

บทคัดย่อ

การตรวจสอบมิเตอร์ไฟฟ้าด้วย CLAMP ON POWER TESTER

มิเตอร์ไฟฟ้า เป็นเครื่องวัดการใช้พลังงานไฟฟ้า (kWh) และ ค่าความต้องการพลังไฟฟ้า (kW, kVAR) ซึ่งจะนำมาคิดค่าการใช้ไฟฟ้า ดังนั้นการตรวจสอบมิเตอร์ไฟฟ้าจึงเป็นส่วนสำคัญ ที่จะต้องตรวจสอบว่ามีมิเตอร์ไฟฟ้ายังคงอ่านค่าได้ถูกต้องหรือไม่ หรือในกรณีที่มีการกระทำที่มิเตอร์ไฟฟ้า ไม่ว่าจะกระทำที่สายไฟโดยตรง สาย Control หรือที่ตัวเครื่องวัดเอง เครื่องวัด Clamp On Power tester เป็นเครื่องมือที่สามารถวัดค่าต่างๆได้ละเอียดครบถ้วน เช่น ค่ากระแสไฟฟ้าแต่ละเฟส , kW, kVAR , kVA , Pf แต่ละเฟส , Phase Rotation ฯลฯ ค่าที่อ่านได้ จะนำมาวิเคราะห์ และ Plot เป็นกราฟ พิจารณาความเป็นไปได้ว่ามีมิเตอร์ไฟฟ้ายังคงปกติหรือไม่ แต่ก็ต้องมีความรู้พื้นฐานของระบบไฟฟ้าบ้าง ซึ่งในบทความได้อธิบายส่วนที่สำคัญไว้เพื่อทบทวน หรือศึกษา เป็นพื้นฐานในการวิเคราะห์ตรวจสอบมิเตอร์ ด้วยเครื่องวัด Clamp On Power tester อย่างถูกต้อง

ในส่วนของบทความระบบไฟฟ้าเบื้องต้นได้อ้างอิงมาจากหนังสือ การวิเคราะห์วงจรไฟฟ้าเบื้องต้น ของ ดร.สุชุมวิทย์ ภูมิวุฒิสาร โดยบทความนี้จัดทำโดย นายชัยวัฒน์ บุรพัฒน์ เลขประจำตัว 1758505 ตำแหน่งนักบริหาร 7 แผนกบริการเครื่องวัด การไฟฟ้านครหลวงเขตคลองเตย โทร 02-348-5334 Email Ploychaiya@hotmail.com

การตรวจสอบมิเตอร์ไฟฟ้าด้วย CLAMP ON POWER TESTER

เครื่องวัด Clamp On Power tester เป็นเครื่องวัดฯ ใช้ตรวจสอบค่าต่างๆ ทางไฟฟ้า เช่น kW

kVAR , Power factor ,กระแส, Phase Rotation ตลอดจน Harmonic จุดประสงค์ของบทความต้องการนำมาวิเคราะห์ตรวจสอบเครื่องวัดไฟฟ้าที่มีการกระทำ หรือเครื่องวัดชำรุด ได้อย่างถูกต้อง แต่สิ่งหนึ่งที่ควรรู้ก่อนที่จะใช้ Clamp On Power tester ควรมีความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับระบบไฟฟ้าดังนี้

1. แหล่งกำเนิดกระแสไฟฟ้าสลับ 3 เฟส 4 สาย

พิจารณาตามรูปที่1.(ข.) จะเห็นว่า V_a, V_b, V_c มีมุมต่างกัน 120 องศา

$$V_a \text{ นำหน้า } V_b \quad 120 \text{ องศา}$$

$$V_b \text{ นำหน้า } V_c \quad 120 \text{ องศา}$$

$$V_c \text{ นำหน้า } V_a \quad 120 \text{ องศา}$$

แหล่งกำเนิดที่มีลำดับเฟสดังกล่าวเรียกว่าลำดับเฟส abca หรือซีเควนบวก ถ้าให้ V_a เป็นแรงดันเฟส (เฟสเทียบกับนิวทรัล) และให้ เป็นแรงดันอ้างอิงจะได้

$$V_a \angle 0^\circ, V_b \angle -120^\circ, V_c \angle 120^\circ \text{ Volt. (1.)}$$

เมื่อพิจารณาสายเฟสกับสายเฟส นั่นคือ V_{ab}, V_{bc}, V_{ca} เรียกว่าแรงดันระหว่างสาย V_L มีความสัมพันธ์ตามสมการ

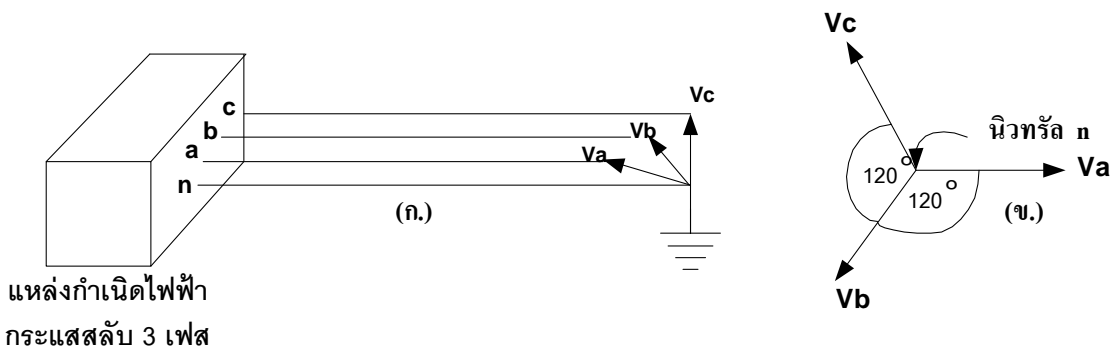
$$V_{ab} = V_a - V_b, \quad V_{bc} = V_b - V_c, \quad V_{ca} = V_c - V_a \quad \text{..... (2.)}$$

แทน(1.)ใน(2.) ได้

$$V_{ab} = V_a - V_b = V_a - V_a \angle 120^\circ = \sqrt{3} V_a \angle 30^\circ = \sqrt{3} V \angle 30^\circ \quad \text{..... (3.)}$$

ในทำนองเดียวกัน ได้

$$V_{bc} = \sqrt{3} V \angle -90^\circ, V_{ca} = \sqrt{3} V \angle 150^\circ$$



รูปที่ 1.

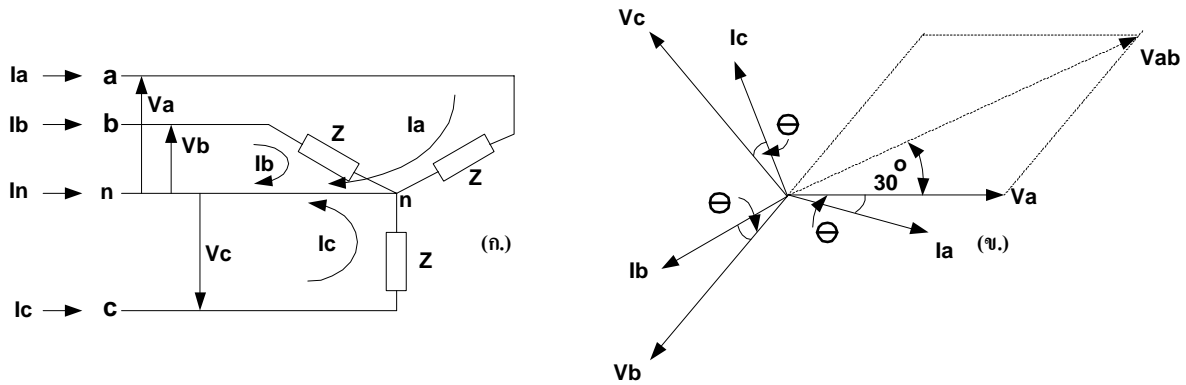
2. การจ่ายโหลดในระบบ 3 เฟส

โหลด 3 เฟส ในระบบไฟฟ้า อาจประกอบด้วยโหลด 1 เฟส เช่น หลอดไฟ ตู้เย็น ฯลฯ ซึ่งเชื่อมต่อระหว่างสายเฟสกับสายนิวทรัล โหลด 3 เฟส โดยตรง เช่น มอเตอร์ 3 เฟส เป็นต้น ดังนั้นเราอาจแยกโหลดตามลักษณะการต่อโหลดดังนี้

- 1.1 โหลดสมดุล 3 เฟส ต่อแบบววาย
- 1.2 โหลดสมดุล 3 เฟส ต่อแบบเดลต้า
- 1.3 โหลดไม่สมดุล 3 เฟส 4 สาย ต่อแบบววาย
- 1.4 โหลดไม่สมดุล 3 เฟส 4 สาย ต่อแบบเดลต้า
- 1.5 โหลดไม่สมดุล 3 เฟส 3 สาย ต่อแบบววาย

การพิจารณาโหลดก็เป็นส่วนหนึ่งที่ทำให้การวิเคราะห์ การตรวจสอบมิเตอร์ไฟฟ้าเป็นไปอย่างถูกต้องยิ่งขึ้นดังนั้นควรที่จะวิเคราะห์โหลดต่างๆบ้างเพื่อเป็นพื้นฐานต่อไป

3. โหลดสมดุล 3 เฟส ต่อแบบววาย



รูปที่ 2. โหลดสมดุล 3 เฟส ต่อแบบววาย

พิจารณาตามรูปโดยใช้กฎแรงดันของเคอร์ชอฟฟ์ (KVL) ในวงรอบปิดของสายเฟส a และสายนิวทรัล ได้กระแสไฟฟ้า I_a นั่นคือ

$$I_a = V_a / Z \dots\dots (4.)$$

ในทำนองเดียวกัน

$$I_b = V_b / Z, \quad I_c = V_c / Z$$

โดยใช้กฎกระแสของเคอร์ชอฟฟ์ (KCL) ที่จุดนิวทรัล ได้กระแสนิวทรัล I_n มีค่าเท่ากับ

$$I_n = I_a + I_b + I_c \dots\dots (5.)$$

ถ้าให้แรงดันเฟส V_a เป็นแรงดันอ้างอิง และให้ $Z = Z \angle \Theta$ เมื่อแทนสมการ(1.) ใน (4.) ได้

$$I_a = V_a \angle 0^\circ / Z \angle \Theta = V / Z \angle -\Theta \text{ A} \dots\dots (6.)$$

ในทำนองเดียวกัน

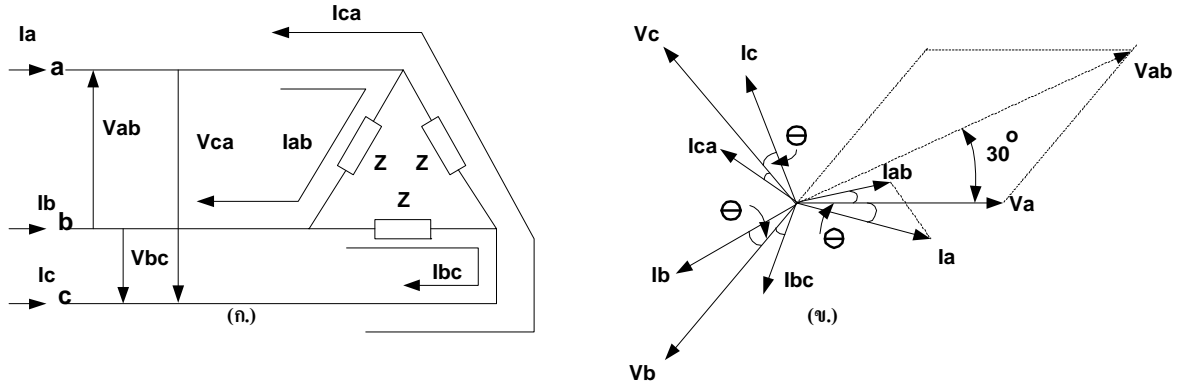
$$I_b = V / Z \angle -120^\circ - \Theta \text{ A}, \quad I_c = V / Z \angle 120^\circ - \Theta \text{ A}$$

แทนค่าสมการ(6.) ใน (5.) ได้ $I_n = I_a + I_b + I_c = 0$

สรุปความสัมพันธ์

1. กระแสเฟสมีขนาดเท่ากัน นั่นคือ $I_a = I_b = I_c$ ทำมุมต่างกัน 120 องศา
2. กระแสเฟสเท่ากับกระแสในสาย $I_L = I_p$
3. กระแสในสายมีเฟสแตกต่างจากแรงดันเฟสด้วยค่ามุม Θ หรือค่ามุมของอิมพีแดนซ์โดยที่มุม อาจเป็นบวกหรือ ลบ ค่าศูนย์ ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของโหลด

4. โหลดสมดุล 3 เฟส ต่อแบบเดลต้า



รูปที่ 3. โหลดสมดุล 3 เฟส ต่อแบบเดลต้า

โดยใช้ KVL ในวงรอบปิดของสายเฟส ab ได้กระแสเฟส Iab ที่ไหลผ่านอิมพีแดนซ์นั้นคือ

$$I_{ab} = V_{ab} / Z \dots\dots (7.) \text{ ในทำนองเดียวกัน ได้}$$

$$I_{bc} = V_{bc} / Z, \quad I_{ca} = V_{ca} / Z$$

ถ้าให้แรงดันเฟส Va เป็นแรงดันอ้างอิง และถ้าอิมพีแดนซ์ Z ของแต่ละเฟสมีค่าเท่ากับ

$$Z = Z \angle \Theta \text{ เมื่อแทนสมการ(3.) ใน (7.) ได้กระแสเฟส}$$

$$I_{ab} = \sqrt{3} V_L \angle 30^\circ / Z \angle \Theta = V_L / Z \angle 30^\circ - \Theta \dots\dots (8.)$$

ในทำนองเดียวกัน ได้

$$I_{bc} = V_L / Z \angle -90^\circ - \Theta, \quad I_{ca} = V_L / Z \angle 150^\circ - \Theta$$

โดยการใช้ KCL ที่โหนด a สามารถคำนวณหาค่าของกระแสในสาย Ia นั่นคือ

$$I_a = I_{ab} - I_{ca} = (V_L / Z \angle 30^\circ - \Theta) - (V_L / Z \angle 150^\circ - \Theta) = \sqrt{3} V_L / Z \angle -\Theta \dots(9.)$$

ในทำนองเดียวกัน $I_b = \sqrt{3} V_L / Z \angle -120^\circ - \Theta, \quad I_c = \sqrt{3} V_L / Z \angle 120^\circ - \Theta$

และสามารถสรุปความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของโหลดสมดุล 3 เฟส ต่อแบบเดลต้าได้ดังนี้

1. กระแสเฟสมีขนาดเท่ากัน นั่นคือ $I_p = I_{ab} = I_{bc} = I_{ca}$ และทำมุมซึ่งกันและกัน 120 องศา
2. กระแสในสายมีขนาดเท่ากัน นั่นคือ $I_L = I_a = I_b = I_c$ และทำมุมซึ่งกันและกัน 120 องศา
3. กระแสในสายมีขนาดเท่ากับ $\sqrt{3}$ เท่าของขนาดกระแสของแต่ละเฟส นั่นคือ

$$I_L = \sqrt{3} I_p \dots\dots (10.)$$

และกระแสในสายมีมุมเฟสแตกต่างจากแรงดันเฟสด้วยค่ามุม Θ (หรือกระแสในสายมีมุมเฟสแตกต่างจากแรงดันระหว่างสาย $30^\circ + \Theta$)

5. กำลังไฟฟ้า 3 เฟส

ในกรณีโหลดสมดุล อาจสรุปได้ว่ากระแสและแรงดันของโหลดสมดุล 3 เฟสไม่ว่าต่อแบบวายหรือเดลต้า ก็ตาม ต่างก็มีขนาดเท่ากัน ทำมุมซึ่งกันและกัน 120 องศา และประกอบกันเป็นเซตของกระแสและแรงดัน 3 เฟสแบบสมมาตร ดังนั้น ในการคำนวณแรงดันสมดุลในระบบ 3 เฟส อาจคำนวณเพียง 1 เฟส แล้วคูณด้วย 3 ได้

$$P_{1\phi} = VI \cos \Theta$$

$$P_{3\phi} = 3VI \cos \Theta = 3P \dots\dots (11.)$$

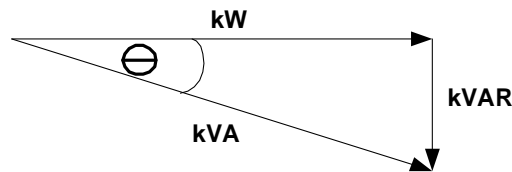
ในความเป็นจริงโหลดทั่วไปจะไม่สมดุล กระแสและแรงดันมีขนาดไม่เท่ากัน และทำมุมซึ่งกันและกันไม่เท่ากับ 120 องศา นั่นคือ ประกอบกันเป็นเซต 3 เฟสแบบไม่สมมาตร ดังนั้น หาค่ากำลังไฟฟ้าต้องคำนวณทีละเฟส ทั้ง 3 เฟส แล้วนำมารวมกัน ได้

$$P_{3\phi} = P_a + P_b + P_c \quad W \dots\dots (12.)$$

$$Q_{3\phi} = Q_a + Q_b + Q_c \quad VAR$$

$$S_{3\phi} = \sqrt{P_{3\phi}^2 + Q_{3\phi}^2} \quad VA$$

6. สามเหลี่ยมกำลังไฟฟ้า



รูปที่ 4. สามเหลี่ยมกำลังไฟฟ้า

จากรูปที่ 4. ได้

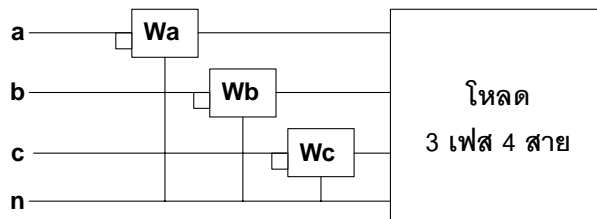
$$KVA = \sqrt{KW^2 + KVAR^2} \dots\dots (13.)$$

$$\cos \Theta = KW / KVA = \text{PowerFactor} \dots\dots (14.)$$

7. การวัดกำลังไฟฟ้านิยมใช้ในปัจจุบันมีอยู่ 2 แบบ

7.1 การวัดแบบ 3 เฟส 4 สาย คือการวัดโดยใช้ วัดต์มิเตอร์ 3 ตัว ดังรูปที่ 5. ผลรวมของกำลังไฟฟ้าที่วัดได้ จากวัดต์มิเตอร์แต่ละตัว คือกำลังไฟฟ้าทั้งหมด นั่นคือ $P_{3\phi} = W_a + W_b + W_c$ ในกรณีโหลดสมดุล วัดต์มิเตอร์ แต่ละตัวอ่านค่าได้เท่ากัน

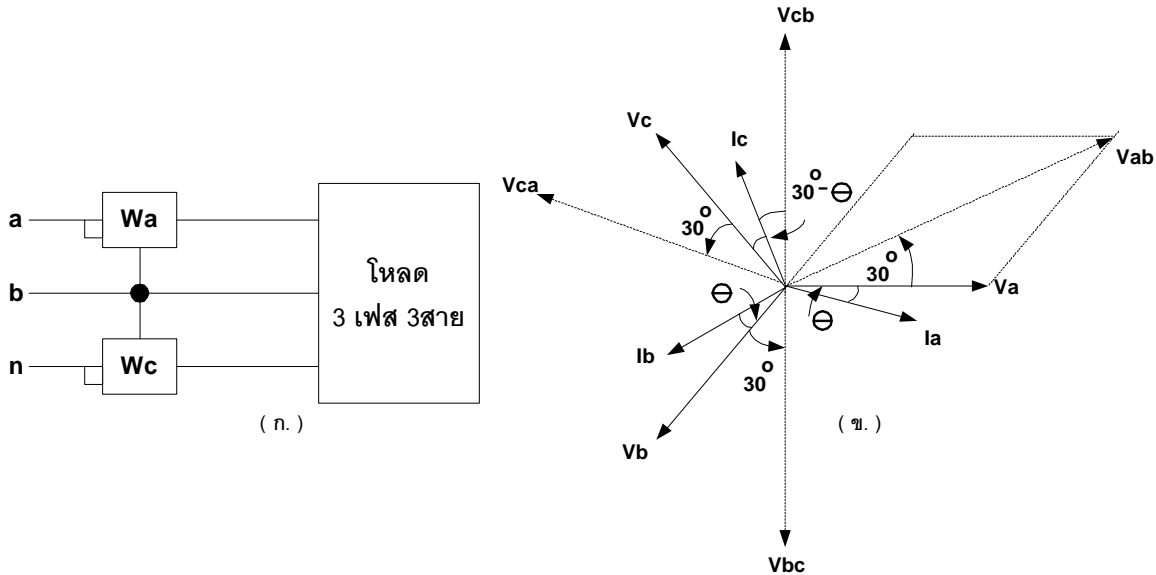
$$W_a = W_b = W_c = VI \cos \Theta \dots\dots (15.)$$



รูปที่ 5. ใช้วัดต์มิเตอร์ 3 ตัว

7.2 การวัดแบบ วัดวัตต์มิเตอร์ 2 ตัว (Two Watt Method)

วิธีการวัดเช่นนี้ อาศัยหลักการที่ว่ากำลังไฟฟ้าในวงจรที่มี n เฟสและ n สายสามารถวัดได้โดยใช้วัตต์มิเตอร์จำนวน $(n-1)$ ตัว โดยให้สายใดสายหนึ่งใน n สายนั้นเป็นสายร่วม และสายอื่นๆอีก $n-1$ สายเป็นสายจ่ายกำลังไฟฟ้า ตามรูปที่ 6.(ก.) นั่นคือผลรวมทางพีชคณิตของวัตต์มิเตอร์ทั้งสองตัวคือกำลังไฟฟ้าทั้งหมด



รูปที่ 6. Two Watt Method

$$P_{3\phi} = W_a + W_c \dots\dots (16.)$$

W_a หรือ W_c อาจมีค่าบวก หรือลบ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับโหลดที่ต่ออยู่ θ มากกว่า 60 องศา โหลด inductive W_a อ่านค่าลบ กรณีโหลด capacitive θ น้อยกว่า -60 องศา W_c อ่านค่าลบ ในกรณีโหลดสมดุล จากรูป 6. (ข.)

$$W_a = V_{ab} I_a \cos (30 + \theta) \dots\dots (17.)$$

$$W_c = V_{cb} I_c \cos (30 - \theta) \dots\dots (18.)$$

$$\begin{aligned} W_a + W_c &= V_{ab} I_a \cos (30 + \theta) + V_{cb} I_c \cos (30 - \theta) \\ &= V_L I_L \cos [(30 + \theta) + \cos (30 - \theta)] = \sqrt{3} V_L I_L \cos \theta \dots\dots (19.) \end{aligned}$$

$$W_c - W_a = V_L I_L \cos [(30 - \theta) - \cos (30 + \theta)] = V_L I_L \sin \theta \dots\dots (20.)$$

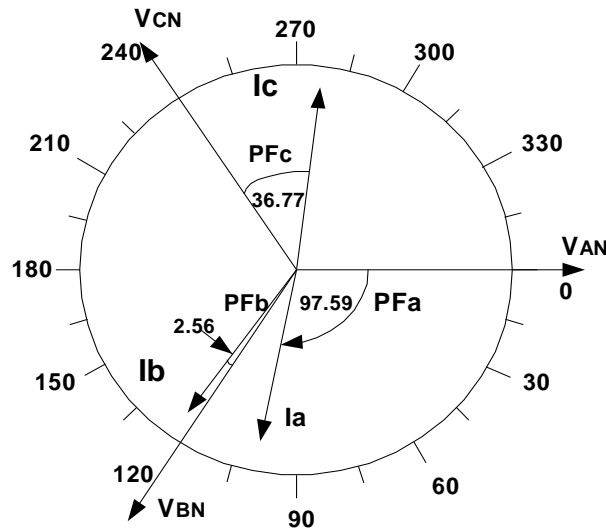
$$(W_c - W_a) / (W_c + W_a) = (V_L I_L \sin \theta) / \sqrt{3} V_L I_L \cos \theta = 1/\sqrt{3} * \tan \theta$$

$$\text{นั่นคือ } \tan \theta = \sqrt{3} * [(W_c - W_a) / (W_c + W_a)] \dots\dots (21.)$$

8. ตัวอย่างการใช้งานจริง

8.1 มิเตอร์ไฟฟ้า 200 A 3 เฟส 4 สาย 380 / 220 V ใช้ CT 200/5 วัดค่าต่างๆโดยใช้ Clamp On Power tester วิธีการวัดดูได้ตามคู่มือ เหมือนการวัด โวลต์มิเตอร์ และ แอมป์มิเตอร์ โดยจดค่าไว้ตามตาราง ดังนี้ (มิเตอร์ไฟฟ้ามีการกระทำโดยวิธีการ By Pass สาย Control กระแส เส้นสีแดง)

แรงดัน		กระแส		Power				
ขั้วต่อสาย	โวลต์	สายควบคุม	แอมป์	kW	kVAR	kVA	PF	LAG/LEAD
ขาว-ดำ	232	แดง	0.35	-0.011	0.081	0.082	0.132	LAG
ส้ม-ดำ	223	เขียว	0.29	0.064	0.002	0.064	0.969	LAG
เทา-ดำ	232	น้ำเงิน	1.19	0.221	0.165	0.275	0.801	LAG



รูปที่ 7. Plot เวกเตอร์ แสดงค่าต่างๆของมิเตอร์แรงต่ำ 200 A

เมื่อดูจาก Phasor Diagram จะเห็นว่ากระแส Ia, Ib อยู่ใน ควอร์เดรนเดียวกันซึ่งไม่อยู่ในรูปแบบ Phasor Diagram มาตรฐาน และค่า kW ที่ได้จาก Ia และ Van ติดลบ ทำให้ Ia ล้าหลัง Van เป็นมุม 97.59 ซึ่งเป็นไปไม่ได้เพราะโหลด Inductive ล้าหลังไม่เกิน 90 องศาทำให้รู้ว่าเครื่องวัดมีการกระทำ

8.2 มิเตอร์ไฟฟ้า 1,000 kVA 12 kV, CT 50/5 ,PT 12,000/120 วัดค่าต่างๆโดยใช้ Clamp On Power tester โดยจดค่าไว้ตามตารางดังนี้ (มิเตอร์ไฟฟ้ามีการกระทำโดยวิธีการ ตัดสาย Control เส้น สีดำก่อนเข้ามิเตอร์ไฟฟ้า)

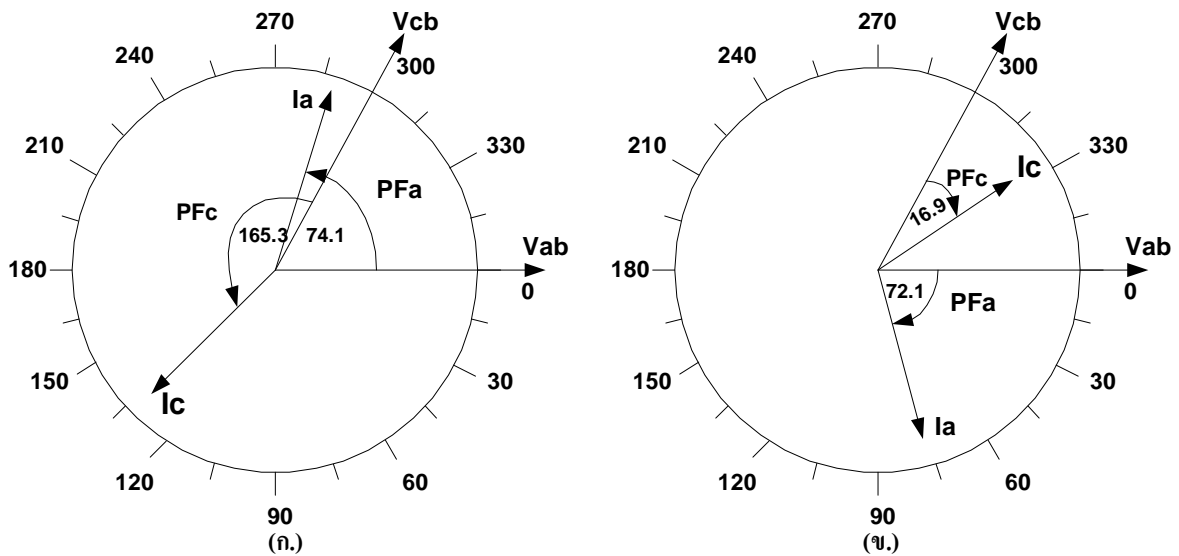
ตารางที่อ่านได้ของมิเตอร์ไฟฟ้าที่มีการกระทำ

แรงดัน		กระแส		Power				
ขั้วต่อสาย	โวลต์	สายควบคุม	แอมป์	kW	kVAR	kVA	PF	LAG/LEAD
ขาว-เทา	114.9	แดง	0.17	0.005	0.019	0.020	0.273	LEAD
ส้ม-เทา	115.7	เขียว	0.17	-0.019	0.005	0.019	0.967	LEAD

ตารางที่อ่านได้ของมิเตอร์ไฟฟ้าที่ตั้งเทียบ

แรงดัน		กระแส		Power				
ขั้วต่อสาย	โวลต์	สายควบคุม	แอมป์	kW	kVAR	kVA	PF	LAG/LEAD
ขาว-เทา	115.3	แดง	0.19	0.007	0.021	0.022	0.308	LAG
ส้ม-เทา	116.7	เขียว	0.22	0.025	0.007	0.026	0.957	LAG

จากรูป Phasor Dirgram รูป 8 (ก.) มีการกระทำตัดสายดำก่อนเข้ามิเตอร์ทำให้ Phasor Dirgram เปลี่ยนไปจากรูปแบบมาตรฐาน จะเห็นว่า Ic นำหน้า Vcb เป็นมุม 165.3 องศา เนื่องจากค่า kW ติดลบ โดยอ่านได้จาก Clamp On Power tester ซึ่งเป็นไปไม่ได้เพราะปกติถ้า I นำหน้า V (โหลดแบบ Capacitive)



รูปที่ 8. Plot เวกเตอร์ แสดงค่าต่างๆของมิเตอร์แรงสูง 1,000 kVA 12 kV

จะไม่เกิน 90 องศา ทำให้เรารู้ว่าต้องมีภาระกระทำเกิดขึ้น ส่วนค่า Ia นำหน้า Vab เป็นมุม 74.1 องศา ค่านี้อาจเป็นไปได้ถ้าโหลดเป็นแบบ Capacitive แต่ถ้าเราสังเกตจากโหลดภายใน ส่วนใหญ่หรือทั้งหมดเป็น Inductive ก็จะทำให้รู้ว่ามีสิ่งผิดปกติเกิดขึ้น

$$\text{kW รวม} = 0.005 + (-0.019) = -0.014 \text{ kW (Ratio} = 1000) = -0.014 \times 1000 = -14 \text{ kW}$$

จากรูป (ข.) เป็นมิเตอร์จากการตั้งเทียบ จะเห็นว่า Ia ล้าหลัง Vab 72.1 องศา และ Ic ล้าหลัง Vcb อยู่ 16.9 องศา ซึ่งเป็นโหลด Inductive สอดคล้องกับโหลดภายใน

$$\text{kW รวม} = 0.0071 + 0.025 = 0.032 \text{ kW (Ratio} = 1000) = 0.032 \times 1000 = 32 \text{ kW}$$

ดังนั้น จะเห็นว่า ค่า kW จะแตกต่างกันมากประมาณ 69 %

บทสรุป

การตรวจวัดมิเตอร์ไฟฟ้าว่าผิดปกติหรือมีการกระทำหรือไม่นั้น มีวิธีการหลายวิธี เช่นอาจจะใช้เครื่องมือขนาดใหญ่ที่มีคุณภาพสูงและราคาสูงมาก ซึ่งอาจจะไม่เหมาะสมกับงานตรวจสอบทั่วไปของแผนกบริการเครื่องวัด หรือใช้วิธีง่ายๆโดยใช้โวลต์มิเตอร์และแอมป์มิเตอร์แล้วคำนวณหาค่า kW และจับเวลาการหมุนของจานมิเตอร์ไฟฟ้า (มิเตอร์ไฟฟ้า แบบ Mechanise) หรือ Pulse ต่อบรรยากาศ (กรณีมิเตอร์ไฟฟ้า

ดิจิตอล) เพื่อที่จะหาค่าคงที่ของเครื่องวัด ($K_h =$ จำนวนวัตต์ต่อรอบ) ที่ได้จากการคำนวณโดยเทียบกับค่า K_h ของมิเตอร์ไฟฟ้า ทั้งนี้ K_h ที่คำนวณต้องไม่เกิน $\pm 2.5 \%$ ของค่า K_h มิเตอร์ไฟฟ้า จึงถือว่าอยู่ในเกณฑ์ที่ถูกต้อง วิธีการใช้ Clamp On Power tester เป็นวิธีการเลือกวิธีหนึ่งที่ดีว่าน่าจะนำมาใช้ใน กฟน. เพราะราคาไม่แพงมากและการวัดก็ไม่ยุ่งยากใช้เวลาเล็กน้อย ซึ่งก่อนใช้ควรมีการฝึกอบรมพนักงานเกี่ยวกับ ทฤษฎีและปฏิบัติบ้างไว้เป็นทักษะในการวัดและวิเคราะห์ได้อย่างถูกต้องเพื่อเป็นประโยชน์ต่อองค์กรต่อไป