

การจ่ายโหลดที่เหมาะสมด้วยวิธีการแลมบ์ดาร่วมกับวิธีการเคลื่อนตัวของฝูงอนุภาค

Optimal Power Dispatch Using Hybrid Lambda-PSO Technique

พัฒน อิงคะวะระ¹, ชาย ชมภูอินไหว^{2*}

Pattana Engkawara¹, Chai chompoo-inwai^{2*}

Received : 15 October 2012 ; Accepted : 10 December 2012

บทคัดย่อ

บทความวิจัยนี้ได้นำเสนอวิธีการหาค่าความเหมาะสมของการจ่ายโหลดซึ่งใช้วิธีการทางแลมบ์ดาเป็นวิธีอ้างอิงและทำการประยุกต์เข้ากับวิธีการเคลื่อนตัวของฝูงอนุภาคโดยสามารถเลือกฟังก์ชันวัตถุประสงค์ตามเงื่อนไขที่ต้องการ คือ เลือกฟังก์ชันวัตถุประสงค์ค่าใช้จ่ายที่ต่ำกว่าหรือเลือกฟังก์ชันวัตถุประสงค์ความสูญเสียในระบบให้มีค่าต่ำกว่าวิธีอ้างอิงเพื่อที่จะให้การลู่เข้าหาคำตอบเป็นไปตามแต่ละวัตถุประสงค์ของการจ่ายโหลด ได้นำมาซึ่งผลการหาค่าการจ่ายกำลังไฟฟ้าที่ทำให้ต้นทุนในการผลิตที่ต่ำเปรียบเทียบกับกรจ่ายกำลังไฟฟ้าที่ทำให้กำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบต่ำ ซึ่งจะทำให้ทราบว่าเมื่อทำให้ต้นทุนในการผลิตต่ำจะทำให้ค่าความสูญเสียในระบบเป็นอย่างไร ในทางกลับกัน ถ้าทำให้ค่าความสูญเสียในระบบต่ำต้นทุนในการผลิตจะเพิ่มขึ้นหรือลดลงอย่างไร นอกจากผลการเปรียบเทียบดังกล่าวแล้วได้ใช้วิธีนิวตันราฟสันทำการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้า (Power Flow Analysis) และในส่วนการหาคำตอบด้วยวิธีแลมบ์ดาได้ทำการหาค่าสัมประสิทธิ์กำลังสูญเสียในระบบ (B Losses coefficients) รวมอยู่ด้วยในการศึกษานี้จะใช้ข้อมูลของระบบไฟฟ้า 26 Bus ที่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 6 ตัว เป็นข้อมูลที่ทำมาทำการทดสอบ

คำสำคัญ: การจ่ายโหลดอย่างประหยัด การประยุกต์ฝูงอนุภาคในการหาค่าเหมาะสม การวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้า

Abstract

This paper proposes the methodology of economic load dispatching, which includes transmission losses constraint. The newly proposed method employs the hybrid technique of Lambda iteration and Particle Swarm Optimization (PSO). The new technique is capable of two objective function selections which are to minimize cost function and to minimize total system losses. More over this paper includes the power flow analysis and finding of B loss coefficients. All results have been verified by a 26-bus tested system with 6 generation units.

Keywords: economic dispatch, particle swarm optimization, power flow Analysis

บทนำ

สิ่งที่จะต้องคำนึงถึงสำหรับการจ่ายโหลดในระบบไฟฟ้ากำลัง นอกจากจะทำให้ค่าใช้จ่ายเชื้อเพลิงมีค่าต่ำแล้วอีกอย่างที่จะต้องให้ความสำคัญก็คือการทำให้ค่าความสูญเสียในระบบมีค่าต่ำด้วยแต่ตามความเป็นจริงแล้วอาจจะไม่สามารถทำได้ตามวัตถุประสงค์ทั้งสองประการในเวลาเดียวกันเนื่องจาก objective function อาจจะไม่เป็นไปในทิศทางเดียวกันก็ได้ ซึ่ง

จากเหตุผลดังกล่าวจึงได้มีแนวคิดที่จะทำการพัฒนาโปรแกรมให้สามารถกำหนดฟังก์ชันเป้าหมายของแต่ละวัตถุประสงค์เพื่อเป็นทางเลือกในการวิเคราะห์หาค่าความเหมาะสมของการจ่ายโหลด ในเบื้องต้นจะใช้วิธีทางแลมบ์ดาซึ่งเป็นวิธีการดั้งเดิมทำการหาคำตอบของกำลังไฟฟ้าแอกทีฟ (P) ค่าใช้จ่ายรวมทั้งระบบและค่าใช้จ่ายเชื้อเพลิงรวมทั้งระบบโดยจะเก็บคำตอบของกำลังไฟฟ้าแอกทีฟ (P_i) ไว้เพื่อใช้รวมเป็น

¹ นิสิตปริญญาโท, ²ผู้ช่วยศาสตราจารย์, คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ถนนฉลองกรุง แขวงลาดกระบัง เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520 ,

¹ Master degree student, 2 Assist. Prof., Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Chalongsong Rd. Ladkrabang, Bangkok Thailand 10520

* Corresponding author; Pattana Engkawara, Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang , Chalongsong Rd. Ladkrabang, Bangkok Thailand 10520. ranukmit@gmail.com,

ตำแหน่งของฝูงอนุภาคเริ่มต้นในการลู่เข้าหาคำตอบ ของฟังก์ชันเป้าหมายแต่ละฟังก์ชันซึ่งเป็นวิธีการในการวิเคราะห์หาค่าความเหมาะสมของการจ่ายโหลด ดังนั้นบทความนี้ได้นำเสนอการวิเคราะห์หาค่าความเหมาะสมของการจ่ายโหลดระหว่างวิธีหาค่าใช้จ่ายต่ำสุด ($\min C_i$) และวิธีหาค่าความสูญเสียในระบบต่ำสุด ($\min P_L$) ใช้ระบบ 26bus 6 Generator ในการทดสอบ นอกจากนี้ยังทำการทดสอบเพิ่มเติมโดยทำการเพิ่มการจ่ายโหลดในกรณีฐานขึ้นทีละขั้น โดยแบ่งเป็นขั้นละประมาณ 5% จากภาระโหลดเริ่มต้น ซึ่งรายละเอียดที่จะนำเสนอในบทความนี้ในเบื้องต้นจะนำหลักการของการจ่ายโหลดอย่างประหยัดด้วยวิธีการทางแลมบ์ดาซึ่งเป็นวิธีการหาคำตอบแบบดั้งเดิมมาอธิบายโดยใช้สมการกับแผนผังการทำงานของโปรแกรมการคำนวณประกอบกันตามด้วย ในส่วนของการพัฒนาโปรแกรมได้ทำการประยุกต์วิธีการทางแลมบ์ดาเข้ากับ PSO ทั้งสองวิธีเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการหาคำตอบและการแสดงผลที่รวดเร็วเห็นผลเปรียบเทียบชัดเจนดังแสดงในรายละเอียด ซึ่งเมื่อทำการป้อนความต้องการกำลังไฟฟ้าแล้วทำการรันโปรแกรม โปรแกรมจะแสดงผลเปรียบเทียบแรงดันในแต่ละบัส กำลังการผลิตและค่าใช้จ่ายในการผลิต อีกทั้งได้แจกแจงค่าความสูญเสียในสายส่งแต่ละเส้น และแสดงทิศทางการไหลของกำลังไฟฟ้าที่ง่ายต่อการทำความเข้าใจของผู้ใช้โปรแกรม ระหว่างวิธีการทางแลมบ์ดาและวิธี PSO ออกมาพร้อมกันทั้งสองวิธี เพื่อทำการวิเคราะห์หาค่าความเหมาะสมของการจ่ายโหลด

ปัญหาการจ่ายโหลดอย่างประหยัด

ปัญหาการจ่ายโหลดอย่างประหยัดคือการทำให้ต้นทุนในการผลิต C_i มีค่าต่ำเมื่อ C_i คือฟังก์ชันของแต่ละโรงจักร

$$C_i = \sum_{i=1}^{n_g} C_i$$

$$= \sum_{i=1}^{n_g} \alpha_i + \beta_i P_i + \gamma_i P_i^2 \quad (1)$$

และกำลังไฟฟ้าที่ผลิตของระบบทั้งหมดเท่ากับกำลังที่ต้องการของโหลดรวมกับกำลังสูญเสียของสายส่ง

$$\sum_{i=1}^{n_g} P_i = P_D + P_L \quad (2)$$

ซึ่งจะต้องพิจารณาเงื่อนไขขอบเขตของกำลังไฟฟ้าแยกทีละ

$$P_{i(\min)} \leq P_i \leq P_{i(\max)} \quad (3)$$

จากเงื่อนไขข้อจำกัดที่ได้นำมาเขียนในสมการ Lagrange Multipliers

$$L = C_i + \lambda \left(P_D + P_L - \sum_{i=1}^{n_g} P_i \right) + \sum_{i=1}^{n_g} \mu_{i(\max)} (P_i - P_{i(\max)}) + \sum_{i=1}^{n_g} \mu_{i(\min)} (P_i - P_{i(\min)}) \quad (4)$$

ใช้ทฤษฎี Kuhn-Tucker หาค่า ณ.จุดที่มีสภาวะที่ทำให้มีต้นทุนในการผลิตต่ำ

$$\frac{\partial L}{\partial P_i} = \frac{\partial C_i}{\partial P_i} + \lambda \left(0 + \frac{\partial P_L}{\partial P_i} - 1 \right) = 0 \text{ โดยที่ } \frac{\partial C_i}{\partial P_i} = \frac{dC_i}{dP_i} \quad (5)$$

ดังนั้นจะได้รูปแบบการจ่ายโหลดที่เหมาะสมคือ

$$\frac{dC_i}{dP_i} = \lambda \frac{\partial P_L}{\partial P_i} = \lambda \quad i = 1, \dots, n_g \quad (6)$$

เมื่อทำการหาอนุพันธ์ของสมการที่ (6) แล้วจะได้

$$\beta_i + 2\gamma_i P_i + 2\lambda \sum_{j=1}^{n_g} B_{ij} P_j + B_{0i} \lambda = \lambda \quad (7)$$

ทำการหารสมการที่ (7) ด้วย 2λ

$$\left(\frac{\gamma_i}{\lambda} + B_{ii} \right) P_i + \sum_{j=1, j \neq i}^{n_g} B_{ij} P_j = \frac{1}{2} + \left(1 - B_{0i} - \frac{\beta_i}{\lambda} \right) \quad (8)$$

สมการ (8) เขียนให้อยู่ในรูปของเมตริกซ์ฟอร์ม

$$\begin{bmatrix} \frac{\gamma_1}{\lambda} + B_{11} & B_{12} & \dots & B_{1ng} \\ B_{21} & \frac{\gamma_2}{\lambda} + B_{22} & \dots & B_{2ng} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ B_{ng1} & B_{ng2} & \dots & \frac{\gamma_{ng}}{\lambda} + B_{ngng} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_1 \\ P_2 \\ \vdots \\ P_{ng} \end{bmatrix} = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} 1 - B_{01} - \frac{\beta_1}{\lambda} \\ 1 - B_{02} - \frac{\beta_2}{\lambda} \\ \vdots \\ 1 - B_{0ng} - \frac{\beta_{ng}}{\lambda} \end{bmatrix} \quad (9)$$

ใช้สมการที่ (8) ในการวางแผนการผลิตของโรงจักรไฟฟ้าที่ i โดยการกำหนดค่าเริ่มต้น $(\lambda^{(0)})$ ซึ่งการคำนวณนี้จะใช้การวนรอบ ดังนั้นกำลังการผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส P_i ในแต่ละรอบจะแสดงจากสมการต่อไปนี้

$$P_i^{(k)} = \frac{\lambda^{(k)}(1-B_{0i}) - \beta_i - 2\lambda^{(k)} \sum_{j \neq i} B_{ij} P_j^{(k)}}{2(\gamma_i + \lambda^{(k)} B_{ii})} \quad (10)$$

แทนสมการ (10) ใน (2)

$$\sum_{i=1}^{n_g} \frac{\lambda^{(k)}(1-B_{0i}) - \beta_i - 2\lambda^{(k)} \sum_{j \neq i} B_{ij} P_j^{(k)}}{2(\gamma_i + \lambda^{(k)} B_{ii})} = P_D + P_L^{(k)}$$

หรือ

$$f(\lambda)^{(k)} = P_D + P_L^{(k)} \quad (11)$$

สมการ (11) ด้านซ้ายอยู่ในรูปของสมการอนุกรมเทเลอร์ ซึ่งอยู่ในรูปฟังก์ชันของ $\lambda^{(k)}$ ดังนั้นถ้าหากไม่คิดเทอมที่มีกำลังสูงๆ (higher-order) ผลที่ได้

$$f(\lambda)^{(k)} + \left(\frac{df(\lambda)}{d\lambda} \right)^{(k)} \Delta\lambda^{(k)} = P_D + P_L^{(k)} \quad (12)$$

หรือ

$$\Delta\lambda^{(k)} = \frac{\Delta P^{(k)}}{\left(\frac{df(\lambda)}{d\lambda} \right)^{(k)}} = \frac{\Delta P^{(k)}}{\sum \left(\frac{dP_i}{d\lambda} \right)^{(k)}} \quad (13)$$

เมื่อ

$$\sum_{i=1}^{n_g} \left(\frac{\partial P_i}{\partial \lambda} \right)^{(k)} = \sum_{i=1}^{n_g} \frac{\gamma_i(1-B_{0i}) + B_{ii}\beta_i - 2\lambda^{(k)} \sum_{j \neq i} B_{ij} P_j^{(k)}}{2(\gamma_i + \lambda^{(k)} B_{ii})^2} \quad (14)$$

ดังนั้นการหาต้นทุนส่วนเพิ่มของแต่ละรอบได้ดังนี้

$$(\lambda)^{(k+1)} = \lambda^{(k)} + \Delta\lambda^{(k)} \quad (15)$$

เมื่อทดสอบเปรียบเทียบค่าแตกต่างของกำลังผลิตแต่ละรอบจะต้องมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.001

$$\Delta P^{(k)} = P_D + P_L^{(k)} - \sum_{i=1}^{n_g} P_i^{(k)} \quad (1)$$

เมื่อ C_i คือ ต้นทุนในการผลิตกำลังงานไฟฟ้ารวม (\$/h),

C_i คือ ต้นทุนในการผลิตกำลังงานไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส i (\$/h),

$\alpha_i, \beta_i, \gamma_i$ คือ สัมประสิทธิ์ราคาเชื้อเพลิงเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องที่ i

P_i คือ กำลังไฟฟ้าจริงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องที่ i

P_D คือ กำลังไฟฟ้าที่โหลดต้องการ(MW)

P_L คือ กำลังไฟฟ้าสูญเสียอันเนื่องมาจากสายส่ง (MW)

$P_{i(\max)}$ คือ ขอบเขตสูงสุดของกำลังไฟฟ้าที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าตัวที่ i (MW),

$P_{i(\min)}$ คือ ขอบเขตต่ำสุดของกำลังไฟฟ้าที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าตัวที่ i (MW),

I คือ ค่าใช้จ่ายของเชื้อเพลิงต่อหนึ่งหน่วยการผลิต (\$/MW-hr)

B_{ij} คือ สมาชิกตัวที่ ij ของเมตริกซ์สัมประสิทธิ์ความสูญเสีย

B_{0i} คือ สมาชิกตัวที่ i ของเมตริกซ์สัมประสิทธิ์ความสูญเสีย

B_{00} คือ ค่าคงที่ของสัมประสิทธิ์ความสูญเสีย

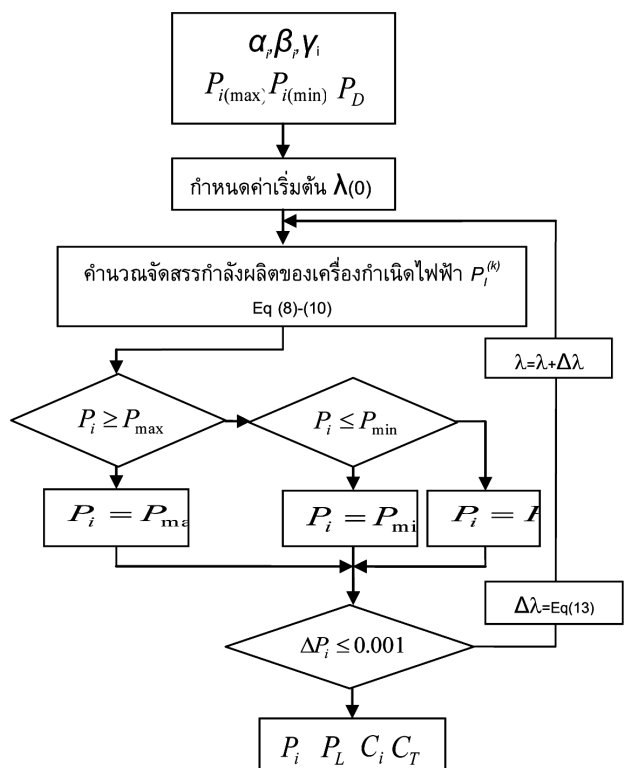


Figure 1 The process of the method find the load that economical

การประยุกต์โหลดโวลต์โวลต์รวมกับการจ่ายโหลดอย่างประหยัด

เมื่อคิดถึงการจ่ายโหลดอย่างประหยัดระหว่างโรงจักรไฟฟ้าให้ประหยัดที่สุดจำเป็นต้องทราบความสูญเสียและอัตราความสูญเสียในสายส่ง ซึ่งความสูญเสียของสายส่งอาจหาได้จากผลการศึกษาการไหลของกำลังไฟฟ้า (Load Flow) [1-3] จากการศึกษาการไหลของกำลังไฟฟ้าทำให้ทราบศักดาไฟฟ้าของทุกบัสและกำลังไฟฟ้าที่เข้าบัสของระบบ โดยผลรวมของกำลังไฟฟ้าที่เข้าบัสของระบบก็คือ กำลังไฟฟ้าที่สูญเสียในสายส่งนั่นเอง ซึ่งวิธีหนึ่งที่ได้พัฒนาโดย Kirchmayer สามารถคำนวณหาความสูญเสียในสายส่งก็คือวิธี สัมประสิทธิ์ความสูญเสีย (Loss Coefficient) หรือ B – Coefficient [3]

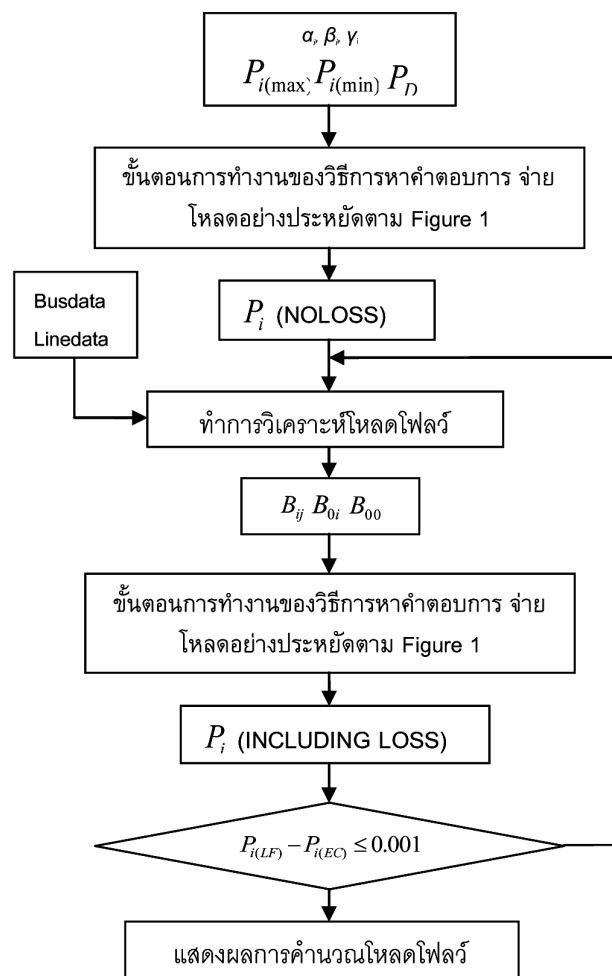


Figure 2 The process of application of the load Flow with the load that economical

จาก Figure 2 ขั้นตอนการทำงานของ การประยุกต์ โหลดโวลต์รวมกับการจ่ายโหลดอย่างประหยัด มีขั้นตอน ที่เพิ่มเติมจากขั้นตอนการทำงานของวิธีการหาค่าตอบการ จ่ายโหลดอย่างประหยัด Figure 1 ก็คือทำการวิเคราะห์โหลด

โวลต์เพื่อทำการหาค่าสัมประสิทธิ์ความสูญเสียแล้วนำมาเข้า กระบวนการของการทำงานเช่นเดียวกับขั้นตอนใน Figure 1 นอกจากนี้การวิเคราะห์โหลดโวลต์ยังมีความสำคัญในการตรวจสอบการทำงานโดยค่าความแตกต่างกำลังไฟฟ้าที่สแลคบัสที่ได้จากการวิเคราะห์โหลดโวลต์และจากการหาค่าตอบการจ่าย โหลดอย่างประหยัดต้องมีค่าไม่เกิน 0.001 p.u.เมื่อเป็นไปตามเงื่อนไขดังกล่าวแล้วก็จะแสดงผลการคำนวณออกมาได้แก่ $|V|$, P_i , P_D , Q_D และนำ P_i มาคำนวณหา P_L , C_i , C_T

เมื่อ $|V|$ คือ ขนาดแรงดันไฟฟ้าที่บัส i (V),
 P_D คือ ภาระกำลังงานไฟฟ้าแอคทีฟที่บัส i (MW),

Q_D คือ ภาระกำลังงานไฟฟ้ารีแอคทีฟที่บัส i (MVar)

$|y_{ij}|$ คือ ขนาดแอดมิตแตนซ์ y_{ij} แต่ละ ตัวของ Y_{bus} (mho)

การประยุกต์ฝูงอนุภาคร่วมกับการจ่ายโหลด

ในปัจจุบันได้มีการศึกษาและพัฒนาการประยุกต์ใช้ Particle Swarm Optimization เพื่อนำมาใช้ในการวิเคราะห์ระบบไฟฟ้ากำลัง เช่นการใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมที่สุดของฝูงอนุภาค (Particle Swarm Optimization : PSO) เพื่อนำมาใช้ในการวิเคราะห์ความผิดปกติ (Contingency Analysis) ของระบบ การคำนวณหาระบบโมเดลในระบบไฟฟ้ากำลัง เป็นต้น การที่วิธีการหาค่าเหมาะสมที่สุดของฝูงอนุภาค (Particle Swarm Optimization : PSO) สามารถเรียนรู้พฤติกรรมของระบบไฟฟ้าได้เป็นอย่างดี จะส่งผลให้การคำนวณหาค่าตอบของระบบไฟฟ้ากำลังมีความแม่นยำ ในบทความนี้จึงนำเสนอการประยุกต์ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมที่สุดของฝูงอนุภาค (Particle Swarm Optimization : PSO) ในการศึกษาการจ่ายโหลดอย่างประหยัด และค่าความสูญเสียในระบบมีค่าต่ำสุด

การจ่ายโหลดอย่างประหยัด

ปัญหาการจ่ายโหลดอย่างประหยัดที่มุ่งเน้นให้ต้นทุนในการผลิตกำลังไฟฟ้ามีค่าต่ำที่สุด ปัจจัยที่ทำให้ต้นทุนในการผลิตกำลังไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงมาจากราคาเชื้อเพลิงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละเครื่อง สามารถสร้างสมการทางคณิตศาสตร์ได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{Min} C_t &= \sum_{i=1}^{n_g} C_i \\ &= \sum_{i=1}^{n_g} \alpha_i + \beta_i P_i + \gamma_i P_i^2 \end{aligned} \quad (17)$$

สมการที่ (17) แทนฟังก์ชันเป้าหมาย Objective Function ของค่าราคาคำนวณเชื้อเพลิงรวมที่ต่ำที่สุดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ต่ออยู่กับระบบไฟฟ้า โดยปกติฟังก์ชันราคาเชื้อเพลิงเป็นสมการคณิตศาสตร์แบบพหุนามกำลังสอง โดยมีเงื่อนไขว่ากำลังไฟฟ้าที่ผลิตออกมานั้นต้องเท่ากับกำลังไฟฟ้าที่โหลดต้องการรวมกับกำลังไฟฟ้าที่สูญเสียอันเนื่องจากสายส่ง ตลอดจนคำนึงถึงกำลังการผลิตต่ำที่สุดและสูงที่สุดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละเครื่องแสดงให้เห็นในสมการที่ (2) และ (3) ตามลำดับ

การจ่ายโหลดโดยค่าความสูญเสียในระบบต่ำสุด

ปัญหาการจ่ายโหลดที่มุ่งเน้นให้กำลังไฟฟ้าสูญเสียอันเนื่องมาจากสายส่งมีค่าต่ำที่สุด ปัจจัยที่ทำให้กำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบต่ำสุด สามารถสร้างสมการทางคณิตศาสตร์ได้ดังนี้

$$\text{Min}P_L = \sum_{i=1}^{n_g} P_i - P_D \quad (18)$$

และสมการที่ (18) แทนฟังก์ชันเป้าหมาย Objective Function ของกำลังไฟฟ้าสูญเสียอันเนื่องมาจากสายส่ง (MW) โดยมีเงื่อนไขว่ากำลังไฟฟ้าที่ผลิตออกมานั้นต้องเท่ากับกำลังไฟฟ้าที่โหลดต้องการรวมกับกำลังไฟฟ้าที่สูญเสียอันเนื่องจากสายส่ง ตลอดจนคำนึงถึงกำลังการผลิตต่ำที่สุดและสูงที่สุดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละเครื่องแสดงให้เห็นในสมการที่ (2) และ (3) เช่นเดียวกัน

ขั้นตอนการจำลองการทำงานของวิธีการหาค่าเหมาะสมที่สุดของฝูงอนุภาค

1. กำหนดค่าเริ่มต้นของค่าตัวแปร- D , N , a , b , c_i , P_D , $P_{\max}$, $P_{\min}$ and $Iter_{\max}$
2. กำหนดค่าเริ่มต้นของตำแหน่งและค่าความเร็วของฝูงอนุภาคสุ่มค่าเริ่มต้นของตำแหน่ง (P_i^k) โดยนำ P_i ที่ได้จากวิธี / มาพิจารณาด้วย และค่าความเร็วของฝูงอนุภาค (v_i^k)- เซต $k = 0$;
3. ทำการวิเคราะห์โหลดโพลวโดยใช้วิธีการนิวตันราฟสัน
4. ประเมิน และ คำนวณ ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์สำหรับฝูงอนุภาคมีการกำหนดค่ากำลังการผลิตต่ำที่สุดและสูงที่สุดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละเครื่อง

$$C_t = \sum_{i=1}^{n_g} \alpha_i + \beta_i P_i + \gamma_i P_i^2$$

$$\text{หรือ } P_L = \sum_{i=1}^{n_g} P_i - P_D$$

$$\text{โดย } P_{i(\min)} \leq P_i \leq P_{i(\max)}$$

5. เปรียบเทียบค่าสำหรับแต่ละฝูงอนุภาค

- เปรียบเทียบค่าวัตถุประสงค์จากค่าเริ่มต้นที่ดีที่สุด ถ้าค่าวัตถุประสงค์มีค่าต่ำกว่า $pbest$ ค่านี้ให้เก็บเป็นค่าตำแหน่งของฝูงอนุภาค

6. กำหนดค่า $pbest$ และ $gbest$ ของฝูงอนุภาค

- เลือกค่าฝูงอนุภาคที่มีความสัมพันธ์กับค่าที่ดีที่สุดของแต่ละ $pbest$ ในทุกฝูงอนุภาค และกำหนดค่า $pbest$ ที่ได้ให้เป็นค่า $gbest$

7. ปรับปรุงค่าความเร็วและค่าตำแหน่งของฝูงอนุภาคจากสมการ

$$v_i^{k+1} = wv_i^k + c_1r_1(pbest_i^k - p_i^k) + c_2r_2(gbest^k - p_i^k) \quad (19)$$

$$p_i^{k+1} = p_i^k + v_i^{k+1}$$

8. ตรวจสอบเงื่อนไขของการหยุดกระบวนการคำนวณ PSO :

- ถ้า จำนวนรอบของการคำนวณ มีค่ามากกว่า ค่า $Iter_{\max}$ ให้ไปที่ ขั้นตอนที่ 9. นอกเหนือจากนั้นให้เพิ่มรอบการคำนวณ $k = k+1$ จนครบที่กำหนด แล้วไปทำซ้ำใน ขั้นตอนที่ 3.

9. แสดงผลของค่าที่เหมาะสมที่สุดของปัญหา

เมื่อ N คือ จำนวนของกลุ่มฝูงอนุภาค
 D คือ จำนวนของอนุภาคในกลุ่ม
 P_i^k คือ ตำแหน่งอนุภาคซึ่งนำเสนอผลเฉลยตัวที่ i ในรอบคำนวณที่ k
 v_i^k คือ เวกเตอร์ความเร็วของอนุภาคตัวที่ i ในรอบการคำนวณที่ k
 v_i^{k+1} คือ เวกเตอร์ความเร็วที่ปรับปรุงของผลเฉลยอนุภาคตัวที่ i

$gbest_i^k$ คือ ผลเฉลยที่ดีที่สุดที่อนุภาคตัวที่ i ค้นพบ ในรอบการคำนวณ k

$pbest_i^k$ คือ ผลเฉลยที่ดีที่สุดที่ฝูงอนุภาคค้นพบ ในรอบการคำนวณ k

c_1, c_2 คือ ค่าคงที่ที่กำหนด =2

r_1, r_2 คือ ตัวเลขแบบสุ่มสม่ำเสมอในช่วง $[0,1]$

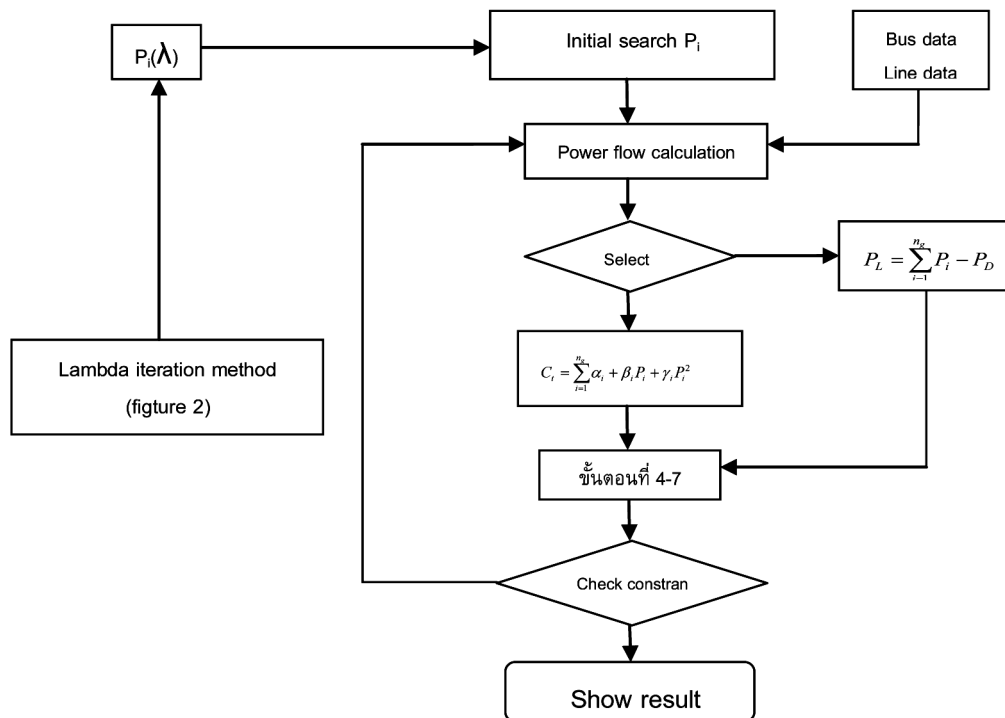


Figure 3 The process of the method find the load that economical Using Hybrid Lambda-PSO Technique

ในสมการที่ (19) , coefficient function w สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ (20)

$$w = w_{\max} - \frac{w_{\max} - w_{\min}}{Iter_{\max}} * Iter \quad (20)$$

เมื่อ w คือ ค่าถ่วงน้ำหนัก

$w_{\max}$ คือ ค่ามากที่สุดของค่าถ่วงน้ำหนัก

กำหนด=0.9

$w_{\min}$ คือ ค่าน้อยสุดของค่าถ่วงน้ำหนัก

กำหนด=0.4

$Iter$ คือ จำนวนรอบของการวิวัฒนาการ

$Iter_{\max}$ คือ จำนวนรอบของการคำนวณสูงสุด

กำหนด = 20

ข้อมูลการทดสอบ

เป็นการวิเคราะห์หาค่าความเหมาะสมของการจ่ายโหลดโดยวิธีการหาค่าใช้จ่ายต่ำสุด ($\min C_i$) และการจ่ายโหลดโดยค่าความสูญเสียในระบบต่ำสุด ($\min P_L$) ประกอบด้วยเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในระบบ 6 เครื่องในจำนวน 26 บัส และสายเชื่อมโยง 46 line ความต้องการของโหลด 1263 MW 637 Mvar เครื่องกำเนิดแต่ละเครื่องมีรายละเอียดดัง Table 2.

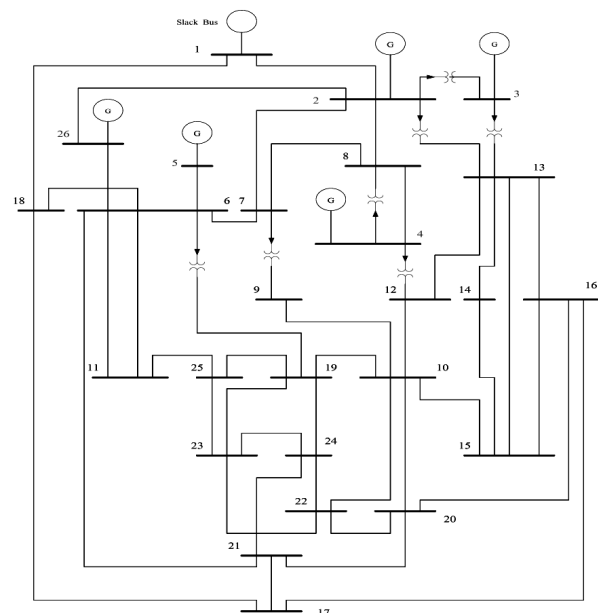


Figure 4 Power system for 2 study case

Table 1 Branch data for 26-bus test system

Buses	R(pu)	X(pu.)	1/2 B (pu.)	Tap Setting	Y=(1/Z)/Tap Setting
1 - 2	0.00055	0.00480	0.03000	1	23.56 - 205.63i
1 - 18	0.00130	0.01150	0.06000	1	9.71 - 85.86i
2 - 3	0.00146	0.05130	0.05000	0.96	0.58 - 20.29i
2 - 6	0.03230	0.19670	0.00000	1	0.81 - 4.95i
2 - 7	0.01030	0.05860	0.01800	1	2.91 - 16.55i
2 - 8	0.00740	0.03210	0.03900	1	6.82 - 29.58i
2 - 13	0.00357	0.09670	0.02500	0.96	0.40 - 10.76i
3 - 13	0.00070	0.00548	0.00050	1.017	22.55 - 76.55i
4 - 8	0.00080	0.02400	0.00010	1.050	1.32 - 39.64i
4 - 12	0.00160	0.02070	0.01500	1.050	3.54 - 45.74i
5 - 26	0.00690	0.03000	0.09900	1	7.28 - 31.66i
6 - 11	0.01650	0.09700	0.00400	1	1.70 - 10.02i
7 - 8	0.00120	0.00693	0.00010	1	24.26 - 40.10i
7 - 9	0.00095	0.04290	0.02500	0.95	0.54 - 24.52i
8 - 12	0.00200	0.01800	0.02000	1	6.10 - 54.88i
9 - 10	0.00104	0.04930	0.00100	1	0.43 - 20.27i
10 - 12	0.00247	0.01320	0.01000	1	13.70 - 73.19i
10 - 19	0.05470	0.23600	0.00000	1	0.93 - 4.02i
10 - 20	0.00660	0.01600	0.00100	1	22.03 - 53.41i
10 - 22	0.00690	0.02980	0.00500	1	7.37 - 31.85i
11 - 25	0.09600	0.27000	0.01000	1	1.17 - 3.29i
12 - 14	0.03270	0.08020	0.00000	1	4.36 - 10.69i
12 - 15	0.01800	0.05980	0.00000	1	4.62 - 15.33i
13 - 14	0.00460	0.02710	0.00100	1	6.09 - 35.87i
13 - 15	0.01160	0.06100	0.00000	1	3.01 - 15.82i
13 - 16	0.01793	0.08880	0.00100	1	2.18 - 10.82i
14 - 15	0.00690	0.03820	0.00000	1	4.58 - 25.35i
15 - 16	0.02090	0.05120	0.00000	1	6.83 - 16.74i
16 - 17	0.09900	0.06000	0.00000	1	7.39 - 4.48i
16 - 20	0.02390	0.05850	0.00000	1	5.98 - 14.65i
17 - 18	0.00320	0.06000	0.03800	1	0.89 - 16.62i
17 - 21	0.22900	0.44500	0.00000	1	0.91 - 1.78i
19 - 23	0.03000	0.13100	0.00000	1	1.66 - 7.25i
19 - 24	0.03000	0.12500	0.00200	1	1.82 - 7.56i
19 - 25	0.11900	0.22490	0.00400	1	1.84 - 3.47i
20 - 21	0.06570	0.15700	0.00000	1	2.27 - 5.42i
20 - 22	0.01500	0.03660	0.00000	1	9.59 - 23.39i
21 - 24	0.04760	0.15100	0.00000	1	1.90 - 6.02i
22 - 23	0.02900	0.09900	0.00000	1	2.73 - 9.30i
22 - 24	0.03100	0.08800	0.00000	1	3.56 - 10.11i
23 - 25	0.09870	0.11680	0.00000	1	4.22 - 4.99i
26 - 7	0.00535	0.03060	0.00105	1	5.54 - 31.71i
26 - 11	0.00970	0.05700	0.00010	1	2.90 - 17.05i
26 - 18	0.00374	0.02220	0.00120	1	7.38 - 43.80i
26 - 19	0.00350	0.06600	0.04500	0.95	0.84 - 15.90i
26 - 21	0.00500	0.09000	0.02260	1	0.62 - 11.08i

Table 2 Cost coefficients and power output limits of generators

Units	$P_{i,min}(MW)$	$P_{i,max}(MW)$	α_i	β_i	γ_i
1	100	500	240	7.0	0.0070
2	50	200	200	10.0	0.0095
3	80	300	220	8.5	0.0090
4	50	150	200	11.5	0.0090
5	50	200	220	10.5	0.0080
6	50	120	190	12.0	0.0075

Table 3 Bus data for 26-bus test system

Bus No	Bus code	Voltage Mag.	Angle Degree	---Load---		-----Generator-----				Injected Mvar
				MW	Mvar	MW	Mvar	Qmin	Qmax	
1	1	1.025	0.0	51	41	—	—	0	0	4
2	2	1.020	0.0	22	15	—	—	40	250	0
3	2	1.025	0.0	64	50	—	—	40	150	0
4	2	1.050	0.0	25	10	—	—	25	80	2
5	2	1.045	0.0	50	30	—	—	40	160	5
6	2	1.015	0.0	40	20	—	—	15	50	0
7	0	1.00	0.0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	1.00	0.0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	1.00	0.0	89	50	0	0	0	0	3
10	0	1.00	0.0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	1.00	0.0	25	15	0	0	0	0	1.5
12	0	1.00	0.0	89	48	0	0	0	0	2
13	0	1.00	0.0	31	15	0	0	0	0	0
14	0	1.00	0.0	24	12	0	0	0	0	0
15	0	1.00	0.0	70	31	0	0	0	0	0.5
16	0	1.00	0.0	55	27	0	0	0	0	0
17	0	1.00	0.0	78	38	0	0	0	0	0
18	0	1.00	0.0	153	67	0	0	0	0	0
19	0	1.00	0.0	75	15	0	0	0	0	5
20	0	1.00	0.0	48	27	0	0	0	0	0
21	0	1.00	0.0	46	23	0	0	0	0	0
22	0	1.00	0.0	45	22	0	0	0	0	0
23	0	1.00	0.0	25	12	0	0	0	0	0
24	0	1.00	0.0	54	27	0	0	0	0	0
25	0	1.00	0.0	28	13	0	0	0	0	0
26	0	1.00	0.0	76	29	0	0	0	0	2

เมื่อ BN คือ จำนวนบิต

ในการเพิ่มการจ่ายโหลด step ละ 5% ได้จากสมการ
$$P_D = \sum_{i=1}^{NB} P_{Di} + \left(\frac{(5:15) * P_{Di}}{100} \right)$$

ผลการทดสอบ

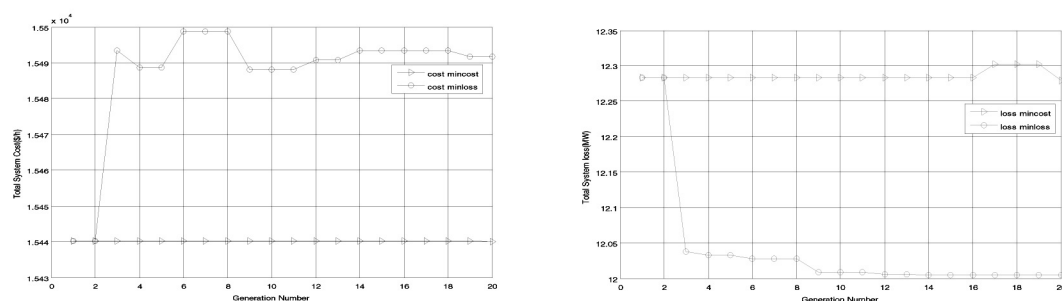


Figure 5.1 converges answer $\min C_t$ and $\min P_L$ at 1263.000 MW.

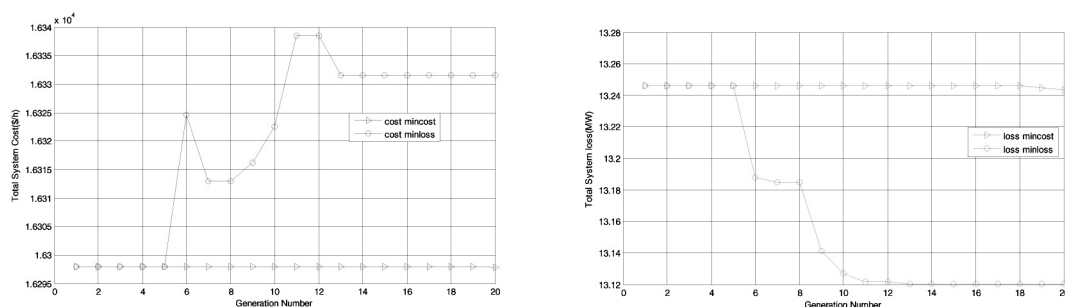


Figure 5.2 converges answer $\min C_t$ and $\min P_L$ at 1326.150 MW.

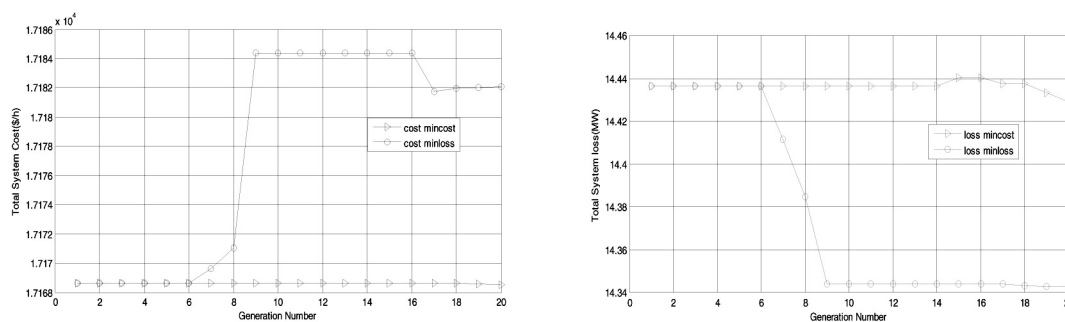


Figure 5.3 converges answer $\min C_t$ and $\min P_L$ at 1389.300 MW.

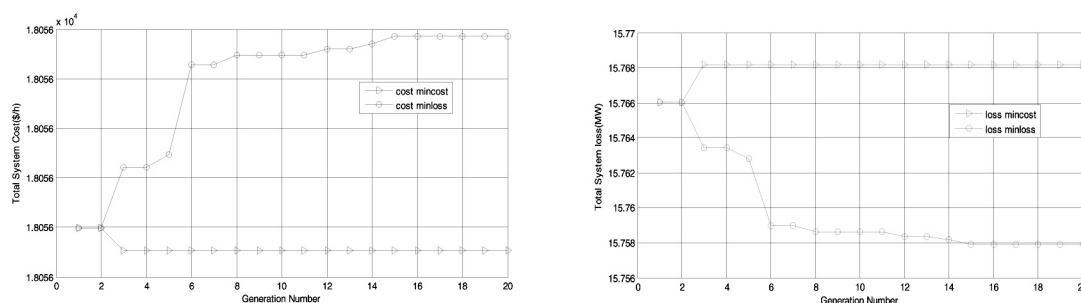


Figure 5.4 converges answer $\min C_t$ and $\min P_L$ at 1452.450 MW.

Table 4 summarizes the results of a case study comparing the two cases run by Step load increase at 5%.

Total Load (P_D) MW	Total Cost(\$/hr)			Total Loss (MW)		
	I	PSO		I	PSO	
		$\min C_t$	$\min P_L$		$\min C_t$	$\min P_L$
1263.000	15440.279	15439.982	15491.674	12.284	12.279	12.004
1326.150	16297.909	16297.851	16331.521	13.246	13.243	13.120
1389.300	17168.653	17168.525	17182.053	14.436	14.429	14.343
1452.450	18055.600	18055.577	18055.793	15.766	15.768	15.758

วิจารณ์และสรุปผล

จากผลการทดสอบเปรียบเทียบกรณีศึกษาทั้ง 2 กรณีศึกษาจะเห็นว่าความแตกต่างของ objective function ในแต่ละวิธีนั้นมีผลต่อค่าใช้จ่ายในการผลิตกำลังไฟฟ้าและความสูญเสียในระบบโดยค่าใช้จ่ายรวม (Total Cost) ของวิธี $\min C_t$ จะให้ค่าต่ำกว่าค่าใช้จ่ายรวมของวิธี I และ $\min P_L$ ตามลำดับ ในขณะที่ค่าความสูญเสียรวม (Total Loss) ของ $\min P_L$ จะมีค่าต่ำสุดตามด้วย $\min C_t$ และ I ดังแสดงใน Table 3 ซึ่งจะสรุปในรูปของสมการเปรียบเทียบได้ดังนี้

Total Cost(\$/hr)	$\min P_L > I > \min C_t$
Total Loss (MW)	$I > \min C_t > \min P_L$

และจากตัวอย่างการหาคำตอบของทั้งสองกรณีศึกษา $\min C_t$ จะมีคำตอบที่ใกล้เคียงกับ I โดยคำตอบที่ถูกเลือกในรอบแรกจะเป็นคำตอบของวิธีที่นำมารวมฟังก์ชันภาค ซึ่งในการลดลงของ C_t จะมีผลให้ P_L ลดลงด้วยเล็กน้อย ซึ่งแตกต่างกับ $\min P_L$ ที่การลดลงของจะไม่มีผลกับการลดหรือเพิ่มขึ้นของ C_t

เอกสารอ้างอิง

1. H.D. Saadat . Power System Analysis. International Edition.Singapore : McGraw-Hill , Inc., 2004
2. รศ.ดร.ชำนาญ ห่อเกียรติ. การวิเคราะห์ระบบไฟฟ้ากำลัง.มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์,บางเขน กรุงเทพฯ
3. ฐิธินห์ ลักขร (2548).การทำการจ่ายโหลดอย่างประหยัดโดยวิธีโครงข่ายประสาทเทียม,วิทยานิพนธ์ สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง,หน้า 6-35.
4. พัฒนะ อิงคะระ และ ชัยชมภูอินไหว(2552) การประยุกต์ฟังก์ชันภาคในการจ่ายโหลดอย่างประหยัดในระบบไฟฟ้ากำลัง.การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่32, มหาวิทยาลัยมหิดล