บทที่ 3

การออกแบบและการสร้างโปรแกรม

บทนี้จะกล่าวถึงการออกแบบระบบไฟฟ้าสำหรับวงจรมอเตอร์ ประกอบด้วยการออกแบบและการสร้างโปรแกรม ในการออกแบบจะแบ่งเป็น การออกแบบหน้าต่างโปรแกรม การเลือกข้อมูลในการฝึกสอนและทดสอบ การกำหนดโครงสร้างโครงข่ายประสาทเทียม ปริมาณของข้อมูลฝึกสอนและข้อมูลทดสอบ เงื่อนไขการฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียม การฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียม การสร้างโปรแกรมการออกแบบ แบ่งออกเป็น ข้อมูลที่ใช้ฝึกสอนและทดสอบโปรแกรม ชุดคำสั่งการสอน ขั้นตอนการออกแบบและการสร้างโปรแกรม มีรายละเอียดดังนี้

3.1 การออกแบบโปรแกรม

การออกแบบโปรแกรมให้เป็นไปตามที่ออกแบบนั้นจะต้องใช้ข้อมูล การออกแบบหน้าต่างโปรแกรม การเลือกข้อมูลในการฝึกสอน การกำหนดโครงสร้างโครงข่ายประสาทเทียม ปริมาณของข้อมูลฝึกสอนและข้อมูลทดสอบ เงื่อนไขการฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียม ขั้นตอนการออกแบบระบบไฟฟ้าสำหรับวงจรมอเตอร์โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.1.1 การเลือกข้อมูลในการฝึกสอน

การเลือกข้อมูลในการฝึกสอนเป็นองค์ประกอบที่มีผลต่อประสิทธิภาพของโครงข่ายประสาทเทียมมากที่สุด ข้อมูลที่ใช้ในการฝึกสอนจะประกอบไปด้วยข้อมูลอินพุต ได้แก่

1. ระบบไฟฟ้า นั้นจะแบ่งเป็น 1 เฟส และ 3 เฟส ใช้ตัวดัชนีบ่งชี้เป็น 1 และ 3 ตามลำดับ เพื่อที่จะให้โครงข่ายประสาทเทียมแยกแยะข้อมูลได้อย่างชัดเจน

2. วิธีการเดินเครื่องมอเตอร์ นั้นจะแบ่งเป็น แบบ Direct On Line และ แบบ Star-Delta ใช้ตัวดัชนีบ่งชี้เป็น 0 และ 1 ตามลำดับ เพื่อที่จะให้โครงข่ายประสาทเทียมแยกแยะข้อมูลได้อย่างชัดเจน

3. วิธีการเดินของสาย นั้นจะแบ่งเป็น การเดินสายในอากาศ การเดินสายในท่อโลหะไม่ฝังดิน (เดินในอากาศ) และ การเดินสายในท่อโลหะฝัง ใช้ตัวดัชนีบ่งชี้เป็น 1 2 และ 3 ตามลำดับ เพื่อที่จะให้เรียงเป็นลำดับและโครงข่ายประสาทเทียมแยกแยะข้อมูลได้อย่างชัดเจน

4. จำนวนโพล สาย นั้นจะแบ่งเป็น 2 โพล 4 โพล 6 โพล 8 โพล และ ไม่ทราบค่า ใช้ตัวดัชนีบ่งชี้เป็น 2 4 6 8 และ 0 ตามลำดับ เพื่อที่จะให้ข้อมูลของจำนวนโพล เรียงเป็นลำดับและโครงข่ายประสาทเทียมแยกแยะข้อมูลได้อย่างชัดเจน

5. อุณหภูมิ ใช้ตัวดัชนีบ่งชี้เป็นค่าจริง = 21 - 60 °C

6. ขนาดกำลังงาน (kw) ใช้ตัวดัชนีบ่งชี้เป็นค่าจริง = 0.37-315 kw

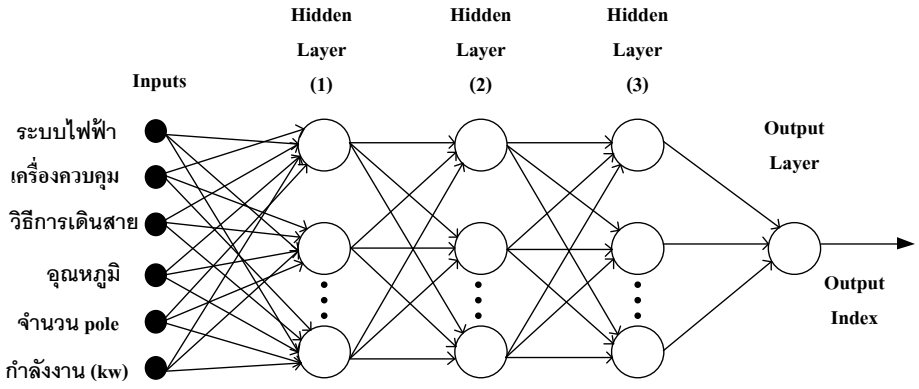
ซึ่งนำข้อมูลอินพุตที่กำหนดป้อนให้กับโครงข่ายประสาทเทียมตามตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 กำหนดค่าข้อมูลอินพุตของการออกแบบมอเตอร์ไฟฟ้า

ข้อมูลอินพุต	ดัชนีบ่งชี้	หมายถึง
ระบบไฟฟ้า	1	1 เฟส
	3	3 เฟส
วิธีการเดินเครื่องมอเตอร์	0	Direct On Line
	1	Star-Delta
วิธีการเดินสาย	1	การเดินสายในอากาศ
	2	การเดินสายในท่อโลหะไม่ฝังดิน (เดินในอากาศ)
	3	การเดินสายในท่อโลหะฝังดิน
จำนวน pole	2	2 pole
	4	4 pole
	6	6 pole
	8	8 pole
	0	ไม่ทราบค่า
อุณหภูมิ	ใช้ค่าจริง = 21-60 °C	
ขนาดกำลังงาน (kw)	ใช้ค่าจริง = 0.37-315 kw	

3.1.2 การกำหนดโครงสร้างโครงข่ายประสาทเทียม

ข้อมูลที่ได้จากการกำหนดค่าข้อมูลอินพุต เอาต์พุตเป็นปัญหาชนิดที่เป็นฟังก์ชันต่อเนื่องแบบไม่เป็นเชิงเส้นจากการศึกษาในบทที่ 2 นั้นสามารถเลือกใช้โครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้น (Multiple-Layer Network) โดยรูปแบบของการทำงานที่ป้อนไปข้างหน้า (Feed-forward) ส่วนการฝึกสอนจะใช้การฝึกสอนชนิดแพร่ค่าย้อนกลับ (Back-propagation) โครงสร้างโครงข่ายประสาทเทียมลักษณะเช่นนี้นิยมเรียกว่า “โครงข่ายประสาทเทียมเปอร์เซ็ปตรอนหลายชั้น (Multilayer Perceptron Network : MLP)” โดยมีโครงสร้างโครงข่ายประสาทเทียมที่นำเสนอตามภาพที่ 3.1



ภาพที่ 3.1 โครงสร้างโครงข่ายประสาทเทียม

ในการกำหนดโครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมจะต้องพิจารณาฟังก์ชันถ่ายโอน (Transfer Function) ซึ่งเป็นองค์ประกอบหนึ่งที่มีผลต่อการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียม ฟังก์ชันถ่ายโอนที่ใช้ในการฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียมแบบของการทำงานที่ป้อนไปข้างหน้า (Feed-Forward) มีอยู่หลายชนิด แต่โครงงานนี้ใช้ฟังก์ชันถ่ายโอนแบบแทนซิกมอยด์ (Tan-Sigmoid) เพราะทำการถ่ายโอนค่าระดับอยู่ที่ระหว่าง -1 กับ 1 ในชั้นซ่อน (Hidden Layer) และฟังก์ชันถ่ายโอนแบบเชิงเส้น (Linear) ซึ่งเป็นข้อมูลที่เข้ามีความสัมพันธ์กับข้อมูลที่ออก ในชั้นเอาต์พุต (Output Layer)

3.1.3 ปริมาณของข้อมูลฝึกสอนและข้อมูลทดสอบ

ปริมาณของข้อมูลที่นำมาใช้ในการฝึกสอนและทดสอบโครงข่ายประสาทเทียมนั้นโดยส่วนมากจะมีข้อจำกัดจากวิธีการเตรียมข้อมูลถ้าข้อมูลดังกล่าวได้มาโดยการเก็บบันทึกตามช่วงเวลาปริมาณของข้อมูลจะขึ้นอยู่กับช่วงเวลาและความถี่ในการเก็บบันทึกส่วนในกรณีที่ข้อมูลดังกล่าวเกิดจากการจำลองเหตุการณ์ ปริมาณของข้อมูลจะขึ้นกับความซับซ้อนของการจำลองเหตุการณ์เวลาที่ใช้ในการจำลองเหตุการณ์และประสิทธิภาพของอุปกรณ์ที่ใช้ดังนั้นการเลือกปริมาณของข้อมูลฝึกสอนจึงต้องพิจารณาตามวิธีการเตรียมข้อมูล

ข้อมูลทดสอบคือ ข้อมูลที่นำมาทดสอบความสามารถในการประมวลผลของโครงข่ายประสาทเทียมที่ผ่านการฝึกสอนแล้วโดยเป็นข้อมูลที่ประกอบไปด้วยข้อมูลอินพุตและข้อมูลเอาต์พุตเช่นเดียวกันกับข้อมูลฝึกสอนหากแต่ค่าของข้อมูลดังกล่าวในชุดข้อมูลทดสอบจะเป็นค่าที่

ไม่ถูกใช้ในการฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียมกล่าวคือเป็นค่าที่โครงข่ายประสาทเทียมไม่เคยเรียนรู้มาก่อน

3.1.4 เงื่อนไขการฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียม

เงื่อนไขทั้งหมดที่กำหนดขอบเขตการฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียม ซึ่งมีผลต่อการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียมโครงงานนี้ใช้ Neural Networks Toolbox ของโปรแกรม MATLAB ฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียม ดังนั้นองค์ประกอบบางชนิดที่มีผลต่อการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียมที่โปรแกรม MATLAB ได้ทำการกำหนดไว้แล้ว ยกเว้นองค์ประกอบบางชนิด เช่น รูปแบบอินพุตและเอาต์พุต จำนวนของข้อมูลฝึกสอน และข้อมูลทดสอบ เป็นต้นซึ่งผู้จัดทำโครงงานจะเป็นผู้กำหนดเอง จุดมุ่งหมายของการฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียมในโครงงานนี้ฝึกสอนเพื่อให้ได้เอาต์พุตที่ต้องการ คือ ขนาดสายเฟส ขนาดสายดิน ขนาดท่อร้อยสาย ขนาดฟิวส์ และขนาดเบรกเกอร์ ในการฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียมจะประมวลผลโดยใช้โปรแกรม MATLAB ด้วยคอมพิวเตอร์ที่ใช้งานซึ่งมีคุณสมบัติดังนี้ CPU : AMD A6-3400M @1.4 GHz RAM : 4 GB

3.1.5 การฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียม

เงื่อนไขทั้งหมดที่กำหนดขอบเขตการฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียมซึ่งมีผลต่อการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียม ซึ่งโครงงานเล่มนี้จะใช้ Neural Network Toolbox ของโปรแกรม MATLAB ฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียม ดังนั้นองค์ประกอบบางชนิดที่จะมีผลต่อการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียมที่โปรแกรม MATLAB ได้ทำการกำหนดไว้แล้ว ยกเว้นองค์ประกอบบางชนิด เช่น กลุ่มของรูปแบบอินพุต และเอาต์พุต จำนวนของข้อมูลฝึกสอน ข้อมูลทดสอบและทดลอง เป็นต้น ซึ่งตัวผู้ฝึกสอนจะเป็นผู้กำหนดเอง ในโครงงานเล่มใช้โครงข่ายประสาทเทียมชนิดแพร่ย้อนกลับ (Back-Propagation) ซึ่งโครงข่ายประสาทเทียมนี้เป็นโครงข่ายประสาทเทียมที่มีอยู่ในโปรแกรม MATLAB ขั้นตอนการฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียมชนิดแพร่ย้อนกลับ มีขั้นตอนดังนี้

1. ค่าเริ่มต้นของค่าถ่วงน้ำหนัก (weight) และค่าไบแอส (Bias)

การเลือกค่าถ่วงน้ำหนักและค่าไบอัสสำหรับการฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียมนั้น ในโครงงานเล่มนี้จะเริ่มต้นด้วยการสุ่มค่าถ่วงน้ำหนักและค่าไบแอสให้กับโครงข่ายเริ่มต้นของโครงข่ายประสาทเทียม โดยหนึ่งรอบการฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียมจะแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอน คือ ป้อนค่าอินพุตที่ได้รับจากชั้นอินพุตมาทำการคำนวณหาคำตอบหรือเอาต์พุต ของโครงข่ายประสาทเทียม สำหรับแต่ละรูปแบบข้อมูลที่ป้อนให้ จากนั้นจะแพร่ค่าย้อนกลับของค่าผิดพลาดระหว่างเอาต์พุตของโครงข่ายประสาทเทียมกับเอาต์พุตเป้าหมายและทำการปรับเปลี่ยนค่าถ่วงน้ำหนักและค่าไบแอสด้วย Levenberg Maquard Algorithm (trainlm)

2. ลำดับขั้นตอนการปรับค่าถ่วงน้ำหนัก (weight) และค่าไบแอส (Bias)

ลำดับขั้นตอนในการปรับค่าถ่วงน้ำหนักและค่าไบแอสในการฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียมชนิด Feed-Forward Network Toolbox ในโครงงานนี้ได้นำวิธี Levenberg Maquard-Algorithm ซึ่งเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพและรวดเร็วในการฝึกสอนสูงสุด โดยมีลำดับขั้นตอนการปรับค่าถ่วงน้ำหนักและค่าไบแอสดังสมการ (2.14) จาโคเบียนเมตริกซ์ของ (w,b) ดังสมการ (2.15) และ (2.16) เมตริกซ์ของค่าความผิดพลาดดังสมการ (2.17)

3. จำนวนครั้งและรอบของการปรับค่าถ่วงน้ำหนัก (weight) และค่าไบแอส (Bias)

การฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียมแต่ละรอบจะกำหนดให้มีค่าถ่วงน้ำหนักและค่าไบแอสเป็นจำนวน 1,000 ครั้ง (Epoch) ซึ่งเมื่อโครงข่ายประสาทเทียมทำการปรับค่าถ่วงน้ำหนักและค่าไบแอสจนครบ 1,000 ครั้งแล้ว สำหรับจำนวนรอบของการฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียมกำหนดไว้ที่ 25 รอบต่อการฝึกสอน เพื่อใช้เป็นเกณฑ์ในการเปรียบเทียบเวลาในการการฝึกสอน

4. จำนวนโหนดในชั้นซ่อนของโครงข่ายประสาทเทียม 3 ชั้นซ่อน

จำนวนโหนดในชั้นซ่อน ซึ่งจำนวนโหนดนั้นจะมีผลต่อเวลาที่ใช้ในการฝึกสอน นั้นคือถ้าจำนวนโหนดมากเวลาที่ใช้ในการฝึกสอนก็มากตามไปด้วย ในโครงงานเล่มนี้ได้ทำการทดสอบโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ค่าย้อนกลับที่มีชั้นซ่อน 1 ชั้นและชั้น 2 ชั้นและ 3 ชั้นซ่อน โดยในการทดสอบโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ค่าย้อนกลับค่าย้อนกลับที่มีชั้นซ่อน 1 ชั้นนั้นจะทำการฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียมที่มีจำนวนโหนดในชั้นซ่อนตั้งแต่ 2 โหนดไปจนถึง 20 โหนด เพื่อหาจำนวนโหนดในชั้นซ่อนที่ดีที่สุดที่ทำให้โครงข่ายเทียมมีประสิทธิภาพที่ดีที่สุด

5. เงื่อนไขของการฝึกสอน

ในการฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียมและใช้กระบวนการปรับค่าถ่วงน้ำหนักและค่าไบแอสด้วยวิธี Levenberg Maquard Algorithm นั้นจะมีเงื่อนไขพื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับการสิ้นสุดการสอนดังนี้

(1) ค่า Gradient Factor เป็นพารามิเตอร์หนึ่งที่ใช้ในการพิจารณาถึงการสิ้นสุดของการฝึกสอน ในการปรับค่าถ่วงน้ำหนักและค่าไบแอสแต่ละรอบ Gradient Factor จะเปลี่ยนแปลงไปขึ้นอยู่กับค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้นใน (Epoch) นั้นๆ โดยการฝึกสอนจะสิ้นสุดลงเมื่อ Gradient Factor มีค่าน้อยกว่า 0

(2) ค่า Mu Factor หรือ Learning Factor เป็นค่าคงที่ใช้เร่งการปรับค่าถ่วงน้ำหนักและค่าไบแอสให้เข้าหาคำตอบ ในการปรับค่าถ่วงน้ำหนักและค่าไบแอสแต่ละรอบนั้นหากค่า Gradient Factor มีค่าเพิ่มขึ้น จะมีการปรับค่า Mu Factor ให้เพิ่มขึ้นจนกระทั่งค่า Gradient Factor มีแนวโน้มที่จะลดลง จากนั้นค่าจะถูกปรับลดลงเรื่อยๆและมีการปรับเพิ่มขึ้นเรื่อยอีกครั้ง และการฝึกสอนจะสิ้นสุดลงเมื่อค่า Mu Factor หรือค่า Gradient Factor มีค่ามากกว่าที่กำหนดไว้

3.1.6 ขั้นตอนการออกแบบระบบไฟฟ้าสำหรับวงจรมอเตอร์โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม

ในโครงงานนี้จะใช้โครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับที่มีชั้นซ่อน 3 ชั้นซึ่งจะมีขั้นตอนเหมือนกับการทดสอบด้วยโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ค่าย้อนกลับที่มีชั้นซ่อน 1 ชั้น โดยการทดสอบด้วยโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ค่าย้อนกลับที่มีชั้นซ่อน 3 ชั้นจะเพิ่มจำนวนชั้นซ่อนเป็น 3 ชั้น ทำให้การเลือกฟังก์ชันในการถ่ายโอนในชั้นซ่อนทั้ง 3 ชั้นและชั้นเอาต์พุตนั้นเพิ่มขึ้น โดยเลือกจากฟังก์ชันการถ่ายโอนแบบ Linear, Log – Sigmoid และ Tan – Sigmoid และทำการเปรียบเทียบว่าโครงข่ายประสาทเทียมแบบใดให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดก็ดูจากค่า Mean Absolute Percentage Error (MAPE) ของชุดทดสอบเช่นเดียวกับโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ค่าย้อนกลับที่มีชั้นซ่อน 1 ชั้น

ขั้นตอนการทดสอบด้วยโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ค่าย้อนกลับที่มีชั้นซ่อน 3 ชั้น มีขั้นตอนดังนี้

(1) กำหนดข้อมูลที่ใช้เป็นอินพุตและเอาต์พุตให้กับโครงข่ายประสาทเทียม

(2) กำหนดชุดข้อมูลที่ใช้เป็นชุดฝึกสอนและชุดทดสอบ

(3) เลือกฟังก์ชันการถ่ายโอนที่จะใช้ในชั้นซ่อนชั้นที่ 1 ชั้นซ่อนที่ 2 ชั้นซ่อนชั้นที่ 3 และชั้นเอาต์พุต

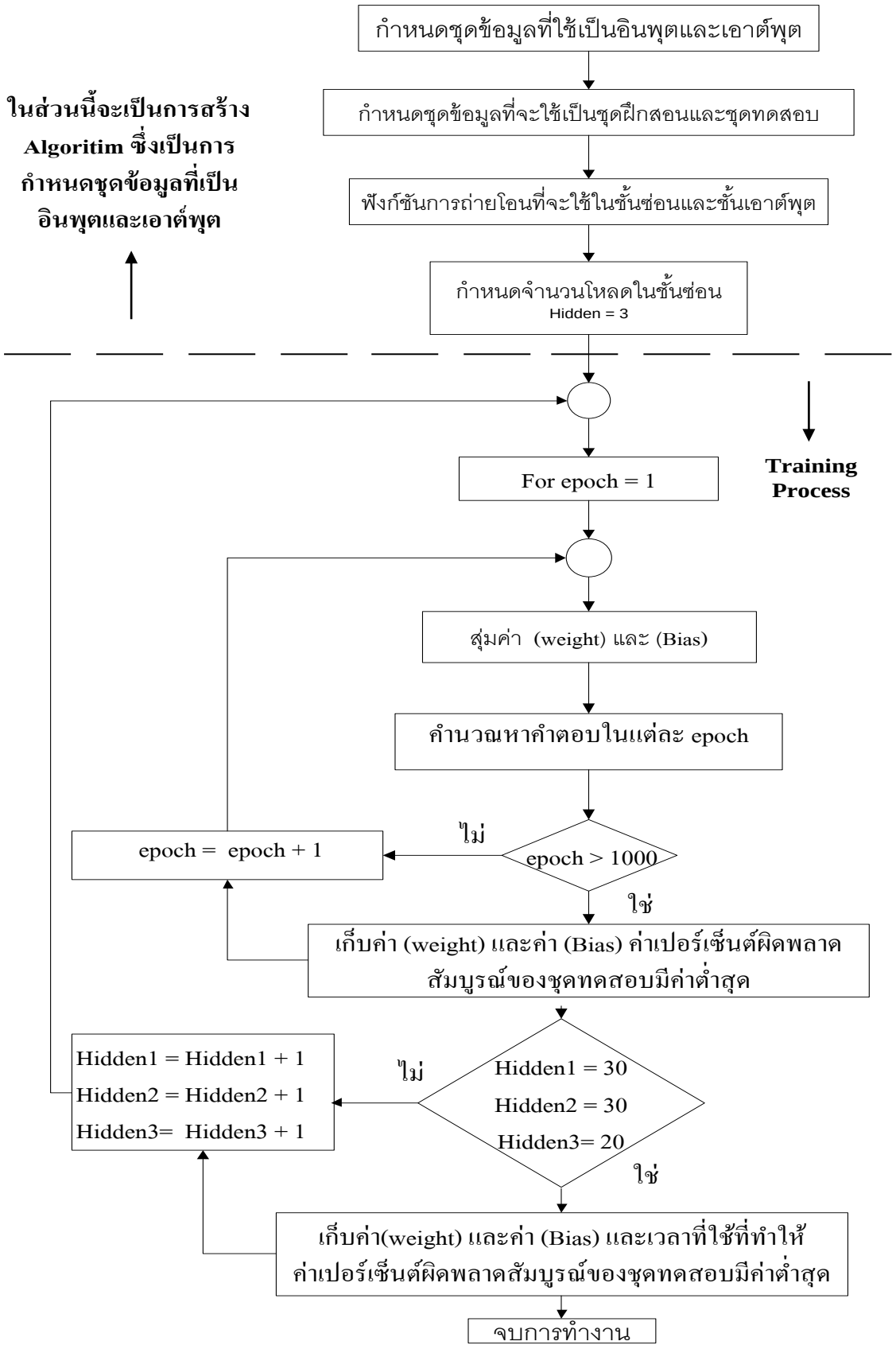
(4) กำหนดจำนวนโหนดในชั้นซ่อนที่ 1 ให้เริ่มต้นด้วยจำนวน 3 โหนดจำนวนโหนดชั้นซ่อนที่ 2 จำนวน 2 โหนดและจำนวนโหนดในชั้นซ่อนที่ 3 จำนวน 1 โหนด (จำนวนโหนดในชั้นซ่อนที่ 1 จะมากกว่าจำนวนโหนดในชั้นซ่อนที่ 2 จำนวน 1 โหนดและจำนวนโหนดในชั้นซ่อนที่ 2 จะมากกว่าชั้นซ่อนที่ 3 จำนวน 1 โหนด)

(5) กำหนดจำนวนรอบของการฝึกสอน โดยให้แต่ละโครงสร้างทำการฝึกสอนจำนวน 10 รอบต่อโครงสร้าง และแต่ละรอบทำการปรับค่าถ่วงน้ำหนักและค่าไบอัสทั้งหมด 10,000 ครั้ง (epoch) จากนั้นทำการรันโปรแกรมแล้วเก็บบันทึก

- ค่าเปอร์เซ็นต์ผิดพลาดสัมบูรณ์ของชุดฝึกสอนและชุดทดสอบโดยบันทึกทั้งค่าต่ำสุด ค่าเฉลี่ยและค่าสูงสุด ที่ได้ในแต่ละรอบ
- เวลาที่ใช้ในการฝึกสอนในแต่ละโครงสร้าง
- ค่าถ่วงน้ำหนัก (weight) และค่าไบอัส (bias)
- จำนวนโหนดในชั้นซ่อนที่ 1 และชั้นซ่อนที่ 2 ของโครงสร้างที่ให้ค่า MAPE ของชุดทดสอบต่ำที่สุด

(6) เปลี่ยนฟังก์ชันการถ่ายโอนที่ใช้ในชั้นซ่อนที่ 1 ชั้นซ่อนที่ 2 ชั้นซ่อนที่ 3 และชั้นเอาต์พุตของโครงข่ายประสาทเทียมแล้วทำซ้ำข้อ (4) และ (5)

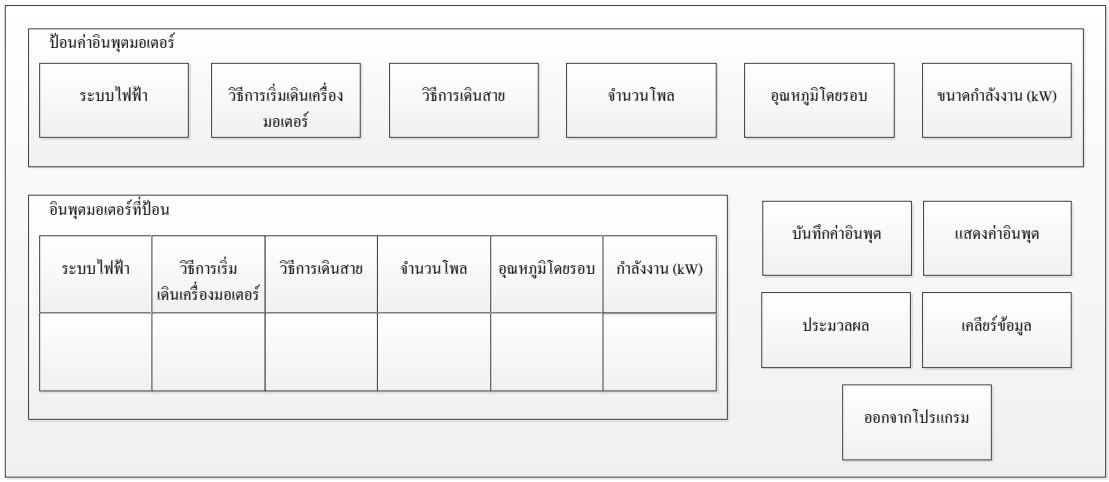
(7) ทำการเปลี่ยนฟังก์ชันการถ่ายโอนให้ครบทุกแบบขั้นตอนการทดสอบด้วยโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ค่าย้อนกลับนั้นสามารถเขียนเป็นแผนภาพได้ดังภาพที่ 3.2



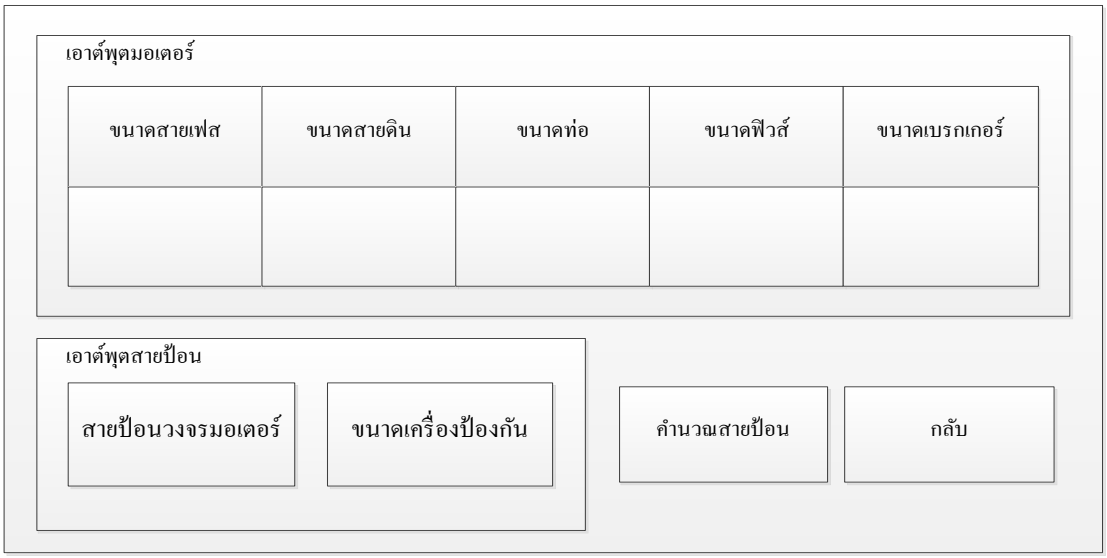
ภาพที่ 3.2 แผนภาพการทดสอบด้วยโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ค่าย้อนกลับที่มีชั้นซ่อน 3 ชั้น

3.1.7 การออกแบบหน้าต่างโปรแกรม

การออกแบบหน้าต่างโปรแกรมจะแบ่งเป็น 2 แบบ คือ หน้าต่างโปรแกรมของอินพุตและเอาต์พุต โดยจะแสดงดัง ภาพที่ 3.3 และ 3.4



ภาพที่ 3.3 แบบหน้าต่างโปรแกรมของอินพุต



ภาพที่ 3.4 แบบหน้าต่างโปรแกรมของเอาต์พุต

3.2 การสร้างโปรแกรม

ในการสร้างโปรแกรมให้เป็นไปตามที่ออกแบบนั้นต้องใช้ข้อมูลพิกัดกระแสโหลดเต็มที่ของมอเตอร์ไฟฟ้า ข้อมูลที่ใช้ฝึกสอนและทดสอบโปรแกรม การสอนและการทดสอบโครงข่ายประสาทเทียม มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.2.1 ข้อมูลพิกัดกระแสโหลดเต็มที่ของมอเตอร์ไฟฟ้า

ก่อนการพิจารณาหาค่าพิกัดต่างๆสำหรับการออกแบบระบบไฟฟ้าสำหรับมอเตอร์ไฟฟ้า ผู้ออกแบบจำเป็นต้องทราบค่าพิกัดกระแสของมอเตอร์ไฟฟ้าก่อน ค่าพิกัดกระแสของมอเตอร์จะมีอยู่ 2 ค่าคือค่าพิกัดกระแสโหลดเต็มที่ตามแผ่นป้ายประจำเครื่อง (Rated Load Current) จะใช้สัญลักษณ์ภาษาอังกฤษ FLA ซึ่งจะเป็นค่ากระแสของมอเตอร์ในขณะที่ใช้งานเต็มพิกัดโหลดปกติ และพิกัดกระแสโหลดเต็มที่ของมอเตอร์ไฟฟ้า (Full Load Current) จะใช้สัญลักษณ์ภาษาอังกฤษ FLC ซึ่งหมายถึงค่าพิกัดกระแสไฟฟ้าที่มอเตอร์ใช้งานเต็มที่ในการทำงานโดยที่มอเตอร์ยังไม่เป็นอันตราย ค่ากระแสพิกัดโหลดเต็มที่เต็มที่สำหรับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสกระแสสลับ 1 เฟส และ 3 เฟส แสดงได้จากตารางที่ 3.2 และ 3.3 ตามลำดับ ผู้ออกแบบจะต้องใช้ค่าพิกัดกระแสในตารางสำหรับออกแบบวงจรมอเตอร์ ไม่ใช่นำค่ากระแสที่อ่านได้จากแผ่นป้ายประจำเครื่องมาทำการออกแบบ ยกเว้นสำหรับการพิจารณาเครื่องป้องกันโหลดเกินเท่านั้นที่จะใช้ค่ากระแสที่อ่านได้จากแผ่นป้ายประจำเครื่องในการคำนวณ

ตารางที่ 3.2 กระแสพิกัดโหลดเต็มที่ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ 1 เฟส 220 V (แอมแปร์)

ขนาดมอเตอร์ (kW)	ขนาดกระแสโหลดเต็มที่ (FLA)
0.37	3.9
0.55	5.2
0.75	6.6
1.1	9.6
1.5	12.7
1.8	15.7
2.2	18.6
3	24.3
4	29.6
4.4	34.7
5.2	39.8
5.5	42.2
6	44.5
7	49.5
7.5	50

ตารางที่ 3.3 กระแสพิกัดโหลดเต็มที่ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส 380 V (แอมแปร์)

2 pole					4 pole				
Output Power (kW)	Current, In (A)	Power Factor cosØ	Effciency		Output Power (kW)	Current, In (A)	Power Factor cosØ	Effciency	
			Full Load	3/4 Load				Full Load	3/4 Load
3	6.14	0.9	83	83.16	2.2	4.98	0.83	81.5	82.32
4	7.82	0.924	85	84.56	3	6.5	0.85	82.5	82.51
5.5	10.7	0.9	87.5	87.87	4	8.57	0.84	84.5	84.63
7.5	14.5	0.9	87.5	90.12	5.5	11.93	0.87	85.5	87.07
11	20.41	0.91	90	90.52	7.5	15.2	0.85	88	88.26
15	27.82	0.91	90	90.1	11	21.46	0.87	89.5	90.01
18.5	34.13	0.91	90.5	90.86	15	28.78	0.88	90	90.38
22	40.45	0.61	90.8	91.02	18.5	35.1	0.88	91	90.88
30	54.9	0.91	91.2	91.1	22	40.59	0.9	91.5	89.98
37	67.36	0.91	91.7	91.83	30	55.47	0.89	92.3	91.83
45	82.39	0.9	92.2	92.16	37	71.42	0.85	92.3	91.16
55	100.1	0.9	93.2	91.7	45	84.68	0.88	92.6	91.66
75	131.9	0.91	94	92.3	55	102.8	0.88	93.2	91.3
90	159	0.91	94.3	92.4	75	128	0.88	93.8	93.9
110	193	0.92	94	92.16	90	165.1	0.88	94.1	94.6
132	231	0.92	94.5	92.96	110	199	0.89	94.5	93.51
160	276	0.93	94.6	93.52	132	238	0.89	94.8	94.8
200	345	0.93	94.8	93.95	160	285	0.9	94.9	94.9
250	435.1	0.92	95.4	94.5	200	355	0.9	95	95
315	544.8	0.92	96	95.25	250	440.4	0.91	95.3	95.3
					315	553.2	0.91	95.6	95.6

ตารางที่ 3.3 (ต่อ)

6 pole					8 pole				
Output Power (kW)	Current, In (A)	Power Factor cosØ	Effciency		Output Power (kW)	Current, In (A)	Power Factor cosØ	Effciency	
			Full Load	3/4 Load				Full Load	3/4 Load
1.5	3.8	76	76	75.28	2.2	5.6	0.75	80.5	81.78
2.2	5.5	79	79	81.16	3	7.5	0.78	81	81.38
3	6.87	82	82	83.55	4	9.52	0.76	84	83.98
4	9.31	84	84	84.18	5.5	12.86	0.76	85.5	85.62
5.5	12.3	85.5	85.5	85.5	7.5	17.11	0.77	86.5	85.82
7.5	16.4	88	88	88	11	24.11	0.79	87.7	86.96
11	23.6	88.5	88.5	88.5	15	32.86	0.78	88.9	89.38
15	30.5	89	89	89	18.5	41.09	0.75	89.9	89.12
18.5	36.9	90.6	90.6	90.6	22	48	0.76	90.4	89.16
22	43.8	90.9	90.9	90.9	30	63	0.8	91.1	90.1
30	64	90.5	90.5	90.5	37	76.7	0.8	91.6	91.7
37	68	92.2	92.2	92.2	45	92.7	0.8	92.2	91.1
45	85.1	92.7	92.7	92.7	55	108	0.83	92.8	91.52
55	102.3	92.8	92.8	92.8	75	148	0.83	93	91.93
75	140	93.5	93.5	93.5	90	176	0.83	93.8	93.22
90	168	93.8	93.8	93.8	110	212	0.84	94	92.38
110	201	94.3	94.3	94.3	132	248	0.82	93.7	-
132	241	94.5	94.5	94.5	160	299	0.82	94.2	-
160	285.3	94.7	94.7	94.7					
200	355.8	94.9	94.9	94.9					
250	441.3	95.1	95.1	95.1					

3.2.2 ข้อมูลที่ใช้ฝึกสอนและทดสอบโปรแกรม

จากการคำนวณค่าข้อมูลอินพุตของการออกแบบมอเตอร์ไฟฟ้าจะมีจำนวนทั้งหมด 2,286 ชุด ดังตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 ตัวอย่างกำหนดค่าข้อมูลอินพุตของวงจรมอเตอร์ไฟฟ้า 1 เฟสและ 3 เฟส

ชุดการสอน	ระบบไฟฟ้า	วิธีการเดินเครื่องมอเตอร์	วิธีการเดินสาย	จำนวน Pole	อุณหภูมิ (°C)	กำลังงาน (kW)	Output
1	1	0	1	0	31-35	0.37	1
2	1	0	1	0	31-35	0.55	1
3	1	0	1	0	31-35	0.75	1
500	3	0	1	8	41-45	5.5	4
501	3	0	1	8	41-45	7.5	17
502	3	0	1	8	46-50	0.25	1
2281	3	1	3	8	26-30	55	368
2282	3	1	3	8	26-30	75	407
2283	3	1	3	8	26-30	90	428

ข้อมูลเอาต์พุตประกอบด้วย ขนาดสาย (mm^2) สายดิน (mm^2) ขนาดท่อ (mm) ฟิวส์ (A) เบรกเกอร์ (AT) ที่จัดเป็นชุด และให้คำตอบออกมาเป็นชุด โดยแต่ละชุดเป็นตัวดัชนีตั้งแต่ 1 – 505 ชุด ซึ่งสรุปข้อมูลเอาต์พุตดังตารางที่ 3.5 และ 3.6

ตารางที่ 3.5 ตัวอย่างข้อมูลเอาต์พุตที่ได้จากการกำหนดค่าข้อมูลอินพุตของการออกแบบมอเตอร์ไฟฟ้า ของวิธีการเดินสายแบบเดินในอากาศ

Output Index	ข้อมูลระบบฟ้าของวงจรมอเตอร์ที่คำนวณได้				
	ขนาดสายเฟส (mm^2)	ขนาดสายดิน(mm^2)	ขนาดท่อ(mm)	ขนาดฟิวส์ หน่วงเวลา (A)	ขนาดเบรกเกอร์ เวลาผกผัน(AT)
1	2.5	1.5	-	15	15
2	2.5	1.5	-	15	20
3	2.5	1.5	-	15	25
4	2.5	1.5	-	20	30
5	2.5	2.5	-	20	35
6	2.5	2.5	-	25	35
7	2.5	2.5	-	25	40
8	2.5	2.5	-	30	40
9	2.5	2.5	-	30	45
10	2.5	2.5	-	35	50

ตางรางที่ 3.6 ตัวอย่างข้อมูลเอาต์พุตที่ได้จากการกำหนดค่าข้อมูลอินพุตของการออกแบบมอเตอร์ไฟฟ้า ของวิธีการเดินสายแบบเดินในอากาศในท่อโลหะและเดินฝังดินในท่อโลหะ

Output Index	ข้อมูลระบบฟ้าของวงจรมอเตอร์ที่คำนวณได้				
	ขนาดสายเฟส (mm^2)	ขนาดสายดิน(mm^2)	ขนาดท่อ(mm)	ขนาดฟิวส์ หน่วงเวลา (A)	ขนาดเบรกเกอร์ เวลาผกผัน(AT)
160	2.5	1.5	20	15	25
161	2.5	1.5	20	20	30
162	2.5	1.5	32	15	15
163	2.5	1.5	32	15	20
164	2.5	1.5	32	20	30
165	2.5	1.5	32	15	25
166	2.5	1.5	40	20	30
167	2.5	2.5	15	25	35
168	2.5	2.5	20	20	35
169	2.5	2.5	20	25	35
170	2.5	2.5	20	35	50

3.2.2 การสอนและการทดสอบโครงข่ายประสาทเทียม

ชุดคำสั่งที่ใช้ในการสอนโครงข่ายประสาทเทียม มีรายละเอียดดังนี้

(1) เลือกฟังก์ชันการถ่ายโอนที่จะใช้ในชั้นซ่อนชั้นที่ 1 ชั้นซ่อนที่ 2 ชั้นซ่อนชั้นที่ 3 และชั้นเอาต์พุต

(2) กำหนดจำนวนโหนดในชั้นซ่อนที่ 1 ให้เริ่มต้นด้วยจำนวน 3 โหนดจำนวนโหนดชั้นซ่อนที่ 2 จำนวน 2โหนดและจำนวนโหนดในชั้นซ่อนที่ 3 จำนวน 1 โหนด (จำนวนโหนดในชั้นซ่อนที่ 1 จะมากกว่าจำนวนโหนดในชั้นซ่อนที่ 2 จำนวน 1โหนดและจำนวนโหนดในชั้นซ่อนที่ 2 จะมากกว่าชั้นซ่อนที่ 3 จำนวน 1 โหนด) ทำการรันโปรแกรมจนกระทั่งโครงสร้างประสาทเทียมมีจำนวนโหนดในชั้นซ่อนที่ 1 มีจำนวน 30 โหนดจำนวนโหนดในชั้นซ่อนที่ 2 มี 30 โหนดและจำนวนโหนดในชั้นซ่อนที่ 3 มี 20 โหนด

(3) ค่า Gradient Factor เป็นพารามิเตอร์หนึ่งที่ใช้ในการพิจารณาถึงการสิ้นสุดของการฝึกสอน ในการปรับค่าถ่วงน้ำหนักและค่าไบแอสแต่ละรอบ Gradient Factor จะเปลี่ยนแปลงไปขึ้นอยู่กับค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้นใน (Epoch) นั้นๆ โดยการฝึกสอนจะสิ้นสุดลงเมื่อ Gradient Factor มีค่าน้อยกว่า 0

(4) ค่า Mu Factor หรือ Learning Factor เป็นค่าคงที่ใช้เร่งการปรับค่าถ่วงน้ำหนักและค่าไบแอสให้เข้าหาคำตอบ ในการปรับค่าถ่วงน้ำหนักและค่าไบแอสแต่ละรอบนั้นหากค่า Gradient Factor มีค่าเพิ่มขึ้น จะมีการปรับค่า Mu Factor ให้เพิ่มขึ้นจนกระทั่งค่า Gradient Factor มีแนวโน้มที่จะลดลง จากนั้นค่า จะถูกปรับลดลงเรื่อยๆและมีการปรับเพิ่มขึ้นเรื่อยอีกครั้งเมื่อค่า Gradient Factor มีค่าเพิ่มขึ้นโดยที่ค่า Mu Factor เริ่มต้นจะมีค่าเท่ากับ 0.001 การปรับค่า Mu Factor เพิ่มขึ้นนั้นจะทำโดยการคูณด้วย Increased Factor ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.2 และการฝึกสอนจะสิ้นสุดลงเมื่อค่า Mu Factor มีค่ามากกว่า 1×10^{-44}

ชุดคำสั่งที่ใช้ในการสอนโครงข่ายประสาทเทียม สามารถเขียนคำสั่งได้ดังนี้

```
net = newff(minmax(trainIp),[30 30 20 1],{'tansig','tansig','tansig' ,'purelin'},'trainlm');
net.trainParam.epochs = 10000;
net.trainParam.goal = 1e-6;
net.trainParam.max_fail = 5;
net.trainParam.mem_reduc = 1;
```

net.trainParam.min_grad = 1e-500;

net.trainParam.mu = 0.001;

net.trainParam.mu_max = 1e100;

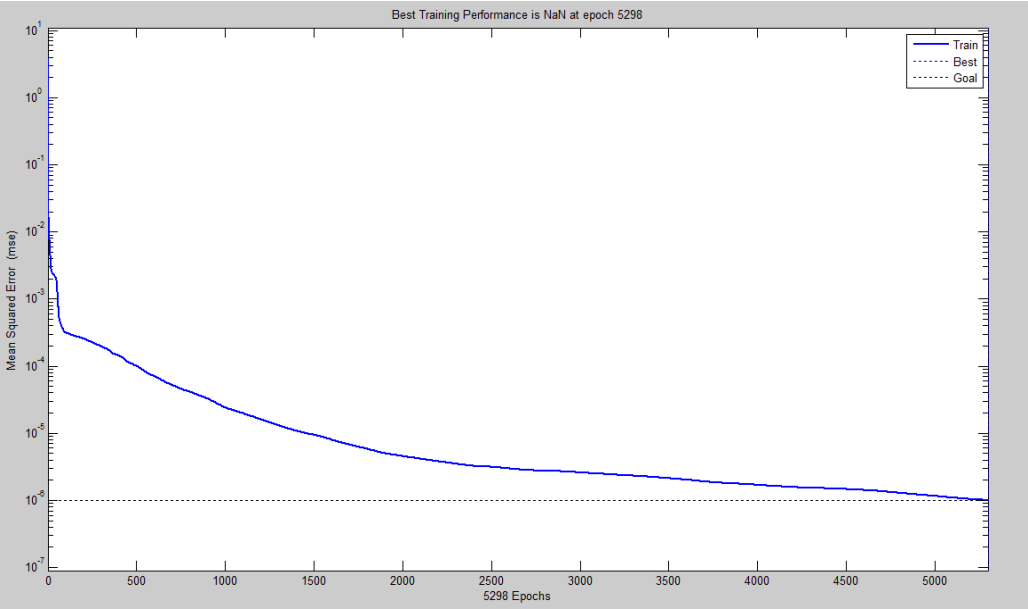
net.trainParam.mu_inc = 20;

net.trainParam.lr = 0.2;

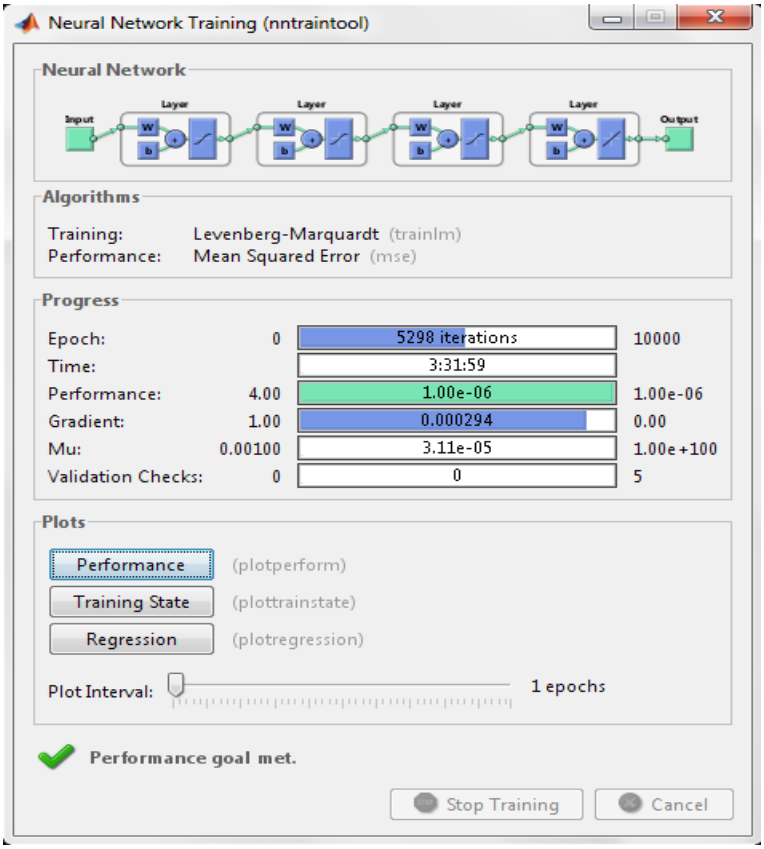
net.trainParam.mc = 1.2;

3.2.3 ผลการฝึกสอนจำนวน 1143 ชุด

ผลการฝึกสอนจำนวน 1143 ชุด หลังจากการกำหนดเงื่อนไขต่างๆ จำนวน 2286 ชุด จะถูกนำมาฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียมซึ่งจากการฝึกสอนพบว่าจำนวนนิวรอนที่ฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียมสำเร็จในชั้นซ่อน เพื่อให้ได้ค่าเอาต์พุต ตรงกับอินพุตที่ป้อนเข้าไปโดยสมรรถนะของกระบวนการฝึกสอนตามรูปที่ 3.5 ซึ่งมีการฝึกสอนจำนวน 5290 รอบ ผลลัพธ์ที่ได้เอาต์พุตเป็นเลขดัชนี โดยจะนำไปชี้ค่า Look – up Table และเวลาที่ใช้ในการฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียมตามภาพที่ 3.6



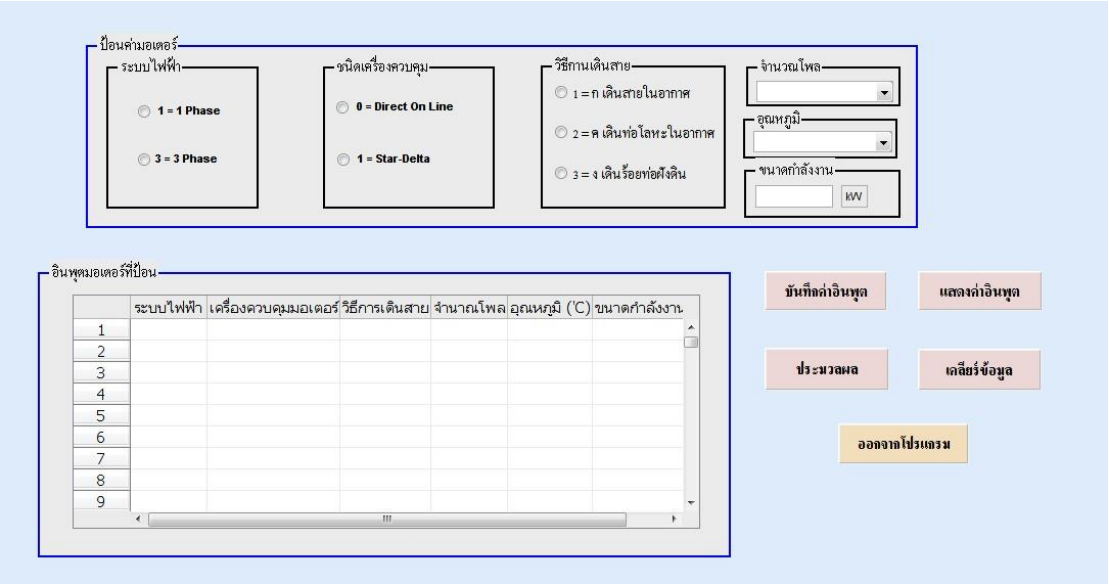
ภาพที่ 3.5 สมรรถนะการฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียมในการออกแบบระบบไฟฟ้าสำหรับมอเตอร์



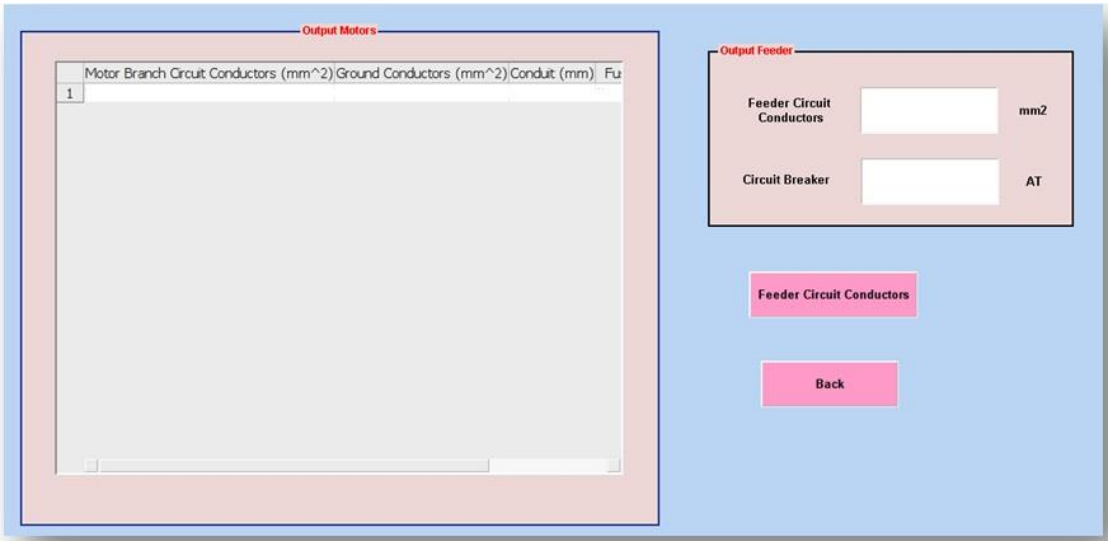
ภาพที่ 3.6 เวลาการฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียมในการออกแบบระบบไฟฟ้าสำหรับ มอเตอร์

3.2.4 แบบหน้าต่างโปรแกรม

แบบหน้าต่างของโปรแกรมที่นำไปใช้งาน แบ่งเป็น 2 หน้าต่าง คือ หน้าต่างโปรแกรมของอินพุต ประกอบด้วย ระบบไฟฟ้า 1 เฟส และ 3 เฟส วิธีการเดินเครื่องมอเตอร์ นั้นจะแบ่งเป็น แบบ Direct On Line และ แบบ Star-Delta วิธีการเดินของสาย การเดินสายในอากาศ การเดินสายในท่อโลหะไม่ฝังดิน (เดินในอากาศ) และ การเดินสายในท่อโลหะฝัง จำนวนโพล สาย นั้นจะแบ่งเป็น 2 โพล 4 โพล 6 โพล 8 โพล และไม่ทราบค่า อุณหภูมิใช้เป็นค่าจริง = 21-60°C ขนาดกำลังงาน (kw) ใช้เป็นค่าจริง = 0.37-315 kW หน้าต่างโปรแกรมของเอาต์พุต ซึ่งประกอบด้วย ขนาดสาย (mm^2) ขนาดสายดิน (mm^2) ขนาดท่อ (mm) ฟิวส์ (A) เบรกเกอร์ (AT) โดยแสดงดังภาพที่ 3.7 และ 3.8



ภาพที่ 3.7 หน้าต่างโปรแกรมของอินพุต



ภาพที่ 3.8 หน้าต่างโปรแกรมของเอาต์พุต