลิปปิ่ง ก่อนส่งไปยัง
IC3(OP37) ซึ่งต่อเป็นวงจรอินทิเกรเตอร์ เอาต์พุตของวงจรอินทิเกรเตอร์ จะถูกส่งเข้าวงจรขยาย
สัญญาณเพื่อปรับขนาดแรงดันเอาต์พุตให้เหมาะสมก่อนจะส่งต่อไปยังวงจรประมวลผลสัญญาณ
ต่อไป สำหรับลักษณะของวงจรตรวจจับสัญญาณสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

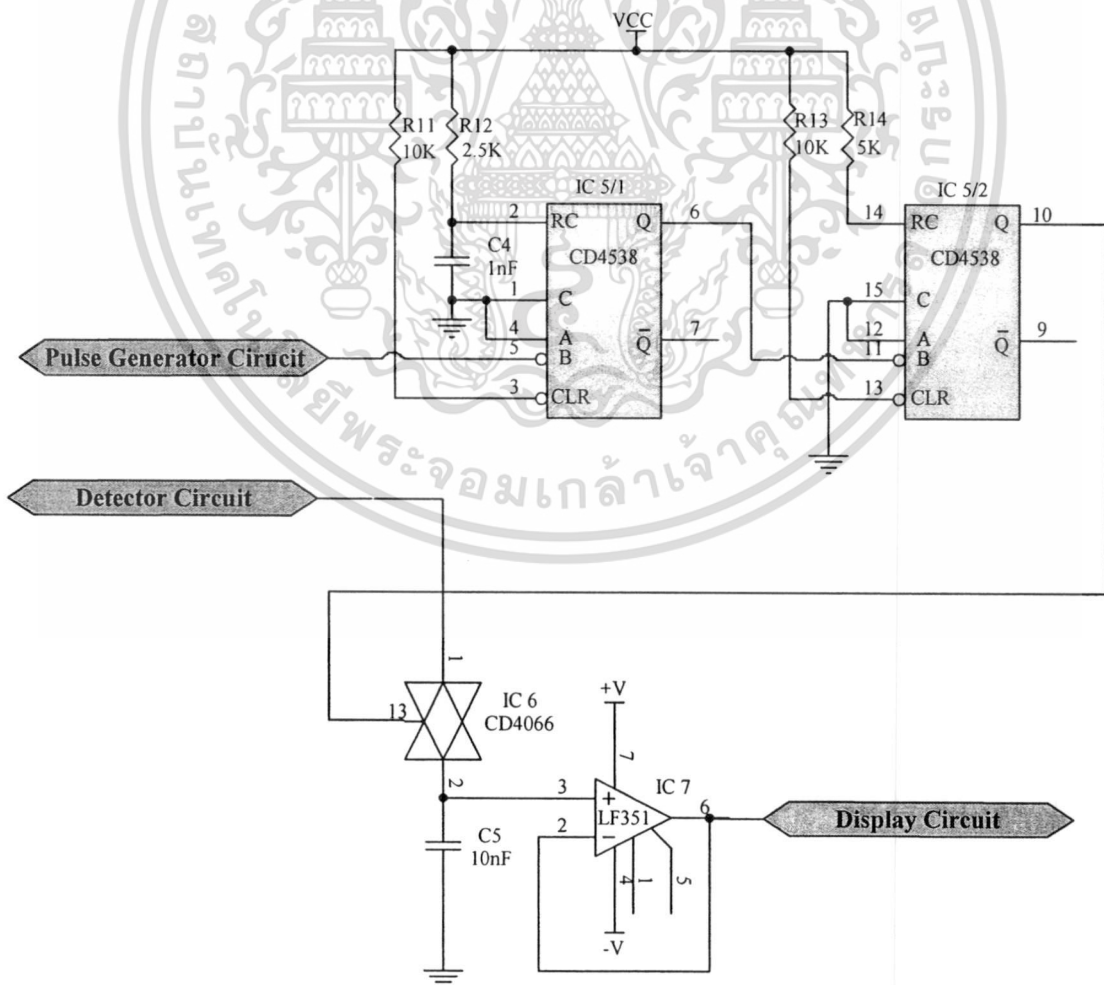
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 วงจรตรวจจับสัญญาณ (Detector Circuit)

3.3 วงจรตรวจจับแรงดันยอด(Peak Detector)

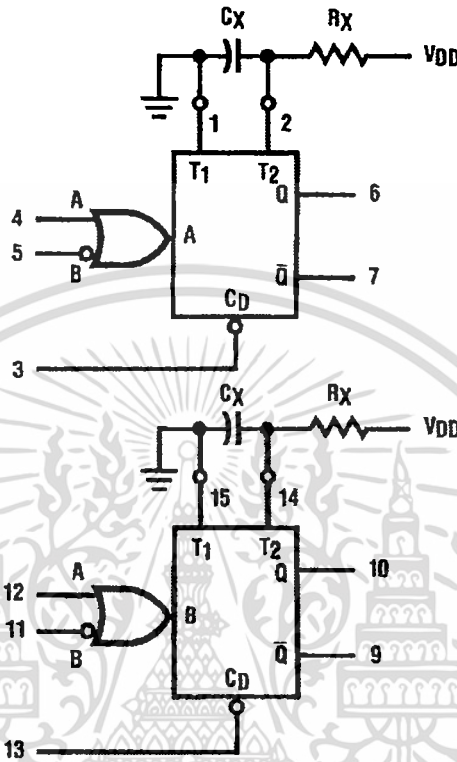
วงจรตรวจจับแรงดันยอดทำหน้าที่ตรวจจับแรงดันยอดของสัญญาณที่ได้รับจากวงจรตรวจจับสัญญาณ เพื่อนำค่าแรงดันยอดที่ได้ส่งไปยังวงจรเปรียบเทียบแรงดันต่อไป โดยลักษณะของวงจรสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 วงจรตรวจจับแรงดันยอด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ... อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า... ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.5 ลักษณะของวงจรจะใช้การตรวจจับสัญญาณแรงดันขดที่ใช้เทคนิคของการ แซมเปิลแอนด์โฮลด์ (Sample and Hold circuit) โดยวงจรจะประกอบไปด้วย IC5 CD4538[6], IC6 CD4066[7] และ IC LF351[8] โดย IC CD4538 ซึ่งเป็นไอซีที่ประกอบด้วยวงจร โมโนสเตเบิล 2 ชุด ดังแสดงในรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 วงจรภายใน IC CD4538

โดยในการนำมาใช้งานจะกำหนดการทำงานที่ขอบขาลง(Negative-going Transition) ของ อินพุต โดยสามารถกำหนดค่าคาบเวลาของวงจร โมโนสเตเบิลแต่ละชุดได้ดังสมการที่ (3.6)

$$PW_{out} = R_x C_x \quad (3.6)$$

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

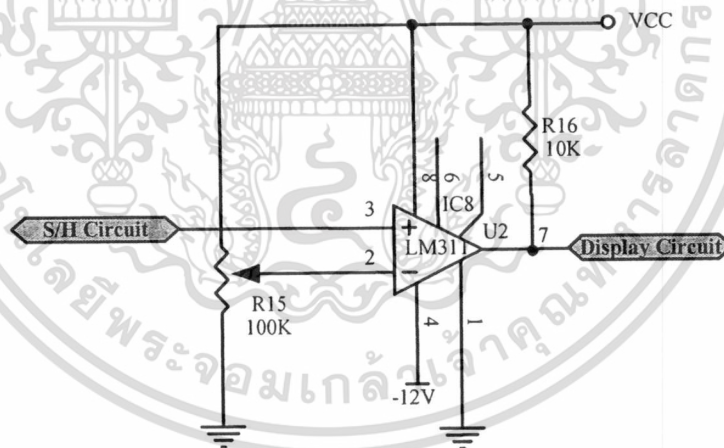
จากวงจรในรูปที่ 3.5 การทำงานของวงจรมีดังนี้คือสัญญาณที่ได้จากเอาท์พุทของวงจร กำเนิดสัญญาณพัลส์จะถูกป้อนให้กับอินพุทของ IC5/1 ที่ต่อเป็นวงจร โมโนสเตเบิลที่กำหนดการ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ทำงานที่ขอบข้าง (Negative-going Transition) ของอินพุท โดยเราสามารถจะทำการปรับช่วงเวลาในการแซมเปิลได้โดยการปรับค่า Rx สัญญาณเอาต์พุทที่ได้จากวงจรโมนอสเตเบิลตัวที่ 1 จะถูกป้อนให้กับอินพุทของวงจรโมนอสเตเบิลตัวที่ 2 ที่กำหนดการทำงานที่ขอบข้างเช่นเดียวกันกับวงจรโมนอสเตเบิลตัวที่ 1 โดยมีค่าคาบเวลาของพัลส์เอาต์พุทเท่ากับ 400 นาโนวินาทีโดยพัลส์เอาต์พุทของวงจรโมนอสเตเบิลตัวที่ 2 นี้จะถูกส่งไปควบคุมให้ IC6 CD4066 ซึ่งเป็นอะนาลอกสวิทช์ทำการปิดวงจรเพื่อทำการแซมเปิล (Sample) สัญญาณอินพุทที่ได้จากวงจรตรวจจับสัญญาณไปเก็บประจุที่ C5 แรงดันที่ตกคร่อม C5 จะถูกส่งผ่าน IC7 LF351 ซึ่งต่อเป็นบัฟเฟอร์ก่อนจะส่งสัญญาณที่แซมเปิลได้ไปยังวงจรเปรียบเทียบแรงดัน (Comparator circuit) ต่อไป

3.4 วงจรเปรียบเทียบแรงดัน (Comparator Circuit)

วงจรเปรียบเทียบแรงดันจะทำหน้าที่ในการเปรียบเทียบค่าแรงดันที่ได้จากวงจรตรวจจับแรงดันยอดกับค่าแรงดันอ้างอิง (Voltage Reference: V_{ref}) หากแรงดันที่ได้จากวงจรตรวจจับแรงดันยอดมีค่ามากกว่าแรงดันอ้างอิงก็จะสร้างสัญญาณส่งไปยังวงจรแสดงผล (Display circuit) เพื่อทำการเตือนให้ผู้ควบคุมทราบว่ามิโลหะผ่านเข้ามาที่ขดลวดค้นหา สำหรับวงจรเปรียบเทียบแรงดันที่ใช้ในโครงการวิจัยนี้จะใช้ IC เบอร์ LM311 [9] ซึ่งมีลักษณะการต่อวงจรดังรูปที่ 3.7



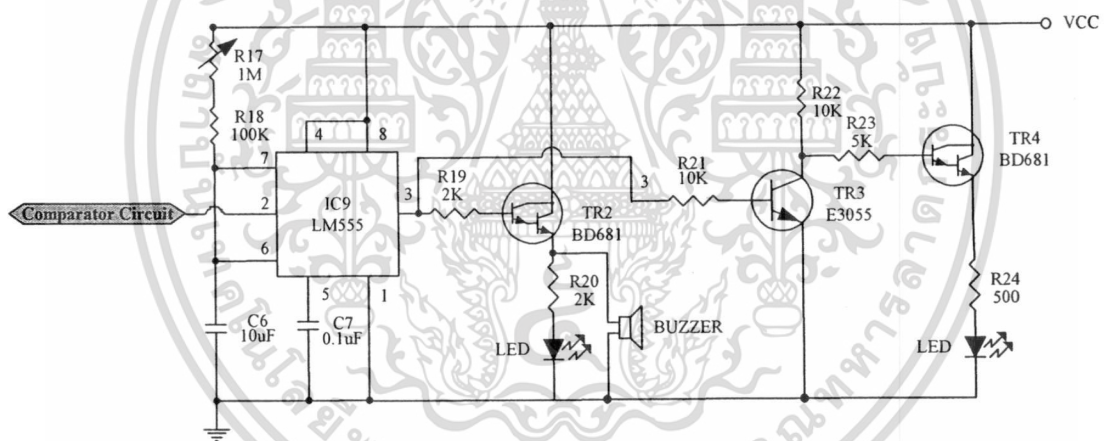
รูปที่ 3.7 วงจรเปรียบเทียบแรงดัน

จากวงจรในรูปที่ 3.7 ด้วยคุณสมบัติของ IC LM311 ซึ่งทางด้านเอาต์พุทมีลักษณะการทำงานแบบสวิทช์ ที่ขา 7 สามารถต่อกับแหล่งจ่ายไฟอื่นที่มีขนาดสูงกว่าแหล่งจ่ายไฟลบ (ขา 4) ได้ถึง 40 โวลต์ แต่ในส่วนของวงจรนี้จะต่อกับแหล่งจ่ายไฟ 5 โวลต์ โดยมี R16 ต่อไว้เพื่อจำกัดกระแสเอาต์พุท โดยจากลักษณะการทำงานแบบสวิทช์นั้นเมื่อ ขา 2 มีแรงดันสูงกว่า 3 จะทำให้สวิทช์เปิดวงจรแรงดันที่เอาต์พุทจะเท่ากับแหล่งจ่ายไฟที่ต่อกับขา 7 ซึ่งก็คือ 5 โวลต์ แต่เมื่อเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แรงดันที่ขา 2 (V_{ref}) ต่ำกว่าที่ขา 3 (แรงดันจากวงจรตรวจจับแรงดันยอด) ก็จะทำให้สวิตช์ปิด วงจรเอาต์พุตที่ขา 7 ก็จะถูกต่อกับขา 1 ซึ่งต่ออยู่กับกราวด์ แรงดันเอาต์พุตก็จะเป็น 0 ซึ่งเราจะนำสัญญาณนี้ไปกระตุ้นให้วงจรแสดงผลทำงาน

3.5 วงจรแสดงผล(Display circuit)

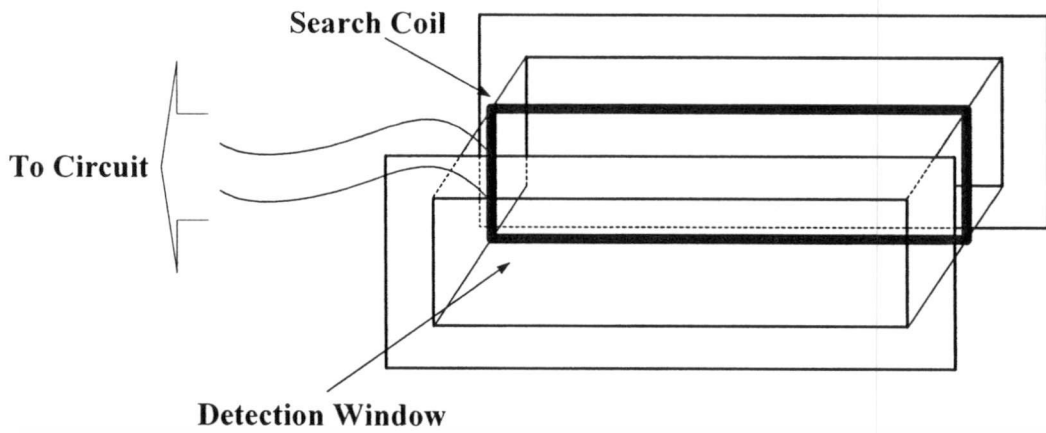
วงจรแสดงผลจะประกอบด้วย IC LM555 ต่อเป็นวงจรโมโนสเตเบิล(Monostable circuit) โดยรับสัญญาณควบคุมมาจากวงจรเปรียบเทียบแรงดัน เมื่อมีโลหะผ่านเข้ามาในขดลวดค้นหาจะทำให้วงจรเปรียบเทียบแรงดันส่งพัลส์มาที่ขา 2 ของ IC LM555 ให้วงจรโมโนสเตเบิลทำงานสร้างแรงดันเอาต์พุตของ IC LM555 ที่ขา 3 ออกมา ซึ่งแรงดันเอาต์พุตจะส่งไปขับ TR2 BD681 ให้ขับ LED สีแดง และขับบี๊ซเซอร์(Buzzer)ส่งเสียงเตือนออกมาให้ผู้ควบคุมทราบว่า มีโลหะผ่านเข้ามาที่ขดลวดค้นหา แต่หากไม่มีโลหะผ่านเข้ามาในขดลวดค้นหาเอาต์พุตของ IC 555 จะเป็นศูนย์ทำให้ TR3 E3055 และ TR4 BD681 ทำงานส่งผลให้ LED สีเขียวสว่างเพื่อแสดงผลให้ผู้ควบคุมทราบว่าไม่มีโลหะผ่านเข้ามาที่ขดลวดค้นหา โดยลักษณะของวงจรแสดงผลสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.8



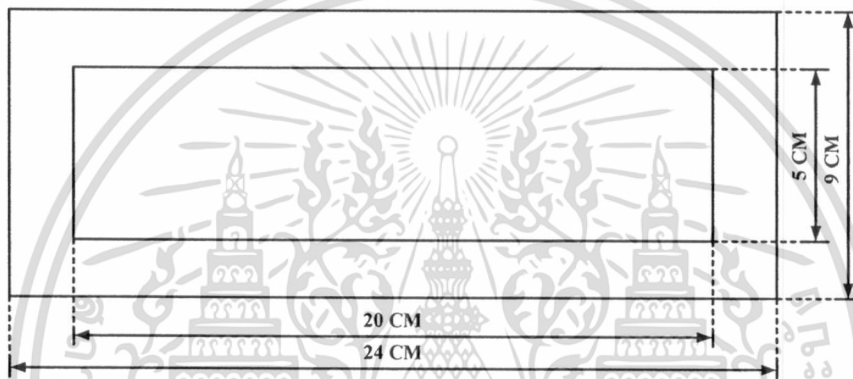
รูปที่ 3.8 วงจรแสดงผล

3.6 หัวตรวจจับโลหะ(Detection Head)

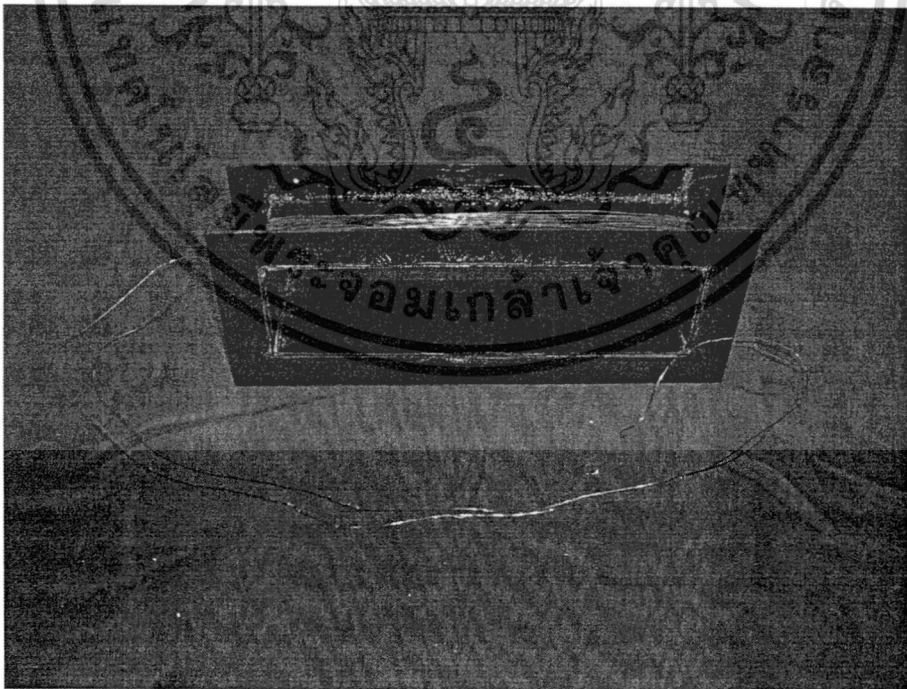
สำหรับหัวตรวจจับโลหะที่ใช้ในการตรวจจับโลหะจะประกอบ ขดลวดค้นหา(Search Coil) และช่องสำหรับตรวจจับโลหะ(Detection Window) โดยลักษณะของหัวตรวจจับโลหะที่สร้างขึ้นมาเพื่อทดสอบการทำงานของวงจรตรวจจับโลหะที่ออกแบบขึ้นสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.9 ถึงรูปที่ 3.13



รูปที่ 3.9 ส่วนประกอบของหัวตรวจจับโลหะที่ทำการสร้างขึ้นมา

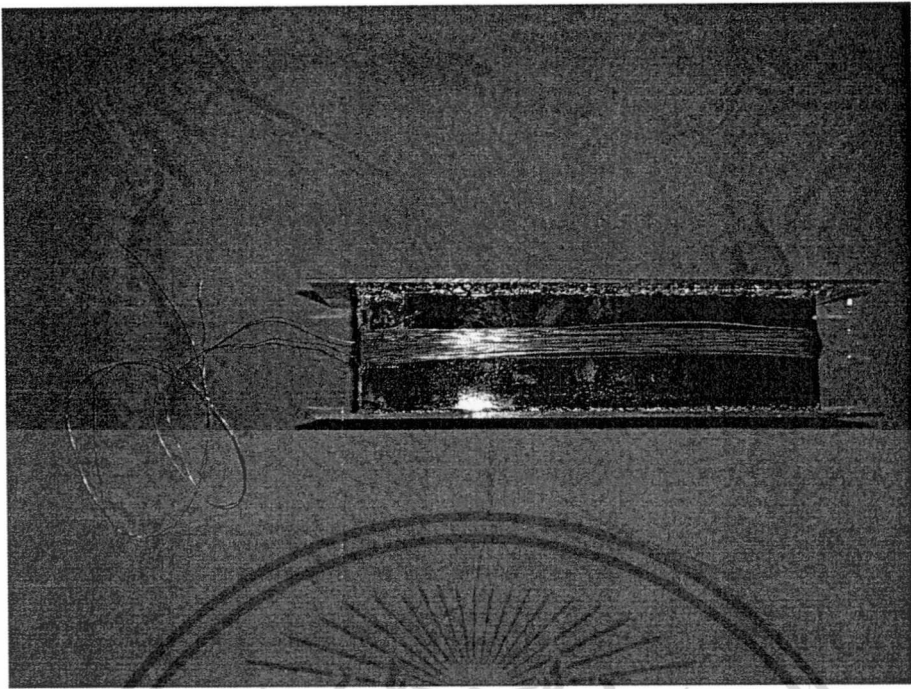


รูปที่ 3.10 ขนาดของหัวตรวจจับโลหะที่ทำการสร้างขึ้นมา

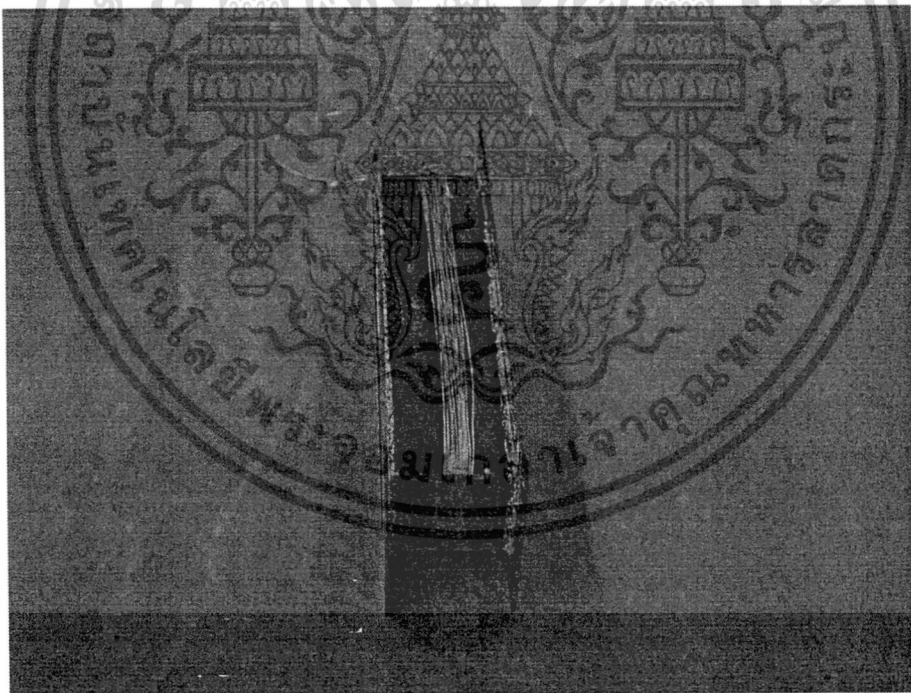


รูปที่ 3.11 ส่วนประกอบของหัวตรวจจับโลหะที่ทำการสร้างขึ้นมา (ด้านหน้า)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



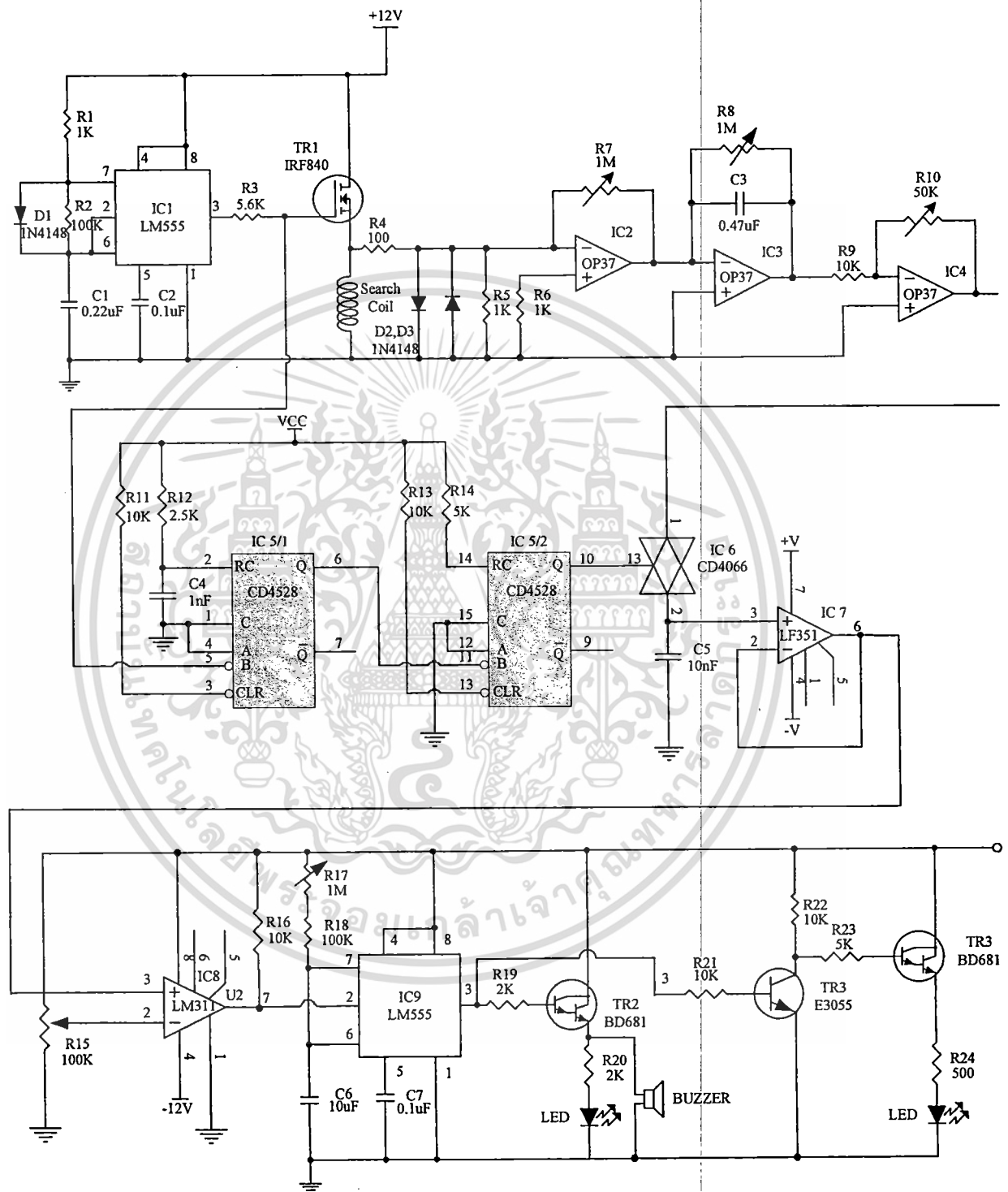
รูปที่ 3.12 ส่วนประกอบของหัวตรววจับโลหะที่ทำการสร้างขึ้นมา (ด้านบน)



รูปที่ 3.13 ส่วนประกอบของหัวตรววจับโลหะที่ทำการสร้างขึ้นมา (ด้านข้าง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากบล็อกไดอะแกรมของระบบตรวจสอบโลหะในเนื้อไม้ทั้งหมดเรานำมาสามารถสร้างวงจร
ได้ดังรูป 3.14



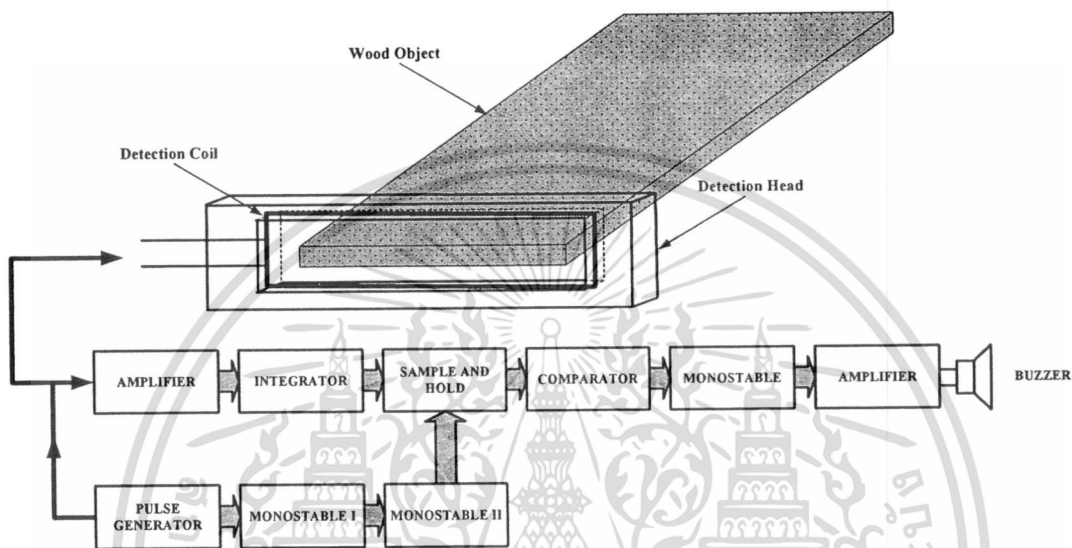
รูปที่ 3.14 วงจรอิเล็กทรอนิกส์สำหรับระบบตรวจสอบโลหะในเนื้อไม้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

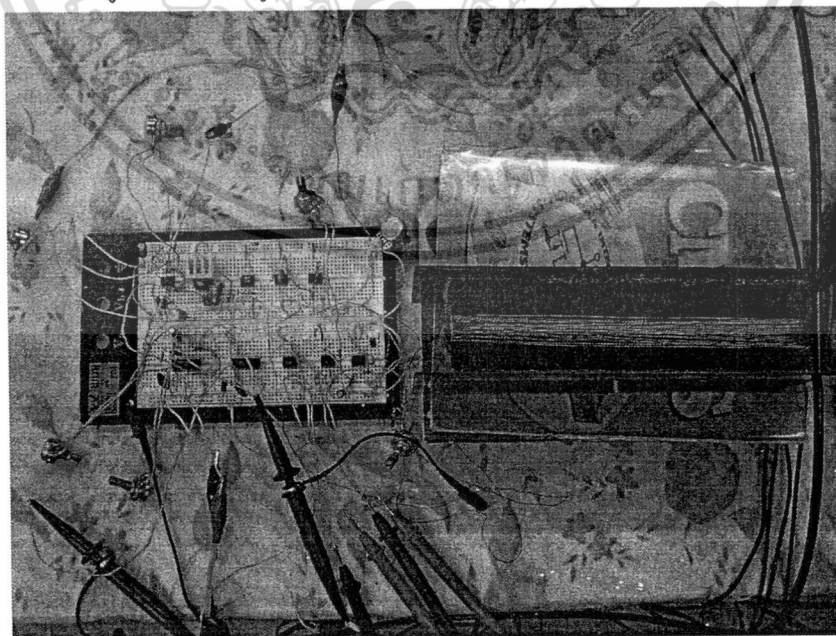
การทดสอบระบบที่พัฒนาขึ้นมา

สำหรับในบทนี้จะเป็นการทดสอบระบบตรวจสอบโลหะในเนื้อไม้ที่ได้ทำการพัฒนาขึ้นมา โดยจะทำการนำเอาวงจรในบทที่ 3 มาทำการสร้างและทดสอบสัญญาณว่าเป็นไปตามที่ออกแบบไว้หรือไม่ดังรายละเอียดตามบล็อกไดอะแกรมในรูปที่ 4.1 ดังนี้



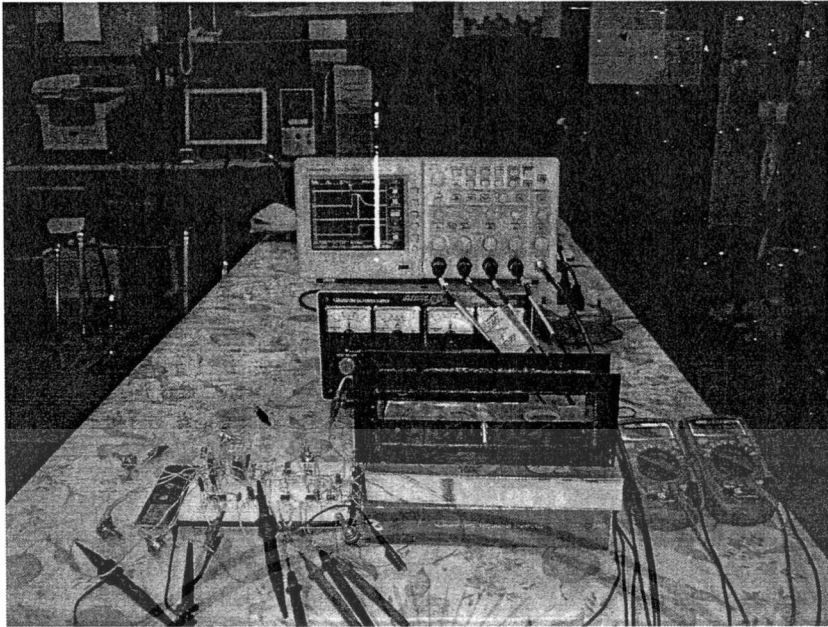
รูปที่ 4.1 บล็อกไดอะแกรมของระบบตรวจสอบโลหะในเนื้อไม้แบบ PULSE INDUCTION

จากบล็อกไดอะแกรมของระบบตรวจสอบโลหะในเนื้อไม้เราได้ทำการต่อวงจรสำหรับใช้ในการทดสอบวงจรดังรูปที่ 4.2 และรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.2 วงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่สร้างขึ้นสำหรับระบบตรวจสอบโลหะในเนื้อไม้

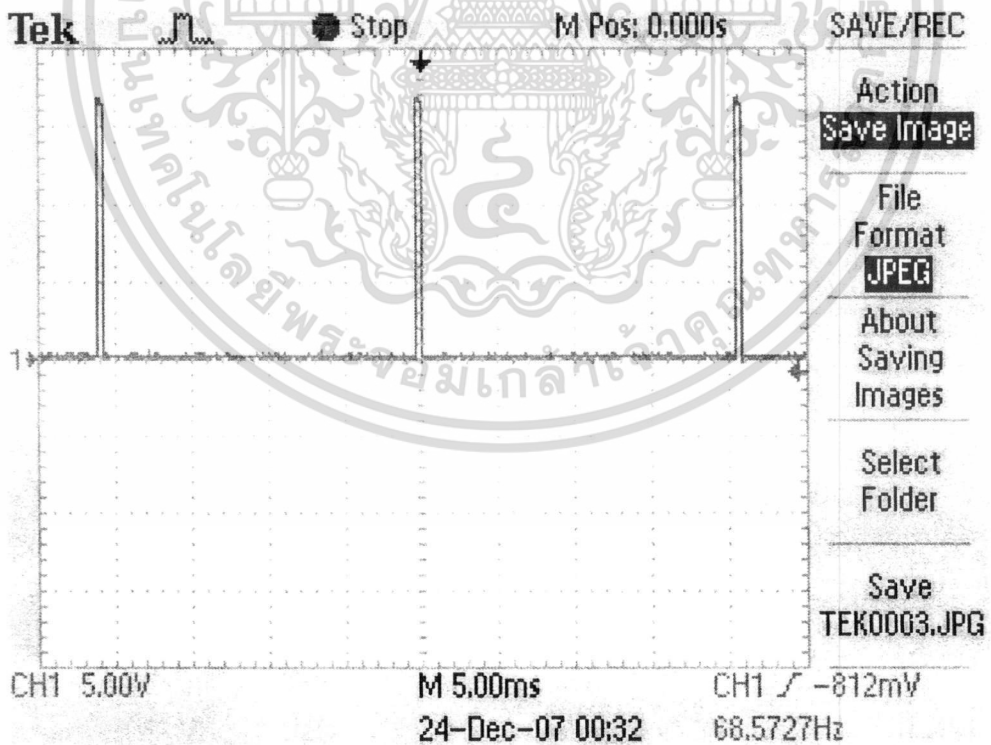
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 การทดสอบวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่สร้างขึ้นสำหรับระบบตรวจสอบโลหะในเนื้อไม้

4.1 การทดสอบวงจรถูกกำเนิดสัญญาณพัลส์ (Pulse Generator)

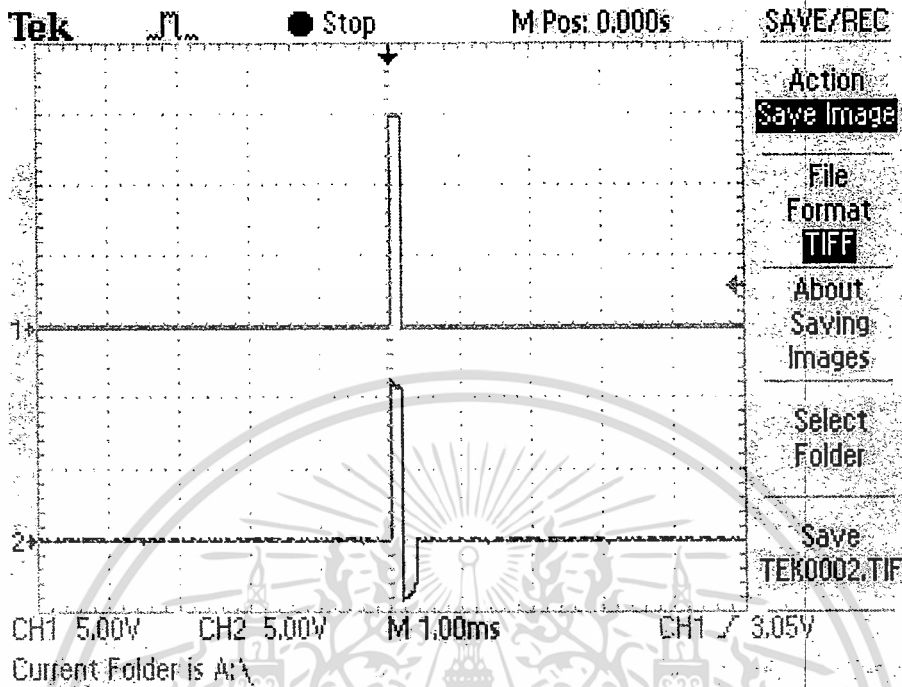
สำหรับสัญญาณเอาต์พุตของวงจรถูกกำเนิดสัญญาณสามารถแสดงได้ดังวงจรที่ 4.4



รูปที่ 4.4 เอาต์พุตของวงจรถูกกำเนิดสัญญาณพัลส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

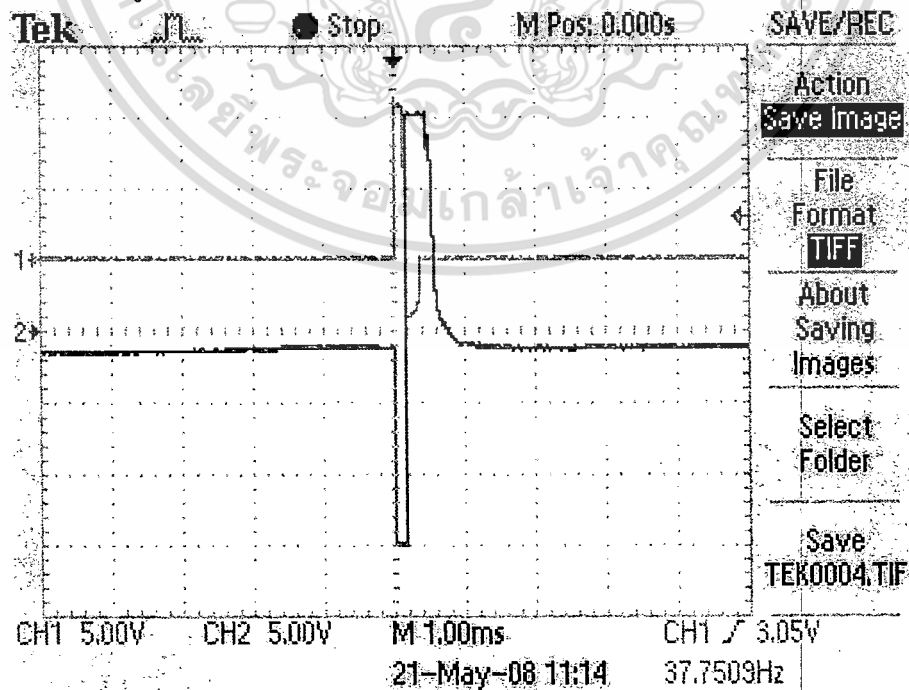
สัญญาณเอาต์พุตจากวงจรกำเนิดสัญญาณจะถูกนำมาขับขดลวดที่หัวตรวจจับโลหะโดยผ่านวงจรขยายสัญญาณ โดยสัญญาณจากหัวตรวจจับโลหะสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 สัญญาณจากเอาต์พุตของวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์และสัญญาณจากขดลวดค้นหา

4.2 การทดสอบวงจรตรวจจับสัญญาณ(Detector Circuit)

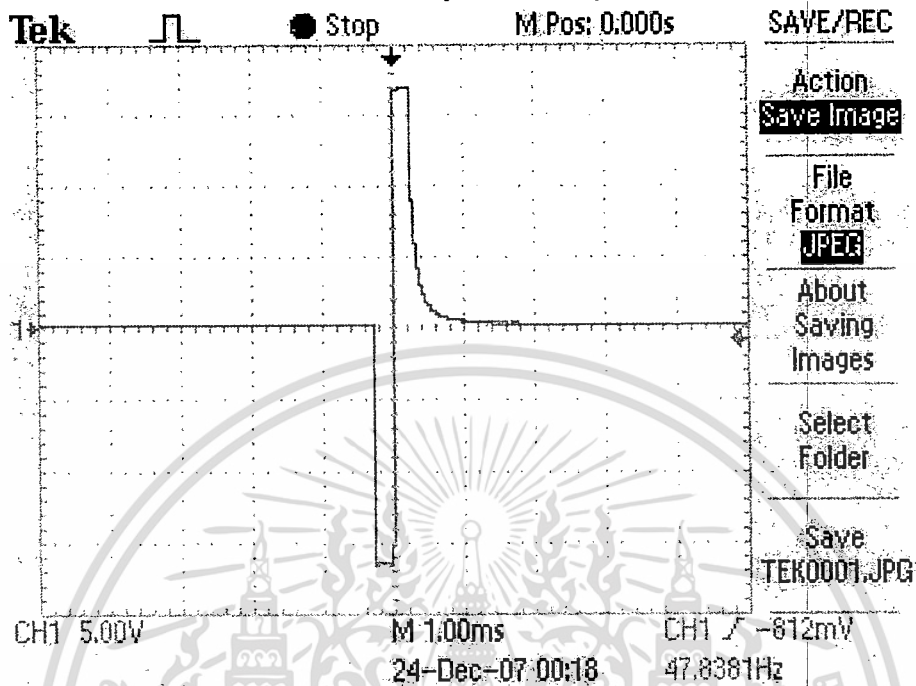
สัญญาณเอาต์พุตจากขดลวดจะถูกตรวจจับและทำการขยายสัญญาณ โดยลักษณะของสัญญาณสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.6



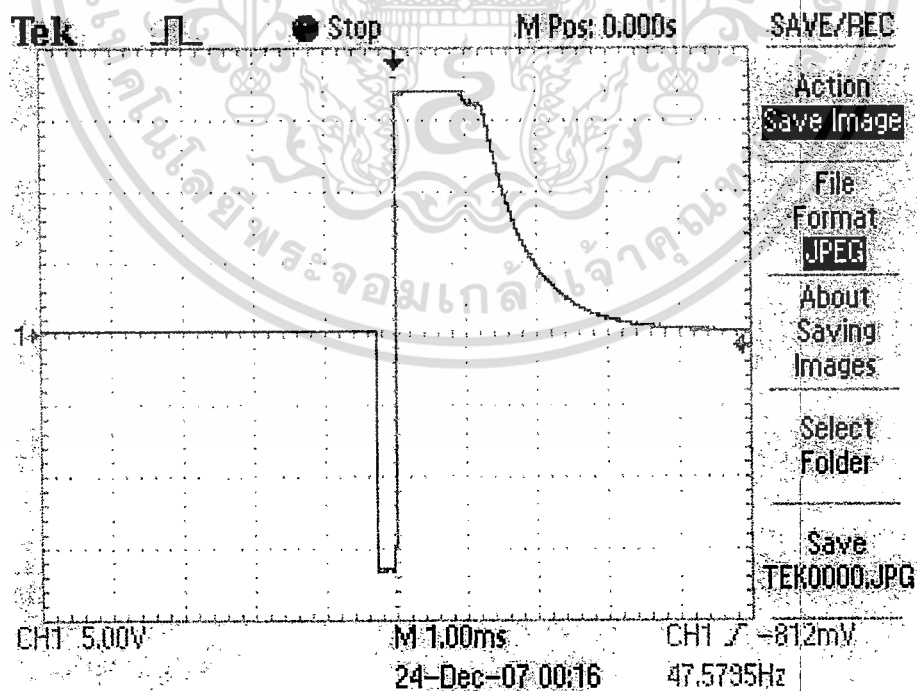
รูปที่ 4.6 ลักษณะของสัญญาณอินพุตและเอาต์พุตของวงจขยายสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตเห็นชอบโดยคณะกรรมการ
ไม่ว่ากรรมใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยลักษณะของสัญญาณเอาต์พุทของวงจรตรวจจับสัญญาณขณะที่มีโลหะกับไม่มีโลหะ
เข้ามาใกล้หัวตรวจจับ โลหะสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.7 และรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.7 สัญญาณเอาต์พุทของวงจรตรวจจับสัญญาณขณะที่มีโลหะอยู่ใกล้กับขดลวดค้นหา

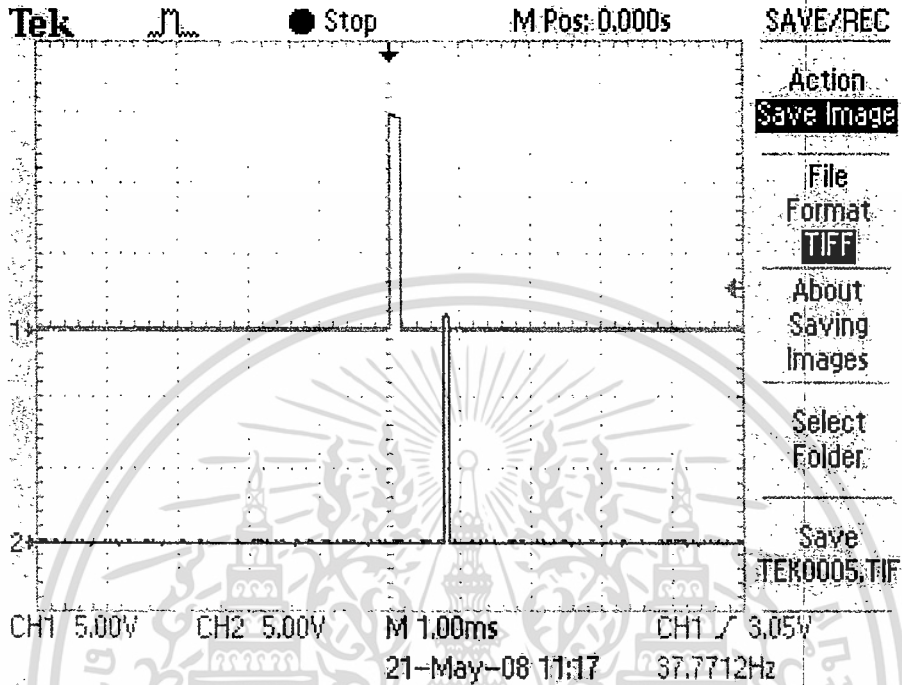


รูปที่ 4.8 สัญญาณเอาต์พุทของวงจรตรวจจับสัญญาณขณะที่มีโลหะอยู่ใกล้กับขดลวดค้นหา

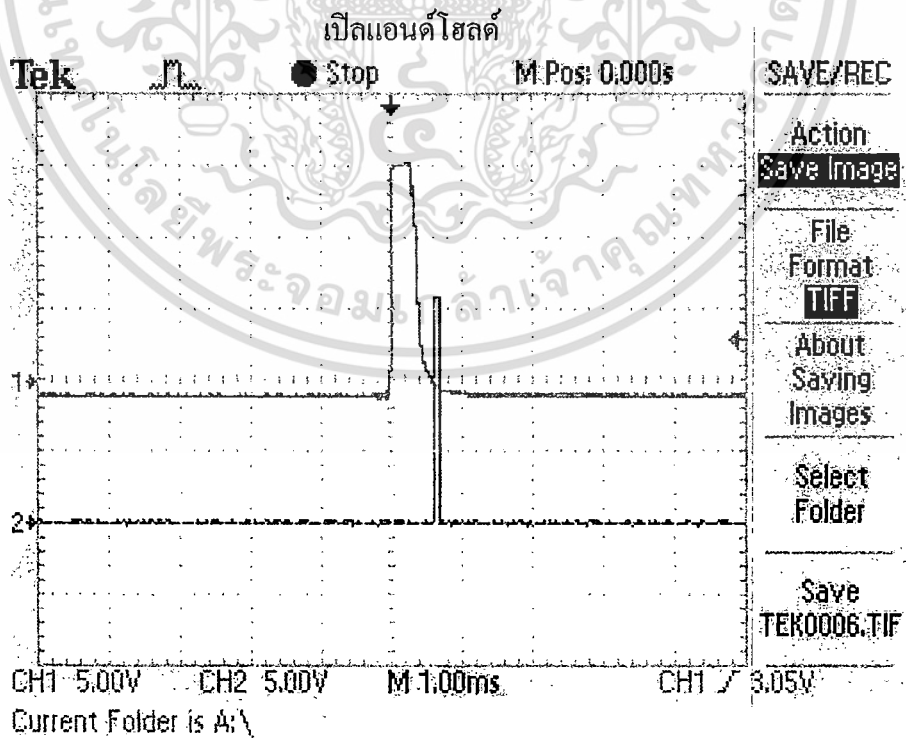
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรรมใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 การทดสอบวงจรตรวจจับแรงดันยอด (Peak Detector)

สัญญาณจากวงจรตรวจจับสัญญาณจะถูกส่งมาทำการตรวจจับหาค่าสัญญาณแรงดันยอด โดยวงจรจะใช้หลักการแซมเปิลแอนด์โฮลด์ สำหรับลักษณะของสัญญาณในวงจรตรวจจับแรงดันยอดสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.9 ถึงรูปที่ 4.15

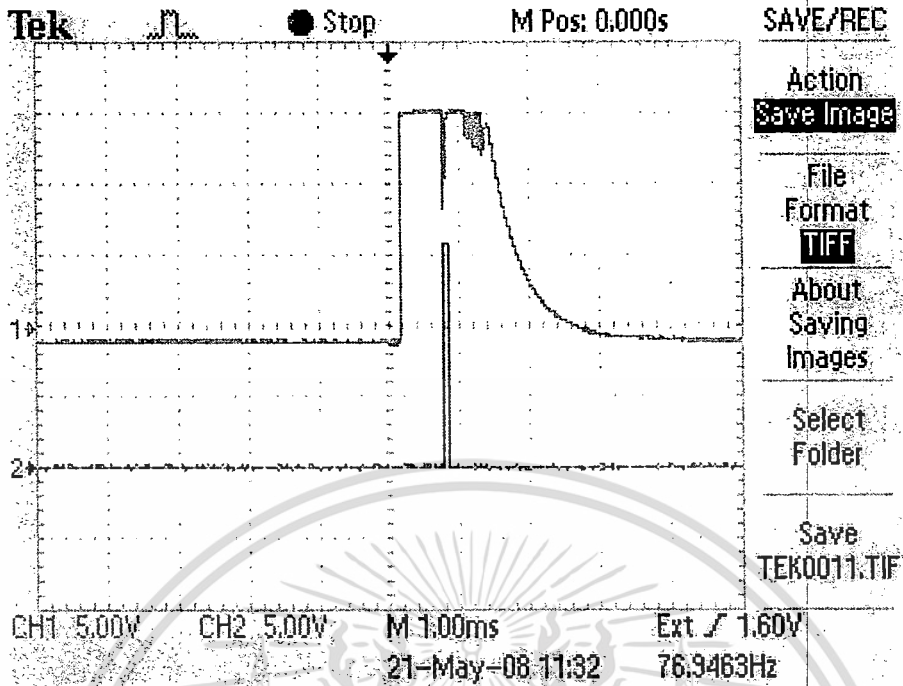


รูปที่ 4.9 ลักษณะของสัญญาณอินพุตและเอาต์พุตของวงจรถ่ายสัญญาณพีคสำหรับวงจรแซม

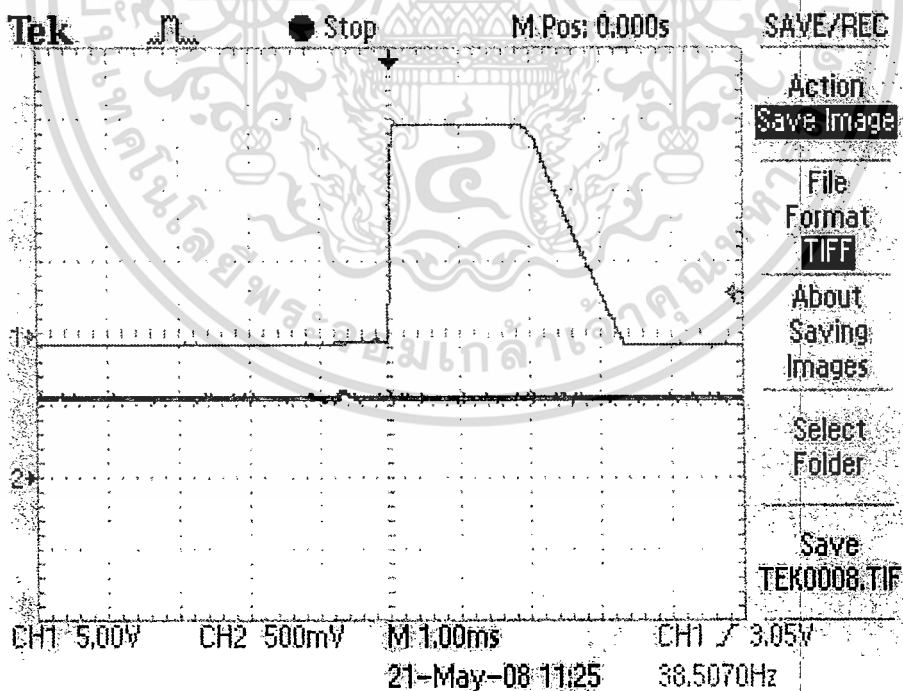


รูปที่ 4.10 ลักษณะของสัญญาณอินพุตและสัญญาณแซมเปิลลิ่งของวงจรถ่ายแซมเปิลแอนด์โฮลด์ (ขณะไม่มีโหลดอยู่ใกล้ขดลวดค้นหา)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

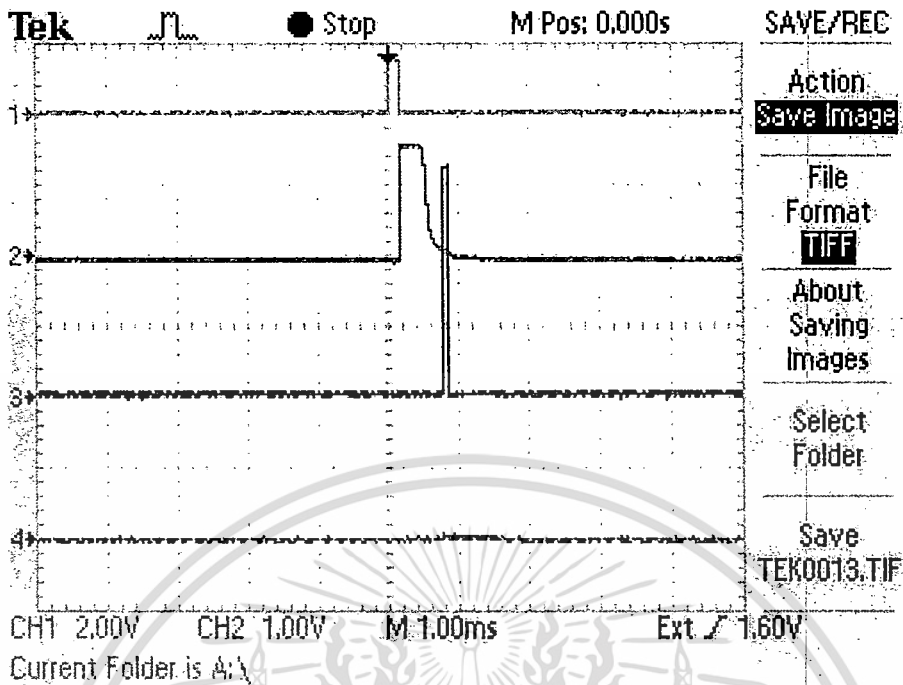


รูปที่ 4.11 ลักษณะของสัญญาณอินพุตและสัญญาณแอมป์ลิงของวงจรแอมป์เปิดแอนด์โฮลด์(ขณะมีโลหะอยู่ใกล้ขดลวดค้นหา)

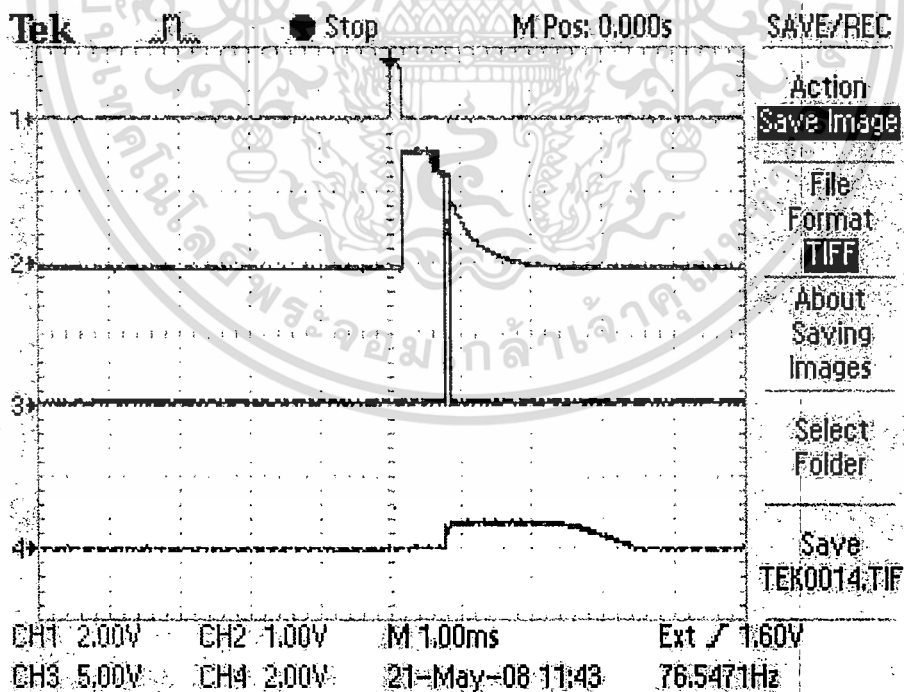


รูปที่ 4.12 ลักษณะของสัญญาณอินพุตและเอาต์พุตของวงจรแอมป์เปิดแอนด์โฮลด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

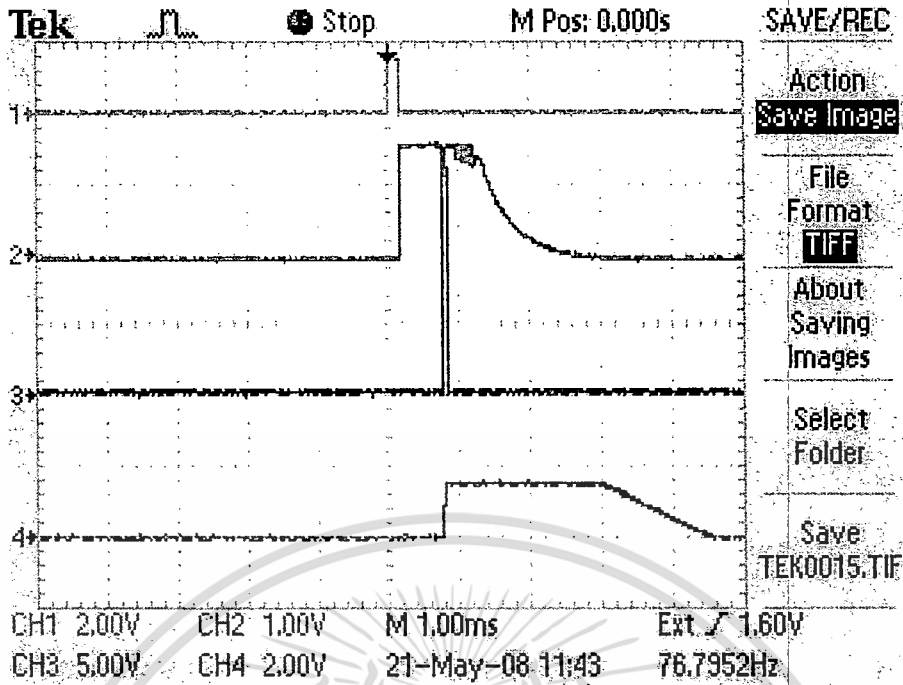


รูปที่ 4.13 ลักษณะของสัญญาณในส่วนต่างๆของวงจรตรวจจับแรงดันยอด (ขณะไม่มีโลหะอยู่ใกล้ขดลวดค้นหา)



รูปที่ 4.14 ลักษณะของสัญญาณในส่วนต่างๆของวงจรตรวจจับแรงดันยอด (ขณะมีโลหะขนาดเล็กอยู่ใกล้ขดลวดค้นหา)

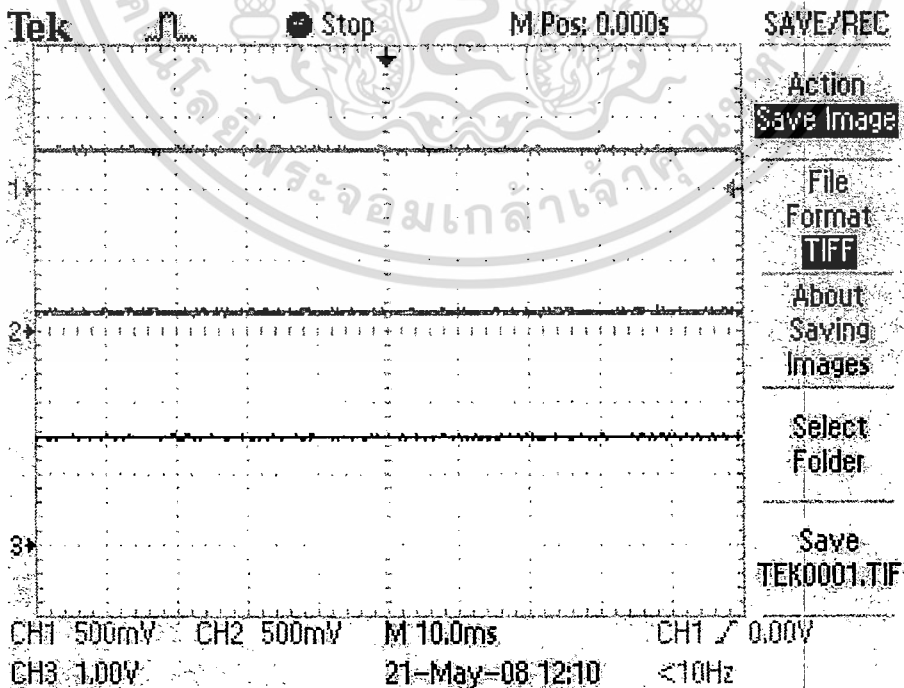
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.15 ลักษณะของสัญญาณในส่วนต่างๆของวงจรตรวจจับแรงดันยอด (ขณะมีโลหะขนาดใหญ่อยู่ใกล้ขดลวดค้นหา)

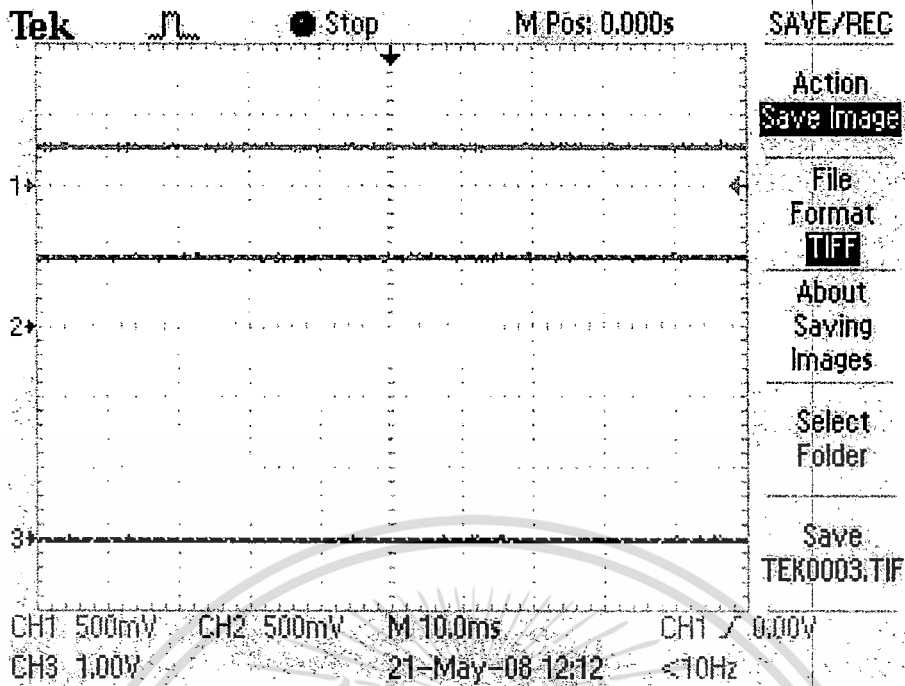
4.4 การทดสอบวงจรเปรียบเทียบแรงดัน(Comparator circuit)

วงจรเปรียบเทียบแรงดันจะรับสัญญาณที่ได้จากวงจรตรวจจับแรงดันยอดมาทำการเปรียบเทียบกับค่าแรงดันอ้างอิง(V_{ref}) ที่กำหนดไว้ โดยหากมีค่าสูงกว่าที่ระดับที่ตั้งไว้ วงจรเปรียบเทียบแรงดันจะให้เอาท์พุทเท่ากับศูนย์ไปทริกให้วงจรแสดงผลทำงาน โดยลักษณะของสัญญาณในส่วนของวงจรเปรียบเทียบแรงดันสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.16 และรูปที่ 4.17



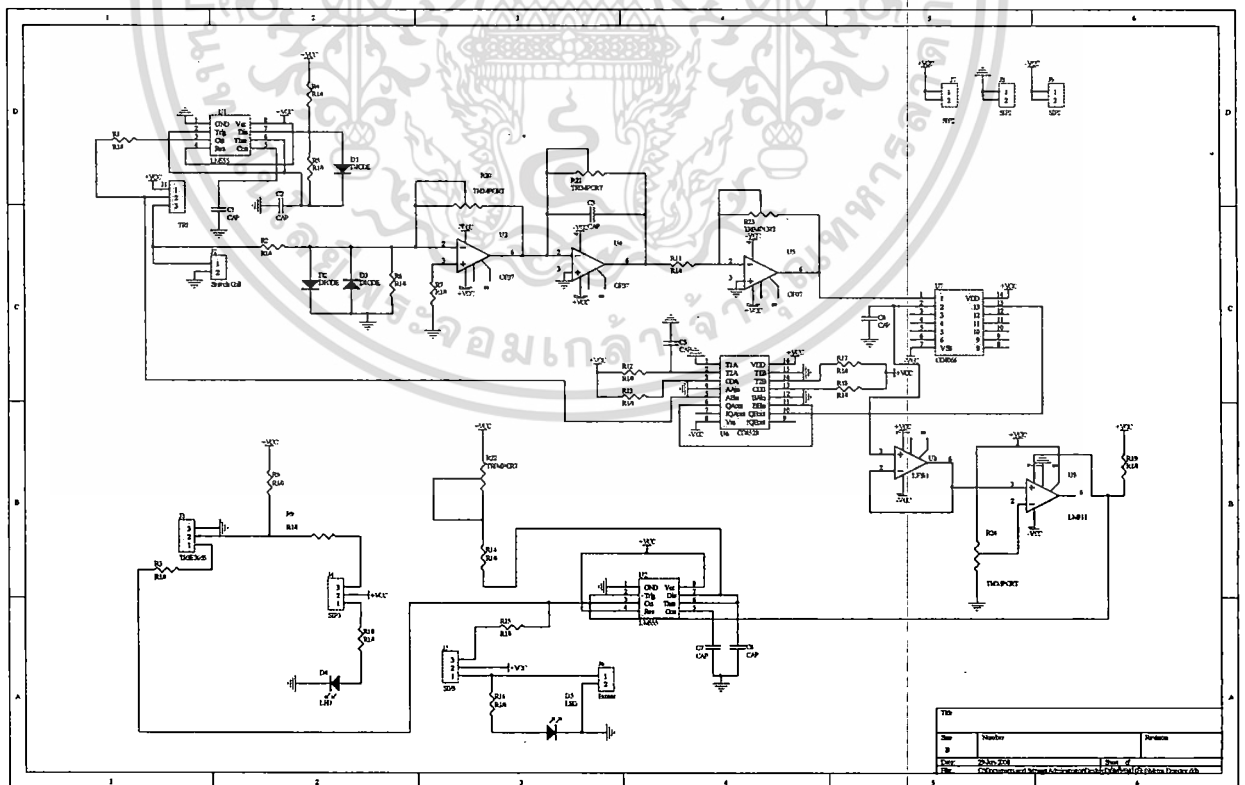
รูปที่ 4.16 แสดงลักษณะของสัญญาณขณะที่แรงดันอินพุทต่ำกว่าค่าแรงดันอ้างอิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



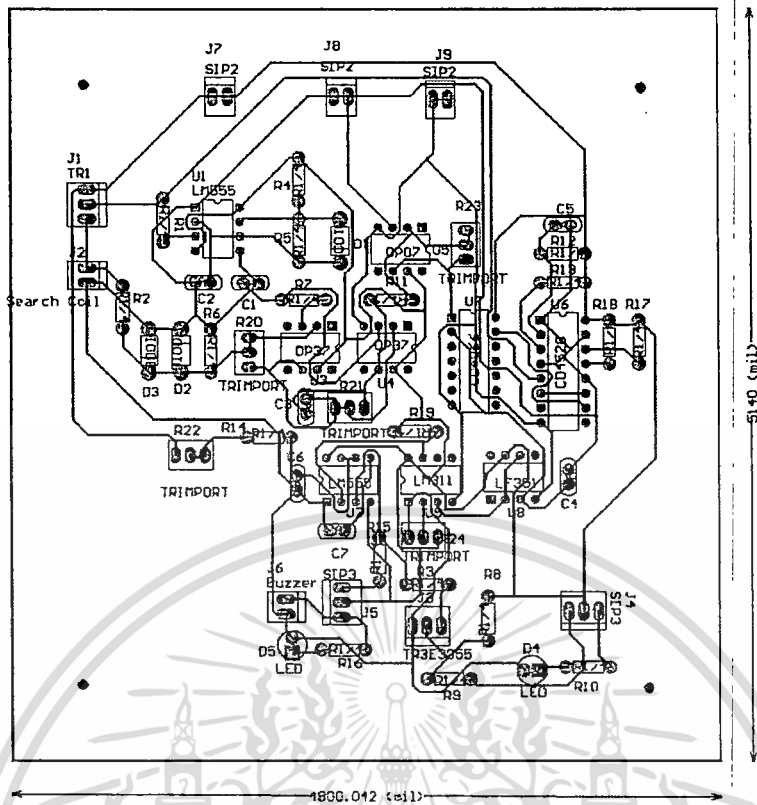
รูปที่ 4.17 แสดงลักษณะของสัญญาณขณะที่แรงดันอินพุตสูงกว่าค่าแรงดันอ้างอิง

จากวงจรที่ได้ทดสอบทั้งหมดเราได้นำวงจรทั้งหมดมาทำการออกแบบลายวงจรและสร้างแผนวงจรสำหรับประกอบเป็นต้นแบบของระบบตรวจสอบโลหะในเนื้อไม้ดังรายละเอียดดังรูปที่ 4.18 ถึงรูปที่ 4.24

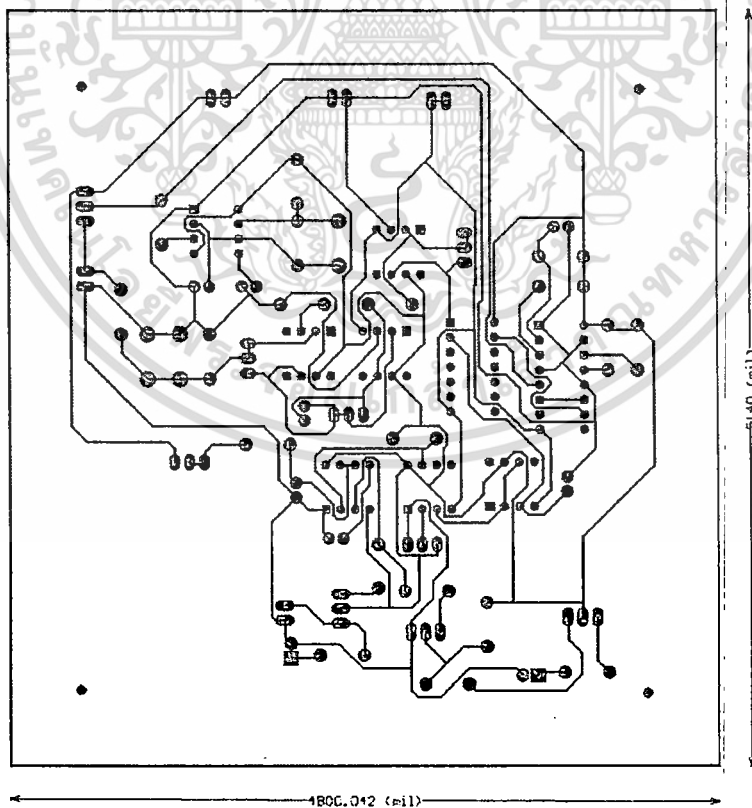


รูปที่ 4.18 วงจรอิเล็กทรอนิกส์สำหรับระบบตรวจสอบ โลหะในเนื้อไม้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรรมใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้.

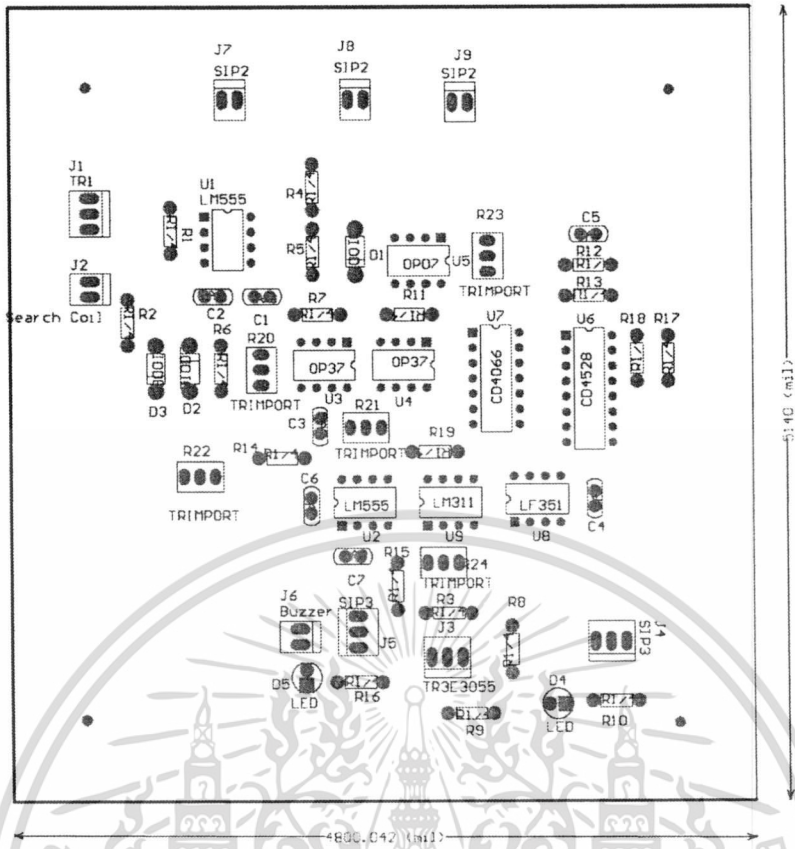


รูปที่ 4.19 ลายวงจรพิมพ์และการลงอุปกรณ์ของวงจรอิเล็กทรอนิกส์สำหรับระบบตรวจสอบโลหะ
ในเนื้อไม้

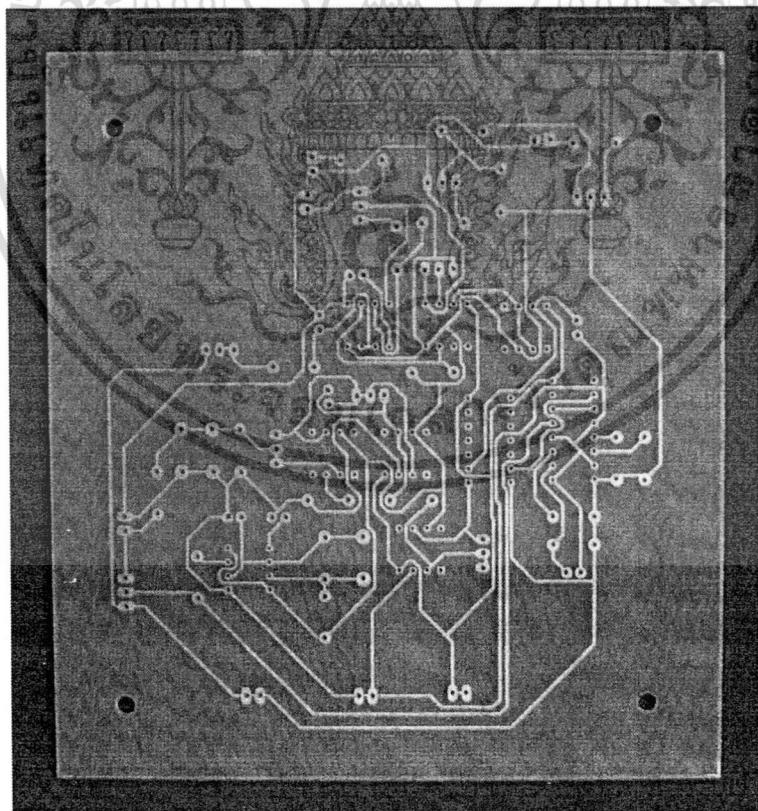


รูปที่ 4.20 ลายวงจรพิมพ์ของวงจรอิเล็กทรอนิกส์สำหรับระบบตรวจสอบโลหะในเนื้อไม้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



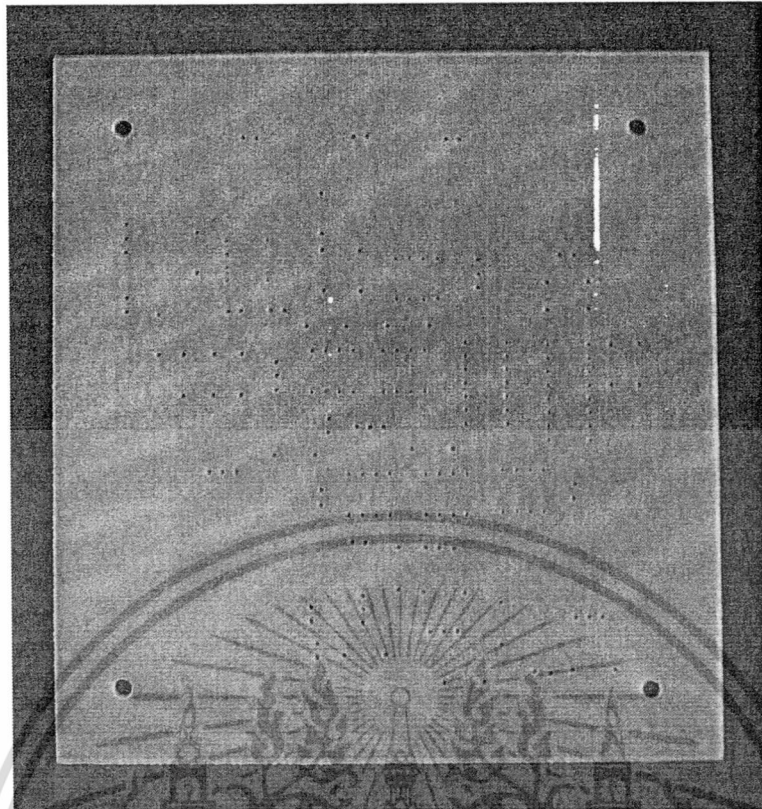
รูปที่ 4.21 การลงอุปกรณ์ของวงจรอิเล็กทรอนิกส์สำหรับระบบตรวจสอบโลหะในเนื้อไม้



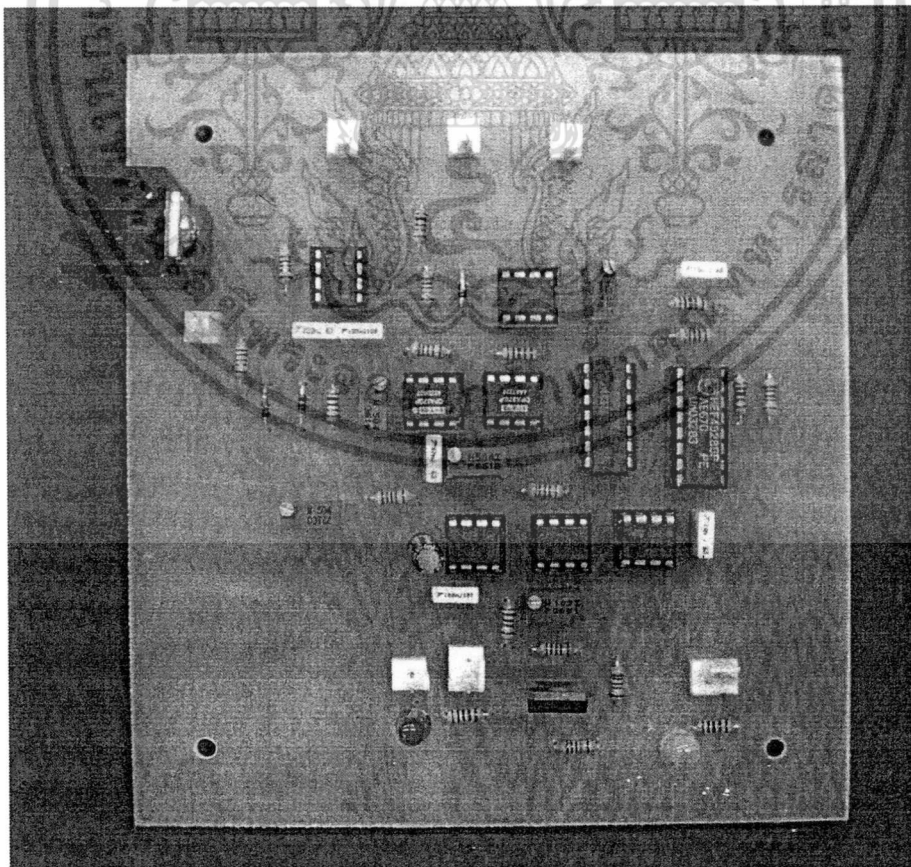
รูปที่ 4.22 วงจรพิมพ์ของวงจรอิเล็กทรอนิกส์สำหรับระบบตรวจสอบโลหะในเนื้อไม้

(ด้านลายทองแดง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.23 วงจรพิมพ์ของวงจรถอนิกส์สำหรับระบบตรวจสอบโลหะในเนื้อไม้
(ด้านอุปกรณ์)



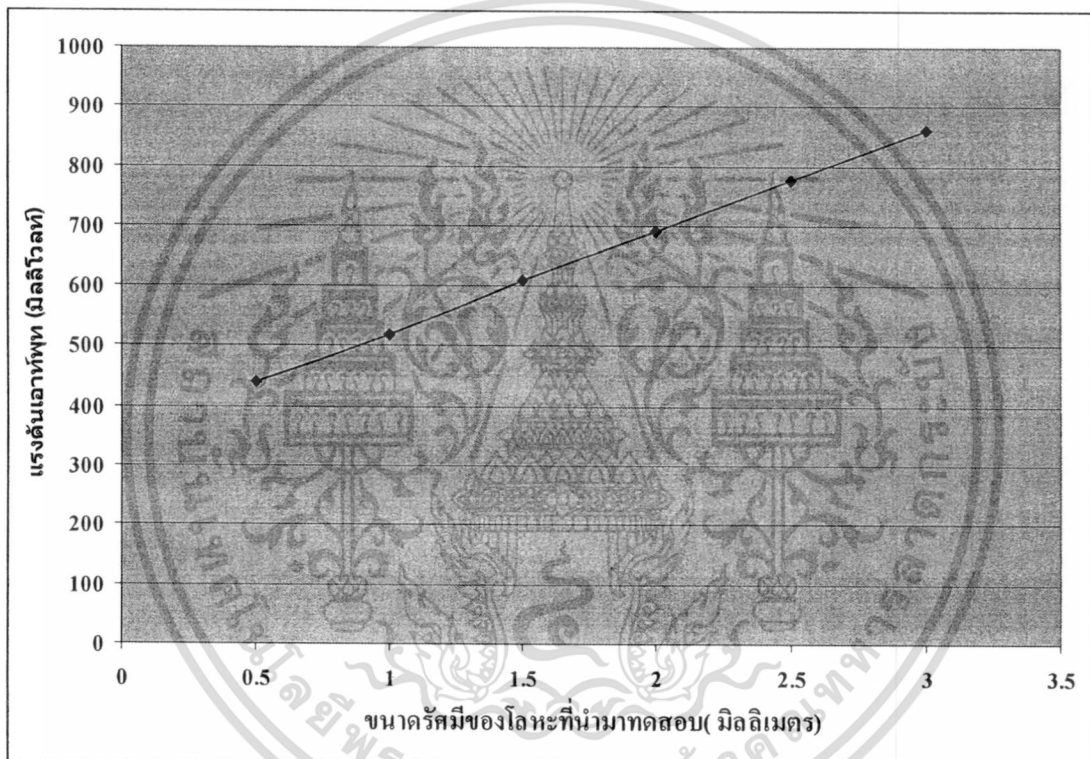
รูปที่ 4.24 การลงอุปกรณ์ของวงจรถอนิกส์สำหรับระบบตรวจสอบโลหะในเนื้อไม้
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 การทดสอบระบบตรวจสอบโลหะในเนื้อไม้แบบ PULSE INDUCTION

จากต้นแบบของระบบตรวจสอบโลหะในเนื้อไม้ดังรายละเอียดดังรูปที่ 4.18 ถึงรูปที่ 4.24 เราจะทำการทดสอบความไวของระบบมือออกแบบขึ้นมามีรายละเอียดดังนี้

4.5.1 การทดสอบค่าความไวของระบบตรวจสอบโลหะในเนื้อไม้ต่อขนาดของโลหะ

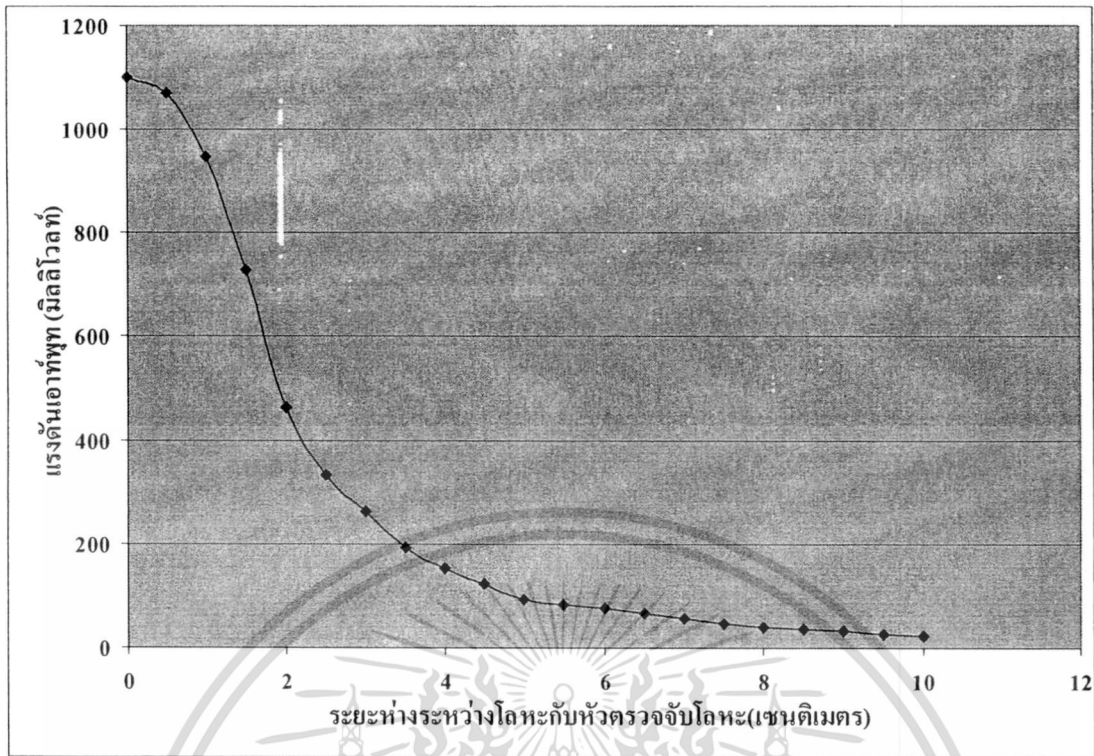
สำหรับการทดสอบค่าความไวของระบบตรวจสอบโลหะในเนื้อไม้ต่อขนาดของโลหะเราจะใช้แท่งโลหะขนาดต่างๆวางไว้ห่างจากหัวตรวจจับโลหะ 2 เซนติเมตร แล้วทำการเปลี่ยนโลหะที่มีขนาดครีมีตั้งแต่ 0.5 – 3 มิลลิเมตร จากนั้นจึงทำการวัดแรงดันเอาท์พุทของวงจรตรวจจับแรงดันยอด โดยผลการทดลองที่ได้สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.25



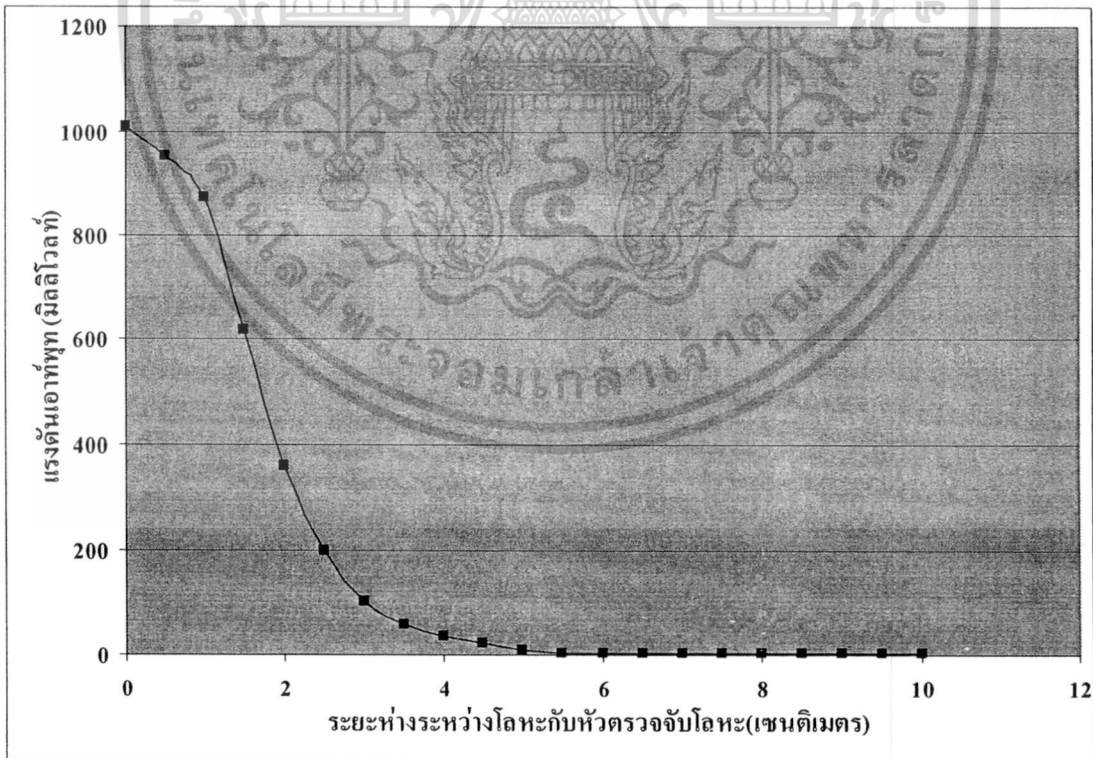
รูปที่ 4.25 แรงดันเอาท์พุทของวงจรตรวจจับแรงดันยอดต่อขนาดแท่งโลหะขนาดต่างๆ

4.5.2 การทดสอบค่าความไวของระบบตรวจสอบโลหะในเนื้อไม้ต่อระยะห่างของโลหะ

สำหรับการทดสอบค่าความไวของระบบตรวจสอบโลหะในเนื้อไม้ต่อระยะห่างของโลหะกับหัวตรวจจับโลหะ เราจะทำการวางแท่งโลหะขนาดครีมี 0.5 และ 1 มิลลิเมตรที่ระยะห่างจากหัวตรวจจับโลหะ 0.5 ถึง 10 เซนติเมตร จากนั้นจึงทำการวัดแรงดันเอาท์พุทของวงจรตรวจจับแรงดันยอด โดยผลการทดลองที่ได้สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.26 ถึง รูปที่ 4.28

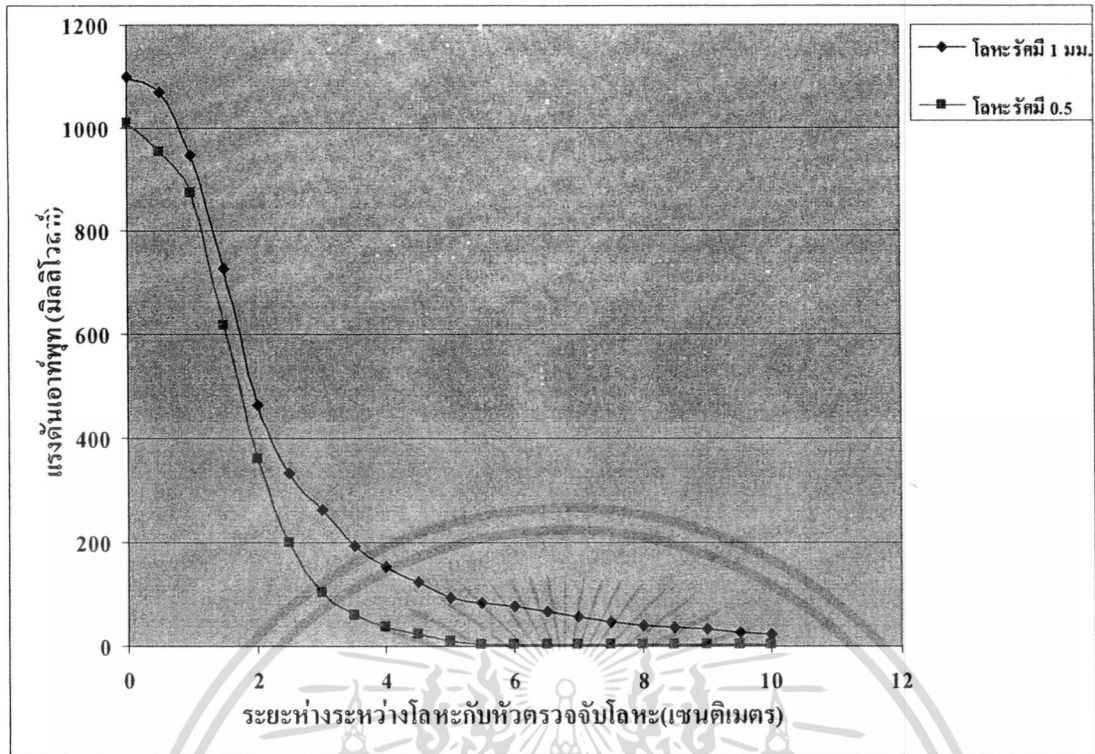


รูปที่ 4.26 แรงดันเอาต์พุตของวงจรถวายจับแรงดันขอต่ระยะห่างของโลหะ (รัศมี 0.5 มิลลิเมตร) กับหัวตรวจจับโลหะ



รูปที่ 4.27 แรงดันเอาต์พุตของวงจรถวายจับแรงดันขอต่ระยะห่างของโลหะ (รัศมี 1 มิลลิเมตร) กับหัวตรวจจับโลหะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.28 เปรียบเทียบแรงดันเอาท์พุทของวงจรถวจจับแรงดันยอตต่อระยะห่างของโลหะกับหัวตรวจจับโลหะที่ขนาดของโลหะต่างๆ

บทที่ 5

บทสรุป

จากการทดสอบวงจรต่างๆที่ใช้ในระบบตรวจสอบโลหะในเนื้อไม้ ผลปรากฏว่าวงจรต่างๆสามารถทำงานได้ตามที่ออกแบบไว้ และสามารถใช้ในการตรวจสอบหาโลหะในเนื้อไม้ที่นำมาทดสอบได้ แต่อย่างไรก็ตามระบบที่พัฒนาขึ้นยังคงต้องพัฒนาต่อไปเพื่อให้สามารถตรวจสอบโลหะที่มีขนาดเล็กมากๆได้ โดยข้อเสนอแนะสำหรับผู้สนใจที่จะนำระบบที่พัฒนาขึ้นมานี้ไปพัฒนาต่อมีดังนี้

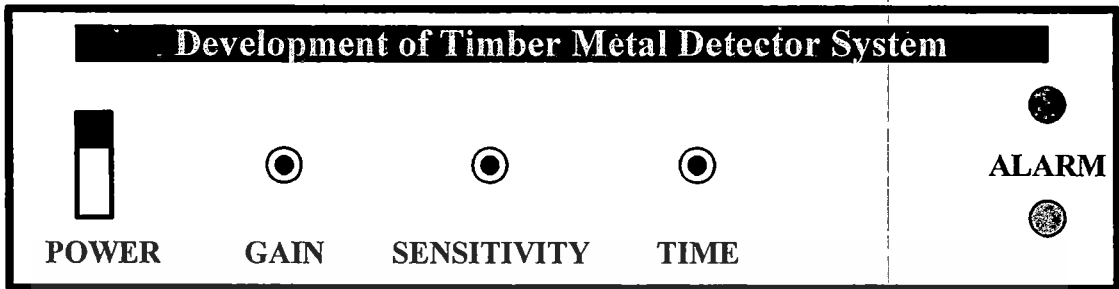
- ในส่วนของสัญญาณที่ใช้ในการตรวจสอบโลหะจะใช้ความถี่เพียงความถี่เดียวทำให้ระบบที่พัฒนาขึ้นมีค่าความไว(Sensitivity) ในการตรวจสอบโลหะสูงเฉพาะโลหะบางชนิด ดังนั้นถ้าสามารถพัฒนาให้ระบบใช้หลายความถี่ในการตรวจสอบจะช่วยให้ค่าความไว(Sensitivity) ในการตรวจสอบโลหะต่างชนิดกันดีขึ้น
- ในส่วนของการทดสอบการสิ้นเปลืองพลังงาน(Power consumption) นั้นจะขึ้นอยู่กับความถี่ของสัญญาณที่ใช้ในการตรวจสอบโลหะ

เอกสารอ้างอิง

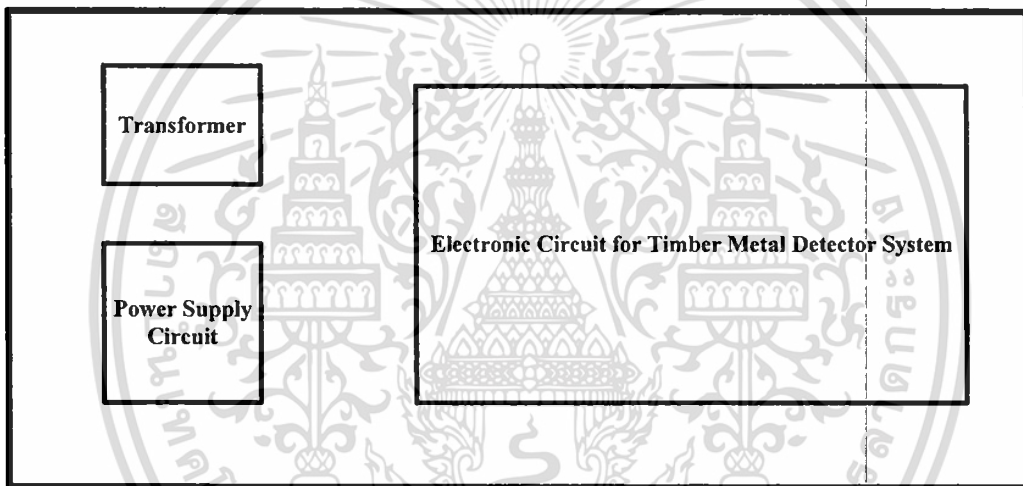
- [1] Theoretical and Practical Considerations in Metal Locator Design,1979.
- [2] ศิริพงษ์ สุวรรณลักษณ์ และ ศุภชัย แสงทอง. “เครื่องตรวจหาวัตถุระเบิดชนิดโลหะ” วิทยานิพนธ์ สาขาเทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์ ภาควิชาวิศวกรรมสารสนเทศ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปีการศึกษา 2544.
- [3] NE/SA/SE555/SE555C Timer. Philips Semiconductors, 14 Feb 2003.
- [4] IRF840, 8A, 500V, 0.850 Ohm, N-Channel Power MOSFET. Fairchild Semiconductor Corporation. January 2002.
- [5] OP37, Low Noise, Precision, High Speed Operational Amplifier, Analog Devices, Inc., 2002.
- [6] CD4538BM/CD4538BC Dual Precision Monostable, National Semiconductor Corporation. February 1988.
- [7] CD4066BC Quad Bilateral Switch, Fairchild Semiconductor Corporation. April 2002.
- [8] LF351 Single Operational Amplifier (JFET). Fairchild Semiconductor Corporation, 2001.
- [9] LM111/LM211/LM311 Voltage Comparator, National Semiconductor Corporation. January 2001.

ภาคผนวก ก

ลักษณะการวางเลย์เอาต์ของต้นแบบระบบตรวจสอบโลหะในเนื้อไม้



รูปที่ ก1 แสดงการวางเลย์เอาต์ด้านหน้าของต้นแบบระบบตรวจสอบโลหะในเนื้อไม้



รูปที่ ก2 แสดงการวางเลย์เอาต์ด้านหลังของต้นแบบระบบตรวจสอบโลหะในเนื้อไม้



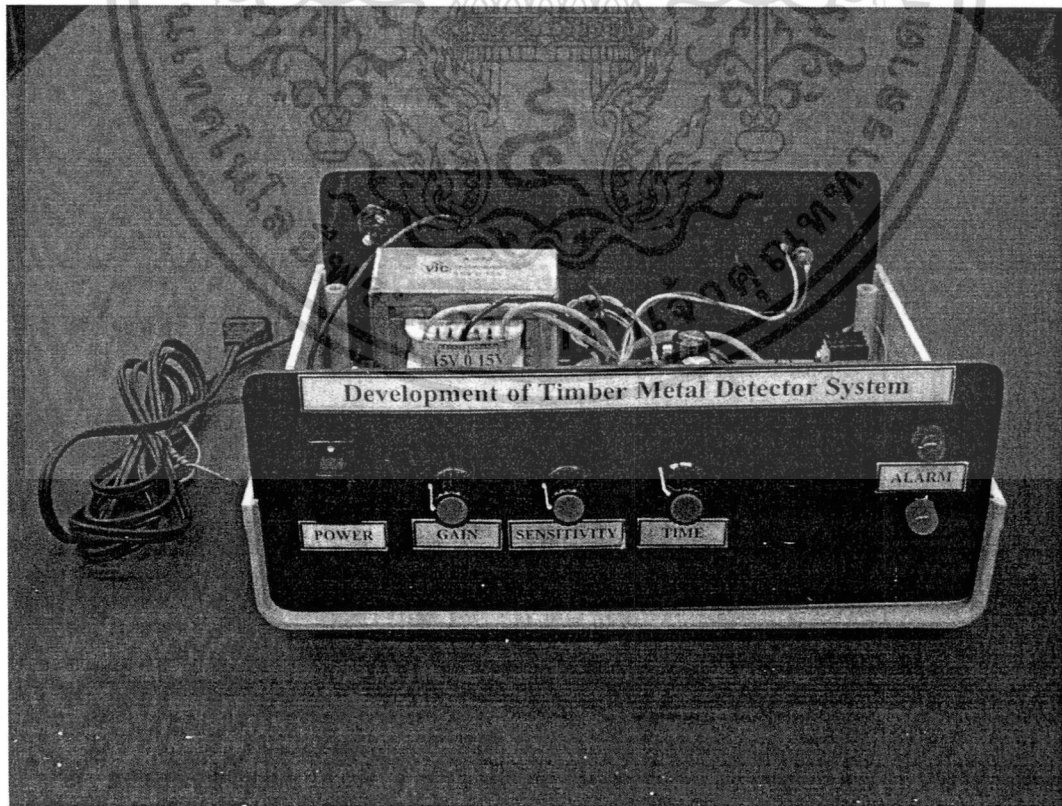
รูปที่ ก3 แสดงการวางเลย์เอาต์ด้านหลังของต้นแบบระบบตรวจสอบโลหะในเนื้อไม้

ภาคผนวก ข

ต้นแบบระบบตรวจสอบโลหะในเนื้อไม้

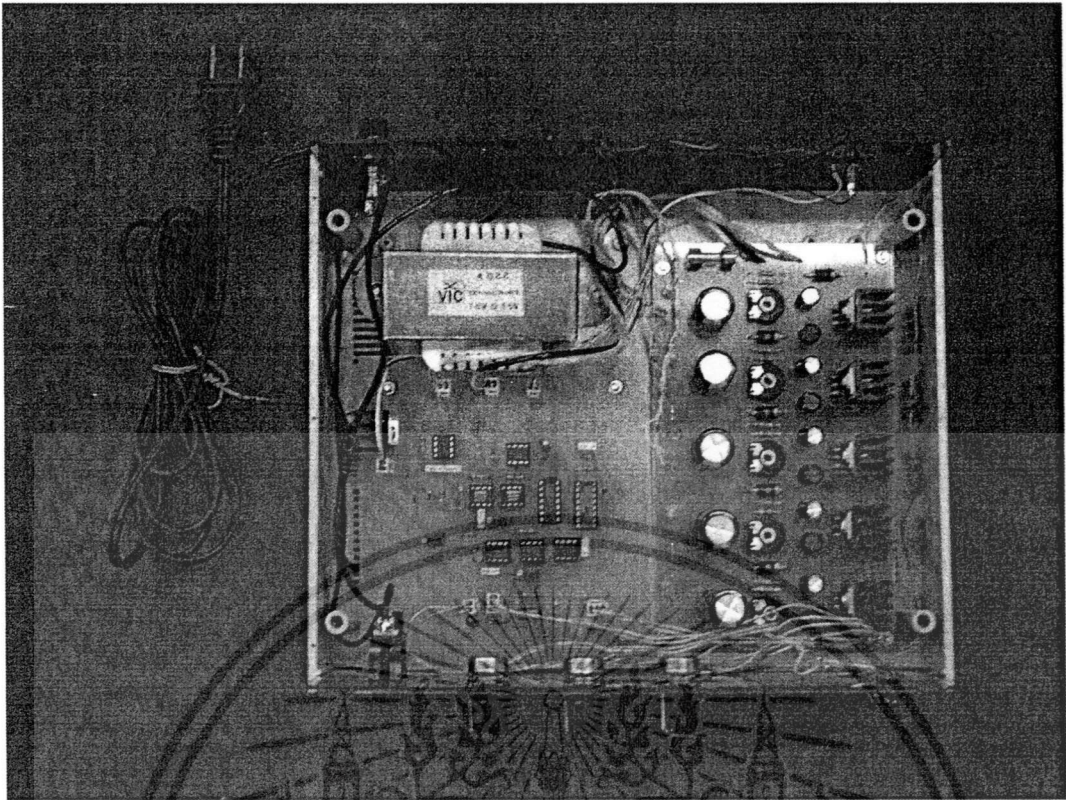


รูปที่ ข1 ต้นแบบระบบตรวจสอบโลหะในเนื้อไม้

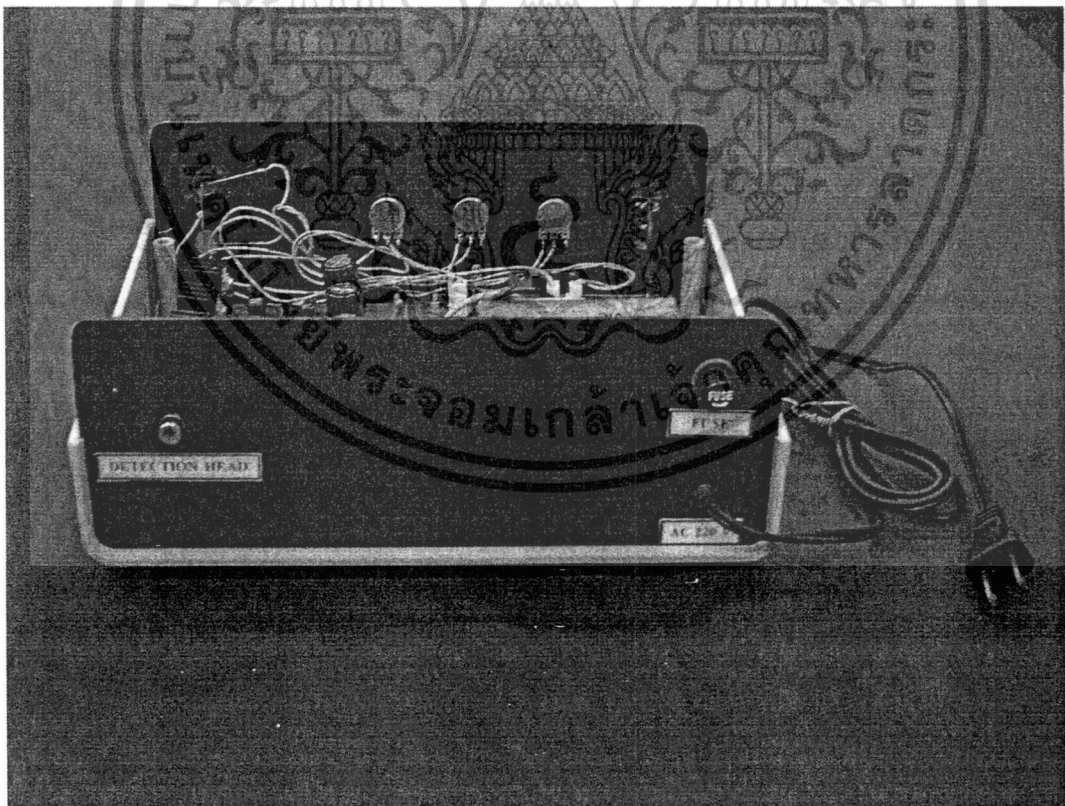


รูปที่ ข2 ด้านหน้าของต้นแบบระบบตรวจสอบโลหะในเนื้อไม้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข3 ด้านบนของต้นแบบระบบตรวจสอบโลหะในเนื้อไม้



รูปที่ ข4 ด้านหลังของต้นแบบระบบตรวจสอบโลหะในเนื้อไม้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้