

การคำนวณโหลดโพลีโดยใช้เครือข่ายประสาท



นายประดิษฐ์ เพ็องฟู

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

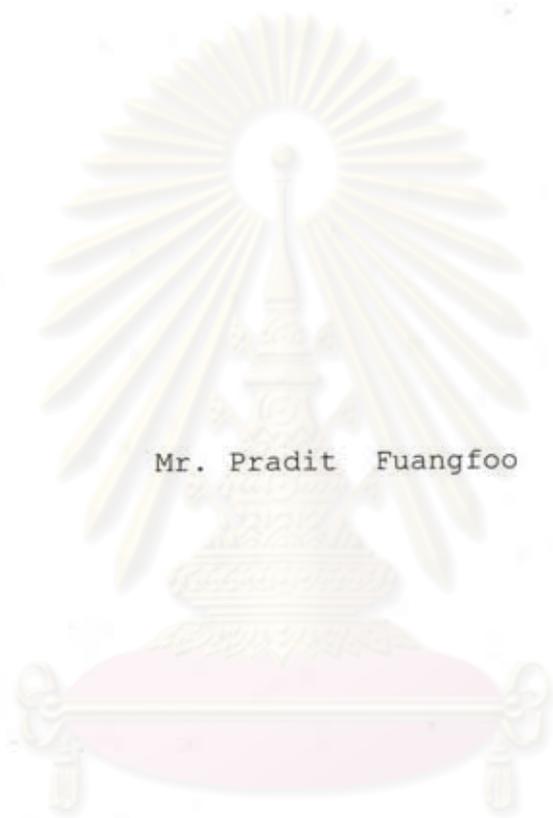
ปีการศึกษา 2539

ISBN 974-636-358-1

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I 17293078

LOAD FLOW CALCULATION USING A NEURAL NETWORK



Mr. Pradit Fuangfoo

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

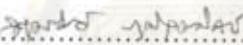
A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering
Graduate School
Chulalongkorn University
Academic Year 1996
ISBN 974-636-358-1

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การคำนวณโหลดไฟลต์โดยใช้เครือข่ายประสาท
โดย นายประดิษฐ์ เพ็องฟู
ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. บัณฑิต เอื้ออาภรณ์

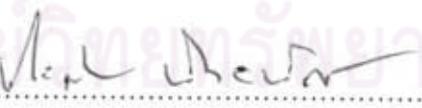
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

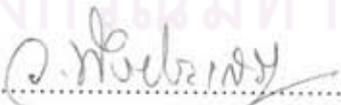

.....
(ศาสตราจารย์ นายแพทย์ ศุภวรงค์ ชุตินวงศ์) คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


.....
(รองศาสตราจารย์ ดร. สุชুমวิทย์ ภูมิวุฒิสาร) ประธานกรรมการ


.....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. บัณฑิต เอื้ออาภรณ์) อาจารย์ที่ปรึกษา


.....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ประสิทธิ์ พิทยพัฒน์) กรรมการ


.....
(นายวุฒิชัย พึ่งประเสริฐ) กรรมการ

พิมพ์ต้นฉบับบทความวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสี่เหลี่ยมนี้เพียงแผ่นเดียว



ประดิษฐ์ เพื่อฟัง : การคำนวณโหลดโพลีโดยใช้เครือข่ายประสาท (LOAD FLOW CALCULATION USING A NEURAL NETWORK) อ.ที่ปรึกษา : ผศ. ดร. บัณฑิต เอื้ออาภรณ์ , 152 หน้า ISBN 974-636-358-1

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการประยุกต์ทฤษฎีเครือข่ายประสาทสำหรับการคำนวณโหลดโพลี โดยเครือข่ายประสาทที่ใช้ประกอบด้วยเครือข่ายประสาทแบบสองชั้นชนิดป้อนไปสู่อข้างหน้า (Two layer feedforward neural network) ส่วนการปรับสอนเครือข่ายประสาทใช้กฎการเรียนรู้แบบเดลตา-บาร์-เดลตา (Delta-Bar-Delta)

ในการปรับสอนเครือข่ายประสาททำได้โดยการสุ่มค่าของกำลังไฟฟ้าที่โหลดต้องการและกำลังไฟฟ้าที่เครื่องกำเนิดจ่ายให้กับโหลด โดยสุ่มค่าให้ครอบคลุมกำลังไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงที่จะเกิดขึ้นจริงเป็นจำนวนที่เพียงพอเพื่อให้เครือข่ายประสาทเรียนรู้การทำงานของระบบไฟฟ้ากำลังที่นำมาทดสอบ

จากผลการวิจัยและทดสอบกับระบบมาตรฐานจำนวน 4 ระบบ ขนาด 6 บัส 14 บัส 30 บัส และ 57 บัส พบว่าจากการคำนวณโหลดโพลีโดยใช้เครือข่ายประสาทสามารถกระทำได้ในเวลาอันรวดเร็วมาก โดยผลตอบของแรงดันไฟฟ้ามีความผิดพลาดน้อยเมื่อการปรับสอนเครือข่ายประสาทให้เรียนรู้ระบบเพียงพอ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า.....
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้ากำลัง.....
ปีการศึกษา2539.....

ลายมือชื่อนิสิต
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

##C715686 : MAJOR ELECTRICAL ENGINEERING

KEY WORD: LOAD FLOW / NEURAL NETWORK / TRAINING / BACK-PROPAGATION / DELTA-BAR-DELTA RULE

PRADIT FUANGFOO : LOAD FLOW CALCULATION USING A NEURAL NETWORK.
THESIS ADVISOR : ASST. PROF. Dr. BUNDHIT EUA-ARPORN, Ph.D., 152 pp.
ISBN 974-636-358-1

This thesis presents the results of power system load flow solved by the two layer feedforward neural network, using delta-bar-delta learning rule in the training process.

Based on the neural network method, the values of the required (load power) and the generated powers, which are supposed to cover all the values that could possibly occurred in the test systems, are randomly selected. The developed method has been tested with IEEE test systems 6 buses 14 buses 30 buses and 57 buses.

With the developed method, load flow results can be calculated within a much shorter time compared to the conventional power flow method, eg. Newton Raphson, Fast Decouple etc. In case that neural network program has been sufficiently trained, satisfactory results can also be obtained.

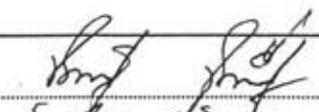


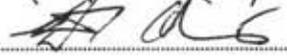
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา.....วิศวกรรมไฟฟ้า

สาขาวิชา.....วิศวกรรมไฟฟ้ากำลัง

ปีการศึกษา..... 2539

ลายมือชื่อนิสิต..... 

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา..... 

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม..... -

กิตติกรรมประกาศ

ในการจัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จลุล่วงเป็นอย่างดี ผู้วิจัยใคร่ขอขอบคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. บัณฑิต เอื้ออาภรณ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่กรุณาให้คำแนะนำที่ดี ให้ข้อเสนอแนะต่างๆ ที่เป็นประโยชน์ในการวิจัยตลอดเวลา และกรุณาตรวจสอบแก้ไขวิทยานิพนธ์อย่างเต็มที่ และขอขอบคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ซึ่งประกอบด้วย รองศาสตราจารย์ ดร. สุขุมวิทย์ ภูมิวุฒิสาร ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ประสิทธิ์ พิทยพัฒน์ และคุณวุฒิชัย พิงประเสริฐ หัวหน้ากองบริหารงานวิจัย การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย ที่กรุณาให้คำแนะนำและตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วงด้วยดี

นอกจากนั้นผู้วิจัยยังได้รับความช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกในการจัดทำต้นฉบับวิทยานิพนธ์จากคุณธงชัย มีนวล คุณอำไพ โพธิ์คำ คุณภาณุพงศ์ มีนวล คุณกิตติศักดิ์ วรรณแก้ว และคุณจิตรา พุฒตา และผู้วิจัยได้รับการสนับสนุนด้านการเงินบางส่วนในการศึกษาระดับปริญญาโทบัณฑิตครั้งนี้จากการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (กฟภ.) ซึ่งขอขอบคุณมา ณ ที่นี้ด้วย

สุดท้ายผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ และคุณจำลอง เฟื่องฟู พี่ชายที่แสนดี ซึ่งได้ให้การสนับสนุนและเป็นกำลังใจตลอดการจัดทำวิทยานิพนธ์นี้

ประดิษฐ์ เฟื่องฟู

เมษายน 2540

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ข
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญภาพ.....	ฐ
บทที่	
1. บทนำทั่วไป.....	1
1.1 สภาวะการทำงานของระบบไฟฟ้ากำลัง.....	1
1.2 ความหมายของการวิเคราะห์โหลดไฟลว์.....	3
1.3 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์.....	4
1.4 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์.....	5
1.5 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน.....	5
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากวิทยานิพนธ์.....	5
1.7 เนื้อหาในวิทยานิพนธ์.....	6
2. การคำนวณโหลดไฟลว์แบบดั้งเดิม.....	7
2.1 ชนิดของบัส.....	7
2.2 สมการพื้นฐานในการคำนวณโหลดไฟลว์.....	8
2.3 การสร้างบัสแอดมิตแตนซ์เมตริกซ์โดยวิธีอีลิเมนต์สแตมป์.....	10
2.4 การคำนวณโหลดไฟลว์ด้วยวิธีนิวตัน-ราฟสันแบบอนุพันธ์อันดับที่หนึ่ง.....	15
2.5 การคำนวณโหลดไฟลว์ด้วยวิธีนิวตัน-ราฟสันแบบอนุพันธ์อันดับที่สอง.....	30
2.6 ข้อเสนอแนะสำหรับการคำนวณโหลดไฟลว์ด้วยวิธีนิวตัน-ราฟสัน.....	36
2.7 การคำนวณโหลดไฟลว์ด้วยวิธีฟาสต์ดีคัปเปิล.....	37
2.8 การคำนวณกำลังไฟฟ้าและกำลังสูญเสียในสายส่งและหม้อแปลงไฟฟ้า.....	41

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3. ทฤษฎีเครือข่ายประสาท.....	43
3.1 การจำลองเซลล์ประสาท.....	44
3.2 การเรียนรู้ของเครือข่ายประสาท.....	46
3.3 เครือข่ายเพอร์เซพตรอน.....	48
3.4 ยูนิตเชิงเส้น.....	52
3.5 ยูนิตไม่เชิงเส้น.....	57
3.6 เครือข่ายประสาทแบบหลายชั้น.....	59
4. การคำนวณโหนดโพลีโดยใช้เครือข่ายประสาท.....	69
4.1 ข้อมูลที่ใช้ในการปรับสอนเครือข่ายประสาท.....	70
4.2 การประยุกต์ใช้เครือข่ายประสาทในการคำนวณโหนดโพลี.....	73
4.3 สรุปขั้นตอนการคำนวณโหนดโพลีโดยใช้เครือข่ายประสาท.....	79
5. การวิเคราะห์การคำนวณโหนดโพลีโดยใช้เครือข่ายประสาท.....	83
5.1 ข้อมูลที่ใช้ในการทดสอบการคำนวณโหนดโพลีโดยใช้เครือข่ายประสาท.....	83
5.2 อัตราการเรียนรู้ที่เหมาะสมสำหรับการปรับสอนของระบบทดสอบ.....	83
5.3 ผลการวิเคราะห์การคำนวณโหนดโพลีของระบบ 6 บิต.....	84
5.4 ผลการวิเคราะห์การคำนวณโหนดโพลีของระบบ 14 บิต.....	91
5.5 ผลการวิเคราะห์การคำนวณโหนดโพลีของระบบ 30 บิต.....	96
5.6 ผลการวิเคราะห์การคำนวณโหนดโพลีของระบบ 57 บิต.....	103
5.7 การเปรียบเทียบผลการคำนวณโหนดโพลีระหว่างวิธีการปรับสอนเครือข่าย ประสาทด้วยกฎการเรียนรู้ Standard back-propagation with momentum, SBM และกฎ Delta-Bar-Delta, DBD.....	112
5.8 สรุปผลการคำนวณโหนดโพลีโดยใช้เครือข่ายประสาท.....	114
5.9 การปรับเปลี่ยนข้อมูลระบบทดสอบเพื่อให้เหมาะสมกับการปรับสอน.....	115

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
6. สรุปและข้อเสนอแนะ.....	117
6.1 ข้อมูลที่ใช้ในการปรับสอน.....	118
6.2 ข้อเสนอแนะสำหรับการพัฒนาเครือข่ายประสาทในการคำนวณ โหลดไฟล์ต่อไป.....	118
รายการอ้างอิง.....	119
ภาคผนวก ก. การใช้งานโปรแกรมการคำนวณโหลดไฟล์โดยใช้เครือข่ายประสาท.....	123
ก.1 การใช้โปรแกรมสำหรับการเขียนข้อมูลสำหรับการปรับสอนลงในไฟล์....	124
ก.2 การใช้โปรแกรมสำหรับการปรับสอนด้วยกฎ SBM และกฎ DBD.....	127
ก.3 การใช้โปรแกรมการคำนวณโหลดไฟล์โดยใช้เครือข่ายประสาท.....	128
ก.4 การใช้โปรแกรมการคำนวณโหลดไฟล์แบบดั้งเดิม.....	128
ภาคผนวก ข. ข้อมูลของระบบทดสอบ.....	128
ข.1 ข้อมูลระบบ 6 บิต.....	129
ข.2 ข้อมูลระบบ 14 บิต.....	130
ข.3 ข้อมูลระบบ 30 บิต.....	132
ข.4 ข้อมูลระบบ 57 บิต.....	135
ภาคผนวก ค. ข้อมูลทดสอบการคำนวณโหลดไฟล์โดยใช้เครือข่ายประสาท.....	141
ประวัติผู้เขียน.....	152

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 แสดงสูตรการคำนวณหา B' และ B" แบบ BX.....	40
4.1(ก) แสดงข้อมูลตัวอย่างของตัวแปรด้านเข้าที่ใช้ปรับสอนของระบบ 6 บัสด.....	75
4.1(ข) แสดงข้อมูลตัวอย่างของผลลัพธ์ที่ต้องการที่ใช้ปรับสอนของระบบ 6 บัสด.....	76
4.2 แสดงค่าตัวแปรที่แนะนำให้ใช้สำหรับปรับการสอน.....	79
5.1 แสดงการลู่เข้าของค่าถ่วงน้ำหนักเมื่อปรับเปลี่ยนอัตราการเรียนรู้ ของระบบทดสอบ 14 บัสด.....	84
5.2 แสดงอัตราการเรียนรู้ที่เหมาะสมสำหรับแต่ละระบบทดสอบ.....	84
5.3 แสดงเวลาและจำนวนรอบที่ใช้ในการปรับสอนของระบบ 6 บัสด.....	85
5.4 แสดงความผิดพลาดสัมบูรณ์เฉลี่ย (%) ของแรงดันไฟฟ้า ที่ใช้ข้อมูล ในการปรับสอนที่ค่า p ต่างๆ ของระบบ 6 บัสด.....	86
5.5 แสดงการเปรียบเทียบผลการคำนวณโหลดโพล์ระหว่างวิธีฟาสต์ดีคัปเปิล และเครือข่ายประสาทของระบบ 6 บัสด.....	88
5.5 แสดงความผิดพลาดสัมบูรณ์เฉลี่ย (%) ของแรงดันไฟฟ้า ที่ใช้จำนวนข้อมูล ในการปรับสอน $p = 15,000$ และ $p = 50,000$ ของระบบ 6 บัสด.....	88
5.7(ก) แสดงจำนวนรอบในการคำนวณโหลดโพล์ของระบบ 6 บัสดที่ $\epsilon = 0.01$	89
5.7(ข) แสดงจำนวนรอบในการคำนวณโหลดโพล์ของระบบ 6 บัสดที่ $\epsilon = 0.001$	90
5.8(ก) แสดงความคลาดเคลื่อน (%) ขนาดแรงดันไฟฟ้าที่รูปแบบต่างๆ ของระบบ 6 บัสด.....	90
5.8(ข) แสดงความคลาดเคลื่อน (%) มุมแรงดันไฟฟ้าที่รูปแบบต่างๆ ของระบบ 6 บัสด.....	91
5.9 แสดงเวลาและจำนวนรอบที่ใช้ในการปรับสอนของระบบ 14 บัสด.....	91
5.10 แสดงความผิดพลาดสัมบูรณ์เฉลี่ย (%) ของแรงดันไฟฟ้า ที่ใช้ข้อมูลในการ ปรับสอนที่ค่า p ต่างๆ ของระบบ 14 บัสด.....	93
5.11 แสดงการเปรียบเทียบผลการคำนวณโหลดโพล์ระหว่างวิธีฟาสต์ดีคัปเปิล และเครือข่ายประสาทของระบบ 14 บัสด.....	93

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
5.12(ก) แสดงจำนวนรอบในการคำนวณโหลดไฟลว์ของระบบ 14 บัสที่ $\epsilon = 0.01$	94
5.12(ข) แสดงจำนวนรอบในการคำนวณโหลดไฟลว์ของระบบ 14 บัสที่ $\epsilon = 0.001$	94
5.13(ก) แสดงความคลาดเคลื่อน (%) ขนาดแรงดันไฟฟ้าที่รูปแบบต่างๆ ของระบบ 14 บัส....	95
5.13(ข) แสดงความคลาดเคลื่อน (%) มุมแรงดันไฟฟ้าที่รูปแบบต่างๆ ของระบบ 14 บัส.....	95
5.14 แสดงเวลาและจำนวนรอบที่ใช้ในการปรับสอนของระบบ 30 บัส.....	96
5.15 แสดงความผิดพลาดสัมบูรณ์เฉลี่ย (%) ของแรงดันไฟฟ้า ที่ใช้ข้อมูลในการปรับสอน ที่ค่า p ต่างๆ ของระบบ 30 บัส.....	97
5.16 แสดงการเปรียบเทียบผลการคำนวณโหลดไฟลว์ระหว่างวิธีฟาสต์ดีคัปเปิล และเครือข่ายประสาทของระบบ 30 บัส.....	99
5.17(ก) แสดงจำนวนรอบในการคำนวณโหลดไฟลว์ของระบบ 30 บัสที่ $\epsilon = 0.01$	100
5.17(ข) แสดงจำนวนรอบในการคำนวณโหลดไฟลว์ของระบบ 30 บัสที่ $\epsilon = 0.001$	100
5.18(ก) แสดงความคลาดเคลื่อน (%) ขนาดแรงดันไฟฟ้าที่รูปแบบต่างๆ ของระบบ 30 บัส...	101
5.18(ข) แสดงความคลาดเคลื่อน (%) มุมแรงดันไฟฟ้าที่รูปแบบต่างๆ ของระบบ 30 บัส.....	102
5.19 แสดงเวลาและจำนวนรอบที่ใช้ในการปรับสอนของระบบ 57 บัส.....	103
5.20 แสดงความผิดพลาดสัมบูรณ์เฉลี่ย (%) ของแรงดันไฟฟ้า ที่ใช้ข้อมูลในการปรับสอน ที่ค่า p ต่างๆ ของระบบ 57 บัส.....	103
5.21 แสดงการเปรียบเทียบผลการคำนวณโหลดไฟลว์ระหว่างวิธีฟาสต์ดีคัปเปิล และเครือข่ายประสาทของระบบ 57 บัส.....	105
5.22(ก) แสดงจำนวนรอบในการคำนวณโหลดไฟลว์ของระบบ 57 บัสที่ $\epsilon = 0.01$	107
5.22(ข) แสดงจำนวนรอบในการคำนวณโหลดไฟลว์ของระบบ 57 บัสที่ $\epsilon = 0.001$	107
5.23(ก) แสดงความคลาดเคลื่อน (%) ขนาดแรงดันไฟฟ้าที่รูปแบบต่างๆ ของระบบ 57 บัส....	108
5.23(ข) แสดงความคลาดเคลื่อน (%) มุมแรงดันไฟฟ้าที่รูปแบบต่างๆ ของระบบ 57 บัส.....	110
5.24 แสดงการเปรียบเทียบการปรับสอนระหว่างกฎ DBD และกฎ SBM.....	112

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
5.25 แสดงความผิดพลาดสัมบูรณ์เฉลี่ย (MAE) ของแรงดันไฟฟ้าเมื่อใช้กฎการเรียนรู้ SBM และ DBD โดยใช้ข้อมูลปรับสอน 10,000 รูปแบบ.....	114
5.26 แสดงความผิดพลาดสัมบูรณ์เฉลี่ย (%) ของแรงดันไฟฟ้าของระบบ 6 บิต และ 57 บิต เมื่อปรับเปลี่ยนข้อมูลกรณีฐานเปรียบเทียบกับเมื่อใช้ข้อมูลกรณีฐานเดิม.....	116
ค.1 แสดงข้อมูลทดสอบของระบบ 6 บิต.....	142
ค.2 แสดงข้อมูลทดสอบของระบบ 14 บิต.....	143
ค.3 แสดงข้อมูลทดสอบของระบบ 30 บิต.....	144
ค.4 แสดงข้อมูลทดสอบของระบบ 57 บิต.....	147

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

รูปที่		หน้า
1.1	แผนภาพแสดงสภาวะการทำงานของระบบไฟฟ้ากำลัง.....	2
2.1	ชนิดของบัสในระบบไฟฟ้ากำลัง.....	8
2.2	วงจรสมมูลพายที่ใช้แทนสายส่งไฟฟ้า.....	10
2.3	แบบจำลองหม้อแปลงไฟฟ้า.....	11
2.4	วงจรสมมูลของหม้อแปลงไฟฟ้า.....	11
2.5	วงจรสมมูลของหม้อแปลงไฟฟ้าที่แสดงค่าตัวแปรในเทอมของอัตราส่วน การแปลง a และค่าแอดมิตแตนซ์ y_{pq}	14
2.6	วงจรสมมูลของสายส่งเพื่อใช้ในการคำนวณกำลังไฟฟ้าที่ไหลในสายส่ง.....	41
3.1	แสดงเซลล์ประสาทสองเซลล์อย่างง่าย.....	44
3.2	แสดงเซลล์ประสาทเทียมอย่างง่าย.....	45
3.3	แสดงเครือข่ายเพอร์เซพตรอน.....	48
3.4	แสดงเพอร์เซพตรอนที่มีตัวแปรด้านเข้า 2 ตัว และมีตัวแปรด้านออก 1 ยูนิต.....	49
3.5	แสดงเส้นขอบเขตการตัดสินใจของเพอร์เซพตรอนที่มีตัวแปรด้านเข้า 2 ตัว.....	50
3.6	แสดงขอบเขตการตัดสินใจของแอนเกต.....	51
3.7	ฟังก์ชันแอกติเวชันชนิดเชิงเส้น.....	52
3.8	เกรเดียนต์เดสเซนต์บนพื้นผิวควอดราติกที่มีค่าอัตราการเรียนรู้ (α) เป็น 0.015 และ 0.0322 ตามลำดับ.....	56
3.9	เกรเดียนต์เดสเซนต์บนพื้นผิวควอดราติกที่มีค่าอัตราการเรียนรู้ (α) เป็น 0.033 และ 0.034 ตามลำดับ.....	56
3.10	กราฟลักษณะสมบัติของฟังก์ชันแอกติเวชัน แบบฟังก์ชันไบโพลารซิกมอยด์.....	57
3.11	กราฟลักษณะสมบัติของฟังก์ชันแอกติเวชัน แบบฟังก์ชันไบนารีซิกมอยด์.....	58
3.12	แสดงเครือข่ายประสาทแบบป้อนไปสู่อำนาจหน้าที่มี 2 ชั้น.....	60
3.13	แสดงการเคลื่อนที่กลับของค่าผิดพลาด.....	63

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.1	แสดงแผนผังการคำนวณหาข้อมูลในการปรับสอนเครือข่ายประสาท..... 74
4.2	แสดงสถาปัตยกรรมของเครือข่ายที่ใช้ในการคำนวณโหนดโพลี..... 78
4.3(ก)	แสดงการลู่เข้าของค่าถ่วงน้ำหนักของกฎการเรียนรู้ Modified back-propagation (MBP) ของระบบ 6 บิต ที่ใช้ข้อมูลปรับสอน 15,000 รูปแบบ..... 78
4.3(ข)	แสดงการลู่เข้าของค่าถ่วงน้ำหนักของกฎการเรียนรู้ DBD ของระบบ 6 บิต ที่ใช้ข้อมูลปรับสอน 15,000 รูปแบบ..... 78
4.4(ก)	แสดงขั้นตอนการปรับสอนของเครือข่ายประสาทด้วยกฎการแพร่กระจายกลับ ร่วมกับโมเมนตัม..... 80
4.4(ข)	แสดงขั้นตอนการปรับสอนของเครือข่ายประสาทด้วยกฎ Delta-Bar-Delta..... 81
4.5	แสดงการปรับลดค่าความคลาดเคลื่อนของแรงดันไฟฟ้าของเครือข่ายประสาท..... 82
5.1	แสดงการลู่เข้าของค่าถ่วงน้ำหนักของกฎการเรียนรู้ SBM เมื่อใช้ข้อมูลปรับสอน 10,000 รูปแบบ..... 113
5.2	แสดงการลู่เข้าของค่าถ่วงน้ำหนักของกฎการเรียนรู้ DBD เมื่อใช้ข้อมูลปรับสอน 10,000 รูปแบบ..... 113

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย