

การพัฒนาระบบสอบเทียบแหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้ากระแสตรงอัตโนมัติด้วยภาษาไพธอนสำหรับ อุตสาหกรรม

Development of an Automatic DC Current Source Calibration System Using Python for Industry

ธนวัฒน์ สุทธวงษ์¹, จุฑารัตน์ ทานะรมณ์², และ พลอยบุศรา โกมาสังข์*

¹ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร

²ฝ่ายมาตรฐานไฟฟ้า สถาบันมาตรฐานแห่งชาติ

E-mail: sutthawong_t@silpakorn.edu, jutarat@nimt.or.th, gomasang_p@su.ac.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอการออกแบบและพัฒนาระบบสอบเทียบแหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้ากระแสตรงแบบอัตโนมัติ โดยใช้ภาษาไพธอน (Python) ซึ่งเป็นภาษาที่เปิดเผยแพร่ซอร์สโค้ด (open-source) เพื่อแก้ไขข้อจำกัดของกระบวนการสอบเทียบด้วยมือที่ต้องพึ่งพาบุคลากรหรือการใช้ซอฟต์แวร์ดั้งเดิมด้วย LabVIEW ระบบที่พัฒนาขึ้นด้วยวิธีการวัดแบบโวลต์-แอมแปร์ ส่วนการออกแบบโปรแกรมจะมีส่วนต่อประสานกราฟิกกับผู้ใช้และตรรกะซอฟต์แวร์ที่ทำงานอย่างเป็นระบบ รวมทั้งความสามารถในการสร้างรายงานอัตโนมัติ สำหรับผลการทวนสอบของวิธีการสอบเทียบแหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้ากระแสตรงที่วัดด้วยวิธีโวลต์-แอมแปร์ แบบอัตโนมัตินี้ พบว่ามีอัตราส่วน E_n น้อยกว่า 1 เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการวัดโดยตรงด้วยแอมมิเตอร์ แสดงให้เห็นว่าค่าที่วัดได้มีความสอดคล้องกัน สำหรับการทวนสอบโปรแกรมพบว่าผลการวัดที่บันทึกได้ตรงกันกับผลการวัดที่แสดงบนหน้าจอ ดังนั้นระบบสอบเทียบที่พัฒนาด้วยภาษา Python ในงานวิจัยนี้สามารถตอบสนองความต้องการของงานด้านมาตรฐานไฟฟ้าในภาคอุตสาหกรรมได้อย่างมีประสิทธิภาพ และมีศักยภาพในการต่อยอดเพื่อรองรับการสอบเทียบอัตโนมัติในรูปแบบอื่นได้ในอนาคต

คำสำคัญ: การสอบเทียบอัตโนมัติ, Python, ระบบควบคุมเครื่องมือวัด

Abstract

This research presents the design and development of an automated DC current source calibration system using Python, an open-source programming language, to address the limitations of traditional calibration processes that rely on personnel and commercial software such as LabVIEW. The developed system adopts the volt-ampere measurement method, with program design featuring a graphical user interface (GUI), systematic operational algorithms, and an automatic report generation capability. Verification of the automated volt-ampere method for measuring DC current showed an E_n ratio of less than 1 when compared with the direct measurement method, indicating a high

level of agreement between the results. For program verification, the measured values matched the recorded data during the measurement process, confirming both accuracy and reliability. Therefore, the Python-based calibration system developed in this research can effectively meet the requirements of electrical metrology in industrial applications and demonstrates strong potential for extension to other forms of automated calibration in the future.

Keywords: Automated Calibration, Python, Instrument Control System

1. บทนำ

ความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีในอุตสาหกรรมยานยนต์ในปัจจุบัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในด้านรถยนต์ไฟฟ้า (Electric vehicle, EV) และระบบการชาร์จ ได้ส่งผลให้เกิดความต้องการเครื่องมือวัดที่มีความแม่นยำและเชื่อถือได้เพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง [1] ระบบสอบเทียบแหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้ากระแสตรง (DC Current Source) ที่มีความแม่นยำสูงจึงมีความสำคัญมากขึ้นตามไปด้วย โดยมีการพัฒนาขึ้นตามมาตรฐานในการสอบเทียบ ถูกบันทึกไว้ในฐานข้อมูลของสถาบันมาตรฐานอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย (สมอ.) กระทรวงอุตสาหกรรม โดยผู้เชี่ยวชาญด้านเครื่องมือวัดและการวัดกระแสไฟฟ้า [2] วิธีการสอบเทียบดังกล่าวทำโดยจ่ายกระแสไฟฟ้ากระแสตรงจากแหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้ากระแสตรงผ่านตัวต้านทานชัณฑ์ (shunt resistor) และวัดแรงดันตกคร่อมที่ปลายทั้งสองของชัณฑ์ด้วยโวลต์มิเตอร์ จากนั้นคำนวณค่ากระแสไฟฟ้าตามกฎของโอห์ม

เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและรองรับปริมาณการสอบเทียบที่เพิ่มขึ้น งานวิจัยนี้จึงเสนอการพัฒนาระบบสอบเทียบแหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้ากระแสตรงแบบอัตโนมัติด้วยโปรแกรมภาษาไพธอน (Python) [3-4] แม้ว่า โปรแกรม LabVIEW [5-6] จะเป็นซอฟต์แวร์ที่ถูกยกนำมาใช้สำหรับควบคุมเครื่องมือวัดเนื่องจากมีอินเทอร์เฟซแบบกราฟิกที่ใช้งานง่าย แต่ก็ยังมีข้อจำกัดด้านต้นทุน การขยายระบบ และการพึ่งพาแพลตฟอร์ม ในทางกลับกัน Python ซึ่งเป็นภาษาที่เปิดเผยแพร่ซอร์สโค้ด (open-source) และทำงานได้ข้ามแพลตฟอร์ม มีข้อได้เปรียบหลาย

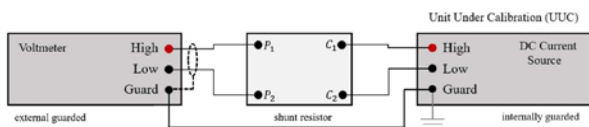
ประการ เช่น ไม่มีค่าใช้จ่ายในการใช้งาน สามารถปรับแต่งได้สูง และมีไลบรารีที่ครอบคลุมการเก็บข้อมูล การประมวลผล และการแสดงผล อีกทั้งยังสามารถเชื่อมต่อกับแดชบอร์ดแบบเว็บ การควบคุมระยะไกล และการสื่อสารไร้สาย ทำให้การพัฒนาโปรแกรมด้วย Python มีความเหมาะสมกับการพัฒนาระบบสอบเทียบสมัยใหม่ที่ยืดหยุ่นต่อการใช้งาน

ระบบที่พัฒนาด้วย Python ในบทความนี้ประกอบด้วยการตั้งค่าการทำงานของเครื่องมือ ขั้นตอนการวัดแบบอัตโนมัติ และการวิเคราะห์ข้อมูลตามหลักการมาตรวิทยา โดยได้ผ่านการตรวจสอบความถูกต้องเทียบกับการวัดแบบมือ (manual) เพื่อให้มั่นใจในความแม่นยำ ผลการสอบเทียบสามารถบันทึกในรูปแบบไฟล์ตามที่ผู้ใช้งานต้องการ อีกทั้งยังมีระบบป้องกันการเลือกช่วงกระแสไฟฟ้าและความต้านทานขั้นต่ำที่ไม่เหมาะสม เพื่อลดความเสี่ยงต่อความเสียหายของอุปกรณ์ ระบบสอบเทียบด้วย Python นี้จึงมีความยืดหยุ่นสูง คุ่มค่า และสามารถต่อยอดเพื่อบูรณาการเข้ากับโครงสร้างพื้นฐานด้านมาตรวิทยาดิจิทัลในอนาคตได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2. หลักการและวิธีการสอบเทียบ

ระบบสอบเทียบแหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้ากระแสตรงแบบอัตโนมัติที่พัฒนาขึ้นนี้ แหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้าถูกสอบเทียบด้วยวิธีที่เรียกว่า วิธีโวลต์-แอมแปร์ (Volt-Ampere) ซึ่งเป็นวิธีมาตรฐานที่ได้รับการยอมรับและระบุไว้ในเอกสารข้อตกลงร่วมการประชุมเชิงปฏิบัติการ TWA 4007-2567 [2] หลักการพื้นฐานของวิธีนี้คือการประยุกต์ใช้กฎของโอห์ม โดยการจ่ายกระแสไฟฟ้ากระแสตรงที่ต้องการสอบเทียบ (I_x) จากเครื่องมือที่ต้องการสอบเทียบ (Unit Under Calibration, UUC) ให้ไหลผ่านตัวต้านทานขั้นต่ำมาตรฐาน (Shunt Resistor) ซึ่งเป็นตัวต้านทานที่ทราบค่าความต้านทาน (R) และสามารถสอบกลับไปยังมาตรฐานแห่งชาติได้ จากนั้นใช้โวลต์มิเตอร์ (Voltmeter) ทำการวัดค่าแรงดันไฟฟ้าตกคร่อม (E_x) ที่ขั้วของตัวต้านทานขั้นต่ำ ดังแสดงในแผนภาพการวัดรูปที่ 1 ค่ากระแสไฟฟ้าที่วัดได้จะถูกคำนวณตามความสัมพันธ์ในสมการที่ (1)

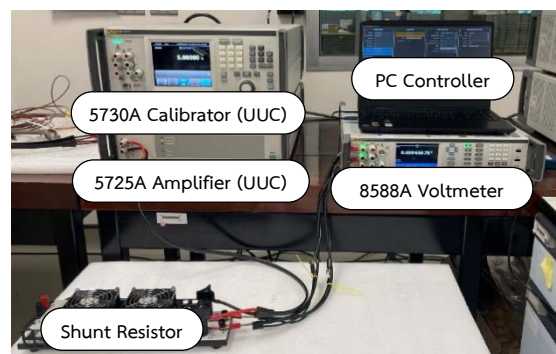
$$I_x = \frac{E_x}{R} \quad (1)$$



รูปที่ 1 แผนภาพการวัดตามวิธีโวลต์-แอมแปร์ [2]

การทดลองในบทความนี้ใช้แหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้ากระแสตรงจากเครื่องแคลิเบรเตอร์ (calibrator) รุ่น Fluke 5730A [7] และ Fluke 5725A [8] ซึ่งสามารถจ่ายกระแสไฟฟ้ากระแสตรงได้สูงสุด 10 A

สำหรับตัวต้านทานขั้นต่ำที่ใช้เป็นตัวต้านทานมาตรฐานรุ่น MI 9331 [9] และ MI 9332 [10] ซึ่งมีทั้งแบบที่มีอุปกรณ์ระบายอากาศและไม่มี ความร้อนที่เกิดจากการจ่ายกระแสไฟฟ้าส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของค่าความต้านทานของตัวต้านทานขั้นต่ำ การระบายความร้อนสามารถช่วยให้เกิดความเสถียรของตัวต้านทานขั้นต่ำ [11] โดยมีค่าความต้านทานตั้งแต่ค่า 10 kΩ 1 kΩ 100 Ω 10 Ω 1 Ω และ 0.1 Ω และการเลือกสายวัดที่เหมาะสม ซึ่งสายวัดที่ใช้กับกระแสไฟฟ้านั้นจะพิจารณาจากความทนได้ของกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่าน สำหรับเครื่องวัดแรงดันไฟฟ้าใช้ดิจิทัลมัลติมิเตอร์ รุ่น FLUKE 8588A [12] ส่วนสายวัดแรงดันไฟฟ้าเลือกใช้สายวัดที่มีการเปลี่ยนแปลงต่อความร้อนต่ำ (low thermal) [13] การทดลองนี้ทำการวัดในห้องปฏิบัติการที่ควบคุมอุณหภูมิ (23 ± 1) °C และความชื้น (50 ± 15) %RH วงจรวัดและเครื่องมือที่ใช้แสดงดังรูปที่ 2 สำหรับจุดสอบเทียบที่ทดสอบด้วยโปรแกรมการวัดที่ได้พัฒนาขึ้นด้วย python เป็นไปตามตารางที่ 1 ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ของค่ากระแสไฟฟ้าที่ต้องการสอบเทียบ ตัวต้านทานขั้นต่ำที่ใช้ และช่วงแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมที่ประมาณได้ ซึ่งนำไปสู่ความสัมพันธ์กับการตั้งค่าย่านการวัดของโวลต์มิเตอร์



รูปที่ 2 การติดตั้งระบบสอบเทียบอัตโนมัติ

ตารางที่ 1 พารามิเตอร์การวัดสำหรับการสอบเทียบแหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้ากระแสตรงและจุดสอบเทียบ

ตัวต้านทานขั้นต่ำ	ย่านการจ่ายกระแสไฟฟ้า	จุดสอบเทียบของกระแสไฟฟ้า	ย่านการวัดแรงดันไฟฟ้าของเครื่องวัดแรงดันไฟฟ้ามาตรฐาน
10 kΩ	100 uA	0.00001 A	100 mV
1 kΩ	100 uA	0.0001 A	100 mV
100 Ω	1 mA	0.001 A	100 mV
10 Ω	10 mA	0.01 A	100 mV
1 Ω	100 mA	0.1 A	100 mV
0.1 Ω	1 A	1 A	100 mV
0.1 Ω	10 A	10 A	1 V

3. สถาปัตยกรรมและตรรกะการทำงานของซอฟต์แวร์

ในส่วนนี้อธิบายสถาปัตยกรรมและตรรกะการทำงานของโปรแกรมที่ออกแบบขึ้นเพื่อใช้สำหรับสอบเทียบแหล่งจ่าย

กระแสไฟฟ้ากระแสตรงที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในภาคอุตสาหกรรมได้

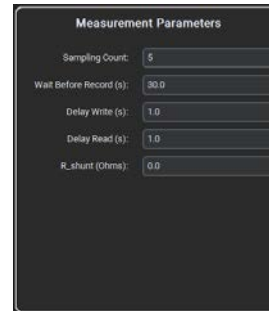
3.1 สถาปัตยกรรมซอฟต์แวร์

ระบบสอบเทียบแหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้ากระแสตรงอัตโนมัติที่ถูกพัฒนาขึ้นประกอบด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์ (PC Controller) ที่ทำหน้าที่เป็นหน่วยควบคุมกลางสื่อสารกับเครื่องมือวัดมาตรฐานเชื่อมต่อผ่านพอร์ต IEEE-488 (GPIB) ดังแสดงในรูปที่ 2 สถาปัตยกรรมของซอฟต์แวร์ถูกออกแบบในลักษณะโมดูลาร์ (Modular) เพื่อความสะดวกในการพัฒนาและบำรุงรักษา ประกอบด้วย 3 ส่วนหลัก ได้แก่ 1) ส่วนต่อประสานกราฟิกกับผู้ใช้ (Graphical User Interface, GUI) ดังแสดงในรูปที่ 3 ได้ออกแบบพัฒนาด้วยไลบรารี (library) CustomTkinter ซึ่งเป็นไลบรารีสมัยใหม่ที่ช่วยให้สามารถสร้าง GUI ที่มีรูปลักษณ์สวยงามและตอบสนองต่อผู้ใช้ได้ดี ทำหน้าที่เป็นตัวกลางให้ผู้ใช้สามารถกำหนดค่าพารามิเตอร์ การเริ่มและหยุดการวัด และการดูผลลัพธ์ได้โดยง่าย 2) ส่วนของไดรเวอร์เครื่องมือวัด (Instrument Drivers) ส่วนนี้ถูกสร้างเป็นคลาส ทำหน้าที่ควบคุมเครื่องมือแต่ละชนิดโดยเฉพาะเป็นการสร้างเลเยอร์นามธรรม (Abstraction Layer) ที่แปลงคำสั่งจาก GUI เช่น “ตั้งค่ากระแส 1 A” ให้กลายเป็นคำสั่ง SCPI (Standard Commands for Programmable Instruments) ที่เครื่องมือเข้าใจ และส่งคำสั่งเหล่านั้นผ่านไลบรารี PyVISA ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวกลางในการสื่อสารกับฮาร์ดแวร์ผ่าน NI-VISA backend ใช้สื่อสารผ่าน IEEE-488 และ 3) ส่วนจัดการข้อมูลและตรรกะ (Data & Logic Handler) เป็นแกนหลักในการประมวลผลโดยใช้ไลบรารี Pandas ในการจัดการข้อมูลการวัดในรูปแบบตาราง (DataFrame) ซึ่งสะดวกต่อการอ่านไฟล์ตั้งค่าและการบันทึกผล ใช้ไลบรารี NumPy สำหรับการคำนวณทางสถิติในการหาค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของผลการวัด และใช้ไลบรารี fpdf2 สร้างรายงานสรุปผลการวัดถูกกำหนดให้เป็นรูปแบบ PDF (Portable Document Format) โดยอัตโนมัติ

3.2 ตรรกะการทำงานของซอฟต์แวร์

ตรรกะการทำงานของโปรแกรมแสดงดังรูปที่ 4 โปรแกรมสอบเทียบแบบอัตโนมัติมีลำดับการทำงานเริ่มจาก ผู้ใช้เชื่อมต่อเครื่องมือวัดผ่านส่วนต่อประสานกราฟิกกับผู้ใช้ (GUI) (รูปที่ 3) ผ่านพอร์ต IEEE-488 (GPIB) และโหลดไฟล์ตั้งค่าการวัด (.xlsx) ซึ่งระบุลำดับการวัด ค่ากระแสไฟฟ้า ตัวต้านทานขั้นต่ำ และย่านการวัดของโวลต์มิเตอร์ จากนั้นโหลดไฟล์เงื่อนไข (.xlsx) เพื่อกำหนดพิกัดกระแสสูงสุดที่ปลอดภัยสำหรับตัวต้านทานแต่ละค่า โปรแกรมจะเริ่มวงจรการวัดตามลำดับในไฟล์ตั้งค่า โดยก่อนจ่ายกระแสไฟฟ้าทุกครั้งจะทำการตรวจสอบความปลอดภัย (Safety Check) หากค่ากระแสเกินพิกัดที่กำหนดจะหยุดการทำงานและแจ้งเตือนผู้ใช้ ในกรณีที่ผ่านการตรวจสอบ โปรแกรมจะส่งคำสั่ง SCPI ไปยังแหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้ากระแสตรงและโวลต์มิเตอร์ ตั้งค่าพารามิเตอร์ตามที่ระบุ จากนั้นรอให้เครื่องมือเข้าสู่สภาวะเสถียรตามเวลาหน่วงที่กำหนดไว้ และทำการอ่านค่าแรงดันไฟฟ้าตามจำนวนครั้ง Sampling Count เพื่อนำมาคำนวณค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ผลการวัดจะถูกบันทึก

และดำเนินการซ้ำสำหรับจุดวัดถัดไปจนจบลำดับการวัด สุดท้ายโปรแกรมจะรวบรวมผลการวัดทั้งหมดไว้ในไฟล์ .xlsx และสร้างรายงานสรุปในรูปแบบ PDF



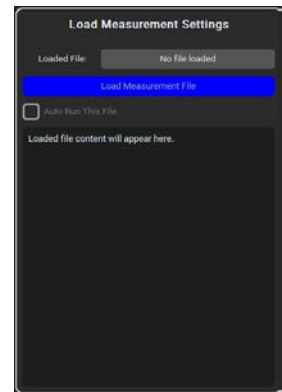
(ก)



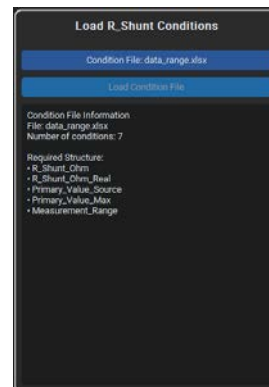
(ข)



(ค)



(ง)

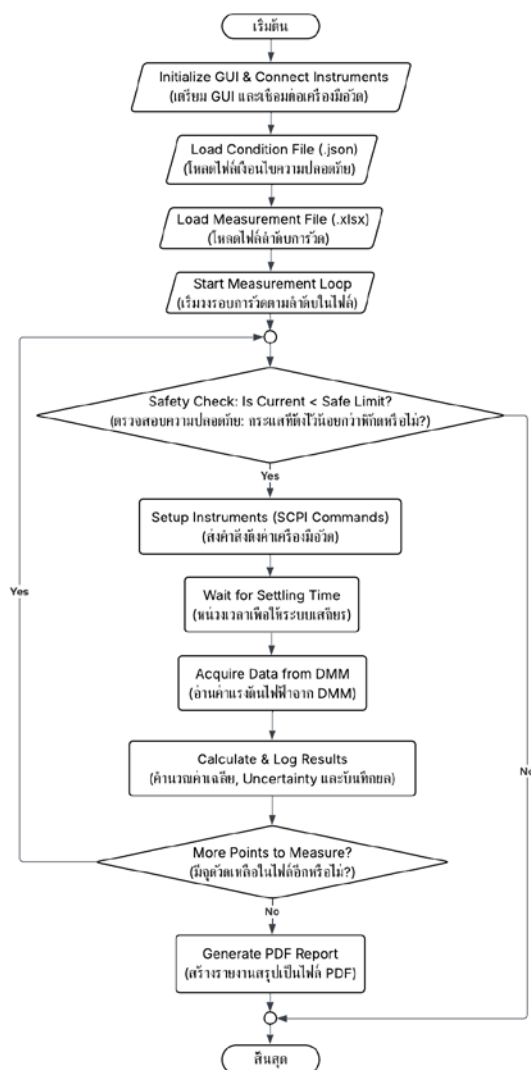


(จ)



(ฉ)

รูปที่ 3 ส่วนประกอบหลักของส่วนต่อประสานกราฟิกกับผู้ใช้ (GUI) ประกอบด้วย (ก) ส่วนการกำหนดพารามิเตอร์การวัด (ข) ส่วนการกำหนดค่าของแหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้า (ค) ส่วนการกำหนดค่าเครื่องวัดแรงดันไฟฟ้า (ง) ส่วนการโหลดการตั้งค่าการวัด (จ) ส่วนการโหลดเงื่อนไขตัวต้านทานขั้นต่ำ และ (ฉ) กราฟแสดงผลแบบเวลาจริง



รูปที่ 4 แผนผังตรรกะการทำงานของโปรแกรม

4. การทดสอบและวิเคราะห์ผล

เพื่อยืนยันความน่าเชื่อถือและความถูกต้องของระบบสอบเทียบ แหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้ากระแสตรงอัตโนมัติที่พัฒนาขึ้นด้วยวิธีการวัดแบบโวลต์-แอมป์ จะต้องมีการทดสอบประสิทธิภาพโดยเปรียบเทียบผลการวัดค่ากระแสไฟฟ้าที่ได้จากระบบอัตโนมัติด้วยวิธีโวลต์-แอมป์ (I_{VA}) กับผลการวัดด้วยวิธีวัดโดยตรงด้วยแอมมิเตอร์ (I_{direct}) ดำเนินการโดยผู้ปฏิบัติงานที่มีความชำนาญ การประเมินผลในเชิงสถิติจะใช้ดัชนี Normalized Error (E_n ratio) ซึ่งเป็นเกณฑ์มาตรฐานสากลในการเปรียบเทียบความสอดคล้องของผลการวัดจากห้องปฏิบัติการหรือวิธีที่แตกต่างกัน [14] โดยพิจารณาถึงค่าผลต่างของผลการวัดเทียบกับค่าความไม่แน่นอนของการวัดขยาย (U) ของแต่ละวิธีประกอบกัน ดังสมการที่ (2) โดยที่ U_{VA} และ U_{direct} คือ ค่าความไม่แน่นอนขยายที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ($k=2$) ของแต่ละวิธีตามลำดับ โดยแหล่งที่มาของความไม่แน่นอน U_{VA} มาจากการวัดแรง

ดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมตัวต้านทานชั้นดีและตัวต้านทานชั้นดี สำหรับ U_{direct} มาจากแอมมิเตอร์โดยตรง

$$E_n = \frac{|I_{VA} - I_{direct}|}{\sqrt{U_{VA}^2 + U_{direct}^2}} \quad (2)$$

ตามหลักการทางมาตรวิทยา ผลการวัดจากทั้งสองวิธีจะถือว่ามีความสอดคล้องกันและยอมรับได้ หากค่า E_n ที่คำนวณได้มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 1 การทวนสอบตามแนวทางนี้จะสามารถยืนยันได้อย่างเป็นรูปธรรมว่าระบบอัตโนมัติที่พัฒนาขึ้นให้ผลลัพธ์ที่ถูกต้องและน่าเชื่อถือเทียบเท่ากับมาตรฐานการปฏิบัติงานในห้องปฏิบัติการ จากตารางที่ 2 พบว่าค่า E_n ที่คำนวณได้มีค่าน้อยกว่า 1 ในทุกจุดทดสอบ ซึ่งเป็นการยืนยันทางวิทยาศาสตร์ว่าระบบอัตโนมัติที่พัฒนาขึ้นให้ผลลัพธ์ที่ถูกต้องและน่าเชื่อถือ การคำนวณความไม่แน่นอนของการวัดกระแสไฟฟ้าด้วยวิธีโวลต์-แอมป์ มีแหล่งที่มาจากโวลต์มิเตอร์ ซึ่งถูกสอบเทียบด้วยระบบมาตรฐานปฐมภูมิแรงดันไฟฟ้า และตัวต้านทานชั้นดีถูกสอบเทียบด้วยระบบมาตรฐานทุติยภูมิ ซึ่งมีค่าความไม่แน่นอนต่ำ ส่วนวิธีการวัดโดยตรงนั้น แหล่งที่มาของความไม่แน่นอนมาจากแอมมิเตอร์โดยตรง สำหรับการทวนสอบของโปรแกรมนี้ ได้มีการทดสอบการบันทึกผลซ้ำ 5 ครั้ง แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ยของผลการวัดพบว่าผลการวัดจากโปรแกรมที่พัฒนา ได้ผลตรงกันกับผลการวัดจากการจับบันทึก ดังนั้นเมื่อคำนวณหาค่าเฉลี่ยจึงได้ค่าเท่ากันที่จุดสอบเทียบเดียวกัน

ตารางที่ 2 การเปรียบเทียบของผลการวัดด้วยโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นกับการวัดด้วยมือ

จุดสอบเทียบของกระแสไฟฟ้า	ค่าที่วัดได้ (วิธีโวลต์-แอมป์)	U_{VA} ($\mu A/A$)	ค่าที่วัดได้ (วิธีวัดโดยตรง)	U_{direct} ($\mu A/A$)	E_n
10 μA	10.000 218 μA	5	10.000 250 μA	60	0.01
100 μA	99.998 997 μA	5	99.998 92 μA	10.5	0.01
1 mA	1.000 002 1 mA	5	1.000 000 4 mA	10.5	0.01
10 mA	10.000 067 mA	5	10.000 023 mA	12	0.01
100 mA	100.000 05 mA	5	100.000 00 mA	43	0.01
1 A	1.000 025 5 A	13	1.000 037 0 A	200	0.01
10 A	9.997 682 A	13	9.995 802 A	210	0.01

สำหรับประเมินประสิทธิภาพและความเหมาะสมของระบบสอบเทียบแบบอัตโนมัติที่พัฒนาขึ้น ได้ดำเนินการสำรวจความพึงพอใจของผู้ใช้ที่มีประสบการณ์ในการปฏิบัติงานสอบเทียบในห้องปฏิบัติการ โดยใช้แบบสอบถามซึ่งประกอบด้วยหัวข้อการประเมิน 4 ด้าน ได้แก่ ด้านประสิทธิภาพการทำงานของระบบ ด้านความถูกต้องและความน่าเชื่อถือของผลการสอบเทียบ ด้านความสะดวกและง่ายต่อการใช้งาน และด้านประโยชน์ที่ได้รับต่อการทำงาน โดยการประเมินใช้มาตราส่วนความพึงพอใจแบบ 5 ระดับ ตั้งแต่ “พึงพอใจน้อยที่สุด” (1

คะแนน) ถึง “พึงพอใจมากที่สุด” (5 คะแนน) โดยกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ประเมินประกอบด้วยเจ้าหน้าที่สอบเทียบและนักวิจัยจำนวน 10 คน ผลการประเมินพบว่า ผู้ใช้มีความพึงพอใจโดยรวมอยู่ในระดับคะแนนเฉลี่ย 4.52 จากความคิดเห็นเชิงคุณภาพของผู้ใช้ พบว่า ระบบที่พัฒนาขึ้นช่วยลดเวลาการสอบเทียบลงได้อย่างชัดเจน ลดความผิดพลาดจากการบันทึกข้อมูลด้วยมือ และสามารถจัดเก็บผลการสอบเทียบในรูปแบบดิจิทัลได้อย่างมีประสิทธิภาพ แต่ ณ ปัจจุบันระบบอัตโนมัติยังไม่สามารถดำเนินการวัดซ้ำเพียงบางจุดได้ ต้องเริ่มใหม่ทั้งหมด ซึ่งผู้พัฒนาได้นำข้อเสนอแนะนี้มาดำเนินการปรับปรุงแก้ไขเพื่ออำนวยความสะดวกและเกิดประโยชน์สูงสุดต่อผู้ใช้งาน

5. สรุป

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและพัฒนาระบบสอบเทียบแหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้ากระแสตรงแบบอัตโนมัติ โดยใช้ภาษา Python เป็นแกนหลักในการพัฒนา เพื่อรองรับความต้องการด้านความแม่นยำ ความยืดหยุ่น และประสิทธิภาพในการปฏิบัติงานสอบเทียบในภาคอุตสาหกรรม ระบบที่พัฒนาขึ้นประกอบด้วยสถาปัตยกรรมและตรรกะที่ชัดเจน สามารถทวนสอบการทำงานได้ และมีกระบวนการประเมินประสิทธิภาพที่สอดคล้องกับหลักการทางมาตรฐานสากล ผลการพัฒนาแสดงให้เห็นว่า การเลือกใช้ Python ช่วยลดต้นทุนการพัฒนาเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการดั้งเดิมอย่าง LabVIEW อีกทั้งยังเพิ่มศักยภาพในการปรับปรุงและขยายระบบในอนาคตได้อย่างยืดหยุ่น การทดสอบใช้งานจริงยืนยันว่าระบบสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ให้ผลสอบเทียบที่ถูกต้องและเชื่อถือได้ พร้อมทั้งตอบสนองต่อความต้องการของผู้ปฏิบัติงานได้ครบถ้วน ระบบสอบเทียบแหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้ากระแสตรงอัตโนมัติที่พัฒนาด้วยภาษา Python ในงานวิจัยนี้ เป็นแนวทางที่มีประสิทธิภาพและสามารถต่อยอดเพื่อนำไปใช้ในกระบวนการสอบเทียบอัตโนมัติรูปแบบอื่น ๆ ในอนาคตได้

6. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้จัดทำขอขอบคุณกลุ่มงานมาตรฐานปฐมภูมิไฟฟ้า เวลาและความถี่ ฝ่ายมาตรวิทยาไฟฟ้า สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ ที่ให้การสนับสนุนเครื่องมือวัดและองค์ความรู้ และขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร ที่ส่งเสริมในการทำงานวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] J. Sarda, N. Patel, H. Patel, R. Vaghela, B. Brahma, A. K. Bhoi, P. Barsocchi, A review of the electric vehicle charging technology, impact on grid integration, policy consequences, challenges and future trends, Energy Reports, Volume 12, 2024, Pages 5671-5692.

[2] สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, “ข้อตกลงร่วม 4007-2567: แนวทางการสอบเทียบแหล่งกำเนิดกระแสไฟฟ้ากระแสตรงโดยวิธีโวลต์ – แอมแปร์,” 2567.

[3] A Bogdanchikov et al 2013 J. Phys.: Conf. Ser. 423 012027.

[4] Y. Huang, J. Zhao, Y. Qiang, T. Hou, X. Ren and H. Sun, "The Reform and Exploration of Intelligent PYTHON Language Teaching," 2021 16th International Conference on Computer Science & Education (ICCSE), Lancaster, United Kingdom, 2021, pp. 883-888.

[5] R. Jamal and L. Wenzel, "The applicability of the visual programming language LabVIEW to large real-world applications," Proceedings of Symposium on Visual Languages, Darmstadt, Germany, 1995, pp. 99-106.

[6] T. Sanuksan, J. Tanarom and P. Gomasang, "Automated Voltage-Ratio Measurement for Resistance Calibration," 2024 12th International Electrical Engineering Congress (iEECON), Pattaya, Thailand, 2024, pp. 1-4.

[7] Fluke 5730A High Performance Multifunction Calibrator, Operators Manual, Rev. 2, 7/23 © 2013-2023 Fluke Corporation, August 2013

[8] Fluke 5725A Amplifier, Instruction Manual, PN 823435, Rev. 7, 6/02 © 1993, 1996, 2002 Fluke Corporation, January 1989.

[9] Measurements International, Model 9332 Standard DC Current or Standard Resistor Applications, MI 66, Rev. 11, Dated 2018-01-30

[10] Measurements International, Model 9331 Standard AC/DC Air Resistor, MI 66, Rev. 15, Dated 2021-11-15

[11] P. Gomasang, M. Tubnium, W. KonKan, S. Pilawong, and J. Tanarom, "The Effect of Heat Due to High DC Current Bias on the Resistance Changes of Standard Oil Resistor", TEEJ, vol. 5, no. 2, pp. 26–31, Aug. 2025.

[12] Fluke 8588A/8558A Reference Multimeter and 8½ Digit Multimeter, Operation Manual, Rev. 1,3/25, Fluke Corporation, February 2019.

[13] T. Bragatto, M. Cresta, F. M. Gatta, A. Geri, M. Maccioni and M. Paulucci, "Assessing Thermal Behavior of Medium Voltage Cable Joints Through Simulations and Measurements," in IEEE Transactions on Industry Applications, vol. 59, no. 5, pp. 5705-5714, Sept.-Oct. 2023

[14] ISO/IEC 17043:2023 Conformity assessment — General requirements for the competence of proficiency testing providers Published (Edition 2, 2023)



ธนวัฒน์ สุทรวงศ์ กำลังศึกษาระดับปริญญาตรี
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะ
วิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยศิลปากร



จุฑารัตน์ ทานะรมณ์ สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาเอก สาขา Engineering Science จาก The university of Electro-Communications (ญี่ปุ่น) นักมาตรวิทยาชำนาญการ ฝ่ายมาตรวิทยาไฟฟ้า สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ มีความสนใจทางด้านมาตรวิทยาควอนตัมและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ระดับนาโน



พลอยบุศรา โกมาสังข์ สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาเอก สาขา Function Control Systems จาก Shibaura Institute of Technology (ญี่ปุ่น) อาจารย์และนักวิจัยภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร มีความสนใจทางด้านอิเล็กทรอนิกส์ระดับนาโนและมาตรวิทยาไฟฟ้า เครื่องมือวัดและการวัดทางไฟฟ้า