Go Back

POS33

การวิเคราะห์หาตำแหน่งการติดตั้ง FACTS ที่เหมาะสมในระบบจำหน่ายโดยใช้วิธีกลุ่มอนุภาค

Analysis of Optimal Allocation of FACTS Devices in Radial Distribution Systems by Using Particle Swarm Optimization Method

จักรินทร์ วิเศษยา และกฤษณ์ชนม์ ภูมิกิตติพิชญ์
ศูนย์วิจัยระบบไฟฟ้ากำลังและพลังงาน ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
39 หมู่ 1 ต. คลองหก อ. ธัญบุรี จ.ปทุมธานี 12110โทรศัพท์: 02-549-3571 โทรสาร: 02-549-3422 E-mail: krischonme.b@en.rmutt.ac.th

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการศึกษาการวิเคราะห์หาตำแหน่งการติดตั้ง FACTS ที่เหมาะสมโดยใช้วิธีกลุ่มอนุภาค การติดตั้ง FACTS เข้าไปเพื่อชดเชยกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟเข้าสู่ระบบ และปรับปรุงเสถียรภาพของแรงดันไฟฟ้า การวิเคราะห์แบบจำลองของระบบใช้แบบจำลองมาตรฐานของ IEEE 33 บัส 32 สาขา ที่มีกำลังไฟฟ้ารวมของโหลดขนาด 3.72 MW. และ 2.3 MVar. กำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟที่สูญเสียรวมในระบบแรกเริ่มขนาด 221.4346 kW. และ 150.1784 kVar. การคำนวณการไหลของกำลังใช้การคำนวณกระแสแบบย้อนกลับและการคำนวณแรงดันแบบไปข้างหน้า และใช้เทคนิคการหาตำแหน่งที่เหมาะสมโดยวิธีกลุ่มอนุภาค ผลการจำลองพบว่าแรกเริ่มขนาดแรงดันที่บัส 1 มีค่าเท่า 0.98 p.u ส่วนบัสอื่นๆที่อยู่ไกลออกไปแรงดันที่บัสจะค่อยๆ ลดลงเรื่อยๆ โดยเฉพาะที่ปลายสาย และตำแหน่งบัสที่เหมาะสมในการติดตั้ง FACTS คือบัสที่ 12 หลังจากติดตั้ง SVC ขนาด 2.4431 MVA. เข้าไปในระบบแล้วพบว่า กำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบลดลงขนาดแรงดันที่บัสดีขึ้น ทำให้มีระบบมีเสถียรภาพกำลังไฟฟ้าและความน่าเชื่อถือได้ของระบบที่ดียิ่งขึ้น

คำสำคัญ: ระบบจำหน่ายแบบเรเดียล, FACTS, การหาตำแหน่งที่เหมาะสม,วิธีกลุ่มอนุภาค

Abstract

This paper presents the study of optimal allocation analysis of FACTS devices using Particle Swarm Optimization Method . FACTS device is the compensation device that use for injection the reaction and active power into the power system in order to improve the voltage stability. This study uses the IEEE 33 buses system for testing system. The total power is 3.72 MW and 2.3 MVar and the power loss is 221.4346 kW and 150.1784 kVar. The load flow analysis on distribution use forward-backward sweep methodlogy. The simulation results show that the FACTS devices can improve the voltage stability on system.

Keywords: Radial Distribution Systems, FACTS, Optimal Allocation, Particle Swarm Optimization Method

1. คำนำ

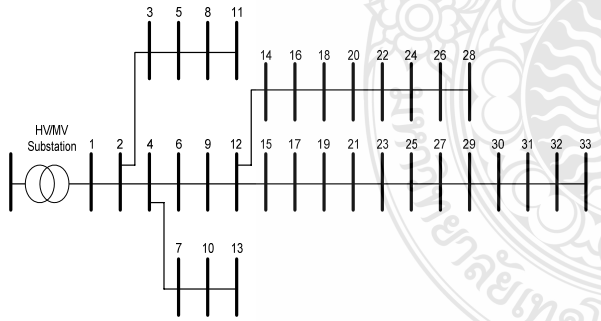
ระบบจำหน่ายไฟฟ้าแบบเรเดียลเป็นระบบที่รับไฟฟ้าจากสถานีไฟฟ้าย่อยหลังจากลดแรงดันให้ต่ำลงเพื่อส่งต่อไปให้ผู้ใช้ไฟฟ้า โดยทั่วไปการต่ออุปกรณ์มีลักษณะเป็นแบบอนุกรมจากสายป้อนไปยังแต่ละจุดโหลด เป็นระบบที่เชื่อมต่อระหว่างระบบส่งจ่ายไฟฟ้ากับผู้ใช้ไฟถือเป็นระบบที่มีความสำคัญ เพราะส่งผลกระทบกับผู้ใช้ไฟโดยตรง ซึ่งการต่อวงจรสายป้อนหลักแบบเรเดียลนี้ จะไม่มีการเชื่อมต่อกับสายป้อนที่มาจากสถานีย่อยอื่นๆ เป็นการจัดรูปแบบวงจรที่ง่ายและมีราคาต่ำที่สุด จึงเป็นระบบที่มีความเชื่อถือต่ำเนื่องจากเมื่อเกิดฟอลต์ขึ้นที่สายป้อนใดในระบบ จะทำให้อุปกรณ์ป้องกันต้นทางเปิดวงจรออกทำให้สายป้อนนั้นไฟดับทั้งหมด ส่งผลให้ผู้ใช้ไฟฟ้าทั้งสายจำหน่ายไม่มีไฟฟ้าใช้ [1] ทำให้ประสิทธิภาพในการจ่ายพลังงานไฟฟ้าไปยังโหลดไม่มีเสถียรภาพขาดความน่าเชื่อถือ และไม่มีความยืดหยุ่นของระบบเท่าที่ควร จึงจำเป็นที่ต้องเพิ่มการลงทุนเพื่อรักษาระดับแรงดันไฟฟ้าที่ขายให้กับผู้ใช้ไฟและเป็นการเพิ่มความมั่นคงให้กับระบบไฟฟ้า ดังนั้นจึงต้องมีการวางแผนหาวิธีปรับปรุงระบบจำหน่ายไฟฟ้า การปรับปรุงระบบจำหน่ายไฟฟ้าเพื่อลดกำลังไฟฟ้าสูญเสียนั้นมีหลายวิธี เช่น การติดตั้งหม้อแปลงปรับระดับแรงดันเพื่อเพิ่มระดับแรงดันแรงดันในพื้นที่ที่มีการเดินสายป้อนของระบบจำหน่ายค่อนข้างไกล การจัดเรียงโครงสร้างการจ่ายไฟของระบบไฟฟ้าใหม่ ซึ่งเป็นวิธีการปรับเปลี่ยนรูปแบบการจ่ายไฟโดยการหาตำแหน่งเปิดและปิดสวิตช์ถ่ายโอน การติดตั้งอุปกรณ์สวิตช์ตัดตอนเพื่อแยกส่วนที่เกิดฟอลต์ออกจากระบบเพื่อที่จะลดปริมาณผู้ใช้ไฟที่ได้รับผลกระทบให้น้อยที่สุด [2] การติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็กเพื่อช่วยจ่ายกำลังไฟฟ้าในจุดที่มีความต้องการใช้กำลังไฟฟ้าสูง [3] และการติดตั้งคาปาซิเตอร์เพื่อช่วยจ่ายกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟเข้าสู่ระบบ [4] ดังนั้นในบทความนี้นำเสนอการวิเคราะห์หาตำแหน่งการติดตั้ง FACTS ที่เหมาะสมในระบบจำหน่ายเพื่อช่วยจ่ายกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟเข้าระบบและแก้ปัญหาเพาเวอร์แฟคเตอร์เป็นการแก้ปัญหาแรงดันตก ทำให้ระบบมีเสถียรภาพกำลังไฟฟ้าและความน่าเชื่อถือได้ของระบบจำหน่ายไฟฟ้าที่ดียิ่งขึ้น

Go Back

องค์ประกอบของการนำเสนอบทความนี้ประกอบด้วย ลำดับแรกจะกล่าวถึงระบบจำหน่ายแบบเรเดียล การคำนวณการไหลของกำลัง ปัญหาการไหลกำลังไฟฟ้าที่เหมาะสมที่สุด วิธีกลุ่มอนุภาค อุปกรณ์ชดเชยกำลังไฟฟ้าแบบยืดหยุ่น FACTS สุดท้ายจะกล่าวถึงบทสรุปและข้อเสนอแนะต่างๆ สำหรับงานวิจัยลำดับต่อไป

2. ระบบจำหน่ายแบบเรเดียล (Radial Distribution Systems)

ระบบจำหน่ายแบบเรเดียลเป็นโครงข่ายระบบจำหน่ายไฟฟ้าที่ง่ายที่สุด ที่มีการจ่ายไฟฟ้าไปยังผู้ใช้ไฟฟ้าผ่านสายจำหน่ายเพียงด้านเดียว โดยที่พลังงานไฟฟ้าจะไหลไปในทิศทางเดียวกันจากสถานีไฟฟ้าไปยังโหลดภาระการใช้งาน การวางแผนใช้ระบบจำหน่ายนี้หากมีโหลดผู้ใช้ไฟฟ้าเพิ่มมากขึ้นในอนาคตก็สามารถที่จะเพิ่มระบบจำหน่ายแบบเรเดียลให้กลายเป็นระบบจำหน่ายแบบลูปได้ หรือระบบจำหน่ายแบบร่างแหต่อไปได้ ระบบจำหน่ายไฟฟ้าแบบเรเดียลนิยมใช้สำหรับจ่ายพลังงานไฟฟ้าไปยังผู้ใช้ไฟฟ้าในพื้นที่ทั่วไปหรือในชนบท เนื่องจากระบบจำหน่ายไฟฟ้าประเภทที่ลงทุนต่ำ มีการป้องกันระบบง่ายๆ และลักษณะของการวางสายแบบนี้สามารถเข้าใจได้ง่าย ระบบจำหน่ายแบบเรเดียล 33 บัส 32 สาขา มีกำลังไฟฟ้ารวมของโหลดขนาด 3.72 MW. และ 2.3 MVar. แรกเริ่มกำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟที่สูญเสียรวมในระบบขนาด 221.4346 kW. และ 150.1784 kVar. ในบทความนี้ระบบจำหน่ายทดสอบแบบเรเดียล 33 บัส 32 สาขา ใช้ Base MVA. = 10 MVA. และ Base kV. = 12.66 kV. บัสที่ 1 เป็นโหนดจ่ายที่เชื่อมต่อกับระบบส่งโดยผ่านสถานีย่อย การเชื่อมต่อโหนดสาขาจะเริ่มเชื่อมต่อจากบัสที่ 1 ไปยังบัสที่ 2 แล้วต่อไปยังโหนดสาขาอื่นๆต่อไป แผนภาพเส้นเดียวของแบบจำลองระบบจำหน่ายแบบเรเดียล 33 บัส 32 สาขา แสดงดังรูปที่ 1 [5]



รูปที่ 1. แบบจำลองระบบจำหน่ายแบบเรเดียล 33 บัส 32 สาขา

3. การคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้า

3.1 การคำนวณกระแสแบบย้อนกลับ (Current Backward Sweep): KCL

โดยจะเริ่มจากกระแสที่โหนดจะมีค่าดังสมการที่ (1) [6]

$$ {}_{i}^{(k)} = (\frac{ {}_{i}}{V_i^{(k-1)}})^{*} - {}_{i}V_i^{(k-1)} \quad (1) $$

เมื่อ $ {}_{i}$ เป็นกำลังที่โหนด $i({}_{i} = {}_{i} \pm Q_i)$

$ {}_{i}$ เป็นผลรวมของแอตมิตแตนซ์ส่วนลงดินทั้งหมดที่โหนด i

$V_i^{(k-1)}$ เป็นแรงดันที่โหนด i ณ รอบคำนวณที่ $k-1$

การคำนวณกระแสนี้จะเริ่มให้ขนาดแรงดันเป็น 1 p.u. และมุมแรงดันเป็นศูนย์ที่ทุกๆโหนด ส่วนของการคำนวณกระแสในสายจะเริ่มจาก การคำนวณที่เรียกว่า การแพร่กระจายถอยหลัง โดยที่รอบคำนวณที่ k จะคำนวณกระแส ในสายที่สุดท้ายเรื่อยเข้าสู่รูตโหนด หรือรูตบัส โดยกระแสที่สาย หาได้จากสมการที่ (2)

$$ {}^{k} = - {}^{k}_{2} + \sum (\text{กระแสในสายที่พุ่งมาจากโหนด } {}_{2}) \quad (2) $$

3.2 การคำนวณแรงดันแบบไปข้างหน้า (Voltage Forward Sweep):KVL

เริ่มต้นจากบัสอ้างอิงรูตโหนด หรือรูตบัส โดยที่ค่าแรงดันกำหนดให้มีค่าคงที่และเฟสเป็นศูนย์ ส่วนค่าแรงดันและมุมเฟสของแรงดันที่บัสอื่นๆ ถัดจากบัสอ้างอิงในรอบคำนวณที่ k จะถูกคำนวณค่าแรงดันที่บัสเรื่อยไปสู่บัสสุดท้าย ด้วยสมการที่ (3)

$$ V_2^{(k)} = V_1^{(k)} - {}^{(k)} \quad (3) $$

เมื่อ ค่าอิมพีแดนซ์อนุกรมของสายส่งช่วง ระหว่างโหนด $ {}_{2}$ และ $ {}_{1}$

$ {}_{2}$ เป็นโหนดปลายทาง

$ {}_{1}$ เป็นโหนดต้นทาง

เป็นกระแสในสาย

k เป็นรอบการคำนวณ

3.3 การเข้าสู่คำตอบของแรงดัน

จะทำในลักษณะเวียนซ้ำในแต่ละรอบการคำนวณจะตรวจสอบค่า mismatch ของแรงดันในแต่ละบัส ดังแสดงในสมการที่ (4)

$$ \Delta V^{(k)} = V^{(k)} - V^{(k-1)} \quad (4) $$

เมื่อ $\Delta V^{(k)}$ เป็นค่าความคลาดเคลื่อนของแรงดันที่พอยอมรับได้

mismatch ที่บัส หลังจากการคำนวณในรอบที่ k

$V^{(k)}$ เป็นแรงดันที่บัส ในรอบการคำนวณที่ k

$V^{(k-1)}$ เป็นแรงดันที่บัส ในรอบการคำนวณที่ $k-1$

การเข้าสู่คำตอบของแรงดันอาจหาได้จากผลต่างของค่าอื่นๆ ดังสมการที่ (5)

$$\left\{\begin{array}{l}\left|\mathrm{Re}\left(\Delta V^{(k)}\right)\right| \le \varepsilon \\ \left|\mathrm{Im}\left(\Delta V^{(k)}\right)\right| \le \varepsilon \\ \left|\left(\Delta V^{(k)}\right)\right| \le \varepsilon\end{array}\right\} \quad (5)$$

4. ปัญหาการไหลกำลังไฟฟ้าเหมาะสมที่สุด

4.1 ฟังก์ชันวัตถุประสงค์

ฟังก์ชันวัตถุประสงค์มีหลายปัญหาที่นิยมนำมาพิจารณา [7] เช่น การจ่ายโหลดอย่างประหยัด การลดกำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบ ในบทความนี้ใช้การลดกำลังไฟฟ้าสูญเสียในสายส่งน้อยที่สุดเป็นฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ซึ่งแสดงดังสมการที่ (6)

$$_{lo} = \sum_{i=1}^{N} {}_{i,} \left\{V_i^2 + V^2 - 2V_i V \cos\left(\delta_i - \delta\right)\right\} \quad (6)$$

โดยที่ $_{lo}$ คือ กำลังไฟฟ้าจริงที่สูญเสียในสายส่งทั้งหมด
N คือ จำนวนสายส่งทั้งหมด
V_i คือ ขนาดแรงดันบัสที่ i
V คือ ขนาดแรงดันบัสที่
δ_i คือ มุมแรงดันบัสที่ i
δ คือ มุมแรงดันบัสที่
$_{i,}$ คือ ความนำไฟฟ้าจากบัส i ไปยังบัส

4.2 ระบบเงื่อนไขบังคับ

ตัวแปรปรับตั้งในบทความนี้คือ กำลังไฟฟ้าจริงที่ผลิตจากโรงจักรไฟฟ้า ขนาดแรงดันถูกควบคุมโดยสถานีไฟฟ้า แท็บหม้อแปลง และกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟ โดยจะการปรับตั้งตัวแปรเหล่านี้เพื่อให้เกิดกำลังไฟฟ้าสูญเสียในสายส่งน้อยที่สุด และยังคงอยู่ในช่วงขีดจำกัดของตัวแปรแต่ละตัว โดยมีตัวแปรที่ต้องการควบคุมตามคือ พิกัดการไหลกำลังไฟฟ้าของสายส่ง พิกัดช่วงขนาดแรงดันทุกบัสในระบบ เพื่อให้ระบบไฟฟ้าทำงานอยู่ในสภาวะปกติ ระบบเงื่อนไขบังคับทั้งเงื่อนไขสมการและอสมการแสดงดังต่อไปนี้

1) เงื่อนไขบังคับสมการเป็นสมการการไหลกำลังไฟฟ้า

$$_{G,i} - \quad _{,i} - \sum_{=1}^{N} |V_i| \left\| V \right\| {}_{i,} \left|\cos\left(\theta_{i,} - \delta_i + \delta\right)\right| = 0 \quad (7)$$

$$Q_{G,i} - Q_{,i} + \sum_{=1}^{N} |V_i| \left\| V \right\| {}_{i,} \left|\sin\left(\theta_{i,} - \delta_i + \delta\right)\right| = 0 \quad (8)$$

โดยที่ $_{G,i}$ คือ กำลังไฟฟ้าจริงผลิตที่บัส i
$_{,i}$ คือ ความต้องการกำลังไฟฟ้าจริงที่บัส i
$Q_{G,i}$ คือ กำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟผลิตที่บัส i
$Q_{,i}$ คือ ความต้องการกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟที่บัส i
N คือ จำนวนบัส
$\theta_{i,}$ คือ มุมแอดมิตแตนซ์บัส i ไปยังบัส
$_{i,}$ คือ ขนาดแอดมิตแตนซ์บัส i ไปยังบัส

2) เงื่อนไขบังคับอสมการเป็นขอบเขตของตัวแปรที่ต้องการปรับตั้ง

$$V_i^{\min} \le V_i \le V_i^{\max} \quad (9)$$

$$_i^{\min} \le {}_i \le {}_i^{\max} \quad (10)$$

$$_{G,i}^{\min} \le {}_{G,i} \le {}_{G,i}^{\max} \quad (11)$$

$$Q_{comp,i}^{\min} \le Q_{comp,i} \le Q_{comp,i}^{\max} \quad (12)$$

โดยที่ $V_i^{\min}, V_i^{\max}$ คือ ขอบเขตแรงดันต่ำสุดและสูงสุด
$_i^{\min}, _i^{\max}$ คือ ขอบเขตแท็ปหม้อแปลงต่ำสุดและสูงสุด
$_{G,i}^{\min}, _{G,i}^{\max}$ คือ ขอบเขตของกำลังไฟฟ้าจริงต่ำสุดและสูงสุด
$Q_{comp,i}^{\min}, Q_{comp,i}^{\max}$ คือ ขอบเขตกำลังไฟฟ้ารีแอคตีฟต่ำสุดและสูงสุด

ฟังก์ชันปรับโทษสามารถเขียนได้ตาสมการที่ (13)

$$( ) = {}_{lo} + \quad + {}_{Q} + {}_{C} + \quad + {}_{V} + {}_{G} \quad (13)$$

$$= \rho \sum_{i=1}^{N} \left\{ {}_{G,i} - \quad {}_{,i} - \sum_{=1}^{N} |V_i| \left\| V \right\| {}_{i,} \left|\cos\left(\theta_{i,} - \delta_i + \delta\right)\right| \right\}^2 \quad (14)$$

$$_{Q} = \rho \sum_{i=1}^{N} \left\{ Q_{G,i} - Q_{,i} + \sum_{=1}^{N} |V_i| \left\| V \right\| {}_{i,} \left|\sin\left(\theta_{i,} - \delta_i + \delta\right)\right| \right\}^2 \quad (15)$$

$$_{C} = \rho \sum_{i=1}^{N_C} \left\{ \max\left(0, Q_{comp,i} - Q_{comp,i}^{\max}\right) \right\}^2 + \rho \sum_{i=1}^{N_C} \left\{ \max\left(0, Q_{comp,i}^{\min} - Q_{comp,i}\right) \right\}^2 \quad (16)$$

Go Back

$$= \rho \sum_{i=1}^{N} \left\{ \max\left(0, \ _i - \ _i^{\max}\right) \right\}^2 + \rho \sum_{i=1}^{N} \left\{ \max\left(0, \ _i^{\min} - \ _i\right) \right\}^2 \quad (17)$$

$$_V = \rho \sum_{i=1}^{N} \left\{ \max\left(0, V_i - V_i^{\max}\right) \right\}^2 + \rho \sum_{i=1}^{N} \left\{ \max\left(0, V_i^{\min} - V_i\right) \right\}^2 \quad (18)$$

$$_G = \rho \sum_{i=1}^{N_G} \left\{ \max\left(0, \ _{G,i} - \ _{G,i}^{\max}\right) \right\}^2 + \rho \sum_{i=1}^{N_G} \left\{ \max\left(0, \ _{G,i}^{\min} - \ _{G,i}\right) \right\}^2 \quad (19)$$

เมื่อ N_G คือ จำนวนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทั้งหมดในระบบ

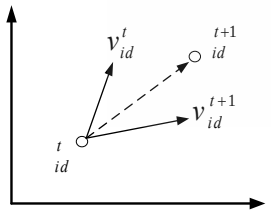
N_C คือ จำนวนตัวอุปกรณ์ชดเชยกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟในระบบ

N คือ จำนวนของหม้อแปลงที่ติดตั้งในระบบ

N คือ จำนวนบัส

5. วิธีกลุ่มอนุภาค (Particle Swarm Optimization Method)

วิธีกลุ่มอนุภาคคือ การอาศัยการเรียนรู้ของการเคลื่อนที่ในการหาอาหารและอยู่รวมกันเป็นกลุ่มของฝูงนก ฝูงปลา และฝูงแมลง [8] อนุภาคเหล่านี้จะเรียนรู้และเคลื่อนที่ปรับเปลี่ยนตำแหน่งของตัวเองไปตามอนุภาคแวดล้อมที่อยู่ในตำแหน่งที่ดีและเหมาะสมกว่า เมื่อปรับเปลี่ยนตำแหน่งจนทุกอนุภาคอยู่ในตำแหน่งที่เหมาะสม และมีการเคลื่อนที่ไปในทิศทางเดียวกันแล้ว ก็จะหยุดการปรับเปลี่ยนทิศทาง อัลกอริทึมของวิธีกลุ่มอนุภาคเป็นอัลกอริทึมที่ปรับตัวเองบนพื้นฐานของการเรียนรู้สถานการณ์และใช้ข้อมูลร่วมกัน อนุภาคที่อยู่ภายในกลุ่มจะปรับเปลี่ยนตำแหน่งโดยการอาศัยการเรียนรู้จากอนุภาคข้างเคียงที่อยู่ในตำแหน่งที่ให้ค่าที่ดีกว่าการปรับเปลี่ยนตำแหน่งของอนุภาค ดังรูป



รูปที่ 2. การเปลี่ยนตำแหน่งของอนุภาค

อัลกอริทึมที่สำคัญในการปรับตำแหน่งแสดงได้ตามสมการที่ (20) และสมการที่ (21) โดยสมการที่ (20) แสดงถึงความเร็วในการปรับเปลี่ยนตำแหน่งของอนุภาค และสมการที่ (21) แสดงถึงตำแหน่งใหม่ของอนุภาคหลังปรับเปลี่ยนตำแหน่งแล้ว

$$v_{id}^{t+1} = w^* v_{id}^{t} + rand_1()^* c_1^* (p\ e\ t_{id} - \ _{id}^{t}) + rand_2()^* c_2^* (\ \ e\ t_d - \ _{id}^{t}) \quad (20)$$

$$_{id}^{t+1} = \ _{id}^{t} + v_{id}^{t+1} \quad (21)$$

โดยที่ $_{id}^{t}$ คือ ตำแหน่งของอนุภาค i ของตัวแปร d ในรอบการคำนวณที่ t

$_{id}^{t+1}$ คือ ตำแหน่งของอนุภาค i ของตัวแปร d ในรอบการคำนวณที่ $t+1$

v_{id}^{t} คือ ความเร็วในการเปลี่ยนตำแหน่งของอนุภาค i ของตัวแปร d ในรอบการคำนวณที่ t

v_{id}^{t+1} คือ ความเร็วในการเปลี่ยนตำแหน่งของอนุภาค i ของตัวแปร d ในรอบการคำนวณที่ $t+1$

$rand_1(), rand_2()$ คือ ตัวเลขสุ่มระหว่าง 0 ถึง 1

$p\ e\ t_{id}$ คือ ตำแหน่งที่ดีที่สุดของอนุภาค i ของตัวแปร d

$e\ t_d$ คือ ตำแหน่งที่ดีที่สุดในทุกๆอนุภาคของตัวแปร d

w คือ ค่าถ่วงน้ำหนัก

c_1, c_2 คือ ค่าคงที่ความเร่ง

ค่าคงที่ความเร่ง c_1 และ c_2 มีผลต่อความเร็วในการลู่เข้าสู่คำตอบโดย c_1 มีผลต่อการลู่เข้าสู่คำตอบที่ดีของตำแหน่งในปัจจุบัน และ c_2 มีผลต่อการลู่เข้าสู่คำตอบที่ดีที่สุดของตำแหน่งในปัจจุบัน การกำหนดค่าคงที่ทั้งสองนี้มีความสำคัญโดยปกติจะกำหนดให้มีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 4 การกำหนดค่าตัวแปรในวิธีกลุ่มอนุภาคมีความสำคัญในการลู่เข้าของคำตอบดังนั้นจึงต้องกำหนดค่าตัวแปรต่างๆ ให้มีความเหมาะสมกับปัญหาดังนี้ ค่าถ่วงน้ำหนัก w ค่าถ่วงน้ำหนักนี้จะทำให้คำตอบมีความหลากหลายไม่ตกอยู่กับคำตอบเฉพาะที่ ค่าถ่วงน้ำหนักที่เหมาะสมจะทำให้การค้นหาคำตอบมีความสมดุลระหว่างการหาคำตอบเฉพาะที่และการค้นหาคำตอบจากขอบเขตทั้งหมด ซึ่งจะทำให้รอบในการค้นหาคำตอบน้อยลงโดยทั่วไปขอบเขตของค่าถ่วงน้ำหนักนี้จะถูกกำหนดอยู่ระหว่าง 0.4 กับ 0.9 โดยสมการในการปรับค่าถ่วงน้ำหนักนี้ แสดงได้ตามสมการที่ (22)

$$w = w_{\max} - \frac{w_{\max} - w_{\min}}{k} t \quad (22)$$

โดยที่ $w_{\min}$ คือ ขอบเขตล่างของค่าถ่วงน้ำหนัก

$w_{\max}$ คือ ขอบเขตบนของค่าถ่วงน้ำหนัก

t คือ รอบการคำนวณปัจจุบัน

k คือ รอบการคำนวณทั้งหมด

Go Back

ขั้นตอนของวิธีกลุ่มอนุภาคดังรูปที่ 3 มีรายละเอียดลำดับขั้นตอนการทำงานดังนี้

1. รับข้อมูลสาขา ข้อมูลบัส และขอบเขตของแรงดันที่บัส

2. คำนวณกำลังไฟฟ้าสูญเสียโดยใช้การไหลของโหลดโดยคำนวณกระแสแบบย้อนกลับและคำนวณแรงดันแบบไปข้างหน้า

3. สุ่มประชากรเริ่มต้นของอนุภาคกับสุ่มตำแหน่งและสุ่มความเร็วในการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งของอนุภาค โดยตั้งค่ารอบตัวนับซ้ำ k = 0

4. แต่ละอนุภาคหากแรงดันบัสอยู่ในขอบเขตที่กำหนด การคำนวณกำลังไฟฟ้าสูญเสียทั้งหมดจะอยู่ในสมการที่ (6)

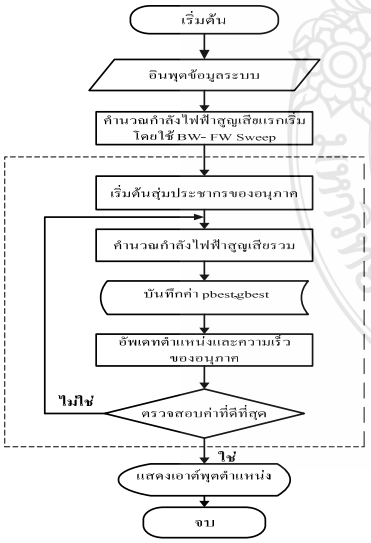
5. แต่ละอนุภาคเปรียบเทียบค่าเป้าหมายกับอนุภาคที่ดีที่สุด ถ้าค่าเป้าหมายต่ำกว่า pbest ให้กำหนดค่าปัจจุบันนี้เป็น pbest และบันทึกตำแหน่งของอนุภาคที่สอดคล้องกัน

6. เก็บค่าที่ดีของแต่ละอนุภาคไว้ในตัวแปร pbest และเก็บค่าที่ดีที่สุดของอนุภาคทั้งหมดไว้ในตัวแปร gbest

7. ปรับปรุงความเร็วและตำแหน่งของอนุภาคโดยใช้สมการที่ (20) และ (21) ตามลำดับ

8. ถ้าจำนวนรอบถึงขีดจำกัดสูงสุดให้ไปที่ขั้นตอนที่ 9 ถ้าไม่เช่นนั้นให้ตั้งค่ารอบ k= k + 1 และกลับไปยังขั้นตอนที่ 4

9. แสดงผลฟังก์ชั่นเป้าหมายที่ดีที่สุดสำหรับตำแหน่งที่เหมาะสมที่จะติดตั้ง FACTS และเพื่อให้สอดคล้องกับระบบให้มีการสูญเสียกำลังไฟฟ้าจริงรวมต่ำที่สุด



รูปที่ 3 ขั้นตอนของวิธีกลุ่มอนุภาค

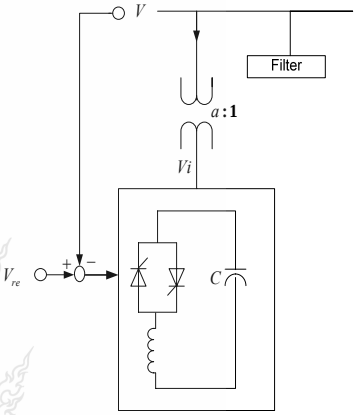
6. อุปรกรณ์ชดเชยกำลังไฟฟ้าแบบยืดหยุ่น (FACTS)

6.1 Static VAR Compensator (SVC)

SVC ติดตั้งขนานกับระบบจำหน่ายกำลังไฟฟ้ารักษาแรงดันให้อยู่ในระดับคงที่หรือใกล้เคียง [9] ภายใต้ภาวะการเปลี่ยนแปลงอย่างช้าๆของโหลด แก้ไขการเปลี่ยนแปลงแรงดันเนื่องจากเหตุการณ์ที่ไม่พึงประสงค์ ปรับปรุงเสถียรภาพแรงดัน ณ จุดสำคัญ เช่น จุดกึ่งกลางของสายส่งระยะไกล ช่วยเหลือในการปรับปรุงแดมปิ้งของระบบ ช่วยปรับปรุงค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ แก้ไขปัญหาเฟสไม่สมดุล สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด คือ

1)ไทริสเตอร์คอนโทรลรีแอคเตอร์(TCR Thyristor Controlled Reactor) และตัวเหนี่ยวนำ จะใช้ไทริสเตอร์ควบคุมรีแอคเตอร์

2)ไทริสเตอร์สวิตช์คาปาซิเตอร์(TSC Thyristor Switched Capacitor) และตัวเก็บประจุคงที่ (FC Fixed Capacitor) หรือเรียกย่อว่า TSC / FC ตัวเก็บประจุคงที่จะใช้การสวิตช์ทางกล ลักษณะโครงสร้างพื้นฐานของ SVC แสดงดังรูปที่ 4.



รูปที่ 4. ลักษณะโครงสร้างพื้นฐานของ SVC

1) รูปแบบการไหลกำลังไฟฟ้าด้วย SVC [10] สามารถเขียนสมการได้ดังนี้

$$G,i - \quad ,i = V_i \sum_{=1}^{N} V \left(G_i \cos\theta_{i,} + \ _{i,} \sin\theta_{i,} \right) \quad (23)$$

$$Q_{G,i} + Q_{VC,i} - Q \ _{,i} = V_i \sum_{=1}^{N} V \left(G_{i,} \sin\theta_{i,} - \ _{i,} \cos\theta_{i,} \right) \quad (24)$$

2) ขีดจำกัดเกี่ยวกับตัวแปรกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟเขียนสมการได้ดังนี้

$$^{\min}_{G,i} \le \ _{G,i} \le \ ^{\max}_{G,i} \qquad ,i \in N_G \quad (25)$$

$$Q_{G,i\min} \le Q_{G,i} \le Q_{G,i\max} \qquad ,i \in N_G \quad (26)$$

$$Q_{VCw\min} \le Q_{VCw} \le Q_{VCw\max} \ ,w \in N_{VC} \quad (27)$$

Go Back

$$V_{G,i\min} \le V_{G,i} \le V_{G,i\max} \quad ,i \in N_G \tag{28}$$

$$V_{,k\min} \le V_{,k} \le V_{,k\max} \quad ,k \in N \tag{29}$$

$$_{\min} \le \quad \le \quad _{\max} \quad , \quad \in N \tag{30}$$

$$_{i,\ \min} \le \ _{i,} \le \ _{i,\ \max} \quad ,i, \quad \in N \tag{31}$$

โดยที่ $_{G,i}$ คือ กำลังไฟฟ้าจริงผลิตที่บัส i

$_{,i}$ คือ ความต้องการกำลังไฟฟ้าจริงที่บัส i

$Q_{,i}$ คือ ความต้องการกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟที่บัส i

$V_{G,i}$ คือ ขนาดของแรงดันไฟฟ้าผลิตที่บัส i

$V_{,k}$ คือ ขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่โหลดบัส k

$Q_{G,i}$ คือ กำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟผลิตที่บัส i

Q_{VCw} คือ กำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟเอาต์พุตของ VCw

$_{i,}$ คือ กำลังไฟฟ้าจริงที่ไหลในสายส่งบัส i ไปยังบัส

คือ ตำแหน่งแท็ปหม้อแปลง

θ คือ มุมของแรงดัน

N_G คือ จำนวนเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

N คือ จำนวนของหม้อแปลง

N คือ จำนวนสายส่ง

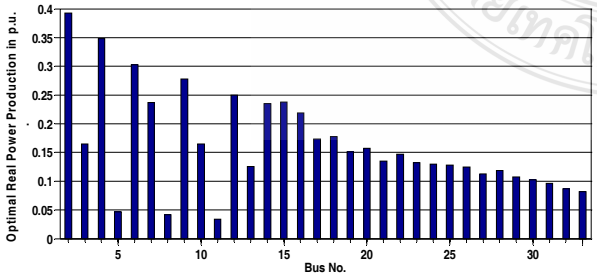
N คือ จำนวนของโหลดบัส

N คือ จำนวนบัสรวมทั้งหมด

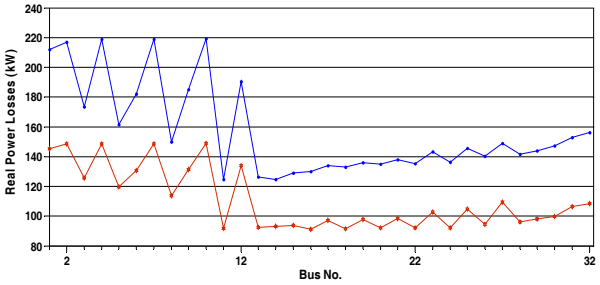
N_{VC} คือ จำนวน VC รวมทั้งหมด

7. ผลการจำลอง

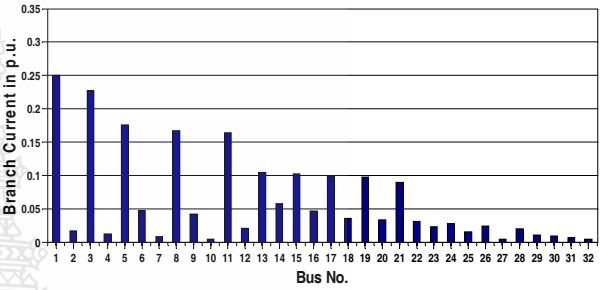
ผลการจำลองระบบมาตรฐานของ IEEE 33 บัส 32 สาขา ที่มีกำลังไฟฟ้ารวมของโหลดขนาด 3.72 MW. และ 2.3 MVar. แรกเริ่มกำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟที่สูญเสียรวมในระบบขนาด 221.4346 kW. และ 150.1784 kVar. ใช้ Base MVA. = 10 MVA. และ Base kV. = 12.66 kV. โดยผลการจำลองค่าต่าง ๆ ของระบบจำหน่าย 33 บัส 32 สาขาแสดงดังรูปที่ 5-7 ตามลำดับ



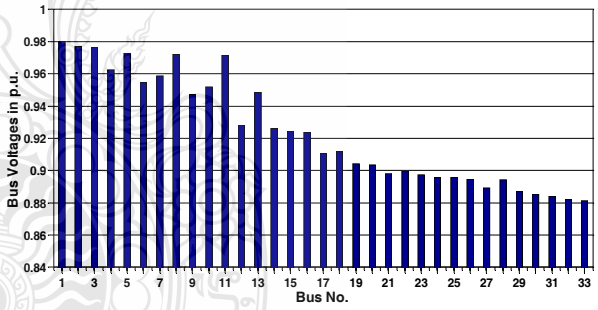
รูปที่ 5. ค่ากำลังไฟฟ้าจริงที่เหมาะสมของระบบจำหน่าย 33 บัส



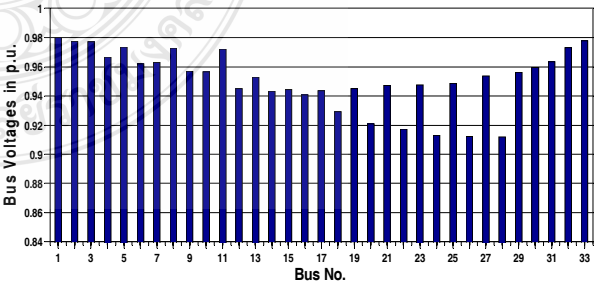
รูปที่ 6. ค่าโดยประมาณกับค่ากำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียที่ต้องการของระบบจำหน่าย 33 บัส



รูปที่ 7. ขนาดกระแสที่สาขาต่าง ๆของระบบจำหน่าย 33



รูปที่ 8. ขนาดแรงดันที่บัสก่อนติดตั้ง SVC ของระบบจำหน่าย 33 บัส



รูปที่ 9. ขนาดแรงดันที่บัสหลังติดตั้ง SVC ของระบบจำหน่าย 33 บัส

รูปที่ 9 เป็นผลการจำลองขนาดแรงดันที่บัสต่าง ๆ ของระบบหลังติดตั้ง SVC ขนาด 2.4431 MVA. เข้าไปยังบัสที่ 12 ทำให้กำลังไฟฟ้าสูญเสียจริงและกำลังไฟฟ้าสูญเสียรีแอคทีฟที่บัสที่ 12

ลดลงเหลือ 160.3745 kW. และ 85.2280 kVar. ตามลำดับ ส่งผลให้แรงดันที่บัส 12 มีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 11.9640 kV. ทำให้ระบบนี้มีเสถียรภาพมากยิ่งขึ้น

8. สรุป

บทความนี้นำเสนอการศึกษาการวิเคราะห์หาตำแหน่งการติดตั้ง FACTS ที่เหมาะสมโดยใช้วิธีกลุ่มอนุภาค ซึ่งในบทความนี้เลือกใช้อุปกรณ์ชดเชยกำลังไฟฟ้าแบบยืดหยุ่นแบบต่อขนาน SVC โดยพิจารณาการทำงานของบัสที่ถูกติดตั้ง FACTS เข้าไปในระบบการวิเคราะห์แบบจำลองของระบบจำหน่ายแบบเรเดียลใช้แบบจำลองมาตรฐานของ IEEE 33 บัส 32 สาขา ที่มีกำลังไฟฟ้ารวมของโหลดขนาด 3.72 MW. และ 2.3 MVar. แรกเริ่มกำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟที่สูญเสียรวมในระบบขนาด 221.4346 kW. และ 150.1784 kVar. ใช้ Base MVA. = 10 MVA. และ Base kV. = 12.66 kV การคำนวณการไหลของกำลังใช้การคำนวณกระแสแบบย้อนกลับและการคำนวณแรงดันแบบไปข้างหน้า และใช้เทคนิคการหาตำแหน่งที่เหมาะสมโดยวิธีกลุ่มอนุภาค ผลการจำลองพบว่าขนาดแรงดันที่บัส 1 มีค่าเท่ากับ 0.98 p.u ส่วนบัสอื่นๆ ที่อยู่ไกลออกไปแรงดันที่บัสจะค่อยๆลดลงเรื่อยๆ โดยเฉพาะที่ปลายสาย และตำแหน่งบัสที่เหมาะสมในการติดตั้ง FACTS คือบัสที่ 12 หลังติดตั้ง SVC ขนาด 2.4431 MVA. เข้าไปยังบัสที่ 12 แล้วทำให้กำลังไฟฟ้าสูญเสียจริงและกำลังไฟฟ้าสูญเสียรีแอคทีฟที่บัสที่ 12 ลดลงเหลือ 160.3745 kW. และ 85.2280 kVar. ตามลำดับ ส่งผลให้แรงดันที่บัส 12 มีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 11.9640 kV. รวมถึงแรงดันที่บัสอื่นๆ ในระบบก็มีค่าแรงดันที่เพิ่มมากขึ้นตามไปด้วยเช่นกัน ทำให้ระบบมีเสถียรภาพและความน่าเชื่อถือได้ของระบบเพิ่มขึ้น มีการจ่ายพลังงานไฟฟ้าที่ดีเพียงพอต่อความต้องการของผู้ใช้ไฟฟ้า นำผลที่ได้จากการจำลองระบบมาวิเคราะห์ปรับปรุงเพื่อพัฒนา และแก้ไขปัญหาเสถียรภาพกำลังไฟฟ้าของระบบให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

9. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณศูนย์วิจัยระบบไฟฟ้ากำลังและพลังงาน ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่ช่วยการสนับสนุนข้อมูลและสถานที่ในการทำงานวิจัยในครั้งนี้

10. เอกสารอ้างอิง

[1] ชวลิต ดำรงรัตน์, "การส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า",หจก.เอช-เอน การพิมพ์: บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด, 2533,หน้า 93-94.

[2] กนกวรรณ กลิ่นเอี่ยม, "การหาตำแหน่งการติดตั้งสวิตช์ตัดตอนที่เหมาะสม ในระบบจำหน่ายแบบเรเดียลโดยวิธีเชิงพันธุกรรม", วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2549.

[3] ยุทธนา เอี่ยมสมบูรณ์, "การหาตำแหน่งและขนาดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายที่เหมาะสม เพื่อลดกำลังสูญเสียและเพิ่มความเชื่อถือได้ในระบบจำหน่ายโดยวิธีค้นหาแบบตาบู", วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2550.

[4] ธวัช สิริสังกาส, "การหาตำแหน่งและขนาดติดตั้งคาปาซิเตอร์แบงค์ที่เหมาะสมเพื่อลดกำลัง สูญเสียในระบบจำหน่ายไฟฟ้าพร้อมทั้งคำนึงถึงความไม่เป็นเชิงเส้นของโหลดโดยใช้วิธีกลุ่มอนุภาค", วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัย เทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2550.

[5] P. Mahat, W. Ongsakul, and N. Mithulananthan, "Optimal placement of wind turbine DG in primary distribution systems for real loss reduction", *Energy for Sustainable Development: Prospects and Issues for Asia (Electronic)*, 2006, pp. 1-6.

[6] ธวัช เกิดชื่น และ กฤตวิทย์ บัวใหญ่, "เทคนิคการคำนวณการไหลของกำลังในระบบจำหน่าย",การประชุมเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้ามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล (EENET2008), คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี , 2552, pp.1-13.

[7] อุเทน ลีตน และ ธนัดชัย กุลวรวานิชพงษ์, "การแก้ปัญหากำลังงานสูญเสียในสายส่งต่ำที่สุดโดยใช้ผลเฉลยการไหลกำลังไฟฟ้าเหมาะที่สุดที่อาศัยปัญญาเชิงกลุ่ม", การประชุมวิชาการทางวิศวกรรม ไฟฟ้าครั้งที่ 33, ธันวาคม 2553, หน้า 81-84.

[8] J. Kennedy, and R. Eberhart , "Particle Swarm Optimization", *Proceeding of the IEEE International Conferrence on Neural Network. Perth : Piscataway*, 1995.

[9] N. Mithulananthan, A. Sode-yome , and N. Acharya, "Application of FACTS Controllers in Thailand Power Systems", *RTG Budget-Joint Research Project*, Fiscal-Year, January 2005.

[10] Jizhong Zhu; D. Hwang, and A. Sadjadpour, "Loss Reduction From Use Of New SVC Model*", IEEE Power and Energy Society General Meeting - Conversion and Delivery of Electrical Energy in the 21st Century*, 2008 IEEE , 20-24 July 2008, pp 1-7.