ห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
246155

# การวางแผนกำลังผลิตที่คำนึงถึงผลตอบแทน

นายสมลภ ถนถบรรพกร

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2553
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

b00251622

ห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
246155

# การวางแผนกำลังรีแอคทีฟที่คำนึงถึงผลตอบแทน

นายสมภพ กนกบรรณกร

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2553

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5270701321

# VALUE-BASED REACTIVE POWER PLANNING

Mr. Sompop Kanokbannakorn

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering Program in Electrical Engineering

Department of Electrical Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2010

Copyright of Chulalongkorn University

| | |
|---|---|
| หัวข้อวิทยานิพนธ์ | การวางแผนกำลังรีแอคทีฟที่คำนึงถึงผลตอบแทน |
| โดย | นายสมภพ กนกบรรณกร |
| สาขาวิชา | วิศวกรรมไฟฟ้า |
| อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก | ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กุลยศ อุดมวงศ์เสรี |

---

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(รองศาสตราจารย์ ดร.บุญสม เลิศหิรัญวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(ศาสตราจารย์ ดร.บัณฑิต เอื้ออาภรณ์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กุลยศ อุดมวงศ์เสรี)

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.แนบบุญ หุนเจริญ)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(ดร.ประดิษฐ์ เฟื่องฟู)

สมภพ กนกบรรณกร : การวางแผนกำลังรีแอคทีฟที่คำนึงถึงผลตอบแทน. (VALUE-BASED REACTIVE POWER PLANNING) อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดรกุลยศ อุดมวงศ์เสรี., 107 หน้า.

246155

กำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟเป็นส่วนสำคัญที่ระบบไฟฟ้าไม่สามารถขาดได้ และเนื่องจากความต้องการใช้ไฟฟ้าของประเทศไทยมีการเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง การที่ระบบไฟฟ้าไม่สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าทั้งกำลังจริงและกำลังรีแอคทีฟไปสู่ผู้ใช้ไฟฟ้าอาจจะก่อให้เกิดความเสียหายต่อผู้ใช้อย่างมากได้ ดังนั้น การวางแผนในระบบไฟฟ้าจึงจำเป็นต้องคำนึงถึงกำลังรีแอคทีฟและความเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้าด้วย การชดเชยกำลังรีแอคทีฟในระบบไฟฟ้านั้นมีข้อดีหลายอย่าง เช่น ช่วยรักษาระดับแรงดัน ช่วยปรับปรุงตัวประกอบกำลัง ช่วยลดกำลังไฟฟ้าสูญเสีย และในบางกรณีสามารถช่วยเพิ่มความเชื่อถือได้ของระบบด้วย วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสนอวิธีการสำหรับแก้ปัญหาการวางแผนกำลังรีแอคทีฟที่คำนึงถึงผลตอบแทนในระบบไฟฟ้าโดยมีจุดประสงค์เพื่อ ชะลอการก่อสร้างสายส่ง ลดกำลังไฟฟ้าสูญเสียของระบบ และเพิ่มความเชื่อถือได้ของระบบ วิธีการที่นำเสนอได้ทดสอบกับระบบที่ดัดแปลงจากระบบจริงของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคและระบบที่ดัดแปลงจากระบบจริงของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย ผลลัพธ์ที่ได้เป็นที่น่าพอใจ

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า ลายมือชื่อนิสิต สมภพ กนกบรรณกร

สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า ลายมือชื่อ อ ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ปีการศึกษา 2553

## 5270701321 : MAJOR ELECTRICAL ENGINEERING

KEYWORDS : Reactive power / Reliability / Delay construction / Power loss / Value-based reactive power planning problem

SOMPOP KANOKBANNAKORN : VALUE-BASED REACTIVE POWER PLANNING. ADVISOR : ASSISTANT PROFESSOR KULYOS AUDOMVONGSEREE, Ph.D., 107 pp.

246155

Reactive power is one of many important quantities in a power system. As electricity demand generally increases, the unavailability of supply, both real and reactive power, to customers can lead to serious customers' damage. Thus, power system planning must take reactive power as well as reliability into consideration. Reactive power compensation results in a number of improving issues, i.e. voltage regulation, power factor, power losses and, in some case, enhancing system reliability. This thesis presents a developed method for solving a value-based reactive power planning problem of power system, with an objective to delay construction of new transmission/sub-transmission systems, to reduce system power loss and to enhance system reliability. The proposed method has been tested with a modified system from the Provincial Electricity Authority (PEA) and a modified system from the Electricity Generating Authority of Thailand (EGAT). Satisfactory results have been obtained.

Department : Electrical Engineering Student's Signature สมภพ กนกบรรเทิง

Field of Study : Electrical Engineering Advisor's Signature

Academic Year : 2010

# กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องมาจากความช่วยเหลืออย่างดียิ่งจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กุลยศ อุดมวงศ์เสรี อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งได้กรุณาให้คำแนะนำ และข้อคิดเห็นต่างๆ ที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อการทำวิทยานิพนธ์ด้วยดีตลอดมา รวมทั้งได้กรุณาตรวจสอบและแก้ไขเนื้อหาในวิทยานิพนธ์จนสำเร็จเรียบร้อย และขอขอบคุณ คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ซึ่งประกอบด้วย ศาสตราจารย์ ดร.บัณฑิต เอื้ออาภรณ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.แนบบุญ หุนเจริญ และดร.ประดิษฐ์ เฟื่องฟู ที่ได้เสียสละเวลาตรวจสอบแก้ไข และให้คำแนะนำวิทยานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วงด้วยดี

ท้ายนี้ ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณบิดา มารดา และครอบครัวของของข้าพเจ้าที่เป็นกำลังใจตลอดมา ตลอดจน พี่ น้อง และเพื่อนๆทุกคนที่อยู่เบื้องหลังความสำเร็จนี้

# สารบัญ


หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ

กิตติกรรมประกาศ..... ฉ

สารบัญ..... ช

สารบัญตาราง..... ญ

สารบัญภาพ..... ฏ

บทที่ 1 บทนำ..... 1

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา..... 1

1.2 วัตถุประสงค์..... 2

1.3 ขอบเขตวิทยานิพนธ์..... 2

1.4 ขั้นตอนการศึกษาและวิธีดำเนินงาน..... 3

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากวิทยานิพนธ์..... 3

1.6 เนื้อหาของวิทยานิพนธ์..... 3

บทที่ 2 การวางแผนกำลังรีแอคทีฟในระบบไฟฟ้ากำลัง..... 5

2.1 จุดประสงค์การวางแผนกำลังรีแอคทีฟ..... 5

2.2 รูปแบบของระบบไฟฟ้ากำลัง..... 6

2.2.1 ระบบจำหน่ายไฟฟ้าแบบเรเดียล..... 7

2.2.2 ระบบจำหน่ายไฟฟ้าแบบวงแหวน..... 8

2.2.3 ระบบจำหน่ายไฟฟ้าแบบร่างแห..... 8

2.3 หลักการพื้นฐานของตัวเก็บประจุ..... 9

2.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากการติดตั้งตัวเก็บประจุ..... 10

2.4.1 การชะลอการลงทุนเพื่อก่อสร้างอุปกรณ์ใหม่ในระบบไฟฟ้ากำลัง ..... 11

2.4.2 การลดกำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบไฟฟ้ากำลัง..... 12

2.4.3 การช่วยเพิ่มความเชื่อถือได้ในระบบไฟฟ้ากำลัง..... 13

2.4 แบบจำลองของตัวเก็บประจุ..... 17

2.4 แบบจำลองของโหลด..... 18

หน้า

บทที่ 3 การประเมินความเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้ากำลัง..... 21
3.1 การจำลองเหตุการณ์แบบมอนติคาร์โล..... 21
3.2 แบบจำลองรอบการทำงานของอุปกรณ์ในระบบ..... 22
3.3 การสุ่มช่วงเวลาการทำงาน..... 23
3.4 การใช้แบบจำลองโหลดโดยคำนึงถึงความไม่แน่นอนของโหลดร่วมด้วย..... 25
3.5 การวิเคราะห์โครงสร้างระบบไฟฟ้ากำลัง ..... 27
3.6 การวิเคราะห์ระบบด้วยการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้า..... 30
3.7 การแก้ไขปัญหาเมื่อเกิดเหตุขัดข้อง..... 33
3.8 แบบจำลองหม้อแปลงที่สามารถปรับแท็ปได้..... 36
3.9 การประมาณฟังก์ชันแบบเชิงเส้น..... 38
3.9.1 การประมาณเชิงเส้นของกำลังไฟฟ้าปรากฏในสายส่ง ..... 38
3.9.2 การประมาณเชิงเส้นของแรงดันที่บัส ..... 40
3.9.3 การประมาณเชิงเส้นของกำลังไฟฟ้าสูญเสีย ..... 42
3.9.4 การจัดรูปของการประมาณเชิงเส้นเพื่อแก้ปัญหาค่าขีดสุด..... 43
3.10 การคำนวณค่าดัชนีความเชื่อถือได้..... 45
3.11 เกณฑ์การหยุดคำนวณ (Stopping Criteria) ..... 46
3.12 ขั้นตอนการจำลองเหตุการณ์แบบมอนติคาร์โล..... 47

บทที่ 4 การวิเคราะห์ปัญหาการติดตั้งตัวเก็บประจุ..... 50
4.1 ฟังก์ชันเป้าหมาย..... 50
4.1.1 การคำนวณผลตอบแทนจากการชะลอการลงทุนสำหรับการก่อสร้างสายส่ง..... 50
4.1.2 การคำนวณผลตอบแทนจากพลังงานไฟฟ้าสูญเสียที่ลดลง ..... 53
4.1.3 การคำนวณผลตอบแทนจากความสูญเสียของโหลดที่คาดว่าจะไม่ได้รับการจ่ายพลังงานไฟฟ้าที่ลดลง ..... 53
4.1.4 การคำนวณเงินลงทุนติดตั้งตัวเก็บประจุ ..... 54
4.2 การหาตำแหน่งการติดตั้งตัวเก็บประจุที่เหมาะสม..... 56
4.3 ขั้นตอนการเลือกขนาดและตำแหน่งการติดตั้งตัวเก็บประจุด้วยวิธีที่นำเสนอ 57

หน้า

บทที่ 5 ผลการทดสอบ..... 59
5.1 ค่าคงที่และตัวแปรต่างๆ..... 59
5.2 ระบบทดสอบพัฒนานิคม..... 60
5.3 ผลการทดสอบระบบทดสอบพัฒนานิคม..... 60
5.4 ระบบทดสอบไฟฟ้ากำลังเขตภาคเหนือ..... 66
5.5 ผลการทดสอบระบบทดสอบไฟฟ้ากำลังเขตภาคเหนือ..... 68

บทที่ 6 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ..... 76
6.1 สรุปผลการวิจัย..... 76
6.2 ข้อเสนอแนะ..... 77

รายการอ้างอิง..... 78

ภาคผนวก..... 81
ภาคผนวก ก..... 82
ภาคผนวก ข..... 85
ภาคผนวก ค..... 98
ภาคผนวก ง..... 101

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์..... 107

# สารบัญตาราง


| ตารางที่ | | หน้า |
|---|---|---|
| 2.1 | แสดงผลการปรับปรุงตัวประกอบกำลัง โดยกำหนดให้กำลังไฟฟ้าจริงคงที่..... | 11 |
| 2.2 | การติดตั้งตัวเก็บประจุเข้าในระบบไฟฟ้ากำลังเพื่อช่วยลดปริมาณโหลดที่ถูกตัดออกจากระบบที่ตัวประกอบกำลังค่าต่างๆ..... | 16 |
| 3.1 | การค้นหาแบบกว้างก่อน..... | 29 |
| 4.1 | แสดงตัวอย่างการคำนวณผลตอบแทนจากการชะลอการลงทุนการก่อสร้างสายส่งในกรณีที่ 2..... | 51 |
| 4.2 | แสดงตัวอย่างการคำนวณผลตอบแทนจากการชะลอการลงทุนการก่อสร้างสายส่งในกรณีที่ 3..... | 52 |
| 5.1 | พารามิเตอร์ของสายส่ง..... | 59 |
| 5.2 | พารามิเตอร์ของตัวเก็บประจุ..... | 59 |
| 5.3 | ผลตอบแทนและเงินลงทุนในการติดตั้งตัวเก็บประจุของระบบพัฒนานิคม..... | 61 |
| 5.4 | ดัชนีความเชื่อถือได้ของระบบพัฒนานิคม ก่อนและหลังการติดตั้งตัวเก็บประจุ | 61 |
| 5.5 | ขนาดและตำแหน่งการติดตั้งตัวเก็บประจุของระบบพัฒนานิคม..... | 61 |
| 5.6 | ผลตอบแทนและเงินลงทุนในการติดตั้งตัวเก็บประจุของระบบไฟฟ้ากำลังเขตภาคเหนือ..... | 68 |
| 5.7 | ดัชนีความเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้ากำลังเขตภาคเหนือ ก่อนและหลังการติดตั้งตัวเก็บประจุ..... | 68 |
| 5.8 | ขนาดและตำแหน่งการติดตั้งตัวเก็บประจุของระบบไฟฟ้ากำลังเขตภาคเหนือ... | 69 |
| ก.1 | ข้อมูลบัสของระบบพัฒนานิคม..... | 82 |
| ก.2 | ข้อมูลสถานีไฟฟ้าย่อยของระบบพัฒนานิคม..... | 83 |
| ก.3 | ข้อมูลสายส่งของระบบพัฒนานิคม..... | 83 |
| ก.4 | ข้อมูลความน่าเชื่อถือของสายส่งของระบบพัฒนานิคม..... | 84 |
| ข.1 | ข้อมูลบัสของระบบไฟฟ้ากำลังเขตภาคเหนือ..... | 85 |
| ข.2 | ข้อมูลเครื่องกำเนิดไฟฟ้าของระบบไฟฟ้ากำลังเขตภาคเหนือ..... | 87 |
| ข.3 | ข้อมูลสายส่งและหม้อแปลงของระบบไฟฟ้ากำลังเขตภาคเหนือ..... | 89 |
| ข.4 | ข้อมูลความน่าเชื่อถือของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าของระบบไฟฟ้ากำลังเขตภาคเหนือ..... | 93 |

ตารางที่ หน้า

ข.5 ข้อมูลความน่าเชื่อถือของสายส่งและหม้อแปลงของระบบไฟฟ้ากำลังเขตภาคเหนือ..... 94

ค.1 ข้อมูลการใช้ไฟฟ้า..... 99

# สารบัญภาพ


| ภาพที่ | | หน้า |
|---|---|---|
| 2.1 | การเชื่อมโยงระหว่างส่วนต่างๆ ในระบบไฟฟ้า ตั้งแต่ระบบผลิตไฟฟ้าจนถึงผู้ใช้ไฟฟ้า | 6 |
| 2.2 | ระบบจำหน่ายไฟฟ้าแบบเรเดียล | 7 |
| 2.3 | ระบบจำหน่ายไฟฟ้าแบบวงแหวน | 7 |
| 2.4 | ระบบจำหน่ายไฟฟ้าแบบร่างแห | 8 |
| 2.5 | วงจรไฟฟ้าและแผนภาพเฟสเซอร์ของวงจรไฟฟ้าก่อนการติดตั้งตัวเก็บประจุ | 9 |
| 2.6 | วงจรไฟฟ้าและแผนภาพเฟสเซอร์ของวงจรไฟฟ้าหลังการติดตั้งตัวเก็บประจุ | 9 |
| 2.7 | แผนภาพสามเหลี่ยมกำลังเปรียบเทียบระหว่างก่อนและหลังการติดตั้งตัวเก็บประจุ | 10 |
| 2.8 | แบบวงจรแสดงการติดตั้งตัวเก็บประจุในระบบไฟฟ้ากำลัง | 11 |
| 2.9 | ระบบไฟฟ้าตัวอย่าง 2 บัส ก่อนการติดตั้งตัวเก็บประจุ | 12 |
| 2.10 | ระบบไฟฟ้าตัวอย่าง 2 บัส หลังการติดตั้งตัวเก็บประจุ | 13 |
| 2.11 | แสดงการเปรียบเทียบของระบบไฟฟ้าตัวอย่าง 3 บัส ที่ค่าตัวประกอบกำลัง 0.80 เมื่อสายส่งระหว่างบัส 2 กับบัส 3 หลุดออกจากระบบหนึ่งเส้น | 15 |
| 2.12 | แสดงการเปรียบเทียบของระบบไฟฟ้าตัวอย่าง 3 บัส ที่ค่าตัวประกอบกำลัง 0.85 เมื่อสายส่งระหว่างบัส 2 กับบัส 3 หลุดออกจากระบบหนึ่งเส้น | 15 |
| 2.13 | แสดงการเปรียบเทียบของระบบไฟฟ้าตัวอย่าง 3 บัส ที่ค่าตัวประกอบกำลัง 0.90 เมื่อสายส่งระหว่างบัส 2 กับบัส 3 หลุดออกจากระบบหนึ่งเส้น | 16 |
| 2.14 | ระบบไฟฟ้าจำหน่ายแบบเรเดียลขนาด 3 บัส ที่ค่าตัวประกอบกำลัง 0.90 เมื่อสายส่งระหว่างบัส 2 กับบัส 3 หลุดออกจากระบบหนึ่งเส้น | 17 |
| 2.15 | แสดงโหลดที่แปรเปลี่ยนตามเวลา | 19 |
| 3.1 | ลักษณะการทำงานของอุปกรณ์ | 22 |
| 3.2 | การทำงานของอุปกรณ์เมื่อประมาณช่วงเวลาที่อุปกรณ์อยู่ในแต่ละสถานะเป็นค่าเฉลี่ย | 22 |
| 3.3 | แบบจำลองมาร์คอฟฟ์ 2 สถานะ | 23 |
| 3.4 | ช่วงเวลาการทำงานของอุปกรณ์ ที่เกิดจากการสุ่ม | 25 |
| 3.5 | การสุ่มปริมาณโหลดในแต่ละช่วงเวลา | 26 |

| ภาพที่ | | หน้า |
|---|---|---|
| 3.6 | ช่วงเวลาการทำงานของอุปกรณ์และช่วงเวลาโหลด | 26 |
| 3.7 | ลำดับการเดินทางของการค้นหาแบบลึกก่อน | 27 |
| 3.8 | ลำดับการเดินทางของการค้นหาแบบกว้างก่อน | 28 |
| 3.9 | ระบบตัวอย่างสำหรับการวิเคราะห์โครงสร้างระบบ | 28 |
| 3.10 | บัสในระบบไฟฟ้ากำลัง | 30 |
| 3.11 | แบบจำลองหม้อแปลงที่สามารถปรับแท็ปได้ | 36 |
| 3.12 | วงจรสมมูลแบบ π ของหม้อแปลงที่สามารถปรับแท็ปได้ | 36 |
| 3.13 | กำลังไฟฟ้าปรากฏในสายส่ง | 38 |
| 3.14 | ขั้นตอนการจำลองเหตุการณ์ด้วยวิธีมอนติคาร์โลแบบสุ่มช่วงเวลาการทำงาน | 49 |
| 4.1 | มูลค่าเทียบเท่าของเงิน 100 บาทในแต่ละปี | 54 |
| 4.2 | การคิดดอกเบี้ยแบบระบบจ่ายเป็นอนุกรมเท่ากันทุกๆช่วงเวลา | 55 |
| 4.3 | ขั้นตอนการเลือกขนาดและตำแหน่งการติดตั้งตัวเก็บประจุ | 58 |
| 5.1 | ระบบพัฒนานิคมก่อนการติดตั้งตัวเก็บประจุ | 60 |
| 5.2 | ระบบพัฒนานิคมหลังการติดตั้งตัวเก็บประจุ | 62 |
| 5.3 | ผลตอบแทน-มูลค่าการลงทุน ต่อขนาดของตัวเก็บประจุทั้งหมดที่ติดตั้งของระบบพัฒนานิคม | 62 |
| 5.4 | การพิสูจน์ ผลตอบแทน-มูลค่าการลงทุน ต่อขนาดของตัวเก็บประจุทั้งหมดที่ติดตั้งของระบบพัฒนานิคม | 63 |
| 5.5 | ดัชนี LOLP ต่อขนาดของตัวเก็บประจุทั้งหมดที่ติดตั้งของระบบพัฒนานิคม | 63 |
| 5.6 | ดัชนี LOLF ต่อขนาดของตัวเก็บประจุทั้งหมดที่ติดตั้งของระบบพัฒนานิคม | 64 |
| 5.7 | ดัชนี LOLD ต่อขนาดของตัวเก็บประจุทั้งหมดที่ติดตั้งของระบบพัฒนานิคม | 64 |
| 5.8 | ดัชนี EPNS ต่อขนาดของตัวเก็บประจุทั้งหมดที่ติดตั้งของระบบพัฒนานิคม | 65 |
| 5.9 | ดัชนี SAIFI ต่อขนาดของตัวเก็บประจุทั้งหมดที่ติดตั้งของระบบพัฒนานิคม | 65 |
| 5.10 | ดัชนี SAIDI ต่อขนาดของตัวเก็บประจุทั้งหมดที่ติดตั้งของระบบพัฒนานิคม | 66 |
| 5.11 | ระบบไฟฟ้ากำลังเขตภาคเหนือก่อนการติดตั้งตัวเก็บประจุ | 67 |
| 5.12 | ระบบไฟฟ้ากำลังเขตภาคเหนือหลังการติดตั้งตัวเก็บประจุ | 70 |
| 5.13 | ผลตอบแทน-มูลค่าการลงทุน ต่อขนาดของตัวเก็บประจุทั้งหมดที่ติดตั้งของระบบไฟฟ้ากำลังเขตภาคเหนือ | 71 |

| ภาพที่ | | หน้า |
|---|---|---|
| 5.14 | การพิสูจน์ ผลตอบแทน-มูลค่าการลงทุน ต่อขนาดของตัวเก็บประจุทั้งหมดที่ติดตั้งของระบบไฟฟ้ากำลังเขตภาคเหนือ..... | 71 |
| 5.15 | ดัชนี LOLP ต่อขนาดของตัวเก็บประจุทั้งหมดที่ติดตั้งของระบบไฟฟ้ากำลังเขตภาคเหนือ..... | 72 |
| 5.16 | ดัชนี LOLF ต่อขนาดของตัวเก็บประจุทั้งหมดที่ติดตั้งของระบบไฟฟ้ากำลังเขตภาคเหนือ..... | 72 |
| 5.17 | ดัชนี LOLD ต่อขนาดของตัวเก็บประจุทั้งหมดที่ติดตั้งของระบบไฟฟ้ากำลังเขตภาคเหนือ..... | 73 |
| 5.18 | ดัชนี EPNS ต่อขนาดของตัวเก็บประจุทั้งหมดที่ติดตั้งของระบบไฟฟ้ากำลังเขตภาคเหนือ..... | 73 |
| 5.19 | ดัชนี SAIFI ต่อขนาดของตัวเก็บประจุทั้งหมดที่ติดตั้งของระบบไฟฟ้ากำลังเขตภาคเหนือ..... | 74 |
| 5.20 | ดัชนี SAIDI ต่อขนาดของตัวเก็บประจุทั้งหมดที่ติดตั้งของระบบไฟฟ้ากำลังเขตภาคเหนือ..... | 74 |
| ง.1 | การลู่เข้าของดัชนี LOLP ก่อนการติดตั้งตัวเก็บประจุของระบบพัฒนานิคม..... | 101 |
| ง.2 | การลู่เข้าของดัชนี LOLF ก่อนการติดตั้งตัวเก็บประจุของระบบพัฒนานิคม..... | 101 |
| ง.3 | การลู่เข้าของดัชนี LOLD ก่อนการติดตั้งตัวเก็บประจุของระบบพัฒนานิคม..... | 102 |
| ง.4 | การลู่เข้าของดัชนี EPNS ก่อนการติดตั้งตัวเก็บประจุของระบบพัฒนานิคม..... | 102 |
| ง.5 | การลู่เข้าของดัชนี SAIFI ก่อนการติดตั้งตัวเก็บประจุของระบบพัฒนานิคม..... | 103 |
| ง.6 | การลู่เข้าของดัชนี SAIDI ก่อนการติดตั้งตัวเก็บประจุของระบบพัฒนานิคม..... | 103 |
| ง.7 | การลู่เข้าของดัชนี LOLP ก่อนการติดตั้งตัวเก็บประจุของระบบไฟฟ้ากำลังเขตภาคเหนือ..... | 104 |
| ง.8 | การลู่เข้าของดัชนี LOLF ก่อนการติดตั้งตัวเก็บประจุของระบบไฟฟ้ากำลังเขตภาคเหนือ..... | 104 |
| ง.9 | การลู่เข้าของดัชนี LOLD ก่อนการติดตั้งตัวเก็บประจุของระบบไฟฟ้ากำลังเขตภาคเหนือ..... | 105 |
| ง.10 | การลู่เข้าของดัชนี EPNS ก่อนการติดตั้งตัวเก็บประจุของระบบไฟฟ้ากำลังเขตภาคเหนือ..... | 105 |

ภาพที่ หน้า

ง.11 การลู่เข้าของดัชนี SAIFI ก่อนการติดตั้งตัวเก็บประจุของระบบไฟฟ้ากำลังเขตภาคเหนือ..... 106

ง.12 การลู่เข้าของดัชนี SAIDI ก่อนการติดตั้งตัวเก็บประจุของระบบไฟฟ้ากำลังเขตภาคเหนือ..... 106