บทที่ 1
สัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับเบื้องต้น

1. บทนำสู่ไฟฟ้ากระแสสลับ (Introduction to AC)

ไฟฟ้าที่ใช้งานในชีวิตประจำวันแบ่งออกได้เป็นสองประเภทหลัก คือไฟฟ้ากระแสตรง (Direct Current: DC) และไฟฟ้ากระแสสลับ (Alternating Current: AC) โดยไฟฟ้ากระแสตรงมีลักษณะการไหลของกระแสและแรงดันที่คงที่ตามเวลา ทิศทางของกระแสไม่เปลี่ยนแปลง ตัวอย่างเช่น ถ่านไฟฉายและแบตเตอรี่ที่ให้ออกมาเป็นแรงดันไฟฟ้า DC ที่เสถียรเหมาะสำหรับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่าง ๆ ส่วนไฟฟ้ากระแสสลับนั้นมีทิศทางการไหลของกระแสที่สลับกลับไปกลับมาตามเวลา ค่าแรงดันและกระแสไฟฟ้าไม่ได้คงที่ แต่เปลี่ยนแปลงไปตามฟังก์ชันของเวลา ซึ่งโดยทั่วไปจะมีรูปเป็นคลื่นไซน์ (sine wave) ที่เป็นพื้นฐานของการวิเคราะห์วงจร AC

สมการทั่วไปที่ใช้อธิบายแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับในรูปคลื่นไซน์คือ

$$v(t) = V_m \sin(\omega t + \theta)$$

โดยที่

- $v(t)$ คือค่าแรงดันชั่วขณะ (instantaneous voltage) [Volt]
- V_m คือค่ายอดหรือแอมพลิจูด (maximum หรือ amplitude) [Volt]
- ω คือความถี่เชิงมุม (angular frequency) [rad/s]
- t คือเวลา [s]
- θ คือมุมเฟส (phase angle) [rad]

ความถี่เชิงมุมมีความสัมพันธ์กับความถี่และคาบเวลาของสัญญาณดังนี้

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

เมื่อ f คือความถี่ของสัญญาณ (Hz) และ T คือคาบเวลา (s)

ไฟฟ้ากระแสสลับถูกนำมาใช้เป็นระบบไฟฟ้าหลักในการผลิตและส่งกำลังไฟฟ้า เนื่องจากสามารถเพิ่มหรือลดแรงดันได้ง่ายด้วยหม้อแปลง ทำให้สามารถส่งพลังงานไฟฟ้าในระยะทางไกลได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยมาตรฐานแรงดันและความถี่ของไฟฟ้าที่ใช้ในแต่ละประเทศอาจแตกต่างกัน เช่น ประเทศไทยและประเทศในยุโรปส่วนใหญ่ใช้แรงดัน 220 V ที่ความถี่ 50 Hz ในขณะที่สหรัฐอเมริกาใช้แรงดัน 120 V ที่ความถี่ 60 Hz นอกจากนี้ไฟฟ้ากระแสสลับยังมีความสำคัญในการใช้งานกับเครื่องใช้ไฟฟ้าและระบบอุตสาหกรรมต่าง ๆ แม้ว่าไฟฟ้ากระแสตรงจะยังคงมีบทบาทสำคัญในงานที่ต้องการความเสถียรของแรงดัน เช่น ระบบอิเล็กทรอนิกส์และการชาร์จพลังงานในแบตเตอรี่ แต่ในภาพรวมแล้วไฟฟ้ากระแสสลับถือเป็นรากฐานของระบบไฟฟ้าที่เราใช้กันในชีวิตประจำวัน

2. สัญญาณไซน์ (Sinusoids)

สัญญาณไซน์เป็นรูปแบบของสัญญาณที่มีความสำคัญมากที่สุดในระบบไฟฟ้ากระแสสลับ เนื่องจากแรงดันและกระแสไฟฟ้าในระบบไฟฟ้ากำลัง รวมถึงเครื่องใช้ไฟฟ้าส่วนใหญ่มีลักษณะเป็นคลื่นไซน์ การวิเคราะห์วงจร AC จึงใช้สมการของสัญญาณไซน์เป็นพื้นฐานทางคณิตศาสตร์ที่แน่นอนและสามารถนำไปใช้คำนวณได้อย่างมีระบบ

สมการทั่วไปของสัญญาณไซน์ คือ

$$v(t) = A\sin(\omega t + \theta)$$

โดยที่

- $A =$ Amplitude หรือค่ายอด (Peak value)
- $\omega =$ ความถี่เชิงมุม (Angular frequency) [rad/s]
  $t =$ เวลา [s]
- $\theta =$ มุมเฟส (Phase angle) [rad]

ความถี่เชิงมุมมีความสัมพันธ์กับความถี่และคาบเวลาของสัญญาณดังนี้

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

โดยที่ f คือความถี่ (Hz) และ T คือคาบเวลา (s) หากความถี่มีค่ามากขึ้น คาบเวลาของสัญญาณก็จะสั้นลง และในทางกลับกันถ้าความถี่มีค่าลดลง คาบเวลาจะยาวขึ้น ตัวอย่างเช่น ระบบไฟฟ้าในประเทศไทยใช้ความถี่ 50 Hz หมายถึงสัญญาณไฟฟ้ามีการสลับทิศทาง 50 รอบต่อวินาที

นอกจากแอมพลิจูด ความถี่ และคาบเวลาแล้ว อีกหนึ่งองค์ประกอบที่สำคัญของสัญญาณไซน์คือมุมเฟส หากสัญญาณหนึ่งเกิดขึ้นเร็วกว่าสัญญาณอ้างอิง จะเรียกว่า “นำ” (leading) แต่ถ้าเกิดขึ้นช้ากว่าจะเรียกว่า “ล้าหลัง” (lagging) การเลื่อนเฟสนี้มีความสำคัญโดยเฉพาะในการวิเคราะห์วงจรที่มีตัวเหนี่ยวนำ (L) และตัวเก็บประจุ (C) เพราะจะทำให้กระแสและแรงดันไม่ได้อยู่ในเฟสเดียวกัน

เพื่อให้เห็นภาพ ลองพิจารณาตัวอย่างการหาสมการของสัญญาณไซน์จากกราฟที่กำหนด สมมติว่ามีคลื่นไซน์ที่มีแอมพลิจูด 5 V มีคาบเวลา 0.1 s จึงคำนวณได้ว่า

$$\omega = \frac{2\pi}{0.1} = 20\pi \text{ rad/s}$$

และหากคลื่นนี้มีการเลื่อนเฟส $+0.2\pi$ rad สมการของแรงดันไฟฟ้าที่ได้คือ

$$v(t) = 5\sin(20\pi t + 0.2\pi) \text{ V}$$

จากตัวอย่างนี้จะเห็นว่า การเขียนสมการของสัญญาณไซน์จำเป็นต้องรู้ค่าพื้นฐานสามอย่างคือ แอมพลิจูด คาบ (หรือความถี่) และมุมเฟส เมื่อได้ค่าทั้งสามแล้วก็สามารถนิยามสัญญาณไซน์ที่สมบูรณ์ได้ ซึ่งทักษะนี้จะเป็นพื้นฐานสำคัญในการเรียนหัวข้อถัดไปเกี่ยวกับคุณสมบัติของสัญญาณ AC

3. คุณสมบัติของสัญญาณกระแสสลับ

เมื่อพิจารณาสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับ สิ่งสำคัญที่ต้องทำความเข้าใจคือค่าต่าง ๆ ที่ใช้บอกขนาดของสัญญาณ เนื่องจากค่าแรงดันและกระแสใน AC ไม่คงที่ แต่เปลี่ยนแปลง

ตลอดเวลา จึงต้องมีการกำหนดค่ามาตรฐานขึ้นมาเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ เปรียบเทียบ และวัดในทางปฏิบัติ โดยค่าที่สำคัญได้แก่ ค่า Peak, ค่า Peak-to-Peak, ค่าเฉลี่ย (Average) และค่า Root Mean Square (RMS)

- **ค่า Peak (V_p)** หมายถึงค่ามากที่สุดของสัญญาณที่วัดได้จากแกนศูนย์ไปยังยอดคลื่น สำหรับสัญญาณไซน์ ค่า Peak คือแอมพลิจูด AAA ของสมการ ตัวอย่างเช่น ถ้าสมการเป็น $v(t)$=10sin(ωt) จะได้ว่า V_p=10 Vข
- **ค่า Peak-to-Peak (V_{pp})** หมายถึงผลต่างระหว่างค่าสูงสุดและค่าต่ำสุดของสัญญาณ สำหรับคลื่นไซน์ที่สมมาตร ค่า Peak-to-Peak จะมีค่าเป็นสองเท่าของค่า Peak ดังนี้

  $V_{pp} = 2V_p$

- **ค่าเฉลี่ย (Average Value, V_{av})** หมายถึงค่าเฉลี่ยของแรงดันหรือกระแสตลอดหนึ่งคาบ สำหรับสัญญาณที่มีสมมาตร เช่น ไซน์เวฟ ค่าจะเท่ากับศูนย์ แต่หากสัญญาณมีการเลื่อนขึ้นหรือลงจากแกนศูนย์ (เช่น มี DC offset) ค่าเฉลี่ยจะไม่เป็นศูนย์ โดยคำนวณจากสมการอินทิเกรต

$$V_{av} = \frac{1}{T}\int_0^T v(t)\,dt$$

- **ค่า Root Mean Square (RMS Value, V_{rms})** เป็นค่าที่สำคัญที่สุดในการใช้งานจริง เนื่องจากเป็นค่าที่ใช้เปรียบเทียบกับไฟฟ้ากระแสตรงในการส่งกำลัง RMS มีความหมายว่าเป็นค่าของแรงดันหรือกระแส AC ที่ทำให้เกิดกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยบนตัวต้านทานเท่ากับการใช้แรงดันหรือกระแส DC ขนาดเดียวกัน สำหรับสัญญาณไซน์ ค่า RMS มีความสัมพันธ์กับค่า Peak ดังนี้

$$V_{rms} = \frac{V_{pk}}{\sqrt{2}} \approx 0.707V_{pk}$$

  ตัวอย่างเช่น แรงดันไฟฟ้าในบ้าน 220 V_{rms} จะมีค่า Peak จริง ๆ ประมาณ

$$V_p = \sqrt{2}\cdot V_{rms} = \sqrt{2}\cdot 220 \approx 311 \text{ V}$$

  ดังนั้นถึงแม้ว่าเราจะบอกว่าไฟบ้านมีค่า 220 V แต่ในความเป็นจริงสัญญาณไซน์จะสวิงจาก +311 V ถึง −311 V ตลอดเวลา

สรุปแล้ว ค่า Peak และ Peak-to-Peak ใช้บอกค่าสูงสุดของสัญญาณ, ค่าเฉลี่ยบอกแนวโน้มของสัญญาณเมื่อมองทั้งคาบ และค่า RMS เป็นตัวแทนที่สะท้อนถึงพลังงานไฟฟ้าที่สัญญาณสามารถส่งออกมาได้จริง ซึ่งเป็นค่าที่นิยมใช้ที่สุดในการระบุขนาดของแรงดันและกระแส AC ในทางปฏิบัติ

4. สมการแรงดันและกระแสชั่วขณะ (Instantaneous Value)

แรงดันและกระแสในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับไม่ได้มีค่าคงที่เหมือนกระแสตรง แต่จะเปลี่ยนแปลงขึ้นลงตามเวลาอย่างต่อเนื่อง การบรรยายสัญญาณ AC จึงต้องใช้สมการที่สามารถบอกค่า ณ เวลาใดเวลาหนึ่งได้ สมการนี้เรียกว่า **สมการชั่วขณะ (Instantaneous Equation)**

สมการแรงดัน สามารถเขียนได้เป็น

$$v(t) = V_m \sin(\omega t + \theta_v)$$

และสมการกระแส สามารถเขียนได้เป็น

$$i(t) = I_m \sin(\omega t + \theta_i)$$

โดยที่

- $v(t)$, $i(t)$ คือค่าแรงดันและกระแสชั่วขณะ ณ เวลา t
- V_m, I_m คือค่าแอมพลิจูดหรือค่ายอดของแรงดันและกระแส
- ω คือความถี่เชิงมุม (rad/s)

θ_v, θ_i คือมุมเฟสของแรงดันและกระแสตามลำดับ

ในทางปฏิบัติ ค่าชั่วขณะนี้คือสิ่งที่วัดได้จากออสซิลโลสโคป (Oscilloscope) ซึ่งแสดงกราฟแรงดันหรือกระแสตามเวลา และเป็นข้อมูลจริงที่เกิดขึ้นในทุก ๆ ช่วงเสี้ยววินาที ตัวอย่างเช่น หากเขียนสมการแรงดันของแหล่งจ่ายไฟบ้าน 220 Vrms, 50 Hz จะได้ว่า แรงดันไฟฟ้าบ้านมีค่า Peak ประมาณ 311 V (เนื่องจาก $V_m = \sqrt{2} \cdot 220$) ดังนั้นสมการชั่วขณะคือ

$$v(t) = 311 \sin(2\pi \cdot 50\, t)\ \text{V}$$

สมการนี้แสดงให้เห็นว่า ณ ทุกค่าเวลา ttt จะสามารถคำนวณแรงดันได้ว่ามีค่าเป็นเท่าใด ตัวอย่างเช่น

- ที่ $t = 0$, ค่าแรงดันคือ

$$v(0) = 311 sin(0) = 0\ \text{V}$$

- ที่ $t = 5$ ms (หรือหนึ่งในสี่ของคาบ 20 ms) ค่าแรงดันคือ

$$v(0.005) = 311 \sin(2\pi \cdot 50 \cdot 0.005) = 311 \sin(\pi/2) = 311\ \text{V}$$

ในทำนองเดียวกัน กระแสก็สามารถอธิบายได้ด้วยสมการลักษณะเดียวกัน หากวงจรเป็นวงจรตัวต้านทานล้วน (Resistive Load) กระแสและแรงดันจะมีเฟสตรงกัน คือมุมเฟสของสมการกระแสและแรงดันจะเท่ากัน แต่ถ้าวงจรมีตัวเหนี่ยวนำหรือเก็บประจุ กระแสจะนำหรือว่าล้าหลังแรงดันไปตามคุณสมบัติขององค์ประกอบนั้น ๆ ซึ่งเป็นพื้นฐานสำคัญในการเรียนต่อเรื่องเฟสเซอร์และอิมพีแดนซ์

คำถามท้ายบท

1. อธิบายความแตกต่างระหว่างไฟฟ้ากระแสตรง (DC) และไฟฟ้ากระแสสลับ (AC) โดยยกตัวอย่างแหล่งกำเนิดของแต่ละชนิด
2. เขียนสมการทั่วไปของสัญญาณไซน์และอธิบายความหมายของแต่ละตัวแปรในสมการ
3. หากความถี่ของสัญญาณเท่ากับ 60 Hz จงหาค่าคาบเวลา (T)
4. อธิบายความหมายของคำว่า “เฟสนำ (leading)” และ “เฟสล้าหลัง (lagging)” พร้อมยกตัวอย่างกรณีที่เกิดขึ้นในวงจรไฟฟ้า
5. คลื่นไซน์มีค่ายอด 20 V จงหาค่า Vpp และ Vrms
6. อธิบายความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ย (Vavg) และค่า RMS ของสัญญาณ AC
7. ถ้าไฟบ้านในประเทศไทยมีค่า 220 Vrms จงหาค่า Vp ที่แท้จริง
8. อธิบายว่าทำไมค่าที่นิยมใช้บอกขนาดของแรงดันไฟฟ้า AC ในชีวิตประจำวันจึงเป็นค่า RMS แทนที่จะใช้ค่า Peak หรือค่า Average