การกำหนดค่าความสามารถถ่ายโอนกำลังไฟฟ้า

นายกันต์ สมบัติวิโรจน์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2543

ISBN 974-347-306-8

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I19660145

DETERMINATION OF AVAILABLE TRANSFER CAPABILITY

Mr. Gunti Sombuttwilailert

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering in Electrical Engineering

Department of Electrical Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2000

ISBN 974-347-306-8

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การกำหนดค่าความสามารถถ่ายโอนกำลังไฟฟ้า
โดย	นายกันติ์ สมบัติวิไลเลิศ
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร.บัณฑิต เอื้ออาภรณ์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(ศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.สุขุมวิทย์ ภูมิวุฒิสาร)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(รองศาสตราจารย์ ดร.บัณฑิต เอื้ออาภรณ์)

.....กรรมการ

(อาจารย์ไชยะ แซ่มซ้อย)

.....กรรมการ

(ดร.กัมปนาท บำรุงกิจ)

กันต์ สมบัติวิไลเลิศ : การกำหนดค่าความสามารถถ่ายโอนกำลังไฟฟ้า (DETERMINATION OF AVAILABLE TRANSFER CAPBILITY) อ.ที่ปรึกษา รศ. ดร. บัณฑิต เอื้ออาภรณ์, 115 หน้า. ISBN 974-347-306-8

การแข่งขันในอุตสาหกรรมไฟฟ้าภายหลังการแปรรูปกำลังเข้ามาแทนที่การประกอบกิจกรรมแบบดั้งเดิม ดังนั้นผู้ปฏิบัติงานจำเป็นต้องจัดการปัญหาที่ไม่คุ้นเคยเนื่องจากสภาพแวดล้อมใหม่ เช่น การประเมินค่าความสามารถในการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าสูงสุดจากบริเวณหนึ่งไปยังอีกบริเวณหนึ่ง (ค่ากำลังส่งรวม) และค่าการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าที่ยังสามารถส่งผ่านระบบส่ง ณ สภาวะปัจจุบัน (ค่าความสามารถถ่ายโอนกำลังไฟฟ้า) โดยทั่วไปศูนย์ควบคุมอิสระจะทำหน้าที่ในการกำหนดค่ากำลังส่งรวมและค่าความสามารถถ่ายโอนกำลังไฟฟ้าระหว่างคู่ผู้ซื้อกับผู้ขาย จากนั้นจะต้องประกาศค่าดังกล่าวให้ผู้มีส่วนร่วมในตลาดทราบทุกๆ 1 ชั่วโมง หรือ 1 วัน เป็นต้น

อย่างไรก็ดี วัตถุประสงค์หลักของวิทยานิพนธ์นี้คือการกำหนดค่าความสามารถถ่ายโอนกำลังไฟฟ้าสำหรับสภาวะตลาดในอนาคต โดยข้อจำกัดของระบบที่เลือกมาพิจารณาในที่นี้คือ เงื่อนไขพิกัดสายส่ง เงื่อนไขพิกัดขนาดแรงดัน และ เงื่อนไขพิกัดกำลังการผลิต ซึ่งเงื่อนไขทั้งหมดจะถูกพิจารณาทั้งในกรณีที่ระบบอยู่ในสภาวะปกติและสภาวะที่เกิดเหตุขัดข้องขึ้น

เนื่องจากการกำหนดค่าความสามารถถ่ายโอนกำลังไฟฟ้าต้องการวิธีการคำนวณที่เชื่อถือได้และให้ผลตอบในเวลาอันรวดเร็ว ดังนั้นวิทยานิพนธ์นี้จึงได้พัฒนาวิธีการคำนวณค่าความสามารถถ่ายโอนกำลังไฟฟ้าไว้สามวิธี ประกอบด้วยวิธีคำนวณที่อาศัยการคำนวณเพาเวอร์โฟลว์เป็นพื้นฐาน วิธีคำนวณแบบเชิงเส้นซ้ำ และวิธีคำนวณแบบเชิงเส้นที่มีการแก้ไขคำตอบให้ถูกต้องด้วยเพาเวอร์โฟลว์ที่มีการปรับปรุง วิธีการที่เสนอขึ้นทั้งหมดได้ใช้ทดสอบกับระบบไฟฟ้ากำลังเขตภาคเหนือของไทย จากผลการคำนวณที่ได้แสดงให้เห็นว่า สองจากสามวิธีที่เสนอดังกล่าวสามารถใช้เป็นทางเลือกใหม่ในการกำหนดค่าความสามารถถ่ายโอนกำลังไฟฟ้าสำหรับระบบไฟฟ้ากำลังของไทย

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า ลายมือชื่อนิสิต _____

สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา _____

ปีการศึกษา 2543 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม _____

427-02160-21 : MAJOR ELECTRICAL ENGINEERING
KEY WORD : AVAILABLE TRANSFER CAPABILITY / TOTAL TRANSFER CAPABILITY / RELIABILITY EVALUATION
GUNTI SOMBUTTWILAILERT : DETERMINATION OF AVAILABLE TRANSFER CAPABILITY
ADVISOR : ASSOC. PROF BUNDHIT EUA-ARPORN, Ph. D
115 pp. ISBN 974-347-306-8

Competition in electric supply industry after deregulation is replacing traditional activities. Operators have to deal with several unfamiliar problems under this new operating environment, e.g. the maximum transmission capability to deliver power from one area to the other (Total Transfer Capability- TTC), and the available power which can be transferred over a transmission system relative to current operation level (Available Transfer Capability – ATC). Normally, an independent system operator (ISO) determines TTC and ATC values between a selected pair of transaction and posts these values for participants on an hourly or a daily basis. However, this thesis concentrates mainly on an off-line ATC determination. Therefore, thermal, voltage and generation limits are considered in these algorithms in both normal and n-1 contingency conditions.

Since it requires reliable computation with fairly short computation time, three approaches have been developed for determining ATC consisting of the power flow base method, the iterative linear method, and the linear method using modified power flow for correcting the solution. The proposed methods have been tested with the northern Thailand power system. The obtained results demonstrate that two out of three proposed methods can be used for solving ATC determination for Thailand power system.

Department Electrical Engineering Student's signature Gunti S.

Field of study Electrical Engineering Advisor's signature B. Eua-arporn

Academic year 2000 Co-Advisor's signature _____

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความช่วยเหลืออย่างดียิ่งจาก รองศาสตราจารย์ ดร.บัณฑิต เอื้ออาภรณ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งได้กรุณาให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่าง ๆ ที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อการทำวิทยานิพนธ์ด้วยดีมาตลอด รวมทั้งได้กรุณาตรวจสอบและแก้ไขเนื้อหาจนสำเร็จเรียบร้อย และขอขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ซึ่งประกอบด้วย รองศาสตราจารย์ ดร.สุขุมวิทย์ ภูมิวุฒิสาร อาจารย์ไชยะ แช่มช้อย และ ดร. กัมปนาท บำรุงกิจ ผู้จัดการฝ่ายธุรกิจพลังงาน บริษัทผลิตไฟฟ้า ที่ได้เสียสละเวลาตรวจสอบแก้ไขและให้คำแนะนำในการทำวิทยานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วงด้วยดี นอกจากนี้ขอขอบคุณ นายพรประนด ดิษยบุตร นิสิตระดับดุษฎีบัณฑิต ที่ได้ให้ข้อแนะนำและข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์ยิ่งตลอดมา

ท้ายนี้ ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณ บิดามารดา ที่ให้กำลังใจตลอดมา ตลอดจนเพื่อน พี่ น้อง ทุก ๆ คนที่อยู่เบื้องหลังในความสำเร็จของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

นายกันติ์ สมบัติวิไลเลิศ

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญตาราง ..... ญ

สารบัญภาพ ..... ฎ

บทที่

1 บทนำ 1

2 นิยามของค่าความสามารถถ่ายโอนกำลังไฟฟ้าและองค์ประกอบที่เกี่ยวข้อง 5

2.1 ค่าความสามารถถ่ายโอนกำลังไฟฟ้าตามนิยามของ NERC 5

2.2 รายละเอียดขององค์ประกอบที่ใช้ในการกำหนดค่าความสามารถถ่ายโอนกำลังไฟฟ้า 7

2.2.1 ค่ากำลังส่งรวมตามนิยามของ NERC 7

2.2.2 Transmission Reliability Margin ตามนิยามของ NERC 9

2.2.3 Capability Benefit Margin ตามนิยามของNERC 10

3 การคำนวณค่าการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าสูงสุด 12

3.1 เงื่อนไขบังคับในการคำนวณค่าการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าสูงสุด 13

3.2 การคำนวณค่าการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยวิธีการคำนวณเพาเวอร์โฟลว์ 14

3.3 การประมาณค่าการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าสูงสุดแบบเชิงเส้นวิธีที่ 1 15

3.3.1 การลดเวลาในการคำนวณเพาเวอร์โฟลว์ 16

3.4 การประมาณค่าการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าสูงสุดแบบเชิงเส้นวิธีที่ 2 25

3.4.1 การจัดรูปแบบปัญหา 25

3.4.2 การคำนวณค่า $\partial X/\partial \lambda$ ในสภาวะปกติ 26

3.4.3 การคำนวณค่า $\partial X/\partial \lambda$ ในเกิดสายส่งชำรุด 27

3.4.4 การประมาณค่าโหลดที่สามารถเพิ่มได้มากที่สุด สำหรับแต่ละเงื่อนไข 29

3.4.5 การคำนวณค่า $\partial S_{jk} / \partial \lambda$ 30

3.4.6 การคำนวณค่า $\partial P_G / \partial \lambda$ 31

สารบัญ (ต่อ)

บทที่ หน้า

3.5 วิเคราะห์ข้อดีและข้อเสียของวิธีการคำนวณค่าการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าสูงสุด..... 34

4 เพาเวอร์โฟลว์ที่ได้รับการปรับปรุง 37

4.1 การคำนวณเพาเวอร์โฟลว์ด้วยวิธีนิวตัน-ราฟสัน 38

4.2 การคำนวณเพาเวอร์โฟลว์ที่ได้รับการปรับปรุง 44

4.2.1 การจัดรูปแบบปัญหา..... 45

4.2.2 การคำนวณเพาเวอร์โฟลว์ที่ได้รับการปรับปรุงกรณีที่ 1 45

4.2.3 การคำนวณเพาเวอร์โฟลว์ที่ได้รับการปรับปรุงกรณีที่ 2 48

4.2.3 การคำนวณเพาเวอร์โฟลว์ที่ได้รับการปรับปรุงกรณีที่ 3 52

5 วิธีการคำนวณค่าความสามารถถ่ายโอนกำลังไฟฟ้า..... 56

5.1 วิธีการคำนวณค่าการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าสูงสุด..... 56

5.1.1 การคำนวณค่าการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วย
วิธีการคำนวณเพาเวอร์โฟลว์..... 56

5.1.2 การคำนวณค่าการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วย
วิธีการประมาณแบบเชิงเส้นที่มีการคำนวณซ้ำ..... 57

5.1.3 วิธีการคำนวณค่าการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าสูงสุดโดยอาศัยวิธีทำนาย
เงื่อนไขขีดจำกัดและคำนวณคำตอบด้วยการคำนวณเพาเวอร์โฟลว์
ที่ได้รับการปรับปรุง..... 58

5.2 การคำนวณค่ากำลังส่งรวม 60

5.3 การกำหนดค่า TRM 61

5.4 การคำนวณค่า CBM 62

5.5 การคำนวณค่าความสามารถถ่ายโอนกำลังไฟฟ้า 63

6 ตัวอย่างการคำนวณค่าความสามารถถ่ายโอนกำลังไฟฟ้า..... 65

6.1 สมมติฐานเบื้องต้นที่ใช้ในการคำนวณค่าความสามารถถ่ายโอนกำลังไฟฟ้า..... 65

6.2 รายละเอียดของโปรแกรมที่ใช้คำนวณค่าความสามารถถ่ายโอนกำลังไฟฟ้า.....66

6.3 การเลือกเหตุขัดข้องเพื่อใช้ประกอบการคำนวณค่ากำลังส่งรวม..... 67

6.4 ตัวอย่างการคำนวณค่ากำลังส่งรวม..... 67

สารบัญ (ต่อ)

บทที่ หน้า

6.4.1 การคำนวณค่ากำลังส่งรวมกรณีที่ 1 ผู้ขายคือ บัส 41933 และ ผู้ซื้อคือ 41741 และ slack ของระบบคือ บัส 41833 68

6.4.2 การคำนวณค่ากำลังส่งรวมกรณีที่ 2 ผู้ขายคือ บัส 41933 และ ผู้ซื้อคือ 41750 และ slack ของระบบคือ บัส 41833 70

6.4.3 การคำนวณค่ากำลังส่งรวมกรณีที่ 3 ผู้ขายคือ บัส 41833 และ ผู้ซื้อคือ 41716 และ slack ของระบบคือ บัส 41933 71

6.5 ตัวอย่างการคำนวณค่า TRM 72

6.5.1 การคำนวณค่ากำลังส่งรวมกรณีที่ 1 ผู้ขายคือ บัส 41933 และ ผู้ซื้อ คือ 41741 และ slack ของระบบคือ บัส 41833 โดยมีการลดค่าพิกัดสายส่งลง 3 % ... 72

6.5.2 การคำนวณค่ากำลังส่งรวมกรณีที่ 2 ผู้ขายคือ บัส 41933 และ ผู้ซื้อ คือ 41750 และ slack ของระบบคือ บัส 41833 โดยมีการลดค่าพิกัดสายส่งลง 3 % ... 73

6.5.3 การคำนวณค่ากำลังส่งรวมกรณีที่ 3 ผู้ขายคือ บัส 41833 และ ผู้ซื้อ คือ 41716 และ slack ของระบบคือ บัส 41933 โดยมีการลดค่าพิกัดสายส่งลง 3 % ... 74

6.5.4 ผลการคำนวณค่า TRM 74

6.6 ผลการคำนวณค่าความสามารถถ่ายโอนกำลังไฟฟ้า 75

7 สรุปผลงานวิจัยและข้อเสนอแนะ 77

7.1 สรุปผลงานวิจัย 77

7.2 ข้อเสนอแนะสำหรับการศึกษาและพัฒนาต่อไป 77

รายการอ้างอิง 79

ภาคผนวก 81

ประวัติผู้วิจัย 115

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 เปรียบเทียบค่า ALC และ ATC ของระบบไฟฟ้าตัวอย่าง..... 6

3.1 ผลการคำนวณเพาเวอร์โฟลว์ ของระบบไฟฟ้าตัวอย่างเมื่อทำการเพิ่มโหลด 19

3.2 การเพิ่มความละเอียดของคำตอบด้วยวิธี Bisection 19

6.1 ตัวอย่างผลการคำนวณค่าการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าสูงสุดและค่ากำลังส่งรวมระหว่างบัส 41933 และ 41741 โดยที่บัส 41833 เป็น slack ของระบบ 68

6.2 ตัวอย่างผลการคำนวณค่าการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าสูงสุดและค่ากำลังส่งรวมระหว่างบัส 41933 และ 41750 โดยที่บัส 41833 เป็น slack ของระบบ 70

6.3 ตัวอย่างผลการคำนวณค่าการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าสูงสุดและค่ากำลังส่งรวมระหว่างบัส 41833 และ 41716 โดยที่บัส 41933 เป็น slack ของระบบ 71

6.4 ตัวอย่างผลการคำนวณค่าการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าสูงสุดและค่ากำลังส่งรวมระหว่างบัส 41933 และ 41741 โดยที่บัส 41833 เป็น slack ของระบบ โดยมีการลดค่าพิกัดสายส่งลง 3 %..... 72

6.5 ตัวอย่างผลการคำนวณค่าการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าสูงสุดและค่ากำลังส่งรวมระหว่างบัส 41933 และ 41750 โดยที่บัส 41833 เป็น slack ของระบบ โดยมีการลดค่าพิกัดสายส่งลง 3 %..... 73

6.6 ตัวอย่างผลการคำนวณค่าการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าสูงสุดและค่ากำลังส่งรวมระหว่างบัส 41833 และ 41750 โดยที่บัส 41933 เป็น slack ของระบบ โดยมีการลดค่าพิกัดสายส่งลง 3 %..... 74

6.7 ผลการคำนวณค่า TRM สำหรับกรณีตัวอย่างที่ 1 ถึง 3 75

6.8 ผลการคำนวณความสามารถถ่ายโอนกำลังไฟฟ้า สำหรับตัวอย่างที่ 1ถึง 3..... 76

สารบัญภาพ

รูปที่ หน้า

2.1 ระบบทดสอบที่ใช้วิเคราะห์ค่า ATC และ ALC 6

2.2 ขีดจำกัดที่มีผลต่อค่ากำลังส่งรวม 9

3.1 การเพิ่มความละเอียดของคำตอบ 14

3.2 การคำนวณค่าการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยวิธีการคำนวณเพาเวอร์โฟลว์ 15

3.3 แผนภาพเส้นเดี่ยวของระบบไฟฟ้ากำลังขนาด 4 บัส 7 สายส่ง 18

3.4 ผลการคำนวณเพาเวอร์โฟลว์ ณ สภาวะที่เกิดการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าสูงสุด จากบัส 2 ไปยังบัส 1 20

4.1 ขั้นตอนการคำนวณโหลดโฟลว์ด้วยวิธี นิวตัน-ราฟสัน 41

4.2 ระบบไฟฟ้ากำลังขนาดเล็ก 42

5.1 แผนภาพการคำนวณค่าการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วย วิธีการคำนวณเพาเวอร์โฟลว์ 57

5.2 แผนภาพการคำนวณค่าการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยวิธีการประมาณ แบบเชิงเส้นที่มีการคำนวณซ้ำ 58

5.3 แผนภาพวิธีการคำนวณค่าการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าสูงสุดโดยอาศัยวิธีทำนาย เงื่อนไขขีดจำกัดและคำนวณคำตอบด้วย Modified Power Flow 59

5.4 แผนภาพการคำนวณค่ากำลังส่งรวม 60

5.5 แผนภาพการคำนวณค่า TRM โดยแทนผลของความไม่แน่นอนต่างๆ ที่เกิดขึ้น ในระบบด้วยการลดลงของค่าความจุสายส่ง 62

5.6 แผนภาพขั้นตอนทั้งหมดที่ใช้ในการคำนวณความสามารถถ่ายโอนกำลังไฟฟ้าและ องค์ประกอบที่เกี่ยวข้อง 64