

การคำนวณโหลดไฟลว์ตามวิธีนิวตัน-ราฟสัน โดยรวมความไม่เป็นเชิงเส้นของอนุพันธ์อันดับที่สอง

นายสุรศักดิ์ อัครชัยอนันต์



สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

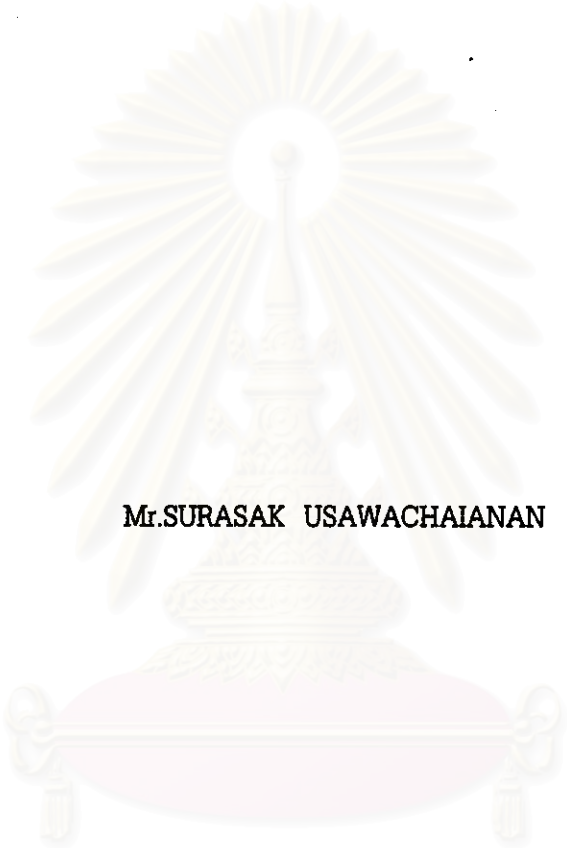
ปีการศึกษา 2540

ISBN 974-636-929-6

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I 17586677

**A LOAD FLOW CALCULATION BY THE NEWTON-RAPHSON METHOD INCLUDING
NONLINEARITY OF THE SECOND ORDER DERIVATIVE**



Mr.SURASAK USAWACHAIANAN

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering

Department of Electrical Engineering

Graduate School

Chulalongkorn University

Academic Year 1997

ISBN 974-636-929-6

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การคำนวณโหลดโพลาร์ตามวิธีนิวตัน-ราฟสัน โดยรวมความไม่เป็นเชิงเส้นของอนุพันธ์
อันดับที่สอง

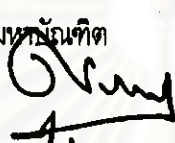
โดย นายสุรศักดิ์ อัครชัยอนันต์

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า

อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร. สุขุมวิทย์ ภูมิวุฒิสาร


อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ดร. ทรงศักดิ์ ชุณหะวัณพิพัฒน์

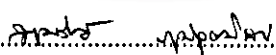
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการ
การศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบัณฑิต



.....
(ศาสตราจารย์ นายแพทย์ สุรวุฒินันท์ ชุตินวงศ์)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

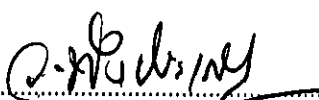
คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ประสิทธิ์ พิทยพัฒน์)


..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ ดร. สุขุมวิทย์ ภูมิวุฒิสาร)


..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(ดร. ทรงศักดิ์ ชุณหะวัณพิพัฒน์)


..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. บัณฑิต เอื้ออาภรณ์)


..... กรรมการ
(นาย วุฒิชัย พิงประเสริฐ)

พิมพ์ต้นฉบับบทความวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสี่เหลี่ยมนี้เพียงแผ่นเดียว

ตรศักดิ์ อัครชัยอนันต์ : การคำนวณโหลดฟูลว์ตามวิธีนิวตัน-ราฟสัน โดยรวมความไม่เป็นเชิงเส้นของ
อนุพันธ์อันดับที่สอง (A LOAD FLOW CALCULATION BY THE NEWTON-RAPHSON METHOD
INCLUDING NONLINEARITY OF THE SECOND ORDER DERIVATIVE) อ. ที่ปรึกษา : รศ. ดร.
ศุขุมวิทย์ ภูมิวุฒิสาร, อ. ที่ปรึกษาร่วม : ดร. ทรงศักดิ์ ชุณหวิวัฒน์, 180 หน้า. ISBN 974-636-929-6.

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ กล่าวถึงการคำนวณโหลดฟูลว์ตามวิธีนิวตัน-ราฟสัน โดยรวมความไม่เป็นเชิงเส้น
ของอนุพันธ์อันดับที่สองจากการกระจายอนุกรมเทย์เลอร์ ทั้งในระบบพิกัดฉากและระบบพิกัดเชิงขั้ว เพื่อให้มีคุณลักษณะ
การเข้าสู่ของค่าตอบที่ติและแน่นอนขึ้น โดยเฉพาะการวิเคราะห์โหลดฟูลว์กับระบบกำลังไฟฟ้าที่มีข้อกำหนดเริ่มต้นทาง
โหลดฟูลว์ไม่เหมาะสม จากนั้นจะนำผลการคำนวณที่ได้เปรียบเทียบกับผลการคำนวณด้วยวิธีนิวตัน-ราฟสันเดิมในแง่
ของคุณลักษณะการเข้าสู่ของค่าตอบ ความถูกต้อง ความน่าเชื่อถือได้ของค่าตอบและจำนวนรอบที่ใช้ในการคำนวณ เพื่อ
เป็นหลักเกณฑ์พื้นฐานในการตัดสินใจเลือกวิธีการคำนวณ โหลดฟูลว์ที่เหมาะสมที่สุดสำหรับบางสถานะของระบบ



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า
สาขาวิชา พลังงานไฟฟ้า
ปีการศึกษา 2540

ลายมือชื่อนิติ ตรศักดิ์ อัครชัยอนันต์
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา รศ. ดร. ศุขุมวิทย์ ภูมิวุฒิสาร
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ดร. ทรงศักดิ์ ชุณหวิวัฒน์

##C815730:MAJOR ELECTRICAL ENGINEERING

KEY WORD: ILL-CONDITIONED LOAD FLOW / NEWTON-RAPHSON METHOD /
SECOND ORDER DERIVATIVE

SURASAK USAWACHAIANAN : A LOAD FLOW CALCULATION BY
THE NEWTON-RAPHSON METHOD INCLUDING NONLINEARITY OF
THE SECOND ORDER DERIVATIVE. THESIS ADVISOR: ASSO.PROF.
SUKUMVIT PHOOMVUTHISARN, Ph.D. THESIS COADVISOR: SONGSAK
CHUSANAPIPUTT, Ph.D. 180 pp. ISBN 974-636-929-6.

This thesis describes a load flow calculation by the Newton-Raphson method including nonlinearity of the second order derivative. The method is derived from Taylor series expansion both in rectangular and polar coordinates. The method improves the convergent characteristic of solutions, especially for some ill-conditioned power systems load flow analysis. Then the results are compared with the results from the conventional Newton-Raphson method in aspects of the convergent characteristic, accuracy, reliability and number of iterations. The objective of this comparison is determined an appropriate load flow calculation method for some condition of power systems.



สถาบันวิทยบริการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา..... วิศวกรรมไฟฟ้า
สาขาวิชา..... พลังงานไฟฟ้า
ปีการศึกษา..... 2540

ลายมือชื่อนิสิต..... สุรศักดิ์ อัสวชาญานันท์
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา..... อ.สุรศักดิ์ อัสวชาญานันท์
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม..... อ.สุรศักดิ์ อัสวชาญานันท์



กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดีของ รองศาสตราจารย์ ดร. สุชฌิมวิทย์ ภูมิวุฒิสาร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และ ดร. ทรงศักดิ์ ฑุชณนพิพัฒน์ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วมวิทยานิพนธ์ ซึ่งได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่าง ๆ เกี่ยวกับการวิจัยมาด้วยดีโดยตลอดและได้กรุณาตรวจสอบและแก้ไขวิทยานิพนธ์จนสำเร็จเรียบร้อยเป็นอย่างดี ผู้วิจัยขอขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ซึ่งประกอบด้วย ประธานกรรมการ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ประสิทธิ์ พิทยพัฒน์ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. บัณฑิต เอื้ออาภรณ์ และคุณวุฒิชัย พิงประเสริฐ จากการผลิตแห่งประเทศไทย ที่ได้กรุณาตรวจสอบแก้ไขและให้คำแนะนำในการทำวิทยานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี และเนื่องจากทุนการวิจัยในครั้งนี้น่าจะได้รับมาจากทุนการศึกษาของศูนย์เชี่ยวชาญพิเศษเฉพาะด้านเทคโนโลยีไฟฟ้ากำลัง จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จึงขอขอบพระคุณมา ณ ที่นี้ด้วย

ท้ายนี้ ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณบิดา-มารดา ซึ่งให้การสนับสนุนทั้งในด้านการเงิน และเป็นกำลังใจแก่ผู้วิจัยเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

สุรศักดิ์ อัครชัยอนันต์

พฤษภาคม 2540

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญภาพ.....	ณ
บทที่	
1. บทนำทั่วไป.....	1
1.1 ความสำคัญของการศึกษาโหลดโพล์.....	1
1.2 ความจำเป็นที่ต้องรวมความไม่เป็นเชิงเส้นของ อนุพันธ์อันดับที่สองในการคำนวณโหลดโพล์	1
1.3 ความหมายของระบบกำลังไฟฟ้าที่มีข้อกำหนด เริ่มต้นทางโหลดโพล์ที่ไม่เหมาะสม.....	2
1.4 วัตถุประสงค์.....	2
1.5 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน.....	2
1.6 ขอบเขตในการทำวิทยานิพนธ์.....	3
1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการทำวิทยานิพนธ์.....	3
1.8 เนื้อหาของวิทยานิพนธ์.....	3
2. การคำนวณโหลดโพล์ด้วยวิธีนิวตัน-ราฟสัน.....	5
2.1 สมมติฐานที่ใช้ในการวิเคราะห์โหลดโพล์	5
2.2 วงจรสมมูลย์ขององค์ประกอบในระบบกำลังไฟฟ้า.....	5
2.2.1 เครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator).....	5
2.2.2 โหลด (Load).....	6
2.2.3 สายส่งไฟฟ้า (Transmission line).....	7
2.2.4 หม้อแปลงไฟฟ้า (Transformer).....	7
2.2.5 ชั้นที่อิลิเมนต์ (Shunt element).....	9

2.3 สมการพื้นฐานในการคำนวณโหลดโพลาร์.....	10
2.4 การสร้างบัสแอดมิตแตนซ์เมตริกซ์โดยวิธีอีลิเมนต์สแตมป์ (Element stamp method).....	10
2.4.1 สายส่งไฟฟ้า.....	10
2.4.2 หม้อแปลงไฟฟ้า.....	11
2.4.3 ชั้นที่อีลิเมนต์.....	12
2.4.4 ขั้นตอนการสร้างบัสแอดมิตแตนซ์เมตริกซ์โดย วิธีอีลิเมนต์สแตมป์.....	12
2.5 ชนิดของบัสในระบบกำลังไฟฟ้า.....	14
2.6 สมการโหลดโพลาร์ตามวิธีนิวตัน-ราฟสัน.....	15
2.7 การประยุกต์วิธีนิวตัน-ราฟสันในการแก้ปัญหาทางโหลดโพลาร์.....	17
2.7.1 ระบบพิกัดฉาก (Rectangular coordinate).....	17
2.7.2 ระบบพิกัดเชิงขั้ว (Polar coordinate).....	22
2.8 การคำนวณกำลังไฟฟ้าที่ไหลและกำลังสูญเสียในสายส่งและหม้อแปลง.....	26
2.8.1 กำลังไฟฟ้าที่ไหลและกำลังสูญเสียในสายส่ง.....	26
2.8.2 กำลังไฟฟ้าที่ไหลและกำลังสูญเสียในหม้อแปลง.....	27
2.9 ขั้นตอนการคำนวณโหลดโพลาร์ด้วยวิธีนิวตัน-ราฟสัน.....	27
3. การพัฒนาวิธีนิวตัน-ราฟสัน โดยรวมความไม่เป็นเชิงเส้นของอนุพันธ์อันดับที่สอง.....	30
3.1 อนุกรมเทย์เลอร์.....	30
3.2 การพัฒนาวิธีนิวตัน-ราฟสันด้วยเทคนิคที่รวมความไม่เป็นเชิงเส้นของอนุพันธ์ อันดับที่สอง.....	31
3.3 การประยุกต์วิธีนิวตัน-ราฟสันที่รวมความไม่เป็นเชิงเส้นของอนุพันธ์อันดับที่สอง ในการแก้ปัญหาทางโหลดโพลาร์.....	34
3.3.1 สมการโหลดโพลาร์ในระบบพิกัดฉาก.....	34
3.3.2 สมการโหลดโพลาร์ในระบบพิกัดเชิงขั้ว.....	38
4. ตัวอย่างและผลการวิเคราะห์.....	45
4.1 ตัวอย่างของระบบกำลังไฟฟ้าที่มีข้อกำหนดเริ่มต้นทางโหลดโพลาร์ที่เหมาะสม.....	45
4.2 วิเคราะห์วิธีที่ใช้ในการคำนวณโหลดโพลาร์สำหรับระบบกำลังไฟฟ้า ที่มีข้อกำหนดเริ่มต้นทางโหลดโพลาร์ที่เหมาะสม.....	53
4.2.1 คุณลักษณะการสุ่มเข้าของคำตอบ.....	53
4.2.2 จำนวนรอบและเวลาที่ใช้ในการคำนวณ.....	56

4.3 ตัวอย่างของระบบกำลังไฟฟ้าที่มีข้อกำหนดเริ่มต้นทางโหลดโพลาร์ที่ไม่เหมาะสม.....	57
4.3.1 ตัวอย่างของระบบกำลังไฟฟ้าที่มีความไม่เหมาะสมของข้อกำหนดทาง โครงสร้างของระบบ.....	57
4.3.2 ตัวอย่างของระบบกำลังไฟฟ้าที่มีความไม่เหมาะสมทางสภาวะ การทำงานของระบบ.....	61
4.4 วิเคราะห์วิธีที่ใช้ในการคำนวณโหลดโพลาร์สำหรับระบบกำลังไฟฟ้า ที่มีข้อกำหนดเริ่มต้นทางโหลดโพลาร์ที่ไม่เหมาะสม.....	61
4.4.1 จุดลักษณะการรู้เข้าของคำตอบ.....	61
4.4.2 จำนวนรอบและเวลาที่ใช้ในการคำนวณ.....	68
5. สรุปและเสนอแนะ.....	70
รายการอ้างอิง.....	71
ภาคผนวก	
ก. การแก้ระบบสมการพีชคณิตที่เป็นเชิงเส้นด้วยวิธีเกาส์อลิมินเนชัน.....	73
ข. การแก้ระบบสมการพีชคณิตที่ไม่เป็นเชิงเส้นด้วยวิธีนิวตัน-ราฟสัน.....	79
ค. โปรแกรมคอมพิวเตอร์.....	84
ง. คู่มือการใช้งานโปรแกรมคอมพิวเตอร์.....	126
จ. ผลการคำนวณโหลดโพลาร์.....	142
ประวัติผู้เขียน.....	180

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ชนิดของบัสในระบบกำลังไฟฟ้า.....	15
4.1(ก) แสดงข้อมูลของอุปกรณ์ สำหรับระบบกำลังไฟฟ้าที่ใช้ทดสอบขนาด 3 บัส.....	46
4.1(ข) แสดงข้อมูลของบัส สำหรับระบบกำลังไฟฟ้าที่ใช้ทดสอบขนาด 3 บัส.....	46
4.2(ก) แสดงข้อมูลของอุปกรณ์ สำหรับระบบกำลังไฟฟ้าที่ใช้ทดสอบขนาด 14 บัส.....	48
4.2(ข) แสดงข้อมูลของบัส สำหรับระบบกำลังไฟฟ้าที่ใช้ทดสอบขนาด 14 บัส.....	49
4.3(ก) แสดงข้อมูลของอุปกรณ์ สำหรับระบบกำลังไฟฟ้าที่ใช้ทดสอบขนาด 30 บัส.....	51
4.3(ข) แสดงข้อมูลของบัส สำหรับระบบกำลังไฟฟ้าที่ใช้ทดสอบขนาด 30 บัส.....	52
4.4 แสดงการเปรียบเทียบค่าความผิดพลาดทางกำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในแต่ละรอบ การคำนวณระหว่างวิธี FONR และวิธี SONR สำหรับระบบกำลังไฟฟ้าที่ใช้ ทดสอบขนาด 3 บัส ที่มีข้อกำหนดเริ่มต้นทางโพลต์โฟลว์ที่เหมาะสม โดยใช้ ค่าความผิดพลาด 0.01.....	53
4.5 แสดงการเปรียบเทียบค่าความผิดพลาดทางกำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในแต่ละรอบ การคำนวณระหว่างวิธี FONR และวิธี SONR สำหรับระบบกำลังไฟฟ้าที่ใช้ ทดสอบขนาด 14 บัส ที่มีข้อกำหนดเริ่มต้นทางโพลต์โฟลว์ที่เหมาะสม โดยใช้ ค่าความผิดพลาด 0.01.....	54
4.6 แสดงการเปรียบเทียบค่าความผิดพลาดทางกำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในแต่ละรอบ การคำนวณระหว่างวิธี FONR และวิธี SONR สำหรับระบบกำลังไฟฟ้าที่ใช้ ทดสอบขนาด 30 บัส ที่มีข้อกำหนดเริ่มต้นทางโพลต์โฟลว์ที่เหมาะสม โดยใช้ ค่าความผิดพลาด 0.01.....	55
4.7 แสดงการเปรียบเทียบจำนวนรอบและเวลาที่ใช้ในการคำนวณระหว่าง วิธี FONR และวิธี SONR สำหรับระบบกำลังไฟฟ้าที่มีข้อกำหนดเริ่มต้น ทางโพลต์โฟลว์ที่เหมาะสม โดยใช้ค่าความผิดพลาด 0.01.....	56
4.8(ก) แสดงข้อมูลของอุปกรณ์ สำหรับระบบกำลังไฟฟ้าที่ใช้ทดสอบขนาด 13 บัส.....	59
4.8(ข) แสดงข้อมูลของบัส สำหรับระบบกำลังไฟฟ้าที่ใช้ทดสอบขนาด 13 บัส.....	60

4.9	แสดงการเปรียบเทียบค่าความผิดพลาดทางกำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในแต่ละรอบการคำนวณระหว่างวิธี FONR และวิธี SONR สำหรับระบบกำลังไฟฟ้าที่ใช้ทดสอบขนาด 13 บัส ที่มีข้อกำหนดเริ่มต้นทางโหนดโพลาร์ที่ไม่เหมาะสม โดยใช้ค่าความผิดพลาด 0.01.....	62
4.10	แสดงการเปรียบเทียบค่าความผิดพลาดทางกำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในแต่ละรอบการคำนวณระหว่างวิธี FONR และวิธี SONR สำหรับระบบกำลังไฟฟ้าที่ใช้ทดสอบขนาด 3 บัส ภายหลังจากการเพิ่มโหนดที่บัส 3 โดยใช้ค่าความผิดพลาด 0.01.....	64
4.11	แสดงการเปรียบเทียบค่าความผิดพลาดทางกำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในแต่ละรอบการคำนวณระหว่างวิธี FONR และวิธี SONR สำหรับระบบกำลังไฟฟ้าที่ใช้ทดสอบขนาด 14 บัส ภายหลังจากการเพิ่มโหนดที่บัส 14 โดยใช้ค่าความผิดพลาด 0.01.....	65
4.12	แสดงการเปรียบเทียบค่าความผิดพลาดทางกำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในแต่ละรอบการคำนวณระหว่างวิธี FONR และวิธี SONR สำหรับระบบกำลังไฟฟ้าที่ใช้ทดสอบขนาด 30 บัส ภายหลังจากการเพิ่มโหนดที่บัส 30 โดยใช้ค่าความผิดพลาด 0.01.....	67
4.13	แสดงการเปรียบเทียบจำนวนรอบและเวลาที่ใช้ในการคำนวณระหว่างวิธี FONR และวิธี SONR สำหรับระบบกำลังไฟฟ้าที่มีข้อกำหนดเริ่มต้นทางโหนดโพลาร์ที่ไม่เหมาะสม โดยใช้ค่าความผิดพลาด 0.01.....	68
จ.1	ตัวอย่างแสดงข้อมูลของบัส.....	126
จ.2	ตัวอย่างแสดงข้อมูลของสายส่งและหม้อแปลง.....	129
จ.1	แสดงแรงดันไฟฟ้าที่บัสต่างๆ และกำลังไฟฟ้าที่ผลิตที่บัสอ้างอิง สำหรับระบบกำลังไฟฟ้าขนาด 3 บัส ที่มีข้อกำหนดเริ่มต้นทางโหนดโพลาร์ที่เหมาะสม เมื่อคำนวณด้วยวิธี FONR.....	142
จ.2	กำลังไฟฟ้าที่ไหลผ่านและกำลังสูญเสียในสายส่งและหม้อแปลงต่างๆ สำหรับระบบกำลังไฟฟ้าขนาด 3 บัส ที่มีข้อกำหนดเริ่มต้นทางโหนดโพลาร์ที่เหมาะสม เมื่อคำนวณด้วยวิธี FONR.....	143
จ.3	แสดงแรงดันไฟฟ้าที่บัสต่างๆ และกำลังไฟฟ้าที่ผลิตที่บัสอ้างอิง สำหรับระบบกำลังไฟฟ้าขนาด 3 บัส ที่มีข้อกำหนดเริ่มต้นทางโหนดโพลาร์ที่เหมาะสม เมื่อคำนวณด้วยวิธี SONR.....	144
จ.4	กำลังไฟฟ้าที่ไหลผ่านและกำลังสูญเสียในสายส่งและหม้อแปลงต่างๆ สำหรับระบบกำลังไฟฟ้าขนาด 3 บัส ที่มีข้อกำหนดเริ่มต้นทางโหนดโพลาร์ที่เหมาะสม เมื่อคำนวณด้วยวิธี SONR.....	144

จ.25	แสดงแรงดันไฟฟ้าที่บัสต่างๆ และกำลังไฟฟ้าที่ผลิตที่บัสอ้างอิง สำหรับระบบกำลังไฟฟ้าขนาด 30 บัส ที่มีข้อกำหนดเริ่มต้นทาง โหลดโพล์ที่ไม่เหมาะสม เมื่อคำนวณด้วยวิธี SONR.....	171
จ.26	กำลังไฟฟ้าที่ไหลผ่านและกำลังสูญเสียในสายส่งและหม้อแปลงต่างๆ สำหรับระบบกำลังไฟฟ้าขนาด 30 บัส ที่มีข้อกำหนดเริ่มต้นทาง โหลดโพล์ที่ไม่เหมาะสม เมื่อคำนวณด้วยวิธี SONR.....	172
จ.27	ข้อมูลของอุปกรณ์ สำหรับระบบกำลังไฟฟ้าแบบ radial ขนาด 14 บัส.....	175
จ.28	ข้อมูลของบัส สำหรับระบบกำลังไฟฟ้าแบบ radial ขนาด 14 บัส.....	175
จ.29	แสดงแรงดันไฟฟ้าที่บัสต่างๆ และกำลังไฟฟ้าที่ผลิตที่บัสอ้างอิง สำหรับระบบกำลังไฟฟ้าแบบ radial ขนาด 14 บัส เมื่อคำนวณด้วยวิธี FONR.....	176
จ.30	กำลังไฟฟ้าที่ไหลผ่านและกำลังสูญเสียในสายส่งต่างๆ สำหรับระบบกำลังไฟฟ้า แบบ radial ขนาด 14 บัส เมื่อคำนวณด้วยวิธี FONR.....	176
จ.31	แสดงแรงดันไฟฟ้าที่บัสต่างๆ และกำลังไฟฟ้าที่ผลิตที่บัสอ้างอิง สำหรับระบบกำลังไฟฟ้าแบบ radial ขนาด 14 บัส เมื่อคำนวณด้วยวิธี SONR.....	178
จ.32	กำลังไฟฟ้าที่ไหลผ่านและกำลังสูญเสียในสายส่งต่างๆ สำหรับระบบกำลังไฟฟ้า แบบ radial ขนาด 14 บัส เมื่อคำนวณด้วยวิธี SONR.....	178
จ.33	แสดงการเปรียบเทียบค่าความผิดพลาดทางกำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้น ในแต่ละรอบการคำนวณระหว่างวิธี FONR และ วิธี SONR สำหรับระบบกำลังไฟฟ้าแบบ radial ขนาด 14 บัส โดยใช้ค่าความผิดพลาด 0.01.....	179

สารบัญภาพ

รูปที่	หน้า
2.1	6
2.2	6
2.3	7
2.4(ก)	7
2.4(ข)	8
2.5	9
2.6	13
2.7	29
3.1	44
4.1	46
4.2	47
4.3	50
4.4	54
4.5	55
4.6	56
4.7	58
4.8	63

จ.12	แผนภาพแสดงการไหลของกำลังไฟฟ้า สำหรับระบบกำลังไฟฟ้าขนาด 30 บัส ที่มีข้อกำหนดเริ่มต้นทางโหนดโพลาร์ที่ไม่เหมาะสม เมื่อคำนวณด้วยวิธี FONR.....	170
จ.13	แผนภาพแสดงการไหลของกำลังไฟฟ้า สำหรับระบบกำลังไฟฟ้าขนาด 30 บัส ที่มีข้อกำหนดเริ่มต้นทางโหนดโพลาร์ที่ไม่เหมาะสม เมื่อคำนวณด้วยวิธี SONR.....	173
จ.14	ระบบกำลังไฟฟ้าแบบ radial ขนาด 14 บัส.....	174
จ.15	แผนภาพแสดงการไหลของกำลังไฟฟ้า สำหรับระบบกำลังไฟฟ้า แบบ radial ขนาด 14 บัส เมื่อคำนวณด้วยวิธี FONR.....	177
จ.16	แผนภาพแสดงการไหลของกำลังไฟฟ้า สำหรับระบบกำลังไฟฟ้า แบบ radial ขนาด 14 บัส เมื่อคำนวณด้วยวิธี SONR.....	179