

บทที่ 9

สรุปและข้อเสนอแนะ

9.1 สรุป

งานวิจัยวิทยานิพนธ์นี้ได้นำเสนอการออกแบบตัวควบคุมฟuzzyลอจิกสำหรับวงจรกรองกำลัง แยกทีฟแบบขนานในระบบรางไฟฟ้ากระแสสลับแบบเฟสรวม โดยในงานวิจัยวิทยานิพนธ์นี้จะเริ่มต้นจากการศึกษาค้นคว้าปรัทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องตั้งแต่ในอดีตที่ผ่านมา ซึ่งสามารถแบ่งหัวข้อการศึกษาค้นคว้าได้เป็น 5 ส่วน คือ โครงสร้างของวงจรกรองกำลังแยกทีฟแบบขนาน การออกแบบวงจรกรองกำลังแยกทีฟแบบขนาน การคำนวณตรวจจับฮาร์มอนิก การควบคุมกระแสชดเชยของวงจรกรองกำลังแยกทีฟแบบขนาน และกับการควบคุมแรงดันบัสไฟตรงของวงจรกรองกำลังแยกทีฟแบบขนาน โดยงานวิจัยทั้งหมดที่ได้ศึกษาค้นคว้าได้นำเสนอไว้ในบทที่ 2 ซึ่งถือเป็นประโยชน์ในการทำความเข้าใจ อัปเดตข้อมูลวิธีการต่าง ๆ และนำไปสู่การคิดค้นต่อยอดในงานวิจัยวิทยานิพนธ์

ในบทที่ 3 งานวิจัยวิทยานิพนธ์นี้ได้นำเสนอการคำนวณตรวจจับฮาร์มอนิกวิธี PQ สำหรับระบบรางไฟฟ้ากระแสสลับแบบเฟสรวมซึ่งเป็นการประยุกต์ใช้วิธี PQ แบบดั้งเดิมให้สามารถคำนวณตรวจจับฮาร์มอนิกที่ระบบไฟฟ้ากำลังสองเฟสได้พร้อมกันทั้งสองเฟสในหนึ่งบล็อกการคำนวณ และยังสามารถนำเสนอวิธี PQF ที่ใช้การวิเคราะห์ฟูริเยร์แบบวินโดว์เลื่อน (SWFA) ในการแยกปริมาณฮาร์มอนิกของกำลังแยกทีฟแทนการใช้วงจรกรองแบบความถี่ต่ำผ่าน (LPF) รวมไปถึงนำเสนอการใช้วิธีการตรวจจับแรงดันลำดับเฟสบวกมูลฐาน (PSVD) ร่วมกับการคำนวณตรวจจับฮาร์มอนิกด้วยวิธี PQF เพื่อให้สามารถคำนวณตรวจจับฮาร์มอนิกได้อย่างถูกต้องในกรณีที่มีฮาร์มอนิกปะปนที่แรงดันไฟฟ้าที่แหล่งจ่ายที่ระบบไฟฟ้ากำลังสามเฟส หรือที่ระบบไฟฟ้ากำลังสองเฟสของระบบรางไฟฟ้า

ในบทที่ 4 งานวิจัยวิทยานิพนธ์นี้ได้นำเสนอการออกแบบค่าพารามิเตอร์ของวงจรกรองกำลังแยกทีฟแบบขนานดังกล่าว โดยการออกแบบค่า L_f นำเสนอใช้วิธีการของ D.M.E. Ingram and S.D. และสำหรับค่า C_{DC} และ V_{DC} นำเสนอใช้วิธีการของ Thomas T. and et al. ในส่วนของระบบควบคุมกระแสชดเชยและระบบควบคุมแรงดันบัสไฟตรงด้วยตัวควบคุมฟuzzyได้ใช้วิธีการประมาณด้วยการเปรียบเทียบสัมประสิทธิ์กับพจน์พหุนามลักษณะเฉพาะของฟังก์ชันถ่ายโอนอันดับสองมาตรฐาน โดยผลจากการจำลองสถานการณ์กำจัดฮาร์มอนิก พบว่า วงจรกรองกำลังแยกทีฟแบบขนานและระบบควบคุมที่ได้จากการออกแบบด้วยวิธีที่นำเสนอมีประสิทธิภาพที่ดีสามารถชดเชยกำจัดปริมาณฮาร์มอนิกโดยให้ค่า %THD ของกระแสที่แหล่งจ่ายภายหลังการชดเชยมีค่าน้อยกว่า 5% ตามกรอบมาตรฐาน IEEE Std. 519-2022

ในบทที่ 5 ได้นำเสนอความรู้และความเข้าใจในทฤษฎีของฟัซซีลอจิกเป็นพื้นฐานที่สำคัญต่อการออกแบบระบบควบคุมกระแสชดเชยด้วยตัวควบคุมฟัซซีลอจิก งานวิจัยวิทยานิพนธ์นี้จึงนำเสนอทฤษฎีความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับฟัซซีลอจิกที่สำคัญ ได้แก่ ฟัซซีเซต (fuzzy set) การดำเนินการทางฟัซซีเซต (fuzzy set operations) รูปร่างฟังก์ชันสมาชิก (fuzzy shape) ตัวแปรภาษา (linguistic value) ค่าเชิงภาษา (linguistic variable) กฎฟัซซี (fuzzy rules) และการอนุมานฟัซซี (fuzzy inference) สำหรับนำไปประยุกต์ใช้ในการออกแบบระบบควบคุมกระแสชดเชยของวงจรกรองกำลังแอกทีฟแบบขนาน

ในบทที่ 6 ได้นำเสนอการออกแบบระบบควบคุมกระแสชดเชยด้วยตัวควบคุมฟัซซีลอจิก โดยเริ่มจากการทดสอบรูปร่างฟังก์ชันสมาชิกของตัวควบคุมฟัซซีลอจิก จำนวนฟังก์ชันสมาชิก และวิธีการอนุมานฟัซซี จากนั้นจึงออกแบบตัวแปรภาษาและค่าเชิงภาษา กฎฟัซซี และตำแหน่งฟังก์ชันสมาชิกของตัวควบคุมฟัซซีลอจิก โดยแบ่งการออกแบบตัวควบคุมฟัซซีลอจิกเป็น 3 กรณีตามอินพุตของระบบควบคุมซึ่งประกอบไปด้วยกรณีใช้เฉพาะอินพุต error กรณีใช้อินพุต error และ error rate และกรณีใช้อินพุต error และ sum error โดยผลจากการจำลองสถานการณ์การจัดฮาร์โมนิก พบว่า ตัวควบคุมฟัซซีลอจิกกรณีใช้อินพุต error และ sum error ให้ผลสมรรถนะการควบคุมกระแสชดเชยที่ดีที่สุด อย่างไรก็ตาม ตัวควบคุมฟัซซีลอจิกทั้ง 3 กรณีอินพุตที่พิจารณาใช้สามารถให้ค่า %THD ของกระแส ที่แหล่งจ่ายภายหลังการชดเชยมีค่าน้อยกว่ากรณีที่ใช้ตัวควบคุมพีไอและอยู่ภายใต้กรอบมาตรฐาน IEEE Std. 519-2022

ในบทที่ 7 ได้นำเสนอการจำลองสถานการณ์การกำจัดฮาร์โมนิกในระบบแรงไฟฟ้ากระแสสลับแบบเฟสรวมด้วยเทคนิคฮาร์ดแวร์ในชิปเพื่อเป็นการยืนยันสมรรถนะของระบบควบคุมกระแสชดเชยด้วยตัวควบคุมฟัซซีลอจิกที่ได้ออกแบบไว้ในบทที่ 6 โดยจะพิจารณาให้กระแสโหลดของระบบแรงไฟฟ้าที่พิจารณามีการเปลี่ยนแปลงจากโหลดปกติทั้งหมด 3 กรณีประกอบด้วยกรณีกระแสโหลดมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขนาด กรณีกระแสโหลดมีการเปลี่ยนแปลงลดขนาด และกรณีกระแสโหลดมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง โดยผลจากการจำลองสถานการณ์การจัดฮาร์โมนิก พบว่า ตัวควบคุมฟัซซีลอจิกที่ได้ออกแบบไว้ในบทที่ 6 มีสมรรถนะในการควบคุมกระแสชดเชยที่ดีสามารถลดปริมาณฮาร์โมนิกและค่า %THD ของกระแสที่แหล่งจ่ายภายหลังการชดเชยมีค่าตามกรอบมาตรฐาน IEEE Std. 519-2022 ทุกกรณีกระแสโหลดของระบบแรงไฟฟ้าที่พิจารณามีการเปลี่ยนแปลง

นอกจากนี้ในบทที่ 8 ได้นำเสนอการทดสอบการกำจัดฮาร์โมนิกในทางปฏิบัติบนระบบฮาร์ดแวร์สำหรับทดสอบการกำจัดฮาร์โมนิกในระบบแรงไฟฟ้าในห้องปฏิบัติการซึ่งจำลองมาจากระบบแรงไฟฟ้ากระแสสลับแบบเฟสรวมที่พิจารณาในงานวิจัยวิทยานิพนธ์นี้ โดยในการทดสอบจะใช้วิธีการคำนวณตรวจจับฮาร์โมนิกด้วยวิธี PQF สำหรับระบบควบคุมกระแสชดเชยได้ใช้ตัวควบคุมฟัซซีลอจิกที่มีการออกแบบค่าพารามิเตอร์ใหม่ตามวิธีการที่ได้นำเสนอในบทที่ 6 เพื่อให้เหมาะสมกับระบบฮาร์ดแวร์ที่พิจารณา โดยผลจากการทดสอบ พบว่า ตัวควบคุมฟัซซีลอจิกที่ได้จากการออกแบบด้วยวิธีการที่นำเสนอมีสมรรถนะในการควบคุมกระแสชดเชยที่ดีส่งผลให้วงจรกรองกำลังแอกทีฟแบบขนานสามารถกำจัดปริมาณฮาร์โมนิกให้ลดน้อยลง โดยค่า %THD ของกระแสที่แหล่งจ่ายภายหลังการชดเชยมีค่าน้อยกว่า 5% เป็นไปตามมาตรฐาน IEEE Std. 519-2022

9.2 ข้อเสนอแนะเพื่อพัฒนางานวิจัยในอนาคต

1) สามารถพิจารณานำเทคโนโลยีทางปัญญาประดิษฐ์มาใช้ในการออกแบบค่าพารามิเตอร์ของวงจรกรองกำลังแอกทีฟแบบขนานและระบบควบคุมเพื่อให้ได้ค่าที่เหมาะสมที่สุดสำหรับระบบรางไฟฟ้าที่พิจารณา

2) ควรมีการพิจารณาการทดสอบการกำจัดฮาร์มอนิกในสถานะที่โหลดของระบบรางไฟฟ้าไม่สมดุล (มีการใช้งานโหลดเฟส M หรือ T เฟียงเฟสเดียว) เพื่อทดสอบสมรรถนะของตัวควบคุมฟิชซีลอจิก และพัฒนาให้ดียิ่งขึ้น

3) ควรมีการพัฒนา ระบบควบคุมแรงดันบัสไฟตรงให้ดียิ่งขึ้นด้วยการใช้ตัวควบคุมฟิชซีลอจิก แทนการใช้ตัวควบคุมพีโอเนื่องจากตัวควบคุมดังกล่าวมีสมรรถนะในการควบคุมที่สูงกว่า และมีผลการตอบสนองที่ลู่เข้าค่าแรงดันบัสไฟตรงตามที่ได้ออกแบบไว้ที่ไวกว่าเพื่อรองรับในกรณีที่กระแสโหลดของระบบรางไฟฟ้ามีการเปลี่ยนแปลงไปจากโหลดปกติที่พิจารณา

4) ควรมีการศึกษาเกี่ยวกับวงจรกรองกำลังแอกทีฟแบบอนุกรมเพื่อนำมาใช้ร่วมกับวงจรกรองกำลังแอกทีฟแบบขนานเพื่อให้สามารถกำจัดได้ทั้งกระแสฮาร์มอนิก และแรงดันฮาร์มอนิกที่เกิดขึ้นในระบบรางไฟฟ้า

5) ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับวงจรเฟสล็อกกลูป (Phase Lock Loop : PLL) เนื่องจากวงจร PLL สามารถทำได้หลายวิธี และสมรรถนะของวงจรดังกล่าวยังส่งผลถึงสมรรถนะในการกำจัดฮาร์มอนิกของวงจรกรองกำลังแอกทีฟแบบขนานอีกด้วย

6) ควรมีการนำวงจรกรองที่มีการใช้งานในเชิงพาณิชย์มาใช้ในการกรองสัญญาณรบกวนภายในชุดฮาร์ดแวร์ระบบรางไฟฟ้าจำลอง เพื่อสมรรถนะในการกรองสัญญาณรบกวนที่ดี และช่วยลดปัญหาการเลื่อนเฟสที่เกิดจากวงจรกรอง

7) ในชุดฮาร์ดแวร์ระบบรางไฟฟ้าจำลองควรมีการใช้งานบอร์ด dsp รุ่นที่มีความเร็วในการประมวลผลที่เพียงพอสำหรับการใช้การคำนวณตรวจจับฮาร์มอนิกด้วยวิธี PQF ร่วมกับ PSVD ซึ่งจะช่วยให้สามารถคำนวณตรวจจับฮาร์มอนิกได้ถูกต้องแม่นยำมากยิ่งขึ้นส่งผลให้วงจรกรองกำลังแอกทีฟแบบขนานสามารถกำจัดฮาร์มอนิกได้ดียิ่งขึ้น