EPCOS

คาปาซิเตอร์&ฮาร์โมนิกส์

ตอนที่ 2 เพาเวอร์แฟกเตอร์คืออะไร

1. เพาเวอร์แฟกเตอร์คืออะไร

1.1 Active, Reactive และ Apparent Power ก่อนที่จะรู้คำตอบว่าเพาเวอร์แฟกเตอร์คืออะไร ต้องเข้าใจกำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในระบบไฟฟ้าทั้ง 3 ชนิด

1.1.1 Active Power (กำลังไฟฟ้าที่ใช้งานได้)จำนวนของกำลังไฟฟ้าที่จ่ายเข้า (Input Power) ซึ่งถูกเปลี่ยนเป็นกำลังไฟฟ้าที่จ่ายออก (Output Power) ถูกนิยามว่า "Active Power "และใช้ตัวย่อ P

Active power มีสูตรคำนวณดังนี้:

$$P = \sqrt{3}.U.I.\cos\varphi \text{ [W] มีหน่วยเป็นวัตต์}$$

ในอุดมคติ, กำลังไฟฟ้าที่จ่ายเข้าทั้งหมด กล่าวคือ “Apparent Power" ควรจะถูกเปลี่ยนเป็นกำลังไฟฟ้าที่ใช้ประโยชน์ได้ทั้งหมด กล่าวคือ Active Power เช่น กำลังไฟฟ้าที่จ่ายออกของมอเตอร์ ในกรณีอุดมคตินี้ ค่า $\cos\varphi = 1$ และเป็นระบบไฟฟ้าที่มีค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์เท่ากับหนึ่ง

1.1.2 Reactive Power (กำลังไฟฟ้าที่ไม่ได้ใช้งาน) เครื่องจักรไฟฟ้าทำงานบนหลักการของการเปลี่ยนแปลงพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้า (เช่น มอเตอร์, หม้อแปลง) ส่วนหนึ่งของพลังงานไฟฟ้าที่จ่ายเข้า ถูกนำไปใช้สำหรับสร้างและรักษาสนามแม่เหล็กไฟฟ้า พลังงานส่วนนี้ไม่สามารถเปลี่ยนมาใช้ให้เป็นประโยชน์ได้ กำลังไฟฟ้า นี้มีชื่อเรียกว่า "Reactive Power” และใช้ตัวย่อ Q

Reactive Power มีสูตรคำนวณดังนี้

$$Q = \sqrt{3}.U.I.\sin\varphi \text{ [VAr] มีหน่วยเป็นวาร์}$$

1.1.3 Apparent power (กำลังไฟฟ้ารวม)การทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้า ขึ้นอยู่กับการเปลี่ยนแปลงของพลังงานไฟฟ้าเป็นกำลังไฟฟ้าอีกรูปแบบหนึ่ง กำลังไฟฟ้าซึ่งถูกดึงไปใช้งานจากแหล่งจ่ายไฟ มีชื่อว่า “Apparent Power” ซึ่งประกอบด้วยกำลังไฟฟ้าที่ใช้งานได้ (Active) และกำลังไฟฟ้าที่ไม่ได้ใช้งาน (Reactive) กำลังไฟฟ้ารวมทั้งหมดที่ปรากฏขึ้นชัดเจน และคำนวณได้โดยง่ายจากผลคูณ ของกระแสไฟฟ้า และแรงดันไฟฟ้า ใช้ตัวย่อ S มี

สูตรคำนวณดังนี้

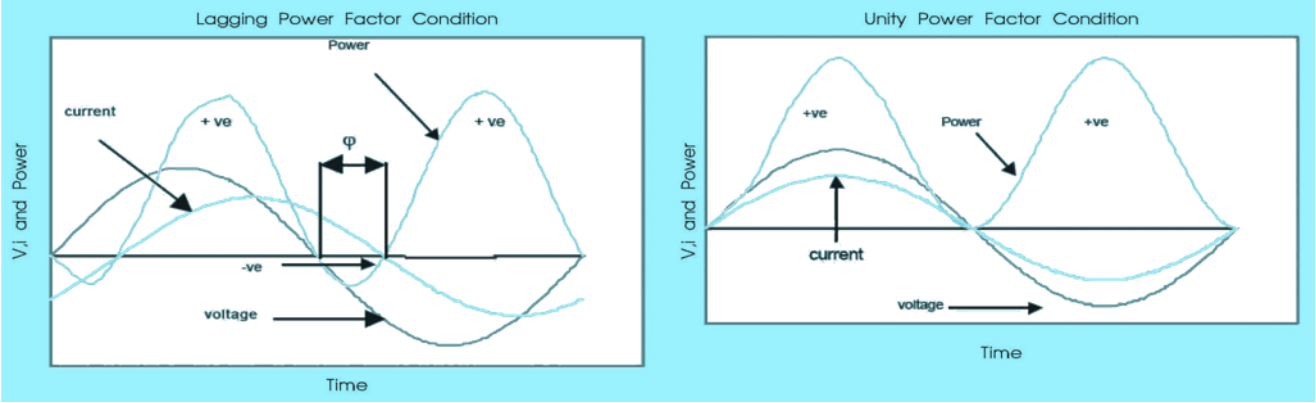
$$S = U.I \text{ [VA] มีหน่วยเป็นโวลต์แอมป์}$$

1.1.4 Power Factor (ตัวประกอบกำลังไฟฟ้า) ในทางไฟฟ้าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า ถูกนิยามว่าเป็น Cosine (โคซายน์) ของมุมระหว่างรูปเคลื่อนแรงดันไฟฟ้า และกระแสไฟฟ้าที่ความถี่ไฟฟ้าหลัก (50Hz) ตัวประกอบกำลังไฟฟ้ายังถูกนิยามว่าเป็นสัดส่วนของ Active Power และ Apparent Power

$$P.F. = \frac{P}{S} = \cos\varphi$$

1.1.5 วงจรต้านทานชนิด Resistive ในวงจรต้านทานชนิดขดลวดต้านทาน หรือ Resistive, รูปเคลื่อนแรงดันและกระแสไฟฟ้าจะเริ่มต้นและสิ้นสุดที่เวลาเดียวกันทำให้มุมระหว่างแรงดันและกระแสไฟฟ้าเป็น0 ($\varphi = 0°$) และกำลังไฟฟ้าที่จ่ายเข้า (Input Power) ทั้งหมด ถูกเปลี่ยนเป็นกำลังไฟฟ้าที่ใช้งาน ดังนั้นวงจรลวดต้านทานนี้มีค่าตัวประกอบกำลังเป็นหนึ่ง (PF = cos 0° = 1)

1.1.6 วงจรต้านทานชนิด Inductive อุปกรณ์ไฟฟ้าส่วนมากเป็นชนิดขดลวดเหนี่ยวนำ (Inductive) เช่น มอเตอร์, หม้อแปลง เป็นต้น เนื่องจากวงจรต้านทานชนิดขดลวดเหนี่ยวนำกระแสไฟฟ้าซึ่งถูกดึงมาใช้โดยอุปกรณ์ชนิดนี้จะตามหลังรูปคลื่นแรงดันไฟฟ้าเป็นมุม φ ขนาดของมุม φ เป็นสัดส่วนโดยตรงกับความต้านทานเหนี่ยวนำ เนื่องจากกระแสตามหลังแรงดันไฟฟ้า, อุปกรณ์ชนิดลวดเหนี่ยวนำ ถูกเรียกว่าเป็นตัวประกอบกำลังชนิดตามหลัง หรือ Logging Power Factor



1.2 ทำไมเพาเวอร์แฟกเตอร์ถึงมีความสำคัญต่อระบบไฟฟ้า ตัวอย่างดังต่อไปนี้จะแสดงให้เห็นว่า การใช้อุปกรณ์ไฟฟ้า จะมีประสิทธิภาพดีขึ้น หลังจากมีการปรับปรุงค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์

ตัวอย่างที่ 1 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาด 1,000 kVA ทำงานที่ค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ตามหลัง (Lagging) 0.7

ถ้าปรับปรุงค่า PF เป็น 0.9 เครื่องกำเนิดไฟฟ้านี้จะมีความสามารถรับโหลดเพิ่มขึ้นเท่าไร?

คำตอบ :

เครื่องกำเนิดไฟฟ้านี้สามารถรับโหลด = 0.7x1000 = 700 kW

จากสูตร $P.F. = \frac{P}{S} = \frac{kW}{kVA}$

เมื่อปรับปรุงค่า PF เป็น 0.9 ;

เครื่องกำเนิดไฟฟ้านี้สามารถรับโหลด = 0.9x1000 = 900 kW

ดังนั้นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสามารถรับโหลดเพิ่มขึ้น $\frac{900 - 700}{700}$ = 28%

หรือ 200 kW โดยไม่ต้องเพิ่มขนาดเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

ตัวอย่างที่ 2 มอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 220 kW, 3 เฟส ต่อกับระบบไฟฟ้า 400 V, 50 Hz, 3 เฟส ทำงานที่ค่า PF = 0.7

กระแสไฟฟ้าที่มอเตอร์ = 220x1000 / $\sqrt{3}$x400x0.7 = 454 A

(จากสูตร P = $\sqrt{3}$ x U x I x COS φ)

เมื่อปรับปรุงค่า PF เป็น 0.9 ;

กระแสไฟฟ้าที่มอเตอร์ = 220x1000 / $\sqrt{3}$x400x0.9 = 353 A

ดังนั้นสายไฟฟ้านี้สามารถรับโหลดเพิ่มขึ้น 101 A หรือ

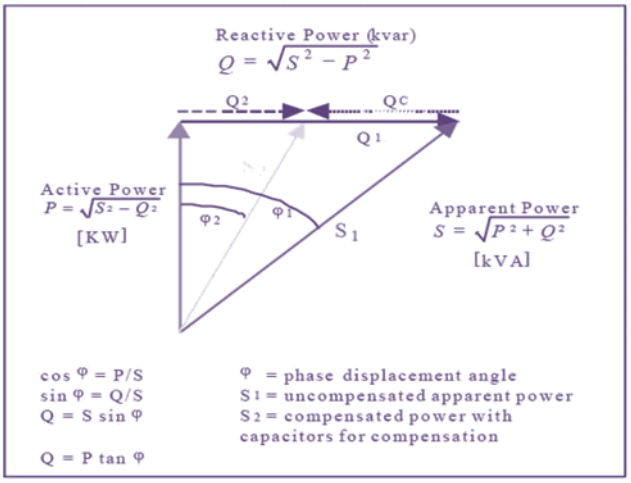
ผู้ออกแบบสามารถเลือกสายไฟขนาดเล็กลง เพื่อลดการลงทุน นอกจากนั้นยังช่วยลดความสูญเสียในสายไฟ

ประโยชน์ของการแก้ไขค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์

- คืนทุนภายใน 2-3 ปี คาปาซิเตอร์ช่วยลดจำนวนของกำลังไฟฟ้าที่ไม่ได้ใช้งาน (Reactive power) ดังนั้นค่าไฟฟ้าและค่าปรับเพาเวอร์แฟกเตอร์จะลดลงตามสัดส่วน การปรับปรุงค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ โดยทั่วไป การลงทุนสำหรับอุปกรณ์ปรับปรุงค่า PF จะคุ้มทุนหลังจากติดตั้งใช้งานแล้วภายในเวลา 2-3 ปี
- ประสิทธิผลของการใช้กำลังไฟฟ้าการปรับปรุงค่า PF ให้สูงขึ้น จะลดค่ากำลังไฟฟ้าที่ไม่ได้ใช้งาน (kVAr) และลดค่ากำลังไฟฟ้า (kVA) ดังนั้น ทำให้การใช้ไฟฟ้ามีประสิทธิผล และประหยัดมากขึ้น
- ลดความสูญเสียสายไฟฟ้ามีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านน้อยลงเมื่อ PF สูงขึ้น ดังนั้นจึงลดความสูญเสียไฟฟ้าในสายไฟเป็นทวีคูณของกระแสที่ลดลง (ความสูญเสีย= I2 x ความต้านทานของสายไฟฟ้า)
- ใช้ขนาดสายไฟที่เหมาะสมขนาดสายไฟฟ้าลดลงเมื่อ PF สูงขึ้น หรือ สายไฟฟ้าเดิมสามารถรับโหลดได้เพิ่มขึ้น
- ลดความสูญเสียของระบบจ่ายไฟเนื่องจากขดลวดหม้อแปลง สายไฟเข้าหม้อแปลง และตู้จ่ายไฟ รับกระแสไฟฟ้าน้อยลง ความสูญเสียของระบบจ่ายไฟจึงลดลง
- ปรับปรุงคุณภาพไฟฟ้ากระแสไฟฟ้าที่ลดลง ทำให้แรงดันตกในระบบลดลง แรงดันไฟฟ้ามีระดับคงที่สูงมากขึ้น คุณภาพไฟฟ้าที่จ่ายเข้ามอเตอร์ และอุปกรณ์
- อื่นๆ มีค่าสูงขึ้น

1.3 คาปาซิเตอร์แก้ไขค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ได้อย่างไร

คาปาซิเตอร์มีคุณสมบัติเป็น กิโลวาร์นำหน้า (Leading kVAr) ซึ่งมีทิศทางตรงข้ามกับกิโลวาร์ของตัวเหนี่ยวนำ(Inductive kVAr) ตามแสดงในรูปสามเหลี่ยมกำลังไฟฟ้า



มุม φ เป็นมุมของรูปคลื่นแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า กำลัง ไฟฟ้าที่ไม่ได้ใช้ประโยชน์ (Reactive power) **มีสูตรคำนวณดังนี้**

$Qc = P.(\tan\varphi_1 - \tan\varphi 2)$; P = ค่ากิโลวัตต์ของโหลด

$Q = \sqrt{S^2-P^2}$ (VAr) มีหน่วยเป็นวาร์

การติดตั้งคาปาซิเตอร์ที่มีขนาด kVAr (capacitive kVAr) เท่ากับกำลังไฟฟ้าที่ไม่ได้ใช้ประโยชน์ (inductive kVAr) จะทำให้ PF ในระบบ = 1 ในทางปฏิบัติไม่นิยมปรับตั้งตัวควบคุม (PF Controller) ให้ PF = 1 เนื่องจากอาจทำให้เกิดกำลังไฟฟ้าคาปาซิเตอร์มากเกินไปและเกิดภาวะกิโลวาร์นำหน้าหรือเพาเวอร์แฟคเตอร์นำหน้า (Leading PF) เนื่องจากเครื่องควบคุมต้องใช้เวลาในการตัดต่อคาปาซิเตอร์เข้าหรือออกจากระบบ โดยมากผู้ผลิตจะตั้งค่าเป้าหมาย PF = 0.96 มาจากโรงงาน สูตรการคำนวณค่ากำลังไฟฟ้าของคาปาซิเตอร์ (Qc) เพื่อปรับปรุงแก้ไขเพาเวอร์แฟกเตอร์ให้สูงขึ้นจาก COSφ1 เป็น COSφ2 เป็นดังนี้

- กำลังไฟฟ้ารวมลดลง = 314 - 244 = 70 kVA

ความสูญเสียในระบบลดลงประมาณ 40 %

สูตรคำนวณพิกัดกำลังไฟฟ้าของคาปาซิเตอร์

- ในกรณีคาปาซิเตอร์ 1 เฟส (L-N)

$Q_C = U_C \cdot I_C$ (var)

$Q_C = U_C \cdot \frac{U_C}{X_C}$

X_C = (ความต้านทาน หรือ Reactance) = $\frac{1}{2\pi.f.C}$

$Q_C = U_C^2 \cdot 2\pi.f.C$

- ในกรณีคาปาซิเตอร์ 3-เฟส ต่อแบบเดลต้า (Dellta)

$Q_{TOT} = 3.U_L^2 \cdot 2\pi.f.C$

$C_{delta} = \frac{Q_{TOT}}{3.U_C^2 . 2\pi.f}$

ในกรณีที่คาปาซิเตอร์ = 50 kVAr, 400 V, 50 Hz.

$C_{delta} = \frac{50x1000x10^6}{3 . 400^2 . 2 . (22/7) .50} = 331$ uF ต่อเฟส

1.4 การคำนวณขนาดคาปาซิเตอร์

1.4.1 ในกรณีที่มีมอเตอร์ขนาด 220 KW ติดตั้งในโรงงานที่มีระบบไฟฟ้า 400 V, 3เฟส, PF = 0.7ถ้าต้องเพิ่ม PF เป็น 0.9 จะต้องใช้คาปาซิเตอร์ขนาดเท่าไร

ถ้าต้องเพิ่ม PF เป็น 0.9 จะต้องใช้คาปาซิเตอร์ขนาด?

จากข้อมูลนี้ = P = 220 KW

ปัจจุบัน cosφ1 = 0.7 ; tanφ1 = 1.02

ต้องการ cosφ2 = 0.9 ; tanφ1 = 0.48

Qc = P (tanφ1 - tanφ2)

Qc = 220x1000 (1.02 - 0.48) = 118.8 kVAr

ในกรณีนี้เราสามารถเลือกใช้คาปาซิเตอร์ขนาด 4 x 25 kVAr หรือ 2 x 50 kVAr หรือ 6 x 20 kVAr ที่ 400 V ค่า PF ที่สูงขึ้นช่วยลดกำลังไฟฟ้ารวม $S_1 - S_2$

- ก่อนติดตั้งคาปาซิเตอร์

กำลังไฟฟ้ารวม (Apparent Power) S_1 =

$P = \frac{220}{\cos\varphi_1} = \frac{220}{0.7} = 314$ kVA

- หลังติดตั้งคาปาซิเตอร์

กำลังไฟฟ้ารวม S2 = $\frac{P}{\cos\varphi_2} = \frac{220}{0.9} = 244$ kVA

1.4.2 การคำนวณหาค่าคาปาซิเตอร์โดยใช้ตารางสำเร็จเพื่อความสะดวกรวดเร็วในการคำนวณ Qc เราสามารถใช้ตารางการคำนวณ ดังนี้

เลือกค่า PF ปัจจุบัน $\cos\varphi 1 = 0.7$ ลากเส้นตามแนวนอนไปให้ตรงกับเป้าหมาย PF ที่ต้องการ คือ PF = 0.9 ค่าคงที่เท่ากับ 0.54

$Q_C = 220 \times 0.54 = 118.8$ kVAr

Existing power factor	Desired power factor $\cos\varphi_2$									
	1.0	0.98	0.96	0.94	0.92	0.90	0.85	0.80	0.75	0.70
$\cos\varphi_1$										
0.40	2.29	2.09	2.00	1.93	1.86	1.81	1.67	1.54	1.41	1.27
0.45	1.99	1.79	1.70	1.63	1.56	1.51	1.37	1.24	1.11	0.97
0.50	1.73	1.53	1.44	1.37	1.30	1.25	1.11-	0.98	0.85	0.71
0.55	1.52	1.32	1.23	1.16	1.09	1.04	0.90	0.77	0.64	0.50
0.60	1.33	1.13	1.04	0.97	0.90	0.85	0.71	0.58	0.45	0.31
0.65	1.17	0.97	0.88	0.81	0.74	0.69	0.55	0.42	0.29	0.15
0.70	1.02	0.82	0.73	0.66	0.59	0.54	0.40	0.27	0.14	-
0.75	0.88	0.68	0.59	0.52	0.45	0.40	0.26	0.13	-	-
0.80	0.75	0.55	0.46	0.39	0.32	0.27	0.13	-	-	-
0.85	0.62	0.42	0.33	0.26	0.19	0.14	-	-	-	-
0.90	0.48	0.28	0.19	0.12	0.05	-	-	-	-	-

1.4.3 การคำนวณค่า QC ที่แรงดันสูงขึ้น ในบางกรณีแรงดันไฟฟ้าอาจจะสูงมากกว่า 400 V ค่าแรงดันไฟฟ้าของคาปาซิเตอร์ควรจะสูงกว่าแรงดันไฟฟ้าในระบบ เพื่อยืดอายุใช้งานให้นานขึ้นโดยใช้สูตรคำนวณดังนี้

$$Q_{NEW} = QC \times \left[\frac{U_{NEW}}{U_R}\right]^2$$

กรณีที่ 1 : เปลี่ยน Qc 120 kVAr, 400 V เป็นขนาด 415 V

$$Q_{NEW} = 120 \left[\frac{415}{400}\right]^2 = 130 \text{ kVAr}$$

กรณีที่ 2 : เปลี่ยน Qc 120 kVAr, 400 V เป็นขนาด 440 V

$$Q_{NEW} = 120 \left[\frac{440}{400}\right]^2 = 145 \text{ kVAr}$$

การเลือกใช้คาปาซิเตอร์ทั้ง 3 ขนาด

- 120 kVAr, 400 V
- 130 kVAr, 415 V
- 145 kVAr, 440 V

จะได้เป้าหมาย PF = 0.9 เหมือนกัน

1.4.4 กฎทั่วไปในการคำนวณหาค่าคาปาซิเตอร์ในกรณีที่โรงงานยังสร้างไม่เสร็จ เราจะประมาณค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์

$\cos\varphi_1 = 0.7$ และตั้งเป้าหมาย $\cos\varphi_2 = 0.9$

ค่าคงที่ 0.54 $(\tan\varphi_1 - \tan\varphi_2)$ สามารถนำมาใช้ในการคำนวณหาค่าคาปาซิเตอร์

ยกตัวอย่างโรงงานแห่งหนึ่งจะใช้โหลดมอเตอร์ทั้งหมด 1000 KW ขนาดคาปาซิเตอร์ = 1000 x 0.54 = 540 kVAr ในกรณีที่โรงงานสร้างเสร็จแล้ว ต้องวัดหาค่ากำลังไฟฟ้าเป็น KW และ เพาเวอร์แฟกเตอร์ $\cos\varphi$ 1 ก่อนคำนวณหาค่าคาปาซิเตอร์