

บทที่ 1

รีซิสเตอร์เน็ตเวิร์ค

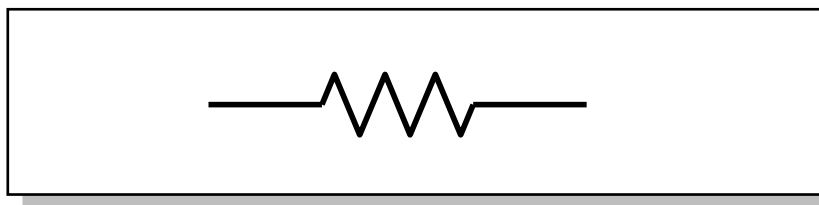
อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ชนิดหนึ่งที่มีคุณสมบัติในการต้านไหลของกระแสไฟฟ้า ที่เรียกว่าตัวต้านทานหรือเรียกทับศัพท์ว่า “รีซิสเตอร์” (Resistor) หรือบางครั้งอาจเรียกย่อๆว่า อาร์ (R) ในวิชาวงจรไฟฟ้า เราใช้ตัวต้านทานมาต่อใช้งานในหลากหลายแบบ ในบทนี้เป็นการหาค่าความต้านทานรวมของวงจร ที่นำตัวต้านทานมาต่อเข้าด้วยกันในลักษณะต่างๆ

1. ความรู้ทั่วไปของรีซิสเตอร์

ก่อนที่จะศึกษาในเรื่องการต่อวงจรที่มีตัวต้านทานมาต่อใช้งาน จำเป็นจะต้องมีความรู้ที่เกี่ยวข้องกับตัวต้านทาน ดังนี้

1.1 สัญลักษณ์ ของตัวต้านทาน (แบบคงที่)

เพื่อให้ง่ายต่อการเขียนวงจรจำเป็นต้องใช้สัญลักษณ์แทนรูปร่างจริงของตัวต้านทาน สำหรับวิชาวงจรไฟฟ้าจะใช้ตัวต้านทานแบบค่าคงที่ในการศึกษาในเรื่องต่างๆ ซึ่งรูปสัญลักษณ์เป็นดังรูปที่ 1.1



รูปที่ 1.1 แสดงสัญลักษณ์ที่นิยมของตัวต้านทานที่ใช้งาน

1.2 หน่วยของตัวต้านทาน

หน่วยวัดความต้านทานของตัวต้านทาน ในหน่วยสามัญเรียกว่า “โอห์ม” (Ohm) ใช้สัญลักษณ์โรมัน Ω แทนการเขียน โดยตัวต้านทานที่มีค่า 1Ω เมื่อมีกระแสไหลผ่านขนาด 1 แอมแปร์ จะทำให้เกิดแรงดันตกคร่อมตัวต้านทานเท่ากับ 1 โวลต์ โดยค่าความต้านทานที่มีค่าสูงขึ้นมีการเรียกตามหน่วย เมตริกซ์ (Metric) ดังตารางที่ 1.1

ตารางที่ 1.1 หน่วยของตัวต้านทาน		
1000 Ω	= 1 K Ω (กิโลโอห์ม)	= $1 \times 10^3 \Omega$
1000 K Ω	= 1 M Ω (เมกกาโอห์ม)	= $1 \times 10^6 \Omega$

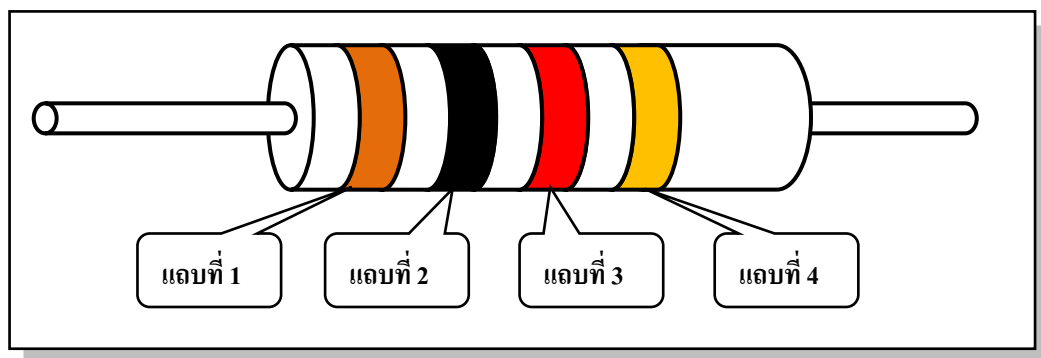
1.3 การอ่านค่าแถบสีของตัวต้านทาน

ค่าของตัวต้านทานถูกเขียนกำกับไว้ที่ตัวโดยเขียนเป็นรหัสสี ในปัจจุบันตัวต้านทานมีใช้งาน 2 แบบคือแบบ 4 แถบสีและ 5 แถบสี ซึ่งสีในแต่ละสีจะแทนค่าตัวเลขในแต่ละค่าดังตารางที่ 1.2

ตารางที่ 1.2 แสดงค่ารหัสสีตัวต้านทาน

สี	ดำ	น้ำตาล	แดง	ส้ม	เหลือง	เขียว	น้ำเงิน	ม่วง	เทา	ขาว
ค่าตัวเลข	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9

- 1.3.1 การอ่านค่าตัวต้านทานแบบ 4 แถบสี มีหลักการอ่านค่าโดยเรียงเลขจากรหัสแถบสีจากแถบที่ 1 (สีที่ชัดเจนมากที่สุด) โดยอ่านค่าสีจาก 2 สีแรกเป็นค่าตัวเลข 2 หลักและสีที่ 3 เป็นจำนวนเลขศูนย์ที่เขียนต่อท้าย รวมแล้วค่าที่ได้มีหน่วยเป็นโอห์ม สีสุดท้ายคือสีที่ 4 เป็นสีแสดงค่าความผิดพลาดเป็นเปอร์เซ็นต์ โดยทั่วไปมี 2 สี คือสีทองหมายถึงค่าผิดพลาดไม่เกิน 5% และสีเงินหมายถึงค่าผิดพลาดไม่เกิน 10% ตำแหน่งของแถบสีของตัวต้านทานดังรูป 1.2



รูปที่ 1.2 แสดงตำแหน่งของแถบสีตัวต้านทาน

ตัวอย่างการอ่านค่าความต้านทานแบบ 4 แถบสี โดยอ่านเรียงจากแถบที่ 1 ได้เป็นสีน้ำตาลดำแดงทอง เมื่อแปลงเป็นตัวเลขจะได้ 1-0-2-5% จะได้ค่า 1000 โอห์ม 5% ดังตารางที่ 1.2

ตารางที่ 1.2 แสดงค่าที่อ่านได้จากแถบสี

	แถบสี 1 (เลขนำ)	แถบสี 2 (เลขตาม)	แถบสี 3 (จำนวนศูนย์)	แถบสี 4 (ค่าผิดพลาด)	ค่าที่อ่านได้
สี	น้ำตาล	ดำ	แดง	ทอง	1000Ω ±5%
ค่า	1	0	2(00)	5%	
<					

1.3.2 การอ่านค่าตัวต้านทานแบบ 5 แถบสี มีหลักการอ่านคล้ายกับการอ่านค่าในตัวต้านทานแบบ 4 แถบสี เพียงแต่ใช้ตัวเลข 3 หลักและจำนวนเลขศูนย์ในแถบที่ 4 (สำหรับสีทองจะเป็นการคูณด้วย 0.01 และสีทองจะเป็นการคูณด้วย 0.1) ค่าในแถบสีที่ 5 เป็นแถบสีแสดงค่าผิดพลาดซึ่งโดยปกติที่มีใช้งานอยู่ในปัจจุบันมี 2 สีคือ สีน้ำตาลหมายถึงผิดพลาด 1 % และสีแดง หมายถึงผิดพลาด 2 % ตัวอย่างเช่นตัวต้านทานสี แดง-แดง-แดง-แดง-น้ำตาล (อ่านเรียงจากสีแถบที่ 1) เมื่ออ่านเป็นค่าจะได้ 22.2 กิโลโอห์มค่าผิดพลาด 1% ดังตารางที่ 1.3

ตารางที่ 1.3 แสดงค่าที่อ่านได้จากแถบสี

	แถบสี 1 (เลขนำ)	แถบสี 2 (เลขตาม 1)	แถบสี 3 (เลขตาม 2)	แถบสี 4 (จำนวนศูนย์)	แถบสี 5 (ค่าผิดพลาด)	ค่าที่อ่านได้
สี	แดง	แดง	แดง	แดง	น้ำตาล	22.2K Ω $\pm$ 5%
ค่า	2	2	2	2(00)	1%	

2. การต่อตัวต้านทาน

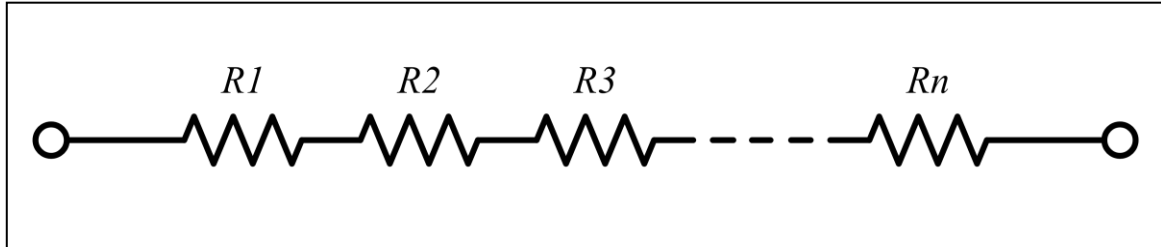
การใช้งานตัวต้านทานในวงจรต่างๆมีการใช้งานที่มีค่าความต้านทานที่แตกต่างกันซึ่งค่าความต้านทานที่เป็นค่าคงที่ได้มีการสร้างขึ้นโดยมีค่าไม่ครบทุกค่าตามที่ผู้ใช้งานต้องการ ดังนั้นเพื่อให้ได้ค่าความต้านทานตามที่ต้องการสามารถนำตัวต้านทานหลายตัวมาต่อเข้าด้วยกันเพื่อให้ได้ค่าต่างๆตามความต้องการได้ โดยการต่อตัวต้านทาน มีอยู่ด้วยกัน 3 แบบคือ

- 2.1 การต่อตัวต้านทานแบบอนุกรม
- 2.2 การต่อตัวต้านทานแบบขนาน
- 2.3 การต่อตัวต้านทานแบบผสม

การต่อตัวต้านทานแบบอนุกรม

การต่อวงจรตัวต้านทานเป็นแบบอนุกรมเป็นการนำตัวต้านทานตั้งแต่ 2 ตัวมาต่อเรียงกันไป ซึ่งการต่อลักษณะเช่นนี้จะส่งผลให้ค่าความต้านทานรวมของวงจรมีค่าเพิ่มขึ้น โดยค่ารวมของวงจรเป็นค่าที่ได้จากการรวมค่าความต้านทานทุกตัวด้วยกัน เนื่องจากการต่ออนุกรมเมื่อนำไปใช้งานกระแสไฟฟ้าจะ

ไหลผ่านตัวต้านทานทุกตัวเท่ากัน ส่งผลให้อัตรากำลังที่ทนได้จะเท่ากับตัวต้านทานที่มีกำลังต่ำสุดที่ต่อในวงจร วงจรอนุกรมสามารถต่อได้ดังรูป 1.3

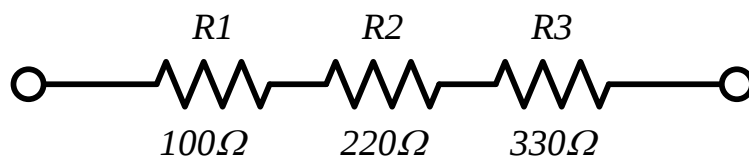


รูปที่ 1.3 แสดงการต่อวงจรตัวต้านทานแบบอนุกรม

ค่าความต้านทานรวมสามารถหาค่าได้จากสมการ

$$R_T = R_1 + R_2 + R_3 + \cdots R_n$$

ตัวอย่างที่ 1.1 ตัวต้านทาน 3 ตัว มีค่าเท่ากับ 100Ω 220Ω 330Ω ตามลำดับดังรูป จงหาค่าความต้านทานรวมของวงจร

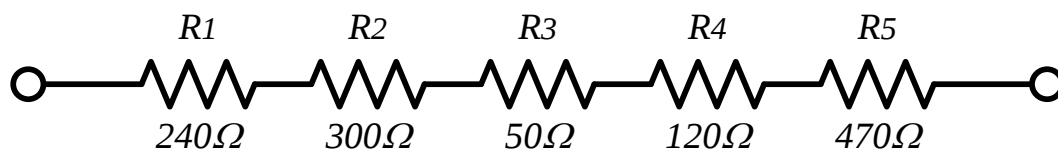


รูปที่ 1.4 แสดงวงจรประกอบตัวอย่างที่ 1.1

วิธีทำ จากสูตรวงจรอนุกรมจะได้

$$\begin{aligned} R_T &= R_1 + R_2 + R_3 \\ &= 100 + 220 + 330 \\ &= 650 \Omega \end{aligned}$$

ตัวอย่างที่ 1.2 ตัวต้านทาน 5 ตัว มีค่าเท่ากับ 100Ω 220Ω 330Ω ตามลำดับดังรูป จงหาค่าความต้านทานรวมของวงจร



รูปที่ 1.5 แสดงวงจรประกอบตัวอย่างที่ 1.2

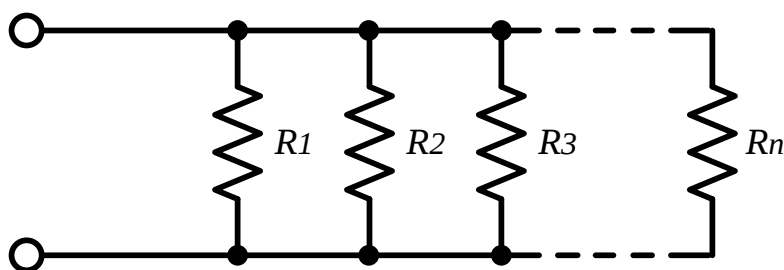
วิธีทำ จากสูตรวงจรอนุกรมจะได้

$$\begin{aligned}
 R_T &= R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5 \\
 &= 240 + 300 + 50 + 120 + 470 \\
 &= 1180 \, \Omega
 \end{aligned}$$



การต่อตัวต้านทานแบบขนาน

การต่อวงจรตัวต้านทานเป็นแบบขนานเป็นการนำตัวต้านทานตั้งแต่ 2 ตัวมาต่อขนานกัน ซึ่งการขนานของตัวต้านทานคือขั้วทั้งสองของตัวต้านทานจะต้องสัมผัสกัน ซึ่งการต่อลักษณะเช่นนี้เป็นการเพิ่มเส้นทางการไหลของการแสผลคือค่าความต้านทานรวมของวงจรจะมีค่าต่ำกว่าค่าความต้านทานตัวต่ำสุดที่ต่ออยู่ในวงจร วงจรอนุกรมสามารถต่อได้ดังรูป 1.4



รูปที่ 1.6 แสดงการต่อวงจรตัวต้านทานแบบขนาน

ค่าความต้านทานรวมสามารถหาค่าได้จากสมการ

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

สำหรับวงจรขนานที่มีตัวต้านทานเพียง 2 ตัวสามารถหาค่าได้จากสมการ

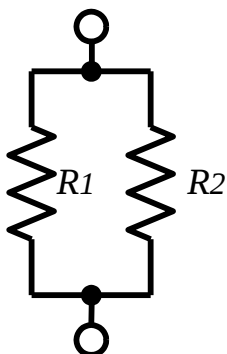
$$\frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots + \frac{1}{R_n}$$

หา ค.ร.น. จะได้

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

ดังนั้นสมการหาค่าความต้านทานที่ขนานกัน 2 ตัวจะได้

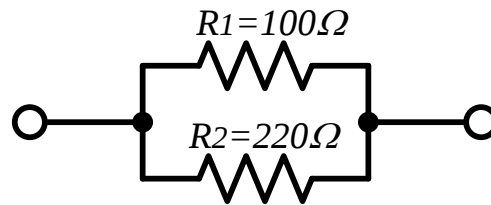
$$R_T = \frac{R_1 \times R_2}{R_1 + R_2}$$



รูปที่ 1.7 แสดงวงจรขนานแบบ 2 ตัว

กรณีที่ตัวต้านทาน 2 ตัวขนานกันจะเขียนว่า $R_T = R_1 // R_2$ และเมื่อกำนวนจะเป็น $R_T = \frac{R_1 \times R_2}{R_1 + R_2}$

ตัวอย่างที่ 1.3 ตัวต้านทาน 2 ตัว มีค่าเท่ากับ 100Ω 220Ω ที่เป็นวงจรดังรูป จงหาค่าความต้านทานรวมของวงจร

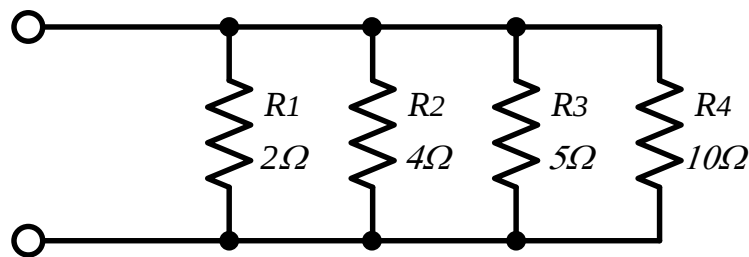


รูปที่ 1.8 แสดงวงจรประกอบตัวอย่างที่ 1.3

วิธีทำ จากสูตรวงจรขนานจะได้

$$\begin{aligned} R_T &= \frac{R_1 \times R_2}{R_1 + R_2} \\ &= \frac{100 \times 220}{100 + 220} \\ &= \frac{22000}{320} \\ &= 68.75 \Omega \end{aligned}$$

ตัวอย่างที่ 1.4 วงจรดังรูป จงหาค่าความต้านทานรวมของวงจร



รูปที่ 1.9 แสดงวงจรประกอบตัวอย่างที่ 1.4

วิธีทำ จากสูตรวงจรขนานจะได้

$$\begin{aligned} \frac{1}{R_T} &= \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4} \\ &= \frac{1}{2} + \frac{1}{4} + \frac{1}{5} + \frac{1}{10} \\ &= 0.5 + 0.25 + 0.2 + 0.1 \\ &= 1.05 \end{aligned}$$

$$R_T = \frac{1}{1.05}$$

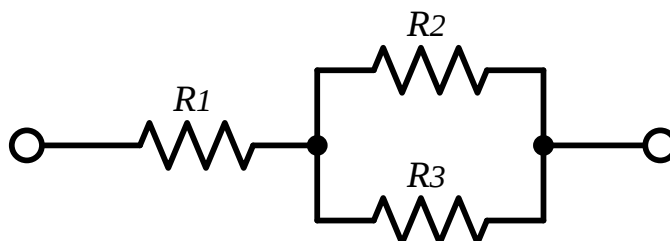
$$= 0.9524 \quad \Omega$$



การต่อตัวต้านทานแบบผสม

การต่อวงจรตัวต้านทานเป็นแบบผสม เป็นการนำตัวต้านทานที่มีการต่อทั้งอนุกรมและขนานในวงจรเดียวกัน จุดประสงค์เพื่อให้ได้ค่าความต้านทานตรงตามที่ต้องการ ในการหาค่าความต้านทานใช้การหาค่าความต้านทานทีละส่วนที่ต่อวงจรที่สามารถคำนวณได้ดังตัวอย่าง

ตัวอย่างที่ 1.5 กำหนดให้ค่าต้านทานทุกตัวมีค่าเท่ากับ 10Ω



รูปที่ 1.10 แสดงวงจรประกอบตัวอย่างที่ 1.5

จากรูปที่ 1.10 เป็นตัวอย่างวงจรตัวต้านทานที่ต่อเป็นแบบผสม ซึ่งเป็นการผสมกันระหว่างวงจรขนานกับวงจรอนุกรม โดยตัวต้านทาน R_2 ขนาน R_3 แล้วอนุกรมกับ R_1 เมื่อเขียนเป็นสมการของวงจรจะได้ดังนี้

$$R_T = R_1 + (R_2 // R_3)$$

$$= 10 + (10 // 10)$$

$$= 10 + \left(\frac{10(10)}{10+10} \right)$$

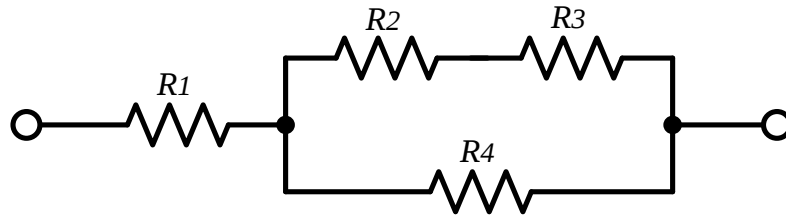
$$= 10 + \left(\frac{100}{20} \right)$$

$$= 10 + \left(\frac{100}{20} \right)$$

$$= 10 + 5$$

$$= 15 \quad \Omega$$

ตัวอย่างที่ 1.6 กำหนดให้ค่าต้านทานทุกตัวมีค่าเท่ากับ $10\ \Omega$

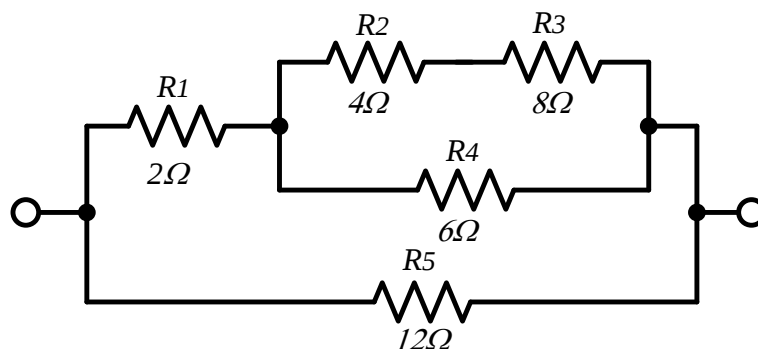


รูปที่ 1.11 แสดงวงจรประกอบตัวอย่างที่ 1.6

จากรูปที่ 1.11 เขียนสมการได้ดังนี้

$$\begin{aligned}
 R_T &= R_1 + ((R_2 + R_3) // R_4) \\
 &= 10 + ((10 + 10) // 10) \\
 &= 10 + \left(\frac{20(10)}{20 + 10} \right) \\
 &= 10 + \left(\frac{200}{30} \right) \\
 &= 10 + 6.667 \\
 &= 16.667\ \Omega
 \end{aligned}$$

ตัวอย่างที่ 1.7



รูปที่ 1.12 แสดงวงจรประกอบตัวอย่างที่ 1.7

จากรูปที่ 1.12 เขียนสมการได้ดังนี้

$$R_T = (R_1 + ((R_2 + R_3) // R_4)) // R_5$$

$$\begin{aligned}
 &= \left(2 + \frac{(4+8)(6)}{(4+8)+(6)} \right) // 12 \\
 &= \left(2 + \frac{72}{18} \right) // 12 \\
 &= 6 // 12 \\
 &= \left(\frac{6 \times 12}{6+12} \right) \\
 &= 4 \Omega
 \end{aligned}$$

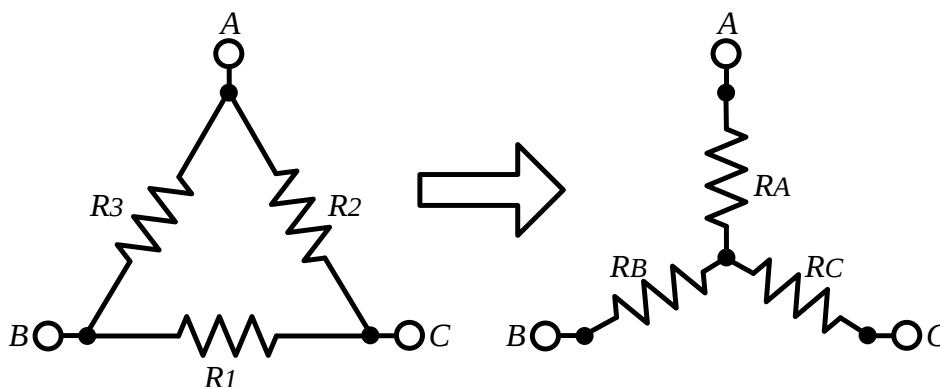
3. การแปลงรูปวงจรตัวต้านทาน

วงจรผสมบางชนิดเป็นวงจรผสมที่ไม่ใช่การผสมระหว่างวงจรอนุกรมกับขนาน ดังนั้นจึงไม่สามารถหาค่าความต้านทานรวมได้เนื่องจากสามารถหาค่าได้ จำเป็นที่จะต้องมีการเปลี่ยนรูปการต่อวงจรให้อยู่ในรูปอื่นโดยมีคุณสมบัติความต้านทานที่จุดต่างๆยังคงเดิม ในการเปลี่ยนแปลงรูปวงจรมีด้วยกัน 2 แบบคือ

- 3.1 การแปลงรูปจากเดลต้าเป็นสตาร์ ($\Delta \rightarrow Y$)
- 3.2 การแปลงรูปจากสตาร์เป็นเดลต้า ($Y \rightarrow \Delta$)

การแปลงรูปจากเดลต้าเป็นสตาร์ ($\Delta \rightarrow Y$)

เป็นการแปลงรูปการต่อวงจรตัวต้านทานที่ต่ออยู่ในรูปเดลต้าให้อยู่ในรูปการต่อตัวต้านทานแบบสตาร์โดยคุณสมบัติของวงจรยังคงเดิม ซึ่งการแปลงเป็นดังรูปที่ 1.13



รูปที่ 1.13 แสดงการความสัมพันธ์ระหว่างวงจรที่ต่อเป็นแบบเดลต้ากับแบบสตาร์

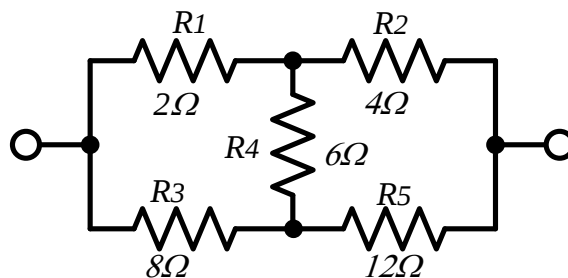
การแปลงตัวต้านทานที่ต่อวงจรในแบบเดลต้าให้เป็นการต่อวงจรแบบสตาร์ใช้สมการดังนี้

$$R_A = \frac{R_2 R_3}{R_1 + R_2 + R_3} \quad ; \quad \frac{\text{ผลคูณของตัวต้านทานประกอบจุด}}{\text{ผลรวมของตัวต้านทานทั้งหมด}}$$

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

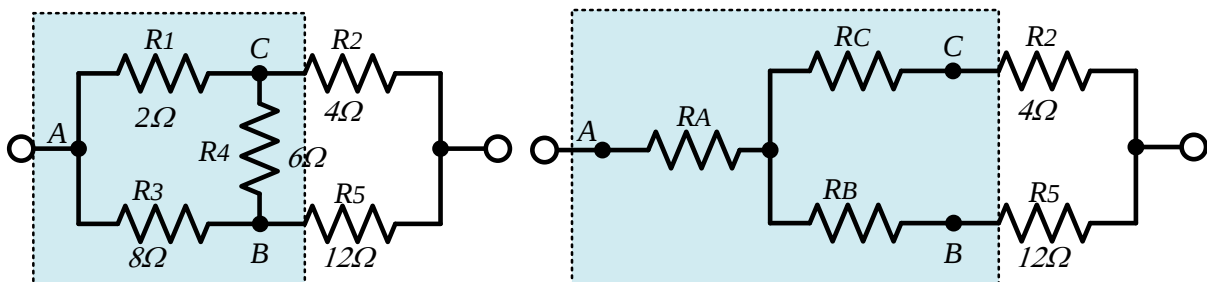
$$R_C = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2 + R_3}$$

ตัวอย่างที่ 1.8 จากวงจรจงหาค่าความต้านทานรวม



รูปที่ 1.14 แสดงวงจรประกอบตัวอย่างที่ 1.8

จากรูปที่ 1.14 สามารถแยกส่วนตัวต้านทานที่ต่อแบบเดลต้าได้ดังรูปที่ 1.15



รูปที่ 1.15 แสดงวงจรส่วนที่แปลงเดลต้าเป็นสตาร์

จากวงจรสามารถเทียบเคียงกับสูตรการแปลงค่าความต้านทานดังนี้

$$R_A = \frac{R_1 R_3}{R_1 + R_3 + R_4}$$

$$= \frac{2\Omega \times 3\Omega}{2\Omega + 8\Omega + 6\Omega}$$

$$= \frac{6}{16} = 0.375\Omega$$

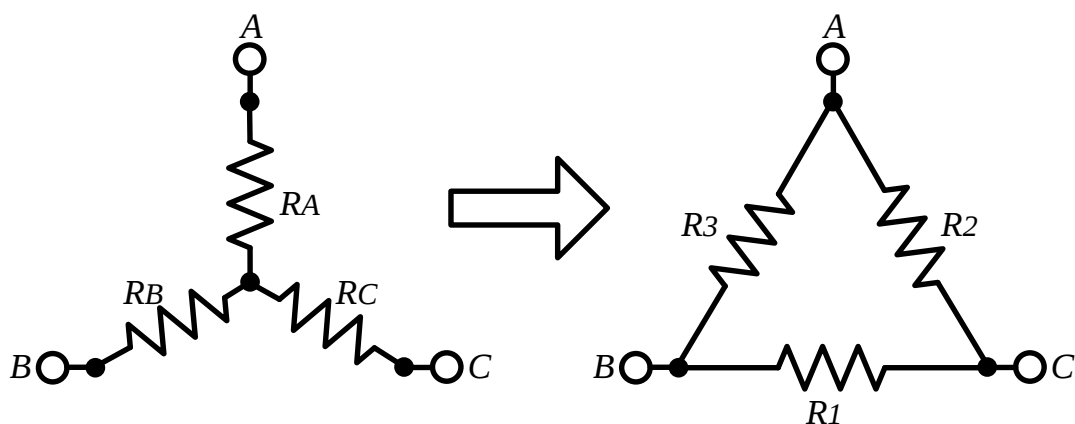
$$\begin{aligned}
 R_B &= \frac{R_3 R_4}{R_1 + R_3 + R_4} \\
 &= \frac{8\Omega \times 6\Omega}{2\Omega + 8\Omega + 6\Omega} = \frac{48}{16} = 3\Omega \\
 R_C &= \frac{R_1 R_4}{R_1 + R_3 + R_4} \\
 &= \frac{2\Omega \times 6\Omega}{2\Omega + 8\Omega + 6\Omega} = \frac{12}{16} = 0.75\Omega
 \end{aligned}$$

ดังนั้นจากรูปที่ 1.15 ค่าความต้านทานรวมจึงมีค่าเท่ากับ

$$\begin{aligned}
 R_T &= R_A + (R_C + R_2) // (R_B + R_5) \\
 &= 0.375 + (0.75 + 4) // (3 + 12) \\
 &= 0.375 + 4.75 // 15 \\
 &= 0.375 + \frac{4.75 \times 15}{4.75 + 15} \\
 &= 0.375 + \frac{71.25}{19.75} = 0.375 + 3.608 = 3.983\Omega
 \end{aligned}$$

การแปลงรูปจากสตาร์เป็นเดลต้า (Y→Δ)

เป็นการแปลงรูปการต่อวงจรตัวต้านทานที่ต่ออยู่ในรูปสตาร์ให้อยู่ในรูปการต่อตัวต้านทานแบบเดลต้าโดยคุณสมบัติของวงจรยังคงเดิม ซึ่งการแปลงเป็นดังรูปที่ 1.16



รูปที่ 1.16 แสดงการความสัมพันธ์ระหว่างวงจรที่ต่อเป็นแบบสตาร์กับแบบเดลต้า

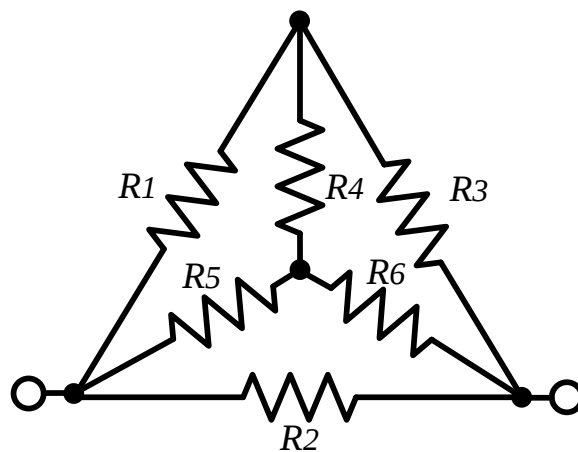
การแปลงตัวต้านทานที่ต่อวงจรในแบบสตาร์ให้เป็นการต่อวงจรแบบเดลต้าใช้สมการดังนี้

$$R_1 = \frac{R_A R_B + R_B R_C + R_C R_A}{R_A} \quad ; \quad \frac{\text{ผลบวกของผลคูณคู่ตัวต้านทาน}}{\text{ตัวต้านทานตรงจุด}}$$

$$R_2 = \frac{R_A R_B + R_B R_C + R_C R_A}{R_B}$$

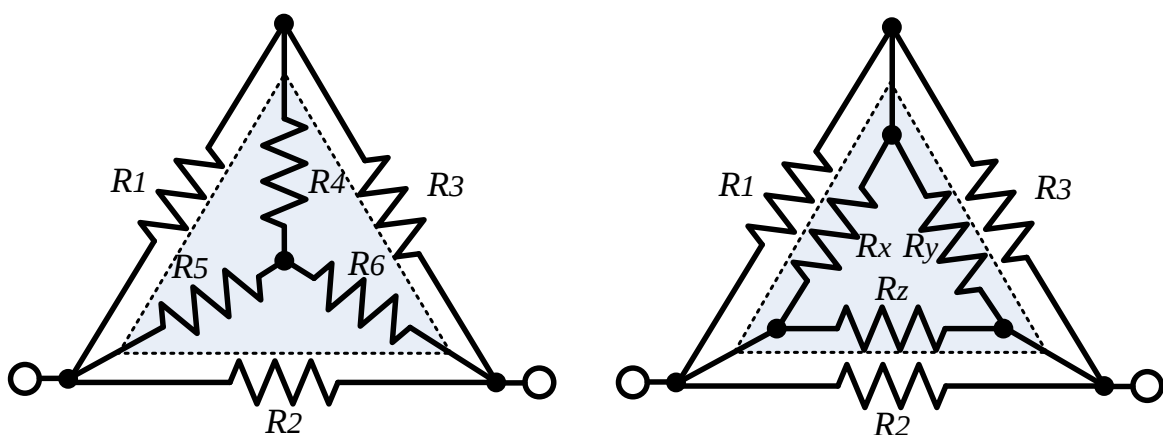
$$R_3 = \frac{R_A R_B + R_B R_C + R_C R_A}{R_C}$$

ตัวอย่างที่ 1.9 จากวงจรจงหาค่าความต้านทานรวมถ้าตัวต้านทานทุกตัวมีค่าเท่ากับ 10 โอห์ม



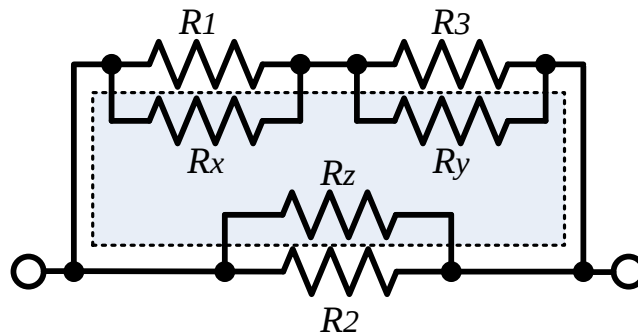
รูปที่ 1.17 แสดงวงจรประกอบตัวอย่างที่ 1.9

จากรูปที่ 1.17 สามารถแยกส่วนตัวต้านทานที่ต่อแบบสตาร์ได้ดังรูปที่ 1.18



จากรูปที่ 1.18 แสดงส่วนของตัวต้านทานที่ต้องการแปลงรูป คือ R4, R5 และ R6 เมื่อแปลงรูปแล้วจะเป็น R_x, R_y และ R_z

เมื่อจัดเรียงใหม่เพื่อให้ง่ายต่อการพิจารณาจะได้ดังรูปที่ 1.19



รูปที่ 1.19 แสดงการจัดเรียงใหม่เพื่อให้ง่ายต่อการคำนวณค่าความต้านทานรวม

จากสูตรการแปลงรูปวงจรสามารถเทียบเคียงวงจรได้ดังนี้

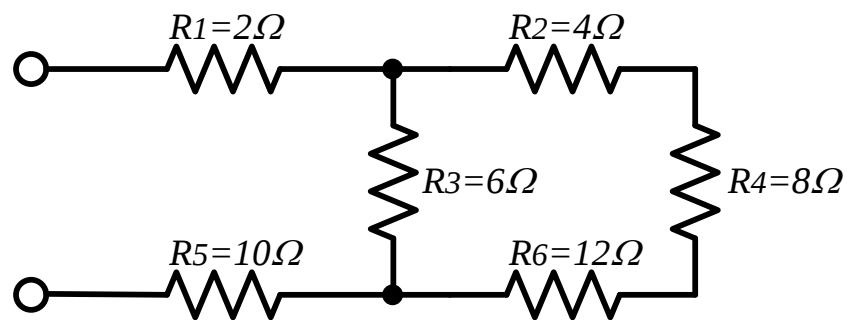
$$\begin{aligned}
 R_x &= \frac{R_A R_B + R_B R_C + R_C R_A}{R_A} \\
 &= \frac{(10 \times 10) + (10 \times 10) + (10 \times 10)}{10} \\
 &= \frac{100 + 100 + 100}{10} \\
 &= \frac{300}{10} = 30\Omega
 \end{aligned}$$

เนื่องจากโจทย์ให้ค่าความต้านทานของตัวต้านทานทุกตัวมีค่าเท่ากัน ดังนั้นจึงเป็นผลให้ค่าความต้านทานที่ได้จากการแปลงคือ R_x, R_y และ R_z มีค่าเท่ากันคือ 30 โอห์ม จากรูป 1.19 หาค่าความต้านทานรวมได้เท่ากับ

$$\begin{aligned}
 R_T &= ((R_1 // R_x) + (R_3 // R_y)) // (R_2 // R_z) \\
 &= \left(\left(\frac{R_1 \times R_x}{R_1 + R_x} \right) + \left(\frac{R_3 \times R_y}{R_3 + R_y} \right) \right) // \left(\frac{R_2 \times R_z}{R_2 + R_z} \right) \\
 &= \left(\left(\frac{10 \times 30}{10 + 30} \right) + \left(\frac{10 \times 30}{10 + 30} \right) \right) // \left(\frac{10 \times 30}{10 + 30} \right) \\
 &= (7.5 + 7.5) // 7.5 \\
 &= 15 // 7.5 \\
 &= \left(\frac{15 \times 7.5}{15 + 7.5} \right) = 15\Omega
 \end{aligned}$$

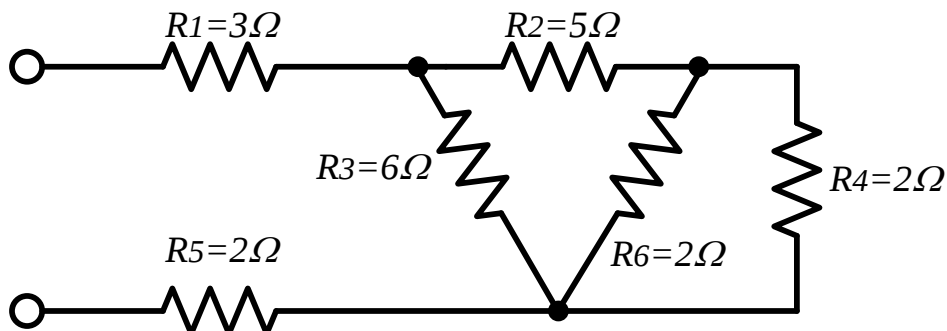
ปัญหาโจทย์เพิ่มเติม

1. จากรูปที่ 1.20 จงหาค่าความต้านทานรวม



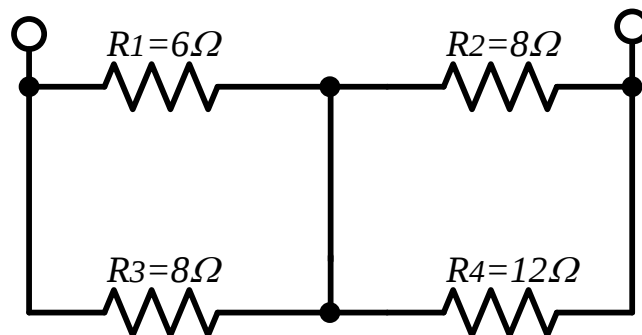
รูปที่ 1.20

2. จากรูปที่ 1.21 จงหาค่าความต้านทานรวม



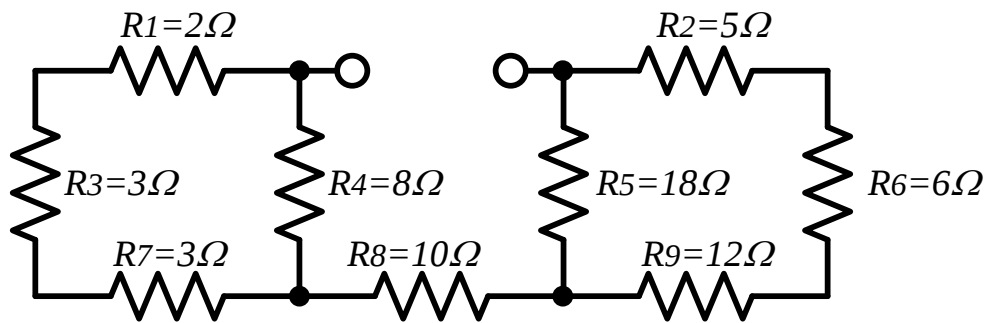
รูปที่ 1.21

3. จากรูปที่ 1.22 จงหาค่าความต้านทานรวม



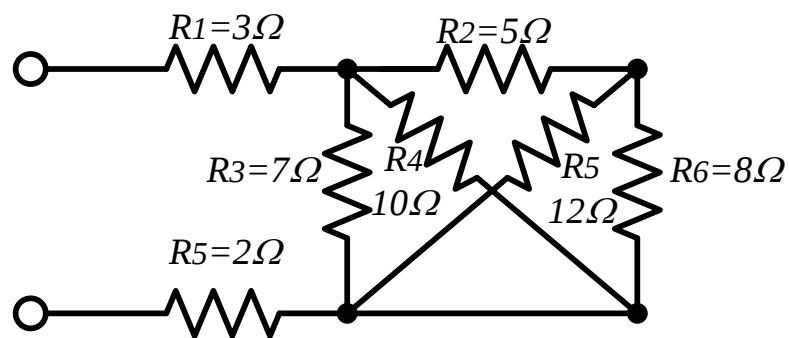
รูปที่ 1.22

4. จากรูปที่ 1.23 จงหาค่าความต้านทานรวม



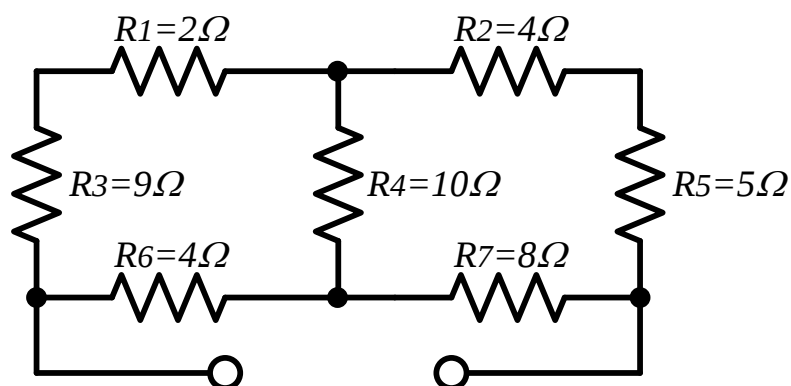
รูปที่ 1.23

5. จากรูปที่ 1.24 จงหาค่าความต้านทานรวม



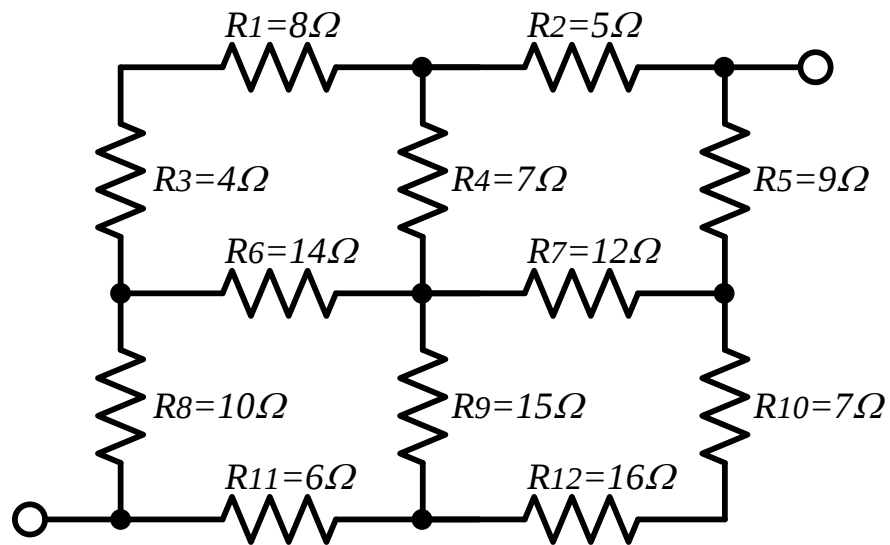
รูปที่ 1.24

6. จากรูปที่ 1.25 จงหาค่าความต้านทานรวม



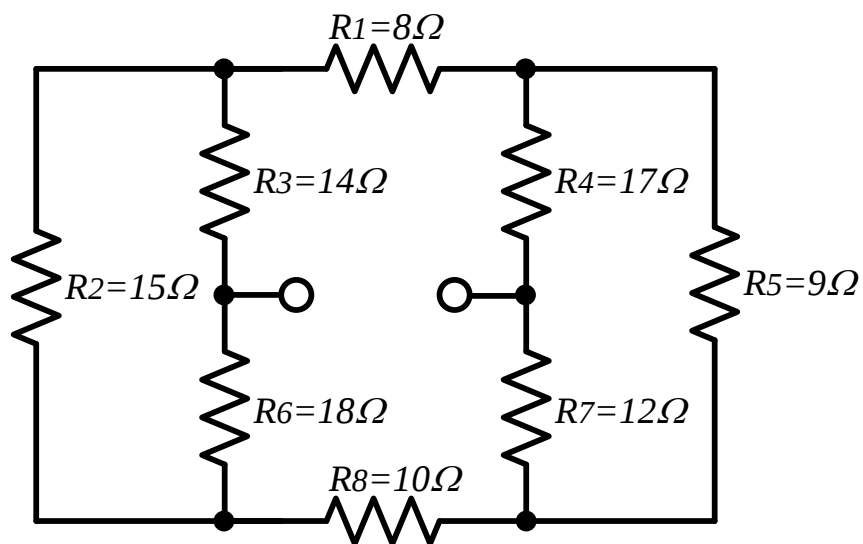
รูปที่ 1.25

7. จากรูปที่ 1.26 จงหาค่าความต้านทานรวม



รูปที่ 1.26

8. จากรูปที่ 1.27 จงหาค่าความต้านทานรวม



รูปที่ 1.27