

สำนักหอสมุดกลาง - พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การเพิ่มขอบเขตของเสถียรภาพชั่วคราวในระบบไฟฟ้าขนาดใหญ่โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม

INCREASING TRANSIENT STABILITY MARGINS OF LARGE POWER SYSTEMS USING ARTIFICIAL NEURAL NETWORK



รท.
กษ 69 ก
2548

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 60516
วัน,เดือน,ปี.- 3 ก.ค. 2549

b. 11528643
i.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
บัณฑิตวิทยาลัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2548
ISBN 974-15-1668-1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**INCREASING TRANSIENT STABILITY MARGINS OF LARGE POWER
SYSTEMS USING ARTIFICIAL NEURAL NETWORK**



**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN ELECTRICAL ENGINEERING
SCHOOL OF GRADUATE STUDIES
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

2005

ISBN 974-15-1668-1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2005

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การเพิ่มขอบเขตของเสถียรภาพชั่วคราวในระบบไฟฟ้ากำลังขนาดใหญ่โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม
นักศึกษา	นาย เกื้อพงศ์ ลีลานุช
รหัสนักศึกษา	46060337
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
พ.ศ.	2548
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	ผศ.ดร. สมชาติ จิรวิภากร

บทคัดย่อ

ระบบไฟฟ้าในปัจจุบันมีความซับซ้อนมากขึ้น จากการขยายระบบ และการติดตั้งอุปกรณ์ปรับปรุงเสถียรภาพในระบบ จึงทำให้มีความยุ่งยากในการศึกษาสิ่งต่างๆในระบบไฟฟ้ากำลัง รวมถึงความยุ่งยากในการศึกษาสถานะชั่วคราวของระบบไฟฟ้ากำลัง ซึ่งใช้ในการศึกษาและวางแผนระบบป้องกัน และจากการที่ระบบไฟฟ้ากำลังมีความซับซ้อนมากขึ้นทำให้ต้องใช้เวลาในการศึกษาและหาคำตอบของการศึกษาสถานะต่างๆของระบบมากขึ้น เนื่องจากขนาดของระบบที่ใหญ่ขึ้น ความซับซ้อนของแบบจำลองที่เพิ่มมากขึ้นวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงได้นำเสนอการหาช่วงเวลาตัดกระแสวิกฤต (Critical clearing time, CCT) เครื่องกำเนิดที่สูญเสียเสถียรภาพเป็นเครื่องแรก (Critical clearing time, CG) และค่า Maximum Power Limit (MPL) เพื่อที่จะได้ทราบค่ากำลังผลิตของ CG ที่จ่ายได้สูงสุดสำหรับค่า CCT ค่าหนึ่ง และหาค่าใหม่ของ CCT โดยปรับปรุงค่า CCT ของระบบโดยการลดกำลังผลิตของเครื่องกำเนิดตัวนั้น ทำให้ได้ค่า CCT มีค่ามากขึ้นได้ในระบบไฟฟ้ากำลังขนาดใหญ่ที่ศึกษาโดยมีการเปลี่ยนแปลง กำลังผลิต (Power generation) , ตำแหน่งเกิดฟอลต์ (Fault Location) และ โครงสร้างของระบบสายส่ง (Network Structure) โดยประยุกต์ใช้โครงข่ายประสาทเทียมในการศึกษา ซึ่งสามารถหาคำตอบที่ต้องการของระบบไฟฟ้าที่ศึกษาได้ถูกต้อง แม่นยำและรวดเร็ว

Thesis Title	Increasing Transient Stability Margins of Large Power Systems Using Artificial Neural Networks
Student	Mr. Kuapong Leelanuch
Student ID.	46060337
Degree	Master of Engineering
Programme	Electrical Engineering
Year	2005
Thesis Advisor	Assis.Prof. Dr. Somchat Jiriwibhakorn

ABSTRACT

This paper presents a novel method of using an artificial neural network to predict the CCT, critical generator (CG), power output limit of the CG and to find the new value of CCT whilst maintaining an appropriate transient stability margin. In this paper, transient stability margins of IEEE 50 generator test system and IEEE 47 generator 118 bus system under variations of power generation, fault location and network structure are capable of being increased by CG adjustment. The time simulation method was used to prepare training patterns for the artificial neural networks. Section II shows the method used to find the CG and its MPL and the method to obtain the new value of CCT whilst maintaining a suitable transient stability margin by power generation adjustment of the CG.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี โดยได้รับคำแนะนำ, คำปรึกษา และความเอาใจใส่เป็นอย่างดี จาก ศศ.ดร. สมชาติ จิรวិภากร ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ ผู้วิจัยผู้ศึกษาซึ่งและขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ คุณชายชาญ โพธิสาร และอรรรตพล เก่าพิทักษ์กุล รุ่นพี่ปริญญาโทที่ได้เอื้อเฟื้อข้อมูลและความช่วยเหลือต่างๆที่ใช้ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ของข้าพเจ้า ผู้ที่มอบชีวิต, การศึกษา และอนาคตที่ดี ให้กับผู้วิจัย รวมถึงสมาชิกในครอบครัวทุกคนที่ให้ความช่วยเหลือและกำลังใจกับผู้วิจัยตลอดมา

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน



สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VII
สารบัญรูป	XI
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาของปัญหา	1
1.2 ความมุ่งหมายของปัญหาและวัตถุประสงค์ของการศึกษา	1
1.3 สมมติฐานของการศึกษา	1
1.4 ขอบเขตของการศึกษา	2
1.5 ขั้นตอนของการศึกษา	3
1.6 ข้อตกลงเบื้องต้นของการศึกษา	3
1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4
บทที่ 2 เสถียรภาพของระบบไฟฟ้ากำลังในสถานะชั่วคราว	5
2.1 แบบจำลองของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและวงจรสมมูลย์ของระบบไฟฟ้า	6
2.2 โทลด์โพล	8
2.3 สมการสวิง	15
2.4 การศึกษาสถานะชั่วคราวโดยวิธีการทางเวลา	16
2.5 โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับการศึกษาเสถียรภาพในสถานะชั่วคราว	24
บทที่ 3 โครงข่ายประสาทเทียม	25
3.1 Artificial Neural Networks (ANNs) คืออะไร	25
3.2 โครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียม	26
3.2.1 โครงข่ายประสาทเทียมแบบชั้นเดียว	26
3.2.2 โครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้น	27
3.3 รูปแบบของการเชื่อมโยงระหว่างนิวรอน	27

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.4 กระบวนการเรียนรู้ (Learning) ของ Artificial Neural Networks	28
3.5 โครงข่ายประสาทเทียมชนิดแพร่ค่าย้อนกลับ	29
3.5.1 สถาปัตยกรรมของโครงข่าย	29
3.5.2 ฟังก์ชันถ่ายโอน	32
3.6 ค่าถ่วงน้ำหนัก และ ค่าไบแอส	33
3.7 Levenberg-Maquardt algorithm	34
บทที่ 4 ระบบไฟฟ้าที่ทำการศึกษา	36
4.1 ระบบ IEEE 50 generators test system	37
4.1.1 โครงสร้างของระบบ	37
4.1.2 การจำลองเหตุการณ์	37
4.2 ระบบ IEEE 47 generator 118 bus system	39
4.2.1 โครงสร้างของระบบ	39
4.2.2 การจำลองเหตุการณ์	39
4.3 การคำนวณหาค่า CCT, CG, MPL และ new value of CCT โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์	41
บทที่ 5 การคำนวณหาค่า CCT,CG,MPLและnew value of CCTโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม...	45
5.1 การเลือกตัวแปรในการฝึกสอน	45
5.1.1 ระบบไฟฟ้ากำลัง IEEE 50 generators test system	46
5.1.1.1 ใช้ในการหาค่า CCT, CG, MPL	46
5.1.1.2 ใช้ในการหาค่า new value of CCT	46
5.1.2 ระบบไฟฟ้ากำลัง IEEE 47 generator 118 bus	46
5.1.2.1 ใช้ในการหาค่า CCT, CG, MPL	46
5.1.2.2 ใช้ในการหาค่า new value of CCT	46
5.2 การกระจายของข้อมูลฝึกสอน	48
5.3 ปริมาณของข้อมูลฝึกสอนและข้อมูลทดสอบ	51
5.4 เส้นใยต่างๆภายในโครงข่ายประสาทเทียมที่ใช้ในการศึกษานี้	53

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
5.4.1 ค่าเริ่มต้นของค่าถ่วงน้ำหนักและค่าไบแอส	53
5.4.2 ลำดับขั้นตอนการปรับค่าถ่วงน้ำหนักและค่าไบแอส	53
5.4.3 จำนวนรอบของการฝึกสอน	55
5.4.4 จำนวนโครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียม	55
5.4.5 ฟังก์ชันถ่ายโอน	56
5.4.6 เงื่อนไขพื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับการสิ้นสุดของการฝึกสอน	57
5.4.6.1 ค่า Gradient factor	57
5.4.6.2 ค่า Mu factor	58
5.5 ขั้นตอนการฝึกสอน	59
5.6 ประสิทธิภาพของโครงข่ายประสาทเทียม	64
บทที่ 6 ผลการทดลอง	65
6.1 ผลการทดลองของระบบ IEEE 50 generator test system	65
6.1.1 ผลการทดลองหาค่า CCT, CG, MPL	65
6.1.2 ผลการทดลองหาค่า new value of CCT	72
6.2 ผลการทดลองของระบบ IEEE 47 generator 118 bus	90
6.2.1 ผลการทดลองหาค่า CCT, CG, MPL	90
6.2.2 ผลการทดลองหาค่า new value of CCT	97
บทที่ 7 บทสรุปและข้อเสนอแนะ	115
เอกสารอ้างอิง	120
ภาคผนวก ก.	123
ภาคผนวก ข.	131
ประวัติผู้เขียน	164

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1 ตำแหน่งเกิดฟอลต์ของระบบไฟฟ้ากำลัง IEEE 50 generators test system ที่พิจารณา	37
4.2 โครงสร้างของระบบไฟฟ้ากำลัง IEEE 50 generators test system ที่พิจารณา	37
4.3 ตำแหน่งเกิดฟอลต์ของระบบไฟฟ้ากำลัง IEEE 47 generator 118 bus system	39
4.4 โครงสร้างของระบบไฟฟ้ากำลัง IEEE 47 generator 118 bus system.....	39
5.1 วิธีการแปลงข้อมูลที่ได้เป็นตัวแปรฝึกสอนสำหรับระบบไฟฟ้ากำลัง IEEE 50 generators test system	50
5.2 วิธีการแปลงข้อมูลที่ได้เป็นตัวแปรฝึกสอนสำหรับระบบไฟฟ้ากำลัง IEEE 47 generator 118 bus system	50
5.3 จำนวนข้อมูลฝึกสอนและข้อมูลทดสอบที่ใช้ในการฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียม เพื่อหาค่า CCT, CG, MPL	52
5.4 จำนวนข้อมูลฝึกสอนและข้อมูลทดสอบที่ใช้ในการฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียม เพื่อหาค่า new value of CCT	52
5.5 เงื่อนไขการฝึกสอนที่ควบคุม	58
5.6 เงื่อนไขการสิ้นสุดการฝึกสอนแต่ละรอบการฝึกสอน	59
6.1 ตารางแสดงตัวอย่างผลที่ดีที่สุดของการฝึกสอน โดยเปรียบเทียบค่า CCT, CG และ MPL ด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียม(ANN) กับวิธีทางเวลา(TDM) โดยใช้ชุดข้อมูลสอน 40 ชุด ชุดทดสอบ 20 ชุด	66
6.2 ตารางแสดงตัวอย่างผลที่ดีที่สุดของการฝึกสอน โดยเปรียบเทียบค่า CCT, CG และ MPL ด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียม(ANN)กับวิธีทางเวลา(TDM) โดยใช้ชุดข้อมูลสอน 80 ชุด ชุดทดสอบ 20 ชุด	67
6.3 ตารางแสดงตัวอย่างผลที่ดีที่สุดของการฝึกสอน โดยเปรียบเทียบค่า CCT, CG และ MPL ด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียม(ANN)กับวิธีทางเวลา(TDM) โดยใช้ชุดข้อมูลสอน 120 ชุด ชุดทดสอบ 20 ชุด	68
6.4 ผลการฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียมที่ดีที่สุดของ CCT, CG, MPL ในเงื่อนไขต่างๆ	70
6.5 ผลเปรียบเทียบค่า CCT_{ANN} กับค่า CCT_{TDM} ของการลดค่า MPL ลง 0% จำนวนชุดข้อมูลฝึกสอน 80 ชุด	73
6.6 ผลเปรียบเทียบค่า CCT_{ANN} กับค่า CCT_{TDM} ของการลดค่า MPL ลง 0% จำนวนชุดข้อมูลฝึกสอน 160 ชุด	74

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
6.7 ผลเปรียบเทียบค่า CCT _{ANN} กับค่า CCT _{TDM} ของการลดค่า MPL ลง 0% จำนวนชุดข้อมูลฝึกสอน 240 ชุด	75
6.8 ผลเปรียบเทียบค่า CCT _{ANN} กับค่า CCT _{TDM} ของการลดค่า MPL ลง 5% จำนวนชุดข้อมูลฝึกสอน 80 ชุด	76
6.9 ผลเปรียบเทียบค่า CCT _{ANN} กับค่า CCT _{TDM} ของการลดค่า MPL ลง 5% จำนวนชุดข้อมูลฝึกสอน 160 ชุด	77
6.10 ผลเปรียบเทียบค่า CCT _{ANN} กับค่า CCT _{TDM} ของการลดค่า MPL ลง 5% จำนวนชุดข้อมูลฝึกสอน 240 ชุด	78
6.11 ผลเปรียบเทียบค่า CCT _{ANN} กับค่า CCT _{TDM} ของการลดค่า MPL ลง 10% จำนวนชุดข้อมูลฝึกสอน 80 ชุด	79
6.12 ผลเปรียบเทียบค่า CCT _{ANN} กับค่า CCT _{TDM} ของการลดค่า MPL ลง 10% จำนวนชุดข้อมูลฝึกสอน 160 ชุด	80
6.13 ผลเปรียบเทียบค่า CCT _{ANN} กับค่า CCT _{TDM} ของการลดค่า MPL ลง 10% จำนวนชุดข้อมูลฝึกสอน 240 ชุด	81
6.14 ผลเปรียบเทียบค่า CCT _{ANN} กับค่า CCT _{TDM} ของการลดค่า MPL ลง 12% จำนวนชุดข้อมูลฝึกสอน 80 ชุด	82
6.15 ผลเปรียบเทียบค่า CCT _{ANN} กับค่า CCT _{TDM} ของการลดค่า MPL ลง 12% จำนวนชุดข้อมูลฝึกสอน 160 ชุด	83
6.16 ผลเปรียบเทียบค่า CCT _{ANN} กับค่า CCT _{TDM} ของการลดค่า MPL ลง 12% จำนวนชุดข้อมูลฝึกสอน 240 ชุด	84
6.17 ผลการฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียมที่ดีที่สุดของค่า new value of CCT ในเงื่อนไขลดค่า MPL ที่ 0, 5, 10, 12% ของระบบ IEEE 50generator test system	87
6.18 ตารางแสดงตัวอย่างผลที่ดีที่สุดของการฝึกสอน โดยเปรียบเทียบค่า CCT, CG และ MPL ด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียม(ANN)กับวิธีทางเวลา(TDM) โดยใช้ชุดข้อมูลสอน 60 ชุด ชุดทดสอบ 20 ชุด	91
6.19 ตารางแสดงตัวอย่างผลที่ดีที่สุดของการฝึกสอน โดยเปรียบเทียบค่า CCT, CG และ MPL ด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียม(ANN)กับวิธีทางเวลา(TDM) โดยใช้ชุดข้อมูลสอน 120 ชุด ชุดทดสอบ 20 ชุด	92

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
6.20 ตารางแสดงตัวอย่างผลที่ดีที่สุดที่สุดของการฝึกสอน โดยเปรียบเทียบค่า CCT, CG และ MPL ด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียม(ANN)กับวิธีทางเวลา(TDM) โดยใช้ชุดข้อมูลสอน 120 ชุด ชุดทดสอบ 20 ชุด	93
6.21 ผลการฝึกสอน โครงข่ายประสาทเทียมที่ดีที่สุดของ CCT, CG, MPL ในเงื่อนไขต่างๆ	95
6.22 ผลเปรียบเทียบค่า CCT _{ANN} กับค่า CCT _{TDM} ของการลดค่า MPL ลง 0% จำนวนชุดข้อมูลฝึกสอน 120 ชุด	98
6.23 ผลเปรียบเทียบค่า CCT _{ANN} กับค่า CCT _{TDM} ของการลดค่า MPL ลง 0% จำนวนชุดข้อมูลฝึกสอน 240 ชุด	99
6.24 ผลเปรียบเทียบค่า CCT _{ANN} กับค่า CCT _{TDM} ของการลดค่า MPL ลง 0% จำนวนชุดข้อมูลฝึกสอน 360 ชุด	100
6.25 ผลเปรียบเทียบค่า CCT _{ANN} กับค่า CCT _{TDM} ของการลดค่า MPL ลง 5% จำนวนชุดข้อมูลฝึกสอน 120 ชุด	101
6.26 ผลเปรียบเทียบค่า CCT _{ANN} กับค่า CCT _{TDM} ของการลดค่า MPL ลง 5% จำนวนชุดข้อมูลฝึกสอน 240 ชุด	102
6.27 ผลเปรียบเทียบค่า CCT _{ANN} กับค่า CCT _{TDM} ของการลดค่า MPL ลง 5% จำนวนชุดข้อมูลฝึกสอน 360 ชุด	103
6.28 ผลเปรียบเทียบค่า CCT _{ANN} กับค่า CCT _{TDM} ของการลดค่า MPL ลง 10% จำนวนชุดข้อมูลฝึกสอน 120 ชุด	104
6.29 ผลเปรียบเทียบค่า CCT _{ANN} กับค่า CCT _{TDM} ของการลดค่า MPL ลง 10% จำนวนชุดข้อมูลฝึกสอน 240 ชุด	105
6.30 ผลเปรียบเทียบค่า CCT _{ANN} กับค่า CCT _{TDM} ของการลดค่า MPL ลง 10% จำนวนชุดข้อมูลฝึกสอน 360 ชุด	106
6.31 ผลเปรียบเทียบค่า CCT _{ANN} กับค่า CCT _{TDM} ของการลดค่า MPL ลง 12% จำนวนชุดข้อมูลฝึกสอน 120 ชุด	107
6.32 ผลเปรียบเทียบค่า CCT _{ANN} กับค่า CCT _{TDM} ของการลดค่า MPL ลง 12% จำนวนชุดข้อมูลฝึกสอน 240 ชุด	108
6.33 ผลเปรียบเทียบค่า CCT _{ANN} กับค่า CCT _{TDM} ของการลดค่า MPL ลง 12% จำนวนชุดข้อมูลฝึกสอน 360 ชุด	109

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
6.34 การฝึกสอน โครงข่ายประสาทเทียมที่ดีที่สุดของค่า new value of CCT ในเงื่อนไขลดค่า MPL ที่ 0, 5, 10, 12% ของระบบ IEEE 47 generator 118 bus	112



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1	แบบจำลองของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบธรรมดา7
2.2	การเชื่อมต่อของแบบจำลองของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบธรรมดาที่บวกรวมมูลย์ของระบบ ไฟฟ้ากำลัง7
2.3	Swing Curve เครื่องกำเนิดตัวที่ 1-10 ระบบ IEEE 50 Generator Test System ที่ค่า Clearing Time = CCT18
2.4	Swing Curve เครื่องกำเนิดตัวที่ 11-20 ระบบ IEEE 50 Generator Test System ที่ค่า Clearing Time = CCT18
2.5	Swing Curve เครื่องกำเนิดตัวที่ 21-30 ระบบ IEEE 50 Generator Test System ที่ค่า Clearing Time = CCT19
2.6	Swing Curve เครื่องกำเนิดตัวที่ 31-40 ระบบ IEEE 50 Generator Test System ที่ค่า Clearing Time = CCT19
2.7	Swing Curve เครื่องกำเนิดตัวที่ 41-50 ระบบ IEEE 50 Generator Test System ที่ค่า Clearing Time = CCT20
2.8	Swing Curve เครื่องกำเนิดตัวที่ 1-10 ระบบ IEEE 50 Generator Test System ที่ค่า Clearing Time = CCT+1 msec21
2.9	Swing Curve เครื่องกำเนิดตัวที่ 11-20 ระบบ IEEE 50 Generator Test System ที่ค่า Clearing Time = CCT+1 msec21
2.10	Swing Curve เครื่องกำเนิดตัวที่ 21-30 ระบบ IEEE 50 Generator Test System ที่ค่า Clearing Time = CCT+1 msec22
2.11	Swing Curve เครื่องกำเนิดตัวที่ 31-40 ระบบ IEEE 50 Generator Test System ที่ค่า Clearing Time = CCT+1 msec22
2.12	Swing Curve เครื่องกำเนิดตัวที่ 41-50 ระบบ IEEE 50 Generator Test System ที่ค่า Clearing Time = CCT+1 msec23
3.1	แบบจำลองชั้นของนิวรอน แบบที่มี 1 ชั้นซ่อน [4]30
3.2	แบบจำลองของโครงข่ายประสาทเทียมที่มี 2 ชั้นซ่อน [4]31
3.3	ฟังก์ชันถ่ายโอน (ก) ชนิด Hard limit, (ข) ชนิด Linear, (ค) ชนิด Log-sigmoid และ(ง) ชนิด Tan-sigmoid33
4.1	ระบบไฟฟ้ากำลัง IEEE 50 generator test system บริเวณที่ศึกษา38

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.2 ระบบไฟฟ้ากำลัง IEEE 47 generator 118 bus system บริเวณที่ศึกษา	40
4.3 ขั้นตอนหาค่า CCT	42
4.4 ขั้นตอนการหาค่า CG และ MPL	43
4.5 ขั้นตอนการหาค่า new value of CCT	44
5.1 โครงสร้างของโครงข่ายประสาทดัดเสริมสำหรับหาค่า CG, CCT และ MPL	47
5.2 โครงข่ายประสาทดัดเสริมสำหรับหาค่า New value of CCT	47
5.3 ตัวอย่างการกระจายชุดข้อมูลฝึกสอนของระบบ IEEE 50 generator test system	49
5.4 ตัวอย่างการกระจายชุดข้อมูลฝึกสอนของระบบ IEEE 47 generator 118 bus	49
5.5 ตัวอย่างความชันของฟังก์ชันถ่ายโอน Tan-sigmoid ในการศึกษานี้ใช้ slope = 1	57
5.6 โพลีชาร์ตของขั้นตอน Back-propagation calculation	61
5.7 โพลีชาร์ตของขั้นตอน Best round selection	62
5.8 โพลีชาร์ตของขั้นตอน Best structure and best round selection	63
6.1 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของชุดข้อมูลทดสอบทั้ง 20 ชุด โดยใช้ชุดข้อมูลฝึกสอน 40 ชุด โดยเปรียบเทียบเฉพาะค่า CCT กับ MPL	69
6.2 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของชุดข้อมูลทดสอบทั้ง 20 ชุด โดยใช้ชุดข้อมูลฝึกสอน 80 ชุด โดยเปรียบเทียบเฉพาะค่า CCT กับ MPL	69
6.3 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของชุดข้อมูลทดสอบทั้ง 20 ชุด โดยใช้ชุดข้อมูลฝึกสอน 120 ชุด โดยเปรียบเทียบเฉพาะค่า CCT กับ MPL	70
6.4 เปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของการฝึกสอนด้วยชุดข้อมูลที่แตกต่างกัน	71
6.5 เปรียบเทียบการฝึกสอนด้วยชุดข้อมูลที่แตกต่างกัน ของการลดค่า MPL ลง 0%	85
6.6 เปรียบเทียบการฝึกสอนด้วยชุดข้อมูลที่แตกต่างกัน ของการลดค่า MPL ลง 5%	85
6.7 เปรียบเทียบการฝึกสอนด้วยชุดข้อมูลที่แตกต่างกัน ของการลดค่า MPL ลง 10%	86
6.8 เปรียบเทียบการฝึกสอนด้วยชุดข้อมูลที่แตกต่างกัน ของการลดค่า MPL ลง 12%	86
6.9 เปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของการฝึกสอนด้วยชุดข้อมูลที่แตกต่างกัน โดยแสดงของการลดค่า MPL ทั้งหมดที่ 0%, 50%, 10% และ 12%	87
6.10 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของชุดข้อมูลทดสอบทั้ง 20 ชุด โดยใช้ชุดข้อมูลฝึกสอน 60 ชุด โดยเปรียบเทียบเฉพาะค่า CCT กับ MPL	94

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
6.11 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของชุดข้อมูลทดสอบทั้ง 20 ชุด โดยใช้ชุดข้อมูลฝึกสอน 120 ชุด โดยเปรียบเทียบเฉพาะค่า CCT กับ MPL	94
6.12 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของชุดข้อมูลทดสอบทั้ง 20 ชุด โดยใช้ชุดข้อมูลฝึกสอน 180 ชุด โดยเปรียบเทียบเฉพาะค่า CCT กับ MPL	95
6.13 เปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของการฝึกสอนด้วยชุดข้อมูลที่แตกต่างกัน	96
6.14 เปรียบเทียบการฝึกสอนด้วยชุดข้อมูลที่แตกต่างกัน ของการลดค่า MPL ลง 0%	110
6.15 เปรียบเทียบการฝึกสอนด้วยชุดข้อมูลที่แตกต่างกัน ของการลดค่า MPL ลง 5%	110
6.16 เปรียบเทียบการฝึกสอนด้วยชุดข้อมูลที่แตกต่างกัน ของการลดค่า MPL ลง 10%	111
6.17 เปรียบเทียบการฝึกสอนด้วยชุดข้อมูลที่แตกต่างกัน ของการลดค่า MPL ลง 12%	111
6.18 เปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของการฝึกสอนด้วยชุดข้อมูลที่แตกต่างกัน โดยแสดงของการลดค่า MPL ทั้งหมดที่ 0%, 50%, 10% และ 12%	112
7.1 เปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของการฝึกสอนด้วยชุดข้อมูลที่แตกต่างกัน	117
7.2 เปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของการฝึกสอนด้วยชุดข้อมูลที่แตกต่างกัน โดยแสดงของการลดค่า MPL ทั้งหมดที่ 0%, 50%, 10% และ 12%	118
7.3 เปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของการฝึกสอนด้วยชุดข้อมูลที่แตกต่างกัน	118
7.4 เปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของการฝึกสอนด้วยชุดข้อมูลที่แตกต่างกัน โดยแสดงของการลดค่า MPL ทั้งหมดที่ 0%, 50%, 10% และ 12%	119

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาของปัญหา

ในระบบไฟฟ้ากำลังขนาดใหญ่ที่มีความซับซ้อนมากขึ้นในปัจจุบัน การศึกษาระบบไฟฟ้ากำลังในสถานะชั่วคราวจึงเป็นสิ่งที่ยุ่งยากมากขึ้นและใช้เวลานานมากขึ้นในการหาคำตอบของปัญหา การศึกษาค่าต่างๆที่ใช้ศึกษาในสถานะชั่วคราวของระบบไฟฟ้ากำลัง (Transient stability) มีความสำคัญและถูกนำมาพิจารณาในการรักษาเสถียรภาพของระบบ ทั้งในการออกแบบและวางแผนระบบป้องกัน โดยมีหลายวิธีในการหาค่าต่างๆในสถานะชั่วคราว อาทิเช่น วิธีการทางเวลา (Time domain) , Direct method [1] และ Transient energy function [2] ซึ่งแต่ละวิธีก็จะมีควมน่าเชื่อถือ, ความแม่นยำ, ความรวดเร็วในการหาคำตอบ และ ข้อจำกัดในการเลือกใช้แบบจำลองของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแตกต่างกัน แต่ในเมื่อระบบไฟฟ้ามีความซับซ้อนมากขึ้นตลอดใน ปัจจุบัน เวลาและความยุ่งยากในการหาค่าต่างๆก็เพิ่มมากขึ้น จึงต้องมีการพัฒนาหาค่าต่างๆในสถานะชั่วคราวให้มีความรวดเร็วมากขึ้น แต่ยังคงมีความน่าเชื่อถือและความแม่นยำ

1.2 ความมุ่งหมายของปัญหาและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

เนื่องจากความน่าเชื่อถือ ความแม่นยำ และความรวดเร็วในการหาคำตอบของวิธีโครงข่ายประสาทเทียม จึงถูกนำมาประยุกต์ในการศึกษานี้ โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมในการศึกษาเสถียรภาพของระบบไฟฟ้ากำลังในสถานะชั่วคราว โดยถูกนำมาประยุกต์ใช้หาคำตอบของ

1. ช่วงเวลาตัดกระแสวิกฤต(critical clearing time, CCT)
2. เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องใดเป็นเครื่องที่สูญเสียเสถียรภาพเป็นเครื่องแรก (Critical Generator, CG)
3. ค่ากำลังผลิตของ CG ที่จ่ายได้สูงสุด(Maximum Power Limit, MPL) สำหรับค่า CCT ค่าหนึ่ง
4. ปรับปรุงค่า CCT(new value of CCT) ของระบบโดยการลดกำลังผลิตของ CG ทำให้ได้ค่า CCT มีค่ามากขึ้นได้ เพื่อให้เสถียรภาพของระบบดีขึ้น

1.3 สมมติฐานของการศึกษา

เนื่องจากคุณสมบัติของโครงข่ายประสาทเทียมที่สามารถเรียนรู้ข้อมูลได้หลายชนิดทั้งแบบเชิงเส้นและไม่เชิงเส้น ได้มีความแม่นยำ เชื่อถือได้ ในขอบเขตที่เรียนรู้ สมมติฐานของการศึกษาจึงนำโครงข่ายประสาทเทียมมาใช้ในการศึกษาระบบไฟฟ้ากำลังขนาดใหญ่โดยใช้ในสถานะชั่วคราว

ในการศึกษานี้จำลองให้เกิดฟอลต์ 3 เฟส ในระบบ โดยค่าที่ต้องการให้โครงข่ายประสาทยืดหยุ่นหา คำตอบในการศึกษาครั้งนี้คือ การศึกษาช่วงเวลาตัดกระแสวิกฤต(critical clearing time, CCT) เป็น องค์ประกอบหนึ่งที่ถูกใช้พิจารณาระบบว่าภายหลังการเกิดฟอลต์ระบบจะยังคงรักษาเสถียรภาพ ของระบบไว้ได้หรือไม่ หลังจากที่ได้ค่า CCT เราจะใช้โครงข่ายประสาทยืดหยุ่นในการหาเครื่อง ก้านิคไฟฟ้าที่สูญเสียเสถียรภาพ ทำให้สามารถทราบได้ว่าเครื่องก้านิคไฟฟ้าเครื่องใดเป็นเครื่องที่ สูญเสียเสถียรภาพเป็นเครื่องแรก (Critical Generator, CG) และหาค่า Maximum Power Limit (MPL) เพื่อที่จะได้ทราบค่ากำลังผลิตของ CG ที่จ่ายได้สูงสุดสำหรับค่า CCT ค่าหนึ่ง และหาค่า new value of CCT ภายหลังปรับปรุงค่า CCT ของระบบโดยการลดกำลังผลิตเครื่องก้านิคตัวนั้น ทำให้ ได้ค่า CCT มีค่ามากขึ้นได้ ซึ่งคำตอบที่ได้จากโครงข่ายประสาทยืดหยุ่นจะมีความถูกต้องและแม่นยำ อยู่ในเกณฑ์ดี ถึงดีมาก หากข้อมูลของระบบไฟฟ้าที่นำมาให้โครงข่ายประสาทยืดหยุ่นเรียนรู้มี ปริมาณและคุณภาพเพียงพอ

1.4 ขอบเขตของการศึกษา

1. ศึกษาเสถียรภาพของระบบไฟฟ้ากำลังในสภาวะชั่วคราวที่อยู่ในสภาวะ stressed (สภาวะ ที่มีการเปลี่ยนแปลงกำลังผลิตของเครื่องก้านิคไฟฟ้าส่วนหนึ่งในระบบให้เพิ่มขึ้นจาก พิกัดปกติ, มีการปลดสายส่งบางชุดที่มีผลต่อค่า CCT ที่ศึกษา ออกเพื่อสมมุติว่าเป็น การซ่อมบำรุงสายส่ง และพิจารณาตำแหน่งเกิดฟอลต์ที่มีความรุนแรงต่างกัน)
2. ศึกษาองค์ประกอบของระบบไฟฟ้ากำลังระบบแรกที่ใช้ทดสอบ (IEEE 50 generators test system) ที่มีผลต่อค่าที่ต้องการศึกษา
3. ทำการจำลองให้เกิดฟอลต์ชนิด 3 เฟส ขึ้นในระบบไฟฟ้ากำลังตามตำแหน่งที่ได้จาก ขั้นตอนในข้อที่ 1 โดยใช้โปรแกรม Load flow and step by step time simulation [3]
4. ศึกษากราฟสวิงของ generator ทุกตัวของระบบเพื่อหาค่า CCT และ CG
5. จากค่า CCT และ CG เพิ่มกำลังผลิตของ CG ให้มากที่สุดโดยค่า CCT ไม่เปลี่ยน จะได้ ค่า MPL ของ CG
6. ลดกำลังผลิตของ CG จาก MPL ลงเพื่อปรับปรุงเสถียรภาพของระบบให้มีค่า CCT ที่สูงขึ้น (new value of CCT)
7. ทำการฝึกสอนและทดสอบโครงข่ายประสาทยืดหยุ่นด้วยข้อมูลที่ได้จากขั้นตอนในข้อ 3 โดยใช้ Neural Network Toolbox [4] ของโปรแกรม MATLAB เพื่อหาเงื่อนไขการ ฝึกสอนที่ทำให้โครงข่ายประสาทยืดหยุ่นมีประสิทธิภาพสูงสุด
8. ทำการศึกษาซ้ำในข้อที่ 2 – 7 โดยใช้ระบบไฟฟ้ากำลังที่ใช้ทดสอบระบบที่ 2 (IEEE 47 generator 118 bus)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5 ขั้นตอนของการศึกษา

ขั้นตอนการศึกษาของวิทยานิพนธ์นี้ประกอบไปด้วยขั้นตอนต่างๆดังต่อไปนี้

1. ศึกษาและรวบรวมข้อมูลที่ต้องใช้ในการศึกษาสถานะชั่วคราวของระบบไฟฟ้ากำลัง IEEE 50 generators test system และ IEEE 47 generator 118 bus
2. ศึกษาการใช้งานโปรแกรม Load flow and step by step time simulation เพื่อใช้ในการเตรียมข้อมูลฝึกสอนและทดสอบ Neural Network
3. ทำการจำลองเหตุการณ์โดยเปลี่ยนแปลงกำลังผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าส่วนหนึ่งในระบบให้เพิ่มขึ้นจากการทำงานปกติ, มีการปลดสายส่งบางชุดที่มีผลต่อค่า CCT ออกเพื่อสมมุติว่าเป็นการซ่อมบำรุงสายส่ง และพิจารณาดำเนินการเกิดฟอลต์ที่มีความรุนแรงของฟอลต์ต่างกัน ของระบบ IEEE 50 generators test system
4. นำข้อมูลที่ได้จากการจำลองเหตุการณ์ มาหาค่าที่ต้องการโดยใช้โปรแกรม Load flow and step by step time simulation
5. ศึกษาคุณสมบัติของโครงข่ายประสาทเทียมชนิดต่างๆ เพื่อหาโครงข่ายประสาทเทียมที่มีความเหมาะสมกับงานวิจัย
6. ศึกษาการทำงานของ โครงข่ายประสาทเทียมที่เหมาะสมกับงานวิจัยนี้ซึ่งได้แก่โครงข่ายประสาทเทียมชนิด Feed-forward with Back-propagation algorithm
7. นำข้อมูลที่ได้จากโปรแกรม Load flow and step by step time simulation ไปฝึกสอนและทดสอบโครงข่ายประสาทเทียมแบบ Feed-forward with Back-propagation algorithm
8. หาเงื่อนไขการฝึกสอนที่ทำให้โครงข่ายประสาทเทียมที่ผ่านการฝึกสอนแล้วมีประสิทธิภาพสูงสุด
9. ทำการจำลองเหตุการณ์ซ้ำโดยใช้ระบบ IEEE 47 generator 118 bus
10. วิเคราะห์และสรุปผลการทดลองและเสนอแนะแนวทางการพัฒนาการศึกษาต่อไป

1.6 ข้อตกลงเบื้องต้นของการศึกษา

ในการศึกษานี้เป็นการศึกษาความสามารถของโครงข่ายประสาทเทียมในการเรียนรู้พฤติกรรมของระบบไฟฟ้ากำลังขนาดใหญ่ซึ่งมีความซับซ้อนมาก ดังนั้นเพื่อเป็นการลดขั้นตอนและระยะเวลาในการศึกษาโดยไม่ทำให้เกิดผลกระทบต่อความถูกต้องของผลการศึกษามากนัก ในวิทยานิพนธ์นี้จึงได้ใช้แบบจำลองของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและระบบควบคุมแบบธรรมดา (Classical models) และไม่พิจารณาถึงการชดเชย (Compensation) ต่างๆในระบบไฟฟ้ากำลัง

1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถนำโครงข่ายประสาทเทียมมาใช้ในการศึกษาและหาค่าของ CCT, CG, MPL และ new value of CCT ได้อย่างมีประสิทธิภาพ
2. แสดงให้เห็นว่าสามารถนำโครงข่ายประสาทเทียมมาใช้ในการศึกษาเสถียรภาพของระบบไฟฟ้ากำลังในสถานะชั่วคราวได้อย่างมีประสิทธิภาพ
3. แสดงให้เห็นว่าการนำโครงข่ายประสาทเทียมมาใช้ในการศึกษาเสถียรภาพของระบบไฟฟ้ากำลังเป็นแนวทางหนึ่งในการพัฒนาวิธีการหาค่าตอบของการศึกษาเสถียรภาพของระบบไฟฟ้ากำลังให้รวดเร็วมากขึ้น
4. แสดงให้เห็นถึงการปรับปรุงเสถียรภาพของระบบไฟฟ้ากำลัง โดยการลดค่า MPL ของ CG ลงเพื่อปรับปรุงค่า CCT ให้มีค่ามากขึ้นเพื่อให้ระบบมีเสถียรภาพมากขึ้นว่ามีความเป็นไปได้ซึ่งสามารถนำไปใช้ในการปรับปรุงระบบในกรณีที่มีค่า CCT ต่ำมาก ๆ ที่ไม่สามารถตัดกระแสฟอลต์ได้ทันในกรณีที่เกิดฟอลต์ เพื่อค่า CCT ที่มากขึ้นทำให้สามารถตัดกระแสฟอลต์ได้ทันในกรณีที่เกิดฟอลต์ในระบบ และแสดงให้เห็นว่าสามารถใช้โครงข่ายประสาทเทียมในการศึกษาหาค่าดังกล่าวได้

บทที่ 2

เสถียรภาพของระบบไฟฟ้ากำลังในสถานะชั่วคราว

เสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลังเป็นคุณสมบัติของระบบไฟฟ้ากำลังที่สามารถทำให้เครื่องจักรซิงโครนัส ของระบบไฟฟ้ากำลังที่มีการรบกวนและตอบสนองต่อการรบกวนหรือการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในระบบนอกเหนือจากสภาวะปกติแล้วสามารถกลับเข้าสู่สภาวะปกติได้ใหม่อีกครั้งหนึ่งหลังการเปลี่ยนแปลง การศึกษาเสถียรภาพ โดยทั่วไปแบ่งออกเป็น 3 ชนิด ขึ้นอยู่กับลักษณะและความรุนแรงของการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น

ความแตกต่างของการศึกษาเสถียรภาพในแบบต่างๆคือ การศึกษาเสถียรภาพช่วงทรานเซียนท์มุ่งศึกษาในการหาว่าระบบจะยังคงรักษาเสถียรภาพของระบบได้หรือไม่เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงที่รุนแรงเกิดขึ้นในระบบ กรณีที่ต้องศึกษาโดยวิธีทรานเซียนท์ เช่น การเกิดฟลด์ในสายส่ง การเปลี่ยนโหลดทันทีทันใด การสูญเสียแหล่งจ่ายไฟหรือโรงจักรไฟฟ้า การสวิตชิงสายส่ง โดยการศึกษาเริ่มมานานมากแล้วแต่ได้ถูกจำกัดอยู่ที่การพิจารณาปัญหาเรื่องไดนามิกส์ ของระบบที่มีเครื่องกำเนิด 2 ตัว ในสภาวะการทำงานที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างช้าๆ โดยเป็นการพิจารณาถึงเสถียรภาพของระบบไฟฟ้ากำลังภายใต้การเปลี่ยนแปลงรอบๆจุดสมดุล

การศึกษาเสถียรภาพแบบไดนามิกส์และสภาวะคงตัวจะศึกษาเครื่องจักรหนึ่งตัวถึงสามตัวในระบบไฟฟ้ากำลังที่เกิดการเปลี่ยนแปลงสภาวะการทำงานจากระบบอย่างช้าๆ และค่อยๆเป็นค่อยไป วิธีการศึกษาเสถียรภาพแบบไดนามิกส์และสภาวะคงตัวจะเหมือนกัน จะมีข้อแตกต่างของการศึกษาทั้งสองแบบในรายละเอียดที่ใช้ในโมเดลเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ศึกษา โดยแบบไดนามิกส์ระบบเอ็กไซเทชัน และระบบโกลฟ์เวอร์เนอร์ของเทอร์ไบน์จะ โมเดลร่วมกับ โมเดลเครื่องจักรซิงโครนัส ซึ่งคิดผลการเปลี่ยนแปลงฟลักซ์ในช่องอากาศภายในเครื่องจักรด้วย และแบบสภาวะคงตัวใช้โมเดลของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอย่างง่าย โดยให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแทนด้วยแหล่งจ่ายไฟคงที่ และเทคนิคการหาคำตอบของการศึกษาเสถียรภาพแบบไดนามิกส์และสภาวะคงตัวก็คือการหาเสถียรภาพภายใต้การเปลี่ยนแปลงรอบๆจุดสมดุลและสมการแบบไม่เป็นเชิงเส้นสามารถแทนได้ด้วยชุดของสมการแบบเป็นเชิงเส้นและวิเคราะห์สมการเหล่านี้เพื่อหาว่าเครื่องกำเนิดตัวนั้นจะยังรักษาเสถียรภาพอยู่ได้หรือไม่เมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยรอบจุดสมดุล ในปัจจุบันการศึกษาเสถียรภาพของระบบไฟฟ้ากำลังในสภาวะไดนามิก และสภาวะอยู่ตัวได้รับความสนใจน้อยลงไป และถูกแทนที่ด้วยการศึกษาเสถียรภาพของระบบในสภาวะชั่วคราวซึ่งได้รับความสนใจและมีความสำคัญมากกว่าในการศึกษาเสถียรภาพของระบบไฟฟ้า

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการศึกษาเสถียรภาพของระบบไฟฟ้ากำลังในสภาวะชั่วคราวโดยหาค่าช่วงเวลาตัดกระแสวิกฤต (Critical clearing time, CCT) ซึ่งเป็นองค์ประกอบหนึ่งที่ถูกนำมา

พิจารณาในการรักษาเสถียรภาพของระบบไฟฟ้ากำลัง และศึกษาต่อเนื่องไปถึงว่าเครื่องกำเนิดไฟฟ้าตัวแรกในระบบที่สูญเสียเสถียรภาพคือตัวใด(CG) หลังจากที่ได้อุปกรณ์กำเนิดตัวแรกที่สูญเสียเสถียรภาพแล้ว จะทำการหาค่าสูงสุดของกำลังไฟฟ้าที่จ่ายได้ของเครื่องกำเนิดตัวนั้น ในขณะที่เซตค่า clearing time ไว้ที่ Critical clearing time แล้วเพิ่มค่ากำลังที่จ่ายให้เป็นค่ามากที่สุด(MPL) โดยที่เสถียรภาพไม่เปลี่ยนแปลง หลังจากนั้นได้ศึกษาการปรับปรุงเสถียรภาพของระบบโดยการลดค่ากำลังไฟฟ้าที่จ่ายได้สูงสุดของเครื่องกำเนิดตัวแรกที่สูญเสียเสถียรภาพลง เพื่อให้สามารถเซตค่า CCT ในระบบไฟฟ้ากำลังให้มีค่ามากขึ้นได้ (new value of CCT)

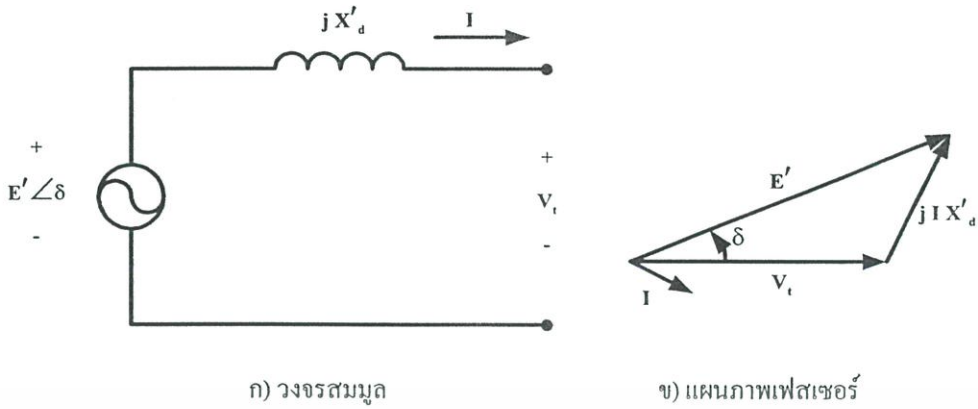
วิธีการหาค่า CCT, CG, MPL, new value of CCT นั้นมีวิธีการหาอยู่หลายวิธี อาทิเช่น วิธีการทางเวลา (Time domain simulation method) วิธีการทางเวลาเป็นวิธีที่มีความแม่นยำและเชื่อถือได้มากที่สุดแต่ วิธีการทางเวลาก็มีข้อด้อยคือ ใช้เวลาในการหาค่าตอบมากกว่าวิธีอื่นๆ วิธีนี้จึงเหมาะสำหรับใช้ในการออกแบบระบบ (Planning) มากกว่าที่จะนำมาใช้งานแบบทันทีทันใด (On-line operation) และในกรณีที่ระบบไฟฟ้ามีขนาดใหญ่ เวลาที่ใช้ในการหาค่าตอบก็ยังไม่รวดเร็วพอที่จะนำมาใช้งานแบบทันทีทันใดได้

2.1 แบบจำลองของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและวงจรสมมูลย์ของระบบไฟฟ้า[5]

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ใช้แบบจำลองของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบธรรมดา (Classical model) ในการศึกษาเสถียรภาพของระบบไฟฟ้ากำลังในสถานะชั่วคราวแสดงในรูปแบบที่ 2.1 ซึ่งกำหนดให้แรงดันภายในของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า หลังจากรีแอกแตนซ์ชั่วคราวมีค่าคงที่ และ V_t คือแรงดันที่ขั้วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Terminal Voltage) โดยแบบจำลองนี้อยู่บนสมมติฐานดังนี้

1. เครื่องกำเนิดไฟฟ้าทำงานในสถานะสามเฟสสมดุลลำดับบวก (Balanced 3 Phase Positive Sequence Condition)
2. ไม่พิจารณาถึง กำลังสูญเสียและการอิ่มตัวของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า
3. กระแสกระตุ้นของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator Excitation) มีค่าคงที่

เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละเครื่องในระบบไฟฟ้ากำลังจะถูกเชื่อมต่อเข้ากับระบบซึ่งประกอบไปด้วย สายส่ง, หม้อแปลงไฟฟ้า, โหลด และเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องอื่นๆ ในการพิจารณาเสถียรภาพของระบบไฟฟ้ากำลังโดยทั่วไประบบไฟฟ้ากำลังที่พิจารณาจะถูกแทนที่ด้วยบัสอนันต์ (Infinte bus) ซึ่งเป็นแหล่งจ่ายแรงดันที่มีขนาดของแรงดัน, มุมเฟสของแรงดัน และความถี่คงที่ เชื่อมต่อกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าด้วยรีแอกแตนซ์ของระบบ ดังแสดงในรูปแบบที่ 2.2



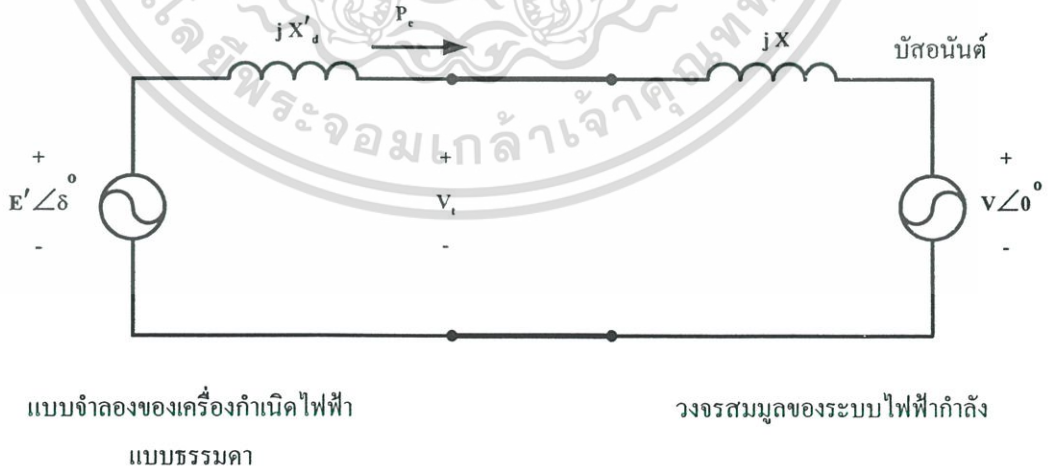
รูปที่ 2.1 แบบจำลองของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนา

จากรูปที่ 2.2 แบบจำลองของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนาถูกเชื่อมต่อเข้ากับวงจรสมมูลของระบบไฟฟ้า (บัสบัสและรีแอกแตนซ์ของระบบ) โดยมุมของแรงดันภายในของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า δ จะถูกพิจารณาเป็นมุมกำลังและอ้างอิงกับบัสบัสซึ่งกำหนดให้มีมุมเฟสคงที่เท่ากับ 0° และรีแอกแตนซ์ชั่วคราวของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและรีแอกแตนซ์ของระบบ สามารถพิจารณาให้อยู่ในรูปรีแอกแตนซ์สมมูล X_{cq} โดยที่

$$X_{cq} = X'_d + X \tag{2.1}$$

โดยที่ X'_d คือ รีแอกแตนซ์ชั่วคราวของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า
 X คือ รีแอกแตนซ์ของระบบ

$$X_{cq} = (X'_d + X)$$



รูปที่ 2.2 การเชื่อมต่อของแบบจำลองของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนาเข้ากับวงจรสมมูลของระบบไฟฟ้ากำลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยแรงดันภายใน (Internal voltage) ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละเครื่องสามารถคำนวณได้จาก

$$E' = V_t + jX_d' * I \quad (2.2)$$

โดยที่ V_t คือ แรงดันที่ขั้ว
 I คือ กระแสเอาต์พุต

2.2 โหลดโพล[5]

กรณีที่ระบบไฟฟ้ากำลังประกอบไปด้วยเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหลายเครื่อง ความซับซ้อนในการคำนวณจะเพิ่มขึ้นตามจำนวนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่นำมาพิจารณาในการศึกษาเสถียรภาพของระบบไฟฟ้ากำลังในสถานะชั่วคราว เราจำเป็นต้องศึกษาสถานะต่างๆของระบบไฟฟ้ากำลังในสถานะคงตัว(steady state) ก่อนที่จะมีการศึกษาสถานะอื่นๆในระบบไฟฟ้ากำลัง ข้อมูลที่ได้จากการศึกษาโหลดโพล คือขนาดและมุมของแรงดันที่แต่ละบัสและค่ากำลังไฟฟ้าแอกทีฟ (P) , กำลังไฟฟ้รีแอกทีฟ (Q) ที่ไหลในแต่ละสายส่ง และรวมไปถึงค่ากระแสในสายด้วย และยังศึกษาผลที่เกิดขึ้นจากการที่วงจรในระบบเกิดการเปลี่ยนแปลงเปลี่ยนจากสิ่งต่างๆ เช่นการปลดสายส่งเพื่อซ่อมบำรุง ในการศึกษาโหลดโพลเราจัดแบ่งชนิดของบัสบาร์ในระบบไฟฟ้ากำลังดังนี้

1. เจนบัส (Generator bus) หรืออาจเรียกว่า P-V บัส เป็นบัสที่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าต่ออยู่หรือเป็นบัสที่มีทั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและโหลดต่ออยู่ เป็นบัสที่สามารถควบคุมแรงดันไฟฟ้าให้มีขนาดคงที่ได้โดยอาศัย AVR (automatic voltage regulation) บัสชนิดนี้จะมีพารามิเตอร์ที่คงที่ได้แก่กำลังไฟฟ้าแอกทีฟ (P) และแรงดันไฟฟ้าที่บัส (V) ส่วนพารามิเตอร์ที่เปลี่ยนแปลงค่าได้คือกำลังไฟฟ้รีแอกทีฟ (Q) และมุมของแรงดันไฟฟ้าที่บัส (δ)

2. โหลดบัส (Load bus) หรืออาจเรียกว่า P-Q บัส เป็นบัสที่มีโหลดต่ออยู่ ดังนั้นพารามิเตอร์ที่คงที่ได้แก่ กำลังไฟฟ้าแอกทีฟ (P) และกำลังไฟฟ้รีแอกทีฟ (Q) ซึ่งเป็นค่าของโหลดที่ต่ออยู่กับบัส ส่วนพารามิเตอร์ที่เปลี่ยนแปลงค่าได้คือ แรงดันไฟฟ้าที่บัส (V) และมุมของแรงดันไฟฟ้าที่บัส (δ) โดยบัสชนิดนี้จะกำหนดค่ากำลังไฟฟ้าไว้ในรูป $S = P + jQ$

3. สแลคบัส (Slack bus) หรือบางครั้งเรียก บัสอนันต์ (Infinite bus) สวิงบัส (Swing bus) บัสอ้างอิง (Reference Bus) บัสชนิดนี้เป็นบัสที่ขนาดของแรงดันไฟฟ้าและมุมของแรงดันไฟฟ้าที่บัสมีค่าคงที่ และโดยทั่วไปจะกำหนดให้มีมุมเท่ากับ 0° และใช้เป็นบัสอ้างอิงที่จะนำไปเปรียบเทียบกับมุมของแรงดันที่บัสอื่น Swing bus ถือว่าเป็นแหล่งกำเนิด (Source) ขนาดใหญ่ที่สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าออกมาได้ตามต้องการ โดยขนาดของแรงดันไฟฟ้า, มุมของแรงดันไฟฟ้า และความถี่ไม่

เปลี่ยนแปลง ในทางปฏิบัติ บัสอ้างอิงนี้หมายถึงบัสที่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดใหญ่ที่สุดเชื่อมต่ออยู่ หรือเป็นระบบไฟฟ้ากำลังที่มีขนาดใหญ่มากเมื่อเทียบกับระบบไฟฟ้ากำลังที่พิจารณาอยู่ ดังนั้น พารามิเตอร์ที่คงที่คือ แรงดันไฟฟ้าที่บัส (V) และมุมของแรงดันไฟฟ้าที่บัส (δ) ส่วนพารามิเตอร์ที่เปลี่ยนแปลงค่าได้คือกำลังไฟฟ้าแอกทีฟ (P) และกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ (Q)

การหาโหลดโพลโพลแต่ละจุดจะถูกแปลงเป็นแอดมิทแตนซ์ (Admittance) ที่ต่อลงดิน โดยใช้สมการ

$$Z^{-1} = Y$$

หรือจาก

$$Y_L = \frac{P_L + jQ_L}{|V_L|^2} \quad (2.3)$$

โดยที่ $P_L + jQ_L$ คือ ขนาดของ โหลด
 V_L คือ ขนาดแรงดันที่โหลดบัส

เมตริกซ์ของบัสแอดมิทแตนซ์ ซึ่งครอบคลุมค่าของรีแอกแตนซ์ชั่วคราวของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละเครื่อง และแอดมิทแตนซ์ชานานของโหลด จะใช้ในการคำนวณ โหลดโพลว์ในสภาวะก่อนเกิดฟลัด โดยถือว่ากระแสที่จ่ายเข้าไปในบัสทุกบัส ยกเว้นบัสภายในของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละเครื่องจะมีค่าเท่ากับศูนย์

ในขั้นตอนต่อไปจะต้องหาเมตริกซ์ของบัสแอดมิทแตนซ์ที่เปลี่ยนแปลงไปในสภาวะที่เกิดฟลัด และหลังจากเคลียร์ฟลัดไปแล้ว เนื่องจากบัสที่มีกระแสไฟฟ้าไหลจะมีเพียงบัสภายในของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละเครื่องเท่านั้น บัสอื่นๆจึงถูกลดรูปจนกลายเป็นเมตริกซ์ที่มีขนาดเท่ากับจำนวนของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เราจึงสามารถคำนวณหา กำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละเครื่องที่ไหลเข้าสู่ระบบไฟฟ้ากำลังในระหว่างเกิดฟลัดและหลังจากเคลียร์ฟลัดไปแล้วได้จาก โหลดโพล โดยการหาโหลดโพลล์ด้วยกันหลายวิธี เช่น Gauss-Seidel Method , Newton - Raphson

Gauss-Seidel Method[5]

สามารถคำนวณได้โดยใช้สมการ

$$E_i^{(k)} = \frac{1}{Y_{ii}} \left[\frac{P_{i,sch} - jQ_{i,sch}}{E_i^{(k-1)*}} - \sum_{j=1}^{i-1} Y_{ij} E_j^{(k)} - \sum_{j=i+1}^N Y_{ij} E_j^{(k-1)} \right] \quad (2.4)$$

$$P_i^{(k)} = E_i^{(k-1)*} \left[\sum_{j=1}^{i-1} Y_{ij} E_j^{(k)} + \sum_{j=i}^N Y_{ij} E_j^{(k-1)} \right] \quad (2.5)$$

$$Q_i^{(k)} = -\text{Im} \left\{ E_i^{(k-1)*} \left[\sum_{j=1}^{i-1} Y_{ij} E_j^{(k)} + \sum_{j=i}^N Y_{ij} E_j^{(k-1)} \right] \right\} \quad (2.6)$$

k คือ จำนวนรอบที่คำนวณ

Newton - Raphson Power - Flow Solution[5]

สามารถคำนวณได้โดยใช้สมการ

$$P_k + jQ_k = V_k I_k^* = V_k \sum_{j=1}^{n-1} (Y_{kj} V_j)^* \quad (2.7)$$

โดยให้ $V_k = a_k + jb_k$ และ $Y_{kj} = G_{kj} - jB_{kj}$ จะได้

$$P_k + jQ_k = (a_k + jb_k) \sum_{j=1}^{n-1} [(G_{kj} - jB_{kj})(a_j + jb_j)] \quad (2.8)$$

ซึ่งจะหาค่า P_k และ Q_k ได้ดังนี้

$$P_k = \sum_{j=1}^{n-1} [a_k (a_j G_{kj} + b_j B_{kj}) + b_k (b_j G_{kj} - a_j B_{kj})] \quad (2.9)$$

$$Q_k = \sum_{j=1}^{n-1} [b_k (a_j G_{kj} + b_j B_{kj}) - a_k (b_j G_{kj} - a_j B_{kj})] \quad (2.10)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การใช้บัสเป็น $n-1$ บัส ก็เนื่องจากบัสอ้างอิง (Slack Bus) ที่ n เรารู้ค่าต่างๆอยู่แล้วจึงไม่นำมาคิด

ค่า P และ Q ที่เปลี่ยนแปลงจะเกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนค่า a และ b ในสมการด้านบน

$$\Delta P_1 = \frac{\partial P_1}{\partial a_1} \Delta a_1 + \frac{\partial P_1}{\partial a_2} \Delta a_2 + \dots + \frac{\partial P_1}{\partial a_{n-1}} \Delta a_{n-1} \quad (2.11)$$

ในทำนองเดียวกันสามารถเขียน ΔP และ ΔQ ในรูปของ Δa และ Δb ซึ่งสามารถเขียนให้อยู่ในรูปทั่วไปคือ

$$\begin{bmatrix} \Delta P_1 \\ * \\ * \\ * \\ \Delta P_{n-1} \\ \Delta Q_1 \\ * \\ * \\ * \\ \Delta Q_{n-1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial P_1}{\partial a_1} & \dots & \frac{\partial P_1}{\partial a_{n-1}} & \frac{\partial P_1}{\partial b_1} & \dots & \frac{\partial P_1}{\partial b_{n-1}} \\ * & & * & & & \\ * & & * & & & \\ * & & * & & & \\ \frac{\partial P_{n-1}}{\partial a_1} & \dots & \frac{\partial P_{n-1}}{\partial a_{n-1}} & \frac{\partial P_{n-1}}{\partial b_1} & \dots & \frac{\partial P_{n-1}}{\partial b_{n-1}} \\ \frac{\partial Q_1}{\partial a_1} & \dots & \frac{\partial Q_1}{\partial a_{n-1}} & \frac{\partial Q_1}{\partial b_1} & \dots & \frac{\partial Q_1}{\partial b_{n-1}} \\ * & & * & & & \\ * & & * & & & \\ * & & * & & & \\ \frac{\partial Q_{n-1}}{\partial a_1} & \dots & \frac{\partial Q_{n-1}}{\partial a_{n-1}} & \frac{\partial Q_{n-1}}{\partial b_1} & \dots & \frac{\partial Q_{n-1}}{\partial b_{n-1}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta a_1 \\ * \\ * \\ * \\ \Delta a_{n-1} \\ \Delta b_1 \\ * \\ * \\ * \\ \Delta b_{n-1} \end{bmatrix} \quad (2.12)$$

เราสามารถเขียนให้อยู่ในรูปทั่วไปดังนี้

J_A	J_B
J_C	J_D

หาค่าสมาชิกของ J_A ในแนวอนอกเส้นทแยงมุมคือ $k \neq j$ ได้ ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\frac{\partial P_k}{\partial a_j} = a_k G_{kj} - b_k B_{kj} \quad (2.13)$$

และค่าในแนวทแยงมุมคือ

$$\frac{\partial P_k}{\partial a_k} = 2a_k G_{kk} + b_k B_{kk} - b_k B_{kk} + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq k}}^{n-1} (a_j G_{kj} + b_j B_{kj}) \quad (2.14)$$

เพื่อให้สมการ 2.14 หาค่าได้สะดวกขึ้น เราจะแทนบางเทอมในรูปกระแสที่บัส k เป็น I_k ซึ่งสามารถเขียนได้ในแต่ละรอบการคำนวณดังนี้

$$I_k = c_k + j d_k = (G_{kk} - j B_{kk})(a_k + j b_k) + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq k}}^{n-1} (G_{kj} + j B_{kj})(a_j + j b_j) \quad (2.15)$$

$$\text{เมื่อ } c_k = a_k G_{kk} + b_k B_{kk} + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq k}}^{n-1} (a_j G_{kj} + b_j B_{kj}) \quad (2.16)$$

$$\text{และ } d_k = b_k G_{kk} + a_k B_{kk} + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq k}}^{n-1} (b_j G_{kj} + a_j B_{kj}) \quad (2.17)$$

จะได้ว่า

$$\frac{\partial P_k}{\partial a_k} = a_k G_{kk} - b_k B_{kk} + c_k \quad (2.18)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับ J_B

$$\frac{\partial P_k}{\partial b_k} = a_k B_{kk} + b_k G_{kk} + d_k \quad \text{และ} \quad \frac{\partial P_k}{\partial b_j} = a_k B_{kj} + b_k G_{kj} \quad (k \neq j) \quad (2.19)$$

สำหรับ J_C

$$\frac{\partial Q_k}{\partial a_k} = a_k B_{kk} + b_k G_{kk} - d_k \quad \text{และ} \quad \frac{\partial Q_k}{\partial a_j} = a_k B_{kj} + b_k G_{kj} \quad (k \neq j) \quad (2.20)$$

สำหรับ J_D

$$\frac{\partial Q_k}{\partial b_j} = -a_k G_{kj} + b_k B_{kj} \quad \text{และ} \quad \frac{\partial Q_k}{\partial b_k} = -a_k G_{kk} + b_k B_{kk} + c_k \quad (2.21)$$

เมื่อให้รอบการคำนวณแทนด้วย P และค่าแรงดันทุกบัสที่ไม่ทราบค่า ยกเว้นบัสอ้างอิง สมมติให้มีค่า 1 p.u. จากการสมมุติค่าแรงดันเหล่านี้จะสามารถหาค่า P และ Q ได้โดยใช้ สมการ 2.9 และ 2.10 และการเปลี่ยนแปลงของ P และ Q สามารถหาค่าได้ดังนี้

$$\Delta P_k^p = P_{k(\text{specified})} - P_k^p \quad (2.22)$$

$$\Delta Q_k^p = Q_{k(\text{specified})} - Q_k^p \quad (2.23)$$

เมื่อ p เป็นจำนวนรอบในการคำนวณ และกระแสก็สามารถคำนวณได้จาก

$$I_k^p = \left(\frac{P_k^p + jQ_k^p}{V^p} \right) = C_k^p + jd_k^p \quad (2.24)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และสามารถเขียนได้เป็น

$$\begin{bmatrix} \Delta a \\ \Delta b \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J_A & J_B \\ J_C & J_D \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} \quad (2.25)$$

และจะหาค่า a และ b ได้โดย

$$a_k^{p+1} = a_k^p + \Delta a_k^p \quad (2.26)$$

$$b_k^{p+1} = b_k^p + \Delta b_k^p \quad (2.27)$$

ขบวนการคำนวณจะกระทำซ้ำต่อไป $p = p + 1$ จนกระทั่ง ΔP และ ΔQ จะน้อยกว่าค่าผิดพลาดที่เรากำหนดไว้

วิธีของนิวตัน-ราฟสัน จะมีจำนวนรอบในการคำนวณน้อยกว่าวิธีของเกาส์-ไซเดล และโดยทั่วไปจะเร็วกว่าด้วย แต่ในแต่ละรอบการคำนวณนั้นจะใช้เวลามากกว่าและรอบน้อยกว่า โดยทั่วไปใช้ประมาณ 4 รอบ ในขณะที่วิธีของเกาส์-ไซเดล ใช้อย่างน้อย 30 รอบ และจำนวนรอบของเกาส์-ไซเดล แปรตามขนาดระบบด้วย

ข้อเสียของวิธีนิวตัน-ราฟสัน คือ จะต้องฟอร์มจาโคเบียนเมตริกซ์และอินเวอร์ส

จากการวิเคราะห์โหนดโพลี เราจะทราบค่าของกำลังไฟฟ้าแอกทีฟ (P), กำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ (Q), แรงดัน และมุมของแรงดันที่ขั้วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละเครื่อง และที่โหนดบัสซึ่งค่าต่างๆจะอ้างอิงกับ สวิงบัส หรือ บัสอนัน

2.3 สมการสวิง (Swing Equation)[5]

การศึกษาเสถียรภาพโดยทั่วไปจะศึกษาแบบทรานเซียนท์และไม่สามารถนำชุดสมการเชิงเส้นมาใช้ได้ จึงต้องใช้การวิเคราะห์แบบไม่เป็นเชิงเส้นตรง

สมการที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่ของโรเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า จะอาศัยพื้นฐานจากกฎในเรื่องไดนามิกส์ ซึ่งกล่าวว่า ทอร์กเร่งคือผลคูณของโมเมนต์ความเฉื่อย(Moment of inertia) ของโรเตอร์กับความเร่งเชิงมุม ทำให้สามารถเขียนสมการสวิงของโรเตอร์ของเครื่องกำเนิดได้เป็น

$$\frac{2H}{\omega_s} * \frac{d^2\delta}{dt^2} = P_a = P_m - P_e \quad (\text{p.u.}) \quad (2.28)$$

$$\frac{2H}{\omega_s} * \frac{d\omega}{dt} = P_a = P_m - P_e \quad (\text{p.u.}) \quad (2.29)$$

$$\frac{d\delta}{dt} = \omega - \omega_s \quad (2.30)$$

$$\omega_r = \omega - \omega_s \quad (2.31)$$

โดยที่	H	คือ ค่าคงที่ความเฉื่อย (Inertia constant)
	ω_s	คือ ความเร็วเชิง โครนัสของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ซึ่งเป็นมุมทางไฟฟ้า
	ω	คือ ความเร็วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ซึ่งเป็นมุมทางไฟฟ้า
	δ	คือ มุมโรเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ซึ่งเป็นมุมทางไฟฟ้า
	P_a	คือ กำลังเร่ง (Acceleration power)
	P_m	คือ กำลังทางกล (Mechanical power)
	P_e	คือ กำลังทางไฟฟ้า (Electrical power)
	t	คือ เวลา

ค่าคงที่ความเฉื่อย (H) , เวลา (t) มีหน่วยเป็นวินาที และ P_a , P_m และ P_e เป็นค่าเปอร์ยูนิตในฐานเดียวกับ H

2.4 การศึกษาสถานะชั่วครู่โดยวิธีการทางเวลา

วิธีการทางเวลา (Time domain simulation method, TDM) เป็นวิธีการหาคำตอบในการศึกษาเสถียรภาพของระบบไฟฟ้ากำลังที่มีความแม่นยำและเชื่อถือได้มากที่สุด ไม่มีข้อจำกัดในการเลือกใช้แบบจำลองของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและระบบควบคุม แต่มีข้อด้อยตรงที่ต้องใช้เวลาในการศึกษามาก นอกจากนี้วิธีการทางเวลายังถูกใช้เป็นเกณฑ์ในการเปรียบเทียบความถูกต้องของคำตอบที่ได้จากวิธีการอื่นๆ ซึ่งรวมถึงการใช้โครงข่ายประสาทเทียมในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้อีกด้วย

ในการวิเคราะห์เสถียรภาพชั่วครู่มีหลายวิธีที่สามารถทำได้ เช่น วิธีพื้นที่เท่ากัน วิธีวิเคราะห์ทีละขั้นตอน แต่ในทางปฏิบัติมุมมองของโรเตอร์ที่ตรงกับเวลามีความสำคัญมาก เนื่องจากการออกแบบระบบป้องกันต้องการค่าเวลานี้เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ในการเซตค่าการตัดกระแสในระบบป้องกัน ในวิทยานิพนธ์นี้จึงขอกว่าการศึกษาโดยวิธีวิเคราะห์ทีละขั้นตอน โดยวิธีนี้เราสามารถแก่สมการสวิงแล้วจะได้ผลลัพธ์ออกมาเป็นค่าของมุมและเวลา ซึ่งนำมาวาดกราฟเรียกว่า กราฟสวิง การแก่สมการนี้คิดค้นโดย Dahi และวิธีนี้ยังเหมาะกับการแก้ปัญหาด้วยคอมพิวเตอร์ด้วย และเนื่องจากระบบไฟฟ้ากำลังมีการเชื่อมโยงกันระหว่างเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและโหลดจำนวนมาก การคำนวณด้วยวิธีการเชิงตัวเลขจึงต้องอาศัยเครื่องคอมพิวเตอร์ในการคำนวณจึงเป็นวิธีที่เหมาะสม

วิธีวิเคราะห์ทีละขั้นตอนจะเป็นการหาค่าการเปลี่ยนแปลงมุมของโรเตอร์กับช่วงเวลาสั้นๆ โดยในการคำนวณมีข้อสมมุติฐาน ดังนี้[5]

1. กำลังไฟฟ้าเร่งที่เริ่มต้นของช่วงเวลาจะพิจารณาให้มีค่าคงที่จากกึ่งกลางของช่วงเวลาเพียงผ่านไปจนกึ่งกลางของช่วงเวลาที่เราพิจารณา
2. ความเร็วเชิงมุมมีค่าคงที่ตลอดช่วงเวลาและเราคำนวณที่กึ่งกลางของช่วงเวลานี้

โดยใช้สมการ

$$\omega_{r,n-\frac{1}{2}} - \omega_{r,n-\frac{3}{2}} = \frac{d^2\delta}{dt^2} \Delta t = \frac{180f}{H} P_{a,n-1} \Delta t \quad (2.32)$$

$$\Delta\delta_{n-1} = \delta_{n-1} - \delta_{n-2} = \Delta t \times \omega_{r,n-\frac{3}{2}} \quad (2.33)$$

$$\Delta\delta_n = \delta_n - \delta_{n-1} = \Delta t \times \omega_{r,n-\frac{1}{2}} \quad (2.34)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\Delta\delta_n = \delta_{n-1} + kP_{a,n-1} \quad (2.35)$$

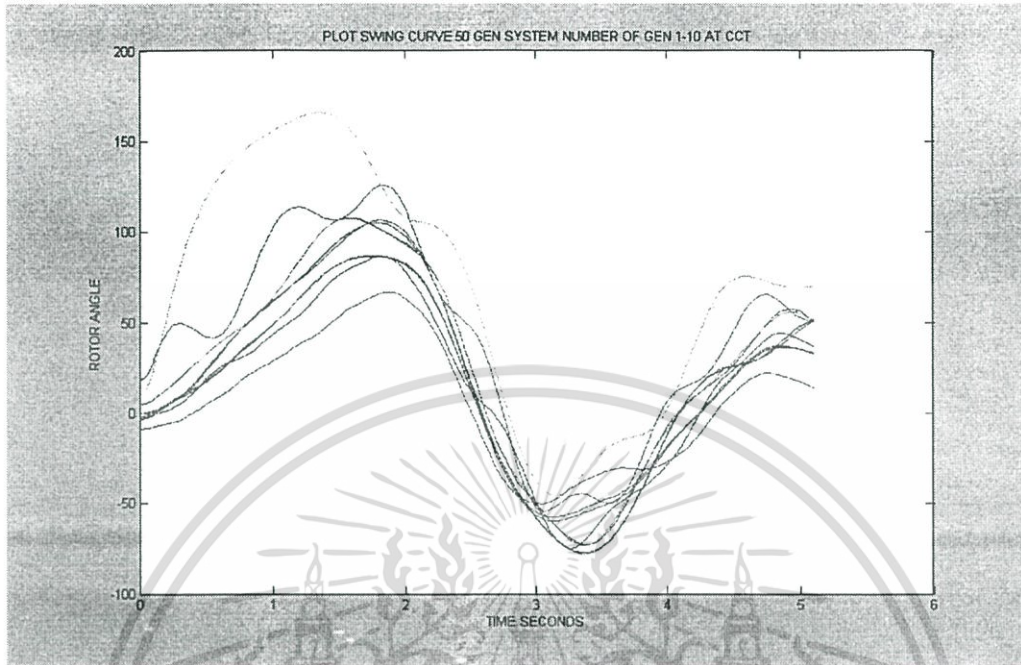
$$k = \frac{180f}{H} (\Delta t)^2 \quad (2.36)$$

การคำนวณหากราฟสวิงในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้อยู่บนสมมติฐานดังต่อไปนี้

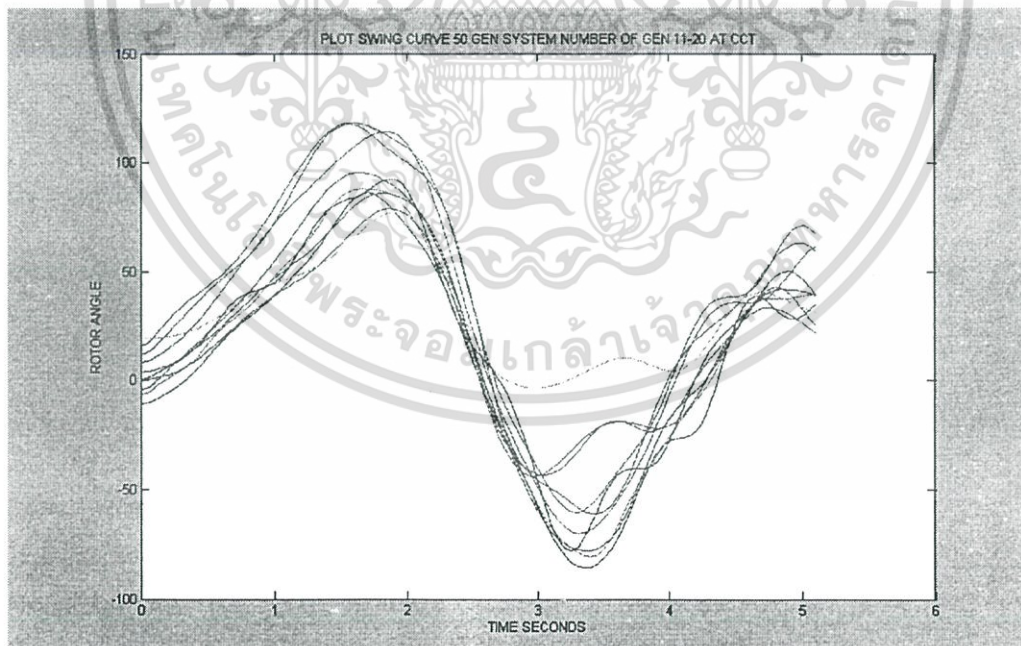
1. กำลังทางกลที่ป้อนให้กับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละเครื่องระหว่างช่วงเวลาทั้งหมดที่คำนวณหากราฟสวิงมีค่าคงที่
2. ไม่พิจารณาถึงกำลังหน่วง (Damping power)
3. แรงดันภายในของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละเครื่องหลังจากรีแอกแตนซ์ชั่วคราวมีค่าคงที่
4. มุมโรเตอร์ทางกลของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละเครื่องตรงกับ δ มุมทางไฟฟ้าของแรงดันในข้อ 3
5. พิจารณาโหลดทั้งหมดเป็นรีแอกแตนซ์ขนานที่ต่อลงดินและมีขนาดเท่ากันกับสภาวะก่อนที่จะเกิดสภาวะชั่วคราว

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้เลือกใช้โปรแกรมในรูปแบบการศึกษาที่ใช้แบบจำลองของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและระบบควบคุมแบบธรรมดา ซึ่งกำหนดให้แรงดันภายในของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Internal voltage, E') หลังจากรีแอกแตนซ์ชั่วคราว (Transient reactance, X_d') มีค่าคงที่ ซึ่งเป็นแบบจำลองที่นิยมใช้กันโดยทั่วไป เนื่องจากใช้เวลาในการคำนวณน้อยกว่าแบบจำลองแบบละเอียดและมีความถูกต้องของคำตอบอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

เมื่อทำการแก๊สสมการสวิง จะได้ความสัมพันธ์ระหว่าง มุมโรเตอร์ δ และเวลา t เมื่อนำไปเขียนกราฟ กราฟที่ได้จะเรียกว่ากราฟสวิง (Swing curve) ซึ่งนำมาใช้ในการพิจารณาเสถียรภาพของระบบไฟฟ้ากำลัง เมื่อเกิดฟอลต์ขึ้นในระบบไฟฟ้ากำลัง มุมโรเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทุกเครื่องจะมีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว และหลังจากทำการเคลียร์ฟอลต์ออกจากระบบ หากมุมโรเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทุกเครื่องที่เปรียบเทียบกับมุมโรเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอ้างอิงมีความแตกต่างกันไม่เกิน 180 องศา [6] และมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงลดลงอย่างช้าๆ จนถึงจุดคงที่จุดใหม่ (ซึ่งมีความสมดุลของกำลังไฟฟ้า และกำลังทางกล) จะถือว่าระบบไฟฟ้ากำลังมีเสถียรภาพในทางตรงข้าม หากมีมุมโรเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องใดเครื่องหนึ่งยังคงเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เมื่อเปรียบเทียบกับมุมโรเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอ้างอิง ก็จะถือว่าระบบสูญเสียเสถียรภาพ

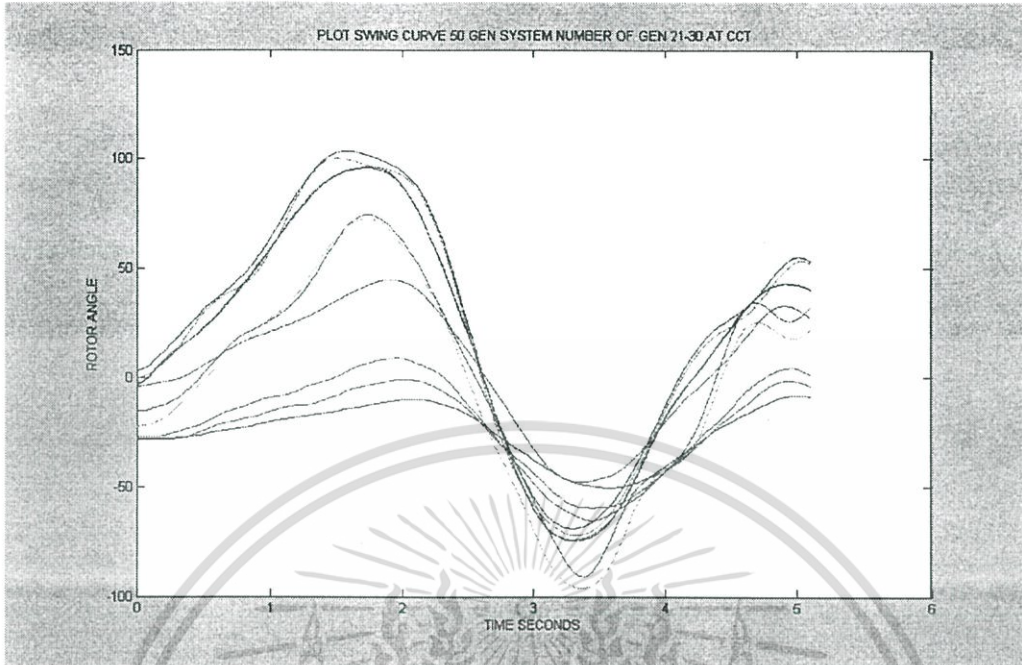


รูปที่ 2.3 Swing Curve เครื่องกำเนิดตัวที่ 1-10 ระบบ
IEEE 50 Generator Test System ที่ค่า Clearing Time = CCT

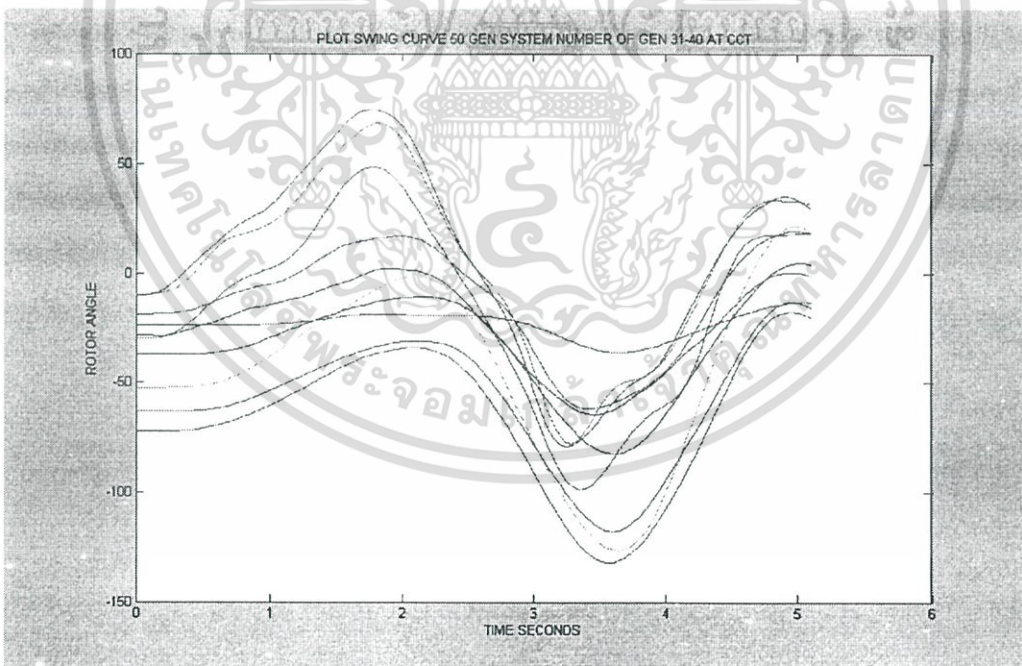


รูปที่ 2.4 Swing Curve เครื่องกำเนิดตัวที่ 11-20 ระบบ
IEEE 50 Generator Test System ที่ค่า Clearing Time = CCT

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

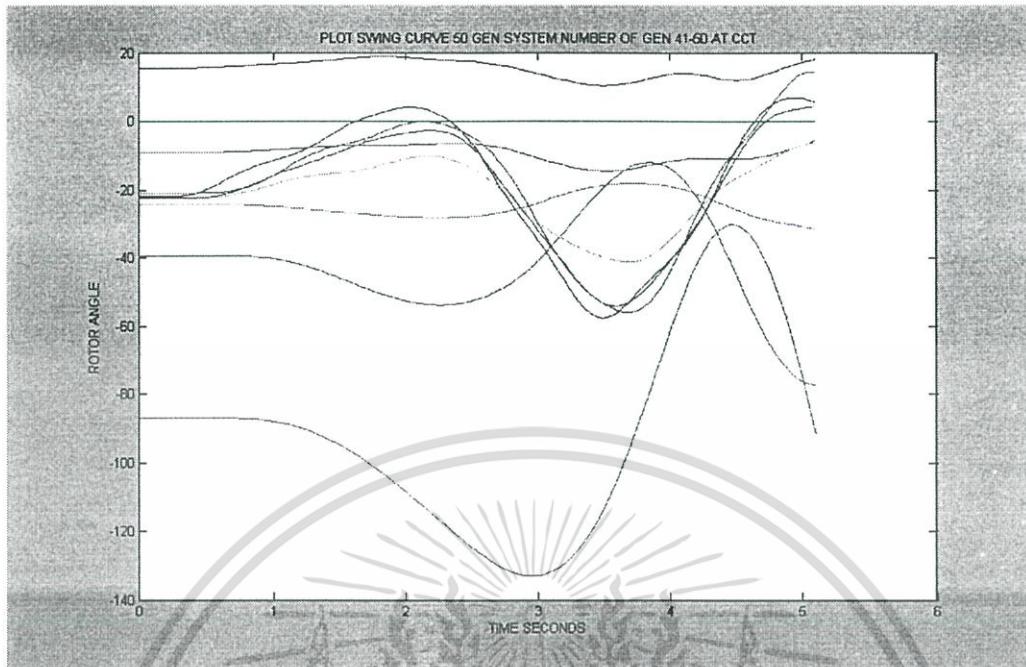


รูปที่ 2.5 Swing Curve เครื่องกำเนิดตัวที่ 21-30 ระบบ
IEEE 50 Generator Test System ที่ค่า Clearing Time = CCT



รูปที่ 2.6 Swing Curve เครื่องกำเนิดตัวที่ 31-40 ระบบ
IEEE 50 Generator Test System ที่ค่า Clearing Time = CCT

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

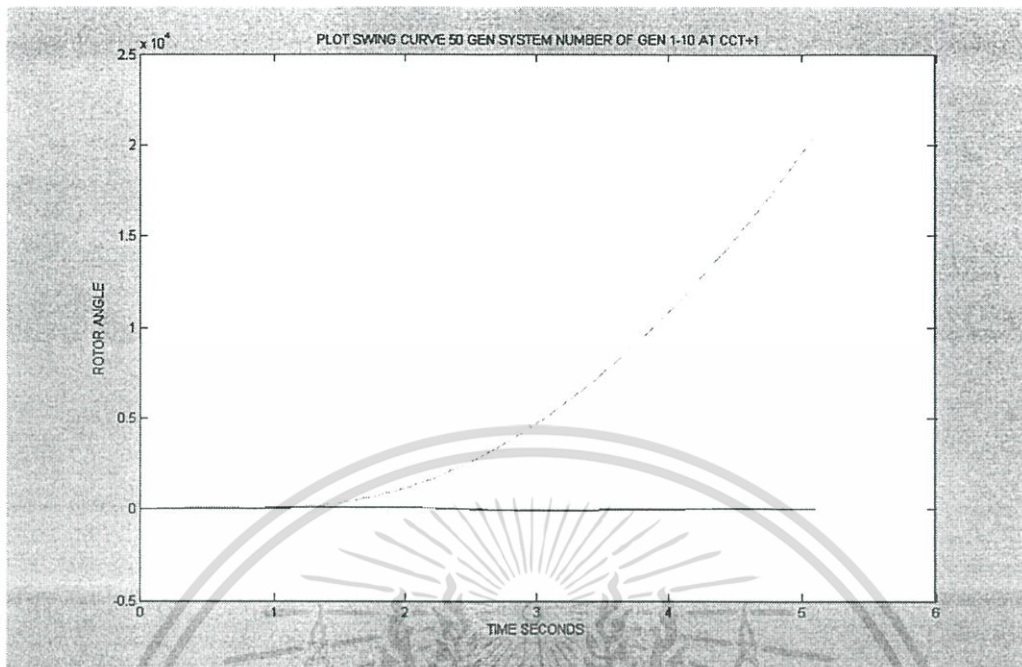


รูปที่ 2.7 Swing Curve เครื่องกำเนิดตัวที่ 41-50 ระบบ

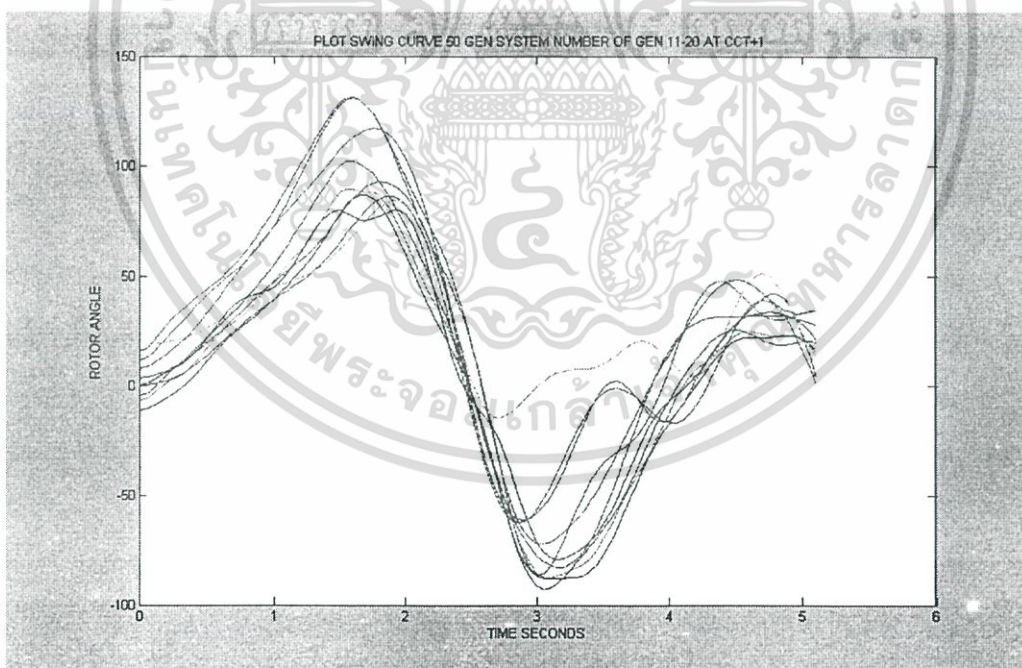
IEEE 50 Generator Test System ที่ค่า Clearing Time = CCT

จากรูป 2.3-2.7 คือตัวอย่างกราฟสวิง ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทั้งหมดที่อยู่ในระบบ IEEE 50 Generator Test System โดยเป็นการ Plot Swing Curve ที่ค่า Clearing Time = ค่า CCT ซึ่งเป็นค่าเวลามากที่สุดในการตัดกระแสฟอลต์ โดยที่ระบบยังคงรักษาเสถียรภาพของระบบอยู่ได้

จาก Swing Curve แสดงให้เห็นว่าระบบถูกรบกวนจากสถานะปกติ ด้วยการเกิดฟอลต์ โดยเครื่องกำเนิดทุกตัวมีการเปลี่ยนแปลง มุมของ โรเตอร์ เพื่อเปลี่ยนแปลงกำลังผลิตให้เหมาะสม หลังจากผ่านรบกวนระบบด้วยการเกิดฟอลต์

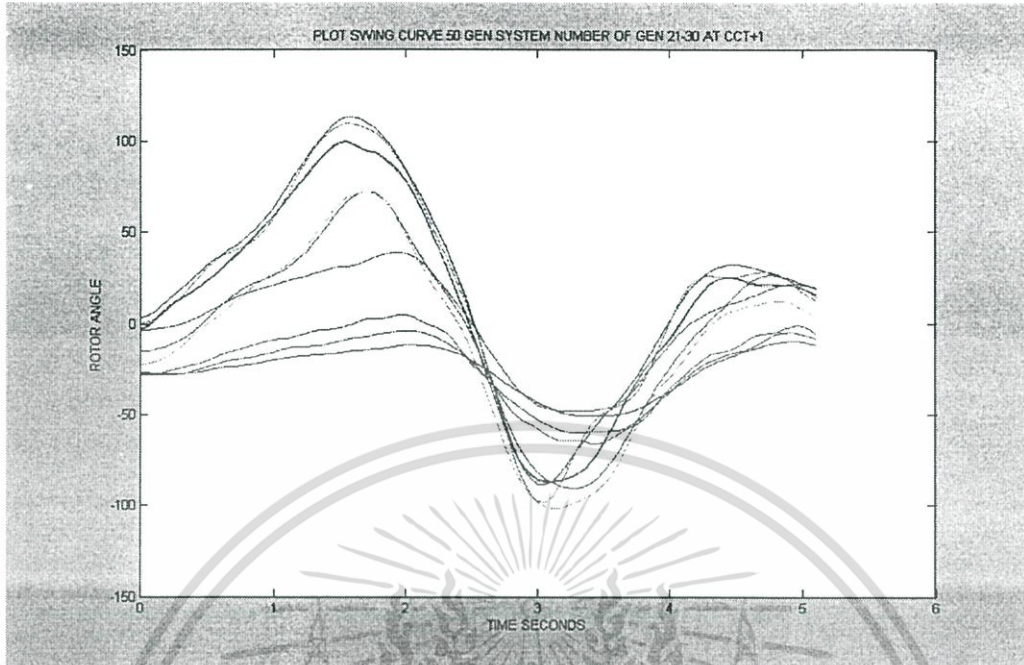


รูปที่ 2.8 Swing Curve เครื่องกำเนิดตัวที่ 1-10 ระบบ
IEEE 50 Generator Test System ที่ค่า Clearing Time = CCT+1 msec

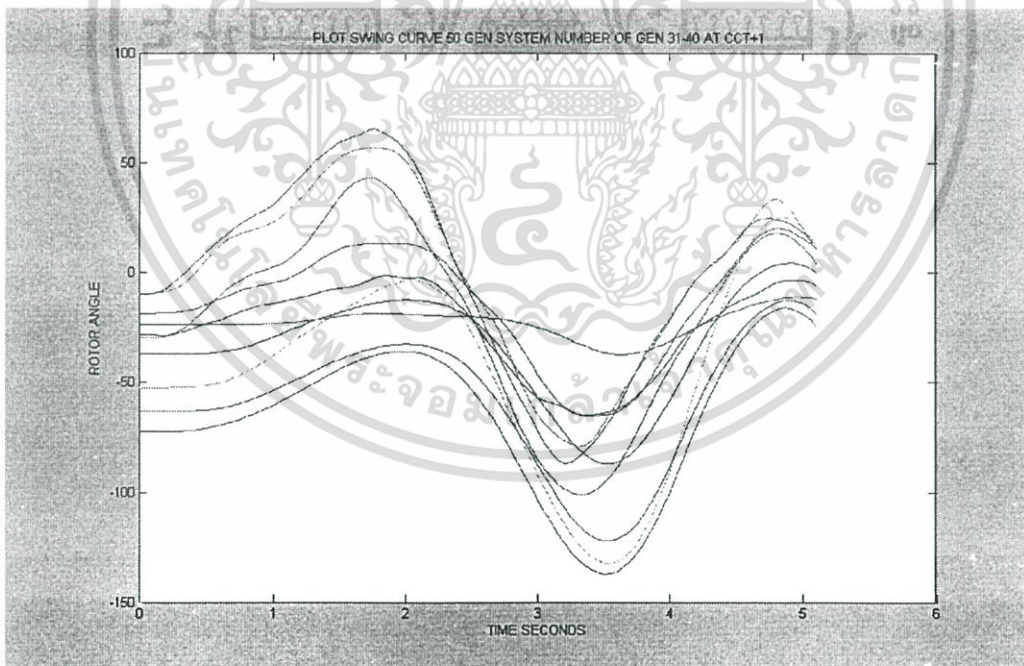


รูปที่ 2.9 Swing Curve เครื่องกำเนิดตัวที่ 11-20 ระบบ
IEEE 50 Generator Test System ที่ค่า Clearing Time = CCT+1 msec

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

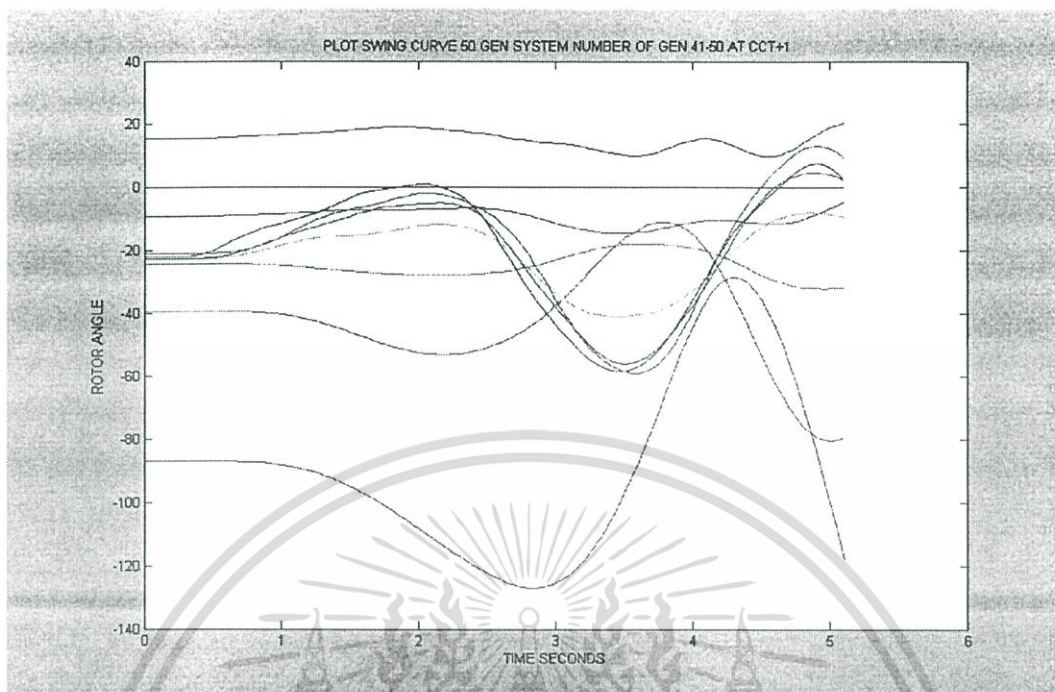


รูปที่ 2.10 Swing Curve เครื่องกำเนิดตัวที่ 21-30 ระบบ
IEEE 50 Generator Test System ที่ค่า Clearing Time = CCT+1 msec



รูปที่ 2.11 Swing Curve เครื่องกำเนิดตัวที่ 31-40 ระบบ
IEEE 50 Generator Test System ที่ค่า Clearing Time = CCT+1 msec

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.12 Swing Curve เครื่องกำเนิดตัวที่ 41-50 ระบบ IEEE 50 Generator Test System ที่ค่า Clearing Time = CCT+1 msec

จากรูป 2.8-2.12 คือตัวอย่างกราฟสวิง ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทั้งหมดที่อยู่ในระบบ IEEE 50 Generator Test System โดยเป็นการ Plot Swing Curve ที่ค่า Clearing Time = ค่า CCT+1 msec ซึ่งเป็นค่าเวลาที่มากกว่าค่าเวลาที่ระบบจะสามารถรักษาเสถียรภาพของระบบไว้ได้

จาก Swing Curve แสดงให้เห็นว่าระบบถูกรบกวนจากสภาวะปรกติ ด้วยการเกิดฟอลต์ โดยเครื่องกำเนิดทุกตัวมีการเปลี่ยนแปลง มุมของ โรเตอร์ เพื่อเปลี่ยนแปลงกำลังผลิตจากการถูกรบกวนแต่จากรูป 2.8 แสดงให้เห็นว่าระบบไม่สามารถ รักษาเสถียรภาพไว้ได้เนื่องจากมี เครื่องกำเนิดหนึ่งตัวหลุดออกจากการควบคุม โดยไม่สามารถกลับเข้าสู่สภาวะปรกติได้หลังการเกิดฟอลต์

การ Plot Swing Curve ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทุกเครื่องจะเปรียบเทียบกับมุมโรเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอ้างอิงเมื่อมุมของโรเตอร์แตกต่างกันไม่เกิน 180 องศา หรือเกิน 180 องศาแต่มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงลดลงอย่างช้าๆ ซึ่งแสดงว่าระบบยังคงมีเสถียรภาพ และถ้ามุมโรเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเมื่อเปรียบเทียบกับมุมโรเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอ้างอิงมีความแตกต่างกันมากกว่า 180 องศา และมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงที่เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ แสดงให้เห็นว่าระบบสูญเสียเสถียรภาพ

2.5 โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับการศึกษาเสถียรภาพในสภาวะชั่วคราว

โปรแกรมคอมพิวเตอร์ Load flow and step by step time simulation ที่ใช้ในการศึกษาเสถียรภาพในสภาวะชั่วคราวของระบบไฟฟ้ากำลังในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นโปรแกรมที่พัฒนาโดย Jorge Luiz De A. Jardim [3] ซึ่งเขียนโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ภาษา Fortran และทำงานบน Microsoft Developer Studio 97 [7] โดยขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมจะแสดงไว้รายละเอียดในบทที่ 4 ส่วนรายละเอียดและข้อกำหนดของโปรแกรมจะแสดงไว้ในภาคผนวก ก.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

โครงข่ายประสาทเทียม

3.1 Artificial Neural Networks (ANNs) คืออะไร

ANNs นับเป็นสาขาหนึ่งของปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence , AI) ซึ่งถูกพัฒนาขึ้นมาในยุคคอมพิวเตอร์ ANNs คือระบบการคำนวณที่สร้างเลียนแบบการทำงานของระบบสมองมนุษย์ เพื่อให้ประโยชน์ในการคาดคะเนเหตุการณ์จากข้อมูลที่มีอยู่ เช่น การพยากรณ์อากาศ การพยากรณ์หุ้นในตลาดหลักทรัพย์ และในปัจจุบันเริ่มมีการนำเอา ANNs มาใช้ในการประเมินความเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้ากำลัง นอกจากนี้ได้มีการพัฒนา ANNs ไปใช้ประโยชน์ในสาขาอื่น ๆ มากมาย เช่น Image Processing และ Pattern Recognition ANNs มีชื่อเรียกอื่นอีกเช่น Machine Learning Algorithms , Natural Intelligent System

คุณสมบัติและความสามารถของ โครงข่ายประสาทเทียม สามารถสรุปได้ดังนี้คือ

1. โครงข่ายประสาทเทียมไม่ใช่โปรแกรมคอมพิวเตอร์แต่โครงข่ายจะเรียนรู้จากตัวอย่าง
2. มีความยืดหยุ่นสูงจนสามารถจำลองกระบวนการของปัญหาใดๆ ได้
3. มีความสามารถในการจำชุดของคู่อินพุต เอาต์พุตที่มีความซับซ้อนมากจนไม่สามารถจำลองแบบในเชิงความน่าจะเป็นได้
4. มีความสามารถในการปรับตัวเข้ากับการเปลี่ยนแปลงของสิ่งแวดล้อม
5. มีความสามารถในการตอบสนองต่อข้อมูลที่ไม่เคยเห็น
6. ความรู้จะกระจายอยู่ทั่วทั้งโครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียม

ลักษณะของปัญหาที่เหมาะสมกับโครงข่ายประสาทเทียมมีดังนี้คือ

1. ตัวอย่างข้อมูลสำหรับการฝึกสอนประกอบด้วยองค์ประกอบหลายๆ ค่า
2. เอาท์พุตที่ต้องการเป็นค่าจำนวนเต็ม หรือจำนวนจริงหรือเป็นเวกเตอร์ของจำนวนเต็มหรือจำนวนจริงได้
3. ตัวอย่างของข้อมูลสามารถมีความผิดพลาดปะปนอยู่ได้
4. ไม่มีปัญหากับขั้นตอนการฝึกหัดซึ่งอาจใช้เวลานานมาก
5. ต้องการประเมินผลเอาท์พุตอย่างรวดเร็ว
6. ไม่ต้องการเข้าใจวิธีการแก้ปัญหา ต้องการให้ปัญหาได้รับการแก้ไขเท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การออกแบบ Artificial Neural Networks

การออกแบบ ANNs เป็นขั้นตอนที่ยุ่งยากและซับซ้อน และต้องลองผิดลองถูก (Trial & Error) พอสมควรก่อนที่จะได้ ANNs ที่ต้องการ ขั้นตอนการออกแบบ ANNs สามารถอธิบายได้ดังนี้

1. กำหนด นิวรอน ในแต่ละ ชั้น โดยกำหนดให้ ชั้น แรกคือ ชั้นอินพุท และ ชั้นสุดท้าย คือ ชั้นเอาต์พุท ส่วนชั้น ที่อยู่ตรงกลางเรียกว่า Hidden Layer อาจมี 1 ชั้น หรือมากกว่า 1 ชั้น ก็ได้ จำนวน นิวรอน ในชั้นอินพุท จะเท่ากับจำนวนอินพุท และจำนวน นิวรอน ใน ชั้นเอาต์พุท จะเท่ากับจำนวน เอาต์พุท นิวรอน ใน Hidden Layers คือ นิวรอน ที่ทำหน้าที่ในการประมวลผลข้อมูลเพื่อแปลง อินพุท เป็น เอาต์พุท
2. กำหนดการเชื่อมโยง (Connection) ระหว่าง นิวรอน ซึ่งอยู่ต่าง ชั้น และ นิวรอน ใน ชั้นเดียวกัน
3. สอน Networks ให้เรียนรู้ (Learn) ความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลและผลลัพธ์ที่ต้องการ เพื่อสร้างค่า Connection Weight (W_i) ที่เหมาะสม โดยใช้ชุดข้อมูลที่เรียกว่า Training Data Set

3.2 โครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียม (Architectures of Neural Networks)

ในการสร้างเซลล์ประสาทเพียงหนึ่งเซลล์ โดยใช้แนวความคิดจากเซลล์ประสาทชีวภาพ การจะนำเซลล์ประสาทเทียมมาใช้งานได้นั้น ต้องใช้เซลล์ประสาทเทียมที่มีคุณลักษณะต่างๆ กัน (ค่าถ่วงน้ำหนักจะทำให้คุณสมบัติของเซลล์ประสาทเทียมแต่ละเซลล์มีคุณลักษณะแตกต่างกันไป) มาเชื่อมต่อเซลล์ประสาทหลายๆ ตัวเข้าด้วยกันให้เกิดเป็นลักษณะของโครงข่ายเป็นชั้นๆ หรือที่เรียกว่า เลเยอร์ (Layer) ซึ่งเซลล์ประสาทแต่ละตัวที่อยู่ในชั้นเดียวกันจะไม่มี การเชื่อมต่อถึงกัน ประเภทของโครงสร้างการเชื่อมต่อโครงข่ายประสาทเทียม พอจะแบ่งออกเป็น 2 แบบคือ โครงข่ายประสาทเทียมแบบชั้นเดียว (Single Layer Neural Network) และโครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้น (Multi Layer Neural Network)

3.2.1 โครงข่ายประสาทเทียมแบบชั้นเดียว (Single Layer Neural Network)

จะประกอบไปด้วยเซลล์ประสาทที่จัดเรียงตัวอยู่ในชั้นต่างๆ อันได้แก่ ชั้นอินพุท และชั้นเอาต์พุท สาเหตุที่จัดโครงสร้างแบบนี้เป็นแบบชั้นเดียว เนื่องมาจากเรานับชั้นเอาต์พุทเพียงชั้นเดียวเท่านั้นว่าเป็นชั้นของเซลล์ประสาท สำหรับชั้นอินพุทเราไม่พิจารณาว่าเป็นชั้นของเซลล์ประสาทก็เพราะเป็นชั้นที่ไม่มีการประมวลใดๆ จะทำหน้าที่เพียงแคร์รับข้อมูลอินพุทเข้ามาและส่งต่อให้กับชั้นถัดไปเท่านั้น

3.2.2 โครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้น (Multi Layer Neural Network)

เนื่องจากโครงข่ายประสาทเทียมแบบชั้นเดียวมีข้อจำกัด ไม่สามารถนำมาใช้แก้ปัญหาต่างๆ ในบางกรณีได้ จึงได้มีการพัฒนาโครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้น ซึ่งมีโครงสร้างประกอบขึ้นจากการจัดเรียงตัวของเซลล์ประสาทตั้งแต่ 2 ชั้นขึ้นไป (ไม่นับรวมชั้นอินพุต) โดยปกติโครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้นจะประกอบด้วยโครงข่ายประสาทเทียมแบบชั้นเดียวหลายๆ ตัวต่ออยู่ในโครงสร้างที่มีลำดับชั้นลดลั่นกันลงไป โดยอยู่ในรูปของการทำงานที่ป้อนไปข้างหน้า (Feed forward) ซึ่งชั้นที่อยู่ระหว่างชั้นอินพุตและชั้นเอาต์พุต เรียกว่า ชั้นซ่อน (Hidden Layer) ซึ่งชั้นซ่อนนี้เองที่เป็นตัวเพิ่มความสามารถให้แก่โครงข่าย ทั้งนี้จำนวนของชั้นซ่อนสามารถมีได้มากกว่า 1 ชั้น จำนวนของชั้นซ่อนและจำนวนของนิวรอนในแต่ละชั้นจะมีค่าไม่คงที่ ซึ่งแต่ละชั้นอาจจะมีจำนวนนิวรอนที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับการประยุกต์ใช้งาน โดยปกติจะใช้จำนวนนิวรอนให้เยอะๆ ไว้ก่อนแล้วค่อยๆ ลดลงมาจนได้จำนวนน้อยที่สุดที่ โครงข่ายประสาทเทียมยังคงเรียนรู้ได้

อีกวิธีหนึ่งที่จะทำให้แน่ใจว่า ตัวอย่างที่ใช้ในกระบวนการฝึกสอนโครงข่ายนั้นพอที่จะครอบคลุมข้อมูลทั้งหมดได้ ก็คือพยายามใช้ตัวอย่างที่มีจำนวนมากในการฝึกสอนโครงข่าย เพื่อที่ว่าความรู้ที่มากขึ้นจะเป็นข้อมูลในการสร้างผลตอบสนองของโครงข่ายได้ดีขึ้น

3.3 รูปแบบของการเชื่อมโยงระหว่างนิวรอน

นิวรอน แต่ละตัวจะต่อกับ นิวรอน ตัวอื่นตามระบบการเชื่อมต่อที่สร้างขึ้น เอาต์พุตของนิวรอน ตัวหนึ่งจะเป็นอินพุต ของ นิวรอน ตัวอื่นต่อไป การเชื่อมต่ออาจเป็นการเชื่อมต่อแบบทางเดียว (Unidirectional) หรือแบบเชื่อม 2 ทาง (Two-way connection) ก็ได้

นิวรอน ใน ชั้น หนึ่งอาจเชื่อมโยงหรือไม่เชื่อมโยงกับ นิวรอน ตัวอื่นใน ชั้น เดียวกันก็ได้ แต่ นิวรอน ใน ชั้น หนึ่งจะต้องเชื่อมโยงกับ นิวรอน อย่างน้อยๆ 1 ตัว ใน ชั้น อื่นเสมอ

การเชื่อมโยงของ นิวรอน ระหว่าง ชั้น ซึ่งเรียกว่า Inter - Layer Connections สามารถแบ่งเป็นแบบต่างๆ ได้ดังนี้

1. Fully Connected

นิวรอน แต่ละตัวใน ชั้น ที่ 1 จะเชื่อมต่อกับ นิวรอน ทุกตัวใน ชั้น ที่ 2

2. Partially Connected

นิวรอน แต่ละตัวใน ชั้น ที่ 1 จะเชื่อมต่อกับ นิวรอน บางตัวใน ชั้น ที่ 2

3. Feed Forward

นิวรอน ใน ชั้น ที่ 1 ส่ง เอาต์พุต ให้ นิวรอน ใน ชั้น ที่ 2 แต่จะไม่ได้รับ Feedback จาก นิวรอน ใน ชั้น 2

4. Bi-directional

Output จาก นิวรอน ใน ชั้น ที่ 2 จะถูกส่งกลับมาเป็นอินพุต ของ นิวรอน ใน ชั้น ที่ 1

3.4 กระบวนการเรียนรู้ (Learning) ของ Artificial Neural Networks

Artificial Neurons สามารถเรียนรู้ได้เช่นเดียวกับสมองมนุษย์ ดังนั้นบางคนจึงเรียก ANNs ว่า Machine Learning Algorithm นิวรอน เรียนรู้โดยการปรับค่า Connection Weight เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่มีค่าความคลาดเคลื่อน (Error) น้อยที่สุด กำลังของการเชื่อมโยงระหว่าง นิวรอน จะแสดงอยู่ในรูปของค่า Weight

ความสามารถในการเรียนรู้ของ ANNs ขึ้นอยู่กับโครงสร้างของ ANNs ที่ออกแบบไว้และวิธีการฝึกสอน (Training) ซึ่งสามารถแบ่งการเรียนรู้ได้ 2 แบบ คือ

1. Unsupervised Learning

ในระบบการเรียนรู้แบบ Unsupervised นิวรอนจะปรับตัวเองโดยไม่ต้องการความช่วยเหลือจากภายนอก ไม่ต้องมีตัวอย่างผลลัพธ์เพื่อให้ นิวรอน ได้เรียนรู้กระบวนการเรียนรู้แบบนี้เรียกว่า Learning by Doing

2. Supervised Learning

ในกระบวนการเรียนรู้แบบ Supervised เป็นกระบวนการเรียนรู้ที่ต้องการชุดข้อมูลสำหรับฝึกสอน (Training Data Set) เป็นตัวช่วยสอน นิวรอน เพื่อปรับค่า ถ่วงน้ำหนัก และค่าไบแอส ให้มีค่าเหมาะสมสำหรับชุดข้อมูลนั้น โดยข้อมูลเอาต์พุตนั้นจะเป็นเป้าหมายของการฝึกสอน ซึ่งนิยมใช้ในการแก้ปัญหาลักษณะการประมาณค่าฟังก์ชัน (Function approximation)

โครงข่ายประสาทเทียมประเภท Unsupervised จะแบ่งออกเป็น 2 ประเภทได้แก่ Kohonen networks ซึ่งนิยมใช้ในการแก้ปัญหาลักษณะการแยกแยะ (Classification problem) และ Recurrent feedback networks ซึ่งนิยมใช้ในการแก้ปัญหาลักษณะการหาค่าที่เหมาะสม (Optimization problem)

ระบบการเรียนรู้แบบ Supervised นิยมใช้สำหรับกรณีที่มีหลายชั้น และมีระบบการเชื่อมโยงแบบ Feed Forward ซึ่งถือเป็นระบบการเรียนรู้ที่มีระบบการส่งข้อมูลเกี่ยวกับความคลาดเคลื่อนในการคำนวณผลลัพธ์กลับไปปรับค่า Weight ในการเชื่อมโยงระหว่าง ชั้น เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการคำนวณของระบบ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะขอกล่าวถึงรายละเอียดเฉพาะ Back-propagation Neural Networks ซึ่งเป็นแบบ Supervised Learning ซึ่งใช้ในการแก้ปัญหาระบบไฟฟ้ากำลังเท่านั้น

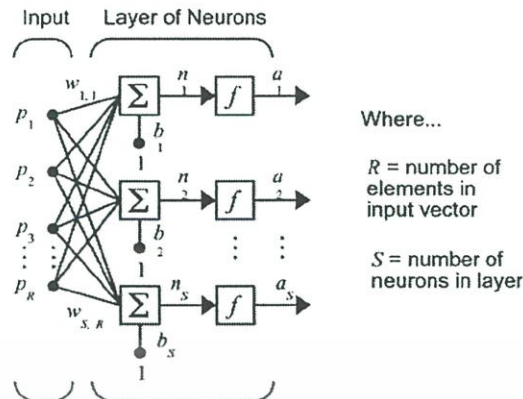
3.5 โครงข่ายประสาทเทียมชนิดแพร่ค่าย้อนกลับ (Back-propagation Neural Networks)

กระบวนการจะเริ่มต้นด้วยการนำค่าอินพุตที่ได้รับจากชั้นอินพุตมาคำนวณหา ผลรวมที่ได้รับในแต่ละนิวรอน แล้วจึงส่งผลลัพธ์ที่ได้ส่งต่อไปยังชั้นซ่อนที่ 1 แต่ละนิวรอนใน ชั้นซ่อนที่ 1 จะทำการคำนวณด้วยฟังก์ชันถ่ายโอนในชั้นนั้น แล้วจึงส่งผลลัพธ์ที่ได้ส่งต่อไปยังชั้นซ่อนที่อยู่ถัดไป ในชั้นซ่อนที่ 2 แต่ละนิวรอนในชั้นซ่อนที่ 2 จะทำการคำนวณด้วยฟังก์ชันถ่ายโอนในชั้นนั้น จากนั้นส่งผลลัพธ์ที่ได้ส่งต่อไปยังชั้นถัดไป สุดท้าย แต่ละนิวรอนในชั้นเอาต์พุตจะทำการคำนวณด้วยฟังก์ชันกระตุ้นในชั้นเอาต์พุต เพื่อหาคำตอบหรือผลตอบสนองของโครงข่ายสำหรับ แต่ละรูปแบบข้อมูลที่ป้อนให้ ทิศทางการไหลของข้อมูลเหล่านี้จะเป็นลักษณะเคลื่อนไปข้างหน้าจากชั้นของอินพุต ผ่านชั้นของนิวรอนเซลล์ภายในไปสู่ชั้นเอาต์พุต วิธีการคำนวณของโครงข่ายลักษณะนี้ จึงมีชื่อตามลักษณะดังกล่าวว่า forward-propagation

ขั้นต่อไปจะนำค่าผิดพลาดที่ได้มาใช้ในการปรับค่าถ่วงน้ำหนัก โดยการปรับค่าถ่วงน้ำหนักและค่าไบแอสจะมี algorithm สำหรับใช้ในการปรับค่าโดยจะปรับค่าโดยคิดจากค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้นกับเอาต์พุตแล้วนำค่าผิดพลาดนั้นไปคำนวณหาค่าถ่วงน้ำหนักและค่าไบแอสค่าใหม่ กระบวนการจะกลับไปทำซ้ำในขั้นตอนแรกจนกระทั่งค่าผิดพลาดที่ได้มีค่าน้อยกว่าค่าผิดพลาดต่ำสุดที่กำหนดไว้หรือจนถึงสิ้นสุดกระบวนการฝึกสอนที่ตั้งค่าไว้ ในวิทยานิพนธ์นี้ใช้การปรับค่าถ่วงน้ำหนักแล้วไบแอสโดย Levenberg-Maquardt algorithm

3.5.1 สถาปัตยกรรมของโครงข่าย

Back-propagation Neural Networks จะประกอบด้วย ชั้นข้อมูลอินพุต 1 ชั้น ชั้นซ่อนตั้งแต่ 1 ชั้นขึ้นไป และชั้นเอาต์พุต 1 ชั้น โดยชั้นข้อมูลอินพุตจะมีจำนวนปมประสาทเท่ากับจำนวนข้อมูลอินพุต และชั้นเอาต์พุตจะมีจำนวนปมประสาทเท่ากับจำนวนข้อมูลเอาต์พุต โดยมีการคำนวณแบบ forward และมีการเชื่อมโยงในแต่ละชั้นแบบต่อถึงกันหมด(Fully Connected) นั่นคือทุกๆ นิวรอนในชั้นอินพุตจะส่งสัญญาณไปยังทุกๆ นิวรอนในชั้นซ่อนชั้นแรก และทุกๆ นิวรอนในชั้นซ่อนชั้นแรกจะส่งสัญญาณไปยังทุกๆ นิวรอนในชั้นถัดไปจนในที่สุดทุกๆ นิวรอนในชั้นซ่อนสุดท้ายจะส่งสัญญาณไปยังทุกๆ นิวรอนในชั้นเอาต์พุต ดังที่จะกล่าวต่อไป

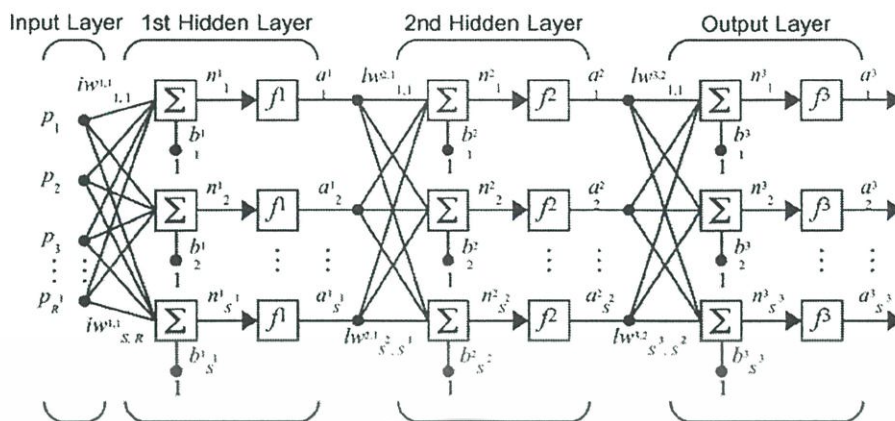


รูปที่ 3.1 แบบจำลองชั้นของนิวรอน แบบที่มี 1 ชั้นซ่อน [4]

รูปที่ 3.1 แสดงโครงข่ายประสาทเทียมที่มีอินพุต R ชุด และมีนิวรอน S นิวรอน โดยที่สมาชิกของอินพุตเวกเตอร์ p (ประกอบไปด้วย p_1, p_2, \dots, p_R) จะถูกเชื่อมต่อเข้ากับนิวรอนแต่ละนิวรอนด้วยค่าถ่วงน้ำหนัก W ซึ่งสามารถเขียนแทนด้วย เมทริกซ์ที่มีขนาด $S \times R$ อินพุตของฟังก์ชันถ่ายโอน $n(i)$ เป็นผลลัพธ์จากการรวมผลคูณของอินพุตและค่าถ่วงน้ำหนักแต่ละชุดกับค่าไบแอสของนิวรอนที่ i เมื่อจัดเรียงอินพุตของฟังก์ชันถ่ายโอนเข้าด้วยกันก็จะได้เวกเตอร์ n ซึ่งมีขนาด S ชั้นตอนสุดท้ายเวกเตอร์ n จะถูกป้อนผ่านฟังก์ชันถ่ายโอน โดยจะได้เวกเตอร์ a ซึ่งมีขนาด S เป็นผลลัพธ์ของโครงข่ายประสาทเทียม โดยที่

$$a = f(W * p + b) \quad (3.1)$$

การแก้ปัญหาที่มีความซับซ้อนของปัญหามากๆ การใช้ชั้นซ่อนเพียงหนึ่งชั้นไม่เพียงพอในการแก้ปัญหา เราจึงมีความจำเป็นในกรณีที่จะต้องเพิ่มจำนวนชั้นซ่อนให้มากขึ้นเพื่อให้โครงข่ายประสาทเทียมสามารถเรียนรู้ปัญหาที่มีความซับซ้อนมากขึ้นได้ รวมถึงสามารถเรียนรู้ปัญหาที่มีความไม่เป็นเชิงเส้นมากๆ ได้ดีขึ้นด้วย



รูปที่ 3.2 แบบจำลองของโครงข่ายประสาทเทียมที่มี 2 ชั้นซ่อน [4]

รูปที่ 3.2 แสดงโครงข่ายประสาทเทียมที่มี 2 ชั้นซ่อน มีอินพุต R ชุด, นิวรอนในชั้นซ่อนที่ 1 และ 2 เท่ากับ S^1 และ S^2 และมีเอาต์พุต S^3 ชุด ... เช่นเดียวกันกับโครงข่ายประสาทเทียมที่มีชั้นซ่อน 1 ชั้น สมาชิกของอินพุตเวกเตอร์ P แต่ละตัวจะถูกเชื่อมเข้ากับนิวรอนแต่ละนิวรอนในชั้นซ่อนที่ 1 ด้วยค่าถ่วงน้ำหนัก W^1 (เรียกว่า Input weight, $IW^{1,1}$) ซึ่งเป็นเมตริกซ์ขนาด $S^1 \times R$ และเวกเตอร์ a^1 ซึ่งเป็นผลลัพธ์ของชั้นซ่อนที่ 1 และมีขนาด S^1 จะเป็นอินพุตของชั้นซ่อนที่ 2 สมาชิกแต่ละตัวของเวกเตอร์ a^1 ก็จะถูกเชื่อมเข้ากับนิวรอนแต่ละนิวรอนในชั้นซ่อนที่ 2 ด้วยค่าถ่วงน้ำหนัก W^2 (เรียกว่า Layer weight, $LW^{2,1}$) ซึ่งเป็นเมตริกซ์ขนาด $S^2 \times S^1$ เช่นเดียวกันกับชั้นซ่อนที่ 1 เวกเตอร์ a^2 ซึ่งเป็นผลลัพธ์ของชั้นซ่อนที่ 2 และมีขนาด S^2 จะเป็นอินพุตของชั้นข้อมูลเอาต์พุต สมาชิกแต่ละตัวของเวกเตอร์ a^2 จะถูกเชื่อมเข้ากับนิวรอนแต่ละตัวในชั้นข้อมูลเอาต์พุตด้วยค่าถ่วงน้ำหนัก W^3 ($LW^{3,2}$) ซึ่งเป็นเมตริกซ์ขนาด $S^3 \times S^2$ โดยที่เวกเตอร์ a^3 ซึ่งเป็นเมตริกซ์ขนาด S^3 จะเป็น

ค่าเฉลี่ยของค่าผิดพลาดยกกำลังสอง (Mean-square error, MSE) ระหว่างคำตอบที่แท้จริง (t_i) กับผลลัพธ์ของโครงข่ายประสาทเทียม (a_i) ในสมการ (3.5)

$$MSE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (t_i^3 - a_i^3)^2 \quad (3.5)$$

โดยที่ N = จำนวนชุดของข้อมูลฝึกสอน

การฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียมชนิด Back-propagation จะมีโครงสร้างของโครงข่ายในชั้นซ่อนที่สามารถปรับเปลี่ยนได้ตามความเหมาะสม โดยขึ้นอยู่กับปัญหาที่เราเรียนรู้โดยเราสามารถที่จะปรับเปลี่ยนได้ทั้งจำนวน นิวรอนในแต่ละชั้น และความแตกต่างของจำนวน นิวรอนในชั้นซ่อนที่ 1 และที่ 2 (โดยในวิทยานิพนธ์นี้จะให้ชั้นซ่อนที่ 1 มีจำนวน นิวรอน มากกว่าชั้นที่ 2 อยู่ 1 นิวรอน) ซึ่งการที่สามารถปรับเปลี่ยนขนาดของชั้นซ่อนและความแตกต่างของจำนวนนิวรอนก็เพื่อที่จะทำให้โครงสร้างของโครงข่ายมีความเหมาะสมที่สุดที่จะใช้หาคำตอบของปัญหาที่ศึกษา โดยให้ค่าความผิดพลาดของผลที่ต้องการศึกษามีค่าน้อยที่สุด ชั้นซ่อนที่มีจำนวนนิวรอนมาก หรือมีความซับซ้อนมาก จะทำให้ใช้เวลาฝึกสอนมากกว่า โครงสร้างที่มีความซับซ้อนน้อย ส่วนจำนวนนิวรอนในชั้นเอาต์พุตจะมีจำนวนเท่ากับจำนวนอินพุต ของปัญหานั้นๆ และจำนวนเอาต์พุตก็จะมีจำนวนเท่ากับจำนวนเอาต์พุตของปัญหาที่ต้องการศึกษา โดยที่จำนวนอินพุต และจำนวนเอาต์พุตไม่สามารถปรับเปลี่ยนได้ ซึ่งถ้าจะเปลี่ยนแปลงโครงสร้าง อินพุต และเอาต์พุตด้วย

3.5.2 ฟังก์ชันถ่ายโอน

สำหรับปัญหาทั่วไปที่ไม่ซับซ้อนมากนัก โครงข่ายประสาทเทียมชนิดที่มีการแพร่ค่าย้อนกลับมักนิยมใช้ฟังก์ชันถ่ายโอนชนิด Log-sigmoid ในการแก้ปัญหา แต่ในกรณีที่ปัญหามีความซับซ้อนมากขึ้นจะต้องใช้ฟังก์ชันถ่ายโอนชนิด Tan-sigmoid เหตุผลหนึ่งที่ฟังก์ชันถ่ายโอนทั้งสองชนิดถูกนำมาใช้ในโครงข่ายประสาทเทียมชนิดที่มีการแพร่ค่าย้อนกลับก็คือ ฟังก์ชันถ่ายโอนชนิดดังกล่าวสามารถหาอนุพันธ์ได้ (Differentiable) จึงทำให้โครงข่ายประสาทเทียมชนิดนี้สามารถใช้แก้ปัญหาที่ไม่เป็นเชิงเส้นได้อย่างดี ฟังก์ชันถ่ายโอนอีกชนิดหนึ่งที่ใช้ในโครงข่ายประสาทเทียมชนิดนี้ก็คือ ฟังก์ชันถ่ายโอน Linear ซึ่งจะใช้ในชั้นข้อมูลเอาต์พุต ฟังก์ชันถ่ายโอนที่นิยมใช้กันมากได้แก่ Hard limit, Linear, Log-sigmoid และ Tan-sigmoid แสดงในรูปแบบที่ 3.3 และสมการที่ 3.6 ถึง 3.9 ตามลำดับ

$$a(n) = \begin{cases} 0, & n < 0 \\ 1, & n \geq 0 \end{cases} \quad (3.6)$$

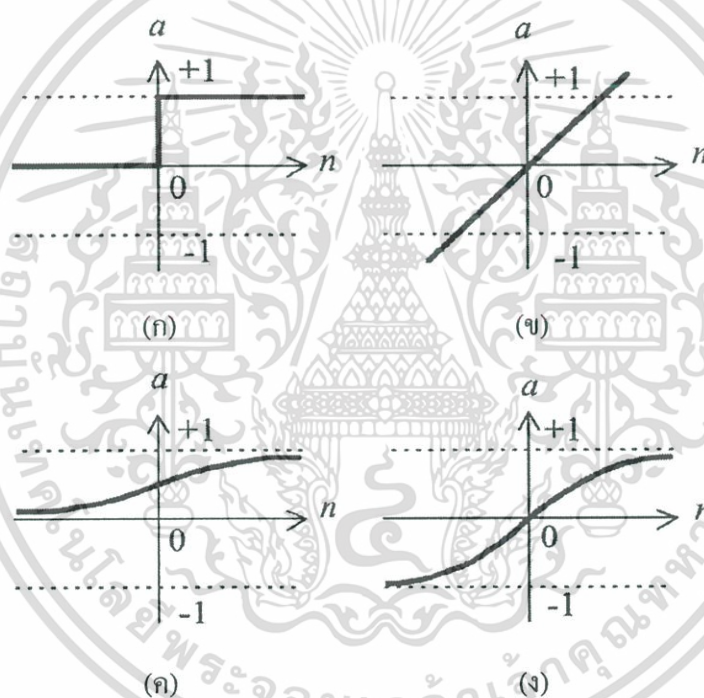
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$a(n) = n \quad (3.7)$$

$$a(n) = \frac{1}{1+e^{-kn}} \quad (3.8)$$

$$a(n) = \frac{1-e^{-kn}}{1+e^{-kn}} \quad (3.9)$$

โดยที่ k คือ ค่าคงที่



รูปที่ 3.3 ฟังก์ชันถ่ายโอน (ก) ชนิด Hard limit, (ข) ชนิด Linear, (ค) ชนิด Log-sigmoid และ(ง) ชนิด Tan-sigmoid

3.6 ค่าถ่วงน้ำหนัก และ ค่าไบแอส

โครงข่ายประสาทเทียมแต่ละชั้นจะถูกเชื่อมกันระหว่างชั้นด้วยค่าถ่วงน้ำหนัก และจะมีไบแอส ต่ออยู่กับปมประสาทในชั้นเดียวกัน ซึ่งหลังจากเราเลือกจำนวนปมประสาทในชั้นซ่อน จำนวนชั้นซ่อน และฟังก์ชันถ่ายโอนในโครงข่ายที่เหมาะสมกับสิ่งที่เราศึกษาได้แล้วก็จะมาถึงขั้นตอนการหาค่า ถ่วงน้ำหนัก และค่าไบแอส

โครงสร้างทั้งหมดที่กล่าวมาไม่ว่าจะเป็น ชั้นซ่อน จำนวนชั้นซ่อน และฟังก์ชันถ่ายโอน ทั้งหมดรวมกัน โครงสร้างหนึ่งของโครงข่ายประสาทเทียม ซึ่งยังไม่สามารถแก้ปัญหาใดๆ ได้ เนื่องจากยังไม่ได้ผ่านการเรียนรู้ การเรียนรู้ที่ต้องใช้ข้อมูลฝึกสอนในการสอนโครงข่ายประสาทเทียม โดยระหว่างเรียนรู้ก็จะเป็นการปรับค่า ถ่วงน้ำหนัก แล้วค่าไบแอส ระหว่างการเรียนรู้เพื่อให้ได้ค่าถ่วงน้ำหนักและไบแอส ที่เหมาะสมสำหรับ โครงสร้างนั้นๆ ในการตอบปัญหาที่ต้องการ เพื่อให้มีค่าผิดพลาดสำหรับการตอบปัญหามีค่าน้อยที่สุดสำหรับ โครงสร้างนั้นๆ โดยการปรับค่า ถ่วงน้ำหนัก 1 ครั้งจะถูกรเรียกว่า 1 epoch

3.7 Levenberg-Maquardt algorithm

การปรับค่าถ่วงน้ำหนักและค่าไบแอสของการฝึกสอน โครงข่ายประสาทเทียมชนิด Feed-forward Neural Networks โดยใช้ Neural Network Toolbox นั้นมีอยู่หลายวิธี อาทิเช่น Levenberg-Maquardt algorithm, Resilient Backpropagation, Conjugate Gradient เป็นต้น แต่ละวิธีก็จะมีประสิทธิภาพและความรวดเร็วในการฝึกสอนแตกต่างกัน ตามที่ระบุไว้ใน Neural Network Toolbox User's Guide นั้น Levenberg-Maquardt algorithm มีประสิทธิภาพและความรวดเร็วในการฝึกสอนสูงที่สุด ในการศึกษานี้จึงได้นำเอาลำดับขั้นตอนการปรับค่าถ่วงน้ำหนักและค่าไบแอสวิธีนี้มาใช้

Levenberg-Maquardt algorithm มีประสิทธิภาพและความรวดเร็วในการฝึกสอนสูงที่สุด ในการศึกษานี้จึงได้นำเอาลำดับขั้นตอนการปรับค่าถ่วงน้ำหนักและค่าไบแอสวิธีนี้มาใช้ โดยมีลำดับขั้นตอนการปรับค่าถ่วงน้ำหนักและค่าไบแอส ดังสมการที่ 3.10

$$x_{(new)} = x_{(old)} + \Delta X = x_{(old)} + [J^T \cdot J + \alpha I]^{-1} \cdot J^T \cdot e \quad (3.10)$$

โดยที่	x	คือ ค่าถ่วงน้ำหนัก(w) และค่าไบแอส (b)
	J	คือ จาโคเบียนเมตริกซ์ (Jacobian matrix) ของอนุพันธ์ของค่าผิดพลาด(แต่ละค่า) ต่อค่า x (แต่ละค่า)
	J^T	คือ Transpose matrix ของ J
	e	คือ เมตริกซ์ของค่าผิดพลาด (Error) ระหว่างคำตอบ (Target , t^i) กับค่าที่โครงข่ายประสาทเทียมคำนวณได้ (Answer , a^i)
	I	คือ Identity matrix

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จาโคเบียนเมตริกซ์ของ (w) $J(w) =$
$$\begin{bmatrix} \frac{\partial e_1}{\partial w_{1,1}} & \frac{\partial e_1}{\partial w_{1,2}} & \dots & \frac{\partial e_1}{\partial w_{1,s^2}} \\ \frac{\partial e_2}{\partial w_{2,1}} & \frac{\partial e_2}{\partial w_{2,2}} & \dots & \frac{\partial e_2}{\partial w_{2,s^2}} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ \frac{\partial e_{s^3}}{\partial w_{s^3,1}} & \frac{\partial e_{s^3}}{\partial w_{s^3,2}} & \dots & \frac{\partial e_{s^3}}{\partial w_{s^3,s^2}} \end{bmatrix} \quad (3.11)$$

จาโคเบียนเมตริกซ์ของค่า (b) $J(b) =$
$$\begin{bmatrix} \frac{\partial e_1}{\partial b_1} \\ \frac{\partial e_2}{\partial b_2} \\ \vdots \\ \frac{\partial e_{s^3}}{\partial b_{s^3}} \end{bmatrix} \quad (3.12)$$

เมตริกซ์ของค่าผิดพลาด
$$\begin{bmatrix} e_1 \\ e_2 \\ \vdots \\ e_{s^3} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} t_1^3 - a_1^3 \\ t_2^3 - a_2^3 \\ \vdots \\ t_{s^3}^3 - a_{s^3}^3 \end{bmatrix} \quad (3.13)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ระบบไฟฟ้าที่ทำการศึกษา

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำระบบไฟฟ้ากำลัง 2 ระบบมาใช้ในการศึกษาสภาวะชั่วคราวโดยใช้โครงข่ายประสาทดัดเทียม โดยโครงข่ายประสาทดัดเทียมจะต้องถูกสอนให้เรียนรู้และหาค่า CCT, CG, MPL และ new value of CCT ของทั้ง 2 ระบบ โดยระบบไฟฟ้าระบบแรกคือ 1. IEEE 50 generators test system ระบบที่ 2 . IEEE 47 generator 118 bus system

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ทำการศึกษาลักษณะของระบบไฟฟ้ากำลังทั้ง 2 ระบบ โดยกำหนดเงื่อนไขของการศึกษาดังนี้

- 1) ใช้แบบจำลองของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ใช้เป็นแบบธรรมดา (Classical models)
- 2) จำลองสภาวะการเกิดฟอลต์ 3 เฟสในระบบ
- 3) สำหรับระบบ IEEE 50 generators test system พิจารณาค่าตำแหน่งที่เกิดฟอลต์ และรูปแบบการเคลียร์ฟอลต์ 3 ตำแหน่งที่มีค่า CCT ต่ำที่สุด สำหรับระบบ IEEE 47 generator 118 bus system พิจารณาค่าตำแหน่งที่เกิดฟอลต์ และรูปแบบการเคลียร์ฟอลต์ 4 ตำแหน่งที่มีค่า CCT ในแบบต่างๆกัน
- 4) พิจารณาโครงสร้างของระบบไฟฟ้ากำลังที่แตกต่างกัน 4 รูปแบบ
- 5) กำหนดให้ภาระทางไฟฟ้าและตัวประกอบกำลังมีค่าคงที่
- 6) ทำการปรับกำลังผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่พิจารณาตั้งแต่ 1.0 ถึง 1.2 เท่าของสภาวะปกติ
- 7) ใช้วิธีการทางเวลา (TDM) ในการคำนวณหาค่า CCT, CG, MPL และ new value of CCT ในแต่ละเงื่อนไข เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการฝึกสอนและทดสอบโครงข่ายประสาทดัดเทียม

การเลือกเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่จะจำลองการเพิ่มกำลังผลิตจะทำการเลือกเครื่องกำเนิดที่มีขนาดกลางหรือขนาดใหญ่ในระบบที่เมื่อปรับกำลังผลิตของเครื่องกำเนิดตัวนั้นๆแล้วจะมีผลทำให้ค่า CCT ของระบบมีค่าเปลี่ยนไป เหตุที่เราไม่เลือกเครื่องกำเนิดที่มีขนาดเล็กในระบบเนื่องจากเครื่องกำเนิดที่มีขนาดเล็กมีโอกาสสูงที่เมื่อเกิดฟอลต์ในระบบแล้วจะสูญเสียเสถียรภาพได้ง่าย

การเลือกตำแหน่งเกิดฟอลต์ เพื่อจำลองการเกิดฟอลต์ในระบบจะเลือกบัสที่มีกำลังไฟฟ้าที่ไหลในบัสมากที่สุดที่ไม่ได้อยู่กับเครื่องกำเนิด เนื่องจากบัสที่มีกำลังไฟฟ้าที่ไหลในบัสมากเป็นบัสที่เมื่อเกิดฟอลต์ที่บัสแล้วจะมีผลกับระบบมาก และมีโอกาสสูงที่เมื่อเกิดฟอลต์ที่บัสนี้แล้วจะมีค่า CCT ที่ต่ำที่สุดในระบบ

การเลือกจำลองการปลดสายส่งในระบบจะเลือกสายส่งที่มีการไหลของกำลังไฟฟ้าในสายส่งมากๆ เนื่องจากเป็นสายส่งที่เมื่อถูกปลดออกแล้วจะมีผลกระทบต่อระบบมากแล้วมีผลทำให้การไหลของกำลังไฟฟ้าในระบบเปลี่ยนแปลงซึ่งจะทำให้มีผลต่อค่า CCT

4.1 ระบบ IEEE 50 generators test system

4.1.1 โครงสร้างของระบบ

โครงสร้างของระบบ IEEE 50 generators test system ประกอบด้วย เครื่องกำเนิดไฟฟ้า 50 ตัว ในระบบประกอบด้วยบัส 145 บัส และสายส่งที่เชื่อมต่อระหว่างบัส 453 เส้น และโหลดที่บัสต่างๆ ดังรายละเอียดในภาคผนวก ข. เนื่องจากเป็นระบบที่มีการเชื่อมโยงกันด้วยสายส่งที่มากถึง 453 เส้น จึงไม่สามารถทำได้อย่างครบถ้วนจึงขอแนะนำเสนอเฉพาะในบริเวณที่ศึกษาซึ่งได้ลงรายละเอียดเพิ่มเติมบางส่วนจาก [9] ดังแสดงในรูปที่ 4.1

4.1.2 การจำลองเหตุการณ์

การจำลองระบบ IEEE 50 generators test system ในการศึกษาจะทำการจำลองระบบโดยให้เกิดฟอลต์ 3 เฟส ในจุดที่มีค่า CCT ในระบบต่ำสุด 3 จุดที่เป็นไปได้ในระบบ ดังแสดงในตารางที่ 4.1 และเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของระบบโดยการปลดสายส่งออก 1 เส้น ที่มีผลต่อค่า CCT เพื่อจะจำลองโครงสร้างของระบบที่แตกต่างกัน 4 รูปแบบ ดังแสดงในตารางที่ 4.2

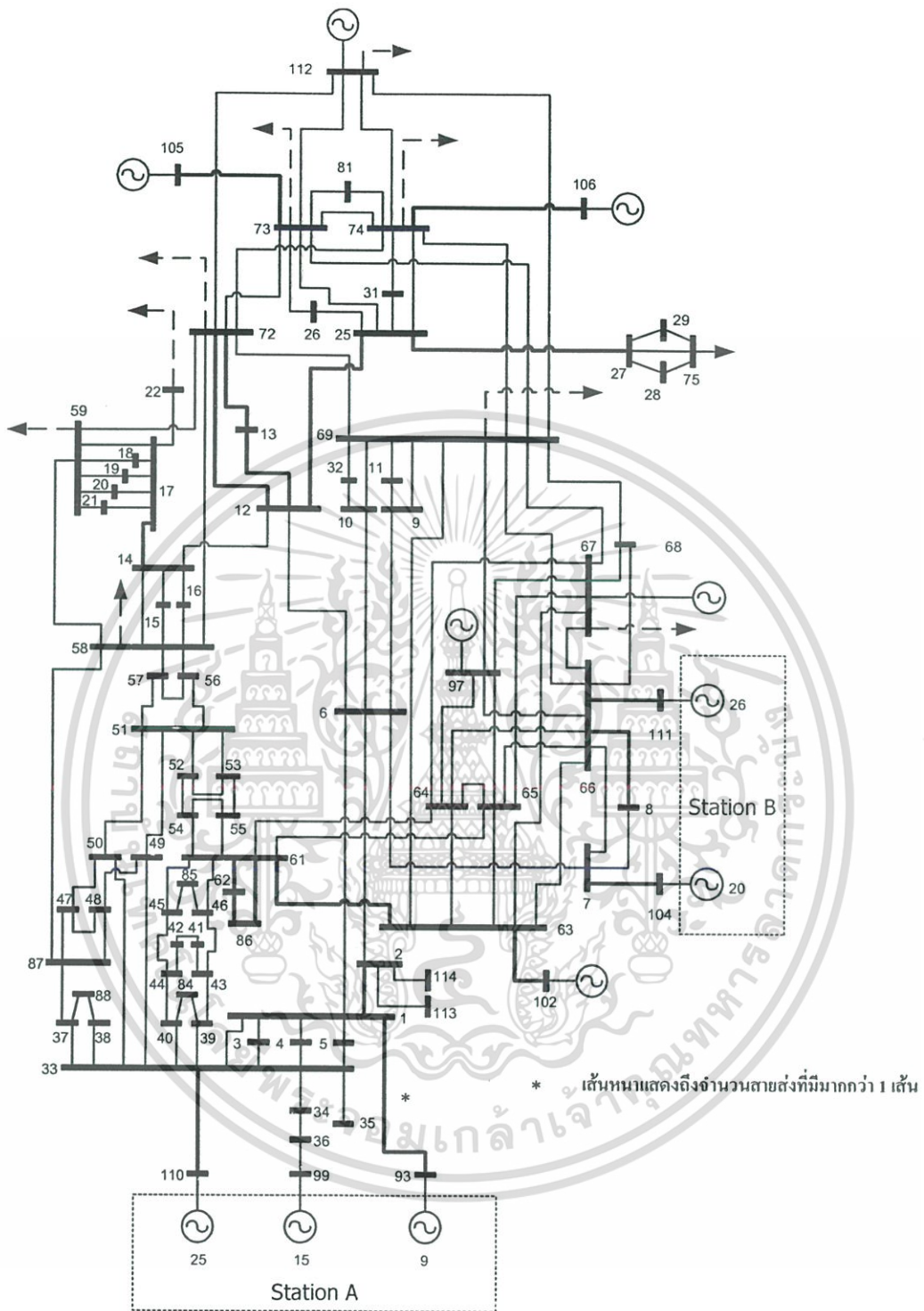
ตารางที่ 4.1 ตำแหน่งเกิดฟอลต์ของระบบไฟฟ้ากำลัง IEEE 50 generators test system ที่พิจารณา

ตำแหน่งที่เกิดฟอลต์	บัสที่เกิดฟอลต์	ปลดสายส่งระหว่างบัส
F1	66	66 – 111#1,#2,#3
F2	7	7 – 6
F3	105	105 – 73#1,#2

ตารางที่ 4.2 โครงสร้างของระบบไฟฟ้ากำลัง IEEE 50 generators test system ที่พิจารณา

โครงสร้างของระบบ	สถานะของการปลดสายส่ง
S1	ไม่มีการปลดสายส่งใดๆ
S2	มีการปลดสายส่งระหว่างบัส 64 - 66
S3	มีการปลดสายส่งระหว่างบัส 69 - 72
S4	มีการปลดสายส่งระหว่างบัส 25 - 27 ชุดที่ 2

เมื่อได้ตำแหน่งที่เกิดฟอลต์ และโครงสร้างของระบบที่ต้องการแล้ว ในขั้นตอนต่อไปจะทำการเลือกเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่จะปรับกำลังผลิต โดยเลือกเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่เชื่อมต่อกับบัสหมายเลข 93, 99 และ 110 ใน station A และบัสหมายเลข 104 และ 111 ใน station B



รูปที่ 4.1 ระบบไฟฟ้ากำลัง IEEE 50 generator test system บริเวณที่ศึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ระบบ IEEE IEEE 47 generator 118 bus system

4.2.1 โครงสร้างของระบบ

โครงสร้างของระบบ IEEE 47 generator 118 bus system ประกอบด้วย เครื่องกำเนิดไฟฟ้า 47 ตัว ในระบบประกอบด้วยบัส 118 บัส และสายส่งที่เชื่อมต่อระหว่างบัส 186 เส้น และโหลดที่บัสต่างๆ ดังรายละเอียดในภาคผนวก ข. โดยสามารถนำเสนอภาพรวมของระบบเป็นแผนภาพเส้นเดี่ยวดังแสดงในรูปที่ 4.2

4.2.2 การจำลองเหตุการณ์

การจำลองระบบ IEEE 47 generator 118 bus system ในการศึกษา จะทำการจำลองระบบ โดยให้เกิดฟอลต์ 3 เฟส ในจุดที่มีค่า CCT ในระบบระบบในแบบที่แตกต่างกัน 4 จุดที่เป็นไปได้ในระบบ ดังแสดงในตารางที่ 4.3 และเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของระบบ โดยการปลดสายส่งออก 1 เส้น ที่มีผลต่อค่า CCT เพื่อจะจำลองโครงสร้างของระบบที่แตกต่างกัน 4 รูปแบบ ดังแสดงในตารางที่ 4.4

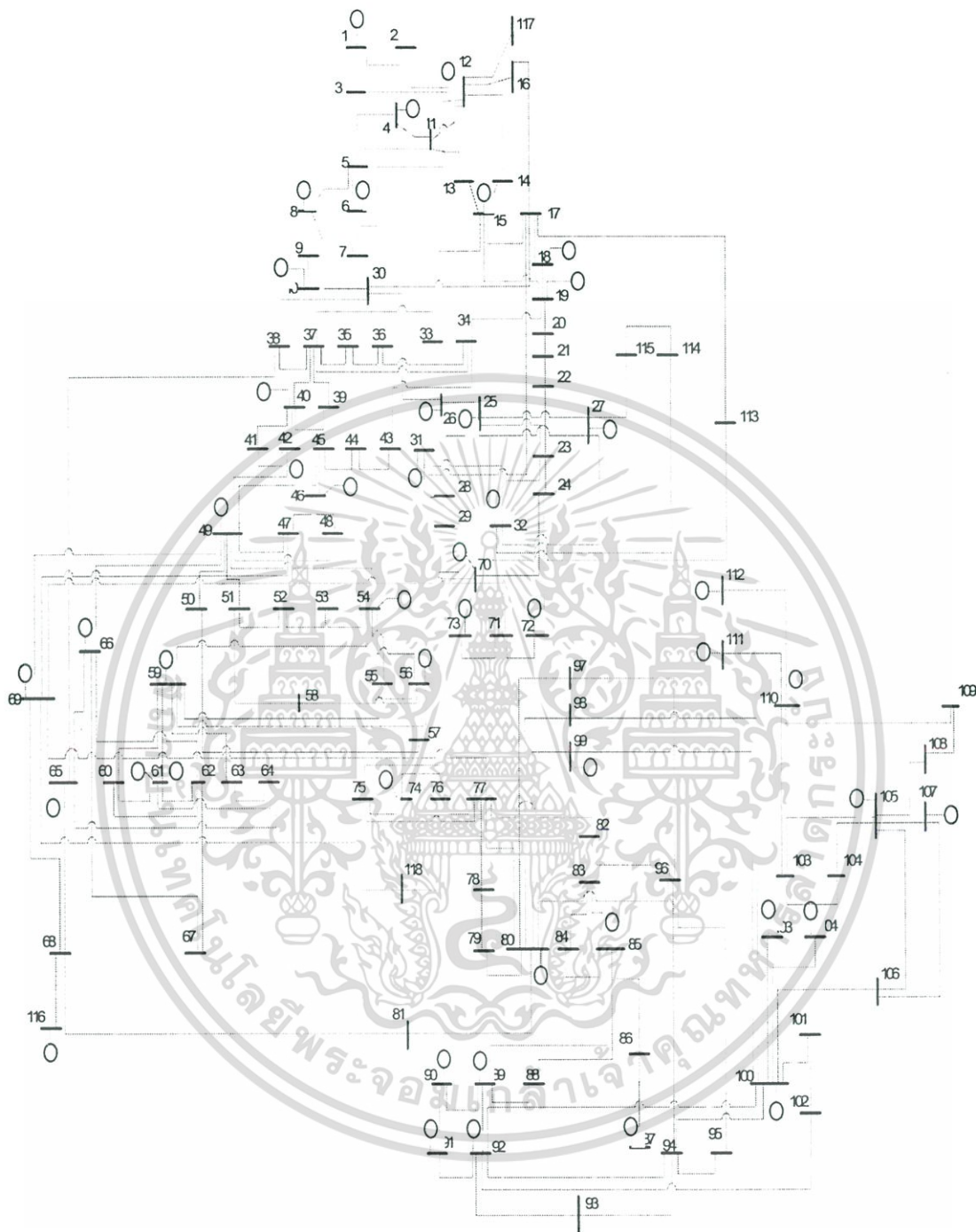
ตารางที่ 4.3 ตำแหน่งเกิดฟอลต์ของระบบไฟฟ้ากำลัง IEEE 47 generator 118 bus system ที่พิจารณา

ตำแหน่งที่เกิดฟอลต์	บัสที่เกิดฟอลต์	ปลดสายส่งระหว่างบัส
F1	5	5 - 3
F2	11	11 - 4
F3	30	30 - 8
F4	81	81 - 68

ตารางที่ 4.4 โครงสร้างของระบบไฟฟ้ากำลังของ IEEE 47 generator 118 bus system ที่พิจารณา

โครงสร้างของระบบ	สถานะของการปลดสายส่ง
S1	ไม่มีการปลดสายส่งใดๆ
S2	มีการปลดสายส่งระหว่างบัส 17 - 30
S3	มีการปลดสายส่งระหว่างบัส 38 - 65
S4	มีการปลดสายส่งระหว่างบัส 69 - 75

เมื่อได้ตำแหน่งที่เกิดฟอลต์ และ โครงสร้างของระบบที่ต้องการแล้ว ในขั้นตอนต่อไปจะทำการเลือกเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่จะปรับกำลังผลิต โดยเลือกเครื่องกำเนิดที่เมื่อปรับเปลี่ยนกำลังผลิต และมีผลต่อค่า CCT ซึ่งได้เครื่องกำเนิด 5 ตัว คือเครื่องกำเนิดที่ บัส 10, 12, 69, 80 และ 100



รูปที่ 4.2 ระบบไฟฟ้ากำลัง IEEE 47 generator 118 bus system บริเวณที่ศึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

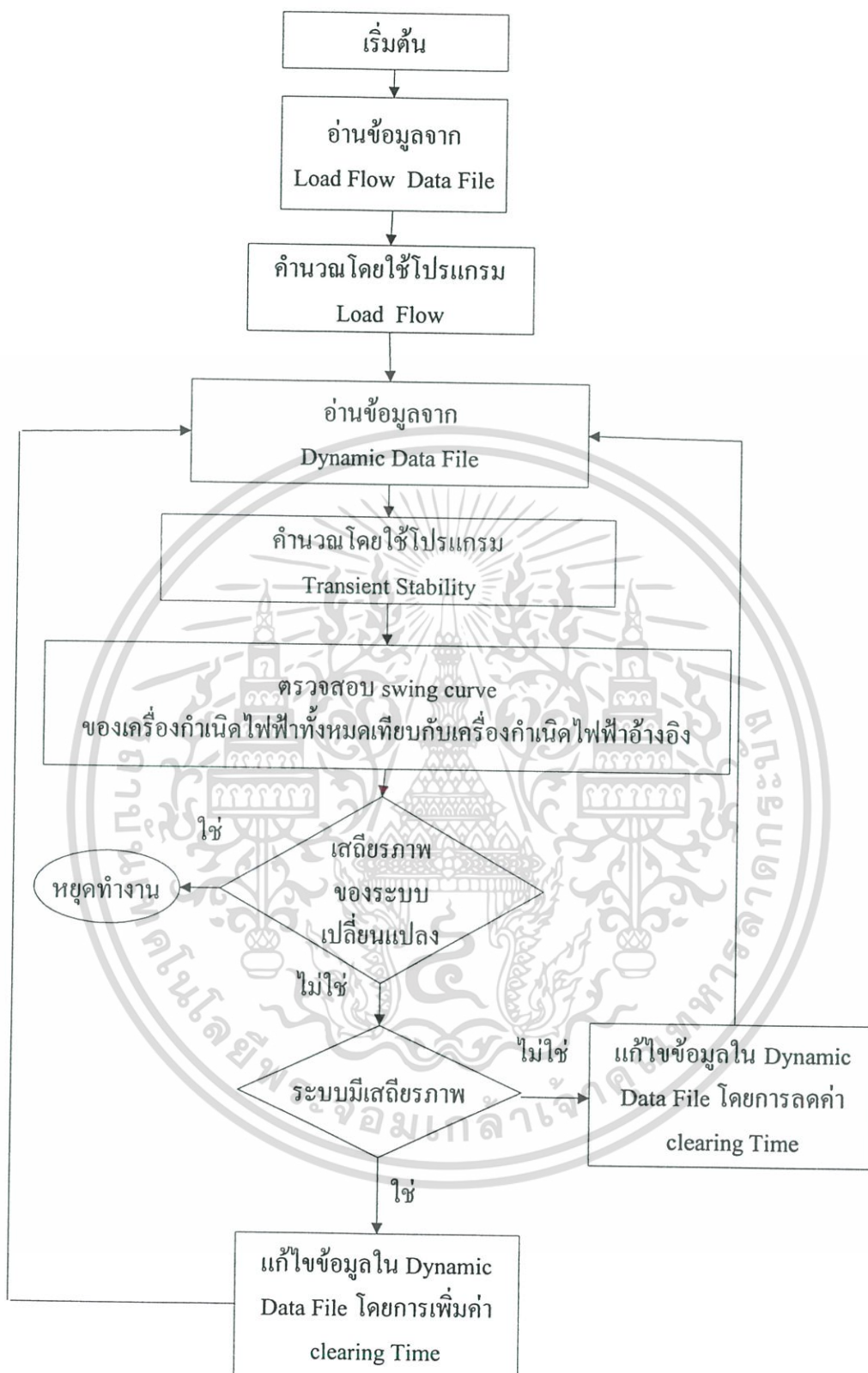
4.3 การคำนวณหาค่า CCT, CG, MPL และ new value of CCT โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์

การคำนวณหาค่า CCT, CG, MPL และ new value of CCT สำหรับระบบไฟฟ้ากำลัง โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ Load flow and step by step time simulation เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการฝึกสอนและทดสอบโครงข่ายประสาทยุคสมัยนั้น จะต้องจัดเตรียมข้อมูลของระบบไฟฟ้ากำลังให้อยู่ในรูปแบบของ Load flow data file และ Dynamic data file

Load flow data file จะประกอบไปด้วยข้อมูลของ แรงดัน, มุมของแรงดัน, กำลังไฟฟ้าแอกทีฟ และกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า และ โหลดที่บัสต่างๆของระบบไฟฟ้ากำลัง เพื่อใช้ในการคำนวณ โหลดโพลล์

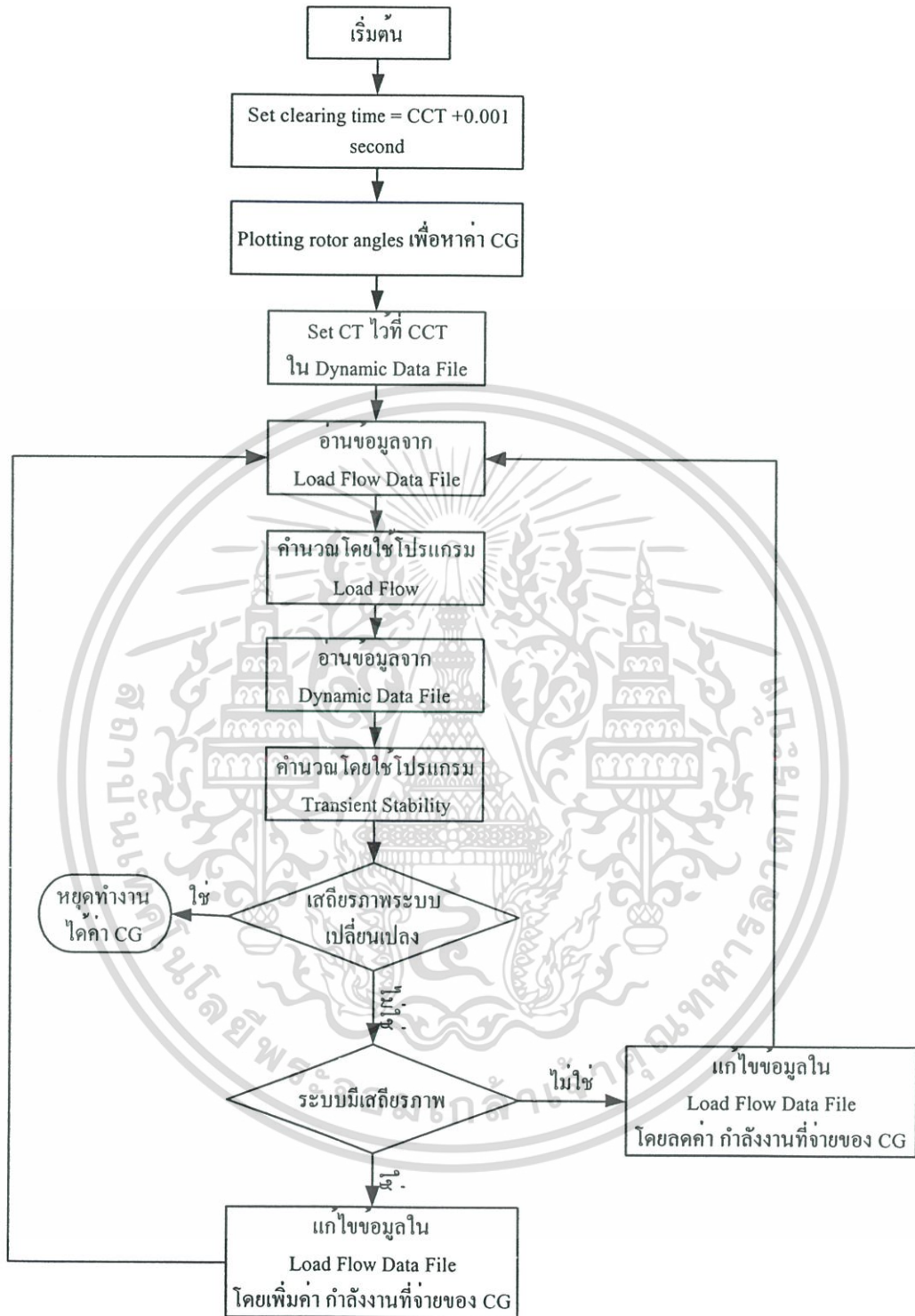
Dynamic data file จะประกอบไปด้วยพารามิเตอร์ต่างๆของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า, ตำแหน่งที่เกิดฟอลต์, เวลาที่เคลียร์ฟอลต์ออกจากระบบ, สายส่งที่ปลดออกเพื่อเคลียร์ฟอลต์ และรูปแบบการแสดงผลของโปรแกรม ซึ่งในที่นี้กำหนดให้แสดงผลในรูปแบบของกราฟสวิง

หลังจากเตรียมข้อมูลสำหรับ Load flow แล้วตั้งโปรแกรมทำการรัน Load flow โดยอ่านข้อมูลจาก Load flow data file สำหรับการศึกษานี้มีการเปลี่ยนแปลงกำลังการผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่พิจารณา, การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของระบบไฟฟ้ากำลัง ซึ่งจะต้องเปลี่ยนที่ Load flow data file แล้วเสร็จ ก็จะนำไปใช้เป็นอินพุตของโปรแกรม Load flow ซึ่งจะได้ผลลัพธ์เป็น ค่ากำลังไฟฟ้าแอกทีฟและกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟที่ส่งผ่านจากบัสหนึ่งไปยังบัสอื่นๆในสายส่งแต่ละเส้น, แรงดันและมุมของแรงดันที่บัสต่างๆ จากนั้นสั่งให้โปรแกรม Transient stability ทำงานโดยโปรแกรมดังกล่าวจะอ่านข้อมูลของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและการเกิดและการเคลียร์ฟอลต์จาก Dynamic data file และผลลัพธ์จากโปรแกรม Load flow และคำนวณผลลัพธ์ที่ได้แสดงอยู่ในรูปของกราฟสวิง เพื่อนำไปพิจารณาหาค่า CCT ขั้นตอนการหาค่าดังรูปที่ 4.3, CG และ MPL ขั้นตอนการหาค่าดังรูปที่ 4.4, new value of CCT ขั้นตอนการหาค่าดังรูปที่ 4.5



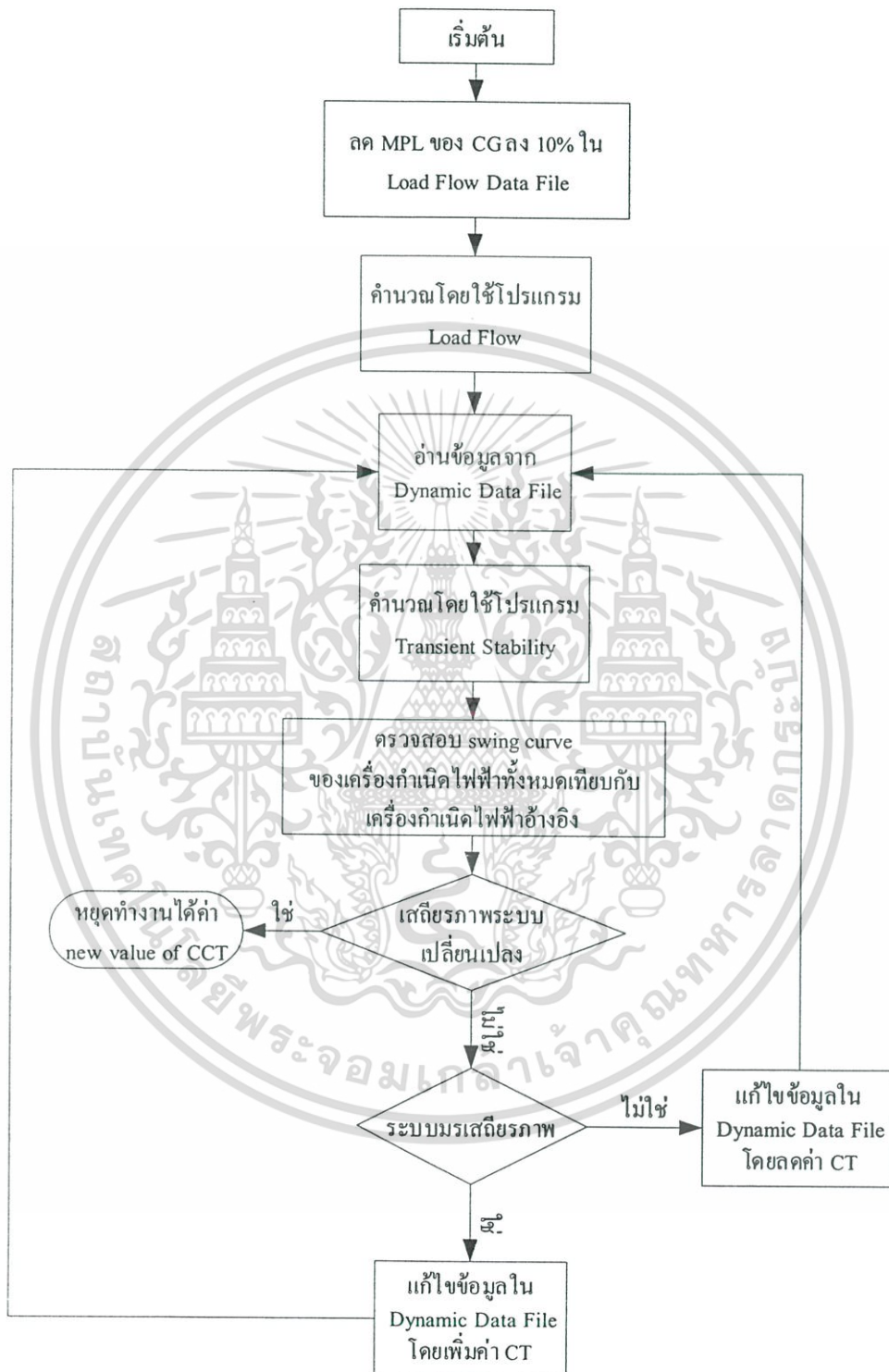
รูป 4.3 ขั้นตอนหาค่า CCT

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 ขั้นตอนการหาค่า CG และ MPL

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 ขั้นตอนการหาค่า new value of CCT

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

การคำนวณหาค่า CCT, CG, MPL และ new value of CCT

โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม

การใช้โครงข่ายประสาทเทียมในการหาค่าต่างๆ ในสภาวะชั่วคราว ของระบบไฟฟ้ากำลังจะประกอบด้วยข้อกำหนดที่หลากหลาย และขึ้นอยู่กับลักษณะภายในของโครงข่ายประสาทเทียมที่ใช้ โดยการเลือกสิ่งต่างๆที่ใช้ในการศึกษาจะต้องมีความสัมพันธ์กัน ไม่ว่าจะเป็นการเลือกข้อมูลและการเตรียมข้อมูลที่ใช้ฝึกสอน จำนวนข้อมูลที่ใช้ฝึกสอน การเลือกชนิดของโครงข่ายประสาทเทียม เงื่อนไขการฝึกสอน วิธีการฝึกสอน และลักษณะการเลือก weight และ bias ล้วนมีผลต่อประสิทธิภาพของโครงข่ายประสาทเทียมทั้งสิ้นดังที่จะกล่าวถึงต่อไป

5.1 การเลือกตัวแปรในการฝึกสอน[10]

ในการใช้โครงข่ายประสาทเทียมในการศึกษาลักษณะต่างๆในระบบไม่ว่าจะศึกษาในด้านใด การเลือกตัวแปรที่ใช้ในการฝึกสอนจะเป็นสิ่งที่มีความสำคัญในอันดับต้นๆของการเตรียมการเพื่อการศึกษาการหาค่าโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมเนื่องจากการเลือกตัวแปรในการฝึกสอนจะต้องเลือกตัวแปรฝึกสอนที่มีความสัมพันธ์กับข้อมูลที่เรากำลังต้องการจะศึกษา

ในการศึกษาเสถียรภาพของระบบไฟฟ้ากำลัง ในสภาวะชั่วคราวสิ่งที่เราต้องการจากการศึกษาสภาวะชั่วคราว เช่น ช่วงเวลาตัดกระแสวิกฤต (CCT) เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่สูญเสียเสถียรภาพ (CG) ค่ากำลังไฟฟ้าที่จ่ายได้สูงสุดของ CG สำหรับค่า CCT ที่เซตไว้ (MPL) และศึกษาการปรับปรุงเสถียรภาพของระบบไฟฟ้าโดยทำการลดค่ากำลังผลิตของ CG ลงเพื่อให้ค่า CCT ของทั้งระบบมีค่ามากขึ้น (new value of CCT) โดยถ้าเรากำหนดด้วยวิธีอื่น เช่นวิธีทางเวลาจะต้องใช้ค่าตั้งต้นจำนวนมากในการที่จะศึกษาค่าต่างๆที่กล่าวมาของระบบไฟฟ้ากำลัง

โดยข้อดีของการนำโครงข่ายประสาทเทียมมาใช้ในการพิจารณาคือถึงแม้ว่าจะต้องเลือกตัวแปรที่ใช้ในการเตรียมข้อมูลสำหรับฝึกสอน โครงข่ายประสาทเทียมแต่ก็ไม่จำเป็นที่จะต้องใช้อข้อมูลทั้งหมดที่มีการเปลี่ยนแปลงเมื่อระบบที่เราจะศึกษาเปลี่ยนแปลง เพียงแต่เราเลือกข้อมูลที่มีความสำคัญจริงๆสำหรับการศึกษาเท่านั้น ในกรณีที่ระบบไฟฟ้ากำลังมีขนาดเล็ก พารามิเตอร์ต่างๆของระบบสามารถนำมาใช้เป็นตัวแปรอินพุตได้โดยไม่ส่งผลกระทบต่อเวลาและขนาดของหน่วยความจำที่ใช้ในการฝึกสอนมากนัก เนื่องจากมีจำนวนของตัวแปรอินพุตไม่มาก แต่เมื่อระบบไฟฟ้ากำลังที่พิจารณามีขนาดใหญ่ขึ้น การเลือกตัวแปรอินพุตจะต้องมีการพิจารณาอย่างละเอียด เนื่องจากไม่สามารถนำพารามิเตอร์ทั้งหมดของระบบมาใช้เป็นตัวแปรอินพุตของโครงข่ายได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพราะนอกจากจะทำให้เวลา และหน่วยความจำที่ใช้ในการฝึกสอนมากขึ้นแล้วยังไม่ทำให้ประสิทธิภาพของโครงข่ายประสาทเทียมดีขึ้นอีกด้วย โดยในวิทยานิพนธ์นี้เลือกใช้ตัวแปรในการฝึกสอนดังนี้

5.1.1 ระบบไฟฟ้ากำลัง IEEE 50 generators test system

5.1.1.1 ใช้ในการหาค่า CCT, CG, MPL

- ตัวแปรอินพุต ประกอบด้วย กำลังผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส 93, 99, 104, 110 และ 111, ตำแหน่งที่เกิดฟอลต์ และ โครงสร้างของระบบไฟฟ้ากำลัง รวมเป็น 7 ตัวแปร
 - ตัวแปรเอาต์พุต ประกอบด้วย ค่า CCT ,CG, MPL รวม 3 ตัวแปร
- ดังแสดงในรูป 5.1

5.1.1.2 ใช้ในการหาค่า new value of CCT

- ตัวแปรอินพุต ประกอบด้วย กำลังผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส 93, 99, 104, 110 และ 111, ตำแหน่งที่เกิดฟอลต์ โครงสร้างของระบบไฟฟ้ากำลัง และ เปอร์เซ็นค่ากำลังผลิตของ CG ที่ถูกลดค่าลงจากค่า MPL รวมเป็น 8 ตัวแปร
 - ตัวแปรเอาต์พุต ประกอบด้วย ค่า new value of CCT รวม 1 ตัวแปร
- ดังแสดงในรูป 5.2

5.1.2 ระบบไฟฟ้ากำลัง IEEE 47 generator 118 bus system

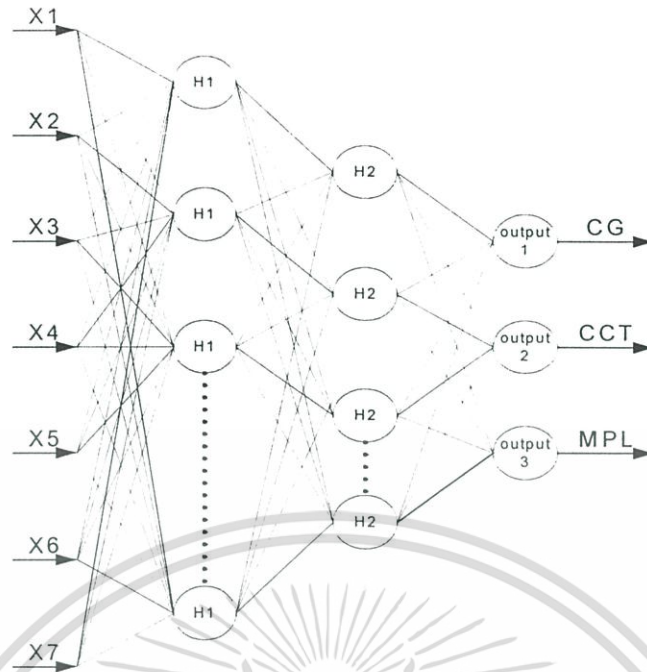
5.1.2.1 ใช้ในการหาค่า CCT, CG, MPL

- ตัวแปรอินพุต ประกอบด้วย กำลังผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส 10, 12, 69, 80 และ 100 ตำแหน่งที่เกิดฟอลต์ โครงสร้างของระบบไฟฟ้ากำลัง รวมเป็น 7 ตัวแปร
 - ตัวแปรเอาต์พุต ประกอบด้วย ค่า CCT ,CG, MPL รวม 3 ตัวแปร
- ดังแสดงในรูป 5.1

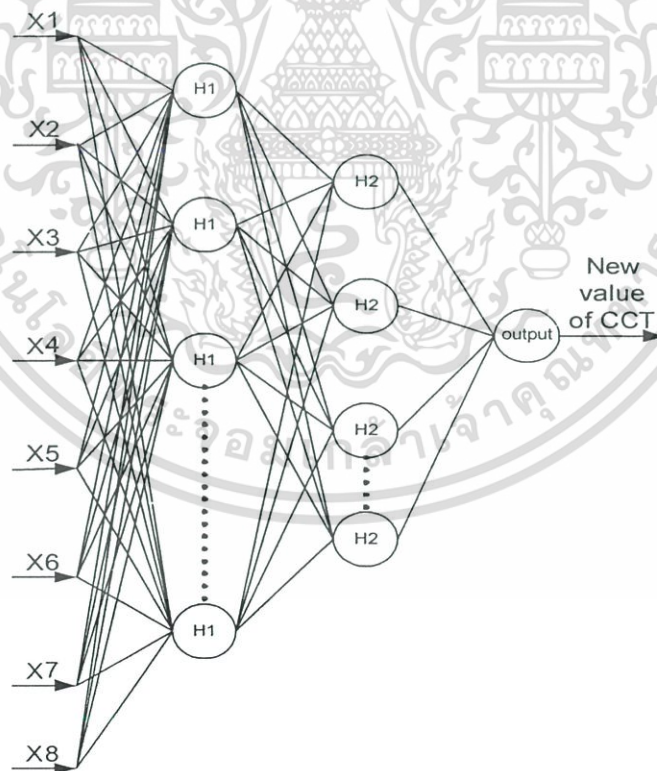
5.1.1.2 ใช้ในการหาค่า new value of CCT

- ตัวแปรอินพุต ประกอบด้วย กำลังผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส 10, 12, 69, 80 และ 100 ตำแหน่งที่เกิดฟอลต์ โครงสร้างของระบบไฟฟ้ากำลัง และ เปอร์เซ็นค่ากำลังผลิตของ CG ที่ถูกลดค่าลงจากค่า MPL รวม 8 ตัวแปร
 - ตัวแปรเอาต์พุต ประกอบด้วย ค่า new value of CCT รวม 1 ตัวแปร
- ดังแสดงในรูป 5.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.1 โครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมสำหรับหาค่า CG, CCT และ MPL



รูปที่ 5.2 โครงข่ายประสาทเทียมสำหรับหาค่า New value of CCT

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 การกระจายของข้อมูลฝึกสอน

จากคุณสมบัติของโครงข่ายประสาทเทียมที่มีความสามารถในการเรียนรู้ฟังก์ชันต่อเนื่องแบบไม่เชิงเส้นหลายชนิดได้อย่างแม่นยำภายในขอบเขตที่เรียนรู้ จากคุณสมบัติข้อนี้ทำให้เราต้องเลือกข้อมูลที่จะใช้ในการฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียมให้มีการกระจายข้อมูลอย่างสมบูรณ์ที่สุดในขอบเขตที่ต้องการให้โครงข่ายประสาทเทียมเรียนรู้

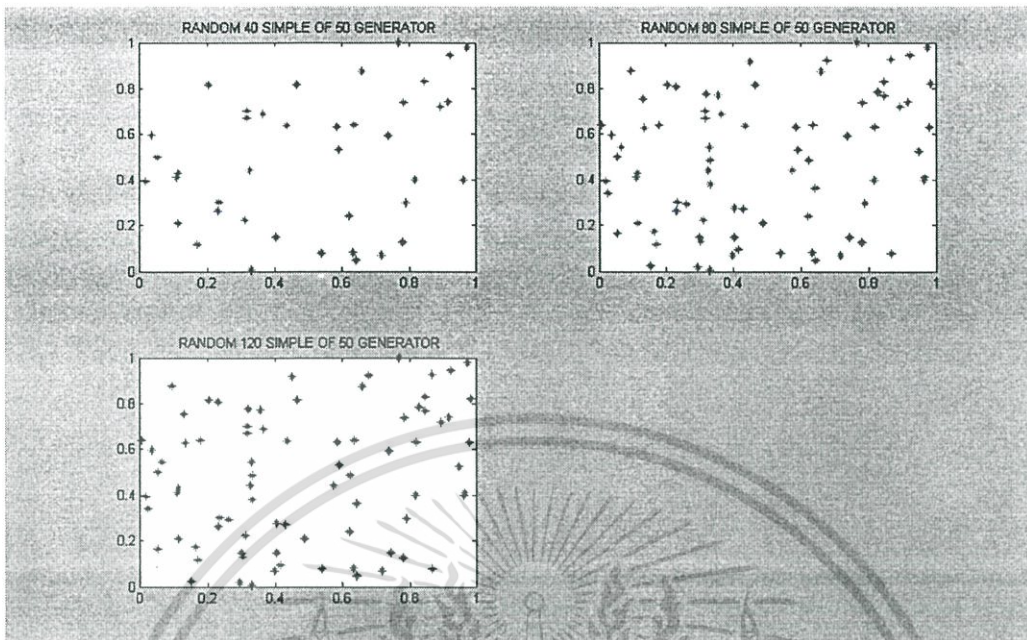
ผลจากการที่ข้อมูลกระจายตัวไม่ดีหรือมีการกระจุกตัวที่กลุ่มของข้อมูล โดยมีการกระจายที่ไม่สมบูรณ์ จะทำให้ประสิทธิภาพของโครงข่ายประสาทเทียมลดลงและจะทำให้โครงข่ายประสาทเทียมมีประสิทธิภาพต่ำลง

ถ้าข้อมูลที่เตรียมฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียมมีการกระจายไม่ทั่วถึงในส่วนที่เราต้องการศึกษา จะมีผลทำให้โครงข่ายประสาทเทียมไม่สามารถหาค่าที่ถูกต้องได้ ในส่วนที่การกระจายของข้อมูลไปไม่ถึง

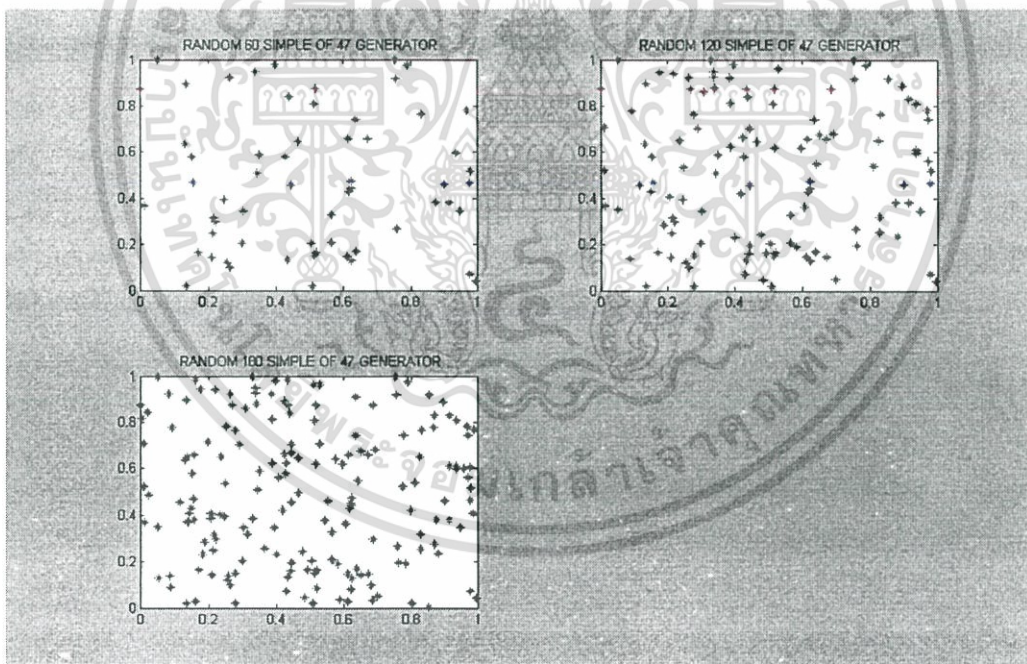
ถ้าข้อมูลที่เตรียมใช้ในการฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียมมีการกระจายทั่วถึงทุกส่วนของข้อมูลที่ต้องการให้โครงข่ายประสาทเทียมเรียนรู้แต่มีการกระจุกตัวของข้อมูลในบางจุดของข้อมูล ทำให้มีการกระจายไม่สม่ำเสมอ จะมีผลทำให้โครงข่ายประสาทเทียมสามารถหาค่าที่ถูกต้องของชุดข้อมูลชุดนั้นได้แต่ขาดประสิทธิภาพ โดยจะต้องใช้ชุดข้อมูลที่ใช้ในการฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียมมากกว่าปรกติ เพื่อให้ชุดข้อมูลที่ไม่มีการกระจุกตัวของข้อมูลมีความหนาแน่นของข้อมูลเพียงพอสำหรับปัญหาที่ต้องการศึกษา

จากที่กล่าวมาแสดงให้เห็นว่าการกระจายของข้อมูลที่ทั่วถึงและมีความสม่ำเสมอของการกระจายข้อมูลมีความสำคัญมากในการเตรียมข้อมูลสำหรับใช้ในการฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียม ซึ่งหมายความว่าถ้าข้อมูลมีการกระจายสม่ำเสมอ และการกระจายของข้อมูลมีการกระจายอย่างทั่วถึงทุกส่วนที่ต้องการศึกษา เป็นข้อมูลที่มีคุณภาพและเป็นสิ่งที่เราต้องการในการฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียม ซึ่งจะส่งผลให้โครงข่ายประสาทเทียมมีประสิทธิภาพสูงกว่า และใช้เวลาในการฝึกสอนน้อยกว่าการฝึกสอนโดยใช้ข้อมูลปริมาณมากแต่ไม่มีการกระจายอย่างสม่ำเสมอ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ใช้วิธีการเลือกค่าของตัวแปรอินพุทแบบสุ่มเลือก (คำสั่ง Rand [4]) และตรวจสอบการกระจายของข้อมูลด้วยสายตา (Eye inspection) โดยข้อมูลที่ได้จากวิธีการนี้มีการกระจายอยู่ในเกณฑ์ค่อนข้างดี



รูปที่ 5.3 ตัวอย่างการกระจายชุดข้อมูลฝึกสอนของระบบ IEEE 50 generator test system



รูปที่ 5.4 ตัวอย่างการกระจายชุดข้อมูลฝึกสอนของระบบ IEEE 118 bus 47 generator

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.1 วิธีการแปลงข้อมูลที่ได้เป็นตัวแปรฝึกสอนสำหรับระบบไฟฟ้ากำลัง

IEEE 50 generator test system

ตัวแปรฝึกสอน	ค่าที่สุ่มได้	วิธีการแปลง
$x_1 - x_5$	$r_1 - r_5$	$x = 1 + (r/5)$
x_6	r_6	เมื่อ $0 < r_6 \leq 1/3$, $x_6 = F1$
		$1/3 < r_6 \leq 2/3$, $x_6 = F2$
		$2/3 < r_6 \leq 1$, $x_6 = F3$
x_7	r_7	เมื่อ $0 < r_7 \leq 1/4$, $x_7 = S1$
		$1/4 < r_7 \leq 2/4$, $x_7 = S2$
		$2/4 < r_7 \leq 3/4$, $x_7 = S3$
		$3/4 < r_7 \leq 1$, $x_7 = S4$

ตารางที่ 5.2 วิธีการแปลงข้อมูลที่ได้เป็นตัวแปรฝึกสอนสำหรับระบบไฟฟ้ากำลัง

IEEE 47 generator 118 bus system

ตัวแปรฝึกสอน	ค่าที่สุ่มได้	วิธีการแปลง
$x_1 - x_5$	$r_1 - r_5$	$x = 1 + (r/5)$
x_6	r_6	เมื่อ $0 < r_6 \leq 1/4$, $x_6 = F1$
		$1/4 < r_6 \leq 2/4$, $x_6 = F2$
		$2/4 < r_6 \leq 3/4$, $x_6 = F3$
		$3/4 < r_6 \leq 1$, $x_6 = F4$
x_7	r_7	เมื่อ $0 < r_7 \leq 1/4$, $x_7 = S1$
		$1/4 < r_7 \leq 2/4$, $x_7 = S2$
		$2/4 < r_7 \leq 3/4$, $x_7 = S3$
		$3/4 < r_7 \leq 1$, $x_7 = S4$

สำหรับระบบ IEEE 50 generator test system

สถานะของระบบที่ได้มีการเปลี่ยนแปลงในระบบนี้คือ กำลังที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าผลิตจำนวน 5 บัส มีการเปลี่ยนแปลงกำลังผลิตตั้งแต่ 1.0-1.2 เท่า ของพิกัด บัสดังกล่าวได้แก่ บัส 93, 99, 104, 110, 111 ซึ่งเป็นเงื่อนไขเดียวกับ [8] โดยมีตำแหน่งเกิดฟอลต์ และเคลียร์ฟอลต์ 3 รูปแบบ

ในการหาค่า CCT, CG และ MPL จะมีตัวแปรทั้งหมด 10 ตัว เป็น อินพุต 7 เอาท์พุต 3 โดย อินพุต 5 ตัวแรก เป็นของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ซึ่งจะมีการเปลี่ยนแปลงระดับพลังงานที่เครื่องกำเนิดผลิต แทนด้วย x_1-x_5 ซึ่งจะมีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าบัสที่ 93, 99, 104, 110, 111 อินพุตอีก 2 ตัวคือ ตำแหน่งเกิดฟอลต์ (x_6) และ โครงสร้าง (x_7) ซึ่งค่า (x_1-x_7) จะได้จาก pseudo random sequence หรือ rand [4] นำค่าที่ได้มาแปลงให้สอดคล้องกับสถานะของระบบ ดังตารางที่ 5.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการหาค่า new value of CCT จะมีตัวแปรทั้งหมด 9 ตัว เป็น อินพุต 8 เอาต์พุต 1 โดย อินพุต 5 ตัวแรก เป็นของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ซึ่งจะมีการเปลี่ยนแปลงระดับพลังงานที่เครื่องกำเนิดผลิต แทนด้วย x_1-x_5 ซึ่งจะมีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ บัสที่ 93, 99, 104, 110, 111 อินพุตอีก 3 ตัวคือ ตำแหน่งเกิดฟอลต์ (x_6) และ โครงสร้าง (x_7) ซึ่งค่า (x_1-x_7) จะได้จาก pseudo random sequence หรือ rand [4] นำค่าที่ได้มาแปลงให้สอดคล้องกับสถานะของระบบ ดังตารางที่ 5.1 ซึ่งเป็นแบบเดียวกับกรณีแรก ส่วนอีก 1 อินพุตคือ เปอร์เซ็นต์การลดค่า MPL

สำหรับระบบ IEEE 47 generator 118 bus system

สถานะของระบบที่ได้มีการเปลี่ยนแปลงในระบบนี้คือ กำลังที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าผลิต จำนวน 5 บัส มีการเปลี่ยนแปลงกำลังผลิตตั้งแต่ 1.0-1.2 เท่า ของพิกัด บัสดังกล่าวได้แก่ บัส 93, 99, 104, 110, 111 ซึ่งเป็นเงื่อนไขเดียวกับ [8] โดยมีตำแหน่งเกิดฟอลต์ และเคลียร์ฟอลต์ 4 รูปแบบ

ในการหาค่า CCT, CG และ MPL จะมีตัวแปรทั้งหมด 10 ตัว เป็น อินพุต 7 เอาต์พุต 3 โดย อินพุต 5 ตัวแรก เป็นของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ซึ่งจะมีการเปลี่ยนแปลงระดับพลังงานที่เครื่องกำเนิดผลิต แทนด้วย x_1-x_5 ซึ่งจะมีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ บัส 10, 12, 69, 80 และ 100 อินพุตอีก 2 ตัวคือ ตำแหน่งเกิดฟอลต์ (x_6) และ โครงสร้าง (x_7) ซึ่งค่า (x_1-x_7) จะได้จาก pseudo random sequence หรือ rand [4] นำค่าที่ได้มาแปลงให้สอดคล้องกับสถานะของระบบ ดังตารางที่ 5.2

ในการหาค่า new value of CCT จะมีตัวแปรทั้งหมด 9 ตัว เป็น อินพุต 8 เอาต์พุต 1 โดย อินพุต 5 ตัวแรก เป็นของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ซึ่งจะมีการเปลี่ยนแปลงระดับพลังงานที่เครื่องกำเนิดผลิต แทนด้วย x_1-x_5 ซึ่งจะมีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ บัส 10, 12, 69, 80 และ 100 อินพุตอีก 3 ตัวคือ ตำแหน่งเกิดฟอลต์ (x_6) และ โครงสร้าง (x_7) ซึ่งค่า (x_1-x_7) จะได้จาก pseudo random sequence หรือ rand [4] นำค่าที่ได้มาแปลงให้สอดคล้องกับสถานะของระบบ ดังตารางที่ 5.2 ซึ่งเป็นแบบเดียวกับกรณีแรก ส่วนอีก 1 อินพุตคือ เปอร์เซ็นต์การลดค่า MPL

5.3 ปริมาณของข้อมูลฝึกสอนและข้อมูลทดสอบ

ปริมาณข้อมูลที่ใช้ในการฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียมจะขึ้นอยู่กับวิธีการที่จะได้มาซึ่งข้อมูลและความซับซ้อนของปัญหาที่เราจะศึกษา รวมถึง เปอร์เซ็นต์ของความผิดพลาดที่ยอมรับได้ สำหรับปัญหานั้นๆ ที่ทำการศึกษา โดยถ้าปัญหาที่เราทำการศึกษามีความซับซ้อนของปัญหามากๆ เราก็จำเป็นที่จะต้องใช้อัตราข้อมูลในการฝึกสอนมากขึ้นตามไปด้วยเพื่อให้โครงข่ายประสาทเทียมสามารถเรียนรู้และตอบปัญหานั้นได้แม่นยำมากขึ้น และเช่นเดียวกันถ้าเราต้องการให้ค่า เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดน้อยลงเราก็สามารถเพิ่มชุดข้อมูลฝึกสอนลงไปเพื่อให้โครงข่ายประสาทเทียมเรียนรู้ได้แม่นยำขึ้น

ข้อมูลทดสอบ คือข้อมูลที่ใช้ในการทดสอบการเรียนรู้ของ โครงข่ายประสาทยูทิมหลังจาก ผ่านการเรียนรู้ด้วยข้อมูลฝึกสอนมาแล้วว่า โครงข่ายประสาทยูทิมที่ผ่านการฝึกสอนด้วยข้อมูล ฝึกสอนนั้นๆมีความสามารถในการเรียนรู้ปัญหาได้มากน้อยเพียงใด โดยข้อมูลทดสอบจะเป็นคน ละชุดกับข้อมูลที่ใช้ในการฝึกสอน และเป็นชุดที่โครงข่ายประสาทยูทิมไม่เคยเห็นมาก่อน หรือไม่ เคยเรียนรู้มาก่อน

ตารางที่ 5.3 จำนวนข้อมูลฝึกสอนและข้อมูลทดสอบที่ใช้ในการฝึกสอนโครงข่ายประสาทยูทิม เพื่อหาค่า CCT, CG, MPL

ชุดข้อมูลฝึกสอนและทดสอบในการหาค่า CCT, CG, MPL			
ระบบไฟฟ้ากำลังที่พิจารณา	เงื่อนไขที่	จำนวนข้อมูลฝึกสอน	จำนวนข้อมูลทดสอบ
ระบบ IEEE 50 generators test system	1	40	20
	2	80	20
	3	120	20
ระบบ IEEE 47 generator 118 bus	1	60	20
	2	120	20
	3	180	20

ตารางที่ 5.4 จำนวนข้อมูลฝึกสอนและข้อมูลทดสอบที่ใช้ในการฝึกสอนโครงข่ายประสาทยูทิม เพื่อหาค่า new value of CCT

ชุดข้อมูลฝึกสอนและทดสอบในการหาค่า new value of CCT		
ระบบ	เงื่อนไขที่	จำนวนข้อมูลฝึกสอน
ระบบ IEEE 50 generators test system	1	80
	2	160
	3	240
	เงื่อนไขที่	จำนวนข้อมูลทดสอบ
	1	80 ชุด โดยแบ่งเป็นการลดค่า MPL ลง 0%, 5%, 10%, 12%
	2	80 ชุด โดยแบ่งเป็นการลดค่า MPL ลง 0%, 5%, 10%, 12%
ระบบ IEEE 47 generator 118 bus system	1	120
	2	240
	3	360
	เงื่อนไขที่	จำนวนข้อมูลทดสอบ
	1	80 ชุด โดยแบ่งเป็นการลดค่า MPL ลง 0%, 5%, 10%, 12%
	2	80 ชุด โดยแบ่งเป็นการลดค่า MPL ลง 0%, 5%, 10%, 12%
3	80 ชุด โดยแบ่งเป็นการลดค่า MPL ลง 0%, 5%, 10%, 12%	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.4 เงื่อนไขต่างๆภายในโครงข่ายประสาทเทียมที่ใช้ในการศึกษานี้

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ใช้โครงข่ายประสาทเทียมชนิด Back-propagation ในการหาค่า CCT, CG, MPL และ new value of CCT โดยที่ค่าตั้งต้นต่างๆ รวมถึงลักษณะเฉพาะภายในสำหรับการศึกษานี้ดังนี้

5.4.1 ค่าเริ่มต้นของค่าถ่วงน้ำหนักและค่าไบแอส

ค่าถ่วงน้ำหนักและค่าไบแอสเป็นค่าภายในโครงข่ายประสาทเทียมที่เราต้องการหาเพราะเป็นค่าที่จะใช้ในการหาค่า เอาต์พุต ต่อไป ดังที่ได้กล่าวไปแล้ว วิธีการเลือกค่าเริ่มต้นเราสามารถกำหนดค่าที่จะใช้เป็นค่าเริ่มต้น หรือใช้วิธีการเลือกค่าเริ่มต้นโดยการสุ่มเลือก ในการศึกษานี้ใช้วิธีการเลือกค่าเริ่มต้นของ ค่าถ่วงน้ำหนักและค่าไบแอสแบบสุ่ม (คำสั่ง “net.inputWeights{1,1}.initFcn='rands';” และ “ net.biases{1}.initFcn = 'rands';” [4]) เพื่อให้การฝึกสอนในแต่ละรอบมีทิศทางการลู่เข้าหาค่าตอบแตกต่างกันออกไป

5.4.2 ลำดับขั้นตอนการปรับค่าถ่วงน้ำหนักและค่าไบแอส

ลำดับขั้นตอน (Algorithm) ที่ใช้ในการปรับค่าถ่วงน้ำหนักและค่าไบแอส ในการศึกษานี้คือ Levenberg-Maquardt Algorithm มีประสิทธิภาพและความรวดเร็วในการฝึกสอนสูงที่สุด ในการศึกษานี้จึงได้นำเอาลำดับขั้นตอนการปรับค่าถ่วงน้ำหนักและค่าไบแอสวิธีนี้มาใช้ โดยมีลำดับขั้นตอนการปรับค่าถ่วงน้ำหนักและค่าไบแอส ดังสมการที่ 5.2

โดยในการศึกษานี้ จะกำหนดให้มีการปรับค่าถ่วงน้ำหนักและค่าไบแอสเป็นจำนวน 1,000 ครั้ง(ในที่นี้จะเรียกว่า epoch) โดยกำหนดให้มีค่าเท่ากันในทุกระบบและเงื่อนไขการศึกษา เพื่อใช้เป็นเกณฑ์ในการเปรียบเทียบระยะเวลาในการฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียมในแต่ละเงื่อนไข และในการปรับค่าถ่วงน้ำหนักและค่าไบแอสแต่ละ epoch จะทำการคำนวณหาค่าผิดพลาดของคำตอบของข้อมูลฝึกสอนและข้อมูลทดสอบแต่ละชุด เพื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของค่าผิดพลาดยกกำลังสอง (Mean square error, MSE) ของชุดข้อมูลทดสอบใน epoch ปัจจุบัน กับค่า MSE ของชุดข้อมูลทดสอบที่ได้ epoch ก่อนหน้านี้ และเก็บค่าถ่วงน้ำหนักและค่าไบแอสใน epoch ที่ทำให้ค่า MSE ของชุดข้อมูลทดสอบมีค่าต่ำที่สุดไว้ (ตำแหน่งที่ถูกสุ่ม) ไปใช้งาน ดังแสดงในรูปที่ 5.2 โดยการใช้ชุดข้อมูลทดสอบเป็น ชุดตรวจสอบ (Validation set)

$$x_{k+1} = x_k + \Delta x = x_k + [J^T \cdot J + \mu I]^{-1} \cdot g \quad (5.2)$$

$$g = J^T \cdot e \quad (5.3)$$

- โดยที่ x คือ ค่าถ่วงน้ำหนัก(w) และค่าไบแอส (b)
 J คือ จาโคเบียนเมตริกซ์ (Jacobian matrix) ของอนุพันธ์
 ของค่าผิดพลาด(แต่ละค่า) ต่อค่า x (แต่ละค่า)
 g คือ Gradient factor
 J^T คือ Transpose matrix ของ J
 e คือ เมตริกซ์ของค่าผิดพลาด (Error) ระหว่างคำตอบ (Target , t)
 กับค่าที่โครงข่ายประสาทเทียมคำนวณได้ (Answer , a)
 μ คือ Mu factor
 I คือ Identity matrix

จาโคเบียนเมตริกซ์ของ (w) $J(w) =$

$$\begin{bmatrix} \frac{\partial e_1}{\partial w_{1,1}} & \frac{\partial e_1}{\partial w_{1,2}} & \dots & \frac{\partial e_1}{\partial w_{1,s}} \\ \frac{\partial e_2}{\partial w_{2,1}} & \frac{\partial e_2}{\partial w_{2,2}} & \dots & \frac{\partial e_2}{\partial w_{2,s}} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ \frac{\partial e_s}{\partial w_{s,1}} & \frac{\partial e_s}{\partial w_{s,2}} & \dots & \frac{\partial e_s}{\partial w_{s,s}} \end{bmatrix} \quad (5.4)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จาโคเบียนเมตริกซ์ของค่า (b)
$$J(\mathbf{b}) = \begin{bmatrix} \frac{\partial e_1}{\partial b_1} \\ \frac{\partial e_2}{\partial b_2} \\ \vdots \\ \frac{\partial e_s}{\partial b_s} \end{bmatrix} \quad (5.5)$$

เมตริกซ์ของค่าผิดพลาด
$$\begin{bmatrix} e_1 \\ e_2 \\ \vdots \\ e_s \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} t_1 - a_1 \\ t_2 - a_2 \\ \vdots \\ t_s - a_s \end{bmatrix} \quad (5.6)$$

5.4.3 จำนวนรอบของการฝึกสอน

จำนวนรอบการฝึกสอน หมายถึงการเลือกค่าถ่วงน้ำหนักและค่าไบแอสออกมาหนึ่งค่าจากการสุ่มเลือก หลังจากนั้นทำการปรับค่าถ่วงน้ำหนักและค่าไบแอส โดยใช้วิธี Levenberg - Maquardt Algorithm ดังที่กล่าวไปแล้ว โดยปรับค่าถ่วงน้ำหนักและค่าไบแอสทั้งหมด 1,000 ครั้ง หรือ 1,000 epoch จะถือว่าเป็นหนึ่งรอบการฝึกสอน หลังจากจบหนึ่งรอบการฝึกสอนก็จะทำการสุ่มเลือกค่าถ่วงน้ำหนักค่าใหม่ที่ไม่ซ้ำค่าที่ผ่านมาเป็นค่าเริ่มต้น และทำซ้ำแบบเดิมจนครบจำนวนรอบการฝึกสอนที่ตั้งค่าไว้

ในการศึกษานี้กำหนดจำนวนรอบของการฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียมในแต่ละโครงสร้างไว้ที่ 50 รอบต่อโครงสร้าง และเลือกรอบการฝึกสอนที่มีค่า mape ของชุดข้อมูลทดสอบที่มีค่าต่ำที่สุดใน 50 รอบไปใช้งาน

5.4.4 จำนวนโครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียม

การนำโครงข่ายประสาทเทียมไปใช้ในการแก้ปัญหานิตที่เป็นฟังก์ชันต่อเนื่องแบบเชิงเส้นและมีความซับซ้อนไม่มากนัก สามารถใช้โครงข่ายประสาทเทียมชนิด Feed-forward Neural

Networks ที่มีชั้นซ่อนเพียง 1 ชั้น ก็เพียงพอสำหรับการแก้ปัญหา หากปัญหาที่พิจารณามีความซับซ้อนมาก ก็จะต้องพิจารณาเพิ่มจำนวนชั้นซ่อนขึ้นอีก 1 ชั้น

โครงข่ายประสาทเทียมที่ใช้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นชนิด Feed-forward Neural Networks ที่มีชั้นซ่อน 2 ชั้น (2 Hidden layer) โดยได้กำหนดให้ใช้ชั้นซ่อนสองชั้นเนื่องจากปัญหาที่ศึกษาเป็นชนิดที่เป็นฟังก์ชันต่อเนื่องแบบไม่เชิงเส้นและมีความซับซ้อนมาก และกำหนดให้ชั้นซ่อนทั้งสองทั้งสองมีจำนวนปมประสาทต่างกัน 1 ปม โดยชั้นซ่อนที่ 1 จะมีค่ามากกว่าชั้นซ่อนที่ 2 และฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียมที่มีโครงสร้างชั้นซ่อนน้อยที่สุด คือ 2 – 1 ไปจนถึง 10 – 9 เพื่อหาโครงสร้างที่เหมาะสมที่สุดสำหรับแต่ละปัญหาที่ต้องการ

การเพิ่มความซับซ้อนของโครงข่ายประสาทเทียมเป็นวิธีหนึ่งในการลดค่าความผิดพลาดจากการคำนวณ โดยโครงสร้างที่เหมาะสมจะทำให้ค่าผิดพลาดจากการคำนวณมีค่าลดลง และมีความเป็นไปได้ที่การเพิ่มความซับซ้อนของโครงข่ายจะสามารถทำให้ค่าผิดพลาดจากการคำนวณมีค่าลดลง แต่การเพิ่มความซับซ้อนของโครงข่ายจะมีผลกระทบต่อระยะเวลาที่ใช้ในการฝึกสอน ในขณะที่โครงข่ายที่มีจำนวนนิวรอนในชั้นซ่อนน้อย จะใช้เวลาในการฝึกสอนน้อยกว่าโครงข่ายที่มีจำนวนนิวรอนในชั้นซ่อนมาก เมื่อฝึกสอนด้วยเงื่อนไขเดียวกัน แต่อย่างไรก็ตาม ไม่สามารถสรุปได้อย่างแน่ชัดว่าโครงข่ายประสาทเทียมที่มีจำนวนนิวรอนในชั้นซ่อนมากจะมีประสิทธิภาพสูงกว่าโครงข่ายประสาทเทียมที่มีจำนวนนิวรอนในชั้นซ่อนที่น้อยกว่า

5.4.5 ฟังก์ชันถ่ายโอน

การที่ภายในโครงข่ายประสาทเทียมประกอบด้วยชั้นข้อมูลอินพุต (input layer) 1 ชั้น ชั้นซ่อน (hidden layer) ตั้งแต่ 1 – 2 และชั้นข้อมูลเอาท์พุต (output layer) 1 ชั้น โดยแต่ละชั้นจะถูกเชื่อมต่อกันด้วยค่าถ่วงน้ำหนักที่จะถูกคูณอยู่กับฟังก์ชันถ่ายโอน ฟังก์ชันถ่ายโอนที่ใช้ในการฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียมชนิด Feed-forward Neural Networks มีอยู่หลายชนิดดังนี้ Log-sigmoid, Tan-sigmoid และ Linear transfer function โดยฟังก์ชันถ่ายโอนทั้ง 3 ชนิด สามารถนำไปใช้ในการเชื่อมต่อบetween ชั้น (layer) ได้ก็ได้ ซึ่งปรกติจะใช้ Linear transfer function กับชั้นข้อมูลด้านออก

การศึกษานี้จึงเลือกใช้ฟังก์ชันถ่ายโอน Tan-sigmoid ซึ่งเป็นฟังก์ชันถ่ายโอนที่สามารถหาอนุพันธ์ได้ในชั้นซ่อนทั้ง 2 ชั้นและฟังก์ชันถ่ายโอน Linear ในชั้นข้อมูลเอาท์พุต

สมการของ Log-sigmoid, Tan-sigmoid, Linear transfer function

คือ สมการที่ (5.7), (5.8), (5.9) ตามลำดับ

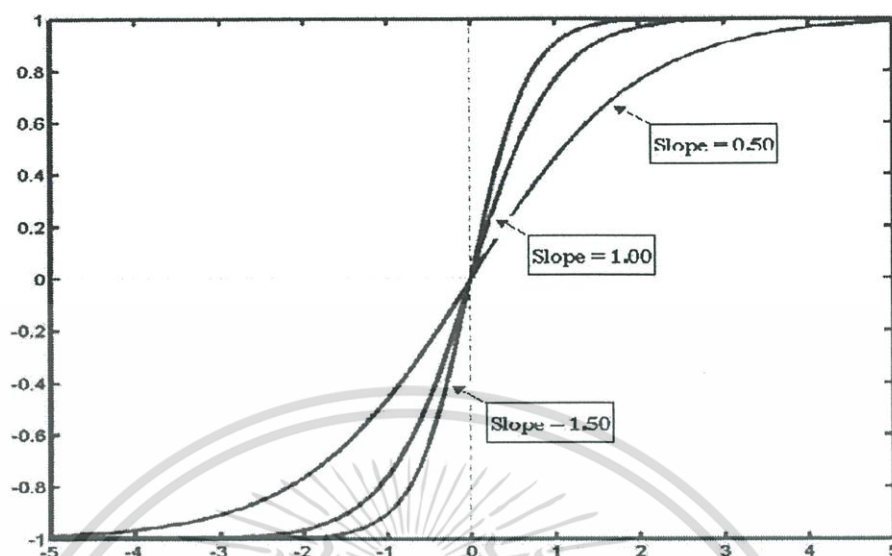
$$a(n) = \frac{1}{1 + e^{-kn}} \quad (5.7)$$

$$a(n) = \frac{1 - e^{-kn}}{1 + e^{-kn}} \quad (5.8)$$

$$a(n) = n \quad (5.9)$$

โดยที่ k คือ ค่าคงที่ที่แสดงถึงความชันของฟังก์ชันถ่ายโอน

นอกเหนือจากชนิดของฟังก์ชันถ่ายโอนแล้ว ความชันของฟังก์ชันถ่ายโอนก็มีผลต่อการตัดสินใจและเวลาที่ใช้ในการฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียมอีกด้วย โดยเมื่อความชันของฟังก์ชันถ่ายโอน Tan-sigmoid มีค่ามากจะมีลักษณะการตัดสินใจใกล้เคียงกับฟังก์ชันถ่ายโอน Hard limit และเมื่อความชันของฟังก์ชันถ่ายโอน Tan-sigmoid มีค่าน้อยจะมีลักษณะการตัดสินใจคล้ายกับ Fuzzy logic ในการศึกษานี้จึงทำการฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียมด้วยฟังก์ชันถ่ายโอนในชั้นซ่อนที่มีความชัน (ค่า k ในสมการที่ 5.7) คือ 1.00 (โดยความชันเท่ากับ 1.00 เป็นค่าพื้นฐานของ Neural Network Toolbox)



รูปที่ 5.5 ตัวอย่างความชันของฟังก์ชันถ่ายโอน Tan-sigmoid ในการศึกษาที่ใช้ Slope = 1(k = 1)

5.4.6 เงื่อนไขพื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับการสิ้นสุดของการฝึกสอน

ในการฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียมชนิด Feed-forward Neural Networks ด้วย Levenberg-Maquardt algorithm (trainlm) [4] โดยใช้ Neural Network Toolbox จะมีเงื่อนไขพื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับการสิ้นสุดของการฝึกสอนดังนี้

5.4.6.1 ค่า Gradient factor

เป็นพารามิเตอร์หนึ่งที่ใช้ในการพิจารณาถึงการสิ้นสุดการฝึกสอน (ค่า g ในสมการที่ 5.3) ในการปรับค่าถ่วงน้ำหนักและค่าไบแอสแต่ละรอบนั้นค่า Gradient factor จะเปลี่ยนแปลงไปขึ้นอยู่กับค่าผิดพลาด (e) ที่เกิดขึ้นใน epoch นั้นๆ โดยการฝึกสอนจะสิ้นสุดลงเมื่อ Gradient factor มีค่าน้อยกว่า $1e-10$

5.4.6.2 ค่า Mu factor

ค่า Mu factor (μ ในสมการที่ (5.2)) เป็นค่าคงที่ที่ใช้เร่งการปรับค่าถ่วงน้ำหนักและค่าไบแอสให้ลู่เข้าหาคำตอบ ในการปรับค่าถ่วงน้ำหนักและค่าไบแอสแต่ละรอบนั้นหากค่า Gradient factor มีค่าเพิ่มขึ้น จะมีการปรับค่า μ ให้เพิ่มขึ้นจนกระทั่งค่า Gradient factor มีแนวโน้มที่จะลดลง จากนั้นค่า μ จะถูกปรับลดลงเรื่อยๆ และจะมีการปรับเพิ่มขึ้นอีกครั้งเมื่อค่า Gradient factor มีค่า

เพิ่มขึ้น โดยที่ค่า μ เริ่มต้นจะมีค่าเท่ากับ 0.001, การปรับค่า μ เพิ่มขึ้นนั้นจะทำโดยการคูณด้วย increased factor ซึ่งมีค่าเท่ากับ 10 และการปรับค่า μ ลดลงนั้นจะทำโดยการคูณด้วย decreased factor ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.1 และการฝึกสอนจะสิ้นสุดลงเมื่อ ค่า μ มีค่ามากกว่า $1e10$

จากที่กล่าวไว้ในข้างต้นเงื่อนไขการฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียมทั้งหมดสามารถนำมาสรุปได้ดังตารางที่ 5.5 และ 5.6

ตารางที่ 5.5 เงื่อนไขการฝึกสอนที่ควบคุม

เงื่อนไขที่ควบคุม	ค่าที่กำหนด	ผลต่อการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียม
การเลือกค่าเริ่มต้นของ Weight , Bias	เลือกแบบสุ่ม	ประสิทธิภาพของโครงข่ายอาจจะแตกต่างกัน โดยขึ้นอยู่กับค่าเริ่มต้นของ Weight , Bias ที่สุ่มได้
ลำดับขั้นตอนการปรับค่าตัวน้ำหนักและค่าไบแอส	Levenberg-Maquardt algorithm	มีประสิทธิภาพและความรวดเร็วในการฝึกสอนสูงสุด
จำนวนข้อมูลฝึกสอน	40 , 80 และ 120 ชุด สำหรับระบบ IEEE 50 generators test system และ 60 , 120 และ 180 ชุด สำหรับระบบ IEEE 47 generator 118 bus	ใช้เปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการฝึกสอนแต่ละเงื่อนไข และศึกษาค่าที่ดีขึ้นของความผิดพลาด
จำนวนข้อมูลทดสอบ	80 ชุด ทั้ง IEEE 50 generators test system และ IEEE 47 generator 118 bus โดยแบ่งเป็นที่การลดค่า MPL ลง 0%, 5%, 10%, 12%	ใช้เปรียบเทียบประสิทธิภาพของการฝึกสอนแต่ละเงื่อนไข

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.5 (ต่อ)

เงื่อนไขที่ควบคุม	ค่าที่กำหนด	ผลต่อการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียม
จำนวนครั้งการปรับ Weight , Bias ในการฝึกสอนแต่ละรอบ	1,000 ครั้ง	ใช้เปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการฝึกสอนแต่ละเงื่อนไข
จำนวนรอบการฝึกสอน	50 รอบ	ให้เกิดการสุ่มค่าเริ่มต้นของค่าถ่วงน้ำหนักและค่าไบแอสอย่างทั่วถึง
จำนวนนิวรอนในชั้นซ่อน	ในชั้นซ่อนที่ 1 มีนิวรอนมากกว่าในชั้นซ่อนที่ 2 เป็นจำนวน 1 นิวรอน	ใช้เปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการฝึกสอนแต่ละเงื่อนไข
โครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียม	9 โครงสร้าง ตั้งแต่ 2-1 จนถึง 10-9	เพื่อให้เมตริกซ์ของ ปรับ Weight , Bias มีขนาดใหญ่เพียงพอสำหรับการคำนวณค่าผลลัพธ์ที่ต้องการ
ชนิดของฟังก์ชันถ่ายโอน	Tan-sigmoid ที่มีความชันของฟังก์ชันถ่ายโอน = 1 ในชั้นซ่อนทั้ง 2 ชั้นและ Linear ในชั้นข้อมูลเอาต์พุต	ไม่มีการปรับชนิดของฟังก์ชันถ่ายโอน

ตารางที่ 5.6 เงื่อนไขการสิ้นสุดการฝึกสอนแต่ละรอบการฝึกสอน

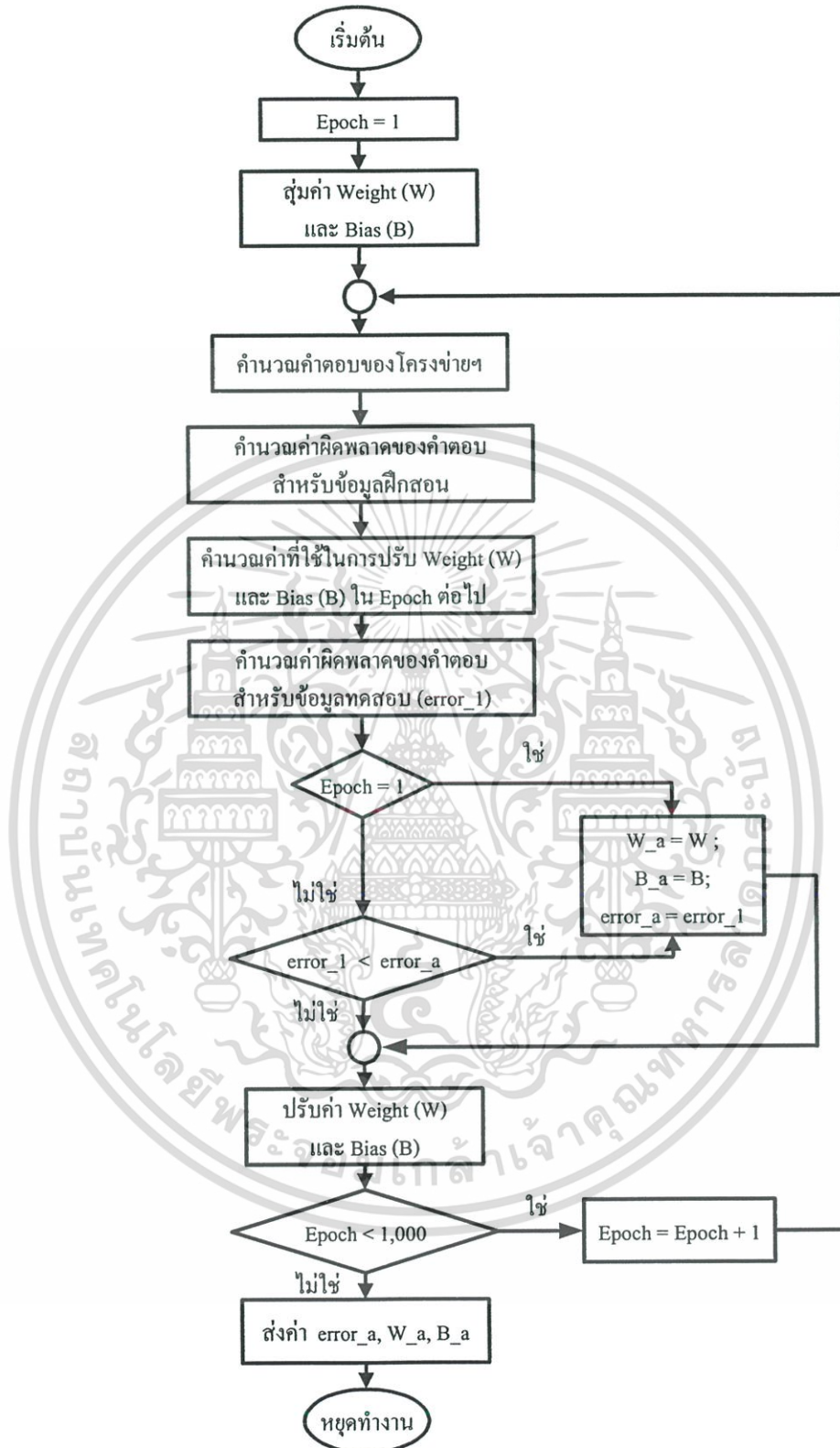
เงื่อนไขที่เป็นค่ามาตรฐานของ Tool Box	ค่าที่กำหนด	ผลต่อการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียม
การสิ้นสุดการฝึกสอนแต่ละรอบ	1. การเปลี่ยนแปลงของ Gradient factor ต่ำกว่า $1e-10$ 2. ค่า Mu factor เกินกว่า $1e10$	เวลาที่ใช้ในการฝึกสอนอาจจะไม่แปรผันตามจำนวนปมประสาทในชั้นซ่อนและความชันของฟังก์ชันถ่ายโอน

5.5 ขั้นตอนการฝึกสอน

จากที่ได้เตรียมข้อมูลโดยวิธีทางเวลาเพื่อไว้ใช้ในการฝึกสอนและทดสอบโครงข่ายประสาทเทียม จะได้ข้อมูลเป็นเมตริกซ์ ที่มีขนาดแตกต่างกันตามชุดข้อมูลอินพุตและเอาต์พุตที่ได้ถูกออกแบบเตรียมไว้สำหรับแต่ละปัญหาที่ต้องการศึกษา การศึกษาค่า CCT, CG, MPL สำหรับระบบ IEEE 50 generators test system จะประกอบด้วยชุดข้อมูล 3 แบบ ด้วยกันตามจำนวนของชุดข้อมูลที่ใช้ฝึกสอน ดังนี้ เมตริกซ์ขนาด 10×40 , 10×80 และ 10×120 และข้อมูลทดสอบที่เป็นเมตริกซ์ขนาด 10×20 และสำหรับระบบ IEEE 47 generator 118 bus จะประกอบด้วยชุดข้อมูล 3 แบบ ด้วยกันตามจำนวนของชุดข้อมูลที่ใช้ฝึกสอน ดังนี้ เมตริกซ์ขนาด 10×60 , 10×120 และ 10×180 และข้อมูล

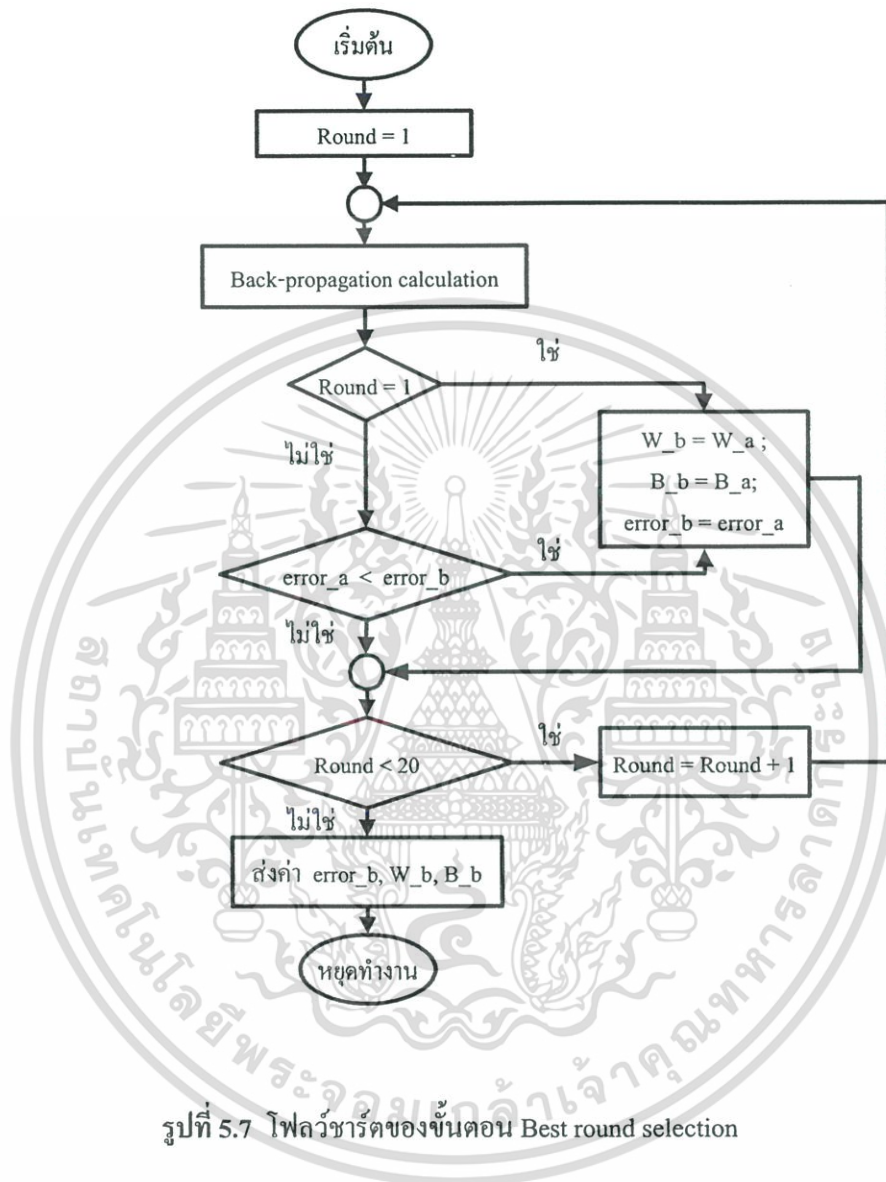
ทดสอบที่เป็นเมตริกซ์ขนาด 10×20 การศึกษาค่า new value of CCT สำหรับระบบ IEEE 50 generators test system จะประกอบด้วยชุดข้อมูล 3 แบบ ค่ายกันตามจำนวนของชุดข้อมูลที่ใช้ฝึกสอน ดังนี้ เมตริกซ์ขนาด 9×80 , 9×160 และ 9×240 และข้อมูลทดสอบ 4 ชุด ที่เป็นเมตริกซ์ขนาด 9×20 โดยเป็นของการลดค่า MPL ลง 0%, 5%, 10%, 12% และสำหรับระบบ IEEE 47 generator 118 bus จะประกอบด้วยชุดข้อมูล 3 แบบ ค่ายกันตามจำนวนของชุดข้อมูลที่ใช้ฝึกสอน ดังนี้ เมตริกซ์ขนาด 9×120 , 9×240 และ 9×360 และข้อมูลทดสอบ 4 ชุด ที่เป็นเมตริกซ์ขนาด 9×20 โดยเป็นของการลดค่า MPL ลง 0%, 5%, 10%, 12% จากนั้นนำเมตริกซ์ที่ได้ทั้งหมดมาจัดระเบียบข้อมูล (Normalization) ก่อนนำมาฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียม

ขั้นตอน Back-propagation calculation ซึ่งเป็นการปรับค่าถ่วงน้ำหนักและค่าไบแอสและคำนวณหาค่าผิดพลาดของคำตอบของข้อมูลทดสอบเป็นจำนวน 1,000 epoch และเลือกเอาค่าถ่วงน้ำหนักและค่าไบแอสที่ทำให้คำตอบของข้อมูลทดสอบมีค่าผิดพลาดน้อยที่สุดจาก 1,000 epoch เก็บไว้เพื่อเปรียบเทียบกับรอบการฝึกสอนอื่นๆ ในขั้นตอน Best round selection โดยและเลือกค่าถ่วงน้ำหนักและค่าไบแอสที่ทำให้คำตอบของข้อมูลทดสอบมีค่าผิดพลาดน้อยที่สุดเก็บไว้เพื่อเปรียบเทียบกับรอบการฝึกสอนในโครงข่ายประสาทเทียมในโครงสร้างอื่นๆ และหาโครงสร้างที่ทำให้คำตอบของข้อมูลทดสอบมีค่าผิดพลาดน้อยที่สุด ในขั้นตอน Best structure and best round selection



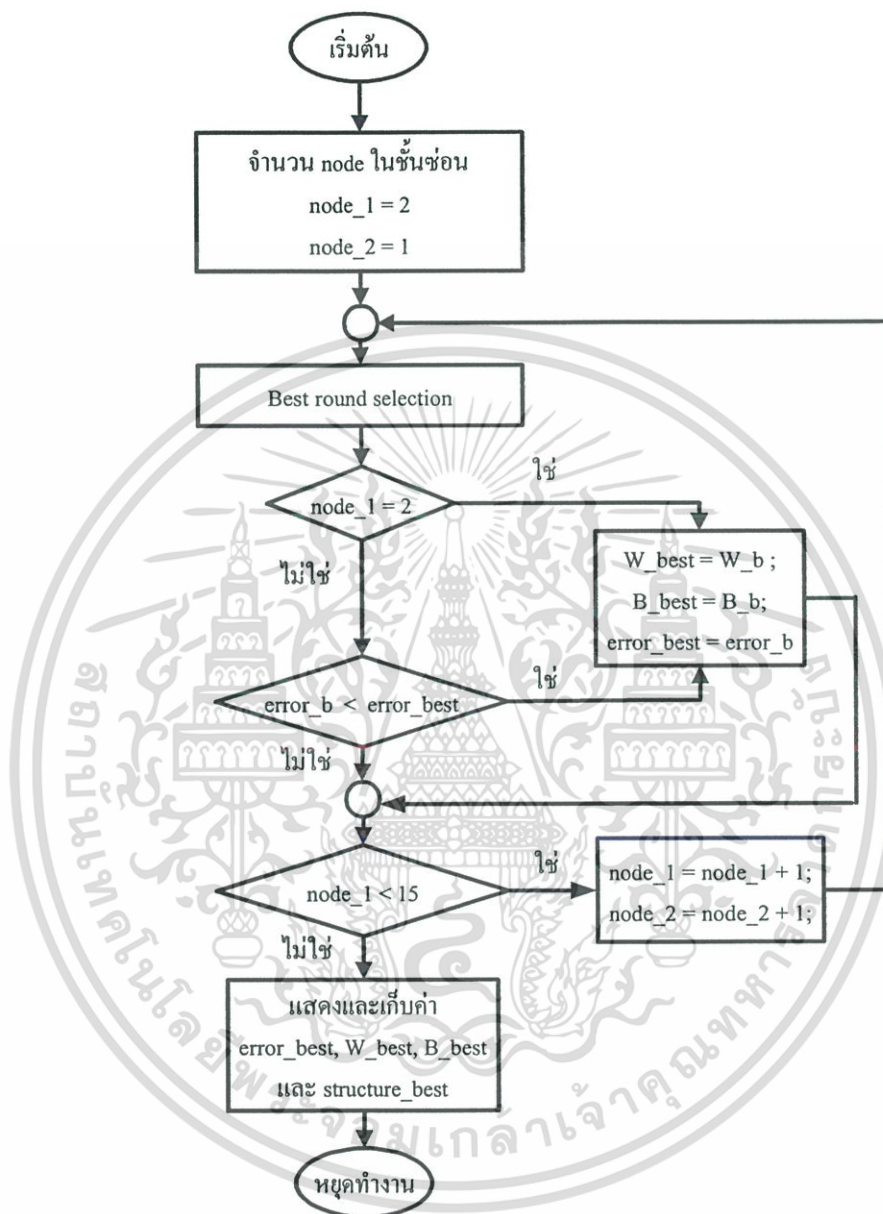
รูปที่ 5.6 โพลีชาร์ตของขั้นตอน Back-propagation calculation

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.7 โพลิวชาร์ตของขั้นตอน Best round selection

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.8 โฟลว์ชาร์ตของขั้นตอน Best structure and best round selection

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.6 ประสิทธิภาพของโครงข่ายประสาทเทียม

การหาประสิทธิภาพของโครงข่ายประสาทเทียมจากค่า CCT และ new value of CCT ที่หาได้นั้นจะวัดประสิทธิภาพโดยใช้ ค่าเปอร์เซ็นต์ผิดพลาดเฉลี่ยสัมบูรณ์ (mean absolute percentage error) หรือ mape ของข้อมูลทดสอบเป็นเกณฑ์ซึ่งหาได้จาก

$$\text{mape} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{n} \times \left| \frac{\text{CCT}_{\text{ANN}i} - \text{CCT}_{\text{TDM}i}}{\text{CCT}_{\text{TDM}i}} \right| \times 100\% \quad (5.10)$$

CCT_{ANN} คือ CCT ที่เป็นคำตอบของโครงข่ายประสาทเทียม

CCT_{TDM} คือ CCT ที่เป็นคำตอบของวิธีทางเวลา

n คือจำนวนข้อมูลทดสอบ

การทดสอบประสิทธิภาพของโครงข่ายประสาทเทียมจากค่า CG ที่หาได้นั้นจะวัดประสิทธิภาพ โดยใช้ค่าเปอร์เซ็นต์ของจำนวนค่าที่ตอบผิดซึ่งเทียบกับจำนวนค่าที่ทดสอบ

$$\text{ERROR CG Prediction} = \frac{w}{n} \times 100\% \quad (5.11)$$

w คือจำนวนครั้งที่ตอบผิด

n คือจำนวนข้อมูลทดสอบ

การหาประสิทธิภาพของโครงข่ายประสาทเทียมจากค่า MPL ที่หาได้นั้นจะวัดประสิทธิภาพโดยใช้ ค่าเปอร์เซ็นต์ผิดพลาดเฉลี่ยสัมบูรณ์ (mean absolute percentage error) หรือ mape ของข้อมูลทดสอบเป็นเกณฑ์ซึ่งหาได้จาก

$$\text{mape} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{n} \times \left| \frac{\text{MPL}_{\text{ANN}i} - \text{MPL}_{\text{TDM}i}}{\text{MPL}_{\text{TDM}i}} \right| \times 100\% \quad (5.12)$$

MPL_{ANN} คือ MPL ที่เป็นคำตอบของโครงข่ายประสาทเทียม

MPL_{TDM} คือ MPL ที่เป็นคำตอบของวิธีทางเวลา

n คือจำนวนข้อมูลทดสอบ

บทที่ 6

ผลการทดลอง

จากที่เราได้ทำการทดลองดังที่กล่าวมาในบทที่ผ่านมา ในบทนี้จะกล่าวถึงผลการทดลองจากการที่เราได้ใช้โครงข่ายประสาทเทียมศึกษาสถานะชั่วคราวของระบบไฟฟ้าทั้ง 2 ระบบ คือ ระบบ IEEE 50generator test system และ ระบบ IEEE 47 generator 118 bus ซึ่งเป็นผลของการหาค่า CCT, CG, MPL และ new value of CCT

6.1 ผลการทดลองของระบบ IEEE 50 generator test system

6.1.1 ผลการทดลองหาค่า CCT, CG, MPL

การฝึกสอน โครงข่ายประสาทเทียมสำหรับระบบ IEEE 50generator test system ฝึกสอนด้วยคอมพิวเตอร์เพนเทียม 4 2.4 GHz หน่วยความจำขนาด 256 MB โดยการเรียนรู้จะฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียมด้วยฟังก์ชันถ่ายโอน แบบ Tan-sigmoid ในชั้นซ่อนที่ 1 – 2 และใช้แบบ Linear ในชั้นข้อมูลด้านออก โดยมีความชันในฟังก์ชันถ่ายโอน เท่ากับ 1 เท่านั้น

การแสดงผลแบบที่ 1 จะแสดงผลจากการฝึกสอนด้วยชุดข้อมูลฝึกสอน ทั้ง 3 ชุด คือ 40, 80, 120 ชุด โดยจะแสดงเฉพาะค่าแสดงค่าที่ได้จากทดสอบด้วยข้อมูล 20 ชุดของการฝึกสอนด้วยโครงสร้างที่ดีที่สุด และจะเปรียบเทียบผลระหว่างค่าคำตอบที่ได้จากวิธีทางเวลาเทียบกับวิธีโครงข่ายประสาทเทียมของชุดข้อมูลฝึกสอน 20 ชุด

การแสดงผลแบบที่ 2 จะแสดงการเปรียบเทียบผลที่ดีที่สุดของการฝึกสอนด้วยข้อมูลทั้ง 3 ชุด โดยจะแสดงเป็นค่าเวลาที่ใช้ในการฝึกสอนด้วยโครงสร้างนั้น ความซับซ้อนของโครงสร้างที่ดีที่สุดสำหรับชุดข้อมูล ค่าความผิดพลาดจากการฝึกสอนด้วยโครงสร้างที่ดีที่สุด

การหาค่าความผิดพลาด CCT ของชุดข้อมูลแต่ละชุดจะแสดงค่าผิดพลาดในรูปแบบของ absolute percentage error (ape) โดยจะถูกเรียกในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ว่า Error CCT

$$ape = \left| \frac{CCT_{ANNi} - CCT_{TDMi}}{CCT_{TDMi}} \right| \times 100\%$$

ตารางที่ 6.1 ตารางแสดงตัวอย่างผลที่ดีที่สุดของการฝึกสอน โดยเปรียบเทียบค่า CCT, CG และ MPL ด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียม(ANN)กับวิธีทางเวลา(TDM) โดยใช้ชุดข้อมูล สอน 40 ชุด ชุดทดสอบ 20 ชุด

ข้อมูลชุดที่	CCT(TD)	CCT(ANN)	Error CCT	CG(TD)	CG(ANN)	MPL(TD)	MPL(ANN)	Error MPL
	วินาที	วินาที	(%)					(%)
1	0.0210	0.0208	0.9524	6	6	2.2193	2.2153	0.1802
2	0.1200	0.1200	0.0333	3	3	1.6215	1.6503	1.7761
3	0.0540	0.0542	0.3704	6	6	2.1048	2.0992	0.2661
4	0.0410	0.0400	2.4390	6	6	2.1398	2.1341	0.2664
5	0.0490	0.0478	2.4490	6	6	2.1140	2.1209	0.3264
6	0.1170	0.1146	2.0513	3	3	1.6218	1.6229	0.0678
7	0.1200	0.1198	0.1667	3	3	1.6211	1.6225	0.0864
8	0.0240	0.0223	7.0833	6	6	2.2028	2.2095	0.3042
9	0.1200	0.1181	1.5833	3	3	1.6218	1.6275	0.3515
10	0.1200	0.1182	1.5000	3	3	1.6208	1.6191	0.1049
11	0.0480	0.0477	0.6250	2	2	2.1098	2.0077	4.8393
12	0.0250	0.0253	1.2000	6	6	2.2044	2.2005	0.1769
13	0.1190	0.1198	0.6723	2	3	2.4006	1.6202	32.5085
14	0.0430	0.0434	0.9302	6	6	2.1360	2.1261	0.4635
15	0.0420	0.0422	0.4762	6	6	2.1474	2.1437	0.1723
16	0.0870	0.0797	8.3908	2	2	2.0716	2.12	2.3364
17	0.1200	0.1193	0.5833	3	3	1.6214	1.6202	0.0740
18	0.0280	0.0368	31.4787	2	2	2.0582	2.1423	4.0861
19	0.1100	0.1190	8.1818	2	3	2.2025	1.62	26.4472
20	0.1190	0.1191	0.0840	2	3	2.3773	1.6304	31.4180

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.2 ตารางแสดงตัวอย่างผลที่ดีที่สุดของการฝึกสอน โดยเปรียบเทียบค่า CCT, CG และ MPL ด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียม(ANN)กับวิธีทางเวลา(TDM) โดยใช้ชุดข้อมูล สอน 80 ชุด ชุดทดสอบ 20 ชุด

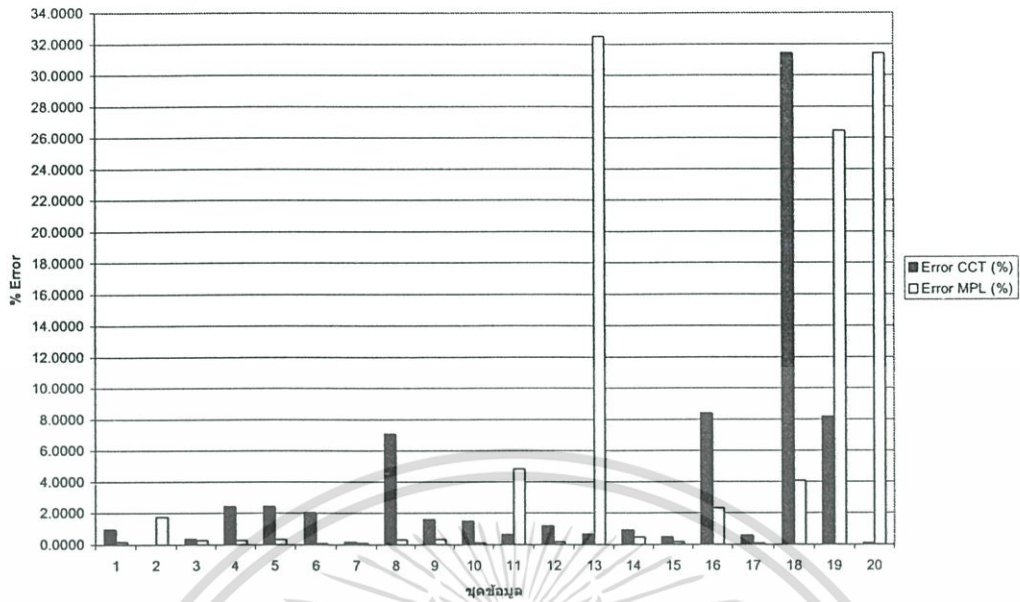
ข้อมูลชุดที่	CCT(TD)	CCT(ANN)	Error CCT	CG(TD)	CG(ANN)	MPL(TD)	MPL(ANN)	Error MPL
	วินาที	วินาที	(%)					(%)
1	0.0210	0.0210	0.0588	6	6	2.2193	2.2159	0.1532
2	0.1200	0.1202	0.1667	3	3	1.6215	1.6248	0.2035
3	0.0540	0.0553	2.4074	6	6	2.1048	2.1020	0.1330
4	0.0410	0.0402	1.9512	6	6	2.1398	2.1341	0.2664
5	0.0490	0.0472	3.6735	6	6	2.1140	2.1459	1.5090
6	0.1170	0.1150	1.7094	3	3	1.6218	2.1204	30.7436
7	0.1200	0.1205	0.4167	3	3	1.6211	1.6212	0.0061
8	0.0240	0.0222	7.5000	6	6	2.2028	2.2083	0.2497
9	0.1200	0.1195	0.4167	3	3	1.6218	1.6212	0.0370
10	0.1200	0.1199	0.0833	3	2	1.6208	2.0447	26.1538
11	0.0480	0.0481	0.2083	2	2	2.1098	2.0837	1.2371
12	0.0250	0.0254	1.6000	6	6	2.2044	2.2004	0.1815
13	0.1190	0.1203	1.0924	2	2	2.4006	2.0416	14.9546
14	0.0430	0.0437	1.6279	6	6	2.1360	2.1334	0.1217
15	0.0420	0.0414	1.4286	6	6	2.1474	2.1452	0.1024
16	0.0870	0.0854	1.8391	2	2	2.0716	2.0706	0.0483
17	0.1200	0.1195	0.4167	3	3	1.6214	1.6196	0.1110
18	0.0280	0.0331	18.1783	2	2	2.0582	2.0411	0.8308
19	0.1100	0.1194	8.5455	2	3	2.2025	1.6212	26.3927
20	0.1190	0.1187	0.2521	2	2	2.3773	2.0286	14.6679

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

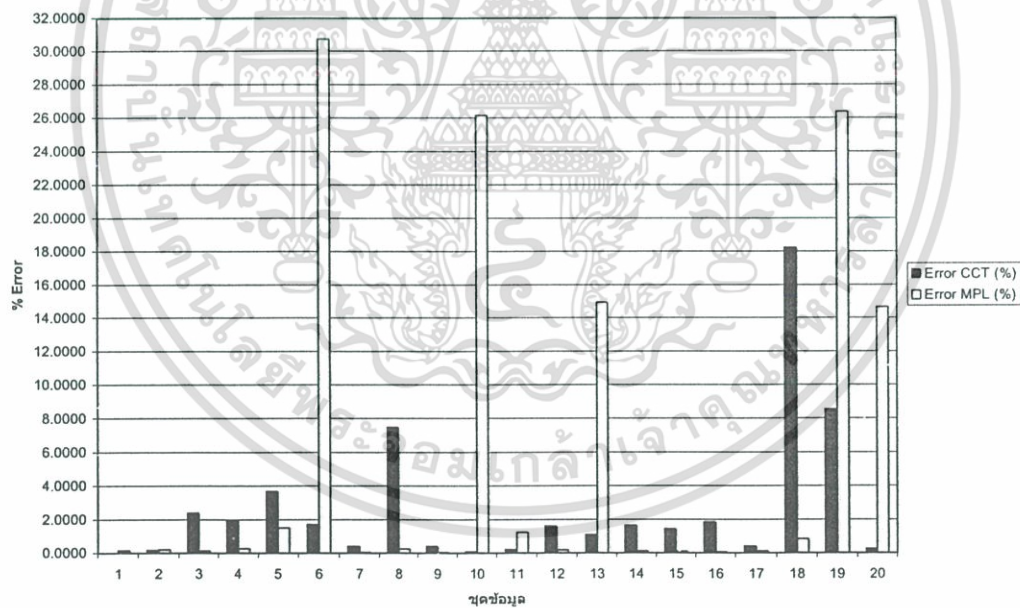
ตารางที่ 6.3 ตารางแสดงตัวอย่างผลที่ดีที่สุดของการฝึกสอน โดยเปรียบเทียบค่า CCT, CG และ MPL ด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียม(ANN)กับวิธีทางเวลา(TDM) โดยใช้ชุดข้อมูล สอน 120 ชุด ชุดทดสอบ 20 ชุด

ข้อมูลชุดที่	CCT(TD)	CCT(ANN)	Error CCT	CG(TD)	CG(ANN)	MPL(TD)	MPL(ANN)	Error MPL
	วินาที	วินาที	(%)					(%)
1	0.0210	0.0217	3.4481	6	6	2.2193	2.2091	0.4596
2	0.1200	0.1202	0.1367	3	3	1.6215	1.5749	2.8738
3	0.0540	0.0579	7.2509	6	6	2.1048	2.0776	1.2922
4	0.0410	0.0398	3.0442	6	6	2.1398	2.1625	1.0608
5	0.0490	0.0517	5.4748	6	6	2.1140	2.1208	0.3216
6	0.1170	0.1198	2.395	3	3	1.6218	1.7543	8.1699
7	0.1200	0.1200	0.0095	3	3	1.6211	1.6623	2.5414
8	0.0240	0.0187	21.9952	6	6	2.2028	2.2079	0.2315
9	0.1200	0.1200	0.0308	3	3	1.6218	1.6339	0.746
10	0.1200	0.1200	0.0361	3	3	1.6208	1.6368	0.9871
11	0.0480	0.0463	3.4678	2	2	2.1098	2.3135	9.6549
12	0.0250	0.0245	1.8661	6	6	2.2044	2.1936	0.4899
13	0.1190	0.1186	0.3196	2	2	2.4006	2.2544	6.0901
14	0.0430	0.0472	9.7487	6	6	2.1360	2.1320	0.1872
15	0.0420	0.0491	16.8449	6	6	2.1474	2.1372	0.4749
16	0.0870	0.0815	6.2885	2	2	2.0716	2.0465	1.2116
17	0.1200	0.1200	0.0075	3	3	1.6214	1.6618	2.4916
18	0.0280	0.0281	0.2433	2	2	2.0582	2.2038	7.0741
19	0.1100	0.1200	9.0904	2	3	2.2025	1.6578	24.7309
20	0.1190	0.1196	0.5021	2	2	2.3773	2.4111	1.4217

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

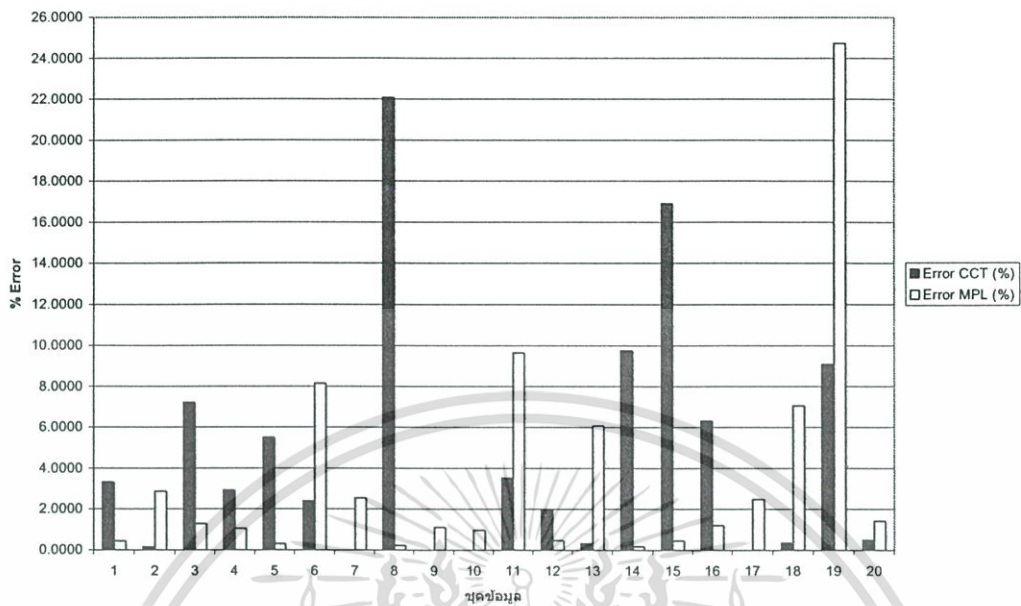


รูปที่ 6.1 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของชุดข้อมูลทดสอบทั้ง 20 ชุด โดยใช้ชุดข้อมูลฝึกสอน 40 ชุด โดยเปรียบเทียบเฉพาะค่า CCT กับ MPL



รูปที่ 6.2 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของชุดข้อมูลทดสอบทั้ง 20 ชุด โดยใช้ชุดข้อมูลฝึกสอน 80 ชุด โดยเปรียบเทียบเฉพาะค่า CCT กับ MPL

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

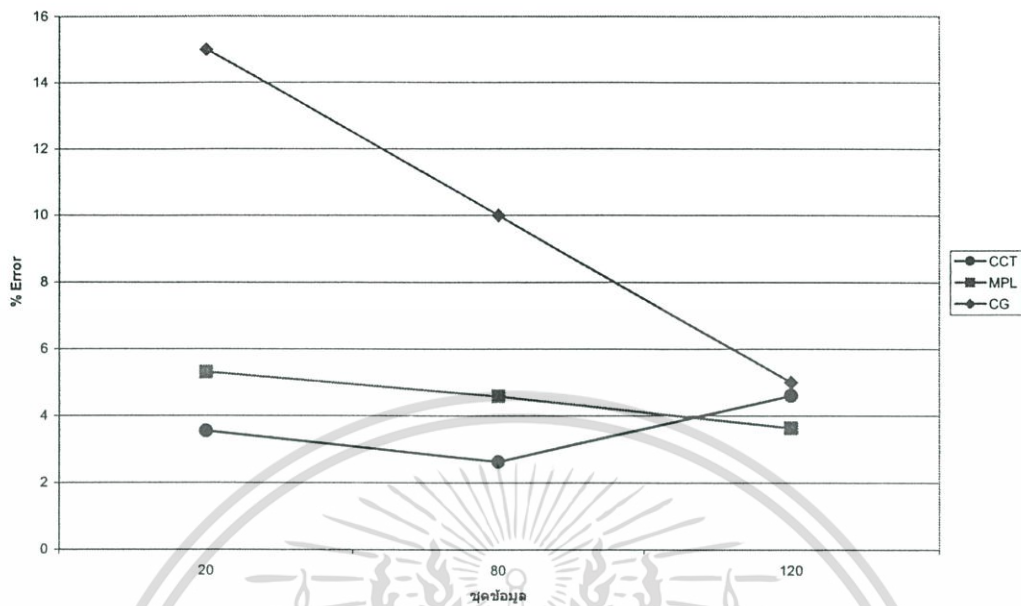


รูปที่ 6.3 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของชุดข้อมูลทดสอบทั้ง 20 ชุด โดยใช้ชุดข้อมูลฝึกสอน 120 ชุด โดยเปรียบเทียบเฉพาะค่า CCT กับ MPL

ตารางที่ 6.4 ผลการฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียมที่ดีที่สุดของ CCT, CG, MPL ในเงื่อนไขต่างๆ

จำนวนชุดข้อมูลฝึกสอน	เวลาที่ใช้ฝึกสอน (นาทื)	จำนวนปมประสาทในชั้นซ่อนที่ 1-2	ผลของข้อมูลทดสอบ 20ชุด						
			CCT			Error CG	MPL		
			MinError (%)	Mape (%)	MaxError (%)	Prediction (%)	MinErr or (%)	Mape (%)	MaxError (%)
40	32.9869	5-4	0.0333	3.5538	31.4787	15	0.0678	5.3126	32.5085
80	45.4618	6-5	0.0588	2.6342	18.1783	10	0.0061	4.5934	26.3927
120	47.4789	5-4	0.0075	4.6100	21.9952	5	0.1872	3.6443	24.7309

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.4 เปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของการฝึกสอนด้วยชุดข้อมูลที่แตกต่างกัน

จากตารางที่ 6.1 ถึง 6.4 และรูป 6.1 ถึง 6.4 สามารถอธิบายได้ดังนี้

- การฝึกสอนด้วยชุดข้อมูล 40 ชุด สามารถคำนวณค่า CCT ของข้อมูลทดสอบโดยมีค่าผิดพลาดเฉลี่ยสัมบูรณ์ (mape) เท่ากับ 3.5538%, ค่าผิดพลาดต่ำสุด (Min error) เท่ากับ 0.0333 % และค่าผิดพลาดสูงสุด (Max error) เท่ากับ 31.4787 % สามารถคำนวณค่า CG โดยมีค่า Error CG Prediction เท่ากับ 15% และสามารถคำนวณค่า CCT ของข้อมูลทดสอบโดยมีค่าผิดพลาดเฉลี่ยสัมบูรณ์ (mape) เท่ากับ 5.3126%, ค่าผิดพลาดต่ำสุด (Min error) เท่ากับ 0.0678 % และค่าผิดพลาดสูงสุด (Max error) เท่ากับ 32.5085 % โดยใช้โครงสร้างภายในโครงข่ายประสาทเทียมเท่ากับ 5 - 4 และใช้เวลาในการฝึกสอน 32.9869 นาที
- การฝึกสอนด้วยชุดข้อมูล 80 ชุด สามารถคำนวณค่า CCT ของข้อมูลทดสอบโดยมีค่าผิดพลาดเฉลี่ยสัมบูรณ์ (mape) เท่ากับ 2.6342%, ค่าผิดพลาดต่ำสุด (Min error) เท่ากับ 0.0588 % และค่าผิดพลาดสูงสุด (Max error) เท่ากับ 18.1783 % สามารถคำนวณค่า CG โดยมีค่า Error CG Prediction เท่ากับ 10% และสามารถคำนวณค่า CCT ของข้อมูลทดสอบโดยมีค่าผิดพลาดเฉลี่ยสัมบูรณ์ (mape) เท่ากับ 4.5934%, ค่าผิดพลาดต่ำสุด (Min error) เท่ากับ 0.0061 % และค่าผิดพลาดสูงสุด (Max error) เท่ากับ 26.3927 % โดยใช้โครงสร้างภายในโครงข่ายประสาทเทียมเท่ากับ 6 - 5 และใช้เวลาในการฝึกสอน 45.4618 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- การฝึกสอนด้วยชุดข้อมูล 120 ชุด สามารถคำนวณค่า CCT ของข้อมูลทดสอบโดยมีค่าผิดพลาดเฉลี่ยสัมบูรณ์ (mape) เท่ากับ 4.6100%, ค่าผิดพลาดต่ำสุด (Min error) เท่ากับ 0.0075 % และค่าผิดพลาดสูงสุด (Max error) เท่ากับ 21.9952 % สามารถคำนวณหาค่า CG โดยมีค่า Error CG Prediction เท่ากับ 5% และสามารถคำนวณค่า CCT ของข้อมูลทดสอบโดยมีค่าผิดพลาดเฉลี่ยสัมบูรณ์ (mape) เท่ากับ 3.6443%, ค่าผิดพลาดต่ำสุด (Min error) เท่ากับ 0.1872 % และค่าผิดพลาดสูงสุด (Max error) เท่ากับ 24.7309 % โดยใช้โครงสร้างภายในโครงข่ายประสาทเทียมเท่ากับ 5 – 4 และใช้เวลาในการฝึกสอน 47.4789 นาที

สำหรับผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าค่า MPL และ CG มีค่าลดลงเมื่อชุดข้อมูลฝึกสอนมีค่าเพิ่มขึ้น แต่ค่า CCT กลับไม่เป็นไปในทางเดียวกันเนื่องจากผลของการเลือกค่าถ่วงน้ำหนักและไบแอส ในแบบที่เลือกค่าถ่วงน้ำหนักชุดเดียวเพื่อใช้ในการหาค่าทั้ง 3 โดยใช้วิธีการเลือกแบบ max ของ min ดังที่ได้กล่าวไปแล้ว

6.1.2 ผลการทดลองหาค่า new value of CCT

การฝึกสอน โครงข่ายประสาทเทียมสำหรับระบบ IEEE 50generator test system ฝึกสอนด้วยคอมพิวเตอร์เพนเทียม 4 2.4 GHz หน่วยความจำขนาด 256 MB โดยการศึกษานี้จะฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียมด้วยฟังก์ชันถ่ายโอน แบบ Tan-sigmoid ในชั้นซ่อนที่ 1 – 2 และใช้แบบ Linear ในชั้นข้อมูลด้านออก โดยมีความชันในฟังก์ชันถ่ายโอน เท่ากับ 1 เท่านั้น

การแสดงผลแบบที่ 1 จะแสดงผลจากการฝึกสอนด้วยชุดข้อมูลฝึกสอน ทั้ง 3 ชุด คือ 80, 160, 240 ชุด โดยจะแสดงเฉพาะค่าแสดงค่าที่ได้จากทดสอบด้วยข้อมูล 80 ชุด โดยแบ่งเป็นของการลดค่า MPL ลง 0%, 5%, 10% และ 12% ของการฝึกสอนด้วยโครงสร้างที่ดีที่สุด และจะเปรียบเทียบผลระหว่างค่าคำตอบที่ได้จากวิธีทางเวลาเทียบกับวิธีโครงข่ายประสาทเทียมของชุดข้อมูลฝึกสอนทั้งหมด 80 ชุด

การแสดงผลแบบที่ 2 จะแสดงการเปรียบเทียบผลที่ดีที่สุดของการฝึกสอนด้วยข้อมูลทั้ง 3 ชุด โดยจะแสดงเป็นค่าเวลาที่ใช้ในการฝึกสอนด้วยโครงสร้างนั้น ความซับซ้อนของโครงสร้างที่ดีที่สุดสำหรับชุดข้อมูล ค่าความผิดพลาดจากการฝึกสอนด้วยโครงสร้างที่ดีที่สุด โดยแบ่งเป็นของการลดค่า MPL ลง 0%, 5%, 10% และ 12%

ตารางที่ 6.5 ผลเปรียบเทียบค่า CCT_{ANN} กับค่า CCT_{TDM} ของการลดค่า MPL ลง 0% จำนวนชุดข้อมูลฝึกสอน 80 ชุด

ข้อมูลชุดที่	CCT (TD)	CCT (ANN)	Error CCT
	วินาที	วินาที	(%)
1	0.0210	0.0220	4.5603
2	0.1200	0.1199	0.0622
3	0.0540	0.0554	2.6691
4	0.0410	0.0364	11.1787
5	0.0490	0.0455	7.1379
6	0.1170	0.1198	2.3567
7	0.1200	0.1199	0.0757
8	0.0240	0.0208	13.377
9	0.1200	0.1191	0.7311
10	0.1200	0.1190	0.8393
11	0.0480	0.0480	0.0115
12	0.0250	0.0244	2.2787
13	0.1190	0.1198	0.6719
14	0.0430	0.0411	4.3172
15	0.0420	0.0420	0.0251
16	0.0870	0.0842	3.2008
17	0.1200	0.1199	0.0809
18	0.0280	0.0275	1.9313
19	0.1100	0.1196	8.7056
20	0.1190	0.1187	0.2175

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.6 ผลเปรียบเทียบค่า CCT_{ANN} กับค่า CCT_{TDM} ของการลดค่า MPL ลง 0% จำนวนชุดข้อมูลฝึกสอน 160 ชุด

ข้อมูลชุดที่	CCT (TD)	CCT (ANN)	Error CCT
	วินาที	วินาที	(%)
1	0.0210	0.0202	3.7895
2	0.1200	0.1204	0.3437
3	0.0540	0.0541	0.2409
4	0.0410	0.0413	0.7605
5	0.0490	0.0483	1.4237
6	0.1170	0.1165	0.4214
7	0.1200	0.1202	0.207
8	0.0240	0.0219	8.9084
9	0.1200	0.1209	0.7708
10	0.1200	0.1209	0.7708
11	0.0480	0.0415	13.588
12	0.0250	0.0248	0.7296
13	0.1190	0.1200	0.8676
14	0.0430	0.0448	4.2242
15	0.0420	0.0427	1.7813
16	0.0870	0.0863	0.7994
17	0.1200	0.1195	0.4052
18	0.0280	0.0261	6.7912
19	0.1100	0.1192	8.3849
20	0.1190	0.1209	1.6176

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.7 ผลเปรียบเทียบค่า CCT_{ANN} กับค่า CCT_{TDM} ของการลดค่า MPL ลง 0% จำนวนชุด ข้อมูลฝึกสอน 240 ชุด

ข้อมูลชุดที่	CCT (TD)	CCT (ANN)	Error CCT
	วินาที	วินาที	(%)
1	0.0210	0.0223	6.1934
2	0.1200	0.1201	0.1177
3	0.0540	0.0560	3.6932
4	0.0410	0.0383	6.5939
5	0.0490	0.0477	2.687
6	0.1170	0.1182	1.0011
7	0.1200	0.1201	0.0574
8	0.0240	0.0218	9.2887
9	0.1200	0.1189	0.9362
10	0.1200	0.1182	1.5123
11	0.0480	0.0478	0.4322
12	0.0250	0.0259	3.6774
13	0.1190	0.1201	0.9067
14	0.0430	0.0428	0.3889
15	0.0420	0.0442	5.1411
16	0.0870	0.0861	0.9849
17	0.1200	0.1200	0.0417
18	0.0280	0.0279	0.3629
19	0.1100	0.1173	6.6164
20	0.1190	0.1200	0.8033

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.8 ผลเปรียบเทียบค่า CCT_{ANN} กับค่า CCT_{TDM} ของการลดค่า MPL ลง 5% จำนวนชุด ข้อมูลฝึกสอน 80 ชุด

ข้อมูลชุดที่	CCT (TD)	CCT (ANN)	Error CCT
	วินาที	วินาที	(%)
1	0.0520	0.0570	9.7047
2	0.1460	0.1533	5.0032
3	0.0800	0.0758	5.2377
4	0.0670	0.0659	1.6874
5	0.0740	0.0697	5.7743
6	0.1420	0.1409	0.7576
7	0.1460	0.1475	1.015
8	0.0530	0.0487	8.1441
9	0.1460	0.1470	0.7191
10	0.1460	0.1447	0.8758
11	0.0750	0.0747	0.451
12	0.0550	0.0560	1.7821
13	0.1190	0.1323	11.2159
14	0.0690	0.0705	2.2143
15	0.0690	0.0654	5.2095
16	0.1080	0.1163	7.6492
17	0.1460	0.1340	8.1957
18	0.0530	0.0580	9.5092
19	0.1190	0.1293	8.6973
20	0.1190	0.1398	17.4439

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.9 ผลเปรียบเทียบค่า CCT_{ANN} กับค่า CCT_{TDM} ของการลดค่า MPL ลง 5% จำนวนชุด ข้อมูลฝึกสอน 160 ชุด

ข้อมูลชุดที่	CCT (TD)	CCT (ANN)	Error CCT
	วินาที	วินาที	(%)
1	0.0520	0.0542	4.1367
2	0.1460	0.1393	4.561
3	0.0800	0.0811	1.3286
4	0.0670	0.0721	7.587
5	0.0740	0.0754	1.9367
6	0.1420	0.1435	1.0741
7	0.1460	0.1469	0.6444
8	0.0530	0.0534	0.7936
9	0.1460	0.1405	3.7507
10	0.1460	0.1434	1.7652
11	0.0750	0.0720	3.9773
12	0.0550	0.0537	2.3153
13	0.1190	0.1305	9.6779
14	0.0690	0.0708	2.551
15	0.0690	0.0713	3.2637
16	0.1080	0.1120	3.8713
17	0.1460	0.1498	2.5747
18	0.0530	0.0470	11.2714
19	0.1190	0.1297	8.9785
20	0.1190	0.1234	3.736

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.10 ผลเปรียบเทียบค่า CCT_{ANN} กับค่า CCT_{TDM} ของการลดค่า MPL ลง 5% จำนวนชุด ข้อมูลฝึกสอน 240 ชุด

ข้อมูลชุดที่	CCT (TD)	CCT (ANN)	Error CCT
	วินาที	วินาที	(%)
1	0.0520	0.0513	1.2692
2	0.1460	0.1452	0.5292
3	0.0800	0.0823	2.8681
4	0.0670	0.0640	4.4771
5	0.0740	0.0743	0.4698
6	0.1420	0.1187	16.3774
7	0.1460	0.1203	17.6259
8	0.0530	0.0556	4.8468
9	0.1460	0.1511	3.5211
10	0.1460	0.1504	3.0127
11	0.0750	0.0807	7.6512
12	0.0550	0.0568	3.1886
13	0.1190	0.1202	0.9801
14	0.0690	0.0674	2.2536
15	0.0690	0.0733	6.2272
16	0.1080	0.1097	1.5981
17	0.1460	0.1398	4.2313
18	0.0530	0.0571	7.7123
19	0.1190	0.1205	1.2352
20	0.1190	0.1201	0.8828

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.11 ผลเปรียบเทียบค่า CCT_{ANN} กับค่า CCT_{TDM} ของการลดค่า MPL ลง 10% จำนวนชุด ข้อมูลฝึกสอน 80 ชุด

ข้อมูลชุดที่	CCT (TD)	CCT (ANN)	Error CCT
	วินาที	วินาที	(%)
1	0.0790	0.0805	1.8449
2	0.1730	0.1724	0.3368
3	0.1040	0.1031	0.8541
4	0.0910	0.0937	2.9464
5	0.0980	0.0982	0.1794
6	0.1670	0.1198	28.2660
7	0.1720	0.1724	0.2426
8	0.0790	0.0780	1.2452
9	0.1710	0.1724	0.8286
10	0.1720	0.1724	0.2426
11	0.0980	0.0932	4.8801
12	0.0810	0.0822	1.4843
13	0.1200	0.1198	0.1700
14	0.0930	0.0967	3.9527
15	0.0950	0.0944	0.5863
16	0.1270	0.1154	9.1243
17	0.1720	0.1724	0.2425
18	0.0890	0.0895	0.5089
19	0.1200	0.1198	0.1700
20	0.1200	0.1198	0.1656

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.12 ผลเปรียบเทียบค่า CCT_{ANN} กับค่า CCT_{TDM} ของการลดค่า MPL ลง 10% จำนวนชุด ข้อมูลฝึกสอน 160 ชุด

ข้อมูลชุดที่	CCT (TD)	CCT (ANN)	Error CCT
	วินาที	วินาที	(%)
1	0.0790	0.0812	2.7279
2	0.1730	0.1722	0.4559
3	0.1040	0.0987	0.5063
4	0.0910	0.0886	2.6515
5	0.0980	0.0986	0.6070
6	0.1670	0.1724	3.2092
7	0.1720	0.1714	0.3820
8	0.0790	0.0827	4.7311
9	0.1710	0.1726	0.9462
10	0.1720	0.1726	0.3513
11	0.0980	0.0996	1.6159
12	0.0810	0.0798	1.5027
13	0.1200	0.1197	0.2136
14	0.0930	0.0907	2.5091
15	0.0950	0.0939	1.1996
16	0.1270	0.1250	1.6015
17	0.1720	0.1718	0.1067
18	0.0890	0.0923	3.6645
19	0.1200	0.1208	0.6902
20	0.1200	0.1160	3.3266

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.13 ผลเปรียบเทียบค่า CCT_{ANN} กับค่า CCT_{TDM} ของการลดค่า MPL ลง 10% จำนวนชุด ข้อมูลฝึกสอน 240 ชุด

ข้อมูลชุดที่	CCT (TD)	CCT (ANN)	Error CCT
	วินาที	วินาที	(%)
1	0.0790	0.0786	0.4936
2	0.1730	0.1721	0.5329
3	0.1040	0.1018	2.1062
4	0.0910	0.0903	0.7789
5	0.0980	0.0958	2.2938
6	0.1670	0.1712	2.4997
7	0.1720	0.1723	0.1534
8	0.0790	0.0773	2.1668
9	0.1710	0.1721	0.6239
10	0.1720	0.1257	26.9306
11	0.0980	0.1019	3.9496
12	0.0810	0.0809	0.0852
13	0.1200	0.1202	0.1519
14	0.0930	0.0925	0.5647
15	0.0950	0.0920	3.1138
16	0.1270	0.1284	1.0852
17	0.1720	0.1721	0.0332
18	0.0890	0.0917	3.0033
19	0.1200	0.1234	2.8359
20	0.1200	0.1207	0.6018

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.14 ผลเปรียบเทียบค่า CCT_{ANN} กับค่า CCT_{TDM} ของการลดค่า MPL ลง 12% จำนวนชุดข้อมูลฝึกสอน 80 ชุด

ข้อมูลชุดที่	CCT (TD)	CCT (ANN)	Error CCT
	วินาที	วินาที	(%)
1	0.0900	0.0929	3.2354
2	0.1840	0.1784	3.0202
3	0.1140	0.1146	0.5320
4	0.1000	0.1002	0.1939
5	0.1080	0.1044	3.3626
6	0.1770	0.1721	2.7948
7	0.1820	0.1750	3.8375
8	0.0890	0.0848	4.6958
9	0.1820	0.1825	0.2645
10	0.1830	0.1865	1.8994
11	0.1070	0.1084	1.2950
12	0.0910	0.0932	2.4214
13	0.1200	0.1272	5.9800
14	0.1020	0.1062	4.0990
15	0.1050	0.1029	1.9586
16	0.1350	0.1428	5.7408
17	0.1840	0.1824	0.8727
18	0.0980	0.1022	4.3203
19	0.1200	0.0980	17.9555
20	0.1200	0.1294	7.8717

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.15 ผลเปรียบเทียบค่า CCT_{ANN} กับค่า CCT_{TDM} ของการลดค่า MPL ลง 12% จำนวนชุด ข้อมูลฝึกสอน 160 ชุด

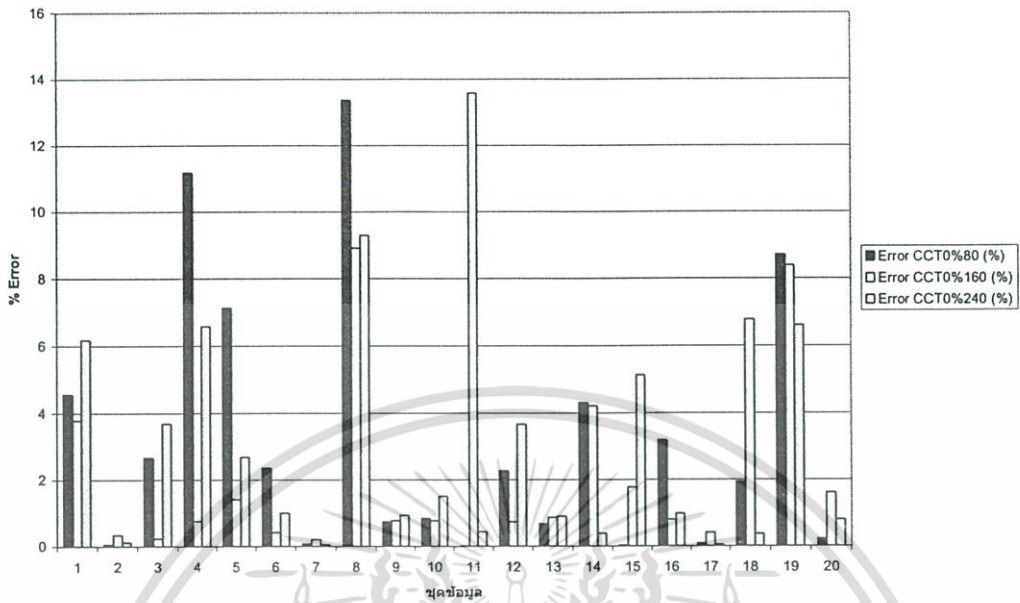
ข้อมูลชุดที่	CCT (TD)	CCT (ANN)	Error CCT
	วินาที	วินาที	(%)
1	0.0900	0.0883	1.8552
2	0.1840	0.1768	3.9085
3	0.1140	0.1128	1.0718
4	0.1000	0.0938	6.1613
5	0.1080	0.1041	3.5999
6	0.1770	0.1706	3.6243
7	0.1820	0.1749	3.9024
8	0.0890	0.0914	2.7103
9	0.1820	0.1817	0.1833
10	0.1830	0.1803	1.4637
11	0.1070	0.1077	0.6814
12	0.0910	0.0911	0.1094
13	0.1200	0.1295	7.9199
14	0.1020	0.1064	4.3096
15	0.1050	0.1074	2.2709
16	0.1350	0.1234	8.5675
17	0.1840	0.1756	4.5559
18	0.0980	0.1013	3.3371
19	0.1200	0.1295	7.9374
20	0.1200	0.1280	6.6394

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

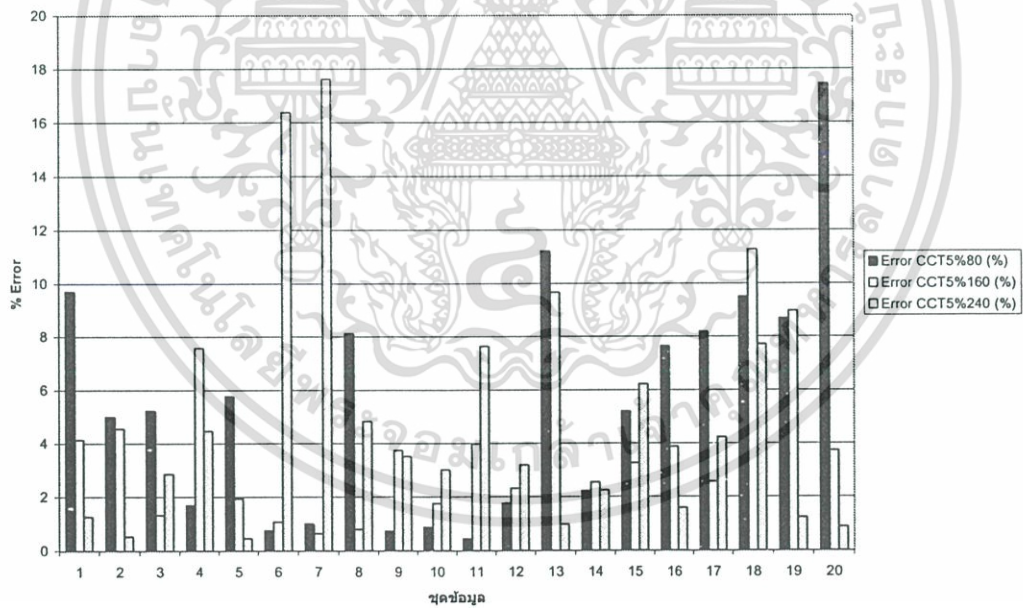
ตารางที่ 6.16 ผลเปรียบเทียบค่า CCT_{ANN} กับค่า CCT_{TDM} ของการลดค่า MPL ลง 12% จำนวนชุด ข้อมูลฝึกสอน 240 ชุด

ข้อมูลชุดที่	CCT (TD)	CCT (ANN)	Error CCT
	วินาที	วินาที	(%)
1	0.0900	0.0946	5.1469
2	0.1840	0.1704	7.3843
3	0.1140	0.1088	4.5354
4	0.1000	0.0990	1.0028
5	0.1080	0.1027	4.8689
6	0.1770	0.1709	3.4218
7	0.1820	0.1709	6.0766
8	0.0890	0.0878	1.3575
9	0.1820	0.1610	11.5155
10	0.1830	0.1709	6.5884
11	0.1070	0.1071	0.1397
12	0.0910	0.0935	2.7568
13	0.1200	0.1213	1.0627
14	0.1020	0.0977	4.1928
15	0.1050	0.1023	2.5774
16	0.1350	0.1178	12.7738
17	0.1840	0.1709	7.0961
18	0.0980	0.1023	4.3734
19	0.1200	0.1297	8.0513
20	0.1200	0.1304	8.6661

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

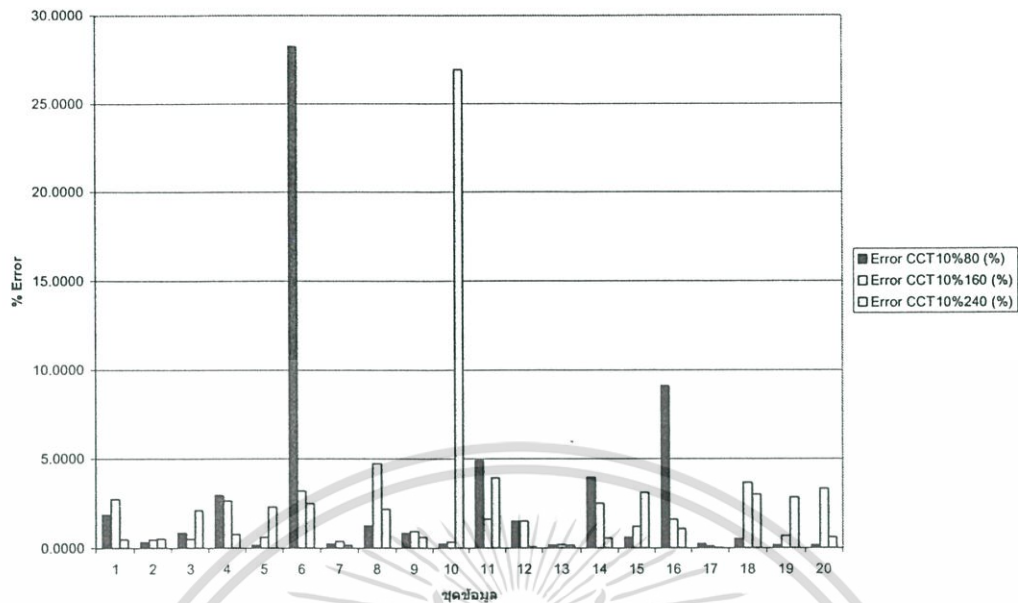


รูปที่ 6.5 เปรียบเทียบการฝึกสอนด้วยชุดข้อมูลที่แตกต่างกัน ของการลดค่า MPL ลง 0%

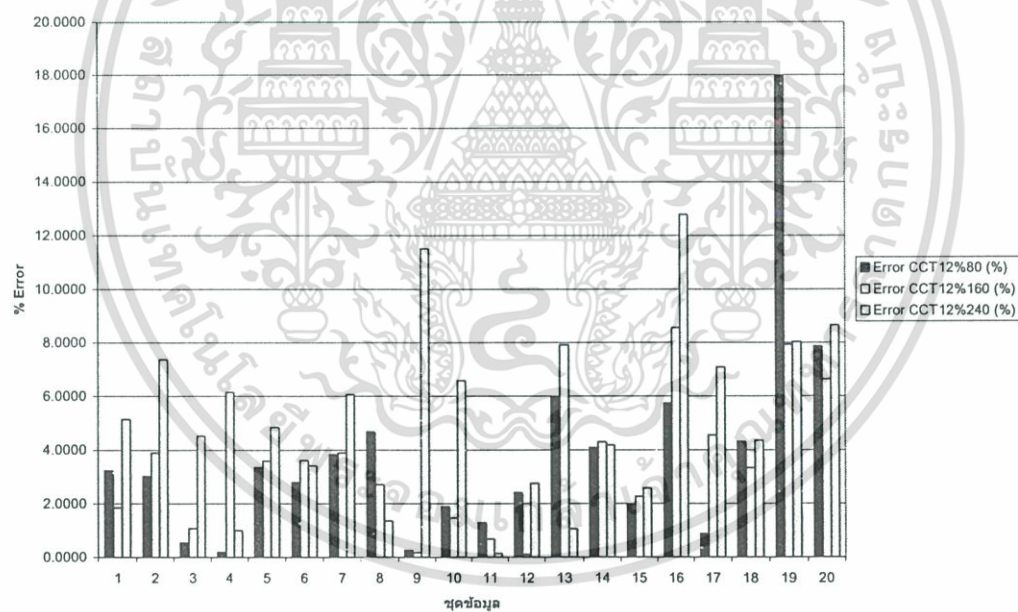


รูปที่ 6.6 เปรียบเทียบการฝึกสอนด้วยชุดข้อมูลที่แตกต่างกัน ของการลดค่า MPL ลง 5%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.7 เปรียบเทียบการฝึกสอนด้วยชุดข้อมูลที่แตกต่างกัน ของการลดค่า MPL ลง 10%



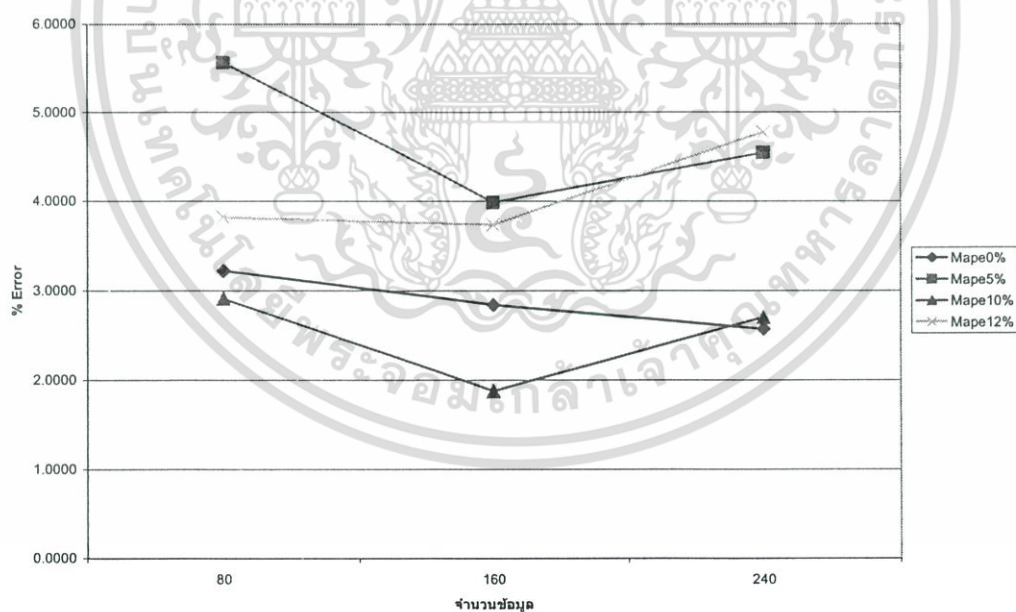
รูปที่ 6.8 เปรียบเทียบการฝึกสอนด้วยชุดข้อมูลที่แตกต่างกัน ของการลดค่า MPL ลง 12%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.17 ผลการฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียมที่ดีที่สุดของค่า new value of CCT ในเงื่อนไขลดค่า MPL ที่ 0, 5, 10, 12% ของระบบ IEEE 50generator test system

New values of CCT prediction										
0% Δ MPL						- 5% Δ MPL				
จำนวนชุดข้อมูลฝึกสอน	เวลาที่ใช้ฝึกสอน (นาท)	จำนวนปฏิกิริยาประสาทในชั้นซ่อนที่ 1-2	MinError (%)	Mape (%)	MaxError (%)	เวลาที่ใช้ฝึกสอน (นาท)	จำนวนปฏิกิริยาประสาทในชั้นซ่อนที่ 1-2	MinError (%)	Mape (%)	MaxError (%)
80	7.9194	3-2	0.0115	3.2214	13.3770	7.8359	3-2	0.4510	5.5643	17.4439
160	10.5791	4-3	0.2070	2.8413	13.5880	12.8855	5-4	0.6444	3.9897	11.2714
240	14.7365	5-4	0.0417	2.5718	9.2887	9.8162	3-2	0.4698	4.5479	17.6259

New values of CCT prediction										
- 10% Δ MPL						- 12% Δ MPL				
จำนวนชุดข้อมูลฝึกสอน	เวลาที่ใช้ฝึกสอน (นาท)	จำนวนปฏิกิริยาประสาทในชั้นซ่อนที่ 1-2	MinError (%)	Mape (%)	MaxError (%)	เวลาที่ใช้ฝึกสอน (นาท)	จำนวนปฏิกิริยาประสาทในชั้นซ่อนที่ 1-2	MinError (%)	Mape (%)	MaxError (%)
80	7.8068	3-2	0.1656	2.9136	28.2660	7.7618	3-2	0.1939	3.8176	17.9555
160	10.6926	4-3	0.1067	1.8761	5.0632	10.3933	4-3	0.1094	3.7405	8.5675
240	15.0361	5-4	0.0332	2.7002	26.9306	11.2627	4-3	0.0725	4.7804	17.3290



รูปที่ 6.9 เปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของการฝึกสอนด้วยชุดข้อมูลที่แตกต่างกัน โดยแสดงของการลดค่า MPL ทั้งหมดที่ 0%, 50%, 10% และ 12%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 6.5 ถึง 6.16 และรูปที่ 6.5 ถึง 6.8 สามารถอธิบายได้ดังนี้

- ที่การลดค่า MPL ลง 0% และฝึกสอนด้วยชุดข้อมูล 80 ชุด สามารถคำนวณค่า CCT ของข้อมูลทดสอบ โดยมีค่าผิดพลาดเฉลี่ยสัมบูรณ์ (mape) เท่ากับ 3.2214%, ค่าผิดพลาดต่ำสุด (Min error) เท่ากับ 0.0115 % และค่าผิดพลาดสูงสุด (Max error) เท่ากับ 13.3770 % โดยใช้โครงสร้างภายในโครงข่ายประสาทเทียมเท่ากับ 3 - 2 และใช้เวลาในการฝึกสอน 7.9194 นาที
- ที่การลดค่า MPL ลง 0% และฝึกสอนด้วยชุดข้อมูล 160 ชุด สามารถคำนวณค่า CCT ของข้อมูลทดสอบ โดยมีค่าผิดพลาดเฉลี่ยสัมบูรณ์ (mape) เท่ากับ 2.8413%, ค่าผิดพลาดต่ำสุด (Min error) เท่ากับ 0.2070 % และค่าผิดพลาดสูงสุด (Max error) เท่ากับ 13.5880 % โดยใช้โครงสร้างภายในโครงข่ายประสาทเทียมเท่ากับ 4 - 3 และใช้เวลาในการฝึกสอน 10.5791 นาที
- ที่การลดค่า MPL ลง 0% และฝึกสอนด้วยชุดข้อมูล 240 ชุด สามารถคำนวณค่า CCT ของข้อมูลทดสอบ โดยมีค่าผิดพลาดเฉลี่ยสัมบูรณ์ (mape) เท่ากับ 2.5718%, ค่าผิดพลาดต่ำสุด (Min error) เท่ากับ 0.0417 % และค่าผิดพลาดสูงสุด (Max error) เท่ากับ 9.2887 % โดยใช้โครงสร้างภายในโครงข่ายประสาทเทียมเท่ากับ 5 - 4 และใช้เวลาในการฝึกสอน 14.7365 นาที
- ที่การลดค่า MPL ลง 5% และฝึกสอนด้วยชุดข้อมูล 80 ชุด สามารถคำนวณค่า CCT ของข้อมูลทดสอบ โดยมีค่าผิดพลาดเฉลี่ยสัมบูรณ์ (mape) เท่ากับ 5.5643%, ค่าผิดพลาดต่ำสุด (Min error) เท่ากับ 0.4510 % และค่าผิดพลาดสูงสุด (Max error) เท่ากับ 17.4439 % โดยใช้โครงสร้างภายในโครงข่ายประสาทเทียมเท่ากับ 3 - 2 และใช้เวลาในการฝึกสอน 7.8359 นาที
- ที่การลดค่า MPL ลง 5% และฝึกสอนด้วยชุดข้อมูล 160 ชุด สามารถคำนวณค่า CCT ของข้อมูลทดสอบ โดยมีค่าผิดพลาดเฉลี่ยสัมบูรณ์ (mape) เท่ากับ 3.9897%, ค่าผิดพลาดต่ำสุด (Min error) เท่ากับ 0.6444 % และค่าผิดพลาดสูงสุด (Max error) เท่ากับ 11.2714 % โดยใช้โครงสร้างภายในโครงข่ายประสาทเทียมเท่ากับ 5 - 4 และใช้เวลาในการฝึกสอน 12.8855 นาที
- ที่การลดค่า MPL ลง 5% และฝึกสอนด้วยชุดข้อมูล 240 ชุด สามารถคำนวณค่า CCT ของข้อมูลทดสอบ โดยมีค่าผิดพลาดเฉลี่ยสัมบูรณ์ (mape) เท่ากับ 4.5479%, ค่าผิดพลาดต่ำสุด (Min error) เท่ากับ 1.8761 % และค่าผิดพลาดสูงสุด (Max error) เท่ากับ 17.6259 % โดยใช้โครงสร้างภายในโครงข่ายประสาทเทียมเท่ากับ 3 - 2 และใช้เวลาในการฝึกสอน 9.8162 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ที่การลดค่า MPL ลง 10% และฝึกสอนด้วยชุดข้อมูล 80 ชุด สามารถคำนวณค่า CCT ของข้อมูลทดสอบโดยมีค่าผิดพลาดเฉลี่ยสัมบูรณ์ (mape) เท่ากับ 2.9136%, ค่าผิดพลาดต่ำสุด (Min error) เท่ากับ 0.4698 % และค่าผิดพลาดสูงสุด (Max error) เท่ากับ 26.9306 % โดยใช้โครงสร้างภายในโครงข่ายประสาทเทียมเท่ากับ 3 - 2 และใช้เวลาในการฝึกสอน 7.8068 นาที
- ที่การลดค่า MPL ลง 10% และฝึกสอนด้วยชุดข้อมูล 160 ชุด สามารถคำนวณค่า CCT ของข้อมูลทดสอบโดยมีค่าผิดพลาดเฉลี่ยสัมบูรณ์ (mape) เท่ากับ 1.8761%, ค่าผิดพลาดต่ำสุด (Min error) เท่ากับ 0.1067 % และค่าผิดพลาดสูงสุด (Max error) เท่ากับ 5.0632 % โดยใช้โครงสร้างภายในโครงข่ายประสาทเทียมเท่ากับ 4 - 3 และใช้เวลาในการฝึกสอน 10.6926 นาที
- ที่การลดค่า MPL ลง 10% และฝึกสอนด้วยชุดข้อมูล 240 ชุด สามารถคำนวณค่า CCT ของข้อมูลทดสอบโดยมีค่าผิดพลาดเฉลี่ยสัมบูรณ์ (mape) เท่ากับ 2.7002%, ค่าผิดพลาดต่ำสุด (Min error) เท่ากับ 0.0332 % และค่าผิดพลาดสูงสุด (Max error) เท่ากับ 26.9306 % โดยใช้โครงสร้างภายในโครงข่ายประสาทเทียมเท่ากับ 5 - 4 และใช้เวลาในการฝึกสอน 15.0361 นาที
- ที่การลดค่า MPL ลง 12% และฝึกสอนด้วยชุดข้อมูล 80 ชุด สามารถคำนวณค่า CCT ของข้อมูลทดสอบโดยมีค่าผิดพลาดเฉลี่ยสัมบูรณ์ (mape) เท่ากับ 3.8176%, ค่าผิดพลาดต่ำสุด (Min error) เท่ากับ 0.1939 % และค่าผิดพลาดสูงสุด (Max error) เท่ากับ 17.9555 % โดยใช้โครงสร้างภายในโครงข่ายประสาทเทียมเท่ากับ 3 - 2 และใช้เวลาในการฝึกสอน 7.7618 นาที
- ที่การลดค่า MPL ลง 12% และฝึกสอนด้วยชุดข้อมูล 160 ชุด สามารถคำนวณค่า CCT ของข้อมูลทดสอบโดยมีค่าผิดพลาดเฉลี่ยสัมบูรณ์ (mape) เท่ากับ 3.7405%, ค่าผิดพลาดต่ำสุด (Min error) เท่ากับ 0.1094 % และค่าผิดพลาดสูงสุด (Max error) เท่ากับ 8.5675 % โดยใช้โครงสร้างภายในโครงข่ายประสาทเทียมเท่ากับ 4 - 3 และใช้เวลาในการฝึกสอน 10.3933 นาที
- ที่การลดค่า MPL ลง 12% และฝึกสอนด้วยชุดข้อมูล 240 ชุด สามารถคำนวณค่า CCT ของข้อมูลทดสอบโดยมีค่าผิดพลาดเฉลี่ยสัมบูรณ์ (mape) เท่ากับ 4.7804%, ค่าผิดพลาดต่ำสุด (Min error) เท่ากับ 0.0725 % และค่าผิดพลาดสูงสุด (Max error) เท่ากับ 17.3290 % โดยใช้โครงสร้างภายในโครงข่ายประสาทเทียมเท่ากับ 4 - 3 และใช้เวลาในการฝึกสอน 11.2627 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.2 ผลการทดลองของระบบ IEEE 47 generator 118 bus

6.2.1 ผลการทดลองหาค่า CCT, CG, MPL

การฝึกสอน โครงข่ายประสาทเทียมสำหรับระบบ IEEE 47 generator 118 bus ฝึกสอนด้วยคอมพิวเตอร์เพนเทียม 4 2.4 GHz หน่วยความจำขนาด 256 MB โดยการศึกษาจะฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียมด้วยฟังก์ชันถ่ายโอน แบบ Tan-sigmoid ในชั้นซ่อนที่ 1 – 2 และใช้แบบ Linear ในชั้นข้อมูลด้านออก โดยมีความชันในฟังก์ชันถ่ายโอน เท่ากับ 1 เท่านั้น

การแสดงผลแบบที่ 1 จะแสดงผลจากการฝึกสอนด้วยชุดข้อมูลฝึกสอน ทั้ง 3 ชุด คือ 40, 80, 120 ชุด โดยจะแสดงเฉพาะค่าแสดงค่าที่ได้จากทดสอบด้วยข้อมูล 20 ชุดของการฝึกสอนด้วยโครงสร้างที่ตรงที่สุด และจะเปรียบเทียบผลระหว่างค่าคำตอบที่ได้จากวิธีทางเวลาเทียบกับวิธีโครงข่ายประสาทเทียมของชุดข้อมูลฝึกสอน 20 ชุด

การแสดงผลแบบที่ 2 จะแสดงผลการเปรียบเทียบผลที่ดีที่สุดของการฝึกสอนด้วยข้อมูล ทั้ง 3 ชุด โดยจะแสดงเป็นค่าเวลาที่ใช้ในการฝึกสอนด้วยโครงสร้างนั้น ความซับซ้อนของโครงสร้างที่ดีที่สุดสำหรับชุดข้อมูล ค่าความผิดพลาดจากการฝึกสอนด้วยโครงสร้างที่ดีที่สุด



ตารางที่ 6.18 ตารางแสดงตัวอย่างผลที่ดีที่สุดของการฝึกสอน โดยเปรียบเทียบค่า CCT, CG และ MPL ด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียม(ANN)กับวิธีทางเวลา(TDM) โดยใช้ชุดข้อมูล สอน 60 ชุด ชุดทดสอบ 20 ชุด

ข้อมูลชุด ที่	CCT(TD)	CCT(ANN)	Error CCT	CG(TD)	CG(ANN)	MPL(TD)	MPL(ANN)	Error MPL
	วินาที	วินาที	(%)					(%)
1	0.1260	0.1258	0.1198	5	5	0.4588	0.4587	0.0218
2	0.1782	0.1773	0.4009	31	31	0.5587	0.5598	0.1969
3	0.1260	0.1278	1.4032	5	5	0.4585	0.4595	0.2181
4	0.2100	0.2083	0.8126	5	5	0.4662	0.4653	0.1931
5	0.0880	0.0892	1.3993	5	5	0.5362	0.5369	0.1305
6	0.1880	0.1896	0.8678	5	5	0.4859	0.4851	0.1646
7	0.1740	0.1752	0.705	5	5	0.5004	0.5005	0.0200
8	0.1120	0.1144	2.1386	5	5	0.5127	0.5119	0.1560
9	0.1210	0.1217	0.5485	5	5	0.4671	0.4660	0.2355
10	0.1960	0.1964	0.2233	5	5	0.4793	0.4783	0.2086
11	0.1620	0.1632	0.7342	5	5	0.5142	0.5141	0.0194
12	0.0950	0.0893	6.006	31	31	0.5395	0.5375	0.3707
13	0.2190	0.2177	0.5749	5	5	0.4969	0.4963	0.1207
14	0.1080	0.1074	0.5971	5	5	0.4912	0.4912	0.0000
15	0.2130	0.2129	0.065	5	5	0.4612	0.4624	0.2602
16	0.0960	0.0945	1.5275	5	5	0.5154	0.5171	0.3298
17	0.1460	0.1419	2.7766	5	5	0.4743	0.4741	0.0422
18	0.1010	0.1014	0.3526	5	5	0.5236	0.5236	0.0000
19	0.2310	0.2280	1.295	31	31	0.4796	0.4820	0.5004
20	0.1000	0.1040	4.0265	5	5	0.5164	0.5167	0.0581

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.19 ตารางแสดงตัวอย่างผลที่ดีที่สุดของการฝึกสอน โดยเปรียบเทียบค่า CCT, CG และ MPL ด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียม(ANN)กับวิธีทางเวลา(TDM) โดยใช้ชุดข้อมูล สอน 120 ชุด ชุดทดสอบ 20 ชุด

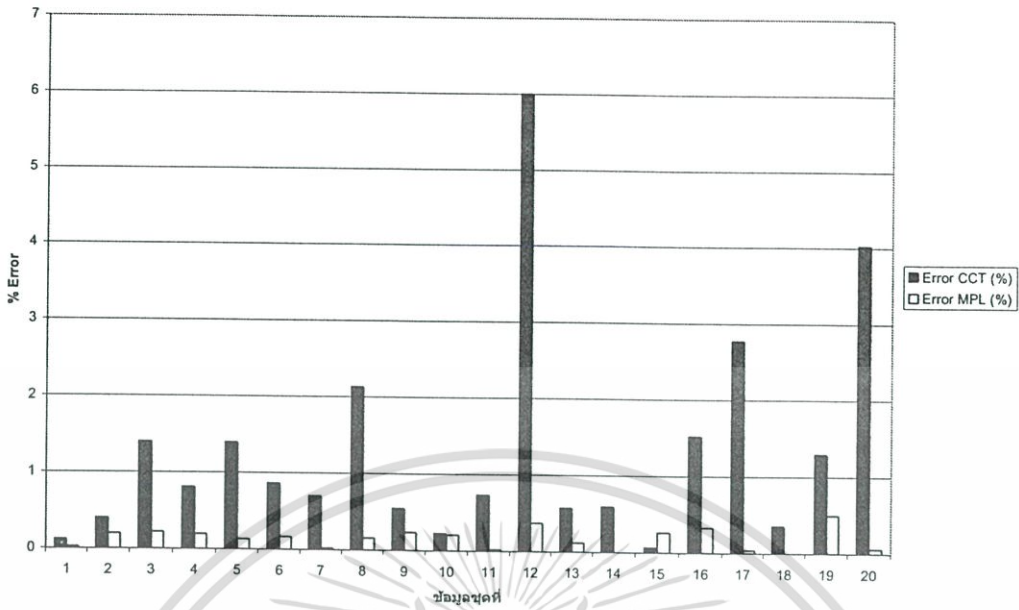
ข้อมูลชุด ที่	CCT(TD)	CCT(ANN)	Error CCT	CG(TD)	CG(ANN)	MPL(TD)	MPL(ANN)	Error MPL
	วินาที	วินาที	(%)					(%)
1	0.1260	0.1226	2.6961	5	5	0.4588	0.4600	0.2616
2	0.1782	0.1786	0.3343	31	31	0.5587	0.5577	0.1790
3	0.1260	0.1265	0.04084	5	5	0.4585	0.4584	0.0218
4	0.2100	0.2099	0.0518	5	5	0.4662	0.4661	0.0215
5	0.0880	0.0879	0.0728	5	5	0.5362	0.5383	0.3916
6	0.1880	0.1882	0.0827	5	5	0.4859	0.4858	0.0206
7	0.1740	0.1732	0.4375	5	5	0.5004	0.5002	0.0400
8	0.1120	0.1128	0.7021	5	5	0.5127	0.5113	0.2731
9	0.1210	0.1214	0.3521	5	5	0.4671	0.4671	0.0000
10	0.1960	0.1956	0.2251	5	5	0.4793	0.4796	0.0626
11	0.1620	0.1621	0.0649	5	5	0.5142	0.5141	0.0194
12	0.0950	0.0965	1.5838	31	31	0.5395	0.5389	0.1112
13	0.2190	0.2189	0.0483	5	5	0.4969	0.4970	0.0201
14	0.1080	0.1082	0.2193	5	5	0.4912	0.4908	0.0814
15	0.2130	0.2139	0.4133	5	5	0.4612	0.4617	0.1084
16	0.0960	0.0959	0.0523	5	5	0.5154	0.5154	0.0000
17	0.1460	0.1472	0.8195	5	5	0.4743	0.4730	0.2741
18	0.1010	0.1006	0.429	5	5	0.5236	0.5230	0.1146
19	0.2310	0.2296	0.6184	31	31	0.4796	0.4813	0.3545
20	0.1000	0.1011	1.0686	5	5	0.5164	0.5166	0.0387

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

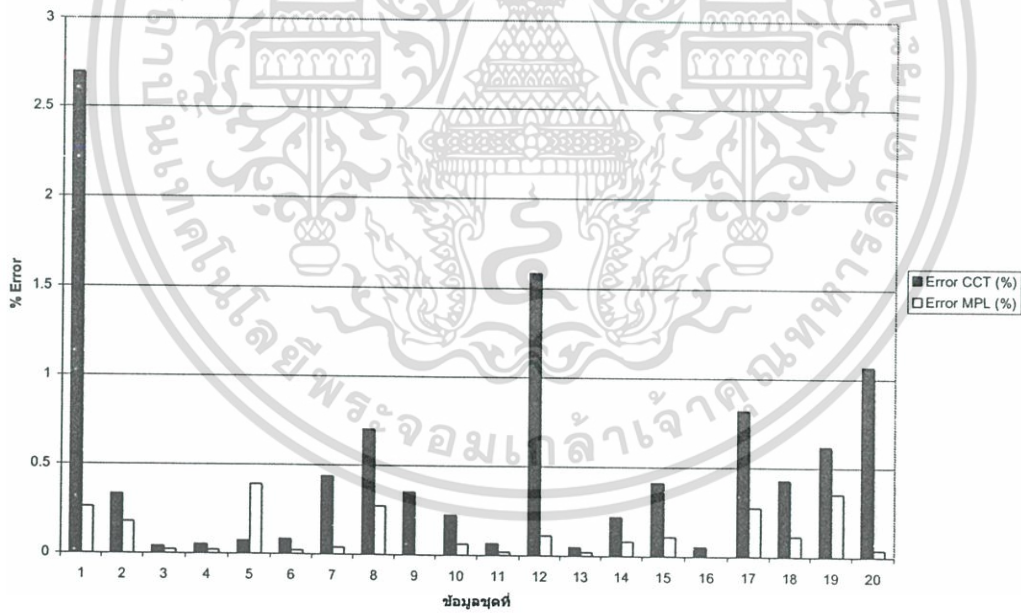
ตารางที่ 6.20 ตารางแสดงตัวอย่างผลที่ดีที่สุดของการฝึกสอน โดยเปรียบเทียบค่า CCT, CG และ MPL ด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียม(ANN)กับวิธีทางเวลา(TDM) โดยใช้ชุดข้อมูล สอน 120 ชุด ชุดทดสอบ 20 ชุด

ข้อมูลชุด ที่	CCT(TD)	CCT(ANN)	Error CCT	CG(TD)	CG(ANN)	MPL(TD)	MPL(ANN)	Error MPL
	วินาที	วินาที	(%)					
1	0.1260	0.1264	2.6961	5	5	0.4588	0.4587	0.0218
2	0.1782	0.1782	0.3343	31	31	0.5587	0.5584	0.0537
3	0.1260	0.1251	0.04084	5	5	0.4585	0.4583	0.0436
4	0.2100	0.2087	0.0518	5	5	0.4662	0.4659	0.0644
5	0.0880	0.0868	0.0728	5	5	0.5362	0.5329	0.6154
6	0.1880	0.1896	0.0827	5	5	0.4859	0.4858	0.0206
7	0.1740	0.1760	0.4375	5	5	0.5004	0.5009	0.0999
8	0.1120	0.1106	0.7021	5	5	0.5127	0.5121	0.1170
9	0.1210	0.1199	0.3521	5	5	0.4671	0.4665	0.1285
10	0.1960	0.1959	0.2251	5	5	0.4793	0.4798	0.1043
11	0.1620	0.1635	0.0649	5	5	0.5142	0.5141	0.0194
12	0.0950	0.0957	1.5838	31	31	0.5395	0.5425	0.5561
13	0.2190	0.2180	0.0483	5	5	0.4969	0.4965	0.0805
14	0.1080	0.1072	0.2193	5	5	0.4912	0.4904	0.1629
15	0.2130	0.2132	0.4133	5	5	0.4612	0.4608	0.0867
16	0.0960	0.0945	0.0523	5	5	0.5154	0.5155	0.0194
17	0.1460	0.1438	0.8195	5	5	0.4743	0.4782	0.8223
18	0.1010	0.1004	0.429	5	5	0.5236	0.5259	0.4393
19	0.2310	0.2288	0.6184	31	31	0.4796	0.4799	0.0626
20	0.1000	0.0993	1.0686	5	5	0.5164	0.5137	0.5229

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

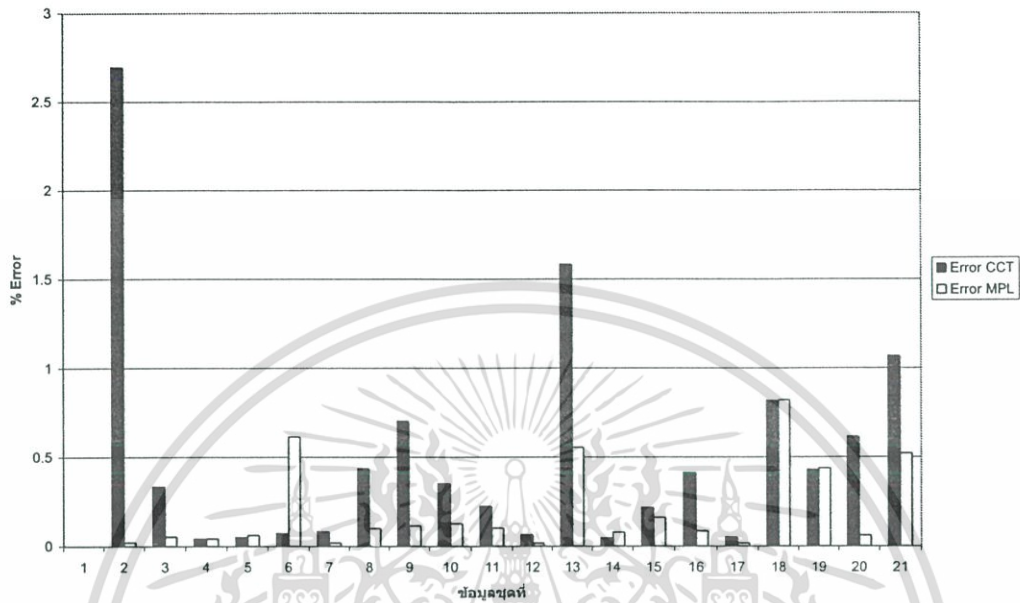


รูปที่ 6.10 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของชุดข้อมูลทดสอบทั้ง 20 ชุด โดยใช้ชุดข้อมูลฝึกสอน 60 ชุด โดยเปรียบเทียบเฉพาะค่า CCT กับ MPL



รูปที่ 6.11 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของชุดข้อมูลทดสอบทั้ง 20 ชุด โดยใช้ชุดข้อมูลฝึกสอน 120 ชุด โดยเปรียบเทียบเฉพาะค่า CCT กับ MPL

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

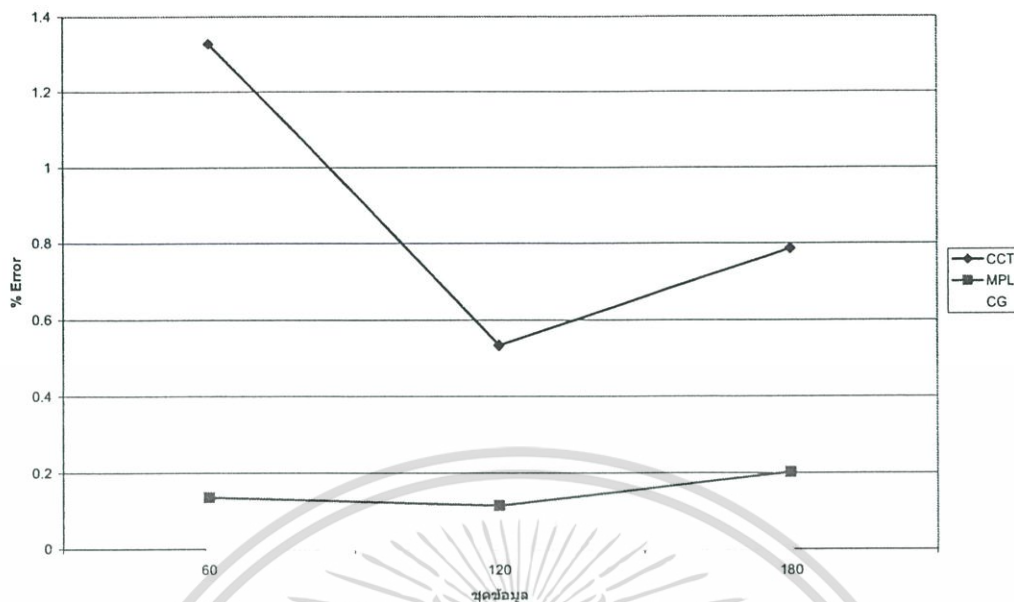


รูปที่ 6.12 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของชุดข้อมูลทดสอบทั้ง 20 ชุด โดยใช้ชุดข้อมูลฝึกสอน 180 ชุด โดยเปรียบเทียบเฉพาะค่า CCT กับ MPL

ตารางที่ 6.21 ผลการฝึกสอน โครงข่ายประสาทเทียมที่ดีที่สุดของ CCT, CG, MPL ในเงื่อนไขต่างๆ

จำนวนชุดข้อมูลฝึกสอน	เวลาที่ใช้ฝึกสอน (นาที)	จำนวนประสาทในชั้นซ่อนที่ 1-2	ผลของข้อมูลทดสอบ 20ชุด						
			CCT			Error	MPL		
			MinError (%)	Mape (%)	MaxError (%)	CG Prediction (%)	MinError (%)	Mape (%)	MaxError (%)
60	11.73	4-3	0.0650	1.3284	6.0060	0	0.1e-007	0.1366	0.3612
120	28.16	7-6	0.0483	0.5340	2.6961	0	7.6e-004	0.1150	0.3945
180	28.44	6-5	0.0517	0.7865	1.5984	0	0.0026	0.2025	0.8433

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.13 เปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของการฝึกสอนด้วยชุดข้อมูลที่แตกต่างกัน

จากตารางที่ 6.17 ถึง 6.20 และรูป 6.9 ถึง 6.11 สามารถอธิบายได้ดังนี้

- การฝึกสอนด้วยชุดข้อมูล 60 ชุด สามารถคำนวณค่า CCT ของข้อมูลทดสอบโดยมีค่าผิดพลาดเฉลี่ยสัมบูรณ์ (mape) เท่ากับ 1.3284%, ค่าผิดพลาดต่ำสุด (Min error) เท่ากับ 0.0650 % และค่าผิดพลาดสูงสุด (Max error) เท่ากับ 6.0060 % สามารถคำนวณค่า CG โดยมีค่า Error CG Prediction เท่ากับ 0% และสามารถคำนวณค่า MPL ของข้อมูลทดสอบโดยมีค่าผิดพลาดเฉลี่ยสัมบูรณ์ (mape) เท่ากับ 0.1366%, ค่าผิดพลาดต่ำสุด (Min error) เท่ากับ 0.1e-007 % และค่าผิดพลาดสูงสุด (Max error) เท่ากับ 0.3612 % โดยใช้โครงสร้างภายในโครงข่ายประสาทเทียมเท่ากับ 4 – 3 และใช้เวลาในการฝึกสอน 11.73 นาที
- การฝึกสอนด้วยชุดข้อมูล 120 ชุด สามารถคำนวณค่า CCT ของข้อมูลทดสอบโดยมีค่าผิดพลาดเฉลี่ยสัมบูรณ์ (mape) เท่ากับ 0.5340%, ค่าผิดพลาดต่ำสุด (Min error) เท่ากับ 0.0483 % และค่าผิดพลาดสูงสุด (Max error) เท่ากับ 2.6961 % สามารถคำนวณค่า CG โดยมีค่า Error CG Prediction เท่ากับ 0% และสามารถคำนวณค่า MPL ของข้อมูลทดสอบโดยมีค่าผิดพลาดเฉลี่ยสัมบูรณ์ (mape) เท่ากับ 0.1150%, ค่าผิดพลาดต่ำสุด (Min error) เท่ากับ 7.6e-004 % และค่าผิดพลาดสูงสุด (Max error) เท่ากับ 0.3945 % โดยใช้โครงสร้างภายในโครงข่ายประสาทเทียมเท่ากับ 7 - 6 และใช้เวลาในการฝึกสอน 28.16 นาที

- การฝึกสอนด้วยชุดข้อมูล 240 ชุด สามารถคำนวณค่า CCT ของข้อมูลทดสอบโดยมีค่าผิดพลาดเฉลี่ยสัมบูรณ์ (mape) เท่ากับ 0.7865%, ค่าผิดพลาดต่ำสุด (Min error) เท่ากับ 0.0517 % และค่าผิดพลาดสูงสุด (Max error) เท่ากับ 1.5984 % สามารถคำนวณหาค่า CG โดยมีค่า Error CG Prediction เท่ากับ 0% และสามารถคำนวณค่า MPL ของข้อมูลทดสอบโดยมีค่าผิดพลาดเฉลี่ยสัมบูรณ์ (mape) เท่ากับ 0.2025%, ค่าผิดพลาดต่ำสุด (Min error) เท่ากับ 0.0026 % และค่าผิดพลาดสูงสุด (Max error) เท่ากับ 0.8433 % โดยใช้โครงสร้างภายในโครงข่ายประสาทเทียมเท่ากับ 6 – 5 และใช้เวลาในการฝึกสอน 28.44 นาที

สำหรับผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าค่า MPL และ CG มีค่าลดลงเมื่อชุดข้อมูลฝึกสอนมีค่าเพิ่มขึ้น แต่ค่า CCT กลับไม่เป็นไปในทางเดียวกันเนื่องจากผลของการเลือกค่าถ่วงน้ำหนักและไบแอส ในแบบที่เลือกค่าถ่วงน้ำหนักชุดเดียวเพื่อใช้ในการหาค่าทั้ง 3 โดยใช้วิธีการเลือกแบบ max ของ min ดังที่ได้กล่าวไปแล้ว

6.2.2 ผลการทดลองหาค่า new value of CCT

การฝึกสอน โครงข่ายประสาทเทียมสำหรับระบบ IEEE 47 generator 118 bus ฝึกสอนด้วยคอมพิวเตอร์เพนเทียม 4 2.4 GHz หน่วยความจำขนาด 256 MB โดยการศึกษาจะฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียมด้วยฟังก์ชันถ่ายโอน แบบ Tan-sigmoid ในชั้นซ่อนที่ 1 – 2 และใช้แบบ Linear ในชั้นข้อมูลด้านออก โดยมีความชันในฟังก์ชันถ่ายโอน เท่ากับ 1 เท่านั้น

การแสดงผลแบบที่ 1 จะแสดงผลจากการฝึกสอนด้วยชุดข้อมูลฝึกสอน ทั้ง 3 ชุด คือ 120, 240, 360 ชุด โดยจะแสดงเฉพาะค่าแสดงค่าที่ได้จากทดสอบด้วยข้อมูล 80 ชุด โดยแบ่งเป็นของการลดค่า MPL ลง 0%, 5%, 10% และ 12% ของการฝึกสอนด้วยโครงสร้างที่ดีที่สุด และจะเปรียบเทียบผลระหว่างค่าคำตอบที่ได้จากวิธีทางเวลาเทียบกับวิธีโครงข่ายประสาทเทียมของชุดข้อมูลฝึกสอนทั้งหมด 80 ชุด

การแสดงผลแบบที่ 2 จะแสดงการเปรียบเทียบผลที่ดีที่สุดของการฝึกสอนด้วยข้อมูลทั้ง 3 ชุด โดยจะแสดงเป็นค่าเวลาที่ใช้ในการฝึกสอนด้วยโครงสร้างนั้น ความซับซ้อนของโครงสร้างที่ดีที่สุดสำหรับชุดข้อมูล ค่าความผิดพลาดจากการฝึกสอนด้วยโครงสร้างที่ดีที่สุด โดยแบ่งเป็นของการลดค่า MPL ลง 0%, 5%, 10% และ 12%

ตารางที่ 6.22 ผลเปรียบเทียบค่า CCT_{ANN} กับค่า CCT_{TDM} ของการลดค่า MPL ลง 0% จำนวนชุด ข้อมูลฝึกสอน 120 ชุด

ข้อมูลชุดที่	CCT (TD)	CCT (ANN)	Error CCT
	วินาที	วินาที	(%)
1	0.126	0.1284	1.875
2	0.178	0.1762	1.0061
3	0.126	0.1276	1.2994
4	0.21	0.2127	1.2852
5	0.088	0.096	9.0629
6	0.188	0.1873	0.3507
7	0.174	0.1714	1.576
8	0.112	0.1122	0.1689
9	0.121	0.12	0.8012
10	0.196	0.1933	1.3819
11	0.162	0.163	0.6319
12	0.095	0.0937	1.4065
13	0.219	0.2216	1.1976
14	0.108	0.1058	1.9943
15	0.213	0.2195	3.0323
16	0.096	0.0949	1.1123
17	0.146	0.1404	3.849
18	0.101	0.1029	1.841
19	0.231	0.2302	0.3604
20	0.1	0.1084	8.38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.23 ผลเปรียบเทียบค่า CCT_{ANN} กับค่า CCT_{TDM} ของการลดค่า MPL ลง 0% จำนวนชุด
ข้อมูลฝึกสอน 240 ชุด

ข้อมูลชุดที่	CCT (TD)	CCT (ANN)	Error CCT
	วินาที	วินาที	(%)
1	0.1260	0.1258	0.1567
2	0.1780	0.1791	0.5928
3	0.1260	0.1254	0.4842
4	0.2100	0.2101	0.0342
5	0.0880	0.0897	1.9749
6	0.1880	0.1879	0.0783
7	0.1740	0.1746	0.3300
8	0.1120	0.1128	0.7521
9	0.1210	0.1208	0.1349
10	0.1960	0.1952	0.4084
11	0.1620	0.1615	0.3301
12	0.0950	0.0941	0.9483
13	0.2190	0.2191	0.0402
14	0.1080	0.1082	0.2257
15	0.2130	0.2121	0.4144
16	0.0960	0.0959	0.0964
17	0.1460	0.1451	0.6369
18	0.1010	0.1013	0.2488
19	0.2310	0.2305	0.2119
20	0.1000	0.0988	1.1603

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.24 ผลเปรียบเทียบค่า CCT_{ANN} กับค่า CCT_{TDM} ของการลดค่า MPL ลง 0% จำนวนชุด ข้อมูลฝึกสอน 360 ชุด

ข้อมูลชุดที่	CCT (TD)	CCT (ANN)	Error CCT
	วินาที	วินาที	(%)
1	0.1260	0.1245	1.2145
2	0.1780	0.1777	0.1652
3	0.1260	0.1253	0.5370
4	0.2100	0.2104	0.1834
5	0.0880	0.0891	1.2801
6	0.1880	0.1882	0.0995
7	0.1740	0.1742	0.1101
8	0.1120	0.1128	0.7587
9	0.1210	0.1201	0.7247
10	0.1960	0.1960	0.0183
11	0.1620	0.1623	0.1807
12	0.0950	0.0946	0.4122
13	0.2190	0.2202	0.5681
14	0.1080	0.1076	0.3630
15	0.2130	0.2132	0.0866
16	0.0960	0.0958	0.2103
17	0.1460	0.1469	0.6146
18	0.1010	0.1019	0.8829
19	0.2310	0.2288	0.9673
20	0.1000	0.0995	0.5345

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.25 ผลเปรียบเทียบค่า CCT_{ANN} กับค่า CCT_{TDM} ของการลดค่า MPL ลง 5% จำนวนชุด
ข้อมูลฝึกสอน 120 ชุด

ข้อมูลชุดที่	CCT (TD)	CCT (ANN)	Error CCT
	วินาที	วินาที	(%)
1	0.1400	0.1360	2.8259
2	0.1930	0.1905	1.2918
3	0.1400	0.1434	2.4492
4	0.2370	0.2354	0.6800
5	0.1140	0.1142	0.2117
6	0.2130	0.2156	1.2373
7	0.1980	0.2005	1.2804
8	0.1340	0.1374	2.5540
9	0.1340	0.1350	0.7700
10	0.2210	0.2239	1.3200
11	0.1850	0.1875	1.3384
12	0.1190	0.1188	0.1632
13	0.2380	0.2370	0.4135
14	0.1210	0.1200	0.8345
15	0.2400	0.2407	0.2727
16	0.1080	0.1098	1.6424
17	0.1680	0.1652	1.6514
18	0.1260	0.1306	3.6300
19	0.2530	0.2509	0.8461
20	0.1230	0.1323	7.5770

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.26 ผลเปรียบเทียบค่า CCT_{ANN} กับค่า CCT_{TDM} ของการลดค่า MPL ลง 5% จำนวนชุด ข้อมูลฝึกสอน 240 ชุด

ข้อมูลชุดที่	CCT (TD)	CCT (ANN)	Error CCT
	วินาที	วินาที	(%)
1	0.1400	0.1370	2.1463
2	0.1930	0.1944	0.7089
3	0.1400	0.1394	0.4538
4	0.2370	0.2391	0.8973
5	0.1140	0.1184	3.8863
6	0.2130	0.2140	0.4695
7	0.1980	0.1992	0.6041
8	0.1340	0.1358	1.3781
9	0.1340	0.1345	0.4047
10	0.2210	0.2228	0.8296
11	0.1850	0.1851	0.0453
12	0.1190	0.1182	0.6572
13	0.2380	0.2401	0.8786
14	0.1210	0.1189	1.7168
15	0.2400	0.2415	0.6118
16	0.1080	0.1069	1.0534
17	0.1680	0.1703	1.3538
18	0.1260	0.1285	1.9620
19	0.2530	0.2516	0.5616
20	0.1230	0.1229	0.0765

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.27 ผลเปรียบเทียบค่า CCT_{ANN} กับค่า CCT_{TDM} ของการลดค่า MPL ลง 5% จำนวนชุด ข้อมูลฝึกสอน 360 ชุด

ข้อมูลชุดที่	CCT (TD)	CCT (ANN)	Error CCT
	วินาที	วินาที	(%)
1	0.1400	0.1397	0.2462
2	0.1930	0.1937	0.3492
3	0.1400	0.1398	0.1491
4	0.2370	0.2386	0.6855
5	0.1140	0.1146	0.5335
6	0.2130	0.2138	0.3683
7	0.1980	0.1989	0.4350
8	0.1340	0.1356	1.2051
9	0.1340	0.1336	0.2716
10	0.2210	0.2225	0.6647
11	0.1850	0.1851	0.0675
12	0.1190	0.1173	1.4702
13	0.2380	0.2396	0.6820
14	0.1210	0.1214	0.3108
15	0.2400	0.2406	0.2651
16	0.1080	0.1088	0.7011
17	0.1680	0.1688	0.4493
18	0.1260	0.1269	0.0711
19	0.2530	0.2510	0.7921
20	0.1230	0.1235	0.4022

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.28 ผลเปรียบเทียบค่า CCT_{ANN} กับค่า CCT_{TDM} ของการลดค่า MPL ลง 10% จำนวนชุด ข้อมูลฝึกสอน 120 ชุด

ข้อมูลชุดที่	CCT (TD)	CCT (ANN)	Error CCT
	วินาที	วินาที	(%)
1	0.1550	0.1570	1.3110
2	0.2130	0.2139	0.4264
3	0.1550	0.1538	0.7524
4	0.2690	0.2664	0.9506
5	0.1380	0.1303	5.5628
6	0.2400	0.2437	1.5310
7	0.2250	0.2253	0.1526
8	0.1570	0.1619	3.0980
9	0.1500	0.1503	0.1866
10	0.2520	0.2526	0.2259
11	0.2120	0.2137	0.0809
12	0.1420	0.1363	4.0265
13	0.2620	0.2611	0.3252
14	0.1360	0.1343	1.2756
15	0.2730	0.2690	1.4594
16	0.1220	0.1187	2.6932
17	0.1930	0.1909	1.0968
18	0.1490	0.1481	0.6064
19	0.2760	0.2694	2.3939
20	0.1470	0.1575	7.1651

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.29 ผลเปรียบเทียบค่า CCT_{ANN} กับค่า CCT_{TDM} ของการลดค่า MPL ลง 10% จำนวนชุด ข้อมูลฝึกสอน 240 ชุด

ข้อมูลชุดที่	CCT (TD)	CCT (ANN)	Error CCT
	วินาที	วินาที	(%)
1	0.1550	0.1536	0.9178
2	0.2130	0.2118	0.5457
3	0.1550	0.1557	0.4489
4	0.2690	0.2698	0.3114
5	0.1380	0.1377	0.2479
6	0.2400	0.2401	0.0365
7	0.2250	0.2245	0.2053
8	0.1570	0.1584	0.9009
9	0.1500	0.1503	0.1998
10	0.2520	0.2518	0.0947
11	0.2120	0.2101	0.9143
12	0.1420	0.1411	0.6606
13	0.2620	0.2614	0.2263
14	0.1360	0.1349	0.7748
15	0.2730	0.2730	0.0168
16	0.1220	0.1217	0.2423
17	0.1930	0.1921	0.4831
18	0.1490	0.1485	0.3212
19	0.2760	0.2729	1.1320
20	0.1470	0.1466	0.2848

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.30 ผลเปรียบเทียบค่า CCT_{ANN} กับค่า CCT_{TDM} ของการลดค่า MPL ลง 10% จำนวนชุด ข้อมูลฝึกสอน 360 ชุด

ข้อมูลชุดที่	CCT (TD)	CCT (ANN)	Error CCT
	วินาที	วินาที	(%)
1	0.1550	0.1546	0.2294
2	0.2130	0.2116	0.6741
3	0.1550	0.1569	1.2507
4	0.2690	0.2700	0.3817
5	0.1380	0.1393	0.9312
6	0.2400	0.2402	0.0906
7	0.2250	0.2240	0.4583
8	0.1570	0.1586	1.0376
9	0.1500	0.1502	0.1424
10	0.2520	0.2507	0.5345
11	0.2120	0.2106	0.6801
12	0.1420	0.1422	0.1639
13	0.2620	0.2619	0.0354
14	0.1360	0.1359	0.0870
15	0.2730	0.2724	0.2092
16	0.1220	0.1220	0.0142
17	0.1930	0.1929	0.0384
18	0.1490	0.1506	1.0536
19	0.2760	0.2753	0.2414
20	0.1470	0.1471	0.0661

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.31 ผลเปรียบเทียบค่า CCT_{ANN} กับค่า CCT_{TDM} ของการลดค่า MPL ลง 12% จำนวนชุดข้อมูลฝึกสอน 120 ชุด

ข้อมูลชุดที่	CCT (TD)	CCT (ANN)	Error CCT
	วินาที	วินาที	(%)
1	0.1620	0.1607	0.8306
2	0.2190	0.2230	1.8220
3	0.1620	0.1584	2.2328
4	0.2840	0.2721	4.1748
5	0.1480	0.1466	0.9670
6	0.2550	0.2535	0.5995
7	0.2380	0.2379	0.0516
8	0.1670	0.1881	12.6416
9	0.1560	0.1564	0.2835
10	0.2650	0.2633	0.6337
11	0.2240	0.2214	1.1735
12	0.1520	0.1420	6.5636
13	0.2720	0.2691	1.0502
14	0.1420	0.1417	0.2097
15	0.2870	0.2776	3.2757
16	0.1280	0.1254	2.0515
17	0.2030	0.2046	0.7738
18	0.1590	0.1582	0.4768
19	0.2880	0.2751	4.4620
20	0.1570	0.1606	2.2774

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.32 ผลเปรียบเทียบค่า CCT_{ANN} กับค่า CCT_{TDM} ของการลดค่า MPL ลง 12% จำนวนชุด ข้อมูลฝึกสอน 240 ชุด

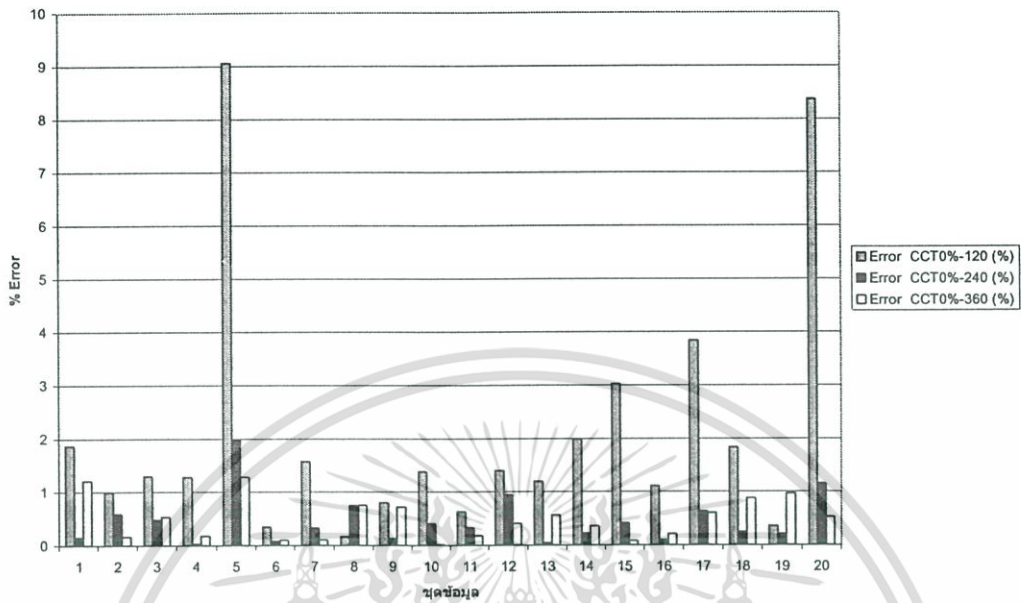
ข้อมูลชุดที่	CCT (TD)	CCT (ANN)	Error CCT
	วินาที	วินาที	(%)
1	0.1620	0.1629	0.5619
2	0.2190	0.2192	0.0918
3	0.1620	0.1633	0.7836
4	0.2840	0.2837	0.0958
5	0.1480	0.1468	0.7995
6	0.2550	0.2520	1.1572
7	0.2380	0.2398	0.7457
8	0.1670	0.1662	0.4902
9	0.1560	0.1574	0.8670
10	0.2650	0.2631	0.7078
11	0.2240	0.2189	2.2878
12	0.1520	0.1532	0.7994
13	0.2720	0.2730	0.3721
14	0.1420	0.1427	0.4938
15	0.2870	0.2835	1.2056
16	0.1280	0.1280	0.0240
17	0.2030	0.2055	1.2517
18	0.1590	0.1585	0.3150
19	0.2880	0.2853	0.9214
20	0.1570	0.1584	0.8607

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

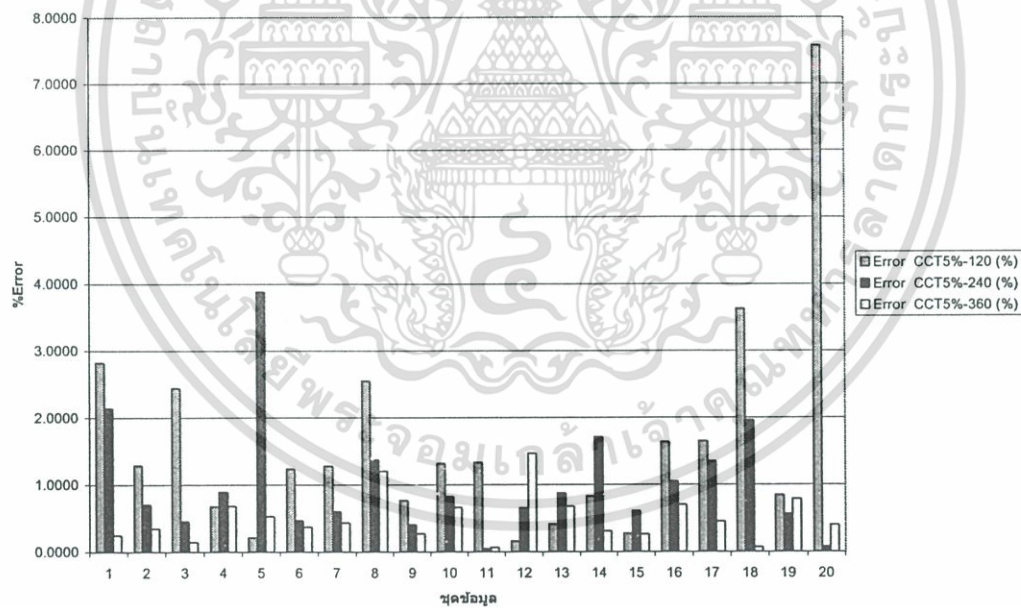
ตารางที่ 6.33 ผลเปรียบเทียบค่า CCT_{ANN} กับค่า CCT_{TDM} ของการลดค่า MPL ลง 12% จำนวนชุดข้อมูลฝึกสอน 360 ชุด

ข้อมูลชุดที่	CCT (TD)	CCT (ANN)	Error CCT
	วินาที	วินาที	(%)
1	0.1620	0.1614	0.3997
2	0.2190	0.2204	0.6190
3	0.1620	0.1622	0.1035
4	0.2840	0.2859	0.6636
5	0.1480	0.1480	0.0304
6	0.2550	0.2524	1.0239
7	0.2380	0.2361	0.7911
8	0.1670	0.1670	0.0265
9	0.1560	0.1564	0.2336
10	0.2650	0.2639	0.4162
11	0.2240	0.2215	1.1012
12	0.1520	0.1514	0.3742
13	0.2720	0.2714	0.2024
14	0.1420	0.1414	0.3984
15	0.2870	0.2866	0.1419
16	0.1280	0.1281	0.0845
17	0.2030	0.2032	0.1172
18	0.1590	0.1593	0.2192
19	0.2880	0.2861	0.6440
20	0.1570	0.1569	0.0538

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

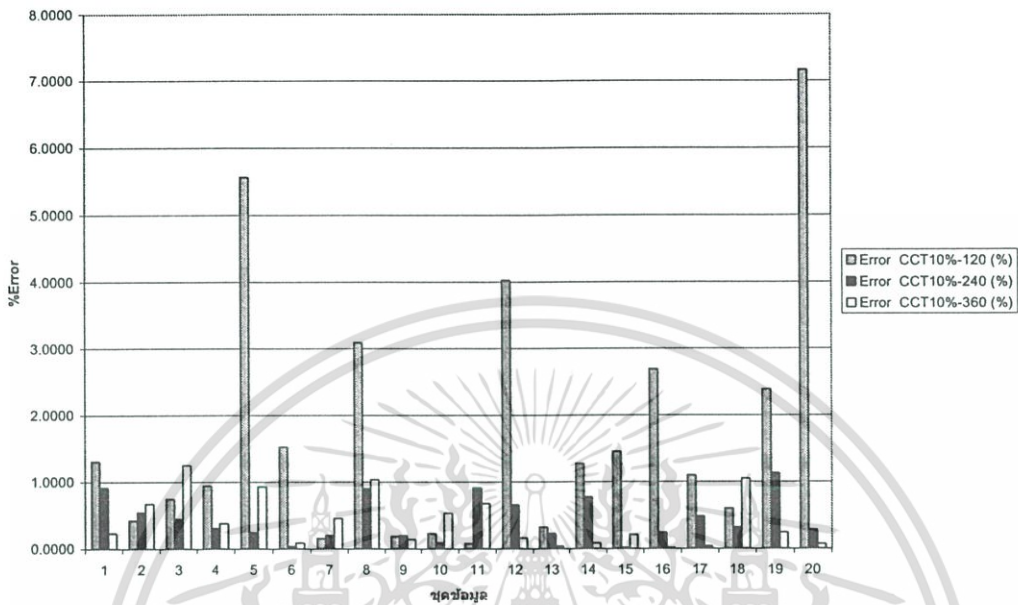


รูปที่ 6.14 เปรียบเทียบการฝึกสอนด้วยชุดข้อมูลที่แตกต่างกัน ของการลดค่า MPL ลง 0%

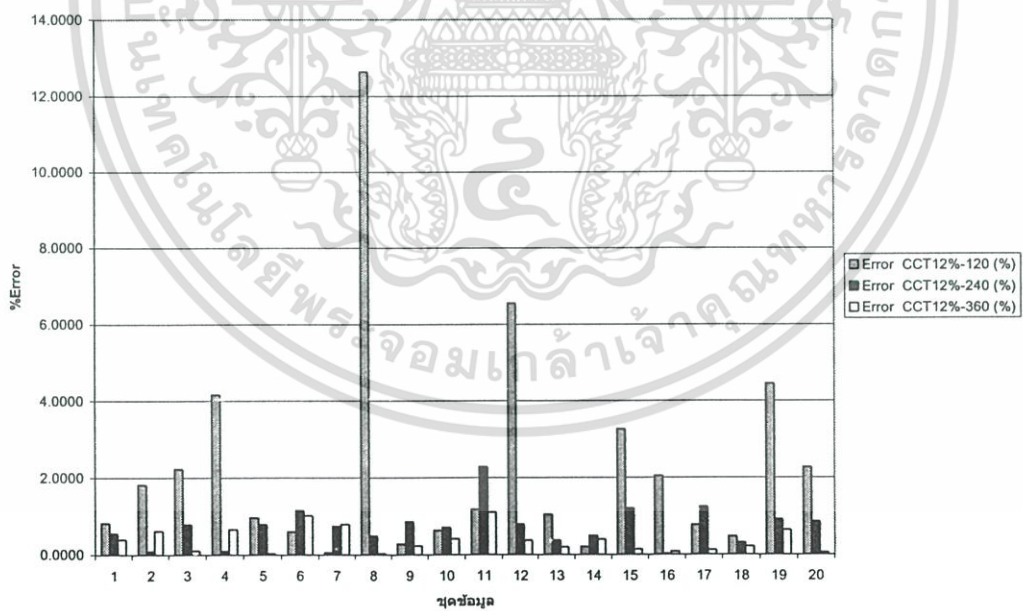


รูปที่ 6.15 เปรียบเทียบการฝึกสอนด้วยชุดข้อมูลที่แตกต่างกัน ของการลดค่า MPL ลง 5%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.16 เปรียบเทียบการฝึกสอนด้วยชุดข้อมูลที่แตกต่างกัน ของการลดค่า MPL ลง 10%

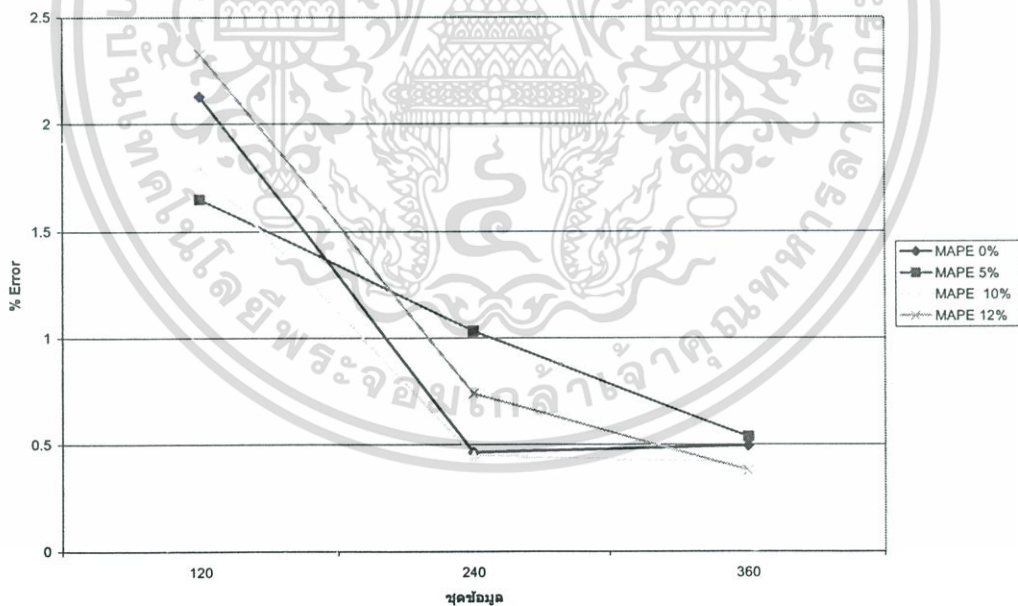


รูปที่ 6.17 เปรียบเทียบการฝึกสอนด้วยชุดข้อมูลที่แตกต่างกัน ของการลดค่า MPL ลง 12%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.34 การฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียมที่ดีที่สุดของค่า new value of CCT ในเงื่อนไขลดค่า MPL ที่ 0, 5, 10, 12% ของระบบ IEEE 47 generator 118 bus

New values of CCT prediction										
0% Δ MPL						- 5% Δ MPL				
จำนวนชุดข้อมูลฝึกสอน	เวลาที่ใช้ฝึกสอน (นาท)	จำนวนปมประสาทในชั้นซ่อนที่ 1-2	MinError (%)	Mape (%)	MaxError (%)	เวลาที่ใช้ฝึกสอน (นาท)	จำนวนปมประสาทในชั้นซ่อนที่ 1-2	MinError (%)	Mape (%)	MaxError (%)
120	11.29	4-3	0.1689	2.1272	9.0629	12.34	4-3	0.1630	1.6493	7.5570
240	27.37	7-6	0.0342	0.4630	1.9749	15.32	4-3	0.0453	1.034	3.386
360	23.6265	6-5	0.0183	0.4956	1.2801	15.14	4-3	0.0675	0.5380	1.47029
New values of CCT prediction										
- 10% Δ MPL						- 12% Δ MPL				
จำนวนชุดข้อมูลฝึกสอน	เวลาที่ใช้ฝึกสอน (นาท)	จำนวนปมประสาทในชั้นซ่อนที่ 1-2	MinError (%)	Mape (%)	MaxError (%)	เวลาที่ใช้ฝึกสอน (นาท)	จำนวนปมประสาทในชั้นซ่อนที่ 1-2	MinError (%)	Mape (%)	MaxError (%)
120	10.15	3-2	0.152	1.802	7.165	17.81	6-5	0.051	2.327	12.641
240	17.66	5-4	0.0168	0.448	1.132	18.01	5-4	0.0240	0.7416	2.2878
360	44.66	9-8	0.0142	0.4160	1.2507	29.29	7-6	0.0265	0.3822	1.1012



รูปที่ 6.18 เปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของการฝึกสอนด้วยชุดข้อมูลที่แตกต่างกัน โดยแสดงของการลดค่า MPL ทั้งหมดที่ 0%, 5%, 10% และ 12%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 6.21 ถึง 6.33 และรูปที่ 6.12 ถึง 6.16 สามารถอธิบายได้ดังนี้

- ที่การลดค่า MPL ลง 0% และฝึกสอนด้วยชุดข้อมูล 120 ชุด สามารถคำนวณค่า CCT ของข้อมูลทดสอบโดยมีค่าผิดพลาดเฉลี่ยสัมบูรณ์ (mape) เท่ากับ 2.1272%, ค่าผิดพลาดต่ำสุด (Min error) เท่ากับ 0.1689 % และค่าผิดพลาดสูงสุด (Max error) เท่ากับ 9.0629 % โดยใช้โครงสร้างภายในโครงข่ายประสาทเทียมเท่ากับ 4 - 3 และใช้เวลาในการฝึกสอน 11.29 นาที
- ที่การลดค่า MPL ลง 0% และฝึกสอนด้วยชุดข้อมูล 240 ชุด สามารถคำนวณค่า CCT ของข้อมูลทดสอบโดยมีค่าผิดพลาดเฉลี่ยสัมบูรณ์ (mape) เท่ากับ 0.4630%, ค่าผิดพลาดต่ำสุด (Min error) เท่ากับ 0.0342 % และค่าผิดพลาดสูงสุด (Max error) เท่ากับ 1.9749 % โดยใช้โครงสร้างภายในโครงข่ายประสาทเทียมเท่ากับ 7 - 6 และใช้เวลาในการฝึกสอน 27.37 นาที
- ที่การลดค่า MPL ลง 0% และฝึกสอนด้วยชุดข้อมูล 360 ชุด สามารถคำนวณค่า CCT ของข้อมูลทดสอบโดยมีค่าผิดพลาดเฉลี่ยสัมบูรณ์ (mape) เท่ากับ 0.4956%, ค่าผิดพลาดต่ำสุด (Min error) เท่ากับ 0.0183 % และค่าผิดพลาดสูงสุด (Max error) เท่ากับ 1.2801 % โดยใช้โครงสร้างภายในโครงข่ายประสาทเทียมเท่ากับ 6 - 5 และใช้เวลาในการฝึกสอน 23.6265 นาที
- ที่การลดค่า MPL ลง 5% และฝึกสอนด้วยชุดข้อมูล 120 ชุด สามารถคำนวณค่า CCT ของข้อมูลทดสอบโดยมีค่าผิดพลาดเฉลี่ยสัมบูรณ์ (mape) เท่ากับ 1.6493%, ค่าผิดพลาดต่ำสุด (Min error) เท่ากับ 0.1630 % และค่าผิดพลาดสูงสุด (Max error) เท่ากับ 7.5570 % โดยใช้โครงสร้างภายในโครงข่ายประสาทเทียมเท่ากับ 4 - 3 และใช้เวลาในการฝึกสอน 12.34 นาที
- ที่การลดค่า MPL ลง 5% และฝึกสอนด้วยชุดข้อมูล 240 ชุด สามารถคำนวณค่า CCT ของข้อมูลทดสอบโดยมีค่าผิดพลาดเฉลี่ยสัมบูรณ์ (mape) เท่ากับ 1.034 %, ค่าผิดพลาดต่ำสุด (Min error) เท่ากับ 0.0453 % และค่าผิดพลาดสูงสุด (Max error) เท่ากับ 3.386 % โดยใช้โครงสร้างภายในโครงข่ายประสาทเทียมเท่ากับ 4 - 3 และใช้เวลาในการฝึกสอน 15.32 นาที
- ที่การลดค่า MPL ลง 5% และฝึกสอนด้วยชุดข้อมูล 360 ชุด สามารถคำนวณค่า CCT ของข้อมูลทดสอบโดยมีค่าผิดพลาดเฉลี่ยสัมบูรณ์ (mape) เท่ากับ 0.5380%, ค่าผิดพลาดต่ำสุด (Min error) เท่ากับ 0.0675 % และค่าผิดพลาดสูงสุด (Max error) เท่ากับ 1.47029 % โดยใช้โครงสร้างภายในโครงข่ายประสาทเทียมเท่ากับ 4 - 3 และใช้เวลาในการฝึกสอน 15.14 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ที่การลดค่า MPL ลง 10% และฝึกสอนด้วยชุดข้อมูล 120 ชุด สามารถคำนวณค่า CCT ของข้อมูลทดสอบโดยมีค่าผิดพลาดเฉลี่ยสัมบูรณ์ (mape) เท่ากับ 1.802 %, ค่าผิดพลาดต่ำสุด (Min error) เท่ากับ 0.152 % และค่าผิดพลาดสูงสุด (Max error) เท่ากับ 7.165 % โดยใช้โครงสร้างภายในโครงข่ายประสาทเทียมเท่ากับ 3 - 2 และใช้เวลาในการฝึกสอน 10.15 นาที
- ที่การลดค่า MPL ลง 10% และฝึกสอนด้วยชุดข้อมูล 240 ชุด สามารถคำนวณค่า CCT ของข้อมูลทดสอบโดยมีค่าผิดพลาดเฉลี่ยสัมบูรณ์ (mape) เท่ากับ 0.448 %, ค่าผิดพลาดต่ำสุด (Min error) เท่ากับ 0.0168 % และค่าผิดพลาดสูงสุด (Max error) เท่ากับ 1.132 % โดยใช้โครงสร้างภายในโครงข่ายประสาทเทียมเท่ากับ 5 - 4 และใช้เวลาในการฝึกสอน 17.66 นาที
- ที่การลดค่า MPL ลง 10% และฝึกสอนด้วยชุดข้อมูล 360 ชุด สามารถคำนวณค่า CCT ของข้อมูลทดสอบโดยมีค่าผิดพลาดเฉลี่ยสัมบูรณ์ (mape) เท่ากับ 0.0142%, ค่าผิดพลาดต่ำสุด (Min error) เท่ากับ 0.0142 % และค่าผิดพลาดสูงสุด (Max error) เท่ากับ 0.4160 % โดยใช้โครงสร้างภายในโครงข่ายประสาทเทียมเท่ากับ 9 - 8 และใช้เวลาในการฝึกสอน 44.66 นาที
- ที่การลดค่า MPL ลง 12% และฝึกสอนด้วยชุดข้อมูล 120 ชุด สามารถคำนวณค่า CCT ของข้อมูลทดสอบโดยมีค่าผิดพลาดเฉลี่ยสัมบูรณ์ (mape) เท่ากับ 2.327 %, ค่าผิดพลาดต่ำสุด (Min error) เท่ากับ 0.051 % และค่าผิดพลาดสูงสุด (Max error) เท่ากับ 12.641 % โดยใช้โครงสร้างภายในโครงข่ายประสาทเทียมเท่ากับ 6 - 5 และใช้เวลาในการฝึกสอน 17.81 นาที
- ที่การลดค่า MPL ลง 12% และฝึกสอนด้วยชุดข้อมูล 240 ชุด สามารถคำนวณค่า CCT ของข้อมูลทดสอบโดยมีค่าผิดพลาดเฉลี่ยสัมบูรณ์ (mape) เท่ากับ 0.7416%, ค่าผิดพลาดต่ำสุด (Min error) เท่ากับ 0.0240 % และค่าผิดพลาดสูงสุด (Max error) เท่ากับ 2.2878 % โดยใช้โครงสร้างภายในโครงข่ายประสาทเทียมเท่ากับ 5 - 4 และใช้เวลาในการฝึกสอน 18.01 นาที
- ที่การลดค่า MPL ลง 12% และฝึกสอนด้วยชุดข้อมูล 360 ชุด สามารถคำนวณค่า CCT ของข้อมูลทดสอบโดยมีค่าผิดพลาดเฉลี่ยสัมบูรณ์ (mape) เท่ากับ 0.3822%, ค่าผิดพลาดต่ำสุด (Min error) เท่ากับ 0.0265 % และค่าผิดพลาดสูงสุด (Max error) เท่ากับ 1.1012 % โดยใช้โครงสร้างภายในโครงข่ายประสาทเทียมเท่ากับ 7 - 6 และใช้เวลาในการฝึกสอน 29.29 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 7

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้เสนอแนวทางใหม่ในการศึกษาเสถียรภาพของระบบไฟฟ้ากำลังขนาดใหญ่ โดยการศึกษานี้จะใช้โครงข่ายประสาทเทียมในการศึกษาสภาวะชั่วคราวของระบบไฟฟ้ากำลัง

1. ขอบเขตของการศึกษา

การศึกษาในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการศึกษาในระบบไฟฟ้ากำลังในสภาวะชั่วคราวโดยเป็นการสมมุติให้เกิดสภาวะต่างๆในระบบเพื่อเป็นการจำลองระบบให้อยู่ในสภาวะที่จะทำการศึกษา โดยจำลองให้เกิดฟอลต์ขึ้นในระบบ จำลองให้มีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของระบบ โดยจำลองให้มีการปลดสายส่งบางเส้นในระบบ จำลองให้มีการปรับเปลี่ยนกำลังผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าบางตัวในระบบ

โดยการศึกษานี้ไม่ได้เป็นการศึกษาเพื่อใช้กับระบบในช่วง on line เนื่องจากการศึกษาเพื่อใช้ในการหาค่า CCT เพื่อใช้ในการหาเวลามากที่สุดในการเซตค่าการตัดกระแสฟอลต์ และศึกษาการเพิ่มเสถียรภาพของระบบหรือการปรับปรุงค่า CCT ของระบบให้มีค่าเพิ่มขึ้น เพื่อใช้ในการวางแผนการจ่ายกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดเนื่องจากจะมีผลกับค่า CCT ของระบบ

2. โดยมิตินี้ที่ต้องการศึกษาค้างนี้

ค่าเวลาดักกระแสฟอลต์ (CCT) คือ ค่าเวลาที่มากที่สุดในการตัดกระแสฟอลต์ออกจากระบบ โดยที่ระบบยังคงรักษาเสถียรภาพของระบบไว้ได้ ค่าเวลาในการตัดกระแสฟอลต์ออกจากระบบ (CT) เป็นค่าที่มีความสำคัญมากในการพิจารณา เสถียรภาพของระบบว่าหลังจากการเกิดฟอลต์จะยังคงรักษาเสถียรภาพของระบบได้หรือไม่ โดยระบบจะต้องมีการเคลียร์ฟอลต์ที่เร็วพอที่จะทำให้ระบบยังอยู่ในช่วงที่สามารถกลับเข้าสู่สมดุลปกติได้อีกครั้งหลังจากการเกิดฟอลต์ โดยถ้าระบบตัดกระแสฟอลต์ได้ช้ากว่าที่ระบบจะกลับเข้าสู่สมดุลจะทำให้ระบบไฟฟ้าสูญเสียเสถียรภาพของระบบ โดยการที่ระบบสูญเสียการเชื่อมต่อของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในระบบ ส่วนถ้าระบบมีการตัดกระแสฟอลต์ที่เร็วไปก็จะไม่ได้เกิดผลดีกับระบบมากไปกว่าตัดที่ค่า CCT กับระบบแต่จะสูญเสียค่าใช้จ่ายมากกว่าในการตัดกระแสเนื่องมาจากระบบที่ใช้ในการตัดกระแสได้เร็วจะมีราคาแพงเราจึงควรต้องเลือกใช้ค่าเวลาดักกระแสฟอลต์ให้เหมาะสมคือที่ค่า CCT (งานวิจัยเกี่ยวกับการใช้โครงข่ายประสาทเทียมในการแก้ปัญหาค่า CCT ในลักษณะต่างๆ [8], [11], [12], [13], [14], [15], [16], [17], [18], [19], [20], [21], [22], [23], [24], [25], [26], [29])

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่สูญเสียเสถียรภาพ(CG) เป็นเครื่องแรก คือ เมื่อระบบไม่สามารถตัดกระแสฟอลต์ได้เร็วทันค่า CCT จะมีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสูญเสียเสถียรภาพ หรือสูญเสียการเชื่อมต่อกับระบบ การหาค่าเครื่องกำเนิดสูญเสียเสถียรภาพ โดยเครื่องกำเนิดตัวที่สูญเสียเสถียรภาพเมื่อเรา plot กราฟสวิงจะแสดงให้เห็นว่าเครื่องกำเนิดตัวนั้นมีมุมของโรเตอร์เทียบกับบัสอ้างอิง เกิน 180 องศา และไม่มีแนวโน้มที่จะลดลง เราหาค่านี้ก็เพื่อที่จะนำไปใช้ในการศึกษาการปรับปรุงเสถียรภาพของระบบให้ดีขึ้น (งานวิจัยเกี่ยวกับการใช้โครงข่ายประสาทเทียมในการแก้ปัญหาค่า CG ในลักษณะต่างๆ [8], [27], [28], [29])

ค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุด (MPL) คือ ค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าตัวแรกที่สูญเสียเสถียรภาพสามารถจ่ายให้ระบบได้ สำหรับค่า CCT ค่าหนึ่ง โดยที่ระบบไฟฟ้ากำลังยังคงมีเสถียรภาพ การศึกษานี้เพื่อให้ทราบว่าเมื่อต้องการเพิ่มกำลังผลิตของ CG จะสามารถเพิ่มกำลังผลิตได้ถึงระดับใดโดยไม่ส่งผลกระทบต่อเสถียรภาพของระบบ เมื่อเกิดฟอลต์ (งานวิจัยเกี่ยวกับการใช้โครงข่ายประสาทเทียมในการแก้ปัญหาค่า MPL ในลักษณะต่างๆ [8], [26], [27], [28])

ค่าเวลาดตัดกระแสฟอลต์ค่าใหม่ (new value of CCT) คือ ค่า CCT ที่ถูกปรับปรุงโดยการลดค่ากำลังผลิตที่จ่ายเข้าระบบ ของ CG ลงจากค่า MPL เพื่อปรับปรุงค่า CCT ให้มีค่ามากขึ้น ทำให้ระบบมีเสถียรภาพมากขึ้น โดยที่ไม่จำเป็นต้องใช้เวลาตัดกระแสฟอลต์ออกจากระบบเร็วเท่าเดิมก็สามารถรักษาเสถียรภาพของระบบหลังการเกิดฟอลต์ไว้ได้ ซึ่งสามารถนำไปใช้ในการปรับปรุงระบบในจุดที่มีค่า CCT ต่ำซึ่งต้องใช้ระบบในการตัดกระแสที่มีประสิทธิภาพสูงมากๆ ทำให้เสียค่าใช้จ่ายสูง (งานวิจัยเกี่ยวกับการใช้โครงข่ายประสาทเทียมในการแก้ปัญหาค่า MPL ในลักษณะต่างๆ [8])

3. ขั้นตอนการศึกษาที่ได้ถูกนำเสนอมีดังนี้

- 3.1 ใช้ระบบไฟฟ้ากำลัง IEEE 50generator test system และ ระบบ IEEE 47 generator 118 bus system โดยได้มีการปรับเปลี่ยนสภาวะการทำงานต่างๆของระบบ อาทิเช่น กำลังผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่พิจารณา, ตำแหน่งที่เกิดฟอลต์ และ โครงสร้างของระบบ
- 3.2 เตรียมข้อมูลที่ใช้ในการฝึกสอนและทดสอบโครงข่ายประสาทเทียมโดยใช้โปรแกรม โดย ใช้โปรแกรม Load flow and step by step time simulation ในการหาค่า CCT, CG, MPL และ ค่า new value of CCT
- 3.3 ใช้โครงข่ายประสาทเทียมชนิดที่มีการแพร่ค่าย้อนกลับ (Feed-forward neural networks with back-propagation learning rule) ใช้ Levenberg-Marquardt algorithm ในการปรับค่าถ่วงน้ำหนักและค่าไบแอส โดยจะมีโครงข่าย 2 โครงข่ายในการศึกษา โครงข่ายที่ 1 ใช้ในการหาค่า CCT, CG, MPL และ โครงข่ายที่ 2 ใช้ในการหาค่า new value of CCT

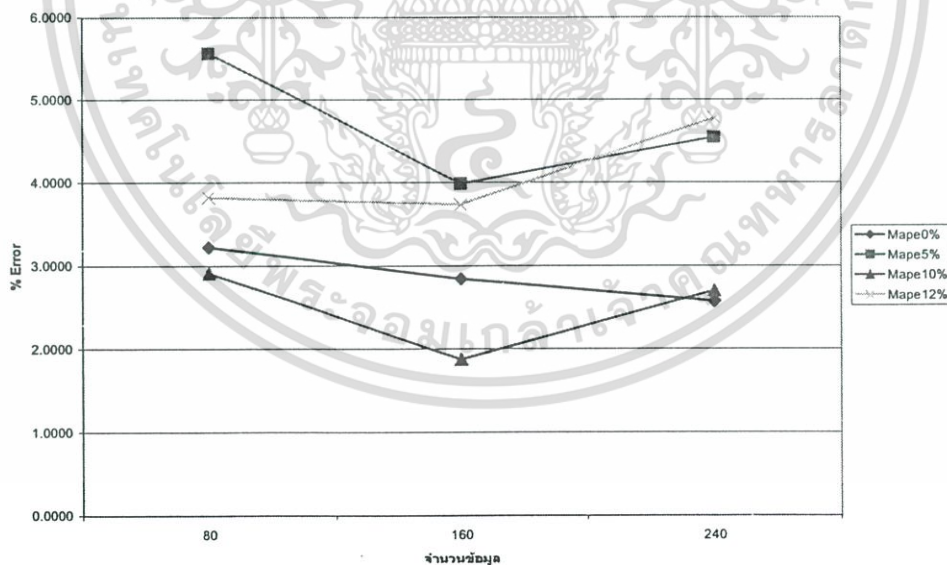
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 ทำการฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียมตั้งแต่ โครงสร้างที่มี นิวรอนในชั้นซ่อน 2 – 1 ไปจนถึง 10 – 9 และทำการฝึกสอน 50 รอบการฝึกสอน ต่อ 1 โครงสร้าง และทำการปรับ ค่าถ่วงน้ำหนักและค่าไบแอส 1,000 ครั้ง (1,000 epoch) ต่อหนึ่งรอบการฝึกสอน เพื่อหาโครงข่ายประสิทธิภาพดีที่สุดสำหรับการศึกษา

ผลที่ได้จากการศึกษาสามารถสรุปได้ว่าโครงข่ายประสาทเทียมมีความสามารถในการศึกษาเสถียรภาพของระบบไฟฟ้ากำลังในสถานะชั่วคราวได้ และมีประสิทธิภาพดี โดยในการศึกษาสถานะชั่วคราวเป็นการศึกษาปัญหาที่มีความซับซ้อนของปัญหามาก ในการศึกษานี้จึงมีช่วงค่าความผิดพลาดที่ยอมรับได้อยู่ที่ไม่เกิน 5 %

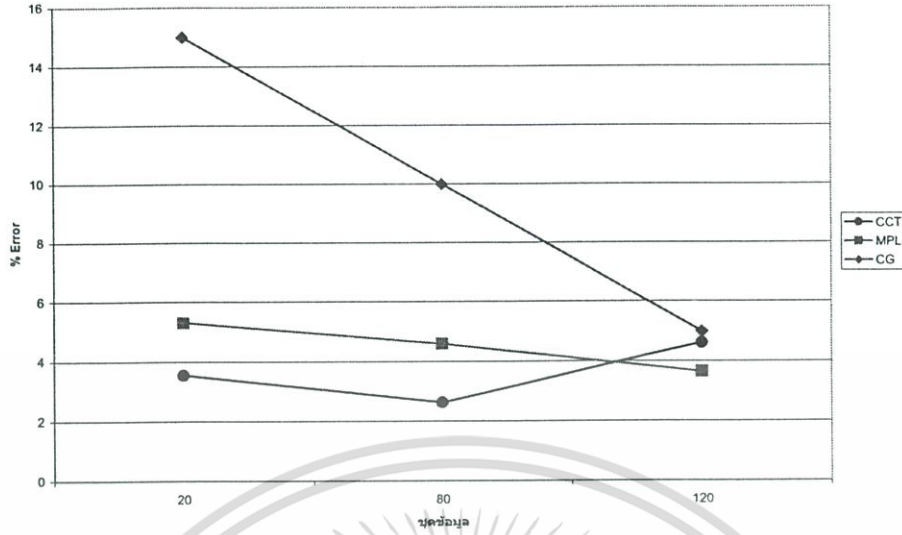
IEEE 50 generator test system

สำหรับระบบ IEEE 50 generator test system ผลของการหาค่า CCT, CG, MPL จากการศึกษาฝึกสอนด้วยจำนวนชุดข้อมูลฝึกสอนที่แตกต่างกัน ดังแสดงในรูป 7.1 และผลของการหาค่า new value of CCT ที่การลดค่า MPL ลง 0%, 5%, 10%, 12% ด้วยจำนวนชุดข้อมูลฝึกสอนที่แตกต่างกัน ดังแสดงในรูป 7.2



รูปที่ 7.1 เปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของการฝึกสอนด้วยชุดข้อมูลที่แตกต่างกัน

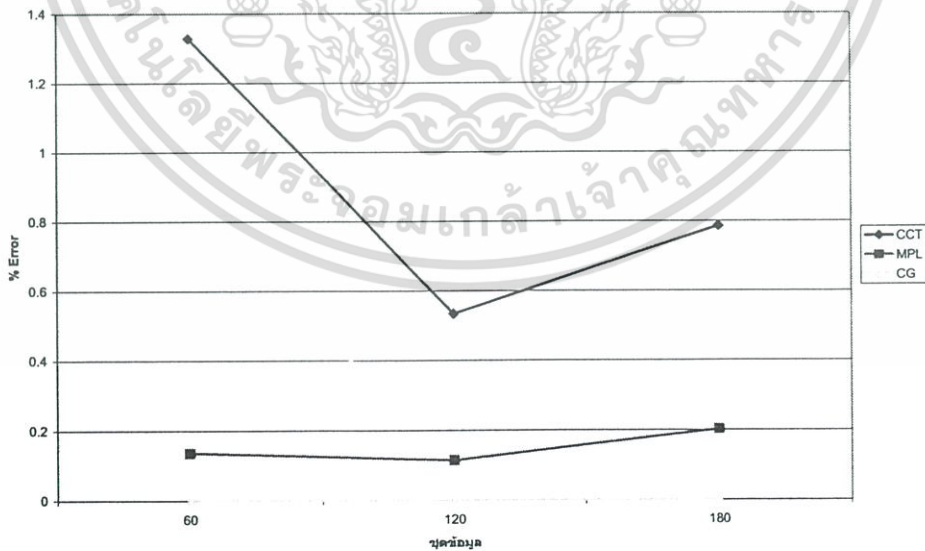
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7.2 เปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของการฝึกสอนด้วยชุดข้อมูลที่แตกต่างกัน โดยแสดงของการลดค่า MPL ทั้งหมดที่ 0%, 50%, 10% และ 12%

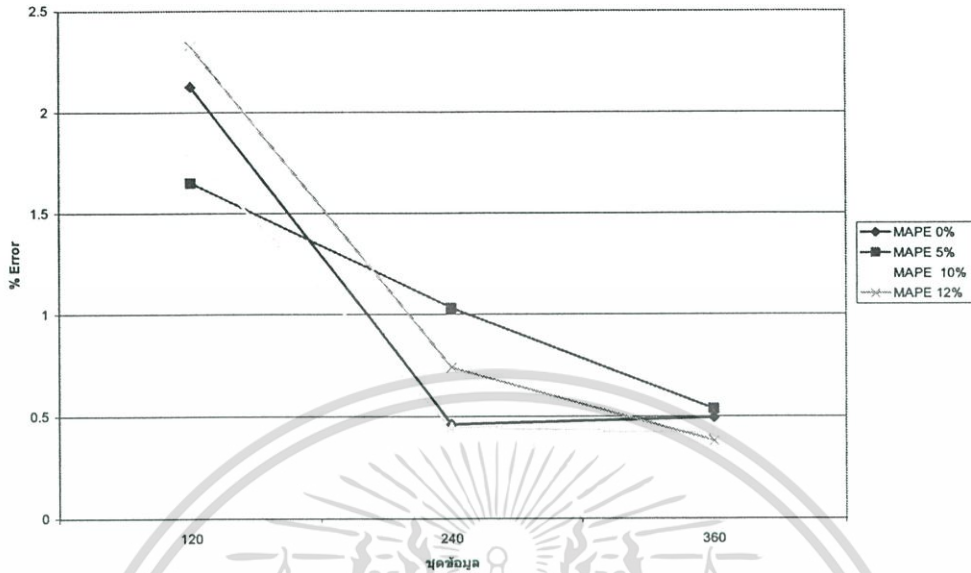
IEEE 118 bus 47 generator system

สำหรับระบบ IEEE 47 generator 118 bus system ผลของการหาค่า CCT, CG, MPL จากการฝึกสอนด้วยจำนวนชุดข้อมูลฝึกสอนที่แตกต่างกัน ดังแสดงในรูป 7.3 และผลของการหาค่า new value of CCT ที่การลดค่า MPL ลง 0%, 5%, 10%, 12% ด้วยจำนวนชุดข้อมูลฝึกสอนที่แตกต่างกัน ดังแสดงในรูป 7.4



รูปที่ 7.3 เปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของการฝึกสอนด้วยชุดข้อมูลที่แตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7.4 เปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของการฝึกสอนด้วยชุดข้อมูลที่แตกต่างกัน โดยแสดงของการลดค่า MPL ทั้งหมดที่ 0%, 50%, 10% และ 12%

4. สิ่งที่ควรได้รับการพัฒนาต่อไป

- 4.1 ควรมีการพัฒนาการเตรียมข้อมูลที่ใช้เพื่อการฝึกสอนและทดสอบ เนื่องจากการเตรียมข้อมูลจะต้องจำต้องจากโปรแกรมซึ่งใช้เวลานานมากในการเตรียมข้อมูลให้ได้จำนวนที่ต้องการเพื่อนำไปฝึกสอน โครงข่ายประสาทเทียม
- 4.2 ควรมีการทดลองใช้แบบจำลองของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและระบบควบคุมอย่างละเอียด ซึ่งน่าจะส่งผลถึงค่า CCT, CG, MPL และ new value of CCT ให้แตกต่างจากการคำนวณด้วยแบบจำลองแบบธรรมดา
- 4.3 อาจมีการทดลองใช้โครงข่ายประสาทเทียมชนิดอื่นมาใช้ในการศึกษาเสถียรภาพของระบบเพื่อเปรียบเทียบกันของประสิทธิภาพโครงข่ายแต่ละแบบ
- 4.4 ควรมีการพัฒนาขั้นตอนการฝึกสอนให้มีความรวดเร็วขึ้น เนื่องจากเวลาที่ใช้ในการฝึกสอนเป็นข้อด้อยของโครงข่ายประสาทเทียม เมื่อนำไปใช้ในการศึกษาระบบไฟฟ้ากำลังที่มีขนาดใหญ่ซึ่งมีตัวแปรที่พิจารณาจำนวนมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Pai, M. A. **Energy Function Analysis for Power System Stability**, Kluwer Academic Publishers., 1989.
- [2] Fouad A. A. and Vittal, V. **Power System Transient Stability Analysis Using the Transient Energy Function Method**, Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs, N.J., 1992
- [3] Jadim, J. 1994 “Advances in Power System Transient Stability Assessment Using Transient Energy Function Methods,” Ph.D. Thesis of University of London and the Diploma of Membership of the Imperial College.
- [4] Demuth, H. and Beale, M. **Neural Network Toolbox User’s Guide**, The Math Works, Inc., March 2001.
- [5] William. D. Stevenson Jr. **Element of Power System Analysis**, Forth Edition. McGraw – Hill, Inc. Print in Singapore, 1982.
- [6] IEEE Std 399-1997, **IEEE Recommended Practice for Industrial and Commercial Power Systems Analysis**, August 1998.
- [7] Digital Equipment Corporation, **Digital Fortran: Language Reference Manual**, Maynard, Massachusetts, April 1997.
- [8] Kuapong Leelanuch Somchat Jiriwibhakorn “Increasing Transient Stability Margins of a Large Power System Using Artificial Neural Networks”, ICEE 2004, Vol.2, pp.617-622.
- [9] Electric Power Research Institute, “Analysis of Stressed Interconnected Power Networks,” Research Project 8010-28, March 1994.
- [10] Jiriwibhakorn, S. 2001. “Transient Stability Assessment of Power Systems Using Neural Networks,” Ph.D. Thesis of University of London and the Diploma of Membership of the Imperial College.
- [11] C. Pothisarn and S. Jiriwibhakorn, “Critical Clearing Time Determination of EGAT System Using Artificial Neural Network” International Federation of Automatic Control , IFAC Symposium on Power Plants & Power Systems Control 2003
- [12] Sobajic D. J. and Pao, Y. H. “Artificial Neural-Net Based Dynamic Security Assessment for Electric Power Systems”, IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 4, No. 1, February 1989, pp. 220-228.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [13] Wong K. P., Lim, W., Ta, N. P. and Attikiouzel, Y. "Neural Network Transient Stability Assessment of a Single-Machine System under Asymmetrical Fault Conditions", IEE International Conference on Advances in Power System Control, Operation and Management, November 1991, Hong Kong, pp. 572-577.
- [14] Pao Y.-H. and Sobajic, D. J. "Combined Use of Unsupervised and Supervised Learning for Dynamic Security Assessment", IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 7, No. 2, May 1992, pp. 878-884.
- [15] Huang K., Lam, D. and Yee, H. "Neural-Net based Critical Clearing Time Prediction in Power System Transient Stability Analysis", IEE 2nd International Conference on Advances in Power System Control, Operation and Management, December 1993, Hong Kong, pp. 679-683.
- [16] Wei S., Nakamura, K., Sone, M. and Fujita, H. "Neural Network Based Power System Transient Stability Criterion Using DSP-PC System", Proceedings of the Second International Forum on Applications of Neural Networks to Power Systems, 1993, pp. 136-141.
- [17] Klapper D. B., Othman, H. A., Akimoto, Y., Tanaka, H. and Yoshizawa, J. "Application of Neural Networks to Direct Stability Analysis of Power Systems", Proceedings of the Second International Forum on Applications of Neural Networks to Power Systems, 1993, pp. 382-386.
- [18] Hobson E. and Allen, G. N. "Effectiveness of Artificial Neural Networks for First Swing Stability Determination of Practical Systems", IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 9, No. 2, May 1994, pp. 1062-1068.
- [19] Nishiura M., Ohsawa, Y., Arai, K. and Takeno, H. "Transient Stability Assessment Using Energy Function and Neural Network", International Conference on Intelligent Systems Applications to Power Systems, ISAP 1994, Vol. 1, pp. 255-262.
- [20] Lo K. L. and Tsai, R. J. Y. "Power System Transient Stability Analysis by Using Modified Kohonen Network", IEEE International Conference on Neural Networks - Conference Proceedings 1995, Vol. 2, pp. 893-898.
- [21] Sing L. B. and Po, W. K. "Transient Stability Assessment: An Artificial Neural Network Approach", IEEE International Conference on Neural Networks - Conference Proceedings 1995, Vol. 2, pp. 702-707.

- [22] Minussi C. R. and Silveira, M. do C. G. “Electric Power Systems Transient Stability Analysis by Neural Networks”, Proceedings of the 38th Midwest Symposium on Circuits and Systems, Vol. 2, 1996, pp. 1305-1308.
- [23] Amjady N., “Transient Stability Assessment by a New Artificial Neural Network”, IEEE Winter Meeting Conference, Singapore, January 2000.
- [24] Jiriwibhakorn S. and A. H. Coonick, “Fast Critical Clearing Time Estimation of a Large Power System Using Neural Networks and Sobol Sequences”, IEEE Power Engineering Society Summer Meeting 2000, Vol. 1, pp. 522-527.
- [25] Paucar, V.L., Fernandes, F.C., “A methodology based on neural networks for the determination of the critical clearing time of power systems transient stability”, International Conference on Power System Technology, PowerCon 2002, Vol. 4 , pp. 2669 -2673.
- [26] Wong K. P., Ta, N. P. and Attikiouzel, Y. “Transient Stability Assessment for Single-Machine Power Systems Using Neural Networks”, IEEE Region 10 Conference on Computer and Communication Systems, September 1990, Hong Kong, pp. 32-36.
- [27] Liangzhong Y., Shixin, Z., Yixin, N. and Boming, Z. “An Artificial Neural Network for Estimating Transient Stability Limits,” IEE 2nd International Conference on Advances in Power System Control, Operation and Management, December 1993, Hong Kong, pp. 527-531.
- [28] Liangzhong Y., Yixin, N. and Boming, Z. “Estimation of Transient Stability Limits Using Artificial Neural Network”, IEEE TENCON, 1993, Beijing, pp. 87-90.
- [29] เกื้อพงษ์ สีสานุช, สมชาติ จิรวินากร, “การหาช่วงเวลาตัดกระแสวิกฤตและเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่สูญเสียเสถียรภาพในระบบไฟฟ้ากำลังขนาดใหญ่โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม”, วิศวกรรมลาดกระบัง, ปีที่ 19, ฉบับที่ 4, ธันวาคม 2545, หน้า 67-72.

ภาคผนวก ก.

Load Flow and Step by Step Time Simulation Program

โปรแกรม Load flow and step by step time simulation ที่นำมาใช้ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ พัฒนาโดย Jardim [3] ซึ่งมีขีดความสามารถของโปรแกรมหาดังต่อไปนี้

1. โปรแกรม Load flow สามารถคำนวณโหลดโพล์ของระบบที่มีบัสไม่เกิน 170 บัส และสายส่งหรือหม้อแปลงไฟฟ้าไม่เกิน 500 ชุด
2. สามารถคำนวณหาคำตอบของระบบไฟฟ้ากำลังโดยใช้วิธี Time domain (transient) simulation (fixed time step)
3. สามารถคำนวณหา Eigen values และ Eigen vectors ของระบบไฟฟ้ากำลังที่มี state variable ไม่เกิน 200 ชุด
4. สามารถคำนวณหาคำตอบของระบบไฟฟ้ากำลังโดยใช้วิธี Transient energy function (TEF)

ในส่วนของข้อกำหนดในการเขียนไฟล์ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณของ โปรแกรมนี้ จะขอแนะนำเป็นภาษาอังกฤษ เพื่อให้คงความถูกต้องไว้มากที่สุด

1. FILE NAME CONVENTIONS

The name of files used or created by the program has to be in capital letters and is composed of:

- name (up to eight characters)
- extension (three characters).

The convention for extensions are as follows:

.FLW - load flow data files	(created by users)
.DYN - dynamic data files	(created by users)
.HST - historical files	(created by the program)
.OPF - load flow output list	(created by the program)
.STB - time simulation or TEF output list	(created by the program)

2. LOAD FLOW DATA FILE

The data is entered in five blocks in the load flow data file, as follows:

- control of load flow execution block (Program Control Block - Section 2.1 below),
- bus data block (Section 2.2 below),
- line data block (Section 2.3 below),
- shunt impedance data block (optional),
- HVDC data block (optional).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1 Program Control Block

This block contains two records.

RECORD # 1

COLUMNS	FORMAT	PARAMETER
1- 3	I3	N - Number of buses
4- 6	I3	NC - Number of shunt elements
7- 9	I3	NL - Number of lines
10- 12	I3	NDC - Number of HVDC links

RECORD # 2

COLUMNS	FORMAT	PARAMETER
1- 3	I3	Maximum number of iterations
4- 11	F8.5	Active power convergence tolerance
12- 19	F8.5	Reactive power convergence tolerance

2.2 Bus Data Block

This block has to contain N (number of buses) records of the following type:

COLUMNS	FORMAT	PARAMETER
1- 3	I3	Bus number
4- 10	F7.5	Voltage (p.u.)
11- 17	F7.3	Angle (degree) - optional
18- 27	F10.3	Active power generation (p.u.)
28- 37	F10.3	Reactive power generation (p.u.)
38- 47	F10.3	Active power load (p.u.)
48- 57	F10.3	Reactive power load (p.u.)
58- 60	I3	Bus type (0, 1, 2)

Bus type:

0 - slack bus

1 - PV

2 - PQ

The parameters (in p.u.) have to be in 100 MVA base.

2.3 Line Data Block

This contains NL (number of lines) records with the following format:

COLUMNS	FORMAT	PARAMETER
1- 3	I3	Bus from number
4- 6	I3	Bus to number
7- 14	F8.5	Resistance (p.u.)
15- 22	F8.5	Reactance (p.u.)
23- 30	F8.5	One half of the line shunt capacitance B (p.u.)
31- 36	F6.3	Tap
37	I1	Circuit number

The parameters (in p.u.) have to be in 100 MVA Base. Phase-Shifter transformers are not supported in this version.

2.4 Shunt Impedance block

This block contains NC (number of shunt impedance loads) record in the following format:

COLUMNS	FORMAT	PARAMETER
1- 3	I3	Bus number
4- 10	F7.4	Susceptance B (p.u.)
11- 18	F8.4	Conductance G (p.u.)

2.5 HVDC Block

Each HVDC link requires one record for the rectifier, one record for the inverter and one record for the line.

RECORD # Rectifier

COLUMNS	FORMAT	PARAMETER
2- 4	I3	Bus number
6	A1	Control mode: constant current/constant power (C or P)
7- 13	F7.1	Current or power order (p.u.) on AC power base
14- 19	F6.1	Specified DC voltage (p.u.) on AC voltage base
20- 21	I2	Number of converters in series
22- 26	F5.3	Current margin (p.u.)
27- 31	F5.3	Commutation reactance (p.u.) - Xc
32- 36	F5.1	Specified firing angle (degrees)
37- 41	F5.1	Minimum firing angle (degrees)
42- 46	F5.1	Maximum firing angle (degrees)
47- 51	F5.3	Specified Tap (a)

52- 56	F5.3	Minimum Tap
57- 61	F5.3	Maximum Tap

RECORD # Inverter

COLUMNS	FORMAT	PARAMETER
2- 4	I3	Bus number
6	A1	Control mode: constant extinction angle (E)
7- 13	F7.1	-
14- 19	F6.1	Specified DC voltage (p.u.) on AC voltage base
20- 21	I2	Number of converters in series
22- 26	F5.3	Inverse slope (p.u.) - SI
27- 31	F5.3	Commutation reactance (p.u.) - Xc
32- 36	F5.1	Specified extinction angle (degrees)
37- 41	F5.1	Minimum extinction angle (degrees)
42- 46	F5.1	Maximum extinction angle (degrees)
47- 51	F5.3	Specified Tap (a)
52- 56	F5.3	Minimum Tap
57- 61	F5.3	Maximum Tap

RECORD # Line

COLUMNS	FORMAT	PARAMETER
1- 8	F8.4	Line resistance

3. DYNAMIC DATA FILE

The data are entered in five main blocks as follows:

- Load flow file block (Section 3.1)
- Dynamic models block (Section 3.2)
- Static load model block (Section 3.3)
- Simulation data block (Section 3.4)
- Plotting data block (Section 3.5)

3.1 Load Flow File Block

This block contains only one record with the name of the load flow file. This file can be either an ASCII file with the initial conditions to run a load flow case or a binary file with the result of a load flow case previously computed. The program identifies the type of the file by extension (FLW for ASCII or HST for binary).

3.2 Dynamic Models Block

This block contain data for dynamical components (generator and associated controls, SVC and induction motor). Each component requires a record (Section 3.2.1) specifying the bus number, the number of the model and, if necessary, additional information. The parameters for the model are entered in subsequent records (one or more, depending on the model specified). This block ends with a record containing “999” in the columns 1-3.

3.2.1 Generator Data Format

RECORD # Model Identification

COLUMNS	FORMAT	PARAMETER
1- 3	I3	Bus number
4- 6	I3	Machine model (1, 2, 3, 4 or 9)
7- 9	I3	Voltage regulator model (1, 2, 3 or 4)
10- 12	I3	Power system stabiliser model (1, 2 or 3)
13- 15	I3	Turbine/Governor model (1 or 2)
16- 18	I3	Controlled bus number (if the controlled bus is remote)
19- 24	F6.4	Line drop compensation - resistive - Rc (p.u.)
25- 30	F6.4	Line drop compensation - reactive - Xc (p.u.)

In this research, the classical machine model (**model 1**) is adopted. Each machine model is represented by required and optional parameters below:

Machine	Required parameters	Optional parameters
1	X'd, H	MVA base, Ra, D
2	Xd, X'd, Xq, T'do, H	MVA base, Ra, D, X1, S1.0, S1.2
3	Xd, X'd, Xq, T'do, T'qo, H	MVA base, Ra, D, X1, S1.0, S1.2
4	Xd, X'd, X''d, Xq, X''q, T'do, T''do, T'qo, H	MVA base, Ra, D, X1, S1.0, S1.2
9	-(infinite bus)	MVA base, Ra, X'd

3.3 Static Load Model Block

Constant impedance model is default. If some or all buses need non-linear load models, then a record for each bus is required. This block ends with a record containing “999” in columns 1-3.

Load Model: $S = P + jQ$

$$P = P_{o1} \cdot V^{p_{v1}} + P_{o2} \cdot V^{p_{v2}}$$

$$Q = Q_{o1} \cdot V^{q_{v1}} + Q_{o2} \cdot V^{q_{v2}}$$

RECORD

COLUMNS	FORMAT	PARAMETER
1- 3	I3	Bus number
4- 11	F8.4	Percent of bus active load for Po1
12- 19	F8.4	pv1
20- 27	F8.4	Percent of bus reactive load for Qo1
28- 38	F8.4	qv1
36- 43	F8.4	Percent of bus reactive load for Po2
44- 51	F8.4	pv2
52- 59	F8.4	Percent of bus reactive load for Qo2
60- 67	F8.4	qv2

If (Po1 + Po2) and/or (Qo1 + Qo2) is less than 100%, then the rest is simulated as constant.

3.4 Simulation Data Block

Different events can be simulated in sequence. Each event requires one or more records. Up to five records can be entered. This block ends with a record containing "999" in columns 1-3.

RECORD

COLUMNS	FORMAT	PARAMETER
1- 3	I3	Fault code (0, 1, 2, 3, 4, 10, 20, 30)
4- 6	I3	Fault bus 1 (if any)
7- 9	I3	Fault bus 2 (if any)
10- 12	I3	Circuit number (if any) - default is 1.
13- 20	F8.4	Fault resistance (if any)
21- 28	F8.4	Fault resistance (if any)
29- 36	F8.4	Simulation time (second)
37- 44	F8.4	Time step (second)
45- 52	F8.4	Convergence tolerance for numerical integration
53- 55	I3	Print interval (number of time steps)

Fault code:

0 - No disturbance. Requires one record.

1 - Short-circuit. Requires one record.

2 - Short-circuit on bus 1 and line switching (bus 1 - bus 2). Requires one record.

- 3 - Short-circuit on bus 1, switch-off lines (bus 1 - bus 2, circuit number) and (bus 3 -bus 4, circuit number). Buses 3 and 4 are entered in the same columns as buses 1 and 2 in a subsequent record. Thus this event requires two records. A negative integer number has to be placed in the fault code columns (1-3) in this subsequent record.
- 4 - Short-circuit on bus 1, switch-off lines (bus 1 - bus 2, circuit number), (bus 3 - bus 4, circuit number) and (bus 5 - bus 6, circuit number). Buses 3, 4, 5 and 6 are entered in the same columns as buses 1 and 2 in two subsequent records. Therefore three records are required. A negative integer number has to be placed in the fault code columns (1-3) in these two subsequent records.
- 5 - Short-circuit on bus 1, switch-off four lines. The specification of the three additional lines are entered in subsequent records following the same procedure as fault code 4.
- 6 - Short-circuit on bus 1, switch-off five lines.
- 7 - Short-circuit on bus 2, switch-off six lines.
- 10 - Short-circuit Switching-off line (bus 1 - bus 2, circuit number). Requires one record.
- 20 - Generator switching-off (not implemented yet).
- 30 - Step in the voltage reference of the voltage regulator. The percentage and signal is specified in columns (13-20).

3.5 Plotting Data Block

The first record informs the number of plots and the number of variables per plot. Up to five plots are possible. Each plot can have five variables.

RECORD # Number of plots and variables

COLUMNS	FORMAT	PARAMETER
1- 3	I3	Number of variables for plotting group 1
4- 6	I3	Number of variables for plotting group 2
7- 9	I3	Number of variables for plotting group 3
10- 12	I3	Number of variables for plotting group 4
13- 15	I3	Number of variables for plotting group 5

The subsequent records specify the variables.

RECORD # Variables

COLUMNS	FORMAT	PARAMETER
2	A1	Variable type
4- 6	I3	Bus number - NBS
8- 10	I3	Block number - BN
12-14	I3	Reference bus - NBR

Variable types:

V - Bus voltage

I - Machine current

P - Machine active power

Q - Machine reactive power

A - Angular difference between machines NBS and NBR

C - Power on the center of inertia – P_{cor}

D - Dot product to identify the PEBS

K - Kinetic energy

Z - Potential energy

T - Total energy

O - Order of integration

H - Time step

E - Machine data - block number - Machine (BN):

0	EI
1	E''_q or E'_q or E_q
2	E''_d or E'_d or E_d
3	Absolute angle
4	speed - ω
1	E_{fd}
2	P_m
3	V_{ref}
4	ω_{ref}
5	B_{ref}
6	B

R - Block Number - Regulator (BN):

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.

ข้อมูลของระบบไฟฟ้าที่ทำการศึกษา

ภาคผนวกนี้แสดงรายละเอียดของข้อมูลของระบบไฟฟ้ากำลัง IEEE 50 generators test system และระบบไฟฟ้ากำลังของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยในบริเวณภาคกลางตะวันตก และภาคใต้ โดยพารามิเตอร์ทั้งหมดของระบบไฟฟ้ากำลังทั้งสองระบบจะอยู่บนค่าฐาน 100 MVA

1 ระบบ IEEE 50 generators test system

1.1 ข้อมูลของบัส (Bus data)

รายละเอียดของระบบไฟฟ้ากำลังในตารางต่อไปนี้จะกล่าวถึง

V	แรงดันที่บัส (p.u.)
δ	มุมของแรงดันที่บัส (องศา)
P_g	กำลังไฟฟ้าแอกทีฟที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าผลิต (MW)
Q_g	กำลังไฟฟารีแอกทีฟที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าผลิต (MVAR)
P_c	กำลังไฟฟ้าแอกทีฟของโหลด (MW)
Q_c	กำลังไฟฟารีแอกทีฟของโหลด (MVAR)
G	ตัวต้านทานขนาน หรือความต้านทานของรีแอกแตนซ์ (p.u.)
B	ตัวเก็บประจุขนาน (+) หรือ รีแอกแตนซ์ขนาน (-)(p.u.)

ตารางที่ ข.1 ข้อมูลบัสของระบบไฟฟ้า IEEE 50 generators test system

Bus	V	δ	P_g	Q_g	P_c	Q_c	G	B
1	1.08100	-4.320	0.000	0.000	0.000	0.000	0.0000	0.0000
2	1.08090	-4.390	0.000	0.000	0.000	0.000	0.0000	0.0000
3	1.10150	-4.020	0.000	0.000	0.000	0.000	0.0000	0.0000
4	1.10150	-4.020	0.000	0.000	0.000	0.000	-1.2600	0.0000
5	1.10180	-4.020	0.000	0.000	0.000	0.000	-1.2600	0.0000
6	1.04330	-7.840	0.000	0.000	0.000	0.000	-1.2600	0.0000
7	1.07630	3.210	0.000	0.000	0.000	0.000	0.0000	0.0000
8	1.11370	1.150	0.000	0.000	0.000	0.000	0.0000	0.0000
9	1.03960	-8.050	0.000	0.000	0.000	0.000	0.0000	0.0000
10	1.03960	-8.050	0.000	0.000	0.000	0.000	0.0000	0.0000
11	1.09370	-10.660	0.000	0.000	0.000	0.000	0.0000	0.0000
12	1.03890	-8.770	0.000	0.000	0.000	0.000	0.0000	0.0000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.1 (ต่อ)

Bus	V	δ	P_g	Q_g	P_c	Q_c	G	B
13	1.09820	-11.430	0.000	0.000	0.000	0.000	0.0000	0.0000
14	1.03850	-9.180	0.000	0.000	0.000	0.000	0.0000	0.0000
15	1.06830	-9.810	0.000	0.000	0.000	0.000	-1.2600	0.0000
16	1.06860	-9.860	0.000	0.000	0.000	0.000	-1.2600	0.0000
17	1.00120	-9.440	0.000	0.000	0.000	0.000	-2.5000	0.0000
18	1.07460	-10.880	0.000	0.000	0.000	0.000	-1.2600	0.0000
19	1.07080	-10.960	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.5800	0.0000
20	1.11310	-10.960	0.000	0.000	0.000	0.000	0.0000	0.0000
21	1.10860	-11.240	0.000	0.000	0.000	0.000	0.0000	0.0000
22	1.03110	-3.880	0.000	0.000	0.000	0.000	0.0000	0.0000
23	1.09790	-5.510	0.000	0.000	0.000	0.000	0.0000	0.0000
24	1.02720	2.300	0.000	0.000	0.000	0.000	0.0000	0.0000
25	1.03800	-9.870	0.000	0.000	0.000	0.000	0.0000	0.0000
26	1.08940	-11.370	0.000	0.000	0.000	0.000	0.0000	0.0000
27	1.03890	-13.070	0.000	0.000	0.000	0.000	0.0000	0.0000
28	1.07620	-15.280	0.000	0.000	0.000	0.000	-1.2600	0.0000
29	1.07460	-15.440	0.000	0.000	0.000	0.000	-1.2600	0.0000
30	1.07310	-5.350	0.000	0.000	0.000	0.000	0.0000	0.0000
31	1.09050	-11.810	0.000	0.000	0.000	0.000	0.0000	0.0000
32	1.09370	-10.660	0.000	0.000	0.000	0.000	0.0000	0.0000
33	1.13920	-4.060	0.000	0.000	0.000	0.000	0.0000	0.0000
34	1.13870	-4.000	0.000	0.000	45.050	46.560	0.0000	0.0000
35	1.13900	-4.080	0.000	0.000	49.190	27.530	0.0000	0.0000
36	1.13850	-3.820	0.000	0.000	0.000	0.000	0.0000	0.0000
37	1.12350	-6.230	0.000	0.000	0.000	0.000	0.0000	0.0000
38	1.13060	-5.290	0.000	0.000	0.000	0.000	0.0000	0.0000
39	1.12700	-7.920	0.000	0.000	0.000	0.000	0.0000	0.0000
40	1.12690	-7.920	0.000	0.000	0.000	0.000	0.0000	0.0000
41	1.11880	-10.430	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.1000	0.5400
42	1.11880	-10.450	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.1000	0.5480
43	1.11890	-10.400	0.000	0.000	0.000	0.000	0.0000	0.0000
44	1.11890	-10.420	0.000	0.000	0.000	0.000	0.0000	0.0000
45	1.11730	-11.410	0.000	0.000	0.000	0.000	0.0000	0.0000
46	1.11730	-11.410	0.000	0.000	0.000	0.000	0.0000	0.0000
47	1.12750	-6.730	0.000	0.000	0.000	0.000	0.0537	0.1520
48	1.12780	-6.710	0.000	0.000	0.000	0.000	0.5200	0.1380

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.1 (ต่อ)

Bus	V	δ	P_g	Q_g	P_c	Q_c	G	B
49	1.12790	-6.700	0.000	0.000	0.000	0.000	0.0000	0.0000
50	1.12760	-6.720	0.000	0.000	0.000	0.000	0.0000	0.0000
51	1.11240	-10.160	0.000	0.000	58.450	28.440	0.0000	0.0000
52	1.11180	-11.130	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.0970	0.2300
53	1.11180	-11.130	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.0970	0.2300
54	1.11310	-11.790	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.0930	0.1880
55	1.11310	-11.790	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.0920	0.1870
56	1.10720	-9.940	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.0750	0.1860
57	1.10720	-9.940	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.0700	0.1880
58	1.10670	-9.760	0.000	0.000	76.300	-10.800	1.4000	1.2100
59	1.11650	-10.840	0.000	0.000	0.000	0.000	0.0863	5.0800
60	1.13700	-6.370	51.000	32.920	0.000	0.000	1.6500	2.0100
61	1.11440	-11.890	0.000	0.000	0.000	0.000	1.4900	0.0000
62	1.05660	-14.470	0.000	0.000	0.000	0.000	0.0000	0.0000
63	1.11090	-13.980	0.000	0.000	0.000	0.000	5.2500	8.2300
64	1.09800	-9.290	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.2600	1.2300
65	1.09800	-9.290	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.2600	1.2400
66	1.11290	1.320	0.000	0.000	102.200	26.700	18.9700	2.1600
67	1.09000	-5.660	1,486.000	285.200	0.000	0.000	12.8000	18.2100
68	1.20860	-30.990	0.000	0.000	0.000	-7.410	-0.2500	0.5630
69	1.09680	-10.420	0.000	0.000	0.000	0.000	-1.4400	9.7100
70	0.99980	-14.170	0.000	0.000	0.000	56.630	-0.8600	1.0300
71	1.02750	-14.260	0.000	0.000	0.000	-21.200	-1.2200	1.0600
72	1.10070	-11.190	0.000	0.000	0.000	0.000	0.2400	10.1900
73	1.09750	-11.060	0.000	0.000	0.000	0.000	8.4100	12.2200
74	1.09730	-11.460	0.000	0.000	81.900	43.700	5.7400	8.5700
75	1.11790	-15.190	0.000	0.000	0.000	0.000	1.9900	3.8700
76	1.02090	5.540	0.000	0.000	0.000	0.000	-1.8500	-6.6700
77	0.98800	6.720	0.000	0.000	0.000	0.000	-1.2500	0.0000
78	1.07400	-5.190	0.000	0.000	89.000	26.800	0.0000	0.0000
79	1.05200	-9.510	250.200	-15.950	9.100	3.000	0.2710	2.3800
80	1.06900	-8.210	47.000	-15.060	17.100	5.000	2.9900	-0.0008
81	1.13040	-25.860	0.000	0.000	82.200	-93.100	-0.4700	0.7000
82	0.97500	-18.660	70.000	17.150	2.100	1.100	-0.2800	1.1100
83	1.09850	-5.380	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.0042	1.0500
84	1.11560	-9.440	0.000	0.000	24.300	8.200	0.0000	0.0000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.1 (ต่อ)

Bus	V	δ	P_g	Q_g	P_c	Q_c	G	B
85	1.11650	-13.050	0.000	0.000	27.400	0.300	0.0000	0.0000
86	1.05670	-14.010	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.2200	2.9200
87	1.06520	-7.170	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.4700	0.3770
88	1.10940	-8.350	0.000	0.000	69.000	20.900	0.0000	0.0000
89	1.06600	3.680	673.000	136.390	0.600	0.200	0.7110	6.7800
90	0.95000	-7.350	22.000	-3.870	4.600	1.500	-0.1900	0.2950
91	1.00000	-9.280	64.000	-1.540	0.000	0.000	-0.2700	0.1930
92	0.95610	-12.750	0.000	0.000	0.000	31.020	-0.4300	0.4340
93	1.00000	-1.920	700.000	373.810	100.400	73.200	0.0000	0.0000
94	1.02000	-0.740	300.000	19.050	15.400	7.600	-1.4100	1.4000
95	0.92000	18.880	131.000	10.120	6.700	2.200	-0.5800	0.2720
96	1.00000	-8.980	60.000	21.110	0.000	0.000	-0.4500	0.4780
97	0.96700	-4.340	140.000	45.630	0.000	0.000	-1.7700	1.2900
98	0.97000	5.190	426.000	-32.730	0.000	0.000	-1.2100	0.8210
99	1.00000	1.100	200.000	-8.360	10.460	5.230	0.0000	0.0000
100	1.01400	0.700	170.000	58.720	0.000	0.000	-1.0100	0.5910
101	1.03900	-6.090	310.900	148.660	17.800	4.500	-2.3800	0.6470
102	1.01900	-4.760	2,040.000	488.900	37.600	9.200	-6.1900	4.5800
103	1.00000	1.510	135.000	4.960	0.000	0.000	-0.4500	0.6240
104	1.00590	13.680	2,000.000	500.000	30.200	7.600	0.0000	0.0000
105	1.00700	-2.800	1,620.000	388.340	96.000	167.400	-9.9900	0.2420
106	1.00500	-2.750	1,080.000	209.360	64.000	16.000	-7.1900	0.3690
107	1.02110	-13.570	0.000	0.000	-17.500	-12.800	-0.2200	0.2880
108	1.01400	-14.030	800.000	77.280	0.000	0.000	-2.4400	5.2000
109	0.91500	-18.460	52.000	-15.550	0.000	0.000	-0.4700	0.8450
110	1.00000	-1.310	700.000	519.840	100.400	73.200	0.0000	0.0000
111	1.00000	7.970	2,000.000	563.720	60.400	1,166.000	-9.9900	0.2330
112	1.03700	-6.260	300.000	140.110	18.600	4.600	-2.3600	0.6430
113	0.97800	-4.390	0.000	0.000	0.000	0.000	0.0000	0.0000
114	0.97800	-4.390	0.000	0.000	0.000	0.000	0.0000	0.0000
115	1.04900	-15.610	2,493.000	142.720	683.500	184.700	0.0941	28.5600
116	1.04300	-16.860	2,713.000	631.840	792.600	315.500	-1.9500	19.3000
117	1.03000	-15.320	2,627.000	258.540	485.300	71.400	-0.5400	24.1000
118	1.01000	-17.790	4,220.000	660.380	651.900	328.400	-9.7900	47.8800
119	1.01300	-59.410	8,954.000	4,748.480	2,094.000	3,774.000	-9.9900	99.9900
120	1.03310	-51.600	0.000	0.000	-408.000	175.100	8.5500	20.2600

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.1 (ต่อ)

Bus	V	δ	P_r	Q_r	P_c	Q_c	G	B
121	1.04600	-20.200	2,997.000	-160.220	237.700	-17.300	10.5500	3.0600
122	1.00000	-2.790	1,009.000	174.040	29.200	7.000	-0.6100	3.9700
123	1.01710	-33.120	0.000	0.000	-84.000	-19.000	0.0140	1.1800
124	1.00000	-1.890	3,005.000	569.190	94.100	780.300	-9.9900	7.6600
125	1.00840	-32.590	0.000	0.000	-712.000	-319.000	-0.7100	28.3100
126	1.05240	-73.900	0.000	0.000	-333.000	-160.000	3.4700	16.0400
127	1.00700	-36.400	0.000	0.000	-546.000	-72.000	-0.5400	3.0500
128	1.02500	-39.710	12,963.000	2,610.820	4,075.000	703.500	-4.7200	52.5200
129	0.98020	-73.070	0.000	0.000	-482.000	-122.000	3.8700	38.5500
130	1.05700	-51.870	5,937.000	1,834.960	4,328.000	944.300	-0.9100	38.3000
131	1.04200	-24.320	28,300.000	7,473.040	21,840.000	4,320.000	-7.8000	51.4500
132	1.04200	-7.240	3,095.000	633.420	491.900	110.200	-2.2600	12.3900
133	1.09220	-11.600	0.000	0.000	-83.000	-36.300	-0.0590	1.0300
134	1.04400	-10.820	20,626.000	7,402.140	22,309.000	7,402.000	-0.7800	-1.4100
135	1.10700	29.040	5,982.000	1,564.840	4,298.000	1,264.000	8.3500	-9.9900
136	1.08300	4.390	51,950.000	14,453.500	52,951.000	13,552.000	3.7500	-9.9900
137	1.06400	-72.730	12,068.000	3,450.760	12,946.000	2,608.000	-2.1900	4.9900
138	1.11380	12.010	0.000	0.000	-363.000	-188.000	-0.8100	4.3300
139	1.04000	-10.560	56,834.000	15,849.650	57,718.000	13,936.000	-9.9900	16.0900
140	1.05000	-26.160	23,123.000	6,710.470	24,775.000	6,676.000	-0.7700	-2.8900
141	1.05300	-9.120	37,911.000	11,669.520	32,799.000	11,361.000	-9.9900	52.1200
142	1.15500	-10.730	24,449.000	5,496.120	17,737.000	3,934.000	22.1000	43.2300
143	1.03100	-13.660	5,254.000	2,158.630	4,672.000	1,709.000	-9.9900	5.8600
144	0.99700	-8.580	11,397.000	2,686.850	9,602.000	2,203.000	-9.9900	-4.3600
145	1.05200	5.020	14,118.620	2,987.150	9,173.000	1,555.000	4.5700	-9.9900

ข.1.2 ข้อมูลของสายส่ง (Branch data)

รายละเอียดของระบบ ไฟฟ้ากำลังในตารางต่อไปนี้จะกล่าวถึง

From จากบัสหมายเลข

To ไปยังบัสหมายเลข

R ความต้านทานของสายส่ง หรือหม้อแปลงไฟฟ้า

X รีแอกแตนซ์ของสายส่ง หรือหม้อแปลงไฟฟ้า

B กำลังอัดประจุสาย

Tap แท็ปของหม้อแปลงไฟฟ้า

Circuit วงจรที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.2 ข้อมูลของสายส่งของระบบไฟฟ้า IEEE 50 generators test system

From	To	R	X	B	Tap	Circuit
1	2	0.00003	0.00080	0.03160	1.000	1
1	2	0.00003	0.00080	0.03160	1.000	2
1	3	-0.00900	-0.17180	0.00000	0.935	1
1	4	-0.00900	-0.17180	0.00000	0.935	1
1	5	-0.00890	-0.16970	0.00000	0.935	1
1	6	0.00194	0.02090	1.18960	1.000	1
1	33	0.00010	0.00600	0.00000	0.935	1
1	93	0.00020	0.01380	0.00000	1.103	1
1	93	0.00020	0.01380	0.00000	1.103	2
2	6	0.00194	0.02090	1.18960	1.000	1
2	113	0.00000	0.01480	0.00000	1.105	1
2	114	0.00018	0.01450	0.00000	1.105	1
3	33	0.00020	0.02210	0.00000	1.000	1
4	33	0.00020	0.02210	0.00000	1.000	1
5	33	0.00020	0.02190	0.00000	1.000	1
6	7	0.00129	0.01390	0.73260	1.000	1
6	9	0.00016	0.00170	0.08760	1.000	1
6	10	0.00016	0.00170	0.08760	1.000	1
6	12	0.00020	0.00210	0.43880	1.000	1
6	12	0.00020	0.00210	0.43880	1.000	2
7	8	-0.01120	-0.15160	0.00000	0.971	1
7	66	0.00015	0.00970	0.00000	0.971	1
7	104	0.00036	0.01900	0.00000	1.105	1
7	104	0.00041	0.01740	0.00000	1.105	2
8	66	0.00020	0.02990	0.00000	1.000	1
8	66	0.00020	0.02210	0.00000	1.000	2
9	11	-0.02170	-0.30620	0.00000	0.916	1
9	69	0.00040	0.01880	0.00000	0.916	1
10	32	-0.02700	-0.30410	0.00000	0.916	1
10	69	0.00040	0.01870	0.00000	0.916	1
11	69	0.00020	0.02620	0.00000	1.000	1
12	13	-0.02230	-0.30990	0.00000	0.916	1
12	13	-0.02370	-0.31600	0.00000	0.916	2
12	13	-0.02370	-0.31600	0.00000	0.916	3
12	14	0.00096	0.00910	0.42780	1.000	1
12	14	0.00096	0.00910	0.42780	1.000	2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.2 (ต่อ)

From	To	R	X	B	Tap	Circuit
12	25	0.00051	0.00550	0.31250	1.000	1
12	25	0.00051	0.00550	0.31250	1.000	2
12	72	0.00030	0.01890	0.00000	0.916	1
12	72	0.00030	0.01900	0.00000	0.916	2
12	72	0.00030	0.01900	0.00000	0.916	3
13	72	0.00020	0.02600	0.00000	1.000	1
13	72	0.00030	0.02620	0.00000	1.000	2
13	72	0.00020	0.02600	0.00000	1.000	3
14	15	-0.04150	-0.39960	0.00000	0.916	1
14	16	-0.01000	-0.16690	0.00000	0.916	1
14	17	0.00339	0.03670	1.72910	1.000	1
14	17	0.00352	0.03670	1.72580	1.000	2
14	58	0.00020	0.00970	0.00000	0.916	1
15	58	0.00020	0.02550	0.00000	1.000	1
16	58	0.00020	0.02200	0.00000	1.000	1
17	18	-0.31810	-1.31500	0.00000	0.870	1
17	19	0.00000	-0.84700	0.00000	0.863	1
17	20	0.00000	-0.86760	0.00000	0.863	1
17	21	-0.00950	-0.16150	0.00000	0.870	1
17	22	0.00228	0.02760	1.31020	1.000	1
17	59	0.00010	0.00710	0.00000	0.870	1
18	59	0.00020	0.02980	0.00000	1.000	1
19	59	0.00000	0.06290	0.00000	1.000	1
20	59	0.00000	0.06380	0.00000	1.000	1
21	59	0.00020	0.03290	0.00000	1.000	1
22	23	0.00000	-0.37870	0.00000	0.932	1
22	24	0.00173	0.02080	0.98240	1.000	1
22	30	0.00000	-0.30660	0.00000	0.953	1
22	78	0.00000	0.02680	0.00000	0.953	1
22	83	0.00000	0.03490	0.00000	0.932	1
23	83	0.00040	0.05950	0.00000	1.000	1
23	83	0.00030	0.05970	0.00000	1.000	2
24	76	0.00020	0.00880	0.00000	0.989	1
24	77	-0.00230	-0.06030	0.00000	0.989	1
25	26	-0.00600	-0.13750	0.00000	0.916	1
25	27	0.00230	0.02660	1.52540	1.000	1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.2 (ต่อ)

From	To	R	X	B	Tap	Circuit
25	27	0.00230	0.02660	1.52540	1.000	2
25	31	-0.00820	-0.16480	0.00000	0.916	1
25	73	0.00030	0.01720	0.00000	0.916	1
25	74	0.00040	0.01790	0.00000	0.916	1
26	73	0.00030	0.02670	0.00000	1.000	1
27	28	-0.11530	-0.74530	0.00000	0.907	1
27	29	-0.01630	-0.26180	0.00000	0.907	1
27	75	0.00016	0.01000	0.00000	0.907	1
28	75	0.00020	0.02900	0.00000	1.000	1
29	75	0.00020	0.02690	0.00000	1.000	1
30	78	0.00000	0.03350	0.00000	1.000	1
31	74	0.00030	0.02790	0.00000	1.000	1
32	69	0.00020	0.02650	0.00000	1.000	1
33	34	0.00006	0.00090	0.00030	1.000	1
33	35	0.00006	0.00090	0.00030	1.000	1
33	37	0.00996	0.07070	0.05580	1.000	1
33	38	0.00995	0.06930	0.05550	1.000	1
33	39	0.00850	0.06990	0.05030	1.000	1
33	40	0.00849	0.06980	0.05020	1.000	1
33	49	0.00560	0.04930	0.03890	1.000	1
33	50	0.00560	0.04930	0.03890	1.000	1
33	110	0.00024	0.01570	0.00000	1.180	1
33	110	0.00023	0.01560	0.00000	1.180	2
34	36	0.00025	0.00220	0.00030	1.000	1
36	99	0.00080	0.04550	0.00000	1.129	1
37	87	0.00093	0.04420	0.00000	1.050	1
37	88	0.00310	0.16510	0.00000	1.000	1
38	88	0.00310	0.16380	0.00000	1.000	1
39	43	0.00602	0.04950	0.03560	1.000	1
39	84	0.00722	0.27860	0.00000	1.000	1
40	44	0.00603	0.04960	0.03570	1.000	1
40	84	0.00729	0.27560	0.00000	1.000	1
41	42	0.00050	0.15140	0.00000	1.000	1
41	43	0.00001	0.00090	0.00030	1.000	1
42	44	0.00001	0.00090	0.00030	1.000	1
43	46	0.00618	0.05080	0.03660	1.000	1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.2 (ต่อ)

From	To	R	X	B	Tap	Circuit
44	45	0.00618	0.05080	0.03660	1.000	1
45	61	0.00445	0.03660	0.02630	1.000	1
45	85	0.00000	0.26000	0.00000	1.000	1
46	61	0.00445	0.03660	0.02630	1.000	1
46	85	0.00000	0.25920	0.00000	1.000	1
47	48	-0.01000	0.23060	0.00000	1.000	1
47	50	0.00001	0.00090	0.00030	1.000	1
47	87	0.08310	0.40100	0.00000	1.000	1
48	49	0.00001	0.00090	0.00030	1.000	1
48	87	0.09980	0.43600	0.00000	1.000	1
49	51	0.00898	0.07900	0.06240	1.000	1
50	51	0.00898	0.07900	0.06240	1.000	1
51	52	0.00290	0.02790	0.02330	1.000	1
51	53	0.00290	0.02790	0.02330	1.000	1
51	56	0.00759	0.04830	0.03560	1.000	1
51	57	0.00759	0.04830	0.03560	1.000	1
52	53	-0.00670	0.39110	0.00000	1.000	1
52	54	0.00470	0.02930	0.02310	1.000	1
53	55	0.00470	0.02930	0.02310	1.000	1
54	55	-0.05530	0.92890	0.00000	1.000	1
54	61	0.00141	0.00870	0.00690	1.000	1
55	61	0.00141	0.00870	0.00690	1.000	1
56	57	-0.00900	0.38950	0.00000	1.000	1
56	58	0.00190	0.01200	0.00890	1.000	1
57	58	0.00190	0.01200	0.00890	1.000	1
58	59	0.66740	2.21750	0.00000	1.000	1
58	72	0.03020	0.23640	0.00000	1.000	1
58	87	0.08630	0.39060	0.00000	1.000	1
58	98	0.01310	0.17650	0.00000	1.000	1
58	100	0.11930	1.26900	0.00000	1.000	1
58	103	0.84160	5.53830	0.00000	1.000	1
59	60	-0.18030	5.96590	0.00000	1.000	1
59	72	0.86130	3.04850	0.00000	1.000	1
59	79	0.00990	0.26440	0.00000	1.000	1
59	80	0.28760	2.38980	0.00000	1.000	1
59	89	0.34210	9.05710	0.00000	1.000	1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.2 (ต่อ)

From	To	R	X	B	Tap	Circuit
59	92	-0.00700	0.56780	0.00000	1.000	1
59	94	0.70410	5.98850	0.00000	1.000	1
59	98	0.10600	0.58450	0.00000	1.000	1
59	100	0.01830	0.20160	0.00000	1.000	1
59	103	0.03680	0.33410	0.00000	1.000	1
59	107	0.03720	0.88340	0.00000	1.000	1
60	135	-1.83100	9.79640	0.00000	1.000	1
60	79	-0.03750	1.10680	0.00000	1.000	1
60	80	0.06550	2.64410	0.00000	1.000	1
60	90	-0.02010	1.51350	0.00000	1.000	1
60	92	-0.26400	3.71390	0.00000	1.000	1
60	94	0.00120	0.07750	0.00000	1.000	1
60	95	-0.08550	0.99260	0.00000	1.000	1
60	138	-0.36390	1.79360	0.00000	1.000	1
61	62	-0.03620	-0.26080	0.00000	1.050	1
61	62	-0.04720	-0.54380	0.00000	1.050	2
61	63	0.00812	0.07820	0.06590	1.000	1
61	63	0.00812	0.07820	0.06590	1.000	2
61	64	0.00242	0.03180	0.02840	1.000	1
61	65	0.00242	0.03180	0.02840	1.000	1
61	86	0.00132	0.03200	0.00000	1.050	1
61	86	0.00110	0.03700	0.00000	1.050	2
61	86	0.00110	0.03700	0.00000	1.050	3
62	86	0.00360	0.05010	0.00000	1.000	1
62	86	0.00130	0.08380	0.00000	1.000	2
63	64	0.01470	0.28250	0.00000	1.000	1
63	65	0.01470	0.28130	0.00000	1.000	1
63	66	0.00560	0.09000	0.00000	1.000	1
63	67	0.03210	0.27850	0.00000	1.000	1
63	69	0.01070	0.15710	0.00000	1.000	1
63	102	0.01060	0.15830	0.00000	1.000	1
63	102	0.01060	0.15760	0.00000	1.000	2
63	102	0.01070	0.16040	0.00000	1.000	3
63	102	0.01040	0.15420	0.00000	1.000	4
63	116	-0.38970	6.85880	0.00000	1.000	1
63	117	0.00300	0.05600	0.00000	1.000	1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.2 (ต่อ)

From	To	R	X	B	Tap	Circuit
63	118	-0.01250	0.24250	0.00000	1.000	1
63	124	-0.12650	2.02200	0.00000	1.000	1
64	65	0.00130	0.16740	0.00000	1.000	1
64	66	0.00390	0.06840	0.00000	1.000	1
64	67	0.02330	0.21200	0.00000	1.000	1
64	69	0.00750	0.11960	0.00000	1.000	1
64	97	-0.43360	8.29230	0.00000	1.000	1
64	124	-0.10410	1.53750	0.00000	1.000	1
65	66	0.00390	0.06820	0.00000	1.000	1
65	67	0.02330	0.21110	0.00000	1.000	1
65	69	0.00750	0.11910	0.00000	1.000	1
65	97	-0.42920	8.25820	0.00000	1.000	1
65	124	-0.10320	1.53120	0.00000	1.000	1
66	67	0.00810	0.06750	0.00000	1.000	1
66	68	-2.47300	2.47200	0.00000	1.000	1
66	69	0.00280	0.03810	0.00000	1.000	1
66	97	-0.11190	2.64320	0.00000	1.000	1
66	111	0.00000	0.02640	0.00000	1.000	1
66	111	0.00057	0.02660	0.00000	1.000	2
66	111	0.00000	0.02730	0.00000	1.000	3
66	111	0.00057	0.02640	0.00000	1.000	4
66	124	-0.02830	0.49020	0.00000	1.000	1
67	68	-3.44300	3.71720	0.00000	1.000	1
67	69	0.00610	0.05500	0.00000	1.000	1
67	97	0.00630	0.11660	0.00000	1.000	1
67	119	-0.22130	9.39180	0.00000	1.000	1
67	120	-0.00340	1.78470	0.00000	1.000	1
67	121	0.00820	1.17000	0.00000	1.000	1
67	122	-0.00470	0.44730	0.00000	1.000	1
67	124	0.00030	0.00650	0.00000	1.000	1
67	125	0.00620	0.25190	0.00000	1.000	1
67	132	-0.31940	4.35660	0.00000	1.000	1
68	69	-0.69200	0.69840	0.00000	1.000	1
69	70	0.00850	0.33330	0.00000	1.000	1
69	71	0.00750	0.31200	0.00000	1.000	1
69	72	0.00130	0.01000	0.00000	1.000	1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.2 (ต่อ)

From	To	R	X	B	Tap	Circuit
69	73	0.00980	0.07470	0.00000	1.000	1
69	74	0.01350	0.07410	0.00000	1.000	1
69	97	-0.06740	1.58490	0.00000	1.000	1
69	101	0.01740	0.21880	0.00000	1.000	1
69	112	0.01750	0.22010	0.00000	1.000	1
69	124	-0.02670	0.39860	0.00000	1.000	1
70	71	-0.48910	2.66130	0.00000	1.000	1
70	72	-0.00620	0.12160	0.00000	1.000	1
70	73	-0.04240	0.91250	0.00000	1.000	1
70	74	0.00320	0.91380	0.00000	1.000	1
70	101	-0.12480	1.04090	0.00000	1.000	1
70	112	-0.12570	1.04710	0.00000	1.000	1
71	72	-0.00600	0.11380	0.00000	1.000	1
71	73	-0.04090	0.85410	0.00000	1.000	1
71	74	0.00180	0.85530	0.00000	1.000	1
71	101	-0.15920	1.23030	0.00000	1.000	1
71	112	-0.16030	1.23770	0.00000	1.000	1
72	73	0.00150	0.02750	0.00000	1.000	1
72	74	0.00280	0.02740	0.00000	1.000	1
72	98	0.01380	0.24170	0.00000	1.000	1
72	100	0.13370	1.73840	0.00000	1.000	1
72	101	0.00020	0.08020	0.00000	1.000	1
72	103	1.02240	7.59450	0.00000	1.000	1
72	112	0.00020	0.08060	0.00000	1.000	1
73	74	-0.00070	0.03930	0.00000	1.000	1
73	75	0.01470	0.25810	0.00000	1.000	1
73	81	-0.01220	0.30680	0.00000	1.000	1
73	82	0.00360	2.01690	0.00000	1.000	1
73	91	0.02710	0.57320	0.00000	1.000	1
73	96	0.02450	0.48050	0.00000	1.000	1
73	101	0.00440	0.60140	0.00000	1.000	1
73	105	0.00070	0.03250	0.00000	1.000	1
73	105	0.00070	0.03250	0.00000	1.000	2
73	105	0.00060	0.02950	0.00000	1.000	3
73	108	-0.01820	0.58320	0.00000	1.000	1
73	109	0.05240	3.00590	0.00000	1.000	1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.2 (ต่อ)

From	To	R	X	B	Tap	Circuit
73	112	0.00430	0.60500	0.00000	1.000	1
73	121	-0.02680	1.76530	0.00000	1.000	1
74	75	0.02150	0.32770	0.00000	1.000	1
74	81	-0.03330	0.46310	0.00000	1.000	1
74	82	-0.00980	1.98590	0.00000	1.000	1
74	91	0.04130	0.75110	0.00000	1.000	1
74	96	0.43500	7.69010	0.00000	1.000	1
74	101	0.03440	0.60050	0.00000	1.000	1
74	106	0.00300	0.03350	0.00000	1.000	1
74	106	0.00050	0.03280	0.00000	1.000	2
74	108	-0.01870	0.45440	0.00000	1.000	1
74	109	0.10040	3.46970	0.00000	1.000	1
74	112	0.03450	0.60420	0.00000	1.000	1
74	121	-0.03480	1.37570	0.00000	1.000	1
75	82	-0.07770	1.12500	0.00000	1.000	1
75	91	-0.22550	3.14420	0.00000	1.000	1
75	96	-0.45160	4.63100	0.00000	1.000	1
75	108	0.00420	0.10490	0.00000	1.000	1
75	109	0.10460	1.44650	0.00000	1.000	1
75	121	0.01780	0.31720	0.00000	1.000	1
76	77	0.00020	0.01600	0.00000	1.000	1
76	89	0.00110	0.02210	0.00000	1.000	1
79	80	0.04400	0.09910	0.00000	1.000	1
79	90	0.05060	2.47100	0.00000	1.000	1
79	92	0.00170	0.30320	0.00000	1.000	1
79	94	0.12750	1.11950	0.00000	1.000	1
79	95	0.30500	6.41540	0.00000	1.000	1
79	107	0.07860	1.41400	0.00000	1.000	1
80	90	0.46580	5.87560	0.00000	1.000	1
80	92	0.11920	1.50530	0.00000	1.000	1
80	94	0.46000	2.64750	0.00000	1.000	1
82	91	-0.23490	2.41880	0.00000	1.000	1
82	108	-0.07420	0.72780	0.00000	1.000	1
82	109	-0.00710	0.26340	0.00000	1.000	1
82	121	-0.18920	2.20540	0.00000	1.000	1
83	89	0.05820	0.38550	0.00000	1.000	1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.2 (ต่อ)

From	To	R	X	B	Tap	Circuit
89	103	-1.07300	4.14330	0.00000	1.000	1
90	92	-0.13800	8.29590	0.00000	1.000	1
90	94	0.06890	1.07170	0.00000	1.000	1
91	96	-0.12240	4.24630	0.00000	1.000	1
91	108	-0.10780	0.69940	0.00000	1.000	1
91	109	-0.26990	4.26340	0.00000	1.000	1
91	121	-0.29240	2.12100	0.00000	1.000	1
92	94	0.28830	3.77170	0.00000	1.000	1
92	107	0.01760	3.02270	0.00000	1.000	1
94	95	0.05340	0.99600	0.00000	1.000	1
94	138	-0.11250	1.83850	0.00000	1.000	1
95	138	-0.07320	0.63890	0.00000	1.000	1
96	108	-0.82150	6.11430	0.00000	1.000	1
97	124	-0.37930	1.95570	0.00000	1.000	1
98	100	-0.00630	0.32690	0.00000	1.000	1
98	103	0.05440	1.43580	0.00000	1.000	1
100	103	-0.02490	0.48910	0.00000	1.000	1
101	112	-0.01380	0.36100	0.00000	1.000	1
102	117	-0.00030	0.01900	0.00000	1.000	1
102	118	-0.02670	0.32220	0.00000	1.000	1
108	109	-0.08250	1.27130	0.00000	1.000	1
108	121	-0.00090	0.04310	0.00000	1.000	1
109	121	-0.18810	3.84990	0.00000	1.000	1
115	116	0.00080	0.02910	0.00000	1.000	1
115	117	-0.00920	0.22220	0.00000	1.000	1
115	118	-0.00440	0.06770	0.00000	1.000	1
115	143	-0.10170	0.49240	0.00000	1.000	1
116	117	0.00191	0.02880	0.00000	1.000	1
116	118	-0.00100	0.04400	0.00000	1.000	1
116	143	-0.21870	1.28960	0.00000	1.000	1
117	118	0.00080	0.00810	0.00000	1.000	1
117	143	-0.08340	0.68540	0.00000	1.000	1
118	131	-0.89250	6.23850	0.00000	1.000	1
118	132	-0.69670	8.14300	0.00000	1.000	1
118	143	-0.00110	0.02310	0.00000	1.000	1
119	120	0.00100	0.02360	0.00000	1.000	1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.2 (ต่อ)

From	To	R	X	B	Tap	Circuit
119	121	-0.01100	0.29010	0.00000	1.000	1
119	122	-0.60130	5.89410	0.00000	1.000	1
119	124	-0.26180	3.39400	0.00000	1.000	1
119	125	-0.00820	0.25950	0.00000	1.000	1
119	126	0.00153	0.01790	0.00000	1.000	1
119	127	-0.11720	1.39320	0.00000	1.000	1
119	128	-0.00540	0.05160	0.00000	1.000	1
119	129	0.00340	0.06420	0.00000	1.000	1
119	130	-0.00220	0.01630	0.00000	1.000	1
119	131	-0.00440	0.02420	0.00000	1.000	1
119	132	-0.41370	2.40270	0.00000	1.000	1
119	144	-0.85110	3.83580	0.00000	1.000	1
120	121	0.00090	0.07790	0.00000	1.000	1
120	122	-0.06100	0.93050	0.00000	1.000	1
120	123	-0.04660	0.50110	0.00000	1.000	1
120	124	-0.02590	0.47220	0.00000	1.000	1
120	125	-0.00020	0.05550	0.00000	1.000	1
120	127	0.00200	0.18180	0.00000	1.000	1
120	128	-0.00290	0.07430	0.00000	1.000	1
120	129	-0.02290	0.49110	0.00000	1.000	1
120	130	-0.16740	1.06750	0.00000	1.000	1
120	131	-0.06870	0.45160	0.00000	1.000	1
120	132	-0.02550	0.45660	0.00000	1.000	1
121	122	-0.01080	0.48300	0.00000	1.000	1
121	123	-0.17120	1.94820	0.00000	1.000	1
121	124	-0.00600	0.34940	0.00000	1.000	1
121	125	0.00000	0.01240	0.00000	1.000	1
121	127	-0.02040	0.83380	0.00000	1.000	1
121	128	-0.02780	0.30950	0.00000	1.000	1
121	129	-0.45450	4.25400	0.00000	1.000	1
121	131	-0.21830	1.50660	0.00000	1.000	1
121	132	-0.13080	1.38150	0.00000	1.000	1
122	123	-0.58400	4.86090	0.00000	1.000	1
122	124	-0.00090	0.05520	0.00000	1.000	1
122	125	-0.00690	0.15830	0.00000	1.000	1
122	131	-0.24330	1.93500	0.00000	1.000	1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.2 (ต่อ)

From	To	R	X	B	Tap	Circuit
122	132	-0.01870	0.25720	0.00000	1.000	1
122	133	-0.09800	0.98210	0.00000	1.000	1
122	143	-0.03120	0.48880	0.00000	1.000	1
123	124	-0.22300	1.96700	0.00000	1.000	1
123	125	-0.08210	0.60620	0.00000	1.000	1
123	131	-0.17830	1.25350	0.00000	1.000	1
123	132	-0.13550	1.20410	0.00000	1.000	1
124	125	-0.00170	0.09490	0.00000	1.000	1
124	128	-1.15300	8.25130	0.00000	1.000	1
124	131	-0.10620	0.81850	0.00000	1.000	1
124	132	-0.00940	0.16120	0.00000	1.000	1
124	133	-0.03420	1.17980	0.00000	1.000	1
124	143	-0.00780	0.76070	0.00000	1.000	1
125	127	-0.07910	0.98510	0.00000	1.000	1
125	128	-0.06200	0.59910	0.00000	1.000	1
125	129	-0.42170	3.97020	0.00000	1.000	1
125	130	-1.97400	8.48540	0.00000	1.000	1
125	131	-0.12510	0.69390	0.00000	1.000	1
125	132	-0.05360	0.50860	0.00000	1.000	1
127	128	-0.00260	0.12400	0.00000	1.000	1
127	129	-0.03920	1.10820	0.00000	1.000	1
128	129	-0.00100	-0.02070	0.00000	1.000	1
128	130	-1.10000	2.99240	0.00000	1.000	1
128	131	-1.55900	4.08690	0.00000	1.000	1
130	131	-0.00270	0.01540	0.00000	1.000	1
130	132	-0.65090	3.03100	0.00000	1.000	1
130	144	-0.75320	3.06640	0.00000	1.000	1
131	132	-0.00320	0.04110	0.00000	1.000	1
131	133	-1.07700	5.52850	0.00000	1.000	1
131	143	-0.05880	0.40550	0.00000	1.000	1
131	144	-0.00220	0.01510	0.00000	1.000	1
132	133	-0.09160	0.82290	0.00000	1.000	1
132	143	-0.00490	0.09650	0.00000	1.000	1
132	144	-0.11080	0.98270	0.00000	1.000	1
133	143	-0.36000	2.63090	0.00000	1.000	1
134	131	-0.40420	0.91440	0.00000	1.000	1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.2 (ต่อ)

From	To	R	X	B	Tap	Circuit
134	136	-0.06980	0.64280	0.00000	1.000	1
134	139	-0.03530	0.16600	0.00000	1.000	1
134	141	-0.02300	0.11790	0.00000	1.000	1
134	142	-0.02630	0.11670	0.00000	1.000	1
134	144	-0.01450	0.04350	0.00000	1.000	1
134	145	-0.00340	0.02160	0.00000	1.000	1
135	95	-0.34480	3.48450	0.00000	1.000	1
135	136	-0.00310	0.01780	0.00000	1.000	1
135	138	-0.00840	0.17290	0.00000	1.000	1
135	141	-0.12900	0.69930	0.00000	1.000	1
136	115	-0.01200	0.08550	0.00000	1.000	1
136	116	-1.20000	4.26550	0.00000	1.000	1
136	117	-2.96900	9.08750	0.00000	1.000	1
136	118	-0.57490	1.62060	0.00000	1.000	1
136	138	-0.15810	0.54850	0.00000	1.000	1
136	139	-0.00590	0.02930	0.00000	1.000	1
136	140	-2.40300	9.37800	0.00000	1.000	1
136	141	-0.00260	0.01750	0.00000	1.000	1
136	142	-0.04670	0.17090	0.00000	1.000	1
136	143	-1.76200	3.45490	0.00000	1.000	1
136	145	-0.00490	0.05390	0.00000	1.000	1
137	139	-0.01830	0.09360	0.00000	1.000	1
137	140	-2.22900	8.02280	0.00000	1.000	1
137	145	-0.08520	0.40710	0.00000	1.000	1
139	140	-0.00540	0.02390	0.00000	1.000	1
139	141	-0.00830	0.04600	0.00000	1.000	1
139	142	-0.31020	1.26700	0.00000	1.000	1
139	145	-0.00090	0.00800	0.00000	1.000	1
140	145	-0.10880	0.48000	0.00000	1.000	1
141	115	-0.00070	0.01310	0.00000	1.000	1
141	116	-0.15680	0.74480	0.00000	1.000	1
141	117	-0.37020	1.38200	0.00000	1.000	1
141	118	-0.04140	0.14390	0.00000	1.000	1
141	131	-0.23310	0.81290	0.00000	1.000	1
141	132	-1.62800	7.09360	0.00000	1.000	1
141	142	-0.00180	0.01050	0.00000	1.000	1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.2 (ต่อ)

From	To	R	X	B	Tap	Circuit
141	143	-0.07020	0.17780	0.00000	1.000	1
141	144	-0.07560	0.24410	0.00000	1.000	1
141	145	-0.00380	0.03580	0.00000	1.000	1
142	115	-0.01660	0.15630	0.00000	1.000	1
142	116	-0.69160	2.63020	0.00000	1.000	1
142	117	-0.55960	2.22840	0.00000	1.000	1
142	118	-0.01850	0.10370	0.00000	1.000	1
142	119	-0.27420	1.86110	0.00000	1.000	1
142	120	-0.60430	7.35300	0.00000	1.000	1
142	122	-0.25890	2.17320	0.00000	1.000	1
142	124	-0.17360	2.13470	0.00000	1.000	1
142	125	-1.09000	8.61600	0.00000	1.000	1
142	130	-0.36080	1.86180	0.00000	1.000	1
142	131	-0.00130	0.01570	0.00000	1.000	1
142	132	-0.00550	0.08100	0.00000	1.000	1
142	133	-1.63600	9.17250	0.00000	1.000	1
142	143	-0.00380	0.01870	0.00000	1.000	1
142	144	-0.00200	0.02290	0.00000	1.000	1
142	145	-0.07380	0.43800	0.00000	1.000	1
143	144	-0.48630	2.32820	0.00000	1.000	1
144	145	-0.38350	1.20520	0.00000	1.000	1

ข.1.3 ข้อมูลของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator data)

รายละเอียดของระบบไฟฟ้ากำลังในตารางต่อไปนี้จะกล่าวถึง

H ค่าคงที่ความเฉื่อย (วินาที)

X_d' รีแอกแตนซ์ชั่วคราว (p.u.)

ตารางที่ ข.3 ข้อมูลเครื่องกำเนิดไฟฟ้าของระบบไฟฟ้า IEEE 50 generators test system

Bus	H	X_d'
93	115.0366	0.02400
104	73.8528	0.01220
105	84.3915	0.02080
106	56.2610	0.03118
110	115.0500	0.02400
111	73.8528	0.01220

Bus	H	X_d'
60	1.4100	0.47690
67	57.1796	0.02130
79	6.6500	0.12920
80	1.2857	0.66480
82	2.1150	0.52910
89	20.5602	0.05850

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Bus	H	X'd	Bus	H	X'd
90	0.7628	1.60000	119	248.2200	0.00020
91	1.6848	0.37180	121	116.5400	0.00170
94	17.3424	0.08390	122	39.2400	0.00890
95	5.4662	0.16190	124	116.8600	0.00170
96	2.1216	0.48240	128	503.8700	0.00010
97	5.4912	0.21250	130	230.9000	0.00100
98	13.9600	0.07950	131	1101.7200	0.00010
99	17.1080	0.11460	132	120.3500	0.00160
100	7.5600	0.13860	134	802.1200	0.00030
101	12.2844	0.09240	135	232.6300	0.00080
102	78.4366	0.01350	136	2018.1700	0.00010
103	8.1600	0.10630	137	469.3200	0.00040
108	30.4320	0.02480	139	2210.2000	0.00010
109	2.6622	0.20290	140	899.1900	0.00030
112	12.2844	0.09240	141	1474.2200	0.00010
115	97.3300	0.00240	142	950.8000	0.00030
116	105.5000	0.00220	143	204.3000	0.00230
117	102.1600	0.00170	144	443.2200	0.00040
118	162.7400	0.00140	145	518.0800	0.00180

2 ระบบ IEEE 47 generator 118 bus

เป็นระบบที่ถูกปรับปรุงมาจากระบบ IEEE 118 bus 54 generator system ซึ่งสามารถดูโครงสร้างของระบบได้ที่ http://www.ee.washington.edu/research/pstca/pf118/pg_tca118bus.htm

2.1 ข้อมูลของบัส (Bus data)

รายละเอียดของระบบไฟฟ้ากำลังในตารางต่อไปนี้จะกล่าวถึง

- V แรงดันที่บัส (p.u.)
- O มุมของแรงดันที่บัส (องศา)
- P_g กำลังไฟฟ้าแอกทีฟที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าผลิต (MW)
- Q_g กำลังไฟฟารีแอกทีฟที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าผลิต (MVAR)
- P_c กำลังไฟฟ้าแอกทีฟของโหลด (MW)
- Q_c กำลังไฟฟารีแอกทีฟของโหลด (MVAR)
- G ตัวต้านทานขนาน หรือความต้านทานของรีแอกแตนซ์ (p.u.)
- B ตัวเก็บประจุขนาน (+) หรือ รีแอกแตนซ์ขนาน (-)(p.u.)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.4 ข้อมูลบั๊ตของระบบ IEEE 47 generator 118 bus

Bus	V	δ	P_g	Q_g	P_c	Q_c	G	B
1	0.95500	10.670	0.000	15.000	51.000	27.000	0.0000	0.0000
2	0.97100	11.220	0.000	0.000	20.000	9.000	0.0000	0.0000
3	0.96800	11.560	0.000	0.000	39.000	10.000	0.0000	0.0000
4	0.99800	15.280	0.000	300.000	39.000	12.000	0.0000	0.0000
5	1.00200	15.730	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.0250	0.0000
6	0.99000	13.000	0.000	50.000	52.000	22.000	0.0000	0.0000
7	0.98900	12.560	0.000	0.000	19.000	2.000	0.0000	0.0000
8	1.01500	20.770	0.000	300.000	28.000	0.000	0.0000	0.0000
9	1.04300	28.020	0.000	0.000	0.000	0.000	0.0000	0.0000
10	1.05000	35.610	450.000	200.000	0.000	0.000	0.0000	0.0000
11	0.98500	12.720	0.000	0.000	70.000	23.000	0.0000	0.0000
12	0.99000	12.200	85.000	120.000	47.000	10.000	0.0000	0.0000
13	0.96800	11.350	0.000	0.000	34.000	16.000	0.0000	0.0000
14	0.98400	11.500	0.000	0.000	14.000	1.000	0.0000	0.0000
15	0.97000	11.230	0.000	30.000	90.000	30.000	0.0000	0.0000
16	0.98400	11.910	0.000	0.000	25.000	10.000	0.0000	0.0000
17	0.99500	13.740	0.000	0.000	11.000	3.000	0.0000	0.0000
18	0.97300	11.530	0.000	50.000	60.000	34.000	0.0000	0.0000
19	0.96300	11.050	0.000	24.000	45.000	25.000	0.0000	0.0000
20	0.95800	11.930	0.000	0.000	18.000	3.000	0.0000	0.0000
21	0.95900	13.520	0.000	0.000	14.000	8.000	0.0000	0.0000
22	0.97000	16.080	0.000	0.000	10.000	5.000	0.0000	0.0000
23	1.00000	21.000	0.000	0.000	7.000	3.000	0.0000	0.0000
24	0.99200	20.890	0.000	0.000	13.000	0.000	0.0000	0.0000
25	1.05000	27.930	220.000	140.000	0.000	0.000	0.0000	0.0000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.4 (ต่อ)

Bus	V	δ	P_g	Q_g	P_c	Q_g	G	B
26	1.01500	29.710	314.000	1000.000	0.000	0.000	0.0000	0.0000
27	0.96800	15.350	0.000	300.000	71.000	13.000	0.0000	0.0000
28	0.96200	13.620	0.000	0.000	17.000	7.000	0.0000	0.0000
29	0.96300	12.630	0.000	0.000	24.000	4.000	0.0000	0.0000
30	0.96800	18.790	0.000	0.000	0.000	0.000	0.0000	0.0000
31	0.96700	12.750	7.000	300.000	43.000	27.000	0.0000	0.0000
32	0.96400	14.800	0.000	42.000	59.000	23.000	0.0000	0.0000
33	0.97200	10.630	0.000	0.000	23.000	9.000	0.0000	0.0000
34	0.98600	11.300	0.000	0.000	59.000	26.000	0.0714	0.0000
35	0.98100	10.870	0.000	0.000	33.000	9.000	0.0000	0.0000
36	0.98000	10.870	0.000	0.000	31.000	17.000	0.0000	0.0000
37	0.99200	11.770	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.4000	0.0000
38	0.96200	16.910	0.000	0.000	0.000	0.000	0.0000	0.0000
39	0.97000	8.410	0.000	0.000	27.000	11.000	0.0000	0.0000
40	0.97000	7.350	0.000	300.000	66.000	23.000	0.0000	0.0000
41	0.96700	6.920	0.000	0.000	37.000	10.000	0.0000	0.0000
42	0.98500	8.530	0.000	300.000	96.000	23.000	0.0000	0.0000
43	0.97800	11.280	0.000	0.000	18.000	7.000	0.0000	0.0000
44	0.98500	13.820	0.000	0.000	16.000	8.000	0.1000	0.0000
45	0.98700	15.670	0.000	0.000	53.000	22.000	0.1000	0.0000
46	1.00500	18.490	19.000	100.000	28.000	10.000	0.1000	0.0000
47	1.01700	20.730	0.000	0.000	34.000	0.000	0.0000	0.0000
48	1.02100	19.930	0.000	0.000	20.000	11.000	0.1000	0.0000
49	1.02500	20.940	204.000	210.000	87.000	30.000	0.0000	0.0000
50	1.00100	18.900	0.000	0.000	17.000	4.000	0.0000	0.0000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.4 (ต่อ)

Bus	V	δ	P_g	Q_g	P_c	Q_g	G	B
51	0.96700	16.280	0.000	0.000	17.000	8.000	0.0000	0.0000
52	0.95700	15.320	0.000	0.000	18.000	5.000	0.0000	0.0000
53	0.94600	14.350	0.000	0.000	23.000	11.000	0.0000	0.0000
54	0.95500	15.260	48.000	300.000	113.000	32.000	0.0000	0.0000
55	0.95200	14.970	0.000	0.000	63.000	22.000	0.0000	0.0000
56	0.95400	15.160	0.000	15.000	84.000	18.000	0.0000	0.0000
57	0.97100	16.360	0.000	0.000	12.000	3.000	0.0000	0.0000
58	0.95900	15.510	0.000	0.000	12.000	3.000	0.0000	0.0000
59	0.98500	19.370	155.000	180.000	277.000	113.000	0.0000	0.0000
60	0.99300	23.150	0.000	0.000	78.000	3.000	0.0000	0.0000
61	0.99500	24.040	160.000	300.000	0.000	0.000	0.0000	0.0000
62	0.99800	23.430	0.000	20.000	77.000	14.000	0.0000	0.0000
63	0.96900	22.750	0.000	0.000	0.000	0.000	0.0000	0.0000
64	0.98400	24.520	0.000	0.000	0.000	0.000	0.0000	0.0000
65	1.00500	27.650	391.000	200.000	0.000	0.000	0.0000	0.0000
66	1.05000	27.480	392.000	200.000	39.000	18.000	0.0000	0.0000
67	1.02000	24.840	0.000	0.000	28.000	7.000	0.0000	0.0000
68	1.00300	27.550	0.000	0.000	0.000	0.000	0.0000	0.0000
69	1.03500	30.000	516.400	300.000	0.000	0.000	0.0000	0.0000
70	0.98400	22.580	0.000	32.000	66.000	20.000	0.0000	0.0000
71	0.98700	22.150	0.000	0.000	0.000	0.000	0.0000	0.0000
72	0.98000	20.980	0.000	100.000	12.000	0.000	0.0000	0.0000
73	0.99100	21.940	0.000	100.000	6.000	0.000	0.0000	0.0000
74	0.96800	21.640	0.000	9.000	68.000	27.000	0.1000	0.0000
75	0.96700	22.910	0.000	0.000	47.000	11.000	0.0000	0.0000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.4 (ต่อ)

Bus	V	δ	P_g	Q_g	P_c	Q_g	G	B
76	0.94300	21.770	0.000	0.000	68.000	36.000	0.0000	0.0000
77	1.00600	26.720	0.000	0.000	61.000	28.000	0.0000	0.0000
78	1.00300	26.420	0.000	0.000	71.000	26.000	0.0000	0.0000
79	1.00900	26.720	0.000	0.000	39.000	32.000	0.0500	0.0000
80	1.04000	28.960	477.000	280.000	130.000	26.000	0.0000	0.0000
81	0.99700	28.100	0.000	0.000	0.000	0.000	0.0000	0.0000
82	0.98900	27.240	0.000	0.000	54.000	27.000	0.0500	0.0000
83	0.98500	28.420	0.000	0.000	20.000	10.000	0.1000	0.0000
84	0.98000	30.950	0.000	0.000	11.000	7.000	0.0000	0.0000
85	0.98500	32.510	0.000	23.000	24.000	15.000	0.0000	0.0000
86	0.98700	31.140	0.000	0.000	21.000	10.000	0.0000	0.0000
87	1.01500	31.400	4.000	1000.000	0.000	0.000	0.0000	0.0000
88	0.98700	35.640	0.000	0.000	48.000	10.000	0.0000	0.0000
89	1.00500	39.690	607.000	300.000	0.000	0.000	0.0000	0.0000
90	0.98500	33.290	0.000	300.000	163.000	42.000	0.0000	0.0000
91	0.98000	33.310	0.000	100.000	10.000	0.000	0.0000	0.0000
92	0.99300	33.800	0.000	0.000	65.000	10.000	0.0000	0.0000
93	0.98700	30.790	0.000	0.000	12.000	7.000	0.0000	0.0000
94	0.99100	28.640	0.000	0.000	30.000	16.000	0.0000	0.0000
95	0.98100	27.670	0.000	0.000	42.000	31.000	0.0000	0.0000
96	0.99300	27.510	0.000	0.000	38.000	15.000	0.0000	0.0000
97	1.01100	27.880	0.000	0.000	15.000	9.000	0.0000	0.0000
98	1.02400	27.400	0.000	0.000	34.000	8.000	0.0000	0.0000
99	1.01000	27.040	0.000	100.000	42.000	0.000	0.0000	0.0000
100	1.01700	28.030	252.000	155.000	37.000	18.000	0.0000	0.0000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.4 (ต่อ)

Bus	V	δ	P_g	Q_g	P_c	Q_g	G	B
101	0.99300	29.610	0.000	0.000	22.000	15.000	0.0000	0.0000
102	0.99100	32.300	0.000	0.000	5.000	3.000	0.0000	0.0000
103	1.00100	24.440	40.000	40.000	23.000	16.000	0.0000	0.0000
104	0.97100	21.690	0.000	23.000	38.000	25.000	0.0000	0.0000
105	0.96500	20.570	0.000	23.000	31.000	26.000	0.0500	0.0000
106	0.96200	20.320	0.000	0.000	43.000	16.000	0.0000	0.0000
107	0.95200	17.530	0.000	200.000	50.000	12.000	0.1666	0.0000
108	0.96700	19.380	0.000	0.000	2.000	1.000	0.0000	0.0000
109	0.96700	18.930	0.000	0.000	8.000	3.000	0.0000	0.0000
110	0.97300	18.090	0.000	23.000	39.000	30.000	0.1666	0.0000
111	0.98000	19.740	36.000	1000.000	0.000	0.000	0.0000	0.0000
112	0.97500	14.990	0.000	1000.000	68.000	13.000	0.0000	0.0000
113	0.99300	13.740	0.000	20.000	6.000	0.000	0.0000	0.0000
114	0.96000	14.460	0.000	0.000	8.000	3.000	0.0000	0.0000
115	0.96000	14.460	0.000	0.000	22.000	7.000	0.0000	0.0000
116	1.00500	27.120	0.000	1000.000	184.000	0.000	0.0000	0.0000
117	0.97400	10.670	0.000	0.000	20.000	8.000	0.0000	0.0000
118	0.94900	21.920	0.000	0.000	33.000	15.000	0.0000	0.0000

2.2 ข้อมูลของสายส่ง (Branch data)

รายละเอียดของระบบไฟฟ้ากำลังในตารางต่อไปนี้จะกล่าวถึง

From จากบัสหมายเลข

To ไปยังบัสหมายเลข

R ความต้านทานของสายส่ง หรือหม้อแปลงไฟฟ้า

X รีแอกแตนซ์ของสายส่ง หรือหม้อแปลงไฟฟ้า

B กำลังอัดประจุสาย

Tap แท็ปของหม้อแปลงไฟฟ้า

Circuit วงจรที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.5 ข้อมูลของสายส่งของระบบ IEEE 47 generator 118 bus

From	To	R	X	B	Tap	Circuit
1	2	0.03030	0.09990	0.02540	1.000	1
1	3	0.01290	0.04240	0.01082	1.000	1
4	5	0.00176	0.00798	0.00210	1.000	1
3	5	0.02410	0.10800	0.02840	1.000	1
5	6	0.01190	0.05400	0.01426	1.000	1
6	7	0.00459	0.02080	0.00550	1.000	1
8	9	0.00244	0.03050	1.16200	1.000	1
8	5	0.00000	0.02670	0.00000	1.000	1
9	10	0.00258	0.03220	1.23000	1.000	1
4	11	0.02090	0.06880	0.01748	1.000	1
5	11	0.02030	0.06820	0.01738	1.000	1
11	12	0.00595	0.01960	0.00502	1.000	1
2	12	0.01870	0.06160	0.01572	1.000	1
3	12	0.04840	0.16000	0.04060	1.000	1
7	12	0.00862	0.03400	0.00874	1.000	1
11	13	0.02225	0.07310	0.01876	1.000	1
12	14	0.02150	0.07070	0.01816	1.000	1
13	15	0.07440	0.24440	0.06268	1.000	1
14	15	0.05950	0.19500	0.05020	1.000	1
12	16	0.02120	0.08340	0.02140	1.000	1
15	17	0.01320	0.04370	0.04440	1.000	1
16	17	0.04540	0.18010	0.04660	1.000	1
17	18	0.01230	0.05050	0.01298	1.000	1
18	19	0.01119	0.04930	0.01142	1.000	1
19	20	0.02520	0.11700	0.02980	1.000	1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.5 (ต่อ)

From	To	R	X	B	Tap	Circuit
15	19	0.01200	0.03940	0.01010	1.000	1
20	21	0.01830	0.08490	0.02160	1.000	1
21	22	0.02090	0.09700	0.02460	1.000	1
22	23	0.03420	0.15900	0.04040	1.000	1
23	24	0.01350	0.04920	0.04980	1.000	1
23	25	0.01560	0.08000	0.08640	1.000	1
26	25	0.00000	0.03820	0.00000	1.000	1
25	27	0.03180	0.16300	0.17640	1.000	1
27	28	0.01913	0.08550	0.02160	1.000	1
28	29	0.02370	0.09430	0.02380	1.000	1
30	17	0.00000	0.03880	0.00000	1.000	1
8	30	0.00431	0.05040	0.51400	1.000	1
26	30	0.00799	0.08600	0.90800	1.000	1
17	31	0.04740	0.15630	0.03990	1.000	1
29	31	0.01080	0.03310	0.00830	1.000	1
23	32	0.03170	0.11530	0.11730	1.000	1
31	32	0.02980	0.09850	0.02510	1.000	1
27	32	0.02290	0.07550	0.01926	1.000	1
15	33	0.03800	0.12440	0.03194	1.000	1
19	34	0.07520	0.24700	0.06320	1.000	1
35	36	0.00224	0.01020	0.00268	1.000	1
35	37	0.01100	0.04970	0.01318	1.000	1
33	37	0.04150	0.14200	0.03660	1.000	1
34	36	0.00871	0.02680	0.00568	1.000	1
34	37	0.00256	0.00940	0.00984	1.000	1
38	37	0.00000	0.03750	0.00000	1.000	1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.5 (ต่อ)

From	To	R	X	B	Tap	Circuit
37	39	0.03210	0.10600	0.02700	1.000	1
37	40	0.05930	0.16800	0.04200	1.000	1
30	38	0.00464	0.05400	0.42200	1.000	1
39	40	0.01840	0.06050	0.01552	1.000	1
40	41	0.01450	0.04870	0.01222	1.000	1
40	42	0.05550	0.18300	0.04660	1.000	1
41	42	0.04100	0.13500	0.03440	1.000	1
43	44	0.06080	0.24540	0.06068	1.000	1
34	43	0.04130	0.16810	0.04226	1.000	1
44	45	0.02240	0.09010	0.02240	1.000	1
45	46	0.04000	0.13560	0.03320	1.000	1
46	47	0.03800	0.12700	0.03160	1.000	1
46	48	0.06010	0.18900	0.04720	1.000	1
47	49	0.01910	0.06250	0.01604	1.000	1
42	49	0.07150	0.32300	0.08600	1.000	1
42	49	0.07150	0.32300	0.08600	1.000	2
45	49	0.06840	0.18600	0.04440	1.000	1
48	49	0.01790	0.05050	0.01258	1.000	1
49	50	0.02670	0.07520	0.01874	1.000	1
49	51	0.04860	0.13700	0.03420	1.000	1
51	52	0.02030	0.05880	0.01396	1.000	1
52	53	0.04050	0.16350	0.04058	1.000	1
53	54	0.02630	0.12200	0.03100	1.000	1
49	54	0.07300	0.28900	0.07380	1.000	1
49	54	0.08690	0.29100	0.07300	1.000	2
54	55	0.01690	0.07070	0.02020	1.000	1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.5 (ต่อ)

From	To	R	X	B	Tap	Circuit
54	56	0.00275	0.00955	0.00732	1.000	1
55	56	0.00488	0.01510	0.00374	1.000	1
56	57	0.03430	0.09660	0.02420	1.000	1
50	57	0.04740	0.13400	0.03320	1.000	1
56	58	0.03430	0.09660	0.02420	1.000	1
51	58	0.02550	0.07190	0.01788	1.000	1
54	59	0.05030	0.22930	0.05980	1.000	1
56	59	0.08250	0.25100	0.05690	1.000	1
56	59	0.08030	0.23900	0.05360	1.000	2
55	59	0.04739	0.21580	0.05646	1.000	1
59	60	0.03170	0.14500	0.03760	1.000	1
59	61	0.03280	0.15000	0.03880	1.000	1
60	61	0.00264	0.01350	0.01456	1.000	1
60	62	0.01230	0.05610	0.01468	1.000	1
61	62	0.00824	0.03760	0.00980	1.000	1
63	59	0.00000	0.03860	0.00000	1.000	1
63	64	0.00172	0.02000	0.21600	1.000	1
64	61	0.00000	0.02680	0.00000	1.000	1
38	65	0.00901	0.09860	1.04600	1.000	1
64	65	0.00269	0.03020	0.38000	1.000	1
49	66	0.01800	0.09190	0.02480	1.000	1
49	66	0.01800	0.09190	0.02480	1.000	2
62	66	0.04820	0.21800	0.05780	1.000	1
62	67	0.02580	0.11700	0.03100	1.000	1
65	66	0.00000	0.03700	0.00000	1.000	1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.5 (ต่อ)

From	To	R	X	B	Tap	Circuit
65	68	0.00138	0.01600	0.63800	1.000	1
47	69	0.08440	0.27780	0.07092	1.000	1
49	69	0.09850	0.32400	0.08280	1.000	1
68	69	0.00000	0.03700	0.00000	1.000	1
69	70	0.03000	0.12700	0.12200	1.000	1
24	70	0.00221	0.41150	0.10198	1.000	1
70	71	0.00882	0.03550	0.00878	1.000	1
24	72	0.04880	0.19600	0.04880	1.000	1
71	72	0.04460	0.18000	0.04444	1.000	1
71	73	0.00866	0.04540	0.01178	1.000	1
70	74	0.04010	0.13230	0.03368	1.000	1
70	75	0.04280	0.14100	0.03600	1.000	1
69	75	0.04050	0.12200	0.12400	1.000	1
74	75	0.01230	0.04060	0.01034	1.000	1
76	77	0.04440	0.14800	0.03680	1.000	1
69	77	0.03090	0.10100	0.10380	1.000	1
75	77	0.06010	0.19990	0.04978	1.000	1
77	78	0.00376	0.01240	0.01264	1.000	1
78	79	0.00546	0.02440	0.00648	1.000	1
77	80	0.01700	0.04850	0.04720	1.000	1
77	80	0.02940	0.10500	0.02280	1.000	2
79	80	0.01560	0.07040	0.01870	1.000	1
68	81	0.00175	0.02020	0.80800	1.000	1
81	80	0.00000	0.03700	0.00000	1.000	1
77	82	0.02980	0.08530	0.08174	1.000	1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.5 (ต่อ)

From	To	R	X	B	Tap	Circuit
82	83	0.01120	0.03665	0.03796	1.000	1
83	84	0.06250	0.13200	0.02580	1.000	1
83	85	0.04300	0.14800	0.03480	1.000	1
84	85	0.03020	0.06410	0.01234	1.000	1
85	86	0.03500	0.12300	0.02760	1.000	1
86	87	0.02828	0.20740	0.04450	1.000	1
85	88	0.02000	0.10200	0.02760	1.000	1
85	89	0.02390	0.17300	0.04700	1.000	1
88	89	0.01390	0.07120	0.01934	1.000	1
89	90	0.05180	0.18800	0.05280	1.000	1
89	90	0.02380	0.09970	0.10600	1.000	2
90	91	0.02540	0.08360	0.02140	1.000	1
89	92	0.00990	0.05050	0.05480	1.000	1
89	92	0.03930	0.15810	0.04140	1.000	2
91	92	0.03870	0.12720	0.03268	1.000	1
92	93	0.02580	0.08480	0.02180	1.000	1
92	94	0.04810	0.15800	0.04060	1.000	1
93	94	0.02230	0.07320	0.01876	1.000	1
94	95	0.01320	0.04340	0.01110	1.000	1
80	96	0.03560	0.18200	0.04940	1.000	1
82	96	0.01620	0.05300	0.05440	1.000	1
94	96	0.02690	0.08690	0.02300	1.000	1
80	97	0.01830	0.09340	0.02540	1.000	1
80	98	0.02380	0.10800	0.02860	1.000	1
80	99	0.04540	0.20600	0.05460	1.000	1
92	100	0.06480	0.29500	0.04720	1.000	1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.5 (ต่อ)

From	To	R	X	B	Tap	Circuit
94	100	0.01780	0.05800	0.06040	1.000	1
95	96	0.01710	0.05470	0.01474	1.000	1
96	97	0.01730	0.08850	0.02400	1.000	1
98	100	0.03970	0.17900	0.04760	1.000	1
99	100	0.01800	0.08130	0.02160	1.000	1
100	101	0.02770	0.12620	0.03280	1.000	1
92	102	0.01230	0.05590	0.01464	1.000	1
101	102	0.02460	0.11200	0.02940	1.000	1
100	103	0.01600	0.05250	0.05360	1.000	1
100	104	0.04510	0.20400	0.05410	1.000	1
103	104	0.04660	0.15840	0.04070	1.000	1
103	105	0.05350	0.16250	0.04080	1.000	1
100	106	0.06050	0.22900	0.06200	1.000	1
104	105	0.00994	0.03780	0.00986	1.000	1
105	106	0.01400	0.05470	0.01434	1.000	1
105	107	0.05300	0.18300	0.04720	1.000	1
105	108	0.02610	0.07030	0.01844	1.000	1
106	107	0.05300	0.18300	0.04720	1.000	1
108	109	0.01050	0.02880	0.00760	1.000	1
103	110	0.03906	0.18130	0.04610	1.000	1
109	110	0.02780	0.07620	0.02020	1.000	1
110	111	0.02200	0.07550	0.02000	1.000	1
110	112	0.02470	0.06400	0.06200	1.000	1
17	113	0.00913	0.03010	0.00768	1.000	1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.5 (ต่อ)

From	To	R	X	B	Tap	Circuit
32	113	0.06150	0.20300	0.05180	1.000	1
32	114	0.01350	0.06120	0.01628	1.000	1
27	115	0.01640	0.07410	0.01972	1.000	1
114	115	0.00230	0.01040	0.00276	1.000	1
68	116	0.00034	0.00405	0.16400	1.000	1
12	117	0.03290	0.14000	0.03580	1.000	1
75	118	0.01450	0.04810	0.01198	1.000	1
76	118	0.01640	0.05440	0.01356	1.000	1

2.3 ข้อมูลของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator data)

รายละเอียดของระบบไฟฟ้ากำลังในตารางต่อไปนี้จะกล่าวถึง

H ค่าคงที่ความเฉื่อย (วินาที)

X_d' รีแอกแตนซ์ชั่วคราว (p.u.)

ตารางที่ ข.6 ข้อมูลเครื่องกำเนิดไฟฟ้าของระบบไฟฟ้ากำลัง IEEE 47 generator 118 bus

Bus	X_d'	H	Bus	X_d'	H
1	2.01220	0.5100	49	0.11990	17.3424
4	0.09220	17.3424	54	0.11990	17.3424
6	0.95040	1.2857	56	1.88360	0.5100
8	0.09220	17.3424	59	0.18460	6.6500
10	0.10370	14.6500	61	0.11230	14.2844
12	0.30380	5.4912	62	1.76000	0.7628
15	0.89360	4.2100	65	0.08740	13.9600
18	0.73120	1.2857	66	0.11360	13.9600
19	1.76000	0.7628	69	0.06840	14.1424
25	0.18460	6.6500	70	0.74450	0.8800
26	0.04458	36.2610	72	0.25200	6.1150
27	0.09220	17.3424	73	0.25200	6.1150
31	0.09220	17.3424	74	2.01220	0.5228
32	2.07690	0.5100	80	0.11360	12.9600
40	0.09220	17.3424	85	1.76000	0.7628
42	0.09220	17.3424	87	0.03429	36.2610
46	0.32750	6.1150	89	0.08360	20.5602

ตารางที่ ข.6 (ต่อ)

Bus	X'd	H
49	0.11990	17.3424
90	0.09229	17.3424
91	0.25200	6.1150
92	2.01220	0.5228
99	0.25200	6.1150
100	0.11990	17.3424
103	0.29000	2.6622
104	1.76000	0.7628
105	1.76000	0.7628
107	0.15240	7.5600
110	1.76000	0.7628
111	0.04458	36.2610
112	0.03429	36.2610
116	0.03429	36.2610



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

นาย เกื้อพงศ์ ลีลานุช เกิดเมื่อวันที่ 16 กรกฎาคม 2522 ที่กรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า จากมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ เมื่อปีการศึกษา 2544

เข้าศึกษาต่อระดับปริญญาโทในปี 2546 สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ณ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง มีผลงานวิชาการตีพิมพ์ทางด้านวิศวกรรมไฟฟ้า ระหว่างศึกษาปริญญาโท 2 บทความคือ วิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต “การหาช่วงเวลาตัดกระแสวิกฤตและเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่สูญเสียเสถียรภาพในระบบไฟฟ้ากำลังขนาดใหญ่โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม”, วิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต, ปีที่ 19, ฉบับที่ 4, ธันวาคม 2545, หน้า 67-72. และ “Increasing Transient Stability Margins of a Large Power System Using Artificial Neural Networks”, ICEE 2004, Vol..2, pp. 617-622.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้