บทที่ 8
สรุป และข้อเสนอแนะ

8.1 สรุป

วิทยานิพนธ์นี้ดำเนินการวิจัยเกี่ยวกับการพัฒนาวิธีการตัวควบคุม การตรวจจับความผิดพร่องแบบสวิตช์เปิดวงจร และการสร้างความคงทนต่อความผิดพร่อง สำหรับวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าแบบบูสต์เรียงต่อกันสามขั้น ทั้งนี้งานวิจัยเริ่มต้นจากการสำรวจค้นคว้างานวิจัยในอดีตที่เกี่ยวข้อง โดยสามารถแบ่งได้สามลักษณะคือผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าแบบบูสต์มีอัตราขยายแรงดันสูง ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าแบบบูสต์เรียงต่อกันหลายขั้น และผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิธีการตรวจจับความผิดพร่อง และการสร้างความคงทนต่อความผิดพร่อง จากการสำรวจค้นคว้างานวิจัยในอดีตเหล่านี้ทำให้ทราบถึงโครงสร้างวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าแบบบูสต์ที่มีอัตราขยายแรงดันสูงประมาณ 20 เท่า เพื่อให้ได้ระดับแรงดันเอาต์พุตที่สูงประมาณ 380V ที่ถูกนำไปใช้ในหลากหลายด้าน อาทิเช่น ระบบไมโครกริดกระแสตรง อุตสาหกรรมขนส่ง ระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า เป็นต้น จึงจำเป็นต้องมีการพัฒนาวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าแบบบูสต์ให้มีอัตราการขยายแรงดันสูงและมีค่าวัฏจักรหน้าที่ของสวิตช์ที่ไม่สูงมาก ซึ่งวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าแบบบูสต์เรียงต่อกันสามขั้นสามารถเพิ่มระดับแรงดันเอาต์พุตให้สูงขึ้นตามต้องการได้ โดยค่าวัฏจักรหน้าที่ของสวิตช์แต่ละตัวไม่สูงมากนัก อีกทั้งยังเหมาะสำหรับระบบพลังงานทดแทน อย่างไรก็ตามยังมีข้อจำกัดทางด้านความน่าเชื่อถือ เนื่องจากวงจรมีองค์ประกอบต่าง ๆ มากขึ้น ส่งผลให้วงจรมีความซับซ้อน อีกทั้งแหล่งจ่ายที่เป็นพลังงานทดแทนจะขึ้นกับสภาพอากาศอาจส่งผลให้แหล่งจ่ายมีระดับแรงดันไม่คงที่ จำเป็นต้องอาศัยการควบคุมวงจรที่มีประสิทธิผล เพื่อสามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับโหลดได้อย่างเหมาะสม รวมถึงการสร้างความคงทนต่อความผิดพร่องให้กับวงจรดังกล่าวให้สามารถทำงานต่อไปได้ เมื่อความผิดพร่องแบบสวิตช์เปิดวงจรเกิดขึ้นที่สวิตช์กำลัง วิธีการฟัซซีลอจิก (Fuzzy logic technique) เป็นตัวเลือกที่น่าสนใจสำหรับการพัฒนาการตัวควบคุม และการตรวจจับความผิดพร่องแบบเปิดสวิตช์ เนื่องจากวิธีการนี้ช่วยลดข้อจำกัดทางแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ซับซ้อนของวงจร โดยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ไม่จำเป็นสำหรับตัวควบคุมฟัซซี แต่จะอาศัยความรู้และความเข้าใจพฤติกรรมการทำงานของวงจรจากผู้สังเกตการณ์ในการออกแบบตัวควบคุมฟัซซี รวมถึงการสร้างความคงทนต่อความผิดพร่องแบบสวิตช์เปิดวงจรให้กับวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าแบบบูสต์เรียง

ต่อกันสามขั้น เพื่อให้สามารถระบุตำแหน่งความผิดพร่องที่เกิดขึ้นในแต่ละสวิตช์ได้อย่างถูกต้องและรวดเร็ว และสามารถการกู้คืนการทำงานของวงจรจากความผิดพร่องอย่างทันท่วงที

ในบทที่ 3 ได้นำเสนอเนื้อหาเกี่ยวกับวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าแบบบูสต์เรียงต่อกันสามขั้น โดยอธิบายโครงสร้างของวงจร หลักการทำงานของวงจร อัตราขยายแรงดัน การออกแบบค่าพารามิเตอร์ภายในวงจร และนำเสนอการจำลองสถานการณ์การทำงานของวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าแบบบูสต์เรียงต่อกันสามขั้นที่สามารถทบแรงดันแรงดันเอาต์พุตของวงจรที่ 400V จากค่าวัฏจักรหน้าที่ของสวิตช์ทั้งสามที่มีค่าเท่ากันที่ 0.63 และจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับโหลดตัวต้านทานขนาด 1600Ω ซึ่งต้องการกำลังไฟฟ้าประมาณ 100W โดยพิจารณาแหล่งจ่ายแรงดันอินพุตที่ค่อนข้างต่ำประมาณ 20V รวมถึงแสดงการกระเพื่อมของแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุ และการกระเพื่อมของกระแสที่ไหลผ่าน ตัวเหนี่ยวนำที่ได้ผลที่สอดคล้องตามที่ออกแบบไว้ อย่างไรก็ตามจากผลการจำลองสถารการณ์การทำงานของวงจรขณะที่ไม่มีตัวควบคุม พบว่ามีการพุ่งเกินของแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุ และกระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำที่ค่อนข้างสูง ซึ่งอาจส่งผลเสียหายกับอุปกรณ์ภายในวงจร อีกทั้งยังใช้เวลานานในการเข้าสู่สภาวะอยู่ตัว การออกแบบตัวควบคุมฟัซซีจึงเป็นตัวเลือกที่น่าสนใจ เพื่อควบคุมการทำงานของวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าแบบบูสต์เรียงต่อกันสามขั้น ให้มีสมรรถนะการทำงานที่ดีขึ้นทั้งในสภาวะชั่วครู่ และสภาวะอยู่ตัว สามารถรักษาแรงดันเอาต์พุตให้คงที่ได้ตามต้องการภายใต้สถานการณ์การเปลี่ยนแปลงจุดการทำงานของวงจร

ในบทที่ 4 ได้นำเสนอการพัฒนาและออกแบบตัวควบคุมฟัซซีสำหรับวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าแบบบูสต์เรียงต่อกันสามขั้น เพื่อให้ได้ค่าวัฏจักรหน้าที่สวิตช์ที่เหมาะสม สามารถควบคุมให้ค่าแรงดันเอาต์พุตคงที่ตามต้องการ และเข้าสู่สภาวะอยู่ตัวอย่างรวดเร็ว ในบทนี้อธิบายถึงโครงสร้างตัวควบคุมฟัซซี การออกแบบการควบคุมฟัซซี และการจำลองสถานการณ์วงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าแบบบูสต์เรียงต่อกันสามขั้นภายใต้ตัวควบคุมฟัซซี โดยผลการจำลองสถานการณ์จะแสดงถึงประสิทธิผลของตัวควบคุมฟัซซีที่พัฒนาขึ้น พบว่าสามารถรักษาแรงดันเอาต์พุตให้คงที่ได้ตามต้องการภายใต้สถานการณ์การเปลี่ยนแปลงของแรงดันอินพุต แรงดันอ้างอิง และโหลดตัวต้านทาน อีกทั้งยังได้นำเสนอผลเปรียบเทียบสมรรถนะระหว่างตัวควบคุมฟัซซีที่พัฒนาขึ้นกับตัวควบคุมพีไอผ่านการจำลองสถานการณ์ภายใต้การเปลี่ยนแปลงจุดการทำงาน เมื่อเปรียบเทียบผลการทำงานของตัวควบคุมทั้งสองแบบ พบว่าทั้งตัวควบคุมฟัซซีและตัวควบคุมพีไอสามารถควบคุมแรงดันไฟฟ้าให้อยู่ในระดับที่ต้องการได้ใกล้เคียงกัน อย่างไรก็ตาม การออกแบบตัวควบคุมพีไออาศัยการประมาณค่าพารามิเตอร์ของวงจร เทียบเคียงกับวงจรแปลงผันดำลังไฟฟ้าแบบดั้งเดิมทำให้ต้องทำการปรับจูน

ค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมพีไอ เพื่อให้ผลตอบสนองทั้งในสภาวะชั่วครู่และสภาวะอยู่ตัวเป็นที่น่าพอใจ

ในบทที่ 5 ได้นำเสนอการพัฒนาวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าแบบบูสต์เรียงต่อกันสามขั้นขณะที่มีตัวควบคุมฟัซซีที่พัฒนาขึ้น ให้มีความคงทนต่อความผิดพร่องแบบสวิตช์เปิดวงจร โดยเริ่มต้นจากการสังเกตพฤติกรรมวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าแบบบูสต์เรียงต่อกันสามขั้นขณะที่มีตัวควบคุมฟัซซีที่พัฒนาขึ้นทั้งในสภาวะปกติ และสภาวะเกิดความผิดพร่อง เพื่อนำมาสร้างเงื่อนไขในการตรวจจับความผิดพร่องของแต่ละสวิตช์ ในการสร้างความคงทนต่อความผิดพร่องแบบสวิตช์เปิดวงจรให้กับวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าแบบบูสต์เรียงต่อกันสามขั้น เพื่อให้สามารถระบุตำแหน่งความผิดพร่องที่เกิดขึ้นในแต่ละสวิตช์ได้อย่างถูกต้องและรวดเร็ว ทำให้การกู้คืนการทำงานของวงจรจากความผิดพร่อง โดยนำกระบวนการฟัซซีมาใช้ในกระบวนการสร้างความคงทนต่อความผิดพร่อง เพื่อให้วงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าแบบบูสต์เรียงต่อกันสามขั้นสามารถทำงานต่อไปได้เมื่อมีความผิดพร่องเกิดขึ้นที่สวิตช์กำลังของวงจร ในกระบวนการตรวจจับความผิดพร่องจะอาศัยกระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำตัวที่ 1 และแรงดันเอาต์พุต ที่ได้จากตัวตรวจจับกระแสและตัวตรวจจับแรงดันที่ใช้ในกระบวนการควบคุมฟัซซีที่พัฒนาขึ้น รวมถึงสัญญาณวัฏจักรหน้าที่ของสวิตช์ที่ได้จากควบคุมฟัซซีที่พัฒนาขึ้น ซึ่งให้ผลตอบสนองที่แตกต่างจากพฤติกรรมการทำงานของวงจรในสภาวะการทำงานปกติอย่างชัดเจน เมื่อเกิดความผิดพร่องที่สวิตช์แต่ละตัว จากการจำลองสถานการณ์การตรวจจับความผิดพร่องแบบสวิตช์เปิดวงจรที่พัฒนาขึ้นสำหรับวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าแบบบูสต์เรียงต่อกันสามขั้นภายใต้การเปลี่ยนแปลงจุดการทำงานของวงจร จะเห็นได้ว่าวิธีการตรวจจับความผิดพร่องที่พัฒนาขึ้นสามารถตรวจจับ และสามารถระบุตำแหน่งที่เกิดความผิดพร่องได้อย่างรวดเร็วและถูกต้อง อีกทั้งยังไม่มีความผิดพลาด ในขณะที่มีการเปลี่ยนแปลงจุดการทำงาน และผลการจำลองสถานการณ์สุดท้ายเป็นการสร้างความคงทนต่อความผิดพร่อง เพื่อให้วงจรยังคงสามารถทำงานต่อไปได้อย่างมีประสิทธิผลภายใต้ความผิดพร่องที่เกิดขึ้น

ในบทที่ 6 ได้นำเสนอการสร้างชุดทดสอบของวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าแบบบูสต์เรียงต่อกันสามขั้น อุปกรณ์ที่สำคัญสำหรับการสร้างชุดทดสอบของวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าแบบบูสต์เรียงต่อกันสามขั้นประกอบด้วย แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง ตัวเหนี่ยวนำ ตัวเก็บประจุ มอสเฟต ไดโอด โหลดตัวต้านทาน วงจรตรวจจับแรงดัน วงจรตรวจจับกระแส และวงจรขยายแรงดันแบบแยกโดดสัญญาณ หลังจากนั้นจะโปรแกรมการควบคุมแรงดันเอาต์พุต การตรวจจับ และการระบุตำแหน่งความผิดพร่องที่ใช้กระบวนการทางฟัซซี บันทึกลงในบอร์ดไมโครคอนโทรเลอร์ DSP รุ่น eZdsp^{TM}F28335 โดยมีผลการจำลองแบบฮาร์ดแวร์ในลูปแสดงให้เห็นถึงการควบคุมแรงดันเอาต์พุต การตรวจจับ และการ

ระบุตำแหน่งความผิดพร่องของวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าแบบบูสต์เรียงต่อกันสามขั้นเป็นไปในทางสอดคล้องใกล้เคียงกันกับการจำลองสถานการณ์ด้วย MATLAB SIMULINK

ในบทที่ 7 ได้นำเสนอผลการทดสอบของวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าแบบบูสต์เรียงต่อกันสามขั้น โดยทำการทดสอบวงจรภายใต้การเปลี่ยนแปลงจุดการทำงานของแรงดันอ้างอิง แรงดันอินพุต และโหลดตัวต้านทาน อีกทั้งแสดงผลการเปรียบเทียบผลการทดสอบชุดทดสอบกับผลการจำลองสถานการณ์พบว่ามีความสอดคล้องใกล้เคียงกันกับผลทดสอบทั้งในสภาวะชั่วครู่และสภาวะอยู่ตัว เพื่อแสดงให้เห็นถึงประสิทธิผลของตัวควบคุมฟัซซีที่พัฒนาขึ้นในการรักษาแรงดันเอาต์พุตของวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าแบบบูสต์เรียงต่อกันสามขั้นตามต้องการ ภายใต้การเปลี่ยนแปลงจุดการทำงาน จากนั้นได้นำเสนอผลการทดสอบของวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าแบบบูสต์เรียงต่อกันสามขั้นกรณีเกิดความผิดพร่องแบบสวิตช์เปิดวงจรภายใต้การควบคุมฟัซซี ทั้งนี้ผลการทดสอบแสดงการตรวจจับความผิดพร่องแบบสวิตช์เปิดวงจรที่เกิดขึ้น รวมถึงสามารถระบุตำแหน่งความผิดพร่องที่เกิดขึ้นได้อย่างถูกต้อง และการสร้างความคงทนต่อความผิดพร่อง โดยเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับผลการจำลองสถานการณ์ พบว่าผลการจำลองสถานการณ์มีความสอดคล้องกับผลการทดสอบชุดทดสอบ แสดงให้เห็นถึงประสิทธิผลของการสร้างความคงทนต่อความผิดพร่องที่สามารถตรวจจับความผิดพร่องที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วและถูกต้อง ส่งผลให้วงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าแบบบูสต์เรียงต่อกันสามขั้นภายใต้ตัวควบคุมฟัซซีสามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่อง

8.2 ข้อเสนอแนะเพื่อพัฒนางานวิจัยในอนาคต

1. งานวิจัยวิทยานิพนธ์นี้นำเสนอการพัฒนาและออกแบบตัวควบคุมฟัซซีสำหรับวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าแบบบูสต์เรียงต่อกันสามขั้น โดยที่มีแหล่งจ่ายอินพุตกระแสตรงที่คงที่ ซึ่งในอนาคตอาจมีการใช้แหล่งจ่ายเซลล์แสงอาทิตย์ ร่วมกับการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุด อีกทั้งอาจจะมีการประยุกต์ตัวควบคุมฟัซซีที่พัฒนาขึ้นนี้ใช้กับวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าที่ต่อกันมากกว่าสามขั้น หรือวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าอื่น ๆ

2. งานวิจัยวิทยานิพนธ์นี้นำเสนอการสร้างความคงทนต่อความผิดพร่องแบบสวิตช์เปิดวงจรสำหรับวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าแบบบูสต์เรียงต่อกันสามขั้นที่ทำงานภายใต้ตัวควบคุมฟัซซีที่พัฒนาขึ้น ซึ่งในอนาคตอาจมีการพัฒนากระบวนการอื่น ๆ ร่วมด้วย เพื่อให้การตรวจจับความผิดพร่องเร็วขึ้น อีกทั้งยังสามารถตรวจจับความผิดพร่องแบบสวิตช์เปิดวงจรที่มากกว่าหนึ่งตัวพร้อมกัน