ขดลวดโรกอฟสกี้สำหรับวัดไฟฟ้ากระแสสลับ
Rogowski Coil for Alternating Current Measurement

[1]ธวัชชัย สอนสนาม, [1]ยงยศ ผดุงพงศ์วัฒนา, [2]สมควร มณีนาค และ [3]อัญญารัตน์ ประสันใจ
Tawatchai Sonsanam Yongyot padungpongwattana Somkhuan Maneenark and Anyarat Prasunjai

[1]สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า,มหาวิทยาลัยราชภัฏธนบุรี
[2]สาขาเทคโนโลยีวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ วิทยาเขตวังไกลกังวล
[3]คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

บทคัดย่อ

บทความนี้ได้นำเสนอการสร้างโพรบขดลวดโรกอฟสกี้สำหรับวัดไฟฟ้ากระแสสลับ ความถี่ 50 Hz โดยได้ทำการศึกษาและสร้างชุดวงจรอินทิเกรทเพื่อใช้งานร่วมกับขดลวดโรกอฟสกี้ซึ่งใช้วัสดุที่หาง่ายและราคาถูก ในการวัดกระแสสามารถนำขดลวดโรกอฟสกี้ไปคล้องสายตัวนำที่ต้องการวัดกระแสเพื่อให้เกิดการเหนี่ยวนำแม่เหล็กและนำกระแสผ่านเข้าไปยังวงจรอินทิเกรท ผลจากงานวิจัยนี้พบว่า ขดลวดโรกอฟสกี้สามารถวัดกระแสหลอดไฟฟ้าตั้งแต่ 0.4 -4.5 A. ที่ความถี่ 50 Hz โดยแรงดันเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นจากขดลวดโรกอฟสกี้เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับแคลมป์มิเตอร์ที่ใช้งานทั่วไปในเชิงพาณิชย์นั้น พบว่ามีค่าใกล้เคียงกัน ค่าความผิดพลาดมากที่สุดอยู่ที่ 2.38 % ขดขวดโรกอฟสกี้นี้สามารถนำไปใช้งานได้จริงเมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องวัดมาตรฐาน

คำสำคัญ : ขดลวดโรกอฟสกี้

Abstract

This paper is to report on the study, design, construct and test of alternating current 50 Hz, Rogowski coil. Integrated circuit was created to use together with Rogowski coil, which were made from simple and cheap materials. In order to measure the current, Rogowski coil was to put around the conductor, which is induced electromagnetic and current into integrated circuit. The result indicated that, the Rogowski coil can measure lamp current 0.4 -4.5 A at 50 Hz, The measurement result was similar when compared the induced voltage from Rogowski coil with commercial clamp meter, with the maximum possible error of a measurement is 2.38%. This Rogowski coil can be useful in practical when compared to standard measurement.

Keyword: Rogowski Coil

1. บทนำ

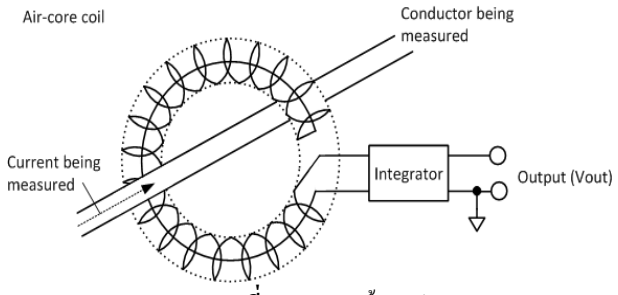
ในปัจจุบันเครื่องมือวัดกระแสไฟฟ้า (Ammeter) ที่สามารถวัดกระแสไฟฟ้าที่มีปริมาณมากๆมีราคาค่อนข้างสูงซึ่งโดยทั่วไปอุปกรณ์วัดกระแสในทางปฏิบัตินิยมใช้ หม้อแปลงกระแสไฟฟ้า (Current Transformer) และในกรณีที่ต้องการบันทึกรูปคลื่นสัญญาณ ต้องเปลี่ยนสัญญาณกระแสเป็นสัญญาณแรงดันโดยผ่านตัวกลางการวัด เช่น ตัวต้านทานชันต์ หม้อแปลงกระแสซึ่งเป็นการนำขดลวดมาพันบนแกนเหล็กจึงมีน้ำหนักมากและราคาสูง

งานวิจัยนี้จึงได้เกิดแนวคิดทำการสร้างชุดวัดกระแสโดยการใช้หลักการโรกอฟสกี้คอยล์ เนื่องจากใช้แกนกลางเป็นอากาศจึงไม่ทำให้เกิดการอิ่มตัว โดยสามารถคล้องวัดกระแสได้สะดวก ไม่มีการเชื่อมตัวกับวงจรที่ทำการวัดอีกทั้งยังมีความสะดวกและปลอดภัยต่อผู้ใช้งาน

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

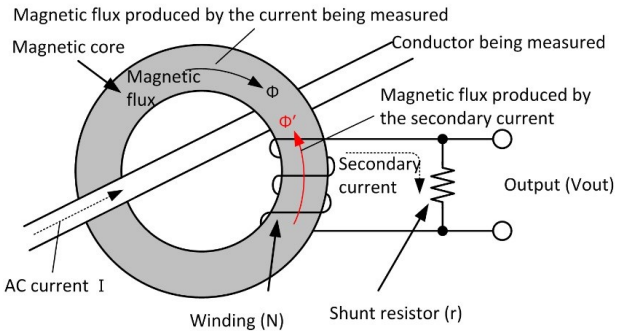
2.1 หลักการทำงานโรกอฟสกี้คอยล์ (Rogowski Coils)

ขดลวดโรกอฟสกี้คอยล์ (Rogowski Coils) มีลักษณะเป็นขดลวดที่แกนทำด้วยยางหรือแกนอากาศโดยออกแบบเป็นรูปวงแหวนที่สามารถเปิดคล้องได้และเป็นรูปแบบอื่นๆ เพื่อให้สะดวกในการใช้งานดังแสดงในภาพที่ 1 โดยการวัดค่า Output จะต้องใช้วงจร Integration ในการหาค่ากระแสแล้วอ่านค่าจากรูปคลื่นเพราะขดลวดโรกอฟสกี้คอยล์ (Rogowski Coils) วัดแรงดันได้จากผล Differential ของกระแสที่ไหลในตัวนำ



ภาพที่ 1:โรกอฟสกี้คอยล์ [1]

ขดลวดตัวนำจะทำให้เกิดเส้นแรงแม่เหล็กที่เปลี่ยนแปลงตามเวลาขึ้นบริเวณรอบๆ ตัวนำโดยจะมีทิศทางตามกฎมือขวาซึ่งจะกำหนดให้นิ้วหัวแม่มือแทนทิศทางของกระแสไฟฟ้าและนิ้วทั้งสี่จะแทนทิศทางของเส้นแรงแม่เหล็กถ้านำขดลวดโรกอฟสกี้คอยล์ (Rogowski Coils) ไปวางไว้ในบริเวณรอบตัวนำเส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดขึ้นบริเวณรอบๆ ตัวนำจะทำให้เกิดการเหนี่ยวนำ (Induced Voltage) ขึ้นกับขดลวดโรกอฟสกี้คอยล์ (Rogowski Coils) และทำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนียวนำขึ้นที่ปลายของขดลวด (V_{Coil}) [2, 3]



ภาพที่ 2 แสดงการเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็กผ่านขดลวด [1]

จากภาพที่ 2 ถ้าพิจารณาเส้นแรงแม่เหล็กที่คล้องผ่านขดลวดโรกอฟสกี้คอยล์ (Rogowski Coils) เฉพาะความยาวในช่วง dl ที่ทำมุม a กับความเข้มสนามแม่เหล็ก (H) จากกฎของแอมแปร์ (Ampere's Law) สามารถหาความเข้มของสนามแม่เหล็ก (H) มีเกิดขึ้นได้จาก

จากกฎของฟาราเดย์(Faraday's Law) แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนียวนำที่เกิดขึ้นที่ปลายของขดลวด(V_{coil})จะมีทิศทางที่สวนทางกับแรงดันที่เกิดขึ้น จะได้ [3]

$$Vcoil = -\frac{d\emptyset}{dt} = -\mu oAn.\frac{dIp}{dt}$$

$$M = \mu oAn$$

เมื่อ M คือ Mutual inductance (H)

$$Vcoil = -M.\frac{dIp}{dt}$$

$$\int Vcoil\, dt = -M\int dIp = -MIp$$

$$Ip = -\frac{1}{M}\int Vcoil\, dt$$

3. วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการวิจัย

3.1 การออกแบบขดลวดโรกอฟสกี้

การออกแบบสร้างเพื่อให้การวัดค่ากระแสใกล้เคียงกับค่าจริงมากที่สุด โดยจะต้องคำนึงถึงวัสดุที่นำมาใช้ในการสร้างแกนขดลวดซึ่งจะต้องไม่ใช่สารแม่เหล็ก การพันขดลวดเพื่อป้องกันผลของสนามแม่เหล็กจากภายนอก

การพันขดลวดการวัดกระแสของขดลวดโรกอฟสกี้อาศัยหลักการเหนี่ยวนำของสนามแม่เหล็กตามกฎของแอมแปร์ กระแสที่วัดได้จะมีความถูกต้องแม่นยำก็ต่อเมื่อ สนามแม่เหล็กที่เหนี่ยวนำเกิดแรงดันในขดลวดต้องมาจากแหล่งกำเนิดที่ต้องการวัดเพียงอย่างเดียว ไม่มีผลจากสนาม แม่เหล็กภายนอก ด้วยเหตุนี้ลักษณะการพันขดลวดของโรกอฟสกี้คอยล์จึงมีความพิเศษ คือ ต้องมีการพันขดลวดแล้วย้อนกับเข้าไปในแกน ดังภาพที่ 3

ภาพที่ 3: การพันขดลวดโลกอฟสกี้คอยล์

3.2 ชุดวงจรอินทิเกรท (Integrator)

เนื่องจากค่าแรงดันที่ได้จากขดลวดโรกอฟสกี้คอยล์มีค่าน้อยจึงต้องออกแบบชุดอินทิเกรทที่เป็นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ โดยใช้ไอซีเบอร์ INA 128 มาออกแบบซึ่งใช้หลักการเลือกชนิดของวงจรชุดอินทิเกรท โดยดูจากค่าความถี่ของตัวอินทิเกรทว่ามีผลต่อ ω ซึ่ง $\omega L \gg R$ จะใช้วงจรชุดอินทิเกรท แบบ self-integrator แต่ถ้าไม่อยู่ในเงื่อนไข $\omega L \gg R$ จะใช้วงจรอินทิเกรทแบบ RC integrator ดังนั้น ได้ทำการวิเคราะไว้เบื้องต้นแล้วพบว่าอยู่ในเงื่อนไข $\omega L \ll R$ จึงใช้วงจรอินทิเกรทแบบ RC integrator ดังภาพที่ 4 [4]

ภาพที่ 4: ชุดวงจรอินทิเกรท

3.3 แคลมป์มิเตอร์ (Clamp Meter)

ใช้สำหรับวัดเปรียบเทียบกระแสกับขดลวดโรกอฟสกี้ ยี่ห้อ Kyorisu รุ่น Kew Snap 203 และ ยี่ห้อ Hioki รุ่น 3280-10 ดังภาพที่ 5

ภาพที่ 5: แคลมป์มิเตอร์

3.4 ออสซิลโลสโคป

ใช้เป็นอุปกรณ์บันทึกสัญญาณเหนี่ยวนำจากขดลวดโรกอฟสกี้ ออสซิลโลสโคปยี่ห้อ Tektronix รุ่น TBS 1052B-EDU ดังภาพที่ 6

ภาพที่ 6: ออสซิลโลสโคป

3.5 ขั้นตอนการทดสอบ

3.5.1 นำขดลวดโรกอฟสกี้คล้องกับสายไฟเส้นใดเส้นหนึ่งของอุปกรณ์ไฟฟ้าและต่อเข้ากับชุดวงจรอินทิเกรท

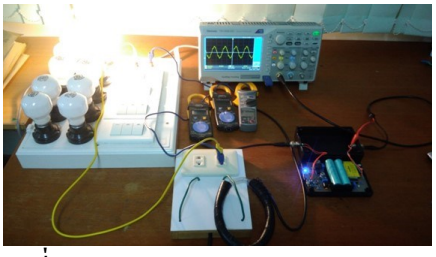
3.5.2 จ่ายแรงดันไฟฟ้าเข้าอุปกรณ์ไฟฟ้า (หลอดไฟ)

3.5.3 นำแคลมป์มิเตอร์คล้องกับสายไฟเส้นใดเส้นหนึ่งของอุปกรณ์ไฟฟ้า

3.5.4 วัดสัญญาณรูปคลื่นที่ได้จากการทดลองเปรียบเทียบกับแคลมป์มิเตอร์

3.5.5 เพิ่มโหลดทางไฟฟ้าเพื่อเพิ่มกระแส แล้วทดลองซ้ำ

 DOI:10.14416/c.fte.2017.11.038

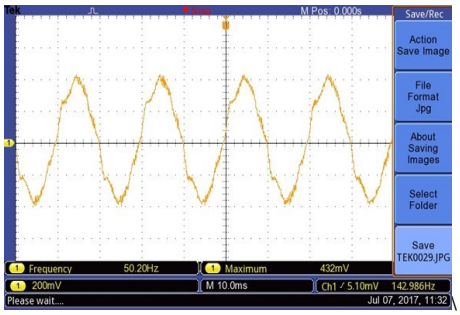


ภาพที่ 7: การทดสอบประสิทธิภาพขดลวดโรกอฟสกี้

4. ผลการทดสอบ

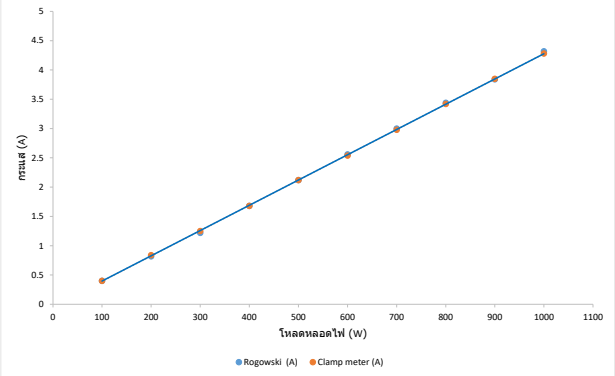
ตารางที่ 1 ผลการทดสอบวัดค่ากระแสของขดลวดโรกอฟสกี้กับแคลมป์มิเตอร์

Lamp	Rogowski Coil (A)	Clamp meter (A)	% Error
100 W (1 หลอด)	0.40	0.40	0
200 W (2 หลอด)	0.82	0.84	2.38
300 W (3 หลอด)	1.22	1.25	2.4
400 W (4 หลอด)	1.68	1.68	0
500 W (5 หลอด)	2.12	2.12	0
600 W (6 หลอด)	2.56	2.54	0.78
700 W (7 หลอด)	3.00	2.98	0.66
800 W (8 หลอด)	3.44	3.42	0.58
900 W (9 หลอด)	3.84	3.85	0.25
1000 W (10 หลอด)	4.32	4.28	0.92



ภาพที่ 8: รูปคลื่นเหนี่ยวนำจากขดลวดโรกอฟสกี้ (โหลด 1000 W)

ภาพที่ 9: แสดงการวัดกระแสที่โหลดหลอดไฟ 1000 W



ภาพที่ 10: ค่ากระแสที่วัดได้ของขดลวดโรกอฟสกี้กับแคลมป์มิเตอร์

การคำนวณหาค่ากระแสที่แท้จริงที่วัดได้จากขดลวดโรกอฟสกี้คอยล์

สมการตัวคูณเทียบกระแสหาได้จาก [5]

$$\frac{\sum Ip}{\sum Vout_{peak}/\sqrt{2}}$$

ดังนั้น กระแสจากขดลวดโรกอฟสกี้สามารถหาได้จากสมการ

$$\frac{\sum Ip}{\sum Vout_{peak}/\sqrt{2}} \times \sum Vout_{peak}/\sqrt{2}$$

จากตารางที่ 1 ขดลวดโรกอฟสกี้วัดค่ากระแสของหลอดไฟ 1 หลอด (100 W)

$$\frac{\sum Ip}{\sum Vout_{peak}/\sqrt{2}} = \left(\frac{0.40+0.84+1.25+1.68+2.12+2.54+2.98+3.42+3.85+4.28}{0.04+0.082+0.122+0.168+0.212+0.256+0.3+0.344+0.384+0.432}\right)$$

$$= \frac{23.38}{2.34\sqrt{2}}$$

 DOI:10.14416/c.fte.2017.11.038

= 14.13 A / V

Output จากขดลวดโรกอฟสกี้หาได้จาก [Vout_peak /1.41]

= 0.04/1.41 = 0.028 v

กระแสจากขดลวดโรกอฟสกี้

= 14.13 x 0.028 = 0.395 A ซึ่งใกล้เคียงกับการวัดจากขอลวดโรกอฟสกี้และแคลมป์มิเตอร์

5. บทสรุป

ขดลวดโรกอฟสกี้ที่สร้างขึ้นในงานวิจัยนี้ สามารถวัดกระแสสลับ ความถี่ 50 Hz ได้จริงและมีความแม่นยำ ซึ่งวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการจัดสร้างเป็นวัสดุที่มีราคาถูก มีความยืดหยุ่นสูง และใช้งานสะดวก ซึ่งจากการทดลองเมื่อใช้วัดกระแสไฟฟ้าในการใช้งานจริง พบว่ามีค่าความผิดพลาดไม่เกิน 2.38 % เมื่อเทียบกับแคลมป์มิเตอร์

6. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยต้องขอขอบคุณ ผศ.ประสิทธิ์ ภูสมมา และนายนรินทร์ ทาก้อน ที่ให้ความสะดวกในการทดสอบครั้งนี้

7. เอกสารอ้างอิง

[1] https://www.hioki.com/en/products/listUse/?category=17

[2] สำรวย สังข์สะอาด. “วิศวกรรมไฟฟ้าแรงสูง”.พิมพ์ครั้งที่ 3.คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย,2528.

[3] จาตุรนต์ พูลช่วย, ดิเรก เข้มคำ, ว่าที่ ร.ต. วีรภัทร ณ พัทลุง. “โรกอฟสกี้คอยล์”วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2551.

[4] พรชัย บุตรเชื้อ. “การออกแบบสร้างโรกอฟสกี้คอยล์ขนาด 10 kA”. ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต(วิศวกรรมไฟฟ้า) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 2546.

[5] ธนารัตน์ ตันมณี, ประเสริฐ ดลรวี วุ่นแม่สอด, ธนิต มาละวรรณโน ,พันธวิศ ถมพันธ์. “โพรบวัดกระแสไฟฟ้าสลับแบบขดลวดโรกอฟสกี้ขนาด 1 kA” วารสารวิชาการและวิจัย มทร.พระนคร ฉบับพิเศษ.