

# เครื่องมือและการวัด อิเล็กทรอนิกส์

สำหรับนักศึกษาในระดับ ปวส.-ปริญญาตรี  
ภาควิชาไฟฟ้า - อิเล็กทรอนิกส์ และพูนใจทั่วไป

[illegible]

โดย...

ผศ. ชิดเชื้อ กนกเพ็ชรรัตน์

# เครื่องมือและการวัด อิเล็กทรอนิกส์

สำหรับนักศึกษา ระดับ ปวส.-ปริญญาตรี

...โดย...

ผศ. ชิดเชื้อ กนกเพ็ชรรัตน์



บริษัท สกายบุ๊กส์ จำกัด

SKYBOOK COMPANY LIMITED

515/270-8 ถ.รังสิต-ปากเกร็ด อ.ปากเกร็ด จ.นนทบุรี 12130

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

e-mail: sales@skybook.co.th

[www.skybook.co.th](http://www.skybook.co.th)

## “เครื่องมือและการวัดอิเล็กทรอนิกส์”

พิมพ์ครั้งที่ 1 พฤศจิกายน 2547

สงวนลิขสิทธิ์ตามกฎหมาย

ห้ามคัดลอกถ่ายเอกสารหรือพิมพ์

หรือวิธีหนึ่งวิธีใดของหนังสือเล่มนี้ก่อนได้รับอนุญาต

จากบริษัท สกายบุ๊กส์ จำกัด

**ราคา 150 บาท**

### ข้อมูลทางบรรณานุกรมของหอสมุดแห่งชาติ

ชื่อเรียก กนกเพ็ชรรัตน์

เครื่องมือและการวัดอิเล็กทรอนิกส์ -- กรุงเทพฯ : สกายบุ๊กส์, 2547.

308 หน้า

1. เครื่องวัด 2. เครื่องวัดไฟฟ้า I. ชื่อเรื่อง

620.381548

ISBN: 974-389-512-4

S7901-30-11-04

### จัดพิมพ์และจำหน่ายโดย



บริษัท สกายบุ๊กส์ จำกัด  
SKYBOOK COMPANY LIMITED  
515/278-8 ถ.รัชดา-ปทุมธานี ต.ปทุมธานี อ.ธัญบุรี จ.ปทุมธานี 12130  
โทร. 0-2958-1125-7, 0-2567-5119 โทรสาร. 0-2567-5105  
e-mail: sales@skybook.co.th

**www.skybook.co.th**

พิมพ์ที่ บริษัท สยามสปอร์ต ซินดิเคท จำกัด

459 ซอยพญาบุรุษภูมิ (ลาดพร้าว 48) แขวงสามเสนนอก เขตห้วยขวาง กรุงเทพฯ 10310

โทรศัพท์ : 0-2694-3010

# คำนำ

การวัดและเครื่องมือวัดเป็นหลักการพื้นฐานที่สำคัญ สำหรับงานด้านวิทยาศาสตร์ ด้านวิศวกรรมศาสตร์ทุกแขนง และโดยเฉพาะอย่างยิ่งในโรงงานอุตสาหกรรมที่ต้องผลิตสินค้าออกมาให้ได้มาตรฐาน ดังนั้น นักศึกษาหรือผู้ที่เกี่ยวข้องจะต้องศึกษาและเรียนรู้เกี่ยวกับโครงสร้าง ส่วนประกอบ และหลักการทำงานของเครื่องมือพื้นฐานก่อน

หนังสือเล่มนี้ได้จัดทำขึ้นเพื่อใช้เป็นหนังสือประกอบวิชา เครื่องมือและการวัด อิเล็กทรอนิกส์ สำหรับนักศึกษาคณะภาควิชาไฟฟ้า สาขาอิเล็กทรอนิกส์ ระดับอนุปริญญา-ปริญญาตรี และผู้ที่สนใจงานด้านอิเล็กทรอนิกส์ทุกคน

เนื้อหาของหนังสือเล่มนี้แบ่งออกเป็น 10 บท โดยบทที่ 1 จะกล่าวถึง ระบบหน่วย การวัดและค่าผิดพลาดที่เกิดขึ้นในการวัด รวมถึงค่าความไว ความแม่นยำและความเที่ยงตรงของ เครื่องมือและการวัดด้วย บทที่ 2 เป็นเครื่องมือวัดพื้นฐานที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน ตลอดจนการ ออกแบบสร้างเครื่องมือวัดพื้นฐาน บทที่ 3 เป็นเรื่องของโวลต์มิเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ บทที่ 4 กล่าวถึงเรื่องเครื่องมือวัดอิเล็กทรอนิกส์ บทที่ 5 และ 6 เป็นวงจรบริดจ์กระแสตรงและกระแสสลับ กล่าวถึงรูปแบบของวงจรบริดจ์แบบต่าง ๆ และการนำวงจรบริดจ์ไปใช้งาน บทที่ 7 เป็นเรื่อง ของมาตรวัดแบบดิจิตอล บทที่ 8 กล่าวถึงออสซิลโลสโคป หลักการโครงสร้างและการนำไปใช้ บทที่ 9 เป็นเรื่องเครื่องกำเนิดสัญญาณประเภทต่าง ๆ และบทที่ 10 เป็นเรื่องของตัวแปลงหรือ ทรานสดิวเซอร์ ที่ใช้สำหรับการวัดและตรวจสอบในวงจรและในเครื่องมือวัดทั่วไป

ท้ายที่สุดนี้ผู้เขียนขอกราบระลึกถึงพระคุณบิดามารดา ครูอุปัชฌาจารย์ ผู้มีพระคุณทั้งหลายที่ได้อุปการะเลี้ยงดู อบรมดัดเตือนและสั่งสอน และให้วิชาความรู้ทั้งอดีตถึงปัจจุบัน ขอขอบคุณท่านเจ้าของตำราและเอกสารอ้างอิงทุกเล่มทั้งในและต่างประเทศ ที่ผู้เขียนได้นำมาใช้ ในการแปลและเรียบเรียงหนังสือเล่มนี้ ขอขอบคุณเพื่อนร่วมงาน นักศึกษา และผู้ที่เกี่ยวข้องทุกคน ที่คอยให้กำลังใจเสมอมา และขอขอบคุณบริษัท สกายบุ๊กส์ จำกัด ที่สนับสนุนการจัดพิมพ์หนังสือ เล่มนี้



ผศ. ชิดเชื้อ กนกเพ็ชรรัตน์

# สารบัญ

|                                                |           |                                                  |            |
|------------------------------------------------|-----------|--------------------------------------------------|------------|
| <b>บทที่ 1 ระบบหน่วยวัดและค่าผิดพลาด .....</b> | <b>6</b>  | <b>3.6 ผลของโวลต์มิเตอร์กระแสสลับ</b>            | <b>80</b>  |
| 1.1 จุดประสงค์บทเรียน .....                    | 6         | ไปโหลดวงจร .....                                 | 80         |
| 1.2 บทนำ .....                                 | 6         | <b>3.7 อิเล็กทรอนิกส์ไมโครมิเตอร์ .....</b>      | <b>82</b>  |
| 1.3 ระบบของหน่วยการวัด .....                   | 7         | แบบฝึกหัดท้ายบทที่ 3 .....                       | 86         |
| 1.4 ระบบหน่วย SI .....                         | 9         | <b>บทที่ 4 เครื่องมือวัดอิเล็กทรอนิกส์ .....</b> | <b>89</b>  |
| 1.5 ความไว .....                               | 12        | 4.1 จุดประสงค์บทเรียน .....                      | 89         |
| 1.6 ความแม่นยำ .....                           | 13        | 4.2 บทนำ .....                                   | 89         |
| 1.7 ความเที่ยงตรง .....                        | 14        | 4.3 อิเล็กทรอนิกส์โวลต์มิเตอร์พื้นฐาน ....       | 90         |
| 1.8 ค่าผิดพลาด .....                           | 15        | 4.4 อิเล็กทรอนิกส์โวลต์มิเตอร์แบบเฟด ....        | 94         |
| 1.9 คลาสสิกของเครื่องวัด .....                 | 17        | 4.5 โวลต์มิเตอร์แบบแรงดันตามด้วย                 |            |
| 1.10 ผลของโวลต์มิเตอร์กระแสตรง                 |           | ออปแอมป์ .....                                   | 96         |
| ไปโหลดวงจร .....                               | 22        | 4.6 โวลต์มิเตอร์แบบวงจรขยายด้วย                  |            |
| 1.11 ผลของแอมมิเตอร์กระแสตรงไป                 |           | ออปแอมป์ .....                                   | 97         |
| โหลดวงจร .....                                 | 30        | 4.7 วงจรขยายผลต่าง .....                         | 100        |
| แบบฝึกหัดท้ายบทที่ 1 .....                     | 35        | 4.8 อิเล็กทรอนิกส์โวลต์มิเตอร์แบบ                |            |
| <b>บทที่ 2 เครื่องมือวัดพื้นฐาน .....</b>      | <b>36</b> | วงจรขยายผลต่าง .....                             | 103        |
| 2.1 จุดประสงค์บทเรียน .....                    | 36        | 4.9 เครื่องวัดอิเล็กทรอนิกส์โวลต์มิเตอร์         |            |
| 2.2 บทนำ .....                                 | 36        | ชนิดซอร์สตาม .....                               | 107        |
| 2.3 เครื่องมือวัดชนิดคลอเคลื่อนที่ .....       | 37        | 4.10 อิเล็กทรอนิกส์โวลต์มิเตอร์ไฟฟ้า             |            |
| 2.4 แรงและแรงบิดที่ทำให้เข็มขี้นขี้น .....     | 39        | กระแสสลับ .....                                  | 111        |
| 2.5 การขยายพิสัยแอมมิเตอร์กระแสตรง .....       | 44        | 4.11 อิเล็กทรอนิกส์มิเตอร์แอมมิเตอร์ .....       | 113        |
| 2.6 การขยายพิสัยโวลต์มิเตอร์กระแสตรง .....     | 51        | 4.12 อิเล็กทรอนิกส์โอห์มมิเตอร์ .....            | 114        |
| 2.7 โอห์มมิเตอร์ .....                         | 54        | แบบฝึกหัดท้ายบทที่ 4 .....                       | 118        |
| แบบฝึกหัดท้ายบทที่ 2 .....                     | 67        | <b>บทที่ 5 บริดจ์กระแสตรง .....</b>              | <b>120</b> |
| <b>บทที่ 3 โวลต์มิเตอร์กระแสสลับ .....</b>     | <b>88</b> | 5.1 จุดประสงค์บทเรียน .....                      | 120        |
| 3.1 จุดประสงค์บทเรียน .....                    | 68        | 5.2 บทนำ .....                                   | 120        |
| 3.2 บทนำ .....                                 | 68        | 5.3 บริดจ์กระแสตรง .....                         | 120        |
| 3.3 โวลต์มิเตอร์กระแสสลับชนิด                  |           | 5.4 วิสโตนบริดจ์ไม่สมดุล .....                   | 126        |
| เรียงกระแสแบบครึ่งคลื่น .....                  | 69        | 5.5 เคลวินบริดจ์ .....                           | 129        |
| 3.4 ผลของไดโอดเรียงกระแสในพิสัย                |           | 5.6 วงจรควบคุมโดยบริดจ์ .....                    | 131        |
| แรงดันต่ำ ๆ .....                              | 71        | 5.7 การประยุกต์ใช้งาน .....                      | 133        |
| 3.5 โวลต์มิเตอร์กระแสสลับชนิด                  |           | แบบฝึกหัดท้ายบทที่ 5 .....                       | 140        |
| เรียงกระแสแบบเต็มคลื่น .....                   | 72        |                                                  |            |

|                |                                            |            |
|----------------|--------------------------------------------|------------|
| <b>บทที่ 6</b> | <b>บริดจ์กระแสสลับ</b>                     | <b>143</b> |
| 6.1            | จุดประสงค์บทเรียน                          | 143        |
| 6.2            | บทนำ                                       | 143        |
| 6.3            | วงจรบริดจ์กระแสสลับทั่วไป                  | 143        |
| 6.4            | บริดจ์กระแสสลับแบบวีสโตน<br>บริดจ์         | 149        |
| 6.5            | วงจรมุลอิมพีแดนซ์                          | 150        |
| 6.6            | การแปลงวงจรมุลอนุกรมเป็น<br>ขนาน           | 152        |
| 6.7            | การแปลงวงจรมุลขนานเป็น<br>อนุกรม           | 154        |
| 6.8            | บริดจ์การเปรียบเทียบความจุ<br>ไฟฟ้า        | 159        |
| 6.9            | แมกซ์เวลล์บริดจ์                           | 161        |
| 6.10           | เฮย์บริดจ์                                 | 163        |
| 6.11           | เซอร์ริงบริดจ์                             | 165        |
| 6.12           | วินบริดจ์                                  | 166        |
|                | แบบฝึกหัดท้ายบทที่ 6                       | 168        |
| <b>บทที่ 7</b> | <b>มาตรวัดคิจิตอล</b>                      | <b>171</b> |
| 7.1            | จุดประสงค์บทเรียน                          | 171        |
| 7.2            | บทนำ                                       | 171        |
| 7.3            | โวลต์มิเตอร์แบบคิจิตอล                     | 172        |
| 7.4            | วงจร ADC แบบสัญญาณ<br>ลาดเอียง             | 174        |
| 7.5            | วงจร ADC แบบสัญญาณ<br>ลาดเอียงคู่หรือสไลป์ | 178        |
| 7.6            | ตัวแปลงผันแรงดันเป็นความถี่                | 179        |
| 7.7            | วงจรนับ                                    | 181        |
| 7.8            | การแปลงคิจิตอลเป็นแอนะล็อก                 | 184        |
| 7.9            | การหาความถี่แบบคิจิตอล                     | 187        |
| 7.10           | มาตรวัดความถี่                             | 189        |
|                | แบบฝึกหัดท้ายบทที่ 7                       | 193        |
| <b>บทที่ 8</b> | <b>ออสซิลโลสโคป</b>                        | <b>194</b> |
| 8.1            | จุดประสงค์บทเรียน                          | 194        |
| 8.2            | บทนำ                                       | 195        |
| 8.3            | หลอดรังสีแคโทด                             | 196        |
| 8.4            | แผนภาพบล็อกรูปร่างของออสซิลโล-<br>สโคป     | 203        |

|                 |                                                                              |            |
|-----------------|------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 8.5             | การเกิดภาพบนจอสโคป                                                           | 204        |
| 8.6             | วงจรขยายสัญญาณแนวตั้ง                                                        | 205        |
| 8.7             | วงจรขยายสัญญาณแนวนอน                                                         | 207        |
| 8.8             | เครื่องกำเนิดสัญญาณกวาด                                                      | 208        |
| 8.9             | การซิงโครไนซ์ของสัญญาณ<br>อินพุตแนวตั้ง และสัญญาณของ<br>วงจรกำเนิดสัญญาณกวาด | 212        |
| 8.10            | ออสซิลโลสโคปแบบรอย<br>เส้นคู่                                                | 215        |
| 8.11            | วงจรลดทอน                                                                    | 216        |
| 8.12            | โพรมิอิมพีแดนซ์สูง                                                           | 224        |
| 8.13            | การนำออสซิลโลสโคปไป<br>ใช้งาน                                                | 226        |
| 8.14            | สโคปเรจออสซิลโลสโคป                                                          | 232        |
|                 | แบบฝึกหัดท้ายบทที่ 8                                                         | 242        |
| <b>บทที่ 9</b>  | <b>เครื่องกำเนิดสัญญาณ</b>                                                   | <b>244</b> |
| 9.1             | จุดประสงค์บทเรียน                                                            | 244        |
| 9.2             | บทนำ                                                                         | 244        |
| 9.3             | ความต้องการของการออสซิล-<br>เลต                                              | 245        |
| 9.4             | ออสซิลเลเตอร์ความถี่เสียง                                                    | 246        |
| 9.5             | ออสซิลเลเตอร์ความถี่วิทยุ                                                    | 249        |
| 9.6             | เครื่องกำเนิดฟังก์ชัน                                                        | 252        |
| 9.7             | เครื่องกำเนิดพัลส์                                                           | 257        |
|                 | แบบฝึกหัดท้ายบทที่ 9                                                         | 262        |
| <b>บทที่ 10</b> | <b>ตัวแปลง</b>                                                               | <b>265</b> |
| 10.1            | จุดประสงค์บทเรียน                                                            | 265        |
| 10.2            | บทนำ                                                                         | 266        |
| 10.3            | คำนิยามของตัวแปลง                                                            | 266        |
| 10.4            | ตัวแปลงตำแหน่งความต้านทาน                                                    | 267        |
| 10.5            | เกจความเครียด                                                                | 270        |
| 10.6            | การใช้งานเกจความเครียด                                                       | 278        |
| 10.7            | วงจรเกจความเครียดแบบบริดจ์                                                   | 279        |
| 10.8            | ตัวแปลงความจุไฟฟ้า                                                           | 282        |
| 10.9            | ตัวแปลงแบบแปรความเหนี่ยวนำ                                                   | 283        |
| 10.10           | ตัวแปลงอุณหภูมิ                                                              | 285        |
|                 | แบบฝึกหัดท้ายบทที่ 10                                                        | 293        |
|                 | ภาคผนวก                                                                      | 296        |
|                 | บรรณานุกรม                                                                   | 307        |



## 1.1 จุดประสงค์บทเรียน

เมื่อเรียนจบบทเรียน นักเรียนจะสามารถ

- แยกระบบหน่วยที่เกี่ยวข้องกับการวัดได้ถูกต้อง
- เข้าใจความหมายของคำว่า ความแม่นยำและความเที่ยงตรงได้ถูกต้อง
- คำนวณหาค่าความไว ความแม่นยำ ความเที่ยงตรงได้
- เข้าใจความหมายของคำว่า ค่าผิดพลาด
- แยกประเภทของค่าผิดพลาดได้ถูกต้อง
- คำนวณค่าผิดพลาดที่เกิดกับการวัดและเครื่องวัดได้ถูกต้อง
- นำค่าคลาดเคลื่อนของเครื่องวัดไปใช้ในการเลือกชนิดเครื่องวัดได้
- นำค่าคลาดเคลื่อนของเครื่องวัดไปใช้ในการคำนวณค่าผิดพลาดได้
- คำนวณผลของเครื่องวัดไฟฟ้ากระแสตรงและแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงไปโหลดใน

วงจรที่จะวัดได้

## 1.2 บทนำ

ระบบการวัดทางอิเล็กทรอนิกส์และทางไฟฟ้า ได้มีบทบาทมากขึ้นเกี่ยวกับการวัดค่าปริมาณทางฟิสิกส์ต่าง ๆ ซึ่งจะทำให้กระบวนการผลิตในงานอุตสาหกรรมสามารถควบคุมและตรวจสอบได้อย่างแม่นยำและเที่ยงตรงขึ้น โดยใช้ค่าวัดความผิดพลาดที่น้อยที่สุดเท่าที่จะทำได้ และหน่วยของการวัดถือว่ามีค่าสำคัญอย่างยิ่ง ในการวัดค่าไฟฟ้าหรือค่าต่าง ๆ ทางฟิสิกส์ ซึ่งหน่วยที่ใช้ในการวัดเพื่อบอกจำนวน ปริมาณ ค่า และอื่น ๆ ก็ถือว่ามีค่าสำคัญเพื่อที่จะได้ทราบถึงรายละเอียดที่ถูกต้อง เพื่อจะได้เป็นมาตรฐานเดียวกันในการใช้งาน จึงได้มีการวัดหน่วยการวัดอย่างเป็นระบบ เพื่อให้เป็นหน่วยการวัดทางสากล

### 1.3 ระบบของหน่วยการวัด

ในปี พ.ศ. 2333 รัฐบาลฝรั่งเศสได้สนับสนุนให้มีการศึกษาและเสนอความเห็นเกี่ยวกับระบบเดี่ยว (Single system) ของน้ำหนัก (Weights) และการวัดเพื่อให้แทนระบบอื่นทั้งหมดที่เป็นอยู่ให้เป็นมาตรฐานและยอมรับกันทั่วไป โดยมีหลักพิจารณาอยู่ 3 ข้อคือ

1. ระบบสากล (Universal system) ของน้ำหนักและการวัดไม่ควรขึ้นอยู่กับคนเป็นผู้กำหนดมาตรฐาน (Man-made reference standards) แต่ควรขึ้นกับการกำหนดลักษณะการวัดโดยถาวร (Permanent measures) ที่ได้โดยธรรมชาติ เช่น นิยามของวินาทีคือ  $1/86,400$  ของเวลาระหว่างวันที่เกิดสุริยคติ

2. หน่วยอื่นทั้งหมดควรจะสืบทอดมาจากหน่วยมูลฐานทั้งสามของความยาว มวล และเวลา (คือกำหนดเป็นหน่วยเมตร กรัม และวินาทีตามลำดับ)

3. ผลคูณของหน่วยพื้นฐาน (Basic units) ให้อยู่ในรูปเลขยกกำลังระบบฐานสิบ (Decimal system) ซึ่งยังใช้กันอยู่ในทุกวันนี้ (ตารางที่ 1.1)

ตารางที่ 1.1 แสดงชื่อ สัญลักษณ์ และตัวคูณของหน่วยพื้นฐาน

| ชื่อ          | สัญลักษณ์ | ตัวคูณ    |
|---------------|-----------|-----------|
| เอกซะ (exa)   | E         | $10^{18}$ |
| เพตะ (peta)   | P         | $10^{15}$ |
| เทอร่า (tera) | T         | $10^{12}$ |
| จิกะ (giga)   | G         | $10^9$    |
| เมกะ (mega)   | M         | $10^6$    |
| กิโล (kilo)   | k         | $10^3$    |
| เฮกโต (hecto) | h         | $10^2$    |
| เดคา (deca)   | d         | 10        |
| เดซิ (deci)   | d         | $10^{-1}$ |
| เซนติ (centi) | c         | $10^{-2}$ |
| มิลลิ (milli) | m         | $10^{-3}$ |

ตารางที่ 1.1 (ต่อ)

| ชื่อ          | สัญลักษณ์ | ตัวคูณ     |
|---------------|-----------|------------|
| ไมโคร (micro) | $\mu$     | $10^{-6}$  |
| นาโน (nano)   | n         | $10^{-9}$  |
| พิโก (pico)   | p         | $10^{-12}$ |
| เฟมโต (femto) | f         | $10^{-15}$ |
| อัตโต (atto)  | a         | $10^{-18}$ |

ต่อมาในปี พ.ศ. 2338 โดยความเห็นชอบของรัฐบาลฝรั่งเศส ได้รับรองระบบที่ใช้อยู่ให้เป็นระบบเมตริก (Metric system) และระบบนี้ได้ถูกนำไปใช้อย่างแพร่หลายใน 17 ประเทศ ลงนามทำสัญญาระบบเมตริกเป็นระบบกฎหมาย (Legal system)

ในช่วงเวลาเดียวกันทางประเทศอังกฤษก็ได้มีการพิจารณาจัดระบบหน่วยมูลฐานด้านความยาวเป็นเซนติเมตร มวลหน่วยเป็นกรัมและเวลาเป็นวินาที เรียกว่า “ระบบ CGS” (CGS-system) ซึ่งเหมาะกับการวัดค่าทางฟิสิกส์ แต่ถ้านำระบบ CGS นี้ไปวัดค่าทางไฟฟ้าและทางแม่เหล็ก (Magnetics) ความยุ่งยากและความสับสนจะเกิดขึ้น เพราะจะต้องนำหน่วยอื่นเพิ่มเข้ามาในระบบอีก เราสามารถแยกระบบ CGS ออกเป็น 2 ระบบย่อยคือ

1. ระบบไฟฟ้าสถิต (Electromagnetic system) ระบบนี้หน่วยของประจุไฟฟ้า (Electric charge) เป็นหน่วยสืบทอดมาจากเซนติเมตร กรัม และวินาที โดยกำหนดให้ค่า Permittivity ของ Free space มีค่าเท่ากับ 1 (ตามกฎของคูลอมป์เกี่ยวกับแรงระหว่างประจุไฟฟ้า)

2. ระบบแม่เหล็กไฟฟ้า ระบบนี้หน่วยพื้นฐานจะเหมือนกัน และหน่วยของอำนาจขั้วแม่เหล็กเป็นหน่วยสืบทอดมาจากหน่วยพื้นฐาน โดยกำหนดให้ค่า Permittivity ของ Free space มีค่าเท่ากับ 1 (ในสูตรหาค่าแรงระหว่างขั้วแม่เหล็ก)

หน่วยสืบทอดสำหรับกระแสไฟฟ้าและศักย์ไฟฟ้าในระบบแม่เหล็กไฟฟ้าทางปฏิบัติจะวัดออกมาเป็นหน่วยแอมแปร์และโวลต์ตามลำดับ นอกจากหน่วยทั้งสองนี้แล้วยังมีหน่วยอื่นอีกที่ถือว่าอยู่ในชุดเดียวกัน เช่น คูลอมป์ โอห์ม เฮนรี ฟารัด เป็นต้น แล้วทั้งหมดดังกล่าวเข้าเป็นระบบที่สาม (Third system) เรียกว่า “ระบบทางปฏิบัติ” (Practical system)

## 1.4 ระบบหน่วย SI (SI Unit system)

ในปี พ.ศ. 2503 ได้มีการประชุมระหว่างชาติเกี่ยวกับหน่วยและการวัดขึ้นเป็นครั้งที่ 11 โดยใช้ชื่อการประชุมนี้ว่า “System International Unites” ใช้ชื่อย่อว่า (SI) และได้กำหนดกันในรูปแบบของระบบเมตริก ซึ่งเป็นที่ยอมรับและใช้กันอย่างแพร่หลายทั่วโลก ตารางที่ 1.2 ได้แสดงปริมาณ หน่วย และสัญลักษณ์ของระบบ SI unit พื้นฐานจำนวน 6 ชนิด

ตารางที่ 1.2 แสดงหน่วย SI พื้นฐาน

| ปริมาณ                             | หน่วย        | สัญลักษณ์ |
|------------------------------------|--------------|-----------|
| ความยาว                            | เมตร         | m         |
| มวล                                | กิโลกรัม     | kg        |
| เวลา                               | วินาที       | s         |
| กระแสไฟฟ้า                         | แอมแปร์      | A         |
| การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิด้วยความร้อน | องศาเซลเซียส | K         |
| ความเข้มการส่องสว่าง               | แคนเดลา      | cd        |

หน่วยมูลฐานในระบบ SI แบ่งออกเป็นหน่วยมูลฐานปฐม หน่วยมูลฐานเสริม และหน่วย SI อนุพันธ์

- **หน่วยมูลฐานปฐม (Primary fundamental unit)** หน่วย SI มูลฐานปฐมเป็นหน่วยหลักเบื้องต้น มีอยู่ 6 หน่วยคือ ความยาว มวล เวลา กระแสไฟฟ้า อุณหภูมิเทอร์โมไดนามิก และความเข้มการส่องสว่าง

ตารางที่ 1.3 แสดงหน่วยมูลฐานปฐมและมูลฐานเสริมในระบบ SI

| ปริมาณ                             | สัญลักษณ์               | หน่วย       | สัญลักษณ์หน่วย |
|------------------------------------|-------------------------|-------------|----------------|
| <b>หน่วยมูลฐานปฐม</b>              |                         |             |                |
| ความยาว                            | l                       | เมตร        | m              |
| มวล                                | m                       | กิโลกรัม    | Kg             |
| เวลา                               | t                       | วินาที      | S              |
| กระแสไฟฟ้า                         | I                       | แอมแปร์     | A              |
| การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิด้วยความร้อน | T                       | องศาเคลวิน  | K              |
| ความเข้มการส่องสว่าง               | -                       | แคนเดลา     | Cd             |
| <b>หน่วยมูลฐานเสริม</b>            |                         |             |                |
| มุมระนาบ                           | $\alpha, \beta, \gamma$ | เรเดียน     | Rad            |
| มุมตัน                             | $\Omega$                | สเตอเรเดียน | Sr             |

● **หน่วยมูลฐานเสริม (Supplementary fundamental unit)** หน่วยมูลฐานเสริมของหน่วย SI มีอยู่ 2 หน่วยคือ

1. เรเดียน (Radian ; rad) เป็นหน่วยวัดมุมระนาบ (Plane-angle)
2. สเตอเรเดียน (Steradian ; sr) เป็นหน่วยวัดมุมตัน (Solid-angle)

● **หน่วย SI อนุพันธ์ (Derivatives of SI unit)** เป็นหน่วยผสมโดยนำหน่วยมูลฐานมาใช้ร่วมกัน เช่น ความเร็วมีหน่วยเป็นเมตรต่อวินาที (m/s) ซึ่งหน่วยเมตรและวินาทีต่างเป็นหน่วยมูลฐาน ตัวอย่างหน่วย SI อนุพันธ์แสดงในตารางที่ 1.4

ตารางที่ 1.4 แสดงตัวอย่างของหน่วย SI อนุพันธ์

| ปริมาณ                | หน่วย                   | สัญลักษณ์ |
|-----------------------|-------------------------|-----------|
| พื้นที่ (Area)        | ตารางเมตร               | $m^2$     |
| ปริมาตร (Volume)      | ลูกบาศก์เมตร            | $m^3$     |
| ความถี่ (Frequency)   | เฮิรตซ์                 | Hz 1/s    |
| ความหนาแน่น (Density) | กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร | $kg/m^3$  |
| ความเร็ว (Velocity)   | เมตรต่อวินาที           | m/s       |

ตารางที่ 1.4 แสดงตัวอย่างของหน่วย SI อนุพันธ์ (ต่อ)

| ปริมาณ                    | หน่วย               | สัญลักษณ์              |
|---------------------------|---------------------|------------------------|
| แรง (Force)               | นิวตัน              | N, kg m/s <sup>2</sup> |
| งาน (Work)                | จูล                 | J, N.m                 |
| กำลัง (Power)             | วัตต์               | W, J/s                 |
| ความต้านทาน (Resistance)  | โอห์ม               | $\Omega$ , V/A         |
| ความจุไฟฟ้า (Capacitance) | ฟารัด               | F, A · S/V             |
| การส่องสว่าง (Luminance)  | แคนเดลาต่อตารางเมตร | Cd/m <sup>2</sup>      |

หน่วยอื่นที่ไม่ใช่หน่วย SI แต่ยอมให้ใช้ร่วมกับหน่วย SI ได้ดังตารางที่ 1.5

ตารางที่ 1.5 แสดงตัวอย่างหน่วยอื่นที่ใช้ร่วมกับหน่วย SI

| หน่วย                  | สัญลักษณ์ | ค่าในหน่วย SI                            |
|------------------------|-----------|------------------------------------------|
| ตัน (Ton)              | T         | 1 t = 10 <sup>3</sup> kg                 |
| นาที (minute)          | min       | 1 min = 60 s                             |
| องศา (degree)          | °         | 1° = ( $\pi$ / 180 ) rad                 |
| ลิตร (Litre)           | l         | 1 l = 10 <sup>-3</sup> m <sup>3</sup>    |
| บาร์ (Bar)             | bar       | 1 bar = 10 <sup>5</sup> N/m <sup>2</sup> |
| องศาเซลเซียส (Celsius) | °C        | 0 °C = 273.16 °K                         |

การวัดในระบบอังกฤษ (Britain) และบริเวณแถบทวีปอเมริกาเหนือ (North America Continent) ความสัมพันธ์ของระบบอังกฤษกับระบบ SI แสดงในตารางที่ 1.6

ตารางที่ 1.6 แสดงความสัมพันธ์ของระบบอังกฤษกับระบบ SI

| ระบบอังกฤษ  |                       | สัญลักษณ์ | ระบบ SI                                      |
|-------------|-----------------------|-----------|----------------------------------------------|
| ความยาว     | 1 ฟุต                 | Ft        | 30.48 cm                                     |
|             | 1 นิ้ว                | In        | 25.4 mm                                      |
| พื้นที่     | 1 ตารางฟุต            | Ft        | 9.29030 x 10 cm                              |
|             | 1 ตารางนิ้ว           | In        | 6.4516 x 10 mm                               |
| ปริมาตร     | 1 ลูกบาศก์ฟุต         | Ft        | 0.0283168 m                                  |
| มวล         | 1 ปอนด์               | lb        | 0.45359237 kg                                |
| ความเข้ม    | 1 ปอนด์ต่อลูกบาศก์ฟุต | lb/ft     | 16.0185 kg/m                                 |
| ความเร็ว    | 1 ฟุตต่อวินาที        | ft/s      | 0.35048 m/s                                  |
| แรง         | 1 เปาต์ดัล            | pdl       | 0.138255 N                                   |
| งาน พลังงาน | 1 ฟุต-เปาต์ดัล        | ft-pdl    | 0.0421401 J                                  |
| กำลัง       | 1 แรงม้า              | hp        | 745.7 W                                      |
| อุณหภูมิ    | องศาฟาเรนไฮต์         | °F        | $(^{\circ}\text{C} \times \frac{9}{5}) + 32$ |

## 1.5 ความไว (Sensitivity)

มีหน่วยเป็นโอห์มต่อโวลต์ ( $\Omega/V$ ) มาตรฐานที่มีค่าความไวสูง จะมีความไวสูงตาม

$$\text{สูตร} \quad S_{dc} = \frac{1}{I_F} \quad \dots\dots\dots (1.1)$$

$$\text{หรือ} \quad = \quad R_{in} / (\text{Range } V) \quad \dots\dots\dots (1.2)$$

$S_{dc}$  = ความไวทางกระแสตรง

$I_F$  = กระแสเต็มสเกล (Full scale current)

$R_{in}$  = ความต้านทานภายใน (input resistance)

Range V = พิสัยวัดแรงดัน

ตัวอย่างที่ 1.1 มิเตอร์มูฟเมนต์ (Meter movement) ตัวหนึ่งวัดกระแสได้สูงสุด 50  $\mu\text{A}$  จงหาความไว

วิธีทำ 
$$S_{dc} = \frac{1}{I_F} = \frac{1}{50 \mu\text{A}} = 20 \text{ k}\Omega/\text{V}$$

Ans

ตัวอย่างที่ 1.2 โวลต์มิเตอร์ตัวหนึ่งตั้งพิสัย 50 V มีค่าความต้านทานภายใน 1 M $\Omega$  จงหาค่าความไว

วิธีทำ 
$$S_{dc} = \frac{R_{in}}{\text{Rang. V}} = \frac{1 \text{ M}\Omega}{50 \text{ V}} = 20 \text{ k}\Omega/\text{V}$$

Ans

## 1.6 ความแม่นยำ (Accuracy)

ความแม่นยำ หมายถึง อัตราส่วนของค่าที่วัดได้กับค่าจริง

สูตร 
$$\text{Acc} = \frac{X_n}{Y_n} \dots\dots\dots (1.3)$$

$$\% \text{ Acc} = \left( \frac{X_n}{Y_n} \right) \times 100 \dots\dots\dots (1.4)$$

เมื่อ  $\text{Acc}$  = ความแม่นยำ

$X_n$  = ค่าจากการวัด

$Y_n$  = ค่าจริง

ตัวอย่างที่ 1.3 วงจรไฟฟ้าวงจรหนึ่งมีค่าแรงดันอยู่ 10 V แต่วัดด้วยโวลต์มิเตอร์ อ่านได้ 9.8 V

จงหาค่า Acc และ % Acc

วิธีทำ 
$$\therefore \text{Acc} = \frac{X_n}{Y_n} = \frac{9.8 \text{ V}}{10 \text{ V}} = 0.98$$

$$\begin{aligned}\% \text{ Acc} &= \frac{X_n}{Y_n} \times 100 = 0.98 \times 100 \\ &= 98 \%\end{aligned}$$

Ans

## 1.7 ความเที่ยงตรง (Precision)

เป็นดัชนีบ่งบอกความสามารถของการวัดซ้ำ ๆ เครื่องวัดที่มีความเที่ยงตรงสูง จะมีความแตกต่างของค่าวัดแต่ละครั้งน้อย เช่น แรงดันจริง 10 V วัดได้ 9.8 V ทุกครั้ง

$$\text{Pre} = 1 - \left| \frac{Y_n - \bar{X}_n}{\bar{X}_n} \right| \dots\dots\dots (1.5)$$

$$\bar{X}_n = \frac{\text{ผลรวมของค่าที่วัดได้แต่ละครั้ง}}{\text{จำนวนครั้งของการวัด}} = \frac{\sum X_n}{n} \dots\dots\dots (1.6)$$

เมื่อ Pre = ความเที่ยงตรง

$\bar{X}_n$  = ค่าเฉลี่ยของการวัด

n = จำนวนครั้งของการวัด

**ตัวอย่างที่ 1.4** ในการวัดแรงดันตกคร่อม R ตัวหนึ่ง ทำการวัดทั้งหมด 5 ครั้ง อ่านได้ 5.1 V, 5.2 V, 5 V, 4.8 V และ 4.7 V โดยค่าแรงดันตกคร่อม R , มีค่า 5 V จงหาค่าความเที่ยงตรงของเครื่องมือวัด

**วิธีทำ**

$$\text{Pre} = 1 - \left| \frac{Y_n - \bar{X}_n}{\bar{X}_n} \right|$$

$$\text{หา } \bar{X}_n = \frac{\sum X_n}{n} = (5.1 + 5.2 + 5 + 4.8 + 4.7) / 5 = 4.96$$

$$\text{แทนค่า Pre} = 1 - \left| \frac{5 - 4.96}{4.96} \right| = 0.992$$

$$\% \text{ Pre} = 0.992 \times 100 = 99.2\%$$

Ans

## 1.8 ค่าผิดพลาด (Error)

ค่าผิดพลาด หมายถึง ค่าที่วัดได้ผิดพลาดไปจากค่าจริงมากหรือน้อยเพียงใด เช่น แรงดัน 10 V อ่านค่าได้ 9.8 V แสดงว่าค่าผิดพลาด -0.2 V หรืออ่านได้ 10.2 V แสดงว่าค่าผิดพลาดไป +0.2 V ดังนั้น เครื่องวัดตัวนี้มีค่าผิดพลาด  $\pm 0.2$  V

$$\text{สูตร} \quad \text{err} = \left( \frac{Y_n - X_n}{Y_n} \right) \dots\dots\dots (1.7)$$

$$\% \text{ err} = \left( \frac{Y_n - X_n}{Y_n} \right) \times 100 \dots\dots\dots (1.8)$$

$$\text{หรือ} \quad \% \text{ err} = (100\% - \% \text{ Acc}) \dots\dots\dots (1.9)$$

$$\begin{aligned} \text{เมื่อ} \quad \text{err} &= \text{ค่าผิดพลาด} \\ Y_n &= \text{ค่าจริง} \\ X_n &= \text{ค่าที่อ่านได้จากการวัด} \end{aligned}$$

ตัวอย่างที่ 1.5 จากตัวอย่างที่ 1.3 จงหาค่า % error ของโวลต์มิเตอร์

$$\begin{aligned} \text{วิธีทำ} \quad \% \text{ err} &= (100\% - \% \text{ Acc}) \\ &= 100\% - 98\% \\ &= 2\% \end{aligned}$$

หรือ

$$\% \text{ err} = \left( \frac{Y_n - X_n}{Y_n} \right) \times 100 = \left( \frac{10 - 9.8}{10} \right) \times 100 = 2\%$$

Ans

---

ค่าผิดพลาดที่เกิดจากการวัดสามารถแบ่งได้เป็น 2 ค่าคือ ค่าผิดพลาดสัมบูรณ์ และค่าผิดพลาดสัมพัทธ์

**1.8.1 ค่าผิดพลาดสัมบูรณ์ (Absolute error)** คือผลต่างของค่าที่วัดได้กับค่าที่เป็นจริง

$$Ab = X_n - Y_n \quad \dots\dots\dots (1.10)$$

เมื่อ  $Ab$  = ค่าความผิดพลาดสัมบูรณ์

$X_n$  = ค่าที่วัดได้

$Y_n$  = ค่าที่เป็นจริง

ค่าความผิดพลาดสัมบูรณ์จะมีเครื่องหมายได้ทั้งบวกและลบ ถ้าเป็นเครื่องหมายบวก หมายถึงค่าที่วัดได้นั้นมากกว่าค่าที่เป็นจริง และถ้าเป็นลบก็แสดงว่าค่าที่วัดได้น้อยกว่าค่าที่เป็นจริง

**1.8.2 ค่าผิดพลาดสัมพัทธ์ (Relative error)** คืออัตราส่วนของค่าผิดพลาดสัมบูรณ์ เทียบกับค่าที่เป็นจริง และคิดเป็นร้อยละ

$$\% Re = \frac{Ab}{Y_n} \times 100 \quad \dots\dots\dots (1.11)$$

$$\text{หรือ } \% Re = \frac{X_n - Y_n}{Y_n} \times 100 \quad \dots\dots\dots (1.12)$$

เมื่อ  $Re$  = ค่าความผิดพลาดสัมพัทธ์

การเปรียบเทียบค่าที่วัดได้จากเครื่องวัดต่าง ๆ ว่าผิดไปจากค่าที่เป็นจริงมากหรือน้อยเพียงใด เราได้จากค่าผิดพลาดสัมพัทธ์นี้

**ตัวอย่างที่ 1.6** เมื่อนำโวลต์มิเตอร์ตัวหนึ่งไปวัดแหล่งจ่ายไฟ 220 V อ่านค่าได้ 215 V และ 225 V จงหาค่าผิดพลาดสัมบูรณ์และค่าผิดพลาดสัมพัทธ์

**วิธีทำ**                      ค่าจากการวัด 215 V

$$\begin{aligned} Ab &= X_n - Y_n \\ &= 215 - 220 \\ &= -5 \text{ V} \end{aligned}$$

ค่าที่วัดได้ต่ำกว่าค่าจริง 5 V

ค่าจากการวัด 225 V

$$\begin{aligned} A_b &= X_n - Y_n \\ &= 225 - 220 \\ &= +5 \text{ V} \end{aligned}$$

ค่าที่วัดได้สูงกว่าค่าจริง 5 V

$$\therefore \text{ค่าผิดพลาดสัมบูรณ์} = \pm 5 \text{ V}$$

ค่าผิดพลาดสัมพัทธ์

$$\begin{aligned} \% \text{ Re} &= \frac{A_b}{Y_n} \times 100 \\ &= \frac{\pm 5}{220} \times 100 \\ &= \pm 2.27\% \end{aligned}$$

Ans

## 1.9 คลาสส์ของเครื่องวัด (Class of instrument)

หมายถึง ค่าผิดพลาดของเครื่องวัดที่เขียนมาเป็นตัวเลขบนสเกลหน้าปัด ซึ่งจะบ่งบอกถึงความเที่ยงตรงของตัวเครื่องวัด เช่น คลาสส์ 1 คลาสส์ 2 คลาสส์ 1.2 เป็นต้น เครื่องวัดที่มีค่าคลาสส์สูงจะวัดค่าผิดพลาดได้มากกว่าเครื่องวัดที่มีค่าคลาสส์ต่ำ (กรณีเปรียบเทียบพิสัยเดียวกัน)

คลาสส์ของเครื่องวัดถ้าคิดในรูปของเปอร์เซ็นต์ จะบอกถึงเปอร์เซ็นต์การวัดผิดพลาดในแต่ละพิสัยวัดของเครื่องวัดนั้น ๆ ถ้านำค่าคลาสส์คูณกับพิสัยวัด จะได้ค่าผิดพลาดสัมบูรณ์

$$\text{สูตร} \quad A_b = (\text{Class}\%) \times \text{Range} \quad \dots\dots\dots (1.13)$$

$$= \frac{\text{Class}}{100} \times \text{Range} \quad \dots\dots\dots (1.14)$$

$$\text{เมื่อ} \quad \text{Range} = \text{พิสัยวัด}$$

ตัวอย่างที่ 1.7 เครื่องวัดแรงดันไฟฟ้าตัวหนึ่ง Class 1 มีพิสัยวัดแรงดันคือ 100 V และ 200 V  
นำไปวัดแรงดันจริง 100 V จงหาค่าความผิดพลาดสัมบูรณ์และค่าความผิดพลาด  
สัมพัทธ์แต่ละพิสัย

วิธีทำ จากสมการที่ 1.14 และสมการที่ 1.11

$$Ab = \frac{\text{Class}}{100} \times \text{Range}$$

$$\begin{aligned} \text{พิสัย 100 V} \quad Ab &= \frac{1}{100} \times 100 \\ &= 1 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \% \text{ Re} &= \frac{Ab}{Y_n} \times 100 \\ &= \frac{1}{100} \times 100 \\ &= 1 \% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{พิสัย 200 V} \quad Ab &= \frac{1}{100} \times 200 \\ &= 2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \% \text{ Re} &= \frac{Ab}{Y_n} \times 100 \\ &= \frac{2}{100} \times 100 \\ &= 2 \% \end{aligned}$$

จากตัวอย่างนี้แสดงให้เห็นว่าค่าผิดพลาดที่เกิดขึ้นจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับพิสัยวัด

Ans

**ตัวอย่างที่ 1.8** เครื่องวัดแรงดันไฟฟ้าตัวหนึ่ง Class 1 และ Class 2 ใช้พิสัย 100 V นำไปวัดแรงดันจริง 100 V จงหาค่าความผิดพลาดสัมบูรณ์และค่าความผิดพลาดสัมพัทธ์แต่ละ Class

**วิธีทำ** จากสมการที่ 1.14 และสมการที่ 1.11

$$Ab = \frac{\text{Class}}{100} \times \text{Range}$$

$$\begin{aligned} \text{Class 1 ; } Ab &= \frac{1}{100} \times 100 \\ &= 1 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \% \text{ Re} &= \frac{Ab}{Y_n} \times 100 \\ &= \frac{1}{100} \times 100 \\ &= 1\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Class 2 ; } Ab &= \frac{2}{100} \times 100 \\ &= 2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \% \text{ Re} &= \frac{Ab}{Y_n} \times 100 \\ &= \frac{2}{100} \times 100 \\ &= 2\% \end{aligned}$$

จากตัวอย่างนี้ แสดงให้เห็นว่าค่าผิดพลาดที่เกิดขึ้นจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับ Class

Ans

**ตัวอย่างที่ 1.9** เครื่องวัดแรงดันไฟฟ้าตัวหนึ่ง คลาส 2.5 มีพิสัยวัดแรงดันคือ 100 V, 250 V, 1000 V เมื่อนำเครื่องวัดนี้ไปวัดค่าแรงดันที่มีค่า 100 V จงหาค่าที่เข็มชี้แสดง และหาค่าผิดพลาดสัมพัทธ์

**วิธีทำ** ก. ที่พิสัยวัด 100 V

$$Ab = \frac{2.5}{100} \times 100$$

$$= \pm 2.5 \text{ V}$$

ค่าที่เข็มชี้แสดงอยู่ระหว่าง  $100 \pm 2.5 \text{ V}$  คือ  $97.5 \text{ V} \text{ ---- } 102.5 \text{ V}$

$$\% \text{ Re} = \frac{\pm 2.5 \text{ V}}{100} \times 100 = \pm 2.5\%$$

ข. ที่พิสัยวัด 250 V

$$Ab = \frac{2.5}{100} \times 250$$

$$= \pm 6.25 \text{ V}$$

ค่าที่เข็มชี้แสดงอยู่ระหว่าง  $100 \pm 6.25 \text{ V}$  คือ  $93.75 \text{ ---- } 106.25 \text{ V}$

$$\% \text{ Re} = \frac{\pm 6.25}{100} \times 100 \%$$

$$= \pm 6.25 \%$$

ค. ที่พิสัยวัด 1000 V

$$Ab = \frac{2.5}{100} \times 1000$$

$$= \pm 25 \text{ V}$$

ค่าที่เข็มชี้แสดงอยู่ระหว่าง  $100 \pm 25 \text{ V}$  คือ  $75 \text{ ---- } 125 \text{ V}$

$$\begin{aligned}
 \% \text{ Re} &= \frac{\pm 25}{100} \times 100 \% \\
 &= \pm 25 \%
 \end{aligned}$$

ที่พิสัยวัด 100 V ค่าความผิดพลาดสัมพัทธ์  $\pm 2.5 \%$

ที่พิสัยวัด 250 V ค่าความผิดพลาดสัมพัทธ์  $\pm 6.25 \%$

ที่พิสัยวัด 1000 V ค่าความผิดพลาดสัมพัทธ์  $\pm 25 \%$

Ans

**ตัวอย่างที่ 1.10** เครื่องวัดกระแสไฟฟ้าตัวหนึ่ง คลาสส์ 1.5 V พิสัยวัด 10 A นำไปวัดกระแส 4 ขนาด เข็มชี้อ่านค่าได้ ก) 10 A, ข) 8 A, ค) 4 A, ง) 2 A ตามลำดับ จงหาค่าของกระแสไฟฟ้าที่เป็นจริงและค่าผิดพลาดสัมพัทธ์

**วิธีทำ** ตัวอย่างนี้แสดงให้เห็นว่า การตั้งพิสัยวัดไม่เหมาะสมจะทำให้เกิดค่าความผิดพลาดมากตามมาด้วย

$$\begin{aligned}
 A_b &= \frac{1.5}{100} \times 10 \\
 &= \pm 0.15 \text{ A}
 \end{aligned}$$

ก. ค่าที่วัดได้ 10 A

ช่วงของค่ากระแสจริง 10 A  $\pm 0.15$  A คือ 9.85 A ----- 10.15 A

$$\begin{aligned}
 \% \text{ Re} &= \frac{\pm 0.15 \text{ A}}{10.15 \text{ A}} \times 100 \\
 &= \pm 1.48 \%
 \end{aligned}$$

ข. ค่าที่วัดได้ 8 A

ช่วงของค่ากระแสจริง 8 A  $\pm 0.15$  A คือ 7.85 A ----- 8.15 A

$$\begin{aligned}
 \% \text{ Re} &= \frac{\pm 0.15 \text{ A}}{8.15 \text{ A}} \times 100 \\
 &= \pm 1.84 \%
 \end{aligned}$$

ค. ค่าที่วัดได้ 4 A

ช่วงของค่ากระแสจริง 4 A  $\pm 0.15$  A คือ 3.85 A ----- 4.15 A

$$\begin{aligned}\% R &= \frac{\pm 0.15 A}{4.15 A} \times 100 \\ &= \pm 3.61 \%\end{aligned}$$

ง. ค่าที่วัดได้ 2 A

ช่วงของค่ากระแสจริง 2 A  $\pm 0.15$  A คือ 1.85 A ----- 2.15 A

$$\begin{aligned}\% R &= \frac{\pm 0.15 A}{2.15 A} \times 100 \\ &= \pm 6.98 \%\end{aligned}$$

สรุป

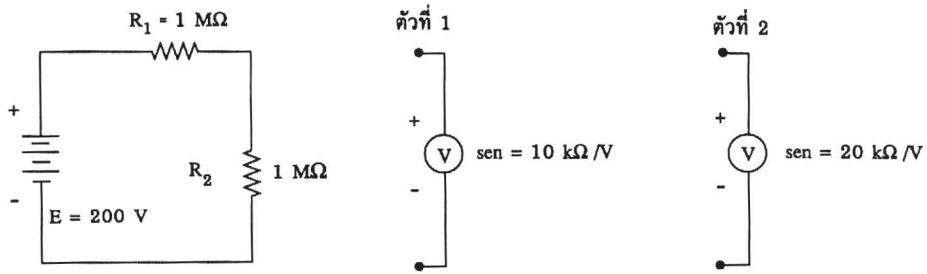
1. การวัดควรเลือกพิสัยวัดที่เข็มชี้แสดงค่าอยู่ที่ 2/3 ของสเกล
2. คลาสส์ของเครื่องวัดจะบอกค่าผิดพลาดสัมบูรณ์ของพิสัยวัดนั้น
3. % ค่าผิดพลาดสัมพัทธ์ แสดงการผิดพลาดที่เป็นไปได้สูงสุดแต่ละค่าที่ทำารวัดของพิสัยวัดนั้น ๆ

Ans

## 1.10 ผลของโวลต์มิเตอร์กระแสตรงไปโหลดวงจร (Loading Effect of DC-Voltmeter)

เนื่องจากโวลต์มิเตอร์มีค่าความไวและความต้านทานภายใน (Internal resistance ;  $R_{in}$ ) อยู่ค่าหนึ่ง เมื่อนำไปวัดไฟในวงจรโดยไม่ได้คำนึงถึงค่าดังกล่าวจะทำให้เกิดค่าผิดพลาด 2 อย่างคือ

**1.10.1 โวลต์มิเตอร์ที่มีค่าความไวต่างกัน** ตั้งพิสัยวัดเดียวกัน ไปวัดแรงดันจุดเดียวกัน จะได้ค่าแรงดันไม่เท่ากัน



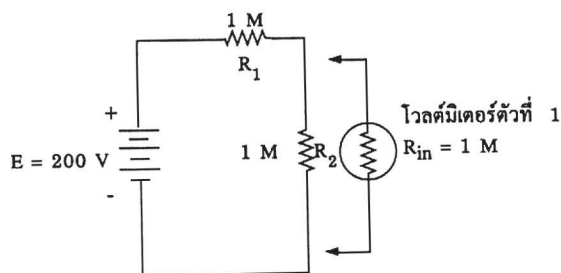
รูปที่ 1.1 วงจรกระแสตรง

ตัวอย่างที่ 1.11 นำโวลต์มิเตอร์ที่มีความไว 10 kΩ/V และ 20 kΩ/V ตั้งพิสัยวัด DC 100 V ไปวัดแรงดันตกคร่อม  $R_2$  ในวงจรรูปที่ 1.1 จะอ่านค่าได้เท่าใด

วิธีทำ จากวงจรจะได้ค่าแรงดันตกคร่อม  $R_2$  โดยการคำนวณ

$$\begin{aligned}
 V_{R_2} &= \text{ตามกฎของการแบ่งแรงดัน (Voltage divider)} \\
 &= \frac{E \times R_2}{R_1 + R_2} \\
 &= \frac{200\text{V} \times 1\text{M}}{1\text{M} + 1\text{M}} \\
 &= \frac{200\text{V} \times 1\text{M}}{2\text{M}} \\
 &= 100 \text{ V}
 \end{aligned}$$

หาค่าแรงดันตกคร่อม  $R_2$  โดยการวัดด้วยโวลต์มิเตอร์ตัวที่ 1 ดังรูป



เปรียบเสมือนนำค่า  $R_{in}$  ไปต่อคร่อมเข้ากับ  $R_2$

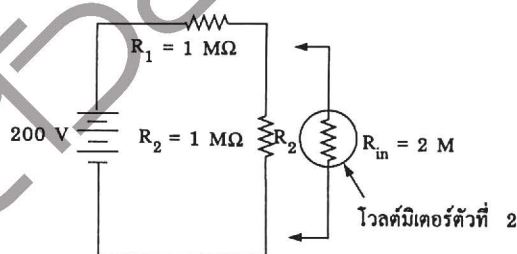
$$\begin{aligned} \text{ซึ่ง} \quad R_{in} &= \text{ความไว} \times \text{พิสัยวัด} \\ &= 10 \text{ k}\Omega/\text{V} \times 100 \text{ V} \\ &= 1000 \text{ k}\Omega \\ &= 1 \text{ M}\Omega \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{คำนวณ} \quad V_{R2} &= \frac{E \times (R_2 // R_{in})}{R_1 + (R_2 // R_{in})} \\ &= \frac{200 \text{ V} \times (1\text{M} // 1\text{M})}{1\text{M} + (1\text{M} // 1\text{M})} \\ &= \frac{200 \times 0.5\text{M}\Omega}{1.5\text{M}\Omega} \end{aligned}$$

$$= 66.67 \text{ V}$$

$$\text{ผิดพลาด} = 100 - 66.67 \text{ V} = 33.33 \text{ V}$$

ใช้โวลต์มิเตอร์ตัวที่ 2 (ทดทำนองเดียวกัน)



$$\begin{aligned} R_{in} &= 20 \text{ k}\Omega/\text{V} \times 100 \text{ V} \\ &= 2000 \text{ k}\Omega = 2 \text{ M}\Omega \\ V_{R2} &= \frac{200 \times (1\text{M} // 2\text{M})}{1 \text{ M} + (1\text{M} // 2\text{M})} \\ &= \frac{200 \times 0.67\text{M}\Omega}{1.67\text{M}\Omega} \end{aligned}$$

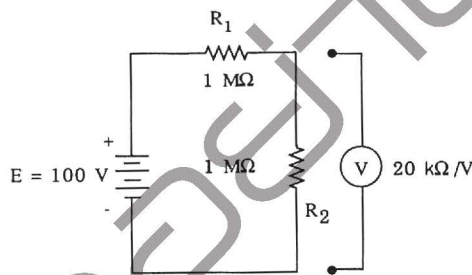
$$\begin{aligned}
 &= 80.24 \text{ V} \\
 \text{ผิดพลาด} &= 100 - 80.24 \text{ V} = 19.76 \text{ V}
 \end{aligned}$$

สรุป มิเตอร์ที่มีความไวสูงจะวัดค่าได้แม่นยำกว่ามิเตอร์ที่มีความไวต่ำ

Ans

### 1.10.2 โวลต์มิเตอร์ที่มีความไวเท่ากัน ตั้งพิสัยวัดต่างกันจะวัดไฟได้ไม่เท่ากัน

ตัวอย่างที่ 1.12 จากวงจรหาค่าแรงดันที่ตกคร่อม  $R_2$  โดยการวัดด้วยโวลต์มิเตอร์พิสัย 50 และ 250 V



รูปวงจรตัวอย่างที่ 1.12

วิธีทำ

ก. ถ้าตั้งพิสัย 50 V DC ;  $R_{in} = 20 \text{ k}\Omega \times 50 = 1 \text{ M}\Omega$

$$\begin{aligned}
 \text{จะได้ } V_{R_2} &= \frac{100 \times (1 \text{ M} // 1 \text{ M})}{1 \text{ M} + (1 \text{ M} // 1 \text{ M})} \\
 &= \frac{100 \times 0.5 \text{ M}\Omega}{1.5 \text{ M}\Omega} \\
 &= 33.33 \text{ V}
 \end{aligned}$$

ข. ตั้งพิสัย 250 V DC ;  $R_{in} = 20 \text{ k}\Omega \times 250 = 5 \text{ M}\Omega$

$$\begin{aligned} V_{R2} &= \frac{100 \times (1\text{M} // 5\text{M})}{1\text{M} + (1\text{M} // 5\text{M})} \\ &= \frac{100 \times 0.83\text{M}\Omega}{1.83\text{M}\Omega} \\ &= 45.36 \text{ V} \end{aligned}$$

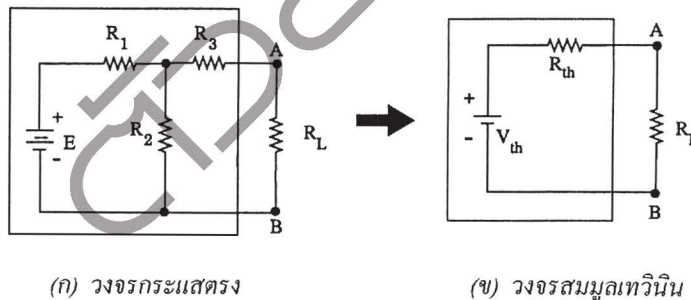
พิสัย 50 V DC ผิดพลาด =  $50 - 33.33 = 16.67 \text{ V}$

พิสัย 250 V DC ผิดพลาด =  $50 - 45.36 = 4.64 \text{ V}$

**สรุป** มิเตอร์ความไวเท่ากัน ตั้งพิสัยสูงจะวัดค่าได้ใกล้เคียงค่าจริง (5.0 V) มากขึ้น

Ans

ค่าผิดพลาดที่เกิดขึ้นกับเครื่องวัด ถ้าหลีกเลี่ยงไม่ได้ ให้แก้ไขวงจรที่จะทำการวัดโดยจัดวงจรดังกล่าวให้เป็นวงจรสมมูลเทวินิน (Thevenin's equivalence)

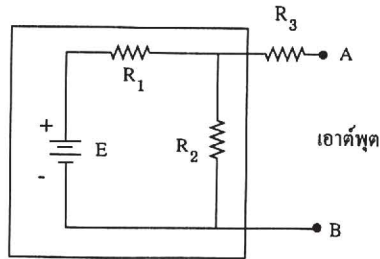


รูปที่ 1.2 แสดงการวัดจัดวงจรสมมูลเทวินิน

วงจรสมมูลเทวินินจะประกอบด้วยแรงดันเทวินิน (Thevenin's voltage ;  $V_{th}$ ) กับความต้านทานเทวินิน (Thevenin's resistance ;  $R_{th}$ ) ดังรูปที่ 1.2 (ข)

การหาค่าแรงดัน  $V_{th}$  ให้ทำการเปิดโหลด  $R_L$  (Open load) ที่จุด AB แล้วมองจากจุด AB เข้าไปจะได้แรงดันตกคร่อมตัวต้านทานเป็นแรงดัน  $V_{th}$

ในรูปที่ 1.2 (ก) เมื่อเปิด  $R_L$  แล้วมองทางเอาต์พุตเข้าไปจะได้ตัวต้านทาน  $R_2$  เป็นโหลดแทน เขียนวงจรใหม่ได้ดังรูปที่ 1.3 แรงดัน  $V_{th}$  คือแรงดันที่ตกคร่อม  $R_2$

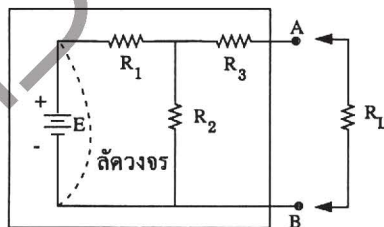


รูปที่ 1.3 แสดงการหาค่าแรงดัน  $V_{th}$  โดยการเปิดโหลดทิ้งไป

จากรูปที่ 1.3 จะได้

$$V_{th} = V_{R_2} = \frac{E \times R_2}{R_1 + R_2} \dots\dots\dots (1.15)$$

การหาค่าความต้านทาน  $R_{th}$  ให้ทำการลัดวงจรแหล่งจ่าย  $E$  (Short source) ของวงจรในรูปที่ 1.2 (ก) เขียนวงจรใหม่จะได้ดังรูปที่ 1.4



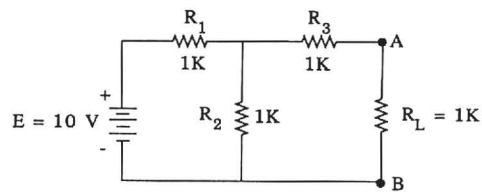
รูปที่ 1.4 แสดงการหาค่า  $R_{th}$  โดยการลัดวงจรแหล่งจ่าย  $E$

จากรูปที่ 1.4 จะได้

$$R_{th} = \{(R_1 // R_2) + R_3\} \dots\dots\dots (1.16)$$

หลังจากนั้นให้แทนค่า และที่คำนวณได้ลงในวงจรสมมูลเทวินิน และนำโหลด  $R_L$  ที่เปิดทิ้งไปต่อเข้ากับจุด  $AB$  ดังเดิมเพื่อคำนวณหาค่าอื่นๆต่อไป ดังรูปที่ 1.2 (ข)

ตัวอย่างที่ 1.13 จากรูปวงจรที่กำหนดให้ จงหา



รูปวงจรตัวอย่างที่ 1.13

ก. แรงดันที่ตกคร่อม  $R_L$  โดยการคำนวณ

ข. แรงดันที่ตกคร่อม  $R_L$  โดยการวัดด้วยโวลต์มิเตอร์ที่มีความไว  $20 \text{ k}\Omega/\text{V}$  พิสัย

$10 \text{ V DC}$

ค. เปอร์เซ็นต์ความแม่นยำของเครื่องวัดโวลต์มิเตอร์

ง. เปอร์เซ็นต์ค่าผิดพลาดของเครื่องวัดโวลต์มิเตอร์

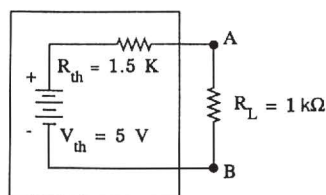
วิธีทำ

ใช้วงจรสมมูลเทวินิน

$$\begin{aligned} \text{หา } V_{th} &= V_{R2} = \frac{E \times R_2}{R_1 + R_2} \\ &= \frac{(10\text{V})(1 \text{ k}\Omega)}{1 \text{ k}\Omega + 1 \text{ k}\Omega} = 5 \text{ V} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{หา } R_{th} &= (R1 // R2) + R3 \\ &= (1 \text{ k}\Omega // 1 \text{ k}\Omega) + 1 \text{ k}\Omega \\ &= 1.5 \text{ k}\Omega \end{aligned}$$

เขียนวงจรสมมูลเทวินิน แทนค่า  $V_{th}$  และ  $R_{th}$  พร้อมต่อ  $R_L$  กลับดังเดิมดังรูป



# รายชื่อหนังสือตามหลักสูตรใหม่ ปวช. 2545

## หมวดวิชาพื้นฐาน

|                            | รหัสวิชา  | ราคา/เล่ม |
|----------------------------|-----------|-----------|
| วิทยาศาสตร์พื้นฐาน (ป.45)  | 2000-1401 | 65.-      |
| คณิตศาสตร์ประยุกต์ 1(ป.45) | 2000-1501 | 65.-      |

## หมวดวิชาชีพพื้นฐาน

|                                  | รหัสวิชา  | ราคา/เล่ม |
|----------------------------------|-----------|-----------|
| ทฤษฎีช่างกลทั่วไป                | 2100-0001 | 60.-      |
| งานฝึกฝีมือ (ป.45)               | 2100-1004 | 60.-      |
| เขียนแบบเทคนิค 1                 | 2100-0004 | 95.-      |
| เขียนแบบเทคนิค 2                 | 2100-0005 | 95.-      |
| วัสดุช่างอุตสาหกรรม (ป.45)       | 2100-1002 | 60.-      |
| งานเชื่อมและโลหะแผ่น             | 2100-0008 | 60.-      |
| งานไฟฟ้าทั่วไป                   | 2100-0010 | 75.-      |
| ความปลอดภัยในโรงงานอุตสาหกรรม    | 2100-0021 | 60.-      |
| ระบบบริหารงานคุณภาพ ISO 9000     | -         | 100.-     |
| การบริหารงานคุณภาพและเพิ่มผลผลิต | 2001-0003 | 80.-      |

## หมวดวิชาชีพเฉพาะ

### สาขาวิชาไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์

|                                         | รหัสวิชา  | ราคา/เล่ม |
|-----------------------------------------|-----------|-----------|
| เครื่องวัดไฟฟ้า (ภาคปฏิบัติ)            | 2104-2104 | 80.-      |
| ดีจิตอลเบื้องต้น (ภาคทฤษฎี)             | 2104-2116 | 100.-     |
| ดีจิตอลเบื้องต้น (ภาคปฏิบัติ)           | 2104-2116 | 98.-      |
| วงจรไฟฟ้า 1 (ภาคทฤษฎี)                  | 2104-2102 | 95.-      |
| วงจรไฟฟ้า 1 (ภาคปฏิบัติ)                | 2104-2102 | 80.-      |
| วงจรไฟฟ้า 2 (ภาคทฤษฎี)                  | 2104-2103 | 120.-     |
| วงจรไฟฟ้า 2 (ภาคปฏิบัติ)                | 2104-2103 | 100.-     |
| อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และวงจร (ภาคทฤษฎี) | 2104-2112 | 95.-      |
| เครื่องเสียง (ภาคทฤษฎี)                 | 2104-2208 | 80.-      |
| เครื่องรับโทรทัศน์                      | 2104-2211 | 80.-      |
| คณิตศาสตร์อิเล็กทรอนิกส์                | 2104-6208 | 80.-      |

จัดพิมพ์และจำหน่ายโดย



บริษัท **สกายบุ๊กส์** จำกัด  
**SKYBOOK COMPANY LIMITED**  
 305/276-8 ซ.โพธิ์-เกษมณี อ.เมือง จ.เชียงใหม่ 50100  
 โทร. 0-2687-1125-7, 0-2687-8119 โทรสาร 0-2687-8108  
 e-mail: sales@skybook.co.th

[www.skybook.co.th](http://www.skybook.co.th)

เครื่องมือและการวัด  
 อิเล็กทรอนิกส์

ISBN 974-389-512-4



9 789743 895128

ราคา 150 บาท