

การประมาณสถานะสำหรับระบบจำหน่าย 22 กิโลโวลต์
ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค
State Estimation for 22 kV Distribution System
of Provincial Electricity Authority



นายธนวิชญ์ ศรีดวงคำ

วิทยานิพนธ์เสนอมหาวิทยาลัยพะเยา เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
หลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
ธันวาคม 2559
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยพะเยา

การประมาณสถานะสำหรับระบบจำหน่าย 22 กิโลโวลต์ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค
State Estimation for 22 kV Distribution System of Provincial Electricity Authority



นายธนวิษญ์ ศรีดวงคำ

วิทยานิพนธ์เสนอมหาวิทยาลัยพะเยา เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา

หลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

ธันวาคม 2559

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยพะเยา

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การประมาณสถานะสำหรับระบบจำหน่าย 22 กิโลโวลต์ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

ของ นายธนวิชญ์ ศรีดวงคำ

ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
หลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
ของมหาวิทยาลัยพะเยา

.....ประธาน
(รองศาสตราจารย์ ดร.เสริมศักดิ์ เอื้อตรงจิตต์)

.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.เชวศักดิ์ รักเป็นไทย) (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จงลักษณ์ พาหะชา)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สิทธิเดช วชิราศรีศิริกุล) (ดร.สุรพล ดำรงกิตติกุล)

อนุมัติ

.....
(นายเทอดศักดิ์ โกไศยกานนท์)

คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

ธันวาคม 2559

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี เนื่องจากผู้ศึกษาได้รับความช่วยเหลือ ดูแลเอาใจใส่เป็นอย่างดีจากหลาย ๆ ฝ่าย โดยเฉพาะ รองศาสตราจารย์ ดร. เซวต์ศักดิ์ รักเป็นไทย อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำ ตรวจสอบแก้ไข ให้ข้อเสนอแนะ ติดตามความก้าวหน้าในการดำเนินการวิจัย ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในความกรุณาของอาจารย์เป็นอย่างยิ่ง และขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

กราบขอขอบพระคุณผู้ทรงคุณวุฒิ ผู้เชี่ยวชาญ ที่สละเวลาอันมีค่าในการตรวจแก้ไขข้อบกพร่อง ให้ข้อเสนอแนะ คำแนะนำต่าง ๆ และที่ได้กรุณารับเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

ขอขอบพระคุณ อธิการบดีมหาวิทยาลัยพะเยา คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์ ผู้อำนวยการกองอาคารสถานที่ บุคลากรมหาวิทยาลัยพะเยา และขอขอบคุณการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค เขต 2 จังหวัดพิษณุโลก ที่ให้ข้อมูลสำหรับการทำวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้

นอกจากนี้ผู้ศึกษายังได้รับการช่วยเหลือและกำลังใจจากคุณพ่อ คุณแม่ พี่น้องและเพื่อน ๆ ตลอดจนบุคคลต่าง ๆ ที่ให้ความช่วยเหลืออีกมากมาย ที่ผู้วิจัยไม่สามารถกล่าวชานามได้หมดในนี้ ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในความกรุณาและความปรารถนาดีของทุกท่านเป็นอย่างยิ่ง จึงกราบขอขอบพระคุณและขอบคุณไว้ในโอกาสนี้

ธนวิชญ์ ศรีดวงคำ

ชื่อเรื่อง: การประมาณสถานะสำหรับระบบจำหน่าย 22 กิโลโวลต์ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

ผู้วิจัย: นายธนวิชญ์ ศรีดวงคำ, วิทยานิพนธ์: วศ.ม. (วิศวกรรมไฟฟ้า), มหาวิทยาลัยพะเยา, 2559

ประธานที่ปรึกษา: รองศาสตราจารย์ ดร.เชวต์ศักดิ์ รักเป็นไทย, **กรรมการที่ปรึกษา:** ผู้ช่วยศาสตราจารย์

ดร.จงลักษณ์ พาหะชา และ ดร.สุรพล ดำรงกิตติกุล

คำสำคัญ: การประมาณสถานะ, ระบบจำหน่าย, การลดรูปโครงข่าย

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการประมาณค่าสถานะในระบบจำหน่ายแบบรัศมี ระบบจำหน่ายขนาด 22 กิโลโวลต์ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค จังหวัดพิษณุโลก จะถูกใช้เป็นระบบทดสอบ เทคนิคการลดขนาดโครงข่ายใช้ทฤษฎีโครงข่ายสองพอร์ตบนพื้นฐานพารามิเตอร์ ABCD ของสายส่ง เพื่อลดจำนวนบัส จะสังเกตได้อย่างชัดเจนว่า จำนวนของเครื่องวัดที่ทำให้ระบบสามารถสังเกตการณ์ได้สามารถลดจำนวนลงได้โดยใช้เทคนิคการลดรูปที่นำเสนอ ขั้นตอนวิธีการประมาณสถานะใช้วิธีวิธีกำลังสองน้อยสุดถ่วงน้ำหนักได้รับการพัฒนาขึ้นบนโปรแกรมคอมพิวเตอร์

ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่า วิธีประมาณสถานะที่นำเสนอให้ผลการประมาณสถานะได้อย่างแม่นยำ ขนาดแรงดันและมุมเฟสที่ได้จากการประมาณสามารถใช้คำนวณกระแส กำลังสูญเสียบนสายส่งแต่ละเส้นได้ และยังสามารถใช้คำนวณหาภาระไฟฟ้าในแต่ละบัสได้ นอกจากนี้ ผลการทดสอบพบว่า ตำแหน่ง ชนิด และจำนวนของเครื่องวัด จะส่งผลต่อความแม่นยำของค่าสถานะที่ประมาณได้

Title: STATE ESTIMATION FOR 22 KV DISTRIBUTION SYSTEM OF PROVINCIAL ELECTRICITY AUTHORITY

Author: Tanawit Sriduangkham, Thesis: M.Eng (Electrical Engineering), University of Phayao, 2016

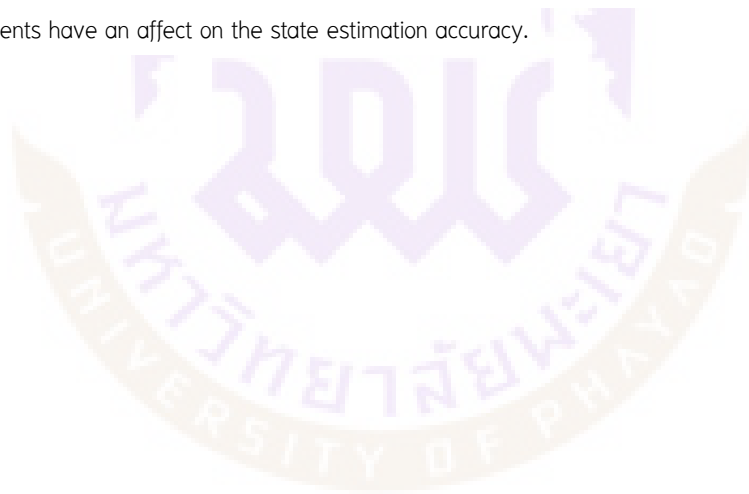
Advisor: Associate Professor Dr. Chawasak Rakpenthai, **Co–advisor:** Assistant Professor Dr. Jonglak Pahasa,
Dr. Surapol Dumronggittigule

Keywords: State estimation, Distribution system, Network reduction

ABSTRACT

The purpose of this thesis is to study state estimation of a radial distribution network. The 22–kV distribution system of Phitsanulok branch of the Provincial Electricity Authority is used as a test system. A network reduction technique based on two–port network theory using ABCD parameters method is proposed to reduce the number of buses. The number of the measurements for making the system fully observable can be decreased by using the proposed reduction technique. A state estimation algorithm using the weighted least squares method has been developed in computer program environment.

Numerical experiment results show that the proposed state estimation method yields the accurate estimated states. The magnitude voltages and the phase angles obtained from the estimation can be used to calculate the branch currents and the power losses in each transmission line. Load power at each bus can also be computed. Moreover, it was found that the numbers, the positions, and the types of the measurements have an affect on the state estimation accuracy.



สารบัญ

บทที่	หน้า
1 บทนำ	1
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
สมมติฐานของการวิจัย.....	2
ขอบเขตของการวิจัย	2
ประโยชน์ที่จะได้รับการวิจัย	2
ระเบียบวิธีวิจัย.....	3
สรุปสาระสำคัญของเอกสารที่เกี่ยวข้อง	4
2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	7
การประมาณสถานะ.....	7
สมการการวัด	7
การหาผลเฉลย	9
การวิเคราะห์ข้อมูลไม่ดี	10
การลดรูปโครงข่าย.....	12
3 ระบบทดสอบ	18
ระบบจำหน่าย 22 กิโลโวลต์.....	18
ระบบที่ได้จากการลดรูปโครงข่าย.....	37

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
4 ผลการจำลอง.....	47
การทดสอบผลกระทบของเครื่องวัด.....	47
การทดสอบข้อมูลไม่ดี.....	54
การประมาณภาระไฟฟ้า.....	58
การประมาณกำลังสูญเสียในสายส่ง.....	61
5 บทสรุป.....	65
สรุปผลการวิจัย.....	65
ปัญหาและข้อเสนอแนะ.....	66
บรรณานุกรม.....	67
ภาคผนวก.....	70
ภาคผนวก ก โปรแกรม PSS/Adept 5.0.....	71
ภาคผนวก ข ผลการรันโปรแกรม PSS/Adept 5.0.....	81
ประวัติผู้วิจัย.....	93

สารบัญตาราง

ตาราง		หน้า
1	แสดงระยะเวลาดำเนินการวิจัย	3
2	แสดงข้อมูลของระบบตัวอย่าง ขนาด 3 บัส	14
3	แสดงละเอียดของชนิดสายตัวนำระบบจำหน่าย ขนาด 84 บัส	20
4	แสดงข้อมูลพารามิเตอร์สายส่งระบบจำหน่าย ขนาด 84 บัส	21
5	แสดงภาระไฟฟ้าที่บัสต่าง ๆ ของระบบจำหน่าย ขนาด 84 บัส	25
6	แสดงพารามิเตอร์สายส่งระบบจำหน่ายขนาด 84 บัสในระบบต่อหน่วย	29
7	แสดงแรงดันบัสของระบบจำหน่ายขนาด 84 บัสจากโปรแกรม PSS/Adept5.0....	33
8	แสดงเปรียบเทียบชื่อบัสใหม่และชื่อบัสเดิม	38
9	แสดงพารามิเตอร์สายส่งที่ลดรูปโครงข่ายเหลือ 40 บัส.....	39
10	แสดงพารามิเตอร์สายส่งที่ลดรูปโครงข่ายเหลือ 40 บัส ในระบบต่อหน่วย	41
11	แสดงภาระไฟฟ้าที่บัสต่าง ๆ ของระบบจำหน่ายที่ลดรูปเหลือ 40 บัส.....	43
12	แสดงแรงดันบัสของระบบของระบบจำหน่ายที่ลดรูปเหลือ 40 บัส.....	45
13	แสดงระบบการวัดเซตที่ 1.....	49
14	แสดงระบบการวัดเซตที่ 2	49
15	แสดงการทดสอบข้อมูลไม่ดีเครื่องวัดแรงดัน กรณีใช้เครื่องวัดเซตที่ 1.....	55
16	แสดงการทดสอบข้อมูลไม่ดีเครื่องวัดแรงดัน กรณีใช้เครื่องวัดเซตที่ 2.....	55
17	แสดงตัวอย่างผลการทดสอบข้อมูลไม่ดีเครื่องวัดกำลังจริง กรณีใช้เครื่องวัด เซตที่ 1.....	56
18	แสดงตัวอย่างผลการทดสอบข้อมูลไม่ดีเครื่องวัดกำลังจริง กรณีใช้เครื่องวัด เซตที่ 2	56
19	แสดงตัวอย่างผลการทดสอบข้อมูลไม่ดีเครื่องวัดกำลังรีแอกทีฟ กรณีใช้เครื่องวัดเซตที่ 1.....	57
20	แสดงตัวอย่างผลการทดสอบข้อมูลไม่ดีเครื่องวัดกำลังรีแอกทีฟ กรณีใช้เครื่องวัดเซตที่ 2	57
21	แสดงภาระไฟฟ้าจริงและภาระไฟฟ้าที่ประมาณได้.....	59
22	แสดงกำลังสูญเสียในสายส่ง	63

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตาราง	หน้า
23 แสดงแรงดันบัลที่ประมาณได้	83
24 แสดงแรงดันบัลต่อหน่วยที่ประมาณได้.....	85
25 แสดงมุมเฟสที่ประมาณได้.....	87
26 แสดงกำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้าที่ประมาณได้	89
27 แสดงกระแสที่ไหลในสายส่งที่ประมาณได้	91



สารบัญภาพ

ภาพ	หน้า
1 แบบจำลองสายส่ง.....	8
2 แบบจำลองสายส่งวงจรสมมูลแบบ π โมเดล	11
3 แบบจำลองสายส่งโครงข่ายสองพอร์ต ABCD พารามิเตอร์.....	12
4 การต่อเรียงกันของโครงข่ายสองพอร์ต ABCD พารามิเตอร์.....	12
5 ระบบตัวอย่าง ขนาด 3 บัส.....	13
6 ระบบ ขนาด 2 บัส ที่ได้จากการลดรูปโครงข่าย.....	17
7 ระบบจำหน่าย 22 กิโลโวลต์ วงจรย่อยที่ 1 เฟส A.....	19
8 ระบบจำหน่าย 22 กิโลโวลต์ ที่ลดรูปโครงข่าย	37
9 ขนาดแรงดัน กรณีใช้เครื่องวัดเซตที่ 1.....	50
10 มุมเฟส กรณีใช้เครื่องวัดเซตที่ 1	50
11 ค่าผิดพลาดสัมบูรณ์ของขนาดแรงดัน กรณีใช้เครื่องวัดเซตที่ 1	51
12 ค่าผิดพลาดสัมบูรณ์ของมุมเฟส กรณีใช้เครื่องวัดเซตที่ 1.....	51
13 ขนาดแรงดัน กรณีใช้เครื่องวัดเซตที่ 2	52
14 มุมเฟส กรณีใช้เครื่องวัดเซตที่ 2.....	52
15 ค่าผิดพลาดสัมบูรณ์ของขนาดแรงดัน กรณีใช้เครื่องวัดเซตที่ 2.....	53
16 ค่าผิดพลาดสัมบูรณ์ของมุมเฟส กรณีใช้เครื่องวัดเซตที่ 2	53
17 ระบบ ขนาด 3 บัส ที่มีภาระไฟฟ้า	58
18 กำลังจริงที่สูญเสียในสายส่ง	61
19 กำลังรีแอกทีฟที่สูญเสียในสายส่ง	62
20 กระแสที่ไหลในสายส่ง	62
21 การเปิดแฟ้มข้อมูลเครือข่ายวงจรไฟฟ้าที่ได้มาจากการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค.....	72
22 โครงข่ายแบบเรเดียล.....	72
23 การเรียกดูรายงานข้อมูลต่าง ๆ ของโครงข่าย	73
24 ตารางรายงานของเมนู Power Flow Summary	73
25 ตารางรายงานของเมนู Branch Power	74

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพ	หน้า
26 ตารางรายงานของเมนู Node Voltage.....	74
27 ปุ่ม Node ที่แถบเครื่องมือเพื่อใช้จำลองเป็นบัสไฟฟ้า ทั้ง 84 บัส	75
28 Node Properties.....	76
29 ปุ่ม Line ที่แถบเครื่องมือเพื่อใช้จำลองเป็นสายส่งไฟฟ้าทั้ง 83 เส้น	77
30 Line Properties.....	77
31 ปุ่ม Source ที่แถบเครื่องมือเพื่อใช้จำลองเป็นแหล่งจ่ายแรงดัน	78
32 Source Properties	78
33 Load Properties	79
34 แผนภาพเส้นเดียวระบบไฟฟ้าที่จำลองขึ้น	80
35 ตัวอย่างผลการรันแผนภาพเส้นเดียวระบบไฟฟ้าที่จำลองขึ้นแบบ upstream	81
36 ตัวอย่างผลการรันแผนภาพเส้นเดียวระบบไฟฟ้าที่จำลองขึ้นแบบ downstream ...	81
37 ผลการรันแผนภาพเส้นเดียวระบบไฟฟ้าที่จำลองขึ้น.....	82



บทที่ 1

บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ระบบจำหน่ายไฟฟ้า 22 กิโลโวลต์ ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค จะซื้อกระแสไฟฟ้าจากการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยเพื่อมาจำหน่ายให้แก่ผู้ใช้ไฟ โดยผ่านสายส่งตัวนำไฟฟ้า การจ่ายกระแสไฟฟ้าในท้องที่ห่างไกลเกิดภาวะแรงดันไฟฟ้าตกปลายสาย เกิดปัญหากระแสไฟฟ้าตก ไฟฟ้าดับในระบบจำหน่ายอยู่เป็นประจำ การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคจึงดำเนินการก่อสร้างสถานีไฟฟ้า ปรับปรุงเพิ่มประสิทธิภาพการจ่ายไฟฟ้า โดยก่อสร้างสายจำหน่ายเพิ่มเติม และเปลี่ยนขนาดสายให้ใหญ่ขึ้นเพื่อเพิ่มสมรรถนะในการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้เพียงพอกับความต้องการใช้ไฟฟ้าในภาคธุรกิจและภาคอุตสาหกรรม มีการพัฒนานำวิทยาการและเทคโนโลยีที่ทันสมัยมาใช้ในการบริหารจัดการระบบจำหน่ายไฟฟ้าที่มีขนาดใหญ่และซับซ้อนมากขึ้นทุกขณะ ด้วยเครื่องประมวลผลที่ทันสมัยและมีประสิทธิภาพสูง สามารถจัดเก็บข้อมูลระบบจำหน่าย วิเคราะห์ระบบจำหน่าย รวมทั้งมีระบบควบคุมสั่งการจ่ายไฟฟ้าแบบอัตโนมัติที่เรียกว่า SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) มาใช้ควบคุมระบบการจ่ายไฟฟ้า การถ่ายเทโหลด และการแก้ไขไฟฟ้าขัดข้องให้คืนสภาพปกติได้อย่างรวดเร็ว ในระบบจำหน่ายของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคโดยส่วนใหญ่จะเป็นแบบรัศมี การไหลของกำลังไฟฟ้าจะไปในทิศทางเดียว มีการติดตั้งเครื่องวัดที่ตำแหน่งต่าง ๆ ในระยะไกล

แม้ว่าระบบ SCADA จะสามารถให้ข้อมูลจากการวัด แต่เครื่องวัดก็อาจให้ค่าที่คลาดเคลื่อนอันเนื่องมาจากการติดตั้ง การปรับตั้งเครื่องมือวัด และสัญญาณรบกวน นอกจากนี้สถานะของระบบในบางตำแหน่งยังไม่สามารถวัดค่าได้เนื่องจากข้อจำกัดในการติดตั้งเครื่องวัดหรือเครื่องวัดมีราคาแพง

กำลังไฟฟ้าที่ไหลในสายส่งและกำลังสูญเสียที่เกิดขึ้นในสายส่งแต่ละเส้นเป็นข้อมูลที่มีความสำคัญในการวางแผนจ่ายกำลังไฟฟ้าและปรับปรุงโครงข่ายระบบไฟฟ้าให้สามารถจ่ายพลังงานไฟฟ้าได้อย่างต่อเนื่องและเกิดความสูญเสียพลังงานไฟฟ้าให้น้อยที่สุด การใช้เครื่องวัดเพื่อวัดค่ากำลังไฟฟ้าที่ไหลและค่าความสูญเสียในสายทุกเส้นนั้นต้องใช้งบประมาณลงทุนจำนวนมากและไม่คุ้มค่า

งานวิจัยนี้จะนำเสนอตัวประมาณสถานะสำหรับการใช้ในการประมาณหาสถานะต่าง ๆ

ในระบบจำหน่าย 22 กิโลโวลต์ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค จังหวัดพิษณุโลก สถานีไฟฟ้าพิษณุโลก 1 โดยสถานีไฟฟ้าพิษณุโลก 1 นั้น จะรับไฟจากการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแล้วมาจำหน่ายไฟฟ้าให้แก่ผู้ใช้ไฟออกเป็น 10 วงจรย่อย และได้เลือกวงจรรย่อยที่ 1 มาศึกษาในงานวิจัยนี้ โดยค่าสถานะแรงดันที่ประมาณได้ยังสามารถนำไปใช้ในการประมาณภาระไฟฟ้า กำลังไฟฟ้าที่ไหลในสายส่ง และกำลังสูญเสียที่เกิดขึ้นในสายส่ง นอกจากนี้ตัวประมาณสถานะที่นำเสนอยังสามารถใช้ในการศึกษาการจัดวางตำแหน่งเครื่องวัดที่เหมาะสมและหาตำแหน่งเครื่องวัดไม่ได้

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาการประมาณสถานะในระบบไฟฟ้ากำลังของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค
2. เพื่อศึกษาการประยุกต์ใช้การประมาณสถานะสำหรับประมาณภาระไฟฟ้าและกำลังสูญเสียในระบบไฟฟ้ากำลังของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค
3. เพื่อศึกษาปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อค่าสถานะที่ประมาณได้ในระบบไฟฟ้ากำลัง

สมมติฐานของการวิจัย

1. ความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ระหว่างข้อมูลการวัดจากเครื่องวัดและข้อมูลพารามิเตอร์ของสายส่งสามารถนำมาสร้างความสัมพันธ์เพื่อใช้ประมาณสถานะการทำงานของระบบไฟฟ้ากำลังได้
2. หลักวิธีการประมาณสถานะสามารถช่วยบ่งชี้เครื่องวัดไม่ได้

ขอบเขตของการวิจัย

1. พัฒนาตัวประมาณสถานะของระบบไฟฟ้ากำลัง
2. ประมาณภาระไฟฟ้าและกำลังสูญเสียในระบบไฟฟ้ากำลัง
3. ระบบที่ใช้ทดสอบเป็นระบบจำหน่าย 22 กิโลโวลต์ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค เขต 2 (ภาคเหนือ) สถานีไฟฟ้าย่อย 1

ประโยชน์ที่จะได้รับการวิจัย

1. ได้ตัวประมาณสถานะสำหรับระบบจำหน่ายของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค เขต 2 (ภาคเหนือ) สถานีไฟฟ้าย่อย 1
2. ค่าสถานะที่ประมาณได้สามารถนำไปใช้ประมาณภาระไฟฟ้าและกำลังสูญเสียในระบบไฟฟ้ากำลังได้
3. ทราบถึงปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อความแม่นยำของตัวแปรสถานะที่ประมาณได้

ระเบียบวิธีการวิจัย

แผนการดำเนินการวิจัย

1. ศึกษาทฤษฎีเกี่ยวกับการประมาณสถานะในระบบไฟฟ้ากำลัง
2. เก็บและรวบรวมข้อมูลระบบจำหน่ายของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคเขต 2 (ภาคเหนือ)

สถานีไฟฟ้าย่อย 1

3. พัฒนาโปรแกรมตัวประมาณค่าสถานะบนเครื่องคอมพิวเตอร์
4. ทดสอบและปรับปรุงตัวประมาณค่าสถานะ
5. วิเคราะห์ผลลัพธ์ที่ได้
6. วิจัยและสรุปผลการวิจัย
7. จัดทำวิทยานิพนธ์

ระยะเวลาดำเนินการวิจัย

ใช้ระยะเวลาในการดำเนินการวิจัย 6 เดือน ดังรายละเอียดในตาราง 1

ตาราง 1 ระยะเวลาดำเนินการวิจัย

การดำเนินการวิจัย	ระยะเวลา (เดือนที่)					
	1	2	3	4	5	6
1. ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	↔					
2. เก็บและรวบรวมข้อมูลของระบบ	↔	↔				
3. พัฒนาโปรแกรมบนเครื่องคอมพิวเตอร์			↔	↔		
4. ทดสอบและปรับปรุงตัวประมาณสถานะ			↔	↔		
5. วิเคราะห์ผลลัพธ์				↔	↔	
6. วิจัยและสรุปผลการวิจัย				↔	↔	
7. จัดทำวิทยานิพนธ์						↔

สถานที่ที่ใช้ในการดำเนินการวิจัยและรวบรวมข้อมูล

1. สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา
2. การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค เขต 2 (ภาคเหนือ) จังหวัดพิษณุโลก

สรุปสาระสำคัญของเอกสารที่เกี่ยวข้อง

ชลากร สุวรรณสิทธิ์ [1] ได้ศึกษาและวิเคราะห์ความแม่นยำของผลเฉลยที่ได้จากการประมาณสถานะ โดยใช้เทคนิคกำลังสองน้อยที่สุดที่ถูกถ่วงน้ำหนัก โดยทดสอบบนระบบการไฟฟ้านครหลวง จำนวน 7 สถานี ขนาด 35 บัส ซึ่งผลที่ได้แสดงให้เห็นว่า ค่าสัมบูรณ์ของเปอร์เซ็นต์ผิดพลาดและค่าสัมบูรณ์เฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ผิดพลาด จะใช้บ่งชี้ถึงความแม่นยำของผลเฉลยที่ได้จากการประมาณสถานะ ซึ่งความแม่นยำของผลเฉลยจะขึ้นอยู่กับความถูกต้องของค่าที่วัด จำนวน ตำแหน่ง ชนิดของเครื่องวัดที่ติดตั้ง

สุภาวดี สุวรรณรัตน์ [2] ได้เสนอการประมาณค่าสถานะใน 3 ลักษณะ คือ (1) วิเคราะห์จำนวนและตำแหน่งของหน่วยปลายทางระยะไกล (Remote Terminal Unit หรือ RTU) ที่ติดตั้งในระบบไฟฟ้าแล้วบางส่วน โดยใช้วิธีการแยกตัวประกอบสามเหลี่ยมมุมฉาก ในกรณีค่าวัดไม่เพียงพอต่อการประมาณค่าสถานะจะสามารถระบุตำแหน่งติดตั้ง RTU ได้สะดวกและรวดเร็ว (2) ทดลองประมาณค่าสถานะจากค่าวัดโดยจำลองขึ้นจากผลการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้ารวมกับความคลาดเคลื่อนแบบสุ่ม การหารูปแบบการติดตั้ง RTU ใช้อัลกอริทึมทางพันธุกรรมช่วยในการสุ่ม โดยทดลองกับกรณีศึกษาระบบทดสอบ IEEE ขนาด 14 บัส, 30 บัส และระบบ 115 กิโลโวลต์ ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ขนาด 49 บัส (3) วิเคราะห์การประมาณค่าสถานะเมื่อเกิดการชำรุดเสียหายของเครื่องวัด ณ ตำแหน่งต่าง ๆ ผลการวิเคราะห์พบว่า จำนวนและตำแหน่งการติดตั้ง RTU มีผลต่อการประมาณค่าสถานะ

เชวศักดิ์ รักเป็นไทย และเสริมศักดิ์ เอื้อตรงจิตต์ [3] ได้เสนอการศึกษาผลกระทบของการติดตั้งเครื่องวัดเฟสเซอร์เข้าจังหวะในการประมาณค่าสถานะของระบบไฟฟ้ากำลังที่มีระบบการส่งไฟฟ้ากระแสสลับที่มีความยืดหยุ่น โดยประยุกต์วิธีการประมาณค่าสถานะของระบบไฟฟ้าให้สามารถมีระบบการวัดที่มีการติดตั้งเครื่องวัดเฟสเซอร์ร่วมกับเครื่องวัดแบบเดิม โดยพัฒนาบนโปรแกรม MATLAB และทดสอบกับกรณีศึกษาระบบทดสอบ IEEE ขนาด 14 บัสที่ติดตั้งระบบการส่งไฟฟ้ากระแสสลับที่มีความยืดหยุ่นหลายชนิด ทดสอบโดยใช้การจำลองมอนติคาร์โล (Monte Carlo) จำนวน 500 รอบ ทั้งในกรณีที่ใช้ระบบการวัดเฉพาะเครื่องวัดแบบเดิมและมีการใช้เครื่องวัดเฟสเซอร์เข้าจังหวะทดแทนเครื่องวัดแบบเดิมในบางตำแหน่ง ผลการทดสอบพบว่า การติดตั้งเครื่องวัดเฟสเซอร์ ในตำแหน่งที่เหมาะสมจะช่วยปรับปรุงความแม่นยำของตัวแปรสถานะทั้งของวงจรจ่ายและระบบการส่งไฟฟ้ากระแสสลับที่มีความยืดหยุ่นของตัวประมาณสถานะ นอกจากนี้ยังช่วยปรับปรุงสมรรถนะการลู่เข้าหาผลเฉลยได้

กิตติชัย ศรีมูล [4] ได้ศึกษาแนวทางปรับปรุงการประมาณสถานะระบบกำลังไฟฟ้าใช้เทคนิคการวัดสมมูล โดยเพิ่มการพิจารณาความไม่เป็นอิสระต่อกันของการวัดสมมูล ทดสอบกับกรณีศึกษาระบบทดสอบ IEEE ขนาด 14 บัส, 30 บัส, 57 บัส, 118 บัส และ 300 บัส และเปรียบเทียบกับการใช้เทคนิคการวัดสมมูลเดิมซึ่งถือว่าการวัดสมมูลเป็นอิสระต่อกัน และวิธีการประมาณสถานะระบบกำลังไฟฟ้าแบบดั้งเดิมซึ่งใช้ข้อมูลการวัดกำลังไฟฟ้า การศึกษาใช้ฟังก์ชันจุดประสงค์ 4 วิธี คือ (1) วิธีกำลังสองน้อยสุดถ่วงน้ำหนัก, (2) วิธีค่าสัมบูรณ์น้อยสุดถ่วงน้ำหนัก, (3) วิธีกำลังสองเชิงเส้น, (4) วิธีรากที่สอง โดยเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของความคลาดเคลื่อนของตัวแปรสถานะที่ประมาณได้ และเวลาที่ใช้ในการประมวลผล จากผลการทดสอบ พบว่า วิธีที่นำเสนอให้ลักษณะของฮิสโทแกรมของความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย กรณี กรณีศึกษาระบบทดสอบ IEEE ขนาด 300 บัส คล้ายคลึงกับผลจากการคำนวณด้วยวิธีดั้งเดิมมากกว่าแต่ยังคงใช้เวลาในการประมวลผลน้อยกว่าวิธีดั้งเดิม ฟังก์ชันจุดประสงค์วิธีรากที่สองเหมาะสมที่สุด เพราะมีความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยต่ำที่สุดและใช้เวลาประมวลผลน้อยเป็นอันดับสอง สำหรับฟังก์ชันจุดประสงค์วิธีกำลังสองน้อยสุดถ่วงน้ำหนักให้การประมวลผลเร็วที่สุดแต่มีความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยมากที่สุด

Wu, He and Jenkins [5] ได้เสนอการประมาณสถานะสำหรับโครงข่ายจำหน่ายแรงดันขนาดกลาง โดยใช้เทคนิคกำลังสองน้อยที่สุดที่ถูกถ่วงน้ำหนัก และทดสอบกับกรณีศึกษาระบบทดสอบ ขนาด 33 บัส ผลลัพธ์ที่ได้แสดงให้เห็นว่า ค่าสัมบูรณ์เฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ผิดพลาดจะขึ้นอยู่กับความผิดพลาดในการวัด ชนิด ตำแหน่ง และความถูกต้องของเครื่องวัด รวมไปถึงความเชื่อถือได้ของระบบติดต่อสื่อสารของเครื่องวัด

Hansenc and Debs [6] ได้ประยุกต์การประมาณสถานะแบบ 3 เฟส ไม่สมดุล โดยใช้เทคนิคกำลังสองน้อยที่สุดที่ถูกถ่วงน้ำหนัก โดยทดสอบกับกรณีศึกษาระบบโครงข่ายสายส่งไฟฟ้าแรงสูงขนาด 10 บัส และระบบจำหน่ายแบบเรเดียล ขนาด 14 บัส แล้วเปรียบเทียบผลลัพธ์กับการประมาณสถานะแบบ 1 เฟสในสภาวะแบบต่าง ๆ เพื่อนำผลการทดสอบที่ถูกปรับปรุงให้ถูกต้องที่สุดไปใช้กับระบบสายส่งไฟฟ้าแรงสูงและระบบจำหน่ายจริง

Thukaram, Jerome and Surapong [7] ได้เสนอการประมาณสถานะแบบ 3 เฟสสำหรับโครงข่ายจำหน่ายแบบเรเดียล ใช้เทคนิคการเผยแพร่แบบไปข้างหน้าและย้อนกลับ (forward and backward propagation scheme) ในการประมาณค่ากำลังไฟฟ้าที่ไหลในสายส่ง แรงดันโหนดและโหนดที่บัสต่าง ๆ โดยได้ทำการทดสอบกับระบบจำหน่ายแบบเรเดียล ขนาด 19 บัส เปรียบเทียบข้อมูลในกรณีต่าง ๆ ซึ่งผลที่ได้แสดงให้เห็นว่า ข้อมูลไม่ดีที่ได้รับจากเครื่องวัดเป็น

ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อความถูกต้องและแม่นยำของตัวแปรสถานะที่ประมาณได้

Haughton and Heydt [8] เสนอการประมาณสถานะเชิงเส้นแบบ 3 เฟสไม่สมดุลงสำหรับระบบจำหน่ายอัจฉริยะ โดยพัฒนาจากเทคนิคกำลังสองน้อยที่สุดที่ถูกถ่วงน้ำหนัก ทดสอบกับระบบกรณีศึกษาที่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและหม้อแปลง เพื่อช่วยในการตรวจสอบระบบควบคุมของระบบกริดอัจฉริยะ โดยรวมข้อมูลจากมิเตอร์อัจฉริยะและหน่วยเครื่องวัดเฟสเซอร์ในส่วนระดับจำหน่ายของระบบ ในการประมาณการดำเนินการแสดงบนช่วงของเงื่อนไขโหลด ตัวอย่างที่แสดงอาศัยผลการวัดที่เชื่อถือได้ในการปรับปรุงความถูกต้องในขนาดแรงดันและมุมที่ประมาณได้ ซึ่งช่วยให้ค่าคลาดเคลื่อนขนาดกระแสลดลงจาก 15 เปอร์เซ็นต์ ไปเป็น 4 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้น การปรับมุมเฟสที่ประมาณได้จึงมีผลต่อความแม่นยำในการประมาณสถานะ

Jane and Raman [9] ได้เสนอการประยุกต์การประมาณสถานะระบบไฟฟ้ากำลังเพื่อประมาณค่าพารามิเตอร์วงจรสมมูลแบบพาย (π) ของสายส่งบางเส้น โดยพิจารณาผลกระทบต่อความคลาดเคลื่อนระหว่างบัสและความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากหม้อแปลงไฟฟ้า ผลลัพธ์ที่ได้แสดงให้เห็นว่า สถานะที่ประมาณได้มีความคลาดเคลื่อนลดลง

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

การประมาณสถานะ

การประมาณสถานะในระบบไฟฟ้า คือ การประมาณค่าสถานะและปริมาณทางไฟฟ้าที่ไม่ทราบค่า ณ ตำแหน่งต่าง ๆ ของระบบไฟฟ้า อาทิเช่น ค่ามุมเฟส ขนาดแรงดันบัลส์ กำลังไฟฟ้าที่บัลส์ กำลังไฟฟ้าที่ไหลในสายส่ง กระแสที่ไหลในสายส่ง รวมไปถึงกำลังไฟฟ้าที่สูญเสียในระบบ โดยค่าที่ประมาณได้ควรมีค่าใกล้เคียงกันค่าจริงของระบบ จึงจะเป็นการประมาณค่าสถานะที่แม่นยำและเชื่อถือได้

สมการการวัด

การประมาณสถานะระบบไฟฟ้ากำลังนั้น สมการการวัดและตัวแปรสถานะมีรูปแบบความสัมพันธ์ไม่เชิงเส้น แสดงได้ดังนี้

$$z = h(x) + \varepsilon \quad (2.1)$$

โดยที่ $h(x)$ คือ ฟังก์ชันการวัด

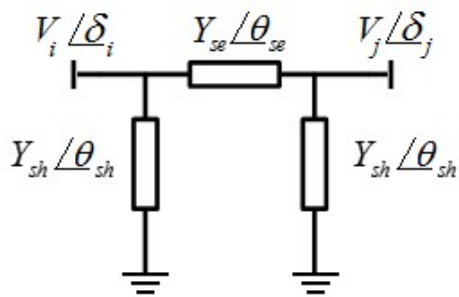
x คือ เวกเตอร์ของตัวแปรสถานะที่ต้องการประมาณค่า

z คือ เวกเตอร์ของค่าการวัด

ε คือ เวกเตอร์ของความผิดพลาดในการวัด

สมการการวัดของขนาดแรงดันที่บัลส์ จะเป็นความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันบัลส์และค่าผิดพลาดในการวัด เขียนสมการแสดงดังนี้

$$V_i^{meas} = V_i + \varepsilon_{v_i} \quad (2.2)$$



ภาพ 1 แบบจำลองสายส่ง

โดยที่ V_i^{meas} คือ ค่าแรงดันที่วัดได้จากบัส i

V_i คือ แรงดันบัสที่ i

ε_{V_i} คือ ค่าแรงดันผิดพลาดในการวัดที่บัส i

สมการการวัดของกำลังไฟฟ้าจริงที่ไหลในสาย แบบจำลองสายส่งวงจรมูลแบบ π โมเดล สามารถเขียนสมการของการวัดของกำลังไฟฟ้าที่ไหลระหว่าง บัส i ไปยังบัส j ได้ดังนี้

$$P_{ij}^{meas} = V_i^2 [Y_{se} \cos \theta_{se} + Y_{sh} \cos \theta_{sh}] - V_i V_j Y_{se} \cos (\delta_j - \delta_i - \theta_{se}) + \varepsilon_{P_{ij}} \quad (2.3)$$

โดยที่ P_{ij}^{meas} คือ กำลังไฟฟ้าจริงที่ไหลระหว่างบัส i และบัส j ที่วัดได้

Y_{se} คือ ขนาดแอดมิตแตนซ์อนุกรมระหว่างบัส i และบัส j

Y_{sh} คือ ขนาดแอดมิตแตนซ์ขนาน

θ_{se} คือ มุมเฟสของแอดมิตแตนซ์อนุกรม

θ_{sh} คือ มุมเฟสของแอดมิตแตนซ์ขนาน

δ_i คือ มุมเฟสของแรงดันที่บัส i

δ_j คือ มุมเฟสของแรงดันที่บัส j

$\varepsilon_{P_{ij}}$ คือ ค่าผิดพลาดในการวัดกำลังไฟฟ้าจริงระหว่างบัส i และบัส j

สมการการวัดของกำลังไฟฟ้าจินตภาพที่ไหลในสาย แบบจำลองสายส่งวงจรมุมมอดแบบ π โมเดล สามารถเขียนสมการของการวัดของกำลังไฟฟ้าที่ไหลระหว่างบัส i ไปยังบัส j ได้ดังนี้

$$Q_{ij}^{meas} = -V_i^2 [Y_{se} \sin \theta_{se} + Y_{sh} \sin \theta_{sh}] - V_i V_j Y_{se} \sin(\delta_j - \delta_i - \theta_{se}) + \varepsilon_{Q_{ij}} \quad (2.4)$$

โดยที่ Q_{ij}^{meas} คือ กำลังไฟฟ้าจินตภาพที่ไหลระหว่างบัส i และบัส j ที่วัดได้

Y_{se} คือ ขนาดแอดมิตแตนซ์อนุกรมระหว่างบัส i และบัส j

Y_{sh} คือ ขนาดแอดมิตแตนซ์ขนาน

θ_{se} คือ มุมเฟสของแอดมิตแตนซ์อนุกรม

θ_{sh} คือ มุมเฟสของแอดมิตแตนซ์ขนาน

δ_i คือ มุมเฟสของแรงดันที่บัส i

δ_j คือ มุมเฟสของแรงดันที่บัส j

$\varepsilon_{Q_{ij}}$ คือ ค่าผิดพลาดในการวัดกำลังไฟฟ้าจินตภาพระหว่างบัส i และบัส j

การหาผลเฉลย

ปัญหาการประมาณค่าสถานะ การหาค่าเหมาะสมที่สุดโดยใช้หลักการกำลังสองน้อยสุดถ่วงน้ำหนัก (weighted least squares) ของการประมาณสถานะสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\text{minimize} [z - h(x)]^T R^{-1} [z - h(x)] \quad (2.5)$$

โดยที่ R คือ เมทริกซ์ความแปรปรวนร่วมเกี่ยว (covariance matrix) ของการวัดผลเฉลยของสมการที่ (2.5) สามารถหาได้ด้วยวิธีการคำนวณวนซ้ำ ดังนี้

$$\Delta x^k = (H^T R^{-1} H)^{-1} H^T R^{-1} (z - h(x^k)) \quad (2.6)$$

$$x^{k+1} = x^k + \Delta x^k \quad (2.7)$$

โดยที่ H คือ เมทริกซ์จาโคเบียนของ $h(x)$

ด้วย k แทนรอบการวนซ้ำที่ k

G คือ เมทริกซ์อัตราขยาย (gain matrix) ของการวัด ซึ่ง $G = H^T R^{-1} H$

สังเกตว่า การหาค่าตอบด้วยเทคนิควนซ้ำ ต้องกำหนดค่าแรกเริ่มของ x ซึ่งโดยทั่วไปจะเลือกให้ทุกบัลมีขนาดแรงดันเป็นหนึ่งต่อหน่วย (per unit) และมุมเฟสเป็นศูนย์องศา รอบการวนซ้ำจะสิ้นสุดเมื่อ $\|\Delta x\|_{\infty}$ มีค่าน้อยกว่า 10^{-5} ต่อหน่วย

การวิเคราะห์ข้อมูลไม่ดี

ตัวแปรสถานะจะมีความไม่น่าเชื่อถือถ้ามีข้อมูลการวัดที่ไม่ดีปนอยู่ ข้อมูลที่ไม่ดีอาจเกิดขึ้นจากความผิดพลาดของเครื่องมือวัด ระบบสื่อสารมีสัญญาณรบกวน ตัวแปรไม่ถูกต้อง และข้อมูลการต่อโครงข่ายไม่ถูกต้อง ซึ่งจะส่งผลให้การประมาณค่าสถานะขาดความน่าเชื่อถือ การวิเคราะห์ข้อมูลไม่ดีสามารถทดสอบได้โดยวิธีส่วนตกค้างปกติใหญ่สุด (Largest normalized residual method) ซึ่งเป็นวิธีการทดสอบที่มีประสิทธิภาพในกรณีที่เกิดข้อมูลไม่ดีขึ้น สมการเวกเตอร์ส่วนตกค้างเขียนได้ดังนี้

$$r_i = z_i - h_i(x) \quad (2.8)$$

โดยที่ $i = 1, \dots, m$

m คือ จำนวนของสมการการวัด

และเมทริกซ์ความแปรปรวนร่วมเกี่ยวของส่วนตกค้าง สามารถคำนวณได้จาก

$$\Omega = R^{-1} - HG^{-1}H^T \quad (2.9)$$

ส่วนตกค้างปกติถูกคำนวณหาโดย

$$r_i^N = \frac{|r_i|}{\sqrt{\Omega_{ii}}} \quad (2.10)$$

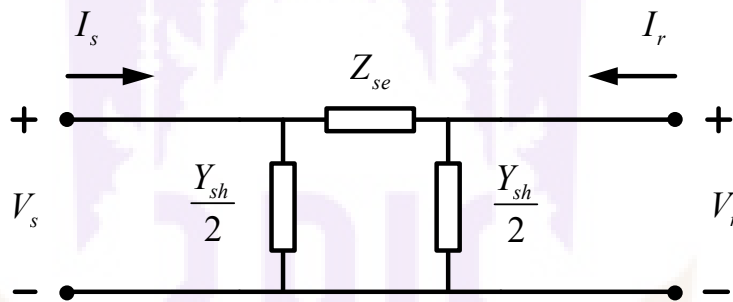
โดยมีเงื่อนไขการตรวจสอบข้อมูลไม่ดี คือ

ถ้าค่าสูงสุดของ $r_i^N > \beta$ แสดงว่า มีข้อมูลไม่ดีปนอยู่ในระบบ และ

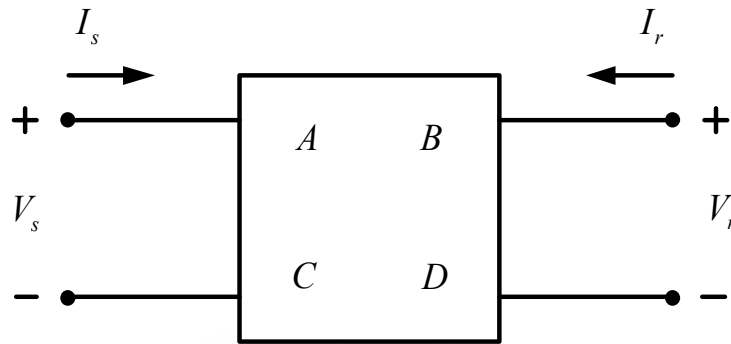
ถ้าค่าสูงสุดของ $r_i^N \leq \beta$ แสดงว่า ไม่มีข้อมูลไม่ดีปนอยู่ในระบบ

เมื่อ $i = 1, \dots, m$

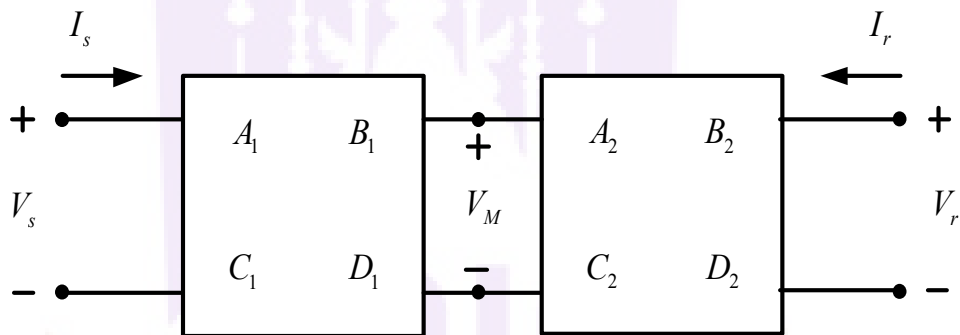
การหาค่าส่วนตกค้างปกติสูงสุด ถ้าค่าสูงสุดของส่วนตกค้างปกติสูงสุดมีค่าสูงกว่าค่าที่กำหนดก็แสดงว่ามีข้อมูลไม่ดีอยู่ในระบบ แต่ถ้าค่าสูงสุดของส่วนตกค้างปกติสูงสุดมีค่าต่ำกว่าค่าที่กำหนดก็แสดงว่าไม่มีข้อมูลไม่ดีอยู่ในระบบ ปกติค่าที่กำหนด $\beta = 3$



ภาพ 2 แบบจำลองสายส่งวงจรสมมูลแบบ π โมเดล



ภาพ 3 แบบจำลองสายส่งโครงข่ายสองพอร์ต ABCD พารามิเตอร์



ภาพ 4 การต่อเรียงกันของโครงข่ายสองพอร์ต ABCD พารามิเตอร์

การลดรูปโครงข่าย

การลดขนาดโครงข่าย สามารถใช้ขจัดบัสที่ไม่จำเป็นออก และช่วยลดจำนวนเครื่องวัดที่ต้องติดตั้ง ภาพ 2 วงจรสมมูลแบบ π โมเดล และภาพ 3 แสดงแบบจำลองสายส่งที่ใช้โครงข่ายสองพอร์ตแบบพารามิเตอร์ ABCD ในที่นี้ V_s เป็นแรงดันด้านส่งของสายส่ง I_s เป็นกระแสด้านส่งของสายส่ง และ V_r, I_r เป็นแรงดันและกระแสด้านรับของสายส่ง ตามลำดับ การลดรูปโครงข่ายใช้ทฤษฎีโครงข่ายสองพอร์ตของสายส่งบนพื้นฐานพารามิเตอร์ ABCD แสดงดังสมการที่ (2.11) โดยค่าอิมพีแดนซ์อนุกรม (Z_{se}) และค่าแอดมิตแตนซ์ขนาน (Y_{sh}) ของสายส่ง จะถูกใช้ในการคำนวณพารามิเตอร์ ABCD ของสายส่ง ดังสมการที่ (2.12) ถึง (2.15)

$$\begin{bmatrix} V_s \\ I_s \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V \\ -I_r \end{bmatrix} \quad (2.11)$$

โดยที่

$$A = 1 + \frac{Z_{se} Y_{sh}}{2} \quad (2.12)$$

$$B = Z_{se} \quad (2.13)$$

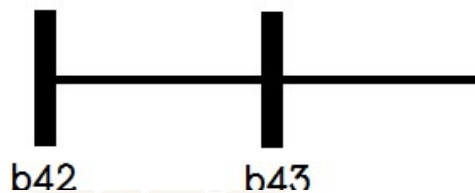
$$C = Y_{sh} \left(1 + \frac{Z_{se} Y_{sh}}{4} \right) \quad (2.14)$$

$$D = A \quad (2.15)$$

เราสามารถเขียนโครงข่ายสองพอร์ตบนพื้นฐานพารามิเตอร์ ABCD ของสายส่งสองเส้นต่อกัน ดังภาพ 4 และทำการลดรูปโครงข่ายให้เป็นดังภาพ 3 ได้ โดยคำนวณพารามิเตอร์ ABCD ดังนี้

$$\begin{bmatrix} V_s \\ I_s \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_1 & B_1 \\ C_1 & D_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A_2 & B_2 \\ C_2 & D_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V \\ -I_r \end{bmatrix} \quad (2.16)$$

ตัวอย่าง จากภาพที่ 5 มีสายส่งสองเส้นต่อเรียงกันแบบอนุกรม จะทำการลดรูปโครงข่ายโดยขจัดบัส b43 ออก ตาราง 2 แสดงข้อมูลของระบบตัวอย่าง ขนาด 3 บัส ในภาพ 5



ภาพ 5 ระบบตัวอย่าง ขนาด 3 บัส

ตาราง 2 ข้อมูลของระบบตัวอย่าง ขนาด 3 บัส

รายการ	บัส b42 ไปยัง b43	บัส b43 ไปยัง b44
ความยาวสาย (กิโลเมตร)	0.0921865	0.2992430
ความต้านทาน, R (โอห์ม/กิโลเมตร)	0.2106600	0.2106600
รีแอกแตนซ์, X (โอห์ม/กิโลเมตร)	0.2985860	0.2985860
ซัสเซปแตนซ์, B (ซีเมนส์/กิโลเมตร)	5.95×10^{-6}	5.95×10^{-6}
กำลังไฟฟ้าจริง (กิโลวัตต์)	783.34580	768.67030
กำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ (กิโลวาร์)	432.05790	423.92380
มุมเฟส (องศา)	-0.5473000	-0.5518000
ขนาดแรงดัน (ต่อหน่วย)	0.9839881	0.9838300

นำมาเขียนรูปในแบบโครงข่ายสองพอร์ตบนพื้นฐาน ABCD พารามิเตอร์ ได้ 2 ขั้นตอน ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 จาก บัส b42 ไปยังบัส b43

Z_{lse} มีค่าเท่ากับ ความยาวสาย (กิโลเมตร) \times อิมพีแดนซ์สายส่ง (โอห์ม/กิโลเมตร)

$$Z_{lse} = 0.0921865 \times (0.21066 + 0.298586i) = 0.0194 + 0.0275i \quad (\text{โอห์ม})$$

Y_{lsh} มีค่าเท่ากับ ความยาวสาย (กิโลเมตร) \times ซัสเซปแตนซ์สายส่ง (ซีเมนส์/กิโลเมตร)

$$Y_{lsh} = 0.0921865 \times (5.95 \times 10^{-6})i = 0 + 5.4851 \times 10^{-7}i \quad (\text{โอห์ม})$$

ต่อมา พารามิเตอร์ ABCD จะมีค่า

$$A_1 = 1 + \frac{Z_{lse} Y_{lsh}}{2} = 1.0000 + 0.0000i$$

$$B_1 = Z_{lse} = 0.0194 + 0.0275i$$

$$C_1 = Y_{lsh} \left(1 + \frac{Z_{lse} Y_{lsh}}{4} \right) = -1.4607 \times 10^{-15} + 5.4851 \times 10^{-7}i$$

$$D_1 = A_1 = 1.0000 + 0.0000i$$

เขียนเป็นเมทริกซ์ $\begin{bmatrix} A_1 & B_1 \\ C_1 & D_1 \end{bmatrix}$ ได้ดังนี้

$$\begin{bmatrix} A_1 & B_1 \\ C_1 & D_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1.0000 + 0.0000i & 0.1694 + 0.0275i \\ (-1.4607 \times 10^{-15} + 5.4851 \times 10^{-7}i) & 1.0000 + 0.0000i \end{bmatrix}$$

ขั้นตอนที่ 2 จาก บัส b43 ไปยังบัส b44

Z_{2se} มีค่าเท่ากับ ความยาวสาย (กิโลเมตร) \times อิมพีแดนซ์สายส่ง (โอห์ม/กิโลเมตร)

$$Z_{2se} = 0.299243 \times (0.21066 + 0.298586i) = 0.0630 + 0.0893i \quad (\text{โอห์ม})$$

Y_{2sh} มีค่าเท่ากับ ความยาวสาย (กิโลเมตร) \times ชั้สเซบแดนซ์สายส่ง (ซีเมนส์/กิโลเมตร)

$$Y_{2sh} = 0.299243 \times (5.95 \times 10^{-6})i = 0 + 1.7805 \times 10^{-6}i \quad (\text{โอห์ม})$$

ต่อมา พารามิเตอร์ ABCD จะมีค่า

$$A_2 = 1 + \frac{Z_{2se} Y_{2sh}}{2} = 1.0000 + 0.0000i$$

$$B_2 = Z_{2se} = 0.0630 + 0.0893i$$

$$C_2 = Y_{2sh} \left(1 + \frac{Z_{2se} Y_{2sh}}{4} \right) = -4.9961 \times 10^{-14} + 1.7805 \times 10^{-6}i$$

$$D_2 = A_2 = 1.0000 + 0.0000i$$

เขียนเป็นเมทริกซ์ $\begin{bmatrix} A_2 & B_2 \\ C_2 & D_2 \end{bmatrix}$ ได้ดังนี้

$$\begin{bmatrix} A_2 & B_2 \\ C_2 & D_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1.0000 + 0.0000i & 0.0630 + 0.0893i \\ (-4.9961 \times 10^{-14} + 1.7805 \times 10^{-6}i) & 1.0000 + 0.0000i \end{bmatrix}$$

เขียนโครงข่ายสองพอร์ตบนพื้นฐานพารามิเตอร์ ABCD ของสายส่งสองเส้นต่ออนุกรม

กัน (b42-b43 ต่อกับ b43-b44) จากเมทริกซ์ $\begin{bmatrix} A_1 & B_1 \\ C_1 & D_1 \end{bmatrix}$ และ $\begin{bmatrix} A_2 & B_2 \\ C_2 & D_2 \end{bmatrix}$ ดังภาพ 4

และทำการลดรูปโครงข่ายให้เป็นดังภาพ 3 ได้ โดยคำนวณพารามิเตอร์ ABCD ดังนี้

$$\begin{bmatrix} V_S \\ I_S \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_1 & B_1 \\ C_1 & D_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A_2 & B_2 \\ C_2 & D_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V \\ -I_r \end{bmatrix} \rightarrow \begin{bmatrix} V_S \\ I_S \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V \\ -I_r \end{bmatrix}$$

$$\text{และจะได้ } \begin{bmatrix} V_S \\ I_S \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1.0000 + 0.0000i & 0.0825 + 0.1169i \\ (1.0364 \times 10^{-13} + 2.3290 \times 10^{-6}i) & 1.0000 + 0.0000i \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V \\ -I_r \end{bmatrix}$$

$$\text{โดยที่ } \begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1.0000 + 0.0000i & 0.0825 + 0.1169i \\ (1.0364 \times 10^{-13} + 2.3290 \times 10^{-6}i) & 1.0000 + 0.0000i \end{bmatrix}$$

จากนั้นหาค่า อิมพีแดนซ์อนุกรม Z_{se} และค่าแอดมิตแตนซ์ขนาน Y_{sh} ใหม่ จาก

$$Z_{se} = B = 0.0825 + 0.1169i$$

$$\text{เนื่องจาก } A = 1 + \frac{Z_{se} Y_{sh}}{2}$$

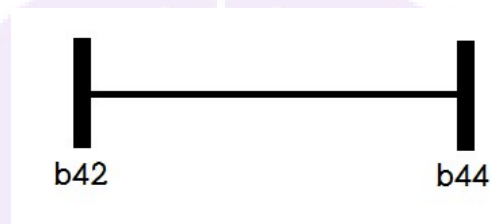
$$\text{เขียนใหม่จะได้ } Y_{sh} = \frac{2(A-1)}{Z_{se}}$$

แทนค่า A และ Z_{se} จะได้

$$Y_{sh} = \frac{2((1.0000 + 0.0000i) - 1)}{0.0825 + 0.1169i}$$

$$= 8.1754 \times 10^{-15} + 2.3290 \times 10^{-6}i$$

สังเกตว่า การลดรูปโครงข่ายของสายส่งสองเส้นต่ออนุกรมกันจะเหลือเป็นสายส่งเพียงเส้นเดียว ดังแสดงในภาพ 6 เราสามารถลดรูปโครงข่ายของสายส่งที่ต่ออนุกรมกันหลายๆ เส้นได้โดยวิธีทำนองเดียวกันนี้



ภาพ 6 ระบบ ขนาด 2 บัส ที่ได้จากการลดรูปโครงข่าย

บทที่ 3

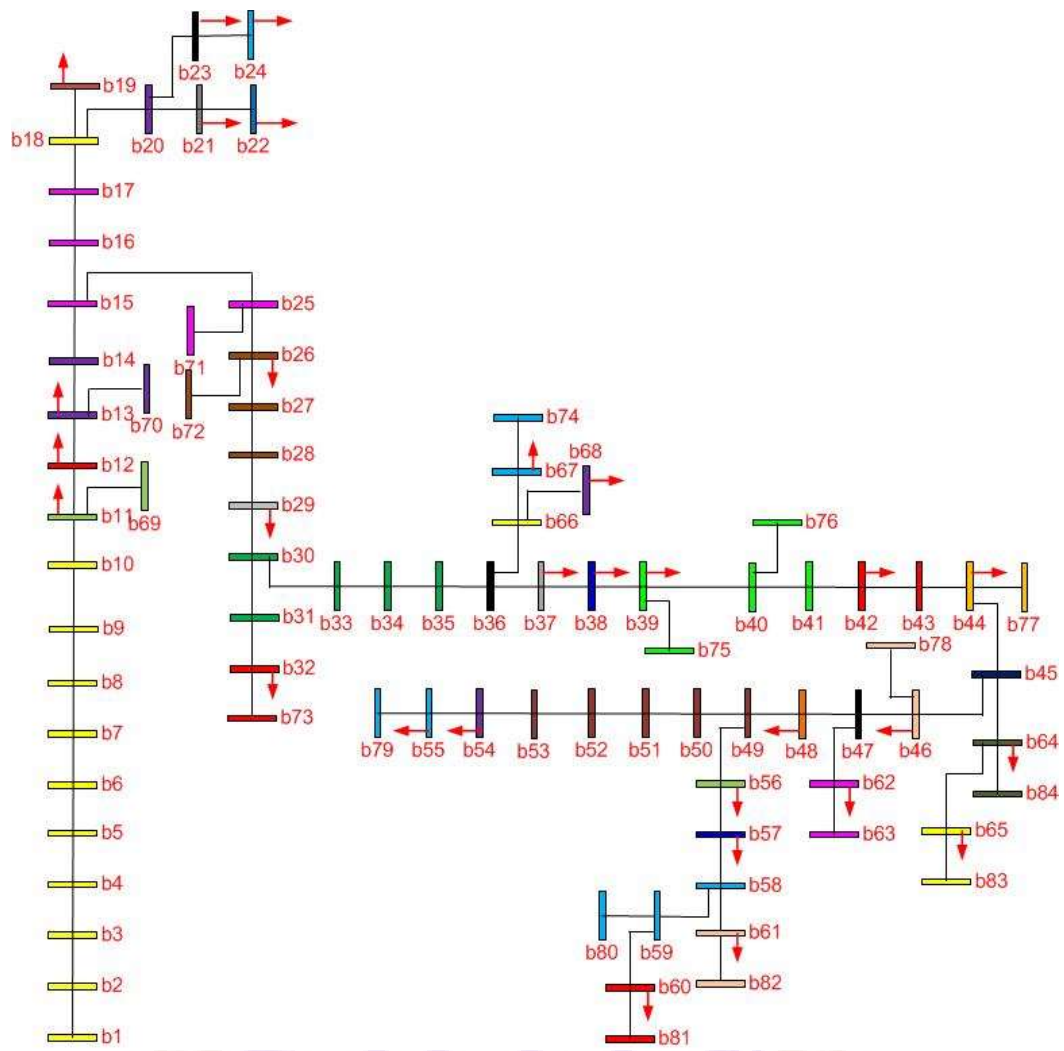
ระบบทดสอบ

ระบบจำหน่าย 22 กิโลโวลต์

ข้อมูลโครงข่ายของระบบจำหน่ายที่ใช้ศึกษาเป็นระบบจำหน่าย ขนาด 22 กิโลโวลต์ ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ภาคเหนือ เขต 2 จังหวัดพิษณุโลก โดยจะรับกำลังไฟฟ้าจากการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย แล้วแปลงระดับแรงดันเหลือ 22 กิโลโวลต์ ก่อนจะใช้หม้อแปลงลดระดับแรงดันอีกครั้งให้เหลือ 220 โวลต์ต่อเฟสเพื่อจำหน่ายให้แก่ผู้ใช้ไฟตามบ้านเรือนทั่วไป ในการศึกษาได้เลือกสถานีไฟฟ้าพิษณุโลก 1 ซึ่งมีวงจรรย่อย จำนวน 10 วงจร เพื่อจ่ายไฟฟ้าให้แก่บ้านเรือนประชาชนบริเวณตัวเมืองพิษณุโลก สถานีไฟฟ้าพิษณุโลก ใช้ระบบ SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) ในการเก็บข้อมูล ตรวจสอบ วิเคราะห์ และควบคุมระบบ นอกจากนี้ยังสามารถแก้ไขไฟฟ้าขัดข้องให้คืนสภาพปกติได้อย่างรวดเร็วในระยะใกล้

ปัจจุบันระบบ SCADA ติดตั้งเครื่องวัดเฉพาะที่สถานีไฟฟ้าเท่านั้น สำหรับการติดตั้งเครื่องวัดในโครงข่ายรัศมีของระบบจำหน่ายยังดำเนินการได้ไม่ทั่วถึง ดังนั้น ในการศึกษาจึงนำข้อมูลจริงของระบบจำหน่าย 22 กิโลโวลต์จากการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค มาทำการจำลองขึ้นบนโปรแกรม PSS/Adept 5.0 โดยผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรม PSS/Adept 5.0 จะถูกใช้เป็นค่าจริงของระบบทดสอบ

วิทยานิพนธ์นี้เลือกใช้ข้อมูลโครงข่ายสถานีไฟฟ้าพิษณุโลก 1 เฉพาะวงจรรย่อยที่ 1 เฟส A แสดงในภาพ 7 สังเกตว่า โครงข่ายของระบบจำหน่ายเป็นแบบรัศมี ขนาด 84 บัส ซึ่งบางบัสเกิดจากการต่อถึงกันของตัวนำสายส่งต่างชนิดกัน เช่น สายตัวนำทองแดงกับสายตัวนำอลูมิเนียม และบางบัสก็ไม่มีภาระไฟฟ้า ดังนั้น ในการศึกษาจึงได้ลดรูปโครงข่ายให้เหลือ 40 บัส เพื่อลดจำนวนเครื่องวัดที่ต้องการติดตั้งในระบบ



ภาพ 7 ระบบจำหน่าย 22 กิโลโวลต์ วงจรย่อยที่ 1 เฟส A

ชนิดของสายส่งในระบบจำหน่าย ขนาด 84 บัส ประกอบด้วย สายทั้งหมด 9 ชนิด มีรายละเอียดดังตาราง 3 สำหรับข้อมูลพารามิเตอร์สายส่ง แสดงดังตาราง 4

กำหนดค่าฐานกำลังมีค่า 1 เมกะวีเอ ฐานแรงดัน 12.7 กิโลโวลต์ จะได้ค่าอิมพีแดนซ์อ้างอิงเป็น 161.33 โอห์ม ข้อมูลพารามิเตอร์สายส่งระบบจำหน่ายขนาด 84 บัส เมื่อแปลงเป็นระบบต่อหน่วย แสดงดังตารางที่ 6

ข้อมูลแรงดันเฟส มุมเฟส ของระบบจำหน่ายของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ขนาด 84 บัส ที่ได้จากการจำลองบนโปรแกรม PSS/Adept5.0 แสดงดังตารางที่ 7

ตาราง 3 รายละเอียดของชนิดสายตัวนำ ระบบจำหน่ายขนาด 84 บัส

ชนิดสาย	รายละเอียด
185AC	อลูมิเนียมเปลือย ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 185 ตารางมิลลิเมตร
185A	อลูมิเนียมเปลือย ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 185 ตารางมิลลิเมตร
185ACSR	อลูมิเนียมแกนเหล็กเปลือย ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 185 ตารางมิลลิเมตร
050AC	อลูมิเนียมเปลือย ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 ตารางมิลลิเมตร
120A	อลูมิเนียมเปลือย ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 120 ตารางมิลลิเมตร
185PIC	อลูมิเนียมดีเกลืออัดแน่น ฉนวน XLPE ชั้นเดียว สีดำ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 185 ตารางมิลลิเมตร
50ACSR	อลูมิเนียมแกนเหล็กเปลือย ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 ตารางมิลลิเมตร
050PIC	อลูมิเนียมดีเกลืออัดแน่น ฉนวน XLPE ชั้นเดียว สีดำ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 ตารางมิลลิเมตร
050ACSR	อลูมิเนียมแกนเหล็กเปลือย ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 ตารางมิลลิเมตร

ตาราง 4 ข้อมูลพารามิเตอร์สายส่งระบบจำหน่าย ขนาด 84 บัส

สายส่ง	ชนิด	ความยาว (กิโลเมตร)	ความต้านทาน (โอห์ม/กิโลเมตร)	รีแอกแตนซ์ (โอห์ม/กิโลเมตร)	ซีลเชปแดนซ์ (ซีเมนส์/กิโลเมตร)
b1-b2	185AC	0.11787	0.21066	0.29859	5.9500×10^{-6}
b2-b3	185AC	0.20165	0.21066	0.29859	5.9500×10^{-6}
b3-b4	185AC	0.20143	0.21066	0.29859	5.9500×10^{-6}
b4-b5	185AC	0.02521	0.21066	0.29859	5.9500×10^{-6}
b5-b6	185A	0.29845	0.17635	0.40909	3.5219×10^{-6}
b6-b7	185ACSR	0.12520	0.17727	0.42242	3.5765×10^{-6}
b7-b8	185A	0.02341	0.17635	0.40909	3.5219×10^{-6}
b8-b9	ลวิตซ์	-	-	-	-
b9-b10	185A	0.00517	0.17635	0.40909	3.5219×10^{-6}
b10-b11	185A	0.10896	0.17635	0.40909	3.5219×10^{-6}
b11-b12	185A	0.09316	0.17635	0.40909	3.5219×10^{-6}
b12-b13	185A	0.24668	0.17635	0.40909	3.5219×10^{-6}
b13-b14	185A	0.06016	0.17635	0.40909	3.5219×10^{-6}
b14-b15	185A	0.10727	0.17635	0.40909	3.5219×10^{-6}
b15-b16	050ACSR	0.03418	0.66668	0.37622	3.3850×10^{-6}
b16-b17	ลวิตซ์	-	-	-	-
b17-b18	050ACSR	0.24274	0.66668	0.37622	3.3850×10^{-6}
b18-b19	050ACSR	0.17463	0.66668	0.37622	3.3850×10^{-6}
b18-b20	050ACSR	0.44859	0.66668	0.37622	3.3850×10^{-6}
b20-b21	050ACSR	0.28626	0.66668	0.37622	3.3850×10^{-6}
b21-b22	050ACSR	0.35034	0.66668	0.37622	3.3850×10^{-6}
b20-b23	050ACSR	0.09619	0.66668	0.37622	3.3850×10^{-6}

ตาราง 4 (ต่อ)

สายส่ง	ชนิด	ความยาว (กิโลเมตร)	ความต้านทาน (โอห์ม/กิโลเมตร)	รีแอกแตนซ์ (โอห์ม/กิโลเมตร)	ซีสเซปแตนท์ (ซีเมนส์/กิโลเมตร)
b23-b24	050ACSR	0.11883	0.66668	0.37622	3.3850×10^{-6}
b15-b25	185A	0.40215	0.17635	0.40909	3.5219×10^{-6}
b25-b71	185A	0.09458	0.17635	0.40909	3.5219×10^{-6}
b25-b26	185AC	0.07995	0.21066	0.29859	5.9500×10^{-6}
b26-b27	185AC	0.02025	0.21066	0.29859	5.9500×10^{-6}
b27-b28	185AC	0.02322	0.21066	0.29859	5.9500×10^{-6}
b28-b29	185AC	0.48438	0.21066	0.29859	5.9500×10^{-6}
b29-b30	185AC	0.32707	0.21066	0.29859	5.9500×10^{-6}
b30-b31	050AC	0.07077	0.82190	0.33950	5.1220×10^{-6}
b31-b32	050AC	0.39831	0.82190	0.33950	5.1220×10^{-6}
b32-b73	050AC	0.02630	0.82190	0.33950	5.1220×10^{-6}
b30-b33	185AC	0.21174	0.21066	0.29859	5.9500×10^{-6}
b33-b34	120A	0.05005	0.26690	0.42330	3.3740×10^{-6}
b34-b35	ลวดตี	-	-	-	-
b35-b36	120A	0.22706	0.26690	0.42330	3.3740×10^{-6}
b36-b37	120A	0.05382	0.26690	0.42330	3.3740×10^{-6}
b37-b38	120A	1.18438	0.26690	0.42330	3.3740×10^{-6}
b38-b39	120A	0.40484	0.26690	0.42330	3.3740×10^{-6}
b39-b75	185PIC	0.00276	0.21070	0.41440	3.5770×10^{-6}
b39-b40	120A	0.04979	0.26690	0.42330	3.3740×10^{-6}
b40-b41	185PIC	0.02803	0.21070	0.41440	3.5770×10^{-6}
b41-b42	185AC	0.07626	0.21066	0.29859	5.9500×10^{-6}

ตาราง 4 (ต่อ)

สายส่ง	ชนิด	ความยาว (กิโลเมตร)	ความต้านทาน (โอห์ม/กิโลเมตร)	รีแอกแตนซ์ (โอห์ม/กิโลเมตร)	ซีเอสเบแดนซ์ (ซีเมนส์/กิโลเมตร)
b42-b43	185AC	0.09219	0.21066	0.29859	5.9500×10^{-6}
b43-b44	185AC	0.29924	0.21066	0.29859	5.9500×10^{-6}
b44-b77	50ACSR	0.05867	0.66670	0.37620	3.3850×10^{-6}
b44-b45	185AC	0.12195	0.21066	0.29859	5.9500×10^{-6}
b45-b46	185AC	0.05651	0.21066	0.29859	5.9500×10^{-6}
b46-b78	50ACSR	0.03837	0.66670	0.37620	3.3850×10^{-6}
b46-b47	185AC	0.28068	0.21066	0.29859	5.9500×10^{-6}
b47-b62	050PIC	0.29316	0.64020	0.37990	-
b62-b63	050PIC	0.01971	0.64020	0.37990	-
b47-b48	185AC	0.14443	0.21066	0.29859	5.9500×10^{-6}
b48-b49	185AC	0.14326	0.21066	0.29859	5.9500×10^{-6}
b49-b50	185AC	0.11432	0.21066	0.29859	5.9500×10^{-6}
b50-b51	185AC	0.00843	0.21066	0.29859	5.9500×10^{-6}
b51-b52	050AC	0.05390	0.82190	0.33950	5.1220×10^{-6}
b52-b53	ลวดตี	-	-	-	-
b53-b54	050AC	0.33758	0.82190	0.33950	5.1220×10^{-6}
b54-b55	050AC	0.05931	0.82190	0.33950	5.1220×10^{-6}
b55-b79	050AC	0.00838	0.82190	0.33950	5.1220×10^{-6}
b49-b56	050AC	0.17701	0.82190	0.33950	5.1220×10^{-6}
b56-b57	050AC	0.24703	0.82190	0.33950	5.1220×10^{-6}
b57-b58	050AC	0.22350	0.82190	0.33950	5.1220×10^{-6}
b58-b59	050AC	0.03529	0.82190	0.33950	5.1220×10^{-6}

ตาราง 4 (ต่อ)

สายส่ง	ชนิด	ความยาว (กิโลเมตร)	ความต้านทาน (โอห์ม/กิโลเมตร)	รีแอกแตนซ์ (โอห์ม/กิโลเมตร)	ซีเอสเบคแตนซ์ (ซีเมนส์/กิโลเมตร)
b59-b80	050AC	0.00392	0.82190	0.33950	5.1220×10^{-6}
b59-b60	050AC	0.10586	0.82190	0.33950	5.1220×10^{-6}
b60-b81	050AC	0.01176	0.82190	0.33950	5.1220×10^{-6}
b58-b61	050AC	0.10597	0.82190	0.33950	5.1220×10^{-6}
b61-b82	050AC	0.00784	0.82190	0.33950	5.1220×10^{-6}
b45-b64	050PIC	0.07484	0.64020	0.37990	-
b64-b84	50ACSR	0.04410	0.66670	0.37620	3.3850×10^{-6}
b64-b65	050PIC	0.07784	0.64020	0.37990	-
b65-b83	050PIC	0.00971	0.64020	0.37990	-
b40-b76	120A	0.04244	0.26690	0.42330	3.3740×10^{-6}
b36-b66	050ACSR	0.0159	0.66668	0.37622	3.3850×10^{-6}
b66-b67	185AC	0.03766	0.21066	0.29859	5.9500×10^{-6}
b67-b74	50ACSR	0.01942	0.66670	0.37620	3.3850×10^{-6}
b66-b68	050ACSR	0.48690	0.66668	0.37622	3.3850×10^{-6}
b26-b72	50ACSR	0.03648	0.66670	0.37620	3.3850×10^{-6}
b13-b70	50ACSR	0.05946	0.66670	0.37620	3.3850×10^{-6}
b11-b69	50ACSR	0.05854	0.66670	0.37620	3.3850×10^{-6}

ตาราง 5 ภาระไฟฟ้าที่บัสต่าง ๆ ของระบบจำหน่ายขนาด 84 บัส

บัส	ภาระไฟฟ้า	
	กำลังไฟฟ้าจริง (กิโลวัตต์)	กำลังไฟฟ้าริแอกทีฟ (กิโลวาร์)
b1	-	-
b2	-	-
b3	-	-
b4	-	-
b5	-	-
b6	-	-
b7	-	-
b8	-	-
b9	-	-
b10	-	-
b11	46.6667	25.8133
b12	29.1667	16.1333
b13	26.2500	14.5200
b14	-	-
b15	-	-
b16	-	-
b17	-	-
b18	-	-
b19	72.9170	40.3333
b20	-	-
b21	14.5833	8.0667

ตาราง 5 (ต่อ)

บัส	ขนาดภาระไฟฟ้า	
	กำลังไฟฟ้าจริง (กิโลวัตต์)	กำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ (กิโลวาร์)
b22	46.6667	25.8133
b23	46.6667	25.8133
b24	14.5833	8.0667
b25	-	-
b26	14.5833	8.0667
b27	-	-
b28	-	-
b29	46.6667	25.8133
b30	-	-
b31	-	-
b32	14.5833	8.0667
b33	-	-
b34	-	-
b35	-	-
b36	-	-
b37	46.6667	25.8133
b38	29.1667	16.1333
b39	29.1667	16.1333
b40	-	-
b41	-	-
b42	14.5833	8.0667

ตาราง 5 (ต่อ)

บัส	ขนาดภาระไฟฟ้า	
	กำลังไฟฟ้าจริง (กิโลวัตต์)	กำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ (กิโลวาร์)
b43	-	-
b44	46.6667	25.8133
b46	29.1667	16.1333
b45	-	-
b46	-	-
b47	-	-
b48	46.6667	25.8133
b49	-	-
b50	-	-
b51	-	-
b52	-	-
b53	-	-
b54	14.5833	8.0667
b55	183.7500	101.6400
b56	183.7500	101.6400
b57	46.6667	25.8133
b58	-	-
b59	-	-
b60	46.6667	25.8133
b61	46.6667	25.8133
b62	46.6667	25.8133
b63	-	-

ตาราง 5 (ต่อ)

บัส	ขนาดภาระไฟฟ้า	
	กำลังไฟฟ้าจริง (กิโลวัตต์)	กำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ (กิโลวาร์)
b64	29.1667	16.1333
b65	46.6667	25.8133
b66	-	-
b67	14.5833	8.0667
b68	46.6667	25.8133
b69	-	-
b70	-	-
b71	-	-
b72	-	-
b73	-	-
b74	-	-
b75	-	-
b76	-	-
b77	-	-
b78	-	-
b79	-	-
b80	-	-
b81	-	-
b82	-	-
b83	-	-
b84	-	-

ตาราง 6 พารามิเตอร์สายส่งระบบจำหน่ายขนาด 84 บัสในระบบต่อหน่วย

สายส่ง	ความต้านทาน, R (ต่อหน่วย)	รีแอกแตนซ์, X (ต่อหน่วย)	ซีสเซปแตนซ์, B (ต่อหน่วย)
b1-b2	0.000153953	0.000218211	$0.004348344 \times 10^{-6}$
b2-b3	0.000263374	0.000373302	$0.007438883 \times 10^{-6}$
b3-b4	0.000263092	0.000372902	$0.007430915 \times 10^{-6}$
b4-b5	0.000032930	0.000046675	$0.000930098 \times 10^{-6}$
b5-b6	0.000326320	0.000756984	$0.006516923 \times 10^{-6}$
b6-b7	0.000137603	0.000327891	$0.002776139 \times 10^{-6}$
b7-b8	0.000025599	0.000059384	$0.000511240 \times 10^{-6}$
b8-b9	-	-	-
b9-b10	0.000005654	0.000013115	$0.000112911 \times 10^{-6}$
b10-b11	0.000119133	0.000276361	$0.002379210 \times 10^{-6}$
b11-b12	0.000101860	0.000236291	$0.002034245 \times 10^{-6}$
b12-b13	0.000269716	0.000625676	$0.00538648 \times 10^{-6}$
b13-b14	0.000065774	0.000152580	$0.001313573 \times 10^{-6}$
b14-b15	0.000117282	0.000272067	$0.002342241 \times 10^{-6}$
b15-b16	0.000141294	0.000079735	$0.000717408 \times 10^{-6}$
b16-b17	-	-	-
b17-b18	0.001003364	0.000566217	$0.005094479 \times 10^{-6}$
b18-b19	0.000721812	0.000407332	$0.003664925 \times 10^{-6}$
b18-b20	0.001854217	0.001046369	$0.009414598 \times 10^{-6}$
b20-b21	0.001183230	0.000667719	$0.006007730 \times 10^{-6}$
b21-b22	0.001448100	0.000817190	$0.007352579 \times 10^{-6}$
b20-b23	0.000397607	0.000224377	$0.002018809 \times 10^{-6}$

ตาราง 6 (ต่อ)

สายส่ง	ความต้านทาน, R (ต่อหน่วย)	รีแอกแตนซ์, X (ต่อหน่วย)	ซัสเซปแตนซ์, B (ต่อหน่วย)
b23-b24	0.000491187	0.000277186	$0.002493953 \times 10^{-6}$
b15-b25	0.000439700	0.001019998	$0.008781233 \times 10^{-6}$
b25-b71	0.000103412	0.000239891	$0.002065234 \times 10^{-6}$
b25-b26	0.000104423	0.000148007	$0.002949376 \times 10^{-6}$
b26-b27	0.000026451	0.000037491	$0.000747101 \times 10^{-6}$
b27-b28	0.000030327	0.000042986	$0.000856584 \times 10^{-6}$
b28-b29	0.000632647	0.000896704	$0.017868851 \times 10^{-6}$
b29-b30	0.000427184	0.000605484	$0.012065636 \times 10^{-6}$
b30-b31	0.000360605	0.000148954	$0.002247256 \times 10^{-6}$
b31-b32	0.002029704	0.000838404	$0.012648917 \times 10^{-6}$
b32-b73	0.000134025	0.000055361	$0.000835230 \times 10^{-6}$
b30-b33	0.000276558	0.000391988	$0.007811252 \times 10^{-6}$
b33-b34	0.000082823	0.000131356	$0.001047001 \times 10^{-6}$
b34-b35	-	-	-
b35-b36	0.000375738	0.000595916	$0.004749874 \times 10^{-6}$
b36-b37	0.000089066	0.000141258	$0.001125923 \times 10^{-6}$
b37-b38	0.001959892	0.003108364	$0.024775858 \times 10^{-6}$
b38-b39	0.000669929	0.001062499	$0.008468868 \times 10^{-6}$
b39-b75	0.000003608	0.000007097	$0.000061259 \times 10^{-6}$
b39-b40	0.000082386	0.000130663	$0.001041480 \times 10^{-6}$
b40-b41	0.000036618	0.000072020	$0.000621658 \times 10^{-6}$
b41-b42	0.000099602	0.000141175	$0.002813222 \times 10^{-6}$

ตาราง 6 (ต่อ)

สายส่ง	ความต้านทาน, R (ต่อหน่วย)	รีแอกแตนซ์, X (ต่อหน่วย)	ซัสเซปแตนซ์, B (ต่อหน่วย)
b42-b43	0.000120404	0.000170659	$0.003400767 \times 10^{-6}$
b43-b44	0.000390840	0.000553970	$0.011039096 \times 10^{-6}$
b44-b77	0.000242532	0.000136854	$0.001231396 \times 10^{-6}$
b44-b45	0.000159273	0.000225751	$0.004498597 \times 10^{-6}$
b45-b46	0.000073808	0.000104615	$0.002084684 \times 10^{-6}$
b46-b78	0.000158589	0.000089488	$0.000805197 \times 10^{-6}$
b46-b47	0.000366588	0.000519596	$0.010354121 \times 10^{-6}$
b47-b62	0.001163605	0.000690493	-
b62-b63	0.000078233	0.000046424	-
b47-b48	0.000188644	0.000267382	$0.005328181 \times 10^{-6}$
b48-b49	0.000187107	0.000265203	$0.005284761 \times 10^{-6}$
b49-b50	0.000149310	0.000211630	$0.004217199 \times 10^{-6}$
b50-b51	0.000011010	0.000015605	$0.000310963 \times 10^{-6}$
b51-b52	0.000274680	0.000113461	$0.001711778 \times 10^{-6}$
b52-b53	-	-	-
b53-b54	0.001720252	0.000710580	$0.010720442 \times 10^{-6}$
b54-b55	0.000302211	0.000124834	$0.001883352 \times 10^{-6}$
b55-b79	0.000042706	0.000017641	$0.000266141 \times 10^{-6}$
b49-b56	0.000902026	0.000372598	$0.005621339 \times 10^{-6}$
b56-b57	0.001258833	0.000519983	$0.007844926 \times 10^{-6}$
b57-b58	0.001138894	0.000470440	$0.007097474 \times 10^{-6}$
b58-b59	0.000179831	0.000074282	$0.001120692 \times 10^{-6}$

ตาราง 6 (ต่อ)

สายส่ง	ความต้านทาน, R (ต่อหน่วย)	รีแอกแตนซ์, X (ต่อหน่วย)	ซีสเซนแตนซ์, B (ต่อหน่วย)
b59-b80	0.000019985	0.000008255	$0.000124547 \times 10^{-6}$
b59-b60	0.000539451	0.000222829	$0.003361803 \times 10^{-6}$
b60-b81	0.000059945	0.000024761	$0.000373574 \times 10^{-6}$
b58-b61	0.000540021	0.000223065	$0.003365359 \times 10^{-6}$
b61-b82	0.000039965	0.000016508	$0.000249060 \times 10^{-6}$
b45-b64	0.000297049	0.000176271	-
b64-b84	0.000182295	0.000102864	$0.000925558 \times 10^{-6}$
b64-b65	0.000308951	0.000183334	-
b65-b83	0.000038528	0.000022863	-
b40-b76	0.000070237	0.000111395	$0.000887894 \times 10^{-6}$
b36-b66	0.000065812	0.000037139	$0.000334156 \times 10^{-6}$
b66-b67	0.000049187	0.000069717	$0.001389273 \times 10^{-6}$
b67-b74	0.000080304	0.000045313	$0.000407724 \times 10^{-6}$
b66-b68	0.002012560	0.001135725	$0.010218570 \times 10^{-6}$
b26-b72	0.000150791	0.000085087	$0.000765601 \times 10^{-6}$
b13-b70	0.000245762	0.000138677	$0.001247795 \times 10^{-6}$
b11-b69	0.000241984	0.000136545	$0.001228613 \times 10^{-6}$

ตาราง 7 แรงดันบัลของระบบจำหน่ายขนาด 84 บัสจากโปรแกรม PSS/Adept5.0

บัส	แรงดันเฟส (กิโลโวลต์)	แรงดันเฟส (ต่อหน่วย)	มุมเฟส (องศา)
b1	12.7000	1.0000	-0.0000
b2	12.6953	0.9996	-0.0113
b3	12.6874	0.9989	-0.0307
b4	12.6789	0.9981	-0.0513
b5	12.6779	0.9980	-0.0538
b6	12.6652	0.9969	-0.1031
b7	12.6598	0.9964	-0.1248
b8	12.6588	0.9964	-0.1287
b9	12.6588	0.9964	-0.1287
b10	12.6586	0.9963	-0.1295
b11	12.6540	0.9959	-0.1476
b12	12.6502	0.9956	-0.1626
b13	12.6403	0.9947	-0.2012
b14	12.6380	0.9945	-0.2105
b15	12.6338	0.9941	-0.2270
b16	12.6333	0.9941	-0.2270
b17	12.6333	0.9941	-0.2270
b18	12.6300	0.9938	-0.2272
b19	12.6291	0.9937	-0.2272
b20	12.6262	0.9935	-0.2274

ตาราง 7 (ต่อ)

บัส	แรงดันเฟส (กิโลโวลต์)	แรงดันเฟส (ต่อหน่วย)	มุมเฟส (องศา)
b21	12.6250	0.9934	-0.2275
b22	12.6239	0.9933	-0.2275
b23	12.6258	0.9934	-0.2274
b24	12.6257	0.9934	-0.2274
b25	12.6205	0.9930	-0.2790
b26	12.6205	0.9930	-0.2790
b27	12.6181	0.9928	-0.2850
b28	12.6175	0.9927	-0.2867
b29	12.6168	0.9926	-0.2883
b30	12.6021	0.9913	-0.3244
b31	12.5927	0.9905	-0.3478
b32	12.5926	0.9905	-0.3477
b33	12.5921	0.9905	-0.3475
b34	12.5921	0.9905	-0.3475
b35	12.5866	0.9900	-0.3627
b36	12.5847	0.9898	-0.3680
b37	12.5847	0.9898	-0.3680
b38	12.5761	0.9890	-0.3922
b39	12.5742	0.9889	-0.3976
b40	12.5344	0.9854	-0.5101
b41	12.5212	0.9842	-0.5473
b42	12.5212	0.9842	-0.5473

ตาราง 7 (ต่อ)

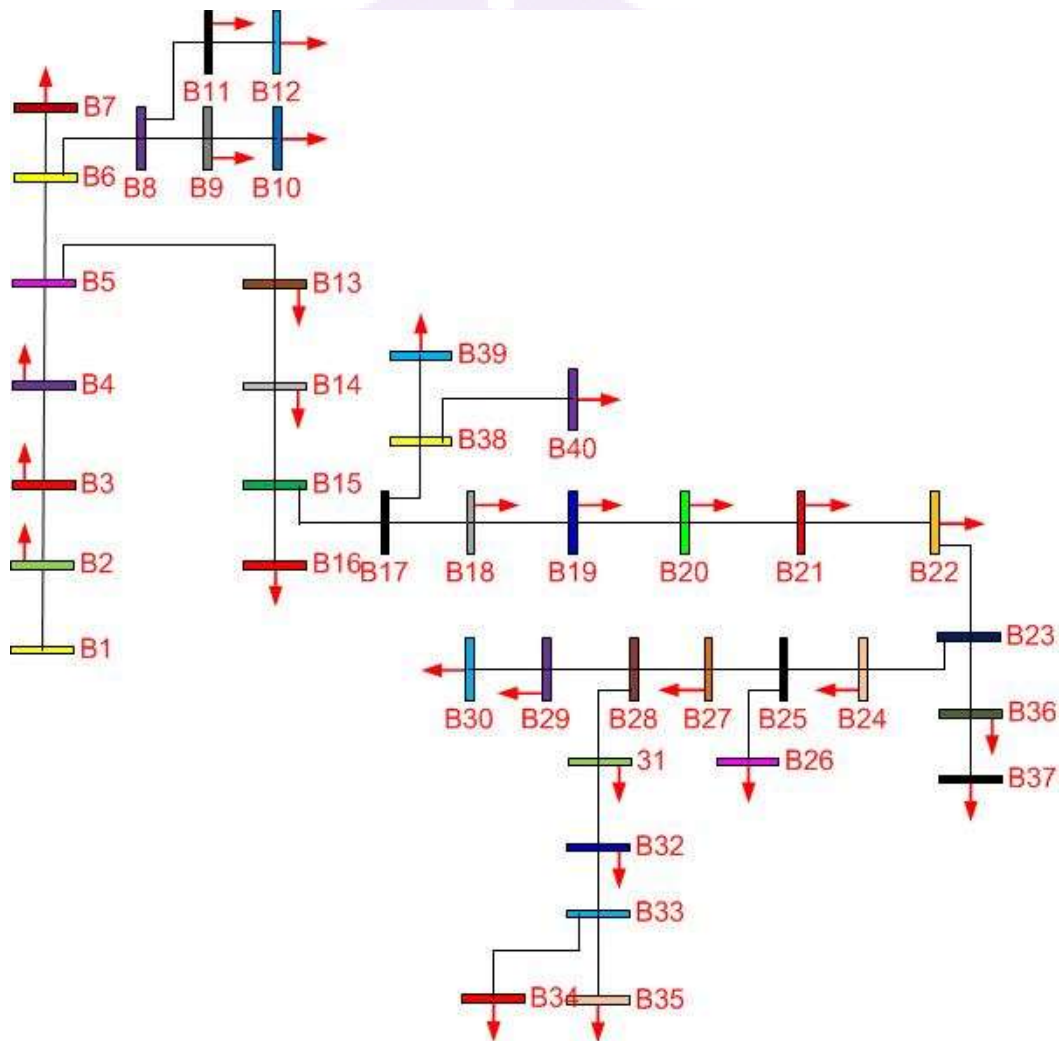
บัส	แรงดันเฟส (กิโลโวลต์)	แรงดันเฟส (ต่อหน่วย)	มุมเฟส (องศา)
b43	12.5197	0.9841	-0.5518
b44	12.5189	0.9840	-0.5545
b45	12.5171	0.9838	-0.5589
b46	12.5150	0.9836	-0.5642
b47	12.5081	0.9830	-0.5815
b48	12.5081	0.9830	-0.5815
b49	12.5055	0.9828	-0.5881
b50	12.5044	0.9827	-0.5909
b51	12.5044	0.9827	-0.5909
b52	12.4992	0.9822	-0.6039
b53	12.4983	0.9822	-0.6040
b54	12.4983	0.9822	-0.6040
b55	12.4967	0.9820	-0.6101
b56	12.4943	0.9818	-0.6160
b57	12.4931	0.9817	-0.6192
b58	12.4930	0.9817	-0.6194
b59	12.4914	0.9816	-0.6185
b60	12.4914	0.9816	-0.6185
b61	12.4813	0.9807	-0.6126
b62	12.4805	0.9806	-0.6121
b63	12.4805	0.9806	-0.6121
b64	12.4917	0.9816	-0.6145

ตาราง 7 (ต่อ)

บัส	แรงดันเฟส (กิโลโวลต์)	แรงดันเฟส (ต่อหน่วย)	มุมเฟส (องศา)
b65	12.4889	0.9813	-0.6129
b66	12.4872	0.9812	-0.6119
b67	12.4871	0.9812	-0.6119
b68	12.4871	0.9812	-0.6119
b69	12.4867	0.9811	-0.6116
b70	12.4867	0.9811	-0.6116
b71	12.4868	0.9811	-0.6117
b72	12.4868	0.9811	-0.6117
b73	12.5051	0.9828	-0.5882
b74	12.5051	0.9828	-0.5882
b75	12.5048	0.9827	-0.5882
b76	12.5048	0.9827	-0.5882
b77	12.5197	0.9841	-0.5518
b78	12.5761	0.9890	-0.3922
b79	12.5760	0.9890	-0.3923
b80	12.5760	0.9890	-0.3923
b81	12.5745	0.9889	-0.3923
b82	12.6181	0.9928	-0.2850
b83	12.6403	0.9947	-0.2012
b84	12.6540	0.9959	-0.1476

ระบบที่ได้จากการลดรูปโครงข่าย

โครงข่ายของระบบจำหน่ายที่ใช้ทดสอบเป็นแบบเรเดียล หรือโครงข่ายรัศมี ที่มีขนาด 84 บัส โดยการใช้เทคนิคพารามิเตอร์ ABCD เราสามารถลดรูปโครงข่ายให้เหลือ 40 บัส ดังแสดงในภาพ 8 สังเกตจะเห็นว่า บัส B2 (สีเขียว) และบัส B5 (สีม่วง) ก็คือ บัส b11 และบัส b15 ในภาพ 7 ตามลำดับ การเปรียบเทียบชื่อบัสใหม่และชื่อบัสเดิม ระหว่างภาพ 8 และภาพ 7 แสดงดังตาราง 8



ภาพ 8 ระบบจำหน่าย 22 กิโลโวลต์ ที่ลดรูปโครงข่าย

ตาราง 8 เปรียบเทียบชื่อ巴士ใหม่และชื่อ巴士เดิม

巴士ใหม่	巴士เดิม	巴士ใหม่	巴士เดิม
B1	b1	B21	b42
B2	b11	B22	b44
B3	b12	B23	b45
B4	b13	B24	b46
B5	b15	B25	b47
B6	b18	B26	b62
B7	b19	B27	b48
B8	b20	B28	b49
B9	b21	B29	b54
B10	b22	B30	b55
B11	b23	B31	b56
B12	b24	B32	b57
B13	b26	B33	b58
B14	b29	B34	b60
B15	b30	B35	b61
B16	b32	B36	b64
B17	b36	B37	b65
B18	b37	B38	b66
B19	b38	B39	b67
B20	b39	B40	b68

ข้อมูลพารามิเตอร์ส่งระบบจำหน่ายที่ทำการลดรูปจาก ขนาด 84 บัสเหลือขนาด 40 บัส แสดงดังตาราง 9 และ 10

ตาราง 9 พารามิเตอร์สายส่งที่ลดรูปโครงข่ายเหลือ 40 บัส

สายส่ง	ความต้านทาน, R (โอห์ม)	รีแอกแตนซ์, X (โอห์ม)	ชัสเซบแตนซ์, B (ซีเมนส์)
B1-B2	0.214137908	0.394325667	$4.294096653 \times 10^{-6}$
B2-B3	0.016429018	0.038111379	$0.328103374 \times 10^{-6}$
B3-B4	0.043502441	0.100915224	$0.868785814 \times 10^{-6}$
B4-B5	0.029525178	0.068491328	$5.896463629 \times 10^{-6}$
B5-B6	0.184621957	0.104185628	$9.373992499 \times 10^{-6}$
B6-B7	0.116420995	0.065698546	$0.591115780 \times 10^{-6}$
B6-B8	0.299066648	0.168768906	$1.518480535 \times 10^{-6}$
B8-B9	0.190843150	0.107696361	$0.968986715 \times 10^{-6}$
B9-B10	0.233564005	0.131804539	$1.185897515 \times 10^{-6}$
B8-B11	0.064130016	0.036189768	$0.325613644 \times 10^{-6}$
B11-B12	0.079223584	0.044707351	$0.402249705 \times 10^{-6}$
B5-B13	0.087761549	0.188387597	$2.105985516 \times 10^{-6}$
B13-B14	0.111197509	0.157609514	$3.140725355 \times 10^{-6}$
B14-B15	0.068900566	0.097658523	$1.946066500 \times 10^{-6}$
B15-B16	0.385532970	0.159251083	$2.402603695 \times 10^{-6}$
B15-B17	0.118567332	0.180525552	$1.720851257 \times 10^{-6}$
B17-B18	0.014365465	0.022783445	$0.181600152 \times 10^{-6}$
B18-B19	0.316111022	0.501348054	$3.99609812 \times 10^{-6}$
B19-B20	0.108052864	0.171370465	$1.365943656 \times 10^{-6}$
B20-B21	0.035259070	0.055460847	$8.748060052 \times 10^{-6}$

ตาราง 9 (ต่อ)

สายส่ง	ความต้านทาน, R (โอห์ม)	รีแอกแตนซ์, X (โอห์ม)	ซัสเซปแตนซ์, B (ซีเมนส์)
B21-B22	0.082458534	0.116875367	$2.329005540 \times 10^{-6}$
B22-B23	0.025689144	0.036411368	$0.725578700 \times 10^{-6}$
B23-B24	0.011904544	0.016873304	$0.336238665 \times 10^{-6}$
B24-B25	0.059126996	0.083805626	$1.670016250 \times 10^{-6}$
B25-B26	0.187677831	0.111369585	-
B25-B27	0.030426466	0.043125970	$0.859382300 \times 10^{-6}$
B27-B28	0.030178520	0.042774535	$0.852379150 \times 10^{-6}$
B28-B29	0.347620535	0.169560281	$2.283212278 \times 10^{-6}$
B29-B30	0.048743684	0.020134421	$0.303765844 \times 10^{-6}$
B28-B31	0.145487807	0.060096253	$0.906665708 \times 10^{-6}$
B31-B32	0.203037245	0.083868043	$1.265308148 \times 10^{-6}$
B32-B33	0.183692184	0.075877232	$1.1447516340 \times 10^{-6}$
B33-B34	0.03222845	0.013312518	$2.008445287 \times 10^{-6}$
B33-B35	0.087100031	0.035978173	$0.542798828 \times 10^{-6}$
B23-B36	0.047910968	0.028430766	-
B36-B37	0.049830671	0.029569934	-
B17-B38	0.010614879	0.005990175	$0.053895970 \times 10^{-6}$
B38-B39	0.007933413	0.011244689	$0.224075810 \times 10^{-6}$
B38-B40	0.324605825	0.183181142	$1.6481531150 \times 10^{-6}$

ตาราง 10 พารามิเตอร์สายส่งที่ลดรูปโครงข่ายเหลือ 40 บัส ในระบบต่อหน่วย

สายส่ง	ความต้านทาน, R (ต่อหน่วย)	รีแอกแตนซ์, X (ต่อหน่วย)	ซัสเซปแตนซ์, B (ต่อหน่วย)
B1-B2	0.001327301	0.002444167	$0.000692781 \times 10^{-6}$
B2-B3	0.000101833	0.000236228	$0.000052934 \times 10^{-6}$
B3-B4	0.000269643	0.000625508	$0.000140164 \times 10^{-6}$
B4-B5	0.000183007	0.000424533	$0.000951296 \times 10^{-6}$
B5-B6	0.001144351	0.000645779	$0.001512337 \times 10^{-6}$
B6-B7	0.000721618	0.000407222	$0.000095367 \times 10^{-6}$
B6-B8	0.001853719	0.001046088	$0.000244982 \times 10^{-6}$
B8-B9	0.001182912	0.000667539	$0.000156330 \times 10^{-6}$
B9-B10	0.001447711	0.000816970	$0.000191325 \times 10^{-6}$
B8-B11	0.000397500	0.000224317	$0.000052532 \times 10^{-6}$
B11-B12	0.000491055	0.000277112	$0.000064896 \times 10^{-6}$
B5-B13	0.000543977	0.001167692	$0.000339766 \times 10^{-6}$
B13-B14	0.000689241	0.000976918	$0.000506704 \times 10^{-6}$
B14-B15	0.000427070	0.000605321	$0.000313965 \times 10^{-6}$
B15-B16	0.002389667	0.000987093	$0.000387620 \times 10^{-6}$
B15-B17	0.000734921	0.001118960	$0.000277631 \times 10^{-6}$
B17-B18	0.000089042	0.000141220	$0.000029298 \times 10^{-6}$
B18-B19	0.001959366	0.003107529	$0.000644704 \times 10^{-6}$
B19-B20	0.000669749	0.001062214	$0.000220372 \times 10^{-6}$
B20-B21	0.000218548	0.000343766	$0.001411354 \times 10^{-6}$
B21-B22	0.000511107	0.000724434	$0.000375746 \times 10^{-6}$
B22-B23	0.000159230	0.000225690	$0.000117060 \times 10^{-6}$

ตาราง 10 (ต่อ)

สายส่ง	ความต้านทาน, R (ต่อหน่วย)	รีแอกแตนซ์, X (ต่อหน่วย)	ซัสเซปแตนซ์, B (ต่อหน่วย)
B23-B24	0.000073788	0.000104587	$0.000054247 \times 10^{-6}$
B24-B25	0.000366490	0.000519456	$0.000269429 \times 10^{-6}$
B25-B26	0.001163292	0.000690307	-
B25-B27	0.000188594	0.000267310	$0.000138647 \times 10^{-6}$
B27-B28	0.000187057	0.000265131	$0.000137517 \times 10^{-6}$
B28-B29	0.002154673	0.001050993	$0.000368358 \times 10^{-6}$
B29-B30	0.000302130	0.000124800	$0.000049008 \times 10^{-6}$
B28-B31	0.000901784	0.000372497	$0.000146275 \times 10^{-6}$
B31-B32	0.001258495	0.000519843	$0.000204136 \times 10^{-6}$
B32-B33	0.001138588	0.000470313	$0.000184687 \times 10^{-6}$
B33-B34	0.000199763	0.000082516	$0.000324029 \times 10^{-6}$
B33-B35	0.000539876	0.000223005	$0.000087572 \times 10^{-6}$
B23-B36	0.000296969	0.000176224	-
B36-B37	0.000308868	0.000183285	-
B17-B38	0.000065795	0.000037129	$0.000008695 \times 10^{-6}$
B38-B39	0.000049174	0.000069698	$0.000036151 \times 10^{-6}$
B38-B40	0.002012020	0.001135420	$0.000265902 \times 10^{-6}$

ตาราง 11 ภาระไฟฟ้าที่บัสต่าง ๆ ของระบบจำหน่ายที่ลดรูปเหลือ 40 บัส

บัส	ภาระไฟฟ้า	
	กำลังไฟฟ้าจริง (กิโลวัตต์)	กำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ (กิโลวาร์)
B1	-	-
B2	46.6667	25.8133
B3	29.1667	16.1333
B4	26.2500	14.5200
B5	-	-
B6	-	-
B7	72.9170	40.3333
B8	-	-
B9	14.5833	8.0667
B10	46.6667	25.8133
B11	46.6667	25.8133
B12	14.5833	8.0667
B13	14.5833	8.0667
B14	46.6667	25.8133
B15	-	-
B16	14.5833	8.0667
B17	-	-
B18	46.6667	25.8133
B19	29.1667	16.1333
B20	29.1667	16.1333

ตาราง 11 (ต่อ)

บัส	ภาระไฟฟ้า	
	กำลังไฟฟ้าจริง (กิโลวัตต์)	กำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ (กิโลวาร์)
B21	14.5833	8.0667
B22	46.6667	25.8133
B23	-	-
B24	29.1667	16.1333
B25	-	-
B26	46.6667	25.8133
B27	14.5833	8.0667
B28	-	-
B29	183.7500	101.6400
B30	183.7500	101.6400
B31	46.6667	25.8133
B32	46.6667	25.8133
B33	-	-
B34	46.6667	25.8133
B35	46.6667	25.8133
B36	46.6667	25.8133
B37	46.6667	25.8133
B39	14.5833	8.0667
B40	46.6667	25.8133

ตาราง 12 แรงดันบัลของระบบจำหน่ายที่ลดรูปเหลือ 40 บัส

บัส	แรงดันเฟส (กิโลโวลต์)	แรงดันเฟส (ต่อหน่วย)	มุมเฟส (องศา)
B1	12.7017	1.0000	0.0000
B2	12.6496	0.9959	-0.1476
B3	12.6458	0.9956	-0.1626
B4	12.6344	0.9947	-0.2012
B5	12.6268	0.9941	-0.2270
B6	12.6230	0.9938	-0.2272
B7	12.6217	0.9937	-0.2272
B8	12.6191	0.9935	-0.2274
B9	12.6179	0.9934	-0.2275
B10	12.6166	0.9933	-0.2275
B11	12.6179	0.9934	-0.2274
B12	12.6179	0.9934	-0.2274
B13	12.6103	0.9928	-0.2850
B14	12.5912	0.9913	-0.3244
B15	12.5810	0.9905	-0.3478
B16	12.5810	0.9905	-0.3475
B17	12.5620	0.9890	-0.3922
B18	12.5607	0.9889	-0.3976
B19	12.5163	0.9854	-0.5101
B20	12.5010	0.9842	-0.5473
B21	12.4959	0.9838	-0.5589
B22	12.4858	0.9830	-0.5815

ตาราง 12 (ต่อ)

บัส	แรงดันเฟส (กิโลโวลต์)	แรงดันเฟส (ต่อหน่วย)	มุมเฟส (องศา)
B23	12.4832	0.9828	-0.5881
B24	12.4820	0.9827	-0.5909
B25	12.4756	0.9822	-0.6039
B26	12.4756	0.9822	-0.6040
B27	12.4731	0.9820	-0.6101
B28	12.4705	0.9818	-0.6160
B29	12.4566	0.9807	-0.6126
B30	12.4553	0.9806	-0.6121
B31	12.4680	0.9816	-0.6145
B32	12.4642	0.9813	-0.6129
B33	12.4629	0.9812	-0.6119
B34	12.4616	0.9811	-0.6116
B35	12.4616	0.9811	-0.6117
B36	12.4832	0.9828	-0.5882
B37	12.4820	0.9827	-0.5882
B38	12.5620	0.9890	-0.3922
B39	12.5620	0.9890	-0.3923
B40	12.5607	0.9889	-0.3923

บทที่ 4

ผลการจำลอง

การทดสอบผลกระทบของเครื่องวัด

การทดสอบการประมาณสถานะของระบบจำหน่าย 22 กิโลโวลต์ โดยตัวประมาณสถานะบนพื้นฐานค่ากำลังสองน้อยสุดถ่วงน้ำหนักได้รับการพัฒนาขึ้นบนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ กำหนดค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ในการลู่อูเข้าหาผลเฉลยเชิงเลขเป็น 10^{-5} และความไม่แน่นอนสูงสุดของเครื่องวัดขนาดแรงดันและกำลังไฟฟ้ามีค่าเป็น 0.2 เปอร์เซ็นต์ และ 1.0 เปอร์เซ็นต์ ของค่าที่อ่านได้ ตามลำดับ ค่าการวัดสมมติให้มีการปนเปื้อนของสัญญาณรบกวนแบบเกาส์ (Gaussian noise) ที่มีค่ากลางเป็นศูนย์และมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสอดคล้องกับความไม่แน่นอนของเครื่องวัด

การทดสอบการประมาณสถานะระบบจำหน่าย 22 กิโลโวลต์ ขนาด 40 บัส ตามภาพ 8 ได้แบ่งการทดสอบเป็น 2 กรณี ดังนี้ กรณีที่ 1 ใช้ระบบการวัดเซตที่ 1 ตำแหน่งและชนิดของเครื่องวัด แสดงดังตาราง 13 ซึ่งระบบการวัดประกอบด้วย เครื่องวัดขนาดแรงดัน จำนวน 11 เครื่อง และเครื่องวัดขนาดกำลังไฟฟ้า จำนวน 39 เครื่อง ส่วนกรณีที่ 2 ใช้ระบบการวัดเซตที่ 2 ตำแหน่งและชนิดของเครื่องวัด แสดงดังตาราง 14 ซึ่งระบบการวัดประกอบด้วยเครื่องวัดขนาดแรงดัน จำนวน 5 เครื่อง และเครื่องวัดขนาดกำลังไฟฟ้า จำนวน 39 เครื่อง

การทดสอบใช้คอมพิวเตอร์ที่มีหน่วยประมวลผลกลาง Intel® Core™ i5 2.27 จิกะเฮิรตซ์ และหน่วยความจำขนาด 2 จิกะไบต์ ในการหาผลเฉลยใช้การคำนวณวนซ้ำ 3 รอบ และใช้เวลา 0.03 วินาที

ภาพ 9 ภาพ 10 ภาพ 13 และภาพ 14 แสดงขนาดและมุมเฟสของแรงดันแต่ละบัสที่ประมาณได้ โดยใช้เทคนิคที่นำเสนอ สังเกตว่า ภาพ 13 และภาพ 14 ค่าที่ประมาณได้มีค่าใกล้เคียงกับค่าจริงมากกว่าภาพ 9 และภาพ 10 อันเนื่องมาจาก ระบบการวัดเซตที่ 1 มีเครื่องวัดขนาดแรงดันจำนวนมากกว่าระบบการวัดเซตที่ 2 แต่ค่าที่ประมาณได้มีความคลาดเคลื่อนจากค่าจริงกว่าระบบการวัดเซตที่ 2 และจะสังเกตเห็นว่า บัสที่อยู่ห่างจากแหล่งจ่ายหลัก (บัส B1) จะมีขนาดแรงดันลดลงเรื่อยๆ เพราะระบบจำหน่ายมีการจ่ายโหลดแบบโครงข่ายรัศมี ส่วนบัส B38 B39 B40 มีขนาดแรงดันและมุมเฟส มีค่าเพิ่มขึ้นใกล้เคียงกับบัส B17 เพราะในโครงข่ายที่ใช้ทดสอบนั้น บัส B38, B39, B40 อยู่ใกล้กับบัส B17 ทำนองเดียวกับบัส B31 และบัส B36 มีค่าเพิ่มขึ้นอันเนื่องมาจากบัส B31 และบัส B36 อยู่ใกล้เคียงกับบัส B28 และ B23 ตามลำดับ

ภาพ 18 ภาพ 19 และภาพ 20 แสดงกำลังสูญเสียจริง กำลังสูญเสียรีแอกทีฟ และขนาดกระแสบนสายส่งแต่ละเส้น ตามลำดับ ซึ่งได้มาจากการคำนวณโดยใช้สถานะแรงดันที่ประมาณได้ โดยลำดับของสายส่งแต่ละเส้น (จำนวน 39 เส้น) จะสัมพันธ์กับลำดับเครื่องวัดกำลังไฟฟ้าในตาราง 13 ตัวอย่างเช่น สายส่งเส้นที่ 5 สัมพันธ์กับสายส่ง B5-B6 เป็นต้น ข้อมูลกระแสที่ไหลในสายส่งสามารถนำไปใช้ในการประเมินสมรรถนะของสายส่งแต่ละเส้นและการติดตั้งอุปกรณ์ป้องกัน

การหาค่าผิดพลาดสัมบูรณ์เพื่อวัดความถูกต้องของการประมาณค่าสถานะ โดยเปรียบเทียบค่าที่ประมาณได้กับค่าจริง ดังสมการที่ (4.1) ถ้าค่าผิดพลาดสัมบูรณ์มีค่าน้อย การประมาณค่าสถานะก็จะมีความแม่นยำสูง ภาพ 11 และภาพ 12 แสดงค่าผิดพลาดสัมบูรณ์ขนาดและมุมเฟสของแรงดันที่บัส ระบบการวัดเซตที่ 1 ภาพ 15 และภาพ 16 แสดงค่าผิดพลาดสัมบูรณ์ของขนาดและมุมเฟสของแรงดันที่บัส ระบบการวัดเซตที่ 2

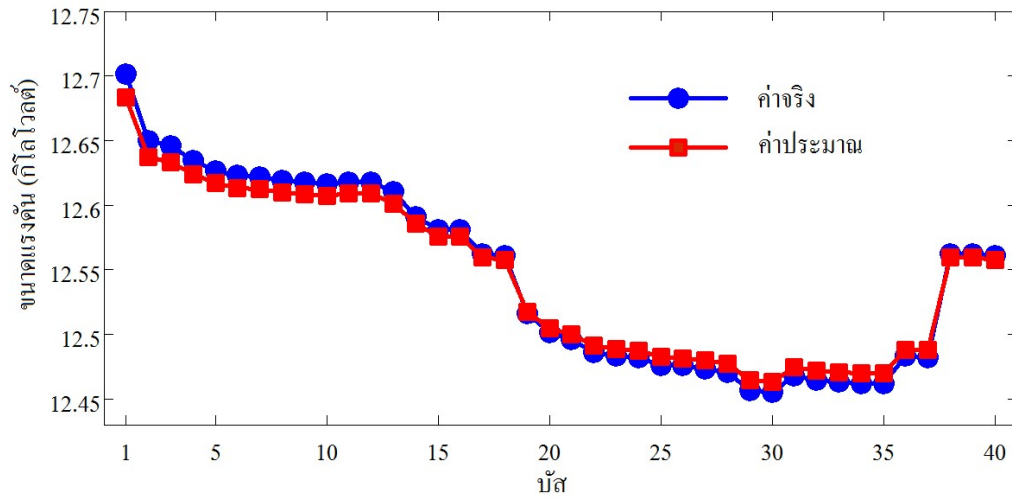
$$\text{ค่าผิดพลาดสัมบูรณ์} = |\text{ค่าจริง} - \text{ค่าประมาณ}| \quad (4.1)$$

ตาราง 13 ระบบการวัดเขตที่ 1

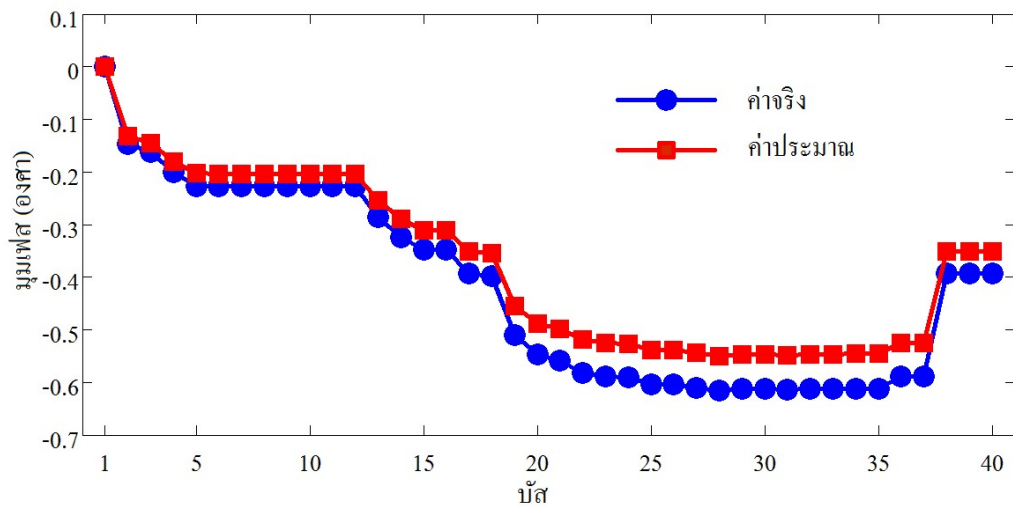
แรงดัน	กำลังไฟฟ้า
B1, B4, B6, B8, B13, B17, B23, B25, B28, B33, B38	B1-B2, B2-B3, B3-B4, B4-B5, B5-B6, B6-B7, B6-B8, B8-B9, B9-B10, B8-B11, B11-B12, B5-B13, B13-B14, B14-B15, B15-B16, B15-B17, B17-B18, B18-B19, B19-B20, B20-B21, B21-B22, B22-B23, B23-B24, B24-B25, B25-B26, B25-B27, B27-B28, B28-B29, B29-B30, B28-B31, B31-B32, B32-B33, B33-B34, B33-B35, B23-B36, B36-B37, B17-B38, B38-B39, B38-B40

ตาราง 14 ระบบการวัดเขตที่ 2

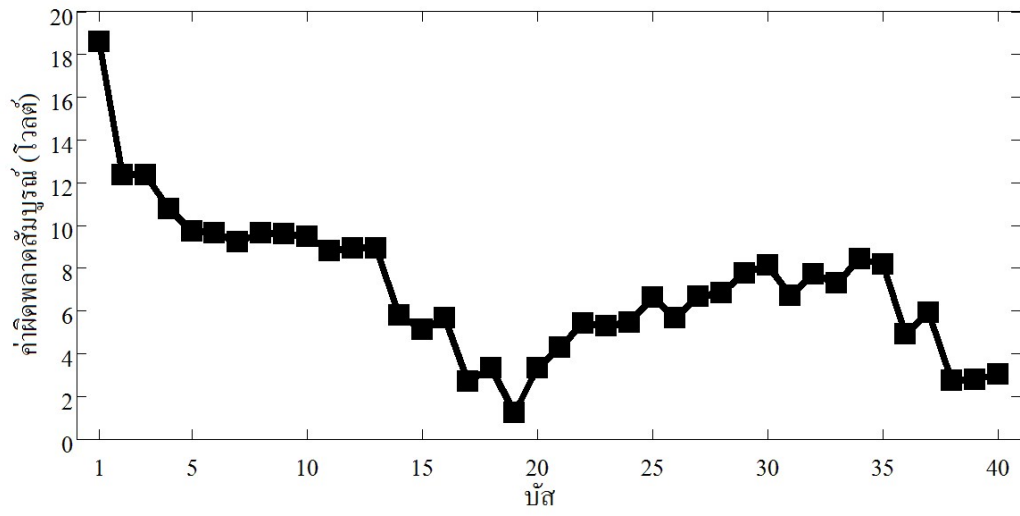
แรงดัน	กำลังไฟฟ้า
B1, B6, B17, B25, B38	B1-B2, B2-B3, B3-B4, B4-B5, B5-B6, B6-B7, B6-B8, B8-B9, B9-B10, B8-B11, B11-B12, B5-B13, B13-B14, B14-B15, B15-B16, B15-B17, B17-B18, B18-B19, B19-B20, B20-B21, B21-B22, B22-B23, B23-B24, B24-B25, B25-B26, B25-B27, B27-B28, B28-B29, B29-B30, B28-B31, B31-B32, B32-B33, B33-B34, B33-B35, B23-B36, B36-B37, B17-B38, B38-B39, B38-B40



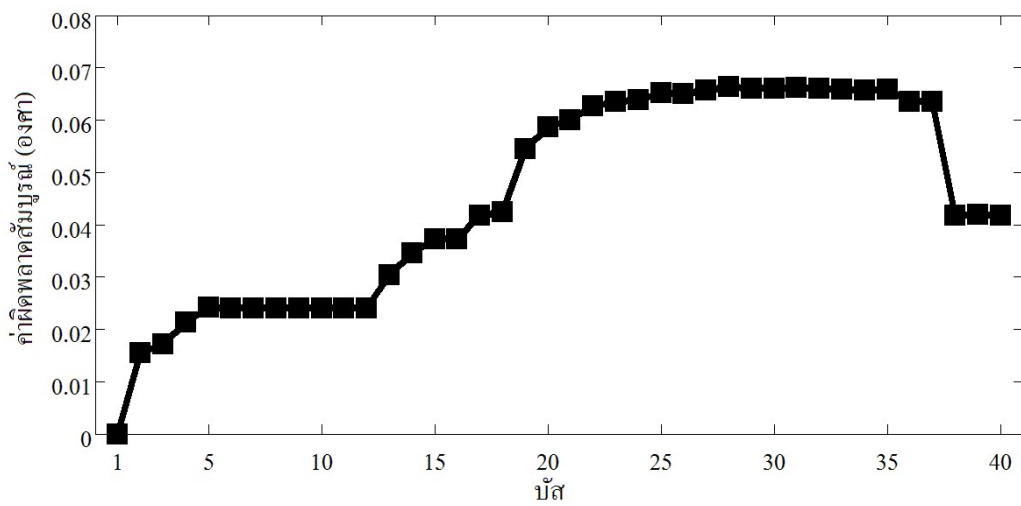
ภาพ 9 ขนาดแรงดัน กรณีใช้เครื่องวัดเซตที่ 1



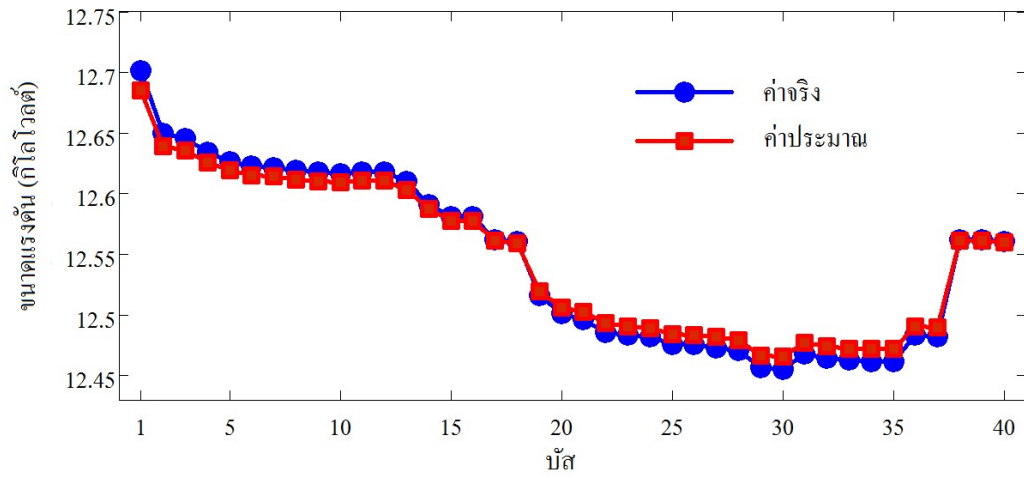
ภาพ 10 มุมเฟส กรณีใช้เครื่องวัดเซตที่ 1



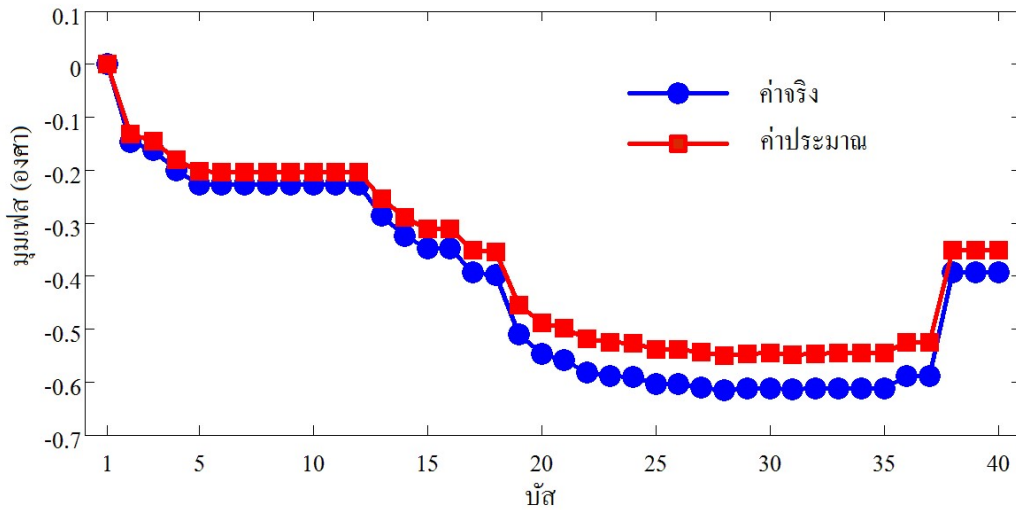
ภาพ 11 ค่าผิดพลาดสัมบูรณ์ของขนาดแรงดัน กรณีใช้เครื่องวัดเซตที่ 1



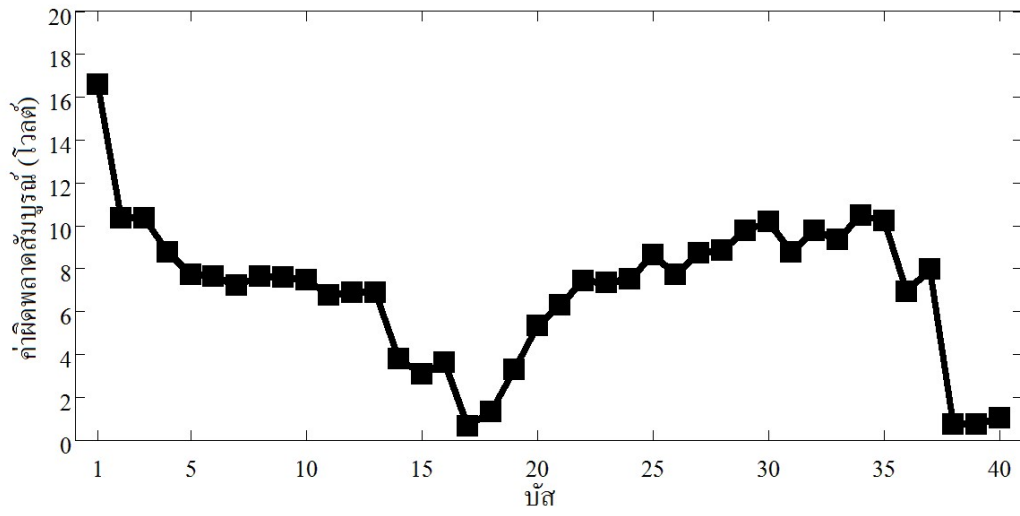
ภาพ 12 ค่าผิดพลาดสัมบูรณ์ของมุมเฟส กรณีใช้เครื่องวัดเซตที่ 1



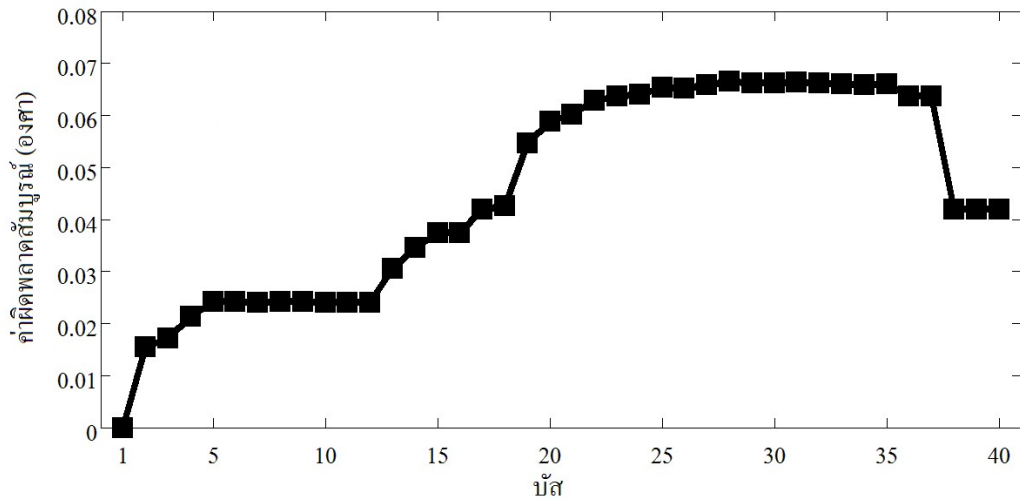
ภาพ 13 ขนาดแรงแจกต์ กรณีใช้เครื่องวัดเซตที่ 2



ภาพ 14 มุมเฟส กรณีใช้เครื่องวัดเซตที่ 2



ภาพ 15 ค่าผิดพลาดสัมบูรณ์ของขนาดแรงดัน กรณีใช้เครื่องวัดเซตที่ 2



ภาพ 16 ค่าผิดพลาดสัมบูรณ์ของมุมเฟส กรณีใช้เครื่องวัดเซตที่ 2

การทดสอบข้อมูลไม่ตี

การทดสอบกระทำโดยสมมติให้มีข้อมูลไม่ตีที่เครื่องวัดที่ละเอียดแล้ววิเคราะห์ข้อมูลไม่ตีภายหลังการประมาณสถานะให้ผลเฉลย โดยเมื่อให้ข้อมูลแรงดันที่วัดมาได้ มีค่าเพิ่มขึ้น 20 เปอร์เซ็นต์ พบว่า กระบวนการวิเคราะห์ข้อมูลไม่ตีสามารถบ่งชี้ว่าเครื่องวัดแรงดันให้ข้อมูลการวัดที่ไม่ตีได้อย่างถูกต้อง แสดงในตาราง 15 และตาราง 16 อย่างไรก็ตาม เมื่อทดสอบข้อมูลไม่ตีที่เครื่องวัดกำลังไฟฟ้าจริงที่ละเอียดโดยให้ข้อมูลกำลังไฟฟ้าที่วัดมาได้ มีค่าเพิ่มขึ้น 50 เปอร์เซ็นต์ และทดสอบข้อมูลไม่ตีที่เครื่องวัดกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟที่ละเอียด โดยให้ข้อมูลกำลังไฟฟ้าที่วัดมาได้ มีค่าเพิ่มขึ้น 30 เปอร์เซ็นต์ และมีค่าติดลบ พบว่า ส่วนใหญ่แล้วการวิเคราะห์ข้อมูลไม่ตีจะไม่สามารถบ่งชี้ว่ามีข้อมูลไม่ตีในระบบการวัดได้ และอาจจะให้ข้อมูลผิดพลาดว่าเครื่องวัดใดมีข้อมูลไม่ตี แสดงในตาราง 17 ตาราง 18 ตาราง 19 และตาราง 20 ตามลำดับ

โดยทั่วไปแล้วการวิเคราะห์ข้อมูลไม่ตีโดยวิธีส่วนตกค้างปกติสูงสุดจะให้สมรรถนะที่ดีเมื่อมีเครื่องวัดส่วนเกินจำนวนมากและโครงข่ายมีการกระจาย แต่เนื่องจากระบบจำหน่าย 22 กิโลโวลต์ ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค เป็นแบบโครงข่ายรัศมีและสายส่งส่วนใหญ่มีความยาวไม่มาก แรงดันของบัสที่ติดกันอาจมีขนาดและมุมเฟสไม่ค่อยแตกต่างกัน ดังนั้น การบ่งชี้ข้อมูลไม่ตีในเครื่องวัดกำลังไฟฟ้าจึงมีสมรรถนะลดลง

ตาราง 15 การทดสอบข้อมูลไม่ดีในเครื่องวัดแรงดัน กรณีใช้เครื่องวัดเซตที่ 1

เครื่องวัดที่ให้ข้อมูลไม่ดี	ค่าส่วนตกค้างปกติสูงสุด	การบ่งชี้เครื่องวัดไม่ดี
เครื่องวัดแรงดันที่บัล B1	58.2516	เครื่องวัดแรงดันที่บัล B1
เครื่องวัดแรงดันที่บัล B4	58.0577	เครื่องวัดแรงดันที่บัล B4
เครื่องวัดแรงดันที่บัล B6	58.0714	เครื่องวัดแรงดันที่บัล B6
เครื่องวัดแรงดันที่บัล B8	56.2830	เครื่องวัดแรงดันที่บัล B8
เครื่องวัดแรงดันที่บัล B13	57.1163	เครื่องวัดแรงดันที่บัล B13
เครื่องวัดแรงดันที่บัล B17	56.2903	เครื่องวัดแรงดันที่บัล B17
เครื่องวัดแรงดันที่บัล B23	57.1202	เครื่องวัดแรงดันที่บัล B23
เครื่องวัดแรงดันที่บัล B25	56.1623	เครื่องวัดแรงดันที่บัล B25
เครื่องวัดแรงดันที่บัล B28	56.0704	เครื่องวัดแรงดันที่บัล B28
เครื่องวัดแรงดันที่บัล B33	55.6023	เครื่องวัดแรงดันที่บัล B33
เครื่องวัดแรงดันที่บัล B38	56.4340	เครื่องวัดแรงดันที่บัล B38

ตาราง 16 การทดสอบข้อมูลไม่ดีในเครื่องวัดแรงดัน กรณีใช้เครื่องวัดเซตที่ 2

เครื่องวัดที่ให้ข้อมูลไม่ดี	ค่าส่วนตกค้างปกติสูงสุด	การบ่งชี้เครื่องวัดไม่ดี
เครื่องวัดแรงดันที่บัล B1	51.4979	เครื่องวัดแรงดันที่บัล B1
เครื่องวัดแรงดันที่บัล B6	51.1957	เครื่องวัดแรงดันที่บัล B6
เครื่องวัดแรงดันที่บัล B17	49.3501	เครื่องวัดแรงดันที่บัล B17
เครื่องวัดแรงดันที่บัล B25	49.0818	เครื่องวัดแรงดันที่บัล B25
เครื่องวัดแรงดันที่บัล B38	49.4911	เครื่องวัดแรงดันที่บัล B38

ตาราง 17 ตัวอย่างผลการทดสอบข้อมูลไม้ดีในเครื่องวัดกำลังจริง

กรณีใช้เครื่องวัดเซตที่ 1

เครื่องวัดที่ให้ข้อมูลไม้ดี	ค่าส่วนตกค้างปกติสูงสุด	การบ่งชี้เครื่องวัดไม้ดี
เครื่องวัดที่สายส่ง B1-B2	0.7662	เครื่องวัดที่สายส่ง B2-B3
เครื่องวัดที่สายส่ง B2-B3	0.7492	เครื่องวัดที่สายส่ง B2-B3
เครื่องวัดที่สายส่ง B3-B4	0.7463	เครื่องวัดที่สายส่ง B4-B5
เครื่องวัดที่สายส่ง B4-B5	0.7478	เครื่องวัดที่สายส่ง B3-B4
เครื่องวัดที่สายส่ง B5-B6	0.7706	เครื่องวัดที่สายส่ง B3-B4
เครื่องวัดที่สายส่ง B6-B7	0.7685	เครื่องวัดที่สายส่ง B3-B4
เครื่องวัดที่สายส่ง B6-B8	0.7546	เครื่องวัดที่สายส่ง B3-B4
เครื่องวัดที่สายส่ง B8-B9	0.7510	เครื่องวัดที่สายส่ง B3-B4
เครื่องวัดที่สายส่ง B9-B10	0.7510	เครื่องวัดที่สายส่ง B3-B4

ตาราง 18 ตัวอย่างผลการทดสอบข้อมูลไม้ดีในเครื่องวัดกำลังจริง

กรณีใช้เครื่องวัดเซตที่ 2

เครื่องวัดที่ให้ข้อมูลไม้ดี	ค่าส่วนตกค้างปกติสูงสุด	การบ่งชี้เครื่องวัดไม้ดี
เครื่องวัดที่สายส่ง B1-B2	0.5867	เครื่องวัดที่สายส่ง B2-B3
เครื่องวัดที่สายส่ง B2-B3	0.6060	เครื่องวัดที่สายส่ง B2-B3
เครื่องวัดที่สายส่ง B3-B4	0.5962	เครื่องวัดที่สายส่ง B2-B3
เครื่องวัดที่สายส่ง B4-B5	0.5976	เครื่องวัดที่สายส่ง B2-B3
เครื่องวัดที่สายส่ง B5-B6	0.6184	เครื่องวัดที่สายส่ง B2-B3
เครื่องวัดที่สายส่ง B6-B7	0.5575	เครื่องวัดที่สายส่ง B2-B3
เครื่องวัดที่สายส่ง B6-B8	0.6101	เครื่องวัดที่สายส่ง B2-B3
เครื่องวัดที่สายส่ง B8-B9	0.6155	เครื่องวัดที่สายส่ง B2-B3
เครื่องวัดที่สายส่ง B9-B10	0.6104	เครื่องวัดที่สายส่ง B2-B3

ตาราง 19 ตัวอย่างการทดสอบข้อมูลไม่ดีในเครื่องวัดกำลังรีแอกทีฟ

กรณีใช้เครื่องวัดเซตที่ 1

เครื่องวัดที่ให้ข้อมูลไม่ดี	ค่าส่วนตกค้างปกติสูงสุด	การบ่งชี้เครื่องวัดไม่ดี
เครื่องวัดที่สายส่ง B1-B2	1.7357	เครื่องวัดที่สายส่ง B1-B2
เครื่องวัดที่สายส่ง B2-B3	0.7618	เครื่องวัดที่สายส่ง B4-B5
เครื่องวัดที่สายส่ง B3-B4	0.8091	เครื่องวัดที่สายส่ง B1-B2
เครื่องวัดที่สายส่ง B4-B5	0.8485	เครื่องวัดที่สายส่ง B2-B3
เครื่องวัดที่สายส่ง B5-B6	0.6509	เครื่องวัดที่สายส่ง B2-B3
เครื่องวัดที่สายส่ง B6-B7	0.6913	เครื่องวัดที่สายส่ง B2-B3
เครื่องวัดที่สายส่ง B6-B8	0.6913	เครื่องวัดที่สายส่ง B2-B3
เครื่องวัดที่สายส่ง B8-B9	0.6913	เครื่องวัดที่สายส่ง B2-B3
เครื่องวัดที่สายส่ง B9-B10	0.6913	เครื่องวัดที่สายส่ง B2-B3

ตาราง 20 ตัวอย่างการทดสอบข้อมูลไม่ดีในเครื่องวัดกำลังรีแอกทีฟ

กรณีใช้เครื่องวัดเซตที่ 2

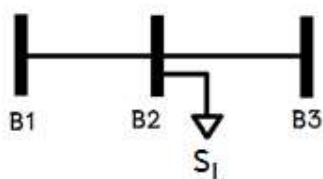
เครื่องวัดที่ให้ข้อมูลไม่ดี	ค่าส่วนตกค้างปกติสูงสุด	การบ่งชี้เครื่องวัดไม่ดี
เครื่องวัดที่สายส่ง B1-B2	1.4213	เครื่องวัดที่สายส่ง B2-B3
เครื่องวัดที่สายส่ง B2-B3	0.6674	เครื่องวัดที่สายส่ง B2-B3
เครื่องวัดที่สายส่ง B3-B4	0.7257	เครื่องวัดที่สายส่ง B2-B3
เครื่องวัดที่สายส่ง B4-B5	0.6504	เครื่องวัดที่สายส่ง B2-B3
เครื่องวัดที่สายส่ง B5-B6	0.6509	เครื่องวัดที่สายส่ง B2-B3
เครื่องวัดที่สายส่ง B6-B7	0.6913	เครื่องวัดที่สายส่ง B2-B3
เครื่องวัดที่สายส่ง B6-B8	0.6913	เครื่องวัดที่สายส่ง B2-B3
เครื่องวัดที่สายส่ง B8-B9	0.6913	เครื่องวัดที่สายส่ง B2-B3
เครื่องวัดที่สายส่ง B9-B10	0.6913	เครื่องวัดที่สายส่ง B2-B3

การประมาณภาระไฟฟ้า

ค่าสถานะกำลังจริงและค่ากำลังรีแอกทีฟที่ประมาณได้ สามารถนำไปคำนวณหาขนาดภาระไฟฟ้าที่บัสต่าง ๆ ได้ จากภาพ 17 เมื่อต้องการคำนวณหาภาระไฟฟ้าที่บัส B2 โดยใช้ลูกศรสีดำแทนภาระไฟฟ้า (Load) จากการประมาณสถานะทำให้รู้ค่ากำลังไฟฟ้าจริงและค่ากำลังไฟฟ้รีแอกทีฟที่ไหลเข้าและออกจากบัส B2 คือ จากบัส B2 ไปยังบัส B1 และจากบัส B2 ไปบัส B3 โดยการกำหนดให้กำลังไฟฟ้าที่ไหลออกจากบัสจะมีค่าเป็นลบ และไหลเข้าบัสจะมีค่าเป็นบวก เราสามารถเขียนความสัมพันธ์ของกำลังไฟฟ้าที่บัส B2 ได้เป็น

$$S_{B2-B1} - S_{B2-B3} - S_L = 0 \quad (4.2)$$

$$\text{หรือ} \quad S_L = (S_{B2-B1} + S_{B2-B3}) \quad (4.3)$$



ภาพ 17 ระบบ ขนาด 3 บัส ที่มีภาระไฟฟ้า

ตาราง 21 ภาระไฟฟ้าจริงและภาระไฟฟ้าที่ประมาณได้

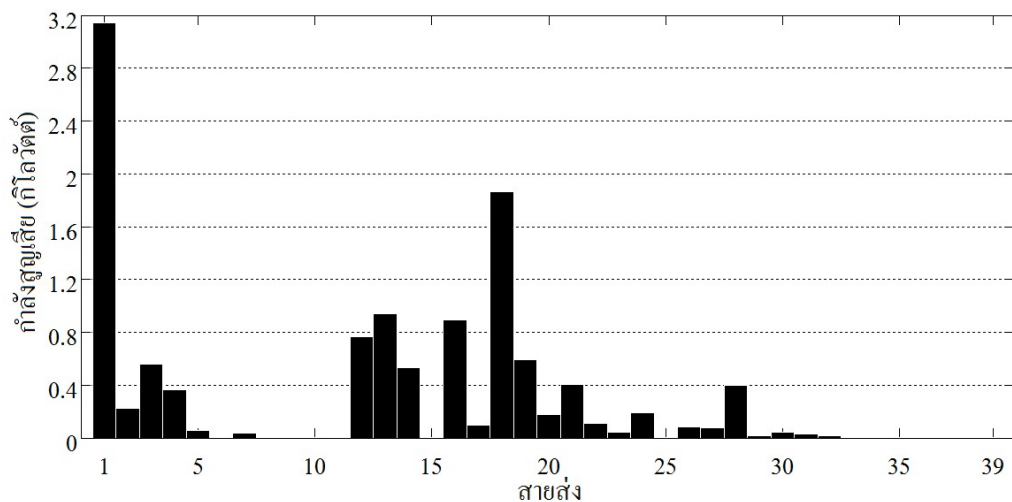
บัส	ค่าจริง		ค่าประมาณ		ค่าผิดพลาดสัมบูรณ์	
	กำลังจริง (กิโลวัตต์)	กำลัง รีแอกทีฟ (กิโลวาร์)	กำลังจริง (กิโลวัตต์)	กำลัง รีแอกทีฟ (กิโลวาร์)	กำลังจริง (กิโลวัตต์)	กำลัง รีแอกทีฟ (กิโลวาร์)
B1	-	-	-	-	-	-
B2	46.6667	25.8133	56.0101	27.2548	9.3434	1.4415
B3	29.1667	16.1333	34.6110	20.2682	5.4443	4.1349
B4	26.2500	14.5200	21.2969	11.4723	4.9531	3.0477
B5	-	-	-	-	-	-
B6	-	-	-	-	-	-
B7	72.9170	40.3333	72.0702	40.0745	0.8468	0.2588
B8	-	-	-	-	-	-
B9	14.5833	8.0667	15.4852	8.31656	0.9019	0.24986
B10	46.6667	25.8133	46.6147	25.7043	0.0520	0.1090
B11	46.6667	25.8133	46.9921	25.9900	0.3254	0.1767
B12	14.5833	8.0667	14.5564	8.08381	0.0269	0.01711
B13	14.5833	8.0667	12.9420	12.4571	1.6413	4.3904
B14	46.6667	25.8133	49.6301	19.6464	2.9634	6.1669
B15	-	-	-	-	-	-
B16	14.5833	8.0667	14.5089	8.11314	0.0744	0.04644
B17	-	-	-	-	-	-
B18	46.6667	25.8133	45.5475	29.0491	1.1192	3.2358
B19	29.1667	16.1333	31.5149	14.0025	2.3482	2.1308
B20	29.1667	16.1333	32.2427	17.0950	3.076	0.9617
B21	14.5833	8.0667	13.7803	7.38656	0.803	0.68014

ตาราง 21 (ต่อ)

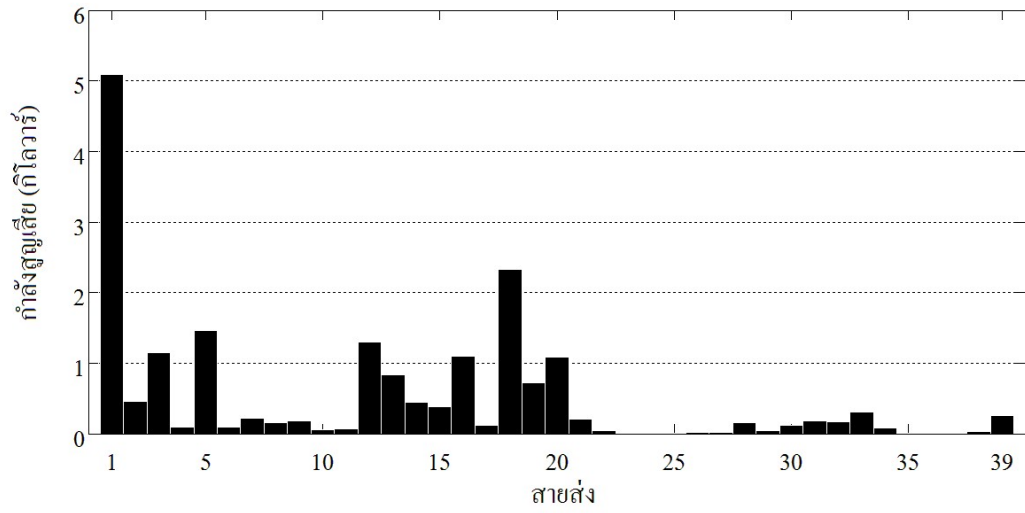
บัส	ค่าจริง		ค่าประมาณ		ค่าผิดพลาดสัมบูรณ์	
	กำลังจริง (กิโลวัตต์)	กำลัง รีแอกทีฟ (กิโลวาร์)	กำลังจริง (กิโลวัตต์)	กำลัง รีแอกทีฟ (กิโลวาร์)	กำลังจริง (กิโลวัตต์)	กำลัง รีแอกทีฟ (กิโลวาร์)
B22	46.6667	25.8133	40.8739	25.0151	5.7928	0.7982
B23	-	-	-	-	-	-
B24	29.1667	16.1333	29.1706	22.5804	0.0039	6.4471
B25	-	-	-	-	-	-
B26	46.6667	25.8133	46.8828	25.8004	0.2161	0.0129
B27	14.5833	8.0667	15.2040	6.99140	0.6207	1.0753
B28	-	-	-	-	-	-
B29	183.7500	101.6400	184.3224	102.5333	0.5724	0.8933
B30	183.7500	101.6400	183.9858	102.1385	0.2358	0.4985
B31	46.6667	25.8133	46.3544	26.5136	0.3123	0.7003
B32	46.6667	25.8133	45.3790	25.1765	1.2877	0.6368
B33	-	-	-	-	-	-
B34	46.6667	25.8133	46.9132	25.9498	0.2465	0.1365
B35	46.6667	25.8133	46.8933	26.0118	0.2266	0.1985
B36	29.1667	16.1333	29.7902	16.3246	0.6235	0.1913
B37	46.6667	25.8133	46.6637	25.6330	0.003	0.1803
B38	-	-	-	-	-	-
B39	14.5833	8.0667	14.5720	8.06297	0.0113	0.00373
B40	46.6667	25.8133	46.4890	25.8676	0.1777	0.0543

การประมาณกำลังสูญเสียในสายส่ง

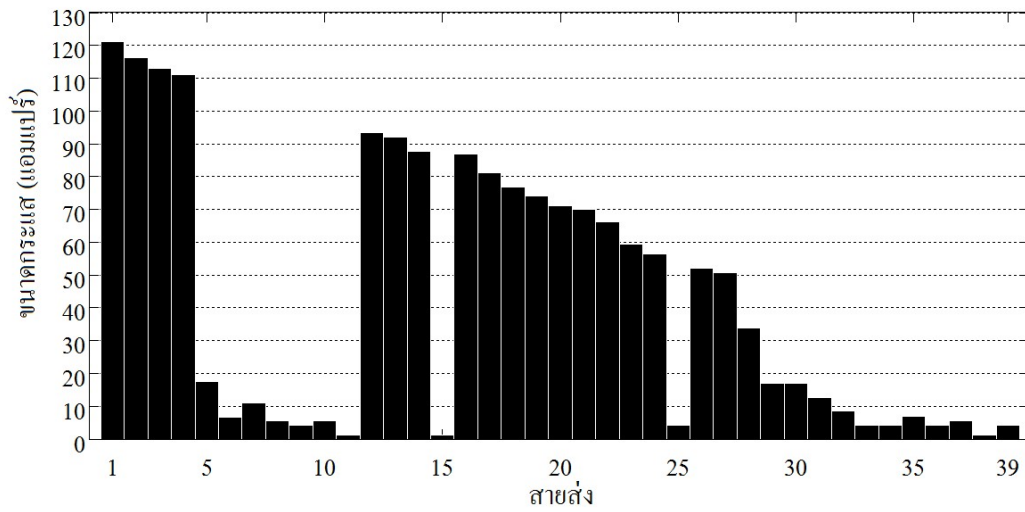
ค่าสถานะกำลังจริงและค่าสถานะกำลังรีแอกทีฟที่ประมาณได้ สามารถนำไปคำนวณหากำลังสูญเสียที่สายส่งแต่ละเส้นได้ โดยคำนวณจากกำลังไฟฟ้าที่ไหลออกจากบัสต้นทางไปยังบัสปลายทางบวกกับกำลังไฟฟ้าที่ไหลออกจากบัสปลายทางมายังบัสต้นทาง โดยการกำหนดให้กำลังที่ไหลออกจากบัสต้นทางมีค่าเป็นบวก และไหลออกจากบัสปลายทางมายังบัสต้นทางจะมีค่าเป็นลบ ข้อมูลกำลังสูญเสียในสายส่งแต่ละเส้นสามารถนำไปใช้ในการหาแนวทางการลดกำลังสูญเสียในระบบได้ แสดงดังภาพ 18 และภาพ 19 กระแสที่ไหลในสายส่งก็สามารถคำนวณได้จากค่าสถานะที่ประมาณได้ แสดงดังภาพ 20



ภาพ 18 กำลังจริงที่สูญเสียในสายส่ง



ภาพ 19 กำลังรีแอกทีฟที่สูญเสียในสายส่ง



ภาพ 20 กระแสที่ไหลในสายส่ง

ตาราง 22 กำลังสูญเสียในสายส่ง

สายส่ง	ค่าจริง		ค่าประมาณ		ค่าผิดพลาดสัมบูรณ์	
	กำลังจริง (กิโลวัตต์)	กำลังรี แอกทีฟ (กิโลวาร์)	กำลังจริง (กิโลวัตต์)	กำลังรี แอกทีฟ (กิโลวาร์)	กำลังจริง (กิโลวัตต์)	กำลังรี แอกทีฟ (กิโลวาร์)
B1-B2	3.5198	5.7012	3.1415	5.0966	0.3783	0.6046
B2-B3	0.2484	0.5293	0.2218	0.4621	0.0266	0.0672
B3-B4	0.6282	1.3334	0.5557	1.1506	0.0725	0.1828
B4-B5	0.4088	0.8642	0.3646	0.0936	0.0442	0.7706
B5-B6	0.0646	0.0969	0.0569	1.4602	0.0077	1.3633
B6-B7	0.0057	0.0809	0.0050	0.0913	0.0007	0.0104
B6-B8	0.0411	0.1927	0.0371	0.2206	0.0040	0.0279
B8-B9	0.0066	0.1340	0.0060	0.1507	0.0006	0.0167
B9-B10	0.0047	0.1659	0.0042	0.1862	0.0005	0.0203
B8-B11	0.0022	0.0450	0.0020	0.0507	0.0002	0.0057
B11-B12	0.0002	0.0571	0.0001	0.0639	0.0001	0.0068
B5-B13	0.6947	1.4101	0.7638	1.3046	0.0691	0.1055
B13-B14	1.2240	1.2696	0.9397	0.8337	0.2843	0.4359
B14-B15	0.5975	0.5717	0.5304	0.4437	0.0671	0.1280
B15-B16	0.0007	0.3549	0.0007	0.3798	0.0000	0.0249
B15-B17	0.9979	1.2099	0.8968	1.0935	0.1011	0.1164
B17-B18	0.1059	0.1424	0.0945	0.1212	0.0114	0.0212
B18-B19	2.0933	2.7600	1.8659	2.3310	0.2274	0.4290
B19-B20	0.6671	0.8675	0.5933	0.7271	0.0738	0.1404
B20-B21	0.2024	0.2191	0.1788	1.0866	0.0236	0.8675

ตาราง 22 (ต่อ)

สายส่ง	ค่าจริง		ค่าประมาณ		ค่าผิดพลาดสัมบูรณ์	
	กำลังจริง (กิโลวัตต์)	กำลังรี แอกทีฟ (กิโลวาร์)	กำลังจริง (กิโลวัตต์)	กำลังรี แอกทีฟ (กิโลวาร์)	กำลังจริง (กิโลวัตต์)	กำลังรี แอกทีฟ (กิโลวาร์)
B21-B22	0.4560	0.3219	0.4040	0.2089	0.0520	0.1130
B22-B23	0.1253	0.1043	0.1125	0.0462	0.0128	0.0581
B23-B24	0.0465	0.0192	0.0420	0.0071	0.0045	0.0121
B23-B36	0.2106	0.0845	0.1886	0.0069	0.0220	0.0776
B24-B25	0.0038	0.0023	0.0034	0.0020	0.0004	0.0003
B25-B26	0.0926	0.0119	0.0828	0.0166	0.0098	0.0047
B25-B27	0.0872	0.0053	0.0780	0.0223	0.0092	0.0170
B27-B28	0.4426	0.1635	0.3969	0.1616	0.0457	0.0019
B28-B29	0.0155	0.0357	0.0139	0.0415	0.0016	0.0058
B29-B30	0.0476	0.1121	0.0421	0.1238	0.0055	0.0117
B28-B31	0.0374	0.1601	0.0329	0.1833	0.0045	0.0232
B31-B32	0.0150	0.1525	0.0135	0.1725	0.0015	0.0200
B32-B33	0.0006	0.0248	0.0006	0.3122	-	0.2874
B33-B34	0.0018	0.0856	0.0016	0.0838	0.0002	0.0018
B33-B35	0.0044	0.0816	0.0023	0.0014	0.0021	0.0802
B36-B37	0.0010	0.0214	0.0009	0.0005	0.0001	0.0209
B17-B38	0.0004	0.0274	0.0003	0.0083	0.0001	0.0191
B38-B39	-	0.0315	-	0.0353	-	0.0038
B38-B40	0.0065	0.2552	0.0058	0.2567	0.0007	0.0015
รวม	13.1085	19.7064	11.6799	19.03642	-	-

บทที่ 5

บทสรุป

สรุปผลการวิจัย

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำเสนอการประมาณสถานะในระบบจำหน่ายขนาด 22 กิโลโวลต์ สถานีไฟฟ้าพิษณุโลก 1 และได้นำเสนอวิธีการลดขนาดโครงข่ายเพื่อลดจำนวนเครื่องวัดที่ติดตั้ง และลดขนาดของโครงข่ายที่ต้องแก้ปัญหา โดยใช้ทฤษฎีโครงข่ายสองพอร์ตแบบพารามิเตอร์ ABCD

1. ตัวประมาณสถานะที่นำเสนอสามารถใช้ในการประมาณสถานะของระบบจำหน่ายไฟฟ้าที่มีโครงข่ายรัศมีได้
2. เทคนิคการลดขนาดโครงข่าย สามารถช่วยลดขนาดของปัญหาการประมาณสถานะ แต่ยังคงให้ผลลัพธ์ในการประมาณสถานะที่แม่นยำ
3. การประมาณสถานะสามารถให้สถานะแรงดันบัส และสามารถใช้ในการประมาณภาระไฟฟ้า กำลังสูญเสีย และขนาดกระแสที่ไหลในสายส่งได้
4. การวิเคราะห์ข้อมูลไม่ดี โดยวิธีส่วนตักค้างปกติสูงสุด ยังไม่สามารถบ่งชี้เครื่องวัดกำลังไฟฟ้าที่ไม่ดีในระบบโครงข่ายรัศมีได้
5. ตำแหน่ง ชนิด และจำนวนของเครื่องวัดจะส่งผลต่อความแม่นยำของสถานะที่ประมาณได้ การจัดวางเครื่องวัดอย่างเหมาะสมจะช่วยลดจำนวนเครื่องวัด แต่ยังคงให้การประมาณสถานะที่แม่นยำ
6. ในระบบโครงข่ายรัศมีจำเป็นต้องติดตั้งเครื่องวัดกำลังไฟฟ้าทุกสายส่งเพื่อใช้หาค่าสถานะในบัสถัดไป

ปัญหาและข้อเสนอแนะ

1. การประมาณสถานะนี้ยังเป็นการประมาณค่าระบบจำหน่ายไฟฟ้าแบบแยกคิดที่ละเฟส เพื่อความสะดวกและรวดเร็วในการประมาณค่าสถานะจึงควรพัฒนาหลักการประมาณค่านี้ให้สามารถประมาณค่าสถานะระบบไฟฟ้าแบบสามเฟสต่อไป

2. สามารถนำขนาดกระแสและกำลังไฟฟ้าสูญเสียที่ประมาณได้ เป็นข้อมูลเพื่อการวางแผน บริหารจัดการประเมินสมรรถนะของสายส่งและการเลือกใช้อุปกรณ์ป้องกันในระบบจำหน่าย

3. ค่าพารามิเตอร์ ข้อมูลสถานะต่าง ๆ ที่ได้จากการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคแล้วรันในโปรแกรม PSS/Adept 5.0 ซึ่งใช้เป็นค่าจริงของระบบ อาจมีความคลาดเคลื่อนเล็กน้อย

4. โคร่งข่ายระบบจำหน่าย 22 กิโลโวลต์ ที่ได้จากการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค เป็นโคร่งข่ายในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ทำให้รูปโคร่งข่ายที่ออกมาลักษณะเป็นเส้นยากต่อการศึกษา จึงนำข้อมูลมาจำลองระบบโคร่งข่ายขึ้นใหม่บนโปรแกรม PSS/Adept 5.0 แบบแผนภาพเส้นเดียวระบบไฟฟ้าโดยอ้างอิงค่าพารามิเตอร์ ข้อมูลสถานะต่าง ๆ ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคแล้วนำมาใช้เป็นค่าจริงของระบบเพื่อสะดวกต่อการศึกษาวิจัย



บรรณานุกรม

บรรณานุกรม

- [1] ชลากร สุวรรณสิทธิ์. (2551). การประมาณค่าสถานะในระบบไฟฟ้ากำลังโดยใช้เทคนิคกำลังสองน้อยสุดที่ถ่วงน้ำหนัก. วิทยานิพนธ์ วศ.ม., มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.
- [2] สุภาวดี สุวรรณรัตน์. (2552). การระบุตำแหน่งวิกฤตในการติดตั้ง RTU สำหรับการประมาณสถานะในระบบ 115 kV ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค. วิทยานิพนธ์ วศ.ม., มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพมหานคร.
- [3] เซวต์ศักดิ์ รักเป็นไทย และเสริมศักดิ์ เอื้อตรงจิตต์ (ผู้บรรยาย). (12-14 ธันวาคม 2555). ผลกระทบของการติดตั้งเครื่องวัดเฟสเซอร์เข้าจังหวะในการประมาณค่าสถานะของระบบไฟฟ้ากำลังที่มีอุปกรณ์แพกต์. ใน การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 35 (หน้า 23-26). นครนายก: รอยัลฮิลล์ กอล์ฟรีสอร์ต แอนด์ สปา.
- [4] กิติชัย ศรีมูล. (2557). การปรับปรุงเทคนิคการวัดสมมูลสำหรับการประมาณสถานะระบบกำลังไฟฟ้า. การค้นคว้าแบบอิสระ วศ.ม, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.
- [5] Wu, J., He, Y. and Jenkins, N. (2013). A robust state estimator for medium voltage distribution networks. **IEEE Transactions on Power System**, 28(2), 1008-1016.
- [6] Hansen, C. W. and Debs, A. S. (1995). Power system state estimation using three-phase models. **IEEE Transactions on Power System**, 10(2), 818-824.
- [7] Thukaram, D., Jerome, J. and Surapong, C. (2000). A robust three-phase state estimation algorithm for distribution networks. **Electric Power Systems Research**, 55(3), 191-200.
- [8] Houghton, D. A. and Heydt, G. T. (2013). A linear state estimation formulation for smart distribution systems. **IEEE Transactions on Power System**, 28(2), 1187-1195.
- [9] Jain, A. and Raman, S. (July 22-26, 2012). An equivalent pi network model for power system state estimation with network parameter errors. In **IEEE Power and Energy Society General Meeting**. (P.140-143). California: Manchester Grand Hyatt.

- [10] Monticelli, A. (1999). **State estimation in electric power systems a generalized approach**. Massachusetts: Kluwer Academic Publishers.






ภาคผนวก

ภาคผนวก ก โปรแกรม PSS/Adept 5.0

โปรแกรม PSS/Adept 5.0

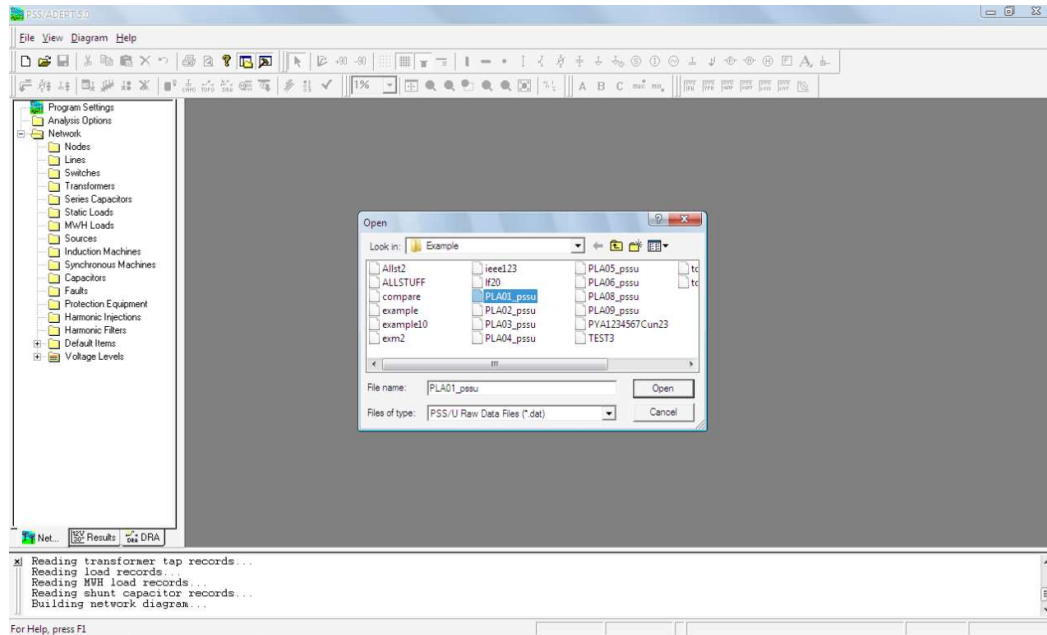
โปรแกรม PSS/Adept (Power system simulator /Advanced distribution engineering productivity tool) เป็นโปรแกรมที่ใช้สำหรับการวิเคราะห์และจำลองระบบไฟฟ้า เหมาะกับการวางแผน ออกแบบ และวิเคราะห์ระบบไฟฟ้า มีความสามารถในการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้า (Power flow) และวิเคราะห์การลัดวงจรไฟฟ้า (Short circuit analysis) ในระบบไฟฟ้าแบบเรเดียล (Radial) และแบบลูป (Loop) เป็นโปรแกรมที่ใช้งานง่าย บ้อนข้อมูลได้ง่าย แสดงผลการคำนวณผ่านทางรูปภาพและในรูปแบบตารางรายงานได้ และยังสามารถเชื่อมโยงข้อมูลกับโปรแกรมของการไฟฟ้าอื่น ๆ ได้ เช่น โปรแกรมแผนที่ภูมิศาสตร์ (Geographic Information System: GIS) การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ได้นำโปรแกรม PSS/Adept มาใช้ในการวางแผนการก่อสร้างระบบสายส่งไฟฟ้า 115 กิโลโวลต์ 22 กิโลโวลต์ สถานีไฟฟ้า ให้สามารถจ่ายไฟฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพและมั่นคง วิธีการใช้โปรแกรมเบื้องต้นเพื่อศึกษาการไหลของกำลังไฟฟ้าของวงจรไฟฟ้าย่อย 1 สถานีไฟฟ้าพิษณุโลก 1 การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค จังหวัดพิษณุโลก เพื่อนำข้อมูลจากโปรแกรม PSS/Adept มาใช้ประกอบการจำลองโครงข่ายขึ้นใหม่เป็นแบบแผนภาพเส้นเดียวระบบไฟฟ้า และเพื่อใช้ประกอบการพัฒนาโปรแกรมประมาณค่าสถานะสามารถทำได้ดังต่อไปนี้

1. เปิดโปรแกรมไปที่เมนู File เลือก Open แล้วเลือกไฟล์ของสถานีไฟฟ้าพิษณุโลก 1 วงจรย่อย 1 ที่ได้มาจากการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค เป็นไฟล์ที่มีการบันทึกข้อมูลพร้อมที่จะรันหาการไหลของกำลังไฟฟ้า ตามภาพ 21 จะได้รูปเครือข่ายวงจรไฟฟ้าแบบเรเดียล ตามภาพ 22

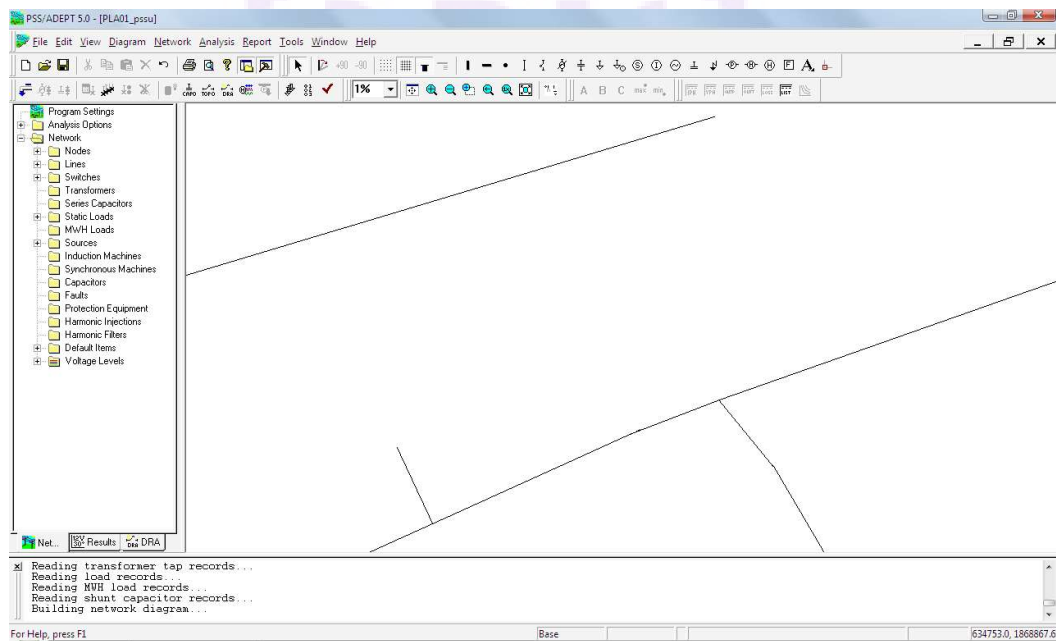
2. กดปุ่ม Load Flow Calculation  เพื่อรันโปรแกรม จากนั้นไปที่เมนู report เลือก Power Flow Summary สามารถดูข้อมูลภาพรวมโดยย่อของสายส่ง ขนาดกระแสไฟฟ้า ขนาดแรงดันไฟฟ้า และค่าการไหลของกำลังไฟฟ้าของระบบ ตามภาพ 23

3. ในเมนู report สามารถเลือกรายงานข้อมูลต่างๆ ในรูปแบบตาราง Microsoft Excel ได้ โดยข้อมูลที่จำเป็นในการนำไปพัฒนาโปรแกรมประมาณค่าสถานะ มีดังต่อไปนี้

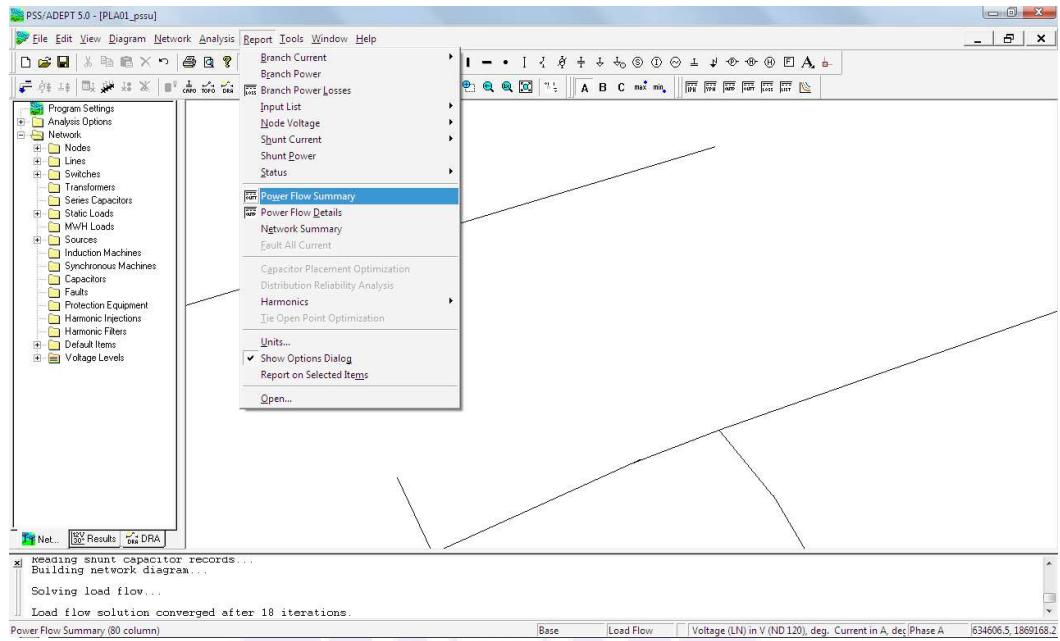
- 3.1 Branch Current คือ รายงานขนาดกระแสไฟฟ้าที่ไหลในสายส่ง รายงานทั้ง



ภาพ 21 การเปิดแฟ้มข้อมูลเครื่องข่ายวงจรไฟฟ้าที่ได้มาจากการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค



ภาพ 22 โครงข่ายแบบเบเรเตียล

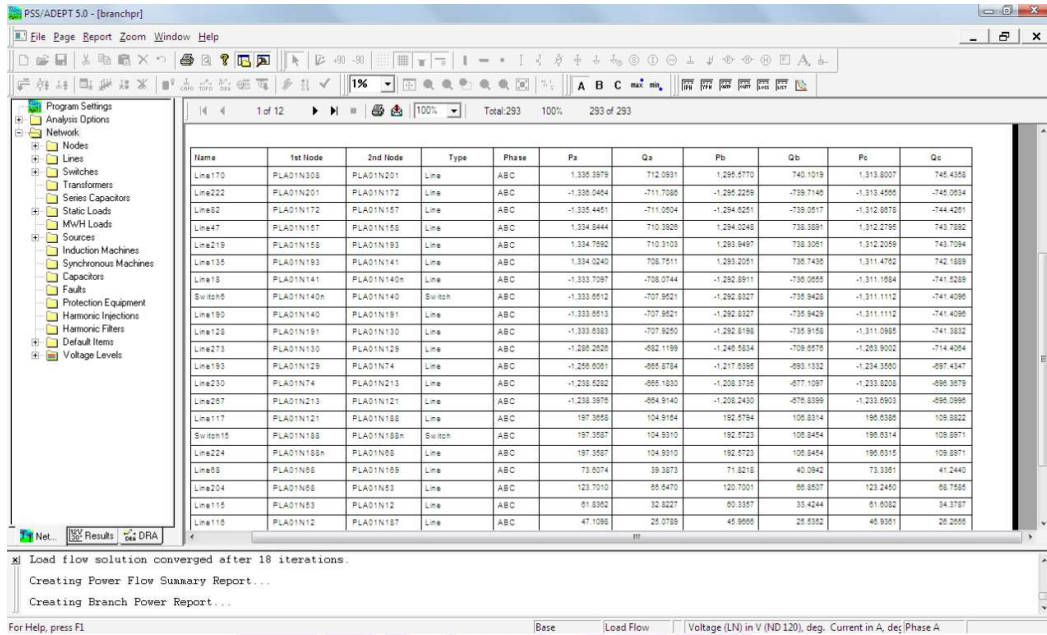


ภาพ 23 การเรียกดูรายงานข้อมูลต่าง ๆ ของโครงข่าย

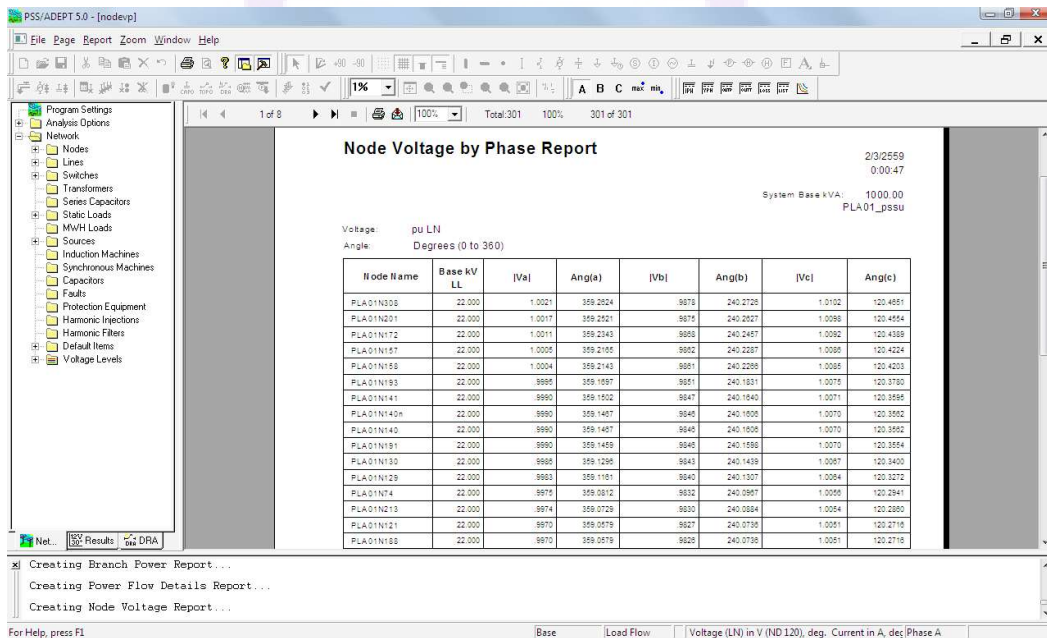
The screenshot shows the PSS/ADEPT 5.0 software interface displaying the 'Power Flow Summary' report. The table below lists the data for various network components. The status bar at the bottom indicates 'Load flow solution converged after 18 iterations.' The window title is 'PSS/ADEPT 5.0 - [outt]'.

Name	1st Node	2nd Node	Phase	Library Ref	Maximum Current	Minimum Voltage	Total Branch Power		Total Distance
							P	Q	
Line170	FLA01N308	FLA01N201	ABC	185AC	118.9723	0.9875	3.9457766	-2.1874308	0.1178
Line222	FLA01N201	FLA01N172	ABC	185AC	118.9795	0.9868	-3.9447288	-2.1854856	0.3195
Line82	FLA01N172	FLA01N157	ABC	185AC	118.9846	0.9862	-3.9424030	-2.1844292	0.4210
Line47	FLA01N157	FLA01N158	ABC	185AC	118.9875	0.9861	3.9411487	-2.1824709	0.4452
Line219	FLA01N158	FLA01N193	ABC	185A	118.9939	0.9851	3.9403248	-2.1823258	0.8448
Line135	FLA01N193	FLA01N141	ABC	185ACSR	118.9965	0.9847	3.9387053	-2.1874837	0.9589
Line15	FLA01N141	FLA01N140n	ABC	185A	118.9970	0.9845	-3.9377693	-2.1854688	0.9932
Switch5	FLA01N140n	FLA01N140	ABC	L_DISC_22	118.9970	0.9845	-3.9374667	-2.1853045	0.9932
Line190	FLA01N140	FLA01N191	ABC	185A	118.9971	0.9845	-3.9374667	-2.1853045	0.9884
Line128	FLA01N191	FLA01N130	ABC	185A	118.9993	0.9843	-3.9374667	-2.1852241	1.1074
Line273	FLA01N130	FLA01N129	ABC	185A	114.7883	0.9840	-3.7957463	-2.1051839	1.2005
Line193	FLA01N129	FLA01N174	ABC	185A	112.1589	0.9832	-3.7084017	-2.0554453	1.4472
Line230	FLA01N174	FLA01N213	ABC	185A	110.9563	0.9830	-3.6807225	-2.0384605	1.5074
Line267	FLA01N213	FLA01N121	ABC	185A	110.9576	0.9827	-3.6803008	-2.0374636	1.5146
Line117	FLA01N121	FLA01N188	ABC	050ACSR	17.0505	0.9825	595.6638	321.6300	1.6488
Switch15	FLA01N188	FLA01N188n	ABC	L_FUSE_22	17.0505	0.9825	595.6625	321.6734	1.6488
Line224	FLA01N188n	FLA01N068	ABC	050ACSR	17.0564	0.9824	595.6625	321.6735	1.6816
Line68	FLA01N068	FLA01N169	ABC	050ACSR	6.2976	0.9823	218.7652	120.7256	2.0652
Line204	FLA01N169	FLA01N63	ABC	050ACSR	11.0704	0.9821	367.6461	201.2592	2.3401
Line116	FLA01N63	FLA01N112	ABC	050ACSR	6.5371	0.9820	193.7600	100.4259	2.4294
Line116	FLA01N112	FLA01N187	ABC	050ACSR	4.2242	0.9819	140.0126	76.8797	2.9767

ภาพ 24 ตารางรายงานของเมนู Power Flow Summary



ภาพ 25 ตารางรายงานของเมนู Branch Power



ภาพ 26 ตารางรายงานของเมนู Node Voltage

3.2 Branch Power คือ รายงานกำลังไฟฟ้าที่ไหลในสายส่ง รายงานทั้ง 3 เฟส

3.3 Branch Power Losses คือ รายงานกำลังไฟฟ้าสูญเสียในสายส่ง

3.4 Input List คือ รายงานข้อมูลต่าง ๆ ของระบบ ดังต่อไปนี้ ชื่อบัส ชื่อสายส่ง ขนาดสายส่ง ชนิดสายส่ง ความยาวสายส่ง สถานะสายส่ง และค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่จำเป็นในการนำไปเป็นข้อมูลเพื่อพัฒนาโปรแกรมประมาณค่าสถานะ



3.5 Node Voltage คือ รายงานขนาดแรงดันไฟฟ้าที่บัสต่าง ๆ ในระบบ จะรายงานออกมาทั้งขนาดและมุมของแรงดัน

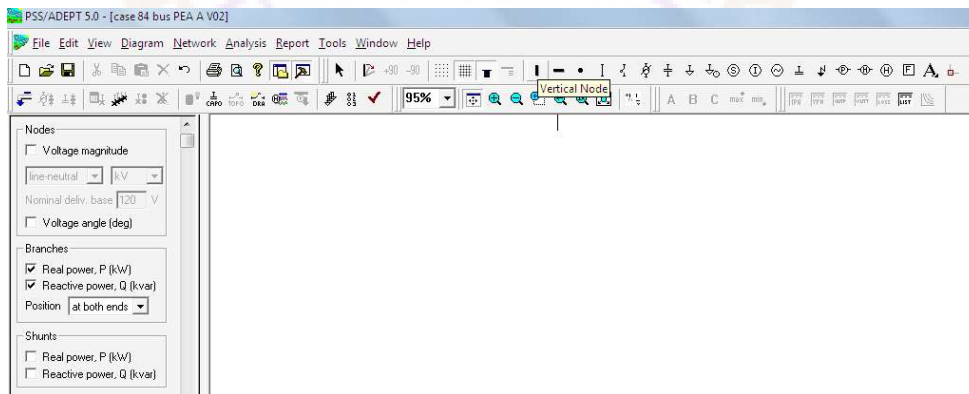
โดยข้อมูลทั้งหมดที่ได้จากโปรแกรม PSS/Adept แบบแผนทีระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์รูปโครงข่ายเป็นเส้น ๆ ตามภาพ 22 ซึ่งยกต่อการศึกษา จึงนำมาเขียนขึ้นใหม่ให้เป็นแบบแผนภาพเส้นเดียวระบบไฟฟ้า และใช้ข้อมูลจากการรันโปรแกรมแผนภาพเส้นเดียวระบบไฟฟ้าที่จำลองขึ้นใหม่เป็นค่าจริงของระบบในโปรแกรมประมาณค่าสถานะ เพื่อเทียบกับค่าที่ประมาณได้จากการโปรแกรมประมาณสถานะ ว่าค่าที่ได้จากโปรแกรมประมาณค่าสถานะมีความถูกต้องแม่นยำหรือไม่

การเขียนแผนภาพเส้นเดียวระบบไฟฟ้า

ข้อมูลที่ได้จากการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคเป็นแบบแผนที่ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ จึงนำมาจำลองขึ้นใหม่ในรูปแบบแผนภาพเส้นเดียวของระบบไฟฟ้า โดยอ้างอิงข้อมูลพารามิเตอร์เดิมของระบบ สามารถทำได้ดังต่อไปนี้

1. เปิดโปรแกรมไปที่เมนู File เลือก New

2. กดปุ่ม  และ  (Vertical node) ที่แถบเครื่องมือ เพื่อจำลองเป็นบัสต่าง ๆ



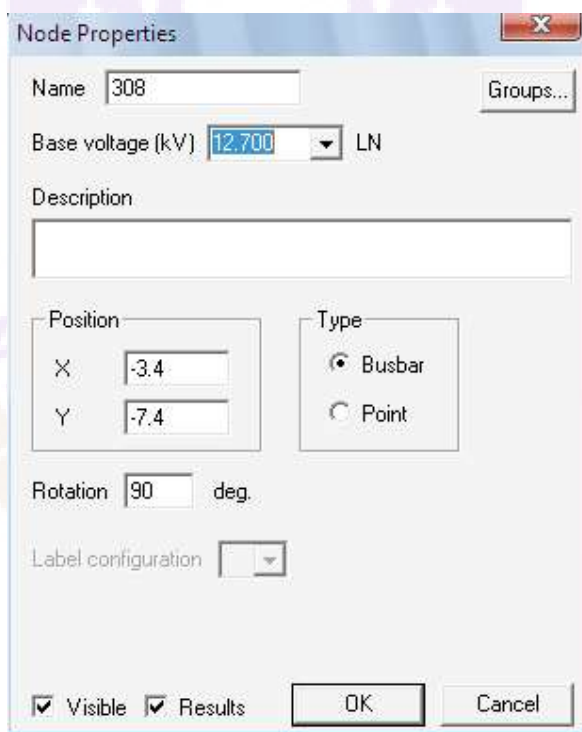
ภาพ 27 ปุ่ม Node ที่แถบเครื่องมือเพื่อใช้จำลองเป็นบัสไฟฟ้า ทั้ง 84 บัส

3. กำหนดค่าให้กับบัสทุกบัสที่ได้จำลองขึ้น โดยกำหนดชื่อบัส (Name), แรงดันฐาน (Base voltage) มีค่าเท่ากับ 12.7 กิโลโวลต์ ตามภาพ 28

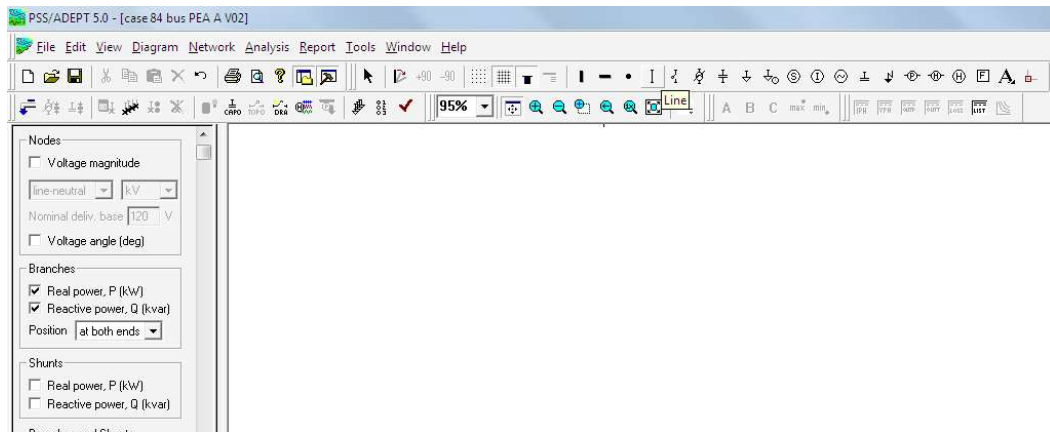
4. กดปุ่ม **I** (Line) ที่แถบเครื่องมือ เพื่อจำลองเป็นสายส่งไฟฟ้า โดยลากเส้นจากบัสต้นทางไปยังบัสปลายทาง ถ้าลากย้อนกลับจะทำให้ค่าที่ได้ออกมาติดลบ ตามภาพ 29

5. กำหนดค่าให้กับเส้นสายส่งทุกเส้นที่ได้จำลองบนโปรแกรม ที่ Line Properties โดยกำหนดชื่อสายส่ง (Name), เฟส (Phasing), ความยาวสาย (Line length) หน่วยเป็นกิโลเมตร และชนิดของสายส่ง (Construction type) โดยค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ จะถูกกำหนดมาจากการไฟฟ้าตามชนิดสายที่มีในโปรแกรม ตามภาพ 30

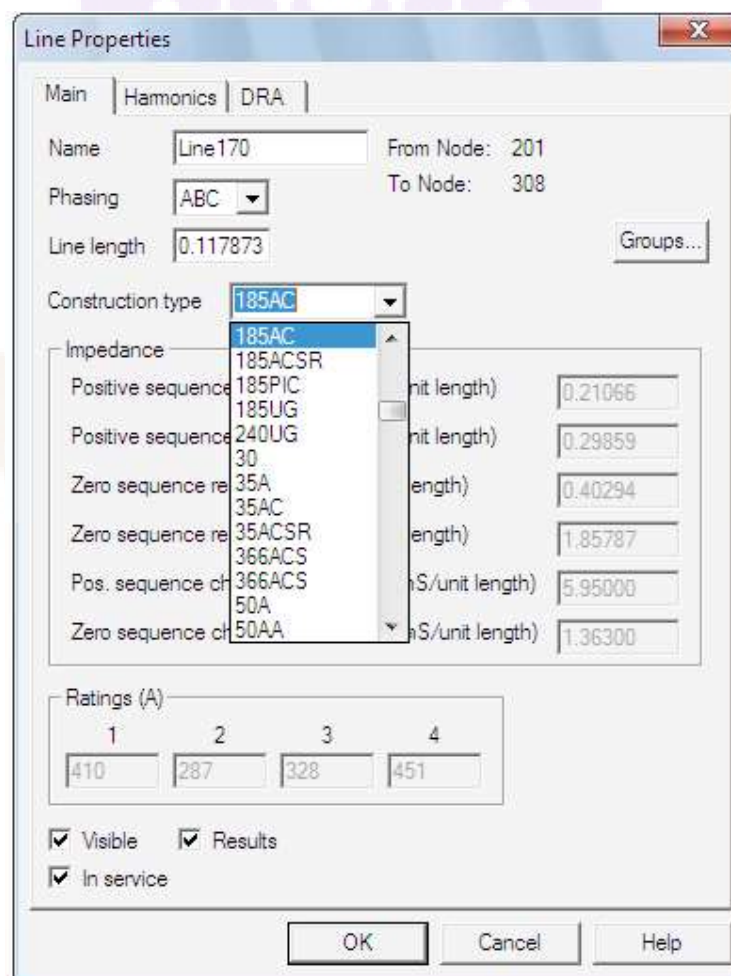
6. กดปุ่ม **S** (source) ที่แถบเครื่องมือเพื่อจำลองแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้า โดยติดตั้งที่บัสต้นทาง และกำหนดค่าแรงดันปกติ (nominal voltage) ที่ Source Properties เท่ากับ 12.7 กิโลโวลต์ ตามภาพ 31 และ 32 ตามลำดับ



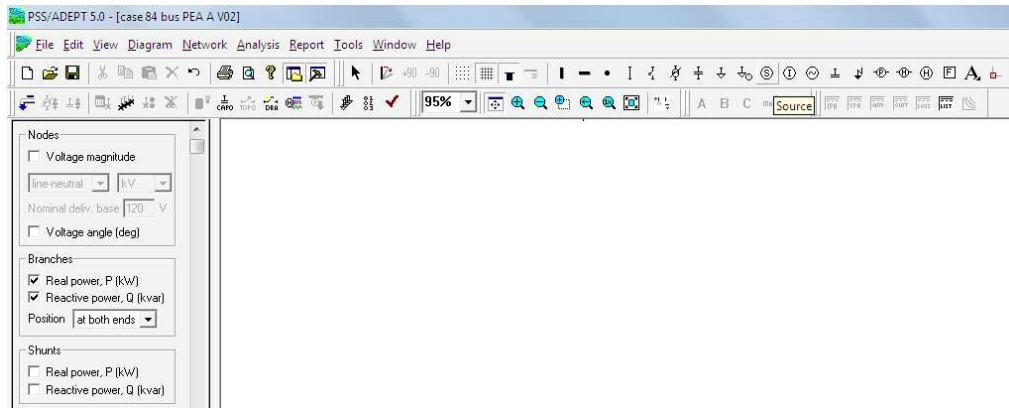
ภาพ 28 Node Properties



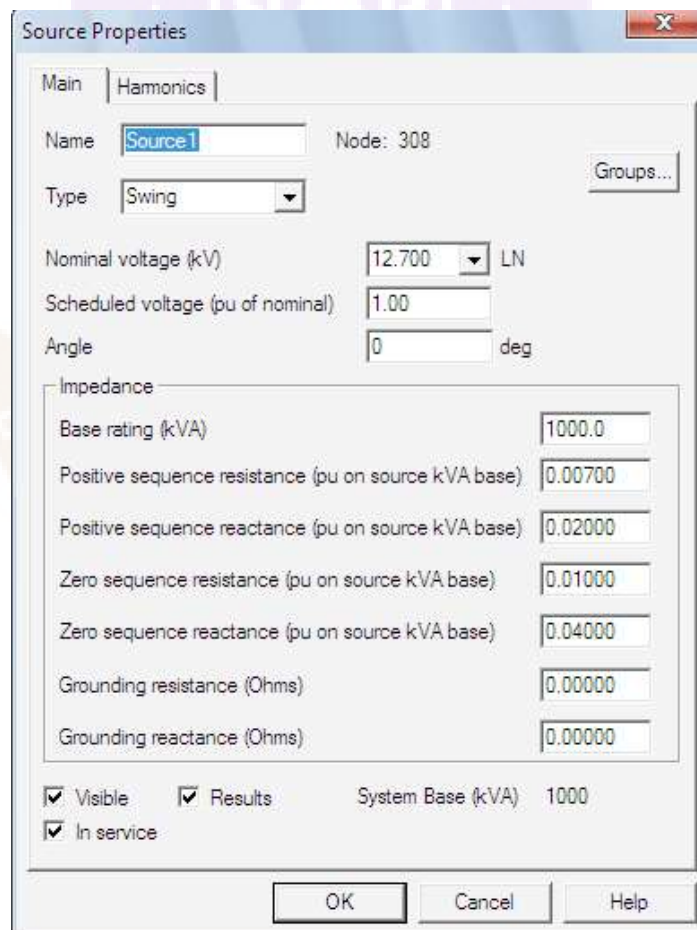
ภาพ 29 ปุ่ม Line ที่แถบเครื่องมือเพื่อใช้จำลองเป็นสายส่งไฟฟ้าทั้ง 83 เส้น




ภาพ 30 Line Properties

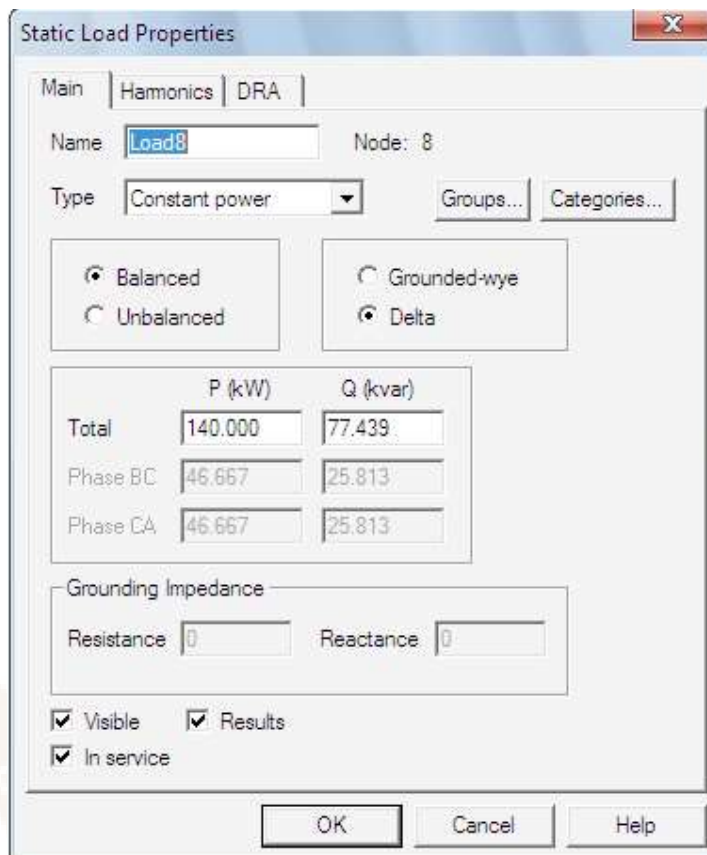


ภาพ 31 ปุ่ม Source ที่แถบเครื่องมือเพื่อใช้จำลองเป็นแหล่งจ่ายแรงดัน




ภาพ 32 Source Properties

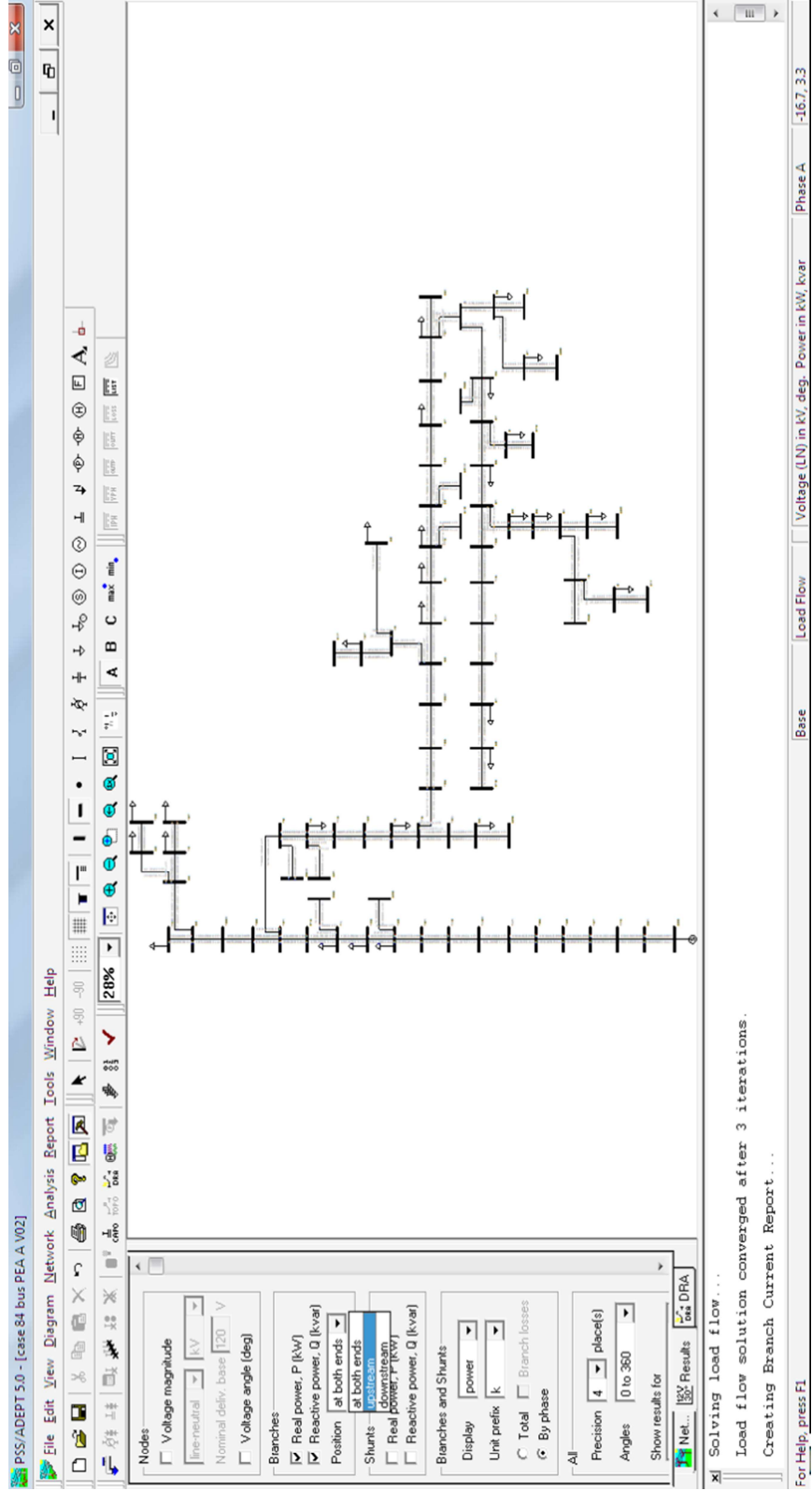
7. กดปุ่ม  (Static Load) เพื่อจำลองภาระไฟฟ้าบนโปรแกรม กำหนดตำแหน่งภาระไฟฟ้าตามแผนที่ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค กำหนดชื่อ ขนาดภาระไฟฟ้าที่ Static Load Properties กรอกข้อมูลช่อง Name, และขนาดภาระไฟฟ้าที่ช่อง Total ตามภาพ 33



	P (kW)	Q (kvar)
Total	140.000	77.439
Phase BC	46.667	25.813
Phase CA	46.667	25.813

ภาพ 33 Load Properties

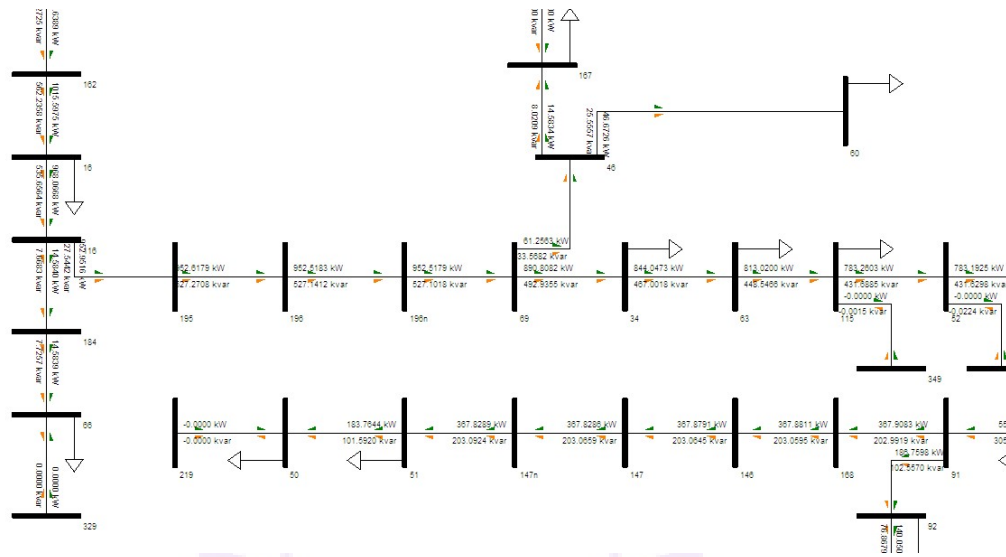
8. กดปุ่ม Load Flow Calculation  เพื่อรันโปรแกรม แล้วเลือกดูรายงานแบบ up steam จะได้ผลตามภาพ 34 จากนั้นไปที่เมนู report เลือก Power Flow Summary สามารถดูข้อมูลภาพรวมโดยย่อของสายส่ง ขนาดกระแสไฟฟ้า ขนาดแรงดันไฟฟ้า และค่าการไหลของกำลังไฟฟ้าของระบบ ดังที่ได้กล่าวมาข้างต้น



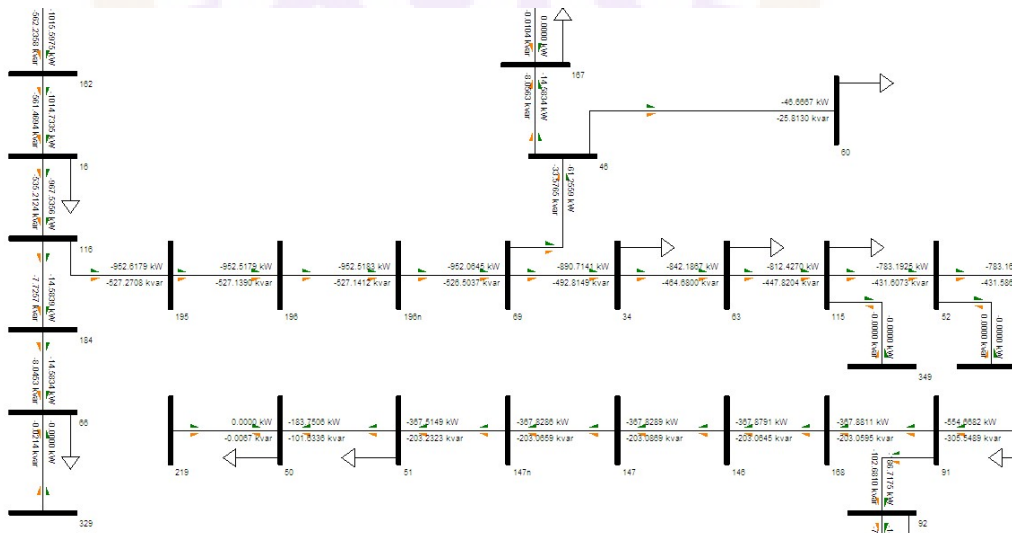
ภาพ 34 แผนภาพเส้นเดียวระบบไฟฟ้าที่จำลองขึ้น

ภาคผนวก ข ผลการรันโปรแกรม PSS/Adept 5.0

ผลการรันโปรแกรม PSS/Adept 5.0



ภาพ 35 ตัวอย่างผลการรันแผนภาพเส้นเดียวระบบไฟฟ้าที่จำลองขึ้นแบบ upstream



ภาพ 36 ตัวอย่างผลการรันแผนภาพเส้นเดียวระบบไฟฟ้าที่จำลองขึ้นแบบ downstream

ภาพ 37 ผลการรันแผนภาพเส้นเดียวระบบไฟฟ้าที่จำลองขึ้น



ตาราง 23 แรงดันบัลที่ประมาณได้

บัล	ค่าจริง (กิโลโวลต์)	ค่าประมาณ (กิโลโวลต์)	ค่าผิดพลาดสัมบูรณ์ (กิโลโวลต์)
B1	12.7017	12.6851	0.0166
B2	12.6496	12.6393	0.0104
B3	12.6458	12.6355	0.0104
B4	12.6344	12.6256	0.0088
B5	12.6268	12.6191	0.0077
B6	12.6230	12.6153	0.0076
B7	12.6217	12.6145	0.0072
B8	12.6191	12.6115	0.0076
B9	12.6179	12.6103	0.0076
B10	12.6166	12.6091	0.0075
B11	12.6179	12.6111	0.0068
B12	12.6179	12.6110	0.0069
B13	12.6103	12.6034	0.0069
B14	12.5912	12.5874	0.0038
B15	12.5810	12.5780	0.0031
B16	12.5810	12.5774	0.0036
B17	12.5620	12.5613	0.0007
B18	12.5607	12.5594	0.0013
B19	12.5163	12.5195	0.0033
B20	12.5010	12.5064	0.0053
B21	12.4959	12.5023	0.0063
B22	12.4858	12.4932	0.0074

ตาราง 23 (ต่อ)

บัส	ค่าจริง (กิโลวัตต์)	ค่าประมาณ (กิโลวัตต์)	ค่าผิดพลาดสัมบูรณ์ (กิโลวัตต์)
B23	12.4832	12.4906	0.0073
B24	12.4820	12.4895	0.0075
B25	12.4756	12.4843	0.0086
B26	12.4756	12.4833	0.0077
B27	12.4731	12.4818	0.0087
B28	12.4705	12.4794	0.0089
B29	12.4566	12.4663	0.0098
B30	12.4553	12.4655	0.0102
B31	12.4680	12.4767	0.0087
B32	12.4642	12.4740	0.0098
B33	12.4629	12.4723	0.0094
B34	12.4616	12.4722	0.0105
B35	12.4616	12.4719	0.0102
B36	12.4832	12.4902	0.0069
B37	12.4820	12.4899	0.0080
B38	12.5620	12.5613	0.0007
B39	12.5620	12.5612	0.0007
B40	12.5607	12.5597	0.0010

ตาราง 24 แรงดันบัลต์ต่อหน่วยที่ประมาณได้

บัลต์	ค่าจริง (ต่อหน่วย)	ค่าประมาณ (ต่อหน่วย)	ค่าผิดพลาดสัมบูรณ์ (ต่อหน่วย)
B1	1.0000	0.9987	0.0013
B2	0.9959	0.9951	0.0008
B3	0.9956	0.9948	0.0008
B4	0.9947	0.9940	0.0007
B5	0.9941	0.9935	0.0006
B6	0.9938	0.9932	0.0006
B7	0.9937	0.9931	0.0006
B8	0.9935	0.9929	0.0006
B9	0.9934	0.9928	0.0006
B10	0.9933	0.9927	0.0006
B11	0.9934	0.9929	0.0006
B12	0.9934	0.9929	0.0006
B13	0.9928	0.9923	0.0005
B14	0.9913	0.9910	0.0003
B15	0.9905	0.9903	0.0003
B16	0.9905	0.9902	0.0002
B17	0.9890	0.9889	0.0001
B18	0.9889	0.9888	0.0001
B19	0.9854	0.9857	0.0003
B20	0.9842	0.9846	0.0004
B21	0.9838	0.9843	0.0005
B22	0.9830	0.9836	0.0006

ตาราง 24 (ต่อ)

บัส	ค่าจริง (ต่อหน่วย)	ค่าประมาณ (ต่อหน่วย)	ค่าผิดพลาดสัมบูรณ์ (ต่อหน่วย)
B23	0.9828	0.9834	0.0006
B24	0.9827	0.9833	0.0006
B25	0.9822	0.9829	0.0006
B26	0.9822	0.9828	0.0006
B27	0.9820	0.9827	0.0007
B28	0.9818	0.9825	0.0007
B29	0.9807	0.9815	0.0008
B30	0.9806	0.9814	0.0008
B31	0.9816	0.9823	0.0007
B32	0.9813	0.9821	0.0007
B33	0.9812	0.9819	0.0008
B34	0.9811	0.9819	0.0008
B35	0.9811	0.9819	0.0008
B36	0.9828	0.9833	0.0006
B37	0.9827	0.9833	0.0006
B38	0.9890	0.9889	0.0001
B39	0.9890	0.9889	0.0001
B40	0.9889	0.9888	0.0001

ตาราง 25 มุมเฟสที่ประมาณได้

บัส	ค่าจริง (องศา)	ค่าประมาณ (องศา)	ค่าผิดพลาดสัมบูรณ์ (องศา)
B1	0.0000	0.0000	0.0000
B2	-0.1476	-0.1321	0.0156
B3	-0.1626	-0.1454	0.0171
B4	-0.2012	-0.1798	0.0214
B5	-0.2270	-0.2028	0.0242
B6	-0.2272	-0.2031	0.0241
B7	-0.2272	-0.2031	0.0241
B8	-0.2274	-0.2033	0.0241
B9	-0.2275	-0.2034	0.0241
B10	-0.2275	-0.2034	0.0241
B11	-0.2274	-0.2033	0.0241
B12	-0.2274	-0.2033	0.0241
B13	-0.2850	-0.2545	0.0306
B14	-0.3244	-0.2898	0.0347
B15	-0.3478	-0.3104	0.0374
B16	-0.3475	-0.3101	0.0374
B17	-0.3922	-0.3503	0.0419
B18	-0.3976	-0.3551	0.0425
B19	-0.5101	-0.4555	0.0546
B20	-0.5473	-0.4885	0.0588
B21	-0.5589	-0.4987	0.0602
B22	-0.5815	-0.5186	0.0629

ตาราง 25 (ต่อ)

บัส	ค่าจริง (องศา)	ค่าประมาณ (องศา)	ค่าผิดพลาดสัมบูรณ์ (องศา)
B23	-0.5881	-0.5245	0.0637
B24	-0.5909	-0.5269	0.0640
B25	-0.6039	-0.5386	0.0653
B26	-0.6040	-0.5387	0.0653
B27	-0.6101	-0.5442	0.0659
B28	-0.6160	-0.5495	0.0665
B29	-0.6126	-0.5463	0.0663
B30	-0.6121	-0.5459	0.0662
B31	-0.6145	-0.5481	0.0664
B32	-0.6129	-0.5467	0.0662
B33	-0.6119	-0.5459	0.0661
B34	-0.6116	-0.5465	0.0651
B35	-0.6117	-0.5456	0.0661
B36	-0.5882	-0.5245	0.0637
B37	-0.5882	-0.5246	0.0637
B38	-0.3922	-0.3503	0.0419
B39	-0.3923	-0.3503	0.0419
B40	-0.3923	-0.3504	0.0420

ตาราง 26 กำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้าที่ประมาณได้

สายส่ง	ค่าจริง		ค่าประมาณ		ค่าผิดพลาดสัมบูรณ์	
	กำลังจริง (กิโลวัตต์)	กำลังรี แอกทีฟ (กิโลวาร์)	กำลังจริง (กิโลวัตต์)	กำลังรี แอกทีฟ (กิโลวาร์)	กำลังจริง (กิโลวัตต์)	กำลังรี แอกทีฟ (กิโลวาร์)
B1-B2	1,334.3578	745.7651	1342.5756	746.2095	8.2178	0.4444
B2-B3	1,284.1713	714.2792	1283.43	713.8602	0.7418	0.4190
B3-B4	1,254.7560	697.6169	1248.597	693.1298	6.1592	4.4871
B4-B5	1,227.8778	681.7922	1226.744	680.5070	1.1336	1.2852
B5-B6	195.5419	107.3148	194.6342	105.1190	0.9077	2.1958
B6-B7	72.9227	40.2521	72.07523	39.9832	0.8474	0.2689
B6-B8	122.5546	67.1646	123.2616	67.4015	0.7069	0.2368
B8-B9	61.2612	33.5798	62.1101	33.6839	0.8489	0.1041
B9-B10	46.6713	25.6471	46.6188	25.5181	0.0525	0.1290
B8-B11	61.2523	33.7775	61.5506	33.9593	0.2982	0.1817
B11-B12	14.5835	8.0096	14.5565	8.0199	0.0269	0.0103
B5-B13	1,031.9272	573.6131	1028.2930	572.9379	3.6346	0.6752
B13-B14	1,016.4842	564.0348	1014.5870	559.1763	1.8974	4.8586
B14-B15	968.7585	537.1659	964.0169	538.6961	4.7416	1.5302
B15-B16	14.5841	7.7118	14.5095	7.7333	0.0745	0.0216
B15-B17	953.5770	528.8825	957.1472	529.4329	3.5703	0.5505
B17-B18	891.3222	494.0364	889.9129	496.0904	1.4093	2.0540
B18-B19	844.5496	468.0810	844.2709	466.9200	0.2787	1.1610
B19-B20	813.2897	449.1876	810.8901	450.5865	2.3996	1.3989
B20-B21	783.4560	432.1882	778.054	432.7644	5.4020	0.5762

ตาราง 26 (ต่อ)

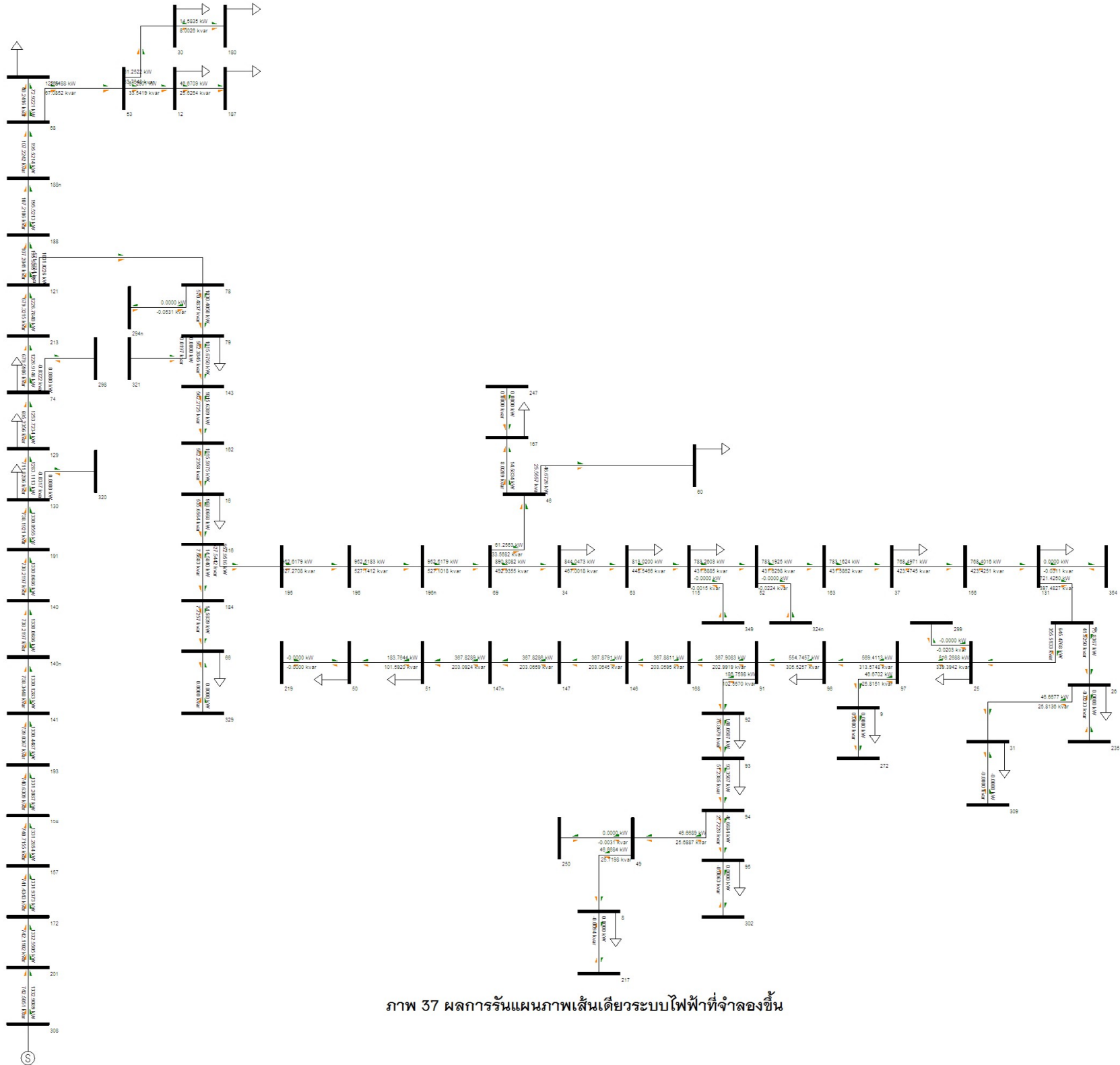
สายส่ง	ค่าจริง		ค่าประมาณ		ค่าผิดพลาดสัมบูรณ์	
	กำลังจริง (กิโลวัตต์)	กำลังรี แอกทีฟ (กิโลวาร์)	กำลังจริง (กิโลวัตต์)	กำลังรี แอกทีฟ (กิโลวาร์)	กำลังจริง (กิโลวัตต์)	กำลังรี แอกทีฟ (กิโลวาร์)
B21-B22	768.6703	423.9238	764.0949	426.4644	4.5754	2.5406
B22-B23	721.5478	397.8166	722.8170	401.2404	1.2692	3.4238
B23-B24	645.5856	355.8122	648.1106	360.7426	2.5250	4.9304
B23-B36	616.3724	339.6778	618.8980	338.1552	2.5255	1.5226
B24-B25	46.6705	25.8152	46.8862	25.8024	0.2158	0.0128
B25-B26	569.4914	313.7962	571.2854	312.4421	1.7940	1.3541
B25-B27	554.8154	305.7176	555.9986	305.4673	1.1832	0.2504
B27-B28	367.9576	203.0697	368.7190	204.4687	0.7614	1.3990
B28-B29	183.7653	101.5983	183.9996	102.0970	0.2344	0.4988
B29-B30	186.7706	102.6427	185.6237	102.6809	1.1469	0.0383
B28-B31	140.0564	76.9359	139.2273	76.2911	0.8291	0.6447
B31-B32	93.3524	51.2830	93.81539	51.2979	0.4630	0.0150
B32-B33	46.6690	25.7026	46.91381	33.3289	0.2448	7.6263
B33-B34	46.6684	25.7329	46.8949	25.9280	0.2265	0.1952
B33-B35	75.8368	41.9277	76.45718	41.9595	0.6203	0.0318
B36-B37	46.6676	25.8136	46.66461	25.6335	0.0030	0.1800
B17-B38	61.2569	33.6030	60.93604	33.2817	0.3208	0.3213
B38-B39	14.5833	8.0259	14.57203	8.0276	0.0113	0.0018
B38-B40	46.6732	25.5845	46.49484	25.6109	0.1783	0.0264

ตาราง 27 กระแสที่ไหลในสายส่งที่ประมาณได้

สายส่ง	ค่าจริง (แอมแปร์)	ค่าประมาณ (แอมแปร์)	ค่าผิดพลาดสัมบูรณ์ (แอมแปร์)
B1-B2	120.1717	121.1011	0.9294
B2-B3	115.9605	116.1945	0.2340
B3-B4	113.3309	113.0246	0.3063
B4-B5	110.9603	111.1295	0.1693
B5-B6	17.6562	17.5578	0.0983
B6-B7	6.5981	6.5353	0.0628
B6-B8	11.0709	11.1407	0.0699
B8-B9	5.5374	5.6054	0.0681
B9-B10	4.2245	4.2181	0.0064
B8-B11	5.5414	5.5750	0.0336
B11-B12	1.3200	1.3191	0.0009
B5-B13	93.3212	93.2887	0.0325
B13-B14	92.0252	91.9275	0.0977
B14-B15	87.8053	87.7381	0.0672
B15-B16	1.3227	1.3144	0.0083
B15-B17	86.5048	86.9681	0.4633
B17-B18	80.9560	81.1104	0.1544
B18-B19	76.7390	76.8297	0.0907
B19-B20	74.0881	74.1019	0.0139
B20-B21	71.4271	71.2152	0.2119
B21-B22	70.1140	69.9985	0.1155
B22-B23	65.8559	66.1753	0.3194

ตาราง 27 (ต่อ)

สายส่ง	ค่าจริง (แอมแปร์)	ค่าประมาณ (แอมแปร์)	ค่าผิดพลาดสัมบูรณ์ (แอมแปร์)
B23-B24	58.9287	59.3853	0.4566
B23-B36	56.2740	56.4729	0.1990
B24-B25	4.2670	4.2868	0.0198
B25-B26	52.0121	52.1597	0.1475
B25-B27	50.6837	50.8274	0.1437
B27-B28	33.6348	33.7920	0.1572
B28-B29	16.8251	16.8805	0.0555
B29-B30	17.0585	17.0012	0.0572
B28-B31	12.7968	12.7282	0.0686
B31-B32	8.5335	8.5752	0.0417
B32-B33	4.2672	4.6068	0.3396
B33-B34	4.2707	4.2980	0.0273
B33-B35	6.9293	6.9824	0.0531
B36-B37	4.2648	4.2627	0.0021
B17-B38	5.5546	5.5276	0.0269
B38-B39	1.3248	1.3251	0.0003
B38-B40	4.2411	4.2309	0.0103



ภาพ 37 ผลการรันแผนภาพเส้นเดียวระบบไฟฟ้าที่จำลองขึ้น

ประวัติผู้วิจัย



ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ นามสกุล	นายธนวิชญ์ ศรีดวงคำ
วัน เดือน ปี เกิด	21 มิถุนายน 2526
ที่อยู่ปัจจุบัน	236/1 ถนนแม่ต๋ำสายกลาง ตำบลแม่ต๋ำ อำเภอเมืองพะเยา จังหวัดพะเยา 56000
ที่ทำงานปัจจุบัน	มหาวิทยาลัยพะเยา อำเภอเมืองพะเยา จังหวัดพะเยา 56000
ตำแหน่งหน้าที่ปัจจุบัน	วิศวกร
ประสบการณ์การทำงาน	
พ.ศ. 2553	วิศวกร มหาวิทยาลัยพะเยา จังหวัดพะเยา
พ.ศ. 2552	ช่างเทคนิค บริษัท ทีทีแอนด์ที จำกัด จังหวัดพะเยา
พ.ศ. 2549	วิศวกรขาย บริษัท อักษรา โกลเบิล จำกัด กรุงเทพมหานคร
ประวัติการศึกษา	
พ.ศ. 2549	วศ.บ. (วิศวกรรมไฟฟ้า), มหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก
ผลงานตีพิมพ์	
ที่เกี่ยวข้องกับวิทยานิพนธ์	
ธนวิชญ์ ศรีดวงคำ, เชวศักดิ์ รักเป็นไทย, เสริมศักดิ์ เอื้อตรงจิตต์, ปฎล บุศย์น้ำเพชร และ สุรพล ดำรงกิตติกุล (ผู้บรรยาย). (18-20 พฤศจิกายน 2558). การประมาณสถานะสำหรับระบบจำหน่าย 22 กิโลโวลต์ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค. ใน การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 38 (หน้า 5-8). พระนครศรีอยุธยา: โรงแรมวรบุรี อโยธยา คอนเวนชัน รีสอร์ท.	
ผลงานตีพิมพ์อื่น ๆ	
ธนวิชญ์ ศรีดวงคำ และ สุรพล ดำรงกิตติกุล (ผู้บรรยาย). (22-23 มกราคม 2557). การปรับปรุงระบบไฟฟ้ากำลังโดยการประสานการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันของมหาวิทยาลัยพะเยา. ใน การประชุมวิชาการระดับชาติพะเยาวิจัย ครั้งที่ 3 (หน้า 348-357). พะเยา: มหาวิทยาลัยพะเยา.	