6 เอซีโวลต์มิเตอร์
AC VOLTMETER

6.1 บทนำ

สัญญาณกระแสสลับจะเป็นสัญญาณไฟฟ้าที่มีการเปลี่ยนแปลงขนาด (Amplitude) ทิศทาง (Direction) และความถี่ (Frequency) ตามคาบเวลา (Time Period) จะมีหลายชนิดและรูปคลื่น (Waveform) จะมีลักษณะแตกต่างกันไป เช่น คลื่นไซน์ (Sine Wave) คลื่นสามเหลี่ยม (Triangle Wave) คลื่นสี่เหลี่ยมหรือคลื่นสแควร์ (Square Wave) คลื่นพัลซ์ (Pulse) และคลื่นสไปก์ (Spike) เป็นต้น

6.2 พื้นฐานของกระแสสลับ (Fundamental of Alternating Current)

ระบบแรงดันไฟฟ้าที่ใช้ในชีวิตประจำวันนั้นจะเป็นคลื่นไซน์ซึ่งเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ (Alternating Current : AC) ที่ทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้าจะมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาจึงทำให้ขั้วไฟฟ้าไม่แน่นอนแต่จะมีคาบเวลาและความถี่คงที่ดังเช่นมีความถี่ 50Hz เป็นต้น

6.2.1 แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้ากระแสสลับ (AC Voltage and Current)

แรงดันไฟฟ้ากระแสสลับจะเป็นคลื่นไซน์ซึ่งคลื่นไซน์ใน 1 รอบเรียกว่า 1 ไซเกิล (Cycle) โดยเกิดจากแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำ (Induced Electromotive Force : Induced emf) ต่อเนื่องกัน เมื่อขดลวดตัวนำหมุนอยู่ภายในสนามแม่เหล็กครบ 360° ทางกล (Mechanical Degree) ดังนั้นคลื่นไซน์ของแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับจึงเป็นค่าฟังก์ชันของมุมไซน์ (Function of Sine Angle) โดยจะขึ้นอยู่กับค่ามุมของขดลวดตัวนำตัดกับสนามแม่เหล็กแล้วทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าชั่วขณะที่ตำแหน่งมุมไซน์ใดๆ

6.2.2 แรงดันไฟฟ้าชั่วขณะ (Instantaneous Voltage)

แรงดันไฟฟ้าชั่วขณะคือค่าของแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับของรูปคลื่นไซน์ที่เกิดขึ้นในแต่ละมุมจากการหมุนของขดลวดตัวนำตัดสนามแม่เหล็กในเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

สมการแรงดันไฟฟ้าชั่วขณะ

$$e = E_m \text{Sin}\ \theta \qquad \text{.....(6.1)}$$

เมื่อ e คือแรงดันไฟฟ้าชั่วขณะ (Instantaneous Voltage)...โวลต์ (V)

E_m คือแรงดันไฟฟ้าสูงสุด (Maximum Voltage)...โวลต์ (Volt)
หรือ E_p (Peak Voltage)

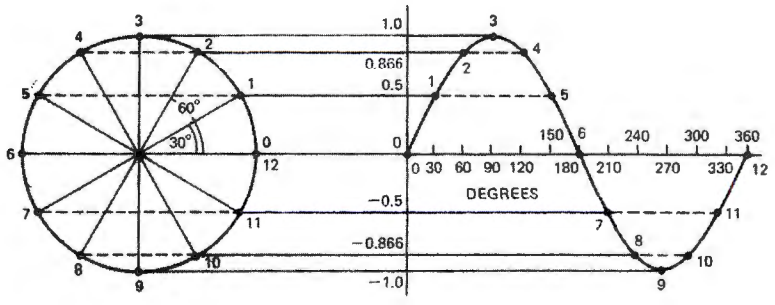
θ คือมุมใดๆของขดลวดตัวนำที่ตัดกับสนามแม่เหล็ก...องศา (Degree)

ในทำนองเดียวกันจะเกิดกระแสไฟฟ้าชั่วขณะไหลในขดลวดตัวนำด้วยเช่นกันดังสมการ

$$i = I_m \text{Sin}\theta \qquad \text{.....(6.2)}$$

เมื่อ i คือกระแสไฟฟ้าชั่วขณะ (Instantaneous Current)...แอมแปร์ (Ampere)

I_m คือกระแสไฟฟ้าสูงสุด (Maximum Current))...แอมแปร์ (Ampere)
หรือ I_p (Peak Current)

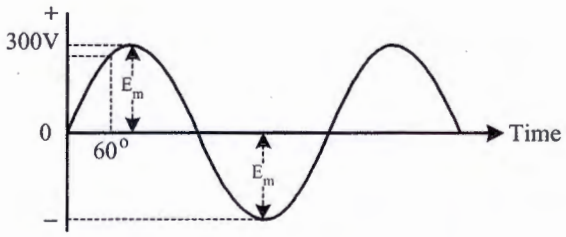


รูปที่ 6.1 มุมการหมุนของลวดตัวนำตัดสนามแม่เหล็กในเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

ตารางที่ 6.1 ค่าแรงดันไฟฟ้าชั่วขณะในมุม θ ต่างๆ

จุด	มุม θ	e	จุด	มุม θ	e
0	0°	0V	7	210°	-0.5V
1	30°	0.5V	8	240°	-0.866V
2	60°	0.866V	9	270°	-1.0V
3	90°	1.0V	10	300°	-0.866V
4	120°	0.866V	11	330°	-0.5V
5	150°	0.5V	12	360°	0V
6	180°	0V			

ตัวอย่างที่ 6.1 เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับเครื่องหนึ่งมีแรงดันไฟฟ้าสูงสุด 300V จงคำนวณหาค่าแรงดันไฟฟ้าชั่วขณะที่เกิดขึ้นเมื่อขดลวดตัวนำหมุนตัดกับสนามแม่เหล็กเป็นมุม $\theta = 60^{\circ}$



วิธีทำ

$e = E_m \text{Sin}\ \theta$

$e = 300V \times \text{Sin}60^{\circ} = 300V \times 0.866$

$e = 259.80V$ .....#

6.2.3 ความถี่ (Frequency) และคาบเวลา (Time Period)

ความถี่ (Frequency : f) หมายถึงจำนวนรอบหรือจำนวนไซเกิลของการเกิดรูปคลื่นไซน์ต่อเวลา 1 วินาที โดยที่รูปคลื่นไซน์ 1 ไซเกิล/วินาที (Cycle/second) จะมีความถี่เท่ากับ 1 เฮิรตซ์ (Hertz : Hz)

คาบเวลา (Time Period : T) หมายถึงระยะเวลาที่เกิดรูปคลื่นไซน์ได้ 1 รอบหรือ 1 ไซเกิลซึ่งคาบเวลา T มีหน่วยเป็นวินาที (second : s)

ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่และคาบเวลา

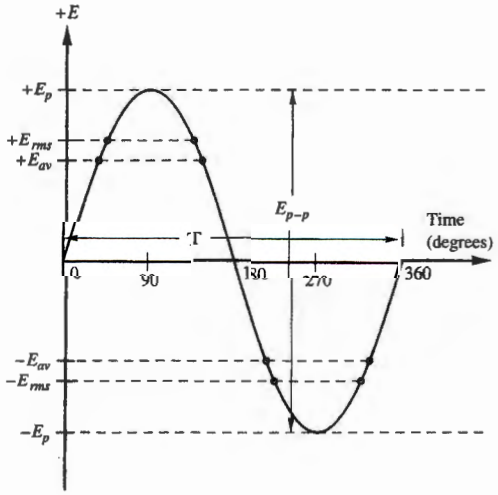
$$f = \frac{1}{T}$$
$$T = \frac{1}{f} \qquad \text{.....(6.3)}$$

เมื่อ f คือความถี่...ไซเกิล (Cycle)
หรือเฮิรตซ์ (Hertz : Hz)
T คือคาบเวลา...วินาที (second)

รูปคลื่นไซน์ของแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับใน 1 ไซเกิลจะมีค่าแรงดันไฟฟ้าและค่ากระแสไฟฟ้า 4 ค่าคือค่าสูงสุด (Maximum or Peak) ค่ายอดถึงยอด (Peak to Peak) ค่าเฉลี่ย (Average) ค่าใช้งานหรือค่าประสิทธิผล (Effective) หรือค่า rms (Root Mean Square)

6.2.4 แรงดันไฟฟ้าสูงสุด (Maximum Voltage)

แรงดันไฟฟ้าสูงสุด (E_p, E_m) คือค่าสูงสุดของแรงดันไฟฟ้าที่วัดจากระดับอ้างอิง (Reference Level) ถึงจุดยอดครึ่งไซเกิลบวกหรือครึ่งไซเกิลลบของรูปคลื่นไซน์ซึ่งแรงดันไฟฟ้าสูงสุดจะเป็นค่าที่ได้จากขณะที่ขดลวดตัวนำตัดกับสนามแม่เหล็กที่มุม $\theta = 90^o$



รูปที่ 6.2 ค่าแรงดันไฟฟ้าสูงสุดค่ายอดถึงยอด ค่าใช้งานและค่าเฉลี่ย

หาแรงดันไฟฟ้าสูงสุดที่มุม $\theta = 90^{\circ}$

$$e = E_m \text{Sin } \theta$$

$$e = E_m \text{Sin } 90^{\circ} = E_m \times 1$$

$$e = E_m \text{.....\#}$$

6.2.5 แรงดันไฟฟ้ายอดถึงยอด (Peak to Peak Voltage)

แรงดันไฟฟ้ายอดถึงยอด (E_{pp}, V_{pp}) คือค่าที่วัดจากจุดยอดครึ่งไซเกิลบวกถึงจุดยอดครึ่งไซเกิลลบของรูปคลื่นไซน์ ค่ายอดถึงยอดจะเท่ากับ 2 เท่าของแรงดันไฟฟ้าสูงสุด

$$E_{pp} = 2E_p = 2V_p \qquad \text{.....(6.4)}$$

เมื่อ E_{pp} คือแรงดันไฟฟ้ายอดถึงยอด...โวลต์ (V)

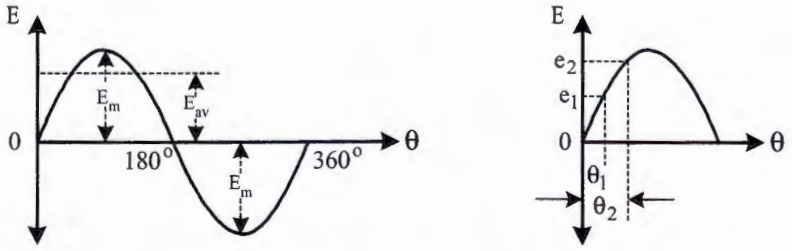
ทำนองเดียวกันจะได้กระแสไฟฟ้ายอดถึงยอด (Peak to Peak Current : I_{pp}) ด้วย

$$I_{pp} = 2I_p = 2I_m \qquad \text{.....(6.5)}$$

เมื่อ I_{pp} คือกระแสไฟฟ้ายอดถึงยอด...แอมแปร์ (A)

6.2.6 แรงดันไฟฟ้าเฉลี่ย (Average Voltage)

แรงดันไฟฟ้าเฉลี่ย (E_{av}) คือค่าเฉลี่ยของแรงดันไฟฟ้าของครึ่งไซเกิลบวกของรูปคลื่นไซน์คือระหว่างมุม 0°-180° แรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยจะทำการเฉลี่ยค่าแรงดันไฟฟ้าชั่วขณะที่เกิดตามตำแหน่งมุมไซน์ต่างๆของขดลวดตัวนำหมุนตัดกับสนามแม่เหล็กในเครื่องกำเนิดไฟฟ้าระหว่างมุม 0°-180°



รูปที่ 6.3 การหาค่าแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยของครึ่งไซเกิลบวก

หาแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ย (E_{av})

$$E_{av} = \frac{e_1 + e_2 + ... + e_n}{n} \qquad .....(6.6)$$

เมื่อ E_{av} คือค่าแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยของคลื่นไซน์

$e_1, e_2 .... e_n$ คือค่าแรงดันไฟฟ้าชั่วขณะที่มุม θ ใดๆ

n คือจำนวนส่วนที่แบ่งเพื่อหาค่า e ที่มุม θ ใดๆ

ถ้าแบ่ง n ให้มากๆจะได้ค่าละเอียดใกล้เคียงกับความจริง สมมุติว่าแบ่ง $n = 36$ ส่วน จะได้ว่า $\theta = \frac{180^o}{36} = 5^o$

แทนสมการ (6.1) : $e = E_m \text{Sin}\,\theta$ ในสมการ (6.6) : $E_{av} = \frac{e_1 + e_2 + ... + e_n}{n}$

$$E_{av} = \frac{E_m \text{Sin}\theta_1 + E_m \text{Sin}\theta_2 + ... + E_m \text{Sin}\theta_n}{n}$$

$$E_{av} = \frac{E_m (\text{Sin}5^o + \text{Sin}10^o + ... + \text{Sin}180^o}{36} = \frac{22.9E_m}{36}$$

$$E_{av} = 0.636E_m = \frac{2E_m}{\pi} \qquad .....(6.7)$$

ทำนองเดียวกันจะได้ค่ากระแสไฟฟ้าเฉลี่ย (I_{av}) คือ

$$I_{av} = 0.636I_m = \frac{2I_m}{\pi} \qquad .....(6.8)$$

จากสมการ (6.7) ค่าแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ย (E_{av}) และสมการ (6.8) กระแสไฟฟ้าเฉลี่ย (I_{av})ที่ได้จากครึ่งไซเกิลบวกของรูปคลื่นไซน์นั้นจะเป็นค่าของแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง (E_{dc}) หรือกระแสไฟฟ้ากระแสตรง (I_{dc})โดยประมาณด้วย

6.2.7 แรงดันไฟฟ้าใช้งาน (Effective Voltage)

ค่าแรงดันไฟฟ้าใช้งานหรือเรียกว่าค่าแรงดันไฟฟ้าประสิทธิผลหรือแรงดันไฟฟ้า rms (Root Mean Square Voltage : E_{rms}) คือค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่วัดได้ด้วยเอซีโวลต์มิเตอร์เช่นวัดค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่ใช้ในบ้านจะได้เท่ากับ 220V

แรงดันไฟฟ้าใช้งานนี้คำนวณมาจากพลังงานความร้อนที่เกิดจากเมื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับให้กับความต้านทานคงที่ค่าหนึ่ง ผลของพลังงานความร้อนจะเท่ากับผลของแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่จ่ายให้กับความต้านทานค่าเท่ากันเมื่อใช้เวลาเท่ากัน

การคำนวณค่าแรงดันไฟฟ้าใช้งาน (E_{rms}, E_{eff})

วิธีที่ 1

เมื่อป้อนแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับและกระแสตรงจ่ายให้กับความต้านทาน $R = 1\Omega$ ในเวลา t วินาทีจะทำให้เกิดพลังงานความร้อน Q (Joule : J) เท่ากัน

พลังงาน Q_{dc} = พลังงาน Q_{ac}

พลังงาน $Q = Pt = \frac{E^2 t}{R} = \frac{E^2 t}{1\Omega} = E^2 t$

จะได้ $Q = Q_{dc} = Q_{ac} = E^2 t$

จาก พลังงาน $Q_{ac} = E_{ac}^2 t$

จะได้ $E_{ac}^2 = \frac{Q_{ac}}{t}$

$$E_{ac} = \sqrt{\frac{Q_{ac}}{t}} \qquad \text{.....(6.9)}$$

การวิเคราะห์วงจรไฟฟ้าที่ป้อนสัญญาณไซน์ให้ตัวต้านทาน R จะไม่มีมุมต่างเฟสระหว่างแรงดันไฟฟ้า e และกระแสไฟฟ้า i ทำให้กำลังไฟฟ้าเฉลี่ย P_{av} ของตัวต้านทาน R ในวงจรมีค่าเท่ากับกำลังไฟฟ้าเฉลี่ย P_R ในวงจรไฟฟ้ากระแสตรงดังนี้

$$P_{ac} = P_R = \frac{E_m}{2I_m} = \frac{I_m^2 R}{2} = \frac{E_m^2}{2R} \qquad \text{.....(6.10)}$$

เพราะว่า พลังงาน $Q_{ac} = P_{av} t$ .....(6.11)

แทน $P_{ac} = \frac{E_m^2}{2R}$ และ $R = 1\Omega$ ในสมการ (6.11) : $Q_{ac} = P_{av} t$

จะได้ $Q_{ac} = \frac{E_m^2 t}{2R} = \frac{E_m^2 t}{2(1\Omega)} = \frac{E_m^2 t}{2}$

$$Q_{ac} = \frac{E_m^2 t}{2} \qquad \text{.....(6.12)}$$

แทนสมการ (6.12) : $Q_{ac} = \frac{E_m^2}{2}$ ในสมการ (6.9) : $E_{ac} = \sqrt{\frac{Q_{ac}}{t}}$

$$E_{ac} = \sqrt{\frac{\frac{E_m^2 t}{2}}{t}} = \sqrt{\frac{E_m^2 t}{2t}} = \sqrt{\frac{E_m^2}{2}} = \frac{E_m}{\sqrt{2}} = 0.707E_m \quad \text{.....(6.13)}$$

เพราะว่า $E_{ac} = E_{rms} = E_{eff}$

ดังนั้น $$E_{rms} = E_{eff} = \frac{E_m}{\sqrt{2}} = 0.707E_m = \frac{\sqrt{2}E_m}{2} \quad \text{.....6.14)}$$

จากสมการ (6.14) : $E_{rms} = \frac{E_m}{\sqrt{2}}$ และ $E_{rms} = \frac{\sqrt{2}E_m}{2}$ หาค่าแรงดันไฟฟ้า E_m

$$E_m = \sqrt{2}E_{rms}$$
$$E_m = 1.414E_{rms} \quad \text{.....(6.15)}$$

วิธีที่ 2

เมื่อป้อนคลื่นไซน์ให้ความต้านทาน R กระแสไฟฟ้า $i(t)$ ที่ไหลในวงจรจะทำให้เกิดกำลังไฟฟ้าเฉลี่ย P ดังสมการ

$$P = \frac{1}{T}\int_0^T i^2(t)Rdt = \frac{R}{T}\int_0^T i^2(t)dt \quad \text{.....(6.16)}$$

กระแสไฟฟ้า $i(t)$ ที่เกิดจากคลื่นไซน์ที่ช่วงคาบเวลา 0-T จะทำให้เกิดกำลังไฟฟ้ากระแสตรง P ดังสมการ

$$P = I_{rms}^2 R$$
$$I_{rms} = \sqrt{\frac{P}{R}} \quad \text{.....(6.17)}$$

แทนสมการ (6.16) : $P = \frac{R}{T}\int_0^T i^2(t)dt$ ในสมการ (6.17) : $I_{rms} = \sqrt{\frac{P}{R}}$

$$I_{rms} = \sqrt{\frac{\frac{R}{T}\int_0^T i^2(t)dt}{R}} = \sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T i^2(t)dt} \quad \text{.....(6.18)}$$

เพราะว่า $i(t) = I_m Cos(\omega t + \phi)$ .....(6.19)

และ $\omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T}$

จะได้ $T = \frac{2\pi}{\omega}$ .....(6.20)

แทนสมการ (6.19) : $i(t) = I_m Cos(\omega t + \phi)$ และสมการ (6.20) : $T = \frac{2\pi}{\omega}$

ในสมการ (6.18) : $I_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T i^2(t)dt}$

$$I_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T I_m^2 \cos^2(\omega t + \theta)dt}$$

$$I_{rms} = \sqrt{\frac{\omega}{2\pi}\int_0^{2\pi/\omega}\left[\frac{1}{2} + \frac{1}{2}\cos(2\omega t + 2\phi)\right]dt}$$

$$I_{rms} = \sqrt{\frac{\omega}{4\pi}[t]_0^{2\pi/\omega}}$$

$$I_{rms} = \frac{I_m}{\sqrt{2}} = 0.707 I_m = \frac{\sqrt{2}I_m}{2} \qquad \text{.....(6.21)}$$

ทำนองเดียวกันจากที่ได้ I_{rms} ในสมการ (6.21) จะสามารถหาแรงดันไฟฟ้า E_{rms} ได้เหมือนกันกับ I_{rms} และจะได้ E_{rms} เท่ากับสมการ (6.14) เช่นกัน

แรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่วัดด้วยเอซีโวลต์มิเตอร์จะเป็นแรงดันไฟฟ้า E_{rms} หรือ E_{eff} การเขียนว่าเป็นแรงดันไฟฟ้า E_{rms} จะเขียนเฉพาะ E หรือ V โดยไม่ต้องมีตัวห้อย (Subscript) เป็น rms หรือ eff ก็ได้แต่ถ้ามีตัวห้อยแล้วจะนิยมเขียน rms

การที่เรียกว่าเป็นแรงดันไฟฟ้า rms (Root Mean Square) เพราะว่าเป็นค่าที่ได้จากรากที่ 2 ของค่าเฉลี่ย (Mean) กำลังสอง โดยจะคำนวณจากคลื่นรูปไซน์ 1 ไซเกิลช่วงคาบเวลา 0–T ซึ่งสมการของ E_{rms} คือ

$$E_{eff} = E_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T v^2(t)dt} \qquad \text{.....(6.22)}$$

การวัดไฟฟ้ากระแสสลับจะมีเครื่องวัดไฟฟ้ากระแสสลับ (AC Instruments) หลายชนิดและแต่ละชนิดมีหลักการทำงานที่แตกต่างกันโดยเฉพาะการใช้ส่วนเคลื่อนที่มิเตอร์ (Meter Movement) เครื่องวัดไฟฟ้ากระแสสลับมีดังนี้

1. เอซีโวลต์มิเตอร์ (AC Voltmeter) หรือเครื่องวัดแบบเรียงกระแสไฟฟ้า (Rectifier Instrument)
2. เครื่องวัดแบบอิเล็กโตรไดนาโมมิเตอร์ (Electrodynamometer)
3. เครื่องวัดแบบใบพัดเหล็กเคลื่อนที่ (Iron-Vane Moving Coil Meter)
4. เครื่องวัดแบบเทอร์โมคัพเปิล (Thermocouple Meter)
5. เครื่องวัดแบบไฟฟ้าสถิต (Electrostatic Meter)

6.3 เอซีโวลต์มิเตอร์ (AC Voltmeter)

เครื่องวัดแบบเรียงกระแสไฟฟ้า (Rectifier Instrument)

ขดลวดเคลื่อนที่แบบดาร์สันวัลจะใช้วัดเฉพาะกับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเท่านั้น ถ้าต้องการวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับจะต้องทำเป็นเอซีโวลต์มิเตอร์โดยต้องมีวงจรเรียงกระแสไฟฟ้า (Rectifier Circuit) เพื่อทำหน้าที่แปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงนำไปป้อนให้ขดลวดเคลื่อนที่อีกทีหนึ่ง ดังนั้น จึงเรียกเอซีโวลต์มิเตอร์อีกอย่างหนึ่งว่าเครื่องวัดแบบเรียงกระแสไฟฟ้าซึ่งวงจรเรียงกระแสไฟฟ้าจะทำให้ความไวกระแสไฟฟ้าของเอซีโวลต์มิเตอร์ต่ำกว่าดีซีโวลต์มิเตอร์ถึงแม้ใช้ขดลวดเคลื่อนที่เดียวกัน

6.4 วงจรเรียงกระแสไฟฟ้าในเอซีมิเตอร์ (Rectifier Circuit in AC Voltmeter)

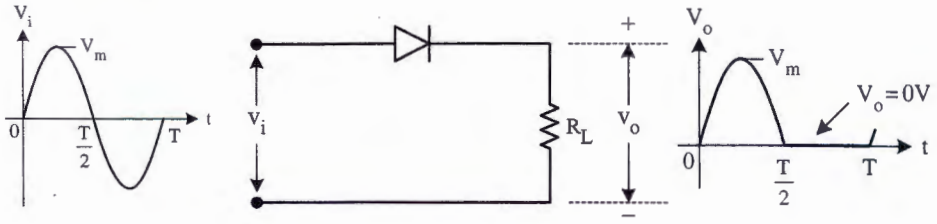
วงจรเรียงกระแสไฟฟ้าในเอซีมิเตอร์มี 2 วงจรคือ

1. วงจรเรียงกระแสไฟฟ้าครึ่งคลื่น (Half Wave Rectifier : HWR)
2. วงจรเรียงกระแสไฟฟ้าเต็มคลื่น (Full Wave Rectifier : FWR) มี 2 ชนิดคือ
   - 2.1) วงจรเรียงกระแสไฟฟ้าเต็มคลื่นชนิดบริดจ์ (Bridge Full Wave Rectifier) ในเอซีโวลต์มิเตอร์จะใช้ชนิดนี้
   - 2.2) วงจรเรียงกระแสไฟฟ้าเต็มคลื่นชนิดเซ็นเตอร์แท็ป (Center-Tap Transformer Full Wave Rectifier) จะใช้หม้อแปลงแรงดันไฟฟ้าที่มีขั้วต่อกึ่งกลาง (Center-Tap) ที่ด้านขดลวดทุติยภูมิ

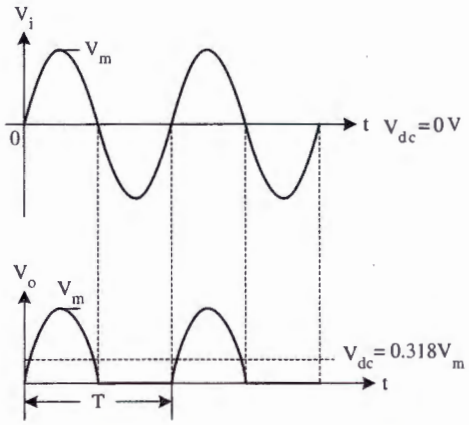
6.4.1 วงจรเรียงกระแสไฟฟ้าครึ่งคลื่น (Half Wave Rectifier)

วงจรเรียงกระแสไฟฟ้าครึ่งคลื่นจะใช้ไดโอด D_1 ทำหน้าที่เรียงกระแสไฟฟ้าเพื่อเปลี่ยนแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง การทำงานจะเริ่มจากที่แรงดันไฟฟ้ากระแสสลับครึ่งไซเกิลบวกเข้ามาในวงจรคือ v_i ช่วง $0-T/2,(0-\pi)$ จะทำให้ไดโอด D_1 ได้รับแรงดันไฟฟ้าไบอัสตรง (Forward Bias Voltage) เกิดการนำกระแสไฟฟ้า (Conduct) มีกระแสไฟฟ้ากระแสตรง (I_{dc}) ไหลและได้แรงดันไฟฟ้าเอาต์พุต (Output Voltage : v_o) ตกคร่อมโหลด R_L มีค่าเท่ากับ v_i ที่ป้อนเข้ามา

เมื่อแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับครึ่งไซเกิลลบเข้ามาทำให้ไดโอด D_1 ได้รับแรงดันไฟฟ้าไบแอสกลับ (Reverse Bias Voltage) จะไม่นำกระแสไฟฟ้าจึงเสมือนว่าไดโอด D_1 เป็นสวิตช์ปิด (Switch off) ดังนั้นแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตจึงเท่ากับศูนย์



รูปที่ 6.4 วงจรเรียงกระแสไฟฟ้าครึ่งคลื่น



รูปที่ 6.5 แรงดันไฟฟ้าอินพุตและเอาต์พุตของวงจรเรียงกระแสไฟฟ้าครึ่งคลื่น

แรงดันไฟฟ้าเฉลี่ย (Average Voltage : V_{av}) ที่ตกคร่อมโหลดนั้นจะได้เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง V_{dc} แต่ยังเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ไม่เรียบ (Pulsating DC) พิจารณาแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ตกคร่อมโหลดช่วง $0-T$ ดังสมการ

$$V_{dc} = V_{av} = \frac{1}{T}\int_0^T v(t)d(t) \qquad \text{.....(6.23)}$$

แทน $v = V_m Sine\theta$ และ $T = 2\pi$ ในสมการ (6.20) : $V_{dc} = V_{av} = \frac{1}{T}\int_0^T v(t)d(t)$

$$V_{dc} = V_{av} = \frac{1}{2\pi}\int_0^{2\pi} V_m Sin\theta d\theta$$

$$V_{dc} = \frac{V_m}{2\pi}\left[\int_0^{\pi} Sin\theta d\theta + \int_{\pi}^{2\pi} 0 d\theta\right] .$$

$$V_{dc} = \frac{V_m}{2\pi}[-\cos\theta]_0^{\pi}$$

$$V_{dc} = \frac{V_m}{2\pi} \times 2 = \frac{V_m}{\pi}$$

$$V_{dc} = V_{av} = \frac{V_m}{\pi} = 0.318V_m \qquad \text{.....(6.24)}$$

แทนสมการ (6.15) : $V_m = \sqrt{2}V_{rms}$ ในสมการ (6.24) : $V_{dc} = V_{av} = 0.318V_m$

$$V_{dc} = V_{av} = 0.318 \times \sqrt{2}V_{rms} = 0.45V_{rms} \qquad \text{.....(6.25)}$$

$$V_{dc} = V_{av} = \frac{V_m}{\pi} = 0.318V_m = 0.45V_{rms} \qquad \text{.....(6.26)}$$

จะเห็นว่าแรงดันไฟฟ้า V_{dc} ของวงจรเรียงกระแสไฟฟ้าครึ่งคลื่นจะมีค่าเป็น 0.45 เท่าของแรงดันไฟฟ้า V_{rms} หรือมีค่าเท่ากับ 45% ของแรงดันไฟฟ้า V_{rms}

ทำนองเดียวกันจะได้ค่ากระแสไฟฟ้า I_{dc} คือ

$$I_{dc} = I_{av} = \frac{I_m}{\pi} = 0.318I_m = 0.45I_{rms} \qquad \text{.....(6.27)}$$

6.4.2 ฟอร์มแฟกเตอร์ (Form Factor)

ฟอร์มแฟกเตอร์ คืออัตราส่วนแรงดันไฟฟ้า V_{rms} ต่อแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ย V_{av} ดังนั้น จากสมการ (6.14) : $V_{rms} = 0.707V_m$ และสมการ (6.7) : $V_{ac} = 0.636V_m$ จะหาค่าฟอร์มแฟกเตอร์ได้ดังนี้

$$\text{Form Factor} = \frac{V_{rms}}{V_{av}} = \frac{0.707V_m}{0.636V_m} = 1.11 \qquad \text{.....(6.28)}$$

หาค่าแรงดันไฟฟ้า V_{rms}, V_{av} จากฟอร์มแฟกเตอร์ $\frac{V_{rms}}{V_{av}} = 1.11$

$$V_{rms} = 1.11V_{av}$$

$$V_{av} = \frac{V_{rms}}{1.11} \qquad \text{.....(6.29)}$$

ทำนองเดียวกันหาค่าฟอร์มแฟกเตอร์จากกระแสไฟฟ้าคือ

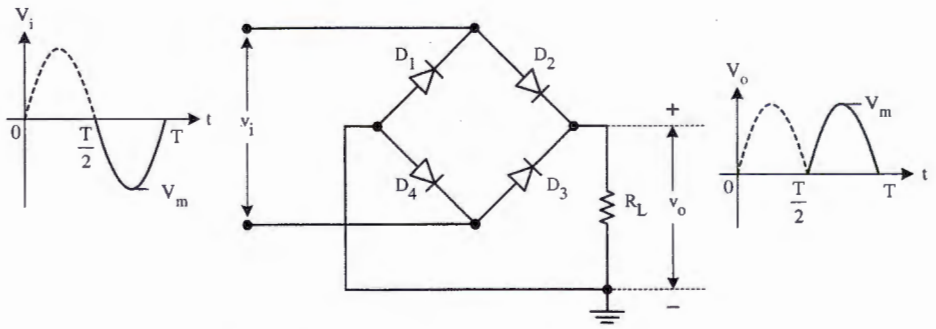
$$\text{Form Factor} = \frac{I_{rms}}{I_{av}} = \frac{0.707I_m}{0.636I_m} = 1.11 \qquad \text{.....(6.30)}$$

จากสมการ (6.30) หาค่ากระแสไฟฟ้า I_{rms}, I_{av} จากฟอร์มแฟกเตอร์

$$I_{rms} = 1.11 I_{av}$$
$$I_{av} = \frac{I_{rms}}{1.11} \qquad \text{.....(6.31)}$$

6.4.3 วงจรเรียงกระแสไฟฟ้าเต็มคลื่นชนิดบริดจ์ (Bridge Full Wave Rectifier)

วงจรเรียงกระแสไฟฟ้าเต็มคลื่นชนิดบริดจ์จะใช้ไดโอดจำนวน 4 ตัวเพื่อทำหน้าที่เรียงกระแสไฟฟ้าการทำงานจะเริ่มเมื่อแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับครึ่งไซเกิลบวกเข้ามาคือ v_i ช่วง $0-T/2$ จะทำให้ไดโอด D_2 และ D_4 ได้รับแรงดันไบแอสตรงเกิดการนำกระแสไฟฟ้าไหลผ่านโหลด R_L มีแรงดันไฟฟ้าตกคร่อม R_L ครึ่งไซเกิล ต่อมาแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับครึ่งไซเกิลลบเข้ามาคือ v_i ช่วง $T/2-T$ ทำให้ไดโอด D_1 และ D_3 ได้รับแรงดันไฟฟ้าไบแอสตรงเกิดการนำกระแสไฟฟ้าไหลผ่านโหลด R_L มีแรงดันไฟฟ้าตกคร่อม R_L อีกครึ่งไซเกิลจะเห็นว่าแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมโหลด R_L เกิดจากแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับทั้งครึ่งไซเกิลบวกและลบ



รูปที่ 6.6 วงจรเรียงกระแสไฟฟ้าเต็มคลื่นชนิดบริดจ์

แรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยที่ตกคร่อมโหลด R_L ที่ได้จากแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับทั้งครึ่งไซเกิลบวกและลบจะเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ยังไม่เรียบซึ่งค่าแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยจะอยู่ในช่วง $0-T$ หรือ $0-2\pi$ จะมีค่าเป็น 2 เท่าของวงจรเรียงกระแสไฟฟ้าครึ่งคลื่น

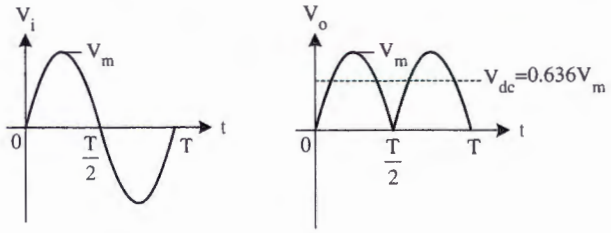
สมการ (6.24) เป็นสมการแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงของวงจรเรียงกระแสไฟฟ้าครึ่งคลื่นคือ

$$V_{dc} = \frac{V_m}{\pi} = 0.318V_m = 0.45V_{rms}$$

ดังนั้น แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงของวงจรเรียงกระแสไฟฟ้าเต็มคลื่นซึ่งมีค่าเป็น 2 เท่าของแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงของวงจรเรียงกระแสไฟฟ้าครึ่งคลื่นจะได้ดังสมการ

$$V_{dc} = V_{av} = \frac{2V_m}{\pi}$$
$$V_{dc} = V_{av} = 0.636V_m = 0.90V_{rms} \quad \text{.....(6.32)}$$

จะเห็นว่าแรงดันไฟฟ้า V_{dc} ของวงจรเรียงกระแสไฟฟ้าเต็มคลื่นจะมีค่าเป็น 0.90 เท่าของแรงดันไฟฟ้า V_{rms} หรือมีค่าเท่ากับ 90% ของแรงดันไฟฟ้า V_{rms}



รูปที่ 6.7 แรงดันไฟฟ้าอินพุตและเอาต์พุตของวงจรเรียงกระแสไฟฟ้าเต็มคลื่น

ทำนองเดียวกันจะได้ค่ากระแสไฟฟ้า I_{dc} คือ

$$I_{dc} = I_{av} = \frac{2I_m}{\pi}$$
$$I_{dc} = I_{av} = 0.636I_m = 0.90I_{rms} \quad \text{.....(6.33)}$$

6.5 ชนิดของเอซีโวลต์มิเตอร์ (Type of AC Voltmeter)

เอซีโวลต์มิเตอร์แบ่งตามการใช้วงจรเรียงกระแสไฟฟ้าจะแบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ

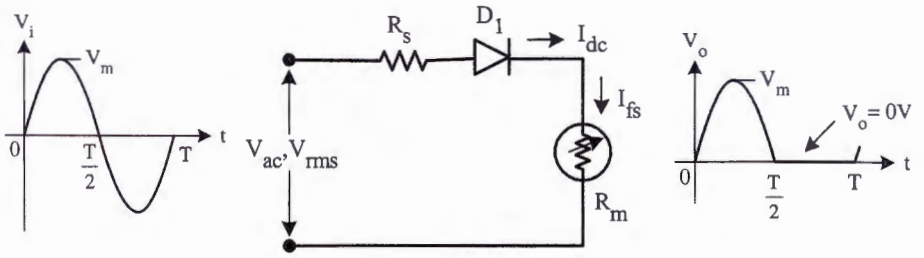
1. เอซีโวลต์มิเตอร์แบบเรียงกระแสไฟฟ้าครึ่งคลื่น
2. เอซีโวลต์มิเตอร์แบบเรียงกระแสไฟฟ้าเต็มคลื่น

6.5.1 เอซีโวลต์มิเตอร์แบบเรียงกระแสไฟฟ้าครึ่งคลื่น

(Half Wave Rectifier AC Voltmeter : HWR AC Voltmeter)

เอซีโวลต์มิเตอร์แบบเรียงกระแสไฟฟ้าครึ่งคลื่น จะนำไดโอด D_1 มาต่ออนุกรมกับขดลวดเคลื่อนที่แบบดาร์สันวัล (PMMC) เพื่อทำหน้าที่แปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับเฉพาะครึ่งไซเกิลบวกให้ผ่านไดโอด D_1 เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงแล้วป้อนให้ขดลวด

เคลื่อนที่ซึ่งเข็มมิเตอร์จะเบี่ยงเบนเต็มสเกล (Full Scale Deflection : FSD) ตามปริมาณของกระแสไฟฟ้า I_{dc} หรือกระแสไฟฟ้า I_{fs} ที่ไหลผ่านขดลวด



รูปที่ 6.8 วงจรเอซีโวลต์มิเตอร์แบบเรียงกระแสไฟฟ้าครึ่งคลื่น

สมการการออกแบบวงจร

จากรูปที่ 6.8 ป้อนแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ (V_{ac}, V_{rms}) ให้วงจรเอซีโวลต์มิเตอร์จะพิจารณาเฉพาะเมื่อครึ่งไซเกิลบวก (V_p) ที่ทำให้ไดโอด D_1 ทำงานจะมีกระแสไฟฟ้า I_p ไหลผ่านขดลวดเคลื่อนที่และไดโอดที่ใช้เป็นไดโอดทางอุดมคติ (Ideal Diode) โดยจะให้ความต้านทานไดโอด (R_d) เป็นศูนย์จะได้สมการดังนี้

$$V_p = I_p(R_s + R_m) = I_pR_s + I_pR_m$$

$$R_s = \frac{V_p - I_pR_m}{I_p} = \frac{V_p}{I_p} - R_m \qquad \text{.....(6.34)}$$

แทนสมการ (6.15) : $V_p = \sqrt{2}V_{rms}$ และสมการ (6.27) : $I_p = \frac{I_{dc}}{0.318}$ ใน

สมการ (6.34) : $R_s = \frac{V_p}{I_p} - R_m$

$$R_s = \frac{\sqrt{2}V_{rms}}{I_{dc}/0.318} - R_m = \frac{0.45V_{rms}}{I_{dc}} - R_m$$

$$R_s = \frac{0.45V_{rms}}{I_{dc}} - R_m = \frac{0.45V_{rms}}{I_{fs}} - R_m \qquad \text{.....(6.35)}$$

จากสมการ (6.35) จะได้ความไวกระแสสลับ (S_{ac}) คือ

$$S_{ac} = 0.45\left(\frac{1}{I_{fs}}\right) = 0.45S_{dc} \qquad \text{.....(6.36)}$$

สรุป

$$R_s = \frac{0.45V_{rms}}{I_{dc}} - R_m = \frac{0.45V_{rms}}{I_{fs}} - R_m$$
$$R_s = 0.45S_{dc} \times Range - R_m \quad \text{.....(6.37)}$$
$$R_s = S_{ac} \times Range - R_m$$

6.5.2 ความต้านทานภายในของเอซีโวลต์มิเตอร์

ความต้านทานภายในของเอซีโวลต์มิเตอร์จะเหมือนกันกับของดีซีโวลต์มิเตอร์คือ จะได้จากความต้านทานรวมของวงจรซึ่งจะเป็นความต้านทานภายในของแต่ละย่านวัด

$$R_{in} = R_T = R_{Range} = S_{ac} \times Range$$
$$R_{in} = R_T = R_{Range} = 0.45S_{dc} \times Range \quad \text{.....(6.38)}$$

จากสมการ (6.38) จะหาค่าความไวกระแสสลับ : S_{ac} ดังนี้

$$S_{ac} = \frac{R_T}{Range} \quad \text{.....(6.39)}$$

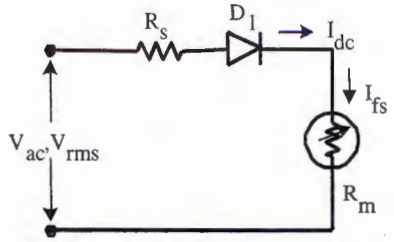
เมื่อ R_s คือตัวต้านทานอนุกรม (Series Resistor)
หรือตัวต้านทานคูณ (Multiplier Resistor)...โอห์ม (Ω)
V_{rms}, Range คือแรงดันไฟฟ้าของย่านวัด...โวลต์ (V)
S_{dc} คือความไวกระแสตรง (DC Sensitivity)...โอห์ม/โวลต์ (Ω/V)
S_{ac} คือความไวกระแสสลับ (AC Sensitivity)... โอห์ม/โวลต์ (Ω/V)
I_{dc}, I_{fs} คือกระแสไฟฟ้าเต็มสเกล...แอมแปร์ (A)
R_{in}, R_T, R_{Range} คือความต้านทานภายในของย่านวัด...โอห์ม (Ω)

วงจรเรียงกระแสไฟฟ้าครึ่งคลื่นในเอซีโวลต์มิเตอร์ จะทำให้ความไวกระแสสลับเหลือเพียง 45% ของความไวกระแสตรงของดีซีโวลต์มิเตอร์

ตัวอย่างที่ 6.2 จงคำนวณหาค่าตัวต้านทานอนุกรมของเอซีโวลต์มิเตอร์ เมื่อให้ขดลวดเคลื่อนที่มี $I_{fs} = 1mA$, $R_m = 300\Omega$ ต้องการขยายย่านวัดเป็น 10V

วิธีทำ

$$R_s = \frac{0.45V_{rms}}{I_{fs}} - R_m$$
$$R_s = \frac{0.45 \times 10V}{1 \times 10^{-3}} - 300\Omega = 4.2k\Omega \text{ .....\#}$$



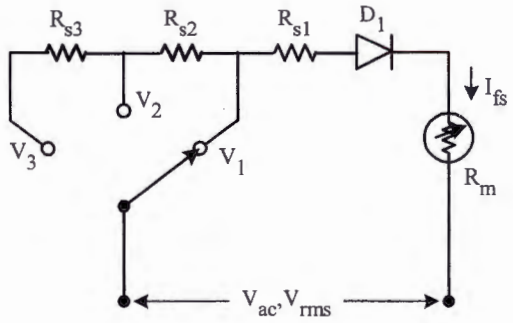
หรือ $$R_s = S_{ac} \times \text{Range} - R_m = \frac{0.45V_{rms}}{I_{fs}} - R_m = \frac{0.45 \times 10V}{1 \times 10^{-3}} - 300\Omega$$

$$R_s = 4.2k\Omega \text{ .....\#}$$

ตัวอย่างที่ 6.3 ขดลวดเคลื่อนที่มี $I_{fs} = 100\mu A$, $R_m = 200\Omega$ ให้ขยายย่านวัดเป็นเอซีโวลต์มิเตอร์แบบเรียงกระแสไฟฟ้าครึ่งคลื่นเป็น 10V, 50V และ 100V จงคำนวณหา

ก) ความต้านทานอนุกรมและความต้านทานภายในของแต่ละย่านวัด

ข) ความไวกระแสสลับของมิเตอร์



วิธีทำ

หา R_s, R_{Range} ของแต่ละย่านวัด

ย่านวัด $V_1 = 10V$

$$R_{s1} = \frac{0.45V_{rms}}{I_{fs}} - R_m$$

$$R_{s1} = \frac{0.45 \times 10V}{100 \times 10^{-6}} - 200\Omega = 44.8k\Omega \text{ .....\#}$$

$$R_{Range} = R_{10V} = S_{ac} \times \text{Range} = \frac{0.45 \times 10V}{100 \times 10^{-6}} = 45k\Omega \text{ .....\#}$$

ย่านวัด $V_2 = 50V$

$$R_{s2} = \frac{0.45V_{rms}}{I_{fs}} - (R_m + R_{s1})$$

$$R_{s2} = \frac{0.45\times 50V}{100\times 10^{-6}} - (200\Omega + 44.8k\Omega) = 180k\Omega \text{ .....\#}$$

$$R_{Range} = R_{50V} = S_{ac} \times Range = \frac{0.45\times 50V}{100\times 10^{-6}} = 225k\Omega \text{ .....\#}$$

ย่านวัด $V_3 = 100V$

$$R_{s3} = \frac{0.45V_{rms}}{I_{fs}} - (R_m + R_{s1} + R_{s2})$$

$$R_{s3} = \frac{0.45\times 100V}{100\times 10^{-6}} - (200\Omega + 44.8k\Omega + 180k\Omega) = 225k\Omega \text{ .....\#}$$

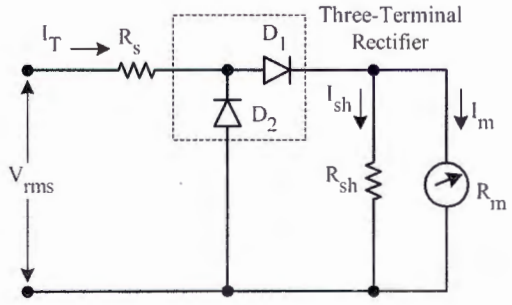
$$R_{Range} = R_{100V} = S_{ac} \times Range = \frac{0.45\times 100V}{100\times 10^{-6}} = 450k\Omega \text{ .....\#}$$

หา S_{ac}

$$S_{ac} = 0.45S_{dc} = \frac{0.45}{I_{fs}} = \frac{0.45}{100\times 10^{-6}} = 4.5k\Omega / V \text{ .....\#}$$

6.5.3 ไดโอดเรียงกระแสไฟฟ้าของเครื่องวัด (Instrument Rectifier)

ในทางปฏิบัติเอซีโวลต์มิเตอร์จะใช้ไดโอดเรียงกระแสไฟฟ้าชนิด 3 ขาโดยจะเพิ่มไดโอด D_2 อีก 1 ตัวเพื่อไม่ให้ไดโอด D_1 ได้รับแรงดันไฟฟ้าไบแอสกลับในขณะที่แรงดันไฟฟ้ากระแสสลับครึ่งไซเกิลลบป้อนเข้ามาเพราะว่าไดโอด D_2 จะได้รับแรงดันไบแอสตรงและนำกระแสไฟฟ้าไหลผ่านไปทั้งหมด จึงไม่มีกระแสไฟฟ้ารั่วไหล (Leakage Current) ที่ไดโอด D_1 ไหลไปที่ขดลวดเคลื่อนที่

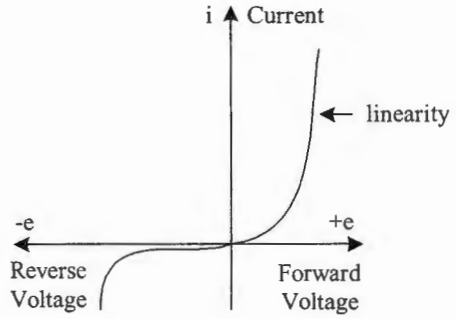


รูปที่ 6.9 วงจรเอซีโวลต์มิเตอร์ที่ใช้ไดโอดเรียงกระแสไฟฟ้าแบบ 3 ขา

การทำงานของวงจร

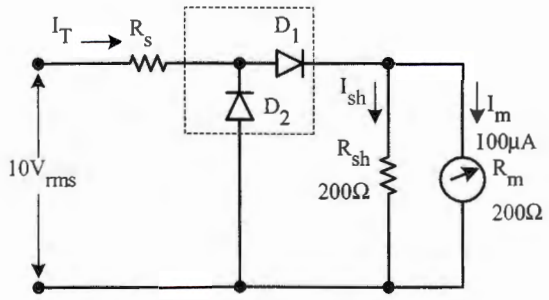
เมื่อเอซีโวลต์มิเตอร์ได้รับแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับครึ่งไซเกิลบวกเข้ามาไดโอด D_1 จะได้รับแรงดันไฟฟ้าไบแอสตรง (Forward Bias Voltage) ไดโอด D_1 จึงนำกระแสไฟฟ้าทำให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านตัวต้านทาน R_{sh} และขดลวดเคลื่อนที่ R_m ส่วนไดโอด D_2 จะไม่นำกระแสไฟฟ้าเพราะได้รับแรงดันไฟฟ้าไบแอสกลับ (Reverse Bias Voltage) จึงมีความต้านทานสูง (High Resistance) ต่อมาแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับครึ่งไซเกิลลบเข้ามาทำให้ไดโอด D_2 ได้รับแรงดันไฟฟ้าไบแอสตรงจึงนำกระแสไฟฟ้า ขณะเดียวกันไดโอด D_1 จะได้รับแรงดันไฟฟ้าไบแอสกลับจึงไม่มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านขดลวดเคลื่อนที่

การต่อความต้านทาน R_{sh} ขนานกับความต้านทาน R_m และให้มีค่าเท่ากัน ทำให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านไดโอด D_1 เพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่า ขณะได้รับแรงดันไฟฟ้าไบแอสตรงเป็นเหตุให้จุดทำงาน (Operating Point) ของไดโอด D_1 อยู่ในช่วงเส้นตรง (Linearity)



รูปที่ 6.10 กราฟคุณลักษณะของไดโอด

ตัวอย่างที่ 6.4 วงจรเอซีโวลต์มิเตอร์แบบเรียงกระแสไฟฟ้าครึ่งคลื่นให้ไดโอด D_1 และ D_2 มีค่า $R_d = 50\Omega$, R_{sh} 200Ω, I_{fs} $200\,\mu A$ และ R_m 200Ω กำหนดให้ย่านวัดมีค่า $10V_{rms}$ จงคำนวณหา ก) R_s ข) S_{ac} และ S_{dc}



วิธีทำ

ก) หา R_s, R_T

$$I_{sh} = \frac{V_m}{R_{sh}} = \frac{100\mu A \times 200\Omega}{200\Omega} = 100\mu A$$

$$I_T = I_{sh} + I_m = 100\mu A + 100\mu A = 200\mu A$$

$$V_{dc} = 0.45 \times V_{rms} = 0.45 \times 10V = 4.5V$$

$$R_T = \frac{V_{dc}}{I_T} = \frac{4.5V}{200\mu A} = 22.5k\Omega$$

$$R_T = R_s + R_d + \frac{R_m R_{sh}}{R_m + R_{sh}}$$

$$R_s = R_T - R_d - \frac{R_m R_{sh}}{R_m + R_{sh}}$$

$$R_s = 22.5k\Omega - 50\Omega - \frac{200\Omega \times 200\Omega}{200\Omega + 200\Omega}$$

$$R_s = 22.35k\Omega \text{ .....\#}$$

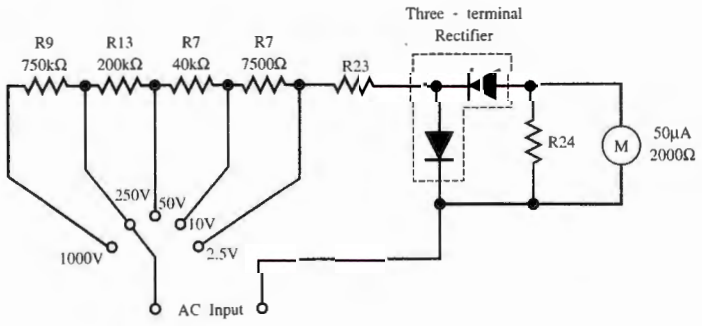
ข) หา S_{ac} และ S_{dc}

$$S_{ac} = \frac{1}{I_T} = \frac{1}{Range/R_T} = \frac{R_T}{Range} = \frac{22.5k\Omega}{10V} = 2.25k\Omega/V \text{ .....\#}$$

$$S_{dc} = \frac{1}{I_T} = \frac{1}{200\mu A} = 5k\Omega/V \text{ .....\#}$$

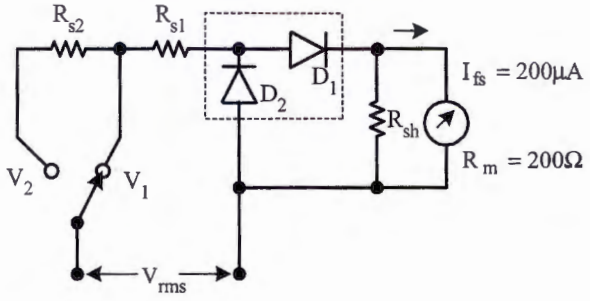
หรือ $$S_{dc} = \frac{S_{ac}}{0.45} = \frac{2.25k\Omega}{0.45} = 5k\Omega/V \text{ .....\#}$$

เอซีโวลต์มิเตอร์แบบเรียงกระแสไฟฟ้าครึ่งคลื่นแบบหลายย่านวัดที่ใช้ตัวเรียงกระแสไฟฟ้าเป็นไดโอดชนิด 3 ขา ดังแสดงในรูปที่ 6.11 เป็นวงจรเอซีโวลต์มิเตอร์ของ Simpson รุ่น 260 ซึ่งเป็นมัลติมิเตอร์



รูปที่ 6.11 เอซีโวลต์มิเตอร์แบบเรียงกระแสไฟฟ้าครึ่งคลื่นหลายย่านวัดของบริษัท Simpson Electric

ตัวอย่างที่ 6.5 เอซีโวลต์มิเตอร์แบบเรียงกระแสไฟฟ้าครึ่งคลื่น กำหนดให้ $R_m = R_{sh} = 200\Omega$ $R_D = 50\Omega$ และให้ขยายย่านวัดเป็น $30V_{rms}$ และ $50V_{rms}$ จงคำนวณหาความต้านทานอนุกรม R_{s1} และ R_{s2}



วิธีทำ

ย่านวัด $V_1 = 30V_{rms}$

$$I_{sh} = \frac{V_m}{R_{sh}} = \frac{100\mu A \times 200\Omega}{200\Omega} = 100\mu A$$

$$I_T = I_{sh} + I_m = 100\mu A + 100\mu A = 200\mu A$$

$$R_T = \frac{0.45V_{rms}}{I_T} = \frac{0.45 \times 30V}{200\mu A} = 67.5k\Omega$$

$$R_T = R_{s1} + R_d + \frac{R_m R_{sh}}{R_m + R_{sh}}$$

$$R_{s1} = R_T - \left(R_d + \frac{R_m R_{sh}}{R_m + R_{sh}} \right)$$

$$R_{s1} = 67.5k\Omega - \left(50\Omega + \frac{200\Omega \times 200\Omega}{200\Omega + 200\Omega} \right)$$

$$R_{s1} = 67.35k\Omega \text{ .....\#}$$

ย่านวัด $V_2 = 50V_{rms}$

$$R_T = \frac{0.45V_{rms}}{I_T} = \frac{0.45 \times 50V}{200\mu A} = 112.5k\Omega$$

$$R_T = R_{s2} + R_{s1} + R_d + \frac{R_m R_{sh}}{R_m + R_{sh}}$$

$$R_{s2} = R_T - \left(R_{s1} + R_d + \frac{R_m R_{sh}}{R_m + R_{sh}} \right)$$

$$R_{s2} = 112.5k\Omega - \left(67.35k\Omega + 50\Omega + \frac{200\Omega \times 200\Omega}{200\Omega + 200\Omega} \right)$$

$$R_{s2} = 45k\Omega \text{ .....\#}$$

ตัวอย่างที่ 6.6 เอซีโวลต์มิเตอร์แบบเรียงกระแสไฟฟ้าครึ่งคลื่น วงจรของตัวอย่างที่ 6.5 ขดลวดเคลื่อนที่มี $R_m = 100\Omega$, $I_{fs} = 1mA$ และไดโอดมี $R_d = 60\Omega$ กำหนดให้ขยายย่านวัดเป็น $30V_{rms}$ และ $100V_{rms}$ จงคำนวณหา

ก) ความต้านทานอินพุตของแต่ละย่านวัด

ข) ความต้านทานอนุกรมแต่ละย่านวัด

ค) ความไวกระแสสลับของแต่ละย่านวัด

วิธีทำ

หา I_T ซึ่งเป็นกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านทุกย่านวัด

$$I_{sh} = \frac{V_m}{R_{sh}} = \frac{1mA \times 100\Omega}{100\Omega} = 1mA$$

$$I_T = I_{sh} + I_m = 1mA + 1mA = 2mA$$

ก) หาความต้านทานอินพุตของแต่ละย่านวัด

ย่านวัด $30V_{rms}$

$$R_{in(30V)} = R_{T(30V)} = \frac{0.45V_{rms}}{I_T} = \frac{0.45 \times 30V}{2mA} = 6.75k\Omega \text{ .....\#}$$

ย่านวัด $100V_{rms}$

$$R_{in(100V)} = R_{T(100V)} = \frac{0.45V_{rms}}{I_T} = \frac{0.45 \times 100V}{2mA} = 22.5k\Omega \text{ .....\#}$$

ข) ความต้านทานอนุกรมแต่ละย่านวัด

ย่านวัด $30V_{rms}$

$$R_{s1} = 6.75k\Omega - \left(60\Omega + \frac{100\Omega \times 100\Omega}{100\Omega + 100\Omega}\right)$$

$$R_{s1} = 6.64k\Omega \text{ .....\#}$$

ย่านวัด $100V_{rms}$

$$R_{s2} = 22.5k\Omega - \left(60\Omega + \frac{100\Omega \times 100\Omega}{100\Omega + 100\Omega}\right)$$

$$R_{s2} = 22.39k\Omega \text{ .....\#}$$

ค) ความไวกระแสสลับของแต่ละย่านวัด

ย่านวัด $30V_{rms}$

$$S_{ac} = \frac{R_{T(30V)}}{\text{Range}} = \frac{6.75k\Omega}{30V} = 225\Omega / V \text{ .....\#}$$

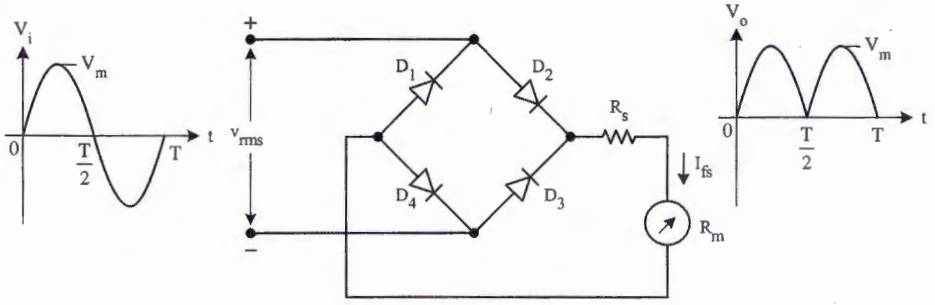
ย่านวัด $100V_{rms}$

$$S_{ac} = \frac{R_{T(100V)}}{\text{Range}} = \frac{22.5k\Omega}{100V} = 225\Omega / V \text{ .....\#}$$

6.6 เอซีโวลต์มิเตอร์แบบเรียงกระแสไฟฟ้าเต็มคลื่นชนิดบริดจ์

(Bridge Full Wave Rectifier AC Voltmeter : Bridge FWR AC Voltmeter)

การเรียงกระแสไฟฟ้าครึ่งคลื่นทำให้ความไวกระแสสลับเท่ากับ 45% ของความไวกระแสตรงเพื่อให้ความไวกระแสสลับเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่า จะใช้วงจรเรียงกระแสไฟฟ้าเต็มคลื่นชนิดบริดจ์ (Bridge Full Wave Rectifier) ในเอซีโวลต์มิเตอร์ ดังนั้นความไวกระแสสลับจะเพิ่มเป็น 90% ของความไวกระแสตรง



รูปที่ 6.12 วงจรเอซีโวลต์มิเตอร์แบบเรียงกระแสไฟฟ้าเต็มคลื่น

สมการการออกแบบวงจร

จากรูปที่ 6.10 การทำงานของวงจรจะเหมือนกับวงจรเรียงกระแสไฟฟ้าเต็มคลื่นให้ใช้ไดโอดเป็นไดโอดทางอุดมคติจะหาสมการหาความต้านทานอนุกรมได้ดังนี้

$$V_p = I_p(R_s + R_m) = I_pR_s + I_pR_m$$

$$R_s = \frac{V_p - I_pR_m}{I_p} = \frac{V_p}{I_p} - R_m \qquad \text{.....(6.40)}$$

แทนสมการ (6.14) : $V_p = \sqrt{2}V_{rms}$ และสมการ (6.8) : $I_p = \frac{I_{dc}}{0.636}$ ในสมการ (6.40) : $R_s = \frac{V_p}{I_p} - R_m$

$$R_s = \frac{\sqrt{2}V_{rms}}{I_{dc}/0.636} - R_m = \frac{0.90V_{rms}}{I_{dc}} - R_m$$

$$R'_s = \frac{0.90V_{rms}}{I_{dc}} - R_m = \frac{0.90V_{rms}}{I_{fs}} - R_m \qquad \text{.....(6.41)}$$

จากสมการ (6.41) จะได้ความไวกระแสสลับ (S_{ac}) คือ

$$S_{ac} = 0.90\left(\frac{1}{I_{fs}}\right) = 0.90S_{dc} \qquad \text{.....(6.42)}$$

$$R_s = \frac{0.90V_{rms}}{I_{dc}} - R_m = \frac{0.90V_{rms}}{I_{fs}} - R_m$$
$$R_s = 0.90S_{dc} \times Range - R_m \qquad \text{.....(6.43)}$$
$$R_s = S_{ac} \times Range - R_m$$

ความต้านทานภายในของเอซีโวลต์มิเตอร์

การหาความต้านทานภายในของเอซีโวลต์มิเตอร์แบบเรียงกระแสไฟฟ้าเต็มคลื่นจะคล้ายกันกับแบบเรียงกระแสไฟฟ้าครึ่งคลื่นจะต่างกันเฉพาะ $S_{ac} = 0.90S_{dc}$ ดังนี้

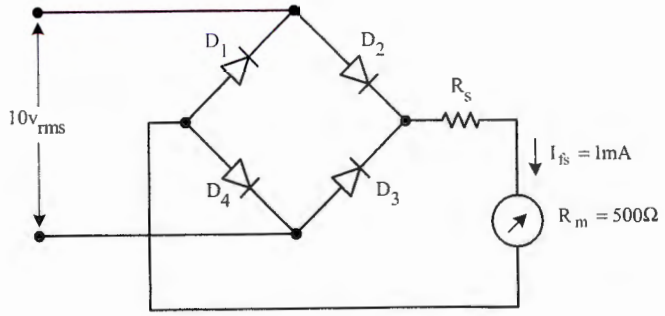
$$R_{in} = R_T = R_{Range} = S_{ac} \times Range$$
$$R_{in} = R_T = R_{Range} = 0.90S_{dc} \times Range \qquad \text{.....(6.44)}$$

จากสมการ (6.44) จะหาค่าความไวกระแสสลับ : S_{ac} ได้ดังนี้

$$S_{ac} = \frac{R_T}{Range} \qquad \text{.....(6.45)}$$

วงจรเรียงกระแสไฟฟ้าเต็มคลื่นในเอซีโวลต์มิเตอร์ จะทำให้ความไวกระแสสลับเพิ่มเป็น 90% ของความไวกระแสตรงของดีซีโวลต์มิเตอร์

ตัวอย่างที่ 6.7 วงจรเอซีโวลต์มิเตอร์แบบเต็มคลื่นชนิดบริดจ์ ความต้านทานไบแอสตรงของไดโอด D_{1-4} เป็นศูนย์ กำหนดให้ย่านวัดเป็น $10V_{rms}$ จงคำนวณหา R_s, R_{in} และ S_{ac}



วิธีทำ

ก) หา R_s

$$R_s = \frac{0.90V_{rms}}{I_{fs}} - R_m = \frac{0.90\times 10V}{1mA} - 500\Omega = 8.5k\Omega \text{ .....\#}$$

ข) หา R_{in}

$$R_{in} = S_{ac} \times Range = \frac{0.90k\Omega}{V} \times 10V = 9k\Omega \text{ .....\#}$$

ค) หา S_{ac}

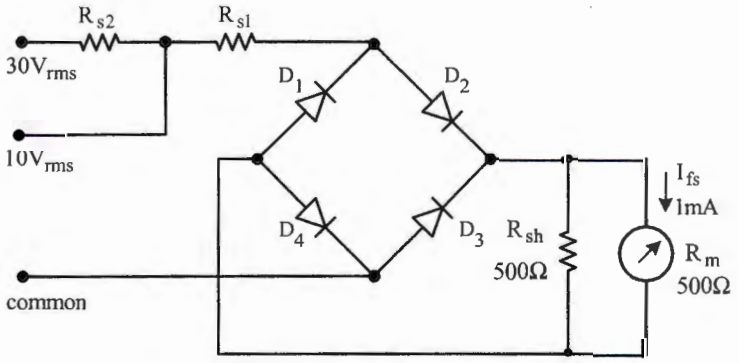
$$S_{ac} = \frac{0.90}{I_{fs}} = \frac{0.90}{1mA} = 0.9k\Omega/V \text{ ....\#}$$

หรือ $$S_{ac} = \frac{R_T}{Range} = \frac{9k\Omega}{10V} = 0.9k\Omega/V \text{ .....\#}$$

ตัวอย่างที่ 6.8 วงจรเอซีโวลต์มิเตอร์แบบเต็มคลื่นชนิดบริดจ์ ความต้านทานไบแอสตรงของไดโอด D_{1-4} เท่ากับ 50Ω กำหนดให้ย่านวัดเป็น 10V และ 30V จงคำนวณหา

ก) ความต้านทานอนุกรม R_{s1} และ R_{s2}

ข) ความไวกระแสสลับและกระแสตรง



วิธีทำ

ก) หาความต้านทานอนุกรม

หา R_{s1} ย่านวัด $V_1 = 10V_{rms}$

$$I_{sh} = \frac{V_m}{R_{sh}} = \frac{1mA\times 500\Omega}{500\Omega} = 1mA$$

$$I_T = I_{sh} + I_m = 1mA + 1mA = 2mA$$

$$V_{dc} = 0.9V_{rms} = 0.9\times 10V_{rms} = 9V$$

$$R_T = \frac{V_{dc}}{I_T} = \frac{9V}{2mA} = 4.5k\Omega$$

$$R_{s1} = R_T - \left(2R_d + \frac{R_m R_{sh}}{R_m + R_{sh}} \right)$$

$$R_{s1} = 4.5k\Omega - \left((2\times 50\Omega) + \frac{500\Omega \times 500\Omega}{500\Omega + 500\Omega} \right)$$

$$R_{s1} = 4.15k\Omega \ldots..\#$$

หา R_{s2} ย่านวัด $V_2 = 30V_{rms}$

$$V_{dc} = 0.9V_{rms} = 0.9\times 30V_{rms} = 27V$$

$$R_T = \frac{V_{dc}}{I_T} = \frac{27V}{2mA} = 13.5k\Omega$$

$$R_{s2} = R_T - \left(R_{s1} + 2R_d + \frac{R_m R_{sh}}{R_m + R_{sh}} \right)$$

$$R_{s2} = 13.5k\Omega - \left(4.15k\Omega + (2\times 50\Omega) + \frac{500\Omega \times 500\Omega}{500\Omega + 500\Omega} \right)$$

$$R_{s2} = 9k\Omega \ldots..\#$$

ข) หาความไวกระแสตรงและกระแสสลับ

หา S_{dc}, S_{ac} ย่านวัด $10V_{rms}$

$$S_{dc(10V)} = \frac{1}{I_T} = \frac{1}{2mA} = 500\Omega / V \ldots..\#$$

$$S_{ac(10V)} = 0.90S_{dc} = 0.90\times 500\Omega / V = 450\Omega / V \ldots..\#$$

หรือ $$S_{ac(10V)} = \frac{R_T}{Range} = \frac{4.5k\Omega}{10V} = 450\Omega / V \ldots..\#$$

หา S_{dc}, S_{ac} ย่านวัด $30V_{rms}$

$$S_{dc(30V)} = \frac{1}{I_T} = \frac{1}{2mA} = 500\Omega / V \ldots..\#$$

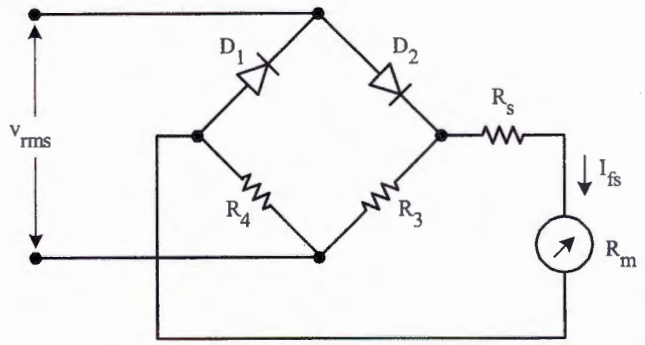
$$S_{ac(30V)} = 0.90S_{dc} = \frac{0.90}{I_T} = \frac{0.90}{2mA} = 450\Omega / V \ldots..\#$$

หรือ $$S_{ac(30V)} = \frac{R_T}{Range} = \frac{13.5k\Omega}{30V} = 450\Omega / V \ldots..\#$$

6.7 เอซีโวลต์มิเตอร์แบบเรียงกระแสไฟฟ้าเต็มคลื่นชนิดครึ่งบริดจ์

(Half Bridge Full Wave Rectifier AC Voltmeter)

เอซีโวลต์มิเตอร์แบบเรียงกระแสไฟฟ้าเต็มคลื่นชนิดบริดจ์ต้องใช้ไดโอด 2 ตัวในการทำงานแต่ละครึ่งไซเกิลของแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับโดยที่แรงดันไฟฟ้าตกคร่อมของไดโอดทั้งสองตัวจะเท่ากับ 1.4V แต่โดยทั่วไปแล้วแรงดันตกคร่อมของขดลวดเคลื่อนที่จะไม่เกิน 100 mV จึงเป็นเหตุให้เมื่อวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับค่าต่ำๆจะทำให้สเกลการวัดไม่สม่ำเสมอหรือไม่เป็นเชิงเส้น (Nonlinear) เพราะว่าความต้านทานไบแอสตรง (Forward Bias Resistance) ของไดโอดทั้งสองตัวจะมีค่ามากกว่าความต้านทานของย่านวัด ดังนั้น จึงต้องดัดแปลงวงจรเรียงกระแสไฟฟ้าเป็นแบบเต็มคลื่นชนิดครึ่งบริดจ์



รูปที่ 6.13 เอซีโวลต์มิเตอร์แบบเรียงกระแสไฟฟ้าเต็มคลื่นชนิดครึ่งบริดจ์

เอซีโวลต์มิเตอร์แบบเรียงกระแสไฟฟ้าเต็มคลื่นชนิดครึ่งบริดจ์ จะตัดไดโอด D_3 และ D_4 ออกแล้วแทนด้วยความต้านทาน R_3 และ R_4 ค่าต่ำๆ การทำงานของวงจรจะเรียงกระแสไฟฟ้ากระแสสลับเต็มคลื่นเหมือนเดิมแต่ใช้ไดโอดครึ่งไซเกิลละ 1 ตัวและเมื่อนำไปวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับค่าต่ำๆ จะทำให้สเกลการวัดเป็นเชิงเส้นมากขึ้นและจะมีประสิทธิภาพในการวัดดีกว่าแบบเรียงกระแสไฟฟ้าครึ่งคลื่นด้วย

สมการการออกแบบวงจร

การหาสมการความต้านทานอนุกรมของเอซีโวลต์มิเตอร์แบบเรียงกระแสไฟฟ้าเต็มคลื่นชนิดครึ่งบริดจ์จะคล้ายๆกันกับชนิดบริดจ์คือ

จากสมการ (6.41) : $R_s = \frac{0.90V_{rms}}{I_{dc}} - R_m = \frac{0.90V_{rms}}{I_{fs}} - R_m$ จะได้

$$R_s = \frac{0.90V_{rms}}{I_{fs}} - (R_m + R_4) \qquad \text{.....(6.45)}$$

ตัวอย่างที่ 6.9 จงคำนวณหาตัวต้านทานอนุกรมของเอซีโวลต์มิเตอร์แบบเรียงกระแสไฟฟ้าชนิดครึ่งบริดจ์รูปที่ 6.12 ให้ขดลวดเคลื่อนที่มี $I_{fs} = 100\mu A, R_m = 5k\Omega, R_3 = R_4 = 10\Omega$ และต้องการขยายให้เป็นย่านวัด $100V_{rms}$

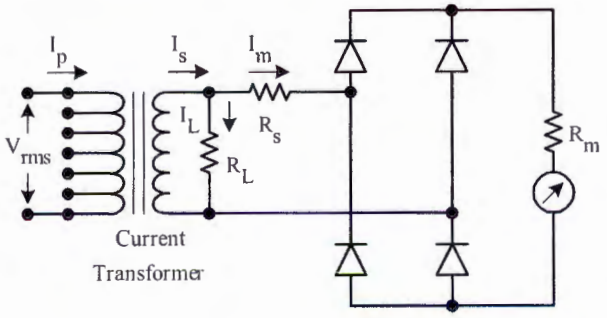
วิธีทำ

$$R_s = \frac{0.90V_{rms}}{I_{fs}} - (R_m + R_4)$$

$$R_s = \frac{0.90 \times 100V}{100 \times 10^{-6}A} - (5k\Omega + 10\Omega) = 895k\Omega \text{ .....\#}$$

6.8 เอซีแอมมิเตอร์แบบเรียงกระแสไฟฟ้า (Rectifier AC Ammeter)

การวัดกระแสไฟฟ้าด้วยเอซีแอมมิเตอร์แบบเรียงกระแสไฟฟ้า จะใช้หม้อแปลงกระแสไฟฟ้า (Current Transformer) เพื่อเพิ่มแรงดันไฟฟ้าอินพุตไปป้อนให้วงจรเรียงกระแสไฟฟ้า และจะลดกระแสไฟฟ้าอินพุตเพื่อให้ขดลวดเคลื่อนที่ PMMC วัดค่าอีกทีหนึ่ง



รูปที่ 6.14 เอซีแอมมิเตอร์แบบเรียงกระแสไฟฟ้าเต็มคลื่นชนิดบริดจ์ใช้หม้อแปลงกระแสไฟฟ้า

อัตราส่วนหม้อแปลงกระแสไฟฟ้า

$$\frac{E_p}{E_s} = \frac{I_s}{I_p} = \frac{N_p}{N_s} \qquad \text{.....(6.46)}$$

เมื่อ E_p คือแรงดันไฟฟ้าขดลวดปฐมภูมิ...โวลต์ (V)

E_s คือแรงดันไฟฟ้าทุติยภูมิ...โวลต์ (V)

I_s คือกระแสไฟฟ้าขดลวดปฐมภูมิ...แอมแปร์ (A)

I_p คือกระแสไฟฟ้าขดลวดทุติยภูมิ...แอมแปร์ (A)

N_p คือจำนวนรอบขดลวดปฐมภูมิ...รอบ

N_s คือจำนวนรอบขดลวดทุติยภูมิ...รอบ

จากรูปที่ 6.14 โหลด R_L จะต้องเป็นตัวต้านทานที่มีค่าแม่นยำ (Precision Resistor) ต่อขนานกับขดลวดทุติยภูมิและมีกระแสไฟฟ้า I_L ไหลผ่านซึ่งจะเป็นส่วนหนึ่งของกระแสไฟฟ้า I_s ย่านวัดของแอมมิเตอร์จะเปลี่ยนด้วยสวิตช์เลือกตามค่าของโหลด R_L ค่าต่างๆกัน หรืออีกวิธีหนึ่งจะเปลี่ยนย่านวัดตามจุดแท็ป (Taps) ของขดลวดปฐมภูมิ

ตัวอย่างที่ 6.10 เอซีแอมมิเตอร์ในรูปที่ 6.14 จงคำนวณหากระแสไฟฟ้าเต็มสเกลของ PMMC ถ้าหม้อแปลงกระแสไฟฟ้ามี $N_s = 2000$, $N_p = 5$, $I_p = 100\text{mA}$

วิธีทำ

หากระแสไฟฟ้า I_s

$$I_s = \frac{N_p I_p}{N_s} = \frac{5 \times 100\text{mA}}{2000} = 250\mu\text{A}$$

หากระแสไฟฟ้า I_{fs} จากฟอร์มแฟกเตอร์

$$I_{fs} = I_{av} = \frac{I_{rms}}{1.11} = \frac{I_s}{1.11} = \frac{250\mu\text{A}}{1.11} = 225.2\mu\text{A} \text{ .....\#}$$

ตัวอย่างที่ 6.11 เอซีแอมมิเตอร์รูปที่ 6.14 มี $I_p = 250\text{mA}$, $I_{fs} = 1\text{mA}$, $R_m = 1700\Omega$ กำหนดให้ $N_s = 500$, $N_p = 4$, $R_s = 20\text{k}\Omega$ ใช้ไดโอดแบบซิลิกอน จงคำนวณหาค่า R_L

วิธีทำ

หากระแสไฟฟ้าสูงสุดของมิเตอร์

$$I_m = \frac{I_{av}}{0.636} = \frac{1\text{mA}}{0.636} = 1.57\text{mA}$$

หาแรงดันไฟฟ้าสูงสุดของขดลวดทุติยภูมิ

$$E_m = I_m(R_s + R_m) + 2V_F$$
$$E_m = 1.57\text{mA}(20\text{k}\Omega + 1700\Omega) + 1.4\text{V} = 35.5\text{V}$$

หาแรงดันไฟฟ้าของขดลวดทุติยภูมิ

$$E_s = (0.707V_m) = 0(.707 \times 35.5V) = 25.1V$$

หากระแสไฟฟ้า I_{rms} ของมิเตอร์จากฟอร์มแฟกเตอร์

$$I_{rms} = 1.11I_{av} = 1.11 \times 1mA = 1.11mA$$

หากระแสไฟฟ้า I_{rms} ของขดลวดค้านทุติยภูมิ

$$I_s = \frac{I_p N_p}{N_s} = \frac{250mA \times 4}{500} = 2mA$$

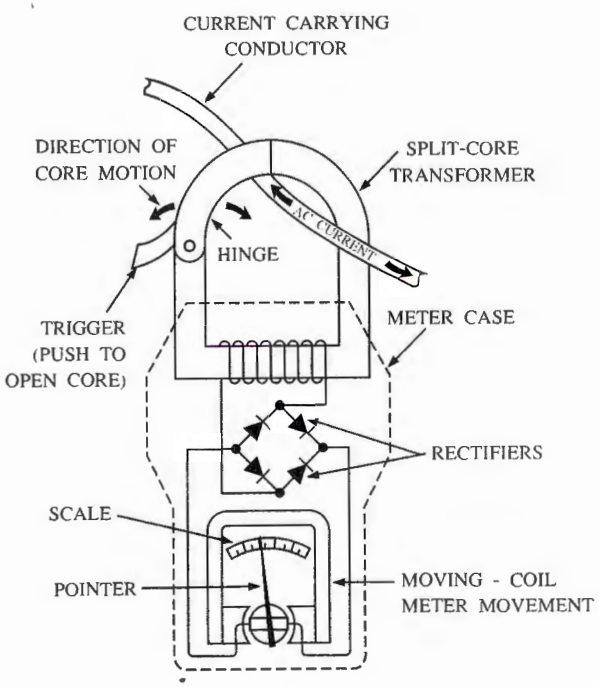
หากระแสไฟฟ้า I_L และ R_L

$$I_L = I_s - 1.11mA = 0.89mA$$

$$R_L = \frac{V_s}{I_L} = \frac{25.1V}{0.89mA} = 28.2k\Omega \ldots..\#$$

6.9 เอซีแอมมิเตอร์แบบแคลมพ์ออน (Clamp on AC Ammeter)

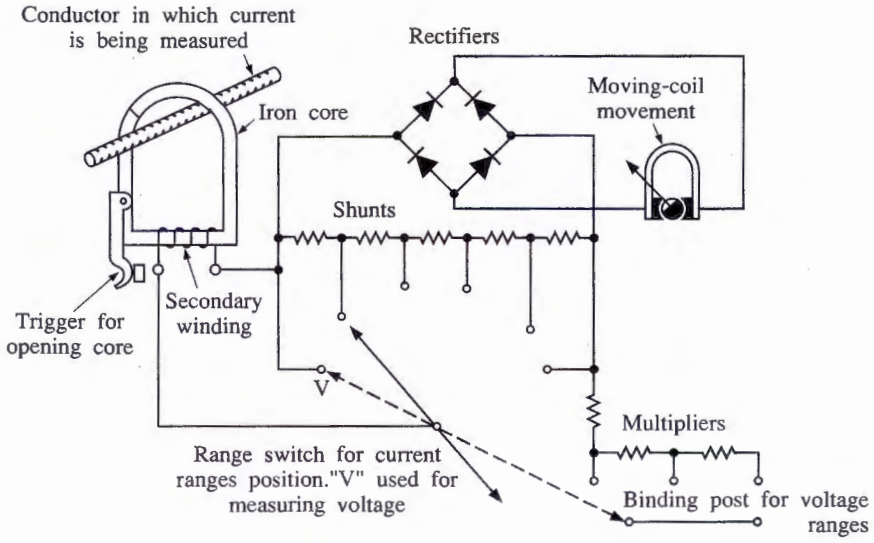
เอซีแอมมิเตอร์แบบแคลมพ์ออนดังรูปที่ 6.15 จะทำงานเหมือนกันกับหม้อแปลงกระแสไฟฟ้าโดยมีขดลวดปฐมภูมินำไปคล้องเข้ากับสายไฟฟ้า ทำให้เกิดการเหนี่ยวนำได้



รูปที่ 6.15 โครงสร้างของเอซีแอมมิเตอร์แบบแคลมพ์ออนมิเตอร์

กระแสไฟฟ้าไหลในขดลวดทุติยภูมิ โดยกระแสไฟฟ้านี้จะเป็นสัดส่วนกับกระแสไฟฟ้าที่ขดลวดปฐมภูมิ และนำไปป้อนให้วงจรเรียงกระแสเพื่อเปลี่ยนกระแสสลับเป็นกระแสตรงป้อนให้ขดลวดเคลื่อนที่

โดยปกติแล้วการวัดกระแสไฟฟ้าจะต้องต่อแอมมิเตอร์อนุกรมกับโหลด ถ้าวัดค่ากระแสไฟฟ้าสูงๆแล้วจะมีอันตรายและไม่สะดวกในการปฏิบัติ จึงใช้แคลมพ์ออนมิเตอร์วัดกระแสไฟฟ้าแทน แคลมพ์ออนมิเตอร์จะมี 3 ส่วนคือโอห์มมิเตอร์ แอมมิเตอร์และโวลต์มิเตอร์ จะมีสวิตช์เปลี่ยนย่านวัดเหมือนมิเตอร์ทั่วไป



รูปที่ 6.16 วงจรของแคลมพ์ออน โวลต์-แอมมิเตอร์

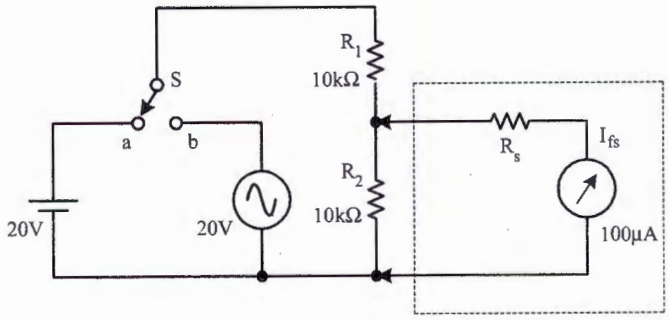
6.10 ผลการโหลดของเอซีโวลต์มิเตอร์ (Loading Effect of AC Voltmeter)

ความไวกระแสสลับของเอซีโวลต์มิเตอร์แบบเรียงกระแสไฟฟ้าครึ่งคลื่นและเต็มคลื่นจะน้อยกว่าความไวกระแสตรงของดีซีโวลต์มิเตอร์ ดังนั้น ผลการโหลดของเอซีโวลต์มิเตอร์จะมีมากกว่า ถึงแม้มิเตอร์ทุกตัวจะใช้ขดลวดเคลื่อนที่ให้มีค่าความต้านทานภายในและกระแสไฟฟ้าเต็มสเกลเท่ากันก็ตาม

ตัวอย่างที่ 6.12 มิเตอร์ใช้ขดลวดเคลื่อนที่มีกระแสไฟฟ้าเต็มสเกล 100μA และตั้งย่านวัด 10V จงคำนวณหา

ก) ค่าแรงดันไฟฟ้า V_{R2} ที่วัดด้วยดีซีโวลต์มิเตอร์ เมื่อสวิตช์ต่อจุด A และเกิดค่าความผิดพลาดจากการวัดเท่าไร

ข) ค่าแรงดันไฟฟ้า V_{R2} ที่วัดด้วยเอซีโวลต์มิเตอร์แบบ HWR และ FWR เมื่อสวิตช์ต่อจุด B และเกิดค่าความผิดพลาดจากการวัดเท่าไร



วิธีทำ

หา V_{R2} เมื่อไม่ต่อมิเตอร์

$$V_{R2(dc)} = V_{R2(ac)} = \left(\frac{E}{R_1 + R_2}\right) \times R_2$$

$$V_{R2(dc)} = V_{R2(ac)} = \left(\frac{20V}{10k\Omega + 10k\Omega}\right) \times 10k\Omega = 10V$$

หา V_{R2} วัดด้วยดีซีโวลต์มิเตอร์

$$S_{dc} = \frac{1}{I_{fs}} = \frac{1}{100\mu A} = 10k\Omega / V$$

$$R_{in} = S_{dc} \times \text{Range} = \frac{10k\Omega}{V} \times 10V = 100k\Omega$$

$$V_{R2} = \frac{E_{dc}}{R_{in} // R_2 + R_1} \times R_{in} // R_2$$

$$V_{R2} = \frac{20V}{100k\Omega // 10k\Omega + 10k\Omega} \times 100k\Omega // 10k\Omega$$

$$V_{R2} = 9.52V \text{ .....\#}$$

หาค่าความผิดพลาดเมื่อวัดด้วยดีซีโวลต์มิเตอร์

$$\text{Error} = \frac{X_t - X_m}{X_t} = \frac{10V - 9.52V}{10V} = 0.048 = 4.8\% \text{ .....\#}$$

หา V_{R2} วัดด้วยเอซีโวลต์มิเตอร์แบบ HWR

$$S_{hwr} = 0.45S_{dc} = 0.45 \times 10V = 4.5k\Omega / V$$

$$R_{in} = S_{hwr} \times Range = \frac{4.5k\Omega}{V} \times 10V = 45k\Omega$$

$$V_{R2} = \frac{E_{ac}}{R_{in} // R_2 + R_1} \times R_2 // R_{in}$$

$$V_{R2} = \frac{20V}{45k\Omega // 10k\Omega + 10k\Omega} \times 10k\Omega // 45k\Omega$$

$$V_{R2} = 9V \text{ ..... \#}$$

หาค่าความผิดพลาดเมื่อวัดด้วยเอซีโวลต์มิเตอร์แบบ HWR

$$Error = \frac{X_t - X_m}{X_t} = \frac{10V - 9V}{10V} = 0.1 = 10\% \text{ .....\#}$$

หา V_{R2} เมื่อวัดด้วยเอซีโวลต์มิเตอร์แบบ FWR

$$S_{fwr} = 0.9S_{dc} = 0.9 \times 10V = 9k\Omega / V$$

$$R_{in} = S_{hwr} \times Range = \frac{9k\Omega}{V} \times 10V = 9k\Omega$$

$$V_{R2} = \frac{E_{ac}}{R_{in} // R_2 + R_1} \times R_2 // R_{in}$$

$$V_{R2} = \frac{20V}{90k\Omega // 10k\Omega + 10k\Omega} \times 10k\Omega // 90k\Omega$$

$$V_{R2} = 9.47V \text{ .....\#}$$

หาค่าความผิดพลาดเมื่อวัดด้วยเอซีโวลต์มิเตอร์แบบ FWR

$$Error = \frac{X_t - X_m}{X_t} = \frac{10V - 9.47V}{10V} = 0.053 = 5.3\% \text{ .....\#}$$

แบบฝึกหัดที่ 6

1. มิเตอร์แบบ PMMC มีกระแสไฟฟ้าเต็มสเกล 1 mA ความต้านทานภายใน 500Ω ใช้ในเอซีโวลต์มิเตอร์แบบ HWR จงคำนวณหา

   ก) ความไวกระแสตรงและความไวกระแสสลับ

   ข) ความต้านทานอนุกรมของย่านวัด 30V

2. เอซีโวลต์มิเตอร์แบบเรียงกระแสไฟฟ้าครึ่งคลื่น ขดลวดเคลื่อนที่แบบ PMMC มีความต้านทานภายใน R_m 100Ω กระแสไฟฟ้า I_{fs} 1mA ความต้านทาน R_{sh} 100Ω ความต้านทานไบแอสตรง R_d 400Ω ย่านวัด $10V_{rms}$ จงคำนวณหา

ก) ความต้านทานอนุกรม R_s

ข) ความไวกระแสสลับ S_{ac}

3. เอซีโวลต์มิเตอร์แบบเรียงกระแสไฟฟ้าครึ่งคลื่น มี $R_m = 100\Omega$ $R_d = 50\Omega$ $I_{fs} = 100\mu A$ มีย่านวัดเป็น 25V,50V,150V จงเขียนวงจรที่สมบูรณ์ของมิเตอร์และจงคำนวณหา

ก) ความต้านทานที่ใช้ขยายย่านวัด

ข) ความต้านทานภายในของแต่ละย่านวัด

ค) ความไวกระแสตรงและกระแสสลับ

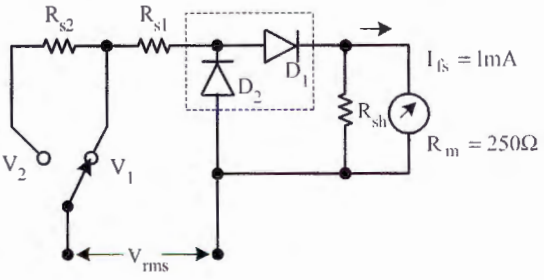
4. กำหนดให้ความต้านทานไบแอสตรงของไดโอดเท่ากับ 300Ω ขดลวดเคลื่อนที่มีความต้านทาน

ภายในและความต้านทานชันท์ 250Ω กระแสไฟฟ้าเต็มสเกล 1mA จงคำนวณหา

ก) ความไวกระแสตรงและกระแสสลับ

ข) ความต้านทานอนุกรมของย่านวัด $20V_{rms}$ และ $50V_{rms}$

ค) ความต้านทานภายในของแต่ละย่านวัด

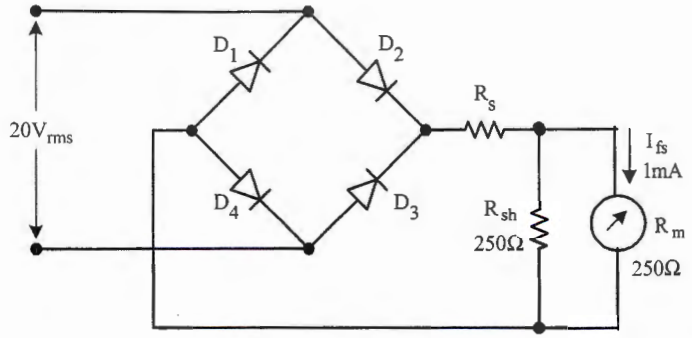


5. กำหนดให้ไดโอดมี $R_d = 300\Omega$ จงคำนวณหา

ก) ความไวกระแสสลับและกระแสตรง

ข) ตัวต้านทานอนุกรม

ค) ความต้านทานภายในของแต่ละย่านวัด



6. จากข้อ 5 ถ้าเป็นเอซีโวลต์มิเตอร์แบบเรียงกระแสไฟฟ้าเต็มคลื่น ชนิดครึ่งบริดจ์ แทนไดโอด D_3, D_4 ด้วยความต้านทาน $R_3 = R_4 = 50\Omega$ จงคำนวณหา
   ก) ความต้านทานอนุกรมของแต่ละย่านวัด
   ข) ความต้านทานภายในของแต่ละย่านวัด

7. เครื่องวัดไฟฟ้าแบบ PMMC มี $R_m = 900\Omega$, 75μA FSD ใช้เป็นเอซีโวลต์มิเตอร์แบบเรียงกระแสไฟฟ้าครึ่งคลื่นไดโอดชนิดซิลิกอนมีกระแสไฟฟ้าไบแอสตรง 80μA ที่ตำแหน่งสเกล 0.25FSD จงคำนวณหา
   ก) ค่าความต้านทานขนาน R_{sh}
   ข) ความต้านทานอนุกรม R_s

8. เอซีโวลต์มิเตอร์ใช้ขดลวดเคลื่อนที่แบบ PMMC มี $R_m = 1200\Omega$ กระแสไฟฟ้า 500μA FSD ใช้หม้อแปลงแรงดันไฟฟ้ามี $N_s = 7000$, $N_p = 10$ และให้วงจรเรียงกระแสไฟฟ้าใช้ไดโอดชนิดซิลิกอน ต่อ $R_s = 150k\Omega$ จงคำนวณหาค่าความต้านทานขนานที่ต่อขดลวดทุติยภูมิของหม้อแปลงไฟฟ้า

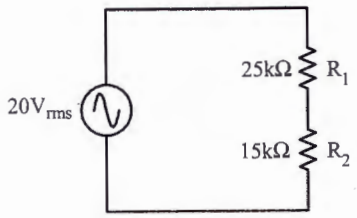
9. เอซีโวลต์มิเตอร์ให้ขดลวดเคลื่อนที่แบบ PMMC มี FSD = 200μA , $R_m = 900\Omega$ กำหนดให้หม้อแปลงแรงดันไฟฟ้ามี $N_s = 600$, $N_p = 5$ $R_s = 270k\Omega$ ขดลวดทุติยภูมิต่อความต้านทานขนานให้มีค่า $R_L = 98.7\Omega$ วงจรเรียงกระแสไฟฟ้าใช้ไดโอดชนิดเยอรมันเนียม มี $V_F = 0.3V$ จงคำนวณหาค่ากระแสไฟฟ้าที่ขดลวดด้านปฐมภูมิของหม้อแปลงแรงดันไฟฟ้า

10. ใช้เอซีโวลต์มิเตอร์แบบ HWR และ FWR วัดแรงดันไฟฟ้า $V_{R2} = 15k\Omega$ ถ้าขดลวดเคลื่อนที่ของมิเตอร์ทั้งสองมี $I_{fs} = 100\mu A$, $R_m = 1.5k\Omega$ และตั้งย่านวัด 10V จงคำนวณหา

ก) เอซีโวลต์มิเตอร์ทั้งสองจะอ่านค่าแรงดันไฟฟ้าได้เท่าไร

ข) ค่าความผิดพลาดจากการวัดเท่าไร

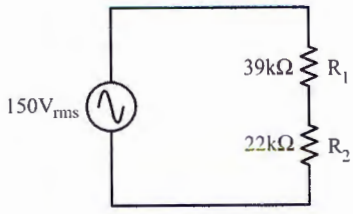
ค) ค่าความถูกต้องจากการวัดเท่าไร



11. วัดแรงดันไฟฟ้าตกคร่อม $R_2 = 22k\Omega$ ด้วยเอซีโวลต์มิเตอร์ 2 เครื่อง จงคำนวณหา

ก) มิเตอร์ A อ่านค่าแรงดันไฟฟ้าได้เท่าไรถ้ามี $S_{ac} = 10k\Omega / V$ ตั้งย่านวัด 200V มีค่าความถูกต้อง 2% of FSD และมีค่าความถูกต้องจากการวัดเท่าไร

ข) มิเตอร์ B อ่านค่าแรงดันไฟฟ้าได้เท่าไรถ้ามี $S_{ac} = 4k\Omega / V$ ตั้งย่านวัด 100V มีค่าความถูกต้อง 1.5% of FSD และมีค่าความถูกต้องจากการวัดเท่าไร



12. เอซีโวลต์มิเตอร์แบบ FWR ขดลวด มี $I_m = 100\mu A$ ตั้ง Range 150V มี Limiting Error ±3% of FSD นำไปวัดแรงดันไฟฟ้า $V_{R2} = 68k\Omega$ จงคำนวณหาค่าแรงดันไฟฟ้าต่ำสุดที่มิเตอร์อ่านได้