

การทดลองที่ 2

วงจรไฟฟ้ากระแสตรง

วัตถุประสงค์การทดลอง

- ฝึกหัดการใช้ Digital Multimeter วัดความต้านทาน กระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์ไฟฟ้าในวงจรไฟฟ้ากระแสตรง
- ทดสอบการใช้วงจรไฟฟ้าที่เหมาะสมกับตัวภาระ (load)

ทฤษฎี

การอ่านความต้านทาน

ตัวต้านทาน (resistor) เป็นอุปกรณ์พื้นฐานที่จำเป็นสำหรับวงจรอิเล็กทรอนิกส์มีรูปร่างแตกต่างกันตามลักษณะการใช้งาน

ชนิดของตัวต้านทาน แบ่งตามชนิดการใช้งานดังนี้ 1. ตัวต้านทานแบบค่าคงที่ 2. ตัวต้านทานแบบเปลี่ยนค่าได้ 3. ตัวต้านทานแบบพิเศษ

1. ตัวต้านทานแบบค่าคงที่ แบ่งตามวิธีการผลิตดังนี้

1.1 ตัวต้านทานที่ทำมาจากผงคาร์บอน

จะใช้ผงคาร์บอนอัดเป็นแท่งและมีส่วนผสมของสารที่มีคุณสมบัติเป็นตัวนำผสมอยู่ด้วยค่าความต้านทานขึ้นอยู่กับส่วนผสมทั้งสองนี้ ปัจจุบันไม่นิยมใช้กัน เนื่องจากมีค่าความต้านทานเปลี่ยนแปลงง่ายเมื่อเกิดความร้อนและความชื้น

1.2 ตัวต้านทานที่ทำมาจากขดลวด

เรียกว่า ตัวต้านทานแบบไวร์ววด (wire wound resistor) ใช้ขดลวดพันอยู่ที่แกนที่เป็นฉนวน ขดลวดที่ใช้ทำมาจากสารผสม ดังนั้นค่าความต้านทานที่ได้ต้องขึ้นอยู่กับชนิดของสาร ความยาวของเส้นลวด และขนาดเล็กหรือโตของเส้นลวดซึ่งต้านทานนี้จะทนกำลังไฟได้สูง

1.3 ตัวต้านทานแบบคาร์บอนฟิล์ม (Carbon film resistor)

ทำมาจากชั้นของคาร์บอนที่สร้างอยู่บนผิวของแท่งแก้วหรือโลหะทนความร้อน เช่น เซรามิก ค่าความต้านทานจะถูกกำหนดโดยความยาวและความหนาของชั้นคาร์บอน เป็นค่าความต้านทานที่แน่นอน ค่าคลาดเคลื่อนและสัมประสิทธิ์ของอุณหภูมิต่ำกว่าแบบคาร์บอนที่อัดเป็นแท่ง สามารถนำไปใช้แทนขดลวดได้ ข้อดี คือ มีค่าความเหนียวนำไฟฟ้าต่ำ นำไปใช้ในวงจรที่มีความถี่สูงได้ดี

1.4 ตัวต้านทานแบบผงโลหะหรือเมทัลฟิล์ม (metal film resistor)

มีลักษณะคล้ายคาร์บอนฟิล์ม เพียงแต่ใช้ฟิล์มโลหะหรือฟิล์มที่เป็นเยื่อโลหะมาแทนคาร์บอนเท่านั้น ให้ค่าความต้านทานคงที่ การเปลี่ยนความต้านทานอาจทำได้ โดยเปลี่ยนชนิดโลหะหรือความหนาของเยื่อโลหะหรือเปลี่ยนขนาด ข้อดี คือ สามารถทำให้สัมประสิทธิ์ของอุณหภูมิต่ำเป็นศูนย์ จึงมีเสถียรภาพสูงดีมาก อาจนำไปใช้ในอุณหภูมิ 255 องศาเซลเซียสได้ มีเสียงรบกวนน้อยมาก เหมาะที่จะนำไปใช้ในวงจรที่มีความไวสูง เช่น คอมพิวเตอร์ เครื่องมือทางการแพทย์ เป็นต้น

1.5 ตัวต้านทานแบบผงดีบุก (tin oxide resistor)

ใช้แผ่นดีบุกยึดติดแน่นกับเนื้อแก้ว ผงดีบุกที่เกิดขึ้นจะมีความแข็งแกร่งต่อการขีดข่วนได้ดี มีการออกแบบให้ขยายตัวของเนื้อแก้วพอดีกับการขยายตัวกับผงดีบุก สามารถทำให้ค่าความต้านทานสูงขึ้นโดยตัดผงดีบุกบางส่วนออกให้เหลือน้อย เป็นรูปเกลียวสว่านรอบแท่งแก้ว ข้อดี คือ มีเสถียรภาพทางเคมีสูงไม่มี

การเปลี่ยนแปลงจากความร้อนหรือความชื้น คุณสมบัติเช่นนี้ทำให้นำไปใช้ได้ดีในวงจรของเครื่องส่ง ซึ่งต้องระบายความร้อนด้วยน้ำโดยตรง มีความต้านทานจากน้อยจนถึงหลายร้อยเมกกะโอห์ม ทนกำลังไฟได้ตั้งแต่ 1/8 ถึง 6000 วัตต์ และสามารถนำไปใช้ในอุณหภูมิถึง 255°C

2. ตัวต้านทานแบบเปลี่ยนค่าได้

ในวงจรอิเล็กทรอนิกส์มีหลายชนิด แบบธรรมดาที่เห็นอยู่ทั่วไป คือ โปเทนทิโอมิเตอร์ (potentiometer) หรือเรียกว่า พอท (pot) ตัวต้านทานแบบนี้จะมีขาสำหรับต่อใช้งาน 3 ขาทำด้วยผงคาร์บอนทำเป็นแถบโค้งเป็นวง ปลายทั้งสองจะมีขั้วต่อออกมาข้างละขั้ว ตัวปรับค่าจะอยู่ที่แกนกลางต่อขาออกมาหมุนแกนจะทำให้ค่าความต้านทานระหว่างปลายทั้งสองเปลี่ยนไปตามการเคลื่อนที่

ค่าความต้านทานจะเปลี่ยนไปตามระยะของการหมุนโดยมีมุมการหมุนได้สูงสุด 300 องศา คือค่าความต้านทานสูงสุด โดยเริ่มต้นหมุนจาก 0 องศา เช่น ตัวต้านทานที่มีตัวอักษรพิมพ์ไว้ 100 K หมายความว่า ตัวต้านทานสามารถปรับหรือหมุนแกนได้ค่าตั้งแต่ 0 – 100 K นอกจากนี้จะบอกค่าที่ปรับได้แล้วยังมีตัวอักษรเขียนต่อท้ายค่าความต้านทาน เช่น 100 KA 100 KB 100 KC และ 100 KMN มีความหมายดังนี้

ตัวอักษรตัวท้าย คือ A (VR-A) หมายความว่า ขณะที่ปรับแกนหมุนตามเข็มนาฬิกาการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานตอนต้นจะน้อยและจะเปลี่ยนค่ามากในช่วงท้าย ตัวต้านทานแบบนี้ใช้ในวงจรปรับความดังของเสียงในเครื่องวิทยุทั่วไป การเปลี่ยนค่านี้เรียกว่าการเปลี่ยนค่าแบบค่าล้อ

ตัวอักษรตัวท้าย คือ B (VR-B) หมายความว่า ขณะที่ปรับแกนหมุนตามเข็มนาฬิกาการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานจะสม่ำเสมอเท่ากันตลอด ตามองศาของการหมุนแกนหมุน การเปลี่ยนค่านี้เรียกว่าการเปลี่ยนค่าแบบค่าลิเนียร์

ตัวอักษรตัวท้าย คือ C (VR-C) หมายความว่า จะตรงกันข้ามกับแบบตัวอักษร A

ตัวอักษรตัวท้าย คือ MN (VR-MN) สร้างสำหรับการปรับให้มีค่าความต้านทานพอดีกัน โดยเฉพาะใช้กับตัวต้านทานแบบเปลี่ยนค่าได้ชนิดสองชั้นตัวต้านทานแบบนี้มีใช้เฉพาะเครื่องระบบสเตอริโอเท่านั้น

นอกจากนี้ยังมีอีกแบบหนึ่ง เรียกว่า ทริมพอท (trim pot) แต่มีขนาดเล็กกว่าพอทธรรมดาสร้างขึ้นใช้ในงานวงจรพิมพ์ การปรับค่าหรือตั้งจุดทำงานของวงจร จะปรับค่าความต้านทานครั้งเดียวในช่วงแรกเท่านั้น การปรับค่าทำได้โดยใช้ไขควงสอดเข้าไปตรงกลางแล้วหมุนไปมา ค่าความต้านทานจะพิมพ์ไว้บนตัว เช่นเดียวกับพอทธรรมดายังมีพอทแบบอื่นอีกที่ใช้ในวงจรอิเล็กทรอนิกส์ เช่น พอท 2 ชั้น และพอทเลื่อน (slide)

3. ตัวต้านทานแบบพิเศษ

3.1 แอลดีอาร์ (light decreasing resistor, LDR)

เป็นตัวต้านทานแบบไวแสง ตัวต้านทานแบบนี้จะเปลี่ยนค่าความต้านทานเมื่อมีแสงมากระทบ และค่าความต้านทานจะน้อยลงเมื่อมีแสงมากกระทบมาก

3.2 เทอร์มิสเตอร์

เป็นตัวต้านทานที่เปลี่ยนตามอุณหภูมิ มี 2 ชนิดคือ

- 1) เทอร์มิสเตอร์แบบมีค่าความต้านทานเพิ่มขึ้นเมื่อมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้น
- 2) เทอร์มิสเตอร์แบบมีค่าความต้านทานลดลง เมื่อมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้น

เทอร์มิสเตอร์จะถูกนำไปใช้งานเป็นตัวชดเชยอุณหภูมิที่เกิดขึ้นในวงจร

ตัวต้านทานที่มีอยู่ในวงจรไฟฟ้าหรืออิเล็กทรอนิกส์ ทำหน้าที่ต้านทานการไหลของกระแสไฟฟ้าที่เข้ามาวงจร ตัวต้านทานมาก กระแสน้อย ตัวต้านทานน้อย กระแสมาก หน่วยวัดเป็นโอห์ม (OHM) ใช้อักษรย่อ Ω

การอ่านค่าความต้านทาน

ตัวต้านทานทุกชนิดมีองค์ประกอบ 3 ประการ คือ

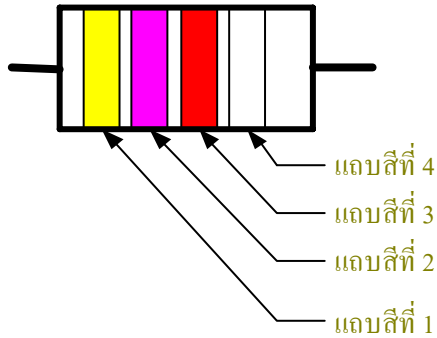
1. ค่าความต้านทาน
2. ค่าความคลาดเคลื่อน
3. อัตราทนกำลังไฟ

ปัจจุบันการอ่านค่าอาจจะอ่านจากตัวอักษรที่พิมพ์ไว้หรืออ่านจากรหัสสี ซึ่งของรหัสสีนี้ ส่วนใหญ่จะมีอัตราการทนกำลังไฟต่ำ ซึ่งการอ่านรหัสสีมีหลายแบบ เช่น 4 แถบสี 5 แถบสี เป็นต้น

ตารางที่ 1 รหัสสีสำหรับอ่านค่าความต้านทาน

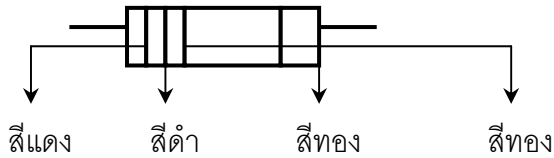
รหัสสี	แถบที่ 1 (ตัวเลข)	แถบที่ 2 (ตัวเลข)	แถบที่ 3 (ตัวคูณ)	แถบที่ 4 ค่าคลาดเคลื่อน
ดำ	0	0	1	$\pm 1\%$
น้ำตาล	1	1	10	$\pm 2\%$
แดง	2	2	100	-
ส้ม	3	3	1000	-
เหลือง	4	4	10000	-
เขียว	5	5	100000	-
น้ำเงิน	6	6	1000000	-
ม่วง	7	7	10000000	-
เทา	8	8	100000000	-
ขาว	9	9	1000000000	-
ทอง	-	-	0.1	$\pm 5\%$
เงิน	-	-	0.01	$\pm 10\%$
ไม่มีสี	-	-	-	$\pm 20\%$

หลักการอ่านค่าความต้านทานแบบรหัส 4 แถบสี



- สีแถบที่ 1 แทน ตัวเลขตำแหน่งที่ 1
- สีแถบที่ 2 แทน ตัวเลขตำแหน่งที่ 2
- สีแถบที่ 3 แทน ตัวเลข 10 ยกกำลังตามสี
- สีแถบที่ 4 แทน ค่าผิดพลาด

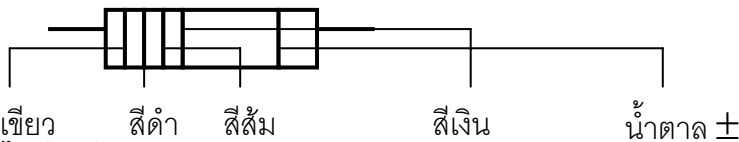
เช่น



ค่าที่อ่านได้ คือ แดง = 2 ดำ = 0 ทอง = 0.1 ทอง = 5%
 ค่าความต้านทาน คือ $20 \times 0.1 = 2.0 \Omega = 2.0 \Omega \pm 5\%$

การอ่านค่าความต้านทานแบบ 5 แถบสี

เหมือนกับ 4 สี แต่ต่างกันที่ แถบที่ 3 เป็นหลักหน่วย แถบที่ 4 เป็นค่าผิดพลาด เช่น



ค่าที่อ่านได้ คือ เขียว = 5 ดำ = 0 ส้ม = 3 เงิน = $\times 0.01$
 ค่าความต้านทาน คือ $503 \times 0.01 = 5.03 \Omega \pm 1\%$

ส่วน 6 สี เพิ่มค่าประสิทธิภาพทางอุณหภูมิเป็นแถบที่ 6

การอ่านค่าความต้านทานที่เป็นตัวเลข

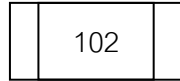
ชนิดไวร์วาวด์ เรียงตามลำดับคือ อัตราการทนกำลังไฟ ค่าความต้านทาน ค่าผิดพลาด



จากรูป อ่านได้ = 100Ω 5 W 5%

รีซิสเตอร์ชนิดติดผิว

เช่นเขียนไว้ว่า 102



เลขตัวที่ 1 = 1, เลขตัวที่ 2 = 0, จำนวนศูนย์ = 00 อ่านได้ = $1000 \Omega = 1 \text{ K}\Omega$

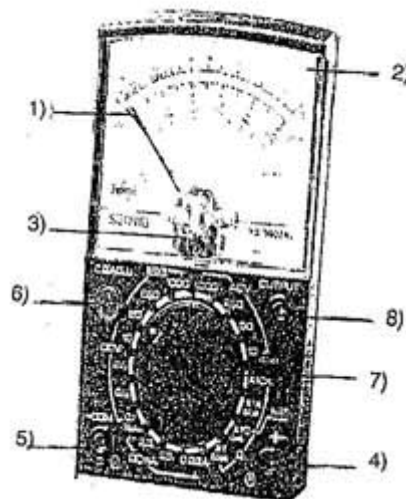
หรือเขียนว่า 203 ค่าความต้านทานคือ $20 \text{ K}\Omega$, 4R7 อ่านได้ 4.7Ω เป็นต้น

ลักษณะอาการเสียของตัวต้านทาน

ขาด	วัดแล้วไม่มีความต้านทาน เข็มไม่ขึ้น
ยัดค่า	วัดแล้วได้ค่ามากกว่าที่กำหนด
ติด ๆ ขาด ๆ	วัดแล้วค่าไม่คงที่ ส่วนมากเกิดในขณะใช้งาน
ไหม้	เกิดจากมีกระแสไหลผ่านเกินกำหนด อาจเสีย / ไม่เสีย แต่ควรจะเปลี่ยนตัวใหม่

มัลติมิเตอร์

มัลติมิเตอร์ (Multimeter) เป็นมิเตอร์ชนิดหนึ่งซึ่งประกอบด้วยหน่วยการวัดหลาย ๆ หน่วย อยู่ในมิเตอร์เพียงตัวเดียว หน่วยที่ประกอบอยู่อาจจะเป็นโอห์ม (Ω)ม แอมแปร์ (A), โวลต์ (V) และอื่น ๆ แล้วแต่ผู้ผลิตจะผลิตขึ้นมาใช้ประโยชน์ จึงนับได้ว่ามิเตอร์เป็นเครื่องมือวัดสารพัดประโยชน์ที่ใช้ในงานทางด้านไฟฟ้าและทางอิเล็กทรอนิกส์ก็ได้



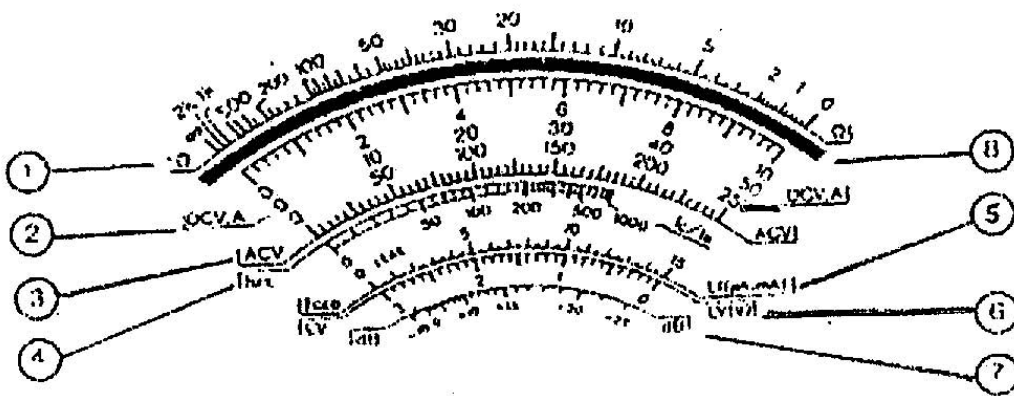
รูป1 ส่วนประกอบภายนอกของมัลติมิเตอร์

ส่วนประกอบของมัลติมิเตอร์

จากรูป 1 อธิบายส่วนประกอบภายนอกของมัลติมิเตอร์ดังต่อไปนี้

- 1) หน้าปัดแสดงสเกลต่าง ๆ ของมัลติมิเตอร์
- 2) เข็มมัลติมิเตอร์
- 3) สกรูสำหรับปรับแต่งเข็มมัลติมิเตอร์ให้พอดีอยู่ที่ตำแหน่งด้านซ้ายมือสุดของสเกล

- 4) ปุ่มปรับศูนย์โอห์ม เพื่อปรับแต่งเข็มมัลติมิเตอร์ให้อยู่ที่ตำแหน่งศูนย์โอห์มพอดี เมื่อทำปรับศูนย์โอห์ม หรือซีโรโอห์ม ในขณะที่ใช้ย่านการวัดความต้านทาน
- 5) แจ็กเอาต์พุท เป็นแจ็กที่มีคาปาซิเตอร์ต่ออนุกรมกับแจ็ก + ภายในมิเตอร์สำหรับต่อสายวัดแดง แทนแจ็ก + เมื่อจะวัดค่าแรงดันสลับ (AC) ในจุดวัดที่มีทั้งแรงดันสลับ (AC) และแรงดันไฟตรง (DC)
- 6) สวิตช์เลือกย่านวัด และสเกลบอกย่านกับหน่วยที่ต้องการวัด
- 7) แจ็ก + สำหรับต่อสายวัดสีแดง (สีแดงโดยทั่วไปมักใช้บอกให้ทราบว่าเป็นขั้วไฟบวก)
- 8) แจ็ก - สำหรับต่อสายวัดสีดำ (สีดำโดยทั่วไปมักใช้บอกให้ทราบว่าเป็นไฟขั้วลบ)



รูป 2 ส่วนประกอบหน้าปัดแสดงสเกลต่าง ๆ ของมัลติมิเตอร์

ส่วนประกอบของหน้าปัดแสดงสเกลต่าง ๆ ของมัลติมิเตอร์

จากรูป 2 ส่วนประกอบของหน้าปัดแสดงสเกลต่าง ๆ ของมัลติมิเตอร์

- 1) สเกลหน่วยวัดโอห์ม เป็นสเกลสำหรับอ่านค่าความต้านทาน สังเกตว่าแต่ละช่องจะห่างไม่เท่ากัน
- 2) สเกลหน่วยวัดแรงดันและกระแสไฟตรง ดีซีโวลต์ แอมแปร์ (DCV, A) เป็นสเกลสำหรับอ่านค่าเมื่อใช้ย่านวัดแรงดันไฟตรงดีซีโวลต์ (DCV) หรือย่านวัดกระแสไฟตรงดีซีแอมป์ (DCA)
- 3) สเกลแรงดันไฟสลับ เป็นสเกลสำหรับอ่านค่าเมื่อใช้ย่านวัดแรงดันสลับเอซีโวลต์ (ACV)
- 4) สเกลเอชเอพี / 64Bh) เป็นสเกลใช้เฉพาะสำหรับทรานซิสเตอร์ เพื่อใช้อ่านค่าอัตราขยายกระแสตรงจากการวัด
- 5) สเกลไอซีอีโอ (I_{CEO}) และแอลไอไมโครแอมป์, มิลลิแอมป์ (LI, μA , mA) เป็นสเกลสำหรับอ่านค่าเมื่อใช้วัดค่า I_{CEO} ของทรานซิสเตอร์ และค่า LI (ค่ากระแสที่ผ่านจุดวัดขณะใช้ย่านของการวัดความต้านทาน)
- 6) สเกลเอลวี (LV) โวลต์ (V) เป็นสเกลสำหรับอ่านค่าเมื่อใช้วัดค่า LV (ค่าแรงดันตกคร่อมจุดวัดขณะใช้ย่านของการวัดความต้านทาน)
- 7) สเกลดีบี (dB) เป็นสเกลสำหรับอ่านค่าเมื่อใช้วัดค่าอัตราขยายที่มีหน่วยเป็น เดซิเบล (dB)
- 8) เป็นแถบเงาทำด้วยโลหะมันวาว ช่วยในการอ่านค่าให้เที่ยงตรง โดยสังเกตจากเข็มมิเตอร์กับเงาของเข็มมิเตอร์ทับกันพอดี จึงเป็นการอ่านค่าที่ถูกต้องและแม่นยำที่สุด

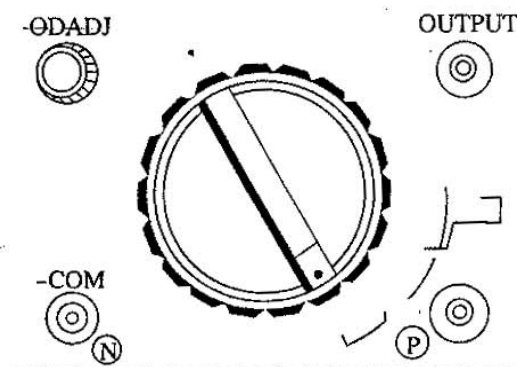
ข้อควรระวังในการใช้งานมัลติมิเตอร์

- 1) ก่อนทำการวัด ไม่ว่าจะทำการวัดในย่านใดก็ตาม ให้ทำการตรวจสอบย่านที่จะทำการวัดให้ตรงกับงานที่ใช้ในการวัดเสียก่อน
- 2) ห้ามใช้ย่านการวัดความต้านทาน ไปวัดจุดวัดที่มีแรงดันไฟตกคร่อมที่จุดวัดนั้น และห้ามนำไปใช้วัดแรงดัน หรือกระแสทุกชนิด เพราะจะทำให้มิเตอร์เสียหายได้
- 3) ขณะทำการวัดค่าความต้านทานในย่าน x1K หรือ x10K ห้ามมิให้จับปลายสายวัดส่วนที่เป็นตัวนำทั้งสองสาย เพราะจะทำให้ค่าที่อ่านได้จากการวัดมีค่าคลาดเคลื่อนต่ำกว่าค่าที่ปรากฏจริง เนื่องจากความต้านทานของร่างกายจะต่อในลักษณะขนานกับตัวต้านทานที่จุดวัดนั้น แต่ถ้าจับเพียงตัวนำสายเดียวจะไม่มีผลต่อการอ่านค่า
- 4) ในการวัดค่ากระแสแรงดันไฟตรงและแรงดันไฟสลับ รวมทั้งการวัดค่ากระแสไฟตรงต้องแน่นนอน ใจว่า ทำการวัดมีแรงดันไฟ หรือกระแสไฟไม่เกินย่านที่ตั้งไว้ และสำหรับวัดไฟตรงทั้งกระแสและแรงดันต้องแน่ใจว่าขั้วของสายวัดกับขั้วของจุดที่ต้องการวัดตรงกัน
- 5) ห้ามสัมผัสส่วนที่เป็นตัวนำของมิเตอร์ โดยจับสายวัดเฉพาะส่วนที่เป็นฉนวนหุ้มเท่านั้น ขณะทำการวัดกระแสหรือแรงดันไม่ว่าจะเป็นไฟตรงหรือไฟสลับ
- 6) ไม่ควรวางมิเตอร์ไว้ในบริเวณที่มีแสงแดดส่อง หรือบริเวณที่มีอุณหภูมิสูง หรือมีความชื้นสูง เพราะจะทำให้อายุการใช้งานมิเตอร์สั้นลง
- 7) พยายามอย่าให้มิเตอร์ถูกกระทบกระเทือน หรือหล่นจากที่สูง
- 8) เมื่อไม่ใช้มิเตอร์เป็นเวลานาน ๆ ควรถอดแบตเตอรี่ภายในมิเตอร์ออก
- 9) ควรวางมิเตอร์ในแนวราบ ถ้าต้องการอ่านค่าถูกต้องจากมิเตอร์
- 10) หลังการใช้งานทุกครั้ง ควรปิดสวิตช์ของมิเตอร์

การใช้งานมัลติมิเตอร์**1. การวัดความต้านทาน โดยอ่านค่าบนสเกลความต้านทาน ปฏิบัติดังนี้**

- 1) การตั้งย่านวัดของการวัดความต้านทาน
 - ย่านการวัดความต้านทานของมัลติมิเตอร์ ส่วนใหญ่มีดังนี้ คือ x1, x10, x1K, 10K ดัง

แสดงในรูป 3



รูป 3 การตั้งย่านการวัดที่ x1

รูป 3 แสดงการตั้งสวิตช์เลือกย่านการวัดของมิเตอร์ไว้ที่ x1 ถ้าบิตสวิตช์ขึ้นเป็นการตั้งที่ x10, x1K และ x10K ตามลำดับ ส่วนค่ามิลลิแอมป์ (mA) และค่าไมโครแอมป์ (μ A) ที่กำกับอยู่ที่ x1, x10, x1K และ x10K เป็นค่าของกระแสสูงสุด เช่น x1, 150 mA หมายความว่าที่ x1 เกิดกระแสขณะวัดสูงสุด 150 มิลลิแอมป์

- ก่อนวัดจะต้องตั้งย่านการวัดให้เหมาะสมกับค่าความต้านทานของจุดวัดจะทำให้ค่าที่อ่านได้จากการวัดมีความเที่ยงตรง หรือมีความแม่นยำสูง ดังตาราง 2

ตารางที่ 2 การตั้งย่านการวัดให้เหมาะสมต่อการวัดค่าความต้านทาน

ย่านการวัด	ค่าต่ำสุดและค่าสูงสุดที่ใช้วัดได้	ค่าที่ควรใช้วัด
x1	0.2 Ω - 2 K Ω	0 Ω - 50 Ω
x10	2 Ω - 20 K Ω	50 Ω - 2 K Ω
x1K	200 Ω - 2 M Ω	2 K Ω - 50 K Ω
x10K	200 K Ω - 20 M Ω	20 M Ω

- ถ้าเป็นจุดวัดที่ไม่ทราบค่าความต้านทานประมาณเท่าไร ให้ตั้งย่านการวัด x1 วัดก่อน ถ้าวัดแล้วเข็มมิเตอร์ไม่ขึ้นหรือขึ้นน้อย ก็เปลี่ยนไปใช้ย่านที่สูงขึ้นไป พยายามให้เข็มมิเตอร์อยู่กึ่งกลางหน้าปัด

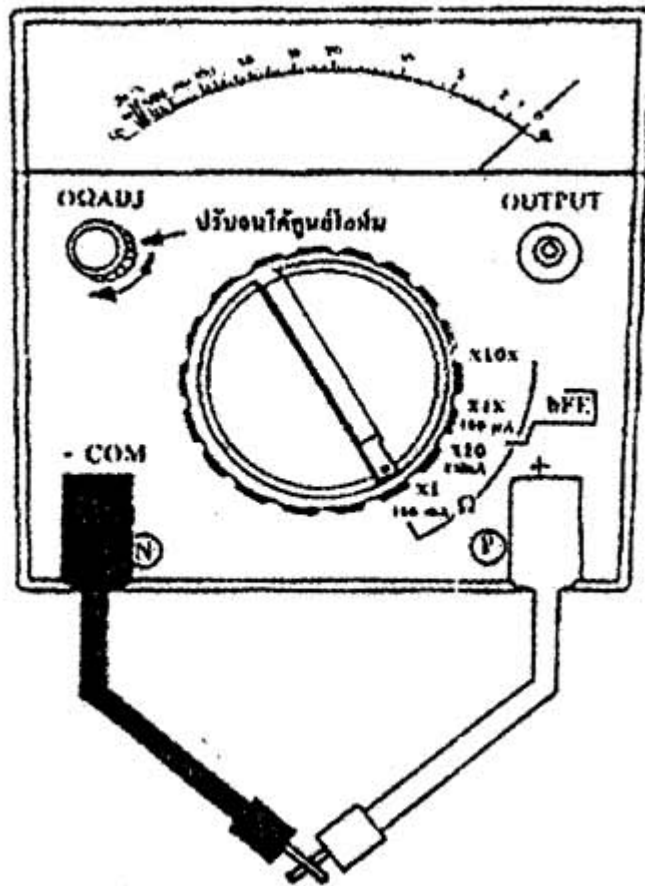
2) การวัดค่าความต้านทาน

- นำสายวัดสีแดงเสียบแจ็ก + และสายวัดสีดำเสียบแจ็ก - ของมิเตอร์

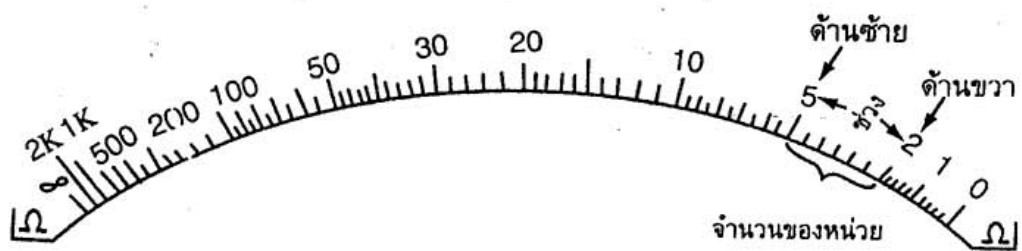
- ถ้าเป็นการวัดที่ต้องการทราบค่าความต้านทานที่ถูกต้องแน่นอนจะต้องทำการปรับศูนย์โอห์มก่อน โดยการนำปลายสายวัดทั้งสองมาแตะกัน จะทำให้เข็มมิเตอร์ขึ้นไปประมาณสุดสเกลด้านขวามือ แล้วทำการปรับปุ่ม 0 Ω แอดจัส (ADJ) จนเข็มมิเตอร์ชี้ไปที่ตำแหน่ง 0 Ω ในสเกลโอห์มพอดี และในระหว่างการวัด เมื่อจำเป็นต้องเปลี่ยนย่าน ความต้านทานให้สูงขึ้นหรือต่ำลง เพื่อให้เหมาะสมกับค่าความต้านทานของจุดวัดนั้น ต้องทำการปรับศูนย์โอห์มก่อนทำการวัดทุกครั้ง เพื่อให้ได้ค่าความต้านทานที่ถูกต้อง

- ถ้าเป็นการวัดที่ต้องการเพียงทราบค่าความต้านทานโดยประมาณจะไม่ทำการปรับศูนย์โอห์มก็ได้

- กรณีที่ไม่สามารถทำการปรับศูนย์โอห์มให้เข็มมิเตอร์ขึ้นถึง 0 Ω ได้ หากเป็นการใช้ย่าน x1, x10, x1K แสดงว่าแบตเตอรี่ชุด 3 V ในวงจรเสื่อม และถ้าเป็นการใช้ย่าน x10K แสดงว่าแบตเตอรี่ชุด 9 V ในวงจรเสื่อม ให้ทำการเปลี่ยนแบตเตอรี่ที่เสื่อมใหม่



รูป 4 แสดงการปรับศูนย์โอห์ม



รูป 5 แสดงสเกลวัดความต้านทานบนหน้าปัด

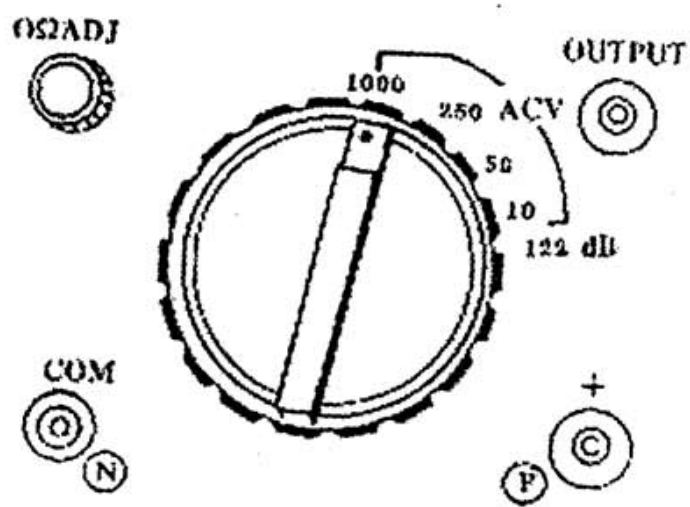
ตาราง 3 แสดงการเทียบหาค่าในแต่ละช่องย่อยของช่วงต่าง ๆ บนสเกลความต้านทาน

ช่วงด้านขวา ด้านซ้าย	จำนวนช่องย่อย	ค่าของแต่ละช่องย่อย
0 – 1	5	0.2
1 – 2	5	0.2
2 – 5	6	0.5
5 – 10	10	0.5
10 – 20	10	1
20 – 30	5	2
30 – 50	10	2
50 – 100	10	5
100 – 200	5	20
200 – 500	6	50
500 – 1K	1	500
1K – 2K	1	1000
2K - ∞	1	มากเป็นอนันต์

2. การวัดแรงดันไฟสลับ (ACV) ปฏิบัติดังนี้

1) การตั้งย่านแรงดันไฟสลับ

- ย่านแรงดันไฟสลับของมัลติมิเตอร์ โดยทั่วไปมี 4 ย่าน คือ AC 10 V, AC 50 V, AC 250 V, AC 1000 V ดังแสดงในรูป 2.6



รูป 6 แสดงการตั้งย่าน AC 1000 V ของมิเตอร์

รูป 6 แสดงการตั้งสวิตช์เลือกย่านการวัดของมิเตอร์ไว้ที่ AC 1000 V ถ้าปิดสวิตช์ลงมาเป็นการตั้งย่านไว้ที่ AC 250 V, AC 50 V และ AC 10 V ตามลำดับ ส่วนค่าดีบี (dB) ที่กำกับไว้อยู่ที่ย่าน AC 10 V นั้น ใช้เพื่อวัดค่าเดซิเบล

- ก่อนวัดจะต้องตั้งย่านให้เหมาะสมกับแรงดันไฟของวงจรวัดนั้น เพื่อให้ให้อ่านได้มีความเที่ยงตรงและแม่นยำมากที่สุด ดังตาราง 4

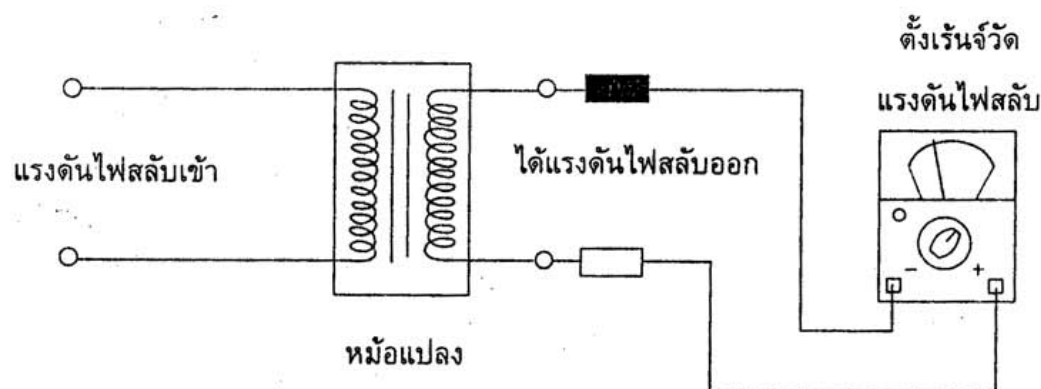
ตาราง 4 การตั้งย่านการวัดให้เหมาะสมต่อการวัดค่าแรงดันไฟสลับ

ย่านการวัด	ค่าสูงสุดที่ใช้วัดได้	ค่าที่ควรใช้วัด
AC 10 V	10 V	0 V – 10 V
AC 50 V	50 V	10 V – 50 V
AC 250 V	250 V	50 V – 250 V
AC 1000 V	1000 V	

- ถ้าเป็นจุดที่ไม่ทราบค่าว่ามีแรงดันไฟอยู่ที่จุดจะทำการวัดนั้นเท่าใดก็ให้ตั้งย่านที่สูงไว้ก่อน เมื่อทำการวัดแล้วปรากฏว่า เข็มของมิเตอร์เบี่ยงเบนไปทางขวาเล็กน้อยหรือไม่กระดิกเลย ก็ค่อยเปลี่ยนลงมาวัดในย่านที่ต่ำกว่าลงมาตามลำดับ

2) การวัดค่าแรงดันไฟสลับ

- นำปลายสายวัดทั้งสองวัดคร่อมจุดวัดแบบขนาน ดังแสดงในรูป 2.7 โดยสายวัดใดจะวัดขั้วใดก็ได้เฉพาะแรงดันไฟสลับเท่านั้น ถ้าเป็นไฟตรงต้องดูขั้วบวกและลบให้ถูกต้องด้วย



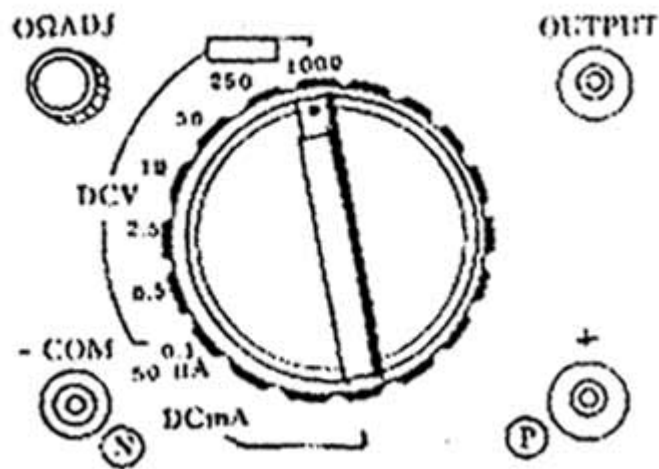
รูป 7 แสดงการวัดแรงดันไฟสลับคร่อมจุดวัดแบบขนาน

หมายเหตุ การทดลองที่ 2 ยังไม่ต้องทำการวัดไฟกระแสสลับ เนื่องจาก อุปกรณ์ค่อนข้างจำกัด

2. การวัดแรงดันไฟตรง (DCV) ปฏิบัติดังนี้

1) การตั้งย่านของการวัดแรงดันไฟตรง

- ย่านแรงดันไฟตรงของมัลติมิเตอร์ส่วนใหญ่จะมีอยู่ 7 ย่านด้วยกัน คือ DC 0.1 V, DC 0.5 V, DC 2.5 V, DC 10 V, DC 50 V, DC 250 V, DC 1000 V ดังรูป 8



รูป 8 การตั้งย่าน DC 1000 V ของมิเตอร์

- รูป 8 แสดงการตั้งสวิตช์เลือกย่านการวัดของมิเตอร์ไว้ที่ DC 1000 V ถ้าปิดสวิตช์ลงมา เป็นการตั้งย่านไว้ที่ DC 250 V, DC 50 V, DC 10 V, ตามลำดับ อักษร PROB ที่กำกับไว้อยู่ที่ย่าน DC 1000 V นั้นใช้เมื่อจะวัดค่าแรงดันไฟตรงที่มีค่าสูง และที่ย่าน DC 0.1 V จะอยู่ตำแหน่งเดียวกับ DC 50 μ A
- ก่อนวัดจะต้องตั้งย่านให้เหมาะสมกับแรงดันไฟของวงจรวัดนั้น เพื่อให้ให้อ่านได้ดีความเที่ยงตรงและแม่นยำมากที่สุด ดังตาราง 5

ตาราง 5 การตั้งย่านการวัดให้เหมาะสมต่อการวัดค่าแรงดันไฟตรง

ย่านการวัด	ค่าสูงสุดที่ใช้วัดได้	ค่าที่ควรใช้วัด
DC 0.1 V	1.0 V	0 V – 0.1 V
DC 0.5 V	0.5 V	1.0 V – 0.5 V
DC 2.5 V	2.5 V	0.5 V – 2.5 V
DC 10 V	10 V	2.5 V – 10 V
DC 50 V	50 V	10 V – 50 V
DC 250 V	250 V	50 V – 250 V
DC 1000 V	1000 V	250 V – 1000 V

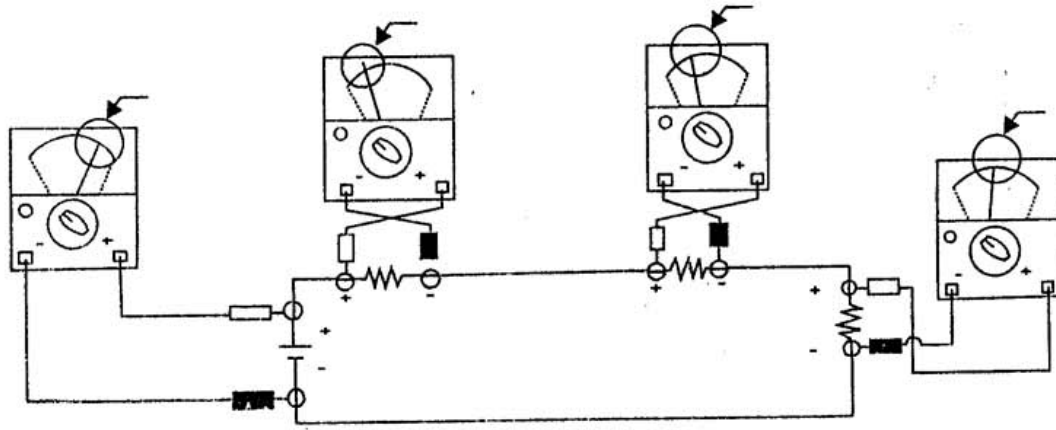
- ถ้าเป็นจุดที่ไม่ทราบค่าว่ามีแรงดันไฟอยู่ที่จุดจะทำการวัดนั้นเท่าใดก็ให้ตั้งย่านที่สูงไว้ก่อน เมื่อทำการวัดแล้วปรากฏว่า เข็มของมิเตอร์เบี่ยงเบนไปทางขวาเล็กน้อยหรือไม่กระดิกเลย ก็ค่อยเปลี่ยนลงมาวัดในย่านที่ต่ำกว่าลงมาตามลำดับ

2) การวัดค่าแรงดันไฟตรง

- นำสายวัดสีแดงเสียบแจ็ก + และสายวัดสีดำเสียบแจ็ก - ของมิเตอร์นำปลาย สายวัดทั้งสองวัดคร่อมจุดวัดแบบขนาน ดังรูป 2.9 โดยสายจะต้องต่อสายวัดให้ตรงกับขั้วไฟของจุดวัดนั้นด้วย คือ สาย

วัดบวกต่อที่ขั้วบวก แลหะสายวัดลบต่อที่ขั้วลบของจุดวัด ถ้าต่อสายวัดกลับขั้วกันจะทำให้เข็มมิเตอร์เบี่ยงเบนมาทางซ้ายมืออาจทำให้มิเตอร์เสียหายได้ โดยเฉพาะกรณีที่วัดไฟค่ามาก ๆ

- การตั้งย่าน DCV ไปยังจุดวัดที่มี ACV เข็มของมิเตอร์จะไม่เกิดการเบี่ยงเบนและถ้าค่า ACV ที่จุดวัดมีค่าสูงกว่าย่านการวัดมาก อาจทำให้มิเตอร์เสียหายได้



รูป 9 แสดงการวัดแรงดันไฟตรงคร่อมตัวต้านทานที่ต่อเป็นวงจรรอนุกรม

ตอนที่ 1 การวัดและการอ่านค่าความต้านทาน

ความต้านทานของตัวต้านทาน (R) สามารถหาได้จากสมการ

$$V = IR \quad (1)$$

เมื่อ V เป็นความต่างศักย์ที่ตกคร่อมตัวต้านทาน

I เป็นกระแสที่ไหลผ่านตัวต้านทาน

สำหรับตัวนำที่เป็นโลหะที่อยู่ภายใต้ภาวะปกติแล้ว V เป็นสัดส่วนโดยตรงกับ I และ R ก็จะมีค่าคงที่ ซึ่งเป็นไปตามกฎของโอห์มนั่นเอง

เมื่อใช้ Digital Meter ทำหน้าที่เป็น Ohm Meter ไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ของ Meter ให้แรงเคลื่อนที่มีค่าน้อยคร่อมตัวต้านทานที่เรากำลังวัด

ข้อห้าม อย่าใช้ Ohm Meter วัดความต้านทานขณะที่วงจรมีกระแสไฟฟ้า

อุปกรณ์การทดลอง

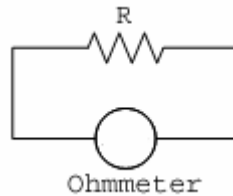
1. Digital Meter 1 เครื่อง
2. Analog Multimeter (แบบเข็ม) 1 เครื่อง
3. Resister 10 ตัว (มีค่าน้อยเป็น โอห์ม จนถึงเมกกะโอห์ม)
4. แผงวงจรสำเร็จ
5. สายไฟฟ้า

วิธีการทดลอง

1.ทำความเข้าใจเกี่ยวกับการใช้ Digital Meter ในเรื่องต่อไปนี้

1.1 ปุ่มสวิตช์ต่างๆ เช่น Power, DC & AC, Auto และปุ่มตั้งช่วงอื่นๆ เช่น Volt, Amp..

- 1.2 การคำนวณหาค่าความคลาดเคลื่อนจากการวัด ในกรณีตั้งช่วงวัด Auto และช่วงวัดอื่นๆ ซึ่งดูได้จากคู่มือของ Digital Multimeter
2. ตั้ง Digital Meter เป็น DC และตั้งค่าวัดเป็น โอห์มมิเตอร์ แล้วหาความต้านทาน Carbon Resister 5 ตัว โดยต่อวงจร ดังรูป 10 และอ่านค่าความต้านจาก Code ของแถบสีบนตัวต้านทานเทียบกัน
3. ใช้มัลติมิเตอร์แบบเข็มชี้วัดค่า R เทียบอีกค่าหนึ่ง



รูป 10

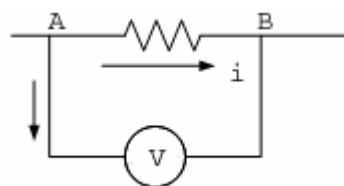
ตอนที่ 2 การวัดกระแสไฟฟ้า (I) และความต่างศักย์ไฟฟ้า (V)

ตอนที่ 2.1 การวัดกระแส เครื่องมือใช้วัดกระแสไฟฟ้า คือ แอมมิเตอร์ (Ammeter) ซึ่งต่ออนุกรมกับวงจรดังรูป 11 และวิธีนี้ในอุดมคติ แอมมิเตอร์ ควรจะมีความต้านทานเป็นศูนย์



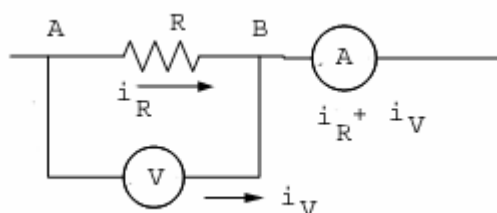
รูป 11

ตอนที่ 2.2 การวัดความต่างศักย์ไฟฟ้า ใช้โวลต์มิเตอร์ (Volt meter) วัดความต่างศักย์ระหว่าง 2 จุดที่คร่อม Component โดยการต่อขนานกับวงจรดังรูป 12 และวิธีนี้ในอุดมคติโวลต์มิเตอร์ ควรจะมีความต้านทานภายในค่าสูง ๆ

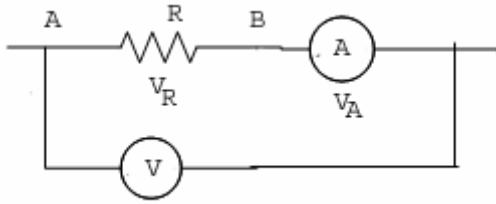


รูป 12

เมื่อวัดกระแส (I) และความต่างศักย์ไฟฟ้า (V) ที่ตกคร่อม R พร้อมๆ กัน เพื่อหาความต้านทานหรือกำลังไฟฟ้าที่ใช้ไป มี 2 วิธีที่เป็นไปได้ดังนี้



รูป 13 (a)



รูป 13 (b)

จากรูป 13 วงจรในรูป (a) โวลต์มิเตอร์วัดแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อม R ได้ถูกต้อง แต่แอมมิเตอร์จะวัดกระแสไฟฟ้าซึ่งเป็นผลรวมของกระแสที่ผ่านตัวต้านทาน (I_R) และกระแสที่ผ่านตัวโวลต์มิเตอร์ (I_V) รูป 13b แอมมิเตอร์วัดกระแสได้ถูกต้อง แต่แรงดันไฟฟ้าที่โวลต์มิเตอร์วัดได้ จะเป็นผลรวมของแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมตัวต้านทานกับแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมแอมมิเตอร์ ในการนำไปใช้งานจะเลือกใช้วงจรในรูป 13a หรือ 13b นั้น มีหลักอยู่ว่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากการวัดจะต้องน้อยที่สุด ซึ่งขึ้นอยู่กับค่า R ที่ใช้ ขึ้นอยู่กับความต้านทานภายในโวลต์มิเตอร์ (R_V) ความต้านทานภายในของแอมมิเตอร์ (R_A) ความคลาดเคลื่อนของค่า R ที่เกิดจากการวัดของแต่ละวิธีหาได้ดังนี้

วงจรในรูป 13a โวลต์มิเตอร์วัด V_R ได้ถูกต้อง แอมมิเตอร์วัดกระแสได้ $I_R + I_V$

$$\frac{\Delta R}{R} = \frac{I_V}{I_R} = \frac{V_R/R_V}{V_R/R} = \frac{R}{R_V}$$

ค่า $\Delta R / R$ จะน้อยที่สุดเมื่อ R มีค่าน้อย ๆ หรือเข้าใกล้ศูนย์

วงจรในรูป 13b โวลต์มิเตอร์วัดแรงดันไฟฟ้าได้ $V_R + V_A$ แอมมิเตอร์วัดกระแสได้ I_R ถูกต้อง

$$\frac{\Delta R}{R} = \frac{V_A}{V_R} = \frac{I_R R_A}{I_R R} = \frac{R_A}{R}$$

ค่า $\Delta R / R$ จะน้อยที่สุดเมื่อ R มีค่ามาก ๆ หรือเข้าใกล้อนันต์

จากการหาความคลาดเคลื่อนดังกล่าวนี้ อาจสรุปได้ว่า วงจรในรูป 4a เหมาะกับวงจรที่ R มีค่าน้อย ๆ สำหรับวงจรในรูป 4b เหมาะที่จะ ใช้กับ R ที่มีค่ามาก คำว่า “มาก” หรือ “น้อย” ดูที่

$$R = (R_A R_V)^{1/2} \quad (2)$$

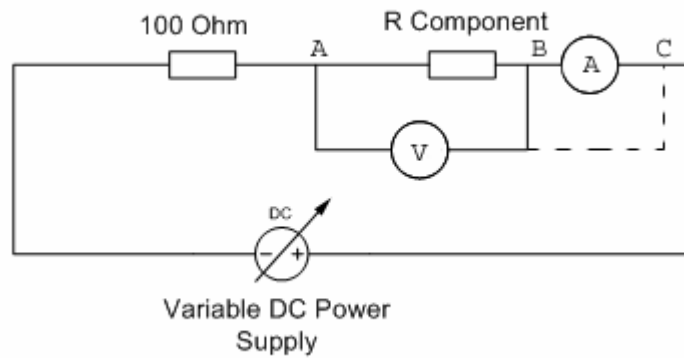
โดยที่ R มีค่าน้อยเมื่อ $R \ll (R_A R_V)^{1/2}$ และ R มีค่ามากเมื่อ $R \gg (R_A R_V)^{1/2}$

หมายเหตุ โดยปกติแล้ว Digital Meter เมื่อใช้เป็น Volt Meter มีค่าความต้านทานภายในประมาณ $1 \text{ M}\Omega$

และถ้าใช้เป็น Ammeter ความต้านทานภายในมีเล็กน้อย เมื่อช่วงวัดอยู่ระหว่าง $200 \mu\text{A} - 200 \text{ mA}$

อุปกรณ์การทดลอง

1. แหล่งจ่ายไฟตรง 1 เครื่อง
2. Resister ขนาดประมาณ 100Ω 1 ตัว
3. Resister ที่ใช้เป็น Component ของวงจร 2 ตัว จากตอนที่ 1 (ตัวที่ 1 มีค่าน้อยมาก ตัวที่ 2 มีค่ามากที่สุด)
4. สายไฟจำนวนหนึ่ง
5. Protoboard หรือแผงวงจรสำเร็จรูป



วิธีการทดลอง

1. ต่อวงจรดังรูป 14 เลือกตัวต้านทานตัวที่มีค่าสูงสุดจากตอนที่ 1 เป็น Component ข้อควรจำ เวลาต่อวงจรต้องแน่ใจว่า Power Supply ต้อง ปิด อยู่
2. ทดลองตามวงจรที่ 1 (รูป 13 a)โดยปรับค่า Voltage จาก Power Supply จากค่าน้อยๆ ขึ้นไป หามาก แต่ไม่เกิน 12 โวลต์ (ครึ่งละประมาณเท่า ๆ กัน) แล้วอ่านค่า I และ V จากมิเตอร์ทั้งสองบันทึกค่าลงในตารางบันทึกข้อมูล จากนั้นย้ายสายวัดของโวลต์มิเตอร์จากตำแหน่ง B ไปยังตำแหน่ง C ดังรูป 13b อ่านค่า I และ V บันทึกค่าลงในตาราง แล้วนำค่าที่ได้ไปเขียนกราฟระหว่าง I และ V ให้ I เป็นแกนนอน และ V เป็นแกนตั้ง จากนั้นคำนวณหาความชัน (Slope) ซึ่งเป็นค่าความต้านทานของ Component (R) แล้วนำไปเทียบกับค่าที่วัดได้ในตอนที่ 1
3. ทดลองเช่นเดียวกับข้อที่ 1 และ 2 แต่ใช้ตัวต้านทานค่าน้อยที่สุด แล้วเปรียบเทียบค่าที่ได้จากข้อ 1 และข้อ 2
4. ให้ประมาณความเหมาะสมระหว่าง Component ที่ใช้แต่ละตัวกับวงจรทั้งสองโดยอาศัยสมการที่ (2) จากค่าความต้านทานที่ได้จากกราฟ

ใบบันทึกผลการทดลอง การทดลองที่ 2 วงจรไฟฟ้ากระแสตรง

ชื่อผู้ทดลอง 1. รหัส กลุ่ม

ชื่อผู้ร่วมทดลอง 2. รหัส กลุ่ม

3. รหัส กลุ่ม

4. รหัส กลุ่ม

ทำการทดลองวันที่ เวลา.....

ผลการทดลอง

ตอนที่ 1 การอ่านค่าความต้านทาน

ตัวต้านทาน ตัวที่	สีที่ปรากฏ	ก. อ่านจาก แถบสี Ω	ข. วัดจาก Digital Meter Ω	ค. วัดจาก Analog Multimeter Ω	% ต่างต่าง ก,ข	% ต่างต่าง ก,ค	% ต่างต่าง ข,ค
1							
2							
3							
4							
5							

ตอนที่ 2 การวัดกระแสและความต่างศักย์

บันทึกค่าความต้านทานที่เลือกใช้ (R_1 ค่าน้อยสุด และ R_2 มากสุด)

อ่านจากแถบสี หรือสัญลักษณ์ $R_1 = \dots\dots\dots$ $R_2 = \dots\dots\dots$

วัดด้วย Digital meter $R_1 = \dots\dots\dots$ $R_2 = \dots\dots\dots$

วัดด้วย Analog meter $R_1 = \dots\dots\dots$ $R_2 = \dots\dots\dots$

วงจรที่ 1 $R_1 = \dots\dots\dots$ (R น้อย)

แรงเคลื่อนไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายไฟ	วัดกระแสและความต่างศักย์แบบที่ 1				วัดกระแสและความต่างศักย์แบบที่ 2			
	I	ช่วงการวัด I	V	ช่วงการวัด V	I	ช่วงการวัด I	V	ช่วงการวัด V

วงจรที่ 2 $R_2 = \dots\dots\dots$ (R มาก)

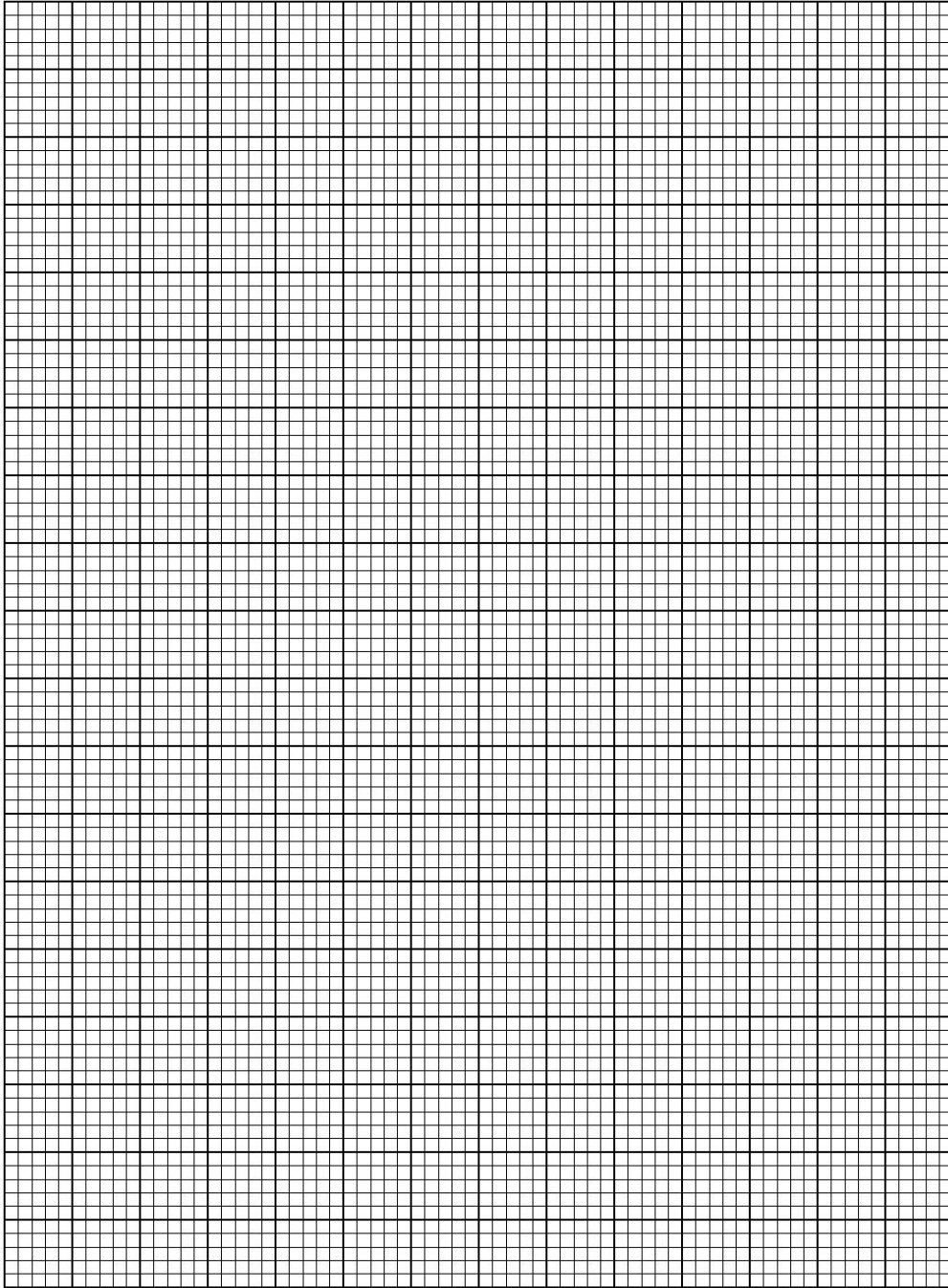
แรงเคลื่อนไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายไฟ	วัดกระแสและความต่างศักย์แบบที่ 1				วัดกระแสและความต่างศักย์แบบที่ 2			
	I	ช่วงการวัด I	V	ช่วงการวัด V	I	ช่วงการวัด I	V	ช่วงการวัด V

ลงชื่อ.....อาจารย์

วิเคราะห์ผลการทดลอง

กราฟแสดงความสัมพันธ์ค่ากระแสและความต่างศักย์ ของวงจรที่ 1 (R น้อย)

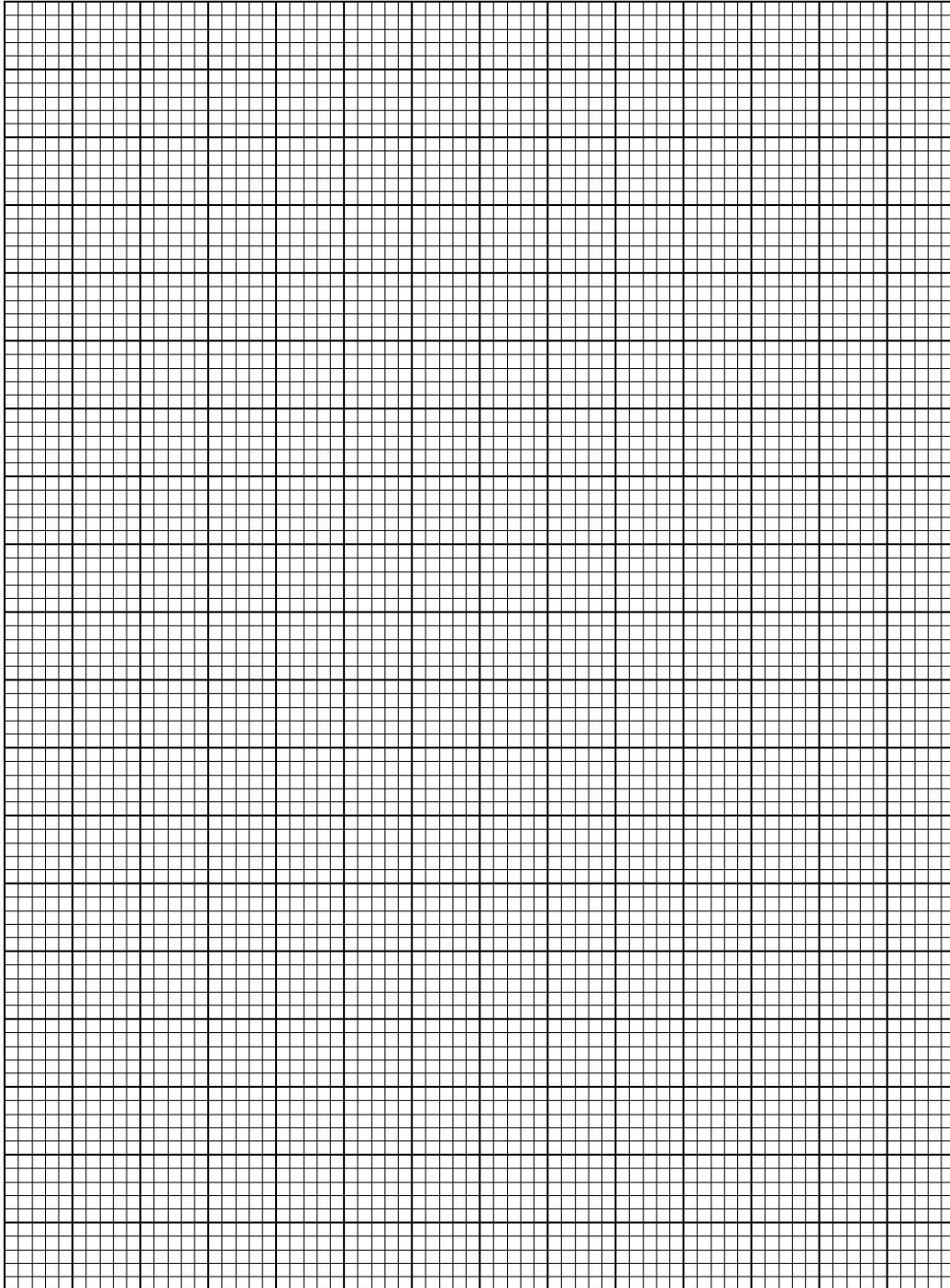
(กราฟมี 2 เส้นบันทึกกราฟละสี)



ลงชื่อ.....อาจารย์

กราฟแสดงความสัมพันธ์ค่ากระแสและความต่างศักย์ ของวงจรที่ 2 (R มาก)

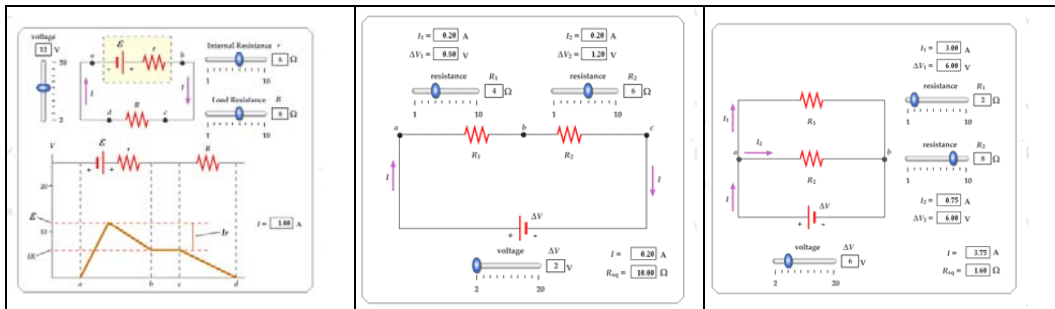
(กราฟมี 2 เส้นบันทึกกราฟละสี่)



ลงชื่อ.....อาจารย์

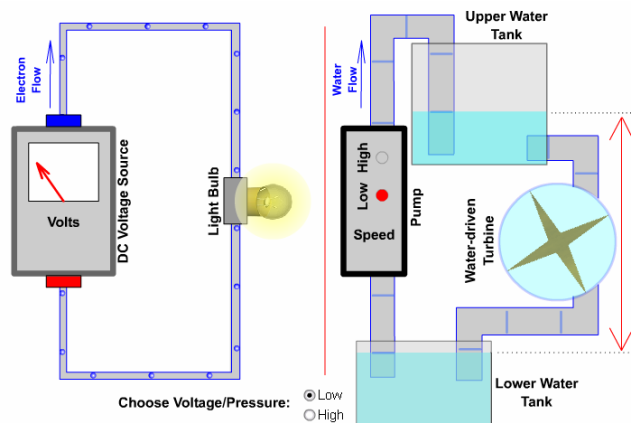
ค้นคว้าเพิ่มเติมที่

<http://203.158.100.140/labphysics2>



การทดลองเรื่อง วงจรไฟฟ้ากระแสตรง

ธรรมชาติการไหลของกระแสไฟฟ้า เปรียบเทียบได้กับการไหลของกระแสในน้ำ และความดันไฟฟ้าสามารถเปรียบเทียบได้กับแรงดันของน้ำ เมื่อกระแสไฟฟ้าวิ่งไหลผ่านทางแยก มันจะแยกออกไปตามท่อต่างๆ เป็นไปตามกฎของของไหล ท่านอยากทราบความมหัศจรรย์นี้ ก็ทดลองคลิกเข้าไปครับ



การเปรียบเทียบการไหลของกระแสไฟฟ้าที่เป็นกระแสดตรงกับการไหลของน้ำที่เกิดจากการบีบ โดยที่ แมตเตอร์ เทียบได้กับบีมหลอดไฟ เทียบได้กับ กังหันเทอร์ไบน์สายไฟเทียบได้กับท่อน้ำ เป็นต้น

 การเรียนรู้การสอนฟิสิกส์ 1 	
1. การวัด	2. เวกเตอร์
3. การเคลื่อนที่แบบหนึ่งมิติ	4. การเคลื่อนที่บนระนาบ
5. กฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน	6. การประยุกต์กฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน
7. งานและพลังงาน	8. การดลและโมเมนตัม
9. การหมุน	10. สมดุลของวัตถุแข็งเกร็ง
11. การเคลื่อนที่แบบคาบ	12. ความยืดหยุ่น
13. กลศาสตร์ของไหล	14. ปริมาณความร้อน และ กลไกการถ่ายโอนความร้อน
15. กฎข้อที่หนึ่งและสองของเทอร์โมไดนามิก	16. คุณสมบัติเชิงโมเลกุลของสสาร
17. คลื่น	18. การสั่น และคลื่นเสียง
 การเรียนรู้การสอนฟิสิกส์ 2 	
1. ไฟฟ้าสถิต	2. สนามไฟฟ้า
3. ความกว้างของสายฟ้า	4. ตัวเก็บประจุและการต่อตัวต้านทาน
5. ศักย์ไฟฟ้า	6. กระแสไฟฟ้า
7. สนามแม่เหล็ก	8. การเหนี่ยวนำ
9. ไฟฟ้ากระแสสลับ	10. ทรานซิสเตอร์
11. สนามแม่เหล็กไฟฟ้าและเสาอากาศ	12. แสงและการมองเห็น
13. ทฤษฎีสัมพัทธภาพ	14. กลศาสตร์ควอนตัม
15. โครงสร้างของอะตอม	16. นิวเคลียร์
 การเรียนรู้การสอนฟิสิกส์ทั่วไป 	
1. จลศาสตร์ (kinematic)	2. จลพลศาสตร์ (kinetics)
3. งานและโมเมนตัม	4. ซิมเปิลฮาร์โมนิก คลื่น และเสียง
5. ของไหลกับความร้อน	6. ไฟฟ้าสถิตกับกระแสไฟฟ้า
7. แม่เหล็กไฟฟ้า	8. คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ากับแสง
9. ทฤษฎีสัมพัทธภาพ อะตอม และนิวเคลียร์	

