

การหาสถานะสวิตช์ตัดตอนที่เหมาะสมในระบบจำหน่ายแบบเรเดียล
โดยใช้ปัญญาประดิษฐ์



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ปีการศึกษา 2556

**OPTIMAL STATUS OF SECTIONALIZING SWITCHES
IN RADIAL DISTRIBUTION SYSTEM USING
ARTIFICIAL INTELLIGENCE**



Nattaphan Teerawatwittaya

**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the
Degree of Master of Engineering in Electrical Engineering
Suranaree University of Technology**

Academic Year 2013

การหาสถานะสวิตช์ตัดตอนที่เหมาะสมในระบบจำหน่ายแบบเรเดียลโดยใช้
ปัญญาประดิษฐ์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้นำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

(รศ. ดร.กิตติ อรรถกิจมงคล)

ประธานกรรมการ

(รศ. ดร.อาทิตย์ ศรีแก้ว)

กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์)

(รศ. ดร.ธนัชชัย กุลวรรณิพงษ์)

กรรมการ

(ศ. ดร.ชูกิจ ลิ้มปิจำนงค์)

รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการและนวัตกรรม

(รศ. ร.อ. ดร.กนต์ธร ชำนิประศาสน์)

คณบดีสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

ณัฐพันธ์ ชีรวัดน์วิทยา : การหาสถานะสวิตช์ตัดตอนที่เหมาะสมในระบบจำหน่ายแบบ
เรเดียลโดยใช้ปัญญาประดิษฐ์ (OPTIMAL STATUS OF SECTIONALIZING
SWITCHES IN RADIAL DISTRIBUTION SYSTEMS USING ARTIFICIAL
INTELLIGENCE) อาจารย์ที่ปรึกษา : รองศาสตราจารย์ ดร.อาทิตย์ ศรีแก้ว, 231 หน้า.

ความเชื่อถือได้ในระบบจำหน่ายสามารถปรับปรุงให้ดีขึ้นได้โดยการกำหนดสถานะของ
สวิตช์ตัดตอนที่เหมาะสม โดยสวิตช์ตัดตอนเป็นอุปกรณ์ที่ช่วยในการแยกส่วนที่เกิดการผิดปกติหรือ
หรือส่วนที่ต้องการบำรุงรักษาออกจากระบบจำหน่าย ดังนั้นในส่วนที่ไม่เกิดการผิดปกติหรือไม่
ต้องการบำรุงรักษา ยังคงสามารถได้รับการจ่ายไฟฟ้าจากระบบจำหน่าย ขั้นตอนดังกล่าวทำให้
สามารถจ่ายไฟฟ้าให้กับผู้ใช้ไฟทุกรายที่อยู่ระหว่างแหล่งจ่ายและจุดที่ถูกแยกออกก่อนที่ขั้นตอน
การซ่อมแซมอุปกรณ์ที่เกิดการผิดปกติจะเสร็จสิ้น อย่างไรก็ตามการกำหนดสถานะของสวิตช์ตัด
ตอนไม่เหมาะสมในขณะที่เกิดการผิดปกติหรือในขณะที่บำรุงรักษาอุปกรณ์ อาจทำให้เกิดปัญหา
ไฟฟ้าดับเป็นบริเวณกว้าง หรือทำให้เกิดปัญหาในระบบจำหน่ายมีกำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบสูง
หรือทำให้เกิดปัญหาไฟฟ้าดับกับผู้ใช้ไฟประเภทอุตสาหกรรม ซึ่งปัญหาดังกล่าวอาจทำให้ค่าความ
เชื่อถือได้ในระบบจำหน่ายลดลงได้ ดังนั้นการกำหนดสถานะของสวิตช์ตัดตอนดังกล่าวควรจะ
ได้รับการพิจารณาอย่างรอบคอบ งานวิจัยนี้นำเสนอระเบียบวิธีการหาสถานะของสวิตช์ตัดตอนที่
เหมาะสมโดยใช้จินเนติกอัลกอริทึมและระบบผู้เชี่ยวชาญ จินเนติกอัลกอริทึมเป็นเทคนิคการค้นหา
แบบสุ่มที่อ้างอิงกับหลักการเชิงพันธุกรรมและการเลือกตามธรรมชาติ โดยทำหน้าที่คำนวณหา
สถานะที่เหมาะสมของสวิตช์ตัดตอน ส่วนระบบผู้เชี่ยวชาญเป็นระบบคอมพิวเตอร์ที่จำลองการ
ตัดสินใจของมนุษย์ ผู้เป็นผู้เชี่ยวชาญในด้านใดด้านหนึ่ง โดยใช้ความรู้และการสรุปเหตุผลเชิง
อนุมานในการแก้ปัญหาหายาก ๆ ที่ต้องอาศัยผู้เชี่ยวชาญ โดยทำหน้าที่กำหนดขอบเขตจำนวนของ
สวิตช์ตัดตอนที่ต้องการหาสถานะที่เหมาะสมที่สุด วิธีการนำเสนอทำการทดสอบกับระบบ
ทดสอบ 15 บัส 16 บัส 34 บัส 69 บัส และระบบจำหน่ายของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคอำเภอสีคิ้ว
ซึ่งประกอบไปด้วย ระบบจำหน่ายจำนวน 10 วงจร ผลที่ได้เป็นที่น่าพอใจ โดยระบบที่นำเสนอ
สามารถประมวลผลหาสถานะของสวิตช์ตัดตอนที่เหมาะสมได้เร็วกว่าระบบดั้งเดิมที่ใช้เพียง
จินเนติกอัลกอริทึม และเจ้าหน้าที่ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคที่มีความเชี่ยวชาญ

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

ปีการศึกษา 2556

ลายมือชื่อนักศึกษา _____

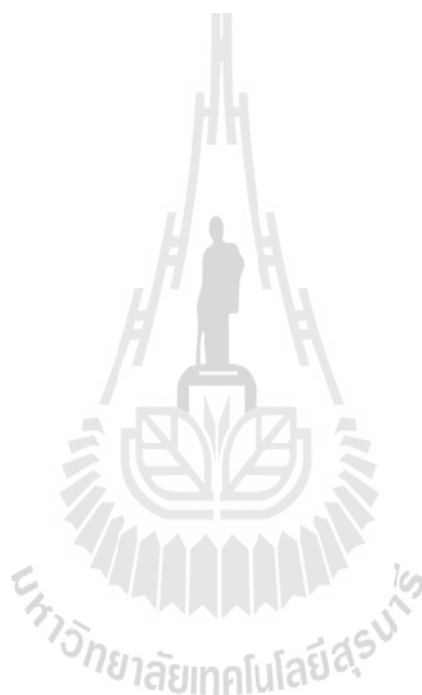
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา _____

NATTAPHAN TEERAWATWITTAYA : OPTIMAL STATUS OF
SECTIONALIZING SWITCHES IN RADIAL DISTRIBUTION SYSTEM
USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE. THESIS ADVISOR : ASSOC.
PROF. ARTHIT SRIKAEW, Ph.D., 231 PP.

SERVICE RESTORATION/DISTRIBUTION SYSTEM/GENETIC ALGORITHM/
EXPERT SYSTEM

Reliability of the distribution system can be improved by defining the optimum status of the sectionalizing switch. Sectionalizing switches are devices that separate causes of the fault or maintain the distribution system while the rest of system is still working. Accordingly, the system still distributes power to suppliers while the fault distribution part is being repaired. Moreover, the inappropriate status of sectionalizing switches which are causing the fault or maintaining the system can cause of extensive power outage, highly loss power in distribution system, and affect industrial suppliers. This may substantially reduce the reliability of the distribution system. Therefore, the optimum status defining of sectionalizing switches has to be considered carefully. In this study, the optimum status evaluation by using Expert System (ES) and Genetic Algorithm (GA) was presented. The ES, which is a computer system that can simulate human decision, was used for screening involved variables based on knowledge of human operators. For the GA, which is a random search technique using natural selection and genetic principle, was used for evaluating the optimum status from 3 case studies including the least of power outage

suppliers, industrial suppliers and power losing in distribution system. Finally the optimum status defining of sectionalizing switch was tested with test system of 15 bus, 16 bus, 34 bus, 69 bus and 10 circuits in distribution system of the Provincial Electricity Authority Sikhio district. Result were highly desirable in which the proposed system can perform faster than both the traditional system using only GA and the human expert operators.



School of Electrical Engineering

Academic Year 2013

Student's Signature _____

Advisor's Signature _____

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้ดำเนินการสำเร็จลุล่วงด้วยดี ผู้วิจัยขอขอบพระคุณบุคคลและกลุ่มบุคคลต่างๆ ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำ รวมทั้งได้ให้ความช่วยเหลืออย่างดียิ่ง ทั้งด้านวิชาการและด้านการดำเนินงานวิจัย ซึ่งได้แก่

รองศาสตราจารย์ ดร.อาทิตย์ ศรีแก้ว อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้คำปรึกษา แนะนำและแนะแนวทางอันเป็นประโยชน์ยิ่งต่องานวิจัย รวมถึงได้ช่วยตรวจทาน และแก้ไข รายงานวิทยานิพนธ์เล่มนี้จนทำให้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

รองศาสตราจารย์ ดร.ชนัดชัช กุลรวรานิชพงษ์ อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ได้ให้คำปรึกษา แนะนำ และข้อมูลอันเป็นประโยชน์ยิ่งต่อ งานวิจัยในครั้งนี้

อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีทุกท่าน ที่ได้ กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำ และความรู้ทางด้านวิชาการอย่างดียิ่งมาโดยตลอด

คุณอัญชุลี รักด่านกลาง ที่ได้ช่วยตรวจทานวิทยานิพนธ์และช่วยติดต่อประสานงานกับฝ่าย ต่าง ๆ ให้กับผู้วิจัยเป็นอย่างดี

ขอบคุณ นายสำราญ รามางกูร , นายคูสิต สุจริต และนายศักดิ์ ไวยลาภ และพี่ ๆ เพื่อน ๆ น้อง ๆ ที่การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคอำเภอเสถียรทุกท่านที่ได้ให้คำปรึกษา แนะนำ และเป็นกำลังใจ ให้กับผู้วิจัยในยามท้อและทุกข์ใจเรื่อยมา

ขอบคุณ พี่ ๆ เพื่อน ๆ น้อง ๆ บัณฑิตศึกษาทุกท่าน รวมถึงมิตรสหายทั้งในอดีตและ ปัจจุบันที่คอยถามไถ่และให้กำลังใจในการทำวิจัยมาโดยตลอด

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยขอขอบคุณอาจารย์ผู้สอนทุกท่านที่ประสิทธิ์ประสาทความรู้ทางด้านต่าง ๆ ทั้งในอดีตและปัจจุบัน และขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา รวมถึงญาติพี่น้องของผู้วิจัยทุกท่าน ที่ได้ให้ความรัก ความอบอุ่น ความห่วงใย การอบรมเลี้ยงดู และให้การสนับสนุนทางการศึกษา อย่างดียิ่งมาโดยตลอด รวมทั้งเป็นกำลังใจที่ยิ่งใหญ่ในยามที่ผู้วิจัยท้อและทุกข์ใจ ช่วยให้มีพลัง เข้มแข็งพร้อมเผชิญกับปัญหาอุปสรรคต่าง ๆ จนทำให้ผู้วิจัยประสบความสำเร็จในชีวิตเรื่อยมา

ณัฐพันธ์ ธีรวัฒนวิทยา

สารบัญ

หน้า

| | |
|---|----|
| บทคัดย่อ (ภาษาไทย)..... | ก |
| บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ)..... | ข |
| กิตติกรรมประกาศ..... | ค |
| สารบัญ..... | ง |
| สารบัญตาราง..... | ฉ |
| สารบัญรูป..... | ญ |
| บทที่ | |
| 1 บทนำ | |
| 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา..... | 1 |
| 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย..... | 3 |
| 1.3 ขอบเขตของการวิจัย..... | 3 |
| 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... | 3 |
| 1.5 การจัดรูปเล่มวิทยานิพนธ์..... | 4 |
| 2 ปรีทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง | |
| 2.1 บทนำ..... | 5 |
| 2.2 หลักการเบื้องต้น..... | 5 |
| 2.3 ปัญหาการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้า..... | 5 |
| 2.4 จินเนติกอัลกอริทึม..... | 7 |
| 2.4.1 ความรู้พื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับจินเนติกอัลกอริทึม..... | 8 |
| 2.4.2 การวิเคราะห์วิธีการจัดการเชื่อมต่อโครงสร้างของระบบจำหน่ายก่อน และหลังเกิดความผิดปกติ..... | 17 |
| 2.4.3 การหาสถานะของสวิตช์ตัดตอนที่เหมาะสมในระบบจำหน่าย โดย ใช้เทคนิคการผสมผสานของฟังก์ชันวัตถุประสงค์..... | 17 |
| 2.4.4 ตัวอย่างการหาจุดเหมาะสมโดยใช้จินเนติกอัลกอริทึม..... | 18 |

สารบัญ (ต่อ)

| | หน้า |
|--|------|
| 2.5 ระบบผู้เชี่ยวชาญ..... | 20 |
| 2.5.1 องค์ประกอบของระบบผู้เชี่ยวชาญ..... | 20 |
| 2.5.2 เทคนิคการอนุมาน..... | 21 |
| 2.5.2 ระบบผู้เชี่ยวชาญสำหรับการหาสถานะของสวิตช์ตัดตอนที่เหมาะสม ในระบบจำหน่าย..... | 26 |
| 2.6 สรุป..... | 30 |
| 3 การหาสถานะของสวิตช์ตัดตอนที่เหมาะสมเมื่อเกิดความผิดปกติในระบบ จำหน่าย | |
| 3.1 บทนำ..... | 31 |
| 3.2 ระบบจำหน่ายไฟฟ้า..... | 31 |
| 3.2.1 ระบบสายป้อนปฐมภูมิการจัดวงจรแบบเรเดียลตรง..... | 33 |
| 3.2.2 วงจรแบบเรเดียลเชื่อมโยง..... | 33 |
| 3.2.3 วงจรแบบเรเดียลศูนย์กลางโหลด..... | 34 |
| 3.2.4 วงจรแบบเรเดียลแยกเฟส..... | 34 |
| 3.3 การพิจารณาเหตุการณ์เมื่อเกิดความผิดปกติในระบบจำหน่ายไฟฟ้าแบบ เรเดียล..... | 36 |
| 3.3.1 กรณีไม่มีอุปกรณ์ตัดตอน..... | 36 |
| 3.3.2 กรณีติดตั้งอุปกรณ์ป้องกันที่จุดโหลด..... | 36 |
| 3.3.3 กรณีติดตั้งอุปกรณ์ป้องกันที่จุดโหลดและสวิตช์ตัดตอน..... | 37 |
| 3.3.4 เมื่อมีการจ่ายไฟฟ้าจากสายป้อนอื่น..... | 37 |
| 3.4 มูลค่าความเสียหายเมื่อเกิดเหตุการณ์ไฟฟ้าดับ..... | 38 |
| 3.5 การวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าในระบบจำหน่ายแบบเรเดียล..... | 39 |
| 3.5.1 การแก้ปัญหาการไหลของกำลังไฟฟ้าโดยใช้วิธีนิวตัน-ราฟสัน..... | 40 |
| 3.6 จินเนติกอัลกอริทึมสำหรับการหาสถานะของสวิตช์ตัดตอนที่เหมาะสมใน ระบบจำหน่าย..... | 41 |
| 3.6.1 การลงรหัสสำหรับการจัดเรียงสายป้อน..... | 42 |

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

| | |
|--|----|
| 3.6.2 การประเมินค่าความเหมาะสม | 43 |
| 3.7 ระบบผู้เชี่ยวชาญสำหรับการหาสถานะของสวิตช์ตัดตอนที่เหมาะสมใน ระบบจำหน่าย | 46 |
| 3.7.1 ระบบทดสอบที่มี 1 แหล่งจ่ายพลังงาน | 47 |
| 3.7.2 ระบบทดสอบที่มี N แหล่งจ่ายพลังงาน | 50 |
| 3.8 ขั้นตอนการพิจารณาหาสถานะของสวิตช์ตัดตอนที่เหมาะสมเมื่อเกิด ความผิดปกติในระบบจำหน่ายเงินเนติกอัลกอริทึมและ ระบบผู้เชี่ยวชาญ | 60 |
| 3.9 สรุป | 61 |
| 4 การทดสอบและการอภิปราย | |
| 4.1 บทนำ | 62 |
| 4.2 ผลการทดสอบโปรแกรมจากระบบทดสอบ 15 บัส | 62 |
| 4.2.1 พิจารณาให้จำนวนของผู้ใช้ไฟฟ้าหรือบริเวณที่มีไฟฟ้า คือน้อยที่สุด | 64 |
| 4.2.2 พิจารณาให้จำนวนของผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทอุตสาหกรรมมีไฟฟ้าค น้อยที่สุด | 66 |
| 4.2.3 พิจารณาให้กำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบน้อยที่สุด | 66 |
| 4.3 ผลการทดสอบโปรแกรมจากระบบทดสอบ 34 บัส | 68 |
| 4.3.1 พิจารณาให้จำนวนของผู้ใช้ไฟฟ้าหรือบริเวณที่มีไฟฟ้าค น้อยที่สุด | 69 |
| 4.3.2 พิจารณาให้จำนวนของผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทอุตสาหกรรมมีไฟฟ้าค น้อยที่สุด | 71 |
| 4.3.3 พิจารณาให้กำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบน้อยที่สุด | 72 |
| 4.4 ผลการทดสอบโปรแกรมจากระบบทดสอบ 69 บัส | 74 |
| 4.4.1 พิจารณาให้จำนวนของผู้ใช้ไฟฟ้าหรือบริเวณที่มีไฟฟ้าค น้อยที่สุด | 75 |

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

| | | |
|-------|---|----|
| 4.4.2 | พิจารณาให้จำนวนของผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทอุตสาหกรรมมีไฟฟ้าคั บ น้อยที่สุด..... | 76 |
| 4.4.3 | พิจารณาให้กำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบน้อยที่สุด..... | 77 |
| 4.5 | ผลการทดสอบโปรแกรมจากระบบทดสอบ 16 บัศ..... | 79 |
| 4.5.1 | พิจารณาให้จำนวนของผู้ใช้ไฟฟ้าหรือบริเวณที่มีไฟฟ้าคั บ น้อยที่สุด..... | 80 |
| 4.5.2 | พิจารณาให้จำนวนของผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทอุตสาหกรรมมีไฟฟ้าคั บ น้อยที่สุด..... | 82 |
| 4.5.3 | พิจารณาให้กำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบน้อยที่สุด..... | 83 |
| 4.6 | ผลการทดสอบโปรแกรมจากระบบทดสอบระบบทดสอบระบบจำหน่าย สถานีจ่ายไฟฟ้าย่อยสี่คั..... | 84 |
| 4.6.1 | พิจารณาให้จำนวนของผู้ใช้ไฟฟ้าหรือบริเวณที่มีไฟฟ้าคั บ น้อยที่สุด..... | 85 |
| 4.6.2 | พิจารณาให้จำนวนของผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทอุตสาหกรรมมีไฟฟ้าคั บ น้อยที่สุด..... | 89 |
| 4.6.3 | พิจารณาให้กำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบน้อยที่สุด..... | 89 |
| 4.7 | ผลการทดสอบโปรแกรมเปรียบเทียบกับสถานการณ์จริงจากระบบจำหน่าย ของสถานีจ่ายไฟฟ้าย่อยสี่คั..... | 91 |
| 4.8 | สรุป..... | 92 |
| 5 | บทสรุปและข้อเสนอแนะ | |
| 5.1 | สรุป..... | 93 |
| 5.2 | การประยุกต์ผลการวิจัย..... | 95 |
| 5.3 | ข้อเสนอแนะในการวิจัยต่อไป..... | 95 |
| | รายการอ้างอิง..... | 96 |
| | ภาคผนวก | |
| | ภาคผนวก ก ระบบทดสอบ..... | 98 |

สารบัญ (ต่อ)

| | หน้า |
|---|------|
| ภาคผนวก ข คู่มือการใช้งาน โปรแกรม..... | 220 |
| ภาคผนวก ค บทความที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างศึกษา..... | 224 |
| ประวัติผู้เขียน..... | 231 |



สารบัญตาราง

| ตารางที่ | หน้า |
|----------|---|
| 2.1 | การกำหนดปริมาณไฟฟ้าต่างๆตามประเภทของบัสในระบบไฟฟ้ากำลัง..... 7 |
| 2.2 | ความหมายของค่าเฉพาะทางชีววิทยาที่ใช้ในเงินเนติกอัลกอริทึม..... 9 |
| 2.3 | การคัดเลือก..... 11 |
| 3.1 | ส่วนประกอบของระบบจำหน่ายและหน้าที่การทำงาน..... 32 |
| 3.2 | มูลค่าความเสียหายเมื่อเกิดไฟฟ้าดับของ SIC..... 38 |
| 3.3 | มูลค่าความเสียหายเมื่อเกิดไฟฟ้าดับของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค..... 39 |
| 3.4 | ตัวอย่างการใช้โครโมโซมแทนโครงสร้างระบบจำหน่ายไฟฟ้า 10 บัส..... 43 |
| 4.1 | ค่าตัวแปรของเงินเนติกอัลกอริทึมสำหรับการทดสอบระบบทดสอบ 15 บัส..... 63 |
| 4.2 | ค่าทางสถิติของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ในการทดสอบระบบทดสอบ 15 บัส..... 68 |
| 4.3 | ระยะเวลาในการประมวลผลของการทดสอบระบบทดสอบ 15 บัส..... 68 |
| 4.4 | ค่าตัวแปรของเงินเนติกอัลกอริทึมสำหรับการทดสอบระบบทดสอบ 34 บัส..... 69 |
| 4.5 | ค่าทางสถิติของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ในการทดสอบระบบทดสอบ 34 บัส..... 73 |
| 4.6 | ระยะเวลาในการประมวลผลของการทดสอบระบบทดสอบ 34 บัส..... 74 |
| 4.7 | ค่าตัวแปรของเงินเนติกอัลกอริทึมสำหรับการทดสอบระบบทดสอบ 69 บัส..... 74 |
| 4.8 | ค่าทางสถิติของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ในการทดสอบระบบทดสอบ 69 บัส..... 79 |
| 4.9 | ระยะเวลาในการประมวลผลของการทดสอบระบบทดสอบ 69 บัส..... 79 |
| 4.10 | ค่าตัวแปรของเงินเนติกอัลกอริทึมสำหรับการทดสอบระบบทดสอบ 16 บัส..... 80 |
| 4.11 | ค่าทางสถิติของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ในการทดสอบระบบทดสอบ 16 บัส..... 83 |
| 4.12 | ระยะเวลาในการประมวลผลของการทดสอบระบบทดสอบ 16 บัส..... 84 |
| 4.13 | ค่าตัวแปรของเงินเนติกอัลกอริทึมสำหรับระบบจำหน่ายของสถานีจ่าย ไฟย่อยสี่คี่..... 85 |
| 4.14 | ค่าทางสถิติของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ในการทดสอบระบบจำหน่ายของสถานีจ่ายไฟ ย่อยสี่คี่..... 90 |

สารบัญตาราง (ต่อ)

| ตารางที่ | หน้า |
|----------|---|
| 4.15 | ระยะเวลาในการประมวลผลของการทดสอบระบบระบบจำหน่ายของสถานีจ่ายไฟ ย่อยสี่คี่ว.....91 |
| 4.16 | ระยะเวลาในการประมวลผลของการจำลองเหตุการณ์ของสถานีจ่ายไฟย่อยสี่คี่ว...91 |



สารบัญรูป

| รูปที่ | หน้า |
|---|------|
| 1.1 ระบบทดสอบ 16 บัส..... | 2 |
| 2.1 การคัดเลือก..... | 11 |
| 2.2 การข้ามสายพันธุ์พื้นฐาน..... | 12 |
| 2.3 การปรับปรุงการข้ามสายพันธุ์ด้วยวิธียูนิฟอร์มครอสโอเวอร์..... | 14 |
| 2.4 การมิวเทชัน..... | 15 |
| 2.5 ขั้นตอนการทำงานของจินเนติกอัลกอริทึม..... | 16 |
| 2.6 การหาค่าคำตอบของฟังก์ชัน $G(x)$ | 19 |
| 2.7 โครงสร้างระบบผู้เชี่ยวชาญ..... | 21 |
| 2.8 วงจรตัวอุปมาน..... | 21 |
| 2.9 ตัวอย่างลูกโซ่อุปมาน..... | 22 |
| 2.10 ตัวอย่างวิธีลูกโซ่ไปข้างหน้า..... | 23 |
| 2.11 ตัวอย่างวิธีลูกโซ่ย้อนกลับ..... | 25 |
| 2.12 แผนภูมิรูปภาพของระบบผู้เชี่ยวชาญสำหรับการหาสถานะของสวิตช์ตัดตอนที่เหมาะสม..... | 27 |
| 2.13 แผนภูมิรูปภาพการติดต่อสื่อสารของฐานข้อมูลกับโมดูลระบบผู้เชี่ยวชาญ..... | 29 |
| 2.14 แผนภูมิรูปภาพการตัดสินใจของระบบผู้เชี่ยวชาญ..... | 30 |
| 3.1 สายป้อนปฐมภูมิเรเดียลแบบธรรมดา..... | 33 |
| 3.2 วงจรแบบเรเดียลเชื่อมโยง..... | 34 |
| 3.3 วงจรแบบเรเดียลศูนย์กลางโหลด..... | 35 |
| 3.4 วงจรแบบเรเดียลแยกเฟส..... | 35 |
| 3.5 ระบบจำหน่ายไฟฟ้าแบบเรเดียลในกรณีไม่มีอุปกรณ์ป้องกัน..... | 36 |
| 3.6 ระบบจำหน่ายไฟฟ้าแบบเรเดียลในกรณีติดตั้งอุปกรณ์ป้องกันที่จุดโหลด..... | 36 |
| 3.7 ระบบจำหน่ายแบบเรเดียลในกรณีมีสวิตช์ตัดตอนที่สายป้อนและฟิวส์ที่จุดโหลด..... | 37 |
| 3.8 ระบบจำหน่ายแบบเรเดียลในกรณีที่จ่ายไฟฟ้าสำรองจากสายป้อนอื่น..... | 37 |

สารบัญรูป (ต่อ)

| รูปที่ | หน้า |
|---|------|
| 3.9 ตัวอย่างการใช้โครโมโซมแทนโครงสร้างระบบจำหน่ายไฟฟ้า 10 บัส..... | 43 |
| 3.10 แผนผังฐานกฏสำหรับระบบทดสอบที่มี 1 แหล่งจ่ายพลังงาน..... | 48 |
| 3.11 เส้นทางการตัดสินใจของแผนผังฐานกฏสำหรับระบบทดสอบที่มี 1 แหล่งจ่ายพลังงาน..... | 49 |
| 3.12 แผนผังฐานกฏสำหรับระบบทดสอบ 16 บัส..... | 52 |
| 3.13 แผนผังฐานกฏสำหรับระบบจำหน่ายสถานีจ่ายไฟฟ้าย่อยสี่ตัว..... | 58 |
| 3.14 แผนผังการทำงานของโปรแกรม..... | 60 |
| 4.1 ระบบทดสอบ 15 บัส ก่อนเกิดความผิดปกติในระบบ..... | 63 |
| 4.2 ระบบทดสอบ 15 บัสหลังเกิดความผิดปกติในระบบเมื่อพิจารณาตามกรณีศึกษาที่ 1..... | 64 |
| 4.3 การลู่เข้าหาคำตอบในการทดสอบระบบทดสอบ 15 บัส เมื่อพิจารณาตามกรณีศึกษาที่ 1..... | 65 |
| 4.4 การลู่เข้าหาคำตอบในการทดสอบระบบทดสอบ 15 บัส เมื่อพิจารณาตามกรณีศึกษาที่ 2..... | 65 |
| 4.5 ระบบทดสอบ 15 บัสหลังเกิดความผิดปกติในระบบเมื่อพิจารณาตามกรณีศึกษาที่ 3..... | 66 |
| 4.6 การลู่เข้าหาคำตอบในการทดสอบระบบทดสอบ 15 บัส เมื่อพิจารณาตามกรณีศึกษาที่ 3..... | 67 |
| 4.7 ระบบทดสอบ 34 บัส ก่อนเกิดความผิดปกติในระบบ..... | 69 |
| 4.8 ระบบทดสอบ 34 บัสหลังเกิดความผิดปกติในระบบเมื่อพิจารณาตามกรณีศึกษาที่ 1..... | 70 |
| 4.9 การลู่เข้าหาคำตอบในการทดสอบระบบทดสอบ 34 บัส เมื่อพิจารณาตามกรณีศึกษาที่ 1..... | 71 |
| 4.10 การลู่เข้าหาคำตอบในการทดสอบระบบทดสอบ 15 บัส เมื่อพิจารณาตามกรณีศึกษาที่ 2..... | 71 |

สารบัญรูป (ต่อ)

| รูปที่ | หน้า |
|---|------|
| 4.11 ระบบทดสอบ 34 บัสดังเกิดความผิดปกติในระบบเมื่อพิจารณาตามกรณีศึกษา ที่ 3 | 72 |
| 4.12 การลู่เข้าหาคำตอบในการทดสอบระบบทดสอบ 15 บัสดัง เมื่อพิจารณาตามกรณีศึกษา ที่ 3 | 73 |
| 4.13 ระบบทดสอบ 69 บัสดัง ก่อนเกิดความผิดปกติในระบบ | 75 |
| 4.14 ระบบทดสอบ 69 บัสดังเกิดความผิดปกติในระบบเมื่อพิจารณาตามกรณีศึกษา ที่ 1 | 76 |
| 4.15 การลู่เข้าหาคำตอบในการทดสอบระบบทดสอบ 69 บัสดัง เมื่อพิจารณาตามกรณีศึกษา ที่ 1 | 76 |
| 4.16 การลู่เข้าหาคำตอบในการทดสอบระบบทดสอบ 69 บัสดัง เมื่อพิจารณาตามกรณีศึกษา ที่ 2 | 77 |
| 4.17 ระบบทดสอบ 69 บัสดังเกิดความผิดปกติในระบบเมื่อพิจารณาตามกรณีศึกษา ที่ 3 | 77 |
| 4.18 การลู่เข้าหาคำตอบในการทดสอบระบบทดสอบ 69 บัสดัง เมื่อพิจารณาตามกรณีศึกษา ที่ 3 | 78 |
| 4.19 ระบบทดสอบ 16 บัสดัง ก่อนเกิดความผิดปกติในระบบ | 80 |
| 4.20 ระบบทดสอบ 16 บัสดังเกิดความผิดปกติในระบบเมื่อพิจารณาตามกรณีศึกษา ที่ 1 | 81 |
| 4.21 การลู่เข้าหาคำตอบในการทดสอบระบบทดสอบ 16 บัสดัง เมื่อพิจารณาตามกรณีศึกษา ที่ 1 | 82 |
| 4.22 การลู่เข้าหาคำตอบในการทดสอบระบบทดสอบ 16 บัสดัง เมื่อพิจารณาตามกรณีศึกษา ที่ 2 | 82 |
| 4.23 การลู่เข้าหาคำตอบในการทดสอบระบบทดสอบ 16 บัสดัง เมื่อพิจารณาตามกรณีศึกษา ที่ 3 | 83 |
| 4.24 ระบบจำหน่ายของสถานีจ่ายไฟย่อยสี่คี่ของวงจรย่อยที่ 2 | 85 |
| 4.25 ระบบจำหน่ายของสถานีจ่ายไฟย่อยสี่คี่ | 86 |

สารบัญรูป (ต่อ)

| รูปที่ | หน้า |
|--|------|
| 4.26 ระบบจำหน่ายของสถานีจ่ายไฟย่อยสี่คี่ หลังเกิดความผิดปกติในระบบ | 87 |
| 4.27 การดูเข้าหาคำตอบในการทดสอบระบบจำหน่ายของสถานีจ่ายไฟย่อยสี่คี่ เมื่อพิจารณาตามกรณีศึกษาที่ 1 | 88 |
| 4.28 การดูเข้าหาคำตอบในการทดสอบระบบจำหน่ายของสถานีจ่ายไฟย่อยสี่คี่ เมื่อพิจารณาตามกรณีศึกษาที่ 2 | 89 |
| 4.29 การดูเข้าหาคำตอบในการทดสอบระบบจำหน่ายของสถานีจ่ายไฟย่อยสี่คี่ เมื่อพิจารณาตามกรณีศึกษาที่ 3 | 90 |



บทที่ 1

บทนำ

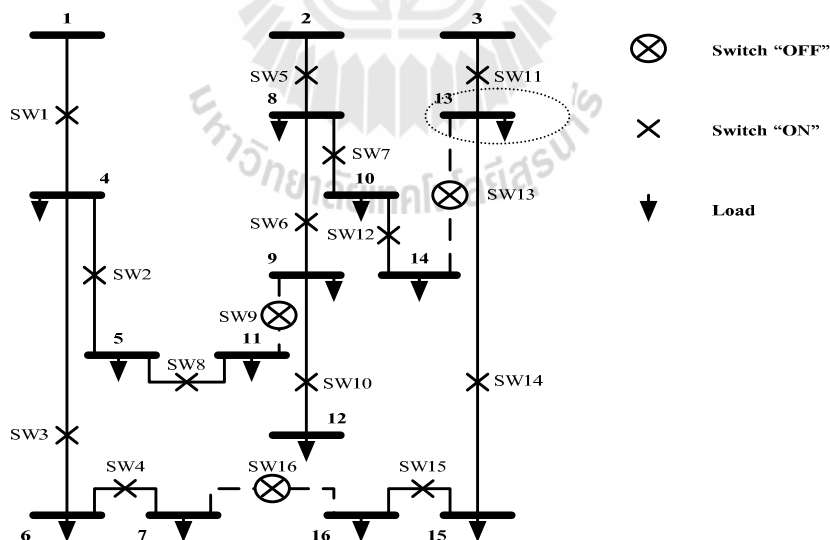
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

หน้าที่หลักอย่างหนึ่งของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (กฟภ.) คือการจ่ายไฟฟ้าไปยังผู้ใช้ไฟฟ้าอย่างต่อเนื่องโดยมีระบบความเชื่อถือได้อยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสม การเพิ่มความเชื่อถือได้ในระบบจำหน่ายไฟฟ้าเป็นสิ่งหนึ่งที่มีความสำคัญสำหรับการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค เพราะค่าความเชื่อถือได้เป็นค่าที่บ่งบอกถึงควมมีเสถียรภาพของระบบจำหน่ายนั่นเอง วิธีหนึ่งที่จะเพิ่มความเชื่อถือได้ในระบบจำหน่ายคือ เมื่อเกิดความผิดปกติในระบบจำหน่ายซึ่งทำให้เกิดไฟฟ้าดับเป็นบริเวณกว้างหรือทำให้มีผู้ใช้ไฟฟ้าได้รับผลกระทบอันเนื่องมาจากไฟฟ้าดับเป็นจำนวนมาก การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคสามารถดำเนินการแยกส่วนที่เกิดความผิดปกติออกจากระบบจำหน่าย และสามารถจ่ายไฟฟ้าให้กับบริเวณที่เกิดไฟฟ้าดับหรือผู้ใช้ไฟฟ้าที่ไม่เกิดความผิดปกติได้โดยเร็วที่สุด

ระบบจำหน่ายแรงสูง (22 kV) ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคเกือบทั้งหมดเป็นระบบจำหน่ายสายป้อนแบบเรเดียล (Radial Distribution Feeder) ทั้งนี้เนื่องจากพื้นที่การจ่ายไฟที่กว้างไกล การจัดระบบจำหน่ายแบบดังกล่าวมีต้นทุนไม่สูง และการจัดอุปกรณ์ป้องกันการลัดวงจรทำได้ง่าย ระบบจำหน่ายไฟฟ้าแบบเรเดียลเป็นระบบที่รับไฟฟ้าจากสถานีไฟฟ้าย่อยหลังจากลดระดับแรงดันให้ต่ำลงเพื่อส่งต่อให้ผู้ใช้ไฟฟ้า โดยทั่วไปการต่ออุปกรณ์มีลักษณะเป็นแบบอนุกรมจากสายป้อนไปยังแต่ละจุดของโหลด ดังนั้นจึงเป็นระบบที่มีความเชื่อถือได้ต่ำเนื่องจากเมื่อเกิดความผิดปกติในระบบทำให้อุปกรณ์ป้องกันต้นทางเปิดวงจรออก ทำให้ผู้ใช้ไฟฟ้าทั้งสายจำหน่ายไม่มีไฟฟ้าใช้ ดังนั้นเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดปัญหาไม่มีไฟฟ้าใช้ตลอดทั้งสายจำหน่ายจึงติดตั้งสวิตช์ตัดตอนเพื่อเปิดวงจรแยกจุดที่เกิดความผิดปกติออกจากระบบ สวิตช์ตัดตอนจึงมีประโยชน์ในการปรับปรุงความเชื่อถือได้ต่อระบบทำให้ผู้ใช้ไฟฟ้าบางรายยังมีไฟฟ้าใช้ต่อไปได้ สวิตช์ตัดตอนโดยทั่วไปมีหน้าที่แยกระบบย่อยหรืออุปกรณ์ออกจากระบบใหญ่ จุดโหลดที่อยู่ในส่วนที่เกิดความผิดปกติจะถูกแยกออกจากระบบ ดังนั้นเวลาที่ไม่สามารถจ่ายไฟฟ้าให้แก่ผู้ใช้ไฟฟ้าในจุดนี้จึงเท่ากับเวลาที่ใช้ในการแก้ปัญหาในจุดที่เกิดความผิดปกติของระบบ และส่วนที่ไม่ได้เกิดความผิดปกติก็จะสามารถใช้ไฟฟ้าได้ตามปกติ ในช่วงที่ไม่สามารถจ่ายไฟฟ้าให้แก่ผู้ใช้ไฟฟ้าได้นั้นทำให้เกิดความเสียหายทางเศรษฐกิจเกิดขึ้น ซึ่งความเสียหายดังกล่าวจะแตกต่างกันไปตามลักษณะของผู้ใช้ไฟฟ้า

ยกตัวอย่างเช่น จากรูปที่ 1.1 แสดงถึงระบบทดสอบ 16 บัส ในระบบดังกล่าวจะประกอบไปด้วยสวิตช์ตัดตอน 16 ชุด ซึ่งได้แก่ SW1 SW2 SW3 SW4 SW5 SW6 SW7 SW8 SW9 SW10 SW11 SW12 SW13 SW14 SW15 และ SW16 โดย SW9 SW13 และ SW16 จะอยู่ในสถานะเปิดวงจร (Open) และ SW1 SW2 SW3 SW4 SW5 SW6 SW7 SW8 SW10 SW11 SW12 SW14 และ SW15 จะอยู่ในสถานะปิดวงจร (Close)

ในกรณีที่เกิดความผิดปกติ (Fault) ถึงกับระบบบริเวณระหว่างบัส 13 ซึ่งมีผลทำให้สวิตช์ตัดตอน SW11 เปิดวงจร และเมื่อหลังจากสวิตช์ตัดตอน SW11 เปิดวงจรแล้ว ระบบจำหน่ายในรูปแบบที่ 1.1 จะทำให้ไม่มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านในบริเวณบัส 15 และบัส 16 หากในบริเวณดังกล่าวมีการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทอุตสาหกรรม โดยผ่านทางบัส 15 และบัส 16 จากเหตุการณ์ดังกล่าวทำให้ผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทอุตสาหกรรมในบริเวณดังกล่าวไม่สามารถใช้ไฟฟ้าได้ ซึ่งอาจทำให้เกิดผลเสียต่อผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทอุตสาหกรรมในด้านการผลิตสินค้า ไม่ว่าจะเป็นสินค้าที่ค้างอยู่ในรายการผลิต ซึ่งในอุตสาหกรรมบางประเภทในกรณีที่เกิดปัญหาไฟฟ้าดับสินค้าที่ค้างอยู่ในรายการผลิตจะไม่สามารถนำมาผลิตต่อได้เมื่อไฟฟ้าสามารถใช้ได้ตามปกติ ตลอดจนการไม่สามารถส่งสินค้าได้ตามเวลาที่กำหนด ซึ่งก่อให้เกิดความเสียหายอย่างมากแก่ผู้ใช้ไฟฟ้า นอกจากนี้ยังส่งผลให้การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคในเรื่องความเชื่อถือได้ของระบบจำหน่ายอีกด้วย



รูปที่ 1.1 ระบบทดสอบ 16 บัส

จากตัวอย่างดังกล่าวข้างต้น จะเห็นได้ว่าเป็นระบบจำหน่ายที่มีขนาดเล็กทำให้การหาตำแหน่งของสวิตช์ตัดตอนที่ต้องเปลี่ยนสถานะ กล่าวคือการเปลี่ยนสถานะจากเปิดวงจรเป็นปิด

วงจร และการเปลี่ยนสถานะจากปิดวงจรเป็นเปิดวงจรนั้นสามารถทำได้โดยง่าย แต่อย่างไรก็ตาม ระบบจำหน่ายของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคเป็นระบบจำหน่ายที่มีขนาดใหญ่ ดังนั้นทำให้การหาตำแหน่งของสวิตช์ตัดตอนที่ต้องเปลี่ยนสถานะยากขึ้นตามไปด้วย

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาการแก้ปัญหาการไหลของกำลังไฟฟ้าในระบบจำหน่ายแบบเรเดียล โดยใช้ปัญญาประดิษฐ์

1.2.2 เพื่อคำนวณหาสถานะของสวิตช์ตัดตอนที่ทำให้ระบบจำหน่ายแบบเรเดียลสามารถจ่ายไฟฟ้าให้ส่วนที่ไม่อยู่ในบริเวณที่เกิดความผิดปกติของระบบแต่มีสายป้อนชุดเดียวกับจุดที่เกิดความผิดปกติของระบบให้เร็วที่สุด

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 ปรับปรุงประสิทธิภาพในด้านความเร็วของโปรแกรมที่ใช้ในการคำนวณหาสถานะของสวิตช์ตัดตอนในระบบจำหน่ายแบบเรเดียลให้เพิ่มขึ้น

1.3.2 พัฒนาโปรแกรมที่ใช้ในการคำนวณหาสถานะของสวิตช์ตัดตอนในระบบจำหน่ายแบบเรเดียลที่ทำให้ในแต่ละกรณีศึกษาสามารถจ่ายไฟฟ้าให้ส่วนที่ไม่อยู่ในบริเวณที่เกิดความผิดปกติของระบบแต่มีสายป้อนชุดเดียวกับจุดที่เกิดความผิดปกติของระบบให้เร็วที่สุด โดยมีกรณีศึกษาดังต่อไปนี้

- พิจารณาให้จำนวนของผู้ใช้ไฟฟ้าหรือบริเวณที่มีไฟฟ้าน้อยที่สุด
- พิจารณาให้จำนวนของผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทอุตสาหกรรมขนาดใหญ่มีไฟฟ้าน้อยที่สุด
- พิจารณาให้กำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบจำหน่ายแบบเรเดียลน้อยที่สุด

1.3.3 สามารถนำโปรแกรมที่ใช้ในการคำนวณหาสถานะของสวิตช์ตัดตอนในระบบจำหน่ายแบบเรเดียลที่ได้ปรับปรุงประสิทธิภาพในด้านความเร็วมาใช้ในการคำนวณหาสถานะของสวิตช์ตัดตอนในระบบจำหน่ายของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคอำเภอสีคิ้ว

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 พัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่สามารถหาสถานะของสวิตช์ตัดตอนในระบบจำหน่ายไฟฟ้าแบบเรเดียล

1.4.2 พัฒนาโปรแกรมคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้าแบบเรเดียล

1.4.3 ได้แนวทางในการศึกษาและพัฒนาโปรแกรมที่ใช้หาสถานะของสวิตช์ตัดตอนในระบบจำหน่ายแบบเรเดียล

1.4.4 สามารถนำผลงานวิจัยไปใช้เป็นแนวทางในการหาสถานะของสวิตช์ตัดตอนในระบบจำหน่ายแบบเรเดียล เพื่อให้ลดการเกิดปัญหาการเกิดไฟฟ้าดับในส่วนที่ไม่อยู่ในบริเวณที่เกิดความผิดปกติของระบบแต่มีสายป้อนชุดเดียวกับจุดที่เกิดความผิดปกติของระบบให้เร็วที่สุดได้

1.5. การจัดรูปเล่มวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ประกอบไปด้วย 5 บท ได้แก่

บทที่ 1 กล่าวถึงความสำคัญของปัญหา วัตถุประสงค์ และเป้าหมายของงานวิทยานิพนธ์รวมทั้งขอบเขตของงาน

บทที่ 2 กล่าวถึงหลักการทั่วไปที่เกี่ยวข้องกับการคำนวณหาการไหลของกำลังไฟฟ้าโดยใช้ปัญญาประดิษฐ์

บทที่ 3 กล่าวถึงวิธีการและขั้นตอนในการออกแบบระบบ

บทที่ 4 กล่าวถึงผลที่ได้จากการทดสอบระบบ

บทที่ 5 กล่าวถึงบทสรุปของงานวิจัยและข้อเสนอแนะ

บทที่ 2

ปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 บทนำ

เนื้อหาบทนี้กล่าวถึงงานวิจัยในอดีตที่เกี่ยวข้องกับการรายละเอียดของระเบียบวิธีการต่างๆ ที่เคยถูกนำมาประยุกต์ใช้เพื่อแก้ปัญหาค่าสถานะของสวิตช์ตัดตอนที่เหมาะสม และข้อควรพิจารณาสำหรับการนำไปประยุกต์ใช้งานกับระบบจำหน่ายของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

2.2 หลักการเบื้องต้น

โดยทั่วไปเมื่อเกิดความผิดปกติในระบบไฟฟ้าและอุปกรณ์ป้องกันต้นทางเปิดวงจรออก จะทำให้เกิดบริเวณที่ไม่มีไฟฟ้าใช้เกิดขึ้น หนึ่งในสิ่งสำคัญที่ต้องคำนึงถึงคือการหาสถานะสวิตช์ตัดตอนที่เชื่อมต่อกับสายป้อน (feeder) ข้างเคียงเพื่อใช้สำหรับการจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับส่วนที่ไม่มีไฟฟ้าใช้ โดยสายป้อนดังกล่าวต้องสามารถรองรับโหลดของบริเวณที่ไม่มีไฟฟ้าใช้ได้ ดังนั้นในระบบไฟฟ้าขนาดใหญ่จึงมีสวิตช์ตัดตอนที่เชื่อมต่อกับสายป้อนข้างเคียงหรือที่เรียกว่า สวิตช์ต่อเชื่อม (tie switch) เป็นจำนวนมาก แต่เมื่อระบบไฟฟ้ามีขนาดใหญ่ขึ้นและจำนวนสวิตช์ต่อเชื่อมเพิ่มมากขึ้น การค้นหาตำแหน่งและสถานะสวิตช์ต่อเชื่อมที่เหมาะสมนั้นก็จะเป็นความยุ่งยากมากขึ้นไปด้วย ดังนั้นจึงมีการพัฒนาวิธีการที่ใช้สำหรับค้นหาตำแหน่งที่เหมาะสมที่สุดของสถานะของสวิตช์ตัดตอนและสวิตช์ต่อเชื่อม

2.3 ปัญหาการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้า

การวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้า (load flow) คือพื้นฐานอย่างหนึ่งในการวิเคราะห์ระบบไฟฟ้ากำลังในการวางแผนและการดำเนินการในระบบ จุดประสงค์หลักของการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าคือการคำนวณหาขนาดกระแสที่ไหลผ่านสายส่งหรืออุปกรณ์ต่างๆ และแรงดันที่บัสต่างๆ ในระบบ เพื่อศึกษาสภาพของระบบว่าสามารถรองรับภาระโหลดได้หรือไม่ ขนาดกระแสหรือแรงดันที่บัสอยู่ในเกณฑ์ที่อุปกรณ์สามารถทำงานได้หรือไม่ ถ้ากระแสในสายสูงเกินไปก็ต้องมีการพิจารณาการปรับเปลี่ยนแก้ไขระบบ เช่น การเพิ่มขนาดสายส่ง การย้าย หรือการตัดโหลด เป็นต้น เพื่อที่จะให้สายส่งสามารถรองรับกระแสได้หรือแรงดันที่บัสอยู่ในเกณฑ์ที่

เหมาะสม ดังนั้นประโยชน์หลักที่ได้รับจากการศึกษาการไหลของกำลังไฟฟ้า คือ การศึกษาสภาพของระบบปัจจุบันและการศึกษาสภาพของระบบหากมีการเพิ่มขึ้นของโหลดในอนาคต และนอกจากนี้แล้วผลลัพธ์ที่ได้จากการศึกษาการไหลของกำลังไฟฟ้ายังนำไปใช้ในการศึกษาเรื่องต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับระบบไฟฟ้ากำลัง เช่น การวิเคราะห์ความผิดปกติในระบบ (fault analysis) การจ่ายโหลดอย่างประหยัด (economic dispatch) เป็นต้น จึงเห็นได้ว่าการศึกษาเรื่องการไหลของกำลังไฟฟ้าจึงมีบทบาทสำคัญในการศึกษาระบบไฟฟ้ากำลัง

แต่เดิมนั้นหลักการพื้นฐานของการไหลของกำลังไฟฟ้านั้นพัฒนามาจากระบบส่งไฟฟ้า อย่างไรก็ตามหลักการดังกล่าวก็ยังคงสามารถใช้ได้กับการไหลของกำลังไฟฟ้าในระบบจำหน่าย โดยในการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าจะมีตัวแปรที่เกี่ยวข้องอยู่ 4 ตัวที่เกี่ยวข้องกับแต่ละบัส ซึ่งประกอบไปด้วยขนาดของแรงดันไฟฟ้า ($|V|$) มุมของแรงดันไฟฟ้า ($\angle V$) กำลังไฟฟ้าจริง (P) และ กำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ (Q) โดยทั่วไปแต่ละบัสจะทราบค่าพารามิเตอร์ 2 ค่า ส่วนอีก 2 ค่า จะหาโดยการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าในการคำนวณ จะมีการกำหนดประเภทของบัสซึ่งแบ่งออกเป็น 3 ประเภทหลักๆ ดังต่อไปนี้

บัสแอสลัค (slack bus) ซึ่งปกติมักกำหนดให้บัสที่ 1 เป็นบัสอ้างอิง มุมแรงดันที่บัสนี้เป็นมุมอ้างอิงสำหรับมุมในบัสอื่นๆ ในระบบ บัสอ้างอิงมีชื่อเรียกที่แตกต่างกันไป เช่น บัสสวิง (swing bus) หรือบัสอ้างอิง (reference bus) ที่บัสแอสลัคนี้ เราจะรู้ค่ามุมและขนาดของขนาดแรงดันที่บัส ($\Delta\delta_i$ และ $\Delta|V_i|$) โดยทั่วไปมุมของขนาดแรงดันและมุมของแรงดันที่บัสที่ 1 มักกำหนดให้เป็น $1\angle 0^\circ$ เอรย์นิต ดังนั้นที่บัสนี้เราจะไม่ทราบตัวแปรอยู่ 2 ตัว คือ ตัวแปรกำลังไฟฟ้าจริง (P) และกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ (Q) ในทางปฏิบัติจะเลือกบัสที่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดใหญ่ที่สุดเป็นบัสแอสลัค

บัสเครื่องกำเนิดไฟฟ้า หรือบัสควบคุมแรงดัน (voltage-controlled buses) คือ บัสที่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าต่ออยู่หรือมีทั้งกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ที่บัสนี้สามารถควบคุมโดยต้นกำลังของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า และขนาดแรงดันสามารถควบคุมได้ที่บัสนี้โดยระบบกระตุ้น (excitation system) ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า บัสนี้เราจะทราบค่ากำลังจริง (P) และค่าขนาดของแรงดัน ($|V|$) ดังนั้นตัวแปรที่ต้องคำนวณหา คือ มุมของแรงดันที่บัส ($\angle V$) และกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ (Q) ที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าผลิตได้ สรุปได้ว่าในบัสนี้เราต้องคำนวณหาค่ามุมของแรงดันที่บัส i และผลรวมกำลังจริงที่เข้าระบบที่บัส i และหลังจากแก้สมการการไหลของกำลังไฟฟ้าได้เราจึงรู้ค่า Q_i เราจึงเรียกบัสควบคุมแรงดัน บัสนี้มีชื่อเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า บัส PV เพราะว่าทราบค่ากำลังจริงที่บัส และค่าขนาดของแรงดันที่บัส

บัสโหลด (load buses) คือเป็นบัสที่ไม่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าต่ออยู่ เป็นบัสที่ทราบค่ากำลังจริง (P) และกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ (Q) โดยค่าทั้งสองได้รับมาจากการพยากรณ์โหลด อย่างไรก็ตามในทางปฏิบัติเรามักจะทราบค่ากำลังไฟฟ้าจริง ส่วนค่ากำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟจะคำนวณจากกำลังจริงโดยอาศัยค่าตัวประกอบกำลัง (power factor : pf) บัสโหลดนั้นสามารถเรียกได้อีกชื่อว่า PQ บัส ทั้งนี้เพราะว่าที่บสนี้เราทราบตัวแปรทั้ง 2 นั้นเอง ดังนั้นตัวแปรในบัสโหลดที่เราไม่ทราบค่าคือ ขนาดของแรงดันไฟฟ้า ($|V|$) และมุมของแรงดันไฟฟ้า ($\angle V$)

จากประเภทของบัสทั้ง 3 ประเภท ดังกล่าวในข้างต้นสามารถสรุปรายละเอียดได้ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 การกำหนดปริมาณไฟฟ้าต่างๆ ตามประเภทของบัสในระบบไฟฟ้ากำลัง

| ประเภทของบัส | จำนวนของบัส | ตัวแปรที่ทราบค่า | ตัวแปรที่ไม่ทราบค่า |
|-----------------------|---------------|-------------------|---------------------|
| บัสเสถียร | 1 | $ V_i , \delta_i$ | P_i, Q_i |
| บัสเครื่องกำเนิดไฟฟ้า | N_G | $P_i, V_i $ | δ_i, Q_i |
| บัสโหลด | $N - N_G - 1$ | P_i, Q_i | $ V_i , \delta_i$ |
| รวม | N | $2N$ | $2N$ |

วิธีการแก้ปัญหาในการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าในทางปฏิบัติต้องใช้คอมพิวเตอร์เข้ามาช่วยเพื่อให้ช่วยประหยัดเวลาในการหาคำตอบ วิธีการแก้ปัญหาที่เป็นที่รู้จักคือ วิธีเกาส์-เซidel (Gauss Seidel) และวิธีนิวตัน-ราฟสัน (Newton-Raphson) วิธีเกาส์-เซidel เป็นวิธีที่เข้าใจง่ายเหมาะกับระบบที่มีขนาดเล็ก ทั้งนี้เพราะว่าวิธีนี้ใช้เวลาในการคำนวณนาน นอกจากนี้แล้วการลู่เข้าของคำตอบยังขึ้นอยู่กับจำนวนบัสในระบบ กล่าวคือ ถ้าจำนวนบัสมากขึ้นเวลาในการคำนวณจะมากขึ้นตามไปด้วย ดังนั้นวิธีที่ใช้ในทางปฏิบัติ คือ วิธีนิวตัน-ราฟสัน เวลาที่ใช้ในการคำนวณสำหรับวิธีนี้นั้นรวดเร็วและไม่แปรผันมากนักกับจำนวนบัส

2.4 จินเนติกอัลกอริทึม

จินเนติกอัลกอริทึม (Genetic Algorithm) เป็นวิธีการที่เลียนแบบขั้นตอนการวิวัฒนาการของธรรมชาติ ซึ่งจินเนติกอัลกอริทึมนี้ เป็นวิธีการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ที่มีขั้นตอนแบบความน่าจะเป็น (Stochastic Algorithm) ที่ใช้ในการหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดแบบวงกว้าง (Global Optimal Solution) ของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (objective function) จินเนติกอัลกอริทึมถูกนำเสนอ

ครั้งแรกต่อสาธารณชน โดย John Holland ในช่วงปี ค.ศ. 1975 การหาคำตอบจะอาศัยทฤษฎีการวิวัฒนาการของ Charles Darwin ที่กล่าวว่าผู้ที่แข็งแกร่งกว่าย่อมมีโอกาสที่จะอยู่รอด และถ่ายทอดคุณลักษณะเด่นที่มีไปยังรุ่นถัดไป ดังนั้นกระบวนการหรือตัวดำเนินการ (operator) ต่างๆภายในจินเนติกอัลกอริทึมจะมีชื่อเรียกไปตามชีววิทยา ได้แก่ การคัดเลือกสายพันธุ์ (selection) เพื่อคัดเลือกประชากร (individual) ที่มีค่าความแข็งแรงจากกลุ่มประชากร ส่วนครอสโอเวอร์ (Crossover) เป็นการสร้างประชากรลูกหลาน (offspring) ที่มีคุณลักษณะเด่นจากพ่อแม่ (parent) และการมิวเทชัน (Mutation) กระบวนการนี้จะคงความหลากหลายทางพันธุศาสตร์ภายในกลุ่มประชากร ซึ่งจินเนติกอัลกอริทึมนั้นประสบความสำเร็จในการนำไปประยุกต์ใช้กับการแก้ปัญหาการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดในหลายๆ แขนงวิชารวมถึงปัญหาในระบบไฟฟ้ากำลัง เช่น ปัญหาการเลือกจ่ายพลังงานไฟฟ้าโดยคำนึงถึงหลักเศรษฐศาสตร์ ปัญหาการควบคุมให้เหมาะสม ปัญหาการวางแผนระบบไฟฟ้า และปัญหาการหาค่าที่เหมาะสมอื่นๆ

2.4.1 ความรู้พื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับจินเนติกอัลกอริทึม

ดังที่ได้กล่าวไว้แล้วในข้างต้น จินเนติกอัลกอริทึมเป็นการเลียนแบบกลไกวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิตที่พยายามรักษาเผ่าพันธุ์ของตัวเองให้คงอยู่รอดภายใต้ธรรมชาติที่เปลี่ยนแปลงไป โดยประชากรในกลุ่มจะถูกเรียกว่า สายรหัส (string chromosome) โดยโครโมโซมจะถูกสร้างเป็นหลายๆ หน่วยที่เรียกว่ายีน (Gene) ซึ่งยีนจะบ่งบอกถึงลักษณะเฉพาะของแต่ละประชากรและจะส่งการสืบทอดลักษณะเหล่านี้ตามสายพันธุ์ ทุกๆ ยีนจะควบคุมการถ่ายทอดลักษณะเฉพาะ โดยยีนจะมีตำแหน่งที่แน่นอนบนโครโมโซมซึ่งจะถูกเรียกว่าตำแหน่งบนสายรหัส (Loci) ทุกๆ ลักษณะเฉพาะของแต่ละประชากร เช่น สีผม สามารถปรากฏได้แตกต่างกัน ยีนจะบอกถึงความหลากหลายเรียกลักษณะนี้ว่า อัลลีล (Allels) ซึ่งจะบอกค่าของลักษณะที่แสดงให้เห็นแต่ละรูปแบบเชิงพันธุกรรม (Genotype) การเลียนแบบพฤติกรรมดังกล่าวจะอาศัยหลักการทางคณิตศาสตร์ แล้วนำมาสร้างเป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์ โดยให้มีกระบวนการทำงานใกล้เคียงกับพฤติกรรมทางธรรมชาติให้มากที่สุดเพื่อหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ คำศัพท์ที่ใช้อธิบายการทำงานของจินเนติกอัลกอริทึมจะเกี่ยวข้องกับทางชีววิทยา ตารางที่ 2.1 แสดงให้เห็นถึงความหมายของคำศัพท์ต่างๆ

ตารางที่ 2.2 ความหมายของคำเฉพาะทางชีววิทยาที่ใช้ในจินเนติกอัลกอริทึม

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

วิธีการเชิงพันธุกรรมเป็นการค้นหาคำตอบแบบขนาน (Parallel Search) หรือแบบหลายจุดพร้อมกันในพื้นที่การค้นหา จินเนติกอัลกอริทึมนั้นจะอาศัยข้อมูลตอบแทน (Pay-off Information) ที่อยู่ในรูปค่าความแข็งแรงของประชากรแต่ละคนภายในกลุ่มประชากร ส่งผ่านตัวดำเนินการต่างๆในการเปลี่ยนแปลงลักษณะรูปแบบของประชากรภายในกลุ่มประชากร เพื่อให้ประชากรภายในกลุ่มประชากรมีการวิวัฒนาการไปสู่คำตอบที่ดีกว่ารุ่นก่อนในรุ่นอายุถัดไป การกำหนดทิศทางของการคำนวณหาคำตอบในพื้นที่การค้นหาจัดอยู่ในประเภทการหาคำตอบแบบเชิงความน่าจะเป็น (stochastic search) ซึ่งแตกต่างไปจากหลักการหาคำตอบของวิธีแคลคูลัสที่ใช้ความชันของฟังก์ชันเป็นทิศทางในการหาคำตอบจัดอยู่ในประเภทการหาคำตอบแบบหลักการกำหนด (deterministic)

การเข้ารหัส (encoding) เนื่องจากจินเนติกอัลกอริทึมใช้รหัสของตัวแปรในการหาค่าที่เหมาะสม ดังนั้นถ้าเราเลือกวิธีลงรหัสที่เหมาะสมย่อมทำให้จินเนติกอัลกอริทึมนั้นมีประสิทธิภาพดีขึ้นด้วย การลงรหัสที่นิยมใช้โดยทั่วไปจะเป็นการลงรหัสโดยอาศัยระบบเลขฐานสอง (0 และ 1) เป็นส่วนประกอบของโครโมโซมในการลงรหัส ความยาวของสตริงเป็นตัวกำหนดความละเอียดของตัวแปรที่เราต้องการ ตัวอย่างเช่น หากเรามีตัวแปรต่อเนื่อง X ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง -1 ถึง 2 และต้องการความละเอียดถึงทศนิยมตำแหน่งที่ 6 ในการคำนวณ ตัวแปรดังกล่าวในช่วงตัวแปร -1 ถึง 2 จึงควรถูกแบ่งออกเป็นอย่างน้อย $(2 - (-1)) * 1,000,000 = 3,000,000$ ช่วงย่อยๆ นั้นหมายถึงเราต้องใช้โครโมโซมที่มีความยาว 22 บิตเนื่องจาก

$$2,097,152 = 2^{21} < 3,000,000 < 2^{22} = 4,194,304$$

การสร้างประชากรเริ่มต้น (initialization) หมายถึง การหารูปแบบโครงสร้างของระบบจำหน่ายไฟฟ้าที่เป็นไปได้ในรูปแบบของโครโมโซมขึ้นมาจำนวนหนึ่งโดยการสุ่ม เพื่อให้กระบวนการทางพันธุกรรมสามารถดำเนินการต่อไปได้ นอกจากนี้การหารูปแบบโครงสร้างระบบจำหน่ายไฟฟ้าที่เป็นไปได้นั้นจะต้องคำนึงถึงเวลาในการคำนวณซึ่งจะแปรผันตรงกับจำนวนรูปแบบที่ต้องทำการวิเคราะห์ จากเหตุผลดังกล่าวการกำหนดประชากรเริ่มต้นที่ดีต้องมีค่าไม่มากเกินไปจนทำให้เสียเวลาในการคำนวณเริ่มต้นมาก แต่ก็ต้องไม่น้อยเกินไปเพื่อทำให้มีการผสมสายพันธุ์ที่หลากหลาย ในวิทยานิพนธ์นี้กำหนดประชากรเริ่มต้นเท่ากับ 10 โครโมโซม

การประเมินค่าความเหมาะสม (fitness value) แต่ละค่าของคำตอบที่ผ่านการถอดรหัสจากโครโมโซมในจินเนติกอัลกอริทึม จะถูกประเมินค่าความเหมาะสมซึ่งขึ้นอยู่กับรูปแบบของการพิจารณา

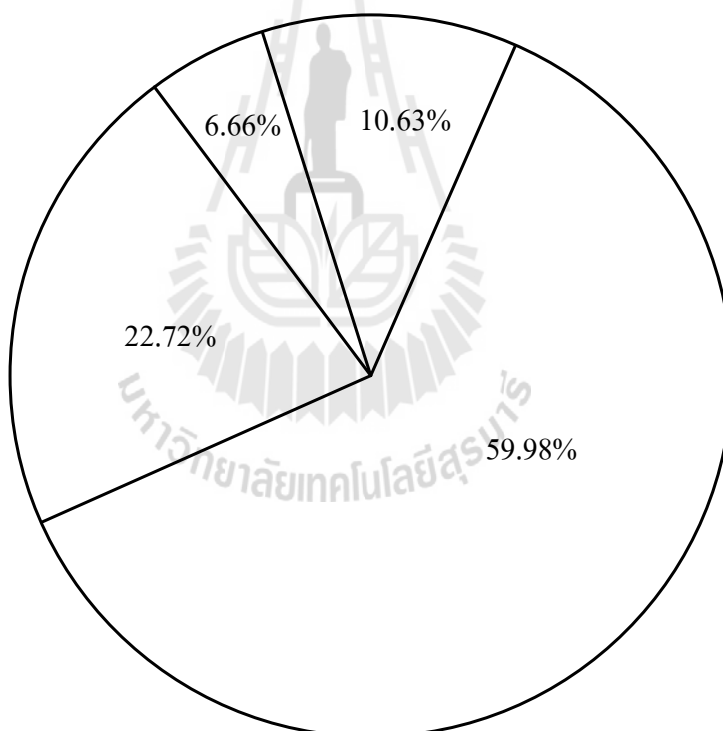
การคัดเลือก (reproduction) เป็นขั้นตอนที่จะเลือกว่าโครโมโซมแต่ละตัวในกลุ่มประชานั้นควรจะอยู่รอดในรุ่นต่อไปหรือไม่ โดยการพิจารณาจากค่าความเหมาะสมของโครโมโซมแต่ละตัว ถ้าโครโมโซมใดมีค่าความเหมาะสมสูงก็จะมีโอกาสอยู่รอดมาก ส่วนโครโมโซมที่มีค่าความเหมาะสมต่ำก็จะมีโอกาสอยู่รอดน้อย ซึ่งอธิบายได้ดังสมการที่ (2-1) ตารางที่ 2.3 แสดงตัวอย่างการจัดสัดส่วนของโครโมโซมจำนวน 4 ตัว การเลือกโครโมโซมจะทำการสุ่มหาอันดับของโครโมโซมตามจำนวน โครโมโซม (4 ครั้ง) โครโมโซมอันดับที่ถูกสุ่มนั้นจะได้รับการคัดเลือกให้อยู่รอดต่อไป หลักการดังกล่าวนี้ เรียกว่า วงล้อรูเลตต์

$$P_i = \left(\frac{f_i}{\sum_{i=1}^n f_i} \right) \times 100 \quad (2-1)$$

| | | |
|-----|-------|--|
| โดย | f_i | คือ เป็นค่าความเหมาะสมของแต่ละโครโมโซม |
| | n | คือ เป็นจำนวนประชากรโครโมโซมทั้งหมด (population size) |
| | P_i | คือ โอกาสของโครโมโซมที่ถูกเลือก (probability of selection) |

ตารางที่ 2.3 การคัดเลือก

| ลำดับที่ | โครโมโซม | ค่าความเหมาะสม | อันดับความเหมาะสม | โอกาสโครโมโซมที่จะถูกเลือก (%) |
|----------|----------|----------------|-------------------|--------------------------------|
| 1 | 11010 | 0.005917 | 2 | 22.72 |
| 2 | 11000 | 0.001736 | 4 | 6.66 |
| 3 | 10000 | 0.015625 | 1 | 59.98 |
| 4 | 10011 | 0.00277 | 3 | 10.64 |
| ผลรวม | | 0.026048 | | 100 |



รูปที่ 2.1 การคัดเลือก

การครอสโอเวอร์ (crossover)

- พื้นฐานการครอสโอเวอร์ การครอสโอเวอร์เป็นกระบวนการที่โครโมโซมคู่หนึ่งๆจะแลกเปลี่ยนบิตกันในบางตำแหน่ง เพื่อให้กำเนิดโครโมโซมใหม่ๆ ขึ้นมา

ด้วยความน่าจะเป็นค่าหนึ่งซึ่งเรียกว่า ความน่าจะเป็นของการครอสโอเวอร์ (probability of crossover ; P_C) ความน่าจะเป็นของการครอสโอเวอร์ก็คือเลขจำนวนจริงระหว่าง 0 ถึง 1 ที่เรากำหนดขึ้นมาเพื่อบอกว่าโครโมโซมมีโอกาสจะครอสโอเวอร์อย่างน้อยเพียงใด รูปที่ 2.2 แสดงการครอสโอเวอร์โดยพื้นฐาน โดยขั้นแรกจะสุ่มเลขจำนวนจริงในช่วง 0 ถึง 1 ขึ้นมา ถ้าเลขที่สุ่มนี้มีค่าสูงกว่าความน่าจะเป็นของการครอสโอเวอร์ก็จะทำการครอสโอเวอร์ แต่ถ้าเลขที่สุ่มขึ้นมานี้มีค่าต่ำกว่าค่าความน่าจะเป็นของการครอสโอเวอร์ก็จะไม่ทำการครอสโอเวอร์ โดยโครโมโซมคู่หนึ่งที่จะถูกสุ่มขึ้นมาเรียกว่า โครโมโซมพ่อแม่ (parent chromosome) จากนั้นก็จะสุ่มตำแหน่งในการครอสโอเวอร์ (cross site) ขึ้นมา หลังจากนั้นโครโมโซมคู่นั้นก็จะเปลี่ยนบิตกันตั้งแต่ตำแหน่งที่อยู่หลังตำแหน่งครอสโอเวอร์เป็นต้นไป เพื่อให้กำเนิดโครโมโซมใหม่ขึ้นมาเรียกว่า โครโมโซมลูก กระบวนการนี้จะถูกกระทำซ้ำจนได้โครโมโซมชุดใหม่ขึ้นมาครบตามจำนวนประชากรที่ต้องการ

| | | | | | | |
|------------------|--|--------------------|---|---|---|---|
| | | ตำแหน่งครอสโอเวอร์ | | | | |
| โครโมโซมพ่อแม่ 1 | | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| โครโมโซมพ่อแม่ 2 | | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| โครโมโซมลูก 1 | | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| โครโมโซมลูก 2 | | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 |

รูปที่ 2.2 การครอสโอเวอร์พื้นฐาน

- การปรับปรุงการครอสโอเวอร์ด้วยวิธียูนิฟอร์มครอสโอเวอร์ การครอสโอเวอร์ที่ได้กล่าวในข้างต้น นั้นเรียกว่า การครอสโอเวอร์แบบจุดเดียว (single point crossover) ซึ่งจะให้ผลดีในบางปัญหา เช่น ปัญหาที่มีตัวแปรควบคุมไม่มากนักและปัญหาที่มีความยาวของบิตโครโมโซมน้อยๆ แต่เมื่อปัญหาการหาค่าความเหมาะสมมีขนาดใหญ่ขึ้นและมี

จำนวนตัวแปรควบคุมในปัญหามากขึ้น การครอสโอเวอร์แบบจุดเดียวดังกล่าวจะให้ผลไม่ดีนัก ทั้งนี้เนื่องจากการครอสโอเวอร์แบบจุดเดียวนั้น ผลลัพธ์ที่ได้จะขึ้นอยู่กับตำแหน่งครอสโอเวอร์ ดังแสดงในรูปที่ 2.2 ซึ่งจะเห็นว่าบิตโครโมโซมที่อยู่ตำแหน่งแรกของโครโมโซมพ่อแม่จะไม่มีโอกาสได้แลกเปลี่ยนบิตกับโครโมโซมอื่นเลย ซึ่งในบางครั้งโครโมโซมในตำแหน่งดังกล่าว อาจจะมีประโยชน์ในการแก้ปัญหาการหาค่าความเหมาะสมก็ได้

ด้วยเหตุผลดังกล่าว หลักการปรับปรุงการครอสโอเวอร์ด้วยวิธี ยูนิฟอร์มครอสโอเวอร์ จึงนำมาประยุกต์ในวิทยานิพนธ์นี้ โดยการปรับปรุงดังกล่าวจะแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอน โดยในขั้นตอนแรกเราจะสุ่มเลือกโครโมโซมที่จะครอสโอเวอร์ขึ้นมาคู่หนึ่งก่อน ซึ่งเรียกว่าโครโมโซมพ่อแม่ จากนั้นในขั้นตอนที่ 2 จะทำการสุ่มเลขระหว่าง 0 ถึง 1 ขึ้นมาโดยถ้า เลขสุ่มดังกล่าวมีค่าต่ำกว่าความน่าจะเป็นของการครอสโอเวอร์ก็จะไม่ทำการครอสโอเวอร์ แต่ถ้า เลขสุ่มดังกล่าวสูงกว่าความน่าจะเป็นของการครอสโอเวอร์ก็จะทำการครอสโอเวอร์ สรุปคือ การครอสโอเวอร์จะเกิดขึ้นก็ต่อเมื่อเป็นไปตามเงื่อนไขดังสมการที่ 2-2

$$P_R > P_C \quad (2-2)$$

โดย P_R คือ ความน่าจะเป็นที่ถูกสุ่มขึ้นมาในแต่ละคู่โครโมโซม
 P_C คือ ความน่าจะเป็นของการครอสโอเวอร์

ในกรณีที่ต้องมีการครอสโอเวอร์ ในขั้นตอนที่ 3 จะทำการสุ่มบิตโครโมโซม 0 ถึง 1 ที่มีความยาวเท่ากับความยาวบิตของโครโมโซมพ่อแม่ขึ้นมาชุดหนึ่ง จากนั้นถ้าตำแหน่งใดของบิตโครโมโซมที่สุ่มขึ้นมาเป็น “ 1 ” ก็จะทำให้การแลกเปลี่ยนบิตในตำแหน่งนั้นระหว่างโครโมโซมพ่อแม่คู่ นั้น ถ้าตำแหน่งใดของบิตสตรงที่สุ่มขึ้นมาเป็น “ 0 ” ก็จะคงบิตตำแหน่งนั้นเหมือนเดิม ซึ่งหลักการปรับปรุงการครอสโอเวอร์ด้วยวิธีการดังกล่าวเรียกว่าการทำ ยูนิฟอร์มครอสโอเวอร์ (uniform Crossover)

| | | | | | |
|------------------|---|---|---|---|---|
| โครโมโซมพ่อแม่ 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| โครโมโซมพ่อแม่ 2 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 |
| โครโมโซมสุ่ม | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| โครโมโซมลูก 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| โครโมโซมลูก 2 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 |

รูปที่ 2.3 การปรับปรุงการครอสโอเวอร์ด้วยวิธียูนิฟอร์มครอสโอเวอร์

จากหลักการดังกล่าวจะเห็นว่าการทำงานนิฟอร์มครอสโอเวอร์เป็นการครอสโอเวอร์ที่ทุกบิตในโครโมโซมมีโอกาสที่จะแลกเปลี่ยนบิตกับโครโมโซมอื่นๆ เท่าเทียมกัน ดังนั้นการครอสโอเวอร์วิธีนี้จะได้ผลลัพธ์ที่ไม่ขึ้นกับตำแหน่งครอสโอเวอร์หรือความยาวของโครโมโซมพ่อแม่

การมิวเทชัน (mutation) เป็นกระบวนการที่ป้องกันการลู่เข้าก่อนกำหนดและไม่ให้สูญเสียข้อมูลที่สำคัญบางอย่างในระหว่างกระบวนการถ่ายทอด โดยเราจะกำหนดความน่าจะเป็นค่าหนึ่งซึ่งเรียกว่า ความน่าจะเป็นของการมิวเทชัน โดยขั้นตอนแรกจะสุ่มเลขในช่วงระหว่าง 0 ถึง 1 ที่ทุกๆ บิตของโครโมโซม แล้วเปรียบเทียบเลขที่สุ่มแต่ละบิตกับความน่าจะเป็นของการมิวเทชัน ถ้าเลขที่สุ่มในตำแหน่งใดมีค่าต่ำกว่าความน่าจะเป็นของการมิวเทชันบิตในตำแหน่งนั้นจะไม่มิวเทชัน แต่ถ้าเลขที่สุ่มในตำแหน่งนั้นมีค่าสูงกว่าความน่าจะเป็นของการมิวเทชันก็จะมิวเทชันที่บิตในตำแหน่งนั้น โดยการเปลี่ยนบิตที่ตำแหน่งนั้นจาก “0” เป็น “1” หรือจาก “1” เป็น “0” สรุปคือการมิวเทชัน (Mutation) จะเกิดขึ้นเมื่อเป็นไปตามเงื่อนไขดังสมการที่ 2-3

$$P_{R_i} > P_M \quad (2-3)$$

โดย P_{R_i} คือ ความน่าจะเป็นที่ถูกสุ่มขึ้นมาในแต่ละบิตโครโมโซม
 P_M คือ ความน่าจะเป็นของการมิวเทชัน

| | | | | | |
|-----------------------------|---|---|---|---|---|
| โครโมโซม ก่อนการมีวเทชัน | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| โครโมโซม หลังการมีวเทชัน | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |

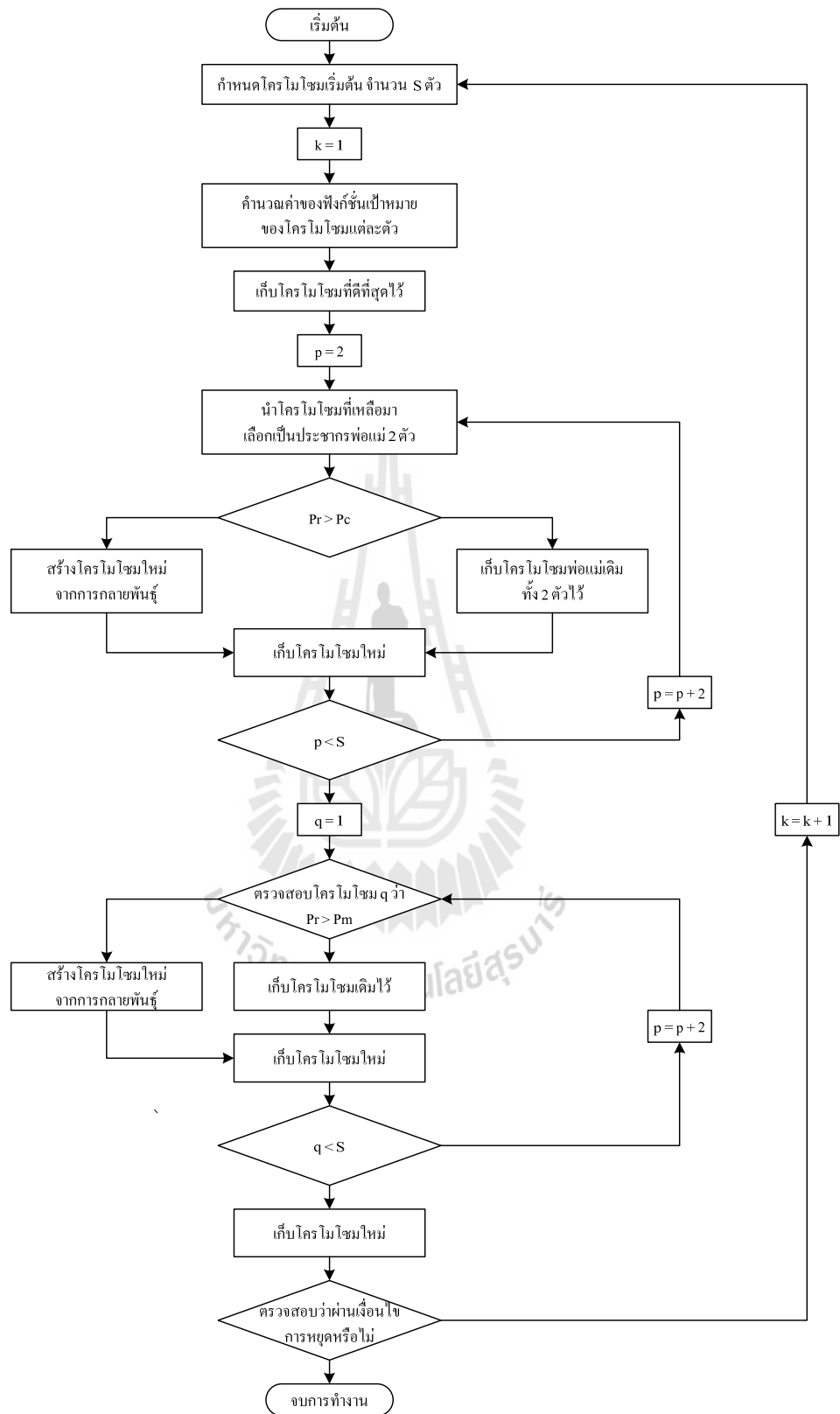
รูปที่ 2.4 การมีวเทชัน (กรณี $i=2$)

การเลือกโครโมโซมที่โดดเด่นเพื่อรักษาไว้ในรุ่นถัดไป การดำเนินการทางพันธุศาสตร์เป็นกระบวนการที่อาศัยความน่าจะเป็นในการถ่ายทอดประชากรจากรุ่นหนึ่งไปยังอีกรุ่นหนึ่ง ซึ่งไม่มีหลักประกันว่าในรอบถัดไปจะมีประชากรที่ดีกว่ารุ่นแรก และในบางครั้งก็อาจจะสูญเสียโครโมโซมที่ดีที่สุดไปในระหว่างการถ่ายทอด จากปัญหานี้เองจึงได้เกิดแนวคิดที่ว่าควรจะเก็บโครโมโซมที่ดีที่สุดในแต่ละรอบของการถ่ายทอดเอาไว้ในรอบถัดไป เพื่อเป็นหลักประกันว่าโครโมโซมที่ดีที่สุดในรอบถัดไปจะดีกว่าในรอบก่อนหน้าเสมอ ซึ่งหลักการนี้เรียกว่า อีลิทิสซึม (Elitism)

เมื่อนำอีลิทิสซึมมาใช้ในจินเนติกอัลกอริทึมจะมีขั้นตอนดังนี้

- 1) กำหนดประชากรเริ่มต้นโดยการสุ่ม
- 2) หาค่าความเหมาะสมของโครโมโซมแต่ละตัว
- 3) จากประชากรทั้งหมด จะเลือกโครโมโซมที่ดีที่สุด (ที่ความเหมาะสมมากที่สุด) เก็บเอาไว้
- 4) นำโครโมโซมที่ไม่ได้รับการคัดเลือกมาผ่านขั้นตอน การมีวเทชัน และการครอสโอเวอร์
- 5) นำโครโมโซมที่ได้จากขั้นตอนที่ 3 และ 4 มารวมกัน
- 6) ย้อนกลับไปทำขั้นตอนที่ 2 จนผ่านเงื่อนไขการหยุดที่กำหนดไว้

เงื่อนไขการหยุด เงื่อนไขการหยุดของจินเนติกอัลกอริทึมก็คือ หยุดหาคำตอบเมื่อครบจำนวนรุ่นการถ่ายทอดสูงสุดที่กำหนดเอาไว้ และค่าฟังก์ชันเป้าหมายในแต่ละรุ่นไม่มีการเปลี่ยนแปลงครบจำนวนครั้งที่กำหนดไว้



รูปที่ 2.5 ขั้นตอนการทำงานของจินเนติกอัลกอริทึม

2.4.2 การวิเคราะห์วิธีการจัดการเชื่อมต่อโครงสร้างของระบบจำหน่ายก่อนและหลังเกิด ความผิดปกติ

ในอดีตได้มีการศึกษาวิธีการเชื่อมต่อโครงสร้างระบบไฟฟ้า [5 , 8 , 9 , 14 , 19] ซึ่งสามารถแบ่งประเภทได้เป็น 2 กลุ่ม กล่าวคือ แบบกลยุทธ์การค้นหาแบบกิ่งไม้ และกลยุทธ์การค้นหาแบบสาขา แต่ข้อเสียของกลยุทธ์การค้นหาแบบสาขา คือ ต้องการจำนวน โหนดที่เปลี่ยนแปลง โครงสร้างของระบบจำหน่าย ดังนั้นวิธีดังกล่าวจึงไม่เหมาะกับการค้นหาสถานะของสวิตช์ตัดตอนที่เหมาะสมในระบบจำหน่ายแบบออนไลน์

ต่อมาได้มีการนำเสนอวิธีแบบผสมผสาน [10] ซึ่งข้อได้เปรียบหลักของวิธีการดังกล่าวนี้ คือ วิธีการนี้ต้องการเพียงรายละเอียดของบัสส่งพลังงานและบัสรับพลังงานเท่านั้น รายละเอียดนี้เป็นข้อมูลปกติเป็นของทุก ๆ ระบบจำหน่าย ลำดับขั้นตอนวิธีการจัดการเชื่อมต่อโครงสร้างของระบบจำหน่าย มีดังนี้

- แสดงสถานะของสวิตช์ตัดตอน
- จัดรูปแบบของการเชื่อมต่อของระบบจำหน่ายในรูปแบบเมตริกซ์
- จัดรูปแบบของบัสหรือ โหนดในรูปแบบเมตริกซ์
- แสดงการเชื่อมต่อวงจรของแต่ละบัสหรือ โหนด

2.4.3 การหาสถานะของสวิตช์ตัดตอนที่เหมาะสมในระบบจำหน่าย โดยใช้เทคนิคการ ผสมผสานของฟังก์ชันวัตถุประสงค์

ในปี ค.ศ. 2007 ได้มีการพัฒนาเทคนิคการผสมผสานของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการหาสถานะของสวิตช์ตัดตอนที่เหมาะสมในระบบจำหน่าย ซึ่งเทคนิคดังกล่าวมีขั้นตอนการทำงานดังนี้ [10]

ขั้นตอนที่ 1 : ดำเนินการค้นหาการเชื่อมต่อของแต่ละบัสในสถานะก่อน/หลังเกิดความผิดปกติในระบบจำหน่าย ตามวิธีการวิเคราะห์การจัดการเชื่อมต่อโครงสร้างก่อนและหลังเกิดความผิดปกติในระบบจำหน่าย โดยมีรายละเอียดดังที่ได้กล่าวไว้ในข้างต้น

ขั้นตอนที่ 2 : ใช้วิธีการพิจารณาโหนดที่มีความสำคัญเพื่อพิจารณาโหนดที่เชื่อมต่อในระบบจำหน่าย โดยให้โหนดที่มีความสำคัญมากถูกปลดออกจากระบบจำหน่ายให้น้อยที่สุด

ขั้นตอนที่ 3 : ในส่วนที่เกิดความผิดปกติในระบบจำหน่าย ให้ปลดวงจรออก ซึ่งการปลดวงจรออกหรือการสั่งให้สวิตช์ตัดตอนเปิดวงจรนั้น สามารถดำเนินการค้นหาค่าที่เหมาะสมที่สุดโดยใช้เงินเนติกอัลกอริทึม ซึ่งจะกล่าวถึงรายละเอียดในลำดับต่อไป

เทคนิคการหาสถานะของสวิตช์ตัดตอนที่เหมาะสมในระบบจำหน่ายจะประกอบไปด้วย การพิจารณาเวลาที่น้อยที่สุด ต้องลดความซับซ้อนในการวิเคราะห์ในการหาสถานะของ

สวิตช์ตัดตอนที่เหมาะสมในระบบจำหน่าย และการคำนวณทางคณิตศาสตร์อย่างถูกต้องแม่นยำ
ดังนั้นจึงเรียกเทคนิคดังกล่าวนี้ว่า เทคนิคการผสมผสานของฟังก์ชันวัตถุประสงค์

2.4.4 ตัวอย่างการหาจุดเหมาะสมโดยใช้เงินเนติกอัลกอริทึม

ในตัวอย่างนี้จะแสดงวิธีการประยุกต์ใช้เงินเนติกอัลกอริทึมในการแก้ปัญหาการ
หาค่าความเหมาะสมทั่วไป

ตัวอย่าง จงหาคำตอบที่น้อยที่สุดของ $G(x)$

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

ผลลัพธ์จากเอกสารอ้างอิง [18] $G(x) = -15$

$$x_1 = 1$$

$$x_2 = 1$$

$$x_3 = 1$$

$$x_4 = 1$$

$$x_5 = 1$$

$$x_6 = 1$$

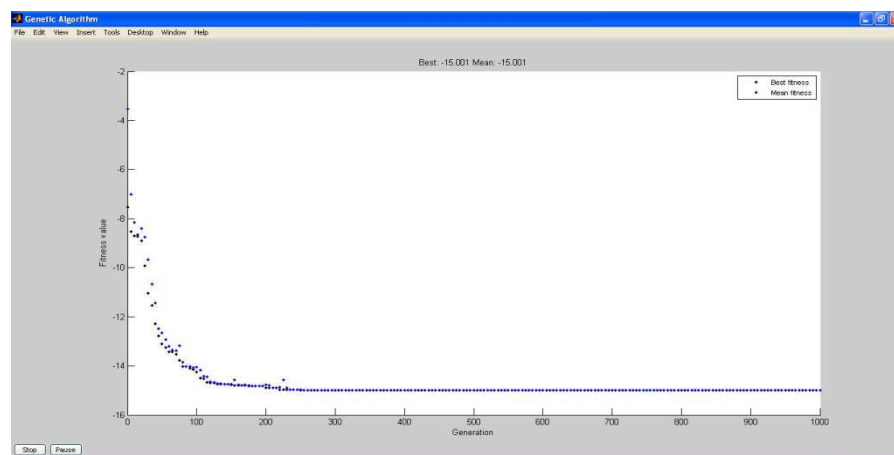
$$x_7 = 1$$

$$x_8 = 1$$

$$\begin{aligned}
 x_9 &= 1 \\
 x_{10} &= 3 \\
 x_{11} &= 3 \\
 x_{12} &= 3 \\
 x_{13} &= 1
 \end{aligned}$$

ผลลัพธ์จากการรันโปรแกรม $G(x) = -15$

$$\begin{aligned}
 x_1 &= 1 \\
 x_2 &= 1 \\
 x_3 &= 1 \\
 x_4 &= 1 \\
 x_5 &= 1 \\
 x_6 &= 1 \\
 x_7 &= 1 \\
 x_8 &= 1 \\
 x_9 &= 1 \\
 x_{10} &= 3 \\
 x_{11} &= 3 \\
 x_{12} &= 3 \\
 x_{13} &= 1
 \end{aligned}$$



รูปที่ 2.6 การสุ่มหาคำตอบของฟังก์ชัน $G(x)$

2.5 ระบบผู้เชี่ยวชาญ

ระบบผู้เชี่ยวชาญ (Expert Systems : ES) หมายถึง โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่แสดงความสามารถได้เหมือนกับผู้เชี่ยวชาญในสาขาต่าง ๆ หรือในงานเฉพาะอย่าง หรือหมายถึงระบบโปรแกรมใช้งาน (software systems) ซึ่งมีลักษณะที่คล้ายคลึงกันในเรื่องของกระบวนการในการใช้เหตุผล (reasoning process) และให้ข้อมูลเกี่ยวกับคำแนะนำแก่ผู้ที่ต้องตัดสินใจ ซึ่งพบในผู้เชี่ยวชาญที่เป็นมนุษย์

2.5.1 องค์ประกอบของระบบผู้เชี่ยวชาญ [3]

ระบบผู้เชี่ยวชาญมีองค์ประกอบที่สำคัญอยู่ 5 องค์ประกอบ โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้ [14]

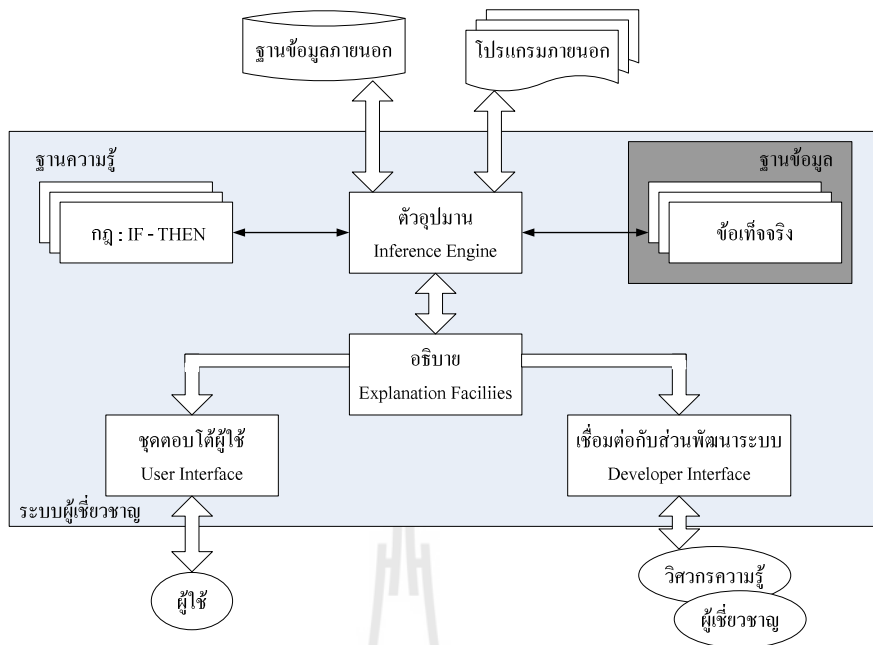
ฐานความรู้ (knowledge base) ประกอบไปด้วยข้อมูลความรู้เฉพาะด้านที่ใช้ในการแก้ปัญหาของระบบผู้เชี่ยวชาญ ข้อมูลความรู้จะอยู่ในรูปของกฎ IF – THEN

ฐานข้อมูล (database) ประกอบไปด้วยเซตของข้อเท็จจริง ที่ใช้สำหรับตรวจสอบกับเงื่อนไขในส่วน IF ของกฎในฐานความรู้

ตัวอุปมาน (inference engine) เป็นส่วนการคำนวณเชิงเหตุผลเพื่อนำไปสู่คำตอบ ทำหน้าที่ในการเชื่อมกฎจากฐานความรู้ กับข้อเท็จจริงจากฐานข้อมูล

ตัวอธิบาย (explanation facility) เป็นส่วนที่ช่วยให้ผู้ใช้ระบบเข้าใจได้ว่าคำตอบได้มาอย่างไร และทำไมจึงต้องใช้ข้อเท็จจริงนั้นๆ ระบบผู้เชี่ยวชาญจะต้องสามารถอธิบายเหตุผลในการทำงานของระบบ และจัดหาคำแนะนำ การวิเคราะห์หรือข้อสรุปได้

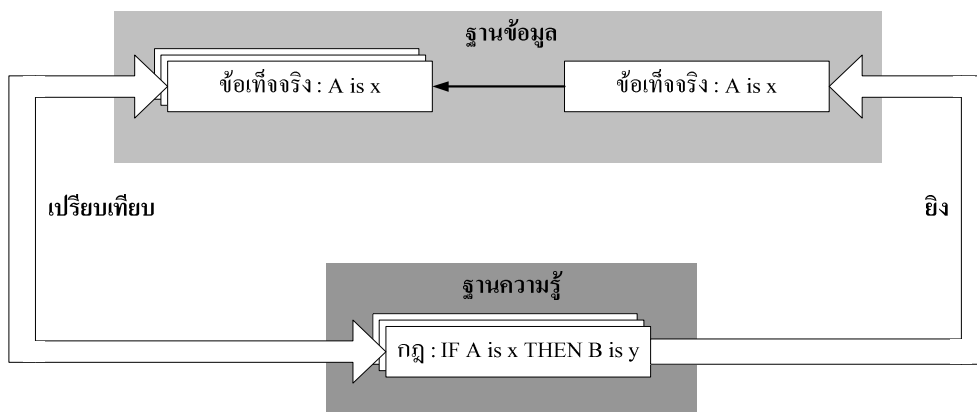
ชุดตอบโต้ผู้ใช้ (user interface) เป็นส่วนตอบโต้การใช้งานระหว่างผู้ใช้กับระบบผู้เชี่ยวชาญ การตอบโต้ควรมีประสิทธิภาพและง่ายต่อการใช้งานให้มากที่สุด



รูปที่ 2.7 โครงสร้างระบบผู้เชี่ยวชาญ

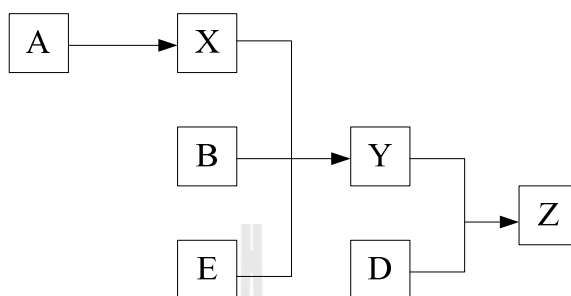
2.5.2 เทคนิคการอนุมาน (inference techniques) [3]

ในระบบผู้เชี่ยวชาญแบบฐานกฎ ข้อมูลความรู้จะถูกแทนด้วยกฎ IF - THEN และข้อมูลถูกแทนด้วยข้อเท็จจริงที่เกี่ยวข้องกับระบบหรือปัญหาที่ต้องการจะแก้ไข ตัวอนุมานจะทำการเปรียบเทียบแต่ละกฎที่เก็บไว้ในฐานความรู้ด้วยข้อเท็จจริงที่เก็บไว้ในฐานข้อมูล เมื่อเงื่อนไขในส่วน IF ตรงกับข้อเท็จจริง กฎที่สอดคล้องกับเงื่อนไขนั้นจะถูกเรียกใช้หรือถูกยิง (fired) และส่วน THEN จะถูกกระทำ กฎที่ถูกเรียกใช้อาจจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของข้อเท็จจริง โดยการเพิ่มข้อเท็จจริงใหม่เข้าไปดังแสดงในรูป 2.8



รูปที่ 2.8 วงจรตัวอนุมาน

กฎในส่วน IF ที่ตรงกับการเปรียบเทียบกับข้อเท็จจริงจะให้ลูกโซ่อุปมาน (inference chain) ที่ซึ่งเป็นส่วนที่บอกระบบผู้เชี่ยวชาญในการเลือกกฎที่จะทำให้นำไปสู่คำตอบ พิจารณาตัวอย่างของลูกโซ่อุปมานต่อไปนี้



รูปที่ 2.9 ตัวอย่างลูกโซ่อุปมาน

สมมติว่าในฐานะข้อมูลเริ่มต้นมีข้อเท็จจริงคือ A B C D และ E และฐานความรู้มีอยู่เพียง 3 กฎคือ

กฎ 1 : IF Y is true
AND D is true
THEN Z is true

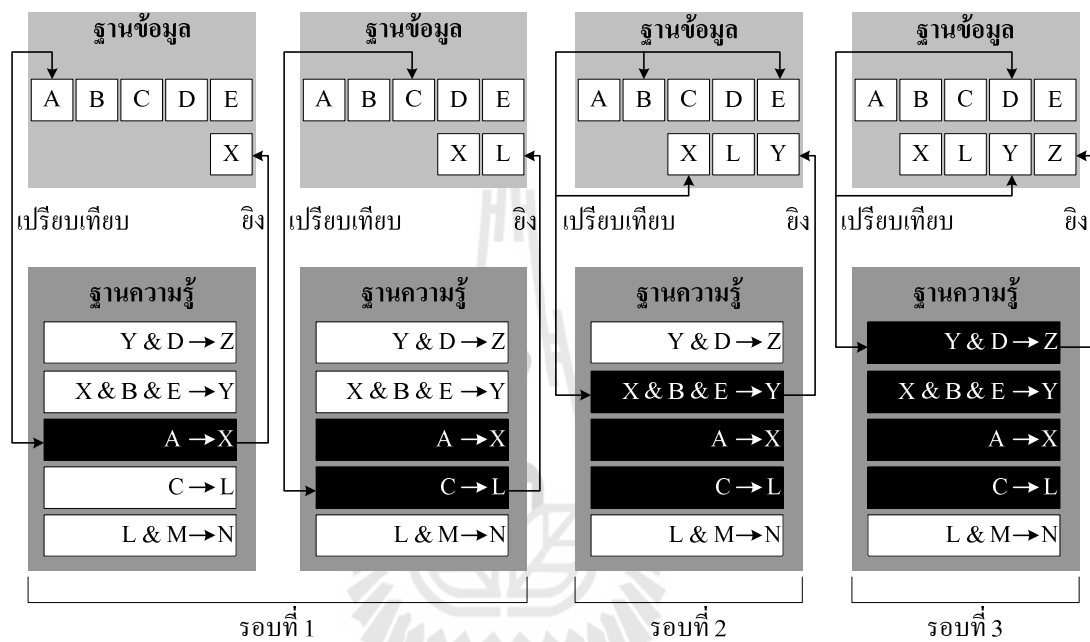
กฎ 2 : IF X is true
AND B is true
THEN E is true

กฎ 3 : IF Y is true
AND A is true
THEN X is true

รูปที่ 2.9 แสดงตัวอย่างลูกโซ่อุปมานของระบบผู้เชี่ยวชาญในการใช้กฎเพื่ออุปมานข้อเท็จจริง Z โดยแรกสุด กฎ 3 จะถูกเรียกใช้ก่อนเพื่อให้ได้ข้อเท็จจริง X จากที่กำหนด A แล้วกฎ 2 จะถูกเลือกเพื่อทำการอุปมาน Y จากข้อเท็จจริงเริ่มต้น B และ E พร้อมทั้งข้อเท็จจริงที่ได้จากกฎ 3 นั่นคือ X ท้ายสุด กฎ 1 จะถูกเรียกใช้ด้วยข้อเท็จจริงเริ่มต้น D และข้อเท็จจริง Y จากกฎ 2

เพื่อทำการอุปมาน Z ระบบผู้เชี่ยวชาญสามารถแสดงลูกโซ่อุปมานนี้เพื่อทำการอธิบายว่าข้อสรุป Z ได้มาอย่างไร

ตัวอุปมานเป็นส่วนสำคัญที่ต้องตัดสินใจว่ากฎไหนควรจะต้องถูกเรียกใช้ โดยปกติแล้วมีวิธีเลือกกฎอยู่ 2 วิธี คือ วิธีลูกโซ่ไปข้างหน้า (forward chaining) และวิธีลูกโซ่ย้อนกลับ (backward chaining)



รูปที่ 2.10 ตัวอย่างวิธีลูกโซ่ไปข้างหน้า

วิธีการลูกโซ่ไปข้างหน้า (forward chaining) ในตัวอย่างข้างต้นแสดงการอุปมานแบบวิธีลูกโซ่ไปข้างหน้า พิจารณาในรายละเอียดเพิ่มเติมโดยการเขียนกฎดังรูปต่อไปนี้ (เพิ่มกฎ 4 และกฎ 5)

กฎ 1: $Y \& D \rightarrow Z$

กฎ 2: $X \& B \& E \rightarrow Y$

กฎ 3: $A \rightarrow X$

กฎ 4: $C \rightarrow L$

กฎ 5: $L \& M \rightarrow N$

จากรูปที่ 2.10 แสดงตัวอย่างวิธีลู่โซ่ไปข้างหน้าสำหรับเซตของกฎง่ายๆ ข้างต้น วิธีลู่โซ่ไปข้างหน้าเป็นระบบเหตุผลขับเคลื่อนด้วยข้อมูล (data driven) กล่าวคือระบบเริ่มต้นด้วยข้อมูลที่มีอยู่ และดำเนินการไปข้างหน้ากับข้อมูลนั้นๆ แต่ทุกครั้งกฎที่อยู่ก่อนจะถูกพิจารณาเรียกใช้งานก่อน เมื่อกฎนั้นๆ ถูกเรียกใช้ ข้อเท็จจริงที่ได้จากกฎนั้นจะถูกเพิ่มเข้าไปในฐานข้อมูล แต่ละกฎสามารถถูกเรียกใช้ได้เพียงครั้งเดียว

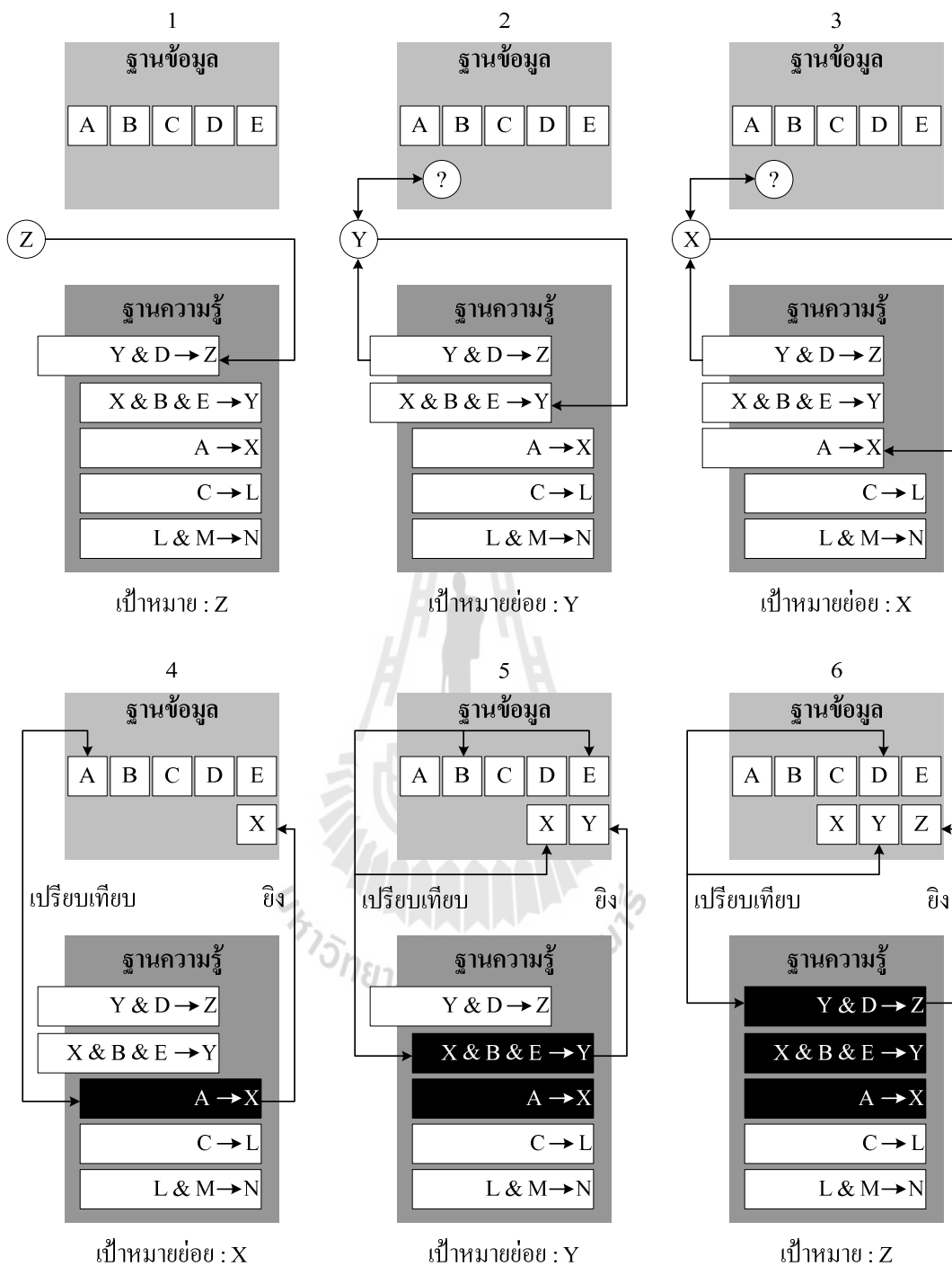
ในรอบแรกมีอยู่ 2 กฎที่ถูกเรียกใช้ได้แก่ กฎ 3 : $A \rightarrow X$ และ กฎ 4 : $C \rightarrow L$ ซึ่งเป็นกฎที่ตรงกับในฐานข้อมูล และกฎ 3 จะถูกเรียกใช้งานก่อนเนื่องจาก กฎ 3 อยู่ในตำแหน่งที่สูงกว่า กฎ 4 ส่วน IF ของกฎ 3 ตรงกับข้อเท็จจริง A ในฐานข้อมูล ส่วน THEN จึงถูกกระทำและได้ข้อเท็จจริง X ใหม่เข้าสู่ฐานข้อมูล เช่นเดียวกับ กฎ 4 : $C \rightarrow L$ ที่ซึ่งทำการเพิ่มข้อเท็จจริง L เข้าสู่ฐานข้อมูล

ในรอบที่สอง กฎ 2 : $X \& B \& E \rightarrow Y$ ถูกเรียกใช้เพราะข้อเท็จจริง B E และ X มีอยู่ในฐานข้อมูลเรียบร้อยแล้ว ผลลัพธ์ Y ที่ได้จะถูกอุปมานและเพิ่มเข้าสู่ฐานข้อมูล ทำให้ในรอบที่ 3 กฎ 1 : $Y \& D \rightarrow Z$ จะถูกเรียกใช้ และทำการเพิ่มข้อเท็จจริง Z เข้าสู่ฐานข้อมูล ระบบจะหยุดที่จุดนี้เนื่องจากไม่มีกฎไหนที่เหลืออยู่ตรงกับข้อเท็จจริงในฐานข้อมูล (นั่นคือไม่มี L และ M จากกฎ 5 ในฐานข้อมูลที่จะทำให้ กฎ 5 : $L \& M \rightarrow N$ ถูกเรียกใช้ได้)

วิธีลู่โซ่ไปข้างหน้าเป็นเทคนิคในการรวบรวมข้อมูลและทำการอุปมานจากข้อมูลนั้นๆ อย่างไรก็ดี จะมีอยู่หลายๆ กฎที่ถูกเรียกใช้ แต่เป็นกฎที่ไม่ได้มีส่วนที่เกี่ยวข้องอะไรกับเป้าหมายเลย จากตัวอย่างข้างต้น เป้าหมายคือทำการหาข้อเท็จจริง Z จากกฎทั้ง 5 กฎ ซึ่งมีอยู่ถึง 4 กฎที่ถูกเรียกใช้ แต่เมื่อพิจารณา กฎ 4 : $C \rightarrow L$ ไม่มีส่วนที่เกี่ยวข้องกับ Z แต่อย่างใด ในระบบผู้เชี่ยวชาญจริงๆ จึงอาจจะมีกฎอยู่ในฐานข้อมูลมากเป็นร้อยๆ กฎ ดังนั้นวิธีการลู่โซ่ไปข้างหน้าอาจจะไม่เหมาะสมกับสถานการณ์ดังกล่าว

วิธีการลู่โซ่ย้อนกลับ (backward chaining) วิธีการลู่โซ่ย้อนกลับเป็นวิธีขับเคลื่อนด้วยเป้าหมาย (goal driven) กล่าวคือระบบจะมีเป้าหมายเป็นสมมุติฐานเอาไว้ ตัวอุปมานจะทำการค้นหาหลักฐานเพื่อพิสูจน์เป้าหมายนั้น โดยอันดับแรก ฐานข้อมูลจะถูกค้นเพื่อหากฎที่เกี่ยวข้องกับเป้าหมาย กฎที่ได้ในขั้นตอนนี้จำเป็นต้องมีเป้าหมายอยู่ในส่วน THEN ถ้ากฎดังกล่าวถูกค้นพบและส่วน IF ของกฎนั้นอยู่ในฐานข้อมูล กฎนั้นจะถูกเรียกใช้และเป้าหมายถือว่าได้รับการพิสูจน์ อย่างไรก็ดีในความเป็นจริง เป้าหมายจะไม่ถูกค้นพบในครั้งแรกที่เจอกฎที่เกี่ยวข้อง ตัวอุปมานจะทำการสร้างเป้าหมายย่อย (subgoal) ขึ้นมาใหม่จากกฎที่มีอยู่เพื่อทำการพิสูจน์เป้าหมายย่อยนี้ ระบบจะทำขั้นตอนนี้ไปเรื่อยๆ จนกระทั่งไม่มีกฎที่เกี่ยวข้องเหลืออยู่

รูปที่ 2.10 แสดงการทำงานของวิธีลู่โซ่ย้อนกลับ



รูปที่ 2.11 ตัวอย่างวิธีลูกโซ่ย้อนกลับ

ตัวอุปมานพยายามจะทำการอุปมานข้อเท็จจริง Z โดยการค้นหาในฐานข้อมูลความรู้ที่มีเป้าหมาย Z อยู่ในส่วน THEN ตัวอุปมานเจอ กฎ 1 : $Y \& D \rightarrow Z$ ซึ่งในส่วน IF มีข้อเท็จจริง Y และ D อยู่

เนื่องจากข้อเท็จจริง Y ไม่มีปรากฏในฐานข้อมูล ตัวอุปมานจะทำการตั้ง Y เป็นเป้าหมายย่อย และทำการค้นหา Y ในส่วน THEN จากในฐานความรู้ซึ่งได้เจอ กฎ 2 : $X \& B \& E \rightarrow Y$ โดยมีข้อเท็จจริง X B และ E ในส่วน IF

เนื่องจากข้อเท็จจริง X ไม่มีในฐานข้อมูล ตัวอุปมานจึงทำการตั้งเป้าหมายย่อย X ขึ้นมา ซึ่งตัวอุปมานทำการค้นหาในฐานความรู้และเจอ กฎ 3 : $A \rightarrow X$ ดังนั้นตัวอุปมานจะต้องทำการค้นหาข้อเท็จจริง A ต่อไป

ตัวอุปมานเจอ A ในฐานข้อมูล กฎ 3 : $A \rightarrow X$ ถูกเรียกใช้และข้อเท็จจริง X ถูกเพิ่มเข้าในฐานข้อมูล

ตัวอุปมานกลับไปพิจารณาเป้าหมายย่อย Y และค้นพบ กฎ 2 : $X \& B \& E \rightarrow Y$ ซึ่งข้อเท็จจริง X B และ E มีอยู่ในฐานข้อมูลเรียบร้อยแล้ว ดังนั้นกฎ 2 จึงถูกเรียกใช้และข้อเท็จจริง Y ถูกเพิ่มใหม่เข้าไปในฐานข้อมูล

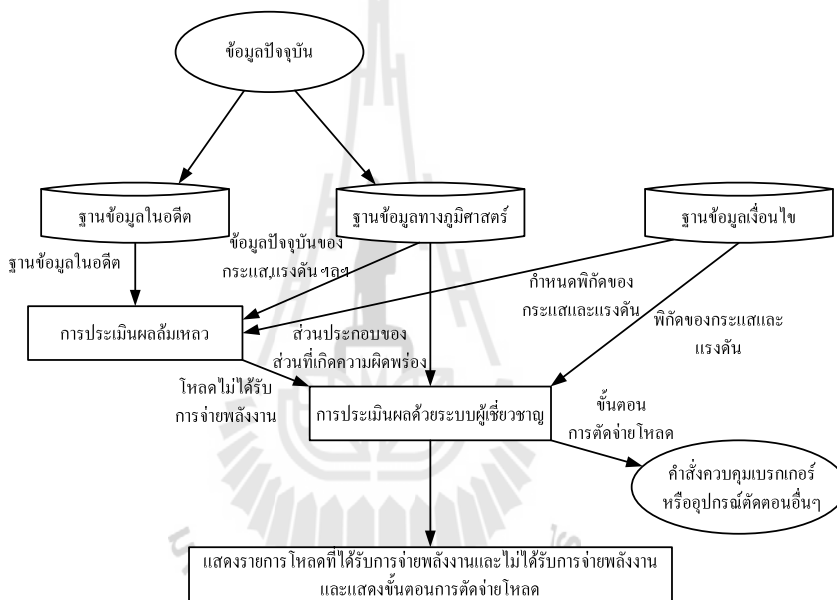
ตัวอุปมานกลับไปยัง กฎ 1 : $Y \& D \rightarrow Z$ เพื่อทำการพิจารณาเป้าหมาย Z ซึ่งมีส่วน Y และ D ในส่วน IF และพบว่า กฎ 1 มีเงื่อนไข IF ตรงกับที่ กฎ 1 ต้องการจึงถูกเรียกใช้และสุดท้ายเป้าหมายได้ถูกพิสูจน์

เมื่อเปรียบเทียบวิธีการลูกโซ่ย้อนกลับกับวิธีการลูกโซ่ไปข้างหน้า จะเห็นว่ามีการเรียกใช้กฎเพียง 3 กฎ ซึ่งแสดงถึงประสิทธิภาพที่ดีกว่าของวิธีการลูกโซ่ย้อนกลับ ในวิธีการลูกโซ่ไปข้างหน้า เรารู้ข้อเท็จจริงเริ่มต้นและผู้ใช้จะไม่มีส่วนเกี่ยวข้องกับการให้ข้อเท็จจริงที่ต้องการเพิ่มเติม ในขณะที่วิธีการลูกโซ่ย้อนกลับ เป้าหมายจะถูกตั้งขึ้นและใช้เป็นข้อเท็จจริงในการสนับสนุนเป้าหมายนั้นๆ ในกรณีนี้ผู้ใช้จะต้องมีส่วนร่วมในการให้ข้อเท็จจริงเพิ่มเติมในกรณีที่ข้อเท็จจริงนั้นๆ ไม่ปรากฏอยู่ในฐานข้อมูล

2.5.3 ระบบผู้เชี่ยวชาญสำหรับการหาสถานะของสวิตช์ตัดตอนที่เหมาะสมในระบบจำหน่าย [16]

ในปี ค.ศ. 2006 ได้มีการนำเสนอวิธีการหาสถานะของสวิตช์ตัดตอนที่เหมาะสมในระบบจำหน่าย โดยวิธีการดังกล่าวมีส่วนประกอบดังนี้ ระบบแผนภาพทางภูมิศาสตร์ (Geographical-information system : GIS) ระบบประเมินผลความเสียหาย (Failure-assessment : FAST) และระบบผู้เชี่ยวชาญ (Expert system) จากแผนภูมิรูปภาพแสดงให้เห็นถึงโครงสร้างของระบบผู้เชี่ยวชาญซึ่งวัดค่าจากระบบไฟฟ้า โดยปรับปรุงข้อมูลให้เป็นปัจจุบันที่สุดด้วยระบบแผนภาพทางภูมิศาสตร์ ข้อมูลปัจจุบันที่วัดได้ประกอบด้วย ปริมาณกระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้า ความถี่ สถานะของอุปกรณ์ตัดตอนระบบไฟฟ้าระบบประเมินผลความเสียหายสามารถตรวจจับความผิดปกติในระบบไฟฟ้าโดยตรงหรือเกิดความผิดปกติที่อุปกรณ์ต่อพ่วงภายนอก โดยระบบ

ประเมินผลความเสียหายใช้ข้อมูลจากฐานข้อมูลเดิมได้แก่ ความถี่ แรงดัน ข้อจำกัดของทิศทาง การไหลของกระแส และข้อมูลปัจจุบันจากฐานข้อมูลระบบแผนภาพทางภูมิศาสตร์สำหรับค้นหาโหลดที่ไม่มีกระแสจ่ายไฟและส่วนที่เกิดความผิดปกติในระบบไฟฟ้า ซึ่งส่วนที่นำเข้ามาเป็นโมดูลของระบบผู้เชี่ยวชาญ ประกอบด้วย ส่วนที่โหลดที่ไม่มีกระแสจ่ายไฟ ข้อมูลส่วนที่เกิดความผิดปกติในระบบไฟฟ้า ลักษณะการเชื่อมต่อของระบบไฟฟ้า และฐานข้อมูลปัจจุบันของระบบแผนภาพทางภูมิศาสตร์ โมดูลระบบผู้เชี่ยวชาญเป็นส่วนที่ค้นหาและควบคุมการกู้คืนของโหลดที่ไม่มีกระแสจ่ายไฟ ส่วนที่ถูกระบุควบคุมมีดังนี้ ชุดเซอร์กิตเบรกเกอร์ ชุดสวิตช์ต่อเชื่อม ชุดอุปกรณ์ป้องกัน เนื่องจากแรงดันไฟฟ้าตกหรือแรงดันไฟฟ้าเกิน ซึ่งแสดงให้เห็นดังรูปภาพที่ 2.12



รูปที่ 2.12 แผนภูมิรูปภาพของระบบผู้เชี่ยวชาญสำหรับการหาสถานะของสวิตช์ตัดคอนที่เหมาะสม

ข้อมูล ดังที่ได้แสดงในรูปที่ 2.11 การแลกเปลี่ยนข้อมูลกันระหว่างโมดูล โดยระบบแผนภาพทางภูมิศาสตร์เป็นระบบที่คำนวณด้วยคอมพิวเตอร์ถูกออกแบบไว้สำหรับ เก็บข้อมูล ประมวลผล วิเคราะห์ข้อมูล และผสมผสานคุณลักษณะกับข้อมูลระยะทาง ระบบแผนภาพทางภูมิศาสตร์จะประกอบไปด้วย 2 ส่วน ได้แก่ แผนที่เชิงตัวเลขและฐานข้อมูล สำหรับวิธีการจัดรูปแบบฐานข้อมูลของระบบแผนภาพทางภูมิศาสตร์จะประกอบไปด้วยตารางจัดเก็บข้อมูลคุณลักษณะขององค์ประกอบของระบบไฟฟ้า

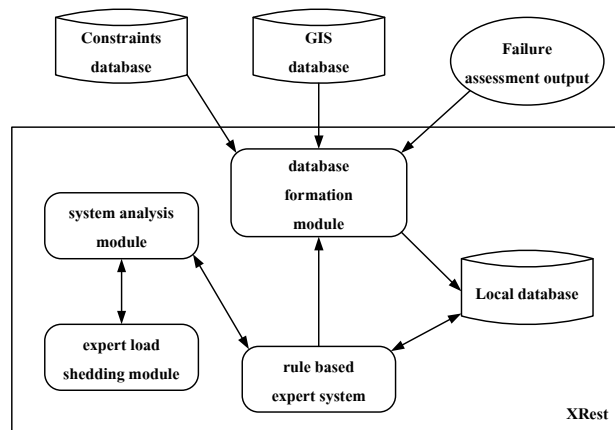
ระบบผู้เชี่ยวชาญ กฎพื้นฐานของระบบผู้เชี่ยวชาญมีข้อได้เปรียบหลายประการ เช่น การควบคุมโครงสร้างของกฎเป็นความสัมพันธ์ขั้นพื้นฐาน กฎในระบบผู้เชี่ยวชาญสามารถแก้ปัญหาของคนได้ เนื่องจากโครงสร้างของกฎได้สลับเปลี่ยนกลยุทธ์วิธีการแก้ปัญหาของคน กฎใน

แต่ละส่วนมีความเป็นอิสระ และก็ยังอำนวยความสะดวกอย่างมากสำหรับคนที่ไม่ใช่ผู้เชี่ยวชาญ ในการใช้กฎพื้นฐานของระบบผู้เชี่ยวชาญเพื่อใช้สำหรับแก้ปัญหาเนื่องจากการใช้ภาษาง่ายๆ ในการสื่อสารระหว่างกฎพื้นฐานของระบบผู้เชี่ยวชาญและผู้ใช้งาน

ระบบประเมินผลความเสียหาย ระบบประเมินผลความเสียหายได้ถูกคิดค้นและ พัฒนาที่มหาวิทยาลัย Texas A&M University โดยใช้วิธีการของกฎพื้นฐานและเครื่องมือสนับสนุนของ ระบบผู้เชี่ยวชาญ ระบบประเมินผลความเสียหาย ดังแสดงในรูปที่ 2.11 โดยระบบประเมินผล ความเสียหายสามารถตรวจจับความผิดปกติในระบบไฟฟ้าโดยตรงหรือเกิดความผิดปกติที่อุปกรณ์ ต่อพ่วงภายนอก หลังจากระบบประเมินผลความเสียหายตรวจจับความผิดปกติ ระบบจะทำการ แยกส่วนที่ผิดปกติออก

ระบบผู้เชี่ยวชาญ (XRest) ดังแสดงในรูปที่ 2.12 ซึ่งประกอบไปด้วย กฎพื้นฐาน ของระบบผู้เชี่ยวชาญ โมดูลของระบบที่ใช้สำหรับวิเคราะห์ข้อมูล โมดูลการปลดโหลด โมดูล ฐานข้อมูล ฐานข้อมูลระบบแผนภาพทางภูมิศาสตร์ ฐานข้อมูลเงื่อนไขและฐานข้อมูลท้องถิ่น โมดูลฐานข้อมูลจะใช้ข้อมูลเอาท์พุทของโมดูลระบบประเมินผลความเสียหาย (โหลดที่ไม่ได้ จ่ายไฟและองค์ประกอบในส่วนที่เกิดความผิดปกติ) และข้อมูลจากฐานข้อมูลระบบแผนภาพทาง ภูมิศาสตร์ไปยังฐานข้อมูลท้องถิ่น ฐานข้อมูลท้องถิ่นประกอบด้วยข้อมูลการเชื่อมต่อและข้อมูล ส่วนที่อยู่กับที่ของทุกองค์ประกอบ หลังเกิดความผิดปกติในระบบไฟฟ้า สถานะของอุปกรณ์ตัด ตอน ตำแหน่งของบัสต่อเชื่อมซึ่งได้ข้อมูลมาจากฐานข้อมูลระบบแผนภาพทางภูมิศาสตร์ และ ข้อมูลการพิจารณาโหลดที่ไม่ได้จ่ายไฟ

กฎพื้นฐานของระบบผู้เชี่ยวชาญ เป็น โมดูลของระบบที่ใช้สำหรับวิเคราะห์ข้อมูล ประกอบไปด้วย กลุ่มของคำถามและ โปรแกรมวิเคราะห์ระบบไฟฟ้า เพื่อใช้สำหรับหาคำตอบว่า ถ้า หากจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับโหลดที่ถูกแยกส่วนออกแล้วผลลัพธ์ทั้งหมดของระบบจะยังอยู่ใน เงื่อนไข (ขนาดกระแสที่สายเคเบิลรองรับได้ ระดับแรงดันของแต่ละ โหนด และขนาดของแหล่งจ่าย) โมดูลการปลดโหลดทำการหาโหลดที่จะถูกปลดหากแหล่งจ่ายได้ต่อ โหลดเกิน



รูปที่ 2.13 แผนภูมิรูปภาพการติดต่อสื่อสารของฐานข้อมูลกับโมดูลระบบผู้เชี่ยวชาญ

ตัวอย่างของกฎพื้นฐานของระบบผู้เชี่ยวชาญดังแสดงในรูปที่ 2.14 ซึ่งเป็นวิธีประมวลผลกฎโดยวิธีการลูกโซ่ไปข้างหน้า เป็นแสดงให้เห็นถึงรูปแบบของกฎพื้นฐานของระบบผู้เชี่ยวชาญ และเส้นทางของการตัดสินใจในแต่ละกฎ

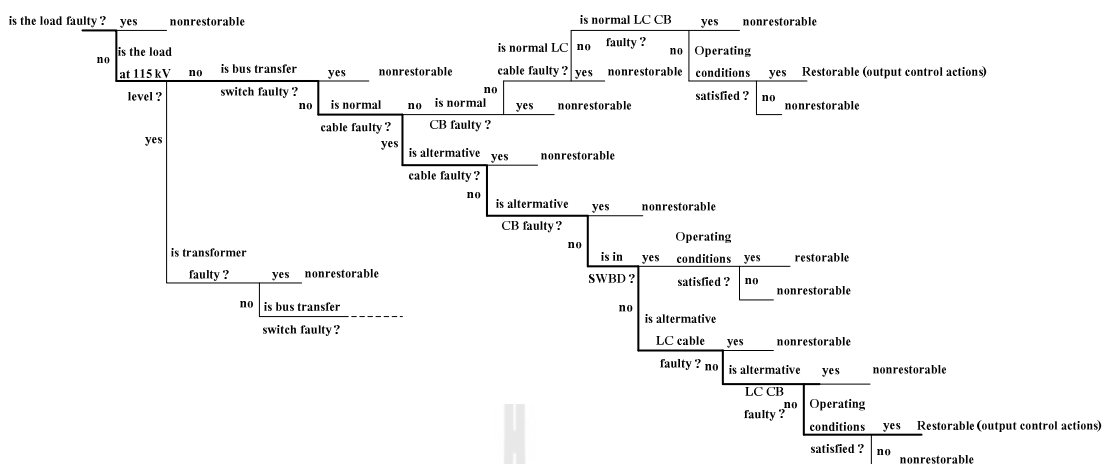
ตัวอย่างของกฎ

- ถ้า : [โหลดถูกจ่ายพลังงานมาจากศูนย์กลางโหลด]
- และ [เป็น โหลดที่สำคัญ]
- และ [ไม่ได้เกิดความผิดปกติหรือผิดปกติที่โหลด]
- และ [สายเคเบิลที่จ่ายไฟให้โหลดไม่ได้เกิดความผิดปกติ]
- และ [เป็น โหลดชนิดสามเฟส]
- และ [บัสต่อเชื่อมไม่ได้เกิดความผิดปกติ]
- และ [เคเบิลประธานเกิดความผิดปกติ]
- และ [เคเบิลที่ใช้ถ่ายโอนโหลดไม่ได้เกิดความผิดปกติ]
- และ [เซอร์กิตเบรกเกอร์ที่ใช้ถ่ายโอน โหลดไม่ได้เกิดความผิดปกติ]
- และ [จ่ายโหลดจากศูนย์กลางโหลดที่ใช้ถ่ายโอนโหลด]
- และ [ศูนย์กลางโหลดที่ใช้ถ่ายโอนโหลดไม่ได้เกิดความผิดปกติ]
- และ [เซอร์กิตเบรกเกอร์ที่ใช้ถ่ายโอน โหลดไม่ได้เกิดความผิดปกติ]

ดังนั้น :

- [โหลดได้จัดโครงสร้างใหม่]

และ [รายงานผลการจัดโครงสร้าง]



รูปที่ 2.14 แผนภูมิรูปภาพการตัดสินใจของระบบผู้เชี่ยวชาญ

2.6 สรุป

ในบทนี้ได้กล่าวถึงปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง โดยกล่าวถึงหลักการเบื้องต้นของจินเนติกอัลกอริทึม จินเนติกอัลกอริทึมสำหรับการหาสถานะของสวิตช์ตัดตอนที่เหมาะสมในระบบจำหน่าย เบื้องต้นของระบบผู้เชี่ยวชาญ ระบบผู้เชี่ยวชาญสำหรับการหาสถานะของสวิตช์ตัดตอนที่เหมาะสมในระบบจำหน่าย การวิเคราะห์วิธีการจัดการเชื่อมต่อโครงสร้างของระบบจำหน่ายก่อนและหลังเกิดความผิดปกติ วิธีการพิจารณาโหลดที่มีความสำคัญ จินเนติกอัลกอริทึมสำหรับการหาสถานะของสวิตช์ตัดตอนที่เหมาะสมในระบบจำหน่าย โดยใช้เทคนิคการผสมผสานของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ทั้งนี้เพื่อให้เกิดความเข้าใจในเบื้องต้นเกี่ยวกับการวิเคราะห์การหาสถานะของสวิตช์ตัดตอนที่เหมาะสมในระบบจำหน่ายแบบเรเดียล

บทที่ 3

การหาสถานะของสวิตช์ตัดตอนที่เหมาะสมเมื่อเกิดความผิดปกติในระบบ จำหน่าย

3.1 บทนำ

การวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้า (Load Flow) คือพื้นฐานอย่างหนึ่งในการวิเคราะห์ระบบไฟฟ้ากำลังในการวางแผนและการดำเนินการในระบบ จุดประสงค์หลักของการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าคือการคำนวณหาขนาดกระแสที่ไหลผ่านสายส่งหรืออุปกรณ์ต่างๆและแรงดันที่บัสต่างๆ ในระบบ เพื่อศึกษาสภาพของระบบว่าสามารถรองรับภาระโหลดได้หรือไม่ ขนาดกระแสหรือแรงดันที่บัสอยู่ในเกณฑ์ที่อุปกรณ์สามารถทำงานได้หรือไม่ ถ้ากระแสในสายสูงเกินไปก็ต้องมีการพิจารณาการปรับเปลี่ยนแก้ไขระบบ เช่น การเพิ่มขนาดสายส่ง การย้าย หรือการตัดโหลด เป็นต้น เพื่อที่จะให้สายส่งสามารถรองรับกระแสได้หรือแรงดันที่บัสอยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสม ดังนั้นประโยชน์หลักที่ได้รับจากการศึกษาการไหลของกำลังไฟฟ้า คือ การศึกษาสภาพของระบบปัจจุบันและการศึกษาสภาพของระบบหากมีการเพิ่มขึ้นของโหลดในอนาคต และนอกจากนี้แล้วผลลัพธ์ที่ได้จากการศึกษาการไหลของกำลังไฟฟ้ายังนำไปใช้ในการศึกษาเรื่องต่างๆที่เกี่ยวข้องกับระบบไฟฟ้ากำลัง เช่น การวิเคราะห์ความผิดปกติในระบบ (Fault Analysis) การจ่ายโหลดอย่างประหยัด (Economic Dispatch) เป็นต้น จึงเห็นได้ว่าการศึกษาเรื่องการไหลของกำลังไฟฟ้าจึงเป็นมีบทบาทสำคัญในการศึกษาระบบไฟฟ้ากำลัง

3.2 ระบบจำหน่ายไฟฟ้า

ระบบจำหน่ายไฟฟ้า เป็นระบบช่วงสุดท้ายที่รับไฟจากระบบสายส่งเพื่อจำหน่ายให้แก่ผู้ใช้ไฟฟ้าระบบจำหน่ายไฟฟ้าประกอบด้วย 2 ส่วนที่สำคัญ คือ ระบบจำหน่ายไฟฟ้าปฐมภูมิซึ่งรับไฟจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหรือสถานีไฟฟ้าย่อยและส่งต่อไปที่บริเวณผู้ใช้ไฟฟ้าแล้วลดระดับแรงดันโดยใช้หม้อแปลงระบบจำหน่าย และระบบจำหน่ายไฟฟ้าทุติยภูมิซึ่งรับไฟจากหม้อแปลงระบบจำหน่ายส่งต่อไปยังผู้ใช้ไฟฟ้าเพื่อใช้งาน ระบบจำหน่ายประกอบด้วยส่วนสำคัญต่างๆดังนี้ สถานีไฟฟ้าย่อยกำลัง ระบบสายส่งย่อย (Subtransmission) สถานีไฟฟ้าย่อยจำหน่าย สายป้อน

ปฐมภูมิ (Primary Feeder) หม้อแปลงจำหน่าย (Distribution Transformer) และระบบจำหน่าย
 ทุกติภูมิซึ่งในระบบจำหน่ายประกอบด้วยส่วนต่างๆซึ่งมีรายละเอียดดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ส่วนประกอบของระบบจำหน่ายและหน้าที่การทำงาน

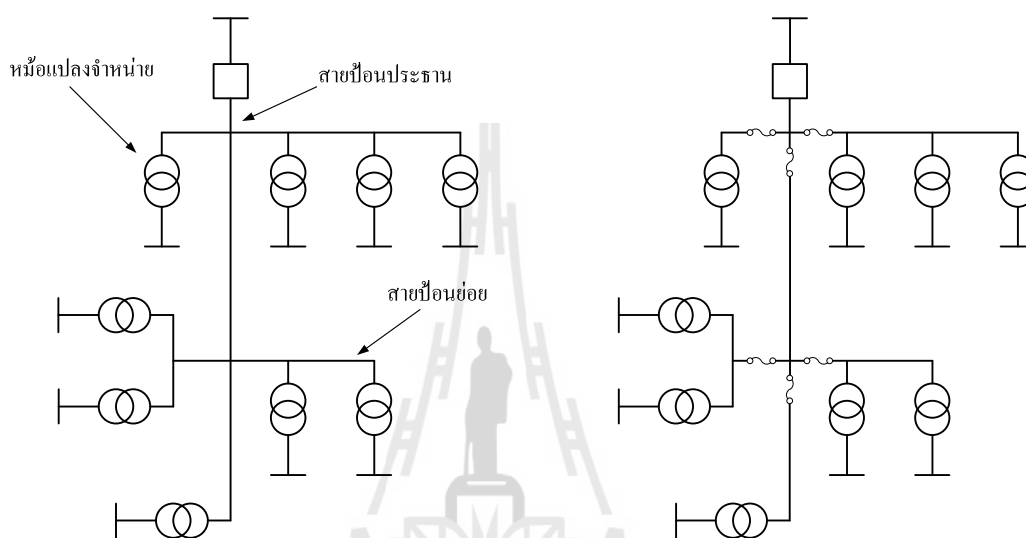
| ส่วนของระบบจำหน่าย | หน้าที่และการทำงาน |
|---|--|
| สถานีไฟฟ้าย่อยกำลัง (Bulk Power Substition) | รับกำลังไฟฟ้าจากระบบสายส่งและแปลง ไฟเพื่อให้ระบบสายส่งย่อย |
| ระบบสายส่งย่อย (Subtransmission System) | ระบบวงจรไฟฟ้าที่รับไฟจากสถานีไฟฟ้า ย่อยกำลัง เพื่อส่งต่อไปยังสถานีไฟฟ้าย่อย |
| สถานีไฟฟ้าย่อยจำหน่าย (Distribution Substation) | รับกำลังไฟฟ้าจากสายส่งย่อย และแปลง ไฟฟ้าให้สายป้อนปฐมภูมิ |
| สายป้อนปฐมภูมิ (Primary Feeder) | รับไฟฟ้าจากสถานีไฟฟ้าย่อย เพื่อส่งไป ยังหม้อแปลงจำหน่าย |
| สายป้อนทุติยภูมิ (Secondary Feeder) | รับไฟฟ้าจากหม้อแปลงจำหน่ายและส่งไป ยังผู้ใช้ไฟ |

ระบบสายป้อนปฐมภูมิ หมายถึง ส่วนของระบบของไฟฟ้ากำลังที่อยู่ระหว่างสถานีไฟฟ้า
 ย่อยจำหน่ายและหม้อแปลงจำหน่าย ระบบสายป้อนปฐมภูมิประกอบด้วยวงจรสายป้อน (Feeder)
 ซึ่งเริ่มจากบัสแรงต่ำของสถานีไฟฟ้าย่อยผ่านไปยังบริเวณ โหลดหนาแน่นและจ่ายไฟฟ้าให้หม้อ
 แปลงจำหน่าย ถ้าเป็นระบบจำหน่ายในประเทศไทยก็คือระดับแรงดัน 22 และ 33 kV สำหรับการ
 ไฟฟ้าส่วนภูมิภาค หรือ 12 และ 24 kV สำหรับระบบของการไฟฟ้านครหลวง

สายป้อนปฐมภูมิประกอบด้วยสายประธานและสายกิ่ง หรือสายที่แตกด้านข้างออกจาก
 สายประธานดังกล่าวใน รูปที่ 3.1 สายป้อนประธานโดยมากจะเป็นระบบ 3 เฟส 3 สายหรือ 4 สาย
 ในขณะที่สายกิ่งจะเป็นระบบ 3 เฟส หรือ 1 เฟสก็ได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ในสายกิ่ง
 ถ้าเป็นผู้ใช้ไฟประเภทบ้านอยู่อาศัยและมีจำนวนไม่มากก็เดินสายกิ่งเป็นระบบ 1 เฟส สายกิ่ง
 บางครั้งก็เรียงเป็นสายป้อนย่อย หรือไลน์ย่อย แล้วแต่การไฟฟ้าแต่ละแห่งจะตั้งชื่อเรียกกัน

ระบบสายป้อนปฐมภูมิสามารถแยกการจัดวงจรออกเป็นดังนี้

3.2.1 ระบบสายป้อนปฐมภูมิการจัดวงจรแบบเรเดียลตรง เป็นการจัดวงจรของระบบสายป้อนปฐมภูมิที่ง่ายที่สุดและลงทุนน้อยที่สุด โคอะแกรมเส้นเดี่ยวของการจัดวงจรแบบนี้แสดงไว้รูปที่ 3.1 (ก) การจัดวงจรของระบบสายป้อนปฐมภูมิแบบนี้มีความเชื่อถือในการจ่ายไฟต่ำ



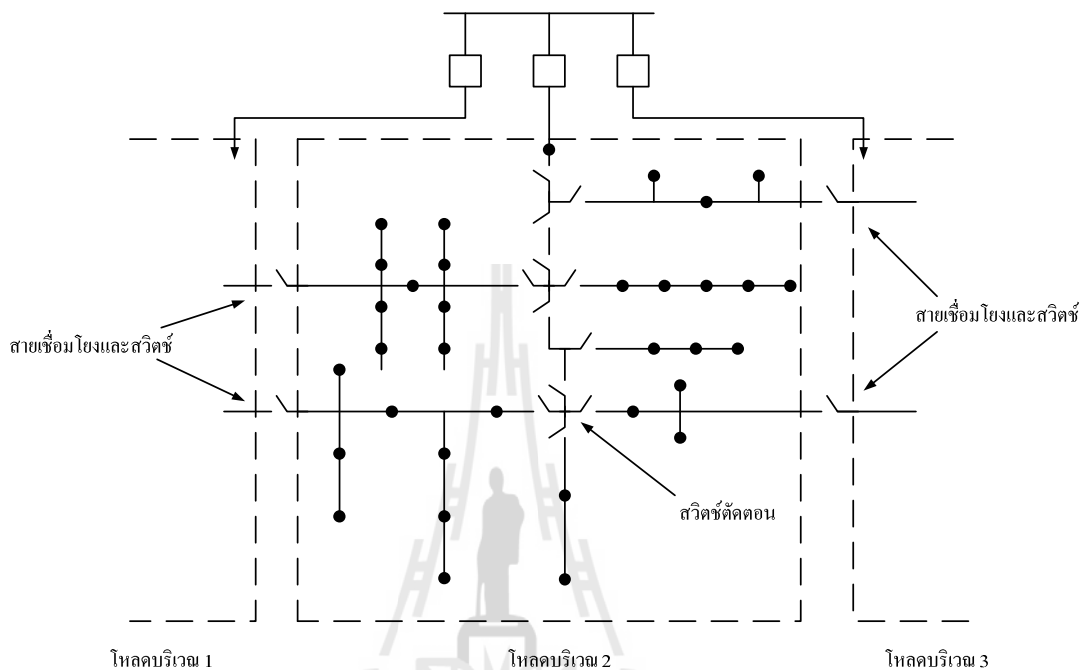
(ก) ไม่มีฟิวส์ที่ส่วนแยกออกจากสายประธาน (ข) มีฟิวส์ที่ส่วนแยกออกจากสายประธาน

รูปที่ 3.1 สายป้อนปฐมภูมิเรเดียลแบบธรรมดา

เพราะเมื่อเกิดความผิดปกติในระบบขึ้นที่จุดหนึ่งจุดใดในสายป้อนประธานจะทำให้ไม่สามารถจ่ายไฟให้ผู้ใช้งานไฟทั้งหมดนอกจากจุดที่เกิดความผิดปกติในระบบจะถูกตัดออกจากระบบด้วยฟิวส์หรือสวิตช์ตัดตอนแยกจุดที่เกิดความผิดปกติในระบบออกถึงจะสามารถจ่ายไฟฟ้ากลับเข้ามาในระบบได้อีก รูปที่ 3.1 (ข) แสดงระบบที่มีฟิวส์ตามสายป้อนประธานและสายป้อนย่อยที่สามารถแยกตอนใดตอนหนึ่งของสายป้อนออกจากระบบได้ เนื่องจากการจัดวงจรของระบบสายป้อนปฐมภูมิแบบเรเดียลธรรมดาในรูปที่ 3.1 มีข้อบกพร่องหลายประการจึงได้มีการพัฒนาการจัดวงจรเรเดียลแบบอื่น ๆ ดังนี้

3.2.2 วงจรแบบเรเดียลเชื่อมโยง มีความเชื่อถือและมั่นคงในการจ่ายไฟฟ้ามากกว่าแบบเรเดียลธรรมดาเพราะมีวงจรเชื่อมโยงระหว่างสายป้อนปฐมภูมิดูด้วยกันเพิ่มเข้ามาด้วยสวิตช์ซึ่งปกติจะเปิดวงจร หากเกิดความผิดปกติในระบบที่ส่วนหนึ่งส่วนใดของสายป้อนประธานจุดลัดวงจรสามารถถูกแยกออกจากระบบโดยการเปิดวงจรของอุปกรณ์ตัดตอนแต่ละข้างของจุดที่

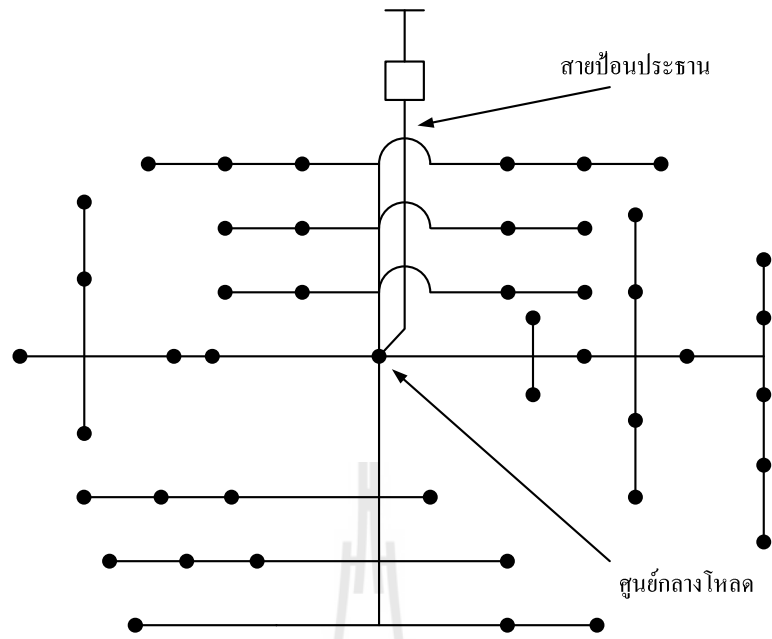
เกิดความผิดปกติในระบบ แล้วปิดสวิตช์ในวงจรเชื่อมโยงทำให้การจ่ายไฟในช่วงสายป้อนที่ไม่เกิดความผิดปกติในระบบได้รับการจ่ายไฟฟ้าได้ตามปกติ



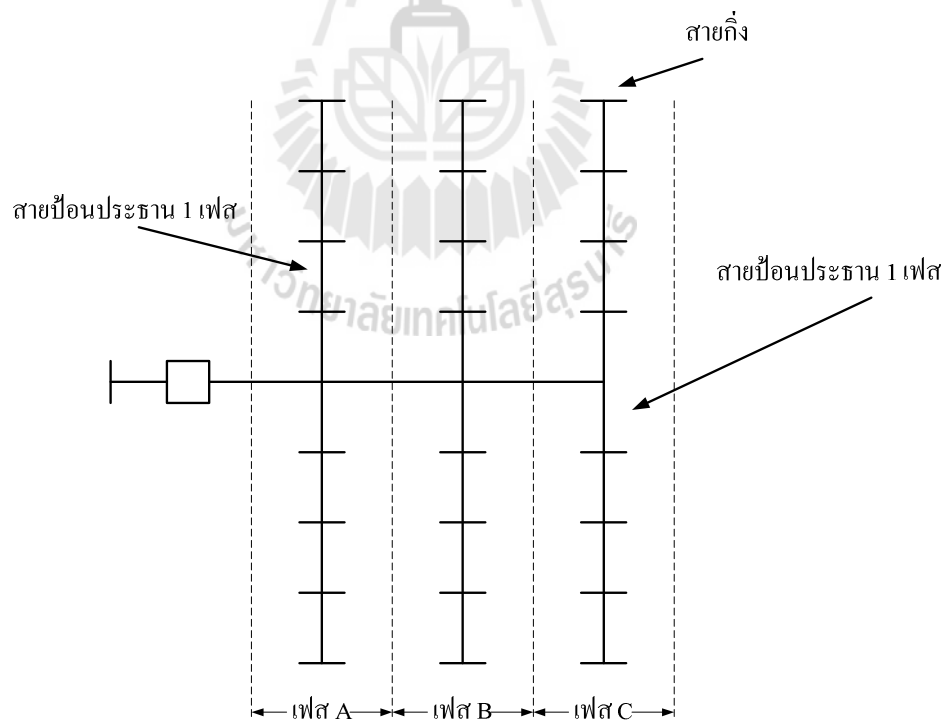
รูปที่ 3.2 วงจรรเบียบเรเดียลเชื่อมโยง

3.2.3 วงจรรเบียบเรเดียลศูนย์กลางโหนด สายป้อนประธานจะวิ่งไปยังศูนย์กลางโหนดก่อนแล้วค่อยกระจายโหนดไปตามสายกิ่ง หรือสายป้อนย่อย การจัดวงจรรเบียบนี้ทำให้สามารถจ่ายโหนดได้มากกว่าแบบเรเดียลตรงซึ่งอาจมากถึงสองเท่า แต่ข้อเสียของการจัดวงจรรโหนดแบบนี้ คือถ้ามีการขยายโหนดเพิ่มมากขึ้นการจัดวงจรรก็ต้องเปลี่ยนแปลงไปด้วยเนื่องจากศูนย์กลางโหนดเปลี่ยนไปจากจุดเดิม

3.2.4 วงจรรเบียบเรเดียลแยกเฟส โดยแต่ละเฟสของสายป้อนแยกจ่ายโหนดในแต่ละบริเวณ โดยทั่วไปจะมีการแยกจ่ายสาย หรือทุกบริเวณแต่ละเฟสของสายป้อนอาจจ่ายโหนดแบบเรเดียลศูนย์กลางโหนดก็ได้ ปัญหาที่ควรระวังในการวางแผนจ่ายไฟฟ้าแบบนี้ คือต้องพยายามให้โหนดสมดุลทั้ง 3 เฟส และข้อเสียของการจัดวงจรรแบบนี้ก็คือ โหนดที่ใช้ 3 เฟสใช้กับการจัดวงจรรแบบนี้ไม่ได้ ยกเว้นจะต่อเข้าที่ต้นทางของสายประธานก่อนที่จะมีการแยกเฟสของสายป้อนทำให้การจัดวงจรรแบบนี้ไม่นิยมใช้กัน



รูปที่ 3.3 วงจรแบบเรเดียลศูนย์กลางโหลด

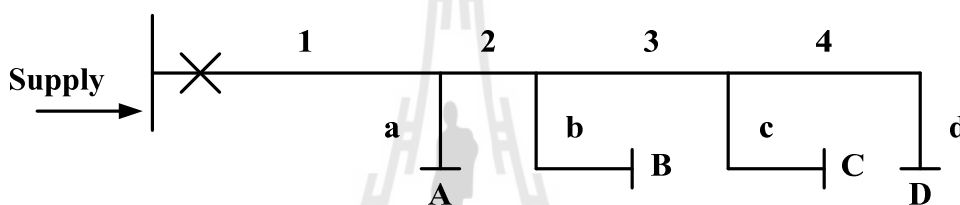


รูปที่ 3.4 วงจรแบบเรเดียลแยกเฟส

จากลักษณะวงจรที่กล่าวมาจากการจัดวงจรของระบบสายป้อนปฐมภูมิแบบนี้มีความเชื่อถือในการจ่ายไฟต่ำ เพราะเมื่อเกิดความผิดปกติในระบบขึ้นที่จุดหนึ่งจุดใดในสายป้อน ประธานหรือสายป้อนย่อยจะทำให้ไม่สามารถจ่ายไฟฟ้าให้ผู้ใช้งานไฟฟ้าทั้งหมด นอกจากจุดที่เกิดความผิดปกติในระบบจะถูกตัดออกจากระบบด้วยฟิวส์ หรือสวิตช์ตัดตอนแยกจุดที่เกิดความผิดปกติในระบบออกถึงจะสามารถจ่ายไฟฟ้ากลับเข้ามาในระบบได้อีก ดังนั้นจึงเห็นได้ว่าสวิตช์ตัดตอนมีความสำคัญในการเพิ่มความเชื่อถือได้ให้กับระบบ

3.3 พิจารณาเหตุการณ์เมื่อเกิดความผิดปกติในระบบจำหน่ายไฟฟ้าแบบเรเดียล

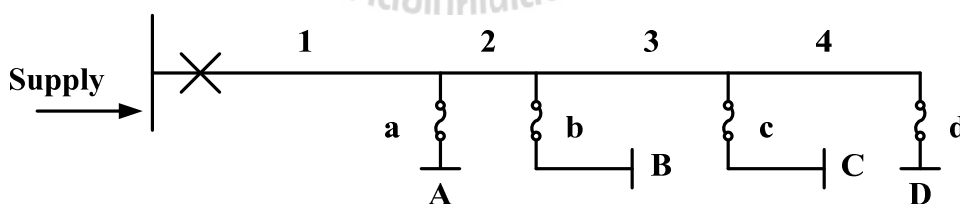
3.3.1 กรณีไม่มีอุปกรณ์ตัดตอน



รูปที่ 3.5 ระบบจำหน่ายไฟฟ้าแบบเรเดียลในกรณีไม่มีอุปกรณ์ป้องกัน

เมื่อเกิดความผิดปกติขึ้นในระบบทำให้อุปกรณ์ป้องกันต้นทางเปิดวงจรออก ทำให้ผู้ใช้ไฟฟ้าทั้งสายจำหน่ายไฟฟ้าไม่มีไฟฟ้าใช้

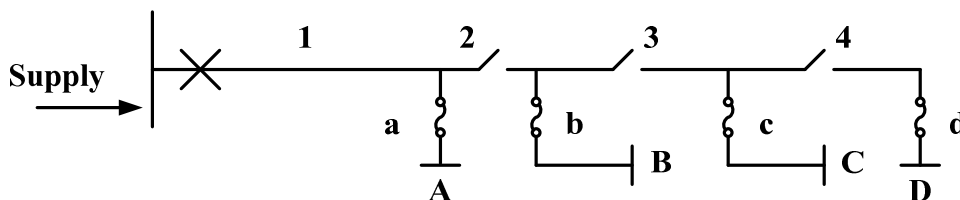
3.3.2 กรณีติดตั้งอุปกรณ์ป้องกันที่จุดโหลด



รูปที่ 3.6 ระบบจำหน่ายไฟฟ้าแบบเรเดียลในกรณีติดตั้งอุปกรณ์ป้องกันที่จุดโหลด

เมื่อเกิดความผิดปกติในระบบที่จุดโหลด จุดโหลดอื่นที่ไม่ใช่จุดที่เกิดความผิดปกติยังได้รับการจ่ายไฟฟ้าอยู่ เนื่องจากฟิวส์ได้ทำการตัดโหลดที่เกิดความผิดปกติออก แต่ถ้าเกิดความผิดปกติที่ต้นทางของสายป้อนก็ยังคงทำให้ผู้ใช้ไฟฟ้าทั้งสายจำหน่ายไม่มีไฟฟ้าใช้

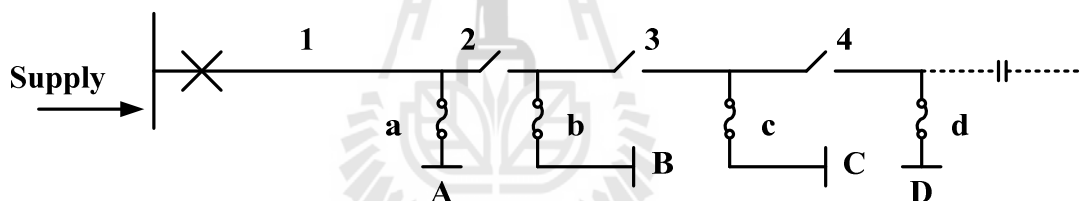
3.3.3 กรณีติดตั้งอุปกรณ์ป้องกันที่จุดโหลดและสวิตช์ตัดตอน



รูปที่ 3.7 ระบบจำหน่ายแบบเรเดียลในกรณีมีสวิตช์ตัดตอนที่สายป้อนและฟิวส์ที่จุดโหลด

เมื่อเกิดความผิดปกติขึ้นที่ตอนใดใดของวงจร อุปกรณ์ป้องกันจะทำงานเปิดวงจรของระบบก่อน แล้วสับสวิตช์ตัดตอนแยกส่วนที่เกิดความผิดปกติออก แล้วจึงจ่ายไฟฟ้าเข้าสู่ระบบตามเดิม จุดโหลดที่อยู่ก่อนจุดที่เกิดความผิดปกติก็จะได้รับการจ่ายไฟฟ้าตามเดิม ส่วนจุดโหลดที่อยู่หลังจุดเกิดความผิดปกติจะเกิดไฟฟ้าดับจนกว่าจะแก้ไขส่วนที่เกิดความผิดปกติเสร็จ

3.3.4 เมื่อมีการจ่ายไฟฟ้าจากสายป้อนอื่น



รูปที่ 3.8 ระบบจำหน่ายแบบเรเดียลในกรณีที่จ่ายไฟฟ้าสำรองจากสายป้อนอื่น

เมื่อเกิดความผิดปกติขึ้นที่ตอนใดใดของวงจร อุปกรณ์ป้องกันจะทำงานเปิดวงจรของระบบก่อน แล้วสับสวิตช์ตัดตอนแยกส่วนที่เกิดความผิดปกติออกแล้วจึงจ่ายไฟฟ้าเข้าสู่ระบบตามเดิม จุดโหลดที่อยู่ก่อนจุดที่เกิดความผิดปกติก็จะได้รับการจ่ายไฟฟ้าตามเดิม แต่จุดโหลดที่อยู่หลังจุดเกิดความผิดปกติจะเกิดไฟฟ้าดับ ในช่วงเวลาการสับสวิตช์ตัดตอนและเวลาในการจ่ายไฟฟ้าจากสายป้อนอื่นมาทดแทน แต่เมื่อเกิดเหตุการณ์ที่ไม่สามารถจ่ายไฟฟ้าได้ระยะเวลาไฟฟ้าดับของผู้ใช้ไฟฟ้าจะขึ้นอยู่กับตำแหน่งที่เกิดการความผิดปกติ ตำแหน่งของสวิตช์ตัดตอนและเวลาการจ่ายไฟฟ้าจ่ายสายป้อนอื่นดังนั้นตำแหน่งของสวิตช์ตัดตอนจึงมีผลต่อความเชื่อถือได้ของระบบ

3.4 มูลค่าความเสียหายเมื่อเกิดเหตุการณ์ไฟฟ้าดับ [13]

ตารางที่ 3.2 Standard Industrial Classification (SIC) จะแบ่งประเภทของผู้ใช้ไฟฟ้าเป็นผู้ใช้ไฟฟ้าขนาดใหญ่ อุตสาหกรรม พาณิชยกรรม กสิกรรม บ้านพักอาศัย หน่วยงานราชการ สำนักงานเอกชน ข้อมูลที่ได้เป็นผลการสำรวจของ University of Saskatchewan ซึ่งเป็นข้อมูลประมาณมูลค่าความเสียหายของผู้ใช้ไฟฟ้า 7 ประเภท ซึ่งมีอยู่ 5 ช่วงเวลา

ตารางที่ 3.2 มูลค่าความเสียหายเมื่อเกิดไฟฟ้าดับของ SIC

| ประเภทผู้ใช้ไฟ | ระยะเวลาที่เกิดไฟฟ้าดับ (นาท) และมูลค่าเสียหาย (\$/kW) | | | | |
|---------------------|--|--------|--------|---------|---------|
| | 1 นาท | 20 นาท | 60 นาท | 240 นาท | 480 นาท |
| ผู้ใช้ไฟฟ้าขนาดใหญ่ | 1.005 | 1.508 | 2.225 | 3.968 | 8.240 |
| อุตสาหกรรม | 1.625 | 3.868 | 9.085 | 25.160 | 55.810 |
| พาณิชยกรรม | 0.381 | 2.969 | 8.552 | 31.320 | 83.010 |
| กสิกรรม | 0.060 | 0.343 | 0.649 | 2.064 | 4.120 |
| บ้านที่พักอาศัย | 0.001 | 0.093 | 0.482 | 4.914 | 15.690 |
| หน่วยงานราชการ | 0.044 | 0.369 | 1.492 | 6.558 | 26.040 |
| สำนักงานเอกชน | 4.778 | 0.878 | 21.060 | 68.830 | 119.200 |

จากตารางที่ 3.2 พบว่ามูลค่าความเสียหายเมื่อเกิดไฟฟ้าดับจะขึ้นอยู่กับช่วงเวลาที่เกิดไฟฟ้าดับและชนิดของผู้ใช้ไฟฟ้าซึ่งจากตารางที่ 3.2 แสดงให้เห็นว่าผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทสำนักงานเอกชนมีมูลค่าความเสียหายเมื่อเกิดไฟฟ้าดับสูงสุด และผู้ใช้ไฟฟ้าที่มีมูลค่าความเสียหายต่ำที่สุดคือผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทบ้านพักอาศัย แต่ถ้าพิจารณาระยะเวลาในการเกิดไฟฟ้าดับเป็นเวลานานแล้วผู้ใช้ไฟฟ้าที่มีมูลค่าความเสียหายต่ำที่สุดจะเป็นผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทกสิกรรม ในกรณีที่ระยะเวลาไฟฟ้าดับมีเวลาอยู่ในช่วงของเวลาในตารางให้ทำการคำนวณหามูลค่าความเสียหายของผู้ใช้ไฟฟ้าโดยใช้วิธีการประมาณแบบภายใน (Interpolate) ในลักษณะเชิงเส้นแต่ถ้ามากกว่า 8 ชั่วโมงให้ใช้การประมาณแบบภายนอก (Extrapolate) ในลักษณะเชิงเส้น

ตารางที่ 3.3 จะแบ่งประเภทตัวใช้ไฟฟ้าเป็น 5 ประเภทคือ บ้านพักอาศัย ธุรกิจขนาดเล็ก ธุรกิจขนาดกลาง ธุรกิจขนาดใหญ่ ธุรกิจเฉพาะ และหน่วยงานราชการ ข้อมูลที่ได้เป็นผลการสำรวจของ การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคซึ่งเป็นข้อมูลประมาณมูลค่าความเสียหายของผู้ใช้ไฟฟ้า 6 ประเภท ซึ่งมีอยู่ 5 ช่วงเวลาดังกัน ผลจากการสำรวจแสดงให้เห็นว่ามูลค่าความเสียหายเนื่องจากไฟฟ้าดับขึ้นอยู่กับชนิดของผู้ใช้ไฟฟ้าแล้วยังมีระยะเวลาที่เกิดไฟฟ้าดับ ซึ่งระยะเวลาที่

ผู้ใช้ไฟฟ้าไม่สามารถใช้ไฟฟ้าได้จะขึ้นอยู่กับอุปกรณ์ป้องกัน อุปกรณ์ตัดตอน และเวลาในการจ่ายไฟฟ้าจากสายป้อนอื่น ในกรณีที่ระยะไฟฟ้าดับมีเวลาอยู่ในช่วงของเวลาในตารางให้ทำการคำนวณหามูลค่าความเสียหายของผู้ใช้ไฟฟ้าโดยใช้วิธีการประมาณแบบภายใน (Interpolate) ในลักษณะเชิงเส้น แต่ถ้ามากกว่า 8 ชั่วโมงให้ใช้การประมาณแบบภายนอก (Extrapolate) ในลักษณะเชิงเส้น

ตารางที่ 3.3 มูลค่าความเสียหายเมื่อเกิดไฟฟ้าดับ (บาท/MW) ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค [2]

| ประเภทผู้ใช้ไฟ | ระยะเวลาที่เกิดไฟฟ้าดับ (ชั่วโมง) และมูลค่าเสียหาย (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 |

3.5 การวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าในระบบจำหน่ายแบบเรเดียล

ดังที่ได้กล่าวแล้วในข้างต้น ระบบจำหน่ายเป็นระบบที่เชื่อมต่อระหว่างระบบส่งจ่ายไฟฟ้ากับผู้ไฟฟ้า โดยทั่วไปวงจรระบบจำหน่ายประกอบไปด้วย สายป้อนปฐมภูมิ (Primary Feeder) หรือสายป้อนหลัก (Main Feeder) และสายป้อนแยก (Lateral Distributor) สายป้อนปฐมภูมิจะแยกออกมาจากสถานีไฟฟ้าย่อยและต่อผ่านไปยังศูนย์กลางโหลดหลักๆ (Major Load Centers) ขณะที่สายป้อนแยกจะเชื่อมต่อระหว่างสายป้อนปฐมภูมิกับจุดโหลดต่างๆ ผ่านหม้อแปลงจำหน่าย ในทางปฏิบัติระบบจำหน่ายจะมีสายป้อนปฐมภูมิ 1 สายป้อนหรือเป็นที่รู้จักกันคือระบบจำหน่ายไฟฟ้าแบบเรเดียล ระบบจำหน่ายไฟฟ้าแบบเรเดียลนั้นเป็นที่นิยมใช้กันทั่วไปเพราะว่าการออกแบบไม่ซับซ้อนและค่าใช้จ่ายไม่สูงมากนัก หัวข้อถัดไปจะกล่าวถึงหลักการของวิธีนิวตัน-ราฟสันโดยสังเขป

3.5.1 การแก้ปัญหาค่าไหลของกำลังไฟฟ้าโดยใช้วิธีนิวตัน-ราฟสัน [1]

จากสมการการไหลของกำลังไฟฟ้า

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

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

$$\Delta P_k = (P_{G,k} - P_{D,k}) - P_{cal,k} \quad (3-3)$$

$$\Delta Q_k = (Q_{G,k} - Q_{D,k}) - Q_{cal,k} \quad (3-4)$$

โดยที่

| | | |
|----------------|-----|---|
| P_k | คือ | กำลังไฟฟ้าที่บัส k |
| Q_k | คือ | กำลังไฟฟ้านี้ออกที่บัส k |
| $Y_{k,i}$ | คือ | สมาชิกของบัสแอดมิตแตนซ์แถวที่ k หลักที่ i |
| V_i | คือ | แรงดันตกคร่อมที่บัส i |
| $\theta_{k,i}$ | คือ | มุมของ $Y_{k,i}$ |
| δ_k | คือ | มุมของแรงดันที่บัส k |

จากสมการกำลังไฟฟ้าไหลนำมาจัดอยู่ในรูปของสมการ นิวตัน-ราฟสัน ได้ดังนี้

$$\begin{bmatrix} \Delta P_1 \\ \Delta P_2 \\ \vdots \\ \Delta P_n \\ \Delta Q_1 \\ \Delta Q_2 \\ \vdots \\ \Delta Q_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial P_1}{\partial \delta_1} & \frac{\partial P_1}{\partial \delta_2} & \dots & \frac{\partial P_1}{\partial \delta_n} & \frac{\partial P_1}{\partial |V_1|} & \frac{\partial P_1}{\partial |V_2|} & \dots & \frac{\partial P_1}{\partial |V_n|} \\ \frac{\partial P_2}{\partial \delta_1} & \frac{\partial P_2}{\partial \delta_2} & \dots & \frac{\partial P_2}{\partial \delta_n} & \frac{\partial P_2}{\partial |V_1|} & \frac{\partial P_2}{\partial |V_2|} & \dots & \frac{\partial P_2}{\partial |V_n|} \\ \vdots & \vdots & J_{11} & \vdots & \vdots & \vdots & J_{12} & \vdots \\ \frac{\partial P_n}{\partial \delta_1} & \frac{\partial P_n}{\partial \delta_2} & \dots & \frac{\partial P_n}{\partial \delta_n} & \frac{\partial P_n}{\partial |V_1|} & \frac{\partial P_n}{\partial |V_2|} & \dots & \frac{\partial P_n}{\partial |V_n|} \\ \frac{\partial Q_1}{\partial \delta_1} & \frac{\partial Q_1}{\partial \delta_2} & \dots & \frac{\partial Q_1}{\partial \delta_n} & \frac{\partial Q_1}{\partial |V_1|} & \frac{\partial Q_1}{\partial |V_2|} & \dots & \frac{\partial Q_1}{\partial |V_n|} \\ \frac{\partial Q_2}{\partial \delta_1} & \frac{\partial Q_2}{\partial \delta_2} & \dots & \frac{\partial Q_2}{\partial \delta_n} & \frac{\partial Q_2}{\partial |V_1|} & \frac{\partial Q_2}{\partial |V_2|} & \dots & \frac{\partial Q_2}{\partial |V_n|} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \frac{\partial Q_n}{\partial \delta_1} & \frac{\partial Q_n}{\partial \delta_2} & \dots & \frac{\partial Q_n}{\partial \delta_n} & \frac{\partial Q_n}{\partial |V_1|} & \frac{\partial Q_n}{\partial |V_2|} & \dots & \frac{\partial Q_n}{\partial |V_n|} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \delta_1 \\ \Delta \delta_2 \\ \vdots \\ \Delta \delta_n \\ \Delta |V_1| \\ \Delta |V_2| \\ \vdots \\ \Delta |V_n| \end{bmatrix} \quad (3-5)$$

$$\text{เมตริกซ์ย่อย } J_{11} \quad \frac{\partial P_k}{\partial \delta_k} = \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq k}}^n |V_k V_j V_{k,j}| \sin(\theta_{k,j} + \delta_j - \delta_k) \quad (3-6)$$

$$\frac{\partial P_k}{\partial \delta_i} = -|V_k V_i V_{k,i}| \sin(\theta_{k,j} + \delta_i - \delta_k); i \neq k \quad (3-7)$$

$$\text{เมตริกซ์ย่อย } J_{12} \quad \frac{\partial P_k}{\partial |V_k|} = 2|V_k Y_{k,k}| \cos(\theta_{k,k}) + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq k}}^n |V_j Y_{k,j}| \sin(\theta_{k,j} + \delta_j - \delta_k) \quad (3-8)$$

$$\frac{\partial P_k}{\partial \delta_i} = |V_k Y_{k,i}| \cos(\theta_{k,j} + \delta_i - \delta_k); i \neq k \quad (3-9)$$

$$\text{เมตริกซ์ย่อย } J_{21} \quad \frac{\partial Q_k}{\partial \delta_k} = \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq k}}^n |V_k V_j V_{k,j}| \cos(\theta_{k,j} + \delta_j - \delta_k) \quad (3-10)$$

$$\frac{\partial Q_k}{\partial \delta_i} = -|V_k V_i V_{k,i}| \cos(\theta_{k,j} + \delta_i - \delta_k); i \neq k \quad (3-11)$$

$$\text{เมตริกซ์ย่อย } J_{22} \quad \frac{\partial Q_k}{\partial |V_k|} = -2|V_k Y_{k,k}| \cos(\theta_{k,k}) + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq k}}^n |V_j Y_{k,j}| \sin(\theta_{k,j} + \delta_j - \delta_k) \quad (3-12)$$

$$\frac{\partial Q_k}{\partial \delta_i} = -|V_k Y_{k,i}| \cos(\theta_{k,j} + \delta_i - \delta_k); i \neq k \quad (3-13)$$

กระบวนการวนรอบซ้ำจะทำไปอย่างต่อเนื่องจนกระทั่ง ΔP_i และ ΔQ_i มีค่าน้อยกว่าค่าที่กำหนด หรือ $\Delta \delta_i$ และ $\Delta |V_i|$ ทั้งหมด มีค่าน้อยกว่าดัชนีความถูกต้องเมื่อกระบวนการเสร็จสมบูรณ์สามารถใช้สมการที่ (3-1) และ (3-2) เพื่อคำนวณหาค่ากำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟารีแอกทีฟที่บัสอ้างอิงได้

3.6 จินเนติกอัลกอริทึมสำหรับการหาสถานะของสวิทช์ตัดตอนที่เหมาะสมในระบบจำหน่าย

ดังที่ได้กล่าวในบทที่ 2 จินเนติกอัลกอริทึมเป็นวิธีการหาค่าที่เหมาะสมแบบเฟ้นสุ่ม (Stochastic optimization) อย่างหนึ่งที่เลียนแบบหลักการถ่ายทอดทางพันธุกรรมทางธรรมชาติ (Natural genetics) เพื่อหาค่าที่เหมาะสมโดยรวม (Global optimal) โดยอาศัยหลักการสมมุติจุดคำตอบหลายๆจุดขึ้นก่อน (Population of solution) แล้วประยุกต์ใช้หลักการค้นหาค่าที่เหมาะสม

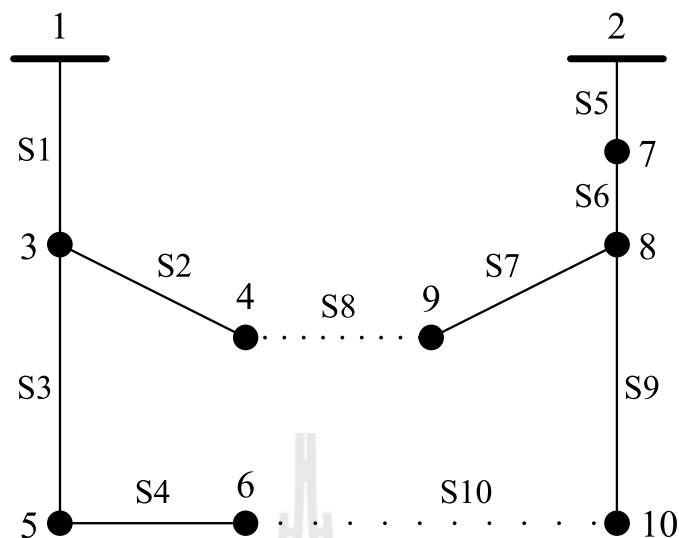
ที่สุดที่มีโอกาสที่จะอยู่รอดมากที่สุด (Survival of the fittest) เพื่อหาคำตอบที่ดียิ่งขึ้นในแต่ละรุ่นของการถ่ายทอด (Generation) สำหรับในแต่ละรุ่นของการถ่ายทอดจะมีการประเมินค่าความเหมาะสม (Fitness) ของจุดคำตอบแต่ละจุดแล้วพิจารณาเลือกจุดคำตอบใหม่จากค่าความเหมาะสมนี้ โดยอาศัยวิธีการคัดเลือกสายพันธุ์ วิธีการคัดเลือกดังกล่าวประกอบด้วย การคัดเลือก การข้ามสายพันธุ์ และการผ่าเหล่า จุดคำตอบแต่ละจุดจะประกอบไปด้วยสตริง (String) ของตัวแปรที่ถูกเข้ารหัสไว้เรียกว่า โครโมโซม (Chromosome) ซึ่งสามารถถอดรหัสเป็นค่าของตัวแปรจริงได้ โดยทั่วไปนิยมลงตัวแปรให้เป็นระบบเลขฐานสอง

จากหลักการข้างต้นแสดงให้เห็นว่าการหาค่าที่เหมาะสมโดยใช้จินเนติกอัลกอริทึมนั้นจะแตกต่างจากวิธีการหาค่าที่เหมาะสมวิธีอื่นๆ ดังนี้

- 1) ใช้รหัสของตัวแปรเป็นเครื่องมือในการหาค่าที่เหมาะสมแทนที่จะใช้ค่าตัวแปรโดยตรง ดังนั้นวิธีนี้จึงสะดวกในการแก้ปัญหาเกี่ยวกับตัวแปรชนิดใดก็ได้โดยไม่ต้องเป็นตัวแปรชนิดต่อเนื่อง
- 2) เป็นวิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่หาจากจุดเริ่มต้นหลายๆ จุด เป็นการหาจุดที่เหมาะสมโดยรวมโดยใช้เทคนิคการหาค่าที่เหมาะสมแบบขนาน ซึ่งทำให้คำตอบที่ได้มีค่าใกล้เคียงกับค่าความเหมาะสมโดยรวม
- 3) ใช้ข้อมูลเพียงแต่ค่าฟังก์ชันเป้าหมายเท่านั้น ดังนั้นวิธีนี้สามารถใช้กับฟังก์ชันเป้าหมายได้ทุกชนิด โดยไม่จำเป็นต้องต่อเนื่องหรือหาอนุพันธ์ได้
- 4) ใช้ทฤษฎีความน่าจะเป็นในการหาคำตอบ ในขณะที่วิธีการอื่นๆ ส่วนมากใช้วิธีทางแคลคูลัสเวกเตอร์

3.6.1 การเข้ารหัสสำหรับการจัดเรียงสายป้อน

การเข้ารหัสใช้เลขฐานสอง “ 0 ” และ “ 1 ” โดยเราจะกำหนดให้ “ 0 ” คือสถานะเปิดวงจรของสวิตช์ และ “ 1 ” คือสถานะปิดวงจรของสวิตช์ ดังนั้นความยาวของโครโมโซมหรือจำนวนเลขฐานสองทั้งหมดจะมีจำนวนบิตเท่ากับจำนวนสวิตช์ทั้งหมดในระบบจำหน่ายไฟฟ้าที่ราสนใจ เช่น ถ้าระบบจำหน่ายไฟฟ้าเป็นระบบ 10 บัส ดังรูปที่ 3.9 ซึ่งมีสวิตช์ทั้งหมด 10 ตัว ความยาวของเลขฐานสองจะมีจำนวนบิตทั้งหมด 10 บิต ดังตารางที่ 3.4



รูปที่ 3.9 ตัวอย่างการใช้โครโมโซมแทนโครงสร้างระบบจำหน่ายไฟฟ้า 10 บัส

ตารางที่ 3.4 ตัวอย่างการใช้โครโมโซมแทนโครงสร้างระบบจำหน่ายไฟฟ้า 10 บัส

| S1 | S2 | S3 | S4 | S5 | S6 | S7 | S8 | S9 | S10 |
|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|
| 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 |

จากรูปที่ 3.9 จะสังเกตได้ว่าเส้นประ คือ เส้นที่สวิตช์อยู่ในสถานะเปิดวงจร (S8 และ S10) ส่วนเส้นทึบคือ สวิตช์อยู่ในสถานะปิดวงจร ด้วยเหตุนี้โครโมโซมจึงปรากฏ “0” อยู่ในตำแหน่งบิตที่ 8 และ 10 และในทางตรงกันข้ามโครโมโซมที่ปรากฏ “1” จึงอยู่ในตำแหน่งบิตที่ 1 ถึง 7 และบิตที่ 9

3.6.2 การประเมินค่าความเหมาะสม (Fitness Value)

แต่ละค่าของคำตอบที่ผ่านการถอดรหัสจากโครโมโซมในจินเนติกอัลกอริทึม จะถูกประเมินค่าความเหมาะสมซึ่งขึ้นอยู่กับรูปแบบของการพิจารณา ซึ่งในวิทยานิพนธ์นี้ได้กำหนดรูปแบบการพิจารณาเป็น 3 รูปแบบ ได้แก่ พิจารณาให้จำนวนของผู้ใช้ไฟฟ้าหรือบริเวณที่มีไฟฟ้าค่าน้อยที่สุด พิจารณาให้จำนวนของผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทอุตสาหกรรมขนาดใหญ่มีไฟฟ้าค่าน้อยที่สุด หรือพิจารณาให้กำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบจำหน่ายน้อยที่สุด ดังนั้นค่าความเหมาะสมจะมีค่าเท่ากับผลต่างระหว่างค่านั้นๆ ที่ต้องการพิจารณาก่อนในช่วงก่อนกับหลังเกิดความผิดปกติในระบบ ดังสมการที่ 3-14, 3-15 และ 3-16

สำหรับกรณีพิจารณาให้จำนวนของผู้ใช้ไฟฟ้าที่มีไฟฟ้าคดับน้อยที่สุด

$$f(x) = (n_rest_b - n_rest_a) \quad (3-14)$$

สำหรับกรณีพิจารณาให้จำนวนของผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทอุตสาหกรรมขนาดใหญ่มีไฟฟ้าคดับน้อยที่สุด

$$f(x) = (n_indust_b - n_indust_a)^2 \quad (3-15)$$

สำหรับกรณีพิจารณาให้กำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบจำหน่ายน้อยที่สุด

$$f(x) = \min(loss_i) \quad (3-16)$$

เมื่อ

n_rest_b คือ จำนวนผู้ใช้ไฟก่อนเกิดความผิดปกติในระบบจำหน่าย

n_rest_a คือ จำนวนผู้ใช้ไฟหลังเกิดความผิดปกติในระบบจำหน่าย

n_indust_b คือ จำนวนผู้ใช้ไฟประเภทอุตสาหกรรมก่อนเกิดความผิดปกติในระบบจำหน่าย

n_indust_a คือ จำนวนผู้ใช้ไฟประเภทอุตสาหกรรมหลังเกิดความผิดปกติในระบบจำหน่าย

$loss_i$ คือ ค่าความสูญเสียในระบบจำหน่ายในรอบที่ i

สิ่งที่การหาสถานะของสวิตช์ตัดตอนที่เหมาะสมในระบบจำหน่าย โดยใช้เทคนิคการผสมผสานของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ต้องการมีดังนี้

- ความสูญเสียในระบบจำหน่ายให้มีค่าน้อยที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้
- โครงสร้างระบบจำหน่ายให้อยู่ในรูปแบบเรเดียล
- การรองรับโหลดเกินพิกัดของวงจรและหม้อแปลงให้มีค่าน้อยที่สุด
- การเปลี่ยนแปลงสถานะของสวิตช์ตัดตอนให้มีค่าน้อยที่สุด
- ให้มีโหลดที่ถูกปลดออกจากวงจรน้อยที่สุดและให้พิจารณาถึงความสำคัญของโหลดด้วย
- เวลาของการหาสถานะของสวิตช์ตัดตอนที่เหมาะสมในระบบจำหน่ายให้มีค่าน้อยที่สุด

ฟังก์ชันวัตถุประสงค์สำหรับการหาสถานะของสวิตช์ตัดตอนที่เหมาะสมในระบบ
จำหน่าย มีสมการดังต่อไปนี้

$$\text{Minimize } F = w_1 f_1 + w_2 f_2 + w_3 f_3 + w_4 f_4 + w_5 f_5 + w_6 f_6 + w_7 f_7 \quad (3-17)$$

Subject to

1. เงื่อนไขแรงดันในแต่ละบัส

$$V_{\min} \leq V_k \leq V_{\max} \quad (3-18)$$

2. เงื่อนไขความสูญเสียในระบบจำหน่าย

$$PLL \leq PLL_{\max} \quad (3-19)$$

3. เงื่อนไขจำนวนสวิตช์ตัดตอนที่เปลี่ยนสถานะ

$$SWOP \cong 0 \quad (3-20)$$

4. เงื่อนไขโครงสร้างระบบจำหน่ายจะต้องอยู่ในรูปแบบเรเดียล

5. เงื่อนไขการรองรับโหลดเกินพิกัดของวงจร

$$FDL \leq FDL_{\max} \quad (3-21)$$

6. เงื่อนไขการพิจารณาโหลดที่มีความสำคัญ

$$SMLP = \sum_{i=1}^{nload} LPRO_i \quad (3-22)$$

เมื่อ

$$\begin{aligned} f_1 &= \sum (V_{\min} - V_k) / V_{\max} && \text{if } V_k < V_{\min} \\ &= \sum (V_k - V_{\max}) / V_{\max} && \text{if } V_k < V_{\max}; k = 1, 2, \dots, nbus \end{aligned}$$

$$f_2 = PLL / PPLOAD$$

$$f_3 = \frac{\sum_{j=1}^{SW_{\max}} (SW_j - SWB_j)^2}{SW_{\max}}$$

$$f_5 = FLD / FLD_{\max}$$

$$f_6 = \frac{\sum_{i=1}^{nload} LPRO_i}{LPRO_{\max}}$$

| | |
|--------------|--|
| V_k | คือ แรงดันที่บัส k |
| V_{\min} | คือ ค่าแรงดันต่ำสุดของบัสที่ยอมรับได้ |
| V_{\max} | คือ ค่าแรงดันสูงสุดของบัสที่ยอมรับได้ |
| n_{bus} | คือ จำนวนทั้งหมดของบัส |
| PLL_{\max} | คือ กำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบสูงสุดที่สามารถยอมรับได้ |
| PLL | คือ กำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบในการเปลี่ยนโครงสร้างแต่ละครั้ง |
| $PPLOAD$ | คือ กำลังไฟฟ้าในระบบในการเปลี่ยนโครงสร้างระบบแต่ละครั้ง |
| $SWOP$ | คือ จำนวนสวิตช์ตัดตอนที่เปลี่ยนสถานะ |
| SW_j | คือ สถานะของสวิตช์ตัวที่ j หลังการเปลี่ยนโครงสร้างระบบ |
| SWB_j | คือ สถานะของสวิตช์ตัวที่ j ก่อนการเปลี่ยนโครงสร้างระบบ |
| SW_{\max} | คือ จำนวนทั้งหมดของสวิตช์ตัดตอน |
| FLD_r | คือ ค่ากำลังไฟฟ้าของวงจรที่ r จำยให้ไหล |
| FLD_{\max} | คือ ค่าพิกัดกำลังไฟฟ้าของวงจรที่ r |
| $LPRO_i$ | คือ ค่าความสำคัญของโหลดตัวที่ i |
| $SMLP$ | คือ ค่าผลรวมของค่าความสำคัญของโหลดในสถานะหลังเกิดความผิดปกติในระบบจำหน่าย |
| n_{load} | คือ จำนวนของโหลดที่เชื่อมต่อในระบบจำหน่ายในสถานะหลังเกิดความผิดปกติในระบบจำหน่าย |
| w_i | คือ ค่าสัมประสิทธิ์ตัวที่ i ของฟังก์ชัน f |

3.7 ระบบผู้เชี่ยวชาญสำหรับการหาสถานะของสวิตช์ตัดตอนที่เหมาะสมในระบบจำหน่าย

เมื่อเกิดความผิดปกติในระบบจำหน่าย และมีไฟฟ้าดับเป็นบริเวณกว้าง ผู้ดูแลระบบจำหน่ายซึ่งถือได้ว่าเป็นผู้เชี่ยวชาญในระบบจำหน่ายนั้นๆ จะต้องสอบถามข้อมูลจาก ผู้แจ้งปัญหาไฟฟ้าดับ ซึ่งข้อมูลที่ได้จากการสอบถามนั้น จะเป็นข้อมูลเบื้องต้นสำหรับการวิเคราะห์หาสาเหตุที่ทำให้เกิดความผิดปกติในระบบจำหน่าย จากนั้นผู้ดูแลระบบหรือผู้เชี่ยวชาญจะนำข้อมูลที่ได้จากการสอบถามมาวิเคราะห์เพื่อหาสาเหตุที่ทำให้เกิดความผิดปกติในระบบจำหน่าย พร้อมทั้งหาวิธีที่สามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าให้บริเวณที่เกิดปัญหาไฟฟ้าดับโดยเร็วที่สุด

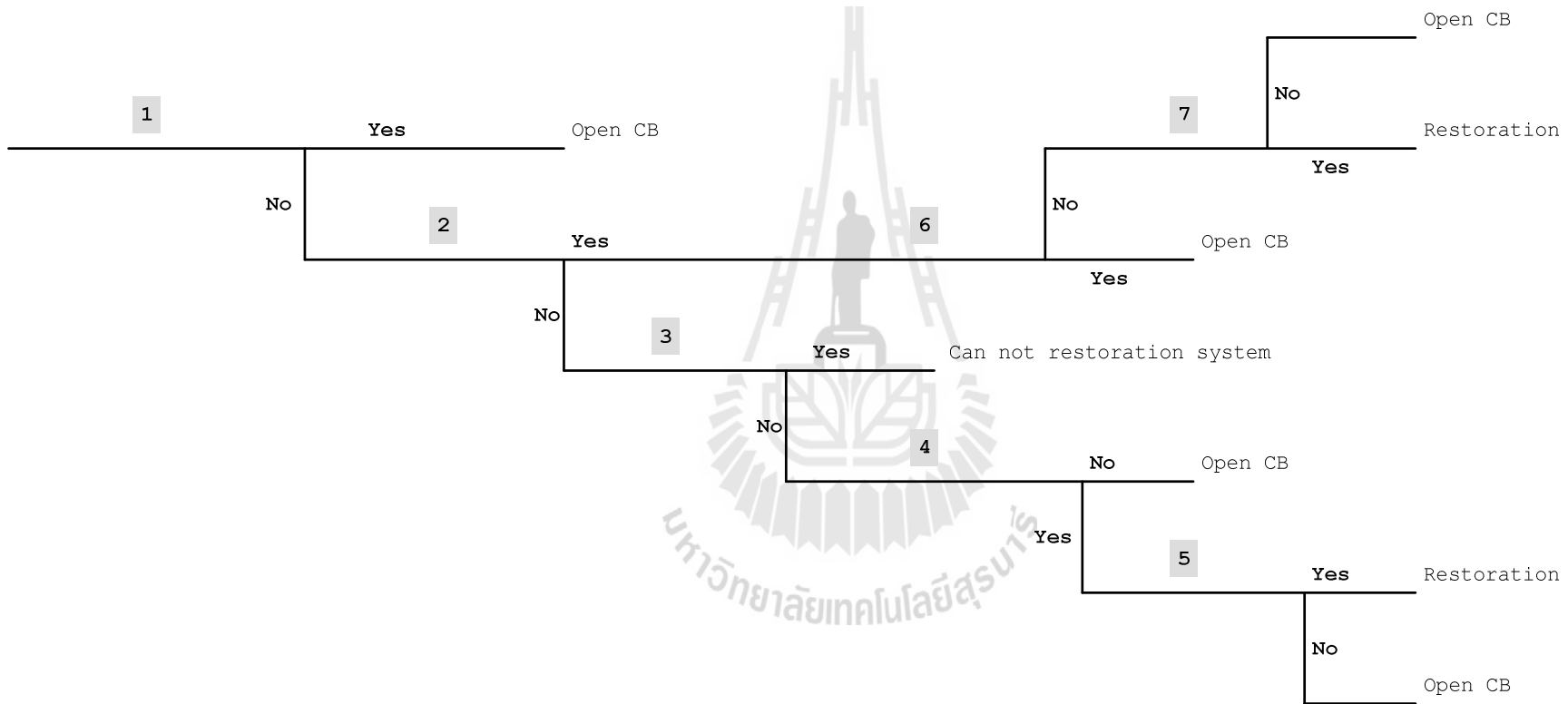
จากข้อมูลดังกล่าวข้างต้น จะเห็นได้ว่าผู้ดูแลระบบหรือผู้เชี่ยวชาญจะนำข้อมูลที่ได้จากการสอบถามมาใช้สำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลและตัดสินใจ ซึ่งเป็นการหาเหตุผลโดยใช้ข้อมูลที่มี

อยู่หรือที่เรียกว่าระบบเหตุผลที่ขับเคลื่อนด้วยข้อมูล (Data driven) ดังนั้นในการวิจัยนี้จึงเลือกวิธีการอนุมานโดยใช้วิธีลูกโซ่ไปข้างหน้า และในการวิจัยในครั้งนี้ได้ทดสอบระบบทดสอบจำนวน 5 ระบบ ได้แก่ ระบบทดสอบ 15 บิต 16 บิต 34 บิต 69 บิต และระบบทดสอบระบบจำหน่ายสถานีจ่ายไฟฟ้าย่อยสี่คิว ฐานกฎของแต่ละระบบทดสอบนั้นจะมีความแตกต่างกัน ซึ่งขึ้นอยู่กับลักษณะของระบบทดสอบนั้นๆ โดยจากระบบทดสอบทั้ง 5 ระบบนั้น สามารถแยกระบบทดสอบออกเป็น 2 ประเภท ซึ่งได้แก่ ระบบทดสอบที่มี 1 แหล่งจ่ายพลังงาน และระบบทดสอบที่มี N แหล่งจ่ายพลังงาน หรือระบบทดสอบที่มีแหล่งจ่ายพลังงานมากกว่า 1 แหล่งจ่าย โดยมีรายละเอียดดังนี้

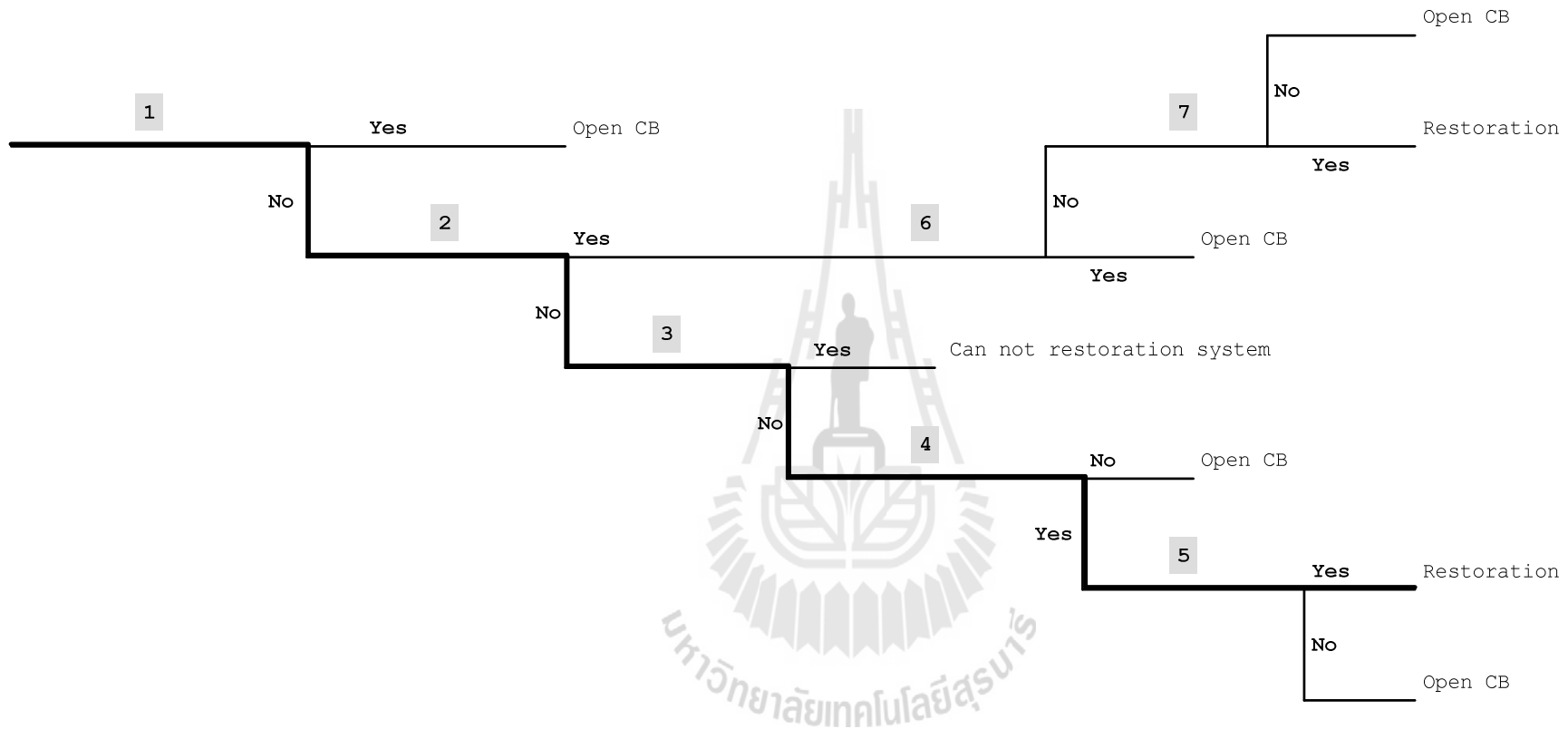
3.7.1 ระบบทดสอบที่มี 1 แหล่งจ่ายพลังงาน

ระบบทดสอบที่มี 1 แหล่งจ่ายพลังงาน ซึ่งได้แก่ ระบบทดสอบ 15 บิต ระบบทดสอบ 34 บิต และระบบทดสอบ 69 บิต ซึ่งแต่ละระบบทดสอบนั้นมีรายละเอียดดังที่แสดงในภาคผนวก ก. โดยระบบทดสอบเหล่านี้จะมีรูปแบบฐานกฎของระบบผู้เชี่ยวชาญที่คล้ายคลึงกัน โดยรูปแบบดังรูปที่ 3.10 และมีรายละเอียดของฐานกฎดังนี้

- กฎที่ 1 : โหลดอยู่ที่ตำแหน่งปลายวงจรใช่หรือไม่
- กฎที่ 2 : สวิตช์เชื่อมต่อชำรุดใช่หรือไม่
- กฎที่ 3 : เมนบัสเกิดความผิดปกติใช่หรือไม่
- กฎที่ 4 : เมนบัสสามารถรองรับโหลดจากวงจรที่เกิดความผิดปกติได้หรือไม่
- กฎที่ 5 : คุณต้องการหาสถานะของสวิตช์ตัดตอนที่เหมาะสมใช่หรือไม่
- กฎที่ 6 : สวิตช์เชื่อมต่อได้เชื่อมต่อกับบัสที่เกิดความผิดปกติใช่หรือไม่
- กฎที่ 7 : คุณต้องการหาสถานะของสวิตช์ตัดตอนที่เหมาะสมใช่หรือไม่



รูปที่ 3.10 แผนผังฐานกฎสำหรับระบบทดสอบที่มี 1 แหล่งจ่ายพลังงาน



รูปที่ 3.11 เส้นทางการตัดสินใจของแผนผังฐานกฎสำหรับระบบทดสอบที่มี 1 แหล่งจ่ายพลังงาน

ตัวอย่างระบบผู้เชี่ยวชาญของฐานกฎที่แสดงในรูปที่ 3.11 ซึ่งเป็นวิธีการประมวลผลกฎโดยวิธีการลูกโซ่ไปข้างหน้า เป็นการแสดงให้เห็นถึงรูปแบบของฐานกฎของระบบผู้เชี่ยวชาญ และเส้นทางของการตัดสินใจในแต่ละกฎ ซึ่งเส้นทางที่ได้เลือกนั้นจะเป็นเส้นทางที่

- กฎที่ 1 : โหลดอยู่ที่ตำแหน่งปลายวงจรใช่หรือไม่ [ไม่]
- กฎที่ 2 : สวิตช์เชื่อมต่อชำรุดใช่หรือไม่ [ไม่]
- กฎที่ 3 : เมนบอร์ดเกิดความผิดปกติใช่หรือไม่ [ไม่]
- กฎที่ 4 : เมนบอร์ดสามารถรองรับโหลดได้หรือไม่ [ใช่]
- กฎที่ 5 : คุณต้องการหาสถานะของสวิตช์ตัดตอนที่เหมาะสมใช่หรือไม่ [ใช่]

3.7.2 ระบบทดสอบที่มี N แหล่งจ่ายพลังงาน

ระบบทดสอบที่มี N แหล่งจ่ายพลังงาน หรือระบบทดสอบที่มีแหล่งจ่ายพลังงานมากกว่า 1 แหล่งจ่าย ซึ่งได้แก่ ระบบทดสอบ 16 บัส ซึ่งเป็นระบบทดสอบที่มี 3 แหล่งจ่ายพลังงาน และระบบทดสอบระบบจำหน่ายสถานีจ่ายไฟฟ้าย่อยสี่คิว ซึ่งเป็นระบบที่มี 10 แหล่งจ่ายพลังงาน โดยแต่ละระบบทดสอบนั้นมีรายละเอียดดังที่แสดงในภาคผนวก ก. รูปแบบฐานกฎของระบบผู้เชี่ยวชาญของระบบทั้งสองนี้จะมีรูปแบบไม่เหมือนกัน เนื่องจากรูปแบบโครงสร้างของระบบไม่เหมือนกัน และจำนวนของแหล่งจ่ายพลังงานไม่เท่ากัน จึงทำให้รูปแบบของฐานกฎของระบบทั้งสองไม่เหมือนกัน โดยฐานกฎของระบบทดสอบ 16 บัสจะมีรูปแบบดังรูปที่ 3.12 และมีรายละเอียดของฐานกฎดังนี้

- กฎที่ 1 : โหลดอยู่ที่ตำแหน่งปลายวงจรใช่หรือไม่
- กฎที่ 2 : วงจรที่ 2 สามารถรองรับโหลดจากวงจรที่เกิดความผิดปกติได้หรือไม่
- กฎที่ 3 : วงจรที่ 3 สามารถรองรับโหลดจากวงจรที่เกิดความผิดปกติได้หรือไม่
- กฎที่ 4 : วงจรที่ 2 และ 3 สามารถรองรับโหลดจากวงจรที่เกิดความผิดปกติได้หรือไม่
- กฎที่ 5 : สวิตช์เชื่อมต่อชำรุดใช่หรือไม่
- กฎที่ 6 : คุณต้องการหาสถานะของสวิตช์ตัดตอนที่เหมาะสมใช่หรือไม่
- กฎที่ 7 : สวิตช์เชื่อมต่อชำรุดใช่หรือไม่
- กฎที่ 8 : คุณต้องการหาสถานะของสวิตช์ตัดตอนที่เหมาะสมใช่หรือไม่
- กฎที่ 9 : สวิตช์เชื่อมต่อชำรุดใช่หรือไม่

- กฎที่ 10 : คุณต้องการหาสถานะของสวิตช์ตัดตอนที่เหมาะสมใช่หรือไม่
- กฎที่ 11 : โหลดอยู่ที่ตำแหน่งปลายวงจรใช่หรือไม่
- กฎที่ 12 : วงจรที่ 1 สามารถรองรับโหลดจากวงจรที่เกิดความผิดพลาดได้หรือไม่
- กฎที่ 13 : วงจรที่ 3 สามารถรองรับโหลดจากวงจรที่เกิดความผิดพลาดได้หรือไม่
- กฎที่ 14 : วงจรที่ 1 และ 3 สามารถรองรับโหลดจากวงจรที่เกิดความผิดพลาดได้หรือไม่
- กฎที่ 15 : สวิตช์เชื่อมต่อชำรุดใช่หรือไม่
- กฎที่ 16 : คุณต้องการหาสถานะของสวิตช์ตัดตอนที่เหมาะสมใช่หรือไม่
- กฎที่ 17 : สวิตช์เชื่อมต่อชำรุดใช่หรือไม่
- กฎที่ 18 : คุณต้องการหาสถานะของสวิตช์ตัดตอนที่เหมาะสมใช่หรือไม่
- กฎที่ 19 : สวิตช์เชื่อมต่อชำรุดใช่หรือไม่
- กฎที่ 20 : คุณต้องการหาสถานะของสวิตช์ตัดตอนที่เหมาะสมใช่หรือไม่
- กฎที่ 21 : โหลดอยู่ที่ตำแหน่งปลายวงจรใช่หรือไม่
- กฎที่ 22 : วงจรที่ 1 สามารถรองรับโหลดจากวงจรที่เกิดความผิดพลาดได้หรือไม่
- กฎที่ 23 : วงจรที่ 2 สามารถรองรับโหลดจากวงจรที่เกิดความผิดพลาดได้หรือไม่
- กฎที่ 24 : วงจรที่ 1 และ 2 สามารถรองรับโหลดจากวงจรที่เกิดความผิดพลาดได้หรือไม่
- กฎที่ 25 : สวิตช์เชื่อมต่อชำรุดใช่หรือไม่
- กฎที่ 26 : คุณต้องการหาสถานะของสวิตช์ตัดตอนที่เหมาะสมใช่หรือไม่
- กฎที่ 27 : สวิตช์เชื่อมต่อชำรุดใช่หรือไม่
- กฎที่ 28 : คุณต้องการหาสถานะของสวิตช์ตัดตอนที่เหมาะสมใช่หรือไม่
- กฎที่ 29 : สวิตช์เชื่อมต่อชำรุดใช่หรือไม่
- กฎที่ 30 : คุณต้องการหาสถานะของสวิตช์ตัดตอนที่เหมาะสมใช่หรือไม่

และฐานกฎของระบบจำหน่ายสถานีจ่ายไฟฟ้าย่อยสี่คี่จะมีรูปแบบดังรูปที่ 3.13 และมีรายละเอียดของฐานกฎดังนี้

- กฎที่ 1 : โหลดอยู่ที่ตำแหน่งปลายวงจรใช่หรือไม่
- กฎที่ 2 : วงจรที่ 2 สามารถรองรับโหลดจากวงจรที่เกิดความผิดปกติได้หรือไม่
- กฎที่ 3 : วงจรที่ 7 สามารถรองรับโหลดจากวงจรที่เกิดความผิดปกติได้หรือไม่
- กฎที่ 4 : วงจรที่ 2 และ 7 สามารถรองรับโหลดจากวงจรที่เกิดความผิดปกติได้หรือไม่
- กฎที่ 5 : สวิตช์เชื่อมต่อชำรุดใช่หรือไม่
- กฎที่ 6 : คุณต้องการหาสถานะของสวิตช์ตัดตอนที่เหมาะสมใช่หรือไม่
- กฎที่ 7 : สวิตช์เชื่อมต่อชำรุดใช่หรือไม่
- กฎที่ 8 : คุณต้องการหาสถานะของสวิตช์ตัดตอนที่เหมาะสมใช่หรือไม่
- กฎที่ 9 : สวิตช์เชื่อมต่อชำรุดใช่หรือไม่
- กฎที่ 10 : คุณต้องการหาสถานะของสวิตช์ตัดตอนที่เหมาะสมใช่หรือไม่
- กฎที่ 11 : โหลดอยู่ที่ตำแหน่งปลายวงจรใช่หรือไม่
- กฎที่ 12 : วงจรที่ 1 สามารถรองรับโหลดจากวงจรที่เกิดความผิดปกติได้หรือไม่
- กฎที่ 13 : วงจรที่ 7 สามารถรองรับโหลดจากวงจรที่เกิดความผิดปกติได้หรือไม่
- กฎที่ 14 : วงจรที่ 1 และ 7 สามารถรองรับโหลดจากวงจรที่เกิดความผิดปกติได้หรือไม่
- กฎที่ 15 : สวิตช์เชื่อมต่อชำรุดใช่หรือไม่
- กฎที่ 16 : คุณต้องการหาสถานะของสวิตช์ตัดตอนที่เหมาะสมใช่หรือไม่
- กฎที่ 17 : สวิตช์เชื่อมต่อชำรุดใช่หรือไม่
- กฎที่ 18 : คุณต้องการหาสถานะของสวิตช์ตัดตอนที่เหมาะสมใช่หรือไม่
- กฎที่ 19 : สวิตช์เชื่อมต่อชำรุดใช่หรือไม่
- กฎที่ 20 : คุณต้องการหาสถานะของสวิตช์ตัดตอนที่เหมาะสมใช่หรือไม่
- กฎที่ 21 : โหลดอยู่ที่ตำแหน่งปลายวงจรใช่หรือไม่
- กฎที่ 22 : วงจรที่ 5 สามารถรองรับโหลดจากวงจรที่เกิดความผิดปกติได้หรือไม่
- กฎที่ 23 : วงจรที่ 6 สามารถรองรับโหลดจากวงจรที่เกิดความผิดปกติได้หรือไม่
- กฎที่ 24 : วงจรที่ 7 สามารถรองรับโหลดจากวงจรที่เกิดความผิดปกติได้หรือไม่

กฎที่ 101 : วงจรที่ 4 และ 10 สามารถรองรับโหลดจากวงจรที่เกิดความผิดพลาดได้หรือไม่

กฎที่ 102 : วงจรที่ 8 และ 10 สามารถรองรับโหลดจากวงจรที่เกิดความผิดพลาดได้หรือไม่

กฎที่ 103 : สวิตช์เชื่อมต่อซาร์คูซ์หรือไม่

กฎที่ 104 : คุณต้องการหาสถานะของสวิตช์ตัดตอนที่เหมาะสมใช้หรือไม่

กฎที่ 105 : สวิตช์เชื่อมต่อซาร์คูซ์หรือไม่

กฎที่ 106 : คุณต้องการหาสถานะของสวิตช์ตัดตอนที่เหมาะสมใช้หรือไม่

กฎที่ 107 : สวิตช์เชื่อมต่อซาร์คูซ์หรือไม่

กฎที่ 108 : คุณต้องการหาสถานะของสวิตช์ตัดตอนที่เหมาะสมใช้หรือไม่

กฎที่ 109 : โหลดอยู่ที่ตำแหน่งปลายวงจรใช้หรือไม่

กฎที่ 110 : วงจรที่ 9 สามารถรองรับ โหลดจากวงจรที่เกิดความผิดพลาดได้หรือไม่

กฎที่ 111 : วงจรที่ 9 และ 4 สามารถรองรับ โหลดจากวงจรที่เกิดความผิดพลาดได้หรือไม่

กฎที่ 112 : วงจรที่ 9 และ 8 สามารถรองรับ โหลดจากวงจรที่เกิดความผิดพลาดได้หรือไม่

กฎที่ 113 : สวิตช์เชื่อมต่อซาร์คูซ์หรือไม่

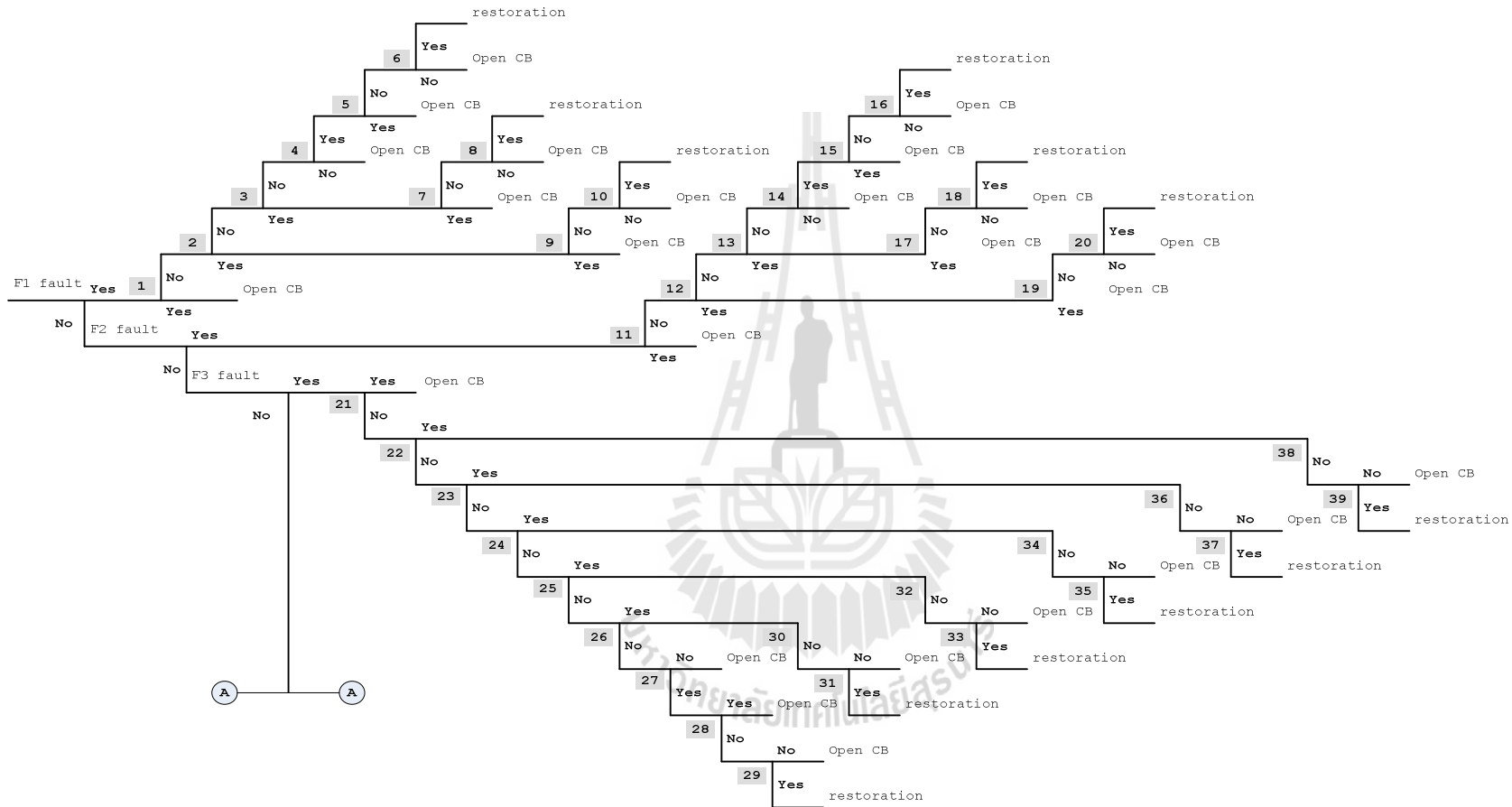
กฎที่ 114 : คุณต้องการหาสถานะของสวิตช์ตัดตอนที่เหมาะสมใช้หรือไม่

กฎที่ 115 : สวิตช์เชื่อมต่อซาร์คูซ์หรือไม่

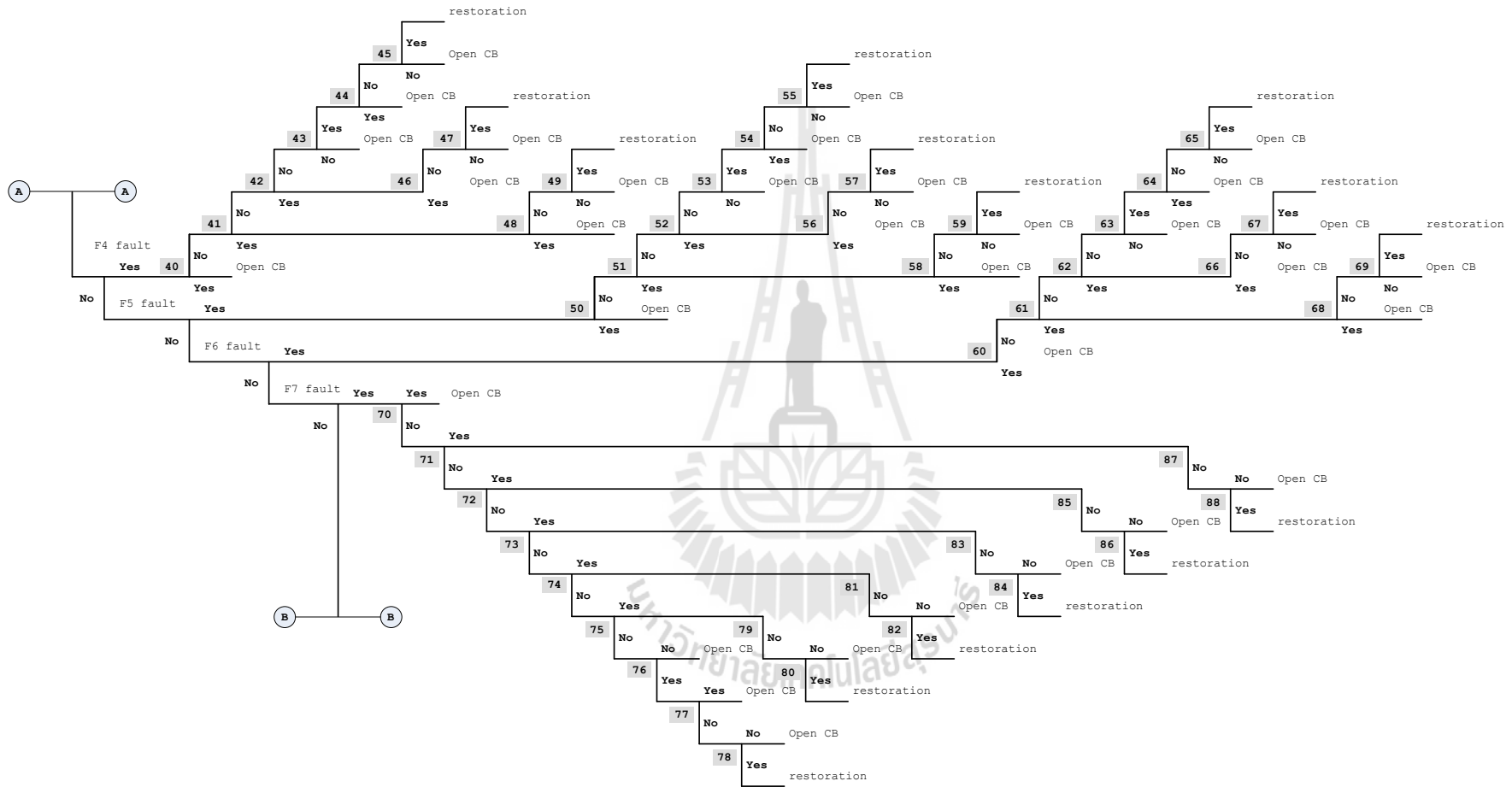
กฎที่ 116 : คุณต้องการหาสถานะของสวิตช์ตัดตอนที่เหมาะสมใช้หรือไม่

กฎที่ 117 : สวิตช์เชื่อมต่อซาร์คูซ์หรือไม่

กฎที่ 118 : คุณต้องการหาสถานะของสวิตช์ตัดตอนที่เหมาะสมใช้หรือไม่

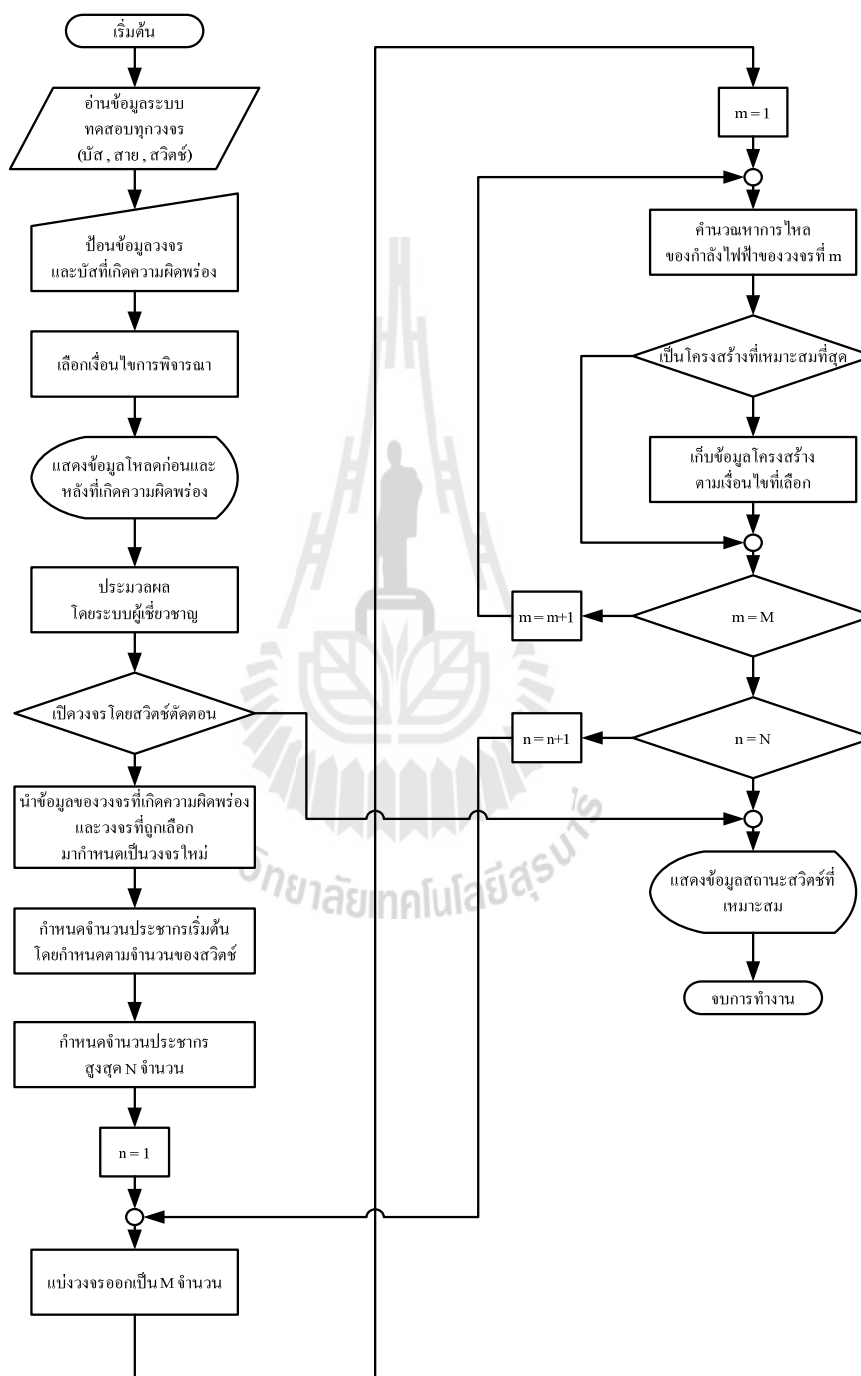


รูปที่ 3.13 แผนผังฐานกฎสำหรับระบบจำหน่ายสถานีจ่ายไฟฟ้าย่อยสี่คิว



รูปที่ 3.13 แผนผังฐานกฎสำหรับระบบจำหน่ายสถานีจ่ายไฟฟ้าย่อยสี่คี่ว (ต่อ)

3.8 ขั้นตอนการพิจารณาหาสถานะของสวิตช์ตัดตอนที่เหมาะสมเมื่อเกิดความผิดปกติในระบบจำหน่ายเงินเนติกอัลกอริทึมและระบบผู้เชี่ยวชาญ



รูปที่ 3.14 แผนผังการทำงานของโปรแกรม

ขั้นตอนที่ 1 โปรแกรมจะอ่านข้อมูลของระบบทดสอบก่อนเกิดความผิดพลาดในระบบทั้งจำนวนบัส จำนวนสวิทช์ตัดตอน ฯลฯ เพื่อนำข้อมูลดังกล่าวเป็นข้อมูลตั้งต้นในการพิจารณา

ขั้นตอนที่ 2 โปรแกรมจะสอบถามตำแหน่งของบัสที่เกิดความผิดพลาด และสอบถามเงื่อนไขที่ผู้ใช้งานต้องการให้พิจารณา โดยมีรายละเอียดดังที่ได้กล่าวมาแล้วในข้างต้นตามหัวข้อที่ 3.6.1.3 เมื่อกรอกข้อมูลเสร็จแล้วโปรแกรมจะแสดงข้อมูลเบื้องต้นเพื่อประกอบการพิจารณาการเลือกวงจรเชื่อมโยงต่อไป

ขั้นตอนที่ 3 จากนั้นจะเข้าสู่ส่วนของระบบผู้เชี่ยวชาญ โดยโปรแกรมจะสอบข้อมูลต่างๆ ที่เกี่ยวกับระบบทดสอบเพื่อนำไปประกอบการพิจารณาของระบบผู้เชี่ยวชาญ ซึ่งรายละเอียดดังกล่าวนี้ได้กล่าวไว้ในข้างต้นตามหัวข้อที่ 3.6.2.2

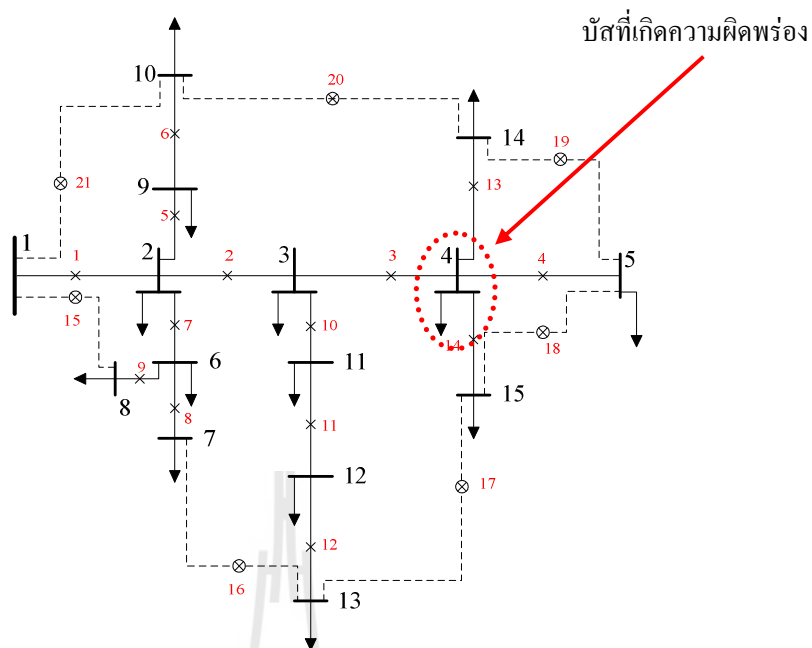
ขั้นตอนที่ 4 ระบบผู้เชี่ยวชาญจะพิจารณาคัดกลุ่มตัวแปรที่ไม่มีความสำคัญต่อการพิจารณาการหาสถานะของสวิทช์ตัดตอนที่เหมาะสมของครั้งนั้นๆ ออก และส่งตัวแปรที่ต้องนำไปประมวลผลไปยังส่วนของจินเนติกอัลกอริทึม

ขั้นตอนที่ 5 จินเนติกอัลกอริทึมจะนำตัวแปรที่ได้จากระบบผู้เชี่ยวชาญมาประมวลผลเพื่อพิจารณาหาสถานะของสวิทช์ตัดตอนที่เหมาะสม โดยเป็นไปตามเงื่อนไขต่างๆ ที่ผู้ใช้งานได้กำหนด

ขั้นตอนที่ 6 เมื่อโปรแกรมประมวลผลแล้วเสร็จ โปรแกรมจะแสดงผลการประมวลผลให้ผู้ใช้งานทราบต่อไป

3.9 สรุป

ในบทนี้ได้กล่าวถึงวิธีการพิจารณาการหาสถานะของสวิทช์ตัดตอนที่เหมาะสมเมื่อเกิดความผิดพลาดในระบบจำหน่ายโดยการใช้จินเนติกอัลกอริทึมและระบบผู้เชี่ยวชาญ โดยระบบผู้เชี่ยวชาญจะเป็นส่วนที่ทำหน้าที่คัดกรอง หรือแยกตัวแปรที่ไม่สำคัญในการประมวลผลออก ซึ่งจะเห็นได้ว่าฐานกฎของระบบผู้เชี่ยวชาญของระบบทดสอบที่มี 1 แหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้านั้นไม่ว่าจะมีจำนวนบัสที่แตกต่างกัน แต่รูปแบบของฐานกฎของระบบผู้เชี่ยวชาญนั้นจะมีลักษณะที่คล้ายคลึงกัน ซึ่งจะแตกต่างจากระบบทดสอบที่มีวงจรมากกว่า 1 วงจรขึ้นไป ฐานกฎของระบบผู้เชี่ยวชาญของระบบทดสอบในลักษณะนี้จะขึ้นอยู่กับลักษณะของการเชื่อมต่อกันในแต่ละวงจร และในส่วนของจินเนติกอัลกอริทึมนั้นจะเป็นส่วนที่ประมวลผลพิจารณาการหาสถานะของสวิทช์ตัดตอนที่เหมาะสม โดยผลลัพธ์ที่ได้นั้นจะต้องอยู่ภายใต้เงื่อนไขต่างๆ ตามที่ผู้ใช้งานกำหนด



รูปที่ 4.1 ระบบทดสอบ 15 บัส ก่อนเกิดความผิดปกติในระบบ

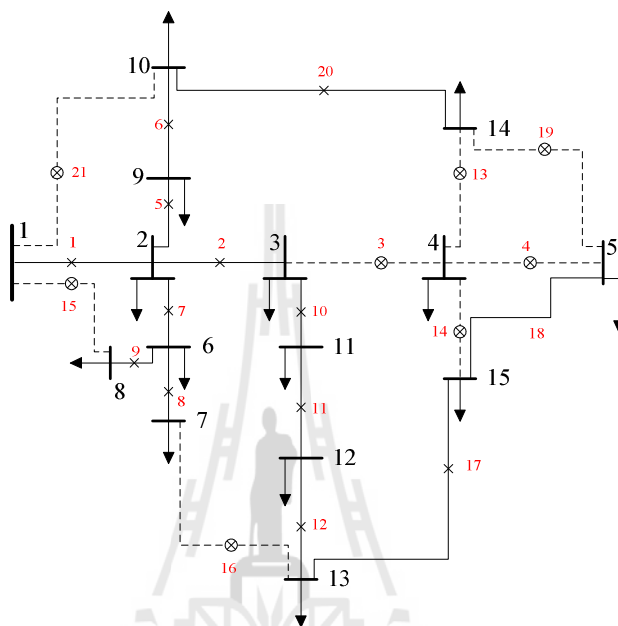
สำหรับการทดสอบระบบทดสอบ 15 บัส ได้กำหนดฟังก์ชันและค่าของตัวแปรของเงินเนติกอัลกอริทึมไว้ดังนี้

ตารางที่ 4.1 ค่าตัวแปรของเงินเนติกอัลกอริทึมสำหรับการทดสอบระบบทดสอบ 15 บัส

| ฟังก์ชันและตัวแปรของเงินเนติกอัลกอริทึม | ค่าของฟังก์ชันและตัวแปร |
|---|---|
| ฟังก์ชันการคัดเลือกสายพันธุ์ | การคัดเลือกแบบยูนิฟอร์ม |
| ฟังก์ชันการมิวเทชัน | การมิวเทชันแบบยูนิฟอร์ม |
| ฟังก์ชันการครอสโอเวอร์ | การครอสโอเวอร์แบบยูนิฟอร์ม |
| ค่าการครอสโอเวอร์ | 0.9 |
| ค่าการมิวเทชัน | ค่าการครอสโอเวอร์/จำนวนสวิทช์ตัดตอนที่พิจารณา |
| จำนวนของประชากร | 20 |

4.2.1 พิจารณาให้จำนวนของผู้ใช้ไฟฟ้าหรือบริเวณที่มีไฟฟ้าดับน้อยที่สุด

จากระบบทดสอบ 15 บัส ดังแสดงในรูปที่ 4.1 ในการทดสอบได้กำหนดให้ บัสที่ 4 เกิดความผิดปกติในระบบ ซึ่งบัสที่ 4 ได้จ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทที่อยู่อาศัย และมีจำนวนผู้ใช้ไฟ 500 ราย โดยมีผลการรันโปรแกรมดังต่อไปนี้



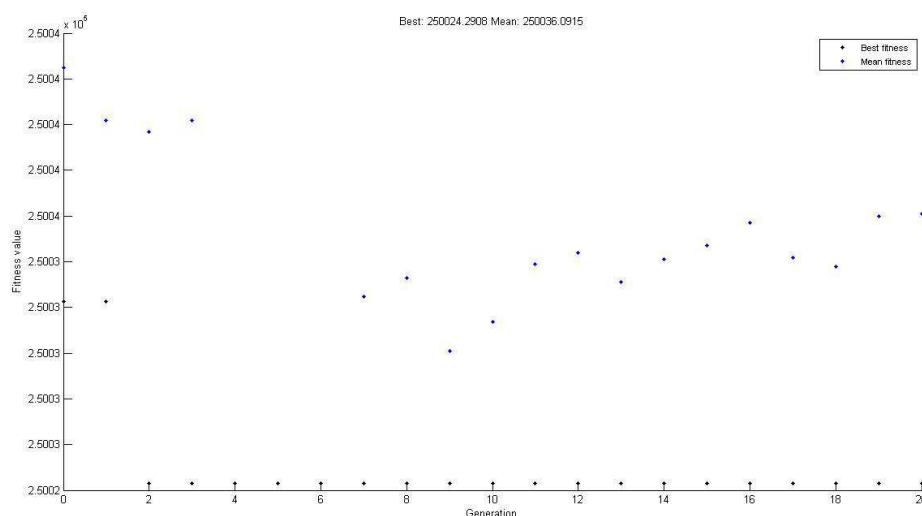
รูปที่ 4.2 ระบบทดสอบ 15 บัส หลังเกิดความผิดปกติในระบบ เมื่อพิจารณาตามกรณีศึกษาที่ 1

จากผลการรันโปรแกรมในกรณีศึกษานี้ จะประกอบไปด้วย SW1 SW2 SW5 SW6 SW7 SW8 SW9 SW10 SW11 SW12 SW17 SW18 และ SW20 จะอยู่ในสถานะปิดวงจร (Close) และ SW3 SW4 SW13 SW14 SW15 SW16 SW19 และ SW21 จะอยู่ในสถานะเปิดวงจร (Open) ดังแสดงในรูปที่ 4.2 และเมื่อนำข้อมูลสถานะของสวิตช์ตัดตอนในข้างต้นสามารถนำมาเรียงเป็นเมตริกซ์โครโมโซมของจินเนติกอัลกอริทึม โดยกำหนดให้สวิตช์ที่อยู่ในสถานะเปิดวงจรมีค่าเป็น “0” และสวิตช์ที่อยู่ในสถานะปิดวงจรมีค่าเป็น “1” ได้ดังต่อไปนี้

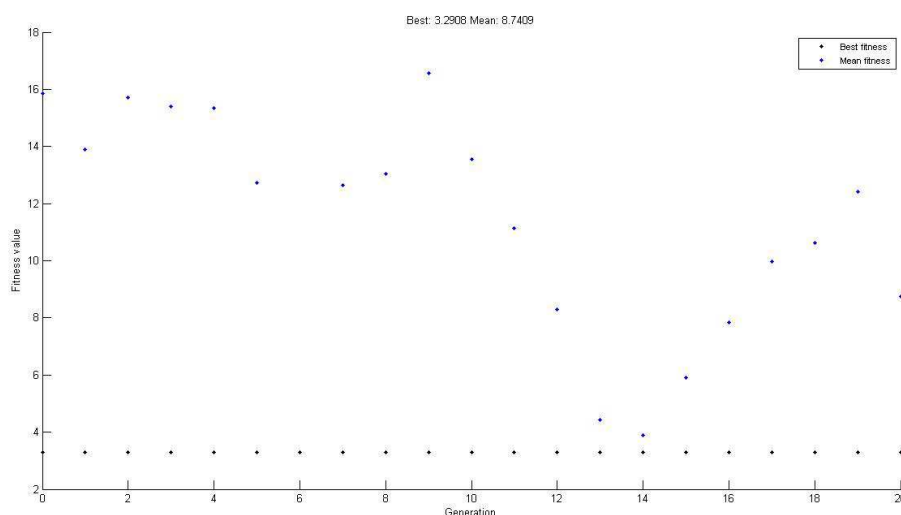
$$SWSTAT = [1 \ 1 \ 0 \ 0 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 1 \ 0 \ 1 \ 0]$$

จากรูปที่ 4.2 เนื่องจากบัสที่ 4 ได้เกิดความผิดปกติในระบบขึ้น ดังนั้นเพื่อเป็นการแยกความผิดปกติออกจากระบบ SW3 SW4 SW13 และ SW14 จึงอยู่ในสถานะเปิดวงจร (Open) และเมื่อ SW3 SW4 SW13 และ SW14 จึงอยู่ในสถานะเปิดวงจรแล้วจะมีบัสที่ 5 บัสที่ 14 และ บัสที่ 15 จะถูกตัดออกจากระบบด้วย ดังนั้น SW17 SW18 และ SW20 จึงต้องอยู่ในสถานะปิดวงจร (Close) เพื่อให้บัสที่ 5 บัสที่ 14 และ บัสที่ 15 ได้เชื่อมต่อกับระบบตามเดิม

จากกรณีศึกษาเนื่องจากหลังเกิดความผิดปกติในระบบ จะมีบัสที่ 4 เพียงบัสเดียวที่ถูกตัดออกจากระบบ ซึ่งจำนวนผู้ใช้ไฟที่บัสที่ 4 จ่ายพลังงานไฟฟ้าให้มีจำนวน 500 ราย ดังนั้นเมื่อบัสที่ 4 ถูกตัดออกจากระบบ จึงมีจำนวนผู้ใช้ไฟที่มีไฟฟ้าดับที่น้อยที่สุดจากกรณีศึกษา นี้คือ 500 ราย และจากรูปที่ 4.3 ได้แสดงถึงการลู่เข้าหาคำตอบของโปรแกรม เมื่อพิจารณาตามกรณีศึกษาที่ 1



รูปที่ 4.3 การลู่เข้าหาคำตอบในการทดสอบระบบทดสอบ 15 บัส เมื่อพิจารณาตามกรณีศึกษาที่ 1



รูปที่ 4.4 การลู่เข้าหาคำตอบในการทดสอบระบบทดสอบ 15 บัส เมื่อพิจารณาตามกรณีศึกษาที่ 2

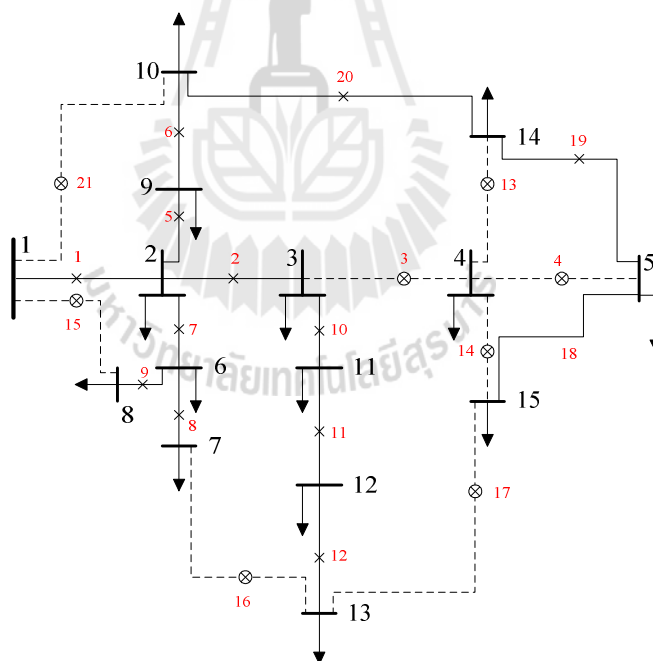
4.2.2 พิจารณาให้จำนวนของผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทอุตสาหกรรมมีไฟฟ้ระดับน้อยที่สุด

จากระบบทดสอบดังกล่าวในข้างต้น จะเห็นได้ว่าบัสที่ 4 เป็นบัสที่จ่ายโหลดประเภทที่อยู่อาศัย ดังนั้นจากผลการรันในกรณีศึกษาที่ 1 จึงได้ผลเช่นเดียวกับข้อ 4.2.1 และจากรูปที่ 4.4 ได้แสดงถึงการลู่เข้าหาคำตอบของโปรแกรม เมื่อพิจารณาตามกรณีศึกษาที่ 2

4.2.3 พิจารณาให้กำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบน้อยที่สุด

จากผลการรันโปรแกรมในกรณีศึกษาที่ 1 จะประกอบไปด้วย SW1 SW2 SW5 SW6 SW7 SW8 SW9 SW10 SW11 SW12 SW18 SW19 และ SW20 จะอยู่ในสถานะปิดวงจร (Close) และ SW3 SW4 SW13 SW14 SW15 SW16 SW17 และ SW21 จะอยู่ในสถานะเปิดวงจร (Open) ดังแสดงในรูปที่ 4.5 และเมื่อนำข้อมูลสถานะของสวิตช์ตัดตอนในข้างต้นสามารถนำมาเรียงเป็นเมตริกซ์โครโมโซมของจินเนติกอัลกอริทึม โดยกำหนดให้สวิตช์ที่อยู่ในสถานะเปิดวงจรมีค่าเป็น “0” และสวิตช์ที่อยู่ในสถานะปิดวงจรมีค่าเป็น “1” ได้ดังต่อไปนี้

$$SWSTAT = [1 \ 1 \ 0 \ 0 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 1 \ 1 \ 0]$$

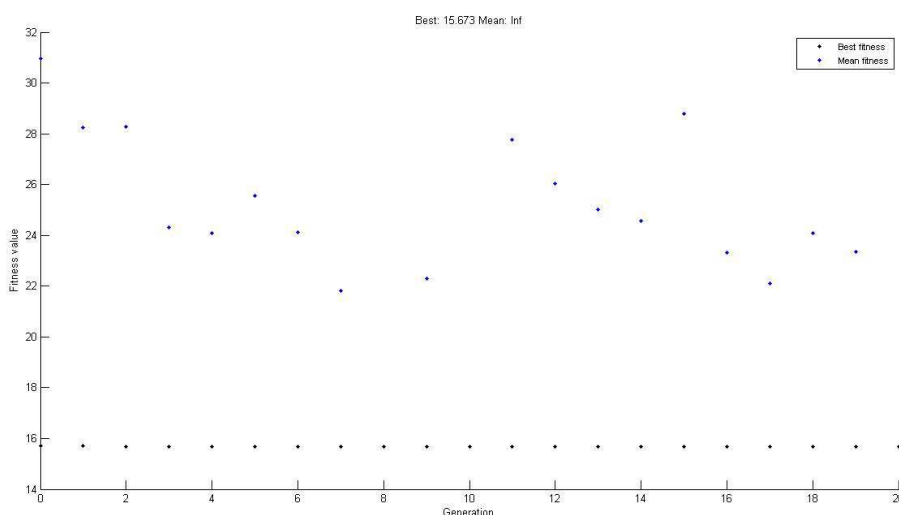


รูปที่ 4.5 ระบบทดสอบ 15 บัส หลังเกิดความผิดปกติในระบบ เมื่อพิจารณาตามกรณีศึกษาที่ 3

จากรูปที่ 4.5 เนื่องจากบัสที่ 4 ได้เกิดความผิดปกติในระบบขึ้น ดังนั้นเพื่อเป็นการแยกความผิดปกติออกจากระบบ SW3 SW4 SW13 และ SW14 จึงอยู่ในสถานะเปิดวงจร (Open) และเมื่อ SW3 SW4 SW13 และ SW14 จึงอยู่ในสถานะเปิดวงจรแล้วจะมีบัสที่ 5 บัสที่ 14

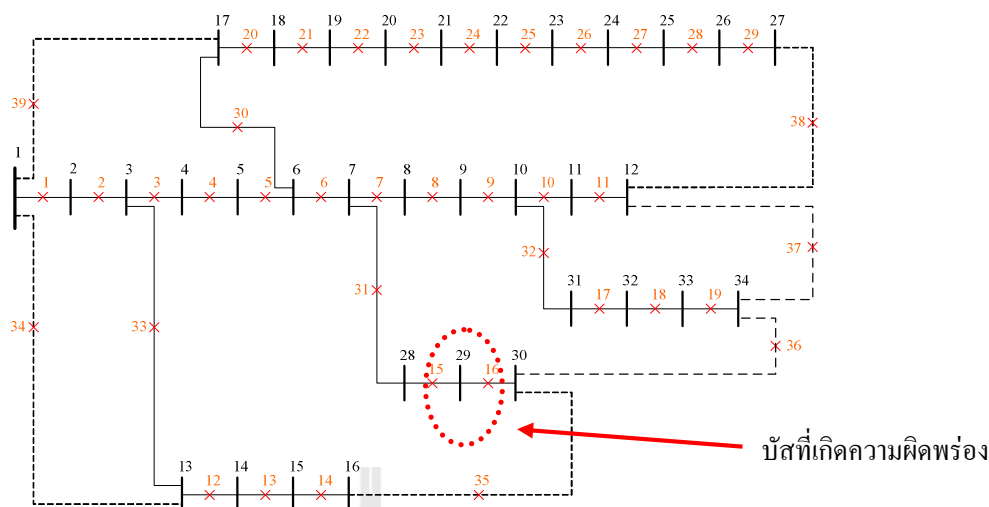
และ บัสที่ 15 จะถูกตัดออกจากระบบด้วย ดังนั้น SW18 SW19 และ SW20 จึงต้องอยู่ในสถานะปิดวงจร (Close) เพื่อให้บัสที่ 5 บัสที่ 14 และ บัสที่ 15 ได้เชื่อมต่อกับระบบตามเดิม

จากกรณีศึกษานี้จะเห็นได้ว่าผลของการรันโปรแกรมจะไม่เหมือนกรณีศึกษาที่ 1 ซึ่งกรณีศึกษาที่ 1 บัสที่ 5 บัสที่ 14 และ บัสที่ 15 ได้เชื่อมต่อกับระบบได้โดย SW17 SW18 และ SW20 อยู่ในสถานะปิดวงจร (Close) แต่ในกรณีศึกษาที่ 3 บัสที่ 5 บัสที่ 14 และ บัสที่ 15 ได้เชื่อมต่อกับระบบได้โดย SW18 SW19 และ SW20 อยู่ในสถานะปิดวงจร (Close) เนื่องจากกำลังไฟฟ้าสูญเสียจากการรันโปรแกรมในกรณีศึกษาที่ 1 มีค่าเป็น 0.4233 MW แต่กำลังไฟฟ้าสูญเสียจากการรันโปรแกรมในกรณีศึกษาที่ 3 มีค่าเป็น 0.3689 MW และจากรูปที่ 4.6 ได้แสดงถึงการลู่เข้าหาคำตอบของโปรแกรม เมื่อพิจารณาตามกรณีศึกษาที่ 3



รูปที่ 4.6 การลู่เข้าหาคำตอบในการทดสอบระบบทดสอบ 15 บัส เมื่อพิจารณาตามกรณีศึกษาที่ 3

จากการทดสอบระบบทดสอบ 15 บัส ทั้ง 3 กรณีศึกษาโดยแต่ละกรณีศึกษาจะทำการรันโปรแกรมจำนวน 30 ครั้ง ซึ่งจะได้ค่าทางสถิติของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ดังตารางที่ 4.2 ค่าเฉลี่ยของเวลาในการรันโปรแกรม โดยใช้ระบบผู้เชี่ยวชาญและจินเนติกอัลกอริทึม เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับผลการประมวลผลโดยใช้จินเนติกอัลกอริทึมเพียงอย่างเดียว สามารถสรุประยะเวลาในการประมวลผลได้ ดังตารางที่ 4.3



รูปที่ 4.7 ระบบทดสอบ 34 บัส ก่อนเกิดความผิดปกติในระบบ

สำหรับการทดสอบระบบทดสอบ 34 บัส ได้กำหนดฟังก์ชันและค่าของตัวแปรของเงินเนติกอัลกอริทึมไว้ดังนี้

ตารางที่ 4.4 ค่าตัวแปรของเงินเนติกอัลกอริทึมสำหรับการทดสอบระบบทดสอบ 34 บัส

| ฟังก์ชันและตัวแปรของเงินเนติกอัลกอริทึม | ค่าของฟังก์ชันและตัวแปร |
|---|---|
| ฟังก์ชันการคัดเลือกสายพันธุ์ | การคัดเลือกแบบยูนิฟอร์ม |
| ฟังก์ชันการมิวเทชัน | การมิวเทชันแบบยูนิฟอร์ม |
| ฟังก์ชันการครอสโอเวอร์ | การครอสโอเวอร์แบบยูนิฟอร์ม |
| ค่าการครอสโอเวอร์ | 0.9 |
| ค่าการมิวเทชัน | ค่าการครอสโอเวอร์/จำนวนสวิตช์ตัดตอนที่พิจารณา |
| จำนวนของประชากร | 20 |

4.3.1 พิจารณาให้จำนวนของผู้ใช้ไฟฟ้าหรือบริเวณที่มีไฟฟ้าดับน้อยที่สุด

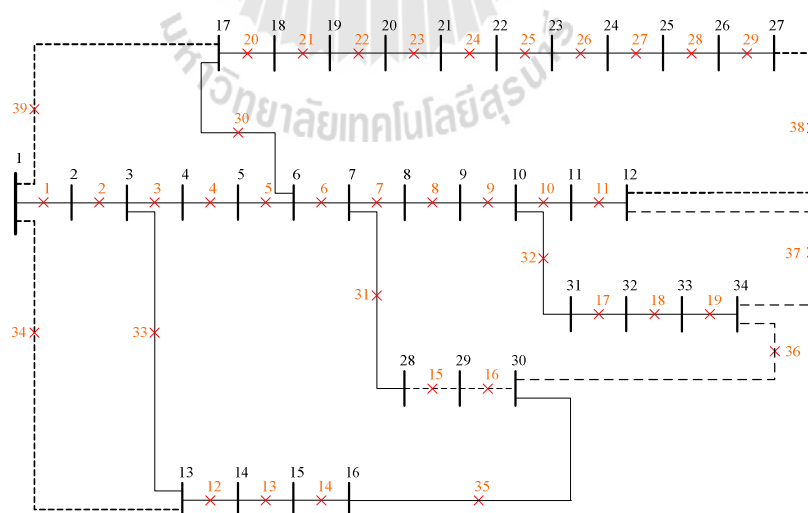
จากระบบทดสอบ 34 บัส ดังแสดงในรูปที่ 4.7 ในการทดสอบได้กำหนดให้บัสที่ 29 เกิดความผิดปกติในระบบ ซึ่งบัสที่ 29 ได้จ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทที่อยู่อาศัยขนาดใหญ่ และมีจำนวนผู้ใช้ไฟฟ้า 100 ราย โดยมีผลการรันโปรแกรมดังต่อไปนี้

จากผลการรันโปรแกรมในกรณีศึกษา¹ จะประกอบไปด้วย SW1 ถึง SW14 SW17 ถึง SW33 และ SW35 จะอยู่ในสถานะปิดวงจร (Close) และ SW15 SW16 SW34 และ SW36 ถึง SW39 จะอยู่ในสถานะเปิดวงจร (Open) ดังแสดงในรูปที่ 4.8 และเมื่อนำข้อมูลสถานะของสวิตช์ตัดตอนในข้างต้นสามารถนำมาเรียงเป็นเมตริกซ์โครโมโซมของจินเนติกอัลกอริทึม โดยกำหนดให้สวิตช์ที่อยู่ในสถานะเปิดวงจรมีค่าเป็น “0” และสวิตช์ที่อยู่ในสถานะปิดวงจรมีค่าเป็น “1” ได้ดังต่อไปนี้

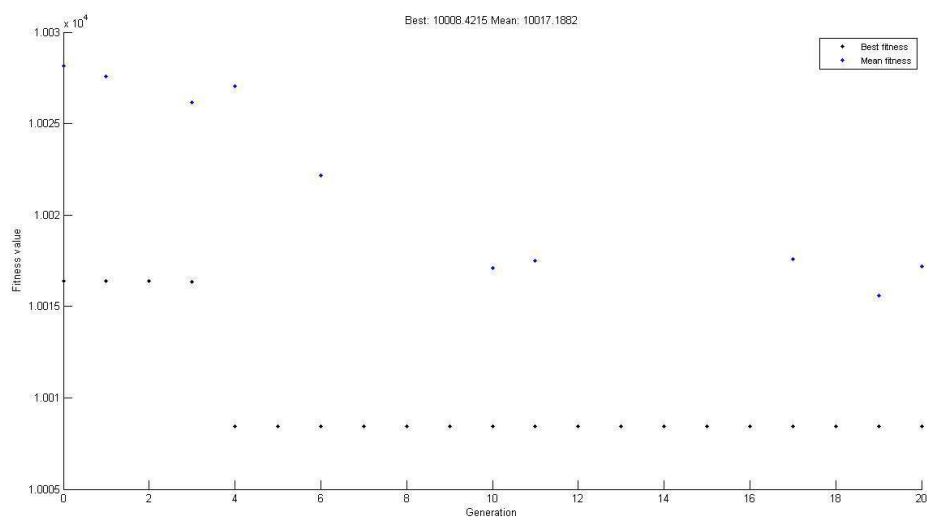
$$SWSTAT = [1\ 1\ 1\ 1\ 1\ 1\ 1\ 1\ 1\ 1\ 1\ 1\ 1\ 1\ 1\ 0\ 0\ 1\ 0\ 1\ 0\ 0\ 0\ 0]$$

จากรูปที่ 4.9 เนื่องจากบัสที่ 29 ได้เกิดความผิดปกติในระบบขึ้น ดังนั้นเพื่อเป็นการแยกความผิดปกติออกจากระบบ SW15 และ SW16 จึงอยู่ในสถานะเปิดวงจร (Open) และเมื่อ SW15 และ SW16 จึงอยู่ในสถานะเปิดวงจรแล้วจะมีบัสที่ 30 จะถูกตัดออกจากระบบด้วย ดังนั้น SW35 จึงต้องอยู่ในสถานะปิดวงจร (Close) เพื่อให้บัสที่ 30 ได้เชื่อมต่อกับระบบตามเดิม

จากกรณีศึกษา¹ เนื่องจากหลังเกิดความผิดปกติในระบบ จะมีบัสที่ 29 เพียงบัสเดียวที่ถูกตัดออกจากระบบ ซึ่งจำนวนผู้ใช้ไฟที่บัสที่ 29 จ่ายพลังงานไฟฟ้าให้มีจำนวน 100 ราย ดังนั้นเมื่อบัสที่ 29 ถูกตัดออกจากระบบ จึงมีจำนวนผู้ใช้ไฟที่มีไฟฟ้าดับที่น้อยที่สุดจากกรณีศึกษา¹ คือ 100 ราย และจากรูปที่ 4.9 ได้แสดงถึงการลู่เข้าหาคำตอบของโปรแกรม เมื่อพิจารณาตามกรณีศึกษาที่ 1



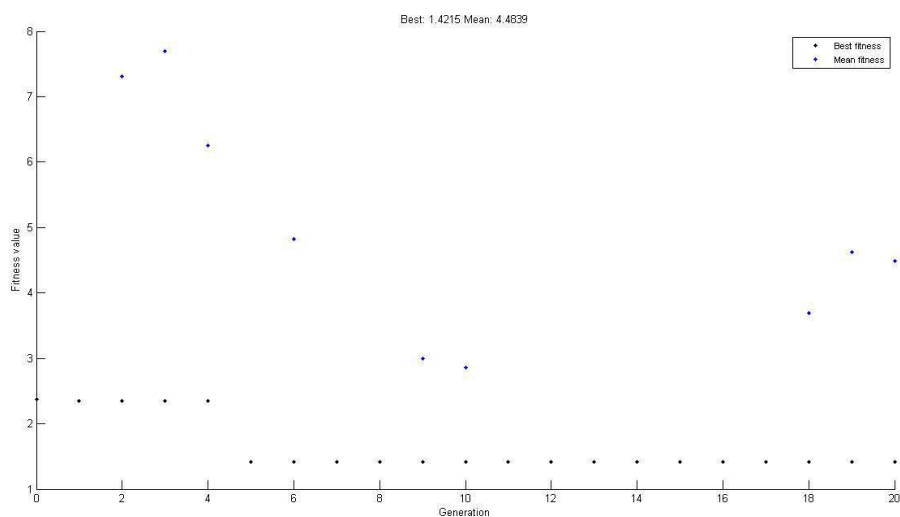
รูปที่ 4.8 ระบบทดสอบ 34 บัส หลังเกิดความผิดปกติในระบบ เมื่อพิจารณาตามกรณีศึกษาที่ 1



รูปที่ 4.9 การลู่เข้าหาคำตอบในการทดสอบระบบทดสอบ 34 บัส เมื่อพิจารณาตามกรณีศึกษาที่ 1

4.3.2 พิจารณาให้จำนวนของผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทอุตสาหกรรมมีไฟฟ้ระดับน้อยที่สุด

จากระบบทดสอบดังกล่าวในข้างต้น จะเห็นได้ว่าบัสที่ 29 เป็นบัสที่จ่ายโหลดประเภทที่อยู่อาศัย ดังนั้นจากผลการรันในกรณีศึกษานี้จึงได้ผลเช่นเดียวกับข้อ 4.3.1 และจากรูปที่ 4.10 ได้แสดงถึงการลู่เข้าหาคำตอบของโปรแกรม เมื่อพิจารณาตามกรณีศึกษาที่ 2



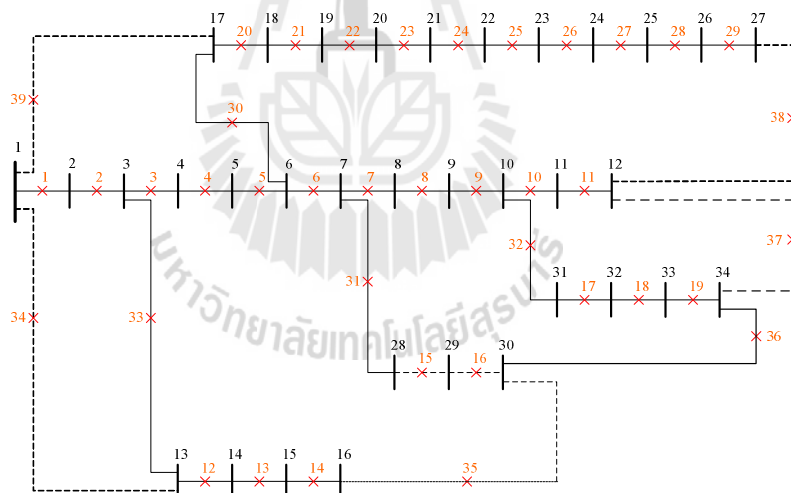
รูปที่ 4.10 การลู่เข้าหาคำตอบในการทดสอบระบบทดสอบ 34 บัส เมื่อพิจารณาตามกรณีศึกษาที่ 2

4.3.3 พิจารณาให้กำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบน้อยที่สุด

จากผลการรันโปรแกรมในกรณีศึกษาที่ 1 จะประกอบไปด้วย SW1 ถึง SW14 SW17 ถึง SW33 และ SW36 จะอยู่ในสถานะปิดวงจร (Close) และ SW15 SW16 SW34 SW35 และ SW37 ถึง SW39 จะอยู่ในสถานะเปิดวงจร (Open) ดังแสดงในรูปที่ 4.11 และเมื่อนำข้อมูลสถานะของสวิตช์ตัดตอนในข้างต้นสามารถนำมาเรียงเป็นเมตริกซ์โครโมโซมของจินเนติกอัลกอริทึม โดยกำหนดให้สวิตช์ที่อยู่ในสถานะเปิดวงจรมีค่าเป็น “0” และสวิตช์ที่อยู่ในสถานะปิดวงจรมีค่าเป็น “1” ได้ดังต่อไปนี้

$$SWSTAT = [1\ 1\ 1\ 1\ 1\ 1\ 1\ 1\ 1\ 1\ 1\ 1\ 1\ 1\ 0\ 0\ 1\ 0\ 0\ 1\ 0\ 0\ 0]$$

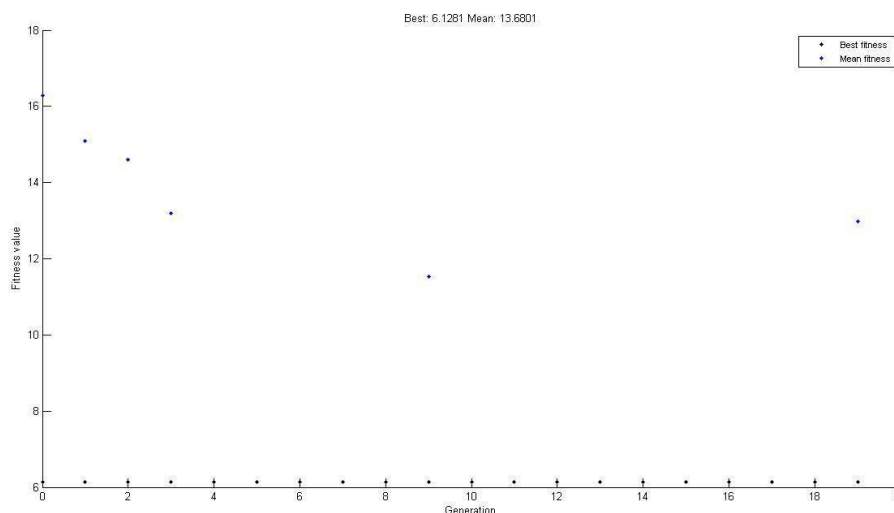
จากรูปที่ 4.12 เนื่องจากบัสที่ 29 ได้เกิดความผิดปกติในระบบขึ้น ดังนั้นเพื่อเป็นการแยกความผิดปกติออกจากระบบ SW15 และ SW16 จึงอยู่ในสถานะเปิดวงจร (Open) และเมื่อ SW15 และ SW16 จึงอยู่ในสถานะเปิดวงจรแล้วจะมีบัสที่ 30 จะถูกตัดออกจากระบบด้วย ดังนั้น SW36 จึงต้องอยู่ในสถานะปิดวงจร (Close) เพื่อให้บัสที่ 30 ได้เชื่อมต่อกับระบบตามเดิม



รูปที่ 4.11 ระบบทดสอบ 34 บัส หลังเกิดความผิดปกติในระบบ เมื่อพิจารณาตามกรณีศึกษาที่ 3

จากกรณีศึกษาที่ 1 จะเห็นได้ว่าผลของการรันโปรแกรมจะไม่เหมือนกรณีศึกษาที่ 1 ซึ่งกรณีศึกษาที่ 1 บัสที่ 30 ได้เชื่อมต่อกับระบบได้โดย SW35 อยู่ในสถานะปิดวงจร (Close) แต่ในกรณีศึกษาที่ 3 บัสที่ 30 ได้เชื่อมต่อกับระบบได้โดย SW36 อยู่ในสถานะปิดวงจร (Close) เนื่องจากกำลังไฟฟ้าสูญเสียจากการรันโปรแกรมในกรณีศึกษาที่ 1 มีค่าเป็น 0.7255 MW แต่

กำลังไฟฟ้าสูญเสียจากการรันโปรแกรมในกรณีศึกษาที่ 3 มีค่าเป็น 0.7066 MW และจากรูปที่ 4.12 ได้แสดงถึงการลู่เข้าหาคำตอบของ โปรแกรม เมื่อพิจารณาตามกรณีศึกษาที่ 3



รูปที่ 4.12 การลู่เข้าหาคำตอบในการทดสอบระบบทดสอบ 34 บิต เมื่อพิจารณาตามกรณีศึกษาที่ 3

จากการทดสอบระบบทดสอบ 34 บิต ทั้ง 3 กรณีศึกษาโดยแต่ละกรณีศึกษาจะทำการรันโปรแกรมจำนวน 30 ครั้ง ซึ่งจะได้ค่าทางสถิติของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ดังตารางที่ 4.5 ค่าเฉลี่ยของเวลาในการรันโปรแกรม โดยใช้ระบบผู้เชี่ยวชาญและจินเนติกอัลกอริทึม เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับการประมวลผลโดยใช้จินเนติกอัลกอริทึมเพียงอย่างเดียว สามารถสรุประยะเวลาในการประมวลผลได้ ดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.5 ค่าทางสถิติของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ในการทดสอบระบบทดสอบ 34 บิต

| ค่าทางสถิติของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ | ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ | | |
|------------------------------------|-------------------------|----------------|----------------|
| | กรณีศึกษาที่ 1 | กรณีศึกษาที่ 2 | กรณีศึกษาที่ 3 |
| ค่าสูงสุด | 10,008.4303 | 1.4215 | 6.1281 |
| ค่าต่ำสุด | 10,008.4215 | 1.4215 | 6.1281 |
| ค่าเฉลี่ย | 10,008.4218 | 1.4215 | 6.1281 |
| ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน | 0.0016 | 0.0000 | 0.0000 |

ตารางที่ 4.6 ระยะเวลาในการประมวลผลของการทดสอบระบบทดสอบ 34 บัส

| กรณีศึกษา | ระยะเวลาในการประมวลผล (วินาที) | | ความเร็วที่เพิ่มขึ้น (%) |
|----------------|--------------------------------|--------|--------------------------|
| | ES-GA | GA | |
| กรณีศึกษาที่ 1 | 7.868 | 18.007 | 56.31 |
| กรณีศึกษาที่ 2 | 8.102 | 18.014 | 55.02 |
| กรณีศึกษาที่ 3 | 7.941 | 17.738 | 55.23 |

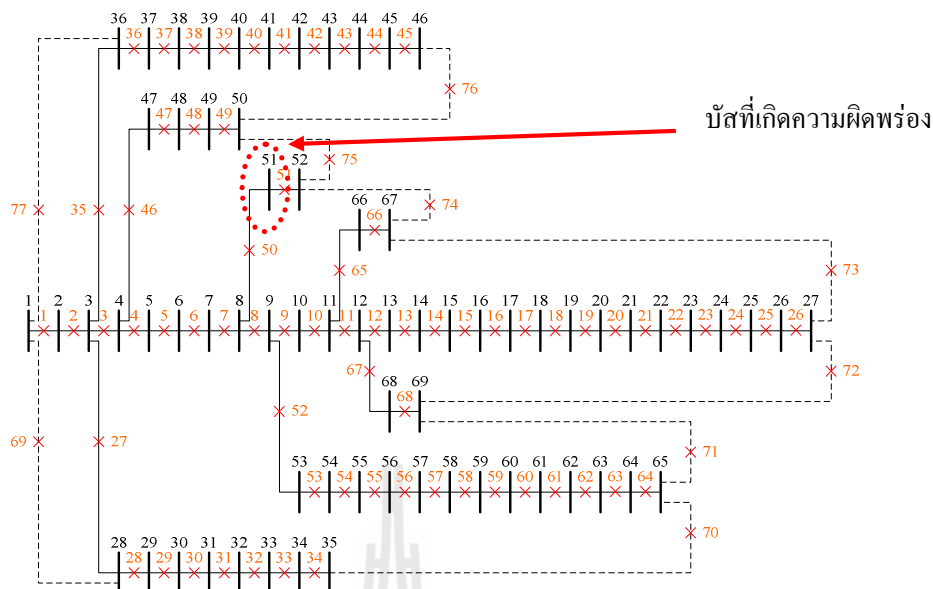
4.4 ผลการทดสอบโปรแกรมจากระบบทดสอบ 69 บัส

ระบบทดสอบ 69 บัส ซึ่งเป็นระบบทดสอบที่ประกอบไปด้วยสวิตช์ตัดตอน 77 ชุด ซึ่งได้แก่ SW1 ถึง SW77 โดยที่ SW1 ถึง SW68 จะอยู่ในสถานะปิดวงจร (Close) และ SW69 ถึง SW77 จะอยู่ในสถานะเปิดวงจร (Open) ดังแสดงในรูปที่ 4.14 และรายละเอียดข้อมูลของระบบทดสอบ 69 บัส ได้แสดงไว้ที่ภาคผนวก ก

สำหรับการทดสอบระบบทดสอบ 69 บัส ได้กำหนดฟังก์ชันและค่าของตัวแปรของเงินเนติกอัลกอริทึมไว้ดังนี้

ตารางที่ 4.7 ค่าตัวแปรของเงินเนติกอัลกอริทึมสำหรับการทดสอบระบบทดสอบ 69 บัส

| | |
|---|---|
| ฟังก์ชันและตัวแปรของเงินเนติกอัลกอริทึม | ค่าของฟังก์ชันและตัวแปร |
| ฟังก์ชันการคัดเลือกสายพันธุ์ | การคัดเลือกแบบยูนิฟอร์ม |
| ฟังก์ชันการมิวเทชัน | การมิวเทชันแบบยูนิฟอร์ม |
| ฟังก์ชันการครอสโอเวอร์ | การครอสโอเวอร์แบบยูนิฟอร์ม |
| ค่าการครอสโอเวอร์ | 0.9 |
| ค่าการมิวเทชัน | ค่าการครอสโอเวอร์/จำนวนสวิตช์ตัดตอนที่พิจารณา |
| จำนวนของประชากร | 20 |



รูปที่ 4.13 ระบบทดสอบ 69 บัส ก่อนเกิดความผิดปกติในระบบ

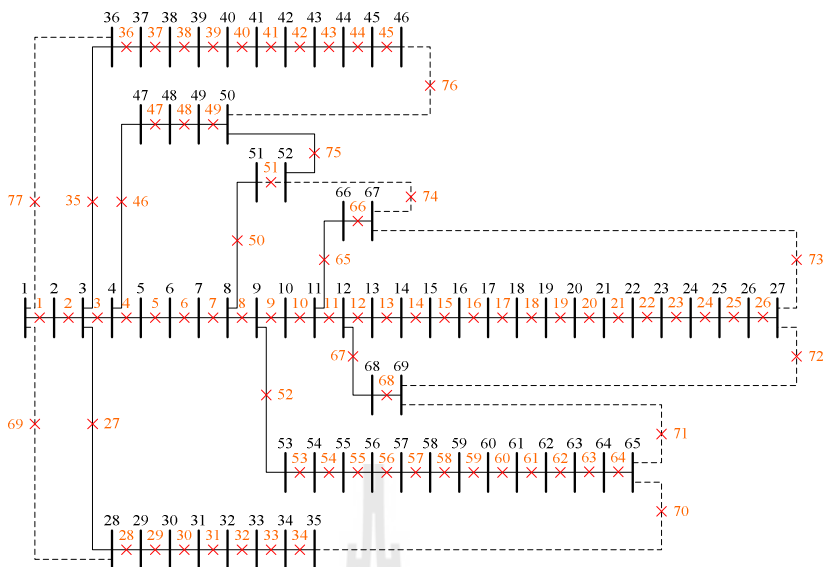
4.4.1 พิจารณาให้จำนวนของผู้ใช้ไฟฟ้าหรือบริเวณที่มีไฟฟ้าดับน้อยที่สุด

จากระบบทดสอบ 69 บัส ดังแสดงในรูปที่ 4.13 ในการทดสอบได้กำหนดให้ บัสที่ 51 เกิดความผิดปกติในระบบ ซึ่งบัสที่ 51 ได้จ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทที่อยู่อาศัย และมีจำนวนผู้ใช้ไฟ 500 ราย โดยมีผลการรันโปรแกรมดังต่อไปนี้

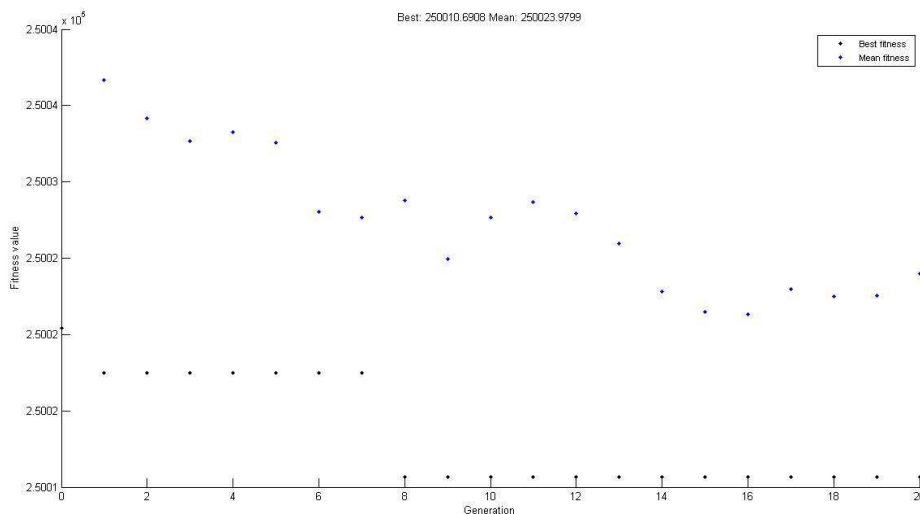
จากผลการรันโปรแกรมในกรณีศึกษานี้ จะประกอบไปด้วย SW1 ถึง SW50 SW52 ถึง SW68 และ SW75 จะอยู่ในสถานะปิดวงจร (Close) และ SW69 ถึง SW74 และ SW76 ถึง SW77 จะอยู่ในสถานะเปิดวงจร (Open) ดังแสดงในรูปที่ 4.14

จากรูปที่ 4.14 เนื่องจากบัสที่ 51 ได้เกิดความผิดปกติในระบบขึ้น ดังนั้นเพื่อเป็นการแยกความผิดปกติออกจากระบบ SW51 จึงอยู่ในสถานะเปิดวงจร (Open) และเมื่อ SW51 อยู่ในสถานะเปิดวงจรแล้วจะมีบัสที่ 52 จะถูกตัดออกจากระบบด้วย ดังนั้น SW75 จึงต้องอยู่ในสถานะปิดวงจร (Close) เพื่อให้บัสที่ 52 ได้เชื่อมต่อกับระบบตามเดิม

จากกรณีศึกษานี้เนื่องจากหลังเกิดความผิดปกติในระบบ จะมีบัสที่ 51 เพียงบัสเดียวที่ถูกตัดออกจากระบบ ซึ่งจำนวนผู้ใช้ไฟฟ้าที่บัสที่ 51 จ่ายพลังงานไฟฟ้าให้มีจำนวน 500 ราย ดังนั้นเมื่อบัสที่ 51 ถูกตัดออกจากระบบ จึงมีจำนวนผู้ใช้ไฟฟ้าที่มีไฟฟ้าดับที่น้อยที่สุดจากกรณีศึกษา นี้คือ 500 ราย และจากรูปที่ 4.15 ได้แสดงถึงการลู่เข้าหาคำตอบของโปรแกรม เมื่อพิจารณาตามกรณีศึกษาที่ 1



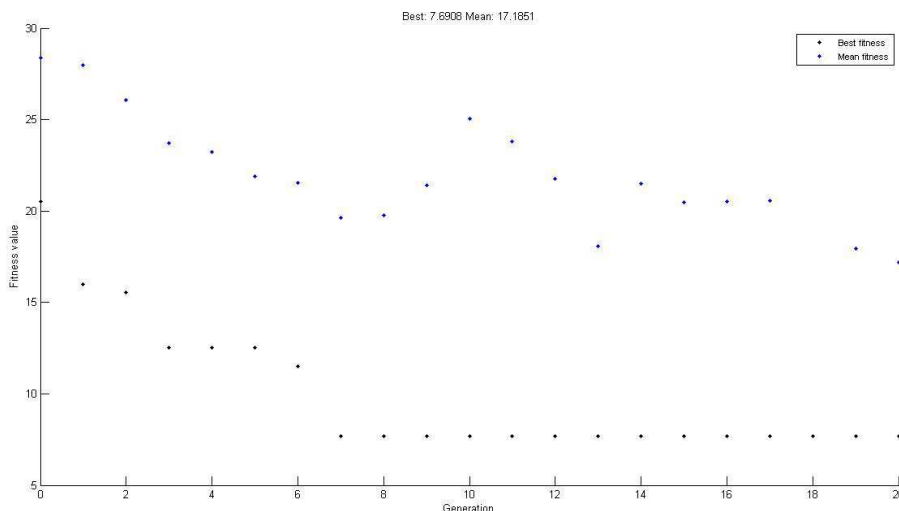
รูปที่ 4.14 ระบบทดสอบ 69 บัส หลังเกิดความผิดปกติในระบบ เมื่อพิจารณาตามกรณีศึกษาที่ 1



รูปที่ 4.15 การลู่เข้าหาคำตอบในการทดสอบระบบทดสอบ 69 บัส เมื่อพิจารณาตามกรณีศึกษาที่ 1

4.4.2 พิจารณาให้จำนวนของผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทอุตสาหกรรมมีไฟฟ้าน้อยที่สุด

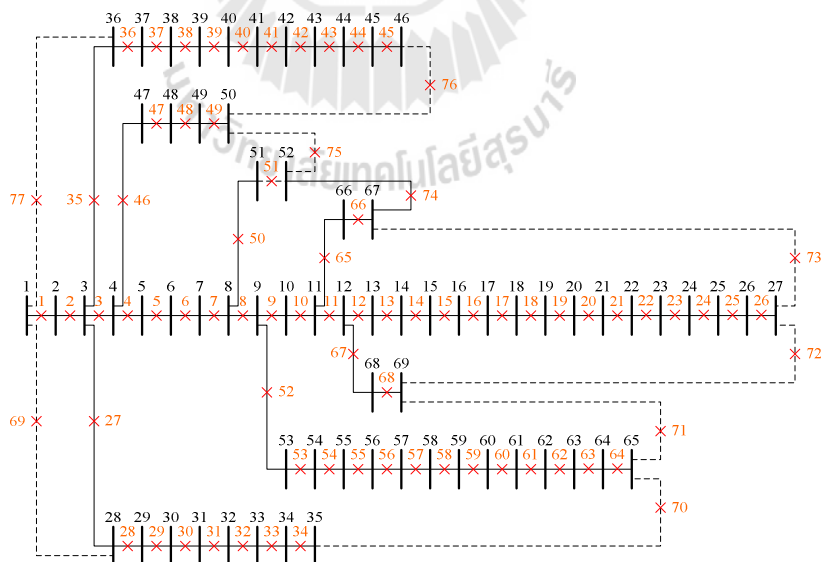
จากระบบทดสอบดังกล่าวในข้างต้น จะเห็นได้ว่าบัสที่ 51 เป็นบัสที่จ่ายโหลดประเภทที่อยู่อาศัย ดังนั้นจากการรันในกรณีศึกษานี้จึงได้ผลเช่นเดียวกับข้อ 4.4.1 และจากรูปที่ 4.16 ได้แสดงถึงการลู่เข้าหาคำตอบของโปรแกรม เมื่อพิจารณาตามกรณีศึกษาที่ 2



รูปที่ 4.16 การลู่เข้าหาคำตอบในการทดสอบระบบทดสอบ 69 บิต เมื่อพิจารณาตามกรณีศึกษาที่ 2

4.4.3 พิจารณาให้กำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบน้อยที่สุด

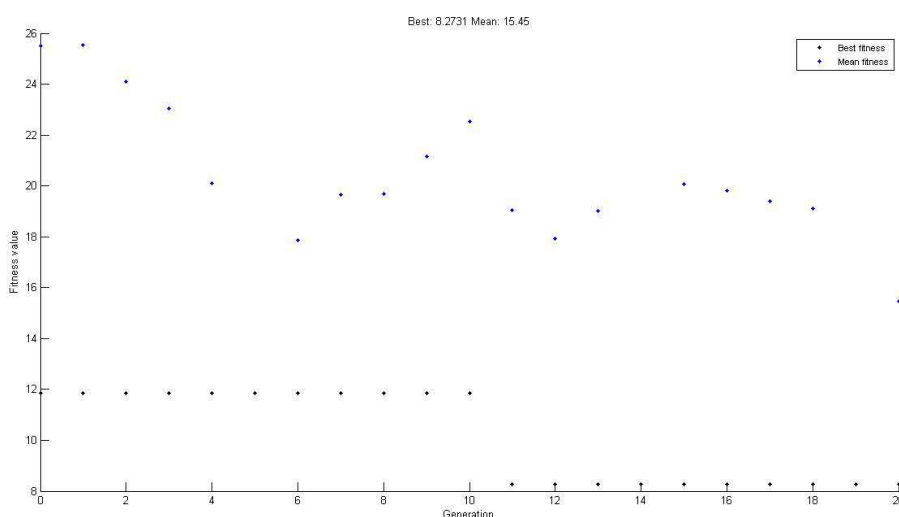
จากผลการรันโปรแกรมในกรณีศึกษานี้ จะประกอบไปด้วย SW1 ถึง SW50 SW52 ถึง SW68 และ SW74 จะอยู่ในสถานะปิดวงจร (Close) และ SW69 ถึง SW75 และ SW76 ถึง SW77 จะอยู่ในสถานะเปิดวงจร (Open) ดังแสดงในรูปที่ 4.17



รูปที่ 4.17 ระบบทดสอบ 69 บิต หลังเกิดความผิดพลาดในระบบ เมื่อพิจารณาตามกรณีศึกษาที่ 3

จากรูปที่ 4.17 เนื่องจากบัสที่ 51 ได้เกิดความผิดปกติในระบบขึ้น ดังนั้นเพื่อเป็นการแยกความผิดปกติออกจากระบบ SW51 จึงอยู่ในสถานะเปิดวงจร (Open) และเมื่อ SW51 อยู่ในสถานะเปิดวงจรแล้วจะมีบัสที่ 52 จะถูกตัดออกจากระบบด้วย ดังนั้น SW74 จึงต้องอยู่ในสถานะปิดวงจร (Close) เพื่อให้บัสที่ 52 ได้เชื่อมต่อกับระบบตามเดิม

จากกรณีศึกษาจะเห็นได้ว่าผลของการรัน โปรแกรมจะไม่เหมือนกรณีศึกษาที่ 1 ซึ่งกรณีศึกษาที่ 1 บัสที่ 51 ได้เชื่อมต่อกับระบบได้โดย SW75 อยู่ในสถานะปิดวงจร (Close) แต่ในกรณีศึกษาที่ 3 บัสที่ 51 ได้เชื่อมต่อกับระบบได้โดย SW74 อยู่ในสถานะปิดวงจร (Close) เนื่องจากกำลังไฟฟ้าสูญเสียจากการรัน โปรแกรมในกรณีศึกษาที่ 1 มีค่าเป็น 0.5830 MW แต่กำลังไฟฟ้าสูญเสียจากการรัน โปรแกรมในกรณีศึกษาที่ 3 มีค่าเป็น 0.5824 MW และจากรูปที่ 4.18 ได้แสดงถึงการหาค่าตอบของโปรแกรม เมื่อพิจารณาตามกรณีศึกษาที่ 3



รูปที่ 4.18 การหาค่าตอบในการทดสอบระบบทดสอบ 69 บัส เมื่อพิจารณาตามกรณีศึกษาที่ 3

จากการทดสอบระบบทดสอบ 69 บัส ทั้ง 3 กรณีศึกษาโดยแต่ละกรณีศึกษาจะทำการรัน โปรแกรมจำนวน 30 ครั้ง ซึ่งจะได้ค่าทางสถิติของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ดังตารางที่ 4.8 ค่าเฉลี่ยของเวลาในการรัน โปรแกรม โดยใช้ระบบผู้เชี่ยวชาญและจินเนติกอัลกอริทึม เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับผลการประมวลผลโดยใช้จินเนติกอัลกอริทึมเพียงอย่างเดียว สามารถสรุประยะเวลาในการประมวลผลได้ ดังตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.8 ค่าทางสถิติของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ในการทดสอบระบบทดสอบ 69 บัส

| ค่าทางสถิติของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ | ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ | | |
|------------------------------------|-------------------------|----------------|----------------|
| | กรณีศึกษาที่ 1 | กรณีศึกษาที่ 2 | กรณีศึกษาที่ 3 |
| ค่าสูงสุด | 250,016.6115 | 8.2307 | 8.2770 |
| ค่าต่ำสุด | 250,010.6908 | 7.6908 | 8.2731 |
| ค่าเฉลี่ย | 250,010.8882 | 7.8347 | 8.2734 |
| ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน | 1.0810 | 0.0986 | 0.0010 |

ตารางที่ 4.9 ระยะเวลาในการประมวลผลของการทดสอบระบบทดสอบ 69 บัส

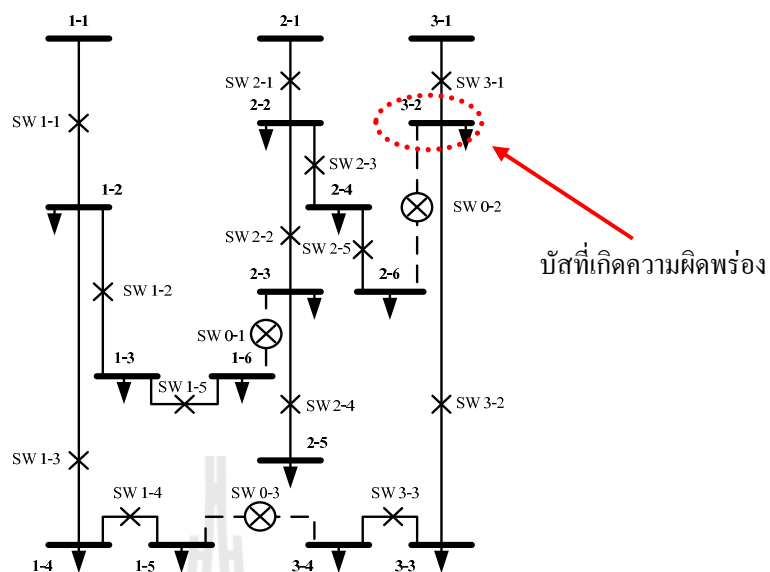
| กรณีศึกษา | ระยะเวลาในการประมวลผล (วินาที) | | ความเร็วที่เพิ่มขึ้น (%) |
|----------------|--------------------------------|--------|--------------------------|
| | ES-GA | GA | |
| กรณีศึกษาที่ 1 | 33.473 | 82.709 | 59.53 |
| กรณีศึกษาที่ 2 | 31.575 | 72.591 | 56.50 |
| กรณีศึกษาที่ 3 | 32.158 | 83.013 | 61.26 |

4.5 ผลการทดสอบโปรแกรมจากระบบทดสอบ 16 บัส

ระบบทดสอบ 16 บัส ซึ่งเป็นระบบทดสอบที่ประกอบไปด้วย 3 วงจรย่อย โดยวงจรย่อยที่ 1 จะประกอบไปด้วย บัสจำนวน 6 บัส สวิตช์ตัดตอน 5 ชุด ส่วนวงจรย่อยที่ 2 จะประกอบไปด้วย บัสจำนวน 6 บัส สวิตช์ตัดตอน 5 ชุด และวงจรย่อยที่ 3 จะประกอบไปด้วย บัสจำนวน 4 บัส สวิตช์ตัดตอน 3 ชุด นอกจากนี้ระบบทดสอบ 16 บัส ยังประกอบไปด้วยสวิตช์เชื่อมโยง (Tie switch) จำนวน 3 ชุด ดังแสดงในรูปที่ 4.20 และรายละเอียดข้อมูลของระบบทดสอบ 16 บัส ได้แสดงไว้ที่ภาคผนวก ก

จากข้อมูลสถานะของสวิตช์ตัดตอนในข้างต้นสามารถนำมาเรียงเป็นเมตริกซ์โครโมโซมของจินเนติกอัลกอริทึม โดยกำหนดให้สวิตช์ที่อยู่ในสถานะเปิดวงจรมีค่าเป็น “ 0 ” และสวิตช์ที่อยู่ในสถานะปิดวงจรมีค่าเป็น “ 1 ” ได้ดังต่อไปนี้

$$SWSTAT = [1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 0 \ 1 \ 1 \ 1 \ 0 \ 1 \ 1 \ 0]$$



รูปที่ 4.19 ระบบทดสอบ 16 บัส ก่อนเกิดความผิดปกติในระบบ

สำหรับการทดสอบระบบทดสอบ 16 บัส ได้กำหนดฟังก์ชันและค่าของตัวแปรของเงินเนติกอัลกอริทึมไว้ดังนี้

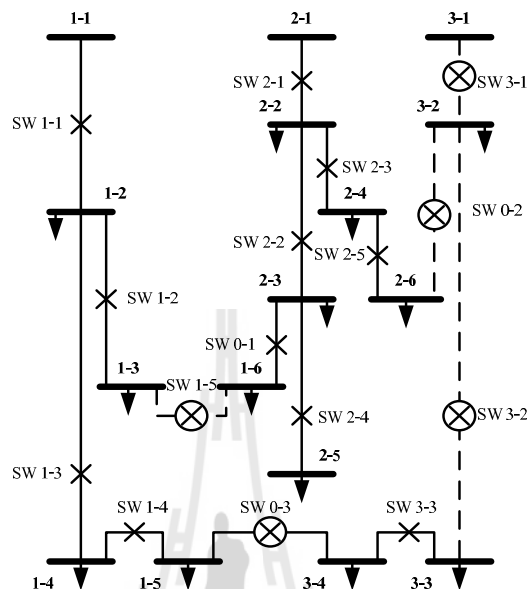
ตารางที่ 4.10 ค่าตัวแปรของเงินเนติกอัลกอริทึมสำหรับการทดสอบระบบทดสอบ 16 บัส

| ฟังก์ชันและตัวแปรของเงินเนติกอัลกอริทึม | ค่าของฟังก์ชันและตัวแปร |
|---|---|
| ฟังก์ชันการคัดเลือกสายพันธุ์ | การคัดเลือกแบบยูนิฟอร์ม |
| ฟังก์ชันการมิวเทชัน | การมิวเทชันแบบยูนิฟอร์ม |
| ฟังก์ชันการครอสโอเวอร์ | การครอสโอเวอร์แบบยูนิฟอร์ม |
| ค่าการครอสโอเวอร์ | 0.9 |
| ค่าการมิวเทชัน | ค่าการครอสโอเวอร์/จำนวนสวิตช์ตัดตอนที่พิจารณา |
| จำนวนของประชากร | 100 |

4.5.1 พิจารณาให้จำนวนของผู้ใช้ไฟฟ้าหรือบริเวณที่มีไฟฟ้าดับน้อยที่สุด

จากระบบทดสอบ 16 บัส ดังแสดงในรูปที่ 4.19 ในการทดสอบได้กำหนดให้บัสที่ 2 ของวงจรย่อยที่ 3 เกิดความผิดปกติในระบบ ซึ่งบัสที่ 2 ของวงจรย่อยที่ 3 นั้น ได้จ่าย

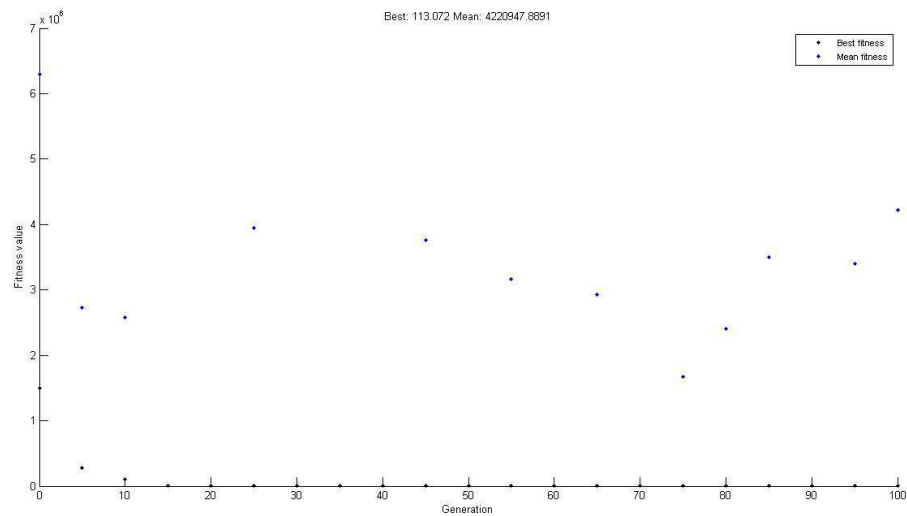
พลังงานไฟฟ้าให้กับผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทโรงงานอุตสาหกรรม และมีจำนวนผู้ใช้ไฟ 10 ราย โดยมีผลการรันโปรแกรมดังต่อไปนี้



รูปที่ 4.20 ระบบทดสอบ 16 บัส หลังเกิดความผิดปกติในระบบ เมื่อพิจารณาตามกรณีศึกษาที่ 1

จากรูปที่ 4.20 เนื่องจากบัสที่ 2 ของวงจรย่อยที่ 3 ได้เกิดความผิดปกติในระบบขึ้น ดังนั้นเพื่อเป็นการแยกความผิดปกติออกจากระบบ SW3-1 และ SW3-2 จึงอยู่ในสถานะเปิดวงจร (Open) และเมื่อ SW3-1 และ SW3-2 อยู่ในสถานะเปิดวงจรแล้วจะมีบัสที่ 3-3 และบัสที่ 3-4 จะถูกตัดออกจากระบบด้วย ดังนั้นสวิตช์เชื่อมโยง SW0-3 จึงต้องอยู่ในสถานะปิดวงจร (Close) เพื่อให้บัสที่ 3-3 และบัสที่ 3-4 ได้เชื่อมต่อกับระบบตามเดิม

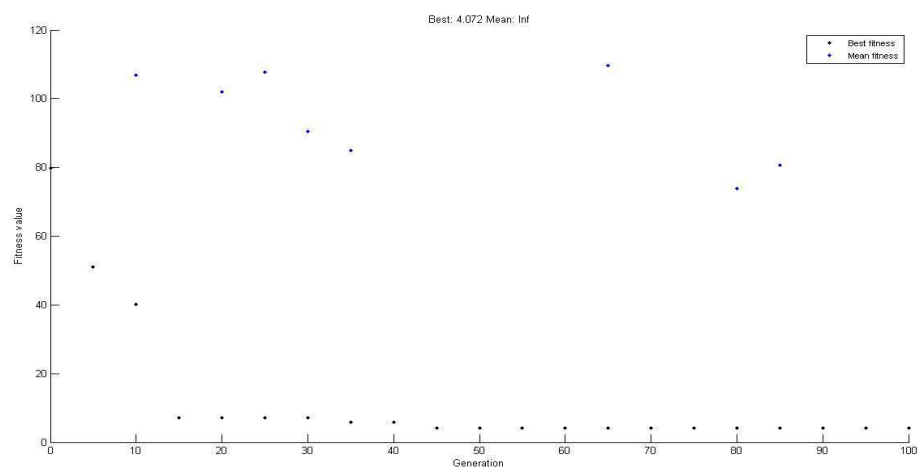
จากกรณีศึกษานี้เนื่องจากหลังเกิดความผิดปกติในระบบ จะมีบัสที่ 2 ของวงจรย่อยที่ 3 เพียงบัสเดียวที่ถูกตัดออกจากระบบ ซึ่งจำนวนผู้ใช้ไฟที่บัสที่ 2 ของวงจรย่อยที่ 3 จ่ายพลังงานไฟฟ้าให้มีจำนวน 10 ราย ดังนั้นเมื่อบัสที่ 2 ของวงจรย่อยที่ 3 ถูกตัดออกจากระบบ จึงมีจำนวนผู้ใช้ไฟที่มีไฟฟ้าดับที่น้อยที่สุดจากกรณีศึกษานี้คือ 10 ราย และจากรูปที่ 4.21 ได้แสดงถึงการเข้าสู่หาคำตอบของโปรแกรม เมื่อพิจารณาตามกรณีศึกษาที่ 1



รูปที่ 4.21 การลู่เข้าหาคำตอบในการทดสอบระบบทดสอบ 16 บิต เมื่อพิจารณาตามกรณีศึกษาที่ 1

4.5.2 พิจารณาให้จำนวนของผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทอุตสาหกรรมมีไฟฟ้าน้อยที่สุด

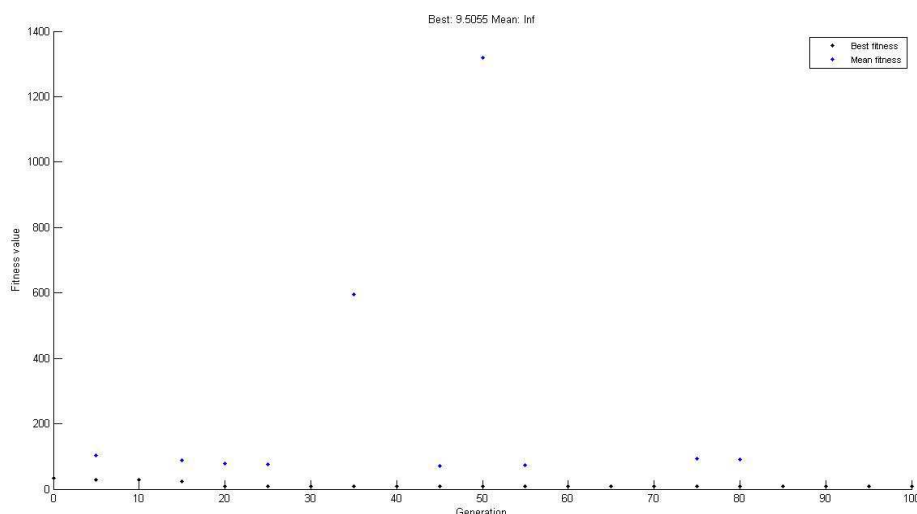
จากระบบทดสอบดังกล่าวข้างต้น จะเห็นได้ว่าบิตที่ 2 ของวงจรร้อยที่ 3 เป็นบิตที่จ่ายโหลดประเภทโรงงานอุตสาหกรรม ดังนั้นจากผลการรันในกรณีศึกษานี้จึงได้ผลเช่นเดียวกับข้อ 4.4.1 กล่าวคือมีจำนวนผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทโรงงานอุตสาหกรรมจำนวน 10 ราย ที่รับพลังงานไฟฟ้าจากบิตที่ 2 ของวงจรร้อยที่ 3 หรือบิตที่เกิดความผิดปกติในระบบนั่นเอง และจากรูปที่ 4.22 ได้แสดงถึงการลู่เข้าหาคำตอบของโปรแกรม เมื่อพิจารณาตามกรณีศึกษาที่ 2



รูปที่ 4.22 การลู่เข้าหาคำตอบในการทดสอบระบบทดสอบ 16 บิต เมื่อพิจารณาตามกรณีศึกษาที่ 2

4.5.3 พิจารณาให้กำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบน้อยที่สุด

เมื่อพิจารณาถึงกำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบทดสอบ 16 บัส เมื่อเกิดความผิดปกติในระบบที่บัสที่ 2 ของวงจรย่อยที่ 3 นั้น จะได้ผลการรันโปรแกรมเช่นเดียวกับข้อ 4.4.1 เนื่องจากการกำหนดสถานะของสวิตช์ตัดตอนแบบดังกล่าวทำให้มีพลังงานไฟฟ้าสูญเสียในระบบน้อยที่สุดเมื่อเกิดความผิดปกติในระบบที่บัสที่ 2 ของวงจรย่อยที่ 3 โดยมีค่าเท่ากับ 1.3541 MW และจากรูปที่ 4.23 ได้แสดงถึงการลู่เข้าหาคำตอบของโปรแกรม เมื่อพิจารณาตามกรณีศึกษาที่ 3



รูปที่ 4.23 การลู่เข้าหาคำตอบในการทดสอบระบบทดสอบ 16 บัส เมื่อพิจารณาตามกรณีศึกษาที่ 3

จากการทดสอบระบบทดสอบ 16 บัส ทั้ง 3 กรณีศึกษาโดยแต่ละกรณีศึกษาจะทำการรันโปรแกรมจำนวน 30 ครั้ง ซึ่งจะได้ค่าทางสถิติของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ดังตารางที่ 4.11 ค่าเฉลี่ยของเวลาในการรันโปรแกรม โดยใช้ระบบผู้เชี่ยวชาญและจินเนติกอัลกอริทึม เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับการประมวลผลโดยใช้จินเนติกอัลกอริทึมเพียงอย่างเดียว สามารถสรุประยะเวลาในการประมวลผลได้ ดังตารางที่ 4.12

ตารางที่ 4.11 ค่าทางสถิติของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ในการทดสอบระบบทดสอบ 16 บัส

| ค่าทางสถิติของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ | ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ | | |
|------------------------------------|-------------------------|----------------|----------------|
| | กรณีศึกษาที่ 1 | กรณีศึกษาที่ 2 | กรณีศึกษาที่ 3 |
| ค่าสูงสุด | 132.9383 | 5.9383 | 10.3040 |
| ค่าต่ำสุด | 113.0720 | 4.0720 | 9.5055 |
| ค่าเฉลี่ย | 114.3964 | 4.1964 | 9.5321 |
| ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน | 5.0402 | 0.4735 | 0.1458 |

ตารางที่ 4.12 ระยะเวลาในการประมวลผลของการทดสอบระบบทดสอบ 16 บัส

| กรณีศึกษา | ระยะเวลาในการประมวลผล (วินาที) | | ความเร็วที่เพิ่มขึ้น (%) |
|----------------|--------------------------------|--------|--------------------------|
| | ES-GA | GA | |
| กรณีศึกษาที่ 1 | 12.080 | 15.593 | 22.53 |
| กรณีศึกษาที่ 2 | 12.300 | 13.896 | 11.49 |
| กรณีศึกษาที่ 3 | 12.106 | 14.792 | 18.15 |

4.6 ผลการทดสอบโปรแกรมจากระบบจำหน่ายของสถานีจ่ายไฟย่อยสี่คิว

ระบบจำหน่ายของสถานีจ่ายไฟย่อยสี่คิว ซึ่งเป็นระบบจำหน่ายที่ประกอบไปด้วย 10 วงจร โดยรายละเอียดข้อมูลของระบบทดสอบ ได้แสดงไว้ที่ภาคผนวก ก. ส่วนรายละเอียดพอสังเขปดังต่อไปนี้

- วงจรย่อยที่ 1 ประกอบไปด้วย บัสจำนวน 183 บัส สวิตช์ตัดตอน 33 ชุด
- วงจรย่อยที่ 2 ประกอบไปด้วย บัสจำนวน 6 บัส สวิตช์ตัดตอน 6 ชุด
- วงจรย่อยที่ 3 ประกอบไปด้วย บัสจำนวน 104 บัส สวิตช์ตัดตอน 25 ชุด
- วงจรย่อยที่ 4 ประกอบไปด้วย บัสจำนวน 93 บัส สวิตช์ตัดตอน 22 ชุด
- วงจรย่อยที่ 5 ประกอบไปด้วย บัสจำนวน 186 บัส สวิตช์ตัดตอน 26 ชุด
- วงจรย่อยที่ 6 ประกอบไปด้วย บัสจำนวน 205 บัส สวิตช์ตัดตอน 30 ชุด
- วงจรย่อยที่ 7 ประกอบไปด้วย บัสจำนวน 138 บัส สวิตช์ตัดตอน 24 ชุด
- วงจรย่อยที่ 8 ประกอบไปด้วย บัสจำนวน 150 บัส สวิตช์ตัดตอน 21 ชุด
- วงจรย่อยที่ 9 ประกอบไปด้วย บัสจำนวน 44 บัส สวิตช์ตัดตอน 15 ชุด
- วงจรย่อยที่ 10 ประกอบไปด้วย บัสจำนวน 56 บัส สวิตช์ตัดตอน 14 ชุด

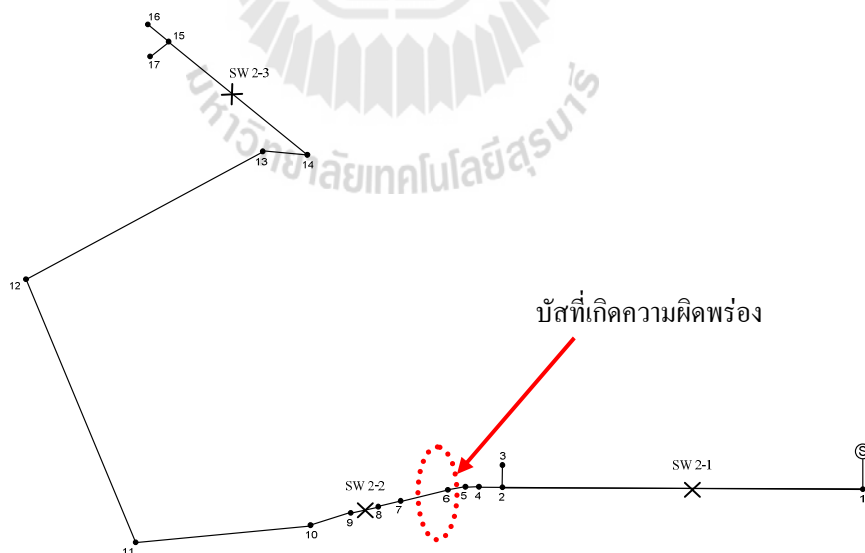
สำหรับการทดสอบระบบจำหน่ายของสถานีจ่ายไฟย่อยสี่คิว ได้กำหนดฟังก์ชันและค่าของตัวแปรของจินเนติกอัลกอริทึมไว้ดังนี้

ตารางที่ 4.13 ค่าตัวแปรของเงินเนติกอัลกอริทึมสำหรับระบบจำหน่ายของสถานีจ่ายไฟย่อยสี่คี่

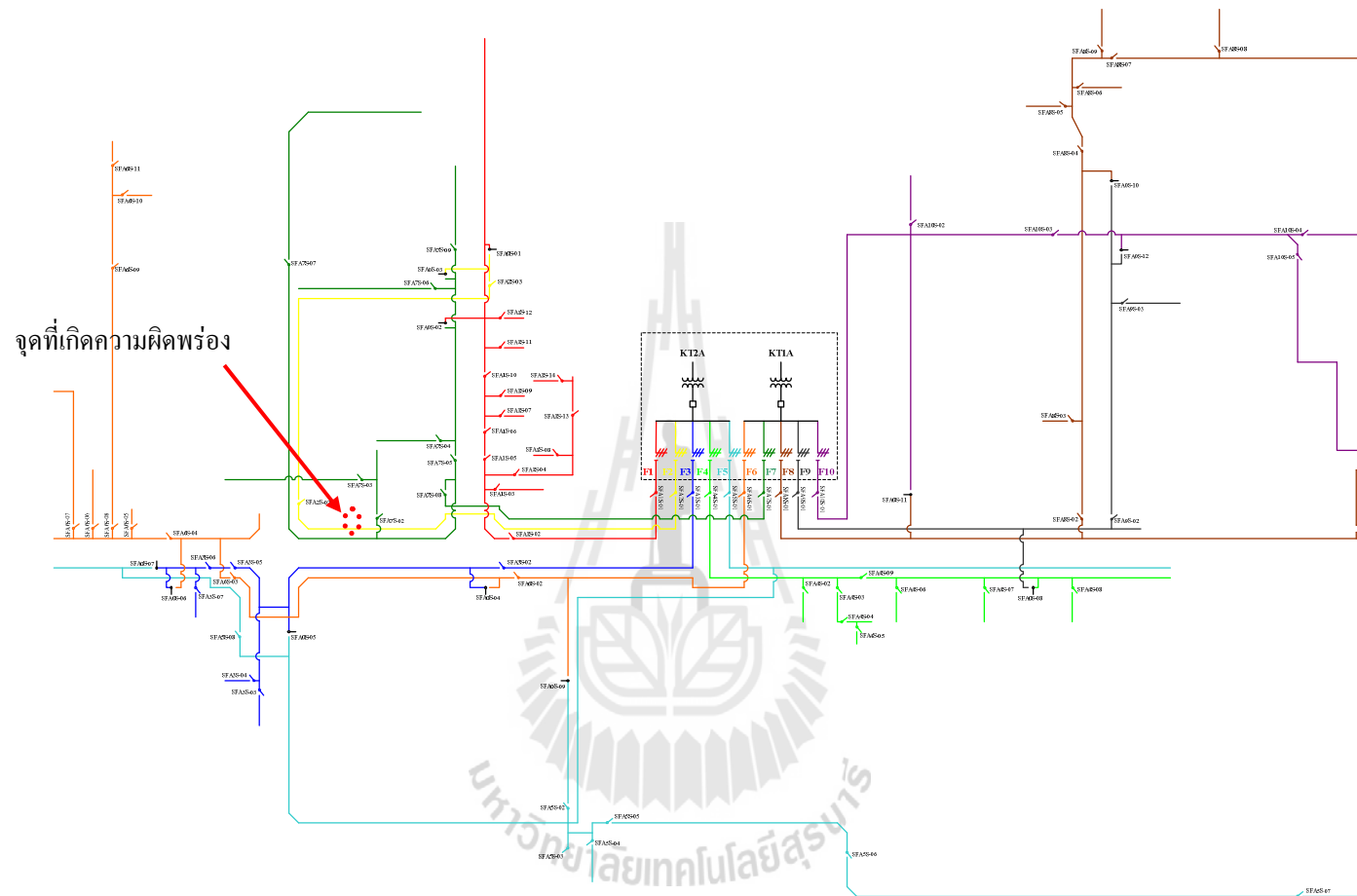
| ฟังก์ชันและตัวแปรของเงินเนติกอัลกอริทึม | ค่าของฟังก์ชันและตัวแปร |
|---|---|
| ฟังก์ชันการคัดเลือกสายพันธุ์ | การคัดเลือกแบบยูนิฟอร์ม |
| ฟังก์ชันการมิวเทชัน | การมิวเทชันแบบยูนิฟอร์ม |
| ฟังก์ชันการครอสโอเวอร์ | การครอสโอเวอร์แบบยูนิฟอร์ม |
| ค่าการครอสโอเวอร์ | 0.9 |
| ค่าการมิวเทชัน | ค่าการครอสโอเวอร์/จำนวนสวิทช์ตัดตอนที่พิจารณา |
| จำนวนของประชากร | 250 |

4.6.1 พิจารณาให้อำนาจของผู้ใช้ไฟฟ้าหรือบริเวณที่มีไฟฟ้าดับน้อยที่สุด

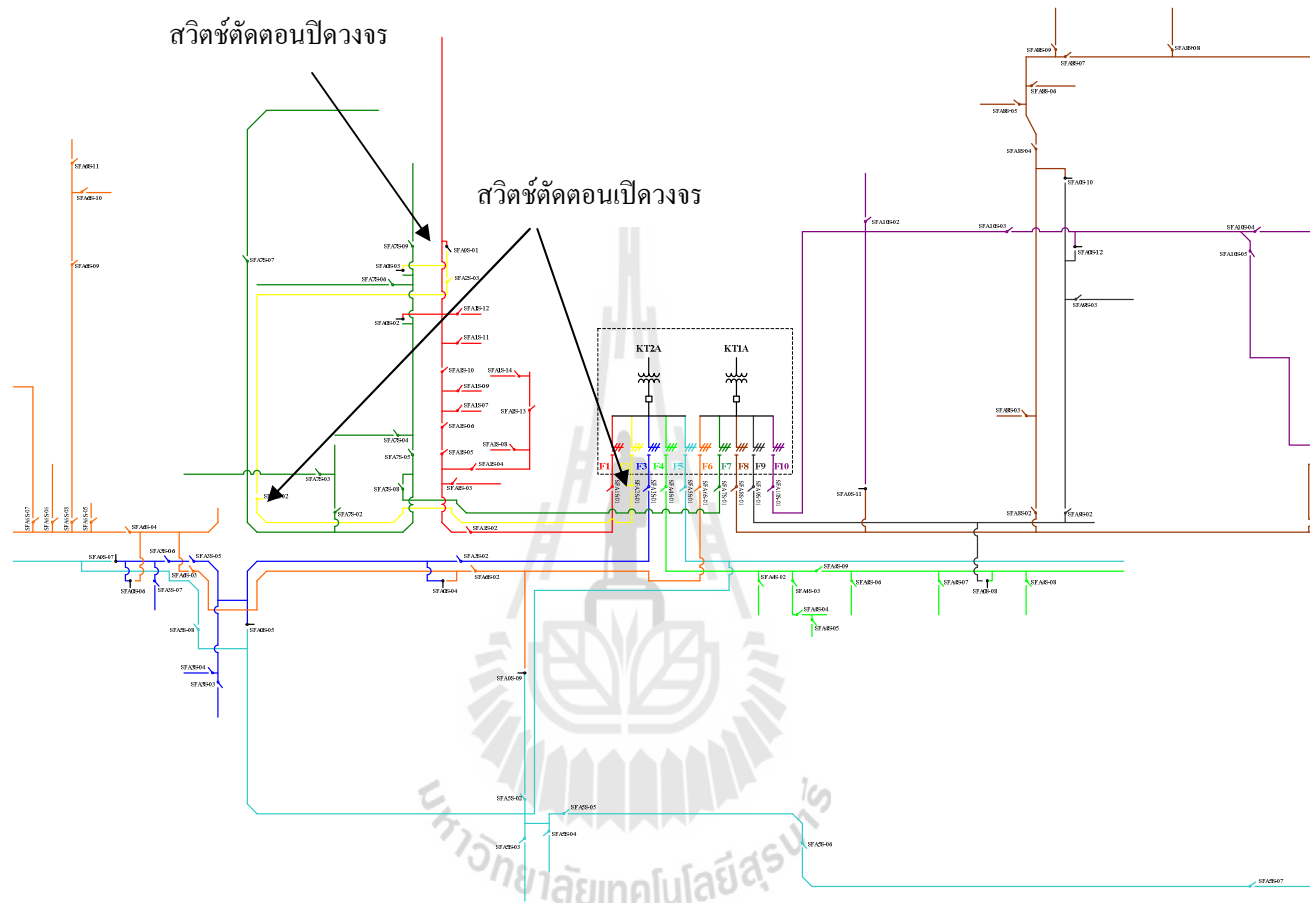
จากระบบจำหน่ายของสถานีจ่ายไฟย่อยสี่คี่ ดังแสดงในรูปที่ 4.25 ในการทดสอบได้กำหนดให้บัสที่ 6 ของวงจรย่อยที่ 2 เกิดความผิดปกติในระบบ ซึ่งบัสที่ 6 ของวงจรย่อยที่ 2 ดังแสดงในรูปที่ 4.24 นั้น ได้จ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทที่อยู่อาศัย และมีจำนวนผู้ใช้ไฟ 200 ราย โดยมีผลการรันโปรแกรมดังต่อไปนี้



รูปที่ 4.24 ระบบจำหน่ายของสถานีจ่ายไฟย่อยสี่คี่ ของวงจรย่อยที่ 2



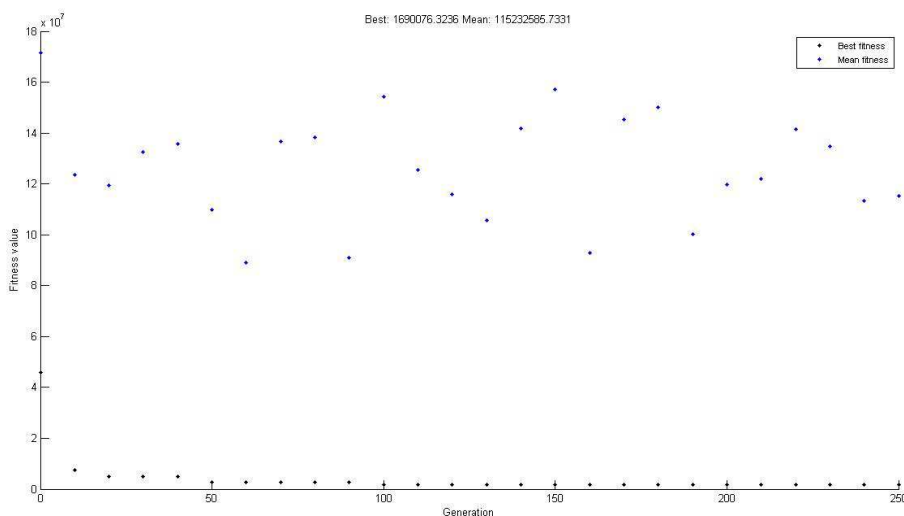
รูปที่ 4.25 ระบบจำหน่ายของสถานีจ่ายไฟย่อยสี่ตัว



รูปที่ 4.26 ระบบจำหน่ายของสถานีจ่ายไฟย่อยสี่ตัว หลังเกิดความผิดปกติในระบบ

จากรูปที่ 4.26 เนื่องจากบัสที่ 6 ของวงจรย่อยที่ 2 ได้เกิดความผิดปกติในระบบขึ้น ดังนั้นเพื่อเป็นการแยกความผิดปกติออกจากระบบ SW2-1 และ SW2-2 จึงอยู่ในสถานะเปิดวงจร (Open) และเมื่อ SW2-1 และ SW2-2 อยู่ในสถานะเปิดวงจร แต่เมื่อ SW2-1 ซึ่งเป็นสวิตช์ที่เชื่อมต่อระหว่างโหลดของวงจรย่อยที่ 2 กับแหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้า ดังนั้นเมื่อ SW2-1 เปิดวงจร จึงทำให้ทุกบัสในวงจรย่อยที่ 2 ถูกตัดออกจากระบบหรือไม่มีพลังงานไฟฟ้าจ่ายให้ทั้งวงจร เมื่อการรันโปรแกรมกำหนดให้วงจรย่อยที่ 1 รองรับภาระจ่ายโหลดที่ถูกตัดออกจากระบบของวงจรย่อยที่ 2 ดังนั้นสวิตช์เชื่อมโยงระหว่างวงจรย่อยที่ 1 กับวงจรย่อยที่ 2 จึงต้องอยู่ในสถานะปิดวงจร (Close) เพื่อให้สามารถจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับทุกบัสที่ถูกตัดออกจากระบบได้ตามเดิม

จากกรณีศึกษาี้เนื่องจากหลังเกิดความผิดปกติในระบบจะมีบัสที่ 2 บัสที่ 3 บัสที่ 4 บัสที่ 5 บัสที่ 6 บัสที่ 7 และบัสที่ 8 ของวงจรย่อยที่ 2 ที่ถูกตัดออกจากระบบ ซึ่งจำนวนผู้ใช้ไฟที่บัสที่ถูกตัดออกจากระบบ ของวงจรย่อยที่ 2 จ่ายพลังงานไฟฟ้าให้มีจำนวน 13,240 ราย และจากรูปที่ 4.27 ได้แสดงถึงการลู่เข้าหาคำตอบของโปรแกรม เมื่อพิจารณาตามกรณีศึกษาที่ 1

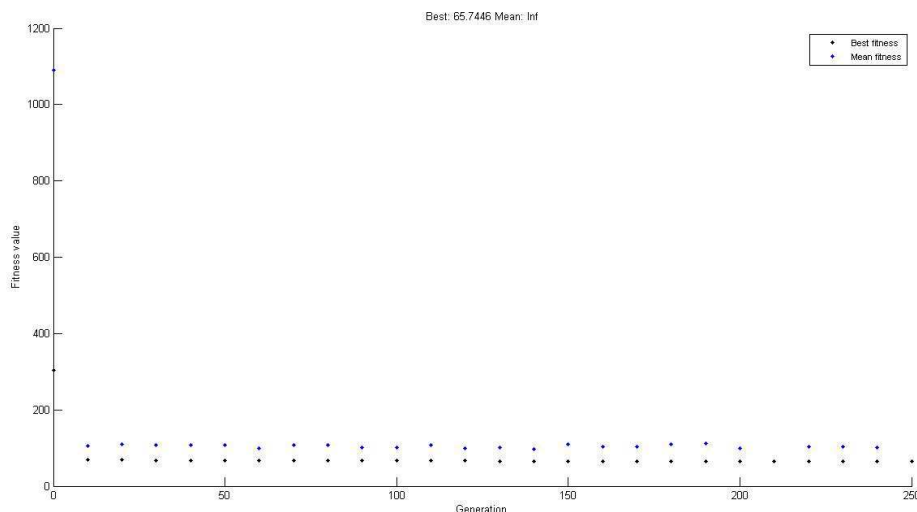


รูปที่ 4.27 การลู่เข้าหาคำตอบในการทดสอบระบบจำหน่ายของสถานีจ่ายไฟย่อยสี่คิว เมื่อพิจารณาตามกรณีศึกษาที่ 1

4.6.2 พิจารณาให้จำนวนของผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทอุตสาหกรรมมีไฟฟ้าน้อยที่สุด

จากระบบทดสอบดังกล่าวในข้างต้น จะเห็นได้ว่ามีบัสที่ 2 บัสที่ 3 บัสที่ 4 บัสที่ 5 บัสที่ 6 บัสที่ 7 และบัสที่ 8 ของวงจรย่อยที่ 2 ที่ถูกตัดออกจากระบบ ซึ่งมีบัสที่จ่ายโหลด

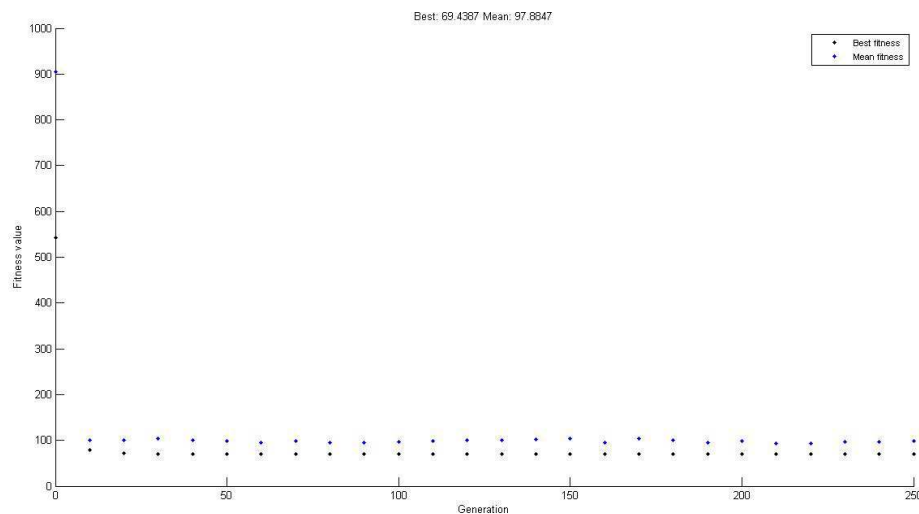
ประเภทโรงงานอุตสาหกรรม ดังนั้นจากผลการรันในกรณีศึกษาที่ 2 นี้จึงได้ผลเช่นเดียวกับข้อ 4.5.1 กล่าวคือมีจำนวนผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทโรงงานอุตสาหกรรมจำนวน 7 ราย และจากรูปที่ 4.28 ได้แสดงถึงการลู่เข้าหาคำตอบของโปรแกรม เมื่อพิจารณาตามกรณีศึกษาที่ 2



รูปที่ 4.28 การลู่เข้าหาคำตอบในการทดสอบระบบจำหน่ายของสถานีจ่ายไฟย่อยสี่คี่ว เมื่อพิจารณาตามกรณีศึกษาที่ 2

4.6.3 พิจารณาให้กำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบน้อยที่สุด

เมื่อพิจารณาถึงกำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบจำหน่ายของสถานีจ่ายไฟย่อยสี่คี่ว เมื่อเกิดความผิดปกติในระบบที่บัสที่ 6 ของวงจรย่อยที่ 2 และให้วงจรย่อยที่ 1 รองรับโหลดที่ถูกต้องออกจากระบบนั้น จะได้ผลการรันโปรแกรมเช่นเดียวกับข้อ 4.6.1 เนื่องจากการกำหนดสถานะของสวิตช์ตัดตอนแบบดังกล่าวทำให้มีพลังงานไฟฟ้าสูญเสียน้อยที่สุดเมื่อเกิดความผิดปกติในระบบ โดยมีค่าเท่ากับ 13.016 kW และจากรูปที่ 4.29 ได้แสดงถึงการลู่เข้าหาคำตอบของโปรแกรม เมื่อพิจารณาตามกรณีศึกษาที่ 3



รูปที่ 4.29 การลู่เข้าหาคำตอบในการทดสอบระบบจำหน่ายของสถานีจ่ายไฟย่อยสี่คircuit เมื่อพิจารณาตามกรณีศึกษาที่ 3

จากการทดสอบระบบจำหน่ายของสถานีจ่ายไฟย่อยสี่คircuit ทั้ง 3 กรณีศึกษา โดยแต่ละกรณีศึกษาจะทำการรันโปรแกรมจำนวน 30 ครั้ง ซึ่งจะได้ค่าทางสถิติของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ดังตารางที่ 4.14 ค่าเฉลี่ยของเวลาในการรันโปรแกรม โดยใช้ระบบผู้เชี่ยวชาญและจินเนติกอัลกอริทึม เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับผลการประมวลผลโดยใช้จินเนติกอัลกอริทึมเพียงอย่างเดียว สามารถสรุประยะเวลาในการประมวลผลได้ ดังตารางที่ 4.15

ตารางที่ 4.14 ค่าทางสถิติของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ในการทดสอบระบบจำหน่ายของสถานีจ่ายไฟย่อยสี่คircuit

| ค่าทางสถิติของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ | ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ | | |
|------------------------------------|-------------------------|----------------|----------------|
| | กรณีศึกษาที่ 1 | กรณีศึกษาที่ 2 | กรณีศึกษาที่ 3 |
| ค่าสูงสุด | 1,690,076.3773 | 66.3206 | 69.5437 |
| ค่าต่ำสุด | 1,690,076.2899 | 65.3838 | 69.3930 |
| ค่าเฉลี่ย | 1,690,076.3356 | 65.5731 | 69.4775 |
| ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน | 0.0346 | 0.2715 | 0.0639 |

ตารางที่ 4.15 ระยะเวลาในการประมวลผลของการทดสอบระบบจำหน่ายของสถานีจ่ายไฟฟ้าย่อย
สี่คิ้ว

| กรณีศึกษา | ระยะเวลาในการประมวลผล (วินาที) | | ความเร็วที่เพิ่มขึ้น (%) |
|----------------|--------------------------------|-----------|--------------------------|
| | ES-GA | GA | |
| กรณีศึกษาที่ 1 | 769.820 | 2,396.064 | 67.87 |
| กรณีศึกษาที่ 2 | 821.979 | 2,466.861 | 66.68 |
| กรณีศึกษาที่ 3 | 793.287 | 2,495.056 | 68.21 |

4.7 ผลการทดสอบโปรแกรมเปรียบเทียบกับสถานการณ์จริงจากระบบจำหน่ายของ สถานีจ่ายไฟฟ้าย่อยสี่คิ้ว

ในหัวข้อนี้จะเป็นการทดสอบจากผู้ปฏิบัติงานจริงในสถานีจ่ายไฟฟ้าย่อยสี่คิ้ว ซึ่งมีผู้ปฏิบัติงานจำนวน 4 คน โดยการทดสอบจะให้จำลองสถานการณ์เช่นเดียวกับหัวข้อที่ 4.6 ซึ่งได้แก่ การเกิดความผิดปกติในระบบ ซึ่งบัสที่ 6 ของวงจรย่อยที่ 2 นั้น และให้ผู้ปฏิบัติงานจริงในสถานีจ่ายไฟฟ้าย่อยสี่คิ้วทั้ง 4 คน หาสถานะของสวิตช์ตัดตอนที่เหมาะสม และจับเวลาการวิเคราะห์การหาสถานะของสวิตช์ตัดตอนที่เหมาะสม ซึ่งจากผลการทดสอบมีผลดังต่อไปนี้

ตารางที่ 4.16 ระยะเวลาในการประมวลผลของการจำลองเหตุการณ์ของสถานีจ่ายไฟฟ้าย่อยสี่คิ้ว

| พนักงาน | ระยะเวลาในการประมวลผล (วินาที) |
|----------------|--------------------------------|
| พนักงานคนที่ 1 | 650.875 |
| พนักงานคนที่ 2 | 1,105.562 |
| พนักงานคนที่ 3 | 2,054.949 |
| พนักงานคนที่ 4 | 1,376.192 |
| เวลาเฉลี่ย | 1,296.894 |

จากตารางที่ 4.6 จะเห็นได้ว่ามีพนักงานคนที่ 1 เท่านั้น ที่สามารถวิเคราะห์การหาสถานะของสวิตช์ตัดตอนที่เหมาะสมได้เร็วกว่าโปรแกรม เนื่องจากการวิเคราะห์ดังกล่าวนั้นจำเป็นต้องอาศัยประสบการณ์ความชำนาญของผู้ปฏิบัติงาน แต่เมื่อนำเวลาเฉลี่ยมาเปรียบเทียบกับผลการประมวลผลของโปรแกรมแล้วจะเห็นได้ว่าเวลาการวิเคราะห์ของผู้ปฏิบัติงานในสถานีจ่ายไฟฟ้า

ย้อยสี่คี่วนั้นชี้ว่าการประมวลผลของโปรแกรม และดังที่กล่าวไว้ในข้างต้นเมื่อเกิดความผิดพลาดในระบบจำหน่ายแล้ว การหาสถานะของสวิตซ์ตัดตอนที่เหมาะสมและรวดเร็ว นั้น จะทำให้เกิดปัญหาจากผลกระทบของผู้ไม่มีไฟฟ้าใช้น้อยลงไปด้วย และยังทำให้ระบบจำหน่ายดังกล่าวมีความเชื่อถือได้อีกด้วย

4.8 สรุป

เนื้อหาในบทนี้เป็นการทดสอบการหาสถานะของสวิตซ์ตัดตอนที่เหมาะสม เมื่อเกิดความผิดพลาดในระบบทดสอบต่างๆ ซึ่งได้แก่ ระบบทดสอบ 15 บัส ระบบทดสอบ 34 บัส ระบบทดสอบ 69 บัส ระบบทดสอบ 16 บัส และระบบจำหน่ายของสถานีจ่ายไฟย้อยสี่คี่วน ในการทดสอบนั้นจะประกอบไปด้วย 3 กรณีศึกษา ซึ่งได้แก่ พิจารณาให้จำนวนของผู้ใช้ไฟฟ้าหรือบริเวณที่มีไฟฟ้าน้อยที่สุด พิจารณาให้จำนวนของผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทอุตสาหกรรมขนาดใหญ่มีไฟฟ้าน้อยที่สุด และพิจารณาให้กำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบน้อยที่สุด ซึ่งระยะเวลาในการประมวลผลจะขึ้นอยู่กับโครงสร้างของระบบทดสอบและจำนวนของสวิตซ์ตัดตอนที่นำมาวิเคราะห์ ซึ่งถ้าหากจำนวนสวิตซ์ตัดตอนมีจำนวนมากและโครงสร้างของระบบทดสอบมีความซับซ้อนมาก จะใช้ระยะเวลาในการประมวลผลมาก แต่ถ้าหากจำนวนสวิตซ์ตัดตอนมีจำนวนน้อยและโครงสร้างของระบบทดสอบมีความซับซ้อนไม่มาก จะใช้ระยะเวลาในการประมวลผลน้อยตามไปด้วย และจากการทดสอบระบบจำหน่ายของสถานีจ่ายไฟย้อยสี่คี่วนใช้ระยะเวลาในการประมวลผลเฉลี่ยประมาณ 13 นาที ซึ่งเร็วกว่าการจำลองสถานการณ์จริงถึงประมาณ 8 นาที ทั้งนี้หากอยู่ในสภาพการปฏิบัติงานจริงนั้น ถือว่าเป็นระยะเวลาที่ยอมรับได้ เนื่องจากการจ่ายไฟฟ้ากลับสู่ระบบได้เร็วเพียงใดก็จะทำให้ลดผลกระทบจากปัญหาของผู้ไม่มีไฟฟ้าใช้น้อยเท่านั้น

บทที่ 5

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุป

ระบบจำหน่ายของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคเกือบทั้งหมดเป็นระบบจำหน่ายสายป้อนแบบเรเดียล ทั้งนี้เนื่องมาจากพื้นที่การจ่ายไฟที่กว้างไกล การจัดระบบจำหน่ายแบบดังกล่าวมีต้นทุนไม่สูง และการจัดอุปกรณ์ป้องกันการลัดวงจรทำได้ง่าย ระบบจำหน่ายไฟฟ้าแบบเรเดียลเป็นระบบที่รับไฟฟ้าจากสถานีไฟฟ้าย่อยหลังจากลดระดับแรงดันให้ต่ำลงเพื่อส่งต่อไปให้ผู้ใช้งาน โดยทั่วไปการต่ออุปกรณ์มีลักษณะเป็นแบบอนุกรมจากสายป้อนไปยังแต่ละจุดของโหลด ดังนั้นจึงเป็นระบบที่มีความเชื่อถือได้ต่ำเนื่องจากเมื่อเกิดความผิดปกติในระบบทำให้อุปกรณ์ป้องกันต้นทางเปิดวงจรออก ทำให้ผู้ใช้ไฟฟ้าทั้งสายจำหน่ายไม่มีไฟฟ้าใช้ ดังนั้นเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดปัญหาไม่มีไฟฟ้าใช้ตลอดทั้งสายจำหน่ายจึงติดตั้งสวิตช์ตัดตอนเพื่อเปิดวงจรแยกจุดที่เกิดความผิดปกติออกจากระบบ สวิตช์ตัดตอนจึงมีประโยชน์ในการปรับปรุงความเชื่อถือได้ต่อระบบทำให้ผู้ใช้ไฟฟ้าบางรายยังมีไฟฟ้าใช้ต่อไปได้ สวิตช์ตัดตอนโดยทั่วไปมีหน้าที่แยกระบบย่อยหรืออุปกรณ์ออกจากระบบใหญ่ จุดโหลดที่อยู่ในส่วนที่เกิดความผิดปกติจะถูกแยกออกจากระบบ ดังนั้นเวลาที่ไม่สามารถจ่ายไฟฟ้าให้แก่ผู้ใช้ไฟฟ้าในจุดนี้จึงเท่ากับเวลาที่ใช้ในการแก้ปัญหาในจุดที่เกิดความผิดปกติของระบบ และส่วนที่ไม่ได้เกิดความผิดปกติก็จะสามารถใช้ไฟฟ้าได้ตามปกติ ในช่วงที่ไม่สามารถจ่ายไฟฟ้าให้แก่ผู้ใช้ไฟฟ้าได้นั้นทำให้เกิดความเสียหายทางเศรษฐกิจเกิดขึ้น ซึ่งความเสียหายดังกล่าวจะแตกต่างกันไปตามลักษณะของผู้ใช้ไฟฟ้า

จินเนติกอัลกอริทึม (Genetic Algorithm) เป็นวิธีการที่เลียนแบบขั้นตอนการวิวัฒนาการของธรรมชาติ ซึ่งจินเนติกอัลกอริทึมนี้ เป็นวิธีการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ที่มีขั้นตอนแบบความน่าจะเป็น (Stochastic Algorithm) ที่ใช้ในการหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดแบบวงกว้าง (Global Optimal Solution) ของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Objective Function) การหาคำตอบจะอาศัยทฤษฎีการวิวัฒนาการของ Charles Darwin ที่กล่าวว่าผู้ที่แข็งแรงกว่าย่อมมีโอกาสที่จะอยู่รอด และถ่ายทอดคุณลักษณะเด่นที่มีไปยังรุ่นถัดไป

ระบบผู้เชี่ยวชาญ (Expert Systems : ES) หมายถึง โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่แสดงความสามารถได้เหมือนกับผู้เชี่ยวชาญในสาขาต่าง ๆ หรือในงานเฉพาะอย่าง หรือหมายถึงระบบโปรแกรมใช้งาน (software systems) ซึ่งมีลักษณะที่คล้ายคลึงกันในเรื่องของกระบวนการในการใช้

เหตุผล (Reasoning process) และให้ข้อมูลเกี่ยวกับคำแนะนำแก่ผู้ที่ต้องตัดสินใจ ซึ่งพบในผู้เชี่ยวชาญที่เป็นมนุษย์

วิทยานิพนธ์นี้ได้นำเสนอวิธีการหาสถานะสวิตช์ตัดตอนที่เหมาะสมในระบบจำหน่ายแบบเรเดียลโดยใช้จินเนติกอัลกอริทึม (Genetic Algorithm : GA) และระบบผู้เชี่ยวชาญ (Expert Systems : ES) วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ประกอบไปด้วย 5 บท ซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้

บทที่ 1 กล่าวถึงความสำคัญของปัญหา วัตถุประสงค์ และเป้าหมายของงานวิทยานิพนธ์ ตลอดจนขอบเขตและประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับของวิทยานิพนธ์

บทที่ 2 ในบทนี้ได้กล่าวถึงปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง โดยกล่าวถึงหลักการเบื้องต้นของจินเนติกอัลกอริทึม จินเนติกอัลกอริทึมสำหรับการหาสถานะของสวิตช์ตัดตอนที่เหมาะสมในระบบจำหน่าย เบื้องต้นของระบบผู้เชี่ยวชาญ ระบบผู้เชี่ยวชาญสำหรับการหาสถานะของสวิตช์ตัดตอนที่เหมาะสมในระบบจำหน่าย การวิเคราะห์วิธีการจัดการเชื่อมต่อโครงสร้างของระบบจำหน่ายก่อนและหลังเกิดความผิดปกติ วิธีการพิจารณาโหลดที่มีความสำคัญ จินเนติกอัลกอริทึมสำหรับการหาสถานะของสวิตช์ตัดตอนที่เหมาะสมในระบบจำหน่าย โดยใช้เทคนิคการผสมผสานของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ทั้งนี้เพื่อให้เกิดความเข้าใจในเบื้องต้นเกี่ยวกับการวิเคราะห์การหาสถานะของสวิตช์ตัดตอนที่เหมาะสมในระบบจำหน่ายแบบเรเดียล

บทที่ 3 ในบทนี้ได้กล่าวถึงวิธีการพิจารณาการหาสถานะของสวิตช์ตัดตอนที่เหมาะสมเมื่อเกิดความผิดปกติในระบบจำหน่ายโดยใช้จินเนติกอัลกอริทึมและระบบผู้เชี่ยวชาญ โดยระบบผู้เชี่ยวชาญจะเป็นส่วนที่ทำหน้าที่คัดกรอง หรือแยกตัวแปรที่ไม่สำคัญในการประมวลผลออก ซึ่งจะเห็นได้ว่าฐานกฎของระบบผู้เชี่ยวชาญของระบบทดสอบที่มี 1 แหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้านั้นไม่ว่าจะมีจำนวนบัสที่แตกต่างกัน แต่รูปแบบของฐานกฎของระบบผู้เชี่ยวชาญนั้นจะมีลักษณะที่คล้ายคลึงกัน ซึ่งจะแตกต่างจากระบบทดสอบที่มีวงจรมากกว่า 1 วงจรขึ้นไป ฐานกฎของระบบผู้เชี่ยวชาญของระบบทดสอบในลักษณะนี้จะขึ้นอยู่กับลักษณะของการเชื่อมต่อกันในแต่ละวงจร และในส่วนของจินเนติกอัลกอริทึมนั้นจะเป็นส่วนที่ประมวลผลพิจารณาการหาสถานะของสวิตช์ตัดตอนที่เหมาะสม โดยผลลัพธ์ที่ได้นั้นจะต้องอยู่ภายใต้เงื่อนไขต่างๆ ตามที่ผู้ใช้งานกำหนด

บทที่ 4 เนื้อหาในบทนี้เป็นการทดสอบการหาสถานะของสวิตช์ตัดตอนที่เหมาะสม เมื่อเกิดความผิดปกติในระบบทดสอบต่างๆ ซึ่งได้แก่ ระบบทดสอบ 15 บัส ระบบทดสอบ 34 บัส ระบบทดสอบ 69 บัส ระบบทดสอบ 16 บัส และระบบจำหน่ายของสถานีจ่ายไฟย่อยสี่คircuit ในการทดสอบนั้นจะประกอบไปด้วย 3 กรณีศึกษา ซึ่งได้แก่ พิจารณาให้จำนวนของผู้ใช้ไฟฟ้าหรือบริเวณที่มีไฟฟ้าดับน้อยที่สุด พิจารณาให้จำนวนของผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทอุตสาหกรรมขนาดใหญ่มีไฟฟ้าดับน้อยที่สุด และพิจารณาให้กำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบน้อยที่สุด ซึ่งระยะเวลาในการ

ประมวผลจะขึ้นอยู่กับโครงสร้างของระบบทดสอบและจำนวนของสวิทซ์ตัดตอนี่นำมาวิเคราะห์ ซึ่งถ้าหากจำนวนสวิทซ์ตัดตอนมีจำนวนมากและโครงสร้างของระบบทดสอบมีความซับซ้อนมาก จะใช้ระยะเวลาในการประมวผลมาก แต่ถ้าหากจำนวนสวิทซ์ตัดตอนมีจำนวนน้อยและโครงสร้างของระบบทดสอบมีความซับซ้อนไม่มาก จะใช้ระยะเวลาในการประมวผลน้อยตามไปด้วย และจากการทดสอบระบบจำหน่ายของสถานีจ่ายไฟย่อยสี่กั้ว ใช้ระยะเวลาในการประมวผลเฉลี่ยประมาณ 13 นาที ซึ่งเร็วกว่าการจำลองสถานการณ์จริงถึงประมาณ 8 นาที ทั้งนี้หากอยู่ในสภาพการปฏิบัติงานจริงนั้น ถือว่าเป็นระยะเวลาที่ยอมรับได้ เนื่องจากการจ่ายไฟฟ้ากับสู่ระบบได้เร็วเพียงใดก็จะทำให้ลดผลกระทบจากปัญหาของผู้ไม่มีไฟฟ้าใช้น้อยเท่านั้น

บทที่ 5 กล่าวถึงบทสรุปของงานวิจัยของแต่ละบท และการประยุกต์การใช้งานของวิทยานิพนธ์ ตลอดจนข้อเสนอแนะของผู้วิจัยที่มีต่อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

5.2 การประยุกต์ผลการวิจัย

ประยุกต์ใช้โปรแกรมต้นแบบเพื่อใช้งานแก้ไขปัญหาไฟฟ้าดับ หรือการบำรุงรักษาระบบจำหน่ายของสถานีจ่ายไฟฟ้าย่อยสี่กั้ว ทั้งนี้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการแก้ไขปัญหาไฟฟ้าดับ หรือการบำรุงรักษาระบบจำหน่ายให้ดียิ่งขึ้น

5.3 ข้อเสนอแนะในการวิจัยต่อไป

ผู้วิจัยได้นำข้อมูล พารามิเตอร์ ของระบบจำหน่ายของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคจากระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (Geographic Information Systems: GIS) ดังนั้นจึงควรปรับปรุงให้โปรแกรมสามารถค้นหาสถานะของสวิทซ์ตัดตอนได้แบบทันทีทันใด (real time) เพื่อให้สามารถตอบสนองการใช้งานได้ดียิ่งขึ้น

รายการอ้างอิง

- ชนิดชัย กุลวรรณิพงษ์ (2551). การวิเคราะห์ระบบไฟฟ้ากำลัง. เอกสารประกอบการสอน สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี. 162-165
- สำนักงานคณะกรรมการนโยบายแห่งชาติ. (2544). การศึกษาอัตราความเสียหายเนื่องจากไฟฟ้าดับ. กรุงเทพมหานคร.
- อาทิตย์ ศรีแก้ว. (2552). ปัญหาเชิงคำนวณ. เอกสารประกอบการสอน สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี. 391-408
- Aravindhababu, P. Ganapathy, S. and Nayar, K. R. (2001). **A Novel Technique for The Analysis of Radial Distribution Systems: Elsevier Electrical Power and Energy Systems.** 167-171
- Baran Meseut E., and Wu Felix, F. (1989). Optimal capacitor replacement on radial distribution systems. **IEEE Trans Power Delivery.** 4(1): 725-734.
- Chadwick, M., and Hannah, J.A. (1986). **Expert system for personal computers – in introduction to artificial intelligence.** pp. 9-29
- Cheng, CS., and Shirmohammadi, D. (1995). A Three Phase Power Flow Method for Real-Time Distribution System Analysis. **IEEE Trans Power Syst.** 671-679
- Civanlar, S., Grainger, JJ., Yin, H., and Lee, SSH. (1988). Distribution feeder reconfiguration for loss reduction. **IEEE Trans Power Delivery.** 3(3): 1217-1223
- Hsiao Ying-Tung. (2004). Multi objective evolution programming for feeder reconfrogation. **IEEE Trans Power Syst.** 19 (1): 594-599
- Manjunath, K., and Mohan. (2007). **A new hybrid multi-objective quick service restoration technique for electrical power distribution system: Electrical power and energy system.** 51-64
- Luo, GX. and Semlyen, A. (1990). Efficient Load Flow for Large Weakly Meshed Networks. **IEEE Trans Power Syst.** 1309-1316
- Renato Cespedes, G. (1990). New Method for The analysis of distribution network: **IEEE Trans power delivery.** 391-396

- Roy Billinton., and Peng Wang. (1998). Distribution system reliability cost/worth analysis using analytical sequential simulation techniques. **IEEE Transaction on power systems.** 1245-1250
- Shirmohammadi, D., Hong, HW., Semlyn, A., Leo, GX. (1988). A compensation based power flow method for weakly meshed distribution and transmission network. **IEEE Trans Power Syst.** 3 (2): 753-759
- Shirmohammadi, D., Hong, HW., Semlyen, A., and Luo, GX. (1998). A CompEnsation Based Power Flow Method for Weakly Meshed Distribution Networks. **IEEE Trans Power Syst.** : 753-762
- S. Srivastava and K.L. Butler-Burry. (2006). Expert-system method for automatic reconfiguration for restoration of shipboard power systems. **IEE Proc.-Gener. Transm. Distrib.** : 253-260
- Stott, B., Alsac, O. (1974). Fast Decoupled Load Flow. **IEEE Trans Power Appl Syst.** 859-869
- Zbigniew, M. Genetic Algorithms Data Structures Evolution Programs. New York : Springer, 1996.
- Zhang, F., and Cheng, CS. (1997). A Modified Newton Method for Radial Distribution System PowerFlow Analysis. **IEEE Trans Power Sys.** 389-397
- Zhang, Fan., and Cheng Carol, S. (1998). A modified Newton method for radial distribution system power flow analysis. **IEEE Trans Power Delivery.** 3 (3): 1217-1223



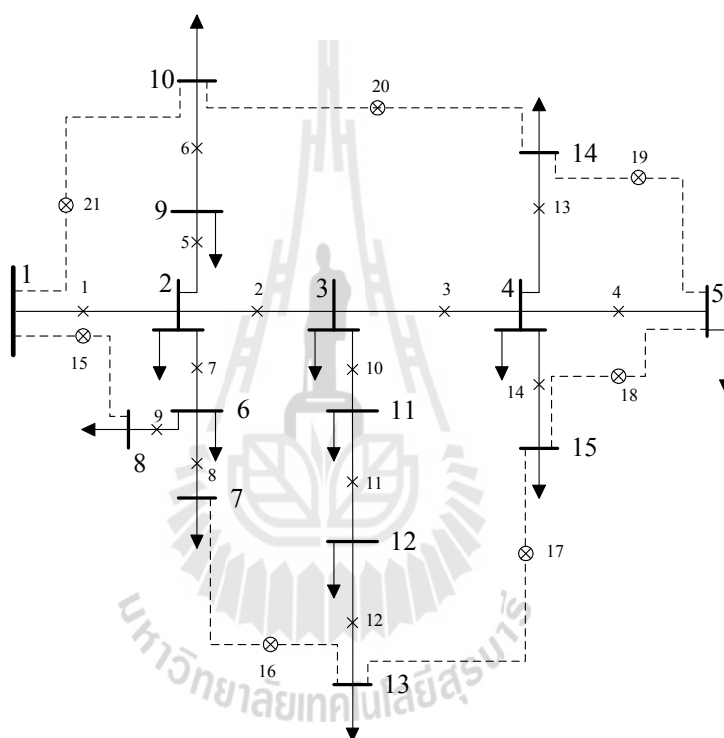
ภาคผนวก ก

ระบบทดสอบ

ระบบทดสอบ

ระบบทดสอบที่นำมาทดสอบในงานวิจัยนี้ ประกอบด้วยระบบทดสอบ 6 ระบบ คือ ระบบทดสอบ 15 บัส 16 บัส 34 บัส 69 บัส และระบบทดสอบระบบจำหน่ายสถานีจ่ายไฟฟ้าย่อยสี่คircuit จำนวน 10 วงจร ระบบทดสอบทุกระบบมีค่าฐานเท่ากับ 100 kVA รายละเอียดของระบบทดสอบแสดงได้ดังนี้

ก.1 ระบบทดสอบ 15 บัส



รูปที่ ก.1 ระบบทดสอบ 15 บัส

ตารางที่ ก.1 ข้อมูลบัสของระบบทดสอบ 15 บัส

| Bus code | Magnitude voltage (p.u.) | Angle (degree) | Generation | | Load | | Bus type |
|----------|--------------------------|----------------|------------|------|-------|-------|-----------|
| | | | kW | kVar | kW | kVar | |
| 1 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | Slack bus |
| 2 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 44.10 | 44.99 | PQ bus |
| 3 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 70.00 | 71.41 | PQ bus |

ตารางที่ ก.1 ข้อมูลบัสของระบบทดสอบ 15 บัส (ต่อ)

| Bus code | Magnitude voltage (p.u.) | Angle (degree) | Generation | | Load | | Bus type |
|----------|--------------------------|----------------|------------|------|--------|--------|----------|
| | | | kW | kVar | kW | kVar | |
| 4 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 140.00 | 142.83 | PQ bus |
| 5 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 44.10 | 44.99 | PQ bus |
| 6 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 140.00 | 142.83 | PQ bus |
| 7 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 140.00 | 142.83 | PQ bus |
| 8 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 70.00 | 71.41 | PQ bus |
| 9 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 70.00 | 71.41 | PQ bus |
| 10 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 44.10 | 44.99 | PQ bus |
| 11 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 140.00 | 142.83 | PQ bus |
| 12 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 70.00 | 71.41 | PQ bus |
| 13 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 44.10 | 44.99 | PQ bus |
| 14 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 70.00 | 71.41 | PQ bus |
| 15 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 140.00 | 142.83 | PQ bus |

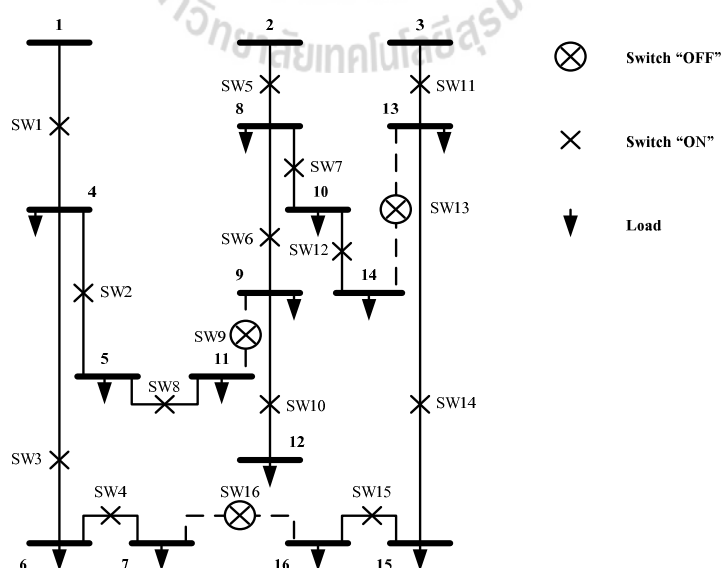
ตารางที่ ก.2 ข้อมูลสายส่งของระบบทดสอบ 15 บัส

| Line number | From bus | To bus | R (ohms) | jX (ohms) | Half-line charging | Tab setting |
|-------------|----------|--------|----------|-----------|--------------------|-------------|
| 1 | 1 | 2 | 1.353090 | 1.323490 | 0.00 | 1.00 |
| 2 | 2 | 3 | 1.170240 | 1.144640 | 0.00 | 1.00 |
| 3 | 3 | 4 | 0.841110 | 0.822710 | 0.00 | 1.00 |
| 4 | 4 | 5 | 1.523480 | 1.027600 | 0.00 | 1.00 |
| 5 | 2 | 9 | 2.013170 | 1.357900 | 0.00 | 1.00 |
| 6 | 9 | 10 | 1.686710 | 1.137700 | 0.00 | 1.00 |
| 7 | 2 | 6 | 2.557270 | 1.724900 | 0.00 | 1.00 |
| 8 | 6 | 7 | 1.088200 | 0.734000 | 0.00 | 1.00 |
| 9 | 6 | 8 | 1.251430 | 0.844100 | 0.00 | 1.00 |

ตารางที่ ก.2 ข้อมูลสายส่งของระบบทดสอบ 15 บัส (ต่อ)

| Line number | From bus | To bus | R (ohms) | jX (ohms) | Half-line charging | Tab setting |
|-------------|----------|--------|------------|-------------|--------------------|-------------|
| 10 | 3 | 11 | 1.795530 | 1.211100 | 0.00 | 1.00 |
| 11 | 11 | 12 | 2.448450 | 1.651500 | 0.00 | 1.00 |
| 12 | 12 | 13 | 2.013170 | 1.357900 | 0.00 | 1.00 |
| 13 | 4 | 14 | 2.230810 | 1.504700 | 0.00 | 1.00 |
| 14 | 4 | 15 | 1.197020 | 0.807400 | 0.00 | 1.00 |
| 15 | 1 | 8 | 0.157200 | 0.027000 | 0.00 | 1.00 |
| 16 | 7 | 13 | 0.104800 | 0.018000 | 0.00 | 1.00 |
| 17 | 13 | 15 | 0.117000 | 0.048000 | 0.00 | 1.00 |
| 18 | 15 | 5 | 0.107250 | 0.044000 | 0.00 | 1.00 |
| 19 | 14 | 5 | 0.164450 | 0.045650 | 0.00 | 1.00 |
| 20 | 10 | 14 | 0.149500 | 0.041500 | 0.00 | 1.00 |
| 21 | 1 | 10 | 0.149500 | 0.041500 | 0.00 | 1.00 |

ก.2 ระบบทดสอบ 16 บัส



รูปที่ ก.2 ระบบทดสอบ 16 บัส

ตารางที่ ก.3 ข้อมูลบัสของระบบทดสอบ 16 บัส

| Bus code | Magnitude voltage (p.u.) | Angle (degree) | Generation | | Load | | Bus type |
|----------|--------------------------|----------------|------------|------|------|------|-----------|
| | | | kW | kVar | kW | kVar | |
| 1 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | Slack bus |
| 2 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | Slack bus |
| 3 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | Slack bus |
| 4 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 2.10 | 0.92 | PQ bus |
| 5 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1.75 | 0.87 | PQ bus |
| 6 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1.25 | 0.65 | PQ bus |
| 7 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1.50 | 0.80 | PQ bus |
| 8 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1.28 | 0.76 | PQ bus |
| 9 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1.30 | 0.78 | PQ bus |
| 10 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1.65 | 0.78 | PQ bus |
| 11 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1.94 | 0.56 | PQ bus |
| 12 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1.45 | 0.59 | PQ bus |
| 13 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1.42 | 0.68 | PQ bus |
| 14 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1.45 | 0.67 | PQ bus |
| 15 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1.98 | 0.79 | PQ bus |
| 16 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1.08 | 0.45 | PQ bus |

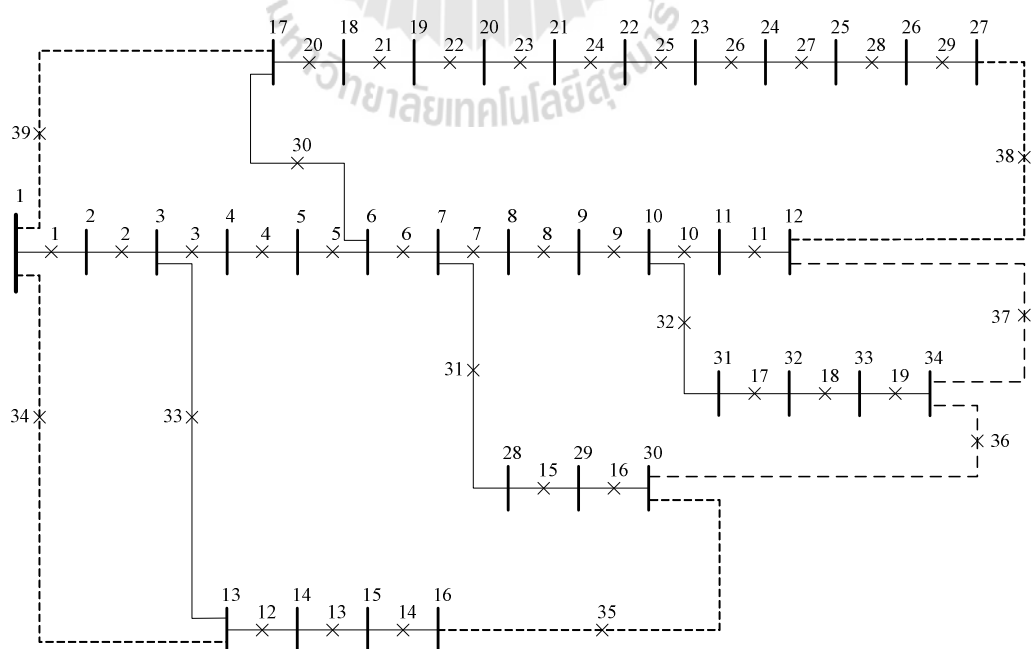
ตารางที่ ก.4 ข้อมูลสายส่งของระบบทดสอบ 16 บัส

| Line number | From bus | To bus | R (ohms) | jX (ohms) | Half-line charging | Tab setting |
|-------------|----------|--------|----------|-----------|--------------------|-------------|
| 1 | 1 | 4 | 0.036520 | 0.029280 | 0.00 | 1.00 |
| 2 | 4 | 5 | 0.073040 | 0.058560 | 0.00 | 1.00 |
| 3 | 4 | 6 | 0.021912 | 0.017568 | 0.00 | 1.00 |
| 4 | 6 | 7 | 0.063107 | 0.050596 | 0.00 | 1.00 |
| 5 | 2 | 8 | 0.030677 | 0.024595 | 0.00 | 1.00 |

ตารางที่ ก.4 ข้อมูลสายส่งของระบบทดสอบ 16 บัส (ต่อ)

| Line number | From bus | To bus | R (ohms) | jX (ohms) | Half-line charging | Tab setting |
|-------------|----------|--------|------------|-------------|--------------------|-------------|
| 6 | 8 | 9 | 0.029216 | 0.023424 | 0.00 | 1.00 |
| 7 | 8 | 10 | 0.023081 | 0.018505 | 0.00 | 1.00 |
| 8 | 5 | 11 | 0.034475 | 0.027640 | 0.00 | 1.00 |
| 9 | 9 | 11 | 0.061354 | 0.049190 | 0.00 | 1.00 |
| 10 | 9 | 12 | 0.028632 | 0.022956 | 0.00 | 1.00 |
| 11 | 3 | 13 | 0.043824 | 0.035136 | 0.00 | 1.00 |
| 12 | 10 | 14 | 0.036520 | 0.029280 | 0.00 | 1.00 |
| 13 | 13 | 14 | 0.043824 | 0.035136 | 0.00 | 1.00 |
| 14 | 13 | 15 | 0.028632 | 0.022956 | 0.00 | 1.00 |
| 15 | 15 | 16 | 0.026002 | 0.020847 | 0.00 | 1.00 |
| 16 | 7 | 16 | 0.046161 | 0.037010 | 0.00 | 1.00 |

ก.3 ระบบทดสอบ 34 บัส



รูปที่ ก.3 ระบบทดสอบ 34 บัส

ตารางที่ ก.5 ข้อมูลบัสของระบบทดสอบ 34 บัส

| Bus code | Magnitude voltage (p.u.) | Angle (degree) | Generation | | Load | | Bus type |
|----------|--------------------------|----------------|------------|------|--------|--------|-----------|
| | | | kW | kVar | kW | kVar | |
| 1 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | Slack bus |
| 2 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 230.00 | 142.50 | PQ bus |
| 3 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 4 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 230.00 | 142.50 | PQ bus |
| 5 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 230.00 | 142.50 | PQ bus |
| 6 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 7 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 8 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 230.00 | 142.50 | PQ bus |
| 9 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 230.00 | 142.50 | PQ bus |
| 10 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 11 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 230.00 | 142.50 | PQ bus |
| 12 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 137.00 | 84.00 | PQ bus |
| 13 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 72.00 | 45.00 | PQ bus |
| 14 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 72.00 | 45.00 | PQ bus |
| 15 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 72.00 | 45.00 | PQ bus |
| 16 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 13.50 | 7.50 | PQ bus |
| 17 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 230.00 | 142.50 | PQ bus |
| 18 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 230.00 | 142.50 | PQ bus |
| 19 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 230.00 | 142.50 | PQ bus |
| 20 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 230.00 | 142.50 | PQ bus |
| 21 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 230.00 | 142.50 | PQ bus |
| 22 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 230.00 | 142.50 | PQ bus |
| 23 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 230.00 | 142.50 | PQ bus |
| 24 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 230.00 | 142.50 | PQ bus |

ตารางที่ ก.5 ข้อมูลบัสของระบบทดสอบ 34 บัส (ต่อ)

| Bus code | Magnitude voltage (p.u.) | Angle (degree) | Generation | | Load | | Bus type |
|----------|--------------------------|----------------|------------|------|--------|--------|----------|
| | | | kW | kVar | kW | kVar | |
| 25 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 230.00 | 142.50 | PQ bus |
| 26 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 230.00 | 142.50 | PQ bus |
| 27 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 137.00 | 85.00 | PQ bus |
| 28 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 75.00 | 48.00 | PQ bus |
| 29 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 75.00 | 48.00 | PQ bus |
| 30 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 75.00 | 48.00 | PQ bus |
| 31 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 57.00 | 34.50 | PQ bus |
| 32 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 57.00 | 34.50 | PQ bus |
| 33 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 57.00 | 34.50 | PQ bus |
| 34 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 57.00 | 34.50 | PQ bus |

ตารางที่ ก.6 ข้อมูลสายส่งของระบบทดสอบ 34 บัส

| Line number | From bus | To bus | R (ohms) | jX (ohms) | Half-line charging | Tab setting |
|-------------|----------|--------|----------|-------------|--------------------|-------------|
| 1 | 1 | 2 | 0.117000 | 0.048000 | 0.00 | 1.00 |
| 2 | 2 | 3 | 0.107250 | 0.044000 | 0.00 | 1.00 |
| 3 | 3 | 4 | 0.164450 | 0.045650 | 0.00 | 1.00 |
| 4 | 4 | 5 | 0.149500 | 0.041500 | 0.00 | 1.00 |
| 5 | 5 | 6 | 0.149500 | 0.041500 | 0.00 | 1.00 |
| 6 | 6 | 7 | 0.314400 | 0.054000 | 0.00 | 1.00 |
| 7 | 7 | 8 | 0.209600 | 0.036000 | 0.00 | 1.00 |
| 8 | 8 | 9 | 0.314400 | 0.054000 | 0.00 | 1.00 |
| 9 | 9 | 10 | 0.209600 | 0.036000 | 0.00 | 1.00 |
| 10 | 10 | 11 | 0.131000 | 0.022500 | 0.00 | 1.00 |

ตารางที่ ก.6 ข้อมูลสายส่งของระบบทดสอบ 34 บัส (ต่อ)

| Line number | From bus | To bus | R (ohms) | jX (ohms) | Half-line charging | Tab setting |
|-------------|----------|--------|------------|-------------|--------------------|-------------|
| 11 | 11 | 12 | 0.104800 | 0.018000 | 0.00 | 1.00 |
| 12 | 13 | 14 | 0.157200 | 0.027000 | 0.00 | 1.00 |
| 13 | 14 | 15 | 0.209600 | 0.036000 | 0.00 | 1.00 |
| 14 | 15 | 16 | 0.104800 | 0.018000 | 0.00 | 1.00 |
| 15 | 28 | 29 | 0.052400 | 0.009000 | 0.00 | 1.00 |
| 16 | 29 | 30 | 0.179400 | 0.049800 | 0.00 | 1.00 |
| 17 | 31 | 32 | 0.164450 | 0.045650 | 0.00 | 1.00 |
| 18 | 32 | 33 | 0.207900 | 0.047300 | 0.00 | 1.00 |
| 19 | 33 | 34 | 0.189000 | 0.043000 | 0.00 | 1.00 |
| 20 | 17 | 18 | 0.189000 | 0.043000 | 0.00 | 1.00 |
| 21 | 18 | 19 | 0.262000 | 0.045000 | 0.00 | 1.00 |
| 22 | 19 | 20 | 0.262000 | 0.045000 | 0.00 | 1.00 |
| 23 | 20 | 21 | 0.314400 | 0.054000 | 0.00 | 1.00 |
| 24 | 21 | 22 | 0.209600 | 0.036000 | 0.00 | 1.00 |
| 25 | 22 | 23 | 0.131000 | 0.022500 | 0.00 | 1.00 |
| 26 | 23 | 24 | 0.104800 | 0.018000 | 0.00 | 1.00 |
| 27 | 24 | 25 | 0.157200 | 0.027000 | 0.00 | 1.00 |
| 28 | 25 | 26 | 0.157200 | 0.027000 | 0.00 | 1.00 |
| 29 | 26 | 27 | 0.157200 | 0.027000 | 0.00 | 1.00 |
| 30 | 6 | 17 | 0.157200 | 0.027000 | 0.00 | 1.00 |
| 31 | 7 | 28 | 0.209600 | 0.036000 | 0.00 | 1.00 |
| 32 | 10 | 31 | 0.157200 | 0.027000 | 0.00 | 1.00 |
| 33 | 3 | 13 | 0.104800 | 0.018000 | 0.00 | 1.00 |
| 34 | 1 | 13 | 0.117200 | 0.027000 | 0.00 | 1.00 |
| 35 | 16 | 30 | 0.104800 | 0.018000 | 0.00 | 1.00 |

ตารางที่ ก.7 ข้อมูลบัสของระบบทดสอบ 69 บัส (ต่อ)

| Bus code | Magnitude voltage (p.u.) | Angle (degree) | Generation | | Load | | Bus type |
|----------|--------------------------|----------------|------------|------|--------|--------|----------|
| | | | kW | kVar | kW | kVar | |
| 3 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 4 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 5 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 6 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 2.60 | 2.20 | PQ bus |
| 7 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 40.40 | 30.00 | PQ bus |
| 8 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 75.00 | 54.00 | PQ bus |
| 9 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 30.00 | 22.00 | PQ bus |
| 10 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 28.00 | 19.00 | PQ bus |
| 11 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 145.00 | 104.00 | PQ bus |
| 12 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 145.00 | 104.00 | PQ bus |
| 13 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 8.00 | 5.50 | PQ bus |
| 14 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 8.00 | 5.50 | PQ bus |
| 15 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 16 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 45.50 | 30.00 | PQ bus |
| 17 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 60.00 | 35.00 | PQ bus |
| 18 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 60.00 | 35.00 | PQ bus |
| 19 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 20 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1.00 | 0.60 | PQ bus |
| 21 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 114.00 | 81.00 | PQ bus |
| 22 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 5.30 | 3.50 | PQ bus |
| 23 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 24 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 28.00 | 20.00 | PQ bus |
| 25 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 26 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 14.00 | 10.00 | PQ bus |

ตารางที่ ก.7 ข้อมูลบัสของระบบทดสอบ 69 บัส (ต่อ)

| Bus code | Magnitude voltage (p.u.) | Angle (degree) | Generation | | Load | | Bus type |
|----------|--------------------------|----------------|------------|------|--------|--------|----------|
| | | | kW | kVar | kW | kVar | |
| 27 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 14.00 | 10.00 | PQ bus |
| 28 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 26.00 | 18.60 | PQ bus |
| 29 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 26.00 | 18.60 | PQ bus |
| 30 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 31 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 32 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 33 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 14.00 | 10.00 | PQ bus |
| 34 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 19.50 | 14.00 | PQ bus |
| 35 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 6.00 | 4.00 | PQ bus |
| 36 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 26.00 | 18.55 | PQ bus |
| 37 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 26.00 | 18.55 | PQ bus |
| 38 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 39 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 24.00 | 17.00 | PQ bus |
| 40 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 24.00 | 17.00 | PQ bus |
| 41 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1.20 | 1.00 | PQ bus |
| 42 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 43 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 6.00 | 4.30 | PQ bus |
| 44 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 45 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 39.22 | 26.30 | PQ bus |
| 46 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 39.22 | 26.30 | PQ bus |
| 47 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 48 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 79.00 | 56.40 | PQ bus |
| 49 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 384.70 | 274.50 | PQ bus |
| 50 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 384.70 | 274.50 | PQ bus |

ตารางที่ ก.7 ข้อมูลบัสของระบบทดสอบ 69 บัส (ต่อ)

| Bus code | Magnitude voltage (p.u.) | Angle (degree) | Generation | | Load | | Bus type |
|----------|--------------------------|----------------|------------|------|---------|--------|----------|
| | | | kW | kVar | kW | kVar | |
| 51 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 40.50 | 28.30 | PQ bus |
| 52 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 3.60 | 2.70 | PQ bus |
| 53 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 4.35 | 3.50 | PQ bus |
| 54 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 26.40 | 19.00 | PQ bus |
| 55 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 24.00 | 17.20 | PQ bus |
| 56 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 57 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 58 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 59 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 100.00 | 72.00 | PQ bus |
| 60 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 61 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1244.00 | 888.00 | PQ bus |
| 62 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 32.00 | 23.00 | PQ bus |
| 63 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 64 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 227.00 | 162.00 | PQ bus |
| 65 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 59.00 | 42.00 | PQ bus |
| 66 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 18.00 | 13.00 | PQ bus |
| 67 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 18.00 | 13.00 | PQ bus |
| 68 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 28.00 | 20.00 | PQ bus |
| 69 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 28.00 | 20.00 | PQ bus |

ตารางที่ ก.8 ข้อมูลสายส่งของระบบทดสอบ 69 บัส

| Line number | From bus | To bus | R (ohms) | jX (ohms) | Half-line charging | Tab setting |
|-------------|----------|--------|----------|-----------|--------------------|-------------|
| 1 | 1 | 2 | 0.000500 | 0.001200 | 0.00 | 1.00 |
| 2 | 2 | 3 | 0.000500 | 0.001200 | 0.00 | 1.00 |

ตารางที่ ก.8 ข้อมูลสายส่งของระบบทดสอบ 69 บัส (ต่อ)

| Line number | From bus | To bus | R (ohms) | jX (ohms) | Half-line charging | Tab setting |
|-------------|----------|--------|------------|-------------|--------------------|-------------|
| 3 | 3 | 4 | 0.001500 | 0.003600 | 0.00 | 1.00 |
| 4 | 4 | 5 | 0.025100 | 0.029400 | 0.00 | 1.00 |
| 5 | 5 | 6 | 0.366000 | 0.186400 | 0.00 | 1.00 |
| 6 | 6 | 7 | 0.381100 | 0.194100 | 0.00 | 1.00 |
| 7 | 7 | 8 | 0.092200 | 0.047000 | 0.00 | 1.00 |
| 8 | 8 | 9 | 0.049300 | 0.025100 | 0.00 | 1.00 |
| 9 | 9 | 10 | 0.819000 | 0.270700 | 0.00 | 1.00 |
| 10 | 10 | 11 | 0.187200 | 0.061900 | 0.00 | 1.00 |
| 11 | 11 | 12 | 0.711400 | 0.235100 | 0.00 | 1.00 |
| 12 | 12 | 13 | 1.030000 | 0.340000 | 0.00 | 1.00 |
| 13 | 13 | 14 | 1.044000 | 0.345000 | 0.00 | 1.00 |
| 14 | 14 | 15 | 1.058000 | 0.349600 | 0.00 | 1.00 |
| 15 | 15 | 16 | 0.196600 | 0.065000 | 0.00 | 1.00 |
| 16 | 16 | 17 | 0.374400 | 0.123800 | 0.00 | 1.00 |
| 17 | 17 | 18 | 0.004700 | 0.001600 | 0.00 | 1.00 |
| 18 | 18 | 19 | 0.327600 | 0.108300 | 0.00 | 1.00 |
| 19 | 19 | 20 | 0.210600 | 0.069600 | 0.00 | 1.00 |
| 20 | 20 | 21 | 0.341600 | 0.112900 | 0.00 | 1.00 |
| 21 | 21 | 22 | 0.014000 | 0.004600 | 0.00 | 1.00 |
| 22 | 22 | 23 | 0.159100 | 0.052600 | 0.00 | 1.00 |
| 23 | 23 | 24 | 0.346300 | 0.114500 | 0.00 | 1.00 |
| 24 | 24 | 25 | 0.748800 | 0.247500 | 0.00 | 1.00 |
| 25 | 25 | 26 | 0.308900 | 0.102100 | 0.00 | 1.00 |
| 26 | 26 | 27 | 0.173200 | 0.057200 | 0.00 | 1.00 |
| 27 | 3 | 28 | 0.004400 | 0.010800 | 0.00 | 1.00 |

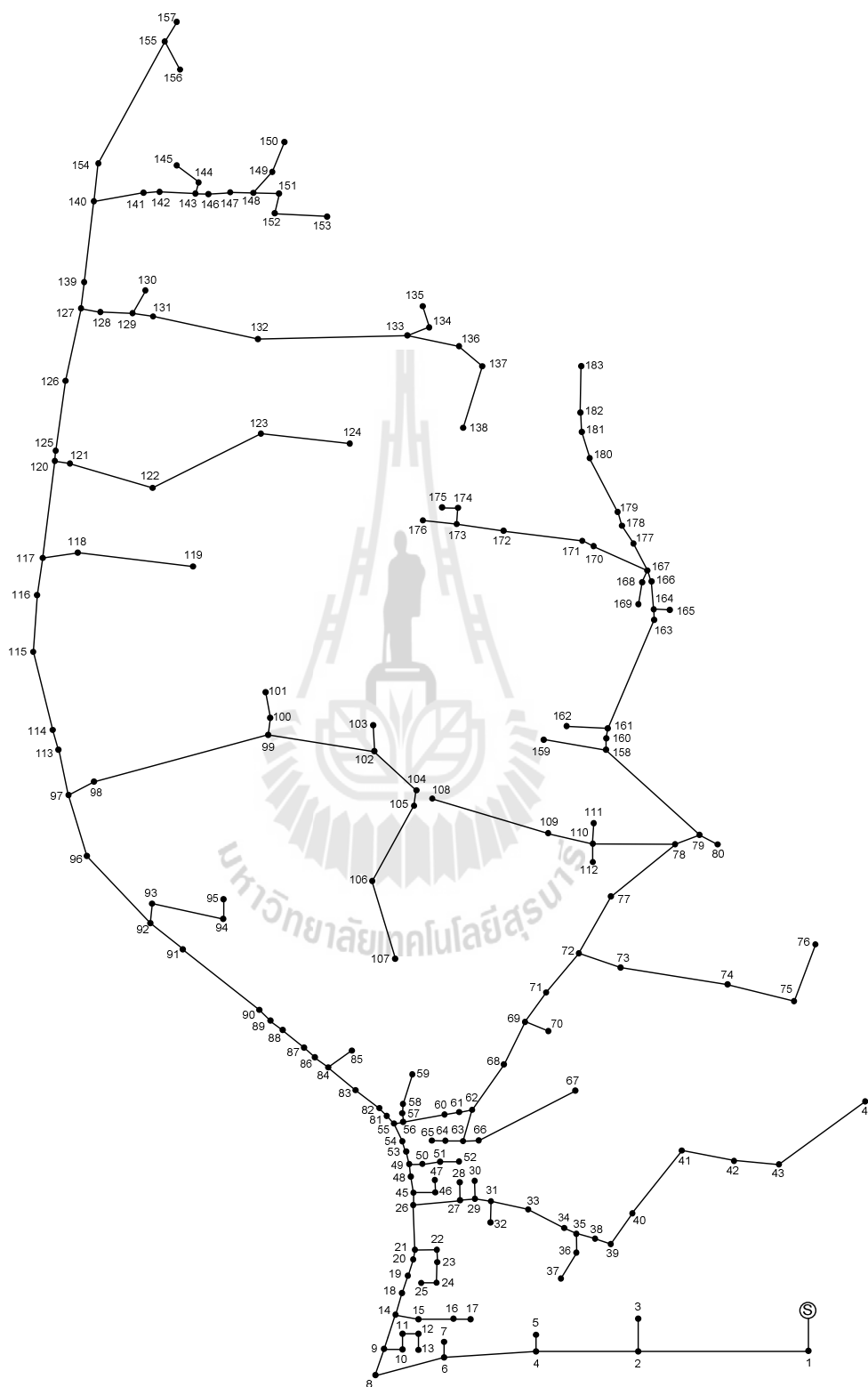
ตารางที่ ก.8 ข้อมูลสายส่งของระบบทดสอบ 69 บัส (ต่อ)

| Line number | From bus | To bus | R (ohms) | jX (ohms) | Half-line charging | Tab setting |
|-------------|----------|--------|------------|-------------|--------------------|-------------|
| 28 | 28 | 29 | 0.064000 | 0.156500 | 0.00 | 1.00 |
| 29 | 29 | 30 | 0.397800 | 0.131500 | 0.00 | 1.00 |
| 30 | 30 | 31 | 0.070200 | 0.023200 | 0.00 | 1.00 |
| 31 | 31 | 32 | 0.351000 | 0.116000 | 0.00 | 1.00 |
| 32 | 32 | 33 | 0.839000 | 0.281600 | 0.00 | 1.00 |
| 33 | 33 | 34 | 1.708000 | 0.564600 | 0.00 | 1.00 |
| 34 | 34 | 35 | 1.474000 | 0.487300 | 0.00 | 1.00 |
| 35 | 3 | 36 | 0.004400 | 0.010800 | 0.00 | 1.00 |
| 36 | 36 | 37 | 0.064000 | 0.156500 | 0.00 | 1.00 |
| 37 | 37 | 38 | 0.105300 | 0.123000 | 0.00 | 1.00 |
| 38 | 38 | 39 | 0.030400 | 0.035500 | 0.00 | 1.00 |
| 39 | 39 | 40 | 0.001800 | 0.002100 | 0.00 | 1.00 |
| 40 | 40 | 41 | 0.728300 | 0.850900 | 0.00 | 1.00 |
| 41 | 41 | 42 | 0.310000 | 0.362300 | 0.00 | 1.00 |
| 42 | 42 | 43 | 0.041000 | 0.047800 | 0.00 | 1.00 |
| 43 | 43 | 44 | 0.009200 | 0.011600 | 0.00 | 1.00 |
| 44 | 44 | 45 | 0.108900 | 0.137300 | 0.00 | 1.00 |
| 45 | 45 | 46 | 0.000900 | 0.001200 | 0.00 | 1.00 |
| 46 | 4 | 47 | 0.003400 | 0.008400 | 0.00 | 1.00 |
| 47 | 47 | 48 | 0.085100 | 0.208300 | 0.00 | 1.00 |
| 48 | 48 | 49 | 0.289800 | 0.709100 | 0.00 | 1.00 |
| 49 | 49 | 50 | 0.082200 | 0.201100 | 0.00 | 1.00 |
| 50 | 8 | 51 | 0.092800 | 0.047300 | 0.00 | 1.00 |
| 51 | 51 | 52 | 0.331900 | 0.111400 | 0.00 | 1.00 |
| 52 | 9 | 53 | 0.174000 | 0.088600 | 0.00 | 1.00 |

ตารางที่ ก.8 ข้อมูลสายส่งของระบบทดสอบ 69 บัส (ต่อ)

| Line number | From bus | To bus | R (ohms) | jX (ohms) | Half-line charging | Tab setting |
|-------------|----------|--------|------------|-------------|--------------------|-------------|
| 53 | 53 | 54 | 0.203000 | 0.103400 | 0.00 | 1.00 |
| 54 | 54 | 55 | 0.284200 | 0.144700 | 0.00 | 1.00 |
| 55 | 55 | 56 | 0.281300 | 0.143300 | 0.00 | 1.00 |
| 56 | 56 | 57 | 1.590000 | 0.533700 | 0.00 | 1.00 |
| 57 | 57 | 58 | 0.783700 | 0.263000 | 0.00 | 1.00 |
| 58 | 58 | 59 | 0.304200 | 0.100600 | 0.00 | 1.00 |
| 59 | 59 | 60 | 0.386100 | 0.117200 | 0.00 | 1.00 |
| 60 | 60 | 61 | 0.507500 | 0.258500 | 0.00 | 1.00 |
| 61 | 61 | 62 | 0.097400 | 0.049600 | 0.00 | 1.00 |
| 62 | 62 | 63 | 0.145000 | 0.073800 | 0.00 | 1.00 |
| 63 | 63 | 64 | 0.710500 | 0.361900 | 0.00 | 1.00 |
| 64 | 64 | 65 | 1.041000 | 0.530200 | 0.00 | 1.00 |
| 65 | 11 | 66 | 0.201200 | 0.061100 | 0.00 | 1.00 |
| 66 | 66 | 67 | 0.004700 | 0.001400 | 0.00 | 1.00 |
| 67 | 12 | 68 | 0.739400 | 0.244400 | 0.00 | 1.00 |
| 68 | 68 | 69 | 0.004700 | 0.001600 | 0.00 | 1.00 |
| 69 | 1 | 28 | 0.000500 | 0.001200 | 0.00 | 1.00 |
| 70 | 35 | 65 | 0.000500 | 0.001200 | 0.00 | 1.00 |
| 71 | 65 | 69 | 0.001500 | 0.003600 | 0.00 | 1.00 |
| 72 | 69 | 27 | 0.025100 | 0.029400 | 0.00 | 1.00 |
| 73 | 27 | 67 | 0.366000 | 0.186400 | 0.00 | 1.00 |
| 74 | 67 | 52 | 0.381100 | 0.194100 | 0.00 | 1.00 |
| 75 | 52 | 50 | 0.092200 | 0.047000 | 0.00 | 1.00 |
| 76 | 50 | 46 | 0.049300 | 0.025100 | 0.00 | 1.00 |
| 77 | 1 | 36 | 0.819000 | 0.270700 | 0.00 | 1.00 |

ก.5 ระบบจำหน่ายสถานีจ่ายไฟฟ้าย่อยสี่คircuit วงจรที่ 1



รูปที่ ก.5 ระบบจำหน่ายสถานีจ่ายไฟฟ้าย่อยสี่คircuit วงจรที่ 1

ตารางที่ ก.9 ข้อมูลบัสของระบบจำหน่ายสถานีจ่ายไฟฟ้าย่อยสี่ตัว วงจรที่ 1 (ต่อ)

| Bus code | Magnitude voltage (p.u.) | Angle (degree) | Generation | | Load | | Bus type |
|----------|--------------------------|----------------|------------|------|-------|-------|----------|
| | | | kW | kVar | kW | kVar | |
| 26 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 27 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 28 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 29 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 30 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 29.17 | 16.13 | PQ bus |
| 31 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 32 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 72.92 | 40.33 | PQ bus |
| 33 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 34 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 35 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 36 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 37 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 38 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 39 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 40 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 29.17 | 16.13 | PQ bus |
| 41 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 72.92 | 40.33 | PQ bus |
| 42 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 43 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 44 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 45 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 46 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 47 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 14.58 | 8.07 | PQ bus |
| 48 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 49 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 50 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 46.67 | 25.81 | PQ bus |

ตารางที่ ก.9 ข้อมูลบัสของระบบจำหน่ายสถานีจ่ายไฟฟ้าย่อยสี่ตัว วงจรที่ 1 (ต่อ)

| Bus code | Magnitude voltage (p.u.) | Angle (degree) | Generation | | Load | | Bus type |
|----------|--------------------------|----------------|------------|------|-------|-------|----------|
| | | | kW | kVar | kW | kVar | |
| 101 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 46.67 | 25.81 | PQ bus |
| 102 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 103 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 29.17 | 16.13 | PQ bus |
| 104 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 14.58 | 8.07 | PQ bus |
| 105 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 106 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 107 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 29.17 | 16.13 | PQ bus |
| 108 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 109 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 110 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 111 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 112 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 113 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 114 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 115 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 46.67 | 25.81 | PQ bus |
| 116 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 117 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 118 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 119 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 120 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 121 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 46.67 | 25.81 | PQ bus |
| 122 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 123 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 124 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 46.67 | 25.81 | PQ bus |
| 125 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 29.17 | 16.13 | PQ bus |

ตารางที่ ก.9 ข้อมูลบัสของระบบจำหน่ายสถานีจ่ายไฟฟ้าย่อยสี่ตัว วงจรที่ 1 (ต่อ)

| Bus code | Magnitude voltage (p.u.) | Angle (degree) | Generation | | Load | | Bus type |
|----------|--------------------------|----------------|------------|------|--------|-------|----------|
| | | | kW | kVar | kW | kVar | |
| 151 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 14.58 | 8.07 | PQ bus |
| 152 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 14.58 | 8.07 | PQ bus |
| 153 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 46.67 | 25.81 | PQ bus |
| 154 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 46.67 | 25.81 | PQ bus |
| 155 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 14.58 | 8.07 | PQ bus |
| 156 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 29.17 | 16.13 | PQ bus |
| 157 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 72.92 | 40.33 | PQ bus |
| 158 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 72.92 | 40.33 | PQ bus |
| 159 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 14.58 | 8.07 | PQ bus |
| 160 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 161 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 29.17 | 16.13 | PQ bus |
| 162 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 163 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 46.67 | 25.81 | PQ bus |
| 164 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 29.17 | 16.13 | PQ bus |
| 165 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 14.58 | 8.07 | PQ bus |
| 166 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 167 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 145.83 | 80.67 | PQ bus |
| 168 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 169 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 170 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 171 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 172 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 173 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 174 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 175 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 29.17 | 16.13 | PQ bus |

ตารางที่ ก.9 ข้อมูลบัสของระบบจำหน่ายสถานีจ่ายไฟฟ้าย่อยสี่คิ้ว วงจรที่ 1 (ต่อ)

| Bus code | Magnitude voltage (p.u.) | Angle (degree) | Generation | | Load | | Bus type |
|----------|--------------------------|----------------|------------|------|-------|------|----------|
| | | | kW | kVar | kW | kVar | |
| 176 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 177 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 178 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 179 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 180 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 181 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 182 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 14.58 | 8.07 | PQ bus |
| 183 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |

ตารางที่ ก.10 ข้อมูลสายส่งของระบบจำหน่ายสถานีจ่ายไฟฟ้าย่อยสี่คิ้ว วงจรที่ 1

| Line number | From bus | To bus | R (ohms) | jX (ohms) | Half-line charging | Tab setting |
|-------------|----------|--------|----------|-----------|--------------------|-------------|
| 1 | 1 | 2 | 2.638480 | 5.145696 | 4.63 | 1.00 |
| 2 | 2 | 3 | 0.058918 | 0.114904 | 0.10 | 1.00 |
| 3 | 2 | 4 | 0.101790 | 0.198516 | 0.20 | 1.00 |
| 4 | 4 | 5 | 0.393081 | 1.895826 | 2.00 | 1.00 |
| 5 | 4 | 6 | 0.190970 | 0.652796 | 0.63 | 1.00 |
| 6 | 6 | 7 | 0.027336 | 0.053313 | 0.05 | 1.00 |
| 7 | 6 | 8 | 0.012326 | 0.042136 | 0.04 | 1.00 |
| 8 | 8 | 9 | 0.019102 | 0.037253 | 0.03 | 1.00 |
| 9 | 9 | 10 | 0.022922 | 0.044703 | 0.04 | 1.00 |
| 10 | 10 | 11 | 0.358541 | 1.729241 | 1.83 | 1.00 |
| 11 | 11 | 12 | 0.006748 | 0.023067 | 0.02 | 1.00 |
| 12 | 12 | 13 | 0.980293 | 1.911817 | 1.72 | 1.00 |
| 13 | 9 | 14 | 0.026827 | 0.052320 | 0.05 | 1.00 |

ตารางที่ ก.10 ข้อมูลสายส่งของระบบจำหน่ายสถานีจ่ายไฟฟ้าย่อยสี่ควั วงจรที่ 1 (ต่อ)

| Line number | From bus | To bus | R (ohms) | jX (ohms) | Half-line charging | Tab setting |
|-------------|----------|--------|------------|-------------|--------------------|-------------|
| 14 | 14 | 15 | 1.705559 | 3.326266 | 3.31 | 1.00 |
| 15 | 15 | 16 | 0.097307 | 0.332626 | 0.36 | 1.00 |
| 16 | 16 | 17 | 0.033957 | 0.163775 | 0.16 | 1.00 |
| 17 | 14 | 18 | 0.019356 | 0.037750 | 0.03 | 1.00 |
| 18 | 18 | 19 | 0.004415 | 0.008610 | 0.01 | 1.00 |
| 19 | 19 | 20 | 0.245202 | 0.495190 | 0.45 | 1.00 |
| 20 | 20 | 21 | 0.125641 | 0.253735 | 0.25 | 1.00 |
| 21 | 21 | 22 | 0.004499 | 0.015378 | 0.01 | 1.00 |
| 22 | 22 | 23 | 0.872051 | 1.700717 | 1.53 | 1.00 |
| 23 | 23 | 24 | 0.354525 | 0.691413 | 0.69 | 1.00 |
| 24 | 24 | 25 | 0.003599 | 0.012302 | 0.01 | 1.00 |
| 25 | 21 | 26 | 0.508442 | 0.991588 | 0.89 | 1.00 |
| 26 | 26 | 27 | 0.176244 | 0.343720 | 0.34 | 1.00 |
| 27 | 27 | 28 | 0.016250 | 0.078375 | 0.08 | 1.00 |
| 28 | 27 | 29 | 0.003205 | 0.015456 | 0.02 | 1.00 |
| 29 | 29 | 30 | 0.146433 | 0.500554 | 0.49 | 1.00 |
| 30 | 29 | 31 | 0.135324 | 0.263916 | 0.24 | 1.00 |
| 31 | 31 | 32 | 0.015536 | 0.030299 | 0.03 | 1.00 |
| 32 | 31 | 33 | 0.175969 | 0.848696 | 0.90 | 1.00 |
| 33 | 33 | 34 | 0.009267 | 0.031679 | 0.03 | 1.00 |
| 34 | 34 | 35 | 0.890898 | 1.737473 | 1.73 | 1.00 |
| 35 | 35 | 36 | 0.285253 | 1.375774 | 1.31 | 1.00 |
| 36 | 36 | 37 | 1.672279 | 3.261364 | 2.94 | 1.00 |
| 37 | 35 | 38 | 0.035062 | 0.068380 | 0.06 | 1.00 |
| 38 | 38 | 39 | 0.007471 | 0.014570 | 0.01 | 1.00 |

ตารางที่ ก.10 ข้อมูลสายส่งของระบบจำหน่ายสถานีจ่ายไฟฟ้าย่อยสี่กั้ว วงจรที่ 1 (ต่อ)

| Line number | From bus | To bus | R (ohms) | jX (ohms) | Half-line charging | Tab setting |
|-------------|----------|--------|------------|-------------|--------------------|-------------|
| 39 | 39 | 40 | 0.006282 | 0.012252 | 0.01 | 1.00 |
| 40 | 40 | 41 | 0.017828 | 0.034769 | 0.03 | 1.00 |
| 41 | 41 | 42 | 0.113761 | 0.221861 | 0.22 | 1.00 |
| 42 | 42 | 43 | 0.408878 | 1.972015 | 1.88 | 1.00 |
| 43 | 43 | 44 | 1.501214 | 2.927743 | 2.64 | 1.00 |
| 44 | 26 | 45 | 0.055946 | 0.109109 | 0.11 | 1.00 |
| 45 | 45 | 46 | 0.006793 | 0.023221 | 0.02 | 1.00 |
| 46 | 46 | 47 | 0.226248 | 0.441239 | 0.44 | 1.00 |
| 47 | 45 | 48 | 0.360386 | 1.738140 | 1.66 | 1.00 |
| 48 | 48 | 49 | 0.028525 | 0.055631 | 0.05 | 1.00 |
| 49 | 49 | 50 | 0.055267 | 0.107785 | 0.10 | 1.00 |
| 50 | 50 | 51 | 1.203994 | 2.348089 | 2.12 | 1.00 |
| 51 | 51 | 52 | 0.619661 | 1.251418 | 1.24 | 1.00 |
| 52 | 49 | 53 | 0.004589 | 0.015686 | 0.02 | 1.00 |
| 53 | 53 | 54 | 0.137531 | 0.268221 | 0.27 | 1.00 |
| 54 | 54 | 55 | 0.280495 | 1.352823 | 1.29 | 1.00 |
| 55 | 55 | 56 | 0.813218 | 1.585978 | 1.43 | 1.00 |
| 56 | 56 | 57 | 0.032212 | 0.065052 | 0.06 | 1.00 |
| 57 | 57 | 58 | 0.590451 | 1.151527 | 1.04 | 1.00 |
| 58 | 58 | 59 | 0.275997 | 0.538262 | 0.49 | 1.00 |
| 59 | 56 | 60 | 0.294012 | 0.593764 | 0.59 | 1.00 |
| 60 | 60 | 61 | 0.005503 | 0.026541 | 0.03 | 1.00 |
| 61 | 61 | 62 | 0.189350 | 0.647260 | 0.63 | 1.00 |
| 62 | 62 | 63 | 0.020884 | 0.040730 | 0.04 | 1.00 |
| 63 | 62 | 68 | 2.033427 | 3.965691 | 3.57 | 1.00 |

ตารางที่ ก.10 ข้อมูลสายส่งของระบบจำหน่ายสถานีจ่ายไฟฟ้าย่อยสี่กั้ว วงจรที่ 1 (ต่อ)

| Line number | From bus | To bus | R (ohms) | jX (ohms) | Half-line charging | Tab setting |
|-------------|----------|--------|------------|-------------|--------------------|-------------|
| 64 | 63 | 64 | 0.011970 | 0.023345 | 0.02 | 1.00 |
| 65 | 64 | 65 | 0.032770 | 0.063909 | 0.06 | 1.00 |
| 66 | 63 | 66 | 0.011121 | 0.021689 | 0.02 | 1.00 |
| 67 | 66 | 67 | 0.013753 | 0.026822 | 0.02 | 1.00 |
| 68 | 68 | 69 | 0.108582 | 0.211762 | 0.19 | 1.00 |
| 69 | 69 | 70 | 0.168042 | 0.339365 | 0.30 | 1.00 |
| 70 | 69 | 71 | 0.035656 | 0.069539 | 0.06 | 1.00 |
| 71 | 71 | 72 | 0.177517 | 0.346203 | 0.31 | 1.00 |
| 72 | 72 | 73 | 0.023941 | 0.046690 | 0.04 | 1.00 |
| 73 | 73 | 74 | 0.025129 | 0.049008 | 0.04 | 1.00 |
| 74 | 74 | 75 | 0.016894 | 0.032948 | 0.03 | 1.00 |
| 75 | 75 | 76 | 0.127538 | 0.435966 | 0.42 | 1.00 |
| 76 | 72 | 77 | 0.007810 | 0.015232 | 0.01 | 1.00 |
| 77 | 77 | 78 | 0.793013 | 1.546573 | 1.39 | 1.00 |
| 78 | 78 | 79 | 0.606581 | 1.182985 | 1.18 | 1.00 |
| 79 | 79 | 80 | 0.030137 | 0.145352 | 0.15 | 1.00 |
| 80 | 55 | 81 | 0.006973 | 0.023836 | 0.03 | 1.00 |
| 81 | 81 | 82 | 0.037744 | 0.129021 | 0.13 | 1.00 |
| 82 | 82 | 83 | 0.067068 | 0.130799 | 0.12 | 1.00 |
| 83 | 83 | 84 | 0.010442 | 0.020365 | 0.02 | 1.00 |
| 84 | 84 | 85 | 0.020460 | 0.039902 | 0.04 | 1.00 |
| 85 | 84 | 86 | 0.208178 | 1.004040 | 1.06 | 1.00 |
| 86 | 86 | 87 | 0.004766 | 0.018118 | 0.02 | 1.00 |
| 87 | 87 | 88 | 0.007301 | 0.014239 | 0.01 | 1.00 |
| 88 | 88 | 89 | 1.055596 | 2.058676 | 1.86 | 1.00 |

ตารางที่ ก.10 ข้อมูลสายส่งของระบบจำหน่ายสถานีจ่ายไฟฟ้าย่อยสี่คิว วงจรที่ 1 (ต่อ)

| Line number | From bus | To bus | R (ohms) | jX (ohms) | Half-line charging | Tab setting |
|-------------|----------|--------|------------|-------------|--------------------|-------------|
| 89 | 89 | 90 | 0.446442 | 0.901598 | 0.81 | 1.00 |
| 90 | 90 | 91 | 0.216739 | 0.422696 | 0.38 | 1.00 |
| 91 | 91 | 92 | 0.216994 | 0.423192 | 0.38 | 1.00 |
| 92 | 92 | 93 | 0.024280 | 0.047353 | 0.04 | 1.00 |
| 93 | 92 | 96 | 0.052296 | 0.101990 | 0.09 | 1.00 |
| 94 | 93 | 94 | 0.126919 | 0.247525 | 0.22 | 1.00 |
| 95 | 94 | 95 | 0.012161 | 0.024560 | 0.02 | 1.00 |
| 96 | 96 | 97 | 0.506659 | 0.988111 | 0.89 | 1.00 |
| 97 | 97 | 98 | 0.013753 | 0.026822 | 0.02 | 1.00 |
| 98 | 98 | 99 | 0.120297 | 0.234610 | 0.21 | 1.00 |
| 99 | 99 | 100 | 0.031327 | 0.061095 | 0.06 | 1.00 |
| 100 | 100 | 101 | 0.198175 | 0.955797 | 0.91 | 1.00 |
| 101 | 99 | 102 | 0.262498 | 0.511937 | 0.46 | 1.00 |
| 102 | 102 | 103 | 0.884276 | 1.724559 | 1.55 | 1.00 |
| 103 | 102 | 104 | 0.263517 | 0.513924 | 0.51 | 1.00 |
| 104 | 104 | 105 | 0.006345 | 0.030601 | 0.03 | 1.00 |
| 105 | 105 | 106 | 0.003233 | 0.012289 | 0.01 | 1.00 |
| 106 | 106 | 107 | 0.104008 | 0.501630 | 0.53 | 1.00 |
| 107 | 108 | 109 | 1.316650 | 2.567798 | 2.31 | 1.00 |
| 108 | 109 | 110 | 1.103816 | 2.152718 | 1.94 | 1.00 |
| 109 | 110 | 111 | 0.919847 | 1.793932 | 1.79 | 1.00 |
| 110 | 110 | 112 | 0.052668 | 0.254015 | 0.24 | 1.00 |
| 111 | 110 | 78 | 0.622117 | 1.213284 | 1.09 | 1.00 |
| 112 | 97 | 113 | 0.018932 | 0.036922 | 0.04 | 1.00 |
| 113 | 113 | 114 | 0.077108 | 0.371890 | 0.36 | 1.00 |

ตารางที่ ก.10 ข้อมูลสายส่งของระบบจำหน่ายสถานีจ่ายไฟฟ้าย่อยสี่กั้ว วงจรที่ 1 (ต่อ)

| Line number | From bus | To bus | R (ohms) | jX (ohms) | Half-line charging | Tab setting |
|-------------|----------|--------|------------|-------------|--------------------|-------------|
| 114 | 114 | 115 | 0.354016 | 0.690420 | 0.62 | 1.00 |
| 115 | 115 | 116 | 0.021054 | 0.041061 | 0.04 | 1.00 |
| 116 | 116 | 117 | 0.038374 | 0.131174 | 0.13 | 1.00 |
| 117 | 117 | 118 | 0.474738 | 0.925858 | 0.83 | 1.00 |
| 118 | 118 | 119 | 1.013317 | 1.976223 | 1.78 | 1.00 |
| 119 | 117 | 120 | 0.317001 | 0.618232 | 0.56 | 1.00 |
| 120 | 120 | 121 | 0.028950 | 0.056459 | 0.06 | 1.00 |
| 121 | 121 | 122 | 0.001035 | 0.003537 | 0.00 | 1.00 |
| 122 | 122 | 123 | 0.036251 | 0.070698 | 0.06 | 1.00 |
| 123 | 123 | 124 | 0.007313 | 0.014769 | 0.01 | 1.00 |
| 124 | 120 | 125 | 0.013805 | 0.027879 | 0.03 | 1.00 |
| 125 | 125 | 126 | 0.545966 | 1.064769 | 0.96 | 1.00 |
| 126 | 126 | 127 | 0.012565 | 0.024504 | 0.02 | 1.00 |
| 127 | 127 | 128 | 0.046485 | 0.224196 | 0.21 | 1.00 |
| 128 | 128 | 129 | 0.497830 | 0.970892 | 0.97 | 1.00 |
| 129 | 129 | 130 | 0.000450 | 0.001538 | 0.00 | 1.00 |
| 130 | 129 | 131 | 0.000270 | 0.000923 | 0.00 | 1.00 |
| 131 | 131 | 132 | 0.003419 | 0.011687 | 0.01 | 1.00 |
| 132 | 132 | 133 | 0.237624 | 0.463426 | 0.46 | 1.00 |
| 133 | 133 | 134 | 0.081348 | 0.392342 | 0.37 | 1.00 |
| 134 | 134 | 135 | 0.157737 | 0.307626 | 0.28 | 1.00 |
| 135 | 133 | 136 | 0.278543 | 0.543229 | 0.49 | 1.00 |
| 136 | 136 | 137 | 0.148074 | 0.299039 | 0.27 | 1.00 |
| 137 | 137 | 138 | 0.306220 | 0.597205 | 0.59 | 1.00 |
| 138 | 127 | 139 | 0.018937 | 0.091333 | 0.10 | 1.00 |

ตารางที่ ก.10 ข้อมูลสายส่งของระบบจำหน่ายสถานีจ่ายไฟฟ้าย่อยสี่ควั วงจรที่ 1 (ต่อ)

| Line number | From bus | To bus | R (ohms) | jX (ohms) | Half-line charging | Tab setting |
|-------------|----------|--------|------------|-------------|--------------------|-------------|
| 139 | 139 | 140 | 0.067623 | 0.326145 | 0.34 | 1.00 |
| 140 | 140 | 141 | 0.263241 | 1.269609 | 1.34 | 1.00 |
| 141 | 141 | 142 | 0.012625 | 0.060889 | 0.06 | 1.00 |
| 142 | 142 | 143 | 0.278153 | 0.561736 | 0.50 | 1.00 |
| 143 | 143 | 144 | 0.008914 | 0.017385 | 0.02 | 1.00 |
| 144 | 144 | 145 | 0.035738 | 0.172362 | 0.16 | 1.00 |
| 145 | 143 | 146 | 0.017828 | 0.034769 | 0.03 | 1.00 |
| 146 | 146 | 147 | 0.521940 | 1.017914 | 0.92 | 1.00 |
| 147 | 147 | 148 | 0.642068 | 1.252193 | 1.13 | 1.00 |
| 148 | 148 | 149 | 0.418961 | 0.817079 | 0.74 | 1.00 |
| 149 | 149 | 150 | 1.290757 | 2.517300 | 2.27 | 1.00 |
| 150 | 148 | 151 | 0.463107 | 0.903175 | 0.81 | 1.00 |
| 151 | 151 | 152 | 0.168349 | 0.328322 | 0.30 | 1.00 |
| 152 | 152 | 153 | 0.236011 | 0.460280 | 0.46 | 1.00 |
| 153 | 140 | 154 | 0.003869 | 0.013225 | 0.01 | 1.00 |
| 154 | 154 | 155 | 0.033200 | 0.113490 | 0.11 | 1.00 |
| 155 | 155 | 156 | 0.022582 | 0.044041 | 0.04 | 1.00 |
| 156 | 155 | 157 | 0.020205 | 0.039405 | 0.04 | 1.00 |
| 157 | 158 | 159 | 0.002913 | 0.014051 | 0.01 | 1.00 |
| 158 | 158 | 160 | 0.170401 | 0.821842 | 0.87 | 1.00 |
| 159 | 79 | 158 | 0.004229 | 0.014455 | 0.02 | 1.00 |
| 160 | 160 | 161 | 0.020390 | 0.077515 | 0.08 | 1.00 |
| 161 | 161 | 162 | 0.107925 | 0.520521 | 0.55 | 1.00 |
| 162 | 161 | 163 | 1.192386 | 5.750864 | 6.07 | 1.00 |
| 163 | 163 | 164 | 0.098926 | 0.477118 | 0.50 | 1.00 |

ตารางที่ ก.10 ข้อมูลสายส่งของระบบจำหน่ายสถานีจ่ายไฟฟ้าย่อยสี่คว วจรที่ 1 (ต่อ)

| Line number | From bus | To bus | R (ohms) | jX (ohms) | Half-line charging | Tab setting |
|-------------|----------|--------|------------|-------------|--------------------|-------------|
| 164 | 164 | 165 | 0.008278 | 0.028296 | 0.03 | 1.00 |
| 165 | 164 | 166 | 0.030563 | 0.059605 | 0.05 | 1.00 |
| 166 | 166 | 167 | 0.261564 | 0.510116 | 0.46 | 1.00 |
| 167 | 167 | 168 | 0.021479 | 0.041889 | 0.04 | 1.00 |
| 168 | 168 | 169 | 0.020763 | 0.078933 | 0.07 | 1.00 |
| 169 | 167 | 170 | 0.815850 | 1.591111 | 1.43 | 1.00 |
| 170 | 170 | 171 | 0.015196 | 0.029637 | 0.03 | 1.00 |
| 171 | 171 | 172 | 0.015196 | 0.029637 | 0.03 | 1.00 |
| 172 | 172 | 173 | 0.004330 | 0.008444 | 0.01 | 1.00 |
| 173 | 173 | 174 | 0.127865 | 0.616694 | 0.59 | 1.00 |
| 174 | 174 | 175 | 0.166396 | 0.324514 | 0.32 | 1.00 |
| 175 | 173 | 176 | 0.108087 | 0.521301 | 0.55 | 1.00 |
| 176 | 167 | 177 | 0.006838 | 0.023375 | 0.02 | 1.00 |
| 177 | 177 | 178 | 0.157652 | 0.307460 | 0.28 | 1.00 |
| 178 | 178 | 179 | 0.119279 | 0.232623 | 0.21 | 1.00 |
| 179 | 179 | 180 | 0.005518 | 0.010762 | 0.01 | 1.00 |
| 180 | 180 | 181 | 0.349177 | 0.680982 | 0.61 | 1.00 |
| 181 | 181 | 182 | 1.408932 | 2.747771 | 2.47 | 1.00 |
| 182 | 182 | 183 | 0.107988 | 0.210603 | 0.19 | 1.00 |

ตารางที่ ก.11 ข้อมูลบัสของระบบจำหน่ายสถานีจ่ายไฟฟ้าย่อยสี่คิว วงจรที่ 2 (ต่อ)

| Bus code | Magnitude voltage (p.u.) | Angle (degree) | Generation | | Load | | Bus type |
|----------|--------------------------|----------------|------------|------|--------|--------|----------|
| | | | kW | kVar | kW | kVar | |
| 13 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 8.00 | 5.50 | PQ bus |
| 14 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 8.00 | 5.50 | PQ bus |
| 15 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 145.00 | 104.00 | PQ bus |
| 16 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 45.50 | 30.00 | PQ bus |
| 17 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |

ตารางที่ ก.12 ข้อมูลสายส่งของระบบจำหน่ายสถานีจ่ายไฟฟ้าย่อยสี่คิว วงจรที่ 2

| Line number | From bus | To bus | R (ohms) | jX (ohms) | Half-line charging | Tab setting |
|-------------|----------|--------|----------|-----------|--------------------|-------------|
| 1 | 1 | 2 | 1.044000 | 0.345000 | 0.00 | 1.00 |
| 2 | 2 | 3 | 1.058000 | 0.349600 | 0.00 | 1.00 |
| 3 | 2 | 4 | 0.001500 | 0.003600 | 0.00 | 1.00 |
| 4 | 4 | 5 | 0.025100 | 0.029400 | 0.00 | 1.00 |
| 5 | 5 | 6 | 0.366000 | 0.186400 | 0.00 | 1.00 |
| 6 | 6 | 7 | 0.381100 | 0.194100 | 0.00 | 1.00 |
| 7 | 7 | 8 | 0.092200 | 0.047000 | 0.00 | 1.00 |
| 8 | 8 | 9 | 0.049300 | 0.025100 | 0.00 | 1.00 |
| 9 | 9 | 10 | 0.819000 | 0.270700 | 0.00 | 1.00 |
| 10 | 10 | 11 | 0.187200 | 0.061900 | 0.00 | 1.00 |
| 11 | 11 | 12 | 0.711400 | 0.235100 | 0.00 | 1.00 |
| 12 | 12 | 13 | 1.030000 | 0.340000 | 0.00 | 1.00 |
| 13 | 13 | 14 | 1.044000 | 0.345000 | 0.00 | 1.00 |
| 14 | 14 | 15 | 1.058000 | 0.349600 | 0.00 | 1.00 |
| 15 | 15 | 16 | 0.196600 | 0.065000 | 0.00 | 1.00 |
| 16 | 15 | 17 | 0.374400 | 0.123800 | 0.00 | 1.00 |

ตารางที่ ก.14 ข้อมูลสายส่งของระบบจำหน่ายสถานีจ่ายไฟฟ้าย่อยสี่คิว วงจรที่ 3

| Line number | From bus | To bus | R (ohms) | jX (ohms) | Half-line charging | Tab setting |
|-------------|----------|--------|------------|-------------|--------------------|-------------|
| 1 | 1 | 2 | 0.012055 | 0.023511 | 0.02 | 1.00 |
| 2 | 2 | 3 | 0.061999 | 0.235696 | 0.25 | 1.00 |
| 3 | 2 | 4 | 0.090499 | 0.176496 | 0.16 | 1.00 |
| 4 | 4 | 5 | 0.015880 | 0.054284 | 0.06 | 1.00 |
| 5 | 5 | 6 | 0.006797 | 0.025838 | 0.03 | 1.00 |
| 6 | 6 | 7 | 0.006258 | 0.023790 | 0.02 | 1.00 |
| 7 | 7 | 8 | 0.002249 | 0.007689 | 0.01 | 1.00 |
| 8 | 8 | 9 | 0.006028 | 0.020607 | 0.02 | 1.00 |
| 9 | 8 | 10 | 0.070148 | 0.338323 | 0.36 | 1.00 |
| 10 | 10 | 11 | 0.033560 | 0.114720 | 0.12 | 1.00 |
| 11 | 11 | 12 | 0.012819 | 0.025001 | 0.02 | 1.00 |
| 12 | 11 | 13 | 0.010003 | 0.048243 | 0.05 | 1.00 |
| 13 | 13 | 14 | 0.004364 | 0.014917 | 0.02 | 1.00 |
| 14 | 13 | 15 | 0.080142 | 0.156296 | 0.14 | 1.00 |
| 15 | 15 | 16 | 0.576845 | 2.192952 | 2.30 | 1.00 |
| 16 | 16 | 17 | 0.027969 | 0.134892 | 0.14 | 1.00 |
| 17 | 17 | 18 | 0.042018 | 0.202650 | 0.21 | 1.00 |
| 18 | 18 | 19 | 0.027192 | 0.131145 | 0.14 | 1.00 |
| 19 | 19 | 20 | 0.682139 | 1.330341 | 1.20 | 1.00 |
| 20 | 18 | 21 | 0.050560 | 0.192212 | 0.20 | 1.00 |
| 21 | 21 | 22 | 0.003149 | 0.010765 | 0.01 | 1.00 |
| 22 | 21 | 23 | 0.093196 | 0.449484 | 0.47 | 1.00 |
| 23 | 16 | 24 | 0.053759 | 0.183767 | 0.20 | 1.00 |
| 24 | 24 | 25 | 0.006382 | 0.024263 | 0.03 | 1.00 |
| 25 | 25 | 26 | 0.064646 | 0.220982 | 0.24 | 1.00 |

ตารางที่ ก.14 ข้อมูลสายส่งของระบบจำหน่ายสถานีจ่ายไฟฟ้าย่อยสี่คิว วงจรที่ 3 (ต่อ)

| Line number | From bus | To bus | R (ohms) | jX (ohms) | Half-line charging | Tab setting |
|-------------|----------|--------|----------|-------------|--------------------|-------------|
| 26 | 26 | 27 | 0.978510 | 1.908340 | 1.72 | 1.00 |
| 27 | 26 | 28 | 0.187881 | 0.906150 | 0.96 | 1.00 |
| 28 | 28 | 29 | 3.160759 | 6.164272 | 5.55 | 1.00 |
| 29 | 28 | 30 | 0.008217 | 0.016595 | 0.01 | 1.00 |
| 30 | 30 | 31 | 0.676620 | 1.319579 | 1.19 | 1.00 |
| 31 | 31 | 32 | 0.038644 | 0.132097 | 0.14 | 1.00 |
| 32 | 32 | 33 | 0.165597 | 0.566064 | 0.61 | 1.00 |
| 33 | 33 | 34 | 0.007063 | 0.024143 | 0.03 | 1.00 |
| 34 | 34 | 35 | 0.016385 | 0.031955 | 0.03 | 1.00 |
| 35 | 35 | 36 | 0.123778 | 0.241399 | 0.22 | 1.00 |
| 36 | 36 | 37 | 0.080895 | 0.390156 | 0.41 | 1.00 |
| 37 | 37 | 38 | 0.079989 | 0.385785 | 0.41 | 1.00 |
| 38 | 34 | 39 | 0.146252 | 0.705373 | 0.75 | 1.00 |
| 39 | 39 | 40 | 0.400539 | 0.781151 | 0.70 | 1.00 |
| 40 | 15 | 41 | 0.008040 | 0.030565 | 0.03 | 1.00 |
| 41 | 41 | 42 | 0.082514 | 0.397963 | 0.42 | 1.00 |
| 42 | 42 | 43 | 0.023208 | 0.088229 | 0.09 | 1.00 |
| 43 | 43 | 44 | 0.105441 | 0.205636 | 0.19 | 1.00 |
| 44 | 44 | 45 | 0.006537 | 0.012749 | 0.01 | 1.00 |
| 45 | 43 | 46 | 0.006537 | 0.012749 | 0.01 | 1.00 |
| 46 | 46 | 47 | 0.019526 | 0.038081 | 0.03 | 1.00 |
| 47 | 47 | 48 | 0.300108 | 1.025866 | 1.10 | 1.00 |
| 48 | 48 | 49 | 0.157161 | 0.757987 | 0.80 | 1.00 |
| 49 | 49 | 50 | 0.120452 | 0.580941 | 0.61 | 1.00 |
| 50 | 48 | 51 | 0.011022 | 0.037676 | 0.04 | 1.00 |

ตารางที่ ก.14 ข้อมูลสายส่งของระบบจำหน่ายสถานีจ่ายไฟฟ้าย่อยสี่คิว วงจรที่ 3 (ต่อ)

| Line number | From bus | To bus | R (ohms) | jX (ohms) | Half-line charging | Tab setting |
|-------------|----------|--------|------------|-------------|--------------------|-------------|
| 51 | 51 | 52 | 0.007895 | 0.015398 | 0.01 | 1.00 |
| 52 | 52 | 53 | 0.002694 | 0.010241 | 0.01 | 1.00 |
| 53 | 53 | 54 | 0.851405 | 3.236728 | 3.39 | 1.00 |
| 54 | 54 | 55 | 0.060300 | 0.229237 | 0.24 | 1.00 |
| 55 | 55 | 56 | 0.003357 | 0.012762 | 0.01 | 1.00 |
| 56 | 56 | 57 | 0.022314 | 0.076275 | 0.08 | 1.00 |
| 57 | 54 | 58 | 0.004139 | 0.014148 | 0.02 | 1.00 |
| 58 | 58 | 59 | 0.013583 | 0.026491 | 0.02 | 1.00 |
| 59 | 59 | 60 | 0.893869 | 1.743268 | 1.57 | 1.00 |
| 60 | 59 | 61 | 0.003149 | 0.010765 | 0.01 | 1.00 |
| 61 | 61 | 62 | 0.015791 | 0.030796 | 0.03 | 1.00 |
| 62 | 61 | 63 | 0.159265 | 0.768135 | 0.81 | 1.00 |
| 63 | 63 | 64 | 0.015182 | 0.073223 | 0.08 | 1.00 |
| 64 | 64 | 65 | 0.005943 | 0.011590 | 0.01 | 1.00 |
| 65 | 65 | 66 | 0.007198 | 0.024605 | 0.03 | 1.00 |
| 66 | 66 | 67 | 0.002474 | 0.008458 | 0.01 | 1.00 |
| 67 | 67 | 68 | 0.007057 | 0.034035 | 0.04 | 1.00 |
| 68 | 68 | 69 | 0.001457 | 0.007026 | 0.01 | 1.00 |
| 69 | 69 | 70 | 0.106954 | 0.515837 | 0.54 | 1.00 |
| 70 | 69 | 71 | 0.039816 | 0.077652 | 0.07 | 1.00 |
| 71 | 71 | 72 | 0.228625 | 0.445875 | 0.40 | 1.00 |
| 72 | 72 | 73 | 0.021940 | 0.044308 | 0.04 | 1.00 |
| 73 | 72 | 74 | 0.026272 | 0.089808 | 0.10 | 1.00 |
| 74 | 71 | 75 | 1.331422 | 2.596607 | 2.34 | 1.00 |
| 75 | 75 | 76 | 0.004904 | 0.016762 | 0.02 | 1.00 |

ตารางที่ ก.14 ข้อมูลสายส่งของระบบจำหน่ายสถานีจ่ายไฟฟ้าย่อยสี่คิว วงจรที่ 3 (ต่อ)

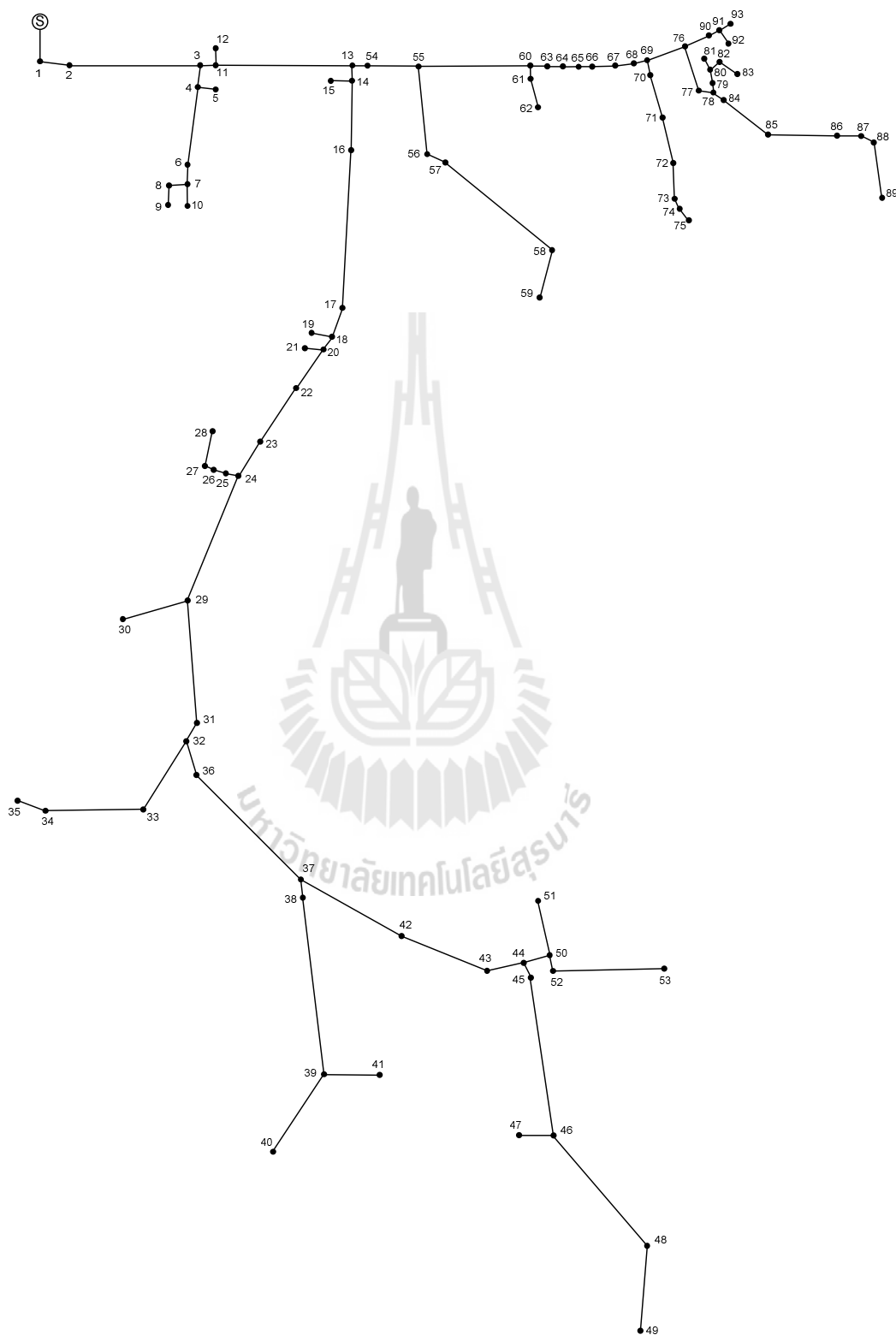
| Line number | From bus | To bus | R (ohms) | jX (ohms) | Half-line charging | Tab setting |
|-------------|----------|--------|------------|-------------|--------------------|-------------|
| 76 | 75 | 77 | 0.002294 | 0.007843 | 0.01 | 1.00 |
| 77 | 77 | 78 | 0.012649 | 0.024670 | 0.02 | 1.00 |
| 78 | 78 | 79 | 0.072926 | 0.142223 | 0.13 | 1.00 |
| 79 | 79 | 80 | 0.270054 | 0.526673 | 0.47 | 1.00 |
| 80 | 78 | 81 | 0.790916 | 2.703606 | 2.90 | 1.00 |
| 81 | 81 | 82 | 0.009614 | 0.046369 | 0.05 | 1.00 |
| 82 | 81 | 83 | 0.385597 | 0.752011 | 0.68 | 1.00 |
| 83 | 83 | 84 | 0.110029 | 0.222205 | 0.20 | 1.00 |
| 84 | 84 | 85 | 0.017707 | 0.085400 | 0.09 | 1.00 |
| 85 | 83 | 86 | 0.005858 | 0.011424 | 0.01 | 1.00 |
| 86 | 86 | 87 | 0.006672 | 0.025366 | 0.03 | 1.00 |
| 87 | 87 | 88 | 0.040443 | 0.138248 | 0.15 | 1.00 |
| 88 | 86 | 89 | 0.032661 | 0.111644 | 0.12 | 1.00 |
| 89 | 89 | 90 | 0.038194 | 0.130559 | 0.14 | 1.00 |
| 90 | 90 | 91 | 0.148745 | 0.717394 | 0.76 | 1.00 |
| 91 | 91 | 92 | 0.303333 | 0.591575 | 0.53 | 1.00 |
| 92 | 92 | 93 | 0.012204 | 0.058859 | 0.06 | 1.00 |
| 93 | 93 | 94 | 0.278798 | 0.543726 | 0.49 | 1.00 |
| 94 | 89 | 95 | 0.031176 | 0.106570 | 0.11 | 1.00 |
| 95 | 95 | 96 | 0.030137 | 0.145352 | 0.15 | 1.00 |
| 96 | 96 | 97 | 0.086933 | 0.169542 | 0.15 | 1.00 |
| 97 | 65 | 98 | 0.071993 | 0.347222 | 0.37 | 1.00 |
| 98 | 98 | 99 | 0.009258 | 0.044652 | 0.05 | 1.00 |
| 99 | 99 | 100 | 0.025553 | 0.087347 | 0.09 | 1.00 |
| 100 | 100 | 101 | 0.198434 | 0.957046 | 1.01 | 1.00 |

ตารางที่ ก.14 ข้อมูลสายส่งของระบบจำหน่ายสถานีจ่ายไฟฟ้าย่อยสี่ควั วงจรที่ 3 (ต่อ)

| Line number | From bus | To bus | R (ohms) | jX (ohms) | Half-line charging | Tab setting |
|-------------|----------|--------|------------|-------------|--------------------|-------------|
| 101 | 101 | 102 | 0.396642 | 1.913000 | 2.02 | 1.00 |
| 102 | 102 | 103 | 0.017189 | 0.082902 | 0.09 | 1.00 |
| 103 | 102 | 104 | 0.022413 | 0.043710 | 0.04 | 1.00 |



ก.8 ระบบจำหน่ายสถานีจ่ายไฟฟ้าย่อยสี่คิว วงจรที่ 4



รูปที่ ก.8 ระบบจำหน่ายสถานีจ่ายไฟฟ้าย่อยสี่คิว วงจรที่ 4

ตารางที่ ก.15 ข้อมูลบัสของระบบจำหน่ายสถานีจ่ายไฟฟ้าย่อยสี่กิโล วงจรที่ 4

| Bus code | Magnitude voltage (p.u.) | Angle (degree) | Generation | | Load | | Bus type |
|----------|--------------------------|----------------|------------|------|--------|--------|-----------|
| | | | kW | kVar | kW | kVar | |
| 1 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | Slack bus |
| 2 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 3 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 4 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 14.58 | 8.07 | PQ bus |
| 5 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 26.25 | 14.52 | PQ bus |
| 6 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 145.83 | 80.67 | PQ bus |
| 7 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 26.25 | 14.52 | PQ bus |
| 8 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 437.50 | 242.00 | PQ bus |
| 9 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 43.75 | 24.20 | PQ bus |
| 10 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 14.58 | 8.07 | PQ bus |
| 11 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 145.83 | 80.67 | PQ bus |
| 12 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 17.50 | 9.68 | PQ bus |
| 13 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 29.17 | 16.13 | PQ bus |
| 14 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 15 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 46.67 | 25.81 | PQ bus |
| 16 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 46.67 | 25.81 | PQ bus |
| 17 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 18 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 17.50 | 9.68 | PQ bus |
| 19 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 26.25 | 14.52 | PQ bus |
| 20 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 21 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 17.50 | 9.68 | PQ bus |
| 22 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 26.25 | 14.52 | PQ bus |
| 23 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 29.17 | 16.13 | PQ bus |
| 24 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 17.50 | 9.68 | PQ bus |
| 25 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 17.50 | 9.68 | PQ bus |

ตารางที่ ก.15 ข้อมูลบัสของระบบจำหน่ายสถานีจ่ายไฟฟ้าย่อยสี่กั้ว วงจรที่ 4 (ต่อ)

| Bus code | Magnitude voltage (p.u.) | Angle (degree) | Generation | | Load | | Bus type |
|----------|--------------------------|----------------|------------|------|--------|-------|----------|
| | | | kW | kVar | kW | kVar | |
| 26 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 26.25 | 14.52 | PQ bus |
| 27 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 29.17 | 16.13 | PQ bus |
| 28 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 29 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 46.67 | 25.81 | PQ bus |
| 30 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 31 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 26.25 | 14.52 | PQ bus |
| 32 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 33 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 34 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 35 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 26.25 | 14.52 | PQ bus |
| 36 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 145.83 | 80.67 | PQ bus |
| 37 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 145.83 | 80.67 | PQ bus |
| 38 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 39 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 29.17 | 16.13 | PQ bus |
| 40 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 14.58 | 8.07 | PQ bus |
| 41 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 145.83 | 80.67 | PQ bus |
| 42 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 43 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 44 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 72.92 | 40.33 | PQ bus |
| 45 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 17.50 | 9.68 | PQ bus |
| 46 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 47 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 48 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 49 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 26.25 | 14.52 | PQ bus |
| 50 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 26.25 | 14.52 | PQ bus |

ตารางที่ ก.15 ข้อมูลับัษของระบบจำหน่ายสถานีจ่ายไฟฟ้าย่อยสี่กั้ว วงจรที่ 4 (ต่อ)

| Bus code | Magnitude voltage (p.u.) | Angle (degree) | Generation | | Load | | Bus type |
|----------|--------------------------|----------------|------------|------|--------|-------|----------|
| | | | kW | kVar | kW | kVar | |
| 51 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 17.50 | 9.68 | PQ bus |
| 52 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 29.17 | 16.13 | PQ bus |
| 53 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 54 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 26.25 | 14.52 | PQ bus |
| 55 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 26.25 | 14.52 | PQ bus |
| 56 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 14.58 | 8.07 | PQ bus |
| 57 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 58 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 26.25 | 14.52 | PQ bus |
| 59 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 46.67 | 25.81 | PQ bus |
| 60 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 26.25 | 14.52 | PQ bus |
| 61 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 145.83 | 80.67 | PQ bus |
| 62 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 72.92 | 40.33 | PQ bus |
| 63 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 64 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 26.25 | 14.52 | PQ bus |
| 65 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 66 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 46.67 | 25.81 | PQ bus |
| 67 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 26.25 | 14.52 | PQ bus |
| 68 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 145.83 | 80.67 | PQ bus |
| 69 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 26.25 | 14.52 | PQ bus |
| 70 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 29.17 | 16.13 | PQ bus |
| 71 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 26.25 | 14.52 | PQ bus |
| 72 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 73 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 74 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 75 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 145.83 | 80.67 | PQ bus |

ตารางที่ ก.15 ข้อมูลบัสของระบบจำหน่ายสถานีจ่ายไฟฟ้าย่อยสี่คี่ วงจรที่ 4 (ต่อ)

| Bus code | Magnitude voltage (p.u.) | Angle (degree) | Generation | | Load | | Bus type |
|----------|--------------------------|----------------|------------|------|--------|--------|----------|
| | | | kW | kVar | kW | kVar | |
| 76 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 91.88 | 50.82 | PQ bus |
| 77 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 8.75 | 4.84 | PQ bus |
| 78 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 72.92 | 40.33 | PQ bus |
| 79 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 80 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 46.67 | 25.81 | PQ bus |
| 81 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 82 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 83 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 46.67 | 25.81 | PQ bus |
| 84 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 183.75 | 101.64 | PQ bus |
| 85 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 86 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 87 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 88 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 89 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 90 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 91 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 92 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 93 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |

ตารางที่ ก.16 ข้อมูลสายส่งของระบบจำหน่ายสถานีจ่ายไฟฟ้าย่อยสี่คี่ วงจรที่ 4

| Line number | From bus | To bus | R (ohms) | jX (ohms) | Half-line charging | Tab setting |
|-------------|----------|--------|----------|-------------|--------------------|-------------|
| 1 | 1 | 2 | 0.678573 | 1.323387 | 1.19 | 1.00 |
| 2 | 2 | 3 | 0.520785 | 2.511739 | 2.65 | 1.00 |
| 3 | 3 | 4 | 0.605527 | 1.222875 | 1.10 | 1.00 |

ตารางที่ ก.16 ข้อมูลสายส่งของระบบจำหน่ายสถานีจ่ายไฟฟ้าย่อยสี่ควั วงจรที่ 4 (ต่อ)

| Line number | From bus | To bus | R (ohms) | jX (ohms) | Half-line charging | Tab setting |
|-------------|----------|--------|----------|-----------|--------------------|-------------|
| 4 | 4 | 5 | 0.002717 | 0.005298 | 0.00 | 1.00 |
| 5 | 4 | 6 | 0.414330 | 1.416314 | 1.52 | 1.00 |
| 6 | 6 | 7 | 1.673298 | 3.263350 | 2.94 | 1.00 |
| 7 | 7 | 8 | 0.077981 | 0.157485 | 0.14 | 1.00 |
| 8 | 8 | 9 | 0.090414 | 0.176330 | 0.16 | 1.00 |
| 9 | 7 | 10 | 0.092706 | 0.180801 | 0.16 | 1.00 |
| 10 | 3 | 11 | 0.036061 | 0.173923 | 0.18 | 1.00 |
| 11 | 11 | 12 | 0.090056 | 0.434340 | 0.46 | 1.00 |
| 12 | 11 | 13 | 0.027062 | 0.130521 | 0.14 | 1.00 |
| 13 | 13 | 14 | 0.047229 | 0.227786 | 0.24 | 1.00 |
| 14 | 14 | 15 | 0.027281 | 0.055095 | 0.05 | 1.00 |
| 15 | 15 | 16 | 0.048686 | 0.234812 | 0.25 | 1.00 |
| 16 | 16 | 17 | 0.224889 | 0.438590 | 0.40 | 1.00 |
| 17 | 17 | 18 | 0.280581 | 0.547203 | 0.49 | 1.00 |
| 18 | 18 | 19 | 0.595120 | 1.160633 | 1.05 | 1.00 |
| 19 | 18 | 20 | 0.055225 | 0.266349 | 0.28 | 1.00 |
| 20 | 20 | 21 | 0.056371 | 0.109937 | 0.10 | 1.00 |
| 21 | 20 | 22 | 0.737321 | 1.437960 | 1.30 | 1.00 |
| 22 | 22 | 23 | 0.024383 | 0.083349 | 0.09 | 1.00 |
| 23 | 23 | 24 | 0.011801 | 0.023014 | 0.02 | 1.00 |
| 24 | 24 | 25 | 0.017404 | 0.033941 | 0.03 | 1.00 |
| 25 | 25 | 26 | 0.208844 | 0.407298 | 0.37 | 1.00 |
| 26 | 26 | 27 | 0.050143 | 0.241838 | 0.26 | 1.00 |
| 27 | 27 | 28 | 0.037712 | 0.181886 | 0.19 | 1.00 |
| 28 | 24 | 29 | 0.035382 | 0.170645 | 0.18 | 1.00 |

ตารางที่ ก.16 ข้อมูลสายส่งของระบบจำหน่ายสถานีจ่ายไฟฟ้าย่อยสี่กั้ว วงจรที่ 4 (ต่อ)

| Line number | From bus | To bus | R (ohms) | jX (ohms) | Half-line charging | Tab setting |
|-------------|----------|--------|------------|-------------|--------------------|-------------|
| 29 | 29 | 30 | 0.051362 | 0.100169 | 0.09 | 1.00 |
| 30 | 29 | 31 | 0.030563 | 0.059605 | 0.05 | 1.00 |
| 31 | 31 | 32 | 0.225229 | 0.439253 | 0.40 | 1.00 |
| 32 | 32 | 33 | 1.101354 | 2.147917 | 1.93 | 1.00 |
| 33 | 33 | 34 | 0.023261 | 0.045366 | 0.04 | 1.00 |
| 34 | 34 | 35 | 0.103976 | 0.501474 | 0.53 | 1.00 |
| 35 | 32 | 36 | 0.013920 | 0.067134 | 0.07 | 1.00 |
| 36 | 36 | 37 | 0.061587 | 0.210525 | 0.23 | 1.00 |
| 37 | 37 | 38 | 0.074793 | 0.145866 | 0.13 | 1.00 |
| 38 | 38 | 39 | 0.100517 | 0.196033 | 0.18 | 1.00 |
| 39 | 39 | 40 | 0.278119 | 0.542402 | 0.49 | 1.00 |
| 40 | 39 | 41 | 0.030732 | 0.059936 | 0.05 | 1.00 |
| 41 | 37 | 42 | 0.031666 | 0.061757 | 0.06 | 1.00 |
| 42 | 42 | 43 | 0.071819 | 0.145039 | 0.13 | 1.00 |
| 43 | 43 | 44 | 0.072331 | 0.141064 | 0.13 | 1.00 |
| 44 | 44 | 45 | 0.112657 | 0.219709 | 0.20 | 1.00 |
| 45 | 45 | 46 | 0.295353 | 0.576012 | 0.52 | 1.00 |
| 46 | 46 | 47 | 0.141994 | 0.286759 | 0.26 | 1.00 |
| 47 | 46 | 48 | 0.167617 | 0.808415 | 0.85 | 1.00 |
| 48 | 48 | 49 | 1.441702 | 2.811680 | 2.53 | 1.00 |
| 49 | 44 | 50 | 0.035317 | 0.068876 | 0.06 | 1.00 |
| 50 | 50 | 51 | 0.037100 | 0.072353 | 0.07 | 1.00 |
| 51 | 50 | 52 | 0.968917 | 1.889631 | 1.70 | 1.00 |
| 52 | 52 | 53 | 0.123608 | 0.241067 | 0.22 | 1.00 |
| 53 | 13 | 54 | 0.060531 | 0.118050 | 0.11 | 1.00 |

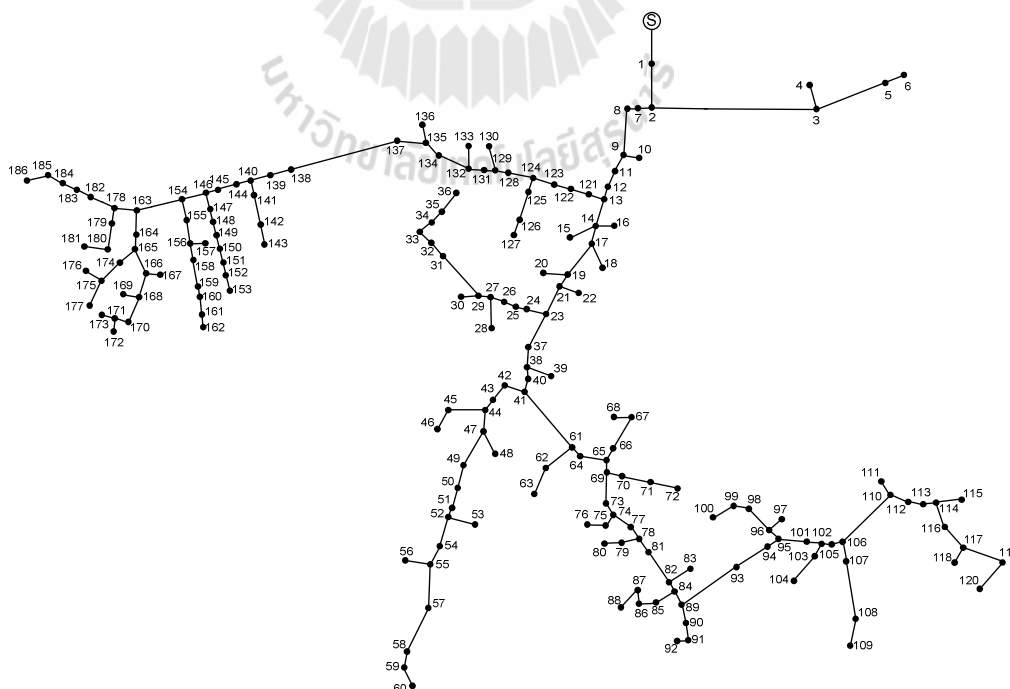
ตารางที่ ก.16 ข้อมูลสายส่งของระบบจำหน่ายสถานีจ่ายไฟฟ้าย่อยสี่คิว วงจรที่ 4 (ต่อ)

| Line number | From bus | To bus | R (ohms) | jX (ohms) | Half-line charging | Tab setting |
|-------------|----------|--------|------------|-------------|--------------------|-------------|
| 54 | 54 | 55 | 0.479058 | 2.310494 | 2.44 | 1.00 |
| 55 | 55 | 56 | 1.332696 | 2.599090 | 2.34 | 1.00 |
| 56 | 56 | 57 | 0.025978 | 0.050664 | 0.05 | 1.00 |
| 57 | 57 | 58 | 0.037439 | 0.073016 | 0.07 | 1.00 |
| 58 | 58 | 59 | 0.160708 | 0.313421 | 0.28 | 1.00 |
| 59 | 55 | 60 | 0.052975 | 0.103315 | 0.09 | 1.00 |
| 60 | 60 | 61 | 0.346885 | 0.676512 | 0.61 | 1.00 |
| 61 | 61 | 62 | 0.019526 | 0.038081 | 0.03 | 1.00 |
| 62 | 60 | 63 | 0.467607 | 0.911950 | 0.82 | 1.00 |
| 63 | 63 | 64 | 0.031666 | 0.061757 | 0.06 | 1.00 |
| 64 | 64 | 65 | 0.040326 | 0.078645 | 0.07 | 1.00 |
| 65 | 65 | 66 | 0.825443 | 1.609820 | 1.45 | 1.00 |
| 66 | 66 | 67 | 0.616174 | 1.201694 | 1.08 | 1.00 |
| 67 | 67 | 68 | 0.102979 | 0.200834 | 0.18 | 1.00 |
| 68 | 68 | 69 | 0.002794 | 0.005642 | 0.01 | 1.00 |
| 69 | 69 | 70 | 0.485095 | 0.946057 | 0.85 | 1.00 |
| 70 | 70 | 71 | 0.313690 | 0.611775 | 0.55 | 1.00 |
| 71 | 71 | 72 | 0.085459 | 0.172586 | 0.16 | 1.00 |
| 72 | 72 | 73 | 1.845807 | 3.599785 | 3.24 | 1.00 |
| 73 | 73 | 74 | 0.015150 | 0.073067 | 0.08 | 1.00 |
| 74 | 74 | 75 | 0.031496 | 0.061426 | 0.06 | 1.00 |
| 75 | 69 | 76 | 0.072147 | 0.145703 | 0.13 | 1.00 |
| 76 | 76 | 77 | 0.029714 | 0.057949 | 0.05 | 1.00 |
| 77 | 77 | 78 | 1.203739 | 2.347592 | 2.11 | 1.00 |
| 78 | 78 | 79 | 0.016724 | 0.032617 | 0.03 | 1.00 |

ตารางที่ ก.16 ข้อมูลสายส่งของระบบจำหน่ายสถานีจ่ายไฟฟ้าย่อยสี่คิว วงจรที่ 4 (ต่อ)

| Line number | From bus | To bus | R (ohms) | jX (ohms) | Half-line charging | Tab setting |
|-------------|----------|--------|------------|-------------|--------------------|-------------|
| 79 | 79 | 80 | 0.010189 | 0.020578 | 0.02 | 1.00 |
| 80 | 80 | 81 | 0.012244 | 0.024726 | 0.02 | 1.00 |
| 81 | 80 | 82 | 0.271327 | 0.529156 | 0.48 | 1.00 |
| 82 | 82 | 83 | 0.007980 | 0.015563 | 0.01 | 1.00 |
| 83 | 78 | 84 | 0.020829 | 0.071200 | 0.08 | 1.00 |
| 84 | 84 | 85 | 0.043212 | 0.084274 | 0.08 | 1.00 |
| 85 | 85 | 86 | 0.036930 | 0.072022 | 0.06 | 1.00 |
| 86 | 86 | 87 | 0.078783 | 0.153647 | 0.14 | 1.00 |
| 87 | 87 | 88 | 0.027846 | 0.054306 | 0.05 | 1.00 |
| 88 | 88 | 89 | 0.169452 | 0.330474 | 0.30 | 1.00 |

ก.9 ระบบจำหน่ายสถานีจ่ายไฟฟ้าย่อยสี่คิว วงจรที่ 5



รูปที่ ก.9 ระบบจำหน่ายสถานีจ่ายไฟฟ้าย่อยสี่คิว วงจรที่ 5

ตารางที่ ก.17 ข้อมูลบัสของระบบจำหน่ายสถานีจ่ายไฟฟ้าย่อยสี่กั้ว วงจรที่ 5 (ต่อ)

| Bus code | Magnitude voltage (p.u.) | Angle (degree) | Generation | | Load | | Bus type |
|----------|--------------------------|----------------|------------|------|-------|-------|----------|
| | | | kW | kVar | kW | kVar | |
| 101 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 102 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 103 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 104 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 105 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 26.25 | 14.52 | PQ bus |
| 106 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 26.25 | 14.52 | PQ bus |
| 107 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 108 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 109 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 110 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 111 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 112 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 113 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 114 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 115 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 29.17 | 16.13 | PQ bus |
| 116 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 117 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 118 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 119 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 120 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 121 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 122 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 26.25 | 14.52 | PQ bus |
| 123 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 124 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 125 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 26.25 | 14.52 | PQ bus |

ตารางที่ ก.17 ข้อมูลบัสของระบบจำหน่ายสถานีจ่ายไฟฟ้าย่อยสี่กิโล วจรที่ 5 (ต่อ)

| Bus code | Magnitude voltage (p.u.) | Angle (degree) | Generation | | Load | | Bus type |
|----------|--------------------------|----------------|------------|------|-------|-------|----------|
| | | | kW | kVar | kW | kVar | |
| 176 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 177 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 29.17 | 16.13 | PQ bus |
| 178 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 179 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 180 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 26.25 | 14.52 | PQ bus |
| 181 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 182 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 183 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 184 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 185 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 26.25 | 14.52 | PQ bus |
| 186 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |

ตารางที่ ก.18 ข้อมูลสายส่งของระบบจำหน่ายสถานีจ่ายไฟฟ้าย่อยสี่กิโล วจรที่ 5

| Line number | From bus | To bus | R (ohms) | jX (ohms) | Half-line charging | Tab setting |
|-------------|----------|--------|----------|-----------|--------------------|-------------|
| 1 | 1 | 2 | 0.000194 | 0.000937 | 0.00 | 1.00 |
| 2 | 2 | 3 | 0.017189 | 0.082902 | 0.09 | 1.00 |
| 3 | 3 | 4 | 0.013952 | 0.067290 | 0.07 | 1.00 |
| 4 | 3 | 5 | 0.076406 | 0.149011 | 0.13 | 1.00 |
| 5 | 5 | 6 | 0.042115 | 0.203119 | 0.21 | 1.00 |
| 6 | 1 | 7 | 0.005956 | 0.028727 | 0.03 | 1.00 |
| 7 | 7 | 8 | 1.017971 | 4.909663 | 5.19 | 1.00 |
| 8 | 8 | 9 | 0.170239 | 0.821061 | 0.87 | 1.00 |
| 9 | 9 | 10 | 0.517483 | 2.495814 | 2.64 | 1.00 |
| 10 | 9 | 11 | 0.015538 | 0.074940 | 0.08 | 1.00 |

ตารางที่ ก.18 ข้อมูลสายส่งของระบบจำหน่ายสถานีจ่ายไฟฟ้าย่อยสี่คิว วงจรที่ 5 (ต่อ)

| Line number | From bus | To bus | R (ohms) | jX (ohms) | Half-line charging | Tab setting |
|-------------|----------|--------|------------|-------------|--------------------|-------------|
| 11 | 11 | 12 | 0.070925 | 0.342070 | 0.36 | 1.00 |
| 12 | 12 | 13 | 0.005341 | 0.025761 | 0.03 | 1.00 |
| 13 | 13 | 14 | 0.172635 | 0.832615 | 0.88 | 1.00 |
| 14 | 14 | 15 | 0.658394 | 3.175426 | 3.35 | 1.00 |
| 15 | 14 | 16 | 0.030647 | 0.059770 | 0.05 | 1.00 |
| 16 | 14 | 17 | 0.018969 | 0.091489 | 0.10 | 1.00 |
| 17 | 17 | 18 | 0.007251 | 0.034972 | 0.04 | 1.00 |
| 18 | 17 | 19 | 0.032857 | 0.158467 | 0.17 | 1.00 |
| 19 | 19 | 20 | 0.003481 | 0.006788 | 0.01 | 1.00 |
| 20 | 19 | 21 | 0.111723 | 0.217888 | 0.20 | 1.00 |
| 21 | 21 | 22 | 0.384833 | 0.750521 | 0.68 | 1.00 |
| 22 | 21 | 23 | 0.001360 | 0.006557 | 0.01 | 1.00 |
| 23 | 23 | 24 | 0.147579 | 0.711774 | 0.75 | 1.00 |
| 24 | 24 | 25 | 0.000291 | 0.001405 | 0.00 | 1.00 |
| 25 | 25 | 26 | 0.067137 | 0.323803 | 0.34 | 1.00 |
| 26 | 26 | 27 | 0.005518 | 0.010762 | 0.01 | 1.00 |
| 27 | 27 | 28 | 0.141437 | 0.275837 | 0.25 | 1.00 |
| 28 | 27 | 29 | 0.025978 | 0.050664 | 0.05 | 1.00 |
| 29 | 29 | 30 | 0.140673 | 0.274347 | 0.25 | 1.00 |
| 30 | 29 | 31 | 0.044740 | 0.087254 | 0.08 | 1.00 |
| 31 | 31 | 32 | 0.150719 | 0.726918 | 0.77 | 1.00 |
| 32 | 32 | 33 | 0.003075 | 0.014832 | 0.02 | 1.00 |
| 33 | 33 | 34 | 0.003043 | 0.014676 | 0.02 | 1.00 |
| 34 | 34 | 35 | 0.080604 | 0.388751 | 0.41 | 1.00 |
| 35 | 35 | 36 | 0.156803 | 0.305805 | 0.28 | 1.00 |

ตารางที่ ก.18 ข้อมูลสายส่งของระบบจำหน่ายสถานีจ่ายไฟฟ้าย่อยสี่ควั วงจรที่ 5 (ต่อ)

| Line number | From bus | To bus | R (ohms) | jX (ohms) | Half-line charging | Tab setting |
|-------------|----------|--------|------------|-------------|--------------------|-------------|
| 36 | 23 | 37 | 0.821962 | 1.603032 | 1.44 | 1.00 |
| 37 | 37 | 38 | 0.049981 | 0.241057 | 0.25 | 1.00 |
| 38 | 38 | 39 | 0.091124 | 0.439492 | 0.46 | 1.00 |
| 39 | 38 | 40 | 0.001424 | 0.006870 | 0.01 | 1.00 |
| 40 | 40 | 41 | 0.075489 | 0.364084 | 0.38 | 1.00 |
| 41 | 41 | 42 | 0.001813 | 0.008743 | 0.01 | 1.00 |
| 42 | 42 | 43 | 0.862967 | 1.683001 | 1.52 | 1.00 |
| 43 | 43 | 44 | 0.142795 | 0.278486 | 0.25 | 1.00 |
| 44 | 44 | 45 | 0.247294 | 0.845329 | 0.91 | 1.00 |
| 45 | 45 | 46 | 0.127683 | 0.249015 | 0.22 | 1.00 |
| 46 | 44 | 47 | 0.305031 | 0.594887 | 0.54 | 1.00 |
| 47 | 47 | 48 | 0.190698 | 0.919732 | 0.97 | 1.00 |
| 48 | 48 | 49 | 0.219201 | 0.427497 | 0.39 | 1.00 |
| 49 | 49 | 50 | 0.221663 | 0.432299 | 0.39 | 1.00 |
| 50 | 50 | 51 | 0.067662 | 0.131958 | 0.12 | 1.00 |
| 51 | 51 | 52 | 0.002104 | 0.010148 | 0.01 | 1.00 |
| 52 | 52 | 53 | 0.145831 | 0.703343 | 0.74 | 1.00 |
| 53 | 52 | 54 | 0.926214 | 1.806350 | 1.63 | 1.00 |
| 54 | 54 | 55 | 0.627350 | 3.025703 | 3.20 | 1.00 |
| 55 | 55 | 56 | 0.198823 | 0.958920 | 1.01 | 1.00 |
| 56 | 55 | 57 | 0.822811 | 1.604688 | 1.45 | 1.00 |
| 57 | 57 | 58 | 0.565152 | 1.102188 | 0.99 | 1.00 |
| 58 | 58 | 59 | 0.029459 | 0.057452 | 0.05 | 1.00 |
| 59 | 59 | 60 | 0.036806 | 0.177514 | 0.19 | 1.00 |
| 60 | 41 | 61 | 0.116859 | 0.563611 | 0.60 | 1.00 |

ตารางที่ ก.18 ข้อมูลสายส่งของระบบจำหน่ายสถานีจ่ายไฟฟ้าย่อยสี่ควั วงจรที่ 5 (ต่อ)

| Line number | From bus | To bus | R (ohms) | jX (ohms) | Half-line charging | Tab setting |
|-------------|----------|--------|------------|-------------|--------------------|-------------|
| 61 | 61 | 62 | 0.001975 | 0.009524 | 0.01 | 1.00 |
| 62 | 62 | 63 | 0.213258 | 0.415907 | 0.37 | 1.00 |
| 63 | 61 | 64 | 0.003396 | 0.006623 | 0.01 | 1.00 |
| 64 | 64 | 65 | 0.034553 | 0.067386 | 0.06 | 1.00 |
| 65 | 65 | 66 | 0.197172 | 0.950957 | 1.00 | 1.00 |
| 66 | 66 | 67 | 0.018847 | 0.036756 | 0.03 | 1.00 |
| 67 | 67 | 68 | 0.136800 | 0.659784 | 0.70 | 1.00 |
| 68 | 65 | 69 | 0.002493 | 0.012022 | 0.01 | 1.00 |
| 69 | 69 | 70 | 0.002687 | 0.012958 | 0.01 | 1.00 |
| 70 | 70 | 71 | 0.041467 | 0.199996 | 0.21 | 1.00 |
| 71 | 71 | 72 | 0.001878 | 0.009055 | 0.01 | 1.00 |
| 72 | 69 | 73 | 0.009290 | 0.044808 | 0.05 | 1.00 |
| 73 | 73 | 74 | 0.001554 | 0.007494 | 0.01 | 1.00 |
| 74 | 74 | 75 | 0.051192 | 0.099838 | 0.09 | 1.00 |
| 75 | 75 | 76 | 0.608279 | 1.186297 | 1.07 | 1.00 |
| 76 | 74 | 77 | 0.044146 | 0.086095 | 0.08 | 1.00 |
| 77 | 77 | 78 | 0.212419 | 1.024492 | 1.08 | 1.00 |
| 78 | 78 | 79 | 0.414446 | 1.998868 | 2.11 | 1.00 |
| 79 | 79 | 80 | 0.478983 | 0.934136 | 0.84 | 1.00 |
| 80 | 78 | 81 | 0.046014 | 0.089738 | 0.08 | 1.00 |
| 81 | 81 | 82 | 0.042193 | 0.082287 | 0.07 | 1.00 |
| 82 | 82 | 83 | 0.614901 | 1.199211 | 1.08 | 1.00 |
| 83 | 82 | 84 | 0.018847 | 0.036756 | 0.03 | 1.00 |
| 84 | 84 | 85 | 0.001521 | 0.007338 | 0.01 | 1.00 |
| 85 | 85 | 86 | 0.096498 | 0.465409 | 0.49 | 1.00 |

ตารางที่ ก.18 ข้อมูลสายส่งของระบบจำหน่ายสถานีจ่ายไฟฟ้าย่อยสี่ควั วงจรที่ 5 (ต่อ)

| Line number | From bus | To bus | R (ohms) | jX (ohms) | Half-line charging | Tab setting |
|-------------|----------|--------|------------|-------------|--------------------|-------------|
| 86 | 86 | 87 | 0.075388 | 0.147025 | 0.13 | 1.00 |
| 87 | 87 | 88 | 0.016979 | 0.033114 | 0.03 | 1.00 |
| 88 | 84 | 89 | 0.025044 | 0.048843 | 0.04 | 1.00 |
| 89 | 89 | 90 | 0.335169 | 0.653663 | 0.59 | 1.00 |
| 90 | 90 | 91 | 0.283732 | 1.368436 | 1.45 | 1.00 |
| 91 | 91 | 92 | 0.053060 | 0.103480 | 0.09 | 1.00 |
| 92 | 89 | 93 | 0.023177 | 0.045200 | 0.04 | 1.00 |
| 93 | 93 | 94 | 0.137956 | 0.269048 | 0.24 | 1.00 |
| 94 | 94 | 95 | 0.038424 | 0.185320 | 0.20 | 1.00 |
| 95 | 95 | 96 | 0.001262 | 0.006089 | 0.01 | 1.00 |
| 96 | 96 | 97 | 0.177857 | 0.346865 | 0.31 | 1.00 |
| 97 | 96 | 98 | 0.039137 | 0.076327 | 0.07 | 1.00 |
| 98 | 98 | 99 | 0.021224 | 0.041392 | 0.04 | 1.00 |
| 99 | 99 | 100 | 0.311908 | 0.608298 | 0.55 | 1.00 |
| 100 | 95 | 101 | 0.108346 | 0.522550 | 0.55 | 1.00 |
| 101 | 101 | 102 | 0.001521 | 0.007338 | 0.01 | 1.00 |
| 102 | 102 | 103 | 0.052214 | 0.251830 | 0.27 | 1.00 |
| 103 | 103 | 104 | 0.055937 | 0.269784 | 0.28 | 1.00 |
| 104 | 102 | 105 | 0.487048 | 0.949865 | 0.86 | 1.00 |
| 105 | 105 | 106 | 0.131297 | 0.633243 | 0.67 | 1.00 |
| 106 | 106 | 107 | 0.001360 | 0.006557 | 0.01 | 1.00 |
| 107 | 107 | 108 | 0.162576 | 0.317063 | 0.29 | 1.00 |
| 108 | 108 | 109 | 0.048051 | 0.093712 | 0.08 | 1.00 |
| 109 | 106 | 110 | 0.648605 | 1.264941 | 1.14 | 1.00 |
| 110 | 110 | 111 | 1.167998 | 2.277888 | 2.05 | 1.00 |

ตารางที่ ก.18 ข้อมูลสายส่งของระบบจำหน่ายสถานีจ่ายไฟฟ้าย่อยสี่ตัว วงจรที่ 5 (ต่อ)

| Line number | From bus | To bus | R (ohms) | jX (ohms) | Half-line charging | Tab setting |
|-------------|----------|--------|------------|-------------|--------------------|-------------|
| 111 | 110 | 112 | 0.346532 | 1.671318 | 1.77 | 1.00 |
| 112 | 112 | 113 | 0.336273 | 0.655816 | 0.59 | 1.00 |
| 113 | 113 | 114 | 0.192714 | 0.375840 | 0.34 | 1.00 |
| 114 | 114 | 115 | 0.019209 | 0.065664 | 0.07 | 1.00 |
| 115 | 114 | 116 | 0.005050 | 0.024356 | 0.03 | 1.00 |
| 116 | 116 | 117 | 0.004273 | 0.020609 | 0.02 | 1.00 |
| 117 | 117 | 118 | 0.127121 | 0.613103 | 0.65 | 1.00 |
| 118 | 117 | 119 | 0.001360 | 0.006557 | 0.01 | 1.00 |
| 119 | 119 | 120 | 0.003237 | 0.015613 | 0.02 | 1.00 |
| 120 | 13 | 121 | 0.141558 | 0.682735 | 0.72 | 1.00 |
| 121 | 121 | 122 | 0.005348 | 0.010431 | 0.01 | 1.00 |
| 122 | 122 | 123 | 0.072841 | 0.142058 | 0.13 | 1.00 |
| 123 | 123 | 124 | 0.397313 | 0.774859 | 0.70 | 1.00 |
| 124 | 124 | 125 | 0.092961 | 0.181297 | 0.16 | 1.00 |
| 125 | 125 | 126 | 0.059682 | 0.116394 | 0.10 | 1.00 |
| 126 | 126 | 127 | 0.852779 | 1.663133 | 1.50 | 1.00 |
| 127 | 124 | 128 | 0.538749 | 1.050696 | 0.95 | 1.00 |
| 128 | 128 | 129 | 0.010715 | 0.051677 | 0.05 | 1.00 |
| 129 | 129 | 130 | 0.672715 | 1.311963 | 1.18 | 1.00 |
| 130 | 130 | 131 | 0.179215 | 0.349515 | 0.31 | 1.00 |
| 131 | 131 | 132 | 0.031659 | 0.152690 | 0.16 | 1.00 |
| 132 | 132 | 133 | 0.002752 | 0.013271 | 0.01 | 1.00 |
| 133 | 132 | 134 | 0.050272 | 0.242462 | 0.26 | 1.00 |
| 134 | 134 | 135 | 0.003334 | 0.016081 | 0.02 | 1.00 |
| 135 | 135 | 136 | 0.039493 | 0.190473 | 0.20 | 1.00 |

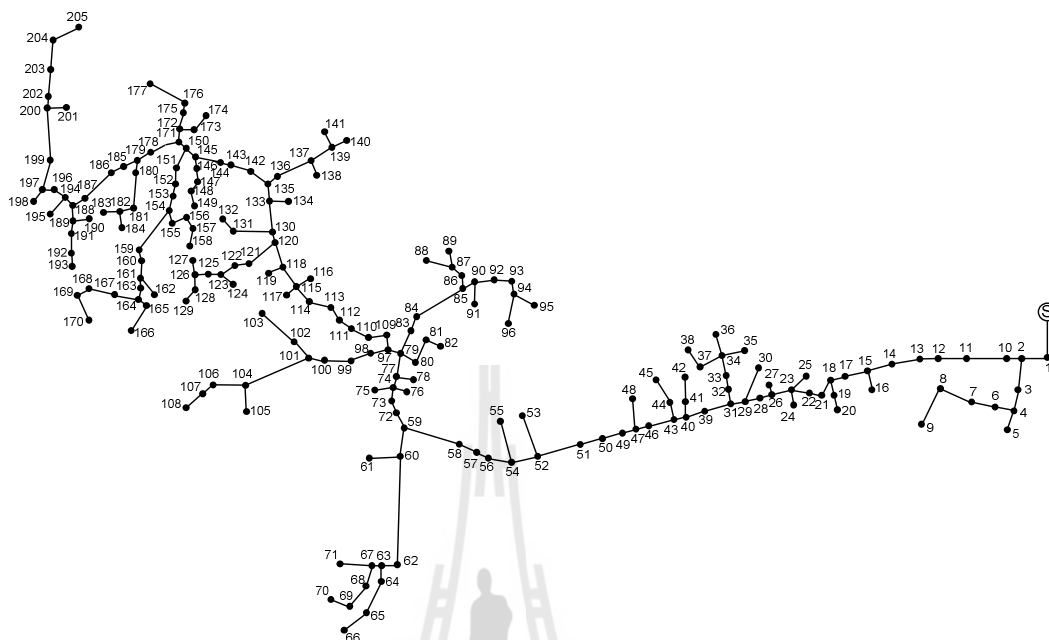
ตารางที่ ก.18 ข้อมูลสายส่งของระบบจำหน่ายสถานีจ่ายไฟฟ้าย่อยสี่ควั วงจรที่ 5 (ต่อ)

| Line number | From bus | To bus | R (ohms) | jX (ohms) | Half-line charging | Tab setting |
|-------------|----------|--------|------------|-------------|--------------------|-------------|
| 136 | 135 | 137 | 0.001360 | 0.006557 | 0.01 | 1.00 |
| 137 | 137 | 138 | 0.074291 | 0.358307 | 0.38 | 1.00 |
| 138 | 138 | 139 | 0.070342 | 0.339260 | 0.36 | 1.00 |
| 139 | 139 | 140 | 0.001424 | 0.006870 | 0.01 | 1.00 |
| 140 | 140 | 141 | 0.101613 | 0.490076 | 0.52 | 1.00 |
| 141 | 141 | 142 | 0.001068 | 0.005152 | 0.01 | 1.00 |
| 142 | 142 | 143 | 0.002298 | 0.011085 | 0.01 | 1.00 |
| 143 | 140 | 144 | 0.056779 | 0.273843 | 0.29 | 1.00 |
| 144 | 144 | 145 | 0.029119 | 0.056790 | 0.05 | 1.00 |
| 145 | 145 | 146 | 0.017913 | 0.034935 | 0.03 | 1.00 |
| 146 | 146 | 147 | 0.008744 | 0.017054 | 0.02 | 1.00 |
| 147 | 147 | 148 | 0.036590 | 0.071360 | 0.06 | 1.00 |
| 148 | 148 | 149 | 0.001813 | 0.008743 | 0.01 | 1.00 |
| 149 | 149 | 150 | 0.117766 | 0.567983 | 0.60 | 1.00 |
| 150 | 150 | 151 | 0.003917 | 0.018891 | 0.02 | 1.00 |
| 151 | 151 | 152 | 0.151691 | 0.731602 | 0.77 | 1.00 |
| 152 | 152 | 153 | 0.001619 | 0.007806 | 0.01 | 1.00 |
| 153 | 146 | 154 | 0.116309 | 0.560957 | 0.59 | 1.00 |
| 154 | 154 | 155 | 0.002719 | 0.013115 | 0.01 | 1.00 |
| 155 | 155 | 156 | 0.107277 | 0.517398 | 0.55 | 1.00 |
| 156 | 156 | 157 | 0.002557 | 0.012334 | 0.01 | 1.00 |
| 157 | 156 | 158 | 0.014276 | 0.068851 | 0.07 | 1.00 |
| 158 | 158 | 159 | 0.001360 | 0.006557 | 0.01 | 1.00 |
| 159 | 159 | 160 | 0.001360 | 0.006557 | 0.01 | 1.00 |
| 160 | 160 | 161 | 0.033180 | 0.160028 | 0.17 | 1.00 |

ตารางที่ ก.18 ข้อมูลสายส่งของระบบจำหน่ายสถานีจ่ายไฟฟ้าย่อยสี่ควั วงจรที่ 5 (ต่อ)

| Line number | From bus | To bus | R (ohms) | jX (ohms) | Half-line charging | Tab setting |
|-------------|----------|--------|------------|-------------|--------------------|-------------|
| 161 | 161 | 162 | 0.406736 | 0.793238 | 0.71 | 1.00 |
| 162 | 154 | 163 | 0.000934 | 0.001821 | 0.00 | 1.00 |
| 163 | 163 | 164 | 0.454872 | 0.887115 | 0.80 | 1.00 |
| 164 | 164 | 165 | 0.122459 | 0.590621 | 0.62 | 1.00 |
| 165 | 165 | 166 | 0.007301 | 0.014239 | 0.01 | 1.00 |
| 166 | 166 | 167 | 0.271412 | 0.529322 | 0.48 | 1.00 |
| 167 | 166 | 168 | 0.001101 | 0.005308 | 0.01 | 1.00 |
| 168 | 168 | 169 | 0.001133 | 0.005464 | 0.01 | 1.00 |
| 169 | 168 | 170 | 0.003237 | 0.015613 | 0.02 | 1.00 |
| 170 | 170 | 171 | 0.134663 | 0.649480 | 0.69 | 1.00 |
| 171 | 171 | 172 | 0.138742 | 0.669152 | 0.71 | 1.00 |
| 172 | 172 | 173 | 0.002719 | 0.013115 | 0.01 | 1.00 |
| 173 | 165 | 174 | 0.040593 | 0.195781 | 0.21 | 1.00 |
| 174 | 174 | 175 | 0.001619 | 0.007806 | 0.01 | 1.00 |
| 175 | 175 | 176 | 1.771608 | 3.455078 | 3.11 | 1.00 |
| 176 | 175 | 177 | 1.239225 | 2.416800 | 2.18 | 1.00 |
| 177 | 163 | 178 | 0.052805 | 0.102983 | 0.09 | 1.00 |
| 178 | 178 | 179 | 0.342725 | 0.668399 | 0.60 | 1.00 |
| 179 | 179 | 180 | 0.091857 | 0.179145 | 0.16 | 1.00 |
| 180 | 180 | 181 | 0.870438 | 1.697571 | 1.53 | 1.00 |
| 181 | 178 | 182 | 0.028016 | 0.054638 | 0.05 | 1.00 |
| 182 | 182 | 183 | 0.115204 | 0.224676 | 0.20 | 1.00 |
| 183 | 183 | 184 | 0.083538 | 0.162919 | 0.15 | 1.00 |
| 184 | 184 | 185 | 0.052211 | 0.101824 | 0.09 | 1.00 |
| 185 | 185 | 186 | 0.973077 | 1.897743 | 1.71 | 1.00 |

ก.10 ระบบจำหน่ายสถานีจ่ายไฟฟ้าย่อยสี่คircuit วงจรที่ 6



รูปที่ ก.10 ระบบจำหน่ายสถานีจ่ายไฟฟ้าย่อยสี่คircuit วงจรที่ 6

ตารางที่ ก.19 ข้อมูลบัพของระบบจำหน่ายสถานีจ่ายไฟฟ้าย่อยสี่คircuit วงจรที่ 6

| Bus code | Magnitude voltage (p.u.) | Angle (degree) | Generation | | Load | | Bus type |
|----------|--------------------------|----------------|------------|------|--------|--------|-----------|
| | | | kW | kVar | kW | kVar | |
| 1 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | Slack bus |
| 2 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 291.67 | 161.33 | PQ bus |
| 3 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 29.17 | 16.13 | PQ bus |
| 4 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 46.67 | 25.81 | PQ bus |
| 5 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 29.17 | 16.13 | PQ bus |
| 6 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 7 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 72.92 | 40.33 | PQ bus |
| 8 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 9 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 14.58 | 8.07 | PQ bus |
| 10 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 29.17 | 16.13 | PQ bus |

ตารางที่ ก.19 ข้อมูลับัษของระบบจำหน่ายสถานีจ่ายไฟฟ้าย่อยสี่กั้ว วงจรที่ 6 (ต่อ)

| Bus code | Magnitude voltage (p.u.) | Angle (degree) | Generation | | Load | | Bus type |
|----------|--------------------------|----------------|------------|------|--------|--------|----------|
| | | | kW | kVar | kW | kVar | |
| 36 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 37 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 38 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 39 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 40 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 29.17 | 16.13 | PQ bus |
| 41 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 72.92 | 40.33 | PQ bus |
| 42 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 43 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 44 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 45 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 46 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 47 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 14.58 | 8.07 | PQ bus |
| 48 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 49 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 50 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 46.67 | 25.81 | PQ bus |
| 51 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 52 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 53 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 54 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 46.67 | 25.81 | PQ bus |
| 55 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 56 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 29.17 | 16.13 | PQ bus |
| 57 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 58 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 59 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 291.67 | 161.33 | PQ bus |
| 60 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 46.67 | 25.81 | PQ bus |

ตารางที่ ก.19 ข้อมูลบัสของระบบจำหน่ายสถานีจ่ายไฟฟ้าย่อยสี่กั้ว วงจรที่ 6 (ต่อ)

| Bus code | Magnitude voltage (p.u.) | Angle (degree) | Generation | | Load | | Bus type |
|----------|--------------------------|----------------|------------|------|--------|-------|----------|
| | | | kW | kVar | kW | kVar | |
| 61 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 62 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 63 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 72.92 | 40.33 | PQ bus |
| 64 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 145.83 | 80.67 | PQ bus |
| 65 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 66 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 14.58 | 8.07 | PQ bus |
| 67 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 29.17 | 16.13 | PQ bus |
| 68 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 14.58 | 8.07 | PQ bus |
| 69 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 70 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 72.92 | 40.33 | PQ bus |
| 71 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 72 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 14.58 | 8.07 | PQ bus |
| 73 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 74 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 91.88 | 50.82 | PQ bus |
| 75 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 76 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 77 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 72.92 | 40.33 | PQ bus |
| 78 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 29.17 | 16.13 | PQ bus |
| 79 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 80 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 81 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 82 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 83 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 84 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 29.17 | 16.13 | PQ bus |
| 85 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 46.67 | 25.81 | PQ bus |

ตารางที่ ก.19 ข้อมูลบัสของระบบจำหน่ายสถานีจ่ายไฟฟ้าย่อยสี่กั้ว วงจรที่ 6 (ต่อ)

| Bus code | Magnitude voltage (p.u.) | Angle (degree) | Generation | | Load | | Bus type |
|----------|--------------------------|----------------|------------|------|--------|-------|----------|
| | | | kW | kVar | kW | kVar | |
| 161 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 29.17 | 16.13 | PQ bus |
| 162 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 163 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 46.67 | 25.81 | PQ bus |
| 164 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 29.17 | 16.13 | PQ bus |
| 165 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 14.58 | 8.07 | PQ bus |
| 166 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 167 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 145.83 | 80.67 | PQ bus |
| 168 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 169 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 170 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 171 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 172 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 173 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 174 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 175 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 29.17 | 16.13 | PQ bus |
| 176 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 177 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 178 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 179 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 180 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 181 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 182 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 14.58 | 8.07 | PQ bus |
| 183 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 184 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 185 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 46.67 | 25.81 | PQ bus |

ตารางที่ ก.20 ข้อมูลสายส่งของระบบจำหน่ายสถานีจ่ายไฟฟ้าย่อยสี่คิว วงจรที่ 6

| Line number | From bus | To bus | R (ohms) | jX (ohms) | Half-line charging | Tab setting |
|-------------|----------|--------|------------|-------------|--------------------|-------------|
| 1 | 1 | 2 | 0.000194 | 0.000937 | 0.00 | 1.00 |
| 2 | 2 | 3 | 0.017189 | 0.082902 | 0.09 | 1.00 |
| 3 | 3 | 4 | 0.013952 | 0.067290 | 0.07 | 1.00 |
| 4 | 4 | 5 | 0.076406 | 0.149011 | 0.13 | 1.00 |
| 5 | 4 | 6 | 0.042115 | 0.203119 | 0.21 | 1.00 |
| 6 | 6 | 7 | 0.005956 | 0.028727 | 0.03 | 1.00 |
| 7 | 7 | 8 | 1.017971 | 4.909663 | 5.19 | 1.00 |
| 8 | 8 | 9 | 0.170239 | 0.821061 | 0.87 | 1.00 |
| 9 | 2 | 10 | 0.517483 | 2.495814 | 2.64 | 1.00 |
| 10 | 10 | 11 | 0.015538 | 0.074940 | 0.08 | 1.00 |
| 11 | 11 | 12 | 0.070925 | 0.342070 | 0.36 | 1.00 |
| 12 | 12 | 13 | 0.005341 | 0.025761 | 0.03 | 1.00 |
| 13 | 13 | 14 | 0.172635 | 0.832615 | 0.88 | 1.00 |
| 14 | 14 | 15 | 0.658394 | 3.175426 | 3.35 | 1.00 |
| 15 | 15 | 16 | 0.030647 | 0.059770 | 0.05 | 1.00 |
| 16 | 15 | 17 | 0.018969 | 0.091489 | 0.10 | 1.00 |
| 17 | 17 | 18 | 0.007251 | 0.034972 | 0.04 | 1.00 |
| 18 | 18 | 19 | 0.032857 | 0.158467 | 0.17 | 1.00 |
| 19 | 19 | 20 | 0.003481 | 0.006788 | 0.01 | 1.00 |
| 20 | 18 | 21 | 0.111723 | 0.217888 | 0.20 | 1.00 |
| 21 | 21 | 22 | 0.384833 | 0.750521 | 0.68 | 1.00 |
| 22 | 22 | 23 | 0.001360 | 0.006557 | 0.01 | 1.00 |
| 23 | 23 | 24 | 0.147579 | 0.711774 | 0.75 | 1.00 |
| 24 | 23 | 25 | 0.000291 | 0.001405 | 0.00 | 1.00 |
| 25 | 23 | 26 | 0.067137 | 0.323803 | 0.34 | 1.00 |

ตารางที่ ก.20 ข้อมูลสายส่งของระบบจำหน่ายสถานีจ่ายไฟฟ้าย่อยสี่คิว วงจรที่ 6 (ต่อ)

| Line number | From bus | To bus | R (ohms) | jX (ohms) | Half-line charging | Tab setting |
|-------------|----------|--------|------------|-------------|--------------------|-------------|
| 26 | 26 | 27 | 0.005518 | 0.010762 | 0.01 | 1.00 |
| 27 | 26 | 28 | 0.141437 | 0.275837 | 0.25 | 1.00 |
| 28 | 28 | 29 | 0.025978 | 0.050664 | 0.05 | 1.00 |
| 29 | 29 | 30 | 0.140673 | 0.274347 | 0.25 | 1.00 |
| 30 | 29 | 31 | 0.044740 | 0.087254 | 0.08 | 1.00 |
| 31 | 31 | 32 | 0.150719 | 0.726918 | 0.77 | 1.00 |
| 32 | 32 | 33 | 0.003075 | 0.014832 | 0.02 | 1.00 |
| 33 | 33 | 34 | 0.003043 | 0.014676 | 0.02 | 1.00 |
| 34 | 34 | 35 | 0.080604 | 0.388751 | 0.41 | 1.00 |
| 35 | 34 | 36 | 0.156803 | 0.305805 | 0.28 | 1.00 |
| 36 | 34 | 37 | 0.821962 | 1.603032 | 1.44 | 1.00 |
| 37 | 37 | 38 | 0.049981 | 0.241057 | 0.25 | 1.00 |
| 38 | 31 | 39 | 0.091124 | 0.439492 | 0.46 | 1.00 |
| 39 | 39 | 40 | 0.001424 | 0.006870 | 0.01 | 1.00 |
| 40 | 40 | 41 | 0.075489 | 0.364084 | 0.38 | 1.00 |
| 41 | 41 | 42 | 0.001813 | 0.008743 | 0.01 | 1.00 |
| 42 | 40 | 43 | 0.862967 | 1.683001 | 1.52 | 1.00 |
| 43 | 43 | 44 | 0.142795 | 0.278486 | 0.25 | 1.00 |
| 44 | 44 | 45 | 0.247294 | 0.845329 | 0.91 | 1.00 |
| 45 | 43 | 46 | 0.127683 | 0.249015 | 0.22 | 1.00 |
| 46 | 46 | 47 | 0.305031 | 0.594887 | 0.54 | 1.00 |
| 47 | 47 | 48 | 0.190698 | 0.919732 | 0.97 | 1.00 |
| 48 | 47 | 49 | 0.219201 | 0.427497 | 0.39 | 1.00 |
| 49 | 49 | 50 | 0.221663 | 0.432299 | 0.39 | 1.00 |
| 50 | 50 | 51 | 0.067662 | 0.131958 | 0.12 | 1.00 |

ตารางที่ ก.20 ข้อมูลสายส่งของระบบจำหน่ายสถานีจ่ายไฟฟ้าย่อยสี่ควั วงจรที่ 6 (ต่อ)

| Line number | From bus | To bus | R (ohms) | jX (ohms) | Half-line charging | Tab setting |
|-------------|----------|--------|------------|-------------|--------------------|-------------|
| 51 | 51 | 52 | 0.002104 | 0.010148 | 0.01 | 1.00 |
| 52 | 52 | 53 | 0.145831 | 0.703343 | 0.74 | 1.00 |
| 53 | 52 | 54 | 0.926214 | 1.806350 | 1.63 | 1.00 |
| 54 | 54 | 55 | 0.627350 | 3.025703 | 3.20 | 1.00 |
| 55 | 54 | 56 | 0.198823 | 0.958920 | 1.01 | 1.00 |
| 56 | 56 | 57 | 0.822811 | 1.604688 | 1.45 | 1.00 |
| 57 | 57 | 58 | 0.565152 | 1.102188 | 0.99 | 1.00 |
| 58 | 58 | 59 | 0.029459 | 0.057452 | 0.05 | 1.00 |
| 59 | 59 | 60 | 0.036806 | 0.177514 | 0.19 | 1.00 |
| 60 | 60 | 61 | 0.116859 | 0.563611 | 0.60 | 1.00 |
| 61 | 60 | 62 | 0.001975 | 0.009524 | 0.01 | 1.00 |
| 62 | 62 | 63 | 0.213258 | 0.415907 | 0.37 | 1.00 |
| 63 | 63 | 64 | 0.003396 | 0.006623 | 0.01 | 1.00 |
| 64 | 64 | 65 | 0.034553 | 0.067386 | 0.06 | 1.00 |
| 65 | 65 | 66 | 0.197172 | 0.950957 | 1.00 | 1.00 |
| 66 | 63 | 67 | 0.018847 | 0.036756 | 0.03 | 1.00 |
| 67 | 67 | 68 | 0.136800 | 0.659784 | 0.70 | 1.00 |
| 68 | 68 | 69 | 0.002493 | 0.012022 | 0.01 | 1.00 |
| 69 | 69 | 70 | 0.002687 | 0.012958 | 0.01 | 1.00 |
| 70 | 67 | 71 | 0.041467 | 0.199996 | 0.21 | 1.00 |
| 71 | 59 | 72 | 0.001878 | 0.009055 | 0.01 | 1.00 |
| 72 | 72 | 73 | 0.009290 | 0.044808 | 0.05 | 1.00 |
| 73 | 73 | 74 | 0.001554 | 0.007494 | 0.01 | 1.00 |
| 74 | 74 | 75 | 0.051192 | 0.099838 | 0.09 | 1.00 |
| 75 | 74 | 76 | 0.608279 | 1.186297 | 1.07 | 1.00 |

ตารางที่ ก.20 ข้อมูลสายส่งของระบบจำหน่ายสถานีจ่ายไฟฟ้าย่อยสี่ควั วงจรที่ 6 (ต่อ)

| Line number | From bus | To bus | R (ohms) | jX (ohms) | Half-line charging | Tab setting |
|-------------|----------|--------|------------|-------------|--------------------|-------------|
| 76 | 74 | 77 | 0.044146 | 0.086095 | 0.08 | 1.00 |
| 77 | 77 | 78 | 0.212419 | 1.024492 | 1.08 | 1.00 |
| 78 | 77 | 79 | 0.414446 | 1.998868 | 2.11 | 1.00 |
| 79 | 79 | 80 | 0.478983 | 0.934136 | 0.84 | 1.00 |
| 80 | 80 | 81 | 0.046014 | 0.089738 | 0.08 | 1.00 |
| 81 | 81 | 82 | 0.042193 | 0.082287 | 0.07 | 1.00 |
| 82 | 79 | 83 | 0.614901 | 1.199211 | 1.08 | 1.00 |
| 83 | 83 | 84 | 0.018847 | 0.036756 | 0.03 | 1.00 |
| 84 | 84 | 85 | 0.001521 | 0.007338 | 0.01 | 1.00 |
| 85 | 85 | 86 | 0.096498 | 0.465409 | 0.49 | 1.00 |
| 86 | 86 | 87 | 0.075388 | 0.147025 | 0.13 | 1.00 |
| 87 | 87 | 88 | 0.016979 | 0.033114 | 0.03 | 1.00 |
| 88 | 87 | 89 | 0.025044 | 0.048843 | 0.04 | 1.00 |
| 89 | 85 | 90 | 0.335169 | 0.653663 | 0.59 | 1.00 |
| 90 | 90 | 91 | 0.283732 | 1.368436 | 1.45 | 1.00 |
| 91 | 90 | 92 | 0.053060 | 0.103480 | 0.09 | 1.00 |
| 92 | 92 | 93 | 0.023177 | 0.045200 | 0.04 | 1.00 |
| 93 | 93 | 94 | 0.137956 | 0.269048 | 0.24 | 1.00 |
| 94 | 94 | 95 | 0.038424 | 0.185320 | 0.20 | 1.00 |
| 95 | 94 | 96 | 0.001262 | 0.006089 | 0.01 | 1.00 |
| 96 | 79 | 97 | 0.177857 | 0.346865 | 0.31 | 1.00 |
| 97 | 97 | 98 | 0.039137 | 0.076327 | 0.07 | 1.00 |
| 98 | 98 | 99 | 0.021224 | 0.041392 | 0.04 | 1.00 |
| 99 | 99 | 100 | 0.311908 | 0.608298 | 0.55 | 1.00 |
| 100 | 100 | 101 | 0.108346 | 0.522550 | 0.55 | 1.00 |

ตารางที่ ก.20 ข้อมูลสายส่งของระบบจำหน่ายสถานีจ่ายไฟฟ้าย่อยสี่ควั วงจรที่ 6 (ต่อ)

| Line number | From bus | To bus | R (ohms) | jX (ohms) | Half-line charging | Tab setting |
|-------------|----------|--------|------------|-------------|--------------------|-------------|
| 101 | 101 | 102 | 0.001521 | 0.007338 | 0.01 | 1.00 |
| 102 | 102 | 103 | 0.052214 | 0.251830 | 0.27 | 1.00 |
| 103 | 101 | 104 | 0.055937 | 0.269784 | 0.28 | 1.00 |
| 104 | 104 | 105 | 0.487048 | 0.949865 | 0.86 | 1.00 |
| 105 | 104 | 106 | 0.131297 | 0.633243 | 0.67 | 1.00 |
| 106 | 106 | 107 | 0.001360 | 0.006557 | 0.01 | 1.00 |
| 107 | 107 | 108 | 0.162576 | 0.317063 | 0.29 | 1.00 |
| 108 | 97 | 109 | 0.048051 | 0.093712 | 0.08 | 1.00 |
| 109 | 109 | 110 | 0.648605 | 1.264941 | 1.14 | 1.00 |
| 110 | 110 | 111 | 1.167998 | 2.277888 | 2.05 | 1.00 |
| 111 | 111 | 112 | 0.346532 | 1.671318 | 1.77 | 1.00 |
| 112 | 112 | 113 | 0.336273 | 0.655816 | 0.59 | 1.00 |
| 113 | 113 | 114 | 0.192714 | 0.375840 | 0.34 | 1.00 |
| 114 | 114 | 115 | 0.019209 | 0.065664 | 0.07 | 1.00 |
| 115 | 115 | 116 | 0.005050 | 0.024356 | 0.03 | 1.00 |
| 116 | 115 | 117 | 0.004273 | 0.020609 | 0.02 | 1.00 |
| 117 | 115 | 118 | 0.127121 | 0.613103 | 0.65 | 1.00 |
| 118 | 118 | 119 | 0.001360 | 0.006557 | 0.01 | 1.00 |
| 119 | 118 | 120 | 0.003237 | 0.015613 | 0.02 | 1.00 |
| 120 | 120 | 121 | 0.141558 | 0.682735 | 0.72 | 1.00 |
| 121 | 121 | 122 | 0.005348 | 0.010431 | 0.01 | 1.00 |
| 122 | 122 | 123 | 0.072841 | 0.142058 | 0.13 | 1.00 |
| 123 | 123 | 124 | 0.397313 | 0.774859 | 0.70 | 1.00 |
| 124 | 123 | 125 | 0.092961 | 0.181297 | 0.16 | 1.00 |
| 125 | 125 | 126 | 0.059682 | 0.116394 | 0.10 | 1.00 |

ตารางที่ ก.20 ข้อมูลสายส่งของระบบจำหน่ายสถานีจ่ายไฟฟ้าย่อยสี่คิว วงจรที่ 6 (ต่อ)

| Line number | From bus | To bus | R (ohms) | jX (ohms) | Half-line charging | Tab setting |
|-------------|----------|--------|----------|-------------|--------------------|-------------|
| 126 | 126 | 127 | 0.852779 | 1.663133 | 1.50 | 1.00 |
| 127 | 126 | 128 | 0.538749 | 1.050696 | 0.95 | 1.00 |
| 128 | 128 | 129 | 0.010715 | 0.051677 | 0.05 | 1.00 |
| 129 | 120 | 130 | 0.672715 | 1.311963 | 1.18 | 1.00 |
| 130 | 130 | 131 | 0.179215 | 0.349515 | 0.31 | 1.00 |
| 131 | 131 | 132 | 0.031659 | 0.152690 | 0.16 | 1.00 |
| 132 | 130 | 133 | 0.002752 | 0.013271 | 0.01 | 1.00 |
| 133 | 133 | 134 | 0.050272 | 0.242462 | 0.26 | 1.00 |
| 134 | 133 | 135 | 0.003334 | 0.016081 | 0.02 | 1.00 |
| 135 | 135 | 136 | 0.039493 | 0.190473 | 0.20 | 1.00 |
| 136 | 136 | 137 | 0.001360 | 0.006557 | 0.01 | 1.00 |
| 137 | 137 | 138 | 0.074291 | 0.358307 | 0.38 | 1.00 |
| 138 | 137 | 139 | 0.070342 | 0.339260 | 0.36 | 1.00 |
| 139 | 139 | 140 | 0.001424 | 0.006870 | 0.01 | 1.00 |
| 140 | 139 | 141 | 0.101613 | 0.490076 | 0.52 | 1.00 |
| 141 | 135 | 142 | 0.001068 | 0.005152 | 0.01 | 1.00 |
| 142 | 142 | 143 | 0.002298 | 0.011085 | 0.01 | 1.00 |
| 143 | 143 | 144 | 0.056779 | 0.273843 | 0.29 | 1.00 |
| 144 | 144 | 145 | 0.029119 | 0.056790 | 0.05 | 1.00 |
| 145 | 145 | 146 | 0.017913 | 0.034935 | 0.03 | 1.00 |
| 146 | 146 | 147 | 0.008744 | 0.017054 | 0.02 | 1.00 |
| 147 | 147 | 148 | 0.036590 | 0.071360 | 0.06 | 1.00 |
| 148 | 148 | 149 | 0.001813 | 0.008743 | 0.01 | 1.00 |
| 149 | 145 | 150 | 0.117766 | 0.567983 | 0.60 | 1.00 |
| 150 | 150 | 151 | 0.003917 | 0.018891 | 0.02 | 1.00 |

ตารางที่ ก.20 ข้อมูลสายส่งของระบบจำหน่ายสถานีจ่ายไฟฟ้าย่อยสี่ควั วงจรที่ 6 (ต่อ)

| Line number | From bus | To bus | R (ohms) | jX (ohms) | Half-line charging | Tab setting |
|-------------|----------|--------|------------|-------------|--------------------|-------------|
| 151 | 151 | 152 | 0.151691 | 0.731602 | 0.77 | 1.00 |
| 152 | 152 | 153 | 0.001619 | 0.007806 | 0.01 | 1.00 |
| 153 | 153 | 154 | 0.116309 | 0.560957 | 0.59 | 1.00 |
| 154 | 154 | 155 | 0.002719 | 0.013115 | 0.01 | 1.00 |
| 155 | 155 | 156 | 0.107277 | 0.517398 | 0.55 | 1.00 |
| 156 | 156 | 157 | 0.002557 | 0.012334 | 0.01 | 1.00 |
| 157 | 157 | 158 | 0.014276 | 0.068851 | 0.07 | 1.00 |
| 158 | 154 | 159 | 0.001360 | 0.006557 | 0.01 | 1.00 |
| 159 | 159 | 160 | 0.001360 | 0.006557 | 0.01 | 1.00 |
| 160 | 160 | 161 | 0.033180 | 0.160028 | 0.17 | 1.00 |
| 161 | 161 | 162 | 0.406736 | 0.793238 | 0.71 | 1.00 |
| 162 | 161 | 163 | 0.000934 | 0.001821 | 0.00 | 1.00 |
| 163 | 163 | 164 | 0.454872 | 0.887115 | 0.80 | 1.00 |
| 164 | 164 | 165 | 0.122459 | 0.590621 | 0.62 | 1.00 |
| 165 | 165 | 166 | 0.007301 | 0.014239 | 0.01 | 1.00 |
| 166 | 164 | 167 | 0.271412 | 0.529322 | 0.48 | 1.00 |
| 167 | 167 | 168 | 0.001101 | 0.005308 | 0.01 | 1.00 |
| 168 | 168 | 169 | 0.001133 | 0.005464 | 0.01 | 1.00 |
| 169 | 169 | 170 | 0.003237 | 0.015613 | 0.02 | 1.00 |
| 170 | 150 | 171 | 0.134663 | 0.649480 | 0.69 | 1.00 |
| 171 | 171 | 172 | 0.138742 | 0.669152 | 0.71 | 1.00 |
| 172 | 172 | 173 | 0.002719 | 0.013115 | 0.01 | 1.00 |
| 173 | 173 | 174 | 0.040593 | 0.195781 | 0.21 | 1.00 |
| 174 | 172 | 175 | 0.001619 | 0.007806 | 0.01 | 1.00 |
| 175 | 175 | 176 | 1.771608 | 3.455078 | 3.11 | 1.00 |

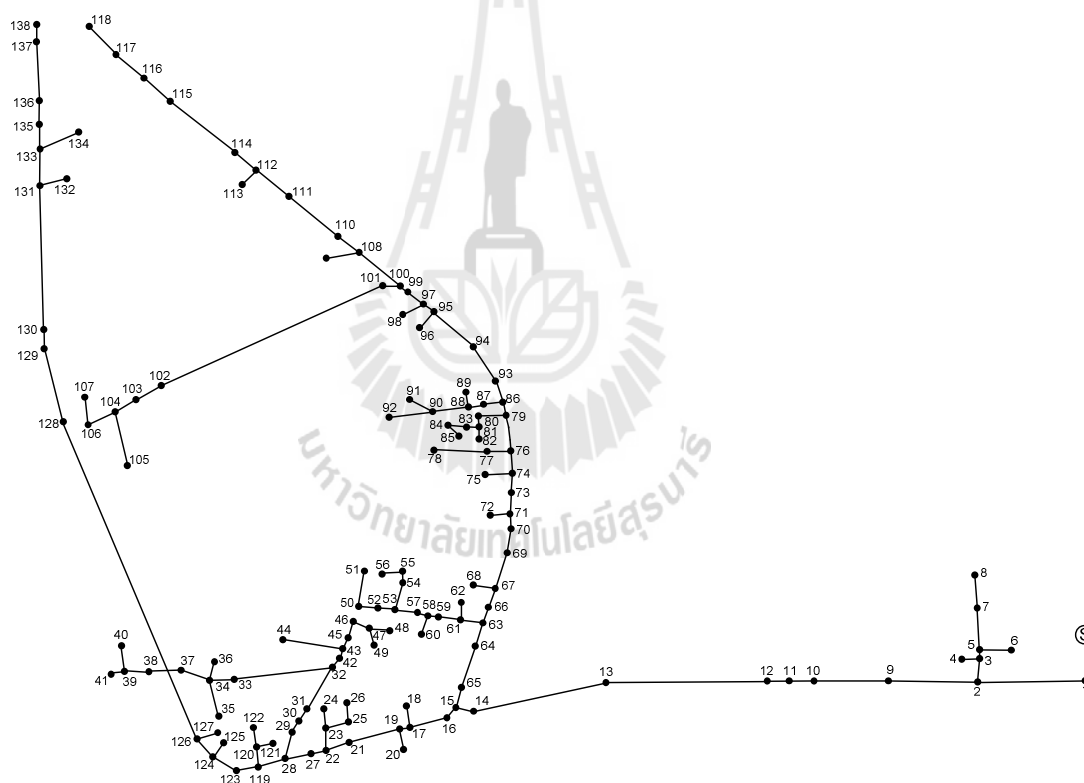
ตารางที่ ก.20 ข้อมูลสายส่งของระบบจำหน่ายสถานีจ่ายไฟฟ้าย่อยสี่คิว วงจรที่ 6 (ต่อ)

| Line number | From bus | To bus | R (ohms) | jX (ohms) | Half-line charging | Tab setting |
|-------------|----------|--------|------------|-------------|--------------------|-------------|
| 176 | 176 | 177 | 1.239225 | 2.416800 | 2.18 | 1.00 |
| 177 | 171 | 178 | 0.052805 | 0.102983 | 0.09 | 1.00 |
| 178 | 178 | 179 | 0.342725 | 0.668399 | 0.60 | 1.00 |
| 179 | 179 | 180 | 0.091857 | 0.179145 | 0.16 | 1.00 |
| 180 | 180 | 181 | 0.870438 | 1.697571 | 1.53 | 1.00 |
| 181 | 181 | 182 | 0.028016 | 0.054638 | 0.05 | 1.00 |
| 182 | 182 | 183 | 0.115204 | 0.224676 | 0.20 | 1.00 |
| 183 | 182 | 184 | 0.083538 | 0.162919 | 0.15 | 1.00 |
| 184 | 179 | 185 | 0.052211 | 0.101824 | 0.09 | 1.00 |
| 185 | 185 | 186 | 0.973077 | 1.897743 | 1.71 | 1.00 |
| 186 | 186 | 187 | 0.002719 | 0.013115 | 0.01 | 1.00 |
| 187 | 187 | 188 | 0.040593 | 0.195781 | 0.21 | 1.00 |
| 188 | 188 | 189 | 0.001619 | 0.007806 | 0.01 | 1.00 |
| 189 | 189 | 190 | 1.771608 | 3.455078 | 3.11 | 1.00 |
| 190 | 189 | 191 | 1.239225 | 2.416800 | 2.18 | 1.00 |
| 191 | 191 | 192 | 0.052805 | 0.102983 | 0.09 | 1.00 |
| 192 | 192 | 193 | 0.342725 | 0.668399 | 0.60 | 1.00 |
| 193 | 188 | 194 | 0.091857 | 0.179145 | 0.16 | 1.00 |
| 194 | 194 | 195 | 0.870438 | 1.697571 | 1.53 | 1.00 |
| 195 | 194 | 196 | 0.028016 | 0.054638 | 0.05 | 1.00 |
| 196 | 196 | 197 | 0.115204 | 0.224676 | 0.20 | 1.00 |
| 197 | 197 | 198 | 0.083538 | 0.162919 | 0.15 | 1.00 |
| 198 | 197 | 199 | 0.052211 | 0.101824 | 0.09 | 1.00 |
| 199 | 199 | 200 | 0.973077 | 1.897743 | 1.71 | 1.00 |
| 200 | 200 | 201 | 0.342725 | 0.668399 | 0.60 | 1.00 |

ตารางที่ ก.20 ข้อมูลสายส่งของระบบจำหน่ายสถานีจ่ายไฟฟ้าย่อยสี่คิ้ว วงจรที่ 6 (ต่อ)

| Line number | From bus | To bus | R (ohms) | jX (ohms) | Half-line charging | Tab setting |
|-------------|----------|--------|------------|-------------|--------------------|-------------|
| 201 | 200 | 202 | 0.091857 | 0.179145 | 0.16 | 1.00 |
| 202 | 202 | 203 | 0.870438 | 1.697571 | 1.53 | 1.00 |
| 203 | 203 | 204 | 0.028016 | 0.054638 | 0.05 | 1.00 |
| 204 | 204 | 205 | 0.115204 | 0.224676 | 0.20 | 1.00 |

ก.11 ระบบจำหน่ายสถานีจ่ายไฟฟ้าย่อยสี่คิ้ว วงจรที่ 7



รูปที่ ก.11 ระบบจำหน่ายสถานีจ่ายไฟฟ้าย่อยสี่คิ้ว วงจรที่ 7

ตารางที่ ก.21 ข้อมูลบัสของระบบจำหน่ายสถานีจ่ายไฟฟ้าย่อยสี่กิโล วงจรที่ 7 (ต่อ)

| Bus code | Magnitude voltage (p.u.) | Angle (degree) | Generation | | Load | | Bus type |
|----------|--------------------------|----------------|------------|------|-------|-------|----------|
| | | | kW | kVar | kW | kVar | |
| 51 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 29.17 | 16.13 | PQ bus |
| 52 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 14.58 | 8.07 | PQ bus |
| 53 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 54 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 46.67 | 25.81 | PQ bus |
| 55 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 14.58 | 8.07 | PQ bus |
| 56 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 46.67 | 25.81 | PQ bus |
| 57 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 58 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 59 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 60 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 61 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 62 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 26.25 | 14.52 | PQ bus |
| 63 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 46.67 | 25.81 | PQ bus |
| 64 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 29.17 | 16.13 | PQ bus |
| 65 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 46.67 | 25.81 | PQ bus |
| 66 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 67 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 29.17 | 16.13 | PQ bus |
| 68 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 69 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 70 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 71 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 72 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 26.25 | 14.52 | PQ bus |
| 73 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 29.17 | 16.13 | PQ bus |
| 74 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 75 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 29.17 | 16.13 | PQ bus |

ตารางที่ ก.21 ข้อมูลับัษของระบบจำหน่ายสถานีจ่ายไฟฟ้าย่อยสี่กั้ว วงจรที่ 7 (ต่อ)

| Bus code | Magnitude voltage (p.u.) | Angle (degree) | Generation | | Load | | Bus type |
|----------|--------------------------|----------------|------------|------|--------|--------|----------|
| | | | kW | kVar | kW | kVar | |
| 76 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 77 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 78 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 72.92 | 40.33 | PQ bus |
| 79 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 145.83 | 80.67 | PQ bus |
| 80 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 145.83 | 80.67 | PQ bus |
| 81 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 14.58 | 8.07 | PQ bus |
| 82 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 14.58 | 8.07 | PQ bus |
| 83 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 29.17 | 16.13 | PQ bus |
| 84 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 85 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 72.92 | 40.33 | PQ bus |
| 86 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 72.92 | 40.33 | PQ bus |
| 87 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 88 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 72.92 | 40.33 | PQ bus |
| 89 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 291.67 | 161.33 | PQ bus |
| 90 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 291.67 | 161.33 | PQ bus |
| 91 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 291.67 | 161.33 | PQ bus |
| 92 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 93 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 94 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 29.17 | 16.13 | PQ bus |
| 95 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 72.92 | 40.33 | PQ bus |
| 96 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 26.25 | 14.52 | PQ bus |
| 97 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 98 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 99 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 72.92 | 40.33 | PQ bus |
| 100 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 46.67 | 25.81 | PQ bus |

ตารางที่ ก.21 ข้อมูลบัสของระบบจำหน่ายสถานีจ่ายไฟฟ้าย่อยสี่กั้ว วงจรที่ 7 (ต่อ)

| Bus code | Magnitude voltage (p.u.) | Angle (degree) | Generation | | Load | | Bus type |
|----------|--------------------------|----------------|------------|------|-------|-------|----------|
| | | | kW | kVar | kW | kVar | |
| 126 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 127 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 128 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 129 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 130 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 131 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 132 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 133 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 134 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 135 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 136 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 137 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 138 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 58.33 | 32.27 | PQ bus |

ตารางที่ ก.22 ข้อมูลสายส่งของระบบจำหน่ายสถานีจ่ายไฟฟ้าย่อยสี่กั้ว วงจรที่ 7

| Line number | From bus | To bus | R (ohms) | jX (ohms) | Half-line charging | Tab setting |
|-------------|----------|--------|----------|-------------|--------------------|-------------|
| 1 | 1 | 2 | 0.005244 | 0.025292 | 0.03 | 1.00 |
| 2 | 2 | 3 | 0.013668 | 0.026656 | 0.02 | 1.00 |
| 3 | 3 | 4 | 0.015613 | 0.031530 | 0.03 | 1.00 |
| 4 | 3 | 5 | 0.014215 | 0.054040 | 0.06 | 1.00 |
| 5 | 5 | 6 | 0.136573 | 0.658691 | 0.70 | 1.00 |
| 6 | 5 | 7 | 0.104299 | 0.503035 | 0.53 | 1.00 |
| 7 | 7 | 8 | 0.002719 | 0.013115 | 0.01 | 1.00 |
| 8 | 2 | 9 | 0.057879 | 0.279152 | 0.29 | 1.00 |

ตารางที่ ก.22 ข้อมูลสายส่งของระบบจำหน่ายสถานีจ่ายไฟฟ้าย่อยสี่คิว วงจรที่ 7 (ต่อ)

| Line number | From bus | To bus | R (ohms) | jX (ohms) | Half-line charging | Tab setting |
|-------------|----------|--------|------------|-------------|--------------------|-------------|
| 9 | 9 | 10 | 0.013262 | 0.050416 | 0.05 | 1.00 |
| 10 | 10 | 11 | 0.003561 | 0.017174 | 0.02 | 1.00 |
| 11 | 11 | 12 | 0.001748 | 0.008431 | 0.01 | 1.00 |
| 12 | 12 | 13 | 0.026803 | 0.129272 | 0.14 | 1.00 |
| 13 | 13 | 14 | 0.021430 | 0.103355 | 0.11 | 1.00 |
| 14 | 14 | 15 | 0.004364 | 0.014917 | 0.02 | 1.00 |
| 15 | 15 | 16 | 0.000135 | 0.000461 | 0.00 | 1.00 |
| 16 | 16 | 17 | 0.373712 | 0.728831 | 0.66 | 1.00 |
| 17 | 17 | 18 | 0.050272 | 0.242462 | 0.26 | 1.00 |
| 18 | 17 | 19 | 0.059597 | 0.116229 | 0.10 | 1.00 |
| 19 | 19 | 20 | 0.013805 | 0.027879 | 0.03 | 1.00 |
| 20 | 19 | 21 | 0.029199 | 0.140825 | 0.15 | 1.00 |
| 21 | 21 | 22 | 0.105695 | 0.206132 | 0.19 | 1.00 |
| 22 | 22 | 23 | 0.023339 | 0.112566 | 0.12 | 1.00 |
| 23 | 23 | 24 | 0.035738 | 0.172362 | 0.18 | 1.00 |
| 24 | 23 | 25 | 0.006215 | 0.029976 | 0.03 | 1.00 |
| 25 | 25 | 26 | 0.026123 | 0.125993 | 0.13 | 1.00 |
| 26 | 22 | 27 | 0.074518 | 0.359400 | 0.38 | 1.00 |
| 27 | 27 | 28 | 0.003869 | 0.013225 | 0.01 | 1.00 |
| 28 | 28 | 29 | 0.021529 | 0.043479 | 0.04 | 1.00 |
| 29 | 29 | 30 | 0.009614 | 0.019416 | 0.02 | 1.00 |
| 30 | 30 | 31 | 1.203651 | 5.805196 | 6.13 | 1.00 |
| 31 | 31 | 32 | 0.067202 | 0.324116 | 0.34 | 1.00 |
| 32 | 32 | 33 | 0.007445 | 0.035909 | 0.04 | 1.00 |
| 33 | 33 | 34 | 0.006793 | 0.023221 | 0.02 | 1.00 |

ตารางที่ ก.22 ข้อมูลสายส่งของระบบจำหน่ายสถานีจ่ายไฟฟ้าย่อยสี่คิว วงจรที่ 7 (ต่อ)

| Line number | From bus | To bus | R (ohms) | jX (ohms) | Half-line charging | Tab setting |
|-------------|----------|--------|------------|-------------|--------------------|-------------|
| 34 | 34 | 35 | 0.157582 | 0.760017 | 0.80 | 1.00 |
| 35 | 34 | 36 | 0.015311 | 0.073847 | 0.08 | 1.00 |
| 36 | 34 | 37 | 0.033695 | 0.115181 | 0.12 | 1.00 |
| 37 | 37 | 38 | 0.227181 | 0.443061 | 0.40 | 1.00 |
| 38 | 38 | 39 | 0.013693 | 0.066041 | 0.07 | 1.00 |
| 39 | 39 | 40 | 0.018400 | 0.062896 | 0.07 | 1.00 |
| 40 | 39 | 41 | 0.005758 | 0.019684 | 0.02 | 1.00 |
| 41 | 32 | 42 | 0.019973 | 0.096329 | 0.10 | 1.00 |
| 42 | 42 | 43 | 0.275574 | 1.329092 | 1.40 | 1.00 |
| 43 | 43 | 44 | 0.007386 | 0.014404 | 0.01 | 1.00 |
| 44 | 43 | 45 | 0.075424 | 0.363771 | 0.38 | 1.00 |
| 45 | 45 | 46 | 0.013476 | 0.027216 | 0.02 | 1.00 |
| 46 | 46 | 47 | 0.000675 | 0.002307 | 0.00 | 1.00 |
| 47 | 47 | 48 | 0.051923 | 0.250425 | 0.26 | 1.00 |
| 48 | 47 | 49 | 0.004184 | 0.014302 | 0.02 | 1.00 |
| 49 | 50 | 51 | 0.150460 | 0.725669 | 0.77 | 1.00 |
| 50 | 50 | 52 | 0.013661 | 0.065885 | 0.07 | 1.00 |
| 51 | 52 | 53 | 0.011589 | 0.055893 | 0.06 | 1.00 |
| 52 | 53 | 54 | 0.037609 | 0.128560 | 0.14 | 1.00 |
| 53 | 54 | 55 | 0.112822 | 0.227847 | 0.21 | 1.00 |
| 54 | 55 | 56 | 0.000680 | 0.003279 | 0.00 | 1.00 |
| 55 | 53 | 57 | 0.524232 | 1.022384 | 0.92 | 1.00 |
| 56 | 57 | 58 | 0.015570 | 0.075096 | 0.08 | 1.00 |
| 57 | 58 | 59 | 0.104332 | 0.503191 | 0.53 | 1.00 |
| 58 | 58 | 60 | 0.005218 | 0.017838 | 0.02 | 1.00 |

ตารางที่ ก.22 ข้อมูลสายส่งของระบบจำหน่ายสถานีจ่ายไฟฟ้าย่อยสี่คิว วงจรที่ 7 (ต่อ)

| Line number | From bus | To bus | R (ohms) | jX (ohms) | Half-line charging | Tab setting |
|-------------|----------|--------|----------|-------------|--------------------|-------------|
| 59 | 59 | 61 | 0.019974 | 0.068278 | 0.07 | 1.00 |
| 60 | 61 | 62 | 0.118089 | 0.569544 | 0.60 | 1.00 |
| 61 | 61 | 63 | 0.009744 | 0.046994 | 0.05 | 1.00 |
| 62 | 63 | 64 | 0.004111 | 0.019828 | 0.02 | 1.00 |
| 63 | 64 | 65 | 0.171658 | 0.346666 | 0.31 | 1.00 |
| 64 | 65 | 15 | 0.086431 | 0.416854 | 0.44 | 1.00 |
| 65 | 63 | 66 | 0.052668 | 0.254015 | 0.27 | 1.00 |
| 66 | 66 | 67 | 0.019584 | 0.094456 | 0.10 | 1.00 |
| 67 | 67 | 68 | 0.021753 | 0.104916 | 0.11 | 1.00 |
| 68 | 67 | 69 | 0.011291 | 0.022021 | 0.02 | 1.00 |
| 69 | 69 | 70 | 0.005834 | 0.011782 | 0.01 | 1.00 |
| 70 | 70 | 71 | 0.052500 | 0.179461 | 0.19 | 1.00 |
| 71 | 71 | 72 | 0.004754 | 0.009272 | 0.01 | 1.00 |
| 72 | 71 | 73 | 0.262668 | 0.512268 | 0.46 | 1.00 |
| 73 | 73 | 74 | 0.122589 | 0.591245 | 0.62 | 1.00 |
| 74 | 74 | 75 | 0.048645 | 0.094871 | 0.09 | 1.00 |
| 75 | 74 | 76 | 0.076916 | 0.150005 | 0.14 | 1.00 |
| 76 | 76 | 77 | 0.174803 | 0.843075 | 0.89 | 1.00 |
| 77 | 77 | 78 | 0.125923 | 0.607326 | 0.64 | 1.00 |
| 78 | 76 | 79 | 0.022336 | 0.107726 | 0.11 | 1.00 |
| 79 | 79 | 80 | 0.152176 | 0.733944 | 0.78 | 1.00 |
| 80 | 80 | 81 | 0.010188 | 0.019868 | 0.02 | 1.00 |
| 81 | 81 | 82 | 0.009678 | 0.018875 | 0.02 | 1.00 |
| 82 | 81 | 83 | 0.015621 | 0.030465 | 0.03 | 1.00 |
| 83 | 83 | 84 | 0.037777 | 0.182198 | 0.19 | 1.00 |

ตารางที่ ก.22 ข้อมูลสายส่งของระบบจำหน่ายสถานีจ่ายไฟฟ้าย่อยสี่ควั วงจรที่ 7 (ต่อ)

| Line number | From bus | To bus | R (ohms) | jX (ohms) | Half-line charging | Tab setting |
|-------------|----------|--------|------------|-------------|--------------------|-------------|
| 84 | 84 | 85 | 0.068681 | 0.133945 | 0.12 | 1.00 |
| 85 | 79 | 86 | 0.367055 | 1.770301 | 1.87 | 1.00 |
| 86 | 86 | 87 | 0.026542 | 0.090730 | 0.10 | 1.00 |
| 87 | 87 | 88 | 0.008659 | 0.016888 | 0.02 | 1.00 |
| 88 | 88 | 89 | 0.016599 | 0.033522 | 0.03 | 1.00 |
| 89 | 88 | 90 | 0.420744 | 0.820556 | 0.74 | 1.00 |
| 90 | 90 | 91 | 0.055808 | 0.269160 | 0.28 | 1.00 |
| 91 | 90 | 92 | 0.004769 | 0.016301 | 0.02 | 1.00 |
| 92 | 86 | 93 | 0.072997 | 0.352062 | 0.37 | 1.00 |
| 93 | 93 | 94 | 0.605111 | 2.918445 | 3.08 | 1.00 |
| 94 | 94 | 95 | 0.156803 | 0.305805 | 0.28 | 1.00 |
| 95 | 95 | 96 | 0.008143 | 0.027834 | 0.03 | 1.00 |
| 96 | 95 | 97 | 0.421309 | 2.031967 | 2.15 | 1.00 |
| 97 | 97 | 98 | 0.055713 | 0.112513 | 0.10 | 1.00 |
| 98 | 97 | 99 | 0.014942 | 0.029140 | 0.03 | 1.00 |
| 99 | 99 | 100 | 0.361260 | 1.742355 | 1.84 | 1.00 |
| 100 | 100 | 101 | 0.004814 | 0.016454 | 0.02 | 1.00 |
| 101 | 101 | 102 | 0.066069 | 0.318651 | 0.34 | 1.00 |
| 102 | 102 | 103 | 0.018407 | 0.037172 | 0.03 | 1.00 |
| 103 | 103 | 104 | 0.450882 | 0.879333 | 0.79 | 1.00 |
| 104 | 104 | 105 | 0.164427 | 0.562066 | 0.60 | 1.00 |
| 105 | 104 | 106 | 0.003734 | 0.012764 | 0.01 | 1.00 |
| 106 | 106 | 107 | 0.016375 | 0.055976 | 0.06 | 1.00 |
| 107 | 100 | 108 | 0.090477 | 0.436369 | 0.46 | 1.00 |
| 108 | 108 | 109 | 0.124920 | 0.602486 | 0.64 | 1.00 |

ตารางที่ ก.22 ข้อมูลสายส่งของระบบจำหน่ายสถานีจ่ายไฟฟ้าย่อยสี่คิว วงจรที่ 7 (ต่อ)

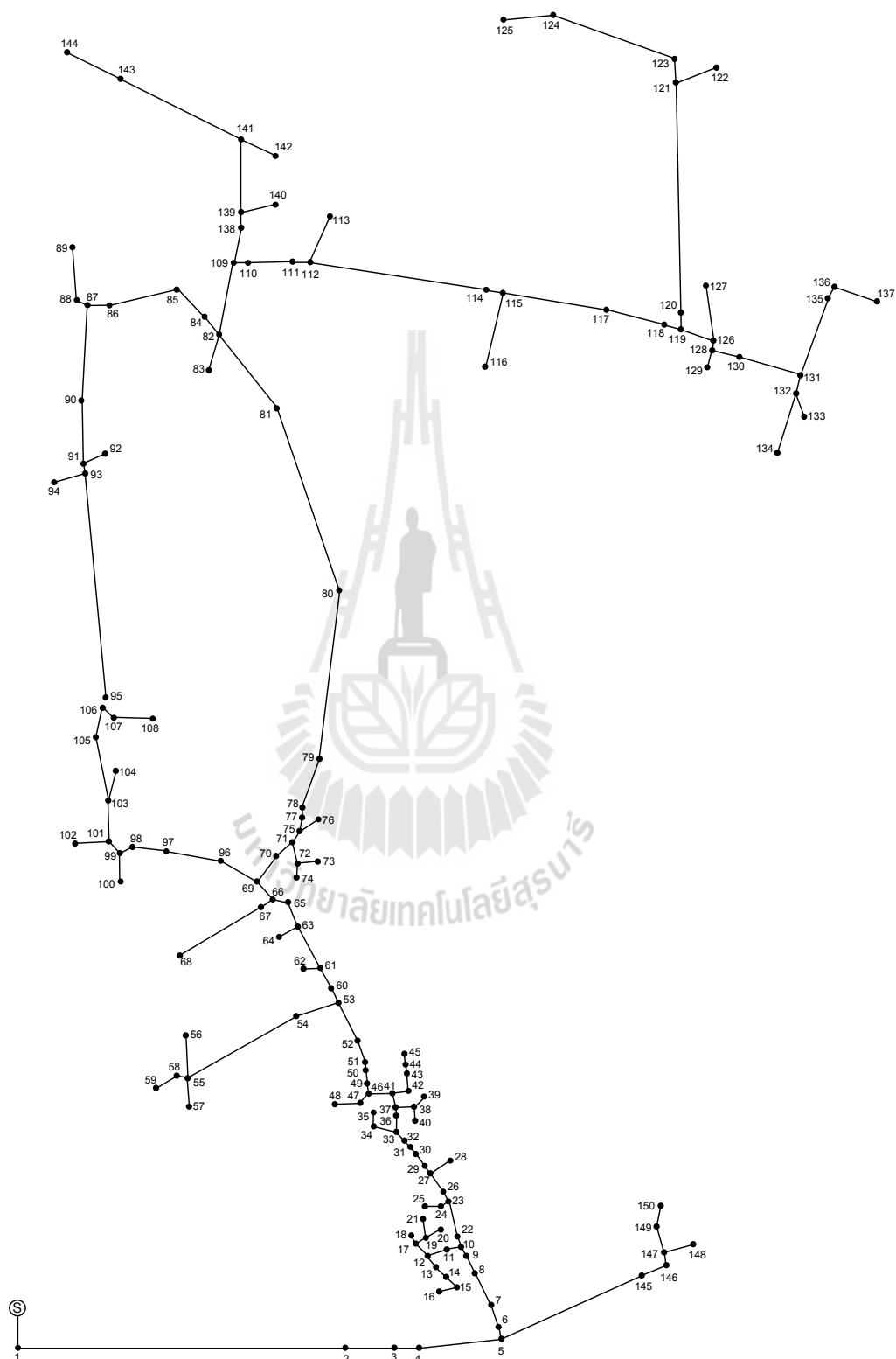
| Line number | From bus | To bus | R (ohms) | jX (ohms) | Half-line charging | Tab setting |
|-------------|----------|--------|----------|-------------|--------------------|-------------|
| 109 | 108 | 110 | 0.005471 | 0.026385 | 0.03 | 1.00 |
| 110 | 110 | 111 | 0.022854 | 0.110224 | 0.12 | 1.00 |
| 111 | 111 | 112 | 0.038521 | 0.185789 | 0.20 | 1.00 |
| 112 | 112 | 113 | 0.003644 | 0.012456 | 0.01 | 1.00 |
| 113 | 112 | 114 | 0.006748 | 0.023067 | 0.02 | 1.00 |
| 114 | 114 | 115 | 0.044445 | 0.214360 | 0.23 | 1.00 |
| 115 | 115 | 116 | 0.068766 | 0.134110 | 0.12 | 1.00 |
| 116 | 116 | 117 | 0.003688 | 0.014022 | 0.01 | 1.00 |
| 117 | 117 | 118 | 0.002428 | 0.011709 | 0.01 | 1.00 |
| 118 | 28 | 119 | 0.006086 | 0.029352 | 0.03 | 1.00 |
| 119 | 119 | 120 | 0.026188 | 0.126305 | 0.13 | 1.00 |
| 120 | 120 | 121 | 0.067655 | 0.326301 | 0.34 | 1.00 |
| 121 | 120 | 122 | 0.017573 | 0.034273 | 0.03 | 1.00 |
| 122 | 119 | 123 | 0.023090 | 0.046632 | 0.04 | 1.00 |
| 123 | 123 | 124 | 0.001845 | 0.008899 | 0.01 | 1.00 |
| 124 | 124 | 125 | 0.020135 | 0.097110 | 0.10 | 1.00 |
| 125 | 124 | 126 | 0.036223 | 0.174704 | 0.18 | 1.00 |
| 126 | 126 | 127 | 0.026827 | 0.052320 | 0.05 | 1.00 |
| 127 | 126 | 128 | 0.005129 | 0.017531 | 0.02 | 1.00 |
| 128 | 128 | 129 | 0.015038 | 0.030369 | 0.03 | 1.00 |
| 129 | 129 | 130 | 0.007810 | 0.015232 | 0.01 | 1.00 |
| 130 | 130 | 131 | 0.080571 | 0.388595 | 0.41 | 1.00 |
| 131 | 131 | 132 | 0.014502 | 0.069944 | 0.07 | 1.00 |
| 132 | 131 | 133 | 0.021753 | 0.104916 | 0.11 | 1.00 |
| 133 | 133 | 134 | 0.136088 | 0.265406 | 0.24 | 1.00 |

ตารางที่ ก.22 ข้อมูลสายส่งของระบบจำหน่ายสถานีจ่ายไฟฟ้าย่อยสี่คว วจรที่ 7 (ต่อ)

| Line number | From bus | To bus | R (ohms) | jX (ohms) | Half-line charging | Tab setting |
|-------------|----------|--------|------------|-------------|--------------------|-------------|
| 134 | 133 | 135 | 0.158757 | 0.320613 | 0.29 | 1.00 |
| 135 | 135 | 136 | 0.127736 | 0.616069 | 0.65 | 1.00 |
| 136 | 136 | 137 | 0.009039 | 0.018254 | 0.02 | 1.00 |
| 137 | 137 | 138 | 0.007810 | 0.015232 | 0.01 | 1.00 |



ก.12 ระบบจำหน่ายสถานีจ่ายไฟฟ้าย่อยสี่คิว วงจรที่ 8



รูปที่ ก.12 ระบบจำหน่ายสถานีจ่ายไฟฟ้าย่อยสี่คิว วงจรที่ 8

ตารางที่ ก.23 ข้อมูลบัสของระบบจำหน่ายสถานีจ่ายไฟฟ้าย่อยสี่กั้ว วงจรที่ 8 (ต่อ)

| Bus code | Magnitude voltage (p.u.) | Angle (degree) | Generation | | Load | | Bus type |
|----------|--------------------------|----------------|------------|------|--------|--------|----------|
| | | | kW | kVar | kW | kVar | |
| 76 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 26.25 | 14.52 | PQ bus |
| 77 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 14.58 | 8.07 | PQ bus |
| 78 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 79 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 72.92 | 40.33 | PQ bus |
| 80 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 8.75 | 4.84 | PQ bus |
| 81 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 46.67 | 25.81 | PQ bus |
| 82 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 145.83 | 80.67 | PQ bus |
| 83 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 29.17 | 16.13 | PQ bus |
| 84 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 72.92 | 40.33 | PQ bus |
| 85 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 86 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 46.67 | 25.81 | PQ bus |
| 87 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 88 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 14.58 | 8.07 | PQ bus |
| 89 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 46.67 | 25.81 | PQ bus |
| 90 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 17.50 | 9.68 | PQ bus |
| 91 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 26.25 | 14.52 | PQ bus |
| 92 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 43.75 | 24.20 | PQ bus |
| 93 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 29.17 | 16.13 | PQ bus |
| 94 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 291.67 | 161.33 | PQ bus |
| 95 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 96 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 97 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 46.67 | 25.81 | PQ bus |
| 98 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 46.67 | 25.81 | PQ bus |
| 99 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 100 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 72.92 | 40.33 | PQ bus |

ตารางที่ ก.24 ข้อมูลสายส่งของระบบจำหน่ายสถานีจ่ายไฟฟ้าย่อยสี่กั้ว วงจรที่ 8

| Line number | From bus | To bus | R (ohms) | jX (ohms) | Half-line charging | Tab setting |
|-------------|----------|--------|------------|-------------|--------------------|-------------|
| 1 | 1 | 2 | 0.159519 | 0.311103 | 0.28 | 1.00 |
| 2 | 2 | 3 | 0.436959 | 0.852180 | 0.77 | 1.00 |
| 3 | 3 | 4 | 0.001942 | 0.009368 | 0.01 | 1.00 |
| 4 | 4 | 5 | 0.056965 | 0.111096 | 0.10 | 1.00 |
| 5 | 5 | 6 | 1.456219 | 2.839992 | 2.56 | 1.00 |
| 6 | 6 | 7 | 0.028514 | 0.057584 | 0.05 | 1.00 |
| 7 | 7 | 8 | 0.001165 | 0.005621 | 0.01 | 1.00 |
| 8 | 8 | 9 | 0.218522 | 0.426173 | 0.38 | 1.00 |
| 9 | 9 | 10 | 0.145172 | 0.283122 | 0.26 | 1.00 |
| 10 | 10 | 11 | 0.043798 | 0.211237 | 0.22 | 1.00 |
| 11 | 11 | 12 | 0.047202 | 0.092056 | 0.08 | 1.00 |
| 12 | 12 | 13 | 0.024634 | 0.118811 | 0.13 | 1.00 |
| 13 | 13 | 14 | 0.123099 | 0.240074 | 0.22 | 1.00 |
| 14 | 14 | 15 | 0.035911 | 0.070035 | 0.06 | 1.00 |
| 15 | 15 | 16 | 0.125888 | 0.254233 | 0.23 | 1.00 |
| 16 | 12 | 17 | 0.035738 | 0.172362 | 0.18 | 1.00 |
| 17 | 17 | 18 | 0.165416 | 0.797799 | 0.84 | 1.00 |
| 18 | 17 | 19 | 0.160623 | 0.313255 | 0.28 | 1.00 |
| 19 | 19 | 20 | 0.014687 | 0.028643 | 0.03 | 1.00 |
| 20 | 19 | 21 | 0.062767 | 0.302726 | 0.32 | 1.00 |
| 21 | 10 | 22 | 0.009906 | 0.047774 | 0.05 | 1.00 |
| 22 | 22 | 23 | 0.033789 | 0.065896 | 0.06 | 1.00 |
| 23 | 23 | 24 | 0.722719 | 1.409483 | 1.27 | 1.00 |
| 24 | 24 | 25 | 0.274553 | 0.535448 | 0.48 | 1.00 |
| 25 | 23 | 26 | 0.014981 | 0.051209 | 0.05 | 1.00 |

ตารางที่ ก.24 ข้อมูลสายส่งของระบบจำหน่ายสถานีจ่ายไฟฟ้าย่อยสี่คิว วงจรที่ 8 (ต่อ)

| Line number | From bus | To bus | R (ohms) | jX (ohms) | Half-line charging | Tab setting |
|-------------|----------|--------|------------|-------------|--------------------|-------------|
| 26 | 26 | 27 | 0.035900 | 0.122716 | 0.13 | 1.00 |
| 27 | 27 | 28 | 0.822387 | 1.603860 | 1.44 | 1.00 |
| 28 | 27 | 29 | 0.342979 | 0.668896 | 0.60 | 1.00 |
| 29 | 29 | 30 | 0.009508 | 0.018544 | 0.02 | 1.00 |
| 30 | 30 | 31 | 0.378975 | 0.739097 | 0.67 | 1.00 |
| 31 | 31 | 32 | 0.068830 | 0.235283 | 0.25 | 1.00 |
| 32 | 32 | 33 | 0.027062 | 0.130521 | 0.14 | 1.00 |
| 33 | 33 | 34 | 0.040665 | 0.079307 | 0.07 | 1.00 |
| 34 | 34 | 35 | 0.251801 | 0.491075 | 0.44 | 1.00 |
| 35 | 33 | 36 | 0.051107 | 0.099672 | 0.09 | 1.00 |
| 36 | 36 | 37 | 0.159848 | 0.770945 | 0.81 | 1.00 |
| 37 | 37 | 38 | 0.010262 | 0.049492 | 0.05 | 1.00 |
| 38 | 38 | 39 | 0.912970 | 1.780521 | 1.60 | 1.00 |
| 39 | 38 | 40 | 0.040580 | 0.079142 | 0.07 | 1.00 |
| 40 | 37 | 41 | 0.010929 | 0.022071 | 0.02 | 1.00 |
| 41 | 41 | 42 | 0.008914 | 0.017385 | 0.02 | 1.00 |
| 42 | 42 | 43 | 0.021224 | 0.041392 | 0.04 | 1.00 |
| 43 | 43 | 44 | 0.076363 | 0.368299 | 0.39 | 1.00 |
| 44 | 44 | 45 | 0.040308 | 0.137787 | 0.15 | 1.00 |
| 45 | 41 | 46 | 0.031751 | 0.061923 | 0.06 | 1.00 |
| 46 | 46 | 47 | 0.023261 | 0.045366 | 0.04 | 1.00 |
| 47 | 47 | 48 | 0.083980 | 0.169599 | 0.15 | 1.00 |
| 48 | 46 | 49 | 0.012851 | 0.061982 | 0.07 | 1.00 |
| 49 | 49 | 50 | 0.012055 | 0.023511 | 0.02 | 1.00 |
| 50 | 50 | 51 | 0.006838 | 0.023375 | 0.03 | 1.00 |

ตารางที่ ก.24 ข้อมูลสายส่งของระบบจำหน่ายสถานีจ่ายไฟฟ้าย่อยสี่ควั วงจรที่ 8 (ต่อ)

| Line number | From bus | To bus | R (ohms) | jX (ohms) | Half-line charging | Tab setting |
|-------------|----------|--------|------------|-------------|--------------------|-------------|
| 51 | 51 | 52 | 0.371250 | 0.724030 | 0.65 | 1.00 |
| 52 | 52 | 53 | 1.093544 | 2.132685 | 1.92 | 1.00 |
| 53 | 53 | 54 | 0.023516 | 0.045862 | 0.04 | 1.00 |
| 54 | 54 | 55 | 0.048306 | 0.094208 | 0.08 | 1.00 |
| 55 | 55 | 56 | 0.102809 | 0.200503 | 0.18 | 1.00 |
| 56 | 55 | 57 | 0.643224 | 2.198746 | 2.36 | 1.00 |
| 57 | 55 | 58 | 0.008065 | 0.015729 | 0.01 | 1.00 |
| 58 | 58 | 59 | 0.143134 | 0.279148 | 0.25 | 1.00 |
| 59 | 53 | 60 | 0.038748 | 0.186882 | 0.20 | 1.00 |
| 60 | 60 | 61 | 0.276286 | 1.332527 | 1.41 | 1.00 |
| 61 | 61 | 62 | 0.006073 | 0.020760 | 0.02 | 1.00 |
| 62 | 61 | 63 | 0.242972 | 0.473856 | 0.43 | 1.00 |
| 63 | 63 | 64 | 0.026997 | 0.130208 | 0.14 | 1.00 |
| 64 | 63 | 65 | 1.866351 | 3.639853 | 3.28 | 1.00 |
| 65 | 65 | 66 | 1.760108 | 8.488985 | 8.97 | 1.00 |
| 66 | 66 | 67 | 1.186590 | 2.314148 | 2.08 | 1.00 |
| 67 | 67 | 68 | 0.645888 | 1.259643 | 1.13 | 1.00 |
| 68 | 66 | 69 | 0.038288 | 0.074671 | 0.07 | 1.00 |
| 69 | 69 | 70 | 0.053894 | 0.184228 | 0.20 | 1.00 |
| 70 | 70 | 71 | 0.010877 | 0.052458 | 0.06 | 1.00 |
| 71 | 71 | 72 | 0.574915 | 1.121228 | 1.01 | 1.00 |
| 72 | 72 | 73 | 0.260815 | 0.526721 | 0.47 | 1.00 |
| 73 | 72 | 74 | 0.001554 | 0.007494 | 0.01 | 1.00 |
| 74 | 71 | 75 | 0.013693 | 0.066041 | 0.07 | 1.00 |
| 75 | 75 | 76 | 0.255876 | 0.499023 | 0.45 | 1.00 |

ตารางที่ ก.24 ข้อมูลสายส่งของระบบจำหน่ายสถานีจ่ายไฟฟ้าย่อยสี่คิว วงจรที่ 8 (ต่อ)

| Line number | From bus | To bus | R (ohms) | jX (ohms) | Half-line charging | Tab setting |
|-------------|----------|--------|------------|-------------|--------------------|-------------|
| 76 | 75 | 77 | 0.030429 | 0.146758 | 0.16 | 1.00 |
| 77 | 77 | 78 | 0.004859 | 0.016608 | 0.02 | 1.00 |
| 78 | 78 | 79 | 0.000765 | 0.002614 | 0.00 | 1.00 |
| 79 | 79 | 80 | 0.579924 | 1.130997 | 1.02 | 1.00 |
| 80 | 80 | 81 | 0.027506 | 0.053644 | 0.05 | 1.00 |
| 81 | 81 | 82 | 0.005276 | 0.025448 | 0.03 | 1.00 |
| 82 | 82 | 83 | 0.017149 | 0.033445 | 0.03 | 1.00 |
| 83 | 82 | 84 | 0.005827 | 0.028103 | 0.03 | 1.00 |
| 84 | 84 | 85 | 0.025553 | 0.087347 | 0.09 | 1.00 |
| 85 | 85 | 86 | 0.006028 | 0.011755 | 0.01 | 1.00 |
| 86 | 86 | 87 | 0.003226 | 0.006292 | 0.01 | 1.00 |
| 87 | 87 | 88 | 0.063163 | 0.123183 | 0.11 | 1.00 |
| 88 | 88 | 89 | 0.153991 | 0.310988 | 0.28 | 1.00 |
| 89 | 88 | 90 | 0.006568 | 0.022452 | 0.02 | 1.00 |
| 90 | 90 | 91 | 0.006028 | 0.011755 | 0.01 | 1.00 |
| 91 | 91 | 92 | 0.139229 | 0.271532 | 0.24 | 1.00 |
| 92 | 91 | 93 | 0.036125 | 0.123485 | 0.13 | 1.00 |
| 93 | 93 | 94 | 0.015341 | 0.052439 | 0.06 | 1.00 |
| 94 | 93 | 95 | 0.062451 | 0.126121 | 0.11 | 1.00 |
| 95 | 69 | 96 | 0.263177 | 0.513262 | 0.46 | 1.00 |
| 96 | 96 | 97 | 0.017404 | 0.033941 | 0.03 | 1.00 |
| 97 | 97 | 98 | 1.796482 | 3.503590 | 3.16 | 1.00 |
| 98 | 98 | 99 | 0.065292 | 0.314904 | 0.33 | 1.00 |
| 99 | 99 | 100 | 0.164930 | 0.795457 | 0.84 | 1.00 |
| 100 | 99 | 101 | 0.106371 | 0.513027 | 0.54 | 1.00 |

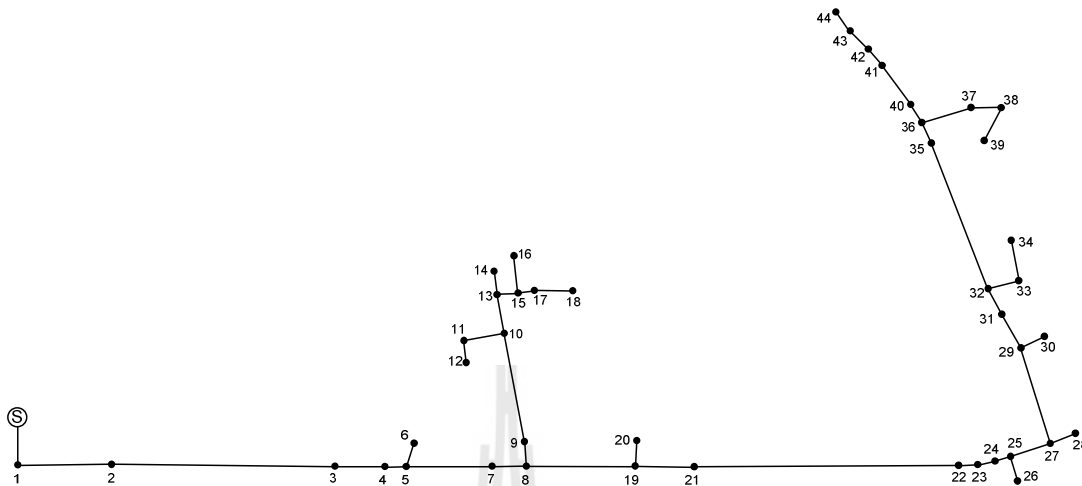
ตารางที่ ก.24 ข้อมูลสายส่งของระบบจำหน่ายสถานีจ่ายไฟฟ้าย่อยสี่ควั วงจรที่ 8 (ต่อ)

| Line number | From bus | To bus | R (ohms) | jX (ohms) | Half-line charging | Tab setting |
|-------------|----------|--------|------------|-------------|--------------------|-------------|
| 101 | 101 | 102 | 0.095462 | 0.460413 | 0.49 | 1.00 |
| 102 | 101 | 103 | 0.536627 | 1.046557 | 0.94 | 1.00 |
| 103 | 103 | 104 | 0.088207 | 0.172025 | 0.15 | 1.00 |
| 104 | 103 | 105 | 0.487387 | 0.950527 | 0.86 | 1.00 |
| 105 | 105 | 106 | 0.166160 | 0.801390 | 0.85 | 1.00 |
| 106 | 106 | 107 | 0.098734 | 0.192556 | 0.17 | 1.00 |
| 107 | 107 | 108 | 0.061926 | 0.298667 | 0.32 | 1.00 |
| 108 | 82 | 109 | 0.032885 | 0.112413 | 0.12 | 1.00 |
| 109 | 109 | 110 | 0.024796 | 0.119592 | 0.13 | 1.00 |
| 110 | 110 | 111 | 0.001230 | 0.005933 | 0.01 | 1.00 |
| 111 | 111 | 112 | 0.022328 | 0.043544 | 0.04 | 1.00 |
| 112 | 112 | 113 | 0.010697 | 0.020862 | 0.02 | 1.00 |
| 113 | 112 | 114 | 0.084585 | 0.407955 | 0.43 | 1.00 |
| 114 | 114 | 115 | 0.001716 | 0.008275 | 0.01 | 1.00 |
| 115 | 115 | 116 | 0.001619 | 0.007806 | 0.01 | 1.00 |
| 116 | 115 | 117 | 0.055777 | 0.108778 | 0.10 | 1.00 |
| 117 | 117 | 118 | 0.008490 | 0.016557 | 0.01 | 1.00 |
| 118 | 118 | 119 | 0.132183 | 0.257790 | 0.23 | 1.00 |
| 119 | 119 | 120 | 0.156803 | 0.305805 | 0.28 | 1.00 |
| 120 | 120 | 121 | 0.013271 | 0.045365 | 0.05 | 1.00 |
| 121 | 121 | 122 | 0.016809 | 0.032783 | 0.03 | 1.00 |
| 122 | 121 | 123 | 0.215466 | 0.420212 | 0.38 | 1.00 |
| 123 | 123 | 124 | 0.569736 | 1.111129 | 1.00 | 1.00 |
| 124 | 124 | 125 | 0.076752 | 0.370172 | 0.39 | 1.00 |
| 125 | 119 | 126 | 0.001262 | 0.006089 | 0.01 | 1.00 |

ตารางที่ ก.24 ข้อมูลสายส่งของระบบจำหน่ายสถานีจ่ายไฟฟ้าย่อยสี่คว วจรที่ 8 (ต่อ)

| Line number | From bus | To bus | R (ohms) | jX (ohms) | Half-line charging | Tab setting |
|-------------|----------|--------|------------|-------------|--------------------|-------------|
| 126 | 126 | 127 | 0.211815 | 0.413093 | 0.37 | 1.00 |
| 127 | 126 | 128 | 0.059336 | 0.286177 | 0.30 | 1.00 |
| 128 | 128 | 129 | 0.001716 | 0.008275 | 0.01 | 1.00 |
| 129 | 128 | 130 | 0.025044 | 0.048843 | 0.04 | 1.00 |
| 130 | 130 | 131 | 0.009593 | 0.018709 | 0.02 | 1.00 |
| 131 | 131 | 132 | 0.085915 | 0.167555 | 0.15 | 1.00 |
| 132 | 132 | 133 | 0.123894 | 0.423510 | 0.45 | 1.00 |
| 133 | 132 | 134 | 1.701738 | 3.318816 | 2.99 | 1.00 |
| 134 | 131 | 135 | 0.031788 | 0.153315 | 0.16 | 1.00 |
| 135 | 135 | 136 | 0.046778 | 0.091228 | 0.08 | 1.00 |
| 136 | 136 | 137 | 0.045165 | 0.088082 | 0.08 | 1.00 |
| 137 | 109 | 138 | 0.001360 | 0.006557 | 0.01 | 1.00 |
| 138 | 138 | 139 | 0.004597 | 0.022170 | 0.02 | 1.00 |
| 139 | 139 | 140 | 0.007153 | 0.024451 | 0.03 | 1.00 |
| 140 | 139 | 141 | 0.008490 | 0.016557 | 0.01 | 1.00 |
| 141 | 141 | 142 | 0.150525 | 0.725981 | 0.77 | 1.00 |
| 142 | 141 | 143 | 0.806426 | 1.572733 | 1.42 | 1.00 |
| 143 | 143 | 144 | 0.070860 | 0.341758 | 0.36 | 1.00 |
| 144 | 5 | 145 | 0.089395 | 0.174343 | 0.16 | 1.00 |
| 145 | 145 | 146 | 0.016250 | 0.078375 | 0.08 | 1.00 |
| 146 | 146 | 147 | 0.016735 | 0.057206 | 0.06 | 1.00 |
| 147 | 147 | 148 | 0.008490 | 0.016557 | 0.01 | 1.00 |
| 148 | 147 | 149 | 0.011848 | 0.057142 | 0.06 | 1.00 |
| 149 | 149 | 150 | 0.006507 | 0.031381 | 0.03 | 1.00 |

ก.13 ระบบจำหน่ายสถานีจ่ายไฟฟ้าย่อยสี่คircuit วงจรที่ 9



รูปที่ ก.13 ระบบจำหน่ายสถานีจ่ายไฟฟ้าย่อยสี่คircuit วงจรที่ 9

ตารางที่ ก.25 ข้อมูลบัสของระบบจำหน่ายสถานีจ่ายไฟฟ้าย่อยสี่คircuit วงจรที่ 9

| Bus code | Magnitude voltage (p.u.) | Angle (degree) | Generation | | Load | | Bus type |
|----------|--------------------------|----------------|------------|------|--------|-------|-----------|
| | | | kW | kVar | kW | kVar | |
| 1 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | Slack bus |
| 2 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 3 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 46.67 | 25.81 | PQ bus |
| 4 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 14.58 | 8.07 | PQ bus |
| 5 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 29.17 | 16.13 | PQ bus |
| 6 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 72.92 | 40.33 | PQ bus |
| 7 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 14.58 | 8.07 | PQ bus |
| 8 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 26.25 | 14.52 | PQ bus |
| 9 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 10 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 11 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 12 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 145.83 | 80.67 | PQ bus |

ตารางที่ ก.25 ข้อมูลบัสของระบบจำหน่ายสถานีจ่ายไฟฟ้าย่อยสี่กั้ว วงจรที่ 9 (ต่อ)

| Bus code | Magnitude voltage (p.u.) | Angle (degree) | Generation | | Load | | Bus type |
|----------|--------------------------|----------------|------------|------|--------|--------|----------|
| | | | kW | kVar | kW | kVar | |
| 13 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 14 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 15 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 72.92 | 40.33 | PQ bus |
| 16 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 14.58 | 8.07 | PQ bus |
| 17 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 91.88 | 50.82 | PQ bus |
| 18 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 19 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 20 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 72.92 | 40.33 | PQ bus |
| 21 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 29.17 | 16.13 | PQ bus |
| 22 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 14.58 | 8.07 | PQ bus |
| 23 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 24 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 25 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 26 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 27 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 46.67 | 25.81 | PQ bus |
| 28 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 14.58 | 8.07 | PQ bus |
| 29 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 14.58 | 8.07 | PQ bus |
| 30 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 29.17 | 16.13 | PQ bus |
| 31 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 32 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 33 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 34 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 35 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 46.67 | 25.81 | PQ bus |
| 36 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 291.67 | 161.33 | PQ bus |
| 37 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 183.75 | 101.64 | PQ bus |

ตารางที่ ก.25 ข้อมูลบัสของระบบจำหน่ายสถานีจ่ายไฟฟ้าย่อยสี่กิโล วจรที่ 9 (ต่อ)

| Bus code | Magnitude voltage (p.u.) | Angle (degree) | Generation | | Load | | Bus type |
|----------|--------------------------|----------------|------------|------|-------|-------|----------|
| | | | kW | kVar | kW | kVar | |
| 38 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 39 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 40 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 41 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 29.17 | 16.13 | PQ bus |
| 42 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 43 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 44 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |

ตารางที่ ก.26 ข้อมูลสายส่งของระบบจำหน่ายสถานีจ่ายไฟฟ้าย่อยสี่กิโล วจรที่ 9

| Line number | From bus | To bus | R (ohms) | jX (ohms) | Half-line charging | Tab setting |
|-------------|----------|--------|----------|-----------|--------------------|-------------|
| 1 | 1 | 2 | 0.001104 | 0.002152 | 0.00 | 1.00 |
| 2 | 2 | 3 | 0.023856 | 0.046525 | 0.04 | 1.00 |
| 3 | 3 | 4 | 0.189243 | 0.382179 | 0.34 | 1.00 |
| 4 | 4 | 5 | 0.035909 | 0.072520 | 0.07 | 1.00 |
| 5 | 5 | 6 | 0.022497 | 0.043876 | 0.04 | 1.00 |
| 6 | 5 | 7 | 0.044485 | 0.086758 | 0.08 | 1.00 |
| 7 | 7 | 8 | 0.092027 | 0.179476 | 0.16 | 1.00 |
| 8 | 8 | 9 | 0.038950 | 0.078660 | 0.07 | 1.00 |
| 9 | 9 | 10 | 0.010188 | 0.019868 | 0.02 | 1.00 |
| 10 | 10 | 11 | 0.101483 | 0.489452 | 0.52 | 1.00 |
| 11 | 11 | 12 | 0.035673 | 0.172050 | 0.18 | 1.00 |
| 12 | 10 | 13 | 0.036741 | 0.177202 | 0.19 | 1.00 |
| 13 | 13 | 14 | 0.024653 | 0.084271 | 0.09 | 1.00 |
| 14 | 13 | 15 | 0.177574 | 0.358615 | 0.32 | 1.00 |

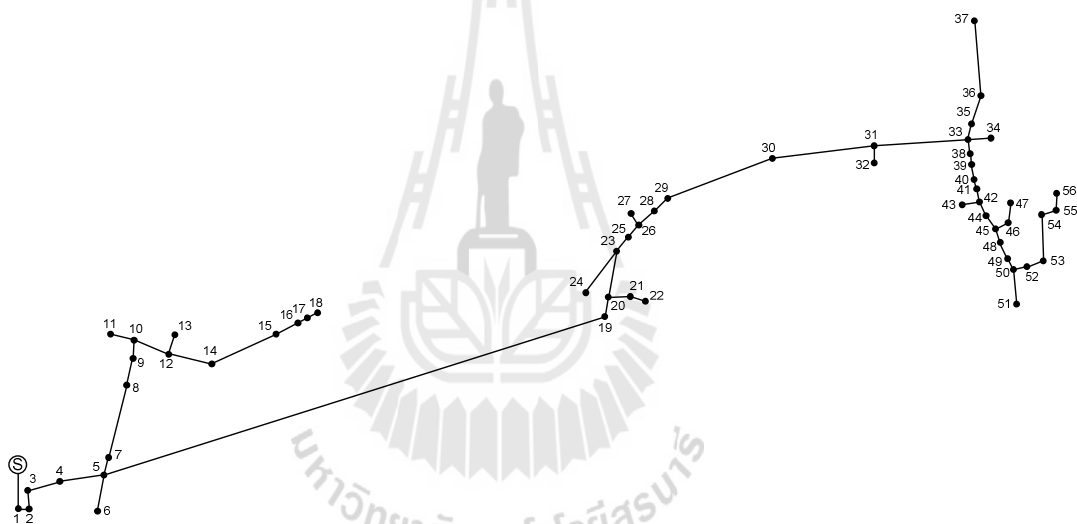
ตารางที่ ก.26 ข้อมูลสายส่งของระบบจำหน่ายสถานีจ่ายไฟฟ้าย่อยสี่คิว วงจรที่ 9 (ต่อ)

| Line number | From bus | To bus | R (ohms) | jX (ohms) | Half-line charging | Tab setting |
|-------------|----------|--------|------------|-------------|--------------------|-------------|
| 15 | 15 | 16 | 0.027692 | 0.055925 | 0.05 | 1.00 |
| 16 | 15 | 17 | 0.007575 | 0.036533 | 0.04 | 1.00 |
| 17 | 17 | 18 | 0.027591 | 0.053810 | 0.05 | 1.00 |
| 18 | 8 | 19 | 0.040410 | 0.078810 | 0.07 | 1.00 |
| 19 | 19 | 20 | 0.553606 | 1.079671 | 0.97 | 1.00 |
| 20 | 19 | 21 | 0.227436 | 0.443557 | 0.40 | 1.00 |
| 21 | 21 | 22 | 0.017338 | 0.035015 | 0.03 | 1.00 |
| 22 | 22 | 23 | 0.244757 | 1.180461 | 1.25 | 1.00 |
| 23 | 23 | 24 | 0.022413 | 0.043710 | 0.04 | 1.00 |
| 24 | 24 | 25 | 0.109453 | 0.374147 | 0.40 | 1.00 |
| 25 | 25 | 26 | 0.047032 | 0.091725 | 0.08 | 1.00 |
| 26 | 25 | 27 | 0.030223 | 0.058942 | 0.05 | 1.00 |
| 27 | 27 | 28 | 0.013583 | 0.026491 | 0.02 | 1.00 |
| 28 | 27 | 29 | 0.062152 | 0.299760 | 0.32 | 1.00 |
| 29 | 29 | 30 | 0.110159 | 0.531293 | 0.56 | 1.00 |
| 30 | 29 | 31 | 0.045934 | 0.221541 | 0.23 | 1.00 |
| 31 | 31 | 32 | 0.146445 | 0.285605 | 0.26 | 1.00 |
| 32 | 32 | 33 | 0.007828 | 0.026758 | 0.03 | 1.00 |
| 33 | 33 | 34 | 0.021611 | 0.043644 | 0.04 | 1.00 |
| 34 | 32 | 35 | 0.119873 | 0.233782 | 0.21 | 1.00 |
| 35 | 35 | 36 | 0.041090 | 0.080135 | 0.07 | 1.00 |
| 36 | 36 | 37 | 0.010188 | 0.019868 | 0.02 | 1.00 |
| 37 | 37 | 38 | 0.392898 | 0.766250 | 0.69 | 1.00 |
| 38 | 38 | 39 | 0.004726 | 0.022794 | 0.02 | 1.00 |
| 39 | 36 | 40 | 0.074723 | 0.255429 | 0.27 | 1.00 |

ตารางที่ ก.26 ข้อมูลสายส่งของระบบจำหน่ายสถานีจ่ายไฟฟ้าย่อยสี่คี่ วงจรที่ 9 (ต่อ)

| Line number | From bus | To bus | R (ohms) | jX (ohms) | Half-line charging | Tab setting |
|-------------|----------|--------|----------|-------------|--------------------|-------------|
| 40 | 40 | 41 | 0.043042 | 0.083943 | 0.08 | 1.00 |
| 41 | 41 | 42 | 0.015635 | 0.075408 | 0.08 | 1.00 |
| 42 | 42 | 43 | 0.038458 | 0.075002 | 0.07 | 1.00 |
| 43 | 43 | 44 | 0.004049 | 0.013840 | 0.01 | 1.00 |

ก.14 ระบบจำหน่ายสถานีจ่ายไฟฟ้าย่อยสี่คี่ วงจรที่ 10



รูปที่ ก.14 ระบบจำหน่ายสถานีจ่ายไฟฟ้าย่อยสี่คี่ วงจรที่ 10

ตารางที่ ก.27 ข้อมูลบัสของระบบจำหน่ายสถานีจ่ายไฟฟ้าย่อยสี่คี่ วงจรที่ 10

| Bus code | Magnitude voltage (p.u.) | Angle (degree) | Generation | | Load | | Bus type |
|----------|--------------------------|----------------|------------|------|--------|-------|-----------|
| | | | kW | kVar | kW | kVar | |
| 1 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | Slack bus |
| 2 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 72.92 | 40.33 | PQ bus |
| 3 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 116.67 | 64.53 | PQ bus |
| 4 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 72.92 | 40.33 | PQ bus |

ตารางที่ ก.27 ข้อมูลบัสของระบบจำหน่ายสถานีจ่ายไฟฟ้าย่อยสี่กิโล วงจรที่ 10

| Bus code | Magnitude voltage (p.u.) | Angle (degree) | Generation | | Load | | Bus type |
|----------|--------------------------|----------------|------------|------|--------|-------|----------|
| | | | kW | kVar | kW | kVar | |
| 5 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 26.25 | 14.52 | PQ bus |
| 6 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 116.67 | 64.53 | PQ bus |
| 7 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 17.50 | 9.68 | PQ bus |
| 8 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 9 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 14.58 | 8.07 | PQ bus |
| 10 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 11 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 116.67 | 64.53 | PQ bus |
| 12 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 13 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 46.67 | 25.81 | PQ bus |
| 14 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 116.67 | 64.53 | PQ bus |
| 15 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 16 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 17 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 29.17 | 16.13 | PQ bus |
| 18 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 116.67 | 64.53 | PQ bus |
| 19 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 72.92 | 40.33 | PQ bus |
| 20 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 14.58 | 8.07 | PQ bus |
| 21 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 22 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 26.25 | 14.52 | PQ bus |
| 23 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 24 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 25 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 29.17 | 16.13 | PQ bus |
| 26 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 27 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 28 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 46.67 | 25.81 | PQ bus |
| 29 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 46.67 | 25.81 | PQ bus |

ตารางที่ ก.27 ข้อมูล巴士ของระบบจำหน่ายสถานีจ่ายไฟฟ้าย่อยสี่กั้ว วงจรที่ 10

| Bus code | Magnitude voltage (p.u.) | Angle (degree) | Generation | | Load | | Bus type |
|----------|--------------------------|----------------|------------|------|--------|-------|----------|
| | | | kW | kVar | kW | kVar | |
| 30 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 31 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 32 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 116.67 | 64.53 | PQ bus |
| 33 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 14.58 | 8.07 | PQ bus |
| 34 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 116.67 | 64.53 | PQ bus |
| 35 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 36 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 37 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 38 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 39 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 26.25 | 14.52 | PQ bus |
| 40 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 46.67 | 25.81 | PQ bus |
| 41 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 29.17 | 16.13 | PQ bus |
| 42 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 26.25 | 14.52 | PQ bus |
| 43 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 72.92 | 40.33 | PQ bus |
| 44 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 45 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 116.67 | 64.53 | PQ bus |
| 46 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 47 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 48 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 26.25 | 14.52 | PQ bus |
| 49 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 46.67 | 25.81 | PQ bus |
| 50 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 29.17 | 16.13 | PQ bus |
| 51 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 52 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | PQ bus |
| 53 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 8.75 | 4.84 | PQ bus |
| 54 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 116.67 | 64.53 | PQ bus |

ตารางที่ ก.27 ข้อมูลบัสของระบบจำหน่ายสถานีจ่ายไฟฟ้าย่อยสี่คิว วงจรที่ 10

| Bus code | Magnitude voltage (p.u.) | Angle (degree) | Generation | | Load | | Bus type |
|----------|--------------------------|----------------|------------|------|--------|-------|----------|
| | | | kW | kVar | kW | kVar | |
| 55 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 116.67 | 64.53 | PQ bus |
| 56 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 29.17 | 16.13 | PQ bus |

ตารางที่ ก.28 ข้อมูลสายส่งของระบบจำหน่ายสถานีจ่ายไฟฟ้าย่อยสี่คิว วงจรที่ 10

| Line number | From bus | To bus | R (ohms) | jX (ohms) | Half-line charging | Tab setting |
|-------------|----------|--------|----------|-----------|--------------------|-------------|
| 1 | 1 | 2 | 0.064436 | 0.125666 | 0.11 | 1.00 |
| 2 | 2 | 3 | 0.007471 | 0.014570 | 0.01 | 1.00 |
| 3 | 3 | 4 | 0.024926 | 0.120216 | 0.13 | 1.00 |
| 4 | 4 | 5 | 0.022752 | 0.044372 | 0.04 | 1.00 |
| 5 | 5 | 6 | 0.003990 | 0.007782 | 0.01 | 1.00 |
| 6 | 5 | 7 | 0.302229 | 0.589423 | 0.53 | 1.00 |
| 7 | 7 | 8 | 0.022886 | 0.110380 | 0.12 | 1.00 |
| 8 | 8 | 9 | 0.008490 | 0.016557 | 0.01 | 1.00 |
| 9 | 9 | 10 | 0.999225 | 1.948738 | 1.76 | 1.00 |
| 10 | 10 | 11 | 0.505980 | 0.986787 | 0.89 | 1.00 |
| 11 | 10 | 12 | 0.047197 | 0.227630 | 0.24 | 1.00 |
| 12 | 12 | 13 | 0.278289 | 0.542733 | 0.49 | 1.00 |
| 13 | 12 | 14 | 0.735114 | 1.433656 | 1.29 | 1.00 |
| 14 | 14 | 15 | 0.381947 | 0.744892 | 0.67 | 1.00 |
| 15 | 15 | 16 | 0.078444 | 0.152985 | 0.14 | 1.00 |
| 16 | 16 | 17 | 0.002072 | 0.009992 | 0.01 | 1.00 |
| 17 | 17 | 18 | 0.150351 | 0.293221 | 0.26 | 1.00 |
| 18 | 5 | 19 | 0.005518 | 0.010762 | 0.01 | 1.00 |
| 19 | 19 | 20 | 0.080991 | 0.157952 | 0.14 | 1.00 |

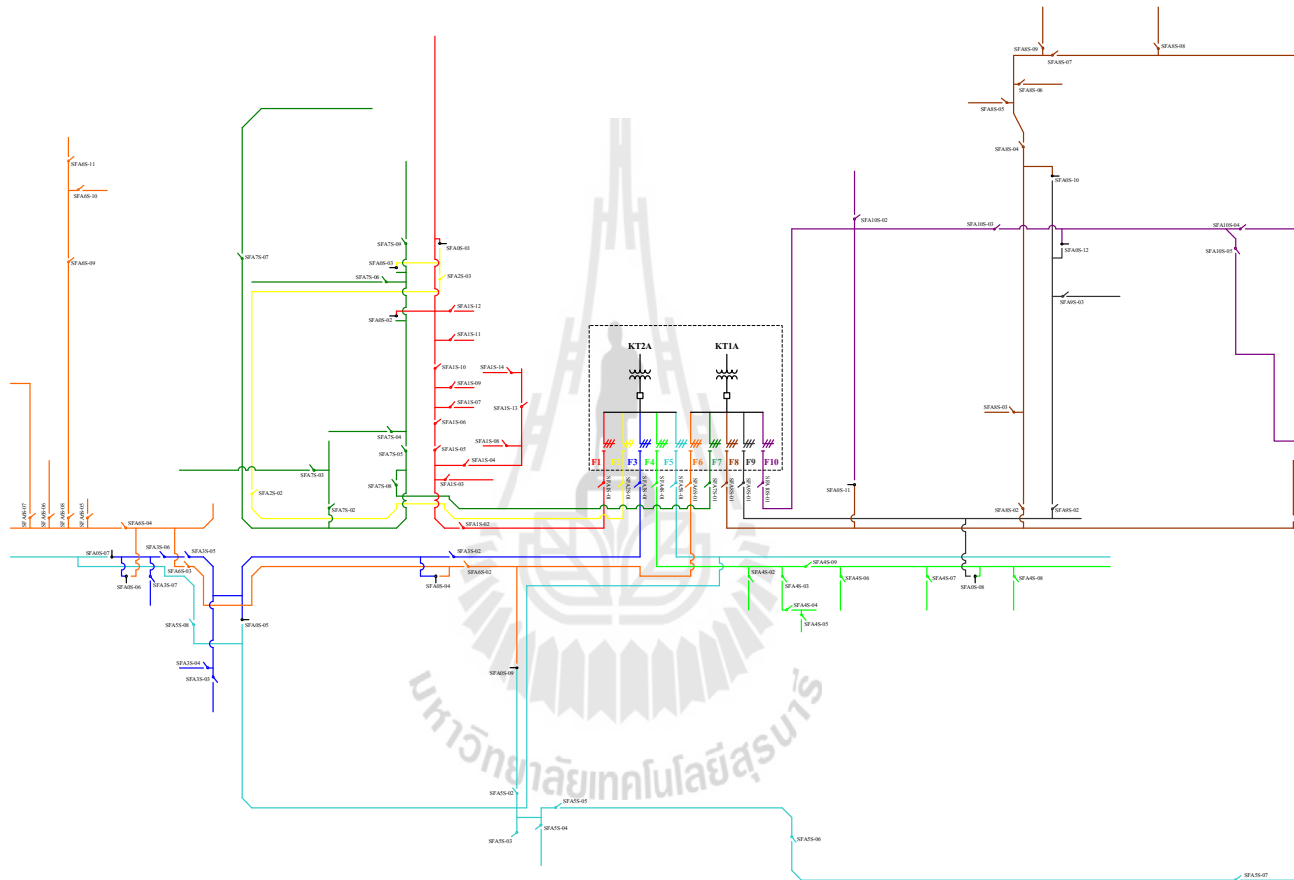
ตารางที่ ก.28 ข้อมูลสายส่งของระบบจำหน่ายสถานีจ่ายไฟฟ้าย่อยสี่คิว วงจรที่ 10

| Line number | From bus | To bus | R (ohms) | jX (ohms) | Half-line charging | Tab setting |
|-------------|----------|--------|------------|-------------|--------------------|-------------|
| 20 | 20 | 21 | 0.307917 | 0.600516 | 0.54 | 1.00 |
| 21 | 21 | 22 | 0.135409 | 0.264081 | 0.24 | 1.00 |
| 22 | 20 | 23 | 0.148777 | 0.717551 | 0.76 | 1.00 |
| 23 | 23 | 24 | 0.254954 | 1.229641 | 1.30 | 1.00 |
| 24 | 23 | 25 | 0.079887 | 0.155800 | 0.14 | 1.00 |
| 25 | 25 | 26 | 0.039622 | 0.191097 | 0.20 | 1.00 |
| 26 | 26 | 27 | 0.284832 | 1.373744 | 1.45 | 1.00 |
| 27 | 26 | 28 | 0.112657 | 0.219709 | 0.20 | 1.00 |
| 28 | 28 | 29 | 0.343234 | 0.669392 | 0.60 | 1.00 |
| 29 | 29 | 30 | 0.014347 | 0.027981 | 0.03 | 1.00 |
| 30 | 30 | 31 | 1.066377 | 2.079703 | 1.87 | 1.00 |
| 31 | 31 | 32 | 0.022073 | 0.043048 | 0.04 | 1.00 |
| 32 | 31 | 33 | 0.071482 | 0.139408 | 0.13 | 1.00 |
| 33 | 33 | 34 | 0.008999 | 0.043403 | 0.05 | 1.00 |
| 34 | 33 | 35 | 0.232954 | 0.454319 | 0.41 | 1.00 |
| 35 | 35 | 36 | 0.283298 | 0.552501 | 0.50 | 1.00 |
| 36 | 36 | 37 | 0.002802 | 0.005464 | 0.00 | 1.00 |
| 37 | 33 | 38 | 0.008837 | 0.042622 | 0.05 | 1.00 |
| 38 | 38 | 39 | 0.028648 | 0.138171 | 0.15 | 1.00 |
| 39 | 39 | 40 | 0.066473 | 0.129640 | 0.12 | 1.00 |
| 40 | 40 | 41 | 0.103488 | 0.201828 | 0.18 | 1.00 |
| 41 | 41 | 42 | 0.210542 | 0.410609 | 0.37 | 1.00 |
| 42 | 42 | 43 | 0.096102 | 0.187423 | 0.17 | 1.00 |
| 43 | 42 | 44 | 0.046674 | 0.094259 | 0.08 | 1.00 |
| 44 | 44 | 45 | 0.200524 | 0.391072 | 0.35 | 1.00 |

ตารางที่ ก.28 ข้อมูลสายส่งของระบบจำหน่ายสถานีจ่ายไฟฟ้าย่อยสี่คว วจรที่ 10

| Line number | From bus | To bus | R (ohms) | jX (ohms) | Half-line charging | Tab setting |
|-------------|----------|--------|------------|-------------|--------------------|-------------|
| 45 | 45 | 46 | 0.002802 | 0.005464 | 0.00 | 1.00 |
| 46 | 46 | 47 | 0.034961 | 0.168615 | 0.18 | 1.00 |
| 47 | 45 | 48 | 0.046523 | 0.090731 | 0.08 | 1.00 |
| 48 | 48 | 49 | 0.078189 | 0.152488 | 0.14 | 1.00 |
| 49 | 49 | 50 | 0.029587 | 0.142698 | 0.15 | 1.00 |
| 50 | 50 | 51 | 0.013596 | 0.065573 | 0.07 | 1.00 |
| 51 | 50 | 52 | 0.149166 | 0.719424 | 0.76 | 1.00 |
| 52 | 52 | 53 | 0.514045 | 1.002516 | 0.90 | 1.00 |
| 53 | 53 | 54 | 0.905415 | 1.765785 | 1.59 | 1.00 |
| 54 | 54 | 55 | 0.096789 | 0.466814 | 0.49 | 1.00 |
| 55 | 55 | 56 | 0.373457 | 0.728335 | 0.66 | 1.00 |





รูปที่ ก.15 แผนผังการจ่ายไฟของระบบจำหน่ายสถานีจ่ายไฟฟ้าย่อยสี่คิ้ว



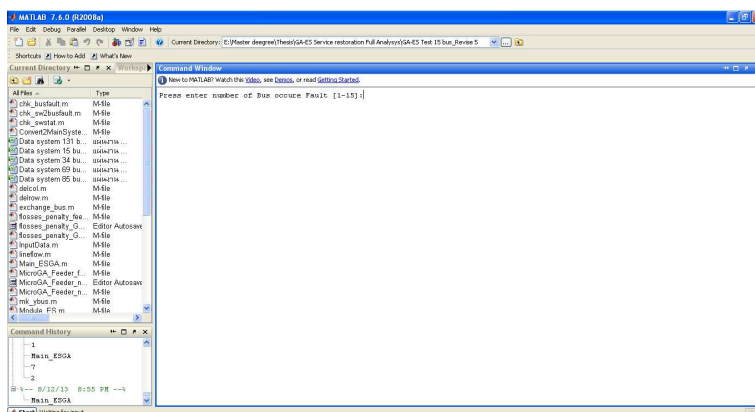
ภาคผนวก ข

คู่มือการใช้งานโปรแกรม

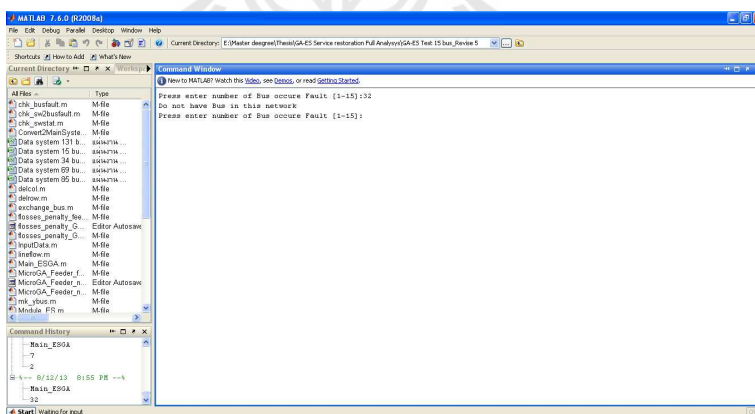
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

การใช้งานโปรแกรมการหาสถานะสวิทช์ตัดตอนที่เหมาะสม

เมื่อรันโปรแกรมจะปรากฏหน้าจอ ดังรูปที่ ข.1 ซึ่งโปรแกรมจะให้ผู้ใช้กรอกหมายเลขบัสหรือตำแหน่งที่เกิดความผิดปกติ ยกตัวอย่างเช่น ในกรณีระบบทดสอบ 15 บัส ผู้ใช้งานโปรแกรมจะสามารถกรอกหมายเลขบัสหรือตำแหน่งที่เกิดความผิดปกติได้จากบัสที่ 1 ถึงบัสที่ 15 แต่หากกรอกหมายเลขบัสนอกเหนือจากนั้น โปรแกรมจะให้กรอกข้อมูลใหม่ ซึ่งมีรายละเอียดดังรูปที่ ข.2



รูปที่ ข.1 หน้าจอสำหรับกรอกข้อมูลตำแหน่งที่เกิดความผิดปกติ



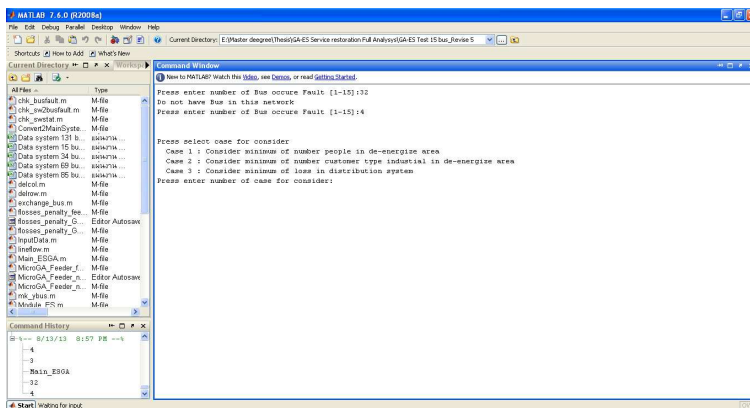
รูปที่ ข.2 หน้าจอสำหรับกรอกข้อมูลใหม่ เนื่องจากกรอกข้อมูลไม่ถูกต้อง

เมื่อระบุหมายเลขบัสหรือตำแหน่งที่เกิดความผิดปกติถูกต้องแล้ว โปรแกรมจะแสดงข้อมูลดังรูปที่ ข.3 โดยโปรแกรมจะให้ผู้ใช้กรอกโปรแกรมกรอกข้อมูลหรือเลือกกรณีศึกษา ซึ่งจะมีกรณีศึกษาทั้งหมด 3 กรณี ซึ่งได้แก่

กรณีที่ 1 พิจารณาให้อำนาจของผู้ใช้ไฟฟ้าหรือบริเวณที่มีไฟฟ้าค่าน้อยที่สุด

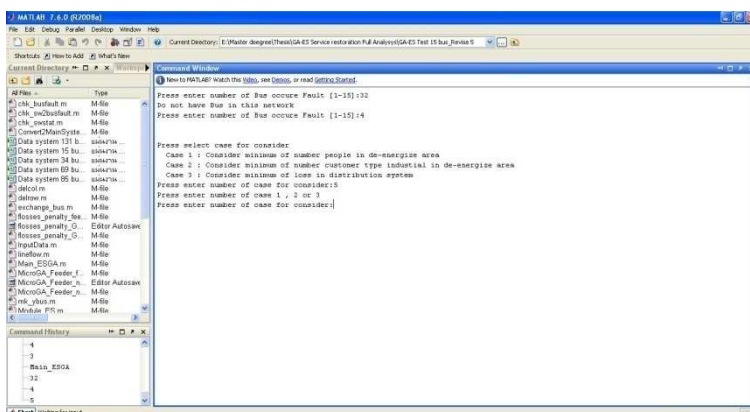
กรณีที่ 2 พิจารณาให้จำนวนของผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทอุตสาหกรรมขนาดใหญ่มีไฟฟ้าดับน้อยที่สุด

กรณีที่ 3 พิจารณาให้กำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบจำหน่ายแบบเรเดียลน้อยที่สุดในกรณีที่เกิดความผิดปกติในระบบจำหน่าย



รูปที่ ข.3 หน้าจอสำหรับกรอกข้อมูลสำหรับการเลือกกรณีศึกษา

ยกตัวอย่างเช่น เมื่อผู้ใช้งานโปรแกรมต้องการศึกษาหรือพิจารณาให้จำนวนของผู้ใช้ไฟฟ้าหรือบริเวณที่มีไฟฟ้าดับน้อยที่สุดในกรณีที่เกิดความผิดปกติในระบบจำหน่าย ผู้ใช้งานโปรแกรมจะต้องกรอกข้อมูล “ 1 ” แต่หากผู้ใช้งานโปรแกรมต้องการศึกษาหรือพิจารณาให้จำนวนของผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทอุตสาหกรรมขนาดใหญ่มีไฟฟ้าดับน้อยที่สุดในกรณีที่เกิดความผิดปกติในระบบจำหน่าย ผู้ใช้งานโปรแกรมจะต้องกรอกข้อมูล “ 2 ” และเช่นเดียวกันหากผู้ใช้งานโปรแกรมต้องการศึกษาหรือพิจารณาให้กำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบจำหน่ายแบบเรเดียลน้อยที่สุดในกรณีที่เกิดความผิดปกติในระบบจำหน่าย ผู้ใช้งานโปรแกรมจะต้องกรอกข้อมูล “ 3 ” แต่ในทางกลับกันหากผู้ใช้งานโปรแกรมกรอกข้อมูลนอกเหนือจาก “ 1 ” “ 2 ” และ “ 3 ” นั้น โปรแกรมจะให้ผู้ใช้งานโปรแกรมกรอกข้อมูลเลือกกรณีศึกษาใหม่ ซึ่งมีรายละเอียดดังรูปที่ ข.4



รูปที่ ข.4 หน้าจอสำหรับกรอกข้อมูลใหม่ เนื่องจากกรอกข้อมูลกรณีศึกษาไม่ถูกต้อง

และเมื่อผู้ใช้งานโปรแกรมกรอกข้อมูลทุกอย่างถูกต้องทั้งหมดแล้ว โปรแกรมแสดงคำถามจากระบบผู้เชี่ยวชาญ โดยแต่ละคำถามผู้ใช้งานสามารถกรอกข้อมูลได้เพียง 2 แบบ ซึ่งได้แก่ การกรอกข้อมูล “ Y ” คือ “ ใช่ ” และ การกรอกข้อมูล “ N ” คือ “ ไม่ใช่ ” กับคำถามจากระบบผู้เชี่ยวชาญ แต่ในทางกลับกันหากผู้ใช้งานโปรแกรมกรอกข้อมูลนอกเหนือจาก “ Y ” และ “ N ” นั้น โปรแกรมจะให้ผู้ใช้งานโปรแกรมกรอกข้อมูลคำตอบใหม่อีกครั้ง ซึ่งรายละเอียดของระบบผู้เชี่ยวชาญ ได้แสดงไว้ในบทที่ 3

และเมื่อผู้ใช้งาน โปรแกรมกรอกข้อมูลทุกอย่างถูกต้องทั้งหมดแล้ว โปรแกรมจะดำเนินการประมวลผลและแสดงผลลัพธ์จากการประมวลผลโดยแสดงข้อมูลของสวิตซ์ตัดตอนที่เปลี่ยนแปลงสถานะ



ภาคผนวก ค

บทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างศึกษา



รายชื่อบทความทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างศึกษา

Teerawatwittaya, N. and Srikaew, A. (2013). **SERVICE RESTORATION USING GENETIC ALGORITHM AND EXPERT SYSTEM**, in International Conference on Advances in Electronics and Electrical Engineering (AEEE), Thailand, pp.27-31. (6-7 April 2013)



SERVICE RESTORATION USING GENETIC ALGORITHM AND EXPERT SYSTEM

Arthit Srikaew
 School of Electrical Engineering
 Institute of Engineering , Suranaree University of
 Technology
 Nakhonratchasima, Thailand
 ra@sut.ac.th

Nattaphan Teerawatwittaya
 School of Electrical Engineering
 Institute of Engineering , Suranaree University of
 Technology
 Nakhonratchasima, Thailand
 nattaphan.t@hotmail.com

Abstract - This paper develops a hybrid system for solving a service restoration problem in a distribution system using genetic algorithm (GA) and expert systems (ES). The main objective in problem of finding the optimal state of a sectionalizing switch on faults occurred is to restore as many loads as possible by transferring de-energized loads via network reconfigurations to other supporting distribution feeder without violating operating and engineering constraints. The Expert System to collect data from users. For analysis and the variables that are associated with the processing. And Genetic algorithm will process the results from an expert system modules. The feasibility of the developed algorithm for service restoration is demonstrated on distribution network with promising result.

Keywords— Power flow, Genetic algorithm, Expert system, Service restoration, Hybrid system

I. INTRODUCTION

Customer satisfaction and service reliability are of primary concern in power industry. Several studies on power utility experience suggest that customer satisfaction is more closely correlated with service interruption frequency and interruption duration. Developing effective service restoration procedures is a cost-effective approach to improve service reliability and consequently, enhance customer satisfaction.

The main objective in service restoration procedures is to restore as many loads as possible (i.e. minimize loads in out-of-service areas) by transferring de-energized loads in out of service areas via network reconfiguration to other supporting distribution feeders without violating operating and engineering constraints. Fast service restoration has multi-fold benefit. In actual use, distribution operators need to restore service to out-of-service areas as quickly as possible. Currently, the restoration is performed step-by-step and mostly manually, based on pre-established guidelines and operating procedures.

The service restoration problem is a combinatorial, non-linear, and constrained optimization problem. The

complexity of such a problem calls into doubts the effectiveness of the restoration procedures based on pre-established guidelines. In fact, the service restoration problem belongs to the so-called NP-complete problem. There are no known methods to solve NP-complete problems exactly in a reasonable time.

In the past, considerable efforts have been devoted to the subject of service restoration in electric power distribution systems. The approaches [1-4] are base on application of various optimization methods to determine the optimal restoration plan of the electric power distribution systems. The shortcoming of these methods is that, the nature of the problem is so complex and due to the burdening of performance variants and due to practical difficulties, the desired optimal solution cannot be obtained in the minimum possible time. The increased computational time with large size distribution system limit the efficient use of these approaches in service restoration procedures of distribution automation system.

The heuristic approaches [5-7] are base on the idea of the network configuration, multiple alternative supply sources, and protection facilities of the distribution system. The main drawback of these approaches is that the distribution system facility under normal operating condition will not match with the same under abnormal condition. Hence these heuristic approaches fail to obtain an optimal solution for the constrained electrical power service restoration problem.

The expert system based approach [8], need complete knowledge of electrical power distribution system for determining its optimal restoration plan. However, the system dependency of this expert system approach makes is not a suitable general technique to solve electrical power service restoration problem.

This paper is outlined in 7 parts. In Section 2 of the paper details the description of service restoration using Expert System. In Section 3 of the paper details the description of service restoration using Genetic Algorithm. In Section 4, overall solution algorithm of the hybrid system for service restoration using Expert System and Genetic Algorithm. In Section 5 gives the test data, results and its analysis. Conclusion is presented in Section 6 of the paper. List of conferences is given in the last part of the paper.

II. SERVICE RESTORATION USING EXPERT SYSTEM

Expert Systems (ES) is a computer program that can be expressed as experts in their fields or for specific use. Or refers to the software systems, which are similar in terms of the reasoning process and provide information about the people who have to decide. It is found in the human experts. Expert systems are an important element in element 5, with details as follows :

- Knowledge base contains information specific to the knowledge that is used to solve the problem of the expert system. Knowledge is in the form of IF-THEN rules.
- Database contains a set of facts. Used for checking the conditions in a rule IF, in the knowledge base.
- Inference engine is part of the reason for the complex calculations lead to answers. Served in the rules of the knowledge base. Facts from the database.
- Explanation facility that allows a user to understand the answer anyway. And the fact that I need. Expert system must be able to explain the behavior of the system. And provide guidance. Analysis or conclusion.
- A response to the user (User interface) is the interaction between the user and the expert system. Retaliation should be efficient and easy to use as possible.

As mentioned in the above. Expert system to collect data from users for analysis and the variables (sectionalizing and tie switches.) that are associated with the processing. Analysis and the variables are not related. Can be achieved through the rule base of an expert system. The rule base of an expert system that determines the variable to be processed. The details are as follows.

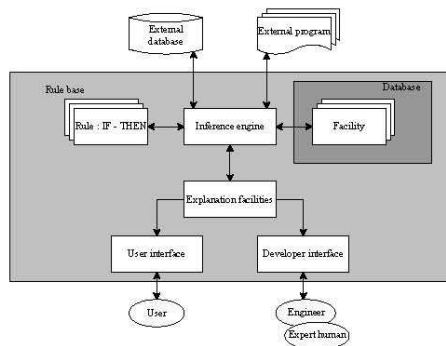


Fig. 1 Structure of expert system

RULE

IF: [Fault locate is not at end of feeder]
 And [Bus transfer is not fault]
 And [Main bus is not fault]

And [Main bus can increase load form feeder fault]

And [User or operator is want to restoration]

THEN:

[Defined number of variables to the GA process.]

III. SERVICE RESTORATION USING GENETIC ALGORITHM

Genetic Algorithm is a method that mimics the process of natural evolution. This genetic algorithm is a mathematical solution to a stochastic algorithm is used to find

the global optimal solution of the objective function. Genetic algorithm is presented for the first time publicly by John Holland in the year, 1975. The answer to the evolutionary theory of Charles Darwin described a strong than they were able to survive. And broadcast feature with the next generation. Therefore, the process or the operator in such a way is called the genetic biology. such as selection is the process to select populations with the strength of the population. Crossover is the process to create population with features from the parents. And mutation, this process will continue within the population genetic diversity. The genetic approach is successfully applied to find the optimal solution. In many fields, including the electrical power system. Issues such as the selection of power with regard to economics, the problem of optimal control, the planning system. The problem of finding the appropriate other, etc.

As mentioned in the above. When the faults in the distribution system. The important thing to consider first is to reduce power during fault in the distribution system to a minimum. Therefore to find out the status of the sectionalizing switch, suitable, it is especially important. Due to the state of the switch may extracted improperly causing a power outage in the area do not want a power outage. Power failure or a problem has a wide area. The genetic algorithm is an appropriate method for determining the status of the sectionalizing switch to the appropriate citation. Because the method of genetic algorithm can change condition and objectives easily. The objective function of the genetic method combines objective and reasonable criteria for finding the response of the state of the sectionalizing switch for the appropriate citation.

The genetic algorithm starts with number of solutions to a problem, encoded as a string of status of sectionalizing and tie switches. The status of the switch '1' and '0' has been considered as 'close' and 'open' condition of the switch. The string that encodes each string is 'chromosome' and the set of solutions are termed as population. The following modifications are done in the implementation of GA to solve the Electric Power Service Restoration Problem.

Length of the Chromosome = Number of Buses in EPDS

Population size = Total number of sectionalizing and tie switches in the EPDS (i.e. nbch)

Probability of crossover $P_c = 0.7$ (1)
 Probability of mutation $P_m = P_c / nbch$ (2)

nbch number branch of distribution system

IV. SERVICE RESTORATION USING HYBRID SYSTEM

The solution to the service restoration optimization problem should meet the following requirements:

- The Power Loss in the reconfigured distribution system should be as less as possible.
- Radial Structure of the distribution system should be retained.
- Overloading of the Transformers and Feeders should be minimum.
- The switch operations should be as less as possible in order to minimize the interruption of power supply.
- The Power supply should be restored to as much load as possible in the minimum time and the load shedding should be according to the highest priority order consideration of the loads.
- The Restoration time should be minimum.

The multi-objective function for solving the Electric Power Service Restoration Problem is formulated as follows:

$$\text{Minimize } F = w_1f_1 + w_2f_2 + w_3f_3 + w_4f_4 + w_5f_5 + w_6f_6 \quad (3)$$

Subject to the following constraints

(1) Constraint on bus voltages $V_{k \text{ min}} \leq V_k \leq V_{k \text{ max}}$ (4)

(2) Constraint on Real Power Transmission Loss $PLL \leq PLL_{\text{max}}$ (5)

(3) Constraint on number of switch operations $SWOP \cong 0$ (6)

(4) Constraint on overloading of transformer $TFL \leq TFL_{\text{max}}$ (7)

(5) Constraints on feeder overloading $FDL \leq FDL_{\text{max}}$ (8)

(6) Constraint on priority order consideration of loads $SMLP = \sum_{i=1}^{n_{\text{load}}} LPRO_i$ (9)

i.e., $w_1 = w_2 = w_3 = w_4 = w_5 = w_6 = 1$

Service restoration in distribution system will contain considered at the least time, to simplify the analysis of the state of the sectionalizing switch to the appropriate citation in the distribution system. And mathematical calculations accurately. The process works as follows.

Step 1 : Read the Bus Data, LPRO's, Real and Reactive Power Demand, Shunt Capacitor Bank Ratings.

Read the Line Data, the number of feeders & the bus number at which substation/source is connected and Read the convergence tolerance.

Step 2 : Locate the faulted system or in the location where you want to open the circuit.

Step 3 : Expert System module to collect data from users. For analysis and the variables that are associated with the processing.

Step 4 : Genetic algorithm module will process the results from an expert system modules. When processing is completed, the process will result in the display monitor.

From the work in process above. Can write brief work plan: Figure 2

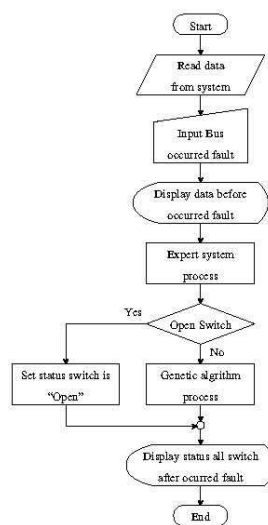


Fig 2 Flow chart of ES-GA Method

V. CASE STUDY

A. Result and discussion for 16-Bus practical distribution system

In this section, we show an experimental result of applying the proposed method to the testing system shown in Fig. 3. The system has 3 feeders 13 loads 16 bus and 16 switch. Through SW1, SW2, SW3, SW4, SW5, SW6, SW7, SW8, SW10, SW11, SW12, SW14 and SW15 are closed circuit and SW9, SW13 and SW16 are open circuit.

The status information of a switch in the excerpt above, can be arranged in a matrix of a genetic chromosome. By the switch to open the circuit in the state has a value of "0" and the switch is in a closed circuit with a value of "1" is as follows.

$$SWSTAT = [1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 0 \ 1 \ 1 \ 1 \ 0 \ 1 \ 1 \ 0]$$



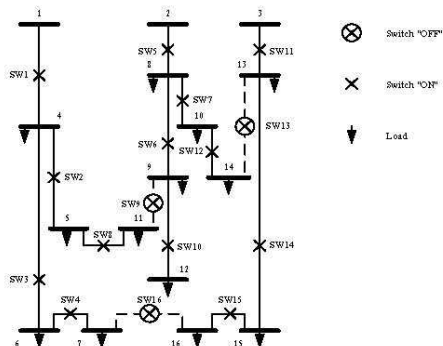


Fig. 3 System 16 bus before occurred fault

B. Result and discussion for 16-Bus practical distribution system

In this section, we show an experimental result of applying the proposed method to the testing system shown in Fig. 3. The system has 3 feeders 13 loads 16 bus and 16 switch. Through SW1, SW2, SW3, SW4, SW5, SW6, SW7, SW8, SW10, SW11, SW12, SW14 and SW15 are closed circuit and SW9, SW13 and SW16 are open circuit.

The status information of a switch in the excerpt above, can be arranged in a matrix of a genetic chromosome. By the switch to open the circuit in the state has a value of "0" and the switch is in a closed circuit with a value of "1" is as follows.

$$SWSTAT = [1\ 1\ 1\ 1\ 1\ 1\ 1\ 1\ 0\ 1\ 1\ 1\ 0\ 1\ 1\ 1\ 0]$$

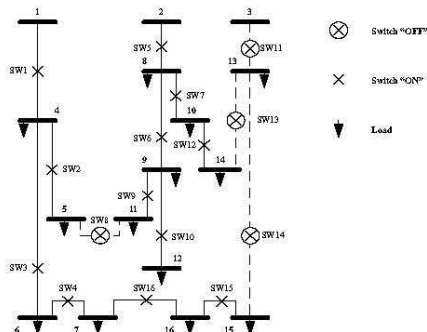


Fig. 4 System 16 bus post occurred fault

Table I
 Comparisons of two strategy of system 16 bus

| Strategy | Time (sec) |
|------------------------------------|------------|
| Genetic Algrithm | 9.1835 |
| Expert System and Genetic Algrithm | 3.8349 |

C. Result and discussion for 100-Bus practical distribution system

The system has 5 feeders 100 loads 100 bus and 106 switch. Through SW1, SW2, SW3, SW4, SW5 is a tie switch are open circuit and another switch are closed circuit is shown in Fig. 5. The results of running the test system, is shown Fig. 6.

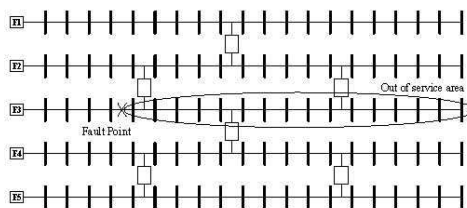


Fig. 5 System 100 bus before occurred fault

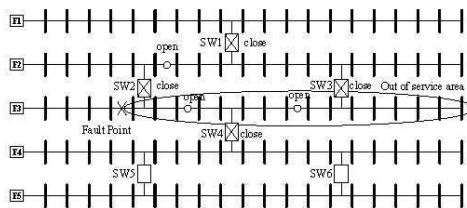


Fig. 6 System 100 bus post occurred fault

Table II
 Comparisons of two strategy of system 100 bus

| Strategy | Time (sec) |
|------------------------------------|------------|
| Genetic Algrithm | 135.1005 |
| Expert System and Genetic Algrithm | 56.4464 |

VI. CONCLUSION

Service restoration using genetic algorithm and expert system is one way to solve the problem of the status of the sectionalize switch for the appropriate. As a technique that can improve the speed of finding an answer. But it is the only system with multiple feeder. The technique presented is a technique that uses an Expert System to assist in reducing the number of variables and the Genetic

Algorithm is used to find the optimum. If a system or test system has only one feeder that such techniques can not reduce the number of variables as much as it should.

REFERENCES

- [1] Sarma NDR, Ghosh S, Prakasa Rao KS, Srinivas N. Real time service restoration in distribution networks – a practical approach. IEEE Trans Power Delivery 1994;9(4):2064–70.
- [2] Ucak Canbolat, Pahwa Anil. An analytical approach for step by step restoration of distribution systems following extended outages. IEEE Trans Power Delivery 1994;9(3):952–8.
- [3] Sarma NDR, Prasad VC, Prakasa Rao KS, Sankar V. A new network reconfiguration technique for service restoration in distribution networks. IEEE Trans Power Delivery 1994;9(4):1936–42.
- [4] Shirmohammadi Danush. Service restoration in distribution networks via network reconfiguration. IEEE Trans Power Delivery 1992;7(2):952–8.
- [5] Hsu Y-Y, Huang HM, Kuo HC, Peng SK, Chang CW, Chang KJ, et al. Distribution system service restoration using a heuristic search approach. IEEE Trans Power Delivery 1992;7(2).
- [6] Das JK, Chowdhury S, Chowdhury SP, Choudhuri S. Development of restoration algorithm for a typical power system to study post fault network topology. IE(J) J. – EL 2000;81(December):106–9.
- [7] Toune Sakae, Fudo Hiroyuki, Genji Takamu, Fukuyama Yoshikazu, Nakanishi Yosuke. Comparative study of modern heuristic algorithms to service restoration in distribution systems. IEEE Trans Power Delivery 2002;17(1):173–81.
- [8] Kafka RJ. System restoration plan development for a metropolitan electric system. IEEE Trans Power Appar Syst 1981;100:3703–13.
- [9] J.Inagaki, J.Nakamiya and M.Haseyama .: "A Multi-objective Service Restoration Method for Power Distribution System" IEEE Trans. Power Deliv. (2006) 1784 - 1787
- [10] K.Manjunath and M.R.Mohan.: "A New Hybrid Multi-Objective Quick Service Restoration technique for Electrical Power Distribution System" Electrical Power and Energy System 29 (2007) 51-64
- [11] Y.Kumar , B.Das and J.Sharma .: "Service restoration in distribution system using non-dominate sorting genetic algorithm" Department of Electrical Engineering, India Institute of Technology 2006
- [12] S. Srivastava, K.L. Butler-Burry. Expert-system method for automatic reconfiguration for restoration of shipboard power system. IEE Proc.-Gener. Transm. Distrib., 2006

ประวัติผู้เขียน

นายฉัฐพันธ์ ชีรวัดน์วิทยา เกิดเมื่อวันที่ 21 ธันวาคม 2525 สำเร็จการศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ปวช.) จากวิทยาลัยเทคนิคบุรีรัมย์ เมื่อปี พ.ศ. 2544 ต่อมาได้สำเร็จการศึกษาในระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.) คณะวิชาไฟฟ้า สาขาวิชาไฟฟ้ากำลัง จากสถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือ นครราชสีมา ในปี พ.ศ. 2546 และได้สำเร็จการศึกษาในระดับปริญญาตรี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า-ไฟฟ้ากำลัง จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน เมื่อปี พ.ศ. 2550 ปัจจุบันดำรงตำแหน่งวิศวกร ประจำแผนกบริการลูกค้า การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค อำเภอสีคิ้ว จากการทำงานด้านวิศวกรรมกับการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคจึงทำให้เกิดแรงจูงใจที่จะศึกษาต่อในระดับปริญญาโทมาบัณฑิต โดยได้เข้าศึกษาต่อในสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ในปี พ.ศ. 2552 และมีผลงานวิจัยโดยปรากฏรายละเอียดในภาคผนวก ก