

บทที่ 2

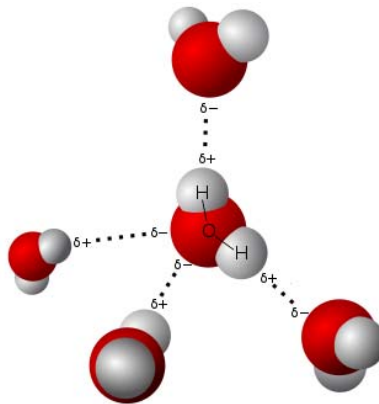
แรงดัน กระแส และความต้านทานไฟฟ้า

แรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และความต้านทานไฟฟ้า เป็นปริมาณทางไฟฟ้าพื้นฐานที่สำคัญที่ใช้ในการวิเคราะห์วงจรไฟฟ้า รวมทั้งในชีวิตประจำวันเครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ ก็ต้องใช้แรงดันไฟฟ้า และกระแสไฟฟ้าในการทำงาน นอกจากนี้ยังจะกล่าวถึงแหล่งกำเนิดไฟฟ้าแบบต่างๆ ทั้งแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้า และแหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้า

2.1 โครงสร้างอะตอม

สสารต่าง ๆ นั้นมีอยู่ 3 สถานะ คือ ของเหลว ของแข็งและก๊าซ ซึ่งสสารทั้ง 3 สถานะนี้อาจจะอยู่ในรูปของธาตุ สารประกอบ และของผสมอย่างใดอย่างหนึ่ง โดยประกอบขึ้นจากส่วนที่เล็กๆ ที่เรียกว่าโมเลกุล (Molecule) ซึ่งเมื่อแบ่งโมเลกุลให้เล็กลงไปเรื่อยๆ จนเป็นอนุภาคที่เล็กที่สุดที่เรียกว่าอะตอม (Atom)

สารที่โมเลกุลของมันประกอบด้วยอะตอมชนิดเดียวกันเรียกว่า ธาตุ (Element) ส่วนสารที่ประกอบด้วยอะตอมต่างชนิดกันเรียกว่า สารประกอบ (Compound) เช่น โมเลกุลของน้ำ (H_2O) ซึ่งประกอบด้วยไฮโดรเจน 2 อะตอม และออกซิเจน 1 อะตอม



ภาพที่ 2.1 โมเลกุลของน้ำ

ที่มา: https://en.wikipedia.org/wiki/Properties_of_water (2017)

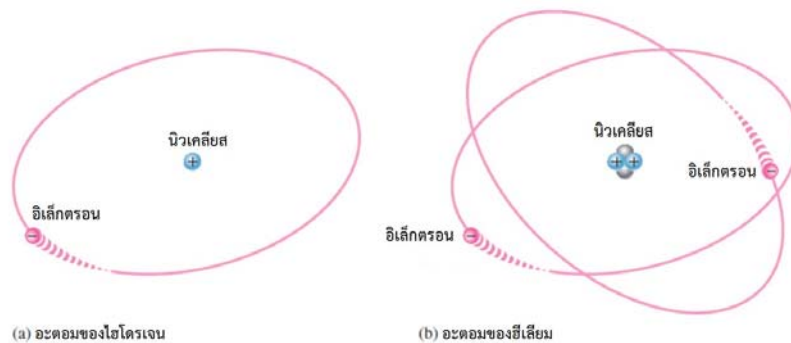
สสารแต่ละชนิดประกอบด้วยโมเลกุลจำนวนมาก แต่ละโมเลกุลจะประกอบด้วยอะตอมหลายๆ อะตอม โดยมีศูนย์กลางของอะตอมที่เรียกว่า นิวเคลียส (Nucleus) ซึ่งประกอบไปด้วยอนุภาคนิวตรอน (Neutron) ที่มีคุณสมบัติเป็นกลางทางไฟฟ้า และโปรตอน (Proton) มีประจุไฟฟ้าเป็นบวก โดยมีอนุภาคอิเล็กตรอน (Electron) มีประจุไฟฟ้าเป็นลบ โคจรรอบๆ นิวเคลียส อิเล็กตรอนที่วิ่งอยู่รอบๆ นิวเคลียสจะมีน้ำหนักน้อยกว่าโปรตอนอย่างมาก ทำให้มันสามารถหลุดออกจากวงโคจรได้ง่ายเมื่อมีแรงดึงดูดมากกระทำกับมัน สสารแต่ละชนิดจะมีจำนวนอะตอมที่ไม่เท่ากันเช่น ไฮโดรเจนจะมี

นิวเคลียส และอิเล็กตรอนอย่างละ 1 ตัว ดังแสดงในภาพที่ 2.3a และฮีเลียมจะมีโปรตอน และนิวตรอนอย่างละ 2 ตัว อยู่ในนิวเคลียส และมีอิเล็กตรอน 2 ตัว โคจรรอบนิวเคลียส ดังแสดงในภาพที่ 2.3b



ภาพที่ 2.2 โครงสร้างของอะตอม

ที่มา: Thomas L. Floyd (2014, p.23)



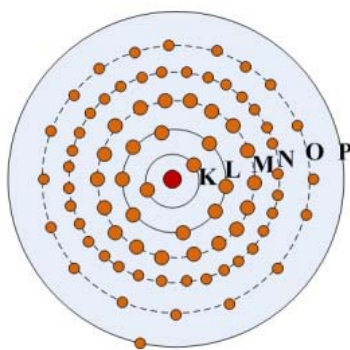
ภาพที่ 2.3 อะตอมของไฮโดรเจน และฮีเลียม

ที่มา: Thomas L. Floyd (2014, p.24)

2.1.1 วงอิเล็กตรอน

วงโคจรของอิเล็กตรอนภายในโครงสร้างอะตอมของวัตถุใด ๆ นั้น อาจจะมีมากกว่า 1 วง โดยในแต่ละวงอิเล็กตรอนจะมีจำนวนอิเล็กตรอนที่แตกต่างกันไป อิเล็กตรอนแต่ละตัวจะมีพลังงานที่ขึ้นอยู่กับ n โดยกำหนดให้ระดับพลังงานต่ำสุด คือ $n = 1$ อิเล็กตรอนที่อยู่ใกล้นิวเคลียสจะมีพลังงานต่ำกว่าอิเล็กตรอนที่อยู่ห่างออกไป ระดับพลังงานนี้จะถูกแบ่งเป็นวง (Shell) ซึ่งแทนด้วยอักษร K, L, M, N, O, P, Q ตามลำดับ จำนวนอิเล็กตรอนที่มีได้มากที่สุดในแต่ละระดับพลังงานมีค่าเท่ากับ $2(n^2)$ เช่น ในชั้น K จะมีจำนวนอิเล็กตรอนได้มากที่สุด เท่ากับ $2(1^2) = 2$ ตัว โดยมีข้อจำกัดว่าอิเล็กตรอน

วงนอกสุดจะมีได้ไม่เกิน 8 ตัว อิเล็กตรอนที่อยู่ในวงนอกสุดนี้เรียกว่า วาเลนซ์อิเล็กตรอน (Valence Electron) และวงอิเล็กตรอนวงนอกสุดเรียกว่า วาเลนซ์เชลล์ (Valence Shell)

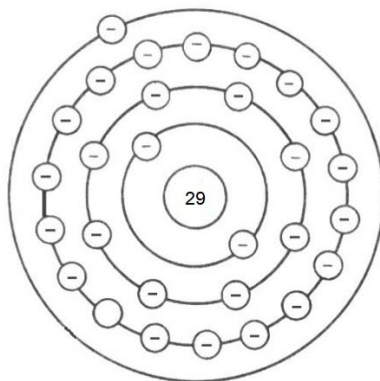


ภาพที่ 2.4 วงอิเล็กตรอน

ที่มา : <https://chemistryprosite.wordpress.com> (2017)

ตัวอย่างโครงสร้างอะตอมของทองแดงซึ่งมีอิเล็กตรอนอยู่ทั้งหมด 29 ตัว สามารถแบ่งจำนวนอิเล็กตรอนในแต่ละวงได้ดังนี้

วง K	มีอิเล็กตรอนได้	$2(1^2)$	= 2 ตัว	(n = 1)
วง L	มีอิเล็กตรอนได้	$2(2^2)$	= 8 ตัว	(n = 2)
วง M	มีอิเล็กตรอนได้	$2(3^2)$	= 18 ตัว	(n = 3)
วง N	มีอิเล็กตรอนได้	1 ตัว		



ภาพที่ 2.5 วงอิเล็กตรอนของทองแดง

2.1.2 ตัวนำ ฉนวน และสารกึ่งตัวนำ

จำนวนวาเลนซ์อิเล็กตรอนในวาเลนซ์เชลล์นี้จะเป็นตัวบ่งบอกคุณสมบัติทางไฟฟ้าของธาตุแต่ละชนิด ซึ่งมีอยู่ 3 ประเภท คือ

2.1.2.1 ตัวนำไฟฟ้า (Conductor) คือสาร หรือวัสดุที่มีวาเลนซ์อิเล็กตรอนจำนวนน้อยๆ ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ได้ง่าย เมื่อมีแรงมากระทำเพียงเล็กน้อย ซึ่งสามารถที่จะหลุดออกจากวงโคจรกลายเป็นอิเล็กตรอนอิสระได้ง่าย ตัวนำไฟฟ้าจะมีวาเลนซ์เชลล์ที่มีจำนวนวาเลนซ์อิเล็กตรอนอยู่ 1 – 3 ตัว โดยทั่วไปจะเป็นวัสดุจำพวกโลหะ เช่น เงิน ทอง ทองแดง อลูมิเนียม เป็นต้น สายไฟฟ้าจึงนิยมทำมาจากทองแดง หรืออลูมิเนียม ส่วนทองซึ่งเป็นตัวนำไฟฟ้าที่ดี แต่มีราคาแพงจึงนำมาทำเป็นลายวงจรไฟฟ้าภายในตัวไอซี

2.1.2.2 ฉนวน (Insulator) คือวัสดุที่ไม่นำไฟฟ้า มีวาเลนซ์อิเล็กตรอนจำนวนมากๆ ทำให้เกิดแรงดึงดูดซึ่งกันและกัน ต้องใช้แรงจำนวนมากๆ ทำให้อิเล็กตรอนหลุดออกจากวงโคจรกลายเป็นอิเล็กตรอนอิสระ ฉนวนจะมีวาเลนซ์เชลล์ที่มีจำนวนวาเลนซ์อิเล็กตรอนอยู่ 5 – 8 ตัว เช่น พลาสติก กระเบื้อง แก้ว เป็นต้น

2.1.2.3 สารกึ่งตัวนำ (Semiconductor) คือวัสดุที่สามารถจะเป็นได้ทั้งตัวนำที่ดี หรือฉนวนที่ดี เพราะมีวาเลนซ์อิเล็กตรอนอยู่ 4 ตัว ซึ่งเป็นจำนวนครึ่งหนึ่งของอิเล็กตรอนวงนอกสูงสุดที่จะมีได้ เช่น ซิลิกอน เยอรมันเนียม เป็นต้น ส่วนใหญ่นำมาทำเป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์จำพวกสารกึ่งตัวนำ เช่น ไดโอด ทรานซิสเตอร์ ไดแอค ไตรแอค เป็นต้น (ณัฐวุฒิ โสมะเกษสทรินทร์, 2553)

2.2 ประจุทางไฟฟ้า

ประจุไฟฟ้าเป็นคุณสมบัติทางไฟฟ้าที่อยู่บนตัวอิเล็กตรอนและโปรตอน ซึ่งทำให้เกิดแรงกระทำระหว่างประจุทั้งสอง กฎของประจุไฟฟ้าถูกค้นพบโดยนักวิทยาศาสตร์ชาวฝรั่งเศส ชื่อ Charles Couloum โดยพบว่าประจุที่เหมือนกันอยู่ใกล้กันจะผลักกัน และประจุต่างกันอยู่ใกล้กันก็จะมีแรงดึงดูดเข้าหากัน (กัมพล ทองเรือง, 2547) โดยสามารถแบ่งประจุออกได้ 2 ชนิดคือ ประจุที่มีสภาพขาดอิเล็กตรอน เรียกว่าประจุบวก (Positive charge) และประจุที่มีสภาพอิเล็กตรอนเกิน เรียกว่าประจุลบ (Negative charge) (ณัฐวุฒิ โสมะเกษสทรินทร์, 2553)



ภาพที่ 2.6 แรงกระทำระหว่างประจุ

ที่มา : กัมพล ทองเรือง (2547, p.4)

สัญลักษณ์ของประจุไฟฟ้าคือ Q มีหน่วยเป็นคูลอมบ์ (Coulomb: C) โดยที่ประจุไฟฟ้า 1 คูลอมบ์ มีจำนวนอิเล็กตรอนเท่ากับ 6.25×10^{18} อิเล็กตรอน ดังนั้นจำนวนประจุบนอิเล็กตรอนหนึ่งตัวจึงมีค่าเท่ากับ 1.6×10^{-19} C

$$1 \text{ อิเล็กตรอน} = \frac{1}{6.25 \times 10^{18}} = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$$

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบของอะตอม

ชนิด	ประจุไฟฟ้า (Coulomb)	น้ำหนัก (Gram)
อิเล็กตรอน	-1.6×10^{-19}	9.108×10^{-28}
โปรตอน	1.6×10^{-19}	1.672×10^{-24}
นิวตรอน	-	1.675×10^{-24}

ตัวอย่างที่ 2.1 93.8×10^{16} อิเล็กตรอน มีค่ากี่คูลอมบ์

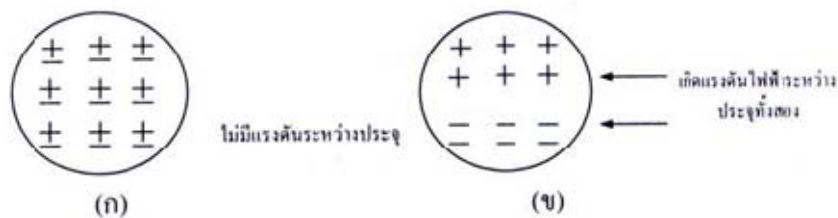
$$Q = \frac{93.8 \times 10^{16}}{6.25 \times 10^{18}} = 15 \times 10^{-2} \text{ C} = 0.15 \text{ C}$$

ตัวอย่างที่ 2.2 ประจุไฟฟ้า 5 คูลอมบ์ มีจำนวนอิเล็กตรอนเท่าไร

$$\begin{aligned} \text{จำนวนอิเล็กตรอน} &= Q \times (6.25 \times 10^{18}) \\ &= 5 \times (6.25 \times 10^{18}) \\ &= 3.125 \times 10^{19} \text{ อิเล็กตรอน} \end{aligned}$$

2.3 แรงดันไฟฟ้า

แรงดันไฟฟ้าเกิดขึ้นเมื่อประจุบวกและประจุลบถูกแยกออกจากกันโดยอยู่คนละด้านกัน การแยกประจุออกจากกันต้องใช้พลังงานเพื่อเคลื่อนย้ายประจุทั้งสอง เมื่อประจุถูกแยกออกจากกัน จะทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้า หรือความต่างศักย์ไฟฟ้าขึ้นระหว่างประจุทั้งสอง (กัมพล ทองเรือง, 2547)



ภาพที่ 2.7 แรงดันไฟฟ้า

ที่มา : กัมพล ทองเรือง (2547, p.6)

แรงดันไฟฟ้ามีหน่วยเป็นโวลต์ (Volt : V) ซึ่งแรงดันไฟฟ้า 1 โวลต์ หมายถึงงานไฟฟ้าขนาด 1 จูล (J) ที่เกิดขึ้นจากการเคลื่อนตัวของประจุไฟฟ้า 1 คูลอมบ์ (C) เขียนสมการได้ว่า

$$V = \frac{W}{Q} \dots\dots\dots(2.1)$$

V คือ แรงดันไฟฟ้า มีหน่วยเป็นโวลต์ (V)

W คือ งานที่เกิดจากการเคลื่อนตัวของประจุไฟฟ้า มีหน่วยเป็นจูล (J)

Q คือ ขนาดของประจุไฟฟ้า มีหน่วยเป็นคูลอมบ์ (C)

ตัวอย่างที่ 2.3 จงหาค่าแรงดันระหว่างจุด 2 จุด ในระบบไฟฟ้า ถ้าเกิดงานขนาด 60 จูล จากการเคลื่อนตัวของประจุไฟฟ้า 20 คูลอมบ์ ระหว่าง 2 จุดนี้

$$V = \frac{W}{Q}$$

$$V = \frac{60}{20} = 3V$$

ตัวอย่างที่ 2.4 จงหาค่างานที่เกิดจากการเคลื่อนตัวของประจุไฟฟ้าขนาด 50 ไมโครคูลอมบ์ จากความต่างศักย์ไฟฟ้า 12 โวลต์

$$W = Q.V$$

$$W = (50 \times 10^{-12}).12 = 60 \times 10^{-12} \text{ J}$$

2.3.1 แหล่งกำเนิดแรงดันไฟฟ้า

แหล่งกำเนิด หรือการกระทำที่ทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าขึ้นมาได้นั้นมีด้วยกันหลากหลายรูปแบบ ทั้งที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ และที่มนุษย์ทำให้เกิดขึ้น สามารถแบ่งออกได้ดังนี้

2.3.1.1 เกิดจากการเสียดสี โดยการนำวัสดุ 2 ชนิดมาเสียดสี หรือถูไปมา เช่น แผ่นพลาสติกกับผ้า ผ้าสักหลาดกับแท่งอำพัน หนังกบกับขนสัตว์หรือพรม แท่งแก้วกับผ้าแพร เป็นต้น จนวัตถุทั้ง 2 ชนิดเกิดความไม่สมดุลของประจุไฟฟ้าขึ้น ทำให้วัตถุอันหนึ่งมีประจุเป็นบวก และอีกอันหนึ่งมีประจุเป็นลบ ไฟฟ้าที่เกิดขึ้นเป็นไฟฟ้าสถิตย์

2.3.1.2 เกิดจากความร้อน โดยใช้โลหะ 2 ชนิดที่ต่างกันมาเชื่อมติดกันแล้วนำไปลงไฟให้เกิดความร้อนที่ปลายโลหะทั้ง 2 จนทำให้ปลายทั้ง 2 ด้านมีอุณหภูมิต่างกันและทำให้เกิดกระแสไหลวนในโลหะทั้ง 2 ได้ เช่น เทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple) ใช้เพื่อวัดอุณหภูมิ

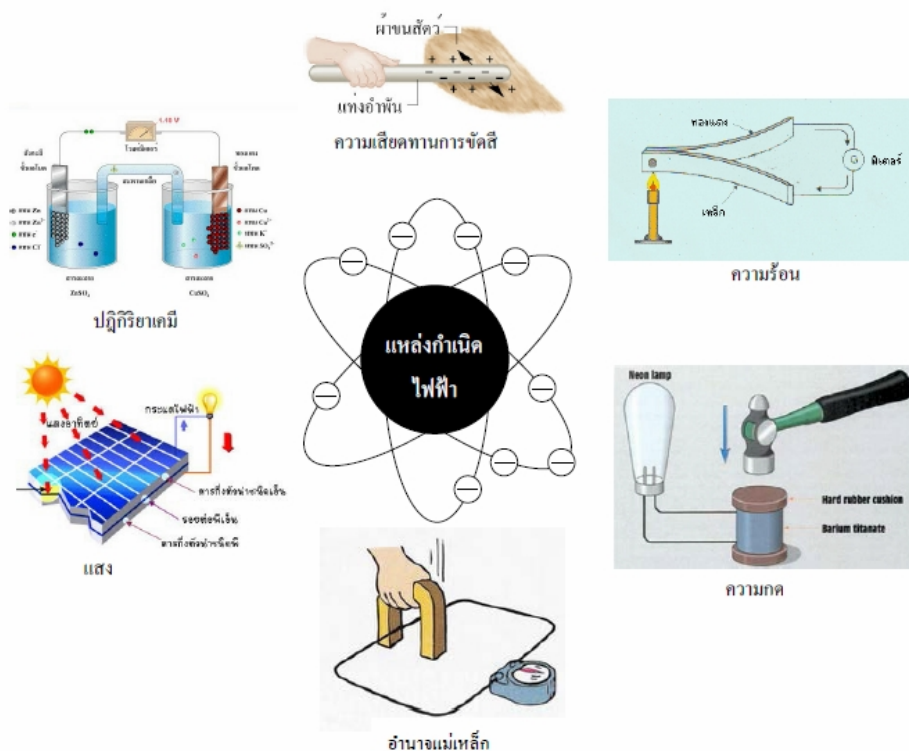
2.3.1.3 เกิดจากแรงกด แร่ธาตุบางชนิด เช่น ผลึกของหินเขี้ยวหนุมาน ผลึกของควอตซ์ เพียโซอิเล็กทริก (Piezoelectric) เมื่อเกิดแรงกดมากกระทำจะทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าขึ้นมาได้

2.3.1.4 เกิดจากการเหนี่ยวนำ โดยใช้ขดลวดเหนี่ยวนำเคลื่อนที่ตัดกับเส้นแรงแม่เหล็ก จะทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำขึ้นในขดลวดนั้น ปริมาณไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปัจจัยดังนี้

- 1) จำนวนขดลวด ถ้าขดลวดมีจำนวนมากก็จะเกิดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำมากด้วย
- 2) ความเข้มของเส้นแรงแม่เหล็ก ถ้าแม่เหล็กมีความเข้มของเส้นแรงแม่เหล็กมากก็จะเกิดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำมากด้วย
- 3) ความเร็วในการเคลื่อนที่ของขดลวดตัดกับเส้นแรงแม่เหล็ก ถ้าเคลื่อนที่ผ่านสนามแม่เหล็กเร็วขึ้นก็จะเกิดแรงดันไฟฟ้าเพิ่มขึ้นด้วย

2.3.1.5 เกิดจากแสง เป็นปฏิกิริยาของสารบางชนิด เมื่อได้รับแสงสว่างจะเกิดการปล่อยอิเล็กตรอนออกมา เช่นโซล่าเซลล์ โฟโตทรานซิสเตอร์

2.3.1.6 เกิดจากปฏิกิริยาเคมี คือการเปลี่ยนปฏิกิริยาทางเคมีเป็นให้เกิดเป็นแรงดันไฟฟ้า โดยนำขั้วไฟฟ้า เช่น ทองแดง และแผ่นสังกะสีจุ่มในสารซัลฟิวริกเจือจาง ขั้วไฟฟ้าทั้งสองจะทำปฏิกิริยากับสารละลายแล้วเกิดการแตกตัว โดยสังกะสีจะแตกตัวให้อิเล็กตรอนมากกว่าทองแดง ทำให้อิเล็กตรอนเคลื่อนที่จากขั้วสังกะสีไปสูขั้วทองแดง ขั้วสังกะสีจะเป็นขั้วไฟฟ้าลบและมีศักย์ไฟฟ้าต่ำ ส่วนขั้วทองแดงจะเป็นขั้วไฟฟ้าบวกและมีศักย์ไฟฟ้าสูง จึงเกิดแรงดันไฟฟ้าหรือศักย์ไฟฟ้าขึ้น (วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี, 2560) ส่วนประกอบของไฟฟ้าที่เกิดจากการทำปฏิกิริยาเคมีนี้เรียกว่า โวลตาอิกเซลล์ (Voltaic cell)



ภาพที่ 2.8 แหล่งกำเนิดแรงดันไฟฟ้า

ที่มา: <https://sites.google.com/site/mechatronicett09/project-definition/2-1> (2016)

2.3.2 แบตเตอรี่

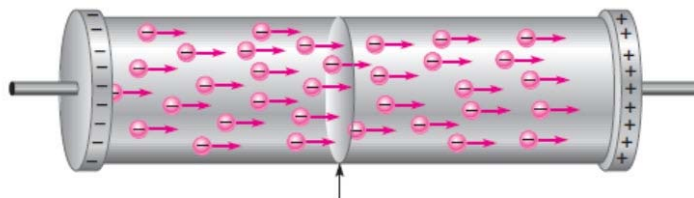
แบตเตอรี่เป็นอุปกรณ์ที่ผลิตขึ้นสำหรับใช้เป็นแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงให้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆ ซึ่งประกอบด้วยเซลล์ไฟฟ้าเคมีหนึ่งเซลล์หรือมากกว่า แบตเตอรี่มี 2 ขั้ว คือขั้วบวก (Positive) และ ขั้วลบ (Negative) ขั้วบวกจะมีศักย์ไฟฟ้าสูงกว่าขั้วลบ แบตเตอรี่แบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ

2.3.2.1 แบตเตอรี่ปฐมภูมิเป็นแบตเตอรี่ที่เมื่อนำมาใช้แล้วไม่สามารถนำกลับมาชาร์จประจุไฟฟ้าเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ได้ เนื่องจากแรงดันไฟฟ้าที่ได้ของแบตเตอรี่ปฐมภูมิเกิดจากการเปลี่ยนแปลงของสารเคมี เมื่อสารเคมีเปลี่ยนแปลงเป็นไฟฟ้าจนหมดก็จะทำให้แรงดันไฟฟ้าหมดด้วยตัวอย่างของแบตเตอรี่ปฐมภูมิ เช่น

2.3.2.2 แบตเตอรี่ทุติยภูมิเป็นแบตเตอรี่ที่เมื่อนำมาใช้แล้วสามารถนำกลับมาชาร์จประจุไฟฟ้าเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ได้ เนื่องจากสารเคมีที่ใช้ทำแบตเตอรี่ประเภทนี้สามารถทำให้กลับไปอยู่ในสภาพเดิมได้โดยการอัดกระแสไฟเข้าไปใหม่

2.4 กระแสไฟฟ้า

กระแสไฟฟ้า หมายถึงการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนอิสระอย่างต่อเนื่อง เมื่อมีแหล่งจ่ายหรือแรงดันไฟฟ้าต่ออยู่ในวงจร ใช้สัญลักษณ์ตัวอักษร “ I ” มีหน่วยเป็นแอมแปร์ (Ampere) ใช้สัญลักษณ์ตัวอักษร “ A ”



เมื่อจำนวนอิเล็กตรอนที่ทำให้เกิดประจุไฟฟ้า 1 คูลอมบ์เคลื่อนที่ผ่านพื้นที่หน้าตัดในเวลา 1 วินาที จะทำให้เกิดกระแสไฟฟ้า 1 แอมแปร์

ภาพที่ 2.9 กระแสไฟฟ้า

ที่มา: Thomas L. Floyd (2014, p.36)

กระแสไฟฟ้า 1 แอมแปร์ จะเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่อมีประจุไฟฟ้า 1 คูลอมบ์ ไหลผ่านจุดในเวลา 1 วินาที สามารถเขียนสมการความสัมพันธ์ได้ดังสมการที่ 2.2

$$I = \frac{Q}{t} \dots\dots\dots (2.2)$$

I คือกระแสไฟฟ้า มีหน่วยเป็นแอมแปร์ (A) หรือคูลอมบ์ต่อวินาที (C/s)

Q คือประจุไฟฟ้า มีหน่วยเป็นคูลอมบ์ (C)

t คือเวลา มีหน่วยเป็นวินาที (s)

ตัวอย่างที่ 2.5 ถ้าประจุไฟฟ้าขนาด 100 coulomb เคลื่อนที่ผ่านลวดตัวนำไฟฟ้าในเวลา 5 วินาที จะเกิดกระแสไฟฟ้าเท่าไร

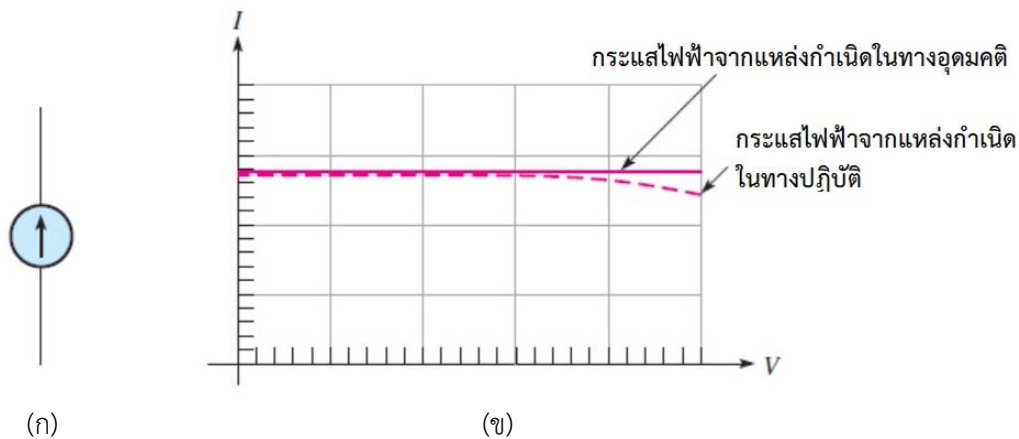
$$I = \frac{Q}{t} = \frac{100C}{5s} = 20A$$

ตัวอย่างที่ 2.6 จงหาขนาดของประจุไฟฟ้าที่ใช้เวลาในการเคลื่อนที่ในวงจรไฟฟ้า 2 นาที ทำให้เกิดกระแสไฟฟ้า 100 มิลลิแอมป์

$$Q = I.t = (100 \times 10^{-3} A) \times (2 \times 60s) = 12C$$

2.4.1 แหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้า

แหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้า เป็นอุปกรณ์ที่สามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆ ได้ สัญลักษณ์ของแหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้ากระแสตรงแสดงในภาพที่ 2.10 (ก) โดยมีทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้าตามหัวลูกศร กระแสไฟฟ้าจากแหล่งกำเนิดในทางอุดมคติจะสามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าคงที่ได้อย่างต่อเนื่อง แต่กระแสไฟฟ้าจากแหล่งกำเนิดจะมีกระแสไฟฟ้าที่ลดลงเล็กน้อยดังแสดงในภาพที่ 2.10 (ข)



ภาพที่ 2.10 สัญลักษณ์ และกราฟกระแสแรงดันไฟฟ้า

ที่มา: Thomas L. Floyd (2014, p.37)



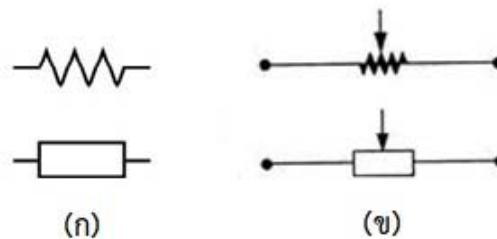
ภาพที่ 2.11 แหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้า

ที่มา: Thomas L. Floyd (2014, p.37)

2.5 ความต้านทานไฟฟ้า

ความต้านทานไฟฟ้า คือคุณสมบัติของวัตถุที่ต้านทานการไหลของกระแสไฟฟ้า วัตถุทุกชนิดจะต้านทานการไหลของกระแสไฟฟ้า วัตถุบางชนิดต้านได้มากบางชนิดต้านได้น้อย ดังนั้นคุณสมบัติของความต้านทานไฟฟ้า คือทำให้กระแสไฟฟ้าเปลี่ยนแปลง ถ้าในวงจรไฟฟ้ามีค่าความต้านทานมาก กระแสไฟฟ้าจะไหลได้น้อย ในทางกลับกันถ้าในวงจรไฟฟ้ามีค่าความต้านทานน้อยกระแสไฟฟ้าก็จะไหลได้มาก ความต้านทานไฟฟ้ามีหน่วยเป็นโอห์ม (Ohm)

ตัวต้านทานไฟฟ้าเป็นอุปกรณ์ที่ทำขึ้นจากสารตัวนำที่นำไฟฟ้าได้ไม่ดี เช่นคาร์บอน หรือโลหะผสมต่างๆ ทำหน้าที่จำกัดกระแสไฟฟ้าที่จะไหลผ่าน สัญลักษณ์ของตัวต้านทานไฟฟ้าแสดงในภาพที่ 2.12 (ก) เป็นสัญลักษณ์ตัวต้านทานไฟฟ้าแบบค่าคงที่ และ (ข) เป็นสัญลักษณ์ตัวต้านทานไฟฟ้าแบบค่าปรับค่าได้



ภาพที่ 2.12 สัญลักษณ์ของตัวต้านทานไฟฟ้า

2.5.1 ชนิดของตัวต้านทานไฟฟ้า

ตัวต้านทานไฟฟ้าสามารถแบ่งตามชนิด และนำการใช้งานได้หลายประเภท เช่นแบบค่าคงที่ แบบเลือกค่าได้ แบบปรับค่าได้ แบบพิเศษ เป็นต้น ดังมีรายละเอียดดังนี้

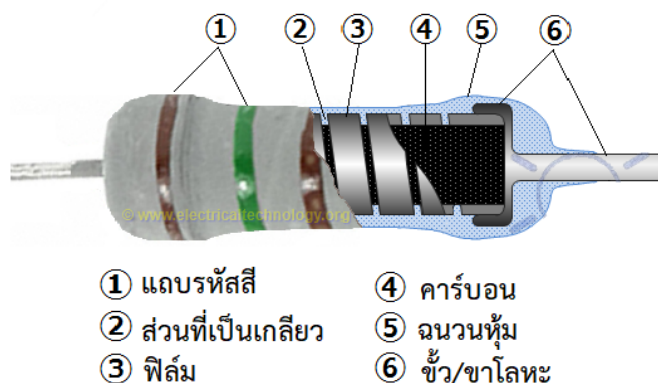
1. ตัวต้านทานไฟฟ้าแบบคาร์บอน (carbon resistors) เป็นตัวต้านทานไฟฟ้าชนิดค่าคงที่ ที่ทำจากผงคาร์บอนหรือผงกราไฟต์ผสมกับตัวประสาน เช่น ฟีนอลิก ยางสน เซรามิค อัดแน่นด้วยความร้อนสูงให้เป็นแท่งทรงกระบอกแล้วต่อดำด้วยเส้นลวดโลหะที่ปลายทั้งสองด้านออกมาเพื่อเป็นขานำไปต่อใช้งาน บริเวณผิวด้านนอกของแท่งคาร์บอนผสมจะฉาบด้วยฉนวนให้เกิดความแข็งแรงอีกชั้นหนึ่ง



ภาพที่ 2.13 ตัวต้านทานไฟฟ้าแบบคาร์บอน

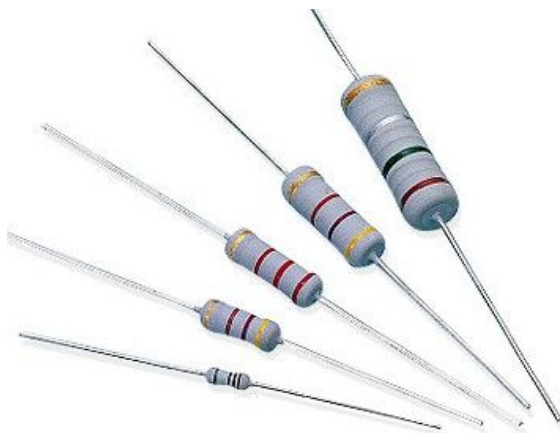
ที่มา: <https://www.alibaba.com> (2560)

2. แบบฟิล์มคาร์บอน (Carbon film Resistor) เป็นตัวต้านทานไฟฟ้าชนิดค่าคงที่ ทำโดยการฉาบผงคาร์บอนที่ทำเป็นตัวต้านทานไฟฟ้าลงบนแท่งเซรามิกซึ่งเป็นฉนวนแล้วจึงนำไปเผาเพื่อทำให้เกิดเป็นแผ่นฟิล์มคาร์บอนบางๆ ขึ้นมาเคลือบอยู่บนแกนเซรามิก และฉาบด้วยสารที่เป็นฉนวนแล้วจึงต่อขาโลหะที่จุดสัมผัสปลายทั้ง 2 ด้านของฟิล์มคาร์บอนออกมาใช้งาน



ภาพที่ 2.14 ตัวต้านทานไฟฟ้าแบบฟิล์มคาร์บอน

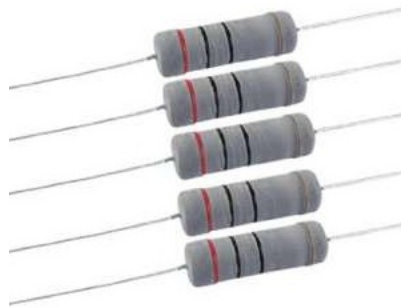
3. แบบฟิล์มโลหะ (Metal film Resistor) เป็นตัวต้านทานไฟฟ้าชนิดค่าคงที่ ทำโดยการพ่นฟิล์มโลหะให้เป็นแผ่นบางๆ ลงบนแผ่นเซรามิกรูปทรงกระบอก แล้วจึงตัดแผ่นฟิล์มที่เคลือบออกให้ได้ค่าความต้านทานตามที่ต้องการ และทำการเคลือบด้วยสารอีพ็อกซี่ (Epoxy) ตัวต้านทานไฟฟ้าแบบนี้มีค่าความคลาดเคลื่อน 0.1 - 2 %



ภาพที่ 2.15 ตัวต้านทานไฟฟ้าแบบฟิล์มโลหะ

ที่มา: <https://www.gmelectronic.com> (2560)

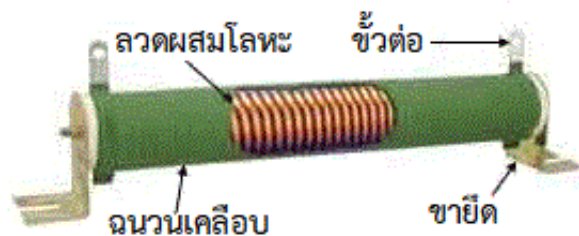
4. แบบออกไซด์ของโลหะ (Metal Oxide Resistor) เป็นตัวต้านทานไฟฟ้าชนิดค่าคงที่ โครงสร้างภายในของตัวต้านทานไฟฟ้าแบบออกไซด์ของโลหะจะมีลักษณะคล้ายกับตัวต้านทานไฟฟ้าแบบฟิล์มโลหะ โดยเคลือบออกไซด์ของโลหะประเภทดีบุกลงบนวัสดุเซรามิกซึ่งเป็นฉนวน โดยอัตราส่วนของออกไซด์โลหะซึ่งมีคุณสมบัติเป็นตัวนำไฟฟ้าต่อฉนวนจะเป็นตัวกำหนดค่าความต้านทานไฟฟ้าให้กับตัวต้านทานไฟฟ้าแบบนี้ คุณสมบัติพิเศษสำหรับตัวต้านทานไฟฟ้าแบบออกไซด์ของโลหะ คือสามารถทนต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิได้ดี



ภาพที่ 2.16 ตัวต้านทานไฟฟ้าแบบแบบออกไซด์ของโลหะ

ที่มา: <http://www.popscreen.com> (2560)

5. แบบขดลวดพัน (Wire-wound Resistor) โครงสร้างภายในของตัวต้านทานไฟฟ้าแบบนี้เกิดจากพันขดลวดโลหะผสม 2 หรือ 3 ชนิด รอบๆ แกนเซรามิก ซึ่งทำหน้าที่เป็นฉนวน สำหรับโลหะผสมที่นิยมใช้เช่น นิเกิลกับโครเมียม หรือ ทองแดงกับนิเกิล เพราะเป็นโลหะผสมที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานไฟฟ้าภายในตัวน้อยมากเมื่อเกิดความร้อนขึ้น หลักจากพันโลหะผสมแล้วจะต่อปลายทั้ง 2 ด้านของโลหะผสมกับขั้วต่อส่วนหัวและส่วนท้ายของตัวต้านทานไฟฟ้าออกมาเพื่อเป็นจุดต่อไปใช้งาน แล้วเคลือบด้วยน้ำยาเคลือบประเภทเซรามิก ซีเมนต์ หรือซิลิโคน อีกชั้นหนึ่งเพื่อเป็นฉนวน ป้องกันไม่ให้ลวดโลหะผสมเกิดรอยขีดข่วนทำให้เส้นลวดขาด และป้องกันความชื้น สำหรับค่าความต้านทานไฟฟ้าแบบนี้สามารถเปลี่ยนแปลงได้โดยขึ้นอยู่กับความยาว ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง และชนิดของลวดโลหะผสมที่ใช้พันบนแกนเซรามิก ตัวต้านทานแบบนี้ใช้ในงานที่ต้องการค่าความต้านทานต่ำๆ เพื่อให้กระแสไหลผ่านได้มาก มีทั้งชนิดค่าคงที่ เลือกค่าได้ และปรับค่าได้



ภาพที่ 2.17 ตัวต้านทานไฟฟ้าแบบขดลวดพันชนิดค่าคงที่



ภาพที่ 2.18 ตัวต้านทานไฟฟ้าแบบขดลวดพันชนิดเลือกค่าได้

ที่มา: <https://www.alibaba.com> (2560)



ภาพที่ 2.19 ตัวต้านทานไฟฟ้าแบบขดลวดพันชนิดปรับค่าได้

ที่มา: <https://www.alibaba.com> (2560)

6. โปเทนซิโอมิเตอร์ (Potentiometer) หรือพอด (Pot) คือตัวต้านทานไฟฟ้าที่เปลี่ยนค่าได้ที่ใช้ในวงจรอิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ โครงสร้างส่วนใหญ่จะใช้วัสดุประเภทคาร์บอนผสมกับเซรามิกและเรซินเคลือบลงบนฉนวน และมีแกนหมุน หรือเลื่อนเป็นขากลางทำด้วยโลหะไปสัมผัสกับคาร์บอนผสมที่เป็นส่วนความต้านทานไฟฟ้า เมื่อมีการหมุน หรือเลื่อนแกนกลางจะทำให้ค่าความต้านทานไฟฟ้าเกิดการเปลี่ยนแปลง



ภาพที่ 2.20 ตัวต้านทานไฟฟ้าแบบเปลี่ยนค่าได้

7. เทอร์มิสเตอร์ (thermistor) เป็นตัวต้านทานไฟฟ้าแบบพิเศษประเภทสารกึ่งตัวนำ ทำหน้าที่ตรวจจับอุณหภูมิ ทำจากโลหะออกไซด์ เช่นแมงกานีส, นิกเกิล, โคบอลต์, ทองแดง และ ยูเรเนียม เป็นต้น โดยสารเหล่านี้จะมีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ เทอร์มิสเตอร์จึงมีคุณสมบัติที่เปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานไฟฟ้าตามอุณหภูมิ โดยมีสัญลักษณ์แสดงในภาพที่ 2.21 เทอร์มิสเตอร์แบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทคือ

1. ค่าความต้านทานไฟฟ้าแปรผกผันกับอุณหภูมิ (Negative Temperature Coefficient, NTC) โดยค่าความต้านทานไฟฟ้าภายในของวัสดุมีค่าลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น และค่าความต้านทานไฟฟ้าภายในของวัสดุสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิลดลง

2. ค่าความต้านทานไฟฟ้าแปรผันตรงกับอุณหภูมิ (Positive Temperature Coefficient, PTC) โดยค่าความต้านทานไฟฟ้าภายในของวัสดุและค่าอุณหภูมิจะเปลี่ยนแปลงตามกัน คือค่าความต้านทานไฟฟ้าภายในของวัสดุมีค่าสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น และค่าความต้านทานไฟฟ้าภายในของวัสดุลดลงเมื่ออุณหภูมิลดลง



ภาพที่ 2.21 สัญลักษณ์ของเทอร์มิสเตอร์

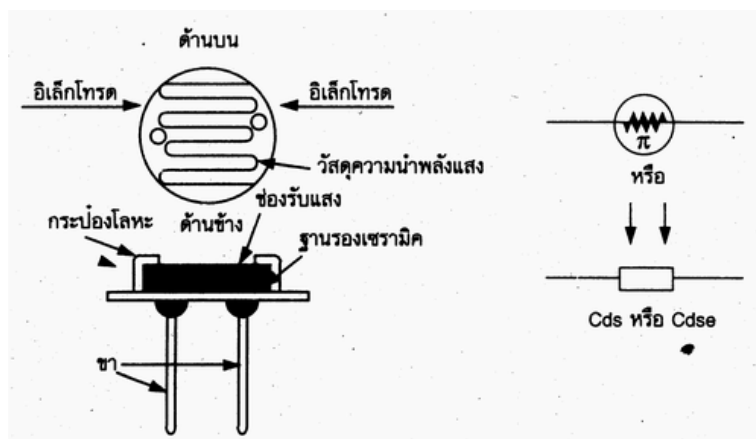
ที่มา: <http://kapaormutl.blogspot.com> (2560)



ภาพที่ 2.22 ตัวอย่างเทอร์มิสเตอร์แบบต่างๆ

ที่มา: <http://www.sensorsci.com/thermistor-blog> (2560)

8. แอลดีอาร์ (LDR : Light Dependent Resistor) เป็นตัวต้านทานไฟฟ้าแบบพิเศษที่ไวต่อแสง คือตัวต้านทานไฟฟ้าที่สามารถเปลี่ยนสภาพความนำไฟฟ้าได้เมื่อมีแสงมาตกกระทบ บางครั้งเรียกว่าโฟโตริซิสเตอร์ (Photo Resistor) เป็นตัวต้านทานไฟฟ้าที่ทำมาจากสารกึ่งตัวนำประเภทแคดเมียมซัลไฟด์ (Cds : Cadmium Sulfide) หรือแคดเมียมซีลีไนด์ (CdSe : Cadmium Selenide (บริษัท พีเอสพีเทค จำกัด, 2560) โครงสร้างและสัญลักษณ์ของแอลดีอาร์แสดงในภาพที่ 2.23



ภาพที่ 2.23 โครงสร้างและสัญลักษณ์ของแอลดีอาร์

ที่มา: www.psptech.co.th (2560)



ภาพที่ 2.24 แอลดีอาร์

ที่มา: <https://leetechbd.com> (2560)

2.5.2 การอ่านค่าของตัวต้านทานไฟฟ้า

ตัวต้านทานไฟฟ้ามีมากมายหลายประเภท และในแต่ละประเภทก็มีค่าความต้านทานไฟฟ้ามาตรฐานมากมายหลายค่า ดังนั้นการที่จะทำให้ทราบค่าความต้านทานไฟฟ้าของตัวต้านทานไฟฟ้าแต่ละตัวจึงจำเป็นต้องมีการระบุค่าความต้านทานไฟฟ้าไว้บนตัวต้านทานไฟฟ้าเพื่อความสะดวกในการนำไปใช้งาน และเนื่องจากตัวต้านทานไฟฟ้ามีทั้งขนาดเล็ก และใหญ่แตกต่างกันไป การที่จะระบุค่าความต้านทานไฟฟ้าบนตัวต้านทานไฟฟ้านั้นจึงมีอยู่ 3 แบบดังนี้

1. การระบุค่าความต้านทานไฟฟ้า ค่าความคลาดเคลื่อน และค่าอัตราทนกำลังไฟฟ้าเป็นตัวเลขไว้บนตัวต้านทานไฟฟ้า ส่วนมากจะเป็นตัวต้านทานไฟฟ้าที่มีขนาดใหญ่ เช่นตัวต้านทานไฟฟ้าแบบชุดลวดพัน แบบแผ่นฟิล์มบาง โครงข่าย แบบโพเทนซิโอมิเตอร์ แบบทริม เป็นต้น การระบุค่าความต้านทานไฟฟ้าแบบนี้ง่ายต่อการอ่านมาก

ตัวอย่างเช่น

4K7 หมายความว่าตัวต้านทานไฟฟ้ามีค่าความต้านทานไฟฟ้า 4.7 กิโลโอห์ม

47K หมายความว่าตัวต้านทานไฟฟ้ามีค่าความต้านทานไฟฟ้า 47 กิโลโอห์ม

50Ω 3W หมายความว่าตัวต้านทานไฟฟ้ามีค่าความต้านทานไฟฟ้า 50 โอห์ม อัตราทนกำลังไฟฟ้า 3 วัตต์

100KΩ 5% 2W หมายความว่าตัวต้านทานไฟฟ้ามีค่าความต้านทานไฟฟ้า 100 กิโลโอห์ม ความคลาดเคลื่อน 5 เปอร์เซ็นต์ อัตราทนกำลังไฟฟ้า 2 วัตต์

500Ω +/-5Ω 5W หมายความว่าตัวต้านทานไฟฟ้ามีค่าความต้านทานไฟฟ้า 500 โอห์ม ความคลาดเคลื่อน +/-5 โอห์ม อัตราทนกำลังไฟฟ้า 5 วัตต์

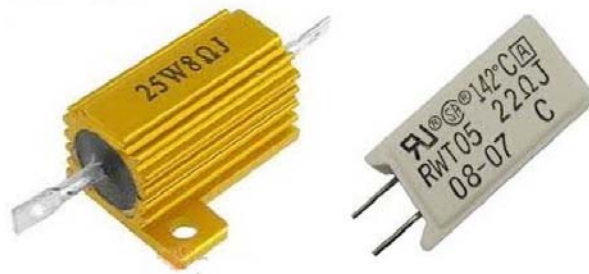
นอกจากค่าความคลาดเคลื่อนที่ระบุเป็นค่าเปอร์เซ็นต์ และค่าเป็นโอห์มแล้ว ยังมีค่าความคลาดเคลื่อนที่ระบุมาเป็นตัวอักษรด้วย

ตัวอย่างเช่น

10W 33Ω K หมายความว่าตัวต้านทานไฟฟ้ามีค่าความต้านทานไฟฟ้า 33 โอห์ม ความคลาดเคลื่อน +/-10 เปอร์เซ็นต์ อัตราทนกำลังไฟฟ้า 10 วัตต์

25W 8Ω J หมายความว่าตัวต้านทานไฟฟ้ามีค่าความต้านทานไฟฟ้า 8 โอห์ม ความคลาดเคลื่อน +/-5 เปอร์เซ็นต์ อัตราทนกำลังไฟฟ้า 25 วัตต์

22Ω J หมายความว่าตัวต้านทานไฟฟ้ามีค่าความต้านทานไฟฟ้า 22 โอห์ม ความคลาดเคลื่อน +/-5 เปอร์เซ็นต์



ภาพที่ 2.25 ตัวต้านทานไฟฟ้าที่ระบุค่าความคลาดเคลื่อนเป็นตัวอักษร

ตารางที่ 2.2 ค่าความคลาดเคลื่อนของตัวต้านทานไฟฟ้าที่ระบุเป็นตัวอักษร

ตัวอักษร	ค่าความคลาดเคลื่อน (%)
J	5
K	10
M	20
F	1
G	2
D	0.5
C	0.25
B	0.1
A	0.05

2. การระบุค่าความต้านทานไฟฟ้าเป็นรหัสตัวเลขไว้บนตัวต้านทานไฟฟ้า ส่วนมากจะเป็นตัวต้านทานไฟฟ้าที่มีเล็กถึงปานกลาง เช่นตัวต้านทานไฟฟ้าแบบแผ่นฟิล์มหนา แบบแผ่นฟิล์มบาง โครงข่าย แบบทริม เป็นต้น การระบุค่าความต้านทานไฟฟ้าแบบรหัสตัวเลขโดยทั่วไปจะประกอบด้วยตัวเลข 3 หลัก

วิธีการอ่าน

ตัวเลขตัวที่ 1 เป็นตัวตั้งหลักสิบ

ตัวเลขตัวที่ 2 เป็นตัวตั้งหลักหน่วย

ตัวเลขตัวที่ 3 เป็นตัวคูณเลขฐานสิบยกกำลังด้วยตัวเลขตัวที่ 3 เช่นเลข 2 คือ $10^2 = 100$ เลข 3 คือ $10^3 = 1,000$ เลข 4 คือ $10^4 = 10,000$ เป็นต้น

ตัวอย่างเช่น

500 คือ $50 \times 10^0 = 50 \times 1 = 50$ หมายความว่าตัวต้านทานไฟฟ้ามีค่าความต้านทานไฟฟ้า 50 โอห์ม

101 คือ $10 \times 10^1 = 10 \times 10 = 100$ หมายความว่าตัวต้านทานไฟฟ้ามีค่าความต้านทานไฟฟ้า 100 โอห์ม

472 คือ $47 \times 10^2 = 47 \times 100 = 4,700$ หมายความว่าตัวต้านทานไฟฟ้ามีค่าความต้านทานไฟฟ้า 4,700 โอห์ม หรือ 4.7 กิโลโอห์ม

นอกจากนี้ยังมีการระบุค่าความต้านทานไฟฟ้าเป็นรหัสตัวเลขและตัวอักษร 3 – 4 หลักบนตัวต้านทานไฟฟ้าแบบแผ่นฟิล์มหนาชนิด Surface Mount Device (SMD) เช่น

R23 หมายความว่าตัวต้านทานไฟฟ้ามีค่าความต้านทานไฟฟ้า 0.23 โอห์ม

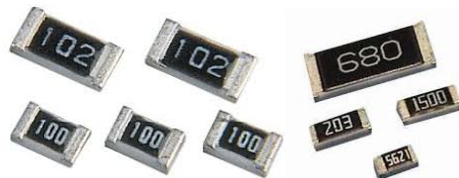
1R2 หมายความว่าตัวต้านทานไฟฟ้ามีค่าความต้านทานไฟฟ้า 1.2 โอห์ม

33R หมายความว่าตัวต้านทานไฟฟ้ามีค่าความต้านทานไฟฟ้า 33 โอห์ม

1K8 หมายความว่าตัวต้านทานไฟฟ้ามีค่าความต้านทานไฟฟ้า 1.8 กิโลโอห์ม

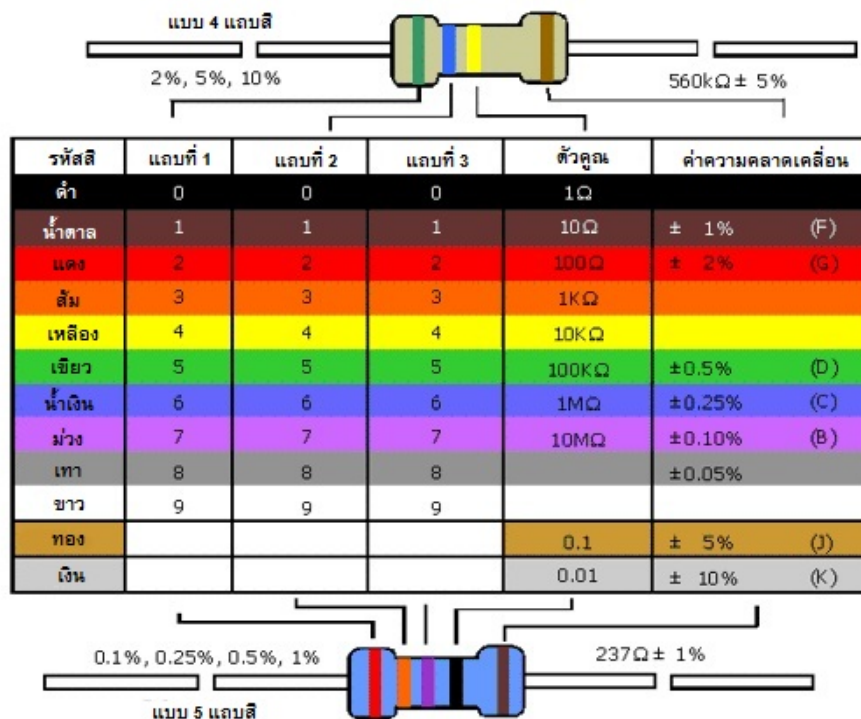
1001 คือ $100 \times 10^1 = 100 \times 10 = 1,000$ หมายความว่าตัวต้านทานไฟฟ้ามีค่าความต้านทานไฟฟ้า 1,000 โอห์ม หรือ 1 กิโลโอห์ม

4992 คือ $499 \times 10^2 = 499 \times 100 = 49,900$ หมายความว่าตัวต้านทานไฟฟ้ามีค่าความต้านทานไฟฟ้า 49,900 โอห์ม หรือ 49.9 กิโลโอห์ม



ภาพที่ 2.26 ตัวต้านทานไฟฟ้าที่ระบุค่าความคลาดเคลื่อนเป็นรหัสตัวเลข

3. การระบุค่าความต้านทานไฟฟ้าเป็นรหัสแถบสีไว้บนตัวต้านทานไฟฟ้า ส่วนมากจะเป็นตัวต้านทานไฟฟ้าที่มีเล็ก เช่นตัวต้านทานไฟฟ้าแบบคาร์บอนผสม ฟิล์มคาร์บอน และฟิล์มโลหะ การระบุค่าความต้านทานไฟฟ้าแบบรหัสแถบสีมีอยู่ 3 แบบคือ 4 แถบสี 5 แถบสี และ 6 แถบสี โดยใช้สีจำนวน 12 สีแทนค่าตัวเลข ตัวคูณ ความคลาดเคลื่อน และค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิ สำหรับตัวต้านทานไฟฟ้าที่มีจำหน่ายโดยทั่วไปในประเทศไทยนั้นจะเป็นตัวต้านทานไฟฟ้าแบบ 4 แถบสี และ 5 แถบสี



หมายเหตุ สำหรับแถบสีแถบสุดท้ายที่แทนค่าความคลาดเคลื่อนถ้าไม่มีสีจะมีค่าความคลาดเคลื่อน $\pm 20\%$

ภาพที่ 2.27 รหัสสีต่างๆ ของค่าความต้านทานไฟฟ้า

วิธีการอ่านค่าความต้านทานไฟฟ้าแบบ 4 แถบสี

แถบสีที่ 1 เป็นตัวตั้งหลักสิบ

แถบสีที่ 2 เป็นตัวตั้งหลักหน่วย

แถบสีที่ 3 เป็นตัวคูณ

แถบสีที่ 4 เป็นค่าความคลาดเคลื่อน

ตัวอย่างเช่น

น้ำตาล	ดำ	ดำ	เงิน
1	0	X 1	+/- 10%

$10 \times 1 = 10$ หมายความว่าตัวต้านทานไฟฟ้ามีค่าความต้านทานไฟฟ้า 10 โอห์ม ค่าความคลาดเคลื่อน +/- 10%

เขียว	น้ำเงิน	เหลือง	ทอง
5	6	X 10000	+/- 5%

$56 \times 10000 = 560,000$ หมายความว่าตัวต้านทานไฟฟ้ามีค่าความต้านทานไฟฟ้า 560,000 โอห์ม หรือ 560 กิโลโอห์ม ค่าความคลาดเคลื่อน +/- 5%

เหลือง	ม่วง	ทอง	ทอง
4	7	X 0.1	+/- 5%

$47 \times 0.1 = 4.7$ หมายความว่าตัวต้านทานไฟฟ้ามีค่าความต้านทานไฟฟ้า 4.7 โอห์ม ค่าความคลาดเคลื่อน +/- 5%

เทา	ขาว	เขียว	แดง
8	9	X 100,000	+/- 2%

$89 \times 100,000 = 8,900,000$ หมายความว่าตัวต้านทานไฟฟ้ามีค่าความต้านทานไฟฟ้า 8,900,000 โอห์ม หรือ 8.9 เมกกะโอห์ม ค่าความคลาดเคลื่อน +/- 2%

วิธีการอ่านค่าความต้านทานไฟฟ้าแบบ 5 แถบสี

แถบสีที่ 1 เป็นตัวตั้งหลักร้อย

แถบสีที่ 2 เป็นตัวตั้งหลักสิบ

แถบสีที่ 3 เป็นตัวตั้งหลักหน่วย

แถบสีที่ 4 เป็นตัวคูณ

แถบสีที่ 5 เป็นค่าความคลาดเคลื่อน

ม่วง	เขียว	แดง	เงิน	น้ำเงิน
7	5	2	X 0.01	+/- 0.25%

$752 \times 0.01 = 7.52$ หมายความว่าตัวต้านทานไฟฟ้ามีค่าความต้านทานไฟฟ้า 7.52 โอห์ม ค่าความคลาดเคลื่อน +/- 0.25%

เหลือง	ม่วง	เทา	ดำ	น้ำตาล
4	7	8	X 1	+/- 1%

$478 \times 1 = 478$ หมายความว่าตัวต้านทานไฟฟ้ามีค่าความต้านทานไฟฟ้า 478 โอห์ม ค่าความคลาดเคลื่อน +/- 1%

แดง	เหลือง	ดำ	น้ำตาล	ม่วง
2	4	0	X 10	+/- 0.1%

$240 \times 10 = 2,400$ หมายความว่าตัวต้านทานไฟฟ้ามีค่าความต้านทานไฟฟ้า 2,400 โอห์ม หรือ 2.4 กิโลโอห์ม ค่าความคลาดเคลื่อน +/- 0.1%

ส้ม	เหลือง	ดำ	ส้ม	เขียว
3	4	0	X 1,000	+/- 5%

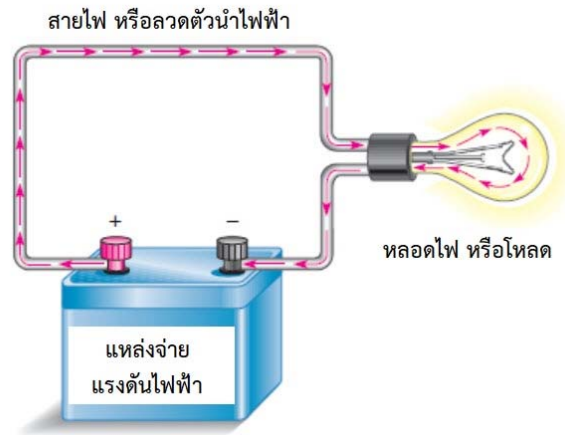
$340 \times 1,000 = 340,000$ หมายความว่าตัวต้านทานไฟฟ้ามีค่าความต้านทานไฟฟ้า 340,000 โอห์ม หรือ 340 กิโลโอห์ม ค่าความคลาดเคลื่อน +/- 0.5%

วิธีการอ่านค่าความต้านทานไฟฟ้าแบบ 6 แถบสี นั้นจะมีวิธีการอ่านที่เหมือนกับแบบ 5 แถบสีคือ ใช้แถบสีที่ 1 – 5 ในการอ่านค่าความต้านทานไฟฟ้า ส่วนแถบสีที่ 6 จะเป็นค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิ ซึ่งมีหน่วยเป็น parts per million/ $^{\circ}\text{C}$ (ppm/ $^{\circ}\text{C}$) โดยมีรหัสสีที่ใช้แทนค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิดังนี้

รหัสสี	ดำ	น้ำตาล	แดง	ส้ม	เหลือง	น้ำเงิน	ม่วง	เทา
ค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิ	200	100	50	15	25	10	5	1

2.6 วงจรไฟฟ้า

ในวงจรไฟฟ้าโดยทั่วไปจะประกอบด้วย 1.แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าสำหรับจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับโหลดต่างๆ ที่ต่ออยู่ในวงจรไฟฟ้า 2. ตัวนำไฟฟ้า หรือสายไฟทำหน้าที่เป็นทางเดินของกระแสไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าไปยังโหลดต่างๆ และ 3. โหลดไฟฟ้าที่ต่ออยู่ในวงจรไฟฟ้า เช่น ตัวต้านทานไฟฟ้า หลอดไฟ เครื่องใช้ไฟฟ้าต่างๆ เป็นต้น วงจรไฟฟ้าเบื้องต้นแสดงในภาพที่ 2.28



ภาพที่ 2.28 วงจรไฟฟ้าเบื้องต้น

ที่มา: Thomas L. Floyd (2014, p.47)

จากการต่อวงจรไฟฟ้าเบื้องต้นในภาพที่ 2.28 สามารถเขียนเป็นวงจรไฟฟ้าได้ดังแสดงในภาพที่ 2.29



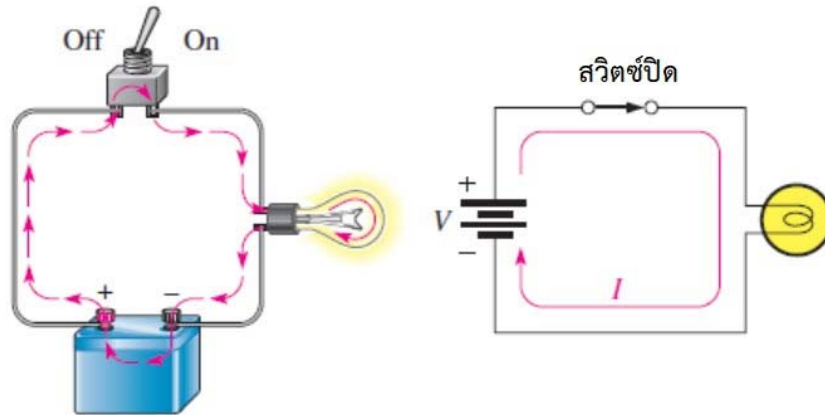
ภาพที่ 2.29 การเขียนวงจรไฟฟ้า

ที่มา: Thomas L. Floyd (2014, p.48)

2.6.1 อุปกรณ์ควบคุม และป้องกันกระแสไฟฟ้า

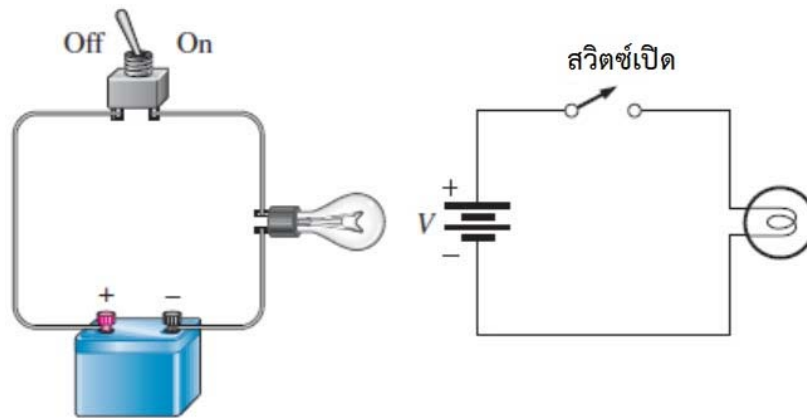
2.6.1.1 อุปกรณ์ควบคุมกระแสไฟฟ้า หรือสวิตช์ไฟฟ้า เป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ทำหน้าที่ตัดต่อวงจรไฟฟ้า ในภาพที่ 2.30 เมื่อสวิตช์ถูกโยกมาที่ตำแหน่ง On หน้าสัมผัสของสวิตช์จะสัมผัสกันทำให้มีกระแสไฟฟ้าไหลจากแหล่งจ่ายไฟฟ้าผ่านไปตามสายไฟแล้วผ่านสวิตช์ไฟไหลต่อไปหลอดไฟ แล้วไหลกลับมาที่แหล่งจ่ายไฟฟ้า จะเห็นได้ว่ากระแสไฟฟ้าสามารถไหลผ่านได้ครบวงจรทำให้หลอดไฟติด เรียกวงจรไฟฟ้านี้ว่า วงจรปิด (Close circuit) แต่เมื่อโยกสวิตช์กลับมาที่ตำแหน่ง Off ดังแสดงในภาพ

ที่ 2.31 หน้าสัมผัสของสวิตช์จะไม่สัมผัสกันทำให้ไม่มีกระแสไฟฟ้าไหลในวงจร หลอดไฟจึงไม่ติด เนื่องจากสวิตช์เปิดวงจร จึงเรียกวงจรไฟฟ้านี้ว่า วงจรเปิด (Open circuit)



ภาพที่ 2.30 ไฟฟ้าวงจรปิด

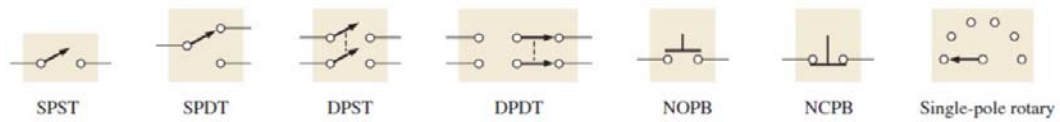
ที่มา: Thomas L. Floyd (2014, p.48)



ภาพที่ 2.31 การเขียนวงจรไฟฟ้าเปิด

ที่มา: Thomas L. Floyd (2014, p.48)

สวิตช์ที่นำมาใช้งานในวงจรไฟฟ้ามีอยู่หลายแบบ ซึ่งสามารถเลือกใช้ได้ให้เหมาะสมกับงานแต่ละประเภท เช่น สวิตช์ 1 ขั้ว 1 ทาง (single-pole-single-throw : SPST) สวิตช์ 1 ขั้ว 2 ทาง (single-pole-double-throw : SPDT) สวิตช์ 2 ขั้ว 1 ทาง (double-pole-single-throw : DPST) สวิตช์ 2 ขั้ว 2 ทาง (double-pole-double-throw : DPDT) สวิตช์กดแบบปกติเปิด (normal-open-push-button : NOPB) สวิตช์กดแบบปกติปิด (normal-close-push-button : NCPB) และ สวิตช์เลือก 1 ขั้วแบบหมุน (rotary) เป็นต้น โดยมีสัญลักษณ์ของสวิตช์แต่ละแบบแสดงในภาพที่ 2.32



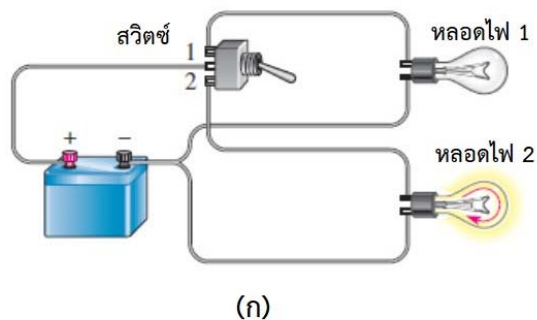
ภาพที่ 2.32 สัญลักษณ์ของสวิตช์แบบต่างๆ

ที่มา: Thomas L. Floyd (2014, p.49)



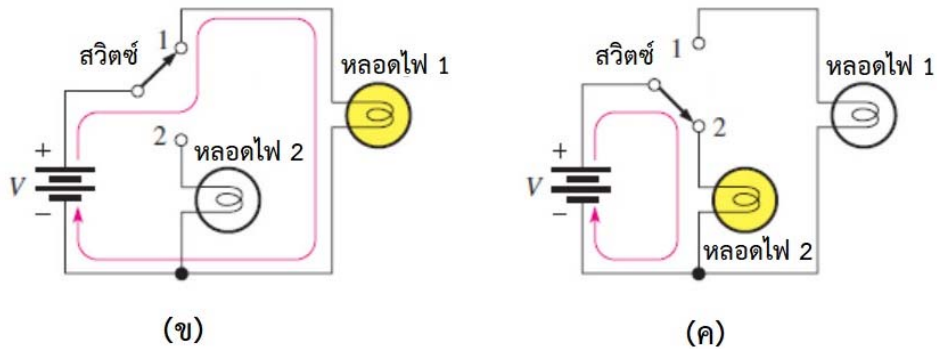
ภาพที่ 2.33 ตัวอย่างสวิตช์แบบต่างๆ

ตัวอย่างการนำเอาสวิตช์ 1 ขั้ว 2 ทาง มาใช้ในการควบคุมการเปิดหลอดไฟ 1 และ หลอดไฟ 2 ดังแสดงในภาพที่ 2.35 เมื่อสวิตช์ถูกโยกมาที่ตำแหน่ง 1 จะทำให้หน้าสัมผัสของสวิตช์มาสัมผัสกับหน้าสัมผัสของขั้วต่อตำแหน่ง 1 จึงมีกระแสไฟฟ้าจากขั้วบวกของแหล่งจ่ายไฟฟ้าผ่านสวิตช์ไปยังหลอดไฟ 1 และไหลกลับไปยังขั้วลบของแหล่งจ่ายทำให้กระแสไฟฟ้าไหลครบวงจรหลอดไฟ 1 จึงติดแสดงในภาพที่ 2.35 (ข) แต่เมื่อสวิตช์ถูกโยกมาที่ตำแหน่ง 2 จะทำให้หน้าสัมผัสของสวิตช์มาสัมผัสกับหน้าสัมผัสของขั้วต่อตำแหน่ง 2 กระแสไฟฟ้าไหลครบวงจรผ่านหลอดไฟ 2 จึงทำให้หลอดไฟ 2 ติดแสดงในภาพที่ 2.35 (ค)



ภาพที่ 2.34 การต่อสวิตช์ 1 ขั้ว 2 ทาง สำหรับควบคุมการเปิดหลอดไฟ

ที่มา: Thomas L. Floyd (2014, p.48)



ภาพที่ 2.35 การต่อสวิทช์ 1 ขั้ว 2 ทาง สำหรับควบคุมการเปิดหลอดไฟ (ต่อ)

ที่มา: Thomas L. Floyd (2014, p.48)

2.6.1.2 ฟิวส์ เป็นอุปกรณ์ป้องกันโดยทำหน้าที่เหมือนตัวนำตัวหนึ่งในวงจรไฟฟ้า เมื่อเกิดกระแสไฟฟ้าเกินพิกัด (Overload Current) ที่เกิดขึ้นจากการดึงกระแสไฟฟ้าที่มากเกินไปจากอุปกรณ์ปลายทาง หรือกระแสไฟฟ้าลัดวงจร (Short Circuit Current) ที่เกิดจากการที่กระแสไฟฟ้าเคลื่อนที่ผ่านทางลัดที่อาจจะเกิดจากการแตะกันของสายไฟหรือมีตัวนำไฟฟ้าเชื่อมต่อกันลัดวงจร จึงทำให้มีค่ากระแสไฟฟ้าเกินพิกัดมากกว่ากระแสไฟฟ้าที่ฟิวส์ทนได้ (Fuse's Current Rating) จะทำให้ฟิวส์ขาดไม่มีกระแสไฟฟ้าไหลในวงจร เพื่อป้องกันความเสียหายที่จะเกิดขึ้นกับอุปกรณ์และผู้ใช้อุปกรณ์ ฟิวส์มีราคาถูก ให้ความเสถียรภาพ และรวดเร็วในการตัดวงจร เมื่อฟิวส์ขาดแล้วต้องเปลี่ยนฟิวส์อันใหม่ (บริษัท พีเอสทีเทค จำกัด, 2560)



ภาพที่ 2.36 ฟิวส์แบบต่างๆ

ที่มา: <https://blog.eduzones.com/advisor/147561> (2560)

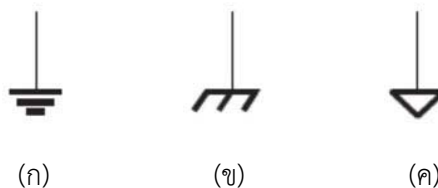
2.6.1.3 พิวส์อัตโนมัติหรือเซอร์กิตเบรกเกอร์ ทำหน้าที่ตัดวงจรไฟฟ้าเมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านเกินกำหนด หรือเมื่อเกิดไฟฟ้าลัดวงจร พิวส์อัตโนมัติจะตัดวงจรทันที โดยไม่มีส่วนประกอบใดหลอมละลายและขาดเหมือนฟิวส์ เมื่อมีการแก้ไขสาเหตุที่เกิดขึ้นได้แล้ว ก็สามารถเปิดสวิตช์ให้กระแสไฟฟ้าผ่านวงจรได้ดังเดิม โดยไม่ต้องเปลี่ยนฟิวส์ใหม่



ภาพที่ 2.37 เซอร์กิตเบรกเกอร์แบบต่างๆ

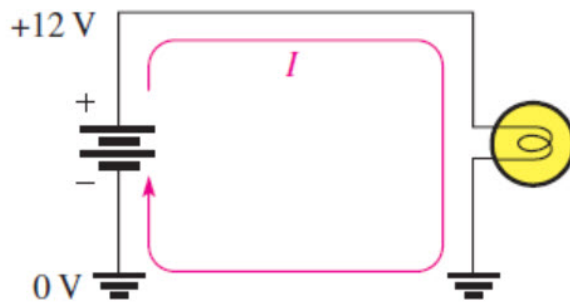
2.6.2 สายดิน หรือกราวด์

สายดิน หรือกราวด์ (Ground) คือจุดๆ หนึ่งในวงจรไฟฟ้าที่ใช้เป็นจุดอ้างอิงในการวัดแรงดันไฟฟ้า หรือใช้เป็นเส้นทางกลับร่วมกันของกระแสไฟฟ้าจากหลายๆ ที่ หรือจุดเชื่อมต่อทางกายภาพโดยตรงกับพื้นดิน สายดินจะมีศักย์ไฟฟ้าที่ต่ำมาก โดยทั่วไปให้มีค่าแรงดันไฟฟ้าที่ 0V ประโยชน์ของสายดิน หรือระบบกราวด์นั้นจะช่วยลดสัญญาณรบกวนในวงจรไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ และป้องกันไฟฟ้าดูดในกรณีที่มีกระแสไฟฟ้ารั่วจากเครื่องใช้ไฟฟ้า เนื่องจากกระแสไฟฟ้ารั่วจากเครื่องใช้ไฟฟ้าจะไหลลงดินผ่านทางสายดิน เป็นต้น สัญลักษณ์ของสายดิน หรือกราวด์แสดงในภาพที่ 2.38 (ก) เป็นสายดินที่จุดอ้างอิงในการวัด หรือสายดินที่ต่อลงพื้นดิน (ข) เป็นสายดินที่ต่อกับโครงโลหะของเครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ (ค) เป็นสายดินอ้างอิงเมื่อมีการเชื่อมต่อสัญญาณร่วมกันมากกว่า 1 แบบ เช่นมีทั้งสัญญาณที่เป็นอนาล็อก และดิจิตอล เป็นต้น



ภาพที่ 2.38 สัญลักษณ์ของสายดิน หรือกราวด์

สายดิน หรือกราวด์ในวงจรไฟฟ้า ส่วนใหญ่จะใช้ขั้วลบของแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าในกรณีที่เป็นวงจรไฟฟ้ากระแสตรง ในภาพที่ 2.39 กระแสไฟฟ้าจะไหลจากขั้วบวกของแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าผ่านหลอดไฟ แล้วลงกราวด์กลับมาที่ขั้วลบของแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้าไหลครบวงจรทำให้หลอดไฟติด



ภาพที่ 2.39 การเขียนสายดินในวงจรไฟฟ้า

ที่มา: Thomas L. Floyd (2014, p.53)

2.7 การวัดวงจรเบื้องต้น

การวัดค่าต่างๆ ทางไฟฟ้าในวงจรไฟฟ้านั้น มีค่าที่ต้องการวัดพื้นฐานอยู่ 3 ค่า คือ แรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และความต้านทานไฟฟ้า โดยแต่ละค่าจะใช้มิเตอร์ที่ต่างกัน หรือใช้มิเตอร์ที่สามารถวัดได้หลายๆ ค่า ในตัวเดียวกัน (Multimeter) แต่จำเป็นที่ต้องปรับย่านการวัดให้ถูกต้องตามค่าที่ต้องการวัดด้วย ภาพที่ 2.40 (ก) มิเตอร์ชนิดดิจิทัล (ข) มิเตอร์ชนิดบาร์กราฟ (ค) มิเตอร์ชนิดอนาล็อก (ง) สัญลักษณ์ของโวลต์มิเตอร์ แอมป์มิเตอร์ และโอห์มมิเตอร์



(ก)



(ข)



(ค)

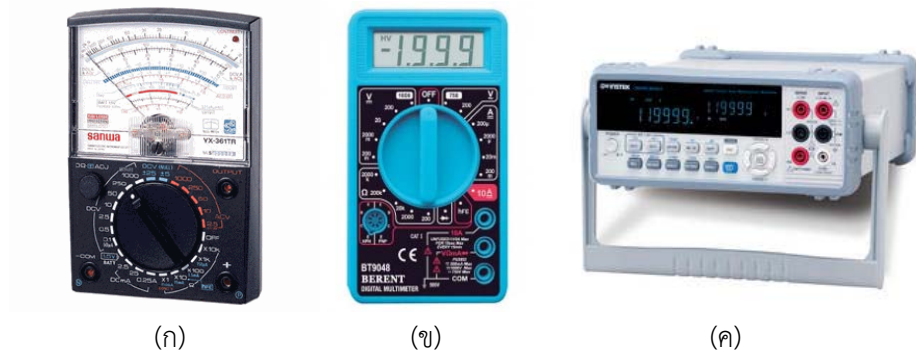


(ง)

ภาพที่ 2.40 สัญลักษณ์ของมิเตอร์แบบต่างๆ

ที่มา: Thomas L. Floyd (2014, p.54)

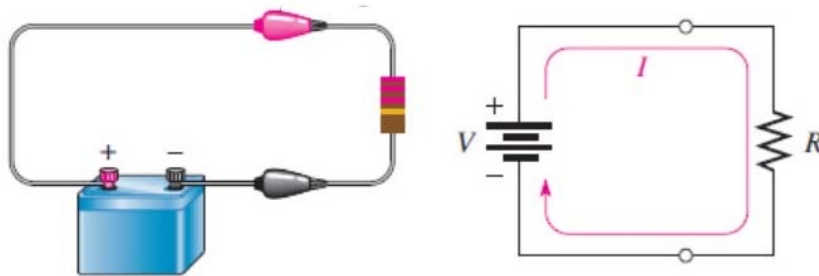
ภาพที่ 2.41 (ก) มัลติมิเตอร์ชนิดอนาล็อก (ข) มัลติมิเตอร์ชนิดดิจิทัล และ (ค) มัลติมิเตอร์ชนิดดิจิทัลแบบตั้งโต๊ะ



ภาพที่ 2.41 มิเตอร์แบบต่างๆ

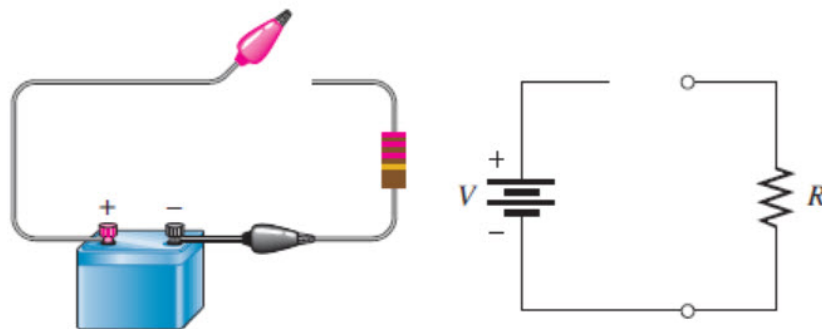
2.7.1 การวัดกระแสไฟฟ้า

การวัดกระแสไฟฟ้าในวงจรไฟฟ้านั้นต้องใช้แอมป์มิเตอร์ต่ออนุกรมในวงจรไฟฟ้า โดยการปลดสายไฟเส้นที่ง่ายให้จุดที่ต้องการวัดดังแสดงในภาพที่ 2.43 จะทำให้เปิดวงจรไฟฟ้าออก แล้วนำแอมป์มิเตอร์ต่อเข้าไปในวงจร โดยต่อขั้วของมิเตอร์ให้ตรงกับขั้วของแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้า แสดงในภาพที่ 2.44 หากต่อสลับขั้วอาจทำให้มิเตอร์เกิดการเสียหายได้



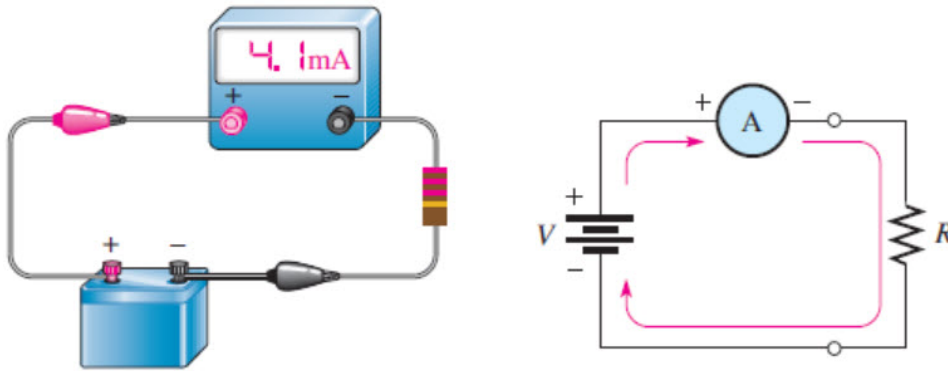
ภาพที่ 2.42 การต่อวงจรไฟฟ้า

ที่มา: Thomas L. Floyd (2014, p.55)



ภาพที่ 2.43 การปลดสายไฟออกจากวงจรไฟฟ้า

ที่มา: Thomas L. Floyd (2014, p.55)

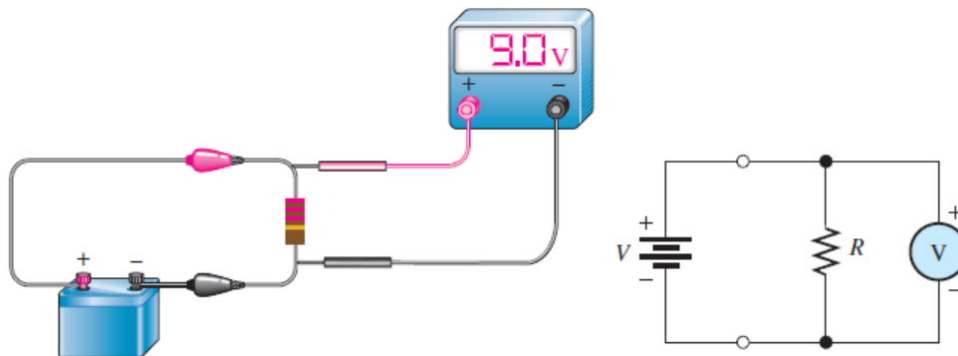


ภาพที่ 2.44 การต่อแอมป์มิเตอร์วัดค่ากระแสไฟฟ้าในวงจรไฟฟ้า

ที่มา: Thomas L. Floyd (2014, p.55)

2.7.2 การวัดแรงดันไฟฟ้า

การวัดแรงดันไฟฟ้าในวงจรไฟฟ้านั้นต้องใช้โวลต์มิเตอร์ต่อขนานกับโหลดในวงจรไฟฟ้า โดยต่อขั้วของมิเตอร์ให้ตรงกับขั้วของแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้า แสดงในภาพที่ 2.45 หากต่อสลับขั้วอาจทำให้มิเตอร์เกิดการเสียหายได้

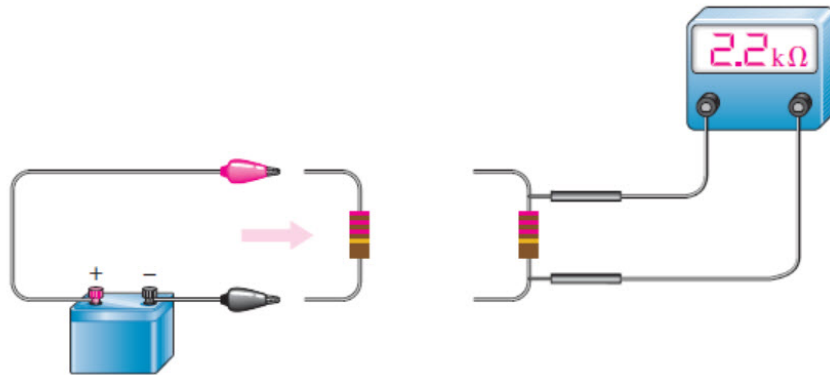


ภาพที่ 2.45 การต่อโวลต์มิเตอร์วัดค่าแรงดันไฟฟ้าในวงจรไฟฟ้า

ที่มา: Thomas L. Floyd (2014, p.55)

2.7.3 การวัดความต้านทานไฟฟ้า

การวัดความต้านทานไฟฟ้านั้นต้องปลดโหลดออกจากวงจรก่อนทำการวัดค่าความต้านทาน แล้วใช้โอห์มมิเตอร์ต่อขนานกับโหลด แสดงในภาพที่ 2.46 การวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าไม่ต้องคำนึงเกี่ยวกับขั้ววัดของมิเตอร์ สามารถสลับขั้วมิเตอร์ที่วัดค่าความต้านทานได้



ภาพที่ 2.46 การต่อโอห์มมิเตอร์วัดค่าความต้านทานไฟฟ้า

ที่มา: Thomas L. Floyd (2014, p.56)

บทสรุป

- สารต่าง ๆ นั้นมีอยู่ 3 สถานะ คือ ของเหลว ของแข็งและก๊าซ
- ศูนย์กลางของอะตอมมีนิวเคลียส ซึ่งประกอบไปด้วยอนุภาคนิวตรอนที่มีคุณสมบัติเป็นกลางทางไฟฟ้า และโปรตอนมีประจุไฟฟ้าเป็นบวก
- รอบๆ นิวเคลียสจะมีอิเล็กตรอน ที่มีประจุไฟฟ้าเป็นลบโคจรรอบอยู่โดยรอบ
- วงอิเล็กตรอนวงนอกสุดเรียกว่า วาเลนซ์เชลล์
- อิเล็กตรอนที่อยู่ในวงนอกสุดเรียกว่า วาเลนซ์อิเล็กตรอน
- ประจุไฟฟ้า 1 คูลอมป์ มีจำนวนอิเล็กตรอนเท่ากับ 6.25×10^{18} อิเล็กตรอน
- แรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับวงจรไฟฟ้าทำให้มีกระแสไฟฟ้าไหลในวงจรไฟฟ้า
- ตัวต้านทานไฟฟ้าใช้จำกัดปริมาณการไหลของกระแสไฟฟ้า
- โดยทั่วไปวงจรไฟฟ้าประกอบด้วยแหล่งจ่ายไฟฟ้า โหลด และเส้นทางไหลของกระแสไฟฟ้า หรือสายไฟ
- วงจรเปิดเป็นวงจรที่ไม่มีกระแสไฟฟ้าไหล ทำให้ไม่มีกระแสไฟฟ้าจ่ายให้กับวงจรไฟฟ้า
- วงจรปิดเป็นวงจรที่มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านส่วนต่างๆ ของวงจรไฟฟ้า ทำให้วงจรไฟฟ้าสามารถทำงานได้
- แอมป์มิเตอร์ใช้วัดกระแสไฟฟ้า โดยการต่ออนุกรมในวงจรไฟฟ้า
- โวลต์มิเตอร์ใช้วัดแรงดันไฟฟ้า โดยการต่อขนานกับโหลดที่ต้องการวัด
- โอห์มมิเตอร์ใช้วัดความต้านทานไฟฟ้า โดยการต่อขนานกับโหลดที่ต้องการวัด แต่ต้องปลดโหลดออกจากวงจรไฟฟ้าก่อนทำการวัดค่าความต้านทานไฟฟ้า
- แรงดันไฟฟ้า 1 โวลต์หมายถึงงานไฟฟ้าขนาด 1 จูล ที่เกิดขึ้นจากการเคลื่อนตัวของประจุไฟฟ้า 1 คูลอมป์

• กระแสไฟฟ้า หมายถึงการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนอิสระอย่างต่อเนื่อง เมื่อมีแหล่งจ่ายหรือแรงดันไฟฟ้าต่ออยู่ในวงจร

• กระแสไฟฟ้า 1 แอมแปร์ จะเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่อมีประจุไฟฟ้า 1 คูลอมป์ ไหลผ่านจุดในเวลา 1 วินาที

• ความต้านทานไฟฟ้า 1 โอห์ม เกิดขึ้นเมื่อกระแสไฟฟ้าขนาด 1 แอมป์แปร์ เคลื่อนที่ในวัสดุ แล้วเกิดแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมในวัสดุนั้น 1 โวลต์

$$\bullet \quad 1 \text{ อิเล็กตรอน} = \frac{1}{6.25 \times 10^{18}} = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$$

$$\bullet \quad V = \frac{W}{Q}$$

$$\bullet \quad I = \frac{Q}{t}$$

แบบฝึกหัด

1. อะตอมของทองแดงมีอิเล็กตรอนจำนวนกี่ตัว
2. อะตอมของซิลิกอนมีอิเล็กตรอนจำนวนกี่ตัว
3. จำนวนอิเล็กตรอนเท่ากับ 50×10^{31} อิเล็กตรอน จะทำให้เกิดประจุไฟฟ้ากี่คูลอมป์
4. จงหาค่าแรงดันไฟฟ้าต่อไปนี้

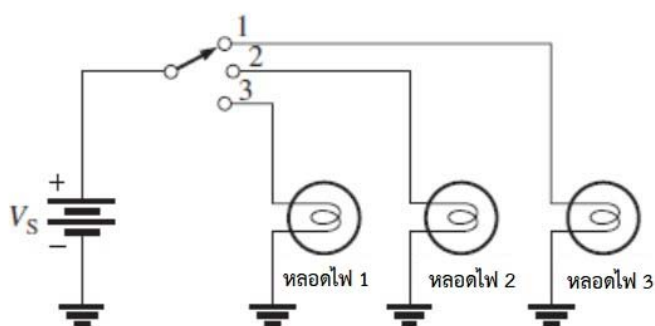
$$(ก) \frac{10J}{1C} \quad (ข) \frac{5J}{2C} \quad (ค) \frac{100J}{25C}$$

5. แรงดันไฟฟ้าที่เกิดจากเพียโซอิเล็กทริก (Piezoelectric) เป็นปฏิกิริยาการเกิดแรงดันไฟฟ้าแบบใด
6. แรงดันไฟฟ้าที่เกิดจากโซลาร์เซลล์ (Solarcell) เป็นปฏิกิริยาการเกิดแรงดันไฟฟ้าแบบใด
7. แบตเตอรี่ประเภทใดที่เมื่อนำมาใช้แล้วสามารถนำกลับมาชาร์จประจุไฟฟ้าเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ได้
8. เมื่อมีประจุไฟฟ้า 3 คูลอมป์ ไหลผ่านพื้นที่หน้าตัดในสายไฟในเวลา 5 วินาที จะเกิดเป็นกระแสไฟฟ้าเท่าไร
9. จงหาค่าประจุไฟฟ้าที่ไหลผ่านพื้นที่หน้าตัดในสายไฟในเวลา 3 วินาที ทำให้เกิดกระแสไฟฟ้า 5 แอมป์แปร์
10. จงอ่านค่าความต้านทานไฟฟ้าจากรหัสสีต่อไปนี้
 - (ก) แดง ดำ ดำ ทอง
 - (ข) เขียว น้ำเงิน น้ำตาล เงิน
 - (ค) น้ำตาล ดำ แดง ทอง
 - (ง) ส้ม ส้ม ดำ แดง น้ำตาล
 - (จ) เหลือง ม่วง ดำ ส้ม น้ำตาล
 - (ฉ) น้ำตาล ดำ ดำ เขียว แดง

11. จงอ่านค่าความต้านทานไฟฟ้าจากรหัสตัวเลขต่อไปนี้

- (ก) 103
- (ข) 472
- (ค) R25
- (ง) 56R
- (จ) 2R7
- (ฉ) 6803

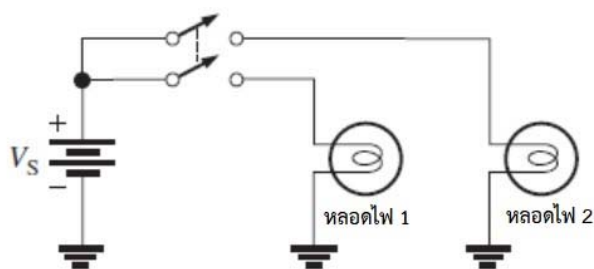
12. เมื่อสวิตช์อยู่ที่ตำแหน่ง 1, 2 และ 3 หลอดไฟแต่ละดวงจะเป็นอย่างไร



ภาพที่ 2.47 วงจรไฟฟ้าแบบฝึกหัด 2.1

ที่มา: Thomas L. Floyd (2014, p.72)

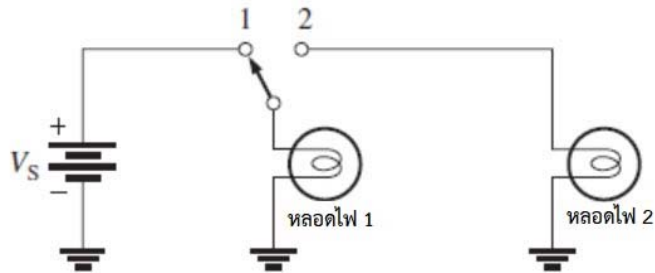
13. เมื่อสวิตช์อยู่ที่ตำแหน่ง off หรือปิดวงจร หลอดไฟแต่ละดวงจะเป็นอย่างไร



ภาพที่ 2.48 วงจรไฟฟ้าแบบฝึกหัด 2.2

ที่มา: Thomas L. Floyd (2014, p.72)

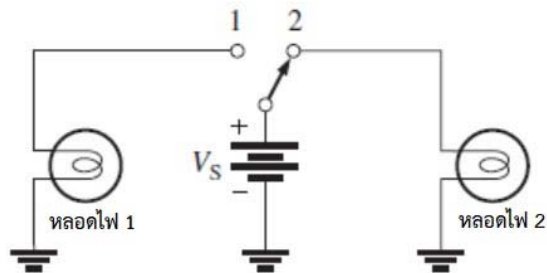
14. เมื่อสวิตช์อยู่ที่ตำแหน่ง 1 และ 2 หลอดไฟแต่ละดวงจะเป็นอย่างไร



ภาพที่ 2.49 วงจรไฟฟ้าแบบฝึกหัด 2.3

ที่มา: Thomas L. Floyd (2014, p.72)

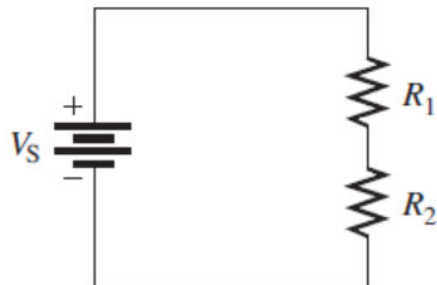
15. เมื่อสวิตช์อยู่ที่ตำแหน่ง 1 และ 2 หลอดไฟแต่ละดวงจะเป็นอย่างไร



ภาพที่ 2.50 วงจรไฟฟ้าแบบฝึกหัด 2.4

ที่มา: Thomas L. Floyd (2014, p.72)

16. จงเขียนสัญลักษณ์ของแอมป์มิเตอร์ เมื่อต้องการวัดกระแสไฟฟ้าในวงจรไฟฟ้า

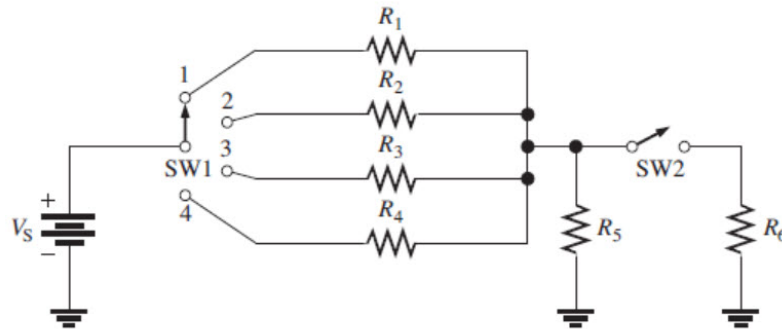


ภาพที่ 2.51 วงจรไฟฟ้าแบบฝึกหัด 2.5

ที่มา: Thomas L. Floyd (2014, p.72)

17. จากวงจรไฟฟ้าภาพที่ 2.51 ในข้อที่ 16 จงเขียนสัญลักษณ์ของโวลต์มิเตอร์ เมื่อต้องการวัดแรงดันไฟฟ้าตกคร่อม R_1 ในวงจรไฟฟ้า

18. จากวงจรไฟฟ้าภาพที่ 2.52 ตัวต้านทานไฟฟ้าตัวใดบ้างที่ต่อครบวงจร

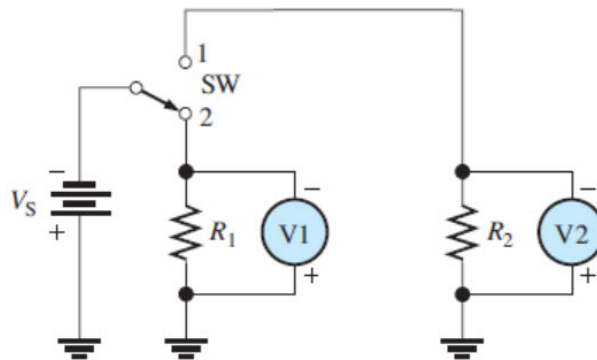


ภาพที่ 2.52 วงจรไฟฟ้าแบบฝึกหัด 2.6

ที่มา: Thomas L. Floyd (2014, p.72)

19. จากวงจรไฟฟ้าภาพที่ 2.52 ในข้อที่ 18 ถ้าต้องการต่อตัวต้านทานไฟฟ้า R_4 , R_5 และ R_6 สวิตช์ SW1 และ SW2 ต้องอยู่ที่ตำแหน่งใด

20. โวลต์มิเตอร์จะวัดแรงดันไฟฟ้าได้เท่าไร เมื่อสวิตช์อยู่ที่ตำแหน่ง 1 และ 2



ภาพที่ 2.53 วงจรไฟฟ้าแบบฝึกหัด 2.7

ที่มา: Thomas L. Floyd (2014, p.73)

เอกสารอ้างอิง

กัมพล ทองเรือง. (2547). การวิเคราะห์วงจรไฟฟ้า (พิมพ์ครั้งที่ 1). กรุงเทพมหานคร: บริษัท สกายบุ๊กส์ จำกัด.

ณัฐวุฒิ โสมเกษตรินทร์. (2553). วงจรไฟฟ้า 1 (พิมพ์ครั้งที่ 1). กรุงเทพมหานคร: บริษัท ทริปเพิ้ล เอ็ดดูเคชั่น จำกัด.

บริษัท พีเอสพีเทค จำกัด. (2560). **ฟิวส์ (Fuse) คืออะไร**. เข้าถึงได้จาก :
<http://www.pspstech.co.th/ฟิวส์fuseคืออะไร-16114.page>

วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี. (2560). **ไฟฟ้าเคมี** เข้าถึงได้จาก: <https://th.wikipedia.org/wiki/ไฟฟ้าเคมี>

Thomas L. Floyd. (2014). **Principles of Electric Circuit: Conventional Current Version, Ninth Edition**. Pearson Education Limited, England.