หน่วยที่ 8

วงจรไฟฟ้าเบื้องต้น

8.1 บทนำ

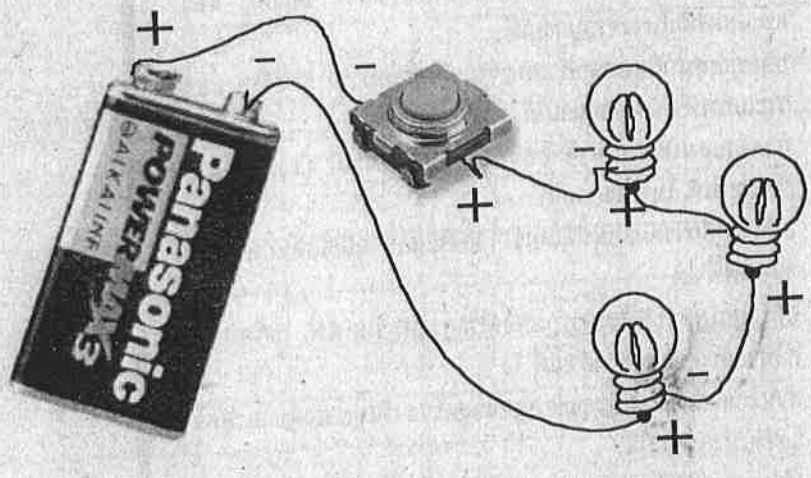
หลังจากที่เราได้รู้จักอุปกรณ์ไฟฟ้าและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์พื้นฐานไปแล้ว ในบทนี้เราจะทำความเข้าใจการต่อวงจร การคำนวณหาค่าตัวแปรเบื้องต้นต่าง ๆ รวมถึงวิธีการวัดค่าตัวแปรเหล่านี้ในวงจรไฟฟ้า ซึ่งจะต้องใช้ความรู้จากบทที่ผ่านมาแล้วเป็นพื้นฐาน วงจรไฟฟ้าสามารถแยกได้เป็น 3 ประเภท ได้แก่ 1) วงจรอนุกรม 2) วงจรขนาน และ 3) วงจรผสม

8.2 วงจรอนุกรม (Series Circuit)

ในรูปที่ 8.1 จะแสดงการต่อวงจรของหลอดไฟฉายแบบอนุกรมเข้ากับแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง ซึ่งเป็นถ่านไฟฉาย ส่วนในรูปที่ 8.2 จะแสดงไดอะแกรมคร่าว ๆ ของวงจรในรูปที่ 8.1

8.2.1 คุณสมบัติของวงจรอนุกรม

ก. คุณสมบัติของกระแสที่ไหลในวงจรอนุกรม : พบว่า "กระแสที่ไหลผ่านอุปกรณ์แต่ละตัวในวงจรอนุกรมจะมีค่าเท่ากัน" นั่นคือ



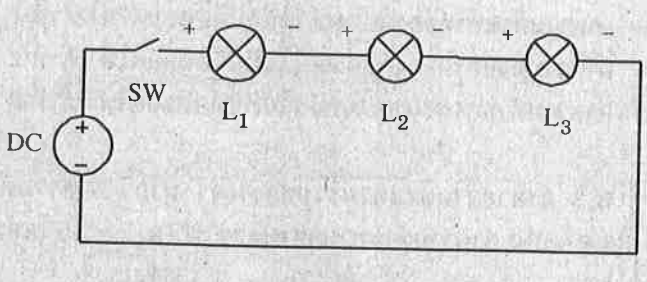
รูปที่ 8.1 การต่อหลอดไฟ 3 หลอดแบบอนุกรมในวงจรไฟฟ้ากระแสตรง

โดยอ้างจากรูปที่ 8.2

$$I_T = IR_1 = IR_2 = IR_3 \qquad (8.1)$$

เมื่อ I_T = กระแสที่ออกจากแหล่งจ่าย

I_{R1} = กระแสที่ผ่านหลอดไฟ (หรือมองให้เป็นตัวต้านทาน) หลอดที่ 1



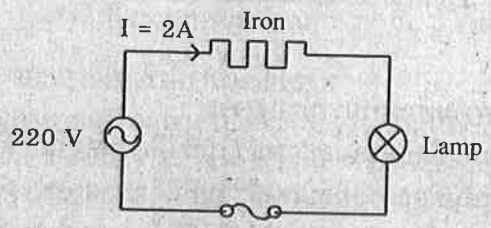
รูปที่ 8.2 ไดอะแกรมคร่าว ๆ ของวงจรในรูปที่ 8.1

I_{R2} = กระแสที่ผ่านหลอดไฟ (หรือมองให้เป็นตัวต้านทาน) หลอดที่ 2

I_{R3} = กระแสที่ผ่านหลอดไฟ (หรือมองให้เป็นตัวต้านทาน) หลอดที่ 3

ข้อสังเกต เมื่ออุปกรณ์ตัวใดตัวหนึ่งในวงจรขาด จะทำให้วงจรเปิดมีผลให้อุปกรณ์ตัวที่เหลือไม่ทำงานไปด้วย จึงไม่ใช้วงจรนี้ต่อเป็นระบบไฟฟ้าไม่ว่าในบ้านหรือในโรงงาน

ตัวอย่างที่ 8.1 จากรูปที่ 8.3 สมมติว่ากระแสไหลผ่านแหล่งจ่ายเท่ากับ 2 แอมป์ จงหากระแสที่ไหลผ่านหลอดไฟ (lamp) และผ่านเตารีด (iron)



รูปที่ 8.3 วงจรสำหรับตัวอย่างที่ 8.1

กำหนด จากกฎของวงจรอนุกรม "กระแสไหลผ่านอุปกรณ์แต่ละตัวจะเท่ากัน"

ค่าที่ต้องการหา กระแสที่ผ่านเตารีด และหลอดไฟ

คำตอบ ดังนั้นกระแสส่วนที่ผ่านเตารีด = กระแสที่ผ่านหลอดไฟ = 2 A

ข. คุณสมบัติของค่าความต้านทานรวมในวงจรอนุกรม : พบว่า "ผลรวมของค่าความต้านทานในวงจรอนุกรมทั้งหมด คือการนำเอาค่าความต้านทานแต่ละตัวมาบวกเข้าด้วยกัน" หรือ

$$R_T = R_1 + R_2 + R_3 \quad (8.2)$$

เมื่อ R_T = ค่าความต้านทานรวมของวงจร
R_1 = ค่าความต้านทานของอุปกรณ์ (ในที่นี้คือหลอดไฟ) ตัวที่ 1
R_2 = ค่าความต้านทานของอุปกรณ์ (ในที่นี้คือหลอดไฟ) ตัวที่ 2
R_3 = ค่าความต้านทานของอุปกรณ์ (ในที่นี้คือหลอดไฟ) ตัวที่ 3

ตัวอย่างที่ 8.2 จากรูปที่ 8.3 จงหาความต้านทานรวมของวงจร หากว่าค่าความต้านทานของเตารีด (R_1) = 50.2 โอห์ม ค่าความต้านทานของหลอดไฟ (R_2) = 35 โอห์ม

กำหนด ค่าความต้านทานของเตารีด (R_1) = 50.2 โอห์ม
ค่าความต้านทานของหลอดไฟ (R_2) = 35 โอห์ม

ค่าที่ต้องการหา ค่าความต้านทานรวมของวงจร

สูตรที่ทราบ $R_T = R_1 + R_2$

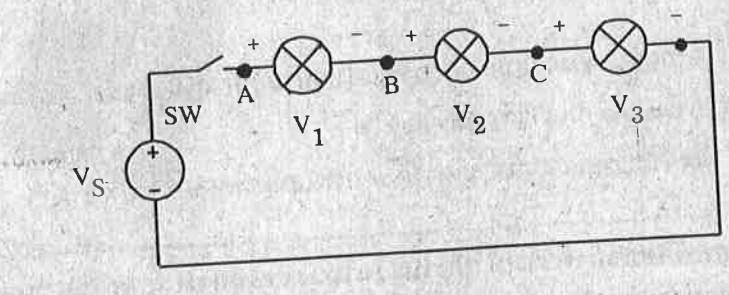
วิธีทำ
$$R_T = 50.2\ \Omega + 35\ \Omega$$
$$= 85.2\ \Omega$$

คำตอบ ค่าความต้านทานรวมของวงจรอนุกรมดังกล่าวนี้เท่ากับ 85.2 โอห์ม

ค. คุณสมบัติของแรงดันไฟฟ้าในวงจรอนุกรม : พบว่า "ผลรวมของแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมอุปกรณ์แต่ละตัว จะเท่ากับแรงดันไฟฟ้าที่แหล่งจ่าย" หรือ

$$V_T = V_1 + V_2 + V_3 \quad (8.$$

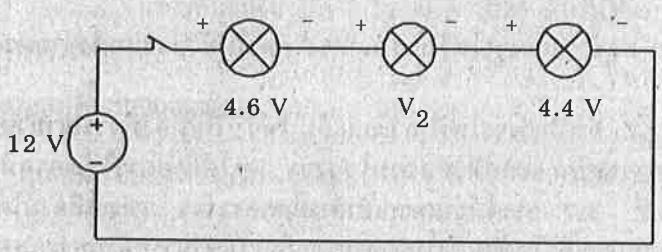
เมื่อ V_T = ค่าความต้านทานรวมของวงจร
V_1 = แรงดันที่ตกคร่อมอุปกรณ์ (ในที่นี้คือหลอดไฟ) ตัวที่ 1
V_2 = แรงดันที่ตกคร่อมอุปกรณ์ (ในที่นี้คือหลอดไฟ) ตัวที่ 2
V_3 = แรงดันที่ตกคร่อมอุปกรณ์ (ในที่นี้คือหลอดไฟ) ตัวที่ 3



รูปที่ 8.4 ขั้วของแรงดันไฟฟ้าในวงจรอนุกรม

ซึ่งความสัมพันธ์ดังสมการที่ (8.3) นี้เรียกว่า **"กฎแรงดันของเคอร์ชอฟฟ์"** (Kirchoff's voltage law) ส่วนขั้วของแรงดันไฟฟ้าในวงจรอนุกรมที่เกิดขึ้น จะเป็นดังรูปที่ 8.4 จากรูปจะเห็นว่าที่จุด B และ C จะมีทั้งขั้ว + และ – แต่ในความจริงไม่ได้เป็นเช่นนั้น ความจริงคือที่จุด B จะมีศักย์เป็น + เมื่อเทียบกับจุด C และที่จุด C จะเป็น + เมื่อเทียบกับ – แต่ B จะเป็น – เมื่อเทียบกับจุด A

ตัวอย่างที่ 8.3 จากรูปที่ 8.5 จงหาแรงดันไฟฟ้าซึ่งตกคร่อมหลอดไฟหลอดที่ 2



รูปที่ 8.5 วงจรสำหรับตัวอย่างที่ 8.3

กำหนด แรงดันแหล่งจ่าย (V_S) = V_T = 12 โวลต์
แรงดันตกคร่อมหลอดที่ 1 (V_1) = 4.6 โวลต์
แรงดันตกคร่อมหลอดที่ 3 (V_3) = 4.4 โวลต์

ค่าที่ต้องการหา แรงดันตกคร่อมหลอดที่ 2

สูตรที่ทราบ

$$V_T = V_1 + V_2 + V_3$$

วิธีทำ

$$12\ V = 4.6\ V + V_{R2} + 4.4\ V$$

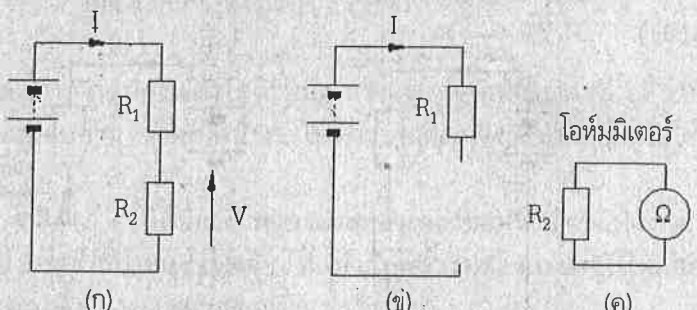
$$V_{R2} = 12\ V - 4.6\ V - 4.4\ V = 3\ V$$

คำตอบ แรงดันซึ่งตกคร่อมหลอดที่ 2 เท่ากับ 3 โวลต์

8.2.2 การวัดตัวแปรทางไฟฟ้าในวงจรอนุกรม

ก. การวัดค่าความต้านทาน ไม่ว่าจะเป็นวงจรแบบใด มีข้อควรจำดังนี้

1. อุปกรณ์วัดค่าความต้านทานเรียกว่า "โอห์มมิเตอร์"
2. ก่อนจะวัดค่าความต้านทานอุปกรณ์ไฟฟ้าใด ๆ **ต้องปลดแหล่งจ่ายไฟฟ้าออกจากตัวมันก่อนเสมอ** หลังจากนั้นจึงถอดตัวต้านทานตัวที่ต้องการวัดค่าออกดังรูปที่ 8.6 (ข) (เพื่อความปลอดภัยของผู้ใช้และโอห์มมิเตอร์)



รูปที่ 8.6 การต่อโอห์มมิเตอร์วัดค่าความต้านทานในวงจรอนุกรม (ก) วงจรก่อนที่จะทำการวัด (ข) ปลดตัวต้านทานที่จะวัด (ในรูปคือ R_2) ออกจากแหล่งจ่ายก่อนเสมอ (ค) วัดค่าความต้านทานโดยคร่อมโอห์มมิเตอร์เข้ากับตัวต้านทานหรืออุปกรณ์ที่จะวัด

3. การวัดค่าความต้านทานไม่จำเป็นต้องพิจารณาขั้วบวก - ลบของมิเตอร์
4. การวัดค่าความต้านทานของอุปกรณ์ไฟฟ้า ทำได้โดยการอนุกรมโอห์มมิเตอร์เข้ากับอุปกรณ์นั้น ๆ (ดังรูปที่ 8.6 (ค))

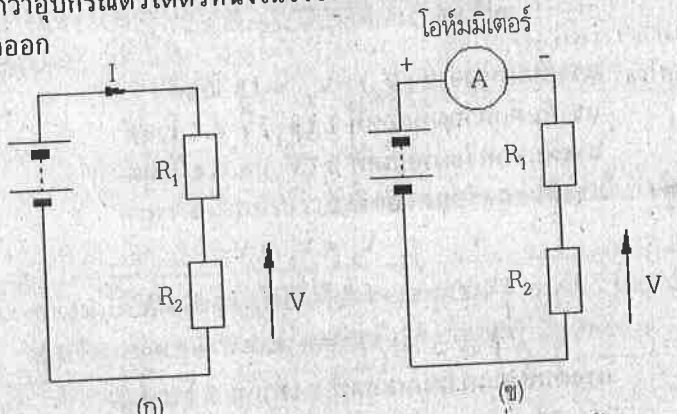
ข. การวัดกระแสไฟฟ้า มีข้อควรจำดังต่อไปนี้

1. อุปกรณ์วัดกระแสไฟฟ้าเรียกว่า "แอมป์มิเตอร์"
2. การจะวัดกระแสให้แทรกแอมป์มิเตอร์เข้าไปอยู่เป็นส่วนหนึ่งของวงจร (ดังรูปที่ 8.7 (ข)) และตรวจดูว่า

2.1 ถ้าเป็นวงจรไฟฟ้ากระแสตรง **ต้องให้ขั้วของแหล่งจ่ายตรงกับขั้วของมิเตอร์** (รูปที่ 8.7 (ข))

2.2 ถ้าเป็นวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ **ไม่จำเป็นต้องพิจารณาขั้วของมิเตอร์**

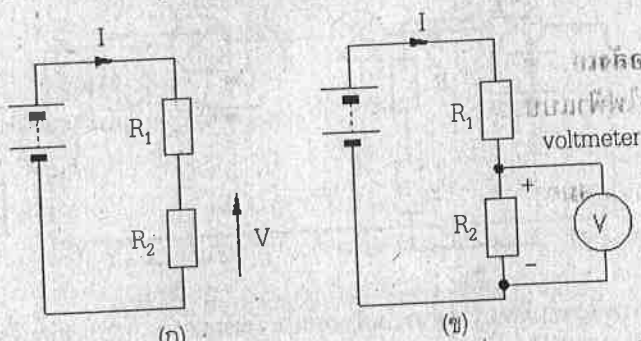
การจะวัดกระแสที่ไหลผ่านในวงจร ทำได้โดยการให้แทรกมิเตอร์เข้าไปไว้เป็นส่วนหนึ่งของวงจร ดังรูปที่ 8.7 และไม่ว่าแทรกเข้าส่วนใดของวงจร กระแสที่อ่านได้ในวงจรอนุกรมนี้ก็จะเท่ากัน และหากว่าอุปกรณ์ตัวใดตัวหนึ่งในวงจรขาด ก็จะไม่สามารถอ่านกระแสจากแอมป์มิเตอร์ได้เนื่องจากว่าวงจรเปิดออก



รูปที่ 8.7 การวัดกระแสในวงจรอนุกรม (ก) วงจรก่อนที่จะทำการวัด
(ข) ขณะวัดกระแสต้องแทรกแอมป์มิเตอร์เข้าเป็นส่วนหนึ่งของวงจร

ค. การวัดแรงดันไฟฟ้า มีจุดควรจำดังต่อไปนี้

1. เครื่องมือวัดแรงดันไฟฟ้าเรียกว่า "โวลต์มิเตอร์"
2. การจะวัดแรงดันไฟฟ้า **ให้คร่อมโวลต์มิเตอร์เข้ากับอุปกรณ์ที่จะวัด** และตรวจดูว่า
   2.1 ถ้าเป็นวงจรไฟฟ้ากระแสตรง **ต้องให้ขั้วของแหล่งจ่ายตรงกับขั้วของมิเตอร์** (ดังรูปที่ 8.8 (ข))



รูปที่ 8.9 การวัดแรงดันไฟฟ้าในวงจรอนุกรม (ก) วงจรก่อนที่จะทำการวัดแรงดัน
(ข) ขณะต่อโวลต์มิเตอร์เพื่อวัดแรงดัน สังเกตว่าให้ต่อคร่อม (ขนาน) มิเตอร์เข้ากับอุปกรณ์นั้น ๆ

2.2 ถ้าเป็นวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ ไม่จำเป็นต้องพิจารณาขั้วของมิเตอร์การจะทำการวัดแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมอุปกรณ์ไฟฟ้าตัวใด ก็สามารถทำได้ดังรูปที่ 8.9

8.3 วงจรขนาน (Parallel Circuits)

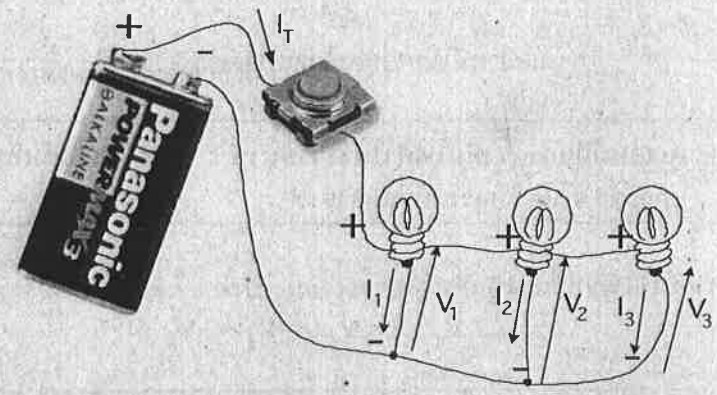
วงจรขนาน คือ วงจรที่มีทางเดินกระแสมากกว่า 1 เส้นทาง ทางเดินของกระแสแต่ละเส้นทางนี้จะเรียกว่า "สาขา" (branch) วงจรขนานในรูปที่ 8.10 มี 3 สาขา จึงทำให้มีกระแสไหลได้ 3 เส้นทาง แต่สุดท้ายก็จะกลับมารวมกัน

8.3.1 คุณสมบัติของวงจรขนาน

ก. คุณสมบัติของกระแสในวงจรขนาน : พบว่า "กระแสรวมคือ การนำกระแสในแต่ละสาขามาบวกเข้าด้วยกัน"

หากมีวงจรไฟฟ้าดังรูปที่ 8.10 และทำการเปิดสวิตช์ให้กระแสไหลเข้าพร้อมกัน ก็สามารถจะเขียนสมการกระแสได้เป็น

$$I_T = I_1 + I_2 + I_3 \qquad (8.4)$$

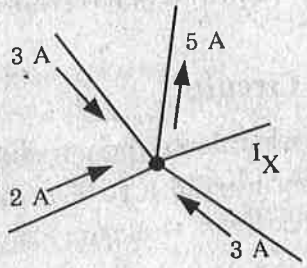


รูปที่ 8.10 การต่อวงจรขนานซึ่งมีสาขา 3 สาขา

ข้อสังเกต หากว่าอุปกรณ์ตัวใดตัวหนึ่งในวงจรขาด อุปกรณ์ตัวที่เหลือก็ยังคงทำงานได้ ไม่เหมือนกับวงจรไฟฟ้าแบบอนุกรม ด้วยเหตุนี้วงจรไฟฟ้าแบบขนานจึงถูกนำมาต่อเพื่อใช้ในบ้านและในโรงงานเสมอ

ผลจากสมการที่ (8.4) นี้เรียกว่า **"กฎกระแสของเคอร์ชอฟฟ์"** (Kirchhoff 4's current law) ซึ่งกล่าวไว้ว่า **"ผลรวมของกระแสที่ไหลเข้าจุดต่อ จะเท่ากับผลรวมของกระแสที่ไหลออกจากจุดต่อ"** เพื่อให้เข้าใจง่ายยิ่งขึ้น ให้ดูรูปที่ 8.11 ของตัวอย่างที่ 8.4 ประกอบ

ตัวอย่างที่ 8.4 จากรูปที่ 8.11 จงหากระแส I_X



รูปที่ 8.11 รูปสำหรับตัวอย่างที่ 8.4 การไหลของกระแสตามกฎกระแสของเคอร์ชอฟฟ์ "ผลรวมของกระแสที่ไหลเข้าเท่ากับผลรวมของกระแสที่ไหลออก"

กำหนด จากกฎของเคอร์ชอฟฟ์ "กระแสไหลเข้าจุดต่อ = กระแสไหลออกจากจุดต่อ"

ค่าที่ต้องการหา กระแส I_X

ค่าที่ทราบ ให้กระแสไหลเข้าเป็น + (บวก) ซึ่งเท่ากับ + 3 A, + 2 A และ + 3 A
ส่วนกระแสไหลออกเป็น - (ลบ) ซึ่งเท่ากับ - 5 A

วิธีทำ

$$I_X = 3\ A + 2\ A + 3\ A - 5\ A$$
$$= 3\ A$$

คำตอบ กระแสส่วนที่ไม่ทราบค่าไหลเข้าจุดต่อ 3 แอมป์

ข. คุณสมบัติของแรงดันไฟฟ้าในวงจรขนาน : พบว่า "แรงดันที่ตกคร่อมอุปกรณ์แต่ละตัว จะเท่ากับแรงดันที่แหล่งจ่าย"

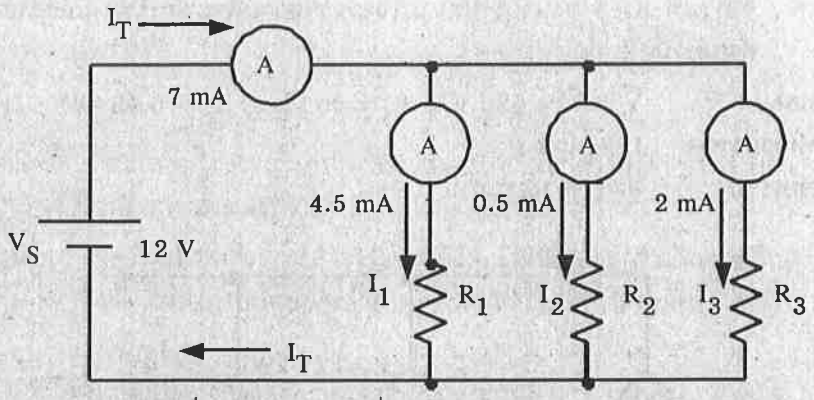
หากอ้างจากรูปที่ 8.10 ก็จะได้ว่า

$$V_S = V_1 = V_2 = V_3 \qquad (8.5)$$

ค. คุณสมบัติของค่าความต้านทานในวงจรขนาน : เราสามารถหาค่าความต้านทานรวมของวงจรได้โดยใช้กฎของโอห์ม

จากวงจรขนานในรูปที่ 8.12 พบว่ากระแสรวมที่ไหลในวงจร เท่ากับผลรวมของกระแสที่ไหลในแต่ละสาขา นั่นคือ $I_T = I_1 + I_2 + I_3$

ส่วนกระแสที่ไหลในแต่ละสาขา คือแรงดันที่คร่อมตัวต้านทานแต่ละตัว หารด้วยค่าความต้านทานนั้น ๆ



รูปที่ 8.12 วงจรขนาน ที่มี 3 สาขา มี $I_T = I_1 + I_2 + I_3$

ดังนั้นค่าความต้านทานรวมจึงหาได้จาก $R_T = \frac{V_T}{I_T}$ และจากเงื่อนไขที่กล่าวมา ดังนั้น

$$R_T = \frac{V_T}{I_T} = \frac{V_T}{I_{R1} + I_{R2} + I_{R3}}$$

$$= \frac{V_T}{\frac{V_T}{R_1} + \frac{V_T}{R_2} + \frac{V_T}{R_3}}$$

หากหารทั้งตัวเศษและตัวส่วนด้วยค่า V_T

$$R_T = \frac{V_T}{\left(\frac{V_T}{R_1} + \frac{V_T}{R_2} + \frac{V_T}{R_3}\right) / V_T}$$

จะได้สูตรหาค่าความต้านทานรวมของวงจรขนานในรูปที่ 8.9 เป็น

$$R_T = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}} \qquad (8.6)$$

จากสมการที่ (8.5) หากตัวต้านทานต่อขนานกัน 2 ตัว

$$R_T = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}} = \frac{1}{\frac{R_2 + R_1}{R_1 R_2}}$$

หรือ

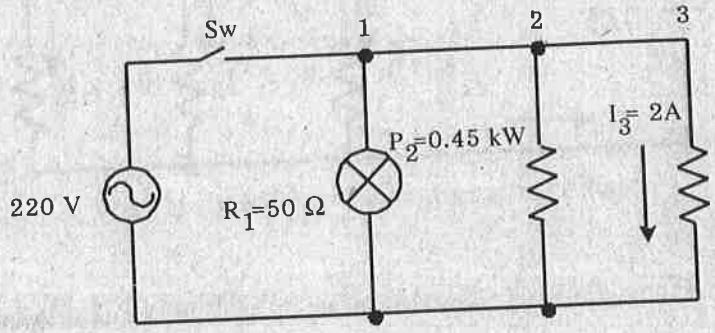
$$R_T = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} \qquad (8.7)$$

ตัวอย่างที่ 8.5 จากรูปที่ 8.13 จงหากระแสรวมในวงจร ความต้านทานรวม และกำลังรวมของวงจรดังกล่าวนี้

กำหนด $V_T = V_S = 220\ V$ $R_1 = 50\ \Omega$ $P_2 = 0.45\ kW$ $I_3 = 2\ A$

ค่าที่ต้องการหา I_T R_T และ P_T

สูตรที่ทราบ สูตรจากวงจรขนาน



รูปที่ 8.13 วงจรสำหรับตัวอย่างที่ 8.5

วิธีทำ จำไว้ว่าแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมโหลดในวงจรขนาน จะมีค่าเท่ากัน

หากระแสแต่ละสาขา เริ่มที่ สาขาที่ 1

$$I_1 = \frac{V_s}{R_T} = \frac{220\ V}{50\ \Omega}$$

$$= 4.4\ A$$

หากระแสที่สาขาที่ 2

$$I_1 = \frac{P_1}{V_s} = \frac{450\ W}{220\ V}$$

$$= 22\ A$$

ส่วนกระแสที่สาขาที่ 3 จากโจทย์กำหนด

$$= 2\ A$$

ดังนั้นกระแสรวมเท่ากับ

$$I_T = I_1 + I_2 + I_3$$

$$= 4.4\ A + 2.05\ A + 2\ A$$

$$= 8.45\ A$$

หาค่าความต้านทานรวมจาก

$$R_T = \frac{V_s}{I_T} = \frac{220\ V}{8.45\ A} = 26.74\ \Omega$$

หาค่ากำลังไฟฟ้ารวมจากสูตร

$$P_T = V_S I_T = 220\ V \times 8.45\ A$$
$$= 1{,}859\ W$$

คำตอบ กระแสรวมในวงจรนี้เท่ากับ 8.45 แอมป์ ส่วนค่าความต้านทานรวมในวงจรเท่ากับ 26.74 โอห์ม และกำลังไฟฟ้าเท่ากับ 1.859 กิโลวัตต์

สังเกต ค่าความต้านทานรวมในวงจรขนานที่ได้จะมีค่า "น้อยกว่าค่าความต้านทานตัวที่น้อยที่สุด" จากตัวอย่างค่าที่น้อยที่สุดที่ต่ออยู่คือ 200 Ω แต่คำตอบที่ได้คือ 120 Ω ซึ่งน้อยกว่า

ตัวอย่างที่ 8.6 จากรูปที่ 8.12 หากกำหนด R_1 = 200 Ω R_2 = 300 Ω และ R_3 = 500 Ω จงหาค่าความต้านทานรวมของวงจรดังกล่าวนี้

กำหนด $R_1 = 200\ \Omega$ $R_2 = 300\ \Omega$ $R_3 = 500\ \Omega$

ค่าที่ต้องการหา ความต้านทานรวม (R_T)

สูตรที่ทราบ $$R_T = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}}$$

วิธีทำ

$$\frac{1}{\frac{1}{200} + \frac{1}{300} + \frac{1}{500}}$$

$$R_T = \frac{1}{0.005 + 0.0033 + 0.002}$$
$$= 97.09\ \Omega$$

คำตอบ ค่าความต้านทานรวมของวงจรขนานนี้เท่ากับ 97.09 โอห์ม

8.3.2 การวัดตัวแปรทางไฟฟ้าในวงจรขนาน

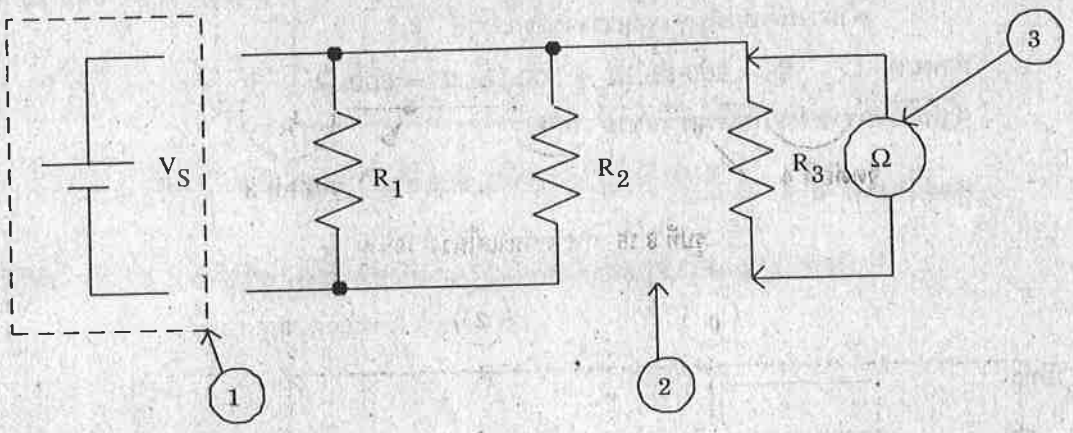
ก. การวัดค่าความต้านทาน ใช้หลักการและวิธีการวัดค่าความต้านทานดังหัวข้อที่ 8.2.2 ก. โดยหากจะวัดค่าความต้านทานตัวใดตัวหนึ่งก็ให้กระทำตามรูปที่ 8.14(ก) นั่นคือ

1. ปลดแหล่งจ่ายออกเพื่อความปลอดภัยของผู้ใช้และตัวโอห์มมิเตอร์เอง
2. ปลดสายระหว่างวงจรออก เพื่อจะวัดเฉพาะตัวต้านทานที่ต้องการ
3. ต่อโอห์มมิเตอร์คร่อมกับตัวต้านทานที่ต้องการวัดความต้านทาน ในที่นี้คือ R_3

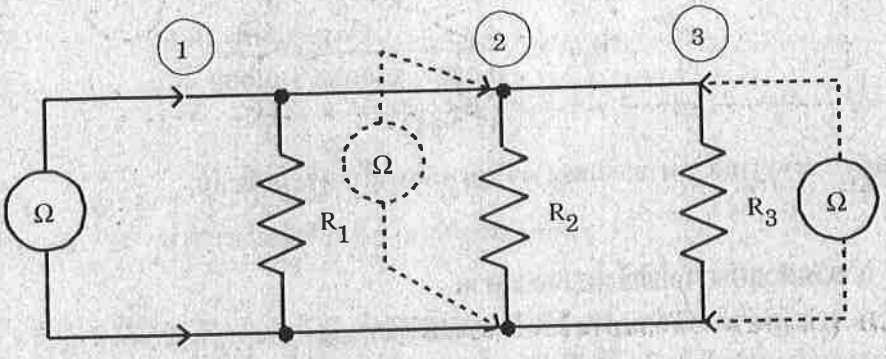
และหากจะวัดค่าความต้านทานรวมของวงจรขนาน ก็สามารถกระทำได้ดังรูปที่ 8.14(ข) จะเห็นว่าขั้นแรกต้องปลดแหล่งจ่ายออก หลังจากนั้นจึงวัดคร่อมที่ปลายสายดังรูป หรือคร่อมที่ตัวต้านทานตัวใดตัวหนึ่งก็ได้ พบว่าค่าความต้านทานที่วัดได้จากจุด 2 และ 3 ก็จะมีค่าเท่ากับค่าความต้านทานจากจุดที่ 1

ข. การวัดกระแสในวงจรขนาน ใช้หลักการและวิธีดังหัวข้อที่ 8.3.1 ก. และรูปที่ 8.12 จากรูปที่ 8.15 หากใช้กฎกระแสของเคอร์ชอฟฟ์ จะได้ความสัมพันธ์ของกระแส ณ จุดต่าง ๆ ในวงจรเป็นดังนี้

$$I_T = I_{R1} + I_A$$
$$I_A = I_{R2} + I_{R3}$$
$$I_{R2} + I_{R3} = I_B$$
$$I_{R1} + I_B = I_T$$
$$I_B = I_A$$



(ก)

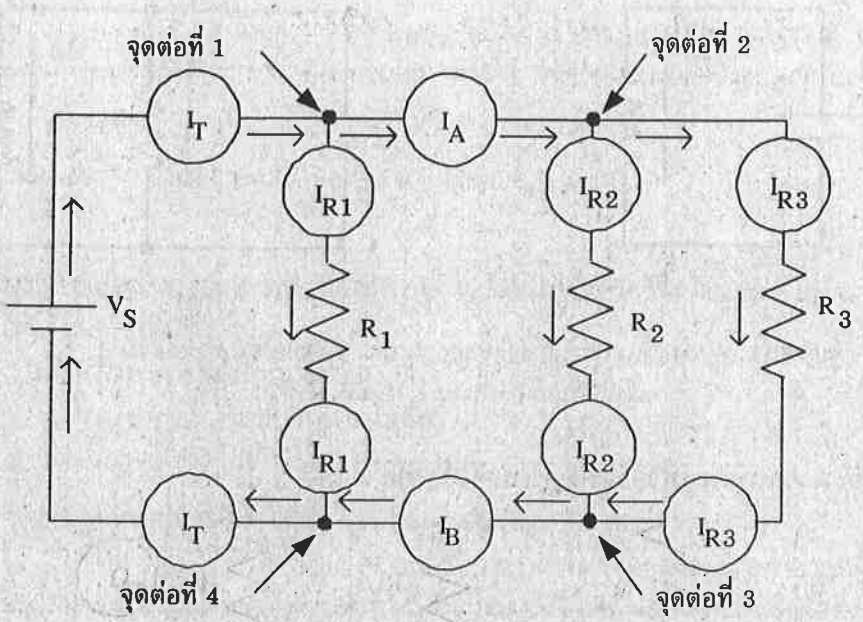


(ข)

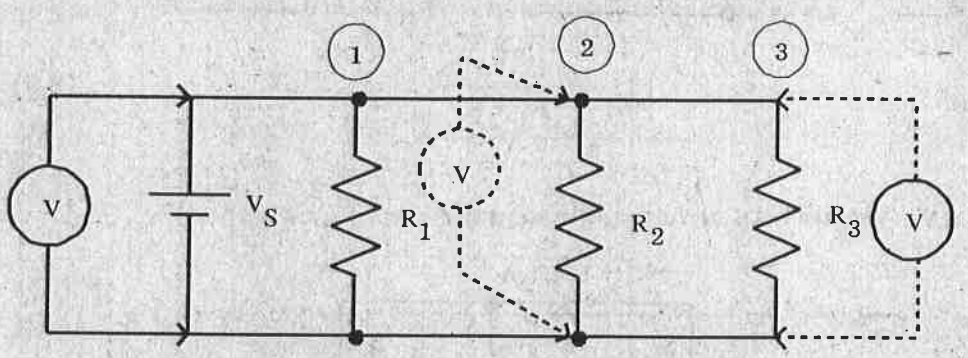
รูปที่ 8.14 การวัดค่าความต้านทานรวมของวงจรขนาน

ค. การวัดแรงดันในวงจรขนาน เราสามารถวัดแรงดันไฟฟ้าโดยใช้หลักการดังหัวข้อที่ 8.3.2 ค. หรือแสดงได้ดังรูปที่ 8.16

จากรูปที่ 8.16 จะพบว่า แรงดันที่วัดคร่อมแหล่งจ่าย V_S จะมีค่าเท่ากับแรงดันที่วัดคร่อม R_1 (ณ จุดที่ 1) และเท่ากับแรงดันที่วัดได้ ณ จุดที่ 2 (ตกคร่อม R_2) และเท่ากับแรงดันที่วัดได้ ณ จุดที่ 3 (ตกคร่อม R_3)



รูปที่ 8.15 การวัดกระแสในวงจรขนาน



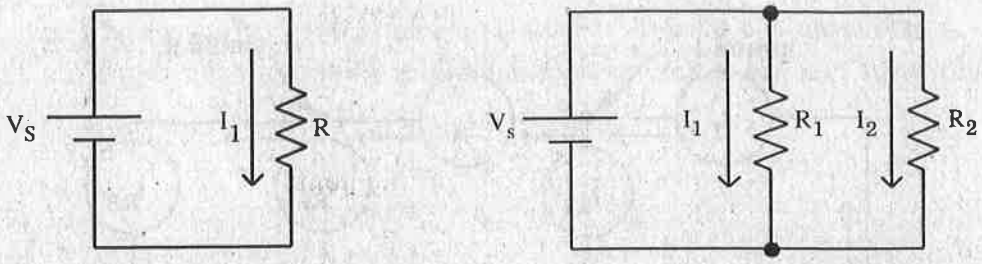
รูปที่ 8.16 วิธีการวัดแรงดันไฟฟ้า ซึ่งก็ใช้หลักการเดิม นั่นคือใช้สายวัดต่อคร่อมอุปกรณ์ดังรูป

8.4 วงจรผสม (Series - Parallel Circuits)

วงจรผสม คือ วงจรที่ประกอบด้วยวงจรอนุกรมและวงจรขนานต่อรวมเข้าด้วยกัน

ในงานอิเล็กทรอนิกส์ส่วนใหญ่ วงจรที่ประกอบในเครื่องใช้ไฟฟ้า เช่น เครื่องรับโทรทัศน์ เครื่องเสียง วิทยุ เครื่องคิดเลข คอมพิวเตอร์ ฯลฯ หากเรามองโดยรวมทั้งหมด วงจรภายในก็คือวงจรผสมนั่นเอง

8.4.1 สูตรการแบ่งกระแสไฟฟ้า (current divider formula) จากรูปที่ 8.17 ด้านล่าง หากว่าเรานำตัวต้านทานมาต่อขนานเข้ากับ R_1 เป็น R_2 กระแสที่ผ่าน R_1 จะเปลี่ยนหรือไม่ คำตอบคือเปลี่ยนไป ส่วนกระแสที่ผ่าน R_2 จะมีค่าเท่าใด



(ก) (ข)

รูปที่ 8.17 (ก) เดิมเป็นวงจรอนุกรมมีกระแส I_1 ผ่าน R_1 (ข) เมื่อต่อตัวต้านทาน R_2 ขนานเข้าไปจะเกิดกระแส I_2 ผ่าน R_2 อีกตัว

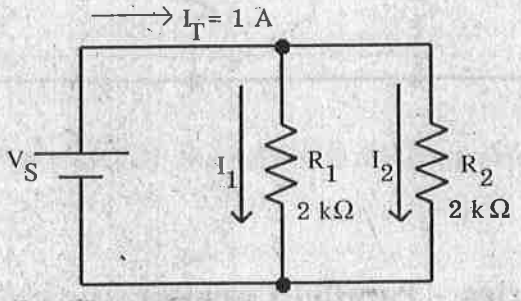
สูตรของวงจรแบ่งกระแส เมื่อจะหากระแสที่ไหลผ่าน R_1 คือ

$$I_{R1} = \frac{I_T R_2}{R_1 + R_2} \qquad (8.8)$$

หรือหากจะหาค่า I_{R2} ก็จะได้ว่า

$$I_{R2} = \frac{I_T R_1}{R_1 + R_2} \qquad (8.9)$$

ตัวอย่างที่ 8.7 จากรูปที่ 8.18 จงหากระแสที่ไหลผ่าน R_2



รูปที่ 8.18 วงจรสำหรับตัวอย่างที่ 8.7

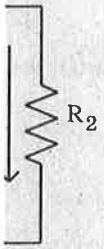
กำหนด $I_T = 1$ A, $R_1 = 2$ kΩ , $R_2 = 2$ kΩ

ค่าที่ต้องการหา I_2 (หรือ I_{R2})

สูตรที่เราทราบ $I_{R2} = \dfrac{I_T R_1}{R_1 + R_2}$

วิธีทำ

$$I_{R2} = \frac{I_T R_1}{R_1 + R_2}$$



$$I_{R2} = \frac{(1A)(2k\Omega)}{(2k\Omega + 2k\Omega)}$$

$$= 0.5\ A$$

คำตอบ ดังนั้นกระแสที่ไหลผ่าน R_2 เท่ากับ 0.5 แอมป์

จากตัวอย่างที่ 8.7 หากว่าเราจะหากระแส I_2 โดยไม่ใช้สูตรการแบ่งกระแส ก็สามารถทำได้โดยใช้กฎของโอห์ม โดยมีลำดับขั้นดังนี้

1. คำนวณหาความต้านทานรวม R_T
2. คำนวณหาค่า V_T โดยใช้กฎของโอห์ม
3. คำนวณหาค่า I_2 โดยใช้กฎของโอห์ม

8.4.2 วงจรแบ่งแรงดันไฟฟ้า (voltage divider formula)

(8.8) จากรูปที่ 8.19(ก) ซึ่งเป็นวงจรอนุกรม พบว่าแรงดันที่ตกคร่อม R_1 จะเท่ากับแหล่งจ่ายนั่นคือ 5 โวลต์ จะเกิดอะไรขึ้นหากเราต่อตัวต้านทาน R_2 อนุกรมเข้าไปอีกตัว แน่นอนว่าแรงดันที่ตกคร่อม R_1 จะลดลง ส่วนแรงดันที่ตกคร่อม R_2 นั้นจะหาด้วยวิธีใดให้ง่ายและรวดเร็ว

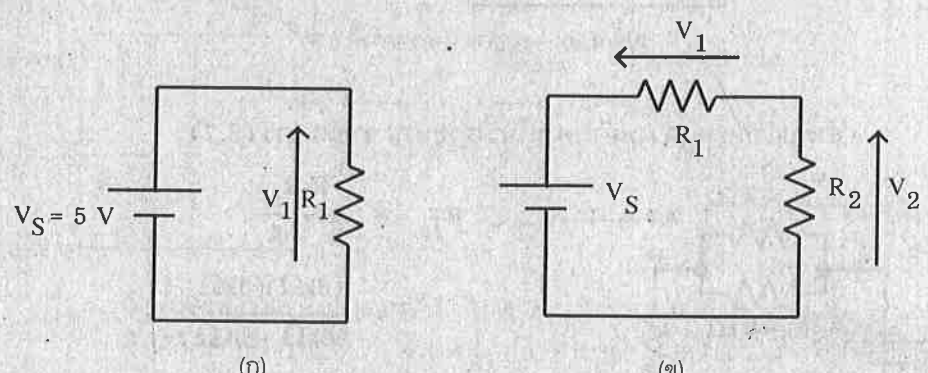
สูตรของวงจรแบ่งแรงดันไฟฟ้า เมื่อจะหาแรงดันที่ตกคร่อม R_1 คือ

(8.9)

$$V_{R1} = \frac{V_s R_1}{R_1 + R_2} \qquad (8.10)$$

หรือหากจะหาแรงดันที่ตกคร่อม R_2

$$V_{R2} = \frac{V_s R_2}{R_1 + R_2} \qquad (8.11)$$



รูปที่ 8.19 (ก) วงจรอนุกรมโหลดตัวเดียว แรงดันที่ตกคร่อมโหลดจะเท่ากับแรงดันของแหล่งจ่าย
(ข) เมื่อต่อโหลดเพิ่มเข้าไป แรงดันที่ตกคร่อมโหลดหรือตัวต้านทานแต่ละตัวจะมีค่าลดลง

ตัวอย่างที่ 8.8 จากรูปที่ 8.19(ข) หากกำหนด V_S = 5 โวลต์, R_1 = 5 kΩ , R_2 = 5 kΩ จงหาค่าแรงดันที่ตกคร่อม R_1

กำหนด $V_S = 5\ V,\ R_1 = 5\ k\Omega,\ R_2 = 5\ k\Omega$

ค่าที่ต้องการหา V_1 (หรือ V_{R1})

สูตรที่ทราบ $$V_{R1} = \frac{V_S R_1}{R_1 + R_2}$$

วิธีทำ
$$V_{R1} = \frac{(5V)(5k\Omega)}{(5k\Omega + 5k\Omega)}$$
$$= 2.5\ V$$

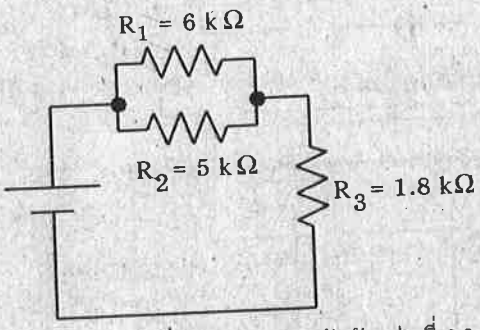
คำตอบ ดังนั้นแรงดันที่ตกคร่อมตัวต้านทาน R_1 คือ 2.5 โวลต์

การแก้ปัญหาวงจรผสมเบื้องต้นนั้น ส่วนหนึ่งที่มีความสำคัญได้แก่การรวมค่าความต้านทานในวงจรให้เหลือเพียงตัวเดียว หรือที่เรียกว่าทำให้อยู่ในรูปวงจรอย่างง่าย (simple circuit) ดังตัวอย่างด้านล่างต่อไปนี้

ตัวอย่างที่ 8.9 จากรูปที่ 8.20 จงหาค่าความต้านทานรวมของวงจร

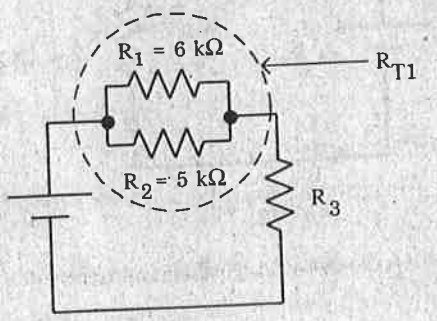
กำหนด $R_1 = 6\ k\Omega,\ R_2 = 5\ k\Omega,\ R_3 = 1.8\ k\Omega$

ค่าที่ต้องการหา R_T



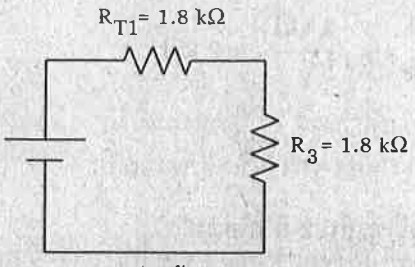
รูปที่ 8.20 วงจรสำหรับตัวอย่างที่ 8.9

วิธีทำ ลำดับแรกหาค่าความต้านทานในวงจรขนาน จากสมการ (8.7)



$$R_{T1} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$
$$= \frac{(6k\Omega)(5k\Omega)}{6k\Omega + 5k\Omega}$$
$$= 2.7\ k\Omega$$

ลำดับต่อมาหาค่าความต้านทานรวมในวงจร ซึ่งเป็นวงจรอนุกรม



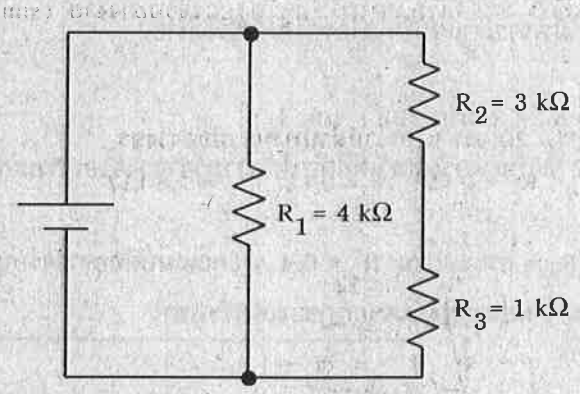
$$R_T = R_{T1} + R_3$$
$$= 1.8\ k\Omega + 2.7\ k\Omega$$
$$= 4.5\ k\Omega$$

คำตอบ ดังนั้นค่าความต้านทานรวมในวงจรผสมดังกล่าวนี้ เท่ากับ 4.5 กิโลโอห์ม

ตัวอย่างที่ 8.10 จงหาค่าความต้านทานรวมในวงจรจากรูปที่ 8.21

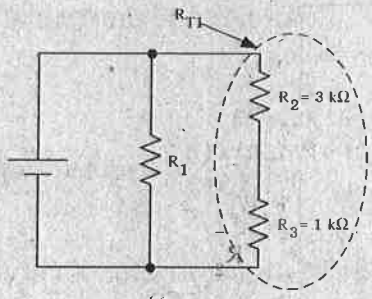
กำหนด $R_1 = 4\ k\Omega, R_2 = 3\ k\Omega, R_3 = 1\ k\Omega$

ค่าที่ต้องการหา R_T



รูปที่ 8.21 วงจรสำหรับตัวอย่างที่ 8.10

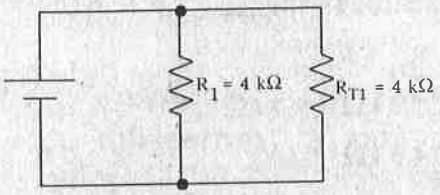
วิธีทำ ลำดับแรกหาค่าความต้านทานในวงจรอนุกรมดังรูปด้านล่าง



$$R_{T1} = R_2 + R_3$$
$$= 3\ k\Omega + 1\ k\Omega$$
$$= 4\ k\Omega$$

ดังนั้นค่าความต้านทานรวมจึงเป็นการขนานตัวต้านทาน R_1 กับ R_{T1} ในกรณีนี้พบว่าตัวต้านทานซึ่งขนานกัน 2 ตัวมีค่าเท่ากัน สามารถใช้สูตร

$$\boxed{R_T = \frac{R}{n}}$$ (เมื่อ n คือจำนวนตัวต้านทานทั้งหมด) (8.12)



ดังนั้น จากสมการ (8.12)

$$R_T = \frac{4\ k\Omega}{2} = 2\ k\Omega$$

คำตอบ ดังนั้นค่าความต้านทานรวมของวงจรนี้เท่ากับ 2 กิโลโอห์ม

8.4.2.1 การใช้กฎของเคอร์ชอฟฟ์ในการแก้ปัญหาวงจรผสม

เนื่องจากว่าวงจรผสมนั้น ทั้งกระแสและแรงดัน จะไม่เป็นไปตามกฎของวงจรขนานหรือวงจรอนุกรมแต่เพียงอย่างเดียว จะต้องแยกพิจารณาตามแต่ละส่วน ว่าส่วนใดต้องใช้กฎเกณฑ์ใด และก็เป็นที่แน่นอนว่าหลีกไม่ได้ที่จะต้องใช้กฎแรงดันและกฎกระแสของเคอร์ชอฟฟ์

ในรูปที่ 8.22 และตัวอย่างที่ 8.11 เป็นตัวอย่างของการพิจารณากระแสในวงจรผสม โดยในตอนแรกจะยังไม่พิจารณาแรงดัน เพื่อทำให้เข้าใจได้ง่าย

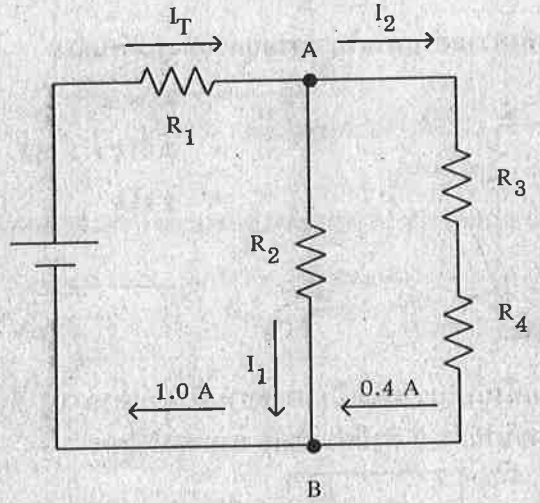
ตัวอย่างที่ 8.11 จากรูปที่ 8.22 จงหากระแส I_1 และ I_2

วิธีทำ ถึงแม้ว่ารูปที่ 8.22 จะเป็นวงจรผสม แต่ก็ต้องใช้ความรู้จากวงจรอนุกรมและวงจรขนานก่อนหน้านี้ จากรูปพบว่า

I_2 = กระแสผ่าน R_3 = กระแสผ่าน R_4 = 0.4 A (คุณสมบัติของวงจรอนุกรม)

ส่วน I_T มีค่าเท่ากับ 1 แอมป์ ดังนั้นจากกฎของเคอร์ชอฟฟ์

$$I_T = I_1 + I_2$$
$$1\ A = I_1 + 0.4\ A$$



รูปที่ 8.22 วงจรของตัวอย่างที่ 8.11

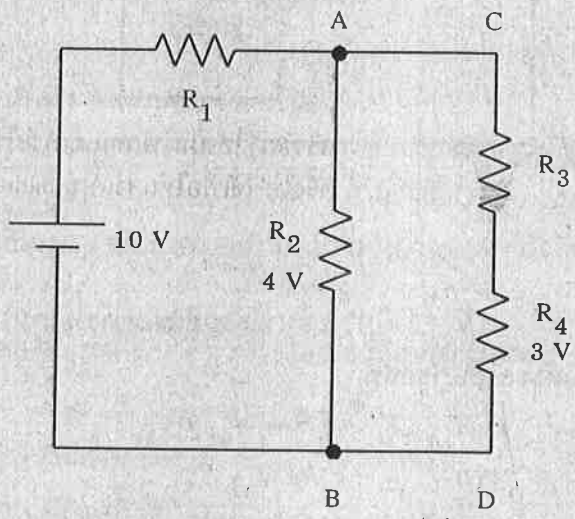
จัดสมการใหม่ ดังนั้น

$$I_1 = 1\ A - 0.4\ A$$
$$= 0.6\ A$$

คำตอบ ดังนั้นกระแส I_1 จะเท่ากับ 0.6 แอมป์ ส่วนกระแส I_2 จะเท่ากับ 0.4 แอมป์ เมื่อรวมกันแล้วก็จะเท่ากับกระแสรวมที่ไหลออกจากแหล่งจ่ายคือ 1 แอมป์

ตัวอย่างที่ 8.12 จากรูปที่ 8.23 จงหาค่าแรงดันที่ตกคร่อม R_1 และ R_3

วิธีทำ จากรูป แรงดันที่ตกคร่อมจุด A และ B เท่ากับ 4 โวลต์ และจากคุณสมบัติของวงจรขนาน จึงตกคร่อมที่จุด C และ D เท่ากับ 4 โวลต์ด้วย นั่นคือ



รูปที่ 8.23 วงจรสำหรับตัวอย่างที่ 8.12

$$V_{AB} = V_{CD} = 4\ V \text{ (คุณสมบัติของวงจรขนาน)}$$

และจากกฎแรงดันของเคอร์ชอฟฟ์

$$V_{CD} = 4\ V = V_{R3} + V_{R4}$$
$$4\ V = V_{R3} + 3\ V$$

จัดรูปสมการเพื่อหาค่า V_{R3} ดังนั้น

$$V_{R3} = 4\ V - 3\ V = 1\ V$$

เช่นเดียวกัน จากกฎแรงดันของเคอร์ชอฟฟ์

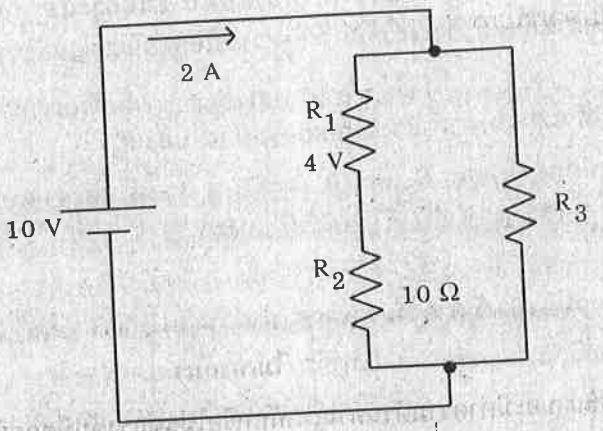
$$V_T = V_{R1} + V_{AB}$$
$$V_{R1} = 10\ V - 4\ V = 6\ V$$

คำตอบ ดังนั้นแรงดันที่ตกคร่อม R_1 เท่ากับ 6 โวลต์ ส่วนแรงดันที่ตกคร่อม R_3 เท่ากับ 1 โวลต์ ซึ่งรวมกันแล้วก็จะเท่ากับแรงดันของแหล่งจ่าย 10 โวลต์

ตัวอย่างที่ 8.13 จากวงจรในรูปที่ 8.24 จงหากระแสและแรงดันที่ไม่ทราบค่าทั้งหมด

กำหนด $V_T = 10\ V,\ V_{R1} = 4\ V,\ R_2 = 10\ \Omega$

ค่าที่ต้องการหา $V_{R2},\ V_{R3},\ I_{R1},\ I_{R2},\ I_{R3}$



รูปที่ 8.24 วงจรสำหรับตัวอย่างที่ 8.13

วิธีทำ หาค่า V_{R3}

$$V_{R3} = 10\ V \text{ (คุณสมบัติของวงจรขนาน)}$$

หาค่า V_{R2} จากกฎแรงดันของเคอร์ชอฟฟ์

$$V_{R3} = 10\ V = V_{R1} + V_{R2}$$
$$10\ V = 4\ V + V_{R2}$$
$$V_{R2} = 10\ V - 4\ V$$
$$= 6\ V$$

หาค่า I_{R2} จากกฎของโอห์ม

$$I_{R2} = \frac{V_{R2}}{R_2} = \frac{6V}{10\Omega} = 0.6A$$

เนื่องจากกระแสที่ผ่าน R_1 จะผ่านทางเดียวกับ R_2 ซึ่งอนุกรมกันดังนั้น

$$I_{R1} = I_{R2} = 0.6\ A$$

หาค่า I_{R3} จากกฎกระแสของเคอร์ชอฟฟ์

$$2\ A = 0.6\ A + I_{R3}$$
$$I_{R3} = 2\ A - 0.6\ A = 1.4\ A$$

คำตอบ ดังนั้นแรงดันที่ตกคร่อม R_2 เท่ากับ 6 โวลต์ แรงดันที่ตกคร่อม R_3 เท่ากับ 10 โวลต์ กระแสที่ผ่าน R_1 เท่ากับกระแสที่ผ่าน R_2 เท่ากับ 0.6 แอมป์ สุดท้ายกระแสที่ผ่าน R_3 จะเท่ากับ 1.4 แอมป์

อุปกรณ์ป้องกันวงจรไฟฟ้า และการต่อสายดิน

11.1 บทนำ

ในบทที่ 4 ได้เกริ่นไว้ถึงองค์ประกอบของวงจรไฟฟ้าพื้นฐานไว้แล้ว หนึ่งในนั้นคืออุปกรณ์ป้องกันที่จะกล่าวในบทนี้ ในมาตรฐานการป้องกันวงจรไฟฟ้าและวงจรอิเล็กทรอนิกส์นั้น จะต้องเลือกชนิดและพิกัดของอุปกรณ์ป้องกันให้เหมาะสมเพื่อให้การป้องกันวงจรเป็นไปอย่างถูกต้องมีประสิทธิภาพและเป็นไปตามมาตรฐาน

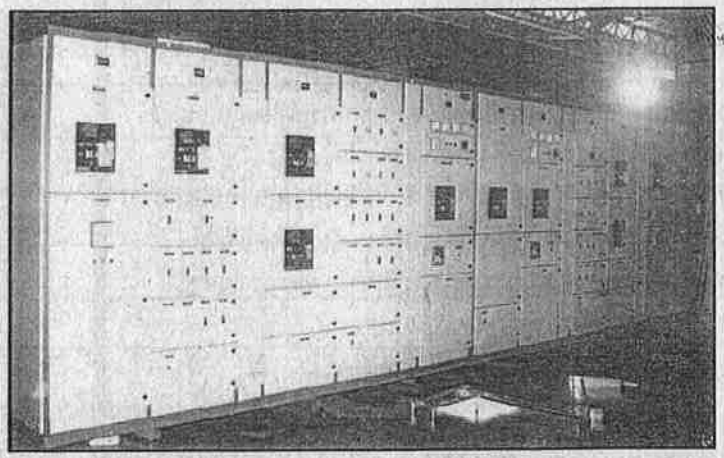
11.2 มาตรฐานและแนวปฏิบัติเกี่ยวกับอุปกรณ์ป้องกัน และการต่อสายดินของระบบไฟฟ้าภายในอาคาร

ต่อไปนี้ จะกล่าวถึงมาตรฐานที่ใช้กำหนดแนวการปฏิบัติสำหรับการเดินสายและติดตั้งอุปกรณ์ไฟฟ้าภายในอาคารที่ควรจะทราบ ซึ่งได้ตัดตอนมาเฉพาะหัวเรื่องพื้นฐานที่นักเรียนควรจะทราบ และเพื่อให้เข้าใจถึงความหมายโดยรวม โดยจะเริ่มต้นด้วยนิยามของแต่ละคำ

11.2.1 นิยาม

11.2.1.1 ระบบแรงต่ำ (Low Voltage System) หมายถึง ระบบไฟฟ้าที่มีแรงดันระหว่างเฟส ไม่เกิน 750 โวลต์

11.2.1.2 ระบบแรงสูง (High Voltage System) หมายถึง ระบบไฟฟ้าที่มีแรงดันระหว่างเฟส เกิน 750 โวลต์



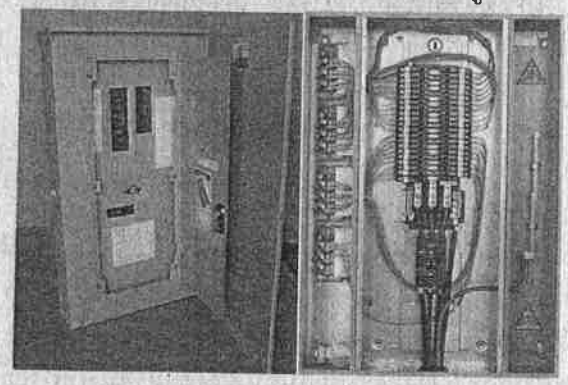
รูปที่ 11.1 แผงสวิตช์ (switch board) ซึ่งตั้งลอยไว้ ภายในตู้จะมีอุปกรณ์ปลดวงจรและเครื่องป้องกันกระแสเกินต่ออยู่ แผงดังกล่าวใช้กับโรงงานขนาดใหญ่

11.2.1.3 เครื่องใช้ไฟฟ้า (Appliance) หมายถึง เครื่องใช้ที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนรูปพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานรูปอื่น เช่น พลังงานความร้อน พลังงานกล เพื่อประโยชน์ใช้สอยทั่วไป ที่ไม่ได้ใช้เพื่องานอุตสาหกรรมโดยตรง เช่น เตารีดไฟฟ้า เครื่องซักผ้า ฯลฯ

11.2.1.4 เครื่องอุปกรณ์ (Equipment) หมายถึง วัสดุ (Material) เครื่องประกอบ (Fitting) อุปกรณ์ (Device) เครื่องใช้ไฟฟ้า (Appliance) เครื่องกล (Machine) เครื่องมือ (Apparatus) ที่ใช้เป็นส่วนหนึ่งหรือส่วนต่อเนื่องกับการติดตั้งทางไฟฟ้า

11.2.1.5 อุปกรณ์ (Device) หมายถึง สิ่งที่มีอยู่ในระบบไฟฟ้า เพื่อใช้เป็นทางผ่านของกระแสไฟฟ้า แต่ไม่ได้ใช้พลังงานไฟฟ้าโดยตรง

11.2.1.6 แผงสวิตช์ (Switchboard) หมายถึง แผงเดี่ยวขนาดใหญ่หรือหลายแผงประกอบกัน ซึ่งใช้ติดตั้งอุปกรณ์ต่าง ๆได้ทั้งด้านหน้าและด้านหลังของแผงสวิตช์ เช่น สวิตช์ อุปกรณ์ป้องกันบัส ฯลฯ โดยทั่วไป แผงสวิตช์จะเข้าถึงได้ทั้งด้านหน้าและด้านหลัง ดังรูปที่ 11.1

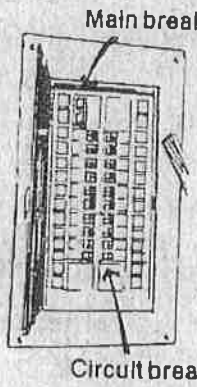


รูปที่ 11.2 แผงจ่ายไฟ (panelboard) ใช้ติดกับฝาผนัง ภายในประกอบด้วยอุปกรณ์ปลดวงจรและ/หรือเครื่องป้องกันกระแสเกินต่ออยู่ แผงแบบนี้ใช้กับบ้านเรือนขนาดใหญ่ หรือไม่ก็โรงงานขนาดเล็ก ๆ

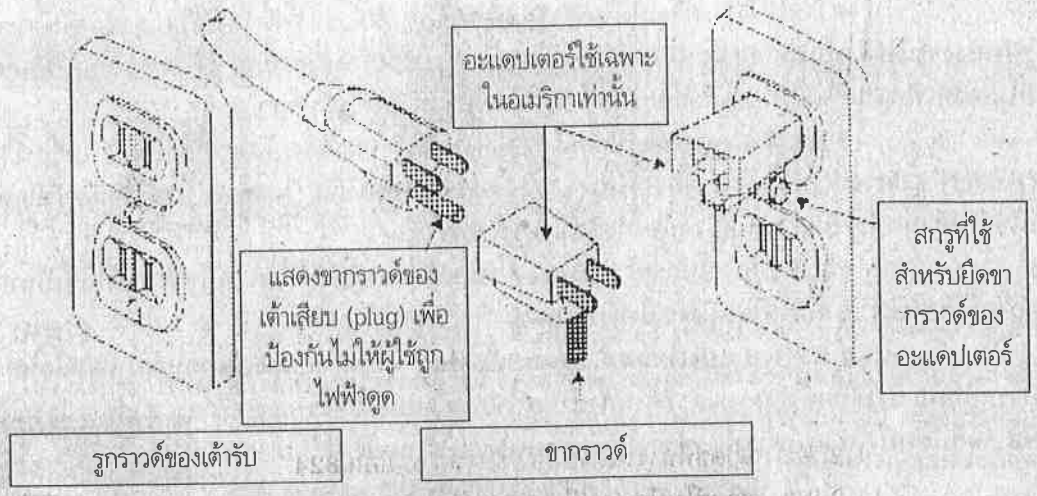
11.2.1.7 แผงจ่ายไฟ (Panelboard) หมายถึง แผงเดี่ยวหรือกลุ่มของแผงเดี่ยว ที่ออกแบบให้ประกอบร่วมกันเป็นแผงเดียว โดยติดตั้งอยู่ในตู้ติดผนัง และสามารถเข้าถึงได้เฉพาะด้านหน้าเท่านั้น ประกอบด้วย บัส อุปกรณ์ป้องกันกระแสเกิน อาจมีสวิตช์สำหรับควบคุมแสงสว่าง เครื่องทำความร้อน วงจรไฟฟ้ากำลัง ดังรูปที่ 11.2

11.2.1.8 เมนสวิตช์ (Main switch) หมายถึง อุปกรณ์ปลด-สับวงจร ระหว่างสายเมนหลังมิเตอร์ของวงจรไฟฟ้าส่วนภูมิภาค กับสายวงจรของผู้ใช้ไฟ ประกอบด้วยเครื่องปลดวงจรและเครื่องป้องกันกระแสเกิน ลักษณะของเมนสวิตช์ที่ปรากฏในรูปที่ 10.3 คือ main breaker นั่นเอง

11.2.1.9 สายเมน (Main service) หมายถึง สายไฟฟ้าที่ต่ออยู่ระหว่างมิเตอร์ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคกับเมนสวิตช์



รูปที่ 11.3 เมนสวิตช์ (main switch) ในรูปคือ main breaker ที่ติดตั้งไว้ในแผงจ่ายไฟ (panelboard)



รูปที่ 11.4 การต่อลงดิน (ground) เพื่อเหตุผลของความปลอดภัยต่อผู้ใช้เครื่องใช้ไฟฟ้าในกรณีที่เครื่องใช้มีกระแสไฟฟ้ารั่วไหล

11.2.1.10 สายป้อน (Feeder) หมายถึง สายไฟฟ้าที่ต่ออยู่ระหว่างเมนสวิตช์กับเครื่องป้องกันกระแสเกินตัวสุดท้ายของวงจรย่อย

11.2.1.11 วงจรย่อย (Branch circuit) หมายถึง วงจรไฟฟ้าระหว่างเครื่องป้องกันกระแสเกินตัวสุดท้ายถึงจุดที่สามารถนำไฟฟ้าออกมาใช้กับเครื่องอุปกรณ์ได้

11.2.1.12 การต่อลงดิน (Grounding) หมายถึง การต่อตัวนำไฟฟ้า (ทั้งจงใจหรืออุบัติเหตุ) ระหว่างวงจรไฟฟ้าหรือเครื่องอุปกรณ์กับดินหรือตัวนำอื่น ๆที่ฝังอยู่ในดิน ในรูปที่ 11.4 แสดงเต้าเสียบที่มีขากราวด์ไว้ให้

11.2.1.13 โหลดต่อเนื่อง (Continuous load) หมายถึง โหลดที่มีโอกาสมีค่ากระแสสูงสุดต่อเนื่อง ตั้งแต่ 3 ชั่วโมง ขึ้นไป

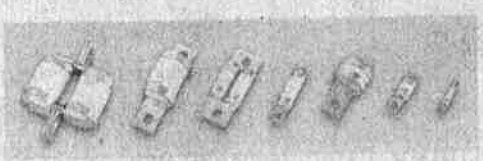
11.2.1.14 ขนาดกระแส (Ampacity) หมายถึง ปริมาณกระแสไฟฟ้าสูงสุดที่ตัวนำสามารถรับได้อย่างต่อเนื่องโดยไม่เสียหาย มีหน่วยเป็นแอมแปร์

11.2.1.15 พิกัดตัดกระแส (Interrupting rating) หมายถึง ค่ากระแสสูงสุดที่อุปกรณ์ปลดวงจรสามารถทำงานได้โดยไม่ชำรุด เมื่อทำงานที่แรงดันไฟฟ้าเต็มพิกัด

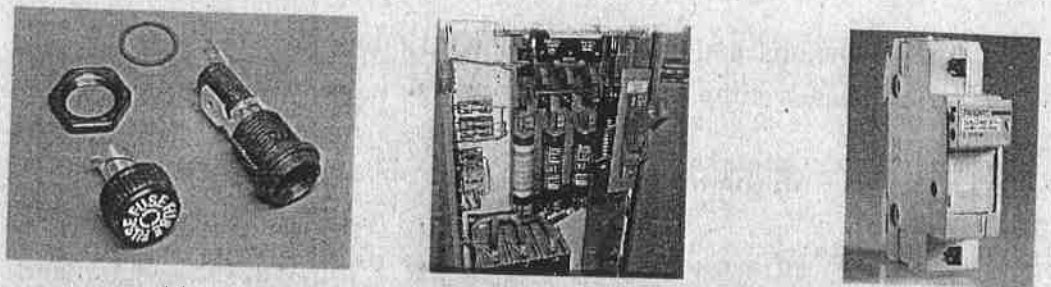
11.2.1.16 ปลดได้โดยอิสระ (Trip free) หมายถึง การที่สวิตช์สามารถปลดวงจรได้แม้ว่า ด้าม มือจับ คันโยก หรือปุ่มบังคับสวิตช์อัตโนมัติ ยังอยู่ในตำแหน่งสับ

11.2.2 อุปกรณ์ตัดตอนและเครื่องป้องกันกระแสเกิน

11.2.2.1 ตัวฟิวส์ (รูปที่ 11.5) และตัวยึดฟิวส์ (รูปที่ 11.6) เป็นไปตาม มอก. 506 และ มอก. 507



รูปที่ 11.5 ฟิวส์แบบต่าง ๆ มีพิกัดกระแสตั้งแต่ 6 A ไปจนถึง 355 A พิกัดแรงดัน 240 Vrms และ 660 Vrms (ภาพจาก บริษัท Bussmann จำกัด)



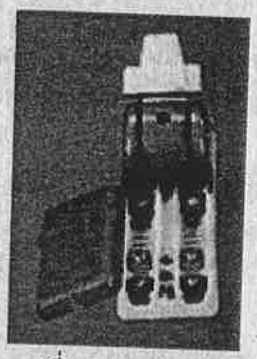
(ก) (ข) (ค)

รูปที่ 11.6 ตัวอย่างของตัวยึดฟิวส์ (fuse holder) แบบต่าง ๆ ได้แก่ (ก) สำหรับตัดกระแสไฟฟ้าต่ำใช้กับฟิวส์แก้ว (ข) สำหรับแผงสวิตช์และแผงจ่ายไฟใช้กับคาร์ทริดฟิวส์ (ค) สำหรับติดตั้งบนแผงจ่ายไฟใช้กับคาร์ทริดฟิวส์ เป็นต้น

11.2.2.2 สวิตช์ที่ทำงานด้วยมือ เป็นไปตาม มอก.824

11.2.2.3 สวิตช์ใบมีด (รูปที่ 11.7) เป็นไปตาม มอก.706

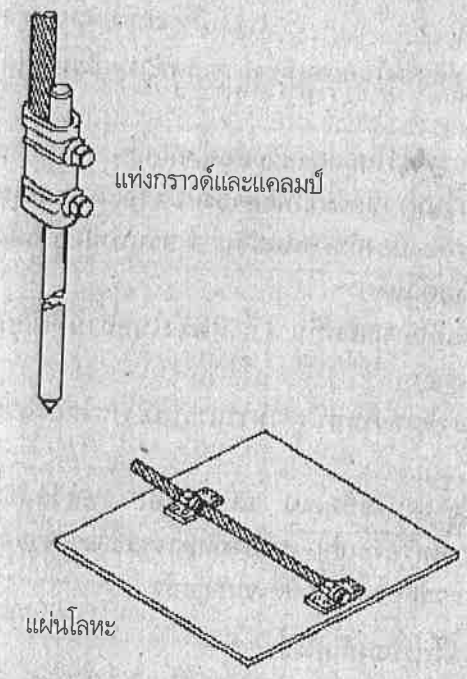
11.2.2.4 อุปกรณ์ตัดตอนและเครื่องป้องกันกระแสเกินชนิดอื่น ต้องเป็นไปตามมาตรฐานที่การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคยอมรับ



รูปที่ 11.7 สวิตช์แบบใบมีด

11.2.3 มาตรฐานหลักดินและสิ่งที่ใช้แทนหลักดิน

11.2.3.1 แท่งเหล็กอาบโลหะชนิดกันการผุกร่อน หรือแท่งเหล็กหุ้มทองแดงหรือแท่งทองแดง ต้องมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไม่น้อยกว่า 15 มิลลิเมตร ยาวไม่น้อยกว่า 180 เซนติเมตร (ดูรูปที่ 11.8)



รูปที่ 11.8 แท่งโลหะ (rod) และแผ่นโลหะ (ground plate) สำหรับระบบกราวด์

11.2.3.2 แผ่นโลหะ (Ground plate) ที่มีพื้นที่สัมผัสไม่น้อยกว่า 1,800 ตารางเซนติเมตร ถ้าเป็นเหล็กอาบโลหะชนิดกันการผุกร่อน ต้องหนาไม่น้อยกว่า 6 มิลลิเมตร ถ้าเป็นโลหะอื่นที่ทนต่อการผุกร่อน ต้องหนาไม่น้อยกว่า 1.50 มิลลิเมตรหลักดินชนิดอื่น ต้องได้รับความเห็นชอบจากการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคก่อน

การป้องกันวงจรไฟฟ้าในส่วนของวงจรย่อยโดยหลัก ๆ จะมีดังนี้

ก. วงจรย่อยทุกวงจรต้องมีเครื่องป้องกันกระแสเกิน เพื่อตัดวงจรเมื่อเกิดการลัดวงจรหรือใช้ไฟฟ้าเกินขนาด

ข. ขนาดของวงจรย่อย กำหนดตามขนาดมาตรฐานของเครื่องป้องกันกระแสเกินที่ป้องกันวงจรย่อยนั้น ๆ เช่น 5, 10, 15, 20, 30 หรือ 50 แอมแปร์

11.2.4 เครื่องป้องกันกระแสเกินสำหรับวงจรย่อยและสายป้อน

วงจรย่อยและสายป้อน ต้องมีการป้องกันกระแสเกิน โดยเครื่องป้องกันกระแสเกินมีรายละเอียด ดังนี้

11.2.4.1 เครื่องป้องกันกระแสเกิน ต้องสามารถป้องกันตัวนำทุกสายเส้นไฟ ยกเว้นตัวนำที่มีการต่อลงดิน

11.2.4.2 ขนาดของเครื่องป้องกันกระแสเกิน ต้องไม่น้อยกว่าโหลดไม่ต่อเนื่องบวกด้วยร้อยละ 125 ของโหลดต่อเนื่อง และต้องมีขนาดไม่เกินขนาดกระแสของสายไฟฟ้าเป็นไปตามมาตรฐานของการไฟฟ้า

11.2.4.3 เครื่องป้องกันกระแสเกินอาจเป็นฟิวส์ หรือสวิตช์อัตโนมัติก็ได้

11.2.4.4 ฟิวส์ สวิตช์อัตโนมัติหรือการผสมของทั้งสองอย่างนี้ จะนำมาต่อขนานกันไม่ได้ ยกเว้นเป็นผลิตภัณฑ์มาตรฐานที่ประกอบสำเร็จมาจากโรงงานผู้ผลิต และเป็นแบบที่ได้รับความเห็นชอบว่าเป็นหน่วย (unit) เดียวกัน

11.2.4.5 ในกรณีที่ติดตั้งเครื่องป้องกันกระแสเกินเพิ่มเติม สำหรับดวงโคมเครื่องใช้ไฟฟ้าหรืออื่น ๆ เครื่องป้องกันกระแสเกินเพิ่มเติมเหล่านี้ จะใช้แทนเครื่องป้องกันกระแสเกินของวงจรย่อยไม่ได้ และไม่จำเป็นต้องเข้าถึงได้ทันที

11.2.4.6 ตำแหน่งของเครื่องป้องกันกระแสเกินต้องเป็นดังนี้

ก. เครื่องป้องกันกระแสเกินสำหรับวงจรย่อย ต้องติดตั้ง ณ จุดที่ห่างจากสายป้อนที่จ่ายพลังงานให้เป็นระยะความยาวของสายไม่เกิน 3 เมตร

ข. เครื่องป้องกันกระแสเกินสำหรับสายป้อน ต้องติดตั้ง ณ จุดที่ใกล้กับหม้อแปลงหรือสายเมนที่จ่ายพลังงานให้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้

11.2.4.7 เครื่องป้องกันกระแสเกิน ต้องไม่ติดตั้งในสถานที่ซึ่งอาจเกิดความเสียหายได้ และต้องไม่อยู่ใกล้กับวัตถุที่ติดไฟง่าย

11.2.4.8 เครื่องป้องกันกระแสเกิน ต้องบรรจุไว้ในกล่องหรือตู้อย่างมิดชิด แต่เฉพาะด้ามสับของสวิตช์อัตโนมัติยอมให้โผล่ออกมาข้างนอกได้ ยกเว้นหากติดตั้งไว้ที่แผงสวิตช์หรือแผงควบคุมซึ่งอยู่ในห้องที่ไม่มีวัตถุติดไฟง่ายและไม่มีความชื้นด้วย ส่วนเครื่องป้องกันกระแสเกิน สำหรับบ้านอยู่อาศัยขนาดไม่เกิน 50 แอมแปร์ หนึ่งเฟสไม่ต้องบรรจุไว้ในกล่องหรือตู้ก็ได้

11.2.4.9 กล่องหรือตู้ซึ่งบรรจุเครื่องป้องกันกระแสเกิน ซึ่งติดตั้งในสถานที่เปียกหรือชื้นต้องเป็นชนิดซึ่งได้รับความเห็นชอบแล้ว

11.2.4.10 เครื่องป้องกันกระแสเกิน ต้องติดตั้งในที่ซึ่งสามารถปฏิบัติงานได้สะดวกมีที่ว่างและแสงสว่างอย่างพอเพียง

11.2.4.11 ต้องทำเครื่องหมายระบุวัตถุประสงค์ให้ชัดเจน และทนต่อสภาพแวดล้อมติดไว้ที่เครื่องปลดวงจรหรือที่ใกล้เคียงเครื่องปลดวงจรนั้นทุกเครื่อง เช่น เครื่องปลดวงจรของวงจรย่อยสายป้อนหรือเครื่องใช้ไฟฟ้า ยกเว้น ตำแหน่งและการจัดเครื่องปลดวงจรนั้นชัดเจนอยู่แล้ว

11.2.5 แผงจ่ายไฟ ในส่วนของแผงจ่ายไฟจะต้องมีการป้องกันดังนี้

11.2.5.1 จำนวนเครื่องป้องกันกระแสเกินในแต่ละแผงจ่ายไฟ ต้องไม่เกิน 42 ขั้ว (ไม่รวมตัวที่เป็นเมน)

11.2.5.2 การป้องกันกระแสเกิน

ก. แผงจ่ายไฟของวงจรย่อยแสงสว่าง และเครื่องใช้ไฟฟ้าทุกแผงต้องติดตั้งเครื่องป้องกันกระแสเกินทางด้านไฟเข้า ยกเว้น สายป้อนของแผงจ่ายไฟนั้นติดตั้งเครื่องป้องกันกระแสเกินไม่เกินขนาดของแผงจ่ายไฟอยู่แล้ว

ข. แผงจ่ายไฟที่ประกอบด้วยสวิตช์ธรรมดาขนาดไม่เกิน 30 แอมแปร์ หลายตัว ต้องมีเครื่องป้องกันกระแสเกินที่มีพิกัดไม่เกิน 200 แอมแปร์

ค. โหลดต่อเนื่องของเครื่องป้องกันกระแสเกินทุกตัวในแผงจ่ายไฟต้องไม่เกินร้อยละ 80 ของพิกัดเครื่องป้องกันกระแสเกินแต่ละตัว ยกเว้น ชุดของเครื่องป้องกันกระแสเกินที่ได้ออกแบบให้ใช้งานได้ร้อยละ 100 ยอมให้ใช้โหลดต่อเนื่องได้ไม่เกินร้อยละ 100

11.2.5.2.1 ข้อกำหนดอื่น ๆ

ก. วงจรที่จ่ายไฟให้กับเครื่องวัด หลอดไฟสัญญาณ หม้อแปลงแรงดันและอุปกรณ์อื่นของแผงสวิตช์ที่มีขดลวดแรงดัน ต้องติดตั้งเครื่องป้องกันกระแสเกินพิกัดไม่เกิน 15 แอมแปร์ ยกเว้น ถ้าการทำงานของเครื่องป้องกันกระแสเกิน ทำให้เกิดความเสียหายต่อการทำงานของอุปกรณ์นั้น

ข. ใบมีดที่เปิดโล่งของสวิตช์ใบมีด ต้องไม่มีไฟเมื่ออยู่ในตำแหน่งปลด

11.2.6 ข้อกำหนดอาคารชุด

11.2.6.1 การป้องกันกระแสเกินของมิเตอร์ห้องชุด

ก. ต้องติดตั้งสวิตช์อัตโนมัติ ทางด้านไฟเข้าของมิเตอร์ห้องชุดทุกเครื่อง

ข. พิกัดกระแสของสวิตช์อัตโนมัติสำหรับมิเตอร์แต่ละขนาด ต้องไม่สูงกว่าที่กำหนดตามตารางที่ 11.1

ตารางที่ 11.1 ขนาดสายไฟฟ้า เซฟตี้สวิตช์ คัตเอาต์ และคาร์ทริดฟิวส์ สำหรับสายเมนในอาคาร

ขนาดมิเตอร์ (แอมแปร์)	ขนาดสายเล็กที่สุดที่ยอมให้ใช้ได้ (ตร.มม.)		เมนสวิตช์				
			เซฟตี้สวิตช์หรือเบรกสวิตช์		คัตเอาต์ ใช้ร่วมกับคาร์ทริดฟิวส์		สวิตช์อัตโนมัติ
	สายอะลูมิเนียม	สายทองแดง	ขนาดสวิตช์ (แอมแปร์)	ขนาดฟิวส์ (แอมแปร์)	ขนาดคัตเอาต์ (แอมแปร์)	ขนาดฟิวส์ (แอมแปร์)	ขนาดปรับตั้ง (แอมแปร์)
3 (9)	10	2.5	30	10	20	10	10
5 (15)	10	4	30	15	20	16	15-16
10 (30)	16	10	60	30	30	25	30
20 (40)	25	16	60	40	60	35	40
30 (60)	35	25	100	60	0	0	60
50 (100)	0	50	100	100	0	0	100

11.2.6.2 แผงสวิตช์แรงต่ำ (จากหม้อแปลงถึงมิเตอร์ห้องชุด)

ก. แผงสวิตช์แรงต่ำ ต้องเป็นไปตามที่กำหนดไว้ในหัวข้อแผงสวิตช์และแผงจ่ายไฟ

ข. เครื่องป้องกันกระแสเกิน ต้องเป็นสวิตช์อัตโนมัติที่สามารถตัดกระแสลัดวงจรสูงสุดที่อาจเกิดขึ้นได้และต้องมีขนาดไม่น้อยกว่า 10 กิโลแอมแปร์

ค. แผงสวิตช์ต้องมีเครื่องปลดวงจร ที่สามารถปลดวงจรทุกสายเส้นไฟได้พร้อมกันอย่างจงใจ

ง. เครื่องป้องกันกระแสเกินของสายป้อนให้เป็นไปตามข้อ 11.2.2.4

จ. เครื่องป้องกันกระแสเกินด้านไฟออกของหม้อแปลง ต้องเป็นสวิตช์อัตโนมัติที่มีขนาดปรับตั้งไม่เกินร้อยละ 250 ของพิกัดกระแสด้านไฟออกของหม้อแปลง

11.2.6.3 การต่อลงดิน ห้องชุดทุกห้องต้องมีสายดินไว้สำหรับต่อกับอุปกรณ์และเครื่องใช้ไฟฟ้าได้

ก. เต้ารับต้องเป็นชนิดมีขั้วสายดิน และมีการต่อลงดิน

ข. การต่อฝากสายดินเข้ากับสายนิวตรอนให้ต่อที่แผงเมนสวิตช์แรงต่ำ (Main Distribution Board) เพียงจุดเดียวเท่านั้น

ค. การต่อสายลงดินกับหลักดินให้ใช้การต่อเชื่อมด้วยวิธี Exothermic Welding

ง. ตำแหน่งของหลักดินต้องอยู่ห่างจากผนังกำแพง หรือฐานรากของอาคารด้วยระยะไม่น้อยกว่า 60 เซนติเมตร

จ. ต้องจัดทำจุดทดสอบ (Test Point) สำหรับใช้วัดค่าความต้านทานของการต่อลงดิน และจุดทดสอบนี้ต้องเข้าถึงได้โดยสะดวก

11.3 รายละเอียดของอุปกรณ์ตัดตอน เครื่องป้องกันกระแสเกิน และการต่อสายดินของวงจรเครื่องใช้ไฟฟ้า-อิเล็กทรอนิกส์

ฟิวส์จะตัดวงจรออกเมื่อกระแสไฟฟ้าเกินในระยะเวลาหนึ่ง เมื่อกระแสเกินฟิวส์จะละลายตัว การที่ฟิวส์ละลายตัวก็เพราะความร้อน ความร้อนที่เกิดขึ้นก็เนื่องจากค่าความต้านทานของฟิวส์เอง (จากสูตร $P = I^2R$) ตัวอย่างเช่น ฟิวส์ 1 แอมป์จะมีค่าความต้านทานประมาณ 0.13 โอห์ม เป็นต้น ดังนั้น เมื่อกระแสไหลผ่านฟิวส์มากผิดปกติ กำลังที่ฟิวส์มากแสดงว่าจูลน์ (พลังงานความร้อนมาก) ต่อวินาทีที่ถูกเปลี่ยนไปโดยฟิวส์ก็จะมีค่ามากนั่นเอง

11.3.1 ฟิวส์ (Fuses)

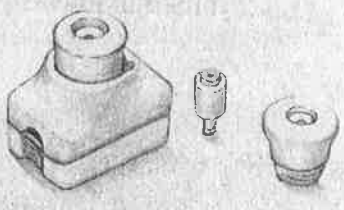
ตัวอย่างของฟิวส์จะแสดงดังรูปที่ 11.9 เป็นอุปกรณ์ตัดตอนและเครื่องป้องกันกระแสเกิน ฟิวส์ทำหน้าที่ตัดวงจรไฟฟ้าออกโดยวิธีการหลอมละลายตัวเอง หากว่าวงจรทำงานผิดปกติจากสภาวะปกติอันอาจจะทำให้เกิดอันตรายกับตัวอุปกรณ์หรือผู้คน

(ก) สัญลักษณ์ของฟิวส์

(ข) ฟิวส์แก้ว ใช้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าขนาดเล็ก ๆ พิกัดกระแสตั้งแต่ 125 mA ไปจนถึง 10 A
(ภาพจากบริษัท multicomp จำกัด)

รูปที่ 11.9 ฟิวส์

(ค) ฟิวส์แบบหลอมละลายเร็ว (quick blow) มีพิกัดกระแสเริ่มตั้งแต่ 62 mA ถึง 15 A (ภาพจากบริษัท Littelfuse จำกัด)



(ง) ตัวยึดฟิวส์แบบคาร์ทริด ใช้สำหรับป้องกันกระแสเกินในบ้านพักอาศัย

รูปที่ 11.9 (ต่อ) ฟิวส์

การเลือกฟิวส์จะต้องพิจารณาดังต่อไปนี้

1. พิกัดของกระแส (current rating) กระแสฟิวส์ที่เลือกต้องเลือกอย่างน้อยเท่ากับกระแสปกติในวงจรหรือต่ำกว่า เช่น กระแสในวงจรหรือในอุปกรณ์ปกติเท่ากับ 0.5 แอมป์ ดังนั้นพิกัดกระแสของฟิวส์อย่างน้อยต้องเท่ากับ 0.5 แอมป์

2. พิกัดของแรงดัน (voltage rating) พิกัดแรงดันของฟิวส์จำเป็นต้องเท่ากับพิกัดแรงดันของสวิตช์ เมื่อฟิวส์เปิดจะทำให้เกิดการอาร์กและไหม้ที่ตัวฟิวส์ และถ้ากระแสและแรงดันมากพอ การอาร์กหรือการไหม้อาจจะยังเกิดต่อเนื่องจนอาจจะทำให้ตัวยึดฟิวส์ละลาย พิกัดแรงดันของฟิวส์ขึ้นอยู่กับความสามารถของแหล่งจ่ายกำลังที่จะให้กระแสเมื่อช็อตขั้นหนักสุด (dead short) ที่ 10,000 แอมป์ ฟิวส์ 250 โวลต์จะป้องกันจากแหล่งจ่าย 250 โวลต์ ที่สามารถให้กระแสได้ไม่เกิน 10,000 แอมป์ แต่แน่นอนว่าพิกัดของกระแสจะต้องน้อยกว่าความสามารถในการจ่ายกระแสของแหล่งจ่าย

3. คุณลักษณะในการหลอมละลายของฟิวส์ เป็นตัวบอกว่าฟิวส์จะละลายตัวเอง (เปิดวงจร) ได้เร็วเท่าใดเมื่อมันโอเวอร์โหลด ปกติคุณลักษณะดังกล่าวจะมี 3 แบบคือ

1. แบบหลอมละลายเร็ว (fast blow) หรือเวลาล้าหลังสั้น (short time lag) บางครั้งเรียกฟิวส์แบบนี้ว่า "ฟิวส์สำหรับเครื่องมือวัด" (instrument fuses) เช่น ใช้สำหรับมิเตอร์

2. แบบหลอมละลายด้วยความเร็วปานกลาง (medium blow) หรือเวลาล้าหลังปานกลาง (medium time lag) เป็นฟิวส์ใช้งานทั่วไป ใช้กับกรณีที่กระแสเริ่มต้น (ขณะวงจรทำงาน) ของอุปกรณ์เท่ากับกระแสใช้งานปกติ

3. แบบหลอมละลายช้า (slow blow) หรือเวลาล้าหลังยาว (long time lag) ใช้เมื่อมีกระแสเสิร์จขณะลัดวงจร ตัวอย่างเช่น มอเตอร์ เมื่อมอเตอร์เริ่มหมุนมันจะดึงกระแสสูงกว่าขณะหมุนปกติ (ปกติสูงกว่าประมาณ 5 – 6 เท่าของกระแสขณะหมุนปกติ) ดังนั้นจึงต้องใช้ฟิวส์แบบนี้กับมอเตอร์

ขณะโอเวอร์โหลดอย่างหนัก ฟิวส์ทั้ง 3 แบบใช้เวลาในการตัดประมาณ 1 มิลลิวินาที (เมื่อกระแสมากกว่ากระแสที่พิกัดประมาณ 10 เท่า)

ขณะโอเวอร์โหลดน้อยมาก ๆ ฟิวส์ทั้ง 3 แบบใช้เวลาในการตัดประมาณ 1 นาทีหรือ 2 นาที (เมื่อกระแสเป็น 1.35 เท่าของกระแสพิกัด)

ในระหว่างค่าการโอเวอร์โหลดทั้งสองกรณีที่กล่าวไว้ด้านบน เวลาการตัดวงจรจะแตกต่างกัน ตัวอย่างเช่น ที่ 5 เท่าของกระแสที่พิกัด ในแบบหลอมละลายช้าจะใช้เวลามากกว่า 1 วินาที ในขณะที่แบบหลอมละลายเร็วจะใช้เวลาน้อยกว่า 1 มิลลิวินาที แต่ในแบบหลอมละลายปานกลางจะใช้เวลาประมาณ 10 มิลลิวินาที

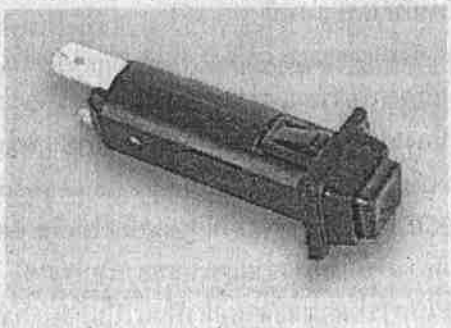
11.3.2 เซอร์กิตเบรกเกอร์ (Circuit Breakers)

รูปที่ 11.10 สัญลักษณ์ของเซอร์กิตเบรกเกอร์

- **หน้าที่** : เซอร์กิตเบรกเกอร์ คืออุปกรณ์ที่ตัดวงจรไฟฟ้าโดยการเปิดตัวเองออก (เรียกว่าการ "ทริป") หากว่าวงจรทำงานผิดปกติจากสภาวะปกติ อันอาจจะทำให้เกิดอันตรายกับตัวอุปกรณ์ ข้อดีของเซอร์กิตเบรกเกอร์คือเมื่อมันตัดวงจรออก เราสามารถจะรีเซ็ตให้เบรกเกอร์ทำงานได้ใหม่อีก ถึงแม้ว่าเซอร์กิตเบรกเกอร์จะทำงานหน้าที่เดียวกันกับฟิวส์แต่หลักการทำงานและการใช้งานก็จะแตกต่างกัน

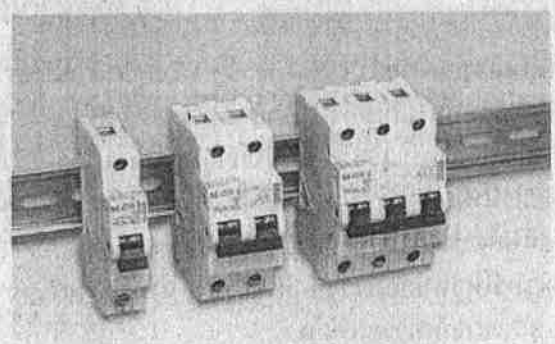
ลักษณะการทริปของเซอร์กิตเบรกเกอร์แบ่งได้ 2 ประเภทคือ

1. การทริปโดยใช้ความร้อน เป็นแบบที่ใช้ทั่วไปกับมอเตอร์ขนาดเล็ก วงจรเครื่องใช้ไฟฟ้าในบ้าน และเครื่องชาร์จแบตเตอรี่ เป็นต้น การรีเซ็ตให้ทำงานใหม่อาจจะเป็นแบบใช้มือหรือแบบอัตโนมัติหลังจากที่มันเย็นตัวลง เวลาในการตัดต่อวงจรจะมีเวลาล้าหลังมาก เนื่องจากใช้ไบเมนทัลเป็นตัวตัดต่อวงจร



รูปที่ 11.11 ลักษณะของเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบใช้ความร้อนทริปติดแผงควบคุม พิกัดแรงดัน 250 VAC หรือ 28 VDC พิกัดกระแส 0.5 A จำนวนขั้ว 1 โพล

2. การทริปโดยใช้แม่เหล็กไฟฟ้า ภายในจะใช้หลักการของแม่เหล็กไฟฟ้าร่วมกับกลไกทางกล ทำให้สามารถลดค่าเวลาล้าหลังให้ลงเหลือไม่กี่มิลลิวินาที



รูปที่ 11.12 ลักษณะของเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบใช้แม่เหล็กไฟฟ้าร่วมกับความร้อน ขนาด 1 โพล 2 โพล และ 3 โพลตามลำดับ พิกัดกระแส เริ่มตั้งแต่ 0.5 A ถึง 63 A (ภาพจากบริษัท Moeller จำกัด)

อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เบื้องต้นและการใช้งาน

12.1 บทนำ

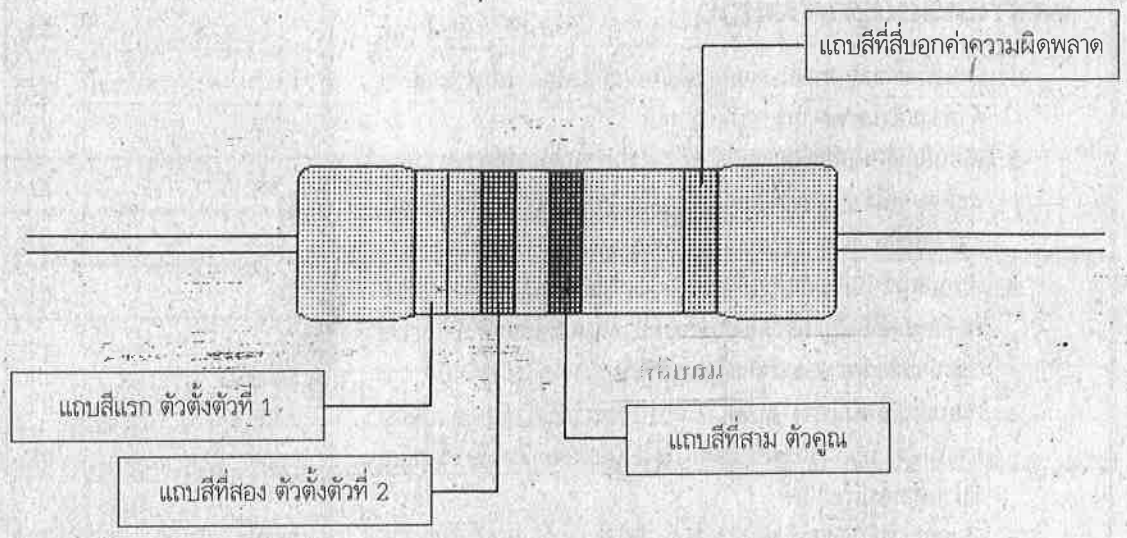
หลังจากที่ได้เรียนรู้ถึงลักษณะทางกายภาพ และหน้าที่เบื้องต้นของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์บางตัวไปแล้ว ในบทนี้เราจะมาทำความเข้าใจถึงการนำอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์อื่นเพิ่มเติมมาใช้งาน ซึ่งความรู้ในบทนี้จะต่อเนื่องไปถึงบทที่ 12 ด้วย โดยในบทนี้จะได้กล่าวถึงอุปกรณ์ทางวงจรไฟฟ้า – อิเล็กทรอนิกส์พื้นฐาน ได้แก่ ตัวต้านทาน ตัวเหนี่ยวนำ ตัวเก็บประจุ และไดโอด รวมไปถึงการใช้งานเบื้องต้นของอุปกรณ์เหล่านี้

12.2 ตัวต้านทาน (Resistors) และการประยุกต์ใช้งาน

ในส่วนของตัวต้านทาน ได้กล่าวถึงหน้าที่และรูปร่างทางกายภาพไว้แล้วในบทที่ 5 ในส่วนนี้จะกล่าวถึงหัวข้อดังต่อไปนี้

12.2.1 การอ่านค่าตัวต้านทาน

จากรูปที่ 12.1 เป็นตัวอย่างรหัสแถบสี (color code bands) ของตัวต้านทานที่มีค่าความต้านทาน 4.7 กิโลโอห์ม เรามีวิธีการอ่านค่าตัวต้านทานดังกล่าวได้อย่างไร



รูปที่ 12.1 ตัวอย่างรหัสแถบสีของตัวต้านทานขนาด 4.7 กิโลโอห์ม

ในการอ่านรหัสสีของตัวต้านทาน ให้ดูค่าแต่ละสีจากในตารางที่ 12.1

ตารางที่ 12.1 รหัสแถบสีสำหรับการอ่านค่าตัวต้านทาน

สี	แถบที่ 1	แถบที่ 2	ตัวคูณ	เปอร์เซ็นต์ผิดพลาด
ดำ	0	0	1	-
น้ำตาล	1	1	10	± 1 %
แดง	2	2	100	± 2 %
ส้ม	3	3	1,000	± 5 %
เหลือง	4	4	10,000	± 10 %
เขียว	5	5	100,000	-
น้ำเงิน	6	6	1,000,000	-
ม่วง	7	7	10,000,000	-
เทา	8	8	100,000,000	-
ขาว	9	9	1,000,000,000	-

ตัวอย่างที่ 12.1 เมื่อหยิบตัวต้านทานขึ้นมาตั้งดังรูปที่ 12.1 พบว่า แถบสีแรก เป็นสีเหลือง แถบสีที่สอง เป็นสีม่วง แถบสีที่สาม เป็นสีแดง และแถบสีที่สี่ เป็นสีทอง จงอ่านค่าความต้านทานของตัวต้านทานดังกล่าวนี้

วิธีอ่านค่า
- ตัวตั้ง สีเหลืองและม่วง คือ 4 กับ 7
- ตัวคูณ สีแดง เท่ากับ 2 เติมศูนย์ สองตัว เท่ากับ 100
- ค่าผิดพลาด สีทอง คือ 5 เปอร์เซ็นต์

ดังนั้นจะได้ค่าตัวเลข 47 × 100 = 4,700 โอห์ม

คำตอบ ค่าความต้านทานเท่ากับ 4,700 โอห์ม หรือ 4.7 กิโลโอห์ม ค่าผิดพลาดได้ ± 5 เปอร์เซ็นต์

ตัวอย่างที่ 12.2 จงอ่านค่าความต้านทานของตัวต้านทานที่พบได้ดังตารางที่ 12.2

ตารางที่ 12.2 แถบสีสำหรับตัวอย่างที่ 12.2

แถบสีที่ 1	แถบสีที่ 2	แถบสีที่ 3	แถบสีที่ 4
น้ำตาล	ดำ	น้ำตาล	ทอง
ส้ม	ส้ม	ส้ม	เงิน
เทา	น้ำเงิน	เหลือง	เงิน

วิธีอ่านค่า จะได้ผลการอ่านเป็นดังนี้

แถบสีที่ 1	แถบสีที่ 2	แถบสีที่ 3	แถบสีที่ 4
ตัวต้านทานตัวที่ 1			
น้ำตาล	ดำ	น้ำตาล	ทอง
1	0	× 10	± 5 %
ค่าความต้านทานที่อ่านได้คือ 100 โอห์ม			
ตัวต้านทานตัวที่ 2			
ส้ม	ส้ม	ส้ม	เงิน
3	3	× 1,000	± 10 %
ค่าความต้านทานที่อ่านได้คือ 33,000 โอห์ม หรือ 33 กิโลโอห์ม			
ตัวต้านทานตัวที่ 3			
เทา	น้ำเงิน	เหลือง	เงิน
8	6	× 10,000	± 10 %
ค่าความต้านทานที่อ่านได้คือ 860,000 โอห์ม หรือ 8.6 เมกะโอห์ม			

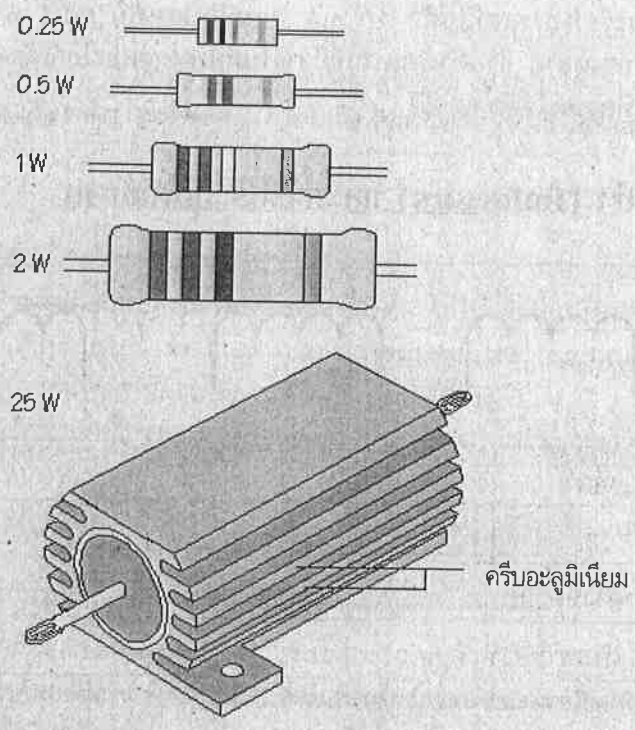
12.2.2 พิกัดกำลังของตัวต้านทาน (Power Rating)

เมื่อกระแสไฟฟ้าไหลผ่านตัวต้านทาน พลังงานไฟฟ้าจะถูกเปลี่ยนเป็นความร้อน เช่นเดียวกับที่เกิดขึ้นในหลอดไส้ ดังนั้นหากกระแสไหลเกินกว่าที่ตัวต้านทานจะรับได้ ก็จะทำให้ตัวต้านทานไหม้และขาดออกจากกัน

กำลังไฟฟ้าที่เปลี่ยนไปอยู่ในรูปของความร้อนดังที่กล่าวไว้ในบทที่ผ่านมา วัดกันในหน่วยวัตต์ ซึ่งหาได้จากสูตรที่กล่าวไว้แล้วก่อนหน้านี้ นั่นคือ $P = VI$ ดังนั้น หากแรงดันตกคร่อมตัวต้านทาน 6 โวลต์ และมีกระแสไหลผ่าน 100 มิลลิแอมป์ ก็จะทำให้เกิดกำลังไฟฟ้าเป็น 0.6 วัตต์ เป็นต้น นั่นหมายความว่าตัวมันจะต้องทนความร้อนได้อย่างน้อยที่สุด 0.6 วัตต์

วิธีการที่จะทำให้ตัวต้านทานทนกระแสสูง ๆ คือ ต้องให้มันระบายความร้อนออกให้ทัน ซึ่งการระบายก็จะขึ้นอยู่กับพื้นที่ผิวในการระบายความร้อน (เช่นเดียวกับหม้อน้ำรถยนต์ที่มีพื้นที่ผิวในการระบายความร้อนมาก) ดังนั้นหากตัวต้านทานมีขนาดโต มันก็จะมีความสามารถในการระบายความร้อนสูงนั่นเอง ในรูปที่ 12.2 เป็นตัวต้านทานขนาดต่าง ๆ ที่มีความสามารถในการระบายความร้อนแตกต่างกัน

ตัวต้านทานที่ทำจากคาร์บอนฟิล์มซึ่งใช้ในวงจรอิเล็กทรอนิกส์ทั่วไป จะเป็นขนาด 0.5 W จากตัวอย่างที่กล่าวมาด้านบน หากคำนวณว่าตัวต้านทานมีความร้อนเกิดขึ้น 0.6 W เราจะต้องเลือกใช้ตัวต้านทานขนาดสูงกว่า นั่นคือ 1 W หรือ 2 W เป็นต้น



รูปที่ 12.2 ตัวต้านทานขนาดเล็กจะระบายความร้อนได้น้อยกว่าตัวต้านทานขนาดใหญ่ ๆ

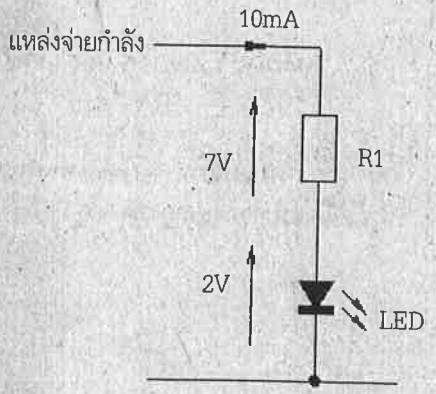
12.2.3 การประยุกต์ใช้งาน

ต่อไปนี้ จะเป็นตัวอย่างการใช้งานตัวต้านทานเพื่อจำกัดกระแส เพื่อไม่ให้กระแสไหลผ่านไดโอดเปล่งแสงเกินพิกัด มิฉะนั้นไดโอดเปล่งแสงดังกล่าวจะขาด

ไดโอดเปล่งแสงทั่วไป จะทำงานในช่วงกระแส 10mA - 15mA ส่วนแรงดันตกคร่อมไม่ให้เกิน 2 V จากรูปที่ 12.3 แหล่งจ่ายมีค่า 9 V ขณะนี้แรงดันตกคร่อมตัวต้านทาน R_1 เป็นค่าเท่าใด คำตอบคือ 9 - 2 = 7 V (ตามกฎแรงดันของเคอร์ชอฟฟ์)

ดังนั้นหากจะคำนวณหาค่าความต้านทานที่จะใช้ ก็สามารถใช้กฎของโอห์ม นั่นคือ $R = \frac{V}{I}$ แทนค่า V และ I ลงไปก็จะได้

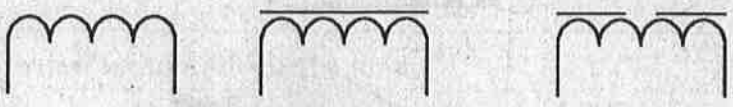
$$R = \frac{7}{0.01} = 700\ \Omega$$



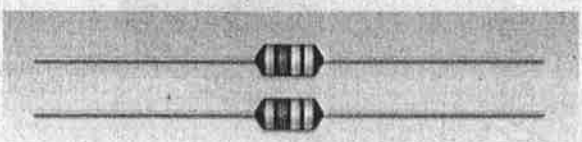
รูปที่ 12.3 การใช้ตัวต้านทานจำกัดกระแสให้กับวงจรไดโอดเปล่งแสง (LED)

ให้ระวังว่ากระแสที่ใช้คือ 10 mA ตอนนี้แปลงเป็น 0.01 A แล้วแต่ค่าตัวต้านทานดังกล่าวนี้ไม่มีขายในท้องตลาด ส่วนตัวต้านทานที่มีขายในท้องตลาดและใกล้เคียงกันคือ 680Ω, 750Ω และ 820Ω ตัวเลือกที่ควรจะใช้คือ 680Ω

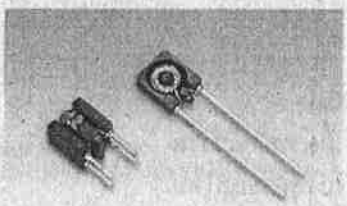
12.3 ตัวเหนี่ยวนำ (Inductors) และการประยุกต์ใช้งาน



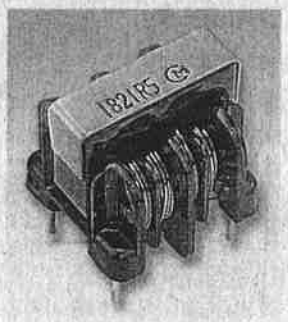
(ก) สัญลักษณ์ของตัวเหนี่ยวนำแกนอากาศ แกนเหล็ก และแกนเหล็กแบบมีช่องว่างอากาศ (gap)



(ข) ตัวเหนี่ยวนำแบบแกนรูปทรงกระบอก 100 ไมโครเฮนรี่ ความต้านทาน 12.5 โอห์ม ทนกระแสไฟฟ้ากระแสตรงซึ่งมีกระแสสูงสุด 85 มิลลิแอมป์



(ค) ตัวอย่างตัวเหนี่ยวนำ (choke) สำหรับกรองความถี่ในไลน์ ขนาด 80 ไมโครเฮนรี่ ความต้านทาน 55 มิลลิโอห์ม ทนกระแสสูงสุด 500 มิลลิแอมป์ ใช้กับแรงดันทั้งกระแสตรงและกระแสสลับไม่เกิน 50 โวลต์



(ง) ตัวอย่างตัวเหนี่ยวนำสำหรับการกรองสัญญาณความถี่สูง 0.9 มิลลิเฮนรี่ ความต้านทาน 0.12 โอห์ม ใช้กับแหล่งจ่ายกระแสสลับไม่เกิน 300 โวลต์ ในแหล่งจ่ายไฟฟ้าแบบสวิตช์ชิ่ง

รูปที่ 12.4 ตัวเหนี่ยวนำ

ตัวเหนี่ยวนำ เรียกได้หลาย ๆ ชื่อ ได้แก่ โช้ค (Chokes) รีแอกเตอร์ (Reactors) และคอยล์ (Coils) ทำมาจากลวดทองแดงซึ่งพันรอบ ๆ วัสดุที่เรียกว่า "ฟอร์ม" (form) (ดูรูปที่ 12.4 (ค) - (ง)) หน้าที่ที่สำคัญของตัวเหนี่ยวนำคือ เก็บพลังงานไฟฟ้าไว้ในตัวมันเอง ในรูปของสนามแม่เหล็ก

ตัวเหนี่ยวนำ ใช้ตัวย่อ L

12.3.1 พฤติกรรมที่สำคัญของตัวเหนี่ยวนำ

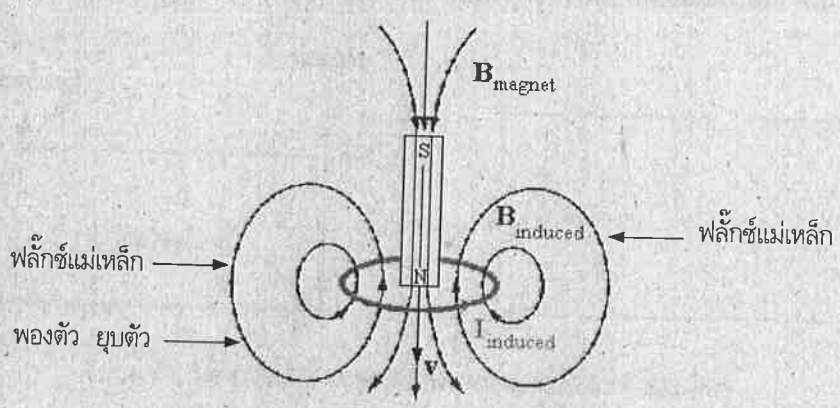
1. ต้านการเปลี่ยนแปลงของกระแสและแรงดัน ไม่ให้เพิ่มขึ้นหรือลดลงอย่างทันทีทันใด (ดูกราฟรูปที่ 12.7 เปรียบเทียบกับรูปที่ 12.6) และพบว่าเฟสของแรงดันไฟฟ้าจะนำหน้า (เกิดก่อน) กระแส

2. เมื่อกระแสไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำเพิ่มขึ้น จะทำให้เกิด

- ฟลั๊กซ์แม่เหล็กวงกลม ๆ รอบตัวนำ (รูปที่ 12.5) โดยมันจะค่อย ๆ ขยายตัวเพิ่มขึ้น ทำให้เกิด "แรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำย้อนกลับ" (counter electromotive force) หรือ cemf ในตัวเหนี่ยวนำ ขั้วของแรงดันที่เกิดขึ้นจะตรงกันข้ามกับแรงดัน (หรือฟลั๊กซ์ , Bi_{nduced}) ของแหล่งจ่ายที่ทำให้เกิดแรงดันนี้ (กฎของเลนซ์ : Lenz's law)

3. เมื่อกระแสค่อย ๆ ไหลออกจากตัวเหนี่ยวนำ

- ทำให้ฟลั๊กซ์แม่เหล็ก ($B_{induced}$) จะค่อย ๆ ยุบตัว (รูปที่ 12.5) และมีขั้วตรงกันข้ามกับตอนที่กระแสไหลเพิ่มขึ้นในข้อ 2. ทำให้แรงดันขณะนี้เสริมกับแรงดันจากแหล่งจ่าย



รูปที่ 12.5 ตัวเหนี่ยวนำขณะฟลั๊กซ์แม่เหล็กและกระแสมีค่าเพิ่มขึ้น

12.3.2 หน่วยของค่าความเหนี่ยวนำ

ค่าความเหนี่ยวนำ (Inductance) เป็นคุณสมบัติทางไฟฟ้าที่เกิดจากตัวเหนี่ยวนำ

หน่วยของค่าความเหนี่ยวนำคือ "เฮนรี่" (Henry) ใช้ตัวย่อ H

นิยาม : ค่าความเหนี่ยวนำ 1 เฮนรี่ คือการที่ตัวเหนี่ยวนำสร้างแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำย้อนกลับ 1 โวลต์ ด้วยอัตราการเปลี่ยนแปลงกระแส 1 แอมป์/วินาที หรือเขียนได้ว่า

$$1H = \frac{1V}{1A/S} = 1\frac{V \cdot S}{A}$$

12.3.3 พิกัดของตัวเหนี่ยวนำ (Rating of inductors)

พิกัดของตัวเหนี่ยวนำเมื่อจะนำไปใช้งานได้แก่

1. ค่าความเหนี่ยวนำ เฮนรี่ ค่าที่ต้องการจะขึ้นอยู่กับวงจรการใช้งาน

2. ค่าความต้านทานในไฟฟ้ากระแสตรง โอห์ม ค่าความต้านทานนี้บางครั้งเรียกว่า ohmic resistance เป็นค่าความต้านทานไฟฟ้ากระแสตรงในลวดตัวนำ วัดได้ด้วยโอห์มมิเตอร์ระหว่างขั้วทั้งสอง

3. พิกัดกระแสที่ตัวเหนี่ยวนำสามารถทนได้ ในตัวเหนี่ยวนำที่มีแกนเหล็กเป็นแบบแผ่นเหล็กซ้อน (laminate - core) พิกัดกระแสที่ตัวเหนี่ยวนำสามารถทนได้ จะบอกเป็นระดับที่ซึ่งเราทำการวัดค่าความเหนี่ยวนำด้วย ที่ระดับกระแสต่ำสุดค่าความเหนี่ยวนำจะมีค่ามากกว่าค่าที่ระบุไว้

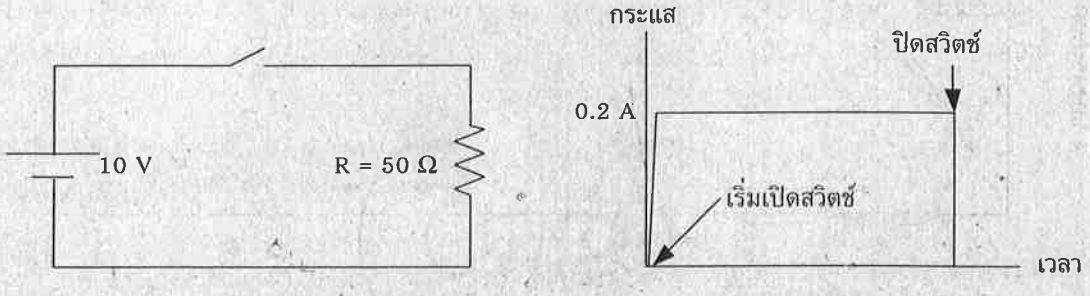
4. พิกัดแรงดัน เป็นค่าที่บอกระดับความสามารถในการทนแรงดันของฉนวน หากแรงดันสูงกว่าที่ระบุ ฉนวนอาจจะเสียหาย

5. อัตราส่วนของค่าความเหนี่ยวนำต่อค่าความต้านทาน หากตัวเหนี่ยวนำคุณภาพดีค่าดังกล่าวนี้จะมีค่ามาก

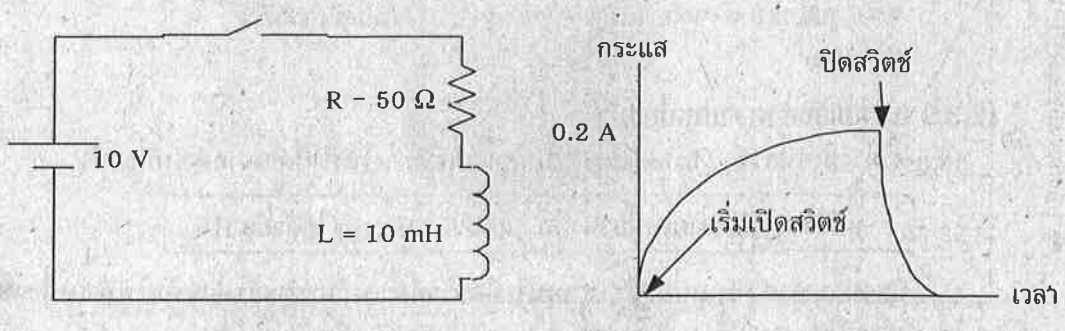
6. ค่าความผิดพลาด ตัวเหนี่ยวนำที่มีความเที่ยงตรงสูง ค่าผิดพลาดจะมีค่าต่ำกว่า 1 %

12.3.4 พฤติกรรมของตัวเหนี่ยวนำในไฟฟ้ากระแสตรง

หากเปรียบเทียบพฤติกรรมของการไหลกระแสที่ผ่านตัวต้านทาน (รูปที่ 12.6) กับการไหลของกระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ (รูปที่ 12.7) พบว่า จากรูปที่ 12.6 ทันทีที่เปิดสวิตช์กระแสจะไหลขึ้นสู่ค่าสูงสุดคือ 0.2 แอมป์ และเมื่อปิดสวิตช์กระแสจะลดลงเหลือ 0 แอมป์ทันที



รูปที่ 12.6 พฤติกรรมของวงจรไฟฟ้ากระแสตรงซึ่งมีเฉพาะตัวต้านทาน



รูปที่ 12.7 พฤติกรรมของวงจรไฟฟ้ากระแสตรงซึ่งมีตัวเหนี่ยวนำ 10 มิลลิเฮนรี่ (ภายในมีค่าความต้านทานไฟฟ้ากระแสตรงเนื่องจากลวด) ต่ออนุกรมในวงจร

ส่วนในรูปที่ 12.7 เมื่อเปิดสวิตช์กระแสจะค่อย ๆไหลขึ้น (ขณะเดียวกันแรงดันที่ตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำจะมีค่าสูงสุดและค่อยตกลงมา : ตรงกับที่กล่าวไว้แล้วในหัวข้อที่ 12.3.1 ในข้อ 1 นั่นคือแรงดันนำหน้ากระแส) และเข้าสู่ค่าสูงสุดนั่นคือ 0.2 แอมป์ และเมื่อปิดสวิตช์ กระแสจะค่อย ๆ ลดลง เวลาที่ใช้เพื่อให้กระแสไหลไปสู่ค่าสูงสุด และเวลาที่ใช้ให้กระแสตกลงสู่ค่าศูนย์ จะขึ้นอยู่กับ "เวลาคงที่" (time constant) ของตัวเหนี่ยวนำ

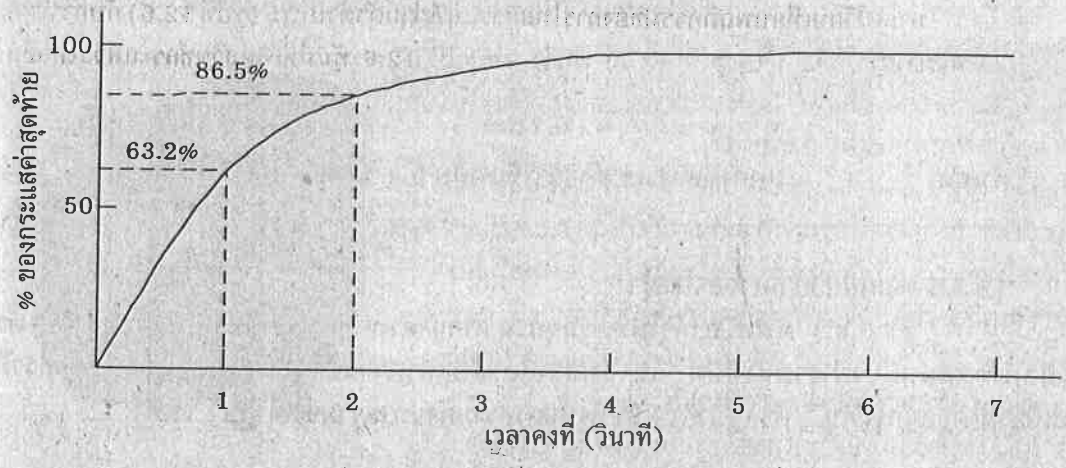
12.3.4.1 เวลาคงที่ (time constants) สำหรับตัวเหนี่ยวนำ เวลาคงที่สำหรับตัวเหนี่ยวนำนี้หาได้จาก

$$\tau = \frac{L}{R} \qquad (12.1)$$

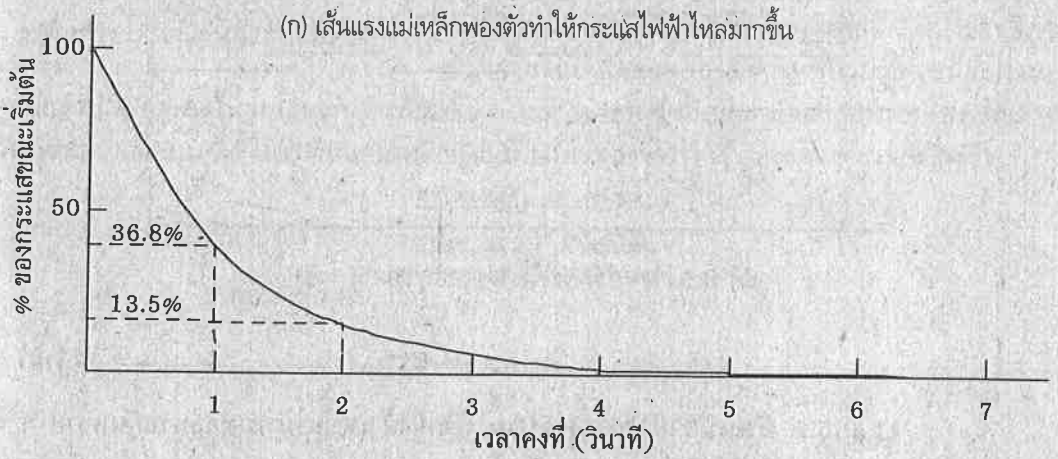
เมื่อ τ (เป็นภาษากรีกอ่านว่า ทอ (tau)) คือเวลาคงที่ของตัวเหนี่ยวนำมีหน่วยเป็นวินาที (second)

L = ค่าความเหนี่ยวนำ เฮนรี่

R = ค่าความต้านทานในวงจรทั้งหมด โอห์ม



(ก) เส้นแรงแม่เหล็กพองตัวทำให้กระแสไฟฟ้าไหลมากขึ้น



(ข) หลังจากเราปิดสวิตช์ เส้นแรงแม่เหล็กยุบตัวกระแสเริ่มลดลง

รูปที่ 12.8 กราฟเวลาคงที่ของตัวเหนี่ยวนำ

จากรูปที่ 12.7 หากเวลาคงที่ดังกล่าวนี้มีค่ามาก เวลาที่กระแสเข้าสู่ค่าสูงสุด (ขณะเปิดสวิตช์) และเวลาที่กระแสจะมีค่าตกลงสู่ค่าศูนย์ (ขณะปิดสวิตช์) ก็จะทำได้ช้า

จากรูปที่ 12.8(ก) หลังจากเปิดสวิตช์ จากการทดลองพบว่า เวลาคงที่ 1 τ คือเวลาที่ทำให้กระแสไหลผ่านตัวต้านทานและตัวเหนี่ยวนำเป็น 63.2% ของกระแสสุดท้าย

ส่วนในรูปที่ 12.8(ข) หลังจากปิดสวิตช์ เวลาคงที่ 1 τ คือเวลาที่ทำให้กระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ ไหลลงมา 63.2% ของกระแสเริ่มต้น

ตัวอย่างที่ 12.1 จากรูปที่ 12.8(ก) สมมติว่าตัวเหนี่ยวนำมีค่า 10 มิลลิเฮนรี่ ค่าความต้านทานรวมในวงจรเท่ากับ 50 โอห์ม จงหาค่าเวลาคงที่

กำหนด $L = 10\ mH,\ R = 50\ \Omega$

ค่าที่ต้องการหา τ

สูตรที่ทราบ $\tau = \dfrac{L}{R}$

วิธีทำ

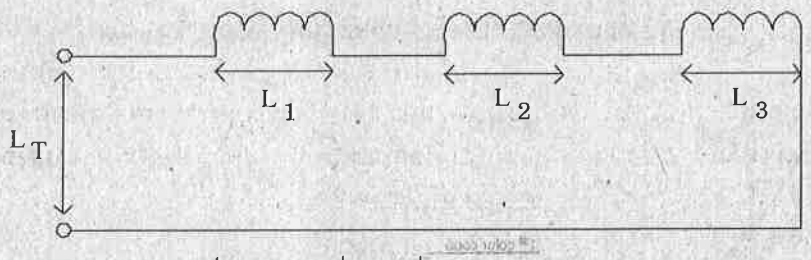
$$\tau = \frac{L}{R} = \frac{10\ H}{50\ \Omega}$$

$$= 0.2\ Sec$$

คำตอบ เวลาคงที่ของวงจรดังกล่าวนี้เท่ากับ 0.2 วินาที

12.3.5 ตัวเหนี่ยวนำในวงจรไฟฟ้า

12.3.5.1 ตัวเหนี่ยวนำในวงจรอนุกรม หากนำตัวเหนี่ยวนำมาต่ออนุกรมกันหลาย ๆ ตัว การคิดค่าความเหนี่ยวนำรวมทั้งหมด ก็หาได้เช่นเดียวกับสูตรความต้านทานแบบอนุกรม หากว่ามีตัวเหนี่ยวนำต่ออนุกรมกัน 3 ตัว (รูปที่ 12.9) ดังนั้นค่าความต้านทานรวมจะเท่ากับ



รูปที่ 12.9 วงจรที่มีตัวเหนี่ยวนำต่ออนุกรมกัน 3 ตัว

$$L_T = L_1 + L_2 + L_3 \qquad (12.2)$$

12.3.5.2 ตัวเหนี่ยวนำในวงจรขนาน หากนำตัวเหนี่ยวนำมาต่อขนานกันหลาย ๆ ตัว ค่าความเหนี่ยวนำรวมที่ได้ ก็ให้ใช้วิธีคิดแบบเดียวกับตัวต้านทานแบบขนาน สมมติว่ามีตัวเหนี่ยวนำต่อขนานกัน 3 ตัว ดังนั้นเราสามารถหาค่าความเหนี่ยวนำรวมได้เป็น

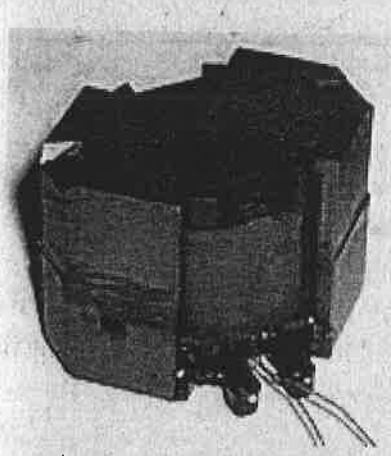
$$L_T = \frac{1}{\frac{1}{L_1}+\frac{1}{L_2}+\frac{1}{L_3}} \qquad (12.3)$$

12.3.6 ชนิดของตัวเหนี่ยวนำและการประยุกต์ใช้งาน

ต่อไปนี้เป็นตัวอย่างการนำตัวเหนี่ยวนำไปประยุกต์ใช้งาน ได้แก่

ก. ตัวเหนี่ยวนำแบบแกนอากาศ ใช้กับวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่มีความถี่สูง ๆ จากรูปที่ 12.10 จะเห็นว่าตัวเหนี่ยวนำแบบนี้ไม่มีแกนสำหรับพันลวด (form) แต่ในบางครั้งตัวเหนี่ยวนำบางตัวที่ใช้สัญลักษณ์ของตัวเหนี่ยวนำแบบแกนอากาศนี้ ก็จะใช้แกนพันลวดแบบอื่น ๆ ได้ เช่น แกนต้นหรือแกนกลวง แต่ก็จะมีค่ารีลักแตนซ์ (ค่าความต้านทานที่จะไม่ให้เกิดฟลั๊กซ์แม่เหล็ก) เหมือนกับแกนอากาศจริง ๆ (ดูรูปที่ 12.4 (ง))

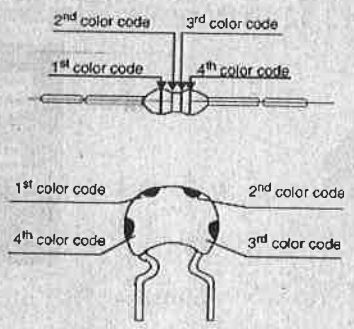
รูปที่ 12.10 ตัวเหนี่ยวนำแกนอากาศ



รูปที่ 12.11 ตัวเหนี่ยวนำแกนเฟอร์ไรต์

ข. ตัวเหนี่ยวนำแบบแกนเฟอร์ไรต์ และผงเหล็กอัด (ferrite and powdered-iron cores inductor) (รูปที่ 12.11) นั่นคือ แกนสำหรับพันลวดทำด้วยเฟอร์ไรต์หรือไม่ก็เป็นผงเหล็กอัด ส่วนใหญ่ค่าของตัวเหนี่ยวนำแบบนี้จะต่ำกว่า 200 มิลลิเฮนรี่ ใช้กับวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่ความถี่สูงกว่าความถี่เสียง (audio or sound range)

ค. ตัวเหนี่ยวนำแกนทอรอยด์ (toroid cores inductor) รูปทรงของแกนพันลวดเป็นแบบโดนัท (รูปที่ 12.4 (ค)) ทำจากเฟอร์ไรต์ หรือไม่ก็ผงเหล็กอัด มีประสิทธิภาพสูง เนื่องจากฟลั๊กซ์แม่เหล็กในตัวเหนี่ยวนำแบบนี้จะผ่านเข้าสู่ศูนย์กลางและอยู่ภายในแกนเหล็ก ส่วนในแบบ ก. และ ข. ฟลั๊กซ์แม่เหล็กจะออกสู่อากาศ (สูญเสีย) พอ ๆ กับที่ผ่านเข้าสู่แกนเหล็ก โดยปกติแกนเหล็กแบบนี้ใช้กับแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงแบบสวิตช์ชิ่ง



รูปที่ 12.12 ลักษณะการกำหนดรหัสสำหรับตัวเหนี่ยวนำบนตัวถึง 2 แบบ

รหัสสีของตัวเหนี่ยวนำจะมีค่าดังตารางที่ 12.3 ต่อไปนี้

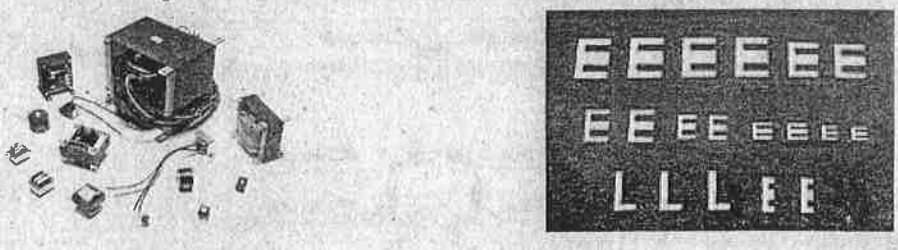
ตารางที่ 12.3 รหัสสีของตัวเหนี่ยวนำ

สี	ค่าความเหนี่ยวนำ (μH)			
	แถบสีที่ 1	แถบสีที่ 2	ตัวคูณ	ค่าผิดพลาด
ดำ	0	0	1	± 20 %
น้ำตาล	1	1	10	-
แดง	2	2	100	-
ส้ม	3	3	1,000	-
เหลือง	4	4	-	-
เขียว	5	5	-	-
น้ำเงิน	6	6	-	-
ม่วง	7	7	-	-
เทา	8	8	0.1	± 5 %
ขาว	9	9	0.01	± 10 %

ส่วนการบอกค่าตัวเหนี่ยวนำโดยใช้รหัสตัวเลข จะบอกด้วยตัวเลข 3 หลัก หลักแรกและหลักที่สองจะบอกค่าตัวตั้งของตัวเหนี่ยวนำ หลักที่สามจะเป็นตัวคูณ ถ้าค่าต่ำกว่า 10 ก็จะมีตัวเลข 2 หลัก และจะใช้ R เป็นตัวบอกเลขทศนิยม

ตัวอย่าง เช่น 222 จะมีค่าเท่ากับ 2200 μH
151 จะมีค่าเท่ากับ 150 μH
100 จะมีค่าเท่ากับ 10 μH
1R0 จะมีค่าเท่ากับ 1.0 μH
R68 จะมีค่าเท่ากับ 0.68 μH เป็นต้น

ง. **ตัวเหนี่ยวนำที่อยู่ในแบบหล่อ (molded inductors)** (ดูรูปที่ 12.4 (ข)) ซึ่งจะมองดูคล้าย ๆ กับตัวต้านทาน แกนสำหรับพันลวดภายในอาจจะใช้อากาศ เฟอร์ไรต์ หรือไม่ก็ผงเหล็กอัดก็ได้ ตัวเหนี่ยวนำแบบนี้จะบอกค่าความเหนี่ยวนำในรูปของรหัสแถบสีคล้ายกับตัวต้านทาน หากนำตัวเหนี่ยวนำที่อยู่ในแบบหล่อมาตั้งตามรูปที่ 12.12 ก็สามารถจะอ่านค่าได้โดยใช้ตารางที่ 12.3 เป็นตัวอ้างอิง



(ก) (ข)

รูปที่ 12.13 ตัวเหนี่ยวนำแบบแผ่นเหล็กซ้อน (ก) ประยุกต์ใช้งานเป็นหม้อแปลงไฟฟ้า (ข) แกนเหล็กซึ่งเป็นแผ่นเหล็กรูปร่างต่าง ๆ ที่จะนำมาวางซ้อนกันเป็นแกนหม้อแปลง

จ. ตัวเหนี่ยวนำแบบชีลด์ (shielded inductors) ออกแบบเพื่อให้ป้องกันจากการรบกวนของสนามแม่เหล็ก วัสดุชีลด์ทำจากวัสดุแม่เหล็ก

ฉ. ตัวเหนี่ยวนำแบบแผ่นเหล็กซ้อน (laminated iron core) (รูปที่ 12.13) ใช้กับความถี่ระบบกำลังทั่วไปนั่นคือ 50 ถึง 60 เฮิรตซ์ ที่เห็นชัดเจนคือการทำเป็นหม้อแปลงไฟฟ้า ตัวเหนี่ยวนำแบบนี้ให้ค่าความเหนี่ยวนำสูง

ช. ตัวเหนี่ยวนำในงานกรองความถี่ (filter chokes) ใช้กรองความถี่ในแหล่งจ่ายไฟ ซึ่งก็มีมากมายในอุปกรณ์ไฟฟ้า - อิเล็กทรอนิกส์ เพื่อทำให้กระแสไฟฟ้าที่จะจ่ายออกจากแหล่งจ่ายไฟมีความราบเรียบ

12.3.7 การตรวจสอบตัวเหนี่ยวนำ

ในการตรวจสอบตัวเหนี่ยวนำว่าดีหรือไม่ แบ่งการตรวจสอบได้ 2 อย่างได้แก่ 1) ตรวจสอบการลัดรอบของลวดเนื่องจากการถลอกของลวดหรือไม่ และ 2) ตรวจสอบว่าลวดขาดหรือไม่ ในที่นี้จะกล่าวถึงเฉพาะการตรวจสอบว่าตัวเหนี่ยวนำขาดหรือไม่

การตรวจสอบว่าลวดที่ใช้พันขาดหรือไม่ ก็ทำได้เช่นเดียวกับการตรวจสอบการขาดของตัวต้านทานหรือสายไฟตัวนำ นั่นคือใช้โอห์มมิเตอร์เป็นเครื่องมือทดสอบ และมีกระบวนการดังต่อไปนี้

1. ปรับสวิตช์เลือกย่านวัดค่าความต้านทานไปที่ย่านวัดต่ำ ๆ
2. ปรับศูนย์โอห์ม (zero ohm adjust) ให้เข็มชี้ที่ค่าศูนย์โอห์ม
3. นำสายวัดของโอห์มมิเตอร์ไปคร่อมปลายลวดทั้งสองของตัวเหนี่ยวนำ
4. อ่านค่าที่ได้จากโอห์มมิเตอร์ ถ้าค่าความต้านทานที่ได้เป็นศูนย์หรือเกือบเท่า ๆ กับศูนย์ แสดงว่าลวดของตัวเหนี่ยวนำไม่ขาด

12.4 ตัวเก็บประจุ (Capacitors) และการประยุกต์ใช้งาน

ตัวเก็บประจุ เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ตัวหนึ่งที่มีความสำคัญ และใช้งานกันมาก

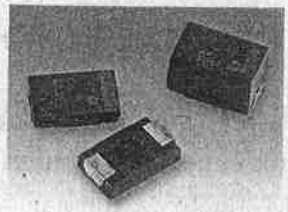
(ก) (ข)

รูปที่ 12.14 สัญลักษณ์ของตัวเก็บประจุ (ก) แบบไม่มีขั้ว (ใช้กับไฟฟ้ากระแสสลับ) (ข) แบบใช้กับไฟฟ้ากระแสตรง โดยด้านโค้งเป็นขั้วลบ

(ก) ตัวอย่างของตัวเก็บประจุแบบอะลูมิเนียมอิเล็กโตรไลติก 4,700 ไมโครฟารัด 25 โวลต์ ใช้งานในช่วงอุณหภูมิ - 40 ถึง + 85 °C ความผิดพลาด 20 % อายุการใช้งาน (ที่ 85 °C) ประมาณ 12,000 ชั่วโมง ขั้ว + และ - จะปรากฏบนตัวถัง

(ข) ตัวอย่างของตัวเก็บประจุแบบอะลูมิเนียมอิเล็กโตรไลติก 22 ไมโครฟารัด 10 โวลต์ สำหรับติดบนผิวของแผ่นปริ้นต์ (SMD)

รูปที่ 12.15 รูปร่างของตัวเก็บประจุหลาย ๆ แบบ



(ค) ตัวอย่างของตัวเก็บประจุแบบเซรามิกสำหรับติดบนผิวแผ่นปริ้นต์ ใช้สำหรับกรองสัญญาณในไลน์ไฟฟ้ากระแสสลับ

(ง) ตัวอย่างตัวเก็บประจุแบบเซรามิก 1,000 พิกโกฟารัด สำหรับไฟฟ้ากระแสตรง 200 โวลต์

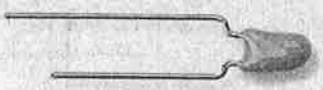
(จ) ตัวอย่างตัวเก็บประจุแบบเซรามิก 10,000 pF 250 VAC

(ฉ) ตัวอย่างตัวเก็บประจุแบบฟิล์มไดอิเล็กตริก 22 μF 10 VDC อายุการใช้งานถึง 3,000,000 ชั่วโมง

(ช) ตัวอย่างตัวเก็บประจุแบบโพลีคาร์บอเนต 10 μF 280 VAC, 400 VDC สำหรับงานกรองไฟฟ้ากระแสสลับ หรืองานปรับปรุงค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์

(ซ) ตัวอย่างตัวเก็บประจุแบบโพลีโพรพิลีน 14 μF 250 VAC ใช้สำหรับการเดินเครื่องมอเตอร์

(ฌ) ตัวอย่างตัวเก็บประจุแบบโพลีเอสเตอร์ 0.022 μF 50 VDC ผิดพลาด 5% ความผิดพลาดต่ำและให้เสถียรภาพสูง

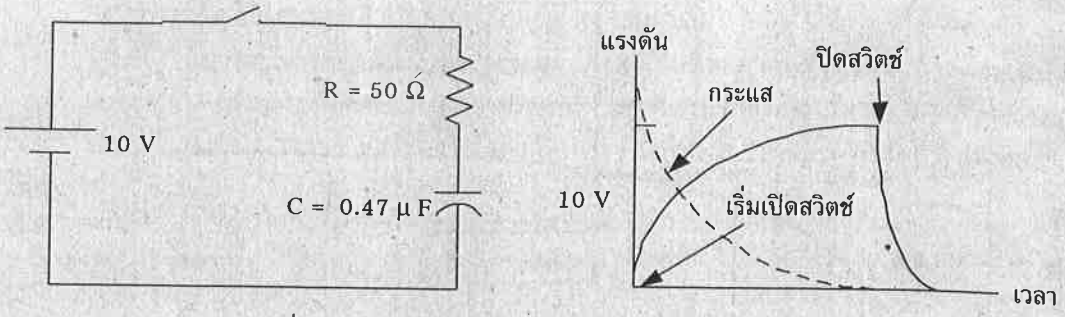


(ญ) ตัวอย่างตัวเก็บประจุแบบแทนทาลัม 100 μF 6.3 VDC ใช้สำหรับวัตถุประสงค์ทั่ว ๆ ไป

(ฎ) ตัวเก็บประจุและตัวต้านทานที่ถูกสร้างให้อยู่ในชุดเดียวกัน เพื่อลดพื้นที่ติดตั้ง ตัวอย่างนี้ มีตัวเก็บประจุ 22 pF และตัวต้านทาน 47 Ω รวมกัน 4 ชุด ใช้ในเมนบอร์ดคอมพิวเตอร์โทรศัพท์มือถือ คอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊ค วงจรแสดงผลโดยใช้ LCD เป็นต้น

(ฏ) ตัวอย่างของตัวเก็บประจุแบบโครงข่าย (network) 0.01 μF 50 VDC ผิดพลาด 20%

รูปที่ 12.15 (ต่อ) รูปร่างของตัวเก็บประจุหลาย ๆ แบบ



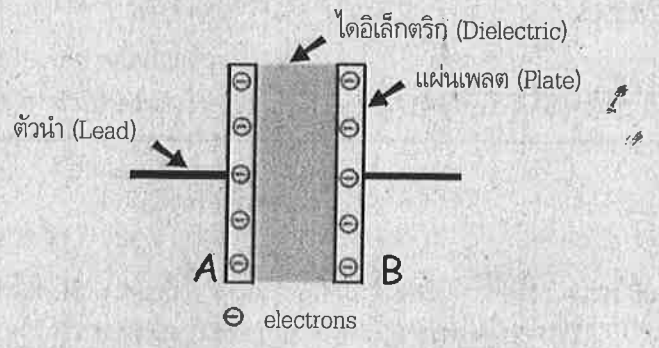
รูปที่ 12.16 พฤติกรรมการไหลของแรงดันไฟฟ้าของตัวเก็บประจุ

12.4.1 พฤติกรรมของตัวเก็บประจุที่สำคัญ

1. ต้านการเปลี่ยนแปลงของกระแสและแรงดัน ไม่ให้ไหลเพิ่มขึ้นหรือลดลงอย่างทันทีทันใด (ดูกราฟรูปที่ 12.16) ขณะเริ่มเปิดสวิตช์ แรงดันจะค่อยเพิ่มขึ้นจนถึงค่าสูงสุด 10 โวลต์เท่ากับแหล่งจ่าย ขณะเดียวกันกระแสก็จะค่อย ๆ ลดลงจากค่าสูงสุด จนเหลือค่าศูนย์ (จากลักษณะที่กระแสเริ่มจากค่าสูงสุดนี่เอง ที่ทำให้เฟสของกระแสนำหน้าแรงดันสำหรับตัวเก็บประจุ)

2. เฟสของกระแสไฟฟ้าจะนำหน้า (เกิดก่อน) แรงดันไฟฟ้า (ให้ลองย้อนกลับไปเปรียบเทียบกับพฤติกรรมของตัวเหนี่ยวนำ)

3. ตัวเก็บประจุจะเก็บพลังงานไฟฟ้าไว้ในรูปของสนามไฟฟ้า ซึ่งแตกต่างจากตัวเหนี่ยวนำที่เก็บไว้ในรูปของสนามแม่เหล็ก (ดูรูปที่ 12.17)



รูปที่ 12.17 โครงสร้างของตัวเก็บประจุและสนามไฟฟ้าที่ถูกเก็บไว้ในตัวเก็บประจุ

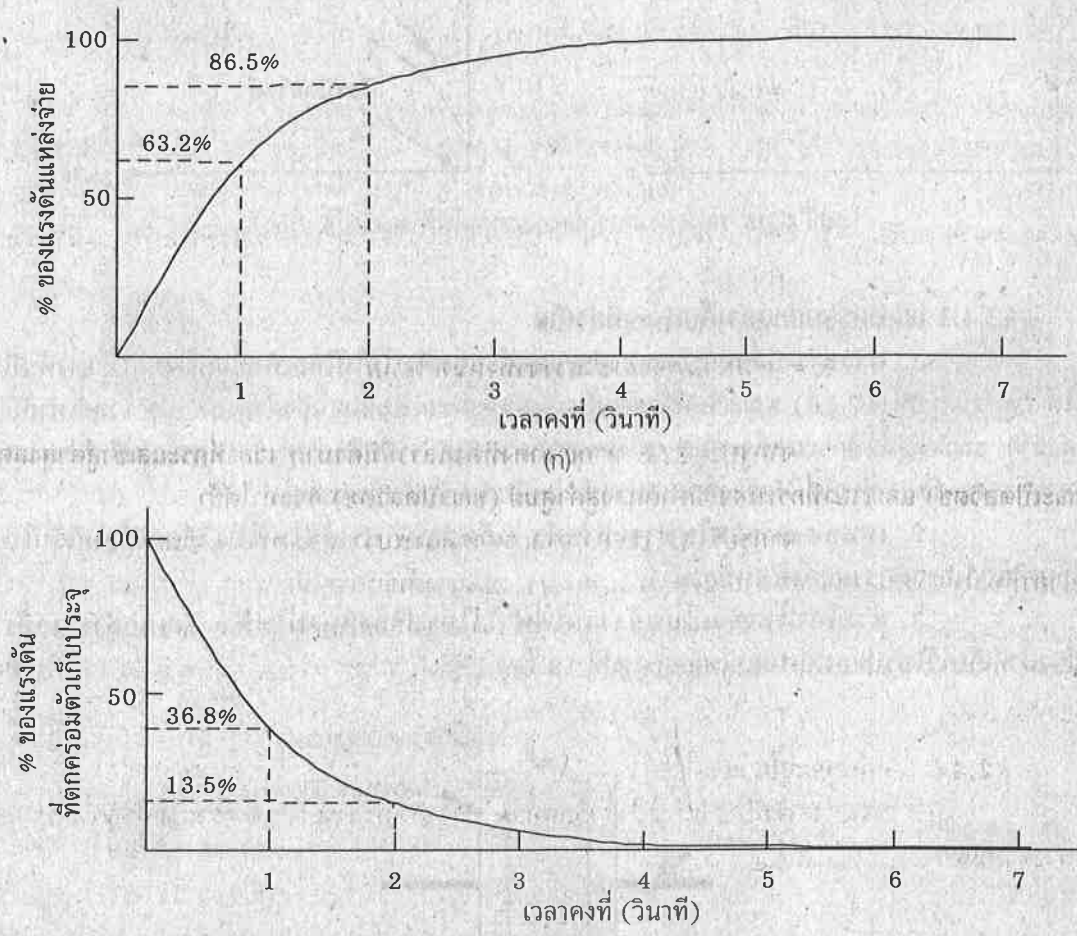
12.4.2 หน่วยของค่าการเก็บประจุ

ค่าการเก็บประจุ (capacitance) เป็นคุณสมบัติทางไฟฟ้าที่เกิดจากตัวเก็บประจุ

หน่วยของค่าการเก็บประจุ คือ "ฟารัด" (Farad) ใช้ตัวย่อ F

นิยาม : ค่าการเก็บประจุ 1 ฟารัด คือการที่ตัวเก็บประจุเก็บประจุไฟฟ้าไว้ 1 คูลอมป์ เมื่อตัวเก็บประจุดังกล่าวถูกชาร์จด้วยแรงเคลื่อน 1 โวลต์ หรือเขียนได้ว่า

$$1F = \frac{1C}{1V}$$



รูปที่ 12.18 กราฟเวลาคงที่ของตัวเก็บประจุขณะ (ก) เก็บประจุ (แรงดันไฟฟ้าเพิ่มขึ้น) (ข) คายประจุ (แรงดันไฟฟ้าค่อย ๆ ลดลง) หลังจากการปิดสวิตช์

12.4.3 พิกัดการใช้งานของตัวเก็บประจุ

พิกัดที่สำคัญของตัวเก็บประจุที่จะต้องพิจารณาเมื่อจะนำไปใช้งานได้แก่

1. ค่าการเก็บประจุ (capacitance) ฟารัด ค่าดังกล่าวจะมีผลต่อการทำงานในวงจรอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งจะกล่าวไว้ในหัวข้อที่ 12.4.4

2. พิกัดแรงดัน (voltage rating) โวลต์ เขียนบอกด้วยอักษร DCWV (Direct Current Working Voltage) หรือแรงดันทำงานในไฟฟ้ากระแสตรง หากตัวเก็บประจุบอกว่า 100 DCWV หมายความว่ามันจะสามารถทำงานได้โดยที่ตัวไดอิเล็กตริกไม่พังทลาย แต่หากเราป้อนไฟที่ 125 โวลต์ หรือ 150 โวลต์ ไดอิเล็กตริกจะไม่พังทันที แต่อายุการใช้งานจะสั้นลงอย่างมาก

12.4.4 พฤติกรรมของตัวเก็บประจุในไฟฟ้ากระแสตรง

ในวงจรไฟฟ้าที่มีตัวเก็บประจุต่ออยู่ แรงเคลื่อนที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุจะค่อยเพิ่มสูงขึ้น (รูปที่ 12.18 (ข)) พร้อมกันนั้นกระแสในวงจรจะค่อย ๆ ลดลง (เช่นเดียวกับเส้นประในรูปที่ 12.18(ก))

12.4.4.1 เวลาคงที่ของวงจรตัวเก็บประจุ เวลาคงที่ (time constant) สำหรับวงจรนี้หาได้จาก

$$\tau = RC \qquad (12.4)$$

เมื่อ τ (เป็นภาษากรีกอ่านว่า ทอ (tau)) คือเวลาคงที่ของตัวเก็บประจุมีหน่วยเป็นวินาที (second)

C = ค่าการเก็บประจุ ฟารัด

R = ค่าความต้านทานในวงจรทั้งหมด โอห์ม

จากรูปที่ 12.8 หากเวลาคงที่ดังกล่าวนี้มีค่ามาก เวลาที่กระแสเข้าสู่ค่าสูงสุด (ขณะเปิดสวิตช์) และเวลาที่กระแสจะมีค่าตกลงสู่ค่าศูนย์ (ขณะปิดสวิตช์) ก็จะทำได้ช้า

จากรูปที่ 12.18(ก) จากการทดลองพบว่า หลังจากเปิดสวิตช์ เวลาคงที่ 1 τ คือเวลาที่ทำให้แรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุเป็น 63.2% ของแรงดันแหล่งจ่าย

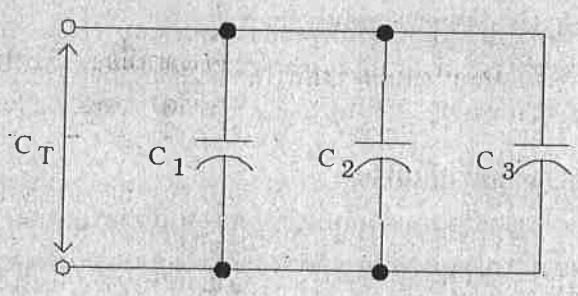
ส่วนในรูปที่ 12.18(ข) หลังจากปิดสวิตช์ พบว่า เวลาคงที่ 1 τ คือเวลาที่ทำให้แรงดันที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุลดลงมา 63.2% ของแรงดันสูงสุด (เหลือที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุเพียง 36.8%)

12.4.5 ตัวเก็บประจุในวงจรไฟฟ้า

12.4.5.1 ตัวเก็บประจุในวงจรอนุกรม การคิดค่าการเก็บประจุรวมในกรณีที่นำมาต่อเป็นวงจรอนุกรม

$$C_T = \frac{1}{\frac{1}{C_1}+\frac{1}{C_2}+\frac{1}{C_3}} \qquad (12.5)$$

ให้สังเกตว่า การคิดค่าการเก็บประจุรวมในวงจรอนุกรม จะเหมือนกับการคิดค่าความต้านทานรวมในวงจรขนาน



รูปที่ 12.19 วงจรตัวเก็บประจุที่ต่อขนานกัน 3 สาขา

12.4.5.2 ตัวเก็บประจุในวงจรขนาน การคิดค่าการเก็บประจุรวมในกรณีที่นำมาต่อเป็นวงจรขนาน ดังรูปที่ 11.19 จะเป็น

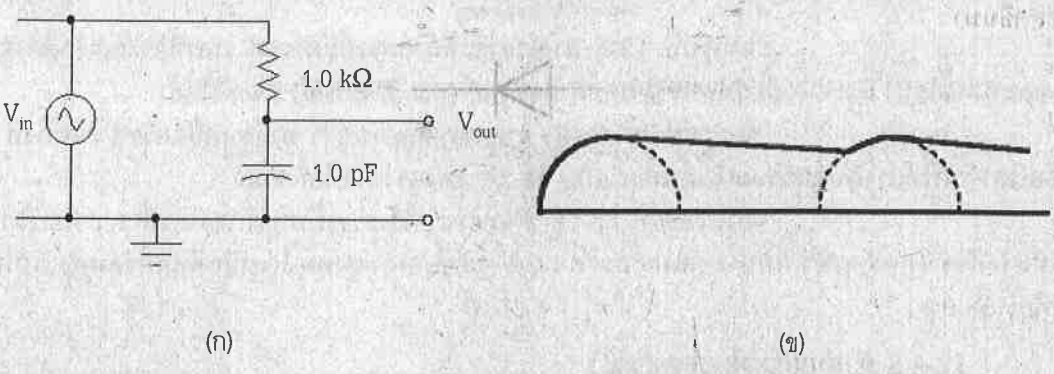
$$C_T = C_1 + C_2 + C_3 \qquad (12.6)$$

ให้สังเกตว่า การคิดค่าการเก็บประจุรวมแบบขนาน จะเหมือนกับการคิดค่าความต้านทานรวมแบบอนุกรม

12.4.6 การประยุกต์ใช้งานของตัวเก็บประจุ

ต่อไปนี้เป็นการนำตัวเก็บประจุไฟฟ้ามาต่อเพื่อใช้ในงานด้านอิเล็กทรอนิกส์ต่าง ๆ

ก. ใช้กรองสัญญาณของแหล่งจ่ายกำลัง (power supply) เพื่อให้ได้สัญญาณไฟฟ้าที่ออกมาราบเรียบ ตัวเก็บประจุดังกล่าวจะถูกต่อหลังจากวงจรซึ่งทำหน้าที่เรียงไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรง (rectifier circuit)



(ก) (ข)

รูปที่ 12.20 (ก) วงจรกรองกระแสไฟฟ้าให้ราบเรียบในแหล่งจ่ายกำลัง (ข) รูปคลื่นที่ได้หลังจากการกรอง

ข. ใช้ในวงจรออสซิลเตอร์ (oscillators) วงจรนี้จะทำหน้าที่เปลี่ยนไฟฟ้ากระแสตรงไปเป็นไฟฟ้ากระแสตรงที่อาจจะเป็นคลื่นแบบไซน์หรือไม่เป็นคลื่นแบบไซน์ก็ได้

ค. ใช้ในวงจรกรอง ที่ต้องการแยกความถี่ค่าต่ำ ๆ ของไฟฟ้ากระแสสลับออกจากความถี่ที่มีค่าสูง ๆ ของไฟฟ้ากระแสสลับ

ง. ใช้สำหรับการเชื่อมต่อ (coupling) วงจรขยายเข้าด้วยกัน (เพื่อแยกไฟฟ้ากระแสสลับออกจากไฟฟ้ากระแสตรง)

จ. ใช้สำหรับปรับเพาเวอร์แฟคเตอร์ให้เหมาะสม (power factor correction) สำหรับระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า (เพื่อเป็นการชดเชย โดยทำให้กระแสของโหลดแบบตัวเหนี่ยวนำซึ่งล้าหลังแรงดันเป็นกระแสนำหน้าแรงดัน)

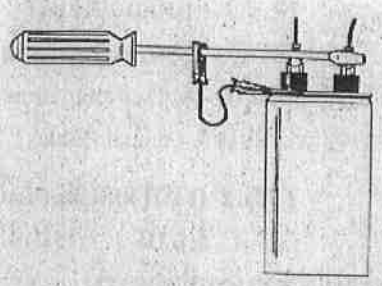
12.4.7 การตรวจสอบตัวเก็บประจุ

ลำดับขั้นการตรวจสอบตัวเก็บประจุด้วยโอห์มมิเตอร์แบบอนาล็อกมีดังนี้

1. นำตัวเก็บประจุมาทำการลัดวงจรที่ขั้วโดยอาจจะใช้ไขควงดังรูปที่ 12.21 เพื่อให้แน่ใจว่าไม่มีประจุหลงเหลือในตัวเก็บประจุ อันอาจจะทำให้มิเตอร์พัง หรือไม่ก็ทำให้ผลการอ่านค่าผิดพลาด กรณีที่ตัวเก็บประจุมีค่าการเก็บประจุมาก และเพิ่งผ่านการใช้งานมา อาจจะช็อตให้เราได้รับบาดเจ็บ

2. วัดค่าความต้านทานของตัวเก็บประจุ เข็มมิเตอร์จะเคลื่อนที่จากอินฟินิตี้ไปทางขวามือ (วิ่งเข้าหาค่าศูนย์) แล้ววิ่งกลับมายังตำแหน่งอินฟินิตี้เหมือนเดิม

3. สลับขาวัดค่าความต้านทานตัวเก็บประจุเข็มมิเตอร์จะเคลื่อนที่จากตำแหน่งอินฟินิตี้ไปทางขวามือ (วิ่งเข้าหาศูนย์) มากกว่าเดิม แล้ววิ่งกลับตำแหน่งอินฟินิตี้ แสดงว่าตัวเก็บประจุดี แต่ถ้าเข็มมิเตอร์เคลื่อนที่จากอินฟินิตี้ไปค้างที่ตำแหน่งศูนย์ แสดงว่าตัวเก็บประจุช็อต

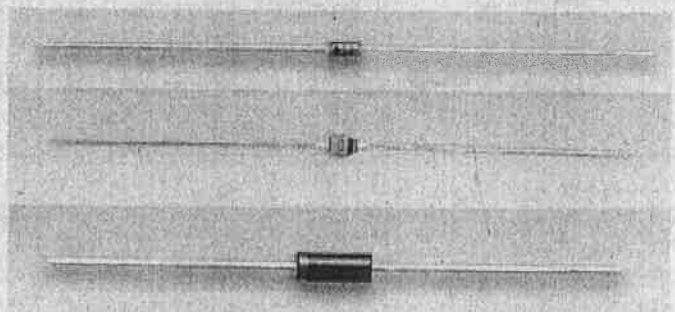


รูปที่ 12.21 การลัดวงจรเพื่อทำให้ประจุในตัวเก็บประจุหมดไป

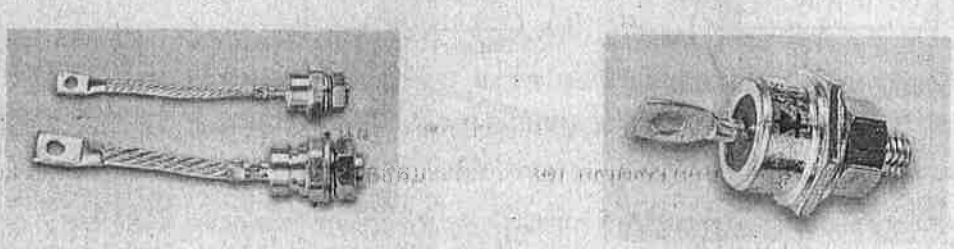
12.5 ไดโอด (Diodes) และการประยุกต์ใช้งาน

ไดโอดใช้งานกันมากมายในวงจรอิเล็กทรอนิกส์ไม่แพ้ตัวอื่น ๆ เป็นสารกึ่งตัวนำยุคแรก ๆ ที่ถูกผลิตขึ้นมา

(ก) สัญลักษณ์ของไดโอด



(ข) ตัวอย่างของไดโอดใช้งานกำลังต่ำ ๆ ทั่วไป มีพิกัดกระแสไม่กี่แอมป์ (ภาพจาก บริษัท Philips semiconductor จำกัด)



(ค) ตัวอย่างของไดโอดกำลัง (power diode) แบบสลักเกลียว (stud) ใช้ในงานอิเล็กทรอนิกส์กำลัง มีพิกัดแรงดันตั้งแต่ 50 V ไปจนถึง 1,200 V หรือมากกว่า ส่วนพิกัดกระแส มีตั้งแต่ 85 A ถึง 330 A หรือมากกว่า (ภาพจาก บริษัท International Rectifier จำกัด)

รูปที่ 12.22 ไดโอด

12.5.1 ชนิดของไดโอด

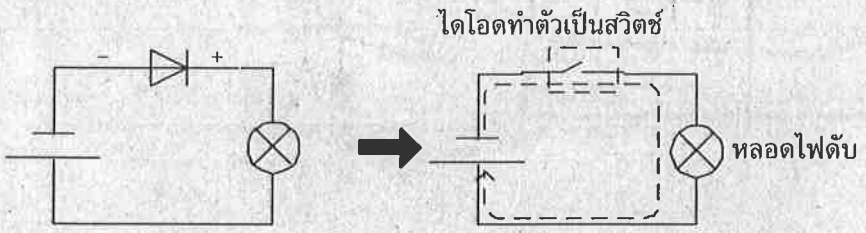
หากแบ่งไดโอดตามการใช้งาน ก็มีมากมายหลายชนิด เช่น ไดโอดเรียงกระแส (rectifier diode) ช็อตกี้ไดโอด (schottky diode) วาแร็คเตอร์ไดโอด (varactor diode) ซีเนอร์ไดโอด (zener diode) และทันแนลไดโอด (tunnel diodes) เป็นต้น แต่ในส่วนนี้จะขอกล่าวถึงเพียงไดโอดเรียงกระแสเท่านั้น

12.5.2 การทำงานของไดโอดเรียงกระแส

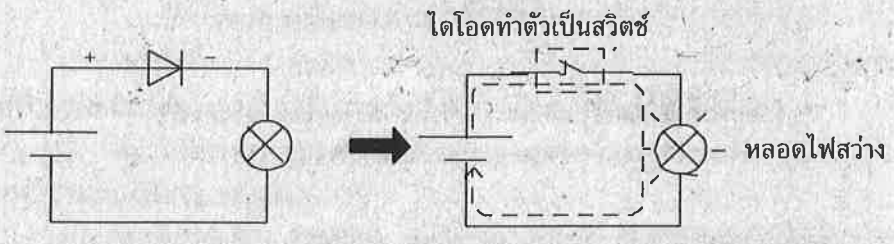
นิยาม : การไบอัส (biasing) คือ การจ่ายกระแสให้กับอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำทำงานหรือไม่ทำงานตามที่ต้องการ

โดยปกติไดโอดจะทำงานเหมือนกับสวิตช์ กล่าวคือ เมื่อไบอัสกลับ (reverse bias) นั่นคือให้กระแสไฟฟ้าลบผ่านแอโนด ไดโอดจะเปิดวงจรออก (กระแสไม่สามารถไหลผ่านได้) ดูรูปที่ 12.23(ก) แต่เมื่อเราจ่ายไบอัสตรง (forward bias) นั่นคือให้ไฟฟ้ากระแสบวกผ่านแอโนด ไดโอดก็จะปิดวงจร (ยอมให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านได้) ดูรูปที่ 12.23(ข)

ดังนั้นหากเราให้ไฟฟ้ากระแสสลับไหลผ่าน เมื่อครึ่งคลื่นบวกผ่านไดโอดจะนำกระแสยอมให้รูปคลื่นบวกผ่าน แต่เมื่อครึ่งคลื่นลบผ่านไดโอดจะไม่ยอมให้รูปคลื่นลบผ่านซึ่งจะได้ผลดังรูปที่ 12.24 (และเมื่อต้องการให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรงราบเรียบ ก็ให้ต่อตัวเก็บประจุดังรูปที่ 12.20)

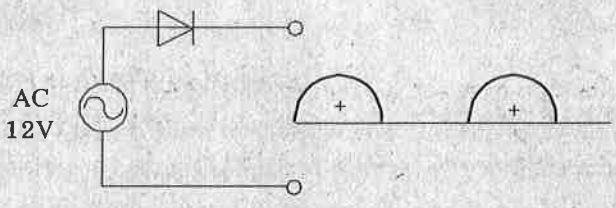


(ก) การต่อไบอัสกลับ ทำให้ไดโอดไม่นำกระแส ตอนนี้ไดโอดตัวเป็นสวิตช์เปิดวงจร



(ข) การต่อไบอัสตรงทำให้ไดโอดนำกระแส ตอนนี้ไดโอดทำตัวเป็นสวิตช์ปิดวงจร

รูปที่ 12.23 การทำงานของไดโอดเปรียบได้กับสวิตช์ทางกล



รูปที่ 12.24 การทำงานของไดโอดเรียงกระแส ใช้สำหรับแปลงไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรง

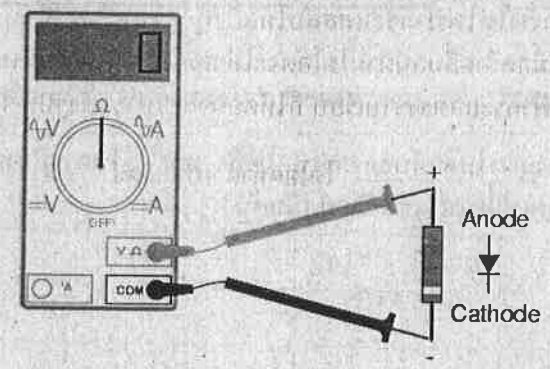
12.5.3 การตรวจสอบไดโอด

การตรวจสอบไดโอดว่าดีหรือเสียทำได้โดยใช้โอห์มมิเตอร์ หรือถ้าเป็นดิจิตอล มัลติมิเตอร์ ก็จะฟังก์ชันทดสอบไดโอดโดยตรง ใช้หลักการที่ว่าภายในมิเตอร์มีแหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้าอยู่ จึงใช้แหล่งจ่ายดังกล่าวมาไบอัสให้ไดโอดทำงาน

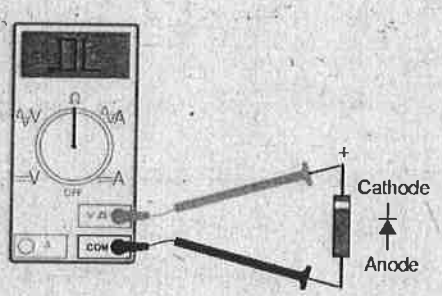
การใช้โอห์มมิเตอร์ทดสอบมีขั้นตอนดังนี้

1. ต่อสายบวกของโอห์มมิเตอร์เข้ากับขาแอโนด ต่อสายบวกเข้ากับขาคาโทดดังรูปที่ 12.25 ค่าความต้านทานที่อ่านได้จะมีค่าเท่ากับศูนย์หรือใกล้เคียงศูนย์

2. สลับสายวัดค่าความต้านทาน โดยต่อสายบวกเข้ากับขาคาโทด และต่อสายลบเข้ากับขาแอโนดดังรูปที่ 12.26 ค่าความต้านทานที่อ่านได้จะอยู่ในย่านเมกะโอห์ม (ถ้าเป็นดิจิตอลมิเตอร์อ่านจะอ่านค่าได้เป็น OL)



รูปที่ 12.25 การต่อโอห์มมิเตอร์แบบไบอัสตรงจะทำให้ค่าความต้านทานที่วัดได้มีค่าต่ำ



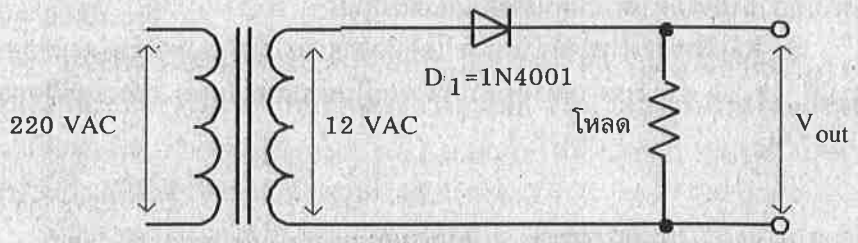
รูปที่ 12.26 เมื่อสลับขั้วกันวัดกับรูปที่ 12.25 (ต่อแบบไบอัสกลับ) ค่าความต้านที่ได้จะมีค่าสูง

3. ถ้าค่าความต้านทานในข้อ 1. และข้อ 2. เป็นศูนย์แสดงว่าไดโอดช็อต แต่ถ้าอ่านค่าได้เป็นอินฟินิตี้ (หรือ OL สำหรับดิจิตอลมิเตอร์) แสดงว่าไดโอดขาด

12.5.4 การนำไดโอดไปใช้งาน

ไดโอดเรียงกระแสสามารถนำไปใช้งานได้ดังนี้

ก. วงจรเรียงกระแส (rectifier) ดูรูปที่ 12.27 วงจรนี้ทำหน้าที่แปลงจากไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรง หรือเรียกว่าแหล่งจ่ายกำลัง (power supply) วงจรดังกล่าวมีอยู่ในเครื่องใช้ไฟฟ้าเกือบทุกตัว



รูปที่ 12.27 วงจรเรียงกระแสสำหรับทำเป็นแหล่งจ่ายกำลังแบบครึ่งคลื่น

ข. ป้องกันการไหลกลับของกระแสไฟฟ้า เช่น ใช้ในการป้องกันแรงดันกลับหลัง (back emf) จากอุปกรณ์ที่มีขดลวดเหนี่ยวนำ เช่น รีเลย์ เป็นต้น