



NSC-ONSC

Publication Reference

GLA-24

ข้อเสนอแนะการตีความและการนำ EURAMET cg - 15ไปใช้สอบเทียบ
ดิจิทัลมัลติมิเตอร์

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม
ถนนพระรามที่ 6 กรุงเทพฯ 10400
โทรศัพท์ 0-2202-3491
โทรสาร 0-2354-3045

รายชื่อคณะทำงานขออนุญาตการตีความและการนำ EURAMET cg – 15 ไปใช้สอบเทียบดีจิตอลมัลติมิเตอร์

ที่ปรึกษา

ร.ท.อุทัย นรนิ่ม

สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ

กรรมการ

นายประสาธ มิน้อย

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

นางศรีโรรัตน์ทอนฮามแก้ว

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

นางสาวสิวิณี สวัสดิ์อารี

สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ

นายกองศักดิ์ ทองบุญ

สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ

ร.ต.ชลิต คุ้มทวี

สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ

นายณัฐพงศ์ นิลจรัสวงษ์

สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย

นายสำเนา ทงม่น

บริษัท การบินไทย จำกัด (มหาชน)

นายสมชาย เหลืองพีระชัย

บริษัท การบินไทย จำกัด (มหาชน)

นายกิตติศักดิ์ นักคัม

บริษัท วิทยุการบินแห่งประเทศไทย จำกัด

ร.อ.ภาสกร มาภักดี

บริษัท อุตสาหกรรมการบิน จำกัด

นายธนัท สุทธิเนตร

บริษัท ควอลิตี้ รีบอร์น จำกัด

กรรมการและเลขานุการ

นายมณฑล หอมกลิ่นเทียน

สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ

นายภาณุพลอัครเดโชชัย

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

บทนำ

เอกสารนี้พัฒนาขึ้นเพื่อให้เป็นเอกสารวิชาการใช้ประกอบและสนับสนุนการตีความเอกสารข้อเสนอแนะ การสอบเทียบดิจิตอลมัลติมิเตอร์ (digital multimeter) ตามมาตรฐาน EURAMETcg-15 ขององค์กรมาตรวิทยาแห่ง ยุโรป (หรือ EURAMET) ไปใช้ในการพัฒนาวิธีการและคู่มือการสอบเทียบดิจิตอลมัลติมิเตอร์ และเป็นเอกสารที่ผู้มีส่วน ได้เสียในกระบวนการสอบเทียบและการรับรองระบบงานของห้องปฏิบัติการสอบเทียบสามารถนำไปศึกษาและใช้ ประกอบการพัฒนาความความเข้าใจ รวมทั้งกระบวนการสอบเทียบมาตรฐานการวัดดังกล่าวซึ่งมีใช้อย่างแพร่หลาย

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม มีนโยบายยกระดับห้องปฏิบัติการ สอบเทียบ โดยให้ใช้วิธีการสอบเทียบที่เทียบเท่า หรือ ใช้อ้างอิงได้กับวิธีการมาตรฐานที่ได้รับการพัฒนาโดยองค์กรที่มี ความสามารถทางวิชาการและความน่าเชื่อถือ

สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติมีฐานะเป็นผู้เชี่ยวชาญทางวิชาการเกี่ยวกับการสอบเทียบมาตรฐานการ วัด จึงมีความรับผิดชอบในการสร้างความรู้ความเข้าใจในประเด็นดังกล่าวให้แก่ผู้มีส่วนได้เสีย สร้างความชัดเจน ความ กระจำงและลดความคลุมเครือ

การพัฒนาและจัดทำเอกสารนี้จึงดำเนินไปด้วยความระมัดระวัง เพื่อให้สามารถรวบรวมประเด็นที่ คลุมเครือและอาจจะจำเป็นต้องตีความไว้ให้ครบ ซึ่งการดำเนินการพัฒนาเอกสารนี้ได้รับความอนุเคราะห์จาก คณะทำงานที่ประกอบไปด้วยผู้ทรงคุณวุฒิและมีประสบการณ์ในการสอบเทียบมาตรฐานการวัดในการให้ความเห็น และปรับแก้ไขต้นฉบับในทุกขั้นตอน

สารบัญ

	หน้า
1. วัตถุประสงค์	5
2. ขอบข่าย	5
3. นิยาม	5
4. มาตรฐานอ้างอิง	5
5. ประเด็นการตีความด้านวิชาการ	6
5.1 วิธีดำเนินการ	
5.2 ความไม่แน่นอนการวัด	
5.3 เครื่องมือมาตรฐานการสอบเทียบ และการสอบกลับได้ของผลการวัด	
5.4 การเขียนขอบข่ายเพื่อขอรับการรับรอง	
5.5 ใบรายงานผลการสอบเทียบ	
เอกสารภาคผนวก	
ก. จุดสอบเทียบ	9
ข. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อประเมินความไม่แน่นอนของการวัด	10
ค. แหล่งที่มาของความไม่แน่นอนการวัดสำหรับการสอบเทียบดิจิทัลมัลติมิเตอร์	19
ง. ตัวอย่างการเขียนขอบข่ายเพื่อยื่นการขอการรับรอง	20
จ. การเขียนสัญลักษณ์และชื่อหน่วยและการแสดงค่าของปริมาณ	21

เอกสารวิชาการ

ข้อเสนอแนะการตีความและการนำ EURAMET cg – 15 ไปใช้สอบเทียบดิจิตอลมัลติมิเตอร์

1. วัตถุประสงค์

- 1.1 เอกสารนี้เป็นข้อเสนอแนะ (guidance document) รายละเอียดเนื้อหาของเอกสารนี้ไม่ให้นำไปบังคับใช้ เช่นเดียวกับข้อกำหนดที่ต้องปฏิบัติตาม
- 1.2 เอกสารนี้เป็นเอกสารเพื่อขยายความรู้วิธีการสอบเทียบ ดิจิตอลมัลติมิเตอร์ (Digital multimeter, DMM) ตาม EURAMET cg – 15 เพื่อให้เกิดความเข้าใจและการปฏิบัติในแนวทางเดียวกันอันจะเป็นประโยชน์ต่อการรับรองห้องปฏิบัติการสอบเทียบของ สำนักงานคณะกรรมการการมาตรฐานแห่งชาติ (Office of the National Standardization Council of Thailand, ONSC) และห้องปฏิบัติการสอบเทียบสามารถนำไปใช้ประกอบการจัดทำขั้นตอนการสอบเทียบรวมถึงการประเมินค่าความไม่แน่นอนของการวัด
- 1.3 กรณีห้องปฏิบัติการสอบเทียบไม่ดำเนินการตามรายละเอียดที่ระบุไว้ใน EURAMET cg – 15 หรือเอกสารนี้ได้ ห้องปฏิบัติการสอบเทียบต้องแสดงหลักฐานเพิ่มเติมในส่วนของการปฏิบัติที่เบี่ยงเบนไปจากเอกสารนี้

2. ขอบข่าย

- 2.1 เอกสารนี้ใช้กับ ดิจิตอลมัลติมิเตอร์ที่มีความถี่ไม่เกิน 1 MHz
- 2.2 เอกสารนี้ครอบคลุมเฉพาะวิธีวัดโดยตรง (direct measurement method) โดยแหล่งจ่ายเป็นเครื่องมือมาตรฐานที่ทราบค่า (standard source) และดิจิตอลมัลติมิเตอร์ ซึ่งเป็นเครื่องมือที่ถูกสอบเทียบ (unit under calibration)
- 2.3 เอกสารนี้ไม่ครอบคลุม ดิจิตอลมัลติมิเตอร์ชนิดมีแผงหน้าปัด (panel instrument)

3. นิยาม

ความหมายของคำที่ใช้ในเอกสารฉบับนี้ให้เป็นไปตาม EURAMET cg-15: Guidelines on the Calibration of Digital Multimeters.

4. มาตรฐานอ้างอิง

- 4.1 EURAMET cg-15: Guidelines on the Calibration of Digital Multimeters.
- 4.2 JCGM 100: 2008 (Guide to the expression of uncertainty in measurement).
- 4.3 JCGM 101: 2008 (Evaluation of measurement data – Supplement 1 to the “Guide to the expression of uncertainty in measurement” – Propagation of distributions using a Monte Carlo method.
- 4.4 JCGM 106: 2012 Evaluation of measurement data – The role of measurement uncertainty in conformity assessment.
- 4.5 JCGM 200: 2008 International vocabulary of metrology.
- 4.6 ILAC Policy on the Traceability of Measurement Results (ILAC P10:01/2013).
- 4.7 GUM workbench, Educational Version 2.4.1.384.

- 4.8 The International System of Units(SI): 8th edition, 2006.
- 4.9 ISO 14253-1 Geometrical product specifications (GPS) – Inspection by measurement of workpieces and measuring equipment –Part 1: Decision rules for verifying conformity or nonconformity with specifications
- 4.10 Jay L. Bucher, 2004, “The metrology handbook”, ASQ Quality Press, U.S.A, p. 329.
- 4.11 Jian Zhou and Jin Liu, “On the Measurement of Common-Mode Rejection Ratio”, IEEE TRANSACTIONS ON CIRCUITS AND SYSTEMS—II: EXPRESS BRIEFS, Vol. 52, No. 1, JAN. 2005.
- 4.12 Tektronix company, “Low Level Measurements Handbook”, 7th Edition, p. 2-3.
- 4.13 C. Cassiago, G. La Paglia, U. Pogliano, “Stability evaluation of high-precision multifunction instruments for traceability transfer”, IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, Vol. 49 , No. 6 , Dec. 2000.
- 4.14 Guideline on the Reporting of Compliance with Specification (ILAC G8)

5. ประเด็นการตีความด้านวิชาการ

- 5.1 วิธีดำเนินการ(procedure) มีรายละเอียด ดังนี้
 - (1) ถ้าผู้ใช้บริการสอบเทียบไม่ส่งอุปกรณ์ประกอบ (accessories) ของเครื่องมือที่ส่งผลกระทบต่อผลการวัดมาเพื่อประกอบการสอบเทียบให้ระบุการปฏิบัติและข้อความที่จะระบุในใบรับรองผลการสอบเทียบเกี่ยวกับอุปกรณ์ประกอบที่ใช้ในการสอบเทียบไว้ในขั้นตอนการดำเนินงานของห้องปฏิบัติการสอบเทียบและให้ถือว่ามีความสามารถดำเนินการสอบเทียบ
 - (2) ให้ปฏิบัติการเบื้องต้น (preliminary operation) เพื่อตรวจสอบสถานะความปลอดภัยและความผิดพลาดที่เป็นไปได้ของ ดิจิตอลมัลติมิเตอร์ โดยเตรียมการให้เครื่องมือ และอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง เข้าสู่เงื่อนไขการทำงานที่กำหนด
 - (3) ให้ระบุวิธีการตั้งค่า (setup) ตามคู่มือผู้ผลิตหรือตามการใช้งาน ของเครื่องมือมาตรฐานและดิจิตอลมัลติมิเตอร์ รวมทั้งแสดงแผนภาพ (schematic diagram) การต่อระหว่างเครื่องมือมาตรฐานกับดิจิตอลมัลติมิเตอร์ในพารามิเตอร์และฟังก์ชันที่ขอการรับรองในขั้นตอนการดำเนินงาน
 - (4) ให้ตั้งค่า เครื่องมือ และอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องของห้องปฏิบัติการสอบเทียบเพื่อให้ได้ ความแม่นยำที่ดีที่สุด (best measurement accuracy) ในขั้นตอนการสอบเทียบ ที่ทำให้กระบวนการสอบเทียบใช้เวลามากในกรณีที่ต้องการ ลดระยะเวลาการสอบเทียบ ดิจิตอลมัลติมิเตอร์ ความแม่นยำสูง ให้ทำได้เมื่อค่าความไม่แน่นอนของผลการวัดที่เพิ่มขึ้นไม่มีนัยสำคัญกับเกณฑ์การยอมรับของเครื่องมือ
 - (5) จุดสอบเทียบ(calibration points) ตาม EURAMET cg – 15 ให้เป็นไปตามที่ระบุไว้ในภาคผนวก ก และ
 - (5.1) ให้เบี่ยงเบน (deviate) ได้ $\pm 5\%$ ของค่าที่กำหนด
 - (5.2) กรณีที่มีจุดสอบเทียบเพิ่มเติมอื่นๆ ที่กำหนดตามความต้องการของลูกค้า ให้สามารถดำเนินการได้

(5.3) กรณีสอบเทียบบางพิสัย(range) หรือบางฟังก์ชันเพื่อให้ตรงตามการใช้งาน ให้กระทำได้ แต่การสอบเทียบในพิสัยนั้นต้องครบถ้วนตามที่มาตรฐาน IEC 61010-1:2011 กำหนด

(5.4) รายงานค่า zero offset ในทุกพิสัยการสอบเทียบ ยกเว้นฟังก์ชัน แรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ (AC voltage) และกระแสไฟฟ้ากระแสสลับ (AC current)

(6) การดำเนินการขจัดค่า offset ของการวัดให้เป็นไปตามคู่มือผู้ผลิต

(7) ในขั้นตอนการดำเนินงาน กรณีการสอบเทียบแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับตามตารางที่ 2 (ภาคผนวก ก) ต้องระบุหรือหมายเหตุแรงดันไฟฟ้าสูงสุด (peak voltage) และผลคูณของแรงดันไฟฟ้ากับความถี่ (voltage-frequency product) เพื่อป้องกันความเสียหายของเครื่องมือที่จะเกิดขึ้น

5.2 ความไม่แน่นอนการวัด (measurement uncertainty)

(1) ตัวอย่างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (mathematic model) และแหล่งที่มาของความไม่แน่นอน เพื่อใช้ในการ ประเมินความไม่แน่นอนของการวัด สำหรับการวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงรายละเอียดดัง ภาคผนวก ข

(1.1) กรณีการสอบเทียบดิจิทัลโวลต์มิเตอร์ชนิดความละเอียดน้อยกว่าหรือเท่ากับ $4 \frac{3}{4}$ หลัก ให้ใช้สมการดังนี้

$$E = V_{uuc_ind_averg} - V_{std_setting} + \delta V_{resolution}$$

(1.2) กรณีการสอบเทียบดิจิทัลโวลต์มิเตอร์ชนิดความละเอียดมากกว่า $4 \frac{3}{4}$ หลัก ให้ใช้สมการ ดังนี้

$$E = V_{uuc_ind_averg} - V_{std_cert} - \delta V_{std_Drift} - \delta V_{std_short_stability} + \delta V_{resolution} + \delta V_{com} + \delta V_{enff} + \delta V_{Loading}$$

(2) แหล่งที่มาของความไม่แน่นอนขั้นต่ำที่ใช้สำหรับการประเมินความไม่แน่นอนการวัดให้เป็นไปตามที่ แสดงในภาคผนวก ค

(3) การคำนวณค่าความไม่แน่นอนการวัด อันเนื่องมาจากการเลื่อน ค่า (drift) ของเครื่องมือมาตรฐานให้ ปฏิบัติ (ตามมติอนุกรรมการพิจารณารับรองห้องปฏิบัติการสอบเทียบ) กล่าวคือ

(1) กรณีมีประวัติการสอบเทียบของเครื่องมือมาตรฐานและมีค่าการเลื่อน ค่าของเครื่องมือ มาตรฐานน้อยมากเกือบเป็นศูนย์ค่าการเลื่อน ค่าของเครื่องมือมาตรฐาน ให้กำหนดได้จาก ความไม่แน่นอนที่นำเข้า (imported uncertainty) ที่ 1σ และกำหนดการกระจายแบบ สามเหลี่ยม (triangular) และตัวหาร (divisor) เท่ากับ $\sqrt{6}$

(2) กรณีเครื่องมือมาตรฐานที่ผ่านการสอบเทียบครั้งแรก ยังไม่รู้ค่าการเลื่อน ค่าให้กำหนดค่าการ เลื่อนค่าของเครื่องมือมาตรฐาน จากความไม่แน่นอนที่นำเข้า ที่ 2σ กำหนดการกระจายแบบ สี่เหลี่ยมผืนผ้า (rectangular) และตัวหารเท่ากับ $\sqrt{3}$

(3) กรณีมีประวัติการสอบเทียบของเครื่องมือมาตรฐานและมีค่าการเลื่อน ค่าของเครื่องมือ มาตรฐานจะได้ค่าการเลื่อนค่าของเครื่องมือมาตรฐาน เท่ากับค่าของปีล่าสุดลบด้วยค่าของปี ก่อนหน้ามีกระจายแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้าและตัวหารเท่ากับ $\sqrt{3}$

- (4) ในกรณีที่ไม่เป็นไปตามอัตราส่วนความแม่นยำ (test accuracy ratio, TAR) คือมากกว่า หรือเท่ากับ 4:1 ได้ในทุกฟังก์ชันและทุกพิสัยการวัดห้องปฏิบัติการสอบเทียบ สอบเทียบอาจนำอัตราส่วนความไม่แน่นอน (test uncertainty ratio, TUR) มาพิจารณาปรับใช้แทน โดยนำ 1) ความไม่แน่นอนจากใบรับรองผลการสอบเทียบ 2) การเลื่อนค่าระยะยาว (long-term drift) และ 3) เสถียรภาพระยะสั้น (short-term stability) มาพิจารณาเพิ่มเติม ทั้งนี้ต้องมีการทำหลักฐานประกอบมาให้ผู้ตรวจประเมินพิจารณาเพิ่มเติม

5.3 เครื่องมือมาตรฐานการสอบเทียบ และความสามารถสอบกลับได้ทางมาตริวิทยาของผลการวัด

- (1) เครื่องมือมาตรฐานต้องได้รับการสอบเทียบจากห้องปฏิบัติการสอบเทียบที่ได้รับการรับรองระบบงานตาม ISO/IEC 17025 และได้รับการพิสูจน์ว่าจริง (verification) เพื่อให้มั่นใจว่าเครื่องมือมาตรฐานดังกล่าวเป็นไปตามข้อกำหนดทางเทคนิค
- (2) การพิจารณาตัดสินความเป็นไปตามข้อกำหนดทางเทคนิคของเครื่องมือ มาตรฐานให้เป็นไปตาม JCGM 106:2012 หรือ ISO 14253-1
- (3) ความสามารถสอบกลับได้ทางมาตริวิทยาของผลการวัดให้เป็นไป ILAC Policy on the Traceability of Measurement Results (ILAC P10:01/2013)
- (4) การตรวจสอบระหว่างวงรอบการสอบเทียบ (intermediate check) ให้ทำโดยการตรวจสอบจุดที่เหมาะสมของพารามิเตอร์และพิสัยของเครื่องมือมาตรฐาน ซึ่งมีเกณฑ์การยอมรับแบ่งเป็นกรณี คือ
 - (1) กรณีใช้เงื่อนไข TAR ในการสอบเทียบให้เกณฑ์การยอมรับเท่ากับเกณฑ์ข้อกำหนดทางเทคนิคจากผู้ผลิต
 - (2) กรณีใช้เงื่อนไข TUR ในการสอบเทียบให้เกณฑ์การยอมรับเท่ากับเกณฑ์ค่าการเลื่อนค่าระยะยาว (long term drift)

5.4 การเขียนขอข่ายเพื่อขอรับการรับรอง

ตัวอย่างการเขียนขอข่ายเพื่อยื่นการขอการรับรองให้เป็นไปตามภาคผนวก ง

5.5 ใบรายงานผลการสอบเทียบ

- 5.5.1 หลักการเขียนสัญลักษณ์และหน่วยวัดและการแสดงค่าของปริมาณในใบรายงานผลการสอบเทียบให้เป็นไปตามภาคผนวก จ
- 5.5.2 การแสดงความสามารถสอบกลับได้ทางมาตริวิทยาของผลการวัดให้เป็นไปตาม ILAC P10:01/2013 โดยระบุรายละเอียดของเครื่องมือมาตรฐานที่ใช้ในการสอบเทียบ เช่น ชื่อเครื่องมือรุ่น หมายเลขเครื่องและวันสอบเทียบในใบรายงานผลการสอบเทียบ
- 5.5.3 ในกรณีที่ต้องตัดสิน ความเป็นไปตามข้อกำหนดทางเทคนิคของ ดิจิตอลมัลติมิเตอร์ ให้ปฏิบัติตาม JCGM 106:2012 หรือ ISO 14253-1 หรือ ILAC G8

ภาคผนวก: จุดสอบเทียบ (Calibration points)

Table 1. DMM resolution $\leq 4 \frac{3}{4}$ digits (39 999 counts)

Function	Measurement points ^(a)	
DC voltage	Zero ^(b) /+10 %, ± 90 %	
	± 10 %, +50 %, ± 90 % ^(c)	
DC current	Zero ^(b) , +90 %	
	+10 %, 50 % ^(d) , ± 90 %	
DC resistance	Zero ^(b) /+10 %, +90 %	
AC voltage AC+DC voltage	10 %	50 Hz/1 kHz ^(e)
	10 %, 50 %, 90 %	20 Hz ^(f) , 50Hz, 1 kHz
	90 %	20 Hz ^(f) , 50 Hz, 1 kHz, 20 kHz, 50 kHz, 100 kHz ^(g)
AC current	10 %	50 Hz/1 kHz ^(e)
	90 %	20 Hz, 50 Hz, 1 kHz, 5 kHz ^(g)
Others ⁽ⁱ⁾	Zero ^(b) /10 %, 90 %	

(a) Expressed as % of full scale value. (b) Zero in smallest measuring range. (c) At least five evenly distributed measuring points.(d) For range > 1A. (e) Only 1 frequency value. (f) If requested. (g) At least 3 frequency values. (h) Including the smallest. (i) Other function as e. g. Capacitance, Frequency.

Table 2. DMM resolution > $4 \frac{3}{4}$ digits (39 999 counts)

Function	Measurement points ^(a)	
DC voltage	Zero ^(b) /+10 %, +50 % ^(c) , ± 90 %	
	± 10 %, +30 %, ± 50 %, +70 %, ± 90 % ^(d)	
DC current	Zero ^(b) /+10 %, +90 %	
	+10 %, 50 % ^(e) , ± 90 %	
DC resistance	Zero ^(b) /+10 %, +90 %	
AC voltage AC+DC voltage	10 %	1 kHz
	10 %, 50 %, 90 %	20 Hz ^(f) , $40 \leq f \leq 60$ Hz ^(g) , 1 kHz
	90 %	20 Hz ^(f) , $40 \leq f \leq 60$ Hz ^(g) , 1 kHz, 20 kHz, 50 kHz, 100 kHz ^(h)
AC current	10 %	$40 \leq f \leq 60$ Hz ^(g) /1 kHz
	90 %	20 Hz ^(f) , $40 \leq f \leq 60$ Hz (f), 1 kHz, 5 kHz ^(h)
Others ⁽ⁱ⁾	Zero ^(b) /10 %, 90 %	

(a) Expressed as % of full scale value. (b) Zero in smallest measuring range. (c) For DMM of resolution $\geq 7 \frac{1}{2}$ digit 19 999 999 counts).(d) At least five evenly distributed measuring points.(e) For range > 1A.(f) If requested. (g) Only 1 frequency value in the interval. (h) At least 3 frequency values. (i) Including the smallest. (j) Other function as e. g. Capacitance, Frequency.

ภาคผนวก

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อประเมินความไม่แน่นอนของการวัด (Mathematical Model for Estimating Measurement Uncertainty)

การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบการวัด เพื่อประเมินความไม่แน่นอนของการวัด ขึ้นอยู่กับวิธีการวัด (measurement method) เช่น วิธีวัดตรง (direct measurement method) วัดโดยการแทนที่ (substitution measurement method) หรือวัดโดยทางอ้อม (indirect measurement method) ในเอกสารนี้จะยกตัวอย่าง เป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบการวัดตรงเท่านั้น เพื่อให้สอดคล้องกับการนำเอกสารนี้ไปใช้

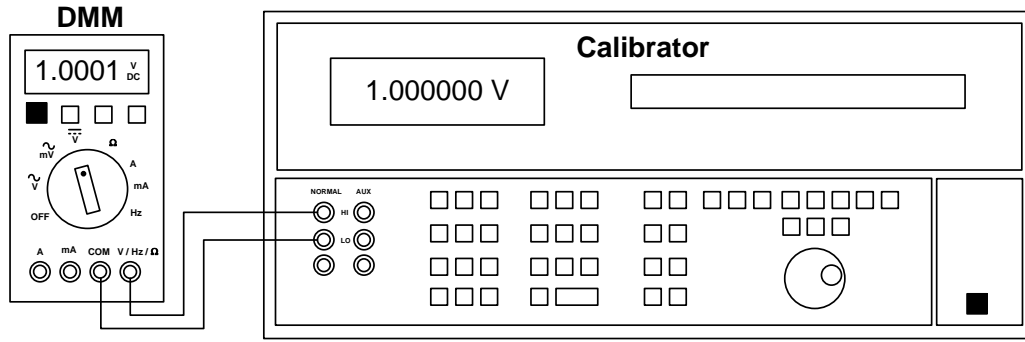
ข.1 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบการวัดตรง

การวัดตรงหมายถึงวิธีการวัดที่พิจารณาปริมาณที่วัดโดยตรง ซึ่งเป็นวิธีการวัดที่ง่ายและไม่ซับซ้อนโดยเครื่องมือมาตรฐาน (standard) ต่อโดยตรงกับเครื่องมือที่สอบเทียบ (unknown) ผ่านทางสายสัญญาณ ความถูกต้องของการวัดด้วยระบบนี้จะขึ้นกับความแม่นยำของเครื่องมือมาตรฐานโดยทั่วไประบบการวัดตรงแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ แหล่งจ่ายเป็นเครื่องมือมาตรฐานสอบเทียบ เครื่องมืออ่านเป็นเครื่องมือที่ถูกสอบเทียบและเครื่องมืออ่านเป็นเครื่องมือมาตรฐานสอบเทียบ แหล่งจ่ายเป็นเครื่องมือที่ถูกสอบเทียบ ตามเอกสารข้อแนะนำการสอบเทียบ ดิจิตอลมัลติมิเตอร์ EURAMET cg – 15 วิธีการวัดเป็นแบบวัดตรงโดยมีแหล่งจ่ายเป็นเครื่องมือมาตรฐานและเครื่องมือดิจิตอลมัลติมิเตอร์เป็นเครื่องมือที่รับการสอบเทียบ

เอกสารข้อแนะนำการสอบเทียบ ดิจิตอลมัลติมิเตอร์ตาม EURAMET cg – 15 แบ่งประเภทของดิจิตอลมัลติมิเตอร์ออกเป็น 2 ชนิดตามพื้นฐานความแม่นยำและความละเอียดของเครื่องมือ คือ ดิจิตอลมัลติมิเตอร์ชนิดความละเอียดน้อยกว่าหรือเท่ากับ $4 \frac{3}{4}$ หลักและดิจิตอลมัลติมิเตอร์ชนิดความละเอียดมากกว่า $4 \frac{3}{4}$ หลัก

ข.1.1 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการสอบเทียบดิจิตอลมัลติมิเตอร์ชนิดความละเอียดน้อยกว่าหรือเท่ากับ $4 \frac{3}{4}$ หลัก

ถ้าผู้ใช้งานสอบเทียบดิจิตอลมัลติมิเตอร์ (DMM) ชนิดความละเอียด $4 \frac{1}{2}$ หลัก ด้วยวิธีวัดตรงผ่านสายสัญญาณโดยแหล่งจ่ายสัญญาณทางไฟฟ้า (calibrator) เป็นเครื่องมือมาตรฐานดังรูปที่ ข.1 และกำหนดให้อัตราส่วนความแม่นยำ (TAR) ของ calibrator และดิจิตอลมัลติมิเตอร์มีค่ามากกว่า 4:1 ทั้งนี้ calibrator ต้องได้รับการสอบเทียบโดยผลการพิสูจน์ว่าจริง (verify) เป็นไปตามข้อกำหนดทางเทคนิค



รูปที่ ข.1.การสอบเทียบดิจิตอลมัลติมิเตอร์ด้วยcalibrator โดยวิธีวัดตรงผ่านทางสายสัญญาณ

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ทั่วไปแสดงความคลาดเคลื่อน ระบุของดิจิตอลมัลติมิเตอร์ (indication error of DMM), E :

$$E = \Delta V_{uuc} - \Delta V_{std} \quad (1)$$

ความคลาดเคลื่อนของการวัดของดิจิตอลมัลติมิเตอร์(measurement error of the DMM), ΔV_{uuc}

$$\Delta V_{uuc} = V_{uuc_ind} - V_{uuc_input} \quad (2)$$

เมื่อ V_{uuc_ind} คือแรงดันไฟฟ้าที่ระบุ(indicated voltage of the DMM)
 V_{uuc_input} คือแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วต่อ (input voltage at terminal of the DMM)

แรงดันไฟฟ้าที่ระบุ, V_{uuc_ind}

$$V_{uuc_ind} = V_{uuc_ind_averg} + \delta V_{resolution} \quad (3)$$

เมื่อ $V_{uuc_ind_averg}$ คือแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยที่ระบุ(indicated mean voltage of the DMM)
 $\delta V_{resolution}$ คือค่าแก้แรงดันไฟฟ้าเนื่องจากความละเอียดของดิจิตอลมัลติมิเตอร์(correction due to the finite resolution of DMM)

นำสมการ (3) แทนในสมการ (2) ได้เป็น $\Delta V_{uuc} = V_{uuc_ind_averg} - V_{uuc_input} + \delta V_{resolution}$ (4)

ความคลาดเคลื่อนของcalibrator(measurement error of the calibrator), ΔV_{std}

$$\Delta V_{std} = V_{std_cal_setting} - V_{std_setting} \quad (5)$$

เมื่อ $V_{std_setting}$ คือแรงดันไฟฟ้ามาตรฐานที่กำหนด (setting voltage of the calibrator)
 $V_{std_cal_setting}$ คือแรงดันไฟฟ้ามาตรฐานจากใบรับรองการสอบเทียบ (calibrated voltage setting of the calibrator)

นำสมการ (4) และสมการ (5) แทนในสมการ (1) ได้เป็น

$$E = V_{uuc_ind_averg} - V_{uuc_input} + \delta V_{resolution} + V_{std_setting} - V_{std_cal_setting} \quad (6)$$

ถ้าความคลาดเคลื่อนที่เป็นผลมาจากสายสัญญาณ แรงเคลื่อนไฟฟ้าเนื่องจากอุณหภูมิ (thermal emf) และโหลด (loading) น้อยมาก และ การ ทวนสอบผลการสอบเทียบจากใบรับรองผลสอบเทียบของ calibrator พบว่า $(\Delta V_{std} \pm U_{std}) \ll \delta V_{std_accuracy}$

ดังนั้น
$$V_{uuc_input} \cong V_{std_setting} \cong V_{std_cal_setting} \quad (7)$$

เมื่อ $\delta V_{std_accuracy}$ คือค่าแก้แรงดันไฟฟ้าเนื่องจากความแม่นยำของ calibrator (correction due to the accuracy of calibrator)
 U_{std} คือความไม่แน่นอนขยาย (expanded uncertainty) จากใบรับรองผลการสอบเทียบของ calibrator

แทนสมการ (7) แทนในสมการ (6) จะได้เป็น

$$E = V_{uuc_ind_averg} - V_{std_setting} + \delta V_{resolution} \quad (8)$$

1.1 ตัวอย่าง แสดงการคำนวณ ผลการวัด แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงสำหรับ ดิจิตอลมัลติมิเตอร์ ชนิด ความละเอียด 4 ½ หลัก

ขั้นตอนการปฏิบัติก่อนและระหว่างดำเนินการสอบเทียบให้ปฏิบัติตามคู่มือของผู้ผลิตอย่างเคร่งครัด รวมทั้งการเลือกสายสัญญาณและขั้วต่อให้เหมาะสมเพื่อหลีกเลี่ยงผลกระทบต่อผลการวัดของระบบการวัดผลการสอบเทียบดังตารางที่ ข.1 โดยกำหนดให้ calibrator มีค่าความแม่นยำ (accuracy) เท่ากับ 0.000020 V และผลการประเมินความไม่แน่นอนดังตารางที่ ข.2

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่แสดงความคลาดเคลื่อนชี้บอกของดิจิตอลมัลติมิเตอร์ (indication error of DMM), E:

$$E = V_{uuc_ind_averg} - V_{std_setting} + \delta V_{resolution} \quad (9)$$

ตารางที่ ข.1 ผลการวัด

Calibrator Setting ($V_{std_setting}$)	DMM reading (V_{uuc_i})				ค่าเฉลี่ย ($V_{uuc_ind_averg}$)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	
1.000 000 V	1.000 1 V	1.000 2 V	1.000 2 V	1.000 2 V	1.000 2 V

ตารางที่ ข.2 แสดงแหล่งที่มาของความไม่แน่นอน (uncertainty budget) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95.45 %

Quantity (x_i)	Source of Uncertainty	Estimate (x_i)	Standard Uncertainty $u(x_i)$		Probability Distribution	C_i	Uncertainty Contribution $u_i(y)$	ν_i or ν_{eff}
			Value	Divisor				
$V_{uuc_ind_averg}$	แรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยที่ระบุ (Indicated Voltage Mean Value of the DMM)	1.000 18 V	25×10^{-6} V	1	Normal	1	25×10^{-6} V	3
$V_{std_setting}$	แรงดันไฟฟ้ามาตรฐานกำหนด (Setting Voltage of the Calibrator)	1.000 000 V	0.000 020 V	$\sqrt{3}$	Rectangular	-1	-12×10^{-6} V	∞
$\delta V_{resolution}$	ค่าแก้แรงดันไฟฟ้าเนื่องจากความ ละเอียดของ ดิจิตอลมัลติมิเตอร์ (correction due to the finite resolution of DMM)	0.000 0 V	0.000 05 V	$\sqrt{3}$	Rectangular	1	29×10^{-6} V	∞
			$u_c(y)$	Normal			39.9×10^{-6} V	16
E	ความคลาดเคลื่อนขึ้นบอกรของ ดิจิตอลมัลติมิเตอร์ (Indication Error of DMM)	1.8×10^{-4} V	U	Normal ($k = 2.14$)			85×10^{-6} V	16

การรายงานผลการวัด DC voltage ที่ระดับความเชื่อมั่น 95.45 %

Range	Applied Input	Indicated Value	Error	Uncertainty
1 V	1.000 000 V	1.000 2 V	2×10^{-4} V	0.85×10^{-4} V

ข.1.2 ตัวอย่าง แสดงการคำนวณ ผลการวัด แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงสำหรับ ดิจิตอลมัลติมิเตอร์ ชนิด ความละเอียด 3 ½ หลัก

ขั้นตอนการปฏิบัติก่อนและระหว่างดำเนินการสอบเทียบให้ปฏิบัติตามคู่มือของผู้ผลิตอย่างเคร่งครัด รวมทั้งการเลือกสายสัญญาณและขั้วต่อให้เหมาะสมเพื่อหลีกเลี่ยงผลกระทบต่อผลการวัดของระบบการวัดผลการสอบเทียบดังตารางที่ ข.3 โดยกำหนดให้ calibrator มีค่าความแม่นยำเท่ากับ 0.000020 V และผลการประเมินความไม่แน่นอนดังตารางที่ ข.4

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่แสดงความคลาดเคลื่อนขึ้นบอกรของดิจิตอลมัลติมิเตอร์ (indication error of DMM), E :

$$E = V_{uuc_ind_averg} - V_{std_setting} + \delta V_{resolution} \quad (10)$$

ตารางที่ ข.3 ผลการวัด

Calibrator Setting ($V_{std_setting}$)	DMM reading(V_{uuc_i})				ค่าเฉลี่ย ($V_{uuc_ind_averg}$)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	
1.000 000 V	1.001 V	1.001 V	1.001 V	1.001 V	1.001 V

ตารางที่ ข.4 แสดงแหล่งที่มาของความไม่แน่นอน (uncertainty budget) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95.45 %

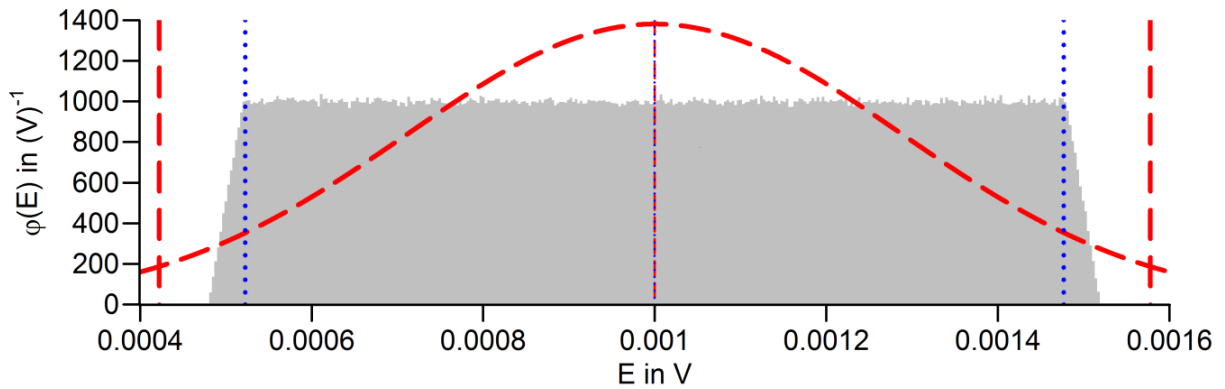
Quantity (x_i)	Source of Uncertainty	Estimate (x_i)	Standard Uncertainty $u(x_i)$		Probability Distribution	C_i	Uncertainty Contribution $u(y)$	v_i or v_{eff}
			Value	Divisor				
$V_{uuc_ind_averg}$	แรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยที่ระบุ (Indicated Voltage Mean Value of the DMM)	1.001 V	0.000 V	1	Normal	1	0.000 V	3
$V_{std_setting}$	แรงดันไฟฟ้ามาตรฐานกำหนด (Setting Voltage of the Calibrator)	1.000 000 V	0.000 020 V	$\sqrt{3}$	Rectangular	-1	-12×10^{-6} V	∞
$\delta V_{resolution}$	ค่าแก้แรงดันไฟฟ้าเนื่องจากความ ละเอียดของ ดิจิตอลมัลติมิเตอร์ (correction due to the finite resolution of DMM)	0.000 V	0.000 5 V	$\sqrt{3}$	Rectangular	1	2.9×10^{-4} V	∞
			$u_c(y)$	Normal			2.9×10^{-4} V	∞
E	ความคลาดเคลื่อนขึ้นบอกของ ดิจิตอลมัลติมิเตอร์ (Indication Error of DMM)	1×10^{-3} V	U	Normal ($k = 2.00$)			0.58×10^{-3} V	∞

การรายงานผลการวัด DC voltage ที่ระดับความเชื่อมั่น 95.45 %, $k = 2.00$ (JCGM100: 2008)

Range	Applied Input	Indicated Value	Error	Uncertainty
1 V	1.000 000 V	1.001 V	1×10^{-3} V	0.58×10^{-3} V

จากตารางที่ ข.4 การประเมินความไม่แน่นอนตามเอกสารมาตรฐาน JCGM100: 2008 พบว่าการแจกแจงความน่าจะเป็น (Probability Distribution) ของความไม่แน่นอน U ปริมาณเอาท์พุท E เป็นแบบปกติ (normal distribution) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95.45 %, $k = 2.00$ ดังเส้นประ ในรูปที่ ข.2

อย่างไรก็ตามหากใช้หลักการการประเมินความไม่แน่นอนตาม JCGM101: 2008 พบว่าการแจกแจงความน่าจะเป็นของความไม่แน่นอน U ของปริมาณเอาท์พุท E ใช้การจำลอง Monte Carlo จำนวน 2330000 ครั้ง เป็นแบบสี่เหลี่ยมคางหมู (Trapezoid Distribution) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95.45 %, $k = 1.66$ ดังเส้นประแบบจุดในรูปที่ ข.2



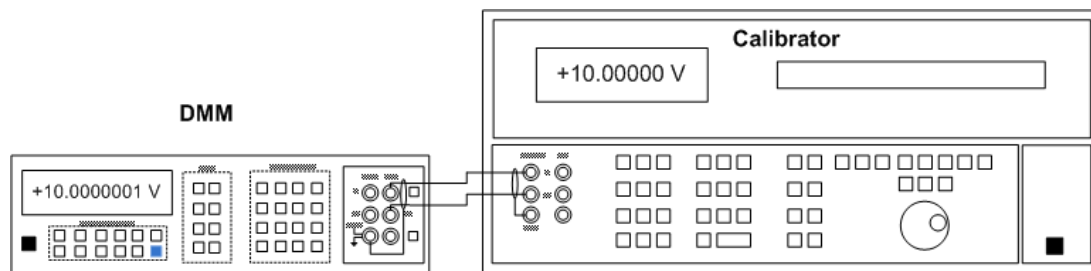
รูปที่ ข.2 การแจกแจงความน่าจะเป็นของความไม่แน่นอน U ของปริมาณเอาต์พุต E โดยใช้หลักการการประเมินความไม่แน่นอนตาม JCGM100: 2008 และ JCGM101: 2008 (Monte Carlo)

การรายงานผลการวัด DC Voltage ที่ระดับความเชื่อมั่น 95.45 % $k = 1.66$ (JCGM101: 2008)

Range	Applied Input	Indicated Value	Error	Uncertainty
1 V	1.000 000 V	1.001 V	1×10^{-3} V	0.48×10^{-3} V

ข.1.2 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการสอบเทียบดิจิตอลมัลติมิเตอร์ชนิดความละเอียดมากกว่า 4 ¼ หลัก

ถ้าผู้ใช้งานสอบเทียบดิจิตอลมัลติมิเตอร์ ชนิดความละเอียด 8 ½ หลักด้วยวิธีวัดตรงผ่านสายสัญญาณโดยแหล่งจ่ายสัญญาณทางไฟฟ้า (calibrator) เป็นเครื่องมือมาตรฐาน ดังรูปที่ ข.3 และกำหนดให้อัตราส่วนความแม่นยำ (TAR) ระหว่างcalibratorและดิจิตอลมัลติมิเตอร์มีค่าน้อยกว่า4:1 ทั้งนี้ calibrator ต้องได้รับการสอบเทียบโดยผลการทวนสอบเป็นไปตามข้อกำหนดทางเทคนิค



รูปที่ ข.3.การสอบเทียบ ดิจิตอลมัลติมิเตอร์ด้วยcalibrator โดยวิธีวัดตรงผ่านทางสายสัญญาณ

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ทั่วไปที่แสดงความคลาดเคลื่อน ชั่วบอกของดิจิตอลมัลติมิเตอร์ (indication error of DMM), E :

$$E = \Delta V_{unc} - \Delta V_{std} \quad (11)$$

ความคลาดเคลื่อนของการวัดของ ดิจิตอลมัลติมิเตอร์(measurement error of the DMM), ΔV_{uuc}

$$\Delta V_{uuc} = V_{uuc_ind} - V_{uuc_input} \quad (12)$$

เมื่อ V_{uuc_ind} คือแรงดันไฟฟ้าที่ระบุ(indicated voltage of the DMM)
 V_{uuc_input} คือแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วต่อ (input voltage at terminal of the DMM)
 แรงดันไฟฟ้าที่ขั้วออก, V_{uuc_ind}

$$V_{uuc_ind} = V_{uuc_ind_avg} + \delta V_{resolution} + \delta V_{com} \quad (13)$$

เมื่อ $V_{uuc_ind_avg}$ คือแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยที่ระบุ(indicated mean voltage of the DMM)
 $\delta V_{resolution}$ คือค่าแก้แรงดันไฟฟ้าเนื่องจากความละเอียดของดิจิตอลมัลติมิเตอร์(correction due to the finite resolution of DMM)
 δV_{com} คือค่าแก้แรงดันไฟฟ้าเนื่องจากcommon mode rejection ของดิจิตอลมัลติมิเตอร์(correction due to the common mode rejection of DMM)

นำสมการ (13) แทนใน (12) ได้เป็น
$$\Delta V_{uuc} = V_{uuc_ind_avg} - V_{uuc_input} + \delta V_{resolution} + \delta V_{com} \quad (14)$$

ความคลาดเคลื่อนของcalibrator(measurement error of the calibrator), ΔV_{std}

$$\Delta V_{std} = V_{std_cal_setting} - V_{std_setting} \quad (15)$$

เมื่อ $V_{std_setting}$ คือแรงดันไฟฟ้ามาตรฐานกำหนด (setting voltage of the calibrator)
 $V_{std_cal_setting}$ คือแรงดันไฟฟ้ามาตรฐานจากใบรับรองการสอบเทียบ (setting calibrated voltage of the calibrator)

แรงดันไฟฟ้ามาตรฐานจากใบรับรองการสอบเทียบ, $V_{std_cal_setting}$

$$V_{std_cal_setting} = V_{std_cert} + \delta V_{std_Drift} + \delta V_{std_short_stability} \quad (16)$$

เมื่อ V_{std_cert} คือแรงดันไฟฟ้ามาตรฐาน (calibrated voltage of the calibrator)
 δV_{std_Drift} คือค่าแก้แรงดันไฟฟ้าเนื่องจากการเลื่อนค่าของcalibrator
 $\delta V_{std_short_stability}$ คือค่าแก้แรงดันไฟฟ้าเนื่องจากความเสถียรระยะสั้น (short term stability)ของระบบการวัด

นำสมการ (16) แทนใน (15) ได้เป็น

$$\Delta V_{std} = V_{std_cert} - V_{std_setting} + \delta V_{std_Drift} + \delta V_{std_short_stability} \quad (17)$$

นำสมการ (14) และ (17) แทนในสมการ (11) ได้เป็น

$$E = V_{uuc_ind_avg} - V_{uuc_input} - V_{std_cert} + V_{std_setting} + \delta V_{resolution} + \delta V_{com} - \delta V_{std_Drift} - \delta V_{std_short_stability} \quad (18)$$

ถ้าความคลาดเคลื่อนที่เป็นผลมา thermal emfและโหลด ระหว่าง ดิจิตอลมัลติมิเตอร์ และcalibrator ประมาณได้เป็น

$$V_{uuc_input} - V_{std_setting} \cong \delta V_{emf} + \delta V_{Loading} \quad (19)$$

เมื่อ δV_{emf} คือค่าแก้แรงดันไฟฟ้าเนื่องจาก thermal emf
 $\delta V_{Loading}$ คือค่าแก้แรงดันไฟฟ้าเนื่องจากโหลด

สมการ (19) แทนใน สมการ (18) ได้เป็น

$$E = V_{uuc_ind_averg} - V_{std_cert} - \delta V_{std_Drift} - \delta V_{std_short_stability} + \delta V_{resolution} + \delta V_{com} + \delta V_{emf} + \delta V_{Loading} \quad (20)$$

2.1 ตัวอย่าง แสดงการคำนวณ ผลการวัด แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงสำหรับ ดิจิตอลมัลติมิเตอร์ ชนิดความละเอียด 8 ½ หลัก

ขั้นตอนการปฏิบัติก่อนและระหว่างดำเนินการสอบเทียบให้ปฏิบัติตามคู่มือของผู้ผลิตอย่างเคร่งครัด รวมทั้งการเลือกสายสัญญาณและขั้วต่อให้เหมาะสมเพื่อหลีกเลี่ยงผลกระทบต่อผลการวัดของระบบการวัด เช่นเลือก สายวัด Low thermal รอเวลาประมาณ 180 วินาทีเพื่อให้อุณหภูมิเหมาะสมระหว่างขั้วสายและขั้วของ ดิจิตอลมัลติมิเตอร์ เข้าหากันและเลือกฟังก์ชัน DCV และเลือกย่านการวัดรวมถึงการตั้งค่าการวัด เช่น Zerooffset, digit, Filter, NPLC และ Guard เป็นต้น ของดิจิตอลมัลติมิเตอร์ตามคู่มือที่กำหนดผลการวัดดังตารางที่ ข.5 และผลการประเมินความไม่แน่นอนดังตารางที่ ข.6

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่แสดงความคลาดเคลื่อนซึ่งบอกของดิจิตอลมัลติมิเตอร์ (indication error of DMM), E:

$$E = V_{uuc_ind_averg} - V_{std_cert} - \delta V_{std_Drift} - \delta V_{std_short_stability} + \delta V_{resolution} + \delta V_{com} + \delta V_{emf} + \delta V_{Loading}$$

ตารางที่ ข.5 ผลการวัด

Calibrator (V_{std_cert})	DMM reading (V_{uuc_i})				ค่าเฉลี่ย ($V_{uuc_ind_averg}$)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	
9.999 985 2 V	9.999 977 8 V	9.999 977 5 V	9.999 977 7 V	9.999 977 3 V	9.999 977 6 V

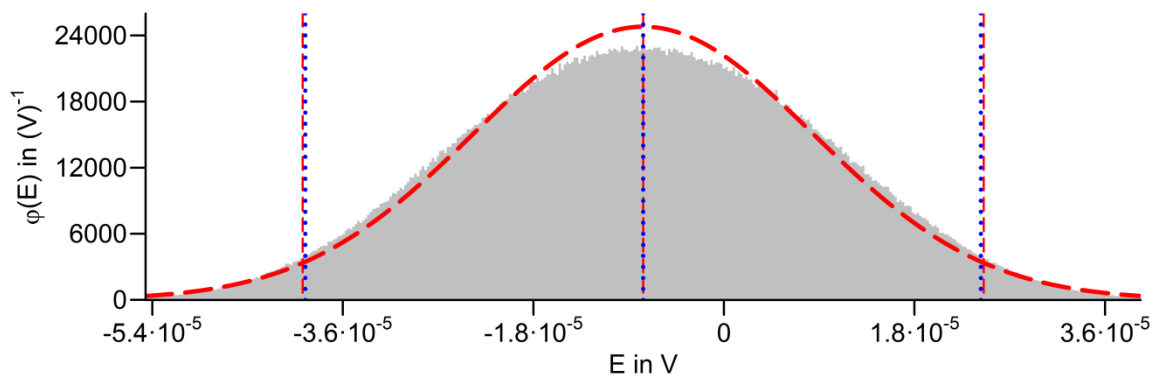
ตารางที่ ข.6 แสดงแหล่งที่มาของความไม่แน่นอน (uncertainty budget) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95.45 %

Quantity (X_i)	Source of Uncertainty	Estimate (x_i)	Standard Uncertainty $u(x_i)$		Probability Distribution	C_i	Uncertainty Contribution $u_i(y)$	U_i or U_{eff}
			Value	Divisor				
$V_{uuc_ind_avg}$	แรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยที่ระบุ (Indicated Voltage Mean Value of the DMM)	9.999 977 6 V	110×10^{-9} V	1	Normal	1	110×10^{-9} V	3
V_{std_cert}	แรงดันไฟฟ้ามาตรฐาน (Calibrated Voltage of the Calibrator)	9.999 985 2 V	10×10^{-6} V	2	Normal	-1	-5.0×10^{-6} V	∞
δV_{std_Drift}	คือค่าแก้แรงดันไฟฟ้าเนื่องจาก Drift ของ Calibrator	0.000 000 V	10×10^{-6} V	$\sqrt{3}$	Rectangular	-1	-5.8×10^{-6} V	∞
$\delta V_{std_short_stability}$	คือค่าแก้แรงดันไฟฟ้าเนื่องจาก Short term stability ของ ระบบ การวัด	0.000 000 V	20×10^{-6} V	$\sqrt{3}$	Rectangular	-1	-12.6×10^{-6} V	∞
$\delta V_{resolution}$	ค่าแก้แรงดันไฟฟ้าเนื่องจากความ ละเอียดของดิจิตอลมิเตอร์ (correction due to the finite resolution of DMM)	0.000 000 0V	50×10^{-9} V	$\sqrt{3}$	Rectangular	1	29×10^{-9} V	∞
δV_{com}	คือค่าแก้แรงดันไฟฟ้าเนื่องจาก Common Mode Rejection ของ ดิจิตอลมิเตอร์	0.000 000 0V	1×10^{-6} V	$\sqrt{3}$	Rectangular	1	580×10^{-9} V	∞
δV_{emf}	คือค่าแก้แรงดันไฟฟ้าเนื่องจาก Thermal emf	0.000 000 V	10×10^{-6} V	$\sqrt{3}$	Rectangular	1	5.8×10^{-6} V	∞
$\delta V_{Loading}$	คือค่าแก้แรงดันไฟฟ้าเนื่องจาก Loading	0.000 000 V	10×10^{-6} V	$\sqrt{3}$	Rectangular	1	5.8×10^{-6} V	∞
			$u_c(y)$		Normal		16.1×10^{-6} V	∞
E	ความคลาดเคลื่อนชี้บอกของ ดิจิตอลมิเตอร์ (Indication Error of DMM)	-7.6×10^{-6} V	U		Normal ($k = 2.00$)		32×10^{-6} V	∞

การรายงานผลการวัด DC voltage ที่ระดับความเชื่อมั่น 95.45 % (JCGM100: 2008)

Range	Applied Input	Indicated Value	Error	Uncertainty
10 V	9.999 985 2 V	9.999 977 6V	-7.6×10^{-6} V	32×10^{-6} V

ผลการวัดและการประเมินความไม่แน่นอนตามเอกสารมาตรฐาน JCGM100: 2008 พบว่าการแจกแจงความน่าจะเป็น (probability distribution) ของความไม่แน่นอน U ของปริมาณเอาต์พุต E เป็นแบบปกติ (normal distribution) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95.45 % ดังเส้นประ ในรูปที่ ข.4 แต่หากใช้หลักการการประเมินความไม่แน่นอนตาม JCGM101: 2008 พบว่าการแจกแจงความน่าจะเป็นของความไม่แน่นอน U ของปริมาณเอาต์พุต E ใช้การจำลอง Monte Carlo จำนวน 2000000 ครั้ง เป็นแบบปกติที่ระดับความเชื่อมั่น 95.45 %, $k = 2.00$ ดังเส้นจุดในรูปที่ ข.4



รูปที่ ข.4 การแจกแจงความน่าจะเป็นของความไม่แน่นอน U ของปริมาณเข้าที่พุด E โดยใช้หลักการการประเมินความไม่แน่นอนตาม JCGM100: 2008 และ JCGM101: 2008

เอกสารภาคผนวก:แหล่งที่มาของความไม่แน่นอนการวัดสำหรับการสอบเทียบดิจิตอลมัลติมิเตอร์

Function	แหล่งที่มาของความไม่แน่นอนการวัด(อย่างน้อย)สำหรับการสอบเทียบดิจิตอลมัลติมิเตอร์								
	Type A	Type B							
	Repeatability	Accuracy	Resolution	Thermal emf ^[ref.4.10]	Common mode rejection ^[ref.4.11]	Loading error ^[ref.4.12]	Calibration certificate	Long term drift	Short term stability ^[ref.4.13]
DC Voltage	□♣♦	□♣	□♣♦	♣♦	♣♦	♣♦	♦	♦	♦
AC Voltage	□♣♦	□♣	□♣♦			♣♦	♦	♦	♦
DC Current	□♣♦	□♣	□♣♦				♦	♦	♦
AC Current	□♣♦	□♣	□♣♦				♦	♦	♦
DC Resistance	□♣♦	□♣	□♣♦				♦	♦	♦

□ดิจิตอลมัลติมิเตอร์ชนิดความละเอียดน้อยกว่าหรือเท่ากับ 5 ½ หลัก

♣ดิจิตอลมัลติมิเตอร์ชนิดความละเอียดมากกว่า 6 ½ หลัก ในกรณี TAR มากกว่า 4:1

♦ดิจิตอลมัลติมิเตอร์ชนิดความละเอียดมากกว่า 6 ½ หลัก ในกรณี TAR น้อยกว่า 4:1 และ TUR มากกว่า 4:1

หมายเหตุ[ref.4.10],[ref.4.11],[ref.4.12] และ [ref.4.13] คือ มาตรฐานอ้างอิงในข้อ 4

เอกสารภาคผนวก: ตัวอย่างการเขียนขอบข่ายเพื่อยื่นการขอการรับรอง

สาขาการสอบเทียบ	รายการสอบเทียบ	ขีดความสามารถของการสอบเทียบและการวัด	วิธีการสอบเทียบ
ไฟฟ้า	Measuring instrument DC voltage 0 mV to < 330 mV 0.33 V to < 3.3 V 3.3 V to < 33 V AC voltage 10 Hz to 45 Hz 3 mV to < 33 mV 33 mV to < 330 mV DC current 0.1 mA to < 3.3 mA 3.3 mA to < 33 mA AC Current 10 Hz to 20 Hz 0.029 mA to < 0.33 mA 0.33 mA to < 3.3 mA DC resistance 1 Ω 10 Ω 0.1 Ω to < 11 Ω	 69 μV/V + 3.7 μV 58 μV/V + 6.0 μV 58 μV/V + 60 μV 4.0 mV/V + 24 μV 2.9 mV/V + 58 μV 0.15 mA/A + 0.059 μA 0.12 mA/A + 0.30 μA 2.9 mA/A + 0.18 μA 2.3 mA/A + 0.36 μA 58 μΩ 58 μΩ 0.12mΩ/Ω + 2.3 mΩ	EURAMET cg-15

เอกสารภาคผนวก

การเขียนสัญลักษณ์และชื่อหน่วยและการแสดงค่าของปริมาณ

(Writing unit symbols and names, and expressing the values of quantities)

1. สัญลักษณ์หน่วยจะต้องเขียนด้วย ตัวพิมพ์เล็กและตัวตรง
ตัวอย่างเช่น m (meter) s (second) แต่มีข้อยกเว้น คือ หากว่าหน่วยนั้นตั้งชื่อมาจากชื่อคนเช่น A (Ampere) K (Kelvin) Pa (Pascal) และ ลิตร ใช้ L เพื่อไม่ให้สับสนกับเลข “1” หรือตัวโอ “I”
2. สัญลักษณ์ของปริมาณหรือตัวแปรจะเขียนด้วยอักษรตัวเอียง
ตัวอย่างเช่น อุณหภูมิ $T = 293\text{K}$ หรือ ความต่างศักย์ทางไฟฟ้า $U = 100\text{ V}$ หรือ ความดันไอน้ำ $p = 0.518\text{ MPa}$ หรือ เวลา $t = 3\text{ s}$ หรือตัวประกอบครอบคลุม $k = 2.0$
3. ข้อมูลลักษณะเฉพาะของปริมาณต้องแสดงในสัญลักษณ์ของปริมาณซึ่งไม่ใช่แสดงที่สัญลักษณ์ของหน่วย
ตัวอย่างเช่น $U_{\text{rms}} = 100\text{ V}$ ไม่ใช่ $U = 100\text{ V}_{\text{rms}}$
4. สัญลักษณ์หน่วยจะมีรูปเป็นเอกพจน์เสมอ
ตัวอย่างเช่น $l = 75\text{ cm}$ ไม่ใช่ $l = 75\text{ cms}$
5. สัญลักษณ์หน่วยจะถือว่ามีความหมายเชิงคณิตศาสตร์ จึงไม่ใช่ อักษรตัวย่อหรือไม่ลงท้ายด้วยเครื่องหมายมหัพภาค (.) ยกเว้นกรณี ที่สัญลักษณ์หน่วยนั้นลงท้ายประโยคในการเขียนภาษาอังกฤษ
ตัวอย่างเช่น
(1) 20 mm, 10 kg, 75 cm ไม่ใช่ 20 mm., 10 kg., 75 cm.
(2) “Its length is 75 cm.” หรือ “It is 75 cm long.” ไม่ใช่ “It is 75 cm. long.”
6. สัญลักษณ์หน่วยที่ได้มาจากการคูณกันของหน่วยสองหน่วยต้องเขียนโดยใช้ “ . ” หรือ ที่ว่างคั่นกลาง
ตัวอย่างเช่น N·m หรือ N m ไม่ใช่ Nm
7. คำอุปสรรคต้องเขียนติดกับสัญลักษณ์ของหน่วย
ตัวอย่างเช่น cm ไม่ใช่ c m
8. สัญลักษณ์ของหน่วยที่ได้มาจากการหารกันจะเชื่อมกันด้วยเครื่องหมายทับ (/) หรือยกกำลังด้วยเลขติดลบ โดยให้ใช้เครื่องหมายทับได้เพียงครั้งเดียว
ตัวอย่างเช่น m/s^2 หรือ $\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$ ไม่ใช่ m/s/s
9. ไม่นำสัญลักษณ์ของหน่วยและชื่อของหน่วยมาเขียนรวมกัน และไม่มีการดำเนินการทางคณิตศาสตร์กับชื่อของหน่วย
ตัวอย่างเช่น kg/m^3 หรือ kilogram per cubic meter ไม่ใช่ kilogram/m^3 , kg/cubic meter, kilogram per meter³
10. ไม่ใช่คำย่อต่าง ๆ แทนสัญลักษณ์ของหน่วยหรือชื่อหน่วย
ตัวอย่างเช่น ไม่ใช่ sec (แทน s หรือ second), mins (แทน min หรือ minutes), lit (แทน L หรือ liter)
11. ต้องมีช่องว่างระหว่างสัญลักษณ์ของหน่วยและตัวเลข

- ตัวอย่างเช่น 23°C ไม่ใช่ 23°C หรือ 23°C
12. การจัดรูปแบบตัวเลขทศนิยมถ้าตัวเลขอยู่ระหว่าง -1 และ +1 ต้องมีเลข 0 หน้าจุดทศนิยมเสมอ
ตัวอย่างเช่น -0.234 หรือ 0.234 ไม่ใช่ $-.234$ หรือ $.234$
 13. ถ้าจำนวนมีตัวเลขหลายหลัก สามารถแบ่งกลุ่มตัวเลขเป็นกลุ่มละสามด้วยช่องว่าง เพื่อช่วยต่อการอ่านแต่จะไม่ใช้เครื่องหมายจุลภาค (comma “,”) แบ่ง
ตัวอย่างเช่น 123456.67890 เป็น 123 456.678 ไม่ใช่ 123,456.678
 14. การเขียนสัญกรณ์คณิตศาสตร์เพื่อแสดงสิ่งต่างๆ
ตัวอย่างเช่น
 - (1) $35\text{ cm} \times 48\text{ cm}$ ไม่ใช่ $35 \times 48\text{ cm}$
 - (2) $1\text{ MHz to }10\text{ MHz}$ หรือ $(1\text{ to }10)\text{ MHz}$ ไม่ใช่ $1\text{ MHz} - 10\text{ MHz}$ และ $1\text{ to }10\text{ MHz}$
 - (3) $20^{\circ}\text{C to }30^{\circ}\text{C}$ หรือ $(20\text{ to }30)^{\circ}\text{C}$ ไม่ใช่ $20^{\circ}\text{C} - 30^{\circ}\text{C}$ หรือ $20\text{ to }30^{\circ}\text{C}$
 - (4) $123\text{ g} \pm 2\text{ g}$ or $(123 \pm 2)\text{ g}$ ไม่ใช่ $123 \pm 2\text{ g}$
 - (5) $70\% \pm 5\%$ or $(70 \pm 5)\%$ ไม่ใช่ $70 \pm 5\%$
 15. ในกรณีการคูณและการหารของสัญลักษณ์ของปริมาณให้แสดงในรูปดังต่อไปนี้
 $ab, a b, a \cdot b, a \times b, a/b, b a, a b^{-1}$
ตัวอย่างเช่น
 - (1) แรงเท่ากับมวลคูณกับอัตราเร่ง $F = ma$
 - (2) ความต่างศักย์ไฟฟ้าเท่ากับกระแสคูณกับความต้านทาน เช่น $U = IR$
 - (3) ความหนาแน่นเท่ากับมวลหารด้วยปริมาตร $\rho = m/V$
 16. ในกรณีการคูณและการหารค่าของปริมาณและตัวเลขให้ใช้เครื่องหมาย “ \times ” หรือวงเล็บ “ $()$ ” แทนการใช้ “ \cdot ” ตัวอย่างเช่น
 - (1) 25×60.5 ไม่ใช่ $25 \cdot 60.5$
 - (2) $(25\text{ m/s}) \times 10.2\text{ s}$ หรือ $(25\text{ m/s})(10.2\text{ s})$
 - (3) $(20\text{ m})/(4\text{ s}) = 5\text{ m/s}$