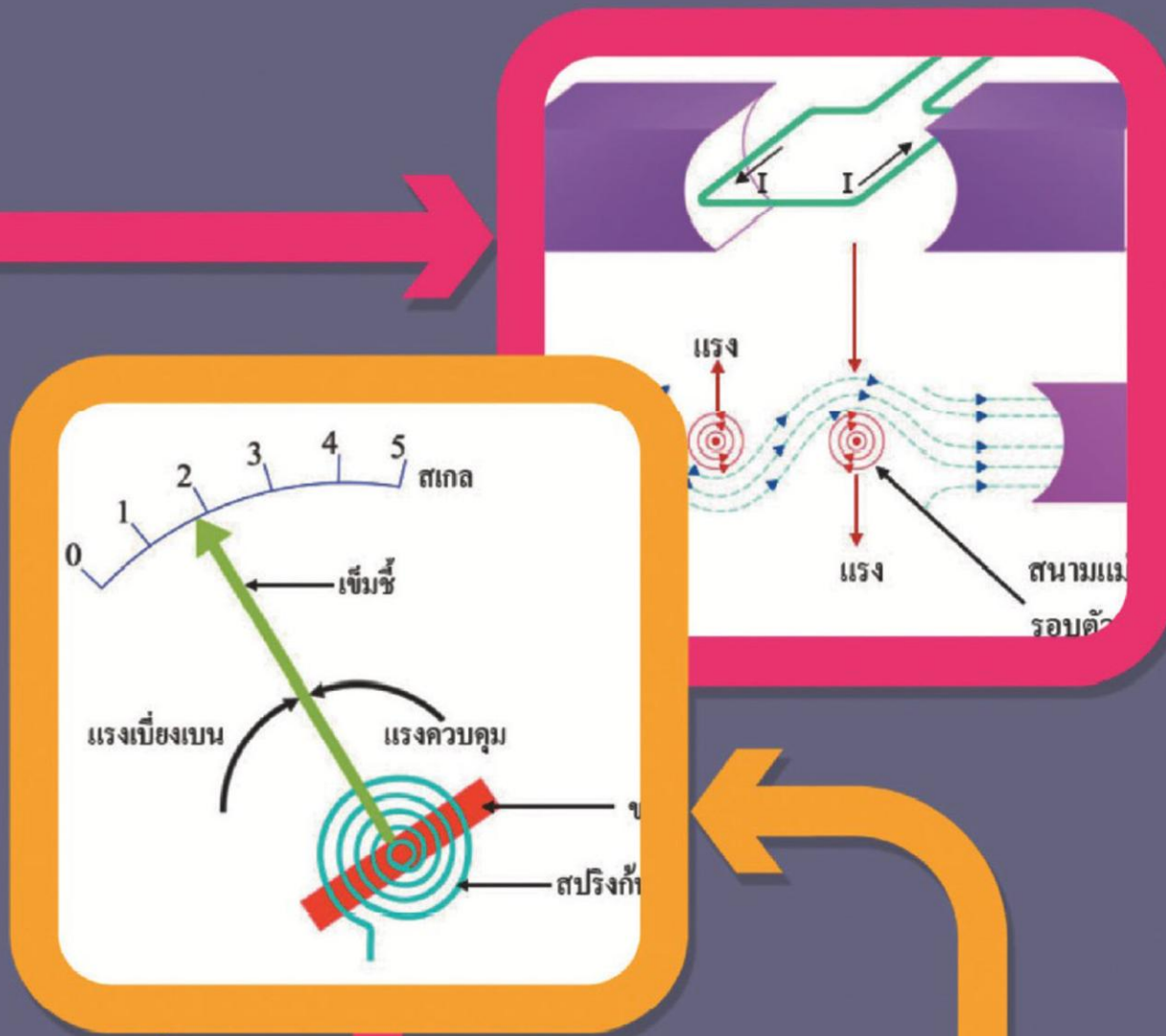


# หน่วยที่ 5

## เครื่องวัดไฟฟ้า กระแสตรง



## หัวข้อเรื่อง (Topics)

5.1

เครื่องวัดแบบขดลวดเคลื่อนที่

5.2

โวลต์มิเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

5.3

แอมมิเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

ในปี พ.ศ. 2424 (ค.ศ. 1881) แจ็คส์ดาร์สันวาล (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

เครื่องวัดไฟฟ้าชนิดขดลวดเคลื่อนที่แบบดาร์สันวาลมีโครงสร้างพื้นฐานประกอบด้วยขดลวดทองแดงน้ำหนักเบาอยู่ระหว่างแม่เหล็กถาวร 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)** เป็นลวดทองแดงน้ำหนักรเบา

(2) **แกนขดลวด (Core)** เป็นจานอะลูมิเนียม

(3) **สปริงกันหอย (Spiral Spring)** หรือสปริงควบคุม (Control Spring) จะมีทั้งด้านบนและด้านล่างของขดลวด สปริงกันหอยนี้将有ความต้านทานต่ำทำด้วยฟอสเฟอร์บรอนซ์ และจะจ่ายกระแสไฟฟ้าผ่านสปริงกันหอยไปให้ขดลวด

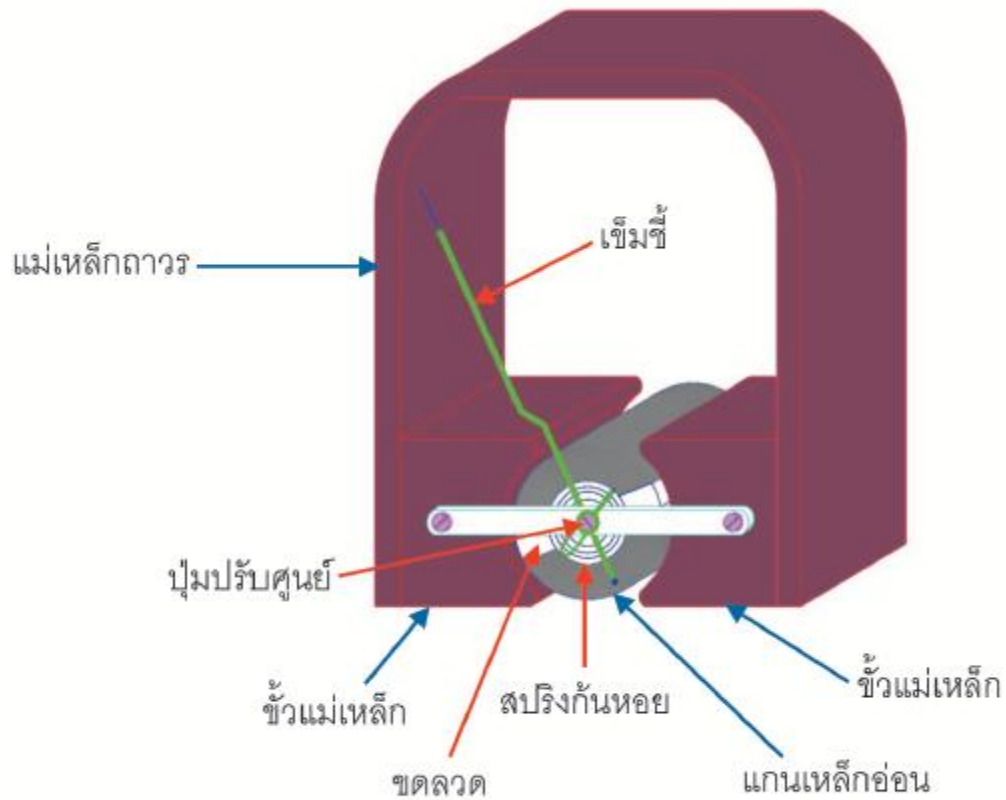
(4) **แกน (Pivotor Shaft)** จะมีปลายแหลมมาก ๆ เพื่อป้องกันแรงเสียดทานกับที่รองรับแกน (Jewel Bearing)

(5) **เข็มชี้ (Pointer)**

(6) **หน้าปัด (Scale)**

(7) **ปุ่มปรับศูนย์ (Zero Position Control)**

(8) **น้ำหนักถ่วง (Counter Weight)**

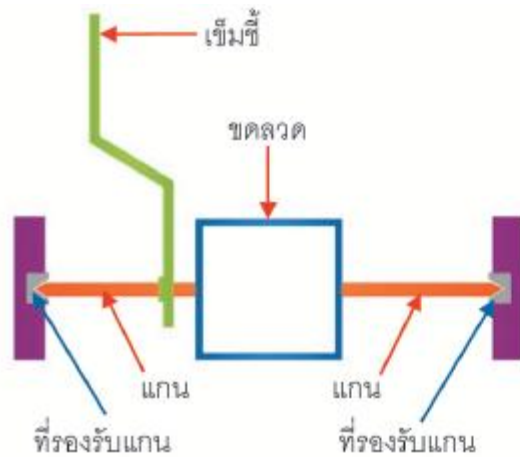


รูปที่ 5.1 โครงสร้างของขดลวดเคลื่อนที่แบบคาร์สันวาล

### 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)



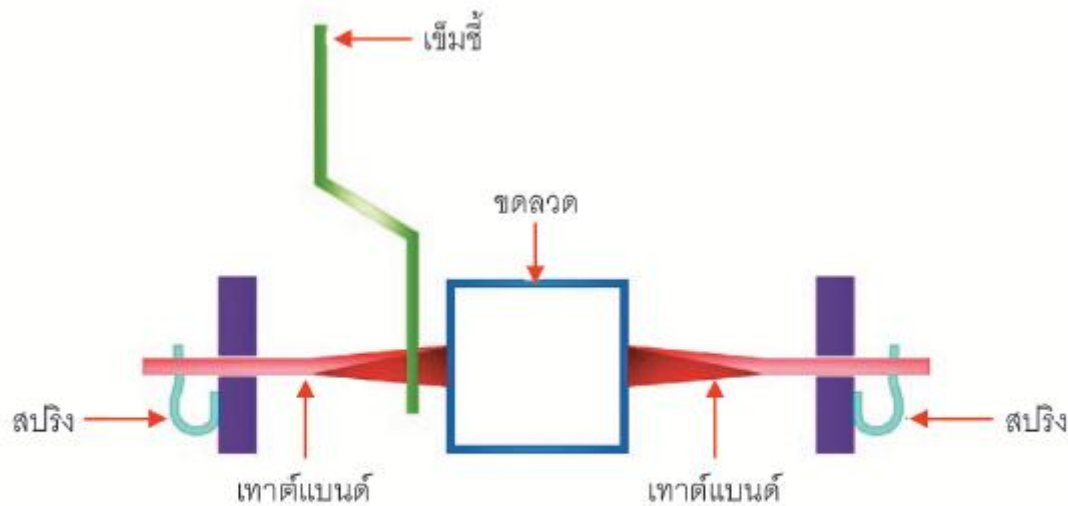
(ก) ที่รองรับแกนแบบตัววี



(ข) ที่รองรับแกนแบบมีสปริงรองด้านหลัง

รูปที่ 5.2 ที่รองรับแกนแบบตัววี

2. ที่รองรับแกนแบบห้อยแขวนเทตแบนด์ (Taut Band Suspension) ที่รองรับแกนแบบนี้จะลดการเสียดทานดีกว่าแบบตัววีเนื่องจากมีแถบโลหะแบน 2 อันทำด้วยฟอสเฟอร์บรอนซ์ หรือ แพลทินัม อัดลดยเพื่อลดความเครียด (Tension) จากสปริงที่รองรับขดลวดเคลื่อนที่ โดยแถบโลหะทำให้เกิดแรงควบคุมเพื่อต่อต้านแรงเบี่ยงเบน (Deflection Force) กระแสไฟฟ้าจะจ่ายผ่านแถบโลหะแบนให้ขดลวดเคลื่อนที่ ดังรูปที่ 5.3 (Bell, David A., 1994: 33)

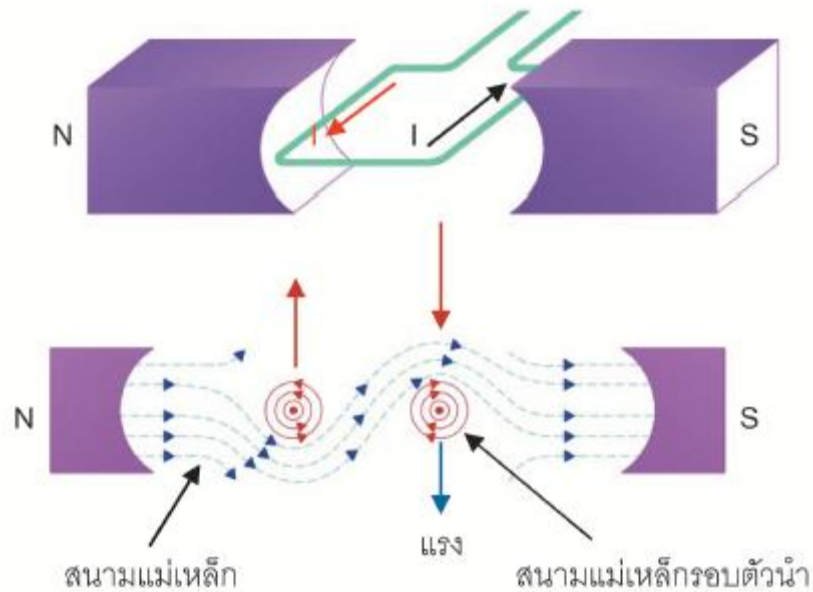


รูปที่ 5.3 ที่รองรับแกนแบบห้อยแขวนเทตแบนด์

### 5.1.3 แรงทางกลของเครื่องมือวัด

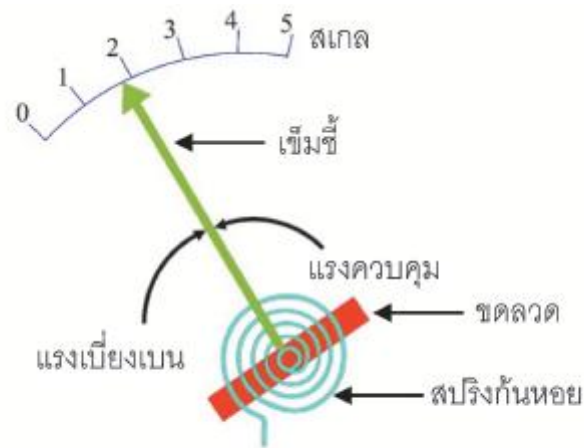
**แรงทางกลของเครื่องมือวัด (Instrument Mechanical Force)** เป็นแรงทางกลกระทำทำให้เข็มชี้และขดลวดเคลื่อนที่หมุนตามปริมาณกระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้ขดลวดนั้น มีดังนี้

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



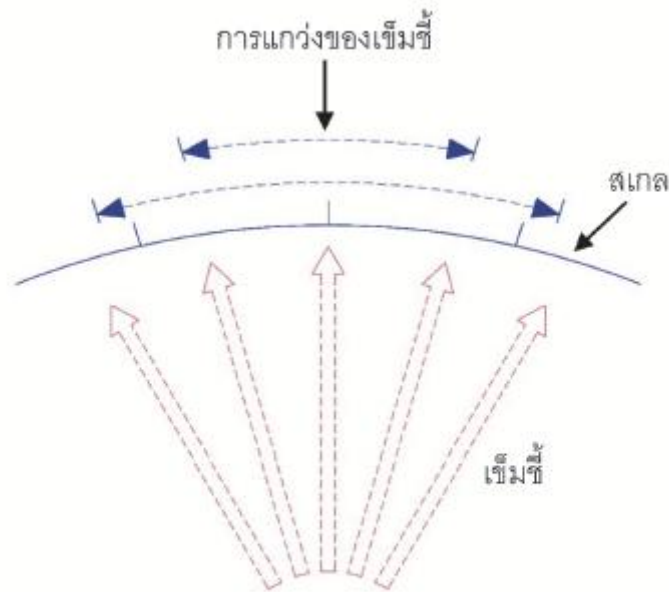
รูปที่ 5.4 แรงเบี่ยงเบนที่เกิดในขดลวดเคลื่อนที่

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

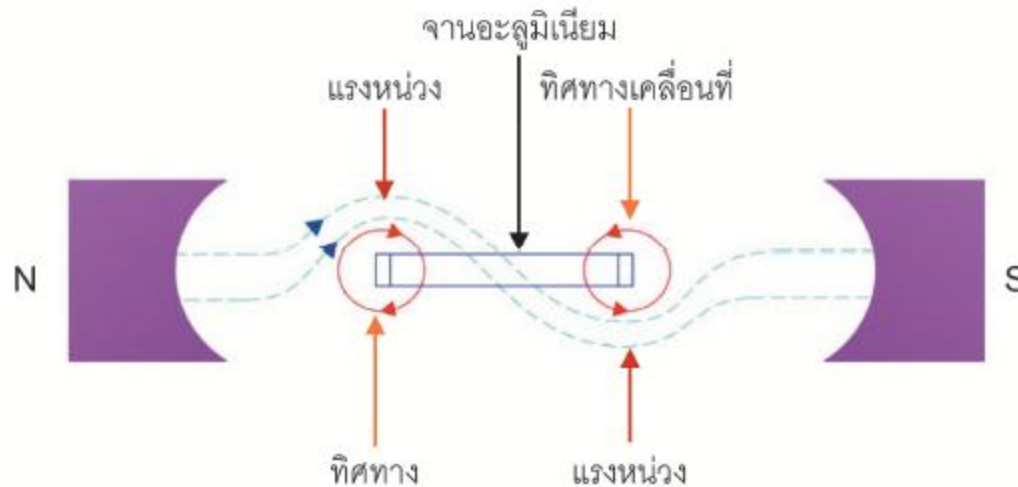


รูปที่ 5.5 แรงควบคุมสมดุลกับแรงเบี่ยงเบนทำให้เข็มชี้หยุดนิ่ง

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



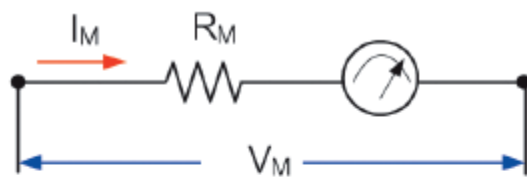
รูปที่ 5.6 การแกว่งหรือสั่นของเข็มชี้ก่อนจะหยุดนิ่ง



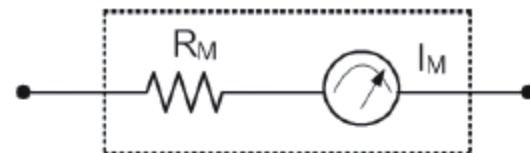
รูปที่ 5.7 แรงเหวี่ยงที่เกิดจากการเหนี่ยวนำด้วยกระแสไฟฟ้าไหลวนในจ่านอะลูมิเนียม เพื่อหยุดการแกว่งของเข็มชี้

#### 5.1.4 วงจรเทียบเท่าของเครื่องวัดแบบขดลวดเคลื่อนที่

วงจรเทียบเท่าของขดลวดเคลื่อนที่แบบดาร์สันวาล จะประกอบด้วยค่าต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องคือ ความต้านทานขดลวด (Moving Coil Resistance:  $R_M$ ) กระแสไฟฟ้าขดลวด (Moving Coil Current:  $I_M$ ) จะเป็นกระแสไฟฟ้าที่ทำให้เข็มมิเตอร์เบี่ยงเบนเต็มสเกล (Full Scale Deflection: FSD) โดยปกติแล้วจะมีค่าน้อยมาก ๆ และแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมขดลวด (Moving Coil Voltage:  $V_M$ ) สามารถเขียนเป็นวงจรเทียบเท่าขดลวดเคลื่อนที่ได้หลายรูปแบบ ดังรูปที่ 5.8



(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

รูปที่ 5.8 วงจรเทียบเท่าของขดลวดเคลื่อนที่แบบดาร์ลันวาล

ดาร์สันวาลมิเตอร์สามารถพัฒนาเป็นโวลต์มิเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงโดยอาศัยคุณสมบัติการจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงให้ไหลผ่านขดลวดเคลื่อนที่ของดาร์สันวาลมิเตอร์เหมือนกัน ปริมาณของแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ป้อนให้ดาร์สันวาลมิเตอร์มีผลต่อกระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้น

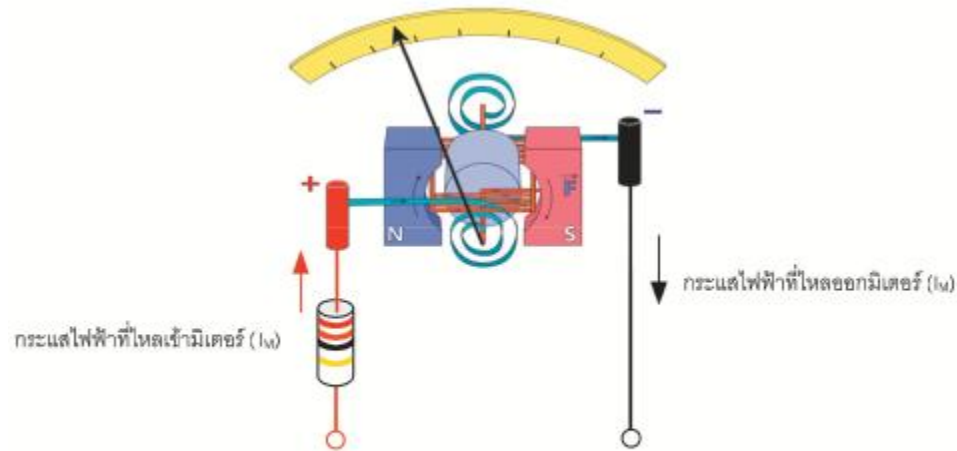


รูปที่ 5.9 ตัวอย่างโวลต์มิเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

### 5.2.1 โครงสร้างโวลต์มิเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

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

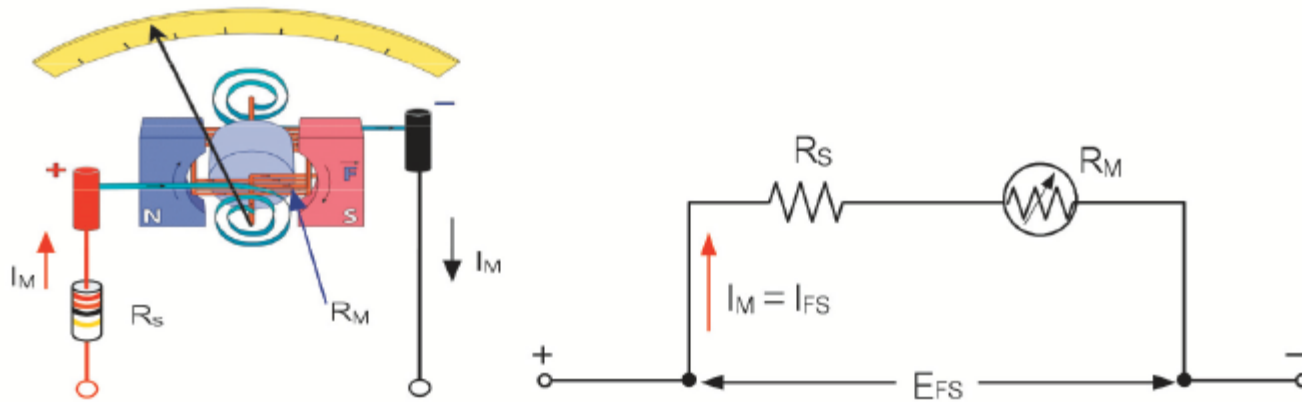
โวลต์มิเตอร์เป็นมิเตอร์ที่สร้างขึ้นมาเพื่อใช้วัดค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า (แรงดันไฟฟ้าหรือแรงดันไฟฟ้าตกคร่อม) ระหว่างจุดสองจุดในวงจรไฟฟ้าความจริงแล้วโวลต์มิเตอร์ก็คือแอมมิเตอร์นั่นเอง เพราะขณะวัดแรงดันไฟฟ้าในวงจรหรือแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าจะต้องมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านมิเตอร์จึงทำให้เข็มมิเตอร์บ่ายเบนไป การที่กระแสไฟฟ้าจะไหลผ่านเข้าโวลต์มิเตอร์ได้ก็ต้องมีแรงดันไฟฟ้าป้อนเข้ามานั่นคือกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้ามีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน



รูปที่ 5.10 รูปเสมือนโครงสร้างโวลต์มิเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

### 5.2.2 การขยายย่านวัดโวลต์มิเตอร์

กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านเข้าโวลต์มิเตอร์จะมีขีดจำกัดอยู่กับค่าการทนกระแสไฟฟ้าของโวลต์-มิเตอร์ตัวนั้น ดังนั้นเมื่อนำโวลต์มิเตอร์ไปวัดแรงดันไฟฟ้าค่ามาก ๆ ย่อมส่งผลให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านเข้าโวลต์มิเตอร์มากตามไปด้วย



รูปที่ 5.11 วงจรโวลต์มิเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงเบื้องต้น

จากรูปที่ 5.11 เป็นวงจรดีซีโวลต์มิเตอร์เบื้องต้น มีตัวต้านทาน  $R_S$  ต่ออันดับกับดาร์สแนลมิเตอร์กระแสไฟฟ้าเต็มสเกลในวงจรต้องไม่เกินค่ากระแสไฟฟ้าเต็มสเกลเดิมของดาร์สแนลมิเตอร์ อักษรย่อต่าง ๆ กำหนดไว้ดังนี้

$R_M$  = ความต้านทานของขดลวดเคลื่อนที่หรือความต้านทานเดิมของมิเตอร์ หน่วย โอห์ม ( $\Omega$ )

$R_S$  = ความต้านทานอันดับเพื่อขยายย่านการวัดของโวลต์มิเตอร์ หน่วย โอห์ม ( $\Omega$ )

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

$E_{FS}$  = แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเต็มสเกลครั้งใหม่ที่วัดได้ หน่วย โวลต์ (V)

การหาสมการของวงจรรูปที่ 5.12 หาได้โดยใช้กฎของโอห์ม

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

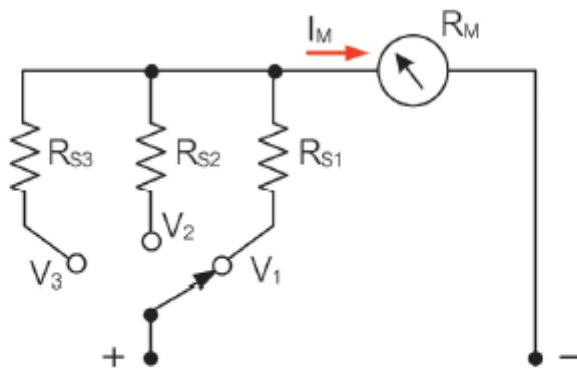
$$R_S + R_M = \frac{E_{FS}}{I_{FS}}$$

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

### 5.2.3 โวลต์มิเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบหลายย่านวัด

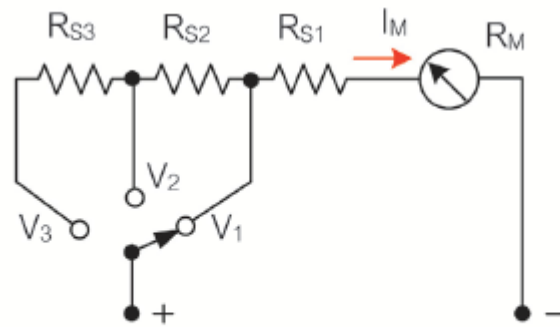
โวลต์มิเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบหลายย่านวัด (Multirange DC voltmeter) คือ การต่อตัวต้านทานหลาย ๆ ตัว อนุกรมกับมิเตอร์ วิธีการต่อแบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ

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

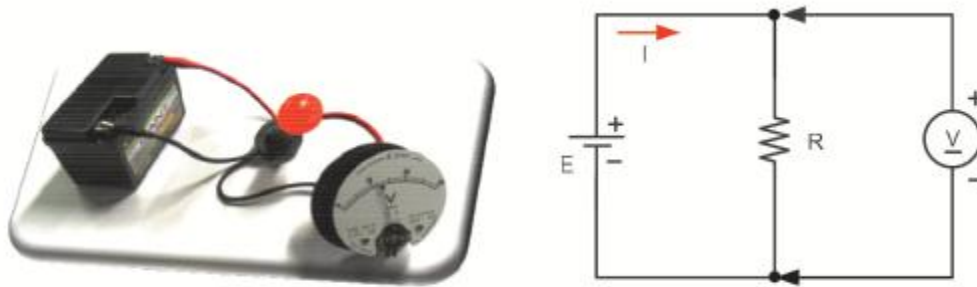


รูปที่ 5.16 โวลต์มิเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงหลายย่านวัดแบบยูนิเวอร์แซล

การคำนวณค่าความต้านทานของวงจรมีข้อยุ่งยากกว่าแบบอินดิวิดวล เพราะตัวต้านทานของทุกย่านวัดต่ออนุกรมกันทุกตัว ซึ่งต้องเริ่มทำการคำนวณตั้งแต่ย่านวัดต่ำเป็นต้นไป

### 5.2.4 การต่อโวลต์มิเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

โวลต์มิเตอร์สร้างขึ้นมาเพื่อวัดค่าความต้านทานต่างศักย์ไฟฟ้าของแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าหรือวัดค่าแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมระหว่างจุดสองจุดในวงจรในตำแหน่งที่ต้องการวัด (ต่อขนานกับจุดวัด) เสมอ ลักษณะการต่อแสดงดังรูปที่ 5.18

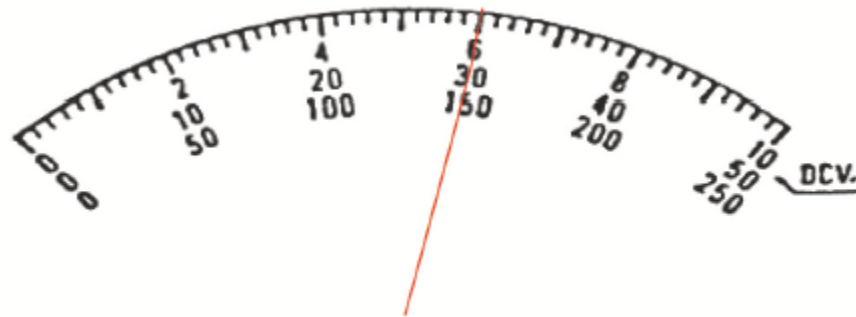


รูปที่ 5.18 การต่อโวลต์มิเตอร์วัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง

จากรูปที่ 5.18 เป็นการต่อโวลต์มิเตอร์วัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงโดยต่อขนานกับส่วนที่จะวัดหรือตกคร่อม การต่อโวลต์มิเตอร์วัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงจะต้องคำนึงถึงขั้วของโวลต์มิเตอร์ โดยขั้วบวกโวลต์มิเตอร์ต่อกับขั้วบวกของแหล่งจ่ายและขั้วลบต่อกับขั้วลบ หากต่อสลับขั้วจะทำให้เข็มป้ายเบนกลับทิศทางและอาจทำให้โวลต์มิเตอร์ชำรุดเสียหายได้

### 5.2.5 การอ่านสเกลของโวลต์มิเตอร์

โวลต์มิเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงที่ถูกสร้างขึ้นมาใช้งานมักจะมีย่านวัดค่าแรงดันเต็มสเกลหลายย่านและมีสเกลบอกค่าแรงดันไฟฟ้าหลายสเกลทั้งนี้เพื่อให้เกิดความสะดวกในการใช้งานดังนั้นการเปลี่ยนย่านวัดค่าควรเลือกใช้ให้เหมาะสม การอ่านสเกลก็ต้องอ่านให้ถูกต้องกับย่านวัดที่ตั้งวัดจึงจะได้ค่าแรงดันไฟฟ้าที่วัดได้มีค่าถูกต้อง



รูปที่ 5.19 ตำแหน่งที่เข็มชี้ของโวลต์มิเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

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

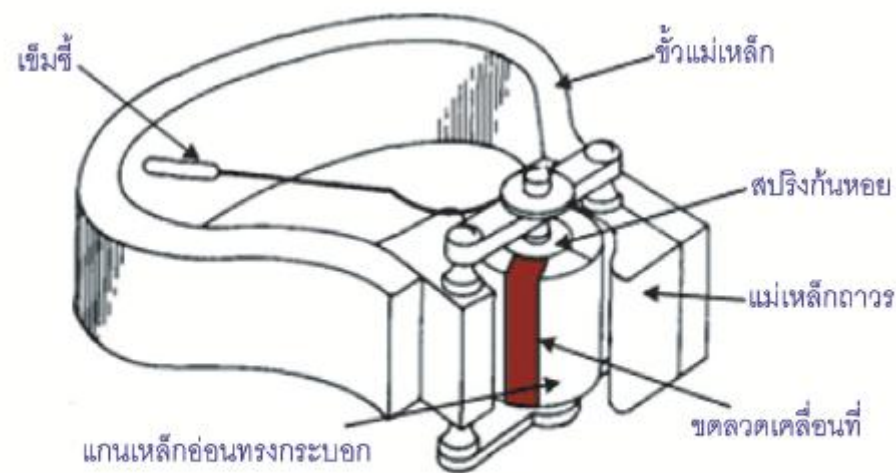


รูปที่ 5.21 ตัวอย่างมิลลิแอมมิเตอร์และแอมมิเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

### 5.3.1 โครงสร้างของแอมมิเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

โครงสร้างของแอมมิเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงประกอบด้วยส่วนสำคัญ 2 ส่วน คือ ขดลวดเคลื่อนที่แบบแม่เหล็กถาวรและตัวต้านทานชั้นดี

**1. ขดลวดเคลื่อนที่แบบแม่เหล็กถาวร** โครงสร้างของมิเตอร์เบื้องต้นจะใช้รูปแบบของดาร์สันวาลมิเตอร์ตามที่กล่าวในหน่วยที่ 1 เรื่องขดลวดเคลื่อนที่ จะอาศัยการทำงานโดยใช้กระแสไฟฟ้าจ่ายเข้ามิเตอร์ แต่เนื่องจากโครงสร้างมีขนาดเล็ก ขดลวดเคลื่อนที่จึงรับกระแสไฟฟ้าได้จำกัดค่าหนึ่งซึ่งน้อยมาก แต่เกิดความคล่องตัวในการทำงาน ในขณะบายเบนไปของอาร์โมเจอร์จะเกิดแรงเสียดทานน้อย ช่วยให้การวัดค่าเกิดความเที่ยงตรงมากขึ้นด้วย



รูปที่ 5.22 โครงสร้างของดาร์สันวาลมิเตอร์

จากรูปที่ 5.22 แสดงแม่เหล็กถาวรรูปเกือกม้ากับแกนเหล็กอ่อนทรงกระบอกที่ติดกับแม่เหล็กถาวรระหว่างขั้วเหนือ-ใต้ โดยมีขดลวดเล็ก ๆ พันอยู่รอบ ๆ เรียกว่า ขดลวดอาร์มาเจอร์ (Armature) หรือ ขดลวดเคลื่อนที่ ขดลวดนี้จะพันรอบเหล็กสี่เหลี่ยมที่มีน้ำหนักเบามาก ๆ และติดยึดอยู่บนเดือยเพื่อให้สามารถเกิดการหมุนได้ เข็มชี้จะถูกยึดติดอยู่กับขดลวด เข็มชี้จะบ่ายเบนเมื่อขดลวดเคลื่อนที่ที่เกิดการหมุน

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



(ก) ความต้านทานชั้ดสำหรับแอมมิเตอร์ 30 A (ข) ความต้านทานชั้ดภายนอกสำหรับแอมมิเตอร์ 500 A

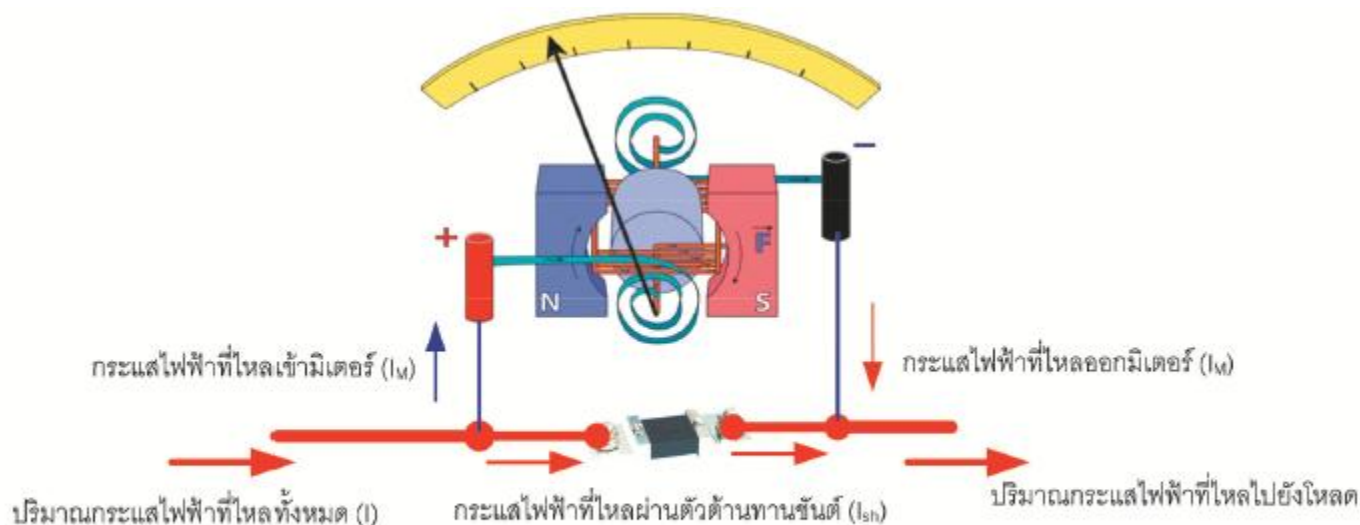
รูปที่ 5.23 ตัวต้านทานชั้ดที่ใช้สำหรับแอมมิเตอร์

### 5.3.2 การขยายย่านวัดของแอมมิเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

การขยายย่านวัดของขดลวดเคลื่อนที่แบบแม่เหล็กถาวรเพื่อทำเป็นแอมมิเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงมี 2 วิธี คือ ใช้ตัวต้านทานชนิดแบบตัวเดียวหรือแบบชิงเกิลชั๊นท์และใช้ตัวต้านทานแบบอาร์ตันชั๊นท์

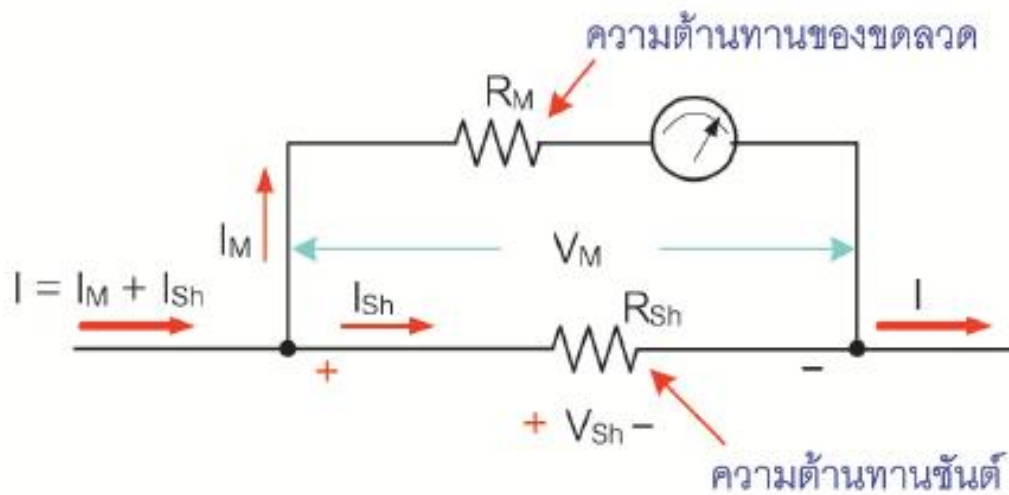
#### 1. การขยายย่านวัดของแอมมิเตอร์แบบชิงเกิลชั๊นท์

(1) การขยายย่านวัดของแอมมิเตอร์ย่านวัดเดียวแบบชิงเกิลชั๊นท์ (Single Shunt Type of Ammeter) ใช้หลักการของการขนาน โดยนำตัวต้านทานชั๊นท์ (Shunt Resistor:  $R_{sh}$ ) มาต่อขนานดังรูปที่ 5.24 เพื่อแบ่งกระแสไฟฟ้าเข้าแอมมิเตอร์ไม่ให้เกินกระแสไฟฟ้าเต็มสเกล



รูปที่ 5.24 ภาพจำลองการต่อตัวต้านทานชั๊นท์เข้ากับขดลวดเคลื่อนที่แบบแม่เหล็กถาวร

จากรูปที่ 5.24 เมื่อนำมาเขียนเป็นวงจรไฟฟ้าของแอมมิเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (Ammeter Circuit) ได้ดังรูปที่ 5.25 และเป็นพื้นฐานของการขยายย่านวัดของแอมมิเตอร์ประกอบด้วยขดลวดเคลื่อนที่แบบแม่เหล็กถาวรและตัวต้านทานชั้นต่ำซึ่งมีค่าความต้านทานต่ำ กระแสมีเตอร์ ( $I_M$ ) หรือ กระแสไฟฟ้าขดลวดจะเป็นสัดส่วนที่ส่งผลไปยังกระแสชั๊นท์ ( $I_{Sh}$ ) ดังนั้นกระแสไฟฟ้า  $I$  จึงเป็นย่านวัด (Range) ของแอมมิเตอร์



รูปที่ 5.25 การขยายย่านวัดของแอมมิเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

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

$R_M$  = ความต้านทานของขดลวดเคลื่อนที่ (ความต้านทานภายใน) หน่วย โอห์ม ( $\Omega$ )

$R_{Sh}$  = ความต้านทานชันต์ หน่วย โอห์ม ( $\Omega$ )

$I_M$  = กระแสไฟฟ้าสูงสุดเต็มสเกลของขดลวดเคลื่อนที่ หน่วย แอมแปร์ (A)

$I_{Sh}$  = กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวต้านทานชันต์ หน่วย แอมแปร์ (A)

$I$  = กระแสไฟฟ้าวรวมที่ไหลผ่านเข้าวงจรไฟฟ้าของแอมมิเตอร์ หน่วย แอมแปร์ (A)  
หรือกระแสไฟฟ้าสูงสุดเต็มสเกล (Full Scale Deflection Current: FSD) ของ  
แอมมิเตอร์ (กระแสไฟฟ้านี้จะไหลไปยังโหลดที่ต้องการวัด)

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

$$V_M = V_{Sh}$$

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

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

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

และประยุกตใ้กฎกระแสไฟฟ้าของเคอร์ชอฟฟ์จะได้

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

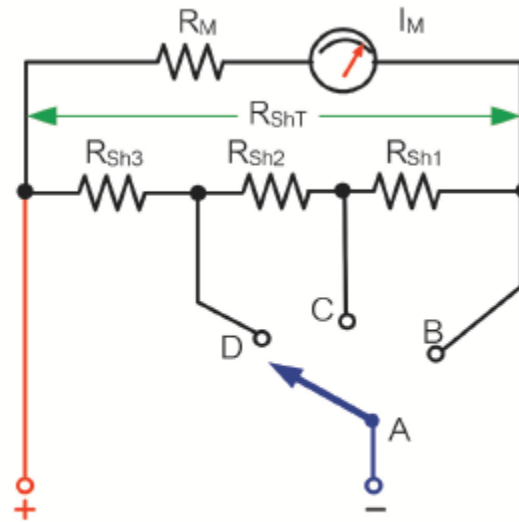
$$\text{หรือ } I_{Sh} = I - I_M$$

จากสมการที่ (2.3) เขียนใหม่จะได้

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

ในการออกแบบการขยายย่านวัดแอมมิเตอร์จะออกแบบให้กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านความต้านทานชัณฑ์ ( $I_{Sh}$ ) มีค่ามากกว่ากระแสไฟฟ้าที่ไหลเข้ามิเตอร์ ( $I_M$ ) มาก ๆ เพื่อป้องกันไม่ให้ขดลวดเคลื่อนที่แบบแม่เหล็กถาวรชำรุด

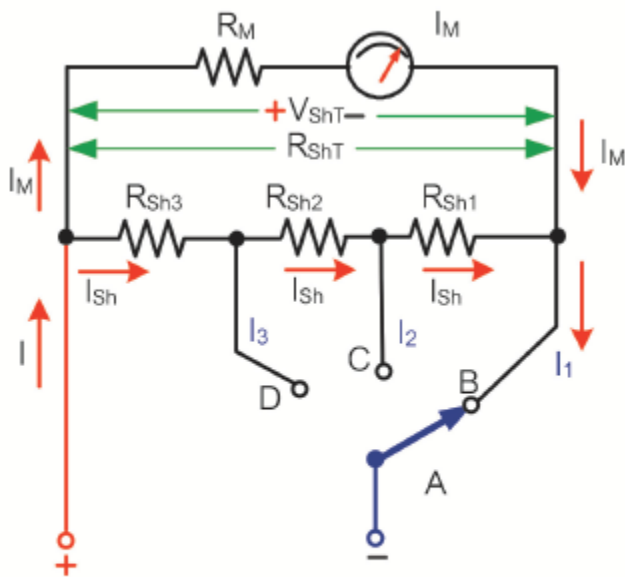
2. การขยายย่านวัดของแอมมิเตอร์แบบอาร์ตันชัณฑ์ (Ayrton Shunt) หรือเรียกว่ายูนิเวอร์แซลชัณฑ์ (Universal Shunt) ใช้หลักการของวงจรรณานเหมือนกับแบบซิงเกิลชัณฑ์ โดยใช้ตัวต้านทานชัณฑ์ ย่านวัดต่ำสุดให้ถูกแบ่งไปให้ย่านวัดถัดไปตามลำดับจนถึงย่านวัดสูงสุด ดังรูปที่ 5.29 ทำให้ไม่มีปัญหาเหมือนกับการเปลี่ยนย่านวัดของแอมมิเตอร์หลายย่านวัดแบบซิงเกิลชัณฑ์



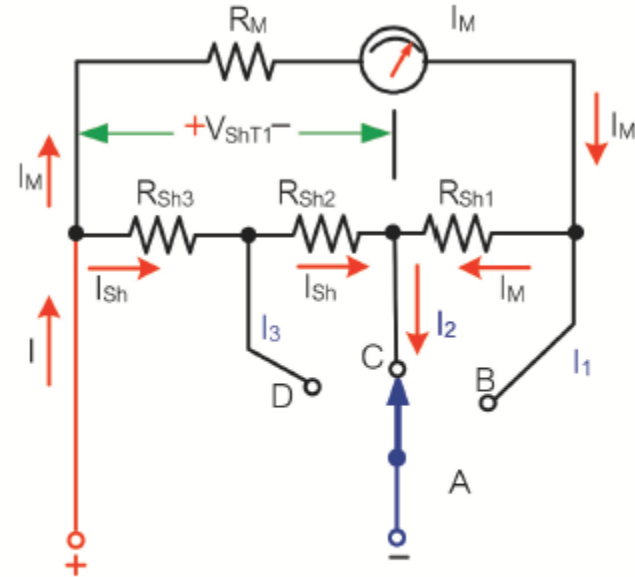
รูปที่ 5.29 วงจรไฟฟ้าของแอมมิเตอร์แบบอาร์ตันชัณฑ์

จากรูปที่ 5.29 อาร์ตั้นชั้นต์ประกอบด้วย  $R_{Sh1}$ ,  $R_{Sh2}$  และ  $R_{Sh3}$  และอธิบายทิศทางการกระแสไฟฟ้า และแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมได้ดังรูปที่ 5.30

ความต้านทานชั้นต์:  $R_{ShT} = R_{Sh1} + R_{Sh2} + R_{Sh3}$  .....(5.6)



(ก) สวิตช์เลือกอยู่ตำแหน่ง B



(ข) สวิตช์เลือกอยู่ตำแหน่ง C

รูปที่ 5.30 กระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้า และความต้านทานของอาร์ตั้นชั้นต์

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

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

และจากสมการที่ 5.6 สามารถหาค่า  $R_{Sh1}$  ได้คือ

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

กระแสไฟฟ้า  $I$  เป็นกระแสสูงสุดของย่านวัด เมื่อสวิตช์เลือกอยู่ในตำแหน่ง D จะได้  $R_{Sh3}$

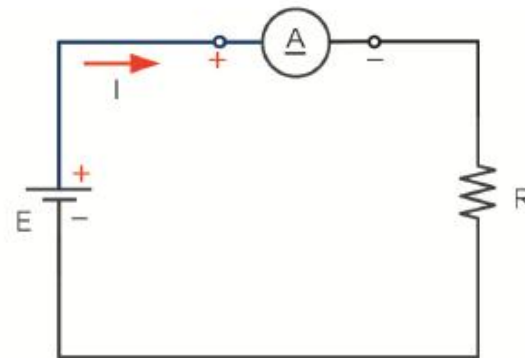
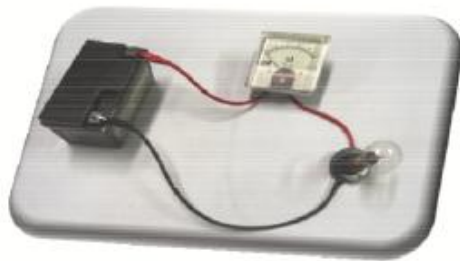
$$R_{Sh3} = \frac{I_M (R_{Sh} \times R_M)}{I_3} \quad \text{..... (5.9)}$$

และ

$$R_{Sh2} = (R_{Sh2} + R_{Sh3}) - R_{Sh3} \quad \text{..... (5.10)}$$

### 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 จึงควรลดทอนกระแสไฟฟ้าลงโดยต่อตัวต้านทานชั้นดีที่เหมาะสมกับแอมมิเตอร์ก่อนนำไปใช้วัด

### 5.3.4 การอ่านค่ากระแสไฟฟ้าจากสเกล

การอ่านค่ากระแสไฟฟ้าที่เข็มชี้ของแอมมิเตอร์แสดงค่าไว้มุมที่มองเข็มชี้เพื่ออ่านค่ากระแสบนสเกลมิเตอร์ควรมองจากด้านหน้าเข้ามายังมิเตอร์ไม่ควรมองในมุมเอียงซ้ายเอียงขวาเพราะค่าที่อ่านได้อาจผิดพลาดไปทำให้อ่านค่าได้ไม่ถูกต้อง