การปรับปรุงสมรรถนะของระบบไฟฟ้าด้วยการแก้ค่าองค์ประกอบกำลัง

Improvement the Performance of the Power System by Power Factor Correction

ร.อ.อุดมศักดิ์ บุญประเสริฐ
อาจารย์ฝ่ายศึกษา โรงเรียนนายเรือ

บทคัดย่อ

บทความนี้ได้นำเสนอความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับองค์ประกอบกำลังในระบบไฟฟ้ากระแสสลับ และได้กล่าวถึงผลกระทบที่เกิดขึ้นต่อสมรรถนะของระบบไฟฟ้า คุณประโยชน์ที่ได้รับจากการปรับแก้ค่าองค์ประกอบกำลังให้เพิ่มมากขึ้น พร้อมทั้งแสดงผลการวิเคราะห์ด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ และจำลองการทำงานของระบบโดยใช้ภาษาโปรแกรมแมทแล็ป (Matlab) ซึ่งเป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่นิยมใช้กันในวงการวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์ ซึ่งข้อสรุปที่ได้รับจากการวิเคราะห์ จะเป็นข้อมูลที่เป็นประโยชน์สำหรับการตัดสินใจของผู้บริหารโรงงาน หรือผู้ดูแลระบบไฟฟ้ากำลังต่อไป

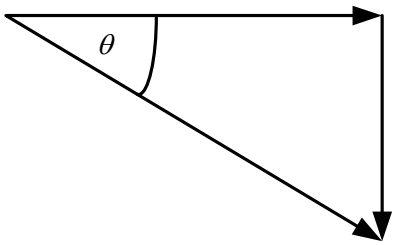
๑. กล่าวนำ

กำลังงานในระบบไฟฟ้ากระแสสลับแบ่งออกได้เป็น ๒ ส่วน [๓,๔] คือ **กำลังงานจริง** (Real Power หรือ Active Power: *P*) มีหน่วยเป็น วัตต์ (W) หรือ กิโลวัตต์ (kW) เป็นกำลังงานที่สามารถเปลี่ยนแปลงโดยอุปกรณ์ไฟฟ้าไปเป็นพลังงานรูปอื่นได้ เช่น ความร้อน แสงสว่าง หรือ กำลังงานกลสามารถสัมผัสได้ด้วยโสตประสาทของมนุษย์ และอีกส่วนหนึ่งคือ **กำลังงานรีแอคตีฟ** (Reactive Power: *Q*) มีหน่วยเป็น วาร์ (VAR) หรือ กิโลวาร์ (kVAR) เป็นกำลังงานที่ไม่สามารถเปลี่ยนไปเป็นพลังงานรูปอื่นได้ และไม่สามารถสัมผัสด้วยโสตประสาทของมนุษย์ได้ แต่อุปกรณ์ไฟฟ้าที่ต้องทำงานโดยอาศัยสนามแม่เหล็ก เช่น หม้อแปลงไฟฟ้า มอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ ต้องใช้กำลังงานรีแอคตีฟนี้เพื่อสร้างสนามแม่เหล็ก ผลรวมของกำลังงานทั้ง ๒ ส่วน นี้เรียกว่า **กำลังงานปรากฏ** (Apparent Power: *S*) มีหน่วยเป็น โวลต์แอมแปร์ (VA) หรือ กิโลโวลต์แอมแปร์ (kVA) อัตราส่วนของกำลังงานจริงต่อกำลังงานปรากฏ เรียกว่า “องค์ประกอบกำลัง หรือ เพาเวอร์แฟคเตอร์ (Power Factor: PF) ” [๕] ซึ่งเป็นตัวบ่งชี้ให้ทราบว่าอุปกรณ์ไฟฟ้าต่าง ๆ นั้น ใช้กำลังงานจริงเป็นสัดส่วนเท่าไร เมื่อเทียบกับกำลังงานปรากฏ ดังนั้นในระบบไฟฟ้าที่มีค่า PF สูง จะมีสมรรถนะหรือประสิทธิภาพในการทำงานดีกว่าระบบไฟฟ้าที่มีค่า PF ต่ำกว่า [๒,๖]

หัวข้อต่อไปที่จะกล่าวถึงในบทความนี้จะประกอบไปด้วย คำจำกัดความของเพาเวอร์แฟคเตอร์ คุณประโยชน์ที่รับจากการปรับเพิ่มค่า PF และสรุปผลการวิเคราะห์ในตอนท้ายของบทความ

๒. คำจำกัดความของเพาเวอร์แฟคเตอร์

เพาเวอร์แฟคเตอร์ (PF) คือ อัตราส่วนระหว่างกำลังงานที่ทำให้เกิดงานต่อกำลังงานปรากฏของอุปกรณ์หรือวงจรไฟฟ้าใด ๆ มีค่าตั้งแต่ ๐.๐๐ - ๑.๐๐ หรือ ๐ - ๑๐๐% แสดงความสัมพันธ์ในสมการ (๑)



รูปที่ ๑ ความสัมพันธ์ของกำลังงานปรากฏ กำลังงานที่ทำให้เกิดงาน และกำลังงานรีแอคตีฟ

$$\mathrm{PF} = \frac{P}{S} = \cos\theta \qquad (๑)$$

เฟสเซอร์ไดอะแกรมแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง กำลังงานปรากฏ กำลังงานที่ทำให้เกิดงาน และกำลังงานรีแอคตีฟแสดงดังรูปที่ ๑. ลักษณะของการเกิด PF อาจเป็นแบบล้าหลัง (Lagging) หรือนำหน้า (Leading) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับทิศทางการไหลของกำลังงานที่ทำให้เกิดงานและกำลังงานรีแอคตีฟ ถ้ากำลังงาน ๒ ส่วนนี้ไหลไปในทิศทางเดียวกันค่า PF ที่จุดนั้นจะเป็นแบบตามหลัง แต่ถ้าไหลในทิศตรงข้ามกันค่า PF ที่จุดนั้นจะเป็นแบบนำหน้า เช่น ตัวเก็บประจุเป็นแหล่งกำเนิดกำลังงานรีแอคตีฟทำให้มีค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์เป็นแบบนำหน้าเสมอ ส่วนมอเตอร์เหนี่ยวนำต้องการทั้งกำลังงานที่ทำให้เกิดงานและกำลังงานรีแอคตีฟ (ไหลเข้ามอเตอร์ทั้งสองส่วน) จึงมีค่า PF เป็นแบบล้าหลัง เป็นต้น

๓. ประโยชน์ของการปรับเพิ่มค่า PF

๓.๑ ลดกระแสไฟฟ้าที่ไหลอยู่ในวงจรไฟฟ้า

ค่ากระแส (I) ที่ใช้ในระบบไฟฟ้ากำลังแบบ ๓ เฟสจากแสดงได้ดังสมการ (๒)

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \times V \times \mathrm{PF}} \qquad (๒)$$

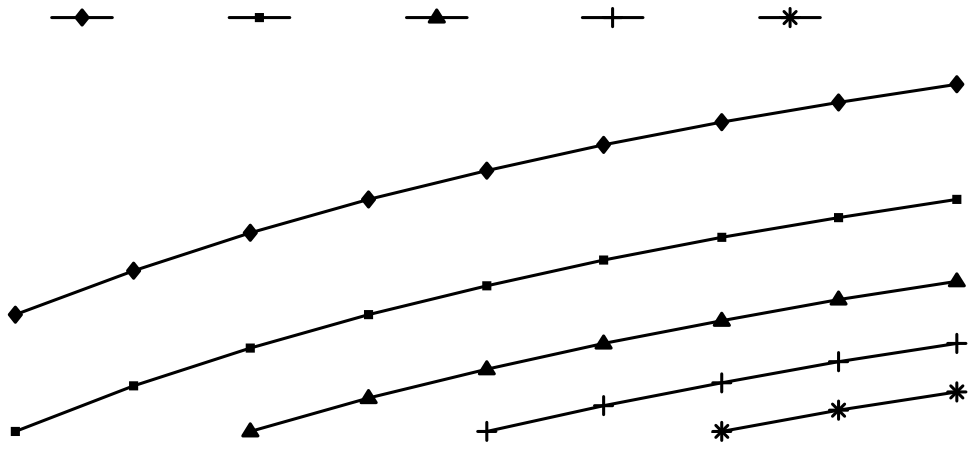
ให้ V = 380 โวลต์ และ P มีหน่วยเป็น kW จะได้

$$I = \frac{\text{kW} \times 1000}{\sqrt{3} \times 380 \times \text{PF}} \qquad (๓)$$

$$\frac{I}{\text{kW}} = \frac{1000}{\sqrt{3} \times 380 \times \text{PF}} = \frac{1.52}{\text{PF}} \qquad (๔)$$

$$\frac{\Delta I}{\text{kW}} = \frac{I_{old}}{\text{kW}} - \frac{I_{new}}{\text{kW}} = 1.52\left[\frac{1}{\text{PF}_{old}} - \frac{1}{\text{PF}_{new}}\right] \qquad (๕)$$

สมการ (๕) แสดงผลการวิเคราะห์ขนาดของกระแสไฟฟ้าที่ลดลงต่อการใช้กำลังงานจริงทุก ๆ ๑ กิโลวัตต์ เมื่อมีการปรับเพิ่มค่า PF



รูปที่ ๒ การลดลงของกระแสเมื่อมีการเพิ่มค่า PF ให้สูงขึ้น

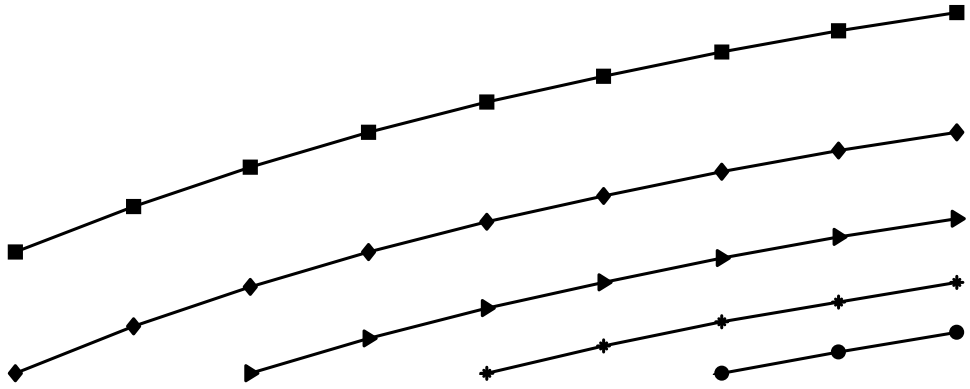
จากกราฟในรูปที่ ๒ จะเห็นได้ว่าหากมีการปรับค่า PF จากค่าน้อย ๆ ให้เพิ่มมากขึ้นค่ากระแสที่ลดลงจะมากขึ้นตามไปด้วย เช่น หากเพิ่มค่า PF จาก ๐.๕๐ เป็น ๐.๙๕ จะลดกระแสลงได้ 1.44 A/kW หากโรงงานใช้โหลดประมาณ 1,500 kW จะสามารถลดกระแสได้ถึง ๒,๑๖๐ แอมแปร์ ซึ่งมีผลให้ระบบไฟฟ้ารับภาระน้อยลง สายไฟ สะพานไฟ หรือเบรกเกอร์เย็นลงกว่าเดิม มีอายุการใช้งานยาวนานขึ้น ถ้าหากเป็นการสร้างโรงงานใหม่จะสามารถลดขนาดอุปกรณ์ที่ใช้รับ-จ่ายไฟฟ้าให้เล็กลงได้ เป็นการประหยัดต้นทุนได้อีกทางหนึ่ง

๓.๒ ระบบไฟฟ้าสามารถรับภาระโหลดได้มากขึ้น

เมื่อมีการปรับปรุงค่า PF ให้สูงขึ้น กระแสที่ไหลอยู่ในระบบระหว่างแหล่งจ่ายไฟกับจุดที่มีการปรับปรุงค่า PF จะมีค่าลดลง ทำให้สามารถเพิ่มโหลดเข้าไปในระบบได้มากขึ้น

การประมาณค่าของกำลังสำรองในระบบไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นจากการเพิ่มค่า PF ในเทอมของการใช้กำลังงานจริงทุก ๆ ๑ กิโลวัตต์ แสดงในสมการ (๖)

$$\therefore \quad \frac{\Delta \text{kVA}}{\text{kW}} = \frac{\text{kVA}_{old}}{\text{kW}} - \frac{\text{kVA}_{new}}{\text{kW}} = \frac{1}{\text{PF}_{old}} - \frac{1}{\text{PF}_{new}} \qquad (๖)$$

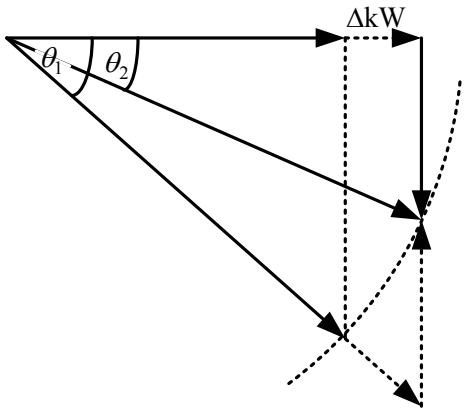


รูปที่ ๓ การเพิ่มขึ้นของกำลังสำรองเมื่อมีการเพิ่มค่า PF ให้สูงขึ้น

ประโยชน์ของการปรับเพิ่มค่า PF อีกประการก็คือ ทำให้กำลังสำรองในระบบเพิ่มมากขึ้น และส่งผลให้สามารถเพิ่มโหลดเข้าไปในระบบได้มากขึ้นตามไปด้วย จากรูปที่ ๓ และสมการ (๖) พบว่าหากเดิมมีการใช้โหลดอยู่ที่ 1000 kW ที่ PF = 0.6 และมีการเพิ่มค่า PF เป็น ๑.๐๐ จะสามารถเพิ่มโหลดได้อีก 0.67 kVA/kW หรือคิดเป็น 670 kVA

๓.๓ ระบบไฟฟ้าสามารถจ่ายโหลดที่เป็นกำลังที่ทำให้เกิดงานได้มากขึ้น

เมื่อมีการเพิ่มค่า PF จะทำให้ค่ามุมระหว่างกำลังงานจริงกับกำลังงานปรากฏลดลง และทำให้ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังงานทั้ง ๓ เปลี่ยนไป แสดงดังรูปที่ ๔

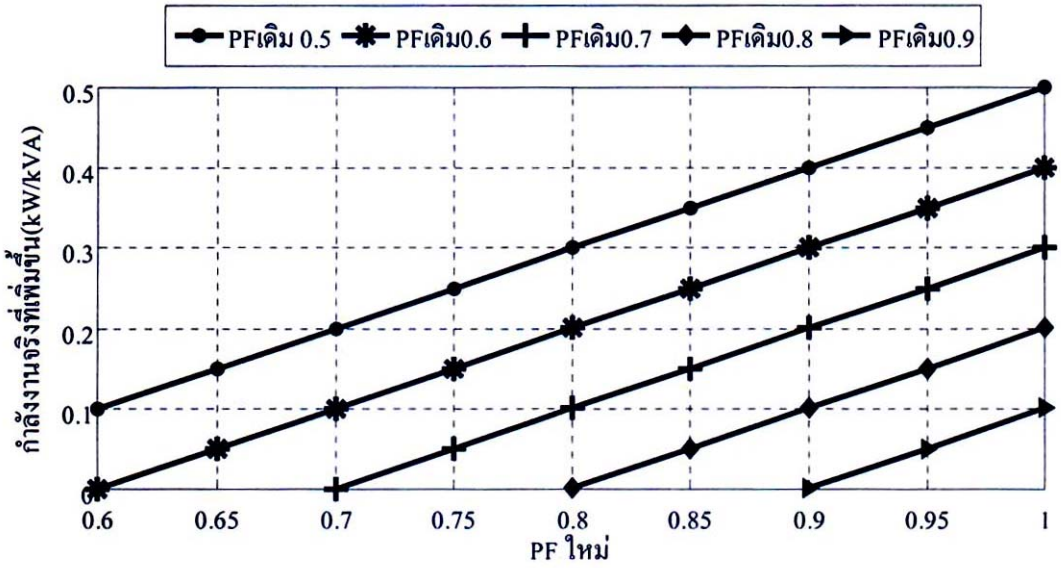


รูปที่ ๔ ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังงานจริงกับกำลังงานรีแอคตีฟเมื่อมีการเพิ่มค่า PF ให้สูงขึ้น

ให้ $kVA_{new} = kVA_{old}$; (ค่าพิกัดของแหล่งจ่าย)

$$\therefore \quad \frac{kW_{new}}{kVA} - \frac{kW_{old}}{kVA} = \frac{\Delta kW}{kVA} = PF_{new} - PF_{old} \qquad (๗)$$

สมการที่ (๗) แสดงการจ่ายโหลดที่เป็นกำลังงานจริงได้เพิ่มมากขึ้นในเทอมของกำลังงานปรากฏ



รูปที่ ๕ การเพิ่มขึ้นของกำลังงานจริงเมื่อมีการเพิ่มค่า PF ให้สูงขึ้น

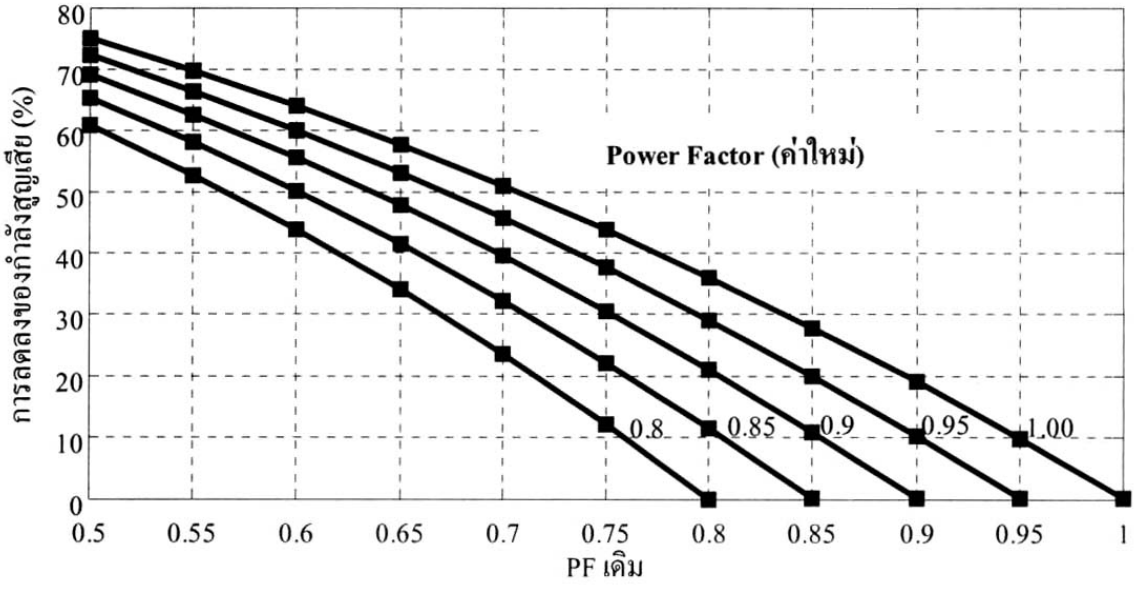
จากสมการ (๗) และรูปที่ ๕ หากมีการเพิ่มค่า PF จากเดิม ๐.๖ ไปเป็น ๐.๙๕ จะสามารถเพิ่มโหลดได้ ๐.๓๕ kW/kVA หรือ ๓๕๐ kW หากใช้หม้อแปลง 1000 kVA หรือ ๓๕.๐ %

๓.๔ ลดกำลังงานสูญเสียในระบบไฟฟ้า

ระบบไฟฟ้าในโรงงานอุตสาหกรรมที่มีการติดตั้งมานาน และมีสายป้อนยาวมาก ๆ หรือในระบบไฟฟ้าเพื่อการเกษตร เช่น มีการสูบน้ำกลางที่นาต้องมีการเดินสายป้อนเป็นระยะทางไกล ๆ เปอร์เซ็นต์ของการสูญเสียที่ลดลงที่ได้จากการเพิ่มค่า PF พิจารณาได้จากสมการ (๘)

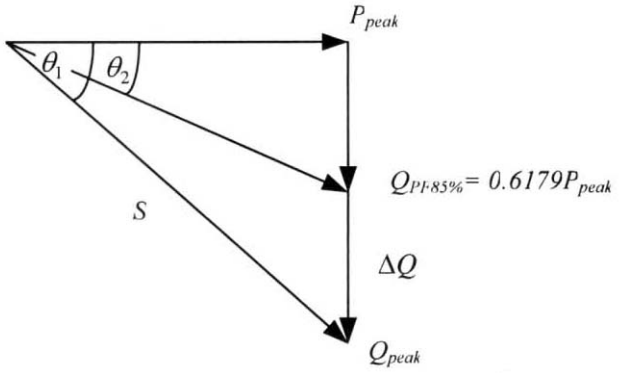
$$\%\Delta P_{loss} = 100 \times \left[1 - \left(\frac{\mathrm{PF}_{old}}{\mathrm{PF}_{new}} \right)^2 \right] \qquad (๘)$$

การลดกำลังสูญเสียในระบบไฟฟ้าเป็นการประหยัดค่าไฟฟ้าได้อีกทางหนึ่งด้วย จากสมการ (๘) และรูปที่ ๖ หากมีการเพิ่มค่า PF จากเดิม ๐.๖ เป็น ๐.๙๕ จะสามารถลดกำลังสูญเสียลงได้ถึง ๖๐.๑ %



รูปที่ ๖ การลดลงของกำลังสูญเสียเมื่อมีการเพิ่มค่า PF ให้สูงขึ้น

๓.๕ ลดค่าไฟฟ้า (ส่วนที่เป็นค่าปรับจาก PF ต่ำกว่ากำหนด)



รูปที่ ๗ ค่าปรับ PF คิดเฉพาะกำลังงานรีแอคตีฟในส่วนที่เกินกำหนด

สมการแสดงค่าปรับ PF แสดงในสมการ (๙)

$$C_{\mathrm{PF}} = PFC \times \Delta Q$$

$$C_{\mathrm{PF}} = PFC \times [Q_{peak} - ๐.๖๑๙๗P_{peak}] \qquad (๙)$$

เมื่อ

C_{PF} = ค่าปรับ PF (บาท)

PFC = อัตราค่าปรับ PF (บาท/kVA)

P_{peak} = ค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยใน ๑๕ นาทีที่สูงสุด

Q_{peak} = ค่าความต้องการกำลังงานรีแอคตีฟเฉลี่ยใน ๑๕ นาทีที่สูงสุด

$Q_{\mathrm{PF}๘๕\%}$ = กำลังงานรีแอคตีฟที่ PF = ๘๕%

ΔQ = กำลังรีแอคตีฟส่วนเกินที่ต้องเสียค่าปรับ

จากรูปที่ ๗ และสมการ (๙) หากสามารถเพิ่มค่า PF ได้ไม่ต่ำกว่า ๘๕% หรือ ใช้กำลังงานรีแอคตีฟไม่เกิน ๐.๖๑๗๙ เท่าของค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูงสุด ก็ไม่ต้องเสียค่าปรับให้กับการไฟฟ้า รายละเอียดของหลักเกณฑ์การคิดค่าไฟฟ้าสามารถดูได้จากเว็บไซต์ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค [๑]

๔. สรุปคุณประโยชน์ที่ได้จากการปรับแก้ค่า PF

๔.๑ ลดกระแสไฟฟ้าในวงจร ตั้งแต่แหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าจนถึงตำแหน่งที่ติดตั้งตัวเก็บประจุกำลัง

๔.๒ ลดกำลังสูญเสียในระบบไฟฟ้าลง ซึ่งจะมีผลดีต่ออุปกรณ์จ่ายกำลังไฟฟ้าต่าง ๆ เช่น หม้อแปลงไฟฟ้า สายเคเบิล สวิตช์ ฯลฯ ทำให้อุปกรณ์ดังกล่าวมีอายุการใช้งานได้ยาวนานขึ้น

๔.๓ ลดแรงดันตกในระบบไฟฟ้าลง ทำให้ระดับของแรงดันไฟฟ้ามีความมั่นคงมากขึ้น แรงดันไฟฟ้าที่ตำแหน่งปลายสุดของสายป้อนไม่ตกมาก ทำให้อุปกรณ์ไฟฟ้าที่ต่ออยู่ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

๔.๔ เพิ่มความสามารถในการรับหรือจ่ายกำลังไฟฟ้าของระบบไฟฟ้าให้สูงขึ้น ทำให้สามารถขยายการใช้ไฟฟ้า หรือเพิ่มโหลดได้โดยไม่จำเป็นต้องเพิ่มขนาดของอุปกรณ์รับจ่ายกำลังไฟฟ้า

๔.๕ ลดค่าไฟฟ้าที่ต้องจ่ายให้กับการไฟฟ้า [๑] ซึ่งค่าไฟฟ้าที่จ่ายในแต่ละเดือนจะประกอบไปด้วย ๓ ส่วนคือ ค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้า (Demand Charge) ค่าพลังงานไฟฟ้า (Energy Charge) เฉพาะส่วนที่เป็นพลังงานสูญเสียลดลง และค่าปรับเพาเวอร์แฟคเตอร์ เมื่อมีค่าต่ำกว่า ๐.๘๕

๕. เอกสารอ้างอิง

[1] การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค. **“วิธีการคิดค่าไฟฟ้าอัตรา TOD, TOU, Power Factor และ ค่า Ft ในธุรกิจขนาดใหญ่,”** http://www.pea.co.th/rates/rates_tou_tod_ft.htm

[2] Cividino L. “**Power factor, harmonic distortion, causes, effects and considerations**,” *INTELEC'92 14th Intl. Conf. on Telecommunications Energy 1992*, pp.506-513, Oct. ๑๙๙๒.

[3] Emery F.T. **“Power factor measurements on high voltage stator bars and stator windings,”** *IEEE Intl. Symp. on Electrical Insulation 2002*, pp.502-505, Apr. 2002.

[4] Emery F.T. **“Basics of power factor measurements on high voltage stator bars and stator windings**,” *IEEE Electrical Insulation Magazine,* vol. 20, issue 31, pp.40-45, May-Jun. 2004.

[5] Filipski P.S. Baghzouz Y., Cox M.D., “**Discussion of power definitions contained in the IEEE Dictionary,”** *IEEE Trans. on Power Delivery,* vol. 9, issue 3, pp.1237-1244,, Jul. 1994.

[6] Yacamini R. **“Power system harmonics: Part ๓. Problems caused by distorted supplies,”** *Power Engineering Journal*, vol.9, issue 5, pp.233-238, Oct. 1995.