

การศึกษาเทคนิคการตรวจจับแบบไม่ทำลายด้วยหัววัดกระแสไหลวน

A Study on Non-Destructive Techniques base on Eddy Current probe

สัญญา คุณขาว^{1*} อภิษฎา ทองรักษ์¹ และ ภรชัย จูณวัฒน์กุล²

¹ สาขาวิชาวิศวกรรม
อิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม คณะ
วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัย
เทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
² ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและ
อิเล็กทรอนิกส์ประยุกต์ คณะ
วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม
* ผู้รับผิดชอบบทความ
sanya.k@rmutp.ac.th

Received: 29 Dec 2020
Revised: 10 Apr 2021
Accepted: 29 Apr 2021

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เพื่อตรวจสอบความต่อเนื่องของกระแสไฟฟ้าที่ไหลบนตัวนำอันเนื่องจากรอยร้าวบนแผ่นโลหะตัวนำที่สามารถมองเห็นได้ กระแสเอ็ดดี้เป็นกระแสไฟฟ้าที่ไหลวนเป็นวงกลมที่มีการเหนี่ยวนำในตัวนำด้วยสนามแม่เหล็กสลับ วิธีการดังกล่าวเป็นการทดสอบแบบไม่ทำลายชิ้นงาน โดยอาศัยหลักการของไฟฟ้าสนามแม่เหล็กที่กระทำกับพื้นผิวโลหะ โดยกระแสไหลวนก่อให้เกิดสนามแม่เหล็กที่อยู่ในทิศทางตรงกันข้ามกับสนามแม่เหล็กที่มากระทำ ด้วยวิธีการดังกล่าวจึงทำการออกแบบหัววัดที่มีโครงสร้างของขดลวดเหนี่ยวนำเพื่อกระตุ้นสนามแม่เหล็กและขดลวดตรวจจับ เมื่อกระแสไหลวนได้ไหลผ่านรอยร้าวบนพื้นผิวของแผ่นโลหะจะทำให้เกิดการเหนี่ยวนำกับขดลวดเหนี่ยวนำที่ประกอบเข้ากับวงจรแมกซ์เวลล์บริดจ์ในการตรวจจับสัญญาณการเปลี่ยนแปลงกระแสสลับที่ส่งผลกระทบต่อค่าการอิมพีแดนซ์ของขดลวดเหนี่ยวนำ ยิ่งไปกว่านั้นการตรวจจับสัญญาณกระแสสลับด้วยการใช้ขดลวดหัววัดสนามแม่เหล็กที่ออกแบบวัดขนานใกล้กับผิวหน้าของแผ่นโลหะที่มีช่องเปิด

คำสำคัญ: กระแสเอ็ดดี้, แมกซ์เวลล์บริดจ์, สนามแม่เหล็ก

Abstract

This research is to present the principle of investigating the discontinuity of electric current flowing on conductors due to cracks in invisible conductors. An eddy current is a circular eddy current induced in a conductor by an alternating magnetic field. This method is a non-destructive test based on the principle of electricity are generated by the magnetic field acts on a metal surface. The eddy current produces a magnetic field in the opposite direction of the magnetic field that acts. In this way, a structured probe of an induction coil was designed to excite a magnetic field and a sensing coil. When an eddy current passes through a crack on the surface of the metal plate, it induces an inductance with an inductance coil assembled into the Maxwell Bridge circuit to detect an AC signal change that affects the electromagnetic value of Impedance of the inductance coil. Besides, the AC signal is detected employing a magnetic field with a probe coil The probe sensor designed to measure a parallel on the surface of the perforated metal sheet.

Keywords: Eddy current, Maxwell Bridge, magnetic field

1. บทนำ

การศึกษารอยร้าวบนแผ่นโลหะและท่อที่มีรอยร้าวที่มีขนาดเล็กที่อาจจะมีการแตกร้าว ซึ่งสายตาของมนุษย์ไม่สามารถที่ตรวจพบได้ ส่งผลกระทบต่อคุณภาพในการผลิตสินค้าและการนำไปใช้ในอุตสาหกรรม ดังนั้นการทดสอบแบบไม่ทำลายชิ้นงานได้ถูกนำมาใช้ โดยอาศัยหลักการของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่กระทำกับพื้นผิวโลหะ จะก่อให้เกิดกระแสไหลวนที่ผิวของโลหะ กระแสไหลวนดังกล่าวคือกระแส Eddy current ที่ จะสร้างสนามแม่เหล็กที่อยู่ในทิศทางตรงกันข้ามกับสนามแม่เหล็กที่มากระทำ ซึ่งก่อให้เกิดสนามแม่เหล็กเหนี่ยวนำกับขดลวดเหนี่ยวนำ ที่ทำการตรวจตรงตำแหน่งที่เกิดรอยร้าว [1] โดยการตรวจจับดังกล่าวนั้นจะใช้ขดลวดเหนี่ยวนำที่ประกอบเข้ากับจรรยาแมกซ์เวลล์บริดจ์ ในการตรวจจับการเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็กเหนี่ยวนำจากกระแสไหลวนที่เปลี่ยนแปลงกับเวลา [1-2]

2. ทฤษฎี

หลักพื้นฐานการทดสอบด้วย Eddy current สามารถใช้วงจรหม้อแปลง Transformer model เพื่อใช้ในการสร้างสนามแม่เหล็กเหนี่ยวนำด้วยกระแสไหลวน และการเปลี่ยนแปลงของอิมพีแดนซ์ในขดลวดตรวจรับสัญญาณสนามแม่เหล็ก [3] ซึ่งในที่นี้สมบัติของอิมพีแดนซ์ของขดลวด Z_0 ที่ถูกกำหนดจากจำนวนเชิงซ้อนที่แสดงในรูปสัดส่วนของกระแส-แรงดัน (V_0/I_0) ดังแสดงในสมการที่ (1) ด้วยการกระตุ้นจากสัญญาณกระแสสลับที่หนึ่งความถี่ f โดยที่ค่าของอิมพีแดนซ์นี้ประกอบด้วยค่าของขนาด $|Z_0|$ และมุมเฟส ϕ

$$\begin{aligned} Z_0 &= \frac{V_0}{I_0} = R_0 + jX_0 \\ &= R_0 + j2\pi fL_0 \\ &= |Z| \angle \phi \end{aligned} \tag{1}$$

$$\text{Magnitude: } |Z| = \sqrt{R_0^2 + X_0^2}$$

$$\text{Phase angle: } \phi = \tan^{-1} \left| \frac{X_0}{R_0} \right|$$

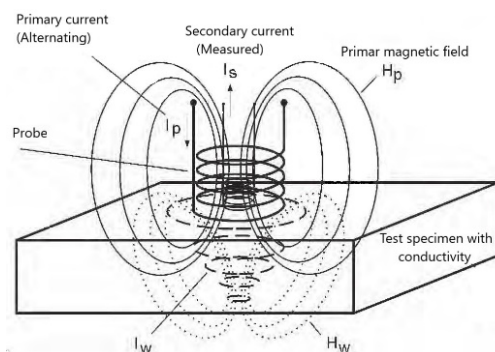
เมื่อทำการกระตุ้นด้วยสัญญาณกระแสสลับให้กับขดลวด ก่อให้เกิดสัญญาณสนามแม่เหล็กที่เปลี่ยนแปลงกับเวลาโดยที่ความเข้มของเส้นแรงแม่เหล็กจะมีค่าเป็นศูนย์ และมีค่าเพิ่มสูงสุด

ที่ภายในส่วนตรงกลางของขดลวด การตรวจจับกระแสไหลวนดังกล่าวจะอยู่บนพื้นฐานของกฎ faraday's law ในการเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็กตามสมการที่ (2) พาราเดย์ได้ค้นพบความหนาแน่นฟลักซ์สนามแม่เหล็กเหนี่ยวนำที่มีการเปลี่ยนแปลงกับเวลาจากกระแสไหลวนที่ผิวของตัวนำไฟฟ้า ทั้งนี้แรงเคลื่อนเหนี่ยวนำ (\mathcal{E}) ขึ้นกับอัตราการส่วนของการเปลี่ยนแปลงตามเวลาของความหนาแน่นฟลักซ์สนามแม่เหล็กที่ตัดผ่านตัวตรวจจับ (ϕ_B) [3-5]

$$\mathcal{E} = - \frac{d\phi_B}{dt} \tag{2}$$

ดังนั้นเมื่อนำขดลวดดังกล่าวเข้าไปใกล้กับตัวนำไฟฟ้าซึ่งกระตุ้นให้เกิดกระแสไฟฟ้าไหลวนดังรูปที่ 1 กระแสไหลวนนี้จะก่อให้เกิดสนามแม่เหล็กที่มีทิศทางตรงข้ามกับสนามแม่เหล็กเหนี่ยวนำ ดังนั้นเมื่อกระแสไหลวนนี้ไหลผ่านรอยแยกจะก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงและส่งผลกระทบต่อปริมาณของสนามแม่เหล็กที่ผิวของตัวนำและการแทรกซึมลึกเข้าสู่ตัวนำในทิศทางเดียวกันกับสนามแม่เหล็กเหนี่ยวนำซึ่งสามารถทำการตรวจวัดได้ กระแสไหลวนดังกล่าวได้ส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของการกระจายพลังงานที่มีการเปลี่ยนแปลงในค่าอิมพีแดนซ์ที่ส่วนจริงของขดลวด ดังนั้นการวัดอิมพีแดนซ์ของขดลวดจะมีการเปลี่ยนแปลงจากอิมพีแดนซ์ของขดลวดเหนี่ยวนำ Z_0 จนถึงอิมพีแดนซ์ของตัวนำ Z_C ด้วยการตรวจจับทั้งสัญญาณกระแสหรือแรงดันไฟฟ้า

$$Z_C = \frac{V_C}{I_C} = R_C + jX_C \tag{3}$$



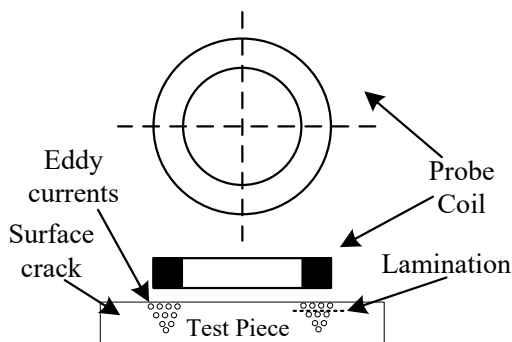
รูปที่ 1 สนามแม่เหล็กเหนี่ยวนำปฐมภูมิและสนามแม่เหล็กเหนี่ยวนำทุติยภูมิที่เป็นกระแสไหลวนบนผิวโลหะทดสอบ

จากกระแสไหลวนบนผิวของตัวนำไฟฟ้าที่ก่อให้เกิดสนามแม่เหล็กทฤษฎีที่มีทิศของสนามแม่เหล็กในทิศทางตรงข้ามกับสนามแม่เหล็กเหนี่ยวนำโดย Z_C แสดงได้ดังสมการที่ (3) โดยมีค่าของอินดักแตนซ์ $X_C = 2\pi fL_C$ ที่ขึ้นกับความถี่ f และค่าการเหนี่ยวนำ L_C ของตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบเมื่อนำมาเข้าใกล้กับขดลวดเหนี่ยวนำ [6]

การวิจัยนี้เป็นการตรวจสอบกระแสไหลวน Eddy current เพื่อการตรวจจับความไม่ต่อเนื่องในบริเวณที่ตัวนำมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่าน โดยที่กระแสไฟฟ้านี้จะไหลเป็นวงกลมที่มีจากการเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็กที่เปลี่ยนแปลงกับเวลา ด้วยการออกแบบเครื่องมือที่สามารถสร้างกระแสไหลวนด้วยสัญญาณกระแสสลับที่ถูกส่งผ่านขดลวดเหนี่ยวนำที่หุ้มด้วยฉนวนบรรจุลงในส่วนจับยึดที่เรียกว่าหัววัด (probe)

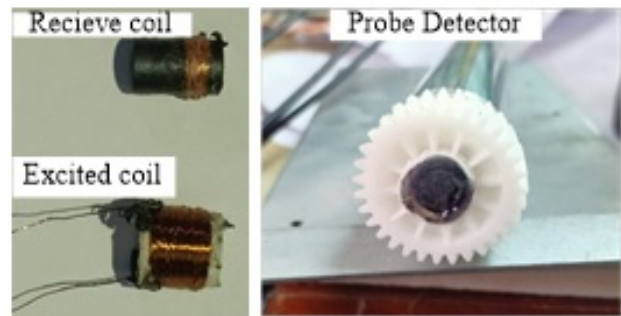
3. การออกแบบวงจรทดสอบ

กระแสไหลวนมีการไหลเป็นแบบวงปิดวงกลมที่มีขนาดตั้งฉากกับทิศของฟลักซ์เส้นแรงแม่เหล็กเหนี่ยวนำ กระแสนี้จะไหลในแนวขนานกับขดลวดและพื้นผิวตัวนำและซึมลึกผ่านใต้ผิวตัวนำ [7] ดังรูปที่ 2 การออกแบบหัววัดสนามแม่เหล็กเหนี่ยวนำตามโครงสร้างแบบซ้อนทับกันระหว่างขดลวดเหนี่ยวนำที่สร้างสนามแม่เหล็ก (excited coil) และขดลวดตัวตรวจจับ (received coil) ที่ประกอบด้วยส่วนของขดลวดปฐมภูมิ และขดลวดทุติยภูมิที่พันอยู่รอบแกน Ferrite ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 mm ยาว 10 mm จัดวางตัวซ้อนกันดังรูปที่ 2

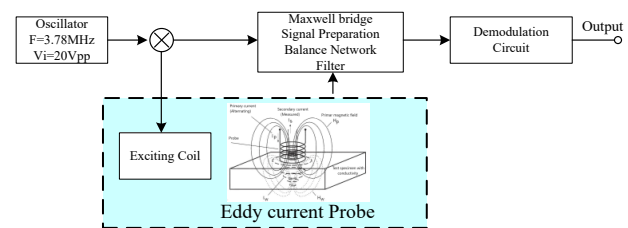


รูปที่ 2 ภาคตัดขวางของหัววัดสนามแม่เหล็กเหนี่ยวนำจากกระแสไหลวน

ระบบการตรวจจับประกอบด้วยแหล่งกำเนิดสัญญาณ sinusoidal ที่มีขนาด 20 Vpp ความถี่ 3.78MHz ขดลวดปฐมภูมิมีความต้านทาน 189 โอห์ม และทุติยภูมิ 312 โอห์ม ที่พันอยู่กับแกรเฟอร์ไรท์ โดยมีลักษณะเช่นเดียวกับวงจรหม้อแปลง จากรูปที่ 3 ได้แสดงถึงโครงสร้างของหัววัดสนามแม่เหล็กจากกระแสไหลวน



รูปที่ 3 โครงสร้างของหัววัดสนามแม่เหล็กเหนี่ยวนำ

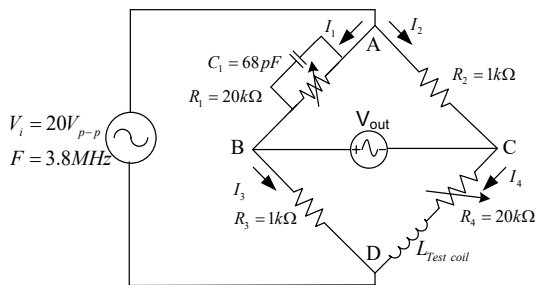


รูปที่ 4 ระบบการตรวจจับสัญญาณการเปลี่ยนแปลงของฟลักซ์สนามแม่เหล็ก

จากรูปที่ 4 ได้แสดงถึงโครงสร้างที่ใช้ในการระบบการตรวจจับสัญญาณการเปลี่ยนแปลงของฟลักซ์สนามแม่เหล็กโดยมีวงจรตรวจจับสัญญาณกระแสสลับด้วย Maxwell bridge วงจรขยายสัญญาณแบบ Instrument Amplifier ด้วย AD 524 วงจรรองความถี่ต่ำ และวงจรตีมอดดูเลชั่นที่ถูกนำเข้าสู่ขดลวดเหนี่ยวนำ Excited coil และวงจรวิทสโตนบริดจ์ ด้วย Maxwell bridge เพื่อทำการปรับวงจรของบริดจ์สมดุล Balance bridge โดยที่สัญญาณจากวงจรบริดจ์นี้มีขนาดที่ต่ำจึงต้องผ่านเข้าสู่วงจรขยายสัญญาณแบบ Instrument Amplifier ด้วย AD 524 และการตีมอดดูเลชั่นสัญญาณเพื่อแยกสัญญาณกระแสสลับจากผลของกระแสไหลวน

4. การตรวจจับสนญาณกระแสสลับ

การตรวจจับสนญาณกระแสสลับวงจรวีทสโตนบริดจ์ (wheatstone bridge) ที่ประกอบด้วยแขนของบริดจ์ที่มีส่วนของอิมพีแดนซ์เชิงซ้อน (complex impedance) ประกอบเป็นแขนทั้งสี่ที่มีแหล่งกำเนิดกระแสสลับ และตัวจับสนญาณกระแสสลับ ดังรูปที่ 5 บริดจ์กระแสสลับสามารถใช้เพื่อวัดหาค่าความเหนี่ยวนำไฟฟ้าและความจุไฟฟ้า ส่วนของหัววัดที่ประกอบเป็นหัววัดตัวตรวจจับสน (probe) ที่ออกแบบมาในการหาค่าอิมพีแดนซ์ที่ไม่ทราบค่าได้ กรณีที่บริดจ์สมดุลพบว่ากระแสที่ไหลผ่านตัวตรวจจับสนเท่ากับศูนย์ซึ่งมีแรงดันตกคร่อมระหว่าง BC มีค่าเท่ากับศูนย์



รูปที่ 5 วงจรตรวจจับสนญาณกระแสสลับด้วยวงจร Maxwell bridge

ดังนั้นเงื่อนไขในการปรับสมดุลบริดจ์จากรูปที่ 4 มีแรงดันตกคร่อมส่วนอิมพีแดนซ์ AB กับ AC จะมีค่าเท่ากัน จากวงจรบริดจ์ที่ประกอบด้วยอิมพีแดนซ์ $[Z_1-Z_4]$ ที่แขนทั้ง 4 ด้าน จะพบว่าแรงดันที่แขน A-B-D นั้นจะมีค่าเท่ากับแรงดันที่แขน A-C-D ดังแสดงในสมการที่ 4 และ 5 ทั้งขนาดและมุมเฟสที่ในสภาวะบริดจ์สมดุล อธิบายด้วยสมการความสัมพันธ์ของแมกซ์เวลบริดจ์ที่นำมาใช้ในการตรวจสอบรอยร้าวด้วยตัวเหนี่ยวนำจากขดลวดที่ออกแบบโดยมีค่าส่วนอิมพีแดนซ์ $[Z_1-Z_4]$ ดังนี้

$$Z_1 = \frac{R_1 \frac{1}{j\omega C_1}}{R_1 + \frac{1}{j\omega C_1}} = \frac{R_1}{R_1 + j\omega R_1 C_1}$$

$$Z_2 = R_2 \quad ; \quad Z_3 = R_3 \quad \text{known, Fixed}$$

$$(Z_4 = R_4 + j\omega L_{Test}) \left(\frac{R_1 \frac{1}{j\omega C_1}}{R_1 + \frac{1}{j\omega C_1}} \right) = R_2 R_3$$

โดยมีแรงดันในสภาวะบริดจ์สมดุล $V_1 = V_2$ หรือ $V_3 = V_4$

$$I_1 Z_1 = I_2 Z_2 \quad \text{or} \quad I_1 Z_3 = I_2 Z_4 \quad (4)$$

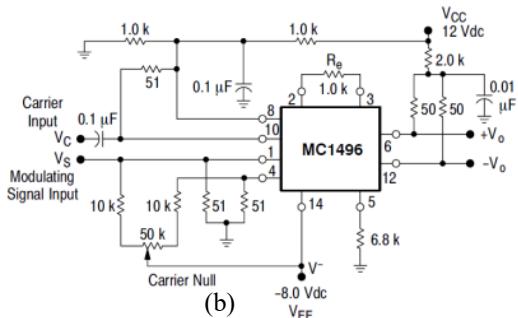
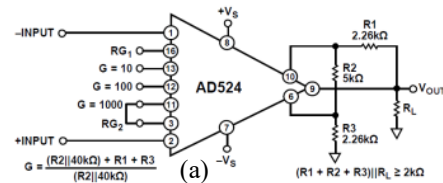
$$R_1 (R_4 + j\omega L_{Test}) = (R_2 R_3) (1 + j\omega R_1 C_1) \quad (5)$$

$$\text{โดยที่ค่า } \left. \begin{aligned} \text{Re: } R_4 &= \frac{R_2 R_3}{R_1} ; \quad \text{Im: } L_{Test} = R_2 R_3 C_1 \end{aligned} \right\}$$

ซึ่งมีค่าของ quality factor : $Q = \frac{\omega L_{Test}}{R_4} < 10$

4.1 วงจรขยายสัญญาณกระแสสลับด้วย Instrument Amplifier

วงจรรขยายในเครื่องมือวัดในระบบการวัดและระบบควบคุมสามารถปรับอัตราการขยายได้จากการตรวจจับสนให้มีความแม่นยำระดับแรงดันที่เท่ากันโดยใช้ AD524 ที่ได้ออกแบบสำหรับการประยุกต์ใช้ในการขยายสัญญาณที่มีความแม่นยำสูง มีความเป็นเชิงเส้น มีค่า CMRR สูง ระดับแรงดันออฟเซตและสัญญาณรบกวนต่ำ ดังรูปที่ 6 (a)



รูปที่ 6 (a) วงจรขยายสัญญาณ Instrumentation Amplifier (b) วงจรดีมอดูเลเตอร์

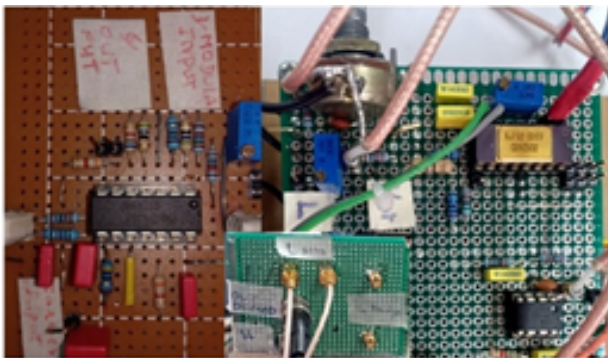
4.2 วงจรดีมอดูเลเตอร์ Demodulator

การดีมอดูเลเตอร์ของสัญญาณนี้เป็นแบบ coherent detection ไม่มีเทอมที่มีความถี่ของสัญญาณพาหัดิตมาที่เป็นการมอดูเลชันแบบ Double-Sideband Suppressed-Carrier (DSB-SC) เป็นกระบวนการที่จะดึงเอาสัญญาณข้อมูลออกมาจาก

สัญญาณ DSB-SC เรียกว่าดีมอดูเลชัน หรือ ดีเทคชัน (demodulation or detection) ด้วยการสร้างวงจรที่สร้างสัญญาณของสองวงจรที่สมดุลกันเพื่อกำจัดเทอมสัญญาณพาห้ทิ้งไป โดยการเปลี่ยนตัวกรองที่เอาท์พุทแบบผ่านความถี่ต่างเป็นการแยกเอาสัญญาณพาห้ที่มีความถี่เฉพาะออกมา ดังรูปที่ 6 (b)

4.3 การทดลอง

หัววัดที่ออกแบบนำมาประกอบเข้ากับวงจรที่ออกแบบมาที่ประกอบเข้ากับกับวงจร Maxwell bridge วงจรขยายสัญญาณ Instrumentation Amplifier และ วงจรดีมอดูเลเตอร์แสดงดังรูปที่ 7 โดยมีขดลวดเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็กและขดลวดตัวตรวจจับในการทดสอบกับแผ่นเหล็กตัวนำเรียบที่มีช่องเปิดเพื่อทดสอบ ฟลักซ์สนามแม่เหนี่ยวนำจากกระแสไหลวนที่ผิว ด้วยการให้แรงดันอินพุทที่เป็นสัญญาณกระแสสลับที่แอมพลิจูด 20Vpp ที่ความถี่ 3.78MHz ดังรูปที่ 8 การตรวจจับสัญญาณกระแสสลับด้วยวงจรแมกซ์เวลลบริดจ์ พบว่าสัญญาณเอาท์พุทแสดงด้วยออสซิลโลสโคปของแรงดันที่แขน A-B-D (channel 1) จะมีค่าเท่ากับกับแรงดันที่แขน A-C-D (channel 2) ทั้งขนาดและมุมเฟสตรงกันในสภาวะบริดจ์สมดุลดังรูปที่ 9

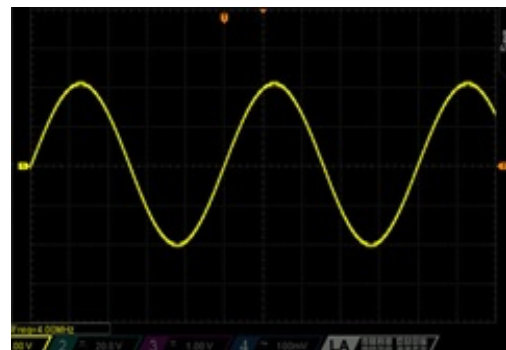


รูปที่ 7 แสดงวงจรที่ประกอบสำเร็จในการทดสอบการตรวจจับ

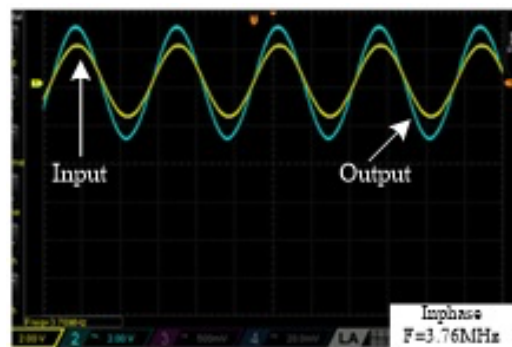


รูปที่ 8 ลักษณะตัวอย่างแผ่นโลหะตัวนำที่มีช่องเปิดและการนำหัววัดไปทดสอบ

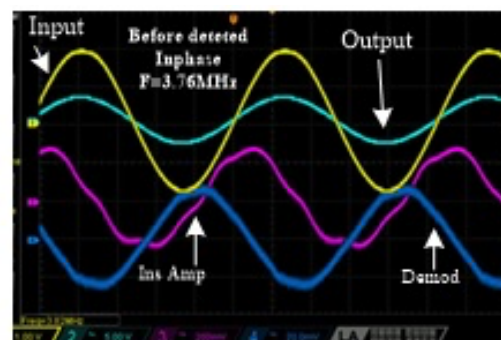
ในขณะก่อนการทดสอบพบว่าสัญญาณเอาท์พุทที่วงจรแมกซ์เวลลบริดจ์ที่สภาวะสมดุลได้ดังรูปที่ 10 โดยที่สัญญาณที่ปรากฏออกจากวงจรขยายในเครื่องมือวัดและวงจรดีมอดูเลเตอร์ ดังรูปที่ 11 เพื่อการปรับเทียบสภาวะก่อนการทดสอบกับแผ่นโลหะชิ้นงานตัวอย่างที่ปรากฏบนออสซิลโลสโคปที่ช่องสัญญาณ 3 และ 4 ตามลำดับ



รูปที่ 9 สัญญาณอินพุท sinusoidal 20 Vp-p ความถี่ 3.78MHz



รูปที่ 10 สัญญาณเอาท์พุทที่สภาวะบริดจ์สมดุล in-phase



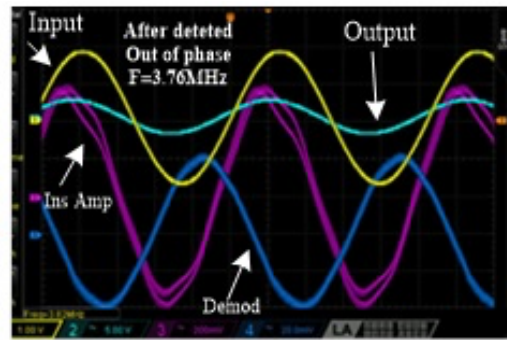
รูปที่ 11 สัญญาณเอาท์พุทจากวงจรแมกซ์เวลลบริดจ์ที่สภาวะ in-phase วงจรขยายในเครื่องมือวัด และวงจรดีมอดูเลเตอร์

4.4 ผลการทดสอบกับแผ่นโลหะเรียบมีช่องเปิด

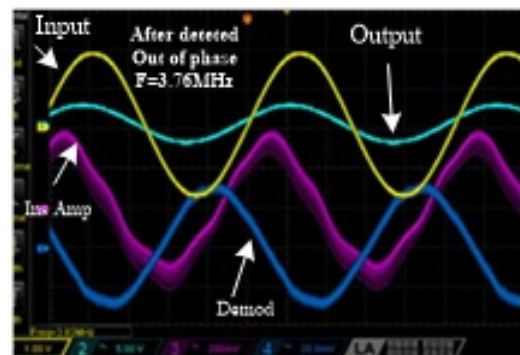
ในการทดสอบหัววัดที่ออกแบบกับชิ้นงานตัวอย่างที่เป็นส่วนพื้นผิวเรียบจะพบว่าสัญญาณเอาท์พุทที่เข้าสู่จรรยาขยายสัญญาณ AD524ADZ และวงจรมอดูเลเตอร์ โดยการปรับค่าความต้านทาน R_1 และ R_2 เพื่อทำการปรับสภาวะบริดจ์อีกครั้งเมื่อสนามแม่เหล็กจากขดลวดเหนี่ยวนำ excited coil ส่งฟลักซ์แม่เหล็กเหนี่ยวนำกระทำกับแผ่นโลหะตัวนำราบเรียบก่อให้เกิดกระแสไหลวน Eddy current ที่ได้กำเนิดฟลักซ์ของสนามแม่เหล็กในทิศทางตรงข้ามกับสนามแม่เหล็กเหนี่ยวนำจากขดลวด Excited coil ซึ่งขดลวดตัวตรวจจับ (Received coil) จะทำการตรวจจับสัญญาณได้แสดงดังรูปที่ 12 ในที่นี้เมื่อสังเกตจากขนาดของแอมพลิจูดของสัญญาณเอาท์พุทกระแสสลับที่มีขนาดเพิ่มสูงขึ้นและมีเฟสที่เปลี่ยนแปลงระหว่างสัญญาณจากจรรยาขยายในเครื่องมือวัดและวงจรมอดูเลเตอร์ที่ต่างเฟสกันเมื่อทำการเคลื่อนหัววัดเข้าใกล้ช่องเปิดจะพบว่าเกิดการเปลี่ยนแปลงของแอมพลิจูดที่ลดต่ำลงและขนาดของมุมเฟสที่ต่างออกไปแต่ไม่เกินกว่า 90 องศา ดังรูปที่ 13 จากข้อมูลที่ได้ปรากฏจะพบว่าเกิดการเปลี่ยนแปลงของฟลักซ์แม่เหล็กที่ไม่สม่ำเสมออันเนื่องจากเส้นทางของกระแสไหลวนนั้นเกิดการโค้งหักเหตามลักษณะของพื้นผิวที่ต่างออกไปเป็นผลให้อิมพีแดนซ์มีการเปลี่ยนแปลง

5. สรุป

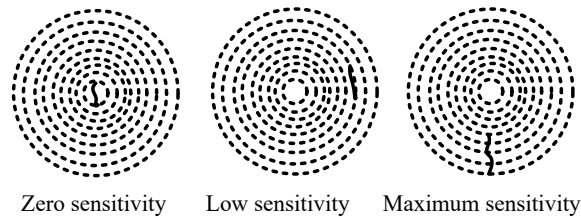
การตรวจวัดกระแสไหลวนที่เกิดขึ้นมีลักษณะเป็นแบบวงปิดนี้ ทิศทางของฟลักซ์สนามแม่เหล็กตั้งฉากกันดังนั้นขดลวดเหนี่ยวนำที่จะใช้ในการตรวจวัดจะอยู่ในแนวขนานกับผิวหน้าของแผ่นโลหะตามรูปที่ 1 โดยที่กระแสไหลวนนี้เมื่อไหลผ่านรอยแตกกร้าวจะส่งผลต่อการตรวจวัดที่ทำให้ฟลักซ์แม่เหล็กเกิดการลดต่ำลงจากกระแสไหลวนที่ไม่สม่ำเสมอ ตามรูปที่ 14 (a) พบว่าแนวของกระแสไหลวนนั้นอยู่รอบรอยแตกกร้าวจะไม่สามารถตรวจจับได้รูปที่ 14 (b) พบว่าแนวของกระแสไหลวนขนานกับรอยแตกกร้าวซึ่งจะแสดงความไวของการตรวจจับที่ต่ำ รูปที่ 14 (c) พบว่ากระแสไหลวนไหลตัดขวางกับรอยแตกกร้าวจะมีการตรวจจับที่สูง



รูปที่ 12 สัญญาณเอาท์พุทหลังจากการตรวจจับพื้นผิวโลหะ



รูปที่ 13 สัญญาณเอาท์พุทหลังจากการตรวจจับช่องเปิดผิวโลหะ



รูปที่ 14 ทิศทางของกระแสไหลวนจากรอยร้าวของผิวโลหะ

6. กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยครั้งนี้สำเร็จได้ด้วยการจัดทำเตรียมข้อมูลจาก นางสาว ปทิตตา ศรีแสงเมฆและนายธนภณ เรือนแก้ว

7. เอกสารอ้างอิง

[1] J. García-Martín , J. Gómez-Gil and E. Vázquez-Sánchez “Non-Destructive Techniques Based on Eddy Current Testing,”Sensors.,pp.2525–2565,2011.

- [2] L. Tian, Y. Cheng, C. Yin, X. Huang, B. Zhang, and L. Bai, "Data-Driven Method for the Measurement of Thickness /Depth Using Pulsed Eddy Current," *Sensors and Materials.*, Vol. 29, No.9, pp.1325–1338, 2017.
- [3] L. S. Rosado, T. G. Santos, P. M. Ramos, P. Vilaça, M. Piedade, "A new dual driver planar eddy current probe with dynamically controlled induction pattern," *NDT&E International*, Vol. 70, pp.29–37, 2015.
- [4] R. Grimberg, L. Udpa, A. Savin, R. Steigmann, V. Palihovici, S.S. Udpa "2D Eddy current sensor array," *NDT&E International.*, Vol.39, pp.264–271, 2006.
- [5] H. Huang, N. Sakurai, T. Takagi, T. Uchimoto "Design of an eddy-current array probe for crack sizing in steam generator tubes." *NDT&E International*, Vol.36, pp.515–522, 2003.
- [6] C. Liu, Y. Dong. "Resonant enhancement of a passive coil-capacitance loop in eddy current sensing path." *Measurement*, Vol.45, pp.622–626, 2012.
- [7] S. Bennoud, M. Zergoug, "Simulation of Cracks Detection in Tubes by Eddy Current Testing," *Int. Jnl. of Multiphysics* Volume 10 · No.4 pp.417-426, 2016.