# ปริมาณทางไฟฟ้าและหน่วย

## 3.1 บทนำ

หากเราต้องการบอกสถานที่ที่จะไปซื้อสินค้า พร้อมกับรายละเอียดสินค้า แน่นอนว่าเราต้องบอกว่าเราจะไปด้วยยานพาหนะชนิดใด ระยะทางจากจุดดังกล่าวไปยังห้างสรรพสินค้าเป็นกี่กิโลเมตร และสินค้าที่จะซื้อดังกล่าวมีขนาดเท่าใด น้ำหนักเท่าใด ราคาเท่าใด

เช่นเดียวกัน การจะศึกษาและทำงานเกี่ยวกับด้านไฟฟ้า ก็จำเป็นต้องบอกรายละเอียดต่าง ๆ เช่น ถ้าจะบอกรายละเอียดของมอเตอร์ ก็ต้องบอกว่าใช้กับแรงดันไฟฟ้าเท่าใด กินกระแสเป็นเท่าใด มีกี่แรงม้า เป็นต้น

## 3.2 ประจุไฟฟ้า (Charge) และกระแสไฟฟ้า (Current)

จากบทที่ 2 ประจุไฟฟ้า คือคุณลักษณะทางไฟฟ้าที่ครอบครองโดยอิเล็กตรอนและโปรตอน
ประจุไฟฟ้าใช้ตัวย่อ Q มีหน่วยเป็น คูลอมป์ (colomb), C
โดยที่ ประจุ 1 คูลอมป์ = อิเล็กตรอนจำนวน $6.25 \times 10^{18}$ ตัว

| นิยาม | ตัวย่อ | หน่วย |
|---|---|---|
| กระแส (Current) คือการเคลื่อนที่ของอนุภาคประจุไฟฟ้าในทิศทางที่กำหนด โดยเทียบกับระยะเวลาหนึ่ง | I | แอมแปร์ (A |

ข้อกำหนด : กระแส 1 แอมแปร์ = ประจุ 1 คูลอมป์ ซึ่งผ่านพื้นที่หน้าตัดหนึ่งในเวลา 1 วิน

หรือเขียนได้ว่า

$$I = \frac{Q}{t} \qquad (3.1)$$

ดังนั้น

$$IA = \frac{IC}{ISec}$$

โดยมากเราจะใช้อิเล็กตรอน อิออนบวก หรืออิออนลบ เป็นตัวแสดงค่าของกระแสไฟฟ้า กร ไฟฟ้าสามารถเคลื่อนผ่านได้ทั้งของแข็ง ของเหลว และแก๊ส กระแสไฟฟ้า (อิเล็กตรอน) สามารถเคลื่ ในของแข็งได้เร็วที่สุด รองลงมาคือในสุญญากาศ (อากาศที่ว่างเปล่า) และเคลื่อนที่ได้ช้าที่สุดในของเ และแก๊ส

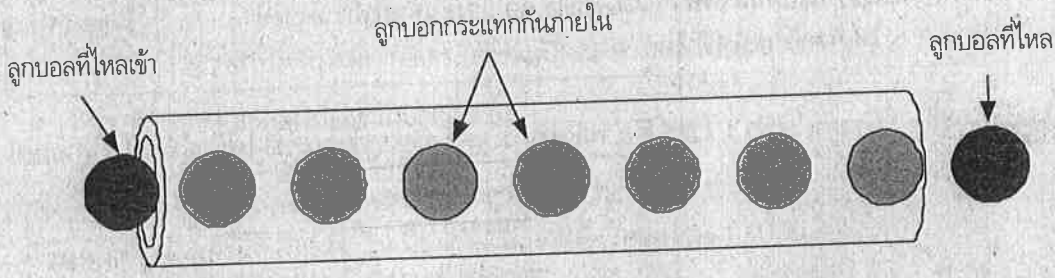
## 3.3 กระแสไฟฟ้าที่ไหลในของแข็ง

เมื่อคิดถึงการไหลของกระแสไฟฟ้าให้คิด 2 อย่างได้แก่

1. การเคลื่อนที่ของกระแสจะเกิดขึ้นเร็วมาก โดยกระแสสามารถเคลื่อนที่ในลวดโลหะใกล้กับความเร็วแสง นั่นคือ 186,000 ไมล์/วินาที ($3 \times 10^8$ เมตร/วินาที)

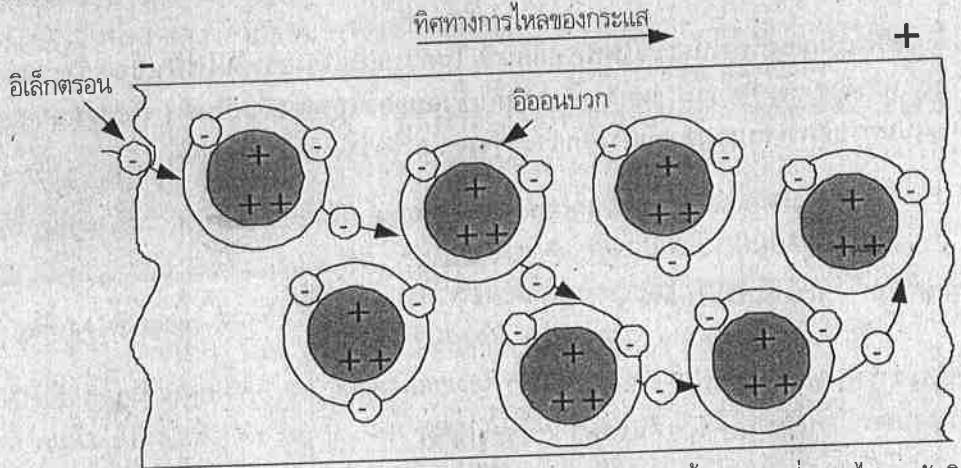
2. แต่พบว่าการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนแต่ละตัว จะช้ากว่าผลของกระแสที่เราเห็นอย่างมาก โดยอิเล็กตรอนตัวหนึ่ง ๆ จะใช้เวลาเป็นนาทีต่อการเคลื่อนที่ในลวดเพียงสองถึงสามฟุต

ผลของกระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้นอย่างทันทีทันใด และอิเล็กตรอนแต่ละตัวที่เคลื่อนที่ช้ามาก ๆ แสดงให้เห็นดังรูปที่ 3.1 หากเรามีลูกเทนนิสใส่ไว้ในท่อให้เต็ม หลังจากนั้นทดลองตบลูกเทนนิสลูกแรก สังเกตว่าลูกเทนนิสที่ปลายท่ออีกด้านจะกระเด็นออก ลูกเทนนิสที่กระเด็นออกก็เหมือนกับผลของกระแสไฟฟ้าที่ปลายสาย ซึ่งเกิดจากการที่อิเล็กตรอนอิสระกระแทกกัน




**รูปที่ 3.1** การเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนที่จะทำให้เกิดผลของการเกิดกระแสไฟฟ้า (Richard J. Fowler. 1992 : 13)

เพื่อให้เห็นภาพการไหลของกระแสจริง ๆ ให้นึกว่าอะตอมอะลูมิเนียมแต่ละอะตอมประกอบไปด้วยวาเลนซ์อิเล็กตรอนดังในรูปที่ 3.2 เมื่อมีอิเล็กตรอนภายนอกมากระตุ้นเนื่องจากแรงจากภายนอก อิเล็กตรอนตัวดังกล่าวก็จะไปกระแทกทำให้วาเลนซ์อิเล็กตรอนวงแรก ๆถูกกระแทกออกกลายเป็นอิเล็กตรอนอิสระ อิเล็กตรอนอิสระดังกล่าวก็จะไปกระแทกกับอิเล็กตรอนในอะตอมอื่น ๆ เมื่อกระแทกกับอิเล็กตรอนตัวอื่น มันก็จะไปรวมกับอะตอมตัวใดตัวหนึ่งที่เป็นอิออนบวก และเป็นอย่างนี้ไปเรื่อย ๆ จนทำให้เกิดผลของกระแสไฟฟ้าที่ปลายสาย




**รูปที่ 3.2** กระแสที่ไหลในสายไฟ อิเล็กตรอนอิสระจะเคลื่อนที่เป็นระยะทางสั้น ๆ ก่อนที่มันจะไปรวมกับอิออนบวก (Richard J. Fowler. 1992 : 14)

วิธีการที่จะทำให้วาเลนซ์อิเล็กตรอนแยกตัวกลายเป็นอิเล็กตรอนอิสระมีหลายวิธี เช่น

➢ การใช้แรงดันไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายหรือเครื่องกำเนิดกระตุ้น ทำให้เกิดอิเล็กตรอนอิสระและเกิดกระแสไฟฟ้าไหลไปตามสายส่ง

➢ การกระตุ้นโดยปฏิกิริยาเคมี เช่น การเกิดกระแสไฟฟ้าในแบตเตอรี่

➢ การเกิดกระแสไฟฟ้าในวงจรเทอร์โมคัปเปิล* ซึ่งเกิดจากการกระตุ้นด้วยความร้อน ทำให้มีการถ่ายเทอิเล็กตรอนในโลหะที่ต่างกัน จนเกิดเป็นกระแสไฟฟ้า

## 3.4 แรงดันไฟฟ้า (Voltage)

| นิยาม | ตัวย่อ | หน่วย |
|---|---|---|
| **แรงดันไฟฟ้า (Voltage) หรือศักย์ไฟฟ้า (Potential)** คือ แรงดันทางไฟฟ้าซึ่งจะทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าไหล | E | โวลต์ (V) |

**ข้อกำหนด** : แรงดันไฟฟ้า 1 โวลต์ คือ พลังงาน 1 จูลน์ ที่กระทำต่อประจุไฟฟ้าจำนวน 1 คูลอมป์

หรือ

$$\text{แรงเคลื่อนไฟฟ้า (V)} = \frac{\text{พลังงาน (W)}}{\text{ประจุไฟฟ้า (Q)}} \qquad (3.2)$$

ดังนั้น

$$IV = \frac{1J}{IC}$$

ตัวอย่างเช่น แบตเตอรี่รถยนต์ที่มีแรงดันไฟฟ้า 12 โวลต์ อธิบายได้ว่าหากมันปล่อยประจุไฟฟ้า 1 คูลอมป์ไหลผ่านหลอดไฟ ที่หลอดจะเกิดพลังงานขึ้น 12 จูลน์ และเปลี่ยนไปเป็นพลังงานความร้อนและแสงสว่าง เป็นต้น

แรงดันไฟฟ้าเรียกได้อีกอย่างหนึ่งว่า electromotive force (ใช้ตัวย่อเป็น emf) หรือความต่างศักย์ไฟฟ้า

แรงดันไฟฟ้าเป็นแรงที่ทำให้ประจุไฟฟ้าเคลื่อนที่ ในความเป็นจริงแรงดันไฟฟ้าเป็นพลังงานศักย์แตกต่างที่มีอยู่ระหว่างจุด 2 จุด เช่น ระหว่างขั้วบวกกับขั้วลบของแบตเตอรี่ เป็นต้น ดังนั้นหน่วยของแรงดันไฟฟ้าจะเป็นตัวบอกระดับของความต่างศักย์ระหว่างจุด 2 จุดว่ามากน้อยเพียงใด

**ตัวอย่างที่ 3.1** จงหาพลังงานศักย์ W ของแบตเตอรี่ขนาด 9 โวลต์ ที่มีประจุไฟฟ้า (Q) สะสมอยู่ภายใน 2,000 คูลอมป์

**กำหนด** แรงดันไฟฟ้า = 9 V

ประจุไฟฟ้า = 2,000 C

**สิ่งที่ต้องการหา** พลังงานศักย์

**สิ่งที่ทราบค่า** พลังงาน = แรงดันไฟฟ้า × ประจุไฟฟ้า

---

* เทอร์โมคัปเปิล เป็นอุปกรณ์วัดอุณหภูมิให้เอาต์พุตออกมาเป็นแรงดันไฟฟ้าขนาดต่ำ ๆ ใช้มากในอุตสาหกรรมที่ต้องมีการควบคุมอุณหภูมิค่าสูง ๆ

วิธีทำ จาก $W = V \times Q$

$W = 9\ V \times 2{,}000\ C$

$= 18{,}000$ Joules

ตอบ พลังงานศักย์ = 18,000 จูลน์

## 3.5 แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้า (Electricity Sources)

เราสามารถจะทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าได้ ๆ หลายเทคนิค แรงดันไฟฟ้าหรือศักย์ไฟฟ้าที่เกิดขึ้นก็เกิดตามกระบวนการเดิม นั่นคือการผลิตอิเล็กตรอนที่ขั้วด้านหนึ่งให้เกินขึ้นมา และทำให้อิเล็กตรอนที่ขั้วอีกด้านหนึ่งขาดหายไป จึงทำให้เกิดศักย์ไฟฟ้าแตกต่าง และมีกระแสไหลในวงจร (เช่นเดียวกับที่น้ำไหลจากที่สูงลงสู่ที่ต่ำ)

แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าสามารถแยกได้ออกเป็น 2 ประเภทดังต่อไปนี้

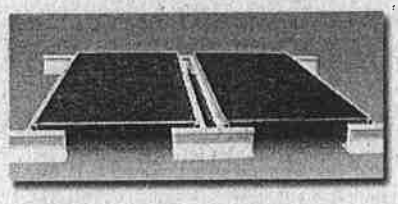
### 1. แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ

- เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ (generator) เป็นเครื่องกลที่ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานกลซึ่งได้จากต้นกำลัง เช่น เครื่องยนต์ดีเซล พลังน้ำ เป็นต้น ไปเป็นพลังงานไฟฟ้า (ในรูปที่ 3.3) กระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้จะจ่ายให้กับบ้านเรือน หรือภาคอุตสาหกรรม เช่น โรงงาน โรงแรม เป็นต้น

**รูปที่ 3.3** ตัวอย่างของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับขนาด 30 กิโลวัตต์ (www.gensetcentral.com)

### 2. แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง

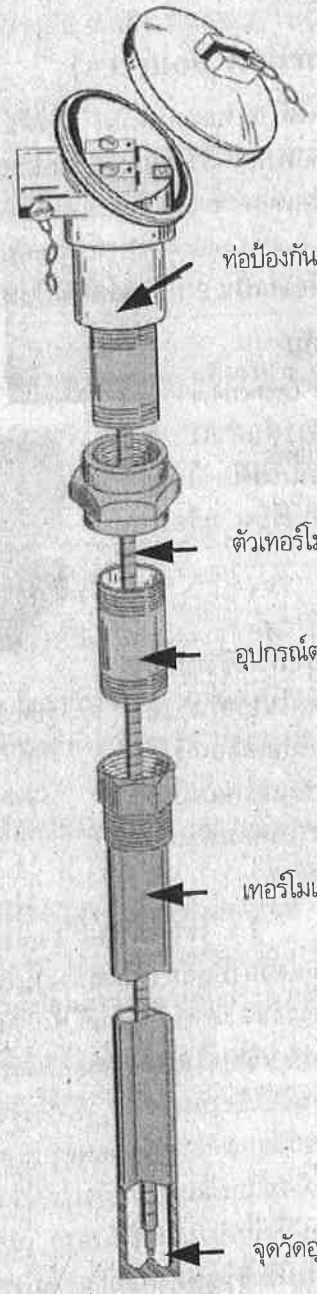
2.1 แบตเตอรี่ (battery) เป็นอุปกรณ์ซึ่งเปลี่ยนพลังงานเคมี ไปเป็นพลังงานไฟฟ้า (รายละเอียดดูในบทที่ 4) เป็นแหล่งพลังงานที่ใช้กับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ประเภทเคลื่อนที่ เช่น โทรศัพท์มือถือ หรืออุปกรณ์ไฟฟ้าที่ต้องการกระแสไฟแบบราบเรียบมาก เช่น ระบบสำรองสำหรับเป็นฐานเวลาในคอมพิวเตอร์ แบตเตอรี่มีมากมายหลายรูปแบบ ตามแต่การใช้งาน



**รูปที่ 3.4** ตัวอย่างของโซลาร์เซลล์

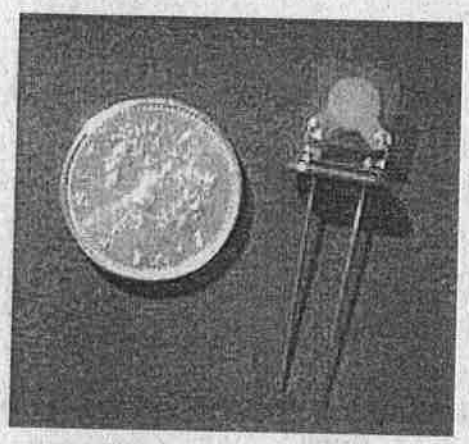
2.2 โซลาร์เซลล์ (solar cells) ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์มาเป็นพลังงานไฟฟ้า เนื่องจากแสงแดดจัดเป็นพลังงานสะอาด ไม่ก่อให้เกิดกระบวนการที่จะทำให้เกิดมลภาวะจากการใช้พลังงาน และมีแนวโน้มว่าจะได้รับการสนับสนุนให้ใช้งานมากขึ้น ดังนั้นโซลาร์เซลล์ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่สามารถเปลี่ยนพลังงานแสงแดดเป็นพลังงานไฟฟ้า จึงค่อย ๆ ได้รับความนิยมและมีแนวโน้มที่จะได้รับความนิยมสูงยิ่งขึ้นในอนาคต โซลาร์เซลล์จัดเป็นแหล่งพลังงานทดแทนอีกแบบหนึ่งที่นับวันจะใช้กันมาก เพราะนอกจากจะเป็นพลังงานสะอาดแล้ว ยังมีมากมายเหลือเฟือ เช่น การนำไปใช้เป็นแหล่งผลิตกระแสไฟฟ้าในพื้นที่ที่ไฟฟ้าเข้าไม่ถึงบ้านเรือนอนุรักษ์พลังงาน เป็นต้น ในรูปที่ 3.4 จะแสดงตัวอย่างของโซลาร์เซลล์

2.3 เทอร์โมคัปเปิล (thermocouple) ทำหน้าที่เปลี่ยนจากพลังงานความร้อนมาเป็นพลังงานไฟฟ้า ผลจากการเปลี่ยนความร้อนมาเป็นพลังงานไฟฟ้านี้เรียกว่า "เทอร์โมอิเล็กตริก เอฟเฟคต์ (thermoelectric effect)" เราจะไม่นำเอาเทอร์โมคัปเปิลมาใช้เป็นแหล่งกำเนิดไฟฟ้าโดยตรง แต่ประยุกต์ใช้สำหรับการวัดอุณหภูมิ ตัวอย่างของเทอร์โมคัปเปิลจะแสดงในรูปที่ 3.5




**รูปที่ 3.5** ตัวอย่างของเทอร์โมคัปเปิล ซึ่งใช้สำหรับวัดอุณหภูมิที่มีค่าสูง ๆ ในภาคอุตสาหกรรม เช่น การวัดอุณหภูมิในบอยเลอร์ ในเตาหลอมเหล็ก เป็นต้น

2.4 ผลึกควอร์ตซ (quartz crystal) จะเปลี่ยนจากพลังงานกลไปเป็นพลังงานไฟฟ้า กล่าวคือ เมื่อเราเปลี่ยนแปลงแรงกดที่ผิวของผลึกควอร์ตซ จะทำให้มันผลิตแรงดันที่ผิวขึ้น ผลจากการเกิดแรงดันดังกล่าวเรียกว่า "ผลของเปียโซอิเล็กตริก" ใช้ประโยชน์สำหรับทำเป็นตัวตรวจวัดความดัน หรือใช้ทำเป็นไมโครโฟน ในรูปที่ 3.6 เป็นตัวอย่างของผลึกควอร์ตซซึ่งนำมาประยุกต์ใช้ในงานเซ็นเซอร์



**รูปที่ 3.6** ตัวอย่างของผลึกควอร์ตซที่ใช้ทำเป็นตัวเซ็นเซอร์ทางงานไบโอเซ็นเซอร์ (biosensor) งานเซ็นเซอร์ในกระบวนผลิตยา (pharmaceutical) หรืองานเซ็นเซอร์ทางไฟฟ้า-กล (www.appsci.dmu.ac.uk)

## 3.6 ความต้านทาน ความนำและฉนวน (Resistance Conductance and Insulators)

| นิยาม | ตัวย่อ | หน่วย |
|---|---|---|
| **ค่าความต้านทาน (resistance)** คือ การที่วัตถุต้านทานต่อการไหลของกระแสไฟฟ้า | R | โอห์ม (Ohm), Ω |
| **ค่าความนำ (conductance)** คือ การที่วัตถุยอมให้มีการไหลของกระแสไฟฟ้า | G | ซีเมนส์ (Siemen), S |

วัตถุที่มีค่าความต้านทานมาก ๆ จะต้องใช้พลังงานจำนวนมากเพื่อทำให้เกิดอิเล็กตรอนอิสระและกระแสไฟฟ้า ส่วนวัตถุที่มีค่าความต้านทานต่ำ ๆ จะใช้พลังงานน้อยเพื่อจะทำให้เกิดอิเล็กตรอนอิสระเมื่อกระแสไหลผ่านวัตถุ ค่าความต้านทานดังกล่าวจะเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าไปเป็นพลังงานความร้อน เช่น หลักการของตัวทำความร้อนซึ่งให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านลวดที่มีความต้านทานสูง ๆ แล้วจะทำให้เกิดความร้อน เป็นต้น

ความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานกับความนำคือ

$$R = \frac{1}{G} \qquad (3.3)$$

หรือกล่าวได้ว่า $G = 1/R$

ตัวอย่างที่ 3.2 แท่งเหล็กหนึ่งมีความต้านทานเท่ากับ 2.5 โอห์ม จงหาค่าความนำของแท่งเหล็กดังกล่าวนี้

กำหนด ความต้านทาน = 2.5 Ω
สิ่งที่ต้องการหา ความนำ
สิ่งที่ทราบ ความนำ = 1/ความต้านทาน

วิธีทำ

$$G = \frac{1}{2.5}$$

$$= 0.4 \text{ Siemens}$$

ตอบ ความนำของแท่งเหล็ก = 0.4 ซีเมนส์

ตัวอย่างของวัตถุที่ใช้ทำเป็นตัวนำได้แก่ อะลูมิเนียมและทองแดง ทองแดงเป็นตัวนำที่ดีกว่าอะลูมิเนียมแต่ก็มีราคาแพงกว่า ส่วนตัวนำที่ดีกว่าแต่ก็ราคาแพงกว่าทั้ง 2 อย่างที่กล่าวมาและไม่นิยมใช้ในงานทั่ว ๆ ไป ได้แก่ ทองคำ เงิน เป็นต้น

**ตัวนำยิ่งยวด (superconductivity)** เป็นตัวนำที่ถูกพัฒนาขึ้นมาเพื่อไม่ให้เกิดการสูญเสียจากการส่งกระแสไฟฟ้าในสายไฟฟ้า ปัจจุบันทำได้ที่อุณหภูมิสัมบูรณ์ประมาณ - 273°C แต่ปัจจุบันก็ได้พัฒนาให้ทำงานที่อุณหภูมิสูงกว่าศูนย์สัมบูรณ์ยิ่งขึ้น

**ฉนวน (insulator)** คือ ค่าการต้านทานการไหลของกระแสไฟฟ้าของวัตถุ ฉนวนที่ดีจะไม่ยอมให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่าน ตัวอย่างของฉนวนได้แก่ ไม้ พลาสติก ยาง กระดาษ และไมก้า เป็นต้น

**สารกึ่งตัวนำ (semiconductor)** เป็นวัตถุที่มีคุณสมบัติอยู่ระหว่างตัวนำกับฉนวน สารกึ่งตัวนำมีวาเลนซ์อิเล็กตรอน 4 ตัว สารกึ่งตัวนำสองตัวที่รู้จักกันดีคือ ซิลิกอนและเยอรมันเนียม ใช้เป็นฐานสำหรับการผลิตอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เช่น ทรานซิสเตอร์ ไอซี เอสซีอาร์ และโซลาร์เซลล์ เป็นต้น

หากเราหยิบแท่งวัตถุขึ้นมาชิ้นหนึ่ง พบว่าค่าความต้านทานทางไฟฟ้าของวัตถุชิ้นนั้น จะขึ้นอยู่กับองค์ประกอบ 4 อย่างดังต่อไปนี้

1. ค่าความต้านทานจำเพาะของวัตถุ
2. ความยาวของวัตถุ
3. พื้นที่หน้าตัดของวัตถุ
4. อุณหภูมิซึ่งแวดล้อมรอบตัวมัน

หรือสามารถเขียนได้ในรูปสูตรว่า

$$R = \rho \frac{L}{A} \qquad (3.3)$$

โดยที่ R = ค่าความต้านทานของวัตถุ, โอห์ม
ρ = ค่าความต้านทานจำเพาะของวัตถุ, โอห์ม - เมตร
L = ความยาวของวัตถุ, เมตร
A = พื้นที่หน้าตัดของวัตถุ, ตร.เมตร

ค่าความต้านทานจำเพาะ เป็นตัวกำหนดความสามารถของวัตถุในการนำกระแส นอกจากนี้อุณหภูมิที่มีผลต่อค่าความต้านทานนั้นก็จะมีผลต่อความต้านทานจำเพาะนี้นี่เอง โดยสรุปค่าความต้านทานของวัตถุต่าง ๆ จะเป็นดังตารางที่ 3.1

**ตารางที่ 3.1** ตัวอย่างค่าความต้านทานจำเพาะของวัตถุต่าง ๆ

| วัตถุ | ++ค่าความต้านทานที่ 20 °C ($\Omega$ - cm) |
|---|---|
| อะลูมิเนียม | 0.00000262 |
| ทองเหลือง (ทองแดง 66% สังกะสี 34%) | 0.0000039 |
| คาร์บอน (อยู่ในรูปแกรไฟต์) | 0.0014 |
| คอนสแตนแตน (ทองแดง 55% นิกเกิล 45%) | 0.0000442 |
| ทองแดง (ที่อยู่ในรูปการค้า) | 0.0000017241 |
| เงินเยอรมัน (นิกเกิล 18%) | 0.000033 |
| เหล็ก | 0.00000971 |
| ปรอท | 0.0000958 |
| นิโครม (นิกเกิล 65% โครเมียม 12% เหล็ก 23%) | 0.0001 |
| นิกเกิล | 0.0000069 |
| เงิน | 0.00000162 |
| เหล็กกล้า (คาร์บอน 0.4 - 0.5%) | 0.000013 - 0.000022 |
| ทังสเตน | 0.00000548 |
| สังกะสี | 0.000006 |

**ที่มา** : Reference data for Radio Engineers , 6th ed., 1975, Howard W. Sams & Co., Inc.

จากตารางที่ 3.1 ตัวอย่างเช่น ทองแดงที่ 20°C ซึ่งมีค่าความต้านทานจำเพาะเท่ากับ 0.00000172 $\Omega$ - cm หมายความว่าที่ทองแดงซึ่งมีปริมาตรที่มีแต่ละด้านยาว 1 ซม. จะมีค่าความต้านทานระหว่างผิวทั้งสองด้านของปริมาตรดังกล่าวนี้เท่ากับ 0.00000172 $\Omega$ นั่นเอง

นอกจากนี้ยังพบว่าวัตถุใด ๆ จะมีผลของความต้านทานเนื่องจากสัมประสิทธิ์ของอุณหภูมิ 2 ลักษณะ นั่นคือ

1. สัมประสิทธิ์ของอุณหภูมิเป็นแบบลบ หมายความว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ความต้านทานของวัตถุจะลดลง ผลดังกล่าวนี้จะเกิดกับวัตถุที่เป็นสารกึ่งตัวนำ เช่น ซิลิกอน (ดังนั้นหมายถึงอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ทั้งหลายที่ทำจากสารกึ่งตัวนำ)

2. สัมประสิทธิ์ของอุณหภูมิเป็นแบบบวก หมายความว่าเมื่ออุณหภูมิลดต่ำลง ความต้านทานของวัตถุจะเพิ่มขึ้น ผลดังกล่าวนี้จะเกิดกับวัตถุประเภทโลหะ เช่น ลวดทองแดงในมอเตอร์ อะลูมิเนียม เป็นต้น

จากความรู้ในสูตรที่ (3.3) และองค์ประกอบทั้ง 4 ที่จะทำให้ผลของค่าความต้านทานเปลี่ยนแปลงไป เราก็สามารถจะใช้ประโยชน์จากการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานดังกล่าวได้ เช่น ใช้หลักการเปลี่ยนแปลงค่าความยาวของลวด เพื่อทำเป็นตัวต้านทานชนิดที่เปลี่ยนแปลงค่าได้ นั่นคือโพเทนชิโอมิเตอร์ เป็นต้น

---

++ หากจะเปลี่ยนไปเป็นโอห์ม-ตารางมิลต่อฟุต ให้คูณค่าในคอลัมน์นี้ด้วย $6.02 \times 10^6$

## 3.7 กำลังงานและพลังงาน (Power and Energy)

**นิยาม :** กำลังงาน (power) คือ ความรวดเร็วในการเปลี่ยนพลังงานให้ไปอยู่ในรูปอื่น ๆ

| ตัวแปรไฟฟ้า | หน่วย |
|---|---|
| พลังงานไฟฟ้า (energy) ⊃ W | จูลน์ (joules) ตัวย่อ ⊃ J |
| กำลังไฟฟ้า (power) ตัวย่อ ⊃ P | $\frac{\text{จูลน์}}{\text{วินาที}}$ หรือ วัตต์ (watts) ตัวย่อ ⊃ W |

**ข้อสังเกต :** อย่าจำสับสนระหว่างตัวย่อของพลังงานไฟฟ้ากับหน่วยของกำลังไฟฟ้า เพราะใช้ตัวย่อ W เหมือนกัน

**ข้อกำหนด :** ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้า พลังงานไฟฟ้าและเวลาคือ

$$\text{กำลังไฟฟ้า (P)} = \frac{\text{พลังงานไฟฟ้า (W)}}{\text{เวลา (t)}} \qquad (3.4)$$

โดยที่

$$1 \text{ วัตต์} = \frac{1 \text{ จูลน์}}{1 \text{ วินาที}}$$

ในทางกลับกัน

$$\text{พลังงานไฟฟ้า (W)} = \text{กำลังไฟฟ้า (P)} \times \text{เวลา (t)}$$

กำลังที่ใช้เพื่อให้เกิดงานตามที่ต้องการ จะขึ้นอยู่กับเวลาว่าจะใช้ในการทำงานนั้นเท่าใด สมมติว่ามีคนงาน 2 คนแบกก้อนอิฐ 100 ก้อนไปวางไว้บนรถบรรทุก ดังนั้นแต่ละคนต้องแบกก้อนอิฐคนละ 50 ก้อน คนงานคนแรกแบกก้อนอิฐครั้งละ 5 ก้อน เขาจึงต้องแบกก้อนอิฐทั้งหมด 10 เที่ยว โดยใช้เวลาทั้งหมด 40 นาที (ใช้เวลา 4 นาที/ครั้ง)

คนที่สอง แบกก้อนอิฐครั้งละ 2 ก้อน ดังนั้นจึงต้องแบกทั้งหมด 25 เที่ยว เขาจึงต้องการเวลา 100 นาที (ใช้เวลา 4 นาที/ครั้ง เท่ากัน)

ตัวอย่างนี้แสดงให้เห็นว่า 1) คนงานทั้งคู่ทำงานเท่ากัน (แบกก้อนอิฐ 50 ก้อนเท่ากัน) 2) คนงานคนแรกซึ่งแบกก้อนอิฐครั้งละ 5 ก้อนใช้พลังงานมากกว่า (เพราะแบกก้อนอิฐต่อครั้งมากกว่าคนที่สอง) 3) คนงานคนแรกจะใช้กำลังมากกว่า (เพราะเทียบพลังงานต่อเวลาแล้วมากกว่าคนที่สอง)

**ตัวอย่างที่ 3.3** จงหากำลังงานไฟฟ้าของเตารีด ซึ่งเปลี่ยนพลังงาน 2,000 จูลน์ในเวลา 20 วินาที

**กำหนด** พลังงานไฟฟ้า (W) = 2,000 J
เวลา (t) = 20 Sec.

**สิ่งที่ต้องการหา** กำลังงานไฟฟ้า (P)

**สิ่งที่ทราบ** $P = \frac{W}{t}$

วิธีทำ

$$P = \frac{2{,}000 \text{ จูลน์}}{20 \text{ วินาที}}$$

$$= 1{,}000 \text{ วัตต์}$$

ตอบ เตารีดมีกำลังงานไฟฟ้า = 1,000 วัตต์

**ตัวอย่างที่ 3.4** หากเปิดเครื่องเสียง 100 วัตต์ เป็นเวลา 20 นาที จะต้องใช้พลังงานเท่าใด

**กำหนด** กำลังงานไฟฟ้า (P) = 100 W

เวลา (t) =20 Minute

**สิ่งที่ต้องการหา** พลังงานไฟฟ้า (W)

**สิ่งที่ทราบ** $W = P \times t$

วิธีทำ

$$20 \text{ นาที} = 20 \text{ นาที} \times (60 \text{ วินาที}/1 \text{ นาที})$$

$$= 1{,}200 \text{ วินาที}$$

ดังนั้น

$$W = 100 \text{ W} \times 1{,}200 \text{ Sec.}$$

$$= 120{,}000 \text{ W} - \text{Sec.}$$

ตอบ เครื่องเสียงดังกล่าวกินพลังงานไฟฟ้า = 120,000 จูลน์

ข้อสังเกต จะเห็นว่าการที่เราเปิดเครื่องใช้ไฟฟ้าแต่ละครั้งจะต้องใช้พลังงานซึ่งก็คือทรัพยากรธรรมชาติ เช่น ถ่านหิน น้ำมัน เป็นต้น เพื่อมาเผาผลาญและสุดท้ายก็จะปรากฏอยู่ในเครื่องใช้ไฟฟ้าที่เรากำลังใช้งานในรูปของพลังงานไฟฟ้านั่นเอง ดังนั้นเราควรจะใช้เครื่องใช้ไฟฟ้าในลักษณะอย่างไร

## 3.8 หน่วยอุปสรรค (Prefixes Unit)

การกล่าวถึงปริมาณทางวิศวกรรมหรือปริมาณทางวิทยาศาสตร์ บางครั้งค่าที่ได้จะมีค่าสูงหรือบางครั้งก็อาจจะต่ำมาก ในทางไฟฟ้าก็เช่นเดียวกัน เช่น เรากล่าวว่าอิเล็กตรอนมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.0000000000004 เซนติเมตร หรือกระแสในวงจรไฟฟ้าเท่ากับ 0.0005 แอมแปร์ เป็นต้น ซึ่งจะเห็นว่าไม่สะดวกที่จะเขียนและมีโอกาสเกิดความผิดพลาดในการเขียนได้ เราจึงใช้ปริมาณหนึ่งซึ่งจะแทนค่าตัวเลขต่าง ๆ ซึ่งเรียกว่าหน่วยอุปสรรค ซึ่งมีค่าดังตารางที่ 3.2

**ตารางที่ 3.2** แสดงค่าของหน่วยอุปสรรคและสัญลักษณ์

| หน่วยอุปสรรค | สัญลักษณ์ | เลขยกกำลัง |
|---|---|---|
| exa | E | $10^{15}$ |
| tera | T | $10^{12}$ |
| giga | G | $10^{9}$ |
| mega | M | $10^{6}$ |
| kilo | k | $10^{3}$ |

| หน่วยอุปสรรค | สัญลักษณ์ | เลขยกกำลัง |
|---|---|---|
| hector | h | $10^{2}$ |
| deka | da | $10^{1}$ |
| deci | de | $10^{-1}$ |
| centi | c | $10^{-2}$ |
| milli | m | $10^{-3}$ |
| micro | μ | $10^{-6}$ |
| nano | n | $10^{-9}$ |
| pico | P | $10^{-12}$ |
| femto | F | $10^{-15}$ |
| atto | A | $10^{-18}$ |

**ตัวอย่างที่ 3.5** จากปริมาณทางวิทยาศาสตร์ด้านล่างต่อไปนี้ จงเขียนให้อยู่ในหน่วยอุปสรรค

ก. หน่วยแองสตรอม, Å คือหน่วยวัดความยาวคลื่นแสงโดย 1Å = 0.0000000001 เมตร

ข. อิเล็กตรอนมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.0000000000004 เซนติเมตร

ค. ความถี่เสียงอยู่ในช่วง 30 - 20,000 เฮิรตซ์

ง. ไมกา มี dielectric strength สูงสุดเท่ากับ 60,000 โวลต์/มม.

**วิธีทำ** ก. 1 Å[§] = 0.0000000001 เมตร = $100 \times 10^{-12}$ เมตร

ดังนั้น 1 Å = 100 พิกโกเมตร

หรือ 1 Å = 0.1 นาโนเมตร

ข. 0.0000000000004 เซนติเมตร = $400 \times 10^{-15}$ เมตร

ดังนั้น อิเล็กตรอนมีเส้นผ่านศูนย์กลาง = 400 เฟมโตเมตร

หรือ อิเล็กตรอนมีเส้นผ่านศูนย์กลาง = 0.4 พิกโกเมตร

ค. 30 - 20,000 เฮิรตซ์ = $30 - 20 \times 10^{3}$ เฮิรตซ์

ดังนั้น ความถี่เสียงอยู่ในช่วง = 30 - 20 กิโลเฮิรตซ์

หรือ ความถี่เสียงอยู่ในช่วง = 30 - 0.02 เมกะเฮิรตซ์

ง. 60,000 โวลต์/มม. = $60 \times 10^{3}$ โวลต์/มม.

ดังนั้น ไมกา มี dielectric strength สูงสุดเท่ากับ = 60 กิโลโวลต์/มม.

ข้อสังเกตในการเปลี่ยนหน่วย หากว่าเราจะเปลี่ยนจากหน่วยเล็กไปยังหน่วยขนาดใหญ่กว่า ให้เลื่อนจุดทศนิยมไปทางซ้าย เช่น จากไมโครไปเป็นมิลลิ ในทางกลับกันหากเปลี่ยนจากหน่วยใหญ่ไปเป็นหน่วยเล็ก ก็ให้เลื่อนจุดไปทางขวามือ

---

§ . หน่วยวัดความยาว เรียกว่า แองสตรอม (Angstrom)

# หน่วยที่ 4 องค์ประกอบของวงจรไฟฟ้า-อิเล็กทรอนิกส์พื้นฐาน

## 4.1 บทนำ

**หลังจากที่เราเริ่มรู้จักปริมาณทางไฟฟ้า มนุษย์ก็ได้พยายามคิดค้นอุปกรณ์ไฟฟ้าเพื่ออำนวยความสะดวก และนำมาต่อเข้าด้วยกันจนกลายเป็นสิ่งประดิษฐ์ต่าง ๆ อย่างไรก็ตามก็จะประกอบไปด้วยองค์ประกอบทางไฟฟ้าต่าง ๆตั้งแต่แบบพื้นฐาน ไปจนถึงวงจรไฟฟ้า – อิเล็กทรอนิกส์ที่มีความซับซ้อนยิ่งขึ้น**

**ในบทนี้จะกล่าวถึงองค์ประกอบพื้นฐานในวงจรไฟฟ้า ตลอดจนถึงสัญลักษณ์และหน้าที่พื้นฐาน**

## 4.2 องค์ประกอบของวงจรไฟฟ้า - วงจรอิเล็กทรอนิกส์

สิ่งประดิษฐ์ทางไฟฟ้าพื้นฐานจะประกอบด้วยองค์ประกอบ 6 อย่างต่อไปนี้

1. **แหล่งจ่ายพลังงาน (source)** ทำหน้าที่จ่ายพลังงานแรงดันไฟฟ้า เพื่อทำให้เกิดกระแส (อิเล็กตรอน) ไหลผ่านวงจร

2. **ตัวนำ (conductors)** ทำหน้าที่เป็นเส้นทางทำให้กระแสไฟฟ้าไหลครบวงจร

3. **ฉนวน (insulators)** ทำหน้าที่ป้องกันไม่ให้กระแสไฟฟ้าไหลออกนอกวงจร หรือเส้นทางที่กำหนด

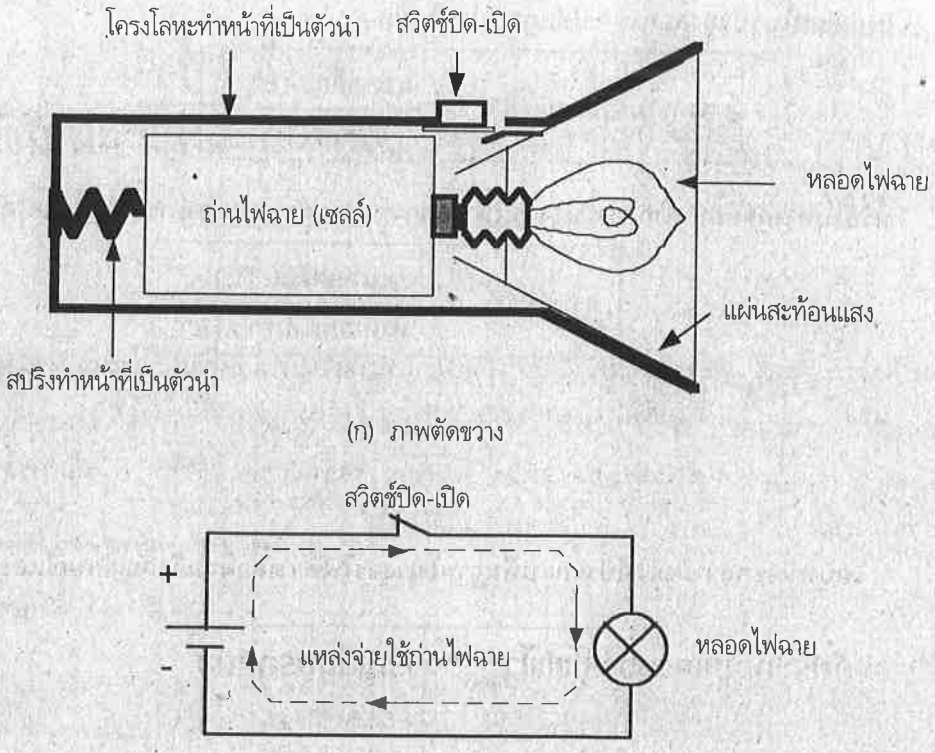
4. **โหลดหรือภาระ (loads)** ทำหน้าที่ควบคุมจำนวนกระแส และเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าไปอยู่ในรูปของพลังงานอื่นที่ต้องการ

5. **อุปกรณ์ควบคุม (control device)** ทำหน้าที่ตัวกำหนดสถานการณ์การทำงานของวงจรไฟฟ้าและโหลดที่ต้องการ เช่น เปิด – ปิด การทำงานของโหลด

6. **อุปกรณ์ป้องกัน (protection device)** ทำหน้าที่ตัดวงจร หากว่าวงจรทำงานผิดปกติจากสภาวะปกติ อันอาจจะทำให้เกิดอันตรายกับตัวอุปกรณ์เอง หรือบุคคลที่ใช้

วงจรไฟฟ้าอย่างง่ายที่สามารถเห็นได้อาจจะมีองค์ประกอบไม่ครบตามด้านบน เช่น วงจรของเตารีดไฟฟ้า โดยเตารีดไฟฟ้าจะไม่มีอุปกรณ์ป้องกัน ส่วนวงจรของเครื่องรับโทรทัศน์คอมพิวเตอร์ วงจรไฟฟ้าในรถยนต์ และอื่น ๆ จะมีองค์ประกอบครบและยังมีความซับซ้อนอีกด้วย

ในรูปที่ 4.1(ก) แสดงภาพวงจรของไฟฉาย ซึ่งเป็นตัวอย่างของเครื่องใช้ไฟฟ้าที่มีวงจรไฟฟ้าอย่างง่าย การทำงานของไฟฉายเป็นดังนี้ เมื่อเราเปิดสวิตช์อิเล็กตรอน (กระแส) จะไหลจากขั้วลบของถ่านไฟฉายผ่านสปริง ผ่านตัวเรือนซึ่งเป็นโลหะ ผ่านสปริงในส่วนของสวิตช์ ผ่านโลหะสะท้อนแสง และหลอดไฟฉาย แล้วไหลย้อนกลับไปยังขั้วบวกของถ่านไฟฉาย




**รูปที่ 4.1** ลักษณะทางกายภาพและไดอะแกรมวงจรของไฟฉาย
(Richard J.Fowler. 1992 :33)

ส่วนในรูปที่ 4.1(ข) เป็นวงจรอีกอย่างหนึ่งที่นำเอาสัญลักษณ์ของอุปกรณ์ไฟฟ้ามาเขียนรวม ๆ กัน ซึ่งเรียกว่า **"ไดอะแกรมอย่างคร่าว ๆ" (schematic diagram)** ของตัวอย่างวงจรไฟฉายด้านบน

การใช้สัญลักษณ์ของอุปกรณ์ไฟฟ้า จะทำให้ง่ายในการเขียนวงจรไฟฟ้าแทนที่เราจะต้องวาดอุปกรณ์จริง อย่างไรก็ตามการเลือกใช้สัญลักษณ์จะต้องใช้แบบเดียวกันทั้งวงจร สัญลักษณ์ที่นิยมใช้แพร่หลายทั่วโลกได้แก่มาตรฐาน IEC (International Electrical Commission) โดยทั้งสัญลักษณ์ ลักษณะจริง และหน้าที่การทำงานดูเพิ่มเติมจากส่วนที่ 5.2 ในบทที่ 5

## 4.3 กฎของโอห์ม* (Ohm's law)

**นิยาม : จากกฎของโอห์มกล่าวว่า "กระแสจะแปรผันตรงกับแรงดันไฟฟ้า และแปรผกผันกับค่าความต้านทาน"**

โอห์ม นักวิทยาศาสตร์ชาวเยอรมันพบว่า กระแสในวงจรจะแปรผันตรงกับแรงดัน หากว่าเรารักษาให้ค่าความต้านทานคงที่ นั่นคือในขณะที่รักษาค่าความต้านทานให้คงที่ เขาได้ปรับแรงดันที่ตกคร่อมตัวต้านทาน และวัดกระแสที่ผ่านตัวมัน และพบว่าในแต่ละครั้ง เมื่อเราหาแรงดันด้วยกระแส ผลที่ได้จะเหมือนเดิม

* Georg Ohm นักวิทยาศาสตร์ชาวเยอรมัน (1787-1854)

หากเขียนในรูปของสมการ จะได้กฎของโอห์มเป็น

$$\text{ค่าความต้านทาน (R)} = \frac{\text{แรงเคลื่อน (E)}}{\text{กระแส (I)}} \qquad (4.1)$$

หรือในทางกลับกัน หากทราบแรงดันไฟฟ้าและค่าความต้านทาน สามารถหากระแสได้จาก

$$\text{กระแส (I)} = \frac{\text{แรงเคลื่อน (E)}}{\text{ค่าความต้านทาน (R)}} \qquad (4.2)$$

และ

**รูปที่ 4.2** วงกลมกฎของโอห์ม

$$\text{แรงดัน (E)} = \text{กระแส (I)} \times \text{ค่าความต้านทาน (R)} \qquad (4.3)$$

ข้อช่วยจำสำหรับกฎของโอห์ม ทำได้โดยใช้วงกลมกฎของโอห์ม ดังรูปที่ 4.2

**ตัวอย่างที่ 4.1** จงหากระแสไฟฟ้าที่ไหลในวงจรในรูปที่ 4.3

**กำหนด** แรงดัน (E) = 2.4 V

ค่าความต้านทาน (R) = 1.2 kΩ

**ค่าที่ต้องการหา** กระแสไฟฟ้า

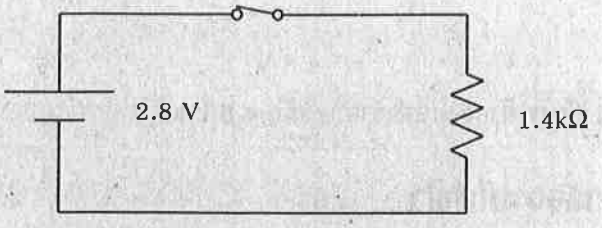
**สูตรที่ทราบ** $I = \frac{E}{R}$

**วิธีทำ**

$$R = \frac{2.4V}{1{,}200\ \Omega}$$

$$= 0.002\ A$$

**คำตอบ** ดังนั้นกระแสที่ไหลในวงจรเท่ากับ 0.002 แอมป์หรือ 2 มิลลิแอมป์




**รูปที่ 4.3** วงจรสำหรับตัวอย่างที่ 4.1

**ตัวอย่างที่ 4.2** จากวงจรในรูปที่ 4.4 หลอดไฟหลอดหนึ่งบอกไว้ว่าใช้กับไฟ 12 โวลต์ กระแสไหลผ่าน 100 มิลลิแอมป์ จงหาค่าความต้านทานของหลอดไฟดังกล่าว

**กำหนด** แรงดัน (E) = 12 V
กระแสไฟฟ้า (I) = 100 mA

**ค่าที่ต้องการหา** ค่าความต้านทาน (R)

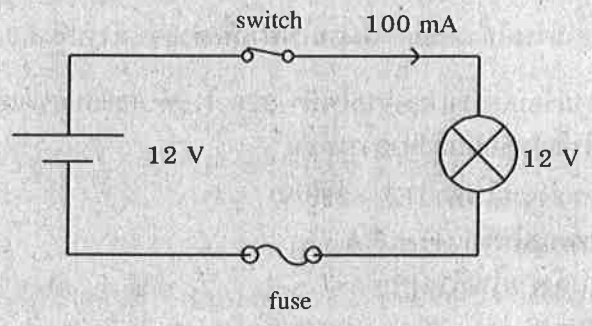
**สูตรที่ใช้** $R = \frac{E}{I}$

**วิธีทำ**

$$R = \frac{12V}{100 \times 10^{-3}\ A}$$

$$= 120\ \Omega$$

**คำตอบ** หลอดไฟดังกล่าวมีค่าความต้านทาน เท่ากับ 120 โอห์ม




**รูปที่ 4.4** วงจรสำหรับตัวอย่างที่ 4.2

**ตัวอย่างที่ 4.3** จากวงจรในรูปที่ 4.1(ข) หลอดมีค่าความต้านทาน 2 กิโลโอห์ม กระแสไหลผ่าน 2.4 มิลลิแอมป์ จงหาแรงดันไฟฟ้าที่แหล่งจ่าย

**กำหนด** ค่าความต้านทาน (R) = 2 kΩ
กระแสไฟฟ้า (I) = 2.4 mA

**ค่าที่ต้องการหา** แรงดันไฟฟ้า (E)

**สูตรที่ใช้** E = IR

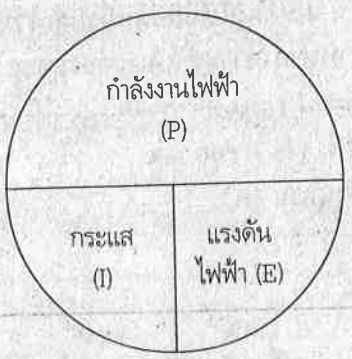
**วิธีทำ**

$$E = (2.4 \times 10^{-3}\text{A})\,(2 \times 10^{3}\ \Omega)$$
$$= 4.8\ \text{V}$$

**คำตอบ** แรงดันไฟฟ้าของแหล่งจ่าย เท่ากับ 4.8 โวลต์

## 4.4 การคำนวณกำลังงานไฟฟ้า

ในบทที่ 3 เราทราบว่าความสัมพันธ์ของกำลังงาน คือผลคูณระหว่างพลังงานกับเวลา แต่ในส่วนนี้เราจะหากำลังงานไฟฟ้าได้จากความสัมพันธ์ที่ว่า




**รูปที่ 4.5** วงกลมช่วยจำสำหรับกำลังงานไฟฟ้า

$$\boxed{\text{กำลังงานไฟฟ้า (P)} = \text{แรงดันไฟฟ้า (E)} \times \text{กระแสไฟฟ้า (I)}} \qquad (4.4)$$

เช่นเดียวกัน เราก็สามารถใช้วงกลมกำลังงานไฟฟ้าเพื่อช่วยจำ ดังรูปที่ 4.5

**ตัวอย่างที่ 4.4** ตัวทำความร้อนซึ่งใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้า 220 โวลต์ และกินกระแส 5 แอมป์ จงหากำลังงานไฟฟ้าที่เกิดขึ้นกับตัวทำความร้อน

**กำหนด** แหล่งจ่ายไฟฟ้า (E) = 220 V
กระแสไฟฟ้า (I) = 5 A

**ค่าที่ต้องการหา** กำลังงานไฟฟ้า (P)

**สูตรที่ใช้** P = IE

**วิธีทำ**

$$P = (220\ \text{V})\,(5\ \text{A}) = 1{,}100\ \text{W}$$

**คำตอบ** กำลังงานไฟฟ้าที่เกิดกับตัวทำความร้อนเท่ากับ 1.1 กิโลวัตต์

**ตัวอย่างที่ 4.5** หลอดไฟแบบอินแคนเดสเซนต์ (หลอดไส้) ใช้แหล่งจ่าย 220 โวลต์ 100 วัตต์ จะมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านหลอดดังกล่าวกี่แอมป์

**กำหนด** แหล่งจ่ายไฟฟ้า (E) = 220 V
กำลังไฟฟ้า (P) = 100 W

**ค่าที่ต้องการหา** กระแสไฟฟ้า (I)

**สูตรที่ใช้** $I = \frac{P}{E}$

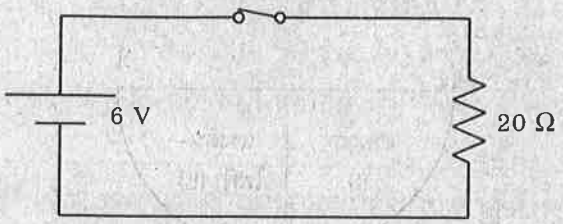
**วิธีทำ**

$$I = \frac{100\ W}{220\ V}$$

$$= 0.45\ A$$

**คำตอบ** กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านหลอดเท่ากับ 0.45 แอมแปร์

**ตัวอย่างที่ 4.6** จงหากำลังงานที่เกิดบนตัวต้านทานดังรูปที่ 4.6




**รูปที่ 4.6** วงจรสำหรับตัวอย่างที่ 4.6

**กำหนด** แหล่งจ่ายไฟฟ้า (E) = 6 V
ค่าความต้านทานไฟฟ้า (R) = 20 Ω

**ค่าที่ต้องการหา** กำลังไฟฟ้า (P)

**สูตรที่ใช้** $P = IE$ , $I = \frac{E}{R}$

**วิธีทำ**

$$I = \frac{6\ V}{20\Omega} = 0.3A$$

$$P = (0.3\ A)\ (6\ V) = 1.8\ W$$

**คำตอบ** กำลังที่เกิดกับตัวต้านทานเท่ากับ 1.8 วัตต์ นั่นคือต้องให้ตัวต้านทานมีขนาดไม่ต่ำกว่าค่าดังกล่าวนี้ จึงจะไม่ทำให้มันไหม้และขาดออกจากกัน

**ข้อสังเกต** หากให้กำลังตัวต้านทานลดลง ต้องเพิ่มให้ค่าความต้านทานเพิ่มขึ้น แต่กระแสที่ไหลในวงจรก็จะลดลง

เพื่อหาความสัมพันธ์ของกำลังไฟฟ้าซึ่งนอกเหนือจากสูตรที่ 4.4 จากกฎของโอห์มที่ผ่านมา นั่นคือ

$$I = \frac{E}{R} \qquad (4.5)$$

และ

$$V = IR \qquad (4.6)$$

จากสมการที่ (4.4) หากแทนสมการที่ (4.5) ลงในสมการที่ (4.4) จะได้สูตรหากำลังไฟฟ้าเมื่อเราทราบค่าแรงดันที่ตกคร่อมอุปกรณ์และค่าความต้านทานอีกสูตรเป็น

$$P = \frac{E^2}{R} \qquad (4.7)$$

และหากแทนสมการที่ (4.6) ลงในสมการที่ (4.4) ก็จะได้สูตรหากำลังไฟฟ้า เมื่อทราบกระแสที่ไหลและค่าความต้านทานในวงจรอีกสูตรเป็น

$$P = I^2R \qquad (4.8)$$

**ตัวอย่างที่ 4.7** จากรูปที่ 4.6 จงหากำลังไฟฟ้าที่สูญเสียที่ตัวต้านทาน โดยใช้สูตรหากำลังไฟฟ้าจากสูตรที่ 4.7

**กำหนด** $E = 6\ V$

$R = 20\ \Omega$

**ค่าที่ต้องการหา** P

**สูตรที่ใช้** $P = \frac{E^2}{R}$

**วิธีทำ**

$$P = \frac{6^2V^2}{20\Omega} = 1.8W$$

**คำตอบ** กำลังที่ตกที่ตัวต้านทานเท่ากับ 1.8 วัตต์ ซึ่งเท่ากับค่าที่หาได้จากตัวอย่างที่ 4.6

**ตัวอย่างที่ 4.8** หากกระแสที่ไหลผ่านตัวต้านทานเท่ากับ 0.5 มิลลิแอมป์ ผ่านตัวต้านทาน 1 กิโลโอห์ม จงหากำลังที่ตัวต้านทานสามารถทนได้

**กำหนด** $R = 1\ k\Omega = 1{,}000\ \Omega$

$I = 0.5\ mA = 0.5 \times 10^{-3}\ A$

**ค่าที่ต้องการหา** P

**สูตรที่ใช้** $P = I^2R$

**วิธีทำ**

$$P = (0.5 \times 10^{-3}\ A)^2\ (1{,}000\ \Omega)$$

$$= 0.00025\ W$$

หรือ

$$= 0.25\ mW$$

**คำตอบ** กำลังที่ตัวต้านทานต้องทานได้อย่างน้อยต้องเท่ากับ 0.25 มิลลิวัตต์

## 4.5 การคำนวณพลังงานไฟฟ้า

จากบทที่ 3 ซึ่งพบว่าพลังงานเท่ากับกำลังคูณด้วยเวลา และที่ทราบเพิ่มมาว่ากำลังไฟฟ้าเท่ากับกระแสคูณด้วยแรงดันไฟฟ้า (สูตรที่ 4.4) ในทำนองกลับกันเราก็สามารถหาพลังงานได้ หากว่าเราทราบกระแส แรงดันไฟฟ้า และเวลา นั่นคือ

| พลังงาน (W) = กำลังไฟฟ้า (P) × เวลาที่ใช้ (t) | (4.9) |
|---|---|

**ตัวอย่างที่ 4.9** จงหาพลังงานไฟฟ้าที่ถูกแปลงไปในเตารีดไฟฟ้าซึ่งกินกระแส 5 แอมป์ จากแหล่งจ่ายไฟฟ้า 220 โวลต์ หากรีดผ้าเป็นเวลา 30 นาที

**กำหนด** $I = 5\ A$

$E = 220\ V$

$t = 30\ Minute = 0.5\ h$

**ค่าที่ต้องการหา** พลังงานไฟฟ้า (W)

**สูตรที่ใช้** $W = Pt,\ P = IV$

**วิธีทำ**

$$P = (5\ A)(220\ V) = 1{,}100\ W$$

$$W = (1{,}100\ W)(0.5\ h) = 550\ W - h$$

**คำตอบ** เตารีดไฟฟ้าแปลงพลังงานไปเท่ากับ 550 วัตต์ - ชั่วโมง

**ตัวอย่างที่ 4.10** จากรูปที่ 4.6 จงคำนวณหาพลังงานของตัวต้านทานที่ดึงจากแบตเตอรี่ หากว่าเราเปิดสวิตช์เป็นเวลา 15 นาที

**กำหนด** $E = 6\ V,\ R = 20\ \Omega$

$t = 15\ Minute = 0.25\ h$

**ค่าที่ต้องการหา** พลังงานไฟฟ้า (W)

**สูตรที่ใช้** $W = Pt,\ P = \dfrac{E^2}{R}$

$1\ J = 1\ W - Sec$

$1\ นาที = 60\ วินาที$

**วิธีทำ**

$$P = \frac{6^2V^2}{20\Omega} = \frac{36}{20}W$$

$$= 1.8\ W$$

$$W = (1.8\ W)(900\ Sec)$$

$$= 1{,}620\ W - Sec = 1{,}620\ J$$

**คำตอบ** พลังงานที่ตัวต้านทานดึงไปจากแบตเตอรี่เท่ากับ 1,620 จูลน์

## 4.6 การคำนวณค่าไฟฟ้า

ราคาของพลังงานไฟฟ้าสามารถหาได้จากจำนวนของพลังงานที่ใช้และราคาของพลังงานแต่ละหน่วย ซึ่งปกติจะกำหนดเป็นบาท/หน่วย โดยที่

1 หน่วย = 1 กิโลวัตต์ - ชั่วโมง

ดังนั้น

ค่าไฟฟ้า = ค่าไฟฟ้าต่อหน่วย (บาท/kW-h) × พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ (kW - h) (4.10)

**ตัวอย่างที่ 4.11** จากป้ายชื่อ (name plate) ของเตารีดไฟฟ้าด้านล่าง จงหาค่าใช้จ่ายหากว่า นำไปรีดผ้าเป็นเวลา 1 ชั่วโมง กำหนดให้ค่าไฟฟ้าเท่ากับ 2.42 บาท/ต่อหน่วย

50 เฮิรตซ์
220 โวลต์
950 วัตต์

**กำหนด**
แรงดันไฟฟ้า = 220 V
ความถี่ (f) = 50 Hz
กำลังไฟฟ้า = 950 W = 0.95 kW
ค่าไฟฟ้า 2.42 บาท/kW - h
เวลา = 1 h

**ค่าที่ต้องการหา**
ราคาค่าไฟฟ้า

**สูตรที่ใช้**
ค่าไฟฟ้า = ค่าไฟฟ้าต่อหน่วย (บาท/kW-h) × พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ (kW - h)
พลังงานไฟฟ้า = (0.95 kW) (1 h) = 0.95 kW - h
(ดังนั้น ตัวแปรอื่น ๆ ที่นอกเหนือจากสูตรนี้จึงไม่มีความจำเป็นต้องใช้)

**วิธีทำ**
ค่าไฟฟ้า = (2.42 บาท/kW - h) (0.95 kW - h)
= 2.30 บาท

**คำตอบ** ผลจากการใช้เตารีดตัวดังกล่าวนี้ต้องเสียค่าใช้จ่ายเท่ากับ 2.3 บาท

## กิจกรรมท้ายหน่วยที่ 4

**ตอนที่ 1** *จงเติมคำหรือข้อความลงในช่องว่างให้ถูกต้อง*

1. จากรูปที่ 4.1(ข) จงเขียนสัญลักษณ์ของ _____
   1.1 ถ่านไฟฉาย (แหล่งจ่ายไฟกระแสตรง) _____
   1.2 ตัวนำ _____
   1.3 สวิตช์ปกติเปิด _____
   1.4 หลอดไฟ _____
2. จากกฎของโอห์ม จงเขียนสูตรหาแรงดันไฟฟ้า _____
3. จงเขียนสูตรหากำลังไฟฟ้า เมื่อทราบแรงดันและกระแส _____

# หน่วยที่ 6

# โหลด อุปกรณ์ตัดตอนวงจร อุปกรณ์แสดงผลและอุปกรณ์อื่น ๆ

## 6.1 บทนำ

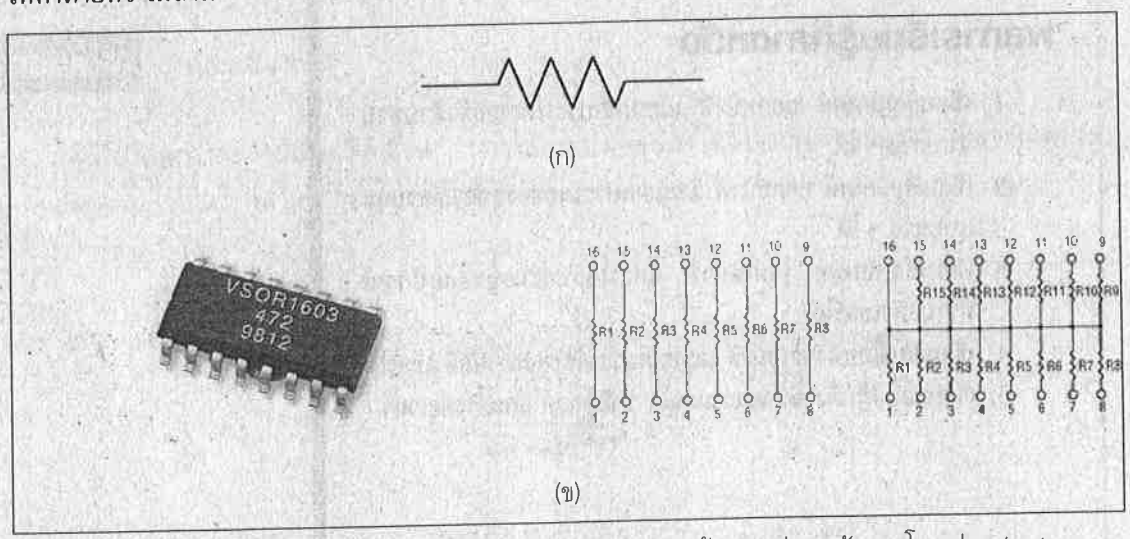
เช่นเดียวกับร่างกายมนุษย์ที่ต้องมีอวัยวะส่วนต่าง ๆ เพื่อทำให้การดำรงชีวิตเป็นไปอย่างสะดวกมีประสิทธิภาพ ในวงจรไฟฟ้าก็เช่นกันองค์ประกอบต่าง ๆ ก็จะทำหน้าที่เพื่อทำให้วงจรทำงานได้ถูกต้องปลอดภัย และมีประสิทธิภาพ แต่องค์ประกอบหนึ่งที่สำคัญและขาดไม่ได้คือ "โหลด" เพราะเป็นส่วนที่ทำหน้าที่แปลงผันพลังงานให้มาอยู่ในรูปแบบต่าง ๆ ตามที่มนุษย์ต้องการ

## 6.2 โหลดตัวต้านทานแบบต่าง ๆ

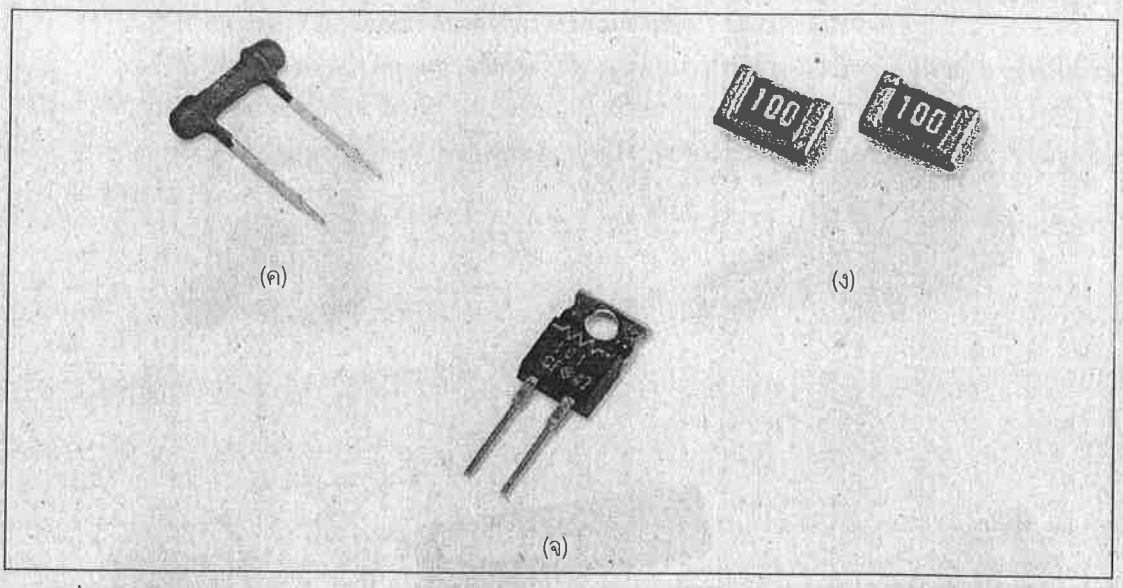
โหลด (load) หรือเรียกอีกอย่างว่าภาระ มีหน้าที่แตกต่างกัน โดยปกติเราสามารถแบ่งโหลดได้หลายประเภท เช่น โหลดแบบค่าความต้านทาน ได้แก่ หลอดไฟ ตัวทำความร้อน โหลดแบบค่าเก็บประจุ โหลดแบบค่าความเหนี่ยวนำรวมกับค่าความต้านทาน เช่น มอเตอร์ พัดลม บัลลาสต์ ส่วนโหลดแบบตัวต้านทาน จะมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

### 6.2.1 ตัวต้านทานแบบค่าตายตัว (Fixed Resistors)

- **หน้าที่** : ตัวต้านทานทุกประเภททำหน้าที่จำกัดกระแสไฟฟ้าในวงจร เพื่อให้กระแสหรือแรงดันไฟฟ้าในวงจรมีค่าตามที่ต้องการ ในรูปที่ 6.1 จะแสดงสัญลักษณ์และลักษณะของตัวต้านทานแบบที่ให้ค่าตายตัว ไม่สามารถปรับได้




**รูปที่ 6.1** ตัวต้านทานแบบค่าตายตัว (ก) สัญลักษณ์ (ข) ตัวอย่างตัวต้านทานค่าตายตัวแบบโครงข่าย (resistor network) 4.7 กิโลโอห์ม พิกัดกำลัง 0.1 วัตต์ สำหรับติดลงบนแผ่นพิมพ์ลายวงจร (PCB) และการกำหนดตัวต้านทานที่อยู่ภายใน

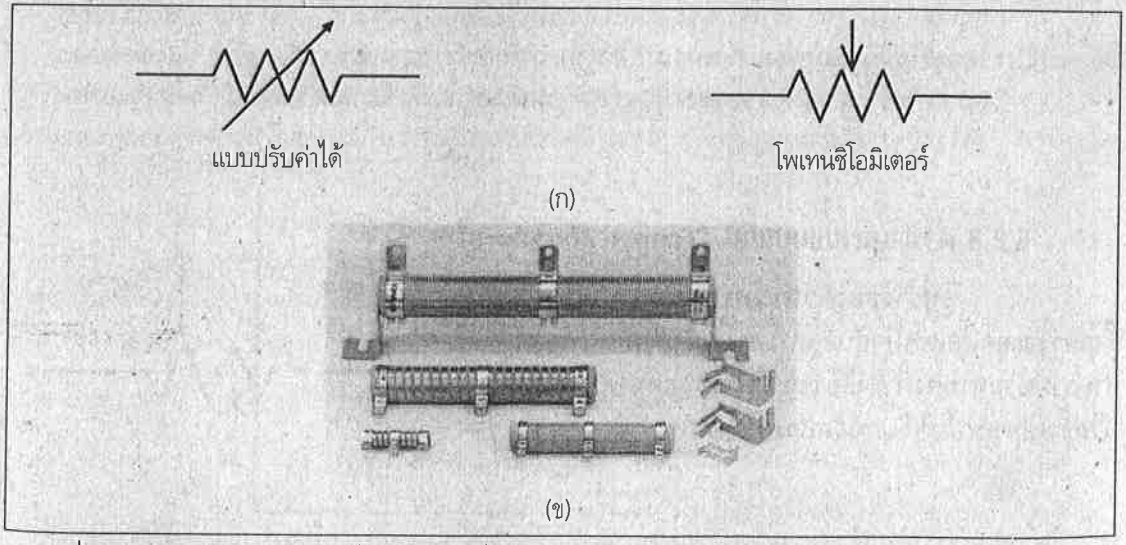



**รูปที่ 6.1** (ต่อ) ตัวต้านทานแบบค่าตายตัว (ค) ตัวต้านทานค่าตายตัวแบบเสียบ (plugable) 2 วัตต์ 1 โอห์ม ใช้ในช่วงอุณหภูมิจาก - 55°C ถึง 350°C ผิดพลาด 10 % (ง) ตัวอย่างของตัวต้านทาน แบบติดบนแผ่นปรินต์ (SMD) ขนาด 1 เมกะโอห์ม 0.1 วัตต์ ค่าผิดพลาด 1 % (จ) ตัวอย่างของตัวต้านทานที่บรรจุในตัวถัง TO - 220 ขนาด 15 กิโลโอห์ม 2 วัตต์ ช่วงอุณหภูมิใช้งาน - 55°C ถึง 155°C สามารถติดแผ่นระบายความร้อนเพื่อระบายความร้อนให้ดียิ่งขึ้นได้

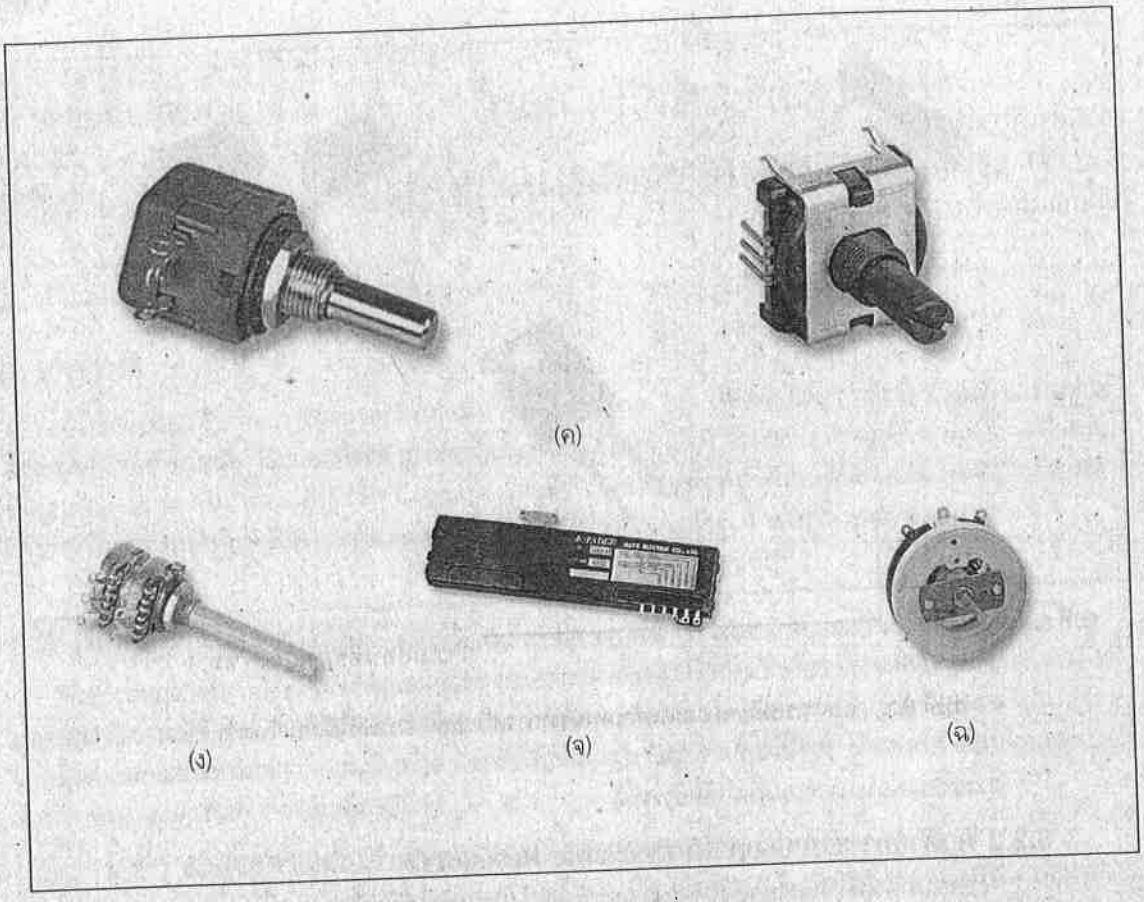
### 6.2.2 ตัวต้านทานแบบปรับค่าได้ (Variable Resistors)

**โดยปกติหน้าที่ของตัวต้านทานแบบปรับค่าได้จะแบ่งได้ดังนี้**

1. **โพเทนชิโอมิเตอร์ (Potentionmeter) ใช้ในการปรับแรงดันไฟฟ้า (รูปที่ 6.2 (ก)-(จ))**
2. **รีโอสแตต (Rheostat) ใช้ในการปรับกระแสไฟฟ้า ปกติจะมีขั้วต่อสาย 2 ขั้ว แต่ในรูปที่ 6.2 (ฉ) จะมีขั้วต่อสาย 3 ขั้ว**

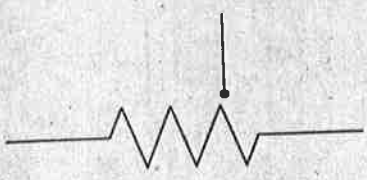



**รูปที่ 6.2** ตัวต้านทานแบบปรับค่าได้ และโพเทนชิโอมิเตอร์ (ก) สัญลักษณ์ (ข) ตัวต้านทานแบบปรับค่าได้ทนกำลังสูงแบบลวดพันแบบต่าง ๆ ปกติจะออกแบบให้ทนกำลังโอเวอร์โหลดขณะเริ่มทำงานและหยุดทำงาน




**รูปที่ 6.2** (ต่อ) (ค) ตัวอย่างโพเทนชิโอมิเตอร์ (potentiometer) แบบหมุน (rotation) 10 กิโลโอห์ม 1 วัตต์ หมุนได้ 3 รอบ (1,080 องศา) มีทั้งแบบติดบนแผงหรือติดบนปรินต์ ตัวต้านทานแบบปรับค่าได้ และโพเทนชิโอมิเตอร์ (ง) โพเทนชิโอมิเตอร์แบบ 2 ชั้น (double gang) ขนาด 100 กิโลโอห์ม 0.2 วัตต์ หมุนได้ 300 องศา (จ) โพเทนชิโอมิเตอร์แบบสไลด์หรือแบบเชิงเส้นที่ใช้ในเครื่องเสียงและงานมิกเซอร์ในสตูดิโอที่มีคุณภาพสูง ขนาด 10 กิโลโอห์ม พิกัดกำลัง 0.25 วัตต์ เคลื่อนที่ได้ 100 มิลลิเมตร (ฉ) ตัวต้านทานสำหรับการควบคุมกระแสไฟฟ้า ขนาด 100 โอห์ม 500 วัตต์ ตัวเรือนมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 143 มม. แกนมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มม. เนื่องจากทนกำลังสูงจึงเป็นแบบพันด้วยลวด (wire wound)

### 6.2.3 ตัวต้านทานแบบแท็ป (Tapped Resistors)

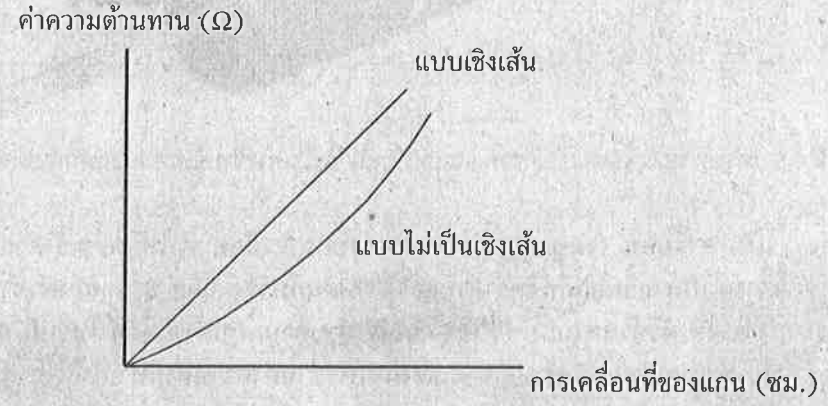


รูปร่างของตัวต้านทานแบบแท็ป เพียงแต่ขั้วกลางจะถูกต่อแท็ปไว้กับลวดระยะใดระยะหนึ่ง เพื่อให้ได้ค่าความต้านทานคงที่ ซึ่งก็อาจจะมีขั้วยื่นออกมาหลาย ๆ ขั้ว หรือขั้วเดียวเพื่อให้เลือกต่อออกไปใช้งาน

หากแบ่งตัวต้านทานตามลักษณะการเปลี่ยนแปลงค่า จะแบ่งได้เป็นดังนี้

**ก. แบบเชิงเส้น (linear)** นั่นคือเมื่อหมุนแกนตัวต้านทาน (หรือเลื่อนแขน) จะทำให้ค่าความต้านทานเปลี่ยนแปลงเท่ากับการหมุนนั้น (หรือการเคลื่อนที่ของแขน) (ดูรูปที่ 6.3 ประกอบ)

**ข. แบบไม่เป็นเชิงเส้น (nonlinear)** เมื่อเราทำการปรับแกนตัวต้านทาน ค่าที่ได้จะไม่เปลี่ยนแปลงตามระยะที่เราหมุนแกน (ดูรูปที่ 6.3 ประกอบ)




รูปที่ 6.3 กราฟการเปลี่ยนค่าความต้านทานต่อการหมุนแกน กราฟที่ได้เป็นเส้นตรง

แต่หากแบ่งตัวต้านทานตามวัสดุที่ใช้ทำ ก็สามารถแบ่งได้ดังต่อไปนี้

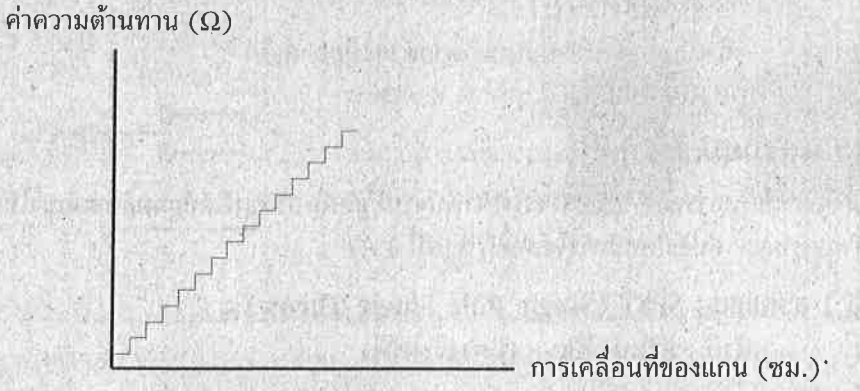
**ก. แบบใช้ลวดพัน (wire wound)** สามารถใช้กับตัวต้านทานทุกระดับ ไม่ว่าจะเป็นแบบปรับค่าได้ แบบค่าตายตัว และแบบแท็ป ในความเป็นจริงทั้งแบบปรับค่าได้และแบบแท็ปชนิดกำลัง (ทนกำลังได้มากกว่า 2 วัตต์) จะใช้แบบลวดพัน

**ข้อดีของตัวต้านทานแบบนี้คือ**

- สามารถสร้างให้ทนกระแสหรือแรงดันไฟฟ้า (ทนกำลังไฟฟ้า) ได้สูง ๆ

**ข้อเสีย**

- เมื่อเราปรับค่าความต้านทานจากแกน ค่าความต้านทานที่ได้จากการปรับจะไม่ต่อเนื่อง นั่นคือความละเอียดต่ำ (ดูรูปที่ 6.4 ประกอบ)




รูปที่ 6.4 ตัวต้านทานแบบใช้ลวดพันจะมีค่าความละเอียดต่ำ

**รูปที่ 6.5** โครงสร้างภายในของตัวต้านทานแบบคาร์บอน ซึ่งเป็นค่าความต้านทานแบบค่าตายตัว

**ข. แบบคาร์บอน (carbon)** ทำจากผงคาร์บอนละเอียด ทำให้ยึดตัวเข้าด้วยกันด้วยวัสดุเฉื่อยชนิดหนึ่ง ค่าความต้านทานขึ้นอยู่กับอัตราส่วนของคาร์บอนกับวัสดุเฉื่อย ขนาดของตัวต้านทานขึ้นอยู่กับกำลังที่ตัวต้านทานทนได้ ตัวต้านทานแบบนี้นิยมใช้ทำตัวต้านทานแบบค่าตายตัว ในรูปที่ 6.5 จะแสดงลักษณะของตัวต้านทานแบบคาร์บอนนี้ ส่วนรายละเอียดในการอ่านค่าความต้านทานให้ดูในบทที่ 12

**ค. แบบพลาสติกตัวนำ (conductive plastic)** นิยมใช้ทำโพเทนชิโอมิเตอร์ วัสดุชนิดนี้เกิดจากการผสมผงคาร์บอนกับเรซินพลาสติก เช่น โพลีเอสเตอร์ หรืออีพ็อกซี่ เข้าด้วยกัน ส่วนผสมของคาร์บอน - เรซิน ถูกใช้ทำเป็นซับสเตรต* (substrate) เช่น เซรามิก โพเทนชิโอมิเตอร์แบบพลาสติกตัวนำนี้มีราคาถูก เหมาะกับการใช้งานที่ต้องการปรับความละเอียดมาก ๆ ส่วนลักษณะรูปร่างของตัวต้านทานแบบนี้จะเหมือนกับแบบอื่น ๆ เพียงแต่วัสดุที่ใช้จะทำจากพลาสติกตัวนำ

**ง. แบบเซอร์เม็ต (cermet)** เซอร์เม็ตเป็นส่วนผสมของอนุภาคแก้ว (หรือเซรามิก) ที่ละเอียดกับผงโลหะ (หรือออกไซด์) ที่ละเอียด เช่น เงิน พลาตินัม หรือทองคำ โครงสร้างภายนอกของตัวต้านทานแบบนี้จะเหมือนกับแบบอื่น ๆ แตกต่างกันที่วัสดุภายในที่ใช้ทำ ตัวต้านทานแบบเซอร์เม็ตนิยมใช้กับตัวต้านทานแบบปรับค่าได้ โดยเฉพาะโพเทนชิโอมิเตอร์ ข้อดีของตัวต้านทานแบบนี้คือ

- มีสัมประสิทธิ์ของอุณหภูมิต่ำ นั่นคือค่าความต้านทานที่เปลี่ยนแปลงไปกับการเปลี่ยนอุณหภูมิมีค่าต่ำ ทำให้มีความเสถียรภาพมาก
- สามารถปรับค่าได้ละเอียด (มีความละเอียดสูง)
- อายุการใช้งานยาว
- ถ้าเป็นตัวต้านทานแบบค่าตายตัวจะมีขนาดเล็ก

## 6.3 อุปกรณ์ควบคุม

อุปกรณ์ควบคุมการทำงานของวงจรไฟฟ้าพื้นฐานที่สุดคือสวิตช์ สวิตช์ถูกผลิตออกมาให้มีหลากหลายรูปแบบ หลากหลายอรรถประโยชน์การใช้สอย (ดูรูปที่ 6.6)

### 6.3.1 สวิตช์แบบ SPST (Single Pole Single Throw)

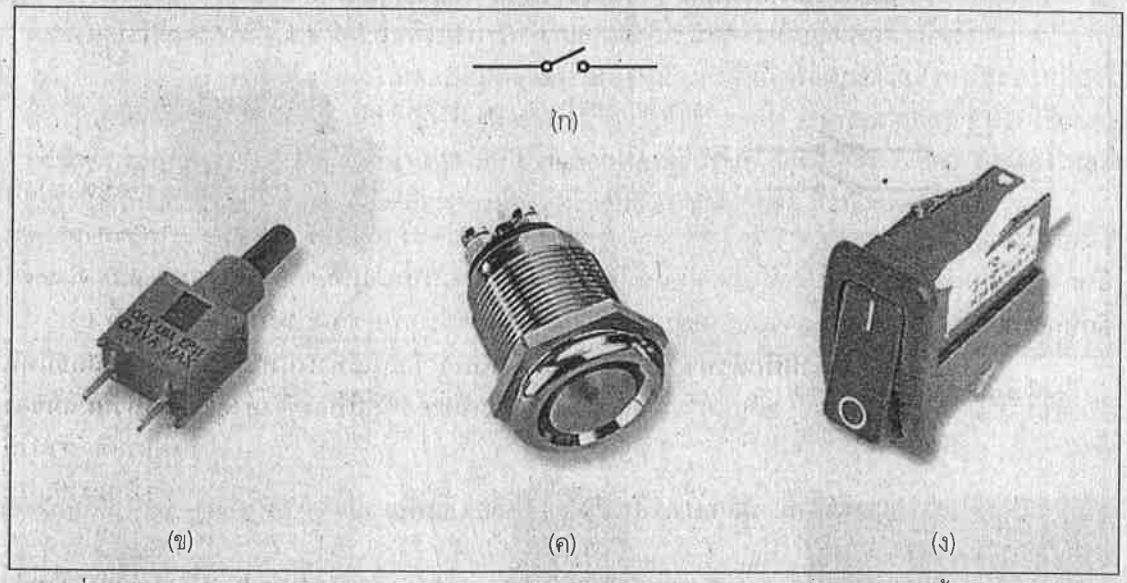
- หน้าที่ : ทำหน้าที่ปิด - เปิดวงจรไฟฟ้า

---

* สารที่มีความไวปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นโดยเอนไซม์เฉพาะอย่างหนึ่ง (ระวิ สงวนทรัพย์. พจนานุกรมศัพท์วิทยาศาสตร์ : 2529.)

- **การทำงาน:** มีลักษณะเป็นสวิตช์ทางเดียว นั่นคือ เปิด - ปิด (on - off) หรือตัดต่อตัวนำในวงจรไฟฟ้าเพียงเส้นเดียว

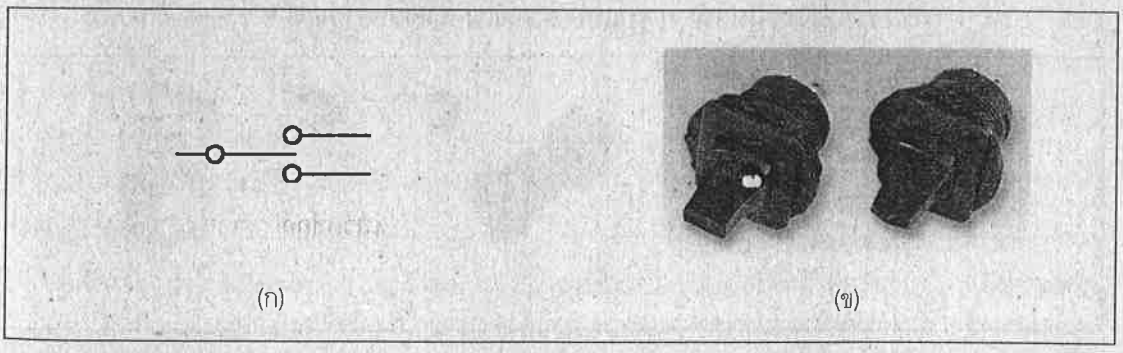
สวิตช์แบบนี้อาจจะผลิตเป็นพุชบัตทอนสวิตช์ (pushbutton switch) นั่นคือเมื่อกดจะต่อวงจร แต่หากปล่อยออกวงจรจะหยุดนำกระแส หรือเรียกสั้น ๆ ว่าสวิตช์กดติดปล่อยดับ (รูปที่ 6.7 (ข)) นอกจากนี้อาจจะเป็นสวิตช์ในรูปแบบอื่น ๆ ที่มีตำแหน่งเปิด และตำแหน่งปิด เช่น สวิตช์เปิด-ปิดหลอดไฟในบ้านเรือน เป็นต้น ข้อสังเกตสวิตช์แบบนี้จะมีขั้วต่อสาย 2 ขา




**รูปที่ 6.7** สวิตช์แบบ SPST (ก) สัญลักษณ์ (ข) ผลิตในแบบสวิตช์แบบกดติดปล่อยดับ สำหรับติดตั้งบนแผ่นวงจรพิมพ์ (PCB) ใช้ในงานอิเล็กทรอนิกส์ หน้าสัมผัสมีพิกัด 0.2 VA ที่แรงดัน 20 V DC/AC (ค) สำหรับติดตั้งบนแผงควบคุม หน้าสัมผัสมีพิกัด 1 A แรงดัน 50 V (ง) ผลิตในรูปแบบของสวิตช์แบบร็อกเกอร์

### 6.3.2 สวิตช์แบบ SPDT (Single Pole Double Throw)

- **หน้าที่ :** ทำหน้าที่ปิด - เปิดวงจรไฟฟ้า



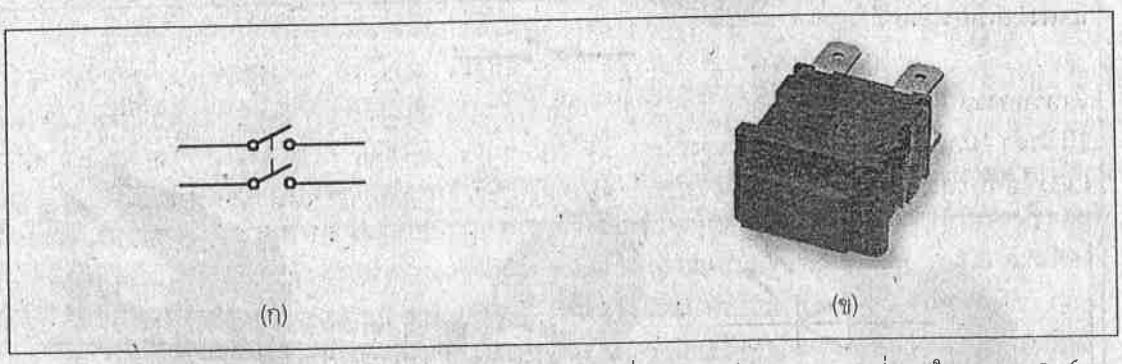

**รูปที่ 6.8** สวิตช์แบบ SPDT (ก) สัญลักษณ์ (ข) ตัวอย่างของสวิตช์แบบ SPDT (ตำแหน่งตรงกลาง off) ผลิตในรูปแบบของสวิตช์โยก พิกัด 10 แอมป์ AC 125 โวลต์ , 6 แอมป์ AC 250 โวลต์ โดยตรงกลางก้านสวิตช์จะมีหลอดไฟแสดงผล

- **การทำงาน :** มีลักษณะเป็นสวิตช์สองทาง นั่นคือ เปิด - ปิด - เปิด (on - off - on) ตัดต่อวงจรไฟฟ้าเส้นเดียว

สวิตช์แบบนี้ผลิตให้มีรูปทรงแบบต่าง ๆ กัน (รูปที่ 6.8) ตัวอย่างของสวิตช์แบบนี้คือ สวิตช์บันได ซึ่งใช้สำหรับควบคุมหลอดไฟ 2 ทิศทาง ให้สังเกตว่าสวิตช์แบบนี้จะมีขั้วต่อสาย 3 ขา

### 6.3.3 สวิตช์แบบ DPST (Double Pole Single Throw)

- **หน้าที่ :** ทำหน้าที่ปิด - เปิดวงจรไฟฟ้า




**รูปที่ 6.9** สวิตช์แบบ DPST (ก) สัญลักษณ์ (ข) ตัวอย่างหนึ่งของสวิตช์แบบ DPST ที่ผลิตในรูปของสวิตช์กดติดปล่อยดับ

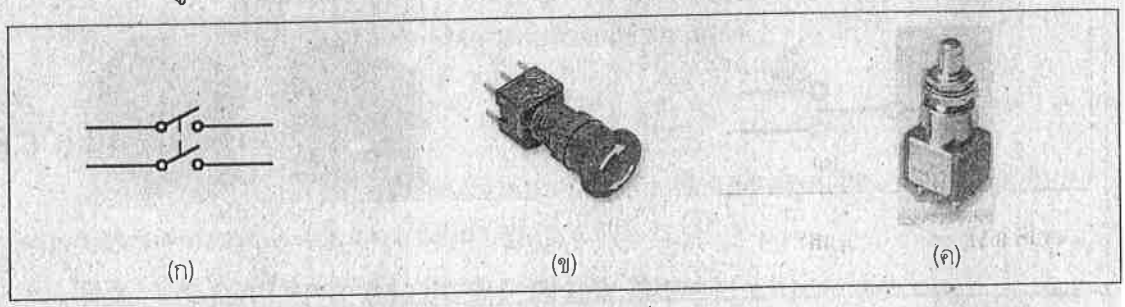
- **การทำงาน:** มีลักษณะเป็นสวิตช์ทางเดียว นั่นคือ เปิด - ปิด (on - off) ตัดต่อวงจรไฟฟ้าสองเส้น

รูปร่างของสวิตช์ผลิตให้มีรูปทรงต่าง ๆ กัน (รูปที่ 6.9) แต่ที่เห็นกันบ่อยคือสะพาน สวิตช์แบบนี้ขั้วต่อสายจะมี 4 ขา

### 6.3.4 สวิตช์แบบ DPDT (Double Pole Double Throw)

- **หน้าที่ :** ทำหน้าที่ปิด - เปิดวงจรไฟฟ้า
- **การทำงาน :** มีลักษณะเป็นสวิตช์สองทาง นั่นคือ เปิด - ปิด - เปิด (on - off - on) ตัดต่อวงจรไฟฟ้าสองเส้น

รูปร่างของสวิตช์มีหลาย ๆ รูปแบบ สวิตช์แบบนี้ขั้วต่อสายจะมี 6 ขา (รูปที่ 6.10)



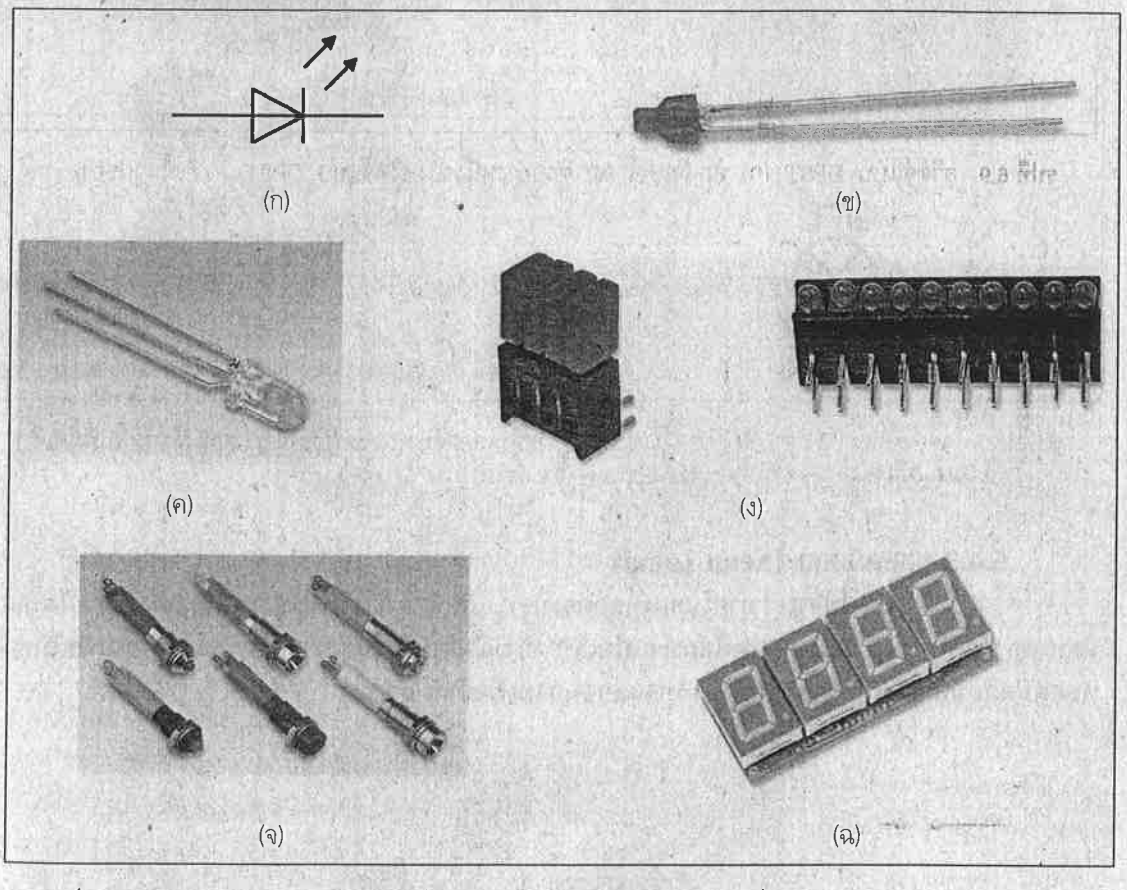

**รูปที่ 6.10** สวิตช์แบบ DPDT (ก) สัญลักษณ์ (ข) ใช้ทำหน้าที่เป็นสวิตช์ฉุกเฉิน พิกัด 6 A , 250 V AC เมื่อต้องการหยุดวงจรให้กดลง แต่เมื่อต้องการรีเซ็ตวงจร ให้หมุนตามเข็มนาฬิกา (ค) สวิตช์ แบบ DPDT พิกัดหน้าสัมผัส กระแสสลับ 250 โวลต์ ทนกระแสได้ 3 แอมป์ ไฟกระแสตรง 30 โวลต์ ทนกระแสได้ 4 แอมป์ มีทั้งแบบกดแล้วค้าง และกดติดปล่อยดับ

## 6.4 อุปกรณ์แสดงผล

อุปกรณ์แสดงผลดังกล่าวสามารถพิจารณาให้เป็นโหลดก็ได้ แต่ในที่นี้จะมองถึงประโยชน์การนำไปใช้ ซึ่งก็มีอยู่หลายแบบ ในส่วนนี้จะกล่าวถึงการแสดงผลในรูปแบบแสงและเสียง

### 6.4.1 ไดโอดเปล่งแสง (LED : Light Emitting Diode)

- การทำงาน : เปล่งแสงในย่านที่สายตามนุษย์สามารถมองเห็นได้
- หน้าที่ : ใช้แสดงผลการทำงานของวงจร หรือเงื่อนไขทางการควบคุมที่ต้องการ เช่น แสดงผลเมื่อระดับน้ำถึงขีดต่ำสุด แสดงผลการทำงานของปั๊มน้ำ แสดงระดับอุณหภูมิ เป็นต้น
- การใช้งาน : หลอดแสดงผลตัวหนึ่งที่นิยมใช้คือไดโอดเปล่งแสง นอกจากนี้ยังใช้สำหรับการแสดงผลเชิงตัวเลข เช่น ในเครื่องคิดเลข ที่เรียกว่ากันว่า seven segment หลอด LED ใช้กระแสไฟฟ้าต่ำ ไม่เกิน 12 mA ใช้งานได้นานหลายปี มีให้เลือกหลายสี ได้แก่ สีแดง สีส้ม สีเขียว สีเหลือง หลอด LED ใช้กับไฟกระแสตรงเท่านั้น นั่นคือเราจะต้องต่อให้ถูกขั้ว หากไม่ถูกขั้ว มันก็จะไม่สว่าง

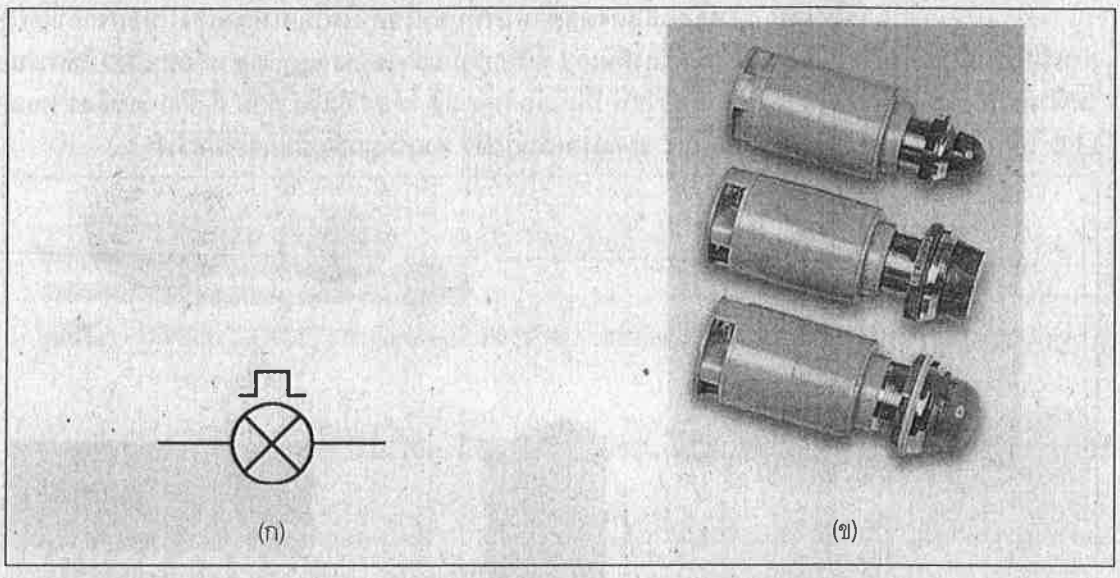



**รูปที่ 6.11** ไดโอดเปล่งแสง (ก) สัญลักษณ์ (ข) ลักษณะของไดโอดเปล่งแสงที่ให้สีเพียงสีเดียว (ค) ลักษณะของไดโอดเปล่งแสงที่ให้สี 3 สี โดยจะให้ 2 สีถ้าหากเราต่อคาโทดร่วมกัน แต่ถ้าต้องการสีที่ 3 ต้องต่อไดโอดทั้งคู่เข้าด้วยกัน (ง) แบบที่ติดบนแผ่นปรินต์ สามารถแยกออกจากกันได้ แบบให้สี 3 ระดับ และแบบแสดงผลเป็นบาร์กราฟ (จ) แบบทำเป็นหลอดแสดงผล ติดบนแผงควบคุม มีทั้งแบบให้สีเพียงสีเดียวและสองสี ซึ่งส่วนมากจะใช้กับไฟ 12 หรือ 24 VDC (ฉ) 7 segment จัดเป็นไดโอดเปล่งแสงอีกรูปแบบหนึ่งที่สร้างขึ้นมาเพื่อแสดงผลในรูปของตัวอักษร หรือตัวเลข ทำให้มีความสะดวกมากยิ่งขึ้น

เราจะเห็น LED ในเครื่องใช้ไฟฟ้าทั่วไป เช่น วิทยุ เครื่องเล่นแผ่นดิสก์ คอมพิวเตอร์ ในชีวิตประจำวัน เช่น หลอดไฟจราจร ไฟท้ายรถยนต์รุ่นใหม่ๆ เป็นต้น ซึ่งมีข้อดีตรงที่จะให้ความสว่างจ้ากว่าหลอดไฟเดิม และหากหลอด LED ดังกล่าวเสียหรือชำรุดที่ส่วนใด ส่วนที่เหลือก็ยังคงให้ความสว่างได้

### 6.4.2 หลอดสัญญาณ (Signal Lamps)

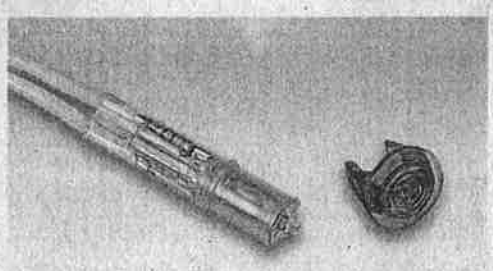
- **หน้าที่** : ผลิตแสงเพื่อแสดงสถานะการทำงานของวงจร
- **การใช้งาน** : ใช้ในงานควบคุม เช่น ระบบควบคุมมอเตอร์ เพื่อแสดงการหมุน/หยุดหมุนของมอเตอร์ ระบบควบคุมการทำงานของลวดทำความร้อน ระบบเตือนภัย เป็นต้น




**รูปที่ 6.12** หลอดสัญญาณ (ก) สัญลักษณ์ (ข) ตัวอย่างของหลอดสัญญาณชนิดมีหม้อแปลงไฟฟ้าภายในมีตั้งแต่รุ่นที่รับสัญญาณ 100 V จนถึง 250 VAC

### 6.4.3 หลอดนีออน (Neon Lamp)

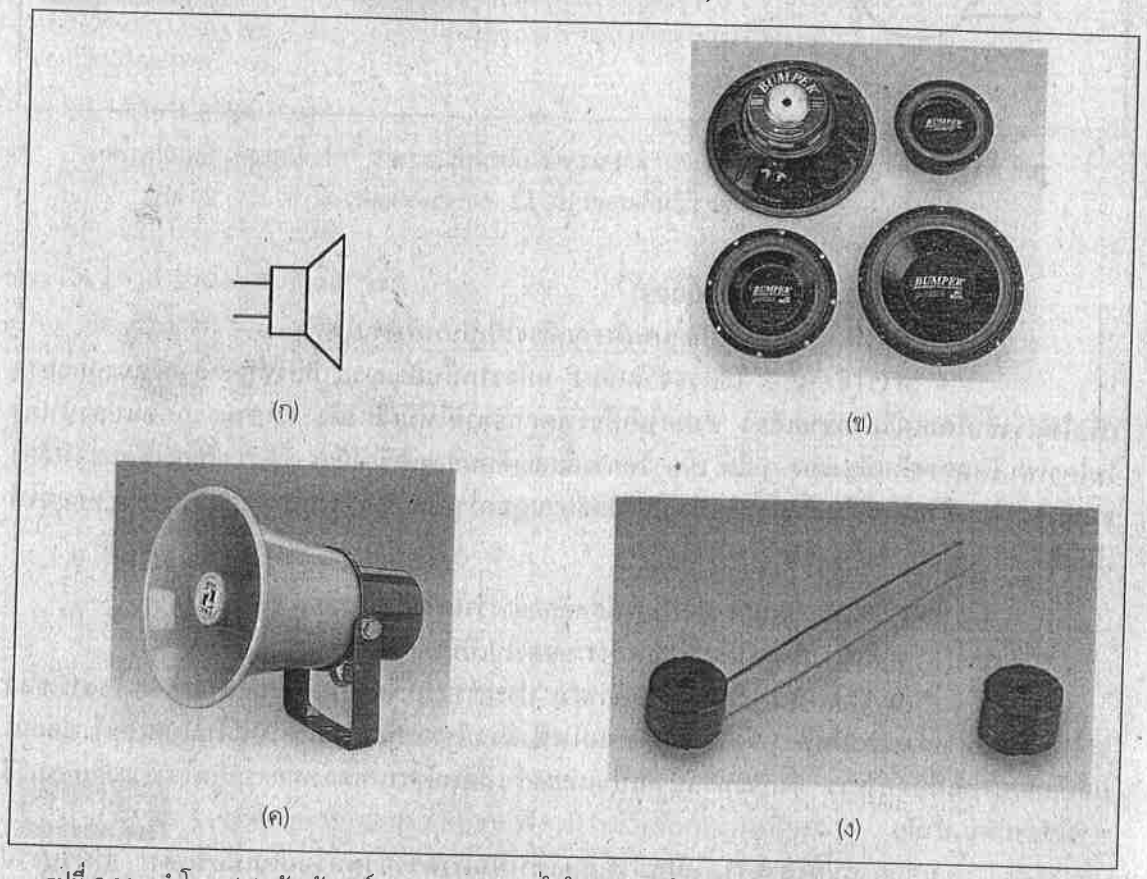
- **การใช้งาน** : ภายในของหลอดจะบรรจุแก๊สนีออน ใช้สำหรับงานส่องสว่างในงานโฆษณา มีขนาดกำลังต่ำกว่า 0.5 วัตต์ และใช้กระแสไม่เกิน 2 มิลลิแอมป์ เนื่องจากค่าความต้านทานภายในของหลอดนีออนมีค่าต่ำมาก จึงต้องมีตัวต้านทานต่ออนุกรมเพื่อจำกัดกระแส



**รูปที่ 6.13** รูปร่างของหลอดนีออน ซึ่งตัวอย่างนี้ภายในจะมีตัวต้านทานต่อรวมอยู่สามารถใช้กับไฟฟ้ากระแสสลับ 200 - 250 โวลต์ ได้โดยตรง

### 6.4.4 ลำโพง (Speakers)

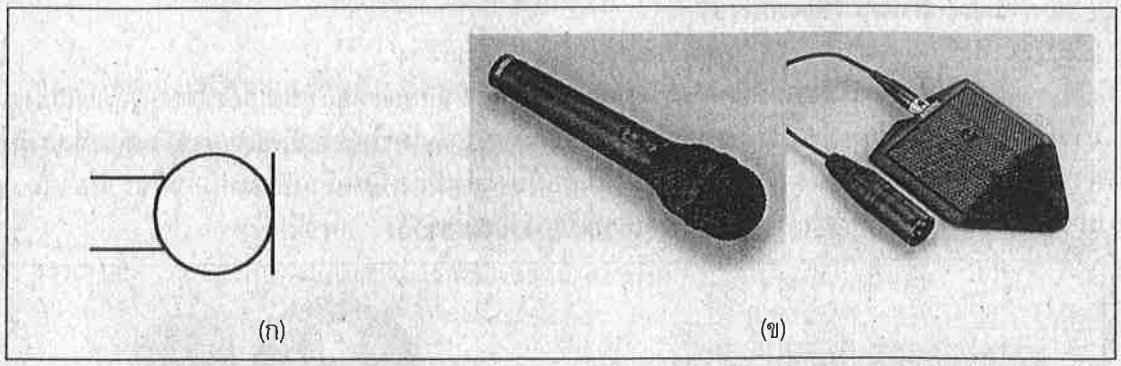
- หน้าที่ : เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานเสียง
- การใช้งาน : เราสามารถใช้ลำโพงได้ใน 2 ลักษณะคือกำเนิดเสียง โดยสัญญาณเสียงจะมาจากเครื่องขยายเสียง ซึ่งเครื่องขยายเสียงจะรับเสียงมาจากไมโครโฟนอีกทีหนึ่ง ส่วนลักษณะที่สองคือการใช้งานแสดงผลในลักษณะการเตือนภัย นั่นคือมันจะส่งเสียงเป็นคลื่นเสียงเหมือนกัน เสียงสั้น ๆ และซ้ำ ๆ กันไป (บางครั้งจะใช้ลำโพงขนาดเล็กที่เรียกว่าบัซเซอร์)




**รูปที่ 6.14** ลำโพง (ก) สัญลักษณ์ (ข) แบบกรวยที่ใช้ในบ้านและในรถ ลำโพงจะระบุขนาดเป็นนิ้ว กำลังเป็นค่า rms หรือค่า peak ค่าความต้านทาน (อิมพีแดนซ์) บอกเป็นโอห์ม ผลตอบสนองต่อความถี่ ซึ่งอยู่ในช่วง เฮิรตซ์ - กิโลเฮิรตซ์ และความไวทางเอาต์พุต ซึ่งบอกเป็นเดซิเบล เป็นต้น ลำโพง (ค) ตัวอย่างของลำโพงแบบฮอร์น ขนาด 10 วัตต์ (ง) ตัวอย่างลำโพงขนาดเล็ก (miniature speaker) ใช้แรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 1 - 2 โวลต์ พีค - พีค ตอบสนอง ต่อความถี่ 1 กิโลเฮิรตซ์ ถึง 4.2 กิโลเฮิรตซ์

## 6.5 อุปกรณ์ประเภททรานสดิวเซอร์ (Transducers)

ทรานสดิวเซอร์ คืออุปกรณ์ที่ทำหน้าที่แปลงสัญญาณรูปหนึ่งไปเป็นสัญญาณอีกรูปหนึ่ง ดังนั้นจึงมีประโยชน์สำหรับการตรวจวัดและควบคุมตัวแปรทางฟิสิกส์ต่าง ๆ ดังอุปกรณ์ด้านล่างต่อไปนี้ (รวมถึงลำโพงในหัวข้อที่ 6.4.4 ด้านบนด้วย)




**รูปที่ 6.15** ไมโครโฟน (ก) สัญลักษณ์ (ข) ลักษณะของไมโครโฟนแบบต่าง ๆ ซึ่งทั้งสองตัวเป็นไมโครโฟนคุณภาพสูง มีอิมพีแดนซ์ 150 Ω ตอบสนองต่อความถี่ 40 Hz - 20 kHz

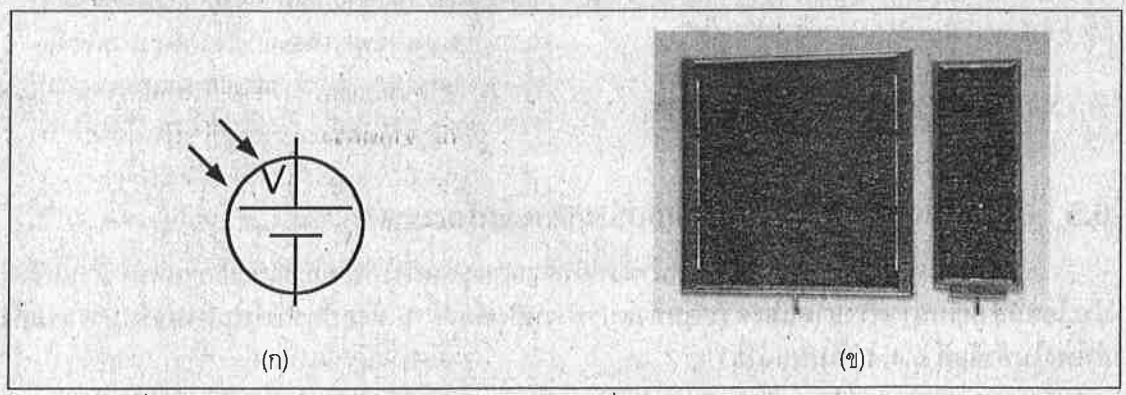
### 6.5.1 ไมโครโฟน (Microphones)

- **หน้าที่** : ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานเสียงไปเป็นพลังงานไฟฟ้า
- **การใช้งาน** : ใช้ตรวจวัดเสียง หลังจากนั้นสัญญาณเสียงที่ถูกตรวจวัดจะถูกขยายเพื่อให้แรงขึ้นโดยเครื่องขยายเสียง ส่งผลให้เสียงพูดถูกขยายให้มีเสียงดัง เราสามารถดัดแปลงนำเอาไมโครโฟนไปตรวจวัดเสียงต่าง ๆ ได้ เช่น วัดการสั่นสะเทือนของเครื่องจักร วัดการสั่นสะเทือนของเสียงจากการเคลื่อนตัวของเปลือกโลก หรือทำเป็นสวิตช์ควบคุมการเปิด-ปิดของอุปกรณ์ไฟฟ้า เช่น หลอดไฟ เป็นต้น

### 6.5.2 โซลาร์เซลล์ (Solar Cells) เรียกอีกอย่างว่าโฟโตโวลตาอิกเซลล์

- **หน้าที่** : ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานแสงไปเป็นพลังงานไฟฟ้า
- **การใช้งาน** : ใช้งานได้ 2 ลักษณะ ประการแรก ใช้รับพลังงานแสงอาทิตย์ โซลาร์เซลล์จะให้แรงดันทางด้านเอาต์พุต หลังจากนั้นกระแสไฟฟ้าดังกล่าวจะถูกชาร์จเข้าไปไว้ในแบตเตอรี่ และนำกลับออกมาใช้เมื่อต้องการ ซึ่งก็จะทำหน้าที่เป็นแหล่งกำเนิดพลังงานทดแทนการผลิตไฟฟ้าจากกรรมวิธีการใช้ถ่านหิน น้ำมัน

นอกจากนี้ยังสามารถใช้โซลาร์เซลล์ทำเป็นตัวตรวจวัดหรือเซ็นเซอร์แสง สำหรับงานควบคุมต่าง ๆ เช่น วัดแสงสว่างบนถนนเพื่อเปิด - ปิดไฟถนน หรือการเซ็นเซอร์ความชุ่นของน้ำ เป็นต้น




**รูปที่ 6.16** โซลาร์เซลล์ (ก) สัญลักษณ์ (ข) โซลาร์เซลล์ที่สามารถผลิตแรงดันไฟฟ้าได้ 12 V และ 6 V และสามารถจ่ายกระแสได้ 0.29 A และ 0.08 A ตามลำดับ

# หน่วยที่ 7 เครื่องมือวัดและเครื่องกำเนิดสัญญาณในงานไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์

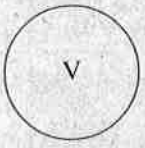
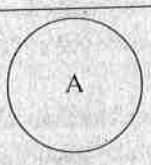
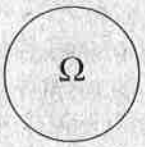
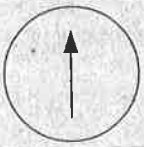
## 7.1 บทนำ

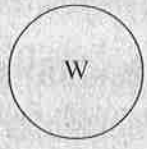
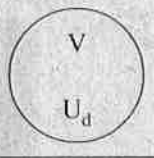
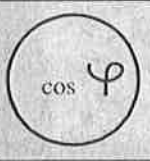
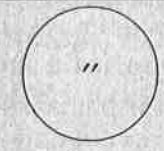
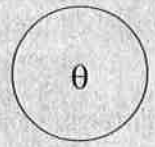
ในการตรวจสอบและซ่อมวงจรไฟฟ้าหรืออุปกรณ์ไฟฟ้าในบางงานต้องการค่าที่แน่นอนถูกต้อง ดังนั้นการจะตรวจเช็คโดยใช้เพียงแค่ไขควงทดสอบไฟธรรมดาก็คงไม่ได้ เพราะในบางวงจรหากกระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้า หรือแม้กระทั่งค่าความต้านทานในวงจรไม่ได้ตามที่ต้องการ ก็อาจจะทำให้วงจรไม่ทำงาน การจะตรวจสอบเพื่อให้ได้ค่าที่ถูกต้องจะต้องใช้เครื่องวัดสัญญาณทางไฟฟ้า ซึ่งก็มีมากมายหลายแบบมาช่วยเหลือ

## 7.2 เครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์

ก่อนจะทำความเข้าใจการใช้งานเครื่องมือวัดทางไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์พื้นฐานต่าง ๆ ก็ควรทำความรู้จักสัญลักษณ์ของอุปกรณ์เหล่านี้เสียก่อน ดังที่แสดงในตารางที่ 7.1

**ตารางที่ 7.1** แสดงสัญลักษณ์ของเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์พื้นฐานต่าง ๆ

| ชื่ออุปกรณ์ | สัญลักษณ์ | หน้าที่ |
|---|---|---|
| โวลต์มิเตอร์ (Voltmeter) |   | ใช้วัดแรงดันไฟฟ้า และความต่างศักย์ไฟฟ้า |
| แอมป์มิเตอร์ (Ammeter) |   | ใช้วัดกระแสไฟฟ้า |
| โอห์มมิเตอร์ (Ohmmeter) |   | ใช้วัดค่าความต้านทานไฟฟ้า |
| กัลวานอมิเตอร์ (Galvanometer) |  | ใช้วัดกระแสไฟฟ้าซึ่งมีค่าต่ำมาก ๆ เช่น ในย่านไมโครแอมป์ เป็นต้น |

| ชื่ออุปกรณ์ | สัญลักษณ์ | หน้าที่ |
|---|---|---|
| วัตต์มิเตอร์ (Wattmeter) |   | ใช้วัดกำลังงานไฟฟ้าจริง (true power) |
| วาร์มิเตอร์ (Varmeter) | | ใช้วัดกำลังไฟฟ้ามีด (reactive power) นั่นคือ เป็นกำลังงานไฟฟ้า (ในไฟกระแสสลับ) ซึ่งสูญเสียไปอยู่ในรูปของความร้อน |
| มิเตอร์วัดความต่างศักย์ไฟฟ้า (Differential voltmeter) |   | ใช้วัดแรงดันไฟฟ้า และความต่างศักย์ไฟฟ้า ทำหน้าที่เหมือนกับโวลต์มิเตอร์ |
| เพาเวอร์แฟคเตอร์มิเตอร์ (Power factor meter) |   | ใช้วัดเพาเวอร์แฟคเตอร์ (หรือวัดองค์ประกอบในการเกิดกำลัง) ในระบบไฟฟ้ากระแสสลับ |
| เฟสมิเตอร์ (Phase meter) | | ใช้วัดเฟสของแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส |
| เทคโคมิเตอร์ (Tachometer) |   | ใช้วัดความเร็วรอบของวัตถุที่หมุนอยู่รอบ ๆ จุดศูนย์กลาง เช่น เพลาของมอเตอร์ พูลเล่ย์ เป็นต้น |
| ซิงโครสโคป | | ใช้วัดการตามเฟสกันและกันของแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 2 ระบบที่จะเชื่อมต่อระบบกัน |
| เทอร์โมมิเตอร์ (Thermometer) |   | ใช้วัดอุณหภูมิของวัตถุต่าง ๆ |

หากแบ่งเครื่องมือวัดทางไฟฟ้าออกตามลักษณะการแสดงผล จะสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท ได้แก่

### 7.2.1 เครื่องมือวัดแบบอนาล็อก

เครื่องมือวัดแบบอนาล็อก (รูปที่ 7.1) ก็คือเครื่องมือวัดที่มีเข็มชี้ค่า มีส่วนที่เคลื่อนที่ภายในมิเตอร์แบบนี้จะมีส่วนเคลื่อนที่ซึ่งใช้ผลจากการทำงานของสนามแม่เหล็ก 2 สนาม อย่างน้อยที่สุดก็

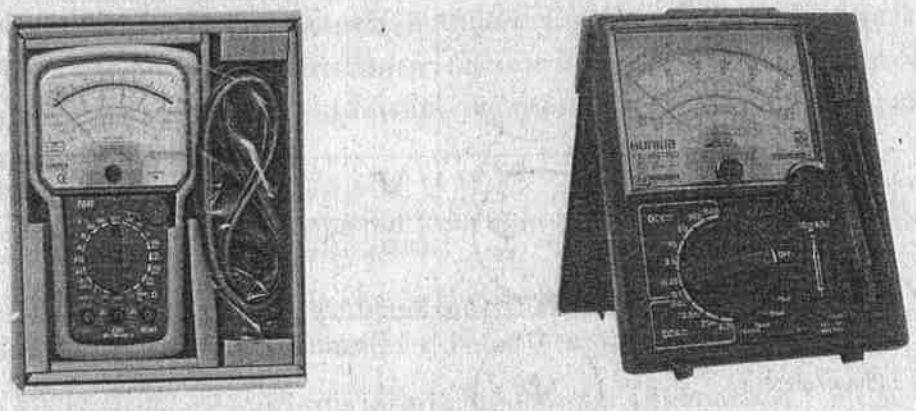
จะต้องมีหนึ่งสนามที่เกิดจากกระแส (ที่ต้องการวัด) ไหลผ่านคอยล์หนึ่งในมิเตอร์ มิเตอร์แบบนี้สามารถแบ่งออกได้เป็นหลาย ๆ ชนิด ได้แก่

ก. **มิเตอร์ชนิด d'Arsonval**

มิเตอร์แบบ d'Arsonval จะมีขั้วทางไฟฟ้า หากว่ากระแสไหลในขดลวดกลับขั้ว แรงบิดที่จ่ายไปยังอาร์เมเจอร์ก็จะกลับทาง อาจจะทำให้ชุดเคลื่อนที่และเข็มชี้พัง

ข. **ชนิดใบมีดเหล็ก (Iron Vane)**

มิเตอร์แบบใบมีดเหล็ก สามารถใช้ได้กับทั้งไฟฟ้ากระแสสลับและกระแสตรง เมื่อไฟฟ้ากระแสสลับที่จ่ายเข้าไปมีการกลับขั้วไปมา ขั้วแม่เหล็กที่ใบมีดทั้งคู่ก็จะกลับพร้อมกัน ทำให้เกิดแรงผลักตลอดไซเคิล



**รูปที่ 7.1** มัลติมิเตอร์แบบอนาล็อก ซึ่งมีฟังก์ชันสำหรับการวัดแรงดันไฟฟ้า วัดค่าความต้านทาน และวัดกระแสไฟฟ้าอยู่ภายในตัวเดียวกัน

มิเตอร์แบบใบมีดเหล็กนี้ จะมีข้อบกพร่อง 2 อย่าง ได้แก่ มีความไม่เป็นเชิงเส้นของการสเกลค่าสูง ซึ่งก็หมายความว่าที่ใกล้กับค่าต้านต่ำ ขีดหรือสเกลจะติดกันมากและมีความไวต่ำ ส่วนใหญ่มิเตอร์แบบนี้จะใช้เป็นมิเตอร์วัดไฟฟ้ากระแสสลับ

ส่วนข้อดีของมิเตอร์แบบนี้คือ มีโครงสร้างง่าย ทนทาน และมีความน่าเชื่อถือ

ค. **ชนิดอิเล็กโตรไดนาโมมิเตอร์** สามารถใช้ได้ทั้งไฟฟ้ากระแสตรงและกระแสสลับ

ส่วนเคลื่อนที่ของอิเล็กโตรไดนาโมมิเตอร์ จะมีความไวต่ำกว่าแบบ d'Arsonval แต่มิเตอร์แบบอิเล็กโตรไดนาโมมิเตอร์จะมีความแน่นอนกว่า และยังให้ความเสถียรภาพดีกว่า ความแน่นอนของส่วนเคลื่อนที่ของอิเล็กโตรไดนาโมมิเตอร์นี้ไม่ขึ้นอยู่กับความเข้มของแม่เหล็กถาวรหรือความซึมซาบได้ (permeability) ของส่วนที่เป็นเหล็ก

- แม้ว่าอิเล็กโตรไดนาโมมิเตอร์ จะถูกใช้เพื่อวัดกระแสและแรงดันไฟฟ้า แต่ส่วนใหญ่ก็ยังคงนำไปใช้วัดกำลังไฟฟ้า (วัตต์มิเตอร์) อีกด้วย

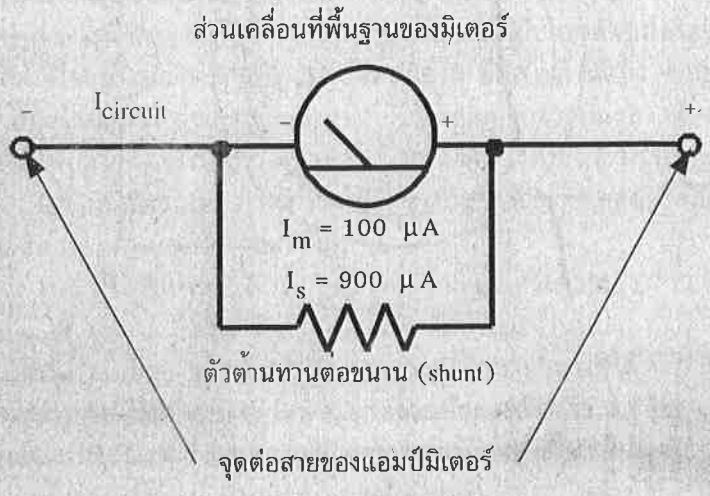
### 7.2.2 พิกัดของมิเตอร์แบบอนาล็อก

ในการจะใช้งาน จะพิจารณาพิกัดของส่วนเคลื่อนที่มิเตอร์ ซึ่งประกอบไปด้วย

1. พิกัดกระแสเต็มสเกล (full scale current scale) ค่าดังกล่าวเป็นค่ากระแสขดลวดที่ต้องการให้มิเตอร์เบี่ยงเบนหรือเคลื่อนที่ออกนอกค่าสูงสุดของสเกล โดยทั่วไปส่วนเคลื่อนจะยอมให้มีพิกัดกระแสเต็มสเกลซึ่งต่ำได้ถึง 5 μA

2. พิกัดค่าความต้านทานภายใน ปกติจะมีค่าค่อนข้างสูง เนื่องมาจากว่าเส้นผ่านศูนย์กลางของลวดที่ใช้พันจะมีขนาดเล็ก โดยทั่วไปหากมิเตอร์มีพิกัดกระแสเต็มพิกัดต่ำกว่า ก็จะมีค่าความต้านทานภายในสูงกว่า

3. พิกัดแรงดันไฟฟ้า คือแรงดันที่ตกคร่อมส่วนเคลื่อนที่ของมิเตอร์ ($V_m$) จะเท่ากับผลคูณของกระแสเต็มสเกล ($I_m$) และค่าความต้านทานภายใน ($R_m$)



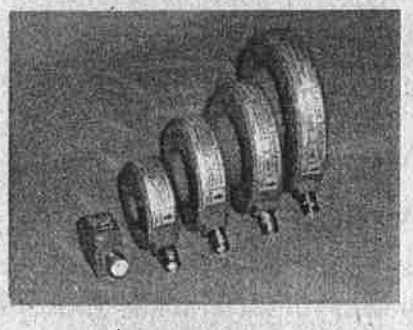

**รูปที่ 7.2** แอมป์มิเตอร์ที่ต่อขนานตัวต้านทาน เพื่อทำให้สามารถอ่านกระแสได้สูงขึ้น (Richard J. Fowler. 1992 : 325)

## 7.3 อนาล็อกแอมป์มิเตอร์และวิธีการวัดกระแสไฟฟ้า

แอมป์มิเตอร์คือเครื่องมือวัดกระแสไฟฟ้า แบ่งออกได้เป็นแบบอนาล็อกและแบบดิจิตอล ในรูปที่ 7.1 จะแสดงรูปร่างของอนาล็อกมัลติมิเตอร์ ซึ่งมีหน้าที่ใช้งานหลาย ๆ อย่างได้แก่ วัดแรงดันไฟฟ้า วัดค่าความต้านทาน และหนึ่งในนั้นคือสามารถใช้วัดกระแสไฟฟ้า

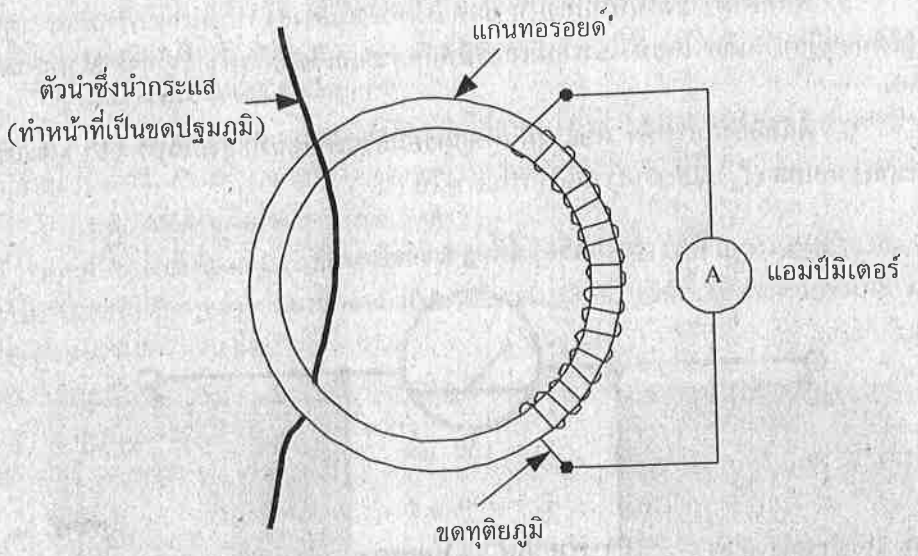
### 7.3.1 เทคนิคในการวัดกระแสไฟฟ้าแบบต่าง ๆ

**ก. การต่อขนาน (Shunts)** ตัวต้านทาน หากว่ากระแสที่ต้องการวัดมากเกินกว่ากระแสเบี่ยงเบนเต็มสเกลของส่วนเคลื่อนที่ของมิเตอร์ เราสามารถทำให้มิเตอร์อ่านค่ากระแสได้มากขึ้น ซึ่งก็ทำได้โดยต่อตัวต้านทานขนานที่มีค่าต่ำมาก ๆ เข้าไปยังส่วนเคลื่อนที่ (ดังรูปที่ 7.2)



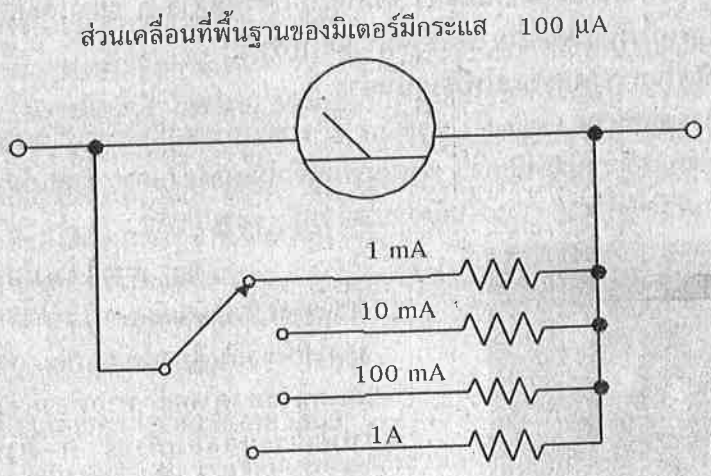
**รูปที่ 7.3** หม้อแปลงกระแส

**ข. การใช้หม้อแปลงกระแส (Current Transformer)** ในบางงาน กระแสไฟฟ้าของไฟฟ้าสลับมีค่าสูง ๆ เช่น กระแสที่ไหลผ่านมอเตอร์ขนาดใหญ่ หากต้องการวัดกระแสของไฟฟ้ากระแสสลับค่าสูง ๆ ดังกล่าว ต้องใช้หม้อแปลงกระแสเพื่อลดกระแสให้มีค่าต่ำสุด




**รูปที่ 7.4** หลักการของหม้อแปลงกระแส ตัวนำซึ่งนำกระแสที่ต้องการจะวัด ทำหน้าที่เป็นขดปฐมภูมิซึ่งมีรอบเดียว (Richard J. Fowler. 1992 : 327)

หม้อแปลงกระแส (เรียกชื่อย่อว่า CT) เป็นหม้อแปลงแบบแกนทอรอยด์ (รูปที่ 7.3) เมื่อนำตัวนำที่มีกระแสไหลผ่านวางไว้ตรงกลาง CT ตัวนำดังกล่าวจะเป็นขดปฐมภูมิ ซึ่งจะได้วงจรสมมูลดังรูปที่ 7.4 อัตราส่วนต่อรอบของ CT มีให้เลือกหลายค่าตามแต่การใช้งาน ตัวอย่างเช่น 100 : 5 ถ้ากระแสในตัวนำซึ่งวางไว้ตรงกลาง CT เท่ากับ 100 แอมป์ ที่ขั้วทางด้านทุติยภูมิของ CT จะวัดค่าได้เท่ากับ 5 แอมป์ เป็นต้น




**รูปที่ 7.5** แอมป์มิเตอร์แบบหลายย่านวัด การสวิตช์ไปยังตัวต้านทานค่าต่ำกว่า จะเป็นการทำให้ย่านวัดเพิ่มสูงขึ้น (Richard J. Fowler. 1992 : 327)

**ค. แอมป์มิเตอร์แบบหลายย่านวัด** วงจรภายในจะเป็นดังรูปที่ 7.5 หลักการคือการใช้ส่วนเคลื่อนที่ของมิเตอร์ แล้วใช้ตัวต้านทานต่อขนานเข้าไปกับส่วนเคลื่อนที่ เพื่อให้สามารถวัดกระแสได้หลาย ๆย่านวัดโดยการนิดสวิตช์เลือกย่านวัดโดยสวิตช์เลือกย่านวัดดังกล่าวต้องเป็นแบบต่อก่อนจะแยกออก นั่นก็หมายความว่ามันจะต้องต่อเข้ากับตัวต้านทานขนานตัวอื่น ก่อนจะจากกับตัวต้านทานอีกตัว เพื่อไม่ทำให้ขดลวดของส่วนเคลื่อนที่ไหม้

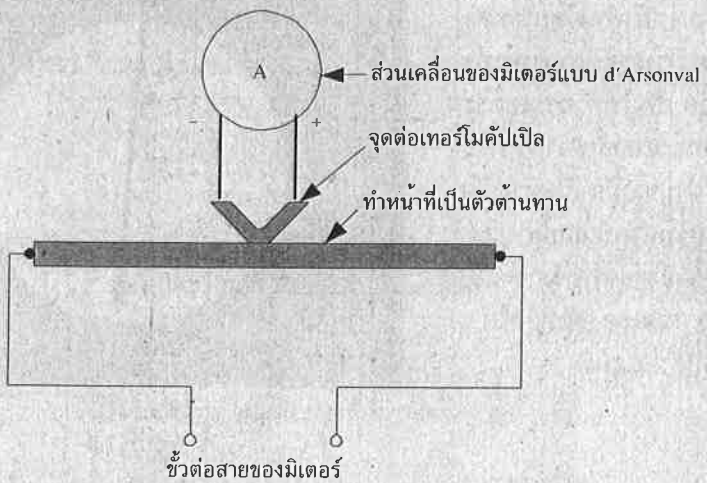
**ง. แคลมป์ออนมิเตอร์ (Clamp - on meter)** แคลมป์ออนมิเตอร์ บางครั้งเรียกว่า clamp around ammeter มีลักษณะดังรูปที่ 7.6 ใช้หลักการเดียวกันกับแอมป์มิเตอร์แบบหม้อแปลงกระแส (CT) ในแบบนี้แคลมป์ออนมิเตอร์จะถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ที่ปลายด้านหนึ่ง จะอยู่บนจุดหมุนเดียวกัน และถูกยึดเข้าไว้ด้วยกันโดยสปริง ส่วนอีกด้านสามารถบีบให้แยกออกจากกันและคล้องตัวนำที่จะวัดกระแส เมื่อปล่อยสปริงจะดึงให้ปลายทั้งสองประกบกัน และทำให้หม้อแปลงทั้งสองข้างถูกประกบเข้าด้วยกัน

แคลมป์ออนมิเตอร์ สามารถใช้วัดแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับได้อีกด้วย โดยขณะที่วัดแรงดันดังกล่าว แกนทอรอยด์จะไม่เกี่ยวกับการวัดค่านี้

**จ. เทอร์โมคัปเปิลมิเตอร์** ในการจะวัดกระแสในรูปของความถี่วิทยุ (Radio-Frequency, RF) ด้วยมิเตอร์แบบที่กล่าวมาด้านบนจะเป็นเรื่องยาก เพราะที่ความถี่สูง ๆ จะทำให้มิเตอร์บางตัวไม่สามารถใช้ได้ แต่มิเตอร์แบบเทอร์โมคัปเปิลนี้สามารถหลีกเลี่ยงจากปัญหาดังกล่าวได้ โดยการแยกส่วนเคลื่อนที่ของมิเตอร์แบบพื้นฐานออกจากกระแส RF นี้ได้

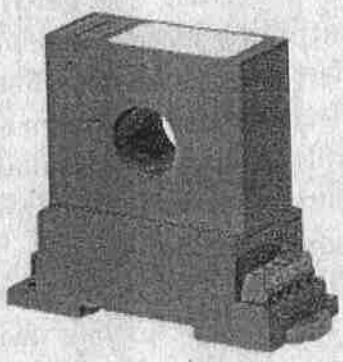
**รูปที่ 7.6** แคลมป์ออนมิเตอร์

มิเตอร์แบบเทอร์โมคัปเปิลแสดงดังรูปที่ 7.7 ใช้ส่วนเคลื่อนที่ของมิเตอร์ชนิด d'Arsonval ต่อเข้ากับเทอร์โมคัปเปิล เมื่อกระแสไหลผ่านมิเตอร์ ความร้อนเนื่องจากค่าความต้านทานจะสูงขึ้น ทำให้อุณหภูมิที่จุดต่อของเทอร์โมคัปเปิลสูงขึ้น เนื่องจากเทอร์โมคัปเปิลเป็นตัวเปลี่ยนพลังงานความร้อนไปเป็นแรงดันไฟฟ้าซึ่งก็ส่งผลให้ความร้อนดังกล่าวถูกเปลี่ยนไปเป็นกระแสไฟฟ้าไหลในวงจรของส่วนเคลื่อนที่ของมิเตอร์ ยิ่งกระแสไหลผ่านมากเท่าใดความร้อนที่จุดต่อของเทอร์โมคัปเปิลก็จะยิ่งมาก ทำให้กระแสไหลในส่วนเคลื่อนที่ของมิเตอร์ d'Arsonval ก็ยิ่งสูง




**รูปที่ 7.7** มิเตอร์แบบเทอร์โมคัปเปิล กระแสที่ถูกวัดจะไม่ไหลผ่านส่วนเคลื่อนที่ของมิเตอร์โดยตรง (Richard J. Fowler. 1992 : 328)

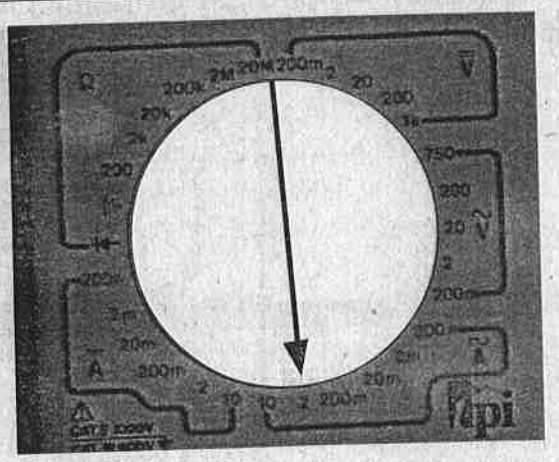
**ฉ. การใช้ตัวทรานสดิวเซอร์ตรวจวัดกระแส** ในปัจจุบัน ความต้องการในการนำสัญญาณที่เกิดจากการวัดกระแส เพื่อนำไปใช้ในแต่ละงานมีความแตกต่างกัน ในรูปที่ 7.8 จะแสดงการใช้ทรานสดิวเซอร์ตรวจวัดกระแส หลังจากนั้นจึงใช้วงจรอิเล็กทรอนิกส์แปลงเป็นสัญญาณเอาต์พุตออกมา อุปกรณ์ดังกล่าวนี้สามารถวัดกระแสไฟฟ้าสลับได้แม้ว่ามันจะไม่เป็นไซน์บริสุทธิ์ (non pure sinusoidal) ค่าที่ได้จะเป็นค่า rms จริง (true rms) ค่าเอาต์พุตที่ออกมาอาจจะเป็นสัญญาณมาตรฐาน (4 - 20 มิลลิแอมป์) หรือไม่ก็ได้



**รูปที่ 7.8** การวัดกระแสโดยใช้ตัวทรานสดิวเซอร์เป็นตัวเซ็นเซอร์กระแส ภายในมีวงจรอิเล็กทรอนิกส์ดังนั้นจึงต้องมีแหล่งจ่ายไฟจากภายนอก จ่ายให้กับวงจรภายในด้วย
(ภาพจากบริษัท CR Magnetics, Ins จำกัด)

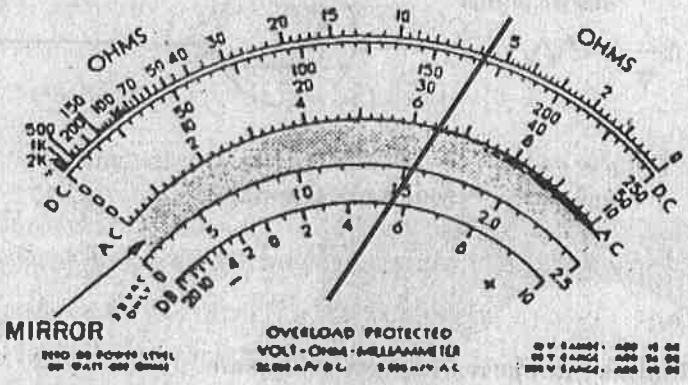
### 7.3.2 ขั้นตอนการใช้แอมป์มิเตอร์เพื่อวัดกระแส

สำหรับขั้นตอนการใช้อนาล็อกแอมป์มิเตอร์ วัดกระแสมีดังต่อไปนี้

| ลำดับขั้นที่ | วิธีการ | รูปแสดงการทำงาน |
|---|---|---|
| 1 | ปรับสวิตช์เลือกหน้าที่การทำงานไปยังย่านวัดกระแส โดยดูว่าวงจรที่ต้องการจะทำการวัด เป็นไฟฟ้ากระแสตรงหรือกระแสสลับ จากรูปที่ 7.9 ด้านขวามือ เป็นตัวอย่างการปรับสวิตช์เลือกย่านวัดเพื่อวัดกระแสไฟฟ้ากระแสสลับ กระแสสูงสุดที่วัดได้ไม่เกิน 2 แอมป์ |  |

**รูปที่ 7.9**

| ลำดับขั้นที่ | วิธีการ | รูปแสดงการทำงาน |
|---|---|---|
| 2 | นำไปวัดกระแสไฟฟ้าในวงจร โดยแทรกเข้าเป็นส่วนหนึ่งของวงจร | ดูวิธีการต่อแอมป์มิเตอร์ในบทที่ 7 รูปที่ 7.6 เพิ่มเติม |
| 3 | อ่านค่าจากสเกลบนหน้าปัด หากเป็นไฟฟ้ากระแสตรงก็ให้ดูสเกล DC(A) หากเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ ก็ให้ดูสเกล AC(A) | ดูรูปที่ 7.10 ด้านล่าง กรณีวัดกระแสไฟฟ้ากระแสตรงและกระแสไฟฟ้ากระแสสลับ<br>- ใช้สเกล 10 50 และ 250 ส่วนจะเลือกตัวเลขใดเพื่อให้สะดวกให้ดูย่านวัดที่ตั้งไว้อีกทีหนึ่ง |




รูปที่ 7.10 สเกลทั้งหมดของอนาล็อกมัลติมิเตอร์

**ตัวอย่างที่ 7.1** หากนำแอมป์มิเตอร์ไปวัดค่ากระแส ซึ่งมีการปรับสวิตช์เลือกย่านวัดดังรูปที่ 7.9 และการบ่ายเบนของเข็มชี้ดังรูปที่ 7.10 จงอ่านค่ากระแสที่ได้ในวงจร

**ค่าที่ต้องการหา** กระแสที่ได้จากการอ่านด้วยมิเตอร์ (ค่าที่อ่านได้ต้องไม่เกิน 2 แอมป์)

**สิ่งที่ทราบ**
1. สวิตช์เลือกย่านวัดไปที่ AC(A) ย่านวัด 2 แอมป์
2. เข็มชี้ชี้ดังรูปที่ 7.10

**วิธีอ่านค่า** แน่นอนว่ากระแสที่อ่านได้ต้องไม่เกิน 2 แอมป์ หากเราอ่านได้มากกว่านี้แสดงว่าอ่านค่าผิด

เนื่องจากกระแสที่ต้องอ่านเป็นไฟ AC ดังนั้นจึงต้องอ่านค่าที่สเกล AC ในรูปที่ 7.10 ใช้ตัวเลขสเกล 50 ตัวกลาง (แทนที่จะใช้ตัวเลขสเกล 10)

โดยที่สเกลสูงสุดคือ 50 ต้องอ่านค่าได้ 2 แอมป์ แต่ที่หน้าปัดอ่านได้ 33 ดังนั้นเทียบบัญญัติไตรยางค์

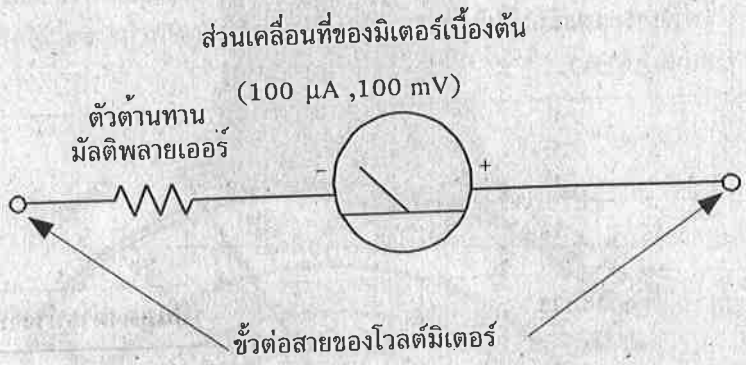
**ค่าที่อ่านได้** $= \dfrac{(2A)(33)}{50} = 1.32A$

**คำตอบ** มิเตอร์อ่านค่ากระแสในวงจรได้ 1.32 แอมป์

## 7.4 อนาล็อกโวลต์มิเตอร์และการวัดแรงดันไฟฟ้า

โวลต์มิเตอร์จะประกอบด้วยส่วนเคลื่อนที่ของมิเตอร์และตัวต้านทานมัลติพลายเออร์ต่ออนุกรมในวงจร (รูปที่ 7.11)

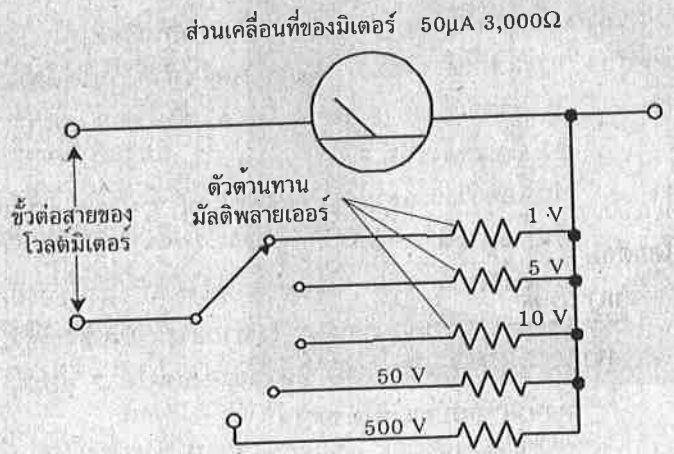
ตัวอย่างของโวลต์มิเตอร์แบบหลายย่านวัดจะเป็นดังรูปที่ 7.12 ขณะทำการสวิตช์เพื่อเลือกย่านวัด ตัวโวลต์มิเตอร์จะเปิดวงจรชั่วคราว หลังจากนั้นจะให้มันต่อตัวต้านทานมัลติพลายเออร์ 2 ตัวขนานกัน ค่าความต้านทานรวมของตัวมัลติพลายเออร์ที่ขนานกันจะน้อยกว่าค่าต่ำที่สุดของตัวต้านทานมัลติพลายเออร์ ซึ่งสาเหตุนี้อาจจะทำให้ส่วนเคลื่อนที่ของมิเตอร์โอเวอร์โหลดได้




**รูปที่ 7.11** การต่อตัวต้านทานมัลติพลายเออร์ของโวลต์มิเตอร์เพื่อใช้ขยายย่านวัด ของส่วนเคลื่อนที่ของมิเตอร์พื้นฐาน (Richard J. Fowler. 1992 : 328)

พิกัดของโวลต์มิเตอร์ พิกัดของโวลต์มิเตอร์ที่สำคัญได้แก่

1. ค่าความต้านทานรวมภายในของโวลต์มิเตอร์ ค่านี้เป็นพิกัดที่สำคัญหรืออาจจะเรียกค่าดังกล่าวว่า "ค่าความต้านทานอินพุต" สำหรับมิเตอร์แบบหลายย่านวัดดังรูปที่ 7.12 ค่าความต้านทานอินพุตในแต่ละย่านวัดจะมีค่าแตกต่างกัน ดังนั้นจึงอาจต้องระบุค่าความต้านทานภายในของแต่ละย่านวัด




**รูปที่ 7.12** โวลต์มิเตอร์แบบหลายย่านวัด หากสวิตช์ไปยังตัวต้านทานมัลติพลายเออร์ค่ามากกว่าจะทำให้ย่านการวัดเพิ่มขึ้น (Richard J. Fowler. 1992 : 329)

2. ความไว (sensitivity) ระบุในหน่วย "โอห์ม/โวลต์" /โวลต์ พิกัดโอห์ม/โวลต์ นี้จะบอกว่าค่าความต้านทานอินพุตสำหรับแต่ละโวลต์ของย่านวัดนั้น ตัวอย่างเช่น โวลต์มิเตอร์ขนาด 1,000 Ω/V จะมีความต้านทานภายใน 1,000 Ω ที่ย่านวัด 1 V ดังนั้นที่ย่านวัด 10 V มันก็จะมีค่าความต้านทานภายในเป็น 10,000 Ω กล่าวได้ว่าค่าความต้านทานอินพุตของโวลต์มิเตอร์ในช่วงนั้นหาได้จากการคูณย่านวัดนั้นด้วยพิกัดโอห์ม/โวลต์

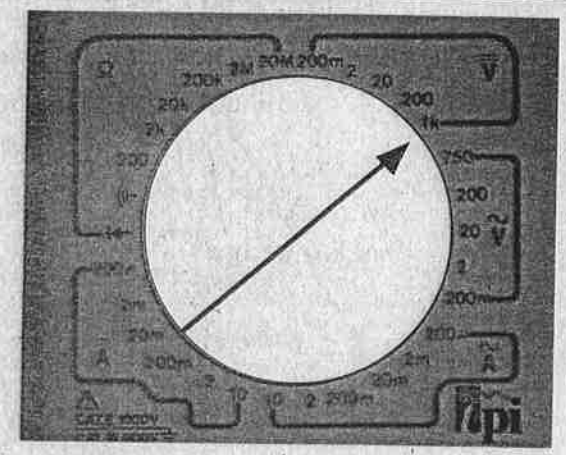
**ข้อสังเกตสำหรับมิเตอร์แบบอนาล็อก**

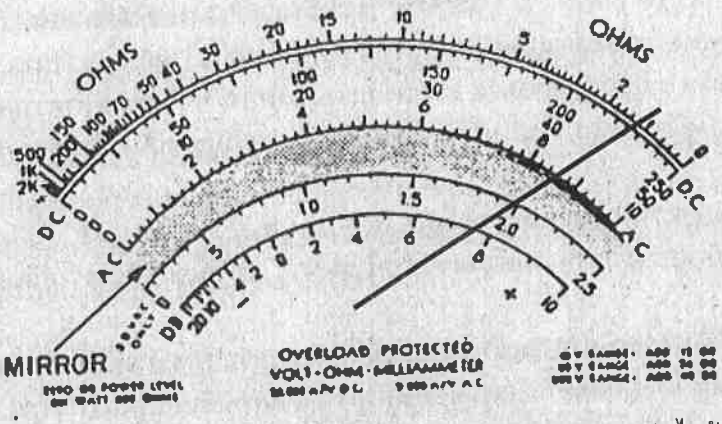
ก. โวลต์มิเตอร์จะมีค่าความต้านทานภายในสูงมาก ทำให้โวลต์มิเตอร์ไม่มีผลจากการโหลดจากวงจรที่กำลังวัดอยู่

ข. แอมป์มิเตอร์จะมีค่าความต้านทานภายในต่ำมาก ส่วน DMM จะมีค่าความต้านทานทางอินพุตของทุกย่านวัดเท่ากัน โดยปกติที่ย่านวัดต่ำสุดจะมีค่าความต้านทานอินพุตสูงกว่า VOM และบ่อยครั้งโวลต์มิเตอร์วัดไฟ AC จะมีความไวต่ำกว่าโวลต์มิเตอร์วัดไฟ DC เช่น ในย่านวัดไฟ DC จะมีพิกัดเป็น 20 kΩ/V แต่ที่ย่านวัดไฟ AC จะมีพิกัดเป็น 5 kΩ/V เพียงเท่านั้น

**ขั้นตอนการใช้โวลต์มิเตอร์วัดแรงดันไฟฟ้า**

ขั้นตอนการใช้อนาล็อกโวลต์มิเตอร์ วัดแรงดันมีดังต่อไปนี้

| ลำดับขั้นที่ | วิธีการ | รูปแสดงการทำงาน |
|---|---|---|
| 1 | ปรับสวิตช์เลือกหน้าที่การทำงานไปยังย่านวัดแรงดัน โดยดูว่าวงจรที่ต้องการจะทำการวัด เป็นไฟ DC หรือ AC จากรูปที่ 7.13 ด้านขวามือเป็นตัวอย่างการปรับสวิตช์เลือกย่านวัดเพื่อวัดแรงดันไฟ DC ค่าที่วัดได้ ไม่เกิน 1,000 โวลต์ |  รูปที่ 7.13 |
| 2 | นำไปวัดแรงดันในวงจร โดยต่อคร่อมบนอุปกรณ์ที่ต้องการวัดค่า | ดูวิธีการต่อแอมป์มิเตอร์ในบทที่ 8 รูปที่ 8.7 เพิ่มเติม |
| 3 | อ่านค่าจากสเกลบนหน้าปัด หากเป็นไฟฟ้ากระแสตรง ก็ให้ดูสเกล DC หากเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ ก็ให้ดูสเกล AC | ดูรูปที่ 7.14 ด้านล่าง กรณีวัดกระแสไฟฟ้ากระแสตรงและกระแสไฟฟ้ากระแสสลับ<br>- ใช้สเกล 10 50 และ 250 ส่วนจะเลือกตัวเลขใด เพื่อให้สะดวกให้ดูย่านวัดที่ตั้งไว้อีกทีหนึ่ง |




รูปที่ 7.14 สเกลทั้งหมดของอนาล็อกมัลติมิเตอร์ สมมติว่ากำลังวัดแรงดันไฟฟ้า

**ตัวอย่างที่ 7.2** หากนำแอมป์มิเตอร์ไปวัดแรงดันไฟฟ้า ซึ่งมีการปรับสวิตช์เลือกย่านวัดดังรูปที่ 7.13 และการบ่ายเบนของเข็มชี้ดังรูปที่ 7.14 จงอ่านค่าแรงดันที่ได้

**ค่าที่ต้องการหา** แรงดันที่ได้จากการอ่านด้วยมิเตอร์ (ค่าที่อ่านได้ต้องไม่เกิน 1,000 โวลต์)

**สิ่งที่ทราบ**
1. สวิตช์เลือกย่านวัดไปที่ DC ย่านวัด 1,000 โวลต์
2. เข็มชี้ชี้ดังรูปที่ 7.14

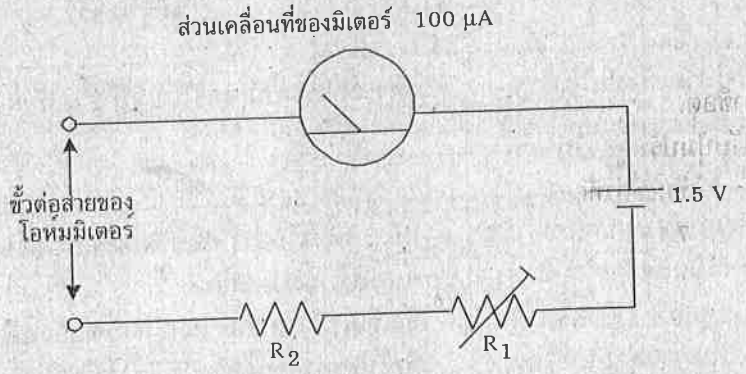
**วิธีอ่านค่า** แน่นอนว่าแรงดันที่อ่านได้ต้องไม่เกิน 1,000 โวลต์ หากเราอ่านค่าได้เกินกว่านี้แสดงว่าอ่านค่าผิดพลาด

เนื่องจากกระแสที่ต้องอ่านเป็นไฟ DC ดังนั้นจึงต้องอ่านค่าที่สเกล DC ในรูปที่ 7.14 ใช้ตัวเลขสเกล 10 (ความจริงค่านี้ใช้สเกลใดก็ได้)

โดยที่สเกลสูงสุดคือ 10 ต้องอ่านค่าได้ 1,000 โวลต์ แต่ที่หน้าปัดอ่านได้ประมาณ 9.2 ดังนั้นเทียบบัญญัติไตรยางค์

$$\text{ค่าที่อ่านได้} = \frac{1{,}000\text{V} \times 9.2}{10} = 920\text{V}$$

**คำตอบ** มิเตอร์อ่านแรงดันได้ 920 โวลต์

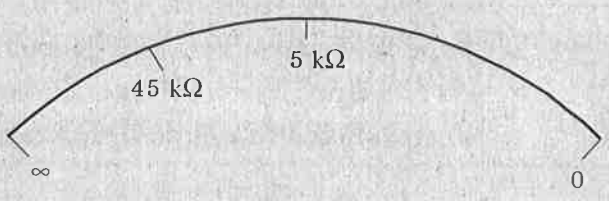



รูปที่ 7.15 วงจรโอห์มมิเตอร์ โดย $R_1$ เป็นตัวปรับ เพื่อทำให้กระแสไหลเต็มสเกล เมื่อขั้วต่อถูกลัดวงจรเข้าด้วยกัน (Richard J. Fowler. 1992 : 332)

## 7.5 อนาล็อกโอห์มมิเตอร์และการวัดค่าความต้านทานไฟฟ้า

โอห์มมิเตอร์อย่างง่ายจะเป็นดังรูปที่ 7.15 ประกอบด้วยเซลล์ไฟฟ้า ส่วนเคลื่อนที่ของมิเตอร์ และตัวต้านทาน 2 ตัว ส่วนรีโอสแตต ($R_1$ ในรูปที่ 7.15) จะทำหน้าที่เป็นตัวปรับค่าศูนย์โอห์ม

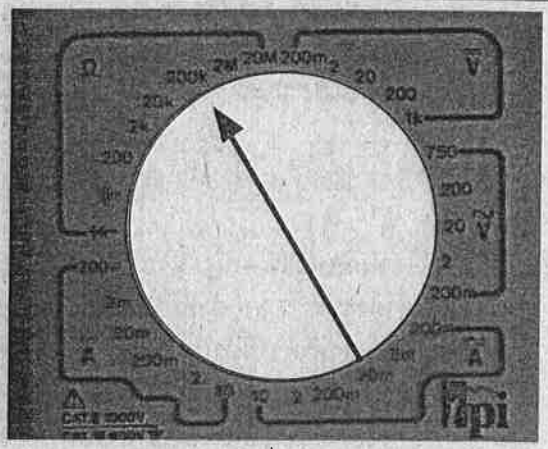
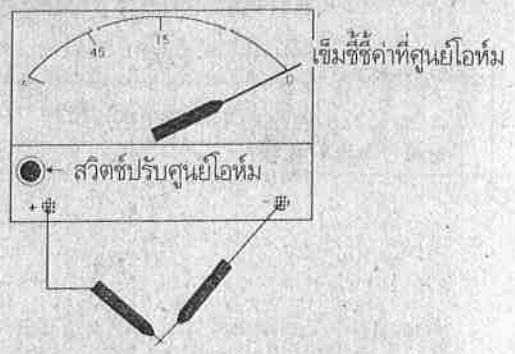
หากสังเกตให้ดีจะพบว่า สเกลของโอห์มมิเตอร์บนหน้าปัดไม่เป็นเชิงเส้น (อ่านเหตุผลได้จากหนังสือเครื่องมือวัดไฟฟ้า) ซึ่งสเกลดังกล่าวแสดงดังรูปที่ 7.16



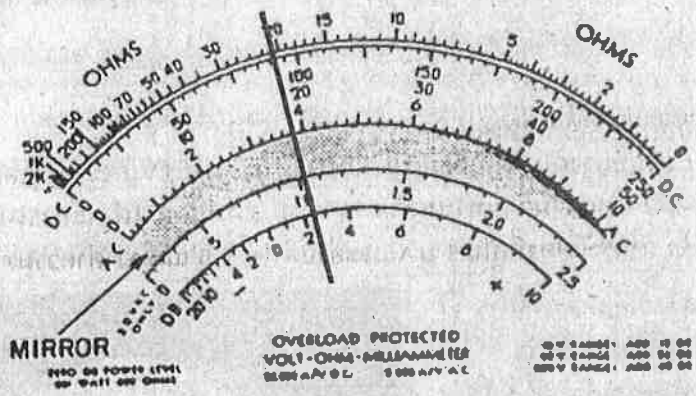

รูปที่ 7.16 สเกลของโอห์มมิเตอร์ซึ่งไม่เป็นเชิงเส้น (Richard J. Fowler. 1992 : 332)

### 7.5.1 ขั้นตอนการใช้โอห์มมิเตอร์วัดค่าความต้านทาน

ขั้นตอนการใช้อนาล็อกมิเตอร์วัดค่าความต้านทานมีดังนี้

| ลำดับขั้นที่ | วิธีการ | รูปแสดงการทำงาน |
|---|---|---|
| 1 | ปรับสวิตช์เลือกหน้าที่การทำงานไปยังย่านวัดค่าความต้านทานดังรูปที่ 6.17 ด้านขวามือ ซึ่งเป็นตัวอย่างการปรับสวิตช์เลือกย่านวัดเพื่อวัดค่าความต้านทาน ค่าที่อ่านได้ ต้องคูณด้วยตำแหน่งย่านวัดที่ปรับนั่นคือ 200 kΩ |  รูปที่ 7.17 |
| 2 | นำสายวัดทั้งสองปลายมาช็อตกัน หลังจากนั้นให้ปรับปุ่มปรับศูนย์โอห์ม เพื่อให้เข็มชี้ชี้ค่าที่ศูนย์โอห์ม ดูรูปที่ 7.18 |   รูปที่ 7.18 |

| ลำดับขั้นที่ | วิธีการ | รูปแสดงการทำงาน |
|---|---|---|
| 3 | หลังจากปรับค่าศูนย์โอห์มได้แล้ว นำไปวัดค่าความต้านทานของอุปกรณ์ที่ต้องการ | ดูวิธีการต่อโอห์มมิเตอร์ในบทที่ 7 รูปที่ 7.5 เพิ่มเติม |
| 4 | อ่านค่าจากสเกลบนสุดบนหน้าปัด | ดูรูปที่ 7.19 ด้านล่าง กรณีวัดกระแสไฟฟ้ากระแสตรงและกระแสไฟฟ้ากระแสสลับ<br>– สังเกตว่าค่าความต้านทานศูนย์อยู่ทางด้านขวามือสุด |




**รูปที่ 7.19** สเกลทั้งหมดของอนาล็อกมัลติมิเตอร์ สมมติว่ากำลังวัดค่าความต้านทานไฟฟ้า

**ตัวอย่างที่ 7.3** โอห์มมิเตอร์ตัวหนึ่ง ปรับสวิตช์เลือกย่านวัดไว้ที่ 200 กิโลโอห์มดังรูปที่ 7.17. เข็มชี้ที่ค่าดังรูปที่ 7.19 ค่าที่อ่านได้จะเป็นเท่าใด

**ค่าที่ต้องการหา** ค่าความต้านทานที่อ่านได้จากโอห์มมิเตอร์

**สิ่งที่ทราบ** 1. สวิตช์เลือกย่านวัดปรับไว้ที่ 200 kΩ
2 เข็มชี้ค่าบนหน้าปัดดังรูปที่ 7.19

**วิธีอ่านค่า** เข็มบนหน้าปัดอ่านได้ 20 ในส่วนของโอห์มมิเตอร์จะไม่เหมือนกับการอ่านค่าแรงดันและกระแส โดยที่ต้องนำตัวเลขจากการปรับย่านวัดคูณด้วยค่าที่อ่านได้บนหน้าปัด หรือเขียนได้ว่า

| ค่าความต้านทานที่อ่านได้ = ค่าบนสวิตช์เลือกย่านวัด × ค่าที่อ่านได้บนหน้าปัด |
|---|

ดังนั้นค่าที่อ่านได้

$$= 200\ \text{k}\Omega \times 20$$

$$= 4{,}000\ \text{k}\Omega$$

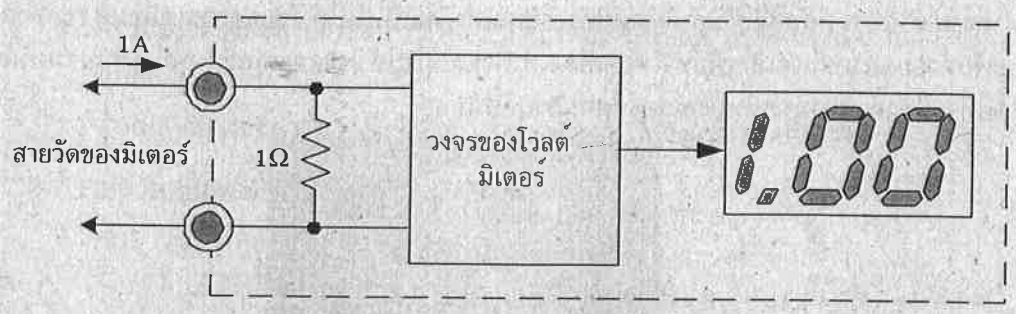
**คำตอบ** ค่าความต้านทานจริงที่อ่านได้จะต้องเท่ากับ 4,000 กิโลโอห์ม หรือเท่ากับ 4 เมกะโอห์ม (MΩ)

## 7.6 เครื่องมือวัดแบบดิจิตอล

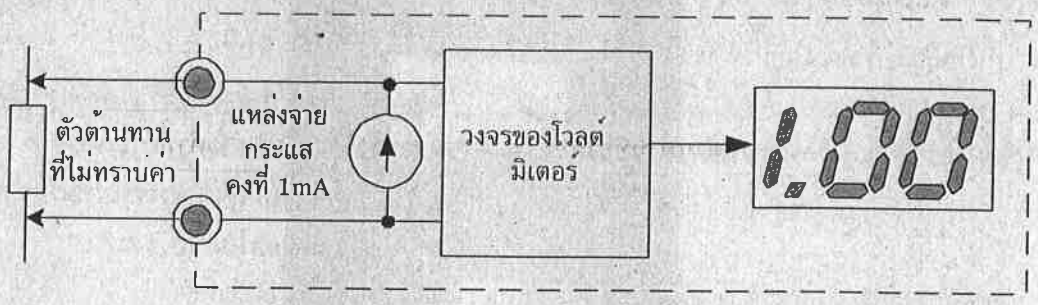
รูปที่ 7.20 มัลติมิเตอร์แบบดิจิตอล

เครื่องมือวัดชนิดนี้แม้ว่ามันจะรับสัญญาณเป็นแบบอนาล็อก ก็จะมีการแสดงผลออกมาที่หน้าจอเป็นตัวเลข (รูปที่ 7.20) มัลติมิเตอร์แบบดิจิตอล (Digital Multimeter, DMM) จะวัดกระแสโดยทางอ้อม โดยใช้วงจรของโวลต์มิเตอร์ดังในรูปที่ 7.21 เมื่อกระแส 1 A ไหลผ่านตัวต้านทาน 1 Ω จะทำให้แรงดันตกคร่อม 1 V : ค่านี้จะถูกวัดและแสดงผลโดยวงจรโวลต์มิเตอร์ โดยการสวิตช์โดยทันทีทันใดไปยังตัวต้านทาน และย่านแรงดันที่ต้องการวัดของวงจรโวลต์มิเตอร์ ซึ่งเป็นทางหนึ่งที่จะสร้างย่านวัดกระแสไฟได้หลาย ๆ ย่านให้อยู่ในมัลติเตอร์แบบตัวเลข

ส่วนในรูปที่ 7.22 แสดงให้เห็นว่าวงจรโวลต์มิเตอร์ของ DMM สามารถใช้วัดค่าความต้านทานที่ไม่ทราบค่าอย่างไร ถ้ากระแส 1 mA ในรูปที่ 7.21 ไหลคงที่และมีแรงดันตกคร่อมตัวต้านทานที่ไม่ทราบค่าเท่ากับ 1 V ค่าความต้านทานที่ไม่ทราบค่าเท่ากับ 1 kΩ ดังนั้นแรงดันที่ตกคร่อมตัวต้านทานไม่ทราบค่า 1V ก็จะวัดได้โดยวงจรโวลต์มิเตอร์ ซึ่งก็ต้องแสดงค่า 1 kΩ ค่าความต้านทานหลาย ๆ ช่วง สามารถหาได้จากการเปลี่ยนแปลงค่าของกระแสคงที่ ตัวอย่างเช่น ถ้ากระแสคงที่เป็น 1 μA และอ่านค่าได้ 1.5 แสดงว่าค่าความต้านทานจะมีค่าเป็น 1.5 MΩ




รูปที่ 7.21 การใช้กระแสเพื่ออ่านค่าในมิเตอร์แบบดิจิตอล (Richard J. Fowler. 1992 : 322)




รูปที่ 7.22 การใช้ค่าความต้านทานในการอ่านค่าของมิเตอร์แบบดิจิตอล (Richard J. Fowler. 1992 : 322)

การวัดค่ากระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้า และค่าความต้านทานด้วยมิเตอร์แบบดิจิตอล

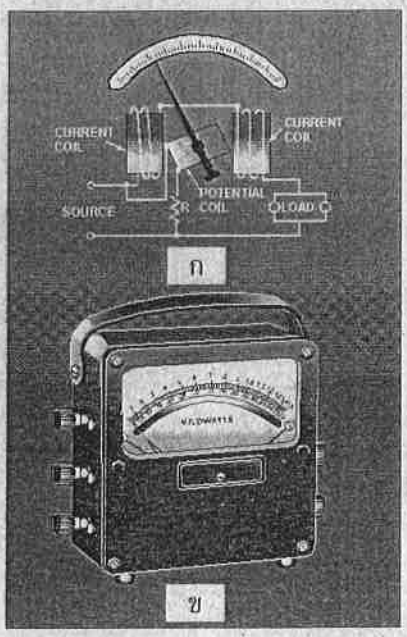
การวัดค่ากระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้า และค่าความต้านทานด้วยมิเตอร์แบบดิจิตอลทำได้ง่าย เพราะไม่ต้องเทียบบัญญัติไตรยางค์หรือคูณตัวเลขเข้าไป เพียงแต่ก่อนจะทำการวัดค่าใด ๆ ให้ทำตามขั้นตอนดังนี้

1. ปรับสวิตช์เลือกย่านวัดให้ถูกต้องว่าจะวัดกระแสไฟฟ้า หรือแรงดันไฟฟ้า หรือวัดค่าความต้านทาน
2. กรณีวัดแรงดันและกระแสไฟฟ้า ให้ปรับปุ่ม "เลือก" (select) (หรือชื่ออื่นตามที่แต่ละยี่ห้อกำหนดให้ถูกต้อง) เพื่อเลือกว่าจะวัดไฟฟ้ากระแสสลับหรือกระแสตรง หากเทียบกับรูปที่ 7.20 ก็จะเป็นปุ่มบนด้านซ้ายมือ
3. เมื่อปรับตามข้อ 1. และข้อ 2. นำไปวัดค่าไฟฟ้าเหมือนกับมิเตอร์แบบอนาล็อก ซึ่งค่าที่อ่านได้จากตัวเลขจะเป็นค่าจริง ๆ ในทันที

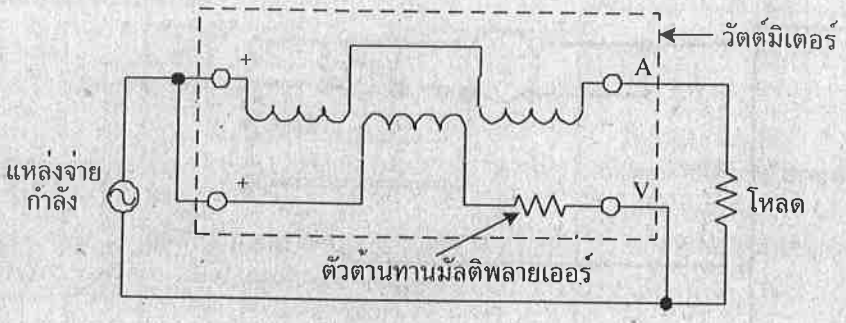
## 7.7 วัตต์มิเตอร์ (Watt Meter)

ส่วนเคลื่อนที่ของอิเล็กโตรไดนาโมมิเตอร์สามารถนำมาทำเป็นวัตต์มิเตอร์ได้โดยที่ขดลวดเคลื่อนที่ (เรียกว่าขดลวดแรงดัน) ใช้เพื่อตรวจวัดขนาดของแรงดันในวงจร ส่วนขดลวดที่อยู่กับที่จะถูกใช้เป็นขดลวดกระแส กระแสในวงจรจะถูกตรวจจับโดยขดลวดกระแส ซึ่งต่ออนุกรมกันกับโหลด (รูปที่ 7.23(ก))

ขดลวดซึ่งอยู่กับที่ (ขดลวดกระแส) จะพันด้วยลวดที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดใหญ่ ซึ่งจะทำให้ค่าความ ต้านทานที่ต่ออนุกรมกับโหลดมีค่าต่ำที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ ส่วนขดลวดเคลื่อนที่ (ขดลวดแรงดัน) จะพันด้วยขดลวดขนาดเล็กเพื่อทำให้เบาที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ซึ่งขดลวดเคลื่อนที่นี้จะตอบสนองกับแรงดันโดยที่จะมีตัวต้านทานมัลติพลายเออร์ต่ออนุกรมกับมันอยู่




**รูปที่ 7.23** วัตต์มิเตอร์ (ก) โครงสร้างของส่วนเคลื่อนที่แบบอิเล็กโตรไดนาโมมิเตอร์ภายใน (ข) ลักษณะรูปร่างหน้าตาของวัตต์มิเตอร์ (www.tpub.com)




**รูปที่ 7.24** การต่อวัตต์มิเตอร์ กรณีที่ให้แรงบิดตามเข็มนาฬิกา กระแสที่ไหลในขดลวดกระแสและในขดลวดแรงดันที่เกิดพร้อมกันจะต้องอยู่ในทิศทางเดียวกัน

### 7.7.1 การต่อวัตต์มิเตอร์ใช้งานในไฟระบบ 1 เฟส

แม้ว่าจะต่อวัตต์มิเตอร์ใช้งานในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ ก็ต้องสังเกตขั้วของมันให้ถูกต้อง โดยสรุปจากรูปที่ 7.24 จะต้อง

1. ต่อขั้วบวก (+) และลบ (-) ของขดลวดแรงดัน (voltage coil) และขดลวดกระแส (current coil) ให้ถูกต้อง โดยที่
2. ด้านปลายของขดลวดกระแส (ด้าน A) ต้องต่อเข้าที่โหลด นั่นคือกระแสโหลดจะไหลผ่านขดลวดกระแส
3. ด้านปลายของขดลวดแรงดัน (ด้าน V) ต้องต่อกลับไปยังแหล่งจ่ายไฟฟ้า

### 7.7.2 การต่อวัตต์มิเตอร์ใช้งานในไฟระบบ 3 เฟส

#### 7.7.2.1 ระบบโหลดสมดุล (Balance Load)

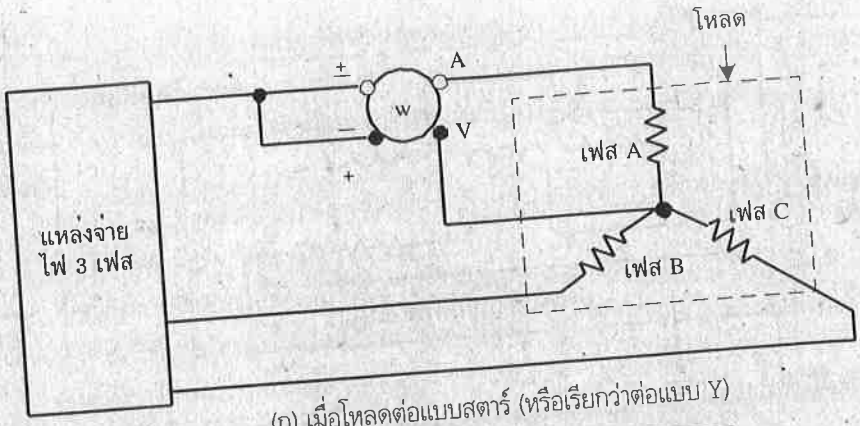
คือกรณีที่โหลดทั้ง 3 เฟสสมดุลกัน ดังนั้นกำลังรวมถึงกระแสในแต่ละเฟสจะเท่ากัน กำลังที่ได้จะเท่ากับกำลังที่เกิดในแต่ละเฟสคูณด้วย 3 ทำให้เราเพียงแต่วัตต์มิเตอร์ 1 เฟส วัดกำลังในแต่ละเฟสแล้วคูณด้วย 3 ก็จะได้กำลังรวมของระบบ 3 เฟสดังกล่าว การต่อวัดกำลังก็สามารถกระทำได้ดังรูปที่ 7.25

จากรูปที่ 7.25 (ก) สังเกตว่าต้องต่อขดลวดแรงดันของวัตต์มิเตอร์เข้ากับจุดนิวตรอน (Neutral) หรือจุดสตาร์

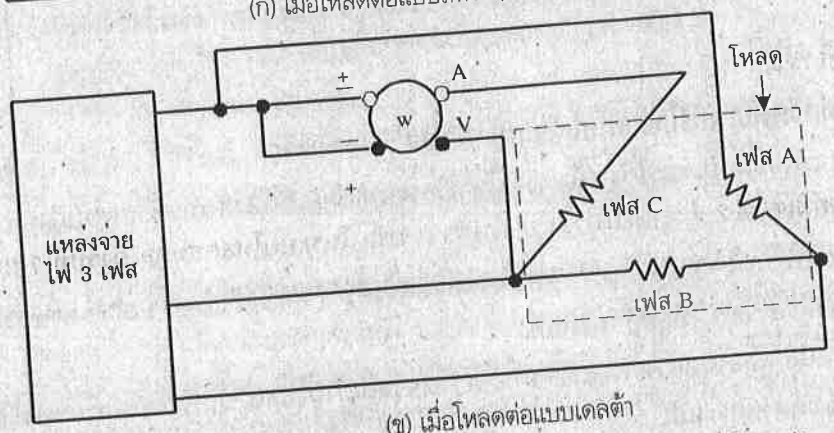
รูปที่ 7.25 (ข) ต้องแยกวงจรของโหลดที่เฟสใดเฟสหนึ่งออก เพื่อวัดกระแส แต่โหลดบางตัวก็ไม่สามารถเข้าถึงจุดนี้ได้ จึงต้องทำดังวิธีในส่วนถัดไป

#### 7.7.2.2 ระบบโหลดไม่สมดุล (Unbalance Load)

เรียกว่าวิธี two wattmeter หรือการใช้วัตต์มิเตอร์ 2 ตัวนั่นเอง วิธีการต่อวัตต์มิเตอร์ดังกล่าวแสดงดังรูปที่ 7.26 ซึ่งก็ใช้กับการต่อโหลดแบบสตาร์หรือโหลดแบบเดลต้า หรือกับโหลดสมดุลหรือไม่สมดุลก็ได้



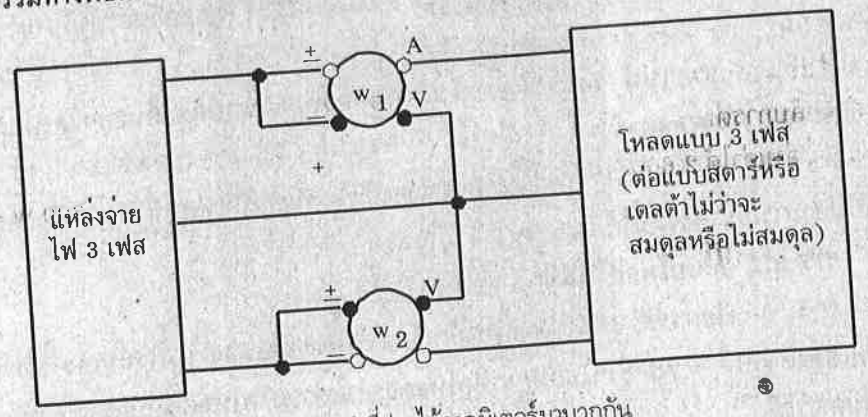

(ก) เมื่อโหลดต่อแบบสตาร์ (หรือเรียกว่าต่อแบบ Y)



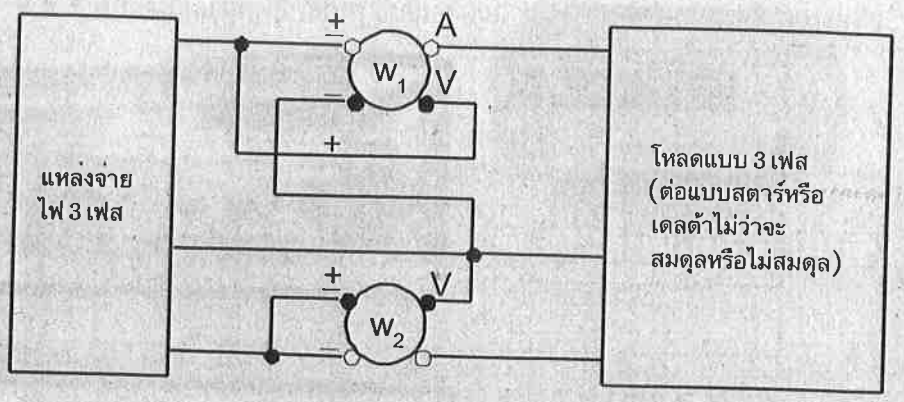

(ข) เมื่อโหลดต่อแบบเดลต้า

**รูปที่ 7.25** การต่อวัตต์มิเตอร์เพื่อวัดกำลังในไฟฟ้าระบบ 3 เฟส ที่มีโหลดสมดุล ซึ่งใช้วัตต์มิเตอร์เพียงตัวเดียวเท่านั้น (Richard J. Fowler. 1992 : 335)

สังเกตว่าในรูปที่ 7.26 วัตต์มิเตอร์จะวัดค่ากระแสไลน์และแรงดันไลน์ ดังนั้น ผลรวมทางพีชคณิตของมิเตอร์ 2 ตัวที่อ่านได้จะเท่ากับพลังงานรวมของระบบ (ต้องพิสูจน์โดยใช้ปริมาณเวกเตอร์) โดยปกติการต่อดังรูปที่ 7.26(ก) จะทำให้มิเตอร์ทั้งคู่บ่ายเบนไปทิศทางตามเข็มนาฬิกา ซึ่งถ้าเป็นดังนี้ ผลรวมทางพีชคณิตของการอ่านค่าทั้ง 2 ตัวก็จะหาได้โดยการบวกค่าตัวเลขทั้งสองตัวเข้าด้วยกัน




(ก) นำค่าที่อ่านได้จากมิเตอร์มาบวกกัน




(ข) นำค่าที่อ่านได้จากมิเตอร์มาลบกัน

**รูปที่ 7.26** การวัดกำลังในระบบ 3 เฟสแบบโหลดสมดุล หรือในแบบโหลดไม่สมดุล ซึ่งวิธีในข้อ (ข) จะใช้กับโหลดไม่สมดุลบางระบบ
(Richard J. Fowler. 1992 : 336)

**ตัวอย่างที่ 7.4** วัตต์มิเตอร์ 2 ตัวถูกนำไปวัดกำลังไฟฟ้า 3 เฟส ในระบบโหลดสมดุล ดังรูปที่ 7.27(ก) ตัวแรกอ่านค่าได้ 2,800 วัตต์ ตัวที่สองอ่านค่าได้ 1,600 วัตต์ กำลังไฟฟ้ารวมของระบบ 3 เฟสจะมีค่าเป็นเท่าใด

**ค่าที่ต้องการหา** กำลังไฟฟ้ารวมในระบบ 3 เฟส

**สิ่งที่ทราบ** กำลังไฟฟ้ารวม = กำลังที่อ่านได้จากวัตต์มิเตอร์ตัวที่ 1 + กำลังที่อ่านได้จากวัตต์มิเตอร์ตัวที่ 2

**วิธีทำ**

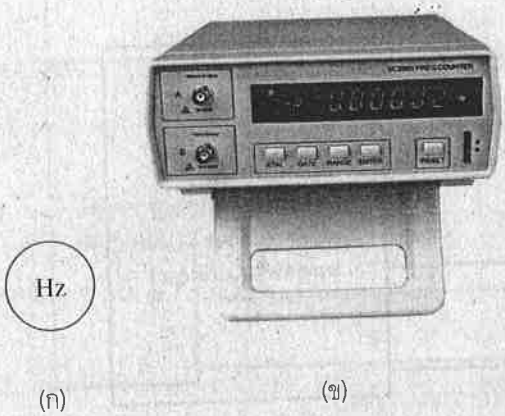
$$W_t = W_1 + W_2$$
$$= 2{,}500\ W + 1{,}600\ W$$
$$= 4{,}400\ W$$

**คำตอบ** กำลังไฟฟ้ารวมของระบบที่ต่อดังรูปที่ 7.26 (ก) เท่ากับ 4,400 วัตต์

แต่บางครั้งหากโหลดไม่สมดุลอย่างมาก ขั้วในรูปที่ 7.26(ก) ก็จะทำให้เข็มบ่ายเบนกลับอีกด้านหนึ่งของมิเตอร์ ถ้าเป็นเช่นนี้ก็ให้กลับขั้วแรงดันที่ขดลวดแรงดัน ซึ่งแสดงดังรูปที่ 7.26(ข) ในตอนนี้ผลรวมทางพีชคณิตของมิเตอร์ทั้ง 2 ที่อ่านค่าได้ คือการลบค่าที่น้อยกว่าออกจากค่าที่มากกว่า ตัวอย่างเช่น สมมติว่าเราต่อมิเตอร์ดังรูปที่ 7.26(ก) และ $W_1$ บ่ายเบนตามทิศทางทวนเข็มนาฬิกา ดังนั้นเราจะต้องกลับการต่อขดลวดแรงดัน $W_1$ ซึ่งก็เป็นดังรูปที่ 7.26(ข) สมมติว่าตอนนี้ $W_1$ อ่านค่าได้ 300 วัตต์ และ $W_2$ อ่านค่าได้ 2,600 วัตต์ กำลังไฟฟ้ารวมของระบบก็จะเท่ากับ 2,600 W - 300 W = 2,300 W

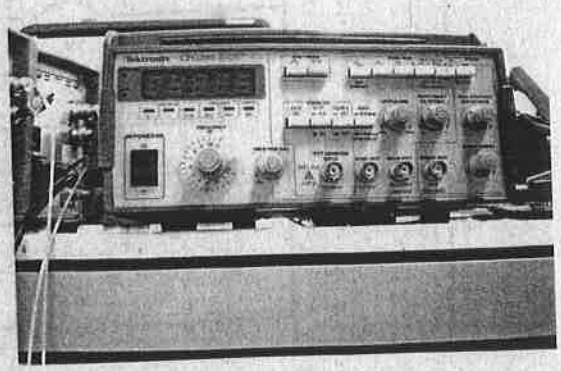
## 7.8 มิเตอร์วัดความถี่ (Frequency Meters)

เราสามารถวัดความถี่ของรูปคลื่นได้ โดยใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ได้หลาย ๆ แบบ เช่น เครื่องนับความถี่ทางดิจิตอล (digital frequency meter) และมิเตอร์วัดความถี่แบบเฮเตโรไดน์ (heterodyne frequency meter) อุปกรณ์เหล่านี้สามารถวัดความถี่ได้ถึงร้อยเมกะเฮิรตซ์




(ก) (ข)

**รูปที่ 7.27** มิเตอร์วัดความถี่ (ก) สัญลักษณ์ (ข) มิเตอร์วัดความถี่แบบดิจิตอล



**รูปที่ 7.28** รูปร่างของเครื่องกำเนิดสัญญาณ

มิเตอร์วัดความถี่ทางอิเล็กทรอนิกส์สามารถวัดความถี่ได้ในช่วงแคบ ๆ นั่นคืออยู่ในช่วงความถี่ของระบบกำลังทั่วไป ส่วนมิเตอร์แบบไวเบรติ้ง - หรีด (vibrating - reed meter) และมิเตอร์วัดความถี่ทางไฟฟ้าส่วนใหญ่จะวัดความถี่ได้ในช่วง 58 - 62 เฮิรตซ์ อย่างไรก็ตาม ในปัจจุบัน มัลติมิเตอร์แบบดิจิตอลมิเตอร์บางตัวก็สามารถวัดความถี่โดยใช้หลักการแบบนี้ด้วย

## 7.9 เครื่องกำเนิดสัญญาณไฟฟ้า (Function Generators)

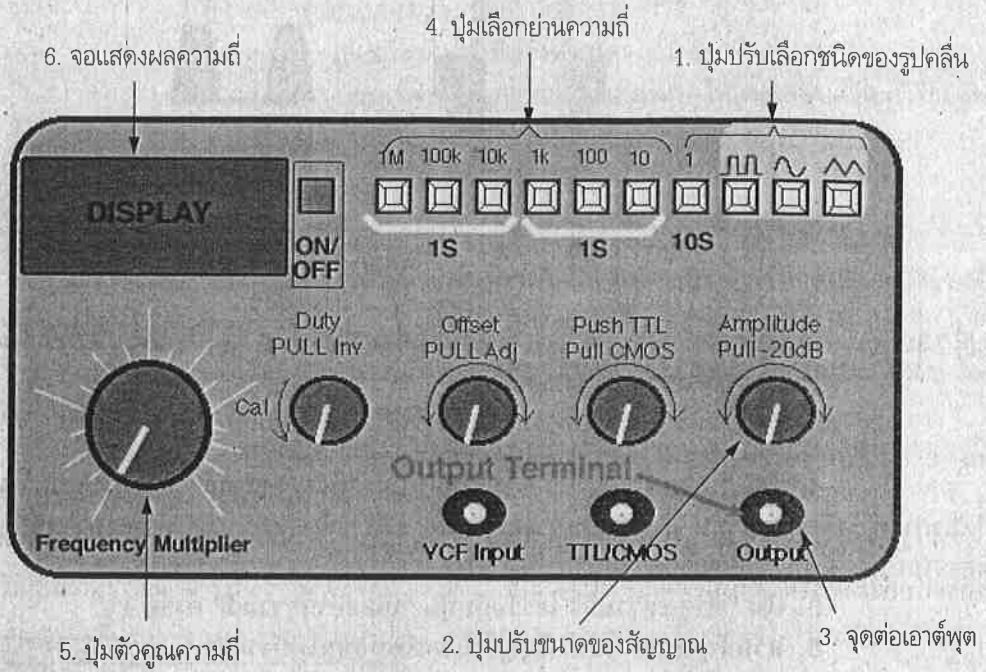
เครื่องกำเนิดสัญญาณ คือ เครื่องมือที่ใช้ผลิตสัญญาณไฟฟ้ารูปร่างต่าง ๆ ถ้าให้ดีจะต้องสามารถปรับได้ทั้งขนาด (magnitude) ความถี่ (frequency) ของสัญญาณได้ ในรูปที่ 7.29 จะแสดงสัญลักษณ์ของเครื่องกำเนิดสัญญาณ ส่วนในรูปที่ 7.30 จะแสดงเครื่องกำเนิดสัญญาณสมัยใหม่ ซึ่งมีหน้าจอแสดงความถี่ที่สามารถผลิตได้ในรูปของตัวเลข

เครื่องกำเนิดสัญญาณ มีประโยชน์สำหรับการทดลองหรือทดสอบวงจรอิเล็กทรอนิกส์ เพื่อดูการทำงานว่าอุปกรณ์ในวงจรทำงานเหมาะสมหรือถูกต้องหรือไม่ อย่างไร

(ก) (ข) (ค)

**รูปที่ 7.29** สัญลักษณ์ของเครื่องกำเนิดสัญญาณไฟฟ้า
(ก) สัญญาณพัลซ์ (ข) สัญญาณฟันเลื่อย (ค) สัญญาณสเต็ป

### 7.9.1 ปุ่มปรับและจุดต่อหลัก ๆ ของเครื่องกำเนิดสัญญาณ จะแสดงดังรูปที่ 7.30 อันได้แก่




**รูปที่ 7.30** ปุ่มปรับพื้นฐานของเครื่องกำเนิดสัญญาณ
(http://www.ee.usyd.edu.au/)

**1. ปุ่มกด** "เลือกชนิดของรูปคลื่นสัญญาณ" การใช้งานก็เพียงแต่กดลงบนสวิตช์ของรูปคลื่นที่ต้องการ จากรูปที่ 6.30 มีสัญญาณให้เลือก 3 แบบได้แก่

1.1 รูปคลื่นแบบสี่เหลี่ยม (square wave)

1.2 รูปคลื่นแบบไซน์ (sine wave)

1.3 รูปคลื่นแบบฟันเลื่อย (saw tooth)

**2. ปุ่ม** "ปรับขนาดความสูงของสัญญาณ" เป็นลูกบิดเพื่อปรับความสูงของสัญญาณ ความสูงของสัญญาณยิ่งมาก แสดงว่ากำลังไฟที่จ่ายออกมีค่ามาก

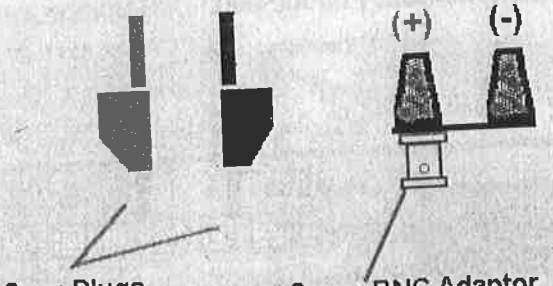
**ข้อควรจำสำหรับการใช้ปุ่มดังกล่าวนี้**

2.1 ก่อนที่จะต่อเอาต์พุตของเครื่องกำเนิดไปใช้งาน เราจะต้องปรับขนาดความสูงก่อนโดยใช้ปุ่มดังกล่าวนี้

2.2 การดึงปุ่มดังกล่าวนี้ขึ้น จะทำให้เอาต์พุตลดขนาดของสัญญาณลง 20 เดซิเบล หมายความว่าแรงดันเอาต์พุตจะออกมาประมาณ 5 มิลลิโวลต์

2.3 เพื่อจะดูขนาดของสัญญาณดังกล่าว ให้ใช้เครื่องมือที่เรียกว่า "ออสซิลโลสโคป" ซึ่งจะเห็นการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณเหล่านี้ได้

**3. จุดต่อเอาต์พุต** เป็นจุดซึ่งนำสัญญาณออก ใช้คอนเนคเตอร์แบบ BNC ซึ่งต่อได้โดยตรงกับสายโคแอคเชียล (coaxial cable) หรือใช้ปลั๊กเสียบ 3 มิลลิเมตร แต่ต้องใช้ร่วมกับอะแดปเตอร์




(ก) (ข)

**รูปที่ 7.31** (ก) แจ็คเสียบขนาด 3 มม. ใช้สำหรับต่อเข้าแหล่งจ่าย หรือมิเตอร์ แต่ไม่สามารถต่อเข้ากับออสซิลโลสโคป หรือเครื่องกำเนิดสัญญาณได้โดยตรง
(ข) อะแดปเตอร์ใช้สำหรับเปลี่ยนจากแจ็ค 3 มม. เป็นคอนเนคเตอร์แบบ BNC

**4. ปุ่ม** "เลือกย่านความถี่" ใช้ร่วมกับปุ่ม "ตัวคูณความถี่" การควบคุมความถี่เอาต์พุตที่ต้องการทำได้โดยง่าย เช่น ถ้าต้องการความถี่ 12.5 kHz ให้เราหมุนปุ่ม "ตัวคูณความถี่" ไปที่ 12.5 หลังจากนั้นก็กดปุ่ม "เลือกย่านความถี่" ไปที่ 1 kHz

**5. ปุ่ม** "ตัวคูณความถี่" ใช้ร่วมกับปุ่ม "เลือกย่านความถี่" ดังข้อ 4

**6. สายสัญญาณ** ใช้นำสัญญาณเอาต์พุตออกไปยังวงจรภายนอก มีหลาย ๆ แบบ ได้แก่

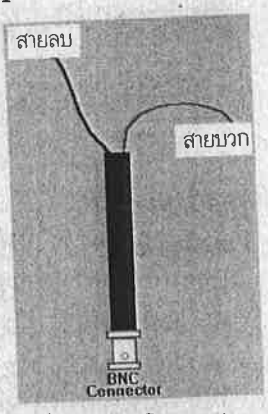
6.1 สายเคเบิล 3 มิลลิเมตร (รูปที่ 7.31)

6.2 สายโคแอคเชียล (รูปที่ 7.32) ข้อควรจำสำหรับการใช้สายโคแอคเชียลคือ

ก. ให้ใช้สายสีดำเป็นจุดต่อลงกราวด์ของวงจรเสมอ

ข. สายชนิดนี้ไม่เหมาะจะใช้กับสัญญาณที่มีค่าต่ำมาก (ประมาณ 1 mV) เนื่องจากอาจจะมีการบิดเบือนสัญญาณจากค่าประจุที่เก็บไว้ในสาย

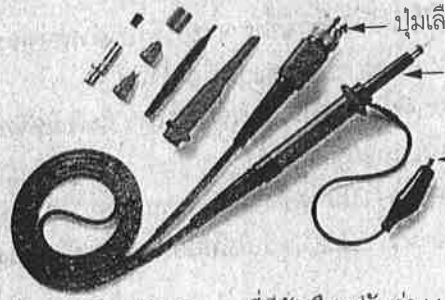
ค. ไม่สามารถใช้สายโคแอคเชียลต่อกับแหล่งจ่ายไฟกระแสตรงหรือดิจิตอลมัลติมิเตอร์ได้




**รูปที่ 7.32** สายโคแอคเชียลที่ด้านปลายใช้คอนเนคเตอร์แบบ BNC

6.3 โพรบ × 10 (รูปที่ 7.32) การใช้งานของโพรบแบบนี้คือ

ก. ใช้กับการวัดที่ต้องการความแน่นอนสูง เช่น ในงานระบบดิจิตอล หรือในงานอิเล็กทรอนิกส์สัญญาณต่ำ ๆ




**รูปที่ 7.33** โพรบวัดสัญญาณที่มีตัวเลือกปรับค่า × 10

ข. ใช้ต่อร่วมกับออสซิลโลสโคป

ค. ปลายคีบแบบปากจระเข้ (clip) ใช้ต่อลงกราวด์

ง. ปลาย (tip) ใช้ต่อไปยังส่วนที่ต้องการวัด

จ. หากต้องการลดขนาดของสัญญาณลง 10 เท่า ทำได้โดยเลื่อนสวิตช์ที่ด้ามจับ

### 7.9.2 การใช้งานเครื่องกำเนิดสัญญาณ

ขั้นตอนการใช้เครื่องกำเนิดสัญญาณมีดังต่อไปนี้

1. เปิดสวิตช์แหล่งจ่ายกำลัง

2. ปรับรูปคลื่นทางเอาต์พุตให้ได้ตามต้องการ นั่นคือเลือกว่าเป็นรูปคลื่นแบบใด หลังจากนั้นจึงกดปุ่ม "เลือกชนิดของสัญญาณ"

3. ปรับความถี่ที่ต้องการ ความถี่ที่ต้องการอยู่ในหน่วยใด เช่น Hz, kHz, MHz โดยกดปุ่ม "เลือกย่านความถี่" และใช้ปุ่มบิด "ตัวคูณความถี่"

4. ต่อเอาต์พุตไปยังวงจรที่ต้องการสัญญาณดังกล่าว โดยอาจจะใช้สายเสียบ 3 มม. หรือสายโคแอคเชียลอย่างใดอย่างหนึ่ง

## กิจกรรมท้ายหน่วยที่ 7

**ตอนที่ 1** *จงเติมคำหรือข้อความลงในช่องว่างให้ถูกต้อง*

1. จงเขียนสัญลักษณ์ของเครื่องมือวัดไฟฟ้าต่อไปนี้

   1.1 แอมป์มิเตอร์ _____

   1.2 โวลต์มิเตอร์ _____

   1.3 โอห์มมิเตอร์ _____

   1.4 วัตต์มิเตอร์ _____

   1.5 มิเตอร์วัดความถี่ _____

   1.6 เครื่องกำเนิดสัญญาณไฟฟ้า _____

2. เฟสมิเตอร์ คือ _____

3. เทอร์โมมิเตอร์ คือ _____

4. ถ้าจะวัดความเร็วรอบของเพลามอเตอร์ ต้องใช้ _____

5. _____ ใช้วัดกำลังไฟฟ้าที่สูญเสียไปในระบบ