

การหาค่าตอบการไหลของกำลังไฟฟ้าที่เหมาะสมสูงสุดโดยใช้วิธีการเคลื่อนตัวแบบกลุ่มอนุภาค

OPTIMAL POWER FLOW USING PARTICLE SWARM OPTIMIZATION

โดย

นางสาวศุภภรณ์ เครือวงษา 50553379

นางสาวอังคณา ประภัสสรกุล 50554013

อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ อ.ดร.คมสันต์ หงษ์สมบัติ

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

โทร. 0-2549-3429, 0-2549-3420 โทรสาร 0-2549-3422 E-mail: fengntk@ku.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยเป็นการศึกษาวิธีการคำนวณหาค่าตอบการไหลของกำลังงานไฟฟ้าที่เอื้อให้เกิดประโยชน์สูงสุด (Optimal Power Flow) โดยใช้วิธีการเคลื่อนตัวของอนุภาคที่เหมาะสมที่สุด (particle swarm optimization) มาแก้ปัญหาดังกล่าวข้างต้นที่พิจารณาประกอบด้วยข้อจำกัดของสายส่ง แท่งหม้อแปลงไฟฟ้า ขอบเขตของการวิจัยคือทดสอบกับระบบมาตรฐาน 30 บัสของ IEEE ข้อมูลประกอบด้วยโดยกำหนดค่าฟังก์ชันต้นทุนการผลิตที่ต่อเนื่อง

Abstract

This research studies the application of particle swarm optimization (PSO) and algorithm for optimal power flow (OPF) with constraints of transmission line limit, transformer loading and generator prohibited operating zones. In the proposed PSO-OPF algorithm, the sets of real power generation at generator bus are used as particles in the PSO. The proposed algorithm is performed every generation to obtain the best solution of each population search. The study model in this research is the IEEE 30 bus system

1. บทนำ

การหาค่าตอบการไหลของกำลังไฟฟ้าที่เอื้อให้เกิดประโยชน์สูงสุด (Optimal Power Flow, OPF) เป็นกระบวนการวิเคราะห์ที่สำคัญในการบริหารการจัดการระบบไฟฟ้ากำลังให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดวัตถุประสงค์พื้นฐานของ OPF คือให้ได้รับความพอใจจากการที่มีต้นทุนการเดินเครื่องโรงไฟฟ้าที่ต่ำที่สุด โดยมีข้อจำกัดของสมดุลไฟฟ้าในปัจจุบัน OPF ได้ถูกพัฒนาให้สามารถคำนึงถึงข้อจำกัดของระบบไฟฟ้าหลายอย่าง โดยทั่วไปปัญหา OPF จะเป็นการสั่งเดินเครื่องโรงไฟฟ้าที่มีต้นทุนการผลิตต่ำสุดโดยมีเงื่อนไขแบบเท่ากัน (Equality Constraints) และไม่เท่ากัน (Inequality Constraints) อันประกอบด้วย สมการสมดุลของกำลังไฟฟ้าจริง (real power balance) นั่นคือ ผลรวมของที่ผลิต

ทั้งหมด เท่ากับผลรวมของกำลังไฟฟ้าจริงภาระบวกกับกำลังงานไฟฟ้าจริงที่สูญเสียของระบบ นอกจากนี้เมื่อเราพิจารณาสมการการไหลของกำลังไฟฟ้าในระบบ จะทำให้สามารถหาค่าแรงดันที่สถานีไฟฟ้าย่อยหรือที่บัส (Bus) และค่ากำลังงานไฟฟ้าที่ไหลในสายส่งไฟฟ้าได้ ซึ่งทำให้การหาค่าตอบ OPF สามารถรวมเอาข้อจำกัดขนาดของแรงดันที่บัสและกำลังงานของไฟฟ้าสูงสุดที่สายส่งเข้าไปในปัญหาได้

2. การเคลื่อนตัวของอนุภาคที่เหมาะสมที่สุด (Particle swarm optimization, PSO)

วิธีการเคลื่อนตัวของอนุภาคที่เหมาะสมที่สุด เป็นวิธีการพัฒนาการเรียนรู้หรือมีความจำ มีลักษณะที่เอื้อให้มีความยืดหยุ่นสูงในการหาค่าตอบให้ได้ค่าที่ดีที่สุดของทั้งหมด (global optimum) และเป็นกระบวนการหาค่าตอบแบบ เชื่อว่า ทุกสิ่งที่เกิดขึ้น ไม่สามารถถูกทำนายได้ชัดเจน การเกิดสิ่งที่สังเกตต่างๆ จะขึ้นอยู่กับความน่าจะเป็น (stochastic) ที่มีประสิทธิภาพและประยุกต์ใช้งานง่ายเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการทางปัญญาประดิษฐ์อื่น นอกจากนี้ PSO ยังมีความสามารถในการค้นหาที่ครอบคลุมทั้งหมด (Global Search) ในช่วงแรกของการค้นหา และมีการค้นหาที่มุ่งเน้นเฉพาะพื้นที่ (Local Search) ในช่วงท้ายของการค้นหา ดังนั้นในการหาค่าตอบที่มีค่าตอบเฉพาะพื้นที่ (Local) หลายจุดนั้น PSO จะมีแนวโน้มที่สามารถค้นหาค่าคำตอบได้ครอบคลุมทุกคำตอบเฉพาะพื้นที่ได้ในช่วงท้ายของการค้นหา

- 1) การกำหนดค่า Parameter ของ PSO Random Position and Random Velocity
- 2) คำนวณหา fitness Function ของปัญหาจากการ Random
- 3) เปรียบเทียบคำตอบกับ Particle ในรอบเดียวกันแล้วเลือก ตัวที่ดีที่สุดเก็บไว้เรียกวิธีนี้ว่าคัดสรรเฉพาะพื้นที่
- 4) นำตัวที่ดีที่สุด ใน Particle ในรอบเดียวกัน ไปเปรียบเทียบกับคำตอบรอบอื่นๆ เพื่อหาค่าตอบที่เป็น Best so far

- 5) คำนวณค่า Velocity จากสูตรการคำนวณ
- 6) นำค่า Velocity ไปคำนวณค่าของ Position
- 7) ทำซ้ำกระบวนการที่ 1-6 ไปเรื่อยๆจนครบกับ Parameter ที่เรากำหนดไว้ที่โปรแกรมที่เราเขียนขึ้นแล้วนำเอาค่าตอบที่ดีที่สุดเป็นคำตอบของปัญหา

3. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องที่วิจัย

ปัญหา OPF เป็นการสร้างสมการคณิตศาสตร์ขนาดใหญ่ และซับซ้อน ซึ่งต้องใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ ในการช่วย คำนวณ โดยสามารถเขียนแสดงสมการที่ใช้ในการหาคำตอบได้เป็น

$$\text{Min}; \quad FC = \sum_{i \in BG} F(P_{Gi}) \quad (1)$$

$$\text{โดยที่} \quad \sum_{i \in BG} P_{Gi} = P_{loss} + P_{load} \quad (2)$$

$$|V_i|^{\min} \leq |V_i| \leq |V_i|^{\max}, \quad i = 1, \dots, NB \quad (3)$$

เมื่อ

FC เป็นค่าใช้จ่ายในการผลิตกำลังงานไฟฟ้าทั้งหมด (บาทต่อชั่วโมง)

$F(P_{Gi})$ เป็นค่าใช้จ่ายในการผลิตกำลังงานไฟฟ้า P_{Gi}^{th} ของเครื่อง

กำเนิดไฟฟ้าที่บัส i^{th} (บาทต่อชั่วโมง) BG เป็นเซตของบัสที่ต่อกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

P_{Gi} เป็นกำลังงานไฟฟ้าที่ผลิตโดยเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส i^{th} (MW)

P_{load} เป็นกำลังงานไฟฟ้าจริงของภาระทั้งหมด (MW)

P_{loss} เป็นกำลังงานไฟฟ้าจริงที่สูญเสียทั้งหมด (MW)

$|V_j|^{\min}$ เป็นขอบเขตของขนาดของแรงดันไฟฟ้าต่ำสุดที่บัส j^{th} (V)

$|V_j|$ เป็นขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่บัส j^{th} (V)

$|V_j|^{\max}$ เป็นขอบเขตของขนาดของแรงดันไฟฟ้าสูงสุดที่บัส j^{th} (V)

NB เป็นจำนวนบัสทั้งหมด

NG เป็นจำนวนของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ต่อบัส i^{th}

4. หลักการหาคำตอบ

วิธีการหาคำตอบการไหลของกำลังงานไฟฟ้าที่เอื้อให้เกิดประโยชน์สูงสุดด้วยวิธีการเคลื่อนตัวของอนุภาคที่เหมาะสมที่สุด (Particle Swarm Optimization Optimal Power Flow, PSO-OPF) จะใช้ฟังก์ชันวัตถุประสงค์คือให้มีต้นทุนการผลิตไฟฟ้าที่ต่ำที่สุด โดยมีข้อจำกัดของสมมูลกำลังไฟฟ้าจริงและกำลังงานรีแอกทีฟ พิกัดของสายส่งไฟฟ้า โดยสามารถแสดงฟังก์ชันวัตถุประสงค์ได้ดังนี้

$$\text{หาค่าต่ำสุดของ} \quad FC = \sum_{i \in BG} F(P_{Gi}) \quad (4)$$

โดยที่เป็นไปตามข้อจำกัดของสมการสมดุลกำลังงานไฟฟ้า

$$P_{Gi} - P_{Di} = \sum_{j=1}^{NB} |v_i| |v_j| |y_{ij}| \cos(\theta_{ij} - \delta_{ij}) \quad (5)$$

$$Q_{Gi} - Q_{Di} = -\sum_{j=1}^{NB} |v_i| |v_j| |y_{ij}| \sin(\theta_{ij} - \delta_{ij}) \quad (6)$$

โดยที่ $i = 1, \dots, NB$

และข้อจำกัดขอบเขตการทำงานและช่วงการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

$$P_{Gi}^{i,j} \leq P_{Gi}^{u,j} \leq p_{Gi}, \quad i \in BG, j = 1, \dots, NZi \quad (7)$$

$$P_{Gi} = P_{Gi}^{\min} \quad (8)$$

$$P_{Gi}^{u,NZ} = P_{Gi}^{\max} \quad (9)$$

เมื่อ

FC คือต้นทุนการผลิตทั้งหมดของระบบไฟฟ้า (บาทต่อชั่วโมง)

$F(P_{Gi})$ คือต้นทุนการผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ต่อบัส i^{th} (บาทต่อชั่วโมง)

P_{Gi} คือกำลังงานไฟฟ้าจริงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ต่อบัส i^{th} (MW)

P_{Di} คือภาระกำลังงานไฟฟ้าจริงที่บัส i^{th} (MW)

$|V_j|$ คือขนาดของแรงดันที่บัส j^{th} (V)

BG คือเซตของบัสที่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าต่ออยู่

NB คือจำนวนบัสทั้งหมด

P_{Gi}^{\max} คือกำลังงานไฟฟ้าจริงสูงสุด (พิกัด) ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ต่อบัส i^{th} (MW)

P_{Gi}^{\min} คือกำลังงานไฟฟ้าจริงต่ำสุดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ต่อบัส i^{th} (MW)

Q_{Di} คือภาระกำลังงานไฟฟ้ารีแอกทีฟที่บัส i^{th} (MVAR)

$|V_{ij}|$ คือขนาดของ y_{ij} ในเมตริกซ์ Y_{bus} (mho)

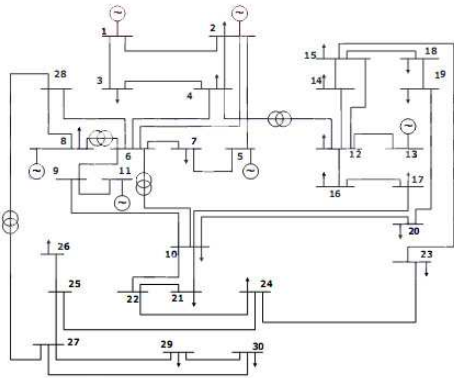
θ_{ij} คือมุมของ y_{ij} ในเมตริกซ์ Y_{bus} (radian)

Q_{Gi} คือค่ากำลังงานไฟฟ้ารีแอกทีฟของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส j (MVAR)

δ_{ij} คือผลต่างระหว่างมุมของแรงดันไฟฟ้าที่บัส i^{th} และบัส

j^{th} (radian)

5. ข้อมูลระบบไฟฟ้า 30 บัส ของ IEEE

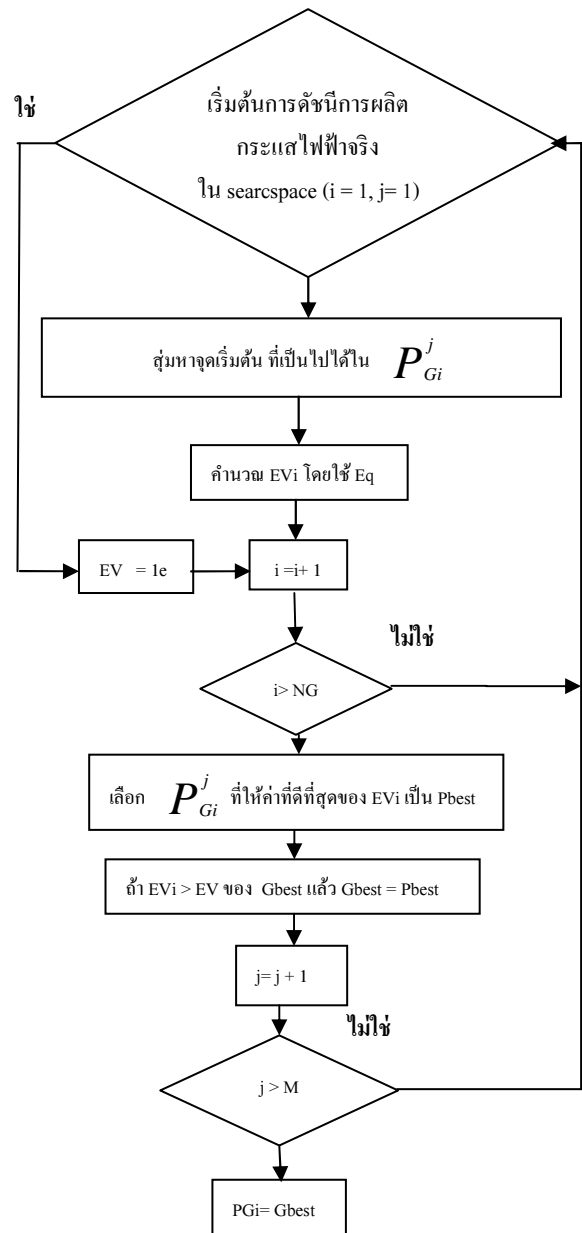


รูปที่ 1 ระบบไฟฟ้า 30 บัสของ IEEE

ตาราง 1 ข้อมูลระบบไฟฟ้า 30 บัส ของ IEEE

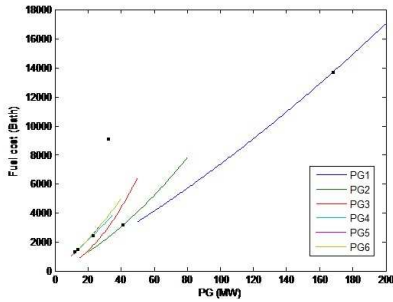
From Bus	To Bus	R(p.u.)	X(p.u.)	B/2(p.u.)	MVA
1	2	0.0192	0.0575	0.0264	130
1	3	0.0452	0.1852	0.0204	130
2	4	0.057	0.1737	0.0184	65
3	4	0.0132	0.0379	0.0042	130
2	5	0.0472	0.1983	0.0209	130
2	6	0.0581	0.1763	0.0187	65
4	6	0.0119	0.0414	0.0045	90
5	7	0.046	0.116	0.0102	70
6	7	0.0267	0.082	0.0085	130
6	8	0.012	0.042	0.0045	32
1	2	0.0192	0.0575	0.0264	130
1	3	0.0452	0.1852	0.0204	130
2	4	0.057	0.1737	0.0184	65
3	4	0.0132	0.0379	0.0042	130
2	5	0.0472	0.1983	0.0209	130
2	6	0.0581	0.1763	0.0187	65
4	6	0.0119	0.0414	0.0045	90
5	7	0.046	0.116	0.0102	70
6	7	0.0267	0.082	0.0085	130
6	8	0.012	0.042	0.0045	32

6. กระบวนการคำนวณ



รูปที่ 2 กระบวนการคำนวณของ PSO

7. ผลการทดลอง



รูปที่ 3 ผลการ optimization ของ PSO

ตารางที่ 2 ค่า PG ของแต่ละ Gen

Pload (MW)	PG (MW)					
	Gen1	Gen2	Gen3	Gen4	Gen5	Gen6
283.4	176.7462	48.8263	21.466	21.65	12.09	12
141.7	72.9916	23.8409	15	10	10	12
70.85	4.7277	20	15	10	10	12

ตารางที่ 3 ค่า loss และ ค่า v ค่อมแต่ละบัส

Pload (MW)	Ploss (MW)	VV (v.)					
283.4	9.37	1.0600	1.0430	1.0254	1.0171	1.0100	
		1.0148	1.0050	1.0100	1.0530	1.0467	
		1.0820	1.0599	1.0710	1.0450	1.0402	
		1.0471	1.0415	1.0304	1.0277	1.0317	
		1.0345	1.0350	1.0296	1.0237	1.0203	
		1.0027	1.0269	1.0128	1.0071	0.9957	
141.7	2.13	1.0600	1.0430	1.0307	1.0236		
		1.0100	1.0196	1.0097	1.0100	1.0575	
		1.0527	1.0820	1.0636	1.0710	1.0531	
		1.0495	1.0535	1.0487	1.0422	1.0400	
		1.0426	1.0433	1.0438	1.0411	1.0361	
		1.0316	1.0186	1.0354	1.0184	1.0229	
		1.0162					

70.85	0.87777	1.0600	1.0430	1.0323	1.0260	
		1.0100	1.0215	1.0116	1.0100	
		1.0591	1.0549	1.0820	1.0646	
		1.0710	1.0562	1.0532	1.0558	
		1.0514	1.0472	1.0452	1.0472	
		1.0469	1.0473	1.0458	1.0412	1.0359
		1.0252	1.0383	1.0206	1.0292	
		1.0248				

8. สรุปผลการทดลอง

ในงานวิจัยนี้ได้ใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการหาค่าตอบของวิธีการเคลื่อนตัวของอนุภาคที่เหมาะสมที่สุด (PSO) สำหรับระบบไฟฟ้าที่มีต้นทุนการผลิตต่อเนื่องและได้ทดสอบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และกระบวนการคำนวณกับระบบไฟฟ้ามาตรฐาน 30 บัส จากผลการทดลองจะพบว่ากระบวนการหาค่าตอบด้วยวิธี (PSO) ให้ผลการคำนวณได้ดีกับระบบขนาดเล็กคือระบบ 30 บัสของ IEEE อย่างไรก็ตามในระบบขนาดใหญ่จะต้องใช้เวลาในการคำนวณ ดังนั้นในการนำวิธีดังกล่าวมาใช้จึงต้องมีการพัฒนาในด้านความเร็วในการคำนวณและแบบจำลองให้รองรับกับข้อจำกัดอื่น ๆ ของระบบได้

9. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณภาควิชาไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่ให้การสนับสนุนให้ผลิตได้มีโอกาสดผลิตผลงานวิจัย และ ผู้วิจัยขอขอบคุณ อ.ดร.คมสันต์ หงษ์สมบัติ เป็นอย่างสูงที่ได้ให้คำปรึกษาเรื่อง การหาค่าตอบการไหลของกำลังไฟฟ้าที่มีต้นทุนการผลิตต่ำสุดในระบบไฟฟ้าที่มีต้นทุนการผลิตไม่ต่อเนื่องและได้สละเวลาให้คำแนะนำในการแก้ไขปรับปรุงตลอดการดำเนินงานและการ

10. เอกสารอ้างอิง

Chen P. H. and chang H.C., "Large-Scale Economic Dispatch by Genetic Algorithm" IEEE Transaction on Power System, Vol.10, No.4,1995,pp.1919-1926.

Kennedy J. and Ederthart R., "Partical Swarm Optimization", Proc. IEEE Int. Cont. Neural Network, Vol.IV,pp.1942-1948,1995

Park J., Lee K., Shin J., and Lee K. Y., "A Particle Swarm Optimization for Economic Dispatch with Nonsmooth Cost Functions", IEEE Trans. Power Syst., vol.15, no.4, 2000, pp. 1232-1239.

Bakirtzis A. G., Biskas P. N., Zoumas C. E., and Petridis V., "Optimal Power Flow by Enhanced Genetic Algorithm," IEEE Transaction on Power System, Vol. 17, No. 2, 2002, pp. 229-236.