

รายงานวิจัยโครงการวิจัยโดยใช้เงินรายได้คณะวิศวกรรมศาสตร์
ประจำปี 2549

เครื่องสร้างภาพกระแสไหลวนสำหรับตรวจหารอยบกพร่องบนแผ่นโลหะ
Eddy Current Imaging System for Flaw Detection in Metal Plate



RCH

TK

8915

ค. ๒๕๔๙

นายอภิรักษ์ ฤกษ์รัตน์

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 84521
วัน,เดือน,ปี... 13 ต.ค. 2551

ศูนย์วิจัยอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์อื่นใด
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

11 ๘๙๕๒๔๕
๖
๕

รายงานโครงการวิจัยโดยใช้เงินรายได้คณะวิศวกรรมศาสตร์
ประจำปีงบประมาณ 2549

1. ชื่อโครงการวิจัย

(ภาษาไทย) "เครื่องสร้างภาพกระแสไหลวนสำหรับตรวจหารอยบกพร่องบนแผ่นโลหะ"

(ภาษาอังกฤษ) "Eddy Current Imaging System for Flaw Detection in Metal Plate "

2. คณะผู้ดำเนินงานวิจัย

หัวหน้าโครงการ	นายอภิรักษ์ ฤกษ์รัตน์ คุณวุฒิ วศ.ม. (วิศวกรรมไฟฟ้า)
แผนก/ภาควิชา	ศูนย์วิจัยอิเล็กทรอนิกส์ กอง/คณะ วิศวกรรมศาสตร์
กรม/มหาวิทยาลัย	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
กระทรวง/ทบวง	กระทรวงศึกษาธิการ
ที่อยู่	ถนนฉลองกรุง เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520
โทรศัพท์	0-2739-0643 Email : apinai@yahoo.com

บทที่ 1

บทนำ

ในปัจจุบันมีการนำเทคโนโลยีทางด้านอิเล็กทรอนิกส์มาประยุกต์ใช้งานในทางอุตสาหกรรมมากมาย ไม่ว่าจะเป็นเทคโนโลยีในด้านการผลิต หรือการตรวจสอบคุณภาพ ซึ่งล้วนแล้วแต่มีการนำเอาเทคโนโลยีด้านอิเล็กทรอนิกส์ไปประยุกต์ใช้ทั้งสิ้น

เทคโนโลยีด้านการทดสอบแบบไม่ทำลาย(Non Destructive Testing : NDT) นับว่าเป็นเทคโนโลยีหนึ่งที่มีการพัฒนาขึ้นมาเพื่อช่วยในการทดสอบวัสดุต่างๆ ทั้งนี้เนื่องจากการทดสอบแบบไม่ทำลายจะไม่ส่งผลกระทบต่อเสียหายให้เกิดกับชิ้นงานหรือวัสดุที่นำมาทดสอบ ดังนั้นจึงส่งผลให้มีการวิจัยเทคโนโลยีด้านการทดสอบแบบไม่ทำลายเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ

การทดสอบแบบไม่ทำลายโดยใช้กระแสไหลวน (Eddy Current Testing : ET) เป็นเทคโนโลยีหนึ่ง ที่ได้รับความนิยมอย่างสูงซึ่งเหมาะสำหรับการตรวจหารอยบกพร่องของโลหะที่ไม่มีสภาพความเป็นแม่เหล็ก เช่น อลูมิเนียม ทองแดง เป็นต้น ซึ่งโลหะเหล่านี้จะตรวจหารอยบกพร่องได้ยากกว่าโลหะชนิดที่มีความเป็นแม่เหล็ก ดังนั้นทางผู้วิจัยจึงคิดที่จะพัฒนาเครื่องสร้างภาพกระแสไหลวนสำหรับตรวจหารอยบกพร่องบนแผ่น โลหะนี้ขึ้นมา

1. วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1. เพื่อศึกษา ออกแบบ และพัฒนาต้นแบบเครื่องสร้างภาพกระแสไหลวนสำหรับตรวจหารอยบกพร่องบนแผ่นโลหะ
2. พัฒนาเทคนิคในการออกแบบ และสร้างหัววัดกระแสไหลวน(Eddy Current Probe)สำหรับตรวจหารอยบกพร่องบนแผ่นโลหะ
3. สร้างบุคลากรทางเครื่องมืออิเล็กทรอนิกส์
4. พัฒนาเทคนิคในการตรวจสอบแบบไม่ทำลาย

บทที่ 2

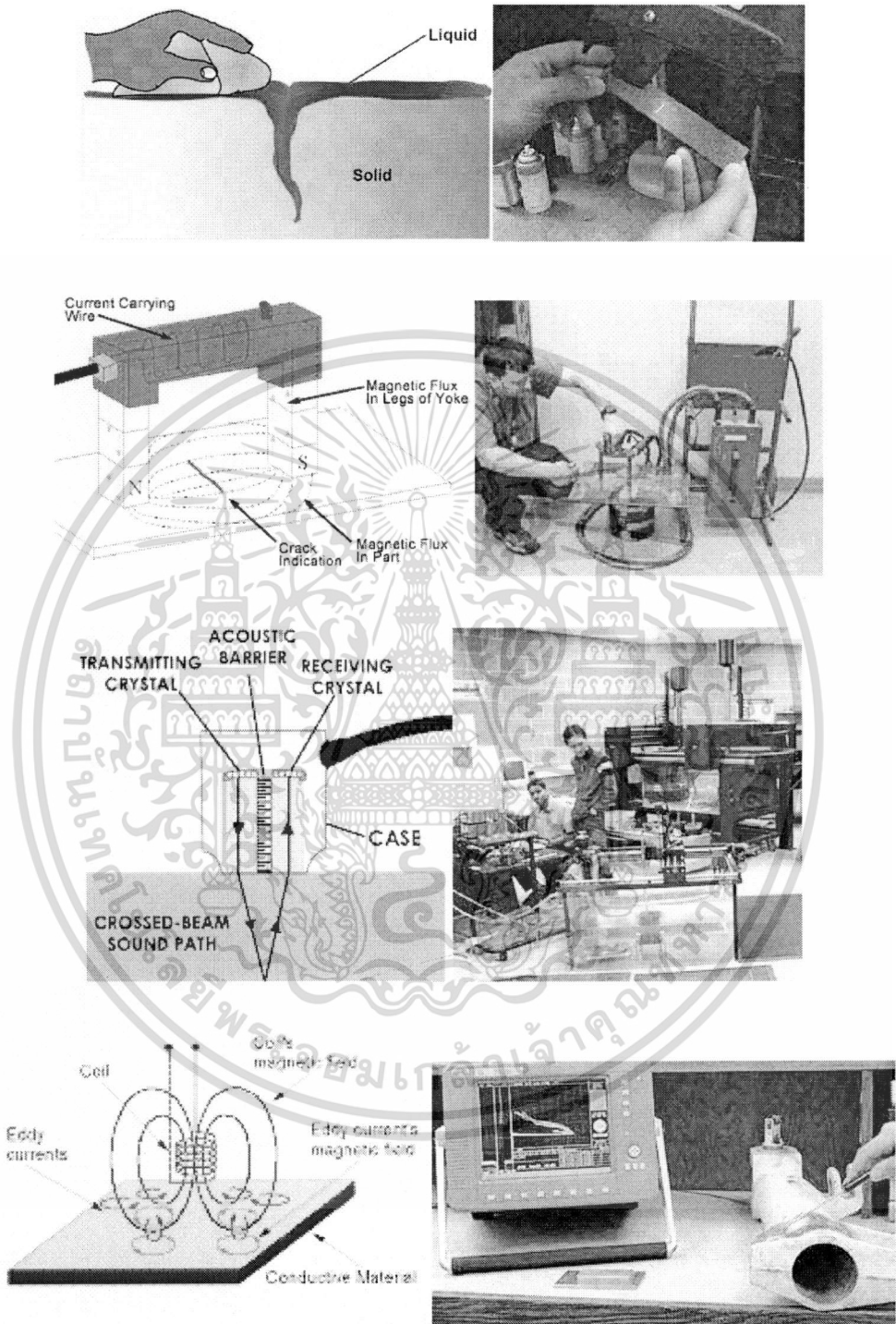
การทดสอบแบบไม่ทำลาย

ในการตรวจสอบรอยบกพร่องภายในของวัสดุ อุปกรณ์ หรือ โครงสร้างต่างๆ ว่ามีอยู่หรือไม่นั้น การทำให้แตกหักแล้วพินิจด้วยตาเป็นวิธีที่ถูกต้องแน่นอนที่สุด ยิ่งไปกว่านั้นการวัดระดับความแข็งแรงของวัสดุอุปกรณ์ และ โครงสร้าง โดยใช้การทดสอบเชิงกล (ส่วนใหญ่เป็นการทดสอบแบบทำลาย) แต่เนื่องจากการทดสอบแบบทำลายนั้น จะทำให้วัสดุ อุปกรณ์ หรือ โครงสร้างเกิดการแตกหักเสียหายใช้งานอีกไม่ได้

การทดสอบแบบไม่ทำลาย (Non Destructive Testing : NDT) ซึ่งสมาคมวิศวกรรมเครื่องกลของอเมริกา (ASME) จะเรียกว่าการตรวจสอบแบบไม่ทำลาย (Non Destructive Examination : NDE) ซึ่งสามารถกล่าวง่ายๆคือ เป็นการทดสอบวัสดุชิ้นงาน โดยไม่ทำลายให้เสียหายนั่นเอง กล่าวคือ เป็นการทดสอบชิ้นงานที่เหมือนกับวัสดุ อุปกรณ์ หรือ โครงสร้าง โดยไม่ก่อให้เกิดรอยขีดข่วน การแยกส่วน หรือการแตกหักเสียหาย กล่าวอีกนัยหนึ่งก็คือ การตรวจสอบลักษณะสมบัติ สมรรถภาพ โครงสร้างภายใน หรือรอยบกพร่องภายใน โดยไม่ทำให้ชิ้นงานทดสอบเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง ขนาด หรือสมรรถนะในการนี้จะใช้ลักษณะสมบัติทางฟิสิกส์ของชิ้นงานที่ทำการทดสอบ เช่น แสง ความร้อน รังสี คลื่นอัลตราโซนิก (Ultrasonic) ไฟฟ้า หรืออำนาจแม่เหล็กซึ่งจะเปลี่ยนแปลงไปตามความผิดปกติของโครงสร้างภายใน 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 การเชื่อมแผ่นเหล็กทดสอบ โดยวิธีการเดียวกับการเชื่อม โครงสร้างของสิ่งก่อสร้าง แล้วใช้การทดสอบแบบทำลายกับแผ่นเหล็กทดสอบ (ซึ่งเรียกว่า Test Plate Testing) เพื่อเป็นการประเมินความแข็งแรงของรอยเชื่อม และเป็นการประกันความปลอดภัยของรอยเชื่อม



รูปที่ 2.1 ตัวอย่างการทดสอบแบบไม่ทำลาย

2.1 วัตถุประสงค์ของการทดสอบแบบไม่ทำลาย

วัตถุประสงค์หลักของการทดสอบแบบไม่ทำลายที่พอจะกล่าวถึงได้ มีดังต่อไปนี้

1. เพื่อเพิ่มความเชื่อมั่นของผลิตภัณฑ์
2. เพื่อการปรับปรุงเทคนิคการผลิต
3. เพื่อลดต้นทุนการผลิต

2.2 ประเภทของการทดสอบแบบไม่ทำลาย

2.2.1 การทดสอบแบบไม่ทำลายเพื่อตรวจหารอยบกพร่องบริเวณผิว

1. การทดสอบ โดยการตรวจพินิจ (Visual Testing)

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

2. การทดสอบ โดยใช้ผงแม่เหล็ก(Magnetic Particle Testing)

สามารถใช้ตรวจหารอยบกพร่องบริเวณผิวหรือภายใต้ผิวได้ แต่สามารถใช้กับชิ้นงานทดสอบที่มีสภาพเป็นแม่เหล็กสูง

3. การทดสอบ โดยใช้การซึมของของเหลว(Liquid Penetrant Testing)

ใช้ตรวจหารอยบกพร่องบริเวณผิวพื้นเท่านั้น ใช้กับวัสดุที่เป็นโลหะ และอโลหะ โดยทั่วไป

4. การทดสอบ โดยกระแสไหลวน(Eddy Current Testing)

ใช้ตรวจสอบหารอยขีดข่วนที่ผิววัสดุที่เป็นตัวนำไฟฟ้าโดยไม่ต้องสัมผัส สามารถตรวจสอบได้อย่างรวดเร็ว ใช้ในการตรวจสอบรอยแตกของแท่งหรือท่อโดยอัตโนมัติ

2.2.2 การทดสอบโดยไม่ทำลายเพื่อหารอยบกพร่องภายใน

1. การทดสอบ โดยใช้รังสี(Radiographic Testing)

เหมาะสำหรับใช้ตรวจสอบรอยบกพร่องที่อยู่ลึกเข้าไปตามแนวรังสี โดยใช้รังสีช่วยในการตรวจหา นอกจากนี้ยังใช้ตรวจหารอยบกพร่อง และรูปร่างที่ไม่ดี ทว่า ผิวที่มีการเคลือบหรือรอยแตกที่เอียงทำมุมนั้นไม่สามารถตรวจสอบได้

2. การทดสอบโดยใช้คลื่นอัลตราโซนิก(Ultrasonic)

การตรวจสอบรอยแตกที่แผ่เป็นแผ่นด้วยคลื่นอัลตราโซนิกทำได้ดีกว่าการตรวจสอบด้วยรังสี ทว่าเพื่อให้การตรวจสอบทำได้ดีจำเป็นต้องเลือกให้การสะท้อนคลื่นนั้นตั้งฉากกับระนาบของรอยแตก และในกรณีของรอยบกพร่องพวกโพรงอากาศ(Blow hole) หรือที่มีรูปร่างเป็นทรงกลมจะตรวจพบได้ยาก

2.2.3. การทดสอบแบบไม่ทำลายแบบอื่นๆ

1. การวัดความเครียด(Strain Measurement)

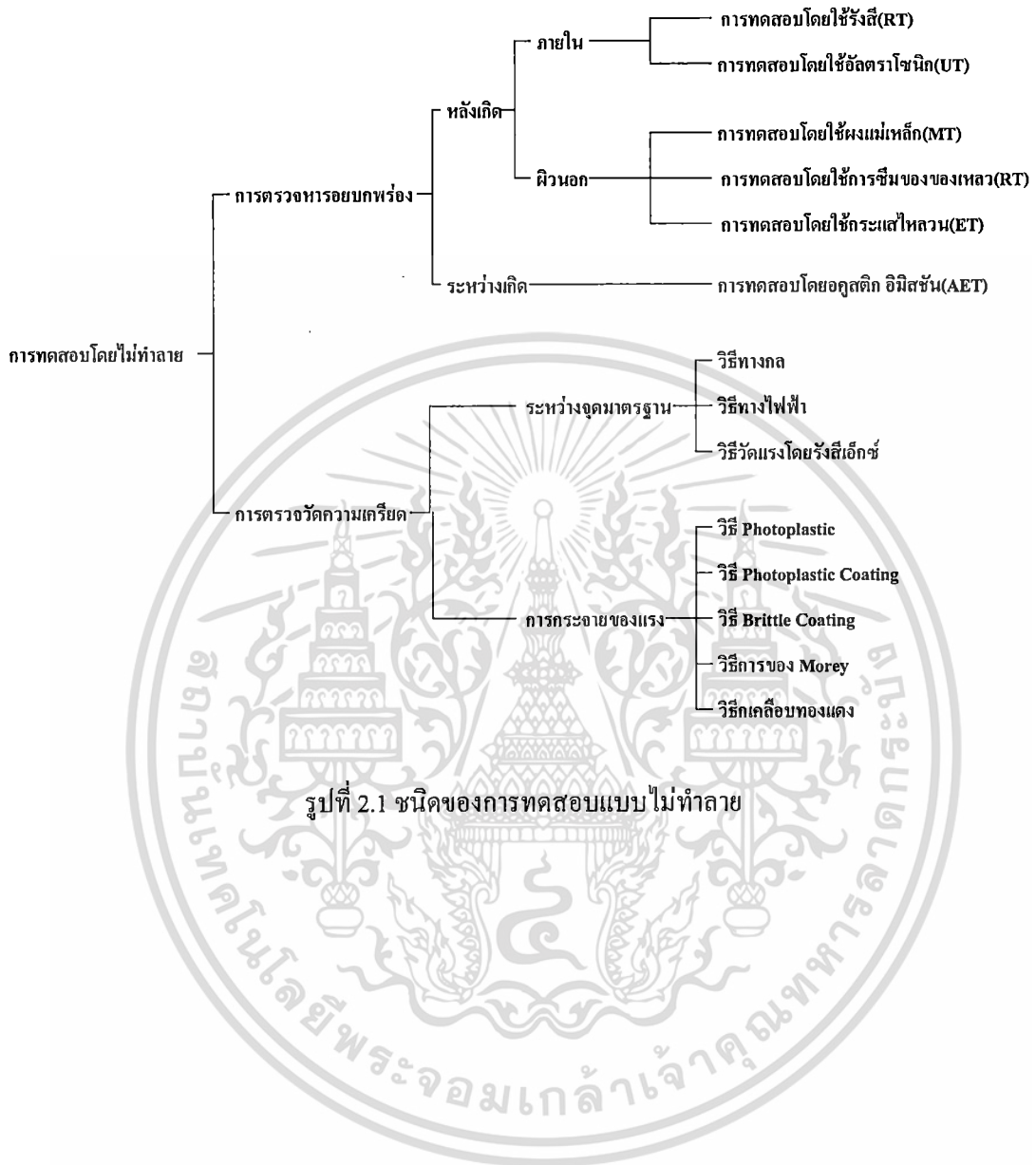
การออกแบบโครงสร้าง หรือการประเมินค่าความปลอดภัยของโครงสร้างนั้น การทราบค่าความเครียดหรือแรงภายในเมื่อมีแรงภายนอกกระทำเป็นสิ่งสำคัญ วิธีการวัดมักจะใช้วิธีที่เรียกกันว่า การวัดแรงกระทำแต่ค่าที่วัดจริงๆ คือความเครียด(Strain) ในกรณีที่ เป็นสภาพอิลาสติกนั้นจะคูณค่าของความเครียดด้วย ยังก์ มอดูลัส(Young Modulus) หรือ E เพื่อหาค่าของแรงได้

$$E = \sigma / \epsilon : \sigma = \text{แรงเค้นหรือแรงกระทำ (Stress หรือ Load)}$$

$$\epsilon = \text{ความเครียด(Strain)}$$

2. การทดสอบโดยไม่ทำลายแบบอื่นๆ

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



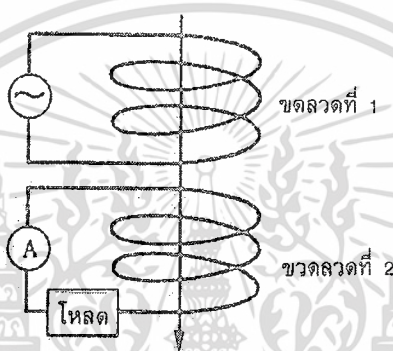
รูปที่ 2.1 ชนิดของการทดสอบแบบไม่ทำลาย

บทที่ 3

การทดสอบโดยวิธีใช้กระแสไหลวน

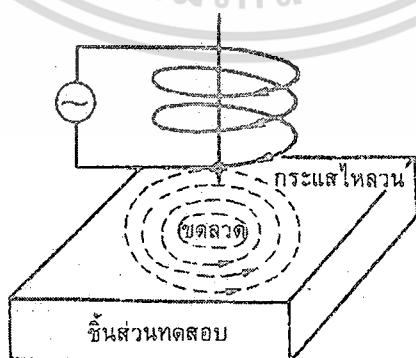
(Eddy Current Testing)

การทดสอบโดยใช้วิธีกระแสไหลวนเป็นการทดสอบแบบไม่ทำลายวิธีหนึ่งที่ได้รับนิยามอย่างมาก โดยเฉพาะการทดสอบแผ่นโลหะที่มีความหนาไม่มากนัก สำหรับหลักการทำงานเบื้องต้นสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.1



รูป 3.1 ปรัชญาการเกิดการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้า

จากรูปที่ 3.1 เมื่อให้กระแสไฟสลับไหลผ่านขดลวด 1 แล้วนำเข้าไปใกล้ขดลวดที่ 2 ก็จะเกิดปรากฏการณ์เหนี่ยวนำทางแม่เหล็กไฟฟ้า ทำให้เกิดศักดาไฟฟ้าคร่อมขดลวดที่ 2 และมีกระแสไฟฟ้าสลับไหลในวงจรไฟฟ้านั้นในลักษณะที่คล้ายคลึงกันในรูปแบบที่ 3.2 เมื่อนำขดลวดที่มีกระแสไฟสลับไหลเข้าไปใกล้ชิ้นส่วนทดสอบที่มีคุณสมบัติเป็นตัวนำไฟฟ้า ก็จะเกิดการเหนี่ยวนำทางแม่เหล็กไฟฟ้า ทำให้เกิดกระแสไหลวนรอบ ๆ ชิ้นส่วนทดสอบ



รูป 3.2 ลักษณะการเกิดกระแสไหลวน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไป

การทดสอบโดยใช้คุณสมบัติการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้านี้เป็นการใช้สนามแม่เหล็กแปรเปลี่ยนไปตามเวลา เมื่อนำสนามแม่เหล็กเข้าใกล้สารตัวนำ เช่น พกวัสดุที่เป็นแผ่น โลหะ แล้วใช้ผลของการเกิดกระแสเหนี่ยวนำหรือความเป็นสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นในสารตัวนำ เพื่อการทดสอบวัสดุ เนื่องจากหลักการทดสอบนี้ใช้กระบวนการเหนี่ยวนำทางแม่เหล็กไฟฟ้าในความหมายกว้าง ๆ แล้วจึงเรียกรูปวิธีการทดสอบนี้ว่า การทดสอบโดยการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้า อย่างไรก็ตาม เนื่องจากการใช้ผลของการเกิดกระแสไหลวนขึ้นในวัสดุตัวนำจากการเหนี่ยวนำทางแม่เหล็กไฟฟ้า จึงมีการเรียกอีกชื่อว่าการทดสอบโดยใช้กระแสไหลวน วิธีการทดสอบโดยการเหนี่ยวนำไฟฟ้านี้สามารถใช้ได้กับวัสดุที่เป็นตัวนำไฟฟ้า

ส่วนมากในการใช้การทดสอบโดยวิธีเหนี่ยวนำทางแม่เหล็กไฟฟ้า จะให้กระแสสลับความถี่หลายเมกะเฮิรตซ์(MHz) ไหลผ่านขดลวดแล้วนำขดลวดเข้าใกล้วัสดุตัวนำ ตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงของอิมพีแดนซ์ของขดลวดหรือวัดการเปลี่ยนแปลงของแรงดันไฟฟ้าของขดลวด บางครั้งแทนที่จะใช้กระแสสลับอาจใช้กระแสพัลส์หรือในบางกรณี โพรบที่ใช้เพื่อตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงอาจใช้เป็นแบบที่อาศัยปรากฏการณ์ของฮอลล์ (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 Flaw Detector)

รอยร้าวตลอดจนรอยบกพร่องอื่น ๆ จะเป็นตัวขัดขวางการไหลของกระแสมีผลกระทบต่อการกระจายของกระแสไหลวน ตลอดจนขนาดของกระแสไหลวนด้วย การทดลองตรวจสอบจึงเป็นการหาเพื่อแสดงลักษณะของรอยบกพร่อง ซึ่งจากกรรมวิธีในการตรวจหารอยบกพร่องนี้ได้นำมาใช้ในการตรวจสอบสินค้า ตรวจสอบชิ้นงานระหว่างผลิต ตลอดจนตรวจสอบเพื่องานซ่อมบำรุง นอกจากนี้จะต้องมีการเลือกอุปกรณ์ วิธีการและลักษณะขดลวดทดสอบให้เหมาะกับขนาดและรูปร่างของชิ้นส่วนทดสอบด้วย

(ก) การตรวจสอบชิ้นงาน หรือผลิตภัณฑ์

เหล็ก, ท่อที่ทำจากเหล็ก หรือเหล็กกล้า และวัสดุที่ไม่ใช่เหล็ก ผลิตภัณฑ์ที่มีรูปร่างเป็นแท่ง ตลอดจนเส้นลวดนั้น ลักษณะของผลิตภัณฑ์ดังกล่าวสามารถจัดให้มีการตรวจสอบชิ้นงานได้

ทุกชิ้นที่กำลังผลิตอยู่ โดยใช้ดูว่ามีรอยบกพร่องบริเวณผิวหรือใกล้ ๆ กับผิวหรือไม่ (ใช้ดูผิวในผิวนอกหรือบริเวณเนื้อในของท่อที่ไม่หนามากนัก) โดยทั่วไปใช้วิธีให้ชิ้นงานผ่านขวดควด วิธีจะตรวจเห็นขนาดของรอยบกพร่องเป็นสัดส่วนสัมพันธ์กับขนาดของชิ้นงาน สำหรับรอยบกพร่องที่มีขนาดเล็กเทียบกับชิ้นงานที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางใหญ่ ในปัจจุบันใช้โพรบที่หมุนได้รอบ ซึ่งแม้ว่าถ้าเทียบความละเอียดในการตรวจหารอยบกพร่องแล้วแบบโพรบดีกว่าแบบขวดควดก็จริง แต่การทำงานช้ากว่า นอกจากนี้ยังได้มีการกำหนดเงื่อนไขในการทดสอบ ตลอดจนค่าความละเอียด โดยใช้ชิ้นส่วนที่มีรอยบกพร่อง ที่ทำขึ้นเทียบกับขนาดของชิ้นงานทดสอบ

(ข) การตรวจสอบในกระบวนการผลิต (Intermediate Inspection)

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

(ค) การตรวจเพื่อการบำรุงรักษา

ในโรงงานเคมี หรือ โรงกลั่นน้ำมัน ชิ้นส่วนพวกท่อตลอดจนชิ้นส่วนท่อขนาดเล็ก ๆ ในระบบแลกเปลี่ยนความร้อน (Heat Exchanger) จำเป็นต้องมีการตรวจสอบเป็นระยะ การตรวจสอบชิ้นส่วนของเครื่องยนต์ในเครื่องบินก็เช่นกัน การตรวจสอบภายในท่อนั้นใช้ขวดควดสอดเข้าด้านในของท่อ ส่วนการตรวจสอบชิ้นส่วนของเครื่องจักร มักใช้โพรบเป็นส่วนใหญ่

3.1.2 การตรวจสอบวัสดุเพื่อคัดแยกหาวัสดุที่ต่างชนิดกัน

การใช้วิธีการเหนี่ยวนำทางแม่เหล็กไฟฟ้าตรวจสอบวัสดุ สำหรับการตรวจสอบส่วนผสม (Components) ของวัสดุประเภท โลหะนั้นใช้คุณสมบัติความเป็นตัวนำไฟฟ้า (หรือความต้านทานไฟฟ้า) ที่แปรเปลี่ยนหลังจากการจัดการทางความร้อน (Heat Treatment) นอกจากนี้ยังใช้การดูค่าความซึมซาบได้ทางแม่เหล็กที่แปรเปลี่ยนอีกด้วย

ส่วนวัสดุประเภทที่ไม่เป็นสารแม่เหล็ก เช่น สารประเภท ทองแดง,อลูมิเนียม ใช้การวัดค่าตัวนำไฟฟ้าถ้าเป็นสารพวกเหล็ก มักใช้ค่าแตกต่างของความซึมซาบได้ทางแม่เหล็ก ตลอดจนลักษณะแตกต่างของฮิสเตอร์ิซิสแม่เหล็ก การใช้การเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้านั้น เนื่องจากกระแสไหลวนเกิดขึ้นที่ผิวจึงต้องระมัดระวังผลกระทบจากคุณสมบัติทางแม่เหล็กไฟฟ้าของผิวนอกของวัสดุด้วย

นอกจากนี้ ยังใช้วิธีการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้าเพื่อตรวจหาสาร โลหะในเนื้อของสารอโลหะได้อีกด้วย

3.1.3 การวัดความหนาของชั้นฟิล์ม

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

3.1.4 การตรวจสอบระยะ รูปร่าง

เนื่องจากระยะระหว่างขดลวดทดสอบกับวัสดุทดสอบที่แตกต่างกัน จะทำให้ค่าแรงดันไฟฟ้าที่อ่านได้เปลี่ยนแปลงไปจึงสามารถใช้ในการวัดระยะ และวัดขนาดหรือรูปร่างของผลิตภัณฑ์ได้ตาราง

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) ของที่มีลักษณะทอ เส้น ท่อนกลม จะสามารถตรวจได้อย่างรวดเร็วและทำการตรวจทุกชิ้น โดยเครื่องอัตโนมัติได้

(2) สามารถตรวจวัด แม้มันที่อุณหภูมิสูง ชิ้นงานเส้นเล็ก ๆ หรือภายในรู ซึ่งการตรวจสอบด้วยวิธีอื่นทำแทบไม่ได้

(3) ค่าที่วัดได้สามารถรับเป็นสัญญาณไฟฟ้าได้ ทำให้สามารถนำมาใช้ในการประมาณขนาดรอยบกพร่อง,และนำไปใช้ในการควบคุมการผลิตได้ง่าย

(4) การตรวจหารอยร้าว ตลอดจนตรวจเนื้อวัสดุ สามารถให้ข้อมูลจำนวนมากในเวลาเดียวกันได้

(5) สามารถเก็บรักษาข้อมูลไว้ได้ ทำให้มีประโยชน์ต่อการตรวจเพื่อการบำรุงรักษาจุดค้อย หรือข้อเสียของการตรวจวัดโดยวิธีใช้การเหนี่ยวนำทางแม่เหล็กไฟฟ้าก็มีดังนี้

(1) การตรวจหาจุดบกพร่องบริเวณผิว ทำได้ผลดีมาก แต่บริเวณที่ลึกลงไปจะตรวจได้ยาก

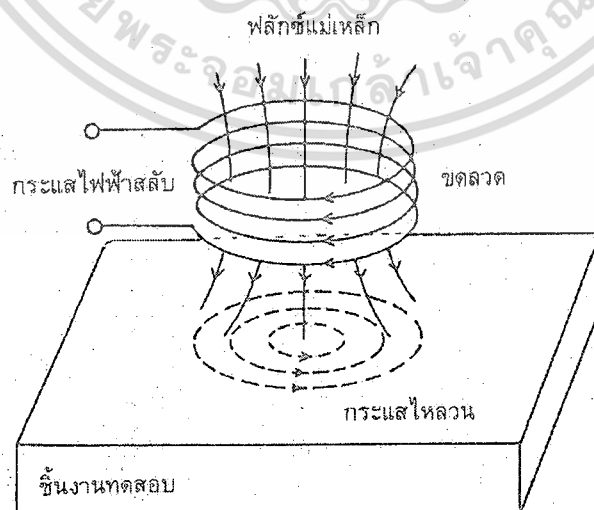
(2) ค่าที่วัดได้จะได้รับอิทธิพลจากการสั่นสะเทือน, ชนิดของวัสดุ ขนาดของวัสดุและสัญญาณรบกวน(Noise) อื่น ๆ ได้ง่าย

(3) การจะตรวจเพื่อแยกแยะชนิด รูปร่าง ขนาดของรอยบกพร่องให้แน่นอนและละเอียดทำได้ยาก

(4) มีประสิทธิภาพต่ำในการจะตรวจหารอยร้าวทั้งหมดของชิ้นงานที่มีรูปร่างซับซ้อน

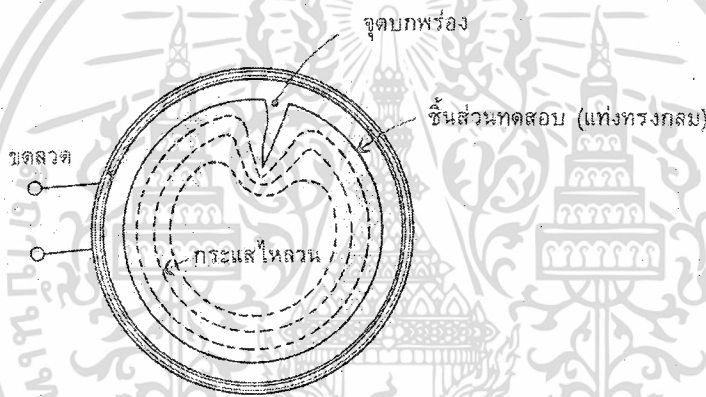
3.3 หลักการของกระแสไหลวน

3.3.1 การเกิดกระแสไหลวน



รูปที่ 3.3 การเกิดกระแสไหลวน

จากรูปที่ 3.3 เมื่อนำขดลวดที่มีกระแสไฟผ่านเข้าใกล้ชิ้นตัวนำ (ชิ้นงานทดสอบ) บริเวณรอบ ๆ ขดลวดจะเกิดสนามแม่เหล็กกระทำต่อชิ้นตัวนำ เนื่องจากสนามแม่เหล็กของขดลวดนั้นเกิดจากกระแส สลับ ดังนั้นฟลักซ์แม่เหล็กที่กระทำต่อชิ้นตัวนำจะมีทิศทางและขนาดแปรเปลี่ยนไปตามเวลา ซึ่งในกรณี เช่นนี้จะเกิดแรงดันไฟฟ้าขึ้นต่อต้านการเปลี่ยนแปลงของฟลักซ์แม่เหล็กที่กระทำต่อชิ้นตัวนำ จึงเรียก ปรากฏการณ์นี้ว่าการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้าที่เกิดขึ้นต่อต้านการเปลี่ยนของฟลักซ์แม่เหล็ก บนตัวนำนี้ในรูป 3.3 จะแสดงเป็นเส้นประไปรอบ ๆ เส้นแรงบนตัวนำ ซึ่งลักษณะของกระแสที่เกิดขึ้นบน ตัวนำนี้เรียกว่า กระแสไหลวน ขนาดของกระแสไหลวนที่เกิดขึ้นบนชิ้นตัวนำ ตลอดจนถึงลักษณะการกระจาย ขึ้นอยู่กับจำนวนความถี่ ค่าการนำไฟฟ้าของชิ้นตัวนำ ค่าแม่เหล็ก รูปร่างและขนาดของชิ้นตัวนำ กระแสใน ขดลวด ระยะที่ห่างจากชิ้นตัวนำ และแปรเปลี่ยนตามลักษณะของรอยบกพร่อง เช่น รอยแตกบนชิ้นตัวนำ ดังที่แสดงในรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 รอยบกพร่องกับกระแสไหลวน

ดังนั้น จากการดูลักษณะการแปรเปลี่ยนการไหลของกระแสไหลวนบนชิ้นส่วนทดสอบก็จะทราบได้ว่ามีรอยบกพร่องบนชิ้นงานหรือไม่

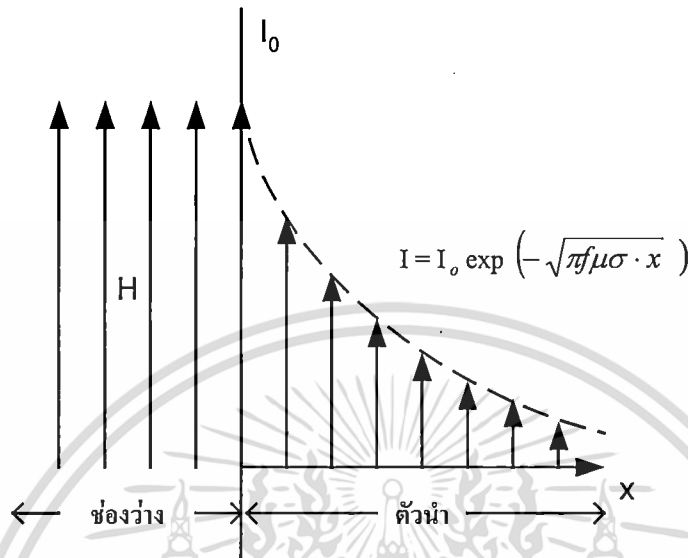
3.3.2 ปรากฏการณ์ที่ผิวกับความลึกที่ผ่านเข้า (Skin Effect & Penetration)

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

ในรูปที่ 3.5 ถ้าให้สารตัวนำมีลักษณะกว้างกึ่งไม่รู้จัก และมีสนามแม่เหล็ก H จากกระแส สลับมากระทำกระแสไหลวน I ที่เกิดขึ้นจะมีค่าลดลงไปตามสัดส่วนกับระยะทางจากผิว X

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไป

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



รูปที่ 3.5 ปราคฏการณ์ที่ผิว

ในที่นี้ I_0 เป็น ค่ากระแสไหลวนที่เกิดขึ้นบริเวณผิวหน้าของตัวนำ ($x=0$)

f เป็น ค่าความถี่ของกระแสสลับ

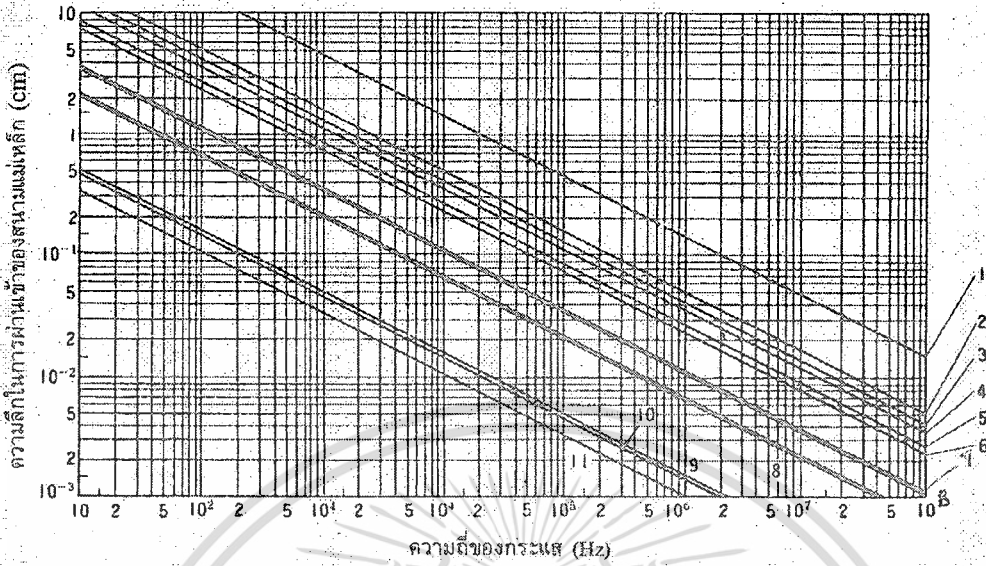
μ เป็น ค่าความซึมได้ทางแม่เหล็ก

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_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 ค่ารีแอคแตนซ์
- ค่า L_o ของขดลวดชิ้นเดียวหาได้ดังนี้

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

โดยที่ μ_o (H/m) เป็นค่าความซึมซับได้ทางแม่เหล็กในสุญญากาศ

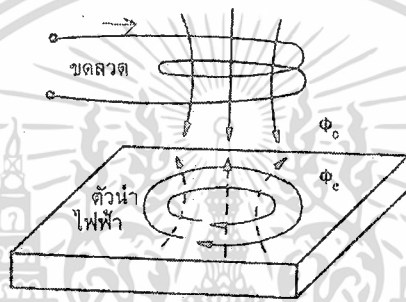
a_o (m) เป็นค่ารัศมีของขดลวด

ℓ (m) เป็นค่าความยาวของขดลวด

N เป็นค่าจำนวนรอบของขดลวด

K เป็นค่าสัมประสิทธิ์รีนาโก (Nagaoka s Ciefficient), ซึ่งแปรเปลี่ยนตามค่า

$2a/\ell$ ตามที่แสดงไว้ในตารางที่ 3.2



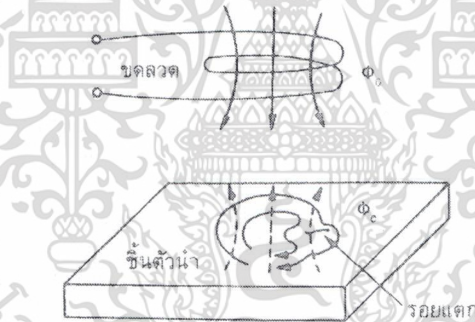
รูปที่ 3.7 ขดลวดที่ใช้ตรวจสอบ โดยการเหนี่ยวนำด้วยตัวเอง

จากรูปที่ 3.7 จะเห็นได้ว่าเมื่อนำขดลวดเข้าใกล้ชิ้นตัวนำ สนามแม่เหล็กที่เกิดจากกระแสไหลวนภายในชิ้นตัวนำจะทำให้ค่าอิมพีแดนซ์ของขดลวดเปลี่ยนแปลงไป ลักษณะการเปลี่ยนแปลงค่าอิมพีแดนซ์ของขดลวดนั้นเปรียบเทียบกับรูปแบบของหม้อแปลงไฟฟ้า ซึ่งจะเข้าใจได้ง่าย นั่นคือ ในการต่อโหลดเข้ากับหม้อแปลงทางขดลวดทุติยภูมิ มีกระแสไหลมากขึ้น ซึ่งปรากฏการณ์นี้เมื่อนำมาพิจารณาเทียบกับขดลวดที่มีแรงดันไฟฟ้าคงที่ เมื่อนำเข้าใกล้ชิ้นตัวนำ จากผลของกระแสไหลวนทำให้กระแสที่ไหลในขดลวดมีมากขึ้น นั่นคือ ในสภาพที่แรงดันไฟฟ้าคงที่ เมื่อค่า I เพิ่มมากขึ้นจากสูตรที่ 3.3 แสดงว่าค่าอิมพีแดนซ์จะลดลง นอกจากนี้กระแสไหลวนที่เกิดขึ้นจากการเหนี่ยวนำในชิ้นตัวนำไฟฟ้า และค่าความซึมซับได้ทางแม่เหล็กอีกด้วย ซึ่งในทำนองเดียวกันค่าของอิมพีแดนซ์ของขดลวดก็จะแปรเปลี่ยนไปตามตัวแปรเหล่านี้ด้วยเช่นกัน

ในกรณีที่ชิ้นตัวนำเป็นสารแม่เหล็กอยู่ด้วย คือมีค่า μ ใหญ่ จากสูตรที่ 3.5 จะเห็นได้ว่าค่าอินดักแตนซ์ที่เกิดจากกระแสไหลวนจะสูงกว่าค่าอิมพีแดนซ์ Z_o ของขดลวด

ตารางที่ 3.2 ค่าสัมประสิทธิ์รีนาเงาโอกา

$\frac{2a}{\ell}$	K	$\frac{2a}{\ell}$	K	$\frac{2a}{\ell}$	K	$\frac{2a}{\ell}$	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 ดังนั้นจะทำให้ค่าอิมพีแดนซ์ของขดลวดที่เข้าใกล้ชิ้นตัวนำแล้วตรวจพบว่าค่าอิมพีแดนซ์แปรเปลี่ยนไป ก็จะหารอยร้าวหรือรอยบกพร่องได้ ซึ่งลักษณะการตรวจสอบโดยหาค่าการเปลี่ยนแปลงของอิมพีแดนซ์ในขดลวดนี้ เรียกว่า ขดลวดตรวจสอบแบบเหนี่ยวนำด้วยตนเอง ในการตรวจสอบโดยวิธีการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้านั้น การรู้ค่าการแปรเปลี่ยนของอิมพีแดนซ์สำคัญกว่าการรู้ค่าอิมพีแดนซ์จริงๆ ดังนั้น เวลาคิดค่าอิมพีแดนซ์จึงตัดส่วนค่าความต้านทานกระแสตรง R_0 ของขดลวดซึ่งไม่เกี่ยวข้องกับกระแสไหลวนออก ทำให้ค่าอิมพี

แดนซ์ของขดลวดเป็น ωL_0 ถ้า Z เป็นอิมพีแดนซ์จริง และ Z_n เป็นอิมพีแดนซ์สัมพัทธ์ จะเขียนความสัมพันธ์ได้ดังนี้คือ

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

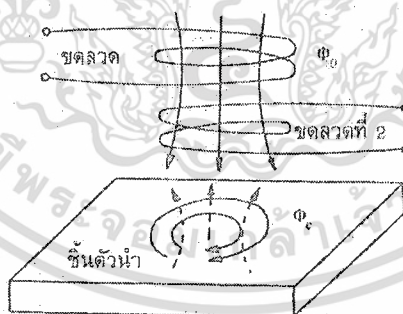
และ

$$Z = \frac{R - R_0}{\omega L_0} + j \frac{\omega L}{\omega L_0} \quad (3.7)$$

ในการแสดงรูปกราฟนั้นจะเขียน $(R - R_0)/\omega L_0$ ในแนวนอน $\omega L/\omega L_0$ ในแนวตั้ง

3.3.4 แรงดันไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในขดลวด

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



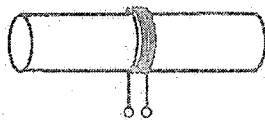
รูปที่ 3.9 ขดลวดตรวจสอบด้วยวิธีการเหนี่ยวนำไฟฟ้าร่วมกัน

3.4 วิธีการตรวจสอบ

3.4.1 ขดลวดที่ใช้ตรวจสอบและวิธีการ

ขดลวดที่ใช้ในการตรวจสอบนั้น ทำหน้าที่เหนี่ยวนำให้เกิดกระแสไหลวนขึ้นในชิ้นงานทดสอบและตรวจจับการเปลี่ยนแปลงของกระแสไหลวนในชิ้นงานทดสอบนั้น ขดลวดทดสอบจะ

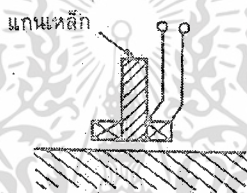
มีรูปร่างและขนาดต่าง ๆ กันขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้งาน แต่เมื่อแยกออกไปเป็นประเภทใหญ่ ๆ แล้ว จะได้แสดงดังรูปที่ 3.10 คือชนิดลวดแบบสวม ชนิดลวดแบบสอด และชนิดลวดแบบมีแกนเหล็ก



(ก) ชนิดลวดแบบสวม



(ข) ชนิดลวดแบบสอด



(ค) ชนิดลวดแบบมีแกนเหล็ก

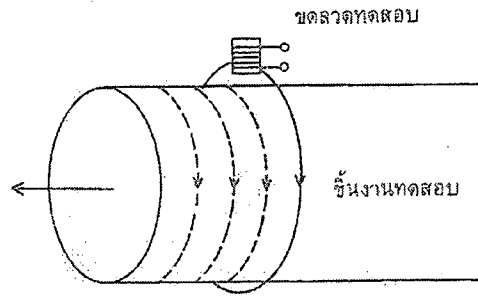
(ง)

รูปที่ 3.10 ชนิดลวดทดสอบแบบต่าง ๆ

จากรูปที่ 3.10 (ก) นี้จะเห็นได้ว่าชิ้นงานทดสอบจะใส่สอดผ่านชนิดลวด ชิ้นงานประเภทท่อ แท่งกลม หรือเส้นจะนำมาตรวจสอบได้ ซึ่งแบบนี้มีข้อดีที่ไม่ต้องแตะต้องกับชิ้นงาน หรือจูดรอยร้าวทำให้ตรวจได้เร็ว และมีประสิทธิภาพ

จากรูปที่ 3.10 (ข) เป็นแบบชนิดลวดสำหรับสอดเข้าไปภายในท่อจะมีรูปแบบชนิดลวดคล้าย ๆ กับ (ก) ซึ่งใช้ในการบำรุงรักษาในการตรวจหาจุดบกพร่องของผิวภายในท่อ ประเภทอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน (Heat Exchance) หรือท่อถ่ายเทความร้อน

จากรูปที่ 3.10 (ค) ซึ่งเป็นชนิดลวดแบบแกนเหล็กนั้น แกนของชนิดลวดจะตั้งฉากกับผิวของชิ้นงานทดสอบ ใช้ตรวจวัสดุที่มีลักษณะเป็นท่อนกลม, ท่อและแผ่นตลอดจนก้อนโลหะดิบ (Ingot) ได้โดยการแตะกับผิววัสดุ นอกจากจะใช้ตรวจหารอยร้าวหรือแผลแล้ว ยังใช้ตรวจชนิดของเนื้อวัสดุ ตลอดจนวัดความหนาของชั้นฟิล์มได้ รูปที่ 3.11 แสดงการใช้ชนิดลวดแบบมีแกนเหล็กในการตรวจหาแผลหรือรอยร้าวรอบ ๆ ผิวของท่อ โดยใช้วิธีแบบหมุนรอบชิ้นงาน

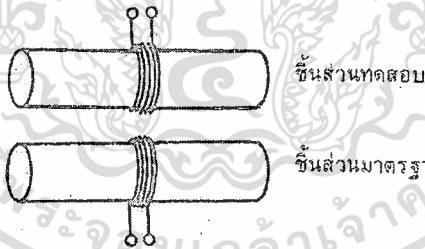


รูปที่ 3.11 การใช้ขดลวดแบบมีแกนเหล็กในลักษณะหมุนรอบท่อ

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



(ก) แบบเหนี่ยวนำด้วยตัวเอง



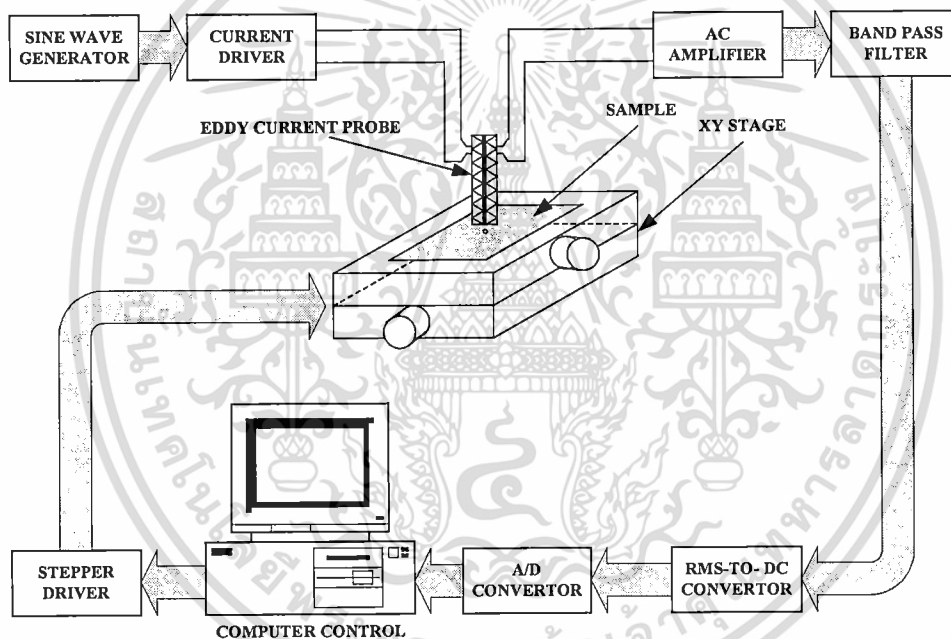
(ข) แบบเปรียบเทียบกับชิ้นส่วนมาตรฐาน

รูปที่ 3.12 แบบของขดลวดทดสอบ

บทที่ 4

ระบบสร้างภาพกระแสไหลวน (Eddy Current Imaging System)

ระบบสร้างภาพกระแสไหลวนสำหรับตรวจหารอยบกพร่องบนแผ่นโลหะ เพื่อนำระบบที่สร้างขึ้นไปใช้ในการตรวจหารอยบกพร่องต่างๆบนแผ่นโลหะ อาทิเช่น รอยแตก ร้าวบนรูที่เกิดจากการใช้หมุดย้ำบนแผ่นโลหะ หรือรูพรุนที่เกิดจากการสึกกร่อนจากสนิม เป็นต้น สำหรับส่วนประกอบทั้งหมดของเครื่องสร้างภาพกระแสไหลวนสำหรับตรวจหารอยบกพร่องบนแผ่นโลหะที่จะสร้างสามารถแสดงได้ในรูปที่ 1



รูปที่ 4.1 บล็อกไดอะแกรมของเครื่องสร้างภาพกระแสไหลวนสำหรับตรวจหารอยบกพร่องบนแผ่นโลหะ

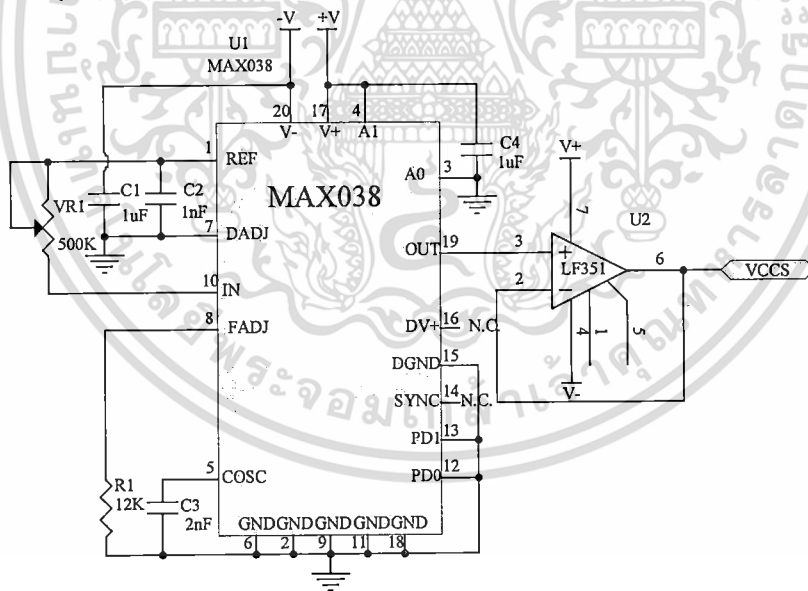
จากรูปที่ 4.1 หัววัดกระแสไหลวน (Eddy Current Probe) จะประกอบด้วยขดลวดตัวส่ง (Transmitter coil : Tx) และขดลวดตัวรับ (Receiver Coil : Rx) เมื่อเราจ่ายแรงดันให้กับขดลวดตัวส่งก็จะเกิดสนามแม่เหล็กขึ้นรอบขดลวดตัวส่ง สนามแม่เหล็กนี้จะไปเหนี่ยวนำขดลวดตัวรับทำให้เกิดแรงดันค่าหนึ่งขึ้นที่ขดลวดตัวรับ เมื่อเรานำหัววัดกระแสไหลวน (ซึ่งประกอบด้วยขดลวดตัวส่งและขดลวดตัวรับ) ไปเข้าใกล้แผ่นโลหะที่นำมาทดสอบทำให้เกิดกระแสไหลวน (Eddy Current) ขึ้นบนแผ่นโลหะนั้น กระแสไหลวนที่เกิดขึ้นบนแผ่นโลหะจะสร้างสนามแม่เหล็กขึ้นมาหักล้างกับสนามแม่เหล็กที่เกิดจาก

ขดลวดตัวส่ง ดังนั้นสนามแม่เหล็กที่ไปเหนี่ยวนำกับขดลวดตัวรับจึงลดลง ส่งผลให้แรงดันที่ขดลวดตัวรับมีค่าลดลง แต่หากแผ่นโลหะที่นำมาทดสอบมีรอยบกพร่องหรือรอยแตกร้าว(Flaw) ก็จะส่งผลให้กระแสไหลวนบนแผ่นโลหะเกิดการเปลี่ยนแปลง ส่งผลให้สนามแม่เหล็กที่เกิดจากกระแสนั้นเกิดการเปลี่ยนแปลง สนามแม่เหล็กที่ไปเหนี่ยวนำขดลวดตัวรับจึงเกิดการเปลี่ยนแปลง ดังนั้นแรงดันที่วัดได้จากขดลวดตัวรับจึงเกิดการเปลี่ยนแปลงตามขนาดและลักษณะของรอยบกพร่องบนแผ่นโลหะที่นำมาทดสอบ ด้วยเหตุนี้หากเราทำการเลื่อนแผ่นโลหะที่นำมาทดสอบโดย X-Y สเตจ (X-Y Stage) แล้วทำการเก็บข้อมูลแรงดันที่วัด เราก็สามารถนำข้อมูลของแรงดันที่วัดมาสร้างภาพเพื่อแสดงรอยบกพร่องของแผ่นโลหะที่นำมาทดสอบได้

จากรูปที่ 4.1 รายละเอียดของส่วนประกอบต่างๆของระบบสร้างภาพกระแสไหลวนสำหรับตรวจหารอยบกพร่องบนแผ่นโลหะสามารถแสดงได้ดังนี้

4.1 วงจรกำเนิดสัญญาณไซน์

วงจรนี้เป็นวงจรสร้างสัญญาณไซน์ เพื่อป้อนให้กับวงจรจ่ายกระแสแอมป์ที่ควบคุมด้วยแรงดัน (Voltage Control Current Source) โดยลักษณะของวงจรสร้างสัญญาณไซน์สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 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 (ขา3) และ ขา A1 (ขา4) ดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 การเลือกชนิดของสัญญาณเอาต์พุตของไอซี MAX 038

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

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

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

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

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

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

แต่เนื่องจากค่าตัวชี้ท (Datasheet) กำหนด VR₁ ควรอยู่ในช่วง 12.5 KΩ-500KΩ ∴ ที่ความถี่สูงสุดจะต้องปรับ VR₁ ต่ำสุดมาอยู่ที่ 12.5 KΩ ∴ หาค่า C₃ ได้ดังสมการ (4.4)

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

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 โดยวงจรจ่ายกระแสที่ใช้ในระบบสร้างภาพกระแสไหลวนสามารถแสดงดังรูปที่ 4.3

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

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

เมื่อให้ ความต้านทานในวงจรมีค่าเท่ากันหมดจะได้

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

\therefore 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 \therefore เราสามารถกำหนดค่ากระแสที่จ่ายให้กับโหลดได้ดังสมการที่ (4.12)

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

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

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

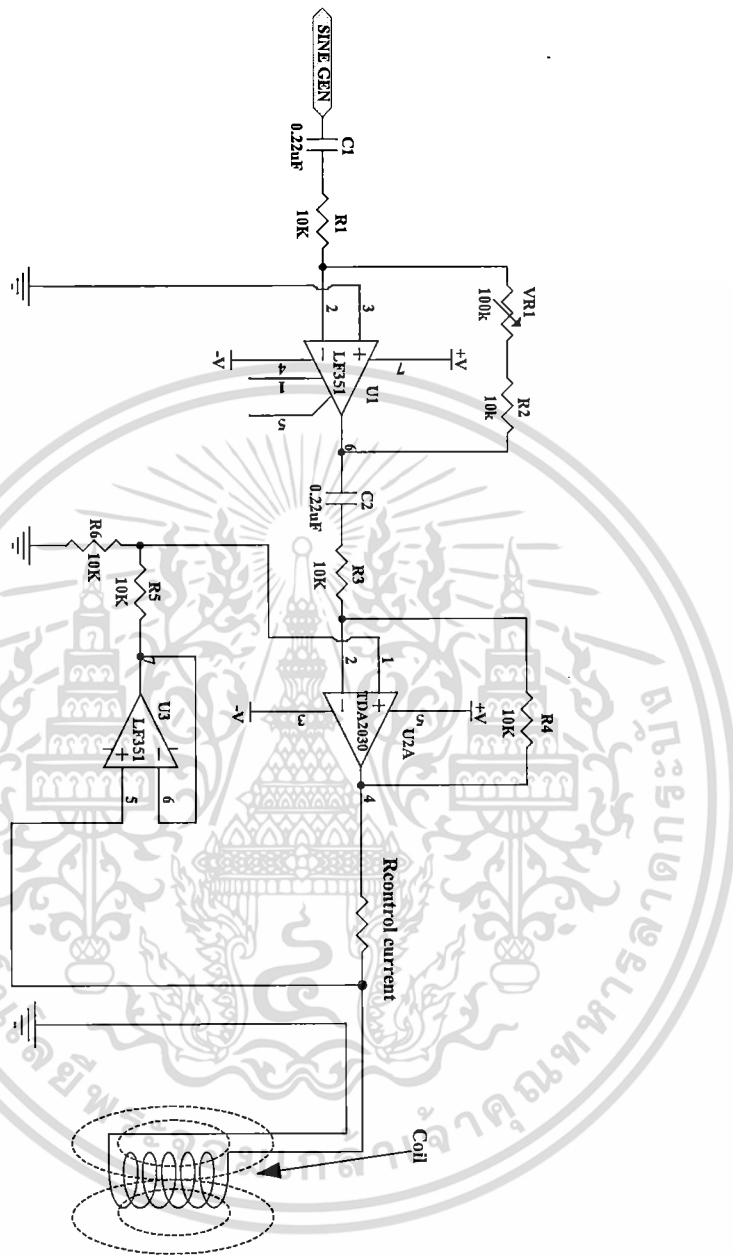
เมื่อ $R_{control}$ = ค่าความต้านทานสำหรับกำหนดค่ากระแสที่จ่ายให้กับโหลด
 V_{in} = ค่าแรงดันอินพุทของวงจรจ่ายกระแสควบคุมด้วยแรงดัน
 I_O = ค่ากระแสที่จ่ายให้กับโหลด

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

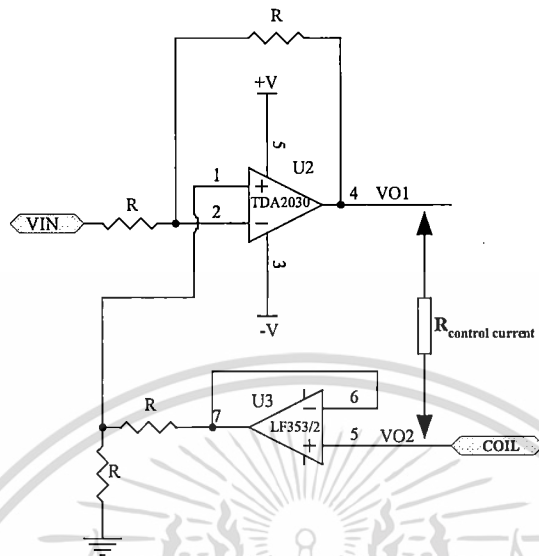
$$I_O = V_{in} / R_{control\ current} \quad (4.15)$$

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

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



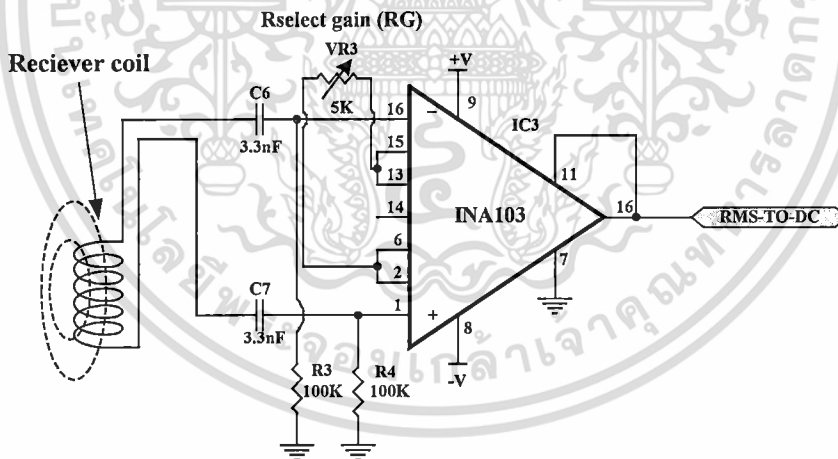
รูปที่ 4.3 วงจรจ่ายกระแสที่ใช้ในระบบสร้างภาพกระแสไหลวน



รูปที่ 4.4 วงจรขยายกระแสควบคุมด้วยแรงดัน

4.3 วงจรอิเล็กทรอนิกส์สำหรับขยายสัญญาณจากขดลวดตัวรับ

สำหรับวงจรอิเล็กทรอนิกส์สำหรับขยายสัญญาณจากขดลวดตัวรับสามารถแสดง ได้ดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 วงจรอิเล็กทรอนิกส์สำหรับขยายสัญญาณจากขดลวดตัวรับ

วงจรในส่วนนี้จะประกอบด้วย IC3 (INA 103) ซึ่งเป็นไอซีอินทรูเมนเตชันแอมพลิไฟเออร์ (Instrumentation Amplifier) ของบริษัท BURR-BROWN เพื่อทำการขยายสัญญาณที่ได้รับจากขดลวดตัวรับ ให้มีแอมพลิจูดของสัญญาณสูงขึ้น โดยจากวงจรรูปที่ 4.3 เราสามารถปรับอัตราขยายของ IC3 โดยเปลี่ยนค่า

ความต้านทานของ Rselect Gain (RG) ซึ่งเราสามารถคำนวณค่าความต้านทานสำหรับนำมาต่อเพื่อปรับค่าอัตราขยายของ IC3 ได้จากสมการที่ (4.17) และสมการที่ (4.18)

$$G = 1 + 6K\Omega/RG \quad (4.17)$$

∴ จากสมการที่ (4.18) จะได้

$$RG = 6K\Omega/(G-1) \quad (4.18)$$

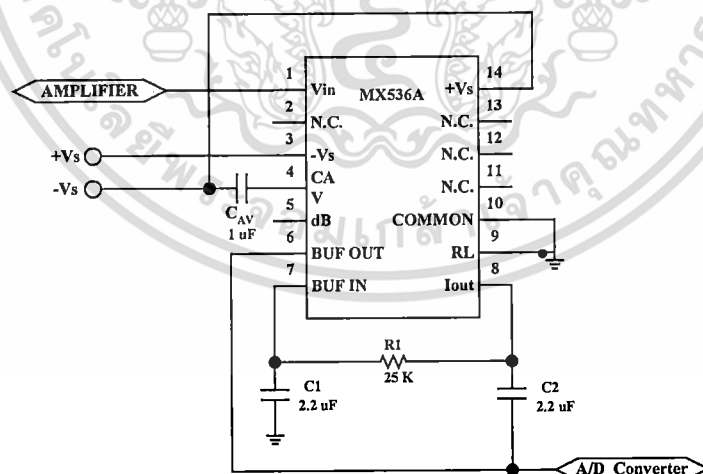
เมื่อ G = อัตราขยายของอินทรมอนเตชัน แอมพลิไฟเออร์

RG = ค่าความต้านทานของตัวต้านทานที่นำมาต่อเพื่อปรับอัตราขยาย

วงจรรูปที่ 4.5 จะปรับอัตราขยายของ IC3 ได้โดย VR3 ซึ่งจะปรับอัตราขยายของ IC3 ได้ในช่วงตั้งแต่ 2 เท่า จนถึง 1000 เท่า โดยสัญญาณที่ถูกขยายโดย IC3 จะถูกป้อนให้กับวงจรแปลงสัญญาณอาร์เอ็มเอสเป็นดีซีและวงจรแปลงสัญญาณแอนาลอกเป็นดิจิตอลต่อไป

4.4 วงจรแปลงสัญญาณอาร์เอ็มเอสเป็นดีซี (RMS-TO-DC Converter Circuit)

สำหรับวงจรแปลงสัญญาณอาร์เอ็มเอสเป็นดีซี ในระบบนี้จะใช้ไอซีสำเร็จรูปของบริษัท MAXIM เบอร์ MX536A ซึ่งรองรับแรงดันอินพุตได้ในช่วง $0 - 7 V_{RMS}$ สำหรับลักษณะ ของวงจรแปลงสัญญาณอาร์เอ็มเอสเป็นดีซีโดย MX536A จะมีลักษณะดังรูปที่ 4.6

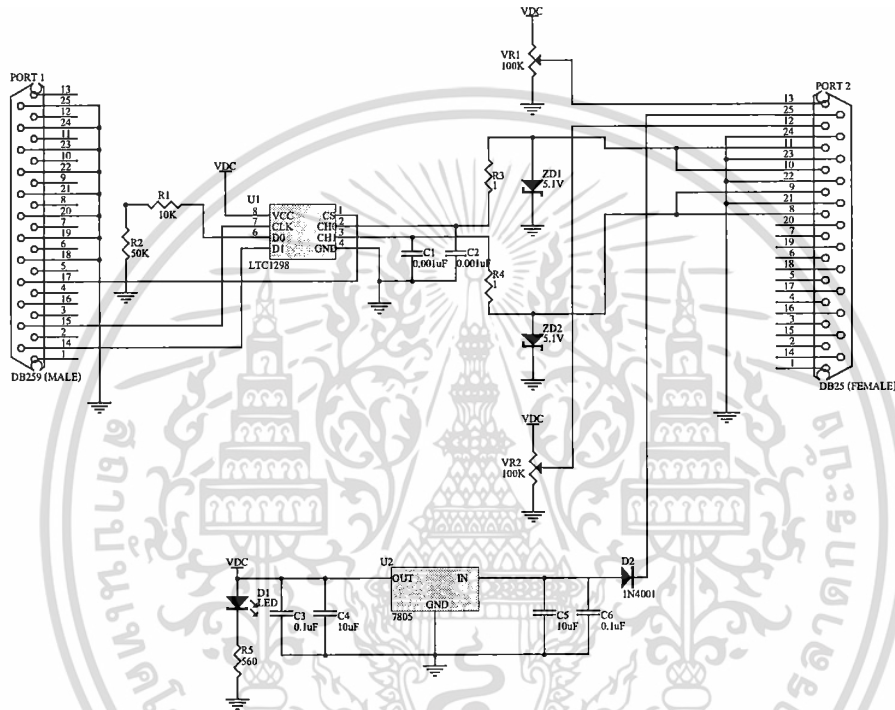


รูปที่ 4.6 วงจรแปลงสัญญาณอาร์เอ็มเอสเป็นดีซี

เอาท์พุทจากวงจรแปลงสัญญาณอาร์เอ็มเอสเป็นดีซีจะถูกส่งไปยังวงจรแปลงสัญญาณแอนาลอกเป็นดิจิตอลเพื่อทำการบันทึกข้อมูลของการวัดต่อไป

4.5 วงจรแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัล (A TO D Converter)

สำหรับวงจรแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัลจะใช้บอร์ดของบริษัท ETT รุ่น ET-AD12 ซึ่งเป็นบอร์ดแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัลขนาด 12 บิต ใช้เชื่อมต่อกับเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ทางพอร์ตเครื่องพิมพ์ (Printer Port) โดยมีลักษณะและคุณสมบัติของวงจรดังรูปที่ 4.7 และตารางที่ 4.2

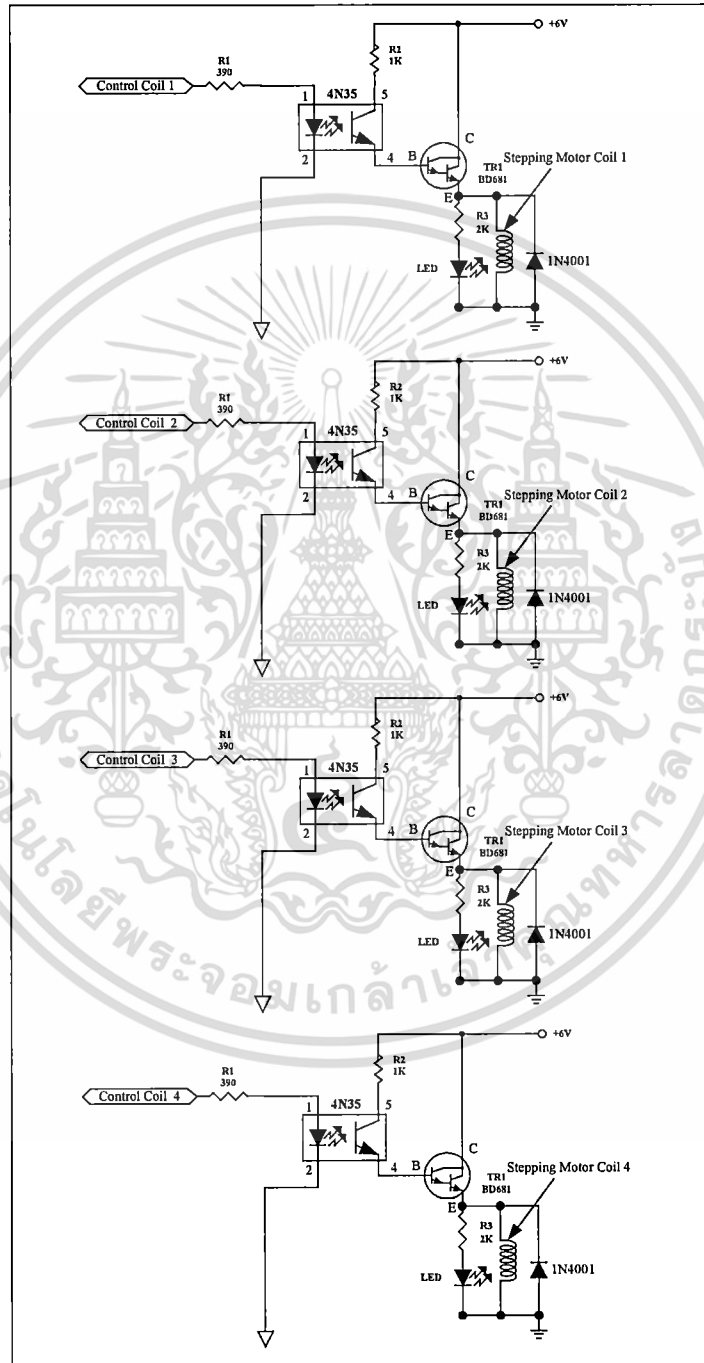


รูปที่ 4.7 วงจรภายในของบอร์ดแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัลรุ่น ET-AD12

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

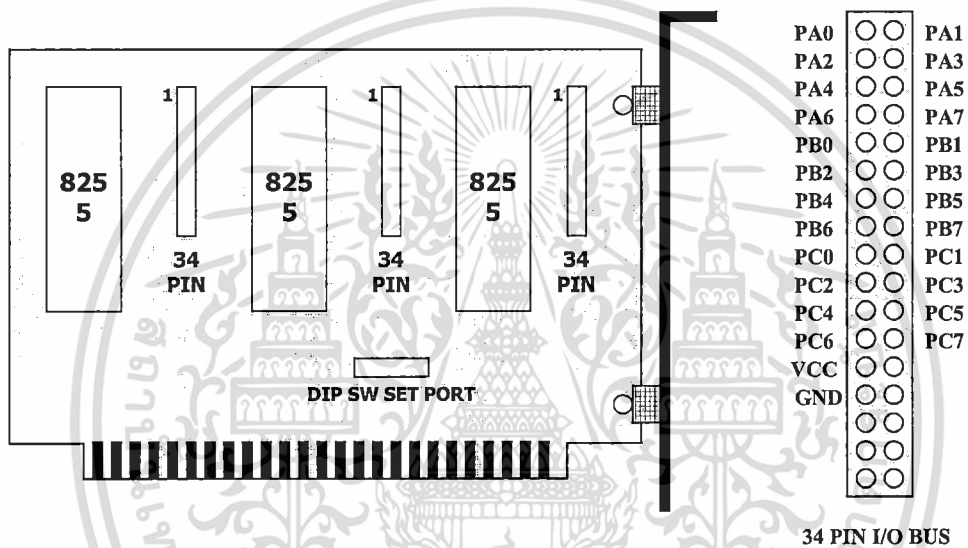
4.6 วงจรขับสเต็ปมอเตอร์ (Stepping motor driver circuit) สำหรับควบคุมการเคลื่อนที่ในงานในกรวัด
 สำหรับวงจรถับสเต็ปมอเตอร์และ X-Y สเตจ (X-Y Stage) ที่ใช้ในโครงการวิจัยนี้สามารถ
 แสดงได้ดังรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 วงจรถับสเต็ปมอเตอร์ (สำหรับมอเตอร์ 1 ตัว)

4.7 การ์ดอินเตอร์เฟซ (Interface Card)

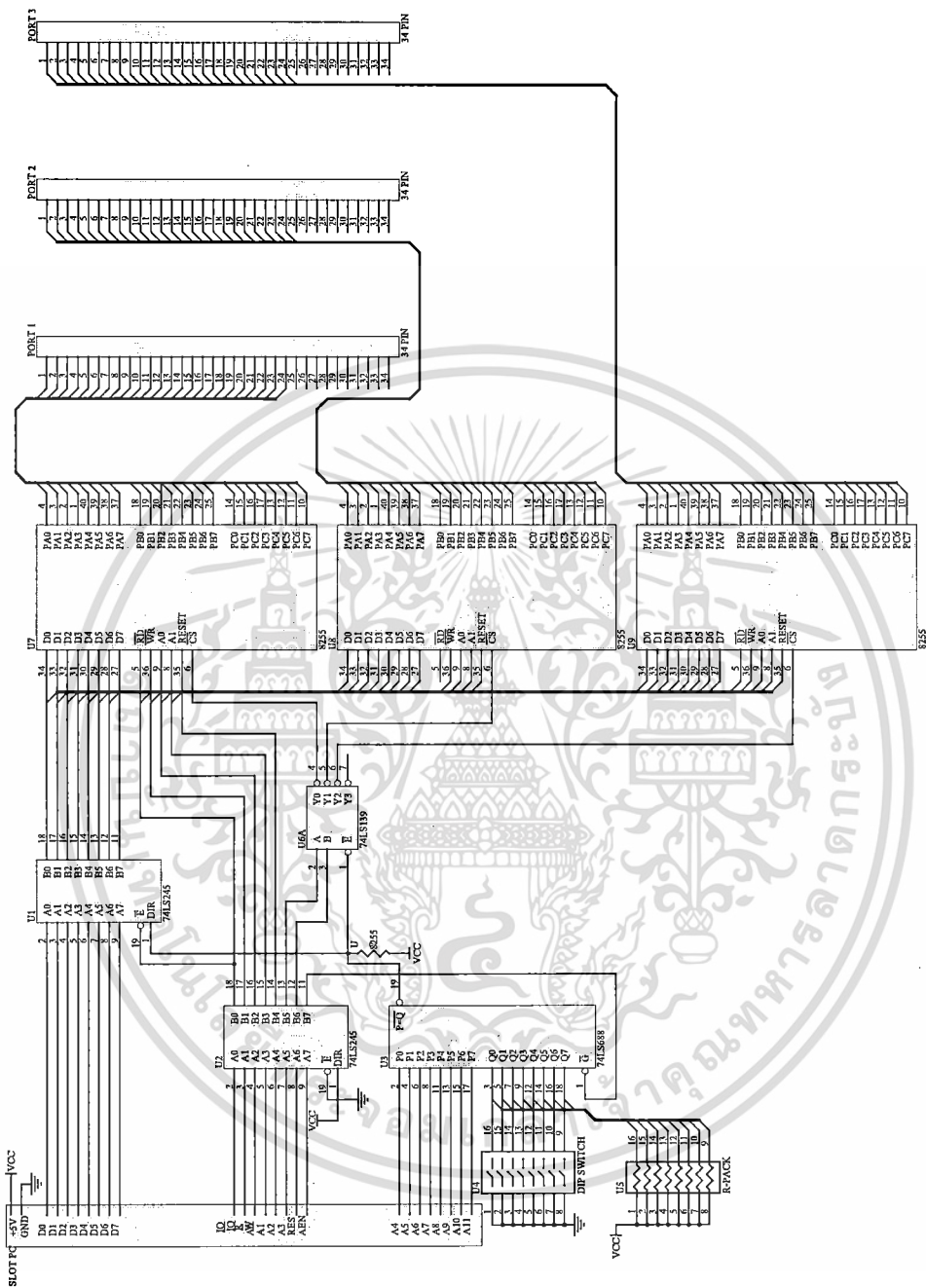
การ์ดอินเตอร์เฟซทำหน้าที่ส่งสัญญาณควบคุมจากคอมพิวเตอร์ไปควบคุมวงจรมัลติเพล็กซ์เซอร์ โดยการ์ดอินเตอร์เฟซที่ใช้เป็นของบริษัท ETT รุ่น ET-8255 ซึ่งเป็นการต่อขยายระบบเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ให้มีส่วนของอินพุทพอร์ตและเอาต์พุทพอร์ตเพิ่มมากขึ้น โดยในส่วนของการ์ดอินเตอร์เฟซนี้ จะมีพอร์ตให้ใช้งานจำนวน 9 พอร์ต หรือ 72 บิต (1 พอร์ตมี 8 บิต) ซึ่งลักษณะและคุณสมบัติของการ์ด ET-8255 สามารถแสดงดังรูปที่ 4.9 และตารางที่ 4.3



รูปที่ 4.9 ลักษณะของการ์ดอินเตอร์เฟซรุ่น ET-8255

ตารางที่ 4.3 คุณสมบัติของการ์ดอินเตอร์เฟซรุ่น ET-8255

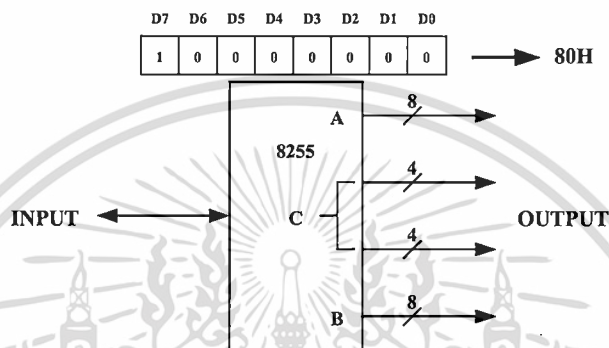
คุณสมบัติของของบอร์ด ET-8255	
INPUT LOGIC LOW	MIN = -0.5 VOLTS , MAX = 0.8 VOLTS
INPUT LOGIC HIGH	MIN = 2.0 VOLTS , MAX = 5 VOLTS
OUTPUT LOW VOLTAGE PORTS (I-SINK = 1.7 mA)	0.45 VOLTS
OUTPUT HIGH VOLTAGE PORTS (I-SOURCE = 200 uA)	2.4 VOLTS
POWER CONSUMPTION	300 mA
SIZE	HALF SLOT (13 X 11 CM).
PORT	3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



รูปที่ 4.10 วงจรภายในของการ์ด ET-8255

สำหรับรูปที่ 4.10 แสดงลักษณะวงจรของการ์ด ET-8255 ซึ่งจะประกอบด้วย 2 ส่วนใหญ่ๆคือ ส่วนของไอซี 8255 ซึ่งทำหน้าที่เป็นอินพุทพอร์ทและเอาต์พุทพอร์ท และส่วนของไอซีที่ทำหน้าที่ในการเลือกแอดเดรสของพอร์ท คือ ไอซี 74LS688 , 74LS139 และคิพสวิทช์

ในส่วนในของไอซี 8255 นี้จะมีพอร์ตใช้งาน 3 พอร์ตและพอร์ตควบคุมอีก 1 พอร์ตโดยก่อนที่จะใช้งานไอซี 8255 เราจะต้องส่งสัญญาณควบคุมไปยังพอร์ตควบคุมเพื่อกำหนดให้พอร์ตทั้ง 3 พอร์ตทำหน้าที่เป็นอินพุตพอร์ตหรือเอาต์พุตพอร์ต โดยในระบบเก็บข้อมูลนี้จะกำหนดพอร์ตทั้งหมดให้เป็นเอาต์พุตพอร์ต ซึ่งจะใช้โหมดในการควบคุมเป็นโหมด 0 และคอลโทรลโค้ด(Control Code) 80H ซึ่งสามารถแสดงรายละเอียดดังรูปที่ 4.11



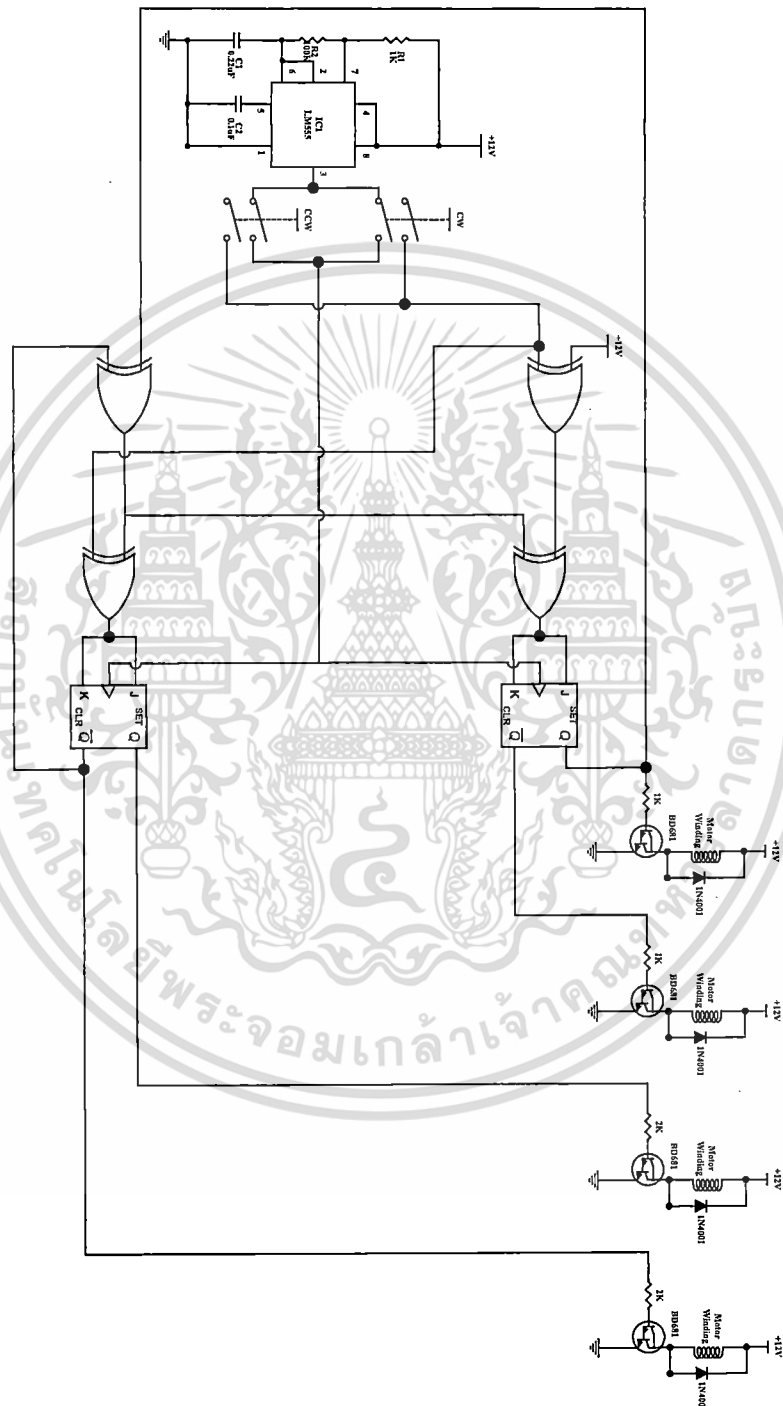
รูปที่ 4.11 ลักษณะพอร์ตของไอซี 8255 และสัญญาณควบคุม

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

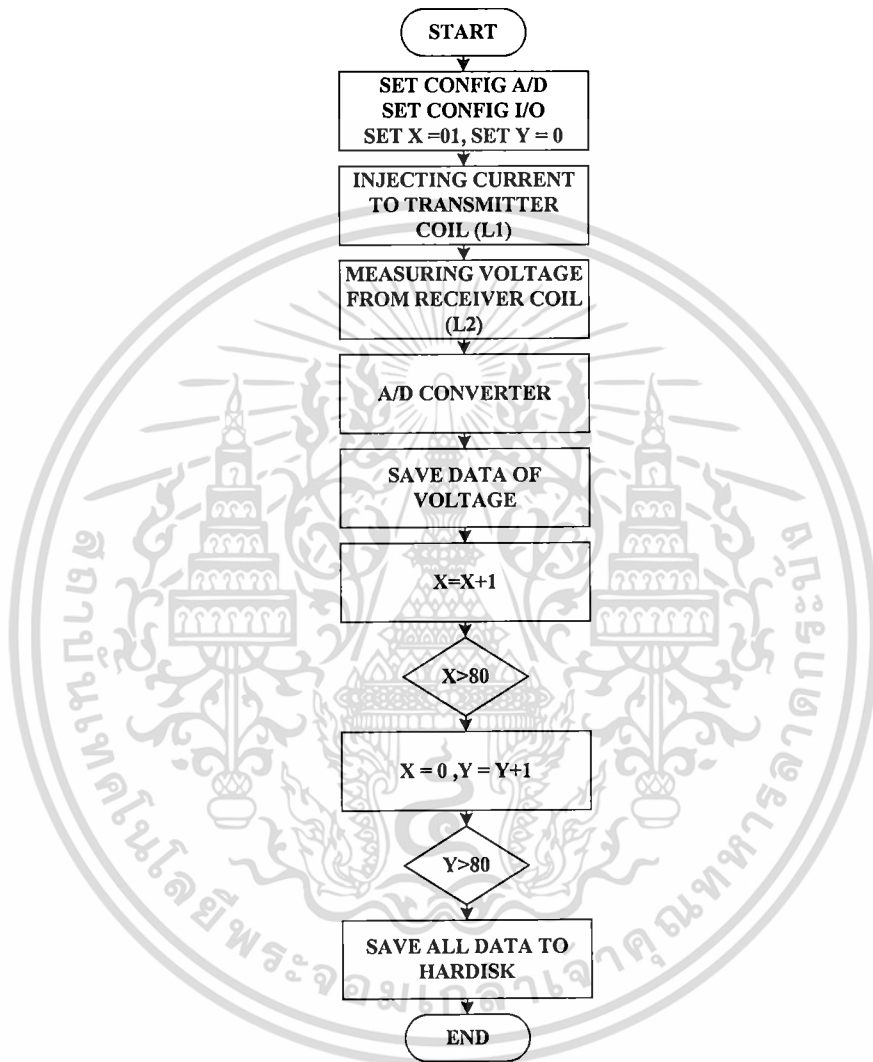
4.7 วงจรขับสเต็ปมอเตอร์ (Stepping motor driver circuit) สำหรับควบคุมการเคลื่อนหัววัดขึ้นงาน เป็นวงจรสำหรับควบคุมการเคลื่อนที่ของหัววัด (แกน Z) โดยลักษณะของวงจรสามารถแสดงดังรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.12 วงจรขับสเต็ปมอเตอร์ (Stepping motor driver circuit) สำหรับควบคุมการเคลื่อนหัววัดขึ้นงาน

4.8 อัลกอริทึมในการเก็บข้อมูลสำหรับสร้างภาพกระแสไหลวน

อัลกอริทึมในการเก็บข้อมูลสำหรับสร้างภาพกระแสไหลวนสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.13



รูปที่ 4.13 อัลกอริทึมในการเก็บข้อมูลสำหรับสร้างภาพกระแสไหลวน

ข้อมูลที่ทำกรวัดได้จะถูกส่งไปสร้างภาพกระแสไหลวนโดยโปรแกรม MATLAB ต่อไป

บทที่ 5

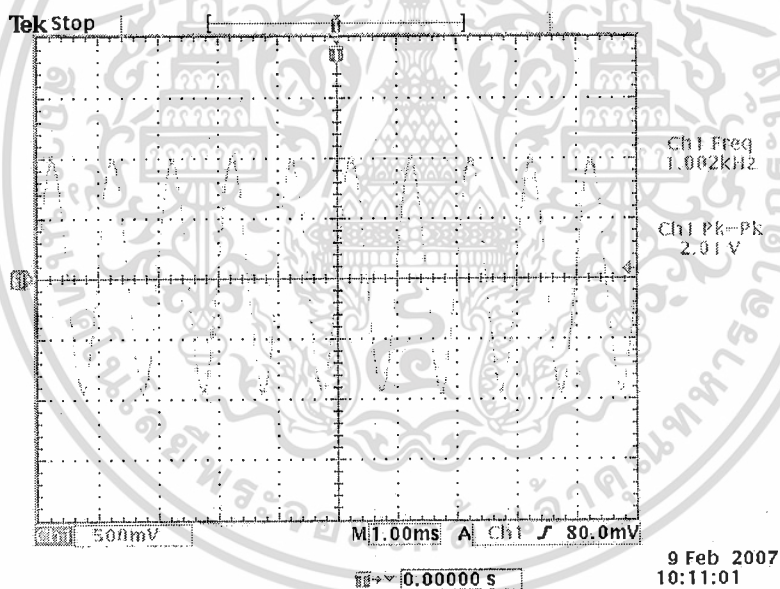
การทดลองและผลการทดลอง

สำหรับบทนี้จะกล่าวถึงการทดสอบระบบสร้างภาพกระแสไหลวนที่ได้ทำการออกแบบขึ้นมา โดยการทดสอบจะมีรายละเอียดดังหัวข้อต่างๆดังนี้

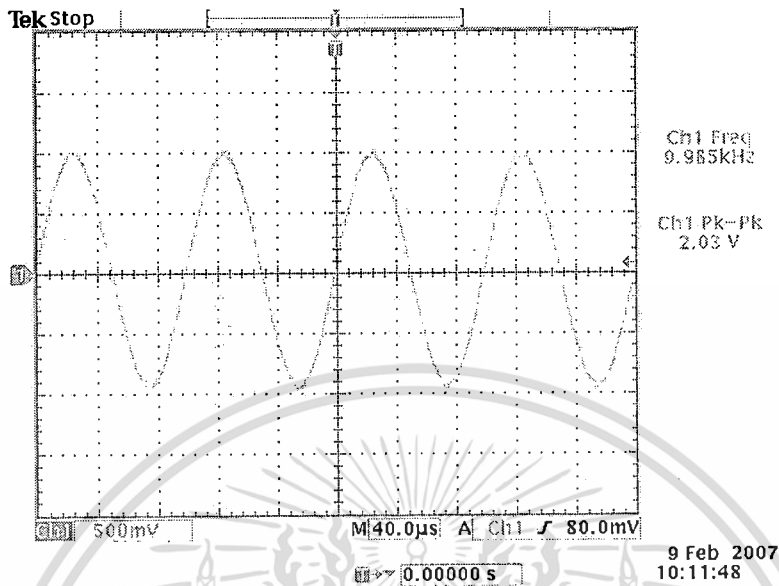
5.1 การทดสอบวงจรอิเล็กทรอนิกส์สำหรับเก็บข้อมูลสำหรับสร้างภาพกระแสไหลวน

5.1.1 การทดสอบสัญญาณของวงจรกำเนิดสัญญาณไซน์

สำหรับวงจรกำเนิดสัญญาณไซน์ที่ออกแบบขึ้นจะผลิตความถี่ในช่วง 500-20,000 เฮิร์ตแต่เราจะใช้งานจริงในช่วงความถี่ 1000-10,000 เฮิร์ต ซึ่งลักษณะของสัญญาณที่ได้จะแสดงดังรูปที่ 5.1 และ 5.2



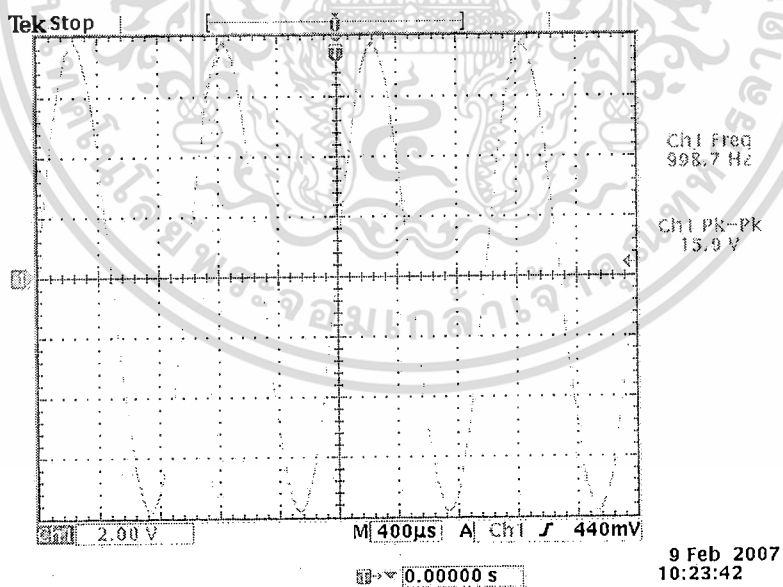
รูปที่ 5.1 สัญญาณเอาต์พุตของวงจรกำเนิดสัญญาณไซน์ที่ความถี่ 1000 เฮิร์ต



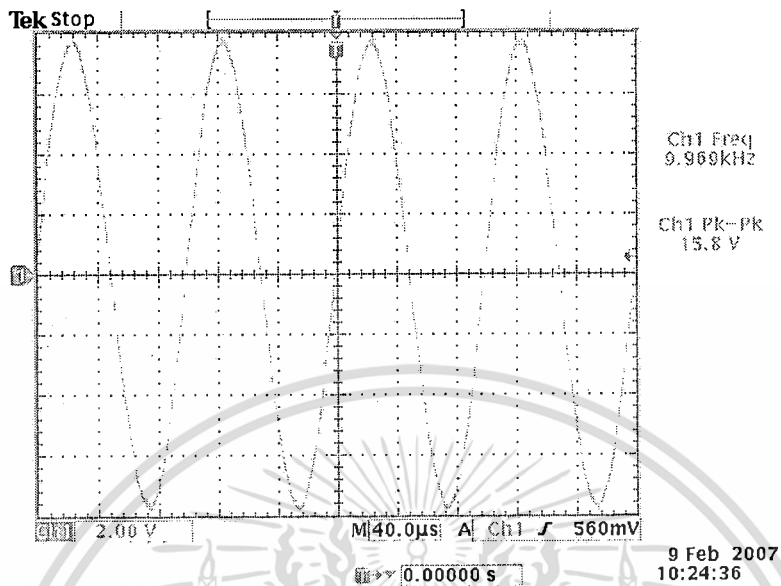
รูปที่ 5.2 สัญญาณเอาต์พุตของวงจรกำเนิดสัญญาณไซน์ที่ความถี่ 10,000 เฮิรต์

5.1.2 การทดสอบสัญญาณของวงจรขยายสัญญาณไซน์

สำหรับลักษณะของสัญญาณที่ได้จากวงจรขยายสัญญาณไซน์สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 5.3 และ 5.4



รูปที่ 5.3 สัญญาณเอาต์พุตของวงจรขยายสัญญาณไซน์ที่ความถี่ 1000 เฮิรต์

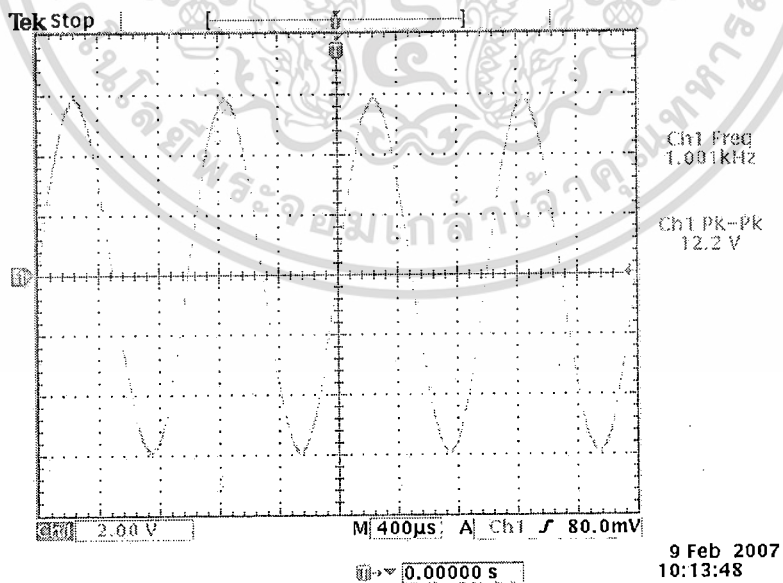


รูปที่ 5.4 สัญญาณเอาต์พุทของวงจรขยายสัญญาณไซน์ที่ความถี่ 10,000 เฮิรต์

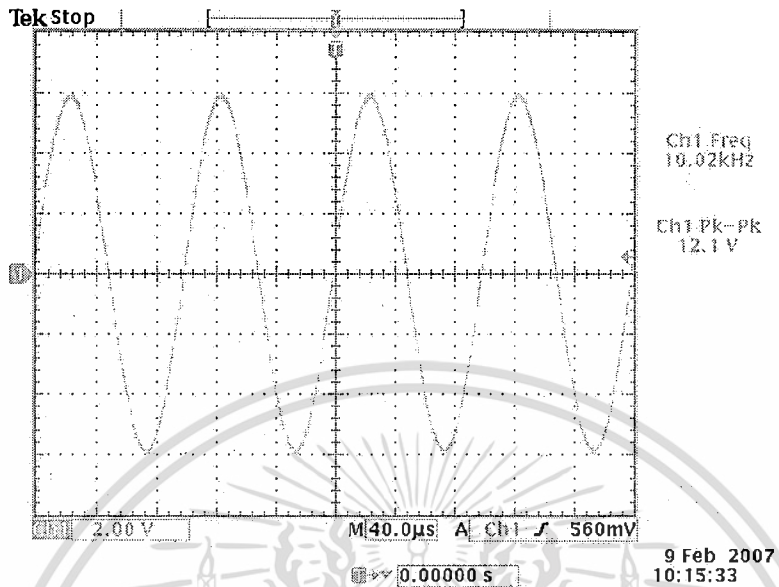
5.1.3 การทดสอบสัญญาณของวงจรจ่ายกระแสควบคุมด้วยแรงดัน

สำหรับลักษณะของสัญญาณที่ได้จากวงจรจ่ายกระแสควบคุมด้วยแรงดันสามารถแสดงได้ดังรูปที่

5.5 และ 5.6



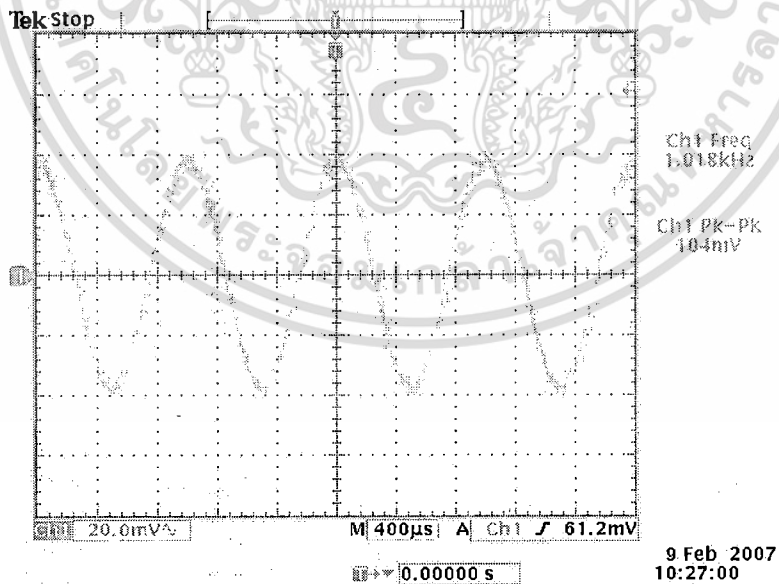
รูปที่ 5.5 สัญญาณเอาต์พุทของวงจรจ่ายกระแสควบคุมด้วยแรงดันที่ความถี่ 1000 เฮิรต์



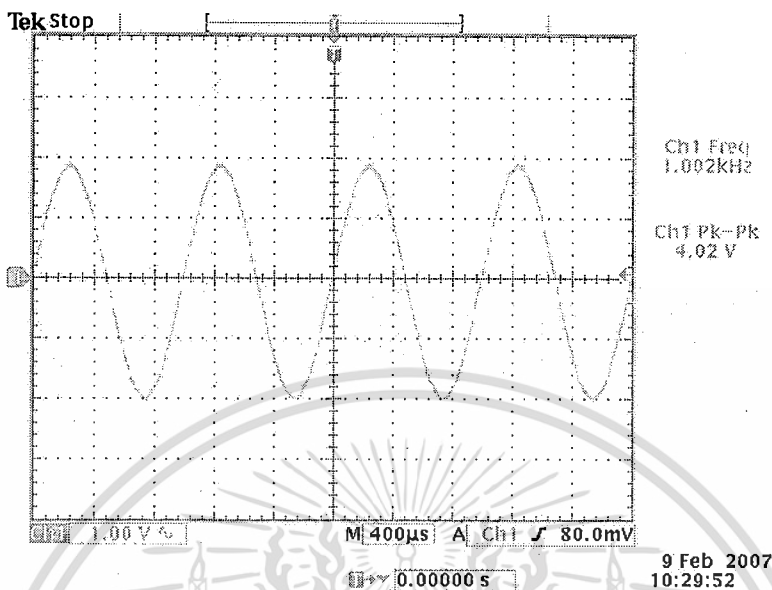
รูปที่ 5.6 สัญญาณเอาต์พุตของวงจรจ่ายกระแสควบคุมด้วยแรงดันที่ความถี่ 10,000 เฮิรต์

5.1.4 การทดสอบสัญญาณของวงจรถออินพุตสำหรับขยายสัญญาณจากขดลวดตัวรับ

สำหรับลักษณะของสัญญาณอินพุตและเอาต์พุตจากวงจรถอขยายสัญญาณจากขดลวดตัวรับสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 5.7 และ 5.8



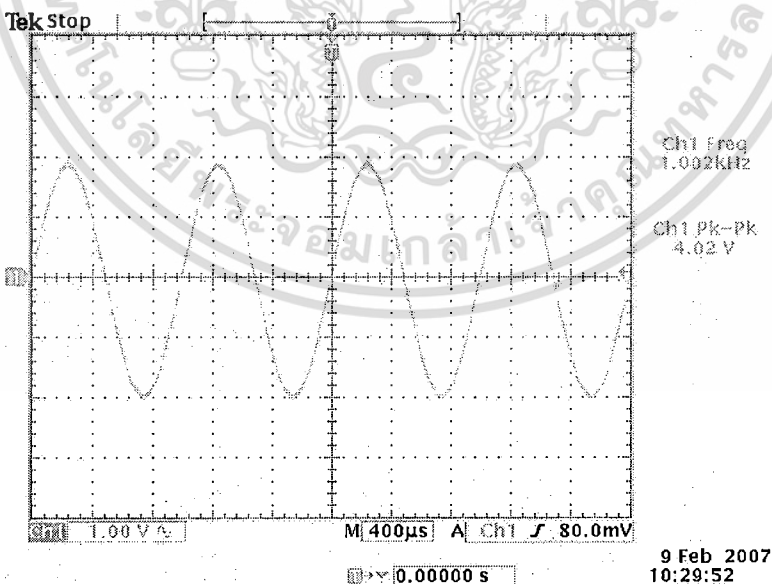
รูปที่ 5.7 สัญญาณอินพุตของวงจรถอขยายสัญญาณจากขดลวดตัวรับที่ความถี่ 1000 เฮิรต์



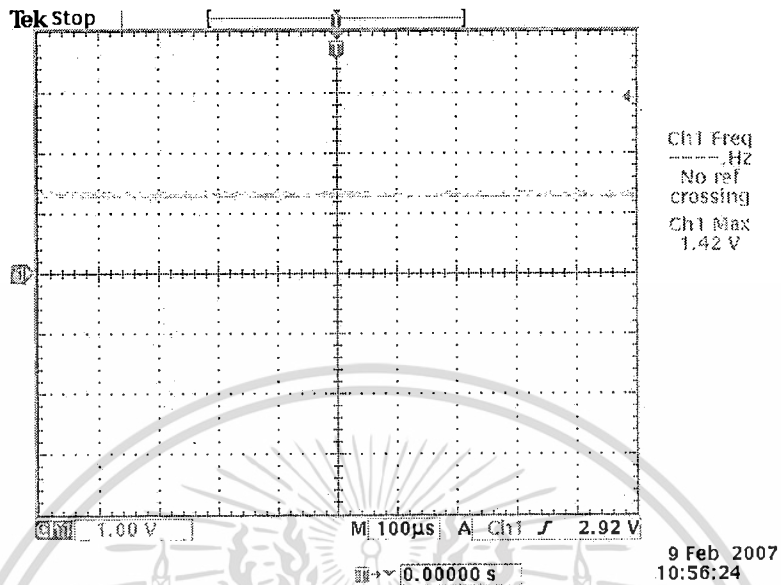
รูปที่ 5.8 สัญญาณเอาต์พุตของวงจรขยายสัญญาณจากขดลวดตัวรับที่มีความถี่ 1000 เฮิร์ต

5.1.5 การทดสอบสัญญาณของวงจรแปลงสัญญาณอาร์เอ็มเอสเป็นดีซี

สำหรับลักษณะของสัญญาณอินพุตและเอาต์พุตของวงจรแปลงสัญญาณอาร์เอ็มเอสเป็นดีซีสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 5.9 และ 5.10



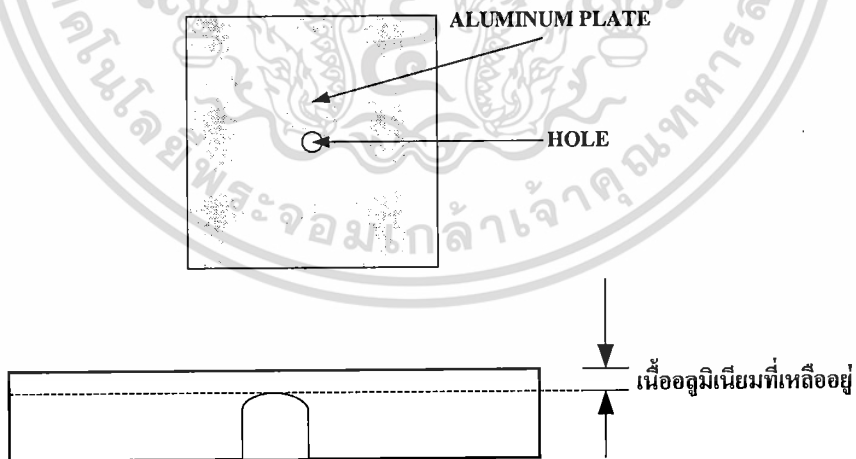
รูปที่ 5.9 สัญญาณอินพุตของวงจรแปลงสัญญาณอาร์เอ็มเอสเป็นดีซีที่มีความถี่ 1000 เฮิร์ต



รูปที่ 5.9 สัญญาณเอาต์พุตของวงจรแปลงสัญญาณอาร์เอ็มเอสเป็นดีซีที่มีความถี่ 1000 เฮิรต์

5.2 การทดสอบสัญญาณจากระบบที่ออกแบบขึ้นเมื่อวัดจากแผ่นโลหะทดสอบ

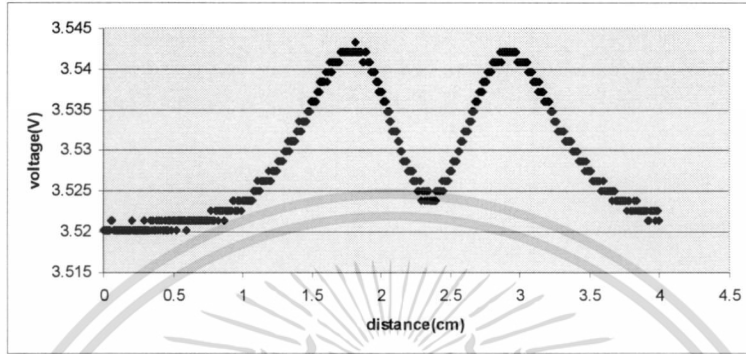
ในการทดสอบจะนำแผ่นโลหะทดสอบ(อลูมิเนียม)ที่ทำการเจาะรูขนาด 3 mm. และมีเนื้ออลูมิเนียมที่เหลืออยู่ 0.2,0.4,0.6 และ 0.8 mm. แล้วนำไปทดสอบ โดยวัดด้านที่ไม่มีการเจาะรูตามเงื่อนไขต่างๆ



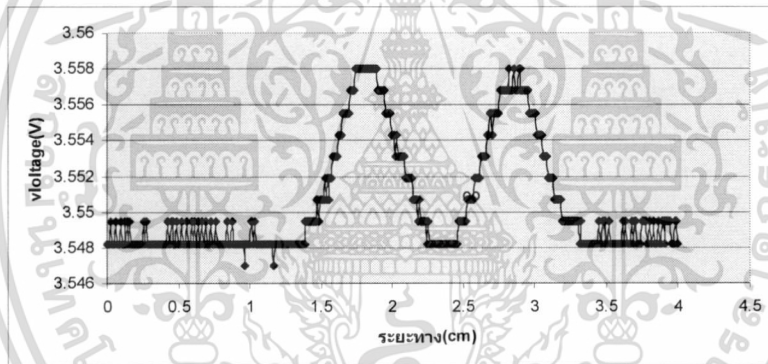
รูปที่ 5.10 การสร้างแผ่นโลหะสำหรับทดสอบระบบ

5.2.1 การทดสอบผลของความถี่ต่อแผ่นโลหะทดสอบ

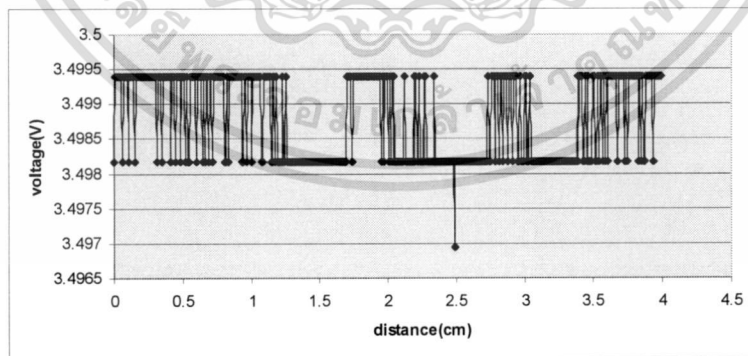
5.2.1.1 การทดสอบผลของความถี่ต่อแผ่นโลหะทดสอบที่มีเนื้ออลูมิเนียมหนึ่ 2 มิลลิเมตร



รูป 5.11(ก) ความถี่เท่ากับ 1000 เฮิรต์

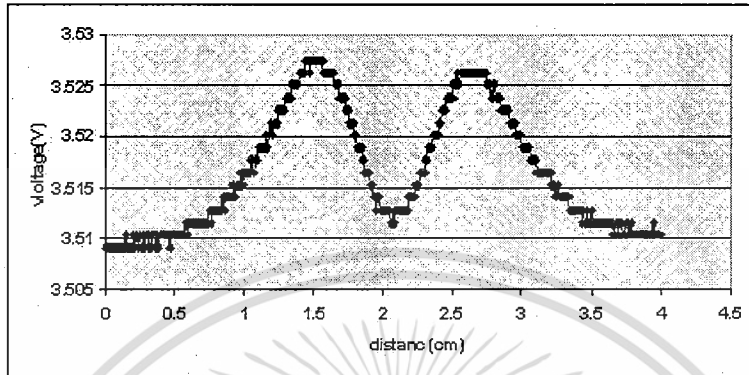


รูป 5.11(ข) ความถี่เท่ากับ 5000 เฮิรต์

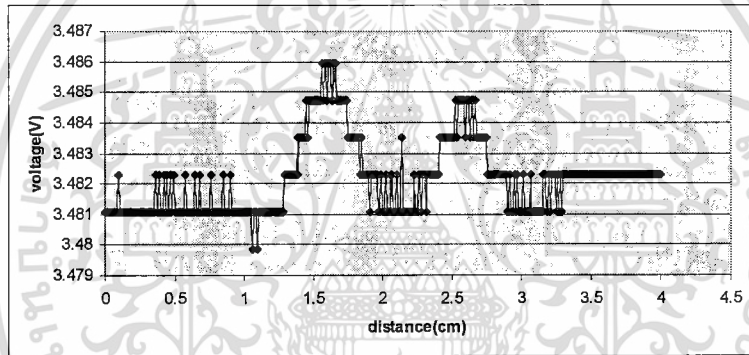


รูป 5.11(ค) ความถี่เท่ากับ 10,000 เฮิรต์

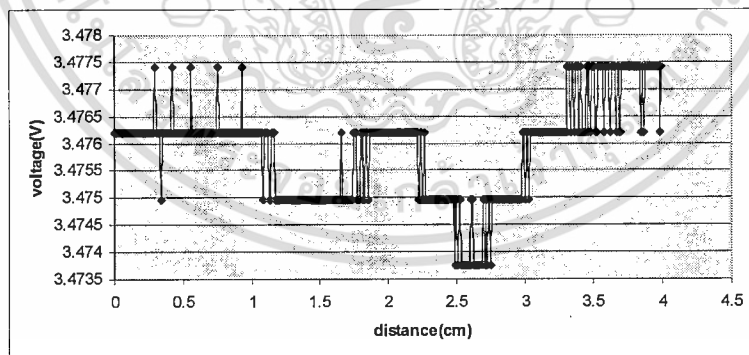
5.2.1.2 การทดสอบผลของความถี่ต่อแผ่นโลหะทดสอบที่มีเนื้ออลูมิเนียมเหลือ 4 มิลลิเมตร



รูป 5.12(ก) ความถี่เท่ากับ 1000 เฮิรต์

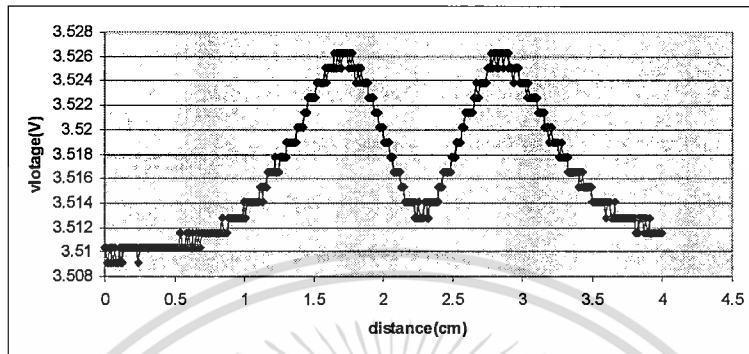


รูป 5.12 (ข) ความถี่เท่ากับ 5000 เฮิรต์

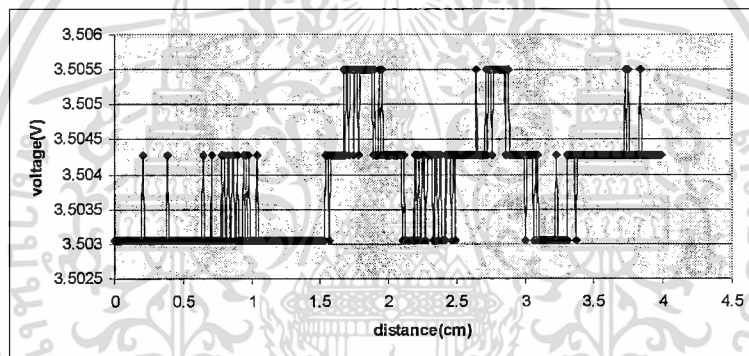


รูป 5.12 (ค) ความถี่เท่ากับ 10,000 เฮิรต์

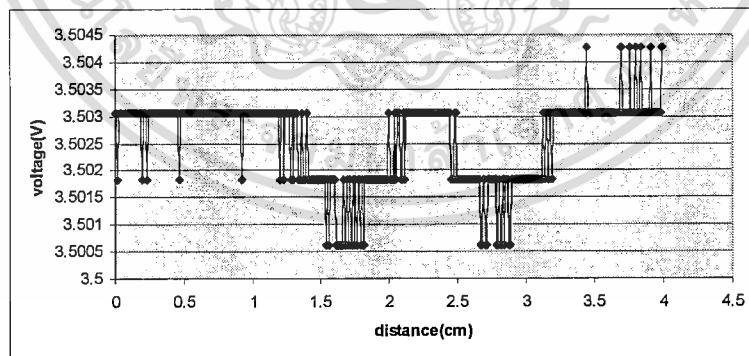
5.2.1.3 การทดสอบผลของความถี่ต่อแผ่น โลหะทดสอบที่มีเนื้ออลูมิเนียมเหลือ 6 มิลลิเมตร



รูป 5.13 (ก) ความถี่เท่ากับ 1000 เฮิรต

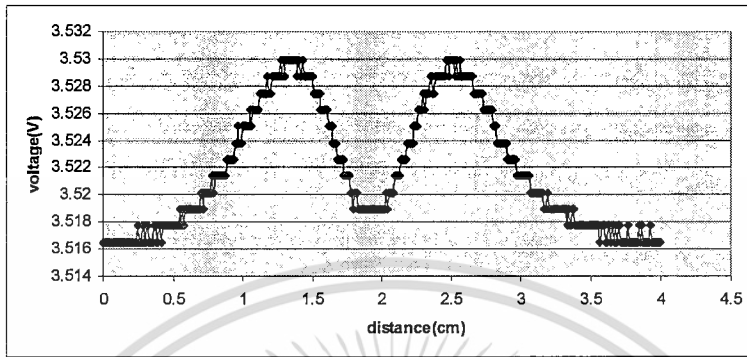


รูป 5.13 (ข) ความถี่เท่ากับ 5000 เฮิรต

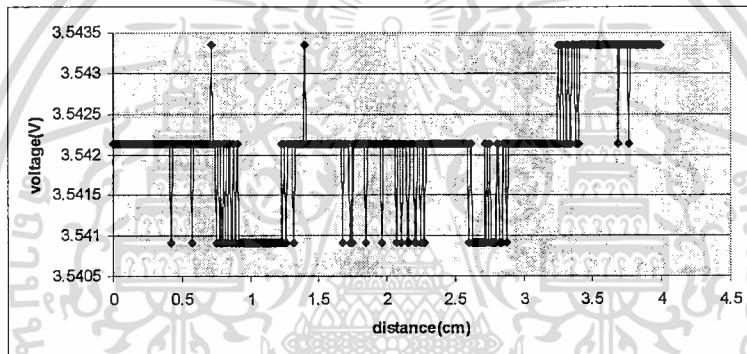


รูป 5.13 (ค) ความถี่เท่ากับ 10,000 เฮิรต

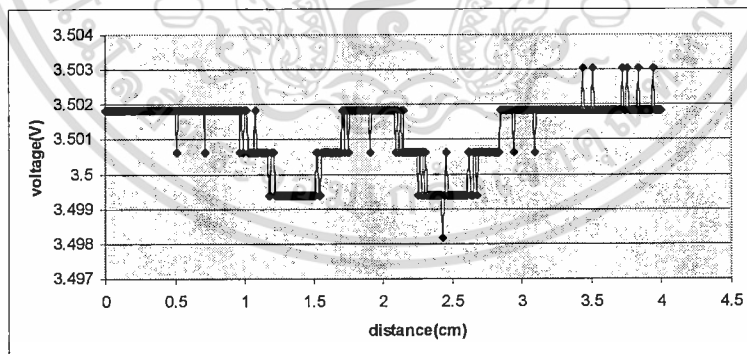
5.2.1.4 การทดสอบผลของความถี่ต่อแผ่น โลหะทดสอบที่มีเนื้อลูมิเนียมเหลือ 8 มิลลิเมตร



รูป 5.14(ก) ความถี่เท่ากับ 1000 เฮิรต



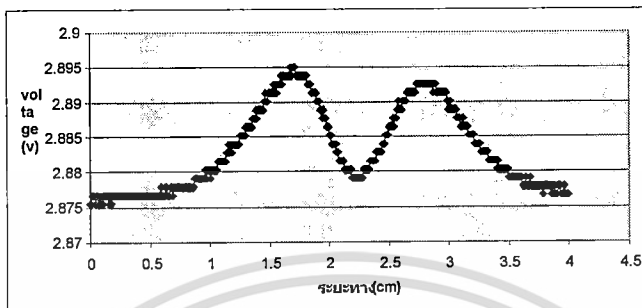
รูป 5.14 (ข) ความถี่เท่ากับ 5000 เฮิรต



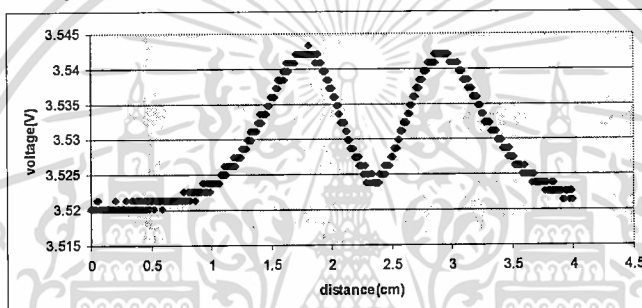
รูป 5.14 (ค) ความถี่เท่ากับ 10,000 เฮิรต

5.2.2 การทดสอบผลของกระแสต่อแผ่นโลหะทดสอบที่มีความถี่ 1000 เฮิร์ต

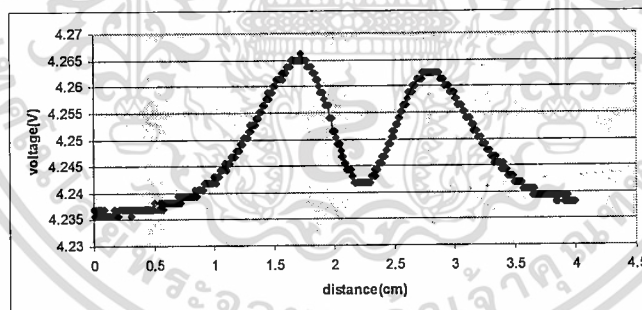
5.2.2.1 การทดสอบผลของกระแสต่อแผ่นโลหะทดสอบที่มีเนื้ออลูมิเนียมเหนียวเหลือ 2 มิลลิเมตร



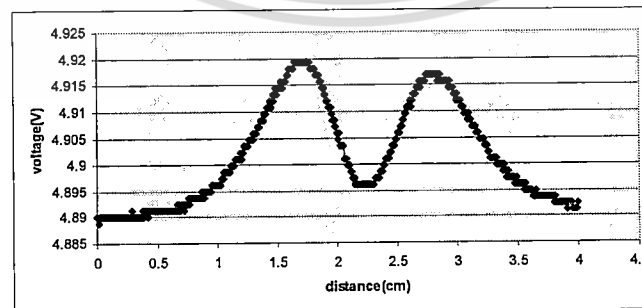
รูป 5.15 (ก) กระแสผ่านขดลวดเท่ากับ 80 มิลลิแอมป์



รูป 5.15 (ข) กระแสผ่านขดลวดเท่ากับ 160 มิลลิแอมป์

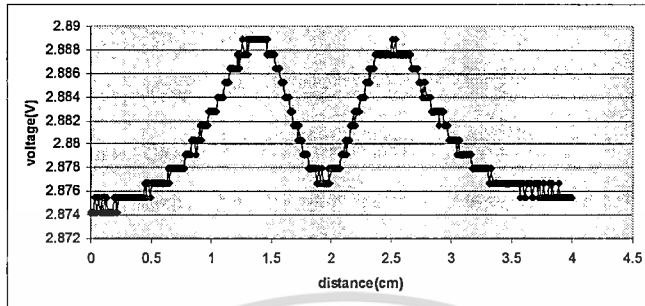


รูป 5.15 (ค) กระแสผ่านขดลวดเท่ากับ 240 มิลลิแอมป์

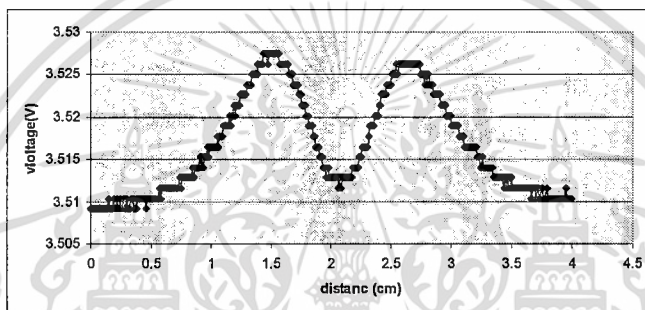


รูป 5.15 (ง) กระแสผ่านขดลวดเท่ากับ 320 มิลลิแอมป์

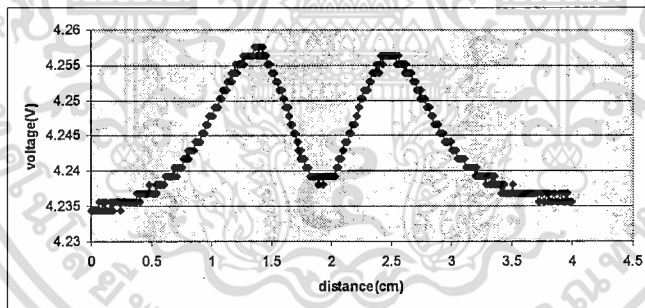
5.2.2.2 การทดสอบผลของกระแสต่อแผ่น โลหะทดสอบที่มีเนื้ออลูมิเนียมเหลือ 4 มิลลิเมตร



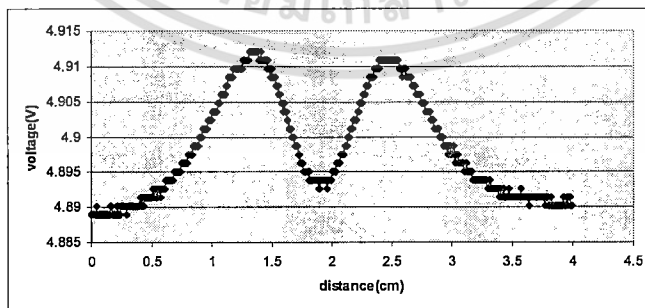
รูป 5.16 (ก) กระแสผ่านขดลวดเท่ากับ 80 มิลลิแอมป์



รูป 5.16 (ข) กระแสผ่านขดลวดเท่ากับ 160 มิลลิแอมป์

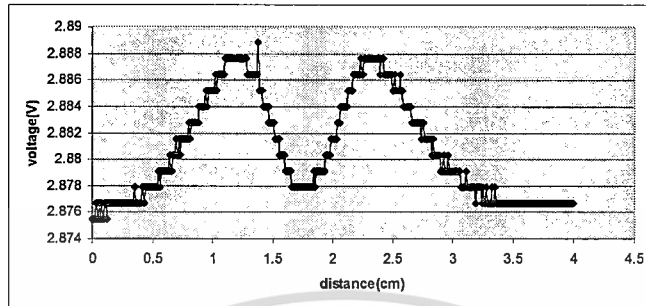


รูป 5.16 (ค) กระแสผ่านขดลวดเท่ากับ 240 มิลลิแอมป์

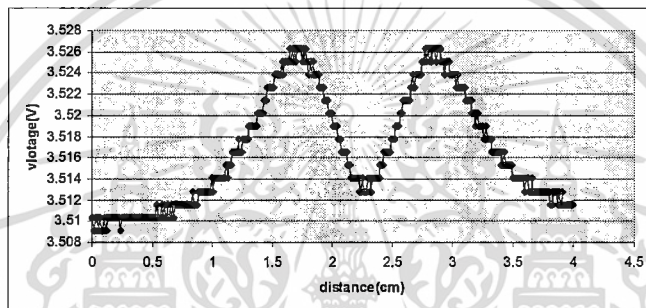


รูป 5.16 (ง) กระแสผ่านขดลวดเท่ากับ 320 มิลลิแอมป์

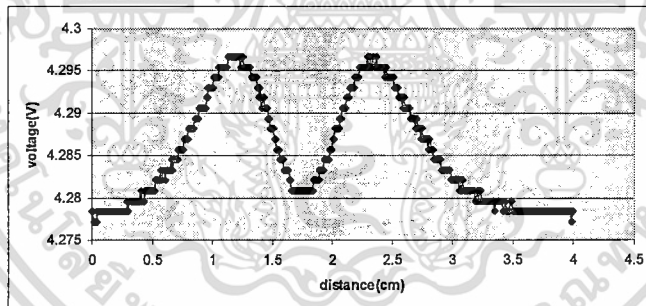
5.2.2.3 การทดสอบผลของกระแสต่อแผ่น โลหะทดสอบที่มีเนื้ออลูมิเนียมเหลือ 6 มิลลิเมตร



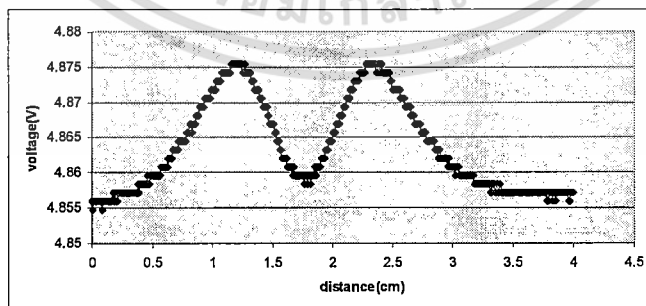
รูป 5.17 (ก) กระแสผ่านขดลวดเท่ากับ 80 มิลลิแอมป์



รูป 5.17 (ข) กระแสผ่านขดลวดเท่ากับ 160 มิลลิแอมป์

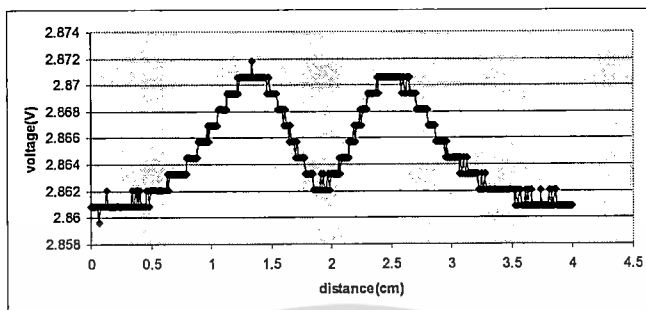


รูป 5.17 (ค) กระแสผ่านขดลวดเท่ากับ 240 มิลลิแอมป์

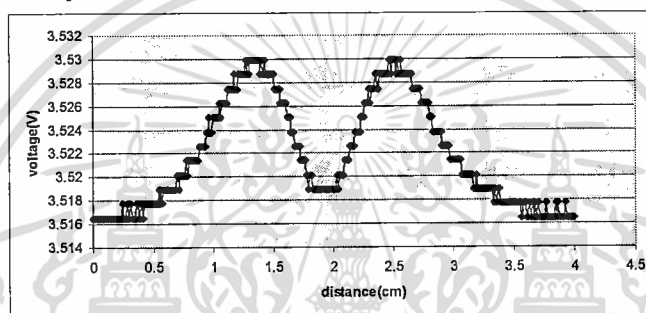


รูป 5.17 (ง) กระแสผ่านขดลวดเท่ากับ 320 มิลลิแอมป์

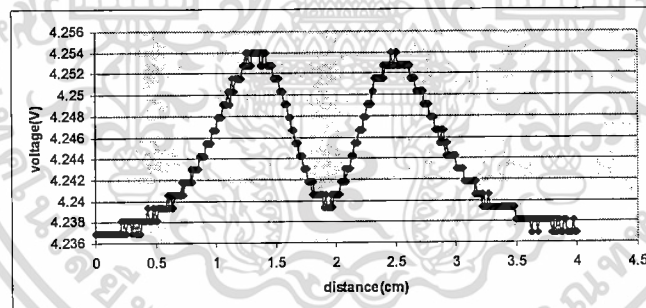
5.2.2.4 การทดสอบผลของกระแสต่อแผ่น โลหะทดสอบที่มีเนื้ออลูมิเนียมเหลือ 8 มิลลิเมตร



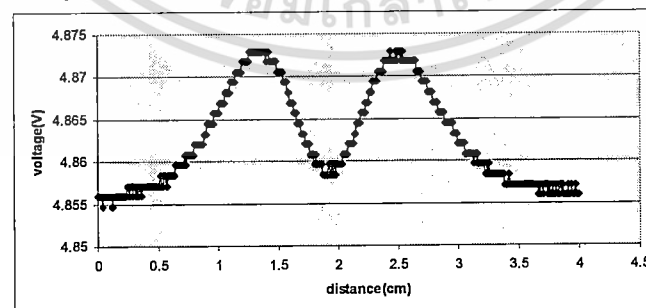
รูป 5.18 (ก) กระแสผ่านขดลวดเท่ากับ 80 มิลลิแอมป์



รูป 5.18 (ข) กระแสผ่านขดลวดเท่ากับ 160 มิลลิแอมป์



รูป 5.18 (ค) กระแสผ่านขดลวดเท่ากับ 240 มิลลิแอมป์

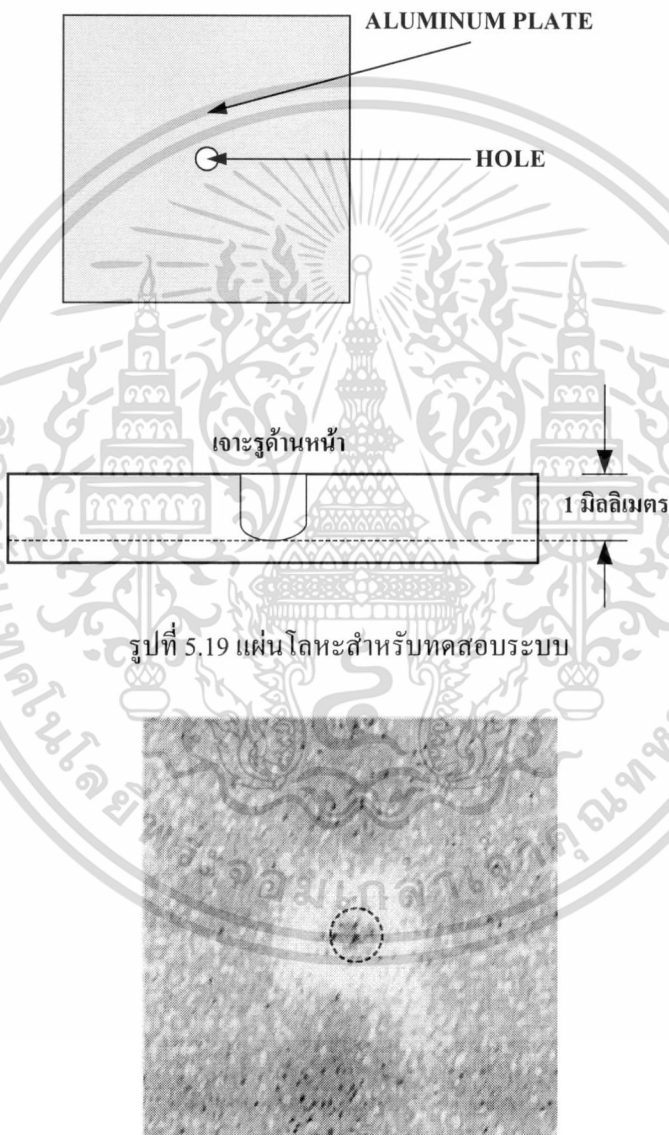


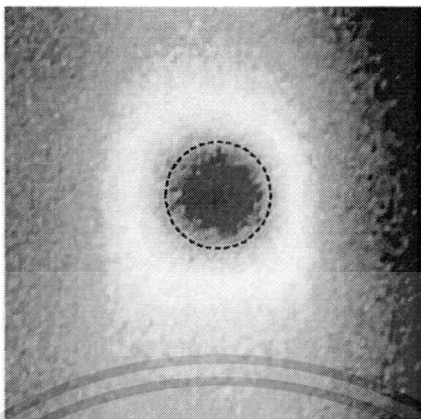
รูป 5.18 (ง) กระแสผ่านขดลวดเท่ากับ 320 มิลลิแอมป์

5.3 ภาพทดสอบการสร้างภาพจากระบบที่สร้างขึ้น

5.3.1 ผลการทดลองการสร้างภาพกระแสไหลวนโดยวัดจากด้านที่เจาะรู

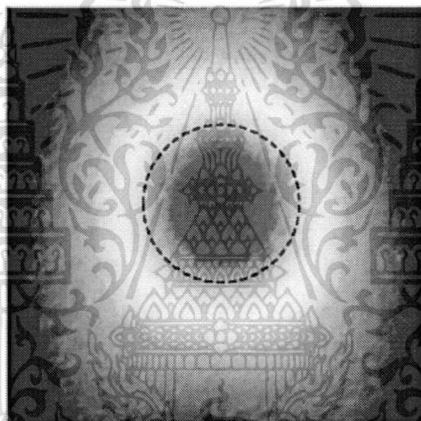
ในการทดสอบจะนำแผ่นโลหะทดสอบ(อลูมิเนียม)ที่ทำการเจาะรูขนาด 1,2,3 และ 4 มิลลิเมตร แล้วทำการวัดด้านที่เจาะรู จากนั้นจึงนำข้อมูลที่วัดได้มาทำการสร้างภาพ





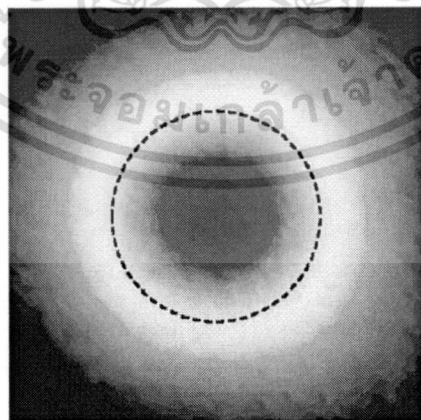
----- ขนาดของรูจริง

รูปที่ 5.21 แผ่นอลูมิเนียมเจาะรูขนาด 2 มิลลิเมตร



----- ขนาดของรูจริง

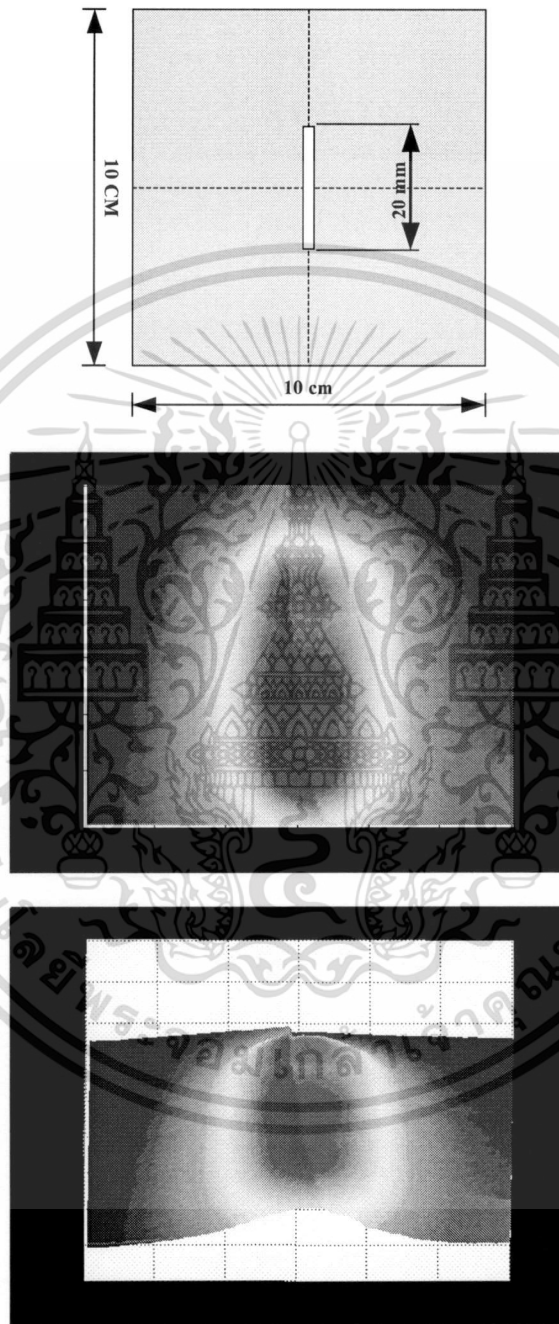
รูปที่ 5.22 แผ่นอลูมิเนียมเจาะรูขนาด 2 มิลลิเมตร



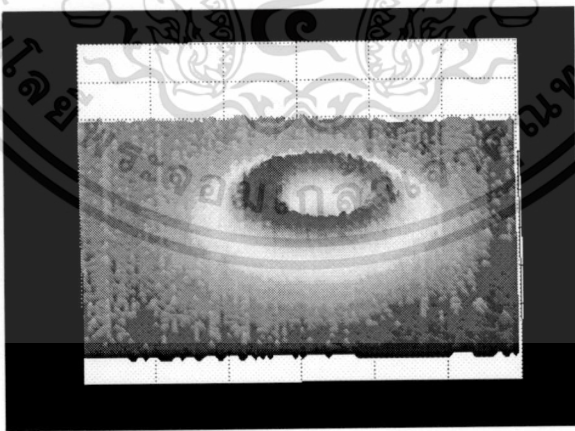
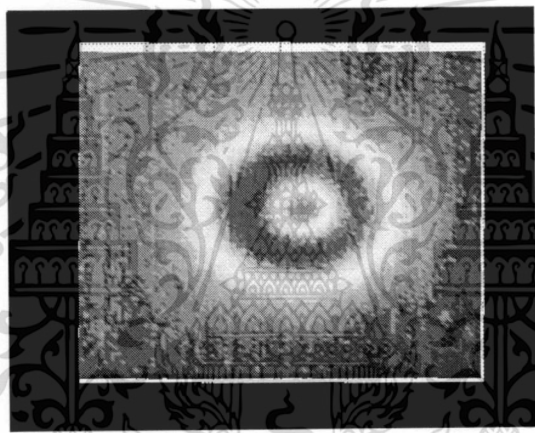
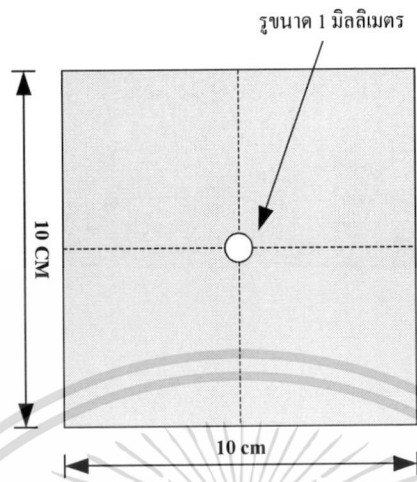
----- ขนาดของรูจริง

รูปที่ 5.23 แผ่นอลูมิเนียมเจาะรูขนาด 2 มิลลิเมตร

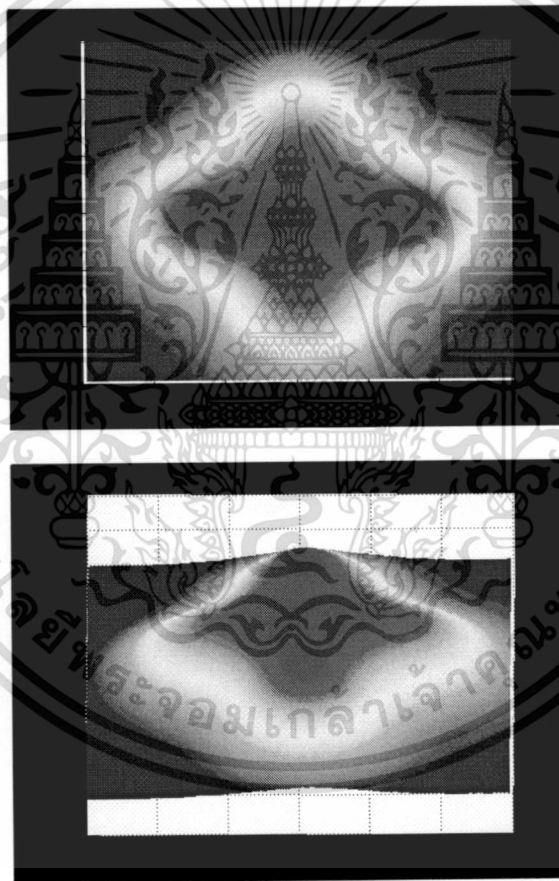
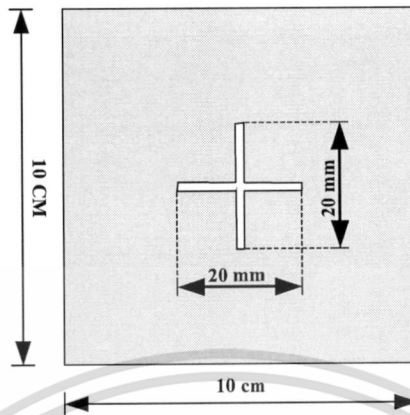
5.3.2 ผลการทดลองการสร้างภาพกระแสไหลวน โดยวัดจากด้านที่ไม่มีกระแส



รูปที่ 5.24 ภาพกระแสไหลวน โดยวัดจากด้านที่ไม่มีกระแสแบบที่ 1



รูปที่ 5.25 ภาพกระแสไหลวน โดยวัดจากด้านที่ไม่มีการเจาะรูแบบที่ 2



รูปที่ 5.25 ภาพกระแสไหลวนโดยวัดจากด้านที่ไม่มีการเจาะรูแบบที่ 3

บทที่ 6

สรุปผลการทดลอง

จากผลการตรวจวัดแผ่นโลหะทดสอบที่ความถี่ต่างๆ จะเห็นว่า ที่ความถี่ 1000 เฮิรต์ ระบบสามารถตรวจพบรอยบกพร่องที่ระดับความลึกตั้งแต่ในช่วง 0.2-0.8 มิลลิเมตร และแต่เมื่อทำการเพิ่มความถี่สูงขึ้น การตรวจวัดที่ระดับความลึกมากๆ เริ่มมีความผิดพลาดมากขึ้น สำหรับการทดลองเปลี่ยนแปลงกระแสที่จ่ายให้กับขดลวดทดสอบ จากผลการทดลองเราพบว่าหากเราเพิ่มกระแสที่จ่ายให้กับขดลวด ค่าแรงดันที่ตรวจวัดได้ก็จะเพิ่มขึ้นทำให้สามารถตรวจจบบกพร่องที่มีความลึกมากขึ้นได้ เนื่องจากความเข้มของเส้นแรงแม่เหล็กมีค่าเพิ่มขึ้นจากการเพิ่มกระแสที่จ่ายให้กับขดลวดทดสอบ

สำหรับผลการทดสอบการสร้างภาพจากข้อมูลที่วัดได้จากการวัดด้านหน้าแผ่นโลหะทดสอบ(ด้านที่ทำการเจาะรู) เราพบว่าภาพที่สร้างขึ้นได้จะมีความใกล้เคียงกับขนาดของรูจริงที่เจาะไว้หากเราทำการเจาะมีขนาดใหญ่ แต่หากเราทำการเจาะมีขนาดเล็กลงเท่าใดค่าความผิดพลาดของภาพที่สร้างได้จะยิ่งเพิ่มมากขึ้น

สำหรับผลการทดลองการสร้างภาพจากข้อมูลที่วัดได้จากการวัดด้านหลังแผ่น(ด้านที่ไม่ได้ทำการเจาะรู) เราพบว่าระบบที่สร้างขึ้นสามารถตรวจพบและสร้างภาพรอยบกพร่องขึ้นมาได้หากรอยบกพร่องอยู่ไม่ลึกลงไปจากผิวหน้าของแผ่นทดสอบมากนัก แต่หากรอยบกพร่องอยู่ลึกลงไปบนแผ่นโลหะทดสอบมากๆ ก็จะเกิดความผิดพลาดของภาพที่สร้างเพิ่มมากขึ้น นอกจากนี้การสร้างภาพของรอยบกพร่องบนแผ่นโลหะทดสอบยังมีค่าความผิดพลาดมากขึ้นหากรอยบกพร่องมีความซับซ้อนมากขึ้นนี้เป็นผลเนื่องมาจากหัวโพรบที่มีขนาดใหญ่กว่ารอยบกพร่องที่ทำการวัด

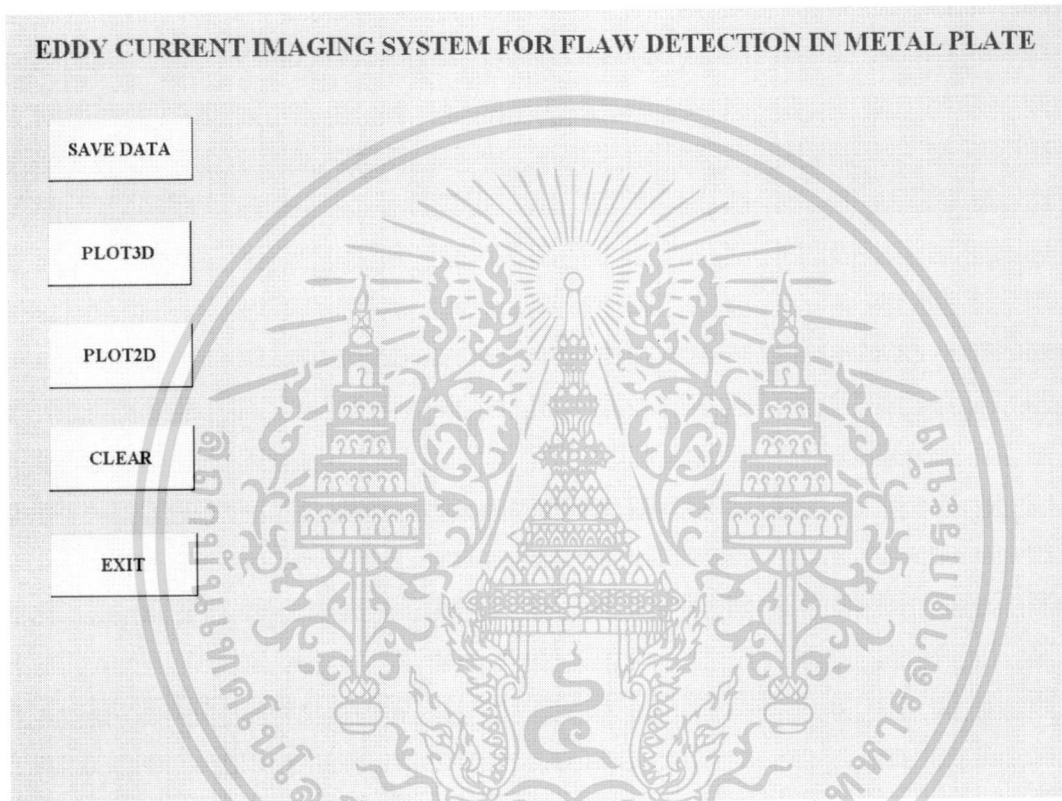
บรรณานุกรม

- [1] พุทธิ ชาติตะ. “การทดสอบแบบไม่ทำลาย” สำนักพิมพ์สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น)
- [2] คำพล โห้ทอง, เชิดพงษ์ จอมเดช, วิสิทธิ์ สมหวังศิริ. “การวิเคราะห์หาค่าแชนดอิมพีแดนซ์ของโพรบแบบบดตีเฟอร์เรนเซียมโดยวิธีกระแสไหลวน” ปรินญาณิพนธ์ (ค.อ.บ.(เทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรม)) สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2542.
- [3] คมเพชร หิริญพานิช, ศักดิ์ดา อ่างวัฒนกิจ, สุรัช วงศ์เวทย์เสถียร. “เครื่องตรวจหารอยบกพร่องของอะลูมิเนียมโดยใช้วิธีกระแสไหลวน”, ปรินญาณิพนธ์ (ค.อ.บ.(เทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรม)), สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2541
- [3] รัชพล สัทธิกรกุล “เครื่องตรวจหารอยบกพร่องของอะลูมิเนียมโดยใช้วิธีการกระแสไหลวน” ปรินญาณิพนธ์ (ค.อ.บ.(อิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์)), สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2539
- [4] R. Halmshaw. “Nondestructive testing of materials” Edward Arnold, 1991

ภาคผนวก ก

การใช้งานโปรแกรมสร้างภาพกระแสไหลวน

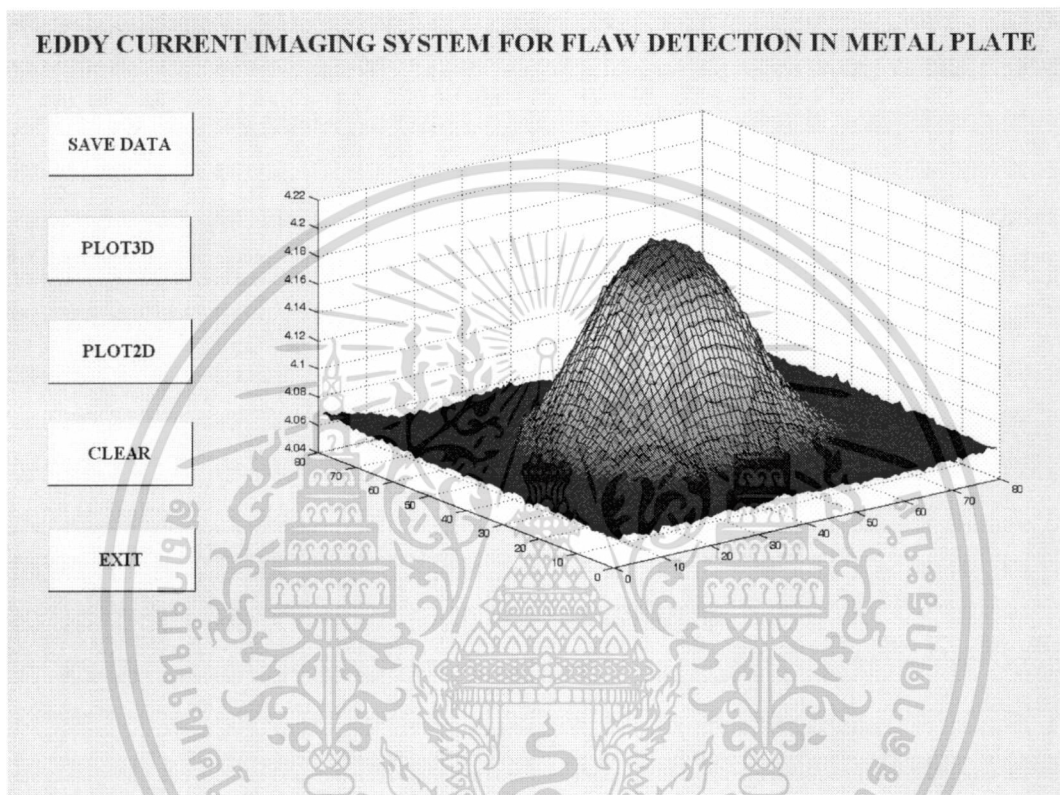
1.เปิดโปรแกรม หน้าจอจะแสดงโปรแกรม



รูปที่ ก1 หน้าจอของโปรแกรมสร้างภาพกระแสไหลวน

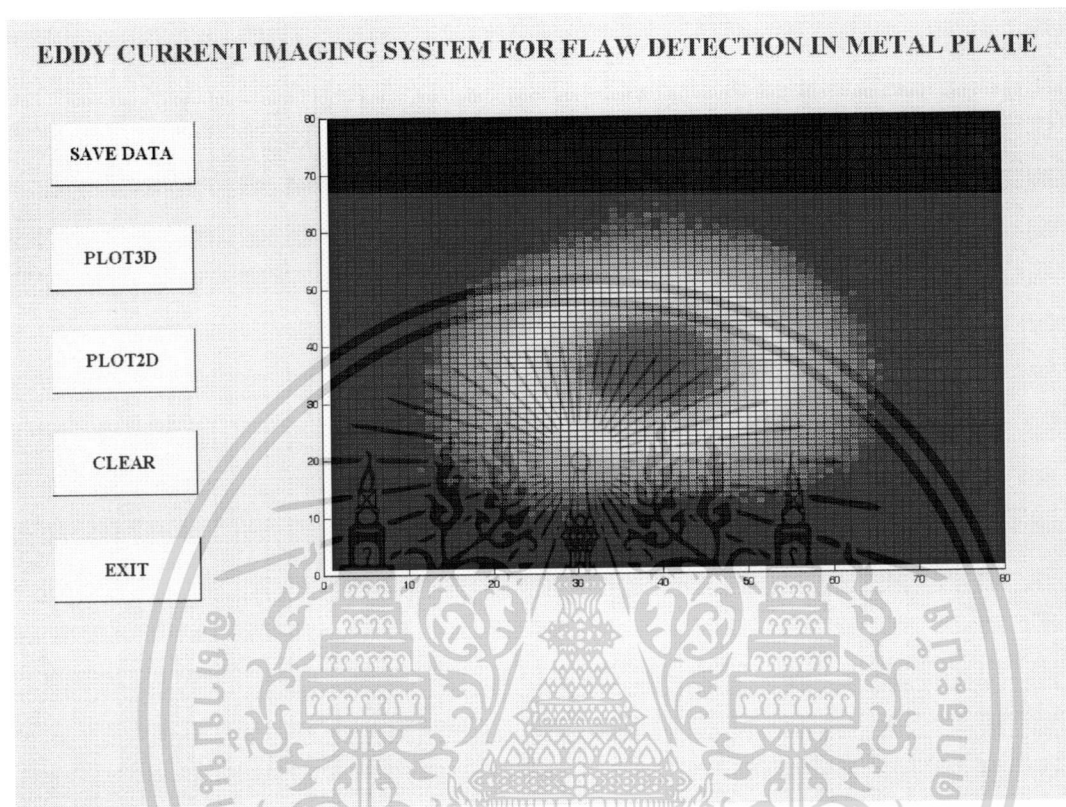
2.ทำการกดปุ่ม SAVE DATA เพื่อทำการเก็บข้อมูล

3. หลังจากทำการเก็บข้อมูลเสร็จแล้ว ทำการกดปุ่ม PLOT3D เพื่อทำการสร้างกระแสไหลวนจากข้อมูลที่ได้ในรูปแบบ 3 มิติ



รูปที่ ก2 หน้าจอของโปรแกรมสร้างภาพกระแสไหลวนขณะกดปุ่ม PLOT3D

4. กดปุ่ม **PLOT2D** เพื่อทำการสร้างกระแสไหลวนจากข้อมูลที่วัดได้ในรูปแบบ 2 มิติ

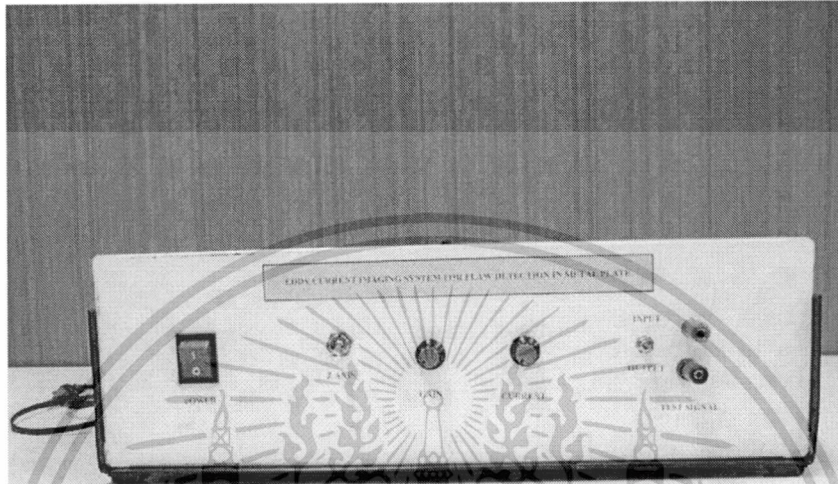


รูปที่ ก3 หน้าจอของโปรแกรมสร้างภาพกระแสไหลวนขณะกดปุ่ม **PLOT2D**

5. กดปุ่ม **EXIT** เมื่อต้องการออกจากโปรแกรม

ภาคผนวก ข

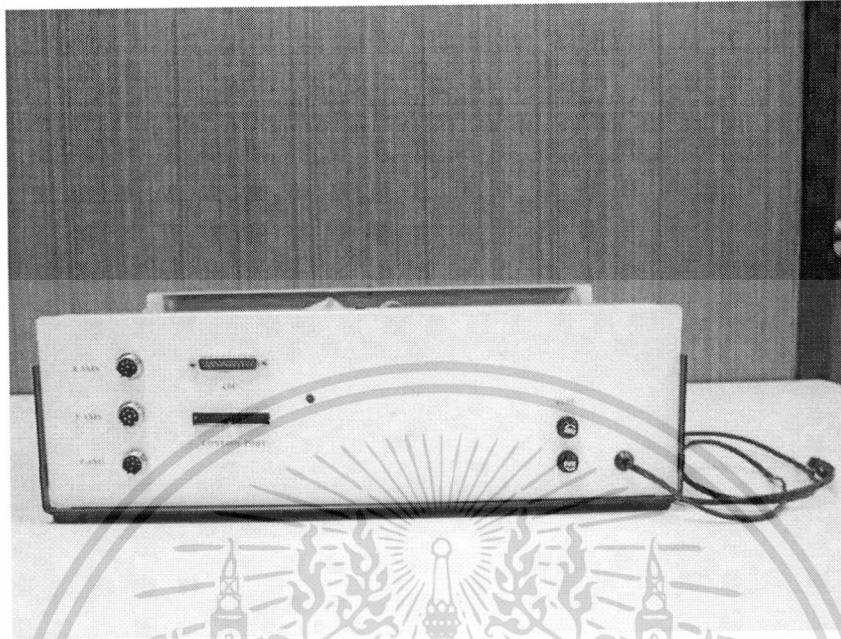
เครื่องสร้างภาพกระแสไหลวนสำหรับตรวจหารอยบกพร่องบนแผ่นโลหะที่สร้างขึ้น



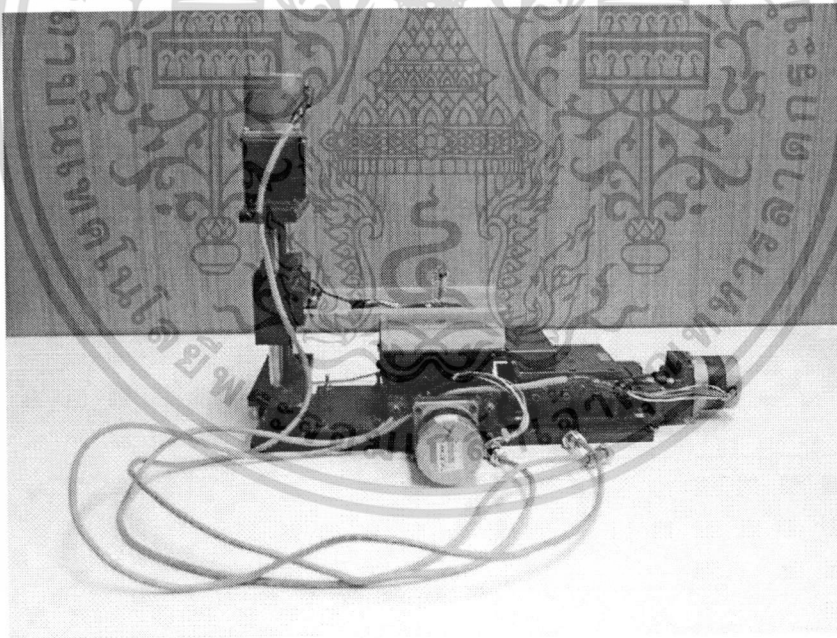
รูปที่ ข1 เครื่องสร้างภาพกระแสไหลวนสำหรับตรวจหารอยบกพร่องบนแผ่นโลหะที่สร้างขึ้น(ด้านหน้า)



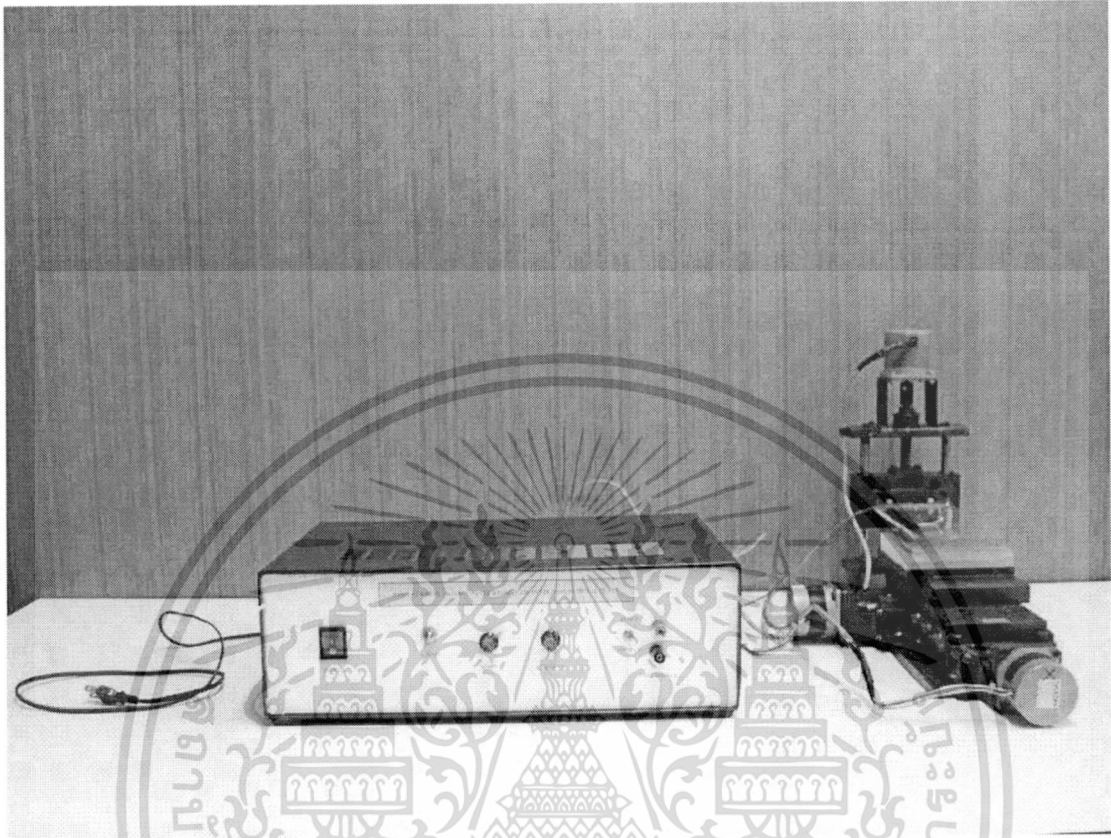
รูปที่ ข2 เครื่องสร้างภาพกระแสไหลวนสำหรับตรวจหารอยบกพร่องบนแผ่นโลหะที่สร้างขึ้น(ด้านบน)



รูปที่ ข3 เครื่องสร้างภาพกระแสไหลวนสำหรับตรวจสอบร่องบนแผ่นโลหะที่สร้างขึ้น(ด้านหลัง)



รูปที่ ข4 X-Y-Z แสดงสำหรับเลื่อนแผ่นโลหะทดสอบในโครงการวิจัย



รูปที่ ข5 เครื่องสร้างภาพกระแสไหลวนสำหรับตรวจหารอยบกพร่องบนแผ่นโลหะที่สร้างขึ้น