หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

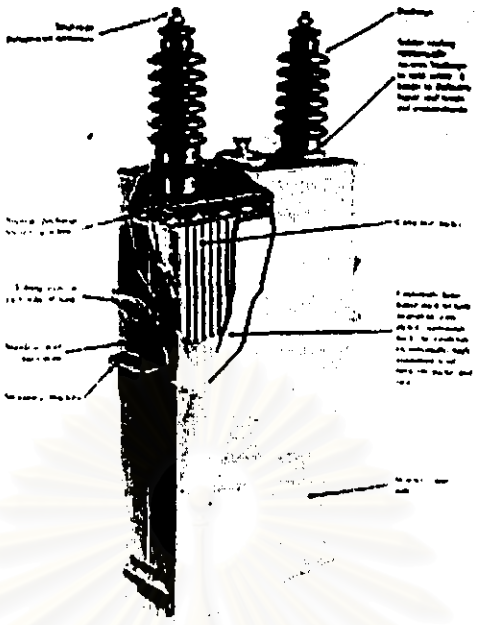
หลักการพื้นฐานของตัวเก็บประจุกำลัง และตัวประกอบกำลัง

การปรับปรุงประสิทธิภาพของระบบไฟฟ้ากำลังที่นิยมใช้ได้แก่ การปรับปรุงตัวประกอบกำลัง (Power factor correction) ของระบบให้สูงขึ้น หลักการของการปรับปรุงตัวประกอบกำลังโดยทั่วไปคือ การใช้อุปกรณ์ที่จ่ายกำลังรีแอกทีฟ (Reactive power) แทนการจ่ายจากระบบไฟฟ้า อุปกรณ์ดังกล่าวอาจเป็นเครื่องจักรซิงโครนัส (Synchronous machine) หรือตัวเก็บประจุกำลัง (Power Capacitor) สำหรับซิงโครนัสมอเตอร์เป็นอุปกรณ์ที่มีราคาแพง และมีความยุ่งยากในการนำมาใช้ จึงส่งผลให้ตัวเก็บประจุเป็นทางเลือกที่แพร่หลายมากกว่า ดังนั้นวัตถุประสงค์ของบทนี้จะเป็นการกล่าวถึงหลักการพื้นฐานของตัวเก็บประจุไฟฟ้า และทฤษฎีเกี่ยวกับกำลังงานไฟฟ้าของระบบจำหน่าย สำหรับใช้เป็นพื้นฐานเพื่อทำความเข้าใจในบทต่อ ๆ ไป

2.1 ตัวเก็บประจุกำลัง (Power Capacitors)

ตัวเก็บประจุเป็นอุปกรณ์พื้นฐานตัวหนึ่งในงานทางไฟฟ้า โครงสร้างโดยทั่วไปจะประกอบด้วยผิวโลหะสองแผ่นที่มีวัสดุไดอิเล็กตริก (Dielectric material) อยู่คั่นกลาง แต่ตัวเก็บประจุแบบกำลังต้องอยู่ในสภาวะที่มีความเครียดทางไฟฟ้าสูงกว่าตัวเก็บประจุแบบอื่น ๆ จึงทำให้ต้องใช้เทคโนโลยีในการผลิตที่สูง และประกอบด้วยอุปกรณ์ที่มีความซับซ้อน รูปที่ 2.1 แสดงภาพของตัวเก็บประจุกำลัง

ในอดีตตัวเก็บประจุกำลังส่วนใหญ่ถูกสร้างจากแผ่นกระดาษซึ่งมีผิวโลหะเคลือบ (Metallized Paper) คั่นด้วยชั้นกระดาษชุบน้ำยาเคมี และมีขนาดเพียง 15-25 kVAR ต่อมาได้มีการพัฒนาเทคโนโลยีในการผลิตไปมาก ปัจจุบันนี้สามารถผลิตตัวเก็บประจุได้ถึงขนาด 200-300 kVAR มีกำลังสูญเสียในตัวเก็บประจุต่ำ และสามารถนำไปใช้ในระบบจำหน่ายโดยมีราคาต่อกิโลวาร์(Cost per kVAR) ต่ำ

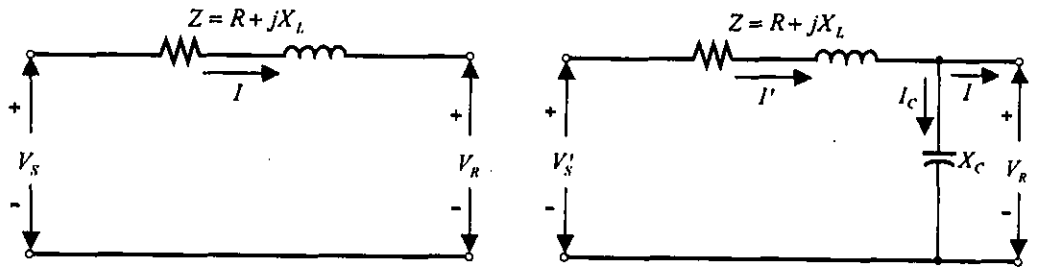


รูปที่ 2.1 ภาพตัดของตัวเก็บประจุกำลัง

2.2 ผลกระทบจากการต่อตัวเก็บประจุแบบขนาน

ความหมายของการต่อตัวเก็บประจุแบบขนานคือ การต่อตัวเก็บประจุขนานกับสายป้อนนั่นเอง ตัวเก็บประจุต่อขนานจะทำหน้าที่ในการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะของอินดักทีฟโหลด โดยการให้กระแสที่มีเฟสนำหน้าซึ่งจะหักล้างกับองค์ประกอบบางตัวที่มีเฟสล้าหลังของกระแสอินดักทีฟโหลด ณ จุดที่ทำการติดตั้งตัวเก็บประจุ ดังนั้นการต่อตัวเก็บประจุต่อขนานจึงมีผลเปรียบเสมือนกับเครื่องจักรซิงโครนัสในภาวะถูกกระตุ้นเกิน (Overexcited)

จากรูปที่ 2.2 เป็นการแสดงถึงการต่อตัวเก็บประจุต่อขนานเข้ากับสายป้อน พบว่าขนาดของกระแสไฟฟ้าในระบบลดลงรวมถึงค่าตัวประกอบกำลังได้รับการปรับปรุงให้ดีขึ้น ผลที่ตามมาคือแรงดันตกที่เกิดขึ้นระหว่างจุดต้นทางกับโหลดจะลดลง อย่างไรก็ดีตัวเก็บประจุต่อขนานจะไม่มีผลต่อกระแสหรือตัวประกอบกำลังที่จุดอื่นๆ รูปที่ 2.2 (ก) และ (ค) แสดงแผนภาพเส้นเดียว (Single-line Diagram) ของสายป้อน รวมทั้งเฟสเซอร์ไดอะแกรมของแรงดันก่อนทำการติดตั้งตัวเก็บประจุต่อขนาน ส่วนรูปที่ 2.2 (ข) และ (ง) แสดงแผนภาพหลังจากที่ทำการติดตั้งตัวเก็บประจุต่อขนานแล้ว



(ก) (ข)

(ค) (ง)

รูปที่ 2.2 แผนภาพเส้นเดียว และแผนภาพเฟสเซอร์ของวงจรสายป้อนที่มีตัวประกอบกำลังล้าหลัง
(ก) , (ค) คือแผนภาพเส้นเดียว และแผนภาพเฟสเซอร์ที่วงจรสายป้อนไม่มีตัวเก็บประจุกำลัง
(ข) , (ง) คือแผนภาพเส้นเดียว และแผนภาพเฟสเซอร์ที่วงจรสายป้อนมีตัวเก็บประจุกำลัง

ค่าแรงดันตกที่เกิดขึ้นในสายป้อนในภาวะที่ตัวประกอบกำลังไฟฟ้าล้าหลัง สามารถประมาณค่าได้ดังสมการที่ (2.1) [7]

Volt (2.1)

โดยที่

R = ค่าความต้านทานทั้งหมดของวงจรสายป้อน

X_L = ค่าอินดักทีฟรีแอกแตนซ์ทั้งหมดของวงจรสายป้อน

I_R = องค์ประกอบของกระแสส่วนจริง

I_X = องค์ประกอบของกระแสส่วนจินตภาพที่ล้าหลัง V_R เป็นมุม 90°

เมื่อทำการติดตั้งตัวเก็บประจุที่ปลายสายป้อนดังที่แสดงในรูป 2.2 (ข) จะทำให้แรงดันตกที่เกิดขึ้นสามารถคำนวณได้โดยประมาณตามสมการที่ (2.2) [7]

$$VD \approx I_R R + I_X X_L - I_c X_L \quad \text{Volt} \qquad (2.2)$$

โดยที่

I_c = กระแสส่วนจินตภาพที่เกิดจากตัวเก็บประจุซึ่งนำหน้า V_R เป็นมุม 90°

ความแตกต่างของค่าแรงดันตกที่คำนวณได้จากสมการที่(2.1) และสมการที่(2.2) คือค่าแรงดันเพิ่ม (Voltage Rise:VR) เนื่องจากการต่อตัวเก็บประจุแบบขนาน ซึ่งแสดงไว้ในสมการที่(2.3)

$$VR \approx I_c X_L \qquad \text{Volt} \qquad (2.3)$$

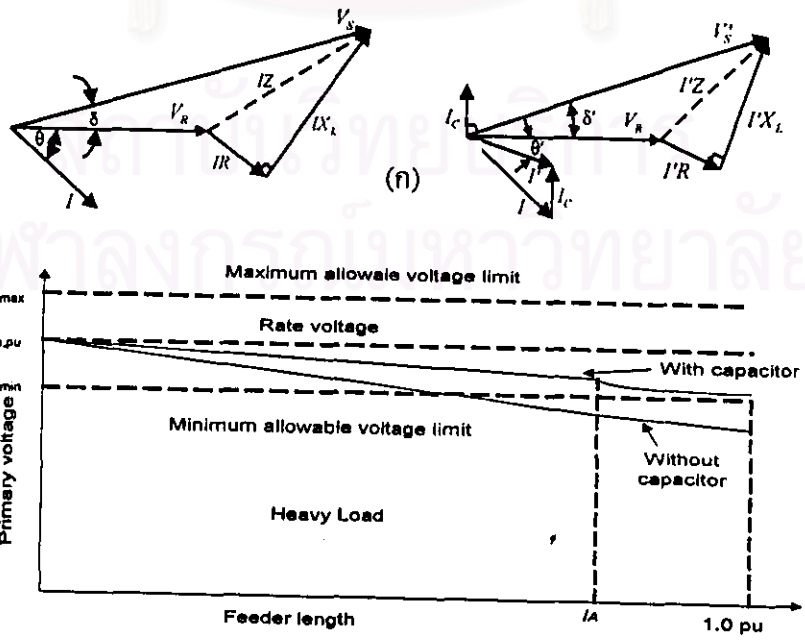
2.3 ชนิดของการติดตั้งตัวเก็บประจุ (Capacitor Installation Types)

ชนิดของการติดตั้งตัวเก็บประจุแบบขนานนั้น จะมีลักษณะดังนี้

การติดตั้งตัวเก็บประจุแบบคงที่ (Fixed capacitor) เป็นตัวเก็บประจุที่ติดตั้งเข้าระบบแล้ว จะจ่ายกำลังรีแอกทีฟเข้าระบบตลอดเวลา โดยไม่สามารถทำการควบคุมการจ่ายกำลังรีแอกทีฟของตัวเก็บประจุได้

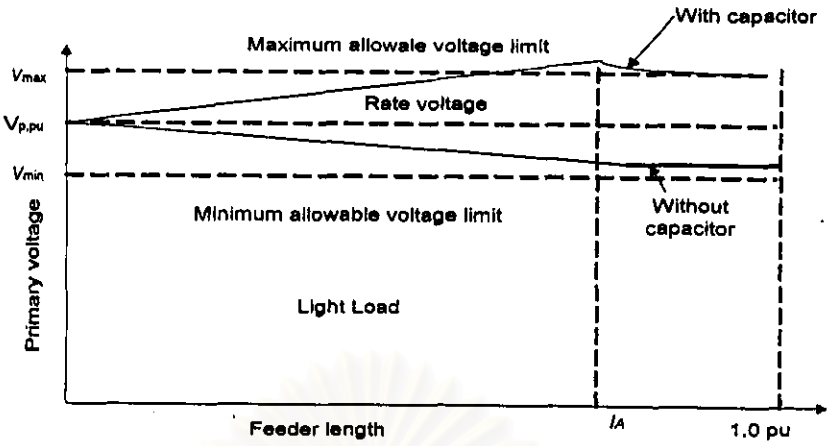
การติดตั้งตัวเก็บประจุแบบสวิตช์ (Switched capacitor) เป็นตัวเก็บประจุที่ติดตั้งเข้าระบบแล้วสามารถควบคุมการจ่ายกำลังรีแอกทีฟของตัวเก็บประจุได้โดยมีการสับเข้าออก กลไกการควบคุมตัวเก็บประจุแบบสวิตช์นั้นมีหลายอย่าง เช่น การควบคุมด้วยเวลา การควบคุมด้วยกระแสหรือแรงดันที่จุดติดตั้ง และรวมทั้งการควบคุมจากกลไกหลาย ๆ อย่าง

เนื่องจากตัวเก็บประจุแบบคงที่จะจ่ายกำลังรีแอกทีฟตลอดเวลา ดังนั้นจุดมุ่งหมายในการใช้ตัวเก็บประจุแบบคงที่ก็คือการชดเชยรีแอกทีฟโหลดในช่วงเวลาโหลดน้อย (Light reactive power load period) เพื่อไม่ให้เกิดการชดเชยเกิน (Over compensation) และเกิดปัญหาแรงดันเกินขึ้น ซึ่งปัญหาดังกล่าวสามารถแสดงให้เห็นได้ดังรูปที่ 2.3



(ก)

(ข)



(ค)

รูปที่ 2.3 ผลของแรงดันจากการติดตั้งตัวเก็บประจุแบบคงที่

(ก) แสดงถึงการกระจายของรีแอกทีฟโหลดบนสายป้อนอย่างสม่ำเสมอ

(ข) สภาวะที่ระบบมีรีแอกทีฟโหลดมาก

(ค) สภาวะที่ระบบมีรีแอกทีฟโหลดน้อย

จากรูปที่ 2.3(ข) ตัวเก็บประจุแบบคงที่จะจ่ายกำลังรีแอกทีฟชดเชยได้อย่างไม่มีปัญหาเนื่องจากอยู่ในสภาวะที่มีรีแอกทีฟโหลดเป็นจำนวนมาก ในขณะที่รูปที่ 2.3(ค) แสดงให้เห็นถึงการเกิดปัญหาแรงดันเกินขีดจำกัดบนของแรงดันที่ยอมรับได้ในขณะที่ระบบมีรีแอกทีฟโหลดต่ำ ดังนั้นตัวเก็บประจุแบบสวิตช์จึงถูกนำมาใช้เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว

2.4 ตัวประกอบกำลัง (Power Factor)

ตัวประกอบกำลัง (PF.) คือค่าโคซายน์(cosine) ของมุมระหว่างกระแส และแรงดันที่ตำแหน่งใด ๆ ของระบบไฟฟ้า ซึ่งอาจเป็นที่จุดโหลด หรือจุดส่งกำลังไฟฟ้าซึ่งสามารถแสดงให้เห็นถึงความหมายของตัวประกอบกำลังได้จากรูปที่ 2.4 (ก) และในรูปที่ 2.4 (ข) เป็นการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังปรากฏและกำลังจริง ดังนั้นในการหาตัวประกอบกำลังจึงสามารถหาได้จากค่าอัตราส่วนระหว่างกำลังไฟฟ้าจริงต่อกำลังไฟฟ้าปรากฏดังแสดงในสมการที่(2.4)

รูปที่ 2.4 แผนภาพเฟสเซอร์ และแผนภาพสามเหลี่ยมกำลัง

(ก) แผนภาพเฟสเซอร์ และ(ข) แผนภาพสามเหลี่ยมกำลัง

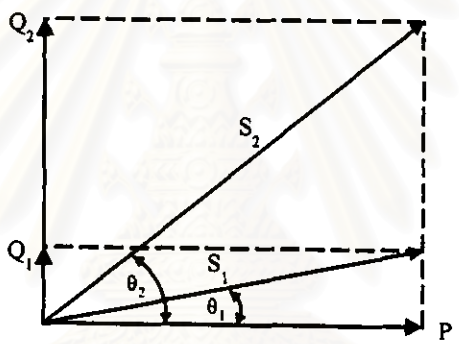
$$P.F. = \text{real power} / \text{apparent power} \quad (2.4)$$

$$P.F. = VI\cos\theta \ / VI \quad (2.5)$$

$$P.F. = \cos\theta \quad (2.6)$$

2.4.1 ผลเสียที่เกิดจากค่าตัวประกอบกำลังต่ำ

จากรูปที่ 2.5 เป็นการเปรียบเทียบให้เห็นถึงค่ากำลังไฟฟ้าปรากฏ 2 ค่าที่จ่ายกำลังไฟฟ้าจริงได้เท่ากัน โดยค่ากำลังปรากฏ S_1 และค่ากำลังปรากฏ S_2 สามารถเขียนอยู่ในรูปของจำนวนเชิงซ้อนได้เป็น $S_1 = P+jQ_1$ และ $S_2 = P+jQ_2$ ตามลำดับ ซึ่งเป็นการแสดงให้เห็นว่า S_2 จะต้องจ่ายกำลังรีแอกทีฟมากกว่า จึงทำให้ตัวประกอบกำลังของ S_2 ต่ำกว่า S_1 และมีมุม (θ) ที่กว้างกว่า



รูปที่ 2.5 รูปสามเหลี่ยมกำลังที่มีตัวประกอบกำลัง 2 ค่า

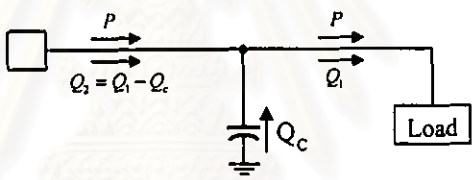
กำลังปรากฏเป็นผลคูณระหว่างแรงดันและกระแส จากรูปที่ 2.5 แสดงให้เห็นขนาดของ S_2 จะยาวกว่าขนาดของ S_1 ดังนั้นกระแสโหลดในภาวะ S_2 จะมีค่ามากกว่ากระแสโหลดในภาวะ S_1 ทำให้สามารถกล่าวได้ว่าในภาวะที่โหลดมีค่าตัวประกอบกำลังต่ำจะทำให้แหล่งจ่ายกำลังต้องใช้กระแสสูงกว่าภาวะที่โหลดมีตัวประกอบกำลังสูงในการจ่ายกำลังไฟฟ้าจริงที่เท่ากัน และจากที่กล่าวมาการที่โหลดมีค่าตัวประกอบกำลังต่ำจะทำให้เกิดผลเสียที่ตามมาคือ

1) เกิดแรงดันตก และกำลังสูญเสียในสาย
2) เกิดแรงดันตก และกำลังสูญเสียในหม้อแปลงไฟฟ้า
3) ทำให้หม้อแปลงจ่ายกำลังจริงได้น้อยกว่าที่ควรจะเป็น

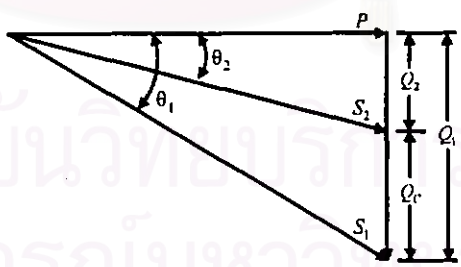
2.4.2 การปรับปรุงตัวประกอบกำลัง

จากผลเสียที่เกิดขึ้นดังที่ได้กล่าวมา การปรับปรุงตัวประกอบกำลังจึงเป็นสิ่งจำเป็น โดยทั่วไปการปรับปรุงตัวประกอบกำลังจะต้องพิจารณาว่าโหลดที่จะทำการปรับปรุงมีค่าตัวประกอบกำลังเป็นแบบใด แต่โดยทั่วไปแล้วตัวประกอบกำลังที่เกิดขึ้นในระบบจำหน่ายมักเป็นโหลดที่มีตัวประกอบกำลังแบบล้าหลัง ดังนั้นอุปกรณ์ที่ใช้จึงต้องเป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ช่วยในการจ่ายกำลังรีแอกทีฟเข้าระบบหรือเป็นอุปกรณ์ที่มีตัวประกอบกำลังนำหน้านั่นเอง

โดยทั่วไปอุปกรณ์ที่ใช้ในการปรับปรุงตัวประกอบกำลังแบบล้าหลังก็คือ ตัวเก็บประจุกำลังนั่นเอง โดยจะทำการต่อตัวเก็บประจุกำลังแบบขนานเข้ากับวงจรดังรูปที่ 2.6(ก) เนื่องจากตัวเก็บประจุกำลังเป็นอุปกรณ์ที่มีราคาถูก และใช้งานง่าย อีกทั้งเป็นอุปกรณ์ที่ไม่ต้องการบำรุงรักษามากเพราะเป็นอุปกรณ์ที่ไม่มีส่วนเคลื่อนไหวนั่นเอง และในปัจจุบันตัวเก็บประจุก็มีประสิทธิภาพมาก โดยมีกำลังสูญเสียต่ำกว่า 0.5 วัตต์/กิโลวาร์



(ก)



(ข)

รูปที่ 2.6 การติดตั้งตัวเก็บประจุแบบขนาน และแผนภาพสามเหลี่ยมกำลัง

(ก) แสดงการติดตั้งตัวเก็บประจุแบบขนานกับโหลด

(ข) แผนภาพสามเหลี่ยมกำลังหลังจากการต่อตัวเก็บประจุแบบขนาน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ในภาวะเริ่มต้นโหลดที่ต่ออยู่กับแหล่งจ่ายเป็นโหลดที่ต้องการกำลังรีแอกทีฟแบบล้าหลัง สมมติให้โหลดต้องการกำลังไฟฟ้าจริงเท่ากับ P และต้องการกำลังรีแอกทีฟเท่ากับ Q_1 ซึ่งทำให้ต้องการกำลังไฟฟ้าปรากฏเท่ากับ S_1 โดยที่

$$\cos\theta_1 = \frac{P}{S_1} \tag{2.7}$$

หรือ

$$\cos\theta_1 = \frac{P}{(P^2 + Q_1^2)^{1/2}} \tag{2.8}$$

เมื่อทำการติดตั้งตัวเก็บประจุแบบขนานที่โหลด ทำให้ค่าตัวประกอบกำลังเปลี่ยนจาก $\cos\theta_1$ เป็น $\cos\theta_2$ ซึ่งสามารถคำนวณได้ดังนี้

$$\cos\theta_2 = \frac{P}{S_2} \tag{2.9}$$

หรือ

$$\cos\theta_2 = \frac{P}{(P^2 + Q_2^2)^{1/2}} \tag{2.10}$$

หรือ

$$\cos\theta_2 = \frac{P}{[P^2 + (Q_1 - Q_c)^2]^{1/2}} \tag{2.11}$$

จากรูปที่ 2.6(ข) เป็นการแสดงให้เห็นว่าการติดตั้งตัวเก็บประจุจะทำให้โหลดนั้นต้องการกำลังรีแอกทีฟที่ลดลง ซึ่งส่งผลทำให้กำลังปรากฏนั้นลดลง ทำให้กระแสรวมทั้งหมดที่เกิดขึ้นในการส่งกำลังจริงลดลงด้วย ซึ่งผลจากการที่กระแสรวมลดลงทำให้แรงดันตก และกำลังสูญเสียที่เกิดขึ้นกับอุปกรณ์ต่าง ๆ ในระบบไฟฟ้าลดลง นอกจากนี้ยังทำให้อุปกรณ์ต่าง ๆ เหล่านั้นสามารถรองรับกับสภาวะโหลดที่เพิ่มขึ้นได้อีกด้วย

2.4.3 ประโยชน์ที่ได้รับจากการติดตั้งตัวเก็บประจุ

ผลดีที่ได้รับจากการติดตั้งตัวเก็บประจุ สามารถสรุปได้ดังนี้

1) ลดแรงดันตกในสายป้อน

ในระบบไฟฟ้ากำลังสามเฟส ค่าแรงดันตกระหว่างสาย (Line to Line Voltage Drop) ที่เกิดขึ้นเป็นไปดังสมการที่(2.11)

$$VD \approx \sqrt{3}\ I(R\cos\theta + X_L \sin\theta) \qquad (2.12)$$

โดยที่

I = ค่ากระแสในสาย

R = ค่าความต้านทานของสาย

X_L = ค่าอินดักทีฟรีแอกแตนซ์ของสาย

θ = มุมของตัวประกอบกำลัง

เมื่อทำการปรับปรุงตัวประกอบกำลังให้มีค่าสูงขึ้น จะทำให้ความต้องการกำลังรีแอกทีฟลดลง ซึ่งส่งผลทำให้กำลังปรากฏ และกระแสในสายลดลงด้วย ดังนั้นจากความสัมพันธ์ในสมการที่(2.11) จึงทำให้ค่าแรงดันตกระหว่างสายที่เกิดขึ้นลดลงด้วย

2) ลดค่ากำลังจริงสูญเสียในสายป้อน

เนื่องจากกำลังสูญเสียภายในสาย (P_L) จะแปรผันตามค่ากระแสที่ไหลผ่านสายยกกำลังสอง จากที่กล่าวมาในข้างต้นเมื่อตัวประกอบกำลังมีค่าสูงขึ้นจะทำให้ค่ากระแสมีค่าลดลง โดยสามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ากระแสกับตัวประกอบกำลังได้ดังสมการที่(2.13)

$$I = \frac{P}{\sqrt{3}\ V\cos\theta} \qquad (2.13)$$

โดยที่ค่า P เป็นค่ากำลังจริงที่โหลด และ V เป็นค่าแรงดันคร่อมโหลด เมื่อค่าทั้งสองคงที่ ค่ากระแสจะแปรผกผันกับค่าตัวประกอบกำลัง

ถ้าให้ค่า I_1 และค่า I_2 เป็นค่ากระแสก่อน และหลังการปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลัง โดยที่ค่า $P.F._1$ และค่า $P.F._2$ เป็นค่าตัวประกอบกำลังเดิม และตัวประกอบกำลังใหม่ ทำให้สามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังจริงสูญเสียเดิมกับค่ากำลังสูญเสียใหม่ได้ดังนี้

จากเดิมค่ากำลังจริงสูญเสียเดิมสามารถหาได้จาก

$$P_{L1} = I_1^2 R = \frac{P^2 R}{3\ V^2 (P.F_1)^2} \qquad (2.14)$$

กำลังจริงสูญเสียที่เกิดจากตัวประกอบกำลังใหม่

$$P_{L2} = I_2^2 R = \frac{P^2 R}{3\ V^2 (P.F_2)^2} \qquad (2.15)$$

ถ้ากำลังจริงของโหลด และแรงดันตกคร่อมโหลดมีค่าคงที่ ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังจริงสูญเสียเดิมกับค่ากำลังจริงสูญเสียใหม่จะเป็นไปตามสมการที่(2.16)

$$P_{L2} = \left[\frac{P.F_1}{P.F_2}\right]^2 P_{L1} \qquad (2.16)$$

ดังนั้นค่ากำลังสูญเสียลดลงโดยคิดเป็นร้อยละ จะเป็นไปตามสมการที่(2.17)

$$\text{Reduce Power Loss } (\%) = \left[1 - \left(\frac{P.F_1}{P.F_2}\right)^2\right] \times 100 \qquad (2.17)$$

3) ลดแรงดันตกที่เกิดขึ้นในหม้อแปลง

เมื่อทำการติดตั้งตัวเก็บประจุกำลัง จะทำให้ค่าตัวประกอบกำลังมีค่าสูงขึ้น ส่งผลทำให้แรงดันทางด้านทุติยภูมิมีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งสามารถคำนวณร้อยละของแรงดันที่เพิ่มขึ้นได้ดังสมการที่(2.18)

$$\text{ร้อยละของแรงดัน (เพิ่มขึ้น)} = \frac{\text{ขนาดของตัวเก็บประจุ} * \text{อิมพีแดนซ์ของหม้อแปลง}}{\text{ขนาดพิกัดของหม้อแปลง}} \qquad (2.18)$$

4) ลดกำลังสูญเสียในหม้อแปลง

กำลังสูญเสียในหม้อแปลงประกอบด้วย 2 ส่วนคือ

- กำลังสูญเสียไร้โหลด (No Load Loss) ซึ่งเป็นกำลังสูญเสียที่เกิดขึ้นในแกนเหล็ก (Core Loss) โดยกำลังสูญเสียไร้โหลดนี้มาจากกำลังสูญเสียจากกระแสไหลวน (Eddy Current Loss) และกำลังสูญเสียฮิสเตอรีซีส (Hysteresis Loss)

- กำลังสูญเสียจากโหลด (Load Loss) เป็นกำลังสูญเสียที่เกิดขึ้นในขดลวดทองแดงของหม้อแปลง (Copper Loss) โดยเป็นกำลังสูญเสียที่เกิดจากกระแสไฟฟ้าไหลผ่านนั่นเอง

เมื่อทำการปรับปรุงตัวประกอบกำลังให้มีค่าสูงขึ้น ค่ากระแสที่ไหลผ่านหม้อแปลงจะมีค่าลดลง ทำให้กำลังสูญเสียจากโหลดมีค่าลดลงนั่นเอง

5)ระบบไฟฟ้าสามารถรองรับโหลดได้มากขึ้น

เมื่อทำการปรับปรุงตัวประกอบกำลังให้มีค่าสูงขึ้น จะทำให้กระแสที่ทำการจ่ายในระบบไฟฟ้าลดลง ซึ่งมีผลทำให้ระบบสามารถรองรับการจ่ายไฟฟ้าได้มากขึ้น ทั้งนี้ค่าพิกัดของอุปกรณ์ต่าง ๆ ในระบบจะเป็นค่ากระแส (แอมแปร์) หรือค่ากำลังพิกัด (โวลท์-แอมแปร์) ถ้ากระแสไหลผ่านอุปกรณ์ต่าง ๆ ในระบบมีค่าลดลง ย่อมทำให้ระบบสามารถรองรับการจ่ายกำลังจริงของไฟฟ้าได้มากขึ้นด้วย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย