

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

รายงานการวิจัย

การพัฒนาระบบตรวจสอบรอยบกพร่องในท่อโดยใช้กระแสไหลวน
System Development for Tube Inspection Using Eddy Current



ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ 2553
คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

RCH
TK
2241
๒๒๕๗๓

เลขหมู่..... 114501

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์อื่นใด
ไม่ว่าในกรณีใดๆ หากมีข้อผิดพลาดหรือต้องการแจ้งเปลี่ยนแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

b. 1๒๒๑๒1HX
i.....

โครงการวิจัย (ภาษาไทย) “การพัฒนาระบบตรวจสอบรอยบกพร่องในท่อโดยใช้กระแสไหลวน”
(ภาษาอังกฤษ) “System Development for Tube Inspection Using Eddy
Current”

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

หน่วยงานที่รับผิดชอบงานวิจัย และที่อยู่

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

บทคัดย่อ

รายงานโครงการวิจัยนี้กล่าวถึงการพัฒนาระบบตรวจสอบรอยบกพร่องในท่อโดยใช้กระแสไหลวน โดยระบบตรวจสอบรอยบกพร่องในท่อที่พัฒนาขึ้นจะประกอบด้วยวงจรอิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ ดังนี้ วงจรกำเนิดคลื่นไซน์ วงจรขยายสัญญาณชุดที่1 วงจรจ่ายกระแสควบคุมด้วยแรงดัน วงจรกรองสัญญาณรบกวน วงจรตรวจจับสัญญาณชุดที่1 วงจรตรวจจับสัญญาณชุดที่ 2 วงจรขยายสัญญาณชุดที่2 วงจรเปรียบเทียบแรงดัน วงจรแสดงผลและหัววัดกระแสไหลวน โดยการทำงานของวงจรที่ออกแบบขึ้นมาจะอาศัยหลักการวัดการเปลี่ยนแปลงของกระแสไหลวนที่เกิดขึ้นระหว่างหัววัดกระแสไหลวนกับท่อโลหะที่หัววัดกระแสไหลวนเคลื่อนที่ผ่าน ค่าแรงดันเอาท์พุทที่ได้จากการวัดจะถูกส่งเข้าสู่วงจรอิเล็กทรอนิกส์เพื่อทำการประมวลผลและแสดงผลการวัดออกมาในรูปแบบของแอลอีดีสีเขียวในกรณีที่ไม่พบรอยบกพร่องในท่อที่ทำการวัดและสีแดงพร้อมสัญญาณเตือนเมื่อพบรอยบกพร่องในท่อที่ทำการวัด

ABSTRACT

This research project presents system development for tube inspection based on eddy current. The proposed system consists of sine wave generator circuit, amplifier circuit I, voltage control current source, filter circuit, detector circuit I, detector circuit II, amplifier circuit II, comparator circuit, display circuit and eddy current probe. The system is based on eddy current inspection technique. The eddy current between eddy current probe and metal tube was measured by the proposed circuit. The measured output voltage is applied to the signal processing circuit for display unit. When the investigated metal tube has no defect, green LED is turn on, otherwise the red LED with buzzer is turn on.



กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงได้ดี ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณในความช่วยเหลือเป็นอย่างมากทั้งทางด้านเครื่องมือ อุปกรณ์ ตลอดจนคำแนะนำและข้อมูลต่างๆจากบุคคลต่อไปนี้

1. ดร. วรณดี เพชรณิล้ำค่า ที่ช่วยให้คำปรึกษาและเอื้อเฟื้อข้อมูลสำหรับเขียนรายงานโครงการวิจัย
2. นาย สิริชัย ธรรมารักษ์วัฒน์ ที่ช่วยเหลือในการทดลองและเก็บข้อมูล

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่สนับสนุนเครื่องมือ อุปกรณ์ และสถานที่ในการทำโครงการวิจัยครั้งนี้

อภิไฉย ฤกษ์รัตน์



สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ.....	I
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญรูป.....	VIII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 หลักการและเหตุผลของ โครงการวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของ โครงการวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของ โครงการวิจัย.....	2
1.4 ระเบียบวิธีวิจัย.....	2
1.5 แผนการดำเนินงาน โครงการวิจัย.....	3
บทที่ 2 การทดสอบแบบไม่ทำลาย.....	4
2.1 วัตถุประสงค์ของการทดสอบแบบไม่ทำลาย.....	6
2.2 ประเภทของการทดสอบแบบไม่ทำลาย.....	6
2.2.1 การทดสอบแบบไม่ทำลายเพื่อตรวจหารอยบกพร่องบริเวณผิว.....	6
2.2.2 การทดสอบโดยไม่ทำลายเพื่อหารอยบกพร่องภายใน.....	6
2.2.3 การทดสอบแบบไม่ทำลายแบบอื่นๆ.....	7
บทที่ 3 การทดสอบโดยวิธีใช้กระแสไหลวน.....	9
3.1 ชนิดของการทดสอบ โดยวิธีเหนี่ยวนำไฟฟ้า.....	10
3.1.1 การตรวจหารอยร้าว (Magnetic Flaw Detector).....	10
3.1.2 การตรวจสอบวัสดุเพื่อคัดแยกหาวัสดุที่ต่างชนิดกัน.....	11
3.1.3 การวัดความหนาของชั้นฟิล์ม.....	12
3.1.4 การตรวจสอบระยะ รูปร่าง.....	12
3.2 ลักษณะพิเศษของการตรวจสอบโดยใช้ความเหนี่ยวนำทางแม่เหล็กไฟฟ้า.....	13
3.3 หลักการของกระแสไหลวน.....	13
3.3.1 การเกิดกระแสไหลวน.....	13
3.3.2 ปรากฏการณ์ที่ผิวกับความลึกที่ผ่านเข้า (Skin Effect & Penetration).....	14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกริใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตเป็นการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
3.3.3	ค่าอิมพีแดนซ์ของขดลวด.....16
3.3.4	แรงดันไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในขดลวด.....19
3.4	วิธีการตรวจสอบ.....19
3.4.1	ขดลวดที่ใช้ตรวจสอบและวิธีการ.....19
บทที่ 4	ระบบตรวจสอบรอยบกพร่องในท่อโดยใช้กระแสไหลวน.....22
4.1	วงจรกำเนิดคลื่นไซน์ (Sine wave Generator Circuit).....22
4.2	วงจรมายสัญญาณชุดที่ 1 (Amplifier circuit I).....25
4.3	วงจรมายกระแสควบคุมด้วยแรงดัน(Voltage Control Current Source : VCCS)..26
4.4	วงจรมายสัญญาณรบกวน(Filter Circuit)27
4.5	วงจรมายสัญญาณชุดที่ 1 (Detector Circuit I).....30
4.6	วงจรมายสัญญาณชุดที่ 2 (Detector Circuit II).....31
4.7	วงจรมายสัญญาณชุดที่ 2 (Amplifier circuit II)31
4.8	วงจรมายเปรียบเทียบแรงดัน(Comparator Circuit).....32
4.9	วงจรมายแสดงผล(Display circuit)32
บทที่ 5	การทดลองและผลการทดลอง.....34
5.1	การทดสอบวงจรอิเล็กทรอนิกส์สำหรับระบบตรวจสอบรอยบกพร่องในท่อโดยใช้กระแสไหลวน.....34
5.1.1	การทดสอบสัญญาณของวงจรมายกำเนิดคลื่นไซน์ (Sine wave Generator Circuit)34
5.1.2	การทดสอบสัญญาณของวงจรมายสัญญาณไซน์.....34
5.1.3	การทดสอบสัญญาณของวงจรมายกระแสควบคุมด้วยแรงดัน.....34
5.1.4	การทดสอบสัญญาณจากวงจรมายสัญญาณรบกวน.....36
5.1.5	การทดสอบสัญญาณจากวงจรมายสัญญาณชุดที่ 1.....36
5.1.6	การทดสอบสัญญาณจากวงจรมายสัญญาณชุดที่ 2.....37
5.1.7	การทดสอบสัญญาณจากวงจรมายสัญญาณ.....38
5.1.8	การทดสอบสัญญาณของวงจรมายเปรียบเทียบแรงดัน(Comparator Circuit).39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
บทที่ 6 บทสรุป.....	42
เอกสารอ้างอิง.....	43
ภาคผนวก ก ลักษณะการวางเลย์เอาท์ของต้นแบบระบบตรวจสอบรอยบกพร่องในท่อ โดยใช้ กระแสน้ำไหลวน.....	44
ภาคผนวก ข ต้นแบบระบบตรวจสอบรอยบกพร่องในท่อ โดยใช้กระแสน้ำไหลวน.....	46



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่

หน้า

3.1 การใช้วิธีเหนี่ยวนำทางแม่เหล็กไฟฟ้าในการตรวจสอบวัสดุในลักษณะต่างๆ.....	12
3.2 คำสัมประสิทธิ์ในงาโอคา.....	18



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1 ส่วนประกอบทั้งหมดของระบบตรวจสอบรอยบกพร่องในท่อโดยใช้กระแสไหลวน.....	1
2.1 ตัวอย่างการทดสอบแบบไม่ทำลาย.....	5
2.2 ชนิดของการทดสอบแบบไม่ทำลาย.....	8
3.1 ปฏิกิริยาการเกิดการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้า.....	9
3.2 ลักษณะการเกิดกระแสไหลวน.....	9
3.3 การเกิดกระแสไหลวน.....	13
3.4 รอยบกพร่องกับกระแสไหลวน.....	14
3.5 ปฏิกิริยาที่ผิว.....	15
3.6 ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ของกระแสกับความลึกในการผ่านเข้าของสนามแม่เหล็ก.....	16
3.7 ขดลวดที่ใช้ตรวจสอบโดยการเหนี่ยวนำด้วยตัวเอง.....	17
3.8 ภาพกระแสไหลวนเปลี่ยนแปลงไปตามรอยร้าว.....	18
3.9 ขดลวดตรวจสอบด้วยวิธีการเหนี่ยวนำไฟฟ้าร่วมกัน.....	19
3.10 ขดลวดทดสอบแบบต่าง ๆ.....	20
3.11 การใช้ขดลวดแบบมีแกนเหล็กในลักษณะหมุนรอบท่อ.....	21
3.12 แบบของขดลวดทดสอบ.....	21
4.1 ส่วนประกอบของระบบตรวจสอบรอยบกพร่องในท่อโดยใช้กระแสไหลวน.....	22
4.2 วงจรกำเนิดคลื่นไซน์ที่พัฒนาขึ้นมา.....	23
4.3 ขาที่ใช้ควบคุมความถี่สัญญาณเอาต์พุต.....	23
4.4 วงจรขยายสัญญาณชุดที่ 1.....	26
4.5 วงจรจ่ายกระแสคงที่ควบคุมด้วยแรงดัน.....	26
4.6 ลักษณะของผลตอบสนองของความถี่ของวงจรสัญญาณรบกวนที่ต้องการ.....	27
4.7 วงจรกรองสัญญาณรบกวน.....	28
4.8 วงจรตรวจจับสัญญาณชุดที่ 1.....	30
4.9 วงจรตรวจจับสัญญาณชุดที่ 2.....	31
4.10 วงจรแอมพลิไฟเออร์.....	31
4.11 วงจรเปรียบเทียบแรงดัน.....	32
4.12 วงจรแสดงผล.....	33
5.1 สัญญาณเอาต์พุตของวงจรถ่ายสัญญาณ ไซน์.....	34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.2	สัญญาณเอาต์พุทของวงจรขยายสัญญาณ ไซน์ที่มีความถี่ 1 กิโลเฮิร์ต.....35
5.3	สัญญาณสัญญาณเอาต์พุทของวงจรจ่ายกระแสควบคุมด้วยแรงดัน.....35
5.4	สัญญาณเอาต์พุทหลังจากผ่านวงจรกรองสัญญาณรบกวน.....36
5.5	สัญญาณหลังจากผ่านวงจรตรวจจับสัญญาณชุดที่ 1(ยังไม่ผ่านวงจรกรองสัญญาณความถี่ต่ำผ่าน)36
5.6	สัญญาณหลังจากผ่านวงจรตรวจจับสัญญาณชุดที่ 1(หลังผ่านวงจรกรองสัญญาณความถี่ต่ำผ่าน).....37
5.7	สัญญาณหลังจากผ่านวงจรตรวจจับสัญญาณชุดที่ 1(กรณีไม่มีรอยบกพร่องบนท่อ โลหะ).....37
5.8	สัญญาณหลังจากผ่านวงจรตรวจจับสัญญาณชุดที่ 1(กรณีมีรอยบกพร่องบนท่อ โลหะ 1 รอย).....38
5.9	สัญญาณหลังจากผ่านวงจรตรวจจับสัญญาณชุดที่ 1(กรณีมีรอยบกพร่องบนท่อ โลหะ 2 รอย).....38
5.10	สัญญาณหลังจากผ่านวงจรวจรขยายสัญญาณ (กรณีไม่มีรอยบกพร่องบนท่อ โลหะ).....39
5.11	สัญญาณหลังจากผ่านวงจรวจรขยายสัญญาณ (กรณีมีรอยบกพร่องบนท่อ โลหะ 1 รอย).....39
5.12	สัญญาณหลังจากผ่านวงจรวจรขยายสัญญาณ (กรณีมีรอยบกพร่องบนท่อ โลหะ 2 รอย).....40
5.13	สัญญาณหลังจากผ่านวงจรเปรียบเทียบแรงดัน(กรณีไม่มีรอยบกพร่องบนท่อ โลหะ).....40
5.14	สัญญาณหลังจากผ่านวงจรเปรียบเทียบแรงดัน(กรณีมีรอยบกพร่องบนท่อ โลหะ 1 รอย).....41
5.15	สัญญาณหลังจากผ่านวงจรเปรียบเทียบแรงดัน(กรณีมีรอยบกพร่องบนท่อ โลหะ 2 รอย).....41
ก1	การวางเลย์เอาต์ด้านหน้าของต้นแบบระบบตรวจสอบรอยบกพร่องในท่อโดยใช้กระแสไหลวน.....44
ก2	การวางเลย์เอาต์ด้านบนของต้นแบบระบบตรวจสอบรอยบกพร่องในท่อโดยใช้กระแสไหลวน.....44
ก3	การวางเลย์เอาต์ด้านหลังของต้นแบบระบบตรวจสอบรอยบกพร่องในท่อโดยใช้กระแสไหลวน.....44
ก4	เลย์เอาต์ของหัววัดกระแสไหลวนที่พัฒนาขึ้นมา.....45
ข1	ด้านหน้าของต้นแบบระบบตรวจสอบรอยบกพร่องในท่อโดยใช้กระแสไหลวน.....46
ข2	ด้านบนของระบบตรวจสอบรอยบกพร่องในท่อโดยใช้กระแสไหลวน.....46
ข3	ด้านหลังของต้นแบบระบบตรวจสอบรอยบกพร่องในท่อโดยใช้กระแสไหลวน.....47
ข4	หัววัดกระแสไหลวนที่พัฒนาขึ้นมา.....47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

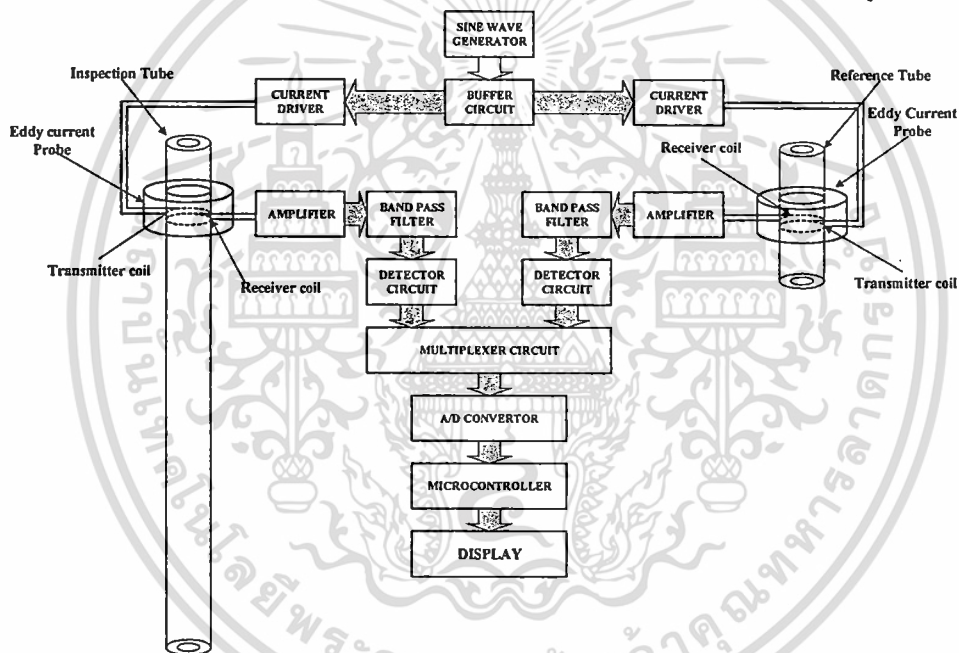
บทที่ 1

บทนำ

ในปัจจุบันได้มีการนำเทคโนโลยีในการตรวจสอบแบบไม่ทำลายมาใช้ในการตรวจสอบวัสดุ อุปกรณ์ และผลิตภัณฑ์ต่างๆ ในอุตสาหกรรมอย่างกว้างขวาง ดังนั้นทางผู้วิจัยจึงมีแนวความคิดในการวิจัยและพัฒนา ระบบตรวจสอบรอยบกพร่องในท่อ โดยใช้กระแสไหลวนขึ้นมา

1.1 หลักการและเหตุผลของโครงการวิจัย

โครงการวิจัยนี้นำเสนอการออกแบบและสร้างระบบตรวจสอบรอยบกพร่องในท่อโดยใช้กระแสไหลวนเพื่อนำระบบที่สร้างขึ้นไปใช้ในการตรวจสอบรอยบกพร่องในท่อต่างๆ เช่น ท่อเหล็ก ท่อสแตนเลส และท่อโลหะต่างๆ สำหรับส่วนประกอบทั้งหมดของระบบตรวจสอบรอยบกพร่องในท่อ โดยใช้กระแสไหลวนที่จะทำการพัฒนาขึ้นมาสามารถแสดงได้ในรูปที่ 1



รูปที่ 1 ส่วนประกอบทั้งหมดของระบบตรวจสอบรอยบกพร่องในท่อโดยใช้กระแสไหลวน

จากรูปที่ 1 ระบบตรวจสอบรอยบกพร่องในท่อโดยใช้กระแสไหลวนจะประกอบด้วยหัววัดกระแสไหลวนจำนวน 2 ชุดสำหรับใช้ในการวัดกระแสไหลวนในท่ออ้างอิง(Reference tube) และท่อที่นำมาตรวจสอบ(Inspection tube) โดยลักษณะของหัววัดกระแสไหลวน (Eddy Current Probe) จะประกอบด้วยขดลวดตัวส่ง (Transmitter coil : Tx) และขดลวดตัวรับ (Receiver coil : Rx) เมื่อเราจ่ายแรงดันให้กับขดลวดตัวส่งก็จะเกิดสนามแม่เหล็กขึ้นรอบๆขดลวดตัวส่ง สนามแม่เหล็กนี้จะไปเหนี่ยวนำขดลวดตัวรับทำให้เกิดแรงดันค่าหนึ่งขึ้นที่ขดลวดตัวรับ เมื่อเรานำท่อโลหะผ่านเข้าไปในหัววัดกระแสไหลวน (ซึ่งประกอบด้วยขดลวดตัวส่งและขดลวดตัวรับ) จะทำให้เกิดกระแสไหลวน (Eddy Current) ขึ้นบนท่อโลหะนั้น กระแสไหลวนที่เกิดขึ้นบนท่อ

โลหะจะสร้างสนามแม่เหล็กขึ้นมาหักล้างกับสนามแม่เหล็กที่เกิดจากขดลวดตัวส่ง ดังนั้นสนามแม่เหล็กที่ไปเหนี่ยวนำกับขดลวดตัวรับจึงลดลง ส่งผลให้แรงดันที่ขดลวดตัวรับมีค่าลดลง แต่หากท่อโลหะที่นำมาทดสอบมีรอยถูกการกัดกร่อนหรือมีรูรั่วอยู่ก็จะส่งผลให้กระแสไหลวนบนท่อโลหะเกิดการลดลงและส่งผลให้สนามแม่เหล็กที่เกิดจากกระแสไหลวนนั้นเกิดการลดลง สนามแม่เหล็กที่ไปเหนี่ยวนำขดลวดตัวรับจึงเกิดเพิ่มขึ้น ดังนั้นแรงดันที่วัดได้จากขดลวดตัวรับจึงเกิดเพิ่มขึ้นตามขนาดของรอยที่ถูกการกัดกร่อนหรือรูรั่วบนท่อ จากหลักการดังที่กล่าวมาจะเห็นว่าค่าระดับแรงดันที่ขดลวดตัวรับจะขึ้นอยู่กับขนาดของรอยที่ถูกการกัดกร่อนหรือรูรั่วบนท่อ โดยค่าระดับแรงดันที่ได้นี้จะนำไปเปรียบเทียบกับแรงดันที่วัดได้จากท่ออ้างอิงเพื่อทำการประมวลผลประมวลผลด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ก่อนที่จะแสดงผลการถูกกัดกร่อนของท่อที่นำมาทดสอบออกมา

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1. เพื่อศึกษา ออกแบบ และพัฒนาด้านแบบระบบตรวจสอบรอยบกพร่องในท่อ โดยใช้กระแสไหลวน
2. พัฒนาเทคนิคในการออกแบบ และสร้างหัววัดกระแสไหลวน (Eddy Current Probe) สำหรับตรวจสอบรอยบกพร่องในท่อ
3. สร้างบุคลากรทางเครื่องมือวัดอิเล็กทรอนิกส์
4. พัฒนาเทคนิคในการตรวจสอบแบบไม่ทำลาย

1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย

พัฒนาด้านแบบระบบตรวจสอบรอยบกพร่องในท่อ โดยใช้กระแสไหลวนเพื่อนำระบบที่สร้างขึ้นไปใช้ในการตรวจสอบรอยบกพร่องในท่อต่างๆ เช่น ท่อเหล็ก ท่อสแตนเลส และท่อโลหะต่างๆ

1.4 ระเบียบวิธีวิจัย

เพื่อให้การวิจัยการพัฒนาระบบตรวจสอบรอยบกพร่องในท่อ โดยใช้กระแสไหลวนสำเร็จรวดเร็วภายในระยะเวลาที่กำหนดประมาณ 12 เดือน จึงขอแบ่งวิธีการวิจัยดังขั้นตอนต่อไปนี้

1. ศึกษาข้อมูลทั่วไปของระบบตรวจสอบรอยบกพร่องในท่อ โดยใช้กระแสไหลวน
2. ศึกษาข้อมูลและวิธีการออกแบบหัววัดกระแสไหลวน (Eddy Current Probe)
3. ออกแบบและสร้างระบบตรวจสอบรอยบกพร่องในท่อ โดยใช้กระแสไหลวน
4. ทดสอบระบบตรวจสอบรอยบกพร่องในท่อ โดยใช้กระแสไหลวนที่ได้ทำการสร้างขึ้นมา
5. ปรับปรุงคุณภาพของระบบตรวจสอบรอยบกพร่องในท่อ โดยใช้กระแสไหลวน
6. สร้างต้นแบบระบบตรวจสอบรอยบกพร่องในท่อ โดยใช้กระแสไหลวน
7. สรุปผลและเขียนรายงานฉบับสมบูรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำ²ใช้

1.5 แผนการดำเนินงานโครงการวิจัย

ขั้นตอนการดำเนินงาน	ช่วงระยะเวลาการดำเนินงาน(งบประมาณปี 2553)												หมายเหตุ	
	คค.	พย.	ธค.	มค.	กพ.	มีค.	เมย.	พค.	มิย.	กค.	สค.	กย.		
1.ศึกษาข้อมูลทั่วไปของระบบตรวจสอบรอยบกพร่องในท่อโดยใช้กระแสไหลวน														
2.ศึกษาข้อมูลและวิธีการออกแบบหัววัดกระแสไหลวน (Eddy Current Probe)														
3.ออกแบบและสร้างระบบตรวจสอบรอยบกพร่องในท่อโดยใช้กระแสไหลวน														
4.ทดสอบระบบตรวจสอบรอยบกพร่องในท่อโดยใช้กระแสไหลวนที่ได้ทำการสร้างขึ้นมา														
5.ปรับปรุงคุณภาพของระบบตรวจสอบรอยบกพร่องในท่อโดยใช้กระแสไหลวน														
6.สร้างต้นแบบระบบตรวจสอบรอยบกพร่องในท่อโดยใช้กระแสไหลวน														
7.สรุปผลและเขียนรายงานฉบับสมบูรณ์														

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำ³ไปใช้

บทที่ 2

การทดสอบแบบไม่ทำลาย

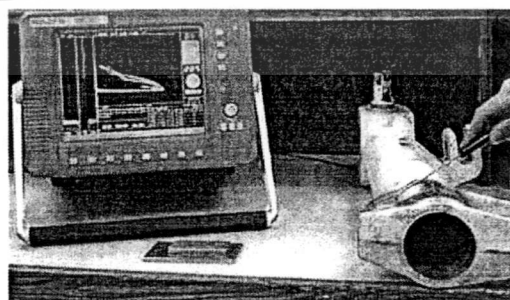
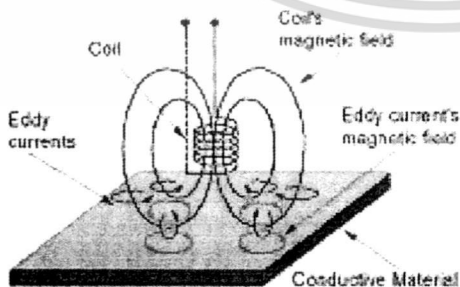
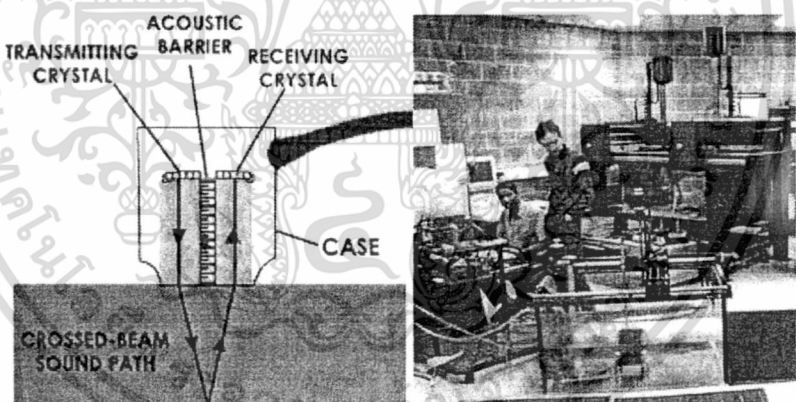
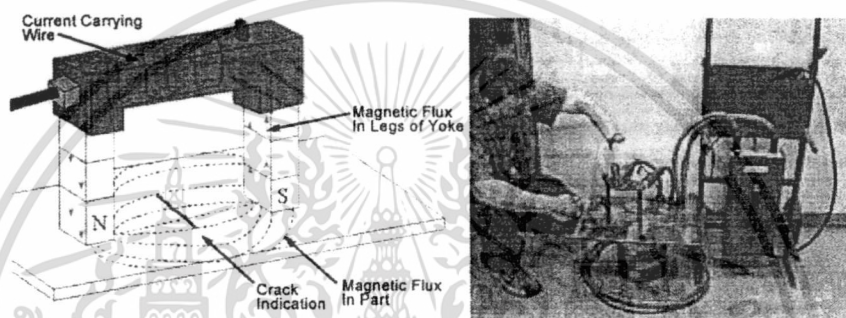
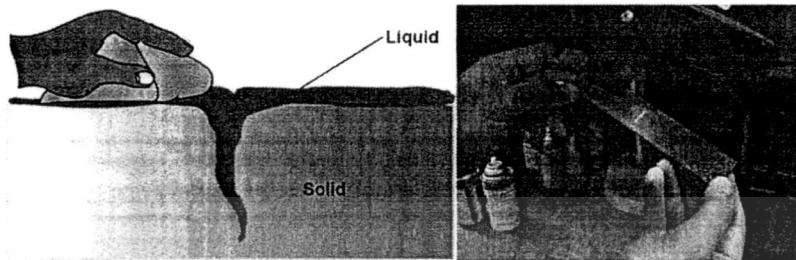
ในการตรวจสอบรอยบกพร่องภายในของวัสดุ อุปกรณ์ หรือ โครงสร้างต่างๆ ว่ามีอยู่หรือไม่นั้น การทำให้แตกหักแล้วพินิจดูด้วยตาเป็นวิธีที่ถูกต้องแน่นอนที่สุด ยิ่งไปกว่านั้นการวัดระดับความแข็งแรงของวัสดุ อุปกรณ์ และ โครงสร้าง โดยใช้การทดสอบเชิงกล (ส่วนใหญ่เป็นการทดสอบแบบทำลาย) แต่เนื่องจากการทดสอบแบบทำลายนั้น จะทำให้วัสดุ อุปกรณ์ หรือ โครงสร้างเกิดการแตกหักเสียหาย ใช้งานอีกไม่ได้

การทดสอบแบบไม่ทำลาย (Non Destructive Testing : NDT) ซึ่งสมาคมวิศวกรรมเครื่องกลของอเมริกา(ASME) จะเรียกว่าการตรวจสอบแบบไม่ทำลาย (Non Destructive Examination : NDE) ซึ่งสามารถกล่าวง่ายๆคือ เป็นการทดสอบวัสดุชิ้นงานโดยไม่ทำลายให้เสียหายนั่นเอง กล่าวคือ เป็นการทดสอบชิ้นงาน วัสดุ อุปกรณ์ หรือ โครงสร้าง โดยไม่ก่อให้เกิดรอยขีดข่วน การแยกส่วน หรือการแตกหักเสียหาย กล่าวอีกนัยหนึ่งก็คือ การตรวจสอบลักษณะสมบัติ สมรรถภาพ โครงสร้างภายใน หรือรอยบกพร่องภายใน โดยไม่ทำให้ชิ้นงานทดสอบเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง ขนาด หรือสมรรถนะในการนี้จะใช้ลักษณะสมบัติทางฟิสิกส์ของชิ้นงานที่ทำการทดสอบ เช่น แสง ความร้อน รั้งสี คลื่นอัลตราโซนิก(Ultrasonic) ไฟฟ้า หรือ สนามแม่เหล็กซึ่งจะเปลี่ยนแปลงไปตามความผิดปกติของโครงสร้างภายใน หรือรอยบกพร่องที่มีอยู่แล้ว ใช้การทดสอบแบบไม่ทำลายวัดลักษณะสมบัติทางฟิสิกส์เหล่านี้ เพื่อประเมินความผิดปกติของโครงสร้างภายใน หรือรอยบกพร่องที่มีอยู่ได้

ในวิธีการทดสอบนั้น ไม่จำเป็นต้องใช้อุปกรณ์ทดสอบเลยก็ได้ วิธีที่เร็วที่สุด ประหยัดที่สุด และยังมีประสิทธิภาพมากที่สุดคือการตรวจสอบด้วยสายตาเป็นขั้นเริ่มแรก จากนั้นก็มี การตรวจสอบรอยบกพร่อง โดยใช้อัลตราโซนิก, การตรวจสอบรอยบกพร่องด้วยผงแม่เหล็ก, การตรวจสอบรอยบกพร่องโดยใช้รังสี และการตรวจสอบโดยใช้สนามแม่เหล็กไฟฟ้า (การตรวจสอบรอยบกพร่องด้วยกระแสไฟฟ้า) ซึ่งเป็นการใช้อุปกรณ์ต่างๆเข้ามาช่วยดังตัวอย่างในรูปที่ 2.1

จากที่กล่าวมาข้างต้น การทดสอบแบบไม่ทำลายนั้นใช้แทนการทดสอบแบบทำลายได้ แต่ไม่ได้หมายความว่าเมื่อทำการทดสอบแบบไม่ทำลายได้แล้ว การทดสอบแบบทำลายจะกลายเป็นสิ่งที่ไม่จำเป็นไป การทดสอบนั้นเป็นการใช้ลักษณะสมบัติทางฟิสิกส์ของชิ้นงานทดสอบในการประเมินระดับของรอยบกพร่อง หรือความแข็งแรง ทว่า ข้อมูลของการทดสอบแบบทำลายก็เป็นส่วนประกอบที่จำเป็นเช่นกัน ตัวอย่างเช่น การเชื่อมแผ่นเหล็กทดสอบโดยวิธีการเดียวกับการเชื่อมโครงสร้างของสิ่งก่อสร้าง แล้วใช้การ

ทดสอบแบบทำลายกับแผ่นเหล็กทดสอบ (ซึ่งเรียกว่า Test Plate Testing) เพื่อเป็นการประเมินความแข็งแรงของรอยเชื่อม และเป็นการประกันความปลอดภัยของรอยเชื่อม



รูปที่ 2.1 ตัวอย่างการทดสอบแบบไม่ทำลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1 วัตถุประสงค์ของการทดสอบแบบไม่ทำลาย

วัตถุประสงค์หลักของการทดสอบแบบไม่ทำลายที่พอจะกล่าวถึงได้ มีดังต่อไปนี้

1. เพื่อเพิ่มความเชื่อมั่นของผลิตภัณฑ์
2. เพื่อการปรับปรุงเทคนิคการผลิต
3. เพื่อลดต้นทุนการผลิต

2.2 ประเภทของการทดสอบแบบไม่ทำลาย

2.2.1 การทดสอบแบบไม่ทำลายเพื่อตรวจหารอยบกพร่องบริเวณผิว

1. การทดสอบโดยการตรวจพินิจ (Visual Testing)

ตามทฤษฎีแล้วจะใช้สายตา ในกรณีที่จำเป็นจะใช้แว่นขยาย, ไม้บรรทัดเว้า (Convexruler), เกจชนิดพิเศษต่างๆ เพื่อวัดขนาดของรอยแตก รอยเหลื่อม(Overlapped) หลุมบ่อต่างๆ ความสูงของตะเข็บเชื่อมและการเชื่อมกินเนื้องาน(Undercut) เป็นต้น

2. การทดสอบโดยใช้ผงแม่เหล็ก(Magnetic Particle Testing)

สามารถใช้ตรวจหารอยบกพร่องบริเวณผิวหรือภายใต้ผิวได้ แต่สามารถใช้กับชิ้นงานทดสอบที่มีสภาพเป็นแม่เหล็กสูง

3. การทดสอบโดยใช้การซึมของของเหลว(Liquid Penetrant Testing)

ใช้ตรวจหารอยบกพร่องบริเวณผิวพื้นเท่านั้น ใช้กับวัสดุที่เป็นโลหะ และอโลหะ โดยทั่วไป

4. การทดสอบโดยกระแสไหลวน(Eddy Current Testing)

ใช้ตรวจสอบหารอยขีดข่วนที่ผิววัสดุที่เป็นตัวนำไฟฟ้าโดยไม่ต้องสัมผัส สามารถตรวจสอบได้อย่างรวดเร็ว ใช้ในการตรวจสอบรอยแตกของแท่งหรือท่อโดยอัตโนมัติ

2.2.2 การทดสอบโดยไม่ทำลายเพื่อหารอยบกพร่องภายใน

1. การทดสอบโดยใช้รังสี(Radiographic Testing)

เหมาะสำหรับใช้ตรวจสอบรอยบกพร่องที่อยู่ลึกเข้าไปตามแนวรังสี โดยใช้รังสีช่วยในการตรวจหา นอกจากนี้ยังใช้ตรวจหารอยบกพร่อง และรูปร่างที่ไม่ดี ทว่า ผิวที่มีการเคลือบหรือรอยแตกที่เยื้องทำมุมนั้นไม่สามารถตรวจสอบได้

2. การทดสอบโดยใช้คลื่นอัลตราโซนิก(Ultrasonic)

การตรวจสอบรอยแตกที่แผ่เป็นแผ่นด้วยคลื่นอัลตราโซนิกทำได้ดีกว่าการตรวจสอบด้วยรังสี ทว่าเพื่อให้การตรวจสอบทำได้ดีจำเป็นต้องเลือกให้การสะท้อนคลื่นนั้นตั้งฉากกับระนาบของรอยแตก และในกรณีของรอยบดพร่องพวกโพรงอากาศ(Blow hole) หรือที่มีรูปร่างเป็นทรงกลมจะตรวจพบได้ยาก

2.2.3. การทดสอบแบบไม่ทำลายแบบอื่นๆ

1. การวัดความเครียด(Strain Measurement)

การออกแบบโครงสร้าง หรือการประเมินค่าความปลอดภัยของโครงสร้างนั้น การทราบค่าความเครียดหรือแรงภายในเมื่อมีแรงภายนอกมากระทำเป็นสิ่งสำคัญ วิธีการวัดมักจะใช้วิธีที่เรียกกันว่า การวัดแรงกระทำแต่ค่าที่วัดจริงๆ คือความเครียด(Strain) ในกรณีที่เป็นสภาพพลาสติกนั้นจะคูณค่าของความเครียดด้วยค่า ยังก์ มอดูลัส(Young Modulus) หรือ E เพื่อหาค่าของแรงได้

$$E = \sigma / \epsilon \quad (2.1)$$

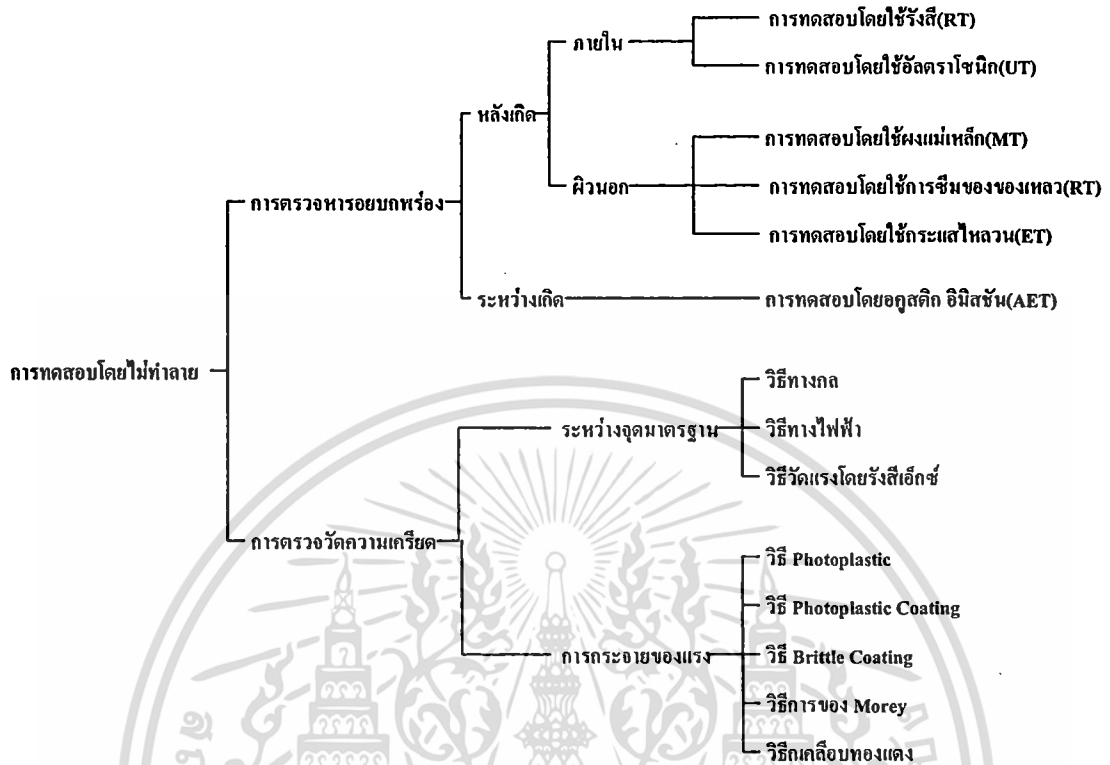
เมื่อ E = ยังก์มอดูลัส (Young Modulus)

σ = แรงเค้นหรือแรงกระทำ (Stress หรือ Load)

ϵ = ความเครียด(Strain)

2. การทดสอบโดยไม่ทำลายแบบอื่นๆ

การทดสอบบริเวณรอยเชื่อม หรือส่วนอื่นๆ มีการใช้การตรวจสอบด้วยรังสีอินฟราเรด (Infrared Testing) หรือโดยใช้ข้อยุติ อิมิซัน(Acoustic Emission Testing : AET) ปัจจุบันได้มีการวิจัยเพื่อประยุกต์ใช้วิธีการดังกล่าวในการตรวจสอบ สำหรับอุปกรณ์ที่รับแรงกดดันหรือท่อส่งมวลสารต่างๆ จะใช้การทดสอบแรงดัน(Hydrostatic Test) การทดสอบการรั่วซึม(Leakage Test) สำหรับพวกแท่งค้ำก็ใช้การทดสอบแรงดันของน้ำในการตรวจสอบ

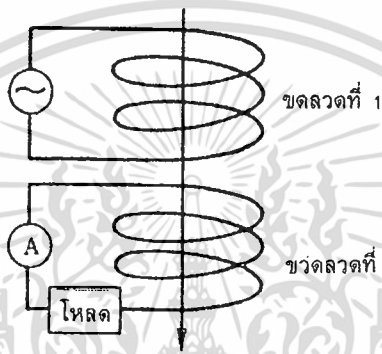


รูปที่ 2.2 ชนิดของการทดสอบแบบไม่ทำลาย

บทที่ 3

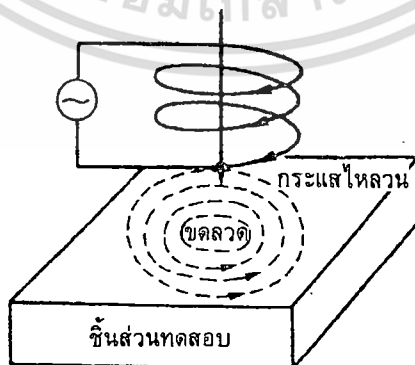
การทดสอบโดยวิธีใช้กระแสไหลวน (Eddy Current Testing)

การทดสอบโดยใช้วิธีกระแสไหลวนเป็นการทดสอบแบบไม่ทำลาย[1-6]วิธีหนึ่งที่ได้รับการนิยมอย่างมาก โดยเฉพาะการทดสอบแผ่นโลหะที่มีความหนาไม่มากนัก สำหรับหลักการทำงานเบื้องต้นสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.1



รูป 3.1 ปรากฏการณ์การเกิดการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้า

จากรูปที่ 3.1 เมื่อให้กระแสไฟสลับไหลผ่านขดลวด 1 แล้วนำเข้าไปใกล้ขดลวดที่ 2 ก็จะเกิดปรากฏการณ์เหนี่ยวนำทางแม่เหล็กไฟฟ้า ทำให้เกิดศักดาไฟฟ้าพร้อมขดลวดที่ 2 และมีกระแสไฟฟ้าสลับไหลในวงจรไฟฟ้านั้นในลักษณะที่คล้ายคลึงกันในรูปที่ 3.2 เมื่อนำขดลวดที่มีกระแสไฟสลับไหลเข้าไปใกล้ชิ้นส่วนทดสอบที่มีคุณสมบัติเป็นตัวนำไฟฟ้า ก็จะเกิดการเหนี่ยวนำทางแม่เหล็กไฟฟ้า ทำให้เกิดกระแสไหลวนรอบ ๆ ชิ้นส่วนทดสอบ



รูป 3.2 ลักษณะการเกิดกระแสไหลวน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดสอบโดยใช้คุณสมบัติการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้านี้เป็นการใช้สนามแม่เหล็กแปรเปลี่ยนไปตามเวลา เมื่อนำสนามแม่เหล็กเข้าไปใกล้สารตัวนำ เช่น พวกวัสดุที่เป็นแผ่นโลหะ แล้วใช้ผลของการเกิดกระแสเหนี่ยวนำหรือความเป็นสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นในสารตัวนำ เพื่อการทดสอบวัสดุ เนื่องจากหลักการทดสอบนี้ใช้กระบวนการเหนี่ยวนำทางแม่เหล็กไฟฟ้าในความหมายกว้าง ๆ แล้วจึงเรียกวิธีการทดสอบนี้ว่า การทดสอบโดยการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้า อย่างไรก็ตาม เนื่องจากการใช้ผลของการเกิดกระแสไหลวนขึ้นในวัสดุตัวนำจากการเหนี่ยวนำทางแม่เหล็กไฟฟ้า จึงมีการเรียกอีกชื่อว่าการทดสอบโดยใช้กระแสไหลวน วิธีการทดสอบโดยการเหนี่ยวนำไฟฟ้านี้สามารถใช้ได้กับวัสดุที่เป็นตัวนำไฟฟ้า

ส่วนมากในการใช้การทดสอบโดยวิธีเหนี่ยวนำทางแม่เหล็กไฟฟ้า จะให้กระแสสลับความถี่หลายเมกะเฮิรตซ์(MHz) ไหลผ่านขดลวดแล้วนำขดลวดเข้าไปใกล้วัสดุตัวนำ ตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงของอิมพีแดนซ์ของขดลวดหรือวัดการเปลี่ยนแปลงของแรงดันไฟฟ้าของขดลวด บางครั้งแทนที่จะใช้กระแสสลับอาจใช้กระแสพัลส์หรือในบางกรณีโพรบที่ใช้เพื่อตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงอาจใช้เป็นแบบที่อาศัยปรากฏการณ์ของฮอลล์ (Hall's effect)

3.1 ชนิดของการทดสอบโดยวิธีเหนี่ยวนำไฟฟ้า

ลักษณะการเกิดกระแสไหลวน หรือสภาพสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นในวัสดุตัวนำหรือชิ้นส่วนทดสอบ จะมีค่าหรือลักษณะแตกต่างกันไปตามสภาพหรือองค์ประกอบต่างๆ ของคุณสมบัติของตัวนำ เช่น ค่าการนำไฟฟ้า(Conductivity) , ค่าความซาบซึมได้ทางแม่เหล็ก (Permeability) ลักษณะ รูปร่าง ตลอดจนขนาดของชิ้นส่วนการมีรูหรือรอยแตก นอกจากนี้ระยะระหว่างขดลวดกับชิ้นส่วนทดสอบก็มีผลอีกด้วย ซึ่งค่าแปรเปลี่ยนต่าง ๆ เหล่านี้จะเป็นตัวดัชนีแสดงผลต่าง ๆ ในการทดลองจึงได้มีการนำผลจากการทดสอบการเหนี่ยวนำไฟฟ้ามาใช้เป็นกรรมวิธีในการตรวจหาคุณสมบัติต่าง ๆ เช่น การหารอยแตกร้าวในวัสดุ การหาคุณสมบัติของวัสดุ(การตรวจหาวัตถุแปลกปลอม) การวัดความหนาของชั้นฟิล์ม การตรวจหาขนาด ซึ่งจะสามารถประยุกต์ใช้ได้หลายประการ

3.1.1 การตรวจหารอยร้าว (Magnetic Flux Detector)

รอยร้าวตลอดจนรอยบกพร่องอื่น ๆ จะเป็นตัวขัดขวางการไหลของกระแสมีผลกระทบต่อการกระจายของกระแสไหลวน ตลอดจนขนาดของกระแสไหลวนด้วย การทดลองตรวจสอบจึงเป็นการหาเพื่อแสดงลักษณะของรอยบกพร่อง ซึ่งจากกรรมวิธีในการตรวจหารอยบกพร่องนี้ได้นำมาใช้ในการตรวจสอบสินค้า ตรวจสอบชิ้นงานระหว่างผลิต ตลอดจนตรวจสอบเพื่องานซ่อมบำรุง นอกจากนี้จะต้องมีการเลือกอุปกรณ์ วิธีการและลักษณะขดลวดทดสอบให้เหมาะสมกับขนาดและรูปร่างของชิ้นส่วนทดสอบด้วย

(ก) การตรวจสอบชิ้นงาน หรือผลิตภัณฑ์

เหล็ก, ท่อที่ทำจากเหล็ก หรือเหล็กกล้า และวัสดุที่ไม่ใช่เหล็ก ผลิตภัณฑ์ที่มีรูปร่างเป็นแท่ง ตลอดจนเส้นลวดนั้น ลักษณะของผลิตภัณฑ์ดังกล่าวสามารถจัดให้มีการตรวจสอบชิ้นงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ได้ทุกชิ้นที่กำลังผลิตอยู่ โดยใช้ดูว่ามีรอยบกพร่องบริเวณผิวหรือใกล้ ๆ กับผิวหรือไม่ (ใช้ดูผิวในผิวนอกหรือบริเวณเนื้อในของท่อที่ไม่หนามากนัก) โดยทั่วไปใช้วิธีให้ชิ้นงานผ่านขวดลวด วิธีจะตรวจเห็นขนาดของรอยบกพร่องเป็นสัดส่วนสัมพันธ์กับขนาดของชิ้นงาน สำหรับรอยบกพร่องที่มีขนาดเล็กเทียบกับชิ้นงานที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางใหญ่ ในปัจจุบันใช้โพรบที่หมุนได้รอบ ซึ่งแม้ว่าถ้าเทียบความละเอียดในการตรวจหารอยบกพร่องแล้วแบบโพรบดีกว่าแบบขวดลวดก็จริง แต่การทำงานช้ากว่า นอกจากนี้ยังได้มีการกำหนดเงื่อนไขในการทดสอบ ตลอดจนค่าความละเอียด โดยใช้ชิ้นส่วนที่มีรอยบกพร่อง ที่ทำขึ้นเทียบกับขนาดของชิ้นงานทดสอบ

(ข) การตรวจสอบในกระบวนการผลิต (Intermediate Inspection)

ใช้ในการตรวจสอบผลิตภัณฑ์ที่อยู่ในกระบวนการผลิต ซึ่งก็เหมือนกับการตรวจสอบผลิตภัณฑ์สำเร็จเป็นการตรวจชิ้นงานที่มีลักษณะเป็นท่อหรือแท่งต่างๆ เพื่อให้พบจุดบกพร่องได้เร็วเพื่อใช้ในการควบคุมขั้นตอนการแปรรูป โดยทั่ว ๆ ไปแล้ว ผลการวัดมักแจ้งเป็นสัญญาณทางไฟฟ้า เพื่อป้อนข้อมูลกลับ (Feed Back) ได้อย่างรวดเร็ว วิธีนี้มักใช้ประกอบกับการตรวจสอบผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปเพื่อควบคุมคุณภาพ

(ค) การตรวจเพื่อการบำรุงรักษา

ในโรงงานเคมี หรือ โรงกลั่นน้ำมัน ชิ้นส่วนพวกท่อ ตลอดจนชิ้นส่วนท่อขนาดเล็ก ๆ ในระบบแลกเปลี่ยนความร้อน (Heat Exchanger) จำเป็นต้องมีการตรวจสอบเป็นระยะ การตรวจสอบชิ้นส่วนของเครื่องยนต์ในเครื่องบินก็เช่นกัน การตรวจสอบภายในท่อนั้นใช้ขวดลวดสอดเข้าด้านในของท่อ ส่วนการตรวจสอบชิ้นส่วนของเครื่องจักร มักใช้โพรบเป็นส่วนใหญ่

3.1.2 การตรวจสอบวัสดุเพื่อคัดแยกหาวัสดุที่ต่างชนิดกัน

การใช้วิธีการเหนี่ยวนำทางแม่เหล็กไฟฟ้าตรวจสอบวัสดุ สำหรับการตรวจสอบส่วนผสม (Components) ของวัสดุประเภทโลหะนั้น ใช้คุณสมบัติความเป็นตัวนำไฟฟ้า (หรือความต้านทานไฟฟ้า) ที่แปรเปลี่ยนหลังจากการจัดการทางความร้อน (Heat Treatment) นอกจากนี้ยังใช้การดูค่าความซึมซาบได้ทางแม่เหล็กที่แปรเปลี่ยนอีกด้วย

ส่วนวัสดุประเภทที่ไม่เป็นสารแม่เหล็ก เช่น สารประเภท ทองแดง,อลูมิเนียม ใช้การวัดค่าตัวนำไฟฟ้าถ้าเป็นสารพวกเหล็ก มักใช้ค่าแตกต่างของความซึมซาบได้ทางแม่เหล็ก ตลอดจนลักษณะแตกต่างของฮิสเตอร์ิซิสแม่เหล็ก การใช้การเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้านั้น เนื่องจากกระแสไหลวนเกิดขึ้นที่ผิวจึงต้องระมัดระวังผลกระทบจากคุณสมบัติทางแม่เหล็กไฟฟ้าของผิวนอกของวัสดุด้วย

นอกจากนี้ ยังใช้วิธีการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้าเพื่อตรวจหาสารโลหะในเนื้อของสารอโลหะได้อีกด้วย

3.1.3 การวัดความหนาของชั้นฟิล์ม

เมื่อระยะระหว่างขดลวดทดสอบกับตัวนำเปลี่ยนไปค่ากระแสไหลวนที่วัดได้ก็จะเปลี่ยนไป ปรากฏการณ์นี้เรียกว่า Lift Off Effect ซึ่งนำมาใช้ในการวัดความหนาของชั้นฟิล์มของสารที่ไม่เป็นตัวนำที่เคลือบชั้นวัสดุอยู่ วิธีนี้มีการนำมาใช้เพื่อการวัดความหนาของฟิล์ม อัลไมท์ นอกจากนี้ ก็ยังนำมาใช้วัดความหนาของชั้นฟิล์มโลหะบาง ๆ ด้วย

3.1.4 การตรวจสอบระยะ รูปร่าง

เนื่องจากระยะระหว่างขดลวดทดสอบกับวัสดุทดสอบที่แตกต่างกัน จะทำให้ค่าแรงดันไฟฟ้าที่อ่านได้เปลี่ยนแปลงไปจึงสามารถใช้ในการวัดระยะ และวัดขนาดหรือรูปร่างของผลิตภัณฑ์ ได้ตาราง 3.1 แสดงการใช้การตรวจชิ้นงานด้วยวิธีเหนี่ยวนำทางแม่เหล็กไฟฟ้า

ตาราง 3.1 การใช้วิธีเหนี่ยวนำทางแม่เหล็กไฟฟ้าในการตรวจสอบวัสดุในลักษณะต่างๆ

ชนิดของการตรวจสอบ	องค์ประกอบที่มีอิทธิพลต่อค่ากระแสไหลวน	ขดลวดตรวจสอบ	วัสดุที่นำมาทดสอบ
การตรวจสอบหารอยร้าว	รอยบกพร่อง รูปร่าง, ขนาด, ตำแหน่ง)	ขดลวดแบบขดวงกลม กลวง(Annular Coil)	ท่อ, เส้น, แท่งกลม
		โพรบคอยล์ (Probe Coil)	แท่งกลม, บิลเลท, แผ่น, ท่อ
		ขดลวดแบบสอดใน (Inside Coil)	ท่อ, รู
การตรวจสอบวัสดุ	การนำไฟฟ้า	โพรบคอยล์ ขดลวดแบบขดวงกลมกลวง	วัสดุที่ไม่ใช่เหล็ก
	ค่าความซาบซึมได้ทางแม่เหล็ก	ขดลวดแบบขดวงกลมกลวง	วัสดุเหล็กหรือเหล็กกล้า
การตรวจวัดความหนาของชั้นฟิล์ม	ระยะระหว่างขดลวดกับตัวนำ	โพรบคอยล์	ความหนาของชั้นของสารโลหะบนผิวของโลหะ
	ค่าเปลี่ยนของความหนาของชั้นฟิล์ม		ความหนาของโลหะ
การตรวจวัดระยะและรูปร่าง	ระยะ, รูปร่าง, ขนาด	โพรบคอยล์	โลหะ

3.2 ลักษณะพิเศษของการตรวจสอบโดยใช้ความเหนี่ยวนำทางแม่เหล็กไฟฟ้า

จุดเด่นหรือลักษณะพิเศษของการตรวจสอบโดยใช้ความเหนี่ยวนำไฟฟ้าที่แตกต่างจากการตรวจสอบแบบไม่ทำลายแบบอื่น ๆ มีดังนี้

(1) ของที่มีลักษณะท่อ เส้น ท่อนกลม จะสามารถตรวจได้อย่างรวดเร็วและทำการตรวจทุกชั้น โดยเครื่องอัตโนมัติได้

(2) สามารถตรวจวัด แม้นในที่อุณหภูมิสูง ชั้นงานเส้นเล็ก ๆ หรือภายในรู ซึ่งการตรวจสอบด้วยวิธีอื่นทำแทบไม่ได้

(3) ค่าที่วัดได้สามารถรับเป็นสัญญาณไฟฟ้าได้ ทำให้สามารถนำมาใช้ในการประมาณขนาดรอยบกพร่อง,และนำไปใช้ในการควบคุมการผลิตได้ง่าย

(4) การตรวจหารอยร้าว ตลอดจนตรวจเนื้อวัสดุ สามารถให้ข้อมูลจำนวนมากในเวลาเดียวกันได้

(5) สามารถเก็บรักษาข้อมูลไว้ได้ ทำให้มีประโยชน์ต่อการตรวจสอบเพื่อการบำรุงรักษา สำหรับจุดด้อย หรือข้อเสียของการตรวจวัดโดยวิธีใช้การเหนี่ยวนำทางแม่เหล็กไฟฟ้าก็มีดังนี้

(1) การตรวจหาจุดบกพร่องบริเวณผิว ทำได้ผลดีมาก แต่บริเวณที่ลึกลงไปจะตรวจได้ยาก

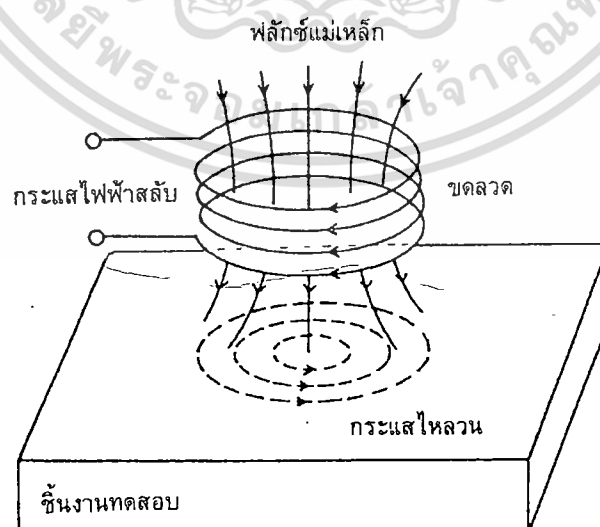
(2) ค่าที่วัดได้จะได้รับอิทธิพลจากการสั่นสะเทือน, ชนิดของวัสดุ ขนาดของวัสดุและสัญญาณรบกวน(Noise) อื่น ๆ ได้ง่าย

(3) การจะตรวจเพื่อแยกแยะชนิด รูปร่าง ขนาดของรอยบกพร่องให้แน่นอนและละเอียดทำได้ยาก

(4) มีประสิทธิภาพต่ำในการจะตรวจหารอยร้าวทั้งหมดของชิ้นงานที่มีรูปร่างซับซ้อน

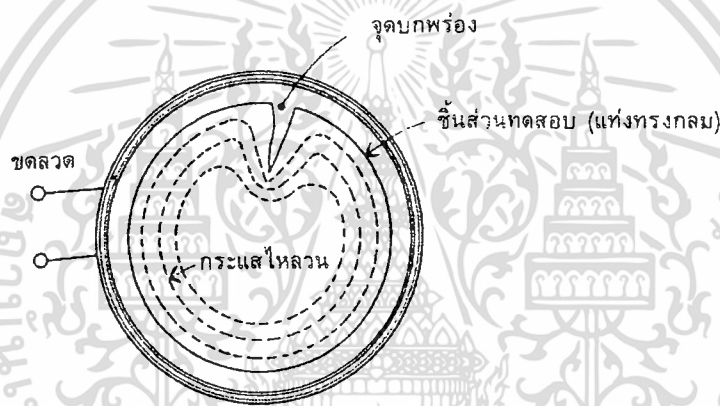
3.3 หลักการของกระแสไหลวน

3.3.1 การเกิดกระแสไหลวน



รูปที่ 3.3 การเกิดกระแสไหลวน

จากรูปที่ 3.3 เมื่อนำขดลวดที่มีกระแสไฟผ่านเข้าไปใกล้ชิ้นตัวนำ (ชิ้นงานทดสอบ) บริเวณรอบ ๆ ขดลวดจะเกิดสนามแม่เหล็กกระทำต่อชิ้นตัวนำ เนื่องจากสนามแม่เหล็กของขดลวดนั้นเกิดจาก กระแสสลับ ดังนั้นฟลักซ์แม่เหล็กที่กระทำต่อชิ้นตัวนำจะมีทิศทางและขนาดแปรเปลี่ยนไปตามเวลา ซึ่ง ในกรณีเช่นนี้จะเกิดแรงดันไฟฟ้าขึ้นต่อต้านการเปลี่ยนแปลงของฟลักซ์แม่เหล็กที่กระทำต่อชิ้นตัวนำ จึง เรียกปรากฏการณ์นี้ว่าการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้าที่เกิดขึ้นต่อต้านการเปลี่ยนของฟลักซ์ แม่เหล็กบนตัวนำนี้ในรูป 3.3 จะแสดงเป็นเส้นประไปรอบ ๆ เส้นแรงบนตัวนำ ซึ่งลักษณะของกระแสที่ เกิดขึ้นบนตัวนำนี้เรียกว่า กระแสไหลวน ขนาดของกระแสไหลวนที่เกิดบนชิ้นตัวนำ ตลอดจนลักษณะการ กระจายขึ้นอยู่กับจำนวนความถี่ ค่าการนำไฟฟ้าของชิ้นตัวนำ ค่าแม่เหล็ก รูปร่างและขนาดของชิ้นตัวนำ กระแสในขดลวด ระยะที่ห่างจากชิ้นตัวนำ และแปรเปลี่ยนตามลักษณะของรอยบกพร่อง เช่น รอยแตกบน ชิ้นตัวนำดังที่แสดงในรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 รอยบกพร่องกับกระแสไหลวน

ดังนั้น จากการดูลักษณะการแปรเปลี่ยนการไหลของกระแสไหลวนบนชิ้นส่วนทดสอบก็จะทราบได้ว่ามีรอยบกพร่องบนชิ้นงานหรือไม่

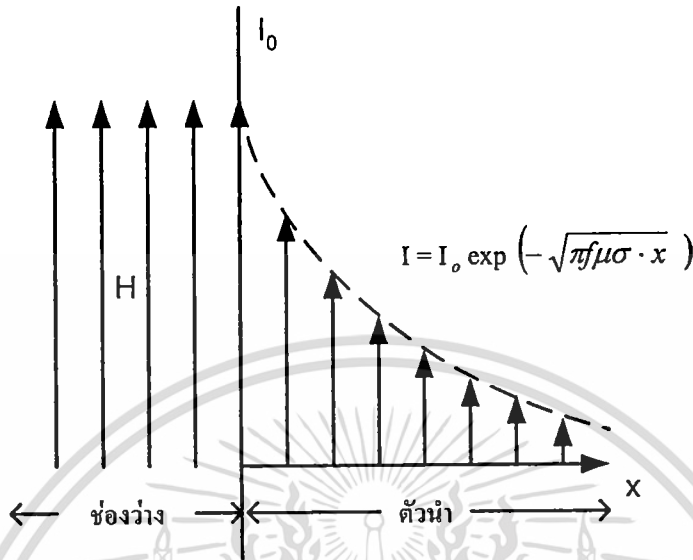
3.3.2 ปรากฏการณ์ที่ผิวกับความลึกที่ผ่านเข้า (Skin Effect & Penetration)

เมื่อผ่านกระแสสลับที่มีความถี่สูงเข้าไปในเส้นลวดตัวนำ กระแสจะรวมกันไหลอยู่ตาม บริเวณใกล้ ๆ ผิวหน้า และไหลในบริเวณศูนย์กลางในปริมาณน้อย ซึ่งเรียกปรากฏการณ์นี้ว่า ปรากฏการณ์ ที่ผิว (Skin Effect) ซึ่งเป็นผลจากปฏิกิริยาระหว่างกระแสกับสนามแม่เหล็ก การตรวจสอบโดยใช้การ เหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้านั้นเป็นการตรวจหาความเปลี่ยนแปลงของกระแสไหลวนที่เกิดขึ้นภายในสารตัวนำ จึงจำเป็นต้องนำปรากฏการณ์ที่ผิวนี้มาพิจารณาด้วย

ในรูปที่ 3.5 ถ้าให้สารตัวนำมีลักษณะกว้างถึงไม่รู้จบ และมีสนามแม่เหล็ก H จาก กระแสสลับมากระทำ กระแสไหลวน I ที่เกิดขึ้นจะมีค่าลดลงไปตามสัดส่วนกับระยะทางจากผิว X

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ 14

$$I = I_0 \exp(-\sqrt{\pi f \mu \sigma} \cdot x) \quad (3.1)$$



รูปที่ 3.5 ปรัชญาการที่ผิว

ในที่นี้ I_0 เป็น ค่ากระแสไหลวนที่เกิดขึ้นบริเวณผิวหน้าของตัวนำ ($x = 0$)

f เป็น ค่าความถี่ของกระแสสลับ

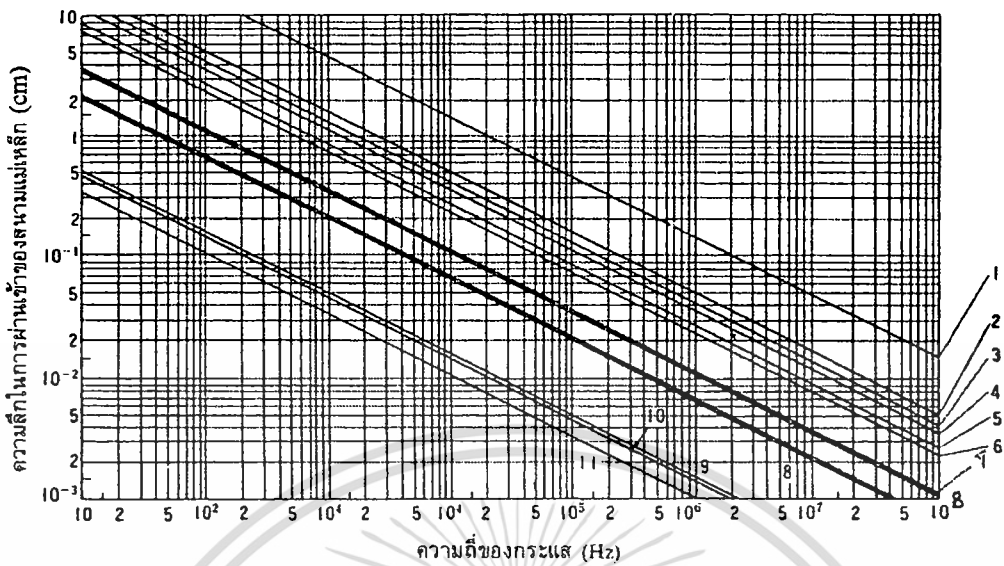
μ เป็น ค่าความซบซิมได้ทางแม่เหล็ก

σ เป็น ค่าการนำไฟฟ้า

ตามสูตรที่ 3.1 ถ้าให้ค่าในวงเล็บ = -1 กล่าวคือให้ $\sqrt{\pi f \mu \sigma} \cdot x = 1$ และ $x = \delta$ แล้วจะได้ว่า

$$\delta = \frac{1}{\sqrt{\pi f \mu \sigma}} \quad (3.2)$$

δ จะเป็นค่า x ซึ่ง I ที่ตำแหน่งนั้นมีค่า $1/e$ ของ I_0 δ เป็นค่าที่ใช้แสดงความลึกของการผ่านเข้าของสนามแม่เหล็กประมาณ 37 % ของค่า I_0 จากสูตรนี้จะเห็นได้ว่า ถ้าค่า f, μ หรือ σ มีค่ามากขึ้น ค่าความลึกในการผ่านเข้าก็จะลดลง ดังนั้นการใช้การตรวจสอบโดยการเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็กไฟฟ้าจะตรวจหาค่าความลึกให้มากขึ้นไปจากค่าความลึกดังกล่าวเป็นหลายๆ เท่าย่อมเป็นไปได้ยาก ซึ่งจากสูตรที่ 3.2 จำเป็นจะต้องกำหนดค่าของความถี่เพื่อใช้ในการตรวจให้เหมาะสมกับชนิดของโลหะต่างๆ ด้วย ในรูปที่ 3.6 แสดงค่าความลึกในการผ่านเข้าสนามแม่เหล็กซึ่งแปรเปลี่ยนตามค่าความถี่



รูปที่ 3.6 ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ของกระแสกับความลึกในการผ่านเข้าของสนามแม่เหล็ก

3.3.3 ค่าอิมพีแดนซ์ของขดลวด

การตรวจสอบด้วยวิธีใช้การเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็กไฟฟ้าโดยอาศัยขดลวดทำให้เกิดกระแสไหลวน ภายในชิ้นงาน แล้วตรวจหารอยบกพร่องในชิ้นงาน โดยดูค่าแปรเปลี่ยนของกระแสไหลวน นั้น เนื่องจากข้อมูลที่วัดออกมาได้นั้นมาจากขดลวด จึงจำเป็นต้องรู้จักคุณสมบัติของอุปกรณ์ส่วนนี้ให้ดี ในวงจรกระแสสลับ ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้า I กับแรงดันไฟฟ้า V จะแสดงในรูปอิมพีแดนซ์ Z ดังนี้ คือ

$$Z = \frac{V}{I} \quad (3.3)$$

หน่วยที่ใช้เช่นเดียวกับหน่วยความต้านทานคือ โอห์ม (Ω) ค่าอินดักแตนซ์ (Inductance) เป็น L_0 (H : Henry) ค่าความถี่ของกระแสสลับคือ f (Hz) จะได้ค่าอิมพีแดนซ์ของขดลวด

$$z_0 = R_0 + j\omega L_0 \quad (\omega = 2\pi f ; j = \sqrt{-1}) \quad (3.4)$$

โดยที่

ค่า ωL_0 นี้เรียกว่า ค่ารีแอกแตนซ์

ค่า L_0 ของขดลวดชิ้นเดียวหาได้ดังนี้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

$$L_o = K \cdot \frac{\mu \pi a_o^2 N^2}{\ell} \quad [H] \quad (3.5)$$

โดยที่ μ_o (H/m) เป็นค่าความซาบซึมได้ทางแม่เหล็กในสุญญากาศ

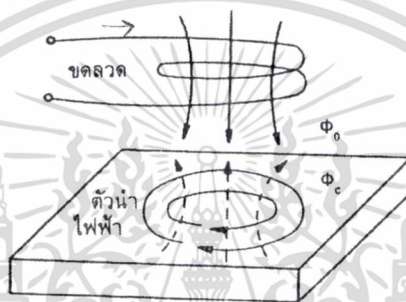
a_o (m) เป็นค่ารัศมีของขดลวด

ℓ (m) เป็นค่าความยาวของขดลวด

N เป็นค่าจำนวนรอบของขดลวด

K เป็นค่าสัมประสิทธิ์นาโงคา (Nagaoka's Coefficient), ซึ่งแปรเปลี่ยนตามค่า

$2a/\ell$ ตามที่แสดงไว้ในตารางที่ 3.2



รูปที่ 3.7 ขดลวดที่ใช้ตรวจสอบโดยการเหนี่ยวนำด้วยตัวเอง

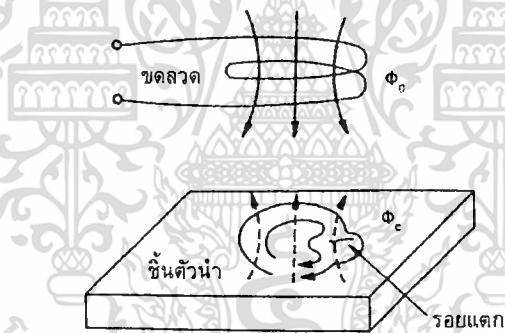
จากรูปที่ 3.7 จะเห็นได้ว่าเมื่อนำขดลวดเข้าใกล้ชิ้นตัวนำ สนามแม่เหล็กที่เกิดจากกระแสไหลวนภายในชิ้นตัวนำจะทำให้ค่าอิมพีแดนซ์ของขดลวดเปลี่ยนแปลงไป ลักษณะการเปลี่ยนแปลงค่าอิมพีแดนซ์ของขดลวดนั้นเปรียบเทียบกับได้กับรูปแบบของหม้อแปลงไฟฟ้า ซึ่งจะเข้าใจได้ง่าย นั่นคือ ในการต่อโหลดเข้ากับหม้อแปลงทางขดลวดทุติยภูมิ มีกระแสไหลมากขึ้น ซึ่งปรากฏการณ์นี้เมื่อนำมาพิจารณาเทียบกับขดลวดที่มีแรงดันไฟฟ้าคงที่ เมื่อนำเข้าใกล้ชิ้นตัวนำ จากผลของกระแสไหลวนทำให้กระแสที่ไหลในขดลวดมีมากขึ้น นั่นคือ ในสภาพที่แรงดันไฟฟ้าคงที่ เมื่อค่า I เพิ่มขึ้นจากสูตรที่ 3.3 แสดงว่าค่าอิมพีแดนซ์จะลดลง นอกจากนี้กระแสไหลวนที่เกิดขึ้นจากการเหนี่ยวนำในชิ้นตัวนำไฟฟ้า และค่าความซาบซึมได้ทางแม่เหล็กอีกด้วย ซึ่งในทำนองเดียวกันค่าของอิมพีแดนซ์ของขดลวดก็จะแปรเปลี่ยนไปตามตัวแปรเหล่านี้ด้วยเช่นกัน

ในกรณีที่ชิ้นตัวนำเป็นสารแม่เหล็กอยู่ด้วย คือมีค่า μ ใหญ่ จากสูตรที่ 3.5 จะเห็นได้ว่าค่าอินดักแตนซ์ที่เกิดจากกระแสไหลวนจะสูงกว่าค่าอิมพีแดนซ์ Z_o ของขดลวด

114501

ตารางที่ 3.2 ค่าสัมประสิทธิ์รีนาเงาโอคา

$\frac{2a}{l}$	K	$\frac{2a}{l}$	K	$\frac{2a}{l}$	K	$\frac{2a}{l}$	K
0	1.000	0.6	1.000	1.8	0.551	6	0.302
0.05	0.979	0.7	0.979	2.0	0.526	7	0.258
0.10	0.959	0.8	0.959	2.5	0.472	8	0.237
0.15	0.939	0.8	0.939	3.0	0.429	9	0.219
0.20	0.920	1.0	0.920	3.5	0.394	10	0.203
0.30	0.884	1.2	0.884	4.0	0.365	20	0.124
0.40	0.850	1.4	0.850	4.5	0.341	30	0.091
0.50	0.818	1.6	0.818	5.0	0.319	50	0.061



รูปที่ 3.8 ภาพกระแสไหลวนเปลี่ยนแปลงไปตามรอยร้าว

จากรูปที่ 3.8 ที่บริเวณใกล้ ๆ ผิวของชั้นงานถ้ามีรอยแตกร้าวที่ไม่ให้เกิดการต่อเนื่องจะทำให้กระแสไหลวนมีลักษณะไม่ต่อเนื่อง ซึ่งสนามแม่เหล็กจากกระแสไหลวนจะเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย ดังนั้นจะทำให้ค่าอิมพีแดนซ์ของขดลวดที่เข้าใกล้ชั้นตัวนำแล้วตรวจพบว่าค่าอิมพีแดนซ์แปรเปลี่ยนไป ก็จะหารอยร้าวหรือรอยบกพร่องได้ ซึ่งลักษณะการตรวจสอบโดยหาค่าการเปลี่ยนแปลงของอิมพีแดนซ์ในขดลวดนี้เรียกว่า ขดลวดตรวจสอบแบบเหนี่ยวนำด้วยตนเอง ในการตรวจสอบโดยวิธีการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้า นั้น การรู้ค่าการแปรเปลี่ยนของอิมพีแดนซ์สำคัญกว่าการรู้ค่าอิมพีแดนซ์จริงๆ ดังนั้น เวลาคิดค่าอิมพีแดนซ์จึงตัดส่วนค่าความต้านทานกระแสตรง R_0 ของขดลวดซึ่งไม่เกี่ยวข้องกับกระแสไหลวนออก ทำให้ค่า

อิมพีแดนซ์ของขดลวดเป็น ωL_o ถ้า Z เป็นอิมพีแดนซ์จริง และ Z_o เป็นอิมพีแดนซ์สัมพัทธ์ จะเขียนความสัมพันธ์ได้ดังนี้คือ

$$Z = R + j\omega L \quad (3.6)$$

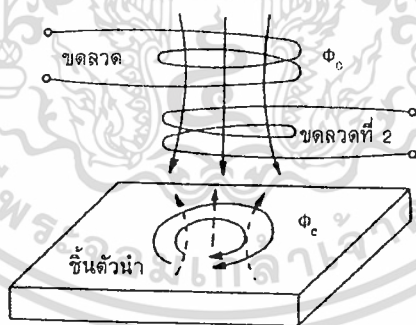
และ

$$Z = \frac{R - R_o}{\omega L_o} + j \frac{\omega L}{\omega L_o} \quad (3.7)$$

ในการแสดงรูปกราฟนั้นจะเขียน $(R - R_o)/\omega L_o$ ในแนวนอน $\omega L/\omega L_o$ ในแนวตั้ง

3.3.4 แรงดันไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในขดลวด

จากรูปที่ 3.9 เมื่อให้ขดลวดที่ 1 เข้าใกล้ขดลวดที่ 2 จะเกิดกระแสแม่เหล็กทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าคร่อมขดลวดที่ 2 เมื่อนำขดลวดทั้ง 2 เข้าใกล้ขึ้นตัวนำกระแสไหลวนบนชั้นตัวนำจะทำให้ค่าแรงดันไฟฟ้าคร่อมขดลวดที่ 2 แปรเปลี่ยนไป นั่นคือ ถ้าทำการตรวจหาค่าแปรเปลี่ยนแรงดันไฟฟ้าคร่อมขดลวดที่ 2 ได้ ก็รู้ว่าการเปลี่ยนแปลงทางกระแสไหลวน ซึ่งจะใช้วิธีใดก็ตาม ผลทางการตรวจสอบไม่แตกต่างกัน ในวิธีการหาค่าโดยใช้การเหนี่ยวนำไฟฟ้าแบบร่วมกันนี้มีจุดดีคือ มีความยืดหยุ่นในการออกแบบขดลวดได้มากกว่า



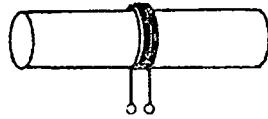
รูปที่ 3.9 ขดลวดตรวจสอบด้วยวิธีการเหนี่ยวนำไฟฟ้าร่วมกัน

3.4 วิธีการตรวจสอบ

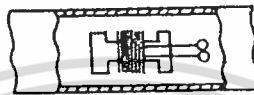
3.4.1 ขดลวดที่ใช้ตรวจสอบและวิธีการ

ขดลวดที่ใช้ในการตรวจสอบนั้น ทำหน้าที่เหนี่ยวนำให้เกิดกระแสไหลวนขึ้นในชิ้นงานทดสอบและตรวจจับการเปลี่ยนแปลงของกระแสไหลวนในชิ้นงานทดสอบนั้น ขดลวดทดสอบจะ

มีรูปร่างและขนาดต่าง ๆ กันขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้งาน แต่เมื่อแยกออกไปเป็นประเภทใหญ่ ๆ แล้ว จะได้แสดงดังรูปที่ 3.10 คือขดลวดแบบสวม ขดลวดแบบสอด และขดลวดแบบมีแกนเหล็ก



(ก) ขดลวดแบบสวม



(ข) ขดลวดแบบสอด



(ค) ขดลวดแบบมีแกนเหล็ก

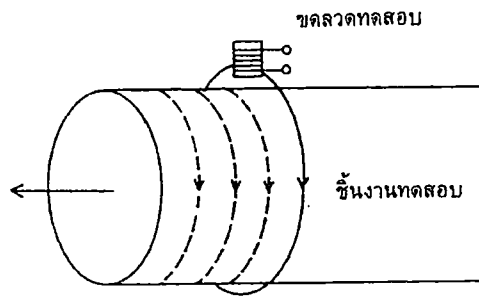
(ง)

รูปที่ 3.10 ขดลวดทดสอบแบบต่าง ๆ

จากรูปที่ 3.10 (ก) นี้จะเห็นได้ว่าชิ้นงานทดสอบจะใส่ลอดผ่านขดลวด ชิ้นงานประเภทท่อ แท่งกลม หรือเส้นจะนำมาตรวจสอบได้ ซึ่งแบบนี้มีข้อดีที่ไม่ต้องแตะต้องกับชิ้นงาน หรือจุ่มรอยร้าวทำให้ตรวจได้เร็ว และมีประสิทธิภาพ

จากรูปที่ 3.10 (ข) เป็นแบบขดลวดสำหรับสอดเข้าไปภายในท่อจะมีรูปแบบขดลวดคล้าย ๆ กับ (ก) ซึ่งใช้ในการบำรุงรักษาในการตรวจหาจุดบกพร่องของผิวภายในท่อ ประเภทอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน (Heat Exchange) หรือท่อถ่ายเทความร้อน

จากรูปที่ 3.10 (ค) ซึ่งเป็นขดลวดแบบแกนเหล็กนั้น แกนของขดลวดจะตั้งฉากกับผิวของชิ้นงานทดสอบ ใช้ตรวจวัสดุที่มีลักษณะเป็นท่อนกลม, ท่อและแผ่นตลอดจนก้อน โลหะดิบ (Ingot) ได้โดยการแตะกับผิววัสดุ นอกจากจะใช้ตรวจหารอยร้าวหรือแผลแล้ว ยังใช้ตรวจชนิดของเนื้อวัสดุ ตลอดจนวัดความหนาของชั้นฟิล์มได้ รูปที่ 3.11 แสดงการใช้ขดลวดแบบมีแกนเหล็กในการตรวจหาแผลหรือรอยร้าวรอบ ๆ ผิวของท่อ โดยใช้วิธีแบบหมุนรอบชิ้นงาน



รูปที่ 3.11 การใช้ขดลวดแบบมีแกนเหล็กในลักษณะหมุนรอบท่อ

รูปที่ 3.12(ก) แสดงการวัดโดยใช้ขดลวด 2 ขด วางขนานกัน แล้วเปรียบเทียบสัญญาณที่ได้จากขดลวดทั้งสอง แบบนี้จะใช้ในการตรวจหารอยร้าว สำหรับรูป 3.12(ข) นั้นเป็นการเปรียบเทียบกับชิ้นส่วนมาตรฐาน ซึ่งส่วนใหญ่จะใช้ตรวจชนิดของเนื้อวัสดุ



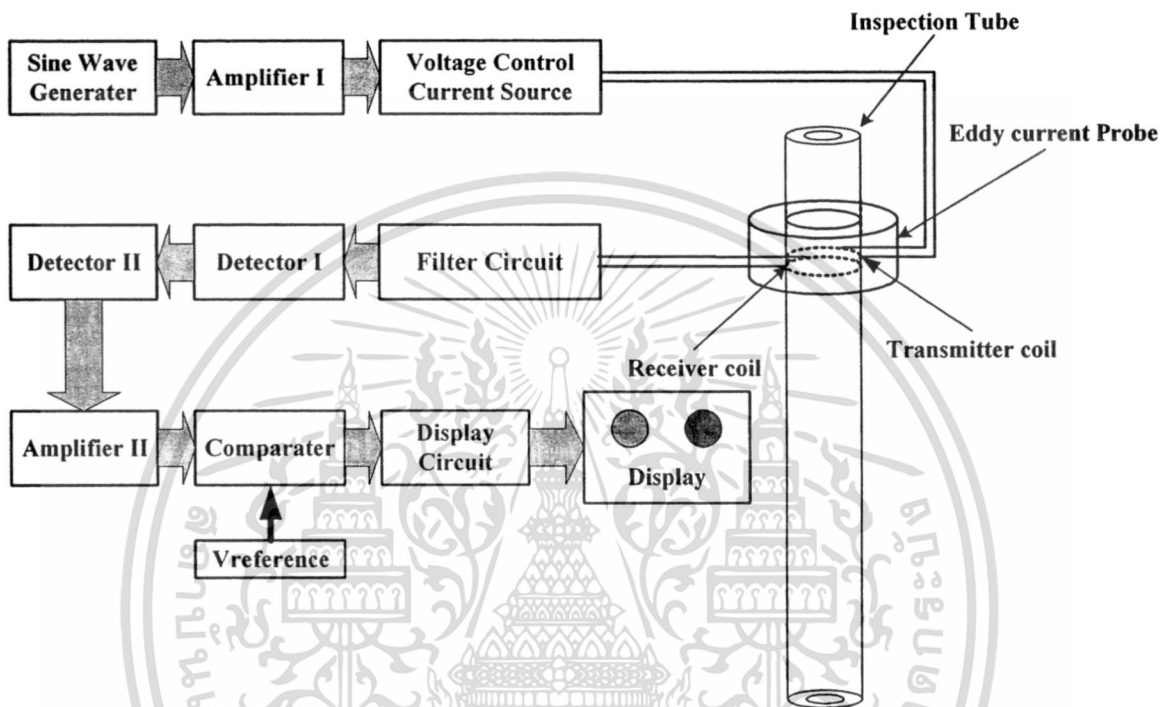
(ข) แบบเปรียบเทียบกับชิ้นส่วนมาตรฐาน

รูปที่ 3.12 แบบของขดลวดทดสอบ

บทที่ 4

ระบบตรวจสอบรอยบกพร่องในท่อโดยใช้กระแสไหลวน

สำหรับระบบตรวจสอบรอยบกพร่องในท่อโดยใช้กระแสไหลวนที่ได้ทำการออกแบบและพัฒนาร่างขึ้นมานี้จะประกอบไปด้วยวงจรย่อยส่วนต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 4.1

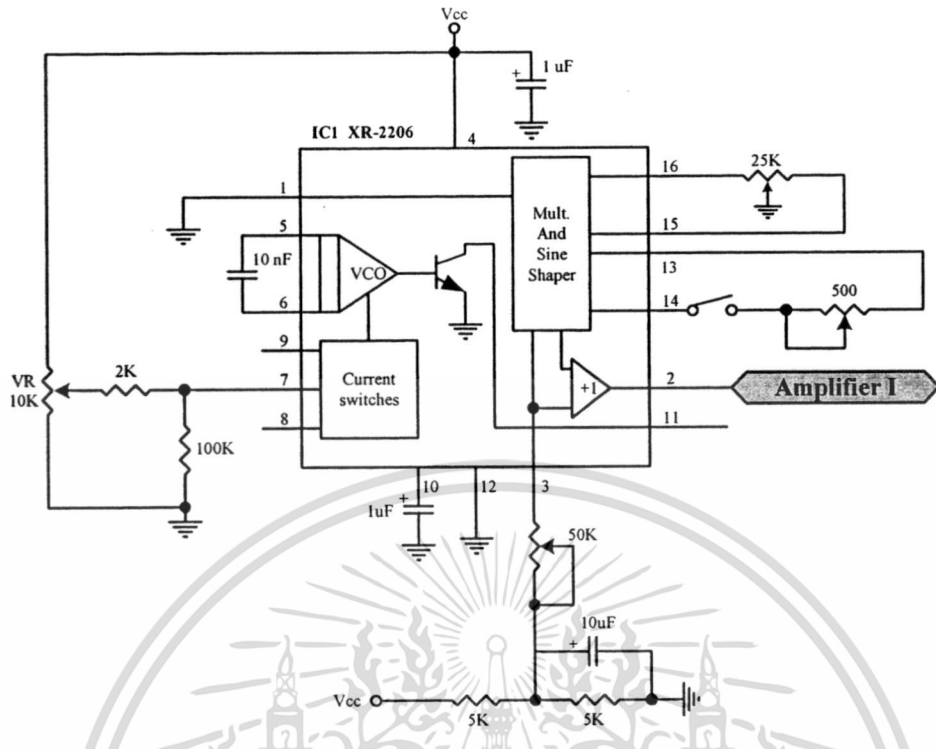


รูปที่ 4.1 ส่วนประกอบของระบบตรวจสอบรอยบกพร่องในท่อโดยใช้กระแสไหลวน

จากรูปที่ 4.1 ระบบตรวจสอบรอยบกพร่องในท่อโดยใช้กระแสไหลวนที่พัฒนาขึ้นจะประกอบด้วยวงจรรีเลย์ทรอนิกส์สำหรับทำหน้าที่ต่างๆ โดยมีรายละเอียดของแต่ละวงจрдังนี้

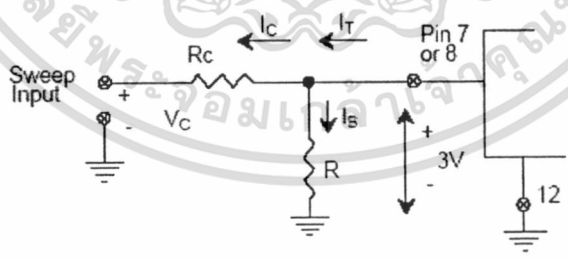
4.1 วงจรกำเนิดคลื่นไซน์ (Sine wave Generator Circuit)

สำหรับวงจรมีจะใช้ IC XR-2206 โดย IC XR-2206 เป็น IC ฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์ที่สามารถใช้ผลิตสัญญาณรูปคลื่นไซน์(Sine wave), สัญญาณคลื่นรูปสี่เหลี่ยม(Square wave), สัญญาณรูปคลื่นสามเหลี่ยม(Triangle wave) และสัญญาณพัลส์(pulse) โดยสามารถผลิตความถี่ได้ในช่วง 0.01 เฮิรต ถึง 1 เมกะเฮิรต โดยลักษณะของวงจรมีกำเนิดคลื่นไซน์ที่พัฒนาขึ้นสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 วงจรกำเนิดคลื่นไซน์ที่พัฒนาขึ้นมา

จากวงจรในรูปที่ 4.2 IC XR-2206 จะถูกต่อเป็นวงจรแปรค่าความถี่(Frequency Sweep Circuit) โดยในการทำงานในโหมดนี้ ความถี่ในการออสซิลเลชัน (Frequency Oscillation) จะเป็นสัดส่วนกับค่า Timing Current (I_T) ที่ไหลจากขา 7 หรือขา 8 ของ IC XR-2206 ดังรูปที่ 4.3 โดยสามารถแสดงค่าความถี่ของการออสซิลเลชันได้ดังสมการที่ (4.1)



รูปที่ 4.3 ขาที่ใช้ควบคุมความถี่สัญญาณเอาต์พุต

$$f = \frac{320I_T(\text{mA})}{C(\mu\text{F})} \quad \text{Hz} \quad (4.1)$$

สำหรับขา Timing(ขา 7 หรือ ขา 8) จะเป็นขาที่มีค่าอิมพีแดนซ์ต่ำ โดยมีการไบอัสจากภายในของ IC XR-2206 ด้วยแรงดันประมาณ +3 โวลต์ เมื่อเทียบกับขา 12 ความถี่เอาต์พุทของวงจรจะเป็นสัดส่วนกับค่ากระแส I_T โดย I_T จะสามารถแปรค่าได้ในช่วง $1 \mu\text{A} - 3\text{mA}$ จากรูปที่ 4.2 ความถี่ของสัญญาณจาก IC XR-2206 จะถูกควบคุมโดยแรงดันควบคุม (V_c) ที่ต่อเข้ากับขา 7 หรือ ขา 8 โดยความถี่เอาต์พุทของวงจรสามารถหาได้จากสมการที่ 4.2

$$f = \frac{1}{RC} \left(1 + \frac{R}{R_c} \left(1 - \frac{V_c}{3} \right) \right) \quad \text{Hz} \quad (4.2)$$

เมื่อ V_c = แรงดันที่ใช้ควบคุมความถี่เอาต์พุทของวงจร (V)

*ค่า R ควรอยู่ในช่วง $4\text{K}\Omega < R < 200\text{K}\Omega$ และค่า C ควรอยู่ในช่วง $1000 \text{ pF} - 100 \mu\text{F}$

สำหรับความถี่ของวงจรถ้าเกิดสัญญาณไซน์ที่จะใช้ในระบบตรวจสอบรอยบกพร่องในท่อโดยใช้กระแสไหลวน ในโครงการวิจัยนี้ จะใช้ความถี่ในช่วงประมาณ $1,000 \text{ Hz}$ โดยในการออกแบบวงจรเราจะออกแบบให้วงจรสามารถผลิตความถี่ในช่วง ประมาณ $100 - 5,000 \text{ Hz}$

จากสมการที่ 4.2 ที่ความถี่ต่ำสุด $V_c = 3$ โวลต์

$$f = \frac{1}{RC} \left(1 + \frac{R}{R_c} \left(1 - \frac{0}{3} \right) \right) = \frac{1}{RC} \quad (4.3)$$

∴ จากวงจรในรูปที่ 4.3 จะกำหนดให้ความถี่เริ่มต้นเท่ากับ 100 Hz และกำหนดค่า $R = 100 \text{ K}\Omega$ ดังนั้นเราจะหาค่า C ได้โดยอาศัยสมการที่ (4.3) จะได้

$$C = \frac{1}{100 * 100 * 10^3} = 100 \text{ nF}$$

จากสมการที่ (4.2) ที่ความถี่สูงสุด $V_c = 0$ โวลต์ จะได้สมการที่ (4.4)

$$f = \frac{1}{RC} \left(1 + \frac{R}{R_c} \left(1 - \frac{0}{3} \right) \right) = \frac{1}{RC} \left(1 + \frac{R}{R_c} (1-1) \right) = \frac{1}{RC} \left(1 + \frac{R}{R_c} \right) \quad (4.4)$$

∴ จากวงจรในรูปที่ 4.2 เรากำหนดให้ความถี่สูงสุดเท่ากับ $5,000 \text{ Hz}$ ดังนั้นเราจะหาค่า R_c ได้โดยอาศัยสมการที่ (4.4) โดยจะได้

$$5,000 = \frac{1}{100 * 10^3 * 100 * 10^{-9}} \left(1 + \frac{100 * 10^3}{R_c} \right)$$

$$5,000 * 100 * 10^3 * 100 * 10^{-9} = \left(1 + \frac{100 * 10^3}{R_c} \right)$$

$$\left(5,000 * 100 * 10^3 * 100 * 10^{-9} \right) - 1 = \left(\frac{100 * 10^3}{R_c} \right)$$

$$R_c = \frac{100 * 10^3}{\left(5,000 * 100 * 10^3 * 100 * 10^{-9} \right) - 1}$$

$$R_c = \frac{100 * 10^3}{49} = 2040.816 \quad \Omega$$

*แต่เนื่องจากค่าความต้านทาน 2040 Ω ไม่มีดังนั้นจึงใช้ค่า $R_c = 2000 \Omega$ แทน ดังนั้นสามารถคำนวณความถี่สูงสุดได้ใหม่ที่ค่าความต้านทาน $R_c = 2000 \Omega$ คือ

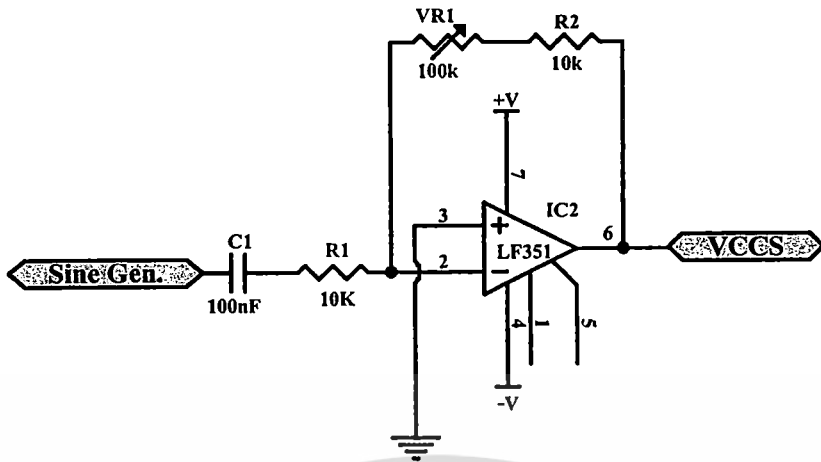
$$f = \frac{1}{100 * 10^3 * 100 * 10^{-9} \left(1 + \frac{100 * 10^3}{2000} \right)} = 100 * 51 = 5,100 \text{ Hz}$$

ดังนั้นโดยสรุปแล้ววงจรในรูปที่ 4.1 จะสามารถผลิตความถี่ได้ในช่วง 100- 5,100 Hz ที่แรงดันควบคุม 3 – 0 โวลท์

สำหรับแรงดันที่ใช้ในการควบคุมความถี่เอาต์พุทของวงจรจะได้อาจปรับแรงดันควบคุมดังวงจรรูปที่ 4.2

4.2 วงจรขยายสัญญาณชุดที่ 1 (Amplifier circuit I)

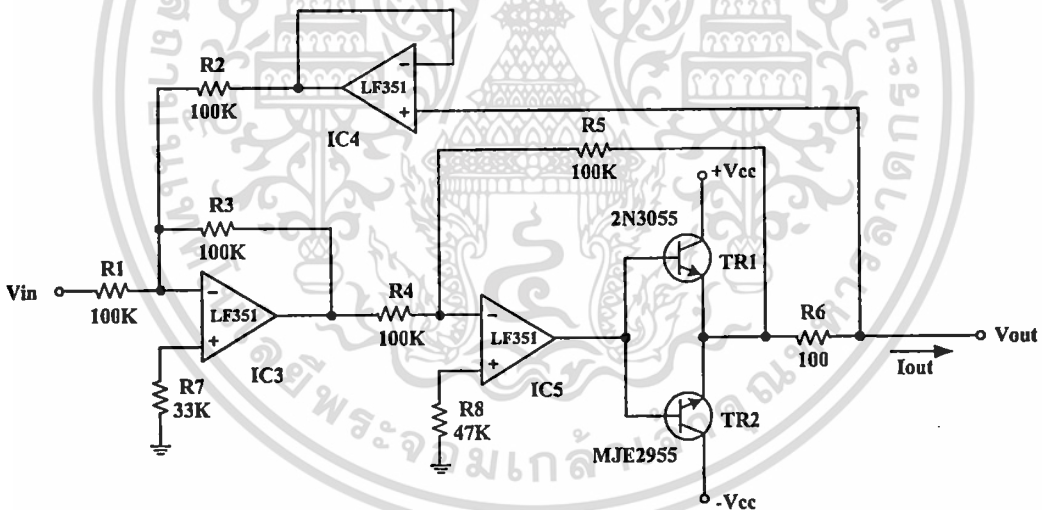
สำหรับวงจรขยายกระแสชุดที่ 1 จะทำหน้าที่ขยายสัญญาณที่ได้รับจากวงจรกำเนิดสัญญาณไซน์ สัญญาณอินพุทซึ่งเป็นสัญญาณไซน์ความถี่ 1,000-5,100 เฮิร์ต แอมป์ลิจูด 2 V_{p-p} ซึ่งได้จากวงจรผลิตสัญญาณไซน์จะถูกป้อนให้กับ IC2 ซึ่งต่อเป็นวงจรอินเวอร์ตติ้งแอมป์โดยมี R_1 , R_2 และ V_R เป็นตัวกำหนดเกณฑ์การขยายโดยจากวงจรรูปที่ 4.4 จะปรับอัตราขยายให้เท่ากับ $\approx 1-10$ เท่า เพื่อให้ได้แรงดันที่เอาต์พุทของ IC2 เท่ากับ 2-20 V_{p-p} เพื่อป้อนให้กับวงจรจ่ายกระแสควบคุมด้วยแรงดัน (Voltage Control Current Source : VCCS)



รูปที่ 4.4 วงจรขยายสัญญาณชนิดที่ 1

4.3 วงจรจ่ายกระแสควบคุมด้วยแรงดัน (Voltage Control Current Source : VCCS)

วงจรจ่ายกระแสควบคุมด้วยแรงดันทำหน้าที่ในการกำหนดกระแสคงที่ที่จะจ่ายให้กับขดลวด โดยวงจรจ่ายกระแสที่ใช้ในระบบตรวจสอบรอยบกพร่องในท่อโดยใช้กระแสไหลวนสามารถแสดงดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 วงจรจ่ายกระแสคงที่ควบคุมด้วยแรงดัน

จากรูปที่ 4.5 วงจรจ่ายกระแสคงที่ควบคุมด้วยแรงดันวงจรที่ออกแบบขึ้นมาจะประกอบด้วย IC LF351 จำนวน 3 ตัว เพื่อทำหน้าที่ในการควบคุมกระแสและทำการขยายกระแส โดย TR 2N3055 และ โดยเราสามารถกำหนดค่ากระแสที่จะทำการจ่ายให้กับขดลวดในหัววัดกระแสไหลวน(Eddy Current probe)ได้โดยการเปลี่ยนแรงดันอินพุตที่ป้อนให้กับ IC3 ซึ่งเราสามารถที่จะคำนวณหาค่าแรงดันและกระแสเอาท์พุทของวงจรได้โดยอ้างอิงวงจรรูปที่ 4.5 โดยจากรูปที่ 4.5 เราจะได้

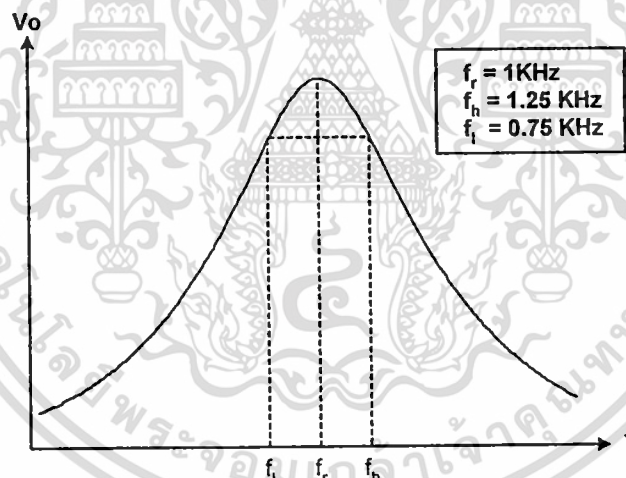
$$I_{out} = \left[\frac{V_2 - V_{out}}{R_6} \right] \quad (4.5)$$

ดังนั้น
$$I_{out} = \left[\frac{V_{in} + V_{out} - V_{out}}{R_6} \right] = \left[\frac{V_{in}}{R_6} \right] \quad (4.6)$$

กระแส I_{out} ที่ได้จะถูกส่งไปยังขดลวดตัวส่ง (Transmitter Coil) เพื่อสร้างสนามแม่เหล็กไปเหนี่ยวนำขดลวดตัวรับ (Receiver Coil) ทำให้เกิดแรงดันตกคร่อมขึ้นที่ขดลวดตัวรับก่อนที่จะถูกส่งไปยังวงจรกรองสัญญาณรบกวนต่อไป

4.4 วงจรกรองสัญญาณรบกวน (Filter Circuit)

สำหรับวงจรกรองสัญญาณรบกวนที่ใช้ในที่ใช้ในระบบตรวจสอบรอยบกพร่องในท่อโดยใช้กระแสไหลวนนั้นจะออกแบบให้มีลักษณะการทำงานเป็นวงจรกรองความถี่เป็นช่วง โดยตั้งความถี่ไว้ที่ประมาณ 1 กิโลเฮิรตซ์ เพื่อกำจัดสัญญาณรบกวน โดยลักษณะผลตอบสนองความถี่ของวงจรที่ออกแบบขึ้นจะมีลักษณะดังรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 ลักษณะของผลตอบสนองความถี่ของวงจรกรองสัญญาณรบกวนที่ต้องการ

จากรูปที่ 4.6 เราสามารถคำนวณ Q ของวงจรได้จากสมการที่ (4.7)

$$Q = \frac{f_r}{BW} \quad (4.7)$$

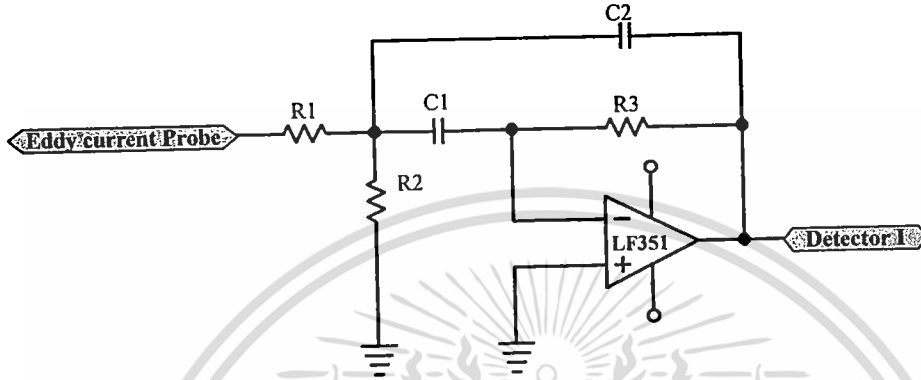
เมื่อ

- Q = Quality factor
- f_r = Resonant frequency
- BW = Bandwidth

จากสมการที่(4.7), $f_r = 1000 \text{ Hz}$, $BW = 500 \text{ Hz}$ จะได้ว่า

$$Q = 1000/500 = 2$$

สำหรับลักษณะของวงจรกรองสัญญาณรบกวนที่ใช้ในระบบนี้สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 วงจรกรองสัญญาณรบกวน

จากรูปที่ 4.7 เราสามารถหาค่าความถี่โซแนนซ์(f_r)ของวงจรได้จากสมการที่ (4.8)

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{R_p R_3 C_1 C_2}} \quad (4.8)$$

เมื่อ $R_p = R_1 // R_2 = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$

และเราสามารถหาค่า Q ได้จากสมการที่ (4.9)

$$Q = 0.5 \sqrt{\frac{R_3}{R_p}} \quad \text{เมื่อ } C_1 = C_2 \quad (4.9)$$

จากสมการที่ (4.7), (4.8) และ (4.9) เรากำหนดให้

$$\begin{aligned} Q &= 2 \\ f_r &= 1000 \text{ Hz} \\ BW &= 500 \text{ Hz} \\ C_1 &= C_2 = 10 \text{ nF} \end{aligned}$$

จาก $Q = 0.5 \sqrt{\frac{R_3}{R_p}}$

จะได้ $2 = 0.5 \sqrt{\frac{R_3}{R_p}}$

$$2/0.5 = \sqrt{\frac{R_3}{R_p}}$$

$$4 = \sqrt{\frac{R_3}{R_p}}$$

$$16 = \frac{R_3}{R_p}$$

ดังนั้น

$$R_3 = 16R_p$$

(4.10)

จากสมการที่ (4.8) และ (4.10), $C_1 = C_2 = 10 \text{ nF}$

$$f_r = \frac{1}{2\pi \sqrt{R_p * 16R_p * 10 * 10^{-9} * 10 * 10^{-9}}}$$

$$1000 = \frac{1}{2\pi \sqrt{R_p^2 * 16 * 10 * 10^{-9} * 10 * 10^{-9}}}$$

$$2\pi * 1000 = \frac{1}{\sqrt{R_p^2 * 16 * 10 * 10^{-9} * 10 * 10^{-9}}}$$

$$(2\pi * 1000)^2 = \frac{1}{R_p^2 * 16 * 10 * 10^{-9} * 10 * 10^{-9}}$$

$$(2\pi * 1000)^2 = \frac{1}{R_p^2 * 16 * 10 * 10^{-9} * 10 * 10^{-9}}$$

$$R_p^2 = \frac{1}{(2\pi * 1000)^2 * 16 * 10 * 10^{-9} * 10 * 10^{-9}}$$

$$R_p = \frac{1}{\sqrt{(2\pi * 1000)^2 * 16 * 10 * 10^{-9} * 10 * 10^{-9}}}$$

$$R_p = 3978.864 \text{ Ohm}$$

ดังนั้น $R_3 = 16R_p = 16 * 3978.864 = 63658.24 \text{ Ohm}$

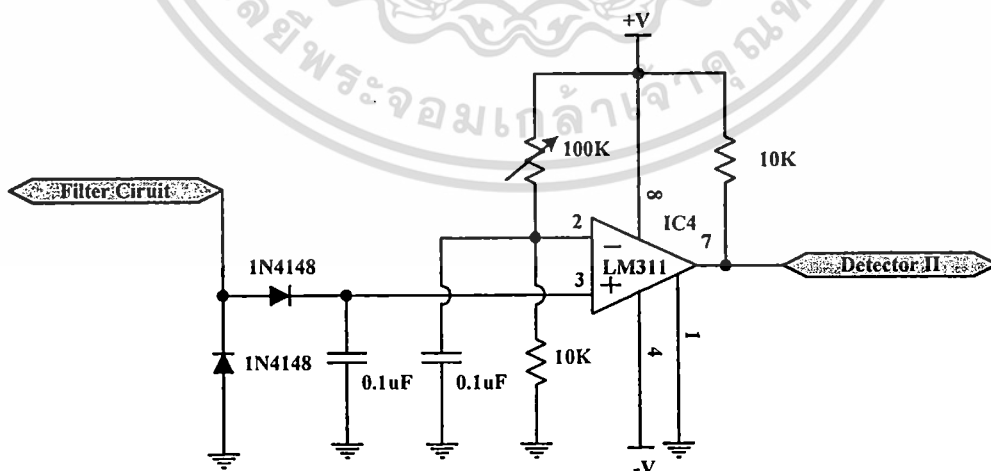
จากที่กำหนดให้ $R_1 = R_2$ เพราะฉะนั้น $R_p = \frac{R_1}{2} = \frac{R_2}{2}$ ดังนั้นจะได้

$$R_1 = R_2 = 2R_p = 2 * 3978.864 = 7957.728 \text{ Ohm}$$

จากผลการคำนวณที่ได้ดังนั้นสามารถค่าอุปกรณ์ต่างๆในวงจรกรองสัญญาณรบกวนในรูปที่ 4.7 ได้ดังนี้ $R_1 = R_2 = 7957.728 \text{ Ohm}$, $R_3 = 63658.24 \text{ Ohm}$, $C_1 = C_2 = 10 \text{ nF}$ สัญญาณที่ผ่านวงจรกรองสัญญาณรบกวนแล้วจะถูกส่งไปยังวงจรตรวจจับสัญญาณชุดที่ 1 ต่อไป

4.5 วงจรตรวจจับสัญญาณชุดที่ 1 (Detector Circuit I)

สัญญาณจากวงจรกรองสัญญาณรบกวนจะถูกส่งไปยังวงจรตรวจจับสัญญาณชุดที่ 1 ซึ่งมีลักษณะดังรูปที่ 4.8

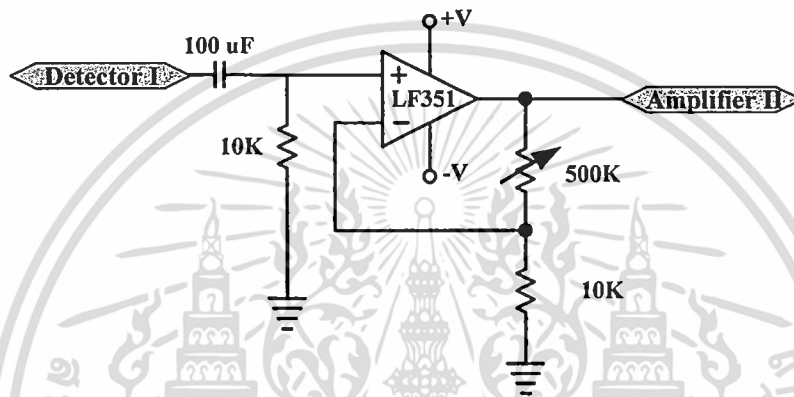


รูปที่ 4.8 วงจรตรวจจับสัญญาณชุดที่ 1

จากรูปที่ 4.8 วงจรตรวจจับสัญญาณจะอาศัยหลักการของวงจรเรียงกระแส(Rectifier circuit) โดยใช้ D1,D2 เบอร์ 1N4148 สัญญาณแรงดันไฟตรงที่ได้จะถูกส่งไปยังวงจรบัฟเฟอร์(Buffer circuit) โดยใช้ IC LF351 ก่อนที่จะถูกส่งไปยังวงจรตรวจจับสัญญาณชุดที่ 2 ต่อไป

4.6 วงจรตรวจจับสัญญาณชุดที่ 2 (Detector Circuit II)

สำหรับวงจรตรวจจับสัญญาณชุดที่ 2 จะใช้ในการตรวจจับการเปลี่ยนแปลงของระดับสัญญาณที่ซึ่งจากวงจรตรวจจับสัญญาณชุดที่ 1 โดยจะใช้วงจรกรองความถี่สูง (High Pass Filter) โดยมีความถี่คutoff ประมาณ 159 มิลลิเฮิรตซ์ โดยลักษณะของวงจรสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.9

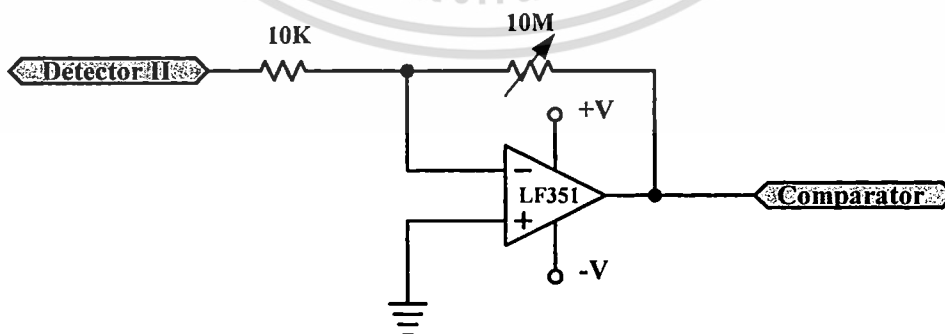


รูปที่ 4.9 วงจรตรวจจับสัญญาณชุดที่ 2

เอาต์พุตที่ได้จากวงจรตรวจจับสัญญาณชุดที่ 2 จะถูกส่งไปยังขยายโดยวงจรขยายสัญญาณชุดที่ 2 ต่อไป

4.7 วงจรขยายสัญญาณชุดที่ 2 (Amplifier circuit II)

สำหรับวงจรขยายสัญญาณชุดที่ 2 จะทำหน้าที่ขยายสัญญาณจากวงจรตรวจจับสัญญาณชุดที่ 2 เพื่อส่งไปให้วงจรเปรียบเทียบแรงดัน โดยวงจรจะมีลักษณะดังรูปที่ 4.10

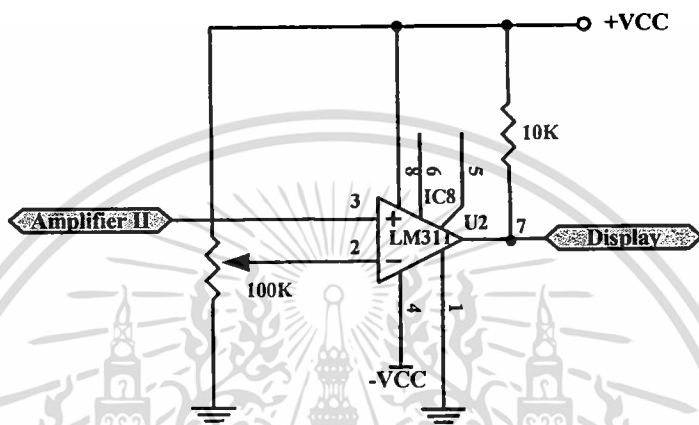


รูปที่ 4.10 วงจรแอมพลิไฟเออร์

เอาต์พุตที่ได้จากวงจรขยายสัญญาณชุดที่ 2 จะถูกส่งไปยังวงจรเปรียบเทียบแรงดันต่อไป

4.8 วงจรเปรียบเทียบแรงดัน(Comparator Circuit)

วงจรเปรียบเทียบแรงดันจะทำหน้าที่ในการเปรียบเทียบค่าแรงดันที่ได้จากวงจรขยายสัญญาณชุดที่ 2 กับค่าแรงดันอ้างอิง(Voltage Reference: Vref) หากแรงดันที่ได้จากวงจรตรวจจับแรงดันยอคมมีค่ามากกว่าแรงดันอ้างอิงก็จะสร้างสัญญาณส่งไปยังวงจรแสดงผล(Display circuit) เพื่อทำการส่งสัญญาณเตือนว่าท่อ โลหะที่นำมาทดสอบมีรอยบกพร่อง สำหรับวงจรเปรียบเทียบแรงดันที่ใช้ในโครงการวิจัยนี้จะใช้ IC เบอร์ LM311 ซึ่งมีลักษณะการต่อวงจรดังรูปที่ 4.11



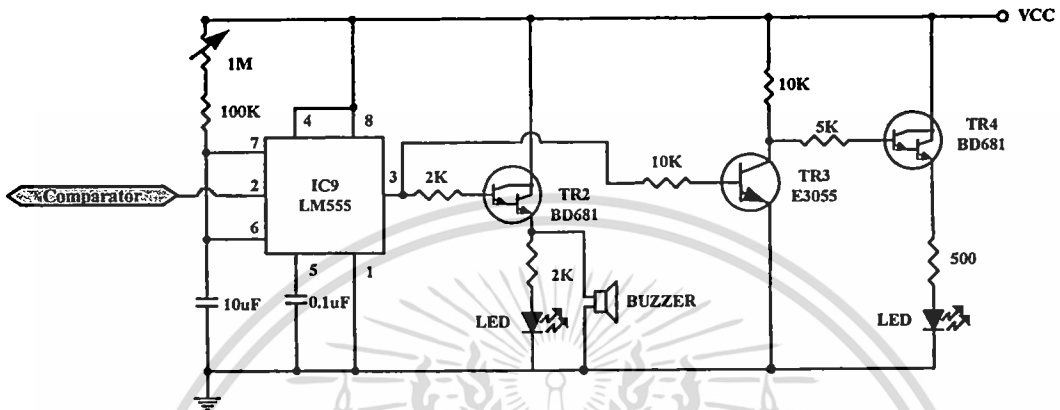
รูปที่ 4.11 วงจรเปรียบเทียบแรงดัน

จากวงจรในรูปที่ 4.11 ด้วยคุณสมบัติของ IC LM311 ซึ่งทางด้านเอาต์พุตมีลักษณะการทำงานแบบสวิตช์ ที่ขา 7 สามารถต่อกับแหล่งจ่ายไฟอื่นที่มีขนาดสูงกว่าแหล่งจ่ายไฟลบ (ขา 4) ได้ถึง 40 โวลต์ แต่ในส่วนของวงจรนี้จะต่อกับแหล่งจ่ายไฟ 5 โวลต์ โดยมี R16 ต่อไว้เพื่อจำกัดกระแสเอาต์พุต โดยจากลักษณะการทำงานแบบสวิตช์นั้นเมื่อ ขา 2 มีแรงดันสูงกว่า 3 จะทำให้สวิตช์เปิดวงจรแรงดันที่เอาต์พุตจะเท่ากับแหล่งจ่ายไฟที่ต่อกับขา 7 ซึ่งก็คือ 5 โวลต์ แต่เมื่อแรงดันที่ขา 2 (Vref) ต่ำกว่าที่ขา 3 (แรงดันจากวงจรตรวจจับแรงดันยอค) ก็จะทำให้สวิตช์ปิดวงจรเอาต์พุตที่ขา 7 ก็จะถูกต่อกับขา 1 ซึ่งต่ออยู่กับกราวด์ แรงดันเอาต์พุตก็จะเป็น 0 ซึ่งเราจะนำสัญญาณนี้ไปกระตุ้นให้วงจรแสดงผลทำงาน

4.9 วงจรแสดงผล(Display circuit)

วงจรแสดงผลจะประกอบด้วย IC LM555 ต่อเป็นวงจรโมโนสเตเบิล(Monostable circuit) โดยรับสัญญาณควบคุมมาจากวงจรเปรียบเทียบแรงดัน เมื่อท่อ โลหะที่นำมาทดสอบมีรอยบกพร่อง จะทำให้วงจรเปรียบเทียบแรงดันส่งพัลส์มาที่ขา 2 ของ IC LM555 ให้วงจร โมโนสเตเบิลทำงานสร้างแรงดันเอาต์พุตของ IC LM555 ที่ขา 3 ออกมา ซึ่งแรงดันเอาต์พุตจะส่งไปขับ TR2 BD681 ให้ขับ LED สีแดง และขับบั๊ซเซอร์(Buzzer)ส่งเสียงเตือนออกมาให้ผู้ทดสอบทราบว่าท่อ โลหะที่นำมา

ทดสอบมีรอยบกพร่อง แต่หากท่อโลหะที่นำมาทดสอบไม่มีรอยบกพร่อง เอาท์พุทของ IC 555 จะเป็นศูนย์ทำให้ TR3 E3055 และ TR4 BD681 ทำงานส่งผลให้LED สีเขียวสว่างเพื่อแสดงผลให้ผู้ทดสอบทราบว่าท่อโลหะที่นำมาทดสอบไม่มีรอยบกพร่อง โดยลักษณะของวงจรแสดงผลสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.12 วงจรแสดงผล

บทที่ 5

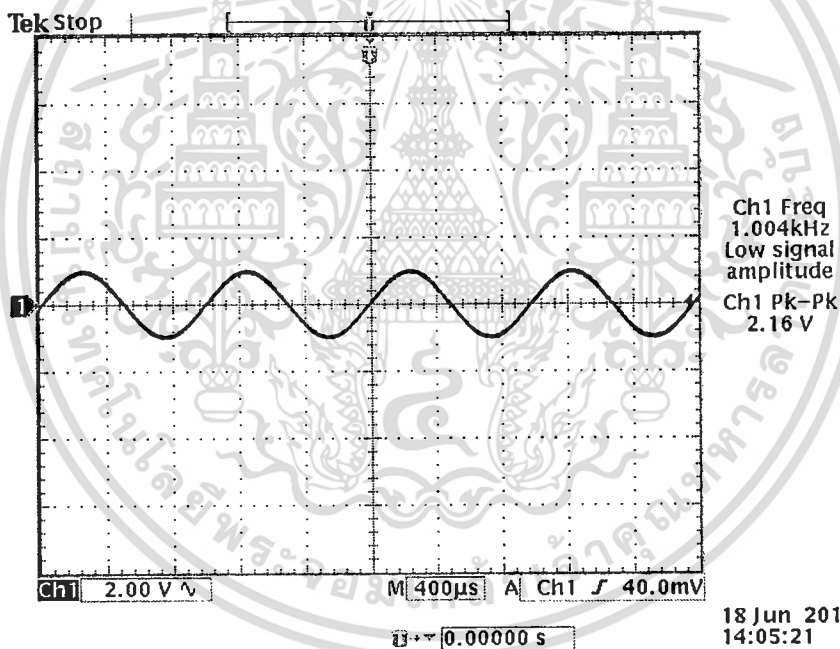
การทดลองและผลการทดลอง

สำหรับบทนี้จะกล่าวถึงการทดสอบระบบตรวจสอบรอยบกพร่องในท่อโดยใช้กระแสไหลวนที่ได้ทำการออกแบบขึ้นมา โดยการทดสอบจะมีรายละเอียดดังหัวข้อต่างๆดังนี้

5.1 การทดสอบวงจรอิเล็กทรอนิกส์สำหรับระบบตรวจสอบรอยบกพร่องในท่อโดยใช้กระแสไหลวน

5.1.1 การทดสอบสัญญาณของวงจรกำเนิดคลื่นไซน์ (Sine wave Generator Circuit)

สำหรับวงจรกำเนิดสัญญาณไซน์ที่ออกแบบขึ้นจะผลิตความถี่ในช่วง 1,000 เฮิรต์ ซึ่งลักษณะของสัญญาณที่ได้จะแสดงดังรูปที่ 5.1

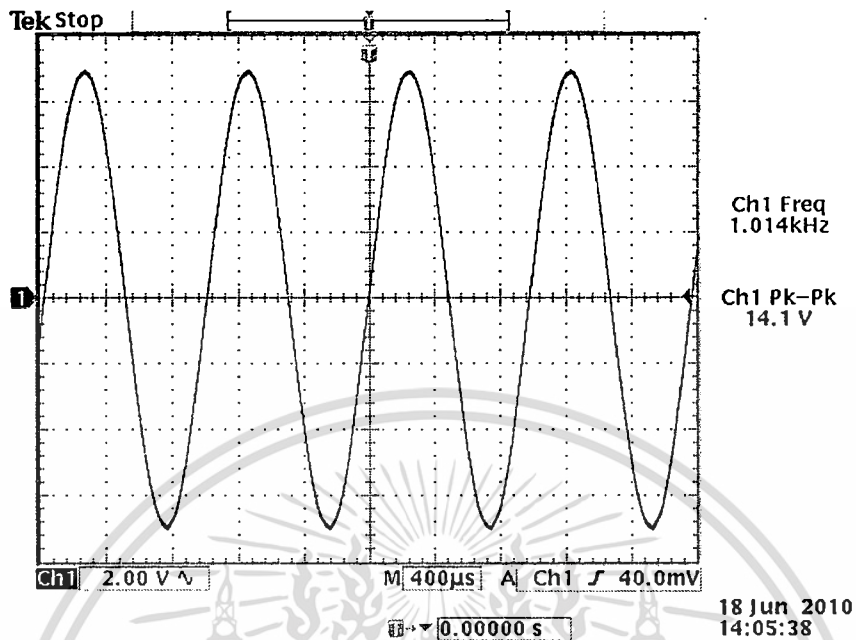


รูปที่ 5.1 สัญญาณเอาต์พุตของวงจรกำเนิดสัญญาณไซน์

5.1.2 การทดสอบสัญญาณของวงจรขยายสัญญาณไซน์

สำหรับลักษณะของสัญญาณที่ได้จากวงจรขยายสัญญาณไซน์สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 5.2

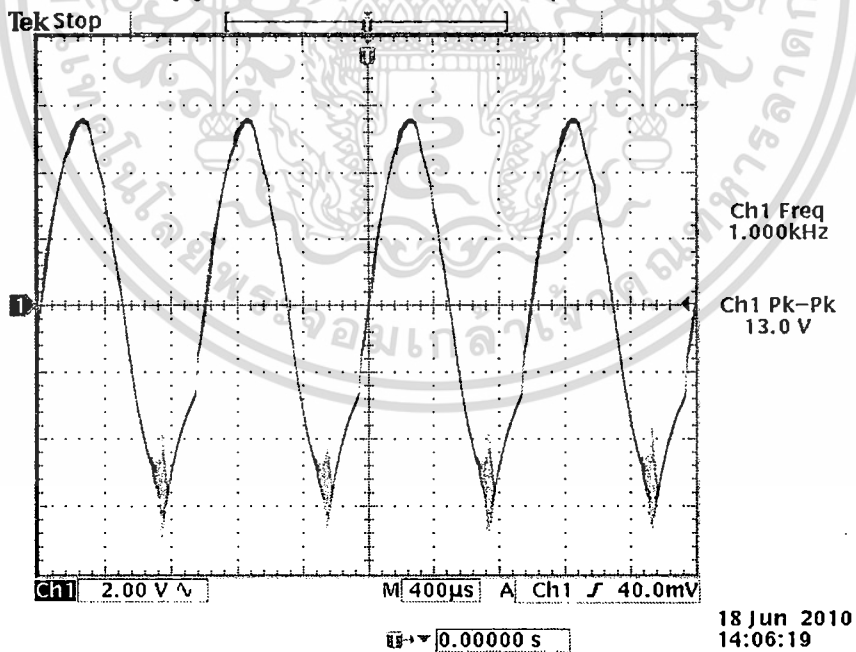
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.2 สัญญาณเอาต์พุทของวงจรขยายสัญญาณไซน์ที่ความถี่ 1 กิโลเฮิร์ต

5.1.3 การทดสอบสัญญาณของวงจรจ่ายกระแสควบคุมด้วยแรงดัน

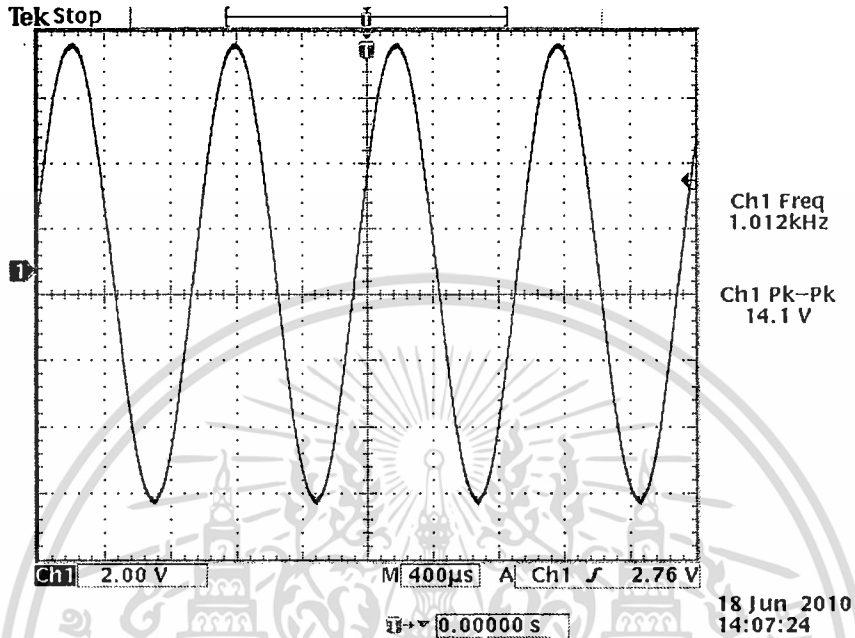
สำหรับลักษณะของสัญญาณที่ได้จากวงจรจ่ายกระแสควบคุมด้วยแรงดันสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 5.3



รูปที่ 5.3 สัญญาณสัญญาณเอาต์พุทของวงจรจ่ายกระแสควบคุมด้วยแรงดัน

5.1.4 การทดสอบสัญญาณจากวงจรกรองสัญญาณรบกวน

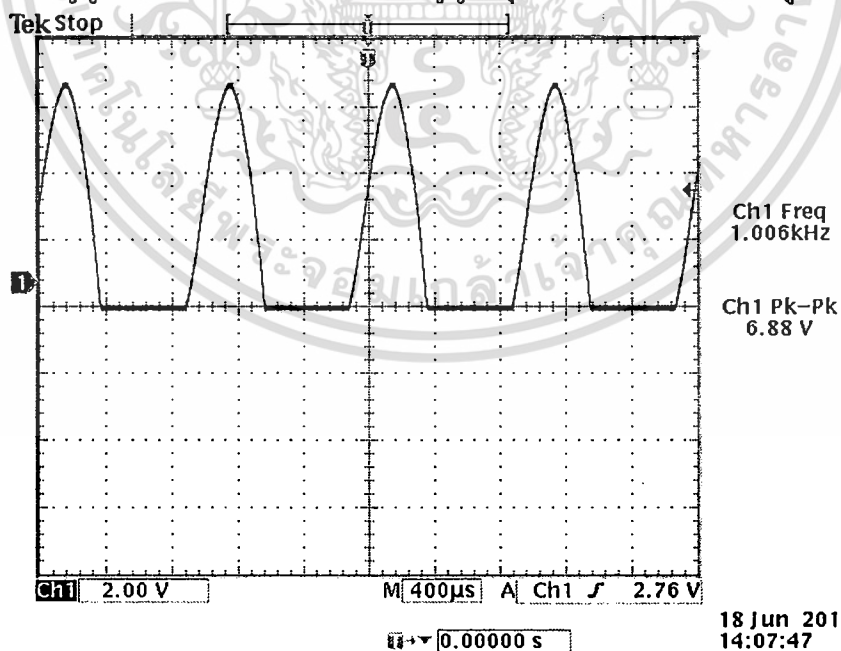
สำหรับลักษณะของสัญญาณหลังจากผ่านวงจรกรองสัญญาณรบกวนแล้วสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 5.4



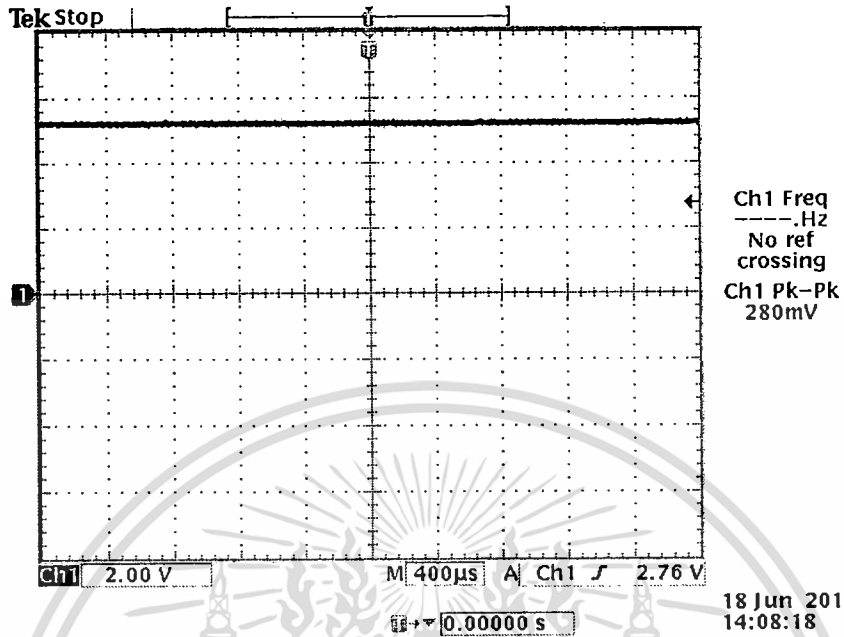
รูปที่ 5.4 สัญญาณเอาต์พุตหลังจากผ่านวงจรกรองสัญญาณรบกวน

5.1.5 การทดสอบสัญญาณจากวงจรตรวจจับสัญญาณชุดที่ 1

สำหรับสัญญาณหลังจากผ่านวงจรตรวจจับสัญญาณชุดที่ 1 สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 5.5 และ 5.6



รูปที่ 5.5 สัญญาณหลังจากผ่านวงจรตรวจจับสัญญาณชุดที่ 1 (ยังไม่ผ่านวงจรกรองสัญญาณความถี่ต่ำผ่าน)

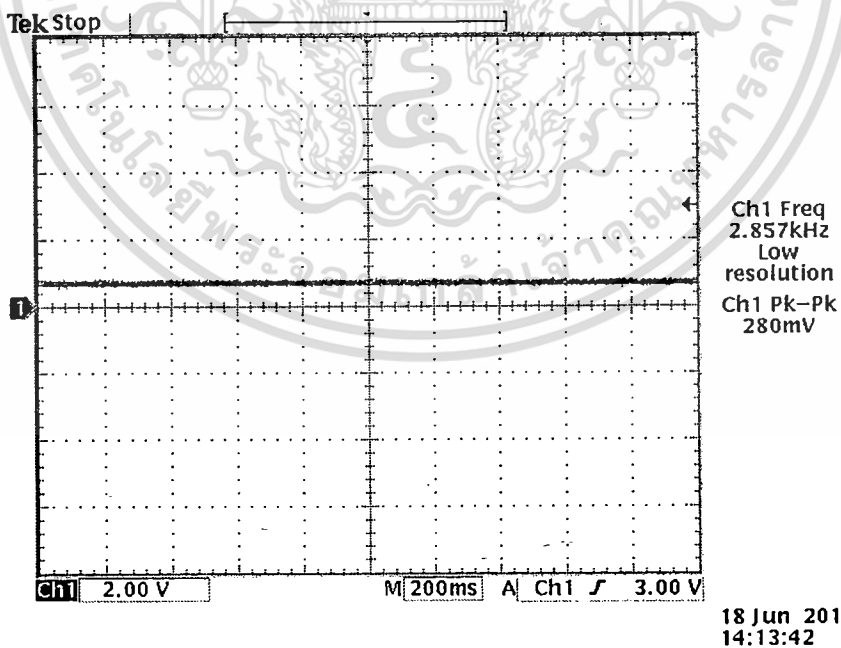


รูปที่ 5.6 สัญญาณหลังจากผ่านวงจรตรวจจับสัญญาณชุดที่ 1 (หลังผ่านวงจรกรองสัญญาณความถี่ต่ำผ่าน)

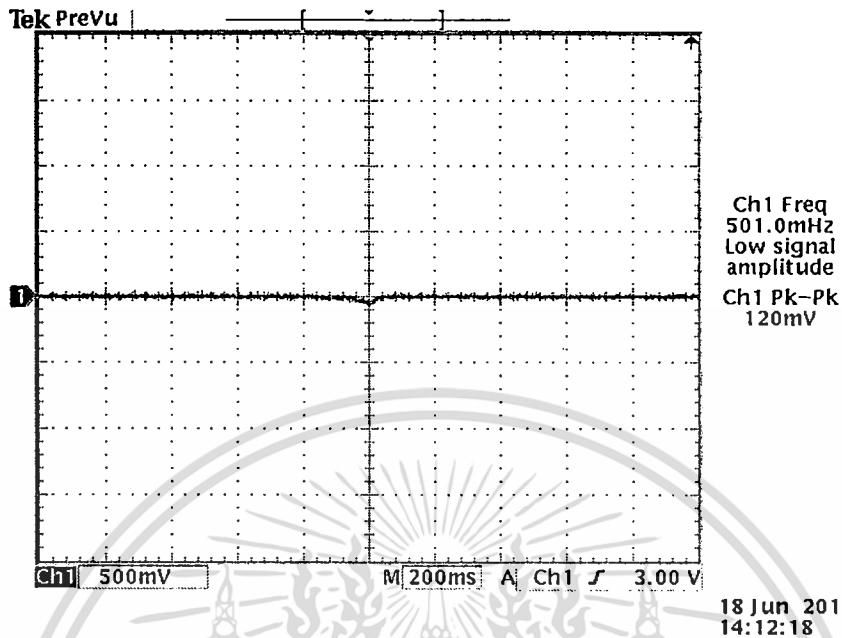
5.1.6 การทดสอบสัญญาณจากวงจรตรวจจับสัญญาณชุดที่ 2

สำหรับสัญญาณหลังจากผ่านวงจรตรวจจับสัญญาณชุดที่ 2 สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 5.7 ถึงรูปที่

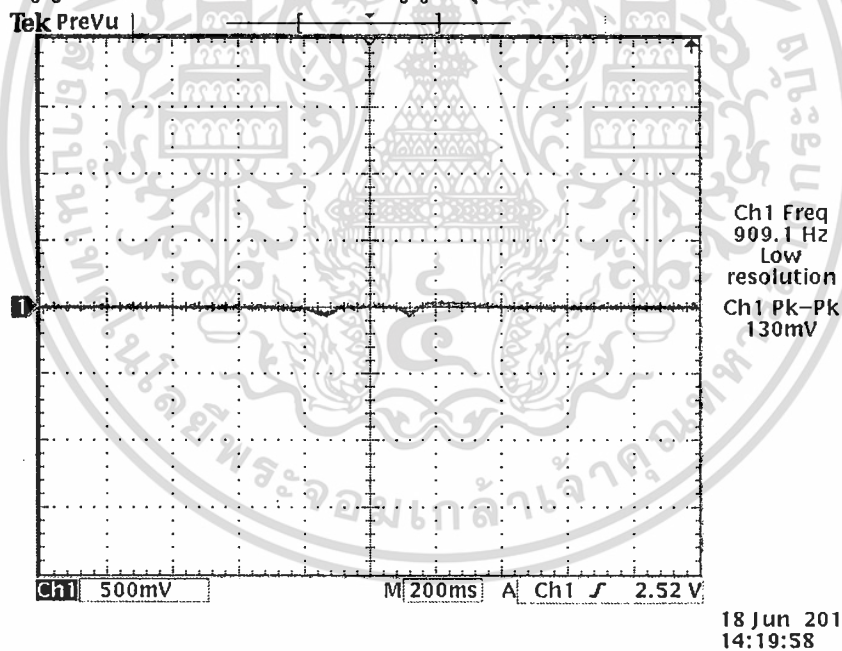
5.9



รูปที่ 5.7 สัญญาณหลังจากผ่านวงจรตรวจจับสัญญาณชุดที่ 1 (กรณีไม่มีรอยบกพร่องบนท่อโลหะ)



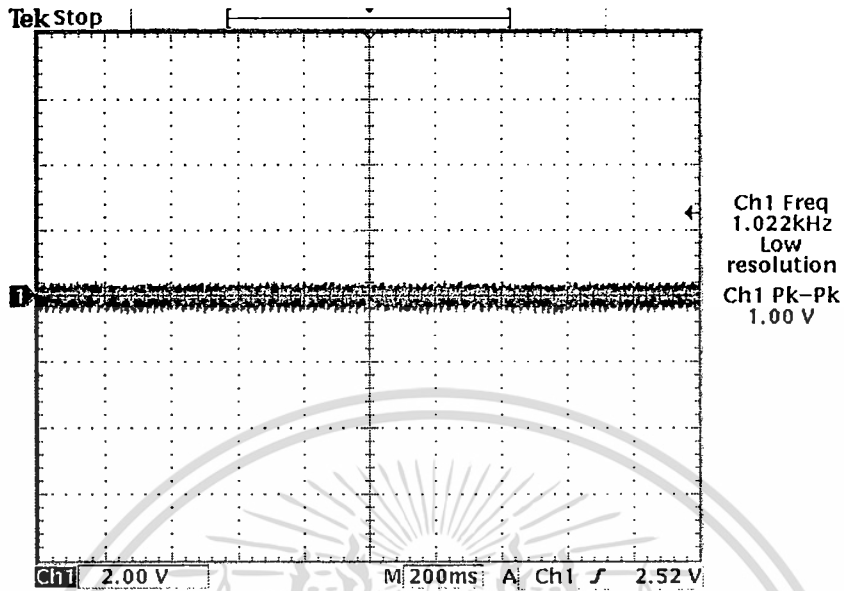
รูปที่ 5.8 สัญญาณหลังจากผ่านวงจรตรวจจับสัญญาณชุดที่ 1 (กรณีมีรอยบกพร่องบนท่อโลหะ 1 รอย)



รูปที่ 5.9 สัญญาณหลังจากผ่านวงจรตรวจจับสัญญาณชุดที่ 1 (กรณีมีรอยบกพร่องบนท่อโลหะ 2 รอย)

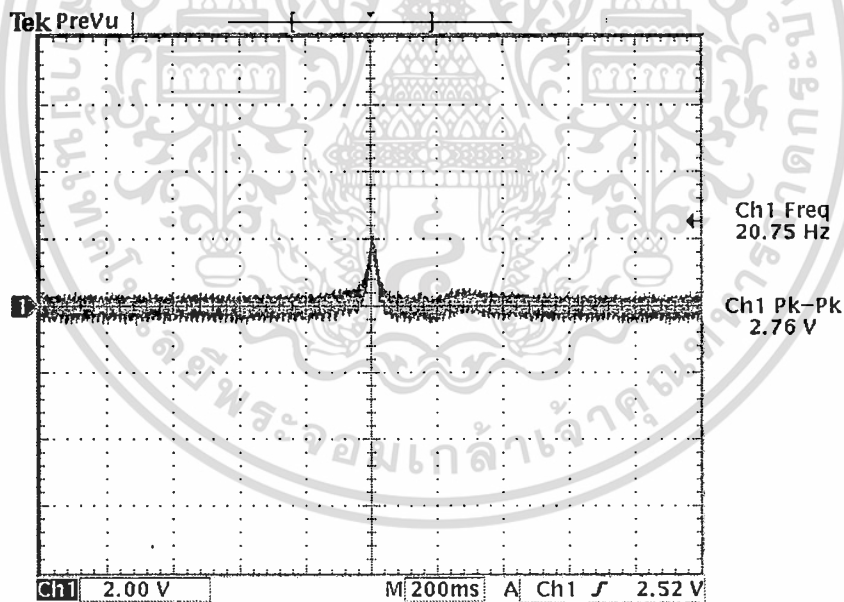
5.1.7 การทดสอบสัญญาณจากวงจรขยายสัญญาณ

สำหรับสัญญาณหลังจากผ่านวงจรขยายสัญญาณ สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 5.10 ถึงรูปที่ 5.12



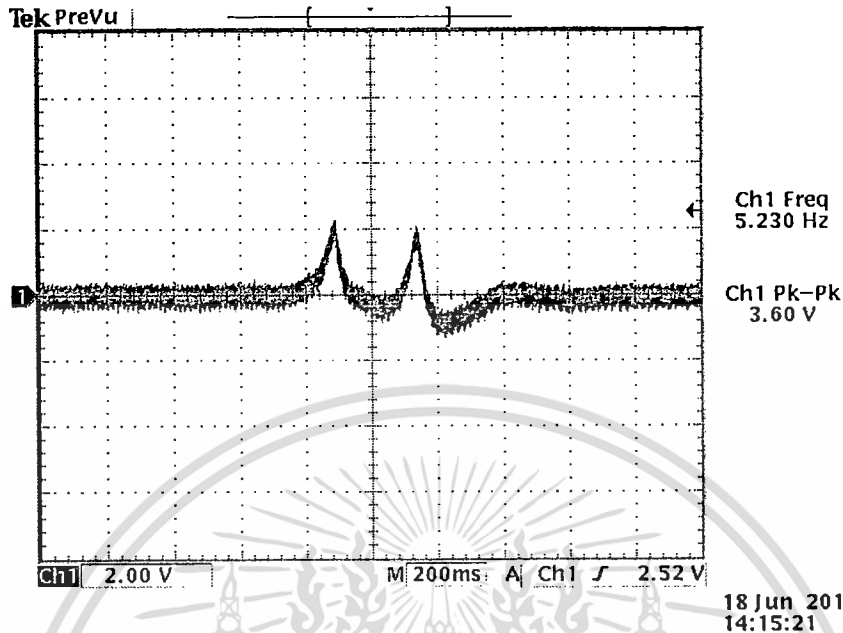
18 Jun 2010
14:15:43

รูปที่ 5.10 สัญญาณหลังจากผ่านวงจรขยายสัญญาณ (กรณีไม่มีรอยบกพร่องบนท่อ โลหะ)



18 Jun 2010
14:14:36

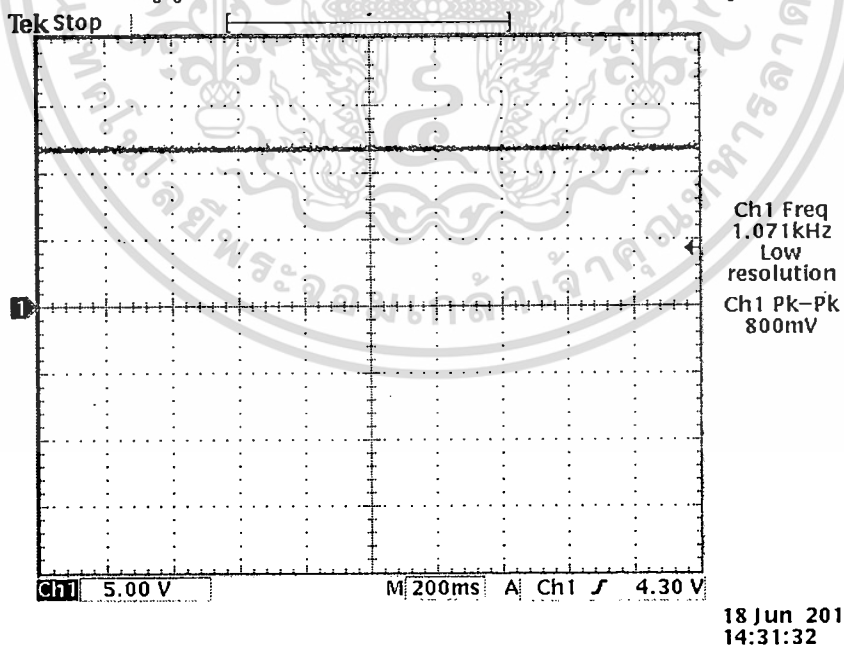
รูปที่ 5.11 สัญญาณหลังจากผ่านวงจรขยายสัญญาณ (กรณีมีรอยบกพร่องบนท่อ โลหะ 1 รอย)



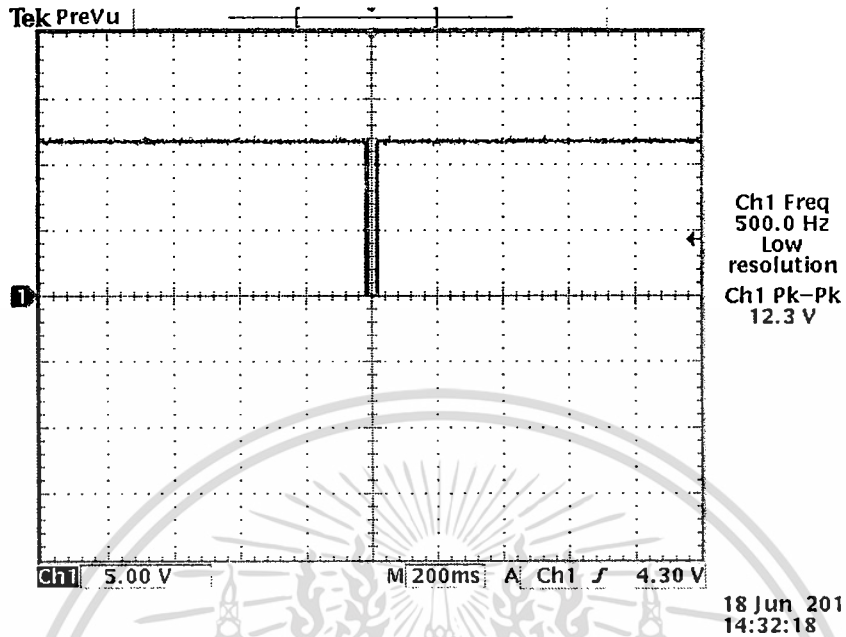
รูปที่ 5.12 สัญญาณหลังจากผ่านวงจรขยายสัญญาณ (กรณีมีรอยบกพร่องบนท่อโลหะ 2 รอย)

5.1.8 การทดสอบสัญญาณของวงจรเปรียบเทียบแรงดัน(Comparator Circuit)

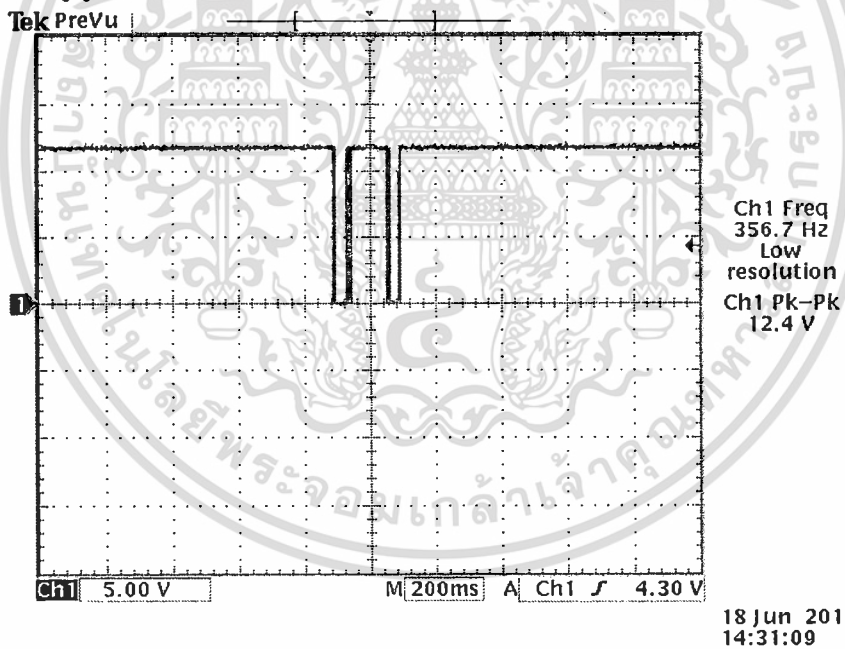
สำหรับลักษณะสัญญาณของวงจรเปรียบเทียบแรงดันสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 5.13 ถึงรูปที่ 5.15



รูปที่ 5.13 สัญญาณหลังจากผ่านวงจรเปรียบเทียบแรงดัน(กรณีไม่มีรอยบกพร่องบนท่อโลหะ)



รูปที่ 5.14 สัญญาณหลังจากผ่านวงจรเปรียบเทียบแรงดัน(กรณีมีรอยบกพร่องบนท่อโลหะ 1 รอย)



รูปที่ 5.15 สัญญาณหลังจากผ่านวงจรเปรียบเทียบแรงดัน(กรณีมีรอยบกพร่องบนท่อโลหะ 2 รอย)

บทที่ 6

บทสรุป

จากการทดสอบวงจรต่างๆที่ใช้ในระบบตรวจสอบรอยบกพร่องในท่อ โดยใช้กระแสไหลวนผลปรากฏว่าวงจรต่างๆสามารถทำงานได้ตามที่ออกแบบไว้ และสามารถใช้ในการตรวจสอบรอยบกพร่องในท่อที่นำมาทดสอบได้ แต่อย่างไรก็ตามระบบที่พัฒนาขึ้นยังคงต้องพัฒนาต่อไปเพื่อให้สามารถตรวจสอบรอยบกพร่องในท่อที่มีขนาดเล็กมากๆได้ โดยข้อเสนอแนะสำหรับผู้สนใจที่จะนำระบบที่พัฒนาขึ้นมาไปพัฒนาต่อมีดังนี้

- ระบบตรวจสอบรอยบกพร่องในท่อที่พัฒนาขึ้นมาจะใช้มือในการตรวจสอบ(Manual system) ทำให้เกิดค่าความผิดพลาดในการตรวจสอบได้ ดังนั้นถ้าหากมีการพัฒนาให้ระบบการไหลในตัวท่อเพื่อให้สามารถตรวจสอบโดยอัตโนมัติจะทำให้ผลของการตรวจสอบมีความถูกต้องมากขึ้น
- จากผลการทดลองพบว่า หากรอยบกพร่องในท่อมีขนาดเล็กมากที่แรงดันเอาท์พุทที่วัดได้จะมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก ทำให้ยากต่อการตรวจจับสัญญาณ ดังนั้นจะต้องมีการพัฒนางจรตรวจจับสัญญาณให้มีค่าความไวในการตรวจจับสัญญาณให้สูงกว่านี้เพื่อให้ระบบสามารถตรวจสอบรอยบกพร่องในท่อที่มีขนาดเล็กได้

เอกสารอ้างอิง

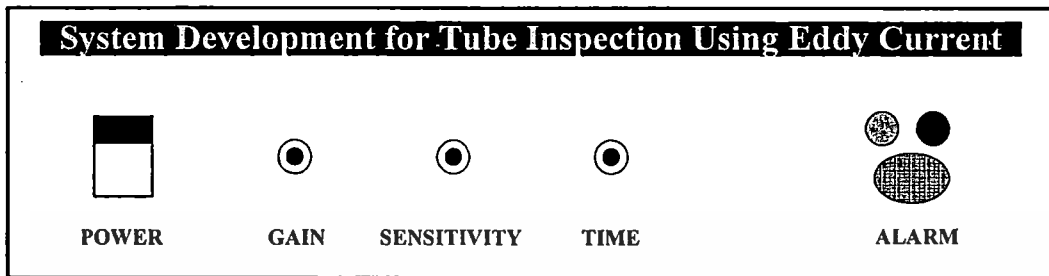
- [1] R. Halmshaw “Non-destructive Testing” Edward Arnold, 1987.
- [2] Charles J. Hellier “Handbook of Nondestructive Evaluation” Mcgraw-Hill, 2001.
- [3] R. Halmshaw. “Nondestructive testing of materials” Edward Arnold, 1991
- [4] B.P.C. Rao “Practical Eddy Current Testing” Alpha Science International Ltd. Oxford, U.K. 2007.
- [5] พุทธิ ชาติ. “การทดสอบแบบไม่ทำลาย” สำนักพิมพ์สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น)
- [6] <http://www.ndt-ed.org/>



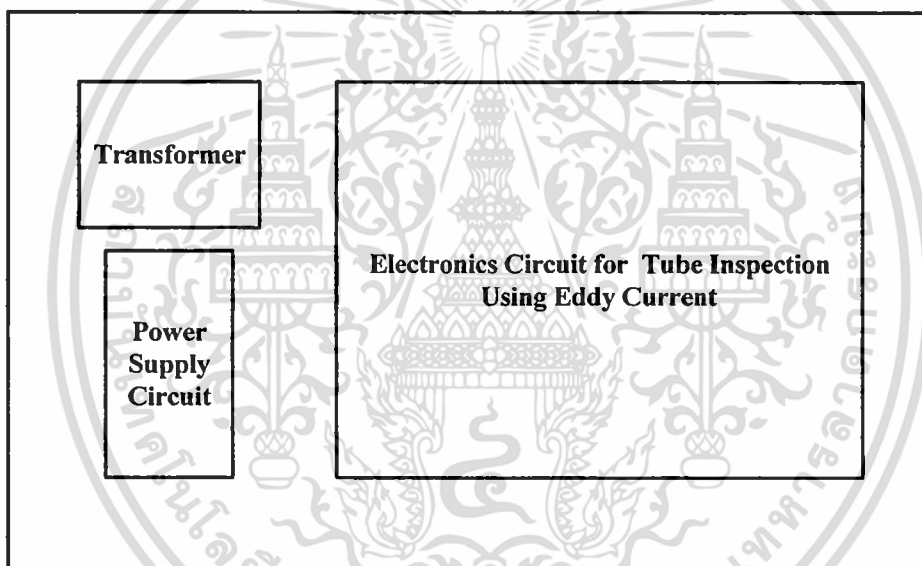
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

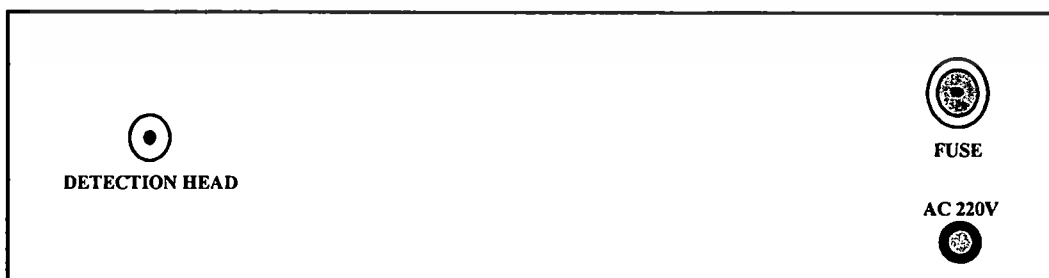
ลักษณะการวางเลย์เอาต์ของต้นแบบระบบตรวจสอบรอยบกพร่องในท่อโดยใช้กระแสไหลวน



รูปที่ ก1 การวางเลย์เอาต์ที่ด้านหน้าของต้นแบบระบบตรวจสอบรอยบกพร่องในท่อโดยใช้กระแสไหลวน

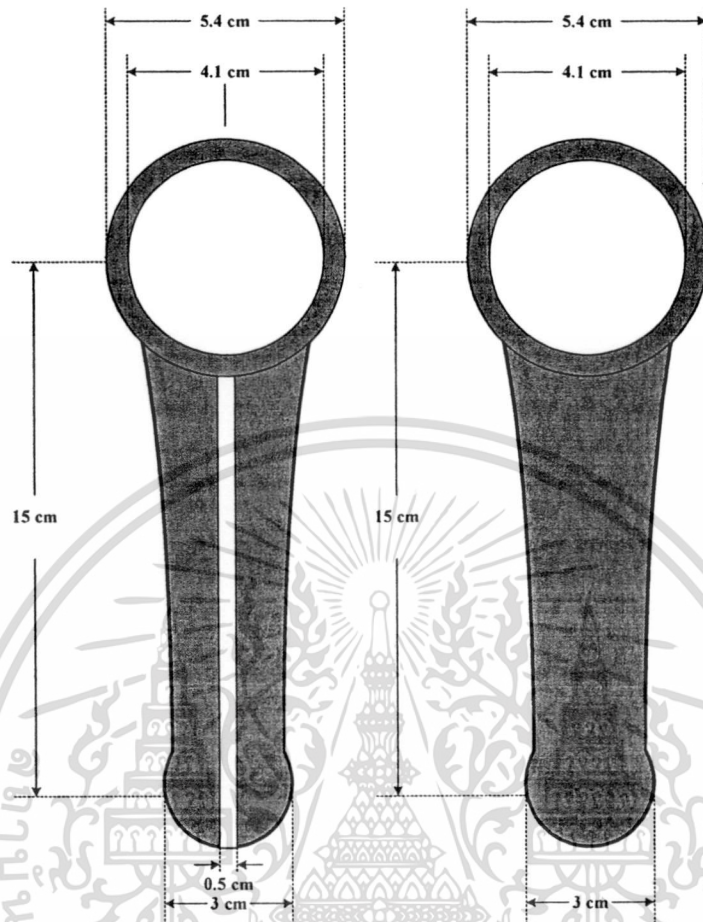


รูปที่ ก2 การวางเลย์เอาต์ที่ด้านบนของต้นแบบระบบตรวจสอบรอยบกพร่องในท่อโดยใช้กระแสไหลวน



รูปที่ ก3 การวางเลย์เอาต์ด้านหลังของต้นแบบระบบตรวจสอบรอยบกพร่องในท่อโดยใช้กระแสไหลวน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

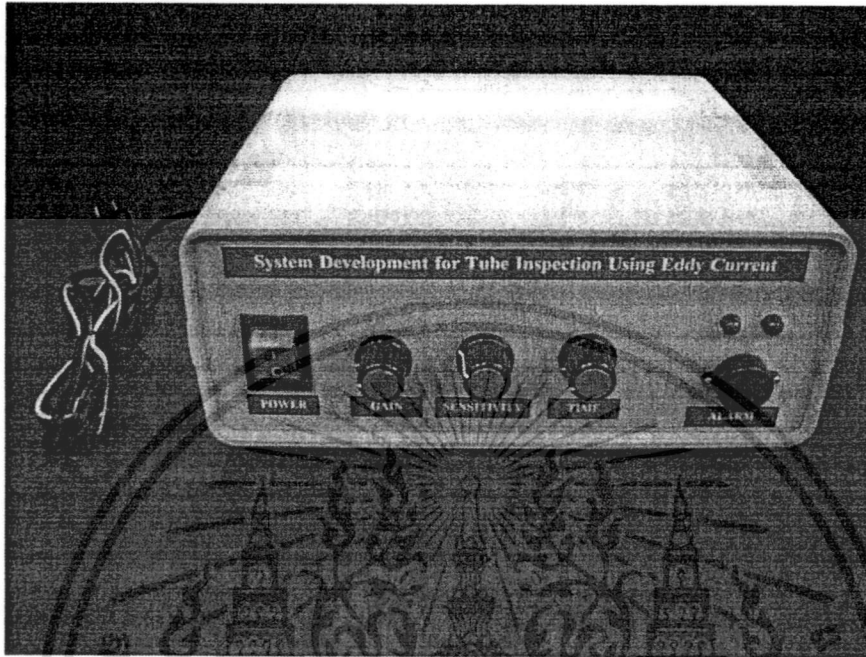


รูปที่ ก4 เลย์เอาท์ของหัววัดกระแสไหลวนที่พัฒนาขึ้นมา

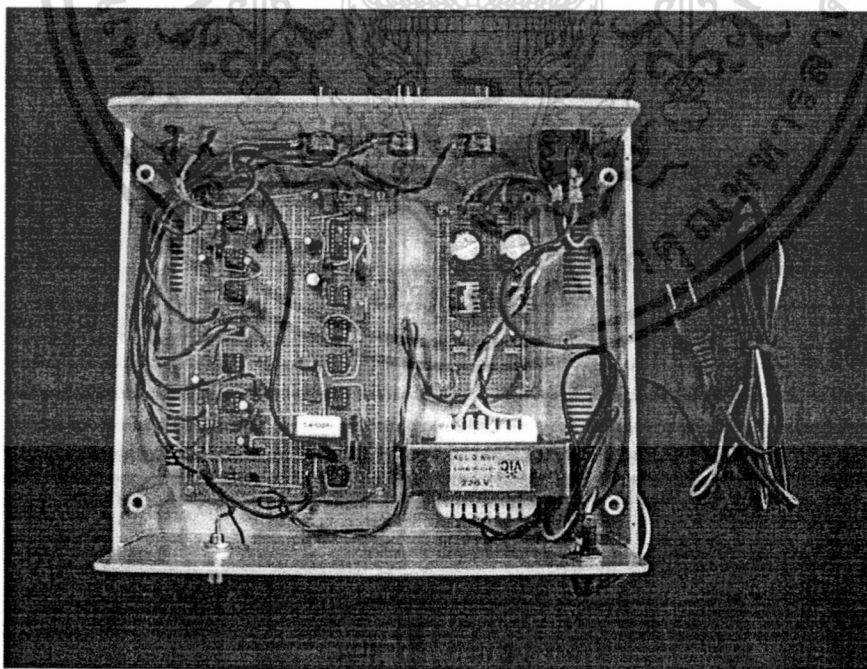
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

ต้นแบบระบบตรวจสอบรอยบกพร่องในท่อโดยใช้กระแสไหลวน

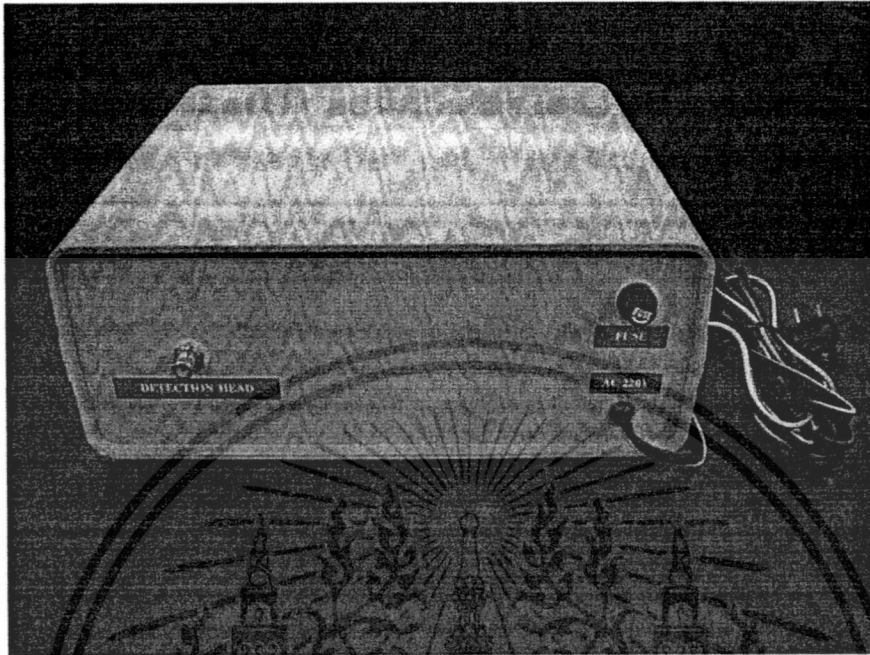


รูปที่ ข1 ด้านหน้าของต้นแบบระบบตรวจสอบรอยบกพร่องในท่อโดยใช้กระแสไหลวน

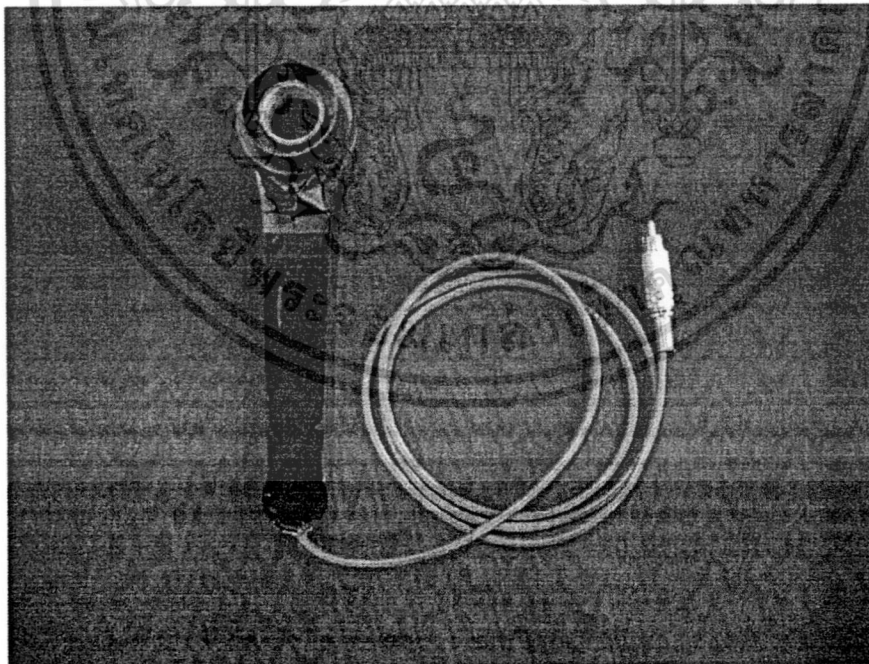


รูปที่ ข2 ด้านบนของระบบตรวจสอบรอยบกพร่องในท่อโดยใช้กระแสไหลวน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข3 ด้านหลังของต้นแบบระบบตรวจสอบรอยบกพร่องในท่อโดยใช้กระแสไหลวน



รูปที่ ข4 หัววัดกระแสไหลวนที่พัฒนาขึ้นมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้