



รายละเอียดคุณลักษณะเฉพาะ
ชุดเครื่องมือวิเคราะห์และทดสอบอิมพีแดนซ์ของแบตเตอรี่
ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2570
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

1. รายการจัดซื้อจัดจ้าง ชุดเครื่องมือวิเคราะห์และทดสอบอิมพีแดนซ์ของแบตเตอรี่ จำนวน 1 ชุด

2. กำหนดรายละเอียดและคุณลักษณะของพัสดุ

2.1 คุณลักษณะทั่วไป

เป็นอุปกรณ์สำหรับตรวจวัดและวิเคราะห์ ค่าความต้านทานภายใน (Internal Resistance) และ อิมพีแดนซ์ (Impedance) ของแบตเตอรี่ชนิดต่าง ๆ เช่น Lithium-ion, Lead-acid และแบตเตอรี่สำหรับระบบกักเก็บพลังงาน (BESS) โดยค่าดังกล่าวเป็นตัวบ่งชี้ถึง ประสิทธิภาพการทำงาน (Performance), อายุการใช้งาน (State of Health) และ ความปลอดภัยในการใช้งาน (Safety) ของแบตเตอรี่

เครื่องมือนี้มีบทบาทสำคัญต่อการประยุกต์ใช้ด้าน พลังงานหมุนเวียน ตามแนวทาง RE100 (Renewable Energy 100%) เนื่องจากระบบกักเก็บพลังงาน (Battery Energy Storage System) ทำงานควบคู่กับแหล่งพลังงานสะอาด เช่น พลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานลม การตรวจสอบสุขภาพของแบตเตอรี่ด้วยเครื่องวัดอิมพีแดนซ์

2.2 คุณลักษณะเฉพาะ

2.2.1 เครื่องวิเคราะห์อิมพีแดนซ์แบตเตอรี่ความละเอียดสูง จำนวน 1 เครื่อง

- 1) เป็นเครื่องวัดค่าอิมพีแดนซ์ของแบตเตอรี่ และสามารถวัดค่า EIS ได้
- 2) สามารถวัดสัญญาณ Impedance, voltage, temperature ของแบตเตอรี่ได้
- 3) สามารถวัดแรงดันสูงสุด -5.1V โวลต์ ถึง 5.1 V
- 4) มีค่าความแม่นยำในการวัดแรงดันเท่ากับ $10 \mu V$
- 5) สามารถเลือกความเร็วในการวัดแรงดัน แบบ FAST / MED / SLOW เท่ากับ $\pm 0.0035\% \text{ rdg.} \pm 5 \text{ dgt.}$
- 6) สามารถเลือกย่านการวัดความต้านทานที่ $3.0000 \text{ m}\Omega$, $10.0000 \text{ m}\Omega$ และ 100.000Ω ได้
- 7) สามารถวัดพารามิเตอร์ R resistance, X reactance, Z impedance, θ phase angle ได้
- 8) มีค่าความถี่ในการทดสอบ 0.01 Hz ถึง 10,000 Hz หรือ 10.00 kHz
- 9) ค่าความละเอียดในการตั้งค่าความถี่ มีดังนี้
- 10) ในช่วง 0.01 Hz ถึง 0.99 Hz เท่ากับ 0.01 Hz step
- 11) ในช่วง 1.0 Hz ถึง 9.9 Hz เท่ากับ 0.1 Hz step
- 12) ในช่วง 10 Hz ถึง 99 Hz เท่ากับ 1 Hz step
- 13) ในช่วง 100 Hz ถึง 10000 Hz เท่ากับ 10 Hz step
- 14) สามารถสื่อสารผ่านการเชื่อมต่อ อินเทอร์เน็ต LAN หรือ USB ได้
- 15) มี Software ในการแสดงกราฟ Cole-Cole plots ของแบตเตอรี่ ได้
- 16) สามารถใช้งานในการวัดกระแส (Measurement current) ที่ย่านความต้านทาน $100 \text{ m}\Omega$ ที่ $50 \text{ mA} \pm 10\%$, ย่าน $10 \text{ m}\Omega$ ที่ $500 \text{ mA} \pm 10\%$ และ ย่าน $3 \text{ m}\Omega$ ที่ $1.5 \text{ A} \pm 10\%$ ได้
- 17) สามารถใช้งานในกับ DC load current ที่ย่านความต้านทาน $100 \text{ m}\Omega$ ที่ 0.035 mA หรือต่ำกว่า , ย่าน $10 \text{ m}\Omega$ ที่ 0.35 mA หรือต่ำกว่า และ 3Ω ที่ 1 mA หรือต่ำกว่า ได้

- 18) มีค่าความแม่นยำค่า R เท่ากับ $\pm(0.004 \text{ IRI} + 0.0017 \text{ IXI}) [\text{m}\Omega] \pm \alpha$ ในย่าน 3 m Ω (0.01 Hz to 100 Hz), 10 m Ω range, 100 m Ω
- 19) มีค่าความแม่นยำค่า X เท่ากับ $\pm(0.004 \text{ IXI} + 0.0017 \text{ IRI}) [\text{m}\Omega] \pm \alpha$ ในย่าน 3 m Ω (0.01 Hz to 100 Hz), 10 m Ω range, 100 m Ω
- 20) มีค่าความแม่นยำค่า Z เท่ากับ $\pm 0.4\% \text{ rdg} \pm \alpha(|\sin\theta| + |\cos\theta|)$ ในย่าน 3 m Ω (0.01 Hz to 100 Hz), 10 m Ω range, 100 m Ω
- 21) มีค่าความแม่นยำค่า θ เท่ากับ $\pm 0.1^\circ \pm 57.3 \frac{\alpha}{Z} (|\sin\theta| + |\cos\theta|)$ ในย่าน 3 m Ω (0.01 Hz to 100 Hz), 10 m Ω range, 100 m Ω
- 22) มีฟังก์ชันในการใช้งาน ดังนี้ self-calibration, sample delay, average, voltage limit, potential gradient compensation for impedance measurement, charge/discharge prevention during AC signal application, key lock, system test, panel saving and loading
- 23) รองรับการใช้งานกับแหล่งจ่ายไฟขนาด 100 ถึง 240 V AC, ที่ความถี่ 50/60 Hz
- 24) มาพร้อมกับสายวัดสัญญาณแบบ 4 ขั้ว (4-Terminal Probe) ปากหนีบแบบเคลวิน (Kelvin Clip) สำหรับจับยึดขั้วแบตเตอรี่หรือจุดวัด รองรับการวัดความต้านทานระดับต่ำในย่าน 3 มิลลิโอห์ม ความยาวสายเคเบิลไม่น้อยกว่า 1.5 ม. จำนวน 1 เส้น

2.2.2 เครื่องวัดค่าความต้านภายในแบตเตอรี่แรงดันสูง จำนวน 2 เครื่อง

- 1) รองรับการวัดค่าความต้านทาน (Resistance) และ แรงดันไฟฟ้า (Voltage) เป็นอย่างน้อย
- 2) รองรับการวัดค่า แบบ 4-terminal AC เป็นอย่างน้อย
- 3) มีหน้าจอการแสดงผลสำหรับอ่านค่าการวัด
- 4) มีเอาต์พุตแบบอะนาล็อกแรงดันตั้งแต่ 0 VDC ถึง 3.1 VDC
- 5) รองรับการคำนวณค่าทางสถิติ เป็นอย่างน้อย
- 6) มีฟังก์ชันการจับเก็บข้อมูล เป็นอย่างน้อย
- 7) มีฟังก์ชัน Zero Adjustment เป็นอย่างน้อย
- 8) พิกัดการวัดแรงดันไฟฟ้า ตั้งแต่ 6V, 60V และ 300V หรือดีกว่า
- 9) ค่าความละเอียดแรงดันไฟฟ้า 10uV, 100uV และ 1mV หรือดีกว่า
- 10) ความแม่นยำแรงดันไฟฟ้า $\pm 0.01\% \text{ rdg.} \pm 3 \text{ dgt}$ หรือดีกว่า
- 11) พิกัดค่าความต้านทาน 3.1m Ω , 31m Ω , 310m Ω , 3.1 Ω , 31 Ω , 310 Ω และ 3.100k Ω หรือดีกว่า
- 12) ค่าความละเอียดความต้านทาน 0.1u Ω , 1u Ω , 10u Ω , 100u Ω , 1m Ω , 10m Ω และ 0.1 Ω หรือดีกว่า
- 13) ความถี่ของการวัดค่าความต้านทานเท่ากับ 1 kHz $\pm 0.2 \text{ Hz}$
- 14) ค่าความแม่นยำความต้านทานที่ย่าน 3m Ω เท่ากับ $\pm 0.5\% \text{ rdg.} \pm 10 \text{ dgt.}$ และที่ย่าน 30m Ω เท่ากับ $\pm 0.5\% \text{ rdg.} \pm 5 \text{ dgt.}$ หรือดีกว่า
- 15) ค่าเวลาการตอบสนอง (Response time) เท่ากับ 10 ms
- 16) มาตรฐานความปลอดภัย Safety: EN61010 , EMC: EN61326 Class A
- 17) แต่ละเครื่องมาพร้อมกับ สายวัดสัญญาณชนิดเข็ม (Pin Type Lead) แบบ 4 ขั้ว รองรับแรงดันไฟฟ้าสูงสุด 1,000 V DC (ทั้งขั้ว Hi-to-Lo และขั้วเทียบดิน) สายแยกปลายวัดความยาวไม่น้อยกว่า 750 มม. ด้ามจับทำจาก

ฉนวนไฟฟ้า ความยาวด้าไม่น้อยกว่า 200 มม. จำนวน 1 เส้น โดยต้องสามารถใช้ร่วมกับเครื่องวัดค่าความต้านภายในแบตเตอรี่แรงดันสูงได้

2.2.3 เครื่องวัดค่าความต้านภายในแบตเตอรี่ระดับเซลล์ จำนวน 2 เครื่อง

- 1) รองรับการวัดค่าความต้านทาน (Resistance) และ แรงดันไฟฟ้า (Voltage) เป็นอย่างน้อย
- 2) รองรับการวัดค่า แบบ 4-terminal AC เป็นอย่างน้อย
- 3) มีหน้าจอการแสดงผลสำหรับอ่านค่าการวัด
- 4) มีเอาต์พุตแบบอะนาล็อกแรงดันตั้งแต่ 0 VDC ถึง 3.1 VDC
- 5) รองรับการคำนวณค่าทางสถิติ เป็นอย่างน้อย
- 6) มีฟังก์ชันการจับเก็บข้อมูล เป็นอย่างน้อย
- 7) มีฟังก์ชัน Zero Adjustment เป็นอย่างน้อย
- 8) พิกัดการวัดแรงดันไฟฟ้า ตั้งแต่ 6V และ 60V หรือดีกว่า
- 9) ค่าความละเอียดแรงดันไฟฟ้า 10uV และ 100uV หรือดีกว่า
- 10) ความแม่นยำแรงดันไฟฟ้า $\pm 0.01\%$ rdg. ± 3 dgt หรือดีกว่า
- 11) พิกัดค่าความต้านทาน 31m Ω , 310m Ω , 3.1 Ω , 31 Ω , 310 Ω และ 3.100k Ω หรือดีกว่า
- 12) ค่าความละเอียดความต้านทาน 1u Ω , 10u Ω , 100u Ω , 1m Ω , 10m Ω และ 0.1 Ω หรือดีกว่า
- 13) ความถี่ของการวัดค่าความต้านทานเท่ากับ 1 kHz ± 0.2 Hz
- 14) ค่าความแม่นยำความต้านทานที่ย่าน 30m Ω เท่ากับ $\pm 0.5\%$ rdg. ± 5 dgt. หรือดีกว่า
- 15) ค่าเวลาการตอบสนอง (Response time) เท่ากับ 10 ms
- 16) มาตรฐานความปลอดภัย Safety: EN61010 , EMC: EN61326 Class A
- 17) แต่ละเครื่องมาพร้อมกับสายวัดสัญญาณชนิดเข็มวัดแบบ 4 ขั้ว (4-Terminal Pin Type Lead) รองรับแรงดันไฟฟ้าสูงสุด 60 V DC (ทั้งขั้ว Hi-to-Lo และขั้วเทียบดิน) ปลายเข็มวัดมีลักษณะเป็นแกนเข็มสัมผัสขนาดเล็ก พร้อมปลอกฉนวนหุ้มป้องกันโดยรอบ และมีปลายเข็มสัมผัสยื่นออกเพื่อแตะวัดจุดสัมผัสขนาดเล็ก ความยาวด้ามจับ 140 มม. ความยาวสายสัญญาณไม่น้อยกว่า 850 มม.

2.2.4 เครื่องวัดค่าความต้านทาน ความเหนี่ยวนำ และความจุไฟฟ้า ความถี่สูง จำนวน 1 เครื่อง

- 1) รองรับช่วงความถี่ ตั้งแต่ระดับ 4 Hz ถึง 8 MHz
- 2) ช่วงที่สามารถวัดได้ เท่ากับ 1 m Ω ถึง 200 M Ω
- 3) สามารถเลือกความเร็วในการวัด แบบ FAST / MED / SLOW / SLOW2
- 4) ฟังก์ชันการเฉลี่ยค่า (Averaging) สามารถตั้งค่าได้ในช่วง 1 ถึง 256 (ที่ละขั้นตอนละ 1)
- 5) ความแม่นยำพื้นฐาน (Basic accuracy) สำหรับอิมพีแดนซ์ Z: $\pm 0.05\%$ rdg และมุมเฟส θ : $\pm 0.03^\circ$
- 6) ย่านการวัดที่การันตีความความแม่นยำ (Guaranteed accuracy range) ครอบคลุมตั้งแต่ 1 m Ω ถึง 200 M Ω (ค่าอิมพีแดนซ์)
- 7) โครงสร้างขั้วต่อแบบ 4-terminal structure
- 8) รองรับการวัดค่า Z, Y, θ , X, G, B, Q, Rdc
- 9) ความแม่นยำในการวัดค่าพื้นฐานไม่เกิน ± 0.05 rdg.
- 10) มีความเร็วในการวัดสูงสุดในโหมด Fast ไม่เกิน 1 มิลลิวินาที (1 ms)

- 11) หน้าจอแสดงผลขนาดไม่น้อยกว่า 5.7 นิ้ว ชนิด Color TFT พร้อมระบบสัมผัส (Touch Panel)
- 12) มีฟังก์ชัน Comparator Measurement และ BIN Measurement
- 13) มี Supplementary functionality คือ Trigger function, Compensation function และ Contact Check
- 14) มีฟังก์ชัน DC Bias ภายในตัว (รองรับแรงดัน DC อย่างน้อย 0 V ถึง 2.50 V)
- 15) สนับสนุนพอร์ตเชื่อมต่อประกอบด้วย EXT. I/O (Handler), USB, USB Flash Drive, LAN, และ GP-IB หรือ RS-232C
- 16) ใช้งานกับกระแสไฟฟ้าสลับ 100 ถึง 240 VAC, 50/60 Hz
- 17) ช่วงอุณหภูมิการทำงาน 0°C to 40°C
- 18) มาตรฐานความปลอดภัย Safety: EN61010 , EMC: EN 61326 ,EN 61000
- 19) มาพร้อมกับสายวัดและอุปกรณ์จับยึด 2 ชนิด ได้แก่
 1. สายวัดสัญญาณแบบ 4 ขั้ว (4-Terminal Probe) รองรับความถี่ตั้งแต่กระแสตรง (DC) ถึง 8 เมกะเฮิร์ตซ์ รองรับข้อต่อหรือขาอุปกรณ์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 0.3 มม. ถึง 5 มม. และมีความยาวสายไม่น้อยกว่า 1 ม. จำนวน 1 เส้น
 2. อุปกรณ์ยึดจับชิ้นงานทดสอบ (Test Fixture) ชนิดต่อตรงเข้ากับขั้วเชื่อมต่อด้านหน้าเครื่องวัด รองรับความถี่ตั้งแต่กระแสตรง (DC) ถึง 8 เมกะเฮิร์ตซ์ รองรับข้อต่อหรือขาอุปกรณ์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 0.3 มิลลิเมตร ถึง 2 มิลลิเมตร จำนวน 1 อัน

2.2.5 เครื่องวัดค่าความต้านทาน ความเหนี่ยวนำ และความจุไฟฟ้า จำนวน 1 เครื่อง

- 1) รองรับช่วงความถี่ ตั้งแต่ระดับ 1 mHz ถึง 200 kHz
- 2) ความละเอียดในการตั้งค่าความถี่ไม่น้อยกว่า 5 หลัก
- 3) โหมดในการวัดค่า LCR, Transformer testing (N, M, ΔL), Analyzer (sweep testing), Continuous Testing (LCR/Analyzer mode)
- 4) รองรับการวัดค่า Z, Y, θ , Rs (ESR), Rp, Rdc (DC resistance), X, G, B, Cs, Cp, Ls, Lp, D ($\tan\delta$), Q, N, M, ΔL , T
- 5) ช่วงที่สามารถวัดได้ เท่ากับ 100 m Ω ถึง 100 M Ω
- 6) มีค่า Output impedance แบบ Normal mode: 100 Ω
- 7) มีฟังก์ชัน Frequency sweep testing
- 8) ความแม่นยำพื้นฐาน (Basic accuracy) สำหรับอิมพีแดนซ์ Z: $\pm 0.05\%$ rdg และมุมเฟส θ : $\pm 0.03^\circ$
- 9) มีความเร็วในการวัดสูงสุด ไม่เกิน 2 มิลลิวินาที (2 ms)
- 10) หน้าจอแสดงผลขนาดไม่น้อยกว่า 5.7 นิ้ว ชนิด Color TFT พร้อมระบบสัมผัส (Touch Panel)
- 11) มีฟังก์ชัน DC bias measurement และ DC resistance temperature compensation
- 12) สนับสนุนพอร์ตเชื่อมต่อประกอบด้วย EXT. I/O (Handler), USB communication (high-speed), USB memory
- 13) ใช้งานกับกระแสไฟฟ้าสลับ 100 ถึง 240 VAC, 50/60 Hz

- 14) มาพร้อมกับสายวัดสัญญาณแบบ 4 ขั้ว (4-Terminal Probe) รองรับความถี่ตั้งแต่กระแสตรง (DC) ถึง 200 กิโลเฮิร์ตซ์ มีค่าอิมพีแดนซ์คุณลักษณะ (Characteristic Impedance) เท่ากับ 50 โอห์ม รองรับการจัดยึดขาอุปกรณ์หรือหัวต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 0.3 มิลลิเมตร ถึง 5 มิลลิเมตร และมีความยาวสายไม่น้อยกว่า 1 ม. จำนวน 1 เส้น

2.2.6 เครื่องมือทดสอบความปลอดภัยทางไฟฟ้าแบบอัตโนมัติ จำนวน 1 เครื่อง

- 1) เป็นเครื่องทดสอบความปลอดภัยทางไฟฟ้าแบบรวมในเครื่องเดียวที่สามารถทดสอบทั้งความทนทานแรงดันไฟฟ้า (AC/DC Withstand) ได้
- 2) สามารถบันทึกและเรียกคืนชุดเงื่อนไขการทดสอบได้ (Program/File Storage)
- 3) การทดสอบความทนทานต่อแรงดันไฟฟ้า
 - ช่วงแรงดันไฟฟ้าทดสอบ (Test Voltage) : AC: 0.20 kV ถึง 5.00 kV และรองรับกระแสไฟฟ้ออกสูงสุดถึง 500 VA หรือมากกว่า)
 - ช่วงแรงดันไฟฟ้าทดสอบ (Test Voltage) : DC: 0.20 kV ถึง 5.00 kV
 - รูปลื่นแรงดันไฟฟ้า (Waveform) : แรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ (AC) เป็นคลื่น Sine Wave ที่มีความเพี้ยนต่ำ (Distortion 5% หรือน้อยกว่า)
 - ระบบควบคุมแรงดัน : ใช้เทคโนโลยี PWM Switching
 - ความถี่ควบคุมแรงดัน : 50 Hz/60 Hz, $\pm 0.2\%$
 - การวัดกระแส 0.01 mA ถึง 100.0 mA AC และ 0.01 mA ถึง 10.0 mA DC
- 4) การทดสอบความต้านทานฉนวน
 - ช่วงแรงดันไฟฟ้าทดสอบ (Test Voltage) : 50 V ถึง 1,200 V DC (ปรับตั้งได้ละเอียดระดับ 1 V)
 - ช่วงการวัดความต้านทาน (Measurement Range): 0.10 M Ω ถึง 9,999 M Ω
 - การวัดกระแส เท่ากับ 1 mA
 - รองรับการลัดวงจรกระแส เท่ากับ 200 mA
- 5) ฟังก์ชันพิเศษ (Ramp Timer): สามารถตั้งเวลาหน่วงการขึ้น-ลงของแรงดันไฟฟ้า (Ramp-up / Ramp-down time) ได้
- 6) มีระบบเปรียบเทียบผลการทดสอบแบบ Window Comparator (Upper-Fail / Pass / Lower-Fail)
- 7) ระบบตั้งเวลาทดสอบ (Timer Setting range) : ตั้งค่าได้ตั้งแต่ 0.3 ถึง 999 วินาที
- 8) การตั้งค่าความละเอียดของเวลา (Timer Setting resolution) : 0.1 วินาที (0.3 to 99.9 วินาที), 1 วินาที (100 to 999 วินาที)
- 9) มีช่องสัญญาณ Interlock Protect สำหรับตัดกระแสไฟฉุกเฉิน
- 10) รองรับพอร์ต EXT I/O สำหรับเชื่อมต่อ
- 11) ใช้งานกับกระแสไฟฟ้าสลับ 100 ถึง 240 VAC, 50/60 Hz
- 12) สายวัดทดสอบแรงดันสูง (สายสีแดงสำหรับฝั่งแรงดันสูง High Voltage Side จำนวน 1 เส้น และสายสีดำสำหรับฝั่งป้อนกลับ Return Side จำนวน 1 เส้น) ความยาวสายไม่น้อยกว่า 1.5 เมตร จำนวน 1 คู่
- 13) มาพร้อมกับกล่องสวิตช์รีโมตควบคุมการสั่งเริ่มและหยุดการทดสอบ (Start/Stop) ความยาวสายสัญญาณไม่น้อยกว่า 1.5 เมตร จำนวน 1 กล่อง

14) มาพร้อมกับโปรแกรมบริหารจัดการข้อมูลบนคอมพิวเตอร์ รองรับการควบคุมเงื่อนไขการทดสอบ ดึงข้อมูลผลการทดสอบ และบันทึกจัดเก็บข้อมูลการทดสอบความปลอดภัยทางไฟฟ้าลงในคอมพิวเตอร์ รองรับการเชื่อมต่อสื่อสารข้อมูลผ่านพอร์ต RS-232C หรือ GP-IB ร่วมกับเครื่องทดสอบ จำนวน 1 โปรแกรม

15) มาพร้อมกับสายสัญญาณสื่อสารข้อมูลแบบ RS-232C ชนิด Cross Cable หัวต่อแบบ D-sub 9-pin ถึง D-sub 9-pin (9-pin to 9-pin) ความยาวสายไม่น้อยกว่า 1.8 เมตร ใช้เชื่อมต่อการสื่อสารข้อมูลระหว่างเครื่องทดสอบกับคอมพิวเตอร์ จำนวน 1 เส้น

2.2.7 เครื่องวัดกระแสไฟฟ้าแบบออสซิลโลสโคปขนาด 30 A จำนวน 2 เครื่อง

- 1) ช่วงการวัดกระแส (Current Range) : รองรับการวัดกระแสในช่วง 30 Arms, 5 Arms และ 0.5 Arms
- 2) ช่วงการวัดกระแส (Current Range) : สูงสุด 30 A
- 3) ย่านความถี่ (Frequency Bandwidth): ครอบคลุมตั้งแต่ความถี่ DC ถึง 50 MHz (-3 dB) เพื่อรองรับการวัดสัญญาณทรานเซียนต์และสวิตชิงความเร็วสูง
- 4) เวลาในการตอบสนอง (Rise Time) : น้อยกว่าหรือเท่ากับ 7.0 ns
- 5) เส้นผ่านศูนย์กลางรูร้อยสาย (Aperture Diameter) : ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูร้อยสายประมาณ 5 มม.
- 6) สัญญาณรบกวนไม่เกิน 75 μ A rms
- 7) Output voltage rate : 30 A Range เท่ากับ 0.1V/A , 5 A Range เท่ากับ 1V/A และ 0.5 A Range เท่ากับ 10V/A
- 8) ขั้วต่อสัญญาณ (Output Connector) : เป็นขั้วต่อสัญญาณมาตรฐาน BNC สำหรับเชื่อมต่อเข้ากับออสซิลโลสโคป
- 9) อุณหภูมิในการทำงาน ตั้งแต่ 0.0 องศาถึง 40.0 องศา
- 10) Effect of external magnetic field : 20 mA
- 11) แต่ละเครื่องมาพร้อมกับกล่องจ่ายไฟเลี้ยง (Probe Power Supply Unit) อย่างน้อย 1 กล่อง

2.2.8 เครื่องจ่ายไฟกระแสตรงแบบสองทิศทางกำลังสูงขนาด 20 kW จำนวน 1 เครื่อง

- 1) เป็นเครื่องจ่ายและโหลดไฟฟ้ากระแสตรงแบบสองทิศทาง (Bi-Directional)
- 2) ช่วงแรงดันไฟฟ้าขาเข้าที่รองรับ 342 Vac ถึง 504 Vac เทียบเท่าหรือดีกว่า
- 3) ช่วงความถี่ขาเข้า 47 Hz ถึง 63 Hz เทียบเท่าหรือดีกว่า
- 4) กระแสไฟฟ้าขาเข้าสูงสุดไม่เกิน 40 A เทียบเท่าหรือดีกว่า
- 5) กำลังไฟฟ้าขาเข้าสูงสุด 24 kVA เทียบเท่าหรือดีกว่า
- 6) กระแสไฟกระชากเข้าเครื่อง (Inrush Current) ประมาณ 70 A เทียบเท่าหรือดีกว่า
- 7) ตัวประกอบกำลังไฟฟ้า (Power Factor) เท่ากับ 0.96 เทียบเท่าหรือดีกว่า
- 8) พิกัดกำลังไฟฟ้า (Rated Power) เท่ากับ $\pm 20,000$ W เทียบเท่าหรือดีกว่า
- 9) ช่วงแรงดันเอาต์พุต (Source Voltage) เท่ากับ 0 V ถึง 500 V เทียบเท่าหรือดีกว่า
- 10) ช่วงแรงดันการทำงาน (Sink Voltage) เท่ากับ 10 V ถึง 500 V เทียบเท่าหรือดีกว่า
- 11) พิกัดกระแสไฟฟ้า (Rated Current) เท่ากับ ± 120 A เทียบเท่าหรือดีกว่า
- 12) ค่าแรงดันไฟฟ้าที่สามารถตั้งค่าได้สูงสุด 525 V เทียบเท่าหรือดีกว่า
- 13) ความละเอียดในการตั้งค่าแรงดันไฟฟ้า 0.05 V หรือดีกว่า

- 14) ความเสถียรต่อความผันผวนของกำลังไฟ อยู่ในพิกัด ± 100 mV หรือดีกว่า
- 15) ค่าความเปลี่ยนแปลงเมื่อโหลดเปลี่ยน อยู่ในพิกัด ± 250 mV หรือดีกว่า
- 16) สามารถปรับตั้งค่าความเร็วในการเปลี่ยนระดับแรงดัน (Slew Rate) ได้หลายระดับ เช่น 250 V/ms, 125 V/ms, 12.5 V/ms, 1.25 V/ms และ 0.125 V/ms
- 17) Transient response: การตอบสนองต่อโหลดฉับพลัน (Transient response) ใช้เวลา 8 ms หรือน้อยกว่า
- 18) Ripple noise (Source only) แบบ Peak-to-Peak (p-p) ไม่เกิน 1000 mV
- 19) กระแสจ่ายออกสูงสุดที่ตั้งค่าได้ เท่ากับ +126 A หรือดีกว่า
- 20) กระแสดูดกลับสูงสุดที่ตั้งค่าได้ เท่ากับ -126 A หรือดีกว่า
- 21) ความแม่นยำในการตั้งค่า $\pm (0.75 \% \text{ of rating})$ หรือดีกว่า
- 22) ความละเอียดในการตั้งค่า เท่ากับ 0.01A หรือดีกว่า
- 23) ความผันผวนของกำลังไฟฟ้า ± 240 mA หรือดีกว่า
- 24) การเปลี่ยนแปลงของโหลด ± 240 mA หรือดีกว่า
- 25) อัตราการเปลี่ยนระดับกระแส (Slew rate switching (TYP)) : 60 A/ms , 30 A/ms , 3 A/ms , 0.3 A/ms, 0.03 A/ms
- 26) มีระบบป้องกันความปลอดภัยครบถ้วน เช่น Over Voltage Protection (OVP), Over Current Protection (OCP) และ OPP (Over power protection)
- 27) โหมดการทำงาน (Operation mode) โหมด CV, CC และ CP
- 28) จำนวนโปรแกรมสูงสุด (Maximum number of programs) เท่ากับ 30 โปรแกรม

2.2.9 เครื่องวัดสัญญาณทางไฟฟ้าพื้นฐาน จำนวน 5 เครื่อง

- 1) ช่วงช่องวัดสัญญาณ 4 ช่อง เป็นอย่างน้อย
- 2) ย่านแบนด์วิธใช้งาน 200 MHz เป็นอย่างน้อย
- 3) อัตราการสุ่มสัญญาณ 2 GSa/s แบบ (One channel mode) เป็นอย่างน้อย
- 4) ค่าความละเอียดแกนตั้ง 12 bits เป็นอย่างน้อย
- 5) ความยาวการบันทึกข้อมูล 100 Mpts เป็นอย่างน้อย
- 6) อัตราการอัปเดตรูปคลื่นสัญญาณ 120,000 wfm/s (Normal mode) และ 500,000 wfm/s (Sequence mode) เป็นอย่างน้อย
- 7) รองรับการทริกเกอร์ Edge, slop, pulse width, window, Runt, Interval, Dropout, Pattern, Video, Qualified, Nth edge, Setup/hold, Delay และ Serial เป็นอย่างน้อย
- 8) รองรับการถอดรหัสรูปคลื่นสัญญาณ I2C, SPI, UART, CAN และ LIN เป็นอย่างน้อย
- 9) รองรับการวัดค่า ได้สูงสุด 50 ค่า เป็นอย่างน้อย
- 10) รองรับการทำฟังก์ชันคณิตศาสตร์ FFT, +, -, x, +, -, x, $\div$, $\int dt$, d/dt , $\sqrt{}$, Identity, Negation, Absolute, Sign, ex, 10x, ln, lg, Interpolation, MaxHold, MinHold, ERES และ Average เป็นอย่างน้อย
- 11) มีฟังก์ชัน Search, Navigate, History, Mask test, DVM, Bode plot และ Frequency Counter เป็นอย่างน้อย
- 12) จอแสดงผล ขนาดไม่น้อยกว่า 10 นิ้ว แบบ TFT-LCD ค่าความละเอียดไม่น้อยกว่า 1024 x 600 พิกเซล และ รองรับการสัมผัส เป็นอย่างน้อย

- 13) ค่า Rise time น้อยกว่าหรือเท่ากับ 1.8 ns
- 14) ค่า Noise floor ย่าน Full Bandwidth น้อยกว่าหรือเท่ากับ 70 μ V
- 15) ค่าความแม่นยำ offset $\pm 0.5\%$ เป็นอย่างน้อย
- 16) รองรับการจัดแบนด์วิธ 20MHz และ 200MHz เป็นอย่างน้อย
- 17) รองรับ Coupling ได้ทั้ง DC, AC และ GND เป็นอย่างน้อย
- 18) รองรับการลดทอนของโพรบ (Probe attenuation) 1X, 10X, 100X และสามารถกำหนดเองได้
- 19) พิกัดค่าสเกลแกนเวลา ตั้งแต่ 1 ns/div ถึง 1000 s/div เป็นอย่างน้อย
- 20) รองรับโหมดการแสดงผล Y-T, X-Y และ Roll เป็นอย่างน้อย
- 21) รองรับโหมดการทำงานทริกเกอร์ Auto, Normal และ Single เป็นอย่างน้อย
- 22) ค่า Jitter ช่องสัญญาณ C1 ถึง C4 น้อยกว่า 100 ps เป็นอย่างน้อย
- 23) รองรับการแสดงผลแบบ Dot หรือ Vector เป็นอย่างน้อย
- 24) ตัวเครื่องรองรับแรงดันไฟฟ้า ใช้งาน 100V ถึง 240V ย่านความถี่ 50/60 Hz
- 25) แต่ละเครื่องมาพร้อมกับ สายวัดสัญญาณไฟฟ้าแบบพาสซีฟ (Passive Probe) รองรับย่านความถี่ตั้งแต่ กระแสตรง (DC) ถึงไม่น้อยกว่า 200 MHz รองรับอัตราลดทอนสัญญาณ 10X รองรับแรงดันไฟฟ้าอินพุต สูงสุดไม่น้อยกว่า 300 V RMS (CAT II) ความยาวสายสัญญาณไม่น้อยกว่า 1.2 เมตร จำนวน 4 เส้น

3. ข้อกำหนดอื่นๆ

- 3.1 บริษัทผู้ขายต้องรับประกันเครื่อง และอุปกรณ์ประกอบ เป็นเวลา 1 ปี ถ้าเกิดความผิดปกติ หรือชำรุดเสียหาย เนื่องมาจากการใช้งานตามปกติทางบริษัทต้องทำการซ่อมแซม หรือเปลี่ยนให้ใหม่โดยไม่คิดค่าใช้จ่ายเพิ่มเติม
- 3.2 บริษัทผู้ขายจะต้องส่งเจ้าหน้าที่ผู้ชำนาญการใช้เครื่องมือมาฝึกอบรมให้แก่ผู้ใช้งาน จนสามารถใช้งานเครื่องมือได้อย่างถูกต้องและมีประสิทธิภาพอย่างน้อย 2 ครั้ง
- 3.3 บริษัทผู้ขายจะต้องทำการส่งมอบเครื่องมือภายใน 180 วัน หลังจากการทำสัญญาซื้อขาย
- 3.4 คู่มือการใช้งานและคู่มือบำรุงรักษา จำนวน 1 ชุด
- 3.5 ผู้ที่ได้รับคัดเลือกต้องเป็นผู้ดำเนินการตีหมายเลขครุภัณฑ์ และถ่ายรูปภาพครุภัณฑ์ตามที่สถาบันกำหนด หลังจาก คณะกรรมการตรวจรับพัสดุได้ทำการตรวจรับพัสดุเรียบร้อยแล้ว และจัดส่งให้งานพัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ ด้วย
- 3.6 การจัดซื้อจัดจ้างครั้งนี้จะมีการลงนามในสัญญาหรือข้อตกลงเป็นหนังสือได้ต่อเมื่อพระราชบัญญัติงบประมาณ รายจ่ายประจำปีงบประมาณ พ.ศ.2570 มีผลใช้บังคับและได้รับจัดสรรงบประมาณรายจ่ายประจำปีงบประมาณ พ.ศ.2570จากสำนักงานงบประมาณแล้วและกรณีที่หน่วยงานของรัฐไม่ได้รับจัดสรรงบประมาณเพื่อการจัดซื้อจัดจ้างใน ครั้งดังกล่าวหน่วยงานของรัฐสามารถยกเลิกการจัดซื้อจัดจ้างได้
- 3.7 วงเงินงบประมาณในการจัดซื้อ 5,000,000.- บาท (ห้าล้านบาทถ้วน)
- 3.8 สาธารณชนที่ต้องการเสนอแนะ วิจารณ์ หรือมีความเห็น ต้องเปิดเผยชื่อและที่อยู่ของผู้ให้ข้อเสนอแนะ วิจารณ์หรือ มีความเห็นด้วย
- 3.9 สถานที่ติดต่อเพื่อขอทราบข้อมูลเพิ่มเติม และส่งข้อเสนอแนะ วิจารณ์ หรือแสดงความคิดเห็น สามารถส่งข้อคิดเห็น หรือข้อเสนอแนะ วิจารณ์เกี่ยวกับร่างขอบเขตของงานนี้ได้ที่ สำนักงานพัสดุ สำนักงานอธิการบดี โทรศัพท์ 0-2329-8124, E-mail : pasada@kmitl.ac.th, เว็บไซต์ : <https://www.kmitl.ac.th/th/procurement> จึ่งเรียนมาเพื่อ ทราบและโปรดดำเนินการ

4. สถานที่ติดตั้ง

อาคารปฏิบัติการกลางคณะวิศวกรรมศาสตร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สจล.

ผู้กำหนดรายละเอียดคุณลักษณะเฉพาะ	เห็นชอบรายละเอียดคุณลักษณะเฉพาะ
	
(ผศ.ดร.ธีรพล โพธิ์พงษ์วิวัฒน์) ตำแหน่ง อาจารย์	(ดร.สมภพ ผลไม้) ตำแหน่ง อาจารย์
เห็นชอบรายละเอียดคุณลักษณะเฉพาะ	เห็นชอบรายละเอียดคุณลักษณะเฉพาะ
	
(ผศ.ดร.ธีรพล โพธิ์พงษ์วิวัฒน์) ตำแหน่ง อาจารย์	(นายเกื้อกุล ฤกษ์วัฒนากุล) ตำแหน่ง วิศวกร