การทำออปติมัลเพาเวอร์โฟลว์โดยใช้เจเนติกอัลกอริทึม

นายปฐม อัตตวิริยะนุภาพ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2540
ISBN 974-638-381-7
ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

12 ส.ค. 2545

I17961184

OPTIMAL POWER FLOW USING A GENETIC ALGORITHM

MR. PATHOM ATTAVIRIYANUPAP

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 1997

ISBN 974-638-381-7

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การทำออปติมัลเพาเวอร์ไฟลว์โดยใช้เจเนติกอัลกอริทึม
โดย	นายปฐม อัตตวิริยะนุภาพ
ภาควิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บัณฑิต เอื้ออาภรณ์

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(ศาสตราจารย์ นายแพทย์ ศุภวัฒน์ ชุติวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. สุขุมวิทย์ ภูมิวุฒิสาร)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บัณฑิต เอื้ออาภรณ์)

..... กรรมการ
(ดร. สุชิน อรุณสวัสดิ์วงศ์)

..... กรรมการ
(คุณ วุฒิชัย พึงประเสริฐ)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพียงแผ่นเดียว

ปฐม อัตถวิริยะนุภาพ : การทำออปติมัลเพาเวอร์โฟลว์โดยใช้เจเนติกอัลกอริทึม (Optimal power flow using genetic algorithm) อ.ที่ปรึกษา : ผศ.ดร.บัณฑิต เอื้ออาภรณ์ , 147 หน้า. ISBN 974-638-381-7

ออปติมัลเพาเวอร์โฟลว์เป็นส่วนสำคัญอย่างหนึ่งในการควบคุมและดำเนินงานระบบไฟฟ้ากำลังซึ่งจะพิจารณาหากำลังผลิตที่จ่ายจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แรงดันที่บัสและค่าแท็ปของหม้อแปลงในระบบโดยมีเป้าหมายเพื่อให้ต้นทุนการผลิตรวมของระบบต่ำที่สุดโดยที่ระบบยังคงดำเนินงานอยู่ในขอบเขตที่ปลอดภัย วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้เสนอการแก้ปัญหาออปติมัลเพาเวอร์โฟลว์โดยรวมผลของการจัดสรรกำลังจริงและกำลังรีแอกทีฟเข้าด้วยกัน ในการแก้ปัญหาจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน โดยที่ในส่วนแรกจะใช้เจเนติกอัลกอริทึมเพื่อหาคำตอบที่ใกล้เคียงจุดเหมาะสมโดยรวมก่อน จากนั้นจึงประยุกต์ใช้ Sequential quadratic programming ปรับแต่งเพื่อหาจุดเหมาะสมโดยรวมในส่วนที่สอง วิธีการดังกล่าวจะนำไปทดสอบกับระบบ 6 บัส 11 สายส่ง และ IEEE 30 บัส จากนั้นจะเปรียบเทียบผลที่ได้กับการแก้ปัญหาออปติมัลเพาเวอร์โฟลว์โดยใช้ Sequential quadratic programming หรือ เจเนติกอัลกอริทึมเพียงอย่างเดียว

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า ลายมือชื่อนิสิต ปฐม อัตถวิริยะนุภาพ

สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2540 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพียงแผ่นเดียว

3970937221 : MAJOR ELECTRICAL ENGINEERING
KEY WORD: OPTIMAL POWER FLOW / ECONOMIC DISPATCH / TOTAL PRODUCTION COST / GENETIC ALGORITHM / SEQUENTIAL QUADRATIC PROGRAMMING

PATHOM ATTAVIRIYANUPAP : OPTIMAL POWER FLOW USING GENETIC ALGORITHM. THESIS ADVISOR : ASSIST. PROF. BUNDHIT EUA-ARPORN, Ph.D. 147 PP. ISBN 974-638-381-7

Optimal power flow is one of the main functions of power generation and control which determine the optimal setting of generating units, bus voltage and transformer tap to operate the system within its security limit with an objective to minimize total production cost. This thesis presents a methodology for solving optimal power flow including real and reactive power dispatches. A methodology is divided into two parts. The first part employs the genetic algorithms to obtain a near global solution, while the other part employs sequential quadratic programming to determine the optimal global solution. This method will be tested on a 6 bus and the IEEE 30 bus systems. The study results of this method is compared with those obtained from genetic algorithms or sequential quadratic programming separately.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า ลายมือชื่อนิสิต ปฐม อัครวิริยานุภาพ

สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2540 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้สำเร็จลุล่วงไปได้ ด้วยความช่วยเหลืออย่างดีของผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บัณฑิต เอื้ออาภรณ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆเกี่ยวกับงานวิจัยมาด้วยดีโดยตลอด และได้กรุณาตรวจสอบแก้ไขและให้คำแนะนำในการทำวิทยานิพนธ์จนสำเร็จเรียบร้อยเป็นอย่างดี ผู้วิจัยขอขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ซึ่งประกอบด้วยรองศาสตราจารย์ ดร.สุขุมวิทย์ ภูมิวุฒิสาร ดร.สุชิน อรุณสวัสดิ์วงศ์ และคุณวุฒิชัย พึงประเสริฐ จากการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย ที่ได้กรุณาตรวจสอบแก้ไขและให้คำแนะนำในการทำวิทยานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี และเนื่องมาจากทุนในการวิจัยในครั้งนี้ได้รับมาจากทุนการศึกษาของศูนย์เชี่ยวชาญพิเศษเฉพาะด้านเทคโนโลยีไฟฟ้ากำลัง จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จึงขอขอบพระคุณมา ณ ที่นี้ด้วย

ท้ายนี้ ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณบิดา-มารดา ซึ่งสนับสนุนทั้งในด้านการเงิน และเป็นกำลังใจแก่ผู้วิจัยเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

ปฐม อัตถวิริยะนุภาพ

พฤษภาคม 2541

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ
กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ
สารบัญ ..... ช
สารบัญตาราง ..... ฌ
สารบัญภาพ ..... ฎ
บทที่
1 บทนำ 1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1
1.2 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์ 4
1.3 ขั้นตอนการศึกษาและวิธีดำเนินงาน 4
1.4 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์ 4
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้จากการทำวิทยานิพนธ์ 4
1.6 เนื้อหาของวิทยานิพนธ์ 5
2 การคำนวณโหล ดโฟลว์ 6
2.1 สมมติฐานที่ใช้ในการวิเคราะห์โหลดโฟลว์ 6
2.2 วงจรสมมูลย์ขององค์ประกอบในระบบกำลังไฟฟ้า 6
2.3 สมการพื้นฐานในการคำนวณโหลดโฟลว์ 12
2.4 การสร้างบัสแอดมิตแตนซ์เมตริกซ์โดยวิธีอิลิเมนต์สแตมป์ 12
2.5 ชนิดของบัสในระบบกำลังไฟฟ้า 17
2.6 สมการโหลดโฟลว์ตามวิธีนิวตัน-ราฟสัน 18
2.7 การประยุกต์วิธีนิวตัน-ราฟสันระบบพิกัดเชิงขั้วในการแก้ปัญหาทางโหลดโฟลว์ ... 20
2.8 การคำนวณกำลังไฟฟ้าที่ไหลและกำลังสูญเสียในสายส่งและหม้อแปลง 25
2.9 ขั้นตอนการคำนวณโหลดโฟลว์ด้วยวิธีนิวตัน-ราฟสัน 27
2.10สรุป 30
3 เจเนติกอัลกอริทึม 31
3.1 ส่วนประกอบของเจเนติกอัลกอริทึม 32
3.2 ทฤษฎีบทสคีมมา 38

สารบัญ (ต่อ)

บทที่

3.3 การปรับปรุงเจเนติกอัลกอริทึม 41
3.4 ตัวอย่างการหาจุดเหมาะสมโดยรวมด้วยเจเนติกอัลกอริทึม 43
3.5 สรุป 50
4 ออปติมัลเพาเวอร์โฟลว์โดยใช้เจเนติกอัลกอริทึม 51
4.1 การออปติไมซ์ 51
4.2 คุณลักษณะสมบัติของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 56
4.3 การจ่ายโหลดอย่างประหยัดโดยไม่รวมผลของกำลังสูญเสีย 58
4.4 การจ่ายโหลดอย่างประหยัดโดยรวมผลของกำลังสูญเสีย 63
4.5 ออปติมัลเพาเวอร์โฟลว์โดยใช้วิธีแยกกำลังจริงและกำลังรีแอกทีฟ 70
4.6 ออปติมัลเพาเวอร์โฟลว์โดยใช้เจเนติกอัลกอริทึม 75
4.7 สรุป 78
5 ผลการทดสอบ 79
5.1 ระบบ 6 บัส 11 สายส่ง 80
5.2 ระบบ IEEE 30 บัส 84
5.3 ออปติมัลเพาเวอร์โฟลว์โดยใช้เจเนติกอัลกอริทึมร่วมกับ Sequential quadratic programming 89
5.4 ออปติมัลเพาเวอร์โฟลว์โดยพิจารณาค่าแท็ปของหม้อแปลงเป็นตัวแปรแบบไม่ต่อเนื่อง 94
6 สรุปและข้อเสนอแนะ 95
6.1 สรุปผล 95
6.2 ข้อเสนอแนะ 96
รายการอ้างอิง 97
ภาคผนวก 100
ภาคผนวก ก ระบบทดสอบ 101
ภาคผนวก ข การออปติไมซ์โดยใช้ Sequential quadratic programming 110
ภาคผนวก ค ผลการทดสอบโดยละเอียด 113
ประวัติผู้เขียน 147

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่

2.1 ชนิดของบัสในระบบกำลังไฟฟ้า..... 18

3.1 การรีโพรดักชั่น..... 33

3.2 ผลการแก้ปัญหาออปติไมซ์โดยใช้เจเนติกอัลกอริทึมในหัวข้อ 3.1..... 45

3.3 ผลการแก้ปัญหาออปติไมซ์โดยใช้เจเนติกอัลกอริทึมในหัวข้อ 3.3..... 50

5.1 ผลการแก้ปัญหาออปติมัลเพาเวอร์โฟลว์ระบบ 6 บัส 11 สายส่ง โดยใช้ Sequential quadratic programming..... 81

5.2 ผลการแก้ปัญหาออปติมัลเพาเวอร์โฟลว์ระบบ 6 บัส 11 สายส่ง โดยใช้เจเนติกอัลกอริทึม..... 83

5.3 ผลการแก้ปัญหาออปติมัลเพาเวอร์โฟลว์ระบบ IEEE 30 บัส โดยใช้ Sequential quadratic programming..... 85

5.4 ผลการแก้ปัญหาออปติมัลเพาเวอร์โฟลว์ระบบ IEEE 30 บัส โดยใช้เจเนติกอัลกอริทึม..... 87

5.5 ผลการแก้ปัญหาออปติมัลเพาเวอร์โฟลว์ระบบ 6 บัส 11 สายส่ง โดยใช้เจเนติกอัลกอริทึมร่วมกับ Sequential quadratic programming..... 90

5.6 ผลการแก้ปัญหาออปติมัลเพาเวอร์โฟลว์ระบบ IEEE 30 บัส โดยใช้เจเนติกอัลกอริทึมร่วมกับ Sequential quadratic programming..... 92

5.7 ตารางเปรียบเทียบผลการทดลอง..... 93

5.8 ผลการแก้ปัญหาออปติมัลเพาเวอร์โฟลว์ระบบ IEEE 30 บัส โดยพิจารณาค่าแท็ปของหม้อแปลงเป็นตัวแปรแบบไม่ต่อเนื่อง..... 94

ก.1 ข้อมูลบัสในระบบ 6 บัส 11 สายส่ง..... 101

ก.2 ข้อมูลสายส่งในระบบ 6 บัส 11 สายส่ง..... 102

ก.3 ฟังก์ชันค่าเชื้อเพลิงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในระบบ 6 บัส 11 สายส่ง..... 103

ก.4 ขีดจำกัดของแรงดันและกำลังรีแอกทีฟในระบบ 6 บัส 11 สายส่ง..... 103

ก.5 ข้อมูลบัสในระบบ IEEE 30 บัส..... 104

ก.6 ข้อมูลสายส่งในระบบ IEEE 30 บัส..... 105

ก.7 ข้อมูลหม้อแปลงในระบบ IEEE 30 บัส..... 107

ก.8 ข้อมูลชั้นท์อิลิเมนต์ในระบบ IEEE 30 บัส..... 107

ก.9 ฟังก์ชันค่าเชื้อเพลิงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในระบบ IEEE 30 บัส..... 108

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่

ก.10 ขีดจำกัดของแรงดันและกำลังรีแอกทีฟในระบบ IEEE 30 บัส..... 108
ก.1 ผลการแก้ปัญหาออปติมัลเพาเวอร์โฟลว์ระบบ 6 บัส 11 สายส่ง โดยใช้
Sequential quadratic programming..... 114
ก.2 ผลการแก้ปัญหาออปติมัลเพาเวอร์โฟลว์ระบบ 6 บัส 11 สายส่ง โดยใช้
เจเนติกอัลกอริทึม..... 115
ก.3 ผลการแก้ปัญหาออปติมัลเพาเวอร์โฟลว์ระบบ 6 บัส 11 สายส่ง โดยใช้
เจเนติกอัลกอริทึมร่วมกับ Sequential quadratic programming.....116
ก.4 ผลการแก้ปัญหาออปติมัลเพาเวอร์โฟลว์ระบบ IEEE 30 บัส โดยใช้
Sequential quadratic programming.....117
ก.5 ผลการแก้ปัญหาออปติมัลเพาเวอร์โฟลว์ระบบ IEEE 30 บัส โดยใช้
เจเนติกอัลกอริทึม.....125
ก.6 ผลการแก้ปัญหาออปติมัลเพาเวอร์โฟลว์ระบบ IEEE 30 บัส โดยใช้
เจเนติกอัลกอริทึมร่วมกับ Sequential quadratic programming.....133
ก.7 ผลเฉลยโหลดโฟลว์ของระบบ 6 บัส 11 สายส่ง โดยใช้
Sequential quadratic programming.....141
ก.8 ผลเฉลยโหลดโฟลว์ของระบบ 6 บัส 11 สายส่ง โดยใช้
เจเนติกอัลกอริทึม.....141
ก.9 ผลเฉลยโหลดโฟลว์ของระบบ IEEE 30 บัส โดยใช้
Sequential quadratic programming.....142
ก.10 ผลเฉลยโหลดโฟลว์ของระบบ IEEE 30 บัส โดยใช้
เจเนติกอัลกอริทึม.....143
ก.11 ผลเฉลยโหลดโฟลว์ของระบบ 6 บัส 11 สายส่ง โดยใช้
เจเนติกอัลกอริทึมร่วมกับ Sequential quadratic programming..... 144
ก.12 ผลเฉลยโหลดโฟลว์ของระบบ IEEE 30 บัส โดยใช้
เจเนติกอัลกอริทึมร่วมกับ Sequential quadratic programming..... 145
ก.13 ผลเฉลยโหลดโฟลว์ของระบบ IEEE 30 บัส โดยพิจารณา
ค่าแท็ปของหม้อแปลงเป็นตัวแปรแบบไม่ต่อเนื่อง..... 146

สารบัญภาพ

หน้า

รูปที่

1.1 การควบคุมระบบไฟฟ้ากำลัง.....2
2.1 วงจรสมมูลย์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า..... 7
2.2 วงจรสมมูลย์ของโหลด.....7
2.3 วงจรสมมูลย์พายที่ใช้แทนสายส่งไฟฟ้า..... 8
2.4ก) แบบจำลองของหม้อแปลงไฟฟ้า..... 9
2.4ข) วงจรสมมูลย์ของหม้อแปลงไฟฟ้า..... 9
2.5 วงจรสมมูลย์ของชั้นอิลิเมนต์.....11
2.6 แผนภาพการสร้างบัสแอดมิตแตนซ์เมตริกซ์โดยวิธีอิลิเมนต์สแตมป์..... 16
2.7 แผนภาพแสดงการคำนวณโหลดโฟลว์ตามวิธีนิวตัน-ราฟสัน..... 29
3.1 การรีโพรดักชั่น.....34
3.2 การครอสโอเวอร์.....35
3.3 การมิวเทชั่น.....36
3.4 ขั้นตอนการทำงานของเจเนติกอัลกอริทึม..... 37
3.5 ยูนิฟอร์มครอสโอเวอร์.....42
3.6 กราฟของฟังก์ชันในตัวอย่างที่ 1 ในหัวข้อ 3.4..... 43
3.7 คอนทัวร์ของฟังก์ชันในตัวอย่างที่ 1 ในหัวข้อ 3.4..... 44
3.8 ผลการแก้ปัญหาออปติไมซ์ของฟังก์ชันในตัวอย่างที่ 1 ในหัวข้อ 3.4..... 46
3.9 ผลการแก้ปัญหาออปติไมซ์ของฟังก์ชันในตัวอย่างที่ 2 ในหัวข้อ 3.4..... 48
4.1 แผนภาพการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังความร้อน..... 57
4.2 ฟังก์ชันค่าเชื้อเพลิงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังความร้อน..... 57
4.3 ขั้นตอนการจ่ายโหลดอย่างประหยัดโดยไม่รวมผลของกำลังสูญเสีย..... 62
4.4 ขั้นตอนการจ่ายโหลดอย่างประหยัดโดยรวมผลของกำลังสูญเสีย..... 69
4.5 การจ่ายโหลดอย่างประหยัดโดยวิธีแยกการจัดสรรกำลังจริงและกำลังรีแอกทีฟ 74
4.6 ขั้นตอนการแก้ปัญหาออปติมัลเพาเวอร์โฟลว์โดยใช้เจเนติกอัลกอริทึม 77
5.1 การมิวเทชั่น กรณีพิจารณาค่าแท็ปของหม้อแปลงเป็นตัวแปรแบบไม่ต่อเนื่อง 94