

การจัดลำดับความสัมพันธ์ของรีเลย์ป้องกันกระแสเกินที่เหมาะสมที่สุดโดยใช้เทคนิคปัญญาประดิษฐ์

Optimal overcurrent relay coordination using artificial intelligent techniques

ดุสิต อุทิศสุนทร และ ธนัชชัย กุลสุวรรณิชพงษ์

หน่วยวิจัยระบบไฟฟ้ากำลัง ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

111 ถ.มหาวิทยาลัย ต.สุรนารี อ.เมือง จ.นครราชสีมา 30000 E-mail: dusit.sut@gmail.com

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการหาค่าที่เหมาะสมสำหรับการจัดลำดับความสัมพันธ์ของรีเลย์ป้องกันกระแสเกิน โดยอาศัยเทคนิคปัญญาประดิษฐ์ ซึ่งมีฟังก์ชันวัตถุประสงค์คือเวลาในการทำงานของรีเลย์ในระบบไฟฟ้าต่ำสุด ซึ่งจะต้องทำการปรับตั้งค่ากระแสเริ่มต้นในการทำงาน (Pickup Current) และตัวคูณจำนวนเท่าของเวลาการทำงาน (Time Dial Setting) ของรีเลย์ในแต่ละตัว ซึ่งใช้วิธีจินเนติกอัลกอริทึมเปรียบเทียบกับวิธีฝูงอนุภาค ระบบที่นำมาทดสอบนั้นเป็นระบบขนาด 6 บัส จากผลการทดสอบพบว่าการใช้เทคนิคปัญญาประดิษฐ์สามารถหาค่าเวลาทำงานต่ำสุดของรีเลย์ในระบบทั้งหมดได้ดี เมื่อเปรียบเทียบผลเฉลยของคำตอบที่ได้รับจากวิธีคล้ายนิวตัน

คำสำคัญ: การจัดลำดับความสัมพันธ์ของรีเลย์, เวลาเพื่อการทำงาน, วิธีฝูงอนุภาค, วิธีจินเนติกอัลกอริทึม

Abstract

This paper presents optimal coordination of overcurrent relays by using artificial intelligent techniques. The objective function of the relay coordination problem is to minimize the operation time of associated relays in the systems. The control variables used in this paper are the pickup current and time dial setting of relays. Genetic algorithms and particle swarm optimization are employed to represent the artificial intelligent techniques. For evaluation, a 6-bus test power system was used. The simulation results showed that the artificial intelligent techniques are capable to minimize the operation time of relays in the entire system when compared to those results obtained by the Quasi-Newton search.

Keywords: Optimal Coordination, Time Grading Margin, Particle Swarm Optimization, Genetic Algorithm

1. คำนำ

ในระบบไฟฟ้าแบบรูปหรือแบบโครงข่ายจะมีความซับซ้อนในการจัดลำดับความสัมพันธ์ของรีเลย์ป้องกันหลักและรีเลย์ป้องกันสำรองเพราะมีรีเลย์จำนวนมาก ดังนั้นจึงต้องแก้ปัญหาโดยหาค่าที่

เหมาะสมมาใช้ในการปรับตั้งค่ารีเลย์ซึ่งประกอบด้วยกระแสเริ่มต้นในการทำงาน (Pick up) และตัวคูณจำนวนเท่าของเวลาในการทำงาน (Time Dial Setting) โดยใช้วิธีทางคณิตศาสตร์เพื่อหาค่าเวลาในการทำงานต่ำสุดในการจัดความสัมพันธ์ของรีเลย์ จากการศึกษางานวิจัยในอดีตจุดเริ่มต้นจะใช้การแก้ปัญหาแบบวิธีการโปรแกรมเชิงเส้นแบบซิมเพล็กซ์ [1-2] ต่อจากนั้นได้ปรับปรุงพัฒนารูปแบบปัญหาโดยใช้เทคนิคปัญญาประดิษฐ์ในการหาค่าที่เหมาะสม ซึ่งหลักการนี้จะประกอบด้วยส่วนของฟังก์ชันวัตถุประสงค์และเงื่อนไขของการจัดความสัมพันธ์ โดยการรวมเอาค่าปัญหาเชิงเส้นและไม่เป็นเชิงเส้นมาพิจารณาเพื่อทำการค้นหาค่าตอบที่ดีที่สุดโดยใช้วิธีฝูงอนุภาคและใช้การคำนวณเชิงวิวัฒนาการซึ่งเป็นการคำนวณที่เลียนแบบขั้นตอนวิวัฒนาการของธรรมชาติด้วยวิธีจินเนติกอัลกอริทึมในการหาค่าที่เหมาะสมของการปรับตั้งรีเลย์ป้องกัน [3-4]

ในบทความนี้เสนอวิธีการแก้ปัญหาโดยใช้เทคนิคปัญญาประดิษฐ์หาค่าที่เหมาะสมในการหาค่าปรับตั้งรีเลย์ซึ่งประกอบด้วยค่ากระแสเริ่มต้นทำงาน (Pickup) และค่าตัวคูณจำนวนเท่าของเวลาในการทำงาน (TDS) โดยกำหนดวัตถุประสงค์ของเวลาทำงานของรีเลย์ต่ำสุดตามขอบเขตของการป้องกันกำหนดขนาดของโหลดคงที่ ค่าผลลัพธ์ที่ได้จะถูกนำมาใช้ในการตัดสินใจปรับตั้งค่ารีเลย์ในการป้องกันเพื่อให้ระบบมีความสามารถในการแยกแยะและมีความมั่นคงในการจ่ายไฟฟ้า

2. ปัญหาในการจัดลำดับความสัมพันธ์ของรีเลย์

ปัญหาที่สำคัญในการออกแบบระบบป้องกันก็คือการเลือกใช้อุปกรณ์ป้องกันไฟฟ้าให้ทำงานครอบคลุมเขตการป้องกันทั้งระบบไฟฟ้า ซึ่งจะต้องแบ่งเขตการป้องกันให้ทำงานคาบเกี่ยวกันเพื่อลดจุดบอดในการป้องกัน ในส่วนนี้เลือกใช้รีเลย์ป้องกันกระแสเกินมาใช้ในการป้องกันสายส่งตามเขตการป้องกันหลักและการป้องกันสำรอง ซึ่งต้องพิจารณาตามเงื่อนไขดังนี้

2.1 คุณลักษณะของรีเลย์ป้องกันกระแสเกิน

ในการออกแบบระบบการป้องกันมักเลือกใช้อุปกรณ์ป้องกันที่เป็นผลิตภัณฑ์เดียวกันหมดเพื่อความสะดวกในการจัด

ความสัมพันธ์การป้องกัน โดยรีเลย์ต้องสามารถตั้งกระแสทริปและเวลาการทำงานได้ ดังนั้นบทความนี้จึงนำเสนอการใช้รีเลย์ป้องกันกระแสเกินแบบดิจิทัล [5] มาแก้ปัญหาดังกล่าวซึ่งรีเลย์จะต้องทำการปรับตั้งค่าดังสมการที่ (1) ตามคุณลักษณะของรีเลย์ตามมาตรฐาน IEC255-4

$$t = \frac{\beta \times TDS}{\left(\frac{I_{sc}}{I_p}\right)^\alpha - 1} \quad (1)$$

เมื่อ t คือค่าเวลาในการทำงานของรีเลย์

TDS คือค่าตัวคูณช่วงเวลาการทำงาน

I_{sc} คือค่ากระแสฟอลต์ที่ได้จากการวัด

I_p คือค่ากระแสเริ่มต้นในการทำงาน

β, α คือค่าคงที่

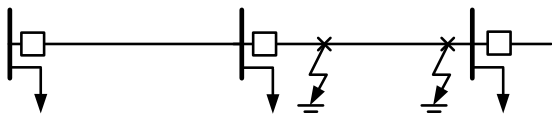
จากสมการที่ (1) จะสังเกตเห็นว่าอัตราส่วนของกระแสฟอลต์กับกระแสเริ่มต้นทำงานจะมีลักษณะเชิงเส้นและไม่เป็นเชิงเส้น โดยจะขึ้นอยู่กับทางเลือกใช้สมการคุณลักษณะของรีเลย์แบบต่าง ๆ ในบทความนี้เลือกใช้สมการคุณลักษณะในการทำงานแบบแปรผกผันตามเวลา (Very inverse time) มีค่า α เท่ากับ 1.00 และมีค่า β เท่ากับ 13.5

2.2 ขอบเขตการป้องกันของรีเลย์หลักและรีเลย์สำรอง

ในกรณีที่ระบบไฟฟ้ามีรีเลย์ป้องกันอยู่ในหลายๆ ตัวดังแสดงในรูปที่ 1 ต้องทำการจัดลำดับความสัมพันธ์ของรีเลย์ โดยรีเลย์ที่อยู่ใกล้จุดที่เกิดฟอลต์จะต้องตัดวงจรก่อนรีเลย์ตัวอื่น ๆ และใช้เวลาการทำงานเร็วที่สุดเป็นรีเลย์หลัก (main) ส่วนรีเลย์สำรอง (backup) จะทำงานเมื่อรีเลย์หลักไม่ทำงานมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับเวลาส่วนต่างในการจัดความสัมพันธ์ซึ่งเป็นเวลาของการจัดความสัมพันธ์ระหว่างรีเลย์หลักและรีเลย์สำรอง ดังนั้นเวลาการทำงานของรีเลย์สำรองต้องมากกว่าผลรวมของเวลาการทำงานของรีเลย์หลักกับระยะเพื่อเวลาของการจัดความสัมพันธ์ (Coordination Time Interval) ของรีเลย์ดังสมการที่ (2)-(3)

$$t_b(F_1) - t_m(F_1) \geq CTI \quad (2)$$

$$t_b(F_2) - t_m(F_2) \geq CTI \quad (3)$$



รูปที่ 1 ตำแหน่งการติดตั้งของเขตการป้องกันรีเลย์

2.3 ฟังก์ชันวัตถุประสงค์

ในการจัดลำดับความสัมพันธ์ของรีเลย์นั้นใช้เทคนิคการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของเวลาทำงานเป็นวัตถุประสงค์หลักโดยมีเวลาการทำงานของรีเลย์สำรองเป็นเงื่อนไข ซึ่งจะต้องทำการปรับตั้งค่าให้ได้เวลาในการทำงานทั้งหมดของรีเลย์ต่ำที่สุดตามสมการที่ (4) [6-8]

$$OF = \alpha_1 \sum (t_i)^2 + \alpha_2 \sum [\Delta t_{mb} - \beta_2 \cdot (\Delta t_{mb} - |\Delta t_{mb}|)]^2 \quad (4)$$

เมื่อ Δt_{mb} คือผลต่างของเวลาของการทำงานของแต่ละรีเลย์

t_m, t_b คือเวลาในการทำงานของรีเลย์หลักและรีเลย์สำรอง

β_2 คือค่าคงที่ของตัวแปรที่ใช้ในการตัดสินใจเมื่อไม่เกิดการจัดความสัมพันธ์

α_1 คือตัวควบคุมผลรวมเวลาการทำงานของรีเลย์หลัก $\sum (t_i)^2$

α_2 คือตัวควบคุมผลต่างของเวลาการทำงานของรีเลย์ $\sum (\Delta t_{mb})^2$

2.4 ขอบเขตและเวลาในการทำงานของรีเลย์

ในการจัดลำดับความสัมพันธ์จะกำหนดขอบเขตการหาค่าเวลาในการทำงานขอบเขตของการปรับตั้งเวลาของรีเลย์

$h(t) \leq 0$	Coordination criteria
$TDS_{ij} \min \leq TDS_{ij} \leq TDS_{ij} \max$	Relay setting
$Ip_{ij} \min \leq Ip_{ij} \leq Ip_{ij} \max$	Relay setting
$t_{ijk} \min \leq t_{ijk} \leq t_{ijk} \max$	Operation time

3. การหาค่าการจัดลำดับความสัมพันธ์โดยใช้เทคนิคปัญญาประดิษฐ์

เทคนิคการหาค่าที่เหมาะสมของการจัดลำดับความสัมพันธ์ของรีเลย์ป้องกันกระแสเกินนั้นสามารถใช้เทคนิคปัญญาประดิษฐ์มาแก้ปัญหาเชิงเส้น (Linear) และไม่เป็นเชิงเส้น (Non linear) ของสมการเวลาการทำงานของรีเลย์

3.1 การหาค่าที่เหมาะสมที่สุดด้วยการเคลื่อนที่ของฝูงอนุภาค

วิธีกลุ่มอนุภาคในการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดอาศัยการค้นหาแบบกลุ่มประชากรแต่ละตัวดำเนินการเรียกว่า “อนุภาค” เพื่อใช้ในการค้นหาค่าตอบด้วยการปรับประชากรนั้นๆ ในทุกรอบการคำนวณตามปริภูมิการค้นหา (Search space) ให้มีค่าไปตามอนุภาคที่ใกล้เคียงกับคำตอบที่เหมาะสมที่สุด [9-11]

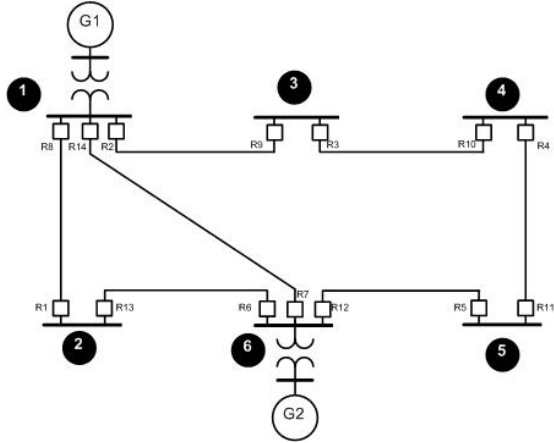
3.2 การหาค่าที่เหมาะสมโดยใช้วิธีจินเนติกอัลกอริทึม

จินเนติกอัลกอริทึม (genetic algorithm) เป็นทฤษฎีของวิธีการหาค่าตอบที่ดีที่สุดที่จำลองกระบวนการวิวัฒนาการทางธรรมชาติคือการคัดเลือกทางธรรมชาติและโดยมีพื้นฐานทางความคิดเกี่ยวกับถ่ายทอดทางพันธุกรรมในการลักษณะต่าง ๆ ไปยังรุ่นถัดไป [12-14]

4. การวิเคราะห์ผลและระบบทดสอบ

ในการทดสอบอัลกอริทึมบทความนี้ใช้ระบบทดสอบขนาด 6 บัส [15] ซึ่งเป็นการต่อเชื่อมระบบแสดงดังรูปที่ 2 ระบบทดสอบติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าบัสที่ 1 และ 6 เพื่อทำการจ่ายโหลดขนาด 15+j5 MVA, 20+j15 MVA, และ 10+j5 MVA ที่บัส 3, 4 และ

5 ใช้รีเลย์ป้องกันกระแสเกิน (51P) แล้วก็จะทำการหาค่ากระแสในสายส่งที่ใหญ่ไปยังบัสต่างๆ จากนั้นทำการหาค่าที่เหมาะสมเปรียบเทียบผลเฉลยของคำตอบที่ได้จากวิธีฟูลอนูภาคและวิธีจินเนติกอัลกอริทึม โดยทำการสุ่มค่าเริ่มต้น 30 ค่า ดังนั้นจะได้ผลเฉลย 30 คำตอบ ในการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย ค่าต่ำสุด ค่าสูงสุด และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของเวลาการทำงานของรีเลย์ดังตารางที่ 2



รูปที่ 2 ระบบทดสอบขนาด 6 บัส

ตารางที่ 1 การเปรียบเทียบค่าปรับตั้งของรีเลย์ในแต่ละวิธี

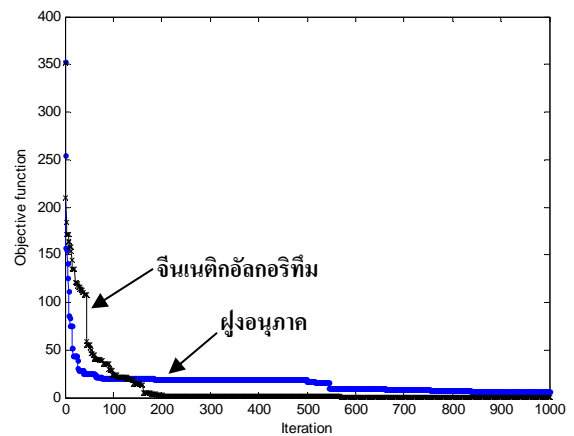
รีเลย์	ฟูลอนูภาค		จินเนติกอัลกอริทึม	
	กระแส	จำนวนเท่า	กระแส	จำนวนเท่า
1	6.9689	0.7826	7.3390	0.9991
2	8.1108	0.2990	13.0635	0.1731
3	7.8935	0.2977	3.2717	0.7884
4	9.5288	0.3900	5.0922	0.7361
5	9.8235	0.3935	4.4777	0.9348
6	7.2611	0.2275	12.1429	0.1338
7	4.2628	0.0623	3.0777	0.1000
8	6.2619	0.2914	3.1338	0.5906
9	9.1999	0.5325	5.2409	0.9736
10	7.2035	0.5996	7.2927	0.5519
11	6.8351	0.4840	3.7826	0.9035
12	6.5317	0.3342	3.6517	0.6509
13	9.1803	0.7339	11.7797	0.5753
14	10.2991	0.1915	2.9944	0.7481

ในการแบ่งเขตการป้องกันนั้นจะประกอบด้วยรีเลย์หลักที่ติดตั้งใกล้กับบัสที่เกิดการลัดวงจร ส่วนรีเลย์ป้องกันสำรองใช้ป้องกัน

สายส่งที่เชื่อมโยงไปยังบัสต่างๆ ในกรณีที่เกิดการลัดวงจรของบัสที่มีการติดตั้งเครื่องกำเนิดจะมีค่ากระแสลัดวงจรสูง เนื่องจากเป็นแหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้าลัดวงจร ซึ่งจะต้องใช้รีเลย์หลักในการป้องกัน ส่วนรีเลย์สำรองจะทำหน้าที่ป้องกันกระแสลัดวงจรของสายส่ง เพราะฉะนั้นค่ากระแสลัดวงจรของสายส่งจะเปลี่ยนแปลงตามค่าอิมพีแดนซ์ของสายส่งที่เชื่อมต่อ ในตารางที่ 1 นั้นเป็นการเปรียบเทียบค่าผลเฉลยของคำตอบในการปรับตั้งรีเลย์ ซึ่งประกอบด้วยกระแสปรับตั้งและจำนวนเท่าของเวลาของแต่ละวิธีตามวัตถุประสงค์เพื่อให้ได้เวลาในการทำงานของรีเลย์ทั้งระบบต่ำสุด

ในการแก้ปัญหาที่ได้กล่าวมาแล้วนั้นจะทำการปรับตั้งค่าของตัวแปรค่าคงที่ของน้ำหนักถ่วงในการหาค่าคำตอบ $\alpha_1 = 1$, $\alpha_2 = 100$ และ $\beta_2 = 100$ จำนวนรอบสูงสุด = 1,000 พารามิเตอร์สำหรับการหาค่าด้วยวิธี PSO ความเร็ว (V_{max}) = 100, จำนวนรอบสูงสุด = 1,000 และขนาดประชากร (Population size) = 100 พารามิเตอร์สำหรับการหาค่าด้วยวิธี GA จำนวนรุ่น (Generation) = 1000 และขนาดประชากร (Population size) = 100 ตารางที่ 2 ผลเฉลยของคำตอบของเวลาทำงานของรีเลย์ในระบบ

เทคนิค	เวลาการทำงานของรีเลย์ (วินาที)			
	ค่าดีที่ต่ำสุด	ค่าแย่ที่สุด	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
คล้ายนิวตัน	1.0723	355.4960	61.9440	78.2220
จินเนติกอัลกอริทึม	1.0723	1.0826	1.0750	0.0021
ฟูลอนูภาค	1.4994	30.1973	11.0266	7.0419



รูปที่ 3 ค่าผลเฉลยการหาค่าของคำตอบ

จากรูปที่ 3 จะสังเกตได้ว่าเมื่อใช้วิธีการจินเนติกอัลกอริทึมจะทำให้ได้คำตอบในจำนวนรอบที่น้อยค่อนข้างจะคงที่

เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการฟูลอนภาค ซึ่งการลู่เข้าหาค่าคอบจะใช้รอบในการคำนวณมากและค่าผลลัพธ์ของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ได้จะมีค่ามาก ส่วนวิธีการจินตคณิตนั้นจะให้ค่าของค่าคอบต่ำสุดเท่ากับวิธีคล้ายนิวตันดังแสดงตารางที่ 2

ผลการทดสอบระบบ 6 บัส ของเวลาการทำงานของรีเลย์ในระบบไฟฟ้าตามตารางที่ 2 เมื่อทำการตั้งค่ากระแสและค่าตัวคูณจำนวนเท่าของเวลา ทำให้เวลาการทำงานรวมของรีเลย์ที่ดีที่สุดของวิธีคล้ายนิวตันมีค่าเท่ากับ 1.0723 วินาที ส่วนวิธีฟูลอนภาคมีค่าเท่ากับ 1.4994 วินาที เมื่อพิจารณากรณีที่ยืดสุดวิธีคล้ายนิวตันมีค่าเท่ากับ 355.4960 วินาที และวิธีฟูลอนภาคมีค่าเท่ากับ 30.1973 วินาที ส่วนวิธีจินตคณิตอัลกอริทึมจะให้ค่าคอบที่ให้ค่าดีที่สุดมีค่าเท่ากับ 1.0723 วินาทีและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของวิธีจินตคณิตอัลกอริทึมมีค่าดีที่สุดเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบค่าผลเฉลยของวิธีการทั้งหมด

5. สรุป

บทความนี้นำเสนอการจัดลำดับความสัมพันธ์ของรีเลย์ป้องกันกระแสเกิน ในการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดโดยใช้เทคนิคปัญญาประดิษฐ์หาค่าปรับตั้งรีเลย์ซึ่งกำหนดให้ใช้เวลาในการทำงานต่ำสุดกล่าวคือ เวลาในการทำงานของรีเลย์ในระบบไฟฟ้าทำงานตามขอบเขตเงื่อนไขบังคับของคุณลักษณะของรีเลย์ โดยทำการเปรียบเทียบกันระหว่างวิธีฟูลอนภาคกับวิธีจินตคณิตอัลกอริทึมกับระบบทดสอบขนาด 6 บัส ผลการทดสอบพบว่าผลเฉลยของค่าคอบอยู่ในขอบเขตที่ปรับตั้ง โดยวิธีจินตคณิตอัลกอริทึมให้ค่าผลเฉลยของค่าคอบต่ำสุดเมื่อเทียบกับวิธีฟูลอนภาค ซึ่งใช้จำนวนรอบการลู่เข้าหาค่าคอบที่น้อยและจะคงที่เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีฟูลอนภาค

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Chattopadhyay B, Sachdev M.S. and Sidhu, T.S., "An on-line relay coordination algorithm for adaptive protection using linear programming technique", *Power Delivery, IEEE Transactions*, Vol.11, pp. 165 – 173, 1996.
- [2] Bedekar P.P., Bhide, S.R. and Kale V.S., "Coordination of overcurrent relays in distribution system using linear programming technique", *INCAEC 2009*, pp. 1 – 4, 2009.
- [3] D. Uthitsunthorn and T. Kulworawanichpong, "Optimal Overcurrent Relay Coordination using Genetic Algorithms", *International Conference on Advanced Energy Engineering (ICAEE 2010)*, 19-20 June 2010, pp. 128-131, 2010.
- [4] S.I. Lim, M.S. Choi and S.J. Lee, "Adaptive protection setting and coordination for power distribution systems", *Power Systems Conference, 2006. MEPCON 2006*, Vol. 1, pp. 129 –134, 2006.

- [5] GE Power Management, *MIC Digital Overcurrent Relays*, GE Electric Limitd, www.GEindustrial.com/pm.
- [6] Kavehnia F., Seifi H., Keivani H. and Askari M.R., "Optimal Coordination of Directional Overcurrent Relays in Power System Using Genetic Algorithm" *Universities Power Engineering Conference 2006*, pp. 824 – 827, 2006.
- [7] Zeineldin H., El-Saadany E.F. and Salama M.A. "Optimal coordination of directional overcurrent relay coordination" , *Power Engineering Society General Meeting, 2005*.
- [8] Mousavi S.M., Abyaneh H.A. and Mahdavi M., "Optimum setting and coordination of overcurrent relays considering cable damage curve", *PowerTech, 2009 IEEE Bucharest, 2009*, pp. 1 - 5, 2009.
- [9] Vijayakumar D. and Nema R.K., "Superiority of PSO Relay Coordination Algorithm over Non-Linear Programming: A Comparison, Review and Verification", *Power System Technology and IEEE Power India Conference, POWERCON 2008*, pp. 1 – 6, 2008.
- [10] Asadi, M.R. and Kouhsari, S.M., "Optimal Overcurrent relays coordination using particle-swarm-optimization algorithm", *Power Systems Conference and Exposition, 2009. PSCE '09. IEEE/PES, 2009*, pp. 1 – 7, 2009.
- [11] ธนดชัย กุลรวานิชพงษ์ "เทคนิคการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด (Optimization Techniques)" พิมพ์ครั้งที่ 2. เอกสารประกอบการสอน : ศูนย์ผลิตตำราเรียนมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, 2550
- [12] Abyaneh H.A., Kamangar S., Razavi, F. and Chabanloo R.M., "A new genetic algorithm method for optimal coordination of overcurrent relays in a mixed protection scheme with distance relays", *Universities Power Engineering Conference, 2008. UPEC 2008*, pp. 1 – 5, 2008.
- [13] L.Yinhong, S.Dongyuan and D. Xianzhong, "A study on optimal coordination of definite-time relay based on genetic algorithm", *Transmission and Distribution Conference and Exposition, IEEE PES, Vol.1*, pp. 279 – 284, 2003.
- [14] อาทิตย์ ศรีแก้ว "ปัญญาเชิงคำนวณ (Computational Intelligence)", พิมพ์ครั้งที่ 1 เอกสารประกอบการสอน
- [15] F. Razavi, H.A. Abyaneh, M. Dabbagh, R. Mohammadi and H.Torkaman, "A new comprehensive genetic algorithm method for optimal overcurrent relays coordination", *Electric Power System Research, Vol.78*, pp.713-720, 2008.