

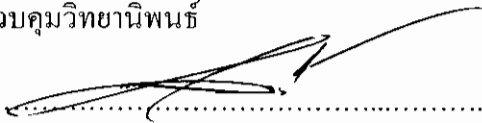
ศึกษาการวัดกระแสไฟฟ้าจาก Current Transformer ที่สร้างขึ้น  
เทียบกับคิวิตอลแกลมป์มิเตอร์

ธีรกร ชีโฮ่

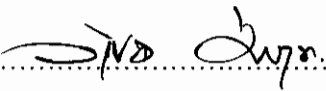
วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาฟิสิกส์ศึกษา  
คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา  
สิงหาคม 2558  
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยบูรพา

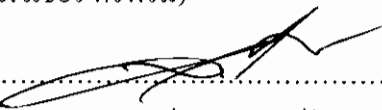
คณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์และคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ได้พิจารณา  
วิทยานิพนธ์ของ นิรากร ชีโฮ่ ฉบับนี้แล้ว เห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์ศึกษา ของมหาวิทยาลัยบูรพา

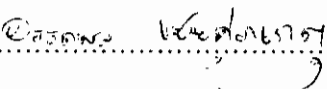
คณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์

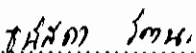
  
..... อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก  
(รองศาสตราจารย์ ดร.สุรสิงห์ ไชยคุณ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

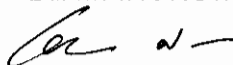
  
..... ประธาน  
(ดร.วิเชียร ศิริพรม)

  
..... กรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร.สุรสิงห์ ไชยคุณ)

  
..... กรรมการ  
(ดร.อรรถพล เขยสุภเกตุ)

  
..... กรรมการ  
(ดร.ชนันธา รัตนะ)

คณะวิทยาศาสตร์อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา  
ตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์ศึกษา ของมหาวิทยาลัยบูรพา

  
..... คณบดีคณะวิทยาศาสตร์  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เอกรัฐ ศรีสุข)

วันที่ 10 เดือน สิงหาคม พ.ศ. 2558

ทุนโครงการส่งเสริมการผลิตครูที่มีความสามารถพิเศษทางวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ (สควค.)

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยความกรุณาจาก รองศาสตราจารย์ ดร. สุรสิงห์ ไชยคุณ อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก ที่กรุณาให้คำแนะนำแนวทางที่ถูกต้องตลอดจนแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ด้วยความเอาใจใส่ด้วยดีเสมอมา ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งเป็นอย่างยิ่ง จึงกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้ ผู้วิจัยขอขอบคุณ ดร.วิเชียร ศิริพรหม ที่ให้ความกรุณามาเป็นประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ขอขอบคุณ ดร.อรรถพล เขยสุภเกตุ และดร.ธনীศธา รัตนะ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ขอขอบคุณสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.) ที่สนับสนุนทุนการศึกษา และทุนวิจัยตลอดหลักสูตร

ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อวิสุทธิ คุณแม่กานี ศรีเดช และพี่ ๆ ทุกคนที่ให้อภัยและสนับสนุนผู้วิจัยเสมอมา

คุณค่าและประโยชน์ของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบเป็นกตัญญูแก่เวทิตาแด่ บพภารี บุรพาจารย์ และผู้มีพระคุณทุกท่านทั้งในอดีตและปัจจุบัน ที่ทำให้ข้าพเจ้าเป็นผู้มีการศึกษา และประสบความสำเร็จมาจนตราบนานเท่านานนี้

ธีรกร ธีโร่

56920161: สาขาวิชา: ฟิสิกส์ศึกษา; วท.ม. (ฟิสิกส์ศึกษา)

คำสำคัญ: การทดลอง/ เคอร์เรนทรานฟอเมอร์/ อุปกรณ์วัดกระแสไฟฟ้า

นิรากร ชีโฮ้: ศึกษาการวัดกระแสไฟฟ้าจาก Current Transformer ที่สร้างขึ้น

เทียบกับดิจิตอลแคลมป์มิเตอร์ (A STUDY OF CURRENT MEASUREMENT USING CURRENT TRANSFORMERS COMPARING WITH DIGITAL CLAMP METER)

คณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์: สุรสิงห์ ไชยคุณ, Ph.D. 39 หน้า. ปี พ.ศ. 2558.

การศึกษานี้ได้กล่าวถึงเทคนิคที่มีประสิทธิภาพสำหรับวัดค่ากระแสไฟฟ้า ผู้วิจัยได้สร้างอุปกรณ์โดยใช้หลักการ Current Transformer โดยได้พันลวดทองแดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.91 mm. รอบแกนเหล็กอ่อนวงกลมที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5.2 cm. จำนวน 2, 4, และ 6 รอบตามลำดับ แล้วนำมาทำการทดลองเพื่อคำนวณหาอัตราส่วนของ Current Transformer แต่ละตัวซึ่งได้อัตราส่วนเท่ากับ 2/1 A, 4/1 A และ 6/1 A หลังจากนั้นนำ Current Transformer ทั้ง 3 ตัวมาทำการทดลองวัดกระแสไฟฟ้าจากเครื่องใช้ไฟฟ้าในบ้านชนิดต่าง ๆ โดยเทียบกับดิจิตอลแคลมป์มิเตอร์

จากการทดลองพบว่า กระแสไฟฟ้าที่วัดได้จาก Current Transformer อัตราส่วน 2/1 A มีค่าใกล้เคียงกับดิจิตอลแคลมป์มิเตอร์ โดยค่าความคลาดเคลื่อนต่ำสุดเท่ากับ 1.41% ค่าความคลาดเคลื่อนมากที่สุดเท่ากับ 3.85%, อัตราส่วน 4/1 A มีค่าความคลาดเคลื่อนต่ำสุดเท่ากับ 0.93% ค่าความคลาดเคลื่อนมากที่สุดเท่ากับ 4.62%, และอัตราส่วน 6/1 A มีค่าความคลาดเคลื่อนต่ำสุดเท่ากับ 1.49% และมีค่าความคลาดเคลื่อนมากที่สุดเท่ากับ 9.09%

56920161: MAJOR: PHYSICS EDUCATION; M.Sc. (PHYSICS EDUCATION)

KEYWORDS: TRIAEL/ CURRENT TRANSFORMER/ THE DEVICE

MEASURES ELECTRICAL CURRENTS

SIRAKORN SEEHO: A STUDY OF CURRENT MEASUREMENT USING CURRENT TRANSFORMERS COMPARING WITH DIGITAL CLAMP METER. ADVISORY COMMITTEE: SURASING CHAIYAKHUN. Ph.D. 39 P. 2015.

This study described an efficient technique for the measure of electrical current. The researcher created the devices by using the principle of Current Transformers. The copper coil with 0.91 mm. diameter was bound around a circle iron core with a diameter of 5.2 cm. for 2, 4 and 6 rounds respectively. Then, the experiment was conducted in order to calculate the ratio of each Current Transformers. The ratio was 2/1 A, 4/1 A and 6/1 A. After that, the three Current Transformers were tested with real electrical current from home appliances comparing with digital clamp meter. The findings of the study were as follows:

The electrical values measuring from the Current Transformers: The ratio 2/1 A was near to the digital clamp meter with the minimum error of 1.41 % and the maximum error is 3.85 %. The minimum error of the ratio 4/1 A was 0.93 % and the maximum error was 4.62 %. And the ratio 6/1 A the minimum error of 1.49 % and the maximum error was 9.09 %.

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
สารบัญ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญภาพ.....	ฌ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย.....	2
ขอบเขตของการวิจัย.....	2
2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
การเหนี่ยวนำของฟาราเดย์.....	4
กฎของเลนซ์.....	4
สนามแม่เหล็กของลวดตัวนำตรง.....	5
ตัวเหนี่ยวนำและสนามแม่เหล็ก.....	7
หม้อแปลงกระแส.....	12
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	14
3 วิธีการดำเนินการวิจัย.....	15
กรอบแนวคิดการวิจัย.....	15
การออกแบบและการสร้างอุปกรณ์วัดกระแสไฟฟ้า.....	17
วิธีการออกแบบสร้างอุปกรณ์และการทดลอง.....	18
4 ผลการวิจัย.....	25
การสร้างอุปกรณ์ Current Transformer.....	25
การทดลองวัดกระแสไฟฟ้าด้วย Current Transformer ที่สร้างขึ้น.....	29

## สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่

5 สรุปและอภิปรายผล.....	32
สรุปผลการวิจัย.....	32
อภิปรายผล.....	33
ข้อเสนอแนะ.....	33
บรรณานุกรม.....	34
ภาคผนวก.....	35
ภาคผนวก ก.....	36
ประวัติย่อของผู้วิจัย.....	37



## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1 แสดงผลการวัดกระแสไฟฟ้าจาก Current Transformer ที่พันด้วยลวดทองแดง จำนวน 2 รอบ โหลดในวงจร 400 W.....	25
2 แสดงผลการวัดกระแสไฟฟ้าจาก Current Transformer ที่พันด้วยลวดทองแดง จำนวน 4 รอบ โหลดในวงจร 400 W.....	26
3 แสดงผลการวัดกระแสไฟฟ้าจาก Current Transformer ที่พันด้วยลวดทองแดง จำนวน 6 รอบ โหลดในวงจร 400 W.....	26
4 แสดงผลการวัดกระแสไฟฟ้าจาก Current Transformer ที่พันด้วยลวดทองแดง จำนวน 2 รอบ ลวดตัวนำขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.20 mm.....	27
5 แสดงผลการวัดกระแสไฟฟ้าจาก Current Transformer ที่พันด้วยลวดทองแดง จำนวน 4 รอบ ลวดตัวนำขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.20 mm.....	27
6 แสดงผลการวัดกระแสไฟฟ้าจาก Current Transformer ที่พันด้วยลวดทองแดง จำนวน 6 รอบ ลวดตัวนำขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.20 mm.....	28
7 ผลการวัดกระแสไฟฟ้าจาก Current Transformer อัตราส่วน 2/1 A เทียบกับกระแส ไฟฟ้าของเครื่องใช้ไฟฟ้าต่าง ๆ ในบ้านจากดิจิตอลแคลมป์มิเตอร์.....	29
8 ผลการวัดกระแสไฟฟ้าจาก Current Transformer อัตราส่วน 4/1 A เทียบกับกระแส ไฟฟ้าของเครื่องใช้ไฟฟ้าต่าง ๆ ในบ้านจากดิจิตอลแคลมป์มิเตอร์.....	30
9 ผลการวัดกระแสไฟฟ้าจาก Current Transformer อัตราส่วน 6/1 A เทียบกับกระแส ไฟฟ้าของเครื่องใช้ไฟฟ้าต่าง ๆ ในบ้านจากดิจิตอลแคลมป์มิเตอร์.....	31

## สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1 แสดงตัวอย่างวงจรวัดกระแสไฟฟ้าจาก Current Transformer.....	2
2 ทิศของแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำตามกฎของเลนซ์.....	5
3 สนามแม่เหล็กเกิดขึ้นรอบตัวนำที่มีกระแสไฟฟ้าผ่าน.....	5
4 ทิศทางของสนามแม่เหล็กในเส้นลวดตรงจากกฎมือขวา.....	6
5 กระแสไฟฟ้าที่เกิดจากการเหนี่ยวนำ.....	6
6 ลักษณะการเกิดสนามแม่เหล็ก.....	7
7 ลักษณะตัวเหนี่ยวนำแกนอากาศ.....	8
8 หลักการเบื้องต้นของ Current Transformer.....	12
9 แผนผังต้นแบบอุปกรณ์วัดกระแสไฟฟ้า (Current Transformer).....	16
10 แกนเหล็กอ่อนวงกลม.....	18
11 แสดงวิธีการพันลวดทองแดงรอบแกนเหล็ก.....	19
12 การวัดกระแสไฟฟ้าจาก Current Transformer เพื่อนำมาคำนวณหาอัตราส่วน.....	19
13 การวัดกระแสไฟฟ้าจาก Current Transformer เพื่อนำมาคำนวณหาอัตราส่วน.....	20
14 ค่ากระแสไฟฟ้าที่วัดจาก Current Transformer.....	21
15 แสดงการวัดกระแสไฟฟ้าของเตารีดด้วย Current Transformer.....	22
16 แสดงการวัดกระแสไฟฟ้าของกาน้ำไฟฟ้าด้วย Current Transformer.....	22
17 แสดงการวัดกระแสไฟฟ้าด้วย Current Transformer เทียบกับดิจิตอลแคลมป์มิเตอร์.....	23
18 การวัดกระแสไฟฟ้างานดิจิตอลแคลมป์มิเตอร์.....	23

# บทที่ 1

## บทนำ

### ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

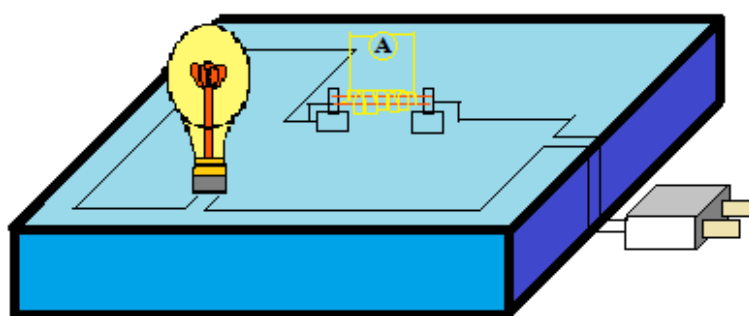
ไมเคิล ฟาราเดย์ (Faraday, 1791-1867) นักฟิสิกส์ชาวอังกฤษ ทำการทดลองศึกษาแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็ก พบว่าการเปลี่ยนแปลงสนามแม่เหล็กที่ผ่านพื้นที่หน้าตัดของขดลวดจะเหนี่ยวนำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้า ทำให้มีกระแสไฟฟ้าในขดลวด ต่อมาไฮน์ริช เลนซ์ (Lenz, 1804-1865) นักฟิสิกส์ชาวเยอรมันอธิบาย กระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำเกิดขึ้นเพื่อรักษาฟลักซ์แม่เหล็กที่ผ่านวงจรมิให้ลดลง (เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็กภายนอก) ดังนั้นกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นในวงจรจะสร้างสนามแม่เหล็กให้มิทิศต่อการเปลี่ยนแปลงฟลักซ์แม่เหล็ก จากการทดลองและทฤษฎีดังกล่าวได้ถูกนำมาเป็นแนวคิดและประยุกต์ใช้ในอุปกรณ์หลายชนิด เช่น เครื่องกำเนิดไฟฟ้า มอเตอร์ไฟฟ้า แม้กระทั่งเครื่องมือในการวัดปริมาณทางไฟฟ้าที่เรียกว่า มิเตอร์ไฟฟ้า ซึ่งในปัจจุบันเครื่องมือที่นิยมใช้คือ มัลติมิเตอร์ ซึ่งเป็นเครื่องมือวัดค่าปริมาณทางไฟฟ้าที่ได้รวมเอา แอมมิเตอร์ (Ammeter) ที่ใช้สำหรับวัดค่ากระแสไฟฟ้า โวลต์มิเตอร์ (Voltmeter) ที่ใช้สำหรับวัดค่าแรงดันไฟฟ้า และโอห์มมิเตอร์ (Ohmmeter) ที่ใช้สำหรับวัดค่าความต้านทาน เข้ามารวมอยู่ในเครื่องวัดตัวเดียวกัน มัลติมิเตอร์แบ่งออกเป็นสองชนิด คือ

1. มัลติมิเตอร์แบบแสดงผลด้วยเข็มชี้ (Analog Multimeter)
2. มัลติมิเตอร์แบบแสดงผลด้วยตัวเลข (Digital Multimeter)

เนื่องจากเครื่องมือวัดดังกล่าวมีข้อจำกัดในการวัด เช่น ปริมาณกระแสที่ต้องการวัด ข้อจำกัดถึงปริมาณทางไฟฟ้าที่ใช้ในวงจร ซึ่งอาจทำให้เกิดความยุ่งยากในการวัดต่าง ๆ ที่มีขอบเขต นอกเหนือจากนี้ ดังนั้นเพื่อลดข้อจำกัดในการวัดกระแสไฟฟ้าและเพิ่มความสามารถในการวัดให้หลากหลายขึ้น ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะสร้างอุปกรณ์สำหรับใช้วัดกระแสไฟฟ้าโดยอาศัยหลักการของ Current Transformer ที่ใช้ขดลวดจำนวนรอบต่าง ๆ แล้วป้อนกระแสไฟฟ้าให้ลวดตัวนำที่พื้นที่หน้าตัดต่างกันที่อยู่ภายในขดลวด เมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลในลวดตัวนำจะทำให้เกิดสนามแม่เหล็กและเกิดกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำในขดลวด (Induce electromotive force) ตามทฤษฎีการเหนี่ยวนำของฟาราเดย์ จะสามารถวัดกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นเพื่อไปเปรียบเทียบกับปริมาณกระแสไฟฟ้าที่วัดได้จากมิเตอร์มาตรฐาน

นอกจากนี้ผู้ทำวิจัยได้ทำการศึกษาถึงประสิทธิภาพของอุปกรณ์ที่สร้างขึ้น โดย

- 1) ศึกษาทฤษฎีในการออกแบบและสร้างอุปกรณ์เพื่อนำไปทดลองแล้วเปรียบเทียบค่ากระแสไฟฟ้าที่วัดได้จาก Current Transformer ที่สร้างขึ้นกับค่ากระแสไฟฟ้าที่วัดได้จากดิจิตอลแคลมป์มิเตอร์ เมื่อเปลี่ยนตัวแปรต่าง ๆ ให้กับวงจร และ2) ศึกษาการวัดกระแสไฟฟ้า โดยเปรียบเทียบค่ากระแสไฟฟ้าที่วัดได้จาก Current Transformer ที่สร้างขึ้นกับค่ากระแสไฟฟ้าที่วัดได้จากดิจิตอลแคลมป์มิเตอร์เมื่อนำมาใช้วัดกระแสไฟฟ้าจริงจากเครื่องใช้ไฟฟ้าต่าง ๆ



ภาพที่ 1 แสดงตัวอย่างวงจรวัดกระแสไฟฟ้าจาก Current Transformer

### วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อออกแบบและสร้างอุปกรณ์วัดกระแสไฟฟ้า (Current Transformer)
2. เพื่อศึกษาการวัดกระแสไฟฟ้าจาก Current Transformer ที่สร้างขึ้น

### ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย

1. ได้อุปกรณ์วัดกระแสไฟฟ้า (Current Transformer)
2. ได้ศึกษาและเปรียบเทียบค่ากระแสไฟฟ้าที่วัดได้จาก Current Transformer ที่สร้างขึ้นกับค่ากระแสไฟฟ้าที่วัดได้จากดิจิตอลแคลมป์มิเตอร์
3. สามารถนำอุปกรณ์วัดกระแสไฟฟ้า (Current Transformer) ที่สร้างขึ้น ไปเป็นสื่อในการจัดการเรียนการสอน เพื่อเพิ่มทักษะทางวิทยาศาสตร์ให้กับนักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย

### ขอบเขตของการวิจัย

1. ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการสร้างอุปกรณ์วัดกระแสไฟฟ้า (Current Transformer)
2. สร้างอุปกรณ์วัดกระแสไฟฟ้า (Current Transformer)
3. ดำเนินการทดลอง และคำนวณหาอัตราส่วนของ Current Transformer ที่สร้างขึ้น
4. ดำเนินการทดลอง โดยนำมาใช้วัดกระแสไฟฟ้าจากเครื่องใช้ไฟฟ้าเทียบกับ

ดิจิตอลแอมป์มิเตอร์

## บทที่ 2

### เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้นำเสนอทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องตามลำดับต่อไปนี้

- (1) การเหนี่ยวนำของฟาราเดย์ (2) กฎของเลนซ์ (3) สนามแม่เหล็กของลวดตัวนำตรง
- (4) ตัวเหนี่ยวนำและสนามแม่เหล็ก และ (5) หม้อแปลงกระแส

#### การเหนี่ยวนำของฟาราเดย์

ไมเคิล ฟาราเดย์ (Faraday, 1791-1867) ทำการทดลองศึกษาแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็ก พบว่าการเปลี่ยนแปลงสนามแม่เหล็กที่ผ่าน พื้นที่หน้าตัดของขดลวดจะเหนี่ยวนำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าทำให้มีกระแสไฟฟ้าในขดลวด โดย แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เกิดขึ้นนี้เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของฟลักซ์แม่เหล็กที่ผ่านหน้าตัด A ของลวดตัวนำวงปิด เขียนสมการได้ดังนี้

$$V_{\text{emf}} = \left| \frac{d\Phi_B}{dt} \right| \quad (2-1)$$

โดยที่ฟลักซ์แม่เหล็กหาได้จาก

$$\Phi_B = \int \vec{B} \cdot d\vec{A} \quad (2-2)$$

ถ้าพื้นที่ขดลวดจำนวน N รอบ แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เกิดขึ้นหาได้จาก

$$V_{\text{emf}} = N \left| \frac{d\Phi_B}{dt} \right| \quad (2-3)$$

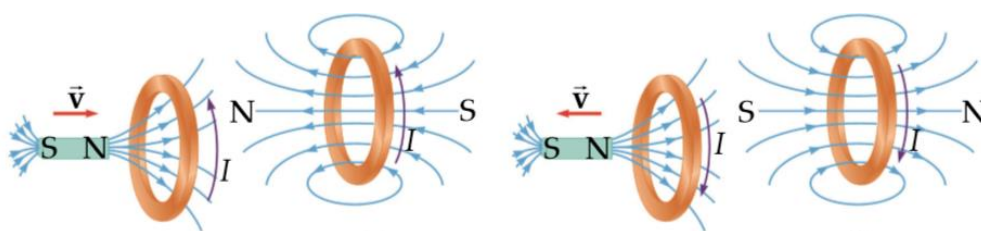
ขนาดของแรงเคลื่อนไฟฟ้าขึ้นกับการเปลี่ยนแปลงของฟลักซ์แม่เหล็กที่ผ่านวงปิด แม้ว่าสนามแม่เหล็กที่ผ่านวงปิดจะมีขนาดลดลงก็ทำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าในวงปิดได้เช่นกัน

#### กฎของเลนซ์ (Lenz's law)

ไฮน์ริช เลนซ์ (Lenz, 1804-1865) นักฟิสิกส์ชาวเยอรมันอธิบายทิศทางและ การเกิดกระแสไฟฟ้าเนื่องจากแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่ได้จากกฎของฟาราเดย์ โดยกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำเกิดขึ้นเพื่อรักษาฟลักซ์แม่เหล็กที่ผ่านวงจรให้คงตัว (เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของ

สนามแม่เหล็กภายนอก) ดังภาพที่ 2 ดังนั้นกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นในวงจรมีทิศทางสนามแม่เหล็กให้มิ ทิศต่อต้านการเปลี่ยนแปลงฟลักซ์แม่เหล็ก จากผลลัพธ์นี้จึงเขียนกฎของฟาราเดย์ได้เป็น

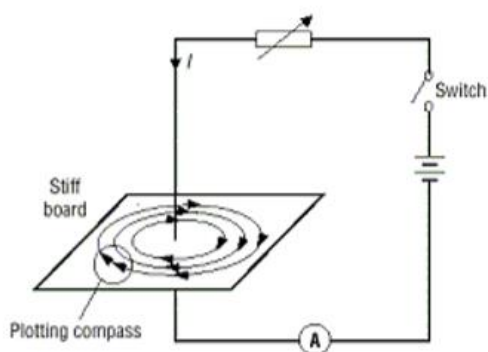
$$V_{\text{emf}} = -N \frac{d\Phi_B}{dt} \quad (2-4)$$



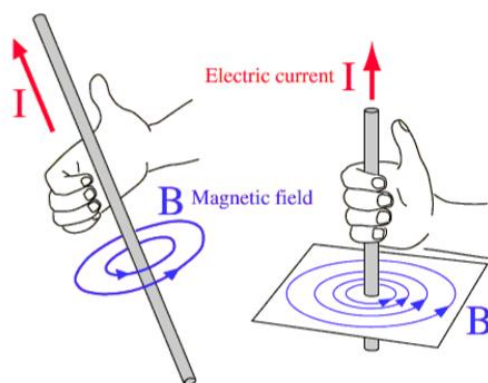
ภาพที่ 2 ทิศของแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำตามกฎของเลนซ์

### สนามแม่เหล็กของลวดตัวนำตรง

ฮานส์ เออร์สเตด (Ørsted , 1777-1851) นักวิทยาศาสตร์ชาวเดนมาร์ก ได้ทำการทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างไฟฟ้ากับแม่เหล็กพบว่า มีสนามแม่เหล็กเกิดขึ้นรอบตัวนำที่มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่าน

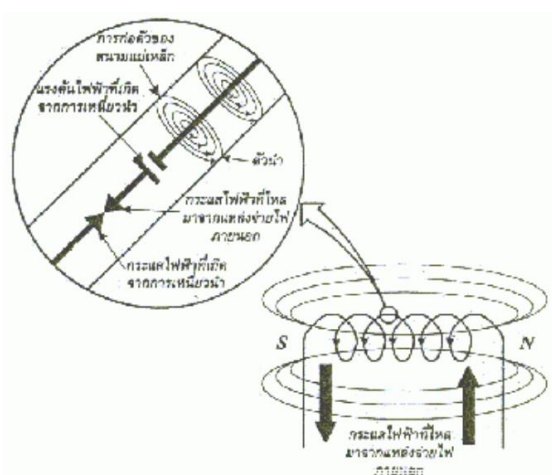


ภาพที่ 3 สนามแม่เหล็กเกิดขึ้นรอบตัวนำที่มีกระแสไฟฟ้าผ่าน



ภาพที่ 4 ทิศทางของสนามแม่เหล็กในเส้นลวดตรงจากกฎมือขวา

รูปแสดงการต่อแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าเข้ากับลวดตัวนำ เป็นผลทำให้มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านลวดตัวนำ ซึ่งกระแสไฟฟ้านี้จะทำให้เกิดสนามแม่เหล็ก และความเข้มของสนามแม่เหล็ก จะเพิ่มขึ้นจากค่าศูนย์ไปจนถึงค่าสูงสุดในช่วงเวลาสั้น ๆ โดยการขยายตัวของสนามแม่เหล็กไฟฟ้า จะเริ่มจากส่วนกลางของลวดตัวนำ ซึ่งการขยายตัวของเส้นแรงแม่เหล็กนี้จะเป็นการเคลื่อนที่ตัดกับตัวนำที่อยู่กับที่ ดังนั้น จึงส่งผลให้เกิดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำขึ้น (การเหนี่ยวนำของสนามแม่เหล็กไฟฟ้า) การที่กระแสไฟฟ้าไหลผ่านลวดตัวนำแล้วทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำและ แรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นนี้ จะทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่ จะคอยต้านการเปลี่ยนแปลง ของกระแสไฟฟ้าภายในวงจร ดังภาพที่ 5

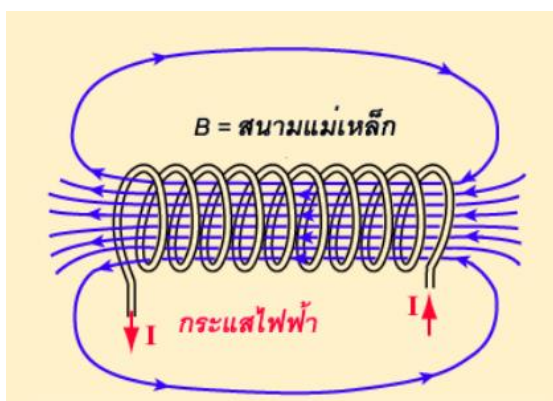


ภาพที่ 5 กระแสไฟฟ้าที่เกิดจากการเหนี่ยวนำ



## ตัวเหนี่ยวนำและสนามแม่เหล็ก

ตัวเหนี่ยวนำ (Inductor) เป็นอุปกรณ์พื้นฐานอีกตัวหนึ่งที่ถูกนำมาใช้งานในวงจรไฟฟ้า และวงจรอิเล็กทรอนิกส์อย่างแพร่หลาย บทบาทสำคัญของตัวเหนี่ยวนำคือ ทำให้เกิดการพองตัว และการยุบตัวของสนามแม่เหล็กขึ้นมา เมื่อจ่ายแรงดันและกระแสให้สนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นบนตัวเหนี่ยวนำนี้มีประโยชน์ต่อการนำไปใช้งาน นำไปสร้างอุปกรณ์ไฟฟ้าและเครื่องใช้ไฟฟ้าได้ ตัวเหนี่ยวนำเป็นเส้นลวดตัวนำจำพวกทองแดงขดลวดเป็นวงเรียงกันหลาย ๆ รอบ ลักษณะการพันเส้นลวดตัวนำแตกต่างกัน ทำให้ตัวเหนี่ยวนำแตกต่างกัน เรียกว่าขดลวดหรือคอยล์ (Coil) การพันจำนวนรอบของตัวเหนี่ยวนำมีผลต่อความเหนี่ยวนำ (Inductance) ในตัวเหนี่ยวนำนั้น พันจำนวนรอบน้อยความเหนี่ยวนำน้อย พันจำนวนรอบมากความเหนี่ยวนำมาก จำนวนรอบยังมีผลต่อปริมาณสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นด้วย จำนวนรอบน้อย สนามแม่เหล็กเกิดน้อย จำนวนรอบมาก สนามแม่เหล็กเกิดมาก เมื่อนำเส้นลวดตัวนำมาพันเป็นขดจะส่งผลให้เส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดขึ้นรอบเส้นลวดตัวนำเกิดการเสริมแรงกัน เกิดเป็นสนามแม่เหล็กขึ้นและสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นมีความเข้มเพิ่มมากขึ้น ลักษณะการเกิดสนามแม่เหล็ก แสดงดังภาพที่ 6



ภาพที่ 6 ลักษณะการเกิดสนามแม่เหล็ก

ความเข้มของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าขึ้นอยู่กับส่วนประกอบต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

1. จำนวนรอบของการพันเส้นลวดตัวนำ พันรอบน้อยเกิดสนามแม่เหล็กน้อย พันรอบมากเกิดสนามแม่เหล็กมาก
2. ปริมาณการไหลของกระแสผ่านเส้นลวดตัวนำ กระแสไหลน้อยสนามแม่เหล็กเกิดน้อย กระแสไหลมากสนามแม่เหล็กเกิดมาก

3. ชนิดของวัสดุที่ใช้ทำแกนแม่เหล็กไฟฟ้า แกนอากาศให้ความเข้มสนามแม่เหล็กน้อย แกนที่ทำมาจากสารเฟอร์โรแมกเนติกให้ความเข้มของสนามแม่เหล็กมาก

4. ขนาดของแกนที่นำมาใช้งาน แกนขนาดเล็กให้สนามแม่เหล็กได้น้อย แกนขนาดใหญ่ให้สนามแม่เหล็กได้มาก

### ตัวเหนี่ยวนำชนิดขดเดี่ยว

ตัวเหนี่ยวนำชนิดขดเดี่ยวเป็นตัวเหนี่ยวนำที่มีขดลวดพันไว้ขดเดียวเรียกว่า โฉ้ค (Choke) หรือคอยล์ โครงสร้างประกอบด้วยเส้นลวดทองแดงอาบน้ำยาฉนวน พันเป็นขดลวดอยู่บนแกน หรือฐานรองต่าง ๆ แบ่งออกได้เป็น

#### 1. ตัวเหนี่ยวนำแกนอากาศ (Air Core Inductor)

ตัวเหนี่ยวนำแกนอากาศ เป็นตัวเหนี่ยวนำที่แกนหรือฐานรองทำมาจากวัสดุที่เป็นฉนวน เช่น คาร์บอน พลาสติก ไฟเบอร์ และPVC เป็นต้น หรืออาจพันลอย ๆ ไว้โดยไม่มีอะไรรองรับ ตัวเหนี่ยวนำประเภทนี้นิยมนำไปใช้งานกับพวกความถี่สูง ๆ หรือความถี่วิทยุ (RF) มักเรียกตัวเหนี่ยวนำประเภทนี้ว่า RF โฉ้ค ตัวเหนี่ยวนำแกนอากาศเป็นตัวเหนี่ยวนำที่มีค่าความเหนี่ยวนำต่ำ เพราะแกนไม่สามารถช่วยเสริมค่าความเหนี่ยวนำได้ การจะทำให้ค่าความเหนี่ยวนำเพิ่มขึ้นต้องใช้จำนวนรอบในการพันขดลวดเพิ่มขึ้น



ภาพที่ 7 ลักษณะตัวเหนี่ยวนำแกนอากาศ

## 2. ตัวเหนี่ยวนำแกนผงเหล็กอัด (Powdered - Iron Core Inductor)

ตัวเหนี่ยวนำแกนผงเหล็กอัด เป็นตัวเหนี่ยวนำที่แกนหรือฐานรองรับเส้นลวดทำด้วยผงเหล็กชนิดอัดแน่น โดยนำผงเหล็กผสมกับกาวอัดแน่นเป็นแท่ง ช่วยลดการสูญเสียสัญญาณจากกระแสไหลวน (Eddy Current) ลงได้ สัญญาณส่งผ่านตัวเหนี่ยวนำแกนผงเหล็กอัดได้สูงขึ้น เกิดการสูญเสียสัญญาณภายในตัวเหนี่ยวนำลดลง ใช้งานได้ดีในย่านความถี่สูง ๆ มีความเหนี่ยวนำสูงแต่มีขนาดเล็ก

## 3. ตัวเหนี่ยวนำแกนเฟอร์ไรต์ (Ferrite Core Inductor)

ตัวเหนี่ยวนำแกนเฟอร์ไรต์ เป็นตัวเหนี่ยวนำที่แกนหรือฐานรองรับเส้นลวดทำด้วยเฟอร์ไรต์ ส่วนผสมของเฟอร์ไรต์มีความแตกต่างกันหลายอย่าง เช่น แมกนีเซียมกับสังกะสี แมกนีเซียมกับแมงกานีส แมกนีเซียมกับทองแดง นิกเกิลกับสังกะสี และแมงกานีสกับสังกะสี เป็นต้น แต่ละชนิดของเฟอร์ไรต์ให้ความเข้มของค่าความเหนี่ยวนำแตกต่างกัน ข้อดีของตัวเหนี่ยวนำแกนเฟอร์ไรต์คือ สามารถสร้างให้มีรูปร่างลักษณะต่าง ๆ ได้ ใช้งานได้ดีทั้งความถี่ต่ำและความถี่สูง

## 4. ตัวเหนี่ยวนำแกนทอรอยด์ (Toroidal Core Inductor)

ตัวเหนี่ยวนำแกนทอรอยด์ เป็นตัวเหนี่ยวนำที่แกนหรือฐานรองรับเส้นลวดทำด้วยผงเหล็กชนิดอัดแน่น โดยสร้างขึ้นเป็นรูปวงแหวน ขดลวดถูกพันรอบแกนทอรอยด์โดยรอบ ข้อดีของการใช้แกนทอรอยด์คือ เส้นแรงแม่เหล็กจะไม่แพร่กระจายออกไปภายนอก และสนามแม่เหล็กจากภายนอกก็ไม่เข้ามารบกวน สามารถทำให้ตัวเหนี่ยวนำแบบนี้มีความเหนี่ยวนำสูงในขนาดที่สร้างได้เล็กลง นิยมนำไปใช้งานวงจรอิเล็กทรอนิกส์ความถี่สูงที่ต้องการหาค่าความเหนี่ยวนำสูงและมีสนามแม่เหล็กรบกวนต่ำ

## 5. ตัวเหนี่ยวนำแกนเหล็กแผ่น (Laminated - Iron Core Inductor)

ตัวเหนี่ยวนำแกนเหล็กแผ่น เป็นตัวเหนี่ยวนำที่แกนหรือฐานรองรับเส้นลวดทำด้วยเหล็กแผ่นบางวางซ้อนกัน เหล็กแผ่นบางแต่ละแผ่นเคลือบฉนวนไว้เพื่อช่วยลดการสูญเสียเนื่องจากกระแสไหลวนและช่วยหาค่าความเหนี่ยวนำเพิ่มขึ้น การใช้งานนิยมนำไปใช้งานในย่านความถี่ต่ำ เรียกว่า AF โช๊ค เช่น ใช้เป็นตัวกรองไฟ (Filter) แรงดันไฟสลับเป็นแรงดันไฟตรง เป็นต้น

### ตัวเหนี่ยวนำชนิดหลายขด

ตัวเหนี่ยวนำชนิดหลายขด เป็นตัวเหนี่ยวนำที่มีขดลวดพันไว้บนแกนมากกว่าหนึ่งขด เช่น 2 ขด, 3 ขด และ 4 ขด เป็นต้น ขดลวดทั้งหมดถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนทางเข้าหรือขดอินพุต (Input) เรียกว่า ขดปฐมภูมิ (Primary) ทำหน้าที่รับแรงดันไฟสลับที่ป้อนเข้ามา ทำให้เกิดสนามแม่เหล็กฟองตัวออก เมื่อจ่ายแรงดันไฟสลับสนามแม่เหล็กจะยุบตัวลง เพื่อจ่ายผ่านสนามแม่เหล็กไปตัวผ่านขดลวดขดอื่น ๆ อีกส่วนของขดลวด คือ ส่วนทางออกหรือเอาต์พุต (Output) เรียกว่า ขดทุติยภูมิ (Secondary) ทำหน้าที่รับการชักนำของสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นจากขดปฐมภูมิ ในขณะที่สนามแม่เหล็กของขดลวดปฐมภูมิฟองตัวออก เกิดสนามแม่เหล็กตัดผ่านขดลวดทุติยภูมิ ทำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ (Induce Electro Motive Force) หรือ EMF ขึ้นมา นั่นคือ ขดลวดทุติยภูมิเกิดแรงดันขึ้นมา ค่าแรงดันที่เกิดขึ้นมาทางขดลวดทุติยภูมิ มีค่าแรงดันเกิดขึ้นมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับจำนวนรอบของการพันขดลวด พันขดลวดจำนวนรอบน้อยแรงดันเกิดน้อย พันขดลวดจำนวนรอบมากแรงดันเกิดมาก นำหลักการดังกล่าวนี้ไปใช้ในตัวแปลงแรงดันให้มากขึ้นหรือน้อยลง เรียกตัวเหนี่ยวนำชนิดหลายขดนี้ว่า หม้อแปลงไฟฟ้าหรือทรานส์ฟอร์มเมอร์ (Transformer) การเรียกชื่อหม้อแปลงไฟฟ้าจะเรียกชื่อตามชื่อของแกนที่เป็นฐานรองขดลวดแบ่งได้เป็น

#### 1. หม้อแปลงไฟฟ้าแกนอากาศ (Air - Core Transformer)

หม้อแปลงไฟฟ้าแกนอากาศ เป็นหม้อแปลงที่ขดลวดทุกขดพันบนแกน หรือฐานรองทำมาจากวัสดุที่เป็นฉนวน เช่น พลาสติก ไฟเบอร์ และ PVC เป็นต้น หรืออาจพันลอย ๆ ไว้โดยไม่มีอะไรรองรับ ตัวเหนี่ยวนำประเภทนี้นิยมใช้งานกับย่านความถี่สูง เพราะมีค่าความเหนี่ยวนำต่ำ

#### 2. หม้อแปลงไฟฟ้าแกนเฟอร์ไรต์ (Ferrite - Core Transformer)

หม้อแปลงไฟฟ้าแกนเฟอร์ไรต์ เป็นหม้อแปลงที่แกนหรือฐานรองรับเส้นลวดทำด้วยเฟอร์ไรต์ที่มีส่วนผสมแตกต่างกัน เช่น แมกนีเซียมกับสังกะสี แมกนีเซียมกับทองแดง แมกนีเซียมกับแมงกานีส และแมกนีเซียมกับสังกะสี เป็นต้น นิยมใช้งานในย่านความถี่สูง เช่น ภาครับวิทยุ (RF) ภาควัดความถี่ปานกลาง (IF) และภาควัดความถี่ (osc.) เป็นต้น

#### 3. หม้อแปลงไฟฟ้าแกนเหล็ก (Iron - Core Transformer)

หม้อแปลงไฟฟ้าแกนเหล็ก เป็นหม้อแปลงที่แกนหรือฐานรองรับเส้นลวดทำด้วยแผ่นเหล็กบางเคลือบฉนวนวางซ้อนกัน มีผลให้เกิดค่าความเหนี่ยวนำที่มากขึ้น และช่วยลดการสูญเสียเนื่องจากกระแสไหลวน การใช้งานนิยมนำไปใช้กับย่านความถี่ต่ำ ๆ พวกความถี่เสียง ทำหน้าที่เป็นตัวแปลงระดับแรงดัน โดยทำให้แรงดันเพิ่มขึ้นหรือลดลง

ชนิดของหม้อแปลงไฟฟ้าแกนเหล็ก เป็นหม้อแปลงที่ถูกพัฒนานำมาใช้กันอย่างแพร่หลายในหลายลักษณะของงาน มีชื่อเรียกแตกต่างกันไปตามลักษณะการพันขดลวดในหม้อแปลงไฟฟ้าและตามลักษณะโครงสร้างของหม้อแปลงไฟฟ้าที่สร้างขึ้น แบ่งชนิดต่าง ๆ ได้ดังนี้

#### 1. หม้อแปลงเพิ่มแรงดัน (Step Up Transformer)

หม้อแปลงเพิ่มแรงดัน เป็นหม้อแปลงไฟฟ้าที่ทำหน้าที่เพิ่มแรงดันไฟสลับที่ด้านส่งออกเอาต์พุต หรือขดทุติยภูมิมีค่าแรงดันมากกว่าค่าแรงดันที่ป้อนเข้ามา รูปแบบการพันขดลวดในหม้อแปลงไฟฟ้านชนิดนี้ จำนวนรอบของขดลวดทางขดปฐมภูมิน้อยกว่าจำนวนรอบของขดลวดทางขดทุติยภูมิ

#### 2. หม้อแปลงลดแรงดัน (Step Down Transformer)

หม้อแปลงลดแรงดัน เป็นหม้อแปลงไฟฟ้าที่ทำหน้าที่ลดแรงดันไฟสลับที่ส่งออกจากขดลวดทุติยภูมิ มีค่าแรงดันน้อยกว่าค่าแรงดันที่ป้อนเข้ามา รูปแบบการพันขดลวดในหม้อแปลงไฟฟ้านชนิดนี้ จำนวนรอบของขดลวดทางขดปฐมภูมิมากกว่าจำนวนรอบของขดลวดทางขดทุติยภูมิ

#### 3. หม้อแปลงเพิ่มกำลัง (Power Transformer)

หม้อแปลงกำลัง เป็นหม้อแปลงไฟฟ้าที่มีลักษณะการพันขดลวดแบบหลายขดลวดรวมกันอยู่ในหม้อแปลงทางขดทุติยภูมิ มีทั้งขดเพิ่มแรงดันและขดลดแรงดัน

#### 4. หม้อแปลงออโต (Auto Transformer)

หม้อแปลงออโต เป็นหม้อแปลงไฟฟ้าที่มีลักษณะการพันขดลวดทุกขดอยู่บนแกนเดียวกัน มีขดลวดพันออกมาใช้งานเพียงขดเดียว แยกชุดจ่ายแรงดันออกมาตามค่าที่ต้องการเป็นจุด ๆ มีจุดต่อร่วมจุดเดียวกัน จุดใดเป็นจุดจ่ายแรงดันเข้า เรียกว่า ขดปฐมภูมิ จุดใดเป็นจุดจ่ายแรงดันออก เรียกว่า ขดทุติยภูมิ

#### 5. หม้อแปลงทอรอยด์ (Toroidal Transformer)

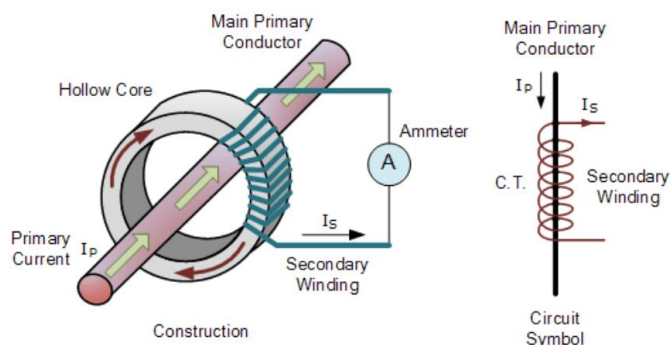
หม้อแปลงทอรอยด์ เป็นหม้อแปลงไฟฟ้าแกนเหล็กแผ่นบางเคลือบฉนวนวางซ้อนกัน ในรูปวงแหวน การพันขดลวดสามารถพันให้เป็นหม้อแปลงไฟฟ้าลักษณะต่าง ๆ ได้ เช่น ชนิดลดแรงดัน ชนิดเพิ่มแรงดัน ชนิดกำลัง และชนิดออโต เป็นต้น ข้อดีของหม้อแปลงแบบนี้ คือ มีขนาดเล็กกะทัดรัดที่ให้ค่าความเหนี่ยวนำสูง มีการสูญเสียกำลังต่ำ นิยมใช้งานอย่างแพร่หลาย

## หม้อแปลงกระแส (Current Transformer : CT)

ในแอมมิเตอร์กระแสตรงแบบ Permanent Magnet Moving Coil (PMMC) เมื่อต้องการขยายพิสัยวัดจะทำโดยใช้ชั้ดเพื่อแบ่งกระแสที่ต้องการวัดระหว่างเครื่องวัดกับชั้ด วิธีนี้จะเหมาะสำหรับวงจรกระแสตรง แม้ว่าเมื่อกระแสเพิ่มมากขึ้น กำลังสูญเสียในชั้ดจะมีค่ามาก ในวงจรกระแสสลับ การแบ่งกระแสจะไม่เพียงขึ้นกับความต้านทานของเครื่องวัดกับชั้ดเท่านั้น แต่ยังขึ้นกับค่ารีแอกแตนซ์ของมันด้วย เพราะว่าการวัดกระแสสลับอาจกระทำในพิสัยความถี่กว้าง ดังนั้นจะเป็นการยากที่จะได้ความถูกต้องสูง หม้อแปลงกระแสจะทำให้เกิดการขยายพิสัยที่ต้องการผ่านอัตราส่วนการแปลง และทำให้เกิดค่าที่อ่านได้เกือบจะเหมือนกัน โดยไม่คำนึงถึงค่าคงที่ (ความต้านทาน หรือรีแอกแตนซ์) หรือจำนวนของเครื่องวัด (ภายในขอบเขต) ที่ต่ออยู่ในวงจร

### หลักการเบื้องต้นของ Current Transformer : CT

#### Current Transformer



ภาพที่ 8 หลักการเบื้องต้นของ Current Transformer

กระแสไหลดที่ต้องการวัด จะไหลผ่านขดปฐมภูมิ ซึ่งอาจจะเป็นลวดตัวนำเส้นเดียว ถือเป็นหนึ่งรอบทางปฐมภูมิ ขดลวดทุติยภูมิจะมีจำนวนรอบมากกว่า และจะต่อกับมิเตอร์วัดกระแส ขดลวดของรีเลย์หรือขดลวดของวัดต์มิเตอร์ การทำงานของหม้อแปลงกระแสจะขึ้นอยู่กับสมมูลของค่าแอมแปร์-รอบที่สร้างขึ้นโดยขดปฐมภูมิและทุติยภูมิ ถ้าหม้อแปลงเป็นอุดมคติ คือไม่มีกระแสทำแม่เหล็ก (Magnetizing Current) หรือความสูญเสียในแกน จะได้

$$n_{ct} = \frac{I_p}{I_s} = \frac{N_s}{N_p} \quad (2-5)$$

โดยที่  $n_{ct}$  คือ อัตราส่วนรอบของหม้อแปลงกระแส  
 $I_p$  คือ กระแสไฟฟ้าด้านปฐมภูมิ  
 $I_s$  คือ กระแสไฟฟ้าด้านทุติยภูมิ  
 $N_p$  คือ จำนวนรอบขดลวดด้านปฐมภูมิ  
 $N_s$  คือ จำนวนรอบขดลวดด้านทุติยภูมิ

การออกแบบโดยกำหนดอัตราส่วนของหม้อแปลง เช่น 500/5 A แสดงว่า กระแสปฐมภูมิ 500 A จะให้กระแสทุติยภูมิ 5 A เพื่อต่อขดทุติยภูมิเข้ากับแอมมิเตอร์พิสัย 5 A เพราะวาทโหลดในระบบจะกำหนดกระแสปฐมภูมิ กระแสทุติยภูมิจะสัมพันธ์กับกระแสปฐมภูมิ โดยอัตราส่วนรอบผกผัน (โดยประมาณ) ในการสร้างจะต้องทำให้กระแสทำแม่เหล็ก ความสูญเสียในแกน และเส้นแรงรั่วซึมน้อยที่สุด เพื่อจะแน่ใจว่า อัตราส่วนกระแสปฐมภูมิต่อทุติยภูมิจริง ๆ จะเข้าใกล้อัตราส่วนรอบผกผัน จะมีความผิดพลาดที่สำคัญในหม้อแปลงกระแสคือ ความผิดพลาดของกระแส หรืออัตราส่วนกับความผิดพลาดมุมเฟส (Current or Ratio Error) มีการนิยามว่าเท่ากับ

$$\frac{(I_p/I_s)_1 - (I_p/I_s)_2}{(I_p/I_s)_2} \times 100\% \quad (2-6)$$

โดยที่  $(I_p/I_s)_1$  คือ อัตราส่วนตามพิกัด  
 $(I_p/I_s)_2$  คือ อัตราส่วนจริง

ความผิดพลาดมุมเฟส คือ มุมเฟสระหว่างเวกเตอร์ของกระแสปฐมภูมิกับเวกเตอร์ของกระแสทุติยภูมิที่กลับทิศ สำหรับหม้อแปลงที่สมบูรณ์ ค่ามุมเฟสนี้จะเป็น 0 ค่าความผิดพลาดเหล่านี้ จะกำหนดโดยเทียบกับโหลดที่ต่ออยู่กับขดทุติยภูมิโดยเฉพาะค่าหนึ่ง เรียกว่า เบอร์ดน (Burden) ของหม้อแปลง และกำหนดเบอร์ดนนี้โดยกำลังปรากฏ (VA) ที่ใช้ไปในโหลดภายใต้ความถี่ และกระแสทุติยภูมิที่กำหนด และโดยตัวประกอบกำลัง (Power Factor)

## งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สุขสันต์ หวังสถิตวงษ์ และดำรง จินขาวำ (2544) ได้เสนอบทความเรื่องโพรบวัดกระแสแบบดัดโค้งซึ่งวัดกระแสได้ขนาด 500 แอมป์ โดยใช้หลักการของหม้อแปลงอากาศและมีขดลวดพันรอบแกนทอรอยด์ เพื่อคล้องกับสายตัวนำที่ต้องการจะวัด โดยค่าเอาต์พุตของขดลวดนี้จะเป็นค่าแรงดัน EMF ที่แปรผันตามอัตราการเปลี่ยนแปลงของกระแสและเมื่อนำแรงดันป้อนเข้ากับวงจรอินทิเกรเตอร์ แรงดันเอาต์พุตที่ได้ คือ รูปคลื่นของกระแสนั้นเอง สำหรับงานวิจัยนี้ได้กำหนดแรงดันเอาต์พุตของโพรบไว้ที่  $2\text{mV/A}$  และได้ค่าความแม่นยำเต็มสเกลไม่เกิน 1.1% โดยค่าความคลาดเคลื่อนนี้ขึ้นอยู่กับพื้นที่หน้าตัดของแกนที่ต้องเท่ากันตลอดระยะเวลาความยาวและการพันขดลวดอย่างสม่ำเสมอ

อภิชาติ อิ่มเต็ม (2552) ได้พัฒนาเครื่องวัดการใช้กระแสไฟฟ้าด้วยระบบส่งข้อมูลไร้สาย โดยการนำ Xbec ที่เป็นอุปกรณ์ไร้สายมาประยุกต์ใช้กับวงจรตรวจจับกระแสไฟฟ้า โดยมีการวิเคราะห์ จัดเก็บข้อมูลและประมวลผล ซึ่งพบว่าสามารถวัดการใช้กระแสไฟฟ้าได้ใกล้เคียงกับมิเตอร์แบบมาตรฐาน

ทวีชัย เชื้อจีน (2553) ได้สร้างอุปกรณ์สำหรับวัดค่าสนามแม่เหล็กโดยอาศัยกฎการเหนี่ยวนำของฟาราเดย์ จากการทดลองพบว่าค่าสนามแม่เหล็กที่วัดได้จากอุปกรณ์ที่สร้างขึ้นมีความคลาดเคลื่อนจากค่าสนามแม่เหล็กที่คำนวณได้ทางทฤษฎีไม่เกิน 10 เปอร์เซ็นต์

ชวนิทธิ์ โสสนุ้ย (2554) ได้ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการวัดกระแสไฟฟ้าของเครื่องมือวัดกระแสไฟฟ้าพิกัดสูง พบว่าปัจจัยที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ พื้นที่หน้าตัด ความยาวคอยล์ จำนวนรอบของคอยล์ โดยปัจจัยเหล่านี้มีความสัมพันธ์ทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ชวนิทธิ์ โสสนุ้ย (2555) ได้นำเสนอผลงานสิ่งประดิษฐ์ EGAT HCD ที่ได้ถูกพัฒนาขึ้นโดยอาศัยหลักการของ Rogowski Coil ซึ่งเป็นหลักการของขดลวดแกนอากาศเหนี่ยวนำ สนามแม่เหล็กจากตัวนำและจ่ายเอาต์พุตเป็นแรงดันออกมา ซึ่งความสัมพันธ์ของทั้งสองตัวแปรเป็นเชิงเส้นกันแต่อยู่ในรูปของการ Derivative จึงต้องมีวงจร Integrate ที่จะช่วยแปลงแรงดันที่ได้ให้เป็นรูปแบบกระแส ผู้วิจัยได้ทำการออกแบบ EGAT HCD เพื่อให้สามารถใช้งานได้กับขดลวดสเตเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดใหญ่ และได้พัฒนางจรโดยการจำลองบนโปรแกรม EWB จากนั้นจึงประกอบวงจรจริงและนำทั้งสองส่วนคือ Rogowski Coil ชุดวงจรมาประกอบกัน โดยได้ทำการทดลองในห้องปฏิบัติการจนได้ผลการวัดที่คลาดเคลื่อนน้อยที่สุด จากนั้นจึงได้นำเข้าใช้งานจริงเพื่อใช้วัดค่ากระแสภายในแต่ละวงจรของขดลวดสเตเตอร์ที่มีการต่อวงจรแบบขนาน



## บทที่ 3

### วิธีดำเนินการวิจัย

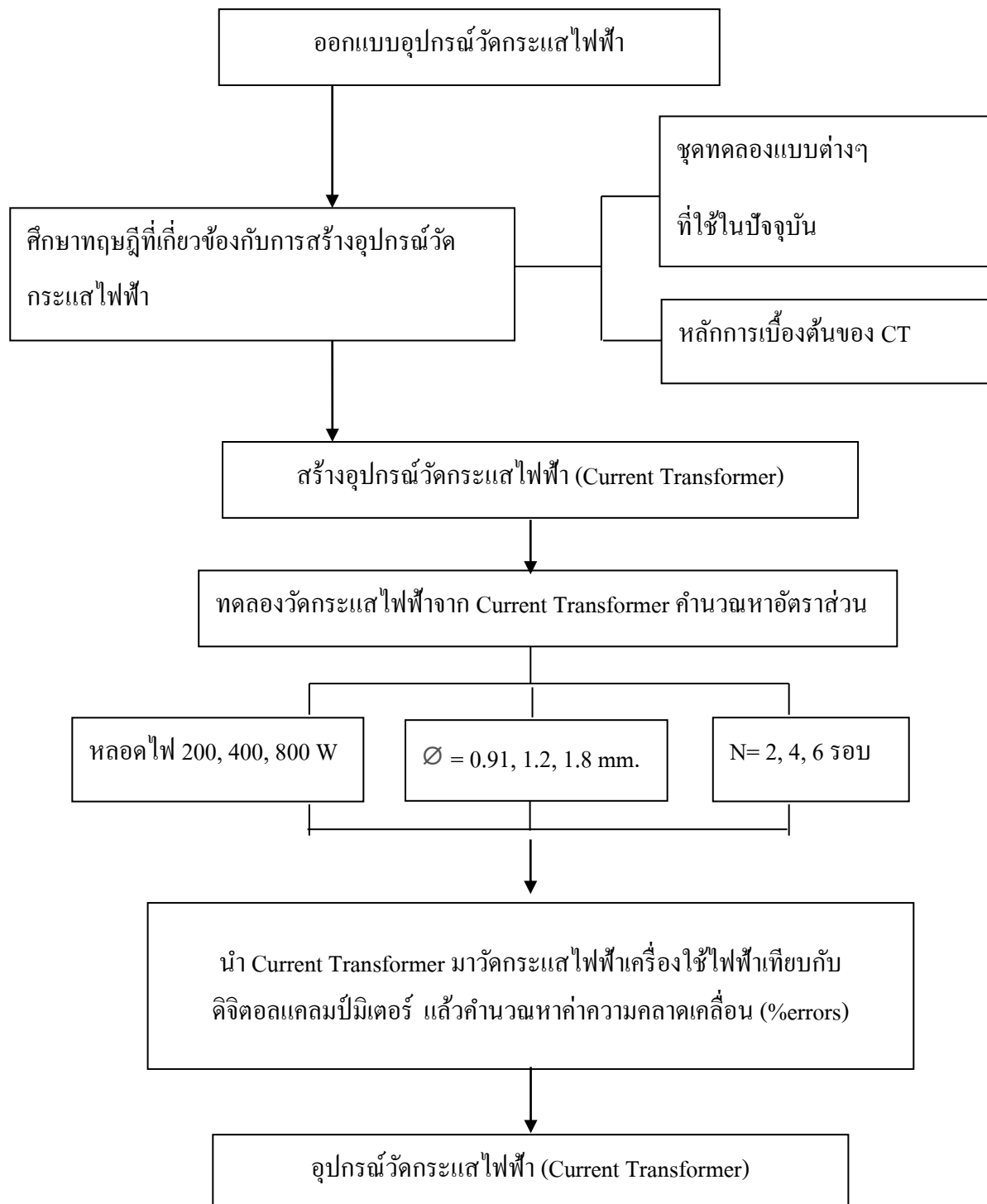
งานวิจัยนี้เป็นการออกแบบและสร้างอุปกรณ์เพื่อศึกษาการวัดค่ากระแสไฟฟ้า โดยมีรายละเอียดและขั้นตอนในการดำเนินการวิจัยดังนี้

#### กรอบแนวคิดของการวิจัย

ผู้วิจัยได้แบ่งการดำเนินงานของวิทยานิพนธ์ออกเป็น 2 ส่วน ดังนี้

1. การศึกษาข้อมูล ออกแบบ สร้างอุปกรณ์เพื่อศึกษาการวัดกระแสไฟฟ้า ดำเนินการทดลอง และคำนวณหาอัตราส่วนของ Current Transformer ที่สร้างขึ้น
2. ดำเนินการทดลองโดยนำ Current Transformer ที่สร้างขึ้นมาใช้วัดกระแสไฟฟ้าจากเครื่องใช้ไฟฟ้าเทียบกับดิจิตอลแคลมป์มิเตอร์

## แผนผังแสดงการออกแบบและสร้างอุปกรณ์วัดกระแสไฟฟ้า



ภาพที่ 9 แผนผังขั้นตอนแบบอุปกรณ์วัดกระแสไฟฟ้า (Current Transformer)

## การออกแบบและสร้างอุปกรณ์วัดกระแสไฟฟ้า

การออกแบบและสร้างอุปกรณ์วัดกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในงานวิจัยนี้ประกอบไปด้วยเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการสร้างอุปกรณ์ Current Transformer เพื่อวัดกระแสไฟฟ้าแล้วนำมาคำนวณอัตราส่วนของ Current Transformer และในส่วนที่ต้องนำไปใช้วัดกระแสไฟฟ้าจากเครื่องใช้ไฟฟ้าเทียบกับดิจิตอลแคลมป์มิเตอร์ มีรายละเอียดดังนี้

1. หลอดไฟขนาด 200, 400 และ 800 W
2. ลวดทองแดงเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 0.91, 1.2, 1.8 mm.
3. ลวดทองแดงเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 0.91 mm.
4. แกนเหล็กอ่อนวงกลมเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 5.2 cm.
5. ปลั๊กไฟ
6. สายไฟ
7. ตัวหนีบ
8. แอมมิเตอร์
9. ดิจิตอลแคลมป์มิเตอร์
10. เครื่องใช้ไฟฟ้าในบ้านเรือน

## วิธีการออกแบบสร้างอุปกรณ์และการทดลอง

วิธีการออกแบบสร้างอุปกรณ์ Current Transformer และการทดลองเพื่อศึกษาการวัดกระแสไฟฟ้าของวิทยานิพนธ์นี้ ผู้วิจัยได้แบ่งการทดลองออกเป็น 2 ขั้นตอน ได้แก่ ขั้นตอนการสร้างอุปกรณ์ Current Transformer และขั้นตอนการทดลองวัดกระแสไฟฟ้าด้วย Current Transformer ที่สร้างขึ้น

### ขั้นตอนการสร้างอุปกรณ์ Current Transformer

อุปกรณ์ Current Transformer ที่จะออกแบบและสร้างขึ้นในงานวิจัยนี้ ใช้ลวดทองแดงเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 0.91 mm. พันรอบแกนเหล็กอ่อนวงกลมเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 5.2 cm. จำนวนรอบต่าง ๆ ซึ่งจำนวนรอบในการค้นหาได้จากสมการ

$$n_{ct} = \frac{I_p}{I_s} = \frac{N_s}{N_p}$$

โดยที่  $n_{ct}$  คือ อัตราส่วนรอบของหม้อแปลงกระแส

$I_p$  คือ กระแสไฟฟ้าด้านปฐมภูมิ

$I_s$  คือ กระแสไฟฟ้าด้านทุติยภูมิ

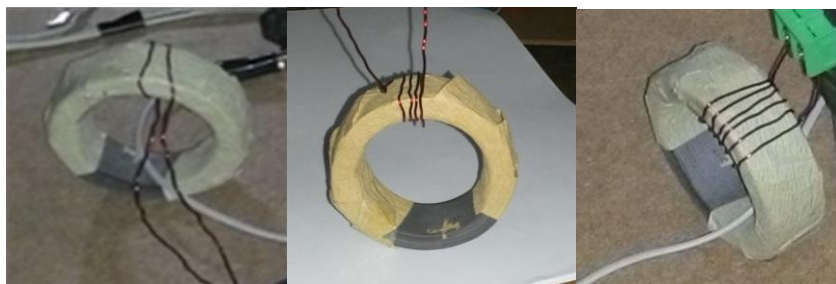
$N_p$  คือ จำนวนรอบขดลวดด้านปฐมภูมิ

$N_s$  คือ จำนวนรอบขดลวดด้านทุติยภูมิ

1. นำลวดทองแดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 0.91 mm. มาพันรอบแกนเหล็กอ่อนวงกลมจำนวน 2, 4 และ 6 รอบ ตามลำดับ



ภาพที่ 10 แกนเหล็กอ่อนวงกลม



(ก)

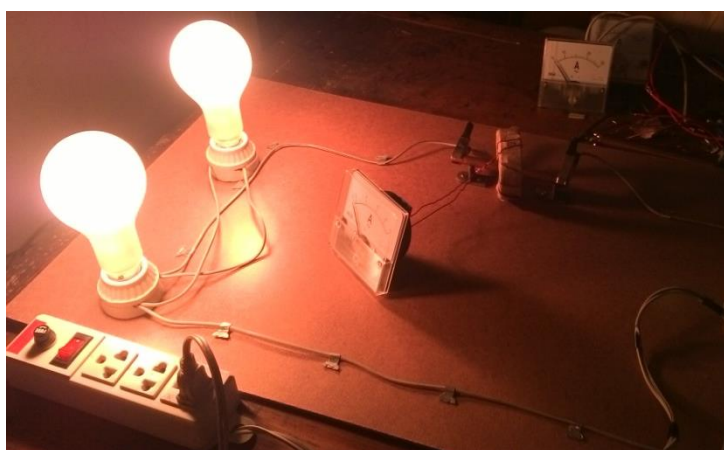
(ข)

(ค)

ภาพที่ 11 แสดงวิธีการพันลวดทองแดงรอบแกนเหล็กที่พันด้วยลวดทองแดง

(ก) จำนวน 2 รอบ (ข) จำนวน 4 รอบ (ค) จำนวน 6 รอบ

2. นำอุปกรณ์ Current Transformer ทั้ง 3 ตัว ทำการทดลองวัดปริมาณกระแสไฟฟ้าด้านปฐมภูมิและกระแสไฟฟ้าด้านทุติยภูมิจาก Current Transformer เพื่อนำมาคำนวณหาอัตราส่วนของ Current Transformer ที่สร้างขึ้น โดยเปลี่ยนขนาดของลวดตัวนำต่าง ๆ ได้แก่ เส้นลวดทองแดงเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 0.91, 1.2, 1.8 mm. ตามลำดับ โดยให้โหลดในวงจรทดลองคงที่ คือ หลอดไฟขนาด 400 W



ภาพที่ 12 การวัดกระแสไฟฟ้าจาก Current Transformer เพื่อนำมาคำนวณหาอัตราส่วน

3. ทำการทดลองในแต่ละขั้นตอนซ้ำ 3 ครั้ง นำค่ากระแสไฟฟ้าที่วัดได้ทั้งด้านปฐมภูมิ และด้านทุติยภูมิมาหาค่าเฉลี่ยแล้วบันทึกผลเพื่อนำไปคำนวณหาอัตราส่วนของ Current Transformer แต่ละตัว

4. นำอุปกรณ์ Current Transformer ทั้ง 3 ตัว ทำการทดลองวัดปริมาณกระแสไฟฟ้าด้านปฐมภูมิและกระแสไฟฟ้าด้านทุติยภูมิจาก Current Transformer เพื่อนำมาคำนวณหาอัตราส่วนของ Current Transformer ที่สร้างขึ้น โดยเปลี่ยนโหลดค่าต่าง ๆ ได้แก่ หลอดไฟขนาด 200, 400 และ 800 W ตามลำดับ ในวงจรทดลอง โดยให้ขนาดลวดตัวนำคงที่ คือ เส้นลวดทองแดงเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 1.20 mm.



ภาพที่ 13 การวัดกระแสไฟฟ้าจาก Current Transformer เพื่อนำมาคำนวณหาอัตราส่วน

5. ทำการทดลองในแต่ละขั้นตอนซ้ำ 3 ครั้ง นำค่ากระแสไฟฟ้าที่วัดได้ทั้งด้านปฐมภูมิ และด้านทุติยภูมิมาหาค่าเฉลี่ยแล้วบันทึกผลเพื่อนำไปคำนวณหาอัตราส่วนของ Current Transformer แต่ละตัว



ภาพที่ 14 ค่ากระแสไฟฟ้าที่วัดจาก Current Transformer

### ขั้นตอนการทดลองวัดกระแสไฟฟ้าด้วย Current Transformer ที่สร้างขึ้น

1. นำ Current Transformer ทั้ง 3 ตัว ที่ได้ทดลองและคำนวณหาอัตราส่วนแล้ว มาใช้วัดกระแสไฟฟ้าจากอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าต่าง ๆ เทียบกับดิจิตอลแคลมป์มิเตอร์ โดยวัดกระแสไฟฟ้าด้านปฐมภูมิจากดิจิตอลแคลมป์มิเตอร์และวัดกระแสไฟฟ้าด้านทุติยภูมิจาก Current Transformer ที่ต่อเข้ากับแอมมิเตอร์

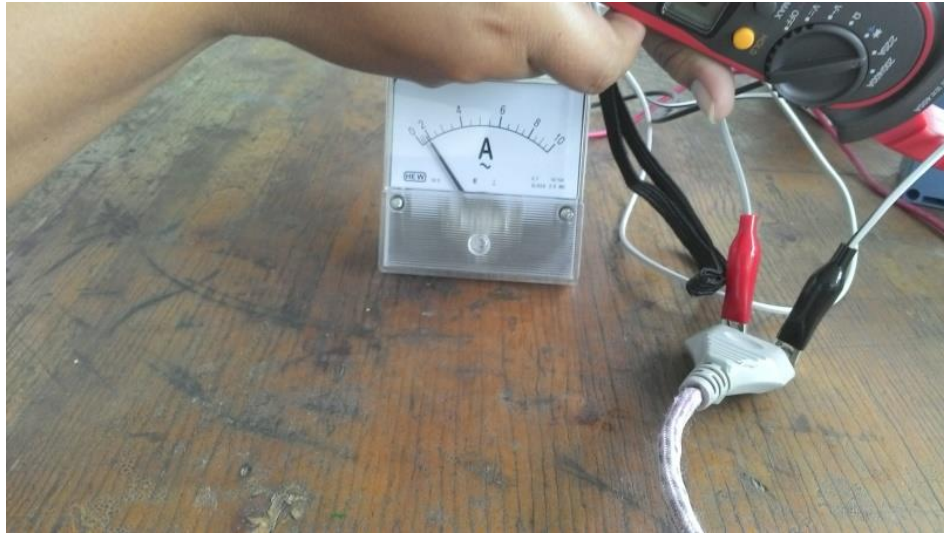


ภาพที่ 15 แสดงการวัดกระแสไฟฟ้าของเตารีดด้วย Current Transformer



ภาพที่ 16 แสดงการวัดกระแสไฟฟ้าของกาต้มน้ำไฟฟ้าด้วย Current Transformer





ภาพที่ 17 แสดงการวัดกระแสไฟฟ้าด้วย Current Transformer เทียบกับดิจิตอลแคลมป์มิเตอร์



ภาพที่ 18 การวัดกระแสไฟฟ้าจากดิจิตอลแคลมป์มิเตอร์

2. ในการทดลองวัดค่ากระแสไฟฟ้าทั้งด้านปฐมภูมิและด้านทุติยภูมิจะทำการทดลองวัดซ้ำ 3 ครั้ง แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ยเพื่อบันทึกผล

3. นำค่ากระแสไฟฟ้าที่ได้จากการทดลองวัดด้วย Current Transformer และค่ากระแสไฟฟ้าที่วัดได้จากดิจิตอลแคลมป์มิเตอร์มาคำนวณหาค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน (%errors) จากสมการ

$$\% \text{ errors} = \frac{[\text{ค่าที่ได้จากการทดลอง} - \text{ค่าที่ได้จากดิจิตอลแคลมป์มิเตอร์}]}{\text{ค่าที่ได้จากดิจิตอลแคลมป์มิเตอร์}} \times 100\%$$

## บทที่ 4

### ผลการวิจัย

ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ดำเนินการศึกษาค้นคว้า ออกแบบ สร้างอุปกรณ์ และทดลอง เพื่อหาอัตราส่วนของอุปกรณ์ก่อนนำมาใช้วัดค่ากระแสไฟฟ้าจากเครื่องใช้ไฟฟ้าต่าง ๆ ในบ้าน โดยผลการทดลองมีดังนี้

#### การสร้างอุปกรณ์ Current Transformer

1. ผลการทดลองเมื่อนำ Current Transformer ที่พันด้วยลวดทองแดงจำนวน 2, 4 และ 6 รอบ มาทดลองวัดปริมาณกระแสไฟฟ้าต้านปฐมภูมิและกระแสไฟฟ้าต้านทุติยภูมิจาก Current Transformer เพื่อนำมาคำนวณหาอัตราส่วนของ Current Transformer ที่สร้างขึ้น โดยเปลี่ยนขนาดของลวดตัวนำต่าง ๆ ได้แก่ เส้นลวดทองแดงเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 0.91, 1.2, 1.8 mm. ตามลำดับ โดยให้โหลดในวงจรทดลองคงที่ คือ โหลดไฟขนาด 400 W

ตารางที่ 1 แสดงผลการวัดกระแสไฟฟ้าจาก Current Transformer ที่พันด้วยลวดทองแดง จำนวน 2 รอบ โหลดในวงจร 400 W

เส้นผ่านศูนย์กลางลวดตัวนำ (mm)	กระแสปฐมภูมิ: $I_p$ (A)	กระแสทุติยภูมิ: $I_s$ (A)	Ratio ( $I_p / I_s$ )
0.91	1.65	0.80	2.06
1.20	1.60	0.78	2.05
1.80	1.60	0.78	2.05
	ค่าเฉลี่ย		2.05

จากตารางที่ 1 พบว่าอัตราส่วน (Ratio) ของ Current Transformer มีค่าประมาณ 2/1 A

ตารางที่ 2 แสดงผลการวัดกระแสไฟฟ้าจาก Current Transformer ที่พันด้วยลวดทองแดง  
จำนวน 4 รอบ โหลดในวงจร 400 W

เส้นผ่านศูนย์กลางลวดตัวนำ (mm)	กระแสปฐมภูมิ: $I_p$ (A)	กระแสทุติยภูมิ: $I_s$ (A)	Ratio ( $I_p / I_s$ )
0.91	1.65	0.41	4.02
1.20	1.60	0.40	4.00
1.80	1.60	0.38	4.21
ค่าเฉลี่ย			4.08

จากตารางที่ 2 พบว่าอัตราส่วน (Ratio) ของ Current Transformer มีค่าประมาณ 4/1 A

ตารางที่ 3 แสดงผลการวัดกระแสไฟฟ้าจาก Current Transformer ที่พันด้วยลวดทองแดง  
จำนวน 6 รอบ โหลดในวงจร 400 W

เส้นผ่านศูนย์กลางลวดตัวนำ (mm)	กระแสปฐมภูมิ: $I_p$ (A)	กระแสทุติยภูมิ: $I_s$ (A)	Ratio ( $I_p / I_s$ )
0.91	1.65	0.28	5.90
1.20	1.60	0.27	5.92
1.80	1.60	0.27	5.92
ค่าเฉลี่ย			5.91

จากตารางที่ 3 พบว่าอัตราส่วน (Ratio) ของ Current Transformer มีค่าประมาณ 6/1 A

2. ผลการทดลองเมื่อนำ Current Transformer ที่พันด้วยลวดทองแดงจำนวน 2, 4 และ 6 รอบ มาทดลองวัดปริมาณกระแสไฟฟ้าด้านปฐมภูมิและกระแสไฟฟ้าด้านทุติยภูมิจาก Current Transformer เพื่อนำมาคำนวณหาอัตราส่วนของ Current Transformer ที่สร้างขึ้น โดยเปลี่ยนโหลดค่าต่าง ๆ ได้แก่ หลอดไฟขนาด 200, 400 และ 800 W ตามลำดับ ในวงจรทดลอง โดยให้ขนาดลวดตัวนำคงที่ คือ เส้นลวดทองแดงเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 1.20 mm.

ตารางที่ 4 แสดงผลการวัดกระแสไฟฟ้าจาก Current Transformer ที่พันด้วยลวดทองแดงจำนวน 2 รอบ ลวดตัวนำขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.20 mm.

โหลดของวงจร (W)	กระแสปฐมภูมิ: $I_p$ (A)	กระแสทุติยภูมิ: $I_s$ (A)	Ratio ( $I_p / I_s$ )
หลอดไฟ 200	0.85	0.40	2.13
หลอดไฟ 400	1.65	0.80	2.06
หลอดไฟ 800	3.45	1.70	2.03
	ค่าเฉลี่ย		2.07

จากตารางที่ 4 พบว่าอัตราส่วน (Ratio) ของ Current Transformer มีค่าประมาณ 2/1 A

ตารางที่ 5 แสดงผลการวัดกระแสไฟฟ้าจาก Current Transformer ที่พันด้วยลวดทองแดงจำนวน 4 รอบ ลวดตัวนำขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.20 mm.

โหลดของวงจร (W)	กระแสปฐมภูมิ: $I_p$ (A)	กระแสทุติยภูมิ: $I_s$ (A)	Ratio ( $I_p / I_s$ )
หลอดไฟ 200	0.85	0.21	4.05
หลอดไฟ 400	1.65	0.41	4.02
หลอดไฟ 800	3.45	0.86	4.01
	ค่าเฉลี่ย		4.03

จากตารางที่ 5 พบว่าอัตราส่วน (Ratio) ของ Current Transformer มีค่าประมาณ 4/1 A

ตารางที่ 6 แสดงผลการวัดกระแสไฟฟ้าจาก Current Transformer ที่พันด้วยลวดทองแดง  
จำนวน 6 รอบ ลวดตัวนำขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.20 mm.

โหลดของวงจร (W)	กระแสปฐมภูมิ: $I_p$ (A)	กระแสทุติยภูมิ: $I_s$ (A)	Ratio ( $I_p / I_s$ )
โหลดไฟ 200	0.85	0.14	6.07
โหลดไฟ 400	1.65	0.28	5.90
โหลดไฟ 800	3.45	0.58	5.90
	ค่าเฉลี่ย		5.96

จากตารางที่ 6 พบว่าอัตราส่วน (Ratio) ของ Current Transformer มีค่าประมาณ 6/1 A

### การทดลองวัดกระแสไฟฟ้าด้วย Current Transformer ที่สร้างขึ้น

ผลการทดลองเมื่อทำการทดลองวัดค่ากระแสไฟฟ้าจากเครื่องใช้ไฟฟ้าต่าง ๆ ในบ้าน ด้วย Current Transformer เทียบกับค่ากระแสไฟฟ้าจากดิจิตอลแคลมป์มิเตอร์ แล้วคำนวณหาค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน (%errors)

ตารางที่ 7 ผลการวัดกระแสไฟฟ้าจาก Current Transformer อัตราส่วน 2/1 A เทียบกับกระแสไฟฟ้าของเครื่องใช้ไฟฟ้าต่าง ๆ ในบ้านจากดิจิตอลแคลมป์มิเตอร์

เครื่องใช้ไฟฟ้า	กระแสจาก Clamp: $I_p$ (A)	กระแสจาก CT: $I_s$ (A)	$2I_s$ (A)	% errors
พัดลม	0.66	0.32	0.64	3.03
ไดร์เป่าผม	2.60	1.25	2.50	3.85
หม้อหุงข้าว	2.76	1.35	2.70	2.17
กาต้มน้ำไฟฟ้า	2.86	1.40	2.80	2.10
เตารีด	4.26	2.10	4.20	1.41
กระทะไฟฟ้า	4.28	2.10	4.20	1.87
ไมโครเวฟ	6.30	3.10	6.20	1.59

ตารางที่ 8 ผลการวัดกระแสไฟฟ้าจาก Current Transformer อัตราส่วน 4/1 A เทียบกับ  
กระแสไฟฟ้าของเครื่องใช้ไฟฟ้าต่าง ๆ ในบ้านจากดิจิตอลแคลมป์มิเตอร์

เครื่องใช้ไฟฟ้า	กระแสจาก Clamp: $I_p$	กระแสจาก CT: $I_s$	$4I_s$	% errors
	(A)	(A)	(A)	
พัดลม	0.66	0.16	0.64	3.03
ไดร์เป่าผม	2.60	0.62	2.48	4.62
หม้อหุงข้าว	2.76	0.70	2.80	1.45
กาต้มน้ำไฟฟ้า	2.86	0.70	2.80	2.10
เตารีด	4.26	1.05	4.20	1.41
กระทะไฟฟ้า	4.28	1.06	4.24	0.93
ไมโครเวฟ	6.30	1.55	6.20	1.59



ตารางที่ 9 ผลการวัดกระแสไฟฟ้าจาก Current Transformer อัตราส่วน 6/1 A เทียบกับ  
กระแสไฟฟ้าของเครื่องใช้ไฟฟ้าต่าง ๆ ในบ้านจากดิจิตอลแคลมป์มิเตอร์

เครื่องใช้ไฟฟ้า	กระแสจาก Clamp: $I_p$ (A)	กระแสจาก CT: $I_s$ (A)	$6I_s$ (A)	% errors
พัดลม	0.66	0.10	0.60	9.09
ไดร์เป่าผม	2.60	0.45	2.70	3.85
หม้อหุงข้าว	2.76	0.50	3.00	8.70
กาต้มน้ำไฟฟ้า	2.86	0.50	3.00	4.90
เตารีด	4.26	0.70	4.20	1.49
กระทะไฟฟ้า	4.28	0.70	4.20	1.87
ไมโครเวฟ	6.30	1.00	6.00	4.76

## บทที่ 5

### สรุปและอภิปรายผล

การวิจัยการสร้างอุปกรณ์วัดกระแสไฟฟ้า Current Transformer มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบ สร้างอุปกรณ์และนำมาศึกษาการวัดกระแสไฟฟ้าที่เกิดจากการเหนี่ยวนำ ผู้วิจัยได้สร้าง Current Transformer โดยพันลวดทองแดงรอบแกนเหล็กอ่อนวงกลมจำนวน 2, 4 และ 6 รอบ โดยได้ทำการทดลองกับวงจรไฟฟ้าเพื่อคำนวณหาอัตราส่วนของ Current Transformer แต่ละตัว แล้วนำมาทำการทดลองโดยการวัดกระแสไฟฟ้าจากเครื่องใช้ไฟฟ้าในบ้าน

#### สรุปผลการวิจัย

##### การสร้างอุปกรณ์ Current Transformer

ผลการทดลองเมื่อนำ Current Transformer ที่สร้างขึ้นทั้ง 3 ตัว ไปทำการทดลองในวงจรไฟฟ้า เพื่อทดลองและคำนวณหาอัตราส่วนของ Current Transformer ที่สร้างขึ้นมา พบว่า Current Transformer ที่พันด้วยลวดทองแดงจำนวน 2 รอบ เมื่อนำมาทดลองในวงจร โดยเปลี่ยนโหลดและเปลี่ยนลวดตัวนำขนาดต่าง ๆ ในวงจร นำมาคำนวณอัตราส่วนได้ 2/1 A, Current Transformer ที่พันด้วยลวดทองแดงจำนวน 4 รอบ เมื่อนำมาทดลองในวงจร โดยเปลี่ยนโหลดและเปลี่ยนลวดตัวนำขนาดต่าง ๆ ในวงจร นำมาคำนวณอัตราส่วนได้ 4/1 A และ Current Transformer ที่พันด้วยลวดทองแดงจำนวน 6 รอบ เมื่อนำมาทดลองในวงจร โดยเปลี่ยนโหลดและเปลี่ยนลวดตัวนำขนาดต่าง ๆ ในวงจร นำมาคำนวณอัตราส่วนได้ 6/1 A

##### การทดลองวัดกระแสไฟฟ้า

1. การวัดค่ากระแสไฟฟ้าจาก Current Transformer อัตราส่วน 2/1 A จากเครื่องไฟฟ้าในบ้าน โดยเทียบกับดิจิตอลแคลมป์มิเตอร์ พบว่าค่ากระแสไฟฟ้าที่วัดได้มีค่าใกล้เคียงกัน โดยค่าความคลาดเคลื่อนต่ำสุดเท่ากับ 1.41% และมีค่าความคลาดเคลื่อนมากที่สุดเท่ากับ 3.85%
2. การวัดค่ากระแสไฟฟ้าจาก Current Transformer อัตราส่วน 4/1 A จากเครื่องไฟฟ้าในบ้าน โดยเทียบกับดิจิตอลแคลมป์มิเตอร์ พบว่าค่ากระแสไฟฟ้าที่วัดได้มีค่าใกล้เคียงกัน โดยค่าความคลาดเคลื่อนต่ำสุดเท่ากับ 0.93% และมีค่าความคลาดเคลื่อนมากที่สุดเท่ากับ 4.62%
3. การวัดค่ากระแสไฟฟ้าจาก Current Transformer อัตราส่วน 6/1 A จากเครื่องไฟฟ้าในบ้าน โดยเทียบกับดิจิตอลแคลมป์มิเตอร์ พบว่าค่ากระแสไฟฟ้าที่วัดได้มีค่าความคลาดเคลื่อนต่ำสุดเท่ากับ 1.49% และมีค่าความคลาดเคลื่อนมากที่สุดเท่ากับ 9.09%

## อภิปรายผล

การศึกษาการวัดกระแสไฟฟ้าจาก Current Transformer ที่สร้างขึ้นในงานวิจัยนี้ โดยมี อัตราส่วน คือ 2/1 A, 4/1 A และ 6/1 A เมื่อนำ Current Transformer ทั้ง 3 ตัว มาทดลองวัด กระแสไฟฟ้าจากเครื่องใช้ไฟฟ้าต่างในบ้านชนิดต่าง ๆ พบว่า Current Transformer อัตราส่วน 2/1 A และ 4/1 A มีค่าความคลาดเคลื่อนมากที่สุดเท่ากับ 3.85 % และ 4.62% ตามลำดับ ซึ่งถือว่าเป็น ค่าที่ยอมรับได้ ส่วน Current Transformer อัตราส่วน 6/1 A จะมีค่าความคลาดเคลื่อนมากที่สุดเท่ากับ 9.09%

ความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นจากการวัดกระแสไฟฟ้าของ Current Transformer เกิดได้จาก ส่วนหนึ่งของกระแสปฐมภูมิต้องถูกใช้เป็นกระแสกระตุ้นเพื่อทำให้เกิดฟลักซ์แม่เหล็กขึ้นในแกน แม่เหล็ก และเหนี่ยวนำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ขดลวดทุติยภูมิทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าขึ้น ดังนั้นถ้า ต้องการให้ความคลาดเคลื่อนต่ำ แกนเหล็กที่ใช้จึงต้องเป็นแกนเหล็กที่มีความนำแม่เหล็กสูงและ ต้องมีความสมดุลของขนาดแกนกับจำนวนรอบที่สร้างขึ้นและต้องทำให้เกิดกระแสไหลวนต่ำสุด

## ข้อเสนอแนะ

1. ในการวิจัยครั้งต่อไปควรเพิ่มจำนวนรอบขดลวดด้านทุติยภูมิ เพื่อศึกษาการวัด กระแสไฟฟ้าจาก Current Transformer ที่อัตราส่วนต่าง ๆ
2. ในการวัดต้องคำนึงถึงปริมาณกระแสไฟฟ้าเพื่อให้เหมาะสมกับพิกัดของ Current Transformer เพื่อป้องกันอันตรายจากกระแสไฟฟ้าที่สูงเกินไป
3. ในการสร้าง Current Transformer ควรหาแกนเหล็กที่มีความนำแม่เหล็กสูงและ ลดกระแสไหลวนภายในแกนให้ต่ำ

## บรรณานุกรม

- พิเชษฐ ลิ่มสุวรรณ และสุปานิ ลิ่มสุวรรณ. (2547). *ไฟฟ้าและแม่เหล็กไฟฟ้า*. กรุงเทพฯ: เลียงเชียง.
- สมพงษ์ ใจดี. (2550). *ฟิสิกส์เชิงวิเคราะห์ 2 ไฟฟ้าและแม่เหล็ก-ไฟฟ้า*. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ชวณิช โสสนุ้ย. (2554). *การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการวัดกระแสไฟฟ้าของเครื่องมือวัดกระแสไฟฟ้าพิกัดสูง*. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมจัดการอุตสาหกรรม, คณะวิศวกรรมอุตสาหกรรม, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- ทวีชัย เชื้อจีน. (2553). *การสร้างอุปกรณ์สำหรับวัดค่าสนามแม่เหล็กโดยอาศัยหลักการเหนี่ยวนำ*. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต, สาขาวิชาฟิสิกส์ศึกษา, คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- อภิชาติ อิ่มเต็ม. (2552). *การพัฒนาเครื่องวัดการใช้กระแสไฟฟ้าด้วยระบบส่งข้อมูลไร้สาย*. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์, คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- บริษัท สเตเบิล อิเล็กตริก ซัพพลาย จำกัด. (2556). *หม้อแปลงไฟฟ้า*. เข้าถึงได้จาก <http://www.stable.co.th/index.php?lay=show&ac=article&Id=539185370&Ntype=17>

ภาคผนวก

**ภาคผนวก ก**

**ตารางขนาดขวดทองแดงมาตรฐาน**

## ตารางขนาดลวดทองแดงมาตรฐาน

เบอร์ลวดทองแดง มาตรฐาน SWG	เส้นผ่านศูนย์กลาง (mm)	พื้นที่หน้าตัด (mm <sup>2</sup> )	กระแสไฟฟ้าที่ลวดทนได้ (A)
000	10.2	81.71	270.11
000	9.5	70.88	233.62
00	8.8	60.82	199.77
0	8.2	52.81	177.22
1	7.6	45.36	151.94
2	7.0	38.48	128.60
3	6.4	32.17	107.21
4	5.9	27.34	90.86
5	5.4	22.90	75.87
6	4.9	18.86	62.3
7	4.5	15.90	52.29
8	4.1	13.20	43.22
9	3.7	10.75	35.01
10	3.3	8.55	27.66
11	2.9	6.61	22.72
12	2.6	5.31	18.26
13	2.3	4.15	14.29
14	2.0	3.14	10.80
15	1.9	2.54	8.751
16	1.8	2.01	6.915
17	1.4	1.54	5.294
18	1.2	1.15	3.890
19	1.0	0.79	2.701
20	0.91	0.65	2.188
21	0.81	0.51	1.729
22	0.72	0.41	1.324

## ตารางขนาดลวดทองแดงมาตรฐาน

เบอร์ลวดทองแดง มาตรฐาน SWG	เส้นผ่านศูนย์กลาง (mm)	พื้นที่หน้าตัด (mm <sup>2</sup> )	กระแสไฟฟ้าที่ลวดทนได้ (A)
23	0.61	0.2922	0.972
24	0.56	0.2463	0.817
25	0.51	0.2047	0.675
26	0.45	0.1624	0.547
27	0.40	0.1288	0.432
28	0.38	0.1134	0.370
29	0.36	0.1021	0.312
30	0.31	0.0755	0.243
31	0.29	0.0661	0.204
32	0.28	0.0616	0.176
33	0.25	0.0510	0.169
34	0.23	0.0451	0.137
35	0.21	0.0346	0.108
36	0.19	0.0285	0.098
37	0.17	0.0227	0.078
38	0.15	0.0177	0.063
39	0.13	0.0133	0.046
40	0.12	0.0114	0.039