การวางแผนระบบจำหน่ายไฟฟ้าโดยการประยุกต์ใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็ก

นายนิรุตติ์ นาคนาเกร็ด

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2549
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

DISTRIBUTION SYSTEM PLANNING WITH APPLICATION OF DISTRIBUTED GENERATION

Mr. Nirut Naknagrad

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 2006

491906

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การวางแผนระบบจำหน่ายไฟฟ้าโดยการประยุกต์ใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็ก
โดย	นายนิรุตติ์ นาคนาเกร็ด
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. โสตถิพงศ์ พิชัยสวัสดิ์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(ศาสตราจารย์ ดร.ดิเรก ลาวัณย์ศิริ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.บัณฑิต เอื้ออาภรณ์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. โสตถิพงศ์ พิชัยสวัสดิ์)

.....กรรมการ

(อาจารย์ ดร.คมสัน เพ็ชรรักษ์)

.....กรรมการ

(อาจารย์ ดร.แนบบุญ หุนเจริญ)

นิรุตติ์ นาคนาเกร็ด : การวางแผนระบบจำหน่ายไฟฟ้าโดยการประยุกต์ใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็ก (DISTRIBUTION SYSTEM PLANNING WITH APPLICATION OF DISTRIBUTED GENERATION) อ. ที่ปรึกษา: ผศ. ดร.โสตถิพงศ์ พิชัยสวัสดิ์, 90 หน้า.

เมื่อความต้องการใช้กำลังไฟฟ้าเพิ่มมากขึ้นการไฟฟ้าฝ่ายจำหน่ายจะต้องมีการวางแผนเพื่อรองรับปริมาณความต้องการการใช้กำลังไฟฟ้า เพื่อให้ระบบจำหน่ายไฟฟ้าสามารถจำหน่ายไฟฟ้าได้ตามความต้องการที่เพิ่มขึ้นและมีความน่าเชื่อถือได้สำหรับลูกค้า โดยทั่วไปแล้วในการวางแผนระบบจำหน่ายไฟฟ้าเพื่อรองรับปริมาณความต้องการกำลังไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นในพื้นที่จำหน่ายไฟฟ้า นั้นจะกระทำโดย การย้ายโหลดไปรับสถานีไฟฟ้าข้างเคียง การเพิ่มขนาดหม้อแปลงในสถานีไฟฟ้า การติดตั้งหม้อแปลงไฟฟ้าใหม่ในสถานีไฟฟ้าเดิมและการก่อสร้างสถานีไฟฟ้าใหม่ ซึ่งกำลังไฟฟ้าทั้งหมดก็ยังต้องซื้อจากผู้ผลิตไฟฟ้า

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้เสนอแนวคิดในการนำเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็ก (Distributed Generation :DG) มาประยุกต์ใช้ในการวางแผนระบบจำหน่ายไฟฟ้า เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าบางส่วนจ่ายเข้าระบบจำหน่ายไฟฟ้าเพื่อลดปริมาณกำลังไฟฟ้าที่ซื้อจากผู้ผลิตไฟฟ้าส่วนหนึ่ง โดยในการผลิตไฟฟ้าเข้าระบบจำหน่ายของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็กจะกระทำในช่วง On Peak เนื่องจากต้นทุนในการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วยถูกกว่าอัตราค่าไฟฟ้าที่ซื้อจากผู้ผลิตไฟฟ้า โดยการหาตำแหน่งที่เหมาะสมในการติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็กนั้นจะใช้ดัชนีความไวของกำลังสูญเสียช่วยในการพิจารณาและหลังจากนั้นจึงมีการหาขนาดกำลังผลิตโดยการทำออปติมัลเพาเวอร์โฟลว์ ตำแหน่งและขนาดที่เหมาะสมนั้นจะถูกพิจารณาจากค่าเทียบเท่าปัจจุบันของต้นทุนต่างๆที่เกิดขึ้นที่น้อยที่สุดในการติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็กที่ตำแหน่งใดตำแหน่งหนึ่ง โดยจะแสดงผลการทดสอบด้วยระบบจำหน่ายขนาด 34 บัส

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า ลายมือชื่อนิสิต _____

สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา _____

ปีการศึกษา 2549

4770331021 : MAJOR ELECTRICAL ENGINEERING

KEY WORD: SUBSTATION/ DISTRIBUTION SYSTEM PLANNING/ OPTIMAL POWER FLOW/ POWER LOSSES SENSITIVITY INDEX/ OPTIMAL POWER FLOW

NIRUT NAKNAGRAD: DISTRIBUTION SYSTEM PLANNING WITH APPLICATION OF DISTRIBUTED GENERATION LOSSES.

THESIS ADVISOR: ASST.PROF. SOTDHIPONG PHICHAISAWAT Ph.D., 90 pp.

Due to more electric power demand, Power Distribution Organization has to plan to increase capacity and reliability of distribution system in order to support the demand of customers. Generally, The distribution system planning supporting more electric power demand in distributed area is conducted by transferring load to a near substation, changing a power transformer to supply more electric power, installing new power transformers, and constructing a new substation. However, all mentioned electric powers are still provided by electric power suppliers.

This thesis proposes a concept to apply a distributed generation for the distribution system planning in order to decrease the amount of electric power bought from the suppliers, and also generate some more power to the distribution system. The electric power generating of the distributed generation has to supply during on peak period because the electric power generating cost per unit is cheaper than the cost for electricity rate which buys from electric power supplier. The optimal locations for installing the distributed generation are determined using power losses sensitivity index to do an investigation. After that, the electric power generating is calculated by optimal power flow. The optimal locations and electric power generating are investigation by comparing best of present value of costs in the installation of distributed generation on distribution system. Simulation results are discussed in 34 bus system.

Department Electrical engineering Student's signature _____

Field of study Electrical engineering Advisor's signature _____

Academic year 2006

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. โสตถิพงศ์ พิชัยสวัสดิ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่ช่วยเหลือให้คำเสนอแนะแนวทางและข้อคิดต่างๆที่เป็นประโยชน์สำหรับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้รวมทั้งได้กรุณาตรวจสอบและแก้ไขเนื้อหาจนสำเร็จเรียบร้อย และขอขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ซึ่งประกอบด้วย รองศาสตราจารย์ ดร.บัณฑิต เอื้ออาภรณ์ อาจารย์ ดร. แนบบุญ หุนเจริญ และ อาจารย์ ดร.คมสัน เพ็ชรรักษ์ ที่ได้เสียสละเวลาตรวจสอบและแก้ไขข้อบกพร่องวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้เขียนหวังว่า ถ้าสิ่งใดที่ได้จากงานวิจัยนี้จะเป็นประโยชน์สำหรับผู้ที่สนใจ นั่นก็เพราะบุคคลดังกล่าวทุกท่าน ที่ได้กล่าวถึง แต่ในส่วนของความผิดพลาดประการใดๆ ก็ตามที่เกิดขึ้นภายในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้เขียนขอรับไว้แต่เพียงผู้เดียว และ ขออภัยล่วงหน้าไว้ ณ ที่นี้ด้วย

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยกราบขอบพระคุณ บิดาและมารดา ตลอดจนเพื่อนๆทุกคนที่อยู่เบื้องหลังความสำเร็จและเป็นกำลังใจที่ดีตลอดมา จนทำให้ข้าพเจ้ามีวันนี้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อวิทยานิพนธ์ ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญตาราง ..... ญ

สารบัญภาพ ..... ฏ

บทที่

1. บทนำ 1

1.1 ที่มาและความสำคัยของปัญหาของปัญหา 1

1.2 วัตถุประสงค์ 2

1.3 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์ 3

1.4 ขั้นตอนการศึกษาและวิธีวิจัย 3

1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย 3

2. ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็ก 4

2.1 คำจำกัดความของเครื่องกเนิดไฟฟ้าขนาดเล็ก 4

2.2 เทคโนโลยีของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็ก 5

2.2.1 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็กที่ใช้เทคโนโลยีพลังงานหมุนเวียน 5

2.2.2 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็กที่ไม่ใช้เทคโนโลยีพลังงานหมุนเวียน 5

2.3 ผลกระทบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็กที่มีต่อระบบจำหน่ายไฟฟ้า 6

2.3.1 ผลกระทบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็กที่มีต่อกำลังสูญเสียในระบบจำหน่ายไฟฟ้า 6

2.3.2 ผลกระทบต่อระดับแรงดันไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้า 9

2.3.3 ผลกระทบต่อคุณภาพไฟฟ้า 11

2.3.4 ผลกระทบต่อกระแสลัดวงจรและอุปกรณ์ป้องกันในระบบจำหน่ายไฟฟ้า 13

2.3.5 ผลกระทบต่อความปลอดภัยในการทำงาน 14

2.3.6 ผลกระทบต่อความน่าเชื่อถือได้ในระบบจำหน่ายไฟฟ้า 14

2.4 ประโยชน์ของหน่วยผลิตไฟฟ้ารายย่อย 15

บทที่ หน้า

2.5 การนำเทคโนโลยีพลังงานหมุนเวียนมาผลิตไฟฟ้า 16
3. การประยุกต์ใช้การไหลของกำลังไฟฟ้าที่เหมาะสมและการหาดัชนีความไวของกำลังสูญเสีย 19
3.1 การวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้า(Power Flow Analysis) 19
3.1.1 การประยุกต์ใช้วิธีนิวตัน-ราฟสันเพื่อหาผลเฉลยของสมการเพาเวอร์โฟลว์ 21
3.2 การคำนวณการไหลการไหลของกำลังไฟฟ้าที่เหมาะสม(Optimal power flow) 23
3.2.1 วิธีการวนซ้ำเพื่อหาค่าแลมป์ดา(Lambda iteration method) 25
3.2.2 วิธีการใช้เกรเดียนท์(Gradient method) 25
3.2.3 วิธีของนิวตัน(Newton's method) 26
3.2.4 วิธีโปรแกรมเชิงเส้น(Linear programming method) 27
3.2.5 วิธีการใช้จุดคำตอบภายใน(Interior point method) 28
3.2.6 วิธี Sequential Quadratic Programming 28
3.3 ดัชนีความไวของกำลังสูญเสีย(Loss Sensitivity Index) 30
4. การวางแผนระบบจำหน่ายไฟฟ้าโดยการประยุกต์ใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็ก 34
4.1 รูปแบบของระบบจำหน่ายไฟฟ้า 34
4.1.1 ระบบจำหน่ายไฟฟ้าแบบเรเดียล 35
4.1.2 ระบบจำหน่ายไฟฟ้าแบบวงแหวน 36
4.1.3 ระบบจำหน่ายไฟฟ้าแบบร่างแห 37
4.2 การวางแผนระบบจำหน่ายไฟฟ้าเพื่อรองรับความต้องการการใช้ไฟฟ้า 38
4.2.1 การย้ายโหลดไปรับสถานีไฟฟ้าข้างเคียง 38
4.2.2 การเพิ่มขนาดหม้อแปลงในสถานีไฟฟ้า 38
4.2.3 การติดตั้งหม้อแปลงเพิ่มสถานีไฟฟ้าเดิม 38
4.2.4 การก่อสร้างสถานีไฟฟ้า 39
4.2.5 หลักเกณฑ์การวางแผนสถานีไฟฟ้า 39
4.2.5.1 นิยามของ N-1 39
4.2.5.2 การแบ่งพื้นที่ในการวางแผนระบบไฟฟ้า 39
4.2.5.3 ข้อกำหนดในการวางแผนระบบไฟฟ้าในแต่ละพื้นที่ 40
4.2.5.4 ขนาดของสถานีไฟฟ้า 41
4.2.5.5 ขนาดโหลด ขีดความสามารถของหม้อแปลง 41
4.3 การวิเคราะห์ด้านเศรษฐศาสตร์ 42
4.3.1 ต้นทุนเริ่มต้นและต้นทุนต่อเนื่อง 43

บทที่ หน้า

4.3.2 ต้นทุนคงที่และต้นทุนผันแปร(Fixed versus Variable Costs) 43
4.3.3 ต้นทุนจม(Sunk Cost) 44
4.3.4 ต้นทุนค่าเสียโอกาส(Opportunity Cost) 44
4.3.5 การตัดสินใจเลือกโครงการในการลงทุน 44
4.4 แบบจำลองโหลด(Load Model) 45
4.5 แบบจำลองคณิตศาสตร์(Mathematical Model) 47
4.6 ขั้นตอนการคำนวณ 51
5. การทดสอบและผลการทดสอบ 55
5.1 ระบบจำหน่ายขนาด 34 บัส 55
5.2 แบบจำลองโหลดที่ใช้ในการทดสอบ 56
5.3 การทดสอบและผลการทดสอบ 57
5.3.1 การทดสอบโดยใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าประเภทเครื่องยนต์แก๊ส 58
5.3.2 การทดสอบโดยใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าประเภทใช้แกลบเป็นเชื้อเพลิง 63
5.3.3 เหตุผลในการเลือกเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็กประเภทใช้แกลบและก๊าซ ธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิง 66
5.3.4 การทดสอบโดยการติดตั้งหม้อแปลงเพิ่มในสถานีไฟฟ้า 67
6. บทสรุปและข้อเสนอแนะ 66
6.1 สรุป 67
6.2 ข้อเสนอแนะ 67
รายการอ้างอิง 68
ภาคผนวก 70
ภาคผนวก ก 74
ภาคผนวก ข 82
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 90

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 ระดับกระแสฮาร์โมนิกส์ที่เกิดจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็กที่อนุญาตให้เกิดขึ้นได้ตามมาตรฐาน IEEE 519-1992 12
5.1 ตำแหน่งในการติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็กที่ใช้ก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิงที่ได้จากการคำนวณโดยใช้ดัชนีความไวของกำลังสูญเสีย 58
5.2 กำลังผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็กที่ใช้ก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิงในแต่ละโครงการ 59
5.3 กำลังผลิตติดตั้งของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็กที่ใช้ก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิงในแต่ละโครงการ 59
5.4 มูลค่าทางการเงินที่ได้จากการคำนวณการติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็กที่ใช้ก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิง 60
5.5 กำลังผลิตและกำลังผลิตติดตั้งของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็กที่ใช้ก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิงที่บัส 34 61
5.6 มูลค่าทางการเงินที่ได้จากการติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็กที่ใช้ก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิงที่บัส 34 61
5.7 ข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์ทางการเงินของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็กที่ใช้ก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิง 63
5.8 มูลค่าทางการเงินที่ได้จากการคำนวณการติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็กที่ใช้แกลบเป็นเชื้อเพลิง 64
5.9 ข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์ทางการเงินของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็กที่ใช้ก๊าซธรรมชาติ 65
5.10 มูลค่าทางการเงินที่ได้จากการคำนวณการติดตั้งหม้อแปลงขนาด 5 MVA 67
5.11 มูลค่าทางการเงินที่ได้จากการคำนวณการติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็กขนาดกำลังผลิตติดตั้ง 2 เมกะวัตต์ 68
ก.1 ข้อมูลบัสของระบบจำหน่าย 34 บัส 75
ก.2 ข้อมูลสายของระบบจำหน่าย 34 บัส 76
ก.3 ข้อมูลของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็กที่ใช้ก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิงที่ใช้ในการทดสอบ 78
ก.4 ข้อมูลของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็กที่ใช้แกลบเชื้อเพลิงที่ใช้ในการทดสอบ 79
ก.5 ข้อมูลเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็กประเภทเครื่องยนต์แก๊สขนาดต่าง 81
ข.1 ข้อมูลบัสที่ได้จากการคำนวณ OPF ของระบบจำหน่าย 34 บัส เมื่อติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็ก กำลังผลิต 1.958 MW 82
ข.2 ข้อมูลกำลังไฟฟ้าที่ไหลในสายส่งที่ได้จากการคำนวณ OPF ของระบบจำหน่าย 34 บัส เมื่อติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็ก กำลังผลิต 1.958 MW 83

ตารางที่ หน้า

ข.3 ผลการวิเคราะห์การลงทุนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ใช้ก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิง.....86
ข.4 ผลการวิเคราะห์การลงทุนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่แกลบเป็นเชื้อเพลิง 88

สารบัญภาพ

ภาพประกอบที่ หน้า

2.1 การไหลของกำลังไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้าเมื่อมีเมื่อมีการติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็กที่แตกต่างกัน 7

2.2 ระบบจำหน่ายที่ใช้ในการทดสอบผลกระทบที่มีต่อกำลังไฟฟ้าสูญเสียในการติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็ก 8

2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานสูญเสียกับตำแหน่งและขนาดกำลังผลิตในการติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็ก 9

2.4 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้ากับระยะทางจากสถานีจ่ายไฟฟ้าเมื่อมีการติดตั้งและไม่มีการติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็ก 10

2.5 กระแสผิดพร่องสมทบที่เกิดจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็กหลายๆตัว 13

3.1 การเคลื่อนจุดคำตอบไปตามจุดยอดต่างๆ จนถึงจุดคำตอบสุดท้าย 27

3.2 การเคลื่อนจุดคำตอบภายใน Feasible Region จนถึงจุดคำตอบสุดท้าย 28

4.1 ระบบจำหน่ายไฟฟ้าแบบเรเดียล 35

4.2 ระบบจำหน่ายไฟฟ้าแบบวงแหวน 36

4.3 ระบบจำหน่ายไฟฟ้าแบบโครงข่าย 37

4.4 โหลดรายชั่วโมง 46

4.5 เส้นโค้งช่วงเวลาโหลด (Load Duration Curve) 47

4.6 Flowchart การคำนวณ 54

5.1 แผนผังภาพเส้นเดียวของระบบจำหน่าย 34 บัส 55

5.2 เส้นโค้งช่วงเวลาโหลดรายวันที่ใช้ในการทดสอบ 56

5.3 แบบจำลองโหลดที่ใช้ในการทดสอบและกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่สถานีไฟฟ้าจ่ายได้ 58

5.4 ตำแหน่งในการติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็กที่ใช้ก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิง 60

ก.1 ระบบจำหน่ายขนาด 34 บัส 74