
Lecture 3 Electrical Voltage Instrument

Present by : Thawatchai Thongleam
Faculty of Science and Technology
Nakhon Pathom Rajabhat University

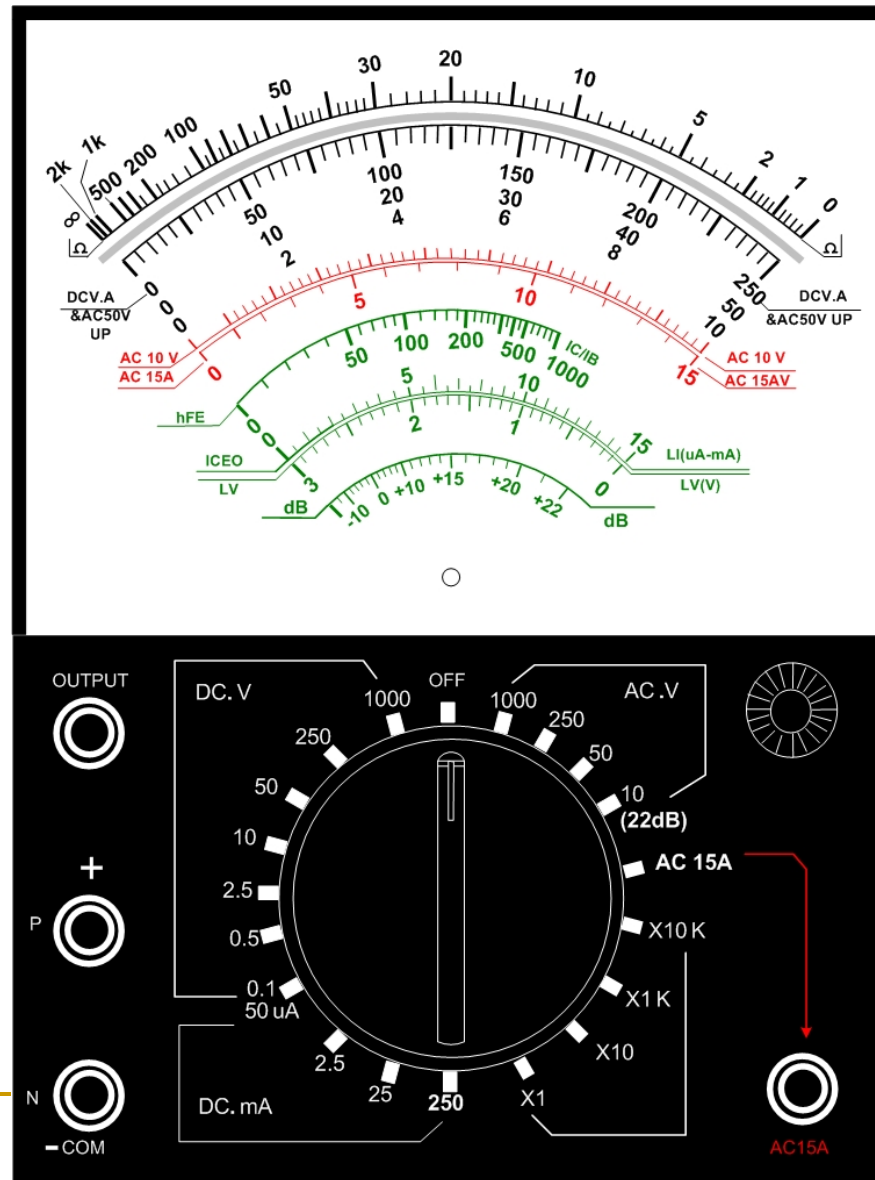
Outline

- ชนิดของขดลวดเคลื่อนที่ (Type of moving coils)
- ดิซี โวลต์มิเตอร์ (DC Voltmeter)
 - วงจรเทียบเคียงของขดลวดเคลื่อนที่
 - ความไวกระแสไฟฟ้า
 - การขยายย่านวัดของโวลต์มิเตอร์
 - ความต้านทานภายในของโวลต์มิเตอร์
 - ผลของโหลดของโวลต์มิเตอร์
 - การเลือกโวลต์มิเตอร์ให้ได้ค่าที่ถูกต้องสูงสุด

1. ชนิดของขดลวดเคลื่อนที่ (Type of moving coils)

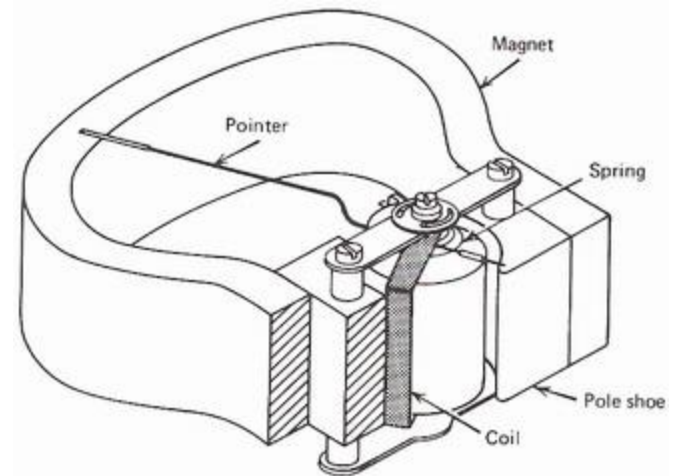
- ขดลวดเคลื่อนที่แบบคาร์สันวัลด์ (d' Arsonval Moving Coil)
 - ขดลวดเคลื่อนที่แบบอิเล็กโตรไดนาโมมิเตอร์ หรืออิเล็กโตรไดนามิก (Electrodynamometer Moving Coil)
 - ขดลวดเคลื่อนที่แบบไบพัดเหล็ก (Iron-Vane Moving Coil)
 - ขดลวดเคลื่อนที่แบบเทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple Moving Coil)
-

1. ชนิดของขดลวดเคลื่อนที่ (Type of moving coils)

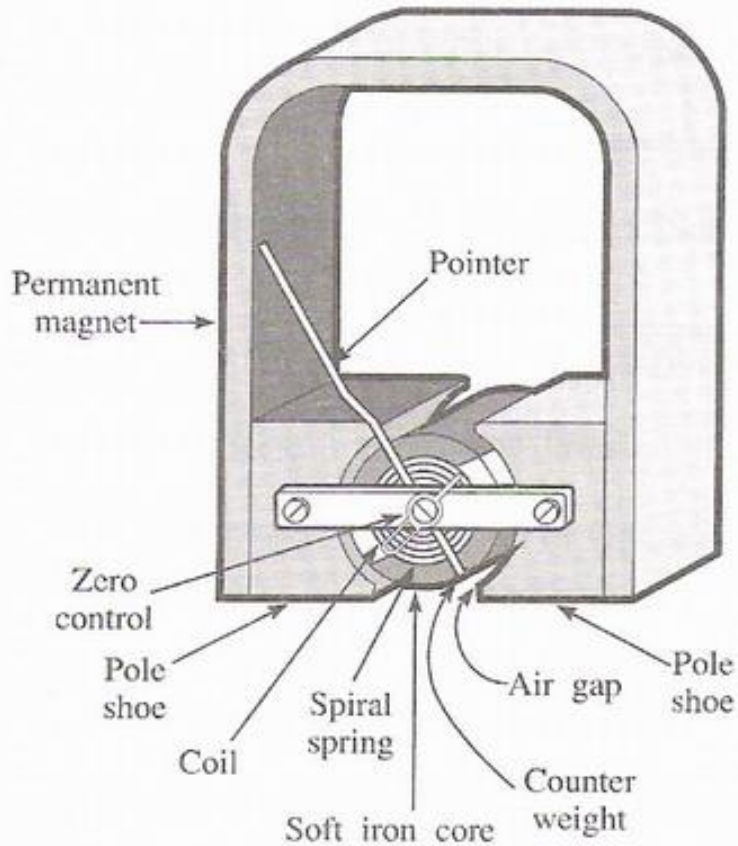


1.1. ขดลวดเคลื่อนที่แบบคาร์สันวัล (d' Arsonval Moving Coil)

- Permanent-Magnet Moving Coil ; PMMC
- แม่เหล็กถาวรรูปเกือกม้า (Horseshoe Permanent Magnet)
- ขั้วแม่เหล็ก (Pole Shoe) เป็นขั้วเหนือและขั้วใต้ของแม่เหล็กถาวรรูปเกือกม้า
- ขดลวดเคลื่อนที่ (Moving coil)
- ข้อดีของขดลวดเคลื่อนที่แบบคาร์สันวัล
 - พันด้วยเส้นลวดตัวนำที่มีขนาดเล็กมาก
ทำให้มีน้ำหนักเบา



ขดลวดเคลื่อนที่ (Moving coil)

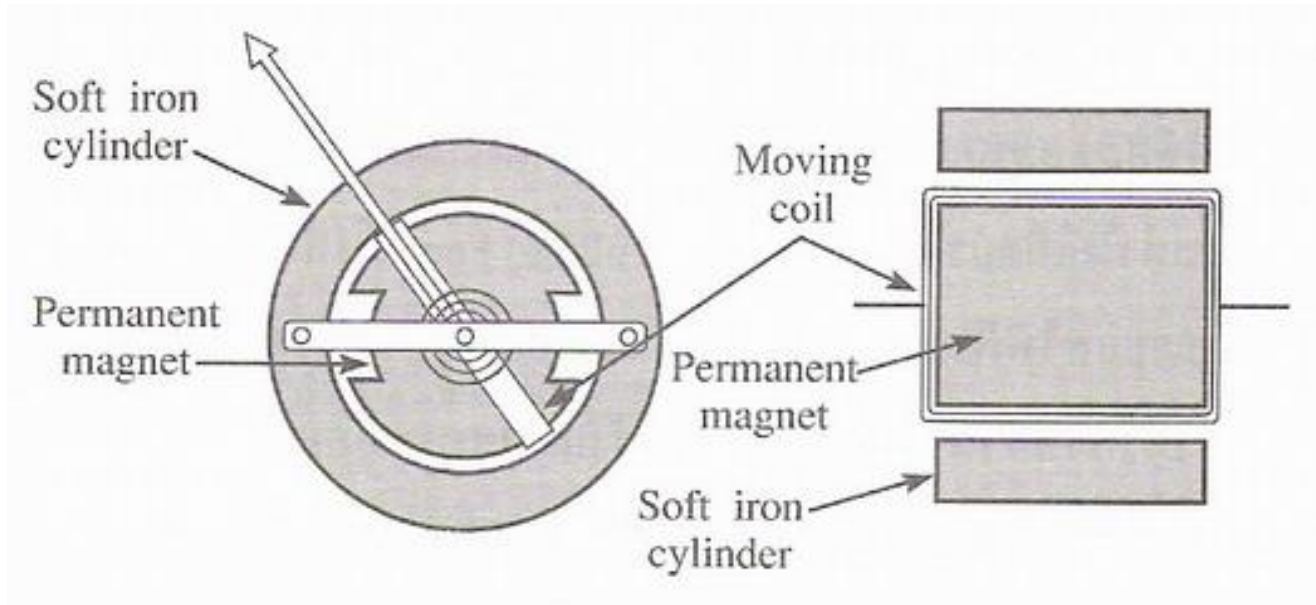


1. ขดลวด (coil)
2. แกนขดลวด (coil)
3. สปริงก้นหอย (spiral spring)
4. แกน (Pivot or Shaft)
5. ที่รองรับแกน (Jewel Bearing)
6. เข็มชี้ (Pointer)
7. หน้าปัด (scale)
8. ปุ่มปรับศูนย์ (Zero Position control)
9. น้ำหนักถ่วง (Counter Weight)

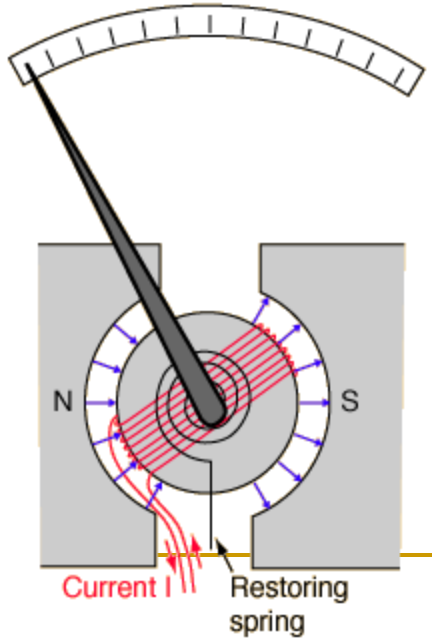
ภาพที่ 3.1 แสดงโครงสร้างของขดลวดเคลื่อนที่แบบดาร์ตันวัล

ขดลวดเคลื่อนที่แบบคาร์สันวัล

- ขดลวดเคลื่อนที่แบบคาร์สันวัล จะมีเข็มชี้ติดไว้กับขดลวด
- เมื่อจ่ายกระแสไฟฟ้าให้ขดลวด จะเกิดสนามแม่เหล็กไฟฟ้าขึ้นแล้วถูกแม่เหล็กถาวรผลักจึงทำให้ขดลวดเคลื่อนที่หมุน
- เข็มชี้จะหมุนตามขดลวด โดยจะชี้ค่าที่วัดได้บนสเกลเป็นไปตามปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านขดลวด



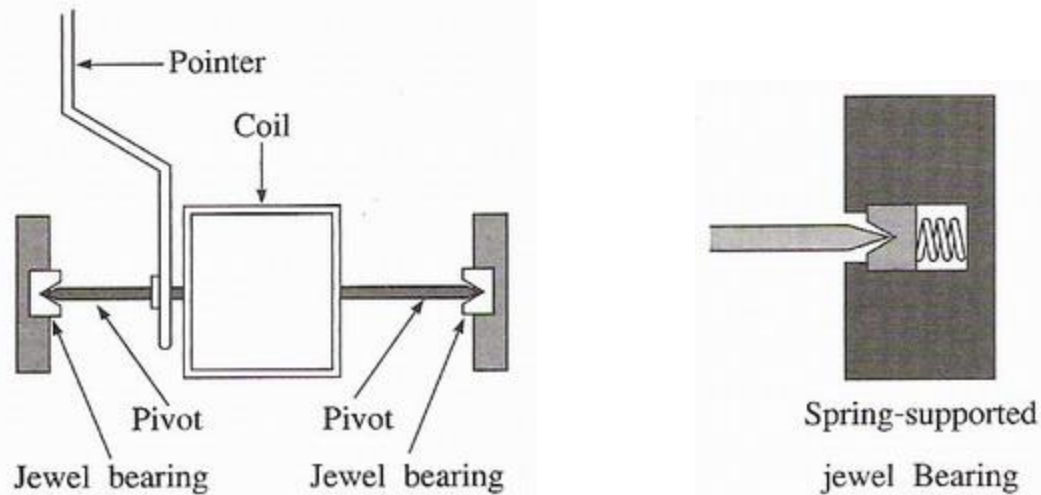
ภาพที่ 3.2 ขดลวดเคลื่อนที่อยู่ในระหว่างขั้วของสนามแม่เหล็กถาวร



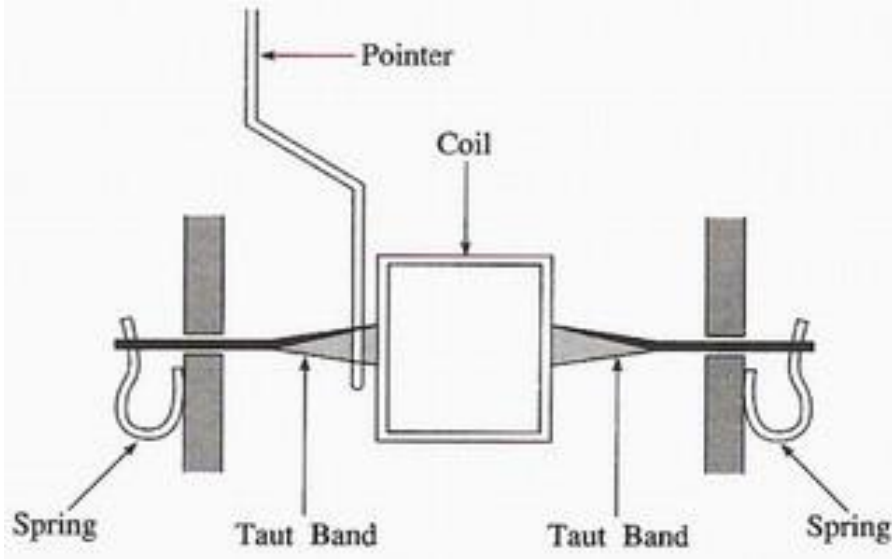
- ขดลวดเคลื่อนที่จะมีกระแสไหลเข้าและออกเพื่อให้เข็มชี้หมุนไปตามปริมาณกระแส

ที่รองรับแกน (Jewel Bearing)

- ที่รองรับแกนแบบตัว V (Jewel Bearing) โดยที่ตัว V ด้วยเซฟไฟร์หรือแก้ว (Sapphire or Glass)
- บางครั้งตัว V จะมีสปริงรองอยู่ในด้านหลังด้วย
- แกน (Pivot) ของขดลวดจะต้องแหลมเล็กมากๆ จะได้มีจุดสัมผัสพื้นที่น้อยที่สุด เพื่อลดแรงเสียดทานกับตัว V



ภาพที่ 3.3 แสดงที่รองรับแกนแบบตัว V (Jewel Bearing)



ภาพที่ 3.4 แสดงที่รองรับแกนแบบตัว V (Jewel Bearing)

- ที่รองรับแกนแบบห้อยแขวนแททแบนด์ (Taut Band Suspension)
 - ทำหน้าลดการเสียดสีต่ำกว่าแบบตัว V เพราะจะมีแถบโลหะแบน (Flat Metal Ribbon) จำนวน 2 อัน คอยลดความเครียด (Tension) สปริงที่รองรับขดลวดเคลื่อนที่
 - ทำให้เกิดแรงควบคุม เพื่อต่อต้านแรงเบี่ยงเบน
 - กระแสไฟฟ้าจะจ่ายผ่านแถบ โลหะแบนให้ขดลวดเคลื่อนที่

Note Flat Metal Ribbon make up form phosphor bronze or platinum alloy

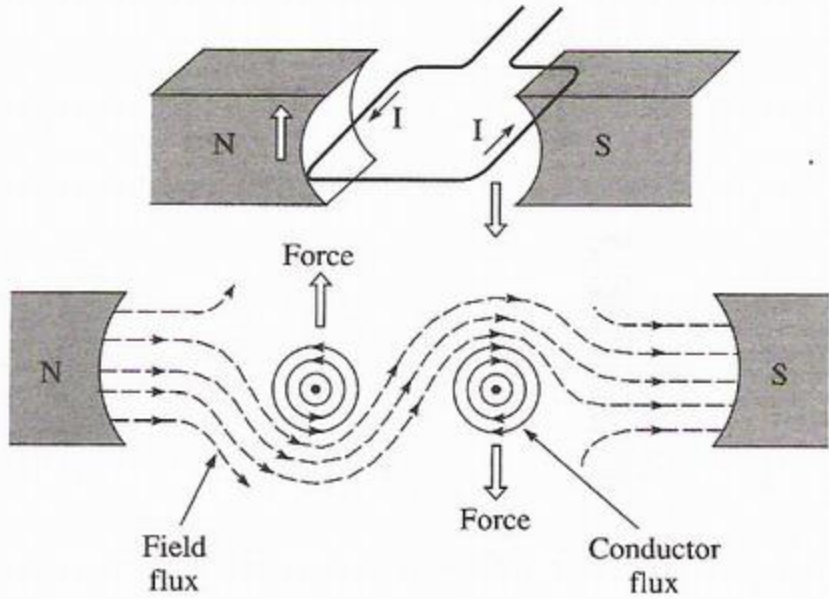
แรงทางกลของเครื่องมือวัด (Instrument Mechanical Force)

- แรงเบี่ยงเบน หรือแรงขับ (Deflection or Operating Force)
 - แรงควบคุม หรือแรงสปริง (Controlling or Spring Force)
 - แรงหน่วง หรือแดมป์ (Damping Force)
-

แรงเบี่ยงเบน หรือแรงขับ (Deflection or Operating Force)

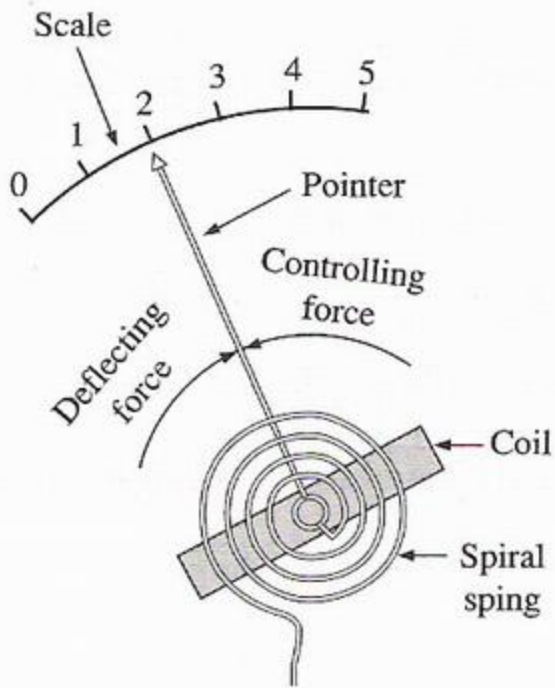
- แรงเบี่ยงเบน เป็นแรงที่ทำให้เข็มชี้เคลื่อนที่จากตำแหน่งศูนย์ของสเกล
- เมื่อนำเครื่องมือวัด ไปใช้วัดค่าของตัวแปรใดๆ จะมีกระแสไฟฟ้าป้อนให้กับขดลวด และเกิดสนามแม่เหล็กไฟฟ้า
- ขดลวดจะถูกสนามแม่เหล็กจากแม่เหล็กถาวรผลักทำให้ขดลวดเคลื่อนที่หมุน
- เข็มชี้จะแสดงค่าที่วัดได้ตามสเกลเป็นไปตามปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ป้อนให้กับขดลวดเคลื่อนที่

แรงควบคุม หรือแรงสปริง (Controlling or Spring Force)

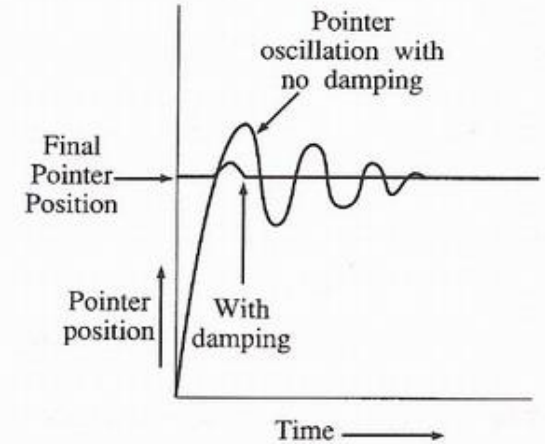
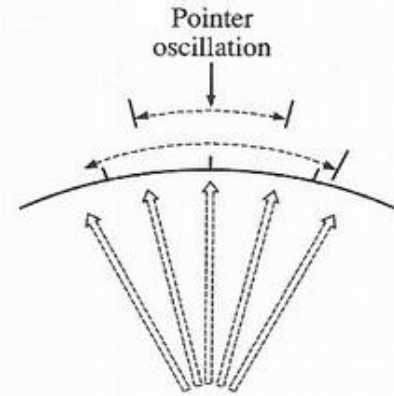


ภาพที่ 3.5 แรงเบี่ยงเบนที่เกิดในขดลวดเคลื่อนที่

- แรงควบคุมเป็นแรงที่เกิดจากสปริงกันหอย (Spiral Spring)
- เป็นแรงที่ต่อต้านแรงเบี่ยงเบน
- ทำการดึงเข็มชี้กลับคืนตำแหน่งศูนย์ (Zero Position) ของสเกลเมื่อไม่มีกระแสไฟฟ้าป้อนให้ขดลวด
- ทำหน้าที่หมุนไปพร้อมกับกระแสไฟฟ้าที่ป้อนเข้ามา โดยจะหยุดหมุนเมื่อแรงเบี่ยงเบนเท่ากับแรงควบคุม

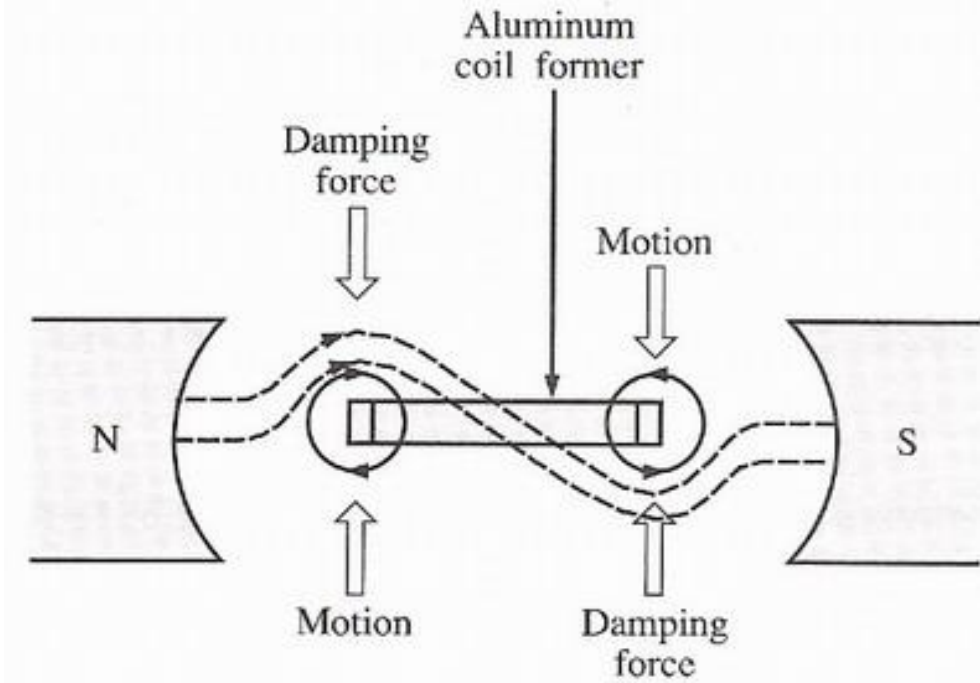


ภาพที่ 3.6 แรงควบคุมสมดุลกับแรงเบี่ยงเบนทำให้เข็มชี้หยุดนิ่ง



ภาพที่ 3.7 การแกว่งหรือสวิตของเข็มชี้ก่อนจะหยุดนิ่งที่ค่าวัดปริมาณไฟฟ้าที่ต้องการทราบ

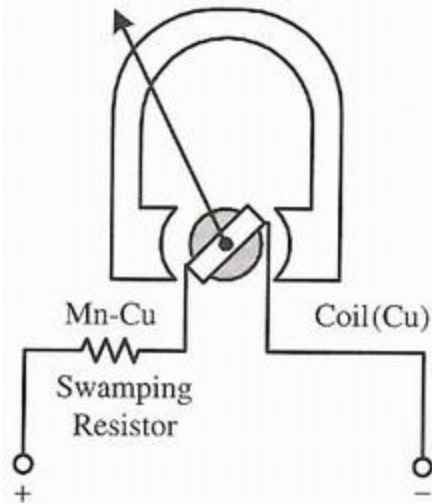
แรงหน่วงหรือแดมป์ (Damping Force)



ภาพที่ 3.8 แรงหน่วงหรือแดมป์ที่เกิดจากการเหนี่ยวนำ
กระแสไหลวนในจานอลูมิเนียม

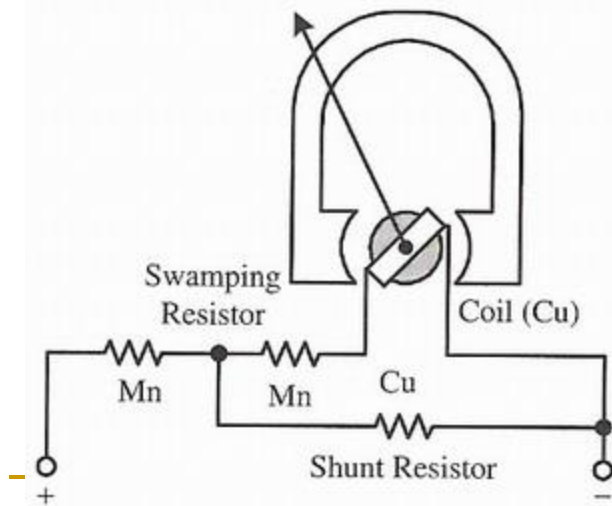
- แรงหน่วงอาศัยหลักการของ
กระแสไหลวนที่เกิดขึ้นบนจาน
แม่เหล็ก ซึ่งจะทำหน้าที่ต้าน
แรงเบี่ยงเบนเพื่อให้เข็มหยุดนิ่ง
ที่ค่าวัดได้
- แรงหน่วงพอดี
- แรงหน่วงมากเกินไป
- แรงหน่วงน้อยเกินไป

ขดลวดเคลื่อนที่ (Permanent-Magnet Moving Coil ; PMMC)



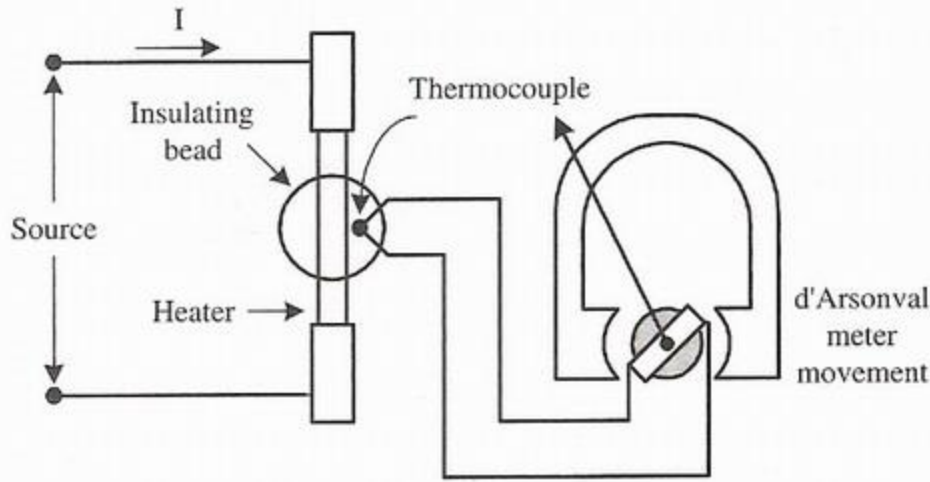
ภาพที่ 4.2

- PMMC มีข้อเสียคือ เมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่าน จะทำให้อุณหภูมิสูงขึ้น
- ทำให้ค่าความต้านทานขดลวดเพิ่มขึ้น
- ทำให้สปริงกันหอยลดความเครียดลง
- การอ่านค่ากระแสไฟฟ้าจากเข็มมิเตอร์ต่ำกว่าความจริง
- แก้ไขปัญหาโดยการต่อตัวต้านทานสแวงพิ่งอนุกรมกับขดลวด
- ตัวต้านทานทำหน้าที่ชดเชยอุณหภูมิ



ภาพที่ 4.3

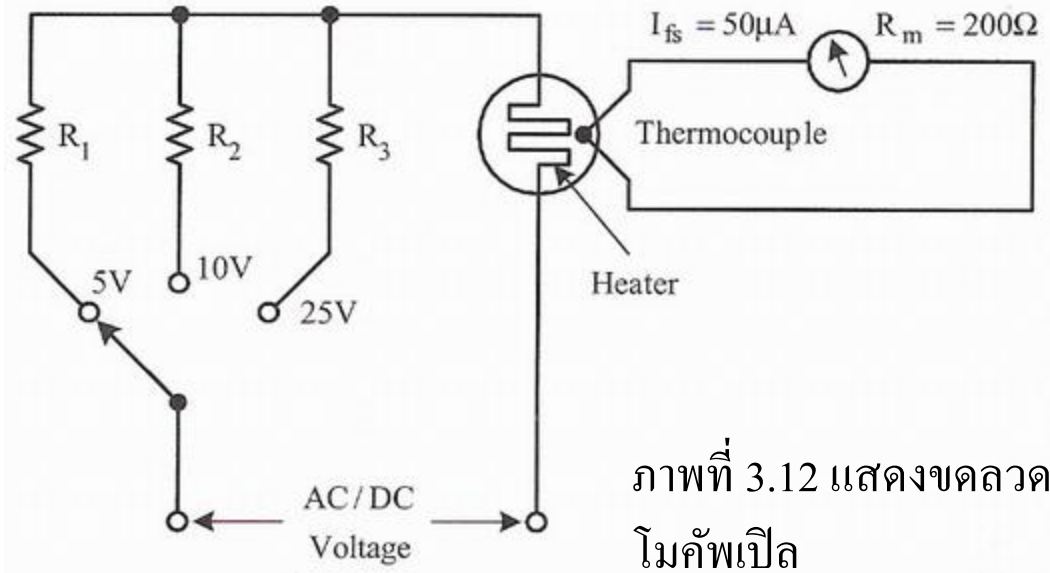
1.2. ขดลวดเคลื่อนที่แบบเทอร์โมคัพเปิล (Thermocouple Moving Coil)



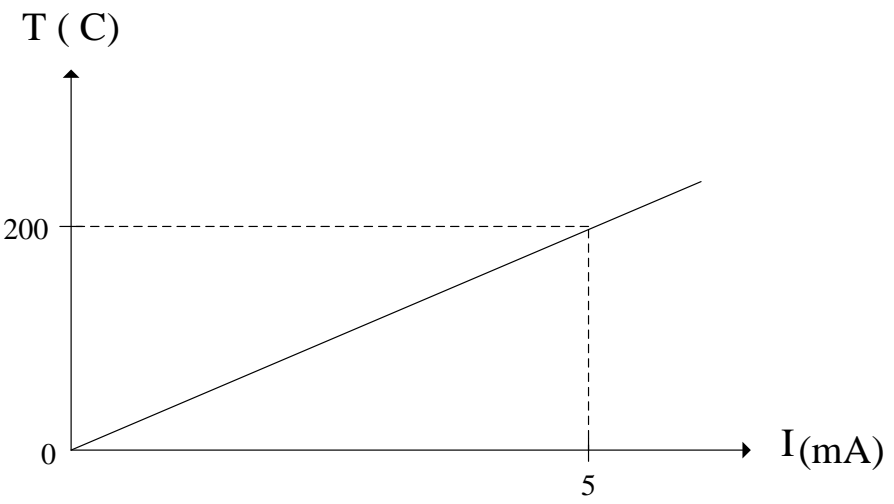
ภาพที่ 3.11 แสดงขดลวดเคลื่อนที่แบบเทอร์โมคัพเปิล

- โครงสร้างของขดลวดเคลื่อนที่มี 3 ส่วน
 - ขดลวดความร้อน
 - เทอร์โมคัพเปิล
 - ขดลวดเคลื่อนที่แบบคาร์สันวัต

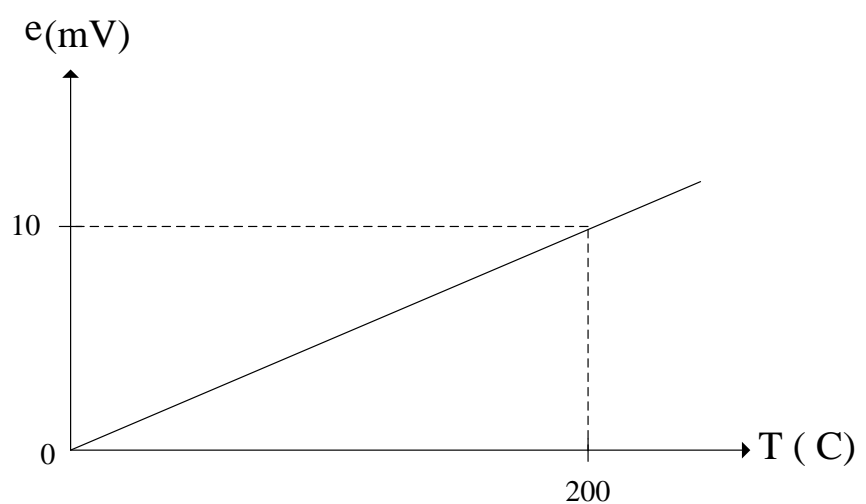
- เมื่อวัดแรงดันไฟฟ้าจะเกิดความร้อนที่รอยต่อเทอร์โมคัพเปิล
- มีแรงดันไฟฟ้าจากเทอร์โมคัพเปิล 0-10 mV ป้อนให้ขดลวดเคลื่อนที่



ภาพที่ 3.12 แสดงขดลวดเคลื่อนที่แบบเทอร์โมคัพเปิด



ภาพที่ 3.13 กราฟของขดลวดความร้อน

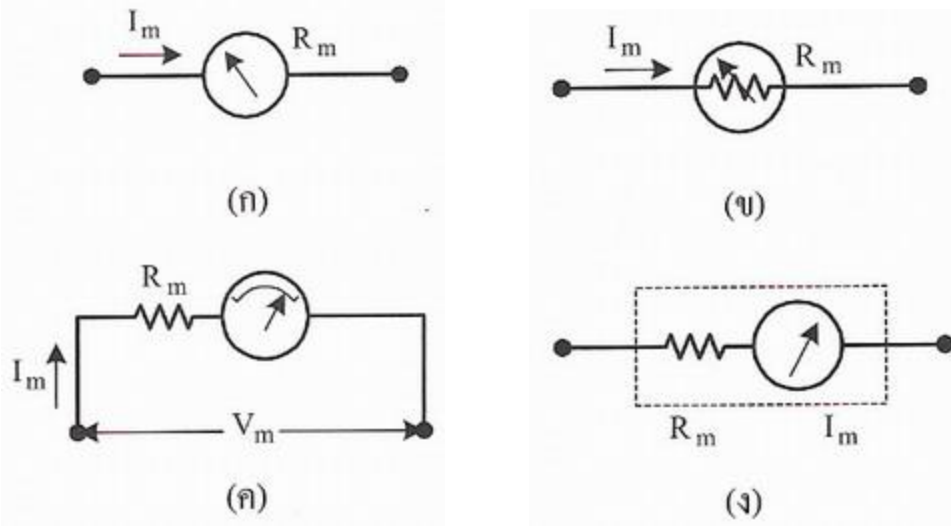


ภาพที่ 3.14 กราฟของเทอร์โมคัพเปิด

2. ดิซีโวลต์มิเตอร์ (DC Voltmeter)

- วงจรเทียบเคียงของขดลวดเคลื่อนที่
 - ความไวกระแสไฟฟ้า
 - การขยายย่านวัดของโวลต์มิเตอร์
 - ความต้านทานภายในของโวลต์มิเตอร์
 - ผลของโหลดของโวลต์มิเตอร์
 - การเลือกโวลต์มิเตอร์ให้ได้ค่าที่ถูกต้องสูงสุด
-

2.1. วงจรเทียบเท่าของขดลวดเคลื่อนที่ (Equivalent Circuit of Moving Coil)



$$I_m = \frac{V_m}{R_m}$$

ภาพที่ 3.15 วงจรเทียบเท่าของขดลวดเคลื่อนที่

- เมื่อ I_m คือกระแสไฟฟ้าขดลวด (A)
 V_m คือแรงดันไฟฟ้าขดลวด (V)
 R_m คือความต้านทานขดลวด (Ω)

2.2. ความไวกระแสไฟฟ้า (Current sensitivity : S)

- เครื่องมือวัดไฟฟ้าที่มีค่าความไวสูงจะวัดค่าได้แม่นยำกว่าเครื่องมือวัดไฟฟ้าที่มีค่าความไวต่ำ

$$S = \frac{1}{I_{fs}} = \frac{R_m}{V_{fs}} = \frac{\Omega}{V}$$

- เมื่อ S คือความไวกระแสไฟฟ้า โโอห์ม/โวลต์
- I_m คือกระแสไฟฟ้าขดลวด (A)
- I_{fs} คือกระแสไฟฟ้าเต็มสเกล (A)

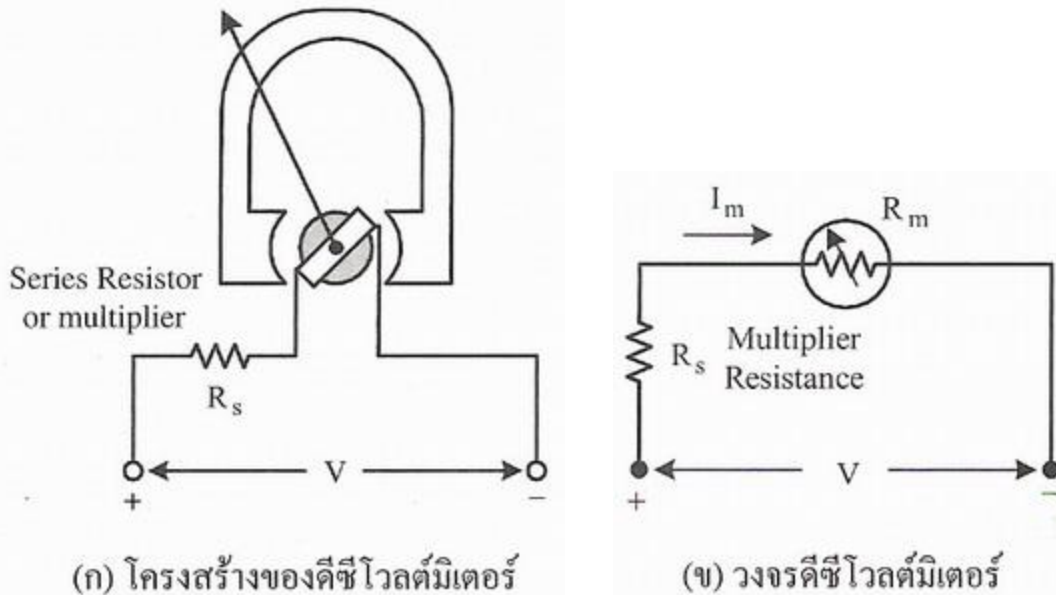
ความไวกระแสไฟฟ้า (Current sensitivity : S)

- ความต้านทานภายใน (Moving coil resistance : R_m)
 - กระแสไฟฟ้าเต็มสเกล (Full scale current : I_{fs})
 - กระแสไฟฟ้าขดลวด (Moving coil current : I_m)
 - แรงดันไฟฟ้าขดลวด (Moving coil voltage : V_m)
 - แรงดันไฟฟ้าเต็มสเกล (Full scale voltage : V_{fs})
-

2.3. การขยายย่านวัดของ โวลต์มิเตอร์ (Extension of Ranges of Voltmeter)

- การขยายย่านวัดแบบซิงเกิล หรือ อินดิวิดวล (Single or Individul type)
- การขยายย่านวัดแบบยูนิเวอร์แซล (Universal type)

การขยายย่านวัดแบบอินดิวิดวล

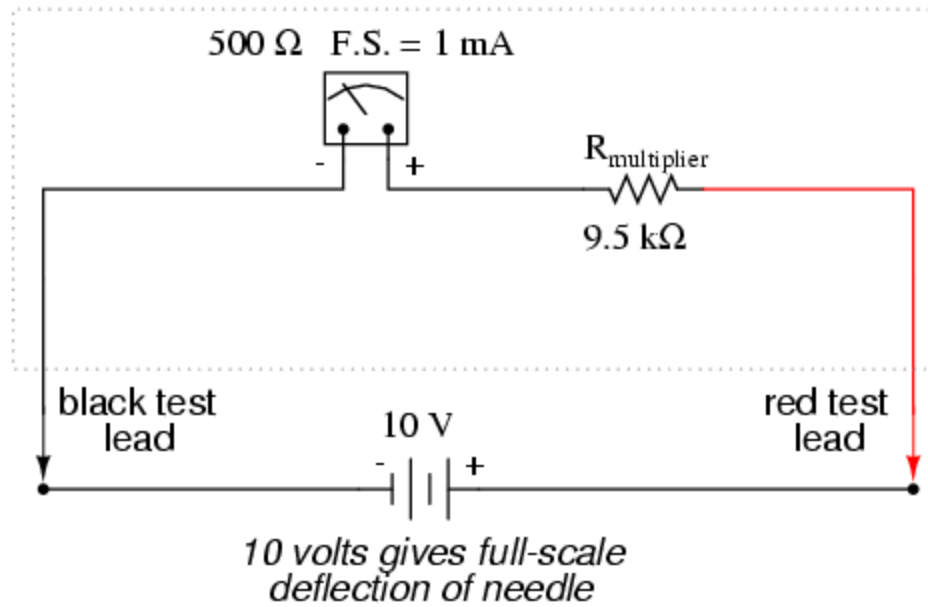


$$R_S = \frac{V_{range}}{I_{fs}} - R_m$$
$$R_S = S \times V_{Range} - R_m$$

Ex1 Voltmeter moving coil resistance 500Ω and $I_{fs} = 1 \text{ mA}$

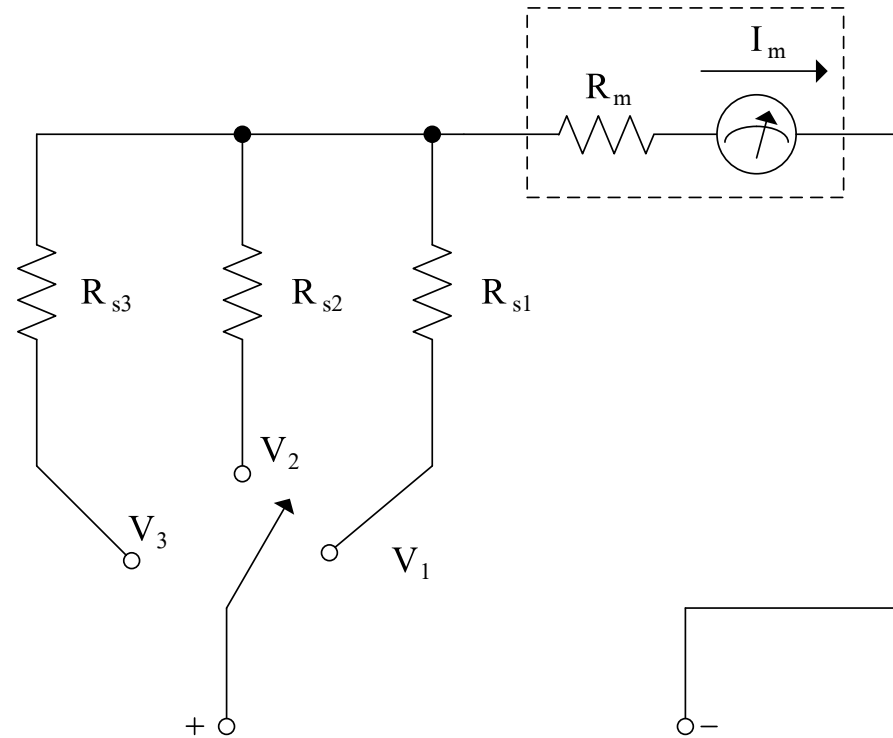
Find $R_{\text{multiplier}}$

Meter movement ranged for 10 volts full-scale



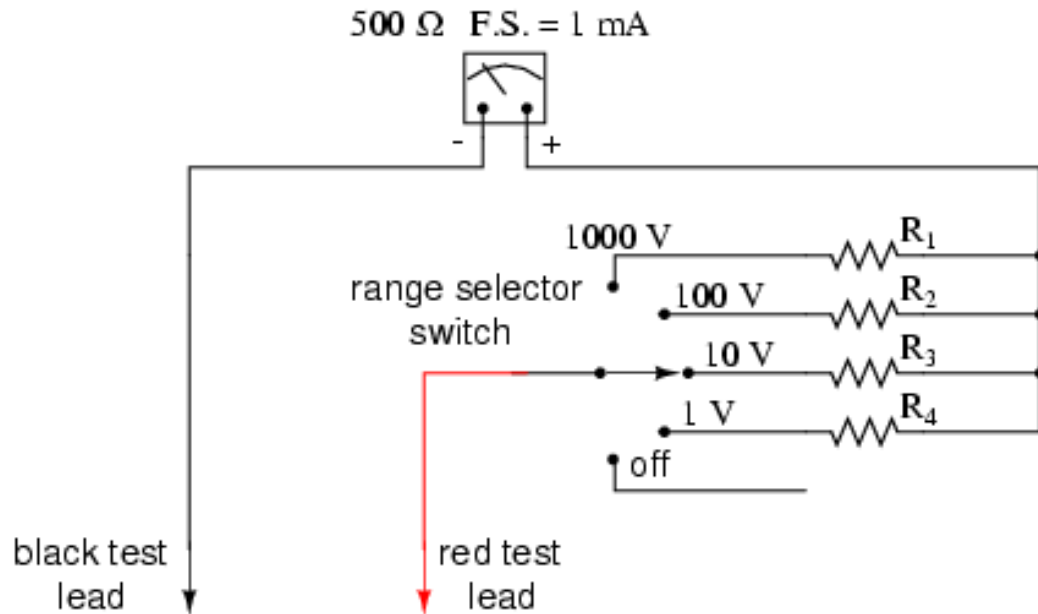
ภาพที่ 3.17

Ex2 Voltmeter moving coil resistance 500Ω and $I_{fs} = 1 \text{ mA}$
Find R_{S1} , R_{S2} and R_{S3} for to expand $V_1 = 3V$, $V_2 = 10V$ and
 $V_3 = 30V$



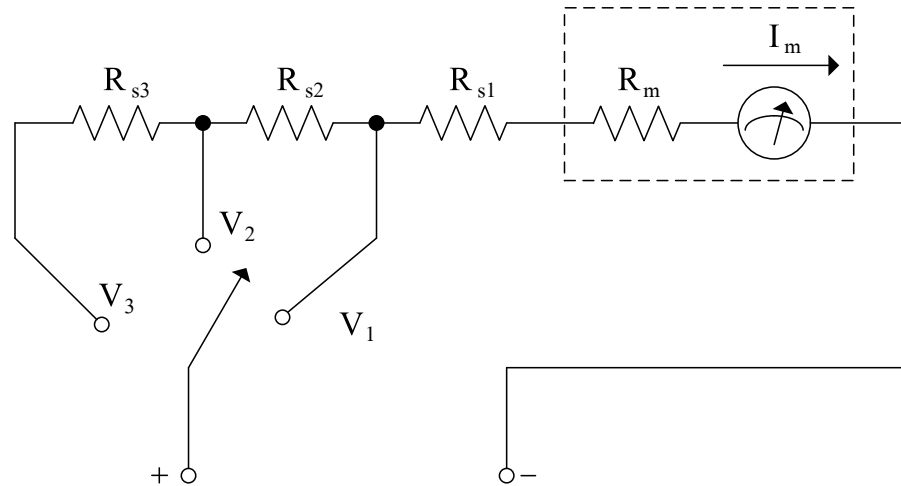
ภาพที่ 3.18

Ex3 Voltmeter moving coil resistance 500Ω and $I_{fs} = 1 \text{ mA}$
Find R_1 , R_2 , R_3 and R_4



ภาพที่ 3.19

2.3. การขยายย่านวัดแบบยูนิเวอร์แซล



ภาพที่ 3.20

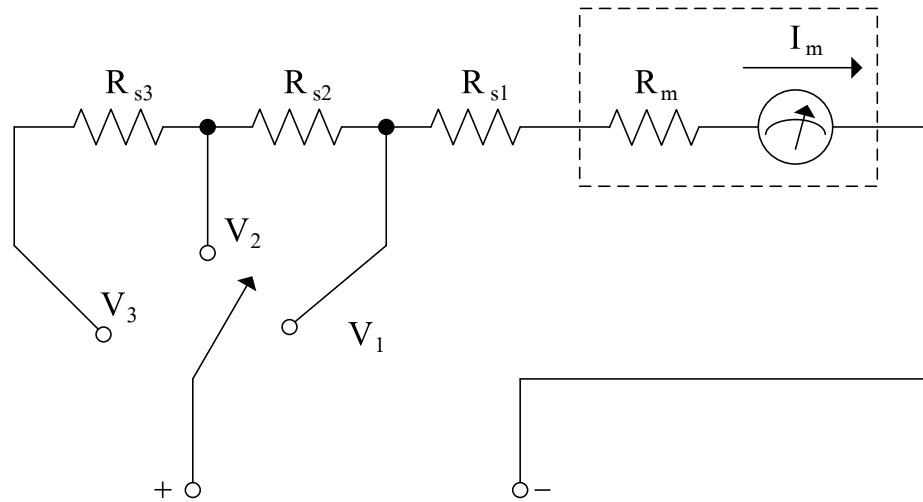
At range V_1 , V_2 and V_3

$$R_{s1} = S \times V_{Range1} - R_m$$

$$R_{s2} = S \times V_{Range2} - (R_{s1} + R_m)$$

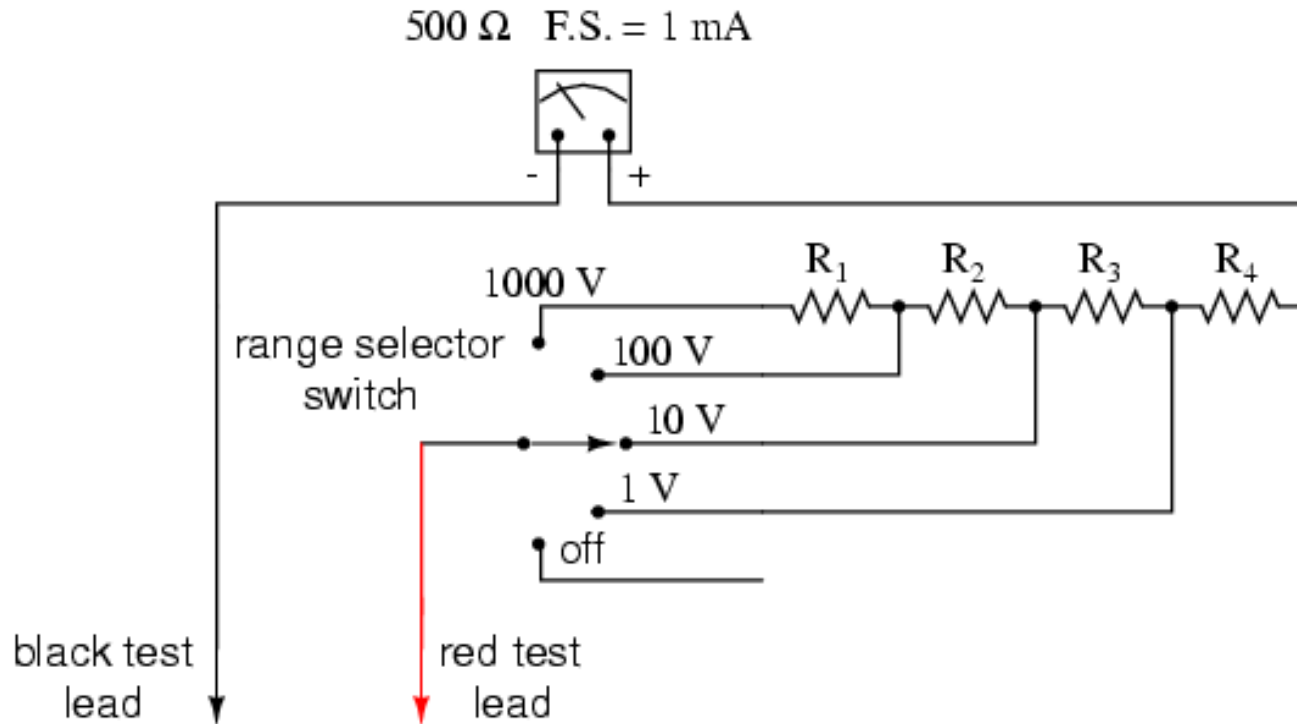
$$R_{s3} = S \times V_{Range3} - (R_{s2} + R_{s1} + R_m)$$

Ex4 Voltmeter moving coil resistance 500Ω and $I_{fs} = 1 \text{ mA}$
Find R_{s1} , R_{s2} and R_{s3} for to expand $V_1 = 3V$, $V_2 = 10V$ and
 $V_3 = 30V$



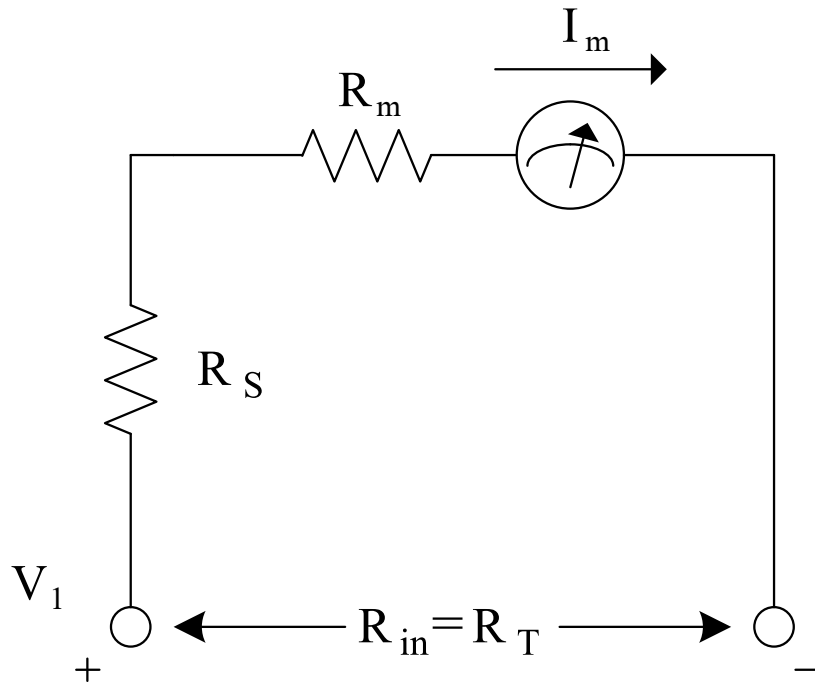
ภาพที่ 3.21

Ex5 Voltmeter moving coil resistance 500Ω and $I_{fs} = 1 \text{ mA}$
Find R_1 , R_2 , R_3 and R_4



ภาพที่ 3.22

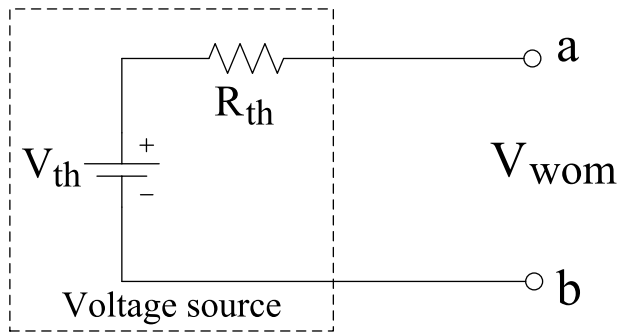
2.4. ความต้านทานภายในโวลต์มิเตอร์ (Voltmeter input resistance : R_{in})



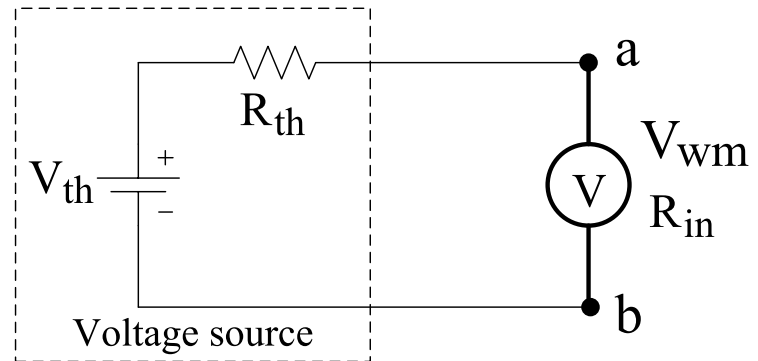
ภาพที่ 3.23

$$R_{in} = R_T = \frac{V_{range}}{I_{fs}}$$
$$R_{in} = R_T = S \times V_{range}$$

ผลของโหลดที่มีต่อ โวลต์มิเตอร์



(ก)



(ข)

ภาพที่ 3.24 วงจรเทียบเท่าเทวินินเมื่อไม่มีโวลต์มิเตอร์

$$V_{wom} = V_{th}$$

$$V_{wm} = \frac{V_{th}}{R_{in} + R_{th}} \times R_{in}$$

$$Accuracy = \frac{V_{wm}}{V_{wom}} = \frac{R_{in}}{R_{in} + R_{th}}$$

$$\% Acc = \frac{V_{wm}}{V_{wom}} \times 100 = \frac{R_{in}}{R_{in} + R_{th}} \times 100$$

$$\%Error = 1 - \%Acc = \left| \frac{X_t - X_m}{X_t} \right| \times 100$$

$$\%Error = \left| \frac{V_{wom} - V_{wm}}{V_{wom}} \right| \times 100$$

■ เมื่อ Accuracy คือความถูกต้อง

Error คือความผิดพลาดจากการวัด

V_{wom} คือแรงดันไฟฟ้าเมื่อไม่ได้วัด

V_{wm} คือแรงดันไฟฟ้าเมื่อวัดด้วยโวลต์มิเตอร์

เอกสารอ้างอิง (Reference)

1. Joseph J. Carr “Elements of Electronic Instrumentation and Measurement”
 2. David A. Bell “Electronic instrumentation and measurement”
 3. Robert B. Northrop “Introduction to instrumentation and measurement”
 4. ศักรินทร์ โสन्नันทะ “เครื่องมือวัดและการวัดทางไฟฟ้า”
-

Thank you
