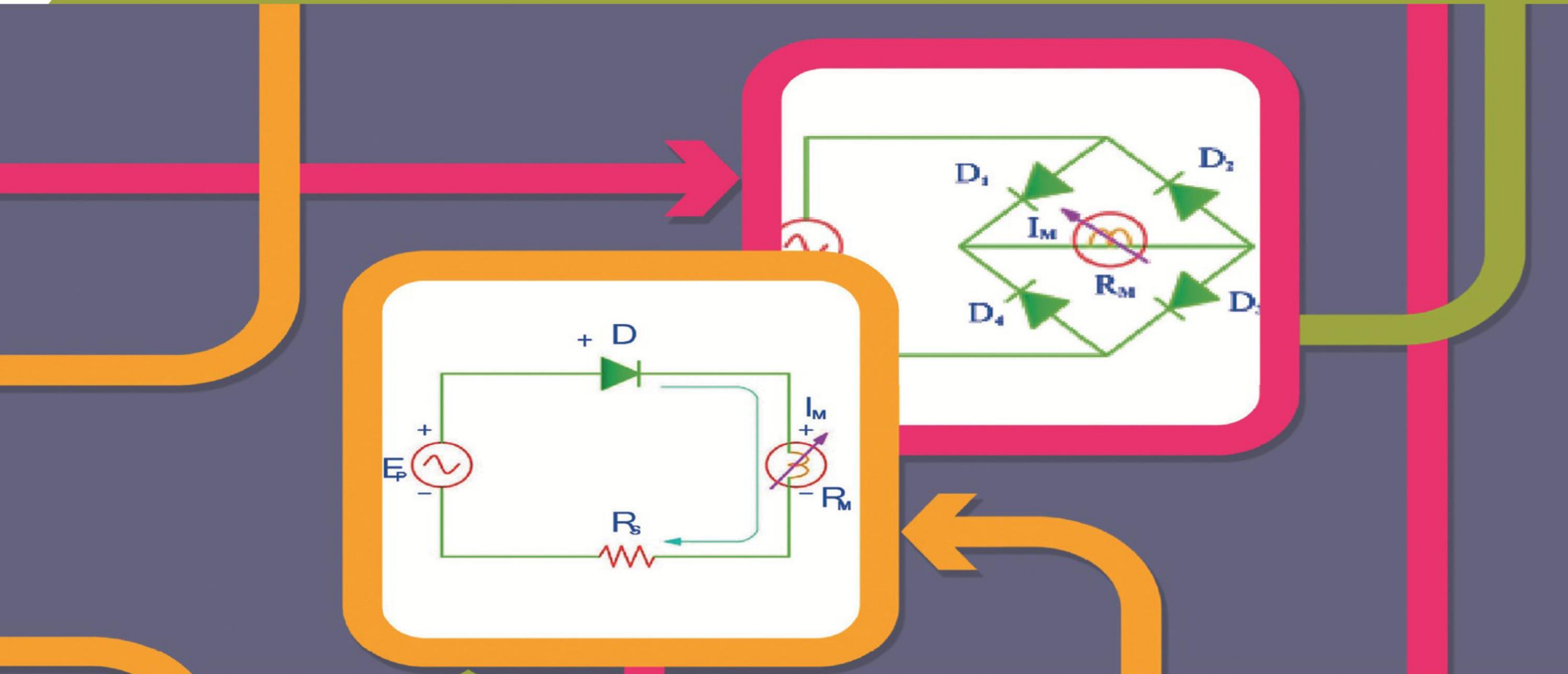
หน่วยที่ 6

เครื่องวัดไฟฟ้ากระแสสลับ



หัวข้อเรื่อง (Topics)

3.1 เครื่องวัดไฟฟ้าแบบเรียงกระแสไฟฟ้า

3.2 เครื่องวัดไฟฟ้าแบบอิเล็กโทรไดนาโมมิเตอร์

3.3 เครื่องวัดไฟฟ้าแบบแผ่นเหล็กเคลื่อนที่

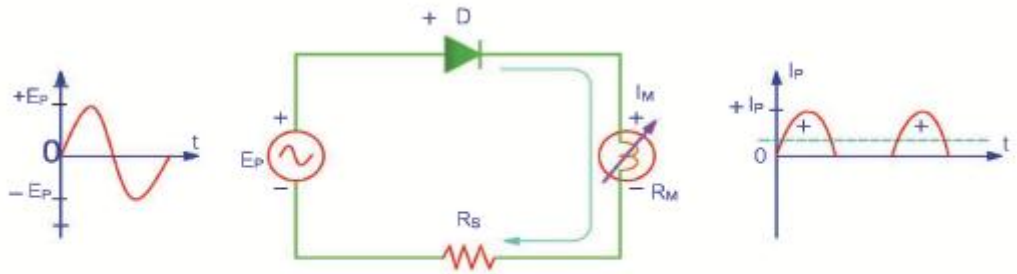
3.4 เครื่องวัดไฟฟ้าแบบเทอร์มอคัปเปิล

3.5 เครื่องวัดไฟฟ้าแบบไฟฟ้าสถิต

3.1 เครื่องวัดไฟฟ้าแบบเรียงกระแสไฟฟ้า

เครื่องวัดไฟฟ้าแบบเรียงกระแสไฟฟ้า (Rectifier Instrument) เมื่อจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับเข้าไปที่ขดลวดเคลื่อนที่ (PMMC) จะทำให้ทิศทางเกิดการบ่ายเบนของเข็มชี้ย้อนกลับไปกลับมา ตามการเปลี่ยนแปลงของรูปคลื่นไซน์ (Sine Wave) การย้อนกลับไปกลับมาเร็วมากจนมองเห็นว่าเข็มชี้เกิดการสั่น ดังนั้นจะต้องทำการเปลี่ยนไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรงก่อน โดยใช้อุปกรณ์ในการเรียงกระแสไฟฟ้า (Rectifier) นั่นคือ ไดโอดซึ่งสามารถทำการเรียงกระแสไฟฟ้าได้ 2 แบบ ดังนี้ แบบการเรียงกระแสไฟฟ้าครึ่งรูปคลื่น (Half–Wave Rectifier) แบบการเรียงกระแสไฟฟ้าเต็มรูปคลื่น (Full–WaveRectifier)

3.1.1 เครื่องวัดแบบเรียงกระแสครึ่งรูปคลื่น (Half–Wave Rectifier)



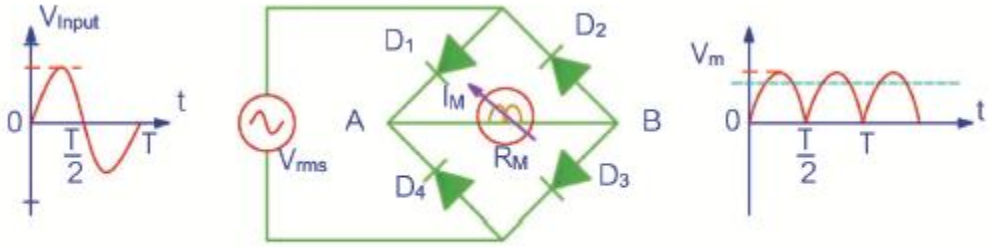
รูปที่ 3.1 เครื่องวัดแบบการเรียงกระแสไฟฟ้าครึ่งรูปคลื่น

จากรูปที่ 3.1 เมื่อนำไดโอดมาต่ออนุกรมเข้ากับขดลวดเคลื่อนที่ เพื่อทำการเปลี่ยนไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรง โดยสามารถอธิบายได้ดังนี้

เมื่อรูปคลื่นไฟฟ้ากระแสสลับในซีกบวกไหลผ่านไดโอด จะเป็นการได้รับการไบอัสตรงทำให้ไดโอดสามารถนำกระแสไฟฟ้าได้ สัญญาณทางด้านเอาต์พุตจึงมีแรงดันไฟฟ้า (มีรูปคลื่นเกิดขึ้น) เมื่อรูปคลื่นไฟฟ้ากระแสสลับในซีกลบไหลผ่านไดโอด เป็นการได้รับไบอัสกลับ ทำให้ไดโอดไม่สามารถนำกระแสได้จึงไม่มีสัญญาณของแรงดันไฟฟ้าทางเอาต์พุต

สรุปว่า ไดโอดจะสามารถนำกระแสได้เฉพาะรูปคลื่นในซีกบวกเท่านั้น ซึ่งเป็นการเรียงแบบครึ่งรูปคลื่น (Half–Wave Rectifier) เครื่องวัดที่ใช้หลักการนี้เรียกว่า “เครื่องวัดไฟฟ้าเรียงกระแสแบบครึ่งรูปคลื่น”

3.1.2 เครื่องวัดแบบเรียงกระแสเต็มรูปคลื่น (Full–Wave Rectifier)



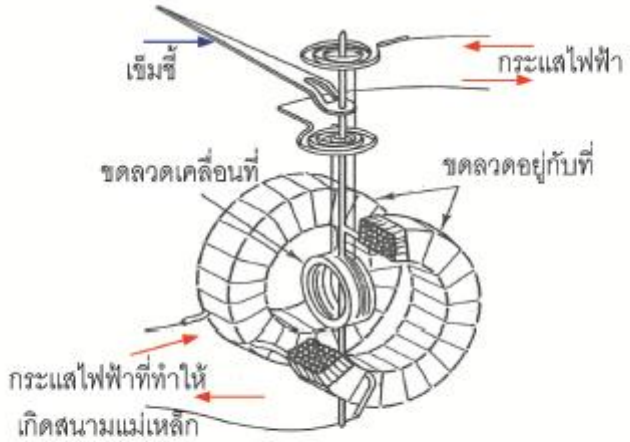
รูปที่ 3.2 เครื่องวัดแบบการเรียงกระแสเต็มรูปคลื่น

จากรูปที่ 3.2 เมื่อรูปคลื่นสัญญาณไซน์ (Sine Wave) ในซีกบวกเข้ามา ที่จุด A สัญญาณจะเป็นบวก + จุด B เป็นสัญญาณลบ –ไดโอด D1, D3 จะได้รับไบอัสตรงทำให้มีแรงดันไฟฟ้า (รูปคลื่นสัญญาณทางด้านเอาต์พุต) เมื่อรูปคลื่นสัญญาณไซน์ (Sine Wave) ในซีกลบกลับมา ที่จุด A มีค่าเป็นลบ –ที่จุด B มีค่าเป็นบวก + ไดโอด D2, D4 ได้รับการไบอัสตรง ทำให้เกิดมีแรงดันไฟฟ้า (รูปคลื่นสัญญาณทางด้านเอาต์พุต) ดังรูปที่ 3.2

หลักการทำงานเช่นนี้เรียกว่าเป็นการเรียงกระแสแบบเต็มรูปคลื่น (Full–Wave Rectifier) เครื่องวัดที่ใช้หลักการนี้เรียกว่า เครื่องวัดแบบเรียงกระแสเต็มคลื่น

3.2 เครื่องวัดไฟฟ้าแบบอิเล็กโทรไดนาโมมิเตอร์

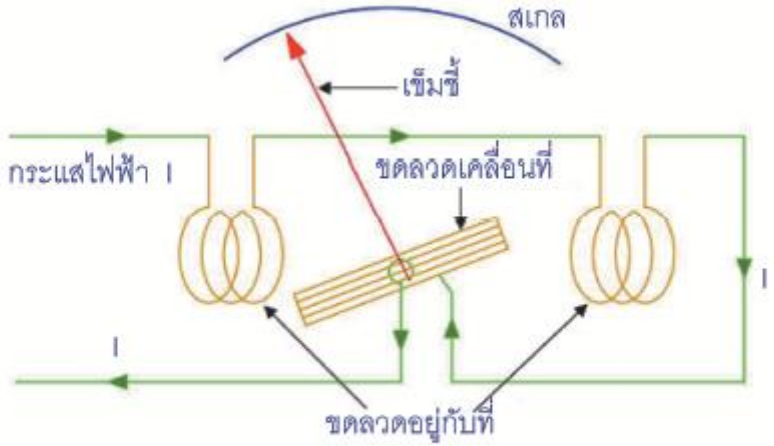
เครื่องวัดไฟฟ้าแบบอิเล็กโทรไดนาโมมิเตอร์ (Electrodynamometer) มีโครงสร้างเหมือนกับแบบขดลวดเคลื่อนที่ (PMMC) แต่ทำการเปลี่ยนจากแม่เหล็กถาวรเป็นแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งแยกออกเป็น 2 ชุด ขดลวดชุดที่อยู่กับที่เรียกว่า “ขดกระแสไฟฟ้า” ขดลวดเคลื่อนที่เรียกว่า “ขดแรงดันไฟฟ้า”



รูปที่ 3.3 โครงสร้างของเครื่องวัดไฟฟ้าแบบอิเล็กโทรไดนาโมมิเตอร์

3.2.1 หลักการทำงาน

หลักการทำงานของเครื่องวัดไฟฟ้าแบบอิเล็กโทรไดนาโมมิเตอร์ ดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 การทำงานของเครื่องวัดไฟฟ้าแบบอิเล็กโทรไดนาโมมิเตอร์

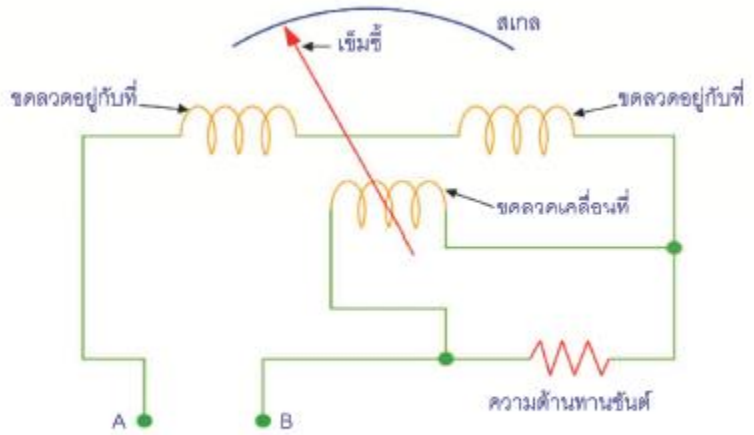
จากรูปที่ 3.4 จะเห็นว่ามีการต่อขดลวดเคลื่อนที่อนุกรมกับขดลวดอยู่กับที่เพื่อให้ทิศทางของสนามแม่เหล็กไปในทิศทางเดียวกัน

เมื่อทำการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้ไหลผ่านขดลวดอยู่กับที่ ทำให้เกิดการสร้างสนามแม่เหล็กขึ้น เป็นผลให้ขดลวดเคลื่อนที่สร้างสนามแม่เหล็กขึ้นมารอบ ๆ ขดลวดเคลื่อนที่ และมีกระแสไฟฟ้าส่วนหนึ่งไหลผ่านขดลวดเคลื่อนที่ ทำให้เกิดแรงบิดบ่ายเบนที่มีอำนาจชนะแรงสปริงต้านไว้เป็นผลให้เข็มชี้เคลื่อนที่ไปและหยุดชี้ค่าที่ตำแหน่งตามปริมาณกระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้ขดลวด

3.2.2 การนำไปใช้งาน

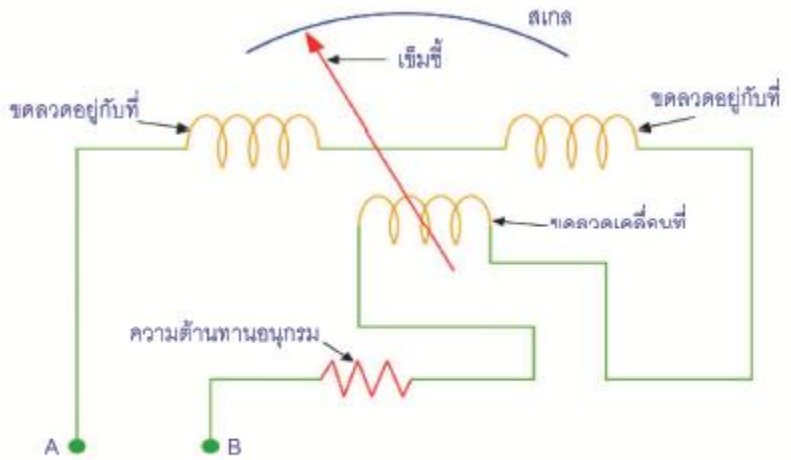
เนื่องจากเครื่องวัดไฟฟ้าแบบอิเล็กโทรไดนาโมมิเตอร์สามารถวัดทั้งไฟฟ้ากระแสตรงและไฟฟ้ากระแสสลับได้ดังนั้นจึงสามารถประยุกต์เป็นเครื่องวัดต่าง ๆ ได้ดังนี้

1. การนำไปใช้เป็นแอมมิเตอร์ ทำการต่อขดลวดเคลื่อนที่อนุกรมกับขดลวดอยู่กับที่ ดังรูปที่ 3.5



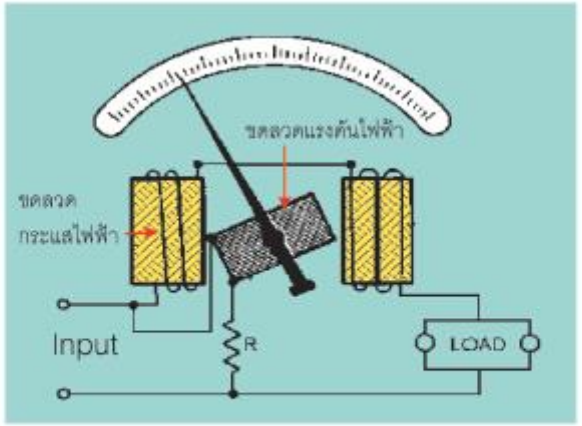
รูปที่ 3.5 โครงสร้างแอมมิเตอร์แบบอิเล็กโทรไดนาโมมิเตอร์

2. การนำไปใช้เป็นโวลต์มิเตอร์ ทำการต่อตัวต้านทานอนุกรมเข้ากับขดลวดเคลื่อนที่และขดลวดอยู่กับที่ ดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 โครงสร้างโวลต์มิเตอร์แบบอิเล็กโทรไดนาโมมิเตอร์

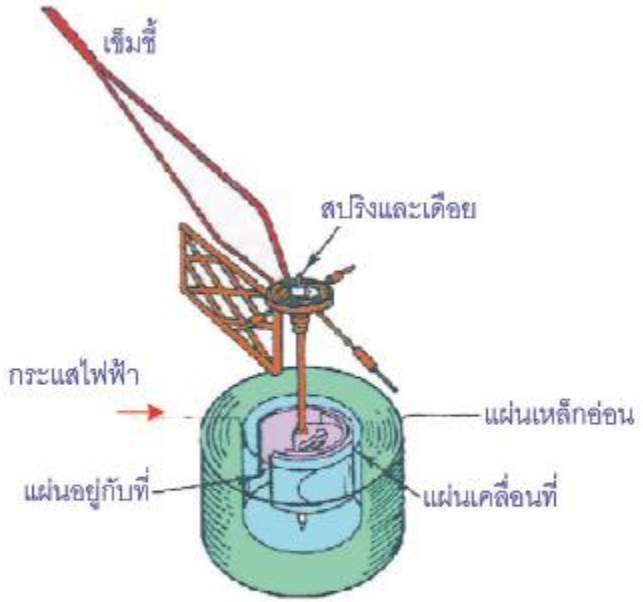
3. การนำไปใช้เป็นวัตต์มิเตอร์ ดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 โครงสร้างวัตต์มิเตอร์แบบอิเล็กโทรไดนาโมมิเตอร์

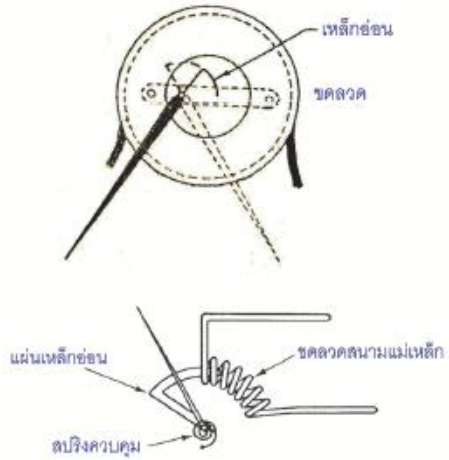
3.3 เครื่องวัดไฟฟ้าแบบแผ่นเหล็กเคลื่อนที่

เครื่องวัดไฟฟ้าแบบแผ่นเหล็กเคลื่อนที่ (Moving Iron Instrument) มีโครงสร้างประกอบด้วย แผ่น–เหล็กอ่อน 2 แผ่น เป็นแผ่นเหล็กเคลื่อนที่กับแผ่นเหล็กอยู่กับที่ สปริงและเข็มชี้ติดอยู่กับขดลวดเคลื่อนที่มีลักษณะการทำงานแบ่งเป็น 3 ประเภท คือ แบบแรงดูด แบบแรงผลัก และแบบแรงดูดและแรงผลักร่วมกัน



รูปที่ 3.8 โครงสร้างของเครื่องวัดแบบแผ่นเหล็กเคลื่อนที่

3.3.1 แบบแรงดูด



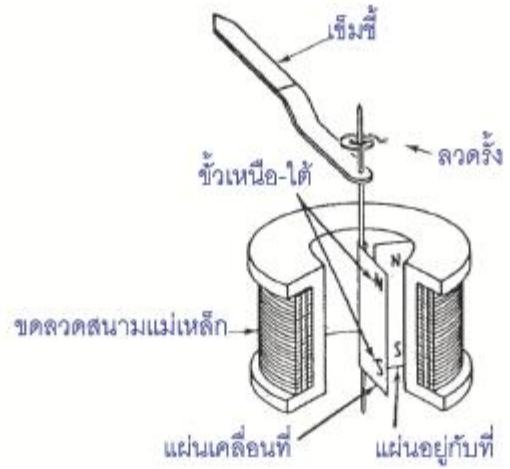
รูปที่ 3.9 โครงสร้างเครื่องวัดแบบแผ่นเหล็กเคลื่อนที่ชนิดแรงดูด

จากรูปที่ 3.9 เครื่องวัดชนิดนี้มีโครงสร้างประกอบด้วย ส่วนที่เคลื่อนที่ ทำจากแผ่นเหล็กอ่อน ส่วนนี้จะมีการเชื่อมต่อกับสปริงควบคุมและเข็มชี้ ส่วนที่อยู่กับที่ เป็นขดลวดสนามแม่เหล็ก หรือเรียกว่า ฟิลด์คอยล์ (Field Coil)

เครื่องวัดชนิดนี้มีหลักการทำงาน คือ เมื่อจ่ายกระแสฟ้าให้ไหลผ่านฟิลด์คอยล์ (Field Coil) ฟิลด์คอยล์จะสร้างสนามแม่เหล็กขึ้นเป็นผลให้เกิดการเหนี่ยวนำ และเกิดแรงดูดแผ่นเหล็กอ่อนให้เคลื่อนที่เข้าไป เข็มชี้ของเครื่องวัดจึงเกิดการบ่ายเบนไปด้วย เมื่อเกิดการสมดุลของแรงดูดระหว่างฟิลด์คอยล์กับสปริงจะทำให้เข็มชี้หยุดนิ่ง

3.3.2 แบบแรงผลัก

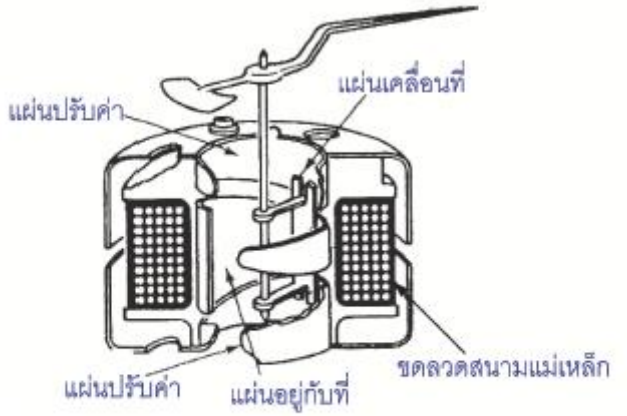
โครงสร้างของเครื่องวัดแบบผลักนี้ประกอบด้วยแผ่นเหล็กอ่อน 2 แผ่น แผ่นที่หนึ่ง ติดอยู่กับที่ที่บริเวณขดลวดสนามแม่เหล็ก เรียกส่วนนี้ว่า “แผ่นเหล็กอยู่กับที่” แผ่นที่สอง ติดอยู่กับส่วนที่เคลื่อนที่ประกอบด้วยเข็มชี้และสปริง เรียกส่วนนี้ว่า “แผ่นเหล็กเคลื่อนที่” ดังรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 โครงสร้างเครื่องวัดแบบแผ่นเหล็กเคลื่อนที่ชนิดผลัก

แผ่นเหล็กอ่อนทั้ง 2 แผ่น วางอยู่ในขดลวดสนามแม่เหล็ก หลักการทำงานของเครื่องวัดชนิดนี้ทำได้โดยเมื่อจ่ายกระแสไฟฟ้าไหลผ่านขดลวดสนามแม่เหล็ก จะทำให้เกิดการเหนี่ยวนำขึ้น เป็นผลให้แผ่นเหล็กทั้งสองกลายเป็นแม่เหล็กที่มีขั้วเหมือนกัน เกิดการผลักกันระหว่างแผ่นเหล็กอ่อน ทำให้เกิดแรงบิดทำให้แผ่นเหล็กเคลื่อนที่หมุนเคลื่อนที่ไป

3.3.3 แบบแรงดูดและผลักร่วมกัน



รูปที่ 3.11 เครื่องวัดแบบแรงดูดและผลักร่วมกัน

โครงสร้างของเครื่องวัดชนิดนี้ ประกอบด้วยแผ่นเหล็กอ่อนทั้ง 2 คู่ คู่ที่หนึ่งทำหน้าที่ในการผลักอีกคู่หนึ่งทำหน้าที่ในการดูด แผ่นเหล็กทั้งสองวางอยู่ในขดลวดสนามแม่เหล็ก (Field Coil)

หลักการทำงานของเครื่องวัดนี้มีลักษณะการทำงานดังนี้ เมื่อจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับให้กับขดลวดสนามแม่เหล็ก ขดลวดสนามแม่เหล็กจะให้อำนาจในการสร้างสนามแม่เหล็กให้กับแผ่นเหล็กอยู่กับที่กับแผ่นเหล็กเคลื่อนที่มีแรงผลักกันเข็มชี้เกิดการบ่ายเบนไป เมื่อถึงท้ายสเกล จะมีแผ่นเหล็กที่ทำหน้าที่ดูดจะทำให้การดูดแผ่นเหล็กเคลื่อนที่ทำให้เข็มชี้บ่ายเบนไปมีมุมในการบ่ายเบนเพิ่มมากขึ้น

3.4 เครื่องวัดไฟฟ้าแบบเทอร์มอคัปเปิล

โครงสร้างของเครื่องวัดไฟฟ้าแบบเทอร์มอคัปเปิล (Thermocouple Instrument) มีหลักการทำงานและการนำไปใช้ ดังนี้

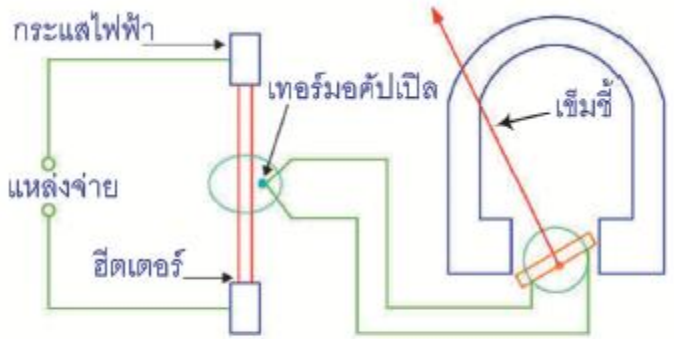
3.4.1 โครงสร้างและหลักการทำงาน

โครงสร้างของเครื่องวัดไฟฟ้าแบบเทอร์มอคัปเปิล ดังรูปที่ 3.12 ประกอบด้วยขดลวดเคลื่อนที่ขดลวด ความร้อน และเทอร์มอคัปเปิล

1. ขดลวดเคลื่อนที่ เป็นขดลวดเคลื่อนที่ของมิลลิโวลต์มิเตอร์ที่มีความไวสูง ในการวัดค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่มาจากเทอร์มอคัปเปิล

2. ขดลวดความร้อน เป็นขดลวดเส้นเล็ก ๆ ทำหน้าที่ในการสร้างความร้อน (Heater)

3. เทอร์มอคัปเปิล เป็นตัวตรวจจับความแตกต่างของความร้อนระหว่างโลหะ 2 ชนิด เป็นผลให้เกิดแรงดันไฟฟ้า ซึ่งขนาดของแรงดันไฟฟ้าจะขึ้นอยู่กับชนิดของโลหะและอุณหภูมิที่สูงขึ้นที่จุดต่อระหว่างโลหะสองชนิด



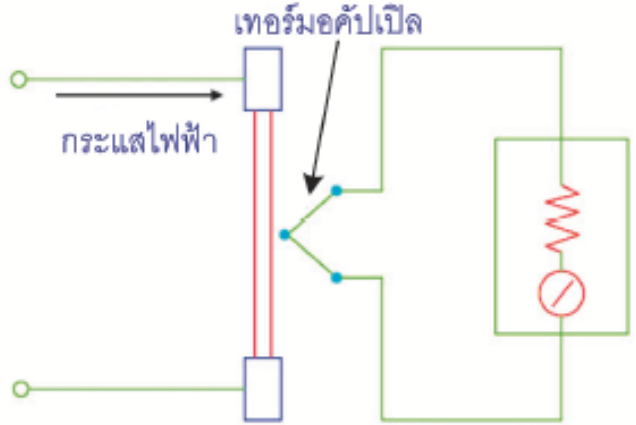
รูปที่ 3.12 โครงสร้างเครื่องวัดแบบเทอร์มอคัปเปิล

หลักการทำงานของเครื่องวัดชนิดนี้จะอาศัยความร้อนที่เกิดจากการจ่ายกระแสไฟฟ้าไหลผ่านขดลวดความร้อนที่มีค่าความต้านทานภายใน ความร้อนที่ได้มีค่าเท่ากับ I2R แล้วส่งมายังเทอร์มอคัปเปิลจะเป็นตัวส่งสัญญาณที่เป็นแรงดันไฟฟ้าไปยังขดลวดเคลื่อนที่ทำให้เข็มชี้เกิดบ่ายเบนไป

3.4.2 การนำไปใช้งาน

จากคุณลักษณะของเทอร์มอคัปเปิล สามารถนำมาทำเป็นเครื่องวัดไฟฟ้าได้ดังนี้

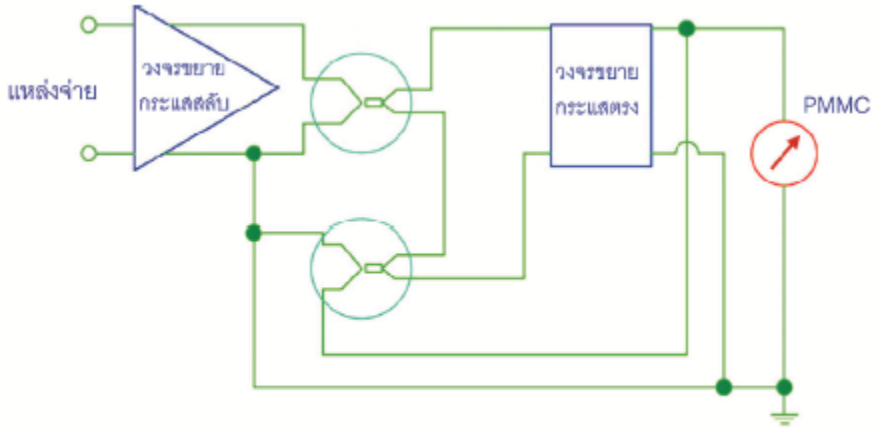
1. การนำไปใช้เป็นแอมมิเตอร์ ดังรูปที่ 3.13



รูปที่ 3.13 ตัวอย่างเครื่องวัดกระแสไฟฟ้าแบบเทอร์มอคัปเปิล

จากรูปที่ 3.13 เมื่อจ่ายกระแสไฟฟ้าไหลผ่านขดลวดความร้อนส่งความร้อน เทอร์–มอคัปเปิล จะส่งสัญญาณเป็นแรงดันไฟฟ้าไปยังขดลวดเคลื่อนที่ทำให้เข็มชี้บ่ายเบนไป ค่าแรงดันไฟฟ้าที่เกิดขึ้นที่เทอร์มอคัปเปิลจะแปรผันตามค่าของ I2 ซึ่งเป็นตัวทำให้เกิดความร้อน ค่าที่อ่านได้จากสเกลจึงเป็นค่าอาร์เอ็มเอส ค่ากระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้นที่สเกลของขดลวดเคลื่อนที่จะมีค่าสูงประมาณ 10 mAเนื่องจากใช้กระแสไฟฟ้ามากในการที่จะทำให้ขดลวดเกิดความร้อนได้

2. การนำไปใช้เป็นโวลต์มิเตอร์ ดังรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.14 ตัวอย่างโวลต์มิเตอร์แบบเทอร์มอคัปเปิล

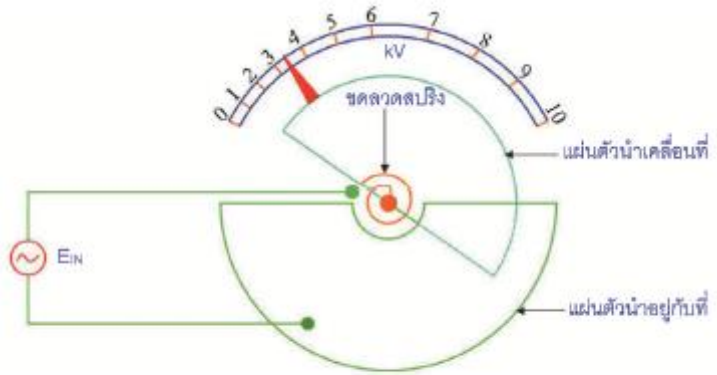
จากรูปที่ 3.14 แสดงบล็อกไดอะแกรมของโวลต์มิเตอร์ ซึ่งมีเทอร์มอคัปเปิล 2 ตัว ตัวที่ 1 ทำหน้าที่วัดค่า อีกตัวหนึ่งทำหน้าที่ทำให้เกิดการสมดุลของวงจร เมื่อมีสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับไหลผ่านขดลวดความร้อน เทอร์มอคัปเปิลตัวที่หนึ่งจะแสดงค่าออกมาเป็นแรงดันไฟฟ้า ส่งสัญญาณไปยังวงจรขยายไฟฟ้ากระแสตรง ส่วนหนึ่งของวงจรขยายกระแสตรงจะส่งไปยังขดลวดความร้อนตัวที่สอง เทอร์มอคัปเปิลจะส่งสัญญาณเป็นแรงดันไฟฟ้าไปยังวงจรขยายกระแสตรง เมื่อค่าของแรงดันไฟฟ้าที่เข้าไปยังวงจรขยายกระแสตรงมีค่าเท่ากันพอดี สัญญาณที่ออกมาทางด้านขดลวดเคลื่อนที่จะมีค่าคงที่ สามารถอ่านค่าได้ทันที

3.5 เครื่องวัดไฟฟ้าแบบไฟฟ้าสถิต

เครื่องวัดไฟฟ้าแบบไฟฟ้าสถิต (Electrostatic Instrument) แสดงโครงสร้างและหลักการทำงานดังนี้

3.5.1 โครงสร้าง

เครื่องวัดไฟฟ้าแบบไฟฟ้าสถิตมีโครงสร้างดังรูปที่ 3.15



รูปที่ 3.15 โครงสร้างเครื่องวัดแบบไฟฟ้าสถิต

โครงสร้างของเครื่องวัดแบบไฟฟ้าสถิต ประกอบด้วย แผ่นตัวนำ 2 ชุด และสปริงชุดที่หนึ่งเป็นแผ่นตัวนำเคลื่อนที่ทำการติดตั้งบนแบริง (Bearing) และมีเข็มชี้ติดอยู่ สามารถหมุนได้ แผ่นตัวนำชุดที่สองเป็นแผ่นตัวนำอยู่กับที่และสปริงทำหน้าที่สำหรับทำให้เกิดแรงบิดต้าน

3.5.2 หลักการทำงาน

หลักการทำงานของเครื่องวัดแบบไฟฟ้าสถิตมีดังนี้ เมื่อจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับเข้าที่อินพุตของแผ่นตัวนำทั้งสองชุด จะทำให้แผ่นตัวนำทั้งสองมีขั้วที่แตกต่างกันเป็นผลให้เกิดแรงบิดที่แผ่นตัวนำทั้งสองชุด ส่งผลให้แผ่นตัวนำเคลื่อนที่ไปเข็มชี้ที่ติดกับแผ่นตัวนำให้เกิดการบ่ายเบน เข็มชี้จะหยุดนิ่งเมื่อแรงบิดของแผ่นตัวนำเคลื่อนที่ และแผ่นตัวนำอยู่กับที่มีแรงบิดที่สปริงเกิดการสมดุลกัน

หัวข้อเรื่อง (Topics)

5.1 เครื่องวัดแบบขดลวดเคลื่อนที่

5.2 โวลต์มิเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

5.3 แอมมิเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

5.1 เครื่องวัดแบบขดลวดเคลื่อนที่

ในปี พ.ศ. 2424 (ค.ศ.1881) แจ๊คส์ดาร์สันวาล (Jacques d' Arsonval) นักฟิสิกส์ชาวฝรั่งเศสได้ทดลองนำหลักการความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้ากับสนามแม่เหล็ก (ที่ถูกค้นคว้าโดย ฮานส์คริสเตียน เออร์สเตด (ค.ศ. 1820) นักฟิสิกส์ชาวเยอรมัน) ประดิษฐ์เป็นกัลป์วานอมิเตอร์แบบขดลวดเคลื่อนที่ (Moving Coil Galvanometer) และถูกพัฒนาเป็นเครื่องวัดไฟฟ้าในปัจจุบัน เรียกว่า ส่วนเคลื่อนที่แบบดาร์สันวาลโดยจะเคลื่อนที่อยู่ระหว่างสนามแม่เหล็กถาวร ดังนั้นจึงเรียกขดลวดแบบนี้อีกอย่างหนึ่งว่า ขดลวดเคลื่อนที่แบบแม่เหล็กถาวร (Permanent Magnet Moving Coil: PMMC)

5.1.1 พื้นฐานขดลวดเคลื่อนที่แบบดาร์สันวาล

เครื่องวัดไฟฟ้าชนิดขดลวดเคลื่อนที่แบบดาร์สันวาลมีโครงสร้างพื้นฐานประกอบด้วยขดลวดทองแดงน้ำหนักเบาวางอยู่ระหว่างแม่เหล็กถาวร มีเข็มชี้ติดไว้กับขดลวด เมื่อจ่ายกระแสไฟฟ้าให้ขดลวดจะเกิดสนามแม่เหล็กไฟฟ้าขึ้นแล้วถูกสนามแม่เหล็กถาวรผลัก ทำให้ขดลวดเคลื่อนที่หมุนและเข็มชี้จะหมุนไปด้วยโดยจะชี้ค่าที่ได้บนสเกลเป็นไปตามปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านขดลวด โครงสร้างของขดลวดเคลื่อนที่แบบดาร์สันวาล ดังรูปที่ 5.1 ประกอบด้วย (Bell, David A., 1994: 34)

1. **ขั้วแม่เหล็ก** (Pole Shoe) เป็นขั้วเหนือและขั้วใต้ของแม่เหล็กถาวรรูปเกือกม้า (Horseshoe Permanent Magnet)

2. **ขดลวดเคลื่อนที่** ประกอบด้วย

(1) ขดลวด (Coil) เป็นลวดทองแดงน้ำหนักเบา

(2) แกนขดลวด (Core) เป็นจานอะลูมิเนียม

(3) สปริงก้นหอย (Spiral Spring) หรือสปริงควบคุม (Control Spring) จะมีทั้งด้านบนและด้านล่างของขดลวด สปริงก้นหอยนี้จะมีความต้านทานต่ำทำด้วยฟอสเฟอร์บรอนซ์ และจะจ่ายกระแสไฟฟ้าผ่านสปริงก้นหอยไปให้ขดลวด

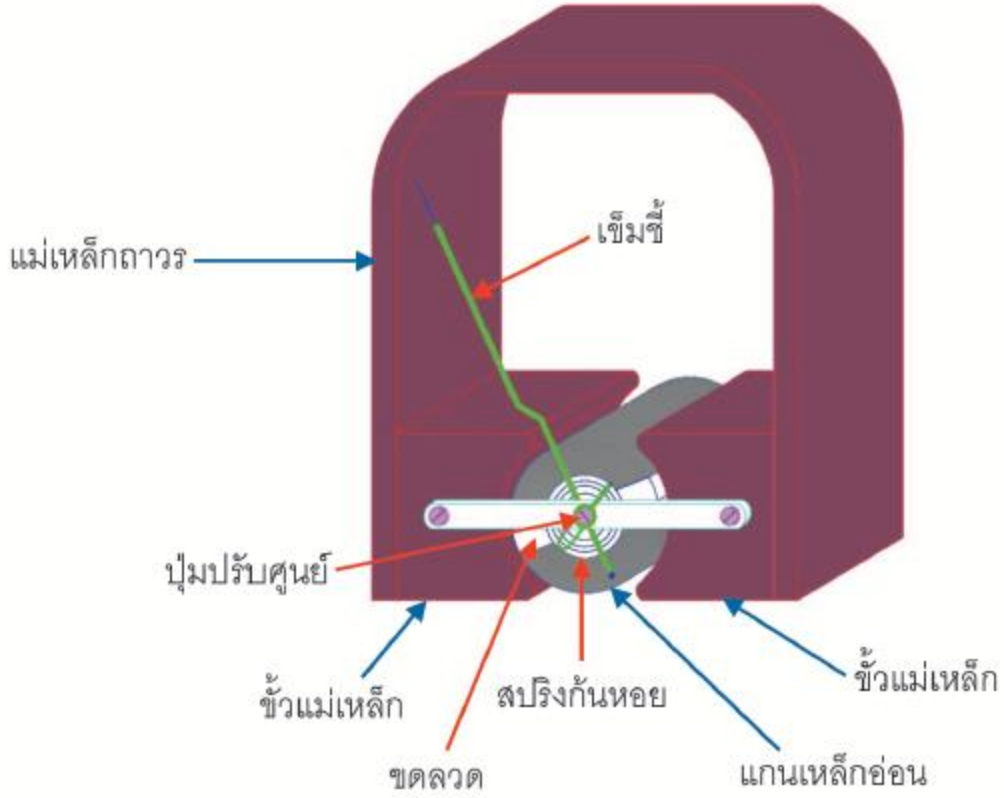
(4) แกน (Pivotor Shaft) จะมีปลายแหลมมาก ๆ เพื่อป้องกันแรงเสียดทานกับที่รองรับแกน (Jewel Bearing)

(5) เข็มชี้ (Pointer)

(6) หน้าปัด (Scale)

(7) ปุ่มปรับศูนย์ (Zero Position Control)

(8) น้ำหนักถ่วง (Counter Weight)

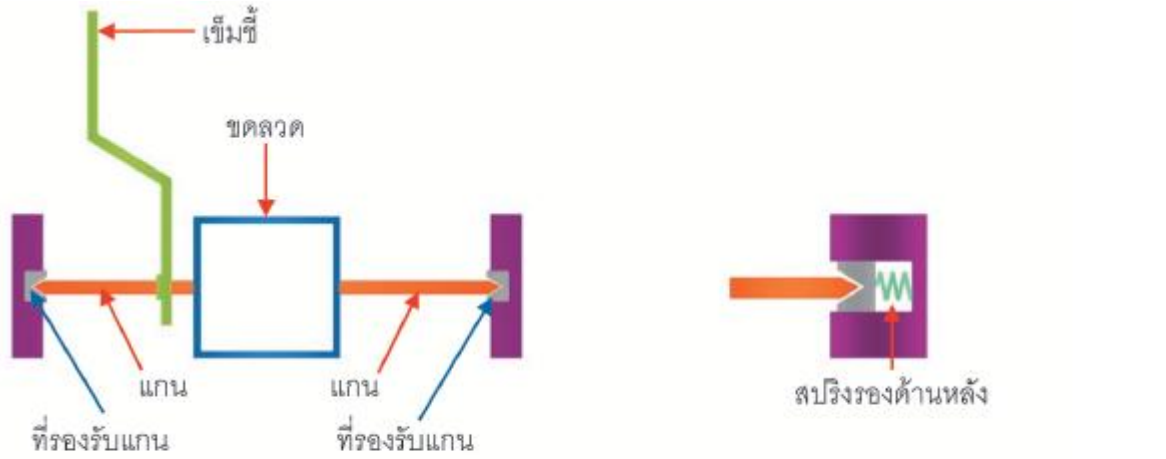


รูปที่ 5.1 โครงสร้างของขดลวดเคลื่อนที่แบบดาร์สันวาล

5.1.2 ที่รองรับแกน

ที่รองรับแกน (Jewel Bearing) ของขดลวดเคลื่อนที่จะต้องไม่มีแรงเสียดทานกับปลายแกนของขดลวด มี 2 แบบ คือ

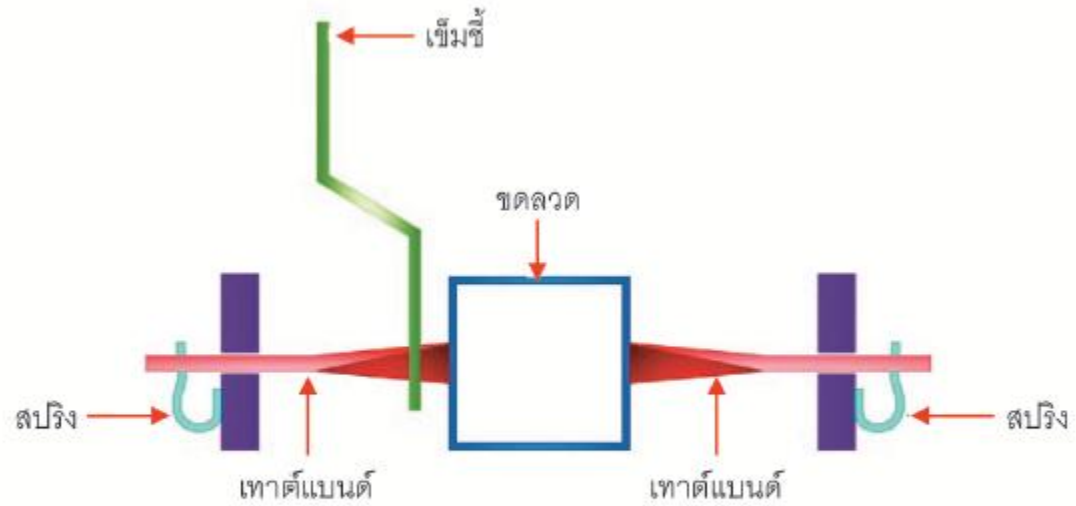
1. ที่รองรับแกนแบบตัววี โดยที่ตัววี (V) จะทำด้วยแซฟไฟร์ (Sapphire) หรือแก้ว บางรุ่นอาจมีสปริงรองอยู่ด้านหลัง แกน (Pivot) ของขดลวดจะต้องแหลมมาก ๆ จะได้มีจุดสัมผัสน้อยที่สุด เพื่อลดแรงเสียดทานกับตัววี ดังรูปที่ 5.2 (Bell, David A., 1994: 33)



(ก) ที่รองรับแกนแบบตัววี (ข) ที่รองรับแกนแบบมีสปริงรองด้านหลัง

รูปที่ 5.2 ที่รองรับแกนแบบตัววี

2. ที่รองรับแกนแบบห้อยแขวนเทาต์แบนด์ (Taut Band Suspension) ที่รองรับแกนแบบนี้จะลดการเสียดทานดีกว่าแบบตัววีเนื่องจากมีแถบโลหะแบน 2 อันทำด้วยฟอสเฟอร์บรอนซ์ หรือแพลทินัม อัลลอยเพื่อลดความเครียด (Tension) จากสปริงที่รองรับขดลวดเคลื่อนที่ โดยแถบโลหะทำให้เกิดแรงควบคุมเพื่อต่อต้านแรงเบี่ยงเบน (Deflection Force) กระแสไฟฟ้าจะจ่ายผ่านแถบโลหะแบนให้ขดลวดเคลื่อนที่ ดังรูปที่ 5.3 (Bell, David A., 1994: 33)

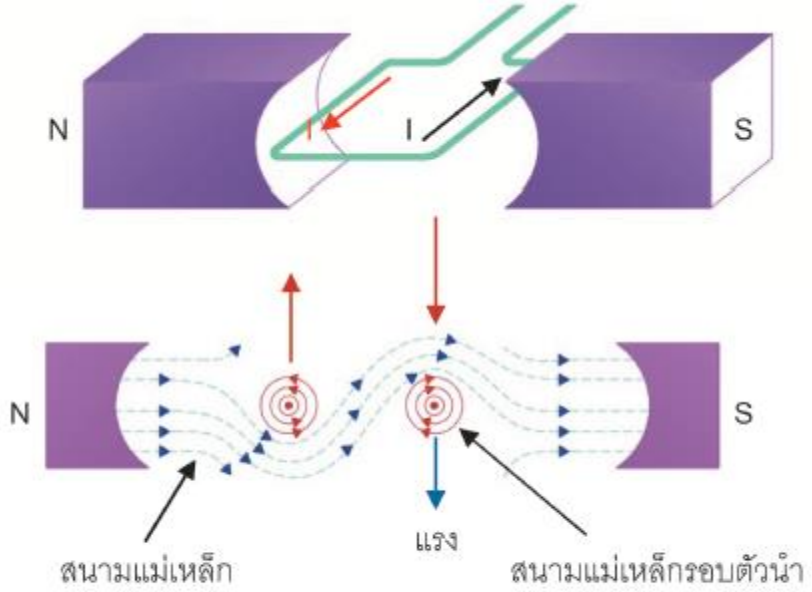


รูปที่ 5.3 ที่รองรับแกนแบบห้อยแขวนเทาต์แบนด์

5.1.3 แรงทางกลของเครื่องมือวัด

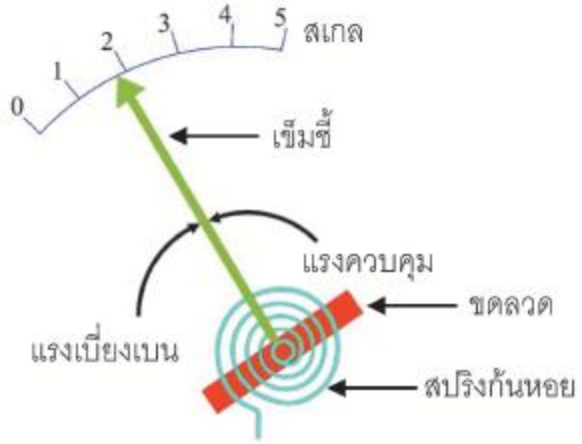
แรงทางกลของเครื่องมือวัด (Instrument Mechanical Force) เป็นแรงทางกลกระทำให้เข็มชี้และขดลวดเคลื่อนที่หมุนตามปริมาณกระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้ขดลวดนั้น มีดังนี้

1. **แรงเบี่ยงเบนหรือแรงขับ** (Deflection or Operating Force) เป็นแรงที่ทำให้เข็มชี้เคลื่อนที่จากตำแหน่งศูนย์ของสเกล



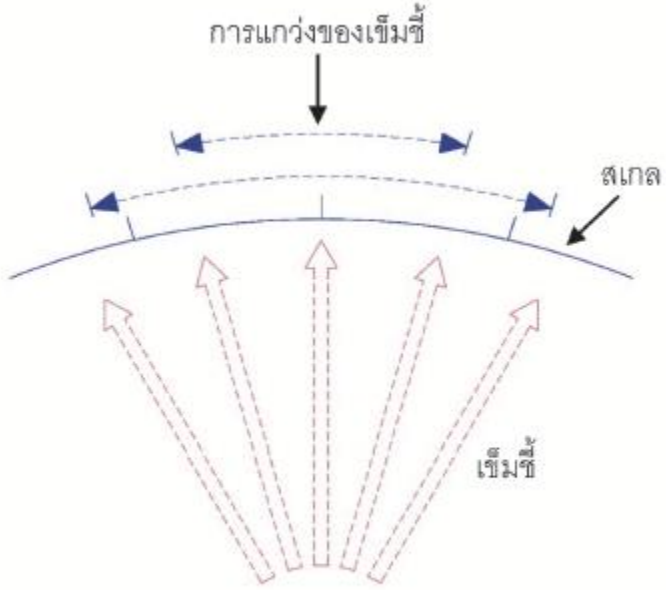
รูปที่ 5.4 แรงเบี่ยงเบนที่เกิดในขดลวดเคลื่อนที่

2. **แรงสปริงหรือแรงควบคุม** (Springor Controlling Force) ที่เกิดจากสปริงก้นหอยจะเป็นแรงต่อต้านแรงเบี่ยงเบนและมีหน้าที่ดึงเข็มชี้กลับคืนตำแหน่งศูนย์ของสเกลเมื่อไม่มีกระแสไฟฟ้าป้อนให้ขดลวด ขณะมีกระแสไฟฟ้าป้อนให้ขดลวดเคลื่อนที่จะทำให้เข็มชี้หมุนไปพร้อมกันโดยจะหยุดหมุนเมื่อแรงเบี่ยงเบนเท่ากับแรงควบคุม ดังรูปที่ 5.5

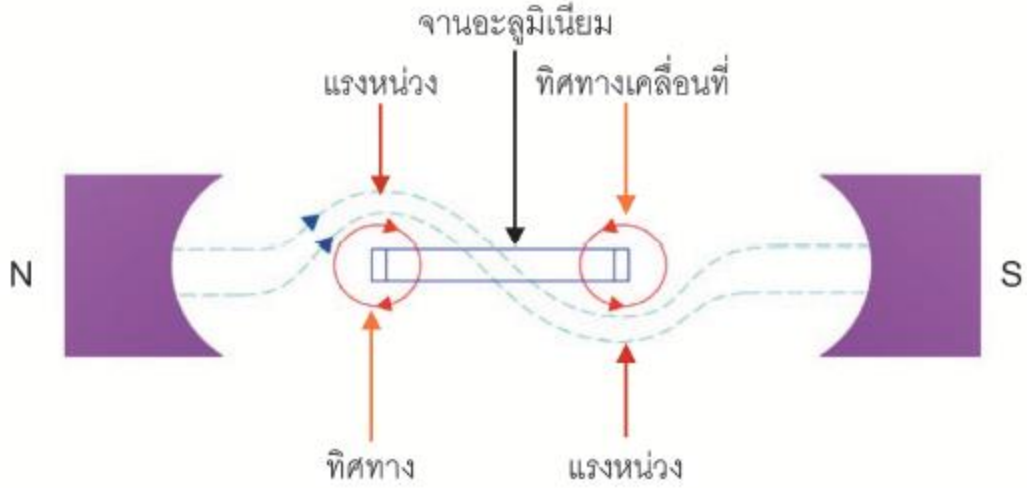


รูปที่ 5.5 แรงควบคุมสมดุลกับแรงเบี่ยงเบนทำให้เข็มชี้หยุดนิ่ง

3. **แรงหน่วง** (Damping Force) เมื่อขดลวดเคลื่อนที่หมุนและขณะกำลังจะหยุดนิ่งที่ค่าวัดได้บนสเกลนั้น เข็มชี้จะสั่นดังรูปที่ 5.6 ดังนั้นจึงต้องสร้างแรงหน่วงมาป้องกันการสั่นของเข็มชี้ด้วยกระแสไฟฟ้าไหลวน (Eddy Current) โดยการพันขดลวดบนจานอะลูมิเนียม เมื่อขดลวดเคลื่อนที่ตัดสนามแม่เหล็กของแม่เหล็กถาวรจะทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าไหลวนในจานอะลูมิเนียมและจะเหนี่ยวนำให้เกิดสนามแม่เหล็กมีทิศทางตรงกันข้ามกับการหมุนของขดลวด



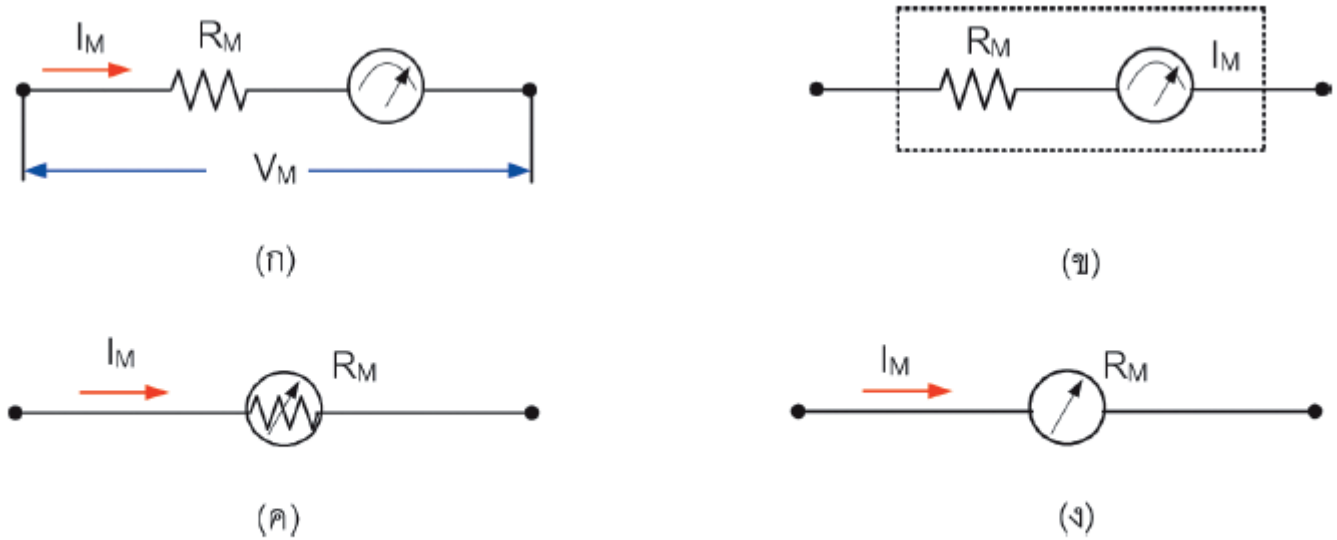
รูปที่ 5.6 การแกว่งหรือสวิงของเข็มชี้ก่อนจะหยุดนิ่ง



รูปที่ 5.7 แรงหน่วงที่เกิดจากการเหนี่ยวนำด้วยกระแสไฟฟ้าไหลวนในจานอะลูมิเนียมเพื่อหยุดการแกว่งของเข็มชี้

5.1.4 วงจรเทียบเท่าของเครื่องวัดแบบขดลวดเคลื่อนที่

วงจรเทียบเท่าของขดลวดเคลื่อนที่แบบดาร์สันวาล จะประกอบด้วยค่าต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องคือ ความต้านทานขดลวด (Moving Coil Resistance: RM) กระแสไฟฟ้าขดลวด (Moving Coil Current: IM) จะเป็นกระแสไฟฟ้าที่ทำให้เข็มมิเตอร์เบี่ยงเบนเต็มสเกล (Full Scale Deflection: FSD) โดยปกติแล้วจะมีค่าน้อยมาก ๆ และแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมขดลวด (Moving Coil Voltage: VM) สามารถเขียนเป็นวงจรเทียบเท่าขดลวดเคลื่อนที่ได้หลายรูปแบบ ดังรูปที่ 5.8



รูปที่ 5.8 วงจรเทียบเท่าของขดลวดเคลื่อนที่แบบดาร์สันวาล

5.2 โวลต์มิเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

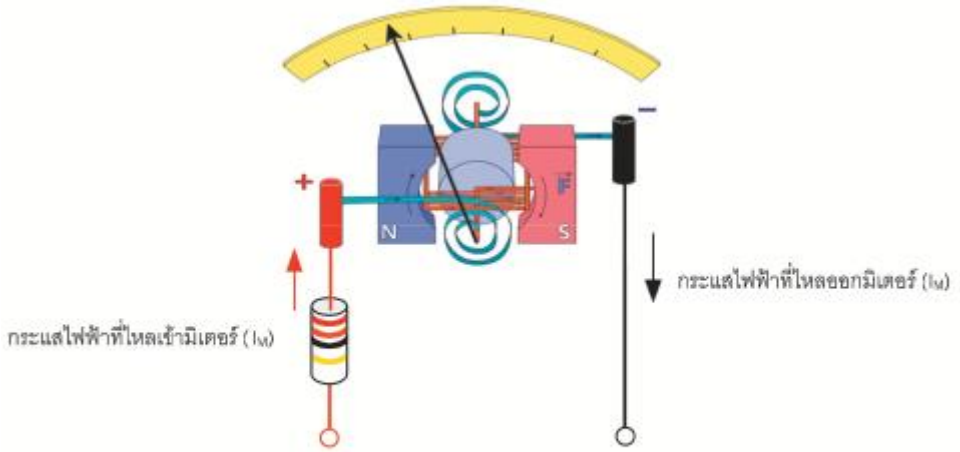
ดาร์สันวาลมิเตอร์สามารถพัฒนาเป็นโวลต์มิเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงโดยอาศัยคุณสมบัติการจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงให้ไหลผ่านขดลวดเคลื่อนที่ของดาร์สันวาลมิเตอร์เหมือนกัน ปริมาณของแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ป้อนให้ดาร์สันวาลมิเตอร์มีผลต่อกระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้น

รูปที่ 5.9 ตัวอย่างโวลต์มิเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

5.2.1 โครงสร้างโวลต์มิเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

การพัฒนาดาร์สันวาลมิเตอร์ให้เป็นโวลต์มิเตอร์ทำได้โดยเพิ่มส่วนประกอบของอุปกรณ์เข้าไปในวงจรมิเตอร์ให้เหมาะสม พร้อมกับปรับเปลี่ยนสเกลของมิเตอร์ให้ถูกต้องก็สามารถสร้างโวลต์มิเตอร์วัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงได้ การสร้างโวลต์มิเตอร์ใช้วัดแรงดันไฟฟ้าเป็นมิลลิโวลต์ เรียกว่า มิลลิโวลต์มิเตอร์ (Millivoltmeter) โวลต์มิเตอร์วัดแรงดันไฟฟ้าเป็นโวลต์ เรียกว่า โวลต์มิเตอร์ (Voltmeter) และ โวลต์มิเตอร์วัดแรงดันไฟฟ้าเป็นกิโลโวลต์ เรียกว่า กิโลโวลต์มิเตอร์ (Kilovoltmeter)

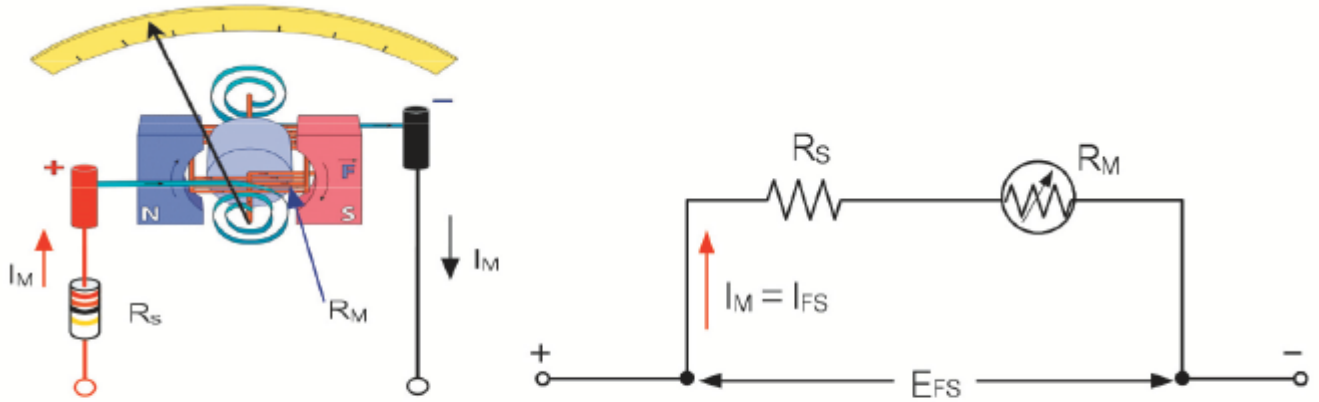
โวลต์มิเตอร์เป็นมิเตอร์ที่สร้างขึ้นมาเพื่อใช้วัดค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า (แรงดันไฟฟ้าหรือแรงดันไฟฟ้าตกคร่อม) ระหว่างจุดสองจุดในวงจรไฟฟ้าความจริงแล้วโวลต์มิเตอร์ก็คือแอมมิเตอร์นั่นเอง เพราะขณะวัดแรงดันไฟฟ้าในวงจรหรือแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าจะต้องมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านมิเตอร์จึงทำให้เข็มมิเตอร์บ่ายเบนไป การที่กระแสไฟฟ้าจะไหลผ่านเข้าโวลต์มิเตอร์ได้ก็ต้องมีแรงดันไฟฟ้าป้อนเข้ามา นั่นคือกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้ามีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน



รูปที่ 5.10 รูปเสมือนโครงสร้างโวลต์มิเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

5.2.2 การขยายย่านวัดโวลต์มิเตอร์

กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านเข้าโวลต์มิเตอร์จะมีขีดจำกัดอยู่กับค่าการทนกระแสไฟฟ้าของโวลต์–มิเตอร์ตัวนั้น ดังนั้นเมื่อนำโวลต์มิเตอร์ไปวัดแรงดันไฟฟ้าค่ามาก ๆ ย่อมส่งผลให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านเข้าโวลต์มิเตอร์มากตามไปด้วย



(ก) ภาพจำลองโวลต์มิเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (ข) วงจรเทียบเท่าโวลต์มิเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

รูปที่ 5.11 วงจรโวลต์มิเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงเบื้องต้น

จากรูปที่ 5.11 เป็นวงจรดีซีโวลต์มิเตอร์เบื้องต้น มีตัวต้านทาน RS ต่ออันดับกับดาร์สันวาลมิเตอร์กระแสไฟฟ้าเต็มสเกลในวงจรต้องไม่เกินค่ากระแสไฟฟ้าเต็มสเกลเดิมของดาร์สันวาลมิเตอร์ อักษรย่อต่าง ๆ กำหนดไว้ดังนี้

R_M = ความต้านทานของขดลวดเคลื่อนที่หรือความต้านทานเดิมของมิเตอร์ หน่วย โอห์ม (Ω)

R_S = ความต้านทานอันดับเพื่อขยายย่านการวัดของโวลต์มิเตอร์ หน่วย โอห์ม (Ω)

$I_M = I_{FS}$ = กระแสไฟฟ้าเต็มสเกลที่ไหลผ่านมิเตอร์ หน่วย แอมแปร์ (A)

E_{FS} = แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเต็มสเกลครั้งใหม่ที่วัดได้ หน่วย โวลต์ (V)

การหาสมการของวงจรรูปที่ 5.12 หาได้โดยใช้กฎของโอห์ม

$$E_{FS} = I_{FS}(R_S + R_M) \qquad \text{----------(5.1)}$$

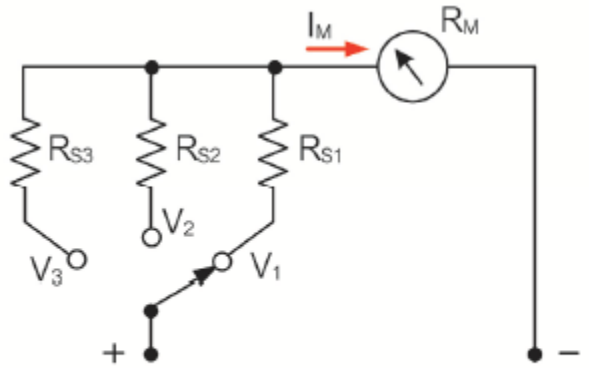
$$R_S + R_M = \frac{E_{FS}}{I_{FS}}$$

$$R_S = \frac{E_{FS}}{I_{FS}} - R_M \qquad \text{----------(5.2)}$$

5.2.3 โวลต์มิเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบหลายย่านวัด

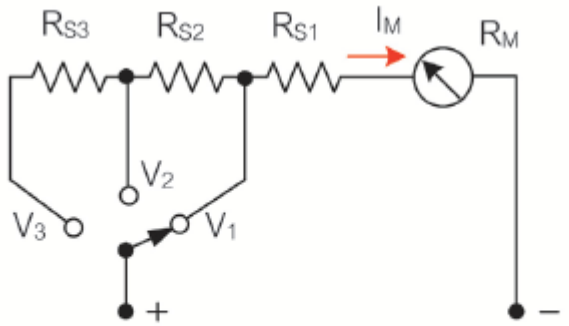
โวลต์มิเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบหลายย่านวัด (Multirange DC voltmeter) คือ การต่อตัวต้านทานหลาย ๆ ตัว อนุกรมกับมิเตอร์ วิธีการต่อแบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ

1. โวลต์มิเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบอินดิวิดวล (Individual Type DC Voltmeter) เป็นการขยายย่านวัดโวลต์มิเตอร์ โดยการต่อตัวต้านทานแต่ละตัวแยกอิสระจากกัน และไม่เกี่ยวข้องกัน ดังรูปที่ 5.14



รูปที่ 5.14 โวลต์มิเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงหลายย่านวัดแบบอินดิวิดวล

2. โวลต์มิเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบยูนิเวอร์แซลหรือแบบสากล (Universal Type DC Voltmeter) การต่อโวลต์มิเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบนี้ ความต้านทานที่ต่อขยายย่านวัดทุกตัวจะต่ออนุกรมกันทุกตัว และไปต่ออนุกรมกับมิเตอร์ ย่านที่ขยายการวัดแต่ละย่านถูกต่อออกมาจากรอยต่อของตัวต้านทานแต่ละตัว แสดงดังรูปที่ 5.16

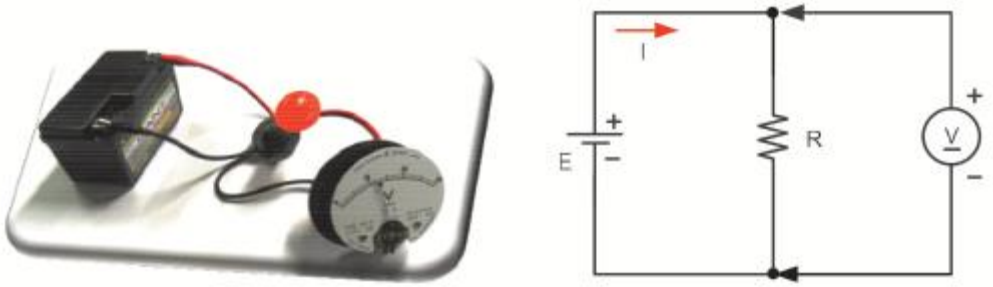


รูปที่ 5.16 โวลต์มิเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงหลายย่านวัดแบบยูนิเวอร์แซล

การคำนวณค่าความต้านทานของวงจรมีข้อยุ่งยากกว่าแบบอินดิวิดวล เพราะตัวต้านทานของทุกย่านวัดต่ออนุกรมกันทุกตัว ซึ่งต้องเริ่มทำการคำนวณตั้งแต่ย่านวัดต่ำเป็นต้นไป

5.2.4 การต่อโวลต์มิเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

โวลต์มิเตอร์สร้างขึ้นมาเพื่อวัดค่าความต้านทานต่างศักย์ไฟฟ้าของแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าหรือวัดค่าแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมระหว่างจุดสองจุดในวงจรในตำแหน่งที่ต้องการวัด (ต่อขนานกับจุดวัด)เสมอ ลักษณะการต่อแสดงดังรูปที่ 5.18

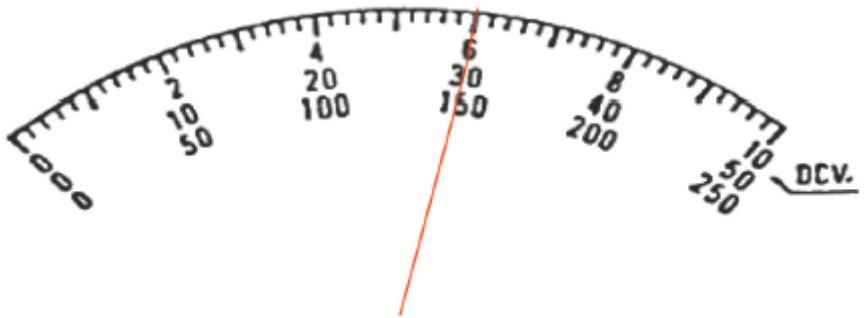


รูปที่ 5.18 การต่อโวลต์มิเตอร์วัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง

จากรูปที่ 5.18 เป็นการต่อโวลต์มิเตอร์วัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงโดยต่อขนานกับส่วนที่จะวัดหรือตกคร่อม การต่อโวลต์มิเตอร์วัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงจะต้องคำนึงถึงขั้วของโวลต์มิเตอร์ โดยขั้วบวกโวลต์มิเตอร์ต่อกับขั้วบวกของแหล่งจ่ายและขั้วลบต่อกับขั้วลบ หากต่อสลับขั้วจะทำให้เข็มบ่ายเบนกลับทิศทางและอาจทำให้โวลต์มิเตอร์ชำรุดเสียหายได้

5.2.5 การอ่านสเกลของโวลต์มิเตอร์

โวลต์มิเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงที่ถูกสร้างขึ้นมาใช้งานมักจะมีย่านวัดค่าแรงดันเต็มสเกลหลายย่านและมีสเกลบอกค่าแรงดันไฟฟ้าหลายสเกลทั้งนี้เพื่อให้เกิดความสะดวกในการใช้งานดังนั้นการเปลี่ยนย่านวัดค่าควรเลือกใช้ให้เหมาะสม การอ่านสเกลก็ต้องอ่านให้ถูกต้องกับย่านวัดที่ตั้งวัดจึงจะได้ค่าแรงดันไฟฟ้าที่วัดได้มีค่าถูกต้อง



รูปที่ 5.19 ตำแหน่งที่เข็มชี้ของโวลต์มิเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

5.3 แอมมิเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

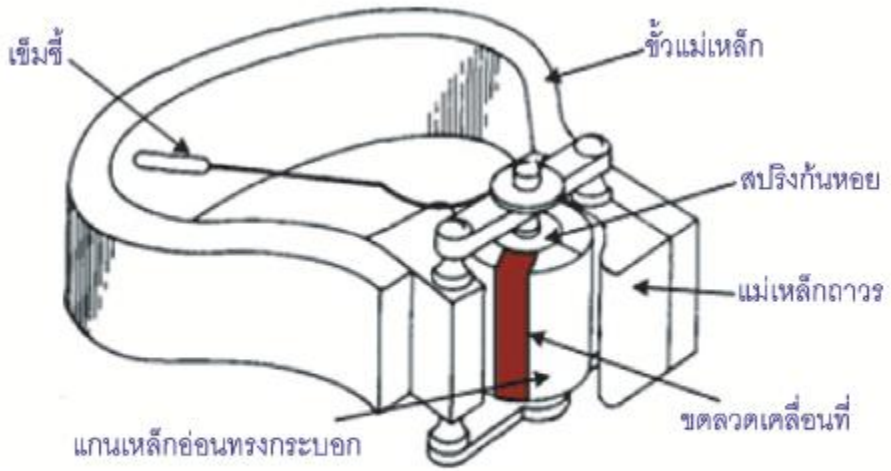
แอมมิเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (DC Ammeter) เป็นเครื่องวัดไฟฟ้ากระแสตรงที่ใช้วัดกระแสไฟฟ้าได้หลายค่า คือ วัดกระแสไฟฟ้าเป็นไมโครแอมแปร์ เรียกว่า ไมโครแอมมิเตอร์ (Microammeter) ใช้วัดกระแสไฟฟ้าเป็นมิลลิแอมแปร์ เรียกว่า มิลลิแอมมิเตอร์ (Milliammeter) และใช้วัดกระแสไฟฟ้าเป็นแอมแปร์ เรียกว่า แอมมิเตอร์ ตัวอย่างมิลลิแอมมิเตอร์และแอมมิเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ดังรูปที่ 5.21

รูปที่ 5.21 ตัวอย่างมิลลิแอมมิเตอร์และแอมมิเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

5.3.1 โครงสร้างของแอมมิเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

โครงสร้างของแอมมิเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงประกอบด้วยส่วนสำคัญ 2 ส่วน คือ ขดลวดเคลื่อนที่แบบแม่เหล็กถาวรและตัวต้านทานชันต์

1. ขดลวดเคลื่อนที่แบบแม่เหล็กถาวร โครงสร้างของมิเตอร์เบื้องต้นจะใช้รูปแบบของดาร์สันวาลมิเตอร์ตามที่กล่าวในหน่วยที่ 1 เรื่องขดลวดเคลื่อนที่ จะอาศัยการทำงานโดยใช้กระแสไฟฟ้าจ่ายเข้ามิเตอร์ แต่เนื่องจากโครงสร้างมีขนาดเล็ก ขดลวดเคลื่อนที่จึงรับกระแสไฟฟ้าได้จำกัดค่าหนึ่งซึ่งน้อยมาก แต่เกิดความคล่องตัวในการทำงาน ในขณะบ่ายเบนไปของอาร์เมเจอร์จะเกิดแรงเสียดทานน้อย ช่วยให้การวัดค่าเกิดความเที่ยงตรงมากขึ้นด้วย



รูปที่ 5.22 โครงสร้างของดาร์สันวาลมิเตอร์

จากรูปที่ 5.22 แสดงแม่เหล็กถาวรรูปเกือกม้ากับแกนเหล็กอ่อนทรงกระบอกที่ติดกับแม่เหล็กถาวรระหว่างขั้วเหนือ–ใต้ โดยมีขดลวดเล็ก ๆ พันอยู่รอบ ๆ เรียกว่า ขดลวดอามาเจอร์ (Armature) หรือขดลวดเคลื่อนที่ ขดลวดนี้จะพันบนรอบเหล็กสี่เหลี่ยมที่มีน้ำหนักเบามาก ๆ และติดยึดอยู่บนเดือยเพื่อให้สามารถเกิดการหมุนได้ เข็มชี้จะถูกยึดติดอยู่กับขดลวด เข็มชี้จะบ่ายเบนเมื่อขดลวดเคลื่อนที่เกิดการหมุน

2. ตัวต้านทานชันต์ การสร้างมิเตอร์วัดกระแสไฟฟ้าตรงแต่ละชนิดมีข้อจำกัดคือ ขดลวดของเครื่องวัดเล็กมากจึงรับกระแสไฟฟ้าได้ค่าจำกัดค่าหนึ่งซึ่งน้อยมาก เมื่อต้องการวัดกระแสไฟฟ้าที่มีปริมาณสูงเกินค่าจำกัดของกระแสไฟฟ้า จึงต้องหาตัวต้านทานมาต่อขนานหรือเรียกว่า “ตัวต้านทานชันต์ (Shunt Resistor: RSh)”

(ก) ความต้านทานชันต์สำหรับแอมมิเตอร์ 30 A (ข) ความต้านทานชันต์ภายนอกสำหรับแอมมิเตอร์ 500 A

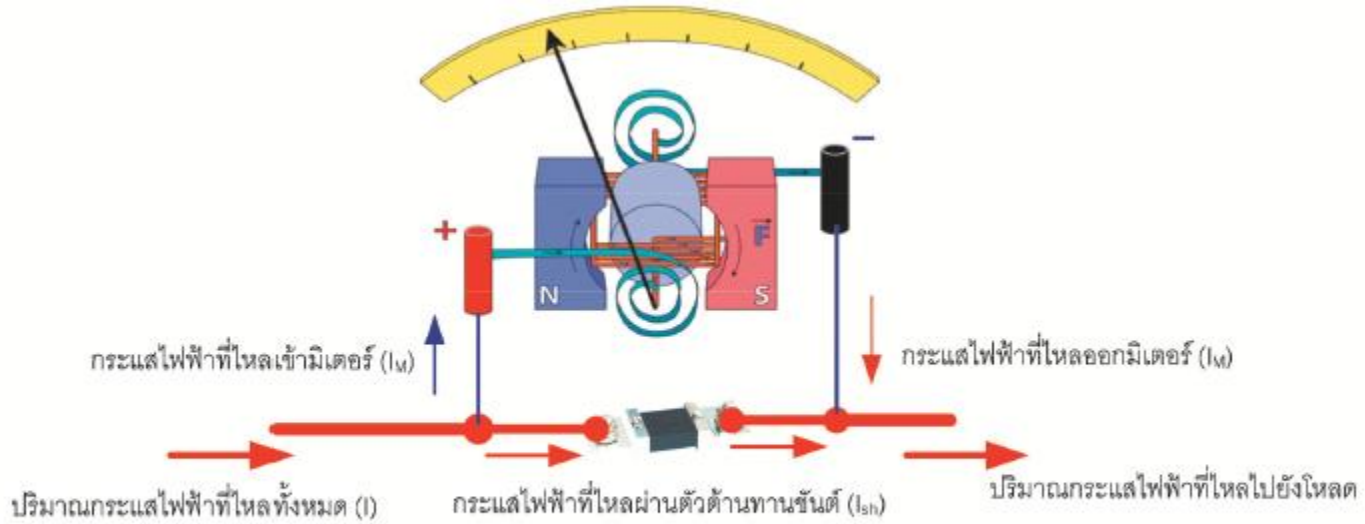
รูปที่ 5.23 ตัวต้านทานชันต์ที่ใช้สำหรับแอมมิเตอร์

5.3.2 การขยายย่านวัดของแอมมิเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

การขยายย่านวัดของขดลวดเคลื่อนที่แบบแม่เหล็กถาวรเพื่อทำเป็นแอมมิเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง มี 2 วิธี คือ ใช้ตัวต้านทานชันต์แบบตัวเดียวหรือแบบซิงเกิลชันต์และใช้ตัวต้านทานแบบอาร์ตันชันต์

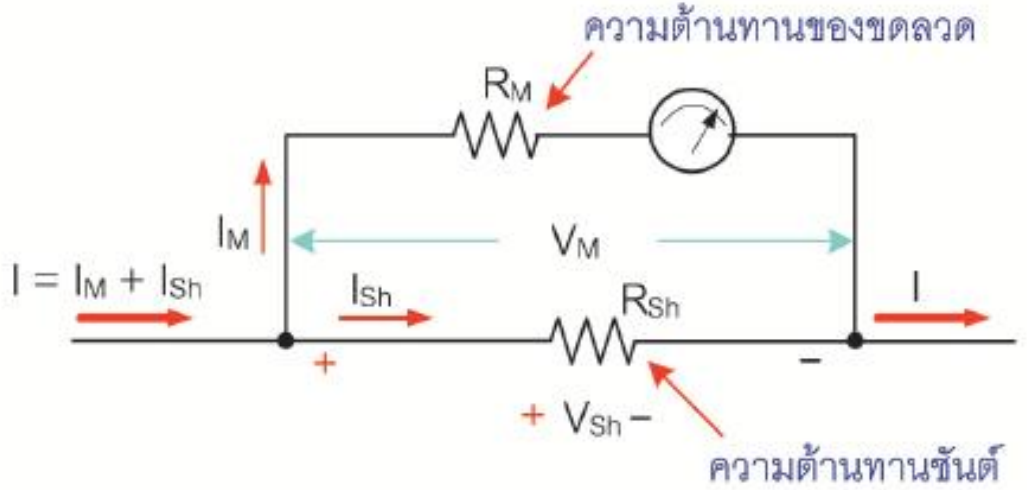
1. การขยายย่านวัดของแอมมิเตอร์แบบซิงเกิลชันต์

(1) การขยายย่านวัดของแอมมิเตอร์ย่านวัดเดียวแบบซิงเกิลชันต์ (Single Shunt Type of Ammeter) ใช้หลักการของการขนาน โดยนำตัวต้านทานชันต์ (Shunt Resistor: R_{Sh}) มาต่อขนานดังรูปที่ 5.24 เพื่อแบ่งกระแสไฟฟ้าเข้าแอมมิเตอร์ไม่ให้เกินกระแสไฟฟ้าเต็มสเกล



รูปที่ 5.24 ภาพจำลองการต่อตัวต้านทานชันต์เข้ากับขดลวดเคลื่อนที่แบบแม่เหล็กถาวร

จากรูปที่ 5.24 เมื่อนำมาเขียนเป็นวงจรไฟฟ้าของแอมมิเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (Ammeter Circuit) ได้ดังรูปที่ 5.25 และเป็นพื้นฐานของการขยายย่านวัดของแอมมิเตอร์ประกอบด้วยขดลวดเคลื่อนที่แบบแม่เหล็กถาวรและตัวต้านทานชันต์ซึ่งมีค่าความต้านทานต่ำ กระแสมิเตอร์ (I_M) หรือ กระแสไฟฟ้าขดลวดจะเป็นสัดส่วนที่ส่งผลไปยังกระแสชันต์ (I_{Sh}) ดังนั้นกระแสไฟฟ้า I จึงเป็นย่านวัด (Range) ของแอมมิเตอร์



รูปที่ 5.25 การขยายย่านวัดของแอมมิเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

จากรูปที่ 5.25 โดยเพิ่ม RS ต่อขนานกับดาร์สันวาลมิเตอร์ RM เมื่อจ่ายกระแสไฟฟ้าเข้ามาในวงจร กระแสไฟฟ้าถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ส่วนหนึ่งผ่านดาร์สันวาลมิเตอร์ อีกส่วนหนึ่งผ่านตัวต้านทานชันต์อักษรย่อต่าง ๆ กำหนดไว้ดังนี้

R_M = ความต้านทานของขดลวดเคลื่อนที่ (ความต้านทานภายใน) หน่วย โอห์ม (Ω)

R_{Sh} = ความต้านทานชันต์ หน่วย โอห์ม (Ω)

I_M = กระแสไฟฟ้าสูงสุดเต็มสเกลของขดลวดเคลื่อนที่ หน่วย แอมแปร์ (A)

I_{Sh} = กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวต้านทานชันต์ หน่วย แอมแปร์ (A)

I = กระแสไฟฟ้ารวมที่ไหลผ่านเข้าวงจรไฟฟ้าของแอมมิเตอร์ หน่วย แอมแปร์ (A) หรือกระแสไฟฟ้าสูงสุดเต็มสเกล (Full Scale Deflection Current: FSD) ของแอมมิเตอร์ (กระแสไฟฟ้านี้จะไหลไปยังโหลดที่ต้องการวัด)

เนื่องจากตัวต้านทานชันต์ (R_{Sh}) ต่อเป็นวงจรขนานกับดาร์สันวาลมิเตอร์มีความต้านทาน R_M ดังนั้นแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมตัวต้านทานชันต์เท่ากับแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมดาร์สันวาลมิเตอร์ ตามคุณสมบัติของวงจรขนาน เขียนสมการได้เป็น

$$V_M = V_{Sh}$$

ประยุกต์ใช้กฎของโอห์ม: $I_M \times R_M = I_{Sh} \times R_{Sh}$

$$R_{Sh} = \frac{I_M \times R_M}{I_{Sh}} \qquad \text{----------(5.3)}$$

$$R_M = \frac{I_{Sh} \times R_{Sh}}{I_M} \qquad \text{----------(5.4)}$$

และประยุกต์ใช้กฎกระแสไฟฟ้าของเคอร์ชอฟฟ์จะได้

$$I_M = I - I_{Sh}$$

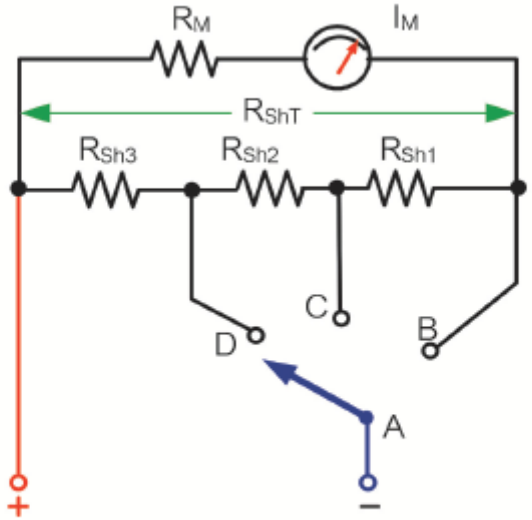
หรือ $$I_{Sh} = I - I_M$$

จากสมการที่ (2.3) เขียนใหม่จะได้

$$R_M = \frac{I_M \times R_M}{I - I_M} \qquad \text{----------(5.5)}$$

ในการออกแบบการขยายย่านวัดแอมมิเตอร์จะออกแบบให้กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านความต้านทานชันต์ (I_{Sh}) มีค่ามากกว่ากระแสไฟฟ้าที่ไหลเข้ามิเตอร์ (I_M) มาก ๆ เพื่อป้องกันไม่ให้ขดลวดเคลื่อนที่แบบแม่เหล็กถาวรชำรุด

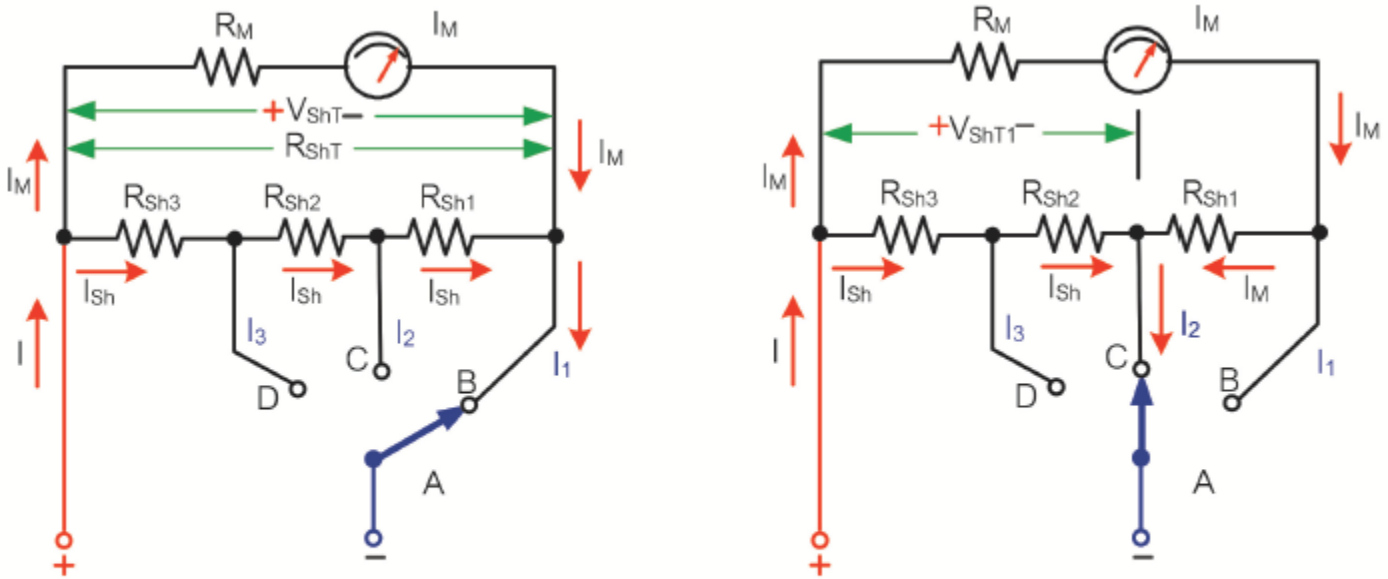
2. การขยายย่านวัดของแอมมิเตอร์แบบอาร์ตันชันต์ (Ayrton Shunt) หรือเรียกว่ายูนิเวอร์เซลชันต์ (Universal Shunt) ใช้หลักการของวงจรขนานเหมือนกับแบบซิงเกิลชันต์ โดยใช้ตัวต้านทานชันต์ ย่านวัดต่ำสุดให้ถูกแบ่งไปให้ย่านวัดถัดไปตามลำดับจนถึงย่านวัดสูงสุด ดังรูปที่ 5.29 ทำให้ไม่มีปัญหาเหมือนกับการเปลี่ยนย่านวัดของแอมมิเตอร์หลายย่านวัดแบบซิงเกิลชันต์



รูปที่ 5.29 วงจรไฟฟ้าของแอมมิเตอร์แบบอาร์ตันชันต์

จากรูปที่ 5.29 อาร์ตันชันต์ประกอบด้วย R_{Sh1}, R_{Sh2} และ R_{Sh3} และอธิบายทิศทางกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมได้ดังรูปที่ 5.30

ความต้านทานชันต์: $R_{ShT} = R_{Sh1} + R_{Sh2} + R_{Sh3}$ ----------(5.6)



(ก) สวิตช์เลือกอยู่ตำแหน่ง B (ข) สวิตช์เลือกอยู่ตำแหน่ง C

รูปที่ 5.30 กระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้า และความต้านทานของอาร์ตันชันต์

ถ้าสวิตช์เลือกอยู่ตำแหน่ง C ดังรูปที่ 5.30 (ข) เป็นผลให้ $R_{Sh2} + R_{Sh3}$ ต่อขนานกับ $R_M + R_{Sh1}$ แรงดันไฟฟ้าตกคร่อมสาขาที่ขนานกันจะเท่ากัน ในเทอมของกระแสไฟฟ้าและความต้านทานจะได้

$$I_2 = I_{Sh} + I_M$$

ดังนั้น $$I_{Sh} = I_2 - I_M$$

$$(R_{Sh2} + R_{Sh3})(I_2 - I_M) = I_M(R_M + R_{Sh1})$$

นำ I_M คูณตลอด และเขียนสมการใหม่ จะได้

$$R_{Sh2} + R_{Sh3} = \frac{I_M (R_{Sh} \times R_M)}{I_2} \qquad \text{----------(5.7)}$$

และจากสมการที่ 5.6 สามารถหาค่า R_{Sh1} ได้คือ

$$R_{Sh1} = R_{ShT} - (R_{Sh2} + R_{Sh3}) \qquad \text{----------(5.8)}$$

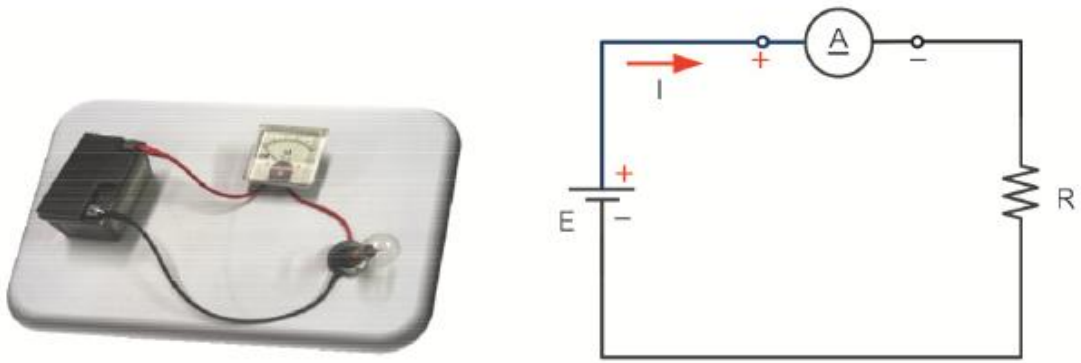
กระแสไฟฟ้า I เป็นกระแสสูงสุดของย่านวัด เมื่อสวิตช์เลือกอยู่ในตำแหน่ง D จะได้ RSh3

$$R_{Sh3} = \frac{I_M (R_{Sh} \times R_M)}{I_3} \qquad \text{----------(5.9)}$$

และ $$R_{Sh2} = (R_{Sh2} + R_{Sh3}) - R_{Sh3} \qquad \text{----------(5.10)}$$

5.3.3 การใช้งานแอมมิเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

1. การวัดกระแสไฟฟ้าโดยใช้แอมมิเตอร์ เป็นเครื่องมือวัด โดยต่ออนุกรมกับโหลด อธิบายได้ ดังรูปที่ 5.33



(ก) ตัวอย่างการต่อแอมมิเตอร์เพื่อวัดกระแสไฟฟ้า (ข) วงจรการต่อแอมมิเตอร์เพื่อวัดกระแสไฟฟ้า

รูปที่ 5.33 การวัดกระแสไฟฟ้า

2. ข้อควรคำนึงในการใช้แอมมิเตอร์

(1) แอมมิเตอร์จะต้องต่ออนุกรมกับโหลดในวงจร

(2) ต่อให้ถูกขั้ว ถ้าต่อผิดขั้วจะทำให้เข็มตีกลับและเกิดการเสียหายได้

(3) การเลือกแอมมิเตอร์ที่เหมาะสมในการวัดกระแสไฟฟ้า กรณีใช้แอมมิเตอร์แบบวัดได้หลายค่าและไม่ทราบค่ากระแสไฟฟ้า ให้ใช้ย่านวัดสูงสุดของมิเตอร์ก่อนแล้วจึงปรับหาย่านวัดที่เหมาะสมเพื่อให้ได้ผลถูกต้อง ควรให้เข็มชี้ชี้แสดงค่าออกมาบนสเกลอยู่ประมาณกลางสเกลไม่ควรต่ำหรือสูงเกินไป

(4) ไม่ต่อแอมมิเตอร์โดยตรงกับแหล่งจ่ายไฟฟ้า เนื่องจากขดลวดเคลื่อนที่ภายในแอมมิเตอร์มีค่าความต้านทานต่ำมาก ทำให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านแอมมิเตอร์จำนวนมากทำให้เกิดความเสียหายได้ จึงควรลดทอนกระแสไฟฟ้าลงโดยต่อตัวต้านทานชันต์ที่เหมาะสมกับแอมมิเตอร์ก่อนนำไปใช้วัด

5.3.4 การอ่านค่ากระแสไฟฟ้าจากสเกล

การอ่านค่ากระแสไฟฟ้าที่เข็มชี้ของแอมมิเตอร์แสดงค่าไว้มุมที่มองเข็มชี้เพื่ออ่านค่ากระแสบนสเกลมิเตอร์ควรมองจากด้านหน้าเข้ามายังมิเตอร์ไม่ควรมองในมุมเอียงซ้ายเอียงขวาเพราะค่าที่อ่านได้อาจผิดพลาดไปทำให้อ่านค่าได้ไม่ถูกต้อง

หัวข้อเรื่อง (Topics)

4.1 โอห์มมิเตอร์

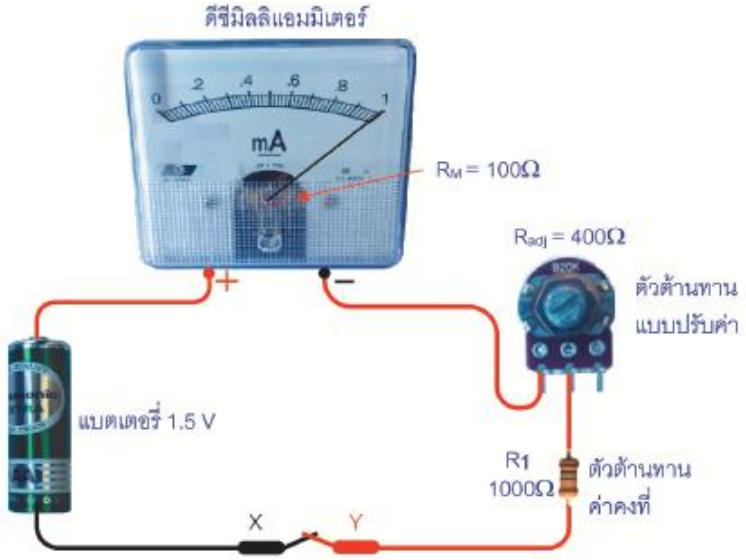
4.2 เมกโอห์มมิเตอร์

4.1 โอห์มมิเตอร์

การหาค่าความต้านทานของตัวต้านทานด้วยวิธีการคำนวณดังกล่าว แม้ว่าจะสามารถทำได้ก็จริง แต่เกิดความยุ่งยากในการหาค่ามาก เพราะต้องทราบทั้งแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า นำค่าทั้งสองมาคำนวณด้วยกฎของโอห์ม หากต้องการทราบค่าความต้านทานหลาย ๆ ค่า ก็ต้องวัดแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าหลายครั้ง พร้อมกับการนำค่าต่าง ๆ มาคำนวณหาความต้านทานหลายครั้ง ทำให้เกิดความยุ่งยาก อาจเกิดความผิดพลาดได้ ดังนั้นการนำโอห์มมิเตอร์วัดหาค่าความต้านทานจึงเป็นทางเลือกที่สะดวกและรวดเร็ว

4.1.1 โครงสร้างของโอห์มมิเตอร์

โอห์มมิเตอร์ (Ohmmeter) ออกแบบโดยการดัดแปลงจากแอมมิเตอร์ ให้สามารถวัดค่าและแสดงค่าออกมาเป็นค่าความต้านทานได้โดยตรง เพราะคุณสมบัติของค่าความต้านทาน จะต้านการไหลของกระแสไฟฟ้าในวงจร



รูปที่ 4.2 วงจรเบื้องต้นของโอห์มมิเตอร์

จากรูปที่ 4.2 เป็นวงจรเบื้องต้นของโอห์มมิเตอร์ ประกอบด้วยแหล่งจ่ายแรงดันไฟกระแสตรง (แบตเตอรี่ 1.5 V) ต่ออันดับกับแอมมิเตอร์ วัดกระแสไฟฟ้ากระแสตรงได้เต็มสเกล 1 mA มีค่าความต้านทานภายในมิลลิแอมมิเตอร์ 100 Ω และต่ออันดับกับตัวต้านทานปรับค่าได้ และตัวต้านทานค่าคงที่รวมกันมีค่า 1,400 Ω ตัวต้านทานค่าคงที่ทำหน้าที่จำกัดไม่ให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านแอมมิเตอร์มากเกินกว่าค่าสูงสุดที่ได้ 1 mA ขั้วต่อ X–Y เป็นขั้วต่อสำหรับต่อวัดตัวต้านทานที่ต้องการวัดค่า และปรับแต่งสเกลหน้าปัดของมิลลิแอมมิเตอร์ให้เป็นโอห์มมิเตอร์ ขณะลัดวงจรที่จุด X–Y เข้าด้วยกัน จะต้องมีกระแสไหลผ่านมิลลิแอมมิเตอร์เต็มสเกลพอดี

$$I = \frac{E}{R}$$

$$I_M = \frac{E}{R_M + R_1}$$

เมื่อ $I_M = ?$

$E = 1.5\ V$

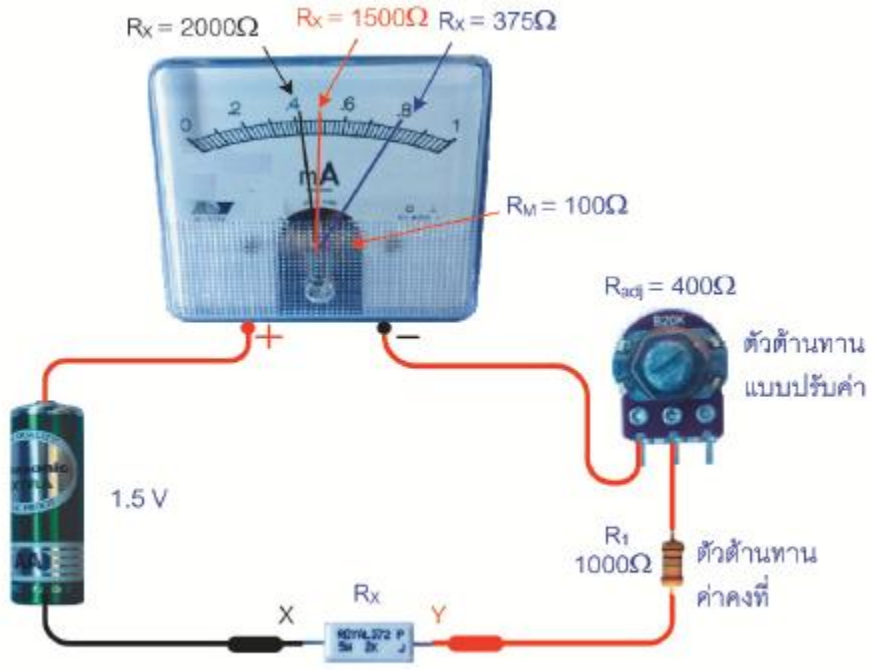
$R_M = 100\ \Omega$

$R_{adj} + R_1 = 1{,}400\ \Omega$

แทนค่า $I_M = \frac{1.5\ V}{100\ \Omega + 1400\ \Omega} = 1\ mA$

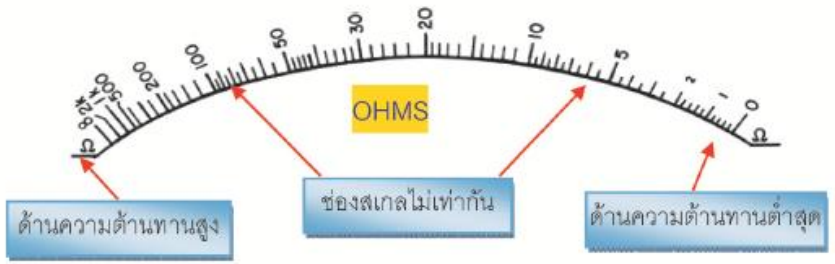
4.1.2 สเกลของโอห์มมิเตอร์

โอห์มมิเตอร์ถูกสร้างมาจากแอมมิเตอร์โดยอาศัยสภาวะการจำกัดกระแสไฟฟ้าของตัวต้านทานให้ไหลผ่านแอมมิเตอร์แตกต่างกันไป ดังนั้นการปรับแต่งสเกลของโอห์มมิเตอร์ทำได้โดยกำหนดค่าความต้านทานของตัวต้านทานหลาย ๆ ค่าจากค่าน้อยไปหาค่ามากตามลำดับ



รูปที่ 4.3 โอห์มมิเตอร์ต่อเพิ่มตัวต้านทาน R_X เพื่อปรับเปลี่ยนสเกล

จากรูปที่ 4.3 เป็นวงจรโอห์มมิเตอร์ที่ใส่ตัวต้านทานเพิ่มเข้าไป เพื่อใช้คำนวณค่าในการเปลี่ยนสเกลจากสเกลค่ากระแสไฟฟ้าเป็นสเกลวัดความต้านทาน ครั้งแรกกำหนดค่า RX = 0 Ω คือ ลัดวงจรจุด X–Y เข้าด้วยกัน มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านมิลลิแอมมิเตอร์สูงสุด



รูปที่ 4.4 สเกลหน้าปัดของโอห์มมิเตอร์

จากรูปที่ 4.4 แสดงสเกลหน้าปัดของโอห์มมิเตอร์ จะเห็นได้ว่าช่องสเกลห่างไม่เท่ากันหรือไม่เป็นเชิงเส้น (Non–Linear) ที่เป็นเช่นนี้เพราะการต่อความต้านทานเพิ่มเข้าไปในวงจรโอห์มมิเตอร์มีผลให้ค่าความต้านทานรวมในวงจรโอห์มมิเตอร์เปลี่ยนแปลงไป โดยความต้านทานที่ต่อเพิ่มเข้าไปจำกัดกระแสไฟฟ้าเข้ามิลลิแอมมิเตอร์เปลี่ยนแปลงไม่เป็นเชิงเส้นตามค่าความต้านทานที่ต่อเพิ่ม จึงส่งผลต่อสเกลของโอห์มมิเตอร์ไม่เป็นเชิงเส้นตามไปด้วย

4.1.3 การใช้งานโอห์มมิเตอร์

โอห์มมิเตอร์ที่ถูกสร้างขึ้นมาใช้งานจริงนั้นจะมีย่านวัดค่าความต้านทานหลายย่านวัดตั้งแต่วัดค่าความต้านทานต่ำ ๆ เป็นโอห์ม (Ω) ไปจนถึงวัดค่าความต้านทานสูง ๆ เป็นเมกโอห์ม (M Ω) โดยมีสเกลค่าความต้านทานที่วัดได้เพียงสเกลเดียว ค่าที่อ่านได้จะเป็นค่าที่ถูกต้องเป็นค่าความต้านทานจริง การอ่านค่าจะต้องปฏิบัติ 2 ประการ คือ ประการแรกอ่านค่าความต้านทานบนสเกลที่ตำแหน่งเข็มชี้ชี้ค่าออกมาประการที่สองดูย่านหน้าปัดที่ตั้งไว้นำมาคูณกับค่าความต้านทานที่อ่านได้ แสดงดังรูปที่ 4.5

รูปที่ 4.5 ตัวอย่างโอห์มมิเตอร์

จากรูปที่ 4.5 เป็นตัวอย่างของโอห์มมิเตอร์ โดยโอห์มมิเตอร์บางรุ่นมีย่านหลายย่านวัด เช่น ย่านวัดคือ R×1, R×10, R×100, R×1k, R×10k, R×100k มีตัวเลขบอกค่าบนของสเกลบอกไว้ดังนั้นในแต่ละย่านวัดสามารถวัดค่าความต้านทานออกมาได้ โดยนำค่าที่อ่านได้คูณกับย่านวัดที่ตั้งไว้

4.1.4 วิธีอ่านค่าความต้านทาน

โดยทั่วไปโอห์มมิเตอร์มีสเกลเพียงสเกลเดียว แต่มีหลายย่านวัด เช่น ย่านวัด ×1, ×10, × 100, ×1k และ ×10k เป็นต้น การอ่านค่าจึงไม่ยุ่งยาก คืออ่านค่าบนสเกลที่เข็มชี้ค่า แล้วนำค่าที่อ่านได้ คูณกับย่านวัดที่ตั้งไว้ จะได้ค่าความต้านทานที่วัดออกมา ดังตัวอย่างเข็มชี้ค่าที่เลข 2 ค่าที่อ่านได้เป็นดังนี้

ตั้งย่าน R ×1 อ่านค่าได้ 2 ×1 = 2 Ω

ตั้งย่าน R ×10 อ่านค่าได้ 2 ×10 = 20 Ω

ตั้งย่าน R ×100 อ่านค่าได้ 2 ×100 = 200 Ω

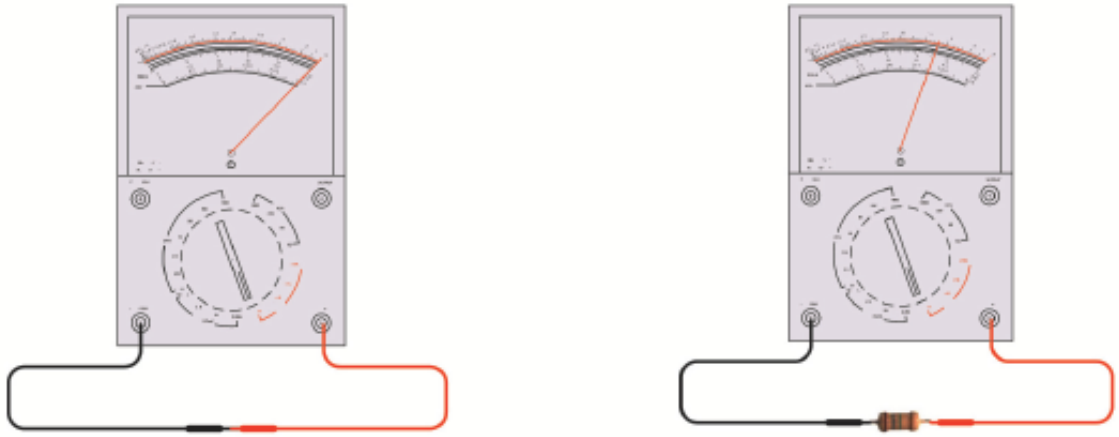
ตั้งย่าน R ×1k อ่านค่าได้ 2 ×1k = 2 k Ω

ตั้งย่าน R × 10k อ่านค่าได้ 2 ×10k = 20 k Ω

การนำโอห์มมิเตอร์ไปวัดค่าความต้านทานของตัวต้านทาน ควรปฏิบัติดังนี้

1. ปรับสวิตช์เลือกย่านวัดไปในย่านที่ต้องการ หากไม่ทราบค่าความต้านทานที่จะวัดค่าให้ตั้งย่านวัดย่านต่ำสุดไว้ก่อนเสมอ

2. ลัดปลายสายวัดทั้งสองของโอห์มมิเตอร์เข้าด้วยกัน สังเกตเข็มชี้บ่ายเบนที่ตำแหน่ง 0 Ω หรือไม่ ถ้าเข็มชี้ชี้ไม่ตรงตำแหน่ง 0 Ω ต้องปรับแต่งปุ่มปรับโอห์มมิเตอร์ (OHMS ADJ) ที่หน้าปัด ให้เข็มชี้เคลื่อนที่ไปชี้ที่ตำแหน่ง 0 Ω พอดี การปรับแต่งโอห์มมิเตอร์แสดงดังรูปที่ 4.6 (ก)



(ก) การปรับแต่งโอห์มมิเตอร์ก่อนการใช้งาน (ข) การใช้โอห์มมิเตอร์วัดค่าความต้านทาน

รูปที่ 4.6 การใช้โอห์มมิเตอร์

3. นำโอห์มมิเตอร์ที่ปรับแต่งเรียบร้อยไปวัดค่าความต้านทานได้ โดยต่อวัดดังรูปที่ 4.6 (ข)

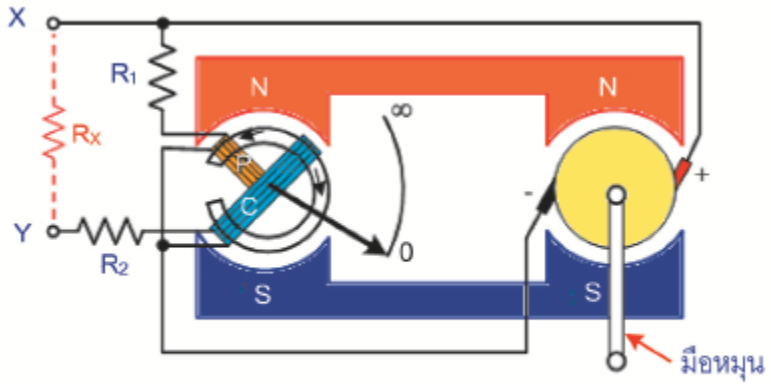
4. หากวัดแล้วเข็มชี้ไม่ขึ้นหรือขึ้นเล็กน้อย เข็มชี้ชี้บริเวณความต้านทานสูงใกล้ที่ค่า ∞ ต้องเปลี่ยนย่านวัดค่าความต้านทานใหม่ในย่านสูงขึ้นที่เหมาะสม ทุกครั้งที่เปลี่ยนย่านวัดควรปรับแต่งโอห์มมิเตอร์ให้พร้อมใช้งานก่อนเสมอ

4.2 เมกโอห์มมิเตอร์

เมกโอห์มมิเตอร์ (Meg–ohmmeter) เป็นโอห์มมิเตอร์อีกชนิดหนึ่งที่ใช้วัดค่าความต้านทานของอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่มีค่าความต้านทานสูง ๆ เป็นเมกโอห์มขึ้นไป หรือไว้สำหรับวัดความเป็นฉนวนไฟฟ้าที่นำมาใช้งาน มักนิยมเรียกว่าเมกเกอร์ (Megger) เมกโอห์มมิเตอร์มีสเกลหน้าปัดบอกค่าสเกลไว้เป็นเมกโอห์ม (M Ω) โดยตรง รูปร่างของเมกโอห์มมิเตอร์แสดงดังรูปที่ 4.9

รูปที่ 4.9 ตัวอย่างเมกโอห์มมิเตอร์

จากรูปที่ 4.9 เป็นเมกโอห์มมิเตอร์ ภายในมีเครื่องกำเนิดแรงดันไฟตรง (DC Generator) รวมอยู่ด้วยกัน ทำหน้าที่จ่ายแรงดันไฟฟ้าให้วงจรขณะทำการวัดค่าความต้านทานแทนแบตเตอรี่ ลักษณะโครงสร้างภายในเมกโอห์มมิเตอร์ แสดงดังรูปที่ 4.10



รูปที่ 4.10 โครงสร้างภายในเมกโอห์มมิเตอร์

จากรูปที่ 4.10 เป็นโครงสร้างภายในเมกโอห์มมิเตอร์ ประกอบด้วยเครื่องกำเนิดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงสามารถกำเนิดแรงดันไฟฟ้าสูงประมาณ 500 V และ 1,000 V แม่เหล็กถาวรแกนเหล็กรูปวงแหวนขดลวดแรงดันไฟฟ้า P (Potential Coil) ขดลวดกระแสไฟฟ้า C (Current Coil) และตัวต้านทาน R1, R2 ขดลวด P และขดลวด C สามารถหมุนรอบแกนเหล็กรูปวงแหวนได้และมีเข็มชี้ยึดติดอยู่ด้วย ปกติเข็มชี้จะชี้ที่ตำแหน่งใดก็ได้ ไม่จำเป็นต้องชี้ที่ตำแหน่ง 0 Ω เพราะส่วนเคลื่อนไหวของมิเตอร์ชนิดนี้ไม่มีสปริงก้นหอยคอยควบคุมการบ่ายเบนกลับของเข็มชี้ แต่ก่อนการใช้งานควรจะปรับเข็มชี้ให้ชี้ที่ตำแหน่ง 0 Ω ก่อน

ถ้าไม่ได้ต่อตัวต้านทาน RX เข้าจุดวัด และเปิดจุดวัดออก เมื่อหมุนเครื่องกำเนิดแรงดันไฟฟ้าจะมีแรงดันไฟฟ้ากำเนิดขึ้นมาป้อนให้ตัวต้านทาน R1 และขดลวดแรงดันไฟฟ้า P ทำให้ขดลวดแรงดันไฟฟ้า P เกิดอำนาจแม่เหล็กผลักดันกับอำนาจแม่เหล็กถาวร ส่วนขดลวดกระแสไฟฟ้า C ไม่เกิดอำนาจแม่เหล็กอำนาจแม่เหล็กทั้งสองผลักดันกัน ทำให้เข็มชี้บ่ายเบนไปชี้ที่ตำแหน่ง ∞ ตัวต้านทาน R1 ที่ต่ออันดับกับขดลวดแรงดันไฟฟ้า P ทำหน้าที่จำกัดกระแสไฟฟ้าให้ไหลผ่านขดลวดแรงดันไฟฟ้า P ไม่มากเกินไป

ถ้าลัดจุดต่อตัวต้านทาน RX เข้าด้วยกัน เมื่อหมุนเครื่องกำเนิดแรงดันไฟฟ้า ทำให้มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านทั้งขดลวดแรงดันไฟฟ้า P กับ R1 และขดลวดกระแสไฟฟ้า C กับ R2 เกิดอำนาจแม่เหล็กขึ้นที่ขดลวดทั้งสองชุดผลักดันกับอำนาจแม่เหล็กถาวร แต่เนื่องจากอำนาจแม่เหล็กของขดลวดกระแสไฟฟ้า C มีอำนาจแม่เหล็กมากกว่าขดลวดแรงดันไฟฟ้า P ทำให้เข็มชี้บ่ายเบนชี้ค่าที่ 0 Ω ตัวต้านทาน R2 ที่ต่ออันดับกับขดลวดกระแสไฟฟ้า C ทำหน้าที่จำกัดกระแสไฟฟ้าให้ไหลผ่านขดลวดกระแส C ไม่มากเกินไป

เมื่อต่อตัวต้านทาน RX เข้าที่จุดต่อวัด และหมุนเครื่องกำเนิดแรงดันไฟฟ้า มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านทั้งขดลวดแรงดันไฟฟ้า P และขดลวดกระแสไฟฟ้า C อำนาจแม่เหล็กของขดลวดแรงดันไฟฟ้า P พยายามผลักดันให้เข็มชี้บ่ายเบนไปที่ตำแหน่ง ∞ ส่วนขดลวดกระแสไฟฟ้า C พยายามผลักดันให้เข็มชี้บ่ายเบนไปที่ตำแหน่ง 0 Ω การบ่ายเบนของเข็มชี้นี้จะบ่ายเบนไปทาง ∞ ได้มากหรือน้อย ขึ้นอยู่กับความต้านทาน RX ที่นำมาต่อวัด ถ้า RX มีค่าความต้านทานมากจะมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านขดลวดกระแสไฟฟ้า C น้อย ทำให้ เข็มชี้ถูกบ่ายเบนไปทาง ∞ มาก ถ้า RX มีค่าความต้านทานน้อย มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านขดลวดกระแสไฟฟ้า C มาก อำนาจแม่เหล็กขดลวดกระแสไฟฟ้า C เกิดมาก เข็มชี้ถูกบ่ายเบนไปทาง 0 Ω มาก นั่นคือการแสดงค่าความต้านทานที่วัดได้ออกมาในหน่วยของเมกโอห์ม