

การแบ่งแยกโครงข่ายระบบไฟฟ้ากำลังสำหรับใช้กับสมมูลโหลดโพลาร์



นายพิชัย เกรียงศักดิ์เจริญ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2541

ISBN 974-332-375-9

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

PARTITIONING OF POWER SYSTEM NETWORKS
WITH APPLICATIONS TO LOAD FLOW EQUIVALENTS



Mr. Pichai Kriangsakcharoen

สถาบันวิทยบริการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering in Electrical Engineering

Department of Electrical Engineering

Graduate School

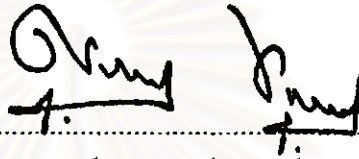
Chulalongkorn University

Academic Year 1998

ISBN 974-332-375-9

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การแบ่งแยกโครงข่ายระบบไฟฟ้ากำลังสำหรับใช้กับสมมูลโหลดโพลาร์
โดย นายพิชัย เกรียงศักดิ์เจริญ
ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บัณฑิต เอื้ออาภรณ์

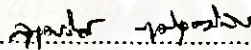
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการ
ศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบัณฑิต



คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

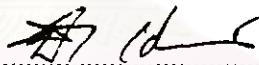
(ศาสตราจารย์ นายแพทย์ศุภวัฒน์ ชุตินวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



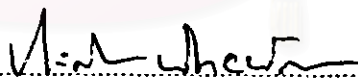
ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.สุขุมวิทย์ ภูมิวุฒิสาร)



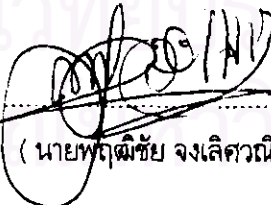
อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บัณฑิต เอื้ออาภรณ์)



กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ประสิทธิ์ พิทยพัฒน์)



กรรมการ

(นายพฤษชัย จงเลิศวณิชกุล)

พิชัย เกียรติศักดิ์เจริญ : การแบ่งแยกโครงข่ายระบบไฟฟ้ากำลังสำหรับใช้กับสมมูลโหลดโฟลว์ (PARTITIONING OF POWER SYSTEM NETWORKS WITH APPLICATIONS TO LOAD FLOW EQUIVALENTS)

อ. ที่ปรึกษา : ผศ. ดร. บัณฑิต เอื้ออาภรณ์, 149 หน้า. ISBN 974-332-376-9.

การรบกวนขนาดเล็กและการควบคุมส่วนมากที่เกิดขึ้นในระบบไฟฟ้ากำลังขนาดใหญ่มีผลกระทบสำคัญต่อพื้นที่เพียงบางส่วนในระบบ ดังนั้นการวิเคราะห์ผลกระทบของการรบกวนขนาดเล็กหรือการควบคุมโดยใช้ระบบเดิมจะทำให้ประสิทธิภาพในการวิเคราะห์ของโปรแกรมต่าง ๆ ลดลง วิทยานิพนธ์นี้จึงนำเสนอวิธีการแบ่งแยกโครงข่ายระบบไฟฟ้ากำลังให้มีจำนวนกลุ่มตามที่กำหนดโดยอาศัยเวกเตอร์เฉพาะ (eigenvector) บางตัวของเมทริกซ์ที่แสดงความใกล้ชิดทางไฟฟ้าของบัสในโครงข่าย ผลการแบ่งแยกที่ได้จะถูกนำไปใช้ในการกำหนดกลุ่มของโครงข่ายที่มีความสำคัญต่อเหตุขัดข้องที่เกิดขึ้น โครงข่ายส่วนนี้จะถูกคงรูปเดิมไว้ ส่วนโครงข่ายส่วนที่เหลือจะถูกแทนด้วยสมมูลภายนอก วิทยานิพนธ์นี้ใช้สมมูลแบบ Extended Ward และ REI ซึ่งใช้ในสมมูลโหลดโฟลว์ ด้วยวิธีการดังกล่าวจะทำให้ได้ระบบสมมูลที่มีขนาดเล็กซึ่งสามารถช่วยให้การวิเคราะห์มีประสิทธิภาพมากขึ้น โปรแกรมแบ่งแยกโครงข่ายระบบไฟฟ้ากำลังและสร้างระบบสมมูลที่พัฒนาขึ้นได้ถูกนำไปใช้ร่วมกับโปรแกรมวิเคราะห์โหลดโฟลว์แบบมาตรฐานเพื่อทดสอบระบบ IEEE 30 บัส และ 118 บัส ซึ่งผลการทดสอบอยู่ในระดับที่น่าพอใจ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า.....
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า.....
ปีการศึกษา2541.....

ลายมือชื่อนิสิตพิชัย เกียรติศักดิ์เจริญ.....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

#4070353121 : MAJOR ELECTRICAL ENGINEERING

KEY WORD: NETWORK PARTITIONING / LOAD FLOW EQUIVALENTS

PICHAJ KRIANGSAKCHAROEN : PARTITIONING OF POWER SYSTEM NETWORKS WITH APPLICATIONS TO LOAD FLOW EQUIVALENTS. THESIS ADVISOR : ASSIST. PROF. BANDHIT EUA-ARPORN, Ph.D. 149 pp. ISBN 974-332-375-9.

Most small disturbances and control actions in a large power system usually effect only a small portion of the system. Therefore, analysing the effects of small disturbances or control actions using the whole system will decrease the performances of power system application programs. This thesis presents an approach of power system network partitioning into a specified number of clusters using a few eigenvectors of the network connectivity matrix. For each occuring contingency, important clusters will be specified using the partitioning result. Those important clusters will be reserved whereas the others will be modelled by an external equivalent. This thesis employs Ward equivalent and REI equivalent which are used in load flow equivalents. The obtained equivalent system will be smaller than the original one, resulting in a better performance for an analysis. The developed approach has been programmed and tested with the IEEE 30-bus and 118-bus test systems using a standard power flow program. Satisfactory results are obtained.




สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา.....วิศวกรรมไฟฟ้า.....

สาขาวิชา.....วิศวกรรมไฟฟ้า.....

ปีการศึกษา.....2541.....

ลายมือชื่อนิสิต.....ศ.ไพฑูริ์ เกียรติศักดิ์.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา..........

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. บัณฑิต เอื้ออาภรณ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่าง ๆ อันเป็นประโยชน์ ในการวิจัยมาโดยตลอด และขอขอบคุณ คุณพรประนต ดิษยบุตร รุ่นพี่นิสิตปริญญาเอกที่ได้กรุณาให้แนว ทางเริ่มต้นในการทำวิจัยนี้ และเนื่องจากระหว่างที่ทำการวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้รับทุนอุดหนุนการศึกษาจากศูนย์ เชี่ยวชาญเฉพาะด้านเทคโนโลยีไฟฟ้ากำลัง จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จึงขอขอบพระคุณมา ณ ที่นี้ด้วย

ท้ายนี้ ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และพี่ซึ่งสนับสนุนและให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยเสมอ มาจนสำเร็จการศึกษา



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง	ฅ
สารบัญภาพ	ท
บทที่	
1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์	3
1.3 ขอบเขตในการทำวิทยานิพนธ์	3
1.4 ขั้นตอนการศึกษาและวิธีดำเนินงาน	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากวิทยานิพนธ์	3
2 การแบ่งแยกโครงข่ายระบบไฟฟ้ากำลัง	4
2.1 การวางตำแหน่ง	4
2.2 การจัดกลุ่ม	14
2.3 การปรับปรุง	26
3 สมมูลภายนอก	28
3.1 การกำหนดโครงข่ายภายในและโครงข่ายภายนอก	28
3.2 การสร้างสมมูลภายนอก	28
3.2.1 สมมูลภายนอกแบบ Extended Ward	29
3.2.2 สมมูลภายนอกแบบ REI	39
4 การทดสอบและการวิเคราะห์ผล	45
4.1 การทดสอบระบบทดสอบ 9 บัส	45
4.2 การทดสอบระบบทดสอบ IEEE 30 บัส	50
4.3 การทดสอบระบบทดสอบ IEEE 118 บัส	65
4.3.1 ผลการทดสอบสำหรับเหตุการณ์ที่ 1	69
4.3.2 ผลการทดสอบสำหรับเหตุการณ์ที่ 2	105

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
5 สรุปและข้อเสนอแนะ	129
5.1 สรุปผลการวิจัย	129
5.1 ข้อเสนอแนะ	129
รายการอ้างอิง	131
ภาคผนวก	133
ภาคผนวก ก ทฤษฎีบทดูรันต์-ฟิลเซอร์	134
ภาคผนวก ข ข้อมูลระบบทดสอบ IEEE 30 บัส และ 118 บัส	136
ข.1 ข้อมูลระบบทดสอบ IEEE 30 บัส	136
ข.2 ข้อมูลระบบทดสอบ IEEE 118 บัส	139
ประวัติผู้เขียน	149

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1 ข้อมูลบัลของระบบสมมูล ณ จุดทำงานเริ่มต้นของระบบทดสอบ IEEE 30 บัส ที่ ใช้การแบ่งแยกเป็น 3 กลุ่ม และใช้สมมูลภายนอกแบบ Extended Ward	53
4.2 ข้อมูลกึ่งของระบบสมมูล ณ จุดทำงานเริ่มต้นของระบบทดสอบ IEEE 30 บัส ที่ ใช้การแบ่งแยกเป็น 3 กลุ่ม และใช้สมมูลภายนอกแบบ Extended Ward	54
4.3 ข้อมูลบัลของระบบสมมูล ณ จุดทำงานเริ่มต้นของระบบทดสอบ IEEE 30 บัส ที่ ใช้การแบ่งแยกเป็น 3 กลุ่ม และใช้สมมูลภายนอกแบบ REI	55
4.4 ข้อมูลกึ่งของระบบสมมูล ณ จุดทำงานเริ่มต้นของระบบทดสอบ IEEE 30 บัส ที่ ใช้การแบ่งแยกเป็น 3 กลุ่ม และใช้สมมูลภายนอกแบบ REI	56
4.5 จำนวนบัล จำนวนบัลแรงดัน จำนวนกึ่ง จำนวนรอบ และเวลาที่ใช้ในการวิเคราะห์ โหลดโพล์ของระบบทดสอบ IEEE 30 บัส และระบบสมมูลแบบต่าง ๆ	57
4.6 ผลการวิเคราะห์โหลดโพล์เปรียบเทียบระหว่างระบบเต็มกับระบบสมมูลที่ใช้การ แบ่งแยกเป็น 3 กลุ่ม และใช้สมมูลภายนอกแบบ Extended Ward	57
4.7 ความคลาดเคลื่อนในการคำนวณการไหลของกำลังแอกทีฟและรีแอกทีฟในกึ่งของ ระบบสมมูลที่ใช้การแบ่งแยกเป็น 3 กลุ่ม และใช้สมมูลภายนอกแบบ Extended Ward คิดเป็นเปอร์เซ็นต์เทียบกับระบบเต็ม	58
4.8 ผลการวิเคราะห์โหลดโพล์เปรียบเทียบระหว่างระบบเต็มกับระบบสมมูลที่ใช้การ แบ่งแยกเป็น 3 กลุ่ม และใช้สมมูลภายนอกแบบ REI	58
4.9 ความคลาดเคลื่อนในการคำนวณการไหลของกำลังแอกทีฟและรีแอกทีฟในกึ่งของ ระบบสมมูลที่ใช้การแบ่งแยกเป็น 3 กลุ่ม และใช้สมมูลภายนอกแบบ REI คิดเป็น เปอร์เซ็นต์เทียบกับระบบเต็ม	59
4.10 ขนาดความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยและสูงสุดของการคำนวณขนาดแรงดัน และการไหล ของกำลังแอกทีฟและรีแอกทีฟของระบบสมมูลคิดเป็นเปอร์เซ็นต์เทียบกับระบบ เต็ม	59
4.11 กำลังสูญเสียในกึ่งที่คำนวณได้จากระบบเต็ม	60
4.12 กำลังสูญเสียในกึ่งที่คำนวณได้จากระบบสมมูลที่ใช้การแบ่งแยกเป็น 3 กลุ่ม และ ใช้สมมูลภายนอกแบบ Extended Ward	61
4.13 กำลังสูญเสียในกึ่งที่คำนวณได้จากระบบสมมูลที่ใช้การแบ่งแยกเป็น 3 กลุ่ม และ ใช้สมมูลภายนอกแบบ REI	62

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.14 โครงข่ายภายในและบัลลอบเขตของระบบสมมูลที่ใช้สมมูลภายนอกแบบ Extended Ward ที่ใช้ในการทดสอบระบบทดสอบ IEEE 118 บัส	68
4.15 โครงข่ายภายในและบัลลอบเขตของระบบสมมูลที่ใช้สมมูลภายนอกแบบ REI ที่ใช้ในการทดสอบระบบทดสอบ IEEE 118 บัส	68
4.16 จำนวนบัส จำนวนบัสแรงดัน จำนวนกิ่ง จำนวนรอบ และเวลาที่ใช้ในการวิเคราะห์ โหลดโพลาร์ ของระบบเต็ม และระบบสมมูลแบบต่าง ๆ สำหรับเหตุการณ์ที่ 1	69
4.17 ผลการวิเคราะห์โหลดโพลาร์เปรียบเทียบระหว่างระบบเต็มกับระบบสมมูลที่ใช้การแบ่งแยกเป็น 4 กลุ่ม และใช้สมมูลภายนอกแบบ Extended Ward สำหรับเหตุการณ์ที่ 1	70
4.18 ความคลาดเคลื่อนในการคำนวณการไหลของกำลังแอกทีฟและรีแอกทีฟในกิ่งของระบบสมมูลที่ใช้การแบ่งแยกเป็น 4 กลุ่ม และใช้สมมูลภายนอกแบบ Extended Ward คิดเป็นเปอร์เซ็นต์เทียบกับระบบเต็ม สำหรับเหตุการณ์ที่ 1	72
4.19 ผลการวิเคราะห์โหลดโพลาร์เปรียบเทียบระหว่างระบบเต็มกับระบบสมมูลที่ใช้การแบ่งแยกเป็น 4 กลุ่ม และใช้สมมูลภายนอกแบบ REI สำหรับเหตุการณ์ที่ 1	76
4.20 ความคลาดเคลื่อนในการคำนวณการไหลของกำลังแอกทีฟและรีแอกทีฟในกิ่งของระบบสมมูลที่ใช้การแบ่งแยกเป็น 4 กลุ่ม และใช้สมมูลภายนอกแบบ REI คิดเป็นเปอร์เซ็นต์เทียบกับระบบเต็ม สำหรับเหตุการณ์ที่ 1	79
4.21 ผลการวิเคราะห์โหลดโพลาร์เปรียบเทียบระหว่างระบบเต็มกับระบบสมมูลที่ใช้การแบ่งแยกเป็น 5 กลุ่ม และใช้สมมูลภายนอกแบบ Extended Ward สำหรับเหตุการณ์ที่ 1	83
4.22 ความคลาดเคลื่อนในการคำนวณการไหลของกำลังแอกทีฟและรีแอกทีฟในกิ่งของระบบสมมูลที่ใช้การแบ่งแยกเป็น 5 กลุ่ม และใช้สมมูลภายนอกแบบ Extended Ward คิดเป็นเปอร์เซ็นต์เทียบกับระบบเต็ม สำหรับเหตุการณ์ที่ 1	86
4.23 ผลการวิเคราะห์โหลดโพลาร์เปรียบเทียบระหว่างระบบเต็มกับระบบสมมูลที่ใช้การแบ่งแยกเป็น 5 กลุ่ม และใช้สมมูลภายนอกแบบ REI สำหรับเหตุการณ์ที่ 1	90
4.24 ความคลาดเคลื่อนในการคำนวณการไหลของกำลังแอกทีฟและรีแอกทีฟในกิ่งของระบบสมมูลที่ใช้การแบ่งแยกเป็น 5 กลุ่ม และใช้สมมูลภายนอกแบบ REI คิดเป็นเปอร์เซ็นต์เทียบกับระบบเต็ม สำหรับเหตุการณ์ที่ 1	92

สารบัญญัตินำ (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.25 ผลการวิเคราะห์โพลีไฟลว์เปรียบเทียบระหว่างระบบเต็มกับระบบสมมูลที่ใช้การแบ่งแยกเป็น 6 กลุ่ม และใช้สมมูลภายนอกแบบ Extended Ward สำหรับเหตุการณ์ที่ 1	96
4.26 ความคลาดเคลื่อนในการคำนวณการไหลของกำลังแอกทีฟและรีแอกทีฟในกิ่งของระบบสมมูลที่ใช้การแบ่งแยกเป็น 6 กลุ่ม และใช้สมมูลภายนอกแบบ Extended Ward คิดเป็นเปอร์เซ็นต์เทียบกับระบบเต็ม สำหรับเหตุการณ์ที่ 1	98
4.27 ผลการวิเคราะห์โพลีไฟลว์เปรียบเทียบระหว่างระบบเต็มกับระบบสมมูลที่ใช้การแบ่งแยกเป็น 6 กลุ่ม และใช้สมมูลภายนอกแบบ REI สำหรับเหตุการณ์ที่ 1	100
4.28 ความคลาดเคลื่อนในการคำนวณการไหลของกำลังแอกทีฟและรีแอกทีฟในกิ่งของระบบสมมูลที่ใช้การแบ่งแยกเป็น 6 กลุ่ม และใช้สมมูลภายนอกแบบ REI คิดเป็นเปอร์เซ็นต์เทียบกับระบบเต็ม สำหรับเหตุการณ์ที่ 1	101
4.29 ขนาดความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยและสูงสุดในการคำนวณขนาดแรงดันของบัสในระบบสมมูลคิดเป็นเปอร์เซ็นต์เทียบกับระบบเต็ม สำหรับเหตุการณ์ที่ 1	104
4.30 ขนาดความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยและสูงสุดในการคำนวณการไหลของกำลังแอกทีฟในกิ่งของระบบสมมูลคิดเป็นเปอร์เซ็นต์เทียบกับระบบเต็ม สำหรับเหตุการณ์ที่ 1	104
4.31 ขนาดความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยและสูงสุดในการคำนวณการไหลของกำลังรีแอกทีฟในกิ่งของระบบสมมูลคิดเป็นเปอร์เซ็นต์เทียบกับระบบเต็ม สำหรับเหตุการณ์ที่ 1	104
4.32 จำนวนบัส จำนวนบัสแรงดัน จำนวนกิ่ง จำนวนรอบ และเวลาที่ใช้ในการวิเคราะห์โพลีไฟลว์ของระบบเต็ม และระบบสมมูลแบบต่าง ๆ สำหรับเหตุการณ์ที่ 2	106
4.33 ผลการวิเคราะห์โพลีไฟลว์เปรียบเทียบระหว่างระบบเต็มกับระบบสมมูลที่ใช้การแบ่งแยกเป็น 4 กลุ่ม และใช้สมมูลภายนอกแบบ Extended Ward สำหรับเหตุการณ์ที่ 2	106
4.34 ความคลาดเคลื่อนในการคำนวณการไหลของกำลังแอกทีฟและรีแอกทีฟในกิ่งของระบบสมมูลที่ใช้การแบ่งแยกเป็น 4 กลุ่ม และใช้สมมูลภายนอกแบบ Extended Ward คิดเป็นเปอร์เซ็นต์เทียบกับระบบเต็ม สำหรับเหตุการณ์ที่ 2	107
4.35 ผลการวิเคราะห์โพลีไฟลว์เปรียบเทียบระหว่างระบบเต็มกับระบบสมมูลที่ใช้การแบ่งแยกเป็น 4 กลุ่ม และใช้สมมูลภายนอกแบบ REI สำหรับเหตุการณ์ที่ 2	109

สารบัญญัตินี้ (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.36 ความคลาดเคลื่อนในการคำนวณการไหลของกำลังแอกทีฟและรีแอกทีฟในกึ่งของระบบสมมูลที่ใช้การแบ่งแยกเป็น 4 กลุ่ม และใช้สมมูลภายนอกแบบ REI คิดเป็นเปอร์เซ็นต์เทียบกับระบบเต็ม สำหรับเหตุการณ์ที่ 2	111
4.37 ผลการวิเคราะห์โหลดโพลาร์เปรียบเทียบระหว่างระบบเต็มกับระบบสมมูลที่ใช้การแบ่งแยกเป็น 5 กลุ่ม และใช้สมมูลภายนอกแบบ Extended Ward สำหรับเหตุการณ์ที่ 2	113
4.38 ความคลาดเคลื่อนในการคำนวณการไหลของกำลังแอกทีฟและรีแอกทีฟในกึ่งของระบบสมมูลที่ใช้การแบ่งแยกเป็น 5 กลุ่ม และใช้สมมูลภายนอกแบบ Extended Ward คิดเป็นเปอร์เซ็นต์เทียบกับระบบเต็ม สำหรับเหตุการณ์ที่ 2	114
4.39 ผลการวิเคราะห์โหลดโพลาร์เปรียบเทียบระหว่างระบบเต็มกับระบบสมมูลที่ใช้การแบ่งแยกเป็น 5 กลุ่ม และใช้สมมูลภายนอกแบบ REI สำหรับเหตุการณ์ที่ 2	117
4.40 ความคลาดเคลื่อนในการคำนวณการไหลของกำลังแอกทีฟและรีแอกทีฟในกึ่งของระบบสมมูลที่ใช้การแบ่งแยกเป็น 5 กลุ่ม และใช้สมมูลภายนอกแบบ REI คิดเป็นเปอร์เซ็นต์เทียบกับระบบเต็ม สำหรับเหตุการณ์ที่ 2	118
4.41 ผลการวิเคราะห์โหลดโพลาร์เปรียบเทียบระหว่างระบบเต็มกับระบบสมมูลที่ใช้การแบ่งแยกเป็น 6 กลุ่ม และใช้สมมูลภายนอกแบบ Extended Ward สำหรับเหตุการณ์ที่ 2	120
4.42 ความคลาดเคลื่อนในการคำนวณการไหลของกำลังแอกทีฟและรีแอกทีฟในกึ่งของระบบสมมูลที่ใช้การแบ่งแยกเป็น 6 กลุ่ม และใช้สมมูลภายนอกแบบ Extended Ward คิดเป็นเปอร์เซ็นต์เทียบกับระบบเต็ม สำหรับเหตุการณ์ที่ 2	122
4.43 ผลการวิเคราะห์โหลดโพลาร์เปรียบเทียบระหว่างระบบเต็มกับระบบสมมูลที่ใช้การแบ่งแยกเป็น 6 กลุ่ม และใช้สมมูลภายนอกแบบ REI สำหรับเหตุการณ์ที่ 2	124
4.44 ความคลาดเคลื่อนในการคำนวณการไหลของกำลังแอกทีฟและรีแอกทีฟในกึ่งของระบบสมมูลที่ใช้การแบ่งแยกเป็น 6 กลุ่ม และใช้สมมูลภายนอกแบบ REI คิดเป็นเปอร์เซ็นต์เทียบกับระบบเต็ม สำหรับเหตุการณ์ที่ 2	125
4.45 ขนาดความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยและสูงสุดในการคำนวณขนาดแรงดันของบัสในระบบสมมูลคิดเป็นเปอร์เซ็นต์เทียบกับระบบเต็ม สำหรับเหตุการณ์ที่ 2	127

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.46 ขนาดความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยและสูงสุดในการคำนวณการไหลของกำลังแอกทีฟ ในกึ่งของระบบสมมูลคิดเป็นเปอร์เซ็นต์เทียบกับระบบเต็ม สำหรับเหตุการณ์ที่ 2	127
4.47 ขนาดความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยและสูงสุดในการคำนวณการไหลของกำลังรีแอกทีฟ ในกึ่งของระบบสมมูลคิดเป็นเปอร์เซ็นต์เทียบกับระบบเต็ม สำหรับเหตุการณ์ที่ 2	128
ข.1.1 ข้อมูลบัสของระบบทดสอบ IEEE 30 บัส และแรงดันที่ได้จากผลการวิเคราะห์ โพลต์โพลร์สำหรับกรณีฐาน	136
ข.1.2 ข้อมูลกึ่งของระบบทดสอบ IEEE 30 บัส	137
ข.2.1 ข้อมูลบัสของระบบทดสอบ IEEE 118 บัส และแรงดันที่ได้จากผลการวิเคราะห์ โพลต์โพลร์สำหรับกรณีฐาน	139
ข.2.2 ข้อมูลกึ่งของระบบทดสอบ IEEE 118 บัส	143

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

รูปที่	หน้า
2.1 กราฟตัวอย่าง	10
2.2 ผลการวางตำแหน่งกราฟตัวอย่าง เมื่อใช้จำนวนพิกัดเท่ากับ 1	12
2.3 กราฟแบบบริบูรณ์	13
2.4 ผลการวางตำแหน่งกราฟตัวอย่าง เมื่อใช้จำนวนพิกัดเท่ากับ 2	14
2.5 จุดศูนย์กลางของกลุ่มของกราฟตัวอย่าง เมื่อใช้จำนวนพิกัดเท่ากับ 2	17
2.6 ขั้นตอนการจัดกลุ่มที่ไม่มีการควบคุมขนาดของกลุ่ม	23
2.7 ขั้นตอนการจัดกลุ่มที่มีการควบคุมขนาดของกลุ่ม	25
3.1 โครงข่ายภายใน โครงข่ายภายนอก และบัสขอบเขต	29
3.2 ระบบตัวอย่าง	30
3.3 ระบบสมมูลที่ใช้สมมูลภายนอกแบบ Ward	32
3.4 ระบบสมมูลที่ใช้สมมูลภายนอกแบบ Ward-PV	34
3.5 การปรับปรุงสมมูลภายนอกแบบ Ward ให้มีผลตอบกำลังรีแอกทีฟขนาดเล็กตรง กับสมมูลภายนอกแบบ Ward-PV	36
3.6 ระบบสมมูลที่ใช้สมมูลภายนอกแบบ Extended Ward 1	37
3.7 ระบบสมมูลที่ใช้สมมูลภายนอกแบบ Extended Ward 2	38
3.8 การรวมบัสในโครงข่ายภายนอก	40
3.9 การสร้างบัส REI ในสมมูลภายนอกแบบ REI	40
4.1 ระบบทดสอบ 9 บัส	46
4.2 ผลการวางตำแหน่งของระบบทดสอบ 9 บัส	48
4.3 ระบบทดสอบ IEEE 30 บัส	51
4.4 ระบบสมมูลที่ใช้การแบ่งแยกเป็น 3 กลุ่ม และใช้สมมูลภายนอกแบบ Extended Ward	53
4.5 ระบบสมมูลที่ใช้การแบ่งแยกเป็น 3 กลุ่ม และใช้สมมูลภายนอกแบบ REI	55
4.6 ระบบทดสอบ IEEE 118 บัส	66