การติดตั้งตัวเก็บประจุที่เหมาะสมในระบบจำหน่ายไฟฟ้ากำลัง

นาย เสริมชัย จารุวัฒนดิลก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2541

ISBN 974-331-672-8

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I18944577

OPTIMAL CAPACITOR PLACEMENT IN A DISTRIBUTION SYSTEM

Mr. Sermchai Jaruwatanadilok

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 974-331-672-8

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การติดตั้งตัวเก็บประจุที่เหมาะสมในระบบจำหน่ายไฟฟ้ากำลัง
โดย	นาย เสริมชัย จารุวัฒนดิลก
ภาควิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บัณฑิต เอื้ออาภรณ์

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(ศาสตราจารย์ นายแพทย์ศุภวัฒน์ ชุติวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ประสิทธิ์ พิทยพัฒน์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บัณฑิต เอื้ออาภรณ์)

..... กรรมการ

(อาจารย์ไชยะ แช่มช้อย)

..... กรรมการ

(นายสุกิจ เกียรติบุญศรี)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพียงแผ่นเดียว

เสริมชัย จารุวัฒนดิลก : การติดตั้งตัวเก็บประจุที่เหมาะสมในระบบจำหน่ายไฟฟ้ากำลัง (Optimal Capacitor Placement in A Distribution System) อ.ที่ปรึกษา: ผศ.ดร.บัณฑิต เอื้ออาภรณ์ , 142 หน้า. ISBN 974-331-672-8

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอวิธีการที่พัฒนาขึ้นสำหรับเลือกชนิด ขนาด และตำแหน่งของตัวเก็บประจุไฟฟ้าที่เหมาะสมในระบบจำหน่ายไฟฟ้ากำลังเพื่อลดกำลังสูญเสียและปรับปรุงระดับแรงดันในระบบให้ดีขึ้น ลักษณะของปัญหาที่พิจารณาเป็นการหาคำตอบที่เหมาะสมจากทางเลือกที่เป็นไปได้มากมาย วิธีการค้นหาคำตอบดังกล่าวอาศัยดัชนีความไวและกระบวนพิจารณาแบบต่อเนื่องซึ่งทำให้ได้รับคำตอบที่เหมาะสม แบบจำลองโหลดที่ใช้ในวิทยานิพนธ์นี้เป็นชนิดที่สอดคล้องกับความเป็นจริง คือมีการเปลี่ยนแปลงตามเวลา สำหรับการทดสอบวิธีที่พัฒนาขึ้นนี้ได้ใช้ระบบที่ดัดแปลงจากระบบจริงของการไฟฟ้านครหลวง และระบบของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคจำนวน 3 ระบบ โดยเปรียบเทียบผลที่ได้รับจากการใช้ฟังก์ชันเป้าหมาย 2 แบบ คือฟังก์ชันเป้าหมายที่ต้องการหาค่าผลตอบแทนสูงสุดซึ่งเกิดขึ้นจากการติดตั้งตัวเก็บประจุ และฟังก์ชันเป้าหมายที่ต้องการหาค่าต่ำสุด ซึ่งเป็นมูลค่ารวมระหว่างการลงทุนติดตั้งตัวเก็บประจุและมูลค่าของพลังงานสูญเสียที่เกิดขึ้น ผลที่ได้รับจากการทดสอบ แสดงให้เห็นว่าวิธีการที่พัฒนาขึ้นสามารถให้ผลได้เป็นที่น่าพอใจยิ่ง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า ลายมือชื่อนิสิต เสริมชัย จารุวัฒนดิลก

สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2541 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

บทคัดย่อและบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพียงแผ่นเดียว

4070487621 : MAJOR ELECTRICAL ENGINEERING
KEY WORD: OPTIMAL CAPACITOR PLACEMENT / REACTIVE POWER COMPENSATION / VOLTAGE CORRECTION

SERMCHAI JARUWATANADILOK OPTIMAL CAPACITOR PLACEMENT IN A DISTRIBUTION SYSTEM.
THESIS ADVISOR : ASSIST. PROF. BUNDHIT EUA-ARPORN, Ph.D. 142 pp. ISBN 974-331-672-8

This thesis presents a developed method for solving a capacitor placement problem in a distribution system to reduce system power loss and to improve the system voltage profile. The nature of this issue falls in to an optimization problem. To reduce size of the problem, the sensitivity index and successive search are used to obtain a feasible sub-optimum solution. An hourly load, which reflects the actual daily load, is employed in this thesis. The developed method was tested with three systems modified from the Metropolitan Electricity Authority (MEA) and the Provincial Electricity Authority (PEA). The tests used two different objective functions, i.e., maximization of the net cost saving from loss reduction, and minimization of the cost of energy loss plus the cost of the capacitor to be installed. Results of the study demonstrate that the developed method is very efficient in solving the capacitor placement problem.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า ลายมือชื่อนิสิต .....
สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....
ปีการศึกษา 2541 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บัณฑิต เอื้ออาภรณ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่าง ๆ ที่เป็นประโยชน์ต่อการทำวิทยานิพนธ์ด้วยดีตลอดมา รวมทั้งได้กรุณาตรวจสอบและแก้ไขวิทยานิพนธ์จนสำเร็จเรียบร้อยเป็นอย่างดี ผู้วิจัยขอขอบคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่าน ซึ่งประกอบด้วย ผู้ช่วยศาสตราจารย์ประสิทธิ์ พิทยพัฒน์ อาจารย์ไชยะ แช่มช้อย และ คุณสุกิจ เกียรติบุญศรี จากการไฟฟ้านครหลวง ที่ได้สละเวลาตรวจสอบ แก้ไข และให้คำแนะนำในการทำวิทยานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วงด้วยดี และเนื่องจากทุนการศึกษาในระดับปริญญามหาบัณฑิตนี้ ได้รับการสนับสนุนจากศูนย์เชี่ยวชาญพิเศษเฉพาะด้านเทคโนโลยีไฟฟ้ากำลัง จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จึงขอขอบพระคุณมา ณ ที่นี้ด้วย

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และขอขอบคุณพี่ๆ และเพื่อนทุกคนที่ให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

เสริมชัย จารุวัฒนดิลก

เมษายน 2541

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ
กิตติกรรมประกาศ..... ฉ
สารบัญ..... ช
สารบัญตาราง..... ญ
สารบัญภาพ..... ณ
บทที่
1 บทนำ..... 1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา..... 1
1.2 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์..... 2
1.3 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์..... 3
1.4 ขั้นตอนการศึกษาและวิธีดำเนินงาน..... 3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้จากการทำวิทยานิพนธ์..... 3
1.6 เนื้อหาของวิทยานิพนธ์..... 4
2 หลักการพื้นฐานของตัวเก็บประจุกำลัง และตัวประกอบกำลัง..... 5
2.1 ตัวเก็บประจุกำลัง..... 5
2.2 ผลกระทบจากการต่อตัวเก็บประจุแบบขนาน..... 6
2.3 ชนิดของการติดตั้งตัวเก็บประจุ..... 8
2.4 ตัวประกอบกำลัง..... 9
2.4.1 ผลเสียที่เกิดจากค่าตัวประกอบกำลังต่ำ..... 10
2.4.2 การปรับปรุงตัวประกอบกำลัง..... 11
2.4.3 ประโยชน์ที่ได้รับจากการติดตั้งตัวเก็บประจุ..... 12
3 ฟังก์ชันเป้าหมายที่ใช้ในการพิจารณา และการคำนวณค่าของฟังก์ชันเป้าหมาย..... 16
3.1 ฟังก์ชันเป้าหมายที่ต้องการหาค่าสูงสุด..... 16
3.1.1 มูลค่าของการลดลงของความต้องการทางไฟฟ้า..... 17
3.1.2 มูลค่าของการลดลงของพลังงานที่ต้องสูญเสีย..... 20

สารบัญ (ต่อ)

บทที่

3.1.3 มูลค่าของการใช้พลังงานเพิ่มขึ้นเนื่องจากการปรับปรุงระดับแรงดัน... 20
3.1.4 ฟังก์ชันเป้าหมายที่ต้องการค่าสูงสุดที่ใช้ในวิทยานิพนธ์..... 22
3.2 ฟังก์ชันเป้าหมายที่ต้องการค่าต่ำสุด..... 23
3.3 การคิดราคาของตัวเก็บประจุ..... 24
3.4 การคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้า..... 24
3.4.1 สมการการไหลของกำลังไฟฟ้าตาม
วิธีนิวตัน-ราฟสันแบบพิกัดเชิงขั้ว..... 25
3.4.2 ขั้นตอนการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้า
ด้วยวิธีนิวตัน-ราฟสันแบบพิกัดเชิงขั้ว..... 32
4 การพิจารณาชนิด ขนาด และตำแหน่งของตัวเก็บประจุ..... 34
4.1 แบบจำลองของส่วนประกอบต่าง ๆ ในระบบจำหน่ายไฟฟ้ากำลัง
ที่ใช้ในการวิเคราะห์..... 34
4.1.1 รูปแบบของระบบจำหน่ายไฟฟ้ากำลัง..... 34
4.1.2 แบบจำลองของตัวเก็บประจุ..... 35
4.1.3 แบบจำลองโหลดของระบบ..... 36
4.1.3 แบบจำลองของสายป้อน..... 37
4.2 ดัชนีกำหนดตำแหน่งการติดตั้งตัวเก็บประจุ..... 37
4.3 ขั้นตอนการพิจารณาขนาด และตำแหน่งของตัวเก็บประจุ..... 40
4.3.1 ขั้นตอนการพิจารณาตัวเก็บประจุแบบคงที่..... 41
4.3.2 ขั้นตอนการพิจารณาตัวเก็บประจุแบบสวิตช์..... 44
5 ผลการทดสอบ..... 49
5.1 ระบบทดสอบท่าทราย..... 50
5.1.1 การทดสอบระบบท่าทรายโดยพิจารณา
ช่วงเวลาโหลดเท่ากับ 24 ช่วงเวลา..... 51
5.1.2 สรุปและวิเคราะห์ผลของระบบท่าทราย..... 55

สารบัญ (ต่อ)

บทที่

5.2 ระบบทดสอบนครปฐม..... 58
5.2.1 การทดสอบระบบนครปฐมโดยพิจารณา
ช่วงเวลาโหลดเท่ากับ 24 ช่วงเวลา..... 59
5.2.2 สรุปและวิเคราะห์ผลของระบบนครปฐม..... 63
5.3 ระบบทดสอบแพรกษา..... 67
5.3.1 การทดสอบระบบแพรกษาโดยพิจารณา
ช่วงเวลาโหลดเท่ากับ 24 ช่วงเวลา..... 68
5.3.2 สรุปและวิเคราะห์ผลของระบบแพรกษา..... 75
5.4 สรุป..... 79
6 สรุปและข้อเสนอแนะ..... 81
รายการอ้างอิง..... 83
ภาคผนวก
ก ข้อมูลการเปลี่ยนแปลงของโหลดแต่ละประเภท..... 85
ข ข้อมูลของระบบทดสอบ..... 89
ค ผลการทดสอบเมื่อใช้จำนวนช่วงเวลาในการพิจารณา 12 และ 6 ช่วงเวลา..... 115
ประวัติผู้เขียน 142

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่

5.1 ตารางแสดงผลการติดตั้งตัวเก็บประจุ เมื่อใช้ฟังก์ชันเป้าหมายตาม สมการที่(5.1) โดยใช้วิธีที่ 1 ในหัวข้อ 4.3.2 กรณี (ก)..... 51

5.2 ตารางแสดงผลการติดตั้งตัวเก็บประจุ เมื่อใช้ฟังก์ชันเป้าหมายตาม สมการที่(5.4) โดยใช้วิธีที่ 1 ในหัวข้อ 4.3.2 กรณี (ก)..... 51

5.3 ตารางแสดงผลการติดตั้งตัวเก็บประจุ เมื่อใช้ฟังก์ชันเป้าหมายตาม สมการที่(5.1) โดยใช้วิธีที่ 2 ในหัวข้อ 4.3.2 กรณี (ก)..... 52

5.4 ตารางแสดงผลการติดตั้งตัวเก็บประจุ เมื่อใช้ฟังก์ชันเป้าหมายตาม สมการที่(5.1) โดยใช้วิธีที่ 1 ในหัวข้อ 4.3.2 กรณี (ข)..... 52

5.5 ตารางแสดงผลการติดตั้งตัวเก็บประจุ เมื่อใช้ฟังก์ชันเป้าหมายตาม สมการที่(5.4) โดยใช้วิธีที่ 1 ในหัวข้อ 4.3.2 กรณี (ข)..... 53

5.6 ตารางแสดงผลการติดตั้งตัวเก็บประจุ เมื่อใช้ฟังก์ชันเป้าหมายตาม สมการที่(5.1) โดยใช้วิธีที่ 2 ในหัวข้อ 4.3.2 กรณี (ข)..... 53

5.7 สรุปผลที่เกิดขึ้นหลังจากติดตั้งตัวเก็บประจุของระบบท่าทราย โดยใช้ช่วงเวลาโหลดเท่ากับ 24 ช่วงเวลา 54

5.8 ตารางแสดงผลการติดตั้งตัวเก็บประจุ เมื่อใช้ฟังก์ชันเป้าหมายตาม สมการที่(5.1) โดยใช้วิธีที่ 1ในหัวข้อ 4.3.2 กรณี (ก)..... 59

5.9 ตารางแสดงผลการติดตั้งตัวเก็บประจุ เมื่อใช้ฟังก์ชันเป้าหมายตาม สมการที่(5.4) โดยใช้วิธีที่ 1 ในหัวข้อ 4.3.2 กรณี (ก)..... 59

5.10 ตารางแสดงผลการติดตั้งตัวเก็บประจุ เมื่อใช้ฟังก์ชันเป้าหมายตาม สมการที่(5.1) โดยใช้วิธีที่ 1 ในหัวข้อ 4.3.2 กรณี (ข)..... 60

5.11 ตารางแสดงผลการติดตั้งตัวเก็บประจุ เมื่อใช้ฟังก์ชันเป้าหมายตาม สมการที่(5.4) โดยใช้วิธีที่ 1 ในหัวข้อ 4.3.2 กรณี (ข)..... 60

5.12 ตารางแสดงผลการติดตั้งตัวเก็บประจุ เมื่อใช้ฟังก์ชันเป้าหมายตาม สมการที่(5.1) โดยใช้วิธีที่ 2 ในหัวข้อ 4.3.2 กรณี (ข)..... 61

5.13 สรุปผลที่เกิดขึ้นหลังจากติดตั้งตัวเก็บประจุของระบบนครปฐม โดยใช้ช่วงเวลาโหลดเท่ากับ 24 ช่วงเวลา 62

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่

5.14 ตารางแสดงผลการติดตั้งตัวเก็บประจุ เมื่อใช้ฟังก์ชันเป้าหมายตาม สมการที่(5.1) โดยใช้วิธีที่ 1 ในหัวข้อ 4.3.2 กรณี (ก)..... 68
5.15 ตารางแสดงผลการติดตั้งตัวเก็บประจุ เมื่อใช้ฟังก์ชันเป้าหมายตาม สมการที่(5.4) โดยใช้วิธีที่ 1 ในหัวข้อ 4.3.2 กรณี (ก)..... 68
5.16 ตารางแสดงผลการติดตั้งตัวเก็บประจุ เมื่อใช้ฟังก์ชันเป้าหมายตาม สมการที่(5.1) โดยใช้วิธีที่ 2 ในหัวข้อ 4.3.2 กรณี (ก)..... 69
5.17 ตารางแสดงผลการติดตั้งตัวเก็บประจุ เมื่อใช้ฟังก์ชันเป้าหมายตาม สมการที่(5.1) โดยใช้วิธีที่ 1 ในหัวข้อ 4.3.2 กรณี (ข)..... 69
5.18 ตารางแสดงผลการติดตั้งตัวเก็บประจุ เมื่อใช้ฟังก์ชันเป้าหมายตาม สมการที่(5.4) โดยใช้วิธีที่ 1 ในหัวข้อ 4.3.2 กรณี (ข)..... 70
5.19 ตารางแสดงผลการติดตั้งตัวเก็บประจุ เมื่อใช้ฟังก์ชันเป้าหมายตาม สมการที่(5.1) โดยใช้วิธีที่ 2 ในหัวข้อ 4.3.2 กรณี (ข)..... 70
5.20 ตารางแสดงผลการติดตั้งตัวเก็บประจุ เมื่อใช้ฟังก์ชันเป้าหมายตาม สมการที่(5.1) โดยใช้วิธีที่ 1 ในหัวข้อ 4.3.2 กรณี (ค)..... 71
5.21 ตารางแสดงผลการติดตั้งตัวเก็บประจุ เมื่อใช้ฟังก์ชันเป้าหมายตาม สมการที่(5.4) โดยใช้วิธีที่ 1 ในหัวข้อ 4.3.2 กรณี (ค)..... 71
5.22 ตารางแสดงผลการติดตั้งตัวเก็บประจุ เมื่อใช้ฟังก์ชันเป้าหมายตาม สมการที่(5.1) โดยใช้วิธีที่ 2 ในหัวข้อ 4.3.2 กรณี (ค)..... 72
5.23 สรุปผลที่เกิดขึ้นหลังจากติดตั้งตัวเก็บประจุของระบบแพรกษา โดยใช้ช่วงเวลาโหลดเท่ากับ 24 ช่วงเวลา 73
ก.1 อัตราการเปลี่ยนแปลงของโหลดในแต่ละเวลาแยกตามประเภทของโหลด 86
ก.2 อัตราการเปลี่ยนแปลงของโหลดในแต่ละเวลาแยกตามประเภทของโหลด 87
ข.1 ขนาดและราคาของตัวเก็บประจุแบบคงที่..... 89
ข.2 ขนาดและราคาของตัวเก็บประจุแบบสวิตช์..... 89
ข.3 รายการราคาตัวเก็บประจุแบบคงที่..... 90
ข.4 รายการราคาตัวเก็บประจุแบบสวิตช์..... 90

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่

ข.5 ข้อมูลบัสของระบบท่าทราย 91
ข.6 กำลังจริง และกำลังรีแอกทีฟที่เกิดขึ้นในแต่ละจำนวนช่วงเวลาโหลด ของระบบท่าทราย 93
ข.7 ข้อมูลสายป้อนของระบบท่าทราย 93
ข.8 ข้อมูลบัสของระบบนครปฐม 97
ข.9 กำลังจริง และกำลังรีแอกทีฟที่เกิดขึ้นในแต่ละจำนวนช่วงเวลาโหลด ของระบบนครปฐม 101
ข.10 ข้อมูลสายป้อนของระบบนครปฐม 101
ข.11 ขนาดและราคาของตัวเก็บประจุแบบคงที่ 105
ข.12 ขนาดและราคาของตัวเก็บประจุแบบสวิตช์ 105
ข.13 รายการราคาตัวเก็บประจุแบบคงที่ 106
ข.14 รายการราคาตัวเก็บประจุแบบสวิตช์ 106
ข.15 ข้อมูลบัสของระบบแพรกษา 108
ข.16 กำลังจริง และกำลังรีแอกทีฟที่เกิดขึ้นในแต่ละจำนวนช่วงเวลาโหลด ของระบบแพรกษา 111
ข.17 ข้อมูลสายป้อนของระบบแพรกษา 111
ค.1 ตารางแสดงผลการติดตั้งตัวเก็บประจุ เมื่อใช้ฟังก์ชันเป้าหมายตาม สมการที่(5.1) โดยใช้วิธีที่ 1 ในหัวข้อ 4.3.2 กรณี (ก) 115
ค.2 ตารางแสดงผลการติดตั้งตัวเก็บประจุ เมื่อใช้ฟังก์ชันเป้าหมายตาม สมการที่(5.4) โดยใช้วิธีที่ 1 ในหัวข้อ 4.3.2 กรณี (ก) 116
ค.3 ตารางแสดงผลการติดตั้งตัวเก็บประจุ เมื่อใช้ฟังก์ชันเป้าหมายตาม สมการที่(5.1) โดยใช้วิธีที่ 1 ในหัวข้อ 4.3.2 กรณี (ข) 116
ค.4 ตารางแสดงผลการติดตั้งตัวเก็บประจุ เมื่อใช้ฟังก์ชันเป้าหมายตาม สมการที่(5.4) โดยใช้วิธีที่ 1 ในหัวข้อ 4.3.2 กรณี (ข) 117
ค.5 สรุปผลที่เกิดขึ้นหลังจากติดตั้งตัวเก็บประจุของระบบท่าทราย โดยใช้ช่วงเวลาโหลดเท่ากับ 12 ช่วงเวลา 118

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่

ค.6 ตารางแสดงผลการติดตั้งตัวเก็บประจุ เมื่อใช้ฟังก์ชันเป้าหมายตาม
สมการที่(5.1) โดยใช้วิธีที่ 1 ในหัวข้อ 4.3.2 กรณี (ก)..... 119
ค.7 ตารางแสดงผลการติดตั้งตัวเก็บประจุ เมื่อใช้ฟังก์ชันเป้าหมายตาม
สมการที่(5.4) โดยใช้วิธีที่ 1 ในหัวข้อ 4.3.2 กรณี (ก)..... 119
ค.8 ตารางแสดงผลการติดตั้งตัวเก็บประจุ เมื่อใช้ฟังก์ชันเป้าหมายตาม
สมการที่(5.1) โดยใช้วิธีที่ 1 ในหัวข้อ 4.3.2 กรณี (ข)..... 120
ค.9 ตารางแสดงผลการติดตั้งตัวเก็บประจุ เมื่อใช้ฟังก์ชันเป้าหมายตาม
สมการที่(5.4) โดยใช้วิธีที่ 1 ในหัวข้อ 4.3.2 กรณี (ข)..... 120
ค.10 สรุปผลที่เกิดขึ้นหลังจากติดตั้งตัวเก็บประจุของระบบท่าทราย
โดยใช้ช่วงเวลาโหลดเท่ากับ 6 ช่วงเวลา..... 121
ค.11 ตารางแสดงผลการติดตั้งตัวเก็บประจุ เมื่อใช้ฟังก์ชันเป้าหมายตาม
สมการที่(5.1) โดยใช้วิธีที่ 1 ในหัวข้อ 4.3.2 กรณี (ก)..... 122
ค.12 ตารางแสดงผลการติดตั้งตัวเก็บประจุ เมื่อใช้ฟังก์ชันเป้าหมายตาม
สมการที่(5.4) โดยใช้วิธีที่ 1 ในหัวข้อ 4.3.2 กรณี (ก)..... 122
ค.13 ตารางแสดงผลการติดตั้งตัวเก็บประจุ เมื่อใช้ฟังก์ชันเป้าหมายตาม
สมการที่(5.1) โดยใช้วิธีที่ 1 ในหัวข้อ 4.3.2 กรณี (ข)..... 123
ค.14 ตารางแสดงผลการติดตั้งตัวเก็บประจุ เมื่อใช้ฟังก์ชันเป้าหมายตาม
สมการที่(5.4) โดยใช้วิธีที่ 1 ในหัวข้อ 4.3.2 กรณี (ข)..... 123
ค.15 สรุปผลที่เกิดขึ้นหลังจากติดตั้งตัวเก็บประจุของระบบนครปฐม
โดยใช้ช่วงเวลาโหลดเท่ากับ 12 ช่วงเวลา..... 125
ค.16 ตารางแสดงผลการติดตั้งตัวเก็บประจุ เมื่อใช้ฟังก์ชันเป้าหมายตาม
สมการที่(5.1) โดยใช้วิธีที่ 1 ในหัวข้อ 4.3.2 กรณี (ก)..... 126
ค.17 ตารางแสดงผลการติดตั้งตัวเก็บประจุ เมื่อใช้ฟังก์ชันเป้าหมายตาม
สมการที่(5.4) โดยใช้วิธีที่ 1 ในหัวข้อ 4.3.2 กรณี (ก)..... 126

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่

ค.18 ตารางแสดงผลการติดตั้งตัวเก็บประจุ เมื่อใช้ฟังก์ชันเป้าหมายตาม
สมการที่(5.1) โดยใช้วิธีที่ 1 ในหัวข้อ 4.3.2 กรณี (ข)..... 127
ค.19 ตารางแสดงผลการติดตั้งตัวเก็บประจุ เมื่อใช้ฟังก์ชันเป้าหมายตาม
สมการที่(5.4) โดยใช้วิธีที่ 1 ในหัวข้อ 4.3.2 กรณี (ข)..... 127
ค.20 สรุปผลที่เกิดขึ้นหลังจากติดตั้งตัวเก็บประจุของระบบนครปฐม
โดยใช้ช่วงเวลาโหลดเท่ากับ 6 ช่วงเวลา..... 128
ค.21 ตารางแสดงผลการติดตั้งตัวเก็บประจุ เมื่อใช้ฟังก์ชันเป้าหมายตาม
สมการที่(5.1) โดยใช้วิธีที่ 1 ในหัวข้อ 4.3.2 กรณี (ก)..... 129
ค.22 ตารางแสดงผลการติดตั้งตัวเก็บประจุ เมื่อใช้ฟังก์ชันเป้าหมายตาม
สมการที่(5.4) โดยใช้วิธีที่ 1 ในหัวข้อ 4.3.2 กรณี (ก)..... 129
ค.23 ตารางแสดงผลการติดตั้งตัวเก็บประจุ เมื่อใช้ฟังก์ชันเป้าหมายตาม
สมการที่(5.1) โดยใช้วิธีที่ 2 ในหัวข้อ 4.3.2 กรณี (ก)..... 130
ค.24 ตารางแสดงผลการติดตั้งตัวเก็บประจุ เมื่อใช้ฟังก์ชันเป้าหมายตาม
สมการที่(5.1) โดยใช้วิธีที่ 1 ในหัวข้อ 4.3.2 กรณี (ข)..... 130
ค.25 ตารางแสดงผลการติดตั้งตัวเก็บประจุ เมื่อใช้ฟังก์ชันเป้าหมายตาม
สมการที่(5.4) โดยใช้วิธีที่ 1 ในหัวข้อ 4.3.2 กรณี (ข)..... 131
ค.26 ตารางแสดงผลการติดตั้งตัวเก็บประจุ เมื่อใช้ฟังก์ชันเป้าหมายตาม
สมการที่(5.1) โดยใช้วิธีที่ 2 ในหัวข้อ 4.3.2 กรณี (ข)..... 131
ค.27 ตารางแสดงผลการติดตั้งตัวเก็บประจุ เมื่อใช้ฟังก์ชันเป้าหมายตาม
สมการที่(5.4) โดยใช้วิธีที่ 2 ในหัวข้อ 4.3.2 กรณี (ข)..... 131
ค.28 ตารางแสดงผลการติดตั้งตัวเก็บประจุ เมื่อใช้ฟังก์ชันเป้าหมายตาม
สมการที่(5.1) โดยใช้วิธีที่ 1 ในหัวข้อ 4.3.2 กรณี (ค)..... 132
ค.29 ตารางแสดงผลการติดตั้งตัวเก็บประจุ เมื่อใช้ฟังก์ชันเป้าหมายตาม
สมการที่(5.4) โดยใช้วิธีที่ 1 ในหัวข้อ 4.3.2 กรณี (ค)..... 132

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่

ค.30 ตารางแสดงผลการติดตั้งตัวเก็บประจุ เมื่อใช้ฟังก์ชันเป้าหมายตาม
สมการที่(5.1) โดยใช้วิธีที่ 2 ในหัวข้อ 4.3.2 กรณี (ค)..... 133
ค.31 ตารางแสดงผลการติดตั้งตัวเก็บประจุ เมื่อใช้ฟังก์ชันเป้าหมายตาม
สมการที่(5.4) โดยใช้วิธีที่ 2 ในหัวข้อ 4.3.2 กรณี (ค)..... 133
ค.32 สรุปผลที่เกิดขึ้นหลังจากติดตั้งตัวเก็บประจุของระบบแพรกษา
โดยใช้ช่วงเวลาโหลดเท่ากับ 12 ช่วงเวลา..... 134
ค.33 ตารางแสดงผลการติดตั้งตัวเก็บประจุ เมื่อใช้ฟังก์ชันเป้าหมายตาม
สมการที่(5.1) โดยใช้วิธีที่ 1 ในหัวข้อ 4.3.2 กรณี (ก)..... 136
ค.34 ตารางแสดงผลการติดตั้งตัวเก็บประจุ เมื่อใช้ฟังก์ชันเป้าหมายตาม
สมการที่(5.4) โดยใช้วิธีที่ 1 ในหัวข้อ 4.3.2 กรณี (ก)..... 136
ค.35 ตารางแสดงผลการติดตั้งตัวเก็บประจุ เมื่อใช้ฟังก์ชันเป้าหมายตาม
สมการที่(5.1) โดยใช้วิธีที่ 1 ในหัวข้อ 4.3.2 กรณี (ข)..... 137
ค.36 ตารางแสดงผลการติดตั้งตัวเก็บประจุ เมื่อใช้ฟังก์ชันเป้าหมายตาม
สมการที่(5.4) โดยใช้วิธีที่ 1 ในหัวข้อ 4.3.2 กรณี (ข)..... 137
ค.37 ตารางแสดงผลการติดตั้งตัวเก็บประจุ เมื่อใช้ฟังก์ชันเป้าหมายตาม
สมการที่(5.1) โดยใช้วิธีที่ 2 ในหัวข้อ 4.3.2 กรณี (ข)..... 138
ค.38 ตารางแสดงผลการติดตั้งตัวเก็บประจุ เมื่อใช้ฟังก์ชันเป้าหมายตาม
สมการที่(5.1) โดยใช้วิธีที่ 1 ในหัวข้อ 4.3.2 กรณี (ค)..... 138
ค.39 ตารางแสดงผลการติดตั้งตัวเก็บประจุ เมื่อใช้ฟังก์ชันเป้าหมายตาม
สมการที่(5.4) โดยใช้วิธีที่ 1 ในหัวข้อ 4.3.2 กรณี (ค)..... 139
ค.40 ตารางแสดงผลการติดตั้งตัวเก็บประจุ เมื่อใช้ฟังก์ชันเป้าหมายตาม
สมการที่(5.1) โดยใช้วิธีที่ 2 ในหัวข้อ 4.3.2 กรณี (ค)..... 139
ค.41 สรุปผลที่เกิดขึ้นหลังจากติดตั้งตัวเก็บประจุของระบบแพรกษา
โดยใช้ช่วงเวลาโหลดเท่ากับ 6 ช่วงเวลา..... 140

สารบัญภาพ

หน้า

รูปที่

2.1 ภาพตัดของตัวเก็บประจุกำลัง 6
2.2 แผนภาพเส้นเดียว และแผนภาพเฟสเซอร์ของวงจรสายป้อน
ที่มีตัวประกอบกำลังล้าหลัง..... 7
2.3 ผลของแรงดันจากการติดตั้งตัวเก็บประจุแบบคงที่..... 9
2.4 แผนภาพเฟสเซอร์ และแผนภาพสามเหลี่ยมกำลัง 9
2.5 รูปสามเหลี่ยมกำลังที่มีตัวประกอบกำลัง 2 ค่า..... 10
2.6 การติดตั้งตัวเก็บประจุแบบขนาน และแผนภาพสามเหลี่ยมกำลัง..... 11
3.1 การคิดราคาของตัวเก็บประจุ..... 24
3.2 วงจรสมมูลย์ของหม้อแปลงไฟฟ้า..... 31
3.3 แผนผังขั้นตอนการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้า
ด้วยวิธีนิวตัน-ราฟสันแบบพิกัดเชิงขั้ว..... 33
4.1 ลักษณะตัวอย่างของระบบจำหน่ายไฟฟ้ากำลัง 34
4.2 ตัวอย่างโหลดที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา 36
4.3 วงจรสมมูลของสายสงระยะสั้นหรือสายป้อนของระบบจำหน่าย 37
4.4 แผนผังขั้นตอนในการพิจารณาตัวเก็บประจุแบบคงที่ 43
4.5 แผนผังขั้นตอนแสดงการพิจารณาตัวเก็บประจุแบบสวิตช์ของวิธีแรก 45
4.6 แผนผังขั้นตอนแสดงการพิจารณาตัวเก็บประจุแบบสวิตช์ของวิธีที่ 2 47
5.1 กราฟแสดงผลเปรียบเทียบเมื่อใช้จำนวนช่วงเวลาที่ต่างกันในการพิจารณา 55
5.2 กราฟแสดงผลเปรียบเทียบขนาดของตัวเก็บประจุที่ติดตั้ง
เมื่อใช้ฟังก์ชันเป้าหมายที่ต่างกัน 56
5.3 กราฟแสดงผลเปรียบเทียบกำลังสูญเสียสูงสุดที่ลดลง
เมื่อใช้ฟังก์ชันเป้าหมายที่ต่างกัน 56

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่

5.4 กราฟแสดงผลเปรียบเทียบพลังงานสูญเสียที่ลดลง เมื่อใช้ฟังก์ชันเป้าหมายที่ต่างกัน 57

5.5 กราฟแสดงผลเปรียบเทียบเมื่อใช้จำนวนช่วงเวลาที่ต่างกันในการพิจารณา 63

5.6 กราฟแสดงผลเปรียบเทียบขนาดของตัวเก็บประจุที่ติดตั้ง เมื่อใช้ฟังก์ชันเป้าหมายที่ต่างกัน 64

5.7 กราฟแสดงผลเปรียบเทียบกำลังสูญเสียสูงสุดที่ลดลง เมื่อใช้ฟังก์ชันเป้าหมายที่ต่างกัน 64

5.8 กราฟแสดงผลเปรียบเทียบพลังงานสูญเสียที่ลดลง เมื่อใช้ฟังก์ชันเป้าหมายที่ต่างกัน 65

5.9 กราฟแสดงผลเปรียบเทียบขนาดของตัวเก็บประจุที่ติดตั้ง เมื่อการเปลี่ยนแปลงโหลดของแต่ละจุดโหลดต่างกัน 66

5.10 กราฟแสดงผลเปรียบเทียบเมื่อใช้จำนวนช่วงเวลาที่ต่างกันในการพิจารณา 75

5.11 กราฟแสดงผลเปรียบเทียบขนาดของตัวเก็บประจุที่ติดตั้ง เมื่อใช้ฟังก์ชันเป้าหมายที่ต่างกัน 76

5.12 กราฟแสดงผลเปรียบเทียบกำลังสูญเสียสูงสุดที่ลดลง เมื่อใช้ฟังก์ชันเป้าหมายที่ต่างกัน 76

5.13 กราฟแสดงผลเปรียบเทียบพลังงานสูญเสียที่ลดลง เมื่อใช้ฟังก์ชันเป้าหมายที่ต่างกัน 77

5.14 กราฟแสดงผลเปรียบเทียบ เมื่อพิจารณาผลของตัวเก็บประจุที่ติดตั้งอยู่เดิม เมื่อใช้ฟังก์ชันเป้าหมายตามสมการที่(5.1) 78

5.15 กราฟแสดงผลเปรียบเทียบ เมื่อพิจารณาผลของตัวเก็บประจุที่ติดตั้งอยู่เดิม เมื่อใช้ฟังก์ชันเป้าหมายตามสมการที่(5.4) 78

ข.1 แผนภาพเส้นเดี่ยวของระบบท่าทราย 91

ข.2 แผนภาพเส้นเดี่ยวของระบบนครปฐม 96

ข.3 แผนภาพเส้นเดี่ยวของระบบแพรกษา 107