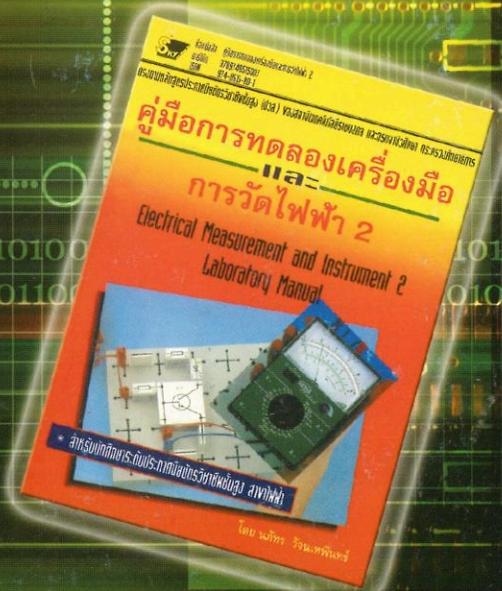


ทฤษฎี

เครื่องมือและ

การวัดทางไฟฟ้า

Electrical Measurement and Instrumentation



โดย... **วโรจน์ วัจนเทพินทร์**

ทฤษฎีเครื่องมือ และ การวัดทางไฟฟ้า

◀◀◀◀ ...โดย... ▶▶▶▶

วีระพันธ์ ติย์พาสน
นภัทร วัจนเทพินทร์



บริษัท สกายบุ๊กส์ จำกัด
SKYBOOK COMPANY LIMITED
515/276-8 ถ.รังสิต-ปทุมธานี ต.ปะทะชัยปัดย์ อ.ธัญบุรี จ.ปทุมธานี 12130
โทร. 0-2958-1125-7, 0-2567-5119 โทรสาร. 0-2567-5105
E-mail: skybook1992@hotmail.com

www.skybook.co.th

“ทฤษฎีเครื่องมือและการวัดทางไฟฟ้า”

พิมพ์ครั้งที่ 1 มีนาคม 2546

สงวนลิขสิทธิ์ตามกฎหมาย

ห้ามคัดลอกถ่ายเอกสารหรือพิมพ์

หรือวิธีที่เน่่ววิธีใดของหนังสือเล่มนี้ก่อนได้รับอนุญาต

จากบริษัท สกายบุ๊กส์ จำกัด

ราคา 150 บาท

ข้อมูลทางบรรณานุกรมของหอสมุดแห่งชาติ

ทฤษฎีเครื่องมือและการวัดทางไฟฟ้า -- กรุงเทพฯ : สกายบุ๊กส์, 2546.

368 หน้า

1. การวัดไฟฟ้า 2. เครื่องวัดไฟฟ้า 3. การวัดทางอิเล็กทรอนิกส์ I. ชื่อเรื่อง

621 . 37

ISBN : 974-389-171-4

S7901-30-03-03

จัดพิมพ์และจำหน่ายโดย



บริษัท สกายบุ๊กส์ จำกัด

SKYBOOK COMPANY LIMITED

515/270-8 ถ.รัชฎา-อนุสาวรีย์ อ.ปทุมธานี อ.ธัญบุรี จ.ปทุมธานี 12130

โทร. 0-2958-1125-7, 0-2567-5119 โทรสาร. 0-2567-5105

E-mail: skybook1992@hotmail.com

www.skybook.co.th

พิมพ์ที่ บริษัท สยามสปอร์ต ซินดิเคท จำกัด

459 ซอยพินุลย์อุปกัมภ์ (ลาดพร้าว 48) แขวงสามเสนนอก เขตห้วยขวาง กรุงเทพฯ 10310

โทรศัพท์ : 0-2694-3010

◀◀◀◀ คำนำ ▶▶▶▶

หนังสือทฤษฎีเครื่องมือและการวัดทางไฟฟ้า เรียบเรียงขึ้นเพื่อใช้ประกอบการเรียนการสอนในวิชาเครื่องวัดไฟฟ้า ระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.) ตรงตามหลักสูตรของสถาบันเทคโนโลยีราชมงคล ฉบับปรับปรุงใหม่ปี พ.ศ. 2542 และหลักสูตรของกรมอาชีวศึกษา เนื้อหาภายในเล่มมีทั้งส่วนประกอบของเครื่องมือวัดแบบต่าง ๆ การคำนวณเบื้องต้น การคำนวณเพื่อขยายย่านวัด และคำนวณเพื่อหาค่า R L และ C ซึ่งมีความสำคัญในระดับ ปวส. อีกทั้งยังกล่าวถึง ออสซิลโลสโคป เครื่องกำเนิดสัญญาณ มัลติมิเตอร์แอนะล็อก และมัลติมิเตอร์ดิจิตอล รวมทั้งมีตัวอย่างเครื่องมือดังกล่าวที่ใช้งานจริงในห้องปฏิบัติการ เพื่อให้ผู้เรียนได้คุ้นเคยและรู้จักการอ่านคุณลักษณะของเครื่องมือวัดเหล่านี้ บทเรียนสุดท้ายกล่าวถึงการเปรียบเทียบเครื่องมือวัดเบื้องต้น เพื่อให้ทราบถึงหลักการรวมทั้งวิธีการเปรียบเทียบเครื่องมือวัดในทางปฏิบัติอีกด้วย

หนังสือเล่มนี้สำเร็จได้ด้วยครู-อาจารย์ทุกท่านที่ให้ความรู้แก่ผู้เรียบเรียง กำลังใจจากผู้เรียนที่ให้ความสนใจต่อการเรียนการสอนระหว่างที่ข้าพเจ้าทำการสอน กำลังใจจากครอบครัว วังนเทพินทร์ ครอบครัวดิยัพเสน หนังสือเล่มนี้จึงสำเร็จและให้คุณค่า

วีระพันธ์ ดิยัพเสน
นภัทร วังนเทพินทร์

สารบัญ

บทที่ 1	หน่วย ขนาด และมาตรฐาน.....	7
1.1	ความเป็นมาของระบบหน่วย.....	8
1.2	ระบบเอส.ไอ.	8
1.3	การยกกำลังของเลขสิบ.....	15
1.4	หน่วยทางไฟฟ้าในระบบเอส.ไอ.ที่นิยมใช้.....	17
1.5	มาตรฐานของการวัด.....	19
	แบบฝึกหัดบทที่ 1.....	24
บทที่ 2	ความผิดพลาดจากการวัด.....	28
2.1	ความผิดพลาดรวม และความผิดพลาดเป็นระบบ.....	29
2.2	ค่าผิดพลาดสัมบูรณ์ และค่าผิดพลาดสัมพัทธ์.....	31
2.3	ความแม่นยำ ความเที่ยงตรง การแยกขีด และเลขชี้ศูนย์สำคัญ.....	32
2.4	ค่าผิดพลาดจากการวัด.....	35
2.5	การหาค่าเฉลี่ยของตัวเลข.....	40
	แบบฝึกหัดบทที่ 2.....	41
บทที่ 3	เครื่องมือวัดทางกลไฟฟ้า.....	45
3.1	เครื่องวัดแบบขดลวดเคลื่อนที่แม่เหล็กถาวร.....	46
3.2	กัลวานอมิเตอร์.....	54
3.3	แอมมิเตอร์กระแสตรง.....	55
3.4	โวลต์มิเตอร์กระแสตรง.....	71
3.5	โวลต์มิเตอร์กระแสสลับแบบเรียงกระแส.....	87
3.6	แอมมิเตอร์กระแสสลับแบบเรียงกระแส.....	96
3.7	โอห์มมิเตอร์.....	98
	แบบฝึกหัดบทที่ 3.....	117



บทที่ 4	การวัดค่าอิมพีแดนซ์ และการหาค่า R-L-C ด้วยวงจรมีปริดจ์.....	124
	4.1 การหาค่าอิมพีแดนซ์.....	125
	4.2 วิดส์โตนปริดจ์.....	140
	4.3 เคลวินปริดจ์.....	149
	4.4 เมกะโอห์มมิเตอร์.....	152
	4.5 วงจรมีปริดจ์กระแสสลับ.....	154
	แบบฝึกหัดบทที่ 4.....	172
บทที่ 5	กำลังไฟฟ้าและเครื่องมือวัดกำลังไฟฟ้า.....	178
	5.1 กำลังไฟฟ้าที่ปรากฏ กำลังไฟฟ้าจริง และกำลังไฟฟ้าต้านกลับ.....	179
	5.2 วัตต์มิเตอร์.....	188
	5.3 เพาเวอร์แฟกเตอร์มิเตอร์.....	203
	5.4 เครื่องวัดงานไฟฟ้า.....	208
	5.5 เครื่องวัดกำลังไฟฟ้าต้านกลับ.....	215
	แบบฝึกหัดบทที่ 5.....	218
บทที่ 6	มัลติมิเตอร์ชนิดแอนะล็อกและดิจิตอล.....	223
	6.1 บทนำ.....	224
	6.2 มัลติมิเตอร์แบบ PMMC.....	224
	6.3 มัลติมิเตอร์แบบอิเล็กทรอนิกส์แอนะล็อก.....	234
	6.4 มัลติมิเตอร์อิเล็กทรอนิกส์แอนะล็อกที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ.....	246
	6.5 หลักการของมัลติมิเตอร์อิเล็กทรอนิกส์แบบดิจิตอล.....	247
	6.6 มัลติมิเตอร์ดิจิตอลแบบแคลมป์ออน.....	261
	แบบฝึกหัดบทที่ 6.....	266
บทที่ 7	เครื่องกำเนิดสัญญาณ และออสซิลโลสโคป.....	270
	7.1 สัญญาณไฟสลับ.....	271
	7.2 วงจรเครื่องกำเนิดสัญญาณ.....	274
	7.3 เครื่องกำเนิดสัญญาณที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ.....	289
	7.4 ออสซิลโลสโคป.....	293
	7.5 ออสซิลโลสโคปที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ.....	327
	แบบฝึกหัดบทที่ 7.....	331



บทที่ 8	การเปรียบเทียบเครื่องมือวัด.....	336
	8.1 การเปรียบเทียบด้วยวิธีเปรียบเทียบกับเครื่องวัดมาตรฐาน.....	337
	8.2 เครื่องมือวัดมาตรฐานในทางปฏิบัติ.....	343
	แบบฝึกหัดบทที่ 8.....	357
ภาคผนวก ก.....		360
ภาคผนวก ข.....		363
ภาคผนวก ค.....		365

บทที่ 1 ▶ หน่วย ขนาด และมาตรฐาน ▶▶▶▶▶

วัตถุประสงค์ของบทเรียน

1. เข้าใจหน่วยที่สำคัญในระบบเอส.ไอ.
2. หาค่ากำลังในเลขฐานสิบได้ถูกต้อง
3. เปลี่ยนหน่วยทางไฟฟ้าในระบบเอส.ไอ.ได้
4. เข้าใจความหมายของมาตรฐานการวัด
5. เข้าใจเรื่องเกี่ยวกับมาตรฐานทางไฟฟ้าที่สำคัญ

1.1 ความเป็นมาของระบบหน่วย

ก่อนที่มาตรฐานในการวัดจะเกิดขึ้น ได้มีการนำหน่วยจากหลาย ๆ ระบบมาใช้ ทั้งนำมาวัดความยาว น้ำหนัก ปริมาตร แต่เมื่อวิวัฒนาการของเทคโนโลยีทางไฟฟ้าก้าวไปไกลขึ้น ในปี ค.ศ. 1790 ฝรั่งเศสได้สนับสนุนให้มีการจัดตั้งระบบเมตริกขึ้น ใช้เป็นระบบในการวัดน้ำหนัก ความยาว มวล เวลา อุณหภูมิ ขึ้น และในปี ค.ศ. 1875 17 ประเทศในโลกรวมตัวกันใช้ระบบเมตริกและกำหนดเป็นมาตรฐานเมตริกขึ้น โดยใช้หลักการของระบบเลขยกกำลังเป็นตัวคูณ ในการกำหนดปริมาณของหน่วยเมตริก เช่น 10^n หลังจากนั้นอังกฤษได้พัฒนาระบบหน่วยวัดปริมาณทางไฟฟ้าและฟิสิกส์ขึ้น เรียกว่า ระบบ CGS ใช้หน่วยวัดพื้นฐานคือ เซนติเมตร กรัม วินาที และต่อมาในปี 1935 ได้มีการพัฒนาระบบ CGS ให้ใช้หน่วยเป็นเมตร กิโลกรัม วินาที แอมแปร์ หรือระบบ MKSA ซึ่งแตกรายละเอียดของการวัดให้เพิ่มมากกว่าระบบ CGS จนกระทั่งเป็นที่ตกลงกันทุกประเทศทั่วโลกในปี ค.ศ. 1960 เรียกระบบมาตรฐานล่าสุดว่า ระบบเอส.ไอ. (SI : System International) ซึ่งใช้หน่วยวัดความยาวเป็นเมตร (m) น้ำหนักเป็นกิโลกรัม (kg) เวลาเป็นวินาที (s) เป็นต้น ดังนั้นจึงควรศึกษาระบบเอส.ไอ.ให้เข้าใจ และสามารถแปลหน่วยระบบอื่น ๆ ให้เป็นระบบเอส.ไอ.ได้อย่างถูกต้อง

1.2 ระบบเอส.ไอ.

หน่วยพื้นฐานในระบบเอส.ไอ. (SI Units) แบ่งออกเป็น 3 กลุ่มคือ หน่วยวัดทางกล หน่วยวัดทางไฟฟ้า และหน่วยวัดอุณหภูมิ ซึ่งจะกล่าวในรายละเอียดดังต่อไปนี้

1.2.1 หน่วยวัดทางกลระบบเอส.ไอ.

หน่วยวัดพื้นฐานทางกลในระบบเอส.ไอ.มี 3 ตัวคือ ความยาว มีหน่วยเป็นเมตร (Meter : m) มวล (Mass) มีหน่วยเป็นกิโลกรัม (Kilogram : kg) และเวลา มีหน่วยเป็นวินาที (Second : S)

หน่วยของแรง (Force) สำหรับหน่วยของแรงในระบบเอส.ไอ. คือ นิวตัน (Newton : N) นิยามของนิวตันคือ แรงที่ทำให้มวล 1 กิโลกรัม เคลื่อนที่ได้ระยะทาง 1 เมตร ในอัตราเร่งของเวลา (Acceleration) 1 วินาที² ดังสมการ (1.1)

$$F = ma \quad \dots\dots\dots(1.1)$$

เมื่อ $F =$ แรง (Force)

$m =$ มวล (kg)

$a =$ อัตราเร่งของเวลาเคลื่อนที่เป็นเมตรต่อวินาทีต่อวินาที (เมตร/วินาที²; $\frac{m}{s^2}$)

สมการ (1.1) หมายถึงมวลที่เคลื่อนที่ในแนวขนานกับผิวโลก แต่ถ้ามวลเคลื่อนที่ในแนวตั้งฉากกับผิวโลก ค่า ma จะเท่ากับแรงโน้มถ่วงของโลก (gravity : g) ดังนั้นในระบบเอส.ไอ.

การเคลื่อนที่ของมวล 1 กิโลกรัม ในแนวตั้งฉากกับพื้นโลกจะเกิดแรงขึ้น 9.81 นิวตัน (N) และค่า g หาได้จากสมการ (1.2)

$$g = 9.81 \frac{\text{m}}{\text{S}^2} \quad \text{.....(1.2)}$$

หน่วยของงาน (Work) ในระบบเอส.ไอ. งานหมายถึงแรงคูณด้วยระยะทาง (Force \times Distance) มีหน่วยเป็นจูล (Joule : J) หมายถึงงานที่สามารถทำให้แรง 1 นิวตัน เคลื่อนที่ไปได้ระยะทาง 1 เมตร หน่วยจูลเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า นิวตัน-เมตร (Newton-meter : N-m) ดังสมการ (1.3)

$$W = Fd \quad \text{.....(1.3)}$$

เมื่อ W = งาน หน่วยเป็นจูล (J) หรือนิวตัน-เมตร (N-m)

F = แรง หน่วยเป็นนิวตัน (N)

d = ระยะทาง หน่วยเป็นเมตร (m)

หน่วยของพลังงาน (Energy : E) ให้เป็นหน่วยเดียวกันกับงาน (W) ดังนั้น E จึงเท่ากับ W มีหน่วยเป็นจูล (J) หรือนิวตัน-เมตร

หน่วยของกำลัง (Power) ในระบบเอส.ไอ. กำลัง หมายถึงงานที่ได้กระทำในเวลาที่กำหนด หรืองาน 1 จูลทำในเวลา 1 วินาที คือกำลัง 1 วัตต์ นั่นคือ หน่วยของกำลังคือ วัตต์ (Watt : W) และสมการของกำลังคือ สมการ (1.4)

$$P = \frac{W}{t} \quad \text{.....(1.4)}$$

เมื่อ P = กำลัง หน่วยเป็นวัตต์ (W)

W = งาน หน่วยเป็น จูล (J) หรือนิวตัน-เมตร (N-m)

t = เวลา หน่วยเป็นวินาที (S)

1.2.2 หน่วยวัดทางไฟฟ้าในระบบเอส.ไอ.

หน่วยวัดกระแสและประจุ กระแสไฟฟ้า (Electric Current : I) หมายถึงจำนวนการไหลของประจุไฟฟ้า (Charge) จำนวน 1 คูลอมบ์ (Coulomb : C) ผ่านจุด ๆ หนึ่งในเวลา 1 วินาที ดังนั้นหน่วยของกระแสไฟฟ้าคือ แอมแปร์ (Ampere : A) และหน่วยของประจุไฟฟ้า (Q) คือ คูลอมบ์ (C) ในระบบเอส.ไอ. กระแสไฟฟ้า 1 A หมายถึงกระแสที่ไหลผ่านระหว่างจุด 2 จุด ที่มีความยาวของตัวนำ 1 เมตร ด้วยแรง 2×10^{-7} N-m และประจุไฟฟ้า 1 C หมายถึง ประจุไฟฟ้าที่เกิดขึ้นที่จุด ๆ หนึ่งในตัวนำ เมื่อมีกระแสไฟฟ้าจำนวน 1 A ไหลผ่าน นั่นคือ คูลอมบ์เท่ากับ แอมแปร์-วินาที และกระแสจะมีค่าดังสมการ (1.5)

$$I = \frac{Q}{t} \quad \text{.....(1.5)}$$

เมื่อ I = กระแสไฟฟ้า หน่วยเป็นแอมแปร์ (A)

Q = ประจุไฟฟ้า หน่วยเป็นคูลอมบ์ (C)

t = เวลา หน่วยเป็นวินาที

จากการทดลองทางฟิสิกส์พบว่า ประจุไฟฟ้า 1 C เท่ากับอิเล็กตรอนจำนวน 6.24×10^{18} อิเล็กตรอน ดังนั้นประจุไฟฟ้าของอิเล็กตรอน 1 ตัวคือ

$$Q = \frac{1}{6.24 \times 10^{18}}$$

$$Q = 1.602 \times 10^{-19} \text{ คูลอมบ์}$$

หน่วยวัดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ (Emf) และแรงดันไฟฟ้า (Voltage) แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ (Electromotive Force : Emf) มีหน่วยวัดเป็นโวลต์ (Volt : V) ในระบบเอส.ไอ. เช่นเดียวกับค่าของแรงดันไฟฟ้าระหว่างจุด 2 จุดในวงจรไฟฟ้า มีหน่วยเป็นโวลต์เช่นกัน หรือ 1 V หมายความว่ากระแส 1 A ไหลผ่านจุด 2 จุดในวงจรไฟฟ้า แล้วทำให้เกิดกำลังไฟฟ้า ผ่านจุดนั้น เท่ากับ 1 W

เนื่องจากประจุไฟฟ้า 1 C เท่ากับ 6.24×10^{18} อิเล็กตรอน งาน 1 J ที่จะทำให้ อิเล็กตรอน 6.24×10^{18} อิเล็กตรอน เคลื่อนที่ผ่านที่ความต่างศักย์ระหว่างจุด 2 จุดเท่ากับ 1 V ดังนั้นงานจำนวน 1 อิเล็กตรอนโวลต์ (Electron Volt : 1 eV) จึงเท่ากับ

$$1 \text{ eV} = \frac{1}{6.24 \times 10^{18}} \text{ จูล}$$

คำสำคัญ

นิวตัน : ชื่อของนักคณิตศาสตร์ชาวอังกฤษ คือ Sir Isaac Newton (1642-1727)

จูล : ชื่อของนักฟิสิกส์ชาวอังกฤษ คือ James P. Joule (1818-1899)

วัตต์ : ชื่อของวิศวกรชาวสก๊อตแลนด์ คือ James Watt (1736-1819)

คูลอมบ์ : ชื่อของนักฟิสิกส์ชาวฝรั่งเศส คือ Charls Augustin de Coulomb (1736-1806)

แอมแปร์ : ชื่อของนักฟิสิกส์และนักคณิตศาสตร์ชาวฝรั่งเศส คือ André Marie Ampère (1775-1836)

โวลต์ : ชื่อของนักฟิสิกส์ชาวอิตาลี คือ Alessandro Volta (1745-1827)

โอห์ม : ชื่อของนักฟิสิกส์ชาวเยอรมัน คือ Gorge Simon Ohm (1787-1854)
ผู้ค้นพบกฎของโอห์ม

- ซีเมนส์ : ชื่อของวิศวกรชาวเยอรมัน คือ Karl William Von Siemens
 เวเบอร์ : ชื่อของนักฟิสิกส์ชาวเยอรมัน คือ Wilhelm Weber (1804-1890)
 เทสลา : ชื่อของนักฟิสิกส์ชาวโครเอเชีย-อเมริกัน คือ Nikola Tesla (1856-1943)

หน่วยวัดความต้านทานและความนำไฟฟ้า ในระบบเอส.ไอ. หน่วยวัดค่าความต้านทาน (Resistance : R) มีหน่วยเป็นโอห์ม (Ohm : Ω) ใช้ตัวอักษรกรีกตัวโอเมกา (Omeca : Ω) แทนหน่วยของโอห์ม ค่าความต้านทานหนึ่งโอห์ม หมายถึงค่าความต้านทานที่ยอมให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านได้ 1 A เมื่อแรงดันตกคร่อมตัวต้านทานเท่ากับ 1 V

สำหรับค่าความนำไฟฟ้า (Conductance : G) นิยามของค่าความนำไฟฟ้าคือ ส่วนกลับของค่าความต้านทานมีหน่วยในระบบเอส.ไอ.เป็นซีเมนส์ (Siemens : S) ค่าของ G หาได้จากสมการ (1.6)

$$G = \frac{1}{R} \quad \dots\dots\dots(1.6)$$

- เมื่อ G = ค่าความนำไฟฟ้า หน่วยเป็นซีเมนส์ (S)
 R = ค่าความต้านทาน หน่วยเป็นโอห์ม (Ω)

หน่วยวัดค่าเส้นแรงแม่เหล็กและความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็ก

ค่าเส้นแรงแม่เหล็ก (Magnetic Flux : ϕ) ใช้ตัวอักษรกรีก phi แทนค่าเส้นแรงแม่เหล็ก และหน่วยการวัดเส้นแรงแม่เหล็กในระบบเอส.ไอ.คือ เวเบอร์ (Weber : Wb) นิยามของเส้นแรงแม่เหล็กจำนวน 1 Wb หมายถึงเส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดขึ้นรอบ ๆ ขดลวดตัวนำ 1 รอบ ได้รับแรงดัน 1 V เมื่อเส้นแรงแม่เหล็กลดลงเป็นศูนย์ด้วยอัตราคงที่ในเวลา 1 วินาที

ความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็ก (Magnetic Flux Density : B) มีหน่วยในระบบเอส.ไอ.เป็นเทสลา (Tesla : T) นิยามของเทสลา หมายถึงความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็ก เมื่อเส้นแรงแม่เหล็กจำนวน 1 เวเบอร์ ต่อพื้นที่ 1 ตารางเมตร หน่วยของเทสลาจึงเท่ากับ Wb/m^2

หน่วยวัดค่าอินдукแตนซ์ ในระบบเอส.ไอ. ค่าอินдукแตนซ์หรือค่าความเหนี่ยวนำ (Inductance : L) มีหน่วยวัดเป็นเฮนรี (Henry : H) นิยามของค่าความเหนี่ยวนำ 1 H หมายถึงเมื่อแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 1 V เหนี่ยวนำขึ้นจากกระแสที่ผ่านขดลวดจำนวน 1 A เปลี่ยนแปลงด้วยอัตราคงที่ที่ 1 A/S

หน่วยวัดค่าคาปาซิแตนซ์ ในระบบเอส.ไอ. ค่าคาปาซิแตนซ์หรือค่าความจุไฟฟ้า (Capacitance : C) มีหน่วยเป็นฟารัด (Farad : F) 1 F มีความหมายว่าความสามารถของตัวเก็บประจุที่สามารถบรรจุประจุไฟฟ้า 1 C ด้วยแรงดันระหว่างขั้วทั้งสองของตัวเก็บประจุ 1 V

1.2.3 หน่วยวัดอุณหภูมิ

ในระบบเอส.ไอ. มีหน่วยวัดอุณหภูมิอยู่ 2 สเกลคือ สเกลเซลเซียส (Celsius Scale) และสเกลเคลวิน (Kelvin Scale) ในสเกลเซลเซียสจะกำหนดจากจุดเยือกแข็งที่ 0°C และจุดเดือดที่ 100°C แบ่งสเกลเซลเซียสเป็น 100 ส่วนเท่า ๆ กัน ช่วงห่างแต่ละส่วนเท่ากับ 1°C ($^{\circ}\text{C}$: Celsius Degree) สำหรับสเกลเคลวินรู้จักกันในชื่อว่าสเกลสัมบูรณ์ (Absolute Scale) ที่จุด 0 K ของสเกลเคลวิน จะเท่ากับ -273.15°C ดังนั้นที่ 0°C ของสเกลเซลเซียสจะเท่ากับ 273.15 K และที่ 100°C จะเท่ากับ 373.15 K

ในระบบสเกลเคลวิน ดังนั้นระยะห่างของสเกลทั้งแบบเคลวินและเซลเซียส จะมีช่องว่างแต่ละส่วนเท่ากับ 1 ช่องเท่า ๆ กัน

1.2.4 ขนาดในระบบเอส.ไอ.

ขนาด (Dimensions) ในระบบเอส.ไอ. หมายถึงตัวบอกผลของปริมาณต่าง ๆ เช่น ความยาว มีหน่วยเป็นเมตร (m) มีขนาดเป็น L หรือมวล มีหน่วยเป็นกิโลกรัม มีขนาดเป็น M เป็นต้น ตารางที่ 1.1 แสดงหน่วยในระบบเอส.ไอ. สัญลักษณ์ ขนาด และปริมาณทั้งหมดในระบบเอส.ไอ.

ตารางที่ 1.1 แสดงหน่วยในระบบเอส.ไอ. และขนาด

Quantity	Symbol	Unit	Unit Symbol	Dimensions
Length	l	Meter (เมตร)	m	[L]
Mass	m	Kilogram (กิโลกรัม)	kg	[M]
Time	t	Second (วินาที)	s	[T]
Area	A	Square Meter (ตารางเมตร)	m^2	[L ²]
Volume	V	Cubic Meter (ลูกบาศก์เมตร)	m^3	[L ³]
Velocity	v	Meter per Second (เมตร/วินาที)	m/s	[LT ⁻¹]
Acceleration	a	Meter per Second per Second (เมตร/วินาที/วินาที)	m/s^2	[LT ⁻²]
Force	F	Newton (นิวตัน)	N	[MLT ⁻²]
Pressure	p	Newton per Square Meter (นิวตัน/ตารางเมตร)	N/m^2	[ML ⁻¹ T ⁻²]
Work	W	Joule (จูล)	J	[ML ² T ⁻²]
Power	P	Watt (วัตต์)	W	[ML ² T ⁻³]
Electric Current	I	Ampere (แอมป์)	A	[I]
Electric Charge	Q	Coulomb (คูลอมบ์)	C	[IT]
Emf	V	Volt (โวลต์)	V	[ML ² T ⁻³ I ⁻¹]
Electric Field				
Strength	ξ	Volt per Meter (โวลต์/เมตร)	V/m	[MLT ⁻³ I ⁻¹]
Resistance	R	Ohm (โอห์ม)	Ω	[ML ² T ⁻³ I ⁻²]
Capacitance	C	Farad (ฟารัด)	F	[M ⁻¹ L ⁻² T ⁴ I ²]
Inductance	L	Henry (เฮนรี่)	H	[ML ² T ⁻² I ⁻²]
Magnetic Field				
Strength	H	Ampere per Meter (แอมป์/เมตร)	A/m	[IL ⁻¹]
Magnetic Flux	ϕ	Weber (เวเบอร์)	Wb	[ML ² T ⁻² I ⁻¹]
Magnetic Flux				
Density	B	Tesla (เทสลา)	T	[MT ⁻² I ⁻¹]

ที่มาของขนาดในตารางที่ 1.1 พิจารณาได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{ก. พื้นที่ (A)} &= \text{ความยาว} \times \text{ความยาว} \\ &= L \times L \end{aligned}$$

$$\therefore A = [L^2]$$

$$\text{ข. ความเร็ว} = \frac{\text{ความยาว}}{\text{เวลา}} = \frac{L}{T}$$

$$= [LT^{-1}]$$

$$\text{ค. แรง (F)} = \text{มวล} \times \text{Acceleration}$$

$$\therefore F = [M] [LT^{-2}]$$

$$= MLT^{-2}$$

$$\text{ง. งาน (W)} = \text{แรง} \times \text{ระยะทาง}$$

$$W = F \times d$$

$$= [MLT^{-2}] [L]$$

$$\therefore W = [ML^2 T^{-2}]$$

$$\text{จ. กำลัง (P)} = \frac{\text{งาน(W)}}{\text{เวลา (T)}}$$

$$= \frac{[ML^2 T^{-2}]}{[T]}$$

$$= [ML^2 T^{-3}]$$

$$\text{ฉ. ประจุ (Q)} = \text{กระแส (I)} \times \text{เวลา (T)}$$

$$\therefore Q = [I] [T]$$

$$= [IT]$$

ตัวอย่างที่ 1.1 จงหาขนาดของแรงดันไฟฟ้าและค่าความต้านทาน

วิธีทำ

$$\text{จากสมการ} \quad P = EI$$

$$\text{แรงดันคือ} \quad E = \frac{P}{I} = \frac{[ML^2 T^{-3}]}{[I]}$$

$$\therefore E = [ML^2 T^{-3} I^{-1}]$$

$$\text{ค่าความต้านทานคือ} \quad R = \frac{E}{I} = \frac{[ML^2 T^{-3} I^{-1}]}{[I]}$$

$$\therefore R = [ML^2 T^{-3} I^{-2}]$$

1.3 การยกกำลังของเลขสิบ

การยกกำลังของเลขสิบ นำมาใช้กันอย่างแพร่หลายในการวัดและหน่วยของการวัด สำหรับปริมาณทางไฟฟ้าและทางกลในระบบเอส.ไอ. ในการวัดค่าปริมาณไฟฟ้า บางกรณีวัดค่าได้จำนวนน้อยมาก เช่น วัดกระแสไฟฟ้าได้ 0.0001 A หรือบางกรณีวัดค่าได้สูงมาก เช่น วัดขนาดแรงดันไฟฟ้าได้ 1,000,000 V เป็นต้น ในการนำไปใช้บันทึกค่าหรือเขียนข้อมูลเหล่านี้ทำได้ยากและเกิดความผิดพลาดได้ง่าย จึงนำวิธีการยกกำลังของเลขสิบ (Power of 10) มาใช้แทนการเขียนเลขจำนวนมาก ๆ ดังเช่น

ตัวอย่างที่ 1.2

วิธีทำ	ก. ตัวเลข	100 = $1 \times 10 \times 10$
	หรือ	100 = 1×10^2
ข. ตัวเลข	10000 = $1 \times 10 \times 10 \times 10 \times 10$	
	หรือ	10000 = 1×10^4

ตัวอย่างที่ 1.3

วิธีทำ	ก. ตัวเลข	$0.001 = \frac{1}{10 \times 10 \times 10}$
	ดังนั้น	$0.001 = \frac{1}{10^3} = 1 \times 10^{-3}$
ข. ตัวเลข	$1500 = 1.5 \times 10^3$	
ค. ตัวเลข	$0.015 = 1.5 \times 10^{-2}$	

ตัวอย่างที่ 1.4 กระแสไฟฟ้า 0.000001 A เขียนในเลขยกกำลังของสิบได้เท่าไร

$$\begin{aligned}
 \text{วิธีทำ} \quad \text{กระแส } 0.000001 \text{ A} &= \frac{1}{10 \times 10 \times 10 \times 10 \times 10 \times 10} \\
 &= \frac{1}{10^6} \\
 \therefore \text{กระแส } 0.000001 \text{ A} &= 1 \times 10^{-6} \text{ A}
 \end{aligned}$$

สำหรับหน่วยทางไฟฟ้าในระบบเอส.ไอ.ที่ได้ศึกษาผ่านมานั้น จะกำหนดชื่อประกอบ (Prefix) ที่ใช้เรียกแทนเลขยกกำลังของสิบ ดังตารางที่ 1.1 ซึ่งแสดงตั้งแต่ค่าเลข 10^{12} ถึง 10^{-12}



ตารางที่ 1.2 แสดงค่าของการยกกำลังเลขสิบ และชื่อประกอบของตัวเลข และสัญลักษณ์ที่ใช้แทนชื่อประกอบตั้งแต่ 10^{12} ถึง 10^{-12}

Value	Scientific Notation	Prefix	Symbol
1 000 000 000 000	10^{12}	Tera	T
1 000 000 000	10^9	Giga	G
1 000 000	10^6	Mega	M
1 000	10^3	Kilo	k
100	10^2	Hecto	h
10	10	Deka	da
0.1	10^{-1}	Deci	d
0.01	10^{-2}	Centi	c
0.001	10^{-3}	Milli	m
0.000 001	10^{-6}	Micro	μ
0.000 000 001	10^{-9}	Nano	n
0.000 000 000 001	10^{-12}	Pico	p

ตัวอย่างที่ 1.5 จงบอกถึงค่าของ 1 k Ω 1 mA 1 μ A และ 4.7 mV ว่ามีค่าเท่าไร

วิธีทำ

ก. 1 k Ω = 1,000 Ω = $1 \times 10^3 \Omega$

ข. 1 mA = 0.001 A = 1×10^{-3} A

ค. 1 μ A = 0.000001 A = 1×10^{-6} A

ง. 4.7 mV = 0.0047 V = 4.7×10^{-3} V

ตัวอย่างที่ 1.6 แท่งแม่เหล็กมีพื้นที่หน้าตัด 1 ตารางนิ้ว ทำให้เกิดเส้นแรงแม่เหล็กรวม 5 μWb จงหาค่าของความหนาแน่นของฟลักซ์แม่เหล็ก (B) ในหน่วยเทสลา (T)

วิธีทำ

$$\begin{aligned}\phi &= 5 \mu\text{Wb} \\ \therefore \phi &= 5 \times 10^{-6} \text{ Wb} \\ \text{พื้นที่หน้าตัด } A &= 1 \text{ Inch}^2 \times (2.54 \times 10^{-2})^2 \text{ m}^2 \\ \therefore A &= 2.54^2 \times 10^{-4} \text{ m}^2 \\ B &= \frac{\phi}{A} \\ &= \frac{5 \times 10^{-6} \text{ Wb}}{2.54^2 \times 10^{-4} \text{ m}^2} \\ &= 7.75 \times 10^{-3} \text{ T} \\ \therefore B &= 7.75 \text{ mT}\end{aligned}$$

ตัวอย่างที่ 1.7 อุณหภูมิในร่างกายมนุษย์ปกติ 98.6 °F จงหาค่าอุณหภูมิในหน่วยสเกลเซลเซียส และสเกลเคลวิน

วิธีทำ

จากภาคผนวก ก.

$$\begin{aligned}\text{ก. สเกลเซลเซียส} &= \frac{^{\circ}\text{F} - 32}{1.8} \\ &= \frac{98.6^{\circ} - 32^{\circ}}{1.8} \\ &= 37^{\circ}\text{C} \\ \text{ข. สเกลเคลวิน} &= \frac{^{\circ}\text{F} - 32}{1.8} + 273.15 \\ &= 37 + 273.15 \\ &= 310.15 \text{ K}\end{aligned}$$

1.4 หน่วยทางไฟฟ้าในระบบเอส.ไอ.ที่นิยมใช้

หน่วยทางไฟฟ้าซึ่งได้จากการวัดทางไฟฟ้า เช่น กระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้า ความต้านทาน และกำลังไฟฟ้า รวมทั้งความจุและความเหนี่ยวนำ ซึ่งเป็นหน่วยมาตรฐานและชื่อประกอบของหน่วยที่เขียนในรูปเลขยกกำลังสิบ มีรายละเอียดดังนี้



ตารางที่ 1.3 แสดงหน่วยทางไฟฟ้าและค่าจริงของหน่วยพื้นฐานทางไฟฟ้าในระบบเอส.ไอ.

หน่วยทางไฟฟ้า	ค่าชื่อประกอบ	ค่ายกกำลังสิบ	ค่าจริง
โอห์ม (Ω)	1 M Ω	$10^6 \Omega$	1,000,000 Ω
	1 k Ω	$10^3 \Omega$	1,000 Ω
	1 $\mu\Omega$	$10^{-6} \Omega$	0.000001 Ω
แอมแปร์ (A)	1 mA	$10^{-3} A$	0.001 A
	$10^6 \mu A$	$10^3 mA$	1 A
	1 μA	$10^{-6} A$	0.000001 A
โวลต์ (V)	1 MV	$10^6 V$	1,000,000 V
	1 kV	$10^3 V$	1,000 V
	1 mV	$10^{-3} V$	0.001 V
	1 μV	$10^{-6} V$	0.000001 V
วัตต์ (W)	1 MW	$10^6 W$	1,000,000 W
	1 kW	$10^3 W$	1,000 W
	1 mW	$10^{-3} W$	0.001 W
	1 μW	$10^{-6} W$	0.000001 W
เฮนรี (H)	1 mH	$10^{-3} H$	0.001 H
	$10^6 \mu H$	$10^3 H$	1 H
	1 μH	$10^{-6} H$	0.000001 H
ฟารัด (F)	1 pF	$10^{-12} F$	0.000000000001 F
	1 nF	$10^{-9} F$	0.000000001 F
	1 μF	$10^{-6} F$	0.000001 F
	1 F	$10^0 F$	1,000,000 μF
		$10^9 nF$	1,000,000,000 nF
		$10^{12} pF$	1,000,000,000,000 pF

ตัวอย่างที่ 1.8 จงเปลี่ยนหน่วย

ก. 0.0025 A ให้อยู่ในรูป mA และ μ A

ข. 560,000 Ω ให้อยู่ในรูป k Ω และ M Ω

วิธีทำ

$$\text{ก. } 0.0025 \text{ A} = 2.5 \times 10^{-3} \text{ A} = 2.5 \text{ mA}$$

$$0.0025 \text{ A} = 2,500 \times 10^{-6} \text{ A} = 2,500 \mu\text{A}$$

$$\text{ข. } 560,000 \Omega = 560 \times 10^3 \Omega = 560 \text{ k}\Omega$$

$$560,000 \Omega = 0.56 \times 10^6 \Omega = 0.56 \text{ M}\Omega$$

1.5 มาตรฐานของการวัด

1.5.1 ชนิดของมาตรฐาน

เมื่อแบ่งมาตรฐานของการวัดตามหน้าที่และการประยุกต์ใช้งาน แบ่งได้ 4 ชนิดคือ

1. มาตรฐานนานาชาติ (International Standard)
2. มาตรฐานปฐมภูมิ (Primary Standard)
3. มาตรฐานทุติยภูมิ (Secondary Standard)
4. มาตรฐานใช้งาน (Working Standard)

มาตรฐานนานาชาติ นิยามโดยการตกลงระหว่างนานาชาติ โดยตกลงแทนหน่วยของการวัดให้ใกล้เคียงและเที่ยงตรงที่สุดที่เทคโนโลยีในการผลิตและการวัดจะเอื้ออำนวยให้ มาตรฐานนานาชาติจะถูกตรวจและทดสอบค่าอย่างสม่ำเสมอโดยการวัดแบบสัมบูรณ์ ในรูปของหน่วยพื้นฐาน (ความยาว มวล เวลา กระแส อุณหภูมิ ความเข้มของการส่องสว่าง) มาตรฐานเหล่านี้จะถูกเก็บรักษาอยู่ที่ International Bureau of Weights and Measures (BIPM) และไม่ได้ใช้ในการเปรียบเทียบ (Comparison) หรือปรับเทียบ (Calibration)

มาตรฐานขั้นต้น เก็บรักษาอยู่ที่ห้องปฏิบัติการมาตรฐานแห่งชาติ ในส่วนต่าง ๆ ของโลก เช่น National Bureau of Standards (NBS ปัจจุบันเป็น NIST) ในวอชิงตัน จะเป็นผู้เก็บมาตรฐานขั้นต้นสำหรับทวีปอเมริกาเหนือ มาตรฐานขั้นต้นจะแทนหน่วยพื้นฐานและหน่วยสืบทอดทางกลและไฟฟ้าบางส่วน และจะถูกปรับเทียบโดยอิสระโดยการวัดสัมบูรณ์ที่ห้องปฏิบัติการแห่งชาติแต่ละแห่ง มาตรฐานขั้นต้นจะใช้แต่เพียงภายในห้องปฏิบัติการแห่งชาติเท่านั้น โดยใช้สำหรับตรวจสอบเพื่อยืนยันความถูกต้อง (Verification) และปรับเทียบมาตรฐานชั้นรอง

มาตรฐานชั้นรอง ใช้เป็นมาตรฐานอ้างอิงหลักในห้องปฏิบัติการการวัด (ในอุตสาหกรรม) โดยมาตรฐานชั้นต้นที่ห้องปฏิบัติการมาตรฐานแห่งชาติ ฉะนั้นมาตรฐานที่ใช้ในอุตสาหกรรมนี้ จึงได้รับการตรวจสอบค่าที่วัดได้ในเทอมของมาตรฐานชั้นต้น

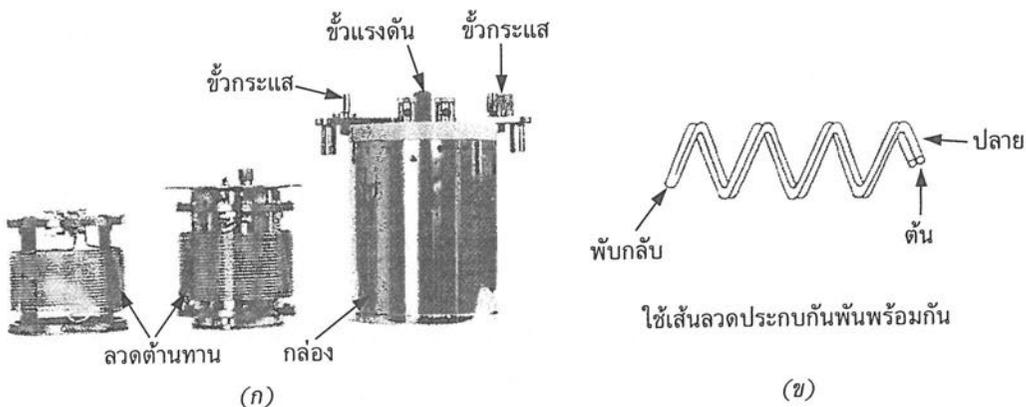
มาตรฐานใช้งาน ใช้ในห้องปฏิบัติการการวัดสำหรับการตรวจสอบและปรับเทียบเครื่องมือที่ใช้ในห้องปฏิบัติการโดยทั่วไป สำหรับความถูกต้องหรือสมรรถนะ (Performance) หรือใช้ในอุตสาหกรรมในการปฏิบัติการวัดแบบเปรียบเทียบ เช่น ในโรงงานผลิตตัวต้านทานค่าละเอียดจะใช้ตัวต้านทานมาตรฐาน (มาตรฐานใช้งาน) ในส่วนควบคุมคุณภาพเพื่อตรวจสอบอุปกรณ์ทดสอบ ในกรณีนี้จะตรวจสอบว่า การวัดยังคงอยู่ในขอบเขตของความถูกต้องที่ต้องการหรือไม่

หมายเหตุ คำว่า การวัดแบบสัมบูรณ์ (Absolute) เป็นคำที่ใช้ในการวัดไฟฟ้ามาเป็นเวลายาวนาน ซึ่งหมายถึง มีการสัมพันธ์หน่วยทางไฟฟ้ากับหน่วยทางกลของความยาว มวล และเวลา อย่างไรก็ตามอาจหมายถึง สถานะของความสมบูรณ์ (Perfection) นั่นคือไม่มีความผิดพลาดหรือการเบี่ยงเบนอยู่ในระบบหน่วยของการวัด

อ้างอิงจาก : การวัดและเครื่องวัดไฟฟ้า : รศ.ดร.เอก ไชยสวัสดิ์ หน้า 72-73.

1.5.2 มาตรฐานทางไฟฟ้า

1. ตัวต้านทานมาตรฐาน (Standard Resistance) ตัวต้านทานมาตรฐานถูกกำหนดโดยสถาบัน NBS (National Bureau of Standard) ในปี ค.ศ. 1910 โดยการวิจัยของ E.B. Rosa และได้พัฒนาต่อมาโดย J.L. Thomas ในปี ค.ศ. 1931 โดยใช้ชื่อว่า ตัวต้านทานมาตรฐานชนิดผนังคู่ (Double Walled) ดังรูปที่ 1.1 (ก) ซึ่งเป็นตัวต้านทานมาตรฐานค่า 1 Ω โดยมีโครงสร้างภายในดังรูปที่ 1.1 (ข)



รูปที่ 1.1 แสดงตัวต้านทานมาตรฐานชนิดผนังคู่ (อ้างอิงจาก : เครื่องวัดและการวัดทางไฟฟ้า : อภรณ์ เก่งพล และโอซามุ นิชิโนะ หน้า 125)

ที่ชั่วทั้งสองของตัวต้านทานมาตรฐานภายในพื้นด้วยขดลวด ซึ่งวัสดุที่ใช้มีหลายชนิด วัสดุที่มีค่าเปลี่ยนแปลงน้อยมากเมื่ออุณหภูมิภายนอกเปลี่ยนแปลงไปก็คือ แมกกาไนน์ เป็นวัสดุผสมระหว่างทองแดง แมงกานีส และนิเกิล มีค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิต่ำมากเพียง $\pm 0.00001 \Omega / ^\circ\text{C}$ เท่านั้น วัสดุอื่น ๆ ที่ใช้ในการทำค่าตัวต้านทานมาตรฐานแสดงในตารางที่ 1.4

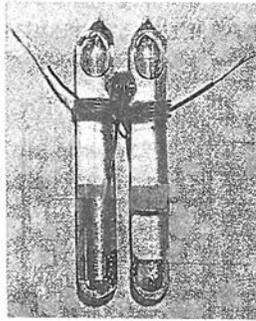
ตารางที่ 1.4 คุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ทำตัวต้านทานมาตรฐาน

Name	Composition %	Resistivity		Temperature Coefficient per $^\circ\text{C}$	Thermal emf Against Copper $\mu\text{V} / ^\circ\text{C}$	Tensile Strength lb/in. ²	
		Microhms for cm cube	Ohms for cir mil ft			Max.	Min.
Manganin	Cu 82-84 Mn 12-13 Ni 4-5	48	290	$\pm 0.00001^*$	1.7	90,000	40,000
Constantan	Cu 60-55 Ni 40-45	49	294	-0.00001	40	135,000	60,000
Gold-Chromium	Au 97.9 Cr 2.1	32	193	Negligible 20-30 $^\circ$	7		
Therlo	Cu 85 Mn 9.5 Al 5.5	47	282	0 at 25 $^\circ$	0.3		
Evanohm Cr 20.0	Ni 74.5 Al 2.75 Cu 2.75	133	800	0.00002 -50 to + 100 $^\circ$	2	180,000 at 20% elon.	
Karma	Ni 73 Cr 20 +Al+Fe	133	800	0.00002 -50 to + 150 $^\circ$	2	180,000	130,000
Niehrome Chromel C Tophet C	Ni 60 Cr 16 Fe 24	112	675	0.00026 0 to + 100 $^\circ$	20	200,000	95,000
Nichrome V Chromel A Tophet A	Ni 80 Cr 20	108	650	0.00023 0 to 100 $^\circ$		200,000	100,000

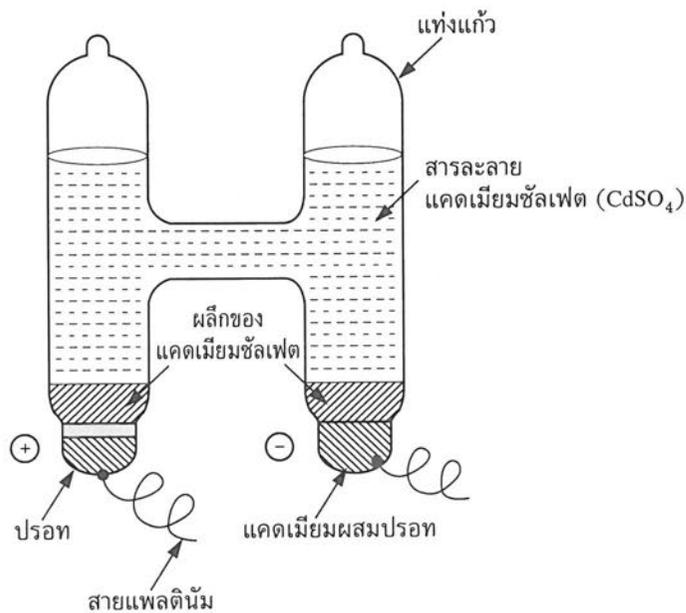
* Zero at Some Temperature Between 20 and 30. $^\circ$

ที่มา Basic Electrical Measurements Melville B. Stout หน้า 94

2. แรงดันมาตรฐาน (Standard Voltage) แรงดันมาตรฐานที่ใช้ในการวัด เพื่อปรับเทียบเครื่องมือวัดและเพื่อประกอบกับความต้านทานมาตรฐาน ในการหาค่ากระแสมาตรฐานได้นั้น ต้องเป็นแหล่งจ่ายแรงดันที่มีค่าคงที่มาก และค่าแรงดันนี้จะไม่เปลี่ยนแปลงหรือเปลี่ยนแปลงน้อยมาก เมื่อเวลานานขึ้นหรืออุณหภูมิเปลี่ยนแปลงไป เซลล์มาตรฐานที่มีชื่อเสียงมากคือ เซลล์มาตรฐานของ เวสตัน (Weston Cell) พัฒนาขึ้นในปี ค.ศ. 1908-1910 โดย Edward Weston เซลล์ของเวสตัน เป็นเซลล์ไฟฟ้าแบบแคดเมียม มีลักษณะภายนอกและโครงสร้างภายในดังรูปที่ 1.2 (ก) และ (ข)



(ก) ลักษณะภายนอก



(ข) โครงสร้างภายใน

รูปที่ 1.2 แสดงเซลล์มาตรฐานของเวสตัน

เซลล์มาตรฐานของเวสต์มันชนิดอิ่มตัว (Saturated Type) จะมีค่าแรงดันที่ขั้วเท่ากับ 1.0183 V ที่อุณหภูมิห้อง 20°C มีค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิของเซลล์ $-40 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$ หรือมีค่าเท่ากับ $+0.0031 \text{ V}/^\circ\text{C}$ ถึง $-0.00035 \text{ V}/^\circ\text{C}$ เซลล์แบบนี้จะเคลื่อนย้ายไม่ได้ ต้องเก็บรักษาไว้ในที่ที่ควบคุมอุณหภูมิและสภาพแวดล้อมมาตรฐานตามที่สถาบัน NBS กำหนด อย่างไรก็ตาม ในปี ค.ศ. 1911 ได้กำหนดสมการที่จะหาค่าแรงดันของเซลล์มาตรฐานเวสต์มันชนิดอิ่มตัวที่อุณหภูมิใด ๆ ได้ดังนี้

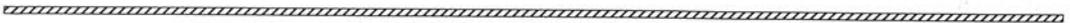
$$E_t = E_{20^\circ\text{C}} - 0.0000406 (t - 20) - 0.00000095 (t - 20)^2 + 0.00000001 (t - 20)^3$$

เมื่อ E_t คือแรงดันที่ขั้วของเซลล์ที่อุณหภูมิ $^\circ\text{C}$ ใด ๆ

$$E_{20^\circ\text{C}} = 1.01830 \text{ V}$$

เซลล์เวสต์มันชนิดอิ่มตัว NBS กำหนดให้ใช้เป็นแรงดันมาตรฐานได้ในระดับมาตรฐานปฐมภูมิ มีอายุการใช้งาน 20 ปี ถ้ามีการควบคุมสภาพแวดล้อมการเก็บรักษาให้ได้ตามกำหนด

เซลล์มาตรฐานของเวสต์มันชนิดไม่อิ่มตัว (Unsaturated Type) เป็นเซลล์ที่อิ่มตัวเฉพาะอุณหภูมิ 4°C เพียงค่าเดียว ที่อุณหภูมิอื่น ๆ จะไม่อิ่มตัว ดังนั้นจึงไม่จำเป็นต้องเก็บในที่ควบคุมเฉพาะเหมือนกับเซลล์มาตรฐานชนิดอิ่มตัว แต่แรงดันที่ขั้วของเซลล์แบบไม่อิ่มตัวจะไม่เท่ากับแบบอิ่มตัว กล่าวคือ แรงดันของเซลล์ชนิดไม่อิ่มตัวเท่ากับ 1.0190 V แต่เซลล์แบบนี้แรงดันที่ขั้วของเซลล์จะลดลงประมาณ 30-50 μV ต่อปี ดังนั้นอายุการใช้งานจึงสั้นกว่าเซลล์แบบอิ่มตัว เซลล์เวสต์มันแบบไม่อิ่มตัวสามารถใช้เป็นแรงดันมาตรฐานได้ในระดับมาตรฐานทุติยภูมิ





แบบฝึกหัดบทที่ 1

1. จงหาค่าของตัวเลขต่อไปนี้

ก. 10^8

ข. 10^{-1}

ค. 10^{-5}

ง. 5.1×10^{-3}

จ. 4.7×10^3

ฉ. 10^0

2. จงเขียนค่าของเลขต่อไปนี้ ในรูปการยกกำลังของสิบ

ก. 100,000

ข. 0.001

ค. 0.000001

ง. 0.0000000000001

จ. 10,000

ฉ. 1,000,000,000

3. จงแปลงหน่วยต่อไปนี้ ให้อยู่ในรูปแบบที่กำหนด

ก. $0.000001 \text{ V} = \dots\dots\dots \mu\text{V}$

ข. $592 \mu\text{A} = \dots\dots\dots \text{A}$

ค. $0.0078 \text{ V} = \dots\dots\dots \mu\text{V}$

ง. $825 \mu\text{A} = \dots\dots\dots \text{A}$

จ. $3,200,000 \Omega = \dots\dots\dots \text{M}\Omega$

ฉ. $0.047 \text{ M}\Omega = \dots\dots\dots \text{k}\Omega$

ช. $120 \text{ kV} = \dots\dots\dots \text{V}$

ฉ. $5,900 \text{ A} = \dots\dots\dots \text{mA}$

- ญ. 820 k Ω = Ω
 ฎ. 0.065 mA = A
 ฎ. 0.265 mV = μ V
 ด. 470 Ω = M Ω
 ต. 22.7 MW = W

4. จงเขียนค่าของตัวเลขและการยกกำลังเลขสิบของชื่อที่ใช้เรียกต่อไปนี้

ชื่อ	ค่าของตัวเลข	การยกกำลังของเลขสิบ
Tera (เทรา)		
Giga (กิกกะ)		
Mega (เมกกะ)		
Kilo (กิโล)		
Hecto (เฮกโต)		
Deca (เดคา)		
Deci (เดซี)		
Centi (เซนติ)		
Milli (มิลลิ)		
Micro (ไมโคร)		
Nano (นาโน)		
Pico (พิโค)		
Femto (เฟมโต)		
Atto (แอทโต)		



5. จงบอกชื่อหน่วยของปริมาณทางไฟฟ้าต่อไปนี้ ในระบบเอส.ไอ.

- ก. กระแสไฟฟ้า
- ข. ความต้านทาน
- ค. แรงดันไฟฟ้า
- ง. ประจุไฟฟ้า
- จ. ความเร็ว
- ฉ. เส้นแรงแม่เหล็ก
- ช. ความจุไฟฟ้า
- ซ. ความเหนี่ยวนำ
- ฅ. กำลังไฟฟ้า
- ญ. พลังงาน
- ฎ. ความนำไฟฟ้า
- ฏ. แรง
- ด. เวลา
- ต. มวล
- ถ. อุณหภูมิ

6. จงให้นิยามหรือความหมายของมาตรฐานการวัดมาพอเข้าใจ

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....



7. มาตรฐานปฐมภูมิ และมาตรฐานทุติยภูมิ แตกต่างกันอย่างไ จงอธิบาย

.....

.....

.....

.....

.....

.....

8. ความต้านทานมาตรฐานคืออะไร และวิศวกรใช้ความต้านทานมาตรฐานทำอะไรกับเครื่องมือวัด
จงยกตัวอย่างประกอบพร้อมคำอธิบาย

.....

.....

.....

.....

.....

.....

9. จงอธิบายถึงความแตกต่างระหว่างเซลล์มาตรฐานเวสตันแบบอิมิต์วและไม่อิมิต์ว และสรุปว่า
เซลล์ทั้งสองแบบนี้มีที่นำไปใช้งานเหมือนกันหรือแตกต่างกันอย่างไร

.....

.....

.....

.....

.....

.....

บทที่ 2 ▶ ความผิดพลาดจากการวัด ▶▶▶▶▶

วัตถุประสงค์ของบทเรียน

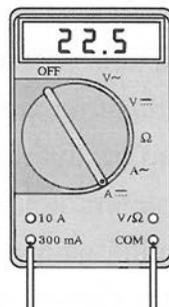
1. เข้าใจความหมายของค่าผิดพลาดแบบต่าง ๆ
2. บอกความแตกต่างระหว่างค่าผิดพลาดสัมบูรณ์ และค่าผิดพลาดสัมพัทธ์ได้
3. คำนวณหาค่าผิดพลาดสัมบูรณ์ ค่าผิดพลาดสัมพัทธ์ ความเที่ยงตรง และความแม่นยำได้
4. คำนวณหาค่าผิดพลาดจากการวัดได้ถูกต้อง

2.1 ความผิดพลาดรวม และความผิดพลาดเป็นระบบ

ค่าผิดพลาด (Error) หมายถึงตัวเลขที่แสดงความแตกต่างระหว่างค่าที่วัดได้จากเครื่องมือวัด กับค่าที่แท้จริงของสิ่งที่เราวัด ค่าผิดพลาดมีหลายประเภทดังต่อไปนี้

2.1.1 ความผิดพลาดรวม หรือค่าผิดพลาดรวม (Gross Error)

ความผิดพลาดรวม หรือค่าผิดพลาดรวม หมายถึงความผิดพลาดที่เกิดจากมนุษย์ผู้ใช้เครื่องมือวัดนั้น อาจเกิดมาจากการตั้งค่าสเกลผิดพลาด การอ่านค่าจากเครื่องมือวัดผิดพลาด การบันทึกค่าที่อ่านได้จากเครื่องมือวัดผิดพลาด หรือการแปลงหน่วยของปริมาณที่วัดค่าได้ผิดพลาด เป็นต้น ดังตัวอย่างที่แสดงในรูปที่ 2.1 เป็นการใช้ดิจิตอลมัลติมิเตอร์วัดค่ากระแสไฟฟ้า โดยตั้งย่านวัดกระแสตรงที่ 300 mA และค่าตัวเลขที่แสดงบนหน้าปัดคือ 22.5 ผู้อ่านค่าเข้าใจว่าอ่านค่าได้ 22.5 A แต่ในความเป็นจริงค่ากระแสนี้คือ 22.5 mA นี่คือการผิดพลาดรวมหรือความผิดพลาดจากมนุษย์อีกตัวอย่างหนึ่งดังแสดงในรูปที่ 2.2 เป็นการใช้อะนาลอกมิเตอร์เพื่อวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง โดยตั้งย่านวัดที่ 1.0 V เมื่อพิจารณาที่สเกลของมิเตอร์พบว่ามีสเกลอยู่ 3 สเกล บนหน้าปัดคือ สเกล 0-25 สเกล 0-10 และสเกล 0-50 เมื่อค่าที่วัดได้ถูกชี้โดยเข็มมิเตอร์ดังรูป ผู้ใช้เครื่องมือจะต้องอ่านค่าจากสเกลได้อย่างถูกต้อง ค่าความผิดพลาดรวมจึงจะไม่เกิดขึ้น แต่ในทางปฏิบัตินั้น ถ้าผู้ใช้เครื่องมืออ่านค่าจากสเกลและใช้ตัวคูณจากย่านวัดไม่เหมาะสม ค่าที่วัดได้จะไม่เท่ากัน เช่น เมื่ออ่านค่าบนสเกล 0-10 ที่ย่านวัด 1.0 V ผู้ใช้เครื่องมืออ่านค่าบนสเกลได้ 7.6 คูณด้วยตัวคูณ 0.1 ได้ค่าจากการวัดเท่ากับ 0.76 V แต่ถ้าผู้ใช้เครื่องมืออ่านค่าบนสเกล 0-50 จะอ่านค่าบนสเกลได้ 37.8 คูณด้วยตัวคูณ 0.02 ได้ค่าจากการวัดเท่ากับ $37.8 \times 0.02 = 0.756$ V แต่ถ้าอ่านค่าบนสเกล 0-25 ค่าที่อ่านได้บนสเกลคือ 19 คูณด้วยตัวคูณ 0.04 ได้ค่าจากการวัดเท่ากับ $19 \times 0.04 = 0.76$ V เป็นต้น ค่าผิดพลาดที่เกิดจากผู้ใช้เครื่องมือวัดอ่านค่าจากสเกลที่แตกต่างกัน เป็นผลให้ค่าที่วัดได้ไม่เท่ากัน ก็คือค่าผิดพลาดรวมเช่นกัน



(ก) เครื่องวัดดิจิตอล แสดงค่าตัวเลข 22.5 mA

รูปที่ 2.1