หน่วยที่ 9
ตัวต้านทาน

ตัวต้านทาน หรือเรียกว่า “รีซิสเตอร์” (Resistor) หรือ “อาร์” (R) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้กันมากในวงจรอิเล็กทรอนิกส์ เช่น วงจรขยายเสียง, วงจรวิทยุ, เครื่องรับโทรทัศน์และเครื่องใช้ไฟฟ้าอื่นๆ ตัวต้านทานจะมีหน้าที่เป็นตัวจำกัดการไหลของกระแสไฟฟ้าและแรงเคลื่อนไฟฟ้า ตามจุดต่างๆ ที่กำหนดไว้ในวงจร

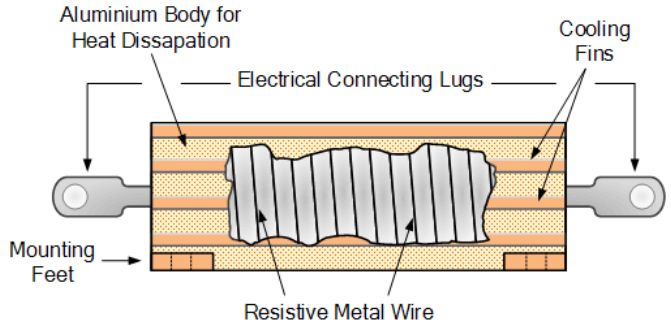
9.1 ชนิดของตัวต้านทาน

เมื่อพิจารณาถึงตัวต้านทานให้ดีแล้ว เราพอที่จะแบ่งชนิดของตัวต้านทานได้เป็น 2 ชนิด คือ แบ่งตามวัสดุที่ใช้ทำและแบ่งตามการใช้งาน

9.1.1 ชนิดของตัวต้านทานที่แบ่งตามวัสดุที่ใช้ทำ

ตัวต้านทานที่แบ่งตามวัสดุที่ใช้ทำนั้นมีอยู่ 2 ชนิด คือ วัสดุประเภทโลหะ (Metallic) และวัสดุประเภทอโลหะ (Non-Metallic)

1. วัสดุประเภทโลหะ : ที่ใช้ทำตัวต้านทานนี้ ส่วนมากจะใช้เส้นลวดขนาดเล็กๆ หรือแถบลวด (Ribbon) พันบนฉนวนที่เป็นแกนของตัวต้านทาน และที่ปลายทั้งสองข้างของขดลวดจะต่อขาออกมาใช้งาน แล้วเคลือบด้วยฉนวนอีกที่หนึ่ง

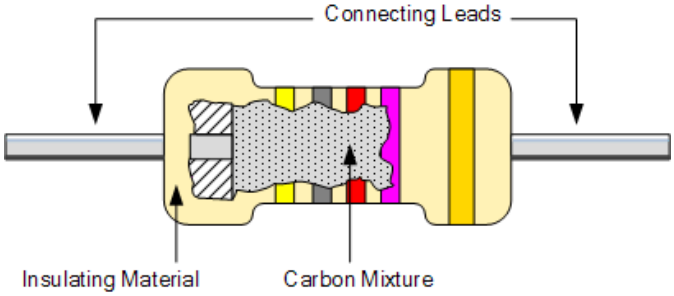


รูปที่ 9.1 แสดงตัวต้านทานที่ทำมาจากวัสดุประเภทโลหะ

ที่มา : https://www.electronics-tutorials.ws

รูปที่ 9.1 แสดงตัวต้านทานที่ทำมาจากวัสดุประเภทโลหะ ตัวต้านทานที่ใช้เส้นลวดพันแล้วทำให้เกิดค่าความต้านทานนี้ ส่วนมากจะเป็นพวกไวร์วาวด์รีซิสเตอร์ (Wire Wound Resistors) ตัวต้านทานแบบนี้จะมีค่าความต้านทานที่แน่นอน และค่าความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด แต่จะเป็นตัวต้านทานที่มีขนาดใหญ่และอัตราทนกำลังไฟฟ้า (Watt) ได้สูง

2. วัสดุประเภทอโลหะ : ที่ใช้ทำตัวต้านทานนี้ ได้แก่ คาร์บอน (Carbon) หรือกราไฟต์ (Graphite) ที่อัดตัวกันแน่นเป็นแท่ง และใช้ฉนวนหุ้มเพื่อป้องกันความชื้น แล้วต่อขาออกมาใช้งาน จากคุณสมบัติเฉพาะตัวของผงคาร์บอนและกราไฟต์ที่มีค่าความต้านทานสูงมากๆ นี้ จึงสามารถนำมาใช้ทำเป็นตัวต้านทานที่มีค่าสูงๆ ได้ แต่จะมีขนาดเล็กลง



รูปที่ 9.2 แสดงคาร์บอน รีซิสเตอร์ (Carbon Resistor)

ที่มา : https://www.electronics-tutorials.ws

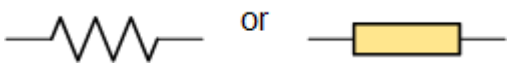
รูปที่ 9.2 แสดงคาร์บอน รีซิสเตอร์ (Carbon Resistor) ตัวต้านทานประเภทนี้ จะมีค่าความคลาดเคลื่อนของความต้านทานมาก และอัตราทนกำลังไฟฟ้าได้ไม่สูงมากนัก

9.1.2 ชนิดของตัวต้านทานที่แบ่งตามการใช้งาน

ตัวต้านทานในการใช้งานของวงจรอิเล็กทรอนิกส์ แบ่งเป็นชนิดต่างๆ ดังรายละเอียดที่จะกล่าวถึงต่อไป โดยไม่ถือว่าตัวต้านทานนั้น จะทำมาจากวัสดุประเภทโลหะหรืออโลหะก็ตาม ซึ่งสามารถแบ่งได้ดังนี้

1. ตัวต้านทานชนิดค่าคงที่ (Fixed Resistors) คือตัวต้านทานชนิดที่มีค่าคงที่แน่นอน ไม่สามารถแปลงเปลี่ยนค่าความต้านทานของตัวมันได้ โดยมากแล้วตัวต้านทานชนิดนี้จะมีชื่อเรียกตามวัสดุที่นำมาสร้าง เช่น คาร์บอน, ฟิล์มคาร์บอน, ฟิล์มโลหะ หรือไวร์วาวด์ เป็นต้น

(ก) ชนิดคาร์บอน (ข) ชนิดฟิล์ม (ค) ชนิดไวร์วาวด์



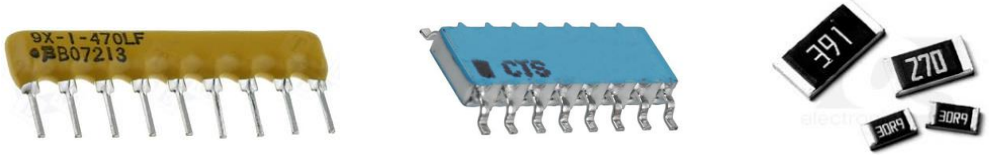
(ง) สัญลักษณ์

รูปที่ 9.3 แสดงตัวต้านทานชนิดค่าคงที่และสัญลักษณ์

ที่มา : https://www.electronics-tutorials.ws

รูปที่ 9.3 แสดงตัวต้านทานชนิดค่าคงที่และสัญลักษณ์ ได้แก่ ชนิดคาร์บอน, ชนิดฟิล์ม และชนิดไวร์วาวด์ สัญลักษณ์ของตัวต้านทานชนิดค่าคงที่ (Fixed Resistors) จะมีหลายแบบ ตามมาตรฐานที่กำหนดขึ้น

ในปัจจุบันอุปกรณ์ เครื่องมือเครื่องใช้ทางไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์มีขนาดเล็กลง ทำให้ตัวต้านทานชนิดค่าคงที่ถูกปรับเปลี่ยนรูปแบบให้มีขนาดเล็กลงตามไปด้วย เพื่อให้เหมาะสม เกิดความสะดวกต่อการนำไปใช้งานและทันกับเทคโนโลยีสมัยใหม่



(ก) แบบ SIL (ข) แบบ DIL (ค) แบบ SMD

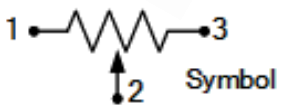
รูปที่ 9.4 แสดงตัวต้านทานชนิดค่าคงที่แบบใหม่

ที่มา : พันธ์ศักดิ์ พุฒิมานิตพงศ์, 2557 : 189

รูปที่ 9.4 แสดงตัวต้านทานชนิดค่าคงที่แบบใหม่ ได้แก่ แบบจัดกลุ่มขาเรียงด้านเดียว หรือ SIL (Single in Line) แบบจัดกลุ่มขาเรียงสองด้าน หรือ DIL (Dual in Line) และแบบแปะติด SMD (Surface Mounted Devices) เป็นต้น

2. ตัวต้านทานชนิดเปลี่ยนค่าได้ (Variable Resistors) คือตัวต้านทานชนิดที่สามารถเปลี่ยนค่าความต้านทานได้โดยการใช้แกนหมุน (แบบวงแหวน) หรือเลื่อนแกน (แบบสไลด์) วัสดุที่ใช้ในการทำตัวต้านทานชนิดนี้ คือ ชนิดคาร์บอน (Carbon) หรือชนิดเส้นลวด (Wire Wound) ถ้าใช้กับวงจรที่กระแสสูง วัสดุที่ใช้จะเป็นแบบเส้นลวด ถ้าใช้กับวงจรกระแสต่ำจะใช้กับวัสดุประเภทคาร์บอน

(ก) แบบบวงแหวน (ข) แบบสไลด์ (ค) โครงสร้างแบบวงแหวน



(ง) สัญลักษณ์

รูปที่ 9.5 แสดงตัวความต้านทานชนิดเปลี่ยนค่าได้

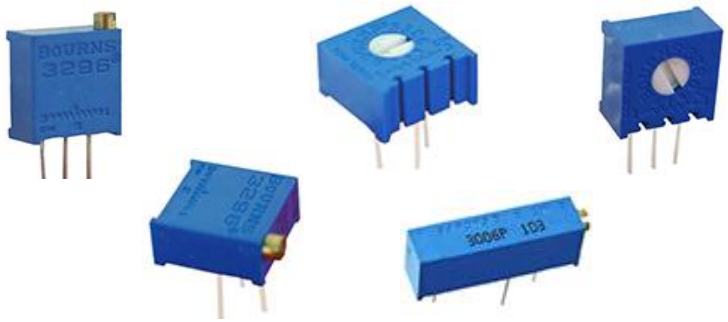
ที่มา : https://www.electronics-tutorials.ws

รูปที่ 9.5 แสดงตัวความต้านทานชนิดเปลี่ยนค่าได้ แบบแกนหมุน (วงแหวน) และแบบเลื่อนแกน (แบบสไลด์) ตัวต้านทานชนิดเปลี่ยนค่าได้แบ่งออกเป็น 3 แบบ คือ

- ชนิดแบบ A การเปลี่ยนค่าความต้านทานโดยการหมุนแกนนั้นจะไม่เป็นลักษณะเชิงเส้น (Nonlinear) ค่าความต้านทานจะค่อยๆ เพิ่มอย่างช้าๆ และจะเพิ่มขึ้นอย่างมากเมื่อการหมุนแกนเกือบถึงปลายสุด ซึ่งการเพิ่มขึ้นของความต้านทานนี้จะเป็นแบบอัตราทวีคูณ หรือบางที่เรียกว่าแบบล็อกสเกล (Log Scale) ส่วนมากใช้สำหรับเป็นตัวปรับความดังของเครื่องขยายเสียง ที่เรียกว่าวอลลุ่ม (Volume) เช่น VR 10 kA , VR 50 kA, VR 100 kA เป็นต้น

- ชนิด B การเปลี่ยนค่าความต้านทานแบบนี้จะมีลักษณะที่เป็นเชิงเส้น (Linear Scale) ค่าความต้านทานมีการเปลี่ยนแปลงไปจะมีค่าที่สม่ำเสมอ เป็นอัตราส่วนโดยตรงกับการหมุนแกน นิยมใช้เป็นตัวปรับเสียงทุ้ม (Bass) และเสียงแหลม (Treble) ในเครื่องขยายเสียง เช่น VR 50 kB, VR 100 kB, VR 500 kB เป็นต้น ซึ่งจะสังเกตได้จากตัวอักษร B ที่พิมพ์ติดไว้

- ชนิด MN การเปลี่ยนค่าความต้านทานทั้งข้างซ้ายและขวาจะเท่ากัน ถูกออกแบบมาใช้เป็นตัวสำหรับการปรับเสียงลำโพงซ้าย-ขวา (Balance) ในระบบสเตริโอ



รูปที่ 9.6 แสดงทริมพอท
ที่มา : https://www.srt.co.th

รูปที่ 9.6 แสดงทริมพอท (TRIMPOT) หรือวอลลุ่มเกือกม้า ถูกออกแบบมาเพื่อใช้งานบนแผ่นปริ๊นซ์ของวงจรได้เลย โดยไม่ต้องมีแกนหมุนยื่นออกมา เพื่อปรับค่าความต้านทานแต่จะใช้ไขควงช่วยในการปรับเปลี่ยนตำแหน่งความต้านทานแทน

3. ตัวต้านทานชนิดปรับแต่งค่าได้ (Adjustable Resistors) คือตัวต้านทานที่สามารถปรับตำแหน่งตามค่าที่ต้องการได้ ซึ่งจะใช้ได้เฉพาะค่าใดค่าหนึ่งที่ปรับไว้เท่านั้น โดยมากเป็นตัวต้านทานชนิดแบบไวร์วาวด์ และที่บนตัวของตัวต้านทานชนิดนี้จะมีปลอกโลหะสวมอยู่ สามารถเลื่อนตำแหน่งเพื่อให้ได้ค่าความต้านทานที่ต้องการได้ เสร็จแล้วขันสกรูล็อกให้จุดสัมผัสของปลอกโลหะกดลงบนขดลวดความต้านทานให้แน่น เพื่อป้องกันการอาร์คของหน้าสัมผัส

(ก) รูปร่าง (ข) สัญลักษณ์

รูปที่ 9.7 ตัวต้านทานชนิดปรับแต่งค่าได้และสัญลักษณ์

ที่มา : พันธ์ศักดิ์ พุฒิมานิตพงศ์, 2557 : 191

รูปที่ 9.7 ตัวต้านทานชนิดปรับแต่งค่าได้และสัญลักษณ์ เป็นตัวต้านทานชนิดไวร์วาวด์ โดยพันเส้นลวดโลหะรอบแกนเซรามิกรูปทรงกระบอก มีส่วนหนึ่งของเส้นลวดไม่ได้หุ้มฉนวน ขาที่สามเป็นปลอกโลหะสวมล้อมรอบ มีส่วนหนึ่งสัมผัสกับเส้นลวดไม่ได้หุ้มฉนวนบนตัวต้านทาน สามารถปรับเลื่อนไปมาได้ตามที่เราต้องการ มีสกรูขันยึดปลอกโลหะให้สัมผัสแน่นกับเส้นลวดที่ตัวต้านทาน เพื่อป้องกันการเลื่อนเปลี่ยนตำแหน่ง

4. ตัวต้านทานชนิดแบ่งค่าได้ (Tapped Resistors) คือตัวต้านทานชนิดไวร์วาวด์ แต่ตัวต้านทานนี้อาจถูกแท็ปขดลวดความต้านทานออกมาเป็นค่าความต้านทานสองหรือสามค่าได้ ซึ่งจะต่างจากตัวต้านทานชนิดปรับค่าได้ตรงที่ไม่มีปลอกโลหะสวม

(ก) รูปร่าง (ข) สัญลักษณ์

รูปที่ 9.8 ตัวต้านทานชนิดแบ่งค่าได้และสัญลักษณ์

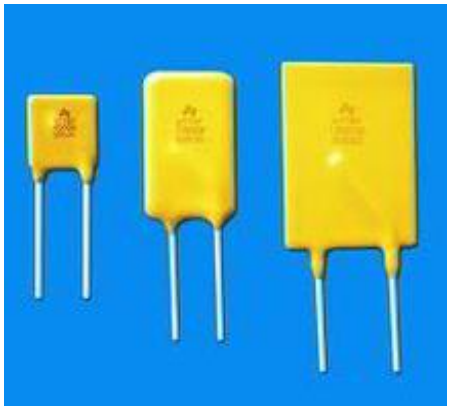
ที่มา : พันธ์ศักดิ์ พุฒิมานิตพงศ์, 2557 : 190

รูปที่ 9.8 ตัวต้านทานชนิดแบ่งค่าได้และสัญลักษณ์ เป็นตัวต้านทานที่ผลิตขึ้นมาใช้งานแต่ละตัวมีค่าคงที่ตายตัว เช่นเดียวกับตัวต้านทานชนิดค่าคงที่ แต่แยกจำนวนขาออกมาจากตัวต้านทานเพิ่มขึ้นมากกว่า 2 ขาขึ้นไป เช่น 3 ขา 4 ขา และ 5 ขา เป็นต้น

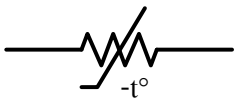
5. ตัวต้านทานชนิดพิเศษ (Special Resistors) คือตัวต้านทานที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าตามอุณหภูมิและความเข้มของแสงที่มาตกกระทบตัวต้านทานนี้ อันได้แก่ เทอร์มิสเตอร์ (Thermistor) และ แอลดีอาร์ (LDR : Light Dependent Resistor)

เทอร์มิสเตอร์ (Thermister) เป็นอุปกรณ์ที่ไวต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลง กล่าวคือ ค่าความต้านทานในตัวมันจะเปลี่ยนไปกับอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลง

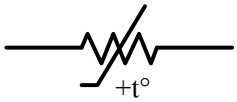
(ก) รูปร่างของ NTC



(ข) รูปร่างของ PTC



(ค) สัญลักษณ์ของ NTC



(ง) สัญลักษณ์ของ PTC

รูปที่ 9.9 แสดงเทอร์มิสเตอร์และสัญลักษณ์

ที่มา : http://www.globaldevices.in

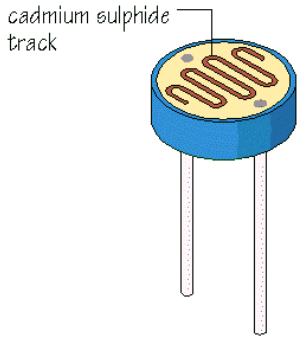
รูปที่ 9.9 แสดงเทอร์มิสเตอร์และสัญลักษณ์ เทอร์มิสเตอร์ จะมีอยู่ 2 ประเภท แบ่งตาม ส.ป.ส. ของอุณหภูมิ (Temperature Coefficient) คือ

1. NTC (Negative Temperature Coefficient) คือ เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ค่าความต้านทานจะลดลง

2. PTC (Positive Temperature Coefficient) คือ เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ค่าความต้านทานจะเพิ่มสูงขึ้นตามไปด้วย

แอลดีอาร์ (LDR : Light Dependent Resistor) คือตัวต้านทานที่ไวต่อแสง กล่าวได้คือค่าความต้านทานของแอลดีอาร์จะเปลี่ยนแปลงตามความเข้มของแสงที่มาตกกระทบ

(ก) รูปร่าง



(ข) โครงสร้าง

(ค) สัญลักษณ์

รูปที่ 9.10 แสดงรูปร่าง โครงสร้างและสัญลักษณ์ของแอลดีอาร์

ที่มา : www.societyofrobots.com

รูปที่ 9.10 แสดงรูปร่าง โครงสร้างและสัญลักษณ์ของแอลดีอาร์ ในบางครั้งเราเรียกตัวแอลดีอาร์ว่า โฟโตรีซิสเตอร์ (Photo Resistor) เป็นตัวต้านทานที่ทำมาจากสารแคดเมี่ยมซัลโฟต์ (CdS : Cadmium Sulfide) หรือ แคดเมี่ยมซิลินายส์ (CdSe : Cadmium Selenide) ค่าความต้านทานของแอลดีอาร์จะเปลี่ยนไปตามแสงที่มาตกกระทบ คือ ถ้าแสงมาตกกระทบน้อย ค่าความต้านทานจะสูง ถ้าแสงมาตกกระทบมาก ค่าความต้านทานจะต่ำ

9.2 การอ่านค่าความต้านทาน

ตัวต้านทานที่ผลิตขึ้นมาใช้งานทุกตัว จะต้องมีค่าความต้านทานบอกไว้ เพื่อให้ทราบค่าความต้านทานของตัวต้านทานตัวนั้น เพื่อให้เราสามารถเลือกค่าไปใช้งานได้ง่ายและถูกต้อง การบอกค่าความต้านทานบอกได้หลายวิธี เช่นบอกเป็นตัวเลข ตัวอักษรและแถบสี เป็นต้น

9.2.1 หน่วยของความต้านทาน

ค่าความต้านทานหรือเรียกว่า “รีซิสแตนท์” (Resistance) ของตัวต้านทานนี้ จะมีหน่วยเบื้องต้นในการวัดเป็น โอห์ม (Ohm : Ω) ความหมาย “โอห์ม” คือ เกิดจากตัวต้านทานที่ยอมให้กระแสไหลผ่านได้ 1 แอมป์ มีแรงเคลื่อนไฟฟ้า 1 โวลต์ ตกคร่อมตัวต้านทานนี้

แต่ค่าความต้านทานที่ใช้ในวงจรมีหลายขนาด ตั้งแต่ค่าต่ำสุดจนถึงสูงสุด จำเป็นต้องมีหน่วยของความต้านทาน เพื่อช่วยในการอ่านและสะดวกในการใช้งาน หน่วยของความต้านทาน (Unit of Resistance) มีดังนี้

1,000 Ω	เท่ากับ	1 kΩ (kilo Ohm)
10,000 Ω	เท่ากับ	10 kΩ
100,000 Ω	เท่ากับ	100 kΩ
1,000,000 Ω	เท่ากับ	1,000 kΩ หรือ 1 MΩ (Mega Ohm)

9.2.2 การอ่านค่าความต้านทานแบบต่างๆ

การบอกค่าความต้านทานบอกได้หลายวิธี ได้แก่ บอกค่าความต้านทานโดยตรง บางตัวบอกค่าความต้านทานไว้เป็นตัวเลขและตัวอักษร บางแบบแสดงค่าความต้านทานด้วยรหัสสี

1. การอ่านความต้านทานจากรหัสสี แบ่งออกได้เป็น 2 แบบ คือ แบบ 4 แถบสีและแบบ 5 แถบสี การอ่านค่าความต้านทานออกมามีรายละเอียดที่แตกต่างกัน ค่ารหัสสีที่ระบายไว้บอกทั้งค่าความต้านทานและค่าผิดพลาด จะต้องแปลงรหัสสีที่กำกับไว้กลับมาเป็นตัวเลขทั้งหมด รหัสสีที่บอกไว้สามารถนำมาแทนเป็นตัวเลขได้ทั้งค่าตัวตั้ง ค่าตัวคูณ และค่าผิดพลาด นำตัวเลขมาแทนลงไปให้ถูกต้องตามค่าสีที่กำหนด พร้อมทั้งจัดค่าและจัดหน่วยให้เหมาะสม

ตารางที่ 9.1 การอ่านค่าความต้านทานแบบ 4 แถบสี

สี	แถบสีที่ 1 ค่าตัวเลข	แถบสีที่ 2 ค่าตัวเลข	แถบสีที่ 3 ค่าตัวคูณ (เติมจำนวนศูนย์)	แถบสีที่ 4	
				ค่าผิดพลาด	อักษร
ดำ	0	0	1		
น้ำตาล	1	1	10	±1%	F
แดง	2	2	100	±2%	G
ส้ม	3	3	1,000		
เหลือง	4	4	10,000		
เขียว	5	5	100,000	±0.5%	D
น้ำเงิน	6	6	1,000,000	±0.25%	C
ม่วง	7	7	10,000,000	±0.1%	B
เทา	8	8		±0.05%	A
ขาว	9	9			
ทอง			0.1	±5%	J
เงิน			0.01	±10%	K
ไม่มีสี				±20%	M

แถบสีที่	1	2	3	4
สีแสดง	แดง	ดำ	ดำ	เงิน
ค่าตัวเลข	2	0	×1	±10%
ค่าอ่านได้	20 × 1 = 20 Ω			
ค่าผิดพลาด	±10%			

แถบสีที่	1	2	3	4
สีแสดง	แดง	ม่วง	แดง	ทอง
ค่าตัวเลข	2	7	×100	±5%
ค่าอ่านได้	27×100 = 2,700 Ω = 2.7 kΩ			
ค่าผิดพลาด	±5%			

ที่มา : พันธ์ศักดิ์ พุฒิมานิตพงศ์, 2557 : 200-201

ตารางที่ 9.2 การอ่านค่าความต้านทานแบบ 5 แถบสี

สี	แถบสีที่ 1 ค่าตัวเลข	แถบสีที่ 2 ค่าตัวเลข	แถบสีที่ 3 ค่าตัวเลข	แถบสีที่ 4 ค่าตัวคูณ (เติมจำนวนศูนย์)	แถบสีที่ 5	
					ค่าผิดพลาด	อักษร
ดำ	0	0	0	1		
น้ำตาล	1	1	1	10	±1%	F
แดง	2	2	2	100	±2%	G
ส้ม	3	3	3	1,000		
เหลือง	4	4	4	10,000		
เขียว	5	5	5	100,000	±0.5%	D
น้ำเงิน	6	6	6	1,000,000	±0.25%	C
ม่วง	7	7	7	10,000,000	±0.1%	B
เทา	8	8	8		±0.05%	A
ขาว	9	9	9			
ทอง				0.1	±5%	J
เงิน				0.01	±10%	K

1.

แถบสีที่	1	2	3	4	5
สีแสดง	แดง	ดำ	ดำ	ทอง	แดง
ค่าตัวเลข	2	0	0	×0.1	±2%
ค่าอ่านได้	200 × 0.1 = 20 Ω				
ค่าผิดพลาด	±2%				

2.

แถบสีที่	1	2	3	4	5
สีแสดง	เขียว	ม่วง	น้ำเงิน	แดง	น้ำตาล
ค่าตัวเลข	5	7	6	×100	±1%
ค่าอ่านได้	576 × 100 = 57,600 Ω = 57.6 kΩ				
ค่าผิดพลาด	±1%				

ที่มา : พันธ์ศักดิ์ พุฒิมานิตพงศ์, 2557 : 202-203

2. การอ่านค่าความต้านทานโดยตรง ตัวต้านทานที่บอกค่าออกมาโดยตรง จะพิมพ์ค่าความต้านทานลงบนตัวต้านทานตามค่าความต้านทานของตัวต้านทานตัวนั้น พร้อมทั้งแสดงหน่วยกำกับไว้เป็น Ω, kΩ หรือ MΩ บางครั้งมีค่าการทนกำลังไฟฟ้า และค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดกำกับไว้ด้วยก็ได้ ตัวต้านทานบางแบบอาจใช้ตัวอักษรกำกับไว้บอกค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดแทนตัวเลข มีตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ใช้บอกค่า 9 ตัว ได้แก่ A, B, C, D, F, G, J, K และ M มีความหมายความผิดพลาด ตามตารางที่ 9.3

ตารางที่ 9.3 ค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดแสดงด้วยตัวอักษรภาษาอังกฤษ

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

ที่มา : พันธ์ศักดิ์ พุฒิมานิตพงศ์, 2557 : 194

ตัวอย่างที่ 9.1 จงอ่านค่าความต้านทานของตัวต้านทานที่บอกค่าไว้โดยตรงต่อไปนี้

470 kΩ = ความต้านทาน 470 kΩ

2 MΩ K = ความต้านทาน 2 MΩ ค่าผิดพลาด ± 10%

10W 200Ω J = ทนกำลังไฟฟ้าได้ 10 W ความต้านทาน 200 Ω ค่าผิดพลาด ± 5%

20W 390 kΩ K = ทนกำลังไฟฟ้าได้ 20 W ความต้านทาน 390 kΩ ค่าผิดพลาด ± 10%

การบอกค่าความต้านทานบางแบบ จะใช้ตัวอักษรร่วมแสดงการบอกด้วย นอกจากใช้บอกค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดแล้ว ยังแสดงค่าไว้ในรูปจุดทศนิยมของเลขฐานสิบ พร้อมทั้งบอกหน่วยความต้านทานในรูปตัวคูณร่วมด้วย ตัวอักษรที่นิยมใช้ คือ R, K, M และ E ตัวอักษรเหล่านี้เมื่ออยู่หน้า อยู่กลาง หรืออยู่หลัง ตัวอักษรแสดงค่าเป็นจุดทศนิยม นอกจากนั้นยังแสดงเป็นตัวคูณ (จำนวนเลขศูนย์ที่เติมเข้าไป) ตัวอักษรแต่ละตัวมีความหมายดังนี้

ตัวอักษร R มีค่าเป็นตัวคูณ = $\times 1$

ตัวอักษร K มีค่าเป็นตัวคูณ = $\times 10^3$

ตัวอักษร M มีค่าเป็นตัวคูณ = $\times 10^6$

ตัวอักษร E แทนเครื่องหมาย = Ω

ตัวอย่างที่ 9.2 จงอ่านค่าความต้านทานของตัวต้านทานที่บอกค่าไว้โดยตรงต่อไปนี้

1M0 = ความต้านทาน 1 MΩ

4R7 K = ความต้านทาน 4.7 Ω ค่าผิดพลาด ± 10%

2W 2K2 E = ทนกำลังไฟฟ้า 2 W ความต้านทาน 2.2 kΩ

430E 3W J = ความต้านทาน 430 Ω ทนกำลังไฟฟ้าได้ 3 W ค่าผิดพลาด ± 5%

0E25 10W J = ความต้านทาน 0.25 Ω ทนกำลังไฟฟ้าได้ 10 W ค่าผิดพลาด ± 5%

3. การอ่านค่าความต้านทานจากตัวเลขและตัวอักษร ตัวต้านทานบางแบบเขียนตัวเลขและตัวอักษรกำกับไว้ ไม่ได้บอกค่าความต้านทานออกมาโดยตรง เพราะค่าที่แสดงไว้บนตัวต้านทานบอกค่าออกมาในรูปรหัส ต้องนำมาแปลงรหัสให้กลับมาเป็นค่าความต้านทานก่อนที่จะอ่านค่าออกมา การอ่านค่ามีหลายวิธีแตกต่างกันไป

(ก) ตัวต้านทานทั่วไป (ข) ตัวต้านทานแบบ SIL

(ค) ตัวต้านทานแบบแปะติด SMD

รูปที่ 9.11 การอ่านค่ารหัสตัวต้านทานแบบตัวเลข 3 ตัว

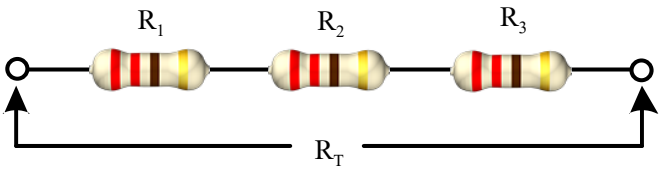
ที่มา : พันธ์ศักดิ์ พุฒิมานิตพงศ์, 2557 : 196

9.3 การต่อตัวต้านทาน

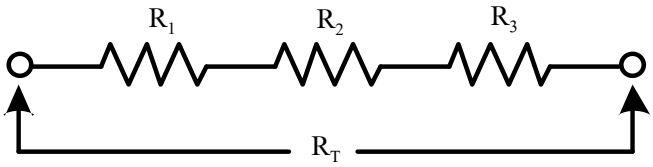
การต่อตัวต้านทาน คือการนำตัวต้านทานมาต่อรวมกัน เพื่อปรับเปลี่ยนค่าความต้านทานให้ได้ตามต้องการ การต่อตัวต้านทานแบ่งออกได้เป็น 3 แบบด้วยกันคือ ต่อแบบอนุกรม แบบขนาน และแบบผสม การต่อตัวต้านทานแต่ละแบบทำให้ค่าความต้านทานรวมเปลี่ยนแปลงไป

9.3.1 ตัวต้านทานในวงจรอนุกรม

วงจรอนุกรม (Series) เป็นการต่อตัวต้านทานอันดับเรียงกันไป ค่าความต้านทานของตัวต้านทานจะเพิ่มมากขึ้นเท่ากับค่าความต้านทานของตัวต้านทานแต่ละตัวมารวมกัน ส่วนอัตราทนวัตต์จะเท่ากับค่าวัตต์ของตัวน้อยที่สุด



(ก) รูปวงจร



(ข) สัญลักษณ์วงจร

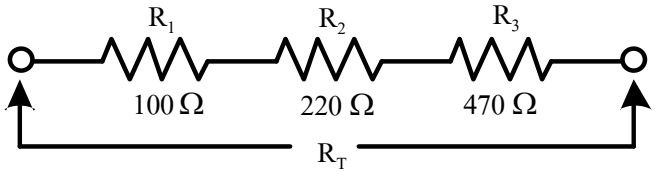
รูปที่ 9.12 แสดงการต่อตัวต้านทานในวงจรอนุกรม

ที่มา : ทรงศักดิ์ ครื้นน้ำใจ, 2559

รูปที่ 9.12 แสดงการต่อตัวต้านทานในวงจรอนุกรม เป็นการต่อในลักษณะท้ายของตัวต้านทานตัวแรกต่อเข้าหัวตัวต้านทานตัวที่สอง และท้ายของตัวต้านทานตัวที่สองต่อเข้าหัวตัวต้านทานตัวที่สาม ต่อเช่นนี้เรื่อยไป เขียนเป็นสูตรทางคณิตศาสตร์ได้ว่า

$$R_T = R_1 + R_2 + \ldots + R_n \qquad \ldots\ldots\ldots (9.1)$$

ตัวอย่างที่ 9.3 จงหาค่าความต้านทานรวมของวงจรอนุกรมตามรูป



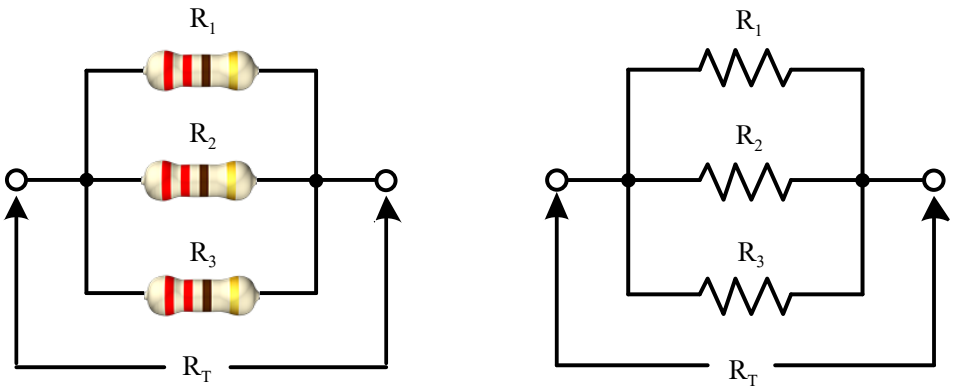
<u>วิธีทำ</u> $R_T = R_1 + R_2 + R_3$

$= 100 + 220 + 470$

$= 790\ \Omega$ **<u>ตอบ</u>**

9.3.2 ตัวต้านทานในวงจรขนาน

วงจรขนาน (Parallel) เป็นวิธีการที่เราเอาตัวต้านทานมาต่อขนานหรือคร่อมกันไป ค่าความต้านทานของวงจรจะลดลง



(ก) รูปวงจร (ข) สัญลักษณ์วงจร

รูปที่ 9.13 แสดงการต่อตัวต้านทานในวงจรขนาน

ที่มา : ทรงศักดิ์ ครื้นน้ำใจ, 2559

รูปที่ 9.13 แสดงการต่อตัวต้านทานในวงจรขนาน เป็นการต่อตัวต้านทานแต่ละตัวในลักษณะคร่อมขนานร่วมกันทุกตัว มีจุดต่อร่วมกัน 2 จุด คือจุดรวมขาแต่ละด้านของตัวต้านทานแต่ละตัว ดังนั้นถ้าหากว่าเราจะเขียนเป็นสูตรทางคณิตศาสตร์จะเขียนได้ว่า

$$\frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + ... + \frac{1}{R_n} \qquad ..... (9.2)$$

ตัวอย่างที่ 9.4 จากวงจรรูปที่ 9.13 กำหนดให้ $R_1 = R_2 = R_3 = 15\ k\Omega$ จงหาค่าความต้านทานรวม

<u>วิธีทำ</u>

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

$$= \frac{1}{15} + \frac{1}{15} + \frac{1}{15}$$

$$= \frac{1+1+1}{15}$$

$$= \frac{3}{15}$$

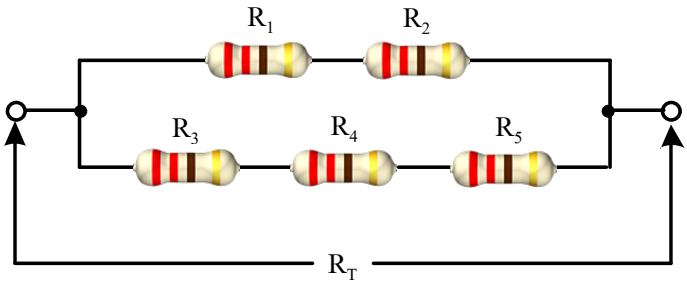
$$R_T = \frac{15}{3}$$

$$= 5\ k\Omega$$

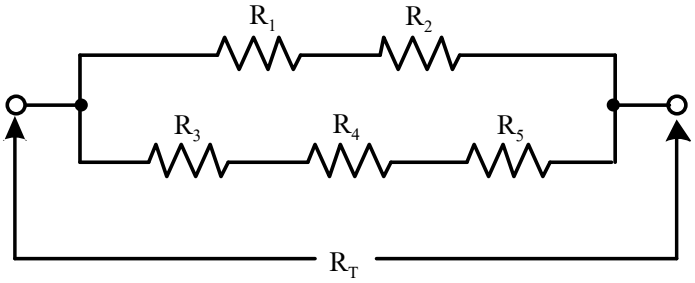
<u>ตอบ</u>

9.3.3 ตัวต้านทานในวงจรผสม

วงจรผสมเป็นการเอาลักษณะของวงจรอนุกรมกับวงจรขนานมาต่อร่วมกัน



(ก) รูปวงจร



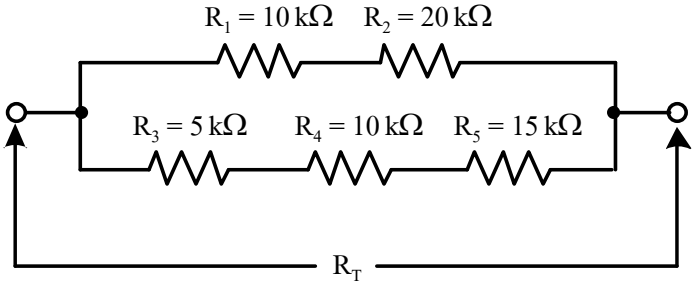
(ข) สัญลักษณ์วงจร

รูปที่ 9.14 แสดงการต่อตัวต้านทานในวงจรผสม

ที่มา : ทรงศักดิ์ ครื้นน้ำใจ, 2559

รูปที่ 9.14 แสดงการต่อตัวต้านทานในวงจรผสม จากวงจรเราจะเห็นว่า R_1 และ R_2 ต่ออนุกรมกันชุดหนึ่ง R_3, R_4 และ R_5 ต่ออนุกรมกันอีกชุดหนึ่ง แล้วนำตัวต้านทานแต่ละชุดมาต่อขนานกันอีกทีหนึ่ง

ตัวอย่างที่ 9.5 จงหาค่าความต้านทานรวมของวงจรผสมตามรูป



<u>วิธีทำ</u>

$$R_{T1} = R_1 + R_2$$

$$= 10 + 20$$

$$= 30\ k\Omega$$

$$
\begin{aligned}
R_{T2} &= R_3 + R_4 + R_5 \\
&= 5 + 10 + 15 \\
&= 30\,k\Omega \\
\frac{1}{R_T} &= \frac{1}{R_{T1}} + \frac{1}{R_{T2}} \\
&= \frac{1}{30} + \frac{1}{30} \\
&= \frac{2}{30} \\
R_T &= \frac{30}{2} \\
&= 15\,k\Omega
\end{aligned}
$$

ตอบ

สรุป

ตัวต้านทาน หรือเรียกว่า “รีซิสเตอร์” (Resistor) หรือ “อาร์” (R) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้กันมากในวงจรอิเล็กทรอนิกส์ มีหน้าที่เป็นตัวจำกัดการไหลของกระแสไฟฟ้าและแรงเคลื่อนไฟฟ้า

ตัวต้านทานแบ่งตามวัสดุที่ใช้ทำนั้นมีอยู่ 2 ชนิด คือ

1. วัสดุประเภทโลหะ (Metallic)
2. วัสดุประเภทอโลหะ (Non-Metallic)

ตัวต้านทานแบ่งตามการใช้งานของวงจรอิเล็กทรอนิกส์ แบ่งเป็น 5 ชนิด คือ

1. ตัวต้านทานชนิดค่าคงที่ (Fixed Resistors)
2. ตัวต้านทานชนิดเปลี่ยนค่าได้ (Variable Resistors
3. ตัวต้านทานชนิดปรับแต่งค่าได้ (Adjustable Resistors)
4. ตัวต้านทานชนิดแบ่งค่าได้ (Tapped Resistors)
5. ตัวต้านทานชนิดพิเศษ (Special Resistors)

ตัวต้านทานนี้จะมีหน่วยเบื้องต้นในการวัดเป็น โอห์ม (Ohm : Ω) ความหมาย “โอห์ม” คือ เกิดจากค่าความต้านทานที่ยอมให้กระแสไหลผ่านได้ 1 แอมป์ มีแรงเคลื่อนไฟฟ้า 1 โวลต์ ตกคร่อมตัวความต้านทานนี้

การต่อตัวต้านทาน คือการนำตัวต้านทานมาต่อรวมกัน เพื่อปรับเปลี่ยนค่าความต้านทานให้ได้ตามต้องการ การต่อตัวต้านทานแบ่งออกได้เป็น 3 แบบ คือ

1. การต่อตัวต้านทานแบบอนุกรม
2. การต่อตัวต้านทานแบบขนาน
3. การต่อตัวต้านทานแบบผสม