

ชุดตรวจวัดกระแสสำหรับงานอิเล็กทรอนิกส์กำลัง A Current Transducer for Power Electronic Applications

ดำรง จินขาว¹, สุขสันต์ หวังสถิตย์วงศ์¹ และ อนันต์ เวทย์วัฒนะ¹

บทคัดย่อ

งานอิเล็กทรอนิกส์กำลังด้วยความถี่ต่างๆ ที่กระแสไม่เกิน 10 A เครื่องมือวัดส่วนใหญ่มักใช้ชุดตรวจวัดกระแสแบบฮอลล์ (Hall Current Sensor) แต่ข้อเสีย คือ ไม่สามารถผลิตเองได้ในประเทศไทย และราคาค่อนข้างแพง ดังนั้น บทความนี้จะนำเสนอชุดตรวจวัดกระแสสำหรับงานอิเล็กทรอนิกส์กำลังแบบใหม่ ซึ่งผลิตเองได้และสามารถวัดได้ทั้งรูปคลื่นไซน์และไม่ใช้รูปคลื่นไซน์ด้วยความถี่ 50 Hz และความถี่อื่นๆ ตั้งแต่ 1 kHz – 20 kHz โดยหลักการของชุดตรวจวัดกระแสที่ความถี่ 50 Hz จะใช้ชุดลดทอนบนแกนเหล็ก C-core และชุดตรวจวัดกระแสที่ความถี่ 1 kHz – 20 kHz ได้ใช้ชุดลดทอนบนแกนเฟอร์ไรต์รูปทอรรอยด์ (Toroid) แบบปิด

สำหรับเอาต์พุตของชุดลดทอนเหล่านี้ จะได้เป็นแรงดัน emf ที่มีค่าแปรผันตรงกับอัตราการเปลี่ยนแปลงของกระแส และเมื่อนำไปป้อนเข้ากับวงจรอินทิเกรเตอร์ แรงดันเอาต์พุตที่ได้ คือ รูปคลื่นกระแสที่ต้องการวัดนั่นเอง สำหรับการวิจัยครั้งนี้ แรงดันเอาต์พุตดังกล่าวของชุดตรวจวัดกระแสสำหรับงานอิเล็กทรอนิกส์กำลัง ได้กำหนดค่าเท่ากับ 50, 100 และ 500 mV/A และจากผลการทดลอง จะได้ค่าความผิดพลาดเต็มสเกลไม่เกิน ± 2.8 เปอร์เซ็นต์

คำสำคัญ : ชุดตรวจวัดกระแสแบบฮอลล์, ชุดตรวจวัดกระแสสำหรับงานอิเล็กทรอนิกส์กำลัง

Abstract

Usually, the current measurement in power electronic applications with wide frequency range uses Hall sensor. But it can not be produced in Thailand and rather expensive. This paper presents a current transducer for power electronic applications. It can also measure sinusoidal wave form and non sinusoidal at 50 Hz and 1 kHz – 20 kHz. A current transducer for power electronic applications with frequency 50 Hz relies on the principle of C-core. A winding the conductor to be measured, 1 – 20 kHz relies on the principle of close core, a winding place round the conductor to be measured.

The output from the winding is an emf which is proportional to the rate of change of current. The emf is being electrically integrate. The voltage output sensitivity is equivalent to 50, 100 500mV/A while the error tolerance ± 2.8 %

Keywords : Hall Current Sensor, A current measuring for power electronics application

¹ อาจารย์, ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมไฟฟ้า, วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

1. บทนำ

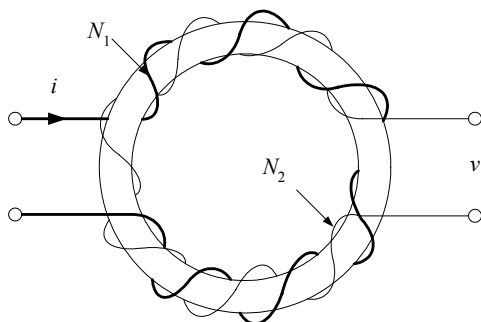
ในการตรวจสอบความถูกต้องของงานอิเล็กทรอนิกส์กำลัง ส่วนใหญ่จำเป็นต้องมีการวัดกระแส เพื่อจะได้ควบคุมการทำงานของวงจรได้ถูกต้อง และกระแสที่วัดได้นี้ มักจะไม่ใช้รูปคลื่นไซน์โดยสมบูรณ์ และความถี่ที่ใช้ไม่ใช่ 50 Hz ดังนั้นการวัดจึงจำเป็นต้องใช้ตัวทรานสดิวเซอร์หรือตัวตรวจจับ (sensor) ที่สามารถตอบสนองความถี่ได้กว้าง สำหรับในปัจจุบันตัวตรวจจับดังกล่าว ได้แก่ ตัวตรวจวัดกระแสแบบฮอลล์ ซึ่งมีความสะดวกต่อการใช้งาน และสามารถตอบสนองต่อย่านความถี่ได้กว้าง รวมทั้งได้ค่าเอาต์พุตเป็นแรงดัน แต่ข้อเสีย คือ ราคาค่อนข้างแพง และเป็นอุปกรณ์ที่ไม่สามารถผลิตเองได้ภายในประเทศ ดังนั้น จึงต้องนำเข้า

สำหรับการใช้โพรบวัดกระแสแบบดัดโค้งได้ [1] ซึ่งแกนเป็นอากาศ และจะเหมาะสมมากสำหรับการวัดกระแสค่าสูงๆ ดังนั้น ถ้าหากนำมาใช้กับการวัดกระแสค่าต่ำๆ ผลที่ตามมา คือ ทำให้ผลการตอบสนอง (sensitivity) ของการวัดมีค่าต่ำ จึงไม่เหมาะสม

ด้วยเหตุนี้เอง ผู้วิจัย จึงได้ออกแบบชุดตรวจวัดกระแสสำหรับงานอิเล็กทรอนิกส์กำลังขึ้นมาใหม่ โดยใช้หลักการเดียวกันกับโพรบวัดกระแสแบบดัดโค้งได้ ยกเว้น แกนอากาศของโพรบวัดกระแสแบบดัดโค้งได้ จะถูกเปลี่ยนเป็นแกนวัสดุแม่เหล็ก (magnetic material) ซึ่งจะทำให้มีความไวมากขึ้น นอกจากนี้ ต้นทุนในการผลิตต่ำ เพราะสามารถนำวัสดุภายในประเทศมาผลิตได้

2. ทฤษฎีและหลักการ

จากหลักการการทำงานของสนามแม่เหล็กไฟฟ้า ดังโครงสร้างของ Rogowski's coil ตามรูปที่ 1 ซึ่งความเข้มสนามแม่เหล็ก (magnetic field intensity) สามารถคำนวณได้จากกฎของแอมแปร์ (Ampere's law) คือ



รูปที่ 1 หลักการและโครงสร้างของ Rogowski's coil

$$\oint \vec{H} \cdot d\vec{\ell} = Ni \quad (1)$$

เมื่อ H แทน ความเข้มสนามแม่เหล็กภายในแกนวัสดุ

แม่เหล็ก หน่วย A-turn/m

N แทน จำนวนรอบของขดลวด หน่วย turn

i แทน กระแสที่ต้องการวัด หน่วย A

ℓ แทน ค่าความยาวประสิทธิผลของแกนวัสดุแม่เหล็ก หน่วย m

โดย
$$H = \frac{Ni}{\ell} \quad (2)$$

เมื่อ N_1 แทน จำนวนรอบของขดลวดชุดที่ 1

และ
$$B = \mu H \quad (3)$$

เมื่อ B แทน ความหนาแน่นของสนามแม่เหล็กภายในแกนวัสดุ หน่วย T
 μ แทน ค่าความซาบซึ่มได้ (Permeability) ของวัสดุแม่เหล็ก หน่วย H/m

นำค่า H จากสมการที่ (2) แทนลงในสมการที่ (3) จะได้ค่าความหนาแน่นของสนามแม่เหล็ก (magnetic flux density) ภายในแกนวัสดุแม่เหล็ก เท่ากับ

$$B = \mu \frac{Ni}{\ell} \quad (4)$$

จากกฎของฟาราเดย์ ขนาดแรงดันเหนี่ยวนำ emf ที่เกิดจากสนามแม่เหล็กเคลื่อนที่ตัดผ่านตัวนำจำนวน N รอบ และเปลี่ยนแปลงตามเวลา (Time Varying) จะมีค่าเท่ากับ

$$\mathcal{E} = N \frac{d\Phi}{dt} \quad (5)$$

เมื่อ $\mathcal{E}$ แทน แรงดันเหนี่ยวนำ emf หน่วย V

Φ แทน เส้นแรงแม่เหล็ก หน่วย Wb

และเมื่อ $\Phi = \int_S B \cdot dS$ ดังนั้น จะได้

$$\mathcal{E} = N \int_S \frac{\partial B}{\partial t} dS \quad (6)$$

เมื่อความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็ก B ในสมการที่ (3) เคลื่อนที่ตัดผ่านตัวนำในขดลวด N_2 ดังนั้น จะได้แรงดัน v ที่เกิดจากการเหนี่ยวนำในขดลวดนี้มีค่า เท่ากับ

$$v = N_2 \int_S \frac{\partial B}{\partial t} dS \quad (7)$$

เมื่อ N_2 แทน ขดลวดชุดที่ 2 และเนื่องจาก B ไม่ได้เป็นฟังก์ชันของค่า A

ดังนั้น
$$\int_S dS = A \quad (8)$$

โดย A แทน พื้นที่หน้าตัดของแกนวัสดุแม่เหล็ก หน่วย m^2

ดังนั้น ได้

$$v = N_2 \int_S \frac{\partial B}{\partial t} dS \quad (9)$$

นำค่า B จากสมการที่ (4) แทนลงในสมการที่ (9) ดังนั้น ได้ v เท่ากับ

$$v = \frac{\mu N_1 N_2 A}{\ell} \frac{di}{dt} \quad (10)$$

ถ้าหาก $N_1 = 1$ รอบ (กรณีไปคล้องสายตัวนำของวงจรที่วัด) และ $\frac{N_2}{\ell} = N$ ดังนั้น ได้

$$v = \mu N A \frac{di}{dt} \quad (11)$$

เมื่อ μ , N และ A มีค่าคงที่ และกำหนดให้เท่ากับ M ซึ่งคือ ค่า mutual inductance หน่วย H นั้นเอง ดังนั้น จากสมการที่ (11) ได้เป็น

$$v = M \frac{di}{dt} \quad (12)$$

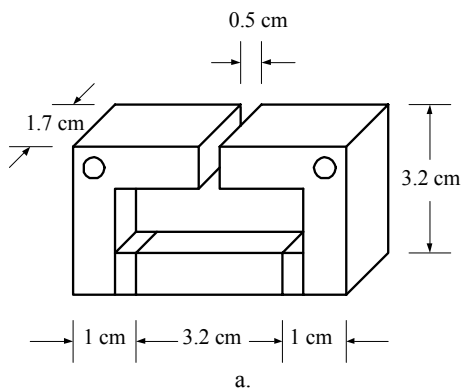
จากสมการที่ (12) จะเห็นว่า แรงดัน v จะแปรผันโดยตรงกับ di/dt โดยค่าความเป็นเชิงเส้นนี้ จะขึ้นอยู่กับค่า μ ของแกนวัสดุเป็นเหล็ก สำหรับค่าแรงดัน v ที่ได้จากการวัด สามารถกำหนดเป็นค่ากระแสที่ต้องการวัดได้โดยใช้วงจร อินทิเกรเตอร์ เป็นตัวแปลง นั่นคือ

$$i = \frac{1}{M} \int v dt \quad (13)$$

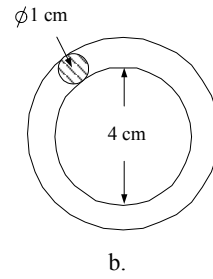
ซึ่งการวัดกระแสด้วยวิธีนี้ จะมีชื่อเรียกว่า แบบ Rogowski's coil

3. การออกแบบ

จากทฤษฎีที่ได้นำเสนอ จะเห็นว่า ชุดตรวจวัดกระแสสำหรับงานอิเล็กทรอนิกส์กำลัง โครงสร้างหลักจะประกอบขึ้นด้วย 2 ส่วน คือ 1. ส่วนของตัวตรวจวัดสำหรับกระแส และ 2. ส่วนอินทิเกรเตอร์ สำหรับตัวตรวจสอบกระแส โครงสร้างจะประกอบด้วยขดลวดและพันบนแกนวัสดุแม่เหล็ก 2 ชนิด ได้แก่ แกนเหล็ก C-core และที่ใช้แกนแบบนี้ก็เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการอิ่มตัว ดังรูปที่ 2a. ซึ่งได้แสดง ทั้งขนาดและรูปร่างกับแกนเฟอร์ไรต์รูปทอรอยด์ ดังขนาดและรูปร่างที่แสดงในรูปที่ 2b. โดยขดลวดแกนเหล็ก C-core จะนำไปทดลองใช้กับรูปคลื่นไซน์และรูปคลื่นจตุรัสกึ่งขั้วที่ความถี่ 50 Hz และขดลวดแกนเฟอร์ไรต์จะนำไปใช้ทดลองกับรูปคลื่นจตุรัสกึ่งขั้วที่ความถี่ 1 kHz – 20 kHz เท่านั้น เพราะแหล่งจ่ายรูปคลื่นไซน์ที่มีการแปรค่าความถี่ต่างๆ ไม่สามารถผลิตได้เนื่องจากต้นทุนสูงมาก และเมื่อนำโครงสร้างหลักทั้ง 2 ส่วนมาประกอบกัน ก็จะได้เป็นชุดต้นแบบสำหรับงานอิเล็กทรอนิกส์กำลัง ดังแสดงในรูปที่ 3 และรูปที่ 4 ซึ่งเป็นชุดต้น



a.

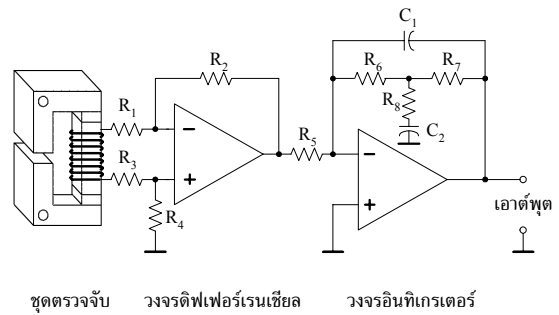


b.

รูปที่ 2 แสดงแกนวัสดุแม่เหล็กแบบต่าง

a. แกนเหล็กสำหรับความถี่ 50 Hz

b. แกนเฟอร์ไรต์สำหรับความถี่ 1 kHz-20 kHz

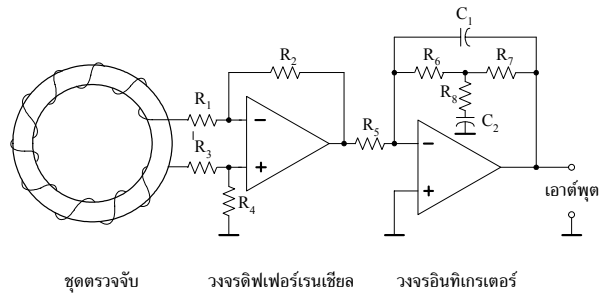


ชุดตรวจวัด

วงจรดิฟเฟอเรนเชียล

วงจรรวมอินทิเกรเตอร์

a.



ชุดตรวจวัด

วงจรดิฟเฟอเรนเชียล

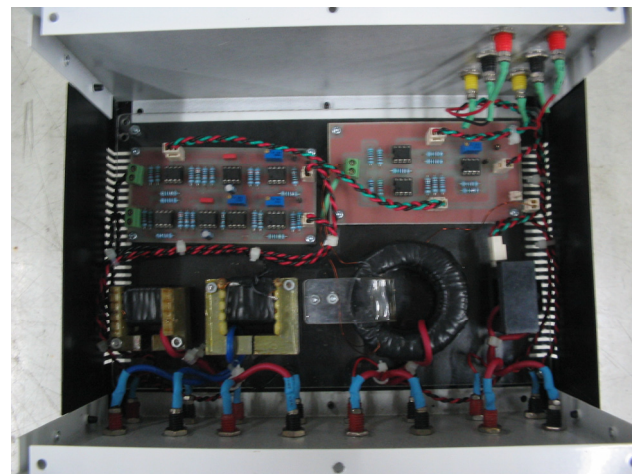
วงจรรวมอินทิเกรเตอร์

b.

รูปที่ 3 แสดงชุดต้นแบบของชุดตรวจวัดกระแส

a. สำหรับความถี่ 50 Hz

b. สำหรับความถี่ 1 kHz-20 kHz



รูปที่ 4 แสดงชุดต้นแบบของชุดตรวจวัดกระแส

4. การทดลอง

4.1 การทดลองวัดค่ากระแสเอาต์พุต

เมื่อนำชุดตรวจวัดกระแสสำหรับงานอิเล็กทรอนิกส์กำลังกับชุดตรวจวัดกระแสแบบฮอลล์มาทำการทดลองกับแหล่งจ่ายรูปคลื่นไซน์ 50 Hz โดยค่าแรงดันเอาต์พุตของชุดตรวจวัดกระแสสำหรับงานอิเล็กทรอนิกส์กำลัง กำหนดค่าไว้เท่ากับ 100 mV/A และแรงดันเอาต์พุตชุดตรวจวัดกระแสแบบฮอลล์ใช้ค่าตามข้อกำหนดที่ได้รับในคู่มือเอกสารซึ่งเท่ากับ 26.66 mV/A ผลการทดลองและเปรียบเทียบกัน เพื่อหาค่าความผิดพลาด (error) และเปอร์เซ็นต์ค่าความผิดพลาด FSO ที่ค่าวัดต่างๆ จะได้ตามตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การเปรียบเทียบกระแสรูปคลื่นไซน์ 50 Hz

กระแส ¹ (A)	กระแส ² (A)	ค่าความผิดพลาด (A)	% ค่าความผิดพลาด (%)
0.66	0.59	0.07	0.7
1.55	1.42	0.13	1.3
2.74	2.59	0.15	1.5
3.65	3.51	0.14	1.4
4.55	4.43	0.12	1.2
5.53	5.53	0.00	0.00
6.24	6.15	0.09	0.90
7.34	7.27	0.07	0.70
8.30	8.35	-0.05	-0.5
9.42	9.5	-0.08	-0.8

- หมายเหตุ 1. กระแสไฟฟ้าที่ได้จากชุดตรวจวัดแบบฮอลล์รุ่น CSM – 163
2. กระแสที่ได้จากชุดตรวจวัดกระแสสำหรับงานอิเล็กทรอนิกส์กำลัง

เมื่อนำชุดตรวจวัดกระแสสำหรับงานอิเล็กทรอนิกส์กำลังกับชุดตรวจวัดกระแสแบบฮอลล์มาทำการทดลองกับแหล่งจ่ายรูปคลื่นจัตุรัส 50 Hz โดยค่าแรงดันเอาต์พุตของชุดตรวจวัดกระแสสำหรับงานอิเล็กทรอนิกส์กำลัง กำหนดค่าไว้เท่ากับ 500 mV/A และแรงดันเอาต์พุตชุดตรวจวัดกระแสแบบฮอลล์ใช้ค่าตามข้อกำหนดที่ได้รับในคู่มือเอกสารซึ่งเท่ากับ 26.66 mV/A ผลการทดลองและเปรียบเทียบกัน เพื่อหาค่าความผิดพลาด และเปอร์เซ็นต์ค่าความผิดพลาด FSO ที่ค่าวัดต่างๆ จะได้ตามตารางที่ 1

ตารางที่ 2 การเปรียบเทียบกระแสรูปคลื่นจัตุรัส 50 Hz

กระแส ¹ (A)	กระแส ² (A)	ค่าความผิดพลาด (A)	% ค่าความผิดพลาด (%)
2.00	2.28	-0.28	-2.80
3.87	4.05	-0.18	-1.80
5.71	5.71	0.00	0.00
7.31	7.17	0.14	1.40
8.90	8.63	0.27	2.70

- หมายเหตุ 1. กระแสไฟฟ้าที่ได้จากชุดตรวจวัดแบบฮอลล์รุ่น CSM – 163
2. กระแสที่ได้จากชุดตรวจวัดกระแสสำหรับงานอิเล็กทรอนิกส์กำลัง

เมื่อนำชุดตรวจวัดกระแสสำหรับงานอิเล็กทรอนิกส์กำลังกับชุดตรวจวัดกระแสแบบฮอลล์ มาทำการทดลองกับแหล่งจ่ายรูปคลื่นจัตุรัส 1 kHz โดยค่าแรงดันเอาต์พุตของชุดตรวจวัดกระแสสำหรับงานอิเล็กทรอนิกส์กำลัง กำหนดค่าไว้เท่ากับ 50 mV/A และแรงดันเอาต์พุตชุดตรวจวัดกระแสแบบฮอลล์ใช้ค่าตามข้อกำหนดที่ได้รับในคู่มือเอกสารซึ่งเท่ากับ 26.66 mV/A ผลการทดลองและเปรียบเทียบกัน เพื่อหาค่าความผิดพลาด และเปอร์เซ็นต์ค่าความผิดพลาด FSO ที่ค่าวัดต่างๆ จะได้ตามตารางที่ 3

ตารางที่ 3 การเปรียบเทียบกระแสรูปคลื่นจัตุรัส 1 kHz

กระแส ¹ (A)	กระแส ² (A)	ค่าความผิดพลาด (A)	% ค่าความผิดพลาด (%)
2.00	2.02	-0.02	-0.20
3.88	3.87	-0.01	-0.10
5.62	5.62	0.00	0.00
7.17	7.11	0.05	0.60
8.78	8.70	0.08	0.80

- หมายเหตุ 1. กระแสไฟฟ้าที่ได้จากชุดตรวจวัดแบบฮอลล์รุ่น CSM – 163
2. กระแสที่ได้จากชุดตรวจวัดกระแสสำหรับงานอิเล็กทรอนิกส์กำลัง

เมื่อนำชุดตรวจวัดกระแสสำหรับงานอิเล็กทรอนิกส์กำลังกับชุดตรวจวัดกระแสแบบฮอลล์ มาทำการทดลองกับแหล่งจ่ายรูปคลื่นจัตุรัสหกซัน 5 kHz โดยค่าแรงดันเอาต์พุตของชุดตรวจวัดกระแสสำหรับงานอิเล็กทรอนิกส์กำลัง กำหนดค่าไว้เท่ากับ 50 mV/A และแรงดันเอาต์พุตชุดตรวจวัดกระแสแบบฮอลล์ใช้ค่าตามข้อกำหนดที่ได้ระบุในคู่มือเอกสารซึ่งเท่ากับ 26.66 mV/A ผลการทดลองและเปรียบเทียบกัน เพื่อหาความผิดพลาด และเปอร์เซ็นต์ค่าความผิดพลาด FSO ที่ค่าวัดต่างๆ จะได้ตามตารางที่ 4

ตารางที่ 4 การเปรียบเทียบกระแสรูปคลื่นจัตุรัสหกซัน 5 kHz

กระแส ¹ (A)	กระแส ² (A)	ค่าความผิดพลาด (A)	% ค่าความผิดพลาด (%)
1.98	2.03	-0.05	-0.50
3.94	3.87	0.07	0.70
5.60	.60	0.00	0.00
7.12	7.12	0.00	0.00
8.64	8.53	0.11	1.10

- หมายเหตุ 1. กระแสไฟฟ้าที่ได้จากชุดตรวจวัดแบบฮอลล์รุ่น CSM – 163
2. กระแสที่ได้จากชุดตรวจวัดกระแสสำหรับงานอิเล็กทรอนิกส์กำลัง

เมื่อนำชุดตรวจวัดกระแสสำหรับงานอิเล็กทรอนิกส์กำลังกับชุดตรวจวัดกระแสแบบฮอลล์ มาทำการทดลองกับแหล่งจ่ายรูปคลื่นจัตุรัสหกซัน 10 kHz โดยค่าแรงดันเอาต์พุตของชุดตรวจวัดกระแสสำหรับงานอิเล็กทรอนิกส์กำลัง กำหนดค่าไว้เท่ากับ 50 mV/A และแรงดันเอาต์พุตชุดตรวจวัดกระแสแบบฮอลล์ใช้ค่าตามข้อกำหนดที่ได้ระบุในคู่มือเอกสารซึ่งเท่ากับ 26.66 mV/A ผลการทดลองและเปรียบเทียบกัน เพื่อหาความผิดพลาด และเปอร์เซ็นต์ค่าความผิดพลาด FSO ที่ค่าวัดต่างๆ จะได้ตามตารางที่ 5

ตารางที่ 5 การเปรียบเทียบกระแสรูปคลื่นจัตุรัสหกซัน 10 kHz

กระแส ¹ (A)	กระแส ² (A)	ค่าความผิดพลาด (A)	% ค่าความผิดพลาด (%)
2.07	2.03	0.04	0.40
3.90	3.85	0.05	0.50
5.58	5.58	0.00	0.00
7.03	7.00	0.03	0.30
8.50	8.45	0.05	0.50

- หมายเหตุ 1. กระแสไฟฟ้าที่ได้จากชุดตรวจวัดแบบฮอลล์รุ่น CSM – 163
2. กระแสที่ได้จากชุดตรวจวัดกระแสสำหรับงานอิเล็กทรอนิกส์กำลัง

เมื่อนำชุดตรวจวัดกระแสสำหรับงานอิเล็กทรอนิกส์กำลังกับชุดตรวจวัดกระแสแบบฮอลล์ มาทำการทดลองกับแหล่งจ่ายรูปคลื่นจัตุรัสหกซัน 20 kHz โดยค่าแรงดันเอาต์พุตของชุดตรวจวัดกระแสสำหรับงานอิเล็กทรอนิกส์กำลัง กำหนดค่าไว้เท่ากับ 50 mV/A และแรงดันเอาต์พุตชุดตรวจวัดกระแสแบบฮอลล์ใช้ค่าตามข้อกำหนดที่ได้ระบุในคู่มือเอกสารซึ่งเท่ากับ 26.66 mV/A ผลการทดลองและเปรียบเทียบกัน เพื่อหาความผิดพลาด และเปอร์เซ็นต์ค่าความผิดพลาด FSO ที่ค่าวัดต่างๆ จะได้ตามตารางที่ 6

ตารางที่ 6 การเปรียบเทียบกระแสรูปคลื่นจัตุรัสหกซัน 20 kHz

กระแส ¹ (A)	กระแส ² (A)	ค่าความผิดพลาด (A)	% ค่าความผิดพลาด (%)
1.99	2.08	-0.09	-0.90
3.83	3.83	0.00	0.00
5.50	5.50	0.00	0.00
6.92	6.91	0.01	0.10
8.11	8.08	0.30	0.30

- หมายเหตุ 1. กระแสไฟฟ้าที่ได้จากชุดตรวจวัดแบบฮอลล์รุ่น CSM – 163
2. กระแสที่ได้จากชุดตรวจวัดกระแสสำหรับงานอิเล็กทรอนิกส์กำลัง

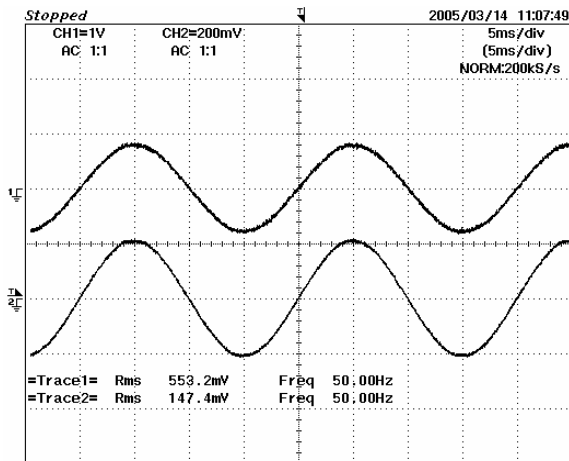
4.2 การทดลองวัดความเพี้ยนและมุมต่างเฟสของรูปคลื่น

เมื่อนำออสซิลโลสโคปวัดรูปคลื่นกระแสค่าต่างๆ เพื่อเปรียบเทียบกัน จากผลการทดลอง จะได้ตามรูปที่ 6 ถึง 10

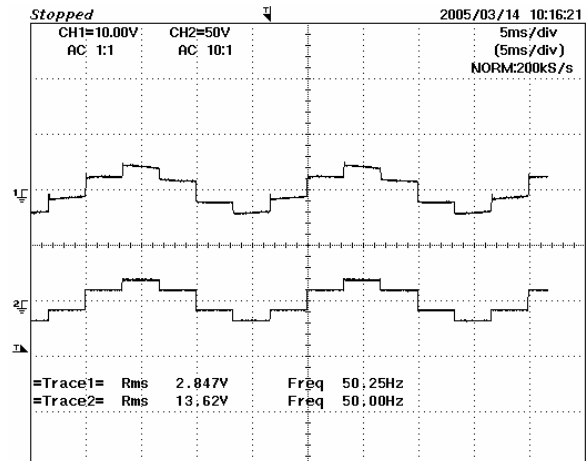
เมื่อนำกระแสที่ได้จากรูปคลื่นไซน์ และรูปคลื่นจัตุรัสหกซันโดยใช้ชุดตรวจวัดกระแสสำหรับงานอิเล็กทรอนิกส์กำลัง กับกระแสค่าจริงที่ได้จากชุดตรวจวัดกระแสแบบฮอลล์ มาเปรียบเทียบกันจะได้เป็นกราฟต่างๆ ตามรูปที่ 11 ถึง 16

การเปรียบเทียบกระแสรูปคลื่นจัตุรัสหกซัน ที่ได้จากชุดตรวจวัดกระแสสำหรับอิเล็กทรอนิกส์กำลัง กับกระแสค่าจริงที่ได้จากชุดตรวจวัดกระแสแบบฮอลล์ที่มีการแปรค่าความถี่ จะได้ตามรูปที่ 17

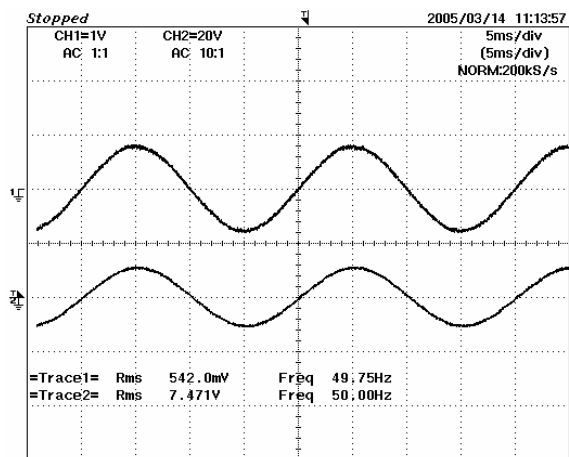
จะเห็นว่าในช่วงการวัดที่ความถี่สูงขึ้น กระแสรูปคลื่นจัตุรัสหกซันที่ได้จากชุดตรวจวัดกระแสสำหรับอิเล็กทรอนิกส์กำลังจะมีค่าต่ำกว่า ทั้งนี้เนื่องจากการเหนี่ยวนำปฏิกิริยาของ ชุดตรวจวัดกระแสสำหรับงานอิเล็กทรอนิกส์กำลังนั่นเอง



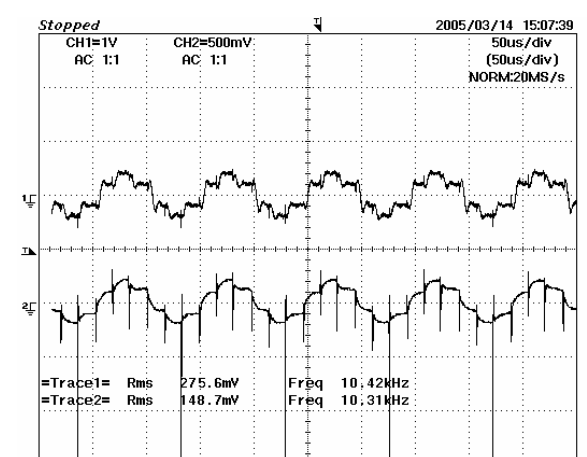
รูปที่ 5 แชนแนล 1 (บน) กระแสรูปคลื่นไซน์ 50 Hz ที่ได้จากชุดตรวจวัด สำหรับงานอิเล็กทรอนิกส์กำลังเท่ากับ 5.53 A แชนแนล 2 (ล่าง) ได้จากชุดตรวจวัดกระแสแบบฮอลล์เท่ากับ 5.53 A



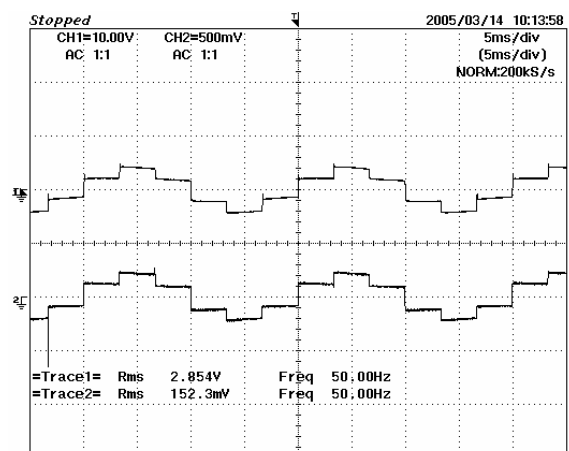
รูปที่ 8 แชนแนล 1 (บน) รูปคลื่นกระแสจตุรัสหกชั้น 50 Hz ที่ได้จากชุดตรวจวัด สำหรับงานอิเล็กทรอนิกส์กำลัง แชนแนล 2 (ล่าง) รูปคลื่นกระแสของแหล่งจ่าย



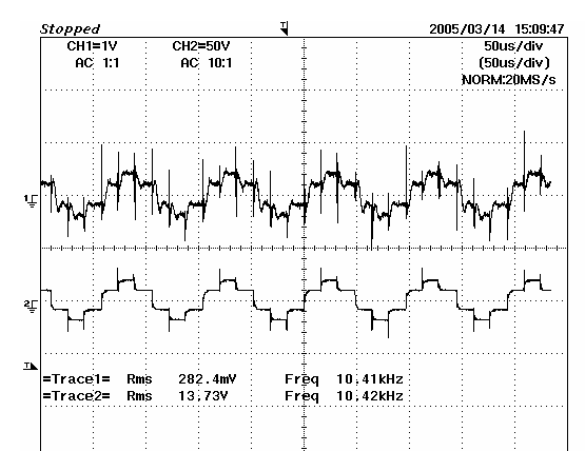
รูปที่ 6 แชนแนล 1 (บน) รูปคลื่นกระแสของไซน์ 50 Hz ที่ได้จากชุดตรวจวัด สำหรับงานอิเล็กทรอนิกส์กำลัง แชนแนล 2 (ล่าง) รูปคลื่นกระแสของแหล่งจ่าย



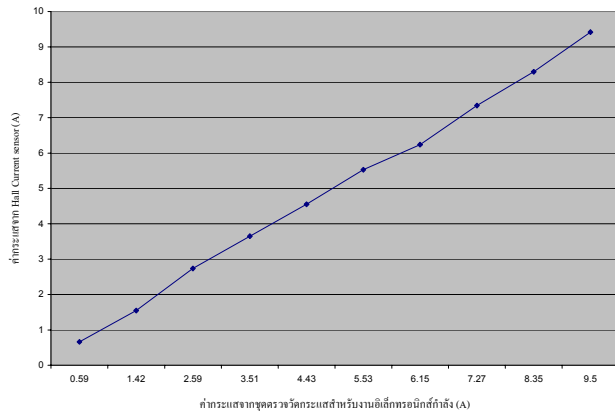
รูปที่ 9 แชนแนล 1 (บน) แสดงรูปคลื่นกระแสจตุรัสหกชั้น 10 kHz ที่ได้จากชุดตรวจวัดสำหรับงานอิเล็กทรอนิกส์กำลังเท่ากับ 5.58 A แชนแนล 2 (ล่าง) ได้จากชุดตรวจวัดแบบฮอลล์เท่ากับ 5.58 A



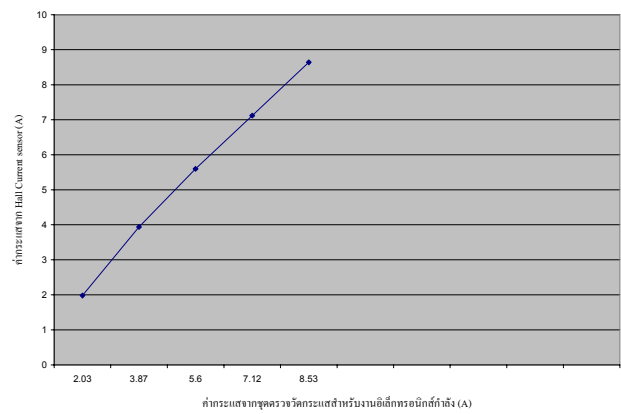
รูปที่ 7 แชนแนล 1 (บน) แสดงรูปคลื่นกระแสจตุรัสหกชั้น 50 Hz ที่ได้จากชุดตรวจวัด สำหรับงานอิเล็กทรอนิกส์กำลัง เท่ากับ 5.71 A แชนแนล 2 (ล่าง) ได้จากชุดตรวจวัดกระแสแบบฮอลล์ เท่ากับ 5.71 A



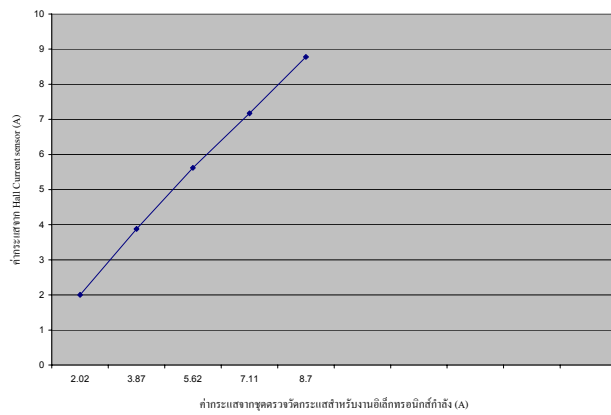
รูปที่ 10 แชนแนล 1 (บน) รูปคลื่นกระแสจตุรัสหกชั้น 10 kHz ที่ได้จากชุดตรวจวัดสำหรับงานอิเล็กทรอนิกส์กำลัง แชนแนล 2 (ล่าง) รูปคลื่นกระแสของแหล่งจ่าย



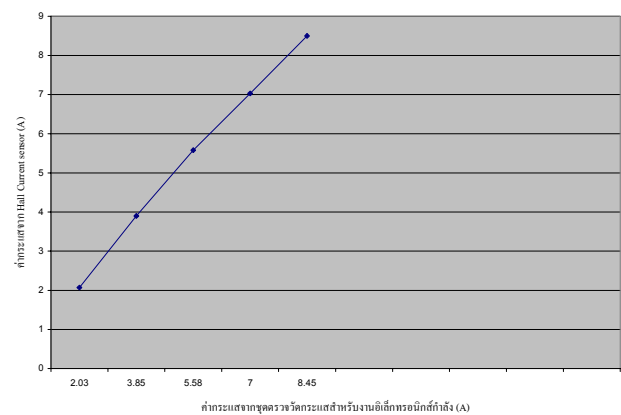
รูปที่ 12 กราฟความสัมพันธ์ของกระแสที่ได้จากชุดตรวจวัดกระแส สำหรับงานอิเล็กทรอนิกส์กำลังกับกระแสค่าจริงขณะทดลอง กับรูปคลื่นไซน์ความถี่ 50 Hz



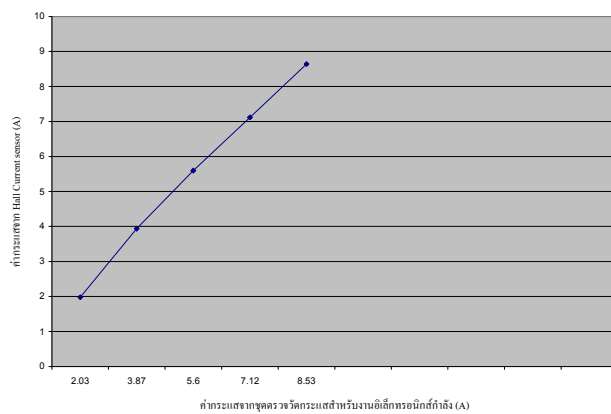
รูปที่ 15 กราฟความสัมพันธ์ของกระแสที่ได้จากชุดตรวจวัดกระแส สำหรับงานอิเล็กทรอนิกส์กำลังกับกระแสค่าจริงขณะทดลอง กับรูปคลื่นจัตุรัสความถี่ 5 kHz



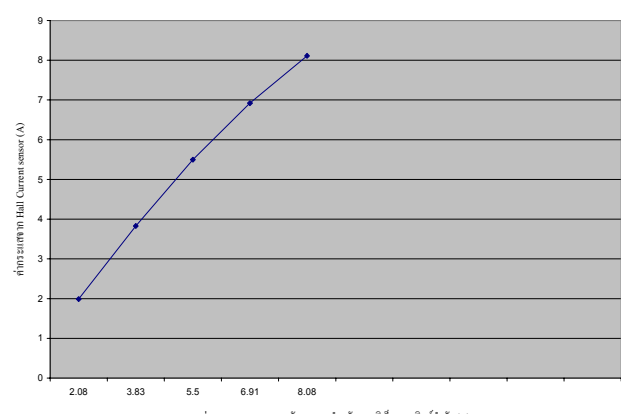
รูปที่ 13 กราฟความสัมพันธ์ของกระแสที่ได้จากชุดตรวจวัดกระแส สำหรับงานอิเล็กทรอนิกส์กำลังกับกระแสค่าจริงขณะทดลอง กับรูปคลื่นจัตุรัสความถี่ 50 Hz



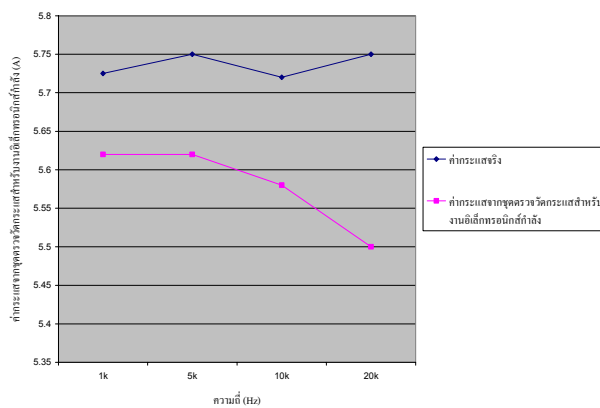
รูปที่ 16 กราฟความสัมพันธ์ของกระแสที่ได้จากชุดตรวจวัดกระแส สำหรับงานอิเล็กทรอนิกส์กำลังกับกระแสค่าจริงขณะทดลอง กับรูปคลื่นจัตุรัสความถี่ 10 kHz



รูปที่ 14 กราฟความสัมพันธ์ของกระแสที่ได้จากชุดตรวจวัดกระแส สำหรับงานอิเล็กทรอนิกส์กำลังกับกระแสค่าจริงขณะทดลอง กับรูปคลื่นจัตุรัสความถี่ 1 kHz



รูปที่ 17 กราฟความสัมพันธ์ของกระแสที่ได้จากชุดตรวจวัดกระแส สำหรับงานอิเล็กทรอนิกส์กำลังกับกระแสค่าจริงขณะทดลอง กับรูปคลื่นจัตุรัสความถี่ 20 kHz



รูปที่ 17 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสที่ได้จากชุดตรวจวัดกระแสสำหรับงานอิเล็กทรอนิกส์กำลังกับกระแสค่าจริง

5. สรุปผลการทดลอง

จากผลการวิจัย พบว่า การวัดกระแสด้วยชุดตรวจวัดกระแสสำหรับงานอิเล็กทรอนิกส์กำลัง สามารถนำไปใช้งานได้กับการวัดกระแสรูปคลื่นไซน์และไม่ใช่รูปคลื่นไซน์ที่มีความถี่ต่างกัน ขนาด 1-10 A ได้จริง โดยถ้าเป็นการเปรียบเทียบกันระหว่างกระแสรูปคลื่นจัตุรัสหกชั้นที่ได้จากชุดตรวจวัดกระแสสำหรับงานอิเล็กทรอนิกส์กำลังกับค่าจริงที่ได้จากชุดตรวจวัดกระแสแบบฮอลล์ด้วยการแปรค่าความถี่ใดๆ จะเห็นว่า เมื่อความถี่ที่ต้องการจะวัดมีค่าสูงขึ้น กระแสที่ได้จากชุดตรวจวัดกระแสสำหรับงานอิเล็กทรอนิกส์กำลังจะมีค่าต่ำกว่า ทั้งนี้เนื่องจากการเหนี่ยวนำปฏิกิริยาของชุดตรวจวัดกระแสสำหรับงานอิเล็กทรอนิกส์กำลังนั่นเอง

ถ้าหากเป็นการวัดกระแสรูปคลื่นไซน์ความถี่เท่ากับ 50 Hz เปอร์เซนต์ค่าความผิดพลาดจะได้ค่าไม่เกิน ± 1.50 % การวัดกระแสรูปคลื่นจัตุรัสหกชั้นความถี่ 50 Hz เปอร์เซนต์ค่าความผิดพลาดจะได้ค่าไม่เกิน ± 2.80 % การวัดกระแสรูปคลื่นจัตุรัสหกชั้นความถี่ 1 kHz เปอร์เซนต์ค่าความผิดพลาดจะได้ค่าไม่เกิน ± 0.80 % การวัดกระแสรูปคลื่นจัตุรัสหกชั้นความถี่ 5 kHz เปอร์เซนต์ค่าความผิดพลาดจะได้ค่าไม่เกิน ± 1.10 % การวัดกระแสรูปคลื่นจัตุรัสหกชั้นความถี่ 10 kHz เปอร์เซนต์ค่าความผิดพลาดจะได้ค่าไม่เกิน ± 0.50 % และการวัดกระแสรูปคลื่นจัตุรัสหกชั้นความถี่ 20 kHz เปอร์เซนต์ค่าความผิดพลาดจะได้ค่าไม่เกิน ± 0.30 %

ส่วนรูปคลื่นกระแสที่วัดได้จากชุดตรวจวัดกระแสสำหรับงานอิเล็กทรอนิกส์กำลังเมื่อนำเปรียบเทียบกับรูปคลื่นกระแสแหล่งจ่าย จะเห็นว่า ที่รูปคลื่นไซน์และไม่ใช่รูปคลื่นไซน์ด้วยความถี่ต่ำกว่า 5 kHz นั้น จะได้รูปร่างเหมือนกับรูปคลื่นกระแสแหล่งจ่ายมาก แต่หลังจากที่ความถี่เกิน 5 kHz ไปแล้ว รูปคลื่นกระแสของชุดตรวจวัดกระแสสำหรับงานอิเล็กทรอนิกส์กำลัง จะมีความเพี้ยนจากรูปคลื่นกระแสแหล่งจ่ายไปบ้าง ซึ่งเป็นไปตามทฤษฎีที่ได้กล่าวไว้ว่า การใช้แกนเฟอร์ไรต์ จะสามารถนำใช้ได้ไม่เกิน 10 kHz อย่างไรก็ตาม รูปคลื่นที่ได้จากชุดตรวจวัดกระแสสำหรับงานอิเล็กทรอนิกส์กำลังยังมีความเพี้ยนน้อยกว่าชุดตรวจวัดกระแสแบบฮอลล์

สำหรับการเปรียบเทียบรูปคลื่นกระแสที่ได้จากชุดตรวจวัดกระแสสำหรับงานอิเล็กทรอนิกส์กำลังกับกระแสค่าจริงที่ได้จากชุดตรวจวัดกระแสแบบฮอลล์ที่ย่านความถี่ใด ๆ จะเห็นว่าจะมีลักษณะเป็นเชิงเส้นซึ่งเป็นข้อดีเช่นกัน

เอกสารอ้างอิง

- [1] Kraus, J.D. "Electromagnetics." 3rd Edition, Mcgraw Hill, 1984.
- [2] John D. Ramboz, "Machinable Rogowski Coil, Design, and Calibration." *IEEE Trans. Instrum Meas.* 45, 2 (April 1996)
- [3] Ray, W.F. "The Use of Rogowski Coil for Low Amplitude Current Waveform Measurement." *IEE Colloquim. Meas. Power Electronics.* 1991.
- [4] Ward, D. A. and Exan, J. L. T. "Experience with Using Rogowski Coil Transient Measurement." *IEE Colloquim. Pulsed Power Thchnology.* 1992
- [5] Mohan, Undeland and Robbins. "Power Electronics." Converters, Applications and Design, New York : John Wiley and Sons, 1995.
- [6] สุขสันต์ หวังสถิตยงษ์, ดำรง จินขาว. "โพรบวัดกระแสสลับแบบตัดโค้งได้ขนาด 500 แอมป์." วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ 29-34 (กรกฎาคม-กันยายน 2544)