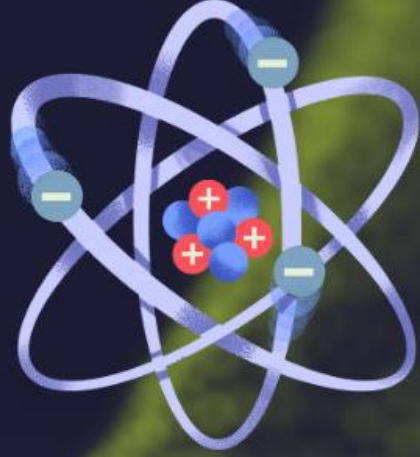
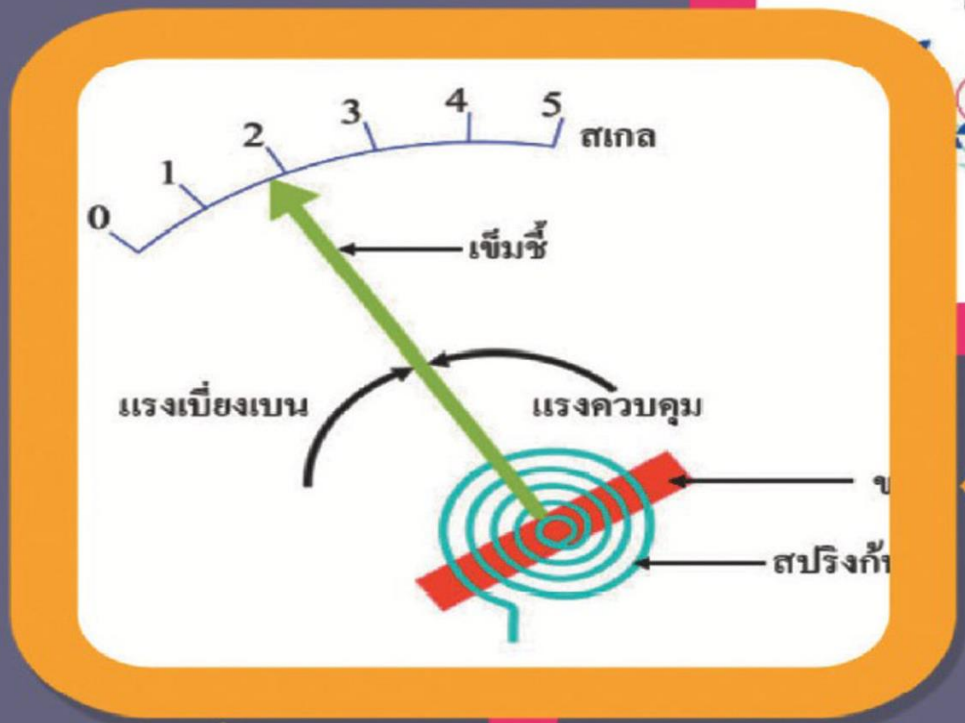
เครื่องมือวัดในงานยานยนต์ไฟฟ้า

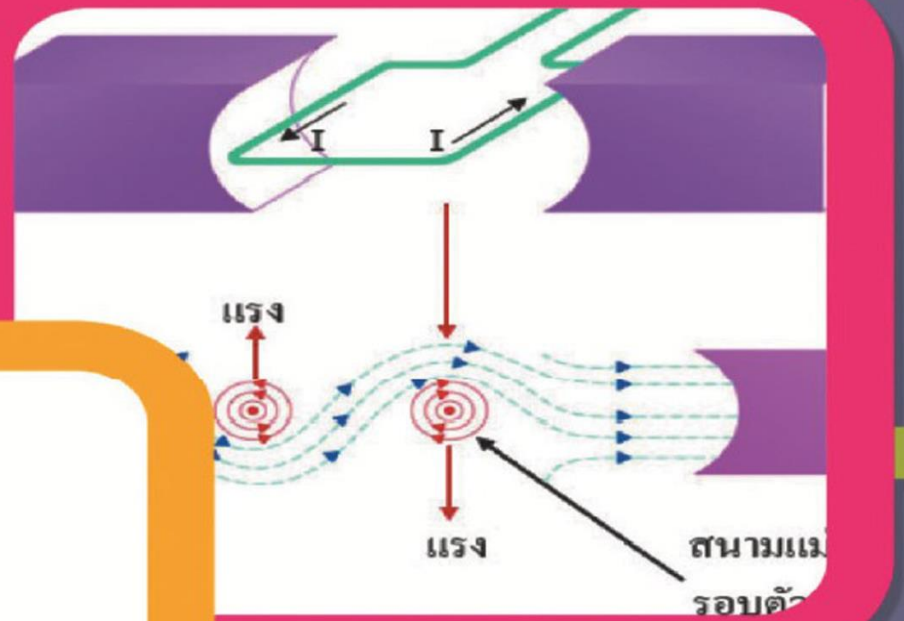
20143 - 2004



หน่วยที่ 5

เครื่องวัดไฟฟ้ากระแสตรง





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

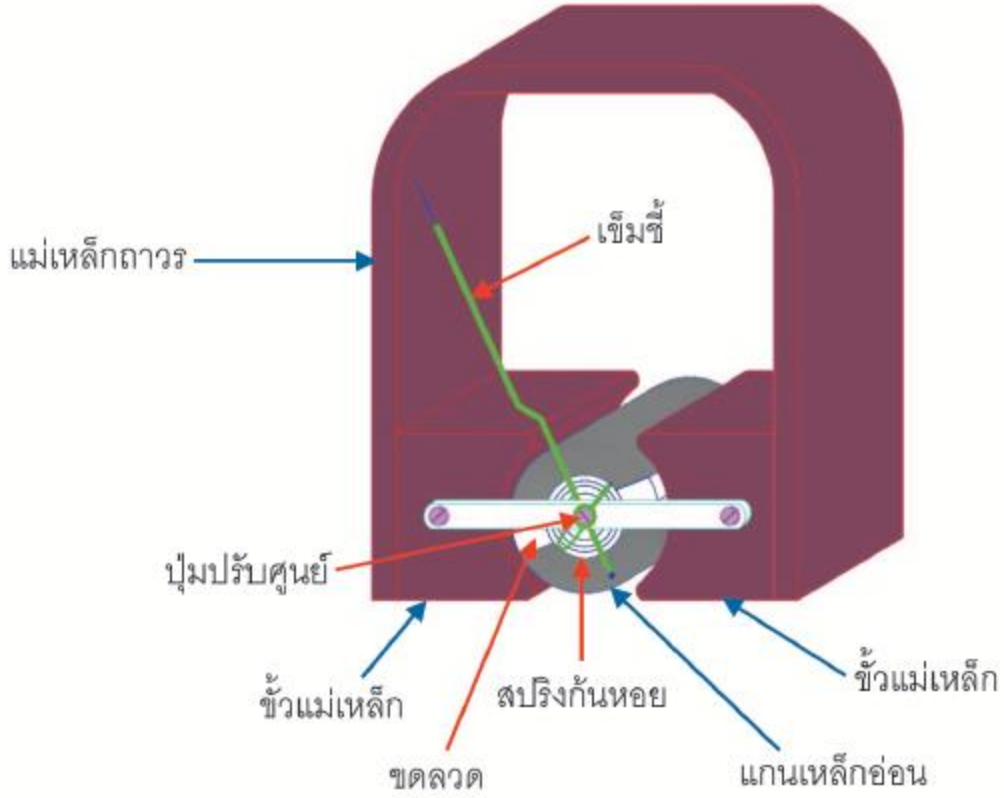
(4) แกน (Pivotor Shaft) จะมีปลายแหลมมาก ๆ เพื่อป้องกันแรงเสียดทานกับที่รองรับแกน (Jewel Bearing)

(5) เข็มชี้ (Pointer)

(6) หน้าปัด (Scale)

(7) ปุ่มปรับศูนย์ (Zero Position Control)

(8) น้ำหนักถ่วง (Counter Weight)

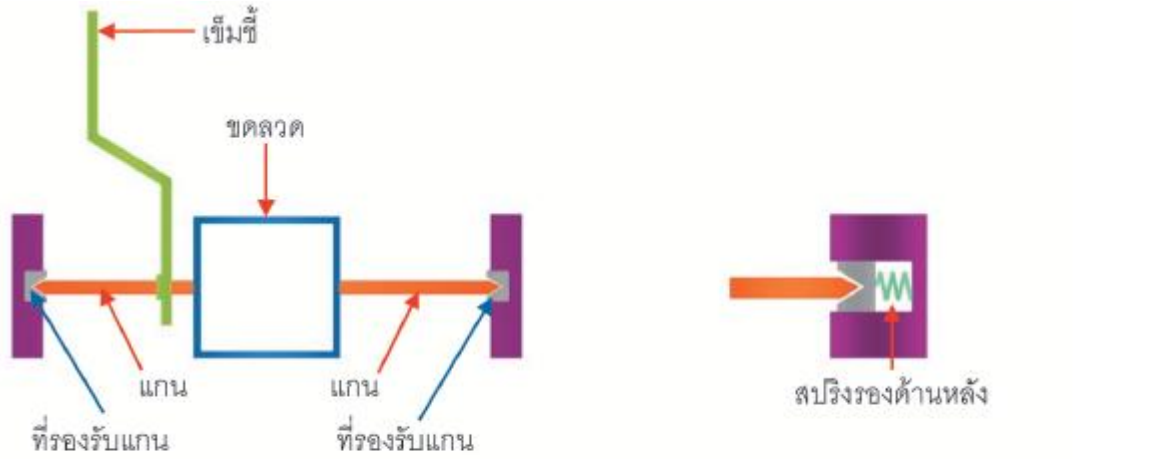


รูปที่ 5.1 โครงสร้างของขดลวดเคลื่อนที่แบบดาร์สันวาล

5.1.2 ที่รองรับแกน

ที่รองรับแกน (Jewel Bearing) ของขดลวดเคลื่อนที่จะต้องไม่มีแรงเสียดทานกับปลายแกนของขดลวด มี 2 แบบ คือ

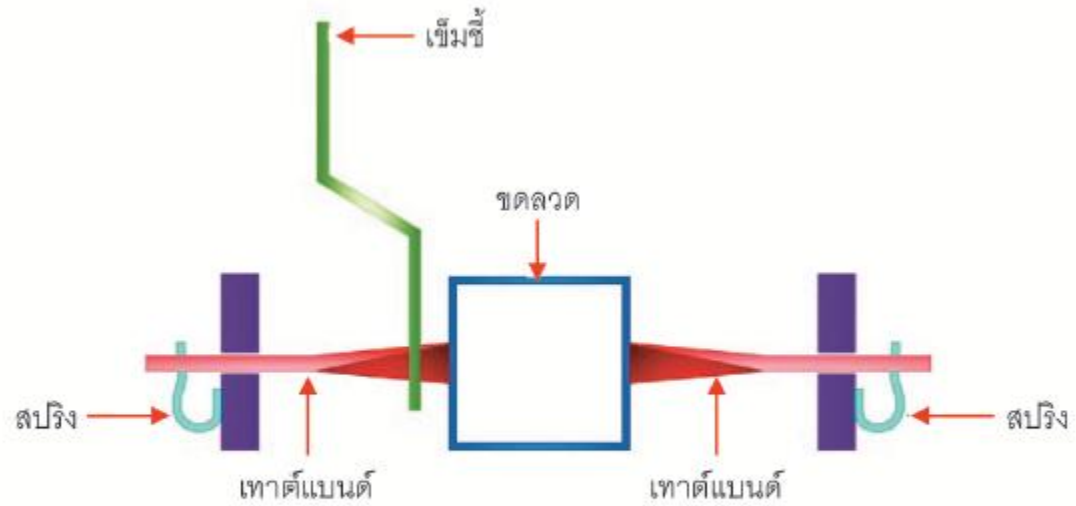
1. ที่รองรับแกนแบบตัววี โดยที่ตัววี (V) จะทำด้วยแซฟไฟร์ (Sapphire) หรือแก้ว บางรุ่นอาจมีสปริงรองอยู่ด้านหลัง แกน (Pivot) ของขดลวดจะต้องแหลมมาก ๆ จะได้มีจุดสัมผัสน้อยที่สุด เพื่อลดแรงเสียดทานกับตัววี ดังรูปที่ 5.2 (Bell, David A., 1994: 33)



(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)

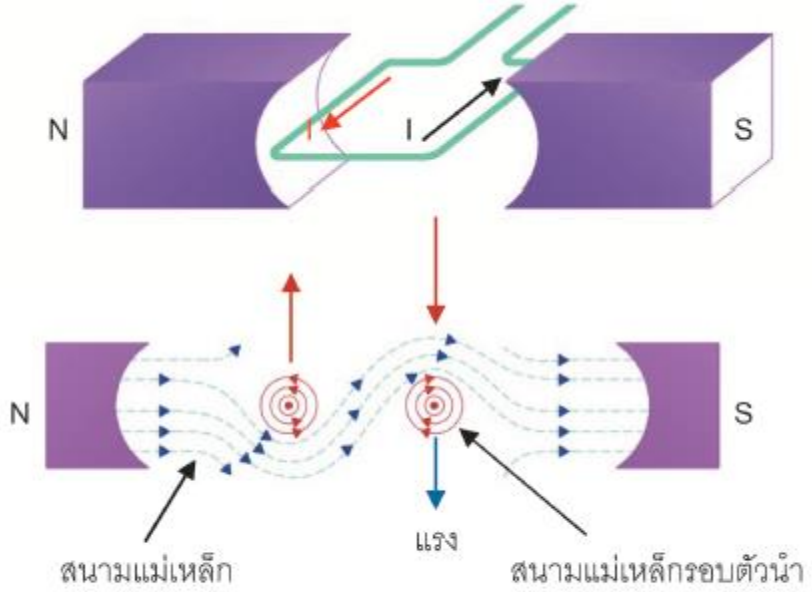


รูปที่ 5.3 ที่รองรับแกนแบบห้อยแขวนเทาต์แบนด์

5.1.3 แรงทางกลของเครื่องมือวัด

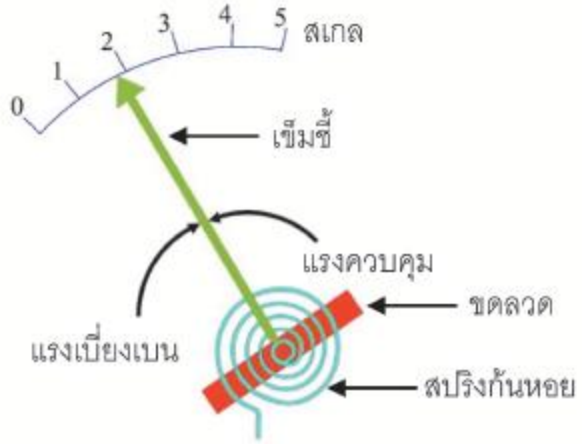
แรงทางกลของเครื่องมือวัด (Instrument Mechanical Force) เป็นแรงทางกลกระทำให้เข็มชี้และขดลวดเคลื่อนที่หมุนตามปริมาณกระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้ขดลวดนั้น มีดังนี้

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



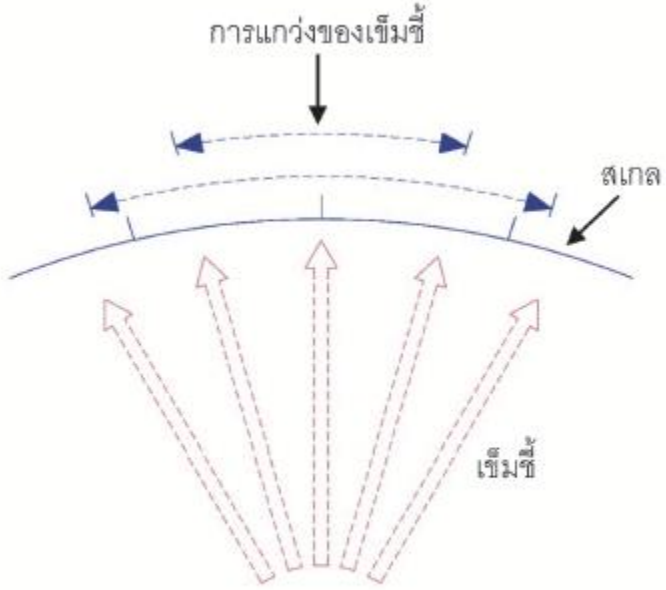
รูปที่ 5.4 แรงเบี่ยงเบนที่เกิดในขดลวดเคลื่อนที่

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

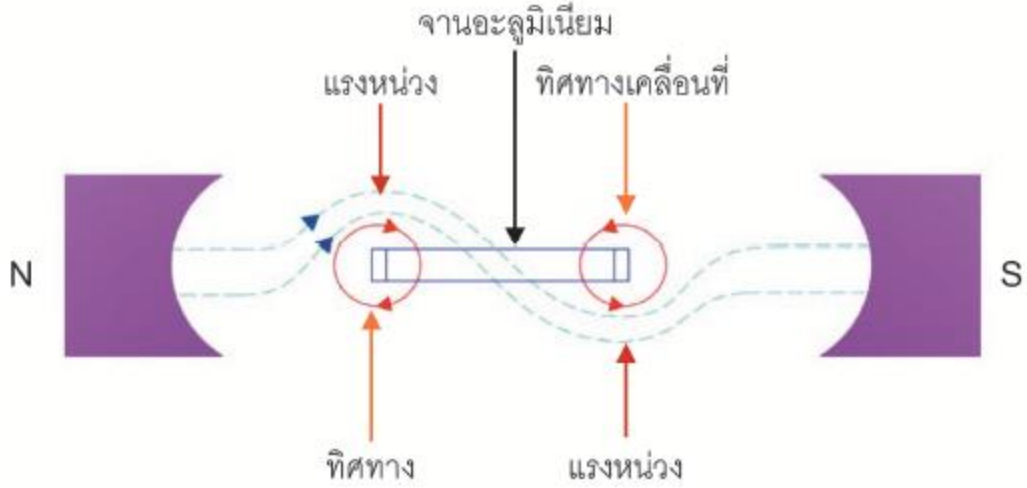


รูปที่ 5.5 แรงควบคุมสมดุลกับแรงเบี่ยงเบนทำให้เข็มชี้หยุดนิ่ง

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



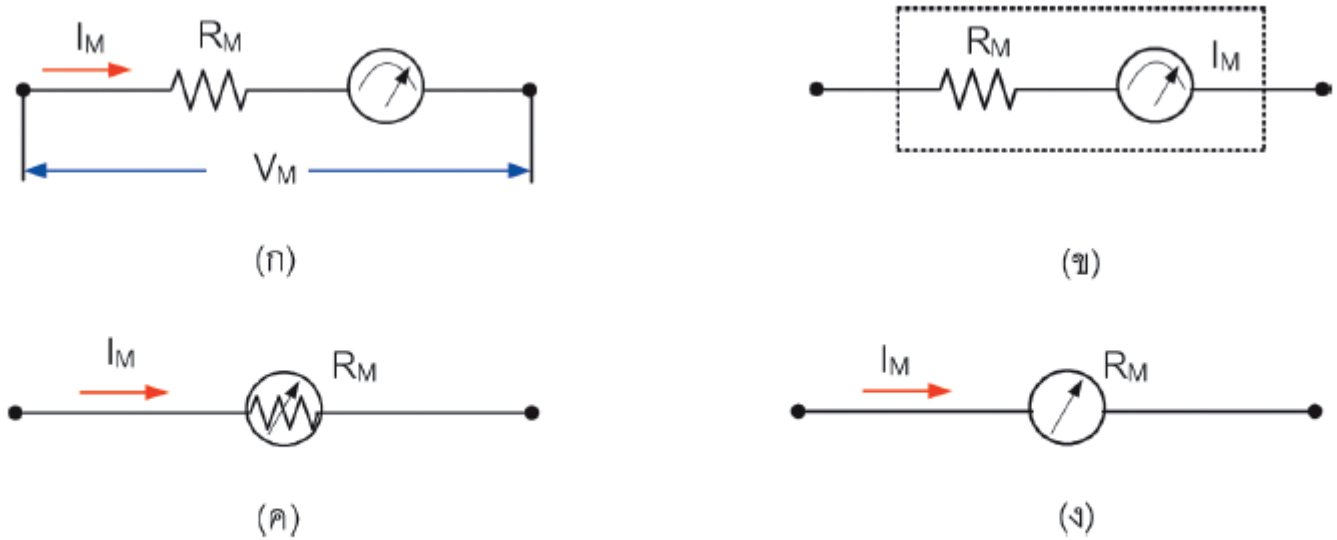
รูปที่ 5.6 การแกว่งหรือสวิงของเข็มชี้ก่อนจะหยุดนิ่ง



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

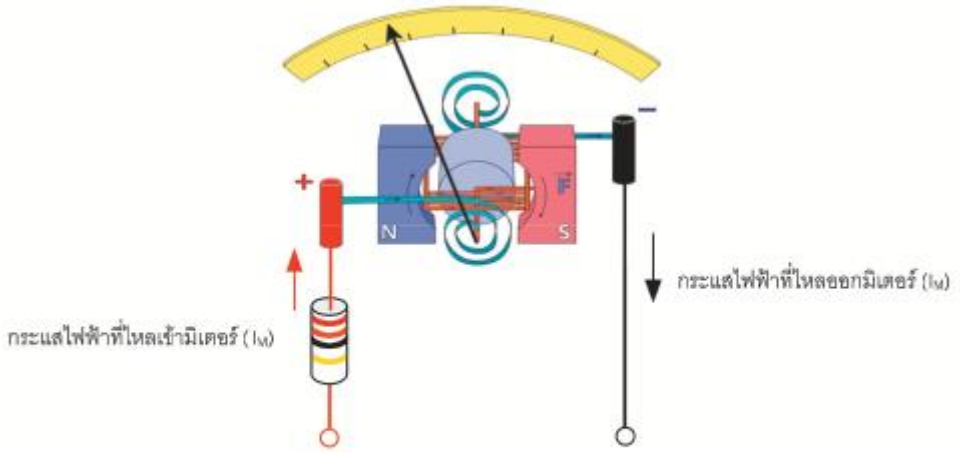
ดาร์สันวาลมิเตอร์สามารถพัฒนาเป็นโวลต์มิเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงโดยอาศัยคุณสมบัติการจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงให้ไหลผ่านขดลวดเคลื่อนที่ของดาร์สันวาลมิเตอร์เหมือนกัน ปริมาณของแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ป้อนให้ดาร์สันวาลมิเตอร์มีผลต่อกระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้น

รูปที่ 5.9 ตัวอย่างโวลต์มิเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

5.2.1 โครงสร้างโวลต์มิเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

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

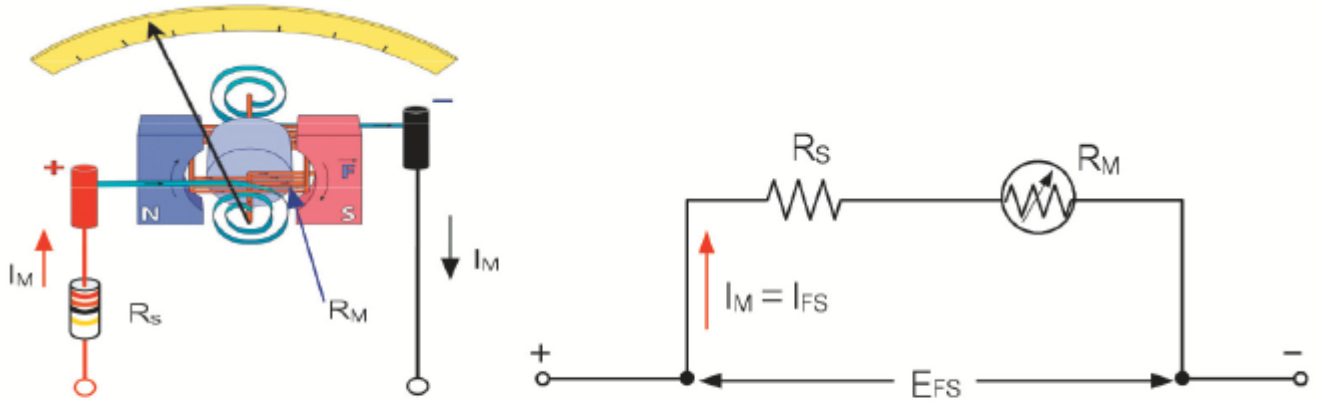
โวลต์มิเตอร์เป็นมิเตอร์ที่สร้างขึ้นมาเพื่อใช้วัดค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า (แรงดันไฟฟ้าหรือแรงดันไฟฟ้าตกคร่อม) ระหว่างจุดสองจุดในวงจรไฟฟ้าความจริงแล้วโวลต์มิเตอร์ก็คือแอมมิเตอร์นั่นเอง เพราะขณะวัดแรงดันไฟฟ้าในวงจรหรือแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าจะต้องมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านมิเตอร์จึงทำให้เข็มมิเตอร์บ่ายเบนไป การที่กระแสไฟฟ้าจะไหลผ่านเข้าโวลต์มิเตอร์ได้ก็ต้องมีแรงดันไฟฟ้าป้อนเข้ามา 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

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

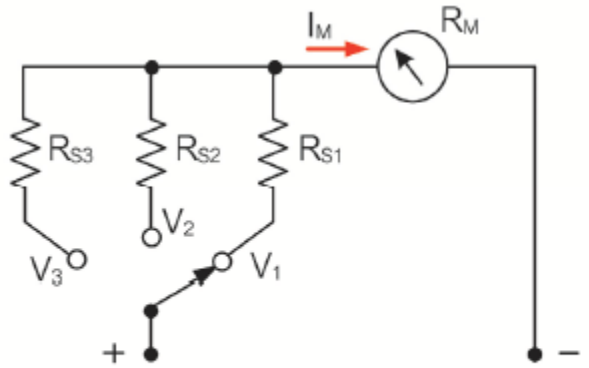
$$R_S + R_M = \frac{E_{FS}}{I_{FS}}$$

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

5.2.3 โวลต์มิเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบหลายย่านวัด

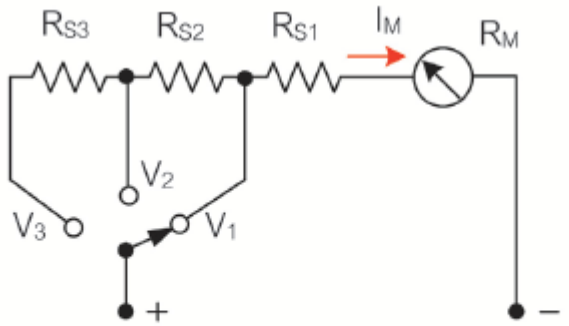
โวลต์มิเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบหลายย่านวัด (Multirange DC voltmeter) คือ การต่อตัวต้านทานหลาย ๆ ตัว อนุกรมกับมิเตอร์ วิธีการต่อแบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ

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

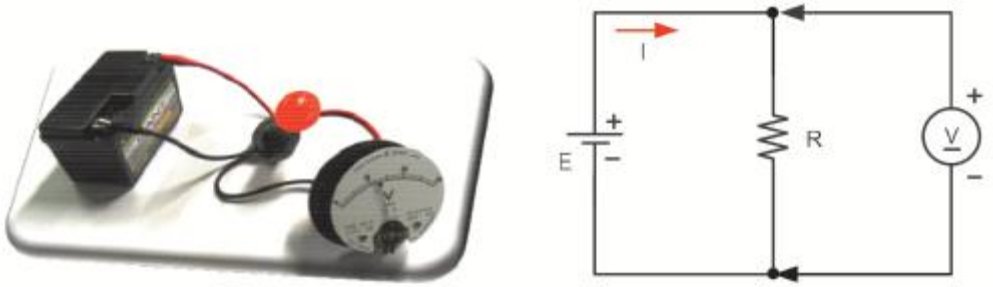


รูปที่ 5.16 โวลต์มิเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงหลายย่านวัดแบบยูนิเวอร์แซล

การคำนวณค่าความต้านทานของวงจรมีข้อยุ่งยากกว่าแบบอินดิวิดวล เพราะตัวต้านทานของทุกย่านวัดต่ออนุกรมกันทุกตัว ซึ่งต้องเริ่มทำการคำนวณตั้งแต่ย่านวัดต่ำเป็นต้นไป

5.2.4 การต่อโวลต์มิเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

โวลต์มิเตอร์สร้างขึ้นมาเพื่อวัดค่าความต้านทานต่างศักย์ไฟฟ้าของแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าหรือวัดค่าแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมระหว่างจุดสองจุดในวงจรในตำแหน่งที่ต้องการวัด (ต่อขนานกับจุดวัด)เสมอ ลักษณะการต่อแสดงดังรูปที่ 5.18

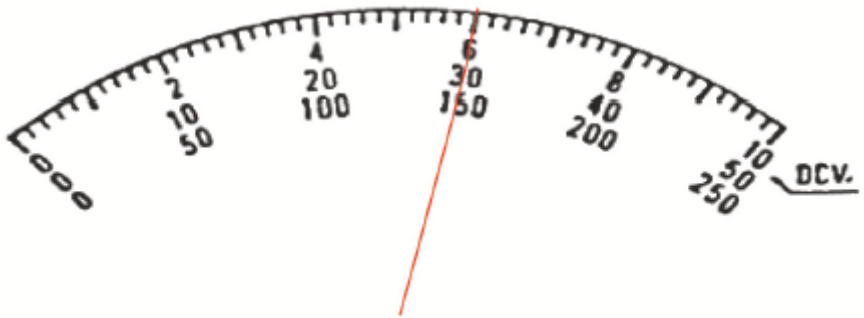


รูปที่ 5.18 การต่อโวลต์มิเตอร์วัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง

จากรูปที่ 5.18 เป็นการต่อโวลต์มิเตอร์วัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงโดยต่อขนานกับส่วนที่จะวัดหรือตกคร่อม การต่อโวลต์มิเตอร์วัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงจะต้องคำนึงถึงขั้วของโวลต์มิเตอร์ โดยขั้วบวกโวลต์มิเตอร์ต่อกับขั้วบวกของแหล่งจ่ายและขั้วลบต่อกับขั้วลบ หากต่อสลับขั้วจะทำให้เข็มบ่ายเบนกลับทิศทางและอาจทำให้โวลต์มิเตอร์ชำรุดเสียหายได้

5.2.5 การอ่านสเกลของโวลต์มิเตอร์

โวลต์มิเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงที่ถูกสร้างขึ้นมาใช้งานมักจะมีย่านวัดค่าแรงดันเต็มสเกลหลายย่านและมีสเกลบอกค่าแรงดันไฟฟ้าหลายสเกลทั้งนี้เพื่อให้เกิดความสะดวกในการใช้งานดังนั้นการเปลี่ยนย่านวัดค่าควรเลือกใช้ให้เหมาะสม การอ่านสเกลก็ต้องอ่านให้ถูกต้องกับย่านวัดที่ตั้งวัดจึงจะได้ค่าแรงดันไฟฟ้าที่วัดได้มีค่าถูกต้อง



รูปที่ 5.19 ตำแหน่งที่เข็มชี้ของโวลต์มิเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

5.3 แอมมิเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

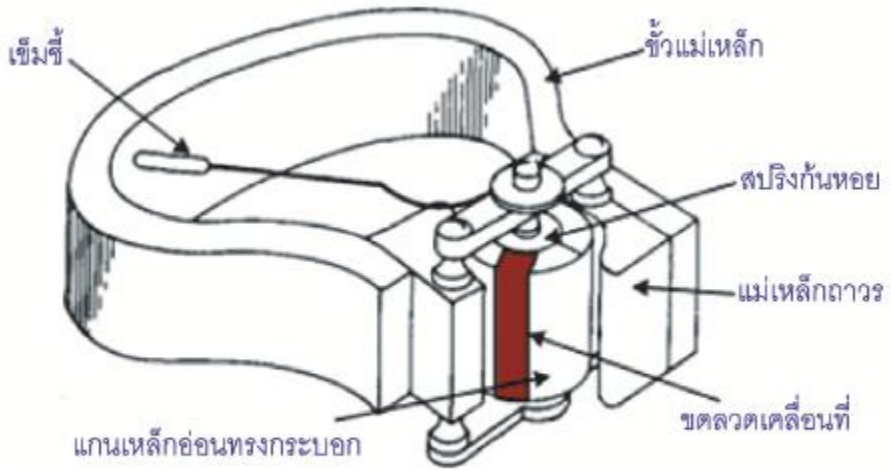
แอมมิเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (DC Ammeter) เป็นเครื่องวัดไฟฟ้ากระแสตรงที่ใช้วัดกระแสไฟฟ้าได้หลายค่า คือ วัดกระแสไฟฟ้าเป็นไมโครแอมแปร์ เรียกว่า ไมโครแอมมิเตอร์ (Microammeter) ใช้วัดกระแสไฟฟ้าเป็นมิลลิแอมแปร์ เรียกว่า มิลลิแอมมิเตอร์ (Milliammeter) และใช้วัดกระแสไฟฟ้าเป็นแอมแปร์ เรียกว่า แอมมิเตอร์ ตัวอย่างมิลลิแอมมิเตอร์และแอมมิเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง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

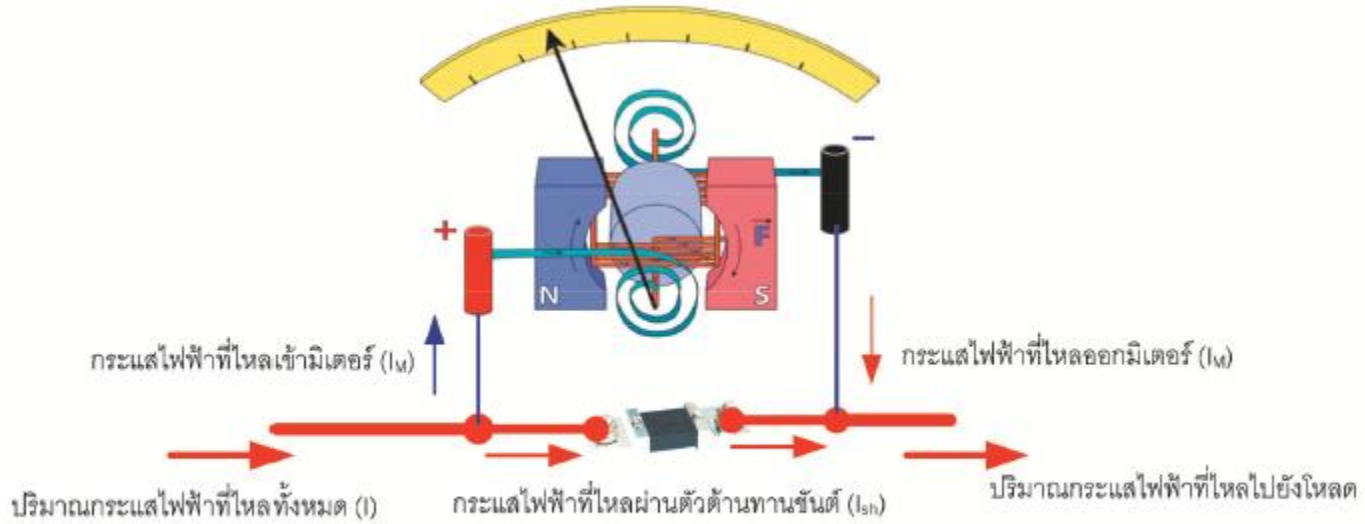
รูปที่ 5.23 ตัวต้านทานชันต์ที่ใช้สำหรับแอมมิเตอร์

5.3.2 การขยายย่านวัดของแอมมิเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

การขยายย่านวัดของขดลวดเคลื่อนที่แบบแม่เหล็กถาวรเพื่อทำเป็นแอมมิเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง มี 2 วิธี คือ ใช้ตัวต้านทานชันต์แบบตัวเดียวหรือแบบซิงเกิลชันต์และใช้ตัวต้านทานแบบอาร์ตันชันต์

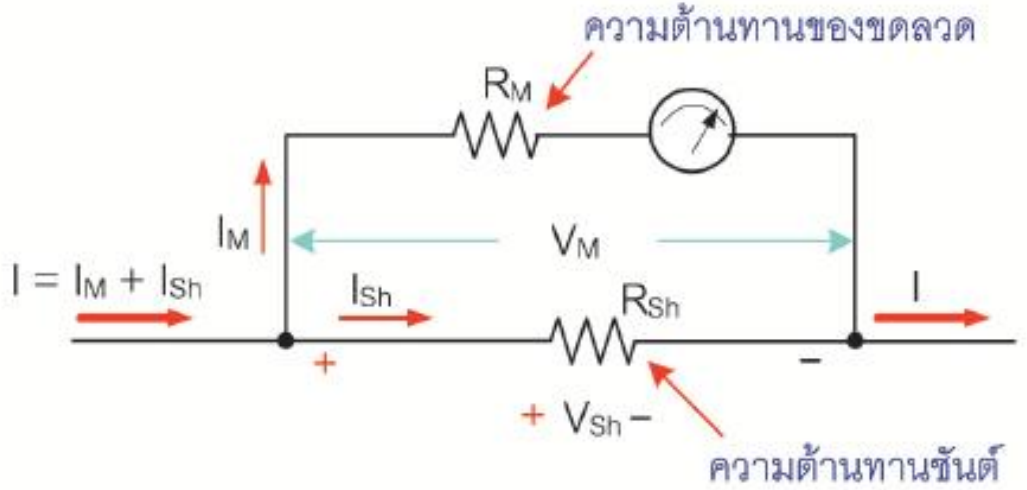
1. การขยายย่านวัดของแอมมิเตอร์แบบซิงเกิลชันต์

(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

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

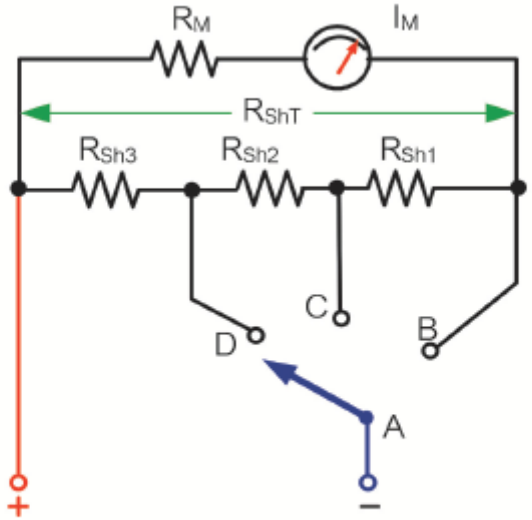
หรือ $$I_{Sh} = I - I_M$$

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

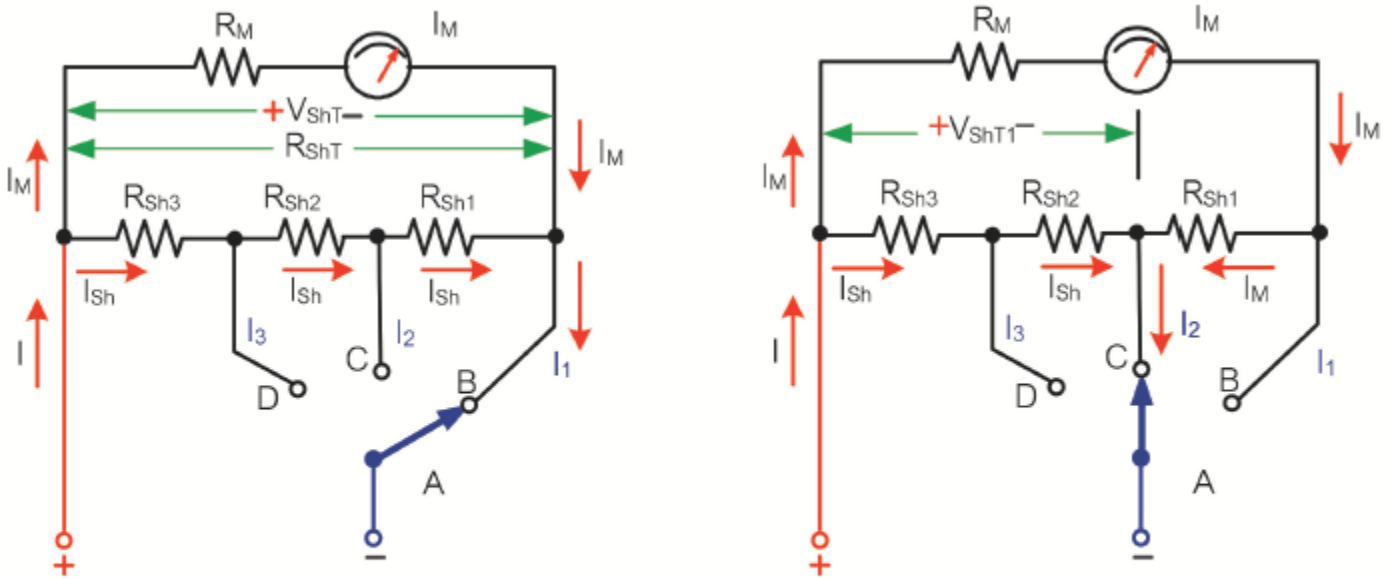
2. การขยายย่านวัดของแอมมิเตอร์แบบอาร์ตันชันต์ (Ayrton Shunt) หรือเรียกว่ายูนิเวอร์เซลชันต์ (Universal Shunt) ใช้หลักการของวงจรขนานเหมือนกับแบบซิงเกิลชันต์ โดยใช้ตัวต้านทานชันต์ ย่านวัดต่ำสุดให้ถูกแบ่งไปให้ย่านวัดถัดไปตามลำดับจนถึงย่านวัดสูงสุด ดังรูปที่ 5.29 ทำให้ไม่มีปัญหาเหมือนกับการเปลี่ยนย่านวัดของแอมมิเตอร์หลายย่านวัดแบบซิงเกิลชันต์



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

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

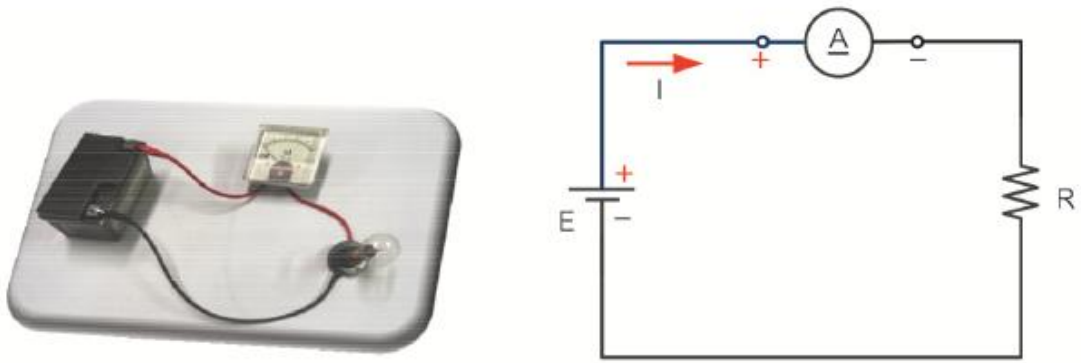
กระแสไฟฟ้า I เป็นกระแสสูงสุดของย่านวัด เมื่อสวิตช์เลือกอยู่ในตำแหน่ง D จะได้ RSh3

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

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