

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ง
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญตาราง	ฅ
สารบัญภาพ	ฎ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	3
1.4 วิธีการวิจัย	3
1.5 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้	3
1.6 ประโยชน์ของการวิจัย	3
1.7 เนื้อหาของวิทยานิพนธ์	4
บทที่ 2 วิธีเชิงพันธุกรรม	5
2.1 ความรู้พื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับวิธีเชิงพันธุกรรม	5
2.2 การคัดเลือกพันธุ์	6
2.3 การประเมินค่าฟังก์ชันเป้าหมาย	7
2.4 คัดแยกประชากรที่ดีที่สุด	8
2.5 ตัวดำเนินการพันธุกรรม	8
2.6 ขั้นตอนการหาคำตอบของฟังก์ชันเป้าหมายโดยวิธีพันธุกรรม	11
2.7 ผลการทดสอบโปรแกรม	12
บทที่ 3 การวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าของระบบจำหน่ายแบบเรเดียล	19
3.1 ปัญหาการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้า	19
3.2 การแก้ปัญหการไหลของกำลังไฟฟ้าโดยใช้วิธีนิวตันราฟสัน	21
3.3 ระบบจำหน่ายไฟฟ้า	23
3.4 การวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าในระบบจำหน่ายแบบเรเดียล	27
บทที่ 4 การประเมินดัชนีความเชื่อถือได้ในระบบจำหน่ายไฟฟ้า	33
4.1 ดัชนีความเชื่อถือได้	33

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.2 พิจารณาเหตุการณ์เมื่อเกิดฟอลต์ในระบบจำหน่ายไฟฟ้าแบบเรเดียล	37
4.3 มูลค่าความเสียหายเมื่อเกิดเหตุการณ์ไฟฟ้าดับ	39
บทที่ 5 การคำนวณหาตำแหน่งติดตั้งสวิตช์ตัดตอนที่เหมาะสม	43
5.1 ค่าาคความเสียหายของผู้ใช้ไฟฟ้าเมื่อเกิดไฟฟ้าดับ	43
5.2 ค่าใช้จ่ายในการลงทุนติดตั้งสวิตช์ตัดตอน	46
5.3 ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาสวิตช์ตัดตอน	46
5.4 การหาตำแหน่งการติดตั้งสวิตช์ตัดตอนที่เหมาะสมในระบบจำหน่าย แบบเรเดียลโดยวิธีพันธุกรรม	46
บทที่ 6 กรณีศึกษา	49
6.1 ระบบจำหน่ายไฟฟ้าทดสอบของ Roy Billinton Test System	49
6.2 ผลการศึกษาแรงดันที่จุดโหลดและกระแสที่สายป้อนของระบบ จำหน่ายไฟฟ้าทดสอบ RBTS บัส 2	52
6.3 กรณีศึกษาระบบจำหน่ายไฟฟ้าทดสอบ RBTS บัส 2	54
6.4 ระบบจำหน่ายไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค	64
6.5 ผลการศึกษาแรงดันที่จุดโหลดและกระแสที่สายป้อนของระบบ จำหน่ายการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค	69
6.6 กรณีศึกษาระบบจำหน่ายไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค	72
บทที่ 7 สรุปผลและข้อเสนอแนะ	81
7.1 สรุปผล	81
7.2 ข้อเสนอแนะ	82
เอกสารอ้างอิง	83
ประวัติผู้วิจัย	85

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2-1	ความหมายของคำเฉพาะทางชีววิทยาที่ใช้ในวิธีพันธุกรรม	6
3-1	การกำหนดปริมาณไฟฟ้าต่างๆตามประเภทของบัสในระบบไฟฟ้า	20
3-2	ส่วนประกอบของระบบจำหน่ายและหน้าที่การทำงาน	23
4-1	สถิติการเกิดไฟฟ้าดับของผู้ใช้ไฟฟ้า	33
4-2	ค่าความเสียหายเมื่อเกิดไฟฟ้าดับของ SIC	39
4-3	ค่าความเสียหายเมื่อเกิดไฟฟ้าดับ ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค	40
6-1	โหลดสูงสุดใน RBTS บัส 2	50
6-2	ความยาวและชนิดของสายป้อน	50
6-3	ข้อมูลเกี่ยวกับผู้ใช้ไฟฟ้าของระบบจำหน่ายไฟฟ้าทดสอบ RBTS บัส 2	51
6-4	ดัชนีความน่าเชื่อถือได้ของอุปกรณ์ในระบบจำหน่ายไฟฟ้าทดสอบ RBTS บัส 2 ด้าน 11 kV	51
6-5	ผลของแรงดันที่จุดโหลดของระบบจำหน่ายทดสอบ RBTS บัส 2	52
6-6	ผลของกระแสที่สายป้อนของระบบจำหน่ายทดสอบ RBTS บัส 2	52
6-7	โหลด 7 ระดับและความน่าจะเป็นในการเกิดโหลด	53
6-8	ผลการศึกษาระบบจำหน่าย RBTS บัส 2 ไม่จำกัดการจ่ายไฟฟ้าสำรองจากสายป้อนอื่น โดยพิจารณาระดับโหลดเป็นค่าเฉลี่ย	56
6-9	ผลการศึกษาระบบจำหน่าย RBTS บัส 2 ไม่จำกัดการจ่ายไฟฟ้าสำรองจากสายป้อนอื่น โดยพิจารณาระดับโหลดเป็น 7 ระดับ	57
6-10	ผลการศึกษาระบบจำหน่าย RBTS บัส 2 จำกัดการจ่ายไฟฟ้าสำรองจากสายป้อนอื่น โดยพิจารณาระดับโหลดเป็นค่าเฉลี่ย	60
6-11	ผลการศึกษาระบบจำหน่าย RBTS บัส 2 จำกัดการจ่ายไฟฟ้าสำรองจากสายป้อนอื่น โดยพิจารณาระดับโหลดเป็น 7 ระดับ	61
6-12	ชนิดสายป้อนและความยาวของสายป้อน KWA 01	66
6-13	ชนิดสายป้อนและความยาวของสายป้อน KWA 06	66
6-14	ข้อมูลเกี่ยวกับผู้ใช้ไฟฟ้าของสายป้อน KWA 01	67
6-15	ข้อมูลเกี่ยวกับผู้ใช้ไฟฟ้าของสายป้อน KWA 06	68
6-16	ดัชนีความเชื่อถือได้ของสายป้อน KWA 01 และ KWA 06	68

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
6-17	ผลของแรงดันที่จุดโหลดของระบบจำหน่ายการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค KWA01	70
6-18	ผลของกระแสที่สายป้อนของระบบจำหน่ายการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค KWA01	70
6-19	ผลของแรงดันที่จุดโหลดของระบบจำหน่ายการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค KWA06	70
6-20	ผลของกระแสที่สายป้อนของระบบจำหน่ายการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค KWA06	71
6-21	ผลการศึกษาระบบจำหน่ายการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค พิจารณาระดับ โหลดเป็นค่าเฉลี่ย	73
6-22	ผลการศึกษาระบบจำหน่ายการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค โดยพิจารณาระดับ โหลดเป็น 7 ระดับ	74

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2-1	ตัวแปรตัดสินใจในประชากรพ่อแม่ที่ 1	7
2-2	กลุ่มประชากร	8
2-3	แสดงการลู่เข้าคำตอบของฟังก์ชัน $G_1(x)$	13
2-4	แสดงการลู่เข้าคำตอบของฟังก์ชัน $G_2(x)$	14
2-5	แสดงการลู่เข้าคำตอบของฟังก์ชัน $G_3(x)$	16
2-6	แสดงการลู่เข้าคำตอบของฟังก์ชัน $G_4(x)$	17
3-1	สายป้อนปฐมภูมิเรเดียลแบบธรรมดา	24
3-2	วงจรแบบเรเดียลเชื่อมโยง	26
3-3	วงจรแบบเรเดียลศูนย์กลางโหลด	26
3-4	วงจรแบบเรเดียลแยกเฟส	27
3-5	วงจรเทียบเคียงระบบจำหน่ายแบบเรเดียล	30
4-1	กราฟระยะเวลาการใช้โหลด	36
4-2	ระบบจำหน่ายไฟฟ้าแบบเรเดียลในกรณีไม่มีอุปกรณ์ป้องกัน	37
4-3	ระบบจำหน่ายไฟฟ้าแบบเรเดียลในกรณีติดอุปกรณ์ป้องกันที่จุดโหลด	37
4-4	ระบบจำหน่ายไฟฟ้าแบบเรเดียลในกรณีมีสวิตช์ตัดตอนที่สายป้อน และฟิวส์ที่จุดโหลด	38
4-5	ระบบจำหน่ายไฟฟ้าแบบเรเดียลในกรณีที่จ่ายไฟฟ้าสำรองจากสาย ป้อนอื่น	38
4-6	มูลค่าความเสียหายเมื่อเกิดไฟฟ้าดับของ Standard Industrial Classification (SIC)	40
4-7	มูลค่าความเสียหายเมื่อเกิดไฟฟ้าดับของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค	41
6-1	ระบบจำหน่ายไฟฟ้าทดสอบ RBTS บัส 2	49
6-2	กราฟความน่าจะเป็นของความต้องการกำลังไฟฟ้า	54
6-3	ติดสวิตช์ตัดตอนทุกตำแหน่งในระบบจำหน่ายทดสอบ RBTS บัส 2	58
6-4	ไม่ติดสวิตช์ตัดตอนในระบบจำหน่ายทดสอบ RBTS บัส 2	58
6-5	ผลการเลือกตำแหน่งติดสวิตช์ตัดตอนด้วยวิธีการเชิงพันธุกรรม ฟิวส์ ทำงาน 100%และ 90% พิจารณาระดับโหลดเป็นค่าเฉลี่ย ไม่จำกัดการ จ่ายไฟฟ้าสำรองจากสายของระบบจำหน่ายทดสอบ RBTS บัส 2	59

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
6-6	ผลการเลือกตำแหน่งติดตั้งสวิตช์ด้วยวิธีการเชิงพันธุกรรม พิวส์ทำงาน 100%และ 90% พิจารณาระดับโหลดเป็น 7 ระดับ ไม่จำกัดการจ่าย ไฟฟ้าสำรองจากสายป้อนอื่น ของระบบจำหน่ายทดสอบ RBTS บัส 2	56
6-7	ผลการเลือกตำแหน่งติดตั้งสวิตช์ตัดตอนด้วยวิธีการเชิงพันธุกรรม พิวส์ทำงาน 100%และ 90% พิจารณาระดับโหลดเป็นค่าเฉลี่ย จำกัดการจ่าย ไฟฟ้าสำรองจากสายป้อนอื่น ของระบบจำหน่ายทดสอบ RBTS บัส 2	62
6-8	ผลการเลือกตำแหน่งติดตั้งสวิตช์ด้วยวิธีการเชิงพันธุกรรม พิวส์ทำงาน 100%และ 90% พิจารณาระดับโหลดเป็น 7 ระดับ จำกัดการจ่ายไฟฟ้า สำรองจากสาย ป้อนอื่น ของระบบจำหน่ายทดสอบ RBTS บัส 2	62
6-9	วงจรระบบจำหน่ายการไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค KWA 01 และ KWA 06	65
6-10	วงจรระบบจำหน่ายการไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค KWA 01 และ KWA 06	69
6-11	ติดตั้งสวิตช์ตัดตอนทุกตำแหน่งของระบบจำหน่ายการไฟฟ้าส่วน ภูมิภาค	75
6-12	ไม่มีการติดตั้งสวิตช์ตัดตอนทุกตำแหน่งของระบบจำหน่ายการไฟฟ้า ส่วนภูมิภาค	76
6-13	เลือกตำแหน่งติดตั้งสวิตช์ตัดตอนด้วยวิธีเชิงพันธุกรรม พิวส์ทำงาน 100% และ 90% พิจารณาระดับโหลดเป็นค่าเฉลี่ย ของระบบจำหน่าย การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค	77
6-14	เลือกตำแหน่งติดตั้งสวิตช์ตัดตอนด้วยวิธีเชิงพันธุกรรม พิวส์ทำงาน 100% และ 90% พิจารณาระดับโหลดเป็น 7 ระดับ ของระบบจำหน่าย การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค	78

ชื่อ : นางสาวกนกวรรณ กลิ่นเอี่ยม
ชื่อวิทยานิพนธ์ : การหาตำแหน่งการติดตั้งสวิตช์ตัดตอนที่เหมาะสมในระบบจำหน่ายแบบ
เรเดียลโดยวิธีเชิงพันธุกรรม
สาขาวิชา : วิศวกรรมไฟฟ้า
: สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ : อาจารย์ ดร. สมพร สิริสำราญกุล
ปีการศึกษา : 2549

บทคัดย่อ

ความเชื่อถือได้ในระบบจำหน่ายสามารถถูกปรับปรุงให้ดีขึ้นได้โดยการติดตั้งสวิตช์ตัดตอน
สวิตช์ตัดตอนเป็นอุปกรณ์ที่ช่วยในการแยกส่วนที่เกิดฟอลต์ออกจากระบบ ดังนั้นในส่วนที่ปกติ
ไม่ได้เกิดฟอลต์ยังคงสามารถได้รับการจ่ายไฟฟ้า ขั้นตอนดังกล่าวทำให้สามารถจ่ายไฟฟ้าให้กับทุกๆ
จุดโหลดที่อยู่ระหว่างแหล่งจ่ายและจุดที่ถูกแยกออกก่อนที่จะขั้นตอนการซ่อมของอุปกรณ์ที่เกิด
ฟอลต์จะเสร็จสิ้น อย่างไรก็ตามการติดตั้งสวิตช์ตัดตอนแบบจิตวิสัยอาจจะไม่มีความเหมาะสมทาง
เศรษฐศาสตร์อันเนื่องมาจากค่าใช้จ่ายในการลงทุนที่เพิ่มขึ้นของการไฟฟ้า ดังนั้นการประเมิน
ค่าใช้จ่ายที่เกี่ยวข้องกับตำแหน่งการติดตั้งที่แตกต่างกันและคุณค่าความเชื่อถือได้ที่เกี่ยวข้องกับ
ความแตกต่างดังกล่าวควรจะได้รับพิจารณาอย่างรอบคอบ การหาตำแหน่งที่เหมาะสมของ
สวิตช์ตัดตอนสามารถถูกสร้างเป็นปัญหาออปติไมเซชันเชิงจัดหมู่ คำตอบของปัญหาดังกล่าวที่
นำเสนอในวิทยานิพนธ์อ้างอิงกับวิธีเชิงพันธุกรรมและการวิเคราะห์ราคา/ความเชื่อถือได้

วิธีเชิงพันธุกรรมคือเทคนิคการค้นหาแบบสุ่มที่อ้างอิงกับหลักการเชิงพันธุกรรมและการ
เลือกตามธรรมชาติ ขั้นตอนดังกล่าวทำให้ประชากรซึ่งประกอบด้วยโครโมโซมเกิดการ
วิวัฒนาการโดยตัวดำเนินการพื้นฐานสามตัว ตัวดำเนินการดังกล่าว คือ การสลับสายพันธุ, การ
สลับสายพันธุ และการกลายพันธุ ขั้นตอนการคำนวณ การไหลของกำลังไฟฟ้าในระบบจำหน่ายที่
อ้างอิงกับเมทริกซ์สามเหลี่ยมบนแบบสปาร์ทงที่นำมาใช้ในการคำนวณกระแสในสายและแรงดัน
ที่จุดโหลดเพื่อนำมาใช้ในการทำโทโยโครโมโซมที่ละเมิดขีดจำกัดของกระแสในสายและแรงดันจุด
โหลดในปัญหาออปติไมเซชัน ราคาความเชื่อถือได้ถูกประเมินในเทอมของการลงทุนที่เกิดจากการ
ปรับปรุงระบบขณะที่คุณค่าความเชื่อถือได้ถูกประเมินในเทอมของค่าความเสียหายผู้ใช้ไฟฟ้าที่
คำนวณจากดัชนีความเชื่อถือได้ที่จุดโหลดและฟังก์ชันความเสียหายของผู้ใช้ไฟฟ้า

จากวิธีเชิงพันธุกรรมและการวิเคราะห์ราคา/ความเชื่อถือได้ เราสามารถหาตำแหน่งที่
เหมาะสมสวิตช์ตัดตอนการวิเคราะห์วิธีการเชิงพันธุกรรมและค่าความเชื่อถือได้ โดยมีความสมดุล

กันระหว่างค่าใช้จ่ายของการไฟฟ้าและค่าความเสียหายของผู้ใช้ไฟฟ้า วิธีการนำเสนอทำการทดสอบกับระบบจำหน่าย RBTS ซึ่งประกอบไปด้วยสายป้อนปฐมภูมิจำนวน 4 เส้น และ 22 จุดโหลด และ ระบบจำหน่ายของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคซึ่งประกอบสายป้อนปฐมภูมิจำนวน 2 เส้น และ 26 จุดโหลด

(วิทยานิพนธ์มีจำนวนทั้งสิ้น 83 หน้า)

คำสำคัญ : ความเชื่อถือได้ในระบบจำหน่าย, วิธีเชิงพันธุกรรม, สวิตช์ตัดตอน

Name : Miss Kanokwan Klinieam
Thesis Title : Optimal Placement of Sectionalizing Switches in Radial Distribution Systems by a Genetic Algorithm
Major Field : Electrical Engineering
: King Mongkut's Institute of Technology North Bangkok
Thesis Advisor : Dr. Somporn Sirisumrannukul
Academic Year : 2006

Abstract

Reliability in a distribution system can be improved by the installation of sectionalizing switches. A sectionalizing switch is a device that isolates a faulted part from the system so that the healthy part can still be electrically supplied. Such a procedure allows restoration of all load points between the supply point and the isolation point before the repair process of the faulted equipment has been completed. However, a subjective placement of sectionalizing switches would be uneconomic owing to the utility's increased investment. Therefore, the evaluation of the costs associated with different placements and the corresponding reliability worth associated with the differences should be judiciously determined. The optimal placement of sectionalizing devices can be formulated as a combinatorial optimization problem. The solution to the problem presented in this thesis is based on the genetic algorithm and reliability cost/worth analysis.

The genetic algorithm (GA) is a stochastic search technique based on the principles of genetic and natural selection. The algorithm allows a population composed of many chromosomes to evolve by three basic operators. The operators are crossover, reproduction and mutation. A distribution load flow algorithm based on a constant sparse upper triangular matrix is employed to calculate line currents and load-point voltages used to penalize the chromosomes that violate constraints of line current and load-point voltage limits in the optimization problem. Reliability cost is quantified in term of investment incurred by network reinforcement, whereas reliability worth is quantified in term of customer interruption cost calculated from load point reliability indices and customer damage functions.

With the genetic algorithm and reliability cost/worth analysis, the optimal placement of sectionalizing switches can be obtained, providing the optimum balance between the utility's cost

and customer interruption cost. The proposed methodology is tested with a distribution system of the Roy Billinton Test System (RBTS), which consists of 4 primary feeders and 22 load points and a distribution network of Provincial Electricity Authority (PEA), which consists of 2 primary feeders and 26 load points.

(Total 83 pages)

Keywords : Distribution system reliability, Genetic algorithm, Sectionalizing switches

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ ดร.สมพร สิริสำราญกุล ประธานกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่ได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆในการทำวิจัยและการตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆมาโดยตลอด ขอบพระคุณครอบครัวที่เป็นกำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์ ขอบขอบคุณแม่ที่ทำทุกอย่างเพื่อลูกคนนี้เสมอมา ขอบขอบคุณพี่ร่วมรุ่นที่เป็นกำลังใจและให้คำแนะนำความช่วยเหลือต่างๆในช่วงเวลาที่ได้ศึกษาร่วมกันจนถึงช่วงทำวิทยานิพนธ์ และขอบคุณ อาจารย์ทรงชัย คาสิริ สำหรับทุกอย่างที่ได้ทำเพื่อศิษย์คนนี้ ผู้วิจัยขอขอบคุณหน่วยการศึกษา ภาควิชาครุศาสตร์ไฟฟ้าที่สนับสนุนเครื่องมือและวัสดุในการทำวิจัยและการวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนบางส่วนจากทุนอุดหนุนการวิจัยเพื่อทำวิทยานิพนธ์สำหรับนักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา

กนกวรรณ กลิ่นเอี่ยม

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

หน้าที่หลักอย่างหนึ่งของการไฟฟ้าคือการจ่ายไฟฟ้าไปยังผู้ใช้ไฟฟ้าอย่างต่อเนื่องโดยมีระดับความเชื่อถือได้อยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสม การเพิ่มความเชื่อถือได้ในระบบจำหน่ายไฟฟ้าเป็นสิ่งหนึ่งที่มีความสำคัญสำหรับการไฟฟ้าเพราะเป็นระบบที่เชื่อมโยงระหว่างการผลิตไฟฟ้าและผู้ใช้ไฟฟ้าโดยตรงวิธีหนึ่งที่จะเพิ่มความเชื่อถือได้ในระบบจำหน่ายไฟฟ้าคือ การลงทุนติดตั้งอุปกรณ์สวิตช์ตัดตอนเพื่อแยกส่วนที่เกิดฟอลต์ออกจากระบบ เพื่อที่จะลดปริมาณผู้ใช้ไฟฟ้าที่ได้รับผลกระทบให้น้อยที่สุด อย่างไรก็ตาม การลงทุนในการติดตั้งอุปกรณ์สวิตช์ตัดตอนต้องมีความสมดุลกันระหว่างเงินลงทุนของการไฟฟ้ากับ ค่าความเสียหายทางเศรษฐกิจอันเนื่องมาจากไฟฟ้าดับของผู้ใช้ไฟฟ้าซึ่งแตกต่างกันตามลักษณะประเภทของผู้ใช้ไฟฟ้า

ระบบจำหน่ายไฟฟ้าแบบเรเดียลเป็นระบบที่รับไฟฟ้าจากสถานีไฟฟ้าย่อยหลังจากลดแรงดันให้ต่ำลงเพื่อส่งต่อไปให้ผู้ใช้งาน โดยทั่วไปการต่ออุปกรณ์มีลักษณะเป็นแบบอนุกรมจากสายป้อนไปยังแต่ละจุดโหลดดังนั้นจึงเป็นระบบที่มีความเชื่อถือต่ำเนื่องจากเมื่อเกิดฟอลต์ขึ้นในระบบทำให้อุปกรณ์ป้องกันดันทางเปิดวงจรออก ทำให้ผู้ใช้ไฟฟ้าทั้งสายจำหน่ายไม่มีไฟฟ้าใช้ ดังนั้นเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดปัญหาไม่มีไฟฟ้าใช้ตลอดทั้งสายจำหน่ายจึงติดตั้งสวิตช์ตัดตอนเพื่อเปิดวงจรแยกจุดที่เกิดฟอลต์ออกจากระบบ สวิตช์ตัดตอนจึงมีประโยชน์ในการปรับปรุงความเชื่อถือได้ต่อระบบทำให้ ผู้ใช้ไฟฟ้าบางรายยังมีไฟฟ้าใช้ต่อไปได้ สวิตช์ตัดตอนโดยทั่วไปไม่สามารถเปิดวงจรขณะมีโหลดได้สวิตช์ประเภทนี้มักเปิดด้วยมือ คือ ไม่ต้องเปิดด้วยกลไกที่ต้องการความเร็ว สวิตช์ตัดตอนโดยทั่วไปมีหน้าที่สำหรับแยกระบบย่อยหรืออุปกรณ์ออกจากระบบใหญ่เมื่อเกิดฟอลต์อุปกรณ์ป้องกันดันทางจะเปิดวงจรของระบบก่อนแล้วจึงเปิดวงจรด้วยสวิตช์ตัดตอน จุดโหลดที่อยู่ในส่วนที่เกิดฟอลต์จะถูกแยกออกจากระบบ ดังนั้นเวลาที่ไม่สามารถจ่ายไฟฟ้าให้แก่ผู้ใช้ไฟฟ้าในจุดนี้จึงเท่ากับเวลาในการแก้ปัญหาที่เกิดฟอลต์ และ ส่วนที่ไม่ได้เกิดฟอลต์ก็จะคืนกลับเข้าสู่ระบบด้วยช่วงเวลาในการสับสวิตช์ตัดตอน โดยหลังจากแยกส่วนที่เกิดฟอลต์ออกไปแล้วอุปกรณ์ป้องกันดันทางของสายป้อนจะทำงานโดยจ่ายไฟฟ้าเข้าสู่ระบบตามเดิม ในช่วงเวลาที่ไม่สามารถจ่ายไฟฟ้าให้แก่ผู้ใช้ได้นั้นทำให้เกิดค่าความเสียหายทางเศรษฐกิจเกิดขึ้น ซึ่งแตกต่างกันไปตามลักษณะของผู้ใช้ไฟฟ้าปริมาณและความเชื่อถือได้ของระบบ สำหรับจุดโหลดที่ไม่อยู่ในส่วนที่เกิดฟอลต์เวลาที่ไม่มี

สามารถจ่ายไฟฟ้าได้ นอกจากพิจารณาเวลาในการสับสวิตช์ตัดตอนแล้ว ยังมีปัจจัยอื่นที่จะต้องนำมาพิจารณาอีกเช่น โอกาสการทำงานของฟิวส์ของจุดที่เกิดฟอลต์ การจ่ายไฟฟ้าจากสายป้อนอื่น โดยผ่านสวิตช์ถ่ายโอน พิกัดแรงดันที่จุดโหลด พิกัดกระแสของสายของสายป้อนที่จ่ายไฟฟ้ามายังสายป้อนที่เกิดฟอลต์ยังเป็นสิ่งที่ต้องคำนึงถึง ดังนั้นในการวางแผนออกแบบ ระบบจำหน่ายไฟฟ้าจึงต้องคำนึงถึงตำแหน่งในการติดตั้งสวิตช์ตัดตอนและในการติดตั้งสวิตช์ตัดตอนนั้นย่อมเกิดค่าใช้จ่ายในการลงทุนและค่าบำรุงรักษา ดังนั้นในการวางแผนออกแบบระบบจำหน่ายไฟฟ้าควรพิจารณาความเชื่อถือได้และค่าใช้จ่ายในการลงทุนควบคู่กันไปด้วย ลักษณะของปัญหาการหาดำแหน่งและจำนวนของ สวิตช์ตัดตอนในระบบจำหน่ายไฟฟ้าแบบเบรเคียลจะอยู่ในรูปแบบของปัญหาเชิงจัดหมู่ (Combinatorial Problems)

วิธีการแก้ปัญหาลักษณะเชิงพันธุกรรมสามารถตอบสนองต่อปัญหาเชิงจัดหมู่ได้ดี ซึ่งวิธีการเชิงพันธุกรรมนั้นเป็นวิธีการแก้ปัญหาทงคณิตศาสตร์วิธีการหนึ่ง เพื่อหาคำตอบที่ดีที่สุด (Global Optimal Solution) ของฟังก์ชันเป้าหมาย (Objective Function) การหาคำตอบจะอาศัยทฤษฎีการวิวัฒนาการของ Charles Darwin ที่กล่าวว่าผู้ที่แข็งแกร่งกว่าย่อมมีโอกาสที่จะอยู่รอด และถ่ายทอดคุณลักษณะเด่นที่มีไปยังรุ่นถัดไปในขณะที่ผู้อ่อนแอกว่าย่อมตายไป ดังนั้นกระบวนการหรือตัวดำเนินการ (Operators) ต่างๆภายในวิธีเชิงพันธุกรรมจะมีชื่อเรียกไปทางเชิงชีววิทยา ได้แก่ การคัดเลือกพันธุ์ (Selection) เพื่อเลือกเฟ้นประชากร (Individual) ที่มีค่าความแข็งแรงจากกลุ่มประชากร ส่วนการสลับสายพันธุ์ (Crossover) เป็นการสร้างประชากรลูกหลาน (Offspring) ที่มีคุณลักษณะเด่นจากประชากรพ่อแม่ (Parent) และ การกลายพันธุ์ (Mutation) กระบวนการนี้จะสร้างความหลากหลายทางพันธุศาสตร์ภายในกลุ่มประชากร วิธีเชิงพันธุกรรมสิ้นสุดการทำงานก็ต่อเมื่อจำนวนรุ่นอายุ ถึงจำนวนรุ่นอายุสูงสุดที่ตั้งไว้ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้นำเสนอการใช้วิธีการเชิงพันธุกรรมมาใช้ซึ่งเป็นวิธีที่เหมาะสมในการแก้ปัญหของการหาดำแหน่งและจำนวนของสวิตช์ตัดตอน ในระบบจำหน่ายไฟฟ้าแบบเบรเคียล

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 1.2.1 เพื่อประเมินความเชื่อถือได้ในระบบจำหน่ายไฟฟ้าในรูปดัชนีความเชื่อถือได้
- 1.2.2 เพื่อปรับปรุงความเชื่อถือได้ของระบบจำหน่ายไฟฟ้าแบบเบรเคียลโดยคำนึงถึงค่าใช้จ่ายในการติดตั้งสวิตช์ตัดตอน
- 1.2.3 เพื่อศึกษาวิธีเชิงพันธุกรรมในการแก้ปัญหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุด
- 1.2.4 เพื่อศึกษาการแก้ปัญหาค่าโหลดของกำลังไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้าแบบเบรเคียล

1.2.5 เพื่อคำนวณหาตำแหน่งและจำนวนของสวิตช์ตัดตอนที่ทำให้ค่าความคาดหมายของมูลค่าผลรวมความเสียหายของผู้ใช้เมื่อไม่สามารถจ่ายไฟฟ้าได้และค่าใช้จ่ายในการลงทุนมีค่าน้อยที่สุดในวงจรระบบจำหน่ายไฟฟ้าแบบเรเดียล โดยใช้วิธีเชิงพันธุกรรม

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

พัฒนาโปรแกรมที่ใช้ในการหาตำแหน่งติดตั้งและจำนวนของสวิตช์ตัดตอนที่ทำให้ผลรวมของค่าความคาดหมายของมูลค่าความเสียหายของผู้ใช้ไฟฟ้าเมื่อไม่สามารถจ่ายไฟฟ้าได้และค่าใช้จ่ายในการลงทุนมีค่าน้อยที่สุดในวงจรระบบจำหน่ายไฟฟ้าแบบเรเดียล โดยใช้วิธีเชิงพันธุกรรม

1.4 วิธีการวิจัย

1.4.1 ศึกษาวิธีการแก้ปัญหาโดยใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม

1.4.2 ศึกษาหลักการและพัฒนาโปรแกรมวิเคราะห์ค่าดัชนีความเชื่อถือได้ของระบบจำหน่ายไฟฟ้าแบบเรเดียล

1.4.3 ศึกษาและพัฒนาโปรแกรมคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้าแบบเรเดียล

1.4.4 ศึกษาและพัฒนาโปรแกรมหาค่าความคาดหมายของมูลค่าความเสียหายทางเศรษฐกิจของผู้ใช้ไฟฟ้าเมื่อไม่สามารถจ่ายไฟฟ้า

1.4.5 ออกแบบและพัฒนาโปรแกรมหาตำแหน่งติดตั้งและจำนวนของสวิตช์ตัดตอนที่ทำให้ค่าใช้จ่ายรวมของการติดตั้งสวิตช์ตัดตอนมีค่าน้อยที่สุดในวงจรระบบจำหน่ายไฟฟ้าแบบเรเดียล โดยใช้วิธีเชิงพันธุกรรม

1.5 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้

1.5.1 คอมพิวเตอร์แบบพกพา Intel(R) Pentium(R) M Processor 1.5 GHz Ram 1.48GB

1.5.2 โปรแกรมสำเร็จรูปอาทิเช่น Visual C ++ เป็นต้น

1.6 ประโยชน์ของการวิจัย

1.6.1 พัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่สามารถหาตำแหน่งและจำนวนของสวิตช์ตัดตอนในระบบจำหน่ายไฟฟ้าแบบเรเดียล

1.6.2 พัฒนาโปรแกรมการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้าแบบเรเดียล

1.6.3 ได้แนวทางในการศึกษาและพัฒนาโปรแกรมที่ใช้หาตำแหน่งและจำนวนของอุปกรณ์ตัดตอนในระบบจำหน่ายไฟฟ้าแบบเรเดียล

1.6.4 สามารถนำผลงานวิจัยไปใช้เป็นแนวทางการออกแบบระบบจำหน่ายไฟฟ้าแบบเรเดียล

1.7 เนื้อหาของวิทยานิพนธ์

เนื้อหาในวิทยานิพนธ์ประกอบด้วย บทนำซึ่งกล่าวถึงความสำคัญของปัญหาและรายละเอียดทั่วไปของการทำวิจัย บทที่ 2 ได้อธิบายถึงขั้นตอนเชิงพันธุกรรมซึ่งเป็นการกล่าวถึงตัวดำเนินการพื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับวิธีเชิงพันธุกรรมและฟังก์ชันที่ใช้ในการทดสอบโปรแกรม บทที่ 3 กล่าวถึงการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าและวิธีวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าในระบบจำหน่ายแบบเรเดียลที่อ้างอิงกับเมทริกซ์สามเหลี่ยมบนแบบสปาร์คงที่เพื่อนำมาใช้ในการคำนวณกระแสในสายป้อนและแรงดันที่จุดโหลด บทที่ 4 การประเมินดัชนีความเชื่อถือได้ในระบบจำหน่ายเพื่อคำนวณหาความเชื่อถือได้ของผู้ใช้ไฟฟ้า บทที่ 5 การคำนวณหาตำแหน่งติดตั้งสวิตช์ตัดตอนที่เหมาะสม ซึ่งจะอธิบายถึงฟังก์ชันเป้าหมายของราคาค่าใช้จ่ายรวมในการติดตั้งสวิตช์ตัดตอนในระบบจำหน่ายแบบเรเดียล และขั้นตอนการหาตำแหน่งติดตั้งสวิตช์ตัดตอนโดยใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม บทที่ 6 ผลการคำนวณกระแสที่สายป้อนและแรงดันที่จุดโหลดของระบบจำหน่ายทดสอบ RBTS และระบบจำหน่ายของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคและผลของดัชนีความเชื่อถือได้และค่าใช้จ่ายรวมของการติดตั้งสวิตช์ตัดตอน และบทสุดท้ายเป็นการสรุปผลการวิจัย พร้อมทั้งข้อเสนอแนะในการทำวิจัยต่อไป

บทที่ 2

วิธีเชิงพันธุกรรม

วิธีเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm) เป็นคำที่นำมาจากเชิงพันธุกรรมทางธรรมชาติมาใช้ [1] ซึ่งวิธีเชิงพันธุกรรมนี้ เป็นวิธีการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ที่มีขั้นตอนแบบเชิงความน่าจะเป็น (Stochastic Algorithm) ที่ใช้ในการหาคำตอบที่ดีที่สุด (Global Optimal Solution) ของฟังก์ชันเป้าหมาย (Objective Functions) วิธีเชิงพันธุกรรมถูกนำเสนอครั้งแรกต่อสาธารณชนโดย Holland ในปี 1975 การหาคำตอบจะอาศัยทฤษฎีการวิวัฒนาการของ Charles Darwin ที่กล่าวว่าผู้ที่แข็งแรงกว่าย่อมมีโอกาสที่จะอยู่รอด และถ่ายทอดคุณลักษณะเด่นที่มีไปยังรุ่นถัดไปในขณะที่ผู้อ่อนแอกว่าย่อมตายไป ดังนั้นกระบวนการหรือตัวดำเนินการ (Operators) ต่างๆภายในวิธีเชิงพันธุกรรมจะมีชื่อเรียกไปทางเชิงชีววิทยา ได้แก่ การคัดเลือกพันธุ์ (Selection) เพื่อเลือกเฟ้นประชากร (Individual) ที่มีค่าความแข็งแรงจากกลุ่มประชากร ส่วนการสลับสายพันธุ์ (Crossover) เป็นการสร้างประชากรลูกหลาน (Offspring) ที่มีคุณลักษณะเด่นจากประชากรพ่อแม่ (Parent) และการกลายพันธุ์ (Mutation) กระบวนการนี้จะคงความหลากหลายทางพันธุศาสตร์ภายในกลุ่มประชากร ซึ่งวิธีเชิงพันธุกรรมนั้นประสบผลสำเร็จในการนำไปประยุกต์ใช้กับแก้ปัญหาการหาค่าเหมาะสมที่สุด ในหลายๆแขนงวิชารวมถึงปัญหาระบบไฟฟ้ากำลัง เช่น ปัญหาการเลือกจ่ายพลังงานไฟฟ้าโดยคำนึงถึงหลักเศรษฐศาสตร์, ปัญหาการควบคุมให้เหมาะสม, ปัญหาการวางแผนระบบไฟฟ้าและปัญหาการหาค่าที่เหมาะสมอื่นๆ

2.1 ความรู้พื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับวิธีเชิงพันธุกรรม

วิธีเชิงพันธุกรรมเป็นการเลียนแบบกลไกการวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิตที่พยายามจะรักษาเผ่าพันธุ์ของตัวเองให้คงอยู่รอดภายใต้สภาวะธรรมชาติที่เปลี่ยนแปลงไป โดยแต่ละประชากรในกลุ่มประชากรจะถูกเรียกว่า สายรหัส (String, Chromosome) โดยโครโมโซมจะถูกสร้างเป็นหลายๆหน่วยเรียกว่ายีน (Gene) ซึ่งยีนจะบ่งบอกถึงลักษณะเฉพาะของแต่ละประชากรและจะส่งการสืบถอดลักษณะเหล่านี้ตามสายพันธุ์ ทุกๆยีนจะควบคุมการถ่ายทอดลักษณะเฉพาะโดยยีนจะมีตำแหน่งที่แน่นอนบนโครโมโซมซึ่งจะถูกเรียกว่าตำแหน่งบนสายรหัส (Loci) ทุกๆลักษณะเฉพาะของแต่ละประชากรเช่น สีผม สามารถปรากฏได้แตกต่างกัน ยีนจะบอกถึงความหลากหลายเรียกลักษณะนี้ว่า อัลลีล (Allels) ซึ่งจะบอกค่าของลักษณะที่แสดงให้เห็นแต่ละรูปแบบเชิงพันธุกรรม

(Genotype) การเลียนแบบพฤติกรรมดังกล่าวจะอาศัยหลักการทางคณิตศาสตร์เพื่อนำมาสร้างโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ให้มีความใกล้เคียงกับพฤติกรรมทางธรรมชาติมากที่สุดเพื่อหาคำตอบที่ดีที่สุดของฟังก์ชันเป้าหมาย คำศัพท์ที่ใช้อธิบายการทำงานของวิธีเชิงพันธุกรรมจะเกี่ยวข้องกับทางชีววิทยา ตารางที่ 2-1 แสดงให้เห็นถึงความหมายของคำศัพท์ต่างๆ

ตารางที่ 2-1 ความหมายของคำเฉพาะทางชีววิทยาที่ใช้ในวิธีเชิงพันธุกรรม

คำศัพท์	ความหมาย
โครโมโซม (Chromosome)	สายรหัส
ยีน (Gene)	รหัสที่อยู่บนสายรหัส
อัลลีล (Allels)	ค่าของรหัส
โลคัส (Loci)	ตำแหน่งของรหัสบนสายรหัส
จีโนไทป์ (Genotype)	ลักษณะการรวมตัวของรหัสบนสายรหัส
ฟีโนไทป์ (Phenotype)	ตัวแปรตัดสินใจที่ได้จากการถอดรหัส

วิธีการเชิงพันธุกรรมเป็นการค้นหาคำตอบแบบหลายจุดไปพร้อมกัน (Parallel Search) ในพื้นที่การค้นหาคำตอบของตัวแปรตัดสินใจ (Decision Variable) ภายในฟังก์ชันที่ต้องการหาคำตอบทำให้มีโอกาสดหาคำตอบที่ดีที่สุด วิธีเชิงพันธุกรรมนั้นจะอาศัยข้อมูลตอบแทน (Pay-off Information) ที่อยู่ในรูปค่าความแข็งแรงของประชากรแต่ละคนภายในกลุ่มประชากร ส่งผ่านตัวดำเนินการต่างๆในการเปลี่ยนแปลงลักษณะรูปแบบของประชากรภายในกลุ่มประชากร เพื่อให้ประชากรภายในกลุ่มประชากรมีการวิวัฒนาการไปสู่คำตอบที่ดีกว่ารุ่นก่อนในรุ่นอายุถัดไป การกำหนดทิศทางของการคำนวณหาคำตอบในพื้นที่การค้นหาจัดอยู่ในประเภทการหาคำตอบแบบเชิงความน่าจะเป็น(Stochastic Search) ซึ่งแตกต่างไปจากหลักการหาคำตอบของวิธีแคลคูลัสที่ใช้ความชันของฟังก์ชันเป็นทิศทางในการหาคำตอบจัดอยู่ในประเภทการหาคำตอบแบบหลักการกำหนด (Deterministic)

2.2 การคัดเลือกพันธุ์

จะใช้เวกเตอร์ฐานสองเป็นโครโมโซมเพื่อที่จะนำไปแทนค่าเป็นจำนวนจริงของตัวแปร X_i ความยาวของเวกเตอร์จะขึ้นอยู่กับการความต้องการความถูกต้องแม่นยำ เช่น 6 ตำแหน่งหลังจากจุดเลขทศนิยม $X_i \in [a_i, b_i]$ เมื่อ a_i คือขอบเขตขวา และ b_i คือขอบเขตซ้าย ของตัวแปร X_i โดเมนของตัวแปร X_i มีความยาวเท่ากับ $(b_i - a_i)$ ซึ่งจะหาความยาวเวกเตอร์ฐานสองหรือความยาว

โครโมโซม m_i ได้จาก $(b_i - a_i) (1000000) \leq 2^{m_i}$ การเปลี่ยนจากสายฐานสอง $\langle b_{m_i-1} \dots b_0 \rangle$ ไปเป็น

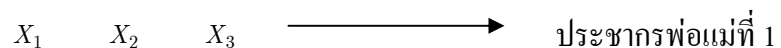
จำนวนจริง X_i จากขอบเขต $[a_i, b_i]$ โดยตรงจะเสร็จสิ้นในสองขั้นตอนคือแปลงผันโครโมโซมฐานสอง $\langle b_{m_i-1} \dots b_0 \rangle$ จากฐานสองไปเป็นฐานสิบ

$$X'_i = (\langle b_{m_i-1} \dots b_0 \rangle)_2 = \left(\sum_{j=0}^{m_i-1} b_j 2^j \right)_{10} \quad (2-1)$$

หาจำนวนจริงสมนัยของ X_i จะได้จากสมการ

$$X_i = a_i + X'_i \frac{(b_i - a_i)}{2^{m_i} - 1} \quad (2-2)$$

ซึ่งโครโมโซมฐานสอง $\langle b_{m_i-1} \dots b_0 \rangle$ จะถูกเริ่มต้นจากการสุ่ม โดยจะทำการตรวจสอบค่าจำนวนจริงของตัวแปร X_i เข้าเงื่อนไขของฟังก์ชันเป้าหมายหรือไม่ถ้าไม่เข้าเงื่อนไขจะทำการสุ่มค่า $\langle b_{m_i-1} \dots b_0 \rangle$ ใหม่เพื่อที่จะได้ตัวแปรหรือโครโมโซมที่เหมาะสมที่สุดสำหรับฟังก์ชันเป้าหมายหรือประชากร

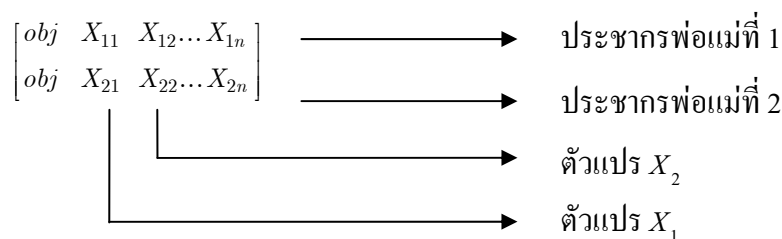


ภาพที่ 2-1 โครโมโซมในประชากรพ่อแม่ที่ 1

โดยที่ X_1, X_2, X_3 คือ โครโมโซมในประชากรพ่อแม่ที่ 1 โดย 1 โครโมโซม แทนตัวแปรตัดสินใจหนึ่งตัวแปร โดยทุกโครโมโซม หมายถึงประชากร 1 คนวิธีเชิงพันธุกรรมจำเป็นจะต้องสร้างประชากรขึ้นมาจำนวนหนึ่งเพื่อใช้ในการหาคำตอบของฟังก์ชันเป้าหมายและเป็นสมาชิกของกลุ่มประชากร

2.3 การประเมินค่าฟังก์ชันเป้าหมาย

นำค่าตัวแปรที่ได้จากการคัดเลือกพันธุ์มาแทนค่าในฟังก์ชันเป้าหมายเพื่อทำการคัดแยกประชากรที่ดีที่สุดต่อไป



ภาพที่ 2-2 กลุ่มประชากร

โดยที่ Obj คือ ค่าตอบของฟังก์ชันเป้าหมายเป็นตัวบอกความแข็งแรงของประชากรพ่อแม่

X_{11} คือ ตัวแปร X_1 ของประชากรพ่อแม่ที่ 1

X_{21} คือ ตัวแปร X_1 ของประชากรพ่อแม่ที่ 2

X_{12} คือ ตัวแปร X_2 ของประชากรพ่อแม่ที่ 1

X_{22} คือ ตัวแปร X_2 ของประชากรพ่อแม่ที่ 2

2.4 คัดแยกประชากรที่ดีที่สุด (Elitism)

ก่อนที่จะเข้าสู่ตัวดำเนินการเชิงพันธุกรรมเพื่อป้องกันการสูญเสียประชากรที่ดีไปจะต้องทำการเก็บค่าของประชากรที่มีค่าความแข็งแรงที่สุดก่อน โดยหาความแข็งแรงของประชากรจาก

$$\min \{obj(X_i)\}, i = 1, 2, \dots, pop_size \quad (2-3)$$

pop-size คือ ขนาดกลุ่มประชากร

เมื่อได้ค่าความแข็งแรงของกลุ่มประชากรทั้งหมดแล้วนำค่าความแข็งแรงของประชากรในกลุ่มมาเปรียบเทียบกับค่าของประชากรใดในกลุ่มดีที่สุดให้ทำการเก็บไว้เป็นประชากรที่ดีที่สุดเพื่อทำการเปรียบเทียบกับค่าของประชากรที่ผ่านตัวดำเนินการมาแล้วว่าประชากรชุดใดมีความแข็งแรงกว่ากัน ถ้าประชากรใดแข็งแรงกว่าก็จะกลายเป็นประชากรที่ดีที่สุดต่อไป

2.5 ตัวดำเนินการเชิงพันธุกรรม

2.5.1 ตัวดำเนินการกลายพันธุ์ (Mutation Operator)

เป็นการเปลี่ยนแปลงยีนของประชากรเมื่อความน่าจะเป็นของการกลายพันธุ์ของยีนที่ได้จากการสุ่มเลือกมีค่ามากกว่าค่าโอกาสของการกลายพันธุ์ที่กำหนด

2.5.1.1 การกลายพันธุ์แบบสม่ำเสมอ (Uniform Mutation)

ประชากรพ่อแม่ X

ประชากรลูกหลาน X'

ตัวดำเนินการจะสุ่มเลือกส่วนประกอบ $k \in (1, \dots, n)$

$$X = (X_1, \dots, X_k, \dots, X_n)$$

ทำการสร้างประชากรประชากรลูกหลาน X'

$$X' = (X_1, \dots, X'_k, \dots, X_n)$$

โดยที่ X'_k คือ ค่าที่ได้จากการสุ่มเลือกจะอยู่ในช่วงขีดจำกัดซ้ายและขีดจำกัดขวาของตัวแปร X_k , $[\text{left}(k), \text{right}(k)]$

2.5.1.2 การกลายพันธุ์แบบขอบเขต (Boundary Mutation)

ประชากรพ่อแม่ X

ประชากรลูกหลาน X'

ตัวดำเนินการนี้จะใช้การสุ่มเลือกส่วนประกอบของประชากรพ่อแม่เหมือนการกลายพันธุ์แบบสม่ำเสมอ แต่ค่าของประชากรลูกหลาน X' จะเป็นเขตจำกัดซ้าย ($\text{left}(k)$) หรือ เขตจำกัดขวา ($\text{right}(k)$)

2.5.1.3 การกลายพันธุ์แบบไม่สม่ำเสมอ (Non – Uniform Mutation)

สำหรับประชากรพ่อแม่ X ถ้าส่วนประกอบ X_k ได้ถูกคัดเลือกให้กลายพันธุ์ผลลัพธ์ของ $X' = (X_1, \dots, X'_k, \dots, X_n)$

$$X'_k = \begin{cases} X_k + D(t, \text{right}(k) - X_k) & \text{สำหรับเลขสุ่มที่มีค่า} = 1 \\ X_k - D(t, X_k - \text{left}(k)) & \text{สำหรับเลขสุ่มที่มีค่า} = 0 \end{cases} \quad (2-4)$$

$$\Delta(t, y) = yr(1 - \frac{t}{T})^b \quad (2-5)$$

ฟังก์ชัน $\Delta(t, y)$ จะส่งค่าอยู่ในช่วง $[0, y]$ ความน่าจะเป็นของ $\Delta(t, y)$ จะใกล้ค่า 0 เมื่อค่า t เพิ่มขึ้นใกล้ค่า T

โดยที่ r คือ ค่าในการสุ่มเลือกอยู่ในช่วง $[0, 1]$

T คือ จำนวนช่วงอายุสูงสุด

b คือ พารามิเตอร์ของการกลายพันธุ์แบบไม่สม่ำเสมอ

2.5.2 ตัวดำเนินการสลับสายพันธุ์ (Crossover Operator)

ตัวดำเนินการมีหน้าที่ในการสร้างประชากรลูกหลาน โดยจะทำการสลับสายพันธุ์ของยีนระหว่างคู่ของประชากรพ่อแม่ซึ่งถือว่าเป็นการถ่ายทอดคุณลักษณะเด่นระหว่างกันและกันส่งผลทำให้เกิดประชากรลูกหลาน 2 คน

2.5.2.1 การสลับสายพันธุ์แบบพีชคณิต (Arithmetical Crossover)

เป็นตัวดำเนินการที่ถูกกำหนดเป็นการรวมแบบเชิงเส้น (linear combination)

$$X'_1 = aX_1 + (1-a)X_2 \quad (2-6)$$

$$X'_2 = aX_2 + (1-a)X_1 \quad (2-7)$$

ตัวดำเนินการนี้จะใช้การสุ่มค่า a ให้มีค่าระหว่าง 0 ถึง 1

2.5.2.2 การสลับสายพันธุ์แบบเดี่ยว (Simple Crossover)

ตัวดำเนินการจะมีการดำเนินการดังนี้

$$X_1 = (X_1, \dots, X_n)$$

$$X_2 = (Y_1, \dots, Y_n)$$

เมื่อมีการสลับสายพันธุ์หลังจากตำแหน่ง k ผลของประชากรลูกหลานคือ

$$X'_1 = (X_1, \dots, X_k, Y_{k+1}, \dots, Y_n) \text{ และ}$$

$$X'_2 = (Y_1, \dots, Y_k, X_{k+1}, \dots, X_n)$$

ดังนั้นตัวดำเนินการนี้อาจจะสร้างประชากรลูกหลานนอกโดเมนที่ต้องการ จึงนำคุณสมบัติของปริภูมิคอนเวกซ์ (Convex Space) โดยให้การสุ่มค่า a ให้มีค่าระหว่าง 0 ถึง 1 จะได้

$$X'_1 = X_1, \dots, X_k, Y_{k+1}a + X_{k+1}(1-a), \dots, Y_na + X_n(1-a) \quad (2-8)$$

$$X'_2 = Y_1, \dots, Y_k, X_{k+1}a + Y_{k+1}(1-a), \dots, X_na + Y_n(1-a) \quad (2-9)$$

2.5.2.3 การสลับสายพันธุ์แบบฮิวริสติก (Heuristic Crossover)

ประชากรพ่อแม่ X_1 และ X_2 จะได้ ประชากรลูกหลาน

$$X_3 = r(X_2 - X_1) + X_2 \quad (2-10)$$

โดยที่ r คือ ค่าที่ได้จากการสุ่มเลือก $[0,1]$

X_2 เป็นค่าที่ดีกว่า X_1

ถ้า $f(X_2) \geq f(X_1)$ สำหรับปัญหาการหาค่ามากที่สุด หรือ

$f(X_2) \leq f(X_1)$ สำหรับปัญหาการหาค่าน้อยที่สุด

2.6 ขั้นตอนการหาคำตอบของฟังก์ชันเป้าหมายโดยวิธีเชิงพันธุกรรม

ขั้นตอนที่ 1 สร้างกลุ่มประชากรชุดที่ 1 (S) และกลุ่มประชากรชุดที่ 2 (R)

ขั้นตอนที่ 2 คำนวณความแข็งแรงของกลุ่มประชากรชุดที่ 2 (R) เพื่อหาประชากรที่แข็งแรงที่สุดของประชากรชุดที่ 2 (R)

ขั้นตอนที่ 3 สร้างประชากรใหม่ (Z) ที่ได้จากการสลับสายพันธุ์ระหว่างกลุ่มประชากรชุดที่ 1 (S) กับ ประชากรที่แข็งแรงที่สุดของกลุ่มประชากรชุดที่ 2 (R) ถ้าประชากรชุดใหม่ (Z) มีความแข็งแรงดีกลุ่มประชากรชุดที่ 2 (R) ให้แทนที่ประชากรที่แข็งแรงที่สุดของกลุ่มประชากรชุดที่ 2 (R) ด้วย ประชากรใหม่ (Z) ส่วนการนำ ประชากรใหม่ (Z) แทนที่ประชากรชุดที่ 1 (S) จะขึ้นอยู่กับความน่าจะเป็นของการแทนที่

ขั้นตอนที่ 4 คัดแยกส่วนที่ดีที่สุดของกลุ่มประชากรชุดที่ 2 (R) แล้วทำการเก็บค่าประชากรที่ดีที่สุดของกลุ่มประชากรชุดที่ 2 (R) โดยพิจารณาค่าของฟังก์ชันว่าค่าของฟังก์ชันจากประชากรใดดีที่สุด แล้วเก็บเป็นประชากรที่แข็งแรงที่สุด

ขั้นตอนที่ 5 นำกลุ่มประชากรชุดที่ 1 (S) เข้ากระบวนการสลับสายพันธุ์และกลายพันธุ์

ขั้นตอนที่ 6 สร้างประชากรใหม่ (Z) ที่ได้จากการสลับสายพันธุ์แต่จะเป็นการสลับสายพันธุ์ระหว่างประชากรชุดที่ 2 (R) ที่ได้จากการสุ่มเลือกกับกลุ่มประชากรชุดที่ 1 (S) ถ้าประชากรชุดใหม่ (Z) มีความแข็งแรงดีกลุ่มประชากรชุดที่ 2 (R) ให้แทนที่ประชากรชุดที่ 2 (R) ที่ได้จากการสุ่มเลือก ด้วย ประชากรใหม่ (Z) ส่วนการนำ ประชากรใหม่ (Z) แทนที่ประชากรในชุดที่ 1 (S) จะขึ้นอยู่กับความน่าจะเป็นของการแทนที่

ขั้นตอนที่ 7 หาประชากรที่แข็งแรงที่สุดของประชากรชุดที่ 2 (R) ทำการเปรียบเทียบกับประชากรที่ดีที่สุดที่ได้เก็บไว้ ถ้าค่าใดดีกว่ากัน ให้ทำการเก็บประชากรที่ดีกว่า เป็นประชากรที่ดีที่สุดต่อไป

ขั้นตอนที่ 8 กลับไปทำขั้นตอนที่ 3 ถึงขั้นตอนที่ 7 ทำเช่นนั้นจนถึงรุ่นอายุสูงสุด

2.7 ผลการทดสอบโปรแกรม

2.7.1 จงหาคำตอบน้อยที่สุดของ $G_1(x)$

เมื่อ
$$G_1(x) = 5x_1 + 5x_2 + 5x_3 + 5x_4 - 5 \sum_{i=1}^4 x_i^2 - \sum_{i=5}^{13} x_i$$

โดยที่

$$2x_1 + 2x_2 + x_{10} + x_{11} \leq 10$$

$$2x_1 + 2x_3 + x_{10} + x_{12} \leq 10$$

$$2x_2 + 2x_3 + x_{11} + x_{12} \leq 10$$

$$-8x_1 + x_{10} \leq 0$$

$$-8x_2 + x_{11} \leq 0$$

$$-8x_3 + x_{12} \leq 0$$

$$-2x_4 - x_5 + x_{10} \leq 0$$

$$-2x_6 - x_7 + x_{11} \leq 0$$

$$-2x_8 - x_9 + x_{12} \leq 0$$

$$0 \leq x_i \leq 1, i = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 13$$

$$0 \leq x_i, i = 10, 11, 12$$

คำตอบที่ได้จากเอกสารอ้างอิง [1] $G_1(x) = -15$

$$x_1 = 1$$

$$x_2 = 1$$

$$x_3 = 1$$

$$x_4 = 1$$

$$x_5 = 1$$

$$x_6 = 1$$

$$x_7 = 1$$

$$x_8 = 1$$

$$x_9 = 1$$

$$x_{10} = 3$$

$$x_{11} = 3$$

$$x_{12} = 3$$

$$x_{13} = 1$$

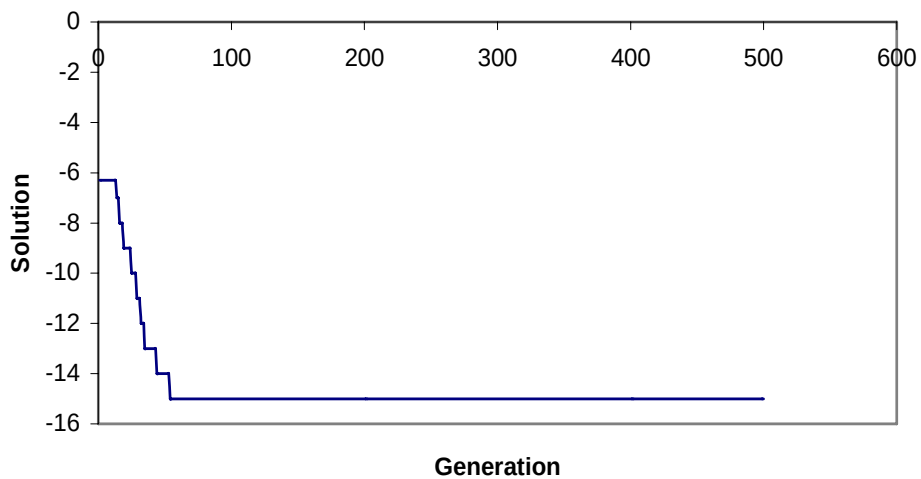
ผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรม $G_1(x) = -15$

$$x_1 = 1$$

$$x_2 = 1$$

$$x_3 = 1$$

$$\begin{aligned}
 x_4 &= 1 \\
 x_5 &= 1 \\
 x_6 &= 1 \\
 x_7 &= 1 \\
 x_8 &= 1 \\
 x_9 &= 1 \\
 x_{10} &= 3 \\
 x_{11} &= 3 \\
 x_{12} &= 3 \\
 x_{13} &= 1
 \end{aligned}$$



ภาพที่ 2-3 การลู่เข้าคำตอบของฟังก์ชัน $G_1(x)$

เวลาทั้งหมดที่ใช้ในการหาคำตอบเท่ากับ 1 วินาที

2.7.2 จงหาคำตอบน้อยที่สุดของ $G_2(x)$

เมื่อ $G_2(x) = 6.5x_1 - 0.5x_1^2 - x_2 - 2x_3 - 3x_4 - 2x_5 - x_6$

โดยที่

$$\begin{aligned}
 x_6 + 2x_1 + 8x_2 + x_3 + 3x_4 + 5x_5 &\leq 16 \\
 -8x_6 - 4x_1 - 2x_2 + 2x_3 + 4x_4 - x_5 &\leq -1 \\
 2x_6 + 0.5x_1 + 0.2x_2 - 3x_3 - x_4 - 4x_5 &\leq 24 \\
 0.2x_6 + 2x_1 + 0.1x_2 - 4x_3 + 2x_4 + 2x_5 &\leq 12 \\
 -0.1x_6 - 0.5x_1 + 2x_2 + 5x_3 - 5x_4 + 3x_5 &\leq 3
 \end{aligned}$$

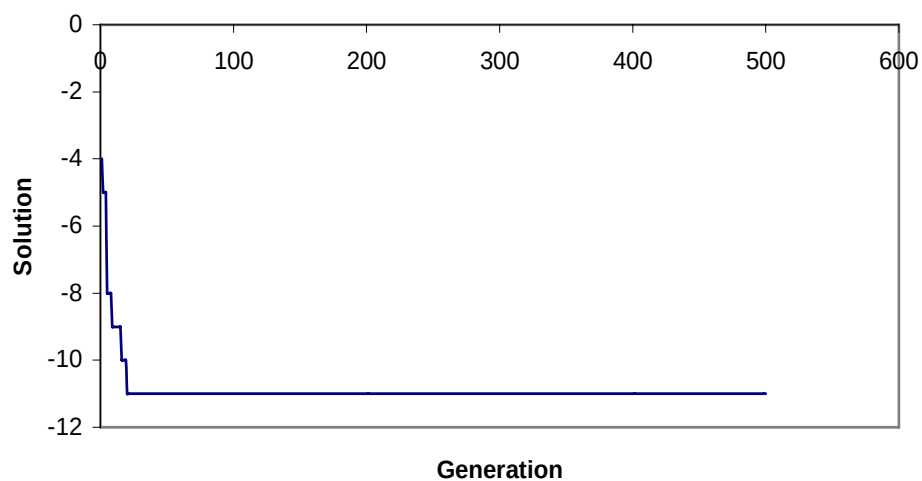
$$\begin{aligned}
 x_3 &\leq 1 \\
 x_4 &\leq 1 \\
 x_5 &\leq 2 \\
 x_6 &> 0 \\
 x_i &> 0 \\
 1 &\leq i \leq 5
 \end{aligned}$$

คำตอบที่ได้จากเอกสารอ้างอิง [1] $G_2(x) = -11$

$$\begin{aligned}
 x_1 &= 6 \\
 x_2 &= 0 \\
 x_3 &= 1 \\
 x_4 &= 1 \\
 x_5 &= 1 \\
 x_6 &= 1
 \end{aligned}$$

ผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรม $G_2(x) = -11$

$$\begin{aligned}
 x_1 &= 6 \\
 x_2 &= 0 \\
 x_3 &= 1 \\
 x_4 &= 1 \\
 x_5 &= 1 \\
 x_6 &= 1
 \end{aligned}$$



ภาพที่ 2-4 การลู่เข้าคำตอบของฟังก์ชัน $G_2(x)$

เวลาทั้งหมดที่ใช้ในการหาคำตอบเท่ากับ 1 วินาที

2.7.3 จงหาคำตอบมากที่สุดของ $G_3(x)$

เมื่อ
$$G_3(x) = \left| \frac{\sum_{i=1}^n \cos^4(x_i) - 2 \sum_{i=1}^4 \cos^2(x_i)}{\sqrt{\sum_{i=1}^n i x_i^2}} \right|$$

โดยที่

$$\prod_{i=1}^n x_i > 0.75$$

$$\sum_{i=1}^n x_i < 7.5n$$

$$0 < x_i < 10$$

$$0 < i < n$$

คำตอบที่ได้จากเอกสารอ้างอิง [2] $G_3(x) = 0.80351067$

$$x_1 = 3.16311359$$

$$x_2 = 3.13150430$$

$$x_3 = 3.09515858$$

$$x_4 = 3.06016588$$

$$x_5 = 3.03103566$$

$$x_6 = 2.99158549$$

$$x_7 = 2.95802593$$

$$x_8 = 2.92285895$$

$$x_9 = 0.48684388$$

$$x_{10} = 0.47732279$$

$$x_{11} = 0.48044473$$

$$x_{12} = 0.48790911$$

$$x_{13} = 0.48450437$$

$$x_{14} = 0.44807032$$

$$x_{15} = 0.46877760$$

$$x_{16} = 0.45648506$$

$$x_{17} = 0.44762608$$

$$x_{18} = 0.44913986$$

$$x_{19} = 0.443908663$$

$$x_{20} = 0.45149332$$

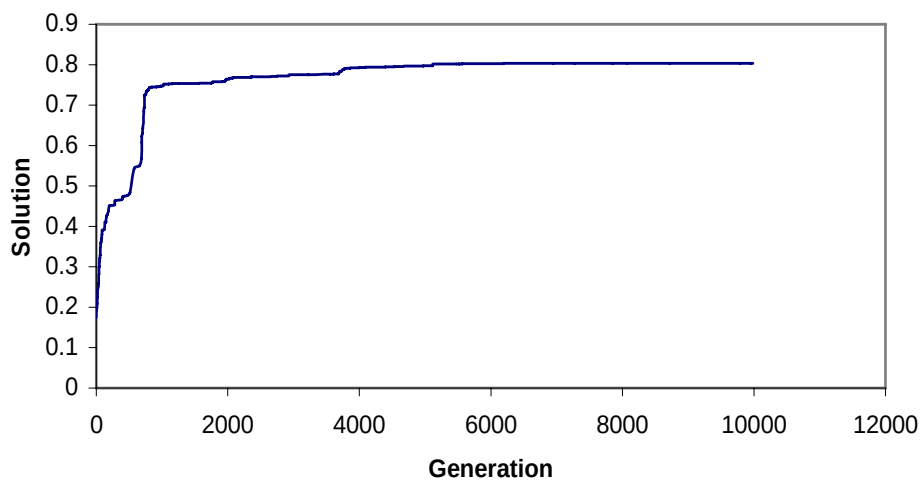
ผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรม $G_3(x) = 0.80320328$

$$x_1 = 3.17889905$$

$$x_2 = 3.13195729$$

$$x_3 = 3.10719180$$

$x_4 = 3.06186342$
 $x_5 = 3.02546191$
 $x_6 = 2.98769665$
 $x_7 = 2.96103644$
 $x_8 = 2.92503715$
 $x_9 = 0.49639735$
 $x_{10} = 0.47060353$
 $x_{11} = 0.50084919$
 $x_{12} = 0.52062005$
 $x_{13} = 0.45014042$
 $x_{14} = 0.45682079$
 $x_{15} = 0.45917013$
 $x_{16} = 0.46909827$
 $x_{17} = 0.46165246$
 $x_{18} = 0.43274641$
 $x_{19} = 0.43195873$
 $x_{20} = 0.43439025$



ภาพที่ 2-5 การลู่เข้าคำตอบของฟังก์ชัน $G_3(x)$

เวลาทั้งหมดที่ใช้ในการหาคำตอบเท่ากับ 448 วินาที

2.7.4 จงหาคำตอบน้อยที่สุดของ $G_4(x)$

เมื่อ $G_4(x) = -10.5x_1 - 7.5x_2 - 3.5x_3 - 2.5x_4 - 1.5x_5 - 10x_6 - 0.5\sum_{i=1}^5 x_i^2$

โดยที่

$$6x_1 + 3x_2 + 3x_3 + 2x_4 + x_5 \leq 6.5$$

$$10x_1 + 10x_3 + x_6 \leq 20$$

$$0 \leq x_i \leq 1$$

$$1 \leq i \leq 5$$

$$0 \leq x_6$$

คำตอบที่ได้จากเอกสารอ้างอิง [3] $G_4(x) = -213$

$$x_1 = 0$$

$$x_2 = 1$$

$$x_3 = 0$$

$$x_4 = 1$$

$$x_5 = 1$$

$$x_6 = 20$$

ผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรม $G_4(x) = -213$

$$x_1 = 0$$

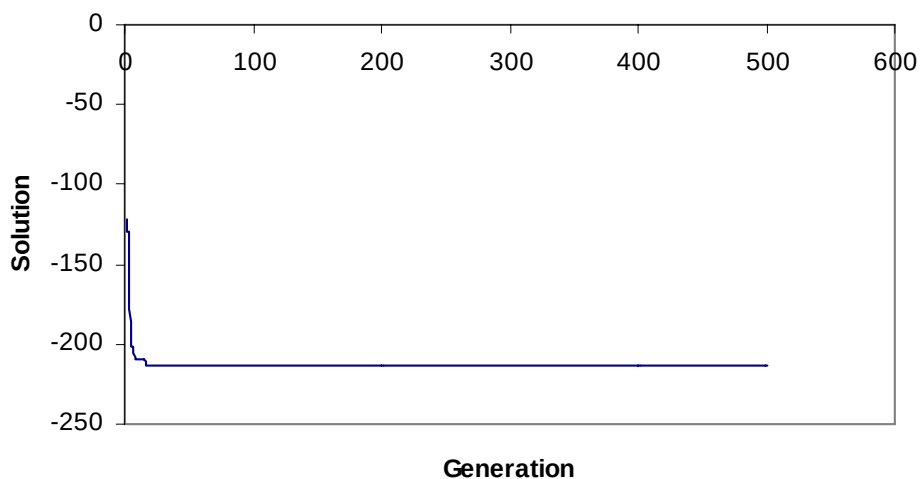
$$x_2 = 1$$

$$x_3 = 0$$

$$x_4 = 1$$

$$x_5 = 1$$

$$x_6 = 20$$



ภาพที่ 2-6 การลู่เข้าคำตอบของฟังก์ชัน $G_4(x)$

เวลาทั้งหมดที่ใช้ในการหาคำตอบเท่ากับ 1 วินาที

สรุป

วิธีเชิงพันธุกรรมเป็นวิธีการที่เลียนแบบวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิตตามธรรมชาติ โดยมีกระบวนการที่สำคัญคือ การคัดเลือกพันธุ์, การประเมินค่าฟังก์ชันเป้าหมาย, การคัดแยกประชากรที่ดีที่สุด, ตัวดำเนินการเชิงพันธุกรรม ซึ่งประกอบไปด้วย ตัวดำเนินการกลายพันธุ์ และตัวดำเนินการสลับสายพันธุ์ จากผลการทดสอบโปรแกรมพบว่าวิธีการเชิงพันธุกรรมสามารถตอบสนองต่อปัญหาลักษณะเชิงจัดหมู่ได้ดี ดังนั้นจึงได้นำวิธีการเชิงพันธุกรรมมาใช้ในการแก้ปัญหาการหาตำแหน่งการติดตั้งสวิตช์ตัดตอนที่เหมาะสมในระบบจำหน่ายแบบเรเดียลเนื่องจากมีลักษณะของฟังก์ชันเป็นแบบเชิงจัดหมู่ซึ่งจะกล่าวรายละเอียดของฟังก์ชันเป้าหมายในลำดับต่อไป

บทที่ 3

การวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าของระบบจำหน่ายแบบเรเดียล

การวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้า (Load Flow) คือพื้นฐานอย่างหนึ่งในการวิเคราะห์ระบบไฟฟ้ากำลังในการวางแผนและการดำเนินการในระบบ จุดประสงค์หลักของการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าคือการคำนวณหาขนาดกระแสที่ไหลผ่านสายส่งหรืออุปกรณ์ต่างๆ และแรงดันที่บัสต่างๆ ในระบบ เพื่อศึกษาสภาพของระบบว่าสามารถรองรับภาระโหลดได้หรือไม่ ขนาดกระแสหรือแรงดันที่บัสอยู่ในเกณฑ์ที่อุปกรณ์สามารถทำงานได้หรือไม่ ถ้ากระแสในสายสูงเกินไปก็ต้องมีการพิจารณาการปรับเปลี่ยนแก้ไขระบบ เช่น การเพิ่มขนาดสายส่ง หรือ การย้ายหรือการตัดโหลด เป็นต้น เพื่อที่จะให้สายส่งสามารถรองรับกระแสได้หรือแรงดันที่บัสอยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสม ดังนั้นประโยชน์หลักที่ได้รับจากการศึกษาการไหลของกำลังไฟฟ้าคือ การศึกษาสภาพของระบบปัจจุบันและการศึกษาสภาพของระบบหากมีการเพิ่มขึ้นของโหลดในอนาคต และนอกจากนี้แล้วผลลัพธ์ที่ได้จากการศึกษาการไหลของกำลังไฟฟ้ายังนำไปใช้ในการศึกษาเรื่องต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับระบบไฟฟ้ากำลัง เช่น การวิเคราะห์ฟอลต์ (Fault Analysis) การจ่ายโหลดอย่างประหยัด (Economic Dispatch) เป็นต้น จึงเห็นได้ว่า การศึกษาเรื่องการไหลของกำลังไฟฟ้าจึงเป็นมีบทบาทสำคัญในการศึกษาระบบไฟฟ้ากำลัง

3.1 ปัญหาการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้า

แต่เดิมนั้นหลักการพื้นฐานของการไหลของกำลังไฟฟ้านั้นพัฒนามาจากระบบส่งไฟฟ้า อย่างไรก็ตามหลักการดังกล่าวก็ยังคงสามารถใช้ได้กับการไหลของกำลังไฟฟ้าในระบบจำหน่าย โดยในการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าจะมีตัวแปรที่เกี่ยวข้องอยู่ 4 ตัวที่เกี่ยวข้องกับแต่ละบัสซึ่งประกอบไปด้วยขนาดของแรงดันไฟฟ้า ($|V|$) มุมของแรงดันไฟฟ้า ($\angle V$) กำลังไฟฟ้าปฏิกิริยา (P) และ กำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ (Q) โดยทั่วไปแต่ละบัสจะทราบค่าพารามิเตอร์สองค่า ส่วนอีกสองค่าจะหาโดยการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้า ในการคำนวณ จะมีการกำหนดประเภทของบัสซึ่งแบ่งออกเป็น 3 ประเภทหลักๆ ดังต่อไปนี้

บัสแอสลัค (Slack Bus) ซึ่งปกติมักกำหนดให้บัสที่ 1 เป็นบัสอ้างอิง มุมแรงดันที่บัสนี้เป็นมุมอ้างอิงสำหรับมุมในบัสอื่นๆ ในระบบ บัสอ้างอิงมีชื่อเรียกที่แตกต่างกันไป เช่น บัสสวิง (Swing Bus) บัสอ้างอิง (Reference) ที่บัสอ้างอิงนี้ เราจะรู้ค่ามุมและขนาดของขนาดแรงดันที่บัส ($\Delta\delta_1$)

และ $\Delta|V_1|$) โดยทั่วไปมุมของขนาดแรงดันและมุมของแรงดันที่บัสที่ 1 มักกำหนดให้เป็น $1\angle 0^\circ$ เปรอ์ยูนิต ดังนั้นที่บัสนี้เราจะไม่ทราบตัวแปรอยู่ 2 ตัว คือ ตัวแปรกำลังไฟฟ้าบัสจริง (P) และกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ (Q) ในทางปฏิบัติจะเลือกบัสที่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดใหญ่ที่สุดเป็นบัสสลैค

บัสควบคุมแรงดัน (Voltage-Controlled Buses) คือ บัสที่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าต่ออยู่หรือมีทั้งกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ที่บัสนี้สามารถควบคุมโดยต้นกำลังของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า และขนาดแรงดันสามารถควบคุมได้ที่บัสนี้โดยระบบกระตุ้น (Excitation System) ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ที่บัสนี้เราจะทราบค่ากำลังจริงและค่าขนาดของแรงดัน ดังนั้นตัวแปรที่ต้องคำนวณหา คือ มุมของแรงดันที่บัสและกำลังรีแอกทีฟที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าผลิตได้ สรุปได้ว่าในบัสนี้เราต้องคำนวณหาค่ามุมของแรงดันที่บัส i และผลรวมกำลังจริงที่เข้าระบบที่บัส i และหลังจากแก้สมการการไหลของกำลังไฟฟ้าได้เรารู้ค่า Q_i เราจึงเรียกบัสควบคุมแรงดัน บัสนี้มีชื่อเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า บัส PV เพราะว่าทราบค่ากำลังจริงที่บัส และค่าขนาดของแรงดันที่บัส

บัสภาระ (Load Buses) คือ เป็นบัสที่ไม่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าต่ออยู่ เป็นบัสที่ทราบค่ากำลังจริง (Active Power) และกำลังเสมือน (Reactive Power) โดยค่าทั้งสองได้รับมาจากการพยากรณ์โหลด อย่างไรก็ตาม ในทางปฏิบัติ เรามักจะทราบค่ากำลังไฟฟ้าจริง ส่วนค่ากำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟจะคำนวณจากกำลังจริงโดยอาศัยค่าตัวประกอบกำลัง (Power Factor) บัสภาระนั้นสามารถเรียกได้อีกอย่างว่า บัส $P-Q$ ทั้งนี้เพราะว่าที่บัสนี้เราทราบตัวแปรทั้ง 2 นั่นเอง ดังนั้นตัวแปรในบัสภาระที่เราไม่ทราบค่าคือ ขนาดของแรงดันไฟฟ้า ($|V|$) และมุมของแรงดันไฟฟ้า ($\angle V$)

จากนั้นพิจารณาความสัมพันธ์ของปริมาณไฟฟ้าทั้งสี่กับปริมาณไฟฟ้าทั้งสี่กับประเภทของบัสในระบบไฟฟ้ากำลัง โดยแต่ละบัสจะมีปริมาณไฟฟ้าทราบค่า จำนวน 2 ตัว และปริมาณไฟฟ้าไม่ทราบค่า จำนวน 2 ตัว และสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 3-1

ตารางที่ 3-1 การกำหนดปริมาณไฟฟ้าต่างๆตามประเภทของบัสในระบบไฟฟ้ากำลัง

ประเภทของบัส	จำนวนของบัส	ปริมาณทราบค่า	ปริมาณไม่ทราบค่า
Slack	1	$ V_i , \delta_i$	P_i, Q_i
PV	N_G	$P_i, V_i $	δ_i, Q_i
PQ	$N - N_G - 1$	P_i, Q_i	$ V_i , \delta_i$
รวม	N	$2N$	$2N$

วิธีการแก้ปัญหาในการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าในทางปฏิบัติต้องใช้คอมพิวเตอร์เข้ามาช่วยเพื่อให้ช่วยประหยัดเวลาในการหาคำตอบ วิธีการแก้ปัญหาที่เป็นที่รู้จักคือ วิธีเกาส์ไซด์ (Gauss Seidel) และ วิธีนิวตัน-ราฟสัน (Newton-Raphson) วิธีเกาส์ไซด์เป็นวิธีที่เข้าใจง่ายเหมาะกับระบบที่มีขนาดเล็กทั้งนี้เพราะว่าวิธีนี้ใช้เวลาในการคำนวณนาน นอกจากนี้แล้วการลู่เข้าของคำตอบยังขึ้นอยู่กับจำนวนบัสในระบบ กล่าวคือ ถ้าจำนวนบัสมากขึ้น เวลาในการคำนวณจะมากขึ้นตามไปด้วย ดังนั้นวิธีที่ใช้ในทางปฏิบัติ คือวิธีนิวตัน-ราฟสัน เวลาใช้ในการคำนวณสำหรับวิธีนี้นั้นรวดเร็ว และไม่แปรผันมากนักกับจำนวนบัส หัวข้อถัดไปจะกล่าวถึงหลักการของวิธีนิวตัน-ราฟสันอย่างคร่าวๆ

3.2 การแก้ปัญหาการไหลของกำลังไฟฟ้าโดยใช้วิธีนิวตันราฟสัน [4]

จากสมการการไหลของกำลังไฟฟ้า

$$P_{i,cal} = \sum_{n=1}^N |Y_{in} V_i V_n| \cos(\theta_{in} + \delta_n - \delta_i) \quad (3-1)$$

$$Q_{i,cal} = -\sum_{n=1}^N |Y_{in} V_i V_n| \sin(\theta_{in} + \delta_n - \delta_i) \quad (3-2)$$

$$\Delta P_i = (P_{Gi} - P_{Di}) - P_{i,cal} \quad (3-3)$$

$$\Delta Q_i = (Q_{Gi} - Q_{Di}) - Q_{i,cal} \quad (3-4)$$

โดยที่

P_i คือ กำลังไฟฟ้าที่บัส i

Q_i คือ กำลังเสมือนที่บัส i

Y_{in} คือ สมาชิกของบัสแอดมิตแตนซ์แถวที่ i หลักที่ n

V_i คือ แรงดันตกคร่อมที่บัส i

θ_{in} คือ มุมของ Y_{in}

δ_n คือ มุมของแรงดันที่บัส n

จากสมการกำลังไฟฟ้าไหลนำมาจัดอยู่ในรูปของสมการ นิวตัน-ราฟสันได้ดังนี้

$$\begin{bmatrix} \left[\frac{\partial P_2}{\partial \delta_2} \right] & \dots & \left[\frac{\partial P_2}{\partial \delta_N} \right] & |V_2| \frac{\partial P_2}{\partial |V_N|} & \dots & |V_N| \frac{\partial P_2}{\partial |V_N|} & \frac{\Delta \delta_2}{|V_2|} \\ \vdots & J_{11} & \vdots & \vdots & J_{12} & \vdots & \vdots \\ \left[\frac{\partial P_N}{\partial \delta_2} \right] & \dots & \left[\frac{\partial P_N}{\partial \delta_N} \right] & |V_2| \frac{\partial P_N}{\partial |V_2|} & \dots & |V_N| \frac{\partial P_N}{\partial |V_N|} & \frac{\Delta \delta_N}{|V_2|} \\ \hline \left[\frac{\partial Q_2}{\partial \delta_2} \right] & \dots & \left[\frac{\partial Q_2}{\partial \delta_N} \right] & |V_2| \frac{\partial Q_2}{\partial |V_N|} & \dots & |V_N| \frac{\partial Q_2}{\partial |V_N|} & \frac{\Delta |V_2|}{|V_2|} \\ \vdots & J_{21} & \vdots & \vdots & J_{23} & \vdots & \vdots \\ \left[\frac{\partial Q_N}{\partial \delta_2} \right] & \dots & \left[\frac{\partial Q_N}{\partial \delta_N} \right] & |V_2| \frac{\partial Q_N}{\partial |V_2|} & \dots & |V_N| \frac{\partial Q_N}{\partial |V_N|} & \frac{\Delta |V_2|}{|V_2|} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\Delta P_2}{|V_2|} \\ \vdots \\ \frac{\Delta P_N}{|V_2|} \\ \hline \frac{\Delta Q_2}{|V_2|} \\ \vdots \\ \frac{\Delta Q_N}{|V_2|} \end{bmatrix} \quad (3-5)$$

$$\text{เมทริกซ์ย่อย } J_{11} \quad \frac{\partial P_i}{\partial \delta_i} = -|V_i V_j Y_{ij}| \sin(\theta_{ij} + \delta_j - \delta_i) \quad (3-6)$$

$$\frac{\partial P_i}{\partial \delta_i} = -\sum_{\substack{n=1 \\ n \neq i}}^N \frac{\partial P_i}{\partial \delta_n} = -Q_i - |V_i|^2 B_{ii} \quad (3-7)$$

$$\text{เมทริกซ์ย่อย } J_{21} \quad \frac{\partial Q_i}{\partial \delta_i} = -|V_i V_j Y_{ij}| \cos(\theta_{ij} + \delta_j - \delta_i) \quad (3-8)$$

$$\frac{\partial Q_i}{\partial \delta_i} = -\sum_{\substack{n=1 \\ n \neq i}}^N \frac{\partial Q_i}{\partial \delta_n} = -P_i - |V_i|^2 G_{ii} \quad (3-9)$$

$$\text{เมทริกซ์ย่อย } J_{21} \quad |V_j| \frac{\partial P_i}{\partial |V_j|} = -\frac{\partial Q_i}{\partial \delta_j} \quad (3-10)$$

$$|V_i| \frac{\partial P_i}{\partial |V_i|} = +\frac{\partial Q_i}{\partial \delta_i} + 2|V_i|^2 G_{ii} \quad (3-11)$$

$$\text{เมทริกซ์ย่อย } J_{22} \quad |V_j| \frac{\partial Q_i}{\partial |V_j|} = -\frac{\partial P_i}{\partial \delta_j} \quad (3-12)$$

$$|V_i| \frac{\partial Q_i}{\partial |V_i|} = +\frac{\partial P_i}{\partial \delta_i} + 2|V_i|^2 B_{ii} \quad (3-13)$$

นำค่า $\Delta\delta_i^{(k)}$ และ $|V_i^{(k)}|$ ที่คำนวณได้จากสมการที่ (3-5) นำมาคำนวณหาค่า $\Delta\delta_i^{(k+1)}$ และ $|V_i^{(k+1)}|$ ได้จาก

$$\Delta\delta_i^{(k+1)} = \delta_i^{(k)} + \Delta\delta_i^{(k)} \quad (3-14)$$

$$\begin{aligned} |V_i^{(k+1)}| &= |V_i^{(k)}| + \Delta|V_i^{(k)}| \\ &= |V_i^{(k)}| \left(1 + \frac{\Delta|V_i^{(k)}|}{|V_i^{(k)}|} \right) \end{aligned} \quad (3-15)$$

กระบวนการวนรอบซ้ำจะทำไปอย่างต่อเนื่องจนกระทั่ง ΔP_i และ ΔQ_i มีค่าน้อยกว่าค่าที่กำหนด หรือ $\Delta\delta_i$ และ $\Delta|V_i|$ ทั้งหมด มีค่าน้อยกว่าดัชนีความถูกต้อง เมื่อกระบวนการเสร็จสมบูรณ์สามารถใช้สมการที่ (3-1) และ (3-2) เพื่อคำนวณหาค่า กำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้าเสมือนที่บัสอ้างอิงได้

3.3 ระบบจำหน่ายไฟฟ้า [5]

ระบบจำหน่ายไฟฟ้า เป็นระบบช่วงสุดท้ายที่รับไฟจากระบบสายส่งเพื่อจำหน่ายให้แก่ผู้ใช้ไฟฟ้า ระบบจำหน่ายไฟฟ้าประกอบด้วยสองส่วนที่สำคัญ คือ ระบบจำหน่ายไฟฟ้าปฐมภูมิซึ่งรับไฟจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหรือสถานีไฟฟ้าย่อยและส่งต่อไปที่บริเวณผู้ใช้ไฟฟ้าแล้วลดระดับแรงดันโดยใช้หม้อแปลงระบบจำหน่าย และระบบจำหน่ายไฟฟ้าทุติยภูมิซึ่งรับไฟจากหม้อแปลงระบบจำหน่ายส่งต่อไปยังผู้ใช้ไฟฟ้าเพื่อใช้งาน ระบบจำหน่ายประกอบด้วยส่วนสำคัญต่าง ๆ ดังนี้ สถานีไฟฟ้าย่อยกำลัง ระบบสายส่งย่อย (Subtransmission) สถานีไฟฟ้าย่อยจำหน่าย สายป้อนปฐมภูมิ (Primary Feeder) หม้อแปลงจำหน่าย (Distribution Transformer) และระบบจำหน่ายทุติยภูมิซึ่งในระบบจำหน่ายประกอบด้วยส่วนต่างๆซึ่งมีรายละเอียดดังตารางที่ 3-2

ตารางที่ 3-2 ส่วนของระบบจำหน่ายและหน้าที่การทำงาน

ส่วนของระบบจำหน่าย	หน้าที่และการทำงาน
สถานีไฟฟ้าย่อยกำลัง (Bulk Power Substation)	รับกำลังไฟฟ้าจากระบบสายส่งและแปลงไฟเพื่อให้ระบบสายส่งย่อย
ระบบสายส่งย่อย (Subtransmission System)	ระบบวงจรไฟฟ้าที่รับไฟจากสถานีไฟฟ้าย่อยกำลัง เพื่อส่งต่อไปยังสถานีไฟฟ้าย่อย

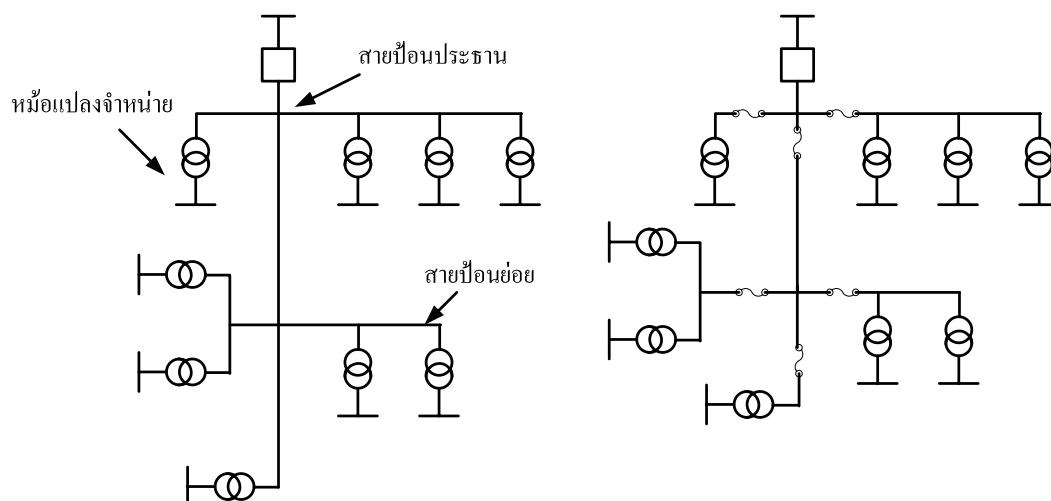
ตารางที่ 3-2 (ต่อ)

สถานีไฟฟ้าย่อยจำหน่าย (Distribution Substation)	สถานีไฟฟ้ารับกำลังไฟฟ้าจากวงจรสายส่งย่อยและแปลงให้สายป้อนปฐมภูมิ
สายป้อนปฐมภูมิ (Primary Feeder)	วงจรไฟฟ้าที่รับไฟจากสถานีไฟฟ้าย่อยเพื่อส่งไปยังหม้อแปลงจำหน่าย
สายป้อนทุติยภูมิ (Secondary Feeder)	วงจรไฟฟ้าที่รับไฟจากหม้อแปลงจำหน่ายและส่งไปยังผู้ใช้ไฟ

ระบบสายป้อนปฐมภูมิ

ระบบสายป้อนปฐมภูมิ หมายถึง ส่วนของระบบของไฟฟ้ากำลังที่อยู่ระหว่างสถานีไฟฟ้าย่อยจำหน่ายและหม้อแปลงจำหน่าย ระบบสายป้อนปฐมภูมิประกอบด้วยวงจรสายป้อน (Feeder) ซึ่งเริ่มจากบัสแรงต่ำของสถานีไฟฟ้าย่อยผ่านไปยังบริเวณโหลดหนาแน่นและจ่ายไฟฟ้าให้หม้อแปลงจำหน่าย ถ้าเป็นระบบจำหน่ายในประเทศไทยก็คือระดับแรงดัน 22, 33 kV สำหรับการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค หรือ 12, 24 kV สำหรับระบบของการไฟฟ้านครหลวง

สายป้อนปฐมภูมิประกอบด้วยสายประธานและสายกิ่ง หรือสายที่แตกด้านข้างออกจากสายประธานดังกล่าวใน ภาพที่ 3-1 สายป้อนประธานโดยมากเป็นสามเฟสสามสายหรือสี่สายในขณะที่สายกิ่งเป็นสามเฟสหรือเฟสเดียวทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ในสายกิ่ง ถ้าเป็นผู้ใช้ไฟประเภทบ้านอยู่อาศัยและมีจำนวนไม่มากก็เดินสายกิ่งแบบเฟสเดียว สายกิ่งบางครั้งก็เรียงเป็นสายป้อนย่อยหรือ ไลน์ย่อย แล้วแต่การไฟฟ้าแต่ละแห่งจะตั้งชื่อเรียกกัน



(ก) ไม่มีฟิวส์ที่ส่วนแยกออกจากสายประธาน (ข) มีฟิวส์ที่ส่วนแยกออกจากสายประธาน

ภาพที่ 3-1 สายป้อนปฐมภูมิเรเดียลแบบธรรมดา

ระบบสายป้อนปฐมภูมิสามารถแยกการจัดวงจรออกเป็นดังนี้

ระบบสายป้อนปฐมภูมิการจัดวงจรแบบเรเดียลตรง

เป็นการจัดวงจรของระบบสายป้อนปฐมภูมิที่ง่ายที่สุดและลงทุนน้อยที่สุด โดยจะแถมเส้นเดียวของการจัดวงจรแบบนี้แสดงไว้ภาพที่ 3-1 (ก) การจัดวงจรของระบบสายป้อนปฐมภูมิแบบนี้มีความเชื่อถือในการจ่ายไฟต่ำ เพราะเมื่อเกิดลัดวงจรขึ้นที่จุดหนึ่งจุดใดในสายป้อนประธานจะทำให้ไม่สามารถจ่ายไฟให้ผู้ใช้งานไฟทั้งหมดนอกจากจุดลัดวงจรจะถูกตัดออกจากระบบด้วยฟิวส์หรือสวิตซ์ตัดตอนแยกจุดลัดวงจรออกถึงจะสามารถจ่ายไฟฟ้ากลับเข้ามาในระบบได้อีก ภาพที่ 3-1 (ข) แสดงระบบที่มีฟิวส์ตามสายป้อนประธานและสายป้อนย่อยที่สามารถแยกตอนใดตอนหนึ่งของสายป้อนออกจากระบบได้เนื่องจากการจัดวงจรของระบบปฐมภูมิแบบเรเดียลธรรมดาในภาพที่ 3-1 มีข้อบกพร่องหลายประการจึงได้มีการพัฒนาการจัดวงจรเรเดียลแบบอื่นๆดังนี้

วงจรแบบเรเดียลเชื่อมโยง

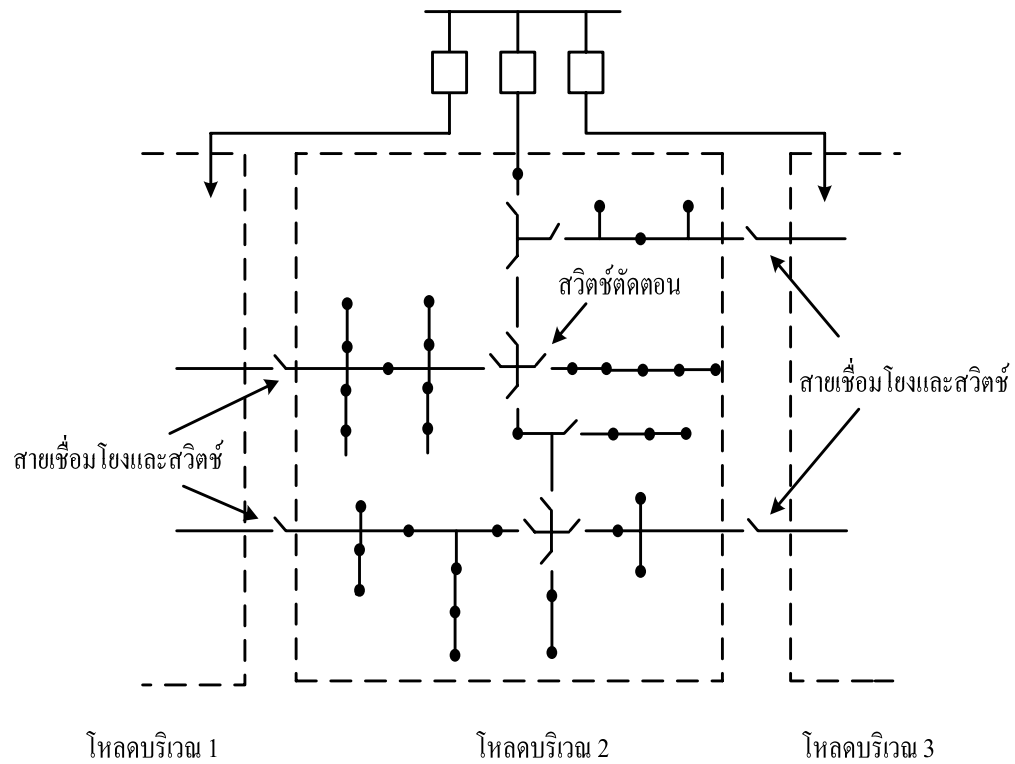
มีความเชื่อถือและมั่นคงในการจ่ายไฟฟ้ามากกว่าแบบเรเดียลธรรมดาเพราะมีวงจรเชื่อมโยงระหว่างสายป้อนปฐมภูมิด้วยกันเพิ่มเข้ามาด้วยสวิตซ์ซึ่งปกติจะเปิดวงจรถ้าเกิดลัดวงจรที่ส่วนหนึ่งส่วนใดของสายป้อนประธานจุดลัดวงจรสามารถถูกแยกออกจากระบบโดยการเปิดวงจรของอุปกรณ์ตัดตอนแต่ละข้างของจุดเกิดลัดวงจร แล้วปิดสวิตซ์ในวงจรเชื่อมโยงทำให้การจ่ายไฟในช่วงสายป้อนที่ไม่เกิดลัดวงจรได้รับการจ่ายไฟฟ้าได้ตามปกติ

วงจรแบบเรเดียลศูนย์กลางโหลด

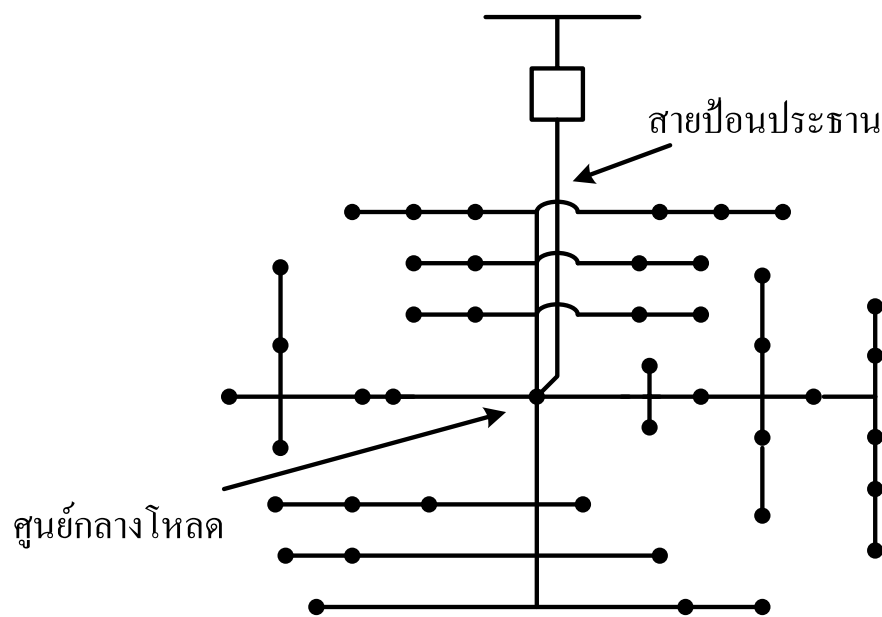
สายป้อนประธานจะวิ่งไปยังศูนย์กลางโหลดก่อนแล้วค่อยกระจายโหลด ไปตามสายกิ่งหรือสายป้อนย่อย การจัดวงจรแบบนี้ทำให้สามารถจ่ายโหลดได้มากกว่าแบบเรเดียลตรงซึ่งอาจมากถึงสองเท่าแต่ข้อเสียของการจัดวงจรโหลดแบบนี้คือ ถ้ามีการขยายโหลดเพิ่มมากขึ้นการจัดวงจรก็ต้องเปลี่ยนแปลงไปด้วยเนื่องจากศูนย์กลางโหลดเปลี่ยนไปจากจุดเดิม

วงจรแบบเรเดียลแยกเฟส

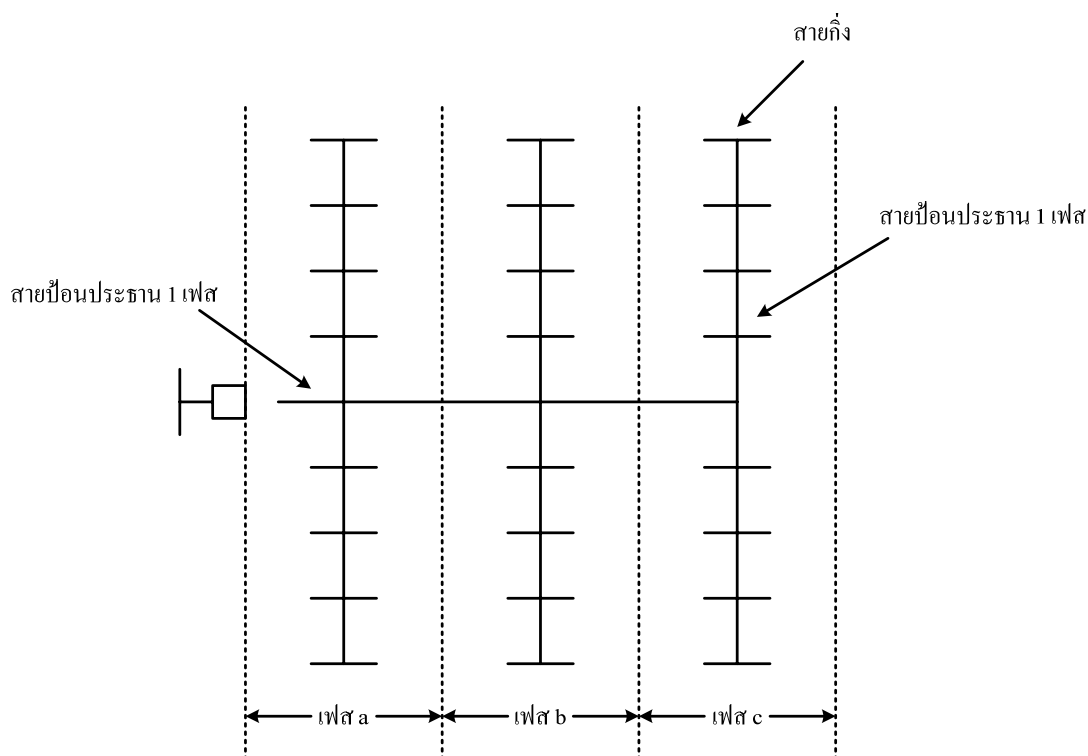
โดยแต่ละเฟสของสายป้อนแยกจ่ายโหลดในแต่ละบริเวณ โดยทั่วไปจะมีการแยกจ่ายสายหรือทุกบริเวณ แต่ละเฟสของสายป้อนอาจจ่ายโหลดแบบเรเดียลศูนย์กลางโหลดก็ได้ ปัญหาที่ควรระวังในการวางแผนจ่ายไฟฟ้าแบบนี้คือ ต้องพยายามให้โหลดสมดุลทั้งสามเฟสและข้อเสียของการจัดวงจรแบบนี้ก็คือ โหลดที่ใช้สามเฟสใช้กับการจัดวงจรแบบนี้ไม่ได้ยกเว้นจะต่อเข้าที่ต้นทางของสายประธานก่อนที่จะมีการแยกเฟสของสายป้อนทำให้การจัดวงจรแบบนี้ไม่นิยมใช้กัน



ภาพที่ 3-2 วงจรแบบเรเดียลเชื่อมต่อโยง



ภาพที่ 3-3 วงจรแบบเรเดียลศูนย์กลางโหลด



ภาพที่ 3-4 วงจรแบบเรเดียลแยกเฟส

จากลักษณะวงจรที่กล่าวมาจะการจัดวงจรของระบบสายป้อนปฐมภูมิแบบนี้มีความเชื่อถือในการจ่ายไฟฟ้า เพราะเมื่อเกิดลัดวงจรขึ้นที่จุดหนึ่งจุดใดในสายป้อนประธานหรือสายป้อนย่อยจะทำให้ไม่สามารถจ่ายไฟฟ้าให้ผู้ใช้งานไฟฟ้าทั้งหมดนอกจากจุดลัดวงจรจะถูกตัดออกจากระบบด้วยฟิวส์หรือ สวิตช์ตัดตอนแยกจุดลัดวงจรออกถึงจะสามารถจ่ายไฟฟ้ากลับเข้ามาในระบบได้อีก ดังนั้นจึงเห็นได้ว่าสวิตช์ตัดตอนมีความสำคัญในการเพิ่มความเชื่อถือได้ให้กับระบบ

3.4 การวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าในระบบจำหน่ายแบบเรเดียล

ดังที่กล่าวไปแล้ว ระบบจำหน่ายเป็นระบบที่เชื่อมต่อระหว่างระบบส่งจ่ายไฟฟ้ากับผู้ใช้งานไฟฟ้า โดยทั่วไปวงจรระบบจำหน่ายประกอบไปด้วย สายป้อนปฐมภูมิ (Primary Feeder) หรือสายป้อนหลัก (Main Feeder) และสายป้อนแยก (Lateral Distributor) สายป้อนปฐมภูมิจะแยกออกมาจากสถานีไฟฟ้าย่อยและต่อผ่านไปยังศูนย์กลางโหลดหลักๆ (Major Load Centers) ขณะที่สายป้อนแยกจะเชื่อมต่อระหว่างสายป้อนปฐมภูมิกับจุดโหลดต่างๆผ่านหม้อแปลงจำหน่าย ในทางปฏิบัติ

ระบบจำหน่ายจะมีสายป้อนปฐมภูมิ 1 สายป้อนหรือเป็นที่รู้จักกันคือระบบจำหน่ายไฟฟ้าแบบเรเดียล ระบบจำหน่ายไฟฟ้าแบบเรเดียลนั้นเป็นที่นิยมใช้กันทั่วไปเพราะการออกแบบไม่ซับซ้อนและค่าใช้จ่ายไม่สูงมากนัก

หัวข้อที่ผ่านมาได้อธิบายหลักการคร่าวๆ ที่ใช้ในการคำนวณหาการไหลของกำลังไฟฟ้า อย่างไรก็ตาม การคำนวณแบบดั้งเดิมนั้นอาจมีความยุ่งยากเกินไปหรืออาจจะไม่เหมาะสมกับระบบจำหน่าย ยกตัวอย่างเช่น วิธี Fast Decoupled Newton [6] แม้ว่าจะใช้ได้ดีกับระบบส่ง แต่สำหรับระบบจำหน่ายแล้ว การเข้าสู่หาคำตอบได้ยากอันเนื่องมาจากระบบจำหน่ายโดยทั่วไปจะมีอัตราส่วน R/X สูงซึ่งทำให้ลักษณะเด่นของค่าในแนวทแยงของเมทริกซ์จาโคเบียนลดลง ด้วยเหตุผลนี้ จึงมีหลายวิธีที่น่าสนใจที่ไม่ได้ใช้หลักการของนิวตันมาใช้ในการแก้ปัญหา [7, 8, 9, 10]

เอกสารอ้างอิงที่ [11] ได้นำเสนอหลักการของวิธี Fast Decoupled Power Flow โดยใช้การกำหนดตัวแปรที่ต้องใช้ในการคำนวณเป็นสายป้อนย่อยแทนบัสในแต่ละชั้น (Layers) ทำให้ลดตัวแปรในการคำนวณลงเหลือแค่จำนวนสายป้อนย่อย จากนั้นทำการสมมติค่าแรงดันของแต่ละสายป้อนย่อย การกระทำซ้ำเริ่มจากสายป้อนย่อยแรกโดยใช้วิธีที่น่าสนใจใน [8] ค่าความคลาดเคลื่อนของแรงดันของสายป้อนย่อยแรกนี้นอกจากจะนำมาใช้ปรับปรุงแรงดันปลายทางของสายป้อนย่อยนี้ ยังนำมาใช้ปรับปรุงแรงดันปลายทางของสายป้อนย่อยอื่นๆ ในชั้นถัดไป การกระทำซ้ำจะทำจนกว่าค่าความคลาดเคลื่อนต่ำกว่าค่าที่กำหนด แม้ว่าวิธีนี้จะมีประสิทธิภาพ แต่ก็ข้อเสียบ้างหากมีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของระบบจำหน่ายซึ่งเป็นเรื่องที่พบบ่อยสำหรับการทำสวิตช์ชิง (Switching Operation)

วิธีที่อ้างอิงกับการใช้ขนาดของแรงดันในการคำนวณถูกนำเสนอใน [12] แต่่ววิธีนี้การแก้ปัญหาเกี่ยวข้องกับสมการกำลังสอง (Quadratic Equation) สำหรับทุกๆ กิ่ง (Branch) ยิ่งไปกว่านั้นแล้วในแต่ละรอบของการกระทำซ้ำ จะต้องพิจารณาโครงสร้างของต้นไม้ (Tree) 2 ครั้ง ครั้งแรกมีทิสขึ้นและครั้งที่สองมีทิสลง

วิธีที่อ้างอิงกับวิธีนิวตันได้นำเสนอใน [13] แม้ว่าวิธีนี้ไม่จำเป็นต้องสร้างเมทริกซ์จาโคเบียนในแต่ละรอบการคำนวณ จำนวนรอบที่ใช้ก็นั้นจะมากกว่าจำนวนรอบในวิธีดั้งเดิม นอกจากนั้นแล้วค่าคาปาซิเตอร์ชานและโหลดที่มีค่าอิมพีแดนซ์คงที่จะไม่นำมาพิจารณา

ในระบบจำหน่ายแบบเรเดียล มีความเป็นไปได้ที่จะมีการถ่ายโอนโหลดจากสายป้อนหนึ่งไปยังอีกสายป้อนหนึ่งเมื่อมีการล้มเหลวของอุปกรณ์ในระบบแล้วทำให้ไม่สามารถจ่ายไฟได้ กล่าวคือหากมาสามารถทำการจ่ายไฟให้กับสายป้อนหนึ่งก็สามารถรับไฟจากอีกสายป้อนหนึ่งผ่านจุดปกติเปิด (Normally Open Point) ดังนั้นการคิดการไหลของกำลังไฟฟ้าที่เฉพาะเจาะจงกับระบบเรเดียลนั้น วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงได้มีนำเสนอการคิดวิธีในการหาการไหลของกำลังไฟฟ้าที่

เหมาะสมกับระบบจำหน่ายแบบเรเดียลที่ง่ายและไม่ยุ่งยาก วิธีที่นำเสนอนี้ใช้หลักการของเมทริกซ์สามเหลี่ยมบนแบบสปาร์คิงที่ (Constant Sparse Upper Triangular Matrix) [14] ในการคำนวณค่าแรงดันบัส

ลักษณะเด่นของวิธีนี้คือ

แรงดันที่ทุกๆ โหนดถูกสมมติว่าเท่ากับแรงดันที่แหล่งจ่าย

เมทริกซ์ความสัมพันธ์ระหว่างกิ่งกับโหนดสามารถสร้างได้จากลักษณะโครงสร้างของระบบด้วยการใช้เมทริกซ์นี้พร้อมกับข้อมูลโหลด ทำให้เราสามารถคำนวณแรงดันที่ทุกๆ โหนดได้โดยปราศจากการอินเวอร์ตเมทริกซ์

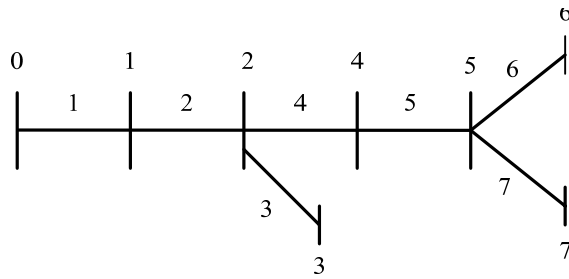
ไม่มีการคำนวณที่ยุ่งยากซับซ้อน

แบบจำลองโหลดสามารถแทนได้ในหลายๆลักษณะ เช่น กำลังไฟฟ้าคงที่ อิมพีแดนซ์คงที่ แอตมิตแดนซ์คงที่ หรือ กระแสคงที่ หรือหลายๆ ลักษณะรวมกัน ในงานวิจัยนี้ แบบจำลองโหลดแทนด้วยค่ากำลังไฟฟ้าคงที่

มีลักษณะการลู่เข้าของคำตอบดีมากแม้ว่าระบบจะมีลักษณะ Ill-Conditioned

เทคนิคนี้ เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีอื่นๆแล้วพบว่าในให้ผลเป็นที่น่าพอใจ ในเทอมของความเร็วการลู่เข้าของคำตอบ และความต้องการของหน่วยความจำคอมพิวเตอร์

วิธีนี้แก้ปัญหของการไหลของกำลังไฟฟ้าในระบบจำหน่ายแบบเรเดียลในวิธีการนี้โหลดสามารถถูกจัดให้อยู่ในรูปแบบจำลอง ได้หลายแบบจำลอง ซึ่งวิธีการนี้เป็นวิธีการที่ง่ายในการนำไปเขียนเป็นโปรแกรมโดยใช้พื้นฐานของเมทริกซ์สามเหลี่ยมบนคงที่ซึ่งเมทริกซ์จะถูกนำมาใช้ในการวิเคราะห์หาแรงดันที่บัส หลักการสำคัญของวิธีการนี้คือ การให้ค่าเริ่มต้นของแรงดันทุกโหนดให้เท่ากับแรงดันที่แหล่งจ่ายและนำความสัมพันธ์ของโครงสร้างพื้นฐานของระบบระหว่างบรานช์ (Branch) กับโหนด (Node) นำมาสร้างรูปแบบเมทริกซ์ซึ่งเมทริกซ์ที่สร้างนี้จะนำมาใช้หาแรงดันที่จุดโหนดสำหรับข้อมูลที่ได้อมาโดยกระบวนการวนรอบซ้ำเมทริกซ์ที่ได้จะไม่มีการอินเวอร์ต จึงทำให้การคำนวณไม่มีความยุ่งยาก ส่วนความทนทาน (Robustness) ในการลู่เข้าคำตอบจะขึ้นอยู่กับความบกพร่องของเงื่อนไขของระบบวิธีการนี้เมื่อเปรียบเทียบกับส่วนของการรวดเร็วในการได้คำตอบและทรัพยากรที่ใช้ในการเก็บข้อมูลเพื่อใช้ในการคำนวณของคอมพิวเตอร์จะดีกว่าวิธีการดั้งเดิมทั่วไปที่ใช้กัน



ภาพที่ 3-5 วงจรเทียบเคียงระบบจำหน่ายแบบเรเดียล

จากสมการกำลังไฟฟ้าที่บัสใดๆ

$$S_i^* = V_i^* I_i \quad (3-16)$$

$$P_i - jQ_i = V_i^* I_i \quad (3-17)$$

โดยที่

S_i^*	คือ	สังยุคเชิงซ้อนของกำลังไฟฟ้าปรากฏที่บัส i
V_i^*	คือ	สังยุคเชิงซ้อนของขนาดแรงดันไฟฟ้าที่บัส i
P_i	คือ	กำลังไฟฟ้าจริงที่บัส i
Q_i	คือ	กำลังไฟฟ้าเสมือนที่บัส i

กระแสไหลของแต่ละบัส สามารถหาได้จากความสัมพันธ์ดังนี้

$$I_{Li} = \frac{P_i - jQ_i}{V_i^*} \quad i = 1, 2, \dots, nb \quad (3-18)$$

โดย nb คือ จำนวนบรานช์ทั้งหมด

จากรูปกระแสแต่ละบรานช์ สามารถเขียนในเทอมของกระแสไหลได้ดังนี้

$$I_{b1} = I_{L1} + I_{L2} + I_{L3} + I_{L4} + I_{L5} + I_{L6} + I_{L7}$$

$$I_{b2} = I_{L2} + I_{L3} + I_{L4} + I_{L5} + I_{L6} + I_{L7}$$

$$I_{b3} = I_{L3}$$

$$I_{b4} = I_{L4} + I_{L5} + I_{L6} + I_{L7}$$

$$I_{b5} = I_{L5} + I_{L6} + I_{L7}$$

$$I_{b6} = I_{L6}$$

$$I_{b7} = I_{L7}$$

สมการมาเขียนในเทอมของเมทริกซ์ได้ดังนี้

$$\begin{bmatrix} I_{b1} \\ I_{b2} \\ I_{b3} \\ I_{b4} \\ I_{b5} \\ I_{b6} \\ I_{b7} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{L1} \\ I_{L2} \\ I_{L3} \\ I_{L4} \\ I_{L5} \\ I_{L6} \\ I_{L7} \end{bmatrix}$$

$$[I_b] = [C][I_L] \quad (3-19)$$

แรงดันตกคร่อมในแต่ละบรานช์

$$\begin{bmatrix} V_{b1} \\ V_{b2} \\ V_{b3} \\ V_{b4} \\ V_{b5} \\ V_{b6} \\ V_{b7} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{b1} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & Z_{b2} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & Z_{b3} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & Z_{b4} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & Z_{b5} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & Z_{b6} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & Z_{b7} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} I_{b1} \\ I_{b2} \\ I_{b3} \\ I_{b4} \\ I_{b5} \\ I_{b6} \\ I_{b7} \end{bmatrix}$$

$$[V_b] = [Z_b][I_b] \quad (3-20)$$

โดยที่ $[Z_b]$ คือเมทริกซ์ของอิมพีแดนซ์ในแต่ละบรานช์

แรงดันตกคร่อมในแต่ละโนดสามารถเขียนอยู่ในเทอมของแรงดันบรานช์

$$V_i = V_O - \sum_{j=1}^{nb} C_{ji} v_{bj} \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (3-21)$$

สรุปขั้นตอนการหาแรงดันตกคร่อมของแต่ละบัส

ขั้นตอนที่ 1 พิจารณาลักษณะของระบบ ,ข้อมูลของระบบและโหลด

ขั้นตอนที่ 2 นำลักษณะของบรานช์และบัสมาสร้างเมทริกซ์ C

ขั้นตอนที่ 3 กำหนดให้แรงดันเริ่มต้นของทุกบัสเท่ากับที่เสถียรบัส(Slack Bus)

ขั้นตอนที่ 4 คำนวณกระแสโหลดของทุกโนดโดยใช้สมการที่ 3-18

ขั้นตอนที่ 5 คำนวณกระแสบรานช์ทั้งหมดโดยใช้สมการที่ 3-19

ขั้นตอนที่ 6 คำนวณแรงดันตกคร่อมที่บรานซ์โดยใช้สมการที่ 3-20

ขั้นตอนที่ 7 คำนวณแรงดันตกคร่อมที่บัสใหม่โดยใช้สมการที่ 3-21

ขั้นตอนที่ 8 ตรวจสอบว่าแรงดันที่บัสได้เข้าใกล้คำตอบหรือไม่โดยตรวจสอบกับความแตกต่างระหว่างแรงดันตกคร่อมที่บัสเก่ากับค่าใหม่ ถ้าต่างก็น้อยกว่า หรือเท่ากับค่าความคลาดเคลื่อน (Tolerance) ให้แรงดันบัสใหม่ที่ได้เป็นคำตอบ แต่ถ้ามากกว่าให้กลับไปทำขั้นตอนที่ 4 อีกครั้ง

สรุป

เนื่องจากระบบจำหน่ายโดยทั่วไปจะมีอัตราส่วน R/X มีค่าสูงจึงอาจทำให้การหาคำตอบเป็นไปได้ยากเมื่อต้องการคำนวณหาค่าล้งไฟฟ้าไหลโดยวิธีนิวตันราฟสันจากปัญหาดังกล่าวจึงได้นำวิธีการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้าแบบเรเดียลที่อ้างอิงกับเมทริกซ์สามเหลี่ยมบนแบบสปาร์คซึ่งเมทริกซ์สามเหลี่ยมบนแบบสปาร์คที่หาได้จากลักษณะโครงสร้างการต่อของ บรานซ์และ โหนดในวงจรระบบจำหน่ายแบบเรเดียล แล้วนำเมทริกซ์ที่ได้นี้มาจัดรูปสมการเมทริกซ์ของกำลังไฟฟ้า เพื่อนำมาคำนวณหากระแสที่สายป้อนและแรงดันที่จุดโหนด

บทที่ 4

การประเมินดัชนีความเชื่อถือได้ในระบบจำหน่ายไฟฟ้า

ที่ผ่านมาการประเมินดัชนีความเชื่อถือในระบบจำหน่ายไฟฟ้าได้รับความสนใจน้อยกว่าระบบผลิตไฟฟ้าเนื่องจากเมื่อเกิดเหตุการณ์ที่ไม่สามารถจ่ายไฟฟ้าได้โดยมีสาเหตุมาจากระบบผลิตจะสร้างความเสียหายอย่างรุนแรงและเกิดผลกระทบเป็นบริเวณกว้างเมื่อเทียบกับสาเหตุที่เกิดจากระบบจำหน่ายไฟฟ้าแต่จากข้อมูลทางสถิติที่มีการวิเคราะห์ความไม่พร้อมใช้งานของลูกค้าพบว่าระบบจำหน่ายไฟฟ้าเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดเหตุการณ์ที่ไม่สามารถจ่ายไฟฟ้าให้แก่ผู้ใช้ไฟฟ้ามากที่สุด [15]

ตารางที่ 4-1 สถิติการเกิดไฟฟ้าดับของผู้ใช้ไฟฟ้า

สาเหตุการเกิดไฟฟ้าดับ	เวลาเฉลี่ยที่ผู้ใช้ไฟฟ้าเกิดไฟดับต่อปี	
	(นาทิต)	(%)
ระบบผลิตไฟฟ้า/สายส่ง	0.5	0.5
132kV	2.3	2.4
66kV and 33kV	8.0	8.3
11kV and 6.6kV	58.8	60.7
แรงดันต่ำ	11.5	11.9
ซ่อมบำรุง	15.7	16.2
รวม	96.8	100.0

ด้วยข้อมูลทางสถิติข้างต้นทำให้การประเมินดัชนีความเชื่อถือได้ในระบบจำหน่ายมีความสำคัญในการพิจารณาความเชื่อถือได้ของระบบจำหน่ายไฟฟ้าเพื่อจะได้เปรียบเทียบว่าการเลือกใช้งานจรรยาบรรณไหนจึงเหมาะสมในด้านการลงทุนและความเชื่อถือได้ดีที่สุด

4.1 ดัชนีความเชื่อถือได้

4.1.1 ดัชนีความเชื่อถือได้ที่จุดโหลด

ดัชนีพื้นฐานของระบบจำหน่ายคือดัชนีของจุดโหลด 3 ดัชนีคืออัตราการล้มเหลวเฉลี่ย (λ_s),

ระยะเวลาเฉลี่ยที่ไม่สามารถจ่ายไฟฟ้าได้ (r_s) และระยะเวลาที่ไฟฟ้าดับในหนึ่งปี (U_s)
อัตราการล้มเหลวเฉลี่ย (λ_s) คำนวณจาก

$$\lambda_s = \sum_{i=1}^n \lambda_i \quad (4-1)$$

ระยะเวลาที่ไฟฟ้าดับในหนึ่งปี (U_s) คำนวณจาก

$$U_s = \sum_{i=1}^n \lambda_i r_i \quad (4-2)$$

ระยะเวลาเฉลี่ยที่ไม่สามารถจ่ายไฟฟ้าได้ (r_s) คำนวณจาก

$$r_s = \frac{U_s}{\lambda_s} = \frac{\sum_{i=1}^n \lambda_i r_i}{\sum_{i=1}^n \lambda_i} \quad (4-3)$$

โดยที่ n คือ เหตุการณ์ที่ทำให้ไม่สามารถจ่ายไฟฟ้าได้

โดยนำค่าเหล่านี้มาคำนวณหาค่าเฉลี่ยของความน่าจะเป็นในระบบจำหน่าย แม้ว่าดัชนีพื้นฐานข้างต้นจะมีความสำคัญ แต่ก็ไม่บ่งบอกหรือแทนพฤติกรรมของระบบได้ดี เนื่องจากไม่ได้คำนึงถึงปริมาณของจำนวนลูกค้า (ผู้ใช้ไฟฟ้า) ที่ต่อกับจุด หรือปริมาณของโหลดเฉลี่ยในแต่ละจุดโหลด, ผลกระทบที่เกิดจากไฟดับหรือ ความล้มเหลวของระบบ ดังนั้นจึงมีการค่าดัชนีความเชื่อถือเพิ่มโดยคำนึงถึงค่าต่างๆที่กล่าวมาข้างต้นซึ่งหาได้จากค่าดัชนีพื้นฐานของจุดโหลด 3 ดัชนีที่กล่าว

4.1.2 ดัชนีความเชื่อถือได้ของผู้ใช้ไฟฟ้า

4.1.2.1 ดัชนีความถี่ของการล้มเหลวของระบบโดยเฉลี่ย (System Average Interruption Frequency Index, SAIFI) แสดงค่าเฉลี่ยของจำนวนครั้งการเกิดไฟฟ้าดับต่อผู้ใช้ไฟฟ้าทั้งหมด

$$SAIFI = \frac{\text{total number of customer interruptions}}{\text{total number of customer served}} = \frac{\sum \lambda_i N_i}{\sum N_i} \quad \text{ครั้ง/ผู้ใช้ไฟฟ้า/ปี} \quad (4-4)$$

โดยที่ N_i คือ จำนวนผู้ใช้ไฟฟ้าของจุดโหลด i

4.1.1.2 ดัชนีระยะเวลาไฟฟ้าดับโดยเฉลี่ยของระบบ (System Average Interruption Duration Index, SAIDI) แสดงค่าเฉลี่ยของระยะเวลาการเกิดไฟฟ้าดับของ

$$SAIDI = \frac{\text{sum of customer interruption durations}}{\text{total number of customers}} = \frac{\sum U_i N_i}{\sum N_i} \quad \text{ชั่วโมง/ผู้ใช้ไฟฟ้า/ปี} \quad (4-5)$$

4.1.1.3 ดัชนีระยะเวลาไฟฟ้าดับโดยเฉลี่ยของลูกค้า (Customer Average Interruption Duration Index, CAIDI) แสดงค่าเฉลี่ยของระยะเวลาการเกิดไฟฟ้าดับโดยเฉลี่ย ของผู้ใช้ไฟฟ้า

$$CAIDI = \frac{\text{sum of customer interruption durations}}{\text{total number of customers interruptions}} = \frac{\sum U_i N_i}{\sum \lambda_i N_i} \quad \text{ชั่วโมง/ผู้ใช้ไฟฟ้า/ปี} \quad (4-6)$$

4.1.1.4 ดัชนีความพร้อมในการจ่ายไฟฟ้า (Average Service Availability Index, ASAI) แสดงค่าเฉลี่ยของการมีไฟฟ้าใช้ของผู้ใช้ไฟฟ้าทั้งระบบ

$$ASAI = \frac{\text{customer hours of available service}}{\text{customer hours demanded}} = \frac{\sum N_i \times 8760 - \sum U_i N_i}{\sum N_i \times 8760} \quad (4-7)$$

4.1.1.5 ดัชนีความไม่พร้อมในการจ่ายไฟฟ้า (Average Service Unavailability Index, ASUI) แสดงค่าเฉลี่ยของการไม่มีไฟฟ้าใช้ของผู้ใช้ไฟฟ้าทั้งระบบ

$$\begin{aligned} ASUI &= 1 - ASAI = \frac{\text{customer hours of unavailable service}}{\text{customer hours demanded}} \\ &= \frac{\sum U_i N_i}{\sum N_i \times 8760} \end{aligned} \quad (4-8)$$

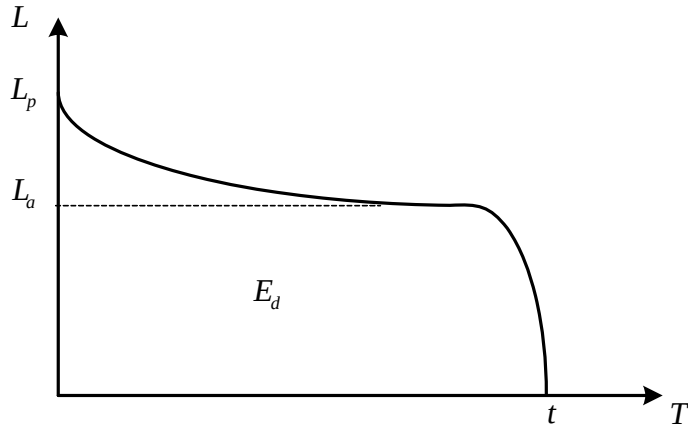
โดยที่ 8760 คือ จำนวนชั่วโมงในหนึ่งปี

4.1.2 ดัชนีโหลดและปริมาณการใช้พลังงาน

เป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญตัวหนึ่งที่ใช้ในการคำนวณหาดัชนีโหลดและปริมาณการใช้พลังงาน คือ โหลดเฉลี่ยของแต่ละจุดโหลด (L_a)

$$L_a = L_p f \quad \text{กิโลวัตต์} \quad (4-9)$$

$$L_a = \frac{\text{total energy demanded in period of interest}}{\text{period of interest}} = \frac{E_d}{t} \quad \text{กิโลวัตต์} \quad (4-10)$$



ภาพที่ 4-1 กราฟระยะเวลาการใช้โหลด

โดยที่

L_p คือ ความต้องการโหลดสูงสุด

L_a คือ ความต้องการโหลดโดยเฉลี่ย

f คือ โหลดแฟกเตอร์

t คือ ช่วงเวลาในหนึ่งปี

4.1.2.1 ดัชนีพลังงานที่ไม่สามารถจ่ายได้ (Energy Not Supplied Index, ENS) แสดงค่าพลังงานที่ไม่ได้รับการจ่ายไฟฟ้า

$$ENS = \text{total energy not supplied by the system} = \sum L_{a(i)} U_i \quad (4-11)$$

โดยที่ $L_{a(i)}$ คือ โหลดเฉลี่ยที่จุดโหลด i

4.1.2.2 ดัชนีพลังงานที่ไม่สามารถจ่ายได้โดยเฉลี่ย (Average Energy not Supplied Index, AENS) แสดงค่าพลังงานที่ไม่ได้รับการจ่ายไฟฟ้าต่อผู้ใช้ไฟฟ้า

$$AENS = \frac{\text{total energy not supplied}}{\text{total number of customer served}} = \frac{\sum L_{a(i)} U_i}{\sum N_i} \quad \text{kWhr/ผู้ใช้ไฟฟ้า/ปี} \quad (4-12)$$

4.1.3 ประโยชน์ของดัชนีเกี่ยวกับผู้ใช้ไฟฟ้าและโหลด

ดัชนีเกี่ยวกับผู้ใช้ไฟฟ้าและโหลดมีความสำคัญต่อการประเมินค่าความล้มเหลวในการจ่ายไฟฟ้าให้แก่ผู้ใช้ไฟฟ้าในอนาคต ดัชนีเหล่านี้จะเป็นตัวบ่งบอกถึงความน่าเชื่อถือได้ของการทำงานของระบบจึงมีความสำคัญต่อระบบดังนี้

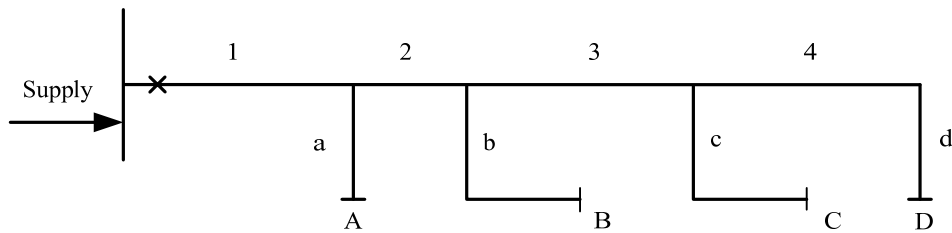
4.1.3.1 ช่วยประเมินการเปลี่ยนแปลงของระบบและช่วยบอกจุดที่เป็นความเสี่ยงที่จะต้องได้รับการปรับปรุงแก้ไข

4.1.3.2 เป็นดัชนีที่ช่วยบอกค่าความเชื่อถือได้ของระบบในอนาคต

4.1.3.3 สามารถคาดการณ์เพื่อเปรียบเทียบกับสถานะความเป็นจริง

4.2 พิจารณาเหตุการณ์เมื่อเกิดฟอลต์ในระบบจำหน่ายไฟฟ้าแบบเรเดียล

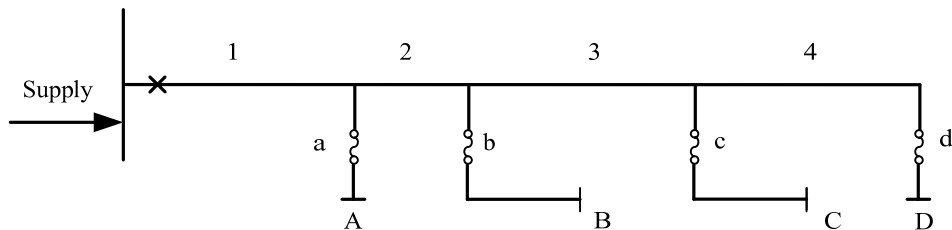
4.2.1 กรณีไม่มีอุปกรณ์ตัดตอน



ภาพที่ 4-2 ระบบจำหน่ายไฟฟ้าแบบเรเดียลในกรณีไม่มีอุปกรณ์ป้องกัน

เมื่อเกิดฟอลต์ขึ้นในระบบทำให้อุปกรณ์ป้องกันคันทางเปิดวงจรออก ทำให้ผู้ใช้ไฟฟ้าทั้งสายจำหน่ายไฟฟ้าไม่มีไฟฟ้าใช้

4.2.2 กรณีติดตั้งอุปกรณ์ป้องกันที่จุดโหลด

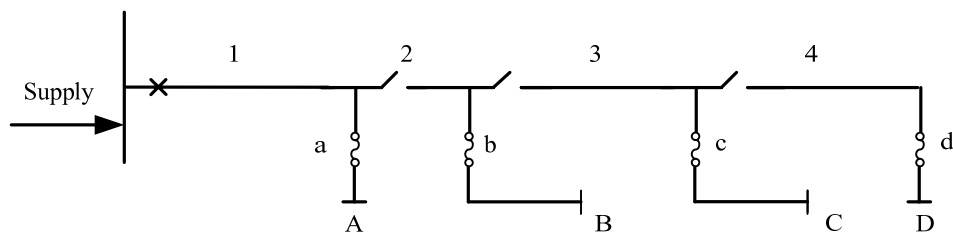


ภาพที่ 4-3 ระบบจำหน่ายไฟฟ้าแบบเรเดียลในกรณีติดตั้งอุปกรณ์ป้องกันที่จุดโหลด

เมื่อเกิดฟอลต์ที่จุดโหลด จุดโหลดอื่นที่ไม่ใช่จุดที่เกิดฟอลต์ยังได้รับการจ่ายไฟฟ้าอยู่ เนื่องจากฟิวส์ได้ทำการตัดโหลดที่เกิดฟอลต์ออกแต่ถ้าเกิดฟอลต์ที่ตอนของสายป้อนก็ยังทำให้ผู้ใช้ไฟฟ้าทั้งสายจำหน่ายไม่มีไฟฟ้าใช้

4.2.2 กรณีติดตั้งอุปกรณ์ป้องกันที่จุดโหลดและสวิตช์ตัดตอน

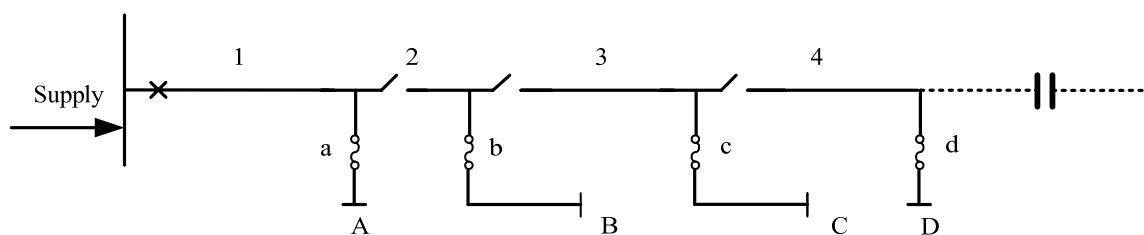
4.2.2.1 ติดตั้งสวิตช์ตัดตอน



ภาพที่ 4-4 ระบบจำหน่ายแบบเรเดียลในกรณีมีสวิตช์ตัดตอนที่สายป้อนและฟิวส์ที่จุดโหลด

เมื่อเกิดฟอลต์ขึ้นที่ตอนใดใดของวงจร อุปกรณ์ป้องกันจะทำงานเปิดวงจรของระบบก่อน แล้วสับสวิตช์ตัดตอนแยกส่วนที่เกิดฟอลต์ออกแล้วจึงจ่ายไฟฟ้าเข้าสู่ระบบตามเดิมจุดโหลดที่อยู่ก่อนจุดที่เกิดฟอลต์ก็จะได้รับการจ่ายไฟฟ้าตามเดิม ส่วนจุดโหลดที่อยู่หลังจุดเกิดฟอลต์จะเกิดไฟฟ้าดับจนกว่าจะแก้ไขส่วนที่เกิดฟอลต์เสร็จ

4.2.3 เมื่อมีการจ่ายไฟฟ้าจากสายป้อนอื่น



ภาพที่ 4-5 ระบบจำหน่ายแบบเรเดียลในกรณีที่จ่ายไฟฟ้าสำรองจากสายป้อนอื่น

เมื่อเกิดฟอลต์ขึ้นที่ตอนใดใดของวงจร อุปกรณ์ป้องกันจะทำงานเปิดวงจรของระบบก่อน แล้วสับสวิตช์ตัดตอนแยกส่วนที่เกิดฟอลต์ออกแล้วจึงจ่ายไฟฟ้าเข้าสู่ระบบตามเดิม จุดโหลดที่อยู่ก่อนจุดที่เกิดฟอลต์ก็จะได้รับการจ่ายไฟฟ้าตามเดิม แต่จุดโหลดที่อยู่หลังจุดเกิดฟอลต์จะเกิดไฟฟ้าดับจะเป็นการสับสวิตช์ตัดตอนและเวลาในการจ่ายไฟฟ้าจากสายป้อนอื่นมาทดแทนเมื่อเกิด

เหตุการณ์ที่ไม่สามารถจ่ายไฟฟ้าได้ระยะเวลาไฟฟ้าดับของผู้ใช้ไฟฟ้าจะขึ้นอยู่กับตำแหน่งที่เกิดการฟอลต์, ตำแหน่งของสวิตช์ตัดคตอน และเวลาการจ่ายไฟฟ้าจ่ายสายป้อนอื่นดังนั้นตำแหน่งของสวิตช์ตัดคตอนจึงมีผลต่อความเชื่อถือได้ของระบบ

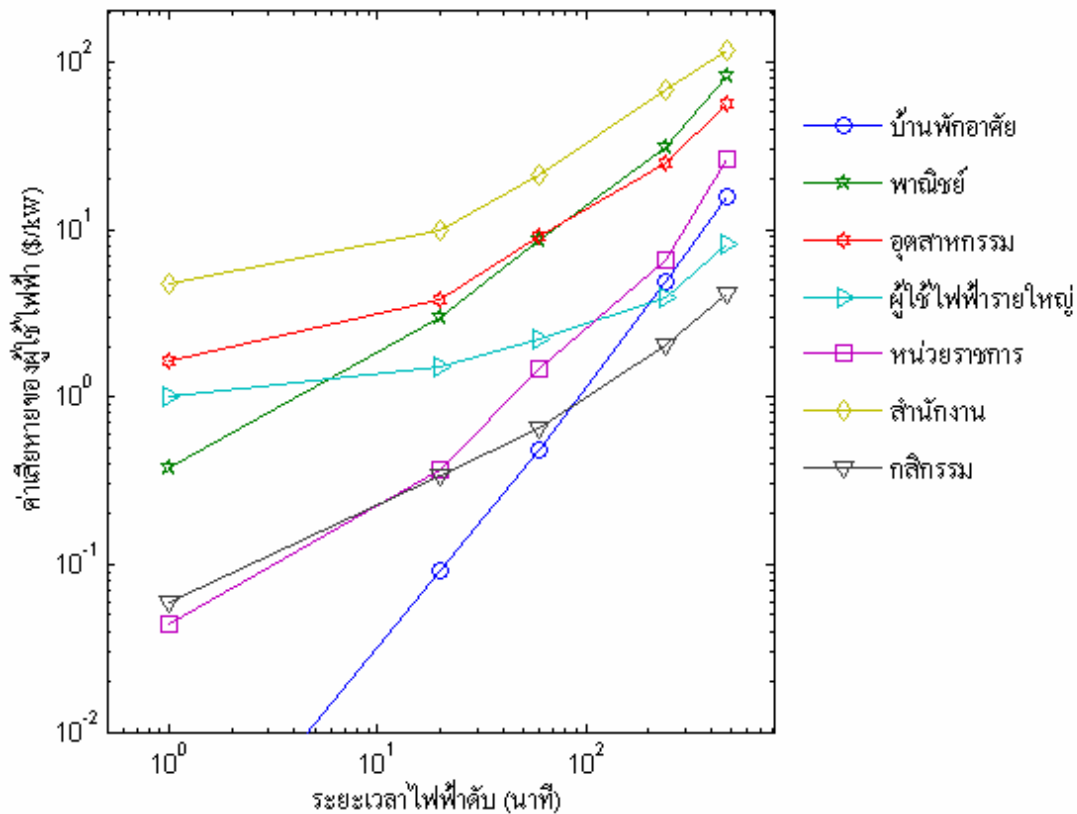
4.3 มูลค่าความเสียหายเมื่อเกิดเหตุการณ์ไฟฟ้าดับ [16]

ตารางที่ 4-2 Standard Industrial Classification (SIC) จะแบ่งประเภทของผู้ใช้ไฟฟ้าเป็นผู้ใช้ไฟฟ้าขนาดใหญ่,อุตสาหกรรม, พาณิชย์, กสิกรรม, บ้านพักอาศัย,หน่วยงานราชการ,สำนักงานเอกชน ข้อมูลที่ได้เป็นผลการสำรวจของ University of Saskatchewan ซึ่งเป็นข้อมูลประมาณมูลค่าความเสียหายของผู้ใช้ไฟฟ้า 7 ประเภทซึ่งมีอยู่ 5 ช่วงเวลา

ตารางที่ 4-2 มูลค่าความเสียหายเมื่อเกิดไฟฟ้าดับของ SIC

ประเภทผู้ใช้ไฟฟ้า	ระยะเวลาที่เกิดไฟฟ้าดับ (นาทื) และ มูลค่าความเสียหาย (\$/kW)				
	1 นาทื	20 นาทื	60 นาทื	240 นาทื	480 นาทื
ผู้ใช้ไฟฟ้าขนาดใหญ่	1.005	1.508	2.225	3.968	8.240
อุตสาหกรรม	1.625	3.868	9.085	25.16	55.81
พาณิชย์	0.381	2.969	8.552	31.32	83.01
กสิกรรม	0.060	0.343	0.649	2.064	4.120
บ้านพักอาศัย	0.001	0.093	0.482	4.914	15.69
หน่วยงานราชการ	0.044	0.369	1.492	6.558	26.04
สำนักงานเอกชน	4.778	9.878	21.06	68.83	119.2

จากตารางที่ 4-2 พบว่ามูลค่าความเสียหายเมื่อเกิดไฟฟ้าดับจะขึ้นอยู่กับช่วงเวลาที่เกิดไฟฟ้าดับและชนิดของผู้ใช้ไฟฟ้าซึ่งจากตารางที่ 4-2 แสดงให้เห็นว่าผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทสำนักงานเอกชนมีมูลค่าความเสียหายเมื่อเกิดไฟฟ้าดับสูงสุด และผู้ใช้ไฟฟ้าที่มีมูลค่าความเสียหายต่ำที่สุดคือผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทบ้านพักอาศัยแต่ถ้าพิจารณาระยะเวลาในการเกิดไฟฟ้าดับเป็นเวลานานแล้วผู้ใช้ไฟฟ้าที่มีมูลค่าความเสียหายต่ำที่สุดจะเป็นผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทกสิกรรมในกรณีที่ระยะไฟฟ้าดับมีเวลาอยู่ในช่วงของเวลาในตารางให้ทำการคำนวณหามูลค่าความเสียหายของผู้ใช้ไฟฟ้าโดยใช้วิธีการประมาณแบบภายใน (Interpolate) ในลักษณะเชิงเส้นแต่ถ้ามากกว่า 8 ชั่วโมงให้ใช้การประมาณแบบภายนอก (Extraporate) ในลักษณะเชิงเส้น



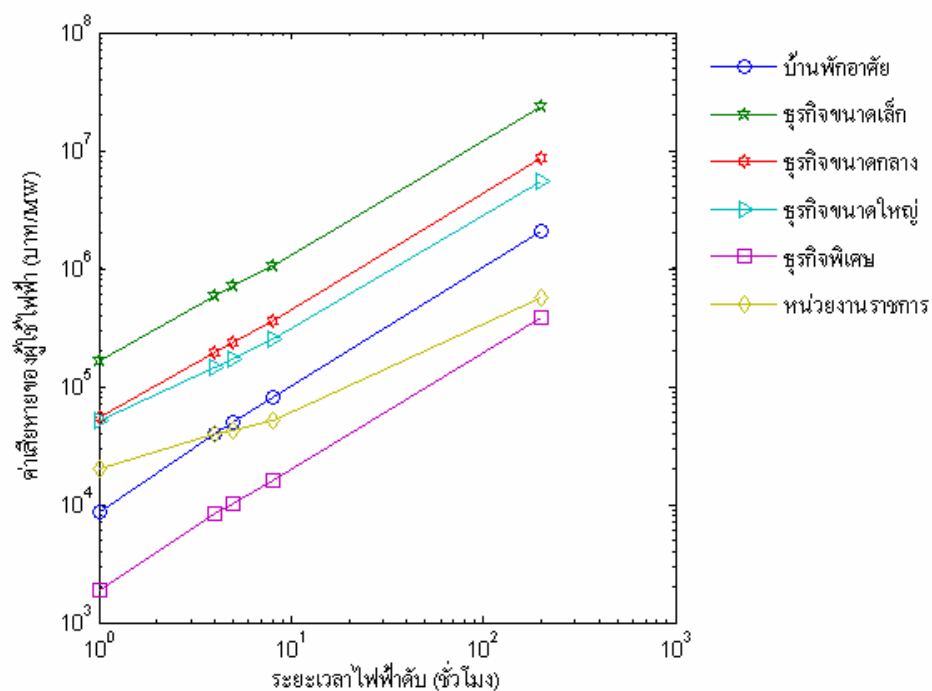
ภาพที่ 4-6 มูลค่าความเสียหายเมื่อเกิดไฟฟ้าดับของ Standard Industrial Classification (SIC)

ตารางที่ 4-3 มูลค่าความเสียหายเมื่อเกิดไฟฟ้าดับ (บาท/MW) ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค [17]

ประเภทผู้ใช้ไฟฟ้า	ระยะเวลาที่เกิดไฟฟ้าดับ (ชั่วโมง) และ มูลค่าความเสียหาย (บาท/MW)			
	1 ชั่วโมง	4 ชั่วโมง	5 ชั่วโมง	8 ชั่วโมง
บ้านพักอาศัย	8,694	39,762	50,000.5	80,716
ธุรกิจขนาดเล็ก	166,172	591,748	707,365	1,054,216
ธุรกิจขนาดกลาง	55,006	193,661	236,051	363,221
ธุรกิจขนาดใหญ่	50,877	145,614	172,195	251,938
ธุรกิจพิเศษ	1,890	8,248	10,162	15,904
หน่วยงานราชการ	20,025	40,175	42,866.5	50,941

ตารางที่ 4-3 จะแบ่งประเภทตัวใช้ไฟฟ้าเป็น 5 ประเภทคือ บ้านพักอาศัย, ธุรกิจขนาดเล็ก, ธุรกิจขนาดกลาง, ธุรกิจขนาดใหญ่, ธุรกิจเฉพาะ, และ หน่วยงานราชการ ข้อมูลที่ได้เป็นผลการสำรวจของ การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ซึ่งเป็นข้อมูลประมาณมูลค่าความเสียหายของผู้ใช้ไฟฟ้า

6 ประเภทซึ่งมีอยู่ 5 ช่วงเวลาด้วยกัน ผลจากการสำรวจแสดงให้เห็นว่ามูลค่าความเสียหายเนื่องจากไฟฟ้าดับขึ้นอยู่กับชนิดของผู้ใช้ไฟฟ้าแล้วยังมีระยะเวลาที่เกิดไฟฟ้าดับ ซึ่งระยะเวลาที่ผู้ใช้ไฟฟ้าไม่สามารถใช้ไฟฟ้าได้จะขึ้นอยู่กับ อุปกรณ์ป้องกัน, อุปกรณ์ตัดตอน และ เวลาในการจ่ายไฟฟ้าจากสายป้อนอื่นในกรณีที่ระยะไฟฟ้าดับมีเวลาอยู่ในช่วงของเวลาในตารางให้ทำการคำนวณหามูลค่าความเสียหายของผู้ใช้ไฟฟ้าโดยใช้วิธีการประมาณแบบภายใน (Interpolate) ในลักษณะเชิงเส้นแต่ถ้ามากกว่า 8 ชั่วโมงให้ใช้การประมาณแบบภายนอก (Extrapolate) ในลักษณะเชิงเส้น



ภาพที่ 4-7 มูลค่าความเสียหายเมื่อเกิดไฟฟ้าดับของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

สรุป

ดัชนีจะเป็นตัวบอกความเชื่อถือได้ของระบบเพื่อจะได้ทราบว่าจุดใดของระบบที่เป็นความเสี่ยงที่จะต้องได้รับการปรับปรุงแก้ไข ซึ่งดัชนีความเชื่อถือได้ของผู้ใช้ไฟฟ้าที่สำคัญและสามารถแทนพฤติกรรมของระบบได้คือ SAIFI, SAIDI, CAIDI, ASAI, ASUI, ENS, AENS จากตารางมูลค่าความเสียหายเมื่อเกิดไฟฟ้าดับพบว่ามูลค่าความเสียหายเมื่อเกิดไฟฟ้าดับจะขึ้นอยู่กับช่วงเวลาที่เกิดไฟฟ้าดับและชนิดของผู้ใช้ไฟฟ้า

บทที่ 5

การคำนวณหาตำแหน่งติดตั้งสวิตช์ตัดตอนที่เหมาะสม

สวิตช์ตัดตอนเป็นอุปกรณ์ที่ติดตั้งอยู่ในส่วนระบบจำหน่ายปฏุมภูมิเพื่อนำไปใช้ในการปรับปรุงความน่าเชื่อถือ, แยกส่วนที่เกิดฟอลต์, จัดการรูปแบบการจ่ายไฟฟ้า และปรับปรุงรูปแบบการจ่ายไฟฟ้าให้ดีขึ้น แม้การติดตั้งสวิตช์ตัดตอนจะเป็นสิ่งที่ดีที่จะช่วยปรับปรุงระบบให้ดีขึ้นแต่อย่างไรก็ตามการติดตั้งสวิตช์ตัดตอนแบบจิตวิสัยอาจจะไม่มีความเหมาะสมทางเศรษฐศาสตร์อันเนื่องมาจากค่าใช้จ่ายในการลงทุนที่เพิ่มขึ้นของการไฟฟ้า ดังนั้นการที่จะได้จำนวนของสวิตช์ตัดตอนและตำแหน่งในการติดตั้งที่เหมาะสมจึงเป็นสิ่งที่มีความสำคัญต่อการวางแผนออกแบบระบบจำหน่าย การพิจารณาปัญหาการติดตั้งสวิตช์ตัดตอนที่เหมาะสมนั้นจะคำนึงถึง ค่าใช้จ่ายในการลงทุนติดตั้งสวิตช์ตัดตอน, การบำรุงรักษาสวิตช์ตัดตอน, ค่าความเสียหายของผู้ใช้ไฟฟ้าเมื่อเกิดไฟฟ้าดับ ว่าอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้หรือไม่ การเลือกจำนวนและตำแหน่งของสวิตช์ตัดตอนจะขึ้นอยู่กับหลายปัจจัยด้วยกันเช่น ความเชื่อถือได้ของระบบ, ประเภทของผู้ใช้ไฟฟ้า, ปริมาณการใช้โหลด, การบำรุงรักษา และค่าใช้จ่ายในการลงทุน ซึ่งผลกำไรจะหาได้จากปัจจัยเหล่านี้ โดยในวิทยานิพนธ์นี้จะคำนวณหาตำแหน่งของสวิตช์ตัดตอนและจำนวนที่ใช้ ที่ทำให้มีค่าใช้จ่ายที่น้อยที่สุดโดยนำค่าการลงทุนติดตั้งอุปกรณ์ การบำรุงรักษา และค่าความเสียหายของผู้ใช้ไฟฟ้าเมื่อเกิดไฟฟ้าดับ มาพิจารณาด้วยวิทยานิพนธ์นี้จะพิจารณาการเลือกตำแหน่งติดตั้งสวิตช์ตัดตอนในส่วนของระบบสายป้อนปฏุมภูมิในระบบจำหน่าย

5.1 ค่าความเสียหายของผู้ใช้ไฟฟ้าเมื่อเกิดไฟฟ้าดับ [18]

(System Expected Outage Cost to Customers Due to Supply Outage ,ECOST)

มูลค่าความเสียหายทางเศรษฐกิจจะขึ้นอยู่กับชนิดและปริมาณของโหลด,เวลาที่ไม่สามารถจ่ายไฟฟ้าได้ และอัตราการล้มเหลวเฉลี่ยของอุปกรณ์

$$ECOST = \sum_{i=1}^{ni} \sum_{j=1}^{nj} \sum_{k=1}^{nk} L_{ik} C_{jk} (r_j) \lambda_j \quad (5-1)$$

โดยที่

n_i คือ จำนวนระดับความต้องการกำลังไฟฟ้า

n_j คือ จำนวนเหตุการณ์ที่เกิดฟอลต์จากอุปกรณ์ส่งผลให้เกิดไฟฟ้าดับ

n_k คือ จำนวนของจุดโหลดที่ถูกแยกเมื่อเกิดเหตุการณ์ที่ทำให้ไม่สามารถจ่ายไฟฟ้าได้

L_{ik} คือ ระดับการใช้พลังงานที่จุดโหลด k ขณะที่ระดับของกำลังไฟฟ้าที่ผู้ใช้ไฟฟ้าใช้ i

r_j คือ ระยะเวลาเฉลี่ยของเหตุการณ์ที่เกิดไฟฟ้าดับ

C_{jk} คือ ค่าความเสียหายเมื่อเกิดไฟฟ้าดับเป็นระยะเวลา r_j

λ_j คือ อัตราความล้มเหลวของอุปกรณ์

ขั้นตอนการคำนวณค่าECOST ในระบบจำหน่าย ซึ่งขั้นตอนจะพิจารณาตามสมการที่ (5-1)

ขั้นตอนที่ 1 เริ่มจากการพิจารณาระดับโหลด i ซึ่งวิทยานิพนธ์นี้จะทำการพิจารณาระดับของโหลดใน 2 ลักษณะคือ ลักษณะโหลดเฉลี่ย และลักษณะโหลด 7 ระดับซึ่งจะมีการลดลงจากโหลดสูงสุดระดับละ 10 เปอร์เซ็นต์ ของโหลดสูงสุด

ขั้นตอนที่ 2 พิจารณาการเกิดฟอลต์ j ที่อาจจะเกิดขึ้นได้ในอุปกรณ์ส่วนต่างๆของระบบไม่ว่าจะเป็นที่สายป้อนหรือหม้อแปลงไฟฟ้าที่จุดโหลด ซึ่งอัตราความล้มเหลว (λ_j) ก็จะแตกต่างกันออกไปตามสาเหตุที่เกิดฟอลต์เช่น เกิดฟอลต์ที่สายป้อนอัตราความล้มเหลวของสายป้อนก็จะขึ้นอยู่กับความยาวของสายป้อน ถ้าเกิดฟอลต์ที่หม้อแปลงอัตราความล้มเหลวก็จะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของหม้อแปลงไฟฟ้านั้นๆ

ขั้นตอนที่ 3 คำนวณผู้ใช้ไฟฟ้าทั้งหมด (k) ที่ได้รับผลกระทบในช่วงระยะเวลาเหตุการณ์ที่เกิดไฟฟ้าดับโดยพิจารณาจากโครงสร้างการต่อวงจรของระบบ, ตำแหน่งของอุปกรณ์ป้องกัน (ฟิวส์)และอุปกรณ์ตัดตอน(สวิตช์ตัดตอน)

ขั้นตอนที่ 4 คำนวณระยะเวลาที่เกิดไฟฟ้าดับที่จุดโหลดที่ได้รับผลกระทบเนื่องจากเหตุการณ์ที่เกิดฟอลต์ (r_j) ซึ่งระยะเวลาที่เกิดไฟฟ้าดับจะขึ้นอยู่กับว่าจะใช้วิธีการใดในการแก้ปัญหาในส่วนที่เกิดฟอลต์เช่น ซ่อมแซมส่วนที่เกิดฟอลต์, การสับสวิตช์ตัดตอนแยกส่วนที่เกิดฟอลต์ออกจากระบบ, การเปลี่ยนอุปกรณ์ที่เกิดฟอลต์, อุปกรณ์ป้องกันแยกส่วนที่เกิดฟอลต์ และการจ่ายไฟฟ้าสำรองจากสายป้อนอื่น ซึ่งแต่ละวิธีการจะมีช่วงเวลาทำการปฏิบัติงานแตกต่างกันออกไปโดยสาเหตุที่เกิดไฟฟ้าดับในสายป้อนปฐมภูมิที่ในวิทยานิพนธ์นี้ได้พิจารณาจะแบ่งเป็นสามกรณีด้วยกันคือ กรณีที่ 1 เกิดฟอลต์ที่สายป้อน กรณีที่ 2 เกิดฟอลต์ที่หม้อแปลงไฟฟ้าจำหน่ายและกรณีที่ 3 เกิดฟอลต์ที่สายป้อนย่อยที่จุดโหลด

กรณีเกิดฟอลต์ที่สายป้อน

เมื่อใดก็ตามที่จุดโหลดได้รับผลกระทบจากไฟฟ้าดับเนื่องจากความล้มเหลวของอุปกรณ์ในระบบจุดโหลดนั้นจะมีค่าดัชนีความล้มเหลวเฉลี่ยของอุปกรณ์ที่เกิดฟอลต์แต่ละระยะเวลาในการเกิดไฟฟ้าดับจะมีการพิจารณาแตกต่างออกไปซึ่งจะแบ่งตามตำแหน่งของจุดโหลดได้ดังนี้

จุดโหลดอยู่ในส่วนที่พื้นที่เกิดฟอลต์ เวลาที่เกิดไฟฟ้าดับจะเป็นเวลาที่ต้องซ่อมแซมอุปกรณ์เพราะไม่สามารถแยกฟอลต์ที่เกิดขึ้นได้

จุดโหลดอยู่หน้าสายป้อนที่เกิดฟอลต์ถ้ามีสวิตช์ตัดตอนแยกส่วนที่เกิดฟอลต์ออกไปได้ระยะเวลาในการเกิดไฟฟ้าดับของจุดโหลดจะเท่ากับเวลาในการสับสวิตช์ตัดตอนเพื่อแยกส่วนที่เกิดฟอลต์ออก แต่ถ้าไม่มีเวลาที่เกิดไฟฟ้าดับจะเป็นเวลาที่ต้องซ่อมแซมอุปกรณ์เพราะไม่สามารถแยกฟอลต์ที่เกิดขึ้นได้

จุดโหลดอยู่หลังสายป้อนที่เกิดฟอลต์ ถ้ามีสวิตช์ตัดตอนแยกจุดที่เกิดฟอลต์ออกและมีการเชื่อมต่อกับสายป้อนอื่นเพื่อจ่ายไฟฟ้าสำรองจากสายป้อนอื่นในกรณีนี้จะมีการพิจารณากระแสที่สายป้อนและแรงดันที่จุดโหลดว่าค่าที่ได้อยู่ในเกณฑ์หรือไม่ถ้าอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนดจึงจะจ่ายไฟฟ้าสำรองได้ทำให้เวลาที่เกิดไฟฟ้าดับจะเป็นเวลาที่สับสวิตช์ตัดตอนแยกส่วนที่เกิดฟอลต์และเวลาในการได้รับไฟฟ้าสำรองจากสายป้อนอื่น แต่ถ้าแรงดันหรือกระแสเกินเกณฑ์ที่กำหนดจุดโหลดที่คาดว่าจะได้รับการจ่ายไฟฟ้าสำรองก็จะได้ช่วงเวลาที่เกิดไฟฟ้าดับเป็นเวลาในการซ่อมสายป้อนในส่วนที่เกิดฟอลต์แทนซึ่งจะเป็นเวลาเดียวกันกับกรณีที่ไม่มี การเชื่อมต่อกับสายป้อนอื่นและไม่มีสวิตช์ตัดตอนแยกส่วนที่เกิดฟอลต์ออกซึ่งระยะเวลาที่จุดโหลดเกิดไฟฟ้าดับจะเท่ากับเวลาในการแก้ไขสายป้อนที่เกิดฟอลต์

กรณีเกิดฟอลต์ที่หม้อแปลงไฟฟ้าจำหน่ายหรือสายป้อนย่อยที่จุดโหลด

จะมีเฉพาะจุดโหลดที่เกิดฟอลต์เท่านั้นที่จะเกิดไฟฟ้าดับเท่ากับเวลาในการซ่อม/เปลี่ยนหม้อแปลงไฟฟ้าหรือซ่อมสายป้อนย่อยที่จุดโหลด ส่วนจุดโหลดอื่นจะได้รับการจ่ายไฟฟ้าปกติไม่เกิดไฟฟ้าดับในกรณีนี้จะคิดว่าฟิวส์ทำงาน 100% ส่วนในกรณีที่ฟิวส์ไม่ทำงาน 100% เวลาในการที่เกิดไฟฟ้าดับที่จุดโหลดอื่นที่ไม่ใช่จุดโหลดที่เกิดฟอลต์จะเท่ากับเวลาดึงฟิวส์ออกเพื่อแยกส่วนที่เกิดฟอลต์ออกจากระบบ ส่วนอัตราการล้มเหลวของจุดโหลดที่ไม่ใช่ส่วนที่เกิดฟอลต์จะเท่ากับอัตราการล้มเหลวของอุปกรณ์ที่เกิดฟอลต์คูณด้วยเปอร์เซ็นต์ที่ฟิวส์ไม่ทำงาน

ขั้นตอนที่ 5 เมื่อได้เวลาที่ผู้ใช้ไฟฟ้าเกิดไฟดับแล้วนำเวลาที่ได้นี้มาคิดเป็นมูลค่าความเสียหายทางเศรษฐกิจของผู้ใช้ไฟฟ้าในแต่ละราย $C_{jk}(r_j)$ โดยมูลค่าความเสียหายจะขึ้นอยู่กับระยะเวลาที่เกิดไฟฟ้าดับ และชนิดของผู้ใช้ไฟฟ้า ที่จะทำให้มูลค่าความเสียหายทางเศรษฐกิจของผู้ใช้ไฟฟ้าแต่ละรายแตกต่างกันออกไป

ขั้นตอนที่ 6 คำนวณค่า ECOST โดยใช้ข้อมูลที่ได้กล่าวมาข้างต้น ซึ่งคำนวณได้จาก

$$\sum_{k=1}^{nk} L_{ik} C_{jk}(r_j) \lambda_j \quad (5-2)$$

ขั้นตอนที่ 7 กลับไปทำขั้นตอนที่ 2. จนครบทุกเหตุการณ์ที่คาดว่าจะเกิดฟอลต์ในระดับโหลด i

ขั้นตอนที่ 8 พิจารณาระดับโหลดถัดไป $i = i + 1$ แล้วกลับไปทำตามขั้นตอนที่ 1 ถึง 7 อีกครั้งจนครบทุกระดับโหลด

5.2 ค่าใช้จ่ายในการลงทุนติดตั้งสวิตช์ตัดตอน (Installation Cost)

จะขึ้นอยู่กับจำนวนของสวิตช์ตัดตอน และคุณสมบัติของสวิตช์ตัดตอนที่น่ามาติดตั้ง และอัตราดอกเบี้ย ซึ่งในการศึกษาในงานวิจัยนี้คิดอัตราดอกเบี้ยเป็น 8% ต่อปี

5.3 ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาสวิตช์ตัดตอน (Maintenance Cost)

จะมีการบำรุงรักษาต่อปีโดยมีค่าใช้จ่ายคิด 2% ของค่าใช้จ่ายในการลงทุนต่อปี ซึ่งสวิตช์ตัดตอนแต่ละตัวจะมีอายุการใช้งาน 20 ปี

5.4 การหาตำแหน่งการติดตั้งสวิตช์ตัดตอนที่เหมาะสมในระบบจำหน่ายแบบเรเดียลโดยวิธีเชิงพันธุกรรม

ในการหาตำแหน่งการติดตั้งสวิตช์ตัดตอนที่เหมาะสมนั้นจะขึ้นอยู่กับผลรวมของค่าคาดหมายความเสียหายของผู้ใช้ไฟฟ้าเมื่อเกิดไฟฟ้าดับ, ค่าใช้จ่ายในการลงทุนติดตั้งสวิตช์ตัดตอน, ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาสวิตช์ตัดตอนซึ่งเขียนเป็นฟังก์ชันเป้าหมายได้ดังสมการที่ (5-3)

$$\sum_{i=1}^{ni} \sum_{j=1}^{nj} \sum_{k=1}^{nk} L_{ik} C_{jk}(r_j) \lambda_j + \sum_{m=1}^{ns} Installation\ Cost + \sum_{m=1}^{ns} Maintenance\ Cost \quad (5-3)$$

โดยที่

ns คือ จำนวนสวิตช์ตัดตอนที่ตั้งในระบบจำหน่าย
เงื่อนไขของสมการที่ (5-3) คือ

$$V_i^{min} \leq V_i \leq V_i^{max} \quad (5-4)$$

$$I_l \leq I_l^{max} \quad (5-5)$$

โดยที่

V_i คือ แรงดันที่จุดโหลด

I_l คือ กระแสที่สายป้อน

จากสมการที่ (5-3) เป็นฟังก์ชันเป้าหมายในการหาตำแหน่งและจำนวนของสวิตช์ตัดตอนซึ่งถูกนำไปใช้ในระบบจำหน่ายขนาดใหญ่จะอยู่ในรูปแบบของปัญหาเชิงจัดหมู่ ซึ่งจะเป็นการยากที่จะหาคำตอบของฟังก์ชันเป้าหมายด้วยวิธีการแก้ปัญหาแบบไม่เป็นเชิงเส้น โดยวิธีการเดิมที่เคยใช้วิธีการแก้ปัญหาลักษณะเชิงพันธุกรรมสามารถตอบสนองต่อปัญหาเชิงจัดหมู่ได้ดี ซึ่งวิธีการเชิงพันธุกรรมนั้นเป็นวิธีการแก้ปัญหาทฤษฎีการหาคำตอบที่ดีที่สุดของฟังก์ชันเป้าหมายโดยมีขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอนการหาตำแหน่งการติดตั้งสวิตช์ตัดตอนที่เหมาะสมในระบบจำหน่ายแบบเรเดียลโดยวิธีเชิงพันธุกรรม

ขั้นตอนที่ 1 ป้อนข้อมูลที่จะต้องใช้ในกระบวนการเชิงพันธุกรรม ขนาดประชากร จำนวนรุ่นอายุสูงสุด ตัวแปรของฟังก์ชันเป้าหมายหรือตำแหน่งในการติดตั้งสวิตช์ตัดตอน ฟังก์ชันเป้าหมาย ขอบเขตของตัวแปรในกรณีคือคิดหรือไม่คิดสวิตช์ตัดตอนจึงให้ขอบเขตของตัวแปรมีค่าเพียง สองค่าคือ 0 และ 1 โดยกำหนดให้ค่า 0 คือ การไม่คิดสวิตช์ตัดตอน และ 1 คือ การคิดสวิตช์ตัดตอน

ขั้นตอนที่ 2 ป้อนข้อมูลเกี่ยวกับระบบเพื่อทำการคำนวณหาค่า ECOST ซึ่งมีข้อมูลดังนี้ระยะของสายป้อนในแต่ละตอน ปริมาณของกำลังไฟฟ้าที่ผู้ใช้ไฟฟ้าต้องการในแต่ละระดับโหลด อัตราการล้มเหลวเฉลี่ย เวลาในการซ่อมแซมอุปกรณ์ เวลาในการเปลี่ยนอุปกรณ์ที่ฟอลต์ เวลาในการสับสวิตช์ตัดตอนเพื่อแยกส่วนที่เกิดฟอลต์ เวลาในการได้รับไฟฟ้าสำรองจากสายป้อนอื่น ข้อมูลเกี่ยวกับมูลค่าความเสียหายของผู้ใช้ไฟฟ้าเมื่อเกิดไฟฟ้าดับตามชนิดของผู้ใช้ไฟฟ้า ตำแหน่งของสวิตช์ตัดตอนที่จะติดตั้งในระบบ(ตัวแปร) เปอร์เซนต์การไม่ทำงานของฟิวส์ และเวลาที่ปลดฟิวส์ออกในกรณีที่ฟิวส์ไม่ทำงาน

ขั้นตอนที่ 3 ป้อนข้อมูลเพื่อหากระแสในสายป้อนและแรงดันที่จุดโหลดเมื่อมีการจ่ายไฟฟ้าสำรองจากสายป้อนอื่น พารามิเตอร์ของสายป้อน พิกัดกระแสของสายป้อน แรงดันในสภาวะปกติของจุดโหลดรายละเอียดการต่อวงจร

ขั้นตอนที่ 4 คำนวณหาค่าของฟังก์ชันเป้าหมายคือ ค่าการลงทุนในการติดตั้งสวิตช์ตัดตอน

และค่า ECOST ซึ่งมีขั้นตอนดังที่ได้กล่าวมาแล้ว

ขั้นตอนที่ 5 นำค่าฟังก์ชันเป้าหมายเป็นค่าความแข็งแรงของประชากรโดยมีโครโมโซมของประชากรเป็นตัวแปรหรือตำแหน่งในการติดตั้งสวิตช์ตัดตอน และทำการเก็บค่าที่ดีที่สุดของประชากรไว้

ขั้นตอนที่ 6 นำค่าของตัวแปรผ่านตัวดำเนินการเชิงพันธุกรรมซึ่งมีรายละเอียดดังที่กล่าวมาแล้วในบทที่ 2

ขั้นตอนที่ 7 เมื่อได้ค่าตัวแปรที่ผ่านการดำเนินการทางพันธุกรรมแล้วทำการหาค่าฟังก์ชันเป้าหมายอีกครั้งแล้วเก็บประชากรที่มีความแข็งแรงที่สุดในกลุ่มประชากรก่อนที่จะผ่านตัวดำเนินการเชิงพันธุกรรมถ้าค่าใดดีกว่าก็จะเป็นประชากรที่มีความแข็งแรงที่สุดต่อไป

ขั้นตอนที่ 8 เมื่อทำมาถึงขั้นตอนที่ 7 จนเสร็จสิ้น จะนับเป็นรุ่นอายุที่ 1 นำประชากรที่ผ่านตัวดำเนินการเชิงพันธุกรรมกลับไปทำตามขั้นตอนที่ 5 ถึง 7 อีกครั้งทำตามขั้นตอนเหล่านี้จนถึงรุ่นอายุสูงสุดที่กำหนดไว้

ขั้นตอนที่ 9 ได้ตำแหน่งของสวิตช์ตัดตอนที่เหมาะสมโดยคำนึงถึงค่า ECOST และค่าใช้จ่ายในการติดตั้งสวิตช์ตัดตอน

สรุป

สิ่งที่ใช้ในการพิจารณาการหาตำแหน่งติดตั้งสวิตช์ตัดตอนที่เหมาะสมในระบบจำหน่ายแบบเรเดียลคือผลรวมของ ECOST ซึ่งขึ้นอยู่กับโอกาสในการเกิดฟอลต์ของอุปกรณ์, มูลค่าความเสียหายของผู้ใช้ไฟฟ้าเมื่อเกิดไฟฟ้าดับซึ่งขึ้นอยู่กับระยะเวลาในการเกิดไฟฟ้าดับของผู้ใช้ไฟฟ้า และประเภทของผู้ใช้ไฟฟ้า, ปริมาณของโหลดของผู้ใช้ไฟฟ้าที่เกิดไฟฟ้าดับ และค่าใช้จ่ายในการลงทุนซึ่งประกอบด้วยค่าใช้จ่ายในการติดตั้งและการบำรุงรักษาสวิตช์ตัดตอน โดยมีพิกัดของกระแสที่สายป้อนและแรงดันที่จุดโหลดเป็นเงื่อนไขในการพิจารณาหาตำแหน่งติดตั้งสวิตช์ตัดตอนที่เหมาะสมในระบบจำหน่ายแบบเรเดียล

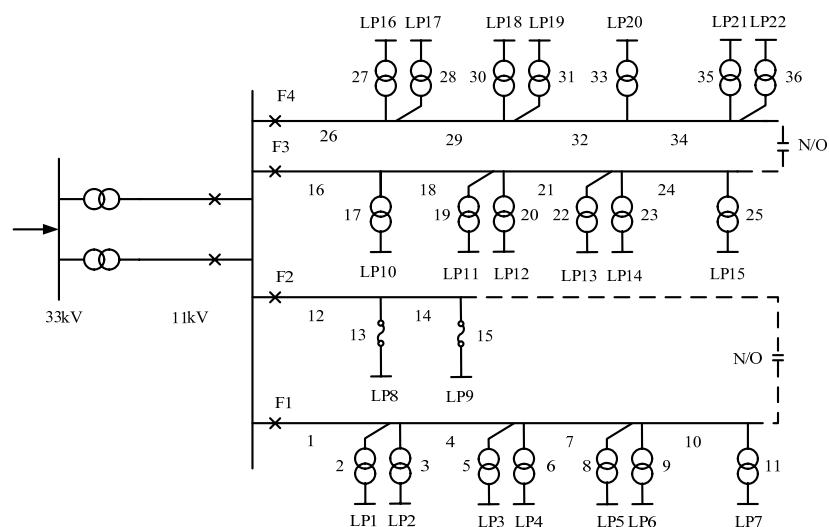
บทที่ 6

กรณีศึกษา

ในงานวิทยานิพนธ์นี้จะทำการศึกษาระบบจำหน่าย 2 ระบบด้วยกันคือระบบจำหน่ายไฟฟ้าทดสอบของ Roy Billinton Test System (RBTS) และระบบจำหน่ายไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคโดยจะทำการศึกษาผลของความเชื่อถือได้ของระบบจำหน่ายจากการติดตั้งสวิตช์ทุกตำแหน่งในระบบจำหน่าย, การไม่ติดตั้งสวิตช์ตัดตอน และการติดตั้งสวิตช์ตัดตอนด้วยวิธีเชิงพันธุกรรมซึ่งนำโอกาสการทำงานของฟิวส์ มาพิจารณาร่วมด้วยซึ่งระดับของโหลดที่ใช้มี 2 ลักษณะ คือ โหลดเฉลี่ย และ โหลด 7 ระดับ

6.1 ระบบจำหน่ายไฟฟ้าทดสอบของ Roy Billinton Test System (RBTS) [19]

ระบบจำหน่ายไฟฟ้าทดสอบ RBTS คือเป็นระบบที่รวมระบบจำหน่ายไฟฟ้า ที่ประกอบด้วย ส่วนประกอบหลักที่สามารถพบได้ในการทำงานจริงของระบบจำหน่ายไฟฟ้าและง่ายต่อการนำไปคำนวณด้วยมือ โดยจะรวมข้อมูลพื้นฐานทั้งหมดที่จำเป็นในการนำไปวิเคราะห์คำนวณความน่าเชื่อถือได้ ระบบจำหน่ายไฟฟ้าทดสอบ RBTS ประกอบด้วย 5 โหลด บัสบาร์คือ บัส 2 ถึง บัส 6 ซึ่งงานวิจัยนี้เลือกใช้บัส 2 ในการวิเคราะห์โดยมีวงจรการต่อดังภาพที่ 6-1



ภาพที่ 6-1 ระบบจำหน่ายไฟฟ้าทดสอบ RBTS บัส 2

โหลดสูงสุดในระบบจำหน่ายไฟฟ้าทดสอบ RBTS มีความแตกต่างไปตามชนิดของผู้ใช้ไฟฟ้าดังตารางที่ 6-1 และมีข้อมูลความยาวสายป้อนตามตารางที่ 6-2

ตารางที่ 6-1 โหลดสูงสุดใน RBTS บัส 2

ชนิดของผู้ใช้ไฟฟ้า	โหลดสูงสุด (MW)
บ้านพักอาศัย	7.25
ผู้ใช้ไฟฟ้าขนาดเล็ก	3.50
หน่วยงานราชการ/สถาบัน	5.55
พาณิชย์	3.70
รวม	20.00

ตารางที่ 6-2 ความยาวและชนิดของสายป้อน

หมายเลขตอนของสายป้อน	ความยาว (กม.)	ชนิดของสาย
2 6 10 14 17 21 25 28 30 34	0.60	AAC 70
1 4 7 9 12 16 19 22 24 27 29 32 35	0.75	AAC 70
3 5 8 11 13 15 18 20 23 26 31 33 36	0.80	AAC 70

6.1.1 รายละเอียดของระบบจำหน่ายไฟฟ้าทดสอบ RBTS มีดังนี้

บ้านพักอาศัย, พาณิชยกรรม และหน่วยงานราชการ/สถาบัน จะถูกพิจารณาให้อยู่ด้านแรงดันต่ำของหม้อแปลงไฟฟ้า คุณสมบัติของหม้อแปลงไฟฟ้าจะถูกนำมารวมวิเคราะห์ในการคำนวณความเชื่อถือได้ ส่วนผู้ใช้ไฟฟ้าขนาดเล็ก จะถูกพิจารณาให้อยู่ด้านแรงดันสูงของหม้อแปลงไฟฟ้า ดังนั้นคุณสมบัติของหม้อแปลงไฟฟ้า จึงไม่ต้องพิจารณาสายป้อนจะมีการทำงานแบบระบบเรเดียลโดยจะมีการต่อแบบโครงข่าย (Mesh) สภาวะปกติเปิดที่จุดต่อกับสายป้อนอื่น ดังนั้นเมื่อเกิดฟอลต์ที่สายป้อนจะมีการย้ายผู้ใช้ไฟฟ้าไปยังสายป้อนอื่นที่ต่อด้วยเพื่อเป็นแหล่งจ่ายทางเลือกใหม่

ระบบของบัส 2 จะถูกจ่ายไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายเดียวกันโดยมีขนาด 20 MW สายป้อนที่ระดับแรงดัน 11 kV ทั้งหมดจะถูกพิจารณาเป็น สายอากาศข้อมูลผู้ใช้ไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้าแต่ละชนิดและปริมาณการใช้อยู่ในตารางที่ 6-3

ตารางที่ 6-3 ข้อมูลเกี่ยวกับผู้ใช้ไฟฟ้าของระบบจำหน่ายไฟฟ้าทดสอบ RBTS บัส 2

จำนวน จุด โหลด	จุดโหลด	จำนวนผู้ใช้ไฟฟ้า	ชนิดของผู้ใช้ไฟฟ้า	ความต้องการ กำลังไฟฟ้า (MW)	
				โหลด เฉลี่ย (MW)	โหลด สูงสุด (MW)
5	1-3, 10, 11	210	บ้านพักอาศัย	0.535	0.8668
4	12, 17-19	200	บ้านพักอาศัย	0.45	0.7291
1	8	1	ผู้ใช้ไฟฟ้าขนาดเล็ก	1.00	1.6279
1	9	1	ผู้ใช้ไฟฟ้าขนาดเล็ก	1.15	1.8721
6	4, 5, 13, 14, 20, 21,	1	หน่วยงานราชการ	0.566	0.9167
5	6, 7, 15, 16, 22	10	พาณิชย์	0.454	0.7500
รวม		1980		12.291	20.00

ตารางที่ 6-4 ดัชนีความเชื่อถือได้ของอุปกรณ์ในระบบจำหน่ายไฟฟ้าทดสอบ RBTS บัส 2 ด้าน

11 kV

อุปกรณ์	λ	r	r_p	s
หม้อแปลงไฟฟ้า 11/0.415	0.0150	200	10	
สายป้อน	0.0650	5	-	1

โดยที่

λ คือ อัตราความล้มเหลว(ครั้ง/ปี) (สำหรับสายส่ง(ครั้ง/ปี.กม))

r คือ เวลาซ่อม (ชั่วโมง)

r_p คือ เวลาในการเปลี่ยนหม้อแปลงไฟฟ้า (ชั่วโมง)

s คือ เวลาในการทำสวิตจิ่ง (ชั่วโมง)

ในการศึกษาจะพิจารณาเพียงสายป้อน 11kV อย่างเดียวไม่พิจารณาความล้มเหลวที่เกิดจาก
วงจรจ่ายไฟฟ้า 33 kV และให้เซอร์กิตเบรกเกอร์ทำงานสำเร็จทุกครั้งหรือความน่าจะเป็นในการ

ล้มเหลวเท่ากับศูนย์ สวิตช์ตัดตอนจะเปิดเพื่อแยกฟอลต์ที่เกิดขึ้นและทุกจุดโหลดสามารถได้รับการจ่ายไฟสำรองจากสายป้อนอื่นที่ต่อถึงได้ทุกจุดโหลด

6.1.2 มูลค่าความเสียหายเมื่อเกิดไฟฟ้าดับ

จากตารางที่ 4-2 Standard Industrial Classification (SIC) นำมาหามูลค่าความเสียหายเมื่อเกิดไฟฟ้าดับโดยแบ่งตามชนิดของโหลดเป็น อุตสาหกรรม, พาณิชยกรรม, บ้านพักอาศัย และหน่วยงานราชการ ซึ่งมีอยู่ 5 ช่วงเวลา คือ 1 ชั่วโมง, 4 ชั่วโมง, 5 ชั่วโมง, 8 ชั่วโมง

6.2 ผลการศึกษาแรงดันที่จุดโหลดและกระแสที่สายป้อนของระบบจำหน่ายทดสอบ RBTS บัส 2

ตารางที่ 6-5 ผลของแรงดันที่จุดโหลดของระบบจำหน่ายทดสอบ RBTS บัส 2

Load Point	$ V $ (pu)	Angle (Degree)	Load Point	$ V $ (pu)	Angle (Degree)
1	0.982744	-2.102	12	0.973665	-2.168
2	0.982023	-2.123	13	0.967906	-2.716
3	0.971559	-2.492	14	0.967712	-2.722
4	0.972113	-2.568	15	0.967274	-2.409
5	0.965344	-2.807	16	0.982831	-1.863
6	0.966281	-2.441	17	0.983309	-1.838
7	0.964652	-2.499	18	0.973208	-2.188
8	0.987428	-0.424	19	0.972597	-2.206
9	0.983179	-0.569	20	0.965319	-2.807
10	0.984928	-2.026	21	0.962185	-2.923
11	0.973266	-2.433	22	0.962775	-2.564

ตารางที่ 6-6 ผลของกระแสที่สายป้อนของระบบจำหน่ายทดสอบ RBTS บัส 2

Line No.	$ I $ (pu)	Angle (Degree)	Line No.	$ I $ (pu)	Angle (Degree)
1	3.748852	-2.437	19	0.549695	-2.432
2	0.544393	-2.102	20	0.462171	-2.168
3	0.544793	-2.123	21	1.639007	-2.630

ตารางที่ 6-6 (ต่อ)

Line No.	$ I $ (pu)	Angle (Degree)	Line No.	$ I $ (pu)	Angle (Degree)
4	2.659689	-2.570	22	0.584767	-2.716
5	0.550661	-2.492	23	0.584884	-2.721
6	0.582236	-2.568	24	0.469360	-2.409
7	1.526792	-2.599	25	0.469360	-2.409
8	0.586319	0.586	26	3.490679	-2.380
9	0.469842	-2.441	27	0.461931	-1.863
10	0.470636	-2.499	28	0.457638	-1.837
11	0.470636	-2.499	29	2.571163	-2.569
12	2.182405	-0.502	30	0.462388	-2.188
13	1.012732	-0.424	31	0.462678	-2.206
14	1.169675	-0.569	32	1.646126	-2.779
15	1.169675	-0.569	33	0.586334	-2.807
16	3.194032	-2.427	34	1.059793	-2.763
17	0.543186	-2.026	35	0.588244	-2.922
18	2.650861	-2.509	36	0.471553	-2.564

หมายเหตุ กำหนดให้การคำนวณมีค่าดัชนีความผิดพลาด (Tolerance) = 0.000001 pu

ได้นำคำตอบที่ได้เปรียบเทียบกับโปรแกรมสำเร็จรูปที่ใช้ในการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้า พบว่ามีคำตอบใกล้เคียงกันโดยมีค่าความผิดพลาด 0.0001 pu

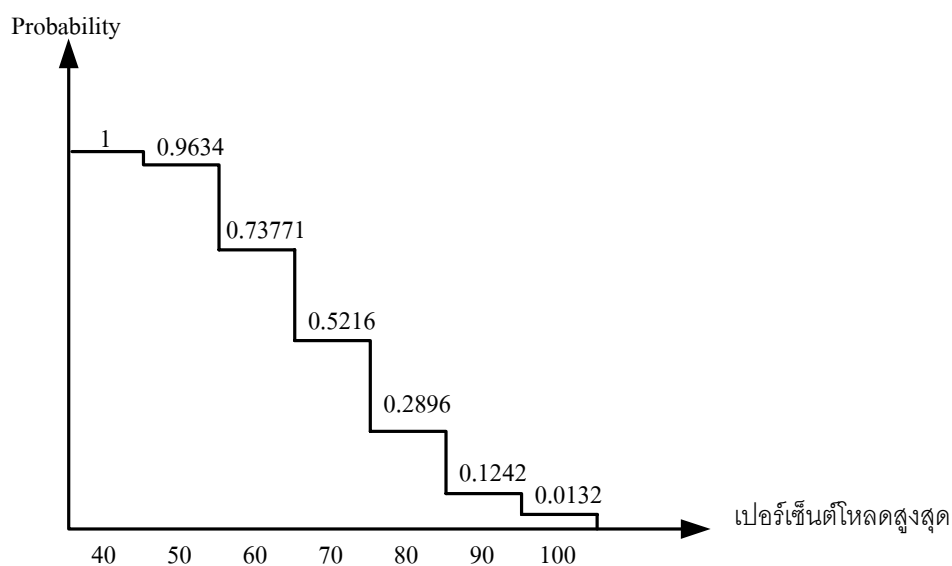
การพิจารณารูปแบบของโหลดจะใช้รูปแบบที่มีลักษณะเชิงสถิติชนิด 7 ระดับ [20] โดยมีการแบ่งโหลดให้มีการลดลงที่ละ 10 % ของโหลดสูงสุด 7 ระดับ ความน่าจะเป็นและระดับของโหลดในแต่ละระดับแสดงในตารางที่ 6-7

ตารางที่ 6-7 โหลด 7 ระดับและความน่าจะเป็นในการเกิดโหลด

เปอร์เซ็นต์ของโหลดสูงสุด	ความน่าจะเป็นการเกิดโหลด
100	0.0132
90	0.1110

ตารางที่ 6-7 (ต่อ)

เปอร์เซ็นต์ของโหลดสูงสุด	ความน่าจะเป็นการเกิดโหลด
80	0.1654
70	0.2320
60	0.2155
50	0.2263
40	0.0365



ภาพที่ 6-2 กราฟความน่าจะเป็นของความต้องการกำลังไฟฟ้า

6.3 กรณีศึกษาระบบจำหน่ายทดสอบ RBTS บัธ 2

ประกอบด้วยสายป้อนปฐมภูมิจำนวน 4 เส้น และ 22 จุดโหลด กำหนดให้สวิตช์ตัดตอนมีเท่ากับ 20,337 \$/สวิตช์ตัดตอน โดยมีกรณีศึกษาดังต่อไปนี้

พิจารณาระดับโหลดอยู่ 2 ลักษณะด้วยกันคือ

1. พิจารณาระดับโหลดเป็นค่าเฉลี่ย
2. พิจารณาระดับโหลดเป็น 7 ระดับ

ซึ่งในแต่ละลักษณะโหลดจะมีการศึกษาเป็นกรณีต่างๆดังนี้

กรณีที่ 1 ไม่จำกัดการจ่ายไฟฟ้าสำรองจากสายป้อนอื่น

เมื่อมีการได้รับการจ่ายไฟฟ้าสำรองจากสายป้อนอื่นจะถือว่ากระแสที่สายป้อนและแรงดันที่จุดโหลดยังอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนดโดยจะทำการศึกษาในกรณีต่างๆดังนี้

กรณีที่ 1.1 ติดสวิตช์ตัดตอนทุกตำแหน่ง ฟิวส์ทำงาน 100%

กรณีที่ 1.2 ไม่ติดสวิตช์ตัดตอน ฟิวส์ทำงาน 100%

กรณีที่ 1.3 เลือกตำแหน่งติดสวิตช์ตัดตอนด้วยวิธีการเชิงพันธุกรรม ฟิวส์ทำงาน 100%

กรณีที่ 1.4 ติดสวิตช์ตัดตอนทุกตำแหน่ง ฟิวส์ทำงาน 90%

กรณีที่ 1.5 ไม่ติดสวิตช์ตัดตอน ฟิวส์ทำงาน 90%

กรณีที่ 1.6 เลือกตำแหน่งติดสวิตช์ด้วยวิธีการเชิงพันธุกรรม ฟิวส์ทำงาน 90%

กรณีที่ 2 จำกัดการจ่ายไฟฟ้าสำรองจากสายป้อนอื่น

เมื่อมีการจ่ายไฟฟ้าสำรองจากสายป้อนอื่นจะมีการคำนึงถึงพิกัดของกระแสของสายป้อนและแรงดันที่จุดโหลดไม่ให้เกินเกณฑ์ที่กำหนดโดยจะทำการตรวจสอบเมื่อมีการจ่ายไฟฟ้าสำรองจากสายป้อนอื่นหากพบว่ากระแสที่สายป้อนหรือแรงดันที่จุดโหลดเกินเกณฑ์ที่กำหนดจะไม่ทำการจ่ายไฟฟ้าสำรองไปยังจุดโหลดนั้น

กรณีที่ 2.1 ติดสวิตช์ตัดตอนทุกตำแหน่ง ฟิวส์ทำงาน 100%

กรณีที่ 2.2 ไม่ติดสวิตช์ตัดตอน ฟิวส์ทำงาน 100%

กรณีที่ 2.3 เลือกตำแหน่งติดสวิตช์ตัดตอนด้วยวิธีการเชิงพันธุกรรม ฟิวส์ทำงาน 100%

กรณีที่ 2.4 ติดสวิตช์ตัดตอนทุกตำแหน่ง ฟิวส์ทำงาน 90%

กรณีที่ 2.5 ไม่ติดสวิตช์ตัดตอน ฟิวส์ทำงาน 90%

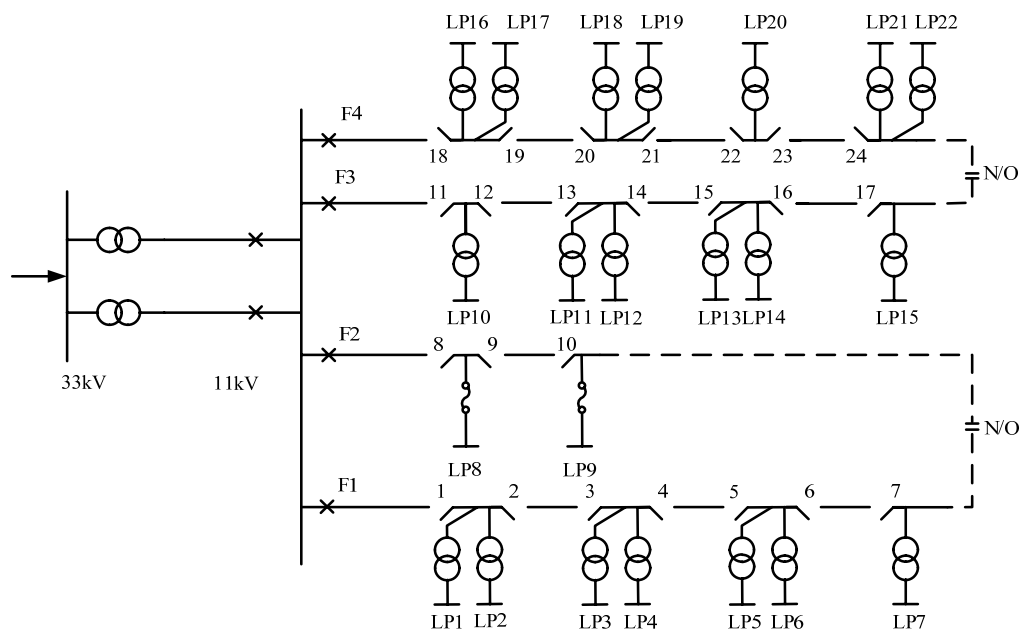
กรณีที่ 2.6 เลือกตำแหน่งติดสวิตช์ตัดตอนด้วยวิธีการเชิงพันธุกรรม ฟิวส์ทำงาน 90%

ตารางที่ 6-8 ผลการศึกษาระบบจำหน่าย RBTS บัส 2 ไม่จำกัดการจ่ายไฟฟ้าสำรองจากสายป้อนอื่น โดยพิจารณาระดับโหลดเป็นค่าเฉลี่ย

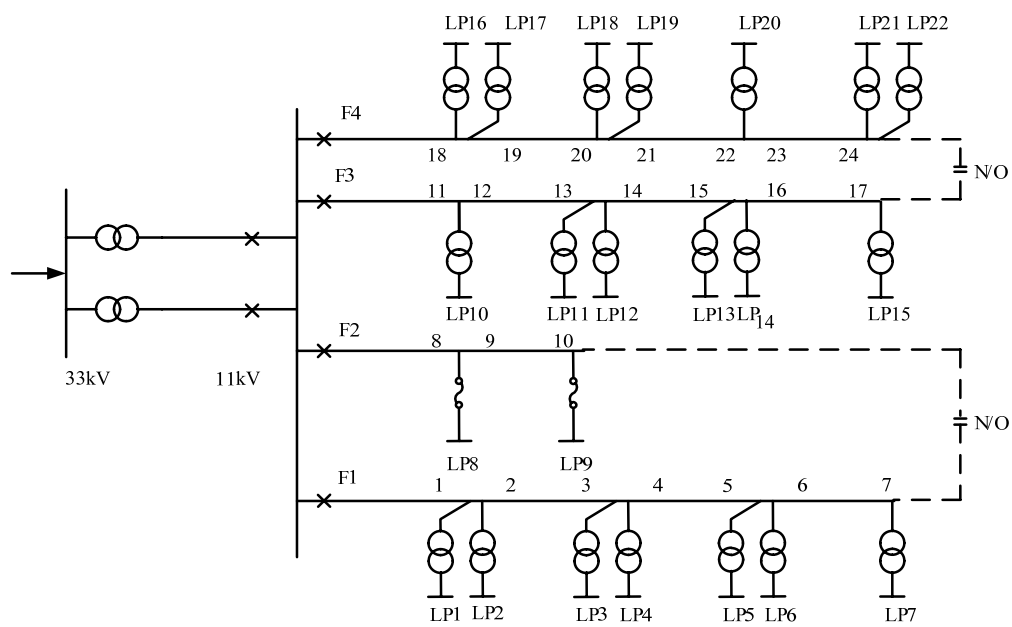
ดัชนี/ค่าใช้จ่าย/ตำแหน่งติดตั้ง	กรณีที่ 1.1	กรณีที่ 1.2	กรณีที่ 1.3	กรณีที่ 1.4	กรณีที่ 1.5	กรณีที่ 1.6
SAIFI (ครั้ง/ผู้ใช้ไฟฟ้า/ปี)	0.248211	0.248211	0.248211	0.283625	0.283625	0.283625
SAIDI (ชั่วโมง/ผู้ใช้ไฟฟ้า/ปี)	3.413853	4.162989	3.929718	3.449268	4.198403	3.965132
CAIDI (ชั่วโมง/ผู้ใช้ไฟฟ้า)	13.753839	16.771976	15.832169	12.161361	14.802649	13.980186
ASAI	0.999610	0.999525	0.999551	0.999606	0.999521	0.999547
ASUI	0.000390	0.000475	0.000449	0.000394	0.000479	0.000453
ENS (kWhr/ปี)	35457.12	43807.69	39439.09	35827.97	44178.53	39809.93
AENS (kWhr/ผู้ใช้ไฟฟ้า/ปี)	18.58	22.96	20.67	18.77	23.15	20.86
ECOST (\$/ปี)	190,533	222,448	201,999	191,590	223,505	203,055
ค่าใช้จ่ายรวม(\$/ปี)	241,240	222,448	212,562	242,295	223,505	213,619
ตำแหน่งติดตั้งสวิตช์ตัดตอน	1-24	-	5,8,15,19,24	1-24	-	5,8,15,19,24

ตารางที่ 6-9 ผลการศึกษาระบบจำหน่าย RBTS บัส 2 ไม่จำกัดการจ่ายไฟฟ้าสำรองจากสายป้อนอื่น โดยพิจารณาระดับโหลดเป็น 7 ระดับ

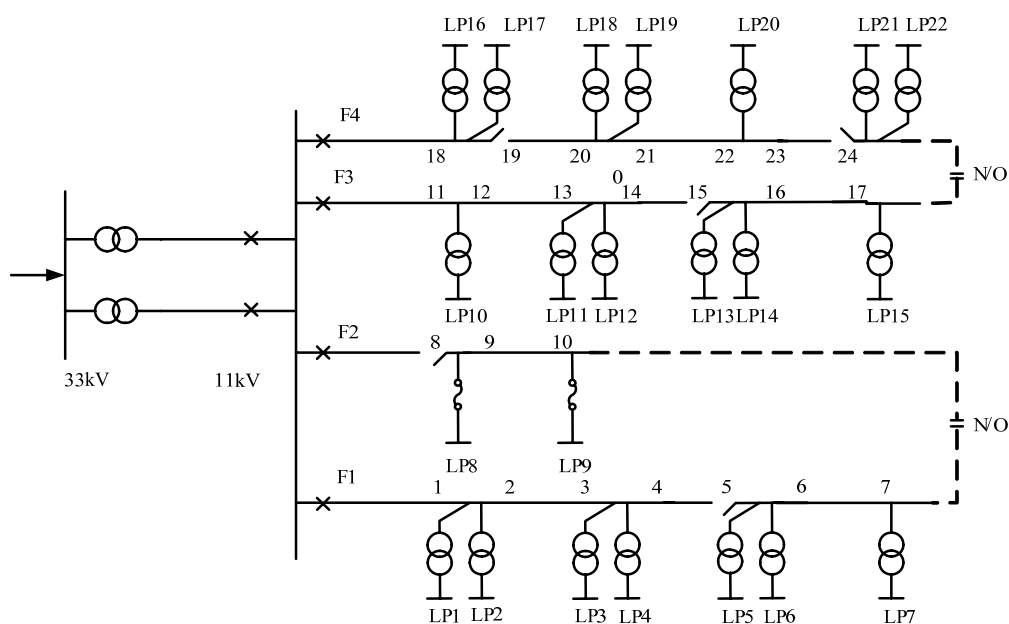
ดัชนี/ค่าใช้จ่าย/ตำแหน่งติดตั้ง	กรณีที่ 1.1	กรณีที่ 1.2	กรณีที่ 1.3	กรณีที่ 1.4	กรณีที่ 1.5	กรณีที่ 1.6
SAIFI (ครั้ง/ผู้ใช้ไฟฟ้า/ปี)	0.248211	0.248211	0.248211	0.283625	0.283625	0.283625
SAIDI (ชั่วโมง/ผู้ใช้ไฟฟ้า/ปี)	3.413853	4.162989	3.912221	3.449268	4.198403	3.947635
CAIDI (ชั่วโมง/ผู้ใช้ไฟฟ้า)	13.753839	16.771976	15.761678	12.161361	14.802649	13.918494
ASAI	0.999610	0.999525	0.999553	0.999606	0.999521	0.999549
ASUI	0.000390	0.000475	0.000447	0.000394	0.000479	0.000451
ENS (kWhr/ปี)	38373.70	47411.16	42945.082031	38775.07	47812.54	43346.460938
AENS (kWhr/ผู้ใช้ไฟฟ้า/ปี)	20.11	24.85	22.507904	20.32	25.06	22.718271
ECOST (\$/ปี)	207,460	242,210	222,387	208,614	243,364	223,541
ค่าใช้จ่ายรวม(\$/ปี)	258,161	242,210	230,837	259,316	243,364	231,991
ตำแหน่งติดตั้งสวิตช์ตัดตอน	1-24	-	5,8,15,20	1-24	-	5,8,15,20



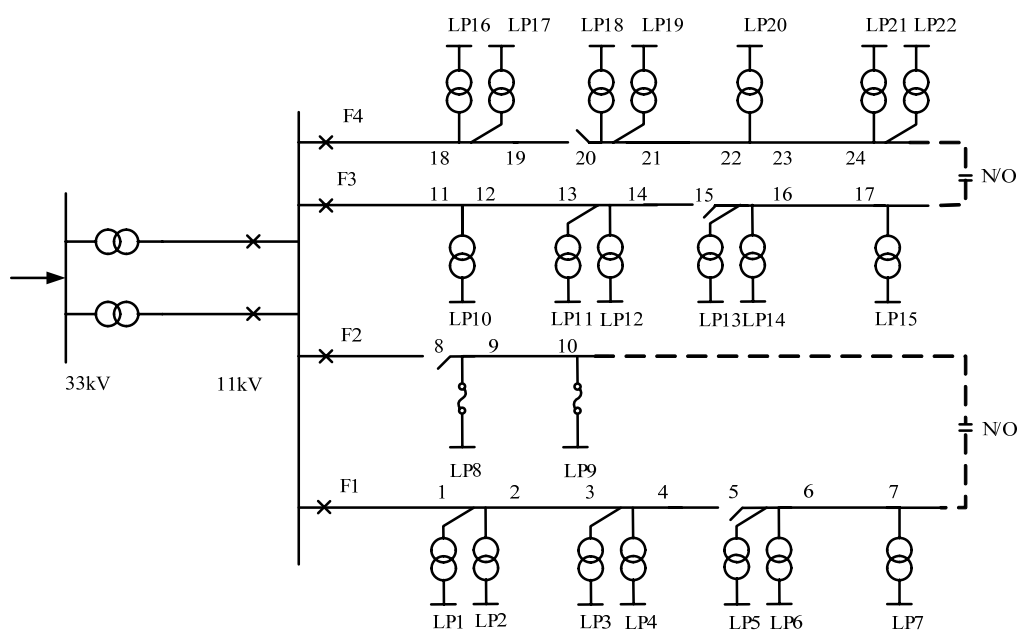
ภาพที่ 6-3 ติดสวิตช์ตัดตอนทุกตำแหน่งในระบบจำหน่ายทดสอบ RBTS บัส 2



ภาพที่ 6-4 ไม่ติดสวิตช์ตัดตอนในระบบจำหน่ายทดสอบ RBTS บัส 2



ภาพที่ 6-5 ผลการเลือกตำแหน่งติดตั้งตัดตอนด้วยวิธีการเชิงพันธุกรรม ฟิวส์ทำงาน 100% และ 90% พิจารณาระดับโหลดเป็นค่าเฉลี่ย ไม่จำกัดการจ่ายไฟฟ้าสำรองจากสายป้อนอื่น ของระบบจำหน่ายทดสอบ RBTS บัส 2



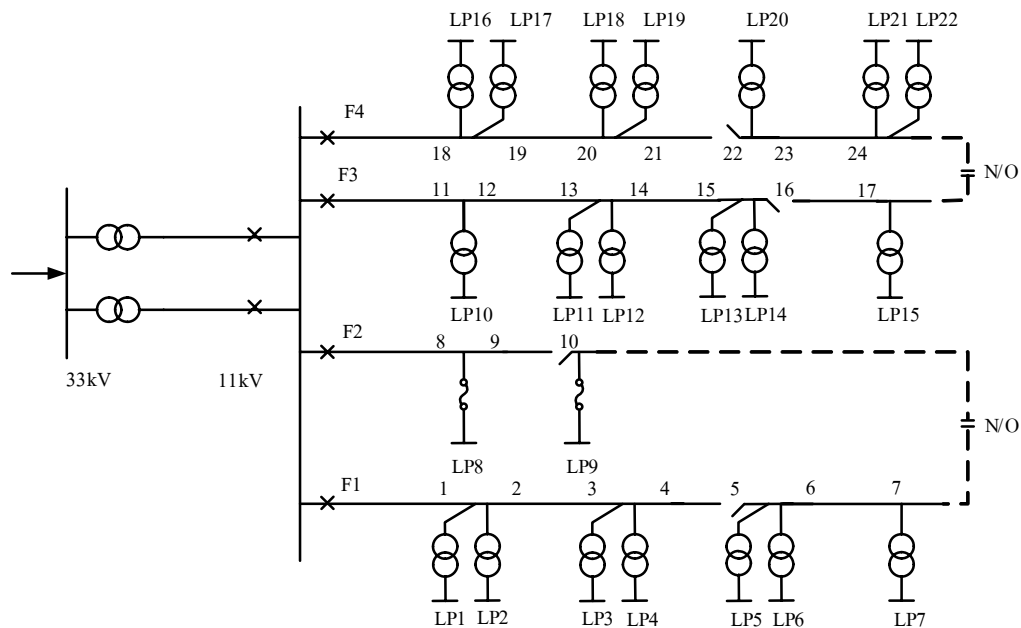
ภาพที่ 6-6 ผลการเลือกตำแหน่งติดตั้งตัดตอนด้วยวิธีการเชิงพันธุกรรม ฟิวส์ทำงาน 100% และ 90% พิจารณาระดับโหลดเป็น 7 ระดับ ไม่จำกัดการจ่ายไฟฟ้าสำรองจากสายป้อนอื่น ของระบบจำหน่ายทดสอบ RBTS บัส 2

ตารางที่ 6-10 ผลการศึกษาระบบจำหน่าย RBTS บัส 2 จำกัดการจ่ายไฟฟ้าสำรองจากสายป้อนอื่น โดยพิจารณาระดับโหลดเป็นค่าเฉลี่ย

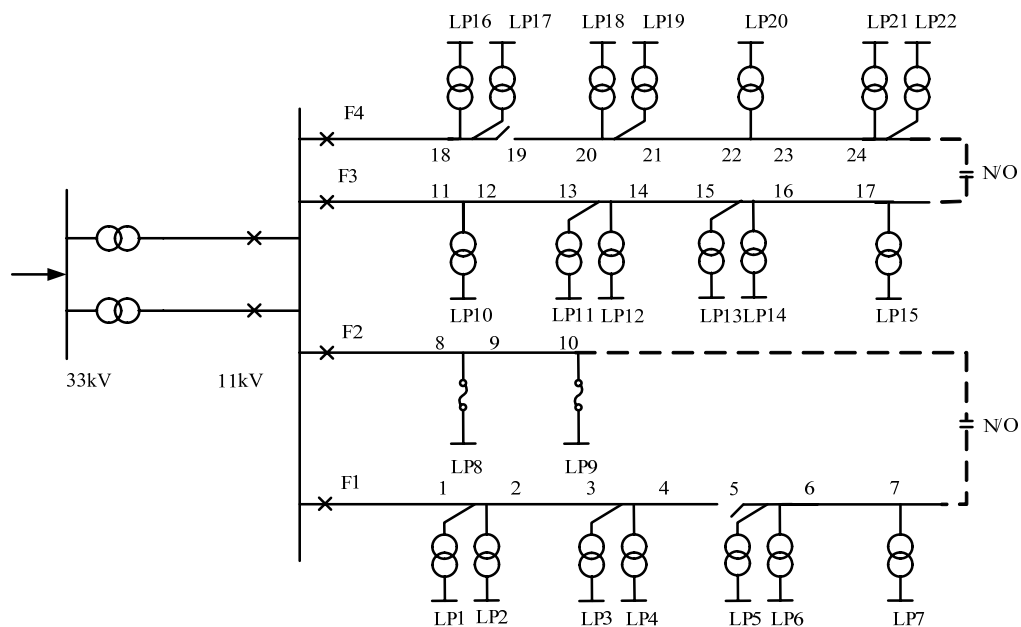
ดัชนี/ค่าใช้จ่าย/ตำแหน่งติดตั้ง	กรณีที่ 2.1	กรณีที่ 2.2	กรณีที่ 2.3	กรณีที่ 2.4	กรณีที่ 2.5	กรณีที่ 2.6
SAIFI (ครั้ง/ผู้ใช้ไฟฟ้า/ปี)	0.248211	0.248211	0.248211	0.283625	0.283625	0.283625
SAIDI (ชั่วโมง/ผู้ใช้ไฟฟ้า/ปี)	3.672906	4.162989	3.984641	3.708321	4.198403	4.020055
CAIDI (ชั่วโมง/ผู้ใช้ไฟฟ้า)	14.797520	16.771976	16.053444	13.074723	14.802649	14.173831
ASAI	0.999581	0.999525	0.999545	0.999577	0.999521	0.999541
ASUI	0.000419	0.000475	0.000455	0.000423	0.000479	0.000459
ENS (kWhr/ปี)	37544.75	43807.69	40202.92	37915.58	44178.53	40573.76
AENS (kWhr/ผู้ใช้ไฟฟ้า/ปี)	19.67	22.96	21.07	19.87	23.15	21.26
ECOST (\$/ปี)	196,175	222,448	205,287	197,232	223,505	206,436
ค่าใช้จ่ายรวม(\$/ปี)	246,881	222,448	213,737	247,937	223,505	214,887
ตำแหน่งติดตั้งสวิตช์ตัดตอน	1-24	-	5,10,16,22	1-24	-	5,10,16,22

ตารางที่ 6-11 ผลการศึกษาระบบจำหน่าย RBTS บัส 2 จำกัดการจ่ายไฟฟ้าสำรองจากสายป้อนอื่น โดยพิจารณาระดับโหลดเป็น 7 ระดับ

ดัชนี/ค่าใช้จ่าย/ตำแหน่งติดตั้ง	กรณีที่ 2.1	กรณีที่ 2.2	กรณีที่ 2.3	กรณีที่ 2.4	กรณีที่ 2.5	กรณีที่ 2.6
SAIFI (ครั้ง/ผู้ใช้ไฟฟ้า/ปี)	0.248211	0.248211	0.248211	0.283625	0.283625	0.283625
SAIDI (ชั่วโมง/ผู้ใช้ไฟฟ้า/ปี)	3.692854	4.162572	4.045259	3.728265	4.197983	4.080670
CAIDI (ชั่วโมง/ผู้ใช้ไฟฟ้า)	14.87788	16.77030	16.297662	13.145051	14.801174	14.387554
ASAI	0.999578	0.999525	0.999538	0.999574	0.999521	0.999534
ASUI	0.000422	0.000475	0.000462	0.000426	0.000479	0.000466
ENS (kWhr/ปี)	42633.03	47406.41	45681.63	43034.37	47807.75	46082.97
AENS (kWhr/ผู้ใช้ไฟฟ้า/ปี)	22.34	24.84	23.94	22.55	25.05	24.15
ECOST (\$/ปี)	224,799	242,210	233537	225,953	243,364	234,692
ค่าใช้จ่ายรวม(\$/ปี)	275,500	242,210	237,763	276,654	243,364	238,916
ตำแหน่งติดตั้งสวิตช์ตัดตอน	1-24	-	5,19	1-24	-	5,19



ภาพที่ 6-7 ผลการเลือกตำแหน่งติดตั้งตัดตอนด้วยวิธีการเชิงพันธุกรรม ฟิวส์ทำงาน 100% และ 90% พิจารณาระดับโหลดเป็นค่าเฉลี่ย จำกัดการจ่ายไฟฟ้าสำรองจากสายป้อนอื่น ของระบบจำหน่ายทดสอบ RBTS บัส 2



ภาพที่ 6-8 ผลการเลือกตำแหน่งติดตั้งด้วยวิธีการเชิงพันธุกรรม ฟิวส์ทำงาน 100% และ 90% พิจารณาระดับโหลดเป็น 7 ระดับ จำกัดการจ่ายไฟฟ้าสำรองจากสายป้อนอื่น ของระบบจำหน่ายทดสอบ RBTS บัส 2

วิเคราะห์ผลระบบ RBTS

จากตารางที่ 6-8 จะเห็นได้ว่าในกรณีที่ 1.1, 1.2 และ 1.3 นั้นค่า SAIFI มีค่าเท่ากันอันเนื่องมาจากการคำนวณดัชนี SAIFI ไม่เกี่ยวข้องกับตำแหน่งการติดตั้งสวิตช์ตัดตอนเช่นเดียวกัน สำหรับกรณีที่ 1.4, 1.5 และ 1.6 ที่คำนึงถึงโอกาสที่จะไม่ทำงานของฟิวส์ หากเปรียบเทียบกันระหว่างกรณีที่ 1.1, 1.2 และ 1.3 ค่าใช้จ่ายรวมของกรณีที่ 1.3 ที่คำนวณได้จากวิธีเชิงพันธุกรรมมีค่าต่ำสุด คือต่ำกว่ากรณีที่ 1.1 และ 1.2 ทั้งนี้ก็เพราะว่ากรณีที่ 1.1 มีการติดตั้งสวิตช์ตัดตอนทุกตำแหน่งนั้นคือ ความเชื่อถือได้ดีที่สุด ส่งผลให้ค่าความเสียหายของผู้ใช้ไฟฟ้าน้อยที่สุด แต่ค่าใช้จ่ายในการลงทุนก็สูงที่สุด ขณะเดียวกัน กรณีที่ 1.2 ซึ่งไม่มีการติดตั้งสวิตช์ตัดตอน มีค่าดัชนีความเชื่อถือต่ำที่สุดส่งผลให้ค่าความเสียหายของผู้ใช้ไฟฟ้าสูงที่สุดนั่นเอง ภาพรวมของดัชนีความเชื่อถือได้ SAIDI, ASAI, ASUI, ENA, AENS และ ECOST ของกรณีที่ 1.3 จะอยู่ระหว่างกรณีที่ 1.1 และ 1.2

จากการคำนวณหาตำแหน่งโดยใช้วิธีเชิงพันธุกรรมพบว่าเราควรจะต้องติดตั้งสวิตช์ตัดตอนตำแหน่งที่ 5, 8, 15, 19 และ 24 โดยมีค่าใช้จ่ายรวมเท่ากับ 212,562 ดอลลาร์ต่อปี สำหรับกรณีที่ 1.6 ตำแหน่งที่เหมาะสมในการติดตั้งสวิตช์ตัดตอนคือ 5, 8, 15, 19 และ 24 มีค่าใช้จ่ายรวมเท่ากับ 213,619 ดอลลาร์ต่อปี ซึ่งผลการติดตั้งสวิตช์ตัดตอนที่เหมาะสมโดยวิธีการเชิงพันธุกรรมตารางที่ 6-8 ของกรณีที่ 1.3 และ 1.6 ได้แสดงดังภาพที่ 6-5 ข้อสังเกต จะเห็นว่าตำแหน่งการติดตั้งสวิตช์ตัดตอนของกรณีที่ 1.3 และ 1.6 เหมือนกัน ซึ่งบอกให้ทราบถึงว่า สำหรับระบบทดสอบ RBTS ที่ บัส 2 ผลของโอกาสที่ฟิวส์จะไม่ทำงานไม่ส่งผลกระทบกับตำแหน่งติดตั้งสวิตช์ตัดตอนที่เหมาะสมอย่างไรก็ตาม ECOST และค่าใช้จ่ายรวมของกรณีที่ 1.6 สูงกว่า 1.3 ทั้งนี้เพราะว่าค่าระยะเวลาไฟฟ้าดับโดยเฉลี่ยของกรณีที่ 1.6 สูงกว่า กรณีที่ 1.3 หากเปรียบเทียบตารางที่ 6-8 สำหรับโหลดซึ่งเป็นค่าเฉลี่ย กับตารางที่ 6-9 สำหรับโหลด 7 ระดับ พบว่าดัชนีความเชื่อถือได้ทุกตัว ยกเว้น ENS และ AENS มีค่าเท่ากันทั้งนี้เพราะว่าระดับโหลดไม่เกี่ยวข้องกับการคำนวณดัชนีดังกล่าว ส่วนดัชนี ENS และ AENS กรณีของโหลด 7 ระดับจะมีค่าสูงกว่าส่งผลให้ ECOST และค่าใช้จ่ายรวมมีค่าสูงกรณี 1.3 และ กรณีที่ 1.6 สำหรับโหลด 7 ระดับต้องการตำแหน่งการติดตั้งสวิตช์ 4 ตำแหน่งคือ 5, 8, 15, 20 เหมือนกันกล่าวคือต้องการสวิตช์ทั้งหมด 4 ตัว น้อยกว่ากรณีที่ 1.3 และ 1.6 ของโหลดเฉลี่ยอยู่ 1 ตัว ซึ่งผลการติดตั้งสวิตช์ตัดตอนที่เหมาะสมโดยวิธีการเชิงพันธุกรรมตารางที่ 6-9 ของกรณีที่ 1.3 และ 1.6 ได้แสดงดังภาพที่ 6-6

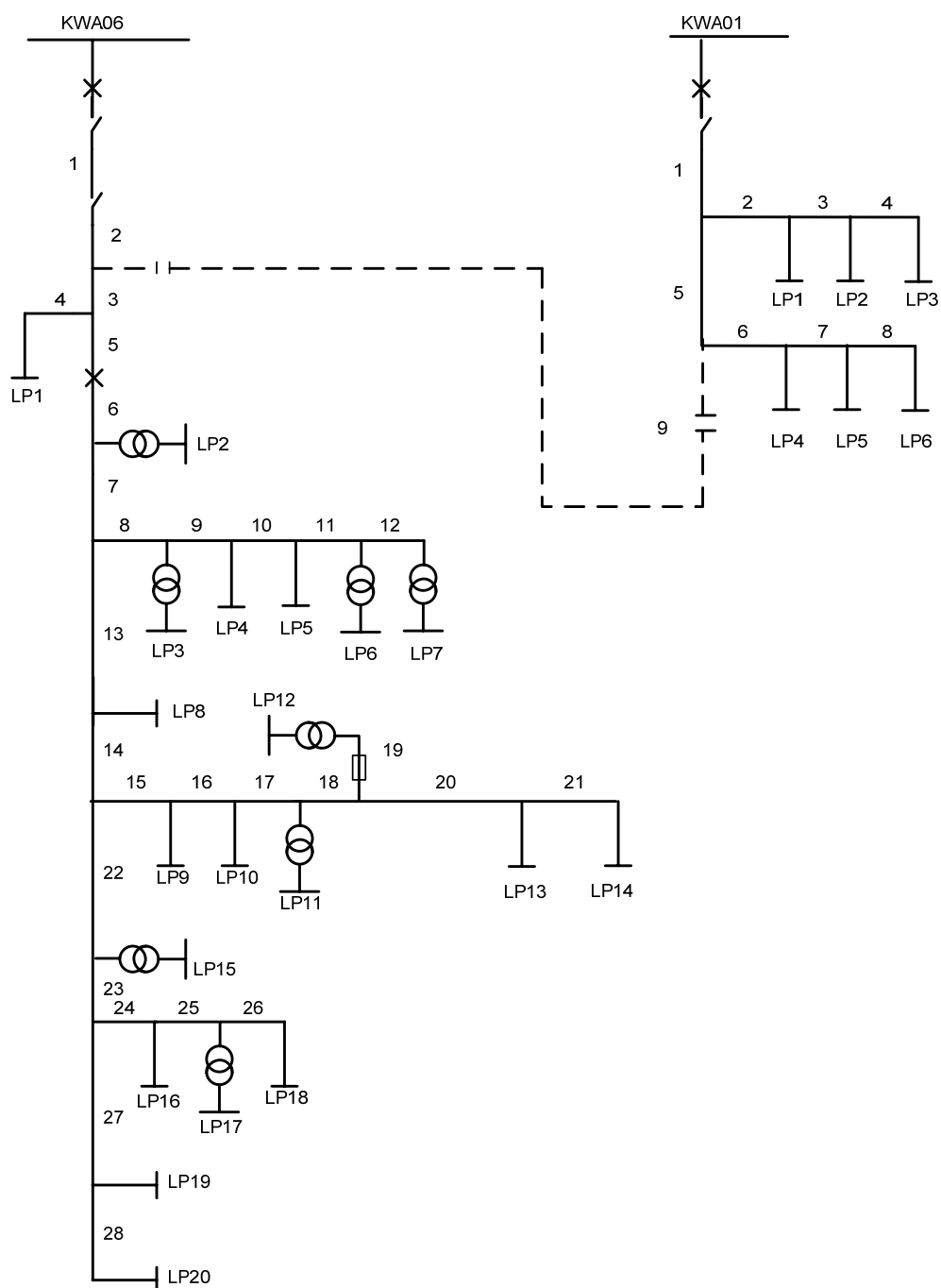
เมื่อเปรียบเทียบตารางที่ 6-8 กับ 6-9 ในกรณีที่ 1.1, 1.2, 1.4 และ 1.5 จะพบว่า SAIDI, CAIDI, ASAI, ASUI, ENS และ AENS มีค่าเท่ากันเนื่องจากว่าไม่มีการจำกัดการจ่ายไฟฟ้าสำรอง

จากสายป้อนอื่น ส่วนกรณีที่ 1.3 และ 1.6 มีค่าดัชนีดังกล่าวไม่เท่ากันเพราะว่าตำแหน่งติดตั้งสวิตช์ตัดตอนที่คำนวณได้จากวิธีเชิงพันธุกรรมไม่เหมือนกัน

หากเปรียบเทียบตารางที่ 6-8 กับ 6-10 จะพบว่าค่าดัชนีความเชื่อถือได้ ECOST และค่าใช้จ่ายรวมมีค่าสูงกว่าค่าที่อยู่ในตารางที่ 6-10 สาเหตุหลักคือการจำกัดปริมาณการจ่ายไฟฟ้าสำรองจากสายป้อนอื่นทั้งนี้เพราะว่าต้องคำนึงถึงระดับแรงดันที่จุดโหลดและปริมาณกระแสที่ไหลในสายป้อนโดยค่าทั้งสองนี้จะต้องอยู่ในขีดจำกัดที่ตั้งไว้ในที่นี้คือ ระดับแรงดันที่จุดโหลดต้องอยู่ระหว่าง 0.95 pu และ 1.05 pu ของแรงดันที่จุดโหลดในสภาวะทำงานปกติส่วนกระแส คือ 5.144 pu ส่วนตำแหน่งที่เหมาะสมสำหรับกรณีที่มีการจำกัดปริมาณการจ่ายไฟฟ้าสำรองจากสายป้อนอื่นคือ ตำแหน่งที่ 5,10,16 และ 22 ซึ่งมีจำนวนสวิตช์ตัดตอนน้อยกว่ากรณีที่ไมจำกัดปริมาณอยู่หนึ่งตำแหน่ง โดยผลการติดตั้งสวิตช์ตัดตอนที่เหมาะสมโดยวิธีการเชิงพันธุกรรมตารางที่ 6-10 ของกรณีที่ 2.3 และ 2.6 ได้แสดงดังภาพที่ 6-7 นั้นเป็นการบ่งบอกว่าการเพิ่มจำนวนสวิตช์ตัดตอนมาหนึ่งตัว ค่าใช้จ่ายของอุปกรณ์ที่เพิ่มขึ้นมีค่าน้อยกว่าค่าความเสียหายของผู้ใช้ไฟฟ้า อย่างไรก็ตามต้องคำนึงถึงตำแหน่งการติดตั้ง กล่าวคือตำแหน่งสวิตช์ตัดตอนของตารางที่ 6-10 และ 6-11 เหมือนกันแค่ตำแหน่งเดียวคือ ตำแหน่งที่ 5 นอกจากนั้นตำแหน่งที่ติดตั้งนั้นแตกต่างกัน หากเปรียบเทียบตารางที่ 6-10 กับ 6-11 มีแนวโน้มที่เหมือนกับตารางที่ 6-8 กับ 6-9 กล่าวคือเมื่อพิจารณาเป็นโหลด 7 ระดับ สำหรับกรณีที่จำกัดปริมาณการจ่ายไฟฟ้าสำรองจากสายป้อนมีค่าสูงกว่าสำหรับ ENS, AENS, ECOST และ ค่าใช้จ่ายรวม จากตารางที่ 6-11 จะเห็นได้ว่าระบบต้องการติดตั้งสวิตช์ตัดตอนเพียงแค่ 2 ตำแหน่ง คือ ตำแหน่งที่ 5 และ ตำแหน่งที่ 19 ทั้งกรณีที่ฟิวส์ทำงาน 100% และ 90% ซึ่งผลการติดตั้งสวิตช์ตัดตอนที่เหมาะสมโดยวิธีการเชิงพันธุกรรมตารางที่ 6-11 ของกรณีที่ 2.3 และ 2.6 ได้แสดงดังภาพที่ 6-8

6.4 ระบบจำหน่ายไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค [21]

จะทำการพิจารณาสายป้อน KWA01 และ KWA06 ของสถานีไฟฟ้าคลองขวาง จังหวัดฉะเชิงเทรา ในพื้นที่ระบบจำหน่ายไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ซึ่งประกอบสายป้อนปฐมภูมิจำนวน 2 เส้น และ 26 จุดโหลด กำหนดให้สวิตช์ตัดตอนมีราคาประมาณการเท่ากับ 200,000 บาท/สวิตช์ตัดตอน ซึ่งมีการย้ายผู้ใช้ไฟฟ้าระหว่างกันเมื่อเกิดฟอลต์ที่สายป้อนใดสายป้อนหนึ่งและให้เซอรักิตเบรกเกอร์ทำงานสำเร็จทุกครั้ง สวิตช์ตัดตอนจะเปิดเพื่อแยกฟอลต์ที่เกิดขึ้นและจากผลของการคำนวณกระแสที่สายป้อนและแรงดันของแต่ละจุดโหลดพบว่าเมื่อเกิดฟอลต์ที่จะต้องทำให้มีการย้ายโหลดจะสามารถย้ายจุดโหลดให้ได้รับการจ่ายไฟฟ้าอีกสายป้อนหนึ่งได้ตามวงจรการต่อซึ่งรายละเอียดของวงจรภูมิภาคที่ทำการศึกษจะเป็นไปตามภาพที่ 6-9



ภาพที่ 6-9 วงจรระบบจำหน่ายไฟฟ้าของการไฟฟ้าภูมิภาค KWA01 และ KWA06

ตารางที่ 6-12 ชนิดสายป้อนและความยาวของสายป้อน KWA01

หมายเลขสาย	ความยาวสาย (กม.)	ชนิดของสาย
1	1.076	SAC 185
2	0.974	PIC 185
3	0.0066	PIC 185
4	0.196	PIC 185
5	2.175	SAC 185
6	0.415	SAC 185
7	0.061	SAC 185
8	0.013	SAC 185
9	0.98	SAC 185

ตารางที่ 6-13 ชนิดสายป้อนและความยาวของสายป้อน KWA 06

หมายเลขสาย	ความยาวสาย (กม.)	ชนิดของสาย
1	8.74	SAC 185
2	0.383	SAC 185
3	0.429	SAC 185
4	0.289	SAC 185
5	3.006	SAC 185
6	0.19	ACSR 50
7	1.069	ACSR 50
8	0.854	ACSR 50
9	0.017	ACSR 50
10	0.222	ACSR 50
11	0.518	ACSR 50
12	0.081	ACSR 50
13	0.508	ACSR 50
14	0.064	ACSR 50
15	0.312	ACSR 50

ตารางที่ 6-13 (ต่อ)

หมายเลขสาย	ความยาวสาย (กม.)	ชนิดของสาย
16	0.051	ACSR 50
17	0.466	ACSR 50
18	0.091	ACSR 50
19	0.41	ACSR 50
20	0.166	ACSR 50
21	0.319	ACSR 50
22	0.505	ACSR 50
23	0.13	ACSR 50
24	0.394	ACSR 50
25	0.693	ACSR 50
26	0.43	ACSR 50
27	0.291	ACSR 50
28	0.091	ACSR 50

ตารางที่ 6-14 ข้อมูลเกี่ยวกับผู้ใช้ไฟฟ้าของสายป้อน KWA 01

จุดโหลด	จำนวนของผู้ใช้ไฟฟ้า	ชนิดของผู้ใช้ไฟฟ้า	ความต้องการกำลังไฟฟ้า(MW)	
			โหลดเฉลี่ย	โหลดสูงสุด
LP1	1	ธุรกิจขนาดใหญ่	0.7	1.4
LP2	1	ธุรกิจขนาดใหญ่	0.7	1.4
LP3	1	ธุรกิจขนาดกลาง	0.2205	0.441
LP4	1	ธุรกิจขนาดกลาง	0.035	0.070
LP5	1	ธุรกิจขนาดกลาง	0.105	0.210
LP6	1	ธุรกิจขนาดกลาง	0.105	0.210
รวม	6		1.8655	3.731

ตารางที่ 6-15 ข้อมูลเกี่ยวกับผู้ใช้ไฟฟ้าของสายป้อน KWA 06

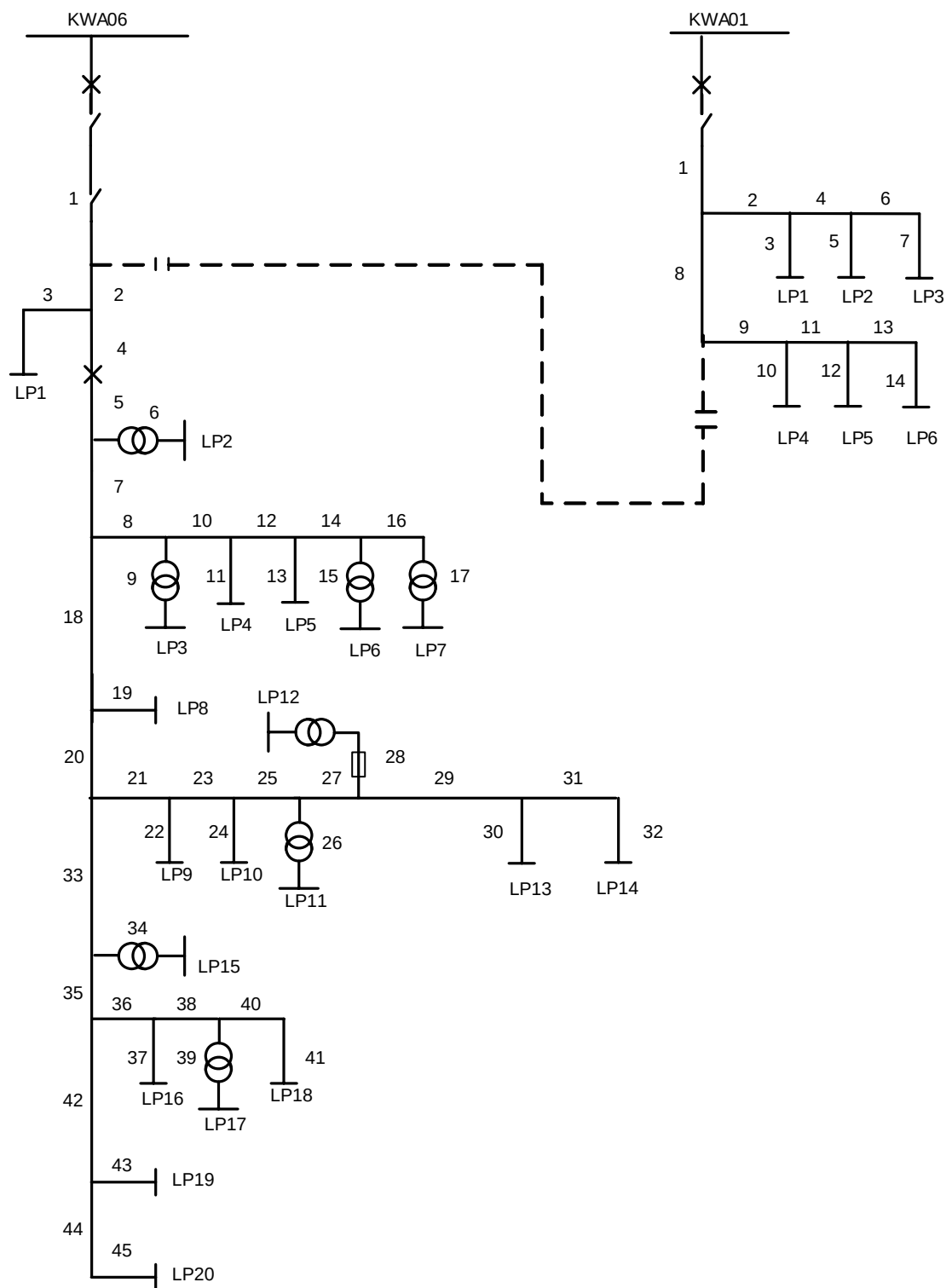
จุดโหลด	จำนวนของผู้ใช้ไฟฟ้า	ชนิดของผู้ใช้ไฟฟ้า	ความต้องการกำลังไฟฟ้า(MW)	
			โหลดเฉลี่ย	โหลดสูงสุด
LP1	1	ธุรกิจขนาดใหญ่	3.13075	6.262
LP2	105	บ้านพักอาศัย	0.0325	0.050
LP3	31	บ้านพักอาศัย	0.00975	0.015
LP4	1	ธุรกิจขนาดกลาง	0.11025	0.221
LP5	31	บ้านพักอาศัย	0.00975	0.015
LP6	31	บ้านพักอาศัย	0.00975	0.015
LP7	21	บ้านพักอาศัย	0.0065	0.010
LP8	1	หน่วยงานราชการ	0.0455	0.070
LP9	21	บ้านพักอาศัย	0.0065	0.010
LP10	1	ธุรกิจขนาดเล็ก	0.0105	0.021
LP11	1	ธุรกิจขนาดกลาง	0.175	0.350
LP12	31	บ้านพักอาศัย	0.00975	0.015
LP13	84	บ้านพักอาศัย	0.026	0.040
LP14	1	ธุรกิจขนาดกลาง	0.056	0.112
LP15	1	ธุรกิจขนาดกลาง	0.175	0.350
LP16	1	หน่วยงานราชการ	0.02275	0.035
LP17	1	หน่วยงานราชการ	0.0175	0.035
LP18	1	หน่วยงานราชการ	0.035	0.070
LP19	21	บ้านพักอาศัย	0.0065	0.010
LP20	1	หน่วยงานราชการ	0.00975	0.015

ตารางที่ 6-16 ดัชนีความเชื่อถือได้อุปกรณ์ของสายป้อน KWA 01 และ KWA 06

ดัชนี	λ	r	s
สายป้อน	0.37	5	1.06

หมายเหตุ ดัชนีความเชื่อถือได้ของหม้อแปลงไฟฟ้าใช้ค่าเดียวกับ RBTS บัส 2

6.5 ผลการศึกษาแรงดันที่จุดโหลดและกระแสที่สายป้อนของระบบจำหน่ายการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค



ภาพที่ 6-10 วงจรระบบจำหน่ายไฟฟ้าของการไฟฟ้าภูมิภาค KWA01 และ KWA06

ตารางที่ 6-17 ผลของแรงดันที่จุดโหลดของระบบจำหน่ายการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค KWA01

Load Point	V (pu)	Angle (Degree)	Load Point	V (pu)	Angle (Degree)
1	0.982744	-2.102	4	0.972112	-2.567
2	0.982023	-2.123	5	0.965344	-2.807
3	0.971558	-2.491	6	0.966280	-2.441

ตารางที่ 6-18 ผลของกระแสที่สายป้อนของระบบจำหน่ายการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค KWA01

Line No.	I (pu)	Angle (Degree)	Line No.	I (pu)	Angle (Degree)
1	1.868416	-0.112	8	0.245289	-0.0705
2	1.623126	-0.119	9	0.245289	-0.0705
3	0.701133	-0.118	10	0.035041	-0.0701
4	0.921993	-0.119	11	0.210248	-0.0706
5	0.701135	-0.119	12	0.1051243	-0.0706
6	0.220858	-0.119	13	0.1051244	-0.0707
7	0.220858	-0.119	14	0.1051244	-0.0707

ตารางที่ 6-19 ผลของแรงดันที่จุดโหลดของระบบจำหน่ายการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค KWA06

Load Point	V (pu)	Angle (Degree)	Load Point	V (pu)	Angle (Degree)
1	0.982597	-1.031	11	0.979262	-1.172
2	0.981694	-1.174	12	0.979204	-1.222
3	0.980123	-1.149	13	0.979153	-1.146
4	0.980110	-1.120	14	0.979047	-1.149
5	0.980109	-1.120	15	0.979672	-1.151
6	0.980094	-1.150	16	0.979624	-1.133
7	0.980094	-1.140	17	0.979606	-1.153
8	0.979814	-1.128	18	0.979599	-1.134

ตารางที่ 6-19 (ต่อ)

Load Point	V (pu)	Angle (Degree)	Load Point	V (pu)	Angle (Degree)
9	0.979515	-1.136	19	0.979625	-1.133
10	0.979462	-1.138	20	0.979618	-1.1338

ตารางที่ 6-20 ผลของกระแสที่สายป้อนของระบบจำหน่ายการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค KWA06

Line No.	I (pu)	Angle (Degree)	Line No.	I (pu)	Angle (Degree)
1	3.976580	-1.053	24	0.178669	-1.138
2	3.976580	-1.053	25	0.272446	-1.156
3	3.186201	-1.031	26	0.009956	-1.172
4	0.790380	-1.142	27	0.262489	-1.156
5	0.790380	-1.142	28	0.026552	-1.222
6	0.033106	-1.174	29	0.235937	-1.148
7	0.757274	-1.141	30	0.057192	-1.146
8	0.148963	-1.125	31	0.178745	-1.149
9	0.009948	-1.149	32	0.178745	-1.149
10	0.139015	-1.123	33	0.100038	-1.136
11	0.112487	-1.120	34	0.006634	-1.151
12	0.026528	-1.136	35	0.093403	-1.135
13	0.009948	-1.120	36	0.039811	-1.137
14	0.016580	-1.146	37	0.023223	-1.133
15	0.009948	-1.150	38	0.016588	-1.142
16	0.006632	-1.140	39	0.006635	-1.153
17	0.006632	-1.140	40	0.009953	-1.134
18	0.608311	-1.145	41	0.009953	-1.134
19	0.046437	-1.128	42	0.053592	-1.134
20	0.561874	-1.146	43	0.017863	-1.133

ตารางที่ 6-20 (ต่อ)

Line No.	I (pu)	Angle (Degree)	Line No.	I (pu)	Angle (Degree)
21	0.461835	-1.149	44	0.035728	-1.133
22	0.010719	-1.136	45	0.035728	-1.133
23	0.451115	-1.149			

หมายเหตุ กำหนดให้การคำนวณมีค่าดัชนีความผิดพลาด (Tolerance) = 0.00001 pu

ได้นำคำตอบที่ได้เปรียบเทียบกับโปรแกรมสำเร็จรูปที่ใช้ในการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้า พบว่ามีคำตอบใกล้เคียงกันโดยมีค่าความผิดพลาด 0.00001 pu

6.6 กรณีศึกษาระบบจำหน่ายไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

ในกรณีศึกษานี้จะพิจารณาระดับโหลดอยู่ 2 ลักษณะด้วยกันคือ

1. พิจารณาระดับโหลดเป็นค่าเฉลี่ย

2. พิจารณาระดับโหลดเป็น 7 ระดับ

ซึ่งในแต่ละลักษณะโหลดจะมีการศึกษาเป็นกรณีต่างๆดังนี้

กรณีที่ 1 ติดสวิตช์ตัดตอนทุกตำแหน่ง ฟิวส์ทำงาน 100%

กรณีที่ 2 ไม่ติดสวิตช์ตัดตอน ฟิวส์ทำงาน 100%

กรณีที่ 3 เลือกตำแหน่งติดสวิตช์ตัดตอนด้วยวิธีการเชิงพันธุกรรม ฟิวส์ทำงาน 100%

กรณีที่ 4 ติดสวิตช์ตัดตอนทุกตำแหน่ง ฟิวส์ทำงาน 90%

กรณีที่ 5 ไม่ติดสวิตช์ตัดตอน ฟิวส์ทำงาน 90%

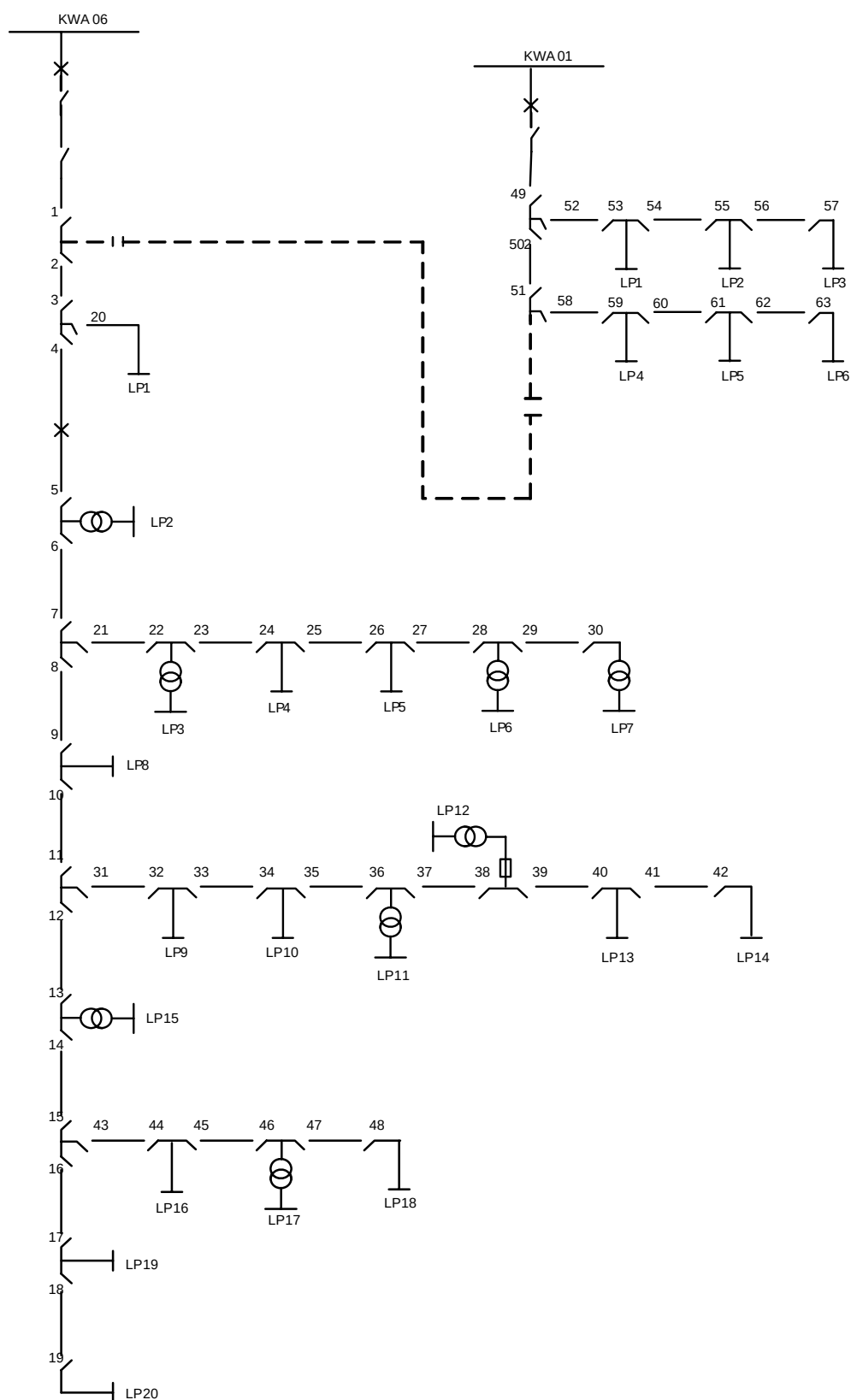
กรณีที่ 6 เลือกตำแหน่งติดสวิตช์ตัดตอนด้วยวิธีการเชิงพันธุกรรม ฟิวส์ทำงาน 90%

ตารางที่ 6-21 ผลการศึกษาระบบจำหน่ายการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค พิจารณาระดับโหลดเป็นค่าเฉลี่ย

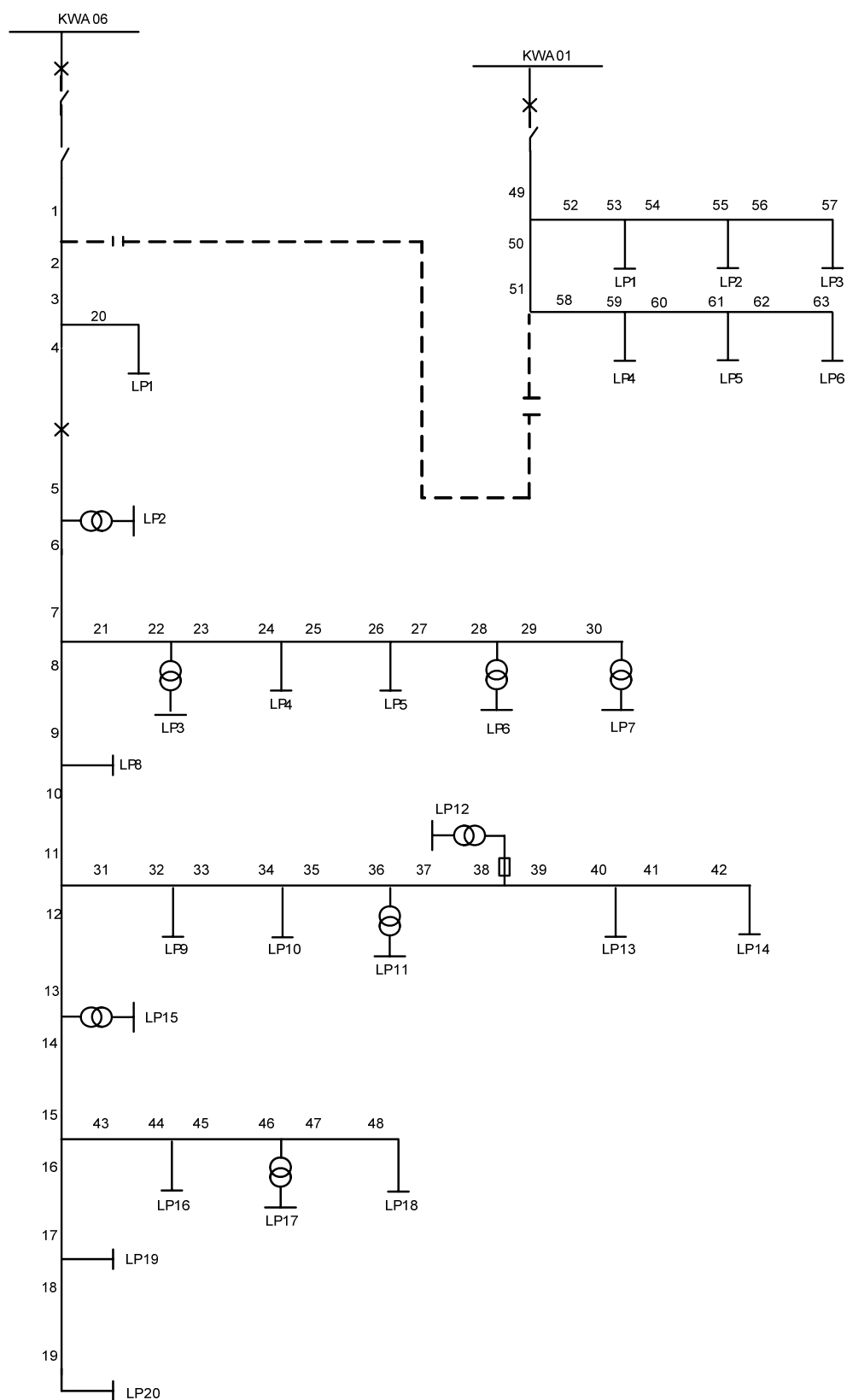
ดัชนี/ค่าใช้จ่าย/ตำแหน่งติดตั้ง	กรณีที่ 1	กรณีที่ 2	กรณีที่ 3	กรณีที่ 4	กรณีที่ 5	กรณีที่ 6
SAIFI (ครั้ง/ผู้ใช้ไฟฟ้า/ปี)	7.506286	7.506286	7.506286	7.530996	7.530996	7.530996
SAIDI (ชั่วโมง/ผู้ใช้ไฟฟ้า/ปี)	17.415874	26.651222	18.089222	17.440586	26.675926	18.113932
CAIDI (ชั่วโมง/ผู้ใช้ไฟฟ้า)	2.320172	3.550521	2.409877	2.315840	3.542151	2.405250
ASAI	0.998012	0.996958	0.997935	0.998009	0.996955	0.997932
ASUI	0.001988	0.003042	0.002065	0.001991	0.003045	0.002068
ENS (kWhr/ปี)	35554.40	72295.92	35742.34	35659.70	72401.22	35847.64
AENS (kWhr/ผู้ใช้ไฟฟ้า/ปี)	90.46	183.95	90.947441	90.73	184.22	91.215370
ECOST (บาท/ปี)	1,696,498	2,940,815	1,698,052	1,701,712	2,946,028	1,703,265
ค่าใช้จ่ายรวม(บาท/ปี)	1,729,223	2,940,815	1,706,363	1,734,436	2,946,028	1,711,577
ตำแหน่งติดตั้งสวิตช์ตัดตอน	1-63	-	1,4,8,12,14,20,21 ,25,31,35,37,43 49,50,51,56	1-63	-	1,4,8,12,14,20,21 ,25,31,35,37,43 49,50,51,56

ตารางที่ 6-22 ผลการศึกษาระบบจำหน่ายการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค โดยพิจารณาระดับโหลดเป็น 7 ระดับ

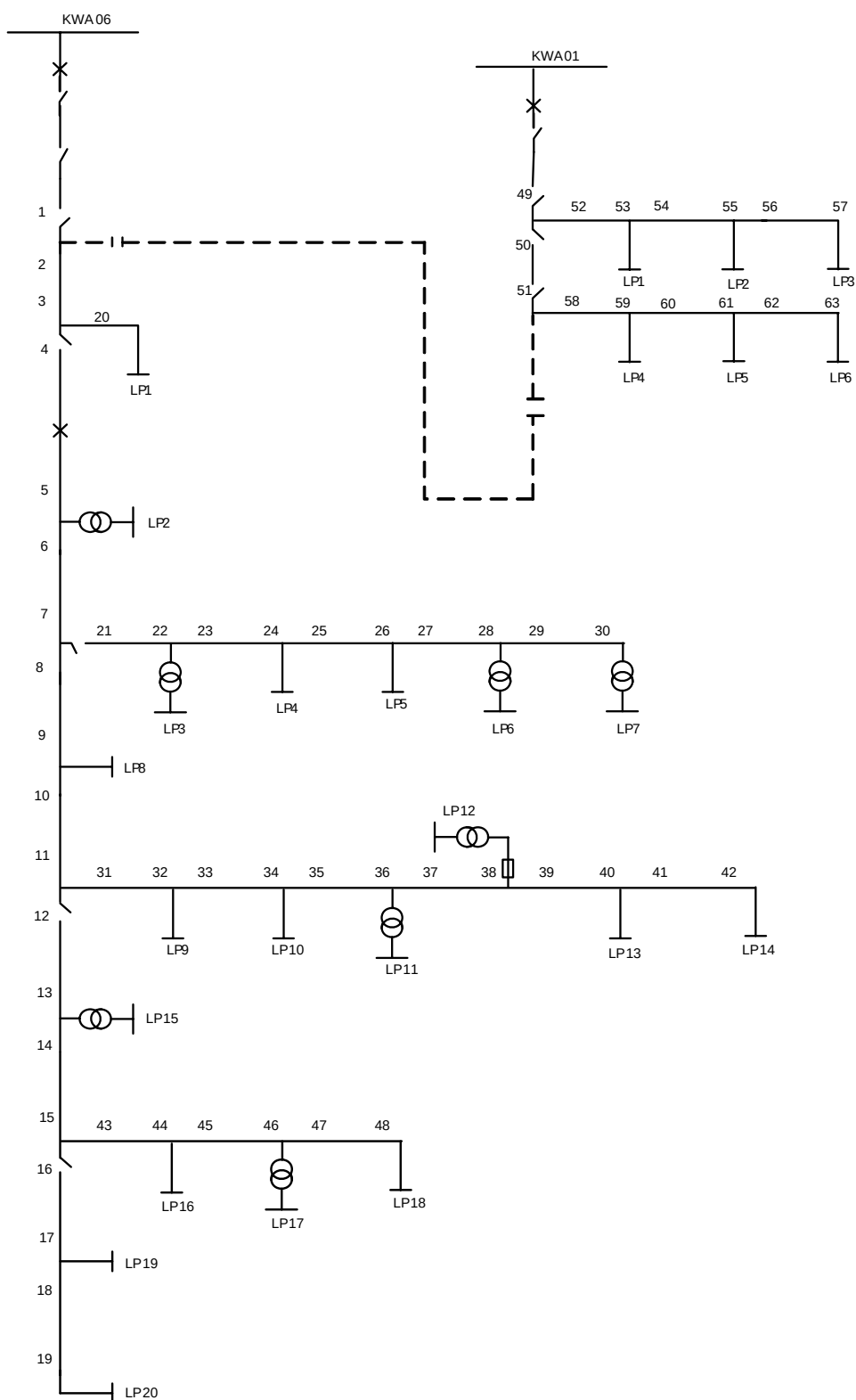
ดัชนี/ค่าใช้จ่าย/ตำแหน่งติดตั้ง	กรณีที่ 1	กรณีที่ 2	กรณีที่ 3	กรณีที่ 4	กรณีที่ 5	กรณีที่ 6
SAIFI (ครั้ง/ผู้ใช้ไฟฟ้า/ปี)	7.506286	7.506286	7.506286	7.530996	7.530996	7.530996
SAIDI (ชั่วโมง/ผู้ใช้ไฟฟ้า/ปี)	17.415874	26.651222	17.672857	17.440586	26.675926	17.697567
CAIDI (ชั่วโมง/ผู้ใช้ไฟฟ้า)	2.320172	3.550521	2.354408	2.315840	3.542151	2.349964
ASAI	0.998012	0.996958	0.997983	0.998009	0.996955	0.997980
ASUI	0.001988	0.003042	0.002017	0.001991	0.003045	0.002020
ENS (kWhr/ปี)	46263.71	94586.78	46420.42	46402.22	94725.28	46558.94
AENS (kWhr/ผู้ใช้ไฟฟ้า/ปี)	117.71	240.67	118.11	118.07	241.03	118.47
ECOST (บาท/ปี)	2,244,320	3,894,876	2,245,558	2,251,233	3,901,791	2,252,472
ค่าใช้จ่ายรวม (บาท/ปี)	2,277,045	3,894,876	2,254,388	2,283,957	3,901,791	2,261,302
ตำแหน่งติดตั้งสวิตช์ตัดตอน	1-63	-	1,4,6,8,12,14,21 20,25,31,35,37, 43,49,50,51,56	1-63	-	1,4,6,8,12,14,21 20,25,31,35,37, 43,49,50,51,56



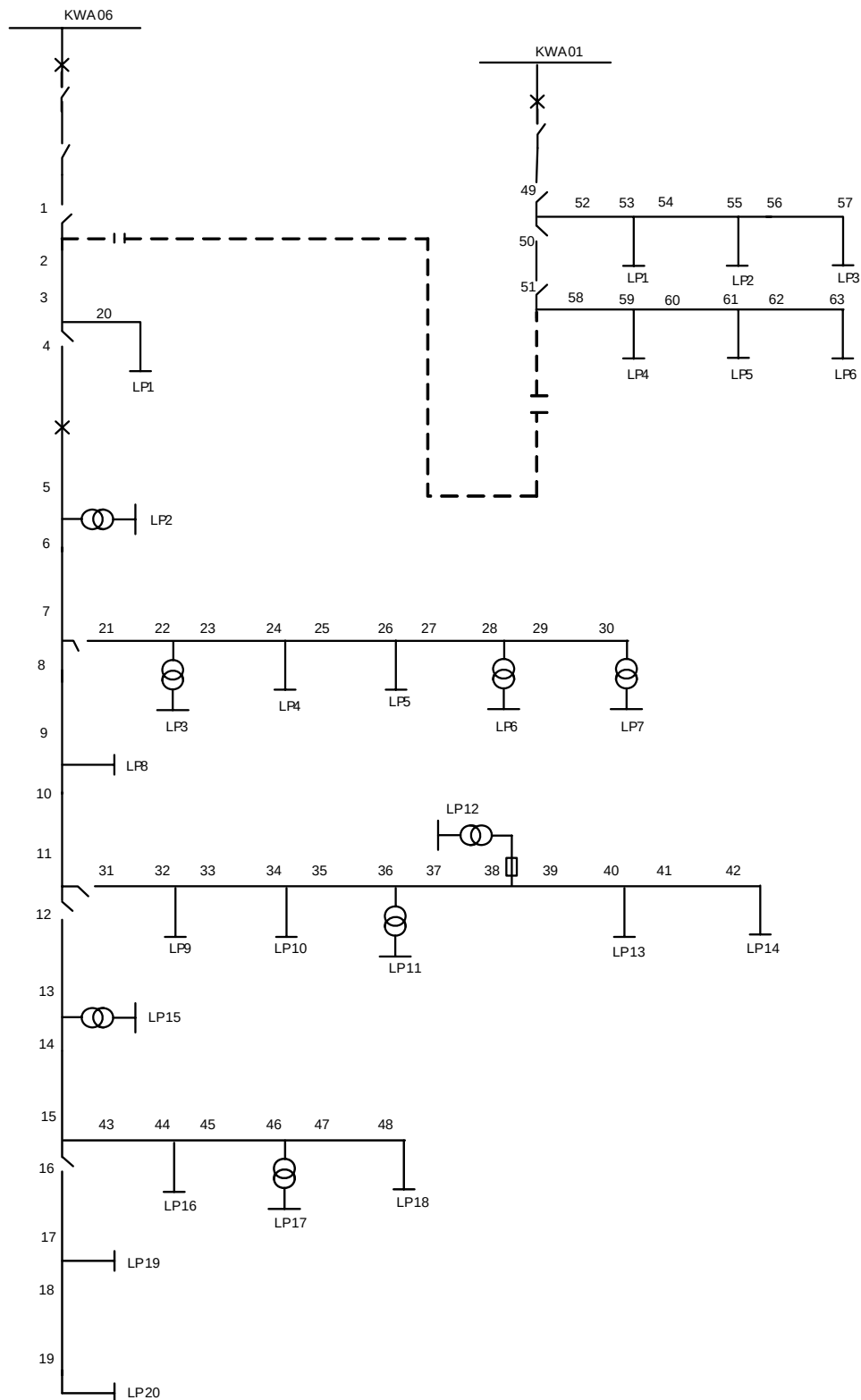
ภาพที่ 6-11 ติดตั้งสวิตช์ตัดคอนทุกตำแหน่งในระบบจำหน่ายของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค



ภาพที่ 6-12 ไม่มีการติดตั้งสวิตช์ตัดตอนทุกตำแหน่งของระบบจำหน่ายการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค



ภาพที่ 6-13 เลือกตำแหน่งติดตั้งสวิตช์ตัดตอนด้วยวิธีเชิงพันธุกรรม ฟิวส์ทำงาน 100% และ 90%
พิจารณาระดับโหลดเป็นค่าเฉลี่ย ของระบบจำหน่ายการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค



ภาพที่ 6-14 เลือกตำแหน่งติดตั้งสวิตช์ตัดตอนด้วยวิธีเชิงพันธุกรรม พิวส์ทำงาน 100% และ 90%
พิจารณาระดับโหลดเป็น 7 ระดับ ของระบบจำหน่ายการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

วิเคราะห์ผลระบบของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

ระบบของ กฟภ. นี้เป็นระบบที่มีขนาดใหญ่กว่าระบบ RBTS จากผลการศึกษาที่ให้ไว้ในตารางที่ 6-21 และ 6-22 แสดงให้เห็นว่า ภาพรวมของความเชื่อถือได้ของผู้ใช้ไฟนั้นต่ำกว่าระบบ RBTS ซึ่งเป็นการบ่งบอกถึง ความเชื่อถือได้ของอุปกรณ์ในระบบ RBTS นั้นดีกว่า และจำนวนอุปกรณ์ที่เชื่อมต่อกันมีจำนวนน้อยกว่า แนวโน้มภาพรวมของการเปลี่ยนแปลงค่าดัชนีและค่าใช้จ่ายของระบบ กฟภ. นั้นคล้ายกับระบบ RBTS

จากตารางที่ 6-21 สำหรับกรณีที่ 1 และกรณีที่ 2 หากระบบต้องติดตั้งจำนวนสวิตช์ตัดตอนทุกๆ จุด ระบบต้องการจำนวนสวิตช์ตัดตอนทั้งสิ้น 63 ตัว หรือ 63 ตำแหน่ง ทำให้ค่าใช้จ่ายรวมเท่ากับ 3,005,474 บาท แต่หากระบบไม่มีการลงทุนติดตั้งสวิตช์ตัดตอนเลย จะทำให้ค่าใช้จ่ายรวมเท่ากับ 2,940,815 บาท ส่วนต่างของค่าใช้จ่ายรวมนี้เกิดขึ้นจาก ค่าความเสียหายของผู้ใช้ไฟ และค่าใช้จ่ายในการลงทุนของสวิตช์ตัดตอน กรณีที่ 1 นั้นค่าใช้จ่ายในการลงทุนนั้นสูงกว่ากรณีที่ 2 แต่ว่าผลกระทบทางเศรษฐกิจอันเนื่องมาจากไฟฟ้าดับมีน้อยกว่ากรณีที่ 2 ซึ่งหากต้องตัดสินใจเลือกระหว่างสองกรณี กรณี 2 ควรจะเป็นทางเลือกที่ดีกว่า เพราะค่าใช้จ่ายรวมต่ำกว่า อย่างไรก็ตามหากพิจารณาถึงความสมดุลระหว่างการไฟฟ้ากับผู้ไฟฟ้าแล้ว กรณีที่ 3 ก็ทางเลือกที่ดีที่สุด เพราะว่า ค่าใช้จ่ายรวมต่ำที่สุด อยู่ที่ 1,925,580 บาท ต้องการจำนวนสวิตช์ตัดตอนที่เหมาะสมคือ 8 ตัว เมื่อพิจารณาถึงโอกาสที่ฟิวส์จะไม่ทำงาน ลักษณะแนวโน้มของดัชนีและค่าใช้จ่ายของระบบเหมือนกับกรณีที่ไม่นับผลการล้มเหลวของฟิวส์ เพียงแต่ว่าค่าดัชนีความเชื่อถือได้และค่าใช้จ่ายรวมของระบบมีค่าสูงกว่าสำหรับกรณีที่ไม่นับผลการล้มเหลวของฟิวส์ ซึ่งผลการติดตั้งสวิตช์ตัดตอนตารางที่ 6-21 ของกรณีที่ 1 และ 3 ได้แสดงดังในภาพที่ 6-13

ตารางที่ 6-22 แสดงผลของโหลด 7 ระดับ เช่นเดียวกันกับระบบ RBTS ดัชนีความเชื่อถือได้และค่าใช้จ่ายของระบบมีค่าสูงกว่าผลของโหลดระดับเดียวที่เป็นค่าเฉลี่ย ซึ่งผลการติดตั้งสวิตช์ตัดตอนที่เหมาะสมโดยวิธีการเชิงพันธุกรรมตารางที่ 6-22 ของกรณีที่ 1 และ 3 ได้แสดงดังภาพที่ 6-14 ตามลำดับ จากตารางที่ 6-21 และ 6-22 พบว่าตำแหน่งการติดตั้งสวิตช์ตัดตอนที่เหมาะสมของโหลด 7 ระดับจะมีจำนวนมากกว่าตำแหน่งการติดตั้งสวิตช์ตัดตอนที่เหมาะสมของโหลดเฉลี่ยอยู่ 1 ตำแหน่งคือ ตำแหน่งที่ 31 ข้อสังเกตอย่างหนึ่งที่พบจากกรณีศึกษาของระบบการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคที่นำมาทดสอบ คือ ผลการล้มเหลวของฟิวส์ไม่ส่งผลกระทบต่อตำแหน่งที่เหมาะสมสำหรับการติดตั้งสวิตช์ตัดตอน ทั้งกรณีระดับโหลดเป็นค่าเฉลี่ย และระดับโหลดเป็น 7 ระดับ

บทที่ 7

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

7.1 สรุปผล

ลักษณะของฟังก์ชันเป้าหมายของงานวิจัยนี้คือค่าใช้จ่ายรวมในการติดตั้งสวิตช์ตัดตอนในระบบจำหน่ายโดยมีลักษณะเป็นฟังก์ชันเชิงจัดหมู่ซึ่งวิธีการแก้ปัญหาวิธีเชิงพันธุกรรมสามารถตอบสนองต่อฟังก์ชันในลักษณะนี้ได้ดี ในการคำนวณหาค่าใช้จ่ายรวมของการติดตั้งสวิตช์ตัดตอนในระบบจำหน่ายได้มีการพิจารณาฟังก์ชันของกระแสที่สายป้อนและแรงดันที่จุดโหลดรวมด้วยซึ่งในงานวิจัยนี้ได้นำหลักการของเมทริกซ์สามเหลี่ยมบนแบบสปาร์ซคงที่มาใช้ในการคำนวณกระแสที่สายป้อนและแรงดันที่จุดโหลดการประเมินดัชนีความเชื่อถือได้ในระบบจำหน่ายมีความสำคัญในการพิจารณาความเชื่อถือได้ของระบบจำหน่ายเพื่อจะได้เปรียบเทียบว่าการเลือกใช้วงจรลักษณะใดจึงเหมาะสมในด้านการลงทุนและความเชื่อถือได้ที่ดีที่สุดซึ่งมีดัชนีพื้นฐานที่สำคัญคืออัตราการล้มเหลวเฉลี่ย (λ), ระยะเวลาเฉลี่ยที่ไม่สามารถจ่ายไฟฟ้าได้ (r), และระยะเวลาที่ไฟฟ้าดับในหนึ่งปี (U) ซึ่งจะนำค่าเหล่านี้มาคำนวณหาค่าดัชนีความเชื่อถือได้ของผู้ใช้ไฟฟ้าและนำมาคำนวณมูลค่าความเสียหายของผู้ใช้ไฟฟ้าเมื่อเกิดไฟฟ้าดับซึ่งมูลค่าความเสียหายของผู้ใช้ไฟฟ้าของขึ้นอยู่กับเวลาและประเภทของผู้ใช้ไฟฟ้า

ในงานวิจัยนี้ได้ใช้วงจรระบบจำหน่ายทดสอบ RBTS และระบบจำหน่ายของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคซึ่งผลจากการศึกษาพบว่าความเชื่อถือได้ในระบบจำหน่ายไฟฟ้าแบบเรเดียลในรูปดัชนีความเชื่อถือของผู้ใช้ไฟฟ้าของการติดตั้งสวิตช์ตัดตอนทุกตำแหน่งและไม่มีการติดตั้งสวิตช์ตัดตอนจากผลการคำนวณพบว่าเมื่อมีการติดตั้งสวิตช์ตัดตอนทุกตำแหน่งพบว่าจำนวนครั้งและเวลาในการเกิดไฟฟ้าดับของผู้ใช้ไฟฟ้ามีค่าน้อยกว่าการไม่ติดสวิตช์ตัดตอนแต่เมื่อมีการติดตั้งสวิตช์ตัดตอนจำนวนมากย่อมส่งผลถึงค่าใช้จ่ายจากการติดตั้งและการบำรุงรักษาซึ่งทำให้ค่าใช้จ่ายรวมของระบบซึ่งประกอบไปด้วยผลรวมของมูลค่าความเสียหายของผู้ใช้ไฟฟ้า ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งสวิตช์ตัดตอนและค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาสวิตช์ตัดตอน ซึ่งค่าใช้จ่ายและค่าบำรุงรักษาสวิตช์ตัดตอนจะแปรผันโดยตรงกับจำนวนของสวิตช์ตัดตอนดังนั้นเมื่อมีการติดตั้งสวิตช์ตัดตอนทุกตำแหน่งย่อมส่งผลทำให้ค่าใช้จ่ายโดยรวมของระบบมีค่าสูงแต่ถ้าระบบไม่มีการติดตั้งสวิตช์ตัดตอนก็จะไม่มีค่าใช้จ่ายในการติดตั้งสวิตช์ตัดตอนแต่ค่าความเชื่อถือได้ของระบบจะมีค่าต่ำมากทำให้ค่าความเสียหายของผู้ใช้ไฟฟ้าเมื่อค่าสูงมากดังนั้นเพื่อแก้ไขปัญหาการติดตั้งสวิตช์ตัดตอนแบบจิตพิสัยจึง

ได้นำวิธีการเชิงพันธุกรรมมาคำนวณหาตำแหน่งติดตั้งสวิตช์ตัดตอนที่เหมาะสมซึ่งผลที่ได้พบว่าค่าใช้จ่ายโดยรวมของระบบมีค่าต่ำกว่าการติดตั้งสวิตช์ตัดตอนทุกตำแหน่งและการไม่ติดตั้งสวิตช์ตัดตอน จากกรณีศึกษาได้ทำการคำนวณค่าความเชื่อถือได้ของผู้ใช้ไฟฟ้าโดยแบ่งเป็นกรณีต่างๆดังในบทที่ 6 ซึ่งผลจากการศึกษาพบว่าติดตั้งสวิตช์ตัดตอนตามตำแหน่งที่คำนวณได้จากวิธีเชิงพันธุกรรมสามารถทำให้ค่าใช้จ่ายรวมของระบบมีค่าต่ำกว่าการติดตั้งสวิตช์ตัดตอนทุกตำแหน่งและการไม่ติดตั้งสวิตช์ตัดตอน

7.2 ข้อเสนอแนะ

7.2.1 พิจารณาความล้มเหลวของอุปกรณ์ป้องกันเช่นเซอร์กิตเบรกเกอร์, รีโคสเซอร์ เพื่อคำนวณค่าความเชื่อถือได้ของผู้ใช้ไฟฟ้าให้ได้มีค่าใกล้เคียงกับสภาพความเป็นจริงยิ่งขึ้น

7.2.2 พิจารณาการติดตั้งอุปกรณ์ป้องกันเช่น พิจารณาตำแหน่งการติดตั้งรีโคสเซอร์ร่วมกับการติดตั้งสวิตช์ตัดตอนเพื่อช่วยปรับปรุงความเชื่อถือได้ให้แก่ระบบโดยยังคงคำนึงถึงค่าใช้จ่ายในการติดตั้งอุปกรณ์

7.2.3 คำนึงถึงแบบแผนการประหยัดฟิวส์ (Fuse Saving Scheme) กล่าวคือทำให้เซอร์กิตเบรกเกอร์ทำงานก่อนเมื่อเกิดฟอลต์ เพื่อประหยัดฟิวส์และประหยัดเวลาในการเปลี่ยนฟิวส์

7.2.4 ปัจจุบันนี้โหนดของผู้ใช้ไฟฟ้าในหลายๆ ประเภทมีความอ่อนไหวต่อไฟฟ้าดับชั่วคราว ดังนั้นฟอลต์แบบชั่วคราว (Temporary Fault) ควรจะนำมาพิจารณาร่วมกับฟอลต์แบบถาวร (Permanent Fault) ด้วย

เอกสารอ้างอิง

1. Zbigniew, M. Genetic Algorithms + Data Structures = Evolution Programs. New York : Springer, 1996.
2. Floudas, C. A. and Pardalos, P. M. Recent Advances in Global Optimization. Princeton : NJ, 1992.
3. Keane, R. M. Genetic Algorithms Digest. Vol.2. (1994).
4. John J. Grainger. and William D. Stevenson. Power System Analysis. Singapore : McGraw Hill, 1994.
5. ชำนาญ ห่อเกียรติ. ระบบไฟฟ้ากำลัง. กรุงเทพมหานคร : โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2549.
6. Stott B, Alsac O. "Fast Decoupled Load Flow." IEEE Trans Power Appl Syst. 1974 : 859-869.
7. Shirmohammadi D, Hong HW, Semlyen A and Luo GX. "A Compensation Based Power Flow Method for Weakly Meshed Distribution Networks." IEEE Trans Power Syst. 1998 : 753-762.
8. Kersting WH and Mendive DL. "An Application of Ladder Network Theory to The Solution of Three Phase Radial Load Flow Problems." IEEE PES Winter Meeting. 1976 : A76 044-8.
9. Luo GX. and Semlyen A. "Efficient Load Flow for Large Weakly Meshed Networks." IEEE Trans Power Syst. 1990 : 1309-1316.
10. Cheng CS. and Shirmohammadi D. "A Three Phase Power Flow Method for Real-Time Distribution System Analysis." IEEE Trans Power Syst. 1995 : 671-679.
11. Zimmerman RD. and Chiang HD. "Fast Decoupled Power Flow for Unbalanced Radial Distribution System Analysis." IEEE PES Winter Meeting. 1995 : WM219-6.
12. Renato Cespedes G. "New Method for The Analysis of Distribution Network." IEEE Trans Power Delivery. 1990 : 391-396.

13. Zhang F and Cheng CS. “A Modified Newton Method for Radial Distribution System Power Flow Analysis.” IEEE Trans Power Sys. 1997 : 389-397.
14. Aravindhababu, P. Ganapathy, S. and Nayar, K. R. “A Noval Technique for The Analysis of Redial Distribution Systems.” Elsevier Electrical Power and Energy Systems. 2001 : 167-171.
15. Roy Billinton. and Ronald N Allan. “Reliability Evalution of Power System.” Northern Ireland : PITMAN, 1984.
16. Roy, Billinton. and Peng, Wang. “Distribution System Reliability Cost/Worth Analysis Using Analytical Sequential Simulation Techniques.” IEEE Transaction on Power Systems. 1998 : 1245-1250.
17. สำนักงานคณะกรรมการนโยบายแห่งชาติ. “การศึกษ้อัตราความเสียหายเนื่องจากไฟฟ้าดับ.” กรุงเทพมหานคร, 7 ธันวาคม 2544.
18. Roy, Billinton. and Satish, Jonnavithula. “Optimal Switching Device Placement in Radial Distribution Systems.” IEEE Transaction on Power Systems. 1996 :1646-1651.
19. Allan, R. N., Billinton, R., et al. “A Reliability Test System For Education Purposes – Basic Distribution System Data And Results.” IEEE Transaction on Power Systems. 1991 : 813-820.
20. L. Goel. and R. Billinton. “Procedure for Evaluating Interrupted Energy Assessment Rates in an Overall Electric Power System.” IEEE Transaction on Power Systems. 1991 : 1398-1403.
21. คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์เกษตรศาสตร์. รายงานสรุปผลการศึกษาโครงการศึกษาวิเคราะห์เพื่อหาอัตราความเสียหายและอัตราการซ่อมของอุปกรณ์ในระบบจ่ายไฟฟ้า. กรุงเทพมหานคร, 2549.

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ : นางสาวกนกวรรณ กลิ่นเอี่ยม

ชื่อวิทยานิพนธ์ : การหาตำแหน่งการติดตั้งสวิตซ์ตัดตอนที่เหมาะสมในระบบจำหน่ายแบบเบรเคิล
โดยวิธีเชิงพันธุกรรม

สาขาวิชา : วิศวกรรมไฟฟ้า

ประวัติ

ประวัติส่วนตัว เกิดวันที่ 31 สิงหาคม พ.ศ.2524 ที่จังหวัดชัยนาท ปัจจุบันอาศัยอยู่ที่บ้านเลขที่ 164/129 เพชรเกษม 14 วัดท่าพระ บางกอกใหญ่ กรุงเทพฯ 10600

ประวัติการศึกษา สำเร็จการศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพ สาขาไฟฟ้ากำลัง จากวิทยาลัยเทคนิคชัยนาท เมื่อปี พ.ศ. 2543 และสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า จากภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ เมื่อปี พ.ศ. 2547

ประวัติการทำงาน เริ่มทำงานเมื่อ พ.ศ. 2547 จนถึงปัจจุบันในตำแหน่งอาจารย์พิเศษที่หน่วยการศึกษา ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ