

ใบเนื้อหา เรื่อง ตัวต้านทาน

8.1 ความต้านทานในวัตถุ

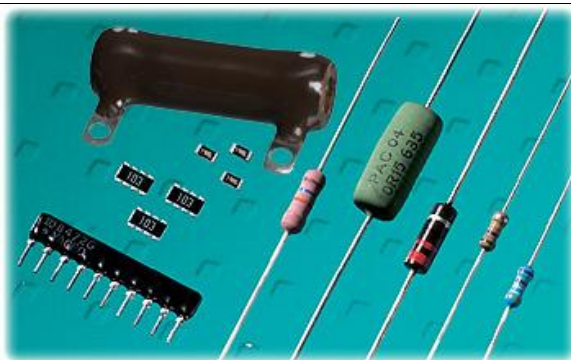
สิ่งต่างๆ ทุกชนิดที่กำเนิดขึ้นบนโลก ไม่ว่าจะเป็นของแข็ง ของเหลว วัตถุ ธาตุ รวมถึงสิ่งมีชีวิตทั้งหมดจะมีค่าความต้านทาน (Resistance) ประกอบอยู่ด้วยเสมอ ความหมายของคำว่าความต้านทาน คือแรงต้านจากวัตถุต่างๆ ทำหน้าที่ต้านการไหลของกระแสให้ผ่านไปได้มากหรือน้อย ความต้านทานนี้มีผลต่อการทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้า เครื่องใช้ไฟฟ้า และระบบการทำงานของวงจรทางไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ทั้งหมด ช่วยทำให้ระบบการทำงานต่างๆ มีความถูกต้องสมบูรณ์ตามต้องการ

ในวัตถุต่างชนิดกันค่าความต้านทานที่เกิดขึ้นภายในวัตถุเหล่านั้นจะแตกต่างกันไป วัตถุบางชนิดมีความต้านทานต่ำมักถูกเรียกว่า ตัวนำ (Conductor) วัตถุบางชนิดมีความต้านทานสูงมักถูกเรียกว่า ฉนวน (Insulator) เมื่อนำวัตถุต่างชนิดกันมาเปรียบเทียบค่าความต้านทานกันจะพบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมาก แสดงได้ดังตารางที่ 8.1

ตารางที่ 8.1 เปรียบเทียบค่าความต้านทานของวัตถุต่างชนิดกัน

ชื่อวัตถุ	ความต้านทาน (โอห์ม – เซนติเมตร ที่ 20°C)
เงิน	1.6×10^{-6}
ทองแดง	1.7×10^{-6}
อะลูมิเนียม	2.8×10^{-6}
คาร์บอน	4×10^{-3}
เจอร์เมเนียม	65
ซิลิคอน	55×10^3
แก้ว	17×10^{12}
ยาง	10^{18}

จากการที่ความต้านทานมีความสำคัญ และมีบทบาทต่อการทำงานในวงจรไฟฟ้า และอิเล็กทรอนิกส์ ทำให้มีการผลิตตัวต้านทาน (Resistor) ขึ้นมาใช้กันอย่างแพร่หลาย ตัวต้านทานที่ผลิตขึ้นมานี้มีค่าความต้านทานที่แตกต่างกัน หลากหลายค่าใช้งาน ช่วยอำนวยความสะดวกต่อการนำไปใช้งาน หน้าที่ของตัวต้านทานในวงจรไฟฟ้าและวงจรอิเล็กทรอนิกส์ คือ จำกัดการไหลของกระแสในวงจร กำหนดระดับแรงดันที่ต้องการใช้งานในวงจร และทำให้เกิดกำลังไฟฟ้าขึ้นตามต้องการ รูปร่างลักษณะของตัวต้านทานแบบต่างๆ แสดงดังรูปที่ 8.1



(ก) แบบค่าคงที่



(ข) แบบปรับค่าได้

รูปที่ 8.1 รูปร่างลักษณะของตัวต้านทานแบบต่างๆ

8.2

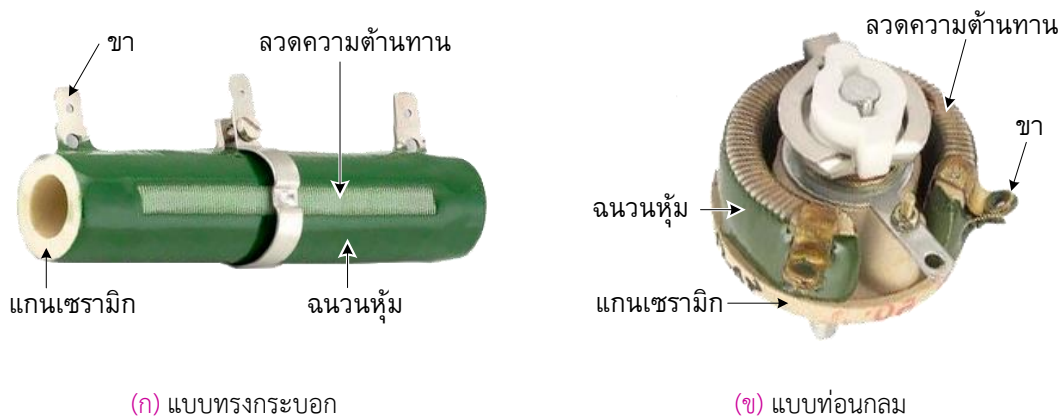
ตัวต้านทานตามประเภทวัสดุที่ใช้

ตัวต้านทานที่ผลิตมาใช้งานมีมากมายหลายประเภท หลายชนิด หลายรูปแบบ และหลายโครงสร้าง เพื่อความสะดวกและเกิดความเหมาะสมกับการนำไปใช้งาน เมื่อแบ่งตามวัสดุที่ใช้ในการผลิตมี 2 ประเภท คือ ประเภทโลหะ (Metallic Type) และประเภทอโลหะ (Non - Metallic Type)

8.2.1 ตัวต้านทานประเภทโลหะ

โลหะที่นำมาใช้ในการผลิตตัวต้านทานมีหลายชนิดด้วยกัน เช่น นิกเกิล สังกะสี แคดเมียม ทองแดง โครเมียม และแมงกานีส เป็นต้น หรือจากส่วนผสมของโลหะเหล่านี้ สร้างขึ้นมาในรูปเส้นลวด (Wire) และแถบลวด (Ribbon) นำไปพันรอบแกนเซรามิก (Ceramic Core) ต่อปลายลวดทั้งสองเข้ากับขาโลหะตัวต้านทาน ลักษณะการผลิตตัวต้านทานประเภทโลหะ แบ่งออกได้หลายชนิด ดังนี้ ตัวต้านทานชนิดลวดพัน หรือ ตัวต้านทานชนิดไวร์วาวด์ (Wire Wound Resistor) ตัวต้านทานชนิดฟิล์มโลหะ (Metal Film Resistor) และตัวต้านทานชนิดฟิล์มสนิมโลหะ (Metal Oxide Film Resistor)

1. ตัวต้านทานชนิดลวดพัน เป็นตัวต้านทานที่ใช้ลวดโลหะผสมพันบนแกนเซรามิก ผิวด้านนอกเคลือบด้วยฉนวนอีกชั้นหนึ่ง อาจผลิตขึ้นมาเป็นแท่งทรงกระบอกยาว หรือเป็นแบบท่อนกลม การต่อขาออกมาใช้งานมีตั้งแต่ 2 ขาขึ้นไป ลักษณะตัวต้านทานแบบลวดพัน แสดงดังรูปที่ 8.2



(ก) แบบทรงกระบอก

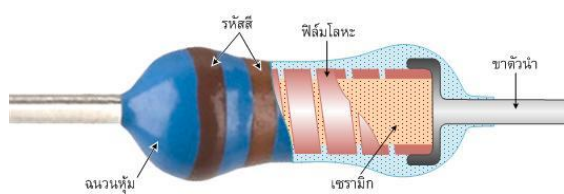
(ข) แบบท่อนกลม

รูปที่ 8.2 ตัวต้านทานแบบลวดพัน

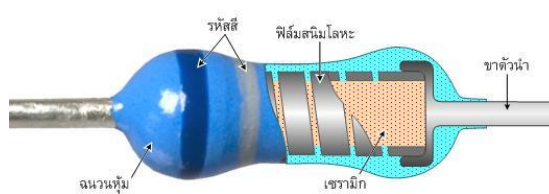
ค่าความต้านทานของตัวต้านทานแบบลวดพันนี้ ขึ้นอยู่กับขนาดของเส้นลวดที่ใช้พันไว้ ถ้าใช้เส้นลวดเส้นใหญ่ความต้านทานมีค่าต่ำ ถ้าใช้ลวดเส้นเล็กความต้านทานมีค่าสูงขึ้น และขึ้นอยู่กับความยาวของเส้นลวดที่พันไว้ ถ้าลวดมีความยาวน้อยความต้านทานมีค่าต่ำ ถ้าลวดมีความยาวมากขึ้นความต้านทานมีค่าสูงขึ้น

ข้อดีของตัวต้านทานชนิดนี้ คือ สามารถสร้างให้มีค่าทนกำลังไฟฟ้า (วัตต์) ได้สูงมากขึ้นจนถึงเป็นพันวัตต์ขึ้นไป ค่าความต้านทานมีความคงที่ต่ออุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลง และเกิดความคลาดเคลื่อนต่ำ

2. ตัวต้านทานชนิดฟิล์มโลหะ เป็นตัวต้านทานประเภทโลหะอีกชนิดหนึ่งที่ปัจจุบันนิยมผลิตขึ้นมาใช้งาน เป็นตัวต้านทานที่มีขนาดการทนกำลังไฟฟ้าต่ำ โครงสร้างของตัวต้านทานชนิดนี้ประกอบด้วยแกนเซรามิกทรงกระบอกขนาดต่างๆ ใช้โลหะจำพวกพวกนิกเกิล (Nickel) หรือโครเมียม (Chromium) แผ่นบางๆ ในรูปของฟิล์มโลหะเคลือบที่ผิวเซรามิก โดยทำการเคลือบในสุญญากาศ และส่งไปผ่านความร้อนสูงทำให้เกิดการยึดเกาะแน่น นำไปตัดให้เป็นเกลียวพันรอบแกนแบบต่อเนื่องจากปลายด้านหนึ่งไปยังปลายอีกด้านหนึ่ง และมีฝาครอบโลหะครอบฟิล์มโลหะที่ปลายทั้งสองด้านต่อออกมาเป็นขาตัวต้านทาน ลักษณะตัวต้านทานชนิดฟิล์มโลหะ แสดงดังรูปที่ 8.3



รูปที่ 8.3 ตัวต้านทานชนิดฟิล์มโลหะ



รูปที่ 8.4 ตัวต้านทานชนิดฟิล์มสนิมโลหะ

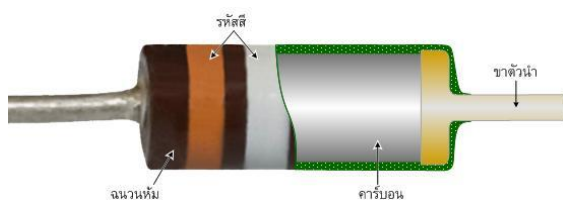
3. ตัวต้านทานชนิดฟิล์มสนิมโลหะ เป็นตัวต้านทานประเภทโลหะ ที่ใช้สนิมโลหะมาผลิตเป็นตัวต้านทานแทนโลหะ ปัจจุบันนิยมผลิตขึ้นมาใช้งานเป็นประเภทตัวต้านทานขนาดทนกำลังไฟฟ้าต่ำ โครงสร้างของตัวต้านทานชนิดนี้ประกอบด้วยแกนเซรามิกทรงกระบอกขนาดต่างๆ ใช้ดีบุกคลอไรด์ (Tin Chloride) พ่นเคลือบที่ผิวเซรามิกโดยรอบในรูปของฟิล์มในสุญญากาศ และส่งไปผ่านความร้อนสูง จะได้ฟิล์มสนิมดีบุก (Tin Oxide Film) ออกมา นำไปตัดให้เป็นเกลียวพันรอบแกนแบบต่อเนื่องจากปลายด้านหนึ่งไปยังปลายอีกด้านหนึ่ง และมีฝาคอร์โหลหะครอบฟิล์มสนิมโลหะที่ปลายทั้งสองด้านต่อออกมาเป็นขาตัวต้านทาน ลักษณะตัวต้านทานชนิดฟิล์มสนิมโลหะ แสดงดังรูปที่ 8.4

8.2.2 ตัวต้านทานประเภทโลหะ

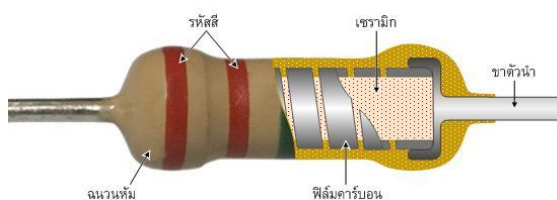
ตัวต้านทานประเภทโลหะ เป็นตัวต้านทานที่ผลิตขึ้นมาจากวัสดุที่ไม่ใช่โลหะ วัสดุโลหะที่นิยมนำมาใช้ผลิตตัวต้านทาน ได้แก่ คาร์บอน (Carbon) โดยอยู่ในรูปผงคาร์บอน เมื่อต้องการผลิตตัวต้านทานก็นำไปผสมรวมกับวัสดุฉนวนกับกาวอัดให้แน่น ลักษณะการผลิตตัวต้านทานประเภทโลหะ แบ่งออกได้ 2 ชนิด ดังนี้ ตัวต้านทานชนิดคาร์บอน (Carbon Resistor) และตัวต้านทานชนิดฟิล์มคาร์บอน (Carbon Film Resistor)

1. ตัวต้านทานชนิดคาร์บอน เป็นตัวต้านทานที่ผลิตขึ้นมาใช้งานในสมัยเริ่มแรก และถูกใช้งานเรื่อยมา ในปัจจุบันตัวต้านทานชนิดนี้มีการผลิตมาใช้งานลดลง การผลิตโดยนำผงคาร์บอนผสมกับกาวและวัสดุพวกฉนวน อัดรวมกันให้แน่นเป็นทรงกระบอก ต่อขาตัวนำออกที่ปลายทั้งสองด้านของคาร์บอนทรงกระบอก และเคลือบปิดผิวด้านนอกด้วยฉนวนอีกชั้นหนึ่ง

ค่าความต้านทานของตัวต้านทานชนิดนี้ ขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของผงคาร์บอนที่อัดขึ้นรูป ความหนาแน่นเปลี่ยนแปลงทำให้ความต้านทานเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย ถ้าความหนาแน่นน้อยค่าความต้านทานต่ำ และความหนาแน่นมากค่าความต้านทานสูง ข้อเสียของตัวต้านทานชนิดนี้ คือมีค่าความผิดพลาดของความต้านทานสูง อุณหภูมิมีผลต่อความต้านทานมาก และนำไปใช้งานได้ไม่นานความถี่ต่ำเท่านั้น ลักษณะตัวต้านทานชนิดคาร์บอน แสดงดังรูปที่ 8.5



รูปที่ 8.5 ตัวต้านทานชนิดคาร์บอน



รูปที่ 8.6 ตัวต้านทานชนิดฟิล์มคาร์บอน

2. ตัวต้านทานชนิดฟิล์มคาร์บอน เป็นตัวต้านทานชนิดคาร์บอนอีกแบบหนึ่งเป็นชนิดที่ผลิตขึ้นมาใช้งานอย่างแพร่หลายในปัจจุบันมากกว่าชนิดคาร์บอนแบบเดิม การผลิตทำได้โดยนำผงคาร์บอนผสมกับกาวไปเคลือบหุ้มแกนเซรามิกทรงกระบอกขนาดต่างๆ นำไปตัดให้เป็นเกลียวพันรอบแกนแบบต่อเนื่องจากปลายด้านหนึ่งไปยังปลายอีกด้านหนึ่ง และมีฝาครอบโลหะครอบฟิล์มคาร์บอนที่ปลายทั้งสองด้านต่อออกมาเป็นขาตัวต้านทาน เคลือบผิวนอกสุดด้วยฉนวนอีกชั้นหนึ่ง

ข้อเสียของตัวต้านทานชนิดฟิล์มคาร์บอน คือมีค่าความต้านทานที่ผิดพลาดสูง อุณหภูมิมีผลต่อความต้านทานมาก และนำไปใช้งานได้ไม่นานความถี่ต่ำ ข้อดีของตัวต้านทานชนิดนี้คือใช้งานได้ดีกับงานทางไฟฟ้าและงานทางอิเล็กทรอนิกส์ทั่วไป และมีราคาถูก ลักษณะตัวต้านทานชนิดฟิล์มคาร์บอน แสดงดังรูปที่ 8.6

8.3

ตัวต้านทานตามรูปแบบผลิต

ตัวต้านทานถูกนำไปใช้งานอย่างกว้างขวางและหลากหลายหน้าที่ ดังนั้นเพื่อให้การใช้งานเกิดความสะดวก และสามารถเลือกลักษณะตัวต้านทานไปใช้งานได้เหมาะสม บริษัทผู้ผลิตตัวต้านทานจึงได้ผลิตตัวต้านทานขึ้นมาในหลายรูปแบบ และหลายโครงสร้าง ช่วยอำนวยความสะดวกในการใช้งานมากขึ้น สามารถเลือกรูปแบบตัวต้านทานที่เหมาะสมกับงานมากขึ้น วัสดุที่นำมาใช้ในการผลิตตัวต้านทานตามรูปแบบผลิตนี้ใช้ได้ทั้งวัสดุประเภทโลหะและประเภทอโลหะ รูปแบบที่ผลิตขึ้นมาใช้งานแบ่งออกได้ดังนี้

1. ตัวต้านทานชนิดค่าคงที่
2. ตัวต้านทานชนิดแบ่งค่า
3. ตัวต้านทานชนิดเปลี่ยนเลือกค่า
4. ตัวต้านทานชนิดปรับเปลี่ยนค่า
5. ตัวต้านทานชนิดพิเศษ

8.3.1 ตัวต้านทานชนิดค่าคงที่

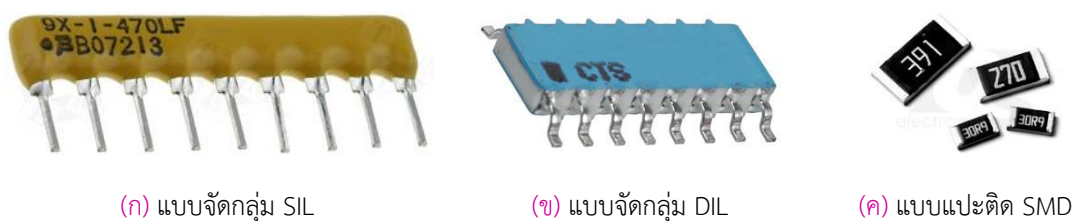
ตัวต้านทานชนิดค่าคงที่ (Fixed Resistor) เป็นตัวต้านทานที่ผลิตขึ้นมาใช้งานแต่ละตัวมีค่าความต้านทานคงที่ตายตัว ผลิตค่าออกมาใช้งานมีความหลากหลาย ตั้งแต่ค่าความต้านทานต่ำๆ เป็นเศษส่วนของโอห์ม จนถึงค่าความต้านทานสูงๆ เป็นเมกะโอห์มขึ้นไป ผลิตด้วยวัสดุทั้งโลหะและอโลหะ โดยเรียกชื่อตัวต้านทานชนิดคงที่ตามวัสดุที่ใช้ผลิต เช่น ชนิดลวดพัน ชนิดฟิล์มโลหะ ชนิดสนิมโลหะ ชนิดคาร์บอน และชนิด

ฟิล์มคาร์บอน เป็นต้น มีค่าทนกำลังไฟฟ้าตั้งแต่ค่าต่ำน้อยกว่าหนึ่งวัตต์ จนถึงค่าสูงเป็นพันวัตต์ขึ้นไป รูปร่าง และสัญลักษณ์ตัวต้านทานชนิดค่าคงที่ แสดงดังรูปที่ 8.7



รูปที่ 8.7 ตัวต้านทานชนิดค่าคงที่

ในปัจจุบันอุปกรณ์ เครื่องมือ เครื่องใช้ทางไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์มีขนาดเล็กลง ทำให้ตัวต้านทานชนิดค่าคงที่ถูกรับเปลี่ยนรูปแบบให้มีขนาดเล็กลงตามไปด้วย เพื่อให้เหมาะสม เกิดความสะดวกต่อการนำไปใช้งาน และทันกับเทคโนโลยีสมัยใหม่ ตัวต้านทานชนิดค่าคงที่จึงถูกพัฒนารูปแบบให้มีลักษณะแตกต่างไปเพิ่มมากขึ้น เช่น แบบจัดกลุ่มขาเรียงด้านเดียว หรือ SIL (Single in Line) แบบจัดกลุ่มขาเรียงสองด้าน หรือ DIL (Dual in Line) และแบบแปะติด SMD (Surface Mounted Devices) เป็นต้น ตัวต้านทานชนิดค่าคงที่แบบใหม่ แสดงดังรูปที่ 8.8



รูปที่ 8.8 ตัวต้านทานชนิดค่าคงที่แบบใหม่

8.3.2 ตัวต้านทานชนิดแบ่งค่า

ตัวต้านทานชนิดแบ่งค่า (Tapped Resistor) เป็นตัวต้านทานที่ผลิตขึ้นมาใช้งานแต่ละตัวมีค่าคงที่ตายตัวเช่นเดียวกับตัวต้านทานชนิดคงที่ แต่แยกจำนวนขาคงที่ออกมาจากตัวต้านทานเพิ่มขึ้นมากกว่า 2 ขาขึ้นไป เช่น 3 ขา 4 ขา และ 5 ขา เป็นต้น ความต้านทานที่ต่อแยกออกมา ต่อแบบอนุกรมเรียงกันไป ตามค่าที่กำหนดไว้ ตัวต้านทานชนิดนี้เป็นชนิดลวดพัน ผลิตด้วยโลหะหลายชนิด หรือโลหะหลายชนิดผสมรวมกัน เช่น

นิเกิล สังกะสี แคดเมียม ทองแดง โครเมียม และแมงกานีส เป็นต้น จะใช้โลหะชนิดใดผสมกันขึ้นอยู่กับจุดประสงค์ของการใช้งาน เช่น ทนความร้อนสูง ทนกระแสสูง หรือทนแรงดันสูง เป็นต้น ผลิตมาใช้งานมีความต้านทานหลากหลายค่า ตั้งแต่ค่าต่ำน้อยกว่าโอห์มจนถึงค่าสูงเป็นเมกะโอห์มขึ้นไป และผลิตให้มีค่าทนกำลังไฟฟ้าสูงจากเป็นวัตต์ จนถึงเป็นพันวัตต์ขึ้นไป รูปร่างและสัญลักษณ์ตัวต้านทานชนิดแบ่งค่า แสดงดังรูปที่ 8.9



(ก) รูปร่าง



(ข) สัญลักษณ์

รูปที่ 8.9 ตัวต้านทานชนิดแบ่งค่า

8.3.3 ตัวต้านทานชนิดเปลี่ยนเลือกค่า

ตัวต้านทานชนิดเปลี่ยนเลือกค่า (Adjustable Resistor) เป็นตัวต้านทานที่ผลิตขึ้นมาแต่ละตัวมีค่าคงที่ตายตัว คล้ายกับตัวต้านทานชนิดแบ่งค่า ขาที่สามที่เพิ่มเข้ามาสามารถเปลี่ยนตำแหน่งเลือกค่าความต้านทานใหม่ได้ตามต้องการ ตัวต้านทานชนิดนี้เป็นชนิดลวดพัน โดยพันเส้นลวดโลหะรอบแกนเซรามิกรูปทรงกระบอก มีส่วนหนึ่งของเส้นลวดไม่ได้หุ้มฉนวน ขาที่สามเป็นบล็อกโลหะสวมล้อมรอบ มีส่วนหนึ่งสัมผัสกับเส้นลวดไม่ได้หุ้มฉนวนบนตัวต้านทาน สามารถปรับเลื่อนไปมาได้ตามต้องการ มีสกรูขันยึดบล็อกโลหะให้สัมผัสแน่นกับเส้นลวดที่ตัวต้านทาน เพื่อป้องกันการเลื่อนเปลี่ยนตำแหน่ง ตัวต้านทานชนิดนี้ผลิตมาใช้งานมีความต้านทานหลากหลายค่า ตั้งแต่ค่าต่ำน้อยกว่าโอห์มจนถึงค่าสูงเป็นเมกะโอห์มขึ้นไปเช่นเดียวกัน มีค่าทนกำลังไฟฟ้าวัตต์สูงเป็น 10 วัตต์ จนถึงเป็นพันวัตต์ขึ้นไป รูปร่างและสัญลักษณ์ตัวต้านทานชนิดเปลี่ยนเลือกค่า แสดงดังรูปที่ 8.10



(ก) รูปร่าง



(ข) สัญลักษณ์

รูปที่ 8.10 ตัวต้านทานชนิดเปลี่ยนเลือกค่า

8.3.4 ตัวต้านทานชนิดปรับเปลี่ยนค่า

ตัวต้านทานชนิดปรับเปลี่ยนค่า (Variable Resistor) เป็นตัวต้านทานที่ผลิตขึ้น มาแต่ละตัวมีค่าคงที่ตายตัว คล้ายกับตัวต้านทานชนิดเปลี่ยนเลือกค่า โดยมีขาที่สามเพิ่มเข้ามา เพื่อปรับเปลี่ยนค่าความต้านทานใหม่ได้อย่างอิสระ ตั้งแต่ค่าความต้านทานต่ำสุด ไปจนถึงค่าความต้านทานสูงสุดอย่างต่อเนื่องทุกเวลาตามความต้องการ วัสดุที่นำมาใช้ผลิตมีทั้งประเภทโลหะและประเภทโลหะ ประเภทโลหะผลิตจากวัสดุจำพวกคาร์บอน มีค่าการทนกำลังไฟฟ้าต่ำ ส่วนประเภทโลหะเป็นชนิดลวดพันผลิตจากลวดนิเกิลและแคดเมียมแบบนี้ผลิตให้ทนกำลัง ไฟฟ้าสูงๆ ได้ โครงสร้างมี 2 แบบ คือแบบวงกลมทรงกระบอก (ใช้ปรับหมุนรอบตัว) และแบบแท่งสี่เหลี่ยมผืนผ้ายาว (ใช้ปรับเลื่อนไปมา) มีขาต่อออกมาใช้งาน 3 ขา ขากลางเป็นขาสามารถปรับเปลี่ยนค่าได้ รูปร่างและสัญลักษณ์ตัวต้านทานชนิดปรับเปลี่ยนค่า แสดงดังรูปที่ 8.11



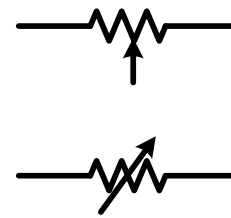
(ก) ปรับหมุนคาร์บอน



(ข) ปรับหมุนลวดพัน



(ค) ปรับเลื่อนคาร์บอน



(ง) สัญลักษณ์

รูปที่ 8.11 ตัวต้านทานชนิดปรับเปลี่ยนค่า

8.3.5 ตัวต้านทานชนิดพิเศษ

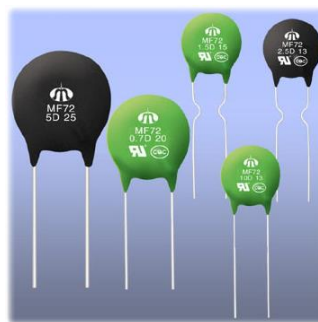
ตัวต้านทานชนิดพิเศษ (Special Resistor) เป็นตัวต้านทานที่สร้างขึ้นมาใช้งานในหน้าที่เฉพาะอย่าง ตามคุณสมบัติที่ต้องการ ใช้วัสดุในการผลิตแตกต่างกันออกไป มีชื่อเรียกตัวต้านทานที่แตกต่างกันตามการทำงาน และตามค่าของพลังงานที่ใช้ในการควบคุมการทำงานของตัวต้านทานชนิดนั้น ส่งผลให้ค่าความต้านทานเปลี่ยนแปลงไป มีด้วยกันหลายชนิด เช่น เทอร์มิสเตอร์ (Thermistor) วาริสเตอร์ (Varistor) และตัวต้านทานเปลี่ยนค่าตามแสง (Light Dependent Resistor ; LDR) เป็นต้น

1. เทอร์มิสเตอร์ เป็นตัวต้านทานชนิดพิเศษที่ค่าความต้านทานภายในตัวเอง สามารถเปลี่ยนแปลงได้ตามค่าอุณหภูมิที่ได้รับ ค่าความต้านทานที่เปลี่ยนแปลงไปแตกต่างกันตามชนิดของวัสดุที่ใช้ผลิต วัสดุที่ใช้ผลิตมีทั้งโลหะและสนิมโลหะ รูปร่างที่สร้างมาใช้งานมีความแตกต่างกันไปหลายแบบ ขึ้นอยู่กับความเหมาะสมในการใช้งาน เทอร์มิสเตอร์แบ่งได้ 2 ชนิด คือ **ชนิดสัมประสิทธิ์อุณหภูมิเป็นบวก (Positive Temperature Coefficients ; PTC)** ค่าความต้านทานเพิ่มขึ้น เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น วัสดุที่ใช้ผลิต เช่น แบเรียม

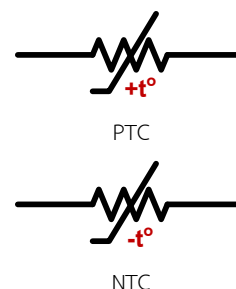
สตรอนเทียม และตะกั่วไททาเนต เป็นต้น อีกชนิดคือ ชนิดสัมประสิทธิ์อุณหภูมิเป็นลบ (Negative Temperature Coefficients ; NTC) ค่าความต้านทานเพิ่มขึ้น เมื่ออุณหภูมิลดลง วัสดุที่ใช้ผลิต เช่น ทองแดง นิกเกิล แมงกานีส เหล็ก และโคบอลต์ เป็นต้น รูปร่างและสัญลักษณ์ของเทอร์มิสเตอร์ แสดงดังรูปที่ 8.12



(ก) รูปร่างชนิด PTC



(ข) รูปร่างชนิด NTC



(ค) สัญลักษณ์

รูปที่ 8.12 เทอร์มิสเตอร์

2. วาริสเตอร์ หรือตัวต้านทานเปลี่ยนค่าตามแรงดัน (Voltage Dependent Resistor ; VDR) เป็นตัวต้านทานที่ค่าความต้านทานสามารถเปลี่ยนแปลงได้ ตามค่าแรงดันที่ป้อนเข้ามา วาริสเตอร์มาจากคำเต็มว่าตัวต้านทานปรับเปลี่ยนค่า (Variable Resistor = Varistor) คุณสมบัติของวาริสเตอร์ทำงานตรงข้ามกับแรงดัน ดังนี้ ความต้านทานของวาริสเตอร์จะลดลงเมื่อแรงดันเพิ่มขึ้น ในกรณีที่แรงดันเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ค่าความต้านทานของวาริสเตอร์จะลดลงรวดเร็ว จากคุณสมบัติดังกล่าววาริสเตอร์เหมาะสมกับการใช้งานเป็นตัวป้องกันแรงดันกระชอก นิยมนำไปใช้งานเป็นอุปกรณ์ป้องกันฟ้าผ่า และช่วยคายประจุของไฟฟ้าสถิต เป็นต้น วัสดุที่นำมา ใช้ผลิตวาริสเตอร์ มีทั้งชนิดสนิมโลหะ ถูกเรียกว่าวาริสเตอร์ชนิดสนิมโลหะ (Metal Oxide Varistor ; MOV) วัสดุที่ใช้ได้แก่ สนิมสังกะสี (Zinc Oxide ; ZnO) และวาริสเตอร์ชนิดสารกึ่งตัวนำ (Semi conductor) วัสดุที่ใช้ได้แก่ ซิลิคอนคาร์บอน (Silicon Carbon ; SiC) รูปร่างและสัญลักษณ์ของวาริสเตอร์ แสดงดังรูปที่ 8.13



(ก) รูปร่างชนิดขา



(ข) รูปร่างชนิดแปะติด SMD



(ค) สัญลักษณ์

รูปที่ 8.13 วาริสเตอร์

3. ตัวต้านทานเปลี่ยนค่าตามแสง (LDR) เป็นตัวต้านทานที่ค่าความต้านทานสามารถเปลี่ยนแปลงค่าได้ตามแสงสว่างที่มากตกกระทบบน แสงสว่างตกกระทบน้อย LDR มีความต้านทานสูง และแสงสว่างตกกระทบบนมาก LDR มีความต้านทานต่ำ วัสดุที่ใช้ผลิตตัว LDR ทำมาจากสารกึ่งตัวนำหลายชนิดผสมกัน เช่น แคดเมียมซัลไฟด์ (Cadmium Sulfide ; CdS) และแคดเมียมซีลีไนด์ (Cadmium Selenide ; CdSe) เป็นต้น รูปร่างและสัญลักษณ์ของตัวต้านทานเปลี่ยนค่าตามแสง แสดงดังรูปที่ 8.14



(ก) รูปร่าง



(ข) สัญลักษณ์

รูปที่ 8.14 ตัวต้านทานเปลี่ยนค่าตามแสง (LDR)

8.4

การอ่านค่าความต้านทานจากรหัสตัวเลขตัวอักษร

ตัวต้านทานที่ผลิตขึ้นมาใช้งานทุกตัว จะต้องมียุทธศาสตร์การบอกค่าไว้ เพื่อให้ทราบค่าความต้านทานของตัวต้านทานตัวนั้น สามารถเลือกค่าไปใช้งานได้ง่ายและถูกต้อง การบอกค่าความต้านทานบอกได้หลายวิธีวิธีหนึ่งที่นิยมใช้งานได้แก่ บอกค่าความต้านทานไว้เป็นตัวเลขและตัวอักษร แบ่งได้เป็น 3 แบบ คือ แบบบอกค่าความต้านทานออกมาโดยตรง แบบบอกค่าความต้านทานเป็นรหัสตัวเลขตัวอักษร และแบบใช้รหัส EIA96 การอ่านค่าความต้านทานในแต่ละแบบจะแตกต่างกันไป

8.4.1 บอกค่าความต้านทานออกมาโดยตรง

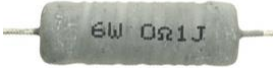
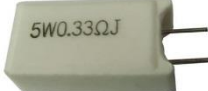
ตัวต้านทานที่บอกค่าออกมาโดยตรง จะพิมพ์ค่าความต้านทานลงบนตัวต้านทานตามค่าความต้านทานของตัวต้านทานตัวนั้น พร้อมทั้งแสดงหน่วยกำกับไว้เป็น Ω , $k\Omega$ หรือ $M\Omega$ บางครั้งมีการทากำลังไฟฟ้า และค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดกำกับไว้ด้วยก็ได้ ตัวต้านทานบางแบบอาจใช้ตัวอักษรกำกับไว้บอกค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดแทนตัวเลข มีตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ใช้บอกค่า 9 ตัว ได้แก่ A, B, C, D, F, G, J, K และ M มีความหมายความผิดพลาด แสดงดังตารางที่ 8.2

ตารางที่ 8.2 ค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดแสดงด้วยตัวอักษรภาษาอังกฤษ

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

วิธีบอกค่าความต้านทานบนตัวต้านทานด้วยวิธีนี้มีความแตกต่างกันไป การอ่านค่าความต้านทานที่กำกับไว้ จะต้องพิจารณาถึงค่าที่บอกไว้ ว่าส่วนใดเป็นค่าความต้านทาน ส่วนใดเป็นค่ากำลังไฟฟ้า และส่วนใดเป็นค่าความผิดพลาด ค่าที่กำกับไว้บางแบบบอกครบทุกค่า บางแบบบอกไว้เพียงบางส่วน การอ่านค่าจะต้องพิจารณาจากตัวต้านทานแต่ละตัวไป แสดงไว้ดังตัวอย่างที่ 8.1 และตัวอย่างที่ 8.2

ตัวอย่างที่ 8.1 จงอ่านค่าความต้านทานของตัวต้านทานที่บอกค่าไว้โดยตรงต่อไปนี้

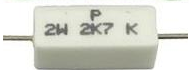
470 k Ω	= ความต้านทาน 470 k Ω
2 M Ω K	= ความต้านทาน 2 M Ω ค่าผิดพลาด $\pm 10\%$
10W 200 Ω J	= ทนกำลังไฟฟ้าได้ 10 W ความต้านทาน 200 Ω ค่าผิดพลาด $\pm 5\%$
20W 390 K Ω K	= ทนกำลังไฟฟ้าได้ 20 W ความต้านทาน 390 k Ω ค่าผิดพลาด $\pm 10\%$
	= ความต้านทาน 10 Ω ค่าผิดพลาด $\pm 5\%$ ทนกำลังไฟฟ้าได้ 2 W
	= ทนกำลังไฟฟ้าได้ 6 W ความต้านทาน 0.1 Ω ค่าผิดพลาด $\pm 5\%$
	= ทนกำลังไฟฟ้าได้ 5 W ความต้านทาน 0.33 Ω ค่าผิดพลาด $\pm 5\%$

ตอบ

การบอกค่าความต้านทานบางแบบจะใช้ตัวอักษรเข้าร่วมแสดงการบอกค่าด้วย นอกจากใช้บอกค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดแล้ว ยังแสดงค่าไว้ในรูปจุดทศนิยมของเลขฐานสิบ พร้อมทั้งบอกหน่วยความต้านทานในรูปตัวคูณร่วมด้วย ตัวอักษรที่นิยมใช้ คือ R, K, M และ E ตัวอักษรเหล่านี้เมื่ออยู่หน้า อยู่กลาง หรือ อยู่หลัง ตัวอักษรแสดงค่าเป็นจุดทศนิยม นอกจากนั้นยังแสดงค่าเป็นตัวคูณ (จำนวนค่าเลขศูนย์ที่เติมเข้าไป) ด้วย ตัวอักษรแต่ละตัวมีความหมายดังนี้

ตัวอักษร R มีค่าเป็นตัวคูณ	= $\times 1$
ตัวอักษร K มีค่าเป็นตัวคูณ	= $\times 10^3$
ตัวอักษร M มีค่าเป็นตัวคูณ	= $\times 10^6$
ตัวอักษร E แทนเครื่องหมาย	= Ω

ตัวอย่างที่ 8.2 จงอ่านค่าความต้านทานของตัวต้านทานที่บอกค่าไว้โดยตรงต่อไปนี้

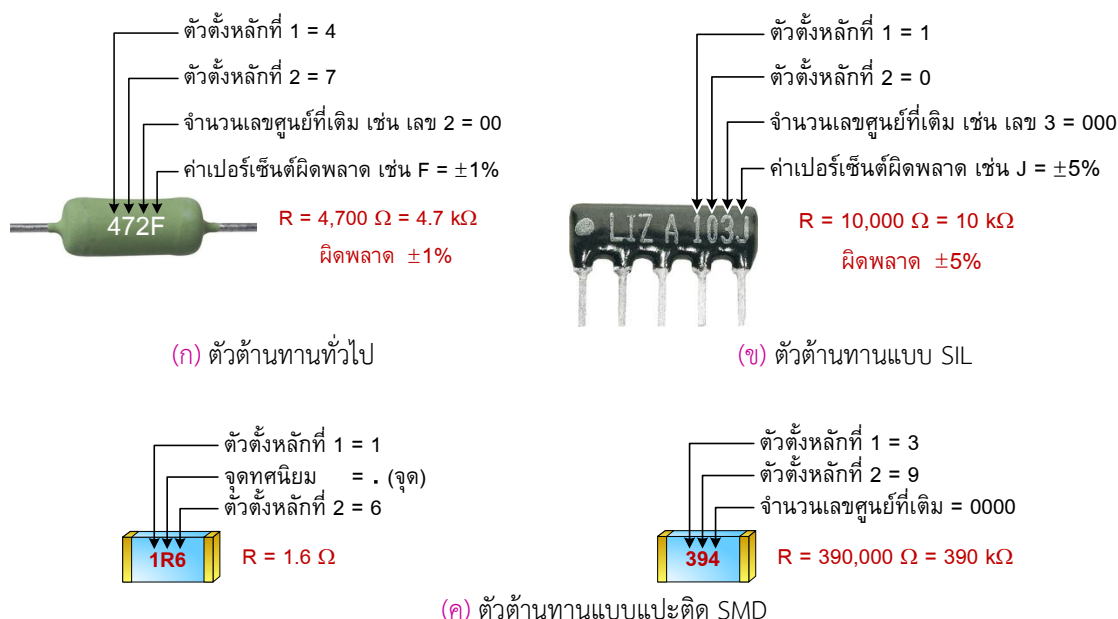
1M0	= ความต้านทาน 1 M Ω
4R7 K	= ความต้านทาน 4.7 Ω ค่าผิดพลาด $\pm 10\%$
2W 2K2 E	= ทนกำลังไฟฟ้า 2 W ความต้านทาน 2.2 k Ω
430E 3W J	= ความต้านทาน 430 Ω ทนกำลังไฟฟ้าได้ 3 W ค่าผิดพลาด $\pm 5\%$
0E25 10W J	= ความต้านทาน 0.25 Ω ทนกำลังไฟฟ้าได้ 10 W ค่าผิดพลาด $\pm 5\%$
	= ทนกำลังไฟฟ้าได้ 5 W ความต้านทาน 50 Ω ค่าผิดพลาด $\pm 5\%$
	= ทนกำลังไฟฟ้าได้ 2 W ความต้านทาน 2.7 k Ω ค่าผิดพลาด $\pm 10\%$

ตอบ

8.4.2 บอกค่าเป็นรหัสตัวเลขตัวอักษร

ตัวต้านทานบางแบบตัวเลขและตัวอักษรที่กำกับไว้บนตัวต้านทานเหล่านั้น ไม่ได้บอกค่าความต้านทานออกมาโดยตรง เพราะค่าที่แสดงไว้บนตัวต้านทานบอกค่าออกมาในรูปรหัส ต้องนำมาแปลงรหัสให้กลับมาเป็นค่าความต้านทานก่อนที่จะอ่านค่าออกมา การอ่านค่ามีหลายวิธีแตกต่างกันไป รหัสค่าความต้านทานมักถูกแสดงไว้ในรูปตัวเลข และตัวอักษรเขียนเรียงกัน 3 หรือ 4 ตัว การอ่านค่าแต่ละแบบทำได้ดังนี้

1. แบบตัวเลข 3 ตัว และอาจเพิ่มตัวอักษร 1 ตัว การอ่านค่า ให้อ่านตัวเลขจากซ้ายมือไปขวามือ ตัวเลข 2 ตัวแรกด้านซ้ายมืออ่านค่าออกมาได้โดยตรง ตัวเลขตัวที่ 3 แสดงจำนวนเลขศูนย์ (0) ที่ต้องเติมเข้าไป อ่านค่าออกมามีหน่วยเป็นโอห์ม (Ω) ส่วนตัวอักษรมักจะแสดงค่าไว้ในส่วนของค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด วิธีการอ่านค่าแสดงดังรูปที่ 8.15



รูปที่ 8.15 การอ่านค่ารหัสตัวต้านทานแบบตัวเลข 3 ตัว

กรณีที่ตัวต้านทานมีค่าต่ำกว่า 10 โอห์มลงมา จะใช้ตัวอักษร R วางไว้เป็นตัวแรกหรือตัวที่สองแทนตัวเลข เพื่อแสดงค่าเป็นจุดทศนิยม (.) ส่วนตัวเลขทั้งสองตัวที่แสดงค่าไว้ อ่านค่าออกมาได้โดยตรง

ตัวอย่างที่ 8.3 จงอ่านค่าความต้านทานของตัวต้านทานที่บอกค่าไว้ด้วยรหัสต่อไปนี้

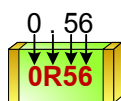
R18	=	ความต้านทาน 0.18Ω
7R5	=	ความต้านทาน 7.5Ω
33R หรือ 330	=	ความต้านทาน 33Ω
222	=	ความต้านทาน $22 \times 100 = 2,200 \Omega$ หรือ $2.2 \text{ k}\Omega$

470F	=	ความต้านทาน 47 Ω ค่าผิดพลาด $\pm 1\%$
825D	=	ความต้านทาน $82 \times 100,000 = 8,200,000 \Omega$ หรือ 8.2 M Ω ค่าผิดพลาด $\pm 0.5\%$

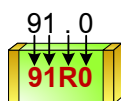
ตอบ

2. แบบตัวเลข 4 ตัว นิยมใช้กับตัวต้านทานแบบแปะติด SMD การอ่านค่าให้อ่านตัวเลขจากซ้ายมือไปขวามือ ตัวเลข 3 ตัวแรกจากซ้ายมืออ่านค่าได้โดยตรง ตัวเลขตัวที่ 4 แสดงจำนวนเลขศูนย์ (0) ที่ต้องเติมเข้าไป กรณีที่ตัวต้านทานมีค่าต่ำกว่า 10 โอห์มลงมา ให้ใช้ตัวอักษร R วางไว้เป็นตัวที่สองหรือตัวที่สามแทนตัวเลข เพื่อแสดงค่าเป็นจุดทศนิยม (.) ส่วนตัวเลขสองตัวแรกอ่านค่าออกมาโดยตรง ตัวเลขตัวสุดท้ายเป็นจำนวนเลขศูนย์ (0) ที่ต้องเติมเข้าไปเช่นเดิม ค่าที่อ่านออกมาได้มีหน่วยเป็นโอห์ม (Ω) ค่าความผิดพลาดของตัวต้านทานแบบ 4 ตัวเลข มีค่าประมาณ $\pm 1\%$ หรือน้อยกว่า

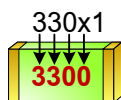
ตัวอย่างที่ 8.4 จงอ่านค่าความต้านทานของตัวต้านทานที่บอกค่าไว้ด้วยรหัสต่อไปนี้



= ความต้านทาน 0.56 Ω



= ความต้านทาน 91 Ω



= ความต้านทาน $330 \times 1 \Omega = 330 \Omega$

16R9 = ความต้านทาน 16.9 Ω

7322 = ความต้านทาน $732 \times 10^2 \Omega = 73,200 \Omega = 73.2 \text{ k}\Omega$

4123 = ความต้านทาน $412 \times 10^3 \Omega = 412,000 \Omega = 412 \text{ k}\Omega$

4304 = ความต้านทาน $430 \times 10^4 \Omega = 4,300,000 \Omega = 4.3 \text{ M}\Omega$

ตอบ

3. แบบใช้รหัส EIA96 หรือรหัส E - 96 เพราะในปัจจุบันตัวต้านทานชนิดแปะติด SMD ที่พัฒนามาใช้งานมีขนาดยิ่งเล็กลงเพิ่มขึ้น เป็นผลมาจากการพัฒนาเทคโนโลยีในการผลิตอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ทำให้หลายบริษัทผลิตตัวต้านทานชนิดแปะติด SMD ออกมาใช้งาน ได้คิดค้นรหัสบอกค่าความต้านทานใหม่ๆ ออกมา เพื่อให้มีความกะทัดรัดมากขึ้น พิมพ์ขนาดตัว อักษรได้ขนาดใหญ่ขึ้น รหัสแบบใหม่ที่นำมาใช้งาน ได้แก่ รหัส EIA96 ตัวต้านทานที่ใช้รหัสชนิดนี้จะบอกค่าเป็นตัวเลข 2 ตัวแรก และตัวอักษร 1 ตัวหลัง มีความผิดพลาดไม่เกิน 1% หรือน้อยกว่า การอ่านค่าความต้านทานต้องนำรหัสที่บอกไว้ไปเปิดตารางเทียบค่า รหัสตัวเลข 2 ตัว

แรกบอกค่าความต้านทาน และตัวอักษร 1 ตัวหลังบอกค่าตัวคูณ (จำนวนศูนย์ที่เติม) ค่าที่อ่านออก มาได้มีหน่วยเป็นโอห์ม (Ω) ตารางเทียบค่า แสดงดังตารางที่ 8.3 และตารางที่ 8.4 วิธีการอ่านค่าแสดงดังรูปที่ 8.16

ตารางที่ 8.3 ตารางค่าความต้านทานแสดงในรูปรหัสตัวเลขของรหัส EIA96

รหัส	ค่า	รหัส	ค่า	รหัส	ค่า	รหัส	ค่า	รหัส	ค่า
01	100	21	162	41	261	61	422	81	681
02	102	22	165	42	267	62	432	82	698
03	105	23	169	43	274	63	442	83	715
04	107	24	174	44	280	64	453	84	732
05	110	25	178	45	287	65	464	85	750
06	113	26	182	46	294	66	475	86	768
07	115	27	187	47	301	67	487	87	787
08	118	28	191	48	309	68	499	88	806
09	121	29	196	49	316	69	511	89	825
10	124	30	200	50	324	70	523	90	845
11	127	31	205	51	332	71	536	91	866
12	130	32	210	52	340	72	549	92	887
13	133	33	215	53	348	73	562	93	909
14	137	34	221	54	357	74	576	94	931
15	140	35	226	55	365	75	590	95	953
16	143	36	232	56	374	76	604	96	976
17	147	37	237	57	383	77	619		
18	150	38	243	58	392	78	634		
19	154	39	249	59	402	79	649		
20	158	40	255	60	412	80	665		

ตารางที่ 8.4 ตารางตัวคูณที่ต้องเติมค่าลงไปแสดงในรูปตัวอักษรของรหัส EIA96

ตัวอักษร	ตัวคูณ
Z	0.001
Y หรือ R	0.01
X หรือ S	0.1
A	1
B หรือ H	10
C	100
D	1,000
E	10,000
F	100,000

ใช้เปิดตารางค่าความต้านทาน 07 = 115
 ใช้เปิดตารางตัวคูณ Y = $\times 0.01$
 $R = 115 \times 0.01 = 1.15 \Omega$

ใช้เปิดตารางค่าความต้านทาน 29 = 196
 ใช้เปิดตารางตัวคูณ B = $\times 10$
 $R = 196 \times 10 = 1,960 \Omega = 1.96 \text{ k}\Omega$

รูปที่ 8.16 การอ่านค่าความต้านทานแบบใช้รหัส EIA96

ตัวอย่างที่ 8.5 จงอ่านค่าความต้านทานของตัวต้านทานที่บอกค่าไว้ด้วยรหัสต่อไปนี้

01X	=	ความต้านทาน $100 \times 0.1 \Omega = 10 \Omega$
44A	=	ความต้านทาน $280 \times 1 \Omega = 280 \Omega$
55B	=	ความต้านทาน $365 \times 10 \Omega = 3,650 \Omega = 3.65 \text{ k}\Omega$
10C	=	ความต้านทาน $124 \times 100 \Omega = 12,400 \Omega = 12.4 \text{ k}\Omega$
91D	=	ความต้านทาน $866 \times 1,000 \Omega = 866,000 \Omega = 866 \text{ k}\Omega$

ตอบ

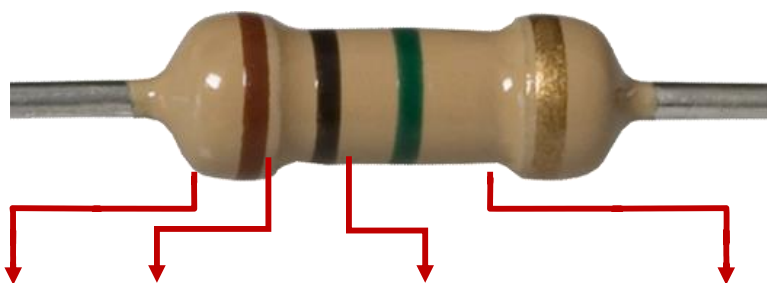
8.5 การอ่านความต้านทานจากรหัสสี

ตัวต้านทานบางแบบแสดงค่าความต้านทานด้วยแถบสี โดยใช้สีที่กำหนดไว้ระบุว่าเป็นเส้นรอบตัวต้านทานเรียงตามลำดับแทนตัวเลขและตัวอักษร ใช้แทนทั้งค่าความต้านทานและค่าผิดพลาด แถบสีที่ใช้แบ่งได้เป็น 2 แบบ คือ แบบ 4 แถบสี และแบบ 5 แถบสี การอ่านค่าความต้านทานออกมามีรายละเอียดแตกต่างกัน

การรหัสสีที่ระบุไว้บอกทั้งค่าความต้านทานและค่าผิดพลาด จะต้องแปลงรหัสสีที่กำกับไว้กลับมาเป็นตัวเลขทั้งหมด รหัสสีที่บอกไว้สามารถนำมาแทนเป็นตัวเลขได้ทั้งค่าตัวตั้ง ค่าตัวคูณ และค่าผิดพลาด นำตัวเลขมาแทนลงไปให้ถูกต้องตามค่าสีที่กำหนด พร้อมทั้งจัดค่าและจัดหน่วยให้เหมาะสม จะได้ค่าความต้านทาน และค่าผิดพลาดของตัวต้านทานตัวนั้นออกมา

8.5.1 แบบรหัส 4 แถบสี

ตัวต้านทานแบบรหัส 4 แถบสี มีแถบสีที่แสดงไว้ทั้งหมด 4 แถบ การอ่านค่าให้อ่านแถบสีที่อยู่ติดกัน 3 แถบก่อน โดยให้แถบสีแรกที่ขีดขาคตัวต้านทานเป็นแถบสีที่ 1 อยู่ทางซ้าย มือ แถบสีต่อมาเป็นแถบสีที่ 2 ทั้งแถบสีที่ 1 และแถบสีที่ 2 แทนค่าเป็นตัวเลขลงไป และอ่านค่าตัวเลขนั้นออกมาโดยตรง ส่วนแถบสีต่อมาเป็นแถบสีที่ 3 เป็นแถบสีตัวคูณหรือจำนวนเลขศูนย์ (0) ที่ต้องเติมเข้าไป และแถบสีสุดท้ายเป็นแถบสีที่ 4 ซึ่งอาจอยู่ติดกันหรืออยู่ห่างออกมาเล็กน้อย เป็นแถบสีแสดงค่าผิดพลาด ตัวต้านทานแบบ 4 แถบสี และตารางแสดงค่าสีแสดงดังรูปที่ 8.17



สี	แถบสีที่ 1	แถบสีที่ 2	แถบสีที่ 3	แถบสีที่ 4	
	ค่าตัวเลข	ค่าตัวเลข	ค่าตัวคูณ (เดิมจำนวนศูนย์)	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	$\pm 0.1\%$	B
เทา	8	8		$\pm 0.05\%$	A
ขาว	9	9			
ทอง			0.1	$\pm 5\%$	J
เงิน			0.01	$\pm 10\%$	K
ไม่มีสี				$\pm 20\%$	M

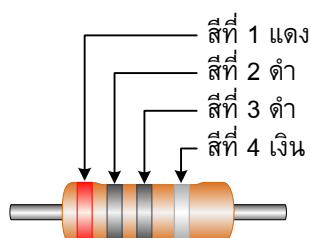
รูปที่ 8.17 ตารางแสดงค่าแถบสีตัวต้านทานแบบรหัส 4 แถบสี

การสังเกตหาแถบสีแถบที่ 1 พิจารณาดังนี้

1. แถบสีที่อยู่ชิดขาตัวต้านทานมากกว่าเป็นแถบสีที่ 1
2. แถบสี 3 แถบอยู่ชิดกัน แถบสีแรกที่อยู่ชิดขาตัวต้านทานเป็นแถบสีที่ 1
3. แถบสีที่ 1 เส้นแถบสีจะเล็กกว่าปกติ
4. สีเงิน หรือสีทอง ไม่สามารถเป็นแถบสีที่ 1 ได้

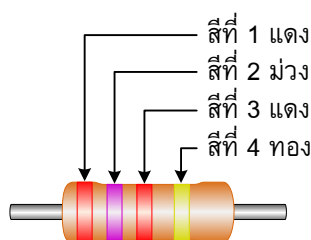
ตัวอย่างที่ 8.6 จงอ่านค่าความต้านทานของตัวต้านทานแบบรหัส 4 แถบสี ตามค่าที่กำหนด

1.



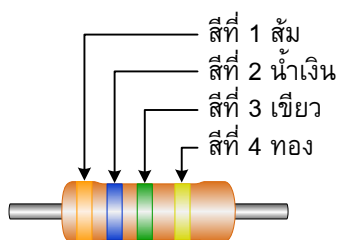
แถบสีที่	1	2	3	4
สีแสดง	แดง	ดำ	ดำ	เงิน
ค่าตัวเลข	2	0	$\times 1$	$\pm 10\%$
ค่าอ่านได้	$20 \times 1 = 20 \Omega$			
ค่าผิดพลาด	$\pm 10\%$			

2.



แถบสีที่	1	2	3	4
สีแสดง	แดง	ม่วง	แดง	ทอง
ค่าตัวเลข	2	7	$\times 100$	$\pm 5\%$
ค่าอ่านได้	$27 \times 100 = 2,700 \Omega = 2.7 \text{ k}\Omega$			
ค่าผิดพลาด	$\pm 5\%$			

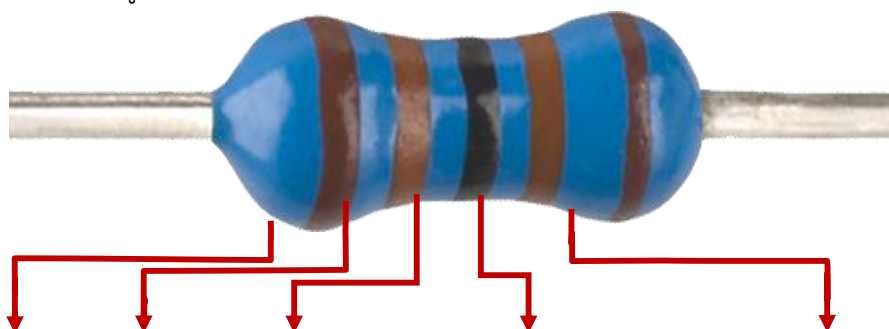
3.



แถบสีที่	1	2	3	4
สีแสดง	ส้ม	น้ำเงิน	เขียว	ทอง
ค่าตัวเลข	3	6	$\times 100,000$	$\pm 5\%$
ค่าอ่านได้	$36 \times 100,000 = 3,600,000 \Omega = 3.6 \text{ M}\Omega$			
ค่าผิดพลาด	$\pm 5\%$			

8.5.2 แบบรหัส 5 แถบสี

ตัวต้านทานแบบรหัส 5 แถบสี มีแถบสีที่แสดงไว้ทั้งหมด 5 แถบ การอ่านค่าให้อ่านแถบสีที่อยู่ชิดกัน 4 แถวก่อน โดยให้แถบสีแรกที่ชิดตัวต้านทานเป็นแถบสีที่ 1 อยู่ทางซ้ายมือ แถบสีต่อมาเป็นแถบสีที่ 2 และ 3 ตามลำดับ แถบสีที่ 1, 2 และ 3 แทนค่าเป็นตัวเลขลงไป และอ่านค่าตัวเลขนั้นออกมาโดยตรง ส่วนแถบสีต่อมาเป็นแถบสีที่ 4 เป็นแถบสีตัวคูณ หรือจำนวนเลขศูนย์ (0) ที่ต้องเติมเข้าไป และแถบสีสุดท้ายแถบสีที่ 5 ซึ่งอาจอยู่ติดกันหรืออยู่ห่างออกมาเล็กน้อย เป็นแถบสีแสดงค่าผิดพลาด ตัวต้านทานแบบ 5 แถบสี และตารางแสดงค่าสี แสดงดังรูปที่ 8.18



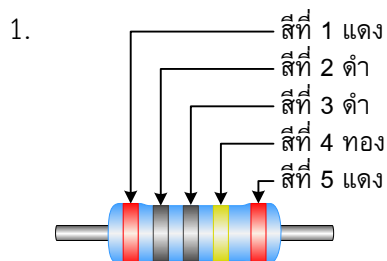
สี	แถบสีที่ 1 ค่าตัวเลข	แถบสีที่ 2 ค่าตัวเลข	แถบสีที่ 3 ค่าตัวเลข	แถบสีที่ 4 ค่าตัวคูณ (เติมจำนวนศูนย์)	แถบสีที่ 5	
					ค่าผิดพลาด	อักษร
ดำ	0	0	0	1		
น้ำตาล	1	1	1	10	$\pm 1\%$	F
แดง	2	2	2	100	$\pm 2\%$	G
ส้ม	3	3	3	1,000		
เหลือง	4	4	4	10,000		
เขียว	5	5	5	100,000	$\pm 0.5\%$	D
น้ำเงิน	6	6	6	1,000,000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

รูปที่ 8.18 ตารางแสดงค่าแถบสีตัวต้านทานแบบรหัส 5 แถบสี

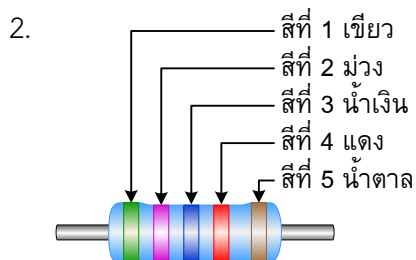
การสังเกตหาแถบสีแถบที่ 1 พิจารณาดังนี้

1. แถบสีที่อยู่ชิดขาตัวต้านทานมากกว่าเป็นแถบสีที่ 1
2. แถบสี 3 แถบ หรือ 4 แถบที่อยู่ติดกัน แถบสีแรกที่อยู่ชิดขาตัวต้านทานเป็นแถบสีที่ 1
3. สีเงิน หรือสีทอง ไม่สามารถเป็นแถบสีที่ 1 หรือแถบสีที่ 2 ได้
4. แถบสีค่าเปอร์เซ็นต์ผิดพลาดจะอยู่ห่างออกมา หรือทำให้มีขนาดแถบเล็กหรือใหญ่กว่าแถบสีอื่นๆ

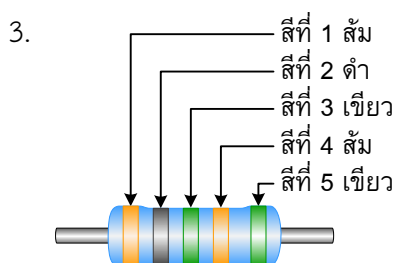
ตัวอย่างที่ 8.7 จงอ่านค่าความต้านทานของตัวต้านทานแบบรหัส 5 แถบสี ตามค่าที่บอกไว้



แถบสีที่	1	2	3	4	5
สีแสดง	แดง	ดำ	ดำ	ทอง	แดง
ค่าตัวเลข	2	0	0	$\times 0.1$	$\pm 2\%$
ค่าอ่านได้	$200 \times 0.1 = 20 \Omega$				
ค่าผิดพลาด	$\pm 2\%$				



แถบสีที่	1	2	3	4	5
สีแสดง	เหลือง	ม่วง	น้ำเงิน	แดง	น้ำตาล
ค่าตัวเลข	5	7	6	$\times 100$	$\pm 1\%$
ค่าอ่านได้	$576 \times 100 = 57,600 \Omega = 57.6 \text{ k}\Omega$				
ค่าผิดพลาด	$\pm 1\%$				



แถบสีที่	1	2	3	4	5
สีแสดง	ส้ม	ดำ	เหลือง	ส้ม	เหลือง
ค่าตัวเลข	3	0	5	$\times 1,000$	$\pm 0.5\%$
ค่าอ่านได้	$305 \times 1,000 = 305,000 \Omega = 305 \text{ k}\Omega$				
ค่าผิดพลาด	$\pm 0.5\%$				

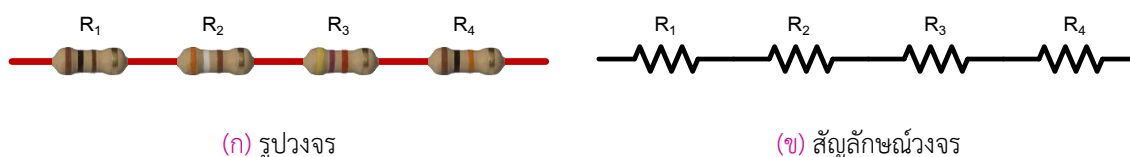
8.6

การต่อตัวต้านทาน

การต่อตัวต้านทาน คือ การนำตัวต้านทานมาต่อวงจรรวมกัน เพื่อปรับเปลี่ยนค่าความต้านทานให้ได้ตามต้องการ การต่อตัวต้านทานแบ่งออกได้เป็น 3 แบบ คือ ต่อแบบอนุกรม ต่อแบบขนาน และต่อแบบผสม การต่อตัวต้านทานแต่ละแบบมีผลทำให้ค่าความต้านทานรวมที่ได้ออกมาเปลี่ยนแปลงไป

8.6.1 การต่อตัวต้านทานแบบอนุกรม

การต่อตัวต้านทานแบบอนุกรม (Series Resistor) เป็นการต่อตัวต้านทานเข้าด้วยกันแบบเรียงลำดับต่อเนื่องกันไป ในลักษณะท้ายของตัวต้านทานตัวแรกต่อเข้าหัวตัวต้านทานตัวที่สอง และท้ายของตัวต้านทานตัวที่สองต่อเข้าหัวตัวต้านทานตัวที่สาม ต่อเช่นนี้เรื่อยไป การต่อวงจรตัวต้านทานแบบอนุกรม แสดงดังรูปที่ 8.19



รูปที่ 8.19 การต่อตัวต้านทานแบบอนุกรม

การต่อตัวต้านทานแบบนี้ ทำให้ค่าความต้านทานรวมของวงจรเพิ่มขึ้นตามจำนวนตัวต้านทานที่นำมาต่อเพิ่ม การหาค่าความต้านทานรวมในวงจรแบบอนุกรม สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$R_T = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + \dots \quad \dots(8-1)$$

เมื่อ R_T = ความต้านทานรวมของวงจร หน่วย Ω

R_1, R_2, R_3, R_4 = ความต้านทานของตัวต้านทาน 1, 2, 3 และ 4 ตามลำดับ หน่วย Ω

ตัวอย่างที่ 8.8 จงหาค่าความต้านทานรวมของวงจรอนุกรมตามรูปที่ 8.20



รูปที่ 8.20 วงจรตัวต้านทานแบบอนุกรม

วิธีทำ

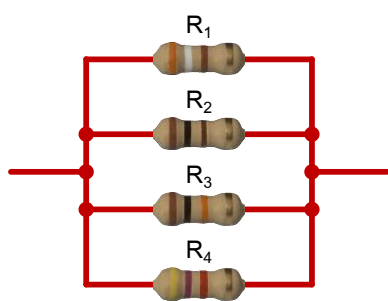
จากสูตร $R_T = R_1 + R_2 + R_3$

แทนค่า $R_T = 220 \Omega + 470 \Omega + 100 \Omega$

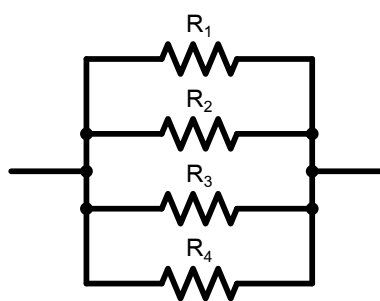
$\therefore R_T = 790 \Omega$ **ตอบ**

8.6.2 การต่อตัวต้านทานแบบขนาน

การต่อตัวต้านทานแบบขนาน (Parallel Resistor) เป็นการต่อตัวต้านทานแต่ละตัวในลักษณะक्रमขนานร่วมกันทุกตัว มีจุดต่อร่วมกัน 2 จุด คือจุดรวมขาแต่ละด้านของตัวต้านทานแต่ละตัว ลักษณะการต่อวงจรตัวต้านทานแบบขนาน แสดงดังรูปที่ 8.21



(ก) รูปวงจร



(ข) สัญลักษณ์วงจร

รูปที่ 8.21 การต่อตัวต้านทานแบบขนาน

การต่อตัวต้านทานแบบนี้ ทำให้ค่าความต้านทานรวมของวงจรลดลง ได้ค่าผล รวมของความต้านทานในวงจร น้อยกว่าค่าความต้านทานของตัวต้านทานตัวที่มีค่าน้อยที่สุดในวงจร การหาค่าความต้านทานรวมในวงจรแบบขนาน สามารถเขียนสมการได้ดังนี้

$$\frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4} + \dots \quad \text{.....(8-2)}$$

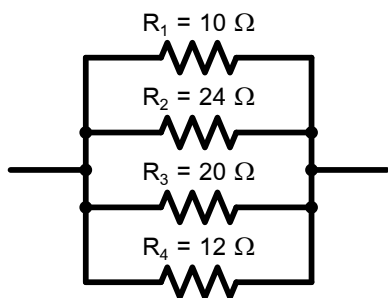
เมื่อ

R_T = ความต้านทานรวมของวงจร หน่วย Ω

R_1, R_2, R_3, R_4 = ความต้านทานของตัวต้านทาน 1, 2, 3 และ 4 ตามลำดับ หน่วย Ω

ตัวอย่างที่ 8.9 จงหาค่าความต้านทานรวมของวงจรตามรูปที่ 8.22

วิธีทำ



จากสูตร $\frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4}$

แทนค่า $\frac{1}{R_T} = \frac{1}{10\Omega} + \frac{1}{24\Omega} + \frac{1}{20\Omega} + \frac{1}{12\Omega}$

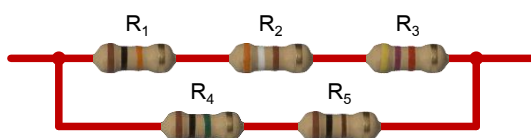
$$\frac{1}{R_T} = \frac{12+5+6+10}{120\Omega} = \frac{33}{120\Omega}$$

รูปที่ 8.22 วงจรตัวต้านทานแบบขนาน

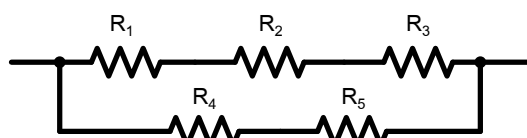
$\therefore R_T = \frac{120\Omega}{33} = 3.64 \Omega$ **ตอบ**

8.6.3 การต่อตัวต้านทานแบบผสม

การต่อตัวต้านทานแบบผสม (Compound Resistor) เป็นการต่อตัวต้านทานผสมรวมกันระหว่างการต่อแบบอนุกรมและการต่อแบบขนานอยู่ในวงจรเดียวกัน การต่อตัวต้านทานแบบผสมไม่มีวงจรตายตัว สามารถเปลี่ยนแปลงไปตามลักษณะการต่อวงจรที่ต้องการ การหาค่าความต้านทานรวมของวงจร ให้ใช้วิธีหาแบบอนุกรมและวิธีหาแบบขนานร่วมกัน โดยพิจารณาการต่อทีละส่วน ลักษณะการต่อวงจรตัวต้านทานแบบผสมลักษณะหนึ่ง แสดงดังรูปที่ 8.23



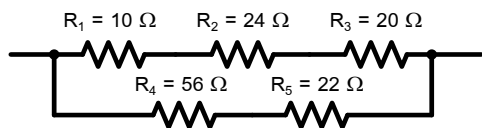
(ก) รูปวงจร



(ข) สัญลักษณ์วงจร

รูปที่ 8.23 การต่อตัวต้านทานแบบผสมลักษณะหนึ่ง

ตัวอย่างที่ 8.10 จงหาค่าความต้านทานรวมของวงจรตามรูปที่ 8.24



วิธีทำ

สูตรอนุกรม $R_{123} = R_1 + R_2 + R_3$

แทนค่า $R_{123} = 10\ \Omega + 24\ \Omega + 20\ \Omega$

$\therefore R_{123} = 54\ \Omega$

รูปที่ 8.24 วงจรตัวต้านทานแบบผสม

สูตรอนุกรม $R_{45} = R_4 + R_5$

แทนค่า $R_{45} = 56\ \Omega + 22\ \Omega$

$\therefore R_{45} = 78\ \Omega$

สูตรขนาน $\frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_{123}} + \frac{1}{R_{45}}$

หรือใช้สูตร $R_T = \frac{R_{123} \times R_{45}}{R_{123} + R_{45}}$

แทนค่า $R_T = \frac{54 \times 78}{54 + 78}$

$\therefore R_T = 31.91\ \Omega$

ตอบ

8.7

บทสรุป

วัตถุทุกชนิดบนโลกมีความต้านทานเป็นส่วนประกอบรวมอยู่ด้วยเสมอ ในขนาดค่าความต้านทานที่แตกต่างกัน บางชนิดมีค่าต่ำ บางชนิดมีค่าสูง สามารถนำวัตถุเหล่านั้นนำมาผลิตเป็นตัวต้านทานได้ ทำให้เกิดความสะดวกต่อการใช้งาน หน้าที่ตัวต้านทานคือจำกัดการไหลของกระแส และกำหนดค่าแรงดันตกคร่อม

ชนิดของตัวต้านทานแบ่งออกได้ตามวัสดุที่ใช้ผลิต คือ วัสดุประเภทโลหะทำมาจากโลหะผสมของนิเกิล แคดเมียม ทองแดง แมงกานีส และโครเมียม เป็นต้น ส่วนวัสดุประเภทโพลีโพรพิลีนทำมาจากผงคาร์บอนอัด หรือฟิล์มคาร์บอน และแบ่งออกได้ตามรูปแบบที่ผลิต ได้แก่ ชนิดคงที่ ชนิดแบ่งค่า ชนิดเปลี่ยนเลือกค่า ชนิดปรับเปลี่ยนค่า และชนิดพิเศษ แต่ละชนิดของตัวต้านทานที่ผลิตขึ้นมาสามารถใช้วัสดุได้ทั้งประเภทโลหะและประเภทโพลีโพรพิลีน

ตัวต้านทานชนิดพิเศษ เป็นตัวต้านทานที่ผลิตขึ้นมาใช้ในแต่ละงานโดยเฉพาะ ค่าความต้านทานของตัวต้านทานชนิดนี้สามารถเปลี่ยนแปลงค่าได้ตามการควบคุมของขนาดพลังงานที่ใช้ งาน เช่น เทอร์มิสเตอร์ใช้อุณหภูมิควบคุมความต้านทาน วาริสเตอร์ใช้แรงดันไฟฟ้าควบคุมความต้านทาน และแอลดีอาร์ (LDR) ใช้แสงควบคุมความต้านทาน

การอ่านค่าความต้านทานที่แสดงไว้บนตัวต้านทานอ่านได้หลายแบบ เช่น แบบแสดงค่าออกมาโดยตรง จะพิมพ์ค่าความต้านทานบอกไว้สามารถอ่านค่าออกมาได้โดยตรง แบบแสดงค่าเป็นรหัส จะต้องทำการแปลงรหัสออกก่อนจึงสามารถอ่านค่าความต้านทานออกมาได้ และแบบแสดงค่าเป็นแถบสี จะต้องแปลงแถบสีให้เป็นตัวเลขก่อน จึงสามารถอ่านค่าความต้านทานออกมาได้ แถบสีที่บอกไว้มีทั้งแบบ 4 แถบสี และแบบ 5 แถบสี