บทที่ 6

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผล

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ได้ทำการศึกษาการปรับค่าพารามิเตอร์ของตัวสร้างเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลังแบบธรรมดาด้วยเครือข่ายประสาทเทียมแบบฟังก์ชั่นมูลฐานแนวรัศมี เพื่อชดเชยความผิดพลาดของแบบจำลองเชิงเส้นที่ใช้เป็นสถานะการทำงานของระบบไฟฟ้ากำลังในการกำหนดค่าพารามิเตอร์ของตัวสร้างเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลังแบบธรรมดาที่มีค่าพารามิเตอร์คงตัว และวิธีการเลือกค่าพารามิเตอร์ภายในเครือข่ายประสาทเทียมแบบฟังก์ชั่นมูลฐานแนวรัศมี คือ วิธีการกำลังสองน้อยสุดแบบตั้งฉากที่มีการปรับค่าได้ ซึ่งปรับปรุงจากวิธีการกำลังสองน้อยสุดแบบตั้งฉาก เพื่อให้ได้เครือข่ายที่มีขนาดกะทัดรัดแต่มีประสิทธิภาพในการทำงานที่ดี โดยข้อมูลการฝึกฝนเครือข่ายประสาทเทียมประกอบด้วยค่ากำลังไฟฟ้าจริงที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส 2 จ่ายออกมา ค่ากำลังไฟฟ้ารีแอกตีฟที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส 2 จ่ายออกมา และแรงดันขั้วเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส 2 เป็นสัญญาณเข้า ขณะที่ค่าพารามิเตอร์ของตัวสร้างเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลังแบบธรรมดาเป็นสัญญาณออก ดังแสดงไว้ในภาคผนวก ค

นอกจากนี้ เพื่อช่วยให้ผลตอบสนองของระบบไฟฟ้ากำลังมีการหน่วงที่มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้เพิ่มเติมส่วนการปรับปรุงค่าสัมประสิทธิ์การหน่วง (D_s) ด้วยวิธีออพติไมซ์แบบเกรเดียนท์ลดลง (Gradient descent method) โดยใช้ในการลดค่ากำลังสองของกำลังเร่งให้มีค่าน้อยสุด เพื่อช่วยให้การแกว่งของผลตอบสนองให้มีขนาดลดลงเพื่อเข้าสู่สถานะการทำงานใหม่ได้รวดเร็ว

สำหรับการทดสอบในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ใช้ระบบเก้าบัส สามเครื่องจักร โดยทำการสุ่มสถานะการทำงานต่างๆ เพื่อทดสอบความสามารถในการปรับค่าพารามิเตอร์ของตัวสร้างเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลังแบบธรรมดาด้วยเครือข่ายประสาทเทียมให้สอดคล้องกับสถานะการทำงานต่างๆ รวมทั้งสิ้น 20 สถานะการทำงาน ดังแสดงไว้ในภาคผนวก ง และเหตุการณ์จำลองที่ใช้ในการทดสอบ คือ การเปลี่ยนแปลงแรงดันอ้างอิงขาเข้าของตัวกระตุ้น การเปลี่ยนแปลงโหลดที่บัส 5 และการเกิดลัดวงจรที่สายส่งจากบัส 7 ไปบัส 5 โดยเหตุเกิดใกล้บัส 7 ซึ่งหลังจากนั้น 0.1 วินาที ระบบป้องกันทำการปลดสายส่งดังกล่าวออกจากระบบ ซึ่งผลการทดสอบเป็นการเปรียบเทียบผลตอบสนองตามเหตุการณ์จำลองต่างๆ ของมุมโรเตอร์สัมพัทธ์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส 2 เทียบกับมุมโรเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส 1 และกำลังไฟฟ้าที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส 2 จ่ายออกมาในระบบไฟฟ้ากำลังกรณีต่างๆ ที่ไม่มีการติดตั้งตัวสร้างเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลัง ระบบไฟฟ้ากำลังกรณีต่างๆ ที่มีการติดตั้งตัวสร้างเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลังแบบธรรมดาที่มีค่าพารา

มิเตอร์คงตัวต่างๆ กัน และระบบไฟฟ้ากำลังกรณีต่างๆ ที่มีการติดตั้งตัวสร้างเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลังที่มีการปรับค่าด้วยเครือข่ายประสาทเทียมในช่วงการทำงาน 0-10 วินาที โดยสมมติว่ากำลังกลคงตัว ไม่เปลี่ยนแปลงในช่วงเวลาดังกล่าว ซึ่งแสดงผลการทดสอบไว้ชัดแจ้งแล้วในบทที่ 5

จากผลการทดสอบ สามารถสรุปเป็นประเด็นสำคัญได้ดังต่อไปนี้

1. ระบบไฟฟ้ากำลังที่ไม่มีการติดตั้งตัวสร้างเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลังมีผลตอบสนองที่มีการหน่วงแย่กว่าระบบไฟฟ้ากำลังที่มีการติดตั้งตัวสร้างเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลังแบบต่างๆ เมื่อเกิดการรบกวน ซึ่งในบางครั้งบางคราวอาจแสดงให้เห็นถึงความไม่มีเสถียรภาพของมุมโรเตอร์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีการเกิดลัดวงจรแล้วเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปลักษณ์ของเครือข่ายไฟฟ้ากำลังที่ทำให้ขอบเขตเสถียรภาพลดน้อยลง ดังนั้นสรุปได้ว่าการติดตั้งตัวสร้างเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลังสามารถช่วยเสริมสร้างเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลังได้เพิ่มขึ้น
2. กรณีการรบกวนมีขนาดเล็กได้แก่ การเปลี่ยนแปลงแรงดันอ้างอิงขาเข้าของตัวกระตุ้นขนาด 0.01 เปอร์ยูนิต และการเปลี่ยนแปลงโหลดที่บัส 5 ขนาด 10 เปอร์เซ็นต์ของโหลด ณ ขณะนั้น ระบบไฟฟ้ากำลังที่มีการติดตั้งตัวสร้างเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลังแบบธรรมดาที่มีการปรับค่าด้วยเครือข่ายประสาทเทียมให้ผลตอบสนองที่มีลักษณะคล้ายคลึงกับระบบไฟฟ้ากำลังที่มีการติดตั้งตัวสร้างเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลังแบบธรรมดาที่มีค่าพารามิเตอร์คงตัว
3. กรณีการรบกวนมีขนาดใหญ่ได้แก่ การเกิดลัดวงจรที่สายส่งจากบัส 7 ไปบัส 5 ระบบไฟฟ้ากำลังที่มีการติดตั้งตัวสร้างเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลังแบบธรรมดาที่มีการปรับค่าด้วยเครือข่ายประสาทเทียมให้ผลตอบสนองที่มีการหน่วงการแกว่งได้ดีกว่าระบบไฟฟ้ากำลังที่มีการติดตั้งตัวสร้างเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลังแบบธรรมดาที่มีค่าพารามิเตอร์คงตัว
4. การปรับค่าพารามิเตอร์ของตัวสร้างเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลังแบบธรรมดาด้วยเครือข่ายประสาทเทียมสามารถทำให้ตัวสร้างเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลังแบบธรรมดามีประสิทธิภาพในการหน่วงการแกว่งของระบบไฟฟ้ากำลังที่ไม่เป็นเชิงเส้นได้ดีขึ้น

6.2 ข้อเสนอแนะ

การทำวิทยานิพนธ์ที่ผ่านมา แบ่งส่วนการใช้โปรแกรมออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนการเลือกค่าพารามิเตอร์ภายในเครือข่ายประสาทเทียมแบบฟังก์ชั่นมูลฐานแนวรัศมี และส่วนการจำลองเหตุการณ์ทางพลวัตของระบบไฟฟ้ากำลัง โดยในส่วนการเลือกค่าพารามิเตอร์ภายในเครือข่ายประสาทเทียมแบบฟังก์ชั่นมูลฐานแนวรัศมีใช้โปรแกรม MATLAB ซึ่งมีประสิทธิภาพในการคำนวณสูง และสามารถคำนวณทางคณิตศาสตร์ในรูปของเมตริกซ์ได้โดยตรง ตัวอย่างเช่น การคำนวณเวคเตอร์เงาของเวคเตอร์ 1 บนเวคเตอร์ 2 (Projection vector of vector 1 on vector 2), การคำนวณหาความผิดพลาดกำลังสองน้อยเชิงเส้น (Linear Least Square Error) เป็นต้น ทำให้

สะดวกในการเลือกค่าพารามิเตอร์ภายในเครือข่ายประสาทเทียมฟังก์ชั่นมูลฐานแนวรัศมี และในส่วนการจำลองเหตุการณ์ทางพลวัตของระบบไฟฟ้ากำลัง ใช้โปรแกรม PSS/E ซึ่งมีความสามารถในการคำนวณการไหลกำลังไฟฟ้า และการจำลองเหตุการณ์ทางพลวัต ทั้งนี้ผู้ศึกษาใช้โปรแกรม PSS/E ในการจัดเตรียมข้อมูลการฝึกฝนเครือข่ายประสาทเทียมแบบข่ายฟังก์ชั่นมูลฐานแนวรัศมี และได้ทำการเขียนแบบจำลองของตัวสร้างเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลังที่มีการปรับค่าด้วยเครือข่ายประสาทเทียมแบบฟังก์ชั่นมูลฐานแนวรัศมีซึ่งมีส่วนการปรับค่าสัมประสิทธิ์การหน่วง (D_e) ช่วยเพิ่มเติมด้วยภาษา FLECS [22] ซึ่งมีลักษณะคล้ายคลึงกับภาษา FORTRAN เพื่อใช้ในการทดสอบ โดยรับข้อมูลค่าพารามิเตอร์ภายในเครือข่ายประสาทเทียมแบบฟังก์ชั่นมูลฐานแนวรัศมีจากผลลัพธ์ของโปรแกรม MATLAB ในรูปของไฟล์ ดังนั้นจะเห็นว่า การเลือกใช้โปรแกรมที่มีความสามารถในการใช้งานให้เหมาะสมกับความต้องการของผู้ศึกษาในแต่ละส่วนช่วยให้เกิดความสะดวกในการศึกษาวิจัยระบบไฟฟ้ากำลังได้มากยิ่งขึ้น แต่สิ่งที่ควรระวังเป็นพิเศษคือ ความละเอียดของข้อมูลในไฟล์เชื่อมต่อระหว่าง 2 โปรแกรมดังกล่าว ซึ่งในการศึกษาวิจัยนี้เป็นตัวเลขที่มีทศนิยม ทำให้ตำแหน่งทศนิยมของตัวเลขมีความสำคัญ กล่าวคือการละเลยตำแหน่งทศนิยมมากเกินไป อาจทำให้ผลการทดสอบมีความคลาดเคลื่อนไปจากทฤษฎีได้

ปัญหาที่พบเนื่องจากการศึกษาวิจัยที่ผ่านมา คือ การศึกษาเครือข่ายประสาทเทียมเริ่มต้นจากบทความอ้างอิงที่ประยุกต์เครือข่ายประสาทเทียมในระบบไฟฟ้ากำลังต่างๆ มักกล่าวอ้างถึงเนื้อหาทฤษฎีเครือข่ายประสาทเทียมเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ดังนั้นการศึกษาทฤษฎีเครือข่ายประสาทเทียมอย่างละเอียด จำเป็นต้องศึกษาจากตำราอ้างอิงต่างประเทศเป็นหลัก และบางครั้งไม่มีหลักการที่ตายตัวแน่นอนสำหรับเครือข่ายประสาทเทียม ทำให้ผู้ศึกษาวิจัยต้องใช้ความระมัดระวังในการประยุกต์เครือข่ายประสาทเพื่อปรับค่าพารามิเตอร์ของตัวสร้างเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลังแบบธรรมดาเป็นอย่างยิ่งอาทิเช่น การเรียนรู้ของเครือข่ายประสาทเทียมจำเป็นต้องอาศัยข้อมูลการฝึกฝนจำนวนมาก ซึ่งไม่สามารถระบุได้ชัดเจนว่า ข้อมูลจำนวนมากเพียงใดจึงเพียงพอสำหรับการเรียนรู้ของเครือข่ายประสาทเทียม ทำให้ต้องเสียเวลาในการจัดเตรียมข้อมูลการฝึกฝนเครือข่ายประสาทเทียมดังกล่าว โดยวิธีการได้มาของข้อมูลการฝึกฝนเครือข่ายประสาทเทียมแบบฟังก์ชั่นมูลฐานแนวรัศมีอาศัยการเลือกค่าพารามิเตอร์ของตัวสร้างเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลังด้วยวิธีการออกแบบตัวสร้างเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลังแบบธรรมดา ซึ่งจริงๆ ยังมีวิธีการเลือกค่าพารามิเตอร์ของตัวสร้างเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลังแบบธรรมดาได้อีกหลากหลายวิธี อาทิเช่น การเลือกค่าพารามิเตอร์ของตัวสร้างเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลังแบบธรรมดาด้วยวิธีการควบคุมแบบพอเหมาะ (Optimal control), วิธีการควบคุมแบบคงทน (Robust control) เป็นต้น ซึ่งการควบคุมที่กล่าวมาต้องอาศัยการค้นคว้าหาความรู้เพิ่มเติมมากขึ้น ซึ่งสามารถศึกษาวิจัยได้เพิ่มเติมต่อไป

นอกจากนี้ สิ่งสำคัญที่สุดในการปรับค่าพารามิเตอร์ของตัวสร้างเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลัง คือ คุณลักษณะไม่เชิงเส้นของฟังก์ชั่นถ่ายโอน $\frac{\Delta P_E}{\Delta V_{REF}}$ ซึ่งในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ใช้เครือข่ายฟังก์ชั่นมูลฐานแนวรัศมีจำลองคุณลักษณะดังกล่าวออกมาเป็นระบบเชิงเส้นที่สถานะการทำงานแต่ละเวลาเพื่อให้ได้ค่าพารามิเตอร์ที่สอดคล้องกับโครงสร้างของตัวสร้างเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลังแบบธรรมดา แต่ในปัจจุบันเครือข่ายไฟฟ้ากำลังมีความซับซ้อนมากขึ้น กล่าวคือ มีความไม่เป็นเชิงเส้นสูงมากขึ้น ประกอบกับมีการพัฒนาวิจัยทฤษฎีเครือข่ายประสาทเทียมเพื่อมาใช้ในการจำลองคุณลักษณะของกระบวนการ และการควบคุมกระบวนการแบบไม่เชิงเส้นมากขึ้น ทำให้มีความเป็นไปได้ในการศึกษาวิจัยเพื่อนำเครือข่ายประสาทเทียมมาใช้เป็นตัวควบคุมแบบไม่เชิงเส้นแทนตัวสร้างเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลังแบบธรรมดา ซึ่งตัวควบคุมแบบเชิงเส้น ตัวอย่างเช่น การสร้างตัวสร้างเสถียรภาพระบบไฟฟ้าแบบไม่เชิงเส้น โดยอาศัยความสามารถของเครือข่ายประสาทเทียมในการจำลองคุณลักษณะของฟังก์ชั่นถ่ายโอน $\frac{\Delta P_E}{\Delta V_{REF}}$ [23] และสร้างตัวควบคุมที่อาศัยเครือข่ายประสาทเทียมในการควบคุมแบบวิธีออพติไมซ์แบบไม่เชิงเส้น [24-28] ทำให้สามารถควบคุมและเสริมสร้างเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลังได้ดี เป็นต้น

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย