การกำหนดตำแหน่งเครื่องวัดและการปรับปรุงวิธีการประมาณสถานะของระบบไฟฟ้ากำลัง

นาย ณัฐพล ตาทิคุณ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2550
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

MEASUREMENT ALLOCATION AND IMPROVEMENT METHODOLOGY FOR POWER SYSTEM STATE ESTIMATION

Mr. Nattapon Tatikhun

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 2007

Copyright of Chulalongkorn University

502139

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การกำหนดตำแหน่งเครื่องวัดและการปรับปรุงวิธีการประมาณสถานะของระบบไฟฟ้ากำลัง
โดย	นายณัฐพล ตาทิคุณ
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์ ดร. กุลยศ อุดมวงศ์เสรี

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร.บุญสม เลิศหิรัญวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(ศาสตราจารย์ ดร.บัณฑิต เอื้ออาภรณ์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(อาจารย์ ดร.กุลยศ อุดมวงศ์เสรี)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ดร.ประดิษฐ์ เพื่องฟู)

.....กรรมการ
(อาจารย์ ดร.แนบบุญ หุนเจริญ)

ณัฐพล ตาทิคุณ : การกำหนดตำแหน่งเครื่องวัดและการปรับปรุงวิธีการประมาณสถานะของระบบไฟฟ้ากำลัง. (MEASUREMENT ALLOCATION AND IMPROVEMENT METHODOLOGY FOR POWER SYSTEM STATE ESTIMATION) อ. ที่ปรึกษา : ดร.กุลยศ อุดมวงศ์เสรี, 88 หน้า.

ในสภาวะปัจจุบัน ระบบไฟฟ้ากำลังมีความซับซ้อนมากขึ้นอันเป็นผลสืบเนื่องมาจากแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นของความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้า ดังนั้นการวิเคราะห์และวางแผนเพื่อควบคุมระบบไฟฟ้ากำลังจึงถือว่าเป็นเรื่องที่สำคัญอย่างยิ่ง หากปราศจากการวางแผนที่ดีแล้วอาจนำไปสู่ต้นเหตุที่ก่อให้เกิดปัญหาในด้านการผลิตและการส่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าไปสู่ผู้บริโภคและอาจจะก่อให้เกิดความเสียหายรุนแรงได้

การวิเคราะห์ที่มีความสำคัญมากอย่างหนึ่งในการวางแผนดำเนินการระบบไฟฟ้ากำลัง คือ การคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้า (Power flow calculation) ข้อมูลสำคัญที่ใช้ในกระบวนการวิเคราะห์ดังกล่าวประกอบด้วย ข้อมูลโครงสร้างระบบ และข้อมูลความต้องการพลังงานไฟฟ้าที่ตำแหน่งต่างๆในระบบ อย่างไรก็ดีหากเราต้องการทราบข้อมูลทุกๆตำแหน่งในระบบที่เราพิจารณา เราจะต้องใช้เครื่องมือวัดเป็นจำนวนมาก ซึ่งก็จะทำให้มีค่าใช้จ่ายที่สูงมากตามมา แนวทางหนึ่งในการแก้ปัญหาดังกล่าว คือ การนำวิธีการประมาณค่าตัวแปรสถานะของระบบมาใช้ เพื่อลดจำนวนข้อมูลเบื้องต้นที่เราจะนำมาใช้ในการวิเคราะห์ระบบ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอวิธีการกำหนดตำแหน่งเครื่องวัดและการปรับปรุงวิธีการประมาณสถานะของระบบ โดยจะได้มีการนำเสนอถึงวิธีการเลือกตำแหน่งในการติดตั้งเครื่องมือวัดเพื่อนำมาใช้ในการประมาณค่าสถานะของระบบและวิธีการคำนวณค่าของตัวแปรสถานะที่เหลือทั้งหมดในระบบด้วยวิธีการกำลังสองน้อยที่สุด โดยได้ทำการทดสอบวิธีที่นำเสนอกับระบบทดสอบ 4 , 9 , 14 และ 30 บัส พบว่าวิธีที่นำเสนอให้ผลเป็นที่น่าพอใจ กล่าวคือให้ผลลัพธ์จากการประมาณค่าใกล้เคียงกับค่าตัวแปรต่างๆของระบบที่นำมาทดสอบและจากวิธีการที่นำเสนอหากได้มีการนำ ไปพัฒนาอย่างต่อเนื่อง เราจะสามารถลดค่าใช้จ่ายและระยะเวลาจากการติดตั้งเครื่องมือวัดได้

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

ปีการศึกษา 2550

4970304221 : MAJOR ELECTRICAL ENGINEERING

KEY WORD: POWER SYSTEM STATE ESTIMATION / WEIGHTED LEAST SQUARE / MEASURING ALLOCATION

NATTAPON TATIKHUN : MEASUREMENT ALLOCATION AND IMPROVEMENT METHODOLOGY FOR POWER SYSTEM STATE ESTIMATION. THESIS ADVISOR : KULYOS AUDOMVONGSEREE, Ph.D., 88 pp.

In recent years, power systems have become more complicated because of increasing tendency of electricity demand. Hence , carefully planning and operation of power system is very crucial. Without well enough planning, it could lead to problems in both generation and transmission levels, and then may cause the serious damage.

Power flow Calculation is one of the most important tools in power system analysis. Its required input data comprises network configurations and electricity demand of all locations in the network. However, it needs a large number of measuring units and is very costly If we measure this data, electricity demand, from all load points.

One technique that can be possible to cope with this problem is the application of state estimation. It helps reduce information needed in power system analysis. This thesis proposes a novel methodology for power system state estimation. In addition, measurement allocation algorithm is also proposed in this thesis. The proposed method has been tested with many standard test-systems. Satisfactory result are obtained. The result shows that if the proposed method is practically used, it can help reduce the both cost and duration of measurement.

Department: Electrical Engineering Student's signature .....

Field of study: Electrical Engineering Advisor's signature .....

Academic year: 2007

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี โดยได้รับความช่วยเหลืออย่างดียิ่งจากอาจารย์ ดร.กุลยศ อุดมวงศ์เสรี อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งได้กรุณาให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆ ที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อการทำวิทยานิพนธ์ด้วยดีตลอดมา รวมทั้งได้กรุณาตรวจสอบ แก้ไข และให้คำแนะนำในการทำวิทยานิพนธ์จนสำเร็จเรียบร้อย และขอขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ซึ่งประกอบด้วย รองศาสตราจารย์ ดร.บัณฑิต เอื้ออาภรณ์ อาจารย์ ดร.แนบบุญ หุนเจริญ และ ดร.ประดิษฐ์ เฟื่องฟู ที่ได้เสียสละเวลาตรวจสอบแก้ไขและให้คำแนะนำวิทยานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วงด้วยดี

ท้ายนี้ ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณครอบครัวที่ให้กำลังใจตลอดมา ตลอดจน พี่ น้อง และเพื่อนๆ ทุกคน ที่อยู่เบื้องหลังในความสำเร็จของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญตาราง ..... ญ

สารบัญภาพ ..... ฏ

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

1.2 วัตถุประสงค์ 2

1.3 ขอบเขตวิทยานิพนธ์ 3

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน 3

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 4

1.6 เนื้อหาของวิทยานิพนธ์ 4

บทที่ 2 ความรู้พื้นฐานเพื่อใช้ในการวิจัย 5

2.1 ความรู้พื้นฐานในระบบไฟฟ้ากำลัง 5

2.1.1 ระบบส่ง (Transmission System) 5

2.1.2 ระบบจำหน่าย (Distribution System) 6

2.2 การคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้า (Power Flow Calculation) 6

2.2.1 แบบจำลององค์ประกอบพื้นฐานในระบบไฟฟ้ากำลัง 6

2.2.2 สมการแสดงคุณลักษณะของระบบไฟฟ้ากำลัง 8

2.2.3 การคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าด้วยวิธีนิวตัน-ราฟสัน 9

บทที่ 3 วิธีการประมาณค่าตัวแปรในระบบไฟฟ้ากำลัง 14

3.1 วิธีการประมาณค่าแบบดั้งเดิม 14

3.2 วิธีที่นำเสนอในงานวิจัย 16

3.2.1 การประมาณค่าตัวแปรสถานะเริ่มต้น 18

3.2.2 การหาเมตริกซ์ H_0 21

หน้า

3.2.3 หาค่า α_t ที่เหมาะสมในการคำนวณแต่ละรอบ 21
3.3 การประยุกต์วิธีที่นำเสนอกับการประมาณค่าตัวแปรสถานะระบบไฟฟ้ากำลัง 22
3.3.1 ลักษณะและตำแหน่งในการติดตั้งเครื่องมือวัดในระบบ 23
3.3.2 ข้อมูลจากเครื่องมือวัด 23
3.3.3 การปรับปรุงฟังก์ชั่นเป้าหมายที่ใช้ในการประมาณค่า 24
บทที่ 4 การเลือกตำแหน่งในระบบไฟฟ้ากำลัง 27
4.1 กฎเกณฑ์เบื้องต้นในการเลือกตำแหน่งเครื่องมือวัด 27
4.1.1 จำนวนเครื่องวัดอย่างน้อยที่ต้องมีในระบบ 27
4.1.2 ความครอบคลุมของข้อมูล 28
4.1.3 การเชื่อมโยงถึงกันของข้อมูล 29
4.2 วิธีการเลือกตำแหน่งเครื่องมือวัดที่นำเสนอ 30
4.2.1 ขั้นตอนการเลือกตำแหน่งเครื่องมือวัดที่นำเสนอ 30
4.3 การเลือกตำแหน่งการติดตั้งเครื่องมือวัดเพิ่มเติม 38
บทที่ 5 การตรวจจับข้อมูลที่ผิดพลาด 43
บทที่ 6 การทดสอบและวิเคราะห์ผล 48
6.1 การทดสอบการเลือกรูปแบบการวางตำแหน่งเครื่องมือวัดด้วยวิธีที่นำเสนอ 48
6.2 การทดสอบการประมาณค่าตัวแปรสถานะด้วยวิธีที่นำเสนอ 49
6.2.1 การทดสอบการประมาณค่าด้วยวิธีที่นำเสนอ 49
6.2.2 การทดสอบการประมาณค่าด้วยวิธีที่นำเสนอกับความเพียงพอของจำนวนข้อมูล 51
6.2.3 การทดสอบวิธีการเลือกตำแหน่งในการติดตั้งเครื่องมือวัดเพิ่มเติม 53
6.2.4 การทดสอบการตรวจจับข้อมูลที่ผิดพลาด 54
บทที่ 7 สรุปและข้อเสนอแนะ 60
7.1 สรุปผลการวิจัย 60
7.2 ข้อเสนอแนะ 61
ภาคผนวก 64
ภาคผนวก ก ระบบทดสอบ 65
ก.1 ระบบทดสอบ 4 บัส 65
ก.2 ระบบทดสอบ 9 บัส 66
ก.3 ระบบทดสอบ 14 บัส 67

หน้า

ก.4 ระบบทดสอบ 30 บัส 69
ภาคผนวก ข ข้อมูลจากเครื่องมือวัด 73
ข.1 ข้อมูลจากเครื่องวัดของระบบทดสอบ 4 บัส 73
ข.2 ข้อมูลจากเครื่องวัดของระบบทดสอบ 9 บัส 73
ข.3 ข้อมูลจากเครื่องวัดของระบบทดสอบ 14 บัส 74
ข.4 ข้อมูลจากเครื่องวัดของระบบทดสอบ 30 บัส 75
ภาคผนวก ค การตรวจสอบความครอบคลุมและการเชื่อมโยงถึงกันของข้อมูล 76
ค.1 การตรวจสอบความครอบคลุม 76
ค.2 การตรวจสอบการเชื่อมโยงกันของข้อมูล 76
ภาคผนวก ง ผลการประมาณค่าด้วยวิธีที่นำเสนอ 78
ง.1 ผลการคำนวณค่าตัวแปรสถานะกับระบบทดสอบ 4 บัส 78
ง.2 ผลการคำนวณค่าตัวแปรสถานะกับระบบทดสอบ 9 บัส 79
ง.3 ผลการคำนวณค่าตัวแปรสถานะกับระบบทดสอบ 14 บัส 82
ง.4 ผลการคำนวณค่าตัวแปรสถานะกับระบบทดสอบ 30 บัส 85
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 88

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

6.1 ผลการคำนวณเลือกรูปแบบการวางตำแหน่งเครื่องมือวัดด้วยวิธีที่นำเสนอ 48

6.2 ค่ารากที่สองของกำลังสองเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนของขนาดแรงดันและมุมของแรงดัน 50

6.3 ค่ารากที่สองของกำลังสองเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนของกำลังจริงและกำลังรีแอคทีฟที่ฉีดเข้าสู่ระบบ 50

6.4 ผลการทดสอบการประมาณค่าตัวแปรสถานะเมื่อจำนวนข้อมูลไม่เพียงพอ 52

6.5 ความคลาดเคลื่อนของค่าตัวแปรสถานะจากการประมาณค่า 52

6.6 ผลการทดสอบการเลือกตำแหน่งในการติดตั้งเครื่องมือวัดเพิ่มเติม 53

6.7 ผลการประมาณค่าตัวแปรสถานะในการทดสอบการตรวจจับข้อมูลที่ผิดพลาดแบบกลับทิศ 56

6.8 การตรวจจับข้อมูลที่ผิดพลาดด้วยวิธีไคสแควร์ 56

6.9 ผลการทดสอบค่าความคลาดเคลื่อนแบบปกติมาตรฐาน 57

6.10 ผลการประมาณค่าตัวแปรสถานะในการทดสอบการตรวจจับข้อมูลที่ผิดพลาดแบบคลาดเคลื่อน 58

6.11 การตรวจจับข้อมูลที่ผิดพลาดด้วยวิธีไคสแควร์ 58

6.12 ผลการทดสอบค่าความคลาดเคลื่อนแบบปกติมาตรฐาน 59

ก.1 ข้อมูลบัสของระบบทดสอบ 4 บัส 65

ก.2 ข้อมูลกำลังการผลิตไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในระบบทดสอบ 4 บัส 65

ก.3 ข้อมูลสายส่งในระบบไฟฟ้าของระบบทดสอบ 4 บัส 66

ก.4 ข้อมูลบัสของระบบทดสอบ 9 บัส 66

ก.5 ข้อมูลกำลังการผลิตไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในระบบทดสอบ 9 บัส 67

ก.6 ข้อมูลสายส่งในระบบไฟฟ้าของระบบทดสอบ 9 บัส 67

ก.7 ข้อมูลบัสของระบบทดสอบ 14 บัส 68

ก.8 ข้อมูลกำลังการผลิตไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในระบบทดสอบ 14 บัส 68

ก.9 ข้อมูลสายส่งในระบบไฟฟ้าของระบบทดสอบ 14 บัส 69

ก.10 ข้อมูลบัสในระบบทดสอบ 30 บัส 69

ก.11 ข้อมูลกำลังการผลิตไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในระบบทดสอบ 30 บัส 70

หน้า

ก.12 ข้อมูลสายส่งในระบบไฟฟ้าของระบบทดสอบ 30 บัส 71
ข.1 ข้อมูลจากเครื่องวัดของระบบทดสอบ 4 บัส 73
ข.2 ข้อมูลจากเครื่องวัดของระบบทดสอบ 9 บัส 73
ข.3 ข้อมูลจากเครื่องวัดของระบบทดสอบ 14 บัส 74
ข.4 ข้อมูลจากเครื่องวัดของระบบทดสอบ 30 บัส 75
ง.1 ผลการคำนวณค่าตัวแปรสถานะของระบบทดสอบ 4 บัส 79
ง.2 ผลการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าของระบบทดสอบ 4 บัส 79
ง.3 ผลการคำนวณค่าตัวแปรสถานะของระบบทดสอบ 9 บัส 80
ง.4 ผลการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าของระบบทดสอบ 9 บัส 81
ง.5 ผลการคำนวณค่าตัวแปรสถานะของระบบทดสอบ 14 บัส 83
ง.6 ผลการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าของระบบทดสอบ 14 บัส 84
ง.7 ผลการคำนวณค่าตัวแปรสถานะของระบบทดสอบ 30 บัส 86
ง.8 ผลการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าของระบบทดสอบ 30 บัส 87

สารบัญภาพ

รูปที่ หน้า

2.1 แผนภาพตัวอย่างระบบไฟฟ้ากำลัง 5
2.2 แผนภาพเส้นเดียวของตัวอย่างระบบไฟฟ้ากำลัง 5
2.3 แบบจำลองของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 7
2.4 แบบจำลองของหม้อแปลงไฟฟ้าที่มีอัตราส่วนแบบ off-nominal 7
2.5 วงจรสมมูลแบบ π ของหม้อแปลงแบบ off-nominal 8
2.6 แบบจำลองของสายส่งไฟฟ้า 8
2.7 บัสในระบบไฟฟ้ากำลัง 10
3.1 ขั้นตอนการหาคำตอบของวิธี BFGS 19
3.2 แผนภาพสายส่งไฟฟ้ากำลังระหว่างบัส 19
3.3 ขั้นตอนการหาค่า α_k ในแต่ละรอบการคำนวณ 22
3.4 ตำแหน่งในการติดตั้งเครื่องมือวัด 23
4.1 การเลือกตำแหน่งเครื่องมือวัด 29
4.2 การเชื่อมโยงถึงกันของข้อมูล 30
4.3 ลำดับขั้นตอนการเลือกตำแหน่งเครื่องมือวัดที่นำเสนอ 31
4.4 ขั้นตอนการเลือกตำแหน่งเพื่อความครอบคลุมของข้อมูล 33
4.5 การตรวจสอบการเชื่อมโยงกันของการเลือกตำแหน่งเครื่องมือวัด 34
4.6 ระบบที่เกิดปัญหาการเลือกตำแหน่งการติดตั้งเครื่องมือวัดด้วยการเชื่อมต่อกับบัสอื่นๆ 35
4.7 ลำดับขั้นตอนการเลือกตำแหน่งติดตั้งเครื่องมือวัดเพื่อความเพียงพอของข้อมูล 38
4.8 ขั้นตอนการเลือกรูปแบบการติดตั้งเครื่องมือวัดที่เพิ่มเติม 40
4.9 การกระจายแบบปกติมาตรฐานซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0 และค่าความแปรปรวนเท่ากับ 1 41
5.1 การแจกแจงความน่าจะเป็นแบบไคสแควร์เมื่อมีขั้นความเสรีเท่ากับ 15 45
5.2 ขั้นตอนการตรวจจับข้อมูลที่ผิดพลาด 46
6.1 รูปแบบการติดตั้งเครื่องมือวัดที่เหมาะสมของระบบทดสอบ 30 บัส 54
ง.1 รูปแบบการติดตั้งเครื่องมือวัดที่นำเสนอของระบบทดสอบ 4 บัส 78
ง.2 รูปแบบการติดตั้งเครื่องมือวัดที่นำเสนอของระบบทดสอบ 9 บัส 80
ง.3 รูปแบบการติดตั้งเครื่องมือวัดที่นำเสนอของระบบทดสอบ 14 บัส 82
ง.4 รูปแบบการติดตั้งเครื่องมือวัดที่นำเสนอของระบบทดสอบ 30 บัส 85