

การสอบเทียบเครื่องมือวัดแรงเคลื่อนไฟฟ้ากระแสสลับ

AC Voltmeter Calibration

ชัชวาล พรพัฒน์กุล

สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน

833 ถนนพระราม 1 เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330 โทรศัพท์: 0-2215-3861 E-mail: chatchaval@ptwit.ac.th

บทคัดย่อ

การนำเครื่องวัดแรงเคลื่อนไฟฟ้ากระแสสลับแบบดิจิตอลไปใช้งานโดยไม่ทราบถึงค่าความผิดพลาดของเครื่องมือวัดที่เกิดขึ้น รวมถึงค่าความไม่แน่นอนของเครื่องมือ ซึ่งมีผลต่อคุณภาพของสินค้า ดังนั้น ในบทความนี้จะนำเสนอเทคนิคและวิธีการสอบเทียบและการคำนวณหาค่าความไม่แน่นอนที่เกิดขึ้น โดยการสุ่มเครื่องมือวัดมาหนึ่งเครื่องจากทั้งหมดสิบเครื่องในรุ่นเดียวกันมาทำการสอบเทียบกับเครื่องมือจ่ายแรงเคลื่อนไฟฟ้ากระแสสลับมาตรฐาน ด้วยวิธีการตาม EA-10/15 และคำนวณหาค่าความไม่แน่นอนจาก Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement ผลการศึกษาสรุปได้ว่า ค่าความคลาดเคลื่อนของเครื่องมือวัดแรงเคลื่อนไฟฟ้ากระแสสลับแบบดิจิตอล ที่ย่านการวัด 600 mV โดยที่จ่ายค่ามาตรฐานที่ 540.00 mV 100.00 Hz ค่าที่อ่านได้เฉลี่ย 540.066 mV ค่าความไม่แน่นอนขยาย ไม่เกิน ± 0.2 mV

คำสำคัญ: เครื่องมือวัดแรงเคลื่อนไฟฟ้ากระแสสลับ การสอบเทียบ ความไม่แน่นอนในการวัด

Abstract

AC digital voltmeter utilization without knowing the value of error and uncertainty of measurement will affect the products quality. In this paper, the technic and procedure for AC digital voltmeter calibration and the expanded uncertainty calculation are presented. One of instrument from ten in same model is randomized first. Then the calibration procedure follows the guide EA-10/15 and calculates the expanded uncertainty from the guide to the Expression of Uncertainty in Measurement. The results of calibration in range 600mV by standard source 540.00 mV 100.00 Hz are found that the average of measurement value is 540.066 mV and the expanded uncertainty of measurement is not over than ± 0.2 mV.

Keywords: AC voltmeter, calibration, uncertainty of measurement

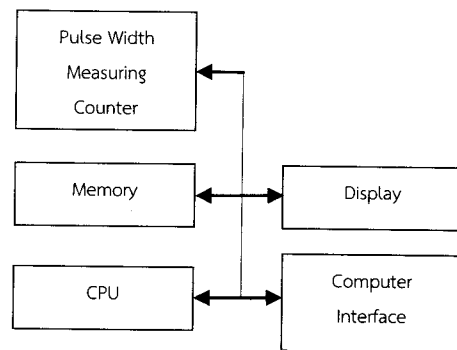
1. คำนำ

งานวิจัยทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับสัญญาณทางไฟฟ้า จำเป็นจะต้องมีเครื่องมือวัดที่วัดค่าได้ถูกต้อง แม่นยำ เป็นไปตามข้อกำหนดทางคุณลักษณะของบริษัทผู้ผลิต แต่เนื่องจากค่าความถูกต้องและแม่นยำของเครื่องมือวัดทางไฟฟ้าจะแปรผันไปตามระยะเวลาการใช้งานและสภาวะแวดล้อม ดังนั้น เมื่อต้องการทราบค่าที่แท้จริงของเครื่องมือวัดก่อนนำไปใช้งานโดยเฉพาะในงานวิจัยและงานที่มีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ในโรงงานอุตสาหกรรม จำเป็นจะต้องทำการสอบเทียบเครื่องมือวัดก่อนด้วยเครื่องมือมาตรฐานที่ทราบค่าความไม่แน่นอนและสามารถสอบย้อนกลับไปยังมาตรฐานที่สูงกว่าได้ตามกำหนดเวลา

2. หลักการทั่วไปของเครื่องมือวัดไฟฟ้า

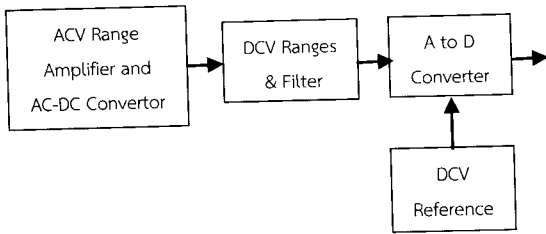
2.1 โครงสร้างของเครื่องมือวัดไฟฟ้า

โครงสร้างของเครื่องมือวัดไฟฟ้าโดยทั่วไปจะประกอบไปด้วย 2 ส่วนหลัก ๆ กล่าวคือ ส่วนควบคุม (control unit) และส่วนการวัด (measurement unit) รายละเอียดของทั้งสองส่วนแสดงได้ดังรูปที่ 1 และรูปที่ 2 ตามลำดับ



รูปที่ 1 บล็อกไดอะแกรมของส่วนควบคุม

จากรูปที่ 1 ส่วนควบคุมจะประกอบไปด้วย 5 ส่วนย่อย คือ pulse width measuring counter, memory, CPU, display และ computer interface และส่วนการวัดดังแสดงในรูปที่ 2 จะประกอบด้วย 4 ส่วนย่อย คือ ACV range amplifier and AC-DC converter, DCV ranges & filter, A to D converter และ DCV reference

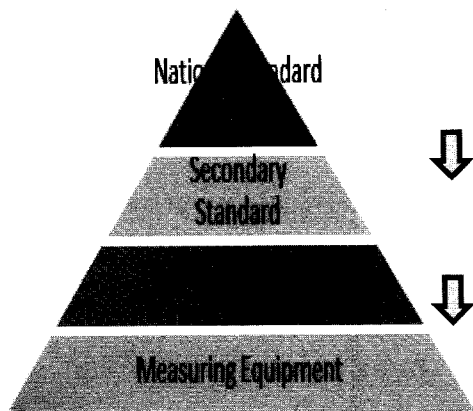


รูปที่ 2 บล็อกโตะของแอมป์ของส่วนการวัด

ในการวัดค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้ากระแสสลับจำเป็นต้องอาศัยวงจร analog signal conditioning เพื่อเปลี่ยนแรงเคลื่อนไฟฟ้ากระแสสลับให้ไปเป็นแรงเคลื่อนไฟฟ้ากระแสตรงก่อน สำหรับวงจร analog to digital converter คือ หัวใจหลักของเครื่องมือวัดแบบดิจิตอลทุกชนิดหรือเครื่องมือวัดอื่น ๆ ที่ภาคแสดงผลเป็นแบบดิจิตอล ในกรณีที่เครื่องมือวัดที่ไม่ต้องการความถูกต้องมากนัก วงจร A to D จะทำงานอยู่ในช่วง ± 200 mV ส่วนเครื่องมือวัดที่ต้องการความถูกต้องสูง วงจร A to D จะทำงานอยู่ในช่วง ± 2 V หรือ ± 20 V วงจรที่ออกแบบส่วนใหญ่จะเป็น integrating circuit ซึ่งมีข้อดีคือสามารถกำจัดสัญญาณรบกวนได้เป็นอย่างดีโดยอาศัยวงจรกรองสัญญาณแบบความถี่ต่ำผ่านได้ (low pass filter circuit)

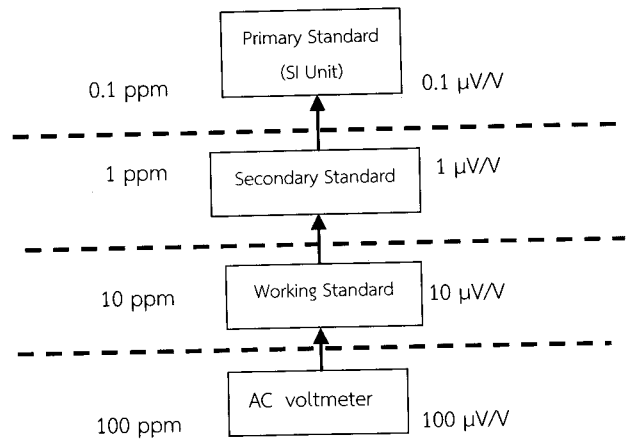
2.2 ความสอบย้อนกลับได้ของDMM

ระบบความสอบย้อนกลับได้ (traceability system) ของ DMM (digital multimeter) นั้นเป็นข้อกำหนดมาตรฐานคุณภาพของ ISO 9000 ที่กำหนดให้เครื่องมือวัดที่ใช้ในกระบวนการผลิตที่มีผลต่อคุณภาพของสินค้าจะต้องได้รับการสอบเทียบจากเครื่องมือมาตรฐานที่สามารถสอบย้อนกลับได้จนถึง primary standard หรือ SI unit โดยจะต้องไม่มีการขาดช่วง (unbroken chain) ซึ่งเรียกกันโดยทั่วไปว่า forward/reverse traceability เป็นการสอบย้อนกลับจากด้านล่างของปิรามิดขึ้นไปยังด้านบนของปิรามิตตามรูปที่ 3

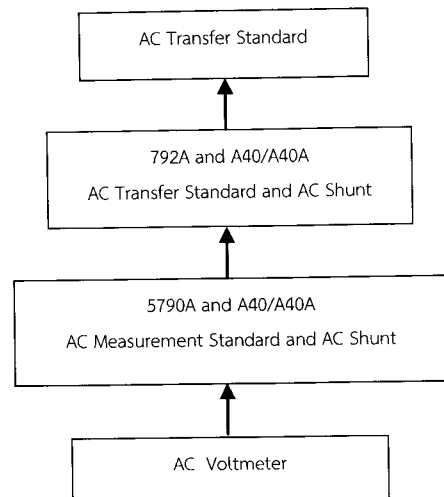


รูปที่ 3 ความสอบย้อนกลับได้

แนวคิดของความสอบย้อนกลับได้ดังแสดงในรูปที่ 4 นั้น จะเริ่มต้นจากเครื่องมือวัดที่ใช้งานกันอยู่ เช่น DMM จะมีค่าความถูกต้องอยู่ที่ $100 \mu\text{V/V}$ (100 ppm) ซึ่ง DMM นี้จะต้องได้รับการสอบเทียบจากเครื่องมือมาตรฐานที่สูงขึ้นไปคือ working standard ที่มีค่าความถูกต้องอยู่ที่ $10 \mu\text{V/V}$ (10 ppm) และ working standard จะต้องได้รับการสอบเทียบจากเครื่องมือมาตรฐานที่สูงขึ้นไปอีกคือ Secondary standard มีค่าความถูกต้องอยู่ที่ $1 \mu\text{V/V}$ (1 ppm) ในรูปที่ 5 แสดงถึงขั้นตอนความสอบย้อนกลับได้ของ AC voltmeter



รูปที่ 4 แนวคิดของความสอบย้อนกลับได้



รูปที่ 5 ความสอบย้อนกลับได้ของ AC voltmeter

2.3 ผลกระทบที่เกิดจากสายวัดและจุดวัด

สายวัดและจุดต่อระหว่าง DMM ซึ่งเป็น UUT (unit under test) หรือบางครั้งใช้คำว่า UUC (Unit under calibration) กับ standard calibrator (STD) จะเกิดค่าตัวแปรต่างๆ ขึ้นโดยไม่สามารถหลีกเลี่ยงได้เช่น ค่าความต้านทานของหน้าสัมผัสระหว่างรอยต่อของจุดต่อ STD กับหัววัดของ DMM รวมกับความต้านทานของหน้าสัมผัสระหว่างจุดต่อปลายสายวัดของ DMM กับจุดต่อของ DMM ค่าความต้านทานภายในของสายวัด ค่าความเป็นฉนวนระหว่างสายวัด ค่าความเหนี่ยวนำภายในสายวัด

ค่าความจุทางไฟฟ้าระหว่างสายวัด ความร้อนที่เกิดขึ้นระหว่างจุดต่อทั้งสองตำแหน่ง ค่าความไวต่อสนามแม่เหล็กไฟฟ้า

ในการเชื่อมต่อสายวัด UUC กับจุดต่อของ STD จะเกิด seebeck effect ขึ้นกรณีที่จุดต่อของ STD เป็นโลหะชนิดหนึ่งกับจุดต่อของสายวัดที่เป็นโลหะอีกชนิดหนึ่ง ส่งผลทำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าขึ้น ณ บริเวณจุดต่อนั้น วิธีลดค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เกิดขึ้นนี้จะต้องทิ้งเครื่องมือไว้หลังจากติดตั้งพร้อมสอบเทียบแล้ว จนกระทั่งอุณหภูมิทุกส่วนในระบบมีค่าเท่ากัน

กรณีที่สายวัดไม่ได้มีการชิลด์ให้แยกสายออกจากกันอย่างน้อย 1-2 นิ้ว อาจเกิดสัญญาณรบกวนได้ถ้านำไปใช้วัดค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้ากระแสสลับค่าน้อย ๆ (mV) กรณีที่วัดค่าความถี่สูง ๆ ตั้งแต่ 1 MHz ขึ้นไป ค่าความเหนียวนำของสายวัดจะลดทอนสัญญาณที่ส่งไปที่ปลายสาย จึงควรใช้สายวัดที่เป็นแบบสายชิลด์คู่ที่พันเป็นเกลียวมีฉนวนหุ้ม จะทำให้มีค่าความจุทางไฟฟ้าต่ำกว่า 20 pF ต่อฟุต

2.4 คุณลักษณะของเครื่องมือวัดและแหล่งจ่ายมาตรฐาน

การนำ DMM ไปใช้งานในการวัดค่าใด ๆ ควรที่จะเปิดดูคู่มือของเครื่องมือวัดเพื่อดูว่าค่าความถูกต้องของเครื่องมือวัดว่ามีค่าเท่าไร การศึกษาในครั้งนี้มีข้อมูลคุณลักษณะของ AC volts DMM จากบริษัทผู้ผลิตดังแสดงในตารางที่ 1 และแหล่งจ่ายมาตรฐานดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 1 คุณลักษณะของ AC volts DMM

Range	Resolution	Accuracy ± ([% of Reading]+[Counts])
600 mV	0.1 mV	1.0%+3 (45 Hz to 500 Hz)

ตารางที่ 2 แหล่งจ่ายมาตรฐาน

Source	Resolution	Accuracy ± ([% of Reading]+[Counts])
540.00 mV	10 µV	0.03%+60µV 100 Hz

จากคุณลักษณะในตารางที่ 1 ค่าความถูกต้องของเครื่องมือวัดที่ย่านการวัด 600 mV AC คือ

$$\begin{aligned} \text{Accuracy} &= \pm 1.0\% + 3 \text{ Counts} & (1) \\ &= \pm \frac{1.0}{100} \times 540 \text{ mV} + (3 \times \text{resolution}) \\ &= \pm \frac{1.0}{100} \times 540 \text{ mV} + (3 \times 0.1 \text{ mV}) \\ &= \pm 5.7 \text{ mV} \end{aligned}$$

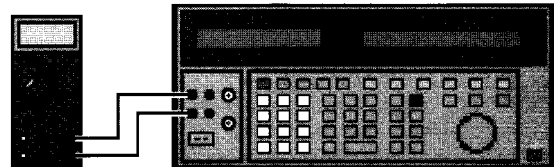
และจากข้อมูลในตารางที่ 2 ค่าความถูกต้องที่แหล่งจ่ายมาตรฐาน 540.00 mV 100 Hz คือ

$$\begin{aligned} \text{Accuracy} &= \pm 0.03\% + 0.06 \mu\text{V} & (2) \\ &= \pm \frac{0.03}{100} \times 540 \text{ mV} + 0.00006 \text{ mV} \\ &= \pm 0.16206 \text{ mV} \end{aligned}$$

3. การสอบเทียบ

3.1 ขั้นตอนการสอบเทียบ

ในการสอบเทียบ AC voltmeter จะเป็นการป้อนแรงเคลื่อนไฟฟ้ากระแสสลับที่ต้องการวัดเข้าที่อินพุตของ AC voltmeter โดยตรงแล้วทำการบันทึกค่าที่อ่านได้อย่างน้อย 3 ครั้งในช่วงเวลาที่ห่างเท่า ๆ กันโดยไม่ต้องดึงสายวัดออกจากแหล่งจ่ายมาตรฐานที่สามารถสอบย้อนกลับได้ แต่สิ่งที่ต้องคำนึงถึงคือแหล่งจ่ายมาตรฐานจะต้องมีค่าความถูกต้องที่ดีกว่า UUC อย่างน้อย 3 เท่า ผลของการสอบเทียบ AC voltmeter ที่ย่านการวัด 600 mV แสดงได้ดังตารางที่ 3



รูปที่ 6 การสอบเทียบ AC voltmeter

ตารางที่ 3 ผลการสอบเทียบ AC volt meter ที่ย่านการวัด 600 mV

Range (mV)	Applied Input	Low Limit	UUT Reading (mV)			Hi Limit
600	540.00mV;100Hz	534.7	540.1	540.1	540.1	545.7

$$\text{Hi-Limit} = \text{Applied input} + \text{Accuracy of DMM} = 540 \text{ mV} + 5.7 \text{ mV} = 545.7 \text{ mV} \quad (3)$$

$$\text{Low-Limit} = \text{Applied input} - \text{Accuracy of DMM} = 540 \text{ mV} - 5.7 \text{ mV} = 534.7 \text{ mV} \quad (4)$$

3.2 การคำนวณค่าความไม่แน่นอนในการวัด

ในการคำนวณหาความไม่แน่นอนในการวัดนั้นมืองค์ประกอบอยู่ 7 ข้อที่จะต้องนำมาใช้โดยมีรายละเอียดดังนี้

3.2.1 แหล่งที่มาของความไม่แน่นอนของการวัด

- (ก) ค่าจำกัดความที่ไม่สมบูรณ์ของปริมาณที่ถูกวัด
- (ข) ความไม่สมบูรณ์ของการทำให้เป็นจริงของค่าจำกัดความของปริมาณที่ถูกวัด
- (ค) การสุ่มตัวอย่างที่เป็นตัวแทนของปริมาณที่ถูกวัด
- (ง) ความรู้เกี่ยวกับผลกระทบของสภาวะแวดล้อมต่อผลการวัดอย่างเพียงพอ
- (จ) ความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากเครื่องมือวัด
- (ฉ) ความละเอียดของเครื่องมือวัด
- (ช) การไม่ทราบค่าที่แท้จริงของเครื่องมือมาตรฐาน
- (ซ) การไม่ทราบค่าที่แท้จริงของตัวแปรอื่นๆจากภายนอก
- (ฌ) วิธีการวัดหรือขั้นตอนการวัด
- (ญ) ความแปรผันของผลการวัดซ้ำๆกันภายใต้สภาวะแวดล้อมที่ใกล้เคียงกัน
- (ฎ) การเลื่อนค่า (drift) ของเครื่องมือมาตรฐาน

3.2.2 คำนวณหาค่าเฉลี่ยในการวัดและความเบี่ยงเบนมาตรฐานในการวัด

$$\bar{x} = \sum_{i=1}^n \frac{x_i}{n} \quad (5)$$

$$\bar{x} = \frac{540.1 + 540.1 + 540.0}{3} = 540.066 \text{ mV}$$

$$SD = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (6)$$

$$SD = \sqrt{\frac{(540.1 - 540.066)^2 + (540.1 - 540.066)^2 + (540.0 - 540.066)^2}{3-1}}$$

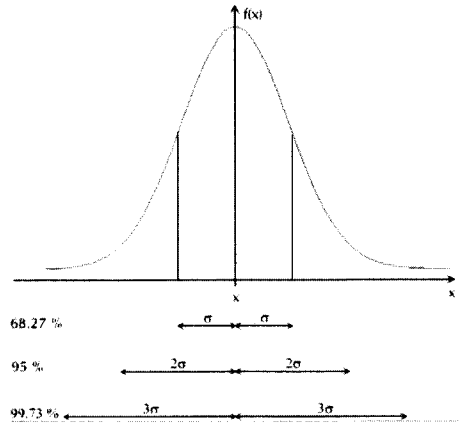
$$SD = 0.057 \text{ mV}$$

3.2.3 การประเมินค่าความไม่แน่นอนที่เกิดขึ้นแบบสุ่ม เป็นการประเมินแจกแจงแบบปกติ (Normal Distribution) Type A

การแจกแจงแบบปกติ (Normal Distribution) จะถือว่าเป็นความไม่แน่นอนที่ได้จากการกระจายของข้อมูลที่เป็นแบบสุ่มตลอดพิสัยที่กำหนด

$$u_A = \frac{SD}{\sqrt{n}} \quad (7)$$

$$u_A = \frac{0.057}{\sqrt{3}} = 0.0329 \text{ mV}$$



รูปที่ 7 การแจกแจงแบบปกติ

3.2.4 การประเมินค่าความไม่แน่นอน Type B เป็นการประเมินจากค่าความไม่แน่นอนอื่นๆที่สามารถหาได้เช่นแหล่งจ่ายมาตรฐานหาได้จากใบรับรองการสอบเทียบของแหล่งจ่ายมาตรฐานเป็นการประเมินแจกแจงแบบปกติ (Normal Distribution) ที่ค่า coverage factor; $k=2.58$ ค่าความเชื่อมั่น 95.45% จากข้อมูลค่าความไม่แน่นอนของแหล่งจ่ายมาตรฐานดังนี้

จากข้อมูลของแหล่งจ่ายมาตรฐานกำหนดให้ที่ยานการวัด 600 mV (0.33 – 3.29999 V) มีค่าความไม่แน่นอน $\pm(0.03\% \text{ of output} + 60\mu\text{V})$

$$u = \pm \frac{0.03}{100} \times 540 \text{ mV} + 0.06 \text{ mV} = 0.222 \text{ mV}$$

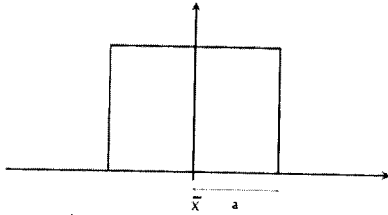
จากใบรับรองการสอบเทียบของแหล่งจ่ายมาตรฐาน รายงานที่ 99%, ที่ค่า coverage factor; $(k) = 2.58$ ดังนั้น ค่าความไม่แน่นอนของแหล่งจ่ายมาตรฐานมีค่าเท่ากับ

$$u_{STD} = \frac{u}{k} = \frac{0.222}{2.58} = 0.086 \text{ mV}$$

3.2.5 การประเมินค่าความไม่แน่นอนจากค่าความละเอียดในการอ่านค่าของ AC digital Voltmeter เป็นการประเมินแจกแจงแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้า (Rectangular Distribution) โดยเป็นการหาจาก semi-range โดยแบ่งครึ่งค่าความละเอียด จากข้อมูลค่าความละเอียดที่ยานการวัด 600mV มีค่าความละเอียด 0.1 mV

การแจกแจงแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้า (Rectangular Distribution) จะถือว่าเป็นความไม่แน่นอนที่ได้จากการกระจายของข้อมูลที่เท่ากันตลอดพิสัยที่กำหนด

กำหนดให้ $p(x)$ เป็นความสูงของสี่เหลี่ยมผืนผ้ามีค่าเท่ากับ $1/2a$ และช่วงพิสัยของข้อมูลอยู่ระหว่าง $-a$ ถึง $+a$ ซึ่งสามารถคำนวณหาพื้นที่ใต้รูปสี่เหลี่ยมได้ดังนี้



รูปที่ 8 การแจกแจงแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้า

$$\sigma^2 = \int_{-a}^{+a} x^2 p(x) dx \quad (8)$$

เมื่อ $p(x) = 1/2a$

$$\sigma^2 = \int_{-a}^{+a} x^2 \frac{1}{2a} dx$$

$$\sigma^2 = \left[\frac{x^3}{6a} \right]_{-a}^{+a}$$

$$\sigma^2 = \left[\frac{x^2}{3} \right]$$

$$\sigma = \frac{a}{\sqrt{3}} \quad (9)$$

$$u_{res} = \frac{resolution}{2\sqrt{3}} = \frac{0.1}{2\sqrt{3}} = 0.0289 mV$$

3.2.6 การประเมินค่าความไม่แน่นอนมาตรฐานรวม (combined standard uncertainty); $u_c(y)$ ที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 68.3% หรือที่ $\pm 1\sigma$

$$u_c(y) = \sqrt{\sum_{i=1}^n c_i^2 u^2(x_i)} \quad (10)$$

เมื่อ c_i เป็นค่า sensitivity coefficient เพื่อใช้ในการเปลี่ยนหน่วยปริมาณที่ถูกวัด โดยการหา partial differentiation ของปริมาณที่วัดได้ที่เอาท์พุท $y = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ ดังนั้น

$$c_i = \frac{\partial f}{\partial x_i} \quad (11)$$

ตัวอย่างเช่น การใช้ DMM วัดอุณหภูมิโดยมีเทอร์โมคัปเปิลเป็นเซนเซอร์ (Type K) ที่อุณหภูมิ $100^\circ C$ อ่านค่าเฉลี่ยได้เท่ากับ $0.001 mV$ เมื่อต้องหาค่าความไม่แน่นอนของเครื่องมือวัดอุณหภูมิซึ่งมีหน่วยเป็น $^\circ C$ แต่ DMM วัดค่าออกมาเป็น mV จึงจำเป็นต้องใช้สมการที่ (12) มาคำนวณดังนี้ nominal sensitivity (TC Type K) = $0.0415 mV/^\circ C$

$$c_i = \frac{\partial f}{\partial x_i} = \frac{1}{0.0415} ^\circ C / mV = 24.0963 ^\circ C / mV$$

ค่าเฉลี่ยได้เท่ากับ $0.001 mV$

$$c_i = 0.001 mV \times 24.0963 ^\circ C / mV = 0.024 ^\circ C$$

ในกรณีศึกษานี้เป็นหน่วยเดียวกันดังนั้น $c_i = 1$ นำไปแทนค่าในสมการที่ (10) จะได้

$$u_c(y) = \sqrt{\sum_{i=1}^n u^2(x_i)} \quad (12)$$

จากข้อมูลที่ได้ในการสอบเทียบ

$$u_A = 0.0329 mV$$

$$u_{B1} = u_{STD} = 0.086 mV$$

$$u_{B2} = u_{res} = 0.0289 mV$$

หาค่า combined standard uncertainty; $u_c(y)$ ที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 68.3% จากสมการที่ (12)

$$u_c(y) = \sqrt{(u_A^2 + u_{B1}^2 + u_{B2}^2)} \quad (13)$$

$$u_c(y) = \sqrt{(0.0329)^2 + (0.086)^2 + (0.0289)^2}$$

$$u_c(y) = 0.0965 mV$$

3.2.7 การประเมินค่าความไม่แน่นอนขยาย (Expanded uncertainty); U เป็นการขยายค่าความไม่แน่นอนมาตรฐานรวม เพื่อให้เป็นไปตามความต้องการที่ระดับความเชื่อมั่นอื่น ๆ นอกจากที่ระดับ 68.3% โดยทั่วไปเมื่อไม่มีข้อกำหนดเป็นอย่างอื่น ห้องปฏิบัติการสอบเทียบจะรายงานผลการสอบเทียบรวมค่าความไม่แน่นอนที่ระดับความเชื่อมั่น 95.45% หรือประมาณที่ 95% หรือที่ $\pm 2\sigma$ ในการขยายค่าความไม่แน่นอนมาตรฐานรวม จะใช้ตัวคูณที่เรียกว่าตัวประกอบคลุม coverage factor; K

$$U = k \cdot u_c(y) \quad (14)$$

เมื่อ k คือ coverage factor หรือตัวประกอบครอบคลุมที่เมื่อคุณเข้ากับค่าความไม่แน่นอนมาตรฐานรวมแล้วจะได้รับความไม่แน่นอนตามระดับค่าความเชื่อมั่นที่ต้องการโดยการหาค่าองศาความเป็นอิสระที่มีประสิทธิภาพ (ν_{eff}) โดยใช้สมการของ Welch-Satterthwait

$$\nu_{eff} = \frac{u_c^4(y)}{\sum_{i=1}^n \frac{c_i^4 \cdot u_i^4(y)}{\nu_i}} \quad (15)$$

$$\nu_{eff} = \frac{(0.0965)^4}{\frac{(0.0329)^4}{3-1} + \frac{(0.086)^4}{\infty} + \frac{(0.0289)^4}{\infty}} = > 100$$

นำค่าองค์ความเป็นอิสระที่มีประสิทธิภาพ (V_{eff}) ซึ่งคำนวณได้มีค่ามากกว่า 100 นำไปเทียบค่า k จากตารางที่ 4

ตารางที่ 4 student's "t" distribution

V_{eff}	1	2	3	4	5	6
$t_{95\%}(V)$	13.97	4.53	3.31	2.87	2.65	2.52

V_{eff}	8	10	20	100	∞
$t_{95\%}(V)$	2.37	2.28	2.13	2.00	2.00

จากการเทียบตาราง student's "t" distribution ที่ 95.45 % จะได้ค่า coverage factor หรือตัวประกอบครอบคลุม $k = 2.00$ โดยทั่วไป coverage factor หรือตัวประกอบครอบคลุม k จะกำหนดให้มีค่าเท่ากับ 2 ที่ระดับความเชื่อมั่นประมาณ 95 % จากสมการที่ (14) จะได้

$$U = 2 \times 0.0965 = \pm 0.2 \text{ mV}$$

4. สรุปผลการสอบเทียบ

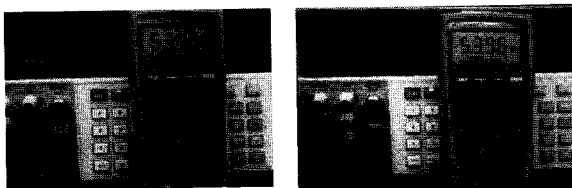
แรงเคลื่อนไฟฟ้ากระแสสลับที่ย่านการวัด 600 mV แหล่งจ่ายมาตรฐาน 540.00 mV UUC อ่านค่าได้เฉลี่ย 540.066 mV ± 0.2 mV ที่ระดับความเชื่อมั่นประมาณ 95 % และตัวประกอบครอบคลุม $k=2$ รายละเอียดแสดงดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 รายงานผลการสอบเทียบ

AC Voltage Measurement Test (mV)			
Range (mV)	Applied input (mV)	UUC reading (Average)	Uncertainty (mV)
600.00	540.00	540.066	± 0.2

จากการสอบเทียบเครื่องมือวัดแรงเคลื่อนไฟฟ้ากระแสสลับ ที่สุ่มมาหนึ่งเครื่องจากจำนวนทั้งหมด 10 เครื่อง ปรากฏว่าที่ย่านการวัด 600 mV ของ UUC นำไปสอบเทียบจากค่ามาตรฐานที่ 540.00 mV 100.00 Hz ค่าที่อ่านได้จาก UUC เฉลี่ยจะอยู่ระหว่าง 539.9 ถึง 540.3 mV ซึ่งยังอยู่ในขอบเขตค่าความถูกต้องของบริษัทผู้ผลิตระหว่างค่า 534.3 ถึง 545.7 mV สามารถนำเครื่องมือวัดเครื่องนี้ไปใช้งานได้ตามคุณลักษณะของเครื่องมือวัดที่กำหนด

นอกจากนี้ยังได้สอบเทียบในย่านการวัดค่าความต้านทาน และกระแสไฟฟ้า ผลปรากฏตามตารางการสอบเทียบที่ 6 และ 7 ตามลำดับ



รูปที่ 9 การสอบเทียบ ย่านวัดกระแสไฟฟ้าและความต้านทานไฟฟ้า

ตารางที่ 6 รายงานผลการสอบเทียบย่านการวัดค่าความต้านทาน

Resistance Measurement Test (Ω)			
Range ($M\Omega$)	Applied input ($M\Omega$)	UUC reading (Average)	Uncertainty ($M\Omega$)
6 $M\Omega$	5.40000 $M\Omega$	5.396 $M\Omega$	± 0.003 $M\Omega$

ตารางที่ 7 รายงานผลการสอบเทียบย่านการวัดกระแสไฟฟ้า

milliamp Measurement Test (mA)			
Range (mA)	Applied input (mA)	UUC reading (Average)	Uncertainty (mA)
60 mA	54.000 mA	53.99 mA	± 0.01 mA

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณนักศึกษา สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุมที่ได้ดำเนินการเก็บข้อมูลจากการสอบเทียบรวมถึงขอขอบคุณศูนย์บริการวิชาการและสอบเทียบที่เอื้อเพื่อเครื่องมือมาตรฐานและเครื่องมือวัดในการเก็บข้อมูลเพื่อการเขียนบทความวิชาการในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] ชลิต คุ่มทวี และ ชัชวาล พรพัฒน์กุล (2554). *เอกสารประกอบการฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการ การสอบเทียบเครื่องวัดทางไฟฟ้า*. สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน. กรุงเทพมหานคร.
- [2] European Association of National Metrology Institute (1997). *Guideline on the Calibration of Digital Multimeter*. EA-10/15. Edition 1. London.
- [3] *Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement (GUM)*. first edition 1995. ISBN 92-67-10188-9.

ประวัติผู้เขียนบทความ



ผู้ช่วยศาสตราจารย์ชัชวาล พรพัฒน์กุล สำเร็จการศึกษา ระดับปริญญาตรี ภาควิชาเทคโนโลยีการวัดคุม สจล. ระดับประกาศนียบัตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า จุฬาฯ และ ระดับปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม จุฬาฯ. ปัจจุบันดำรงตำแหน่ง หัวหน้าศูนย์บริการวิชาการและสอบเทียบ และ อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน **งานวิจัยที่สนใจ** Metrology & Calibration