การพยากรณ์โหลดหม้อแปลงโดยใช้เครือข่ายประสาทเทียม

นายณัฐพล รองศรีแย้ม

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2542

ISBN 974-333-365-7

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

- 4 มิ.ย. 2546
I19033427

TRANSFORMER LOAD FORECAST USING AN ARTIFICIAL NEURAL NETWORK

Mr. Nattapon Rongsriyam

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

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 1999

ISBN 974-333-365-7

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การพยากรณ์โหลดหม้อแปลงโดยใช้เครือข่ายประสาทเทียม

โดย นายณัฐพล รองศรีแย้ม

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า

อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บัณฑิต เอื้ออาภรณ์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(รองศาสตราจารย์ ดร.ธัชชัย สุมิตร)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ประสิทธิ์ พิทยพัฒน์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บัณฑิต เอื้ออาภรณ์)

..... กรรมการ

(อาจารย์ ไชยะ แช่มช้อย)

..... กรรมการ

(นายประหยัด เครื่องประดิษฐ์)

ณัฐพล รองศรีแย้ม : การพยากรณ์โหลดหม้อแปลงโดยใช้เครือข่ายประสาทเทียม (TRANSFORMER LOAD FORECAST USING AN ARTIFICIAL NEURAL NETWORK) อ. ที่ปรึกษา : ผศ. ดร. บัณฑิต เอื้ออาภรณ์ , 196 หน้า. ISBN 974-333-365-7

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ประยุกต์ใช้ทฤษฎีเครือข่ายประสาทเทียมสำหรับการพยากรณ์โหลดของหม้อแปลงไฟฟ้ากำลังที่ติดตั้งอยู่ในระบบจำหน่ายไฟฟ้า โดยใช้ปริมาณการใช้ไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟที่ต่ออยู่กับหม้อแปลงเป็นข้อมูลด้านเข้าป้อนให้แก่เครือข่ายประสาทที่ทำการปรับสอนด้วยชุดข้อมูลตัวอย่างไว้เรียบร้อยแล้ว และได้ผลลัพธ์เป็นค่าพารามิเตอร์แสดงลักษณะโหลดของหม้อแปลงที่สำคัญ 2 ค่าคือ ค่าตัวประกอบโหลด และค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าขณะหม้อแปลงจ่ายโหลดสูงสุด ซึ่งนำไปใช้ในการคำนวณหาค่าโหลดสูงสุด Utilization factor และค่าโหลดโดยเฉลี่ยของหม้อแปลงต่อไป จากนั้นทำการเปรียบเทียบผลที่ได้นี้กับผลที่ได้จากการพยากรณ์โดยใช้วิธีการวิเคราะห์ทางสถิติ

เครือข่ายประสาทเทียมที่ใช้ในวิทยานิพนธ์นี้เป็นเครือข่ายแบบป้อนไปสู่ข้างหน้าที่มีสองชั้น (Two layer feed-forward neural network) และใช้การปรับสอนแบบ Modified back-propagation (MBP) โดยใช้ข้อมูลของหม้อแปลงตัวอย่างที่ได้จากการตรวจวัดจริงร่วมกับข้อมูลจากระบบฐานข้อมูลของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคในการปรับสอนให้เครือข่ายเรียนรู้ลักษณะการจ่ายโหลดของหม้อแปลง และสามารถพยากรณ์ได้อย่างแม่นยำ

วิธีการพยากรณ์โหลดหม้อแปลงที่พัฒนาขึ้นสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในทางปฏิบัติได้จริง ผลจากการทดสอบความถูกต้องแม่นยำในการพยากรณ์โดยการป้อนข้อมูลทดสอบให้แก่เครือข่ายประสาทแล้วเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้กับค่าจริงจากการตรวจวัด ชี้ให้เห็นว่าความผิดพลาดโดยเฉลี่ยที่เกิดจากการพยากรณ์โดยใช้เครือข่ายประสาทเทียมมีค่าใกล้เคียงกันกับที่เกิดจากการพยากรณ์โดยใช้วิธีการทางสถิติ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา ..... วิศวกรรมไฟฟ้า .....
สาขาวิชา ..... วิศวกรรมไฟฟ้า .....
ปีการศึกษา ..... 2542 .....

ลายมือชื่อนิสิต .....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

NATTAPON RONGSRIYAM : TRANSSFORMER LOAD FORECAST USING AN ARTIFICIAL NEURAL NETWORK. THESIS ADVISOR : ASSIST. PROF. BUNDHIT EUA-ARPORN, Ph.D. 196 pp. ISBN 974-333-365-7

This thesis presents the application of an artificial neural network in the distribution transformer load forecast using kWh consumption of the connected electrical consumers as inputs of the neural network, which was trained in advance by the sample of data. The designed outputs are kW load factor and power factor at peak load, which will be used to calculate the peak load, utilization factor, and average loading of each transformer. The results are then compared with the outcomes from a statistical method.

This thesis applys the modified back-propagation (MBP) algorithm to train two layer feed-forward neural network using sampled transformer data from the direct measurement for data data collection, and other related information from Provincial Electrical Authority (PEA) data base systems as the training data.

The developed forecast method is practical for further applications purposes. The test results show that an average error of the forecasted values obtained from neural network is satisfactory compared to that obtained from statistical method.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา ..... วิศวกรรมไฟฟ้า ..... ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา ..... วิศวกรรมไฟฟ้า ..... ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

ปีการศึกษา ..... 2542 ..... ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. บัณฑิต เอื้ออาภรณ์ อาจารย์ที่ปรึกษา ซึ่งท่านได้ให้คำชี้แนะและข้อคิดเห็นต่าง ๆ ในงานวิจัยมาด้วยดีตลอด และได้กรุณาตรวจสอบแก้ไขและให้คำแนะนำในการทำวิทยานิพนธ์จนสำเร็จเรียบร้อยเป็นอย่างดี ผู้วิจัยขอขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ซึ่งประกอบด้วยผู้ช่วยศาสตราจารย์ ประสิทธิ์ พิทยพัฒน์ อาจารย์ ไชยะ แช่มช้อย และคุณประหยัด เครื่องประดิษฐ์ รองผู้อำนวยการฝ่ายพัฒนาระบบไฟฟ้า การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำและตรวจสอบแก้ไขวิทยานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี นอกจากนี้ผู้วิจัยยังได้รับความช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกในด้านข้อมูลของหม้อแปลงตัวอย่างจากแผนกพัฒนาการผลิตและการใช้ไฟฟ้า กองพัฒนาระบบไฟฟ้า การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค จึงขอขอบพระคุณมา ณ ที่นี้ด้วย

ท้ายนี้ ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณ บิดา-มารดา ซึ่งสนับสนุนในด้านการเงินและให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

ณัฐพล รองศรีแย้ม

ธันวาคม 2542

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ

กิตติกรรมประกาศ..... ฉ

สารบัญ..... ช

สารบัญตาราง..... ฌ

สารบัญภาพ..... ต

บทที่

1. บทนำ..... 1

1.1 คำนำ..... 1

1.2 ความหมายของการบริหารโหลดหม้อแปลง..... 2

1.3 สภาวะการดำเนินการเกี่ยวกับการบริหารหม้อแปลงในปัจจุบัน..... 4

1.3.1 การคัดเลือกขนาดของหม้อแปลงในการจ่ายไฟฟ้า..... 4

1.3.2 วิธีการกำหนดเฟสในการจ่ายไฟฟ้าให้แก่ผู้ใช้ไฟ..... 5

1.3.3 การตรวจสอบระดับโหลดของหม้อแปลง..... 6

1.3.4 การบำรุงรักษาหม้อแปลง..... 6

1.4 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์..... 7

1.5 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์..... 7

1.6 ขั้นตอนการศึกษาและวิธีการดำเนินงาน..... 8

1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากวิทยานิพนธ์..... 9

1.8 เนื้อหาในวิทยานิพนธ์..... 9

2. ทฤษฎีเครือข่ายประสาทเทียม..... 11

2.1 การจำลองเซลล์ประสาท..... 12

2.2 การเรียนรู้ของเครือข่ายประสาท..... 14

2.3 เครือข่ายเพอร์เซฟตรอน..... 15

2.3.1 โครงสร้างและการทำงานของเครือข่ายเพอร์เซฟตรอน..... 15

2.3.2 กฎการเรียนรู้ของเพอร์เซพตรอน..... 16

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.4 การเรียนรู้แบบเกรเดียนต์เดสเซนต์..... 17
2.5 เครือข่ายประสาทแบบหลายชั้น..... 19
2.6 กฎการเรียนรู้ที่ใช้กับเครือข่ายประสาทแบบหลายชั้น..... 20
2.6.1 กฎการเรียนรู้แบบการแพร่กระจายความผิดพลาดกลับ..... 20
2.6.2 กฎการเรียนรู้แบบการแพร่กระจายความผิดพลาดกลับร่วมกับโมเมนตัม..... 24
2.6.3 กฎการเรียนรู้แบบการแพร่กระจายความผิดพลาดกลับร่วมกับกระบวนการปรับเปลี่ยนอัตราการเรียนรู้..... 25
2.6.4 วิธีการปรับสอนแบบ Modified back-propagation..... 28
2.7 ปัจจัยที่มีผลต่อการเรียนรู้ของเครือข่ายประสาท..... 28
3. การพยากรณ์โหลดหม้อแปลงโดยใช้เครือข่ายประสาทเทียม..... 30
3.1 ข้อมูลที่ใช้ในการปรับสอนและทดสอบเครือข่ายประสาท..... 31
3.1.1 ข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัด..... 31
3.1.2 ข้อมูลปริมาณการจ่ายไฟฟ้าของหม้อแปลงจากระบบฐานข้อมูลของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค..... 35
3.2 สถาปัตยกรรมของเครือข่ายประสาท..... 39
3.2.1 จำนวนยูนิตในแต่ละชั้น..... 39
3.2.2 แอกติเวชันฟังก์ชัน..... 41
3.3 การปรับสอนเครือข่ายประสาทเทียม..... 44
3.3.1 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ใช้ในการปรับสอน..... 44
3.3.2 ขั้นตอนในการปรับสอนเครือข่ายประสาทเทียม..... 44
3.4 การประยุกต์ใช้เครือข่ายประสาทเทียมในการพยากรณ์โหลดหม้อแปลง..... 47
3.5 สรุปขั้นตอนการพยากรณ์โหลดหม้อแปลงโดยใช้เครือข่ายประสาทเทียม..... 49
4. การพยากรณ์โหลดหม้อแปลงโดยใช้วิธีการทางสถิติ..... 50
4.1 ข้อมูลที่ใช้ในการพัฒนาและทดสอบแบบจำลอง..... 50
4.2 การพัฒนาแบบจำลอง..... 51
4.2.1 การปรับเส้นโค้งและการวิเคราะห์การถดถอย..... 52

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.2.2 วิธีกำลังสองน้อยที่สุด..... 53
4.2.3 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เชิงเส้น และสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ..... 57
4.2.4 การกระจายของข้อมูล..... 58
4.2.5 ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร..... 65
4.2.6 แบบจำลองสำหรับพยากรณ์โหลดหม้อแปลงแยกตามสถานที่ติดตั้งในและนอกเขตเมือง..... 66
4.2.7 แบบจำลองสำหรับพยากรณ์โหลดหม้อแปลงเฉลี่ย..... 67
4.2.8 การเลือกใช้แบบจำลอง..... 80
4.2.9 การแบ่งแยกแบบจำลองตามฤดูกาล..... 81
4.3 การประยุกต์ใช้แบบจำลองทางสถิติในการพยากรณ์โหลดหม้อแปลง..... 82
4.4 สรุปขั้นตอนการพยากรณ์โหลดหม้อแปลงโดยใช้วิธีการทางสถิติ..... 82
5. ผลการพยากรณ์โหลดหม้อแปลงโดยใช้เครือข่ายประสาทเทียมเปรียบเทียบกับวิธีการทางสถิติ..... 83
5.1 ข้อมูลที่ใช้ในการทดสอบ..... 83
5.2 การวิเคราะห์เปรียบเทียบผลการพยากรณ์กับค่าจริงที่ใช้ทดสอบ..... 85
5.3 การพยากรณ์โหลดหม้อแปลงโดยใช้เครือข่ายประสาทเทียม..... 86
5.3.1 จำนวนยูนิตในชั้นซ่อนที่เหมาะสม..... 86
5.3.2 ผลของโมเมนตัมที่มีต่อการปรับสอนเครือข่าย..... 87
5.3.3 เครือข่ายประสาทที่ใช้ในการพยากรณ์โหลดหม้อแปลง..... 89
5.3.3.1 เครือข่ายสำหรับพยากรณ์โหลดหม้อแปลงแยกตามสถานที่ติดตั้งในและนอกเขตเมือง..... 89
5.3.3.2 เครือข่ายสำหรับพยากรณ์โหลดหม้อแปลงเฉลี่ย..... 91
5.3.3.3 ผลการปรับสอนเครือข่ายสำหรับใช้ในการพยากรณ์โหลดหม้อแปลง..... 92
5.4 ตัวอย่างและผลการทดสอบการพยากรณ์โหลดหม้อแปลงโดยใช้เครือข่ายประสาทเทียม..... 93
5.4.1 ตัวอย่างการพยากรณ์โหลดหม้อแปลงโดยใช้เครือข่ายประสาทเทียม... 93

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

5.4.2 ผลการทดสอบการพยากรณ์โหลดหม้อแปลงโดยใช้เครือข่ายประสาทเทียม..... 101
5.5 การพยากรณ์โหลดหม้อแปลงโดยใช้แบบจำลองทางสถิติ..... 104
5.6 ตัวอย่างและผลการทดสอบการพยากรณ์โหลดหม้อแปลงโดยใช้แบบจำลองทางสถิติ..... 105
5.6.1 ตัวอย่างการพยากรณ์โหลดหม้อแปลงโดยใช้แบบจำลองทางสถิติ..... 105
5.6.2 ผลการทดสอบการพยากรณ์โหลดหม้อแปลงโดยใช้แบบจำลองทางสถิติ..... 113
5.7 เปรียบเทียบและวิเคราะห์ผลการทดสอบการพยากรณ์โหลดหม้อแปลงทั้ง 2 วิธี... 117
6. สรุปและข้อเสนอแนะ..... 124
6.1 สรุปผลการวิจัย..... 124
6.2 ข้อเสนอแนะสำหรับการพัฒนาเครือข่ายประสาทสำหรับนำไปใช้ในการพยากรณ์โหลดหม้อแปลงต่อไปในอนาคต..... 125
6.2.1 ข้อมูลที่ใช้ในการปรับสอน..... 125
6.2.2 กระบวนการปรับสอน..... 126
รายการอ้างอิง..... 128
ภาคผนวก..... 130
ภาคผนวก ก ผลการตรวจวัดและวิเคราะห์ข้อมูลของหม้อแปลงตัวอย่างที่ติดตั้งในเขตการไฟฟ้าภาคกลาง..... 131
ภาคผนวก ข ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรของการไฟฟ้าเขตทั้ง 12 แห่ง..... 168
ภาคผนวก ค ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร แบ่งแยกตามฤดูกาลของการไฟฟ้าเขตภาคกลาง 1..... 193
ประวัติผู้เขียน..... 196

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
3.1	จังหวัดที่ได้รับคัดเลือกให้เป็นตัวแทนเพื่อเก็บข้อมูลหม้อแปลงตัวอย่างในแต่ละเขต...	32
3.2	ตัวอย่างข้อมูลที่ได้จาก Recording wattmeter ของหม้อแปลงตัวอย่างหมายเลข 34-4219 ขนาด 50 kVA ติดตั้งนอกเขตเมือง เขตการไฟฟ้าภาคกลาง 1 จังหวัดพระนครศรีอยุธยา เดือน กรกฎาคม 2540 เวลา 18.00 – 24.00 น.	33
3.3	ตัวอย่างข้อมูลปริมาณการจ่ายไฟฟ้าของหม้อแปลงตัวอย่างหมายเลข 34-4219 ขนาด 50 kVA ติดตั้งนอกเขตเมือง เขตการไฟฟ้าภาคกลาง 1 จังหวัดพระนครศรีอยุธยา เดือน กรกฎาคม 2540.....	35
3.4	รายงานผลการตรวจวัดและการวิเคราะห์ข้อมูลของหม้อแปลงตัวอย่าง เขต กฟก.1 จังหวัด พระนครศรีอยุธยา เดือน กรกฎาคม 2540.....	38
4.1	แบบจำลองพยากรณ์ค่าตัวประกอบโหลด (kW Load factor : y) จากค่าการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมของผู้ใช้ (p.u. kWh : x).....	74
4.2	แบบจำลองพยากรณ์ค่าตัวประกอบโหลด (kW Load factor : y) จากอัตราส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าของผู้ใช้ประเภทบ้านอยู่อาศัย (% household : x).....	75
4.3	แบบจำลองพยากรณ์ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า (P.F. at peak load : y) จากค่าการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมของผู้ใช้ (p.u. kWh : x).....	76
4.4	แบบจำลองพยากรณ์ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า (P.F. at peak load : y) จากอัตราส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าของผู้ใช้ประเภทบ้านอยู่อาศัย (% household : x).....	77
4.4	แบบจำลองเฉลี่ยสำหรับการพยากรณ์ค่าตัวประกอบโหลด (kW Load factor : y) จากค่าการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมของผู้ใช้ (p.u. kWh : x).....	78
4.6	แบบจำลองเฉลี่ยสำหรับการพยากรณ์ค่าค่าตัวประกอบโหลด (kW Load factor : y) จากอัตราส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าของผู้ใช้ประเภทบ้านอยู่อาศัย (% household : x)...	79
5.1	ผลการเปรียบเทียบการปรับสอนเครือข่ายประสาทที่มีจำนวนยูนิตในชั้นซ่อนแตกต่างกัน.....	87
5.2	ผลการเปรียบเทียบผลกระทบของโมเมนตัมที่มีต่อการปรับสอน.....	88
5.3 (ก)	ค่าถ่วงน้ำหนักและค่าไบอัสของยูนิตในชั้นซ่อนของเครือข่ายที่ได้รับการปรับสอนสำหรับใช้พยากรณ์โหลดหม้อแปลงที่ติดตั้งในและนอกเขตเมือง.....	90

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
5.3 (ข)	ค่าถ่วงน้ำหนักและค่าไบอัสของยูนิตในชั้นตัวแปรด้านนอกของเครือข่ายที่ได้รับการปรับสอนสำหรับใช้พยากรณ์โหลดหม้อแปลงที่ติดตั้งในและนอกเขตเมือง.....	90
5.4 (ก)	ค่าถ่วงน้ำหนักและค่าไบอัสของยูนิตในชั้นซ่อนของเครือข่ายที่ได้รับการปรับสอนสำหรับใช้พยากรณ์โหลดหม้อแปลงเฉลี่ย.....	91
5.4 (ข)	ค่าถ่วงน้ำหนักและค่าไบอัสของยูนิตในชั้นตัวแปรด้านนอกของเครือข่ายที่ได้รับการปรับสอนสำหรับใช้พยากรณ์โหลดหม้อแปลงเฉลี่ย.....	92
5.5	ผลการเปรียบเทียบการปรับสอนเครือข่ายที่ใช้ในการพยากรณ์โหลดหม้อแปลง.....	92
5.6	ตัวอย่างการป้อนข้อมูลตัวแปรด้านเข้าให้แก่เครือข่ายประสาทเทียมเพื่อพยากรณ์โหลดหม้อแปลงที่ติดตั้งในเขตการไฟฟ้าภาคกลาง 1.....	94
5.7	การคำนวณค่า Mean square error ที่เกิดขึ้นจากการใช้เครือข่ายประสาทเทียมในการพยากรณ์ค่า kW Load factor และค่า P.F. at peak load ของหม้อแปลงทดสอบที่ติดตั้งในเขตการไฟฟ้าภาคกลาง 1.....	96
5.8	การคำนวณค่า Mean absolute error ที่เกิดจากการนำค่า kW Load factor และ P.F. at peak load ที่พยากรณ์ได้จากเครือข่ายประสาทเทียมมาใช้ในการคำนวณหาค่า Peak load ของหม้อแปลงทดสอบที่ติดตั้งในเขตการไฟฟ้าภาคกลาง 1.....	98
5.9	การคำนวณค่า Mean square error ที่เกิดจากการนำค่า kW Load factor และ P.F. at peak load ที่พยากรณ์ได้จากเครือข่ายประสาทเทียมมาใช้ในการคำนวณหาค่า Utilization factor และ Loading point ของหม้อแปลงทดสอบในเขตการไฟฟ้าภาคกลาง 1.....	99
5.10	สรุปค่าผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากการใช้เครือข่ายประสาทเทียมในการพยากรณ์โหลดหม้อแปลงแยกตามสถานที่ติดตั้งในและนอกเขตเมือง แยกตามแต่ละการไฟฟ้าเขต....	101
5.11	สรุปค่าผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากการใช้เครือข่ายประสาทเทียมในการพยากรณ์โหลดหม้อแปลงเฉลี่ย แยกตามแต่ละการไฟฟ้าเขต.....	102
5.12	สรุปค่าผิดพลาดที่เกิดจากการพยากรณ์โหลดหม้อแปลงโดยใช้เครือข่ายประสาทเทียม	102

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
5.13	แบบจำลองทางสถิติที่ใช้ในการพยากรณ์โหลดของหม้อแปลงที่ติดตั้งในเขตการไฟฟ้าภาคกลาง 1	105
5.14	การเลือกใช้แบบจำลองเพื่อพยากรณ์โหลดของหม้อแปลงทดสอบที่ติดตั้งในเขตการไฟฟ้าภาคกลาง 1	106
5.15	การคำนวณค่า Mean square error ที่เกิดขึ้นจากการใช้แบบจำลองทางสถิติในการพยากรณ์ค่า kW Load factor และค่า P.F. at peak load ของหม้อแปลงทดสอบที่ติดตั้งในเขตการไฟฟ้าภาคกลาง 1	108
5.16	การคำนวณค่า Mean absolute error ที่เกิดจากการนำค่า kW Load factor และ P.F. at peak load ที่พยากรณ์ได้จากแบบจำลองทางสถิติมาใช้ในการคำนวณหาค่า Peak load ของหม้อแปลงทดสอบที่ติดตั้งในเขตการไฟฟ้าภาคกลาง 1	110
5.17	การคำนวณค่า Mean square error ที่เกิดจากการนำค่า kW Load factor และ P.F. at peak load ที่พยากรณ์ได้จากแบบจำลองทางสถิติมาใช้ในการคำนวณหาค่า Utilization factor และ Loading point ของหม้อแปลงทดสอบในเขตการไฟฟ้าภาคกลาง 1	111
5.18	สรุปค่าผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากการใช้แบบจำลองทางสถิติในการพยากรณ์โหลดหม้อแปลงแยกตามสถานที่ติดตั้งในและนอกเขตเมือง แยกตามแต่ละการไฟฟ้าเขต	114
5.19	สรุปค่าผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากการใช้แบบจำลองทางสถิติในการพยากรณ์โหลดหม้อแปลงเฉลี่ย แยกตามแต่ละการไฟฟ้าเขต	115
5.20	สรุปค่าผิดพลาดที่เกิดจากการพยากรณ์โหลดหม้อแปลงโดยใช้แบบจำลองทางสถิติ	115
5.21	ผลการทดสอบการพยากรณ์โหลดหม้อแปลงโดยใช้เครือข่ายประสาทเทียมเปรียบเทียบกับวิธีการทางสถิติ	118
5.22	ความผิดพลาดของผลการทดสอบการพยากรณ์โหลดหม้อแปลงโดยใช้เครือข่ายประสาทเทียมเปรียบเทียบกับวิธีการทางสถิติ (%)	122
ก1	รายงานผลการตรวจวัดและการวิเคราะห์ข้อมูลหม้อแปลงตัวอย่าง เขต ก1 จังหวัดพระนครศรีอยุธยา (อำเภอ ท่าเรือ) เดือน กรกฎาคม 2540	132

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
ก2	รายงานผลการตรวจวัดและการวิเคราะห์ข้อมูลหม้อแปลงตัวอย่าง เขต ก1 จังหวัดอ่างทอง เดือน สิงหาคม 2540	133
ก3	รายงานผลการตรวจวัดและการวิเคราะห์ข้อมูลหม้อแปลงตัวอย่าง เขต ก1 จังหวัดพระนครศรีอยุธยา (อำเภอ ท่าเรือ) เดือน กันยายน 2540	134
ก4	รายงานผลการตรวจวัดและการวิเคราะห์ข้อมูลหม้อแปลงตัวอย่าง เขต ก1 จังหวัดอ่างทอง เดือน ตุลาคม 2540	135
ก5	รายงานผลการตรวจวัดและการวิเคราะห์ข้อมูลหม้อแปลงตัวอย่าง เขต ก1 จังหวัดพระนครศรีอยุธยา (อำเภอ ท่าเรือ) เดือน ธันวาคม 2541	136
ก6	รายงานผลการตรวจวัดและการวิเคราะห์ข้อมูลหม้อแปลงตัวอย่าง เขต ก1 จังหวัดอ่างทอง เดือน มกราคม 2541	137
ก7	รายงานผลการตรวจวัดและการวิเคราะห์ข้อมูลหม้อแปลงตัวอย่าง เขต ก1 จังหวัด.พระนครศรีอยุธยา (อำเภอ ท่าเรือ) เดือน กุมภาพันธ์ 2541	138
ก8	รายงานผลการตรวจวัดและการวิเคราะห์ข้อมูลหม้อแปลงตัวอย่าง เขต ก1 จังหวัดอ่างทอง เดือน มีนาคม 2541	139
ก9	รายงานผลการตรวจวัดและการวิเคราะห์ข้อมูลหม้อแปลงตัวอย่าง เขต ก1 จังหวัดพระนครศรีอยุธยา (อำเภอ ท่าเรือ) เดือน เมษายน 2541	140
ก10	รายงานผลการตรวจวัดและการวิเคราะห์ข้อมูลหม้อแปลงตัวอย่าง เขต ก1 จังหวัดอ่างทอง เดือน พฤษภาคม 2541	141
ก11	รายงานผลการตรวจวัดและการวิเคราะห์ข้อมูลหม้อแปลงตัวอย่าง เขต ก1 จังหวัดพระนครศรีอยุธยา (อำเภอ ท่าเรือ) เดือน มิถุนายน 2541	142
ก12	รายงานผลการตรวจวัดและการวิเคราะห์ข้อมูลหม้อแปลงตัวอย่าง เขต ก2 จังหวัดชลบุรี เดือน กรกฎาคม 2540	143
ก13	รายงานผลการตรวจวัดและการวิเคราะห์ข้อมูลหม้อแปลงตัวอย่าง เขต ก2 จังหวัดระยอง เดือน สิงหาคม 2540	144
ก14	รายงานผลการตรวจวัดและการวิเคราะห์ข้อมูลหม้อแปลงตัวอย่าง เขต ก2 จังหวัดชลบุรี เดือน กันยายน 2540	145

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
ก15	รายงานผลการตรวจวัดและการวิเคราะห์ข้อมูลหม้อแปลงตัวอย่าง เขต ก2 จังหวัดระยอง เดือน ตุลาคม 2540	146
ก16	รายงานผลการตรวจวัดและการวิเคราะห์ข้อมูลหม้อแปลงตัวอย่าง เขต ก2 จังหวัดชลบุรี เดือน พฤศจิกายน 2540	147
ก17	รายงานผลการตรวจวัดและการวิเคราะห์ข้อมูลหม้อแปลงตัวอย่าง เขต ก2 จังหวัดระยอง เดือน ธันวาคม 2540	148
ก18	รายงานผลการตรวจวัดและการวิเคราะห์ข้อมูลหม้อแปลงตัวอย่าง เขต ก2 จังหวัดชลบุรี เดือน กุมภาพันธ์ 2541	149
ก19	รายงานผลการตรวจวัดและการวิเคราะห์ข้อมูลหม้อแปลงตัวอย่าง เขต ก2 จังหวัดระยอง เดือน มีนาคม 2541	150
ก20	รายงานผลการตรวจวัดและการวิเคราะห์ข้อมูลหม้อแปลงตัวอย่าง เขต ก2 จังหวัดชลบุรี เดือน เมษายน 2541	151
ก21	รายงานผลการตรวจวัดและการวิเคราะห์ข้อมูลหม้อแปลงตัวอย่าง เขต ก2 จังหวัดระยอง เดือน พฤษภาคม 2541	152
ก22	รายงานผลการตรวจวัดและการวิเคราะห์ข้อมูลหม้อแปลงตัวอย่าง เขต ก2 จังหวัดชลบุรี เดือน มิถุนายน 2541	153
ก23	รายงานผลการตรวจวัดและการวิเคราะห์ข้อมูลหม้อแปลงตัวอย่าง เขต ก2 จังหวัดระยอง เดือน กรกฎาคม 2541	154
ก24	รายงานผลการตรวจวัดและการวิเคราะห์ข้อมูลหม้อแปลงตัวอย่าง เขต ก2 จังหวัดชลบุรี เดือน สิงหาคม 2541	155
ก25	รายงานผลการตรวจวัดและการวิเคราะห์ข้อมูลหม้อแปลงตัวอย่าง เขต ก3 จังหวัดกาญจนบุรี เดือน กรกฎาคม 2540	156
ก26	รายงานผลการตรวจวัดและการวิเคราะห์ข้อมูลหม้อแปลงตัวอย่าง เขต ก3 จังหวัดนครปฐม เดือน สิงหาคม 2540	157
ก27	รายงานผลการตรวจวัดและการวิเคราะห์ข้อมูลหม้อแปลงตัวอย่าง เขต ก3 จังหวัดกาญจนบุรี เดือน กันยายน 2540	158

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

ก28 รายงานผลการตรวจวัดและการวิเคราะห์ข้อมูลหม้อแปลงตัวอย่าง เขต ก3 จังหวัดนครปฐม เดือน ตุลาคม 2540 159

ก29 รายงานผลการตรวจวัดและการวิเคราะห์ข้อมูลหม้อแปลงตัวอย่าง เขต ก3 จังหวัดกาญจนบุรี เดือน พฤศจิกายน 2540 160

ก30 รายงานผลการตรวจวัดและการวิเคราะห์ข้อมูลหม้อแปลงตัวอย่าง เขต ก3 จังหวัดนครปฐม เดือน ธันวาคม 2540 161

ก31 รายงานผลการตรวจวัดและการวิเคราะห์ข้อมูลหม้อแปลงตัวอย่าง เขต ก3 จังหวัดกาญจนบุรี เดือน มกราคม 2541 162

ก32 รายงานผลการตรวจวัดและการวิเคราะห์ข้อมูลหม้อแปลงตัวอย่าง เขต ก3 จังหวัดนครปฐม เดือน กุมภาพันธ์ 2541 163

ก33 รายงานผลการตรวจวัดและการวิเคราะห์ข้อมูลหม้อแปลงตัวอย่าง เขต ก3 จังหวัดกาญจนบุรี เดือน มีนาคม 2541 164

ก34 รายงานผลการตรวจวัดและการวิเคราะห์ข้อมูลหม้อแปลงตัวอย่าง เขต ก3 จังหวัดนครปฐม เดือน เมษายน 2541 165

ก35 รายงานผลการตรวจวัดและการวิเคราะห์ข้อมูลหม้อแปลงตัวอย่าง เขต ก3 จังหวัดกาญจนบุรี เดือน พฤษภาคม 2541 166

ก36 รายงานผลการตรวจวัดและการวิเคราะห์ข้อมูลหม้อแปลงตัวอย่าง เขต ก3 จังหวัดนครปฐม เดือน มิถุนายน 2541 167

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

รูปที่		หน้า
2.1	เซลล์ประสาทอย่างง่าย	12
2.2	เซลล์ประสาทเทียมอย่างง่าย	13
2.3	เครือข่ายเพอร์เซพตรอน	16
2.4	เครือข่ายประสาทแบบป้อนไปสู่ข้างหน้าที่มี 2 ชั้น	20
2.5	แผนภูมิแสดงการทำงานของเครือข่ายประสาทที่ใช้กระบวนการเรียนรู้แบบแพร่กระจายความผิดพลาดกลับ	23
3.1	ลักษณะสมบัติของฟังก์ชันไบนารีซิกมอยด์	42
3.2	สถาปัตยกรรมของเครือข่ายประสาทที่ใช้ในการพยากรณ์โหลดหม้อแปลง	43
3.3	แผนภูมิแสดงขั้นตอนการปรับสอนเครือข่ายประสาทโดยใช้กระบวนการปรับสอนแบบแพร่กระจายความผิดพลาดกลับร่วมกับโมเมนตัมและวิธีปรับเปลี่ยนอัตราการเรียนรู้ (MBP)	46
4.1	จุดข้อมูลและเส้นโค้งที่ใช้ในการประมาณค่า	53
4.2	ความสัมพันธ์ระหว่างค่า kW Load factor และปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าเขต กฟก.1	59
4.3	ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Power factor และปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าเขต กฟก.1	60
4.4	ความสัมพันธ์ระหว่างค่า kW Load factor และปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าเขต กฟก.2	61
4.5	ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Power factor และปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าเขต กฟก.2	62
4.6	ความสัมพันธ์ระหว่างค่า kW Load factor และปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าเขต กฟก.3	63
4.7	ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Power factor และปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าเขต กฟก.3	64
4.8	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าตัวประกอบโหลด และอัตราส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าของบ้านอยู่อาศัยใน และนอกเมือง เขต กฟก.1	68
4.9	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าตัวประกอบโหลด และการจ่ายพลังงานไฟฟ้าของหม้อแปลง (p.u.) ใน และนอกเมือง เขต กฟก.1	68
4.10	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า และอัตราส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าของบ้านอยู่อาศัยใน และนอกเมือง เขต กฟก.1	69

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.11	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า และการจ่ายพลังงานไฟฟ้าของหม้อแปลง (p.u.) ใน และนอกเมือง เขต กฟก.1	69
4.12	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าตัวประกอบโหลด และอัตราส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าของบ้านอยู่อาศัยใน และนอกเมือง เขต กฟก.2	70
4.13	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าตัวประกอบโหลด และการจ่ายพลังงานไฟฟ้าของหม้อแปลง (p.u.) ใน และนอกเมือง เขต กฟก.2	70
4.14	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า และอัตราส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าของบ้านอยู่อาศัยใน และนอกเมือง เขต กฟก.2	71
4.15	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า และการจ่ายพลังงานไฟฟ้าของหม้อแปลง (p.u.) ใน และนอกเมือง เขต กฟก.2	71
4.16	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าตัวประกอบโหลด และอัตราส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าของบ้านอยู่อาศัยใน และนอกเมือง เขต กฟก.3	72
4.17	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าตัวประกอบโหลด และการจ่ายพลังงานไฟฟ้าของหม้อแปลง (p.u.) ใน และนอกเมือง เขต กฟก.3	72
4.18	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า และอัตราส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าของบ้านอยู่อาศัยใน และนอกเมือง เขต กฟก.3	73
4.19	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า และการจ่ายพลังงานไฟฟ้าของหม้อแปลง (p.u.) ใน และนอกเมือง เขต กฟก.3	73
ข1	การไฟฟ้าเขตภาคเหนือ 1	169
ข2	การไฟฟ้าเขตภาคเหนือ 2	171
ข3	การไฟฟ้าเขตภาคเหนือ 3	173
ข4	การไฟฟ้าเขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือ 1	175
ข5	การไฟฟ้าเขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือ 2	177
ข6	การไฟฟ้าเขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือ 3	179
ข7	การไฟฟ้าเขตภาคกลาง 1	181
ข8	การไฟฟ้าเขตภาคกลาง 2	183

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่		หน้า
ข9	การไฟฟ้าเขตภาคกลาง 3	185
ข10	การไฟฟ้าเขตภาคใต้ 1	187
ข11	การไฟฟ้าเขตภาคใต้ 2	189
ข12	การไฟฟ้าเขตภาคใต้ 3	191
ค1	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าตัวประกอบการใช้ไฟฟ้า และอัตราส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าของบ้านอยู่อาศัยแบ่งตามฤดูกาล เขต กฟก.1	194
ค2	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าตัวประกอบการใช้ไฟฟ้า และการจ่ายพลังงานไฟฟ้าของหม้อแปลง (p.u.) แบ่งตามฤดูกาล เขต กฟก.1	194
ค3	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า และอัตราส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าของบ้านอยู่อาศัยแบ่งตามฤดูกาล เขต กฟก.1	195
ค4	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า และการจ่ายพลังงานไฟฟ้าของหม้อแปลง (p.u.) แบ่งตามฤดูกาล เขต กฟก.1	195

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย