ปฏิบัติการที่ 2 การใช้มัลติมิเตอร์แบบดิจิตอลและการหาค่าความต้านทาน

วัตถุประสงค์

1. สามารถอ่านค่า วัดค่าความต้านทานและหาค่าเปอร์เซ็นต์แตกต่างของค่าความต้านทานที่ได้จากมัลติมิเตอร์แบบต่างๆได้

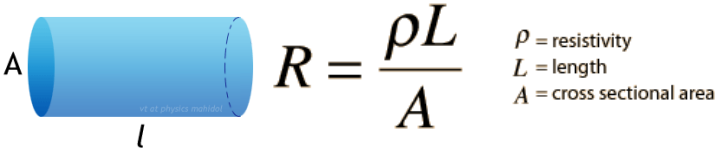
2. สามารถต่อตัวต้านทานแบบต่างๆและเปรียบเทียบค่าที่ได้จากวงจรแบบต่างๆได้

ทฤษฎี

ตัวต้านทาน (Resistor) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการต้านทานการไหลของกระแสไฟฟ้านิยมนำมาประกอบในวงจรทางด้านไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์ทั่วไปตัวอย่างเช่นวงจรเครื่องรับวิทยุ โทรทัศน์เครื่องขยายเสียง ฯลฯ ตัวต้านทานที่ต่ออยู่ในวงจรไฟฟ้า ทำหน้าที่ลดแรงดันและจำกัดการไหลของกระแสไฟฟ้าในวงจรตัวต้านทานมีรูปแบบและขนาดแตกต่างกันตามลักษณะของการใช้งานนอกจากนี้ยังแบ่งออกเป็นชนิดค่าคงที่และชนิดปรับค่าได้
สัญลักษณ์ของตัวต้านทาน ที่ใช้ในการเขียนวงจรมีอยู่หลายแบบดังแสดงในรูปที่ 1

รูปที่ 1 แสดงสัญลักษณ์ของตัวต้านทาน

ตัวนำไฟฟ้าที่ใช้มากในวงจรไฟฟ้าคือลวดตัวนำที่ทำจากโลหะ (หรือสายไฟฟ้านั่นเอง) การคำนวณค่าความต้านทานของลวดตัวนำไฟฟ้าโลหะสามารถทำได้ดังนี้ พิจารณาลวดตัวนำที่มีความยาว (length) ; L สภาพต้านทานไฟฟ้า (resistivity) ; ρ และพื้นที่ตัดขวาง (cross sectional area) ; A

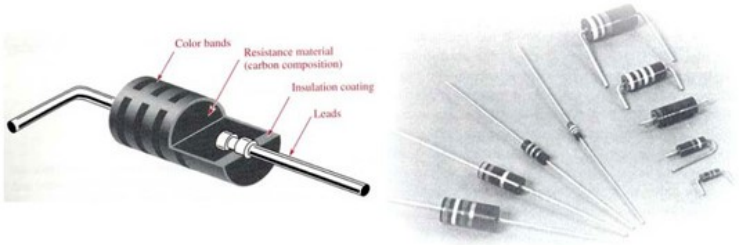


ชนิดของตัวต้านทาน

ตัวต้านทานที่ผลิตออกมาในปัจจุบันมีมากมายหลายชนิดในกรณีที่แบ่งโดยยึดเอาค่าความต้านทานเป็นหลักจะแบ่งออกได้เป็น 3 ชนิด คือ

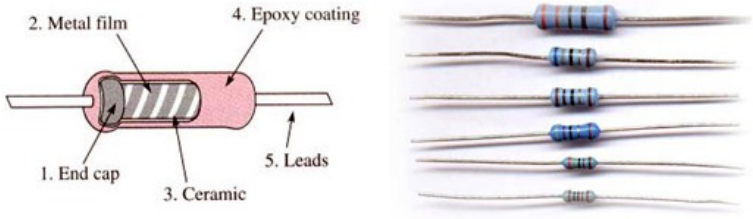
1. **ตัวต้านทานแบบค่าคงที่ (Fixed Resistor)**ตัวต้านทานชนิดค่าคงที่มีหลายประเภทในหนังสือเล่มนี้จะขอกล่าวประเภทที่มีความนิยม ในการนำมาประกอบใช้ในวงจรทางด้านอิเล็กทรอนิกส์โดยทั่วไป ดังนี้

1.1 ตัวต้านทานชนิดคาร์บอนผสม (Carbon Composition) เป็นตัวต้านทานที่นิยมใช้กันแพร่หลายมาก มีราคาถูก โครงสร้างทำมาจากวัสดุที่มีคุณสมบัติเป็นตัวต้านทานผสมกันระหว่างผงคาร์บอนและผงของฉนวน อัตราส่วนผสมของวัสดุทั้งสองชนิดนี้จะทำให้ค่าความต้านทานมีค่ามากน้อย เปลี่ยนแปลงได้ตามต้องการบริเวณปลายทั้งสองด้านของตัวต้านทานต่อด้วยลวดตัวนำบริเวณด้านนอกของตัวต้านทานจะฉาบด้วยฉนวน



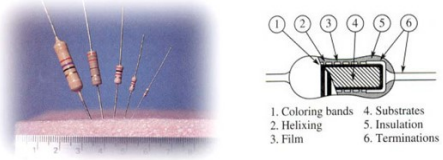
รูปที่ 2 แสดงตัวต้านทานชนิดคาร์บอนผสม

1.2 ตัวต้านทานแบบฟิล์มโลหะ (Metal Film) ทำมาจากแผ่นฟิล์มบางของแก้วและโลหะหลอมเข้าด้วยกัน แล้วนำไปเคลือบที่เซรามิคทำเป็นรูปทรงกระบอก แล้วตัดแผ่นฟิล์มที่เคลือบออกให้ได้ค่าความต้านทานตามที่ต้องการ ขั้นตอนสุดท้ายจะทำการเคลือบด้วยสารอีป๊อกซี (Epoxy) ตัวต้านทานชนิดนี้มีค่าความผิดพลาดบวกลบ 0.1 % ถึงประมาณ บวกลบ 2% ซึ่งถือว่ามีค่าความผิดพลาดน้อยมาก นอกจากนี้ยังทนต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิจากภายนอกได้ดี สัญญาณรบกวนน้อยเมื่อเทียบกับตัวต้านทานชนิดอื่น ๆ



รูปที่ 3 แสดงตัวต้านทานแบบฟิล์มโลหะ

1.3 ตัวต้านทานแบบฟิล์มคาร์บอน (Carbon Film) โดยการฉาบผงคาร์บอนลงบนแท่งเซรามิคซึ่งเป็นฉนวน หลังจากที่ทำการเคลือบแล้วจะตัดฟิล์มเป็นวงแหวนเหมือนเกลียวน๊อต ในกรณีที่เคลือบฟิล์มคาร์บอนในปริมาณน้อยจะทำให้ได้ค่าความต้านทานสูง แต่ถ้าเพิ่มฟิล์มคาร์บอนในปริมาณมากขึ้นจะทำให้ได้ค่าความต้านทานต่ำ ตัวต้านทานแบบฟิล์มโลหะมีค่าความผิดพลาด ±5% ถึง±20% ทนกำลังวัตต์ 1/8 - 2 วัตต์ มีค่าความต้านทานตั้งแต่ 1Ω -100 MΩ

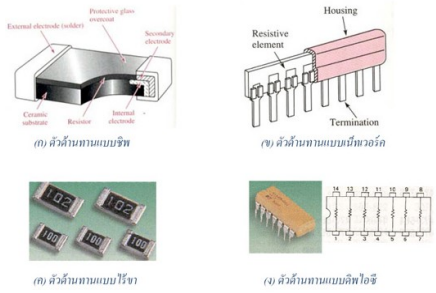


รูปที่ 4 แสดงตัวต้านแบบฟิล์มคาร์บอน

1.4 ตัวต้านทานแบบไวร์วาวด์ (Wire Wound) โครงสร้างเกิดจากการใช้ลวดพันลงบนเส้นลวดแกนเซรามิค หลังจากนั้นต่อลวดตัวนำด้านหัวและท้ายของเส้นลวดที่พันส่วนค่าความต้านทานขึ้นอยู่กับวัสดุ ที่ใช้ทำเป็นลวดตัวนำ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของแกนเซรามิคและความยาวของลวดตัวนำ ขั้นตอนสุดท้ายจะเคลือบด้วยสารประเภทเซรามิค บริเวณรอบนอกอีกครั้งหนึ่ง ค่าความต้านทาน จะมีค่าต่ำเพราะต้องการให้มีกระแสไหลได้สูง ทนความร้อนได้ดี สามารถระบายความร้อนโดยใช้อากาศถ่ายเท

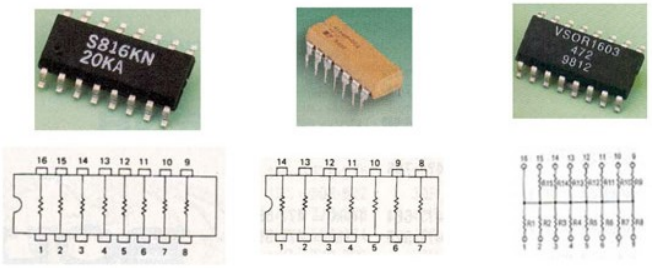
รูปที่ 5 แสดงตัวต้านแบบไวร์วาวชนิดต่างๆ

1.5 ตัวต้านทานแบบแผ่นฟิล์มหนา (Thick Film Network) โครงสร้างทำมาจากแผ่นฟิล์มหนามีรูปแบบแตกต่างกันขึ้นอยู่กับการใช้งาน ในรูปที่ 6 แสดงตัวต้านทานแบบแผ่นฟิล์มหนาประเภทไร้ขา (Chip Resistor) มีอัตราทนกำลังประมาณ 0.063 - 500 วัตต์ ค่าความคลาดเคลื่อน± 1 % ถึง± 5 % (จากหนังสือ Farnell II-Semi Conductor and Passines หน้า 294-310)



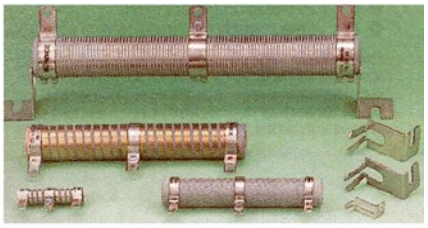
รูปที่ 6 แสดงตัวต้านแบบแผ่นฟิล์มหนาชนิดต่างๆ

1.6 ตัวต้านทานแบบแผ่นฟิล์มบาง (Thin Film Network) โครงสร้างทำมาจากแผ่นฟิล์มบาง มีลักษณะรูปร่างเหมือนกับตัวไอซี (Integrate Circuit) โดยส่วนใหญ่จะมีขาทั้งหมด 16 ขา การใช้งานต้องบัดกรีเข้ากับแผ่นลายวงจรอัตราทนกำลัง 50 mW มีค่าความคลาดเคลื่อน ± 0.1 % และอัตราทนกำลัง 100 mW จะมีค่าความคลาดเคลื่อน ± 5 % ที่แรงดันไฟฟ้าสูงสุดไม่เกิน 50 VDC



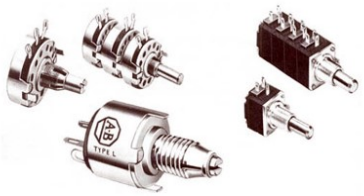
รูปที่ 7 แสดงลักษณะรูปร่างและสัญลักษณ์ของตัวต้านทาน

2. **ตัวต้านทานแบบปรับค่าได้ (Adjustable Resistor)** โครงสร้างมีลักษณะคล้ายกับแบบไวร์วาวด์ แต่โดยส่วนใหญ่บริเวณลวดตัวนำจะไม่เคลือบด้วยสารเซรามิคและมีช่องว่างทำให้มองเห็นเส้นลวดตัวนำเพื่อทำการลัดเข็มขัดค่อมตัวต้านทาน โดยจะมีขาปรับให้สัมผัสเข้ากับจุดใดจุดหนึ่งบนเส้นลวดของความต้านทาน ตัวต้านทานแบบนี้ส่วนใหญ่มีค่าความต้านทานต่ำ แต่อัตราทนกำลังวัตต์สูง การปรับค่าความต้านทานค่าใดค่าหนึ่งสามารถกระทำได้ในช่วงของความต้านทานตัวนั้น ๆ เหมาะกับงานที่ต้องการเปลี่ยนแปลงความต้านทานเสมอ ๆ



รูปที่ 8 แสดงลักษณะรูปร่างของตัวต้านทานแบบปรับค่าได้

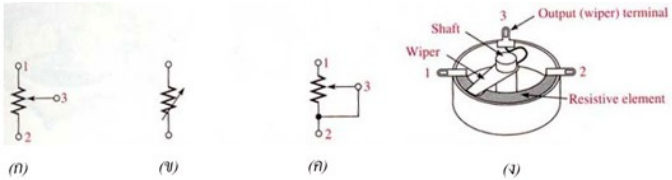
3. **ตัวต้านทานแบบเปลี่ยนค่าได้** (Variable Resistor) โครงสร้างภายในทำมาจากคาร์บอน เซรามิค หรือพลาสติกตัวนำใช้ในงานที่ต้องการเปลี่ยนค่าความต้านทานบ่อย ๆ เช่นในเครื่องรับวิทยุ โทรทัศน์เพื่อปรับลดหรือเพิ่มเสียง ปรับลดหรือเพิ่มแสงในวงจรหรี่ไฟ มีอยู่หลายแบบขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของการใช้งาน เช่นโพเทนชิโอมิเตอร์ (Potentiometer) หรือพอต (Pot) ส่วนอีกแบบหนึ่งเป็นแบบที่ไม่มีแกนปรับโดยทั่วไปจะเรียกว่า โวลลุ่มเกือกม้าหรือทิมพอต (Trim pot)



รูปที่ 9 แสดงลักษณะรูปร่างของตัวต้านทานแบบเปลี่ยนค่าได้

ตัวต้านทานแบบเปลี่ยนค่าได้นี้ สามารถแบ่งออกเป็น 2 ชนิด ด้วยกัน คือ โพเทนชิโอมิเตอร์(Potentiometer) และเซนเซอร์รีซิสเตอร์ (Sensor Resistor)

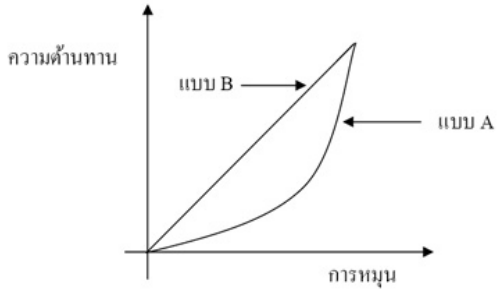
โพเทนชิโอมิเตอร์ (Potentiometer)หรือพอต (Pot) คือตัวต้านทานที่เปลี่ยนค่าได้ในวงจรต่าง ๆ โครงสร้างส่วนใหญ่จะใช้วัสดุประเภทคาร์บอน ผสมกับเซรามิคและเรซินวางบนฉนวน ส่วนแกนหมุนขากลางใช้โลหะที่มีการยืดหยุ่นตัวได้ดี โดยทั่วไปจะเรียกว่าโวลลุ่มหรือ VR (Variable Resistor)



รูปที่ 10 แสดงลักษณะรูปร่างและสัญลักษณ์ของโพเทนชิโอมิเตอร์และรีโอสตาท

จากรูปที่ 10 (ก) จะเห็นว่าโพเทนชิโอมิเตอร์มี 3 ขา ขาที่ 1 และ 2 จะมีค่าคงที่ส่วนขาที่ 3 เปลี่ยนแปลงขึ้นลงตามที่ต้องการ ส่วนรีโอสตาทนั้นจะมี 2 ขาตามรูปที่ 10 (ข) แต่ในกรณีที่ต้องการต่อโพเทนชิโอมิเตอร์ให้เป็นรีโอสตาทก็ทำได้โดยการต่อขาที่ 3 เข้ากับขาที่ 2 ก็จะกลายเป็นรีโอสตาทตามรูปที่ 10 (ค) ส่วนรูปที่ 10 (ง) แสดงโครงสร้างทั่ว ๆ ไปของโพเทนชิโอมิเตอร์

อีกชนิดหนึ่งคือจำพวกฟิล์มคาร์บอนใช้วิธีการฉาบหรือพ่นฟิล์มคาร์บอนลงในสารที่มีโครงสร้างแบบเฟโนลิค (Phenolic) ส่วนแกนหมุนจะใช้โลหะประเภทที่ใช้ทำสปริงเช่นเดียวกัน ตัวอย่างเช่น VR 100 KA หมายความว่า การเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทาน ต่อการหมุนในลักษณะของลอกการิทึม (Logarithmic) หรือแบบล๊อกคือเมื่อหมุนค่าความต้านทานจะค่อย ๆ เปลี่ยนค่าพอถึงระดับกลางค่าความต้านทานจะเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วนิยมใช้เป็นโวลลุ่มเร่งความดังของเสียงส่วนแบบ B นั้นค่าความต้านทานจะเปลี่ยนไปในลักษณะแบบลิเนีย (Linear) หรือเชิงเส้นคือค่าความต้านทานเพิ่มขึ้นตามการหมุนที่เพิ่มขึ้นส่วนมากนิยมใช้ในวงจรชุดควบคุมความทุ้มแหลมและวงจรแบ่งแรงดันไฟฟ้า



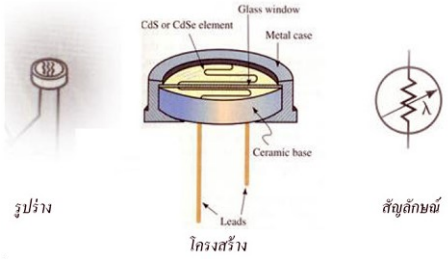
รูปที่ 11 แสดงความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานแบบ A และแบบ B

ตัวต้านทานชนิดพิเศษ

ตัวต้านทานชนิดพิเศษเป็นตัวต้านทานที่มีคุณสมบัติและการใช้งานที่แตกต่างจากตัวต้านทานทั่ว ๆ ไปเช่นใช้ในการควบคุมอุณหภูมิ ใช้เป็นสวิตช์เปิดปิดไฟด้วยแสง ฯลฯเป็นต้น

1. แอลดีอาร์ (LDR: Light Dependent Resistor)

LDR คือตัวต้านทานชนิดที่มีความไวต่อแสงมากบางครั้งเรียกว่าตัวต้านทานแบบโฟโต้คอนดัคตีฟเซล (Photoconductive Cells) หรือโฟโต้เซล โครงสร้างภายในโดยทั่วไปจะทำด้วยสารแคดเมียมซัลไฟต์ (Cadmium Sulfide) หรือแคดเมียมเซลีไนต์ (Cadmium Selenide) มีความเข้มของแสงระหว่าง 4,000 A (Blue Light) ถึง 10,000 A (Infrared) 1 A. เท่ากับ 1×10^{-10} M Light



รูปที่ 12 แสดงรูปลักษณะโครงสร้างและสัญลักษณ์ของตัวแอลดีอาร์

เมื่อมีแสงมาตกกระทบที่ LDR จะทำให้ค่าความต้านทานภายในตัว LDR ลดลงจะลดลงมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับแสงที่ตกกระทบในกรณีที่ไม่มีแสงหรืออยู่ในตำแหน่งที่มืดค่าความต้านทานภายในตัว LDR จะมีค่าเพิ่มมากขึ้นการทดสอบ LDR อย่างง่าย ๆคือต่อสายมิเตอร์เข้ากับ LDR ตั้งย่านวัดโอห์มหาอุปกรณ์ให้แสงสว่างเช่นไฟฉายหรือหลอดไฟ โดยให้

แสงตกกระทบที่ตัว LDR ตรงด้านหน้าแล้วสังเกตค่าความต้านทานจากมิเตอร์จะมีค่าลดลง ถ้ามีอุปกรณ์ไปบังแสงทำให้มืด ค่าความต้านทานจะเพิ่มขึ้น

หน่วยของความต้านทาน

หน่วยของความต้านทานวัดเป็นหน่วย “โอห์ม” เขียนแทนด้วยอักษรกรีกคือตัว “โอเมก้า”Ω ค่าความต้านทาน 1 Ω หมายถึงการป้อนแรงดันไฟฟ้าขนาด 1 V ไหลผ่านตัวต้านทานแล้วมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่าน 1 A

การอ่านค่าความต้านทาน

ค่าความต้านทานโดยส่วนใหญ่จะใช้รหัสแถบสีหรืออาจจะพิมพ์ค่าติดไว้บนตัวต้านทาน ถ้าเป็นการพิมพ์ค่าติดไว้บนตัวต้านทานมักจะเป็นตัวต้านทานที่มีอัตราทนกำลังวัตต์สูง ส่วนตัวต้านทานที่มีอัตราทนกำลังวัตต์ต่ำมักจะใช้รหัสแถบสีที่นิยมใช้มี 4 แถบสีและ 5 แถบสี

ตารางที่ 1 แสดงรหัสแถบสีจากตัวต้านทานแบบ 4 แถบสี

รหัสสี (Color Code)	**แถบสีที่ 1 ตำแหน่ง 1**	**แถบสีที่ 2 ตำแหน่ง 2**	**แถบสีที่ 3 ตัวคูณ**	**แถบสีที่ 4 เปอร์เซ็นต์ผิดพลาด**
ดำ	0	0	1	20% (M)
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	-	0.1% (B)
เทา	8	8	-	0.05% (A)
ขาว	9	9	-	-
ทอง	-	-	0.1	5% (J)
เงิน	-	-	0.01	10% (K)

วิธีการอ่าน

1. แถบสีแรก ใช้แสดงตัวเลขหลักแรก และจะไม่เป็นสีดำ
2. แถบสีที่สอง ใช้แสดงเป็นตัวเลขหลักที่สอง
3. แถบสีที่สาม เป็นตัวคูณสำหรับตัวเลข 2 หลักแรก ซึ่งจะมีค่า 1/100 ถึง 10,000,000
4. แถบสีที่สี่ ใช้แสดงค่าความคลาดเคลื่อน ซึ่งมีค่าตั้งแต่ ±5 % ขึ้นไป

ตัวอย่างที่ 1 ตัวต้านทานมีรหัสแถบสี เขียว น้ำเงิน น้ำตาล และทองมีความต้านทานกี่โอห์ม ?

เขียว น้ำเงิน น้ำตาล ทอง = 56 x 10 = 560 Ω

ค่าความคลาดเคลื่อนที่เป็นไปได้แสดงด้วยสีทอง = ±5 % ของ 560 = 28

560 + 28 = 588 Ω 560 - 28 = 532 Ω

ดังนั้น ค่าความต้านทานจะอยู่ระหว่าง 532 - 588 Ω

ตารางที่ 2 แสดงรหัสแถบสีจากตัวต้านทานแบบ 5 แถบสี

รหัสสี (Color Code)	**แถบสีที่ 1 ตำแหน่ง 1**	**แถบสีที่ 2 ตำแหน่ง 2**	**แถบสีที่ 3 ตัวคูณ**	**แถบสีที่ 4 เปอร์เซ็นต์ผิดพลาด**
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	-	0.1% (B)
เทา	8	8	-	0.05% (A)
ขาว	9	9	-	-
ทอง	-	-	0.1	-
เงิน	-	-	0.01	-

ตัวอย่างที่ 2 ตัวต้านทานมีรหัสแถบสี เหลือง เทา แดง ส้ม และน้ำตาล มีความต้านทานกี่โอห์ม

อ่านค่ารหัสแถบสีได้ 482,000 โอห์ม

ตัวต้านทานนี้มีความต้านทาน 482 กิโลโอห์ม ค่าผิดพลาด 1 เปอร์เซ็นต์

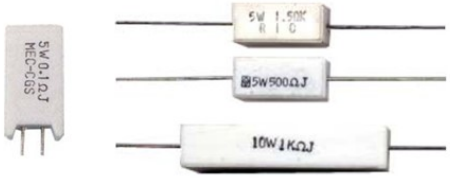
ค่าความคลาดเคลื่อนที่เป็นไปได้ = +-1 % ของ 482,000 = 4820

482,000 + 4820 = 486,820 โอห์ม 482,000 - 4820 = 477,180 โอห์ม

ดังนั้น ค่าความต้านทานจะอยู่ระหว่าง 486,820 โอห์ม ถึง 477,180 โอห์ม

นอกจากนี้ยังมีตัวต้านทานประเภทที่พิมพ์ค่าของความต้านทานไว้บนตัวต้านทานซึ่งในตารางที่ 2.1 และ 2.2 ได้เขียนเป็นอักษรภาษาอังกฤษเอาไว้ แต่ละตัวมีความหมายดังนี้คือ

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

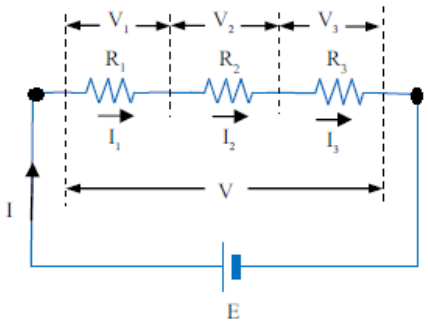


รูปที่ 13 แสดงอักษรภาษอังกฤษบนตัวต้านทาน

การต่อวงจรตัวต้านทาน

การต่อตัวต้านทานมีอยู่ 3 แบบคือ แบบอนุกรม (series) แบบขนาน (parallel)และแบบผสม

1. การต่อตัวต้านทานแบบอนุกรม (series) สามารถหาค่าความต้านทานรวมดังนี้

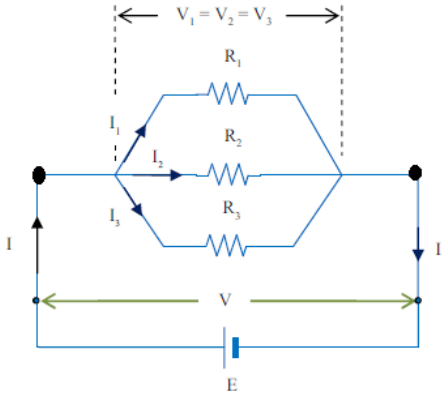


$$R_{equivalent} = \frac{V}{I}$$

$$R_{equivalent} = \frac{V_1 + V_2 + V_3}{I}$$

$$R_{equivalent} = R_1 + R_2 + R_3$$

2. การต่อตัวต้านทานแบบขนาน (parallel) สามารถหาค่าความต้านทานรวมดังนี้

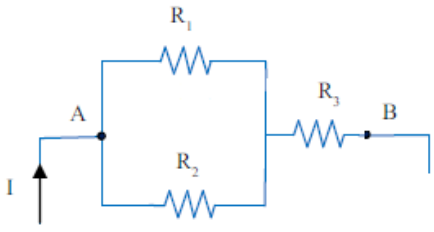


$$\frac{V}{R_{equivalent}} = I = I_1 + I_2 + I_3$$

$$\frac{V}{R_{equivalent}} = \frac{V}{R_1} + \frac{V}{R_2} + \frac{V}{R_3}$$

$$\frac{1}{R_{equivalent}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

3. การต่อตัวต้านทานแบบผสม คือ นำการต่อตัวต้านทานแบบอนุกรมรวมกับการต่อแบบขนาน



วิธีการทดลอง

ตอนที่ 1 การอ่านค่าตัวต้านทาน

1. ให้อ่านค่าจากแถบสีของตัวต้านทาน
2. เปลี่ยนค่าที่อ่านได้เป็นแถบสี
3. หาเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างจากการอ่านค่า และการวัดตัวต้านทานจากมัลติมิเตอร์แบบต่างๆ

$$\text{เปอร์เซ็นต์ความแตกต่าง} = \frac{|E_1 - E_2|}{\overline{E}} \times 100\%$$

ตอนที่ 2 การต่อวงจรตัวต้านทาน

1. ต่อตัวต้านทานแบบอนุกรม ใช้มัลติมิเตอร์วัดค่าความต้านทานแต่ละตัวและความต้านทานรวม ที่ปลายทั้งสองข้าง (จุด AB) บันทึกผลการทดลองลงในตารางที่ 5

2. ต่อตัวต้านทานแบบขนาน (ใช้ตัวต้านทานคู่เดิมกับการต่อแบบอนุกรม) ใช้มัลติมิเตอร์วัดค่าความต้านทานแต่ละตัวและความต้านทานรวม บันทึกผลการทดลองลงในตารางที่ 6

3. ต่อตัวต้านทานแบบผสม (ใช้ตัวต้านทานคู่เดิมกับการต่อแบบอนุกรม ส่วน R_3 ใช้ตัวต้านทานตัวใหม่ 1 ตัว) ใช้มัลติมิเตอร์วัดค่าความต้านทานแต่ละตัวและความต้านทานรวม บันทึกผลการทดลองลงในตารางที่ 7

4. แสดงการหาค่าความต้านทานรวมที่ได้ทั้ง 3 แบบ โดยใช้ตัวตานทานชุดเดียวกัน

5. สรุปและอภิปรายผลการทดลอง

<u>รายงานผลปฏิบัติการที่ 2 การใช้มัลติมิเตอร์แบบดิจิตอลและการหาค่าความต้านทาน</u>

วัน.....ที่..... เดือน.....พ.ศ.....เวลา.....

<u>รายชื่อสมาชิกผู้ร่วมทำปฏิบัติการ</u> **สาขาวิชา**.....**หมู่ที่**.....

1. .....รหัส..... 2..... รหัส.....

3. .....รหัส..... 4..... รหัส.....

<u>ตอนที่ 1 การอ่านค่าความต้านทาน</u>

ตารางที่ 2 ค่าจากแถบสีของตัวต้านทาน

แถบสีของตัวต้านทาน				ค่าที่อ่านได้	
แถบสีที่ 1	แถบสีที่ 2	แถบสีที่ 3	แถบสีที่ 4	เรียงตัว (Ω)	เปลี่ยนหน่วย (....Ω)
แดง	ขาว	น้ำเงิน	ไม่มีสี		
เหลือง	ขาว	แดง	น้ำตาล		
ม่วง	แดง	ส้ม	เงิน	72,000	72 kΩ ± 10 %
น้ำตาล	น้ำเงิน	เหลือง	ทอง		
เหลือง	เขียว	น้ำเงิน	ทอง		
แดง	ส้ม	เหลือง	ส้ม		

ตารางที่ 3 เปลี่ยนค่าที่อ่านได้เป็นแถบสี

ค่าที่อ่านได้(Ω)	แถบสีของตัวต้านทาน			
	แถบสีที่ 1	แถบสีที่ 2	แถบสีที่ 3	แถบสีที่ 4
1				
10				
30				
71				
250				

ตารางที่ 4 เปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของค่าความต้านทาน

ตัว R ตัวที่	สีที่ปรากฏ	ก.อ่านค่าจากแถบสี	ข.วัดจาก Digital Multimeter	ค.วัดจาก Analog Multimeter	%แตกต่าง ก., ข.	%แตกต่าง ก., ค.	%แตกต่าง ข., ค.
1							
2							
3							

<u>ตอนที่ 2 การต่อวงจรตัวต้านทาน</u>

ตารางที่ 5 ความต้านทานรวม (ต่อตัวต้านทานแบบอนุกรม)

ตัวต้านทาน		ค่าความต้านทานรวมที่ได้จาก	
R_1 (.....)	R_2 (.....)	การทดลอง (.....)	การคำนวณ (.....)

ตารางที่ 6 ความต้านทานรวม (ต่อตัวต้านทานแบบขนาน)

ตัวต้านทาน		ค่าความต้านทานรวมที่ได้จาก	
R_1 (.....)	R_2 (.....)	การทดลอง (.....)	การคำนวณ (.....)

ตารางที่ 7 ความต้านทานรวม (ต่อตัวต้านทานแบบผสม)

ตัวต้านทาน			ค่าความต้านทานรวมที่ได้	
R_1 (.....)	R_2 (.....)	R_3 (.....)	จากการคำนวณ (.....)	จากการทดลอง (.....)

แสดงการหาค่าความต้านทานรวมที่ได้ทั้ง 3 แบบ

.....

.....

.....

.....

.....

<u>สรุปและอภิปรายผลการทดลอง</u>

.....

.....

.....

.....

.....