บทที่ 1
บทนำ

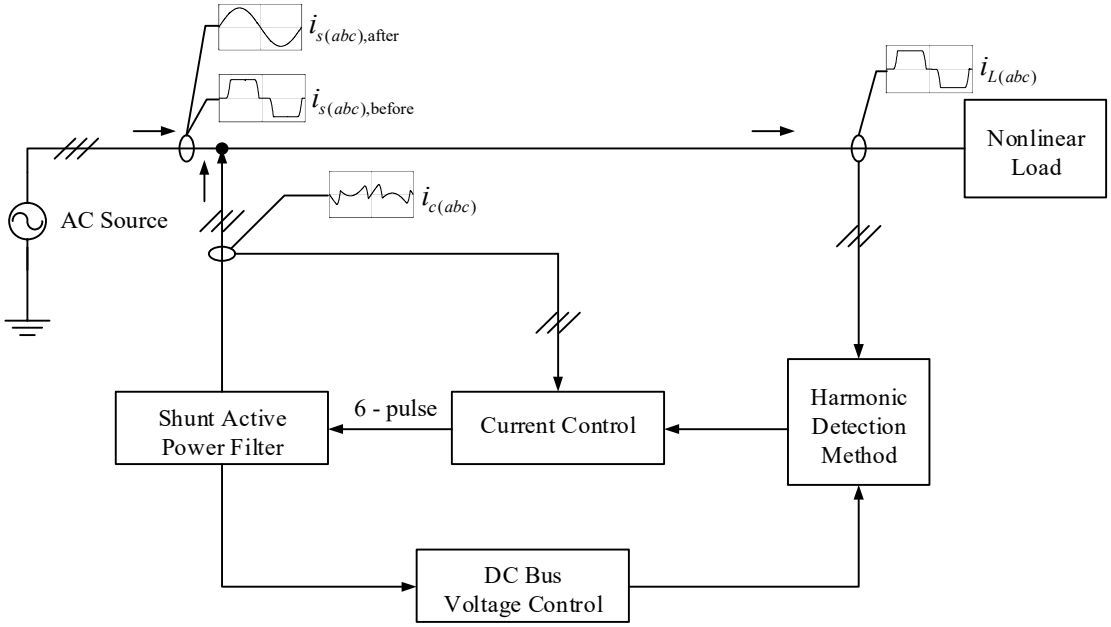
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย

ในปัจจุบัน ระบบไฟฟ้าที่ใช้ในภาคโรงงานอุตสาหกรรม อาคารสำนักงาน และบ้านพักอาศัย มักมีการติดตั้งอุปกรณ์ไฟฟ้าที่มีพฤติกรรมการทำงานแบบโหลดไม่เป็นเชิงเส้นเป็นจำนวนมาก เช่น โหลดแสงสว่าง บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ เครื่องคอมพิวเตอร์ หม้อแปลงไฟฟ้า ระบบขับเคลื่อนเครื่องจักรกลไฟฟ้าและวงจรแปลงผันกำลังรูปแบบต่าง ๆ การใช้งานโหลดไม่เป็นเชิงเส้นดังกล่าวก่อให้เกิดปัญหาคุณภาพกำลังไฟฟ้าหลายประการ ได้แก่ ฮาร์มอนิกในระบบไฟฟ้ากำลังและค่าตัวประกอบกำลังต่ำ เป็นต้น ปัญหาข้างต้นก่อให้เกิดผลเสียหลายประการ เช่น กำลังงานสูญเสียที่สายส่งและภายในอุปกรณ์ไฟฟ้า (Rice, 1986) อุปกรณ์ป้องกันและมิเตอร์วัดไฟฟ้าทำงานผิดพลาด (Indrajit and Paul, 1989) และอุปกรณ์ไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์ต่าง ๆ มีช่วงเวลาการทำงานที่ลดลง (Ho and Liu, 2001) เป็นต้น จากผลเสียข้างต้นจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่ง ที่จะต้องปรับปรุงคุณภาพกำลังไฟฟ้าอยู่ภายใต้กรอบมาตรฐาน

การกำจัดฮาร์มอนิกในระบบไฟฟ้ามีด้วยกันหลายวิธี เช่น การใช้งานวงจรกรองกำลังพาสซีฟ (Passive Power Filter :PPF) (Hu, He and Gao, 2015) การใช้งานวงจรกรองกำลังแอกทีฟ (Active Power Filter :APF) (Quinn and Mohan, 1992) และการใช้งานวงจรกรองกำลังไฮบริด (Hybrid Power Filter :HPF) (Visawa phatra dhanadhorn, Sujitjorn and Areerak, 2010) ซึ่งวิธีการที่ได้กล่าวมาล้วนมีทั้งข้อได้เปรียบข้อจำกัดเฉพาะตัว โดยงานวิจัยนี้เลือกใช้งานวงจรกรองกำลังแอกทีฟมาต่อขนานกับระบบไฟฟ้าเพื่อกำจัดกระแสฮาร์มอนิก เนื่องจากวงจรข้างต้นสามารถกำจัดกระแสฮาร์มอนิกได้ทุกอันดับ สามารถกำจัดกระแสฮาร์มอนิกได้เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของโหลด นอกจากนี้วงจรดังกล่าวยังสามารถหลีกเลี่ยงการเกิดปัญหาเรโซแนนซ์ในระบบได้ การพัฒนาระบบควบคุมสำหรับวงจรกรองกำลังแอกทีฟจึงเป็นประเด็นสำคัญของงานวิจัยวิทยานิพนธ์ โดยระบบควบคุมดังกล่าวมีปัจจัยสำคัญที่ต้องพิจารณาเป็น 4 ส่วน ได้แก่ โครงสร้างวงจรกรองกำลังแอกทีฟ การตรวจจับกระแสฮาร์มอนิก ระบบควบคุมแรงดันบัสไฟตรง และระบบควบคุมกระแสชดเชย

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นการประยุกต์ใช้วงจรกรองกำลังแอกทีฟแบบขนาน โดยมีโครงสร้างเป็นวงจรอินเวอร์เตอร์ชนิดแหล่งจ่ายแรงดัน พร้อมทั้งควบคุมการสวิตช์ด้วยเทคนิคพีดับเบิลยูเอ็ม วิธีทฤษฎีกำลังขณะหนึ่ง (Instantaneous Reactive Power Theory: PQ) (Akagi, Kanazawa and Nabae, 1984) ถูกนำมาใช้ในกระบวนการตรวจจับกระแสฮาร์มอนิก เพื่อคำนวณค่ากระแสชดเชยอ้างอิงให้กับส่วนของระบบควบคุมกระแสชดเชย เนื่องจากมีการคำนวณที่ไม่ซับซ้อน ให้การคำนวณค่ากระแสชดเชยอ้างอิงที่ถูกต้องแม่นยำ และมีการคำนวณค่ากำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟเพื่อปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลัง (Power Factor : PF) สำหรับระบบควบคุมกระแสชดเชย งานวิจัยที่ผ่านมาได้มีการใช้งาน เช่น ตัวควบคุมพีไอ (PI Controller) (Benchouia, Ghadbane, Golea, Srairi and Benbouzid, 2014) ตัวควบคุมฮีสเตอรีซีส (Hysteresis Controller) (Ingram and Round, 1997) ตัวควบคุมโหมดการเลื่อน (Sliding Mode Controller) (Mendalek, Al-Haddad, Fnaiech and Dessaint, 2002) ตัวควบคุมฟัซซี (Fuzzy Controller) (Narongrit, K-PL. Areerak and K-PN. Areerak, 2016) เป็นต้น โดยงานวิจัยนี้เลือกใช้ตัวควบคุมโหมดการเลื่อนสำหรับควบคุมกระแสชดเชยและแรงดันบัสไฟตรง เนื่องจากตัวควบคุมข้างต้นสามารถควบคุมการฉีดกระแสชดเชยและควบคุมแรงดันบัสไฟตรงได้พร้อมกัน อีกทั้งยังสามารถให้ผลตอบสนองที่รวดเร็ว ไม่มีการพุ่งเกินและให้ผลตอบสนองที่ดีทั้งในสภาวะชั่วครู่และสภาวะอยู่ตัว ในขณะที่ตัวควบคุมอื่น ๆ ที่กล่าวมาจำเป็นต้องออกแบบทั้งระบบควบคุมกระแสชดเชย และระบบควบคุมแรงดันบัสไฟตรง เนื่องจากไม่สามารถควบคุมทั้งสองระบบได้พร้อมกัน สมรรถนะการกำจัดกระแสฮาร์มอนิกของตัวควบคุมโหมดการเลื่อนขึ้นอยู่กับการออกแบบค่าพารามิเตอร์ โดยในงานวิจัยนี้ เลือกใช้วิธีการค้นหาแบบตาบูเชิงปรับตัว (Adaptive Tabu Search : ATS) เพื่อระบุค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมโหมดการเลื่อนที่เหมาะสม โดยอาศัยฟังก์ชันเลียปูโนฟในการกำหนดขอบเขตของค่าพารามิเตอร์ ซึ่งจะทำให้ได้ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับตัวควบคุมโหมดการเลื่อนในระบบที่พิจารณา แต่หากระบบที่พิจารณามีการเปลี่ยนแปลง ค่าพารามิเตอร์ดังกล่าว อาจจะไม่สามารถกำจัดกระแสฮาร์มอนิกได้ดี จำเป็นต้องทำการค้นหาค่าพารามิเตอร์ใหม่อีกครั้ง แต่การค้นหาแบบ ATS มีขั้นตอนที่ค่อนข้างซับซ้อน และใช้เวลานาน งานวิจัยนี้จึงเลือกใช้ฟัซซีลอจิก เป็นตัวควบคุมช่วยในการกำจัดกระแสฮาร์มอนิก ซึ่งจะเรียกวิธีการดังกล่าวว่า ตัวควบคุมโหมดการเลื่อนเชิงปรับตัว (Adaptive Sliding Mode Control) โดยการกำจัดกระแสฮาร์มอนิก อาศัยตัวควบคุม SMC ในการคำนวณค่าแรงดันเอาต์พุตของตัวควบคุม เพื่อเปรียบเทียบกับสัญญาณพาร์รูปสามเหลี่ยม ในการควบคุมการทำงานของไอจีบีที โดยมีฟัซซีลอจิกทำหน้าที่ปรับค่าแรงดันเอาต์พุตของตัวควบคุมให้เหมาะสม

เพื่อทำให้ระบบควบคุมสามารถกำจัดกระแสฮาร์มอนิกได้ดีขึ้น องค์ประกอบการกำจัดกระแสฮาร์มอนิกทั้งหมด สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 1.1



รูปที่ 1.1 องค์ประกอบการกำจัดกระแสฮาร์มอนิกในระบบด้วยวงจรกรองกำลังแอกทีฟ

1.2 วัตถุประสงค์ของการทำวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาค้นคว้าเกี่ยวกับการกำจัดกระแสฮาร์มอนิกในระบบไฟฟ้าสามเฟสด้วยวงจรกรองกำลังแอกทีฟแบบขนาน

1.2.2 เพื่อศึกษาค้นคว้าเกี่ยวกับการออกแบบตัวควบคุม SMC สำหรับระบบควบคุมกระแสชดเชย และระบบควบคุมแรงดันบัสไฟตรง

1.2.3 เพื่อพัฒนาตัวควบคุม SMC ให้มีสมรรถนะการทำงานที่ดีขึ้นเมื่อโหลดไม่เป็นเชิงเส้นมีการเปลี่ยนแปลงโดยใช้ฟัซซีลอจิก

1.2.4 เพื่อสร้างระบบจำลองสถานการณ์การกำจัดกระแสฮาร์มอนิกด้วยเทคนิคฮาร์ดแวร์ในลูป (Hardware In Loop : HIL)

1.3 ข้อตกลงเบื้องต้น

1.3.1 ระบบที่ใช้สำหรับจำลองสถานการณ์เป็นระบบไฟฟ้ากำลังสามเฟสสมดุล

1.3.2 วงจรกรองกำลังแอกทีฟที่พิจารณาเป็นวงจรกรองกำลังแอกทีฟแบบขนาน

1.3.3 การจำลองสถานการณ์พึ่งพาโปรแกรม MATLAB/Simulink ร่วมกับบอร์ด DSPF28335

1.3.4 โครงสร้างของวงจรกรองกำลังแอกทีฟเป็นวงจรอินเวอร์เตอร์ชนิดแหล่งจ่ายแรงดัน

1.3.5 โหลดไม่เป็นเชิงเส้นที่ใช้สำหรับจำลองสถานการณ์การกำจัดกระแสฮาร์มอนิกใช้วงจรเรียงกระแสสามเฟสแบบบริดจ์ที่มีโหลดเป็นตัวต้านทานอนุกรมกับตัวเหนี่ยวนำ

1.3.6 การดำเนินงานมุ่งเน้นที่การกำจัดกระแสฮาร์มอนิกเพียงอย่างเดียว โดยพิจารณาดัชนีชี้วัดสมรรถนะจากค่าความผิดเพี้ยนกระแสฮาร์มอนิกรวม ($\%THD_i$)

1.3.7 ค่าพารามิเตอร์ในระบบไฟฟ้าสามเฟสสมดุลอ้างอิงมาจากงานวิจัยในอดีต

1.4 ขอบเขตของการทำวิจัย

1.4.1 งานวิจัยนี้พิจารณาเฉพาะการกำจัดกระแสฮาร์มอนิกที่เกิดขึ้นในระบบไฟฟ้ากำลังสามเฟสสมดุลเท่านั้น

1.4.2 แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าสำหรับระบบในการจำลองสถานการณ์ จะพิจารณาในกรณีแรงดันมีลักษณะอุดมคติ

1.4.3 ผลการจำลองสถานการณ์ต้องอยู่ภายใต้กรอบมาตรฐาน IEEE Std. 519-2014

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 ได้องค์ความรู้ในด้านการกำจัดกระแสฮาร์มอนิกที่เกิดขึ้นในระบบไฟฟ้าสามเฟสสมดุลโดยใช้วงจรกรองกำลังแอกทีฟแบบขนาน

1.5.2 ได้องค์ความรู้เกี่ยวกับการออกแบบตัวควบคุม SMC สำหรับระบบควบคุมกระแสชดเชย และระบบควบคุมแรงดันบัสไฟตรงด้วยวิธีทางปัญญาประดิษฐ์

1.5.3 ได้องค์ความรู้ใหม่ในการออกแบบตัวควบคุมโหมดการเลื่อนเชิงปรับตัวโดยใช้ฟัซซีลอจิก

1.5.4 ได้องค์ความรู้เกี่ยวกับเทคนิคฮาร์ดแวร์ในลูป (Hardware In Loop : HIL) สำหรับการจำลองสถานการณ์

1.5.5 ได้บทความวิจัย เผยแพร่ระดับชาติ และนานาชาติ

1.6 การจัดรูปเล่มรายงาน

วิทยานิพนธ์นี้ประกอบไปด้วย 7 บท 1 ภาคผนวก ซึ่งแต่ละบทได้นำเสนอดังต่อไปนี้

บทที่ 1 บทนำ กล่าวถึงความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา วัตถุประสงค์ ข้อตกลงเบื้องต้น ขอบเขตการวิจัย รวมถึงประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับของงานวิจัย

บทที่ 2 กล่าวถึงปริทรรศน์วรรณกรรม และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการกำจัดกระแสฮาร์มอนิกด้วยวงจรกรองกำลังแอกทีฟแบบขนาน

บทที่ 3 นำเสนอความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับปริมาณทางไฟฟ้าบนแกนดีคิว และวิธีการตรวจจับกระแสฮาร์มอนิกด้วยวิธีทฤษฎีกำลังขณะหนึ่ง

บทที่ 4 นำเสนอวิธีการหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของวงจรกรองกำลังแอกทีฟ รวมถึงวิธีการหาค่าพารามิเตอร์ของวงจรกรองกำลังแอฟทีฟ และนำเสนอวิธีการออกแบบตัวควบคุม PI ในระบบควบคุมกระแสชดเชย และระบบควบคุมแรงดันบัสไฟตรงของวงจรกรองกำลังแอกทีฟแบบขนานเพื่อใช้ตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของวงจรกรองกำลังแอกทีฟ

บทที่ 5 นำเสนอวิธีการออกแบบตัวควบคุม SMC เพื่อใช้ในระบบควบคุมกระแสชดเชย และระบบควบคุมแรงดันบัสไฟตรงสำหรับวงจรกรองกำลังแอกทีฟแบบขนานโดยใช้วิธีการสุ่มค่าพารามิเตอร์ นำเสนอการทบทวนวิธีการค้นหาแบบ ATS และการออกแบบค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม SMC ด้วยการค้นหาแบบ ATS

บทที่ 6 นำเสนอความรู้เกี่ยวกับฟัซซีลอจิก และการนำตัวควบคุม SMC มาใช้งานร่วมกับฟัซซีลอจิกในระบบควบคุมกระแสชดเชย และแรงดันบัสไฟตรงสำหรับวงจรกรองกำลังแอกทีฟเมื่อโหลดที่ไม่เป็นเชิงมีการเปลี่ยนแปลง

บทที่ 7 เป็นบทสรุปและข้อเสนอแนะ

ภาคผนวก ก บทความที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างการศึกษา