

รายงานการวิจัย

ระบบตรวจสอบรอยบกพร่องในท่อแบบอัตโนมัติ

Automatic Tube Inspection System



ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ 2554

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

RCH
TK
2271
จ 2554

เลขหมู่.....

เลขทะเบียน 131194

วัน,เดือน,ปี 22 11 2557

b. 12599943
i.....

โครงการวิจัย (ภาษาไทย) “ระบบตรวจสอบรอยบกพร่องในท่อแบบอัตโนมัติ”
(ภาษาอังกฤษ) “Automatic Tube Inspection System”

ชื่อผู้วิจัย (ภาษาไทย) นายอภิไนย์ 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

รายงานโครงการวิจัยนี้กล่าวถึงการพัฒนา ระบบตรวจสอบรอยบกพร่องในท่อแบบอัตโนมัติโดยใช้เทคนิคกระแสไหลวน โดยระบบตรวจสอบรอยบกพร่องในท่อที่พัฒนาขึ้นจะประกอบด้วยวงจรถออิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ ดังนี้ วงจรกำเนิดคลื่นไซน์ วงจรขยายสัญญาณ วงจรจ่ายกระแสควบคุมด้วยแรงดัน วงจรตรวจจับสัญญาณชุดที่ 1 วงจรตรวจจับสัญญาณชุดที่ 2 วงจรแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัล วงจรขับสเต็ปปีงมอเตอร์ การ์ดอินเตอร์เฟส และหัววัดกระแสไหลวน โดยการทำงานของวงจรที่ออกแบบขึ้นมาจะอาศัยหลักการวัดการเปลี่ยนแปลงของกระแสไหลวนที่เกิดขึ้นระหว่างหัววัดกระแสไหลวนกับท่อโลหะที่หัววัดกระแสไหลวนเคลื่อนที่ผ่าน ค่าแรงดันเอาต์พุตที่ได้จากการวัดจะถูกส่งเข้าสู่วงจรแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัล เพื่อส่งข้อมูลเข้าเครื่องคอมพิวเตอร์ทำการประมวลผลและแสดงผลการวัดออกมา

ABSTRACT

This research project presents the development of automatic tube inspection system based on eddy current. The proposed system consists of sine wave generator circuit, amplifier circuit, voltage control current source, detector circuit I, detector circuit II, stepping motor driver circuit, A/D converter, interface card and eddy current probe. The system is based on detecting the change of eddy current obtained by the motion of current probe through metal tube. The measured output voltage is consequently converted to digital data by an A/D converter for recording on a microcomputer. The microcomputer is also used to control mechanical scanning for data collection and display.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงได้ดี ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณในความช่วยเหลือเป็นอย่างมากทั้งทางด้านเครื่องมือ อุปกรณ์ ตลอดจนคำแนะนำและข้อมูลต่างๆจากอาจารย์และเจ้าหน้าที่สาขาวิชา วิศวกรรมการวัดและควบคุม

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่สนับสนุนเครื่องมือ อุปกรณ์ และสถานที่ในการทำโครงการวิจัยครั้งนี้

อภิรักษ์ ฤกษ์รัตน์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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 แผนการดำเนินงานโครงการวิจัย.....	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 ชนิดของการทดสอบโดยวิธีเหนี่ยวนำไฟฟ้า.....	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 ปฏิกิริยาการเหนี่ยวนำที่ผิวกับความลึกที่ผ่านเข้า (Skin Effect & Penetration).....	14

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์ในนามของสถาบันวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีการก่อสร้าง
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
3.3.3 ค่าอิมพีแดนซ์ของขดลวด.....	16
3.3.4 แรงดัน ไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในขดลวด.....	19
3.4 วิธีการตรวจสอบ.....	19
3.4.1 ขดลวดที่ใช้ตรวจสอบและวิธีการ.....	19
บทที่ 4 ระบบตรวจสอบรอยบกพร่องในท่อแบบอัตโนมัติ.....	22
4.1 วงจรกำเนิดคลื่นไซน์ (Sine wave Generator Circuit).....	22
4.2 วงจรจ่ายกระแสควบคุมด้วยแรงดัน(Voltage Control Current Source : VCCS)..	24
4.3 หัววัดกระแสไหลวน(Eddy Current Probe)	27
4.4 วงจรตรวจจับสัญญาณชุดที่ 1 (Detector Circuit I).....	28
4.5 วงจรตรวจจับสัญญาณชุดที่ 2 (Detector Circuit II).....	29
4.6 วงจรขยายสัญญาณ (Amplifier circuit)	29
4.7 วงจรแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัล (A TO D Converter).....	30
4.8 วงจรขับสเต็ปปีงมอเตอร์ (Stepping motor driver circuit).....	31
4.9 การ์ดอินเทอร์เฟส (Interface Card)	32
4.10 อัลกอริทึมในการเก็บข้อมูลสำหรับตรวจสอบรอยบกพร่องในท่อแบบอัตโนมัติ.	35
บทที่ 5 การทดลองและผลการทดลอง.....	36
5.1 การทดสอบวงจรอิเล็กทรอนิกส์สำหรับระบบตรวจสอบรอยบกพร่องในท่อโดยใช้ กระแสไหลวน.....	36
5.1.1 การทดสอบสัญญาณของวงจรกำเนิดคลื่นไซน์ (Sine wave Generator Circuit)	36
5.1.2 การทดสอบสัญญาณของวงจขยายสัญญาณไซน์.....	36
5.1.3 การทดสอบสัญญาณของวงจรจ่ายกระแสควบคุมด้วยแรงดัน.....	37
5.1.4 การทดสอบสัญญาณจากวงจขยายสัญญาณ.....	38
5.1.5 การทดสอบสัญญาณจากวงจรตรวจจับสัญญาณชุดที่ 1.....	38
5.1.6 การทดสอบสัญญาณจากวงจรตรวจจับสัญญาณชุดที่ 2.....	39
5.1.7 การทดสอบสัญญาณจากวงจขยายสัญญาณ.....	39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

5.2 การทดสอบโปรแกรมสำหรับระบบตรวจสอบรอยบกพร่องในท่อแบบอัตโนมัติ.....	40
บทที่ 6 บทสรุป.....	44
เอกสารอ้างอิง.....	45
ภาคผนวก ก ต้นแบบระบบตรวจสอบรอยบกพร่องในท่อแบบอัตโนมัติ.....	46



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 การใช้วิธีเหนี่ยวนำทางแม่เหล็กไฟฟ้าในการตรวจสอบวัสดุในลักษณะต่างๆ.....	12
3.2 ค่าสัมประสิทธิ์รีนาเงาโอคา.....	18
4.1 การเลือกชนิดของสัญญาณเอาท์พุทของไอซี MAX 038.....	23
4.2 คุณสมบัติของบอร์ดแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นสัญญาณดิจิตอลรุ่น ET-AD12.....	30
4.3 คุณสมบัติของการ์ดอินเตอร์เฟซรุ่น ET – 8255.....	32
4.4 การใช้งานแอดเดรสของการ์ด ET – 8255.....	34



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1 ส่วนประกอบทั้งหมดของระบบตรวจสอบรอยบกพร่องในท่อแบบอัดโนมัติ.....	1
2.1 ตัวอย่างการทดสอบแบบไม่ทำลาย.....	5
2.2 ชนิดของการทดสอบแบบไม่ทำลาย.....	8
3.1 ปฏิกิริยาการเกิดการเหนียวแม่เหล็กไฟฟ้า.....	9
3.2 ลักษณะการเกิดกระแสไหลวน.....	9
3.3 การเกิดกระแสไหลวน.....	13
3.4 รอยบกพร่องกับกระแสไหลวน.....	14
3.5 ปฏิกิริยาที่ผิว.....	15
3.6 ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ของกระแสกับความลึกในการผ่านขั้วของสนามแม่เหล็ก.....	16
3.7 ขดลวดที่ใช้ตรวจสอบ โดยการเหนียวนำด้วยตัวเอง.....	17
3.8 ภาพกระแสไหลวนเปลี่ยนแปลงไปตามรอยร้าว.....	18
3.9 ขดลวดตรวจสอบด้วยวิธีการเหนียวนำไฟฟ้าร่วมกัน.....	19
3.10 ขดลวดทดสอบแบบต่าง ๆ.....	20
3.11 การใช้ขดลวดแบบมีแกนเหล็กในลักษณะหมุนรอบท่อ.....	21
3.12 แบบของขดลวดทดสอบ.....	21
4.1 ส่วนประกอบของระบบตรวจสอบรอยบกพร่องในท่อแบบอัดโนมัติ.....	22
4.2 วงจรกำเนิดคลื่นไซน์.....	23
4.3 วงจรจ่ายกระแสที่ใช้ในระบบตรวจสอบรอยบกพร่องในท่อแบบอัดโนมัติ.....	26
4.4 วงจรจ่ายกระแสควบคุมด้วยแรงดัน.....	27
4.5 ลักษณะของหัววัดกระแสไหลวนที่ใช้ในงานวิจัย.....	28
4.6 วงจรตรวจจับสัญญาณชุดที่ 1.....	28
4.7 วงจรตรวจจับสัญญาณชุดที่ 2.....	29
4.8 วงจรขยายสัญญาณ.....	29
4.9 วงจรภายในของบอร์ดแปลงสัญญาณอะนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัลรุ่น ET-AD12.....	30
4.10 วงจรขับสเต็ปปีงมอเตอร์.....	31
4.11 ลักษณะของการ์ดอินเตอร์เฟสรุ่น ET - 8255.....	32
4.12 วงจรภายในของการ์ด ET-8255.....	33
4.13 ลักษณะพอร์ตของไอซี 8255 และสัญญาณควบคุม.....	34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.14 อัลกอริทึมในการเก็บข้อมูลสำหรับตรวจสอบรอยบกพร่องในท่อแบบอัด โนมัติ.....	35
5.1 สัญญาณเอาต์พุทของวงจรกำเนิดสัญญาณไซน์ที่ความถี่ 2 กิโลเฮิร์ต.....	36
5.2 สัญญาณเอาต์พุทของวงจรถ่ายสัญญาณไซน์ที่ความถี่ 2 กิโลเฮิร์ต.....	37
5.3 สัญญาณเอาต์พุทของวงจรถ่ายกระแสควบคุมด้วยแรงดัน.....	37
5.4 สัญญาณเอาต์พุทหลังจากผ่านวงจรถ่ายสัญญาณ.....	38
5.5 สัญญาณหลังจากผ่านวงจรตรวจจับสัญญาณชุดที่ 1.....	38
5.6 สัญญาณหลังจากผ่านวงจรตรวจจับสัญญาณชุดที่ 2.....	39
5.7 สัญญาณหลังจากผ่านวงจรถ่ายสัญญาณ.....	39
5.8 โปรแกรมสำหรับตรวจสอบรอยบกพร่องในท่อแบบอัด โนมัติ (หน้าโปรแกรมหลัก).....	40
5.9 โปรแกรมสำหรับตรวจสอบรอยบกพร่องในท่อแบบอัด โนมัติ (โปรแกรม).....	40
5.10 โปรแกรมสำหรับตรวจสอบรอยบกพร่องในท่อแบบอัด โนมัติ (Load Data)	41
5.11 โปรแกรมสำหรับตรวจสอบรอยบกพร่องในท่อแบบอัด โนมัติ (Analysis).....	41
5.12 โปรแกรมสำหรับตรวจสอบรอยบกพร่องในท่อแบบอัด โนมัติ (GRAPH).....	42
5.13 โปรแกรมสำหรับตรวจสอบรอยบกพร่องในท่อแบบอัด โนมัติ (BW2D).....	42
5.14 โปรแกรมสำหรับตรวจสอบรอยบกพร่องในท่อแบบอัด โนมัติ (CL2D).....	43
5.15 โปรแกรมสำหรับตรวจสอบรอยบกพร่องในท่อแบบอัด โนมัติ (CL3D).....	43
ก1 การวางเลย์เอาต์ด้านหน้าของต้นแบบระบบตรวจสอบรอยบกพร่องในท่อโดยใช้กระแส ไหลวน.....	44
ก2 การวางเลย์เอาต์ด้านบนของต้นแบบระบบตรวจสอบรอยบกพร่องในท่อโดยใช้กระแส ไหลวน.....	44
ก3 การวางเลย์เอาต์ด้านหลังของต้นแบบระบบตรวจสอบรอยบกพร่องในท่อโดยใช้กระแส ไหลวน.....	44
ก1 ต้นแบบระบบตรวจสอบรอยบกพร่องในท่อแบบอัด โนมัติ (ด้านหน้า).....	46
ก2 ต้นแบบระบบตรวจสอบรอยบกพร่องในท่อแบบอัด โนมัติ (ด้านข้าง)	46
ก3 ต้นแบบระบบตรวจสอบรอยบกพร่องในท่อแบบอัด โนมัติ (ด้านข้าง)	47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

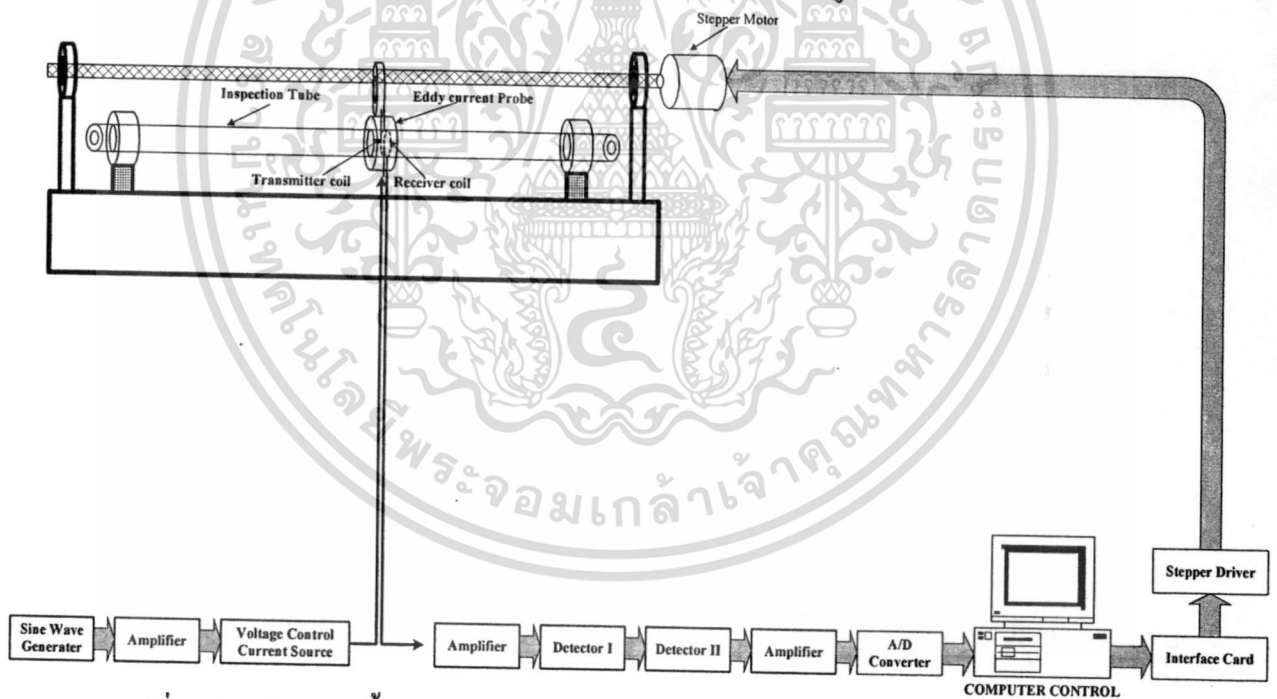
บทที่ 1

บทนำ

ในปัจจุบันได้มีการนำเทคโนโลยีในการตรวจสอบแบบไม่ทำลายมาใช้ในการตรวจสอบวัสดุ อุปกรณ์และผลิตภัณฑ์ต่างๆ ในอุตสาหกรรมอย่างกว้างขวาง ดังนั้นทางผู้วิจัยจึงมีแนวความคิดในการ วิจัยและพัฒนา ระบบตรวจสอบรอยบกพร่องในท่อ โดยใช้กระแสไหลวนขึ้นมา

1.1 หลักการและเหตุผลของโครงการวิจัย

โครงการวิจัยนี้ นำเสนอการออกแบบและสร้างระบบตรวจสอบรอยบกพร่องในท่อแบบ อัตโนมัติที่ควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์ โดยโครงการวิจัยนี้เป็นการพัฒนาต่อยอดงานวิจัยเรื่อง “การพัฒนา ระบบตรวจสอบรอยบกพร่องในท่อโดยใช้กระแสไหลวน” ซึ่งในงานวิจัยเดิมจะใช้การตรวจสอบแบบ แมนนวล(Manual) แต่สำหรับในโครงการวิจัยนี้จะทำการพัฒนาการตรวจสอบให้เป็นแบบอัตโนมัติ โดยการควบคุมและแสดงผลผ่านคอมพิวเตอร์ สำหรับส่วนประกอบทั้งหมดของระบบตรวจสอบรอย บกพร่องในท่อแบบอัตโนมัติที่จะทำการพัฒนาขึ้นมาสามารถแสดงได้ในรูปที่ 1



รูปที่ 1 ส่วนประกอบทั้งหมดของระบบตรวจสอบรอยบกพร่องในท่อแบบอัตโนมัติ

จากรูปที่ 1 ระบบตรวจสอบรอยบกพร่องในท่อแบบอัตโนมัติจะประกอบด้วยหัววัดกระแสไหลวนสำหรับใช้ในการวัดกระแสไหลวนในท่อโลหะที่นำมาทดสอบซึ่งการเคลื่อนที่ของหัววัดจะถูกควบคุมโดยคอมพิวเตอร์ผ่านการ์ดอินเตอร์เฟซ (Interface Card) โดยลักษณะของหัววัดกระแสไหลวน (Eddy Current Probe) ที่ใช้ทดสอบจะประกอบด้วยขดลวดตัวส่ง (Transmitter coil : Tx) และขดลวดตัวรับ (Receiver coil : Rx) เมื่อเราจ่ายแรงดันให้กับขดลวดตัวส่งก็จะเกิดสนามแม่เหล็กขึ้นรอบๆ การคำนวณค่าต่างๆ ที่ได้จากสัญญาณที่ส่งมาและรับมา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขดลวดตัวส่ง สนามแม่เหล็กนี้จะไปเหนี่ยวนำขดลวดตัวรับทำให้เกิดแรงดันค่าหนึ่งขึ้นที่ขดลวดตัวรับ เมื่อเราทำการเคลื่อนหัววัดกระแสไหลวน (ซึ่งประกอบด้วยขดลวดตัวส่งและขดลวดตัวรับ) ผ่านเข้าไปตามท่อโลหะจะทำให้เกิดกระแสไหลวน (Eddy Current) ขึ้นบนท่อโลหะนั้น กระแสไหลวนที่เกิดขึ้นบนท่อโลหะจะสร้างสนามแม่เหล็กขึ้นมาหักล้างกับสนามแม่เหล็กที่เกิดจากขดลวดตัวส่ง ดังนั้นสนามแม่เหล็กที่ไปเหนี่ยวนำกับขดลวดตัวรับจึงลดลง ส่งผลให้แรงดันที่ขดลวดตัวรับมีค่าลดลง แต่หากท่อโลหะที่นำมาทดสอบมีรอยถูกการกัดกร่อนหรือมีรูรั่วอยู่ก็จะส่งผลให้กระแสไหลวนบนท่อโลหะเกิดการลดลงและส่งผลให้สนามแม่เหล็กที่เกิดจากกระแสไหลวนนั้นเกิดการลดลง สนามแม่เหล็กที่ไปเหนี่ยวนำขดลวดตัวรับจึงเกิดเพิ่มขึ้น ดังนั้นแรงดันที่วัดได้จากขดลวดตัวรับจึงเกิดเพิ่มขึ้นตามขนาดของรอยที่ถูกการกัดกร่อนหรือรูรั่วนบนท่อ จากหลักการดังกล่าวมาจะเห็นว่าค่าระดับแรงดันที่ขดลวดตัวรับจะขึ้นอยู่กับขนาดของรอยที่ถูกการกัดกร่อนหรือรูรั่วนบนท่อ โดยค่าระดับแรงดันที่วัดได้จะถูกส่งไปวงจรแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นดิจิตอล (A/D Converter circuit) เพื่อส่งข้อมูลไปยังคอมพิวเตอร์เพื่อทำการคำนวณและแสดงผลการถูกกัดกร่อนของท่อโลหะที่นำมาทดสอบออกมาทางหน้าจอคอมพิวเตอร์

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

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

1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย

พัฒนาต้นแบบระบบตรวจสอบรอยบกพร่องในท่อแบบอัตโนมัติเพื่อนำระบบที่สร้างขึ้นไปใช้ในการตรวจสอบรอยบกพร่องในท่อโลหะต่างๆ

1.4 ระเบียบวิธีวิจัย

เพื่อให้การวิจัยการพัฒนาระบบตรวจสอบรอยบกพร่องในท่อแบบอัตโนมัติสำเร็จรวดเร็วภายในระยะเวลาที่กำหนดประมาณ 12 เดือน จึงขอแบ่งวิธีการวิจัยดังขั้นตอนต่อไปนี้

1. ศึกษาข้อมูลทั่วไปของระบบตรวจสอบรอยบกพร่องในท่อแบบอัตโนมัติ
2. ศึกษาข้อมูลและวิธีการออกแบบหัววัดกระแสไหลวน (Eddy Current Probe)
3. ออกแบบและสร้างระบบตรวจสอบรอยบกพร่องในท่อแบบอัตโนมัติ
4. ทดสอบระบบตรวจสอบรอยบกพร่องในท่อแบบอัตโนมัติที่ได้ทำการสร้างขึ้นมา
5. ปรับปรุงคุณภาพของระบบตรวจสอบรอยบกพร่องในท่อแบบอัตโนมัติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. สร้างต้นแบบระบบตรวจสอบรอยบกพร่องในท่อแบบอัตโนมัติ

7. สรุปผลและเขียนรายงานฉบับสมบูรณ์

1.5 แผนการดำเนินงานโครงการวิจัย (ให้ระบุขั้นตอนอย่างละเอียด)

ขั้นตอนการดำเนินงาน	ช่วงระยะเวลาการดำเนินงาน(งบประมาณปี 2554)												หมายเหตุ
	ตค.	พย.	ธค.	มค.	กพ.	มีค.	เมย.	พค.	มิย.	กค.	สค.	กย.	
1. ศึกษาข้อมูลทั่วไปของระบบตรวจสอบรอยบกพร่องในท่อแบบอัตโนมัติ	←→												
2.ศึกษาข้อมูลและวิธีการออกแบบหัววัดกระแสไหลวน (Eddy Current Probe)	←→												
3.ออกแบบและสร้างระบบตรวจสอบรอยบกพร่องในท่อแบบอัตโนมัติ	←→												
4.ทดสอบระบบตรวจสอบรอยบกพร่องในท่อแบบอัตโนมัติที่ได้ทำการสร้างขึ้น					←→								
5. ปรับปรุงคุณภาพของระบบตรวจสอบรอยบกพร่องในท่อแบบอัตโนมัติ							←→						
6.สร้างต้นแบบระบบตรวจสอบรอยบกพร่องในท่อแบบอัตโนมัติ								←→					
7.สรุปผลและเขียนรายงานฉบับสมบูรณ์											←→		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

การทดสอบแบบไม่ทำลาย

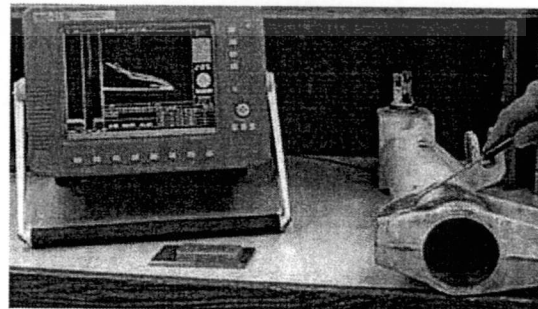
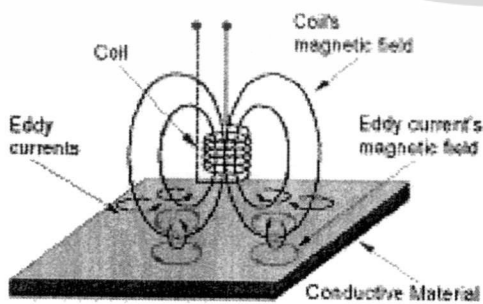
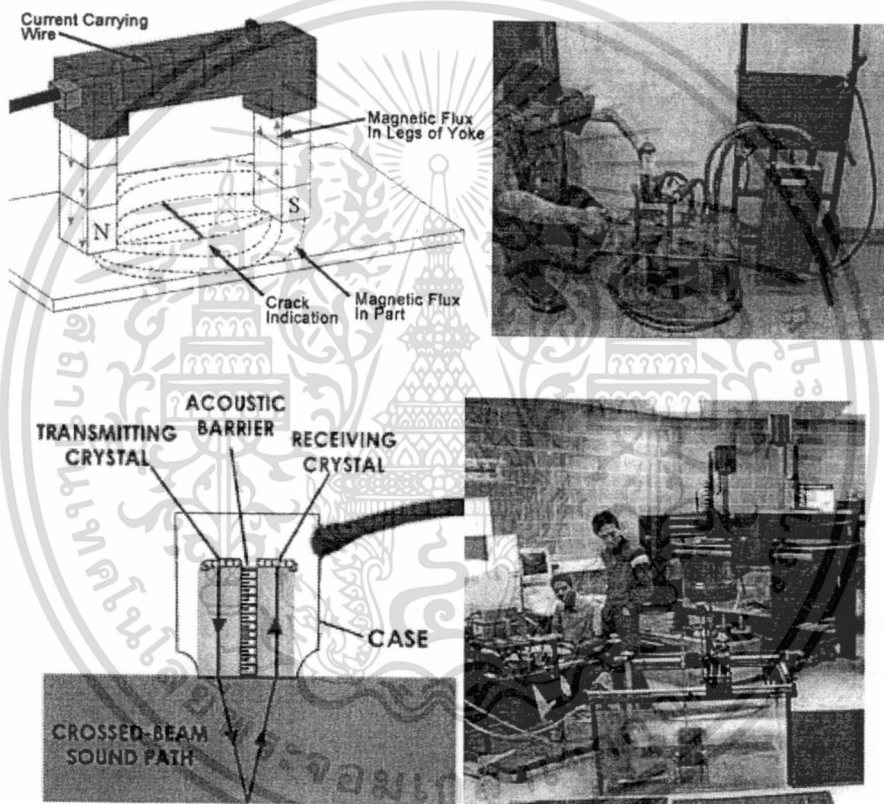
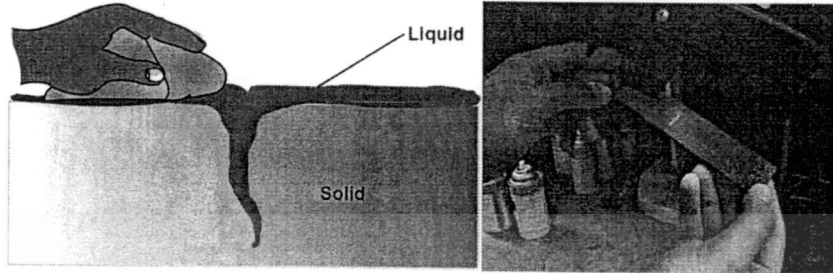
ในการตรวจสอบรอยบกพร่องภายในของวัสดุ อุปกรณ์ หรือ โครงสร้างต่างๆ ว่ามีอยู่หรือไม่นั้น การทำให้แตกหักแล้วพินิจดูด้วยตาเป็นวิธีที่ถูกต้องแน่นอนที่สุด ยิ่งไปกว่านั้นการวัดระดับความแข็งแรงของวัสดุ อุปกรณ์ และ โครงสร้าง โดยใช้การทดสอบเชิงกล (ส่วนใหญ่เป็นการทดสอบแบบทำลาย) แต่เนื่องจากการทดสอบแบบทำลายนั้น จะทำให้วัสดุ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

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 รังสี คลื่นอัลตราโซนิก(Ultrasonic) ไฟฟ้า หรือสนามแม่เหล็กซึ่งจะเปลี่ยนแปลงไปตามความผิดปกติของโครงสร้างภายใน หรือรอยบกพร่องที่มีอยู่แล้ว ใช้การทดสอบแบบไม่ทำลายวัดลักษณะสมบัติทางฟิสิกส์เหล่านี้ เพื่อประเมินความผิดปกติของโครงสร้างภายใน หรือรอยบกพร่องที่มีอยู่ได้

ในวิธีการทดสอบนั้นไม่จำเป็นต้องใช้อุปกรณ์ทดสอบเลยก็ได้ วิธีที่เร็วที่สุด ประหยัดที่สุด และยังมีประสิทธิภาพมากที่สุดคือการตรวจสอบด้วยสายตาเป็นขั้นเริ่มแรก จากนั้นก็มี การตรวจสอบรอยบกพร่องโดยใช้อัลตราโซนิก, การตรวจสอบรอยบกพร่องด้วยผงแม่เหล็ก, การตรวจสอบรอยบกพร่องโดยใช้รังสี และการตรวจสอบโดยใช้สนามแม่เหล็กไฟฟ้า (การตรวจสอบรอยบกพร่องด้วยกระแสไฟฟ้า) ซึ่งเป็นการใช้อุปกรณ์ต่างๆเข้ามาช่วยดังตัวอย่างในรูปที่ 2.1

จากที่กล่าวมาข้างต้น การทดสอบแบบไม่ทำลายนั้นใช้แทนการทดสอบแบบทำลายได้ แต่ไม่ได้หมายความว่าเมื่อทำการทดสอบแบบไม่ทำลายได้แล้ว การทดสอบแบบทำลายจะกลายเป็นสิ่งที่ไม่จำเป็นไป การทดสอบนั้นเป็นการใช้ลักษณะสมบัติทางฟิสิกส์ของชิ้นงานทดสอบในการประเมินระดับของรอยบกพร่อง หรือความแข็งแรง ทว่า ข้อมูลของการทดสอบแบบทำลายก็เป็นส่วนประกอบที่จำเป็นเช่นกัน ตัวอย่างเช่น การเชื่อมแผ่นเหล็กทดสอบโดยวิธีการเดียวกับการเชื่อม โครงสร้างของสิ่งก่อสร้าง 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 การทดสอบแบบไม่ทำลายเพื่อตรวจสอบรอยบกพร่องบริเวณผิว

1. การทดสอบโดยการตรวจพินิจ (Visual Testing)

ตามทฤษฎีแล้วจะใช้สายตาดู ในกรณีที่จำเป็นจะใช้แว่นขยาย, ไม้บรรทัดเว้า (Convex ruler), เกจชนิดพิเศษต่างๆ เพื่อวัดขนาดของรอยแตก รอยเหลื่อม (Overlapped) หลุมบ่อต่างๆ ความสูงของตะเข็บเชื่อมและการเชื่อมกินเนื้องาน (Undercut) เป็นต้น

2. การทดสอบโดยใช้ผงแม่เหล็ก (Magnetic Particle Testing)

สามารถใช้ตรวจสอบรอยบกพร่องบริเวณผิวหรือภายใต้ผิวได้ แต่สามารถใช้กับชิ้นงานทดสอบที่มีสภาพเป็นแม่เหล็กสูง

3. การทดสอบโดยใช้การซึมของของเหลว (Liquid Penetrant Testing)

ใช้ตรวจสอบรอยบกพร่องบริเวณผิวพื้นเท่านั้น ใช้กับวัสดุที่เป็นโลหะ และอโลหะ โดยทั่วไป

4. การทดสอบโดยกระแสไหลวน (Eddy Current Testing)

ใช้ตรวจสอบหารอยขีดข่วนที่ผิววัสดุที่เป็นตัวนำไฟฟ้าโดยไม่ต้องสัมผัส สามารถตรวจสอบได้อย่างรวดเร็ว ใช้ในการตรวจสอบรอยแตกของแท่งหรือท่อโดยอัตโนมัติ

2.2.2 การทดสอบโดยไม่ทำลายเพื่อหารอยบกพร่องภายใน

1. การทดสอบโดยใช้รังสี (Radiographic Testing)

เหมาะสำหรับใช้ตรวจสอบรอยบกพร่องที่อยู่ลึกเข้าไปตามแนวรังสี โดยใช้รังสีช่วยในการตรวจหา นอกจากนี้ยังใช้ตรวจสอบรอยบกพร่อง และรูปร่างที่ไม่ดี ทว่า ผิวที่มีการเคลือบหรือรอยแตกที่เอียงทำมุมนั้นไม่สามารถตรวจสอบได้

2. การทดสอบโดยใช้คลื่นอัลตราโซนิก(Ultrasonic)

การตรวจสอบรอยแตกที่แผ่เป็นแผ่นด้วยคลื่นอัลตราโซนิกทำได้ดีกว่าการตรวจสอบด้วยรังสี ทว่าเพื่อให้การตรวจสอบทำได้ดีจำเป็นจะต้องเลือกให้การสะท้อนคลื่นนั้นตั้งฉากกับระนาบของรอยแตก และในกรณีของรอยบกร่องพวกโพรงอากาศ(Blow hole) หรือที่มีรูปร่างเป็นทรงกลมจะตรวจพบได้ยาก

2.2.3. การทดสอบแบบไม่ทำลายแบบอื่นๆ

1. การวัดความเครียด(Strain Measurement)

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

$$E = \sigma/\epsilon$$

(2.1)

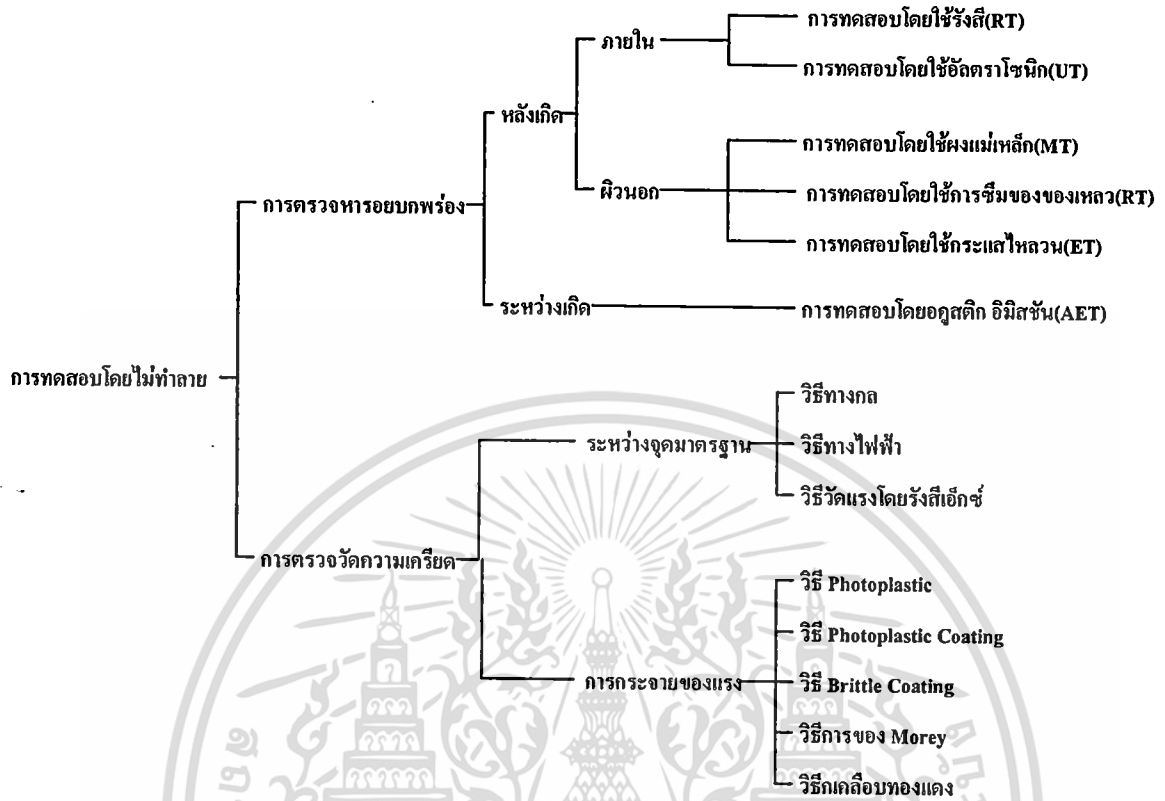
เมื่อ E = ยังก์มอดูลัส (Young Modulus)

σ = แรงเค้นหรือแรงกระทำ (Stress หรือ Load)

ϵ = ความเครียด(Strain)

2. การทดสอบโดยไม่ทำลายแบบอื่นๆ

การทดสอบบริเวณรอยเชื่อม หรือส่วนอื่นๆ มีการใช้การตรวจสอบด้วยรังสีอินฟราเรด (Infrared Testing) หรือโดยใช้อุปกรณ์อิมิสชัน(Acoustic Emission Testing : AET) ปัจจุบันได้มีการวิจัยเพื่อประยุกต์ใช้วิธีการดังกล่าวในการตรวจสอบ สำหรับอุปกรณ์ที่รับแรงกดตันหรือท่อส่งมวลสารต่างๆ จะใช้การทดสอบแรงดัน(Hydrostatic Test) การทดสอบการรั่วซึม(Leakage Test) สำหรับพวกแท่งน้ำก็ใช้การทดสอบแรงดันของน้ำในการตรวจสอบ

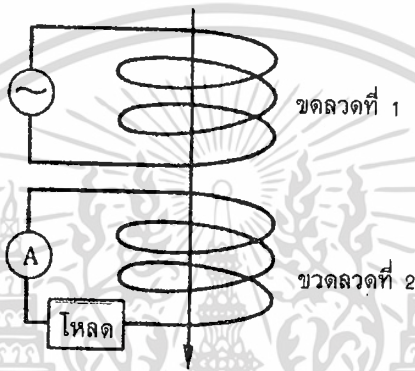


รูปที่ 2.2 ชนิดของการทดสอบแบบไม่ทำลาย

บทที่ 3

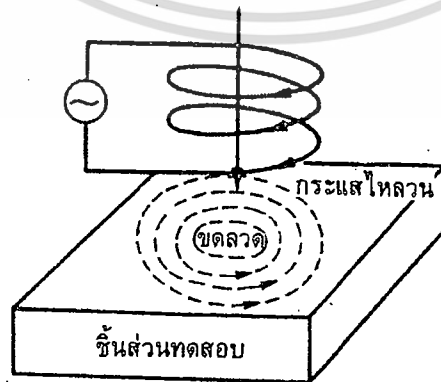
การทดสอบโดยวิธีใช้กระแสไหลวน (Eddy Current Testing)

การทดสอบโดยวิธีใช้กระแสไหลวนเป็นการทดสอบแบบไม่ทำลาย[1-6]วิธีหนึ่งที่ได้รับการนิยมน้อย่างมาก โดยเฉพาะการทดสอบแผ่นโลหะที่มีความหนาไม่มากนัก สำหรับหลักการทำงานเบื้องต้นสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.1



รูป 3.1 ปรากฏการณ์การเกิดการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้า

จากรูปที่ 3.1 เมื่อให้กระแสไฟสลับไหลผ่านขดลวด 1 แล้วนำเข้าไปใกล้ขดลวดที่ 2 ก็จะมีปรากฏการณ์เหนี่ยวนำทางแม่เหล็กไฟฟ้า ทำให้เกิดศักดาไฟฟ้าคร่อมขดลวดที่ 2 และมีกระแสไฟสลับไหลในวงจรไฟฟ้านั้นในลักษณะที่คล้ายคลึงกันในรูปแบบที่ 3.2 เมื่อนำขดลวดที่มีกระแสไฟสลับไหลเข้าไปใกล้ชิ้นส่วนทดสอบที่มีคุณสมบัติเป็นตัวนำไฟฟ้า ก็จะเกิดการเหนี่ยวนำทางแม่เหล็กไฟฟ้า ทำให้เกิดกระแสไหลวนรอบ ๆ ชิ้นส่วนทดสอบ



รูป 3.2 ลักษณะการเกิดกระแสไหลวน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในหน่วยงานเท่านั้น อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

3.1 ชนิดของการทดสอบโดยวิธีเหนี่ยวนำไฟฟ้า

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

3.1.1 การตรวจหารอยร้าว (Magnetic Flaw Detector)

รอยร้าวตลอดจนรอยบกพร่องอื่น ๆ จะเป็นตัวขัดขวางการไหลของกระแสมีผลกระทบต่อ การกระจายของกระแสไหลวน ตลอดจนขนาดของกระแสไหลวนด้วย การทดลองตรวจสอบจึงเป็นการหาเพื่อแสดงลักษณะของรอยบกพร่อง ซึ่งจากกรรมวิธีในการตรวจหารอยบกพร่องนี้ได้นำมาใช้ในการตรวจสอบสินค้า ตรวจสอบชิ้นงานระหว่างผลิต ตลอดจนตรวจสอบเพื่องานซ่อมบำรุง นอกจากนี้จะต้องมีการเลือกอุปกรณ์ วิธีการและลักษณะขดลวดทดสอบให้เหมาะกับขนาดและรูปร่างของชิ้นส่วนทดสอบด้วย

(ก) การตรวจสอบชิ้นงาน หรือผลิตภัณฑ์

เหล็ก, ท่อที่ทำจากเหล็ก หรือเหล็กกล้า และวัสดุที่ไม่ใช่เหล็ก ผลิตภัณฑ์ที่มีรูปร่างเป็นแท่ง ตลอดจนเส้นลวดนั้น ลักษณะของผลิตภัณฑ์ดังกล่าวสามารถจัดให้มีการตรวจสอบชิ้นงาน

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ได้ทุกชิ้นที่กำลังผลิตอยู่ โดยใช้ดูว่ามีรอยบกพร่องบริเวณผิวหรือใกล้ ๆ กับผิวหรือไม่ (ใช้ดูผิวในผิวนอกหรือบริเวณเนื้อในของท่อที่ไม่หนามากนัก) โดยทั่วไปใช้วิธีให้ชิ้นงานผ่านขวดรด วิธีจะตรวจเห็นขนาดของรอยบกพร่องเป็นสัดส่วนสัมพันธ์กับขนาดของชิ้นงาน สำหรับรอยบกพร่องที่มีขนาดเล็กเทียบกับชิ้นงานที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางใหญ่ ในปัจจุบันใช้โพรบที่หมุนได้รอบ ซึ่งแม้ว่าถ้าเทียบความละเอียดในการตรวจหารอยบกพร่องแล้วแบบโพรบดีกว่าแบบขวดรดก็จริง แต่การทำงานช้ากว่า นอกจากนี้ยังได้มีการกำหนดเงื่อนไขในการทดสอบ ตลอดจนค่าความละเอียด โดยใช้ชิ้นส่วนที่มีรอยบกพร่อง ที่ทำขึ้นเทียบกับขนาดของชิ้นงานทดสอบ

(ข) การตรวจสอบในกระบวนการผลิต (Intermediate Inspection)

ใช้ในการตรวจสอบผลิตภัณฑ์ที่อยู่ในกระบวนการผลิต ซึ่งก็เหมือนกับการตรวจผลิตภัณฑ์สำเร็จเป็นการตรวจชิ้นงานที่มีลักษณะเป็นท่อหรือแท่งต่างๆ เพื่อให้พบจุดบกพร่องได้เร็วเพื่อใช้ในการควบคุมขั้นตอนการแปรรูป โดยทั่ว ๆ ไปแล้ว ผลการวัดมักแจ้งเป็นสัญญาณทางไฟฟ้า เพื่อป้อนข้อมูลกลับ (Feed Back) ได้อย่างรวดเร็ว วิธีนี้มักใช้ประกอบกับการตรวจผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปเพื่อควบคุมคุณภาพ

(ค) การตรวจเพื่อการบำรุงรักษา

ในโรงงานเคมี หรือโรงกลั่นน้ำมัน ชิ้นส่วนพวกท่อตลอดจนชิ้นส่วนท่อขนาดเล็ก ๆ ในระบบแลกเปลี่ยนความร้อน (Heat Exchanger) จำเป็นต้องมีการตรวจสอบเป็นระยะ การตรวจสอบชิ้นส่วนของเครื่องยนต์ในเครื่องบินก็เช่นกัน การตรวจสอบภายในท่อนั้นใช้ขวดรดสอดเข้าด้านในของท่อ ส่วนการตรวจสอบชิ้นส่วนของเครื่องจักร มักใช้โพรบเป็นส่วนใหญ่

3.1.2 การตรวจสอบวัสดุเพื่อคัดแยกหาวัสดุที่ต่างชนิดกัน

การใช้วิธีการเหนี่ยวนำทางแม่เหล็กไฟฟ้าตรวจสอบวัสดุ สำหรับการตรวจสอบส่วนผสม (Components) ของวัสดุประเภทโลหะนั้นใช้คุณสมบัติความเป็นตัวนำไฟฟ้า (หรือความต้านทานไฟฟ้า) ที่แปรเปลี่ยนหลังจากการจัดการทางความร้อน (Heat Treatment) นอกจากนี้ยังใช้การดูค่าความซึมซาบได้ทางแม่เหล็กที่แปรเปลี่ยนอีกด้วย

ส่วนวัสดุประเภทที่ไม่เป็นสารแม่เหล็ก เช่น สารประเภท ทองแดง,อลูมิเนียม ใช้การวัดค่าตัวนำไฟฟ้าถ้าเป็นสารพวกเหล็ก มักใช้ค่าแตกต่างของความซึมซาบได้ทางแม่เหล็ก ตลอดจนลักษณะแตกต่างของฮิสเตอร์ิซิสแม่เหล็ก การใช้การเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้านั้น เนื่องจากกระแสไหลวนเกิดขึ้นที่ผิวจึงต้องระมัดระวังผลกระทบจากคุณสมบัติทางแม่เหล็กไฟฟ้าของผิวนอกของวัสดุด้วย

นอกจากนี้ ยังใช้วิธีการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้าเพื่อตรวจหาสาร โลหะในเนื้อของสารอโลหะได้อีกด้วย

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)	ขดลวดแบบขดวงกลมกลวง(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	ความหนาของชั้นของสารอโลหะบนผิวของโลหะ
	ค่าเปลี่ยนของความหนาของชั้นฟิล์ม		ความหนาของโลหะ
การตรวจวัดระยะและรูปร่าง	ระยะ, รูปร่าง, ขนาด	โพรบคอยล์	โลหะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 ลักษณะพิเศษของการตรวจสอบโดยใช้ความเหนี่ยวนำทางแม่เหล็กไฟฟ้า

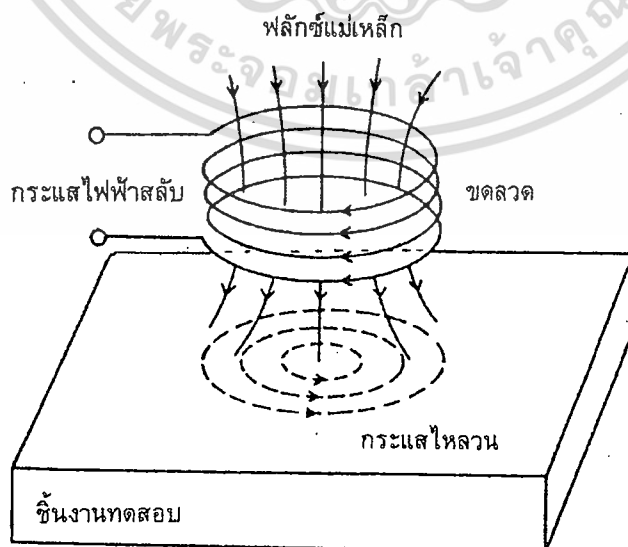
จุดเด่นหรือลักษณะพิเศษของการตรวจสอบโดยใช้ความเหนี่ยวนำไฟฟ้าที่แตกต่างจากการตรวจสอบแบบไม่ทำลายแบบอื่น ๆ มีดังนี้

- (1) ของที่มีลักษณะท่อ เส้น ท่อนกลม จะสามารถตรวจได้อย่างรวดเร็วและทำการตรวจทุกชิ้น โดยเครื่องอัตโนมัติได้
- (2) สามารถตรวจวัด แม้ในที่อุณหภูมิสูง ชิ้นงานเส้นเล็ก ๆ หรือภายในรู ซึ่งการตรวจสอบด้วยวิธีอื่นทำแทบไม่ได้
- (3) ค่าที่วัดได้สามารถรับเป็นสัญญาณไฟฟ้าได้ ทำให้สามารถนำมาใช้ในการประมวลขนาดรอยบกพร่อง,และนำไปใช้ในการควบคุมการผลิตได้ง่าย
- (4) การตรวจหารอยร้าว ตลอดจนตรวจเนื้อวัสดุ สามารถให้ข้อมูลจำนวนมากในเวลาเดียวกันได้
- (5) สามารถเก็บรักษาข้อมูลไว้ได้ ทำให้มีประโยชน์ต่อการตรวจสอบเพื่อการบำรุงรักษาสำหรับจุดด้อย หรือข้อเสียของการตรวจวัดโดยวิธีใช้การเหนี่ยวนำทางแม่เหล็กไฟฟ้าก็มีดังนี้

- (1) การตรวจหาจุดบกพร่องบริเวณผิว ทำได้ผลดีมาก แต่บริเวณที่ลึกลงไปจะตรวจได้ยาก
- (2) ค่าที่วัดได้จะได้รับอิทธิพลจากการสั่นสะเทือน, ชนิดของวัสดุ ขนาดของวัสดุและสัญญาณรบกวน(Noise) อื่น ๆ ได้ง่าย
- (3) การจะตรวจเพื่อแยกแยะชนิด รูปร่าง ขนาดของรอยบกพร่องให้แน่นอนและละเอียดทำได้ยาก
- (4) มีประสิทธิภาพต่ำในการจะตรวจหารอยร้าวทั้งหมดของชิ้นงานที่มีรูปร่างซับซ้อน

3.3 หลักการของกระแสไหลวน

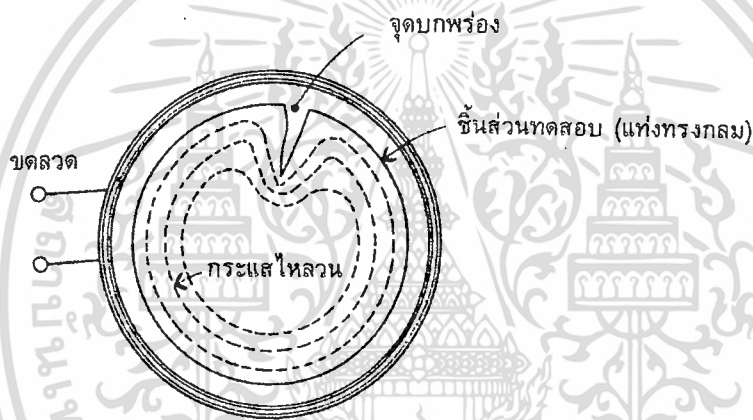
3.3.1 การเกิดกระแสไหลวน



รูปที่ 3.3 การเกิดกระแสไหลวน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในงานเพื่อการศึกษานี้เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.3 เมื่อนำขดลวดที่มีกระแสไฟผ่านเข้าใกล้ชิ้นตัวนำ (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

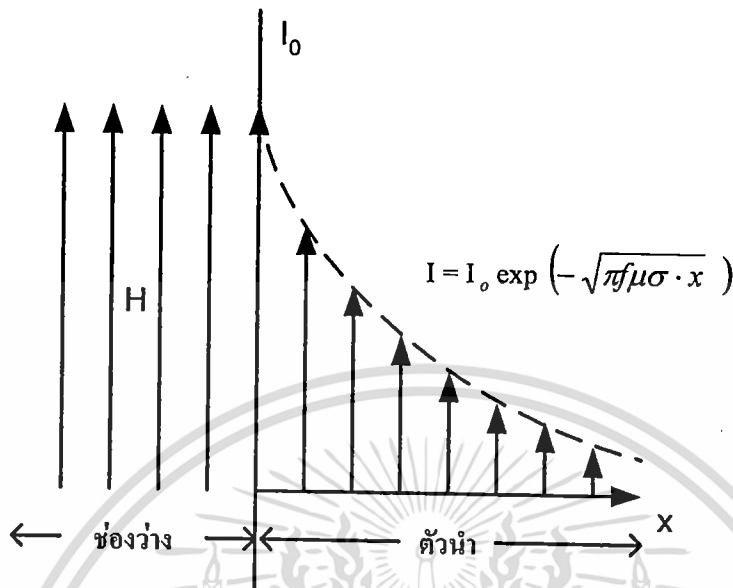
ดังนั้น จากการดูลักษณะการแปรเปลี่ยนการไหลของกระแสไหลวนบนชิ้นส่วนทดสอบก็จะทราบได้ว่ามีรอยบกพร่องบนชิ้นงานหรือไม่

3.3.2 ปรากฏการณ์ที่ผิวกับความลึกที่ผ่านเข้า (Skin Effect & Penetration)

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

ในรูปที่ 3.5 ถ้าให้สารตัวนำมีลักษณะกว้างกึ่งไม่รู้จบ และมีสนามแม่เหล็ก H จาก กระแสสลับมากระทำ กระแสไหลวน I ที่เกิดขึ้นจะมีค่าลดลงไปตามสัดส่วนกับระยะทางจากผิว X ด้านการคำนวณว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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



รูปที่ 3.5 ปรางค์การณที่ผิว

ในที่นี้ I_0 เป็น ค่ากระแสไหลวนที่เกิดขึ้นบริเวณผิวหน้าของตัวนำ ($x = 0$)

f เป็น ค่าความถี่ของกระแสสลับ

μ เป็น ค่าความซบซึมได้ทางแม่เหล็ก

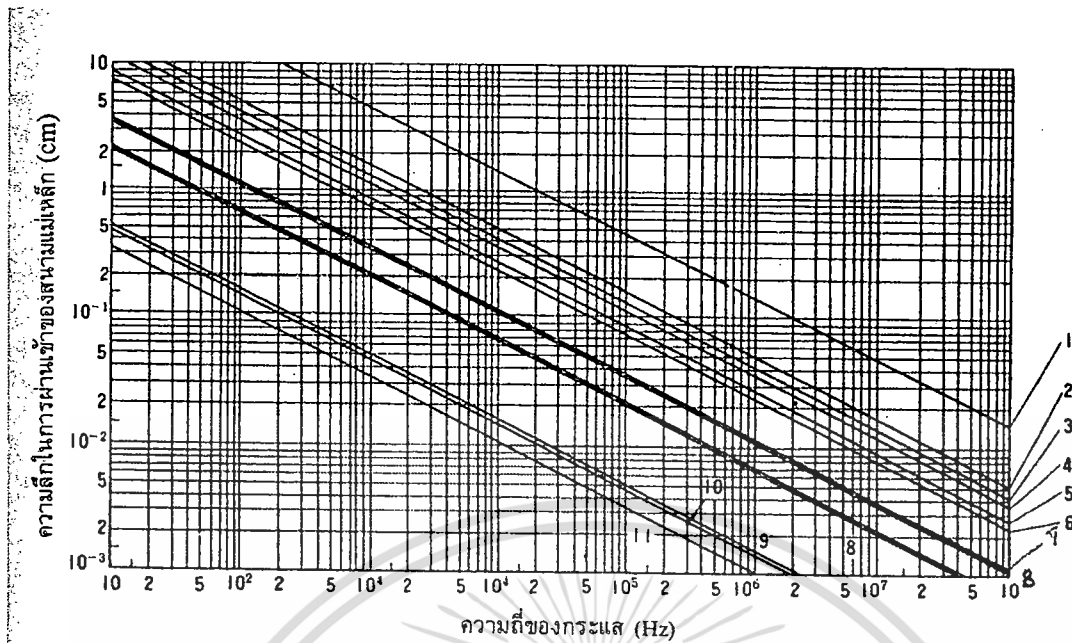
σ เป็น ค่าการนำไฟฟ้า

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 ดังนั้นการใช้การตรวจสอบโดยการเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็กไฟฟ้าจะตรวจหาค่าความลึกให้มากขึ้นไปจากค่าความลึกดังกล่าวเป็นหลาย ๆ เท่ายอมเป็นไปได้ยาก ซึ่งจากสูตรที่ 3.2 จำเป็นจะต้องกำหนดค่าของความถี่เพื่อใช้ในการตรวจให้เหมาะสมกับชนิดของโลหะต่างๆ ด้วย ในรูปที่ 3.6 แสดงค่าความลึกในการผ่านเข้าสนามแม่เหล็กซึ่งแปรเปลี่ยนตามค่าความถี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



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_o (H : Henry) ค่าความถี่ของกระแสสลับคือ f (Hz) จะได้ค่าอิมพีแดนซ์ของขดลวด

$$z_o = R_o + j\omega L_o \quad (\omega = 2\pi f ; j = \sqrt{-1}) \quad (3.4)$$

โดยที่

ค่า ωL_o นี้เรียกว่า ค่ารีแอกแตนซ์

ค่า L_o ของขดลวดชิ้นเดียวหาได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

โดยที่ μ_o (H/m) เป็นค่าความซาบซึมได้ทางแม่เหล็กในสุญญากาศ

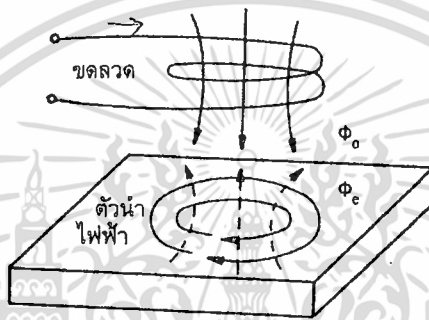
a_o (m) เป็นค่ารัศมีของขดลวด

λ (m) เป็นค่าความยาวของขดลวด

N เป็นค่าจำนวนรอบของขดลวด

K เป็นค่าสัมประสิทธิ์นาगाโอกา (Nagaoka's Coefficient), ซึ่งแปรเปลี่ยนตามค่า

$2a/\lambda$ ตามที่แสดงไว้ในตารางที่ 3.2



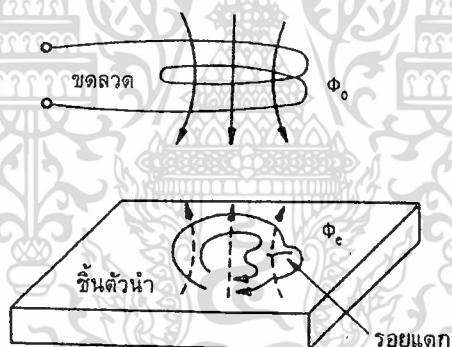
รูปที่ 3.7 ขดลวดที่ใช้ตรวจสอบโดยการเหนี่ยวนำด้วยตัวเอง

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

ตารางที่ 3.2 ค่าสัมประสิทธิ์นังกาโอกา

$\frac{2a}{\lambda}$	K	$\frac{2a}{\lambda}$	K	$\frac{2a}{\lambda}$	K	$\frac{2a}{\lambda}$	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 ผิวของชิ้นงานถ้ามีรอยแตกร้าวที่ไม่ให้เกิดการต่อเนื่องจะทำให้กระแสไหลวนมีลักษณะไม่ต่อเนื่อง ซึ่งสนามแม่เหล็กจากกระแสไหลวนจะเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย ดังนั้นจะทำให้ค่าอิมพีแดนซ์ของขดลวดที่เข้าใกล้ขั้วหน้าแล้วตรวจพบว่าค่าอิมพีแดนซ์แปรเปลี่ยนไป ก็จะหารอยร้าวหรือรอยบกพร่องได้ ซึ่งลักษณะการตรวจสอบโดยหาค่าการเปลี่ยนแปลงของอิมพีแดนซ์ในขดลวดนี้เรียกว่า ขดลวดตรวจสอบแบบเหนี่ยวนำด้วยตนเอง ในการตรวจสอบโดยวิธีการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้านั้น การรู้ค่าการแปรเปลี่ยนของอิมพีแดนซ์สำคัญกว่าการรู้ค่าอิมพีแดนซ์จริงๆ ดังนั้น เวลาคิดค่าอิมพีแดนซ์จึงตัดส่วนค่าความต้านทานกระแสตรง R_0 ของขดลวดซึ่งไม่เกี่ยวข้องกับกระแสไหลวนออก ทำให้ค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อิมพีแดนซ์ของขดลวดเป็น ωL_o ถ้า Z เป็นอิมพีแดนซ์จริง และ Z_o เป็นอิมพีแดนซ์สัมพัทธ์ จะเขียนความสัมพันธ์ได้ดังนี้คือ

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

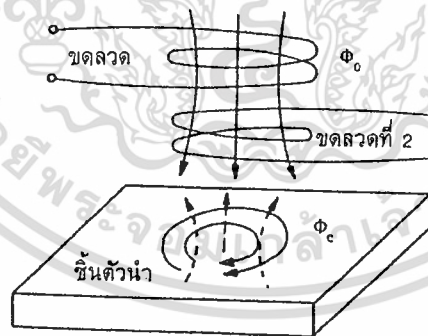
และ

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

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 เข้าใกล้ขึ้นตัวนำกระแสไหลวนบนขึ้นตัวนำจะทำให้ค่าแรงดันไฟฟ้าคร่อมขดลวดที่ 2 แปรเปลี่ยนไป นั่นคือ ถ้าทำการตรวจหาค่าแปรเปลี่ยนแรงดันไฟฟ้าคร่อมขดลวดที่ 2 ได้ ก็จะทำให้รู้ว่าการเปลี่ยนแปลงทางกระแสไหลวน ซึ่งจะใช้วิธีใดก็ตาม ผลทางการตรวจสอบไม่แตกต่างกัน ในวิธีการหาค่าโดยใช้การเหนี่ยวนำไฟฟ้าแบบรวมกันนี้มีจุดดีคือ มีความยืดหยุ่นในการออกแบบขดลวดได้มากกว่า



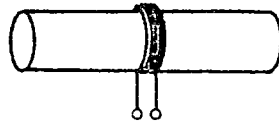
รูปที่ 3.9 ขดลวดตรวจสอบด้วยวิธีการเหนี่ยวนำไฟฟ้าร่วมกัน

3.4 วิธีการตรวจสอบ

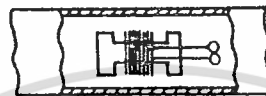
3.4.1 ขดลวดที่ใช้ตรวจสอบและวิธีการ

ขดลวดที่ใช้ในการตรวจสอบนั้น ทำหน้าที่เหนี่ยวนำให้เกิดกระแสไหลวนขึ้นในชิ้นงานทดสอบและตรวจจับการเปลี่ยนแปลงของกระแสไหลวนในชิ้นงานทดสอบนั้น ขดลวดทดสอบจะเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีรูปร่างและขนาดต่าง ๆ กันขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้งาน แต่เมื่อแยกออกไปเป็นประเภทใหญ่ ๆ แล้ว จะได้แสดงดังรูปที่ 3.10 คือขดลวดแบบสวม ขดลวดแบบสอด และขดลวดแบบมีแกนเหล็ก



(ก) ขดลวดแบบสวม



(ข) ขดลวดแบบสอด



(ค) ขดลวดแบบมีแกนเหล็ก

(ง)

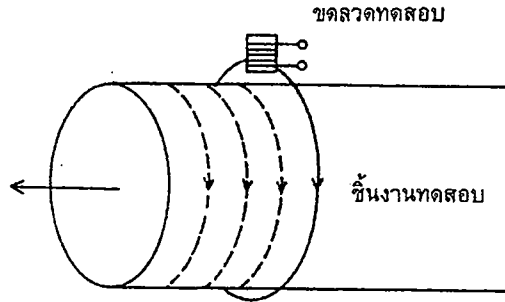
รูปที่ 3.10 ขดลวดทดสอบแบบต่าง ๆ

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

จากรูปที่ 3.10 (ข) เป็นแบบขดลวดสำหรับสอดเข้าไปภายในท่อจะมีรูปแบบขดลวดคล้าย ๆ กับ (ก) ซึ่งใช้ในการบำรุงรักษาในการตรวจหาจุกบกพร่องของผิวภายในท่อ ประเภทอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน (Heat Exchance) หรือท่อถ่ายทอดความร้อน

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

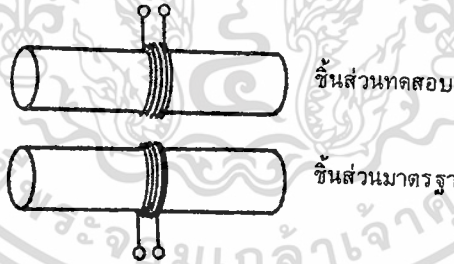


รูปที่ 3.11 การใช้ขดลวดแบบมีแกนเหล็กในลักษณะหมุนรอบท่อ

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



(ก) แบบเหนี่ยวนำด้วยตัวเอง



(ข) แบบเปรียบเทียบกับชิ้นส่วนมาตรฐาน

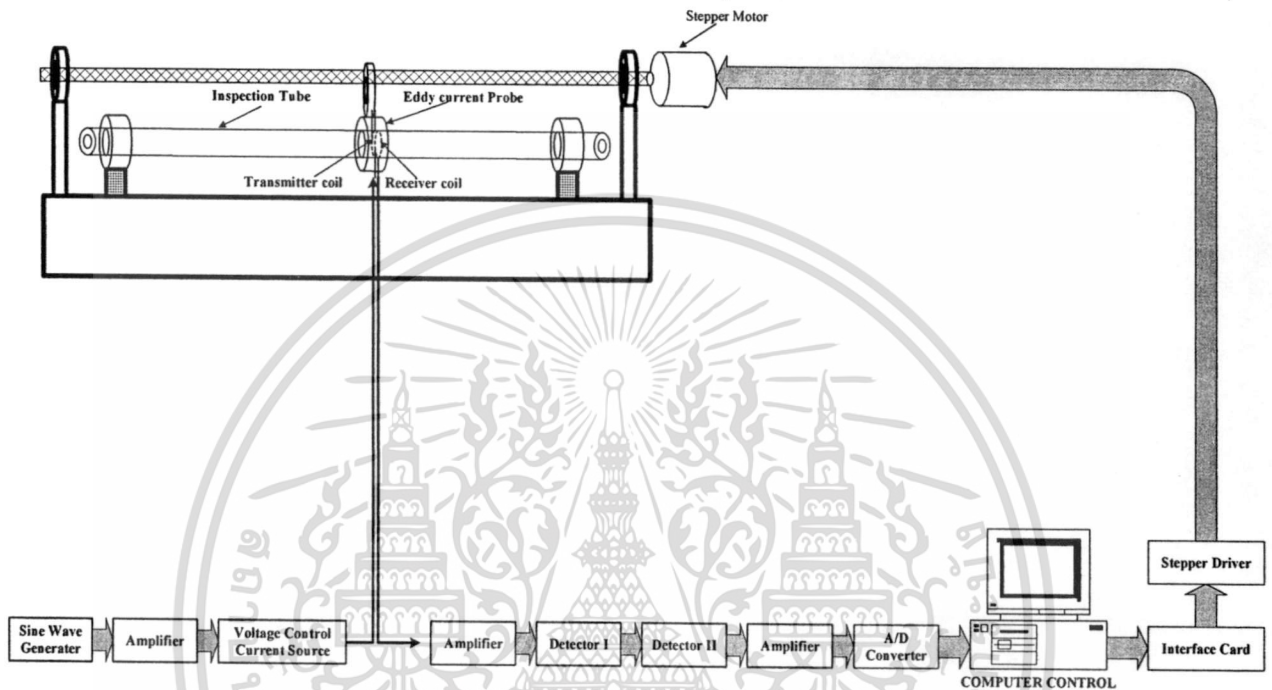
รูปที่ 3.12 แบบของขดลวดทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ระบบตรวจสอบรอยบกพร่องในท่อแบบอัตโนมัติ

สำหรับระบบตรวจสอบรอยบกพร่องในท่อแบบอัตโนมัติที่ได้ทำการออกแบบและพัฒนา
สร้างขึ้นมานี้จะประกอบไปด้วยวงจรย่อยส่วนต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 4.1

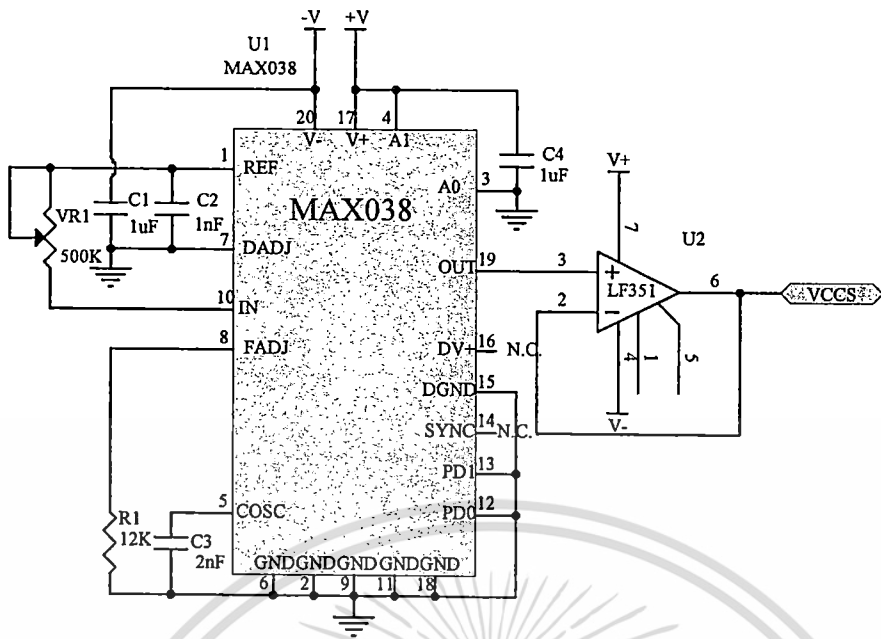


รูปที่ 4.1 ส่วนประกอบของระบบตรวจสอบรอยบกพร่องในท่อแบบอัตโนมัติ

จากรูปที่ 4.1 ระบบตรวจสอบรอยบกพร่องในท่อแบบอัตโนมัติที่พัฒนาขึ้นจะ
ประกอบด้วยวงจรถอนิกส์สำหรับทำหน้าที่ต่างๆ โดยมีรายละเอียดของแต่ละวงจรถังนี้

4.1 วงจรกำเนิดสัญญาณไซน์ (Sine wave Generator Circuit)

วงจรถังนี้เป็นวงจรถังสร้างสัญญาณไซน์ เพื่อป้อนให้กับวงจรถังจ่ายกระแสคังที่ควบคุมด้วย
แรงคัง (Voltage Control Current Source) โดยลักษณะของวงจรถังสร้างสัญญาณไซน์สามารถแสดง
ได้คังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 วงจรกำเนิดสัญญาณไซน์

จากวงจรในรูป 4.2 จะใช้ไอซี MAX 308 ในการกำเนิดความถี่ ไอซี MAX 038 เป็นไอซีกำเนิดสัญญาณความถี่สูง (High-Frequency Waveform Generator) โดยสามารถสร้างสัญญาณความถี่สูงในรูปแบบสัญญาณสามเหลี่ยม (Triangle Wave) สัญญาณฟันเลื่อย (Sawtooth Wave) สัญญาณไซน์ (Sine Wave) และสัญญาณสี่เหลี่ยม (Square Wave) และการกำหนดชนิดของสัญญาณสามารถกำหนดได้โดยขา A0 (ขา13) และ ขา A1 (ขา14) ดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 การเลือกชนิดของสัญญาณเอาต์พุตของ ไอซี MAX 038

A0	A1	ชนิดของสัญญาณ
x	1	สัญญาณไซน์
0	0	สัญญาณสี่เหลี่ยม
1	0	สัญญาณสามเหลี่ยม

ไอซี MAX 038 สามารถผลิตความถี่ได้ในช่วง 0.1 เฮิรต์ ถึง 20 เมกกะเฮิรต์ สำหรับในวงจรดังรูปที่ 4.2 ค่าความถี่ของวงจรควบคุมโดย VR1 และ C3 โดยความถี่ของเอาต์พุตของวงจรสามารถคำนวณจากสมการที่ (4.1)

$$F_o = V_{in} / [R_{in} \times C_F] \quad (4.1)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากวงจรดังรูปที่ 2 $C_F = C_3$, $V_{in} = 5\text{ V}$, $R_{in} = VR_1$ ต้องการความถี่เอาต์พุตสูงสุด 20 กิโลเฮิร์ต \therefore จากสมการที่ (4.1) จะได้

$$20 \times 10^3 = 5 / [VR_1 \times C_3] \quad (4.2)$$

$$VR_1 \times C_3 = 5 / 20 \times 10^3 = 250 \times 10^{-6} \quad (4.3)$$

แต่เนื่องจากค่าตัวชี้ (Datasheet) กำหนด VR_1 ควรอยู่ในช่วง $12.5\text{ K}\Omega$ - $500\text{K}\Omega$ \therefore ที่ความถี่สูงสุดจะต้องปรับ VR_1 ต่ำสุดมาอยู่ที่ $12.5\text{ K}\Omega$ \therefore หาค่า C_3 ได้ดังสมการ (4.4)

$$C_3 = 250 \times 10^{-6} / 12.5 \times 10^3 = 2 \times 10^{-9} = 20\text{ nF} \quad (4.4)$$

เลือก $VR_1 = 500\text{ K}\Omega$ \therefore ความถี่เอาต์พุตของวงจรเมื่อปรับค่า VR_1 สูงสุด $500\text{ K}\Omega$ ได้ดังนี้

$$F_o = 5 / (500 \times 10^3 \times 20 \times 10^{-9}) = 500\text{ Hz} \quad (4.5)$$

\therefore วงจรในรูปที่ 4.2 สามารถผลิตความถี่ 500 เฮิร์ต ถึง 20,000 เฮิร์ต

4.2 วงจรจ่ายกระแสควบคุมด้วยแรงดัน (Voltage Control Current Source)

วงจรจ่ายกระแสควบคุมด้วยแรงดันทำหน้าที่ในการกำหนดกระแสคงที่ที่จะจ่ายให้กับโหลด โดยวงจรจ่ายกระแสที่ใช้ในระบบตรวจสอบรอยบกพร่องในท่อแบบอัตโนมัติสามารถแสดงดังรูปที่ 4.3

โดยการทำงานของวงจรจากรูปที่ 4.3 ซึ่งเป็นวงจรจ่ายกระแสคงที่ควบคุมด้วยแรงดันมีดังนี้ สัญญาณอินพุตซึ่งเป็นสัญญาณไซน์ความถี่ 500-20,000 เฮิร์ต แอมพลิจูด 2 V_{pp} ซึ่งได้จากวงจรผลิตสัญญาณไซน์จะถูกป้อนให้กับ $U1$ ซึ่งต่อเป็นวงจรอินเวอร์ตติ้งแอมป์ โดยมี R_1 , R_2 และ VR_1 เป็นตัวกำหนดเกณฑ์การขยายโดยจากวงจรรูปที่ 4.3 จะปรับอัตราขยายให้เท่ากับ $\approx 1-9$ เท่า เพื่อให้ได้แรงดันที่เอาต์พุตของ $U1$ เท่ากับ $2-18\text{ V}_{pp}$ เพื่อป้อนให้กับ $U2$ ซึ่งต่อเป็นวงจรจ่ายกระแสคงที่ควบคุมด้วยแรงดัน โดยเราสามารถกำหนดค่ากระแสที่จะทำการจ่ายให้กับอิเล็กทรอนิกส์ได้โดยการเปลี่ยนแรงดันอินพุตที่ป้อนให้กับ $U2$ ซึ่งเราสามารถที่จะคำนวณหาค่าแรงดันและกระแสเอาต์พุตของวงจรได้โดยอ้างอิงจากรูปที่ 4.4 โดยจากรูปที่ 4.4 เราจะได้

$$V_{O1} = A(V_{O2} - V_{in}) \quad (4.6)$$

เมื่อให้ ความต้านทานในวงจรมีค่าเท่ากันหมดจะได้

$$A = R/R = 1 \quad (4.7)$$

∴ สมการที่ 4.6 สามารถเขียนได้ดังสมการ (4.8)

$$V_{O1} = (V_{O2} - V_{in}) \quad (4.8)$$

$$-V_{in} = V_{O1} - V_{O2} \quad (4.9)$$

$$V_{in} = V_{O2} - V_{O1} \quad (4.10)$$

$$V_{O2} - V_{O1} = V_{in} \quad (4.11)$$

จากสมการที่ 4.11 ค่าแรงดัน V_{in} ก็คือค่าแรงดันตกคร่อม Rcontrol current ∴ เราสามารถกำหนดค่ากระแสที่จ่ายให้กับโหลดได้ดังสมการที่ (4.12)

$$I_O = V_{O2} - V_{O1} / R_{control \text{ current}} \quad (4.12)$$

$$R_{control \text{ current}} = V_{in} / I_O \quad (4.13)$$

$$V_{in} = R_{control \text{ current}} * I_O \quad (4.14)$$

เมื่อ $R_{control}$ = ค่าความต้านทานสำหรับกำหนดค่ากระแสที่จ่ายให้กับโหลด

V_{in} = ค่าแรงดันอินพุทของวงจรจ่ายกระแสควบคุมด้วยแรงดัน

I_O = ค่ากระแสที่จ่ายให้กับโหลด

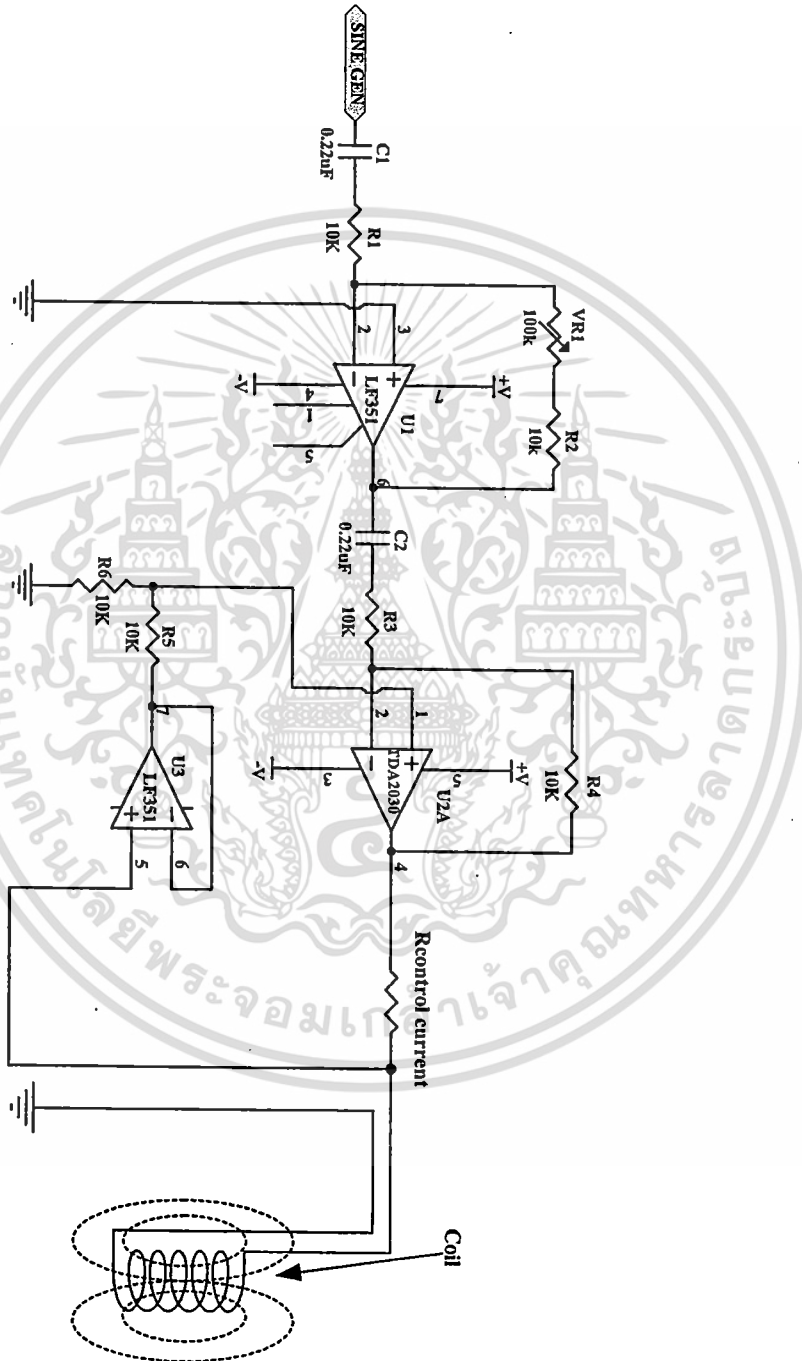
จากสมการที่ (4.14) เราสามารถเปลี่ยนแปลงค่ากระแสเอาต์พุทที่จ่ายให้กับโหลดโดยการปรับค่าแรงดันอินพุทของ U2 โดยเราจะให้ค่าความต้านทานของ Rcontrol current คงที่เท่ากับ 50 โอห์ม ดังนั้นเราสามารถหาค่ากระแสเอาต์พุทที่จ่ายให้กับโหลดได้ดังสมการที่ 4.15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$I_O = V_{in} / R_{\text{control current}} \quad (4.15)$$

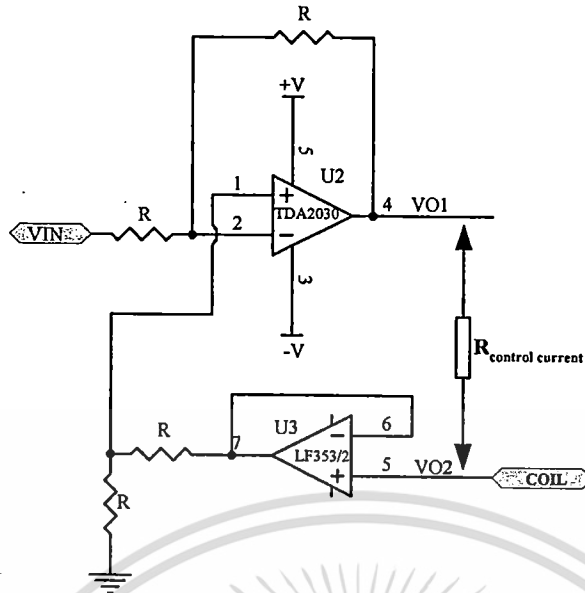
$$I_O = V_{in} / 50 \quad (4.16)$$

จากสมการที่(16) แรงแดันอินพุทของ U2 อยู่ในช่วง 2-18 V_{p-p} ดังนั้นกระแสที่จ่ายให้กับขดลวดจะอยู่ในช่วง 40- 360 mA_{p-p}



รูปที่ 4.3 วงจรจ่ายกระแสที่ใช้ในระบบตรวจสอบรอยบกพร่องในท่อแบบอัตโนมัติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 วงจรจ่ายกระแสควบคุมด้วยแรงดัน

4.3 หัววัดกระแสไหลวน(Eddy Current Probe)

หัววัดกระแสไหลวนสำหรับ โครงการวิจัยนี้จะใช้ ขดลวดโดยขดลวด โดยเราสามารถคำนวณค่าอินดักแตนซ์ (Inductance) ของขดลวดได้จากสมการที่ 1

$$L = \frac{K\mu\sigma a^2 N^2}{l} \quad (4.17)$$

โดยที่ μ = ค่าความซึมซาบได้ทางแม่เหล็ก (H/m)

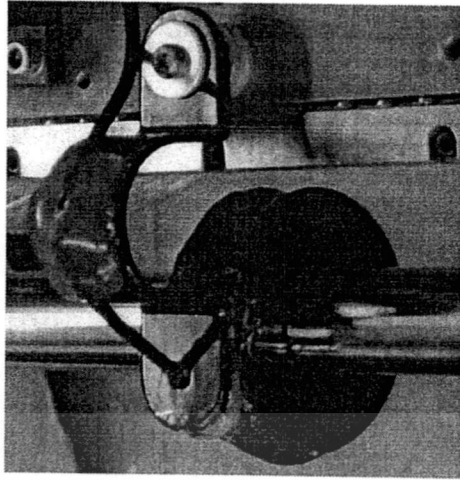
a = ค่ารัศมีของขดลวด (m)

l = ค่าความยาวของขดลวด (m)

N = ค่าจำนวนรอบของขดลวด

K = ค่าสัมประสิทธิ์ในงาโอคา (Nagaoka's coefficient)

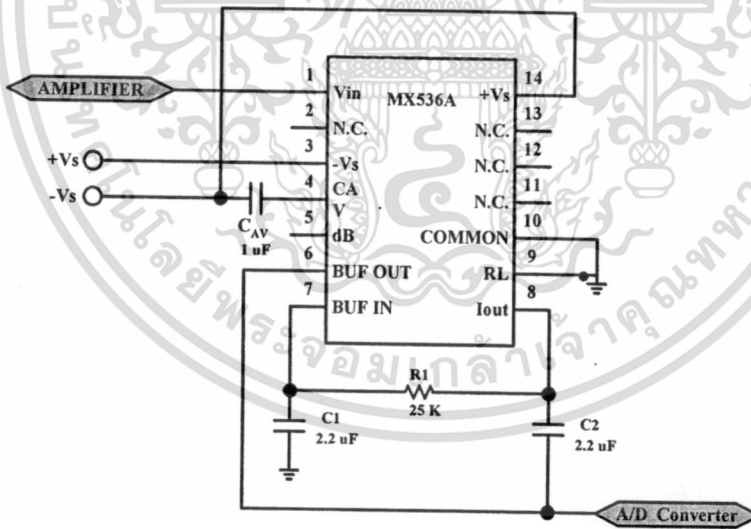
สำหรับหัววัดกระแสไหลวนที่ใช้งานในโครงการวิจัยนี้จะใช้ขดลวดที่มี ค่าอินดักแตนซ์ ประมาณ 15.6 มิลลิเฮนรี่ โดยลักษณะของหัววัดที่ใช้ในงานวิจัยนี้มีลักษณะดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 ลักษณะของหัววัดกระแสไหลวนที่ใช้ในงานวิจัย

4.4 วงจรตรวจจับสัญญาณชุดที่ 1 (Detector Circuit I)

สำหรับวงจร 4 วงจรตรวจจับสัญญาณชุดที่ 1 จะทำหน้าที่ในการแปลงสัญญาณอาร์เอ็มเอสเป็นดีซี โดยในระบบนี้จะใช้ไอซีสำเร็จรูปของบริษัท MAXIM เบอร์ MX536A ซึ่งรองรับแรงดันอินพุตได้ในช่วง $0 - 7 V_{RMS}$ สำหรับลักษณะของวงจรตรวจจับสัญญาณชุดที่ 1 โดย MX536A จะมีลักษณะดังรูปที่ 4.6



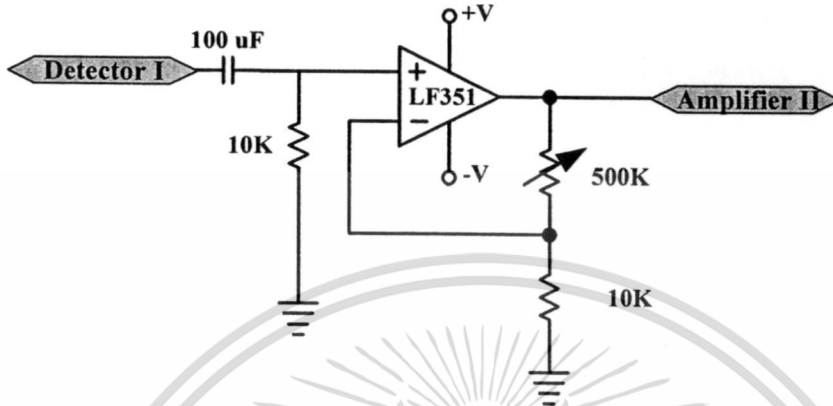
รูปที่ 4.6 วงจรตรวจจับสัญญาณชุดที่ 1

เอาท์พุทจากวงจรตรวจจับสัญญาณชุดที่ 1 จะถูกส่งไปยังวงจรก่อนที่จะถูกส่งไปยังวงจรตรวจจับสัญญาณชุดที่ 2 ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 วงจรตรวจจับสัญญาณชุดที่ 2 (Detector Circuit II)

สำหรับวงจรตรวจจับสัญญาณชุดที่ 2 จะใช้ในการตรวจจับการเปลี่ยนแปลงของระดับสัญญาณดีซีจากวงจรตรวจจับสัญญาณชุดที่ 1 โดยจะใช้วงจรกรองความถี่สูง (High Pass Filter) โดยมีความถี่คutoff ประมาณ 159 มิลลิเฮิร์ต โดยลักษณะของวงจรสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.7

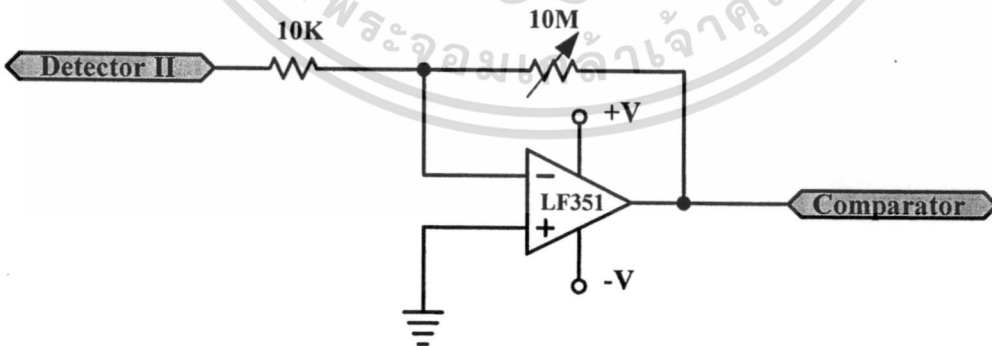


รูปที่ 4.7 วงจรตรวจจับสัญญาณชุดที่ 2

เอาต์พุตที่ได้จากวงจรตรวจจับสัญญาณชุดที่ 2 จะถูกส่งไปขยายโดยวงจรขยายสัญญาณต่อไป

4.6 วงจรขยายสัญญาณ (Amplifier circuit)

สำหรับวงจรขยายสัญญาณชุดที่ 2 จะทำหน้าที่ขยายสัญญาณจากวงจรตรวจจับสัญญาณชุดที่ 2 เพื่อส่งไปให้วงจรเปรียบเทียบแรงดัน โดยวงจรจะมีลักษณะดังรูปที่ 4.8



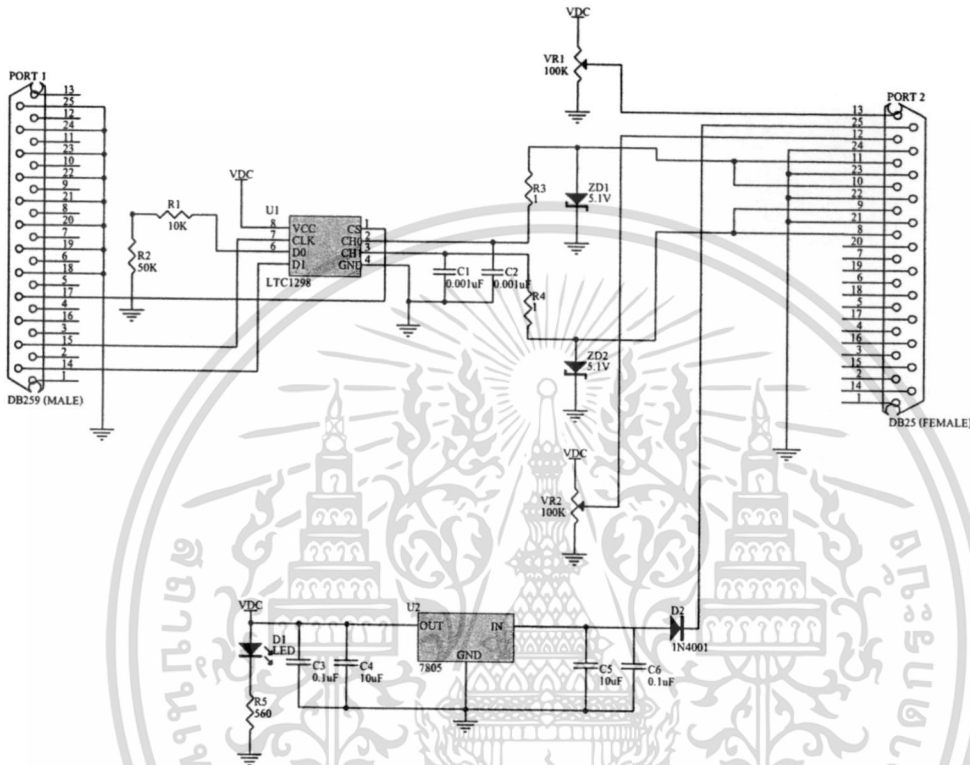
รูปที่ 4.8 วงจรแอมพลิไฟเออร์

เอาต์พุตที่ได้จากวงจรขยายสัญญาณจะถูกส่งไปยังวงจรเปรียบเทียบแรงดันต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.7 วงจรแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัล (A TO D Converter)

สำหรับวงจรแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัลจะใช้บอร์ดของบริษัท ETT รุ่น ET-AD12 ซึ่งเป็นบอร์ดแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัลขนาด 12 บิต ใช้เชื่อมต่อกับเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ทางพอร์ตเครื่องพิมพ์ (Printer Port) โดยมีลักษณะและคุณสมบัติของวงจร ดังรูปที่ 4.9 และตารางที่ 4.2



รูปที่ 4.9 วงจรภายในของบอร์ดแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัลรุ่น ET-AD12

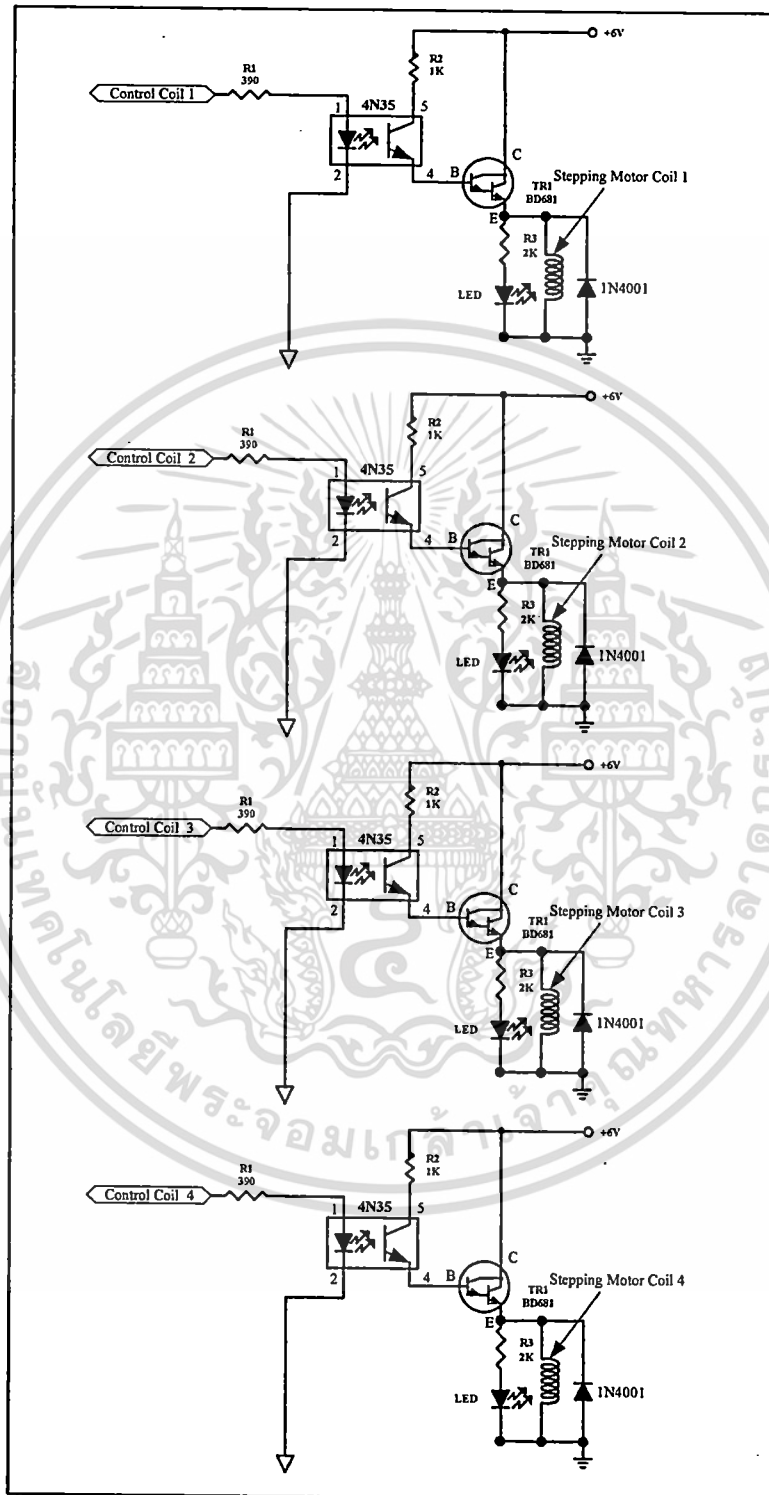
ตารางที่ 4.2 คุณสมบัติของบอร์ดแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัลรุ่น ET-AD12

คุณสมบัติของของบอร์ด ET-AD12	
CONVERSION TIME	60 μ S
SAMPLING RATE	11.1 KHz
INPUT CHANNEL	2 CHANNEL
GAIN ERROR	+/- 2 LSB
ANALOG INPUT RANGE	-0.05 V TO +5.05 V
+VCC SUPPLY	+9 VDC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.8 วงจรขับสเต็ปปีงมอเตอร์ (Stepping motor driver circuit)

สำหรับวงจรขับสเต็ปปีงมอเตอร์สำหรับควบคุมการเลื่อนหัววัดกระแสไหลวนในการวัดที่ใช้ในโครงการวิจัยนี้สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.10

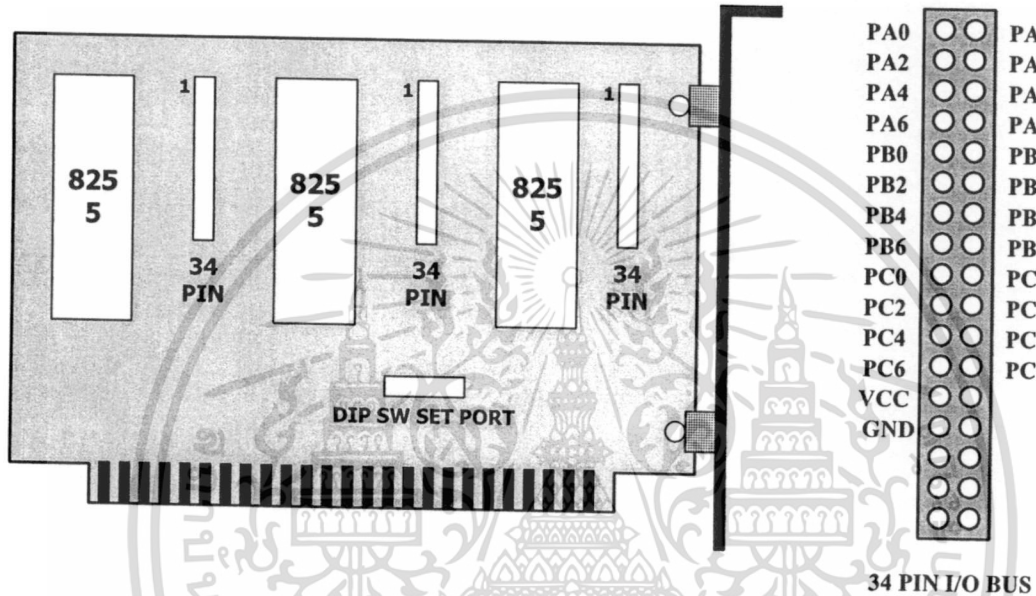


รูปที่ 4.10 วงจรขับสเต็ปปีงมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.9 การ์ดอินเทอร์เฟซ (Interface Card)

การ์ดอินเทอร์เฟซทำหน้าที่ส่งสัญญาณควบคุมจากคอมพิวเตอร์ไปควบคุมวงจรมัลติเพล็กซ์เซอร์ โดยการ์ดอินเทอร์เฟซที่ใช้เป็นของบริษัท ETT รุ่น ET-8255 ซึ่งเป็นการต่อขยายระบบเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ให้มีส่วนของอินพุทพอร์ทและเอาต์พุทพอร์ทเพิ่มมากขึ้น โดยในส่วนของการ์ดอินเทอร์เฟซนี้จะมีพอร์ทให้ใช้งานจำนวน 9 พอร์ท หรือ 72 บิต (1 พอร์ทมี 8 บิต) ซึ่งลักษณะและคุณสมบัติของการ์ด ET-8255 สามารถแสดงดังรูปที่ 4.11 และตารางที่ 4.3

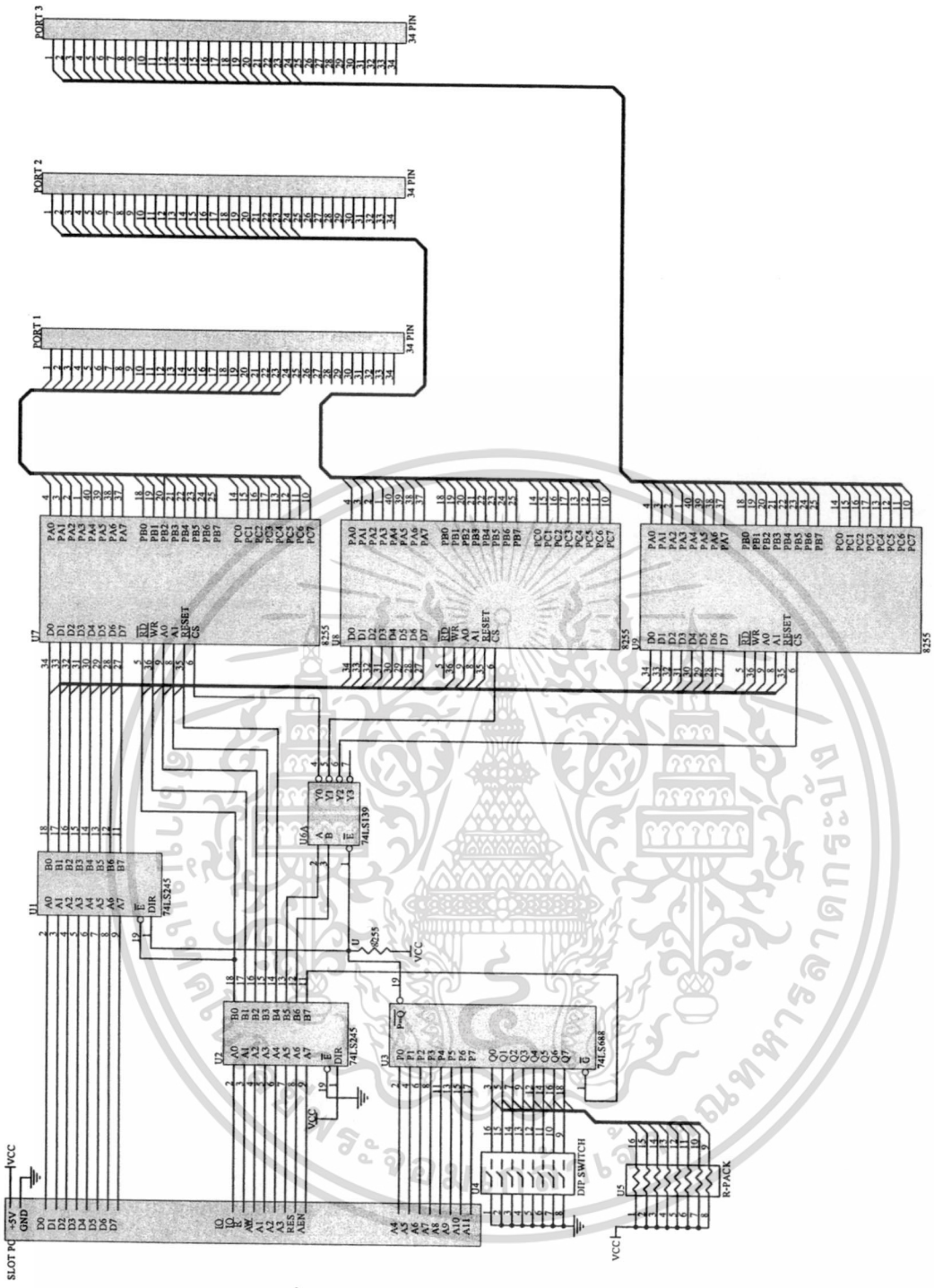


รูปที่ 4.11 ลักษณะของการ์ดอินเทอร์เฟซรุ่น ET - 8255

ตารางที่ 4.3 คุณสมบัติของการ์ดอินเทอร์เฟซรุ่น ET - 8255

คุณสมบัติของของบอร์ด ET-8255	
INPUT LOGIC LOW	MIN = -0.5 VOLTS , MAX = 0.8 VOLTS
INPUT LOGIC HIGH	MIN = 2.0 VOLTS , MAX = 5 VOLTS
OUTPUT LOW VOLTAGE PORTS (I-SINK = 1.7 mA)	0.45 VOLTS
OUTPUT HIGH VOLTAGE PORTS (I-SOURCE = 200 uA)	2.4 VOLTS
POWER CONSUMPTION	300 mA
SIZE	HALF SLOT (13 X 11 CM).
PORT	3 (8255 I/O PORT 3 X 8 BIT)
CONNECTOR	3 (34 PIN)
DECODE PORT	8 POSITION DIP SW.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

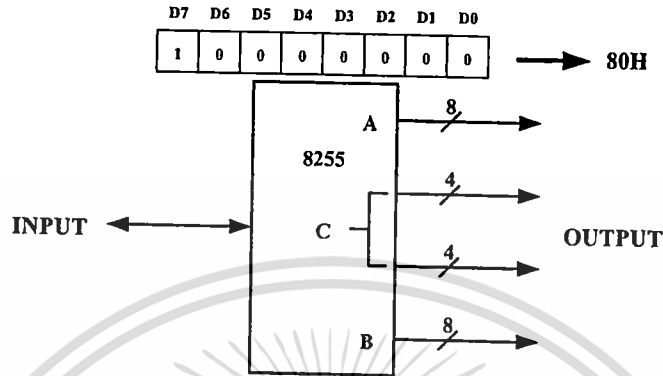


รูปที่ 4.12 วงจรภายในของการ์ด ET-8255

สำหรับรูปที่ 4.12 แสดงลักษณะวงจรของการ์ด ET-8255 ซึ่งจะประกอบด้วย 2 ส่วนใหญ่ๆคือ ส่วนของไอซี 8255 ซึ่งทำหน้าที่เป็นอินพุทพอร์ทและเอาต์พุทพอร์ท และส่วนของไอซีที่ทำหน้าที่ในการเลือกแอดเดรสของพอร์ท คือ ไอซี 74LS688 , 74LS139 และคิพสวิทช์

ในส่วนในของไอซี 8255 นี้จะมีพอร์ทใช้งาน 3 พอร์ทและพอร์ทควบคุมอีก 1 พอร์ทโดยก่อนที่จะใช้งานไอซี 8255 เราจะต้องส่งสัญญาณควบคุมไปยังพอร์ทควบคุมเพื่อกำหนดให้พอร์ทเอกสารนี้เป็นเอกสารที่ส่งวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทั้ง 3 พอร์ตทำหน้าที่เป็นอินพุตพอร์ตหรือเอาต์พุตพอร์ต โดยในระบบเก็บข้อมูลนี้จะกำหนด พอร์ตทั้งหมดให้เป็นเอาต์พุตพอร์ต ซึ่งจะใช้โหมดในการควบคุมเป็น โหมด 0 และคอลโทรลโค้ด (Control Code) 80H ซึ่งสามารถแสดงรายละเอียดดังรูปที่ 4.13



รูปที่ 4.13 ลักษณะพอร์ตของไอซี 8255 และสัญญาณควบคุม

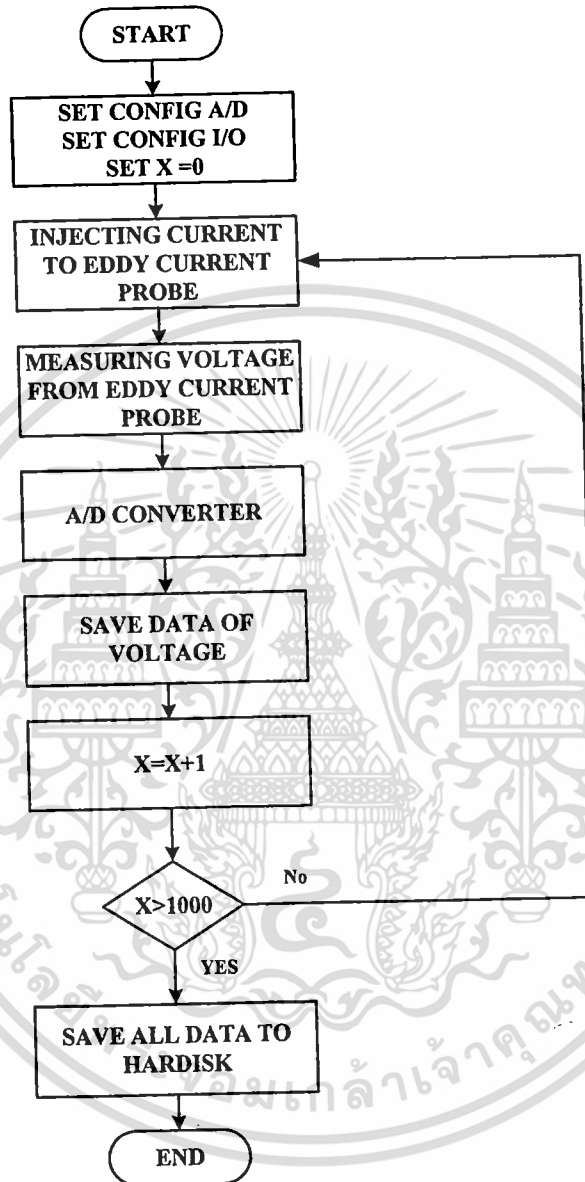
ในส่วนของการเลือกแอดเดรสในการใช้งานของการ์ด ET-8255 นี้จะใช้แอดเดรส 300H ถึง 30BH ซึ่งรายละเอียดในการใช้งานแอดเดรสสามารถแสดงดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 การใช้งานแอดเดรสของการ์ด ET - 8255

ตารางการใช้พอร์ตในเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ของการ์ด ET-8255	
หมายเลขพอร์ตในเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์	การใช้งานพอร์ตของการ์ด ET-8255
300H	PORT A 8255#1
301H	PORT B 8255#1
302H	PORT C 8255#1
303H	CONTROL PORT 8255#1
304H	PORT A 8255#2
305H	PORT B 8255#2
306H	PORT C 8255#2
307H	CONTROL PORT 8255#2
308H	PORT A 8255#3
309H	PORT B 8255#3
30AH	PORT C 8255#3
30BH	CONTROL PORT 8255#3

4.10 อัลกอริทึมในการเก็บข้อมูลสำหรับตรวจสอบรอยบกพร่องในท่อแบบอัตโนมัติ

สำหรับอัลกอริทึมในการเก็บข้อมูลสำหรับตรวจสอบรอยบกพร่องในท่อแบบอัตโนมัติ สามารถแสดง ได้ดังรูปที่ 4.14



รูปที่ 4.14 อัลกอริทึมในการเก็บข้อมูลสำหรับตรวจสอบรอยบกพร่องในท่อแบบอัตโนมัติ

ข้อมูลที่ทำการวัดได้จะถูกส่งไปสร้างภาพสำหรับการตรวจสอบรอยบกพร่องในท่อโดยโปรแกรม MATLAB ต่อไป

บทที่ 5

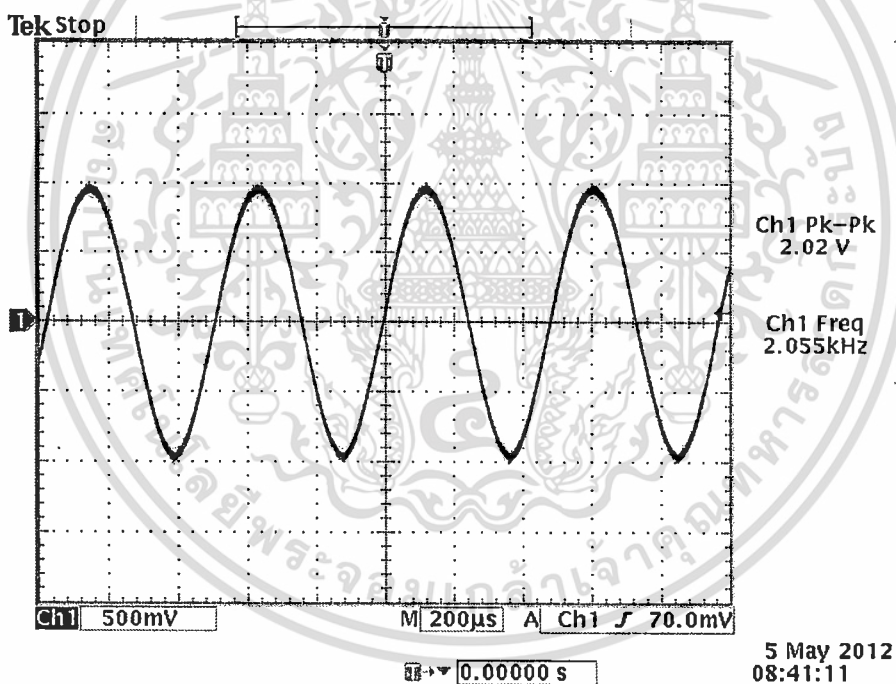
การทดลองและผลการทดลอง

สำหรับบทนี้จะกล่าวถึงการทดสอบระบบตรวจสอบรอยบกพร่องในท่อแบบอัตโนมัติที่ได้ทำการออกแบบขึ้นมา โดยการทดสอบจะมีรายละเอียดคั้งหัวข้อต่างๆดังนี้

5.1 การทดสอบวงจรอิเล็กทรอนิกส์สำหรับระบบตรวจสอบรอยบกพร่องในท่อแบบอัตโนมัติ

5.1.1 การทดสอบสัญญาณของวงจรถูกกำเนิดคลื่นไซน์ (Sine wave Generator Circuit)

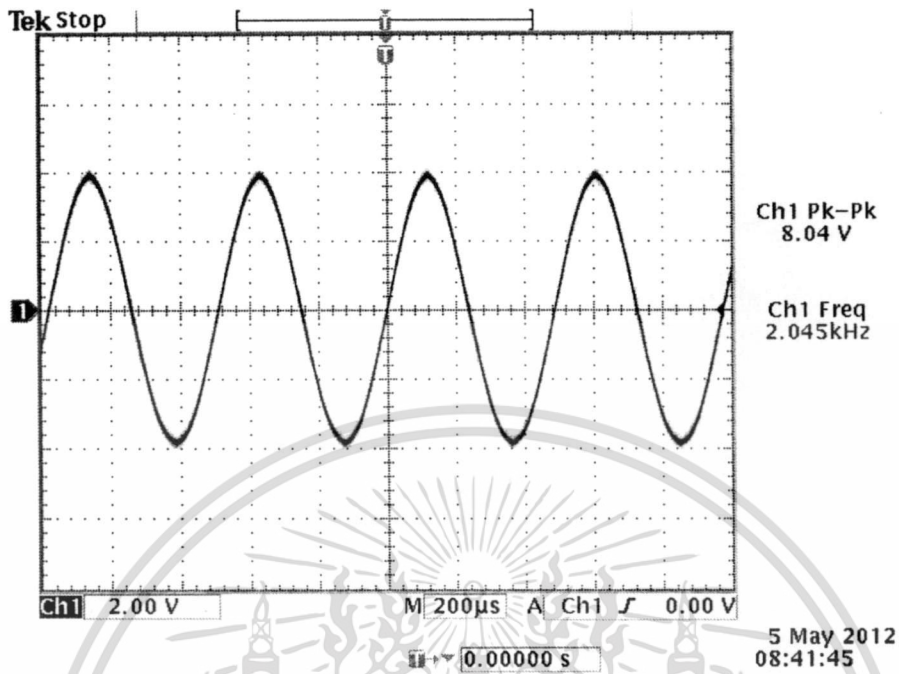
สำหรับวงจรถูกกำเนิดสัญญาณไซน์ที่ออกแบบขึ้นจะผลิตความถี่ในช่วง 2,000 เฮิร์ต ซึ่งลักษณะของสัญญาณที่ได้จะแสดงดังรูปที่ 5.1



รูปที่ 5.1 สัญญาณเอาต์พุตของวงจรถูกกำเนิดสัญญาณไซน์ที่ความถี่ 2 กิโลเฮิร์ต

5.1.2 การทดสอบสัญญาณของวงจรถูกขยายสัญญาณไซน์

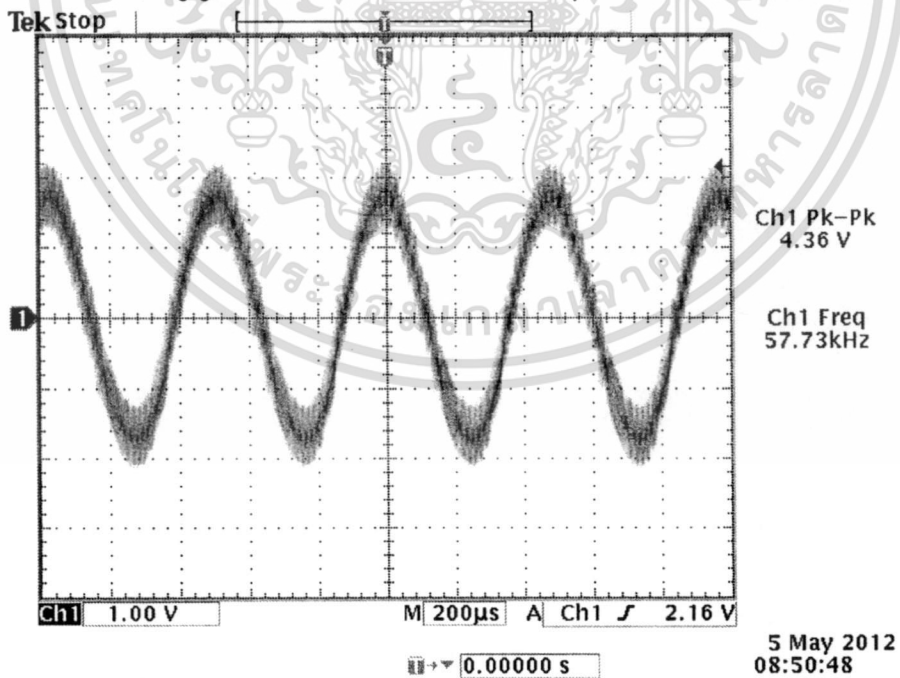
สำหรับลักษณะของสัญญาณที่ได้จากวงจรถูกขยายสัญญาณไซน์สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 5.2



รูปที่ 5.2 สัญญาณเอาต์พุตของวงจรขยายสัญญาณ ไซน์ที่มีความถี่ 2 กิโลเฮิร์ต

5.1.3 การทดสอบสัญญาณของวงจรจ่ายกระแสควบคุมด้วยแรงดัน

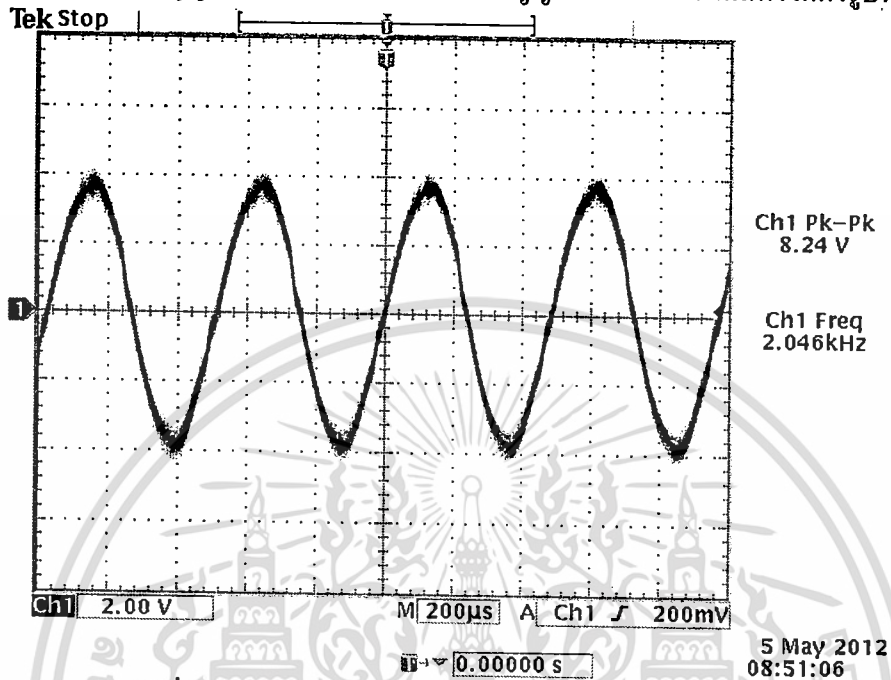
สำหรับลักษณะของสัญญาณที่ได้จากวงจรจ่ายกระแสควบคุมด้วยแรงดันสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 5.3



รูปที่ 5.3 สัญญาณเอาต์พุตของวงจรจ่ายกระแสควบคุมด้วยแรงดัน

5.1.4 การทดสอบสัญญาณจากวงจรขยายสัญญาณ

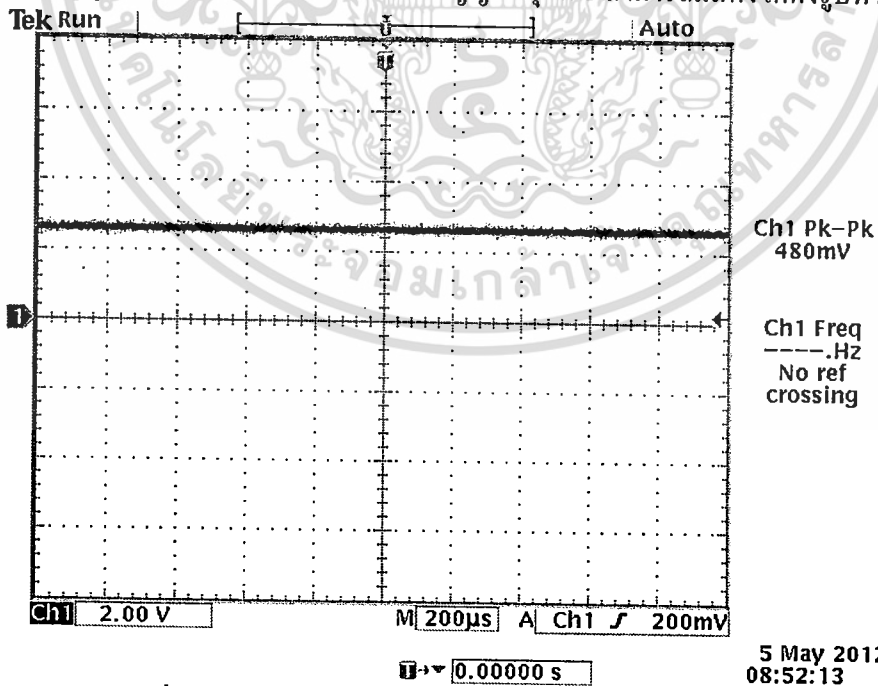
สำหรับลักษณะของสัญญาณหลังจากผ่านวงจรขยายสัญญาณแล้วสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 5.4



รูปที่ 5.4 สัญญาณเอาต์พุตหลังจากผ่านวงจรขยายสัญญาณ

5.1.5 การทดสอบสัญญาณจากวงจรตรวจจับสัญญาณชุดที่ 1

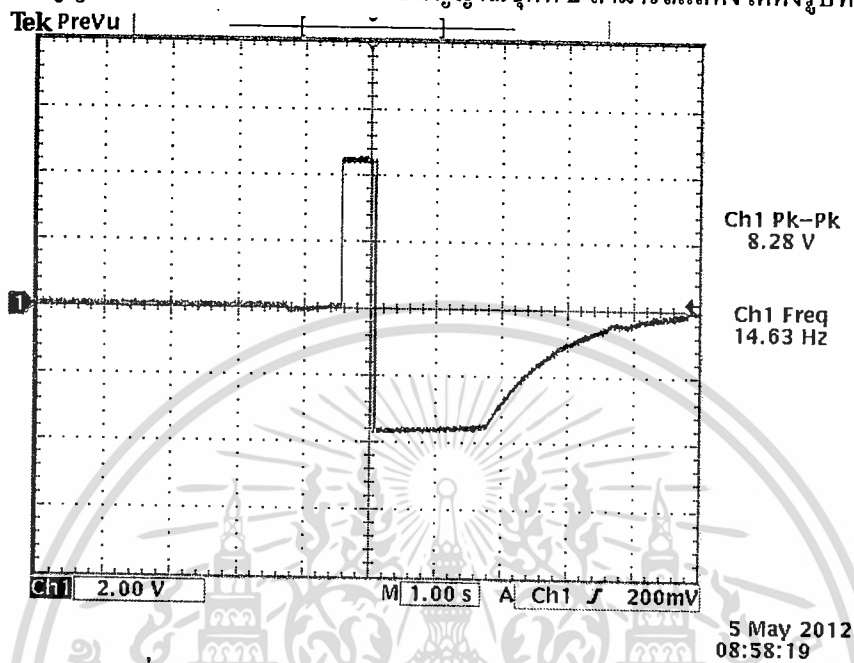
สำหรับสัญญาณหลังจากผ่านวงจรตรวจจับสัญญาณชุดที่ 1 สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 5.5



รูปที่ 5.5 สัญญาณหลังจากผ่านวงจรตรวจจับสัญญาณชุดที่ 1

5.1.6 การทดสอบสัญญาณจากวงจรตรวจจับสัญญาณชุดที่ 2

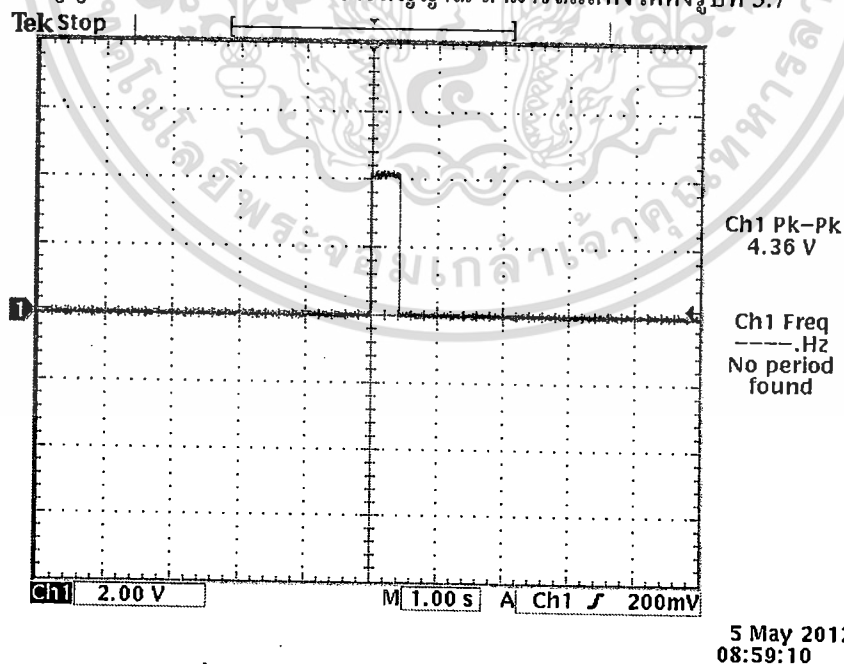
สำหรับสัญญาณหลังจากผ่านวงจรตรวจจับสัญญาณชุดที่ 2 สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 5.6



รูปที่ 5.6 สัญญาณหลังจากผ่านวงจรตรวจจับสัญญาณชุดที่ 2

5.1.7 การทดสอบสัญญาณจากวงจรมายสัญญาณ

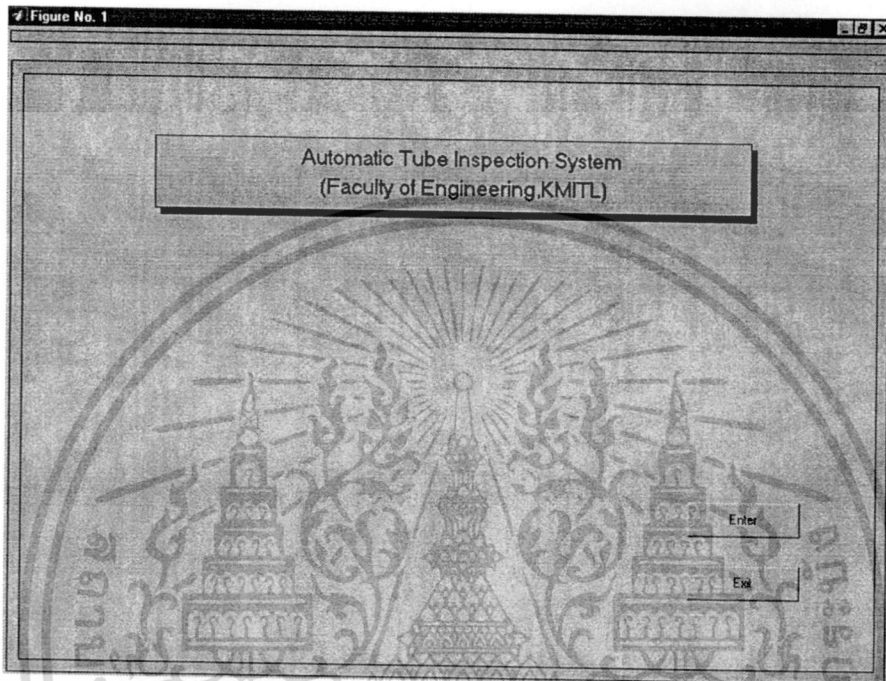
สำหรับสัญญาณหลังจากผ่านวงจรมายสัญญาณ สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 5.7



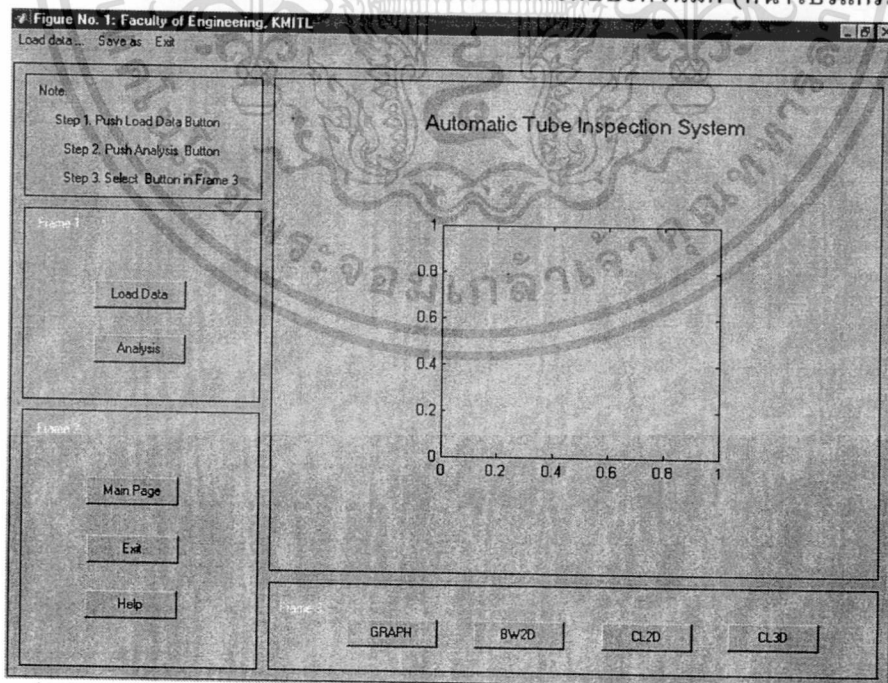
รูปที่ 5.7 สัญญาณหลังจากผ่านวงจรมายสัญญาณ

5.2 การทดสอบโปรแกรมสำหรับระบบตรวจสอบรอยบกพร่องในท่อแบบอัตโนมัติ

สำหรับลักษณะของ โปรแกรมสำหรับตรวจสอบรอยบกพร่องในท่อแบบอัตโนมัติที่พัฒนาขึ้นมา สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 5.8

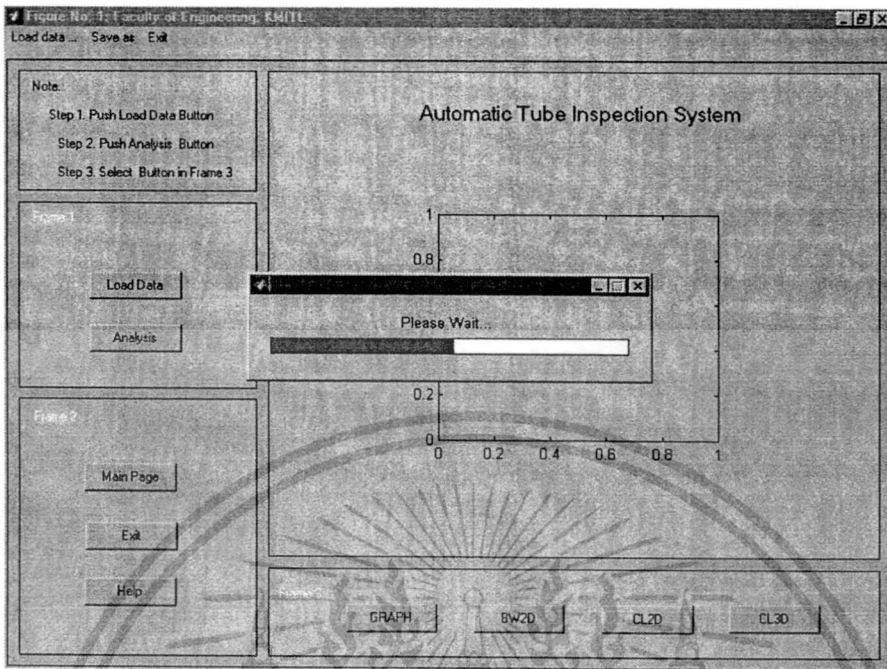


รูปที่ 5.8 โปรแกรมสำหรับตรวจสอบรอยบกพร่องในท่อแบบอัตโนมัติ (หน้าโปรแกรมหลัก)

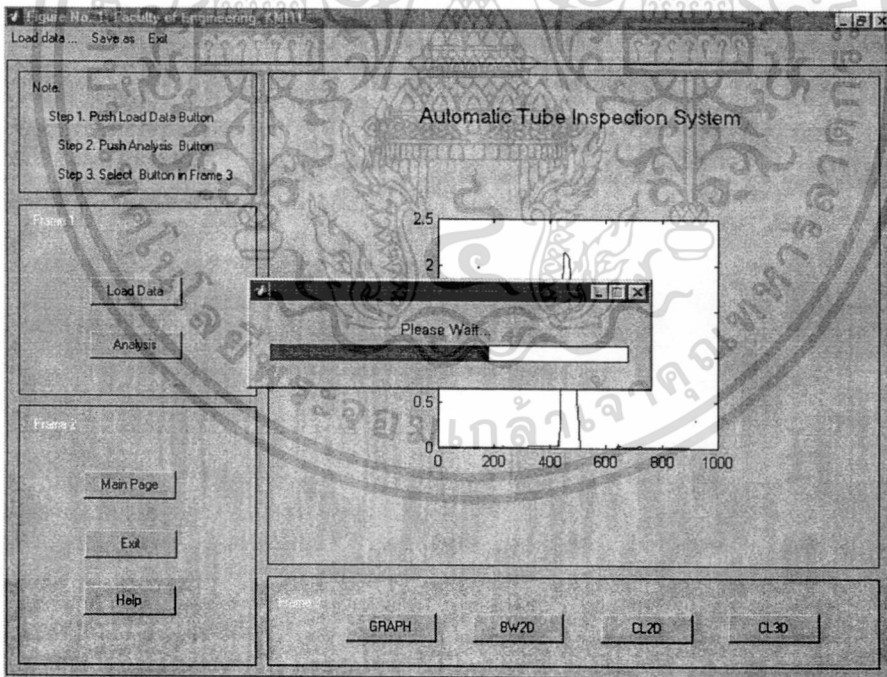


รูปที่ 5.9 โปรแกรมสำหรับตรวจสอบรอยบกพร่องในท่อแบบอัตโนมัติ (โปรแกรม)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



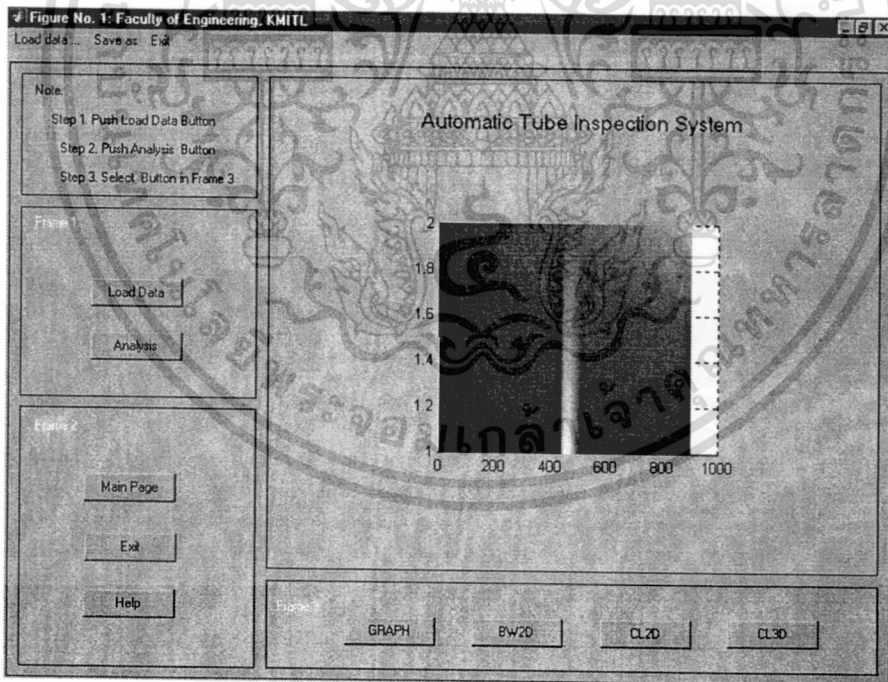
รูปที่ 5.10 โปรแกรมสำหรับตรวจสอบรอยบกพร่องในท่อแบบอัตโนมัติ (Load Data)



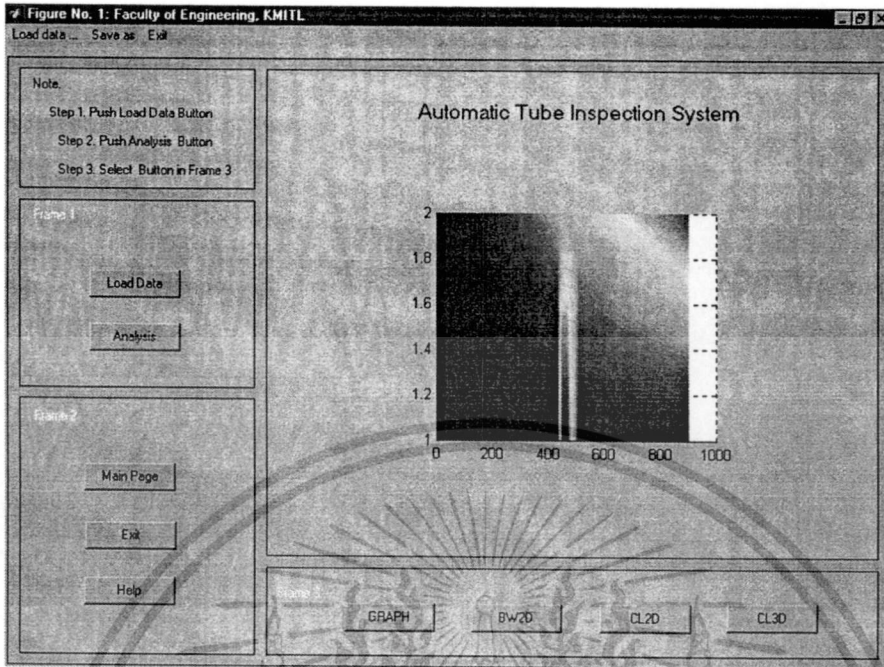
รูปที่ 5.11 โปรแกรมสำหรับตรวจสอบรอยบกพร่องในท่อแบบอัตโนมัติ (Analysis)



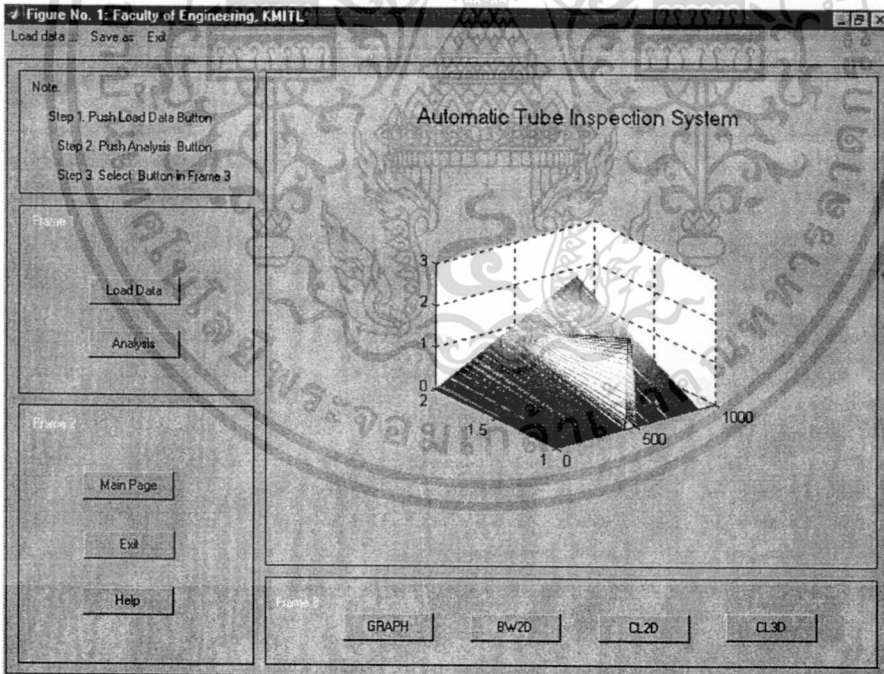
รูปที่ 5.12 โปรแกรมสำหรับตรวจสอบรอยบกพร่องในท่อแบบอัตโนมัติ (GRAPH)



รูปที่ 5.13 โปรแกรมสำหรับตรวจสอบรอยบกพร่องในท่อแบบอัตโนมัติ (BW2D)



รูปที่ 5.14 โปรแกรมสำหรับตรวจสอบรอยบกพร่องในท่อแบบอัตโนมัติ (CL2D)



รูปที่ 5.15 โปรแกรมสำหรับตรวจสอบรอยบกพร่องในท่อแบบอัตโนมัติ (CL3D)

บทที่ 6

บทสรุป

จากการทดสอบวงจรต่างๆที่ใช้ในระบบตรวจสอบรอยบกพร่องในท่อแบบอัตโนมัติผลปรากฏว่าวงจรต่างๆสามารถทำงานได้ตามที่ออกแบบไว้ และจากการทดสอบโปรแกรมสำหรับตรวจสอบรอยบกพร่องในท่อแบบอัตโนมัติที่พัฒนาขึ้นมา โปรแกรมสามารถใช้ในการตรวจสอบรอยบกพร่องในท่อที่นำมาทดสอบได้ แต่อย่างไรก็ตามระบบที่พัฒนาขึ้นยังคงต้องพัฒนาต่อไป เพื่อให้สามารถตรวจสอบรอยบกพร่องในท่อที่มีขนาดเล็กมากๆได้ โดยข้อเสนอแนะสำหรับผู้สนใจที่จะนำระบบที่พัฒนาขึ้นมานี้ไปพัฒนาต่อมีดังนี้

จากผลการทดลองพบว่า หากรอยบกพร่องในท่อมีขนาดเล็กมากที่แรงดันเอาท์พุทที่วัดได้ จะมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก ทำให้ยากต่อการตรวจจับสัญญาณ ดังนั้นจะต้องมีการพัฒนาวงจรตรวจจับสัญญาณให้มีค่าความไวในการตรวจจับสัญญาณให้สูงกว่านี้ เพื่อให้ระบบสามารถตรวจสอบรอยบกพร่องในท่อที่มีขนาดเล็กได้



เอกสารอ้างอิง

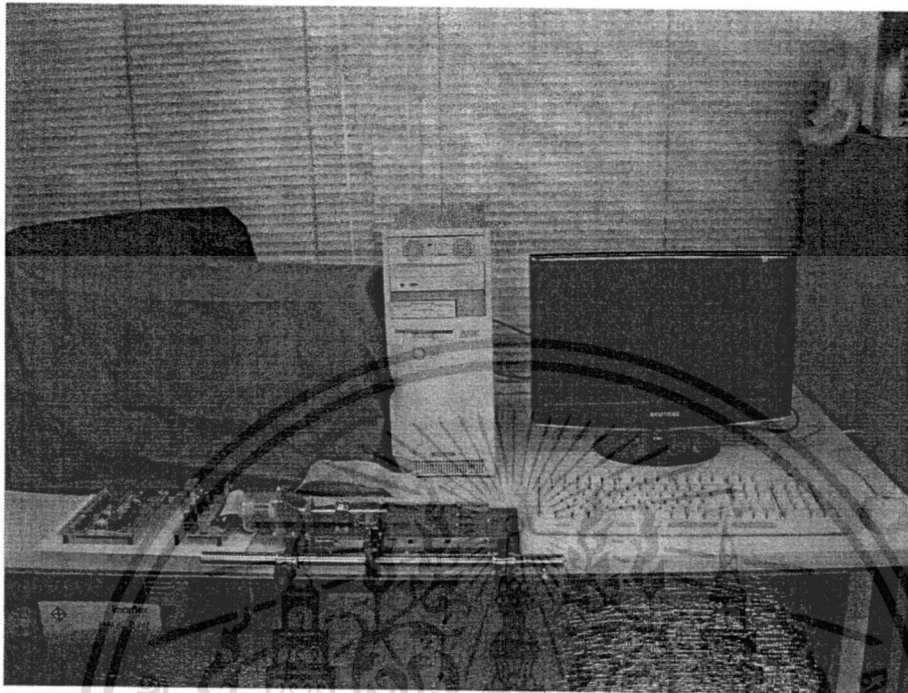
- [1] R. Halmshaw “Non-destructive Testing” Edward Arnold, 1987.
- [2] Charles J. Hellier “Handbook of Nondestructive Evaluation” Mcgraw-Hill, 2001.
- [3] R. Halmshaw. “Nondestructive testing of materials” Edward Arnold, 1991
- [4] B.P.C. Rao “Practical Eddy Current Testing” Alpha Science International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



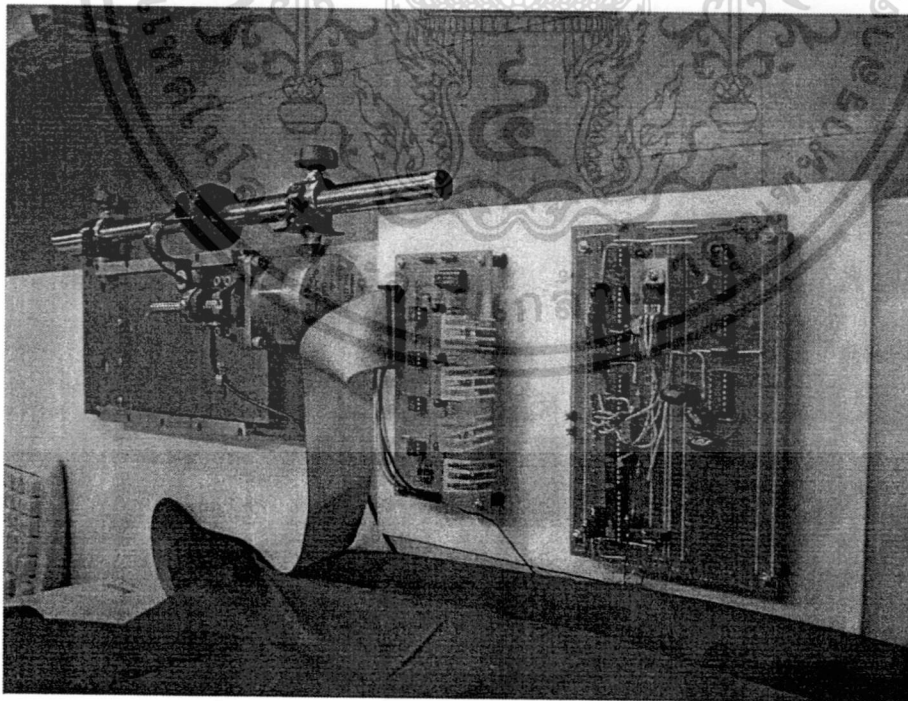
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

ต้นแบบระบบตรวจสอบรอยบกพร่องในท่อแบบอัตโนมัติ

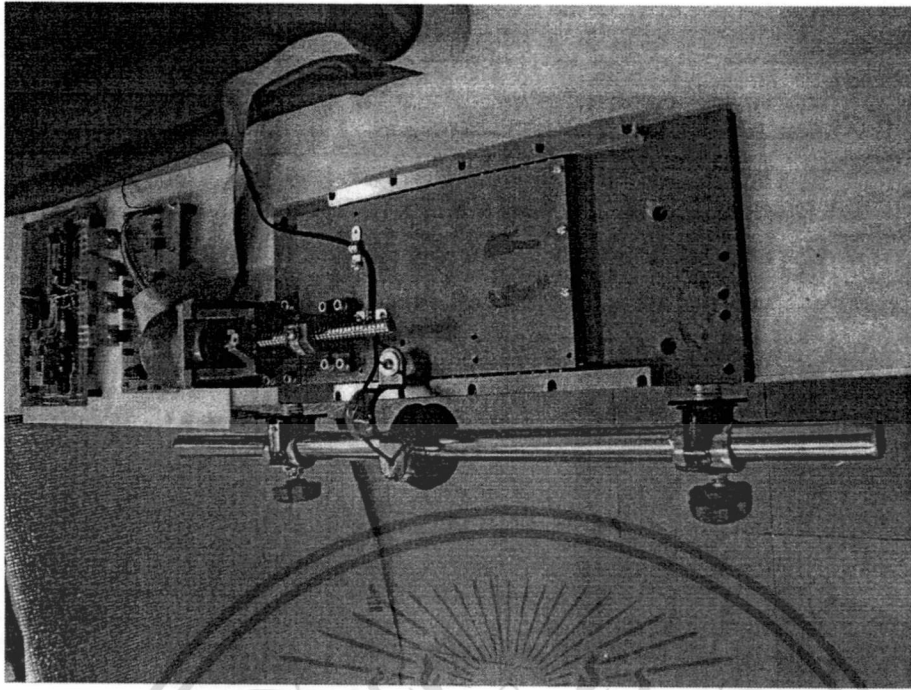


รูปที่ ก1 ต้นแบบระบบตรวจสอบรอยบกพร่องในท่อแบบอัตโนมัติ (ด้านหน้า)



รูปที่ ก2 ต้นแบบระบบตรวจสอบรอยบกพร่องในท่อแบบอัตโนมัติ (ด้านข้าง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ๓3 ดินแบบระบบตรวจสอบรอยบกพร่องในท่อแบบอัตโนมัติ (ด้านข้าง)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้